

トンネルと地下連載

シールドトンネルの施工に関する Q & A



2007.7～2008.8

トンネルと地下連載

シールドトンネルの施工に関するQ&A

項目別目次

1. 発進準備工

- (1) 発進基地の工法別、経別の最小及び標準面積 Q26..... 48
- (2) 発進、到達時における地盤改良工法の種類と得失 Q12..... 22
- (3) 発進準備工の計画および施工上の留意点 Q8..... 16

2. 掘進設備

- (4) シールド仮設備の配置計画上のポイント Q27..... 49
- (5) 土砂搬出の方法と得失 Q2 3

3. 測量

- (6) シールドの長距離化に伴う坑外測量の新しい方法と留意点 Q3..... 5
- (7) 中間立坑や測量観測孔がない場合の坑内測量方法 Q35..... 63
- (8) 掘進管理測量における自動測量の現状、制度、信頼度 Q28..... 51

4. 掘進管理

- (9) 土質条件に応じたシールドの姿勢制御のポイント Q21..... 39
- (10) 掘進指示書作成のポイント Q4 7
- (11) 工法別(泥水式、泥土圧)の掘進土量管理の方法、ポイント Q31..... 55
- (12) 泥水式シールドにおける流体制御 Q5 9
- (13) 密閉式シールドでの切羽圧の設定方法の考え方と留意点 Q9..... 16

5. 一次覆工管理

- (14) セグメントのクラック・欠けの防止および補修の方法 Q32 57

(15)	セグメントの防水工の種類とその特性 Q13.....	23
6. 裏込め注入管理		
(16)	裏込め材料の種類と得失 Q14	26
(17)	同時裏込め注入装置の長所・短所および留意点 Q29.....	53
(18)	土質に対する裏込め注入管理の注意点 Q33.....	60
7. 泥水式シールドの泥水管理		
(19)	泥水式と土圧式でどのような場合にどちらが有利となるか Q40.....	72
(20)	土質別泥水比重と粘性の適正值および泥水管理上の不具合 Q45.....	82
(21)	泥水式シールド工法の逸泥や噴発に対する対処方法 Q41.....	74
8. 土圧式シールドの添加剤管理		
(22)	泥水圧シールド工法の添加剤の目的と選定 Q22.....	41
(23)	土圧式シールド工法でのポンプ圧送が可能な地山と添加剤 Q15.....	28
9. 環境対策		
(24)	泥土圧シールド工法での建設汚泥の判断基準 Q16.....	29
(25)	シールド掘進時の低周波音対策と効果 Q36.....	65
(26)	シールド掘進に伴う地盤変状のメカニズムとその防止対策 Q30.....	54
10. 急曲線対策		
(27)	急曲線施工における補助工法の必要性和有効な方法 Q43.....	77
(28)	急曲線での施工管理方法 Q44	79
(29)	中折れ装置を装備する基準とその使用・管理方法 Q1.....	1
(30)	急曲線施工時の必要余堀量の考え方とその使用時期 Q17.....	30
11. 近接施工		
(31)	既設構造物に近接して施工する場合の対策の要否の判定 Q37.....	67
(32)	近接施工による既設構造物の挙動予測解析 Q23.....	42
(33)	近接する既設構造物への影響を防止する対策法 Q39.....	71

(34)	近接施工における現場計測管理 Q10	17
12. 大深度・長距離施工		
(35)	大土かぶりシールドにおける計画の留意点 Q6.....	10
(36)	カッタビットの摩耗予測方法と摩擦低減方法、交換方法と留意点 Q34.....	61
(37)	地中接合方法と施工上の留意点 Q7	13
13. 障害物対策		
(38)	埋設物や障害物探査に対する探査方法と適応範囲 Q46.....	61
(39)	礫地盤で想定されるトラブルの要因 Q25.....	46
(40)	基礎杭の事前撤去方法 Q18	33
(41)	障害物をシールドで切削撤去する工法 Q19.....	35
14. 到達工		
(42)	発進・到達で仮壁撤去工法と仮壁切削工法の得失 Q11.....	20
(43)	NOMSTによる発進・到達時の Q47	85
(44)	Uターンなどシールドを引き出す場合の坑口設備と補助工法 Q20.....	36
(45)	到達坑口からの漏水対策 Q24	44
15. トラブル等		
(46)	同時裏込め注入管を使用する場合の問題と対処方法 Q38.....	68
16. 思い込み等		
(47)	NOMOSTによる発進方法で地盤改良は必要か Q42.....	76

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL

土木学会賞決まる

土木学会は、平成18年度の土木学会賞を発表した。全12部門で81件が受賞した。トンネル関係での受賞では主に次のようなものがあった。

【技術賞Ⅰ】

◆NATMとシールドを融合した、新しいトンネル工法「SENS」の開発—東北新幹線三本木原トンネル—/鉄道・運輸機構鉄道建設本部東北新幹線建設局、熊谷・東洋・大本・井上東北幹、三本木原T他特定建設工事共同企業体

◆東京湾を横断する18km海底シールドトンネルの建設—世界最長級の9km掘進、600m/月以上の高速施工、海面下60mでの機械式地中接合の実現—/東京電力、鹿島・西松・大林共同企業体、大成・清水・間共同企業体

◆大規模地すべりに遭遇した道路トンネルの設計・施工技術—道道夕張新得線赤岩トンネル—/北海道旭川土木現業所、清水建設・荒井建設・熊谷組特定建設工事共同企業体、ドールン、明治コンサルタント

【技術賞Ⅱ】

◆密集市街地での貯留システムと最新技術を導入した和田弥生幹線の建設—東京地下50mの大深度に建設した超大口径雨水貯留管—/東京都下水道局

【技術開発賞】

◆太極曲線パイプルーフ工法/並川賢治(首都高速道路)・吉川正(鹿島建設)・田辺清(大成建設)・齋藤雅春(鉄建建設)・山本善久(コマツ地下建機)

【出版文化賞】

トンネル 地中の星にエールを(西山芳一写真集)/西山芳一、日本建設機械化協会施工技術総合研究所、2005.10.

片山トンネル貫通

2009年度開通予定の中国横断自動車道・姫路鳥取線の「片山トンネル」(鳥取市河原町)の貫通式が行われ、地元地権者や工事関係者ら約90人が発破や通り初めで貫通を祝った。

同トンネルは姫鳥線終点の鳥取インターチェンジIC側から2番目のトンネル。姫鳥線の智頭—鳥取間のトンネル7本のうち6番目の貫通で、長さは506mと最も短い。

6月3日は「測量の日」

6月3日の測量の日にあわせ、5月下旬から6月中旬にかけて、測量に対する市民の関心と理解を深めてもらうための行事が、茨城県つくば市の国土地理院ほか、全国各地で開催された。「測量の日」は、測量法が昭和24年6月3日に制定されたのにちなみ平成元年に制定された。

測量の日を制定した平成元年以降、毎年この日を中心に「測量と地図のフェスティバル」「国土地理院技術研究発表会」「日本水準原点をはじめとする各種施設公開」などの測量と地図に関する情報と知識を国民に啓発する運動を広範に展開している。

改正測量法が成立

測量法の一部を改正する法律案が成立した。5月23日に公布され1年以内に施行される。

1949年に制定された測量法は、国土地理院が測量した地図の刊行を義務化し、営利目的の複製を禁じている。また、非営利目的の複製の場合にも国土地理院や地方地自体などの個別の承認が必要だった。

改正法は、「デジタル地図の広範な利用の促進」「複製承認等の手続の簡素化」「測量成果のインターネット上でのワンストップサービスを早

期に実施」を柱とした規制改革。

従来、紙またはCD-ROMのみで刊行されていた地図を国土地理院のホームページからダウンロードできるようにするとともに、地図の複製に関する規制を緩和。地図やデータの正確性が問われない用途に関しては承認を不要にし、営利目的の場合でも測量、刊行、ネット提供の場合のみ正確性を高めるため承認のうえ利用が可能となる。また、各自治体が国土地理院に窓口委託することで承認の申請が一括して行えるよう規定を改め、手続のワンストップサービス化を目指す。

栗尾バイパス事業化へ

京都市は、国道162号栗尾バイパスの事業化に着手する。

同BPは、京都市右京区京北細野町—京北周山町の延長約4.3kmの区間。整備される主要構造物は新栗尾第1号トンネル(仮)L=2,307m、新栗尾第2号トンネル(仮)L=115mほか2橋梁が予定されている。

事業箇所である栗尾峠が位置する一般国道162号は、京都市から福井県敦賀市に至る幹線道路で、京都市中心部へのアクセス道路として重要な路線であるとともに、「京都市地域防災計画」における第一次緊急輸送道路に指定されるなど、災害時においても欠くことのできない非常に重要な路線として位置づけられている。

現道は山間地に位置することから、急なカーブが多く、とくに冬季は積雪、路面凍結を原因とする交通事故が多発しており、改良の必要性が高い場所となっていた。地形上、現在の道路を拡幅することが難しい部分が多く含まれていることから、一部をトンネル掘削によるバイパス建設、残りの部分を現道拡幅により、道路整備を行う計画。

連載講座

シールド工事の施工に関するQ&A(1)

JTA都市トンネル小委員会

シールド工法は、手掘り式から密閉型への移行によって安全性・確実性が増し、飛躍的に適応範囲が拡大され、都市部における代表的なトンネル構築工法として定着しています。一方、昨今の経済情勢に伴う工事量の減少や専門技術者の不足などにより、蓄積されたシールド技術が十分に伝承されていないことが危惧されています。とくに施工に関するノウハウなどは、書物にはなりづらく、工事が終了すると記録は埋没しがちです。経験による技術は個人に蓄積されますが、個人に蓄積された技術を提供する場は少ない状況であります。

日本トンネル技術協会都市トンネル小委員会では、シールド工事施工に伴う諸問題の調査研究を実施しておりますが、このたび、シールド工法に関係する技術者や設計者が日常疑問に感じている点や一般の書物には掲載されていないノウハウなどをQ&A方式にまとめることでシールド技術の伝承に貢献したいと考えました。作業は、シールド工事全般についての疑問点について協会団体会員および委員にアンケートを実施し、5,000件を超える質問などを項目別に分類整理を行い、質問に対する回答を作成することといたしました。また、回答の作成にあたっては、委員会のもとに新たに「Q&A施工WG」を組織し、シールドの施工に限定した代表的な質問事項(48項目)を選定し、これらの回答を順次連載講座に掲載していくことといたしました。対象は現場技術者を中心とし、若い技術者にもわかりやすい内容であり、現場ですぐに役に立つ解説としました。

本講座では、現場技術者が日ごろ感じている施工上の疑問に対し、現場の第一線で活躍している

技術者が、従来の教科書的な回答から一歩踏み出し、個人の経験を加味し、あるいはWGからの提言を含め回答をまとめました。したがって、ものによっては読者の方の感じ方とは異なることがあるかも知れません。シールド工事の原理原則は変わらないものの施工のノウハウに関するものは属人的なものであり、回答者が違えば当然答え方は異なってきます。このことをご承知願ひ読者に少しでも役に立つ講座となればと考える次第です。

なお、内容の見直しや追加質問などもWGで検討を進めていかなければならないと考えています。さらに、施工以外の計画や設計に関する事項のQ&Aも、要望があれば並行して検討をする余地があるものと思われます。このことも含めまして本講座に対してのご意見・ご要望などがございましたら、下記事務局あてにE-mailまたはFAXでご連絡くださいますようお願いいたします。

(文責：中島泰彦/Q&A施工WG主査・東京都下水道局)

(社)日本トンネル技術協会 田中 宛

E-mail: tnk@sepia.ocn.ne.jp

FAX: 03-3553-6145

Q1. 急曲線施工において中折れ装置を装備する基準およびその使用・管理方法について教えてください。

A. 最初に、急曲線の定義について触れておきます。『2006年制定 トンネル標準示方書 シールド工法編・同解説』(以下、標準示方書)の「第12条 トンネルの線形」には、急曲線の定義として「シールドに中折れ装置の装備や補助工法の併用

等を必要とせずに掘進可能な曲線半径(この曲線半径より小さな曲線を急曲線と呼ぶ)は上記の各要素の総合的な影響を受けるが、その限界の曲線半径については必ずしも明確ではない、¹⁾との解説がありますが、具体的な数値は示されていません。

また、下水道に関する他の文献^{2),3)}によれば、基本的に「直線部と異なる仕様のセグメントを用いること」や「シールドに中折れ装置の装備や補助工法の併用等が必要」などが急曲線の定義のポイントとなっており、 $R=60\sim 70\text{m}$ が示されています。しかしながら、この数値は下水道のセグメント外径 $\phi 6\text{m}$ までが対象であり、鉄道複線断面や道路トンネルなどの大断面では、さらに大きな曲線半径($R=150\sim 250\text{m}$)であっても急曲線として対応する必要があります。

(1) 急曲線施工における中折れ装置の装備基準

急曲線施工における中折れ装置を装備する基準は、上記の急曲線の定義と同様に明確な根拠はなく、基本的には過去の施工実績から決定しているのが実状です。施工実績に関する資料としては、「シールド曲線施工」に関する実態調査報告(日本トンネル技術協会)^{4),5)}があり、 $R=70\text{m}$ 未満では中折れ装置の装備が100%に近く、 $R=70\sim 150\text{m}$ においても90%以上が装備していることが報告されています(図-1)。

また、標準示方書の「第110条 中折れ装置」において中折れ装置の選定に関し、「シールド外径にもよるが、曲線半径300m程度以下について

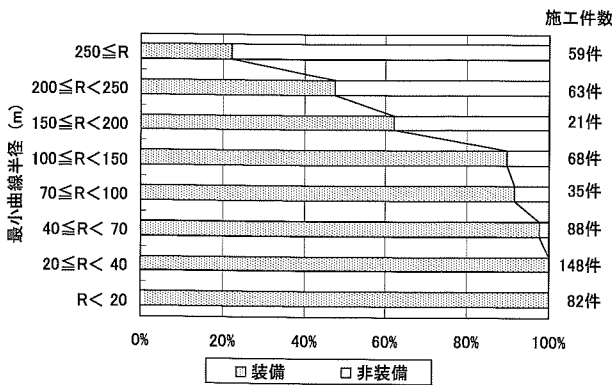


図-1 最小曲線半径と中折れ機構の装備率との関係⁴⁾

シールド機長、セグメントの形状寸法と材質、地上や地中の重要構造物との近接施工等により中折れ装置の要否について検討する必要がある。¹⁾との解説があり、曲線半径のみではなく施工上の諸条件を勘案して採用を決定する必要性があるものと考えられます。

参考にシールド中折れ屈曲状況および2段中折れシールドの例をそれぞれ写真-1,2に示します。

(2) 中折れ装置の使用・管理方法(ポイント)

中折れ方式には図-2に示すように前胴押し方式と後胴押し方式があり、両方式の得失を理解したうえでの選定が必要になります。シールドジャッキ載荷点とセグメントの図心軸との偏心量が小さいことなどから急曲線施工では後胴押し方式の採用が一般的です。また、中折れ機構にはX中折れ機構(回転中心がシールド中心)とV中折れ機構(回転中心がカーブ内側)があり(図-3)、急曲線施工では中折れ角度の大きく取れるX中折れ機構が採用される傾向にあります。しかしながら、X中

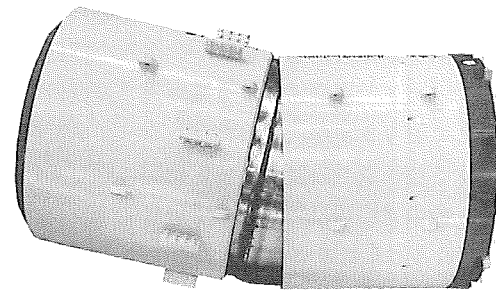


写真-1 シールド中折れ屈曲状況
 外径： $\phi 2,680\text{mm}$ 機長： $L=4,515\text{mm}$
 曲線半径： $R=10\text{m}$ 中折れ角度： 13.5°

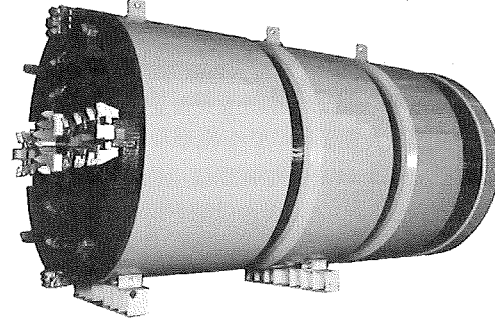


写真-2 2段中折れシールド
 外径： $\phi 2,910\text{mm}$ 機長： $L=5,750\text{mm}$
 曲線半径： $R=15\text{m}$ 中折れ角度： 17.0°
 ($=8.5+8.5$)

写真-2 2段中折れシールド

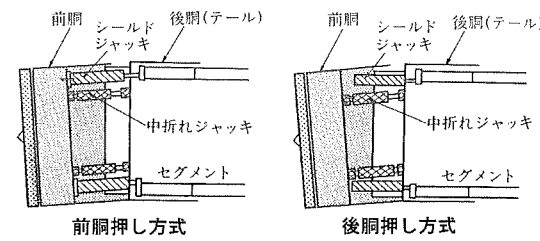


図-2 中折れ方式¹⁾

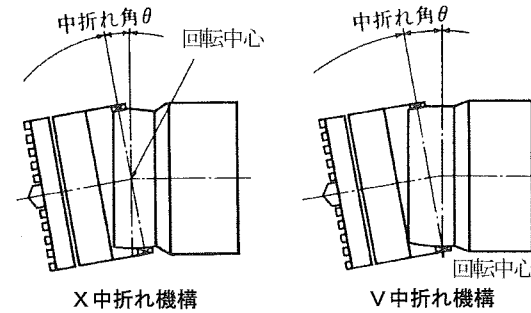


図-3 中折れ機構¹⁾

折れ機構では回転中心がピン構造となるため任意の方向に自由に屈曲させることは困難であり(中折れの自由度が少ない)、平面方向、縦断方向の複合した線形にはあまり適さないことなどに留意する必要があります。

さらに、中折れ装置の使用法として、急曲線以外においても中折れ装置を用いて方向制御、蛇行修正をすることにより、シールドジャッキを片押ししない施工方法もあります。これによれば、セグメントへの偏圧を緩和でき、セグメントに優しい掘進ができる利点があります。また、硬質地盤の掘進において全中折れジャッキのストロークを出し、カットが高トルクで停止した場合に中折れジャッキを縮めることにより対処した事例もあります。

中折れ装置の採用にあたっては、①中折れシールドの止水性、②シールド屈曲時のシールドジャッキ載荷点とセグメント図心軸との偏心量、③土圧式シールドのスクリーコンベヤまたは泥水式シールドの送排泥管との干渉などに留意する必要があります。中折れ装置の使用・管理方法のポイントを以下に記します。

1) 事前に運転操作盤のストローク表示と実

ストロークの差を確認し、必要ならば校正を行う。
 2) 急曲線施工時には、事前に計画(セグメント割付けなど)を念入りに行い、施工手順の打ち合わせを行う。

3) 計画は、セグメントの割付け計画と掘進計画(シールドがBCに入るまで、曲線内にシールドがいる場合、シールド先端がECに到達し抜けるまで)である。曲線進入時と脱出時にはリングごとの中折れおよびコピーカッタの操作計画(シミュレーション)が必要である。

4) 急曲線($R/D < 15$)施工時の中折れの開始時期は、60%以上が“シールド先端がBC付近”となった時点としている(図-4)。また、同じく急曲線($R/D < 15$)施工時の中折れの終了時期は開始時期とは反対に“機長の半分~全部がECを通過”した時点が多い傾向にある(図-5)。

5) 直線と曲線の移行区間においては、線形管理基準値を考慮したうえで、緩和曲線を設定するのが望ましい。

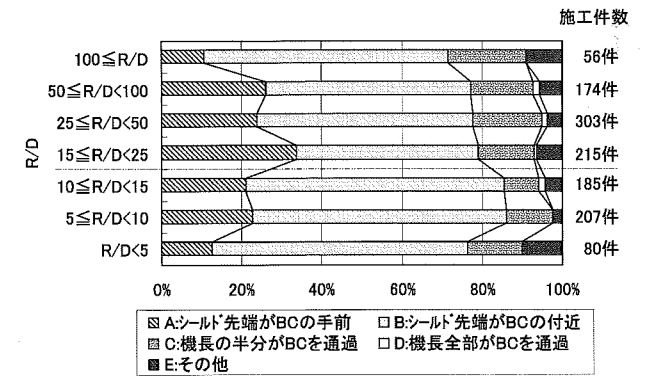


図-4 R/Dと中折れ開始時期の関係⁵⁾

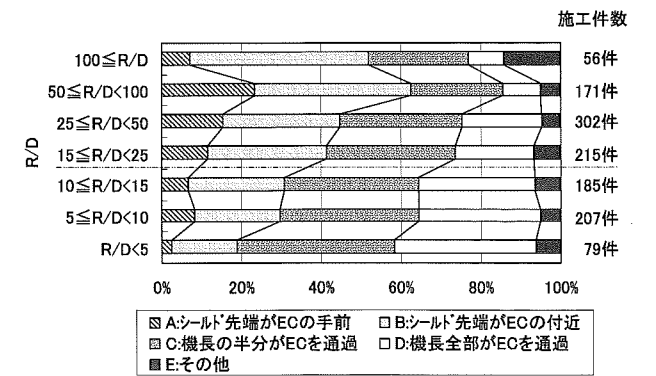


図-5 R/Dと中折れ終了時期の関係⁵⁾

6) S字曲線では施工上、中折れを中立に戻す必要があるため曲線間に最低1機長分の直線区間の設定を考慮する必要がある。

7) シールドの挙動、テールクリアランスを常に把握し、中折れ量を調整する。ただし、急激な調整は蛇行とテールクリアランスの減少を招くので数リング先の予測にもとづき調整(すりつけ)を行う。また、必要に応じ再シミュレーションを行い、掘進管理、セグメント割付けに反映させる。

8) 中折れ装置の油圧ユニットは単独に分けて装備する(掘進時の微調整、トラブル時の対処・原因の確認が容易)。

(文責：大橋茂樹・福居雅也/(株)奥村組)

参考文献

- 1) 土木学会：2006年制定 トンネル標準設計方書 シールド工法・同解説，2006.7.
- 2) 東京都下水道局建設部：「シールド急曲線部」の設計検討の手引き，2002.9.
- 3) 日本下水道協会：下水道用設計積算要領—管路施設(シールド工法)編—(2004年版)。
- 4) 日本トンネル技術協会：「シールド曲線施工」に関する実態調査報告(1)，トンネルと地下，Vol.30，No.5，pp.55-62，1999.5.
- 5) 日本トンネル技術協会：「シールド曲線施工」に関する実態調査報告(2)，トンネルと地下，Vol.30，No.6，pp.67-76，1999.6.

Q2. 土砂搬出の方法と得失を教えてください。

A. シールド工事での土砂搬出設備は、適用するシールド形式により異なった方法が用いられ、シールド径、掘進延長、線形(曲線・勾配)、土質、有害ガスの有無、安全性、工期、コストなどの条件により決定されます。また、運搬方法、運搬設備の能力が直接シールド進捗に影響するため、マシン掘削能力および計画工程に見合った運搬方法、運搬設備を選定する必要があります。

(1) 土砂搬出フロー

図-1に土砂搬出フローを示します。

図より土砂搬出方法はシールド掘削方法別に運搬場所によって、シールドから後続台車付近までの掘削積み込み部、坑内(水平部)、立坑(垂直搬

出部)、坑外(地上)に分けられます。

本稿では坑外(地上)を除いた土圧式シールドの土砂搬出設備について、その種類と特徴および選定上の留意点について述べます。なお、泥水式シールドでは流体輸送が基本であること、また、開放型シールドでは土圧式シールドに準じて計画できるため省略します。

(2) 土砂搬出方法の種類

1) 掘削積み込み部

シールドスクリーコンベヤの排土口からの土砂積み込み方法には、一般的にベルトコンベヤ、低摩擦ホース、二次スクリーコンベヤ、土砂圧送ポンプが用いられます。

これらの中でベルトコンベヤ方式がもっとも多く採用されていますが、土質や坑内先端部状況とそれに続く土砂搬出方法を考慮して決定します。

図-2に一次圧送(切羽)ポンプ設置例を示します。

2) 坑内搬出

坑内搬出の主な方法はベルトコンベヤ方式、ずり鋼車方式、パイプライン方式、トラック方式があります。

① ベルトコンベヤ方式

シールド掘削積み込み部に続いて坑内搬出においても、連続排土ができる連続ベルトコンベヤが採用される場合があります。

② ずり鋼車方式

図-3にずり鋼車の分類を示します。図-4に代表的なずり鋼車を示します。

ずり鋼車はもっとも一般的な土砂搬出方法です。通常は、軌道を設置しバッテリー機関車で牽引します。

吊り上げ式鋼車および吊り上げ式箱形鋼車は、立坑下でも坑外でも排土できますが、スライド鋼車および横転式鋼車は、立坑下での排土となります。

ずり鋼車の容量および台数は、1掘進あたりの掘削土量、坑内通過断面、立坑搬出方法、掘進サイクルタイムにより決定します。

③ パイプライン方式

掘削土砂をパイプラインで坑内搬出する方

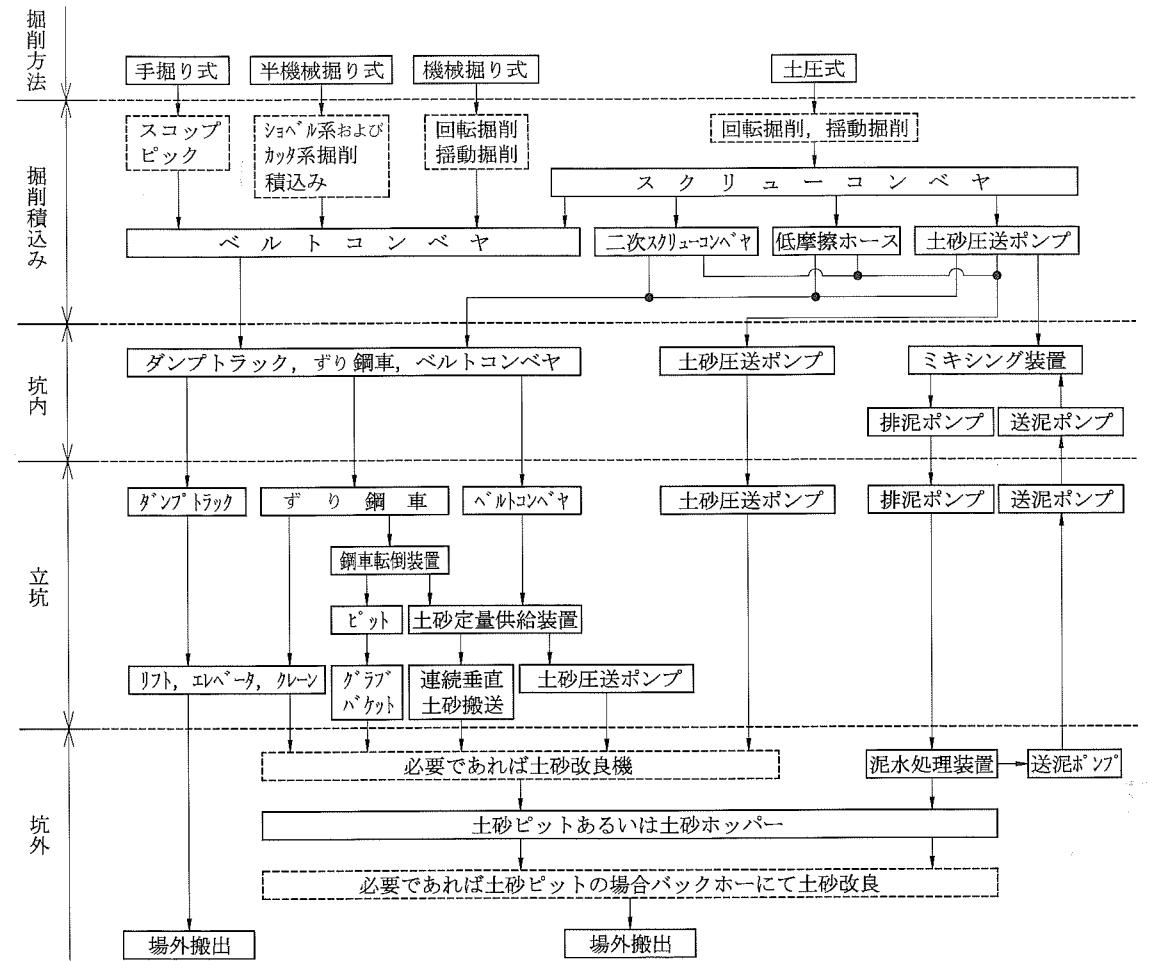


図-1 土砂搬出フロー

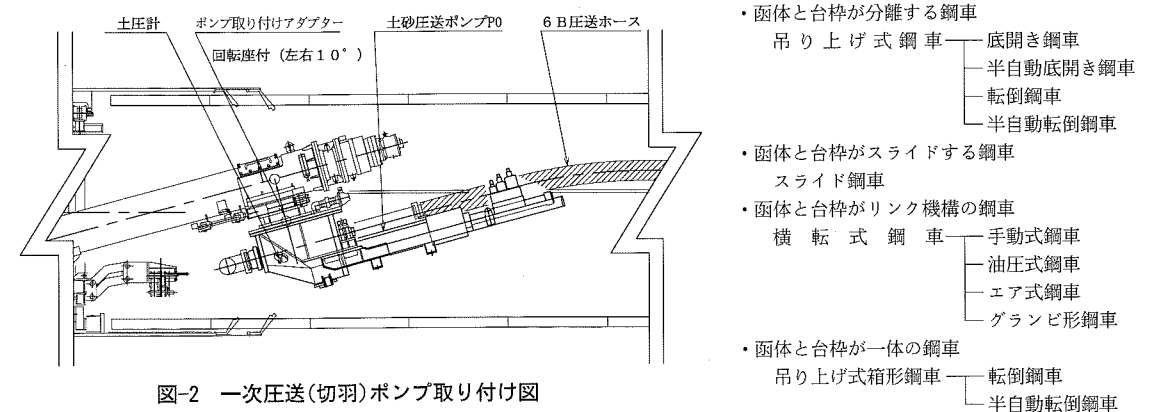


図-2 一次圧送(切羽)ポンプ取り付け図

式には、土砂圧送方式またはミキシング装置を介して送排泥ポンプにより流体輸送する方式があります。どちらも掘削土砂の連続排土であり、シールド排土量とポンプ能力によ

- ・函体と台枠が分離する鋼車
 - 吊り上げ式鋼車
 - 底開き鋼車
 - 半自動底開き鋼車
 - 転倒鋼車
 - 半自動転倒鋼車
- ・函体と台枠がスライドする鋼車
 - スライド鋼車
- ・函体と台枠がリンク機構の鋼車
 - 横転式鋼車
 - 手動式鋼車
 - 油圧式鋼車
 - エア式鋼車
 - グランビ形鋼車
- ・函体と台枠が一体の鋼車
 - 吊り上げ式箱形鋼車
 - 転倒鋼車
 - 半自動転倒鋼車

図-3 鋼車分類

て掘進サイクルが決定されます。

図-5に二次圧送(中継)ポンプの据え付け例を示します。

④ トラック方式

ダンプトラックによる土砂搬出は山岳トンネルでは一般的に行われています。しかし、シールド工事では坑内断面と車両の大きさ、排気ガスの問題などがあり限られた条件の場合で使われます。

3) 立坑搬出

① 鋼車吊り上げ方式

吊り上げ式鋼車、吊り上げ式箱形鋼車を立坑上のクレーンにより吊り上げ、地上の土砂ピットあるいは土砂ホッパーまで移動し排土する方式です。

② グラブケット方式

立坑底部にずりピットまたはホッパーを設置し、そこに排土された掘削土砂を立坑上のクレーンに取り付けた油圧グラブケットによって地上の土砂ピットあるいは土砂ホッパーに排土する方式です。

③ 連続垂直土砂搬送方式

立坑底部にホッパーと土砂定量供給装置を

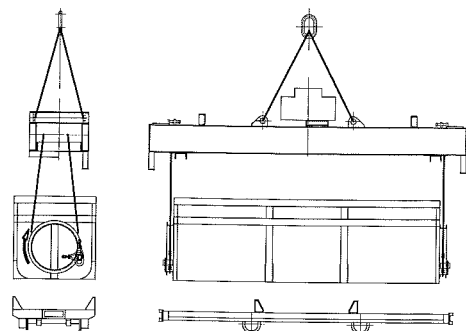


図-4 吊り上げ式半自動転倒鋼車

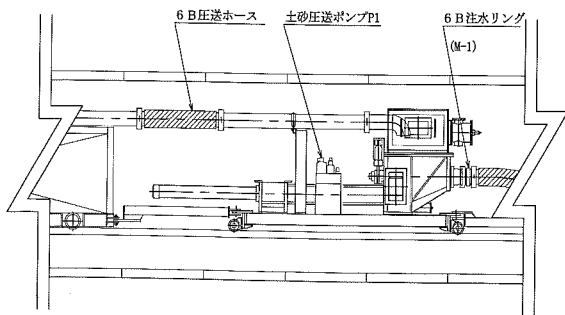


図-5 二次圧送(中継)ポンプ据え付け図

設置し、そこに排土された掘削土砂を連続垂直土砂搬送装置によって土砂ピットあるいは土砂ホッパーに排土する方式です。

連続垂直土砂搬出方式として次のような種類があります。

- ・チェーンエレベータ方式、プレートエレベータ方式：両サイドをチェーンで支持

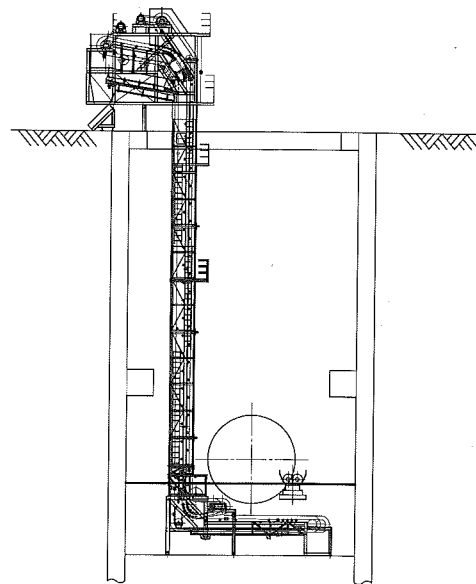


図-6 垂直ベルトコンベヤ設置例

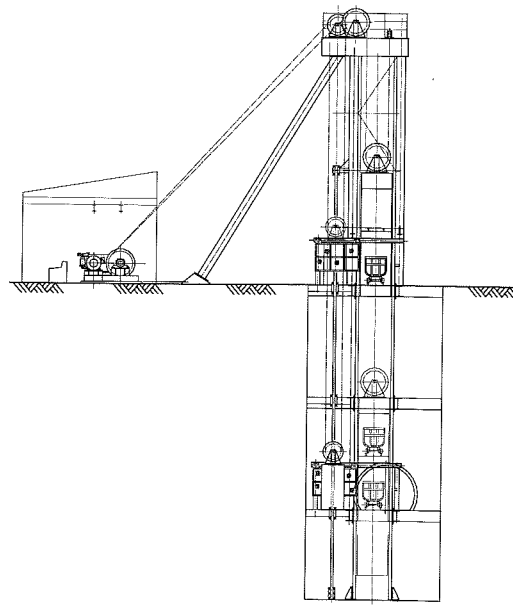


図-7 リフト設置例

された多数のバケットやトレイ、プレートに土砂を載せ、循環駆動して地上まで搬送します。

- ・垂直ベルトコンベヤ方式：ベルトコンベヤを垂直にして搬送する方式で土砂を落下させないように特殊な棧付きベルトを

使用するタイプと、2枚のベルトで土砂を挟み込むタイプがあります。

- ・垂直スクリュウコンベヤ方式：スクリュウコンベヤを垂直にして搬送する方式です。

図-6に垂直ベルトコンベヤ設置例を示します。

表-1 坑内搬出方法の特徴

検討項目	ずり鋼車方式	パイプライン方式		ベルトコンベヤ方式
		ポンプ圧送	流体輸送	
シールド径	小~大口径で適用可 坑内断面が小さい場合、離合できる空間が確保できるかどうか検討が必要	小~大口径で適用可 坑内断面が小さい場合、ポンプの大きさと配置検討が必要	同左	中~大口径での適用が多い 延長用ベルト収納スペースが必要
土質	すべての土質に適用可	一般的に軟弱な粘性土や砂質土で適用可	掘削土質に応じた流体輸送と地上での土砂処理設備が必要	超軟弱土の場合搬送しづらい
掘進距離	距離が長く掘進サイクルに対し運搬時間がクリティカルとなる場合は、編成数を増やすか、ポイントを設置して待避線を設け運搬サイクルを短縮する	必要なポンプ台数を配置することによって長距離でも連続排土が可	同左	ベルト延伸により長距離でも可
曲線	干渉検討必要だが急曲線対応可能	同左	同左	急曲線対応は十分な検討を要す
勾配	急勾配対応可能だがバッテリー機関車の牽引能力が下がるので1編成の土砂運搬量が減少する	勾配にはとくに影響されない	同左	急勾配対応は検討を要す
有害ガス	運搬中の土砂は常に大気解放されるので坑内のガス濃度と換気の検討が必要	圧送ポンプ、ホッパー、配管を密閉構造にすれば搬送土砂は坑内で大気解放されない	ポンプと配管で流体輸送されるため掘削土砂は坑内で大気解放されない	運搬中の土砂は常に大気解放されるので坑内のガス濃度と換気の検討が必要
掘進サイクル	土砂搬出とセグメントなどの資機材運搬サイクルを一連のサイクルで検討する必要がある	土砂搬出と資機材運搬は分離して検討可	同左	同左
コスト	機械損料・消耗品は安価である	機械損料・消耗品は高くなるが、掘進距離・勾配・土質などによっては安価になる	流体輸送および処理設備費が別途必要	機械損料・消耗品は高くなるが、連続大量搬送が可能な場合、コスト比較対象となる
安全性	立坑でのトロ回し時に毎回連結器を外すため、とくに下り勾配では鋼車の逸走防止に十分な注意が必要	管内圧力が高くパイプの振動が大きくなるため、パイプの固定やジョイントの強化、配管を切るときの十分な注意が必要	閉塞時のウォーターハンマーによる配管の振れや排泥ポンプの破損に注意が必要	坑内全線にベルトコンベヤが通るので巻き込まれに注意が必要
故障対応およびトラブル回避対策	故障頻度は少ない。粘性土の場合は函体に土砂が付着し排土が困難になるので付着防止措置を講じる必要がある	故障頻度はずり鋼車に比べ多い。圧送ポンプの消耗品は運転時間、掘削土量で管理し故障する前の交換が必要である。切羽土質や圧送中の土砂性状変化に対し十分な注意を要する。管内閉塞の復旧には多大な労力が必要となる	故障頻度はずり鋼車に比べ多い。砂礫が多い場合は、閉塞や配管・ポンプインペラーの摩耗による故障が発生する。とくに摩耗が激しい曲管は補強し、インペラーについては排泥ポンプ流量、圧力を管理し故障する前の交換が必要である	故障頻度はずり鋼車に比べ多い。ベルトが切れると復旧に時間がかかる。土砂がこぼれると清掃が必要

④ パイプライン方式

立坑底部に設置した土砂圧送ポンプによって地上の土砂ピットあるいは土砂ホッパーに排土する方式です。

⑤ リフト、エレベータ方式

リフトまたはエレベータでずり鋼車などの坑内土砂搬送設備を直接、立坑下から揚重し排土する方法です。

図-7にリフト設置例を示します。

(3) 土砂搬出方法の特徴

表-1に坑内搬出、表-2に立坑搬出方法の特徴を示します。

なお、掘削積み込み部についてはセグメント搬送、組立作業、急曲線掘進時の設備の干渉、作業員の通行などで坑内断面が制約されますので、作業に支障を与えないよう十分に配慮して計画する

必要があります。選定にあたっては土質、礫径、地下水(スクリーコンベヤ内の水圧)など地山の条件をはじめ、シールド径と排土量やこれに続く搬出方法も考慮してもっとも適合した設備にします。

土砂搬出は切羽から立坑上までの一連の作業であり、掘削土の性状とその運搬方法および坑内への資機材などの搬入・搬出方法を総合的に考慮し、作業サイクル、コスト、全体工程を満足するように設備計画します。

(文責：石倉洋一・森田俊成/(株)鴻池組)

参 考 文 献

- 1) 日本トンネル技術協会：トンネル工用機械便覧(都市編)，1998.5.
- 2) 多田稔・堀田敏昭：山岳トンネルにおける工用機械の選定(13)，ずり出し(4)ー運搬機械(小断面)，トンネルと地下，Vol.35，No.11，pp.55-62，2004.11.

表-2 立坑搬出方法の特徴

検討項目	鋼車吊り上げ	グラブバケット	連続垂直土砂搬送	パイプライン	リフト、エレベータ
土 質	すべての土質に適用可	付着性や流動性の高い粘性土は作業効率が落ちる	土砂を載せるバケットやトレイなどの形状と土質や礫径により搬送効率が変化する	坑内搬出の圧送ポンプと同様	鋼車吊り上げ方式と同様
立 坑 大 き さ	ずり鋼車とトロ回しのスペースが必要	土砂ピットが必要のため鋼車吊り上げより大きくなる	ホッパー・土砂定量供給装置の設置スペースが必要	ポンプと配管スペースが必要	リフト、エレベータ設置スペースが必要
立坑深さ	立坑が深くなるとクレーンの揚重速度が排土サイクルに影響する	立坑が深くなるとクレーンの揚重速度が排土サイクルに影響する	立坑深さと設備能力の十分な検討が必要	立坑深さとポンプ能力の十分な検討が必要	立坑が深くなると上昇・下降速度が排土サイクルに影響する
掘 進 サイクル	資機材の吊り降ろしと土砂搬出揚重設備は1台とするか別にするか、サイクルと設備能力などから総合的に判断する	資機材の吊り降ろしとグラブバケットの揚重設備は別にする場合が一般的である	資機材の吊り降ろしは土砂搬出とは分けて検討可	同 左	資機材の吊り降ろしと土砂搬出立坑設備は同じとするか別にするかサイクルと設備能力などから総合的に判断する
コ ス ト	機械損料、消耗品とも他に比較して安価	同 左	機械損料、消耗品とも他に比較して高価であるが、掘進サイクルや安全性との総合的な判断が必要	同 左	同 左
安 全 性	鋼車吊り上げの揚重作業と飛来落下に十分な注意が必要	揚重作業と飛来落下に十分な注意が必要	立坑には固定設備となり安全性は高い	同 左	同左 運搬車両の過積載に注意し過荷重にならないようにする
故障対応およびトラブル回避対策	クレーンの使用頻度が高いためとくに十分な点検が必要	同 左	連続排土設備で搬出ができない大礫が出る場合、クラッシュなどの設置が必要	坑内搬出の圧送ポンプと同様	設備の十分な点検が必要 逸送防止、過荷重防止措置が必要

Q3. シールドの長距離化に伴う坑外測量の新しい方法と留意点について教えてください。

A.

(1) 坑外測量の目的と方法

坑外測量の目的は、発進と到達の位置関係を把握すること、および坑内への基準点を導入するための基線を設置することです。

まず、指定された基準点の位置関係が正しいかを、閉合トラバース測量およびジャイロトランシット測量により確認します。この際、工事で使用する距離を平面距離に補正する縮尺補正係数を求め、また平面直角座標で管理するための変換基準真北方向角(X軸に平行に引いた線と真北との角度)を求めます。発進位置と到達位置がずれている場合は発注者と協議のうえ、補正を行って摺り付け、各基準点間の整合性をとります。補正内容の結果は坑内測量にも反映させます。

(2) GPS測量(スタティック観測)について

近年では坑外測量にGPS測量を導入する事例が増えていきます。その背景として、シールド掘進距離が長くなってきたこと、施工条件などにより今までより高い到達精度を必要とする事例が増えてきたこと、があります。また、国土院の電子基準点でのリアルタイム観測データ(<http://terras.gsi.go.jp/ja/>)が民間に提供されるようになり、GPS電波を確実にキャッチできるところであれば誰もが簡単にリアルタイムに高精度な測

位が可能になったこと、改正測量法施行により三角点の座標値も電子基準点を基準とした世界測地系にもとづくものとなったので電子基準点は公共測量などの基準として使用できるようになったこと、GPS測量機器を所有する測量会社が増えたことなど、GPS測量を採用できる環境が整ってきたことも挙げられます。

GPS測量は従来の測量方式と比較すると、

1) 従来は測点間で視通を必要とし、見通しが悪い場所では測点を多く設置する必要があるので測量精度が低下しますが、GPS測量では測点同士を直接視る必要はありません。

2) 従来の測量では距離が長くなると測量精度も低下しましたが、GPS測量の測位精度はSOKKIA GSR2600の場合、水平方向で5mm+1ppm×距離(3,000mの場合、8mm)であり、長距離となっても高い精度を確保できます。

3) GPS測量は電波を受信して測量を行いますので、光波を利用した測量に比べて雨や霧といった気象による障害が少なく、大気の見通しにより最大測定距離が大きく左右されることはありません。気象条件の中では雷はGPS衛星の電波に大きな影響を及ぼすので注意が必要です。また、ジャイロトランシットを利用した測量に比べると振動に影響されにくいのも特長です。

しかし、GPS測量は衛星からの電波を直接受信しますので、上空の視界が開けている必要があります。また、電波障害を受けない場所です。

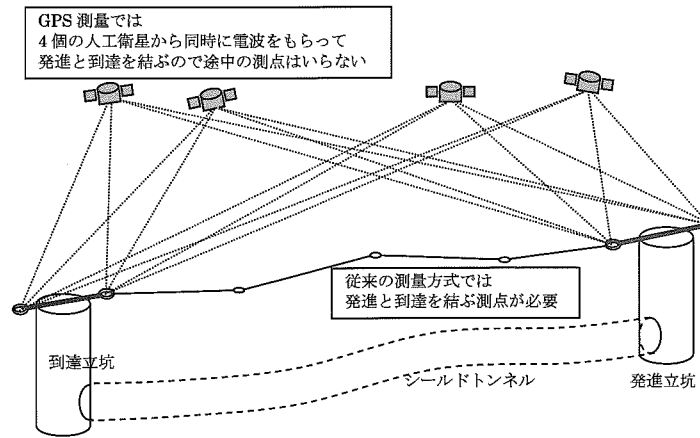


図-1 GPS測量と従来の測量との比較イメージ

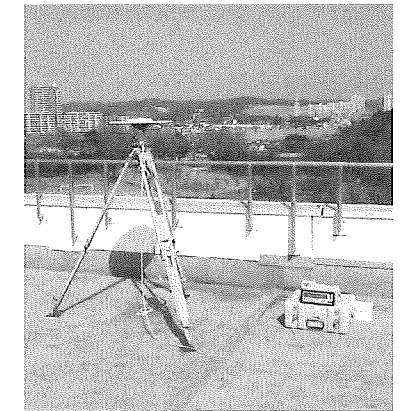


写真-1 GPS測量機

表-1 従来方法とGPSによる坑外測量の比較

項目	従来方法	GPSによる坑外測量
測量精度	見通しの効かない2点間に測点を設置して測る。測量で発生する偶然誤差は一般に距離が長くなるほど測量回数が多くなるため、大きくなる。	見通しの効かない2点間に測点を置かず直接測ることができる。測量で発生する偶然誤差は測量回数が少ないため、従来測量よりも小さい。
測量時の留意点	測点間で見通しを必要とし、見通しが悪い場所では多くの測点を設置する必要がある。	測点同士を直接視る必要がない。ただし、衛星からの電波を直接受信するため、上空の視界が開けている必要がある。
天気の影響	雨や霧などの気象に影響され、大気透明度により最大測定距離が大きく左右される。	天気の影響は少ないが、雷はGPS衛星の電波に大きな影響を及ぼす。
振動の影響	ジャイロトランシットを利用する場合、振動による影響を受けやすい。	多少の振動には影響されにくい。
測量日数	測量距離によるが、目安として1kmで1日、3kmで2日程度。その他にデータ整理として半日程度必要である。	GPS観測と発進、到達付近のトラバース測量で1日。その他に、データ整理として半日程度必要である。測量距離が長くなると、移動時間が必要となるが、基本的に測量距離に大きく影響されない。
作業員人数	3人程度	GPS測量機の台数(測点)と同じ人数が必要。一般的には発進2点、到達2点(計4人)は必要となる。

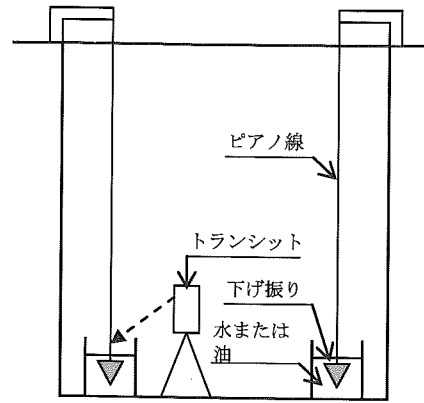


図-2 下げ振りによる基準点の導入

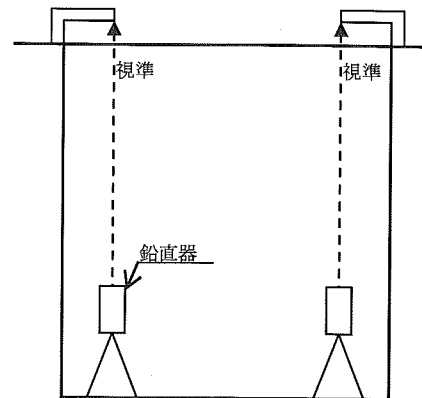


図-3 鉛直器による基準点の導入

きません。言うまでもなくGPS測量できる観測点から立坑付近までの距離は短い方が好いので、GPS測量の採用には詳細な事前検討が必要となります。

(3) 立坑導入方法

立坑での基準点の導入は到達精度に大きく影響し、一般に基線長を長く確保できない場合が多いため、測量精度を高める必要があります。以下に、立坑での基準点の導入方法例を紹介します。

1) 立坑に下げ振りを下ろし、立坑下でトランシットにより2方向から視準して基準点を設置します。下げ振りはピアノ線などしっかりしたものを使用し、できるだけ重いものを使用します。また下げ振りの揺れを抑えるために下げ振りを水または油

につけます(図-2)。

2) 立坑上に設置した基準点を立坑下に設置した鉛直器により視準し、基準点を設置します。鉛直器の鉛直精度は、SOKKIA PD3の場合1/40,000です(図-3)。

上記の方法で基準点が1点しか設置できない場合やさらに測量精度を高めるためには、立坑下でジャイロトランシットを使用して方位角を測定する必要があります。また、測量者を代えて複数回測量することも必要です。

(文責：田中善広/(株)大林組)

参考文献

1) 土屋順・辻宏道：やさしいGPS測量，(社)日本測量

協会，1991.10.

2) 「新・トンネル測量」連載講座小委員会：新・トンネル測量(1)，トンネルと地下，Vol.27，No.6，pp.69-77，1996.6.

3) 「新・トンネル測量」連載講座小委員会：新・トン

ネル測量(2)，トンネルと地下，Vol.27，No.7，pp.73-82，1996.7.

4) 「新・トンネル測量」連載講座小委員会：新・トンネル測量(3)，トンネルと地下，Vol.27，No.8，pp.73-84，1996.8.

P.A.ドミニコ，F.W.シュワルツ著

地下水の科学 各B5判 全3巻

地下水の科学研究会 大西 有三 監訳

- 第I巻 地下水の物理と化学 価格4,281円 円340円
- 第II巻 地下水環境学 価格4,485円 円340円
- 第III巻 地下水と地質 価格3,873円 円340円

本書は様々な環境問題を地下水理学の立場から本格的に取り扱うため、水の物理学・化学的性質、地球の状況、水資源としての地下水の状況、地下水の水理学的特性とその調査方法など多岐にわたっており、地質学者、水理地質の実務者、地球化学者ならびに流体物理学に関心のある地球物理学者、または、地質学を学ぶ学生など広範に満足させる内容となっている。

<第I巻 主要目次>

■序論 ■岩石における空隙の起源と透水性 ■地下水の動き ■岩石の弾性的な性質と流れの方程式 ■水理試験(モデル、方法及び応用) ■溶質と粒子の輸送 ■汚染物質の水理地質学入門

<第II巻 主要目次>

■地下水の化学 ■化学反応 ■物質輸送の数字理論 ■地下水による物質輸送(水質編) ■地下水による物質輸送(地質編) ■物質の輸送のモデル ■輸送プロセスとパラメータ同定 ■水質浄化の対策

<第III巻 主要目次>

■水資源 ■堆積盆水環境における地下水 ■地殻における地下水 ■地下水流動における熱輸送

株式会社 土木工学社 〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂 電話 (03)3267-2888 (代) 振替00110-8-190072

今回、この事業に必要なシールド工法の改善を行うことで、工期短縮とコスト縮減の見通しが立った。今後は、シールドの転用使用をより進めて、更なるコスト縮減と工期の短縮を図るとともに、多様化する都民のニーズに応えつつ、効率的な下水道の再構築事業を推進していく。

最後に、今回の二次覆工一体型セグメントの実用化にかかわった「二次覆工一体型セグメント検討委員会」の委員各位をはじめ、各試行工事なら

びに技術開発にかかわった関係各位の協力に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 土木学会・日本下水道協会共編：シールド工用標準セグメント，2001。
- 2) 東京都下水道局：二次覆工一体型セグメント設計・施工指針，2005。

連載講座

シールド工事の施工に関するQ&A(2)

JTA都市トンネル小委員会

Q4. 掘進指示書作成のポイントを教えてください。

A. 掘進指示書はシールド切羽安定を保持するとともに、所定の線形を確保しながら、掘進を進める指南となるものです。具体的には、日々の測量結果と掘進管理表をもとに、トンネル作業員に対してシールドの押し方とセグメントの組み方を周知させるものと言い換えてもかまいません。

掘進指示書の作成に先立ち、準備すべきものとして、掘進管理表が必要です。掘進管理表とは、シールド掘進における設計計画書に相当するもので、設計図書に示された平面線形、縦断線形から路線全体のセグメントの割付を明示した管理表です。掘進指示書は測量結果と掘進管理表を参考にしながら、施工区分(昼勤、夜勤)ごとに作成する必要があります。トンネル作業員は掘進指示書を確認しながら、シールド掘進を進めます。同時に掘進記録を作成します。

掘進記録は、掘進指示書で示された情報(インプット)を実作業でどのように反映(アウトプット)したかを示すものです。すなわち、「掘進管理表」、「掘進指示書」、「掘進記録」はシールド掘進管理の根幹を形成する記録であり、「三位一体」という概念でとらえておくべきものでしょう。

以下にそれぞれの作成のポイントを示します。

(1) 掘進管理表(設計計画書)

掘進管理表の必要項目として、①セグメント番号、②セグメント種別、③セグメント長、④セグメント延長、⑤縦横断線形、⑥シールド方向角、⑦シールド高さ、⑧セグメント方向角、⑨セグメ

ント高さなどが挙げられます。

掘進管理表は設計図書の計画路線図を参考に作成します。表-1に掘進管理表の一例を示します。

(2) 掘進指示書

掘進指示書は原則的に施工区分(昼勤、夜勤)ごとに作成するものと理解すべきです。例えば、昼夜間施工の場合、昼間施工の測量結果と掘進記録内容を反映させながら、夜間施工の担当者へ掘進指示を伝達する情報と考えてもよいと思います。カーブ施工時や蛇行量の多い場合は、必要に応じてその都度作成します。

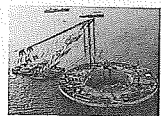
掘進指示書の必要項目として、①シールド姿勢情報(方向角、ピッチング、ローリング、ジャッキストローク差、使用ジャッキパターンなど)、②線形管理(中折れ量、余掘り量、コピーカット範囲など)、③切羽管理(設定切羽圧)、④掘進速度、⑤推力・カットトルク上限値、⑥組立セグメント種別(スタンダード、テーパー)、⑦セグメント情報(方向角、勾配)、⑧裏込め注入(注入圧、注入量)、⑨添加材注入(注入圧、注入量：土圧式の場合)、⑩送排泥流量(泥水式の場合)などが挙げられます。また、備考欄などを設けて、特記事項、引き継ぎ・連絡事項をメモしておくことも必要です。

(3) 掘進記録

掘進記録は掘進指示書に従って、シールドオペレーターが実施した掘進内容を記録するための情報です。記入する内容としては、掘進指示書の項目に対応していることが原則です。最近のシールドは自動計測システムを導入し、掘進データがパソコン管理として保存されるシステムが主流化し

建設工事の
保安地質学
〔改訂版〕

理学博士 石井康夫 著



土木工学社

ユニークな手法を駆使!! 建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!

建設工事の 保安地質学

〔改訂版〕

理学博士 石井康夫 著

A5判 上製本 475頁 価格6,300円 円340円

本書は、多くの人が『地質の知識を通して、安全を守る』という点の理解を深めることを目的とし、安全教育の資料、あるいは災害時に直接役立つように各種のエピソードや適用法規まで加えた他の技術専門書とは異なったタイプのユニークな地質専門書である。

株式
会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03)3267-2888 (代) 振替00110-8-190072

シールドの姿勢制御は、掘削地山の性質に依存するものですが、もうひとつ、シールド固有の「癖」を把握しておくことも必要です。泥水式、土圧式による型式や構造の違いによるもの、あるいは、シールドメーカーに起因するものなどが挙げられます。具体的には、左右どちらに曲がりやすいか、上下しやすいか、あるいは各計器の持つ感度差などが考えられます。このような「癖」を早期に見抜くためには、初期掘進時に測量を頻繁に行うことが大切です。

これまで、シールドの姿勢制御を中心に述べてきましたが、切羽安定を確保するための切羽圧管理、テールボイド沈下を防ぐための裏込め注入に関する記録も大変重要です。切羽安定管理や裏込め注入の知見につきましては、本連載講座の中でも紹介してゆきますので詳細はそちらをご参考ください。

掘進指示書と対応する掘進記録は、トンネル供用後も価値あるデータベースとして保存しておくことをお奨めします。

前にも述べましたが、施工すべき路線線形を正確に確保するためには、シールドおよびセグメントの測量は必要に応じて、頻度を増やすことが重要であり、進捗が遅れているからと怠ってれば、

“品質のよいトンネル”を実現することはできません。掘進指示書は各現場でさまざまな形式・工夫・個性が盛り込まれていると思いますが、日々の掘進の中でヒューマンエラーをいかに防止するかという点に配慮することが、もっとも根本的なポイントです。

(文責：山口英・水谷英徳/五洋建設(株))

Q5. 泥水式シールドにおける流体制御について教えてください。

A. シールド工法において、地盤の変状を抑えるためには切羽圧力を一定に保持することが非常に重要です。泥水式シールド工法は泥水を循環しながら、その送りと戻りのバランスによりチャンパ内の圧力を制御しているため、流体制御についてはもっとも慎重を期す必要があります。以下に、①流体輸送のポイント、②送泥流量、排泥流量の設定方法、③中継ポンプの計画、④礫層に対する計画、⑤流量計、密度計の計測方法と精度、⑥土質別および土質急変部での制御方法、⑦閉塞時の対処方法、⑧トラブル事例、などについて述べます。

(1) 流体輸送のポイント
流体輸送の目的は次の2点に分類されます。

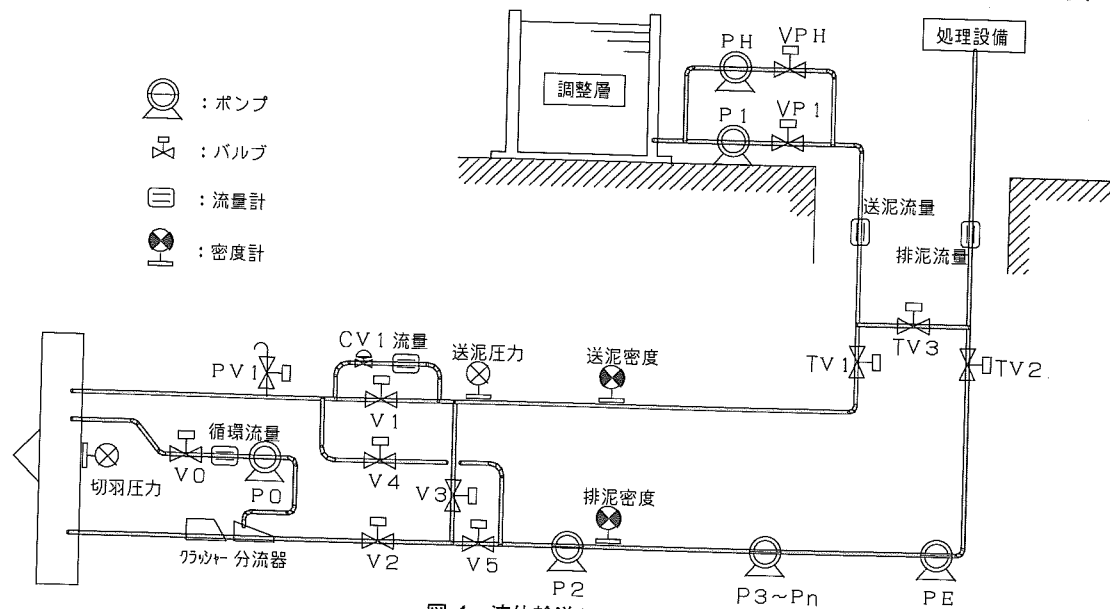


図-1 流体輸送システム例

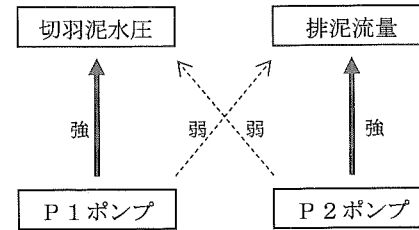


図-2 流体制御相関図

- ① 切羽泥水圧保持を目的とした送泥水輸送
- ② 掘削土砂を地上に移送するための排泥水輸送

ここで通常、送泥水輸送ポンプはP1ポンプと呼ばれ地上に設置され、排泥水輸送ポンプはP2ポンプと呼ばれ切羽後続台車部に設置されます(図-1参照)。この2台は可変速のポンプであり、P1ポンプは切羽泥水圧を制御するようにコントロールし、P2ポンプは排泥流量を制御するようにコントロールします。

この二つの制御系は独立したものではなく、きわめて関連が高いものであり、例えばP2ポンプの回転を変速させることにより切羽泥水圧を変化させることは可能ですが、それ以上に排泥流量が変化することになります。このようなことから、より相関関係の強いP1ポンプと切羽泥水圧、P2ポンプと排泥流量を独立に関連づけて制御するのが一般的となっています(図-2参照)。

P1およびP2ポンプはVSモーターによって可変速するのが一般的ですが、低回転では制御ができないため、少なくとも最高回転数の30%程度以上でコントロールする必要があります。なお、最近ではインバータータイプのモーターも使われておりますが、この場合は0%からの低回転コントロールが可能です。

(2) 送泥流量、排泥流量の設定方法

流量については限界沈殿流速をもとに排泥流量と送泥流量を設定します。流量の設定手順を以下に示します。

1) 配管径の決定

排泥管径は最大礫径や排泥濃度などにより決定しますが、送泥管は圧力損失を少なくするため排泥管よりひとまわり大きくするのが一般的です。

表-1 シールド径と配管径、流量の例

シールド外径 (mm φ)	配管径(インチ)		流量(m ³ /min)	
	送泥管	排泥管	礫なし	礫あり
2,000~ 3,500	6B	4B	1.3	1.6
3,000~ 6,000	8B	6B	3.4	3.8
5,000~ 7,500	10B	8B	6.5	7.3
7,000~10,000	12B	10B	12.0	13.0

シールド径と配管径の関係の例を表-1に示します。
2) 排泥流速の検討

管内を液体と掘削された土砂が混合されて流れる場合、その流速が遅いと固形粒子が管内に沈降するため、ある程度以上の流速を保つ必要があります。これを限界沈殿流速と呼び、固体の粒子径と比重、泥水比重、および配管内径などをパラメータとしたDurandの式により算出されますが、一般的に2.5~3.5m/sec程度です。

$$V_L = F_1 \sqrt{2gD \frac{\gamma_s - \gamma_0}{\gamma_0}} \quad (\text{Durandの式})$$

ここに、 V_L ：限界沈殿流速

F_1 ：固体粒子径や濃度による定数

D ：配管内径

g ：重力加速度

γ_s ：土粒子の真比重

γ_0 ：母液比重

この値に土質による係数 $\nu = 1.1 \sim 1.3$ をかけて排泥流速を設定します。

3) 流量の設定

排泥流速に排泥管の断面積を乗じて排泥流量を設定します。送泥流量については必然的に排泥流量から掘削土砂流量を差し引いた値となりますが、最大時は排泥流量と同等となります。

(3) 中継ポンプの計画

排泥管の延長、曲管の数量、排泥流速、排泥比重、摩擦係数、立坑深さなどより排泥管必要揚程を算出し、その値からP2ポンプの揚程を差し引き、その値を中継ポンプ1台あたりの揚程で割ることにより、必要な中継ポンプの台数を算出します。ポンプの揚程については性能曲線表より算出しますが、この表は清水時の能力ですので泥水濃度による揚程減少率や揚量減少率を考慮する必要

があります。

(4) 礫層に対する計画

礫の出現が予想されている場合は排泥ポンプでの閉塞を避けるために礫処理設備(クラッシャなど)を設けるのが一般的です。礫処理設備はシールドのすぐ後方、後方台車の先端付近に設置されるため、排泥口からその位置までは管径を太くすることで対応します。そうした場合、その管径が太くなった部分の流速が低下するため、礫処理設備の前に循環ポンプを設置して、部分的に泥水を循環して流量を増すことにより流速を確保します。このポンプがP0ポンプと呼ばれています。

(5) 流量計、密度計の計測方法と精度

流量計と密度計は、掘削土量管理を行ううえで非常に重要な計器です。泥水式シールドの掘進管理は、この二つの計器の演算結果より得られた掘削土砂量をリアルタイムに把握しながらコントロールするものであるため、計器の狂いは土砂の取り込みをまねく可能性もあります。このために流量計と密度計は十分に調整する必要があります。その調整のタイミングは、①発進前、②掘削偏差流量に変化が見られた場合、③バイパス運転で掘削偏差流量が0に落ち着かない場合、④土質が変化したときなどですが、とくに変化のないときでも1か月に1回程度は調整した方が良いでしょう。以下に計測方法や調整方法などを示します。

1) 流量計

電磁流量計の動作原理は、磁界の中を液体が流れるときに発生する起電力が流速に比例するというファラデーの法則を応用したものです。測定精度はスパン(一般的に4吋で2m³/min, 8吋で10m³/min)の±0.35%程度ですが、正しい精度を得るためには、①導電性の流体であること、②管内が満水であること、③流体が均質であること、④流体が非磁性であることが条件です。実際の施工においては流体が均一でないなどの状況により誤差は±1.0%程度のこともあります。

取り付け位置としては立坑部か後続台車部のどちらかに設置されます。

校正方法については、十分なバイパス運転を行

い泥水の中に固形分がなくなった状態で、送泥流量と排泥流量が一致するように調整を行います。

2) 密度計

最近ではγ線密度計が主流であり、その原理はγ線の線源と検出器を配管を挟むように取り付け、配管と配管内の流体を通過した放射線を検出し、それを演算して密度を算出します。その測定精度はスパンの±1.0%程度とされていますが、流体の状況や振動などにより±2.0%程度のこともあります(一般的な比重スパン1.0~1.5の場合で0.01程度の誤差)。

取り付け位置としては一般的に後続台車部に設置しますが、長距離の場合は立坑下にも設置する場合があります。その理由としては後続台車部での密度差を切羽バイパス停止の目安とし、立坑部での密度差を全体のバイパス停止の目安とすることなどが挙げられます。

校正方法については、十分なバイパス運転を行い泥水の中に固形分がなくなった状態で、マッドバランスなどで測定した比重と一致するように送泥密度と排泥密度を調整します。

(6) 土質別および土質急変部での制御方法

礫の場合は砂に比べて沈降しやすいため排泥流量を若干大きめに設定する必要があります。Durandの式により算出された限界沈殿流速に乗ずる土質係数 ν は、シルト層で1.1程度、固結シルト粘土層で1.2程度、礫層で1.3程度です。

砂礫層などにおいては逸泥傾向があるため、掘削乾砂量や掘削偏差流量が粘性土やシルト層の場合と異なることがあります。掘削乾砂量や掘削偏差流量が変化した場合には、土質性状の違いによるものなのか、掘削状況の違いによるものなのかを適正に判断し、制御することが重要です。

最近では流体制御を自動コントロールとしているケースがほとんどと思われますが、礫層で閉塞傾向が見られる場合などは制御系のタイムラグなどにより切羽泥水圧の制御が間に合わない場合もあるため、状況に応じて手動でP2ポンプを制御する必要があります(通常の状態でもP2ポンプは手動制御としておいた方が、わずかな異常をすばや

く検知し、瞬間的な対応が可能です)。また、自動コントロールの場合、土砂の性状によって機器の適正な反応速度が異なることがあるため、ハンチング(制御量が周期的に変化して波打つ現象)により切羽泥水圧が安定しない場合は反応速度を調整することも必要です。

(7) 閉塞時の対処方法

簡単な閉塞時(半閉塞)はP2ポンプの回転を上げて解除する試みを行います。それで解除できない場合にはいったん掘進を停止して、どこで閉塞しているかを確認する必要があります。バイパス運転に戻した状態で、流量が正常となればチャンバ部あるいはクラッシャ部での閉塞であり、バイパス運転で流量が異常であればP2ポンプ以降での閉塞です。

また、機内バイパスを行うことによりチャンバ部とクラッシャ部のどちらかを見分けることができます。チャンバ部での閉塞については、流体を逆送して閉塞物を排泥口元から遠ざける対処をとりますが、これで取り除かれるわけではないので、閉塞をくり返すことがあります。このような場合の対策として、予備排泥管を設けておくのが一般的です。

クラッシャ部やP2ポンプ部で閉塞している場合は、解体して閉塞物を取り除きます。

(8) トラブル事例

1) 事例①: 調整槽の下限値を低く設定し過ぎたため、攪拌羽根により液面が波打った拍子に送泥ポンプがエアを吸い込み、送泥流量が0となり、切羽泥水圧が一気に低下したという例があります。その際には直ちに非常停止し、手動で送泥することで、短時間で切羽泥水圧が復旧したため、とくに地盤変状などの問題は見られませんでした。

対策: 調整槽の下限値の設定においては、液面の変動なども考慮して余裕をみて設定する必要があります。

2) 事例②: 切羽保持用のバルブ(cv1)が摩耗して、全閉状態でも通水状態となり、休日中に切羽に泥水を補給し続ける状態となった事例があります。そのときは当直者が切羽泥水圧の上昇に気付

き手動操作に切り替えました。

対策: 休日中も切羽泥水圧や調整槽の水位を十分に監視する必要があります。

3) 事例③: 掘進断面の土質に礫が存在しない工事であり、クラッシャを装備しない状態で発進部のコラムジェットの改良体を掘進中、排泥ポンプ部の全閉塞により、いく度となく切羽泥水圧が急上昇し、エントランスコンクリートが破壊した事例があります。

対策: 流体輸送システムのバイパスセット部には緊急圧抜きバルブが装備されていますが、瞬間的な全閉塞に対応できるほどの吐出量や俊敏性は持っていません。発進中の閉塞による圧力の上昇に対しては、煙突状の上部開放式圧抜き配管(ホース)を複数個エントランスに取り付ける対策が有効です。この方法であれば、配管の端部の高さを変えることで自然に圧力上限値を調整することが可能です。

(文責: 河越 勝/(株)熊谷組)

参 考 文 献

- 1) 寺崎弘三・平野信美: 各論 泥水による流体輸送, 基礎工, 1982.5.

Q6. 大土かぶりシールドにおける計画の留意点を教えてください。

A. 大土かぶりシールドにおいては、シールド、セグメントに作用する土水圧が大きくなります。このため、シールド発進時、掘進時、セグメント組立時、シールド到達時において、土水圧荷重に対抗して水密性を図り、地山の崩壊、出水を未然に防ぎ、地表面沈下など周辺に影響を及ぼさないように施工する必要があります。また、大深度立坑を利用して資機材の搬入をくり返し行うため、セグメントなどの資機材搬送の効率化、安全性向上を図ることも重要です。

以下に、大土かぶりシールドにおける計画の留意点を、①シールド、②セグメント、③シールド発進、到達、④セグメント搬送システム、について説明し、また施工事例について述べます。

(1) シールド

シールドを製作するにあたり、大土かぶりである地山の土水圧、地質の変化を十分考慮して余裕を持った設計検討を行います。その結果、シールドのジャッキ推力、トルクなどの仕様を決定するとともに、カッタビット、カッタディスク、スキンプレートなどの各部材の構造設計、軸受け部などの水密設計を合理的に実施します。

高水圧下のシールド掘進でとくに問題となるのは、シールドテール部からの湧水です。このため、シールドにワイヤブラシを設置し、その間のテールシーラー充填により、セグメントとのテールボイドからの泥水および裏込め注入材の混入、固化を防ぎます。ブラシ間のテールシーラーの充填を掘進速度に見合うように量管理し、シールド方向制御を行って極端な姿勢変化を生じないようにします。これにより、テールブラシの損傷、せりによるセグメントのクラックをなくすことができ、高水圧でのシールドの水密性を高めることが可能となります。

シールド本体の安全性については、掘進中の施工データをコンピュータ画面表示した掘進管理システム(写真-1参照)を利用し、管理値を設定して施工を行います。中央制御室にすべてのデータを集中させ、シールド制御、流体輸送、泥水処理などの管理単位ごとの画面を設定して、切羽崩壊、

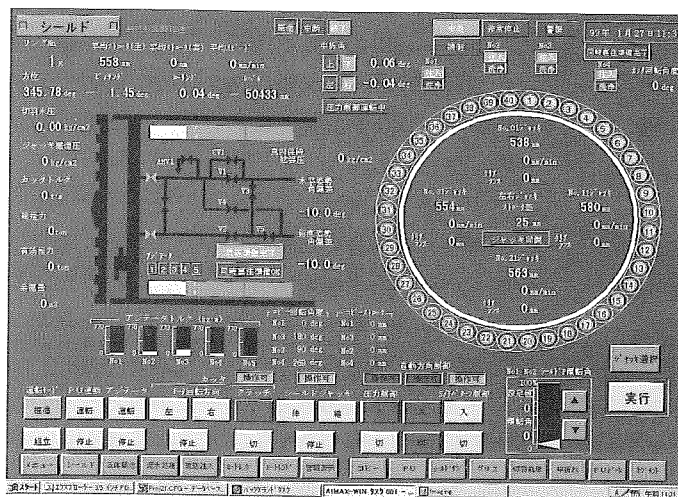


写真-1 掘進管理システム画面

閉塞、線形逸脱などの異常の有無を確認します。このシステムの導入により、効率よく精度の高い施工が行えるとともに安全に施工ができます。

(2) セグメント

セグメントは、大土かぶりシールドの場合大きな土水圧荷重に対抗し、高水圧による漏水を防ぐことから、本体および継手の強度剛性をできるだけ高めるほうがよいようです。このため、RCおよび合成セグメントなどの採用をはじめ、継手に高剛性継手の導入、ボルトレス継手が用いられる場合もあります。さらに、セグメントの設計には、シールド掘進時の施工時荷重を考慮するものとし、ジャッキ偏芯によるモーメント荷重、セグメントとシールドのせり、裏込め注入圧、テールシール注入圧に対しての十分な検討が必要となります。

大土かぶりシールドでは、シールドのジャッキ推力が過大となるため、セグメント組立精度が悪く目開き、目違いが生じることがあります。この場合は、応力集中によりクラック・欠けが発生し、漏水につながる可能性が高くなるため、セグメント組立には、真円度などの組立精度を向上させることが重要となります。とくに、大口径トンネルの場合では、シールドエレクタに自動組立システムが多く採用されており、その結果、セグメント組立の真円度向上と高速化を可能にし、目開き、目違いをなくして、クラック・欠けのない漏水を起こさせないセグメント組立ができます。

セグメント継手の止水にはシール材が重要な役割を果たします。これは水膨張性シール材料を選定して、目開き、耐水圧などの設計条件を設定し水密設計、耐水圧試験を行って性能を確認します。施工は、シール材を溝内中央に正確に貼り付け、シール材を傷つけないで組み立てを行う必要があります。シール材の加工は、最近ではセグメントピースの形状に合わせたシール材をエンドレス状で製作する額縁加工を採用し、シール材の機能を高める工夫も

行われています。

(3) シールド発進・到達

高水圧でのシールド発進・到達は、立坑内への出水の危険性が高いため、施工にあたっては、各種止水のための地盤改良、止水装置による補助工法を採用する必要があります。地盤改良工法は、薬液注入工、高圧噴射攪拌工法などの各種工法がありますが、水圧0.5MPa程度以上の高水圧下では、シールド発進、到達は地山の強度と止水効果を高めるために信頼性の高い凍結工法を選定する場合があります。

シールド到達は、シールドを立坑内に引き込む場合はとくに高水圧により止水が困難となったり、地盤改良による止水領域がシールドの坑内移動に伴って剥離し湧水する可能性があるため、立坑内水張り、茶筒方式の止水装置などを設置するなど止水対策を2重3重に考慮する必要があります。

(4) セグメント搬送システム

大深度立坑を利用して資機材の搬出入をくり返し行うため、セグメントなどの資機材搬送の効率化、安全性の向上を図ることが重要です。そのため、地上から立坑内、トンネル坑内切羽まで自動運転するシステムを導入する場合があります。これは地上のドーリー(搬送台車)、立坑内のリフト、トンネル坑内のバッテリーロコなどの自動化により、シールド掘進、セグメント組立のサイクルタイムを確保して、セグメントなど資機材搬送を効率よく安全に行うことができます。

セグメント搬送システムを構築するにあたり、施工サイクルを満足するようにそれぞれの機械の速度、能力の検討を行います。とくに、リフトは立坑深度が大きくなるほど昇降速度の確保が必要となり、高速化を行えない場合は昇降する回数を減らすため複数のセグメントピースを搬送することになり、大きな揚重能力が必要となります。また、システムを順調に稼働させるため作業員、操作者への教育が必要になります。とくに、セグメント種類、投入順序などの手順、異常時の対応、復帰後の再運転などのルールについて操作者に周知させ、安全上の十分な配慮を図ることが重要です。

(5) 大土かぶりシールドの事例

大土かぶりシールドにおける計画の留意点を、国土交通省外郭放水路第3、第4工区トンネル新設工事の例を引用しながら具体的に示します。

本工事は延長2.6km(中間立坑あり)、セグメント外径11.8m、土かぶり50m、水圧0.6MPaの高水圧が作用する洪水調節用大口径放水路トンネルです。

シールドのテールブラシは、高水圧が作用するため、緊急止水装置の設置も含めて4段のテールブラシを設置しました。テールブラシには発泡ウレタンを充填して一体化したウレコンシールを採用しました。このテールブラシはセグメントへの反力を高めることにより、止水性(耐水圧1MPa程度)、耐久性を大幅に向上させることができます(写真-2参照)。

セグメントは、剛性の高いダクティル鉄製のDRC(Ductile and Reinforced Concrete)セグメントを使用し、継手はボルトレスを採用しました(図-1参照)。施工の結果、得られた真円度の測定

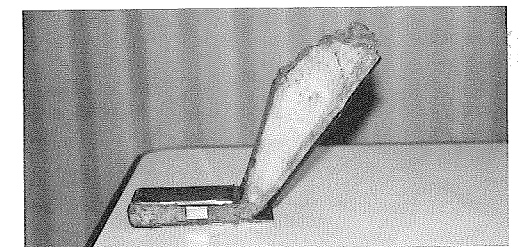


写真-2 テールシールブラシ(ウレコンシール)

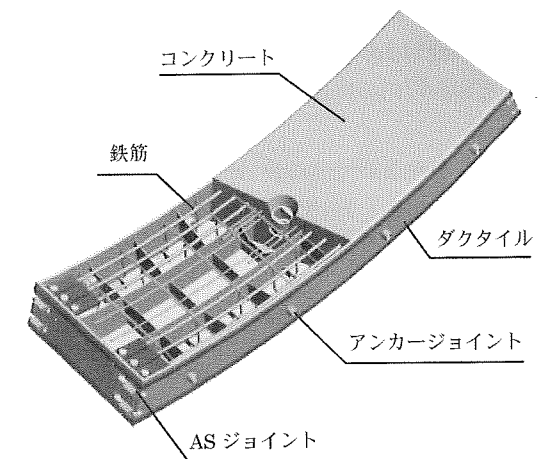


図-1 DRCセグメント

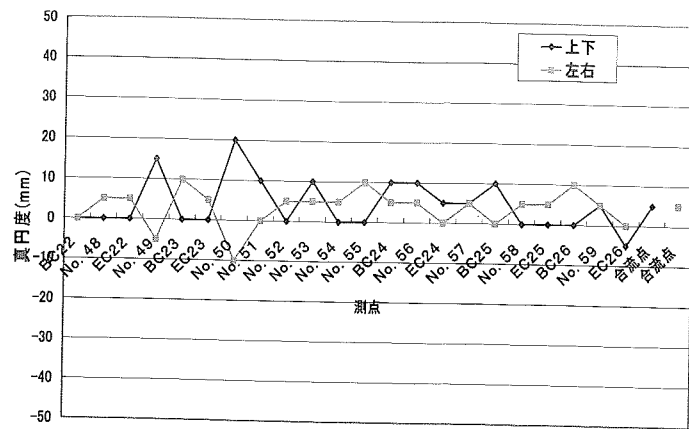


図-2 真円度の測定結果

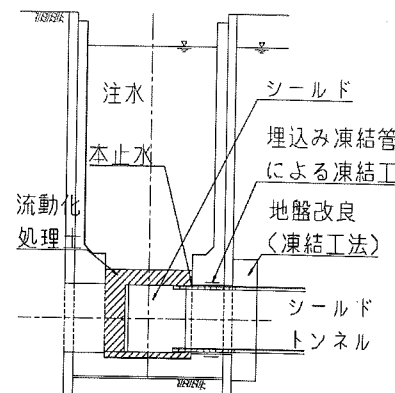


図-4 到達工法

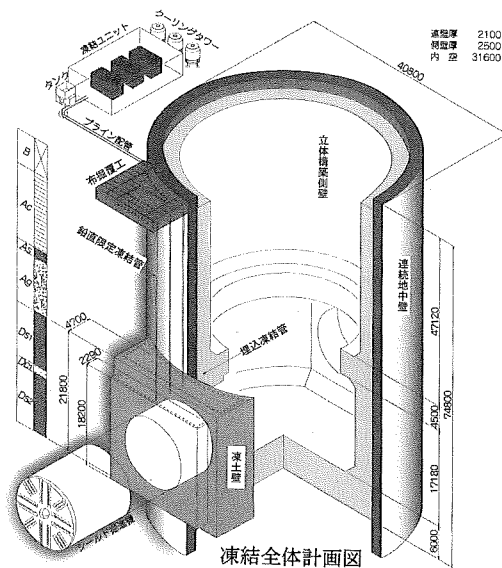


図-3 発進工法(凍結工法)

値は、外径11.8mセグメントに対して変位量がほとんど10mm以内の良好な結果が得られました(図-2参照)。

シールド発進の地盤改良は、高水圧のため凍結工法を採用しました(図-3参照)。施工は地上からのボーリングにより凍結管を設置し、管内に-30度の不凍液を循環させることで地山を凍らせ、所定の強度と止水性を保持した凍土を造成させました。造成中は測温管による温度管理を徹底して、温度分布、凍土造成の推定を行って強度と止水性の確認をしました。その後、発進部の地中連続壁を壊してシールドを前進させ、坑口エントランス

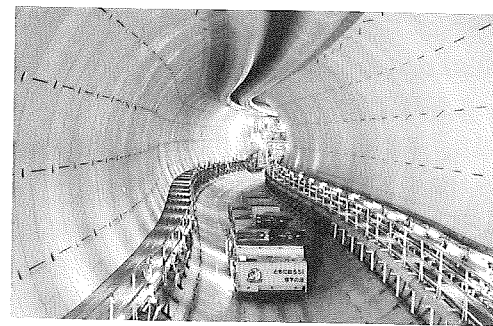


写真-3 タイヤ式セグメント搬送車

パッキン装置により止水を図って掘進を行いました。

シールド到達は、立坑内にマンメイドソイルを打設し水張りを行い地山と同様な状態にして到達させました。これにより、水圧バランスを保つことで湧水を止め、シールドを立坑内まで掘進後、立坑坑口とセグメントを貼付け、凍結工法で止水を行いました。施工は測温管の温度管理により凍結を確認して止水を完全に図った後、立坑内の排水を段階的に行って到達工を完了させました(図-4参照)。

セグメント搬送システムは、地上から立坑内、トンネル坑内切羽まで無人で自動運転するシステムを導入しました(図-5参照)。とくに、坑内の搬送には、重量物である鋼製枕木、レールなどの設置・撤去をなくし、安全で坑内の騒音減などの作業環境にやさしいタイヤ式搬送車で切羽まで運搬する無軌条工法を採用しました(写真-3参照)。

(文責：川端僚二/鹿島建設(株))

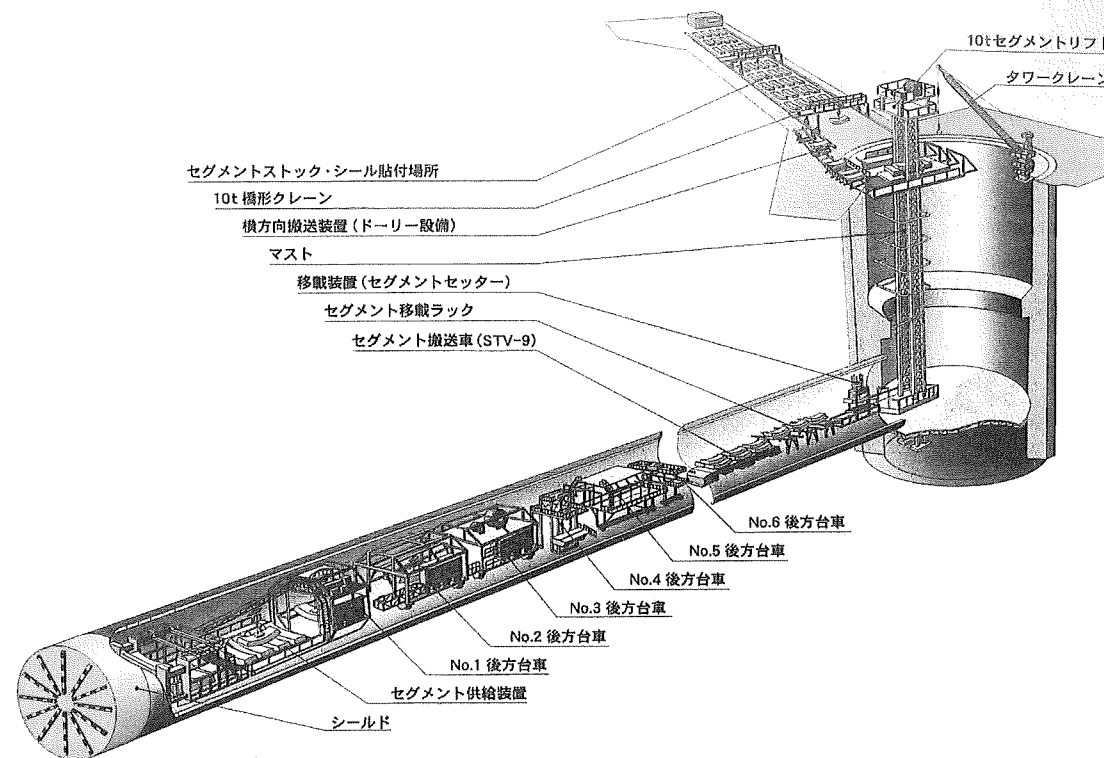


図-5 セグメント搬送システム

参考文献

- 1) 黒川美喜男・吉田英信・向野勝彦・滝本邦彦：覆工の品質と施工速度を改善した新開発のセグメント，首都圏外郭放水路第4工区，トンネルと地下，Vol. 33, No.6, 2002.6.
- 2) 有泉毅・見沼憲男・吉村宗男・今立文雄・五十嵐寛
- 昌：高耐久性新型テールシールドの基本性能試験，トンネル工学研究論文・報告書，Vol. 6, pp.381-386, 1996.11.
- 3) 柴田学・筒井武志・杉田陽一：シールドトンネル工法における無軌条工法の実施，第8回ロボットシンポジウム論文集 JUN 13-14, 2000

研究論文募集のお知らせ

弊誌「トンネルと地下」では、研究論文(実験、技術開発など)を募集いたします。大学や技術研究所などからの貴重な研究成果を多数お待ちしておりますので奮ってご応募下さい。とくに若手トンネル技術者の技術向上を主眼としておりますので、平易・簡潔にまとめていただくようご配慮のほどお願い致します。なお、応募方法の詳細につきましては40頁に掲載の『投稿原稿応募のご案内』を参照のうえ、ご応募下さい。

問い合わせ先 株式会社 土木工学社 編集部

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂 電話 (03) 3267-2888 (代)

nechtに代表される世界的なメーカーから小さいメーカーにいたるまで多く展示があった。TBMの硬岩～軟岩にいたる広い適用性、土木機械の大型化・迅速性を強調していた。

(3) トンネル換気機メーカー

材料メーカーの展示にあったように、欧州ではトンネル火災時の換気運用がかなり議論されており、模擬火災試験や数値シミュレーションを紹介していた。

(4) フランストンネル協会

フランス国内の多数のトンネル関連メーカーを引き連れ、トンネル技術を一つのパッケージとしてフランスのブランドを売り込む戦略とも受け取られた。

JTAとしても検討に値する戦略と考えられる。

(5) コンサルタントほか

東欧の中小コンサルタントが中心となって多く

の展示ブースを展開しており、後の欧州マーケットをにらんだ広告戦略が感じられた。

施工会社単独の展示ブースは、開催地が東欧であることから、地元の建設会社が展示していたに過ぎなかった。

日本からは材料メーカーの(株)タックの展示があった。

先に述べた、フランスのほかロシア、ノルウェー、ハンガリー各国のトンネル協会のように、わが国の多くの施工経験を生かして世界と勝負できる技術を、JTAが主体となって展示して行く方法を考えていけば、今後の世界市場への足がかりとなるチャンスを作る場となる可能性もあると考えられる。なお、今回展示されたパンフレット、CDなどはJTAで保管しているので参考とされたい。

(文責：伊藤文雄・大成建設(株))

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

- 1. 原稿は弊社ホームページ(<http://www.tunnel.ne.jp>)に掲載されている投稿規定により執筆して頂きます。
 - 2. 原稿のボリュームは、原則として刷上がりで8頁以内とします(図・表・写真含む)。
 - 3. 原稿掲載の採否は、本誌編集委員会で審査のうえ決定します。
 - 4. 掲載論文については当社規定の原稿料をお支払いいたします。
 - 5. 原稿は、原則として返却いたしません。
(注：「現場だより」の投稿は受け付けておりません)
- 送付先 株式会社土木工学社 編集部 投稿係
〒162-0832東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888(代)

連載講座

シールド工の施工に関するQ&A(3)

JTA都市トンネル小委員会

Q7. シールドトンネルを地中で正面同士、あるいは側面に接合を行う場合の方法と施工上の留意点を教えてください。

A. ここでは、主にシールド正面接合について述べますが、側面接合については正面接合と共通事項が多いため、正面接合に準ずるものとして下さい。

(1) シールドの地中接合方法について
シールドを正面同士で地中接合する場合、下記の方法があります。

1) 補助工法による場合

薬液注入、高圧噴射攪拌、地下水位低下、凍結(図-1参照)、圧気などの補助工法により安定させた地盤で人力によるトンネル内接合作業をする旧来の方法。

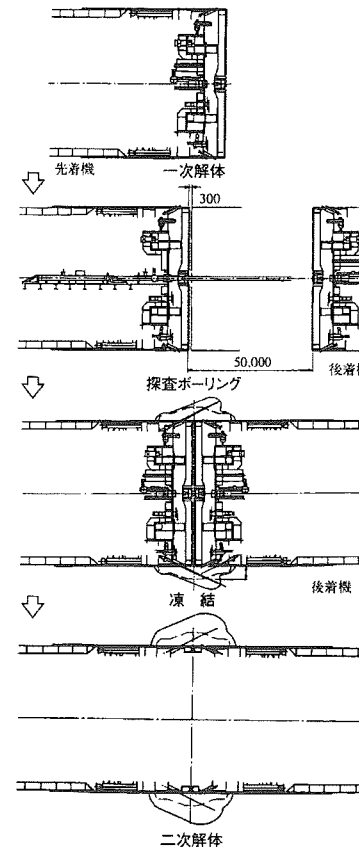


図-1 凍結による地中接合事例

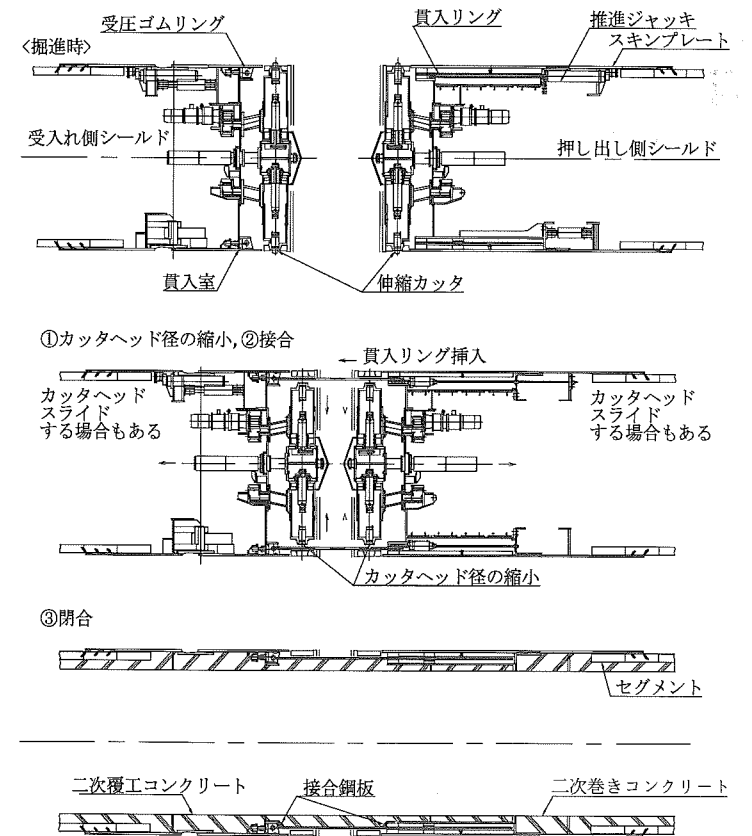


図-2 機械的接合による地中接合事例¹⁾

2) 機械的接合による場合

補助工法の削減や工期短縮などを目的とし、シールドに機械的接合機能を持たせた方式(図-2参照)¹⁾。

近年はシールド工事の大深度・高水圧下での安全性確保や工程短縮が求められることなどから機械的接合の施工方法が普及し、施工事例が増えています²⁾。

機械的接合には下記に示すようにシールドの各機構に工夫をした方法があります。

① MSD工法：図-2に示すようにカッタスポーク収縮後、受入れ側シールドのチャンパ内「貫入室」に装備された受圧ゴムに向けて貫入側シールドから貫入リングを油圧装置により押し出し、貫入リングの押し付け力で高い止水性を確保する方法(図-3参照)³⁾。

② A-DKT工法：カッタスポーク収縮後、カッタヘッド(内筒)引き込み機構を有する受入れ機と、カッタヘッド貫入機構を有する貫入機を正面接合させ、さらに接合時には受入れ機の外筒内面に装備した補助ゴム膜チューブを膨張させ、止水シール板を貫入機内筒に強く押し付けることで高い止水性を確保する方法(図-4参照)³⁾。

③ CID工法：カッタスポーク収縮後、カッタヘッド(内筒)引き込み機構を有する受入れ機と、受入れ機の外筒内面に貫入する貫入機を正面接合させ、接合箇所へ固化材を注入し止水する方法(図-5参照)。

④ その他の工法：接合時の止水シールを貫入側シールドの外側に取付けた方法など。

また、接合するシールドの径が同径の場合や異なる径の場合があり、外径10mのシールドと外径7mのシールドで機械的接合(正面)をした例⁴⁾も

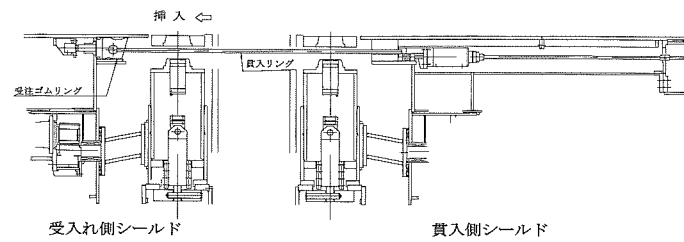


図-3 MSD工法貫入リングと受圧ゴム³⁾

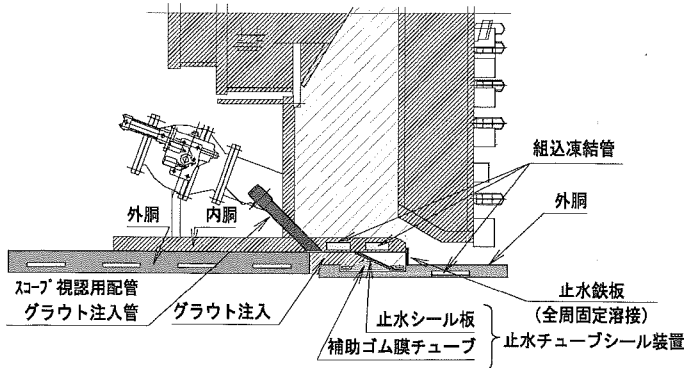
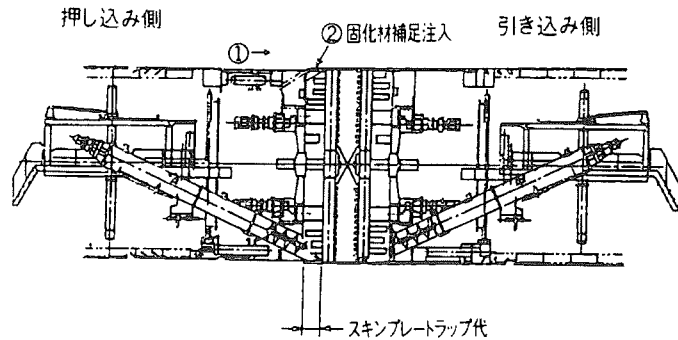


図-4 A-DKT工法の接合止水概要³⁾



地中接合状態

- ①押し込み側を所定のスキンプレートラップ代まで掘進
- ②固化材補足注入

図-5 CID工法概要

あります。

先着シールド到達から地中接合作業までの期間については、1年後に接合したような事例もあります。長期にわたる場合には、チャンパ内を高濃度ベントナイト溶液などの固結しない充填材で充填しておくことが必要です。

一方、側面接合には、掘進を完了し地中に残置されたシールド側面に後行シールドが接合する場合と、既設のトンネル覆工側面(セグメントなど)

(2) 施工上の留意点について

1) 補助工法による場合

接合地点の地盤の改良効果(未改良箇所がないか、地下水が噴出している箇所はないか)などを注意深く確認することが大事です。これはシールドの発進や到達時の留意点と同様で、万一の事態に備え、速やかに補足の薬液注入などの対処ができるよう準備しておくことが望まれます。

2) 機械的接合の場合

① 施工誤差と相互位置確認

接合地点での相互位置ずれや面角度ずれはシールド設計の際に設定する接合時最大誤差以内に納めることが重要です。そのため、シールド掘進延長が長い場合には両方のシールド延長と坑内測量の精度を見極めて必要に応じた測量用チェックボーリングを地上から実施するなり、シールド相互の位置確認のための水平ボーリングを実施する必要があります。水平ボーリングは地盤条件や地下水圧を考慮して工法を選定します。接合地点の20m手前から外径150mm鋼管の小口推進工法を施工し、鋼管内空を使って相手方測量ポイントを直接視準した事例があります。また、最近の超長距離掘進での地中接合事例では2台のシールドでそれぞれ9km掘進後、50m離れた位置から小口推進工法による水平ボーリングを行い、ボーリング孔を利用した磁気センサーとラジオ・アイソトープ・センサーにより正確な相互位置を確認しています。

② 接合時の機械作動の確認

接合時には、掘進中に固定されていたシールド各所の機械的ロックの解除や、カッタスポーク収縮、カッタヘッドスライド、止水板作動、あるいは貫入リング伸張など数多くの機械的作動が行われますが、これらの作動は実際に目に見える箇所ではなく地中で行われているため多くは電気的信号や油圧機器のメーターなどに頼って作動を確認しています。これら機械類は長期間にわたる掘進で一部は摩耗変形、振動、衝撃などを経験しているため

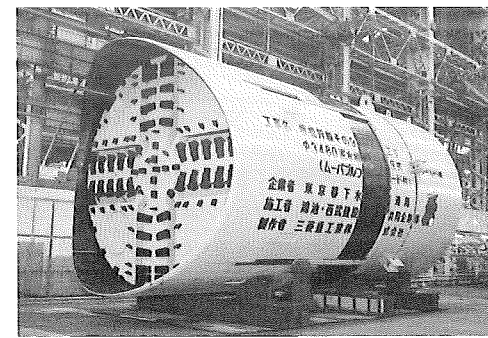
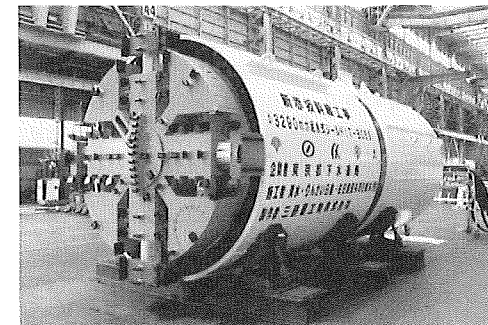
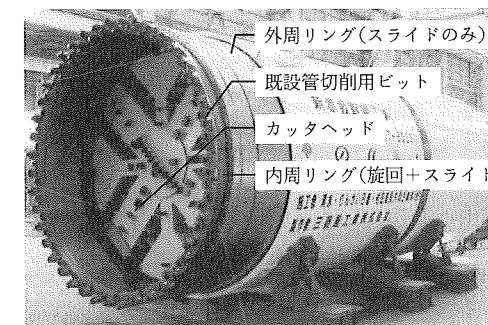


写真-1 側面接合用フード押し出し式シールド (東京都下水道局工事パンフレットより)



掘進状態



切削完了状態

写真-2 側面接合用切削貫入リング式シールド (東京都下水道局工事パンフレットより)

にシールドが接合する場合があります。

側面に接合を行う場合の方法は正面接合の場合とほぼ同様であり、地盤改良など補助工法による接合法や、機械的にシールドのフードを押し出すことで、補助工法による接合作業時の地山の露出を少なくし安全性を向上させた方法(写真-1参照)と、特殊なビットを装備した貫入リングを回転させ、既設トンネルの覆工を直接切削して接合するT-BOSS工法(写真-2参照)があります。

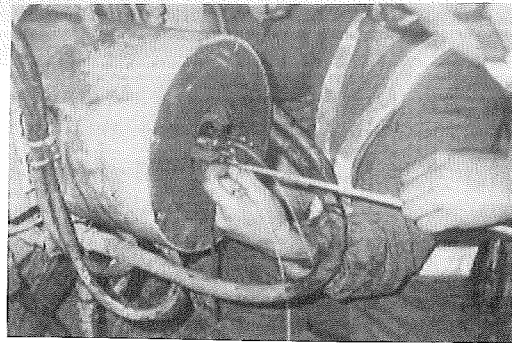


写真-3 スポーク縮小確認状況(ワイヤー使用)¹⁾

万一の作動不良、信号誤作動、断線などに備え、重要な作動箇所については複数の方法(できるだけ装置の動きが目視で確認できる方法)で確認できるようにしておくことと安心しましょう(写真-3参照)。

③ 接合部の異物除去(清掃)

シールドの接合は止水装置の作動により確実なものになります。止水効果を発揮する貫入リング先端と受圧ゴム面の辺り、あるいは止水チューブシール装置のまわりの異物除去(砂礫などを含む)は時間をかけて実施します。ジェット噴射装置や洗浄ブラシなどが装備・使用された実績があります。

④ 止水性の確認

接合後、シールドの隔壁に取り付けてある注入孔のバルブを開いてチャンバ内の水圧を低下させた後、再度バルブを閉にしてチャンバ内水圧の回復状況を確認します。止水性が悪い場合は接合部周辺の止水注入などの措置を行います。

3) 共通の留意点

補助工法による場合と機械的接合による場合の共通の留意点を以下に述べます。

① 作業標準の作成と打ち合わせの実施

② 換気とガス検知の実施

③ 下水や貯留管の場合など、急激な増水の可能性がある場合の隔壁設置や緊急避難方法の決定

④ すでに下水が長期間滞留している場合、隔壁撤去時の動水による水中の溶存有毒ガス

(硫化水素ガス)放出の対策実施

(文責：久原高志/清水建設(株))

参考文献

- 1) シールド工法技術協会：技術資料集，MSD工法，技術資料，PDF，<http://www.shield-method.gr.jp/gijyutsu/msd.pdf>
- 2) 鈴木実・磯陽夫・外裏雅一：連載講座 多様化するシールド掘進技術(9)，MSD工法，地下茎シールド工法，T-BOSS工法，トンネルと地下，Vol.35，No.11，pp.65-76，2004.11.
- 3) 富所達哉・高橋聡・米沢実・京屋宜正：特集：東京湾横断のガス導管用シールド工事，長距離掘進後の高水圧下における機械式地中接合，トンネルと地下，Vol.37，No.7，pp.53-60，2006.7.
- 4) 中山範一・木村宏・梶田覚：シールドマシンの拡張とメカニカル地中接合，臨海副都心線 大井町駅，トンネルと地下，Vol.30，No.6，pp.7-14，1999.6.

Q8. 発進準備工の計画および施工上の留意点を教えてください。

A.

(1) 発進準備工の施工フロー

発進準備工は発進立坑築造後、シールドを立坑内に搬入・組立、仮組みセグメントなどの反力受け設備を設け、鏡切までの一連の作業のことをいいます。

図-1に、ずり鋼車、土砂ピットで土砂を搬出する土圧式シールドにおける、一般的な発進準備工の施工フローを示します。泥水式シールドの場合は、これに送排泥設備と泥水処理設備が追加されます。このフローに沿ってその内容と計画および施工上の留意点を述べます。

(2) 計画および施工上の留意点

1) 発進坑口

シールドが地山に貫入するとき、また、貫入後セグメントと発進坑口からの土砂、裏込め注入の流出を防止するため、エントランスパッキンを設け、坑口コンクリートを設置し、施工の確実性、安全性を図ります。

エントランスパッキンの材質、形状、寸法は、地山の状態、シールドの形状、同時裏込め装置、

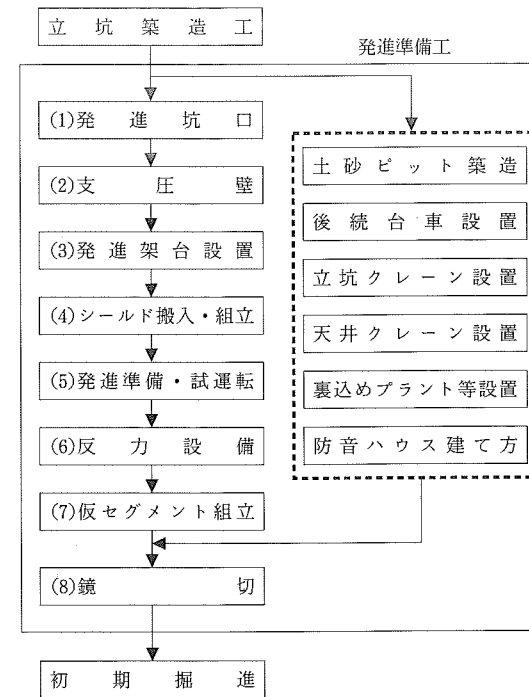


図-1 発進準備工施工フロー

セグメントなどに配慮し決定する必要があります。パッキンの反転防止はスライド式とフラップ式がありますが、現在ではフラップ式が一般的です。

水圧が高い場合はエントランスパッキンを2段にしたり、チューブ式エントランスパッキンを採用します。

2) 支圧壁

支圧壁は初期掘進時のシールド推力を受け持ちます。支圧壁の耐力については、壁本体のほか、立坑壁、立坑背面の地山耐力についても検討する必要があります。また、支圧壁は初期掘進後撤去するのが一般的で、撤去を考慮し立坑壁と支圧壁が容易に分離できる構造も検討します。

3) 発進架台設置

発進架台は設計上の中心位置、高さ、勾配を基本にシールドが適正な位置になるよう設置します。一般的に、シールドの重心位置は前方にあるので、発進時シールドが地山に十分貫入するまでに頭を下げる傾向があります。それを考慮し、あらかじめ若干量(2~3cm程度、出来形の許容値による)上げ越して設置したり、勾配を上向きにすること

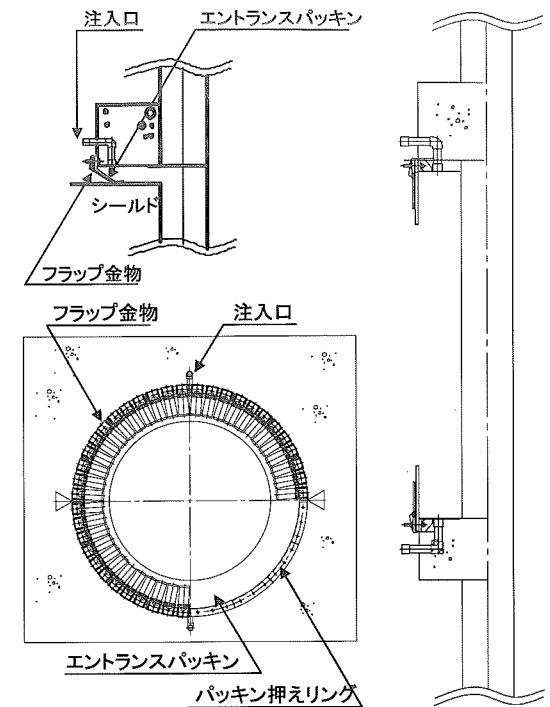


図-2 発進坑口構造図

もあります。

4) シールド搬入・組立

シールドを搬入し、投入するとき留意する点を以下に示します。

- ① シールド現場搬入、投入時の高さ制限
とくに各家庭への電話、電気などの引き込み線に注意する必要があります。
- ② クレーン据え付け場所の養生

- ・アウトリガー設置場所の地下埋設物の有無およびそれらへの影響
- ・立坑山留め壁への影響

シールドは輸送上の制約から、ほとんどの場合、分割搬入し現場で組み立てます。シールドの組み立てはシールドメーカーが行いますが、組み立て後、溶接や寸法などの検査を行い、完成品として、問題のないことを確認します。

シールド投入時、組立時に使用する大型クレーンは、道路法の規制で回送に、特殊車両通行許可を取る必要があります。通常申請から許可を取得するまで約1か月はかかるので、

書類作成も含め少なくとも2か月前には詳細計画をたて、クレーンの組立場所の確保も含め、余裕をもって準備する必要があります。

近年、立坑位置の制約から、シールドを投入する開口部と発進坑口位置が異なる場合があります。この場合、立坑底版に鉄板を布設し、この鉄板の上をシールドを載せた発進架台を移動用ジャッキなどで移動し、所定位置に設置します。このとき以下のような点に留意する必要があります。

- ・敷き鉄板の平坦性の確保。
- ・発進位置に合わせ、発進架台の高さを計画、調整すること。
- ・移動用ジャッキの反力の取り方。
- ・発進架台はシールド自重、移動用ジャッキの推力を考慮し、十分な強度を持つこと。

5) 発進準備・試運転

シールドは地山に入ると到達まで外から確認することはできないので、組立後の試運転はとくに念入りに行う必要があります。過去の経験から試運転での留意点を以下に示します。

- ・カッタ回転方向、コピーカッタの位置とストローク(実測値と計器)
- ・中折れジャッキのストローク(実測値と計器)
- ・土圧計の動作(予備の土圧計も含む)
- ・加泥材の噴出状況
- ・ピッチング・ローリング計(実測値と計器)、予備のチェック用下げ振りの確認
- ・ジャイロ方位角の確認

6) 反力設備

支圧壁と仮セグメント間にH形鋼を主材とした反力設備(仮支保工)を設けます。反力設備は必要な推力に対し十分な強度、および有害な変形を生じない剛性を確保すること、また、土砂の搬出、セグメント他資材の坑内への搬入を行うに足る空間の確保が必要です。このとき、本セグメント1リング目の発進坑口に対する位置を考慮し、仮セ

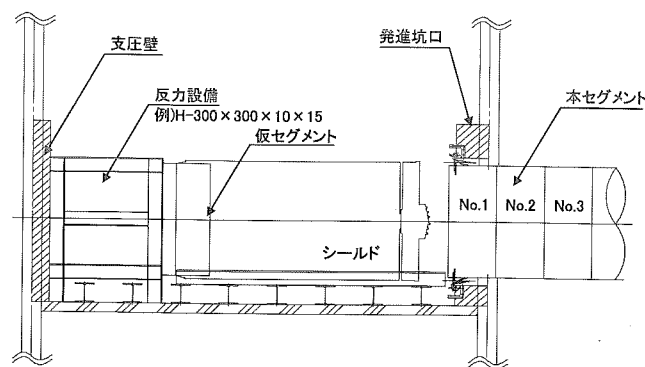


図-3 反力設備計画図

グメント1リング目、反力設備の位置を決める必要があります。

7) 仮セグメント組立

仮セグメントの組立についての留意点を以下に示します。

① 真円に組む

1リング目の仮セグメントの組立精度によりそれ以降のセグメントの真円度が決まってきます。シールドとセグメントのクリアランスが上下左右均等になるようできる限り真円に組みます。

② 設計勾配に合わせて組む

③ シールドとセグメントのクリアランスを維持する

シールド内で組んだセグメントを掘進に合わせて押し出すと、発進架台とセグメント間にテールボイド分の隙間ができます。この隙間にはキャンバなどを入れてセグメントの落下を防止します。

④ セグメント浮き上がり防止

仮セグメントと発進架台との隙間はキャンバを入れて落下しないようにしますが、浮き上がる可能性があります。とくに鋼製セグメントはRCセグメントに比べ軽いので、浮き上がりやすく、その対策として、ワイヤーを発進架台からセグメントにとります。

8) 鏡切

発進方法は薬液注入工法、置換工法、凍結工法などで地山の自立を図る方法や、NOMST工法、

SEW工法などで仮壁のまま切削する方法があります。

仮壁のまま切削する場合は、とくに鏡切を行う必要はありませんが、地山の自立を図る方法では、鏡切を行う前に自立性、止水の状態を確認する必要があります。一般に、土留め壁が鋼矢板の場合はガスで小孔を空け、また、コンクリートの場合は壁にボールバルブを取り付けボーリングマシンで削孔し確認します。立坑壁の材質、厚さ、地下水圧などを考慮し確認方法を検討します。シールド断面にもよりますが、少なくとも2か所(上下)は確認する必要があります。

また、できる限り鏡切を能率よく行い、鏡の開放時間を短縮するよう検討する必要があります。それとともに、万が一の出水の対策として、止水のための薬液注入の段取りや、鏡の閉鎖の材料、排水設備の準備などを計画します。

(3) まとめ

発進準備工の計画の良否は、初期掘進、段取り替えの工程や一次覆工の品質に大きな影響を与えます。例えば、発進架台の設置を誤ると勾配や平面的なずれが生じ品質上大きな問題となります。

計画を立てる際は、単に、発進の準備をするというだけでなく、それ以降の施工への影響を考慮し、十分な検討をする必要があります。

(文責：相良 拓/東亜建設工業(株))

参考文献

- 1) 土木学会：2006年制定・トンネル標準示方書、シールド工法・同解説、2006.7.
- 2) JTA都市トンネル小委員会：シールド発進・到達工法実態調査報告(1)、トンネルと地下、Vol.36、No.1、pp.59-66、2005.1.
- 3) JTA都市トンネル小委員会：シールド発進・到達工法実態調査報告(2)、トンネルと地下、Vol.36、No.2、pp.151-157、2005.2.
- 4) 米島賢二・荻野竹敏・山村学：シールド内からの支障物探査と狭隘立坑での回転、管団半蔵門線 住吉工区、トンネルと地下、Vol.33、No.7、pp.39-47、2002.7.
- 5) 荒神敏郎・江水淳・後藤真吾・柴田佳彦：2,000tfの大断面シールドを立坑内でUターン、首都高速中央

環状新宿線 東中野～中野坂上間、トンネルと地下、Vol.37、No.5、pp19-25、2008.5.

Q9. 密閉式シールドでの切羽圧の設定方法の考え方と留意点について教えてください。

A. シールドにおける切羽の安定についての考え方は、開放型シールドと密閉型シールドとは大きく異なっており、開放型シールドの場合、基本的には地山の強度や自立性に期待するもので、必要に応じて圧気や地盤改良、山留めジャッキなどを併用して掘削を行います。

これに対し密閉型シールドの場合の考え方を泥水式シールドの場合を主体として説明します。

泥水式シールドでは、シールド隔壁前面に満たした泥水を適正に加圧し、掘削に伴って切羽で解放される土水圧を積極的に押さえながら掘削を行う工法です。

ここで、泥水などの加圧が不足した場合、切羽前面での崩壊が生じやすくなるため地盤沈下の危険性が高くなり、過大になると泥水の噴発や地盤隆起の危険があるため、掘削対象地盤に適合した切羽圧の設定が必要となります。

(1) 切羽圧の設定と管理

1) 事前調査

切羽圧力の設定では、まず最初に掘削対象地盤の地盤定数や地下水圧(間隙水圧)を把握する必要があります。シールド路線沿線でのボーリング調査を行います。調査の間隔については200mピッチ程度で行うのが一般的なようですが、事前調査の情報により追加する場合や、過去の工事における調査データなどを参考にボーリング箇所数を低減する場合もあります。

2) 切羽圧の設定

切羽圧力の設定にあたっては、地下水圧、土圧などから切羽面の変形や地盤沈下の防止などを考慮して決定します。

通常、シールドの中心高さに相当する深度を代表値として選定し、土圧としては、静止土圧、主働土圧、ゆるみ土圧が挙げられ、掘削対象地盤により使い分けられます。静止土圧は掘削によって

解放される圧力なので、これを用いて圧力設定した場合には切羽面の变形もなく理想的な値となりますが、切羽圧が高くなり、装備する設備が大きくなってしまいます。主働土圧は切羽が崩壊する直前の圧力と考えられるため、切羽圧の最小値と考えることができます。また、地盤が良質で土かぶりが大きい場合には地山のアーチ効果が期待できるため、主働土圧に代えてゆるみ土圧を用いて評価する場合があります。

3) 切羽圧の管理

施工にあたっては、適当な間隔の掘削断面の土質に対して、掘進に伴う対象地盤の変化などを考慮し、上限値と下限値を設定しておき、この範囲内での管理を行います。

一般的に用いられている切羽圧の管理範囲としては、

(上限圧) P_{max} =地下水圧+静土圧+変動圧

(下限圧) P_{min} =地下水圧+主働土圧+変動圧
であり、先述のように主働土圧に代えてゆるみ土圧を採用する場合がありますほか、間隙水圧+変動圧を切羽圧と考える場合があります。

また、変動圧については施工に伴う圧力変動などを補完するもので、通常10~20kPa程度の値が用いられます。

図-1に切羽圧管理図の例を示します。

(2) 特殊条件下での切羽管理

切羽管理の概要については前述のとおりですが、実際の施工にあたっては各種条件からいろいろな留意点が発生するため、そのうちの代表的なものについて以下に説明します。

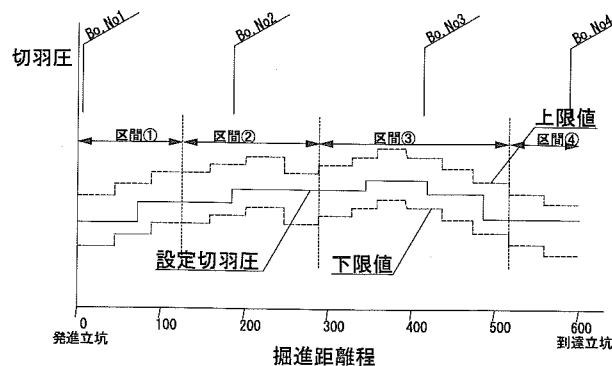


図-1 切羽圧管理図(例)

1) 地下水位が変動する場合

河川に近接していたり、透水性地盤内を掘削する場合には、河川の水位変動・季節や天候などから地下水位が変動を受ける場合があります、この点に考慮した切羽管理を行う必要があります。

2) 大断面シールドの場合

大断面シールドでは、掘削断面内に複数の土質を介在する場合があります。この場合には各土質の性状を勘察し、全体としての管理圧力および管理幅の設定を行う必要があります。

また、大断面シールドでは、天端部と底部の深度差が大きくなり、とくに泥水式シールドで泥水比重の設定を低めにしている場合などに部分的な切羽圧の過不足が発生することがあるので注意が必要です。

3) 小土かぶりの場合

小土かぶりの場合、許容される切羽圧力の管理幅が小さくなるため、細心の注意が必要となります。また、地中障害物に遭遇する危険も高く、これらによる排土装置の閉塞から切羽圧が急上昇し、泥水が噴発した例、閉塞解除作業中に周辺土砂を過取り込みし、大規模な陥没事故を引き起こした例などもあるので切羽圧以外にも慎重な施工が必要となります。

さらに、単に地表面からの深さだけでなく、側方に構造物や河川などがある場合もあり、これらに対する検討が必要な場合もあります。

4) 急勾配の場合

急勾配施工では掘進に伴い土かぶりが刻々と変化するため、水圧が変化することに加え、土層も刻々と変化するため、切羽圧もそれに合わせて適切に変化させていく必要があります。

とくに近年では球体シールドなどにより、立坑などのために垂直に掘進するシールドも事例が増えており、この点での管理上の技術も確立されてきています。

5) 軟弱粘性土地盤の場合

東京の下町地区を中心に分布する有楽町層などに代表される、沖積粘性土地盤は鋭敏性が高く、切羽圧などの微細な変化によって乱

され、圧密沈下を起こしやすいことが知られています。

このような地盤での掘進にあたっては極力設定切羽圧を変動させないことが重要で、掘進開始時や終了時に、急激なスピード変化による切羽圧変動を与えないこと、泥水シールドでは流体輸送における切羽循環と後方バイパス運転との切替え時、平衡圧力をきちんと調整しておくことなどの施工上の配慮が重要となります。

6) 長期休止時対策

段取り替えや、長期休暇、到達立坑施工との兼ね合いなどによりシールドを長期にわたって停止する場合があります。このような場合、地山の变形を抑える意味でも切羽圧管理値を上限値近くに設定することが望ましいと言えます。

しかしながら実際の現場管理上は、段取り替え時などに設備面から高い圧力保持が難しい場合があるほか、休止期間の長さや土質条件、周辺条件などを勘察し十分な検討が必要となります。

また、最近ではチャンパ内の泥水を休止中ゲル化しておき、解ゲルした後に再発進するという工法もあります。

(3) 土圧式シールドの留意点

土圧式シールドの場合の切羽管理については泥水式の場合と基本的には同様に考えることができますが、切羽と隔壁の間に充填するものが、泥水でなく掘削土砂であるという点が異なります。

切羽の安定に必要な土圧を保持し、シールドの掘進量に合わせた土量の排出を行うためには、カットチャンパ内に充填した掘削土が適正な流動性・止水性を有することが重要になります。このため、泥土圧シールドの場合には、掘削対象地盤の性状に適した添加材を注入し、強制的に攪拌することにより、掘削土の塑性流動性を高め、止水性を有する泥土に改良しながら掘削を行います。

ここで、添加材と地山の不適合などにより適正な塑性流動化が行えない場合、チャンパ内で掘削土砂が圧密され、付着・固化してしまうことがあり、排土不良の原因となる場合があります。この場合、適切な切羽圧管理や排土ができないことか

ら、周辺地盤に影響を与える、計画どおりの速度での掘進ができない、などのトラブルが生じることが考えられます。このことを防止するために、

- ① 計画段階での添加材選定を適正に行なう
- ② 添加材注入口を複数用意し、適宜変更する
- ③ 切羽土圧計を複数設置し、塑性流動化の状況を逐次監視する
- ④ スクリューコンベヤから排出される土砂の性状を逐次監視し、添加材の性状・注入量を適宜調整する

ことが重要となります。

また、停止時の切羽圧管理について、泥水式の場合には切羽圧保持回路により加圧状態を保持することができますが、土圧式の場合には停止時の切羽土圧を加圧状態に保持することができないので、自然水位を十分に監視する必要があります。

(文責：渡辺重人/大成建設(株))

参 考 文 献

- 1) 土木学会, 2006年制定トンネル標準示方書, シールド工法・同解説, 2006.7.
- 2) 地盤工学会編, シールド工法の調査・設計から施工まで, 1997.2.

Q 10. シールド近接施工における現場計測管理について教えてください。

A. シールド工法は、開削工法と比較して、適切な施工管理を行うことにより、周辺地盤への影響を比較的小さく抑えられるうえ、道路交通の阻害が少なく、騒音振動の発生も比較的抑制できることから、都市部における鉄道、道路、電気・通信、上・下水道などの工事で多く採用されています。

これら都市部での工事においては、周辺に多くの重要構造物が存在するため、それぞれの構造物に対する影響度合いを予測し、必要な防護措置などを行ったうえで施工しますが、予測時のモデル化誤差や施工管理上の問題から、予想外の影響が発生することも想定されます。

このため、施工に合わせ実際に構造物の挙動を測定・監視することが重要であり、現場における

変状計測を行っています。
(1) 計測項目と計測方法

計測計画の立案にあたり、まず最初に計測範囲(影響範囲)の設定を行います。一般的にはシールドトンネル下端から、 $45^\circ + \phi/2$ (ϕ :内部摩擦角)の範囲内を計測範囲とし、この範囲内に存在する構造物の中から各構造物の管理者と協議のうえで計測対象を決定します。

それぞれの構造物では、①計測対象構造物の重要性と社会生活への影響度、②予想される挙動と許容値、③構造物・地盤の挙動把握の方法、などが異なるため、これらを考慮した計測計画を立案します。ここでは、各構造物に対する工事の影響

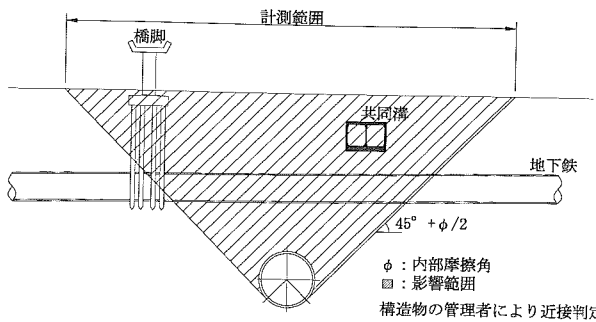


図-1 計測範囲の決定

をリアルタイムに把握し、速やかに工事に反映させることが重要であり、パソコンなどを利用した自動計測システムを採用し、NTT回線などを利用して管理事務所などで常時監視できるシステムとすることが一般的です。

表-1にシールド工事における一般的な計測対象物と計測項目、計測目的、使用する計器の例を、表-2に計測項目ごとによく使われる各計器の特徴を示します。

(2) 計測管理

現場計測の計測管理は、①事前計測、②本計測(通過時計測)、③事後計測、の3段階に分かれます。

- ① 事前計測：シールドが影響範囲に到達する前に実施し、構造物の日常的な挙動や計測誤差を予め把握する(通常1か月程度)。
- ② 本計測：シールドの影響による構造物の挙動を把握し、構造物の安全管理をリアルタイムで行う。
- ③ 事後計測：シールドが影響範囲を通過した後の、後続挙動を確認するほか、挙動の収束により計測の継続・打ち切りを決定する(1~3か月程度)。

表-1 計測項目

計測対象	計測項目	目的	計器
地上構造物 (鉄道、道路などの橋脚およびビルなどの建造物)	鉛直変位	シールド通過に伴う構造物の鉛直変位・水平変位・傾斜を計測し安全性を確認する。	・トータルステーション
	水平変位	シールド通過の事前、事後を通じて計測することにより施工の影響の有無を確認する。	・水盛式沈下計
	傾斜		・電子レベル・スタッフ
			・固定式傾斜計
周辺構造物 (地下構造物(鉄道、道路施設、地下道、通信施設および上下水道など))	鉛直変位	シールド通過に伴う構造物の鉛直変位・水平変位・傾斜を計測し安全性を確認する。	・トータルステーション
	水平変位	シールド通過の事前、事後を通じて計測することにより施工の影響の有無を確認する。	・水盛式沈下計
	傾斜		・電子レベル・スタッフ
	セグメント目開き	シールド通過における既設シールドなどの目開き量・目違い量・内空変位を計測し安全性を確認する。	・目開き計
	セグメント目違い	シールド通過の事前、事後を通じて計測することにより施工の影響の有無を確認する。	・継目計
	内空変位		・カンチレバー式変位計 ・継目計
周辺地盤	地表面鉛直変位	地表面を測量することにより施工の影響による鉛直変位の有無を確認する。	・ワイヤー式変位計 ・レーザー距離計
	地中層別鉛直変位	シールド施工による地中内層別の沈下量を計測する。	・水準測量(手動) ・水盛式沈下計
	地中水平変位	シールド施工による地中水平変位量を計測する。	・層別沈下計 ・挿入式傾斜計 ・多段式傾斜計

このうち、シールド施工の影響が即時に表れるのは本計測の期間であり、この期間の日常管理体制を充実する必要があるため、この期間中のデータは施工の進捗状況と合わせて検討し、構造物の安全性を確認するとともに、逐次結果を施工に反映させてゆきます。

表-2 各計器の特徴

計測項目	計器名称	長所	短所
水平・鉛直変位	トータルステーション	・変位3成分が計測可能である。 ・視通の効く範囲内にプリズムを配置することにより計測可能。 ・各測点への配線作業が不要。 ・設置作業、撤去作業が比較的容易である。	・測定距離に比例して誤差が大きくなる。 ・環境(温度、湿度、大気状態)による影響を受けやすい。 ・1回あたりの計測に時間を要する。
鉛直変位	電子レベル・スタッフ	・設置作業、撤去作業が比較的容易である。	・環境(温度、湿度、大気状態)による影響を受けやすい。
	水盛式沈下計	・定期的なメンテナンスをすることにより長期的に安定した測定が可能である。	・測点ごとに配線のほかに水管、エア管の配管が必要である。 ・温度変化の影響を受けやすい。
傾斜	固定式傾斜計	・計測ごとの誤差が小さい。 ・長期的に安定した計測が可能である。	
セグメント目開き	目開き計	・設置が容易である。	・セグメント間の相対変位量の測定となる。
セグメント目違い	変位計	・設置が容易である。	・セグメント間の相対変位量の測定となる。
内空変位	レーザー距離計	・計器とターゲット間の距離をリアルタイムに計測できる。	・遮蔽物があると測定が不可能である。
地中層別沈下	ワイヤー式変位計	・ボーリング孔内の層ごとにアンカーを設置することにより各層別の鉛直変位測定が可能である。	・地上部に変換器を設置および配線する必要があり、施工上の支障となる場合がある。
地中水平変位	挿入式傾斜計	・測定精度が高い ・測定管のみ設置のため、維持管理が容易である。	・手動測定のため、測定上にさまざまな制約を受ける場合がある。 ・自動計測システムに組み込むことが不可能。
	多段式傾斜計	・自動計測システムに組み込み可能である。 ・測定に際し天候や現場作業上の制約を受けない。 ・計測頻度を上げることにより、リアルタイム計測が可能である。	・測定精度が挿入式より若干劣り、埋設ピッチの関係から測定結果は全体の傾向を示す程度となる。 ・挿入式傾斜計を精査用に併設することが望ましい。

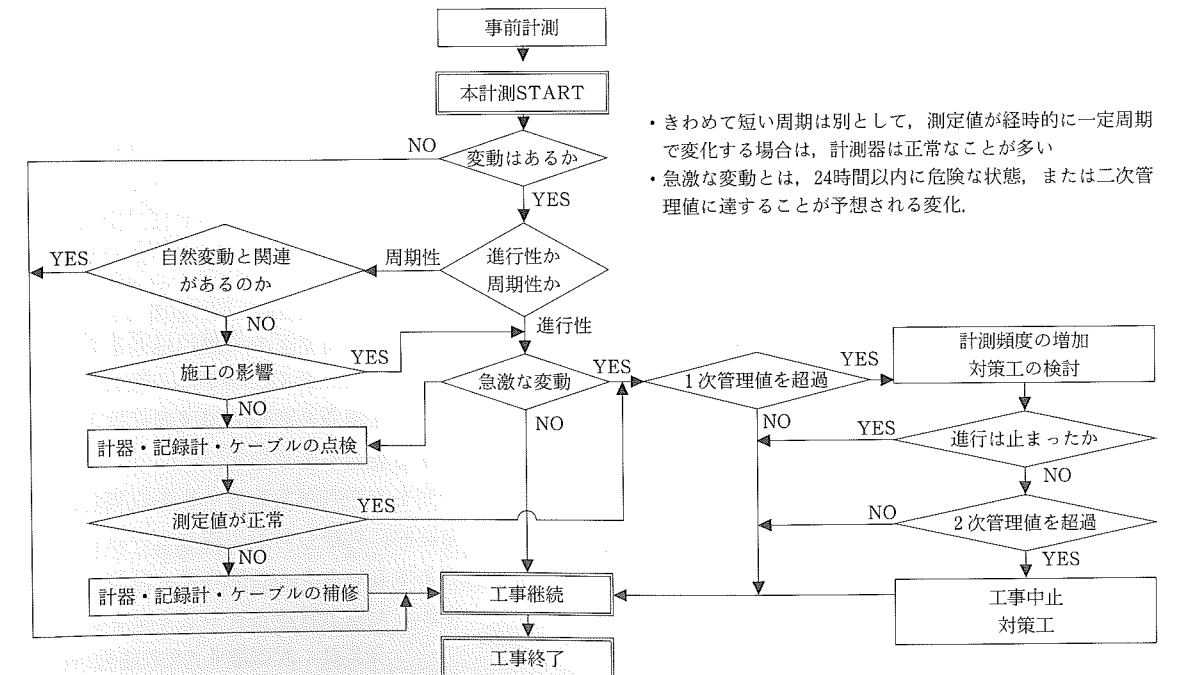


図-2 本計測時における日常管理フロー

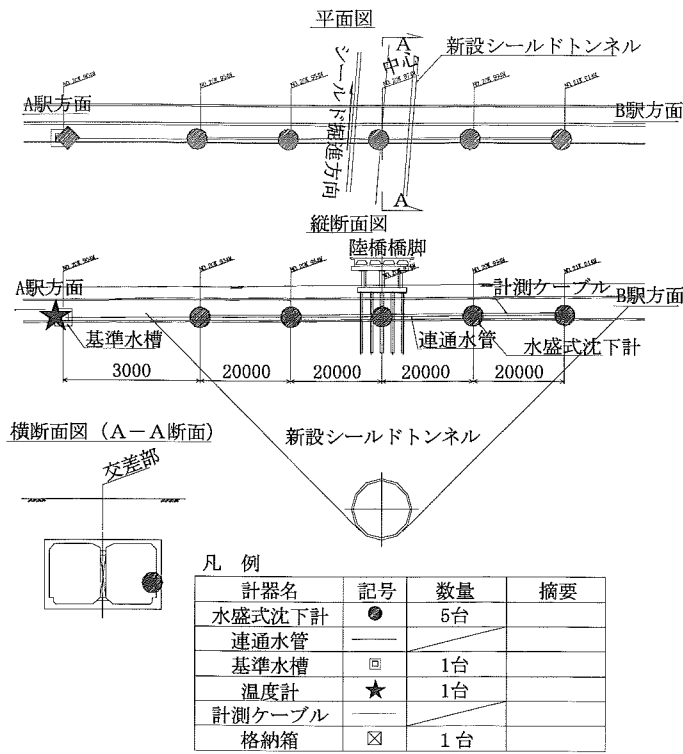


図-3 計器配置図

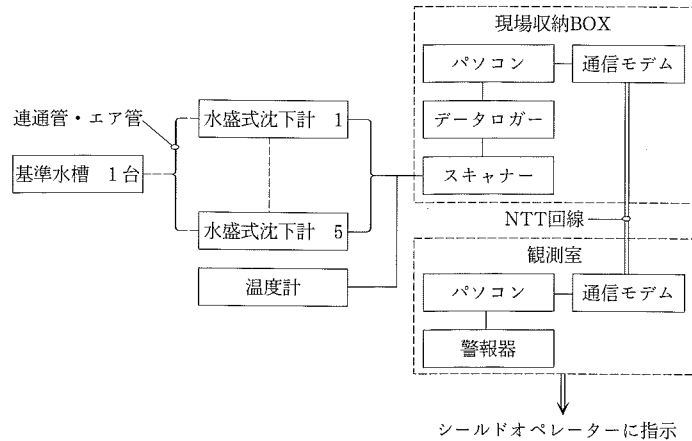


図-4 システムフロー図

また、近接構造物に対する現場計測は、対象構造物の機能の維持・保全を目的とするため、例えば許容値に対し70%(1次管理値)、80%(2次管理値)などの管理値をあらかじめ設置しておき、それぞれの管理値に達した時点での対策・連絡体制などをあらかじめ決定しておきます。

これら、許容値の考え方や管理方法などについては、各構造物の施設管理者が各々で基準を有し

ている場合が多いので、計画策定時にはこれらに従うことになります。

図-2に一般的な日常管理のフローを示します。

(3) トライアル施工

近接施工における計測管理では、先に述べたような重要構造物の挙動確認のほかに、重要構造物付近を掘削する前に周辺地盤などへの影響を確認し、施工管理上の各管理値の妥当性を確認(場合によっては事前修正)しておくことを行う場合があります、これをトライアル施工といいます。

例えば、シールド発進基地内などに層別沈下計などを設置しておき、その地点での地盤変状解析と比較し、解析時に使用した地盤常数や解放率が適正であったかを事前に照査しておくことなどがこれにあたります。

(4) 計測計画の実施例

既設地下鉄トンネルをシールドが下越した場合の計測計画例として、図-3に計器配置図を、図-4にシステムフロー図を示します。

(5) 計測管理における留意点

ここまででは現場計測管理における計画や考え方について述べましたが、実際の計測管理においては、出力されたデータに対する評価や分析が重要になります。

大きなトラブルの前には必ず予兆があるとされていますし、反対に現場に異常がなくても機器の故障や温度変化などで異常値を検出する場合があります。

立派な計測を実施し多くのデータを収集したとしても、最終的に判断し対策を講じるのはわれわれ技術者であるということを忘れず、計測データを十分に生かした施工管理を行ってください。

(文責：渡辺重人/大成建設(株))

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL

第27回エンジニアリング
功労賞が決定

エンジニアリング功労者賞は、(財)エンジニアリング振興協会が、エンジニアリング産業の振興発展に著しく貢献したグループ(チーム)および個人を表彰するもので、グループ表彰として11件、個人表彰として1件が選定された。

トンネル技術では、「南田中トンネル築造工事チーム(東京都建設局・大成建設)」がエンジニアリング振興部門で受賞した。環状8号線の建設における地下水流動保全対策として、海洋土木技術である沈埋工法の原理を都市土木に適用した水中躯体移動設置工法を成功させた、先駆的な実績と技術が評価された。

第9回国土技術開発賞

「国土技術開発賞」は、(財)国土技術研究センターが(財)沿岸技術研究センターとの共催で建設産業における優れた新技術およびその開発に貢献された技術開発者を対象に表彰する事業。今回は最優秀賞1点、優秀賞3点、入賞5点が選ばれた。

トンネル技術では、優秀賞として、「大断面分割シールド工法(ハーモニカ工法)」が選定された。大断面シールド工法に比べ小土かぶりでの施工が可能で、掘進に伴う仮設備が小型化できること、線形の自由度が高いこと、従来の非開削工法に比べ、工期の短縮やコストの低減を可能としたことなどが評価された。

鳥越トンネルが貫通式を挙行

福岡県が整備を進めてきた「緊急地方道路整備事業・主要地報道筑紫野大宰府線トンネル新設工事」の「鳥越トンネル」が貫通式、貫通式を迎えた。

同トンネルは2車線の道路トンネルで、延長234m。NATMによる片押し施工で、約5か月で貫通した。

三陸縦貫釜石山田道路
両石トンネル貫通

岩手県釜石市と山田町を結ぶ三陸縦貫自動車道釜石山田道路の両石トンネルの貫通式が釜石市両石町の同トンネル内で開かれた。

両石トンネルは、延長1,209m、幅員12m(2車線)で、2006年2月から本格的な掘削を始めた。今後トンネル内部などを整備し、2008年3月に完成する予定。

釜石山田道路(延長23km)のうち、同トンネルを含む釜石市片岸町から両石町の先行整備区間4.6kmは、2010年度中の開通を目指す。

三遠南信自動車道
久井田トンネル(仮称)が貫通

長野県飯田市(中央自動車道)と東名高速三ヶ日JCTを結ぶ三遠南信自動車道の一部で、愛知県新城市と静岡県浜松市を結ぶ「三遠道路」にある五つのトンネルのうち、久井田トンネル(仮称)が貫通した。

同トンネルは、延長1,598m、幅9.5mの2車線。2005年12月から掘削を開始して20か月で貫通した。

五つのトンネルのうち、すでに別所トンネル(仮称)L=948mが貫通しており、今後、掘削中である三遠トンネル(仮称)(L=4,525m)、大島トンネル(仮称)(L=172m)、掘削準備中である名号トンネル(仮称)(L=1,056m)などの工事を進め、第二東名引佐JCT(仮称)から鳳来IC(仮称)までの約14km区間について、早期開通を目指し工事を進める。

海底トンネルが完成

新日本石油は、グループ企業であ

る新日本石油化学川崎事業所において、2006年8月から川崎地区と浮島地区間の海底下で進めていた海底配管を敷設するトンネル工事が完成したと発表した。

海底トンネルの規模は直径2.2m²、全長1.2km。工事は推進工法が採用され、特殊な掘進機および推進管を使用し、同工法としては例を見ない長距離、大深度(地下30m以上)での工事であった。

国道201号バイパス
鳥尾トンネル貫通

福岡県飯塚市と田川市を結ぶ国道201号飯塚区内田川バイパスの「鳥尾トンネル」(仮称)が貫通式が挙行された。国や県、両市の関係者らが出席し、通り初めなどで祝った。同トンネルは飯塚市から糸田町までの延長1.54km、有効幅員10.5m(2車線)で、来年度中の開通を予定している。

福島西道路PIで
トンネル案を選定

国土交通省福島河川国道事務所・福島県・福島市が検討していた福島西道路の南伸について、「トンネル案」を概略計画として確定した。今後は、福島県において「都市計画と環境影響評価」の手続きが進められることとなる。

同事業では、福島都市圏の慢性的な交通渋滞解消を図り、幹線道路の円滑な交通を確保するための「福島西道路のあり方と必要性も含めた南伸の検討」をPI手法により平成17年度から行っていた。

高架橋案とトンネル案の比較から、冬季間の通行安全性、生態系の分断への影響の少なさ、高架橋に比べ維持管理費が少ないことなどについてトンネル案が優位となった。

題や市民理解活動などではわが国と同様な課題を抱え対応していることが感じられた反面、安全面の考え方や労働環境、一部の技術的な見解についてはわが国との風土や歴史の違いを感じずにはいられない。これらの違いを検討してみることにより、技術のさらなる発展が図られるのではないだろうか。

今回訪問した3都市は、ハプスブルグ家の遺功輝くウィーン、旧市街全体が世界文化遺産として登録されているプラハ、そして商業都市として栄えるライプチヒである。それぞれが都市として長い歴史と重厚な文化を持ち独特の雰囲気を醸し出す中、音楽の街として共通する。ベートーベンやモーツァルトをはじめとするウィーン古典派の活躍、スメタナ、ドボルザークのプラハ、そして教会音楽を確立したバッハと管弦楽団を創立したメンデルスゾーンのライプチヒ。週末にはモールで弦楽四重奏が演奏(写真-24)されたり、ゴシック建築の教会やホールでも多くのクラシック音楽の演奏会が開かれている。このような17~18世紀の息吹が感じられる一方で、次世代に向けて積極的にインフラ整備が行われている。「サステナビリティ」を実現している街と言ってよいのではないだろうか。

街づくりに興味のある私にとって、路面電車についても報告しておきたい。石畳の坂をゆっくりと登るプラハのトラム、中央駅前に各方面行きの路面電車が並ぶライプチヒなど、今回訪問した3都市すべてで路面電車は市民の足として活躍していた。とくにウィーンは世界一の路線網を持ち、いち早く低床車両を導入している(当地ではULF



写真-24 モールでの弦楽四重奏



写真-25 ウィーンの路面電車

とやっているよう。写真-25はボルシェによるデザイン、シーメンス社製のULF)。また、一部を地下に引き込むことで地下鉄との相互利用の利便性を向上させている。

以上のようにトンネル技術は、安全で安心、環境に優れた国土や都市を形成していくうえで、欠かせない技術であることを再認識した。やはり“百聞は一見にしかず”である。このような有意義な視察を企画していただいた日本トンネル技術協会をはじめ、関係された皆様に心から感謝申し上げます。

(文責：竹内友章・東京電力(株))

続きみの庭にも温泉が出る

その後の温泉開発と建設の考え方

石井康夫・俣野恭寛 共著 新書判 217頁 本体定価 1,200円(¥210円)



〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

連載講座

シールド工事の施工に関するQ&A(4)

JTA都市トンネル小委員会

Q 11. 発進・到達工法で仮壁撤去工法と仮壁切削工法の得失について教えてください。

A.
(1) 仮壁撤去工法と仮壁切削工法について
シールドの発進・到達工法は、事前に仮壁を撤去しておく方法(以下、「仮壁撤去工法」と、シールドで直接仮壁を切削する方法(以下、「仮壁切削工法」)に分けられます。仮壁撤去工法は、鏡撤去時の地山崩壊の防止、およびシールドの残置・シールド引き出し時の地盤変状の防止を目的に、補助工法(薬液注入工法、高圧噴射攪拌工法、凍結工法、地下水位低下工法など)の採用を前提として施工します。

一方、仮壁切削工法は発進部や到達部の土留め壁をシールドで直接切削する工法、および土留め壁の芯材を引き抜いて直接地山を掘削する方法で、NOMST、SEW工法、EW工法、芯材引き抜き工法などが挙げられます。各工法の特徴を表-1に示します。

(2) 施工実績

シールド発進時の仮壁撤去工法と仮壁切削工法について、シールド外径、地下水圧に着目した結果を図-1, 2に示します³⁾。仮壁切削工法は、シールド外径6m未満の中小口径では2割弱の採用ですが、それに対して大口径では半数程度の工事で採用されています。大口径の場合には、鏡切り時に地山を

開放する期間が比較的に長いため、地山崩壊の危険性、地上および地下埋設物への影響を考慮して仮壁切削工法の採用が多いと考えられます。

また、地下水圧に対しては、高水圧になるほど仮壁切削工法が多く採用されており、200kPa以上の地下水圧では仮壁切削工法が約4割の比率となっています。また、対象土質が玉石・砂礫地盤で、かつ礫径が大きい場合には高圧噴射攪拌工法

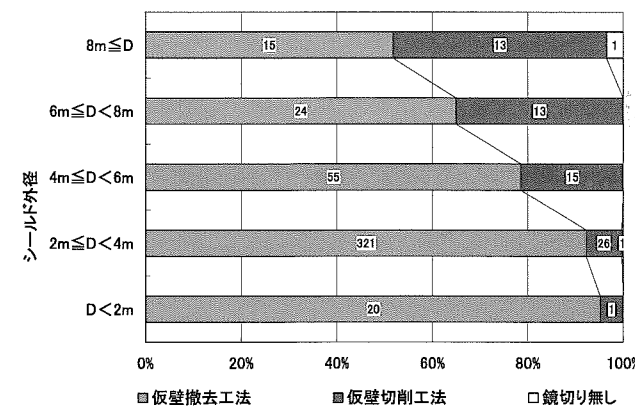


図-1 シールド外径別の実績

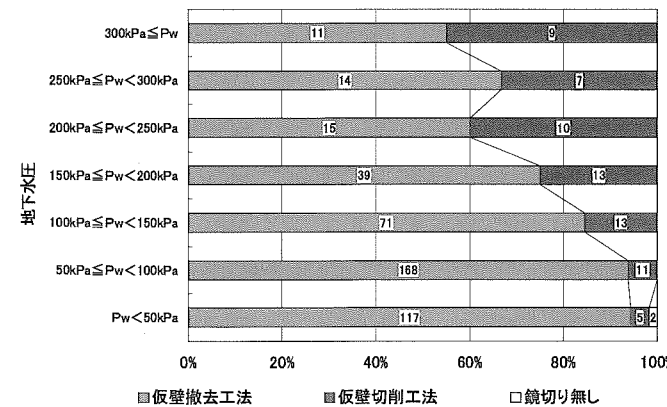
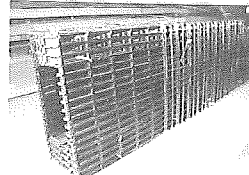
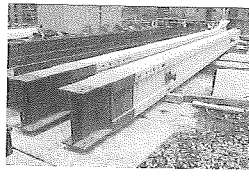
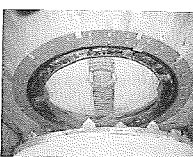
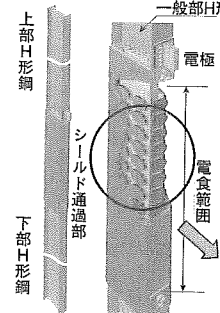
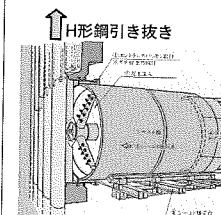


図-2 地下水圧別の実績

表-1 仮壁切削工法の特徴

工法名	NOMST ¹⁾	SEW工法	EW工法 ²⁾	芯材引き抜き工法
項目	仮壁を直接切削する方法		仮壁を溶解, または引き抜く方法	
工法概要	<p>NOMSTはシールドのカッタビットで切削可能な高強度炭素繊維樹脂と石灰石コンクリートやモルタルのRC構造部材を直接切削する。</p>  <p>NOMST-GRM打設前</p>  <p>NOMST-GRM打設後</p>	<p>硬質発泡ウレタン樹脂をガラス長繊維で強化したFFU部材を直接切削する。</p> 	<p>電食技術の利用により土留め壁の芯材を撤去する。</p>  <p>上部H形鋼 一般部H形鋼 電極 電食範囲 シールド通過部 下部H形鋼</p>	<p>シールド発進時に土留め壁のH形鋼を引き抜く工法である。</p>  <p>H形鋼引き抜き</p>
適用可能な立坑形式	<ul style="list-style-type: none"> 柱列式地下連続壁(SMWなど) RC連続壁 ケーソン 	<ul style="list-style-type: none"> 同左 	<ul style="list-style-type: none"> 柱列式地下連続壁(SMWなど) ケーソン 鋼矢板, ライナープレート 	<ul style="list-style-type: none"> 柱列式地下連続壁(SMWなど)
工法の特長	<ul style="list-style-type: none"> 地山を開放する作業がないため, 安全性の向上が図れる。 地盤改良は原則不要である。 	<ul style="list-style-type: none"> 同左 	<ul style="list-style-type: none"> 地山を開放する作業がないため, 安全性の向上が図れる。 地盤改良などの補助工法が不要である。 芯材に通常のH形鋼を使用可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 同左
立坑築造時の施工性	<ul style="list-style-type: none"> 立坑施工時は通常施工で対応可能 立坑施工やNOMST切削時の地山の緩み, 大割れ防止のための地盤改良の必要性を検討する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 同左 同左 FFU部材の剛性が芯材に比較して小さいために, 掘削に伴う土留め壁の変形に注意する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 杭芯材建て込み時に, 電食杭芯材とオーガとの干渉を防止するため, 削孔と建て込みの施工順序の検討が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> 立坑施工時にソイルセメントとH形鋼との付着防止を行う。 杭を抜いた部分は, 土留め壁の剛性がないため, 構造物を先行して打設するなどの対処が必要である。
シールド発進・到達時の施工性	<ul style="list-style-type: none"> NOMST材料により, シールドについてはNOMST壁切削用ビットの形状, 材質, 配置を検討する必要がある。 推進速度は1~3mm/分程度で制御する。 推進機構としては, 低速推進装置を検討する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> SMWなどでは通常の先行ビットで対応可能であるが, ケーソン・RC連続壁の場合は先行ビットの追加の検討が必要である。 推進速度は3mm/分程度で制御する。 	<ul style="list-style-type: none"> 電食期間が比較的長く, 電食期間中はエントランス内に泥水などを充填して, 切羽を保持する必要がある。 電食後は杭の剛性が小さくカッタビットの負荷が少ない。 推進速度は5~10mm/分程度で制御する。 	<ul style="list-style-type: none"> 杭の引き抜きの施工前に, シールドのチャンパ内に泥水などを充填して, 切羽を保持する必要がある。
実績(H18.3.末)	196件	89件	11件	5件

による改良では礫の背面部に未改良部分が残るなど, 地盤条件によっても発進・到達時の危険性をなくすため, 仮壁切削工法が選択肢となります。

到達についても発進と同様の傾向であり, シールド外径, 地下水圧, 土質などを考慮して両工法を選択しています。

(3) 仮壁切削工法の留意点について

1) カッタビット

仮壁切削工法はシールドのカッタビットで直接切削する方法, 芯材を電食による溶解・劣化させる方法または引き抜く方法に分類でき, 前者は地盤条件に対する検討を実施するとともに, 仮壁切削に対するビットの形状, 材質, 配置などの検討が必要となります。

図-3に示すように切削概念には, 大きく2通りあり, 削り取るタイプ(山形・平形ビット)とはつり取るタイプ(強化先行ビット)に分けられます。

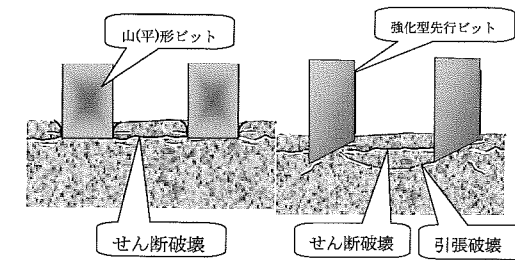
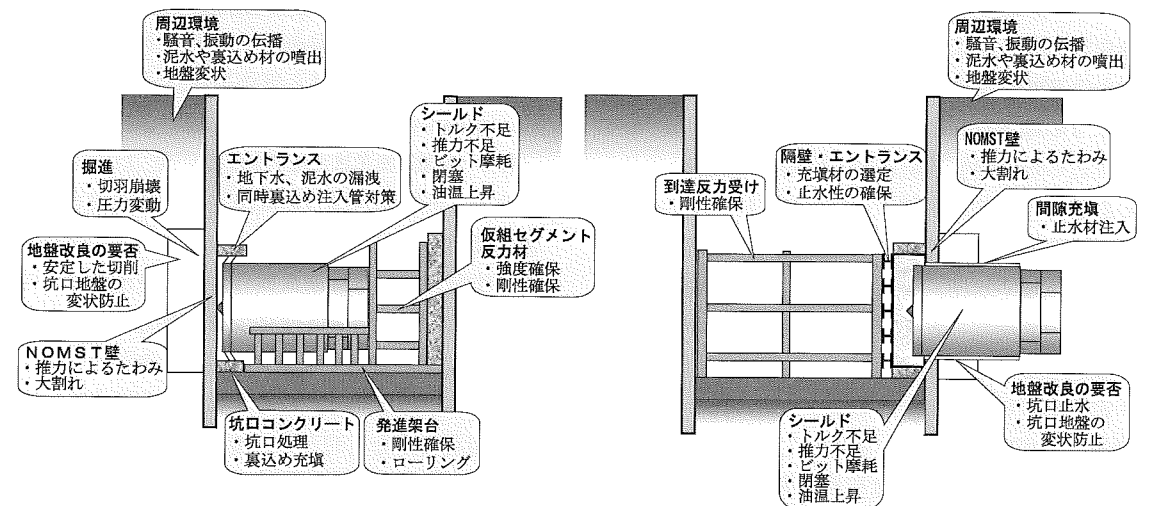


図-3 カッタビットの切削概念



(1) 発進

(2) 到達

図-4 仮壁切削工法における地盤改良の必要性の検討(NOMSTの例)

高水圧に耐えるエントランスパッキンによる確実な止水を確保する必要があります。図-4に仮壁切削工法における地盤改良の検討項目の例を示します。

とくに地盤変状に対する地盤改良の要否の検討項目として、地山貫入時の切羽圧力変動、立坑施工時の地盤の緩み、立坑掘削に伴う仮壁部などの変形による隙間、仮壁部の大割れの防止などが挙げでき、これらの対策として地盤改良の要否を検討する必要があります。

(文責：早川淳一/佐藤工業(株))

参考文献

- 1) NOMST研究会：NOMST発進・到達工の手引き，2006.6.
- 2) (財)下水道新技術推進機構：電食技術による直接発進到達工法 技術マニュアル，2002.6.
- 3) JTA都市トンネル小委員会：シールド発進・到達実態調査報告(2)，トンネルと地下，Vol.36，No.2，pp.55-61，2005.2.

Q 12. 発進，到達時における地盤改良工法の種類と得失を教えてください。

A.

(1) シールドの発進，到達時の地盤改良

シールドの発進および到達時における地盤改良の目的は、①仮壁撤去時の地山の安定確保および地下水の流入防止、②シールド周辺部よりの地下水および土砂の流入防止、③立坑周辺の地表面沈下防止および地下埋設物への影響防止、などが挙げられます。

発進および到達における地盤改良の選定は、地盤条件、地下水圧、シールド径、土留め壁の形式、開放の放置期間などを考慮して安全で、かつ経済的な工法を選定する必要があります。

密閉型シールドの発進および到達のための地盤改良として用いられている主な工法は、図-1に示すように「薬液注入工法」、「高圧噴射攪拌工法」および「凍結工法」などがあり、多くがこれらの単独または組み合わせにより採用されています。

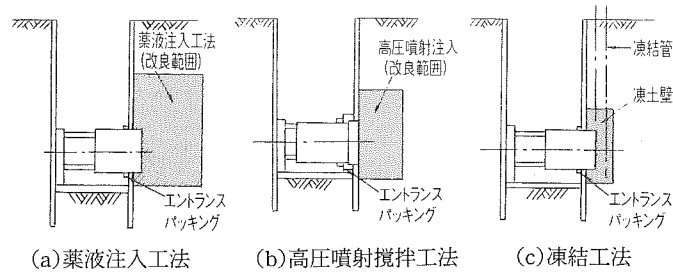


図-1 発進・到達時の地盤改良工法¹⁾(代表例)

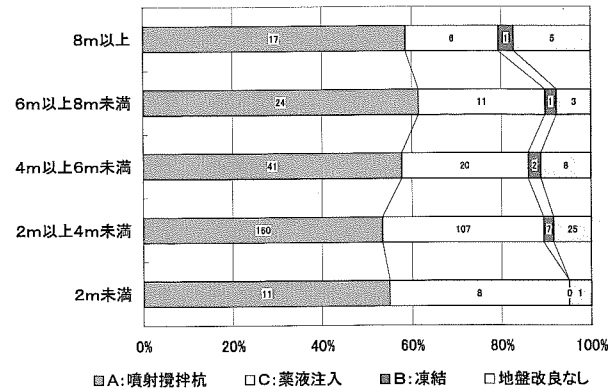


図-2 地盤改良工法とシールド外径の関係²⁾

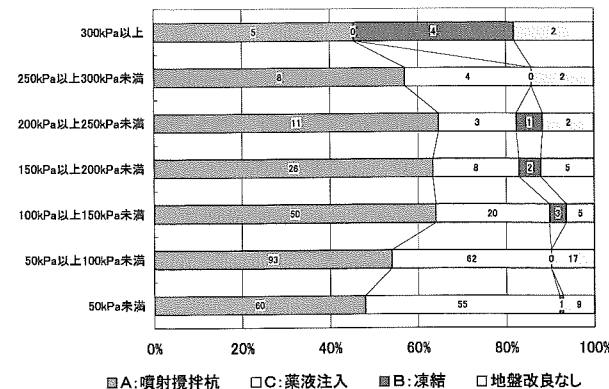


図-3 地盤改良工法と地下水圧の関係²⁾

また、一部開放型シールドを適用する場合や、硬質地盤を対象とする場合の発進・到達防護工については、地下水の流入防止を目的としてディープウェル工法やウェルポイント工法などの地下水位低下工法を適用する場合があります。

とくに、最近の傾向としては図-2, 3に示すように、切羽安定を目的とした地盤改良の種類を比較した結果、シールドの大断面化や大深度化に伴い、従来の薬液注入工法に代わって長期間安定し十分な耐力が得られる工法として、高圧噴射攪拌工法

(噴射攪拌杭)が増加している傾向にあります。また、300kPa以上の高水圧条件下では凍結工法の比率も増加する傾向が見受けられます。さらに、同一の調査によると切羽を開放することなくシールドを直接発進・到達させることができ、安全性に優れた「仮壁切削工法」なども普及しています。

ここでは、主に地盤改良工法および地下水位低下工法の概要および得失を以下に示します。

(2) 地盤改良工法の種類と得失

1) 薬液注入工法

当工法は、注入材料を地盤の隙間に圧入して固結させることにより、地盤の止水性を高め地盤強度の増加を図る工法です。このため、シールドの発進および到達については、トンネル周辺地山の透水性を改良し、トンネル坑口部から地下水や土砂が坑口に流入するのを防止する目的で使用されます。当工法は、他の工法に比べて経済的な工法ですが、粘性土および硬質地盤では地盤隙間への注入が難しく、地盤の隆起などが生じて注入による影響がでる場合があります。

また、砂質土系地盤でも改良強度には限界があり、高圧噴射攪拌工法や凍結工法のように仮設構造物として評価できるような改良効果は期待できません。このため、一般には緩い砂層に適用される場合が多く、改良効果は主に粘着力の増強になります。砂質土の改良粘着力としては50~100 kN/m²程度が期待できるもので、透水係数は10⁻⁴~10⁻⁵cm/sec程度に改良されます。

2) 高圧噴射攪拌工法

当工法は、ジェットグラウトやスーパージェットなどに代表される工法で、超高圧噴流により地盤を切削し、地盤硬化材を充填して切削部分の土砂と硬化材を混合または置換して高強度の改良体を形成する工法です。シールドの発進および到達では、仮壁の外側に改良ゾーンを形成し、仮壁撤去時の土圧および水圧を抑えることを目的とします。

当工法は、地山の土粒子と硬化材の混合物による置換の形態をとるため、改良体の設計強度は地盤および硬化材の種類によって異なりますが、均

質で高強度な改良体が得られます。このため、一般仮設構造物と考えて改良厚を設定します。

当工法の適用地盤は、各工法によって異なりますが、粘性土や砂礫、硬質地盤などの幅広い地盤での改良が可能で、改良体の標準型タイプでの設計基準強度は、粘性土で1 MN/m²、砂質土で3 MN/m²程度が期待でき、透水係数は10⁻⁶~10⁻⁷ cm/sec程度になります。留意点としては、施工深度が40m程度を超える場合には、造成径が変化して十分な改良杭の造成ができない場合があるので、実績などを勘案して別途検討が必要になります。

3) 凍結工法

凍結工法は、軟弱な地盤や地下水のある地盤を一時的に凍結固化させ、凍土による遮水性と高い強度を有する遮水壁または耐力壁を構築します。

当工法をシールドの発進および到達に適用する場合、とくに施工深度が大きく水圧が高い場合に効果的で、他の改良工法と比べて、①改良にむらがなく力学的性質が優れている、②地中温度測定による改良範囲・改良体強度の把握・管理が確実にできる、③他構造物との密着性に優れ公害性がない、などの利点があります。その反面、改良(凍土造成)期間が長く施工期間中の設備スペースが必要で、他工法と比べて改良単価が高くなるなどの課題があります。

さらに、当工法はほとんどの地盤に適用できませんが、粘性土地盤においては凍結・融解に伴う凍結膨張・解凍収縮が生じる場合があります。また、ブライン方式の場合は地下水流が2 m/day³⁾を超える地盤では正常な凍土造成が阻害されることもあるため、それらの地盤については別途検討が必要になります。

凍結した地盤の改良範囲などの検討では、高圧噴射攪拌工法と同様に仮設構造物的な設計を行います。このとき、適用する設計基準強度としてはおおむね粘性土で3 MN/m²、砂質土では4.5 MN/m²(-10℃)程度期待でき、高水圧条件下においても非常に小さな透水係数が得られます。ただし、留意点としては、塩分を含んだ砂質土などでは改

良強度が低下することが挙げられます。

4) 地盤と地盤改良工法の適用性

図-4~5に実績調査にもとづいた、シールド発進・到達時における地盤と切羽安定を目的とした地盤改良との関係を示します。

発進部においては、砂質土および粘性土などの緩い地盤では、高圧噴射攪拌(噴射攪拌杭)工法が70~90%と多く採用されています。

また、到達部においては発進部と同一傾向にあるものの、高圧噴射攪拌工法の比率が低下して薬液注入工法が増加する傾向にあります。

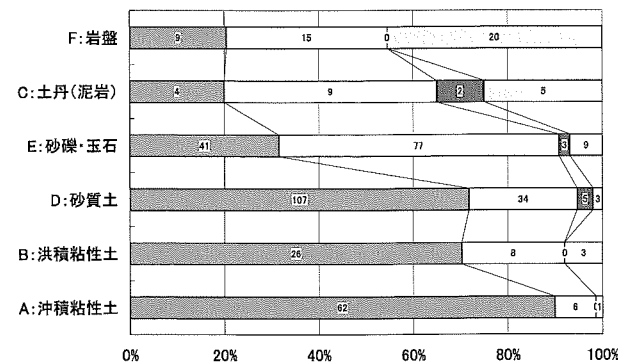


図-4 発進部の地盤と地盤改良の種類³⁾

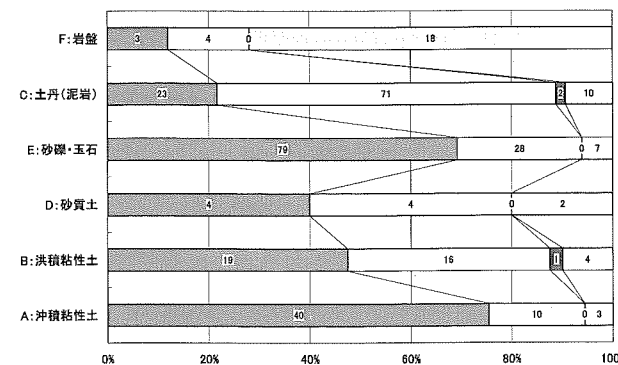


図-5 到達部の地盤と地盤改良の種類⁴⁾

表-1 設計基準強度のまとめ

	改良体の設計に用いる強度(設計基準強度)		
	薬液注入工法	ジェットグラウト工法	凍結工法
砂質土の改良	50~100kN/m ²	1~3 MN/m ²	4~7 MN/m ²
粘性土の改良	—	1 MN/m ²	2~4 MN/m ²
備考 (協会などの使用例; 呼称)	改良粘着力	一軸圧縮強度	一軸圧縮強度 (-10℃)

これは、発進部では縦断(進行)方向の土・水圧に対抗するせん断強度($\tau = C = q_v/2$)が必要であることが挙げられます。また、到達部では薬液注入工法の場合、鏡切りを施工する前に容易に追加注入を行えることに起因するものと考えられます。

以上のことから、主な地盤改良工法における改良体の設計に用いる強度を表-1に示します。

(3) 地下水位低下工法の得失

地盤改良工法とは異なりますが、その他の切羽安定を目的とした補助工法として薬液注入との併用で地下水位低下工法が用いられた例があります。

当工法は、一般に発進・到達における単独の防護工としてではなく、硬質地盤などで開放型シールドなどを選定したときに、地山の(間隙)水圧を低減して切羽安定のための補助工法の一環として、発進・到達を含めたかたちで適用される場合があります。

地下水位低下工法としては、シールド下端が地表よりおおむね6~7mと浅い場合はウェルポイント工法が採用され、それ以深の場合はディープウェル工法が採用されます。また、地上からの施工が不可能な場合は、トンネル坑内から水平ボーリングなどによって地下水位低下を図る例もあります。

当工法は、シールドの大気圧条件下での施工を容易としますが、脱水による圧密沈下や井戸の水位低下などの周辺環境に影響を及ぼす場合もあるので、事前の検討および施工中の十分な計測・監視が必要になります。

(4) 地盤改良とエントランスペッキン

エントランスペッキンは、地盤改良を実施した場合でも、発進坑口とセグメントの間より地下水、泥水、泥土などの立坑内への流入防止と、裏込め注入材の流入防止を目的として用いられます。

一般に、地盤改良をシールド機長以上実施すれば、エントランスペッキンには水圧が作用しない構造となりますが、エントランスペッキンの設置により地

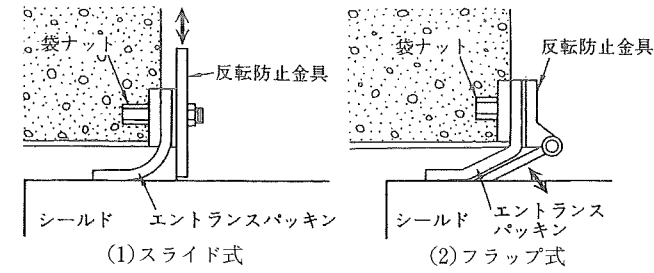


図-6 エントランスペッキン⁵⁾

盤改良の不良や掘進時のボイドからの地下水圧による出水にも対応が可能となります。

とくに、発進・到達時は掘進に時間を要することから、エントランスペッキンの重要性が高まり、2段パッキンのように高水圧に耐える構造の検討が必要になります。

図-6にスライド式およびフラップ式のエントランスペッキンの適用例を示します。

(文責: 齋藤優/(株)銭高組)

参考文献

- 1) シールドトンネルの新技术研究会: シールドトンネルの新技术, 土木工学社, pp.127-131, 1995.1.
- 2) (社)日本建設機械化協会: 地盤凍結工法-計画・設計から施工まで-, p.11, 39, 1982.2.
- 3) JTA都市トンネル小委員会: シールド発進・到達工実態調査報告(2), トンネルと地下, Vol.36, No.2, pp.55-56, 2005.2.
- 4) JTA都市トンネル小委員会: シールド発進・到達工実態調査報告(3), トンネルと地下, Vol.36, No.3, p.62, 2005.3.
- 5) (社)地盤工学会: シールド工法の調査・設計から施工まで, pp.186-189, 1997.2.

Q 13. セグメントの防水工の種類とその特性について教えてください

A. シールドトンネル内への漏水は、排水に伴うランニングコストの問題、鋼材の腐食やコンクリートの中性化などトンネルの耐久性に影響を与える問題に加えて、地下水位低下による地盤沈下や地下水流の阻害など周辺環境に影響を与える恐れもあるため、トンネ

ルの防水工は重要な課題です。

シールドトンネルの防水工は、背面側から順に、①裏込め注入材による防水、②セグメントに施す防水、③二次覆工、または一次覆工と二次覆工の間に施す防水(防水シートなど)に分けて考えることができます。

ここでは、セグメントに施す防水について、シール工を中心に紹介します。

(1) セグメントの防水工の種類と特性

セグメントは、図-1に示すように、継手面、裏込め注入孔、ボルト孔などに防水工が必要となります。

1) シール工

シール工は、セグメントの継手面に設けたシール溝の中にシール材を接着剤で貼り付けて継手間に挟み込むことで、材料のもつ弾性反発力や膨張圧により止水します。セグメントは、坑内を運搬して組み立てるため細かく分割されており、多くの継手面を有します。この継手面には、組立時の誤差や施工時や完成後の荷重による変形、地震や不同沈下の影響などにより、目開きや段差を生じるため、漏水がもっとも問題になる箇所であり、シール工は、セグメントの防水工の中でももっとも重要となります。

2) コーキング工

コーキング工は、セグメントの継手面内側にあらかじめコーキング溝を設けておき、組立後にコーキング材を充填します。コーキング材料は、エポキシ系とシリコン系が一般に用いられています。エポキシ系は湿潤状態でも接着性がよく経済的

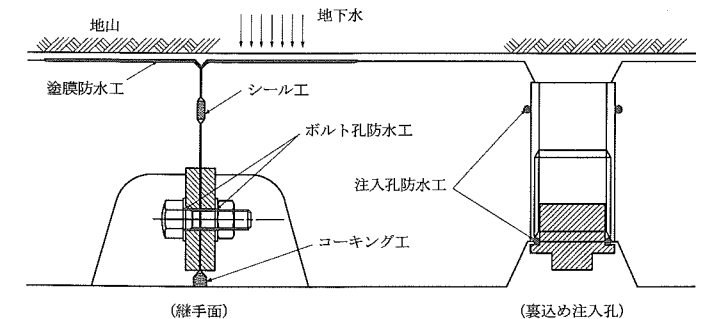


図-1 セグメント防水工の概要図

あり使用例が多く、シリコン系は変形への追随性に優れるなどの特徴があります。

コーキング工は、二次覆工省略型の場合、内面の平滑性を得る目的や防食対策としても施工されます。

3) ボルト孔の防水工

ボルト継手を採用する場合、ボルトワッシャとボルト孔の間にリング状のパッキン材を設けてボルト孔からの漏水を止水します。ボルト孔はシール工よりも内側にあるため、シールが効かなかった場合やクラックなどセグメントに損傷があった場合に機能します。

4) 注入孔の防水工

コンクリートセグメントの場合、裏込め注入孔の外周側に沿った漏水を防ぐため、注入孔の外周にパッキン材を取り付けます。また、裏込め注入孔の内側からの防水には、注入プラグのねじ込み部にパッキン材を取り付けます。しかし、それでも注入孔は漏水を起こしやすいため、同時裏込め注入を採用する場合などでは、セグメント吊り手兼用の注入孔は非貫通とすることも行われています。

5) 塗膜防水工

コンクリートセグメントの場合、注入孔やセグメント継手金具の周囲は、コンクリート厚さが薄くなり、防水上の弱点となりやすいため、高水圧が作用するような場合、セグメントの背面側にエポキシ樹脂などの塗膜防水処置を施すことがあります。

(2) シール材

1) シール材の種類・形状・配置

シール材は、シールド工法の発展とともに、ブチルゴム、加硫ゴム、ウレタン系のものなど、さまざまな材質のものが使用されてきましたが、最近では、水と反応して膨張する水膨張シール材が、止水性能に優れるため、ほとんどのシールド工事で採用されています。

水膨張系シール材には、クロロプレンゴムや天然ゴムなどの基材に吸水性樹脂や吸水性ウレタンを添加した均質材料のものと非膨張の材料と組み

合わせた複合型のものがあります。いずれも、その膨張圧によって止水を行うことが特徴ですが、適度な硬さとする事で、弾性反発力にも十分期待できます。このため、組立初期の水圧や目開きに対しては弾性反発力で対応し、長期的には弾性反発力が応力緩和で弱まった場合、膨張圧にも期待するなど、施工条件に応じたシール材の設計が可能です。

シール材の断面形状は、長方形、台形、突起付きのほか、ゴムガasketなど内部に中空部を設けたものがあります。台形は、同じ断面積の場合長方形よりも厚さを大きくできるため、初期の弾性反発力を大きくできる利点がありますが、反面、上辺の幅が小さくなるため、継手の目違いに対する余裕は小さくなります。

シール材の配置は、シール溝を設けたうえで、継手面の両面に貼るのが主流となっています。シール材は、シール溝に封入されることで、自封作用による接面圧力の増加が期待できます。なお、この場合、シール材の断面積は、シール溝の容積に対し100%以内としておく必要があります。一方、鋼製セグメントでは、シール溝を設けずに継手面の片面に貼るのが一般的ですが、最近では、確実な止水性を得るため、圧延過程で平鋼にシール溝を設けるケースも多くなっています。

また、止水性を高める必要がある場合は、シール材を内外2段配置とすることもあります。

2) シール材の設計方法

① 作用水圧に対する設計

シール材設計の考え方は、基本的に密封理論(パッキン理論)によります。これは、図-2に示すようにセグメント継手面に発生する接面応力が、作用水圧以上であれば漏水は生じないとの考えです。

シール材の設計は、施工時と供用時に分けて、それぞれ目開き量・目違い量、経時的な応力緩和や水膨張圧、自封作用など接面応力に影響を与える要因を考慮して照査します。

以下に算定式の例⁹⁾を示します。

$$\text{(施工時)} P_{w1} \leq \sigma_1 = \sigma_0 \times \gamma_s \times \rho_1 \times \mu_1$$

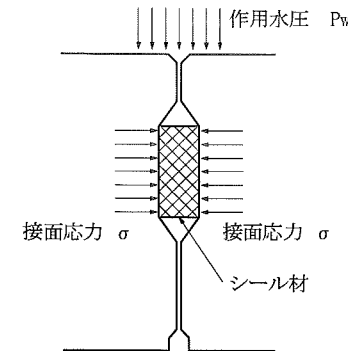


図-2 シール材による止水原理

$$\text{(供用時)} P_{w2} \leq \sigma_2 = \sigma_0 \times \gamma_s \times \rho_2 \times \mu_2$$

ここで、

P_{w1} : 施工時の設計水圧

P_{w2} : 供用時の設計水圧

σ_1 : 施工時のシール材接面応力

σ_2 : 供用時のシール材接面応力

σ_0 : 設定目開き量、設定目違い量を考慮したシール材の初期接面応力

γ_s : シール材の硬さ、形状、寸法のバラツキを考慮した材料係数

ρ_1 : 施工時の応力緩和を考慮した接面応力の有効係数

ρ_2 : 供用時の応力緩和と水膨張を考慮した接面応力の有効係数

μ_1 : 自封作用による接面応力の増加係数(施工時)

μ_2 : 自封作用による接面応力の増加係数(供用時)

② セグメント組立に対する設計

セグメント組立に対するシール材の設計は、ボルトなどの継手の締結力によって、シール材がシール溝内に封入できることを条件とします。シール材の初期弾性反発力が大きすぎると、精度のよい組立ができずに、大きな目開きや目違いを生じ、それらが漏水につながる可能性があるためです。

3) 施工時の留意点

① シール材の貼り付け

シール材の貼り付けは、シール溝の所定の位置に精度よく、接着剤により貼り付けます。

貼り付け時にシール材を引っ張り過ぎると断面積が小さくなるため、適度な張力で貼り付けます。また、コーナー部は、断面積が縮小し、防水上の弱点になりやすいため、別途コーナーシールで補強したり、あらかじめコーナー形状に加工されたシール材を用いることもあります。

② セグメント運搬組立

継手面からの漏水は、シール材の性能不足よりも、シール材の損傷、セグメントの組立精度不良や破損により多く発生しています。セグメント運搬時や、坑内での組立時は、シール材を損傷しないように注意するとともに、仮に損傷した場合は、貼り替えてから組み立てることが重要です。Kセグメントが軸方向挿入型の場合や、リング継手としてワンタッチジョイントを採用している場合は、継手面をこすりながら組み立てるため、シール材には専用の潤滑剤を塗布し、組立時のシール材の損傷を防止する必要があります。

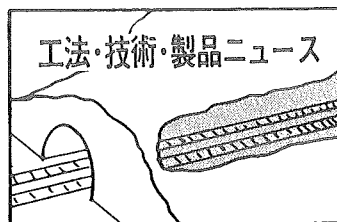
また、シール材を外周に1段貼り付けた場合、セグメント組立時に外周の目開きが大きくなり、組立精度が悪くなったり、コンクリート製の場合、内面側が当たって角欠けが増えたりする恐れがあります。このような場合、セグメント継手面がバランスよくあたるように、継手面の内側に緩衝材を貼ることがあります。

4) 内水圧が作用するセグメントの剝離現象⁹⁾

内水圧の作用する二次覆工省略型セグメントでは、洪水時などの内水圧作用時に継手が目開きし、シール材が水と接して膨張後、トンネル内の水が排水され継手が閉じる際にシールの反力によりセグメント内面に剝離が生じた事例があります。このような条件でのシール材の設計にあたっては、留意する必要があります。

(3) ラッピング工法⁹⁾

ラッピング工法は、1リングごとに、シールド掘進と併行して防水シートを巻き立て、円周および軸方向のシートの溶着を行い、その後、防水シ-



植物由来の樹脂パイプを使用した環境配慮型の工法を開発

(株)大林組、三菱樹脂(株)、三菱マテリアル(株)は共同で、山岳トンネル施工時に地山の崩壊を防止するために用いる補助工法である注入式長尺鋼管先受け(AGF)工法における植物由来の生分解性パイプを使用した環境配慮型の工法を開発した。

無拡幅方式のAGF工法では、鋼製、塩化ビニル製のパイプを打設して薬液を注入するが、掘削時には、パイプの末端を切断・撤去する必要があった。これらの末端管の多くは産業廃棄物となっていたが、本工法はこれを植物由来の生分解性パイプに切替えることで、環境に配慮した工法とした。生分解性パイプは、トウモロコシ由来の植物原料プラスチックを主原料としており、微生物によって分解される特性を持つ。従来の塩ビ管と比較して、枯渇性資源の使用削減につながるだけでなく、二酸化炭素排出量の抑制にも効果があり、また、微生物の働きによって分解される生分解性も有しており、環境に配慮された工法となっている。

現在、北海道のトンネル工事においてこの生分解性パイプを用いたAGF工法の試験施工を行っている。

トンネル覆工コンクリートの新しい養生技術

鴻池組は、新設トンネル建設時の覆工コンクリートを一定期間、湿潤養生し、その強度増進を図ることにより品質、耐久性の向上が得られる新しいコンクリートの養生方法とし

て「温度制御噴霧式覆工コンクリート湿潤養生工法(K-tics)」を開発し(特許出願中)、実施工に適用し稼働中であると発表した。

同工法は、型枠脱枠後、移動式の養生台車を据え付けることにより、コンクリートを一定期間、湿潤状態に養生できるように工夫した工法。養生台車には遮水シートおよび端部締切用の空気充填膜が取り付けられており、コンクリートとの間に30~60cm程度の密閉された養生空間を確保する。養生空間に粒形45~60 μ m程度の微粒の霧を発生させることにより湿度90~100%の湿潤状態を維持。また、温度感知センサにより養生温度を制御し最適な養生状態を保持する。

同工法は他のコンクリート構造物への適用も容易であり、今後の建設される社会資本のLCCの低減、長寿命化に貢献できるものとして、今後、同工法の営業展開を進めていく予定。

鋼管立坑から直接発進到達可能な工法を開発

銭高組はケコム工法で築造した立坑から切羽を開放せずに推進機を直接発進到達できるDUCMM(Dual Casing Mini Mole)工法を開発した。

ケコム工法(開発社・コプロス)とは、直径5,000mm以下の鋼管を内部掘削しながら揺動または回転によって地中に圧入沈設し、立坑を築造する工法。これに対し、同工法ではケコム工法で築造した立坑の推進機通過部分を鋼管と鋼板の二重構造とした。内側の鋼管は推進機が通過できるよう事前に開口されており、外側の鋼板は上側にスライドできる構造となっている。推進機が発進する場合は、切羽を確保したうえで外側の鋼板を引き上げ、また到達する場合は、鋼管内に到達設備を設けたうえで外側の鋼板を引き上げる。推進機通過部だけを鋼管と鋼板の二重構

造とし、土水圧に十分抵抗できるとともに止水機能も有する。

30トンクラス油圧ショベルの燃料生産性を向上

新キャタピラー三菱は、CAT®油圧ショベル「REGA(レガ)」Dシリーズのうち、30トンクラス2機種の燃料生産性をアップさせ、発売を開始した。

新発売する製品は、CAT 330D「REGA」と同機のロングクローラ仕様であるCAT 330D L「REGA」。

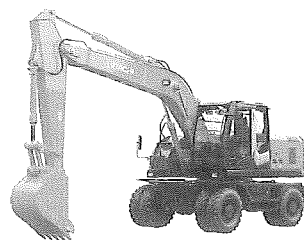
今回の改良では、従来機からエンジンの出力アップとメインポンプの高効率化により、同等の作業性能を確保しながら燃料消費量を最大7%低減。従来機に比べ燃費低減や生産性向上を実現した。



ホイール式油圧ショベルを発売

日立建機(株)は、オフロード法の排出ガス第3次基準値をクリアした、ZX170W-3、ZX210W-3ホイール式油圧ショベルの発売を開始した。

新型高出力エンジンの採用により従来機に比べ、最大出力を19%、最高速度を9%、加速性能を8%、登坂走行燃費を26%向上させ、低燃費モードでは従来機の標準モードに近い作業量を確保しながら、燃費を18%低減させた。



連載講座

シールド工事の施工に関するQ&A(5)

JTA都市トンネル小委員会

Q 14. 裏込め材料の種類と得失について教えてください。

A.

(1) 裏込め注入の目的

シールドの掘進に伴い発生するテールボイドは、シールドとセグメントの外径差より発生するもので、テールボイドを空隙の状態でも長時間放置すると地盤がテールボイドに落ち込み、地盤沈下を起こすこととなります。これよりテールボイドには、迅速かつ確実に裏込め注入を行い、空隙を充填することが重要です。

(2) 裏込め注入の分類

裏込め注入の分類には、使用材料、注入時期、注入状態などによる分類があります。

注入状態による分類には、表-1のようなものがありますが、シールドトンネルへの適用では、可塑状態と瞬結固結型で9割以上を占めているのが現状です。

ここでは注入状態による分類方法を示します。

1) 一液性グラウト

一液性グラウトは、セメント、砂、ベントナイトなどを混合し製造したグラウトで、ゲル化時間が長く長期強度は高強度が期待できる反面、水に

表-1 裏込め注入の注入状態による分類¹⁾

一液性	懸濁液型		
		固結型	緩結固結型
二液性	水ガラス系	瞬結固結型	
		可塑状態型	
	アルミニウム系	可塑状態型	
その他			

希釈されやすいという欠点があります。地下水が少なく地山が安定した地盤への使用に適しています。

2) 二液性グラウト

二液性グラウトは、A液(硬化発現材+助材など)を地山への注入直前に水ガラスなどのゲル化剤ならびに可塑剤と混合し、注入後短時間でグラウトをゲル化させ、テールボイドの崩壊を防止するグラウトで、固結型と可塑状態型があります。

① 固結型

固結型は、緩結固結型と瞬結固結型に分類されます。どちらも硬化発現材として使用するセメントは変わりませんが、ゲル化剤である水ガラスの濃度と添加量を変えることでゲル化時間を調整し、緩結固結型(ゲル化時間30秒以上)と瞬結固結型(ゲル化時間10~20秒以下)²⁾に分類されます。固結型は早期強度が期待できるグラウトである反面、可塑状態の状態を保持する時間が短く、注入後の時間経過に伴い固化が始まり追加注入が困難となります。早期強度が必要な場所への注入に適しています。

② 可塑状態型

可塑状態型は、スラグを主材とした硬化発現材に水ガラスやアルミニウムを混合することで、地山への注入後、短時間(3~20秒以下)でゲル化し、注入後15~40分程度³⁾可塑状態を保持することを特徴としています。可塑状態保持時間が長いため、容易に先行注入したグラウトを押し出すことが可能です。材料の比率を変えることでゲル化時間や強度などの調

表-2 各種裏込めグラウトの性能比較表^{2),3)}

注入形式	液性		二液性			
	一液性		瞬間固結型		可塑状態型	
	非エア系	エア系	非エア系	エア系	非エア系	エア系
裏込めグラウトの分類	非エア系	砂モルタル	セメント	セメント	セメント	セメント
	エア系	エアモルタル	セメント	セメント	セメント	セメント
硬化	非エア系	2~4時間	2~4時間	2~4時間	2~4時間	2~4時間
	エア系	2~4時間	2~4時間	2~4時間	2~4時間	2~4時間
発現材	非エア系	砂モルタル	セメント	セメント	セメント	セメント
	エア系	セメント	セメント	セメント	セメント	セメント
グラウトの性質	ゲル化時間	なし	非常に小さい	短い	短い	5~10秒以下
	可塑性保持時間	なし	非常に小さい	大きい	大きい	非常に長い
A液圧送時の性質	固結強度	2.0~5.0	2.0~5.0	2.0~3.0	2.0~3.0	2.0~3.0
	固結後の容積変化	なし	なし	なし	なし	なし
A液圧送時の性質	希釈性	希釈される	希釈される	やや希釈される	なし	なし
	圧送距離	200~400m	500~600m	800~1,200m	1,200~1,500m	約2,000m
注入後の性質	可使時間	2~4時間	2~4時間	4~8時間	4~8時間	8~12時間
	材料分離	ある	ある	ある	ほとんどなし	ほとんどなし
同時注入(セグメント)	流動性	劣る	劣る	やや良い	やや良い	良い
	管内滞留(水洗)	そのつど	そのつど	そのつど	片番1回以上	片番1回以上
同時注入(セグメント)	限定注入	困難	困難	困難	可能	可能
	切羽・周辺地山への漏洩	切羽, 地山ともにあり	切羽, 地山ともにあり	切羽, 地山ともにあり	切羽なし	ほとんどなし
同時注入(セグメント)	充填率(歩留り)	低い	低い	やや低い	やや高い	高い
	注入方法	1ショット	1ショット	等量式	1.5ショット	1.5ショット
同時注入(セグメント)	固結状態(均一性)	やや低い	やや低い	等量式	1.5ショット	1.5ショット
	止水性	可能	可能	困難	困難	可能
同時注入(セグメント)	着床	可能	可能	可能	可能	可能
	掘進中の移動	掘進中は少ない	掘進中は少ない	掘進中も付着しやすい	掘進中はやや少ない	掘進中は少ない
同時注入(セグメント)	地盤	湧水地盤を除く	湧水地盤を除く	軟弱土層を除く	全土層	全土層
	全土層	湧水地盤を除く	湧水地盤を除く	軟弱土層を除く	全土層	全土層

整ができ、幅広い地盤への対応が可能です。

3) その他のグラウト

その他のグラウトとして、有機系(発泡樹脂系)グラウトがあります。樹脂の発泡倍率が大きく、止水性に優れ早期強度が期待できるため、シールド急曲線部の空洞充填など、部分的な注入に適しています。

(3) 裏込めグラウトの得失

グラウトの違いにより各々の性質も大きく異なるため、それぞれの特徴を活かし現場の条件に合った最適なグラウトを選定することが重要です。裏込めグラウトの性能比較を表-2に示します。

1) ゲル化時間

一液性グラウトはゲル化時間が長く、水に希釈されやすいため、地下水の影響が考えられる地盤には適しません。これに対し二液性グラウトの瞬間固結型と可塑状態型はゲル化時間が20秒以下と短く、水に希釈されることも少なく、地下水の影響を受ける地盤に対しても有効です。

2) 圧送距離

一液性グラウトの圧送距離は200~500mと短く、二液性グラウトの可塑状態型は約2,000mと一液性グラウトの4~10倍の圧送を行うことができ、長距離施工時の設備の簡素化が可能です。

表中のエア系とは、A液にエア(起泡剤)を添加したものを言い、ブリージングの発生を抑えることができます。しかし、水との接触による材料分離や初期強度の低下が考えられるため、適用にあたっては十分な検討が必要です。

(4) 特殊条件下における裏込めグラウトの選定

1) 地下水に塩分を含む地盤への注入
沿岸部や海底下を掘進するシールドトンネルの施工では、地下水に塩分が含まれることがあり、注入した裏込めグラウトが塩分により影響を受けることが考えられます。塩分による裏込めグラウトへの影響については、東京湾横断道路の施工に先立ち数多くの試験が行われていますが、これらの報告によるとセメントを主材料とするグラウト

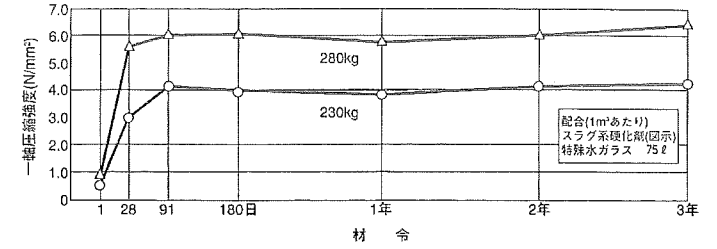


図-1 海中における長期強度(耐久性)⁹⁾

は、注入後の時間経過に伴い劣化が進み、材料の耐久性に問題を生じることが報告されています。これに対し、硬化発現材にスラグを使用したものでは、グラウトにほとんど劣化が見られず良い結果が得られたことが報告されています。スラグ系硬化発現材を用いた長期強度試験の結果を図-1に示します。これより、塩分を含む地盤へのグラウトには、スラグ系の硬化発現材が適していると考えられます。

2) 地下水に鉄分を含む地盤への注入

地下水に鉄分を含む地盤への二液性グラウトの注入で、失敗例を聞くことはほとんどありません。これより、材料の選定時に鉄分の影響を考慮する必要はないと考えられます。しかし、鉄分がベントナイトの膨潤性を阻害することは知られており、鉄分を含んだ水をベントナイトの練り混ぜに使うようなことは避ける必要があります。

3) 井戸が近接している路線での注入

シールドの路線付近に井戸を持つ住宅があることは珍しくありません。井戸があるということは、そこに水脈があるということで、シールドで水脈を掘削すると水脈にグラウトが流れ込み、井戸水を汚染する危険性があります。これより裏込めグラウトの選定としては、地下水に希釈されず注入位置からの移動が少ないグラウトが適していると考えられます。

4) 急曲線施工部への注入

急曲線施工では、シールドが曲線を曲がりやすくするため地山をオーバーカットすることが多く、テールボイドが大きくなりグラウトが切羽に回り込みやすくなります。また、掘進に必要な推力が曲線外側の地山に作用するため、裏込めの早期強

度が必要となります。これより、裏込めグラウトの選定としては、ゲルタイムが短く初期強度が大きいグラウトが適していると考えられます。

5) 凍結地盤への注入

凍結地盤への注入では、注入したグラウトが強度発現前に凍結し、想定した強度を得られないことが考えられます。これより、凍結防止剤の使用や強度発現効果が期待できる骨材の配合を検討することが必要です。

(文責：廣渡智晶/(株)竹中土木)

参考文献

- 「シールドトンネルの掘進管理」連載講座小委員会：シールドトンネルの掘進管理(6)、裏込め注入管理、トンネルと地下、Vol.28, No.11, pp.79-86, 1997.11.
- 三木五三郎・斎藤孝夫・下田一雄・木村昌義：裏込め注入工法的设计と施工、山海堂、1990.6.
- 可塑状グラウト協会シールド注入部会：シールドトンネル可塑状裏込め注入工法技術マニュアル、改訂第3版。

Q 15. 土圧式シールド工法においてポンプ圧送が可能な地山条件に適した添加材を教えてください。

A.

(1) ポンプ圧送方式の特徴

土圧式シールド工法における掘削土砂の坑内搬送設備は、①軌道方式、②コンベヤ方式、③パイプライン方式、の3方式に大別されます。ポンプ圧送方式は、パイプライン方式に分類され、小断面から大断面まで、広範囲の掘削断面で採用されている方式です。

ポンプ圧送方式の採用利点としては、以下のことが挙げられます。

- 鉛直方向への搬送も可能であり、切羽からトンネル坑外まで連続的に掘削土の搬送が可能。
- 急曲線、急勾配施工への対応が容易。
- 長距離施工の場合であっても、掘削土砂の坑内搬送作業が、他の作業工程に影響を与えない。

・可燃性あるいは有毒ガスが土中に賦存する場合、坑内へのガス漏洩量低減が可能。

しかし一方で、ポンプ圧送方式は、掘削土質の条件や使用する添加材の種類に制約があるとともに、排出土砂が泥土化する可能性が高いなどの問題点もあるため、採用にあたっては、十分な事前検討が必要となります。

(2) ポンプ圧送が可能な地山条件

掘削土砂の坑内搬送設備としてポンプ圧送方式を採用する場合には、ポンプ本体や圧送配管内の土砂閉塞を防止し、効率の高い圧送性能を確保することがもっとも重要な課題となります。このため、ポンプ圧送される土砂の性状は、付着性が低く、適度な流動性を保持しているとともに、分離抵抗性の大きいことが要求されます。そして、これらの土砂性状は、当然のことながら、掘削地山の粒度分布に大きな影響を受けることになります。

図-1に施工実績から評価したポンプ圧送の適用可能な粒度分布を示します。図中に示す「範囲A」および「範囲B」が、一般的にポンプ圧送が可能とされる粒径分布の領域であり、具体的には『①75 μ m以下の含有率15%以上、②2mm以下の含有率85%以上、③50mm以上の含有率0%』の範囲とされています。ただし、ポンプ圧送方式の採用にあたっては、切羽および圧送用に添加材を注入することを原則としており、「範囲A」は、圧送用に注水を主体的に考える領域であり、「範囲B」

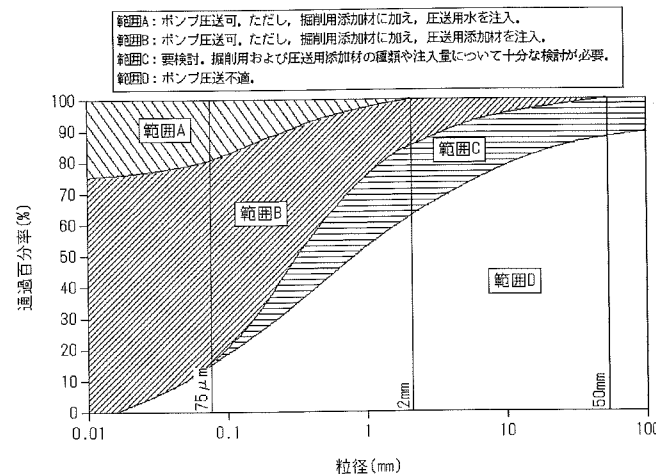


図-1 ポンプ圧送の適用範囲¹⁾

は、圧送用添加材の使用を考慮する領域とされています。また、図-1に示す「範囲C」については、『掘削用および圧送用添加材の種類や注入量について十分な検討が必要』との条件付きではありますが、ポンプ圧送方式の適用が可能とされています。

なお、掘削用添加材とは、チャンバ内土砂の塑性流動性や止水性を確保することを目的に、切羽面やチャンバ内に添加されるものであり、圧送用添加材とは、基本的に、スクリュコンベヤ排土口以降の圧送ライン途中で添加されるものです。掘削土砂の性状によっては、掘削用添加材と圧送用添加材の種類や配合を変える場合もありますが、複数の添加材作製プラントや坑内供給管路が必要になることから、一般的には、掘削用・圧送用ともに、同一の添加材を使用するケースが多くなっています。

(3) ポンプ圧送に適した掘削用添加材

一般に、土圧式シールド工法に使用する掘削用添加材は、鉱物系、界面活性剤系、高吸水性樹脂系、水溶性高分子系の四つに大別されます。以下に、各掘削用添加材の概要と掘削土砂のポンプ圧送性について示します。

1) 鉱物系

粘土、ベントナイトなどの天然鉱物を使用するものです。掘削土砂のポンプ圧送性は良好ですが、材料使用量が多くなるため、添加材の作製プラントは大規模になります。

2) 界面活性剤系(気泡)

界面活性剤(高分子系の水溶性ポリマー)と圧縮空気とで作られた気泡を使用するものです。気泡が混合された掘削土をポンプ圧送すると、気泡がクッション材として作用するために圧送効率が低下します。

また、圧送圧によって気泡が押し潰され、管内土砂の流動性が極端に低下して、圧送が困難になる場合もあるため注意が必要となります。こうした理由から、基本的に、掘削用添加材として気泡を使用した場合の掘削土砂は、ポンプ圧送には不適切であると考えられます。ただし、初期掘進時

など、圧送距離が短い場合には、採用されている実績もあります。

3) 高吸水性樹脂系

高分子系の不溶性ポリマーに属する高吸水性樹脂を使用するものです。高吸水性樹脂は、自重の数百倍の水を吸収してゲル状になる材料ですが、水を吸収した樹脂は、弾性に富んでいるため、ポンプ圧送が困難になります。

4) 水溶性高分子系

高分子系の水溶性ポリマーを使用するものであり、基本的に土砂の粘性を調整することで、塑性流動性と止水性を付与するものです。水溶性高分子の種類によって、地山中の細粒分を凝集することで粘性を増加させるもの、材料自体に粘性を有しているもの、土粒子間の付着力を低下させることで粘性を低下させるもの、などがあります。地山の性状に応じて、これら材料を単独あるいは組み合わせで使用するもので、いずれの材料も掘削土砂のポンプ圧送性は良好です。ただし、適正な効果を得るためには、地山の性状を考慮したうえで、添加材の種類、濃度(配合)、添加量、などを十分に検討する必要があります。また、細粒分含有量がきわめて少ない地山の場合には、鉱物系添加材の併用も必要になる場合があります。

(4) 一般的なポンプ圧送設備

1) 機械設備の構成

ポンプ圧送に用いる主な機械設備は、圧送ポンプ、圧送配管、伸縮管、注水管などです(図-2参照)。さらに必要に応じて、礫取り装置やミキシング装置を圧送ラインに組み込む場合もあります。

圧送ポンプの形式にはさまざまなものがありますが、一般に用いられているものとしては、ロータリー式と複胴ピストン式があります。ロータリー式は機械装置自体がコンパクトであるため、小口径シールドの一次圧送(スクリュコンベヤ排土口から後続台車までの間の圧送)ポンプとして用いられる場合が多く、複胴ピストン式は圧送能力が高いため、坑内中継ポンプや中大口径シールドの一次圧送ポンプとして使用されており、圧送用ポンプとしてもっとも多くの実績を有しています。

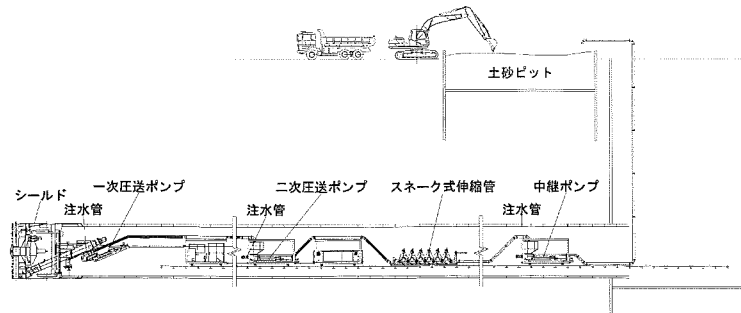


図-2 ポンプ圧送設備の一例

表-1 圧送配管の径

シールド外径	配管径
4.0m未満	φ150~250mm
4.0m以上6.5m未満	φ200~300mm
6.5m以上	φ300mm以上

ラインの途中にミキシング装置、礫取り装置、圧送用添加材注入装置や注水装置などを設けることにより、チャンバ内の土砂性

状に悪影響を及ぼさない場所で、ポンプ圧送に適した土砂性状に改質する必要があります。

2) 排出土砂の泥状化

上述のように、掘削土砂をポンプ圧送する場合には、軌道方式やコンベヤ方式に比べ、添加材の注入量が増加する傾向にあります。この結果、ポンプ圧送によって坑外排出される土砂は、泥状を呈する場合があります。このため、掘削土砂の場外搬出にあたっては、コンテナダンプの使用や、土砂改質装置の設置を検討する必要があります。掘削土の運搬・処分費についても十分な検討が必要になります。

3) 添加材の適正管理

良好なポンプ圧送性を確保するためには、添加材の管理が必要不可欠です。掘削土砂の性状は、基本的には常に変化すると考えられるため、添加材の種類、濃度(配合)、注入率を常に管理して適正な土砂性状を保持することが重要です。

土砂の流動性や分離抵抗性が小さいために配管の閉塞が発生すると、最悪の場合には数百mの区間にわたって、圧送管内の清掃を行うことになります。また、流動性を増加させたいあまり、添加材の注入率を過大に設定すると、掘削土の処分量も相応に増加します。

なお、ポンプ圧送に適した土砂性状とは、掘削土砂の粒度組成などによって異なるため、一義的に評価することは困難だと考えられます。ただし、実際の施工においては、圧送土砂のスランプ値や含水比、圧送ポンプ圧力などの計測結果をもとに、適正な土砂性状の評価を行っている場合が多いよ

うです。

4) 固結土層のポンプ圧送

固結土層は、土層を構成している土粒子径が細粒分や砂分に相当するものであっても、実際にシールドで掘削・排出される土砂は、多くの場合土塊状を呈します。そして、これらの土塊は、礫分と同様の性状を示すため、ポンプ圧送が困難になる場合もあり、注意が必要となります。

(文責：武田厚(株)/大林組)

参考文献

- 1) 日本トンネル技術協会：土圧式シールド工法における掘削土搬送方法の調査報告書(東京電力(株)委託), 1992.3.

Q 16. 泥土圧シールド工法でその発生土が土砂か建設汚泥かについて、判断基準が地域によって異なっているようですが実態を教えてください。

A. 建設汚泥の定義は、「建設廃棄物処理指針(平成13年6月1日環境省通知の別添、以下、「指針」と称する)」に示されています。しかし、掘削工事に伴う発生土が土砂か建設汚泥かの判断は、各自治体(環境部局)に委ねられており、判断基準も自治体によってさまざまな状況です。

ここでは、独自の判断基準を公表している東京都、大阪府などの泥土圧シールド工法に関する内容を紹介します。また、建設汚泥の再生利用に関する通知(国土交通省、環境省)についても概説します。

(1) 建設汚泥

建設汚泥は、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律(以下、「廃棄物処理法」と称する)」に規定する産業廃棄物の汚泥として取り扱われます。そして、指針では図-1のように記述され、参考として代表的掘削工法に関して土砂か汚泥かの判断時期なども例示されています。

また、建設工事に伴う発生土について、指針の建設汚泥と国土交通省の土質区分基準の分類を図-2に示します。

地下鉄工事等の建設工事に係る掘削工事に伴って排出されるものうち、含水率が高く粒子が微細な泥状のものは、無機性汚泥(以下、「建設汚泥」という。)として取り扱う。また、粒子が直径74ミクロンを超える粒子をおおむね95%以上含む掘削物においては、容易に水分を除去できるので、ずり分離等を行って泥状の状態ではなく流動性を呈さなくなったものであって、かつ、生活環境の保全上支障のないものは土砂として扱うことができる。

泥状の状態とは、標準仕様ダンプトラックに山積みができず、また、その上を人が歩けない状態をいい、この状態を土の強度を示す指標でいえば、コーン指数がおおむね200kN/m²以下又は一軸圧縮強度がおおむね50kN/m²以下である。

しかし、掘削物を標準仕様ダンプトラック等に積み込んだ時には泥状を呈していない掘削物であっても、運搬中の練り返しにより泥状を呈するものもあるので、これらの掘削物は「汚泥」として取り扱う必要がある。なお、地山の掘削により生じる掘削物は土砂であり、土砂は廃棄物処理法の対象外である。

この土砂か汚泥かの判断は、掘削工事に伴って排出される時点で行うものとする。掘削工事から排出される時は、水を利用し、地山を掘削する工法においては、発生した掘削物を元の土砂と水に分離する工程までを、掘削工事としてとらえ、この一体となるシステムから排出される時点で判断することとなる。参考として、次に代表的掘削工法について例示する。

(ここでは、代表的掘削工法のうち、泥土圧シールド工法の例示を以下に示します。)

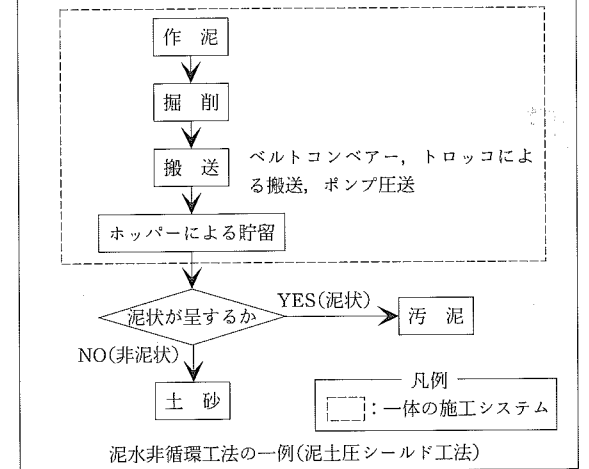


図-1 建設汚泥の取扱い¹⁾

発生土	建設発生土	土質区分基準による区分		建設廃棄物処理指針 (廃棄物処理法による分類)
		区分	性状、強度	
発生土	建設発生土	第1種建設発生土	礫及び砂状	土砂及び土砂に準ずるもの 建設汚泥以外の土砂 地山掘削により生じる掘削物 ・炭黒土
		第2種建設発生土	コーン指数 800kN/m ² 以上	
		第3種建設発生土	コーン指数 400kN/m ² 以上	
		第4種建設発生土	コーン指数 200kN/m ² 以上	
	泥土	コーン指数 200kN/m ² 未満	標準仕様ダンプトラックに山積みできず、その上を人が歩けないような流動性を呈する状態のもの、おおむね200kN/m ² 以下、なお、地山の掘削により生じたものは土砂	

*建設汚泥：掘削工事に伴う泥状の掘削物および泥水を泥土といひ、このうち廃棄物処理法に規定する産業廃棄物として取り扱われるものを建設汚泥という

図-2 発生土の分類²⁾

(2) 自治体の判断基準例

建設汚泥は、建設廃棄物の中でも環境省通知などに対する自治体の考え方がまちまちです。具体的には図-1の判断時期や一体の施工システムなどの解釈です。

東京都と大阪府などの判断基準を以下に示しますが、一体の施工システムに関して異なる解釈となっています。

1) 東京都

「東京都建設泥土リサイクル指針(平成18年4月)」によると、図-3のように一体の施工システムの中に処理工程を含めています。そして、一体の施工システム内で泥土などを処理工程により処理した結果、貯留ホッパーまたはピットなどから搬出される時点において泥状を呈しなくなったものは建設発生土(土砂)として取り扱う運用となっています。

ただし、要件(図中※3)をすべて満たす場合に限りです。

2) 大阪府・大阪市・堺市・高槻市・東大阪市

「掘削工事に伴う汚泥と土砂の判断区分について(平成15年3月)」によると、図-4に示すように掘削物への加工・処分工程(固化、脱水、乾燥、薬剤添加など)は一体の施工システムの中に含まれていません。

したがって、処分する前の段階で汚泥か土砂かを判断する運用となっています。

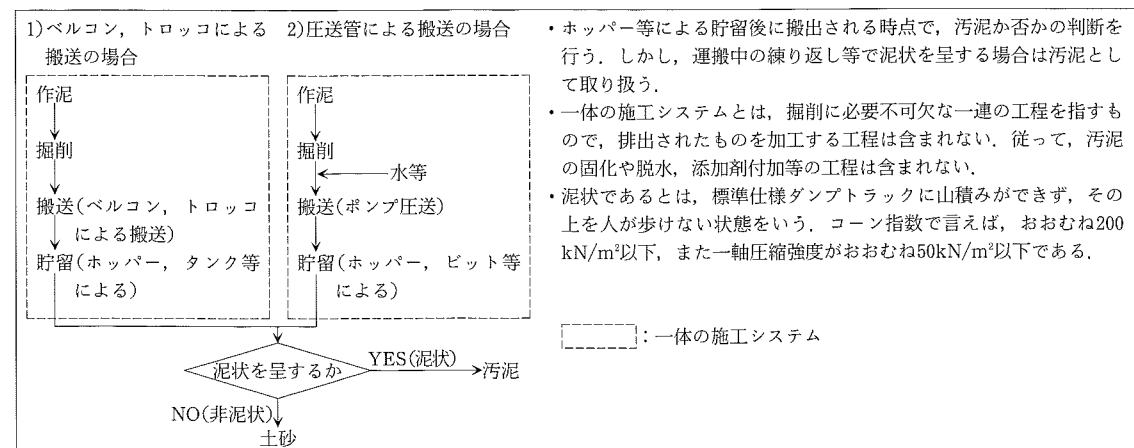
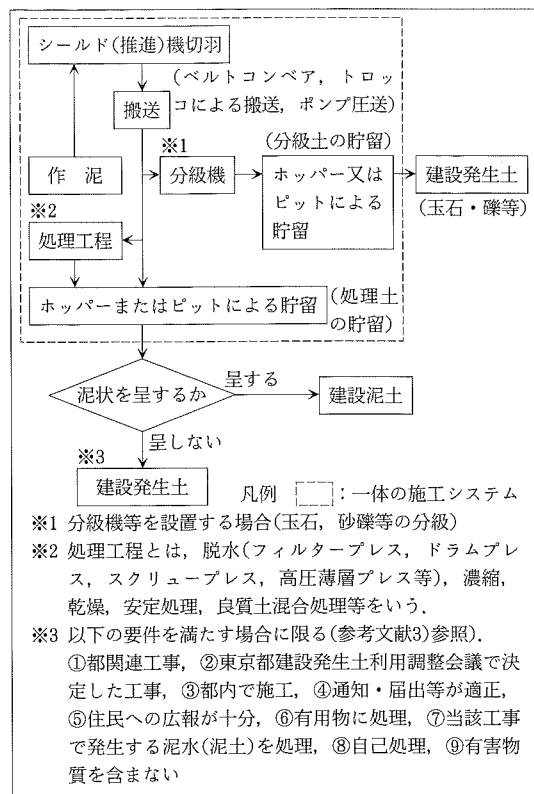


図-4 代表的掘削工法の例示(泥土圧シールド工法)⁴⁾

(3) 建設汚泥の再生利用

建設副産物実態調査⁵⁾によると建設汚泥の再資源化率は低い水準となっています。



工法の例：① 泥土圧シールド(推進)工法
② 気泡シールド工法
③ その他

図-3 建設泥土と土砂の区分取扱い方針フロー(泥土圧方式)³⁾

シールド工事においても建設汚泥の発生抑制や再生利用といった施策が実施されつつありますが、再生利用の運用も自治体でばらつきがあるのが現状です。

そうした中、建設汚泥の最終処分場への排出量の削減、不適正処理の防止を目的に建設汚泥の発生・利用側の国土交通省と適正管理側の環境省とが相互連携して次の通知がなされました。

- ・国土交通省：「建設汚泥の再生利用に関するガイドラインの策定について」など⁶⁾ (平成18年6月12日付け通知)
- ・環境省：「建設汚泥の再生利用指定制度の運用における考え方について」⁷⁾ (平成18年7月4日付け通知)

今後、工事からの発生土が建設汚泥と判断される場合でも建設現場や中間処理施設での適正な処理によって建設汚泥再生品(建設汚泥処理土、製品)への再生利用が促進されるものと考えます。

(文責：大井隆資/(株)フジタ)

参 考 文 献

- 1) 環境省：建設工事等から生ずる廃棄物の適正処理について(通知), 2001.6. <http://www.env.go.jp/hourei/syousai.php?id=11000319>
- 2) 土木研究所：建設発生土利用技術マニュアル, 2004.9. http://www.pwrc.or.jp/books/book_013.html
- 3) 東京都：東京都建設泥土リサイクル指針, 2006.4. <http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/seisaku/recy/index.html>
- 4) 大阪府・大阪市・堺市・高槻市・東大阪市：掘削工事に伴う汚泥と土砂の判断区分について, 2003.3. <http://www.pref.osaka.jp/waste/sanpai/manual.html>
- 5) 国土交通省：平成17年度建設副産物実態調査結果について, リサイクルホームページ, 2006.12. <http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/fukusanbutsu/jittaihoua/index.htm>
- 6) 国土交通省：建設汚泥対策, リサイクルホームページ <http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/fukusanbutsu/kensetsuodei/index.htm>
- 7) 環境省：廃棄物・リサイクル対策 <http://www.env.go.jp/recycle/waste/>

Q 17. 急曲線施工時の必要余掘り量の考え方と、その使用時期について教えてください。

A. 急曲線施工における余掘りの目的は、シールド胴体の通過断面を確保することにあります。

曲線内の掘進においては、胴体の前後端よりも中間部分が内側を通過するため、この部分を余分に切削することが余掘りです。

(1) 余掘り装置の種類

余掘り装置には、図-1に示すようにコピーカッタ、オーバーカッタなどがありますが、ここでは装備比率の高いコピーカッタについて説明します。以下に説明するコピーカッタですが、カッタヘッドの外周に配置されており、切削した土は取り込まれない部分も多いことを十分に認識しておくことが重要です。

(2) 計算上の必要余掘り量の求め方

急曲線施工における余掘り量は、計算によって算出することは難しいため、計算で数値を確認するとともに、CAD作図によって決定することが合理的かつ正確な方法であると考えられます。

必要余掘り量の求め方はおおむね以下のとおりです。

1) セグメントの作図

曲線の線形中心線上にセグメントを作図しますが、実施計画では曲線部への進入直前の測量結果を反映させる必要があります(図-3①)。

2) テールクリアランスの確保

セグメント組立て位置に対し、計算上のクリアランスを確保して後胴を配置します(図-3②)。

≪クリアランスの算出例≫

セグメントの許容変形量をD/150²⁾とすると、

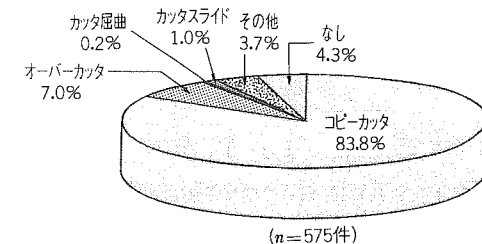


図-1 余掘り装置の種類¹⁾

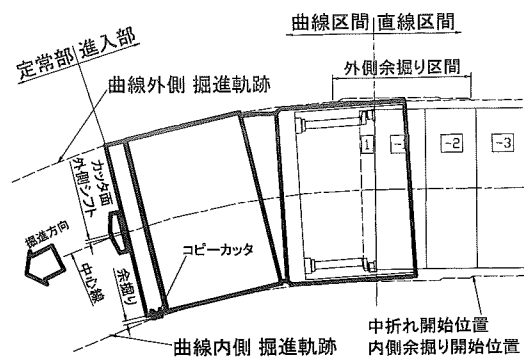


図-2 余掘り概念図(進入部)

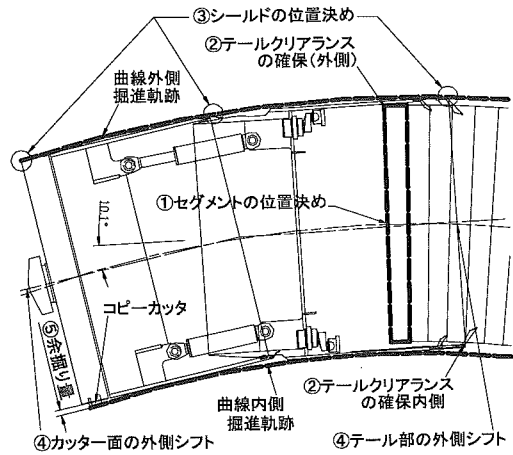


図-3 曲線検討CAD図(定常部)

表-1 製作許容誤差表(参考)

セグメント外径 D (mm)	D < 4	4 ≤ D < 6	6 ≤ D < 8
製作許容誤差	7 mm	10 mm	15 mm

必要クリアランスは次式で表せます。

$$T_c = \{(D/150) + \delta\} \times 1/2 \quad (1)$$

D : セグメント外径(mm)

T_c : 必要クリアランス(mm)

δ : 製作許容誤差(mm)(表-1参照)

3) シールドの位置決め

シールドは、側端部のうち3点が曲線外側掘削軌跡上に接するように配置します(図-3③)。

例示したシールドの定常状態を見れば、カッター面と後胴の後側端部が、中心線の外側にシフトしていることがわかります(図-3④)。

4) 必要余掘り量の決定

必要余掘り量は、前胴および後胴がもっとも内側を通過する位置で決定します(図-3⑤)。

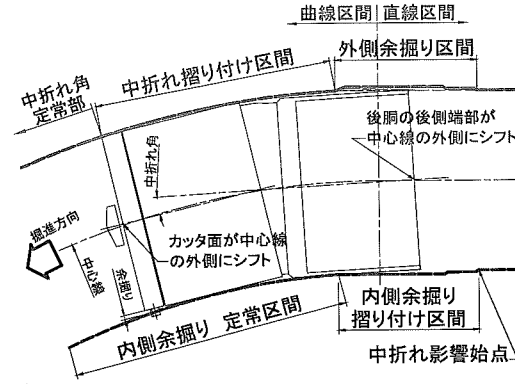


図-4 曲線進入部余掘り区間

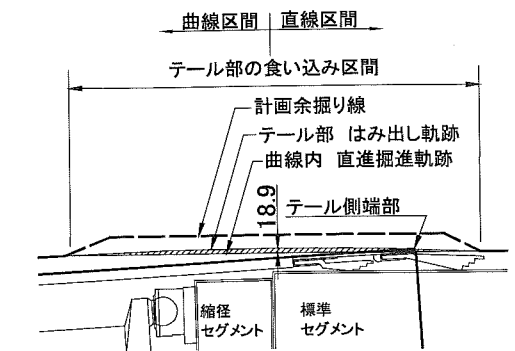


図-5 曲線進入部詳細

曲線への進入部と脱出部では掘り付け区間が必要となりますが、中折れ装置の使用開始位置から終了位置までとなります(図-4)。

5) 進入部および脱出部の外側余掘り

図-5は直線区間と曲線区間の変化点(BC点)のシールドテール部を示していますが、作図すると後胴外側のテール端部が掘進軌跡からはみ出すことがわかります。この外側のはみ出し部が外側余掘りの対象範囲となり、同じ現象は脱出部においても見受けられます。

はみ出す量はシールド形状と曲線半径によって決まりますが、図-5のケース(シールド外径3.2m、曲線半径R=15m)でも18.9mmと微小であるため、外側余掘りを行わないケースも多いようです。

(3) 計画余掘り量の考え方

計画余掘り量は、前項で計算した必要余掘り量をもとに設定します。

余掘り量が大きければ、それだけ急曲線施工は容易となりますが、反面、地山の緩み、裏込め注

入材の切羽への回り込み、掘削反力の低下によるトンネルの変形など問題点も多く、余掘り量は必要な範囲で最小限に抑えることが望ましい³⁾とされています。しかしながら、急曲線施工においては不確定要素が多く、事前検討どおりに施工できないこともあるため、十分な余裕を持った余掘り装置を準備しておくことが肝要です。

図-6は、R/Dと余掘り量の設定の関係を表していますが、曲線半径が小さくなるほど余掘り量を多めに設定しているようです。

図-7は、曲線半径と実施最大余掘り量(中折れあり)の関係を表しています。

曲線半径が小さくなるほど余掘り量が大きくなる傾向がありますが、バラツキも小さくはありません。

曲線半径40m以下では、実施余掘り量が100mmを超えているケースも多く見受けられます。

(4) 余掘りの使用時期

図-8は、曲線半径と余掘り開始時期の関係を表しています。

急曲線においては、半数以上のケースが「凡例

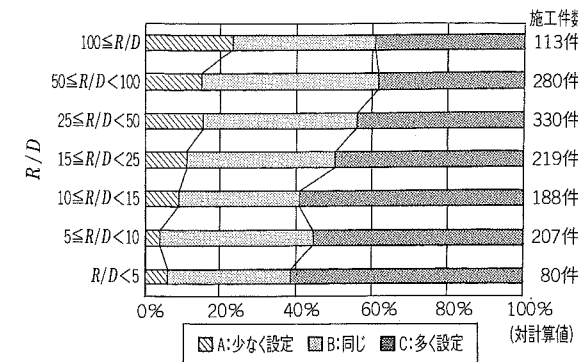


図-6 R/Dと余掘り量の設定の関係⁴⁾

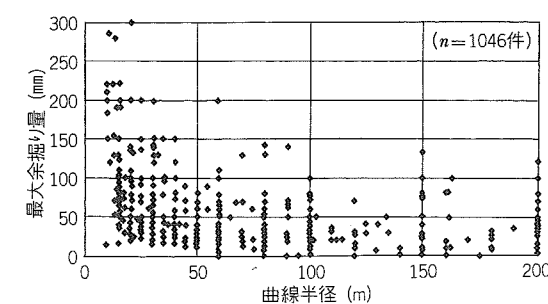


図-7 曲線半径と実施最大余掘り量(中折れあり)⁴⁾

A: シールド先端がBCの手前」で余掘りを開始していることがわかります。

一方、曲線半径と余掘り終了時期の関係は図-9に示すとおりです。

曲線半径が小さくなるに従って、「凡例B: シールド先端がEC付近」の割合が小さくなり、「凡例C: シールド機長の1/2程度がECを通過」の割合が大きくなっています。

急曲線の出口部で縮径セグメントを使用する場合には、縮径のセグメントを標準タイプに接続するため、余掘り量の設定にあたっては余裕が必要です。

前出のとおり「余掘り量が大きければ、それだけ急曲線施工は容易となる³⁾」ことから、その使用時期についても、早めに開始して遅めに終了することが施工を容易にすると考えられますが、「余掘り量は必要な範囲で最小限に抑えることが望ましい³⁾」と言えるでしょう。

(5) おわりに

「シールド曲線施工」に関する実態報告書(2)⁴⁾によれば、シールドに関するトラブル全120件の

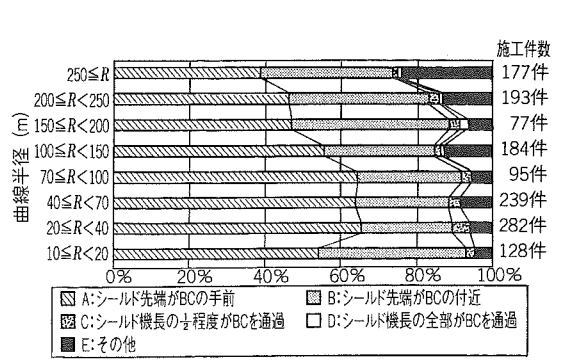


図-8 曲線半径と余掘り開始時期の関係⁴⁾

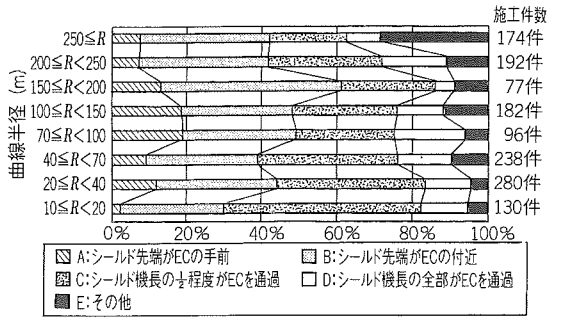


図-9 曲線半径と余掘り終了時期の関係⁴⁾

内、コピーカッタのストローク不足、戻り不可などの動作不良が9件報告されています。

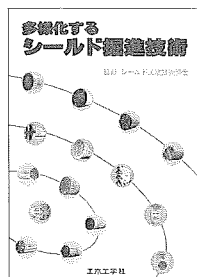
コピーカッタの強度や摩耗、耐久性、能力について十分な余裕をもった対策をたてるとともに、動作確認を入念に行うことが重要です。

また、実施工時の急曲線部掘進管理においては、とくにその入口部において、計画と異なる条件が多いため、曲線進入直前の掘進状態を十分に把握したうえで、再検討を行うことを推奨します。

(文責：廣瀬憲嗣/日本国土開発(株))

参考文献

- 1) JTA都市トンネル小委員会：「シールド曲線施工」に関する実態調査報告(1)，トンネルと地下，Vol.30, No.5, pp.52-62, 1999.5.
- 2) 日本鉄道施設協会：シールドトンネルの設計施工指針(案)，1983.8.
- 3) 土木学会：2006年制定トンネル標準示方書，シールド工法・同解説，2006.7.
- 4) JTA都市トンネル小委員会：「シールド曲線施工」に関する実態調査報告(2)，トンネルと地下，Vol.30, No.6, pp.67-76, 1999.5.



多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会
B5判 141頁 本体価格2,500円

本書は、「トンネルと地下」に約1年間にわたり連載した『多様化するシールド掘進技術』をベースとして、掲載しなかった工法、技術などを整理、体系化するとともに、各種工法の境界、システム・考え方の違い、適用での留意点が、よりわかりやすいように手を加え再度同名の図書としてシールド工法技術協会が監修を行ったものである。

【掲載工法】

- ①ラチス式同時施工シールド工法，②F-NAVIシールド工法，③ハニカムセグメントを用いた同時施工法，④ロングジャッキ式同時施工シールド工法，⑤ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法，⑥充填式シールド急曲線工法，⑦地下茎シールド工法，⑧T-BOSS工法，⑨球体シールド工法，⑩上向きシールド工法，⑪MMST工法，⑫拡大シールド工法，⑬偏心多軸(DPLEX)シールド工法，⑭ワギング・カッタ・シールド工法，⑮自由断面シールド工法，⑯OHM工法，⑰H&Vシールド工法，⑱単円～三連型駅シールド工法，⑲MFシールド工法，⑳DOT工法，㉑MSD工法，㉒親子シールド工法，㉓拡径シールド工法，㉔DSR工法，㉕泥土加圧シールド工法，㉖ケミカル・プラグ・シールド工法，㉗気泡シールド工法，㉘コンパクトシールド工法，㉙既設シールド撤去工法



株式会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072



概説

文献紹介



小泉淳・清水幸範：アンダーピニングの変遷と技術的動向，基礎工，Vol.35, No.5, 2007.5.

黄南輝・秦中天，藤堂博明(訳)：台湾の地質と最近の建設工事で生じた地盤工上の諸問題，基礎工，Vol.35, No.6, 2007.6.

研究・開発

榎園正義：大規模トンネル火災実験，燃料電池自動車のトンネル内における安全性の検証実験，建設機械，Vol.43, No.9, 2007.9.

福井久明：電撃破碎“カルマック工法”，建設機械，Vol.43, No.7, 2007.7.

土門剛・西村和夫・徐景源：鏡ボルトによる切羽補強効果，建設機械，Vol.43, No.7, 2007.7.

三木慶造・横溝文行・吉田陽一・上田潤：アンダーパスの急速施工法「URUP工法」，小土被り下におけるセグメント覆工技術の検証，建設機械，Vol.43, No.9, 2007.9.

清原勝司・伊藤恵介・丸山芳之：PCエレメント推進による非開削トンネル，PCルーフダブルエレメント置換推進の施工とオーガー推進機，建設機械，Vol.43, No.9, 2007.9.

古市秀雄：ECOアンダーパス工法，インプラント構造による省スペース短期施工技術，建設機械，Vol.43, No.9, 2007.9.

小玉正文・請川誠：T-アンダーパス工法(T-UPS)，T-アンダーパス工法における土留め材圧入時の止水構造の開発，建設機械，Vol.43, No.9, 2007.9.

今西秀公：ニュークロス工法，建設機械，Vol.43, No.9, 2007.9.

坂口拓史：過密都市部の限られたスペースでのアンダーパス急速施工法，KSUP工法，建設機械，Vol.43, No.9, 2007.9.

藤本直昭・森田泰司：外殻先行型トンネル工法「プレシェール工法」，工法の概要と開発状況，建設機械，Vol.43, No.9, 2007.9.

設計・理論

山田隆昭・佐野信夫・馬場弘二・吉武勇・中川浩二・西村和夫：トンネル覆工コンクリートの定量的な健全度評価基準，土木学会論文集F，Vol.63, No.1, 2007.4.

大津宏康・大西有三・浜田信彦・境亮祐：地盤統計学手

法を用いた建設コスト推定方法の事後評価への適用，土木学会論文集F，Vol.63, No.1, 2007.4.

小早川博亮・伊藤洋：高レベル放射性廃棄物処分へ適用するベントナイトグラウトの配合条件，土木学会論文集F，Vol.63, No.1, 2007.4.

藤本育雄・杉嶋敏夫：アンダーピニングの計画と設計，基礎工，Vol.35, No.5, 2007.5.

川田成彦・春日清志・深井直光：シールド機挙動解析および三次元FEMモデルを用いたシールド施工時荷重に関する研究，建設機械，Vol.43, No.6, 2007.6.

磯谷篤実・水原勝由・千代啓三・仲山貴司：シールドを用いた場所打ち支保の内部ひずみ計測方法について，建設機械，Vol.43, No.6, 2007.6.

大嶋直樹：秋田中央道路の20年，行政改革の波と多くの教訓を越えて，土木施工，Vol.48, No.8, 2007.8.

剣持三平・竹津英二・依田淳一・小池真史・亀村勝美：膨圧性泥質岩地山トンネルの施工における内空変位量の評価，土木学会論文集F，Vol.63, No.2, 2007.7.

齊藤仁・黒崎秀・高橋晃・竹内友章・小泉淳：大深度シールドトンネルにおける施工時荷重作用時に発生するセグメントの損傷の原因，土木学会論文集F，Vol.63, No.2, 2007.7.

施工

森下全人・名倉浩：アンダーピニングの施工，基礎工，Vol.35, No.5, 2007.5.

水上博之：アンダーピニング工事における計測管理，基礎工，Vol.35, No.5, 2007.5.

海野隆哉：アンダーピニング工事に伴う変状と留意点，基礎工，Vol.35, No.5, 2007.5.

名古屋菊夫・大石敬司・佐久間穰：東京メトロ副都心線における多様なアンダーピニング，基礎工，Vol.35, No.5, 2007.5.

日高良明・西村唯史：上野地下歩行者専用道・駐車場建設に伴うアンダーピニング，基礎工，Vol.35, No.5, 2007.5.

土橋浩・渡辺剛史・水越英世・岩倉孝幸：首都高中央環状新宿線における地下鉄丸の内線アンダーピニング工事，基礎工，Vol.35, No.5, 2007.5.

並川賢治・蔵治賢太郎・吉田祥二・田代晃一：中央環状新宿線建設工事における神田川のアンダーピニング，基礎工，Vol.35, No.5, 2007.5.

寺山徹・津野和宏・石黒順一・守山和朗：横浜市道岸谷生麦線トンネル建設に伴う生麦中学校校舎アンダーピニング工事の設計・施工概要，基礎工，Vol.35, No.5, 2007.5.

4本程度のボルト打設を行い、残りのボルトについては裏込め注入前に、既変状、損傷状況に応じて本数を増やして打設を行っている。

5 おわりに

今回の地震によるトンネル被害箇所は、地質の変化点(層境、脆弱部)、既変状箇所、坑口部などで発生している。損傷形態も覆工コンクリートの圧縮、アーチ肩部のせん断ひび割れ、アーチと側壁せめ部の後埋めモルタルの剝落などであり、主にトンネル天端背面空洞の存在に起因するものや逆巻き工法での覆工コンクリート打設など施工方法に起因するもの、あるいは坑口部での偏圧地形に起因するものであった。いずれにせよ在来工法

で施工されたトンネルにおいて、地震時の被害として一般的に生じる可能性があり、原因が想定しうる範囲の被害であったものと考えられる。

本稿脱稿時点(8月末)では、青海川駅付近の大規模斜面崩壊などの明かり工事を含め、早期開通を目指し、昼夜を厭わぬ体制で復旧作業を行っている状況である。なお、復旧時の詳細な内容については、別途報告する予定である。

最後に、地震発生直後に被害状況調査および復旧方針に関して貴重なご意見、ご指導いただいた朝倉俊弘・京都大学大学院教授、小島芳之・鉄道総合技術研究所トンネル研究室室長、野城一栄・同 副主任研究員の皆様方には、この場をお借りしてお礼申し上げます。

わかりやすい トンネルの力学

B5判 286頁 本体価格 5,825円 円340円

福島啓一著

NATMの導入以来、トンネル工事の現場に計測が大幅に取り入れられるようになって、トンネルの力学がますます重要視されるようになった。

本書はトンネル力学の基礎的な事項に基づく問題点を経験則と理論則から説明し、設計・施工に携わる実務者がトンネルを掘るとき、また、計画・設計するときに考慮しなければならないトンネルの力学を主眼にした入門書である。

【目次】 ○従来のトンネル力学の考え方/トンネル力学の発展、NATM以前の考え方/ゆるみ高さの推定、ゆるんだ地山の釣り合い、沈下量の差により変わる土圧、切羽の安定、地山の分類による支保の設計、NATMの考え方/せん断破壊説、変形による圧力の低減、地山のゆるみ防止、アンカーボルトによる地山の補強、地山挙動の時間依存、せん断破壊説による設計法、経験的設計法、地山分類と地山等級に対応した支保工の標準設計、NATM力学についての問題点、○弾性論による解析/弾性学の基礎、軸対称円形トンネル、線対称円形トンネルの弾性解、円形トンネルの弾性解析、地表面に近いトンネル、だ円形のトンネル、球形空洞周りの応力と変位 ○弾塑性論による解析/弾塑性学の基礎、軸対称円形トンネル、線対称円形トンネルの弾塑性解、円形トンネルで地山の自重を考えた弾塑性解析 ○弾塑性解以外の検討/トンネルの大きさの影響、時間の影響、表面の影響、山はね、ゆるみと締まり、地山のゆるみ、再圧密を考えた考察 ○その他の検討/二次覆工の役割とひび割れ、安全率、支保工の設計・観察・計測の解釈と逆解析、力学的に好ましい、または好ましくないトンネルの設計および施工法、有限要素法、トンネルと地下水

株式会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂 電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

連載特別座

シールド工事の施工に関するQ&A(6)

JTA都市トンネル小委員会

Q 18. シールド計画断面に基礎杭の存在がわかっています。杭の種類はわかりませんが、事前撤去方法について教えてください。

A. 都市機能が高度化・複雑化することに伴い、都市地下空間の利用がますます輻輳化・深層化していくことは、シールド計画時および施工時の制約になっています。とくに、現在切羽密閉型シールドは高い安全性が確保され、都市トンネルの標準工法として位置づけられている一方、これと引き換えに掘進中の障害物の処理は困難となっています。計画段階で支障物の存在が判明した場合には、まずシールド線形の変更の検討を行います。そして線形の変更が困難な場合は、事前撤去が原則となります。

ここでは支障杭についての調査と事前撤去の方法について紹介します。

(1) 支障杭の調査

支障杭の調査項目としては、その構造的機能・種類・位置・深度などが必要であり、これらの情報について既存の資料がある場合には、その資料を調査したうえで現地調査を行うことになります。とくにシールド工事では、支障杭の位置や杭長調査は重要な項目であり、調査精度などを考慮して調査計画を行う必要があります。また、支障杭の

表-1 形状調査手法の適用性¹⁾

調査項目	ボアホールレーダ	磁気探査	インティグリティ試験
調査項目			
杭種	△	△	-
杭長	○	○	○
杭配列	○	○	-
杭径	-	-	-
最大対象深度	20m程度 ^{注1)}	100m程度	60m程度
非破壊検査が可能	○	○	○
ボーリングの必要性	有	有	無
フーチングの影響	無	無	有
作業工程(1日あたり)	20m, 3孔 (観測孔設置除く)	20m, 3孔 (観測孔設置除く)	30点 (杭頭露出時)
試験の容易さ	△	△	○
評価の容易さ	△	△	○
特記事項	観測孔は基礎に接近していること。	鉄類にのみ反応、観測孔は基礎に近いほど精度が上がる。	フーチングがある場合、試験やボーリングで杭頭打撃する必要あり。木杭の根入れは条件により適用可能。

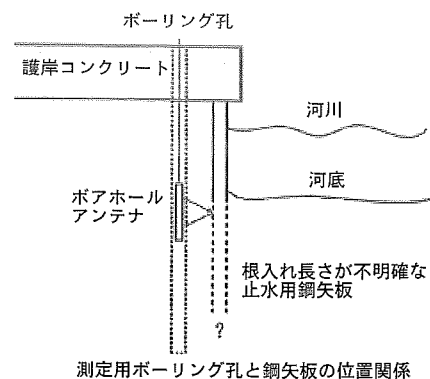
○：適用可，△：条件によって適用可，-：実績少ない
注1)：ケーブル長に依存するため設備により100m以上の測定も可能

アンダーピニングなどによる受替の検討も必要になります。

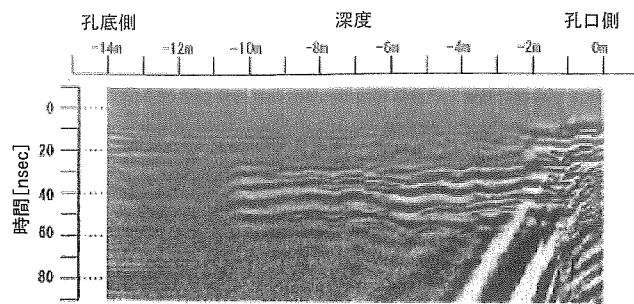
以下に杭調査手法として、①ボアホールレーダ、②磁気探査、③インティグリティ試験について説明します。

1) ボアホールレーダ

ボアホールレーダは、ボーリング孔内に電磁波を送受信できるアンテナを挿入し、観測孔周辺の状況を探査する装置です。原理は、送信された電磁波が電気的特性の異なる物質の境界で反射する性質を利用したもので、その反射波の影像を解析



測定用ボーリング孔と鋼矢板の位置関係



鋼矢板根入れ深度調査のボアホールレーダ測定結果

図-1 ボアホールレーダ概念図²⁾

することによって杭の調査を行うものです。この調査法は、電磁波の反射を利用しているため、金属体以外の杭も探査できます。

測定精度は±0.5m程度で、地中での電磁波の減衰が大きいので、杭から0.5~1.5m以内に観測孔が必要となります。また、調査項目により観測孔の方向が異なり、垂直観測孔で杭の根入れ深さの調査を、斜め観測孔で杭の本数・配置の調査を行います。

2) 磁気探査

磁気探査は、金属体を持つ残留磁気を測定することにより杭の位置・深度などを特定する方法です。

杭のような細長い鋼材では、その両端付近に磁極が生じ磁場が形成されています。杭端付近では磁束が集中する(磁気量が大きい)ので、観測孔に挿入した磁気センサーで連続的に磁気量を測定することで杭端位置の推定が可能となります。したがって、鉄筋や鋼材を含む杭に対しては適用可能で、測定精度は±0.5m程度となります。精度を確保するには、鋼管杭では杭体から1.5m以内、コンクリート杭では1.0m以内に観測孔が必要となります。

ボアホールレーダ同様、調査項目により観測孔の方向が異なり、垂直観測孔で杭の根入れ深さの調査を、斜め観測孔で杭の本数・配置の調査を行

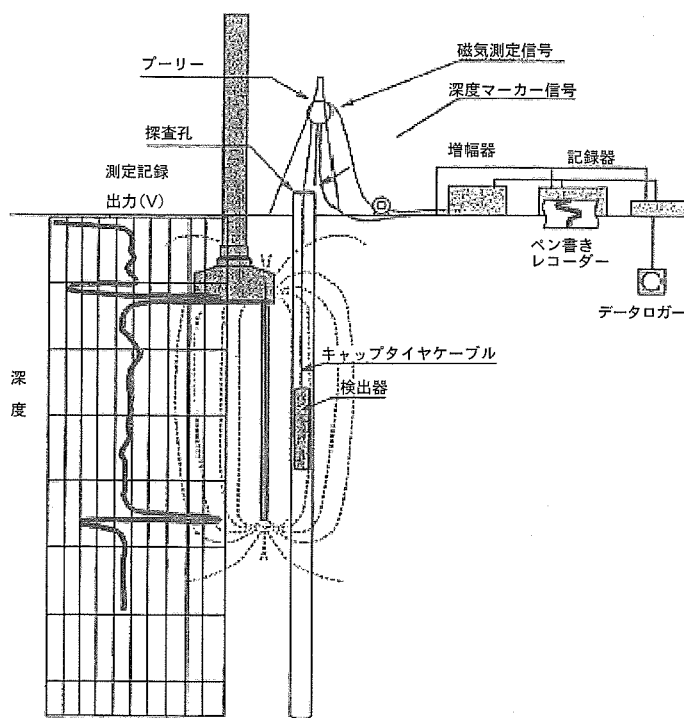


図-2 磁気探査概念図¹⁾

います。

3) インティグリティ試験

インティグリティ試験は、ハンドハンマや加振機により外力を加え低レベルのひずみを発生させ、そのときの杭の応答を加速度計などで計測して杭の調査を行うものです。

打撃により発生した入力波は、瞬時に杭全体に広がり、平面波として杭先端に向かって伝播します。この入力波は、杭の材質が均一な場合、一定の速度で振幅を弱めながら進んでいきますが、杭

の断面変化などがある場合には反射波が生じます。反射波は、不連続面で生じるもので、この反射波を計測し杭の波動伝播速度から杭長を推定するものです。

インティグリティ試験では、杭頭部を直接打撃し杭先端からの反射波形を測定するため、観測孔を必要としません。また、測定精度は、杭体の弾性波速度から求めるので、その推定速度精度に依存し杭長の±5~10%程度になります。

(2) 支障杭の撤去

支障杭の撤去方法としては、地上から撤去する方法と横坑から撤去する方法があります。

1) 地上から撤去する方法

① 直接引き抜き

杭頭が露出するまで掘削し、杭頭をつかみ

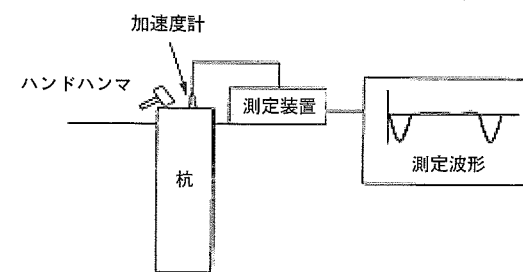


図-3 インティグリティ試験概念図¹⁾

パイプロや油圧ジャッキにより引き抜き撤去します。土との摩擦で抜けにくいときは、ケーシング削孔やオーガまたはジェット噴射などで、杭周辺地山をゆるめ摩擦を低減して撤去します。

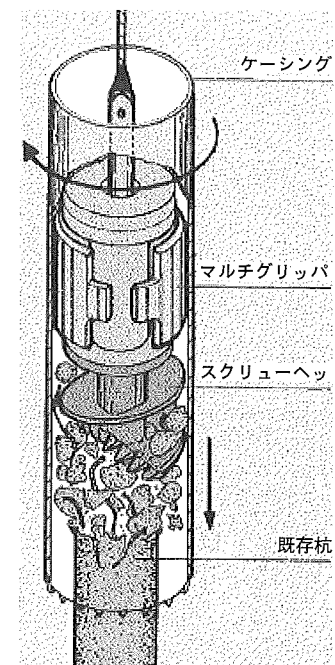


図-5 ケーシング併用直接解体概念図⁴⁾

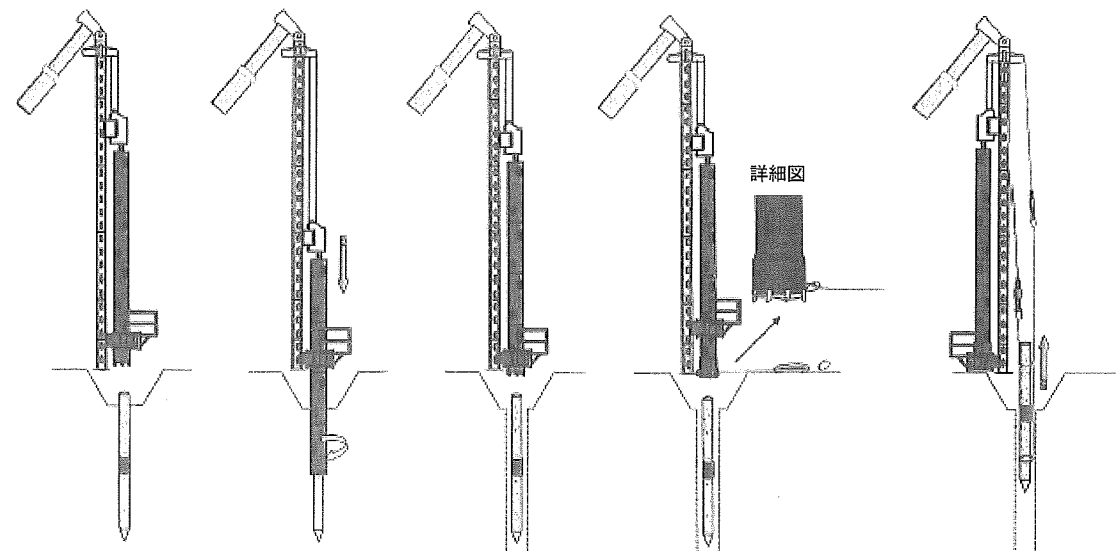


図-4 杭引き抜き撤去概念図³⁾

この方法はすべての杭種に適応が可能です。杭引き上げ時の杭重量と摩擦力に対し、十分な引き上げ能力のある重機か油圧ジャッキが必要となります。

② 地上からの解体撤去

地上から支障杭を解体する方法には、杭の周囲を所定位置まで掘削しながら杭を解体撤去していく方法と、機械で地上から直接解体撤去する方法、または地中の支障する部分を高圧水などにより切断撤去する方法があります。

地上から掘削解体撤去するには、鋼矢板や深礎などの山留めが必要で、状況によっては地盤改良などの補助工法も必要となります。この方法は掘削しながら杭を解体するので、狭い作業場所しか確保できない場合には有効な方法ですが、人力による作業が多くなるため作業期間が長くなります。杭の解体には、ブレーカによる人力壊し、静的破碎材や油圧破碎、コアボーリング・ワイヤーソーによる切断などがありますが、破碎効率・作業環境などを考慮しての検討が必要になります。

地上から直接解体する例としては、ケーシングを回転圧入できる油圧ジャッキで支障杭をかぶせ掘りし、その中にビットの付いた破碎機を挿入して、破碎圧入する方法があります。破碎されたコンクリート塊などはグラブハンマにより搬出します。

この方法は、コンクリート杭の鉄筋を切断できるばかりでなく、鋼管杭やH形鋼杭を撤去した実績もあります。

地中の支障する部分を切断する方法としては、カッタによる切断や超高圧のウォータージェットによる切断などがあります。鋼管杭やPC杭などは中心部より、H形鋼などでは杭の近傍にボーリング孔を設置し、その中にウォータージェットのノズルなどを所定の位置まで挿入して切断撤去します。

2) 横坑から撤去する方法

杭の撤去が地上の状況で直接上からできない場

合には、施工可能な場所に立坑を設置し、そこから支障杭位置まで横坑を施工し杭撤去を行う方法があります。横坑の施工は、補助工法として水平薬液注入などで地盤補強を行ったあと、掘削山留めを行います。この場合の掘削工法および補助工法は、施工性・安全性を十分検討し、これらの工法選定を行わなければなりません。

杭の撤去については、横坑内の狭隘部での人力作業となるため、地上からの撤去に比べ作業期間が長くなります。また、杭撤去跡ばかりでなく横坑についても確実な埋戻し方法の検討が必要です。

以上、支障杭の調査・撤去の方法について紹介しましたが、いずれの場合も、撤去完了後の不完全な埋戻しによる地盤沈下やシールド掘進に支障することがないように、砂や流動化処理土などで確実に埋戻し処理を行うことが重要となります。

(文責：村山研一/前田建設工業(株))

参 考 文 献

- 1) 建設省土木研究所：橋梁基礎構造の形状および損傷調査マニュアル(案)，1999.12.
- 2) 山下善弘・利岡徹馬：都市域における既存地下構造物調査へのボアホールレーダの適用性について，第38回地盤工学研究発表会，pp.59-60，2003.7.
- 3) 新潟商事(株)：既存杭引抜工法資料.
- 4) (株)横山基礎工事：スーパートップ工法マルチグリッパ技術資料.

Q 19. 障害物をシールドで切削撤去する工法があると聞きましたが、どのようなものなのですか。

A. 近年のシールド工事は、密閉型シールドの採用が主流となり、切羽を直接目視することができないため、地中障害物に対しては設計・施工時の事前調査が重要となっています。

事前調査によりシールド路線上に地中障害物が存在する場合には、

- ① まず線形変更の検討を行う。
- ② 線形変更が不可能な場合にはシールド通過に支障がないように、事前に障害物を撤去し

表-1 地中障害物に対応が可能な工法

分類	工 法 名	方 式	障 害 物 へ の 対 応			
			木杭	コンクリート部材	ドレン材 ^{注1)}	鋼材
ジェット切削	DO-Jet工法	—	○	○	○	○
	ジェットモール工法	—	○ ^{注2)}	○	○	—
機 械 切 削	支障物撤去シールド工法	ブレードカッタ方式	—	—	○	—
		鼓型カッタ方式	○	○	—	○
		前面スライド方式	○	○	—	○
	障害物対応型シールド工法	ロータリースポーク型	○	—	—	—
ドリルヘッド型		—	○	—	—	

注)1 バックドレン材やベーパードレン材など

注)2 補助工法として地盤改良が必要

○は適用可，—は適用外

ておく。

などのことが基本です。しかしながら、

① 既設構造物の残置仮設構造物の存在が懸念される。

② 地上から地中障害物が撤去できない。

という条件などの場合には、

① 補助工法を用いてシールド内から撤去する。

② カッタビットにより直接切削する。

③ あらかじめ探査や切削撤去できる装備をシールドに設けて撤去する。

などの方法があります。

ここでは、表-1に示すシールドにより直接障害物を切削撤去する工法について紹介します。

(1) ジェット切削による障害物切削撤去工法

1) DO-Jet工法¹⁾

この工法は、超高圧ジェットシステムを用いてシールドから地中障害物の探査、地盤改良、切断・除去を可能にした工法で、三つのシステム(前方探査システム、超高圧地盤改良システム、切断・除去システム)をシールドに装備します。

障害物に遭遇したら、まず、前方探査システムにより障害物の位置と材質、形状、範囲などを判定し、切断施工図を作成します。

障害物切断前には、周辺地盤の安定や既設構造物防護のため、超高圧地盤改良システムを用いてシールド内からセメントミルクと珪酸ナトリウム溶液の混合材を超高圧ジェットにより噴射して周辺の地盤を改良します。

地盤改良後、切断・除去システムを用いて障害

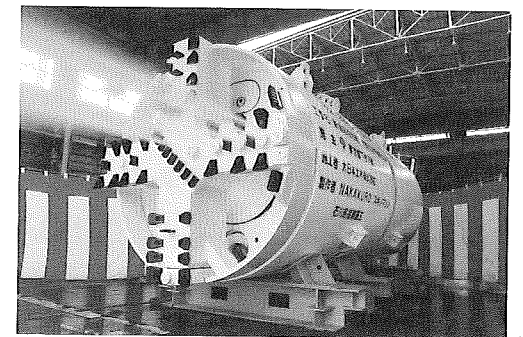


写真-1 DO-Jet工法用シールド²⁾

物の切断・除去を行います。

障害物の切断は、研磨材を加えたアプレシブスラリーと珪酸ナトリウム溶液の混合材を超高圧(245MPa)で噴射し、H形鋼、鋼矢板などの障害物や巨礫を切断します。細断された障害物などはシールド内に回収します。

この工法は、H形鋼³⁾、鋼矢板、RC杭および木杭を切削した実績があり、2007年2月現在、既設下水道幹線下を超高圧地盤改良し、連続した基礎杭(木杭)を切削する工事を施工中です。

2) ジェットモール工法⁴⁾

この工法は、面板前面に装備したノズルより超高圧ジェット水(245MPa)を噴射し、地中障害物(流木・PC杭・岩盤・巨礫・転石など)を一次破碎(大割り)し、大割りした障害物を面板に装備したローラービット、カッタビットなどにより二次破碎(中割り)しチャンバ内に取り込みます。

その後、コーンクラッシャーで三次破碎(細割り)する場合があります(泥水シールドの場合)。



写真-2 ジェットモール工法用シールド⁴⁾

この工法は、既設護岸とその基礎杭である木杭を切削した実績と、巨礫(φ800mm, 圧縮強度400MN/m²)を切削した実績があります。

(2) 機械切削による障害物切削撤去工法

1) 支障物撤去シールド工法⁵⁾

この工法には、ブレードカッタ方式、鼓型カッタ方式および前面スライド方式があります。

① ブレードカッタ方式

この方式は、地盤改良のバックドレーン材やパーパードレーン材を切断・撤去、回収しながら掘進できるシールド工法です。シールドにはドレーン材を切断するためにブレードカッタ装置を上下2基装備し、またドレーン材がからみつからないように、一文字切削ビットと円弧連続刃形状の先行ビットを配置します。

この方式は、東京国際空港鉄道トンネル築造工事(φ7.15m)で採用されました(写真-3)。

以下に示す方式については、切削実験により実施工への適用性を検証したものです。

② 鼓型カッタ方式

鼓型カッタ装置は、支障物切断用の鼓型形状のカッタ1対(2基)と切断時および回収時に支障物を把持するための把持ハンド2対(4基)からなる切断・把持装置を面板部に装備した構造を有しています。支障物の切断は、この超硬チップを埋め込んだ鼓型カッタを高速回転することによって行います。また、隔壁後部には支障物回収装置を装備し、切断後の回収ができるシステムとなっています。

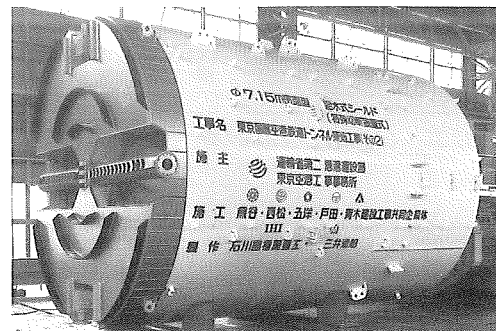


写真-3 ブレードカッタ方式シールド⁵⁾

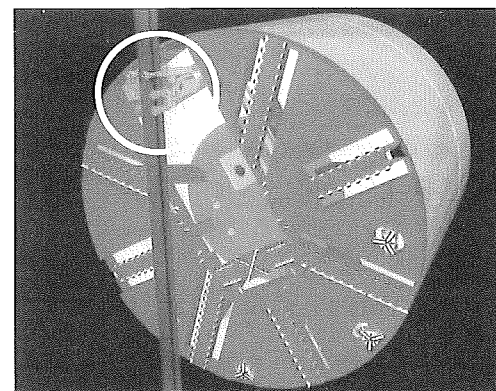


写真-1 鼓型切断装置を装備した支障物撤去シールド⁵⁾

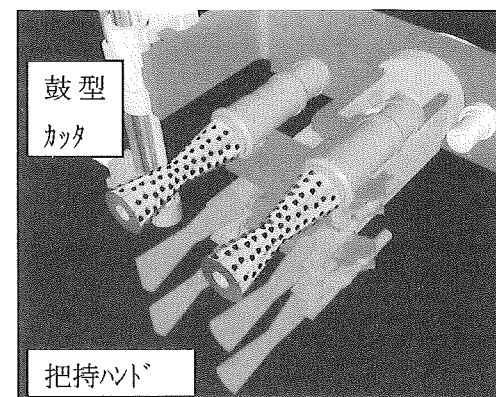


写真-2 鼓型カッタ切断装置⁵⁾(図-1の丸印部分拡大図)

③ 前面スライド方式

この方式は、シールドのカッタフェイスに前後スライド式の切削装置(切削装置には、機械加工用の超硬チップを埋め込んだビットを複数装備)を装備した構造を有しています。スライド式切削装置として中心部の楕円形状のものと、中外部の扇形状のもの2種類を配置しています。

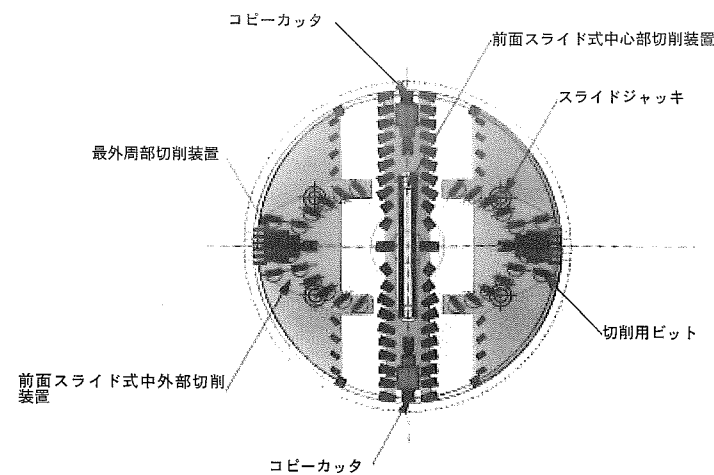


図-3 前面スライド方式シールド⁵⁾

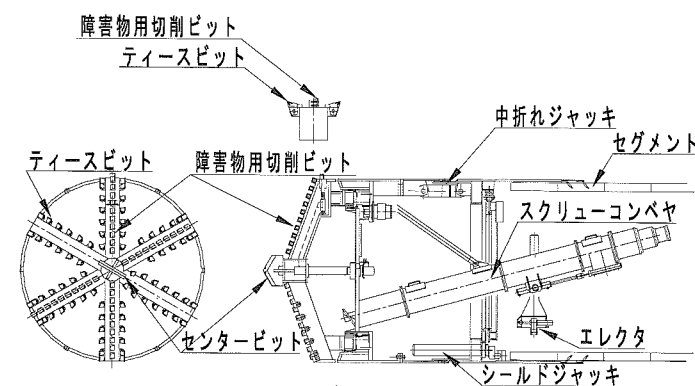


図-4 ドリルヘッド型シールド⁶⁾

2) 障害物対応型シールド工法⁶⁾

この工法は、地中障害物(木杭, RC構造物)をシールドのビットで直接切削し、掘削土砂とともにシールド内に取り込むものです。

要素実験の結果、木杭にはロータリースポーク型シールドが、RC構造物にはドリルヘッド型シールドが有効であることがわかりました。

この工法は、RC構造の発進坑口をシールドで直接切削する場合にも適用できます。

(3) 工法適用の留意点

以上紹介した各工法は、シールド製作時にあらかじめ切削撤去装置を装備する必要があります。

このため、事前装備なしに不幸にして障害物に遭遇した場合には、他の対策を考える必要があります。

また、木杭, RC杭やPC杭などのコンクリート

構造物および鋼管などは特殊ビットを装着することにより切削した実績があります。

以上のことから、これらの工法を適用する場合には、切削する対象物を十分に調査し、経済性, 工期, 切削撤去の施工性, 安全性などを検討のうえ、工法の選定をすることが重要です。

(文責: 高松伸行/東急建設(株))

参考文献

- 1) DO-Jet工法研究会: 障害物遭遇時の施工フロー, <http://www.do-jet-kouhou.com/>
- 2) DO-Jet工法研究会: DO-Jet工法パンフレット
- 3) 宇田川孝之・吉川静雄・船越 誠・田村 憲: アプレシブジェット水流で地中障害物を切断除去し推進, トンネルと地下, Vol.37, No.10, pp.29-35, 2006.10.
- 4) ジェットモール工法研究会: ジェットモール工法, <http://www.sjm-kouhou.com/>
- 5) (株)熊谷組: 支障物撤去シールド工法, http://www.kumagaigumi.co.jp/p_gi001/gi_db006.html
- 6) (株)奥村組: 支障物対応型シールド工法, <http://www.okumuragumi.co.jp/technology/engineering/pdf/29.pdf>

Q 20. シールドUターンなどシールドを引き出す計画が増えていますが、この場合の坑口設備や補助工法について教えてください。

A. 近年、シールド本体を引き出す事例が増加していますが、これはシールド工事の長距離化やコストダウンの観点から鉄道や道路などの併設トンネルを1台のシールドで施工することが一般化されてきたことによります。

こうしたことによりシールド工事の中で到達・引き出しと再発進の機会が増加していますが、到達時のシールド本体引き出しは立坑への地下水および土砂の流入や、それに伴う周辺地盤沈下・陥没などをまねくりリスクが大きいため、施工する際

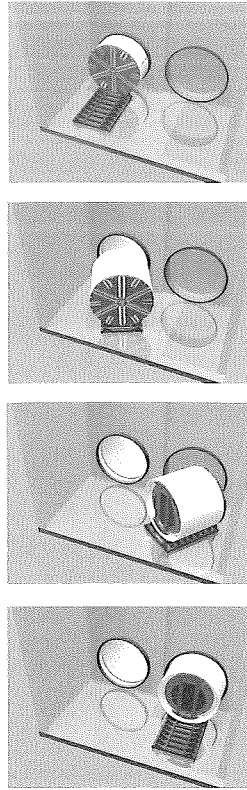


図-1 引き出しUターン概念図¹⁾

にはもっとも注意を払うべき工程のひとつと言えます。

以下にシールド引き出し方法、坑口設備、補助工法、シールド受け台移動の概要(図-1参照)と引き出し事例について記述します。

(1) シールド引き出し方法

一般的なシールド到達・引き出し方法には図-2に示すような、薬液注入工法、高圧噴射攪拌工法や凍結工法などの地盤改良や地下水位低下工など補助工法による方法や、補助工法併用の受け入れ室(筒状隔壁など)設置や水中到達などの方法があります。最近では仮壁直接切削での到達・引き出し事例もあります。

一般的なシールド引き出しの施工ステップを図-3に示しますが、工事により、必要な工程がこのステップ図に加わるようになります。

(2) 坑口設備

到達坑口設備は、その設置時期がシールド到達

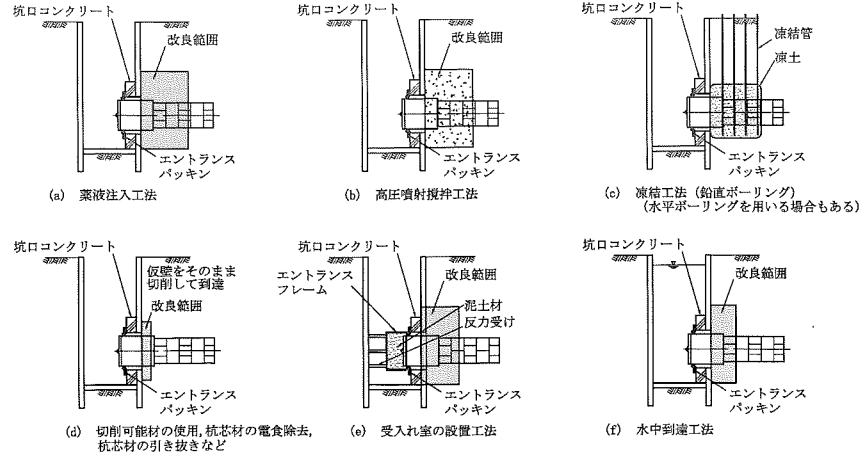


図-2 シールド到達方法(例)²⁾

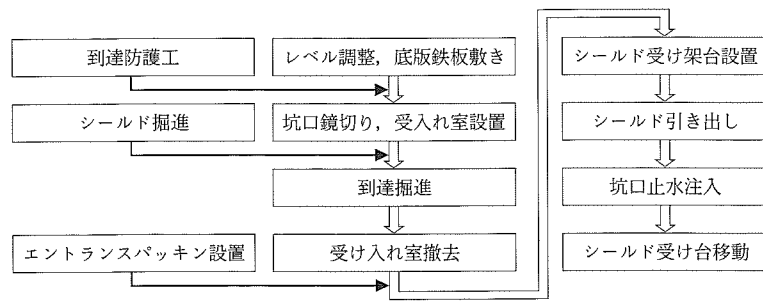


図-3 施工ステップ例

前と後とで異なり、受け入れ室設置による到達方法ではシールド到達前に設置するのが一般的です。

また、立坑坑口とシールド本体間の止水のためエントランスパッキンを設置する場合がありますが到達出口に使用するパッキンは発進時のパッキンに比べ止水性能が大きく落ちることは否めません。それは発進では地山土水圧により、パッキンがシールドやセグメントを締め付けようとするのに対し、到達では土水圧によりパッキンがシールドやセグメントから離れようとするによります。

そのため到達のエントランスパッキンでは鋼製フラップをワイヤーで絞るなどの措置を施す場合や、水や空気で膨張するチューブ式エントランスパッキンを採用する場合があります。

また、シールドに装備した同時裏込め注入管やその保護ビットなどの突起によりパッキンが破損しやすいことや追従しにくいなどの問題点もあります。高水圧地盤や透水性・流動性の高い地盤で

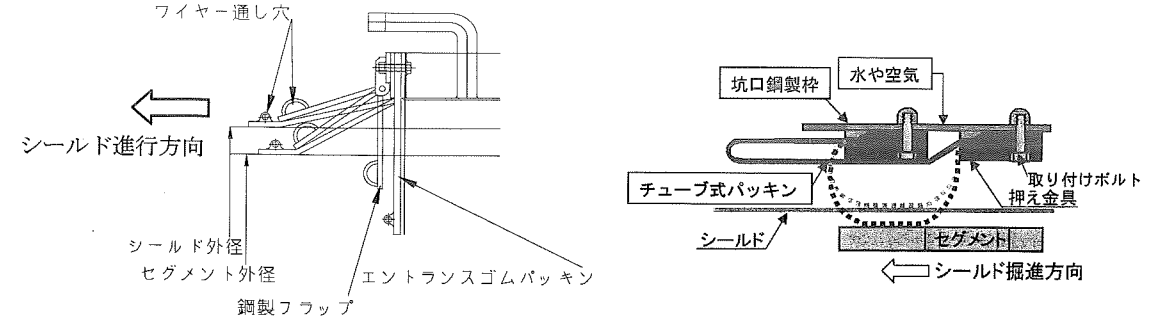


図-4 フラップ式(左)とチューブ式パッキン(右)

パッキンのみに頼ると危険な場合がありますのでパッキンの種類(図-4参照)や設置方法、地盤改良あるいは到達方法も含め、安全な方法を検討し選定する必要があります。

(3) 補助工法の目的

到達・引き出しにおける補助工法は立坑内への土砂流入や地盤の陥没など重大な不具合発生を防止するためのもっとも重要な対策です。十分な事前検討と施工管理を要するものです。なお、補助工法は下記の目的で行います。

- ① 到達坑口仮壁取り壊し時の地盤強化
- ② シールド引き出し時の背面地盤止水や水みち遮断

目的①のための補助工法としては薬液注入工法、高圧噴射攪拌工法、凍結工法などが一般的です。

また目的②では、薬液注入工法、地下水位低下工法、凍結工法などが一般的です。

流動性の高い細砂層や高水圧地盤など地下水の流入が問題となる場合は止水目的の地盤改良領域と裏込め注入領域を十分に重ね合わせることでシールドに沿った水みちを遮断するよう計画することが一般的に行われています(図-5参照)。しかし、地盤条件や埋設物位置など条件によっては確実な止水効果を得られないこともありますので、その場合は他の補助工法の併用も検討する必要があります。

なお仮壁切削による到達であっても、周辺地盤への影響防止などのための地盤改良が必要な場合があります。また流動性の高い細砂層や高水圧地盤などではシールド引き出し時に仮壁切削径とシールド

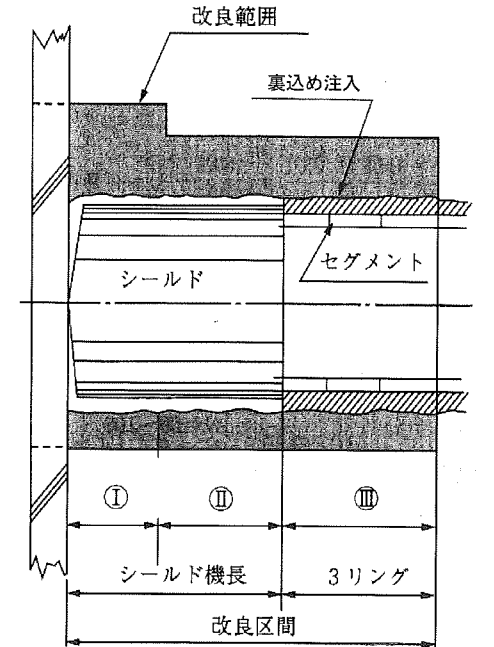


図-5 到達防護工計画例³⁾

ド外径のわずかな間隙から地下水と土砂流入を引き起こす可能性がありますので十分な検討が必要です(図-6参照)。

(4) シールド受け台移動

シールド引き出し後は、シールド受け台を立坑内で移動・回転させる作業となります。受け台の移動は立坑内の同一平面で移動する場合や、ジャッキで上下に昇降する場合があります。

同一平面でシールド受け台を移動させる場合、シールド受け台と作業床の間の摩擦抵抗を減少させ、ジャッキなどにより所定の位置まで移動させる方法が多く採用されています。

作業床を平滑にするため鉄板などを敷き、シー

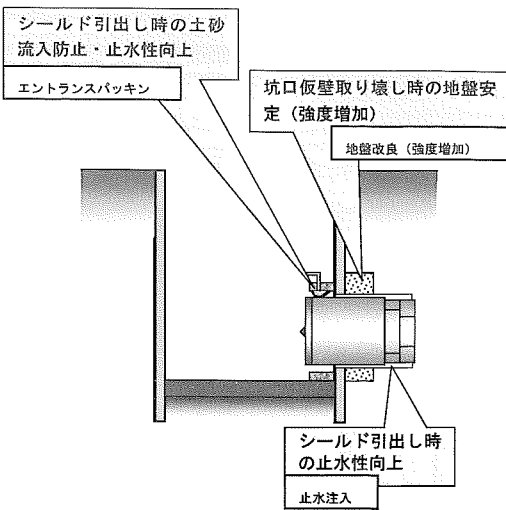


図-6 到達・引き出し時の検討項目と対策

シールド受け台との摩擦を減少させるため下記のような材料や装置を使用します。

- ① グリス
- ② 表面研磨塗装被覆のすべり支承
- ③ 鋼球あるいはコロ（ボールスライダーなど）
- ④ エア浮上（エアキャスターなど）

なお、小口径で軽量のシールドの場合、クレーンで吊り上げて移動することもあるようです。

(5) 施工上の注意点

到達およびシールド引き出しについては下記に示すようなことには十分な検討を行うことが必要です。

- ① 適切な到達防護工の選定と範囲の設定
- ② 坑口設備の選定と設置時期
- ③ シールド受け台設置と移動方法
- ④ シールド引き出し時の補足注入
- ⑤ 引き出し時の止水確認とエントランスパッキンの防護(写真-1はビットによりエントランスパッキンのゴムを破損した状況)
- ⑥ 緊急事態に備えて注入工の現場待機や連絡体制
- ⑦ シールド移動・回転時の立坑内空余裕

(6) 施工事例

立坑Uターン施工において水中到達による引き出しを行った事例を下記に紹介します(写真-2~6参照)。

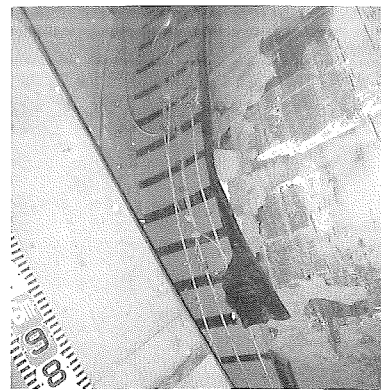


写真-1 エントランスパッキン破損状況

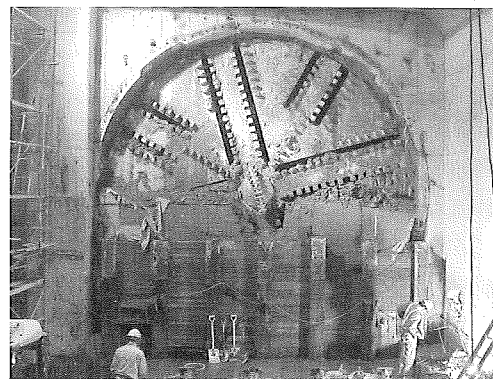


写真-2 到達後受け入れ室撤去

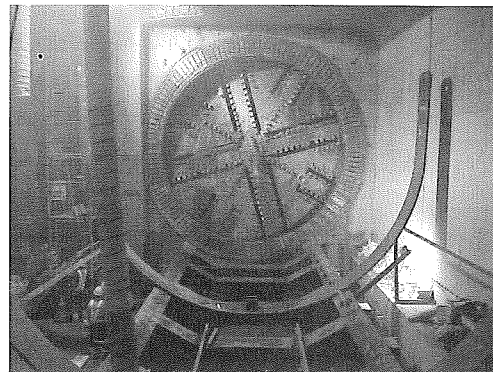


写真-3 エントランスパッキン設置

工事概要

- ・外径：6,760mm泥水式シールド
- ・到達部土かぶり：28m
- ・土質：洪積砂質土(流動性が大・均質な砂)
- ・立坑：到達部直上に多数の地下構造物あり

この現場でシールド到達・引き出し方法選定に際し、検討した項目を表-1に示します。

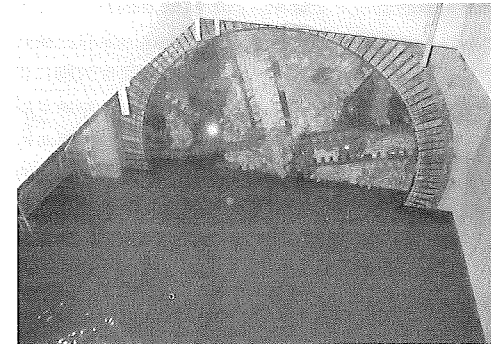


写真-4 到達立坑水張り

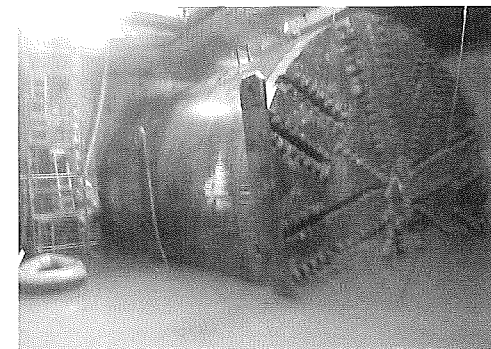


写真-5 水中到達(引き出し)後、排水

この現場では、地盤の崩壊性が高いことや、地下埋設物が多いため、薬液注入工法による地盤改良のみでは万全ではないと判断し、地盤改良工と地下水位低下工を併用した水中到達を採用しました。この事例のように、地盤条件や立地条件をもとに、各現場に適した安全な到達・引き出し方法を事前に十分検討することが大事です。

(文責：久原高志/清水建設(株))

参考文献

- 1) 荒神敏郎・江水淳・後藤真吾・柴田佳彦：2,000tfの

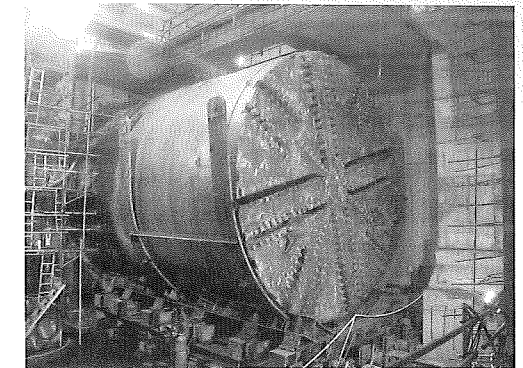


写真-6 排水後、引き出し

表-1 到達・引き出し方法の比較検討項目

到達方法	検討事項
地下水位低下工	<ul style="list-style-type: none"> ・ディープウエル設置箇所・本数と効果 ・地盤沈下、井戸など周辺への影響 ・排水処理方法とコスト
地盤改良工	<ul style="list-style-type: none"> ・埋設物、近接構造物状況 ・地上施工ヤード ・水平注入の確実性 ・工法選定とコスト
受け入れ室(筒状隔壁)機械的止水装置	<ul style="list-style-type: none"> ・立坑内空余裕 ・同時裏込め注入管や保護ビット突起に対する止水性
立坑埋戻し(流動化処理土)	<ul style="list-style-type: none"> ・埋戻し・撤去手間が大きいことによる工期とコスト ・安全性の高さ
水中到達	<ul style="list-style-type: none"> ・供給水の確保 ・排水ルート確保 ・排水時の安全性 ・安全性の高さ

大断面シールドを立坑内でUターン、首都高速中央環状新宿線 東中野～中野坂上間、トンネルと地下、Vol.37, No.5, pp.17-24, 2006.5.

- 2) 土木学会：2006年制定・トンネル標準示方書、シールド工法・同解説、2006.7.
- 3) 日本ジェットグラウト協会：JET GROUT 技術資料.

続きみの庭にも温泉が出る

その後の温泉開発と建設の考え方

石井康夫・俣野恭寛 共著 新書判 217頁 本体定価 1,200円 (〒210円)



〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16マイジャー神楽坂 電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

トンネル補修工事・鋼アーチ支保工・ロックボルト



株式会社 マシノ

代表取締役社長 増野 裕人

本 社：〒733-0822 広島市西区庚午中1-19-23 TEL. (082)507-2737
大阪支店：〒564-0062 大阪府吹田市垂水町3-16-3 TEL. (06)6389-6400

ジオフロントに技術と実績で迫る 三菱トンネル掘削機(シールド, TBM)

三菱重工業中機株式会社

東京事務所

東京都港区港南二丁目16番5号 〒108-8215 TEL. 03(6716)4092



MITSUBISHI
DIABIT

三菱マテリアルの建設工具
MEET YOUR REQUEST!!

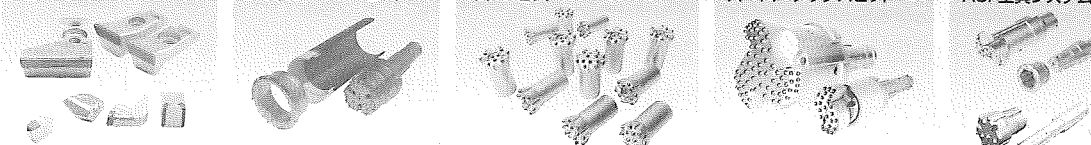
シールド用カッタービット

ウルトラメックスビット

ポタンビット

スーパーメックスビット

AGF工具システム



東京支店 03-5819-5263 大阪支店 06-6355-1053 九州営業所 092-573-7372 海外グループ 0584-27-5011 岐阜製作所 0584-27-4334

HCD-101・301・401 油圧クローラードリル YTB-1120 トンネルビッガー

ヤマモトロックマシン株式会社

代表取締役 山本 勝 俊

東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 富士ビル713区

TEL(03)3201-0701 FAX(03)3201-5702

URL <http://www.yrm.co.jp> E-mail: tokyo@yrm.co.jp

連載講座

シールド工事の施工に関するQ&A(7)

JTA都市トンネル小委員会

Q21. 土質条件に応じたシールドの姿勢制御のポイントを教えてください。

A.

(1) シールドの姿勢

シールドの姿勢は、一般に図-1に示す3要素で表されます。

- ・ピッチング：シールドの上向き・下向き角
- ・ヨーイング：シールドの掘進方向(方位)角
- ・ローリング：シールド(トンネル横断面)の時計回り・反時計回り角

一般に、ピッチングとヨーイングは、シールドジャッキの使用パターンや中折れ装置の使用により、制御することができます。

また、ローリングは、カッタの回転方向の選択やローリング修正装置の使用などにより、制御できます。

(2) 姿勢計測装置

一般に、シールドの姿勢計測には、ピッチングおよびローリングに対しては傾斜計(ピッチング計およびローリング計)や下げ振りが、ヨーイングに対してはジャイロコンパスが用いられています。また、組み上がりセグメントとシールドの相対位置を測るシールドジャッキストローク計(ワ

イヤ式測長計)、シールドの中折れ角を測る中折れジャッキストローク計(ワイヤ式測長計)などにより、シールドの姿勢・掘進方向と、組み上がりセグメントとの位置関係が特定できます。

これらの値は、運転席の表示器や、管理システムの中央制御室・事務所のPCで確認できます。

なお、ローリング計には測定範囲の比較的小さい計器が装備されていることが多く、シールドの姿勢状況によっては測定範囲を超えてしまう場合があります。そのとき計器は、「測定上限値あるいは下限値」を表示したままとなってしまう、実際のシールドの姿勢とは異なった状態を表示していますので、注意が必要です。図-2にローリングが計器の測定限界を超えた場合の例を示します。

このように計器の表示値が測定限界値に近づいた場合には、測量時に下げ振りなどで姿勢を確認し、早めに修正を行うことが重要です。

なお、最近では、シールドの運転状況・掘削状況・裏込め状況・坑内環境状況などのデータをシールド姿勢データと併せて、パソコンで収集・管理

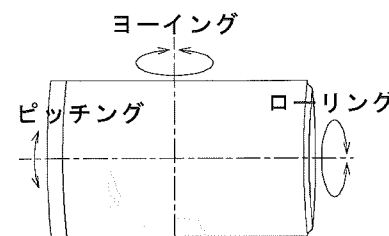


図-1 シールドの姿勢構成要素

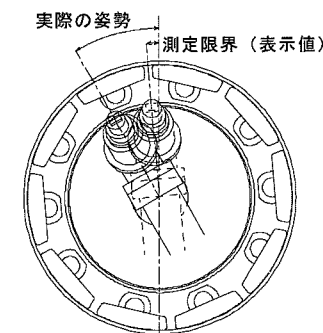


図-2 ローリングが測定限界を越えた場合(土圧式シールドの例)

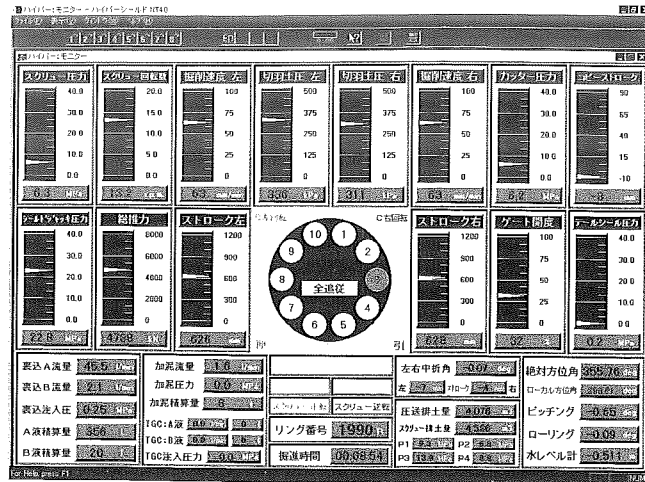


図-3 シールド掘進管理システムの例¹⁾

する「シールド掘進管理システム」を導入するケースが増えてきています。図-3にシステムの一部を示します。

(3) シールドの姿勢と制御について

シールドの姿勢は、掘削対象の地盤状態により、さまざまな状況が現れます。

洪積層～軟岩などの硬質地盤では、地山へのカッタの食い込み抵抗により、シールドがカッタ回転方向と逆方向にローリングしやすくなります。

また、硬質地盤と軟弱地盤の互層地盤で下部に硬質地盤が存在するとその硬質地盤にシールドが乗り上げてしまうこともあります。

これらの地盤では、比較的地盤反力を期待できるため、カッタの回転方向制御や、コピーカッタの使用などによる余掘り管理で、姿勢制御することが可能です。

一方、地盤反力があまり期待できない軟弱地盤においては、「シールドの正しい姿勢を保つ」、「正しい姿勢に戻す」ことは容易ではありません。

軟弱地盤で起きる主な現象として、次のものが挙げられます。

- ・ノーズダウン
- ・ローリング
- ・曲線施工時のシールドの横滑り(オーバーラン)

以下にこれらの現象について説明します。

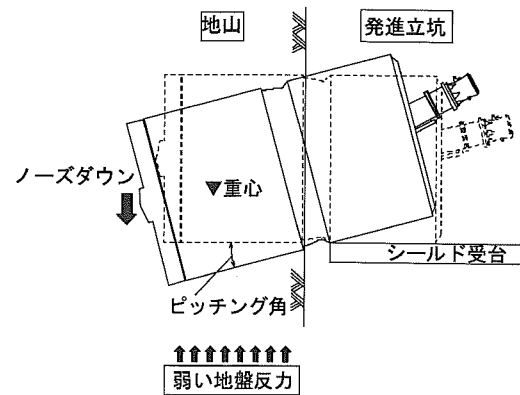


図-4 ノーズダウン

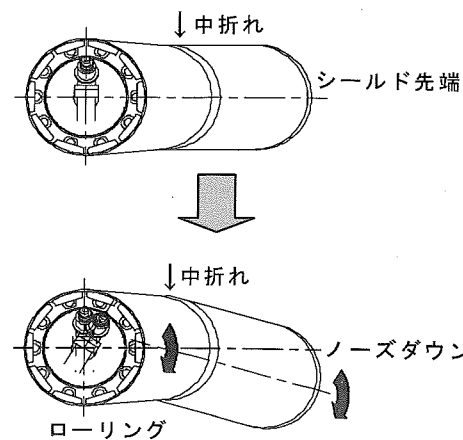


図-5 ノーズダウンに起因するローリング

1) ノーズダウン

シールドは前方に機械設備が集中し、「前加重」の重量バランスであるため、前方が下がる「ノーズダウン」を起こしやすい機械です。例えば、シールドが立坑から発進する場合、発進坑口から掘進するに従って、シールドの自重は、シールド受け台から地山に分担されます。このとき、軟弱地盤では十分な地盤反力がとれず、シールドのノーズダウンを引き起こします。図-4にシールド発進時のノーズダウンの状況を示します。

2) ローリング

曲線施工時には、シールドは中折れ状態での姿勢を保つこととなりますが、この状態でノーズダウンが発生すると、後胴中心から見た前

胴の重心位置は偏心しているため、これがモーメントアームとなり、ローリングの原因となります。図-5にノーズダウンに起因するローリング状況を示します。

このように軟弱地盤での曲線施工時の中折れ状態の姿勢では、地盤支持力不足に起因するノーズダウン、さらにノーズダウンに起因するローリングが発生しやすいことに注意する必要があります。ローリングは、その度合いにもよりますが、次のような問題を引き起こします。

- ① シールドジャッキ推力が、セグメントに対してすべて垂直に作用せず、セグメントをローリングさせるような分力が作用するため、「セグメントのローリング」が発生させます。
- ② シールドと後続設備(配管・後続台車・セグメント搬送設備など)の間がねじれ、機械的な不具合が発生します。
- ③ 中折れ状態でローリングが発生した場合、シールド先端中心の座標算出に、ローリング補正を行う必要があります。

このようなローリングが発生した場合の対策としては、以下のような修正方法があります。

- ① ローリングしている方向にカッタを回転させることで、地山反力を利用しシールドのローリングを修正します。
- ② シールド製作時にローリング修正装置を装備しておき、これで修正します。

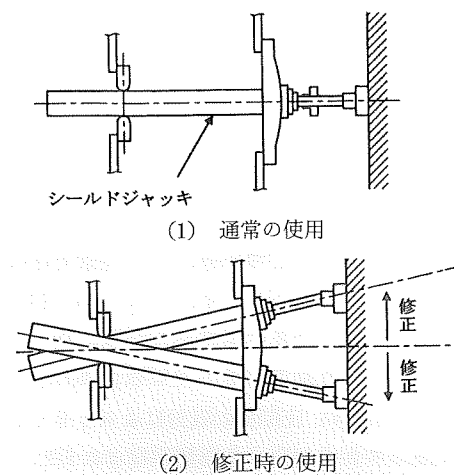


図-6 ローリング修正装置²⁾

図-6にローリング修正装置の例を示します。

3) 曲線施工時のシールドの横滑り

シールドの曲線施工時には、計画路線にシールド中心を乗せ、必要な中折れ角を保った状態で、計画時に計算したジャイロコンパス表示角(前胴の方位角)を目指して掘進します。

このとき、シールドは計画どおりの角度で掘進しているにもかかわらず、テール部ではカーブ内側のセグメントが競ってしまうことがあります。これは、シールドが計画どおりの中折れ状態を保ったまま掘進しているときに、曲線中心から半径方向外側に押し出される「横滑り(オーバーラン)」現象の発生によるもので、ジャッキ推力に比べて、外側の地盤反力が不足する場合に発生します。

また、この際にテールクリアランスが小さくなっていることに気づかないと、やがてセグメントを組み立てることができなくなるので、毎日の測量結果を踏まえて、シールドの姿勢・シールド中心線と計画路線の関係を把握し、掘進指示(ジャッキパターン・中折れ角など)することが重要となります。図-7にシールドの横滑り状況を示します。

(4) まとめ

実際に現場で使用されるシールドは、厚鋼板を用いた筒状に製作されたものに、さまざまな機器を搭載した機械であるため、微妙な重心位置の偏心があり、「右(左)へローリングしやすい」「右(左)に曲がりやすい」などの現象を起こします。

これらは一般に「シールドの癖」と呼ばれていますが、発生する現象と度合いは、組み上がったシールドごとに異なります。そこで、初期掘進の

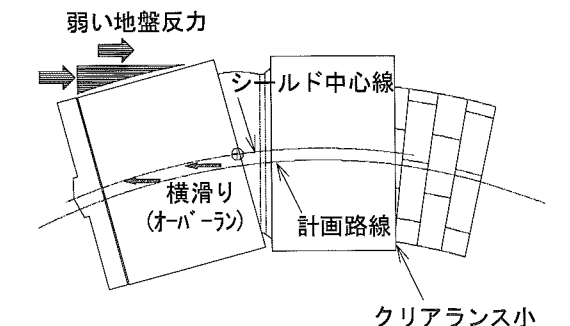


図-7 シールドの横滑り(オーバーラン)

間にこの「シールドの癖」を十分把握し、本掘進にその癖を反映させることが重要となります。

本掘進においては、こまめなジャイロ指示などの線形管理を行うと同時に、実際の掘進実績と計画との差異を将来の掘進計画・掘進指示にフィードバックさせるなど、地道な掘進管理を行うことで、シールドの正しい姿勢を保つことができます。

また、異常事態への対処法としては、「早期発見・早期対応」を行うことが重要です。

(文責：横崎照将・奥利明/(株)不動テトラ)

参考文献

- 1) (株)ハイパーエンジニアリング：「ハイパーシールドシステム」パンフレット。
- 2) 土木学会：トンネル標準示方書 [シールド工法]・同解説, p.147, 2006.7.

Q 22. 泥土圧シールド工法の添加材の目的と選定のポイントを教えてください。

A.

(1) 添加材注入の目的

トンネル標準示方書¹⁾によると、泥土圧シールド工法における添加材注入の目的として下記事項が挙げられています。

① カッタチャンバ内に充満した掘削土砂の塑性流動性を高める

② 掘削土砂と攪拌混練りして止水性を高める

③ 掘削土砂のシールドへの付着を防止する

などの目的で切羽面あるいはカッタチャンバ内に注入される。その結果、

① カッタビットやカッタヘッドなどの摩耗の低減

② カッタおよびスクリーコンベヤのトルクの軽減

などの副次的な効果も期待できる。

泥土圧シールド工法において切羽の安定を高めるためには、泥土圧の管理、泥土の塑性流動性の管理および排土管理が中心となります。ここに、掘削土砂の「塑性流動性を高める」とは、添加材注入によって切羽の地盤間隙の地下水を排除して、

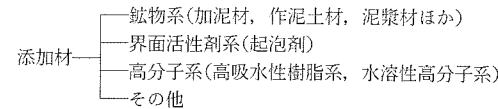


図-1 添加材の分類

土砂の接触状態を軽減(内部摩擦角の低減)することで、掘削から排土に至るまでの掘削土砂の流動性および止水性を改善することを言います。

(2) 添加材の種類と適用範囲

1) 添加材の種類

一般に、添加材は図-1に示すように鉱物系、界面活性剤系、高分子系、その他に分類され、地盤の粒度構成および目的・用途に応じて使い分けがされているのが現状です。以下に特徴について述べます。

① 鉱物系：地山に不足する細粒分を補う目的で粘土、ベントナイトなどを主材として添加し、掘削土砂を流動性と不透水性を有した良好な泥土に形成します。当添加材は使用実績も多く各種地盤に適用できますが、作泥プラントや貯泥タンクなどの大規模化や排出土砂の泥状化に課題が残ります。

② 界面活性剤系：特殊起泡材と圧縮空気で作られた気泡を添加して、粘性土の付着防止および砂質土の流動性と止水性を高めます。また、気泡が消泡することで掘削土砂の後処理も容易となりますが、排出土砂をポンプ圧送する場合は効率を低下させる場合があるので注意を要します。

③ 高吸水性樹脂系：自重の数百倍の水を吸収してゲル状になるため、作液後に地下水を吸水できる範囲で噴発防止に効果があります。しかし、塩分濃度の高い海水や鉄、銅などの金属イオンを多量に含む地盤、あるいは強酸性や薬液注入などの影響がある地盤では吸水能力が大きく低下します。

④ 水溶性高分子系：樹脂系と同様に高分子化合物からなり凝集効果によって土砂の粘性を増大させます。主原料の成分によってセルローズ系、アクリル系、多糖類系などに分類され作液が簡単なのが特徴です。

⑤ その他：その他の添加材として上記の①～④の組み合わせによる複合添加材や、珪酸と鉱物系の組み合わせによるゲル化材、さらには珪酸質のゾルなどが挙げられます。これらは、フロックまたはゾルを形成して地下水に希釈されにくいことから、いずれのタイプも地下水が豊富な砂礫地盤や細粒分が少ない砂質土、塩分や鉄分などの影響がある特殊地盤などで採用されるケースが多くなっています。

2) 添加材の適用範囲

添加材は「材料」として扱われる場合が多いのですが、添加材と併せて施工システムや装置が開発され「工法」として扱われている場合もあります。以下に、シールド工法技術協会が工法として扱っている適用範囲を示します。

① 泥土加圧シールド工法²⁾

図-2に示す鉱物系添加材を代表する作泥土材算定グラフでは「泥土化域」と「非泥土化域」に大別し、0.075mm以下の細粒分が30%以上になるよう作泥土材を添加することで、すべての地盤に対して同工法が適用できるとしています。また、細粒分を30%以上含有する地盤では、含水比と液性限界の関係によって「粘性低下材」による掘削領域としています。

② 気泡シールド工法³⁾

図-3に気泡シールド工法で適用する界面活性剤系起泡材の選定基準を示します。

起泡材の使い分けによって幅広い地盤に適用が可能ですが、礫率70%以上の帯水砂礫地盤では『Bタイプ特殊起泡材と他の添加材あるいは補助工法の併用』や『Cタイプ特殊起泡材適用範囲』とされています。

③ ケミカルプラグシールド工法⁴⁾

図-4に多糖類系の添加材を用いるケミカルプラグシールド工法の適用範囲を示します。

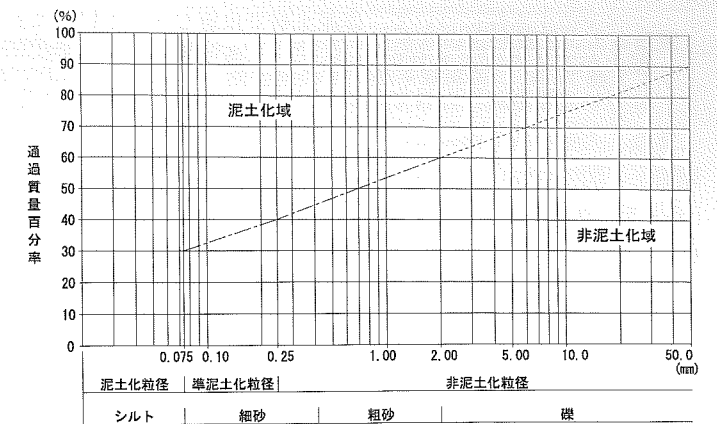


図-2 作泥土材算定グラフ

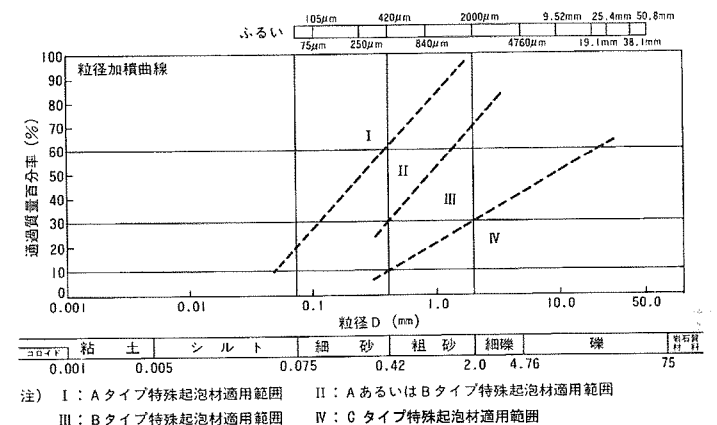


図-3 土質と特殊気泡材の選定基準

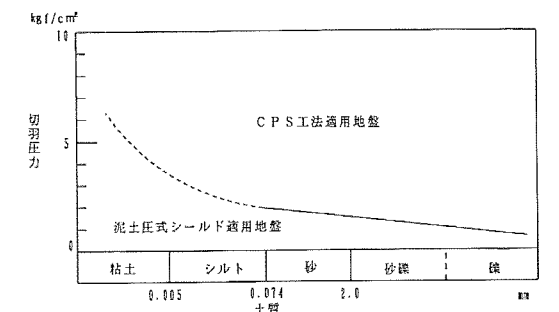


図-4 適用地盤と地下水圧

本工法は、対象とする地盤の水圧を考慮して、1 MPa以下の地下水圧と地盤の粒径によって適用範囲が示され、泥土圧式シールドの適用地盤と区別しています。

ただし、地下水圧に対する実験的研究としては、1990年に行われた「泥土加圧シールド工法の耐水圧実証実験」⁵⁾ではスクリーコ

ンペヤの止水性について、作泥土材で良質な泥土ができれば、水圧0.7MPaまでの適用性について検証が行われています。

また、上記の各工法については、各技術資料で地盤との関係において、添加材の「濃度」および「注入率」が示されています。

(3) 添加材選定の留意点

1) 添加材選定の着目点

泥土圧シールド工法で適用する添加材の選定については、代表的な地盤について下記の留意点が挙げられます。

粘性土を対象とした場合は、付着防止や泥状化防止に着目した添加材の選定が重要になります。また、「注水」による掘進では排土方式によって掘削土砂の泥状化対策が必要になります。

砂質土では、掘削土砂の内部摩擦角低減を考慮して、土砂の流動性改善および機械負荷の低減に着目して添加材を選定します。とくに、細粒分の含有量が10%以下で均等係数が小さい砂質土地盤では、水溶性高分子系添加材の適用が難しい場合があるので検討が必要です。

帯水砂礫地盤では、地盤の間隙が大きいことから添加材そのものが地下水に希釈されやすいため、掘削土砂との混合で難透水性の土砂に土性値を改善できる添加材の選定が重要になります。とくに、巨礫・玉石などの搬出に有利なりボンスクリューを適用した場合は、ゲートから地下水の噴発を防止し、土圧を保持して切羽の安定を図れる添加材の選定が必要です。

2) 事前試験による添加材の選定

添加材による掘削土砂の塑性流動性の改善効果を確認する目的で事前試験を行います。試験は、モデル地盤または立坑掘削土を対象に添加材の種類および添加率を変えて行います。

主な試験としては、地盤のふるい分け試験(粒度組成の確認)、スランプ試験およびテーブルフロー試験(塑性流動性の確認)、ブリーディング試験(不分離性の確認)などがあります。また、場合によってはベンセン断試験や三軸圧縮試験によって粘着力(C)や内部摩擦角(ϕ)を測定して、添加

材による土性値の改善効果や添加材注入量の適正について確認する場合があります。

その他、施工中の添加材の作液に井戸水を使用する場合は、地盤環境条件に応じて地下水のイオン性や鉄分、塩分などの含有について事前調査が必要になります。

また、シールドの掘進中もふるい分け試験やスランプ試験によって地盤の粒度構成の把握や、掘削土砂の塑性流動性を把握して添加材注入管理を行うことが重要になります。

3) 帯水砂礫地盤での添加材の選定

一般に崩壊性の高い地盤⁹⁾とは、粒径0.075mm以下の細粒分含有量が8~10%以下、地盤の透水係数が 10^{-2} cm/secオーダ以上、地下水圧が50~70kPa以上、などの条件が重複する砂および砂礫層を対象とするもので、このような地盤ではシールド掘進中に排土機構(ゲート)から地下水を噴発させ切羽の崩壊をまねく場合があります。

このような地盤での切羽安定対策としては、掘進機が地盤に適合することを前提として、添加材による掘削土砂の塑性流動化要因、泥土圧、掘進速度、排土量などの管理的要因などが挙げられます。

このうち、添加材の要因としては帯水砂礫地盤の塑性流動性の改善に必要な「細粒分」やコンクリートでいう細骨材に相当する「砂分」に相当する材料を付与することが重要になります。これらの対策例として、従来適用してきた添加材のほかに、細粒分による粘性付与と気泡のベアリング効果を期待した「鉍物系と界面活性剤系」の組み合わせ、また細粒分をフロック状にしたものを地盤の間隙に添加して止水効果を高める「鉍物系と珪酸塩」の組み合わせ、さらには粉碎したゲル化材を添加して掘削土砂を難透水性に改善する「珪酸質ゾル」などが実績として挙げられます。

現在では、礫地盤や硬質地盤などを対象として各種添加材および工法が開発され実用化されていますが、配合試験や事前試験で地下水量や水圧条件を模擬することは難しく、選定した添加材が実工事で適用が難しい場合があります。このため、



写真-1 添加材が適合しない場合
(ゲートから噴発・排土は分離状態)
地盤の礫率80%、透水係数 10^{-1} cm/sec

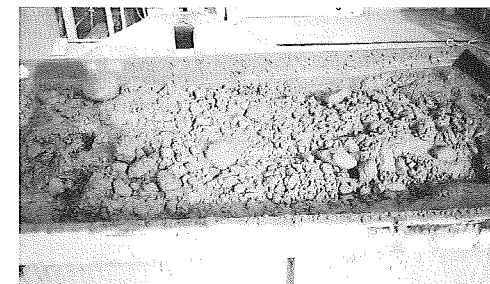


写真-2 添加材が適合している場合
(ゲートから噴発なし・塑性流動化状態)
地盤の礫率80%、透水係数 10^{-1} cm/sec

これらの地盤では実績などを十分に勘案して添加材を選定する必要があります。

同一地盤における、添加材種別の違いによる掘削(排土)状況の違いを、写真-1, 2に示します。

(文責: 齋藤優/(株) 銭高組)

参考文献

- 1) 土木学会: トンネル標準示方書[シールド工法]・同解説, pp.174-176, 2006.7.
- 2) シールド工法技術協会: 泥土加圧シールド工法, 技術資料, 資料Ver. 3, p.19, 2007.6.
- 3) シールド工法技術協会: 気泡シールド工法, 技術資料, 資料Ver. 3, p.3, 2007.6.
- 4) シールド工法技術協会: ケミカルプラグシールド工法, 技術資料, 資料Ver. 3, p.4, 2007.6.
- 5) 近藤紀夫・富沢勉: 泥土加圧シールド工法の耐水圧実証実験—最大水圧 7 kgf/cm^2 における掘進管理について—, 土木学会年次学術講演会VI, 1990.9.
- 6) 川地武・辻博和ほか: 最近の滞水砂・礫層のシールド“その問題点と具体策を中心に”, 崩壊性地山における泥水の品質管理と補助対策, 日本プロジェクトリサーチ, pp.2-3, 1982.4.

Q 23. シールドトンネルの近接施工による既設構造物の挙動の予測解析について教えてください。

A. シールド工事は、都市部で行われることが多く、工事に際しては、多数の既設構造物と近接して施工されることとなります。このため、事前に近接構造物への影響の程度を把握し、必要に応じて対策工を計画・実施する必要があります。

ここでは、近接構造物への影響解析方法について以下に示します。

(1) 影響解析方法の種類

シールド工事に伴う近接構造物の沈下量・変位量・変形量などの予測解析を行う方法としては、Limanovの式、Jefferyの式およびFEM解析などがあります。

Limanov, Jefferyの式は、トンネル位置の地中応力から周辺地盤の変形量を簡易的に求めるものですが、以下の仮定のもとでの計算となります。

- ① 複数の地層からなる地盤においても単一層として評価します。
- ② トンネル全周にわたり地中応力が均一であるものとします。
- ③ トンネル位置地盤の地中応力は、完全に解放されるものとします。

コンピュータの処理速度が遅かった時代にはLimanov, Jefferyの式がよく利用されてきました。しかし、コンピュータ技術の向上により、解析に要する時間が短縮された現在では、FEM解析がもっとも一般的な影響解析の方法となっています。

また、海外では、ベック(Peck)、アットウェル(Attewell)、オレリー・ニュー(O'Reilly-New)が提案した沈下量算定式も利用されています。

ここでは、現在もっとも使用されているFEM解析について以下に示します。

(2) FEM解析の方法

1) FEM解析の概要

FEM解析(Finite Element Method Analysis: 有限要素法)とは、地盤、シールド、近接構造物

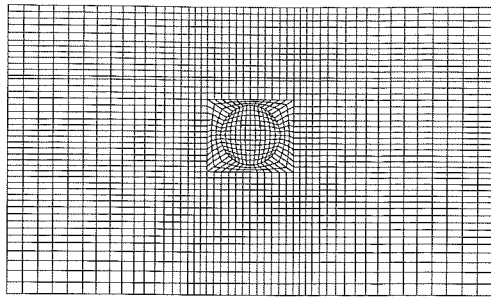


図-1 メッシュ図例

などのある一定の範囲を抽出し、三角形または四角形のメッシュ要素に分割して、その要素の各節点における力の釣り合い方程式を解いて連続する要素の変位・変形・応力を算定する方法です。

なお、メッシュの作成にあたり、要素間の応力変動が大きくなるシールド周辺、地盤急変位置および既設構造物周辺などは、メッシュサイズを小さくしないと解析精度を落とすことになるので注意が必要です。

近接影響解析では、一般に、2次元弾性平面ひずみモデルによるFEM解析が用いられることが多いです。土留め壁の設計では弾塑性解析が用いられることが多いですが、シールド施工に伴う地盤の変形量は、地盤の塑性を伴うような大きなものではないため、シールド施工に伴う影響解析では一般に弾性解析が採用されています。

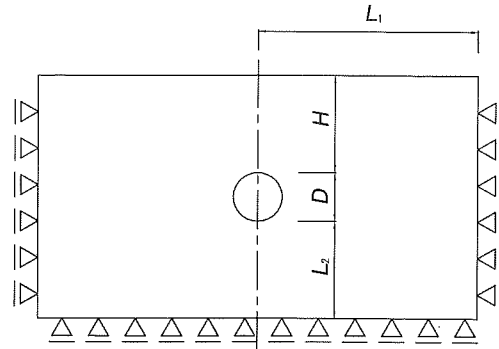
なお、FEM解析において、有効応力解析が用いられることもありますが、一般的には全応力解析を用います。

2) FEM解析範囲

FEM解析においては、地盤の部分的な範囲を抽出し解析を行うこととなります。この解析範囲が小さすぎると、境界条件の影響により正確な解析ができなくなります。解析範囲については数例の文献にて提案されていますが、おおよそ図-2の範囲程度とされることが多いです。

ただし、解析範囲の設定に際しては、地盤条件、近接構造物の形状、範囲を考慮し適切に判断する必要があります。

なお、境界条件は、一般に図-2に示すように設定します。



解析範囲の参考値： $L_1=1.5(D+H)$ 、 $L_2=2D$
 図-2 FEM解析範囲、境界条件の例

3) 地盤の定数

弾性FEM解析を行う際には、少なくとも以下の土質条件を設定する必要があります。

- ① 単位体積重量 γ
- ② 変形係数 E
- ③ ポアソン比 ν

解析に用いる地盤の変形係数 E は、一般に E_0 (初期接線変形係数)相当とします。

また、ポアソン比の一般値を以下に示します。ポアソン比の一般値

- 砂質土 $\nu=0.30\sim0.35$
- 粘性土 $\nu=0.40\sim0.45$

なお、硬質地盤ほどポアソン比は小さくなります。

地盤改良による補助工法を併用する場合には、改良地盤の物性値にて解析を行います。

4) 応力解放率

2次元FEM解析を行う場合は、シールド掘削による地中応力の解放率を設定します。

応力解放率が100%の状態とは、トンネルを無支保で掘削し、トンネルの変形に対して覆工などによる抵抗がない状態です。ただし、地山の肌落ちおよび崩壊はないものと考えます。

しかし、実際のシールドトンネルでは、地山をシールドの切羽圧、マシンのスキンプレート、セグメントおよび裏込め注入などにより支保した状態で掘進するため、地中応力の100%が解放されるわけではありません。

したがって、2次元FEM解析では、これらの

支保効果を考慮した応力解放率を設定し、周辺地盤および既設構造物への影響を予測することになります。

応力解放率については、いくつかの提案がなされていますが、ここでは、参考として東京地下鉄(株)にて提案されている方法⁹⁾を以下に示します。

解放応力=補正係数×(原地中応力-泥水圧)
 ここに、補正係数=0.3~0.4(30~40%)

応力解放率 α =解放応力/原地中応力

上式により算出した応力解放率は、一般的に10~20%程度となります。

5) FEM解析のまとめ

FEM解析は、シールド施工に伴う周辺地盤および近接構造物の予測変位量、構造物に生じる増加断面力などを求めるために有効な方法です。

(3) FEM解析を用いた近接影響検討方法

既設構造物の形状および既設構造物と新設シールドとの位置関係を考慮して、FEM解析による影響検討を行う場合の例を以下に示します。

- ① 既設構造物が橋台などの単体構造物の場合(既設構造物の鉛直変位量、傾斜角などを確認)

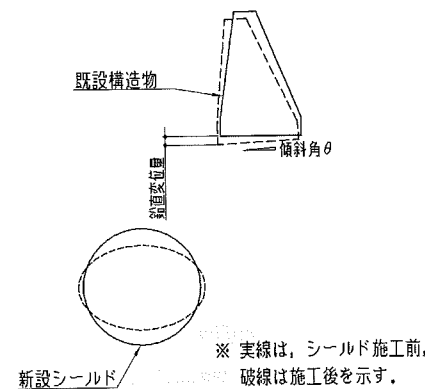


図-3 影響検討例①

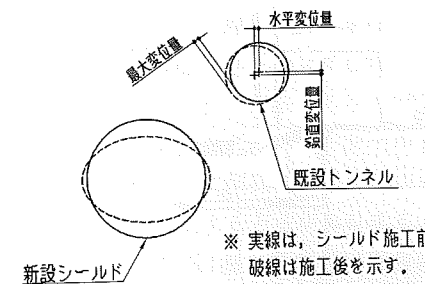


図-4 影響検討例②

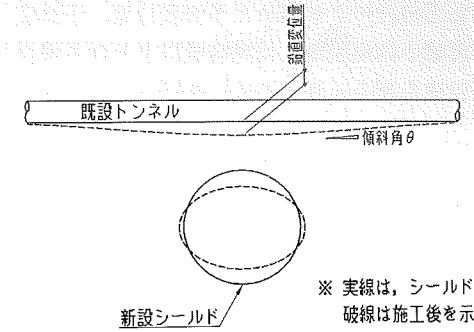


図-5 影響検討例③

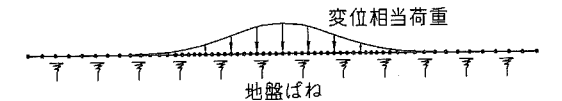


図-6 弾性床上の梁モデル

認(図-3)

- ② 既設構造物がトンネルなどの連続体で、かつ新設シールドと併走する場合(既設構造物の変位量、増加断面力などを確認)(図-4)
- ③ 既設構造物が連続体で、かつ新設シールドと交差する場合(既設構造物位置地盤の鉛直変位量、傾斜角などを確認)(図-5)

なお、既設トンネル縦断方向の挙動をフレーム計算(図-6参照)にて検討することもあります。

また、軟弱粘性土地盤においては、地山の乱れによる圧密沈下の検討を別途行うこともあります。

(4) 影響検討解析結果の利用

影響検討の結果は、以下の事項に利用します。

- ① 近接協議
- ② 現場計測の管理値の設定
- ③ 実施工の妥当性確認
- ④ 逆解析

実施工でのシールド掘進に伴う地盤変位計測結果と、FEM解析により算出した地盤の予測変位量を比較することで、逆解析を行うことができます。逆解析により当該工事条件における実際の応力解放率または土質定数などを推定することで、以後の施工に役立てることができます。

(5) 許容変位量

既設構造物の変位、変形および応力に対する許容値は、既設構造物の管理者と協議のうえ設定し

ます。影響検討により求めた予測変位量、予測変形量が協議の結果設定した許容値以上となる場合は、既設建造物の防護工の検討を行うこととなります。

(文責：村上初央/西松建設(株))

参 考 文 献

- 1) K.チェッキー，島田隆夫訳：トンネル工学—理論・設計・施工—，鹿島出版会，1971.
- 2) 中島誠三：シールド掘進に伴う地盤変状入門(7)，地盤変状の実態と評価解析手法(その4)，トンネルと地下，Vol.34，No.5，pp.67-73，2003.5.
- 3) シールド工事における予測と計測，基礎工，1989.12.

Q 24. 到達立坑からの漏水が止まりません。止水構造について教えてください。

A. 到達坑口の漏水に対する止水構造(止水方法)については、決まった方法はなく各現場で対応しているのが現状です。本稿では、現場で適用可能な止水方法について紹介します。

(1) 到達条件

到達坑口の止水構造を検討するうえでの施工条件は、次のとおり一般的な施工方法とします。

- ① 土留め壁のある立坑へのシールド到達とし、到達方法は、仮壁撤去工法(到達前または到達後に仮壁を撤去する方法)とします。
- ② 到達坑口には、坑口設備(エントランス金物とパッキン)を設置し、地盤補強や止水性確保のため到達部地山には地盤改良を施工します。
- ③ シールド解体手順としては、シールド残置(シールドスキンプレート残置、カット部撤去)またはシールド引き出し後、セグメント組立てとします。シールド解体後は二次覆工コンクリート、到達立坑内躯体コンクリートを施工します。
- ④ 到達坑口部に耐震対策を

行う場合や可とうセグメントを設置する場合を除きます。

(2) 漏水の原因(図-1①~④参照)

到達坑口からの漏水は、下記の原因が考えられます。

1) 地盤改良工の不具合

地盤改良工の出来形が悪く、未改良の部分が残った場合や必要な改良強度が確保できなかった場合、地盤改良工による止水が不十分となり、漏水する場合があります。

2) エントランスパッキンからの漏水、取り付け施工不良

コピーカッタおよび先行ビットによりエントランスパッキンが損傷し、その部分から漏水する場合があります。また、取り付け施工不良により、エントランスパッキンがシールドスキンプレートまたはセグメントに密着せず、その部分から漏水する場合があります。

3) シールドオーバーカット部分のボイド充填不良

裏込め注入によるボイド充填が十分でなく、地盤改良部などからの漏水がある場合です。

4) セグメントテールボイド部の裏込め注入の施工不良

裏込め注入工の未充填部が残っている場合や注入材料の体積減少により、空隙が生じ、シールド

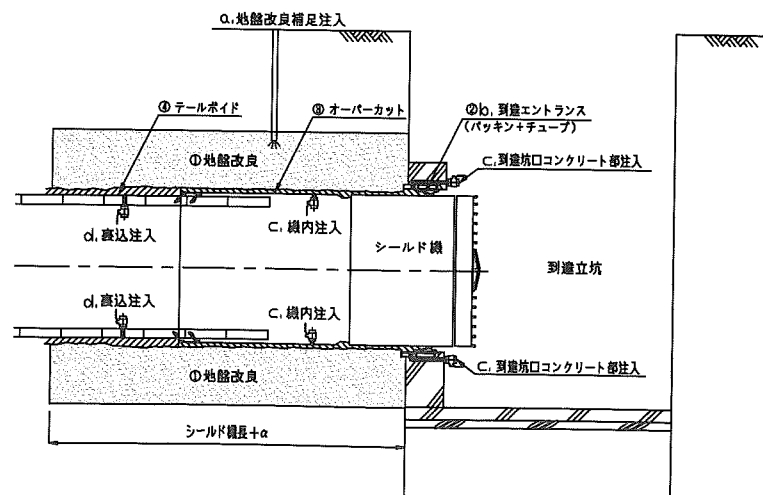


図-1 漏水の原因とシールド到達時の止水方

後方からの漏水がある場合です。

(3) シールド到達時の止水方法(図-1a~d参照)

1) 地盤改良補足注入の施工(図-1a)

到達前または到達後に仮壁を撤去する際、地盤改良による止水が不十分と判断した場合、地盤改良補足注入を施工します。

2) 到達坑口エントランスのチューブ方式採用(パッキン+チューブ)(図-1b)

従来工法(パッキン+ワイヤー)に比べ、チューブによる均一な面での締め付けが可能となるため、止水性が向上します。

3) シールドオーバーカット空隙部への確実な充填施工(図-1c)

シールド内または到達坑口コンクリート部注入孔より裏込め注入を行い、空隙部を充填します。

4) セグメントテールボイド部への確実な裏込め注入による充填施工(図-1d)

下記のような目的で到達部の裏込め二次注入を行う場合もありますが¹⁾、止水性向上にもつながります。

- ・裏込め注入工の未充填部の補填
- ・注入材料の体積減少分の補充
- ・シールドの推力によるセグメント、注入材料、地山の相互間に生ずることがある剥離状態への充填と一体化

(4) 到達後の止水および漏水対策(図-2参照)

前項のシールド到達時の止水方法を行ったにもかかわらず、到達坑口から漏水が発生した場合は水みちの推定、漏水量、漏水位置、到達坑口の仕上げ方法などを十分に勘案し、総合的な判断により止水方法を決定します。

1) 充填・注入工法

漏水量が少ない場合、漏水箇所へ直接的に止水剤を注入施工する方法やコーキングし集水ホース取り箇所から注入施工する方法があります。漏水量が比較的多い場合はセグメント、シールド、到達坑口部注入孔や新たに削孔した注入孔から間接的に止水剤を注入施工する方法があります。

止水剤はウレタン系(漏水量が多い場合は弾性タイプ、少ない場合は硬質タイプ)、エポキシ系、

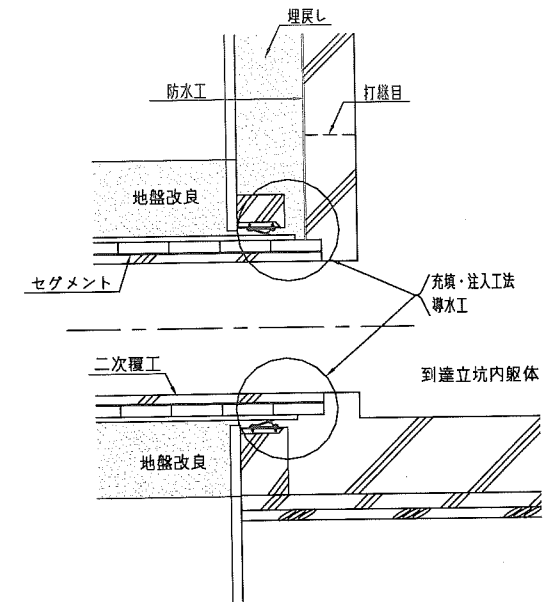


図-2 到達後の止水および漏水対策

アクリル系などがあります。

2) 導水工

到達坑口の漏水箇所をコーキングし集水ホース取りを施工します。漏水量・漏水箇所によってホース径や本数を決めます。

供用後のトンネルの使用目的によっては、導水工での対応も可能な場合もありますが、トンネル内に流水のある下水道トンネルなどでは、導水工での対応は不可であり、この場合、止水工のみでの対応となります。

(5) 二次覆工および躯体構築時の止水方法

到達坑口部の二次覆工および到達立坑内の躯体構築時の止水方法には、次のような方法があります。

- ① 到達坑口部およびセグメント漏水箇所の再止水
- ② 一般的なコンクリート建造物の止水・防水方法として、表面シールド工や躯体打継部・外壁部の防水工(止水板、防水シートや塗膜防水など)があります。
- (6) 坑口止水の留意点

到達坑口を止水する場合、坑口エントランス金物やパッキンを残置する場合と撤去する場合があります。とくに撤去する場合については、撤去時

の止水性の確認はもとより、漏水量が増えることが考えられますのでより慎重な対応が必要となります。

特殊な到達方法(立坑内受け入れ室設置や水中到達など)の場合においても、到達後の止水方法については、その漏水箇所や漏水量によって同様の検討を行い、止水を行います。

到達坑口からの漏水を止水処理した場合でも、一時的に止水されていても時間とともに他の箇所から漏水が再発する場合があります。止水範囲に

ついては十分な検討が必要です。

到達坑口部の漏水はシールド到達時から仕上がり構築時までの間で、漏水の発生位置と原因が異なります。したがって、それぞれの施工段階で事前に十分な対応をとることが重要です。

(文責：石倉洋一・桶川宏司/(株)鴻池組)

参考文献

- 1)土木学会：トンネル標準示方書[シールド工法]・同解説，p.182，2006.7.

わかりやすい トンネルの力学

B5判 286頁 本体価格 5,825円 円340円

福島啓一著

NATMの導入以来、トンネル工事の現場に計測が大幅に取り入れられるようになって、トンネルの力学がますます重要視されるようになった。

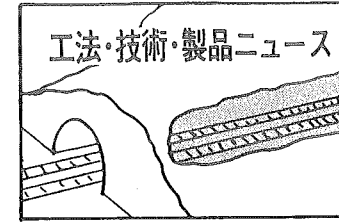
本書はトンネル力学の基礎的な事項に基づく問題点を経験則と理論則から説明し、設計・施工に携わる実務者がトンネルを掘るとき、また、計画・設計するときに考慮しなければならないトンネルの力学を主眼にした入門書である。

【目次】 ○従来のトンネル力学の考え方/トンネル力学の発展、NATM以前の考え方/ゆるみ高さの推定、ゆるんだ地山の釣り合い、沈下量の差により変わる土圧、切羽の安定、地山の分類による支保の設計、NATMの考え方/せん断破壊説、変形による圧力の低減、地山のゆるみ防止、アンカーボルトによる地山の補強、地山挙動の時間依存、せん断破壊説による設計法、経験的設計法、地山分類と地山等級に対応した支保工の標準設計、NATM力学についての問題点、○弾性論による解析/弾性学の基礎、軸対称円形トンネル、線対称円形トンネルの弾性解、円形トンネルの弾性解析、地表面に近いトンネル、だ円形のトンネル、球形空洞周りの応力と変位 ○弾塑性論による解析/弾塑性学の基礎、軸対称円形トンネル、線対称円形トンネルの弾塑性解、円形トンネルで地山の自重を考えた弾塑性解析 ○弾塑性解以外の検討/トンネルの大きさの影響、時間の影響、表面の影響、山はね、ゆるみと締め、地山のゆるみ、再圧密を考えた考察 ○その他の検討/二次覆工の役割とひび割れ、安全率、支保工の設計・観察・計測の解釈と逆解析、力学的に好ましい、または好ましくないトンネルの設計および施工法、有限要素法、トンネルと地下水



株式会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072



トンネル工事坑道内用IPテレフォニーシステムを納入

沖電気工業は、西尾レントオールを通じてトンネル工事坑道内用IPテレフォニーシステムを納入、トンネル工事現場に設置された。

トンネル工事坑道内用IPテレフォニーシステムIPstageR EX300は、坑道内のすべての電話システムを、光ファイバを介して収容することで、従来、端末の設置ポイントごとにそれぞれ敷設していた電話線を1本のIP電話回線に統合するシステム。これにより、坑道内の電話敷設のコストが軽減される。

従来単なる連絡用、非常用であった坑道内電話システムが、光ファイバの敷設によって、伝送速度が約400~18,000倍と飛躍的に向上し、掘削現場の状況把握のためのさまざまなシステム(ビデオ映像の伝送や粉塵、天然ガスの噴出事故などに対応するガス検知器の情報伝送)などにも応用可能となり、今後のトンネル工事現場での安全確保にも有効な通信手段となる。

地盤の変状を監視できる計測器を開発

飛鳥建設は、豪雨や地震などによる斜面崩壊や地すべりなどの地盤の変状を監視できる、FBG伸縮計、FBG傾斜計、FBG水位計を開発し、実用化した。

TDM方式FBG光ファイバセンシング技術は、1本の光ファイバで最大100測点の計測が可能であり、1台の光測定器で広域での多点長期計

測を実現する技術。計測装置の価格が、電気式計測システムとほぼ同等であり、長期的な維持管理費を含めると電気式計測システムより経済的となる。

現在建設分野の計測では、ひずみゲージなどを利用する電気式計測器が一般的だが、地下水などの浸入による絶縁不良や、落雷などの過電流により数年間で計測器が使用不能となり、長期で見ると結果的に計測監視にかかわる費用の増加を招くことが課題となっていた。

近年は、耐久性に優れ長期監視に適した光ファイバセンシングが構造物の健全性監視に採用されるようになり、数種類の光ファイバ方式による計測機器が計測分野に導入されることが多くなっているが、広範囲での多点計測の場合、いずれも1本の光ファイバに多くの計測点を接続できないため、光ファイバの本数が増えたり、多数の光測定器を配備したりすることとなり、計測システムが大掛かりなものとなるなどの課題があった。

3次元構造物健全性診断システム

飛鳥建設と日本大学(理工学部土木工学科：小林義和専任講師)は共同で、コンクリート構造物の健全性診断を非破壊で行う分野で、今までにない技術として、「3次元構造物健全性診断システム『DaCS-3D』」を完成させ、実用化した。

同システムは、新たに開発した弾性波の伝わり方を追跡する3次元弾性波トモグラフィ技術を用い、構造物の3次元健全性を解析、評価する。

2次元での弾性波トモグラフィによる健全度評価は従来から行われてきたが、医療などで用いられるX線と異なり、弾性波の伝播経路は未知であり3次元化が難しく、構造物の内部の様子を3次元的に調べるには、

多数の2次元断面を計測し補完する疑似3次元の方法しかなかった。

3トンクラスの超小旋回型ミニ油圧ショベルを新発売

新キャタピラー三菱は、超小旋回型ミニ油圧ショベルCAT 303C SR「REGA」(バケット容量0.09m³、運転質量2.99t)を発売した。

比較的狭隘な現場での使用に優れた機種。

同機は、オフロード法に適合するエンジンを搭載。また、ポンプ性能の向上により、従来機に比べスムーズかつパワフルな作業性を実現。車幅内に収めた上部旋回体フレームや板金製フードの採用、点検・調整箇所への容易なアクセスなど、操作性やメンテナンスにも配慮し、都市土木ユーザの幅広いニーズに応えた製品となっている。



「石貫徹」を発売

NEXCO中日本は、飛驒トンネルの貫通地点で採取した貫通石をカンヅメにした新商品「石貫徹」(税込500円)を発売した。

缶を振ると、難関突破を象徴する貫通石が高らかに鳴り響き、その音が、受験、就職活動、ビジネスなどの困難に立ち向かう人たちの気持ちを鼓舞して、「意志が貫徹する」というコンセプトの商品。

管内14のSAほか、ドライブ情報ウェブサイト「高速日和」のオンラインショップで発売する。

(<http://kousokubiyori.jp/>)

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL

首都高速道路中央環状線
山手トンネル開通

首都高速中央環状線のうち首都高5号池袋線の熊野町jctと首都高4号新宿線の西新宿jct間の延長6.7km区間が開通した。

開通日午前より行われた開通式典には、国土交通大臣やタレントの近藤彦彦氏らが出席し、開通を祝った。今回開通する区間は、沿道環境に配慮し、そのほとんどが山手通りの地下30mを通るトンネル(山手トンネル)となっている。トンネルは主としてシールド工法で施工されたが、シールド径の縮小やUターン施工などのコスト削減に努めた。

新宿線の渋滞が大幅に緩和されるなど、首都高速全体でピーク時の渋滞が約2割削減されることにより、経済効果として、おもに時間短縮効果による年間約930億円、環境改善効果として、二酸化炭素の排出が約6万t削減されるとしている。

今回開通区間以南の首都高3号渋谷線の大橋jctまでの4.4km区間は2009年度中に開通の予定、また、同品川線9.4km区間は2013年度の開通を目指している。

徳島南環状線法花トンネル貫通

四国地整徳島河川国道事務所が整備を進めている国道192号徳島南環状道路の法花トンネル(仮称)が、約3年の工事期間を経て貫通し、同トンネル内で、工事施工業者主催の貫通式が執り行われた。

同トンネルは、徳島市内の交通混雑緩和を目的に事業を進めている国道192号徳島南環状道路(L=9.5km)の一環として、平成16年3月に着手された、同市上八万町広田～寺山を結ぶL=637.0mのNATMトンネル。

徳島県立文化の森総合公園の直下

を通過し、また、全延長40%の約250mが盛土区間で、最小土かぶり3mとなっているため、掘削にあたっては、建物などに影響を与えないよう、多種の補助工法が採用され、とくに小土かぶり区間では、導坑掘削を先行し、上半先進ベンチカット工法による機械掘削方式が採用された。今後は、残るコンクリート打設工事などを行い、同トンネルの平成20年2月の完成を図るとともに、大木IC～大野IC(徳島市上八万町中筋～八万町大野)間の早期の暫定供用を目指す。

徳島南環状線は、徳島市中心部の渋滞緩和を図る環状道路の一つ。同市国府町観音寺の国道192号から眉山南西を通り、国道55号までの9.5kmをつなぐ。このうち、192号から国府町延命までの2.6kmが暫定開通。国道438号と55号間で工事が進められている。

中国最長のトンネル
太行山トンネルが貫通

中国最長のトンネル、太行山トンネル(全長27.8km)がこのほど貫通した。石太(河北省石家荘-山西省太原)旅客専用鉄道の建設が大きく前進したことによる。

「石家荘-太原旅客線」は「第11次5か年計画」の重点プロジェクトであり、全長189.93kmで、2005年6月に着工し、2008年の年末までに完成する予定。完成後の年間の旅客輸送量は1,500万人、貨物輸送量は4,000万tと見込まれる。山西、河北両省の経済協力および国家重点物資の輸送において極めて重要な役割を果たすと期待されている。

推進工法で世界最長記録達成

豊橋市上下水道局が、現在、下水道整備を行っている大岩・二川地区

で、平成18年度から旧東海道を進めていた梅田第1汚水幹線の推進工法による下水道工事が完了した。

今回おこなわれた推進工事は延長約1,448mで、埼玉県内の同様工事1,265mや、中国の黄河横断工事1,259mを抜き、推進工法における世界最長距離となった。

豊橋市では、下水道事業第7次拡張事業により大岩・二川地区の汚水整備を行っており、同工区の掘削工事に入り、今年5月から実際に推進工法で掘り始め、8か月間を要し予定地点に到達した。

今後周辺地区の梅田川北部180haの支線整備を平成22年度まで順次行い、水質汚濁の状況にある梅田川の水質改善などが期待される。

大阪臨港道路沈埋トンネルの
名称決定『夢咲トンネル』

大阪市および近畿地整大阪港湾・空港整備事務所では、大阪港の夢洲と咲洲を海底で結ぶ(仮称)夢洲トンネルの正式名称を一般募集していたが、この度、同トンネルの正式名称を「夢咲トンネル」に決定した。

大阪市と大阪港湾・空港整備事務所の共催により、平成19年11月26日から12月13日の間にこのトンネルの正式名称を募集したところ106通の応募があり、トンネル名称選定委員会を経て、応募があった名称の中から、理解しやすさ、読みやすさ、整合性、近隣周辺地域構造物との比較、浸透性、知名度、応募数の多寡などを勘案した結果、「夢咲トンネル」と決定した。

選定理由としては、①未来の大阪港の「夢が花咲く」重要な役割のトンネルになるように、②夢洲と咲洲の頭文字をとって、簡単に覚えやすい美しい名前である、などが挙げられた。

連載講座

シールド工事の施工に関するQ&A(8)

JTA都市トンネル小委員会

Q25. 礫地盤で想定されるトラブルの要因と留意点について教えてください。

A.

(1) 礫地盤における課題と現状

密閉型シールドで、礫地盤や巨石が介在する地盤を掘削するためには、堅固で耐久性のあるシールドが必要となります。しかし、事前の土質調査にもとづいてシールドに十分な対策を施した場合においても、しばしば掘進が困難となるトラブルが発生することがあります。

以下に、シールド工法の特徴に触れ、シールド掘進で直面するトラブルの状況を挙げて、その要因と留意点について説明します。

(2) シールド工法の特徴

選定するシールド工法によって切羽の安定方法が異なっており、礫地盤や巨石に対する掘削と破砕、および掘削土の搬出方法においても異なります。このような地盤においてシールドの仕様を決定する際に、主にカットビットの形状・配置、カットトルク、推力などを十分に検討する必要があります。表-1に礫・巨石への対応方法の比較を

表-1 礫・巨石への対応方法の比較表

項目	泥水式シールド	土圧式(泥土圧)シールド	摘要
切羽の安定方法	・泥水圧+面板(ドーム型, フラット型)	・泥土圧+面板(ドーム型, フラット型) ・泥土圧+スポーク	
泥水・添加材管理	増粘材・逸泥防止材を添加した泥水の比重管理	添加材の濃度・注入量, 掘削土の塑性流動性確保	
礫・巨石への対応方法	カットスリット幅によって制限し, 破砕	取り込みが主体, 破砕も期待する	
カットヘッドの形式と開口率	・面板+カットスリット(10~30%)	・面板+カットスリット(30~40%) ・スポーク(60~80%)	開口幅によって取り込み礫径を制限する
カットビット(一次破砕)	ローラーカット+ティースビット	・ローラーカット+ティースビット ・シェルビット+ティースビット	ティースビットは切削・取り込み用
排泥・排土方式(機内)	排泥管(破砕礫径と管径検討)	リボンタイプスクリュウコンベヤの採用 取り込み礫径と管径検討	スクリュウコンベヤで巨石の排出が可能
輸送・搬出方法(坑内)	ポンプによる流体輸送, 排泥管(管径・流速)	バッテリー機関車+ずり鋼車による運搬	
クラッシュャー(二次破砕)	排泥ポンプ・排泥管に支障とならない大きさに破砕	圧送方式を採用する場合で, 採用事例は少ない	
礫取り	流体輸送で破砕礫の沈降・閉塞を防止	必要に応じて使用 スクリュウコンベヤ先端ゲートの検討	
カットトルク(T) α値	α=8~20 礫・巨石に対しては大きめのα値	α=10~25 礫・巨石に対しては大きめのα値	T=αD ³ (kN・m) D: シールド外径
総推力(F)	F=1,000~1,500kN/m ²	F=1,000~1,500kN/m ²	礫・巨石に対しては大きめの値

示します。ここで巨石とは300mm以上の礫を言います。

泥水式シールドは、泥水圧で切羽を安定させて掘削土を泥水とともに流体輸送します。カッタヘッドが面板形状になっており、カッタスリットで取り込み礫径を制限することで礫・巨石をカッタ前面で破碎し、流体輸送が可能となる礫径まで機内あるいは後続台車部でさらに二次破碎を行っています。

これに対して土圧式の泥土圧シールドは、添加材の働きによって掘削土を塑性流動性を有した泥土に変換し、その泥土圧によって切羽を安定させます。カッタヘッドの形状は、切羽面が大きく開放されたスポークタイプと巨石の大きさによって破碎を必要とする面板タイプを採用しています。

掘削土を排出する方法は、シールド外径、礫径、地下水圧などにより、軸付きまたはリボンタイプのスクリーコンベヤを選定し、巨石ではスクリーコンベヤを通過可能な礫径までにカッタで破碎して取り込むことを基本としています。

礫径が300mm以上の巨石では、その径より大きくなるに従って破碎がより厳しくなると考えられます。

(3) 掘進が困難になっている時の掘進状況

トラブルが発生して掘進が困難になっている場合には、次のような状況が発生しています。

- ① カッタが回転不能になっている
- ② 掘削土が排出されない
- ③ 推力が増大して掘進できない
- ④ 掘進速度が極端(数mm/min)に低下している

(4) 掘進が困難となる主な要因

掘進が困難となっている場合は、単独の要因によるものと複数の要因が複合してトラブルが発生することがあります。

要因を大別するとおおむね次のようになります。

- ① カッタビットの摩耗・損耗
- ② カッタヘッドやチャンバ内の土砂の固結
- ③ 切羽の不安定
- ④ 排泥・排土ラインの閉塞

1) カッタビットの摩耗・損耗

とくに、外周カッタビットの摩耗・損耗によってシールド外周部の掘削が確保されなくなり、推力の増大を招き最終的には掘進が困難になる場合があります。

また、ビットの摩耗・損耗が進行すれば礫・巨石は十分に破碎されず、カッタスリットからの取り込みができなくなります。これによって、推力の増大や掘進速度の低下を招きます。

2) カッタヘッドやチャンバ内の土砂の固結

粘性土が介在する砂礫層でカッタヘッドに土砂の固結が発生すると、ビットの切り込み量が小さくなることで掘削機能が低下します。また、固結によってカッタスリットの開口幅が小さくなることや、カッタスリット全体が閉塞されることがあり、掘削土砂の取り込みが困難となります。

さらに、カッタ中央部は回転速度が遅いことから土砂の固結が発生しやすく、推力増大の一因となります。

チャンバ内でも固結が発生することがあります。泥土圧シールドは、カッタ背面の練り混ぜ翼や固定翼の適正な配置によって掘削土の練り混ぜとともにチャンバ内の固結に対応しています。

泥水式シールドは、カッタの旋回と泥水の送泥と排泥による流動と排泥管取り込み口付近に設けたアジテーターやカッタの攪拌翼でチャンバ内の固結に対応しています。

3) 切羽の不安定

透水係数の増大やバインダー分の減少および礫率の増大などによる地盤条件の急変によって切羽の安定が崩れることがあり、早期に対処しないと地山の崩壊をまねくことがあります。

このような場合、泥水式シールドでは、泥水が切羽へ逸泥して泥水圧が低下し、泥水が希釈されることで切羽の安定が損なわれてチャンバ内に土砂が堆積することがあります。

土圧式シールドでは、泥土の塑性流動性が失われることがあり、スクリーコンベヤからの噴発を伴うなど塑性流動性をなくした掘削土がチャンバ内に充満してカッタが回転不能となることがあ

ります。

特異な事例になりますが、切羽の崩壊によって上方の地盤から想定外の巨石などが掘削断面に落ち込む場合もあり、これに対応できなくなることがあります。

4) 排泥・排土ラインの閉塞

泥水式シールドでは、機内の排泥管・クラッシャー・排泥ポンプ・坑内排泥管によって連続した排泥ラインが構成されており、掘削土を取り込んだ泥水を流体輸送します。この流体輸送ラインで破碎された礫が閉塞することがあります。

また、破碎礫によって排泥管内の摩耗が著しくなることがあるので、とくに曲がり管部では摩耗対策や点検が必要です。

泥土圧シールドでは、スクリーコンベヤ内で礫が閉塞することがあります。閉塞の状況は、バインダー分が洗い流された石垣状の閉塞状態や巨石がスクリーにはまり込むような閉塞が発生します。

(5) トラブルを回避するための留意点

1) 調査

シールドを計画するにあたって、地盤の粒度分布、 N 値、透水係数、礫径、礫率、および礫の圧縮強度などの土質調査データを収集するとともに、当該地区の踏査を行い近隣の河川の状況や類似工事の調査を行って地盤条件や技術的な情報を収集する必要があります。

2) 土質

ボーリング調査により確認された礫径について、多くの場合、採取された礫径の3倍程度を最大礫径と想定しています。

また、300mmを超えるような巨石が想定される場合には、大口径調査孔などの調査方法によって巨石の大きさやその出現頻度を事前に把握しておく必要があります。

掘削断面の礫地盤に粘性土が介在する場合や粘土混じり砂礫の場合では、カッタヘッドやカッタスリットおよびチャンバ内に掘削土の固結が発生しやすくなります。これに対して、泥土圧シールドでは添加材に粘性低下材を使用することで固結

が緩和されます。

これらの固結を除去する対策として、ジェット水などの噴射口を隔壁やカッタヘッドおよび隔壁の取り込み口に設けておくことも有効な方法です。

3) シールドの選定と仕様の検討

礫率・巨石の頻度、圧縮強度、地盤の粒度分布などの地盤条件を十分に検討したうえで、シールド工法やシールドの仕様を選定します。シールド規模、施工延長に応じたカッタビットの選定、ビット配置、ビット交換対策、カッタスリットの開口幅や開口率、および過酷な地盤を掘削するための十分なカッタトルク・推力などの装備について詳

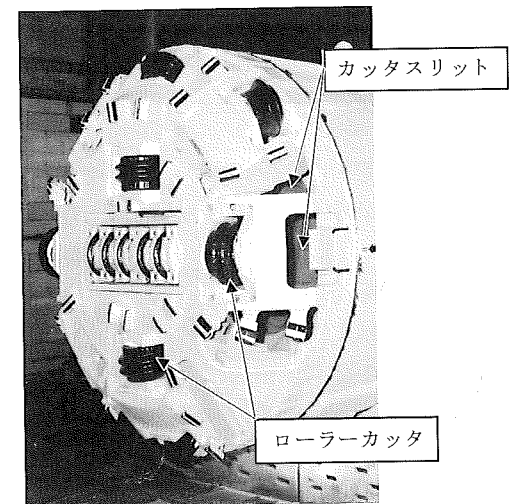


写真-1 礫用泥水式シールド

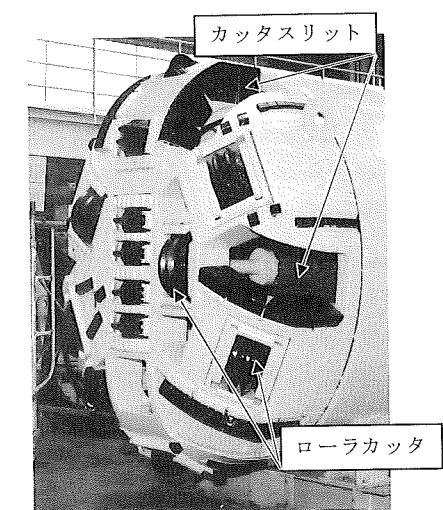


写真-2 泥土圧シールド(ドーム型)

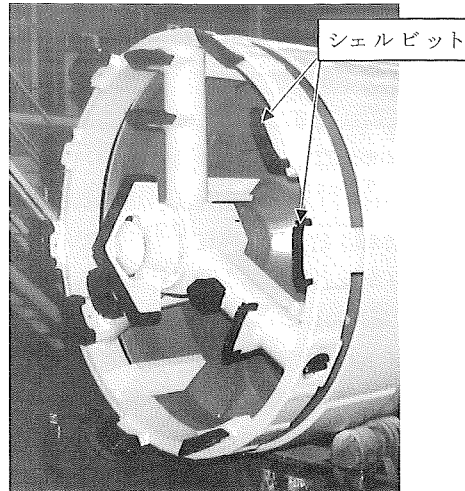


写真-3 泥土圧シールド(スポークタイプ)

細に検討する必要があります。

4) カッタービット

礫・巨石を効果的に破碎するビットとして、カッターヘッドに装備されるローラーカッターがあります。泥水式シールド、泥土圧シールドの双方で使用されています(写真-1,2参照)。

シエルビットは主にスポークタイプの泥土圧シールドのカッターヘッドに装備され、中心部を芯抜き掘削するフィッシュテールビットとともに切羽を段掘り状に掘削して礫・巨石を取り込みます。複数の差し刃で形成されたシエルビットは、礫の強度・形状によって巨石を大割れで破碎します(写真-3参照)。

5) 適正な掘進管理

礫地盤・巨石が介在する地盤で発生するトラブルを防止するためには、切羽を安定させて良好な掘進状態を維持することがもっとも重要です。

泥水式シールドでは、増粘材や逸泥防止材を考慮した泥水の配合計画と泥水の適正な圧力管理が重要です。

泥土圧シールドにおいては、掘削土を塑性流動化する添加材の選定、濃度、注入量の管理と適正な泥土圧管理が重要となります。

(6) おわりに

密閉型シールドの掘進中に発生するトラブルに対して、掘進開始後に対策を講じることは容易な

ことではありません。とくに巨石が介在する礫地盤の長距離掘進などの過酷な条件においては、シールド製作時に想定される要因に対して万全な対策を講じておき、適正な掘進管理を行うことで、大きなトラブルを未然に回避することができます。

(文責：武内秀行/大豊建設(株))

参 考 文 献

- 1) 土木学会：2006年制定・トンネル標準示方書、シールド工法・同解説、2006.7.

Q 26. 発進基地の工法別、径別の最小および標準面積を教えてください。

A. 発進基地の必要面積は、施工方法、施工環境、シールド径、掘削地山の性状などの各条件により施工設備およびその規模が異なるため、各工事別の面積となります。市街地では都市部の過密化に伴い発進立坑用地の確保が困難になってきています。

そのため、地上部だけで施工設備を配置できない場合、立坑内あるいは地下ヤードを利用したり、地上部を立体的に利用する場合があります。

以下に、発進基地必要面積について、現在、主流となっている泥水式シールド工法と土圧式シールド工法別に説明します。

(1) 発進基地の施工設備

発進立坑の施工設備は、一般的には資材置場(セグメント、配管材、レールほか)、掘削土搬出設備、材料搬入搬出設備、電力設備、給排水設備、裏込め注入設備、換気設備、中央制御室などが共通設備として必要となります。施工方法により、泥水式には泥水処理設備、土圧式は添加材プラントおよび泥土処理プラントが必要となります。

表-1に各設備のシールド径別(3, 6, 10m級)の必要面積(参考値)を示します。この数値は参考値ですので、実際の計画にあたっては、シールド工事の条件(施工環境、掘削地山の性状、発進基地の形状など)の検討により各設備およびその規模を設定する必要があります。

具体的な設備配置例として、図-1に泥水式シ

表-1 シールド施工設備必要面積(参考値)

工 法	施 設 名 称	3m級		6m級		10m級			
		泥水式	土圧式	泥水式	土圧式	泥水式	土圧式		
泥水式シールド工法設備	泥水処理施設	400	—	700	—	1,400	—		
	添加材プラント	—	40	—	40	—	80		
土圧式シールド工法設備	泥土処理プラント	—	50	—	50	—	100		
	資材置場	セグメント		200		400			
共 通 設 備	配管, レールほか		50		50		100		
	掘削土搬出設備		150		250		400		
	材料搬入・搬出設備		200		200		300		
	電力設備		40		40		60		
	給排水設備		30		30		30		
	裏込め注入設備		30		30		60		
	中央管理室		55		55		100		
	発進立坑, 安全通路ほか		200		300		500		
そ の 他	発進立坑, 安全通路ほか	200		300		500			
	発進基地面積	泥水式シールド工法		1,000~1,500		1,500~2,000		2,500~3,500	
		土圧式シールド工法		700~1,200		1,000~1,500		1,800~2,500	

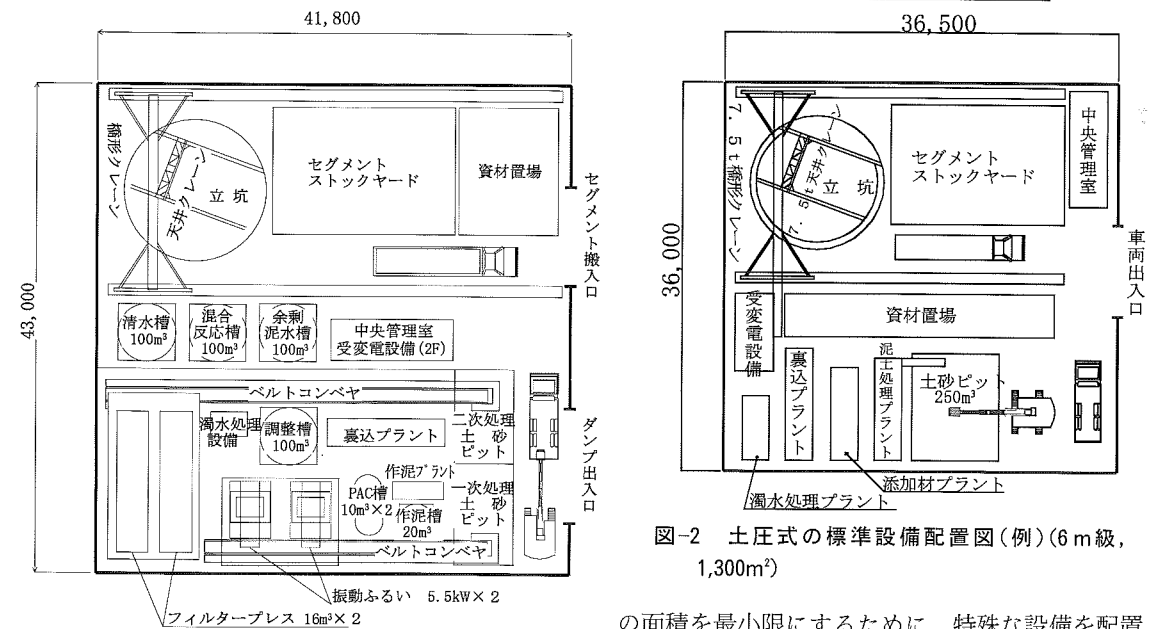


図-1 泥水式の標準設備配置図(例)(6m級, 1,800m²)

シールド工法によるシールド径6m級の発進基地標準設備配置図(例)を、図-2に土圧式シールド工法のものを示します。

(2) 省面積立坑システム¹⁾

市街地では、用地の入手難から発進基地に十分な面積を取ることが困難な場合が多く、発進基地

の面積を最小限にするために、特殊な設備を配置する省面積立坑システムがあります。

このシステムは、設備の処理効率の向上と小型化を行い、立坑などの空間を有効利用することにより、発進基地面積を泥水式シールドでは従来必要とされる面積の1/3(土圧式シールドでは1/2)にまでに縮小化(省面積化)する技術です。

このシステムの要素技術と各要素技術を使用し

表-2 要素技術一覧表

工法	技術名	技術内容	省面積効果(参考値)
泥水式シールド	固形回収システム	粘性土地山を固形状態で切り出すことで、泥水への切削土の溶け込み量を少なくして、二次処理設備の負担を軽減し、小規模化できる。	泥水処理設備面積が約30%減となる。
	リアルタイム切羽安定管理システム	リアルタイム切羽安定管理システムを坑内に設置することによって、地上の作泥設備が必要なくなり、省面積化が図れる。	
	泥水濃縮システム	従来のフィルタープレスに代わる設備で、泥水処理能力が高く設置面積が小さくて済む。濃縮スラリーは、流体のため、貯留、搬送が容易である。	
	スラリー連続改質システム	濃縮スラリーを普通ダンプトラックで搬出できる性状に改質できる。オンラインで改質を行うため、設置スペースは小さい。	
土圧式シールド	土砂圧送設備	完全密閉型の掘削土搬送方式が可能であるため、立坑設備の配置が自在に行え、立坑基地の省面積化が図れる。	掘削土搬出設備の面積が約10%減となる。
	礫破碎設備	土砂圧送設備の排泥ライン上で、スクリーコンベヤを通過する礫を圧送可能な粒径に破碎する機構を持つ設備で、砂礫層においても土砂圧送設備の適用を可能とする。	
共通	セグメントストックシステム	セグメントストックシステムはドーリー型と簡易型があり、セグメントの立体的な配置により、省面積化が可能となる。ドーリー型は立坑内に立体的にストックし、立坑下への運搬を自動化したシステムである。	立坑内に収納するドーリー型の場合、立坑上のストック面積はゼロで、簡易型の場合はストック面積の約40%減となる。
	自在移動型ターンテーブル	狭い発進立坑用地内への車両の搬入出において、基地内での転回が容易にできる。	掘削土搬出設備の面積が約20%減となる。
共通	スパン可変型天井クレーン	矩形以外の発進立坑用地でも自在に設備配置ができ、立坑用地を無駄なく利用することで省面積化が可能となる。	
	土砂貯留搬送システム	スクリーコンベヤと土砂貯留槽で構成され、土砂貯留槽を立坑下に設置することにより、貯留搬送に関する設備の省面積化が可能となる。	

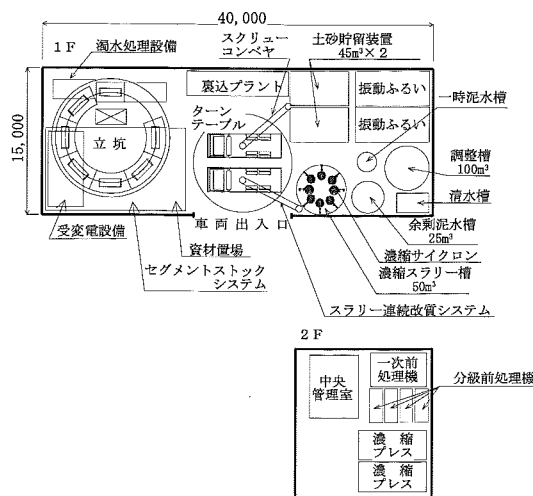


図-3 泥水式の設備配置図(例)(600m², 6m級)

た場合の発進基地面積の省面積効果(参考値)を表-2に示します。

設備配置例として、図-1, 2に示しているシールド工事と同条件で省面積立坑システムの要素技術を最大限に採用した場合の設備配置図(例)を図-3,

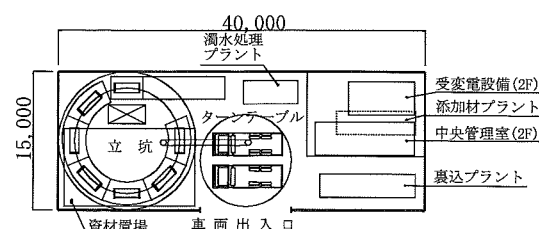


図-4 土圧式の設備配置図(例)(600m², 6m級)

4に示します。

現在、施工実績としては40事例ほどありますが、このシステムの採用にあたっては、施工環境、掘削地山の土質などを十分に調査し、経済性、環境影響などを検討のうえ、計画する必要があります。

(文責：小山正幸/戸田建設(株))

参考文献

- 1) (財)下水道新技術推進機構：シールド発進立坑用地の省面積システム技術マニュアル, 2004年度改訂版, <http://www.areasave.jp/>

Q.27. シールド仮設備の配置計画上のポイントを教えてください。

A. シールド工事の立坑は、発進、到達、中間、回転の種別があり、シールドトンネル完成後は、構築に利用されることがほとんどです。立坑は、その地点の土質、地下埋設物、交通量、近隣への影響、構築物の用途などを考慮し築造されます。したがって、その形状、構造も多岐にわたります。

シールド工事の設備を配置、設置するうえではこれらのことを踏まえ、経済的、効率的、かつ作業の安全確保を前提に計画する必要があります。ここでは、発進立坑(発進基地)の設備配置について述べていきます。

(1) 各工法の必要設備と選定時の留意点

シールド工事全体の施工設備は、いわゆる仮設備と呼ばれ、その分類は、大きくは施工に直接必要な設備と、工事用地周辺の環境に配慮した設備

に分けられます。仮設備全体の構成を表-1に示します。

1) 仮設備計画

仮設備の計画にあたっては、設備規模、および設備配置の決定が主要な項目となります。

設備規模の検討では、最大日進量、最大負荷量、立地、周辺環境・交通条件、安全面などを考慮して計画を行います。

仮設備計画フローを図-1に示します。

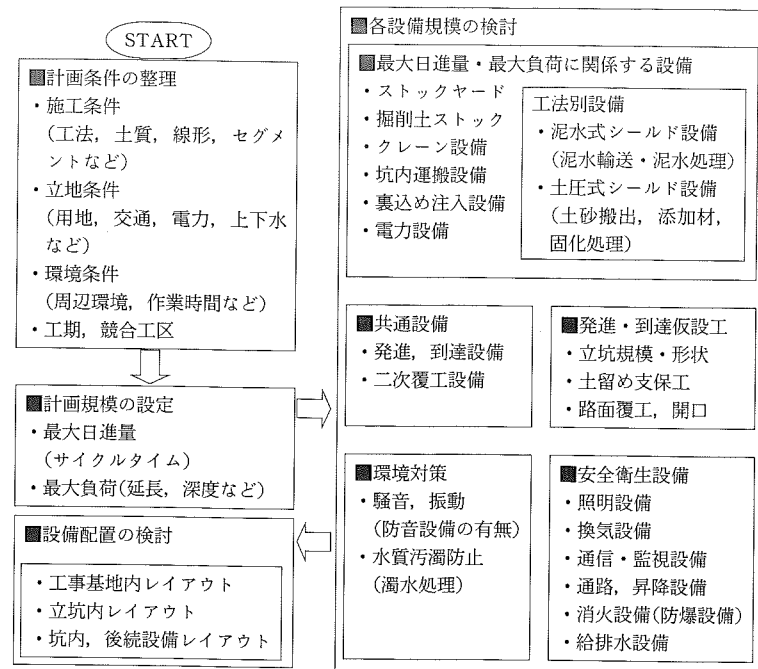
2) 発進基地の配置計画¹⁾

施工に必要な設備は、発進立坑の上下のスペースに大部分が集中して配置されます。そこでの配置計画は、まず用地の大きさに制約がある場合は、下記のような対策が必要となります。

- ・設備容量の見直しや設備のコンパクト化
- ・発進基地の立体化や地下化
- ・立坑内、トンネル坑内や地下鉄のように開削駅部の利用

表-1 主要なシールド仮設備¹⁾

項目	設備名称	資機材名
泥水式シールド工法	流体輸送設備	ポンプ・バルブ・配管類, 計測・制御装置, ホースドラム(礫:クラッシャー)
	泥水処理プラント	一次・二次処理, 作泥設備, 三次処理(濁水処理)
土圧式シールド工法	坑内掘削土砂搬出設備	ベルコン/二次スクリー+掘削土砂運搬車, 土砂圧送ポンプ
	立坑掘削土砂搬出設備	クレーン, 垂直ベルコン, 土砂圧送, ビット, トラバースャーなど
	固化処理設備	固化処理プラントのほか, 土砂ビット内での重機による攪拌もある
	添加材プラント	粘土・ベントナイト, 高分子, 気泡など材料によって異なる
	運転制御設備	泥水式シールド工法では流体輸送設備とセット。土圧式シールド工法の場合, 簡易なものが多い
共通設備	掘削土砂ストック設備	土砂ホッパー, 土砂ビットなど(最低夜間分, ふけ率考慮)
	セグメント, 仮設材ストックヤード	荷降ろし・シール貼りスペース, レール, 枕木, 配管, その他
	クレーン設備	地上門型・天井クレーン(+立坑内天井クレーン)。深い場合: リフト
	坑内搬送設備	バッテリー機関車, セグメント台車, 軌道設備
	裏込め注入設備	地上プラント, 移送ポンプ, 坑内注入設備
	後続設備	セグメント搬送設備(ホイスト), 後続台車(マシン), 裏込め, トランス・ケーブルほか流体輸送/添加材)
	通信・監視・安全設備	電話, TVカメラ, 安全通路・昇降設備, ガス検知・警報設備, 消火設備ほか
	換気, 給・排水・濁水処理設備	換気設備, 給・排水ポンプ, バキュームポンプ, 濁水処理設備
	防音設備	防音ハウス, 防音壁, 防振設備(振動ふるい)
	受変電・電気設備	キュービクル, 坑内トランス, 照明, 分電盤ほか
発進設備	発進架台, 仮支保工・反力壁, 仮組みセグメント, 坑口・エントランスほか	
二次覆工設備	セントル, コンクリートポンプ, アジテータほか	

図-1 仮設備計画フロー¹⁾

・立坑周辺の分散化配置(泥水処理設備や裏込め・作泥プラントなどのパイプ輸送可能なもの)

立坑, 発進基地用地の形状が決まっている場合の配置計画は次のように行います。

- ① 最大日進量(平均日進量の1.5~2倍程度見込みます), サイクルタイムを設定します。
- ② 日進量などからセグメント, 掘削土砂などのストック量を求め, それから必要面積を算出します。
- ③ 同様に泥水処理設備および濁水, 裏込めプラント, 受電設備などの主要な設備の規模, 必要面積を求めます(土圧式シールド工法であれば作泥プラントです)。また, 流体輸送設備も決定しておきます。
- ④ 立坑形状, 深度からセグメントなど材料のクレーン搬出入設備を決定します(土圧式シールド工法であれば掘削土砂搬出方式がメインです)。このとき, 坑内運搬設備, 立坑下のレイアウトも決定します。
- ⑤ 搬入する車両(トレーラー, ダンプなど)の寸法, 頻度を設定し, 立坑(または路面覆工

の開口)の位置, 道路幅などから出入口の位置, 幅などを決定します。

- ⑥ 発進基地ヤード平面図に, 以上を書き落とします。とくに重要なのは, クレーンによるセグメントの流れ(トレーラー→ストックヤード→立坑)と, ダンプの動線と掘削土砂ストック設備の位置です。空いたスペースにプラントなどの設備や通路, 配管, 事務所, 駐車場などを配置します。用地に収まらない場合は, 配置・動線・出入口の見直しをかけ, さらに設備の立体化も考えます。

- ⑦ 以上をくり返し, 最適な配置を考えます。なお, 防音ハウスが必要な場合には, 天井クレーンや柱の位置なども考慮する必要があります。

また, 騒音, 振動問題で作業時間が制約されることもあるため, 周辺環境への配慮を十分行う必要があります。具体的には, 騒音・振動源はできるだけ民家から離し, 防音壁・防音ハウスなどの防音設備を設けるなどの対策を行います。防音設備を設けた場合, 新たに日照, 景観, 電波障害などの問題が発生する可能性があるので注意が必要です。

(2) 立坑設備選定時の留意点

1) 立坑設備

立坑設備としては, 以下の設備があります。

- ・セグメント・資材投入用クレーン
- ・作業床
- ・軌道・トラバサ
- ・バッテリー充電装置
- ・排水ピット
- ・バキューム・排水ポンプ
- ・昇降設備(エレベーター・階段)
- ・掘削土砂搬出設備(垂直ベルコンなど)

掘削土砂搬出設備以外は, 泥水式, 土圧式シールド工法に共通な設備です。

立坑下の設備は, 反力受け, 仮組みセグメント, 発進架台と輸送・掘削土砂搬出設備が輻輳する初期掘進時と, サイクルタイムを確保するための輸送・掘削土砂搬出設備からなる本掘進時では大きく異なります。また, セグメントなど資材の輸送設備だけからなる泥水式シールド工法と, そのほかに掘削土砂搬出設備が集中する土圧式シールド工法でも異なります。

2) 立坑設備選定の留意点

以下の設備については, 次のような留意点があります。

① クレーン設備

クレーン設備としては, 門型(橋型), 天井走行クレーンが一般的ですが, 用地が狭い場合は, タワークレーン, 立坑が深い場合には, 建設用リフトなどが使用されることがあります。また, 立坑内の横移動用に, 立坑下にも天井走行クレーンが設けられる場合があります。

立坑が深い場合には, クレーンによる資材投入に時間を要するため, 掘進サイクルに影響がないよう揚重設備や立坑下のストック量を計画する必要があります。

② 昇降設備

昇降設備は, 階段, 螺旋階段, エレベーターなどがあり, 立坑構造, 深度などにより組み合わせで使用されます。昇降設備は, 空間, 深さ, 昇降に必要な時間, 作業員の疲労度などを十分検討して選定します。また, 万一の場合の避難路としての役割を担うことを考え, その位置, 構造は, 他の立坑設備, プラント配置を考慮して決める必要があります。

③ 掘削土砂搬出設備²⁾

掘削土砂搬出設備は, 切羽からの掘削土砂を地上の土砂ホッパーなどに貯留するための垂直搬送装置です。選定にあたっては, 設備能力が直接シールド進捗に影響するため, 計画工程に見合った設備を選定する必要があります。

(3) その他の留意点

シールド工事の設備は, 表-1にあるとおり多岐にわたりますが, 補足として, 以下の留意点を説明します。

1) シールドセンターと開口部位置

用地が決まり, 各設備を計画する場合, シールドセンターと開口部(資機材投入口, 作業用出入口)位置のずれは, 施工上の大きな制約要素となります。市街地ではこの位置が一致していることはまれで, ずれが大きければ大きいほどサイクルタイム確保の手段が大切となります。このことと並行して, 切羽・坑内から立坑上へ各設備間できかに安全で効率よい作業動線を確認するか, さらに交通についても, 運行制約を考慮した動線確保などが設備計画重要な事項と言えます。

2) 設備メンテナンス

シールド切羽を先頭に, 掘進により土砂を坑内から立坑上の土砂ストック設備へ搬送し, そこから土砂を搬出するまでは, 一つの掘進システムを形成していると考えられます。

各工法の設備選定は, サイクルタイム, コストほか各種要素を取り入れて選定・設置されますが, 通常シールド掘進工において, 発進から到達まで設備がトラブルなしで施工を終えるのはまれです。システムは1か所でも不備の状態があると正常な稼働が難しいものであり, このためメンテナンスの容易な設備と配置であること, 設備に過負荷をかけないこと, さらに使用状態の確認を常時行う必要があります。初期掘進時から使用する設備については, 稼働状況を把握し, 改善が必要な箇所については, 段取り替え時などに早めに行うことも大切です。

(文責: 犬伏義徳/東亜建設工業(株))

参考文献

- 1) (社)日本トンネル技術協会: トンネル技術ステップアップ研修会, シールドトンネル(改訂版), pp.159-160, 2005.
- 2) JTA都市トンネル小委員会: シールド工事の施工に関するQ&A(1), トンネルと地下, Vol. 38, No.7, pp.58-62, 2007.7.

Q 28. 掘進管理測量における自動測量の現状、精度、信頼度を教えてください。

A. 近年、シールド施工においては長距離・高速施工、急曲線・急勾配など厳しい施工条件が増加してきています。このような背景の中、施工精度の向上を目的にシールド掘進管理において自動測量システムが採用されてきています¹⁾。

自動測量システムの利点を以下に示します。

- ① 測量作業時間の軽減
 - ・測量作業時間
 - ・測量結果の演算時間
 - ・測量成果の作成時間
 - ・測量のための入退坑時間

- ② 精度向上
 - ・視準作業などにおけるケアレスミスの発生防止
 - ・個人的な測量誤差の回避
 - ・測量結果計算ミスなどの防止
- ③ 掘進制御、管理の効率化
 - ・シールドの位置・姿勢のリアルタイム監視、制御
 - ・掘進指示の迅速化
 - ・事務所からの遠隔監視

掘進管理測量における自動測量には、“ジャイロコンパス+レベルセンサ”と“自動追尾式トータルステーション(以下、自動追尾式TS)”および“両者の組み合わせ方式”に大別されます。表

表-1 自動測量システムの比較

	ジャイロコンパス+レベルセンサ	自動追尾式トータルステーション
システム概要	ジャイロコンパスから得られるシールドの方向角およびレベルセンサから得られる高さのデータから、シールドの位置・姿勢をリアルタイムに演算し検出する。 ・水平蛇行量：ジャイロコンパス方位角から演算して算出 ・方位角：ジャイロコンパスより直接検出 ・鉛直蛇行量：レベルセンサより検出	坑内の基準点(既知点)に設置した自動追尾式トータルステーション(TS)より測量したシールドのターゲット座標(2点以上)から、シールドの水平・鉛直位置、方向角をリアルタイムに検出する。 ・水平蛇行量：TSの座標から演算して算出 ・方位角：2点のターゲットより演算して算出 ・鉛直蛇行量：TSの座標から演算して算出
使用機器	・ジャイロコンパス ・レベルセンサ ・シールドジャッキストローク計 ・ピッチング、ローリング計 ・演算用パソコン	・自動追尾式トータルステーション ・マシンターゲット(プリズム) ・ピッチング、ローリング計 ・演算用パソコン ・通信制御装置
概略図		
特徴	・ジャイロコンパスから得られるシールドの方向角と掘進距離(シールドジャッキストローク)により、シールドの蛇行量を演算(積分)する。 ・シールドの方向角からの演算となるため、シールドの横ずれの検出ができない。 ・周期誤差があり、演算した変位量に影響を及ぼす。 ・上記の誤差修正のため、チェック測量が必要となる。 ・レベルセンサの基準タンクは掘進に伴い、盛替えが必要となる。 ・ジャイロコンパスの精度：静止点誤差(静定精度)±0.2 deg	・シールドの方位角はマシンターゲットを2か所設置し、視準することにより測量する。 ・シールドの位置を自動追尾式トータルステーションで測量するため、蛇行量をリアルタイムかつ正確に把握できる。 ・シールド後方からの視準となるため、視野確保が必要となる。とくに、小口径シールドでは課題となる。 ・自動追尾式トータルステーションの盛替えが必要となる。とくに、急曲線施工時には盛替え頻度が多くなる。

-1に自動測量システムの比較を示します。このうち、“ジャイロコンパス+レベルセンサ”に関しては小口径から大口径まで幅広く採用され、従来から標準的に装備されています。

しかしながら、ジャイロコンパスでは周期誤差(静止点誤差)を持つことや、とくに急曲線施工時においてシールドの横滑りを検出できないことなどから測量誤差を生じる欠点があります。

ここでは、最新の情報として、機器の精度およびシステムの信頼性向上を背景に採用例が増加してきている“自動追尾式TSを用いた自動測量システム”について精度、信頼性および使用上の留意点などについて紹介します。

(1) 自動測量システムの現状(自動追尾式TSを採用したシステム)

近年では自動追尾式TSを用い、シールドの位置(座標値)を直接測量するシステムの採用が多くなっています。さらに、ジャイロコンパスではなく、複数のマシンターゲットによりシールドの位置に加え、姿勢を測量する方法も採用されています。

とくに地下鉄や道路トンネルに適用されるような中~大口径のシールドトンネルでは、坑内断面に余裕があることと急曲線区間が少ないため適用されやすく、その効果も高いものと考えられます。

一方、急曲線施工や小口径になると視準スペースの関係から掘進中の常時測量は難しくなりますが、チェック測量の頻度を低減できることなどの利点もあり、作業性(盛替えなど)、コスト面で課題はあるものの導入効果があると考えられます。

自動追尾式TSおよびマシンターゲットの設置状況の例を写真-1~3に示します。適用口径、工法およびその他の施工条件により設置位置を選択する必要があります。

(2) 自動測量システムの精度、信頼性

自動追尾式TSを用いた自動測量システムの誤差要因、および信頼性に関して以下に示します。

1) 誤差要因

自動追尾式TSを用いた自動測量システムの誤差には以下の項目が挙げられます(数値については一般的な値を示します)。

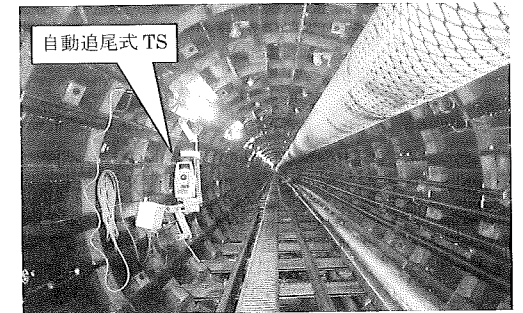


写真-1 自動追尾式TS設置状況(側部設置)(セグメント内径：φ2,000mm)

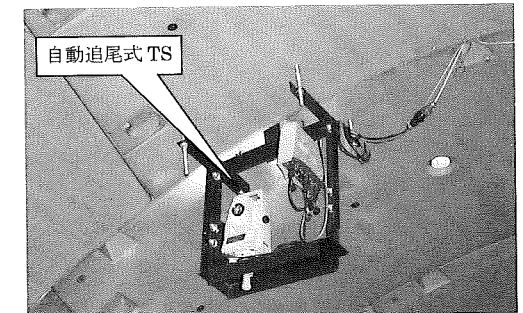


写真-2 自動追尾式TS設置状況(上部設置)(セグメント内径：φ6,700mm)



写真-3 マシンターゲット設置状況

- ① 自動追尾式TS
 - ・機械的誤差：角度誤差(3秒)、測距誤差(3mm+2ppm)
 - ・自動視準・追尾精度：ターゲット追尾誤差(2mm)
- ② マシンターゲット
 - ・シールド内のマシンターゲット設置位置座

標の把握誤差

- ・マシンターゲットの2点間の設置離隔による誤差

③ その他(補正など)

- ・補正用のシールドのローリング・ピッチング計誤差
- ・マシンターゲット後胴設置時の中折れ角度による補正誤差

2) 信頼性

自動追尾式TSを用いた自動測量システムにおいて、ターゲットのプリズム鏡面を追尾するタイプでは、視準位置がプリズム内でずれる現象が発生していましたが、最近では、ターゲットからの信号を追尾するタイプのももあり、追尾精度が向上しています。

信頼性の面においても、マシンターゲット2点(予備も含め全3点)のセットでの適用事例も増え、坑内基準点のチェックさえ定期的に行えば良好な結果が得られています。ただし、急曲線や急勾配施工時においては、盛替え頻度が高くなります。

また、運転室にて蛇行量とシールドの姿勢がリアルタイムに得られるので、オペレータも方向修正が行いやすく、職員も掘進指示が出しやすい(リアルタイムでの蛇行修正が行える)などの利点が挙げられます。

さらに、「ターゲット間の誤差」や「後視点チェック時の誤差」などをシステム上でチェックできる機能を備えているシステムもあります。

(3) 自動測量システムの使用上の留意点

自動追尾式TSを用いた自動測量システムを採用した場合においても、定期的に従来の測量によるチェックを行う必要があることは言うまでもあ

りません。

ここでは、自動追尾式TSを用いた自動測量システムの使用上の留意点を事前準備および施工中に分けて以下に示します。

1) 事前準備

- ・シールド計画時より、マシンターゲット取り付け位置を計画する(前胴を優先に計画する)。
- ・マシンターゲットは予備も含めて3点以上設置する。
- ・事前に自動追尾式TSの盛替え計画を立案する(計画的な盛替え時期の設定)。
- ・事前にマシンターゲット位置とシールドの初期位置およびシールドのピッチング、ローリングを測量し、チェック計算を行う。
- ・地下鉄や道路トンネルのように緩急曲線がある路線ではシステムへの基線入力(座標値)時に十分にチェックする。
- ・測量架台は堅固でなおかつ取り扱いが容易なものを考慮し製作する。

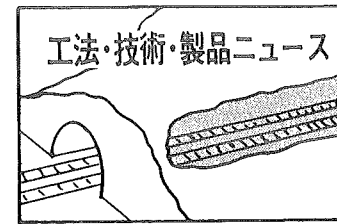
2) 施工中

- ・坑内基準点、器械設置点およびマシンターゲット位置は定期的にチェックする。
- ・入力する基準点座標は必ず二重、三重のチェックを行う。
- ・急曲線、急勾配になると器械の盛替え回数が増え、それにともない誤差も増大するので頻度を増したチェック測量が必要となる。

(文責：大橋茂樹・福居雅也/(株)奥村組)

参 考 文 献

- 1) 土木学会：2006年制定・トンネル標準示方書、シールド工法・同解説、2006.7.

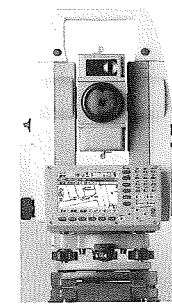


トータルステーション新発売

ライカジオシステムズは、TPS1200シリーズを刷新し、基本性能を大幅に向上させた新製品としてTPS1200+(プラス)シリーズの発売を開始した。

ノンプリズム測距機能は更なるロングレンジ化を進め、1,000mの測距レンジを実現。また測距精度も向上し以前のプリズム測距と変わらない測距精度2mm+2ppmの精度を誇る。一方プリズムターゲットを使用した距離測定においては1mm+1.5ppmの距離精度を持ち、測量用途だけでなく計測用途にも充分対応可能。

自動視準の位置精度においては、測距精度、測角精度、更には自動視準精度の融合により、±1mmと測量成果に直接結びつく精度を格段に向上させた。



シールド直接発進到達工法の適用範囲を拡大

銭高組は、積水化学工業と共同で、シールド直接発進到達(SEW)工法の適用範囲の拡大を目的として、本工法の主材料であるFFU部材の耐力アップの研究開発を進めてきたが、

この度、耐力アップしたFFU部材の開発が終了し、より大深度、大断面への適用が可能となった。

FFU部材は、硬質発泡ウレタンをガラス長繊維で強化した構造部材で、耐久性などに優れる。これまでのSEW工法は、シールド直径7mまでだったが、FFU74(比重0.74)部材に代わるFFU100(比重1.0)部材を新たに開発し、実物モデルの載荷試験と継手試験によって曲げ強度がFFU74の約1.5倍有することを確認し、シールド直径を9~10mまでに適用範囲が拡大可能となった。

単孔連続式スロット削孔技術「スロットワン」を実用化

奥村組は、効率的な岩盤破碎工法であるSD(Slot Drilling)工法に用いる単孔連続式スロット削孔技術「スロットワン」を新たに開発し、道路トンネルでの実証工事で実用性を確認した。

「スロットワン」は、汎用のドリルに直径100mmの親子ビットを装着し、ロッドと並行に取り付けたガイドを既設孔に挿入した状態で隣接孔をラップさせて穿孔することで連続したスロットを簡単に効率よく形成する技術。これによって、SD工法の適用場面が広がるとともに、コストダウンが図れるとしている。

覆工コンクリート全断面連続締固めシステムを開発

奥村組は、山岳工法で施工されるトンネルの覆工コンクリートの締固め技術として引抜きパイプレータとコンクリートの圧力管理を特徴とするシステムを開発、現場適用でその効果を確認した。

同社では、覆工コンクリートの側壁からアーチ部を経由して妻型枠までを連続して機械的に締固める技術と、クラウン部のコンクリート圧力を用いて打込みを管理する技術とを

併用した締固めシステムの開発に取り組んできており、今回開発した締固めシステムは、パイプレータ、パイプレータを牽引してケーブルを収納するための巻き取り装置、コンクリート打込み時にパイプレータおよびケーブルの位置を固定するためのパイプレータ支持台、パイプレータが型枠内を移動するルートを規定するための方向転換器具、コンクリート圧力管理のための圧力計、セトル内のコンクリート充填状況をモニタリングするためのコンクリート充填検知器(クラウン部の地山側に設置)および計測機器から構成されている。

防爆型無線LANシステム

JFEエンジニアリングは、爆発性ガス雰囲気危険場所でも安全な通信システムを構築できる防爆型無線LANシステムを開発し、販売を開始した。

無線LANはインターネットをはじめ、大容量データ伝送システムとしてオフィスなどに普及しているが、防爆エリアで使用できる無線LAN機器は少ないが、防爆型無線LANシステムをトンネルなどへ採用することができれば、無線技術の特徴であるモバイル性や、配線ケーブルの削減のメリットを活かし、安全かつ大容量の情報伝達手段を、簡便に構築することが可能となる。

販売を開始する防爆無線LANアクセスポイントLANEX-APは、高利得指向性アンテナを採用しており、広域エリアやトンネル(直線的閉鎖空間)への適用に最適で、地上部自由空間において最大400m(トンネルでは最大150m)のエリアをカバーすることが可能。一般的な無指向性アンテナの能力比で直線距離で約3倍に相当し、より少ないアクセスポイントの設置でカバーエリアを確保することが可能となる。

続 きみの庭にも温泉が出る

その後の温泉開発と建設の考え方

石井康夫・俣野恭寛 共著 新書判 217頁 本体定価 1,200円(¥210円)



株式会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

- 松岡茂・川島義和：三次元効果を考慮したトンネル覆工のひび割れ進展と力学特性，土木学会論文集F，Vol.62，No.1，pp.53-66，2006.3.
- 15) 村上博智：村上博智早稲田大学教授退官記念論文集，pp.219，1992.
- 16) 佐野信夫：高速道路トンネル覆工の合理的な点検システムと健全度評価の定量化に関する研究，首都大学東京学位論文，pp.93-98，2007.9.
- 17) 日本道路公団：道路構造物点検要領(案)，pp.15-16，2003.8.
- 18) 東・中・西日本高速道路(株)：設計要領第三集トンネル本工保全編(変状対策)，pp.44-51，2006.7.
- 19) 山田隆昭・佐野信夫・馬場弘二・吉武勇・中川浩二・西村和夫：トンネル覆工コンクリートの定量的な健全度評価基準，土木学会論文集F，Vol.63，No.1，pp.86-96，2007.3.
- 20) 伊藤幸恒・伊藤哲男・原昌信・吉武勇・中川浩二：トンネル覆工コンクリートのひび割れ変状とその点検評価，土木学会論文集，No.714/VI-56，pp.233-238，2002.9.

わかりやすい トンネルの力学

B5判 286頁 本体価格 5,825円 円340円

福島啓一 著

NATMの導入以来、トンネル工事の現場に計測が大幅に取り入れられるようになって、トンネルの力学がますます重要視されるようになった。

本書はトンネル力学の基礎的な事項に基づく問題点を経験則と理論則から説明し、設計・施工に携わる実務者がトンネルを掘るとき、また、計画・設計するときには考慮しなければならないトンネルの力学を主眼にした入門書である。

〔目次〕 ○従来のトンネル力学の考え方/トンネル力学の発展、NATM以前の考え方/ゆるみ高さの推定、ゆるんだ地山の釣り合い、沈下量の差により変わる土圧、切羽の安定、地山の分類による支保の設計、NATMの考え方/せん断破壊説、変形による圧力の低減、地山のゆるみ防止、アンカーボルトによる地山の補強、地山挙動の時間依存、せん断破壊説による設計法、経験的設計法、地山分類と地山等級に対応した支保工の標準設計、NATM力学についての問題点、○弾性論による解析/弾性学の基礎、軸対称円形トンネル、線対称円形トンネルの弾性解、円形トンネルの弾性解析、地表面に近いトンネル、だ円形のトンネル、球形空洞周りの応力と変位 ○弾塑性論による解析/塑性力学の基礎、軸対称円形トンネル、線対称円形トンネルの弾塑性解、円形トンネルで地山の自重を考えた弾塑性解析 ○弾塑性解以外の検討/トンネルの大きさの影響、時間の影響、表面の影響、山はね、ゆるみと締めり、地山のゆるみ、再圧密を考えた考察 ○その他の検討/二次覆工の役割とひび割れ、安全率、支保工の設計・観察・計測の解釈と逆解析、力学的に好ましい、または好ましくないトンネルの設計および施工法、有限要素法、トンネルと地下水

株式会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16マイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

連載講座

シールド工事の施工に関するQ&A(9)

JTA都市トンネル小委員会

Q 29. 同時裏込め注入方法で同時裏込め注入装置の長所・短所および選定の際の留意点について教えてください。

A. シールド掘進により、テール内で組み立てられたセグメントがテールを抜け出すと、地山との間に空隙(テールボイド)が生じます。

テールボイドによる応力解放が原因で地盤変状が生じ、地表面の沈下や近接構造物の沈下、傾斜、損傷などの悪影響が発生します。そのためテールボイドに裏込め注入を行い、地山の緩みと沈下を防止します。また、裏込め注入は、セグメントからの漏水防止、セグメントリングの早期安定などに役立ちます。

注入材は、ゲル時間や強度が調整できる2液性の可塑状型が一般に使用されています。なお、裏込め注入圧が高すぎると地盤の隆起の原因となります。

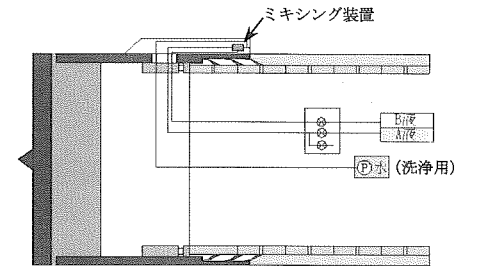
(1) 裏込め注入の注入時期と注入方法

注入時期により、掘進に合わせテールボイドの発生と同時に注入を行う「同時注入」と掘進後に注入を行う「即時注入」に分けられます。

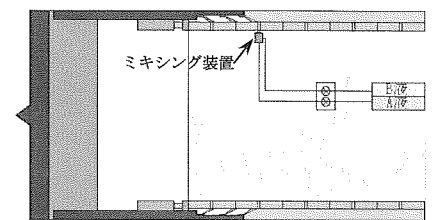
同時注入は、図-1に示すようにシールド本体テール部に設けられた注入管(以下、同時裏込め注入管という)から注入する方法とセグメントのグラウトホールから注入する方法とがあります。

同時裏込め注入管から注入する方法の特長は、以下のとおりです。

- ① テールボイド発生と同時に注入が可能であり、早期沈下抑制に有効である。
- ② セグメントに設けるグラウトホールを削減・



同時裏込め注入管による注入



セグメントグラウトホールからの注入
図-1 同時注入

省略できるため、漏水の要因を減らせる。
③ ミキシングノズルの盛替え作業が不要となり、作業環境の改善になる。

グラウトホールから注入の場合は、グラウトホールがテールを脱出するまでは注入ができません。そのため、掘進開始から注入開始までの時間を短くするため、テールブラシ位置とグラウトホールの位置を合わせるよう設計をしたり、グラウトホール位置を中央から坑口側にずらしたりすることもあります。

「裏込め注入」に関する実態調査報告書¹⁾によると、同時裏込め注入管による注入は全体の16%、セグメントグラウトホールからの注入は全体の24%で、同時注入は全体の40%でした。近年では、セグメントグラウトホールからの注入が増加し、

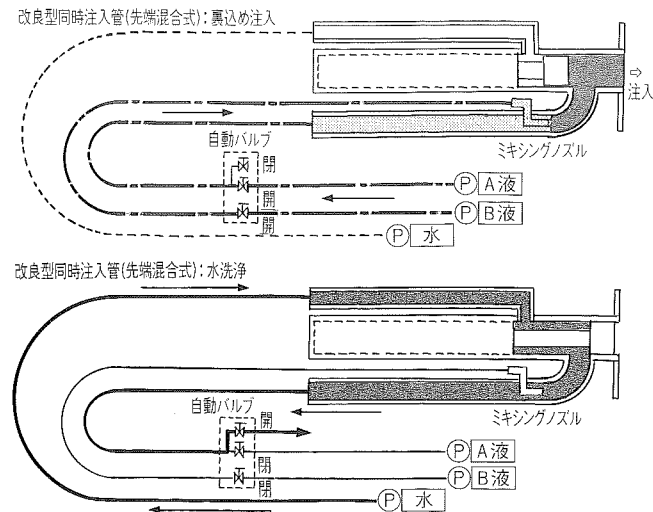
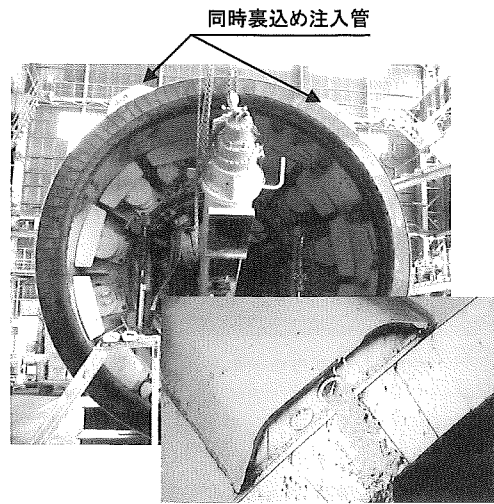
図-2 同時裏込め注入管概念図²⁾

写真-1 同時裏込め注入管設置の例

同時注入が一般的になっています。

(2) 同時裏込め注入管

図-2は同時裏込め注入管の例です。A液(主材)とB液(硬化剤)を混合させるミキシングノズルが吐出口に近く装備され、洗浄時にはショートジャッキで吐出口を塞ぎ、A液、B液用管内を水洗浄する構造です。

注入は自動注入システムが実用化されており、A液対B液の比率、注入率、上・下限の圧力を設定することにより、シールド掘進速度に合わせて自動的に注入を行います。

同時裏込め注入管は、シールド後胴部の上部に

近い位置で一般的には、予備を含め2本以上取り付けられています(写真-1)。大断面シールドでは、吐出量を考慮し4本取り付けしている例もあります。

(3) 同時裏込め注入装置の課題と対策 1) 注入管の閉塞

ミキシングされた注入材が注入管内を通るため、管内に注入材が付着し、水洗浄していても管閉塞を生じるおそれがあります。閉塞は主に、低吐出量注入時で問題となっていました。

この対策として、A液流入管およびミキシング部を脱着可能な構造として洗浄などのメンテナンスを容易にするとともに、

ミキシング位置を注入管先端から20~30cmと短くして注入材の付着を低減するよう改良されているものがあります。また、裏込め材のゲル時間が早過ぎたり、可塑性の保持時間が短かったりすると、注入管内の抵抗が上がり、注入圧力の上昇や管内の目詰まりなども生じますので、とくに急曲線部での裏込め材料の選定も重要です。

2) テール内への漏洩、テールブラシの固結

注入口がテールプレート端となることから、注入圧が高すぎるとテールへ注入材が漏洩する、また、注入材がテールブラシに固結し、止水性が低下するなどの問題が生じることがあります。

同時裏込め注入管の吐出口に隣接して土圧計を装備して、注入圧力を常時把握する方法も採用されています。

3) 突出して装備されていることにより発生するトラブル

注入管がスキンプレートからの突起となるため、発進および到達時の坑口でのエントランスパッキンが形状変化に追従できないことによる出水や、推進抵抗の増大が考えられます。

前者の対策として、エントランスを突起に合わせた形状とする、突起部付近ではパッキンを長くし押さえ板の幅を狭くする、突起部の形状変化をなめらかにするなどの対策が行われています。

後者の対策として、洪積層などの硬質な地盤の

掘削では、突起出代の小さいものとする、前方に先行ビットを取り付ける、装置先端部を補強するなどが行われます。また、曲線施工がある場合には注入管を短くするなどが行われます。

(4) 選定の留意点

注入方式として同時裏込め注入装置の採否は、土質条件、土かぶり、近接構造物への影響検討解析結果などによる早期注入の必要・重要性だけでなく、同時裏込め注入管の突出による発進・到達時のエントランスパッキンなどの対応性や掘進中の推進抵抗増大に対する対策や、急曲線がある場合には最小後胴部長への注入装置装備の可否などを考慮して決定します。

1) 注入管本数の決定

注入管本数は、テールボイド、設計掘進速度などから算出した必要注入量に対して、1本あたりの流量30~100 l/minをもとに必要な数を求め、予備管の要否を考慮して装備数を決定します。

同時裏込め注入装置の寸法は、管径80mm、カバー厚20mmにより高さ100mmであったものが、最近では管径55mmで高さ80mmと低い注入管が開発され、採用実績はシールド外径3,000mmクラスでも増加しています。

2) 裏込め材の品質管理

注入方式だけでなく、裏込め注入材の品質の良否が地表面の沈下抑制などに大きく影響しますので、裏込め材の品質管理が重要です。そのため、定期的に混練り注入材の性状として、フロー値、ブリージング率、ゲルタイム、圧縮強度などに関する試験および材料計量器の定期検査などを実施する必要があります。

(文責：磯 陽夫/西松建設(株))

参考文献

- 1) JTA都市トンネル小委員会：「裏込め注入」に関する実態調査報告書(1)、トンネルと地下、Vol.26, No.6, pp.29-38, 1995.6.
- 2) 塩谷智弘・廣瀬秀男・山口博章：既成市街地下を縦横に縫って掘り進む、大阪市営地下鉄8号線シールド工事、トンネルと地下、Vol.35, No.9, p.35, 2004.9.

Q 30. シールド掘進に伴う地盤変状のメカニズムとその防止対策方法を教えてください。

A.

(1) はじめに

シールド掘進に伴う地盤変状は、施工条件や掘削地盤の性質によって異なりますが、適切な施工管理によって、未然にトラブルを防止することは可能です。そのためには、施工に伴う変状の原因や機構を理解しておく必要があります。昨今のシールド工法にかかわる技術の向上により、切羽安定機能の高い土圧式や泥水式による密閉型シールドの施工が主流をなしています。その結果、周辺地盤への影響は以前に比べ、格段に小さくなっているものの、施工による地盤変状のメカニズムを把握し、予防策を事前に検討しておくことは重要です。変状のメカニズムを解明することは非常に難しいことですが、ここではシールド掘進における地盤変状の原因と基本的な現れ方、およびその防止対策について記述します。

(2) 地盤変状の原因と現れ方

1) 切羽圧力のアンバランス

チャンバ内圧力と地山土水圧の平衡状態が失われると、地盤変状が現れます。チャンバ内圧力が地山土水圧より小さな場合は地表面沈下、チャンバ内圧力が地山土水圧よりも大きな場合は地表面隆起が発生することがあります(図-1；①沈下、②隆起)。これらの現象は多くの場合、地表面沈下は細粒分(粘土・シルト分)の少ない沖積帯水砂層、地表面隆起は沖積軟弱粘性土層を掘進する際に切羽安定が確保できずに誘発されることが多いようです。変状の現れ方として、切羽近傍の地表面において沈下や隆起現象が見られます。切羽直上から前方30~50m区間での地表面沈下(先行沈下)が発生することもあります。これらは地山の応力解放や切羽の負荷土圧による地盤の弾塑性変形です。

2) 掘削による周辺地山の乱れ

施工時の余掘りや蛇行による地盤変状(図-1；④沈下)が発生することがあります。変状の現れ

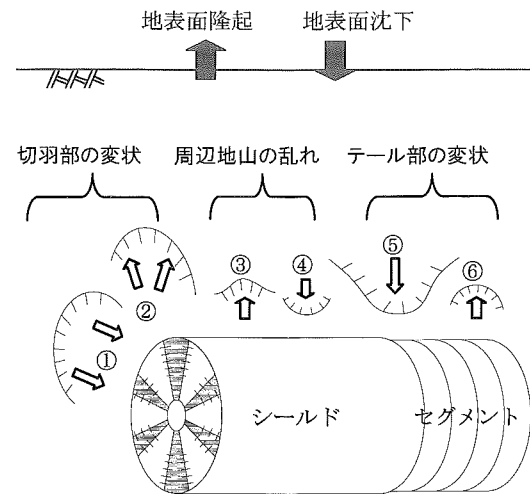


図-1 シールド掘進に伴う周辺地山の変状

方として、施工位置近傍の地表面において沈下現象が見られます。さらに主として沖積粘性土掘進時は、地山とスキンプレートとの摩擦による乱れが誘発される地盤変状(図-1; ③隆起, ④沈下)が発生することがあります。掘進に伴う周辺地山の乱れが大きくなると、シールド通過後、地表面沈下が数箇月にわたり継続することがあります。とくに、鋭敏比の高い軟弱粘性土の場合は大きな沈下量となります。これは後続沈下と呼ばれ、地山が乱されることによる圧密およびクリープ沈下です。

3) テール部の変状

テールボイドの発生により、周辺地山はテールボイドに向かって変形し、地盤変状が発生することがあります。密閉型シールドにおける地表面沈下の多くはテールボイドによるものです(図-1; ⑤沈下)。その原因は、周辺地山の掘削による自立性に依存するものであり、沈下量の大きさは裏込め注入における注入材料、注入時期、注入圧力、注入量、注入位置などに起因します。過大な裏込め注入圧によって、地表面隆起を誘発することもあります(図-1; ⑥隆起)。また、セグメントリングがテール部脱出後、局所的な荷重で変形することによるテールボイドの増加も地盤変状の一因です。変状の現れ方として、テール部直上の地表面沈下現象が見られます。これは、テールボ

イドに起因する地山の応力解放による弾塑性変形です。

以上、シールド掘進による地盤変状の原因について記述してきましたが、土かぶり比(H/D , H :土かぶり厚(m), D :シールド外径(m))と地盤変状についても、ある程度の相関関係が見出せます。沖積地盤の場合、 H/D が1.5以下になると沈下量が増大する傾向が見られます。また、洪積地盤では H/D の値にかかわらず、沈下量には大差がないといった事例も報告されています⁹⁾。

(3) 地盤変状防止対策

1) 切羽安定対策

土圧式シールド工法では、切羽安定を確保するため、掘進速度とスクリーコンベヤ回転数を調節することにより、チャンバ内圧力を地山土水圧にバランスさせることが重要です。泥土圧シールドの場合、止水効果と掘削土塑性流動化を図ることを目的とした、適切な添加材を選定することも重要です。また、適正な管理土圧を把握するため、事前の検討に加えトライアル施工による管理値の設定も考慮すべきです。大断面シールドの場合、チャンバ内上部と下部の土圧差が大きくなることが想定されます。正確な土圧分布を把握するために、土圧計を多数配置する配慮も必要です。

泥水式シールド工法では地山の透水性に応じて、泥水の品質を確保しながら、安定した泥膜を形成し、地山土水圧に見合う泥水圧を作用させておく必要があります。

2) 掘進による周辺地山の乱れ対策

シールド掘進に伴う周辺地山の乱れをできるだけ緩和するため、蛇行量を少なくするとともに、シールド姿勢制御に配慮する必要があります。急曲線施工では中折れ装置を効果的に使用して、余掘り量の低減を心がけるべきです。また、同時裏込め注入機構を装備したシールド掘進の際、突起形状による地山の乱れを誘発することがありますので、採用の可否も含め、注入管の寸法などについては詳細な検討が必要です。

3) テール部における地盤変状対策

掘削地盤性状に応じた裏込め注入管理がポイン

トです。充填性に優れた固結強度の大きな注入材料を使用するとともに、注入圧力、注入量の管理も徹底する必要があります。注入時期はできるだけ早期に行うことが望ましく、同時注入方式を採用するのがよいでしょう。さらに、セグメント継手、裏込め注入孔からの漏水を防止するため、セグメントの組立精度を向上させることや適切なセグメントシールを使用することにも留意すべきです。セグメントリングの変形による地盤沈下を防止するため、継手ボルトの締め付け管理を徹底します。中大断面シールドの場合、セグメントの自重による変形の影響も無視できませんので、計画時にはセグメント形状保持装置の検討が必要です。(4) おわりに

ここでは、シールド掘進に伴う地盤変状の現れ方と防止対策について述べてきましたが、周辺地山のゆるみ範囲や地表面沈下量は、掘削技術(掘進管理)の良し悪し、掘削地盤の特性(安定性、強度)、覆工の迅速な施工、掘削断面の大小、併設トンネルの場合はその離隔などに関係します。そのため、施工状況と地盤性状の不確定要素に左右される地表面沈下量(変位量)の把握は、事前予測解析などで簡単にできるものではありません。

シールド掘進時の地盤変状トラブルを未然に防ぐためには、路線全体の地質状況を詳細に把握し、綿密な施工計画を立てておくことが必要です。同時に大切なことは日々の施工管理の徹底です。シールド掘進管理は定型的なサイクルに依存されるものです。順調な施工が続くと、ちょっとした油断から裏込め注入の管理を怠ったため、大きな地表面沈下を誘発してしまったというような事例もあります。トンネル技術者にとって、施工が順調に進んでいても、常に「切羽安定」と「周辺地山の變状」に目を光らせておくことは重要です。

(文責：山口英・新屋かずみ/五洋建設(株))

参考文献

- 1) 土木学会：2006年度制定・トンネル標準示方書、シールド工法・同解説、2006.7.
- 2) シールドトンネルの新技术研究会：シールドトンネ

ルの新技术、土木工学社、1995.1.

- 3) 地盤工学会：シールド工法の調査・設計から施工まで、1997.2.
- 4) 東京都下水道局：東金町雨水幹線その1工事に伴う地盤変状調査解析要約集、1988.

Q 31. 工法別(泥水式、泥土圧)の掘削土量管理の方法、ポイント、適切な管理値の設定方法や最近のシステムについて教えてください。

A. 切羽の安定を保持しながらスムーズな掘進を行うには、掘進量に見合った掘削土砂を排出する必要があります。しかし、地山の土量変化率や掘削土の単位体積質量にばらつきがあることや、添加材の種類や添加量、あるいは排土方式によって、掘削土砂の容積や質量が変化するため、的確に排土量を把握することは困難な場合が多くなります。また、掘削土砂の性状としても、半固体的性質を示すものから、流体に変換されて排土するものまでさまざまとなります。このため、排土量管理だけを単独に行っても切羽崩壊や地盤沈下を抑制することは難しく、土圧管理と排土量管理を併用することが重要です。

以下に、泥水式および泥土圧シールドの掘削土量計測・管理について述べます。

(1) 泥水式シールドの掘削土量計測・管理

泥水式シールドの場合、送排泥系統に設けた流量計と密度計による掘削土量の管理を行っており、掘削土量は計測された送排泥流量、密度と土質調査結果である地山の含水比、土粒子比重より掘削土の地山土量に換算して算出しています。真の掘削土量を直接求めるのではなく、間接的な計測により土量管理が行われるため、掘削管理誤差は計器誤差が主なものとされてきましたが、送泥比重、逸泥現象による乾砂量、真比重、掘削時間などの変化によっても誤差が生じることに留意する必要があります。基本的な管理項目は、図-1に示すように掘進に伴う掘削土量(排泥流量と送泥流量の差)、乾砂量(排泥乾砂量と送泥乾砂量との差)の二つです。これらの計測値から余掘り量や切羽の崩壊の有無などを統計手法を用いた処理により掘削土量を判断することになります。

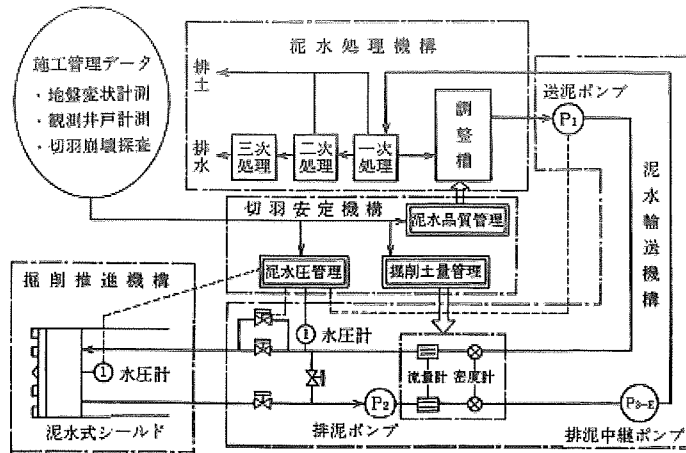


図-1 泥水式シールド掘進管理概要図

1) 掘削土量

計算による掘削土量は次式で表せます。

$$Q = \pi/4 \cdot D^2 \cdot S_1$$

Q : 計算による掘削土量(m³)

D : シールド外径(m)

S₁ : 掘進ストローク(m)

一方、計測による掘削土量は次式で表せます。

$$Q_3 = Q_2 - Q_1$$

Q₁ : 送泥流量(m³), Q₂ : 排泥流量(m³),

Q₃ : 計測による掘削土量(m³)

QとQ₃の対比により逸泥状態(泥水または泥水中の水が地山に浸透している状態, Q>Q₃)か、取り込み状態(泥水圧が低いため地山の地下水が流入している状態, Q<Q₃)かの判定が可能となります。一般的に崩壊のない正常掘削時には、若干の逸泥状態で管理されることが多いです。

2) 乾砂量

乾砂量は、地山または送排泥水に占める土粒子の体積です。土粒子の真比重は、変らないものとすると、理論乾砂量は次式で表されます。

$$V = Q \cdot 100 / (G_s \cdot w + 100)$$

V : 理論乾砂量, G_s : 土粒子の真比重, w : 地山の含水比(%)

一方、掘削乾砂量は次式で表されます。

$$V_3 = V_2 - V_1$$

$$= 1 / (G_s - 1) \times \{ (G_2 - 1) \cdot Q_2 - (G_1 - 1) \cdot Q_1 \}$$

V₁ : 送泥乾砂量(m³)

この式の値は、掘進ストロークあたりの値であり、実際には瞬時の計測値を積分することによって算出します。VとV₃との対比により取り込み不足状態(V>V₃)か取り込み状態(V<V₃)かの判定が可能となります。また、理論乾砂量は、100~200m間隔で行われたボーリングデータをもとに掘削断面に現れる各層厚、土粒子の真比重および含水比から算出しますが、それらの推定精度を考えると、これを基準値とするには不相当と考えられます。このため、計測値を統計的に処理し、過去の30リング程度のデータから最小自乗法による推定を行って、次のデータの期待値と標準偏差を求め、統計処理を行い、期待値と標準偏差から管理値の上限および下限を決めています。

(2) 泥土圧シールドの掘削土量計測・管理

泥土圧シールドの場合は、チャンバ内の掘削土をスクリーコンベヤで排出し、鋼車またはポンプ圧送、ベルトコンベヤなどを用いて排土を行っています。計測形式は、後方式と連続式に大別され、その計測内容は重量計測と容積計測の2種類となります。重量計測は鋼車重量の計測があり、容積計測は鋼車台数によるものや、スクリーコンベヤ回転数・圧送ポンプ回転数からの計測によるのが一般的です。

掘削土量管理は、掘削土量が掘削地山の土質や添加材、排土方式により体積、質量がばらつくため、管理の精度を良くすることは難しいですが、

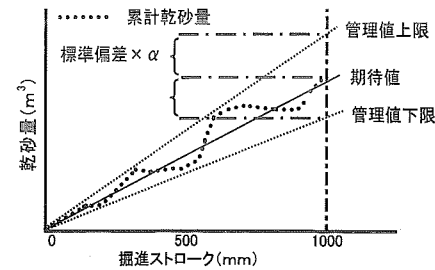


図-2 掘進ストロークによる管理値設定範囲図

V₂ : 排泥乾砂量(m³)

V₃ : 掘削乾砂量(m³)

G₁ : 送泥水比重

G₂ : 排泥水比重

表-1 泥土圧シールドの土量計測方法・留意点

型式	計測方法	留意点		
後方計測式	鋼車運搬式	軌条積算荷重計測・ロードセル 吊り荷計測・ロードセル 鋼車台数の容量計測	鋼車に土が付着したまま積み込むため、誤差が大きい。衝撃に対する注意が必要。 運搬時にベルトコンベヤや鋼車からこぼれる。 鋼車に土が付着したまま積み込むため、誤差が大きい。土砂性状によって変化する。	
	土砂ホッパ計測式	土砂ホッパの基礎柱に荷重計を設置	掘進中は残土抜きができない。	
	計測ベルコン式	重量式 超音波式 レーザー光式	重量式: ベルトコンベヤの下に重量計を設置し、重量を計測。土砂の性状や脈動によってばらつきがある。液状のものは流失する。 超音波式: 定速で動くベルトコンベヤの上に複数の超音波計測点を設置し、排土断面を計測。センサーの設置数により設定値が変わる。ベルトコンベヤ上の土砂に粗密があると誤差が生じる。 レーザー光式: 定速で動くベルトコンベヤの上に複数のレーザー光計測点を設置し排土断面を計測。精度よく断面形状を読み取れるが、土質によって反射性が異なり、誤差が生じる。	
連続計測式	ポンプ圧送式	スラッジポンプのピストン回数をカウント	掘削土の性状によって計測値にばらつきが生じる。	
	スクリー回転計測式	スクリー回転数をカウント	スクリー内の土砂の密度のばらつきなどにより誤差が生じる。	
	排土管方式	電磁流量計式	排土管に電磁流量計を設置し流量を計測	排土の流速が小さいと精度が悪くなる。土質によりばらつきが大きい。
		超音波ドップラー式	管外から超音波を発信し、ドップラー効果により流量を計測	排土の流速が小さいと精度が悪くなる。ポンプ圧送の脈動でばらつきが大きい。
		比抵抗値計測式	比抵抗値計測物質を土に混入し、電気的に流速を計測	混入物の流動状況が土砂と同一でなければ誤差が大きくなる。
ローラーカウント式	排土口にローラー回転計を設置し、回転数をカウント	排土の性状に大きく左右される。		
排土管の土圧計測式	排土管内に2点の圧力センサーを設置し、土圧差を計測し流量を算出	圧力センサーの設置場所により、誤差が生じる。土圧の変化により補正が必要。		

同種工事や既に蓄積した掘削土量のデータにより変動幅を推定して管理を行います。

表-1に「泥土圧シールドの土量計測方法・留意点」について示します。これら複数の方法により掘削土量の計測、管理、確認を行うことが一般的です。

以下に最近使用されている掘削土量の計測方法を述べます。

1) 鋼車運搬式

排土を目視できるため、一般的に掘削量は、①鋼車1台あたりの容積×台数より算出する方法、②ロードセルで鋼車の重量を計測する方法で排土量の管理を行っています。さらに近年では、これらを併用し、通過点に3Dスキャナーを取り付けて鋼車に積載された土の量を計測し、排土量を管理している事例もあります。

2) ポンプ圧送式

配管内が見えないためセンサーにより流量を計測するのが、一般的な方法です。排土の状態が一般的な粘性土のスラリーで、満管で圧送されている場合は、泥水式シールドで使われている電磁流量計(写真-1)で計測することができますが、空気を含んだり、土質の変化により密度が変化したりするなど、一般的なスラリーでない場合は測定誤差が大きくなります。近年、泥水式シールドで採用されている電磁流量計とγ線密度計から構成される、より精度の高い排土量システムも開発されています。また、圧送ポンプのポンピング数から排土量を算出して、管理することもできます。

3) 連続ベルトコンベヤ方式

ベルトコンベヤによる管理方法には、重量管理型と容積管理型の二つに大別されます。

重量管理型は、ベルトコンベヤをベルトスケールで計測する方式です。搬送土砂がベルトコンベ

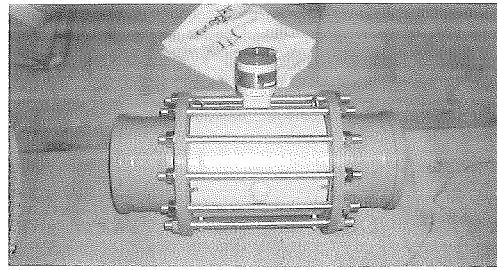


写真-1 電磁流量計

- ①コンベヤフレーム
- ②軸台
- ③計量キャリア
- ④支点
- ⑤ロードセル
- ⑥検出装置
- ⑦速度検出装置
- ⑧ターミナルボックス

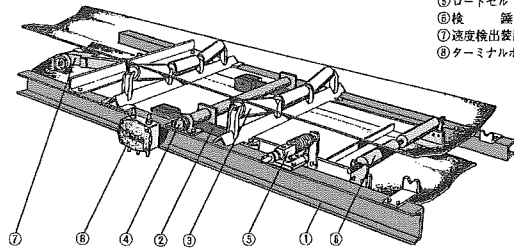


図-3 内部構造図

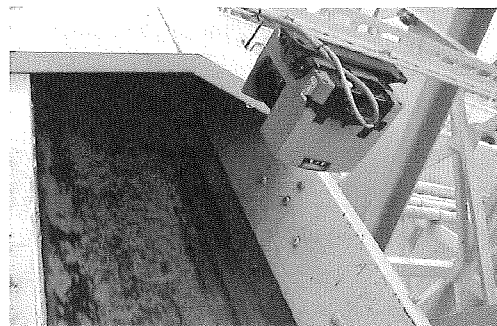


写真-2 レーザースキャナー

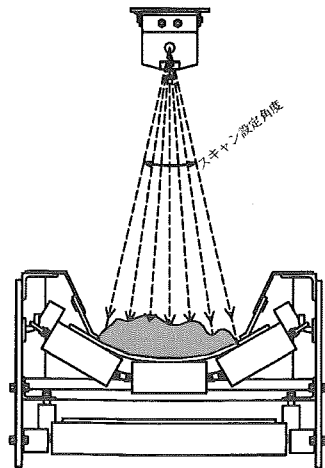


図-4 動作原理詳細図

ヤ上を通過する際に、搬送土砂の重量をロードセルにて計測しパルス発信器よりベルト速度を検出します。この2種類の信号を演算器にて掛け合わせて、時間あたりの搬送土砂重量を算出します。内部構造を図-3に示します。

次に容積管理型は、ベルトコンベヤ上の掘削土量を光学的に計測する方式です。搬送土砂の表面の輪郭をレーザースキャナーにより短周期でスキャンします。スキャン範囲は回転ミラーの回転角度により設定します。このようにして求めた搬送土砂の断面積にベルトコンベヤの進行速度を乗ずることにより時間あたりの搬送体積が算出されます(写真-2, 図-4)。

(文責：城野健一郎/鹿島建設(株))

参 考 文 献

- 1) 地盤工学会：シールド工法の調査・設計から施工まで, pp.199-208, 1997.2.
- 2) 土木学会：2006年度制定・トンネル標準示方書, シールド工法・同解説, pp.173-179, 2006.7.
- 3) 土木学会：土木施工なんでも相談室 [土工・掘削編], p.2-4, 2-5, 2005.7.

Q.32. セグメントのクラック・欠けの防止および補修の方法について教えてください。

A. 近年、都市部では地下構造物の輻輳化により、シールドトンネルは大深度化、急曲線・急勾配化が進むなど、厳しい条件下での施工が増えています。一方、経済性の追求からセグメントの薄肉化や幅広化、二次覆工の省略などが図られており、セグメントの損傷リスクは従来に比べ大きくなっています。ここでは、コンクリートセグメントについて、クラック・欠けの防止および補修の方法について紹介します。

(1) セグメント損傷防止の留意点

1) 施工計画時の留意点

クラック・欠けなどコンクリートセグメントに発生する損傷は、多くの場合、過大なジャッキ推力や大きな偏心量、シールドテール部のせり、セグメント組立精度の低下など、複数の要因が絡み合って発生しています。また、セグメントの損傷

発生は、施工管理の良否に大きな影響を受けますが、トンネル線形、地盤条件、セグメントの基本仕様などが主要因になることもあります。このため、施工計画にあたっては、施工管理の面での損傷防止に留意するとともに、損傷発生の危険性が高いと判断した場合は、セグメントの仕様の変更なども含めた方策が必要となります。以下に具体的な留意点を述べます。

① 荷重条件での留意点

大深度、高水圧下の硬質地盤中のコンクリートセグメントの場合、外荷重により発生する曲げモーメントが小さく、軸力が卓越した状態となるため、必要となるセグメントの桁高が小さく、また鉄筋量も少なくなりがちです。一方、高水圧下では、シールドジャッキ推力は相対的に大きく、反力体であるセグメントに与える影響が大きくなります。また、止水性を確保するためシール材の寸法や反発力は大き目に設定することがあります。このため、このような条件下では、施工時荷重の影響が大きいことに留意する必要があります。

② 線形条件での留意点

一般にシールドトンネルの線形は、直線部と単一半径の曲線部とで構成されますが、シールド掘進にあたっては、曲線前後の直線部からシールドジャッキの片押しなど曲線施工の準備に入りますので、セグメントへの負担は大きくなります。このため、急曲線部では、曲線区間だけでなく、曲線部前後のシールド1機長分程度の直線区間についても、鋼製系のセグメントを採用することが、セグメントの損傷を減らすうえでは、有効となります。

③ シールド、セグメントの仕様検討

シールド、セグメントの形状や仕様は、相互に与える影響を考慮して決定します。表-1にシールドとセグメントの施工計画時の留意点をまとめます。

2) 施工時の留意点

① 過大なジャッキ推力

ジャッキ推力が過大となる要因としては、掘進速度が過大で、掘削土砂をスムーズに取り込めない状況、地盤の緩みによりシールドが締め付けられている状況、テールクリアランスの偏りや裏込め注入材の流入・固化など

表-1 シールド、セグメントの施工計画時の留意点

項 目	留 意 点
シールドジャッキの配置	<ul style="list-style-type: none"> ・セグメント分割位置を極力押さない配置 ・軸方向挿入型Kセグメントでは、Kセグメントに均等に推力がかかる配置 ・半径方向の推力載荷位置は、偏心量が小さくなるように配置
ジャッキスプレッダー	<ul style="list-style-type: none"> ・局所的に過大な荷重が作用しない十分な剛性 ・スプレッダー表面に貼る緩衝材の材質確認 ・スプレッダー球座部分の可動性能の確保
テールクリアランス	<ul style="list-style-type: none"> ・曲線掘進シミュレーションにより、シールド・セグメントの相対的位置関係を把握し、切羽側・坑口側双方のテールクリアランスを適正確保 ・外荷重による変形を少なくするためのテール部の十分な剛性
中折れ装置	<ul style="list-style-type: none"> ・中折れ機構は、直線部での蛇行修正でも、シールドジャッキの片押しを少なくでき、セグメント損傷防止に有効
幅広セグメント	<ul style="list-style-type: none"> ・坑内でのセグメントピースの回転余裕確認 ・テールクリアランスが縦断方向で偏りやすい ・シールドジャッキ推力に対し座屈スパンが大きくなり、破損しやすい
分割数	<ul style="list-style-type: none"> ・分割数が少ないと、セグメントピースが大きくなり運搬・回転や組立時の微調整がしにくい ・等分割セグメントは、Kセグメントが大きいため、挿入時にセグメントの両サイドを目視にくく組立性が低下する。また、内外周の寸差が大きいため、挿入角度を大きくとる必要があり、コーナー部が鋭角となり、破損しやすい
ボルトレスセグメント	<ul style="list-style-type: none"> ・ピン式継手を用いる場合のピンの挿入余裕は、余裕が大きすぎると組立誤差の増大につながり、小さすぎるとピン挿入不能の恐れがある

によりテール部が拘束されている状況、などが考えられます。ジャッキ推力抑制の方策としては、ジャッキ速度の低下、面板の閉塞解除、余掘り量の拡大、裏込め注入管理圧の見直しなどを検討します。

② ジャッキパターンの偏り

シールドジャッキが片押しになると、ジャッキ1本あたりの推力が大きくなり、スプレッダー位置の圧縮応力度が大きくなるだけでなく、総推力の合力位置が図心から離れて、偏りすぎると、リング間に引張力が働き、リング継手の目開きや破損を生じる恐れがあります。このため、極力偏りの少ないジャッキパターンが望まれます。

③ シールドとのせり

シールドテールとセグメントとのせりによるセグメント損傷を抑止するためには、テールクリアランスの計測をリングごとに行い、シールドとセグメントの相対的な位置関係を常に把握し、テールクリアランスの偏りを管理値以内に収めることが基本となります。また、土圧などによるテールスキムプレートの変形やセグメントの真円度も考慮して管理する必要があります。

一方、急曲線部で縮径セグメントを採用した場合、裏込め材が流入しやすく、通常径に戻した場合に大きなブラシ圧が発生することがありますので慎重な施工管理が必要です(図-1参照)。

④ セグメント組立精度

コンクリートセグメントの損傷は、多くの場合、セグメントの組立精度が悪い状態でジャッキ推力やテールの拘束力など各種の施工時荷重が作用することで発生しています。具体的

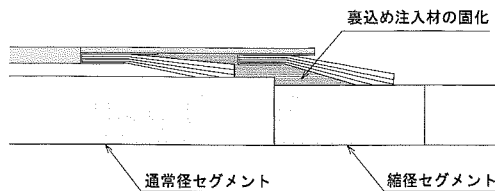


図-1 縮径～通常セグメント移行部概要図

には、リング継手面の段差は、次のセグメントが組まれてジャッキ推力がかかれば応力が集中し、容易に損傷を生じます。また、継手に目開きが残ったままで、シールド掘進を行えば、目開きが閉じる際にセグメントが変動し損傷を生じます。したがって、セグメントの損傷を防ぐうえでは、セグメントの組立精度を上げることが基本となります。

また、ボルトレスセグメントの場合、従来のボルト継手式のセグメントに比べて、組立ピースの微調整が困難なこと、いったん組み立てたピースの位置変更や組み直しが困難なこと、継手部で許容できる誤差が小さいことなどに留意する必要があります。とくに、セグメント継手の締結力が小さいタイプの場合、組立時にシールド材をつぶしきれずに目開きが残留し、最後のKセグメント挿入が困難となったり、逆にKセグメントの挿入を容易にするため、ラップ形状に組み立ててしまうことがあります。いずれもセグメント損傷につながりますので、注意が必要です。また、リング間にピン式継手を用いる場合、隣接ピースのセグメント継手面をこすりながら組み立てるため、シールド材のたるみや剥れに注意する必要があります。シールド材の剥れは漏水を生じるうえ、剥れたシールド材を挟み込み、目開きや損傷につながる恐れがあります。

⑤ 曲線施工

曲線施工では、テーパセグメントの使用比率が多いこと、シールドジャッキの片押しになりやすいこと、テールクリアランスが偏りやすいことなどから、直線部に比べてセグメントが損傷しやすくなり、注意が必要です。また、シールドジャッキとセグメントの偏角により推力がセグメントの法線方向力として作用し、その結果、周方向の引張力が生じ、クラックを生じることがあります(図-2参照)。このため、曲線施工時は、中折れ装置を有効に用いてできるだけ多くのジャッキで掘進することが有効です。

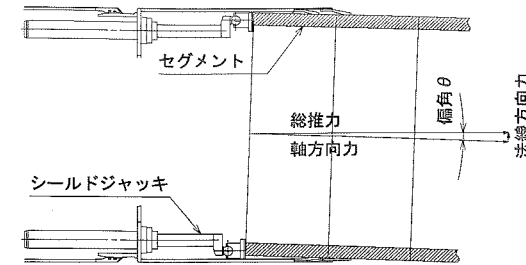


図-2 シールドジャッキとセグメントとの偏角概要図

(2) 損傷発生時の対応

1) 損傷状況の確認

シールド施工中にセグメントに損傷を生じた場合、もっとも重要となるのは、なるべく早期に、損傷原因を特定し、適切な対策を講じることで、残された施工区間において、同じ損傷をくり返さないことです。そのためには、損傷状況を正確に把握することが必要となります。前述のようにセグメントの損傷は、複数の要因が絡んで発生するケースが多いため、損傷の状況、発生時期、そのときの掘進データなどを詳しく調べる必要があります。表-2に損傷原因の把握に必要な項目をまとめます。

2) 損傷原因の把握と対策の検討

損傷状況を確認した後で損傷原因を推定するとともに、対策を立案します。損傷原因は、複雑に要因が絡むので、経験豊富な施工技術者の意見を聞いたうえで、原因を絞り込みます。また、対策も複数考えられますので効果の確認を慎重に行う必要があります。

3) 補修方法の選定

① クラック補修

クラックの補修方法としては、ウレタンやエポキシ樹脂の注入工法や、表面被覆工法があります。クラック幅による補修の要否は、設計条件や環境条件および漏水の有無により判断されますが、一般的には0.15～0.2mmが境となります。プラグ式の樹脂注入工法の施工手順を図-3に示します。また、微細なクラックに対しては、クラック表面を被覆することにより酸素供給をシャットアウトするとともに、美観を保つ、変成高分子シリカ系塗料な

表-2 損傷原因の把握に必要なデータ

損傷状況	軸方向クラック、周方向クラック、隅角部の欠け、セグメント継手部の損傷、リング継手部の損傷、背面の割れ、ヘアクラック、その他
発生時期	初期掘進、本掘進、直線部、曲線部、曲線の前後、その他
発生箇所	上下左右、全体、A・B・Kセグメント
発生タイミング	セグメント組立時、掘進時(テール内、テール通過中、テール通過後)
掘進データ	切羽圧、カッタートルク・回転方向・回転速度、コビーカット、ジャッキパターン、ジャッキ圧、ジャッキストローク、掘進速度、回転角(ヨーイング、ピッチング、ローリング)、中折れ角度、テールクリアランス、グリース圧、裏込め注入圧、その他
出来形データ	目開き量、目違い量、真円度、セグメント倒れ
基本データ	土質条件、シールド諸元、トンネル諸元、覆工諸元

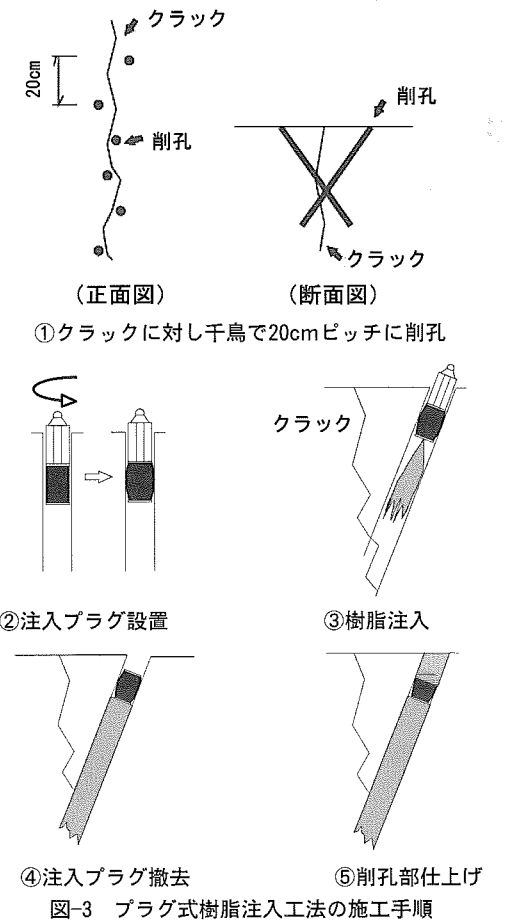
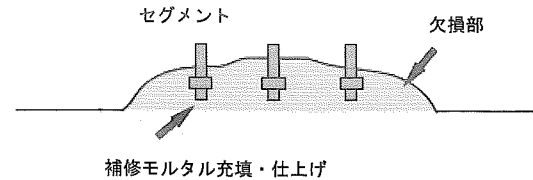


図-3 プラグ式樹脂注入工法の施工手順



補修モルタル充填・仕上げ

図-4 剝離、欠け補修 概要図

どによる表面被覆工法や、軽度の漏水を伴う場合は、クラック表面に塗布することでクラック内部まで水と反応してセメント結晶を増殖させ、止水と空隙充填を行う浸透性防水材による塗布工法があります。

② 剝離、欠け補修

剝離、欠けの補修は、損傷の形状や深さ、

補修後の欠落の恐れの有無などから補修方法を選定します。欠落の恐れがある場合は、アンカーなどを設置してから、補修モルタルを充填します(図-4参照)。なお、補修モルタルには、セグメントと同等の圧縮強度を求める場合もあります。また、仕上がり色は、乾燥時に合っても湿潤状態では目立つ場合がありますので、留意する必要があります。

(文責：金子正土/三井住友建設(株))

参考文献

- 1) 土木学会：トンネル・ライブラリー，第17号，シールドトンネルの施工時荷重，2006.10.

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

1. 原稿は弊社ホームページ(<http://www.tunnel.ne.jp>)に掲載されている投稿規定により執筆して頂きます。
 2. 原稿のボリュームは、原則として刷上がりで8頁以内とします(図・表・写真含む)。
 3. 原稿掲載の採否は、本誌編集委員会で審査のうえ決定します。
 4. 掲載論文については当社規定の原稿料をお支払いいたします。
 5. 原稿は、原則として返却いたしません。
(注：「現場だより」の投稿は受け付けておりません)
- 送付先 株式会社土木工学社 編集部 投稿係
〒162-0832東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888(代)

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL

上浅貝トンネルが貫通

福島県いわき市が整備を進める都市計画道路台山水野谷町線(仮称)上浅貝トンネルの貫通式が行われた。(仮称)上浅貝トンネル新設工事は、L=317mで幅員14m。

赤瀬トンネルで貫通式

山口県が整備する岩国市本郷町波野の赤瀬トンネルの貫通式が行われた。トンネルは2本でそれぞれL=175mと68m、幅6mの片側1車線。同トンネルは同市美川町と本郷町を結ぶ県道徳山本郷線の波野地区での改良工事の一環で、区間整備が終わる年内の開通を予定している。

佐渡島 多田トンネルで貫通式

新潟県が整備を進める主要地方道佐渡一周線、多田トンネルの貫通式と貫通祝賀式が行われた。同トンネルは延長1,511m、全幅員8.5mのNATMトンネルで、佐渡島内で3番目に長いトンネルとなる。

地山は主として中・古生層の砂岩・頁岩・凝灰岩などからなっており、付加体、メラングジュなどの地質の変化や湧水などに悩まされた工事だったが平成16年1月の掘削開始から約4年でトンネル貫通を迎えた。

今後、平成21年度の開通を目指し、覆工コンクリート、舗装、電気設備工事などの工事を進める。

矢代第2トンネル貫通式

福井県が整備を進める小浜市矢代一田鳥間を結ぶ国道162号矢代第2トンネル(仮称)の貫通式が行われた。

トンネルは全長1,027m、幅9.7m。矢代側と田鳥側の2工区に分け、昨年春から夏にかけて着手し、両側から掘り進めた。平成21年度のトンネル完成を目指している。

新松尾トンネルが貫通

四国地整が事業を進める国道56号宇和島道路において、平成17年3月に着手された新松尾トンネル(仮称)(L=2,031m)が、約2年10か月の工事期間を経て貫通した。

同トンネルは、国道56号宇和島道路の津島IC(仮称)～宇和島南IC間に位置するトンネルで、宇和島道路では最長のトンネルとなる。

今後は、コンクリート打設工事などを行い、平成20年3月の完成を図るとともに、津島IC(仮称)～宇和島南IC(宇和島市津島町高田間の早期供用を目指す。

北陸新幹線飯山トンネルで貫通式

鉄道・運輸機構が整備する北陸新幹線飯山トンネルが全貫通し、貫通式が行われた。

同トンネルは長野・新潟県境の22.225kmの山岳トンネル。「上倉工区」「富倉工区」「新井工区」「東菅沼工区」「木成工区」「板倉工区」の6工区に分け、平成10年に着工。泥岩主体の褶曲構造の地山のなか、膨張性地山、未固結層、可燃性ガス、高圧帯水層などさまざまな困難に遭遇したが、補助工法を駆使し、9年5か月を経て貫通した。

山岳トンネルとしては、八甲田(26.455km)、岩手一戸(25.808km)に続き、第3位の長大トンネルとなる。

岩戸トンネル(2期線)が開通

中部地整岐阜国道事務所が整備を進める一般国道156号岐阜東バイパス岩戸トンネル(2期線)の完成式典が行われ、同日2期線トンネルへの交通の切り替えが行われた。

岐阜東バイパスは、交通混雑緩和および交通安全確保を図ることを目

的とした岐南町八剣から関市山田に至る延長約13.4kmの道路で、これまでに、岐南町八剣から岐阜市入舟町交差点までの6車線2.5kmが昭和62年度に完成し、今回の開通予定区間を含む入舟町交差点から岐阜市日野南5丁目までの4.2kmが暫定2車線で平成3年度に開通していた。

同トンネルの完成により、入舟町交差点から岐阜市日野南1丁目までの2.5kmについて一部供用が始められ、すでに供用されている1期線トンネルのリフレッシュ工事の完成後、年度内に全線4～6車線化する予定。

京都市営地下鉄東西線延伸が開業

京都市が建設を進めてきた東西線延伸線(二条～太秦天神川)2.4kmが完成し、営業を開始した。

工事は、シールド区間である「二条西工区」「西大路西工区」、駅部を開削で施工する「西大路駅工区」「天神川駅工区」の4工区に分け行われた。

シールド区間のうち、二条西工区は、φ5.7mの並列トンネルで、洪積の礫質層を泥土圧シールド2機用い、平均日進5mで838mを掘進した。西大路西工区は大断面となるφ9.3mの複線トンネルを採用。洪積の礫質層を泥土圧式で1,162m掘進した。平均日進は7mであった。

西大路西工区では、インバートの埋め戻しが1万m³以上となるため、コンクリートでの埋め戻しに替わり、発生土による流動化処理土を用いた。処理土は、天神川駅工区内のプラントで作成し、天神川駅上部埋め戻しにも用いられた。

延伸開業に伴い、烏丸御池駅～太秦天神川間を約8分で結ぶとともに、京阪京津線の太秦天神川駅までの乗り入れ延長についても同時に実施される。

研究・開発

文献紹介

松浦将行・高久節夫・横田正和・小泉淳：二次覆工一体型セグメントの実用化に関する研究, 土木学会論文集F, Vol.63, No.4, 2007.11.

相馬宣和・大野哲二・中島貴弘・中間茂雄・浅沼宏：コア採取ボーリング削孔時の掘削振動の多成分信号処理法と地下構造推定法の検討, 土木学会論文集C, Vol.63, No.4, 2007.12.

富田敦紀・蛭名孝仁・戸井田克・白鷺卓・岸田潔・足立紀尚：低拘束圧下における堆積軟岩空洞の破壊現象の考察, 土木学会論文集C, Vol.63, No.4, 2007.12.

小林一三・戸井田克・笹倉剛・太田秀樹：等含水比線と等飽和度線を用いた締めめベントナイトの圧縮・膨潤挙動の解釈, 土木学会論文集C, Vol.63, No.4, 2007.12.

登坂敏雄・阿部敏夫・朝倉俊弘：トンネル覆工の単一構造化における現場計測による検証と適用に関する研究, 土木学会論文集C, Vol.63, No.4, 2007.12.

安原英明・木下尚樹・操上広志・中島伸一郎・岸田潔：温度・応力に依存する化学溶解・沈殿現象を考慮した珪質岩石の透水性経時評価, 土木学会論文集C, Vol.63, No.4, 2007.12.

調査・設計

佐藤良一・島田淳次：ライフサイクルコストと長大トンネル内舗装の温度特性に基づく舗装構造の検討, 土木学会誌, Vol.93, No.1, 2008.1.

竹村次朗：海外のMRT工事事故とその対応に学ぶ土留め掘削設計・施工の課題, 基礎工, Vol.36, No.2, 2008.2.

施工

エアバッグで地山を押さえて掘削, 相沢病院地下通路建設工事, 日経コンストラクション, 2007年12月14日号, 2007.12.

廣瀬隆士：新技術を採用した谷川雨水幹線, シールド切替型推進工法, 月刊下水道, Vol.30, No.14, 2007.12.

石塚一郎：台湾高雄地下鉄CR4工区建設工事における現場運営, 台湾・日本JVによる世界最大規模の円形連続壁構築, 土木施工, Vol.48, No.12, 2007.12.

中川裕康・松井雅志：マレーシア下水プロジェクト, ア

シアにおける技術移転への取り組み, 土木施工, Vol.48, No.12, 2007.12.

望月明彦：パームジュメイラ海底トンネルプロジェクト, 先陣 in Dubai, 土木施工, Vol.48, No.12, 2007.12.

原廣：大規模地下構造物築造工事における安全管理, 20kL LNG地下タンク建設工事(土木), 建設機械, Vol.44, No.1, 2008.1.

木原晃司：東京ガス高圧ガス輸送幹線「中央幹線」建設, 都市部における長距離, 大深度下での高圧ガス管路の建設, 建設機械, Vol.44, No.1, 2008.1.

西村聡：シールド機の水中到達とUターン施工, シールド機の水中引き抜きと狭隘な立坑での回転・吊り上げ施工, 建設機械, Vol.44, No.1, 2008.1.

寺田光太郎・森山守：東海北陸自動車道飛弾トンネルの設計・施工, 吹付けコンクリートによる新たな覆工構造について, 土木技術, Vol.63, No.1, 2008.1.

岩田謙次郎・白波瀬雅史：名駅南雨水幹線における上向きシールド工法の設計・施工について, 土木技術, Vol.63, No.1, 2008.1.

半野久光・川田成彦・白鳥明：首都高速道路における大規模土留め工の変形挙動に着目した検討, 基礎工, Vol.36, No.2, 2008.2.

館山勝：鉄道における掘削土留め工の諸問題, 基礎工, Vol.36, No.2, 2008.2.

佐野弘幸：地下埋設物の輻輳する上野地下歩行者専用道・駐車場における土留め工の事例, 基礎工, Vol.36, No.2, 2008.2.

橋本正・太田拓・向井寛行：関西の地盤特性に応じた開削工事事例, 基礎工, Vol.36, No.2, 2008.2.

定藤誠一郎・天野健次・中川達也：FFU横矢板を用いた土留め欠損防護工, 基礎工, Vol.36, No.2, 2008.2.

春田義信・安仲努・和田格・山口斉：大規模開削工事に伴う地盤のリバウンドによる地下鉄への影響検討, 基礎工, Vol.36, No.2, 2008.2.

維持管理

高橋光彦・紺野路登・鈴木秀輔・毛利行洋：工期短縮・コストダウンが期待できるトンネル内コンクリート舗装の補修工法, タイヤチェーン装着下で10冬経過した明色エポアス舗装, 道路建設, No.704, 2007.11.

東邦和・宮村貫雄・青木進：横浜市地下鉄におけるコンクリート側壁の塩害の調査と耐久性診断システムによる評価, 建設の施工企画, No.693, 2007.11.

連載講座

シールド工事の施工に関するQ&A(10)

JTA都市トンネル小委員会

Q 33. 土質ごとに対する裏込め注入管理上の注意点について教えてください。

A.

(1) はじめに

シールドで掘進する地盤は、安定した地盤を選んで施工できるわけではなく、シールドトンネルが取り付く構造物の位置や、シールドトンネルが必要とする勾配や線形などで計画されます。これにより、シールドで掘進する地盤には、さまざまな土質が想定され、併せて地下水の影響を無視することもできません。ここでは、土質ごとの裏込め注入管理上の注意点を、過去の調査結果を踏まえ紹介します。

(2) 裏込め注入管理

1) 注入材料

図-1に、注入材料別裏込め注入工の実績調査結果を示します。

この結果より、二液可塑性と二液瞬結を合わせると、全体の約9割を占めることがわかります。双方とも二液混合後の早期強度発現を特徴としており、テールボイドの早期安定に努めていることが伺えます。

2) 注入時期

図-2に、図-1と同時に実施した、注入時期別裏込め注入工の実績調査結果を示します。

この結果より、シールドスキンプレートの外側に設けられた注入管より、機側から掘進中に行う同時注入と、セグメントのグラウトホールから掘進中に行う同時注入を合わせると、全体の9割以上となることがわかります。これにより、ほとん

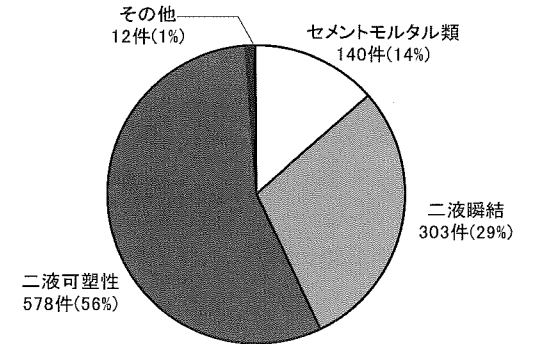


図-1 注入材料別裏込め注入工の実績¹⁾

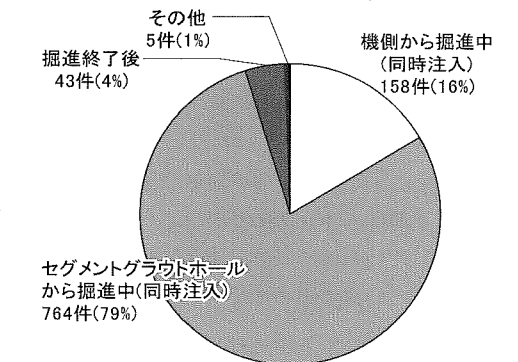


図-2 注入時期別裏込め注入工の実績¹⁾

どの地盤で、掘進により残されたテールボイドの早期充填に努めていることが伺えます。

3) 注入圧力

一般的に裏込め注入圧力は、切羽圧に0.1~0.2MPaをプラスした圧力とします。

図-3に、裏込め注入圧力(坑内吐出圧)の実績を示します。このグラフからは、シールドトンネルの高水圧下における施工実績の増加に伴い、注入圧力が0.7MPaを超える施工も行われていることがわかります。

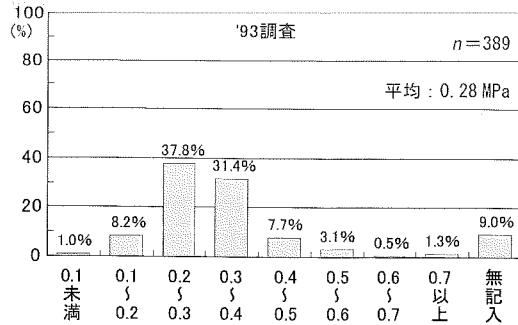


図-3 注入圧力の実績(坑内吐出圧)²⁾

4) 注入量・注入率

注入量は一般的に次式で計算されます。

$$Q = V \times \alpha$$

V: 理論ボイド量

α: 注入率

この注入率αには、さまざまな要素が含まれていますが、代表的なものを以下に示します。

- ① 注入圧による圧密
- ② 地盤への浸透
- ③ 切羽への漏洩

この中で、土質が注入率に影響を与えるものは、②の地盤への浸透です。図-4に土質と注入率の関係を示します。

図-4より、地盤の変形量が大きい沖積粘性土と、砂・玉石では注入率が比較的大きくなり、地盤の変形量が小さい洪積粘性土と軟岩では、注入率が小さくなっていることがわかります。

5) 充填の確認

充填の確認は、設計注入量と実注入量の比較が一つの目安となりますが、同時に注入圧力による管理も重要となります。注入完了後は、スチールセグメントを叩く打音による充填状況の確認や、グラウトホールなどから空洞の確認を行います。注入が不完全な場所へは、二次注入を行うことも必要です。

(3) 土質ごとの裏込め注入管理上の注意点

1) 砂層

砂層は崩壊性の高い地盤なので、テールボイドの発生と同時に裏込め注入を行うことを推奨します。

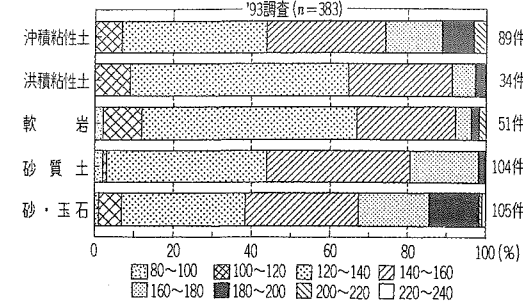


図-4 切羽代表土質と注入率²⁾

粒子間のすきまに注入材が浸透しやすく、注入率は比較的大きくなりますが、注入量と注入圧に注意を払い、充填の状況を確認してください。

2) 軟弱粘性土層

軟弱粘性土層は、地盤が軟らかいため、土水圧により地盤を早期に変形させることがあります。また、砂質土に比べると後続沈下が発生することが多く、数箇月にわたって継続する場合があります。この主な原因は、過大な注入圧力や注入による地盤の乱れや過剰間隙水圧の消散過程に伴う二次圧密です。

そのため、注入圧力が上がらないからといって、むやみに注入量を増やすとかえって沈下を誘発する場合がありますので、地表面沈下などの計測データをフィードバックしながら注入量や注入圧力を決めていくことが大切です。

3) 礫、玉石層

礫、玉石層は河川付近によく見られる地盤で、地下水を大量に含むことが多く、注入材が地下水により希釈されることが考えられます。注入の状況より、注入率が大きくなるようであれば、注入材のゲルタイムを短くするなどの工夫も必要となります。

しかし、ゲルタイムを極端に短くすると、十分に充填される前に注入圧が大きくなることも考えられるため、注入量と注入圧により、充填の状況を確認してください。

4) 泥岩、洪積粘性土

泥岩、洪積粘性土は、地盤の崩壊性が低い安定した地盤です。テールボイドの崩壊も少なく安定しているため、他の地盤に比べると比較的小さい

注入率での施工が可能です。

地下水が少なく注入材が希釈されることもない場合には、セメントモルタル類での注入も可能です。

(4) 特殊状況下での裏込め注入管理

1) 高水圧

シールドトンネルの高水圧下で大きな注入圧力が必要となるケースが増えています。高水圧下で掘進距離が長くなる場合などは、地上のグラウトポンプは脈動の少ないスクリー式ポンプの選定や、坑内のシールド後方台車への注入専用グラウトポンプの設置など、切羽圧に対抗する安定した注入を考えることが必要です。

2) 小土かぶり

土かぶりの小さい場所やシールド路線付近に井戸がある場合などは、注入圧力をあまり大きくすることができません。

いくら注入しても注入圧が上がらず、注入量が設計注入量を超えるような場合は、地上への噴出や井戸への注入材の流入が考えられるため、地上や井戸の監視を十分に行い、施工する必要があります。

(5) まとめ

裏込め注入の積算では、土質の状況にかかわらず、一律130%の注入率を算定することが多いようですが、計画時には土質ごとに過去の実績より注入量を想定し、施工中は計測データとの比較をこまめに行うとともに、地上への裏込め材の噴出、地表面の沈下、地下埋設物への影響などへも常に注意を払い、無事、施工が完了するよう管理していただくことを願います。

(文責：廣渡智晶/(株)竹中土木)

参考文献

1) 土木学会トンネル工学委員会示方書小委員会示方書改定準備会シールド分科会：シールド工事実績に関するアンケート結果報告(平成13年11月30日), 資料-1, 11p.
 2) JTA都市トンネル小委員会：「裏込め注入」に関する実態調査報告書(1), トンネルと地下, Vol.26, No. 6, p.38, 1995.6.

Q.34. カッタビットの摩耗量の予測方法と摩耗を低減する方法を教えてください。また、カッタビットを機械的に交換する方法と留意点を教えてください。

A. 都市機能の複雑化・多様化に伴って、都市の地下空間利用はますます深層化・輻輳化しています。都市トンネルの標準工法としてのシールド工法は、その多様化する社会的ニーズに対応するために長距離シールドが増加しています。この長距離シールドに要求される技術要素の一つとして、カッタビットの耐久性向上および交換技術があります。ここでは、岩盤シールドなどに使用するローラーカッタには触れずに、一般的な土砂シールドに適用されるビットについて記述します。

(1) カッタビットの種類と構成要素

シールド工法では、泥水式と土圧式とに大別される切羽密閉型シールドが主流となっています。そのカッタヘッド形状は、面板型とスポーク型とに分類でき、地盤の切削を直接担うカッタビットは、地質や施工条件に合わせて選定し、カッタヘッドに配置装備されます。

カッタビットは形状と使用用途によって、ティースビット、先行ビット、強化型先行ビットなどの名称に分類できます。カッタビットは、タングステンカーバイトとコバルトを焼結して製造されるきわめて硬質な超硬チップ材とそれを固定する母材によって構成され、チップの材質(E3種, E5種など)、チップの取付方法(貼付けタイプ、差し刃タイプ)、カッタビットの先端角度(すくい角、逃げ角)、およびカッタビットの取付方法(ボルトタイプ、ピンタイプ、溶接タイプ)などについて、地質や施工条件を考慮して組み合わせ、選定することになります。また、摩耗が懸念されるカッタビットの母材には、表面にクロム、タングステン、マンガンを含む硬化肉盛り溶接で母材摩耗を防ぎます。

写真-1は、摩耗したビットを写したものです。上段のビットで強化型先行ビットの効果が見て取れます。下段のビットは、強化型先行ビットが摩

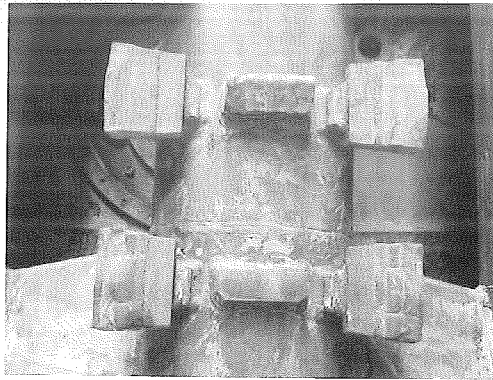


写真-1 ビットの摩耗状況

表-1 カッタビット摩耗係数(mm/km)
(E5種, 掘進速度20~30mm/min)

地質区分	土圧式	泥水式
沖積粘性土	0.0030~0.0035	0.0017~0.0024
洪積粘性土	0.0080~0.0159	0.0050~0.0113
砂質土	0.0106~0.0197	0.0048~0.0152
砂礫土	0.0159~0.0296	0.0098~0.0230

耗したことでティースビットが激しく摩耗しています。

(2) カッタビット摩耗量の推定

カッタビットの摩耗量については、一般的にカッタビットの摺動距離をパラメータとして施工実績にもとづいた摩耗係数で推定しています。

$$\delta = K \times \pi \times D \times N \times L / V$$

δ : 摩耗量(mm)(対象ビットの摩耗量)

K : 摩耗係数(mm/km)(地質, 工法など)

D : シールド外径(mm)(対象ビット回転径)

N : カッタ回転数(rpm)

L : 掘進距離(km)

V : 掘進速度(mm/min)

摩耗係数(K)についてはさまざまな数値が提案されていますが、その参考値を表-1に示します。

カッタビットの摩耗量は、掘削対象となる地質特性、カッタビットの配置・パス数を含めたカッタヘッド構造、工法の相違およびシールド掘進に伴う切削負荷状態などの摺動距離以外の影響を受けますので、その精度がばらつくことになります。また、推定式は標準的な施工条件での統計値ですので、標準の範囲を外れて外挿する場合には注意

を要します。

礫質土などでは、チップの欠けや脱落により急激な摩耗となることが知られています。また、切削時の土砂の流れを停滞させるようなビットの配置をしますと、局部的にビットの摩耗が進みます。したがって、ビットの耐久性は摺動距離による摩耗量の検討だけでは不十分なことを念頭に置くべきでしょう。ビット交換の必要性を判断する難しさはここにもあるので、摩耗量を推定するうえでの多くは安全側に重点を置いたものとなります。

一方、カッタビットの摩耗推定量に対する限界摩耗量は、一般的に埋め込みチップ材長の0.4~0.5倍を指標として設定しているようです。

(3) カッタビットの耐久性向上対策

一般的に、カッタビットの耐久性向上に関しては、次のような対策が取られます。

- ① 切削土砂がスムーズに取り込まれることを考慮したビット配置、間隔の選定
- ② 超硬チップを固定している母材の表面を硬化肉盛り溶接などによる母材の摩耗低減
- ③ ビットの欠けが懸念される地質では耐衝撃性に優れた超硬チップ材質(E5種)を選定
- ④ 地質条件により耐摩耗性に優れた超硬チップ材質(E3種)を選定
- ⑤ 先行ビット, 強化型先行ビットの活用
- ⑥ カッタビットパス数の増加
- ⑦ カッタビットの高さを変えたビット配置(段差配置)
- ⑧ 限界摩耗量の大きな大型ビットの選定

近年では、ティースビットの保護を目的として先行ビットを配置する事例が増えていますが、この場合、0.6などの低減係数により評価することもあります。また、パス数と摩耗量は線形関係にはなく、パス数を増やすことの摩耗低減効果は明確ではないようです。

以上のように、上記対策の組み合わせを評価したうえで、カッタビットの耐久性を精度良く予測することは、現状ではまだ難しいと言わざるを得ません。このため、近年では、摩耗検知装置(油圧式, 電気式, 超音波式, 電磁波式など)を配備

することが増え、カッタビットの摩耗状況が把握できるようになっています。

(4) カッタビット交換方法

1) 通常のカッタビット交換方法

長距離シールドや砂礫, 石英分の多い土質などを掘削対象とするシールドでは、カッタビットの摩耗量が限界摩耗量を超えてビット交換が必要となる場合があります。

通常、中間立坑を設置し立坑でビット交換する方法や、地盤改良などの施工によりチャンバ内でビット交換する方法で対応しています。しかし、これらの方法は、立坑用地確保の問題や立坑築造・地盤改良などに大きな費用が発生すること、または、ビット交換が狭隘な作業空間での危険作業となるため、近年ではあらかじめ機械式交換システムを搭載して、機内で安全かつ効率的にビットを交換する方法が実用化されています。

2) 機械式カッタビット交換方法

以下に主な機械式カッタビットの交換方法を示します(図-1)。

① ビット押し出し方式

ビットが摩耗した段階で、面板あるいはスポークに内蔵されたビットを油圧ジャッキなどで地山側に押し出す方式。

② スライド交換方式

面板あるいはスポーク部において、ビットの取り付け台をスライド可能なガイドで支持し、ビットをシールド中心部に引き込み、交換したビットを中心部から半径方向に押し出してビット交換を行う方式。

③ スライド回転交換方式

カッタビットをスポーク内で回転させ、交換位置までスライドさせ機内で交換した後、再びスポーク裏側から新しいビットを反転させて交換を行う方式。

④ 球体式ビット交換方式

シールド本体に回転可能な球体を内蔵させ、

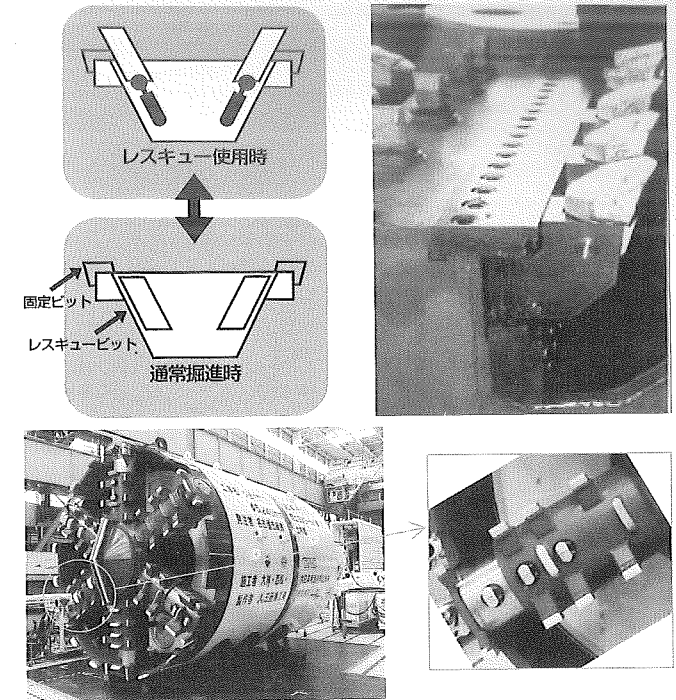


図-1 機械式ビット交換の例

カッタヘッド全体を機内側に回転させ、機内でビット交換を行う方式。

⑤ カッタヘッド内交換方式

カッタヘッド内部に作業者が入ってビットを引き込み、カッタヘッド内で交換する方式。いずれの交換方法においても、高水圧下での止水技術が課題であり、交換システムの装備費用に対する従来の地盤改良や中間立坑での費用との経済比較検討が必要となるでしょう。また、適用できるシールド径や交換できるビットの種類などについて制限もあり、適用に際しては詳細な検討が望まれます。

(5) おわりに

今後は、近年のカッタビットの摩耗実績データや新しい知見による分析を加えることで、カッタビットの配置などに関する詳細な評価と、より精度の高い摩耗予測が期待できます。また、機械式カッタビット交換技術については、要素技術として実用段階にあります。装置の耐久性や適応性など課題は多く残っています。しかし、長距離シールドに対する社会的ニーズは高く、これらのこと

が重要な技術となるものと思われます。したがって、現時点でのカットビットの耐久性や交換方法に関する技術評価や信頼性などを明確にしておくことも重要であると考えます。

(文責：八坂光洋/前田建設工業(株))

参考文献

- 1) 土木学会：2006年制定・トンネル標準示方書、シールド工法・同解説、2006.7.

Q 35. 中間立坑や測量観測孔がない場合に到達精度を向上させる坑内測量の方法を教えてください。

A.

(1) はじめに

近年、シールド工事は錯綜する既設構造物への影響回避やコスト縮減などの社会的要請を受け、長距離・大深度施工が増えています。このような場合、測量観測孔の設置が困難であり、到達精度を向上させるためには、坑内測量の精度向上が不可欠となります。ここでは、中間立坑や測量観測孔が設けられない場合に、到達精度を向上させる坑内測量の方法を紹介します。

(2) 坑内測量の目的と方法

坑内測量は、坑外測量にもとづいて坑内に測点を設置し検測を行うものであり、シールド掘進に際して行う掘進管理測量の基本となります。坑内測量により既設セグメントの蛇行量や現在のシールドの位置座標・掘進方向の情報を得て、その後の掘進計画に反映させます。

坑内測量には、路線測量と水準測量があります。このうち路線測量は、トンネルが線状構造物であるため、図-1のような開放トラバース測量で行われています。しかし、この測量法は計測した測点の誤差を検知・解消できないことから、閉合トラバース測量に比べ精度が劣ります。とくに長距離や急曲線では測点数が多くなるため、誤差が累積・増大し、精度が落ちやすくなります。なお、水準測量は直接水準測量で行われており、精度は比較

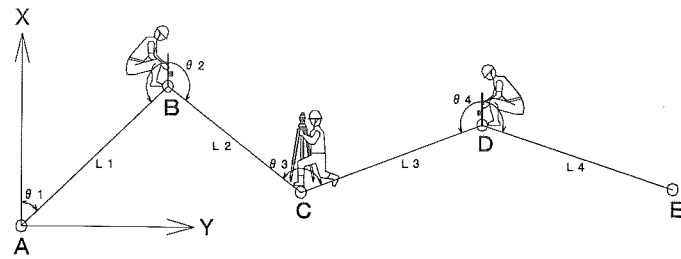


図-1 開放トラバース測量

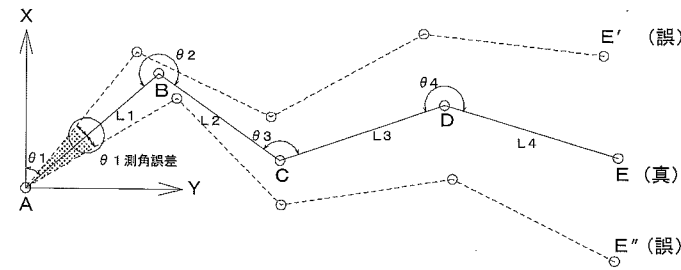


図-2 測量誤差の累積・増大

的に良いようです。

(3) 到達精度を向上させる坑内測量法

坑内測量の路線測量では、測点をシールドの掘進に伴い、順次前方へ移設していきますが、途中の測量成果に誤差が含まれると、その誤差は図-2のように、掘進延長が延びるにしたがい増大し、結果として到達精度が落ちます。

以下に、到達精度を向上させるための坑内測量の方法を挙げます。

1) 測点の設置・管理

坑内測量の測点は、シールド掘進に伴い、順次前方へ移設していきますが、組み立てたセグメントが、シールド掘進時の推力や裏込め注入の影響および浮力などにより動くことがありますので、切羽に接近した箇所に設置するのは避けるべきです。

これらの測点は、施工中はもちろんのこと、貫通後の各種測量の基準点としても使用するため、長期間の使用に耐えるような構造としなければなりません。例えば、他の作業の支障とならない場所に設置し、他作業による接触損傷を防止するために十分に養生しておきます。

また、併設トンネルにおける先行トンネルでは、後続シールドの掘進の影響によりセグメント自体が変位する場合がありますため、必ず定期的に測点を

検測するようにします。図-3にセグメントの変位状況を示します。

測点の設置間隔は、トンネル断面の大きさや線形などのほかに、各種作業設備との関連、坑内の見通し、使用する測量機器などを考慮し設定しなければなりません。一般的には、曲線部で10~20m程度、直線部で50m程度が多いようです。測点を前方に移動する場合には、後方の測点を重複させて位置決めし、なるべく早い時期に地上・立坑下基準点や他の坑内測点との関連を検測するようにします。

なお、坑内の測点は鋼材にポンチを打って設置することもあります。ベースの鋼材が錆びると見えなくなり、ポイントの再現が困難になってしまいます。したがって、測点の状態確認・清掃・防錆処理などによる維持管理が重要となります。

2) ジャイロトランシットによる基線測量

シールドの掘進が進み、坑内にある程度の直線区間が確保できた段階で坑内に基線を設置し、ジャイロトランシットにより基線測量を行います。ジャイロトランシットによる測量では、高精度の方位角が測定できるため測角値の補正ができ、坑内測量の精度向上が図れます。また、基線は長いほど精度が上げられます。

掘進距離が長い場合や、曲線施工が多数含まれる場合には、測点の盛り替え回数が多くなるため、測量誤差が大きくなります。このような場合には、あらかじめ、ジャイロトランシットによる基線測量を行う位置を計画しておき、坑内測量結果を補正することで、坑内測量の精度を向上させることができます。図-4にジャイロトランシットによる基線測量結果による補正の概要を示します。

3) 水平ボーリングの実施

長距離シールド同士の地中接合の場合、地中接合直前に坑内から水平ボーリングを実施することにより、到達精度をより向上させることができます。水平ボーリングを行う位置は、水平ボーリン

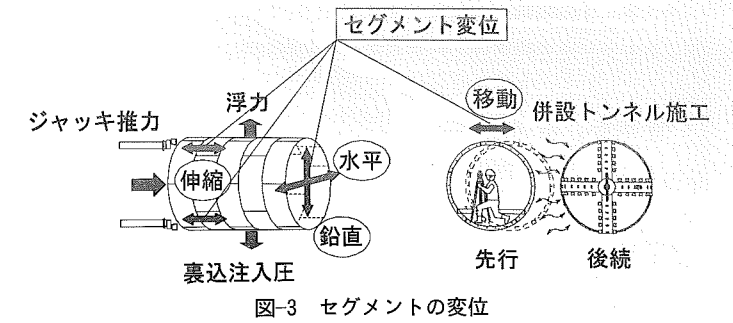


図-3 セグメントの変位

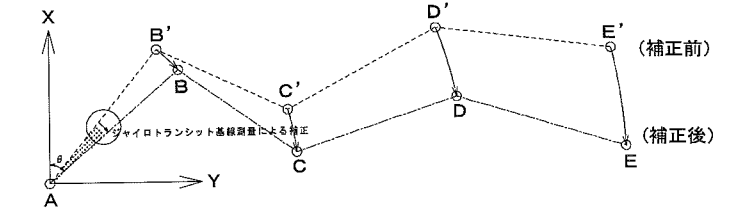


図-4 基線測量結果による補正

グの精度・シールド方向修正量などを考慮して、到達位置(接合位置)からある程度手前とし、位置確認した後、必要に応じて方向を修正しながら到達(接合)します。

図-5に水平ボーリングの施工例を示します。

この施工例では、2台のシールドでそれぞれ9km掘進後、50m離れた位置から小口径推進工法による水平ボーリングを行い、ボーリング孔を利用した磁気センサーとラジオ・アイソトープ・センサーにより正確な相互位置を確認しています。

(4) 急曲線施工での坑内測量

急曲線施工時には、シールドの姿勢が中折れ状態となっています。このとき、坑内測量から求めたシールドの座標値にもとづいて、シールド姿勢(シールド方位角・中折れ角・ローリング角・ピッチング角)を考慮して、現在の切羽位置を計算により求めます。したがって、坑内測量には高い精度が要求されます。図-6に急曲線施工時のシールド切羽位置の状況を示します。

急曲線区間では、測量時の見通しが悪くなり、測点の盛り替え回数が増えるため、測量誤差がより大きくなります。この誤差をできるだけ小さくするためには、当該急曲線部の前方区間(切羽側)で、ジャイロトランシットによる基線測量を行い、測点の補正を行うのが効果的です。

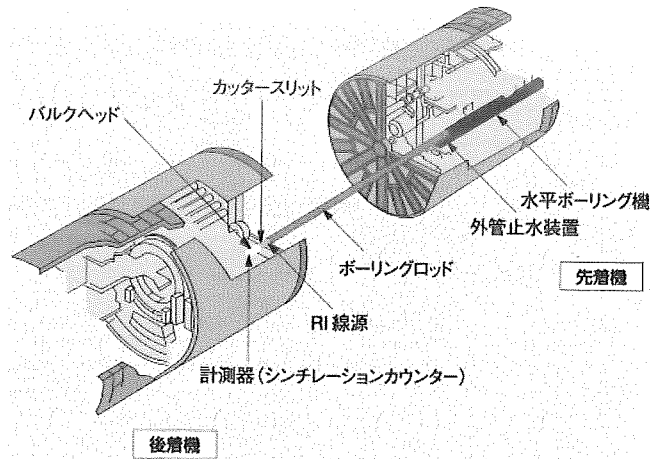


図-5 水平ボーリングの施工例¹⁾

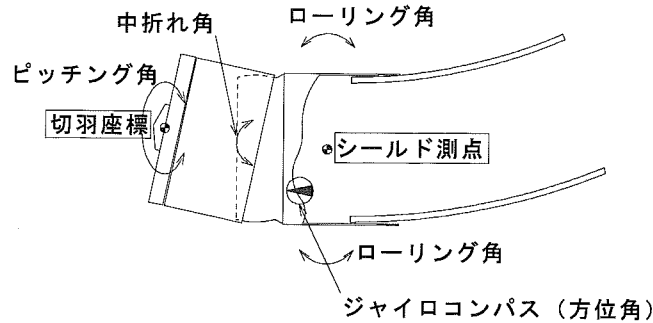


図-6 急曲線施工時のシールド切羽位置

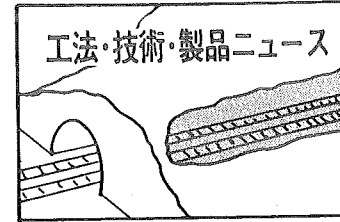
(5) まとめ

坑内測量は、測量方法自体は従来と変わっていませんが、トータルステーションやジャイロトランシットの導入など、測量機器は大幅に改良されてきています。それに伴い測量精度も向上し、長距離・急曲線掘進も可能になってきました。また、測量結果をCADデータにプロットすることで、蛇行量の確認・掘進指示の立案などへの反映も容易に行えるようになってきています。このような状況下で、到達精度をより向上させるには、ジャイロトランシットの活用が有効ですが、基本的には測定の定期的な検測と維持管理が重要となります。

(文責：横崎照将・奥利明/(株)不動テトラ)

参考文献

- 1) 鹿島建設(株)：超長距離シールド技術の粋を集め世界最長の泥水式シールドトンネル(9km)が機械式地中接合完了、鹿島プレスリリース、2005.10.20.



アルカリフリー液体急結剤シグニット®-L53AF(JP)

東友エンジニアリングはスイス・シーカ社と契約を締結し、本格的に急結剤市場に参入することになった。これに伴い、同社では石岡工場内に施工現場で実際に使用する材料を用いて吹付け試験を行える体制を整えた。

アルカリフリー液体急結剤シグニット®-L53AF(JP)は、付着性、初期強度の発現、粉じんおよびリバウンドの低減化を実現し、坑内での吹付け作業において問題視される粉じん対策に有効な材料として期待される。また、従来の液体急結剤と比較して低添加率での施工も可能となる。

開削トンネル工事におけるコスト縮減と施工性の向上

阪神高速道路と三井住友建設は、開削トンネルの構築方法として、「側壁盛替え工法による開削トンネルの構築技術」を共同開発した。

仮設土留め工と本体構造物の構築が主たる開削トンネル工事では、技術面・経済面において仮設土留め工の比重が大きく、仮設工も含めた合理的な開削トンネルの構築技術の開発が課題となっている。

同工法は、切梁支保工が負担している反力を側壁により片持ち梁状態で受替えながら、切梁支保工を撤去し、躯体を構築する。このため側壁へ盛替えの際に発生する構造物の施工時応力に対する取り扱いが重要となる。この施工時応力を合理的に本体構造物の設計に考慮するために、

「逐次的分離ークリブ応力緩和法」という概念を取り入れ、応力が構造物構築過程に伴うクリーブ変形によって緩和する量を評価し、緩和後の残留応力を逐次的分離計算法によって本体構造物の設計に反映する。

これにより、内梁の設置・撤去に要するコスト縮減および工期短縮、狭所・高所での重架設作業がなくなることによる安全性および施工性の向上、側壁内に既設切梁を残置しないことによる躯体コンクリートの品質の向上、が図れるとしている。

可視光通信を用いた3次元位置計測システム

慶応義塾大学、中川研究所、三井住友建設は共同で、可視光通信を用いた3次元位置計測システムを開発した。

同システムは、市販の高解像度デジタル一眼レフカメラと画像解析用のパソコンおよび標点となるLED光源から構成される。

座標がわかっている位置に基準点用光源と、計測したい位置に測量点用のLED標点を設置し、それら全体をデジタルカメラによって任意の2か所より撮影し、パソコンで画像解析を行うことにより、各光源の位置の算出およびID番号を受信し、2か所から撮影したデータより各測量点の3次元座標が算出される。

試作機による模擬測量実験の結果、現在使用されている測量機器と同程度の精度を有することが確認されており、これまでの測量が苦手としていた夜間の測量や測量の自動化にも効果を発揮し、橋梁建設時の形状管理や地すべり地帯の自動観測のほか、トンネル構内で変状が懸念される部位にLED光源を設置しておき、一定間隔で自動撮影することで、そのデータをネットワーク経由で監視室などに伝送することにより、遠隔的に変状監視を行うことが可能となる

など、建設時の精度向上、省力化、安全性向上に貢献するツールとして活用が期待される。

斜面計測監視システム

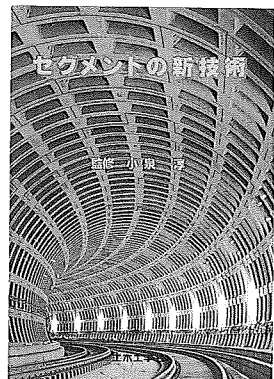
ハザマは、ハザマ斜面計測監視ICT(情報通信)システム「ハモニス」を開発した。

同システムは、多種の地山計測器データを自動的に整理するとともに、独自に考案した判定手法を用いて地山の安定性を瞬時に評価するもの。地山変状計測の結果をWebで表示し、関係者がリアルタイムに斜面計測監視することを可能とした。

システム構成は、①監視状況図、②経時変化グラフ、③全計測器による変位ベクトル平面図、④全計測器による変位ベクトル断面図および地すべり安定性評価結果、からなり、システムのトップページである①監視状況図では、対象とする地点の地表および地中における全計測箇所的位置を平面図に表示し、自動的に算出される計測器の変位レベルが一覧できる。画面下部には地山安定性評価結果がリアルタイムで表示される。

また、④全計測器による変位ベクトル断面図および地すべり安定性評価結果では、地すべりの代表断面図などにおいて、複数の地表計測結果および地中計測結果を自動的に表示し、独自に考案した「地すべり評価判定フロー」(特許申請中)を用いることにより、リアルタイムで想定すべり形状の妥当性を評価するとともに、地下水位の変化に伴うすべり土塊の安全率の変化を表示でき、斜面の危険度が定量的に判断できる。

今後は、地山不良箇所や地すべり地帯におけるトンネルや道路造成などの山岳土木工事現場において、安全および品質管理手法として積極的に導入するとともに、一般的な地すべり現場などにおける防災管理業務の実績を増やす予定としている。



セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 千290円

本書は「トンネルと地下」の連載講座として、過去10年間に開発され、実用化されたセグメントを中心に開発中のものも含めてアンケート調査を実施し、また、土木学会の年次学術講演会における発表状況も参考にして34件のセグメントを抽出し、同じフォーマットで紹介したものをもとに、新たに「セグメントの新技术」編集委員会を作り、個々のセグメントに加筆、修正を加え、より充実した内容にまとめたものである。



株式会社 工本工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL

阪神なんば線トンネル全通

西大阪高速鉄道と阪神電気鉄道が建設を進める西大阪線難波延伸事業(西九条～近鉄難波間)のうち、第4工区(桜川～近鉄難波間)のシールドが3月10日、桜川駅に到達し、すべての地下線区間(九条～近鉄難波間)がつながった。

同シールドは昨年7月19日に桜川立坑を発進し、576m区間を屈伸したのち難波立坑で折り返し、このたび到達した。今後は、軌道工事、電気などの設備工事を行い、2009年春の開業をめざしている。

開通後は近鉄と阪神電鉄が相互乗り入れし、奈良～三宮間で直通列車が運行される予定で、利便性の向上が期待される。

上信越道永江トンネルで貫通式

東日本高速道路が整備する上信越自動車道の永江トンネルが貫通し、3月11日に貫通式が行われた。

同道豊田飯山IC-信濃町IC間(13.2km)で進められている4車線化工事の一環で、同トンネルは永江第一トンネル(603m)と永江第二トンネル(244m)の2本からなり、第一トンネルは昨年10月に、第二トンネルが今年2月に貫通した。

新設のトンネルを下り線、現在通行しているトンネルは上り線として供用されることになる。

弁慶トンネルが供用開始

北海道開発局が整備を進める弁慶トンネル(1,048m)が3月19日供用を開始した。

平成9年8月の第2白糸トンネル崩落を受けた落石・岩盤崩壊対策として一般国道229号において進められている防災事業の一環。

落石・土砂崩落等の危険箇所が解

消され事前通行規制区間が解除されることや、救急医療搬送の定時制が確保が期待される。

新大峠トンネル開通

和歌山県が整備する国道425号新大峠トンネル(231m)を含む740mの大峠拡幅が3月19日開通した。

印南町古井地区と印南原地区を結ぶ区間の現道は幅員が狭く、とくにトンネル内は車両のすれ違いが困難であったが、開通により2車線で結ばれることになる。通行の安全性や利便性の向上はもとより、地域の生活、産業などの発展に寄与するものと期待される。

岩谷バイパスが開通

愛媛県が整備する岩谷バイパス(川登～万年間、1.8km)が3月19日開通し、川登トンネル(207m)ほか5橋梁などが供用された。

周辺町内間と松山市との連絡時間短縮による交流・連携の促進が期待される。

大野トンネルで開通式典

高知県が整備する県道久礼須崎線で、大野トンネル(364m)を含む大野バイパス(1,053m)が完成し、3月23日開通式典が催された。

県道久礼須崎線は、中土佐町久礼から須崎市安和に至る9.1kmの路線で、近い将来発生が予測される南海地震時には、地域の浸水や孤立のおそれがあることから、災害時の避難路や救命救急の支援道路として、整備を進めていた。これにより、地域の利便性や日常生活の安全・安心が向上すると期待されている。

珍坂トンネルが開通

豊岡市日高町知見と養父市八鹿町馬瀬を結ぶ県道十戸養父線の珍坂ト

ンネルが3月23日、開通した。

同トンネルは、長さ1,563m(豊岡市887m、養父市676m)。トンネルを含めた十戸養父線は長さ2,772m(豊岡市1,480m、養父市1,292m)、幅7m(片側車道2.75m、同歩道0.75m)の2車線道路。

豊岡市と養父市が知見八鹿道路事業の一環として2001年度に着工し、2006年9月に貫通。2007年からは兵庫県が事業を引き継ぎ、このたび開通を迎えた。

堀切峠トンネルが開通

九州地整が整備を進める国道220号青島～日南改良(青島～日南地区約18.3km)事業で、宮崎市折生迫-内海間が3月23日開通し、堀切峠トンネルで開通式が行われた。

開通区間は、同トンネル(1,487m)を含む、2.8km。異常気象時通行規制(連続雨量170mmなどで通行止め)から解放されることから、通勤・通学や緊急医療施設への搬送など日常生活に必要な安全な交通路の確保や漁業などの地域産業の安定的出荷などの整備効果の発現が期待される。

長崎南環状線 戸町～新戸町が開通

長崎県が整備を進める主要地方道長崎南環状線(戸町～新戸町)が完成し、魚見山トンネル(135m)を含む長崎市戸町～新戸町間、延長1,100mが、3月25日、開通した。

同路線は、長崎市大浜町の一般国道202号を起点として、同市早坂町の九州横断自動車道(長崎IC)に至る幹線道路。この整備により、長崎市中心部に流入する通過交通が分散され、都市内交通の円滑化が図られるとともに、長崎ICと長崎港の臨港地区が直結することで物流の効率化が期待される。

連載講座

シールド工事の施工に関するQ&A(11)

JTA都市トンネル小委員会

Q 36. シールド掘進時の低周波音対策と効果について教えてください。

A. 近年、産業機械などの大型化や高速化に伴い、それらの機械、構造物から発生する低周波音による問題が注目されています。

シールド工事での低周波音の代表的な発生源として、泥水式シールド工法の泥水処理設備に使用される振動ふるいが挙げられます。振動ふるいの稼働に伴い発生する超低周波音は、周辺家屋において建具のがたつきや室内での不快感などの問題を生じることがあります。ここでは、一般的な低周波音対策と振動ふるいから発生する超低周波音の音源側の対策について紹介します。

(1) 低周波音と対策

環境省「低周波音の測定方法に関するマニュアル¹⁾」では、超低周波音と低周波音を次のように定義しています(図-1参照)。

- ・超低周波音：20Hz以下の一般に人が聴くことができない音波
- ・低周波音：100Hz以下の低周波数の可聴音と超低周波音を含む音波

低周波音による苦情は、次に示すように人に与える苦情(心理的苦情、生理的苦情)と建物などに対する苦情(物的苦情)に大別されます。

- ・心理的苦情：気分のいらいら、胸や腹の圧迫感
- ・生理的苦情：頭痛、耳鳴り、吐き気
- ・物的苦情：家具・建具の振動、置物の移動

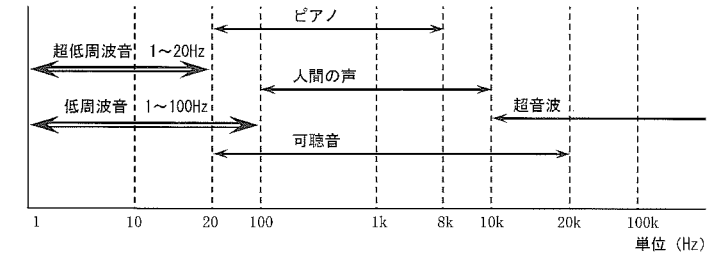


図-1 音の分類と代表的な周波数²⁾

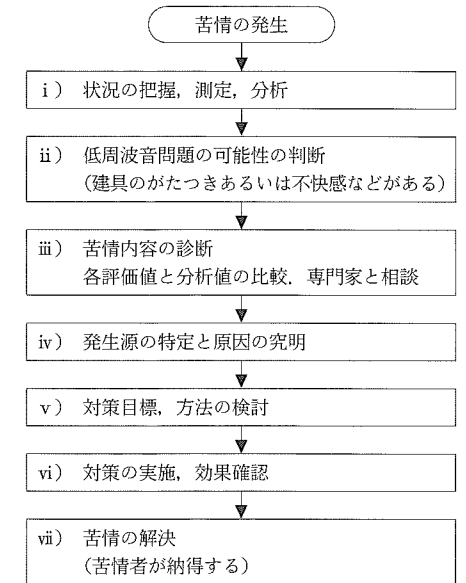


図-2 苦情発生から対策・解決までの一般的フロー³⁾

また、環境省は対策の具体例として「低周波音防止対策事例集³⁾」も公表し、苦情発生から対策・解決までの一般的フローを図-2のように示しています。

低周波音の低減対策は、苦情の内容が超低周波音による窓や戸のがたつきの問題なのか、耳を圧迫するように聞こえる可聴域低周波音の問題なの

表-1 低周波音による物的苦情に関する参照値⁹⁾

1/3 オクターブバンド 中心周波数(Hz)	1/3 オクターブバンド 音圧レベル(dB)
5	70
6.3	71
8	72
10	73
12.5	75
16	77
20	80
25	83
31.5	87
40	93
50	99

かなどについて診断を行い、適切な対策を検討することとなります。そして、効果的な対策を実施するには、低周波音発生メカニズムを明らかにしたうえで詳細な測定を行い、技術的な可能性とコストの関連を含めた総合的判断が必要となることから専門家に依頼することも望まれます。

環境省は「低周波音問題対応の手引書⁴⁾」において、苦情の申し立てが発生した際に、低周波音によるものかを判断する目安として参照値(表-1参照)を公表しています。この参照値は、受音点での音圧レベルまで低減するかといった対策の目標低減量の目安にもなっています。ただし、発生源と受音点との距離が近い場合には低周波音を参照値以下まで下げることが困難な場合もあります。

(2) 振動ふるいから発生する超低周波音

泥水式シールド工法の振動ふるいは、掘削泥水中の礫・土砂分をふるい網面で振動させることによって分離する機械です(写真-1参照)。振動ふるいの設置台数は、工事規模などによって異なりますが、複数台(同規模、同能力の並列稼働)となる場合が多いです。

振動ふるいの超低周波音は、不均衡加振器による超低周波音成分の加振周波数によって、ふるい本体各部が加振されて発生します。

振動ふるいの負荷時の音圧レベルは、設置台数にもよりますが、実績から機側で110~130dB²⁾程

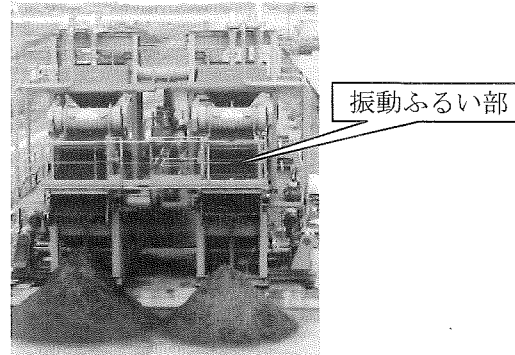


写真-1 泥水処理設備の振動ふるい(2台)⁹⁾

度となっています。そして、振動ふるいのモーター回転数は、通常1,000rpm前後で運転され、発生する超低周波音の周波数は $1,000 \div 60 = 16.7\text{Hz}$ となり、音圧レベルがおおよそ78dBを超えると窓ガラスや建具などが振動し始めることとなります(表-1参照)。

(3) 振動ふるいから発生する超低周波音対策

低周波音の一般的な対策方法として、①発生源対策、②伝搬経路上対策、③受音側対策がありますが、低周波音は可聴音に比べて波長が長いので、②、③の対策では効果はあまり期待できず、①の発生源対策が望ましいとされています。

そして、振動ふるいからの超低周波音は、一般的な防音ハウスの部材、構造では壁を透過してしまい効果が得られない課題があり、対策の基本は質量が大きく、剛性が高い材料で覆う方法が有効とされています。

振動ふるいの超低周波音対策の中で、発生源側での主な対策例を以下に示します。

1) コンクリート遮音室

コンクリート遮音室は、厚さ30cm程度のコンクリート壁で発生源を覆う方法です(写真-2参照)。室内外の音圧レベル差で25~30dB程度の遮音効果がありますが、次のような課題もあります。

- ・ 築造および解体にコストと期間を要する
- ・ 解体時に騒音や廃棄物処理などの環境問題が生じる

2) コンクリート充填パネル

コンクリート充填パネルは、補強リブにて剛性

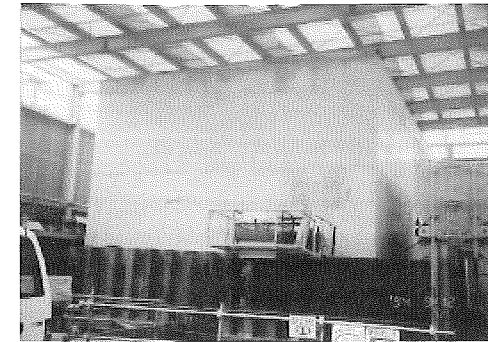


写真-2 コンクリート遮音室⁹⁾

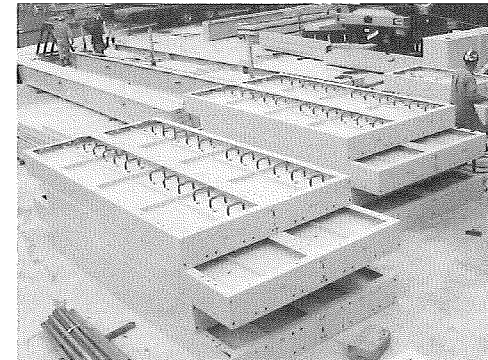


写真-3 コンクリート充填パネル⁹⁾



写真-4 1/4 吸音レゾネータ⁹⁾

を高めた遮音板に、コンクリート(厚さ100mm)を充填したもので、室内外の音圧レベル差で15~25dB程度の遮音効果があります(写真-3参照)。パネル式のため設置・解体が容易であり、かつ、くり返し使用することが可能です。

3) 1/4 波長吸音レゾネータ

1/4 波長吸音レゾネータは、吸音共鳴によって音圧レベルを低減する方法です。低減対象とする超低周波音の1/4 波長分の長さをもつ一端開・一端閉の中空管(直径30cm程度)を、音圧レベルが

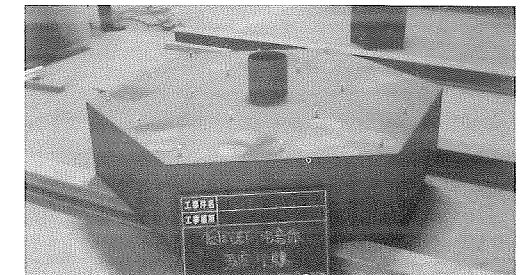


写真-5 六角形の鉄製のヘルムホルツ吸音レゾネータ⁹⁾

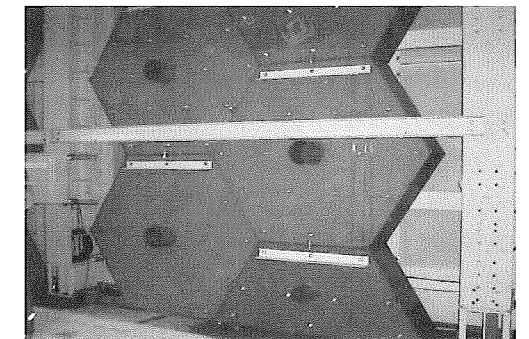


写真-6 ヘルムホルツ吸音レゾネータ⁹⁾の内壁への取り付け状況

高くなりやすい遮音室内の四隅などに開口を向けて設置します。

中空管の開口近傍で数dBの効果がありますが、効果は開口近傍しか及ばないため、遮音室内の環境の改善としての使用が主で、室外への対策としては十分ではありません。

4) ヘルムホルツ吸音レゾネータ

ヘルムホルツ吸音レゾネータ(写真-5,6参照)も、吸音共鳴によって音圧レベルを低減する方法です。筒と容器を有する空間に音波が侵入すると、筒内部の空気と容器内部の空気が共鳴を起こす原理を応用したものです。室内の音圧レベルに対して8dB程度の吸音効果があります。前項のコンクリート充填パネルと合わせて使用し、室内外差で32dB程度の低減効果の事例⁹⁾もあります。

5) 位相制御

位相制御は、振動ふるいを複数使用する場合に有効な方法で、互いの振動するタイミング(位相)を制御することによって音圧レベルの減衰を図る技術です(図-3参照)。基準となる振動ふるい(基準機)の振動をセンサーによって検出し、それを

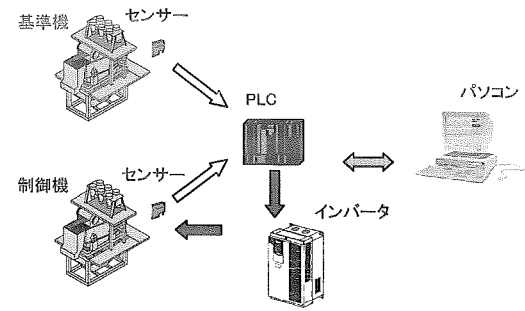


図-3 位相制御システムイメージ⁹⁾

もとに他方の振動ふるい(制御機)の位相をインバーター制御でずらします。その際、超低周波音同士が打ち消しあう位相(逆位相)に調整することで音圧レベルの減衰を図ります。位相を自由に設定することが可能であるため、低周波音問題地点を対象に対策することができます。

(4) まとめ

低周波音対策は、周辺環境の保全や工事の円滑な施工上、今まで以上に重要となってきています。

騒音・振動では環境基準値、規制基準値などが目安となっていますが、低周波音の場合にはそれに相当する法的規制値などは現状ありません。参照値について前述しましたが、測定結果がこの数値を超えているかどうかだけで低周波音問題の有無を判断するのは困難で、科学的な立場で総合的に判断しなければなりません。

そして、発生した苦情への対策検討のみならず、低周波音問題発生の可能性があると想定される場合にも、事前に過去の多くの事例や経験を参考に検討することが重要です。

一方、原因不明の苦情が低周波音として取り上げられる場合もあるので、現場をよく確認、診断して技術的に適切に対処することが必要です。

(文責：伊澤開次郎・大井隆資/(株)フジタ)

参考文献

- 1) 環境省：低周波音の測定方法に関するマニュアル，2000.10.
http://www.env.go.jp/air/teishuha/manual/index.html
- 2) 防音設備協会：仮設防音設備，設計・積算要領，平成19年度版，2007.4.

- 3) 環境省：低周波音対策事例集，2002.3.
http://www.env.go.jp/air/teishuha/jirei/index.html
- 4) 環境省：低周波音問題対応の手引書，2004.6.
http://www.env.go.jp/air/teishuha/tebiki/index.html
- 5) (株)三央：土砂脱水回収装置パンフレット，1999.5.
- 6) 鶴田政博・大森弘則・秋山克仁：大型振動ふるいから発生する超低周波音の吸音・遮音対策，(社)日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集，2004.9.

Q 37. シールドトンネルを既設構造物に近接して施工する場合、対策の要否をどのようにして判定するのか教えてください。

A. シールドトンネルを施工する場所は、一般に都市部が多く、過密化した地下の中を既設構造物に当たらないようにすり抜けて計画します。こうした中、シールドの掘削に伴って、ライフラインや既設構造物の支持杭などとの近接施工による影響は、シールド工事にとって避けて通れないものとなっています。

近接構造物に対して対策工を施すかどうかは、「近接程度の判定」を行って判断します。

(1) 近接施工

1) 定義

近接施工の定義は、「新設工事の施工中または竣工後に、地盤の変位変形により近くの既設構造物等を変位、変形させ間接的に損傷を与える恐れのある場合¹⁾」です。

2) 協議

近接施工の可能性がある場合には、近接構造物の管理企業者と協議を行う必要があります。

通常、事前調査として埋設物調査を行う際、近接協議を行うと予測される場合には、調査時に近接協議の協議担当部署を聞いておくのがよいでしょう。

近接協議には一般的に、計画協議、設計協議および施工協議があります。

計画協議は、新設構造物の計画概要を管理企業者に通知するとともに、管理企業者の将来計画や改築計画との整合性が図れていて新設構造物の設

計に取りかけられるかどうかを判断するものです。

設計協議は、近接程度の判定を行って、必要があれば既設構造物の許容変位・変形量の推定をし、対策工の検討および計測計画を行うものです。

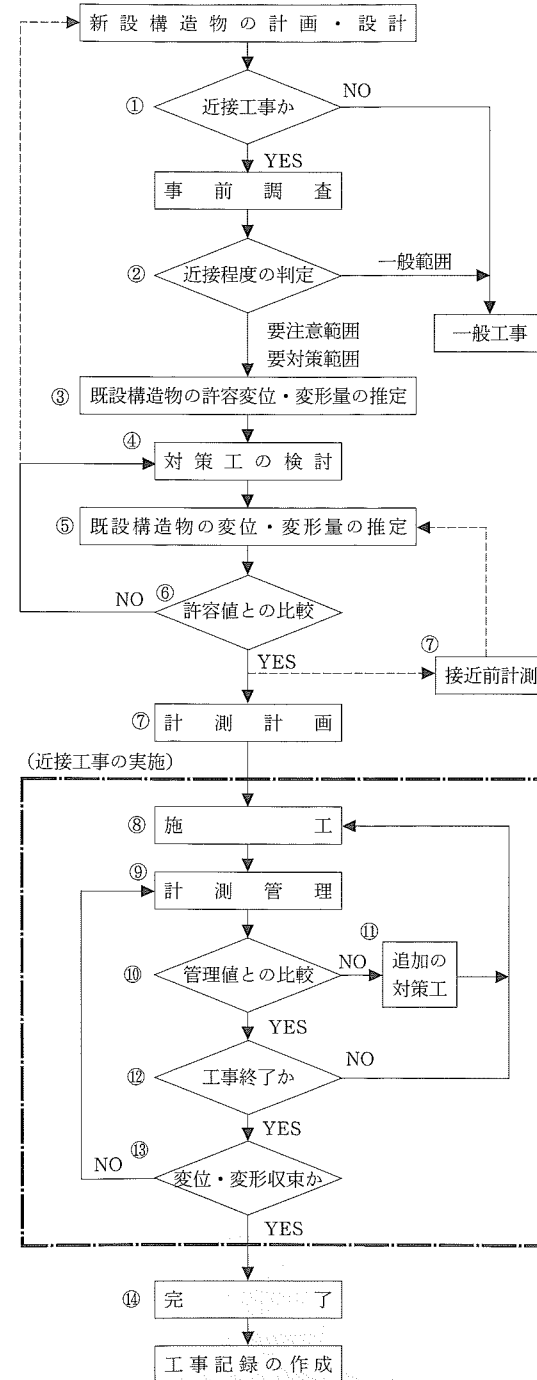


図-1 近接工事の設計、施工計画検討手順例¹⁾

施工協議は、具体的な工事方法や詳細工程をもとにその内容について検討し、計測管理の管理値の設定や管理値を超えた場合の対策工の検討などを行います。

図-1は、近接工事の設計、施工計画検討手順の一例で、設計協議(①~⑦)と施工協議(⑧~⑭)の流れをも示したものです。

ここでは、図-1の②について説明します。

(2) 近接程度の判定

近接程度の判定は、判定条件(近接程度の区分)により新設構造物の施工による既設構造物への影響を考慮して行います。また、これにより計測管理および対策工の要否を判断します。

1) 近接程度の区分

近接程度の区分は一般的には「近接施工技術総覧¹⁾」に示されているとおり三つに分かれ、名称は企業者により若干異なりますが、表-1に示すと

表-1 近接程度の区分と対策の内容(例)(区分が三つの場合)¹⁾

近接程度の区分		対策の内容
区分	内容	
一般範囲	新設構造物の施工により既設構造物に対し、変位や変形などの影響が及ばないと考えられる範囲。	一般に特別な対策を必要としない。
要注意範囲	新設構造物の施工により既設構造物に対し、通常は変位や変形などの有害な影響はないと良いが、まれに影響が考えられる範囲。	新設構造物の施工法による対策を原則として実施するとともに、既設構造物の変位・変形量を推定し許容値と比較を行うなど影響度を検討したうえで、状況に応じてその他の対策工を実施する。また、工事を安全に進めるため、対象となる既設構造物および周辺地盤や仮設構造物を含む新設構造物の挙動を計測して管理する。
要対策範囲	新設構造物の施工により既設構造物に対し、変位や変形などの有害な影響が及ぶと考えられる範囲。	新設構造物の施工法による対策を必ず実施するとともに、既設構造物の変位・変形量を推定し許容値と比較を行うなど影響度を検討したうえで、原則としてその他の対策工を実施する。また、工事を安全に進めるため、対象となる既設構造物および周辺地盤や仮設構造物を含む新設構造物の挙動を計測して管理する。

おりです。

また、「地中構造物の建設に伴う近接施工指針²⁾」では、「一般範囲」と「要検討範囲」との二つに区分しています。

「一般範囲」は、「新設構造物の施工により、既設構造物に対し、変位や変形などの影響が及ばないと考えられる範囲」で、「一般に、影響予測、計測および対策工など近接施工としての特別な対応を必要としない」ものです。「要検討範囲」は、「新設構造物の施工により、既設構造物に対し、変位や変形などの影響が及ぶと考えられる範囲」で、「既設構造物の変位・変形量(応力)を適切な手法で予測し、許容値との比較を行うなど影響度を検討する。計測および対策工は、影響度の検討結果に基づいて、要否および程度を判断する」ものです。

2) 近接程度の判定

近接程度の判定は、近接程度の区分の数とともに表-2に示すとおり既設構造物の管理企業者によって、それぞれ以下の3とおりの方法により行います。

- ① 既設構造物(管理企業者の構造物)側からの近接程度の判定(首都高、阪高、東京メトロ、JR、東京都交通局、NTTなど)
- ② 新設構造物側からの近接程度の判定(国土交通省、NEXCO、東京都下水道局、東京ガス)

表-2 近接程度の区分と近接程度の判定方法

企業者と近接程度の区分数		近接程度の判定方法		
企業者	区分の数	既設構造物側から	新設構造物側から	既設・新設両者から
首都高速道路	3	○	-	-
阪神高速道路		○	-	-
東京メトロ		○	-	-
J R		○	-	-
東京都交通局		○	-	-
N T T		○	-	-
国土交通省	2	-	○	-
N E X C O		-	○	-
東京都下水道局		-	○	-
東京ガス		-	○	-
東京電力		-	-	○

スなど)

- ③ 既設構造物側からと新設構造物側からの近接程度の判定(東京電力)

(3) 近接程度の判定基準例

- 1) 既設構造物側から近接程度の判定を行う場合(近接程度の区分が三つの場合)

既設構造物側から近接程度の判定を行う代表例として、NTTの判定基準を図-2に示します。

図-2は、既設構造物がとう道の場合ですが、このほかに新設構造物がシールドトンネルの場合には、既設構造物が「一般立坑」と「ケーソン立坑」の場合にも判定基準が示されています¹⁾。

- 2) 新設構造物側から近接程度の判定を行う場合(近接程度の区分が二つの場合)

図-3は、東京ガスを対象とした新設構造物側からの影響範囲の考え方です¹⁾。

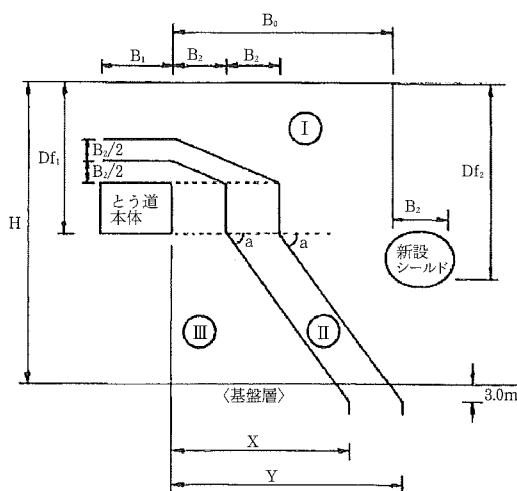


図-2 既設構造物側からの判定基準例(NTT)¹⁾

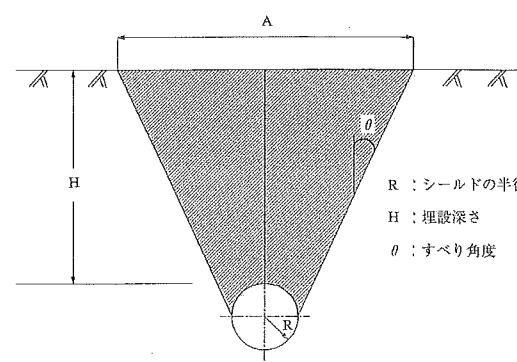


図-3 新設構造物側からの判定基準例(東京ガス)

者の最新基準を参照し、近接程度の判定を行う必要があります。

また、設計協議と施工協議とでは協議先が異なる企業者もあり、施工協議先であるシールド工場の施工場所を管轄する管理事務所には、企業者の詳細な図面が保管されていることもあります。この図面を参照することで近接構造物との正確な離隔や、場合によってはルート上にある支障埋設物を発見できることもありますので、協議先に図面の有無を確認することも重要です。

(文責：高松伸行/東急建設(株))

参考文献

- 1) 近接施工技術総覧編集委員会：近接施工技術総覧，1997.3.
- 2) (社)日本トンネル技術協会：地中構造物の建設に伴う近接施工指針，1999.2.

Q 38. 同時裏込め注入管による推力の上昇を懸念しています。同時裏込め注入管を使用する場合、発進・到達時の問題と併せて掘進時の対処方法について教えてください。

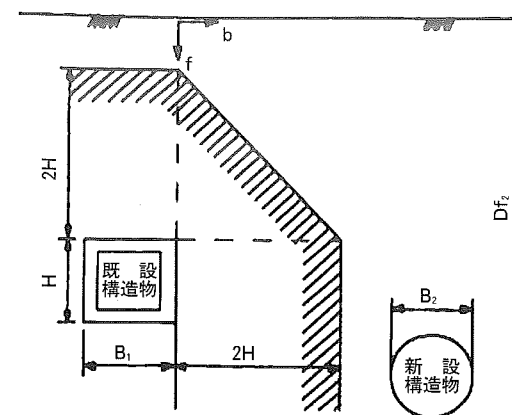


図-4 既設構造物側からの判定基準例(東京電力)

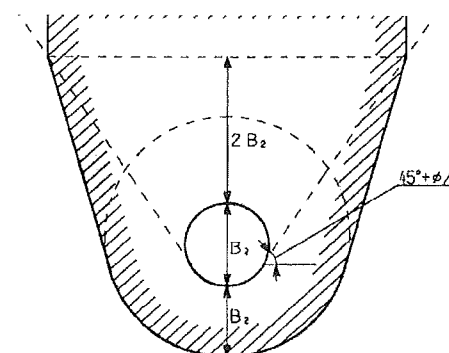


図-5 新設構造物側からの判定基準例(東京電力)

図中の斜線部で示される範囲にガス導管が埋設されている場合には、「ガス導管は地盤の沈下水平移動などによって何らかの影響を受けることになる」とされています。

- 3) 既設構造物側からと新設構造物側からの近接程度の判定を行う場合(近接程度の区分が二つの場合)

「地中構造物の建設に伴う近接施工指針²⁾」では、既設、新設両者から近接程度の判定を行うように記述されています。

図-4は既設構造物側からの近接程度の判定基準を示したもので、既設構造物が矩形の場合の例です。

また、図-5は新設構造物側(シールドトンネル)からの近接程度の判定基準を示したものです。

- (4) 近接程度の判定における留意点

近接程度の判定を行う際には、計画、設計および施工協議時に、対象となる近接構造物管理企業

A. 掘進と連動して裏込めを行う同時裏込めの注入方法には、セグメントから注入する方法と、シールドのテール部に取り付けた同時裏込め注入管(以下、「裏注管」)から注入する方法があり、後者の利点として、テールボイドの発生箇所をただちに注入でき、沈下の抑制効果が大きいことが挙げられます。

また、注入材料として2液可塑性型裏込め材が一般的であることから、写真-1に示すように、裏注管はA液、B液の注入管とミキシング部、洗浄水管および油圧ジャッキで駆動する切替用バルブから構成され、シールドテール部の左右両肩に取り付けることが一般的です。裏注管内には2インチ程度の配管が複数配置されるため、裏注管はシールド外筒から100mmほど突起します。

- (1) 裏注管の問題点と突起によるトラブル

裏注管から注入する方式は前述した利点がある一方で、採用にあたっては次の3点に留意する必

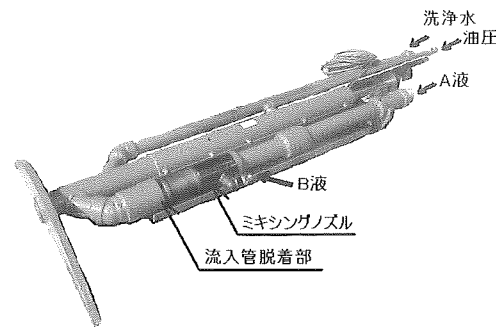


写真-1 同時裏込め注入管¹⁾

必要があります。

- ① 裏込め材の固結による裏注管の閉塞
- ② テール内への漏洩・テールブラシの固結
- ③ シールド外筒から突起した形状によるさまざまなトラブル

ここでは、質問に関係した③について取り上げます。この裏注管の突起に起因する主だったトラブルとしては、推進抵抗の増大、方向制御への影響と発進・到達時の坑口からの出水があります。

1) 推進抵抗の増大

裏注管の突起部分の面積は1か所あたり0.05m²程度です。ちなみに突起により発生する掘進時の推進抵抗を杭の極限支持力をもとに求めると、 $N \geq 30$ の砂層で極限支持力が6,000kN/m²あることから、面積、個数を考慮すれば裏注管による推進抵抗は2か所で600kN程度となります。より硬質な地盤や強度が大きい高圧噴射攪拌工法などによる地盤改良範囲ではさらに大きな推進抵抗が生じる恐れがあります。過去の例では高圧噴射攪拌工法による発進防護にこの裏注管が引っかかり、掘進不能になっただけでなく、この推進抵抗が偏圧として作用し裏注管がテールとともに内側に変形し、シールドが損傷したことがあります。同様な現象は、より強度が高いNOMSTなど直接仮壁切削方式でも発生する恐れがあります。

2) 方向制御への影響

裏注管がシールドテール部の上方にあることから前述した推進抵抗により偏心力が発生し、縦断方向の方向制御

にも悪影響を及ぼしたり、さらに、裏注管側部の地盤反力により曲進施工時の抵抗になるとも考えられます。シールドの外径が変わっても裏注管のサイズがほとんど変わらないことから、方向制御への影響は中小口径のシールドでより顕著になります。

3) 発進・到達坑口からの出水

発進坑口のエントランスパッキンの止水性は、パッキン用ゴムの追従性、水圧を利用した密封性、フラッパーによる反転防止、円形のシールドとセグメントの平滑性により確保されています。しかしながら、ここに裏注管による大きな突起があると、パッキン用ゴムが追従できないことから隙間が生じ、そこから地下水が噴きだす恐れがあります。また、到達でもシールドを引き出す場合、同様な問題の発生が予測されます。

(2) 裏注管の突起によるトラブルへの対策

前述した裏注管の突起によるトラブルに対して、施工上のさまざまな工夫が必要になります。ここではそのいくつかを紹介します。

1) 推進抵抗の抑制

裏注管の突起による推進抵抗を抑制する方策は、裏注管の通過できる空間を通過前に確保することです。一つの方法としては、裏注管から前方のシールド外筒に取り付けた固定ビット(図-1参照)による突起部分の地山の切削があります。また、コピーカッタによる裏注管取り付け位置の部分切削という方法もあります。なお、これらの対策の採用にあたっては、固定ビットの摩耗やコピーカッタによるボイドの増加とその耐久性の確保に留意する必要があります。とくに長距離や砂礫地盤など硬

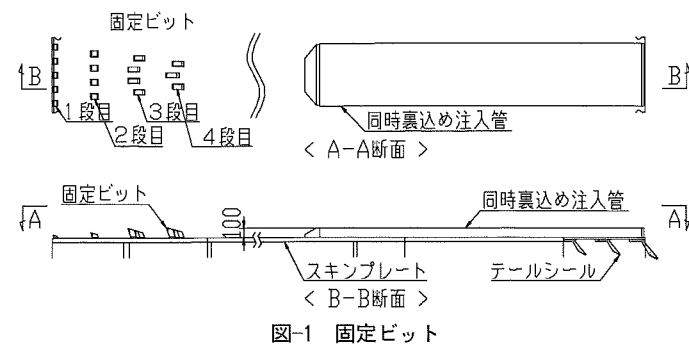


図-1 固定ビット

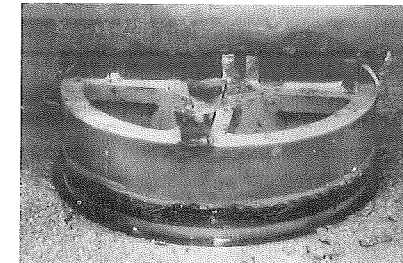


写真-2 NOMST切削装置²⁾

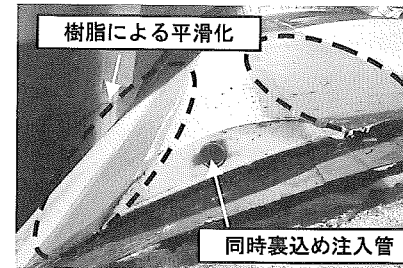


写真-3 平滑化事例

質地盤の場合には固定ビットの段差化などの対策が必要と考えます。

また、発進・到達防護に使用する高圧噴射攪拌工法やNOMSTなど直接切削用仮壁といった高い強度を有した材料に対しては、固定ビットの適用だけでは限界があるため、発進または到達坑口側から水平ボーリングにより裏注管の通過範囲を事前に削孔して空間を確保するという方法も採用されています。ただし、削孔により欠損する直接切削用仮壁部材の構造的な安全性の確認や、削孔時の出水対策を考慮しておく必要があります。

一方、NOMSTなどの切削用にシールド本体内に回転式の切削カッタを装備し、NOMST通過時に駆動させる方法もあります(写真-2、図-2参照)。

2) 方向制御性の確保

方向制御性の確保については、1)で述べた推進抵抗の抑制と裏注管を短くコンパクトにすることが基本です。

また、ジャッキパターンだけでなく中折れを装備することで裏注管によって発生する方向制御への影響を打ち消すこともできます。

3) 発進・到達時の止水対策

発進・到達時の止水対策は、エントランスの裏注管用の止水構造、裏注管部分の平滑化から構成

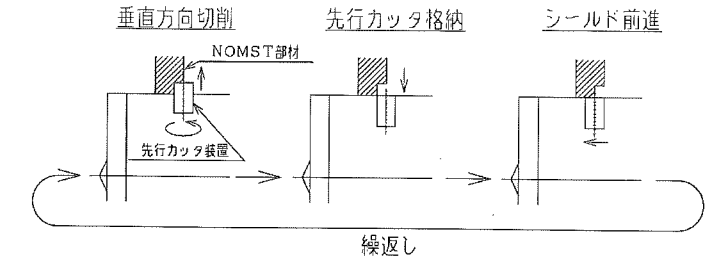


図-2 NOMST切削装置²⁾

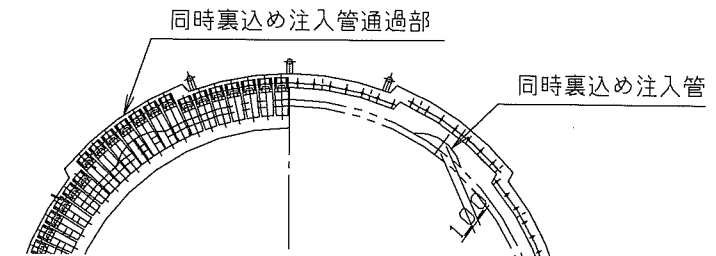


図-3 エントランス構造(同時裏込め注入管用)

されます。

① 発進時のエントランス構造の工夫

図-3は裏注管を対象としたエントランスの構造を示します。裏注管の通過断面に沿ってくぼんだ形状をしており、通過断面を確保しています。また、小断面や高水圧の場合は反転防止のフラッパーの分割を裏注管の通過部分だけ細かくしたり、従来のパッキン用ゴム(t=20mm)に加えて薄く長いゴム(t=10mm)を挟むことで追従性を確保しています。

② 裏注管部分の平滑化

発進時の工夫として、裏注管による凹凸をできるだけなくして平滑化する試みも行われています。写真-3は、裏注管の突起部分に弾性と密着性に富んだ樹脂(例えば、コーキング用変成エポキシ樹脂)で平滑化し、エントランスパッキンの追従性を高めた事例を示しています。

③ 到達・シールド引き出し時の留意点

シールド引き出し時には、発進坑口より大きな隙間ができることから出水の恐れがより高まりますので、坑口金物だけでなく到達方法を含め、いっそう十分な止水対策が必要となります。

(3) まとめ

裏注管による注入方法は、沈下などに対して効果的と考えますが、一方で、推進抵抗の増加、出水などのトラブルや方向制御性を阻害する一因になります。採用にあたっては、これらの得失をよく検討することが必要であり、硬質地盤、高水圧地盤、小口径シールド、急曲線施工ではとくに注意が必要です。

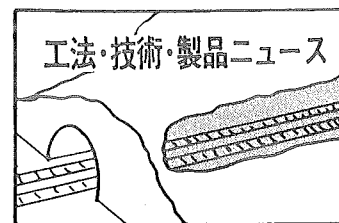
以上、裏注管の突起によるトラブルについて述べましたが、決定的な解決策は突起がない裏注管や、それが可能になる裏込め材料の開発であると

考えます。海外ではシールドテール部の板厚を厚くし、裏注管をその中に埋め込んでいる事例もあります。シールド工法の今後の改良の中で、この問題も解決されていくことを期待します。

(文責：名倉浩/(株)間組)

参考文献

- 1) (株)タック：同時裏込め注入管技術資料，2006.
- 2) 佐々木加津也・田中雄次・高橋慎吾・蕪木真二・清水賀之：新素材コンクリート壁切削用同時裏込め注入管部先行カット装置の開発，日立造船技報，Vol.60，No.1，1999.4.



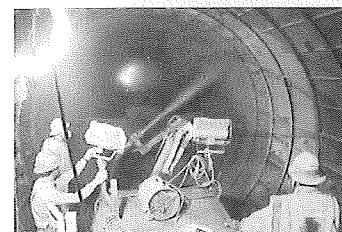
「スラリーショットシステム」を乾式吹付け工法へ初適用

飛鳥建設は、飛驒トンネル避難坑工事において「スラリーショットシステム」を乾式吹付け工法に適用し、有用性を確認した。

飛驒トンネルは、全長10.7kmの長大トンネル。輸送距離が長いこと、フレッシュコンクリートの品質変化が懸念されたことや、二次覆工施工時にはインパットブロックが設置されているため残コンクリートの処理が困難などの条件から、乾式吹付け方式が選定されたが、別工事に対して坑道換気の上流側での施工となることから、発生粉じんの抑制が懸念されていた。

「スラリーショットシステム」は、粉じんの発生低減による作業環境の改善や、はね返りの低減、吹付けコンクリートの均質化を実現させる湿式吹付けコンクリート工法として開発されたが、今回、同システムが、乾式においても粉じん低減効果、品質の均質性確保について満足するものであることが確認された。

また、吹付け作業員の技量に起因する品質変動についても、「輝度計測式ドライミクストコンクリート含水量測定システム」を実用化することで、品質変動の低減を図った。

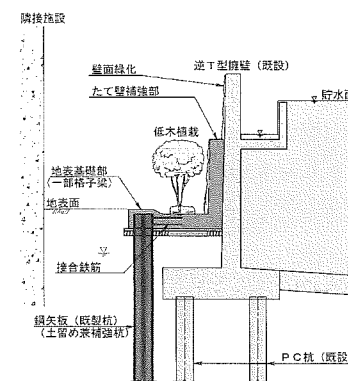


貯水槽の耐震補強工法を実用化

佐藤工業は、貯水槽の大規模地震対策として、地表から打設した補強杭とL型擁壁による新たな耐震補強工法を考案し、製紙工場の半地下式凝集沈殿槽の補修・補強工事において実用化(特許出願済)した。

同工法は、貯水槽周囲に地表から圧入工法で鋼矢板を打設し、鋼矢板を抱き込むようにL型擁壁を施工、貯水槽外壁と接合するもの。L型擁壁底部は、低木植栽や壁面緑化が可能。

貯水槽本体にはほとんど手を加えないため、深い掘削が不要であり、安全性・施工性の向上や工期短縮・工費節減効果があり、また、補強杭を鋼矢板による締め切り構造とすることで、貯水槽から不慮の漏水が発生した場合に、周辺地盤への拡散が抑制される効果もあるとしている。



小型油圧ショベル5機種を発売

日立建機は、油圧ショベル3機種(ZX70-3, ZX110-3, ZX120-3)と同後方超小旋回機2機種(ZX75US-3(写真), ZX135US-3)を発売した。

オフロード法排出ガス基準や欧米の排出ガス3次規制に対応し環境性能を向上させたほか、万一の転倒時に運転者を安全に保護するEOPS適合キャブの採用など安全性にも配慮した。

低燃費化などによる経済性の向上、後方確認の際、補助的に活用できる後方監視カメラの標準装備、居住性・整備性の改善など、油圧ショベルの全領域にわたって「基本性能の進化」を図っている。



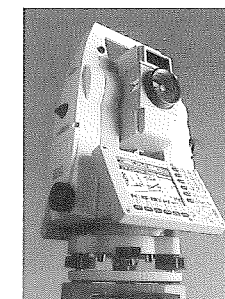
基本機能に特化した普及型トータルステーション

ライカジオシステムズはトータルステーションTPS 1200 Liteを発売した。

同機は、最上位機種であるTPS 1200+の基本性能はそのままに、必要な機能だけを搭載しコストパフォーマンスを追求したモデル。

プリズムターゲットを自動で認識し精密視準を行う自動視準機能、プリズムターゲットを使用せずに対象物を非接触で距離測定するノンプリズム測距機能に加え、モーター駆動、レーザー照射機能などを装備する。

購入後の上位機種へのアップグレードパスが付与されており、将来的な必要に応じてワンマンシステムやGNS受信機に拡張が可能となっている。



多様化するシールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会
B5判 141頁 本体価格2,500円

本書は、「トンネルと地下」に約1年間にわたり連載した『多様化するシールド掘進技術』をベースとして、掲載しなかった工法、技術などを整理、体系化するとともに、各種工法の境界、システム・考え方の違い、適用での留意点が、よりわかりやすいように手を加え再度同名の図書としてシールド工法技術協会が監修を行ったものである。

〔掲載工法〕

- ①ラチス式同時施工シールド工法、②F-NAVIシールド工法、③ハニカムセグメントを用いた同時施工法、④ロングジャッキ式同時施工シールド工法、⑤ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法、⑥充填式シールド急曲線工法、⑦地下茎シールド工法、⑧T-BOSS工法、⑨球体シールド工法、⑩上向きシールド工法、⑪MMST工法、⑫拡大シールド工法、⑬偏心多軸(DPLEX)シールド工法、⑭ワギング・カット・シールド工法、⑮自由断面シールド工法、⑯OHM工法、⑰H&Vシールド工法、⑱単円～三連型駅シールド工法、⑲MFシールド工法、⑳DOT工法、㉑MSD工法、㉒親子シールド工法、㉓掘径シールド工法、㉔DSR工法、㉕泥土加圧シールド工法、㉖ケミカル・プラグ・シールド工法、㉗気泡シールド工法、㉘コンパクトシールド工法、㉙既設シールド撤去工法

株式会社 土木工学社 〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

研究・開発

文献紹介



中川倫孝：H-CROSS工法，
地中の併設トンネルを機械
的に連結，建設機械，Vol.
44，No.3，2008.3.

小松原徹・奥野哲夫：天然
ガス高圧貯蔵(ANGAS)技術開発，神岡鉱山における
実証試験(200気圧の気密試験，300気圧の耐圧試験)に
成功，土木学会誌，Vol.93，No.4，2008.4.

白上勝章：推進T字側面接合法，MELIT工法，建設
の施工企画，No.698，2008.4.

横沢圭一郎・藤田一宏・鈴木健之：防水シートの品質向
上に関する研究，建設の施工企画，No.698，2008.4.

施 工

森山守・寺田光太郎・松原利之・小林伸次：飛驒トン
ネルプロジェクトにおける各段階での地盤工学的な問題
と対処法，土と基礎，Vol.56，No.1，2008.1.

尾留川剛・松井裕哉・操上広志・舟木泰智・森岡宏之：
幌延深地層研究計画における地下研究施設建設時の課
題と対応策，土と基礎，Vol.56，No.1，2008.1.

中家加津彦：コンクリート中詰め鋼製セグメントによる
シールド工について，農村振興，No.697，2008.1.

梅谷登志文：大阪港夢洲トンネル工事の概要，沈埋函の
製作・据付，土木技術，Vol.63，No.2，2008.2.

長野敦・立川一彦・山下恭啓：阪和自動車道みなべIC，
南紀田辺ICの完成，新技術の採用と地域との共生に
よる「命の道，自立の道」の建設事業，土木技術，
Vol.63，No.2，2008.2.

井川正：非開削推進工法の採用と実例報告，土木技術，
Vol.63，No.2，2008.2.

使える立体交差化技術，短距離のカーブを短期間で掘る
技，日経コンストラクション，2008年2月22日号，
2008.2.

寺島善宏・益子直人・篠原浩史・鈴木正秋：大断面シ-

ールドによる掘進・組立同時施工，首都高速中央環状新
宿線 本町シールド，建設機械，Vol.44，No.2，
2008.2.

津野和宏・守山和朗・佐藤亨・蛭川愛志・小池浩：アン
ダーピニング工事の情報化施工について，建設機械
Vol.44，No.3，2008.3.

大木孝一：SS-メッセル工法，アーストンネル掘削工法，
建設機械，Vol.44，No.3，2008.3.

通行止めせずにアーチ部材を架設，北九州都市高速4号
線トンネル補強工事(福岡県)，日経コンストラクシ
ョン，2008年3月14日号，2008.3.

繊維補強コンクリートを410m圧送，亀の瀬地すべり対
策排水トンネル拡幅補強工事(大阪府)，日経コンス
トラクション，2008年3月28日号，2008.3.

井上和敏：大規模揚水発電所における設計と施工，小丸
川発電所，建設の施工企画，No.697，2008.3.

横澤圭一郎・安井成豊：超近接トンネルの設計・施工検
討，建設の施工企画，No.697，2008.3.

正木幹了：世界最長1,447m(φ1000) 豊橋市における
超長距離推進工事報告，月刊推進技術，Vol.22，No.4，
2008.4.

大石敬司・友原建：スライドロックセグメント，東京メ
トロ副都心線への適用，建設機械，Vol.44，No.4，
2008.4.

維持管理

真下英人：道路トンネルの維持管理技術の現状と課題，
土木技術，Vol.63，No.4，2008.4.

田村司郎：大口径管きょのTVカメラ調査実施例，土木
技術，Vol.63，No.5，2008.5.

そ の 他

アジアとヨーロッパをつなぐボスポラス海峡横断鉄道ト
ンネルプロジェクト，土木学会誌，Vol.93，No.2，
2008.2.

訂 正

第39巻，第5号，18頁の左段17行目に誤りがありましたので，訂正いたします。

誤
平成29年

正
平成27年

建設情報

シールド工事の施工に関するQ&A(12)

JTA都市トンネル小委員会

Q 39. シールドトンネルに近接する既設構造物
への影響を防止する対策方法について教え
てください。

A. 既設構造物に近接してシールド工事を行う場
合には，事前調査を行い，シールド掘進に伴う周
辺地盤の挙動と既設構造物への影響を予測する必
要があります。その結果，既設構造物の機能およ
び構造に支障が生じるおそれがある場合は，状況
に応じて対策工を行います。

対策としては，①工法の選定による「施工法に
よる対策」，②施工管理により影響を低減する
「影響低減法」，③別途補助工法を用いたり，直接
補強を行う「補助工法や補強による対策工」など
が挙げられます。

以下に，既設構造物への影響を防止する対策方
法について説明します。

(1) 施工法による対策

1) シールド工法の選定

地盤変状のもっとも大きな要因として，切羽前
面の緩みが挙げられます。これより，地盤変状を
極力抑えるためには，切羽圧力を保持できる密閉
型シールドが前提となります。密閉型シールドに
は土圧式と泥水式があり，切羽保持に関して以下
の特徴が挙げられます。

① 土圧式シールド

土圧式シールドはチャンパ内の加圧された
土砂で切羽が保持されているため，前面の緩
みは少なくなります。ただし，掘進停止時に
は強制加圧を行わない機構が一般的であるた
め，近接区間は休止しないで通過するなどの

配慮が必要です。

② 泥水式シールド

泥水式シールドは切羽前面の土圧，水圧に
バランスした泥水圧で切羽を保持し，また掘
進休止時も加圧保持できるため，前面の緩み
は少なくなります。ただし，地山の性状によ
っては，泥水が前方に逸泥する可能性があり，
近接構造物の周辺に泥水が回り込んだり，場
合によっては既設構造物内に漏洩する場合も
あるので留意が必要です。

いずれにしても，構造物の種類や用途，シール
ドとの位置関係や土質などの条件を考慮して工法
を選定する必要があるといえます。

2) 裏込め注入工法の選定

シールドは掘進と同時にテールボイドが発生す
るため，その空隙を速やかに充填しなければ沈下
が発生します。裏込め注入は，掘進併せて注入
を行う「同時注入」と，掘進直後に注入を行う
「即時注入」に分けられますが，近接構造物の影
響を最少に抑えるためには同時注入が必要不可欠
です。

なお，同時注入は，掘進開始と同時に注入を開
始する方法と，ある程度掘進が進んでから注入を
開始する方法に分けられますが，近接構造物への
影響をより少なくするためには，掘進開始と同時
に注入を開始できる方法が望ましいといえます。

(2) 影響低減法

施工管理によって，シールドによる周辺地山の
変状を抑える方法が影響低減法です。簡単にい
えば情報化施工やトリアル施工によって地盤の変
状を最小限に抑えることといえます。

シールド通過による地盤の変状は、理論解析のみで予測できるものではなく、より精度を高めるためには、実際の施工結果を踏まえて解析条件を見直し再計算するのが有効です。トライアル施工とは、近接構造物に及ぼす影響を最小限に抑えるために、通過前の類似地盤で地盤変状を確認し、その結果を施工に反映させるものです。

実際の施工では、地盤の変状に影響を与える要因である切羽圧力、裏込め注入圧・注入率、掘削土砂量などを事前に可能な範囲内で変化させて、最適値を見つけ出すことが肝要といえます。

(3) 補助工法や補強による対策工

シールドの通過により既設構造物の変状が管理許容値を超えると予測された場合、また、前述の影響低減法などの効果が不十分な場合は、①地盤の強化・改良、②遮断防護工、③既設構造物の補強などを施工します(図-1)。

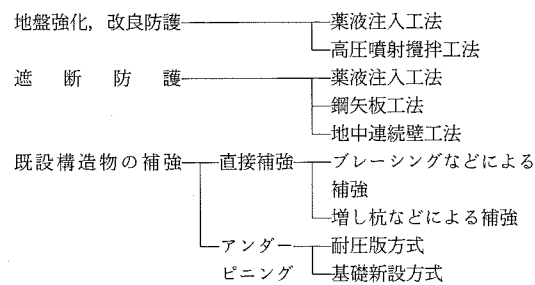


図-1 対策工法の例

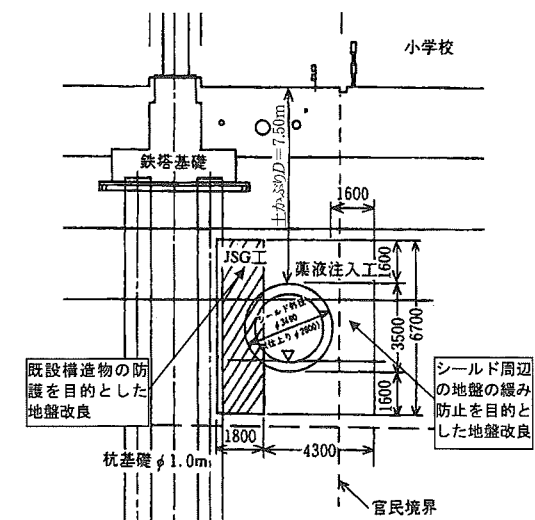


図-2 地盤の強化と改良による防護例¹⁾

1) 地盤の強化・改良

地盤の強化・改良の工法としては薬液注入と高圧噴射攪拌工法などが挙げられます。図-2に高圧噴射攪拌工法と薬液注入とを併用した地盤改良による防護の事例を示します。ここでは高圧噴射攪拌工法により既設構造物を防護し、薬液注入でシールド周辺の地山の緩みを防止しています。

なお、地盤改良の施工そのものが既設構造物に有害な影響を与える場合もあるので、工法の選定には留意が必要です。

2) 遮断防護工

遮断防護工は、新設シールドと既設構造物の間を遮断する地中防護壁を施工し、シールド掘進に伴う地盤の変形・変位の伝播を抑制するものです。

図-3に鉄道の橋脚基礎に近接するシールドの防護工として、SMWによる遮断壁を施工した事例を示します。

この事例では、橋脚基礎間隔が小さいため、遮断壁芯材とシールドの離隔が10cm程度しか確保できませんでした。そのため、遮断壁の芯材の建込み精度とシールド基線の測量精度次第では、シールドと芯材が接触する可能性もあり、非常に厳しい施工管理が必要となりました。

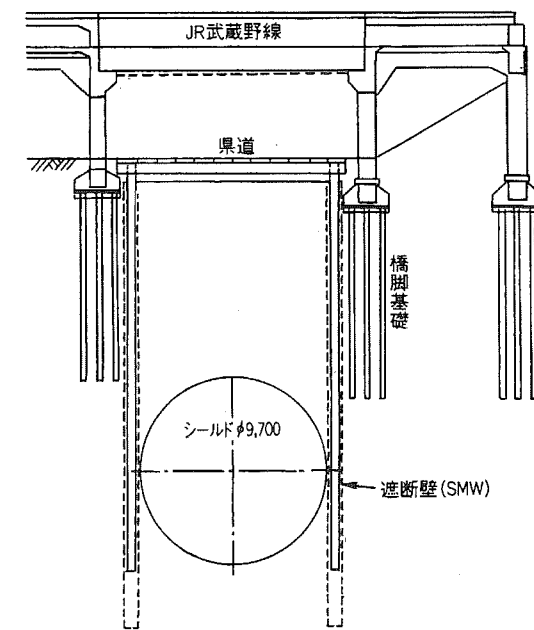


図-3 鉄道の橋脚基礎に対する遮断防護事例²⁾

3) 既設構造物の補強

既設構造物の補強方法としては、構造物を直接補強する方法と、アンダーピニングにて受け替える方法がありますが(図-4)、アンダーピニングが必要となるのは構造物の基礎杭を撤去するような場合であり、単にシールドが近接する程度であれば、構造物の補強などにより対処するのが一般的です。

図-5, 6に、地下鉄の営業線に近接したために、既設構造物を内部から補強した事例を示します。

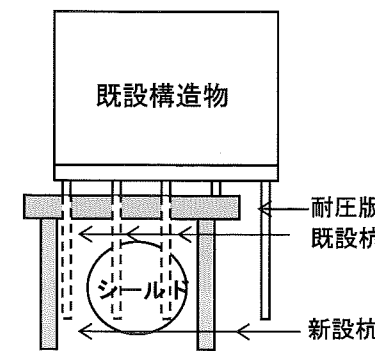


図-4 アンダーピニングの例

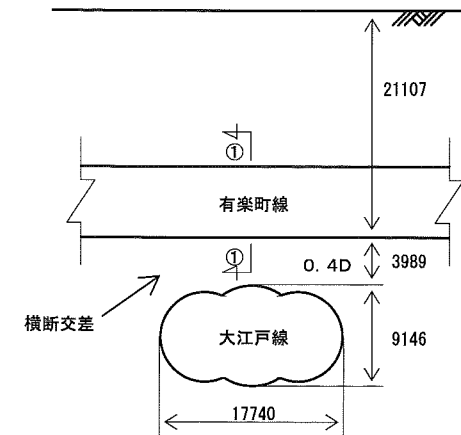


図-5 地下鉄に近接したシールドの例³⁾

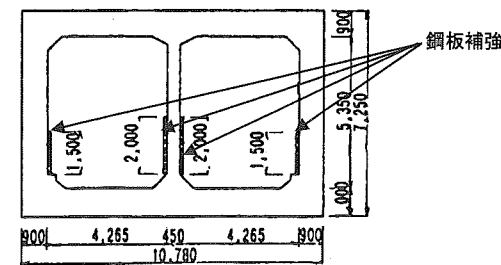


図-6 既設構造物の直接補強例(図-5①-①断面)³⁾

このケースは、既設の地下鉄トンネル(開削)の下部を0.4Dの離隔でシールドが通過するものであり、事前の解析では、既設トンネルが軸方向の変形に耐えきれないことが予測されました。そのため図-6に示すように、既設構造物の配力筋方向に鋼材で補強を行ったものです。

(4) まとめ

以上、既設構造物に対する影響を低減する方法を述べましたが、もっとも重要なことは、対策の検討に用いた地盤条件や周辺環境条件と実施工時の条件が一致しているかどうかということです。近接施工においては当初の仮定条件と実際の違いを常に監視し、条件が異なった場合は、再計算を行いチェックしたり、施工管理値を再検討するなどして管理していく必要があります。

(文責：河越 勝(株)/熊谷組)

参考文献

- 1) (株)産業技術サービスセンター：シールドトンネル工事による近接施工例，近接施工技术総覧，1997.3.
- 2) 八尾徳雄・前田美治・清水宏・焼田真司：JR武蔵野線橋脚部に超近接するシールド，埼玉高速鉄道 戸塚トンネル工区，トンネルと地下，Vol.31, No.4, pp.27-34, 2000.4.
- 3) 岩本利美・坂田政徳・佐々木博文・岡本達也：3心円泥水式駅シールド通過に伴う有楽町線防護計画と実績，土木学会年次講演会.

Q40. 泥水式と土圧式を比較して、どのような場合においてどちらが有利となるか教えてください。

A.

(1) 工法選定の流れ

泥水式と土圧式の密閉型シールドは、切羽の状態を直接、目視で確認することができません。このため、計器を使用し間接的に監視、確認することになり、シールド工法の選定にあたっては、切羽の安定方法の特徴を理解しなければなりません。そして、経済的で、切羽の安定が図れる工法を選定することが重要となります。

工法選定は、基本条件となる断面、延長、土か

ぶり、平面線形、縦断線形などについて、整理することから始まります。一般的な工法選定は次のような流れで行います。

1) 調査

調査は次のような項目について行います。工法選定で重要なことは、切羽の安定であり、地盤条件(土質、地下水位など)の調査は重要となります。

- ・立地条件(工事用地、河川などの状況)
- ・地盤条件(土層構成、地下水位など)
- ・環境条件(振動・騒音・地盤変状など)
- ・支障物件(埋設物、地下構造物など)

2) 検討

工法選定のための検討項目を下記に示します。

- ・切羽の安定(土質などへの対応)
- ・地盤変状(影響範囲、鉛直変位などへの対応)
- ・環境条件(振動・騒音への対応)
- ・支障物処理など(埋設物などへの対応)
- ・発生土の処理
- ・作業用地
- ・対策工の検討(近接、併設などの対応)
- ・経済性

3) 比較検討し総合判断(工法決定)

検討項目を総合的に判断し工法を選定します。

以上のような流れで工法を選定しますが、ここでは、泥水式、土圧式の得失について記載します。

(2) 検討項目についての考え方

1) 切羽の安定(土質への対応)

基本的には泥水式でも土圧式でも適切な掘進管理により広範囲な土質に対して対応可能です。しかし、下記土質の場合には注意する必要があります。

泥水式の場合、砂および砂礫で透水性の高い地盤($k=1 \times 10^{-1}$ cm/秒程度)は、泥膜が形成しにくいため、泥水が逸れ切羽圧を保持しにくくなります。また、均等係数の小さな粒径のそろった砂質土も、泥膜が形成されないおそれがあり、切羽保持が難しい土質です。このため、切羽の安定は非常に困難となる場合もあり、泥水性状や補助

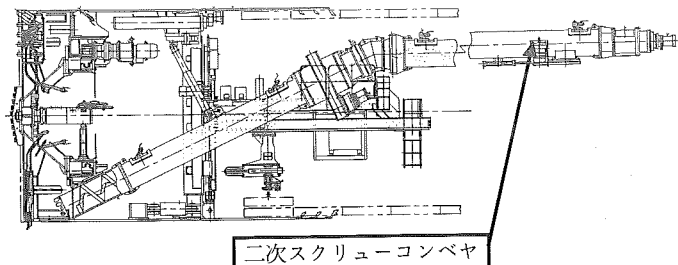


図-1 二次スクリーコンベヤの例

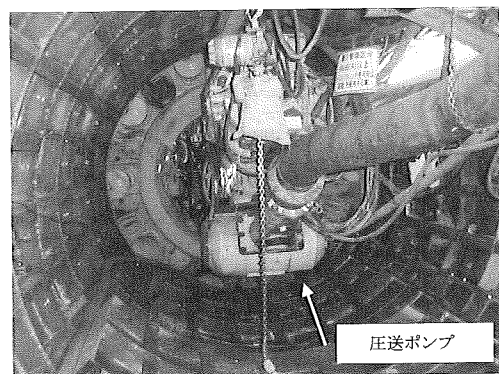


写真-1 圧送ポンプ直結の例

工法の検討を行います。

土圧式の場合、砂質土、砂礫土では塑性流動性を確保するために添加材が必要となります。また、高水圧の地盤では、排土用のスクリーコンベヤだけでは対応できない場合もあり、二次スクリーコンベヤの採用、各種圧力保持用フィーダーの装着、圧送ポンプの直結、掘削土の土質性状の改質などの検討が必要です。

2) 巨石・粗石の対応

泥水式は掘削土を流体輸送するため排泥管の径により対応可能な礫の径が決まります。一般に排泥管の径の1/3以下といわれており、排泥管は100~200mmの径が使用されており、対応可能な礫径は50~70mm程度となります。このため、それ以上の大きな巨石・粗石は切羽前面で割る必要があります。カット面にはローラーカットが配置されるので、摩耗について十分検討しなければなりません。

土圧式についてはスクリーコンベヤで排土するため、スクリーコンベヤの径により対応可能な礫径が決まり、泥水式に比べ大きな礫に対応可能となります。しかし、シールドに装備可能なス

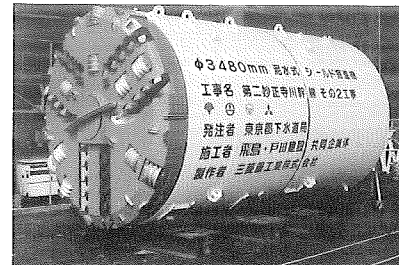


写真-2 切羽前面破碎タイプの掘進機

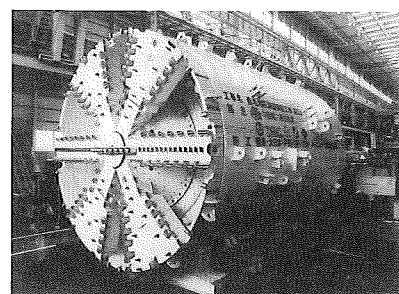


写真-3 粗石取り込みタイプの掘進機

クリューコンベヤの径は、シールドの径により限定されるため、対応可能な礫径も制限を受けます。この場合には、泥水式と同様に巨石・粗石を切羽前面で割り、カッタスリットの幅をスクリーコンベヤで対応可能な礫径の幅に制限し対応する場合があります。

3) 地盤変状、近接施工

地盤変状などの対応については、泥水式、土圧式どちらの工法においても排土量、切羽土圧などの適切な施工管理により対応可能であり、事前に影響検討などを行い、場合によっては、対策工を検討します。

一般に泥水式は総合的に集中管理(泥水処理、泥水輸送、掘進)が行われており、土圧式に比べ有利といわれていますが、現状では、大きな差はないと考えられます。

4) 可燃性ガス対応

可燃性ガス発生の可能性のある層を掘削する場合には、排土のラインを地上まで密閉する対策があります。このため、泥水式は、切羽および坑内から地上までは圧送ポンプ、送排泥管で完全に密

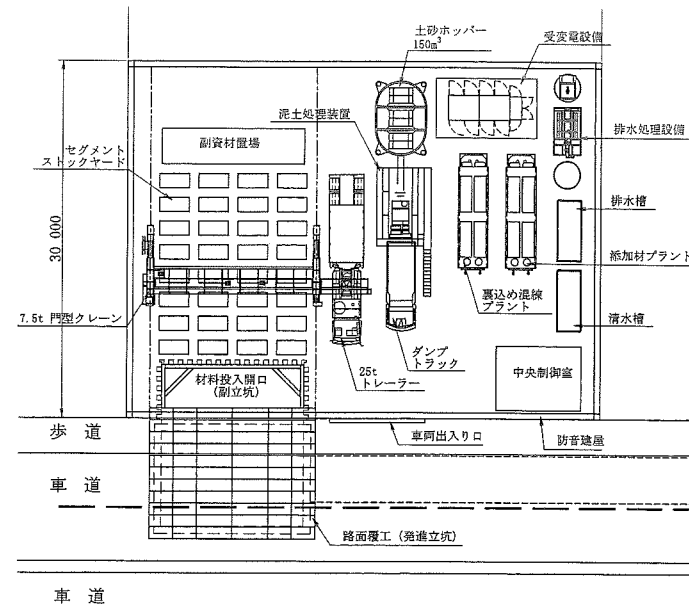


図-2 土圧式地上設備配置例(シールド外径5m級、土砂圧送方式)

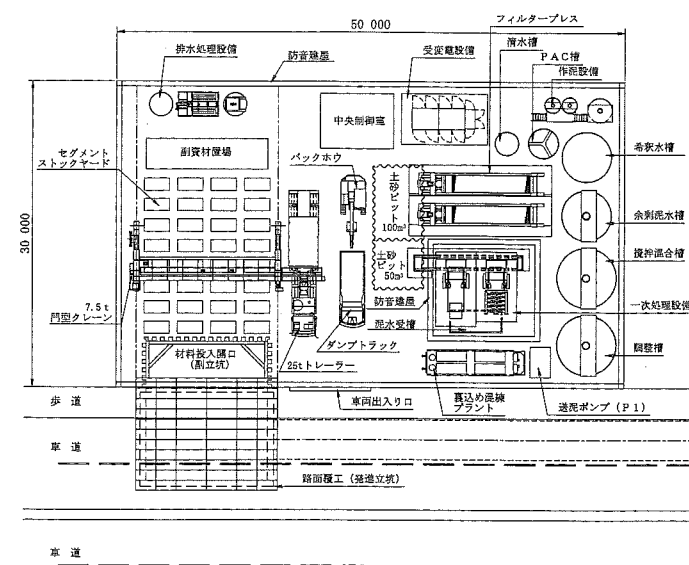


図-3 泥水式地上設備配置例(シールド外径5m級)

閉されており安全性が高いと考えられます。

土圧式は、スクリーコンベヤで排出された土砂を排土口より直接土砂圧送ポンプに接続するなど、地上まで開放しないようにする対策が必要となります。

5) 環境条件

都市部での施工であれば、どの工法でも防音ハ

ウスを設置することになります。とくに、泥水式は、土砂と泥水を分離する泥水処理設備が必要であり、振動、騒音、低周波音対策が必要となります。

6) 発生土の処理

泥水式の一次処理土は建設発生土、二次処理土は建設汚泥として処理されています。土圧式は、基本的には産業廃棄物(自治体の基準により対応が異なる)として、処理されています。このため、工法比較を行う場合には、泥水式は、物質収支計算を行い、一次処理土、二次処理土の量を確認する必要があります。

7) 作業用地

作業用地については、泥水式は泥水処理設備が必要で、土圧式に比べ広い用地が必要となります。

(3) 総合判断

以上に記載した項目ごとに比較検討を行い、安全・環境、経済性、工程などを総合的に判断し、工法を選定することが重要となります。また、施工条件により、長距離施工、大深度施工などについても検討が必要な場合もあります。

(文責：望月 崇/飛鳥建設(株))

参考文献

- 1) 土木学会：2006年制定・トンネル標準示方書，シールド工法・同解説，2006.7.
- 2) シールドトンネルの新技术研究会：シールドトンネルの新技术，土木工学社，1995.1.

Q 41. 泥水式シールド工法の逸泥や噴発に対する対処方法を教えてください。

A.

(1) はじめに

泥水式シールドは、チャンバ内に満たした泥水の圧力で、切羽面の水圧と土圧に対抗させ切羽の安定を図っています。このため、泥水の性状が悪く、泥膜が形成されなければ、逸泥を発生させ泥水圧を保持できなくなります。泥水圧の設定を大きくすると噴発を発生させ、小さければ土砂を取り込みすぎて切羽の崩壊、場合によっては陥没などを発生させてしまいます。このように泥水圧を

有効に作用させるためには、泥水圧の設定および泥水性状の管理が重要となります。

(2) 泥水圧

泥水圧の設定は、切羽の土質、土かぶり、土水圧などを総合的に勘案して、管理値を設定しています。このように設定した泥水圧の管理値は、掘進に伴う地上の変状、掘削土量、偏差流量、機械負荷などの計測値をもとに、掘進に併せ変更していくものであり、泥水圧を適正に保持していくことが重要となります。ここに、不適切な泥水で泥水圧を地下水頭より高く設定すると、浸透や地上への漏泥が始まります。さらに大きな泥水圧や泥水圧の変動は、逸泥や噴発につながるため適切な泥水の品質管理と泥水圧管理が必要です。

(3) 逸泥対策

1) 逸泥の確認方法

逸泥状態は、次の状況で確認することができます。

- ① 切羽泥水圧が保持できなくなる。
- ② 偏差流量が大きなマイナスの値を示す。

以上のような事象で逸泥状況を把握し、偏差流量については次のような関係になっています。

偏差流量： $\varepsilon = Q_3 - Q$

$\varepsilon > 0$ ：取り込み状態

$\varepsilon < 0$ ：逸泥状態

計算による掘削体積： $Q = \pi/4 \cdot D^2 \cdot St$

Q ：掘進時間あたりの計算による掘削体積

St ：掘進時間あたりの掘進量

D ：掘削外径

計測による掘削体積： $Q_3 = Q_2 - Q_1$

Q_1 ：送泥流量

Q_2 ：排泥流量

Q_3 ：計測による掘削体積

泥水が地山に浸透し、泥膜を形成する状況を想定し管理値を設定しているため、一般に偏差流量は若干逸泥状態(ε の値がマイナス)で管理されています。

2) 逸泥対策

Mullerらは切羽のろ過形態を3タイプに分類しています。

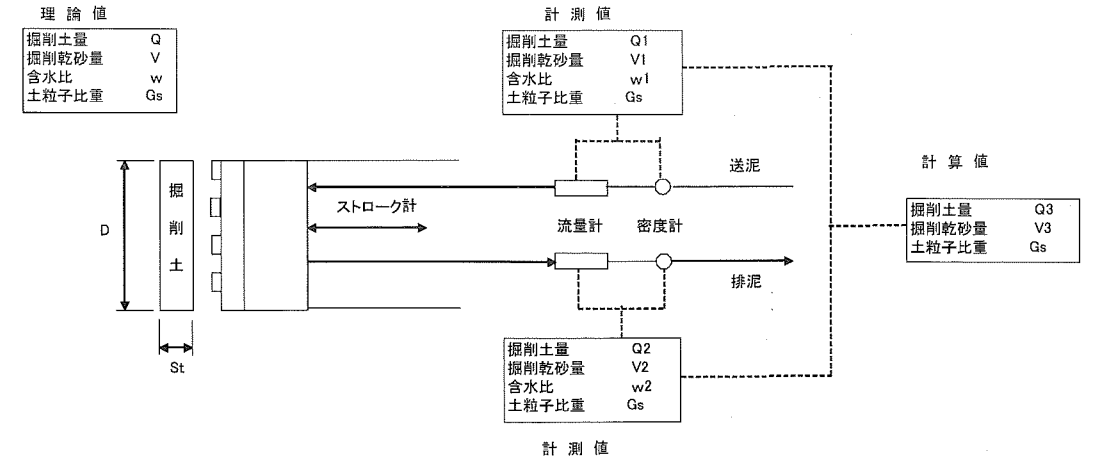
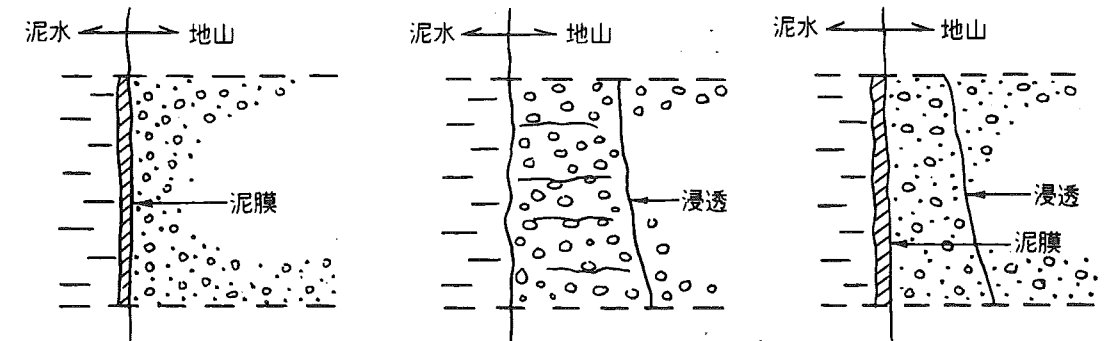


図-1 泥水式シールドの土量管理システム



タイプ-1 細砂上に泥膜が形成される。

タイプ-2 粗粒土粒子への浸透で表面ろ過はない。

タイプ-3 浸透とろ過の場合。

図-2 地山壁面における貫入とろ過

タイプ1：泥水の浸透がほとんどなく、泥膜のみ形成。

タイプ2：地山の隙間が大きく、泥水は浸透するのみで泥膜の形成がない。

タイプ3：タイプ1とタイプ2の中間で泥水が浸透しつつ泥膜を形成。

タイプ1のろ過形態は、逸泥に問題のない土質ですが、タイプ2は、透水係数の大きな砂礫層で見られる状況です。タイプ2でも地山に過度に浸透すると、切羽の安定には問題があります。したがって、透水係数の大きな砂質土層、砂礫層では泥膜の形成を向上する対応が必要となります。

透水係数の大きな地山における泥膜の形成には、泥水中の砂分の粒径および砂分量(砂分重量/粘土分重量)が大きく関係します。これは、地山の間

隙に砂分による目つぶしの効果が働くためであり、目つぶし効果が有効に機能するためには地山の隙間より大きな粒径および含有量が必要となります。また、泥水の粘性は、地山への逸泥抵抗を増加させる働きもあり、粘性の管理値を高く設定することも対策の一つになります。しかし、透水係数が $k = 1 \times 10^{-1} \text{cm/秒}$ 程度の場合には、泥水の品質管理だけでは対応が難しく、地盤改良などの検討が必要となる場合もあります。

(4) 噴発対策

泥水式シールド工法での噴発は、地上に泥水が一気に吹き上げる状態で、泥水圧が保持できず切羽崩壊につながります。噴発には次のような状況が考えられます。

- ① 排泥管で閉塞が発生した場合など、急激に

泥水圧が上がり、地上に泥水が噴く状態。

② 土かぶり小さい場合や、急激に土かぶりが変わる場合に、泥水圧の管理値を大きくしたため、泥水が地上に噴いてしまう状態。河川や海底部横断時にも同様なことが考えられます。

③ 地中障害物(開削施工残置物、旧建築物の基礎杭など)に遭遇した場合や、近接して施工した場合に、障害物に沿って泥水が噴き出してしまう状態。

泥水の比重を上げることで泥水特性は改善され切羽安定には有効ですが、泥水輸送設備や処理設備に大きな負荷がかかります。また、泥水比重を高く維持することが困難な土質もありますので、泥水管理が重要となります。

排泥管での閉塞対策としては、シールド隔壁および排泥ラインに緊急圧抜きバルブなどを装備するなどの対策が取られる場合がありますが、掘進中は送排泥状況を監視する必要があります。

地中障害物については、施工前の調査が必要であり、確認された場合には、地盤改良などの検討を行い、事前に対策を行っておく必要があります。(5) おわりに

逸泥、噴発防止には、事前の調査が重要であり、調査結果をもとに、泥水の性状、管理範囲を決め、泥膜の形成性を向上させ、有効に泥水圧を作用させることが重要です。また、初期に設定した泥水圧の管理値は、切羽土質や泥水性状の変化を勘案し掘進に伴う地上への影響、掘削土量、偏差流量、機械負荷などの計測値より管理値を見直し、変更していく管理を行うことが重要です。

(文責：望月 崇/飛鳥建設(株))

参考文献

- 1) 土木学会：2006年制定・トンネル標準示方書、シールド工法・同解説、2006.7.
- 2) シールドトンネルの新技术研究会：シールドトンネルの新技术、土木工学社、1995.1.

P.A.ドミニコ, F.W.シュワルツ著

地下水の科学

各B5判
全3巻

地下水の科学研究会 大西 有三 監訳

第I巻 地下水の物理と化学	価格4,281円	〒340円
第II巻 地下水環境学	価格4,485円	〒340円
第III巻 地下水と地質	価格3,873円	〒340円

本書は様々な環境問題を地下水理学の立場から本格的に取り扱うため、水の物理学・化学的性質、地球の状況、水資源としての地下水の状況、地下水の水理学的特性とその調査方法など多岐にわたっており、地質学者、水理地質の実務者、地球化学者ならびに流体力学に関心のある地球物理学者、または、地質学を学ぶ学生など広範に満足させる内容となっている。

 株式会社 **土木工学社** 〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メジャー神楽坂
電話 (03)3267-2888 (代) 振替00110-8-190072

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL

松ノ木トンネル貫通

鉄道・運輸機構が整備する北陸新幹線松ノ木トンネルで4月4日に貫通式が行われた。

同トンネルは6,720mの長大トンネルで、上越市西部の山地を貫く。2002年に着工し、両押しで施工を進めこのたび貫通した。同新幹線の長野～金沢間は2014年度の開業予定となっている。

雪沢第2トンネルが貫通

東北地整が新直轄方式で整備する日本海沿岸東北自動車道の大館北IC-小坂JCT(14.5km)間の雪沢第2トンネル(1,849m)が貫通し、4月11日、同トンネル内で貫通式が行われた。

同区間に位置する大茂内第一トンネルとともに、同トンネルの掘削土の一部にはセレン、砒素が溶出基準を上回ることが確認されており、高度な土砂処理を行いながらの掘削作業となった。

船津朝山トンネル貫通式

西日本高速道路が整備する山陰自動車道斐川IC-出雲IC(仮称)間のうち、船津朝山トンネルが貫通し、4月16日貫通式典が開催された。

同トンネルは、両IC間のほぼ中心に位置し、出雲市船津町から標高200m程度の山地を貫き、出雲市朝山町に至る延長1,961mのトンネル。平成17年8月に朝山町側から坑口付けを行い、爆破掘削方式による補助ベンチ付き全断面掘削工法を用い、約30か月を要し貫通に至った。

第12トンネル本坑貫通

京都府が整備する鳥取豊岡宮津自動車道(宮津野田川道路)の第12トンネル本坑が4月17日貫通した。

同トンネルは宮津市字喜多～須津地内を結ぶ工事延長L=3,809m、W=9.5mの発破方式NATMトンネル。TBM(φ5.0m)で掘削された避難坑を利用し、本坑を同方向2切羽により掘削して、工期を短縮した。

供用されれば府管理の道路トンネルとしては最長となり、唯一の避難坑を持つトンネルとなる。

新佐敷トンネル貫通

九州地整が整備する南九州西回り自動車道の田浦IC-芦北IC間の新佐敷トンネル(2,919m)が貫通し、4月20日に現地で貫通を祝う式典があった。

同区間は全長8kmで、2008年度中の供用を目指し、新直轄方式で事業が進められている。

貫通した新佐敷トンネルは、供用されれば九州の直轄国道で最長になる。

「新風吹トンネル(上り)」の供用開始

和歌山県が整備を進めていた新風吹トンネル(上り)(673m)が、4月21日に供用を開始した。

開通したのは、同トンネルを含む延長約3.3km区間で、府県境から同トンネルまでの1.7kmの区間については2車線(幅員8.0m)の暫定供用で、同トンネル出口から広域農道までの1.6kmの区間は4車線(同20.0m)の全線供用。

同トンネルのある主要地方道泉佐野岩出線は大阪府泉佐野市を起点とし和歌山県岩出市に至る道路で、大阪府と和歌山県を結ぶ府県間道路。関西国際空港、阪和自動車道泉南ICと直結する道路であり、周辺地域の産業・経済の発展および地域の連携・交流の強化を図る役割を担っている。

下り線トンネル(654m)について

は、2009年11月の完成を目指し、近く着工する予定とし、同路線の和歌山県側の全線4車線供用は平成21年度を目指している。

阪神高速8号京都線 稲荷山トンネルが開通

阪神高速道路と京都市が建設を進めてきた阪神高速8号京都線の一部(延長2.7km)が平成20年6月1日に開通する。

開通区間は山科出入口(京都市山科区西野山桜ノ馬場町)から鴨川東出入口(京都市伏見区深草中川原町)までの2.7km。同区間のほとんどを稲荷山トンネル(2.5km)が占める。

同トンネルは、平成10年12月に山科側からNATMで掘削を開始。平成13年3月に約1.5kmを掘削完了したのち、平成18年1月から西行トンネル約0.9kmを伏見側からシールド工法で掘削、平成18年12月に貫通した後、トンネル内部でシールドを転回させ、平成19年5月に東行トンネル約0.9kmを山科側から掘削を再開、平成19年12月に全線貫通した。

こんどの開通に伴い、京都東部方面から京都中心部へのアクセスに要する時間が大幅に短縮されるなど、京都市内の交通環境の向上に供するものと期待される。

飛驒トンネル 2008年7月5日開通

NEXCO中日本が建設を進めてきた東海北陸自動車道の飛驒清見IC～白川郷IC間の延長24.9kmが、7月5日に開通することになった。

今回の開通区間(24.9km)は、10本(計20.7km)のトンネルがある典型的な山岳道路区間。最長のトンネルは、初穂山を貫く飛驒トンネル(10.7km)で、日本の道路トンネルで2番目の長さとなる。高土圧と大

2) ケーソン周囲の充填

ケーソンで発進(もしくは到達)立坑を築造した場合、その外側にフリクションカットによる空隙ができ、ケーソン沈設に伴う緩みが生じることがあります。そのため、ケーソン沈設終了後、躯体の注入孔からコンタクトグラウトで空隙の充填を行います。十分な充填や沈設で緩んだ部分の改良までは期待できません。このままでNOMST壁を切削して発進すると、空隙からの泥水・裏込め材の漏出・噴出や緩んだ地盤の存在などにより、切羽の安定性などが損なわれ、地盤変状などが生じやすくなります。そのため、ケーソンによる立坑と地盤との空隙を確実に充填し、かつ、地盤の安定性を確保するため、発進または到達坑口部とその周囲の地盤改良を検討してください。

3) 背面地盤の地盤反力の不足

NOMST壁を安定して切削するためには、NOMST壁の背面地盤の地盤反力の確保が重要です。図-2は、切削時にビット先端から背面の地盤に支持されているNOMST壁に推力の一部が集中荷重(カッタ荷重)として作用している状況を示します。切削が進むにつれて部材が薄くなり、剛性が急激に低下します。とくに地山側の炭素繊維でできたロッドおよびその外側のかぶり部の切削時には、剛性が非常に小さくなり、コンクリートから補強材であるロッドの剥離が生じてかぶり部のコンクリートが割れやすくなります。

とくに背面の地盤が軟弱つまりNOMST壁を支える地盤反力が小さい場合には、薄くなったNOMST壁はカッタ荷重により背面側にたわみ、いっそう大きな塊で割れやすくなり、閉塞などを誘発します。硬質地盤に比べ軟弱地盤におけるたわみは、数倍から数十倍の大きさになります。また、たわみによりビットが十分に切り込めなくなることから、切削性も大幅に低下します。以上のことから、軟弱地盤においてはNOMST壁を支持する背面側地盤の地盤反力を高め、大割れを防ぐ目的で地盤改良を検討してください。

4) 高水圧、異形断面、円形立坑や斜め発進など高水圧下の発進や異形断面など坑口エンタラン

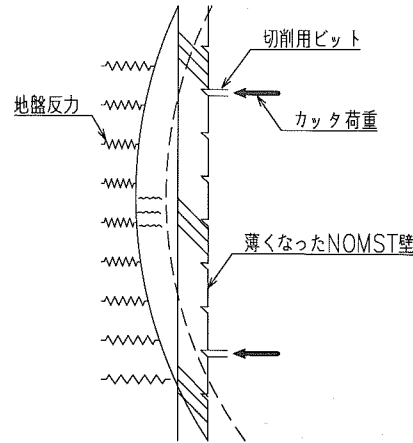


図-2 大割れの模式図



写真-1 大割れしたNOMST部材

スパッキンだけでは出水が懸念される場合には、止水用の地盤改良を検討してください。

また、円形立坑や土留め壁に対して斜めに発進(または到達)する場合には、カッタの一部が地山に出始めてからカッタ全体が地山に貫入するまでにタイムラグが生じ、高い強度のNOMST壁と相対的に強度が小さい地山を同時に切削しなければなりません。

このほか大口径シールドの発進のように地盤の緩みが生じる可能性が比較的大きい場合には、発進部の地盤の安定性を確保するために、地盤改良を検討してください。

(3) 地盤改良を併用した実績

NOMST研究会が行ったサンプリング調査による地盤改良の併用実績とその理由を紹介します。

1) 併用実績

図-3はNOMSTにおける地盤改良の併用実績の件数を示し、約7割の工事で何らかの地盤改良を

併用しています。

シールド工法別では泥水シールド工法で併用する割合が高いことがわかります。

2) 併用の理由

図-4は地盤改良併用の理由を示し、発進では「切削時のNOMST壁の変形防止」、「切羽圧力の変動に伴う地山崩壊防止」が多く、理由の約80%を占めています。そのほか、高水圧対策、土留め柱列杭間の止水、地盤振動の低減などがあります。

(4) NOMST発進における留意点
円滑にNOMSTで施工するためには、次の2点についても留意する必要があります。詳細については参考文献1)を参照してください。

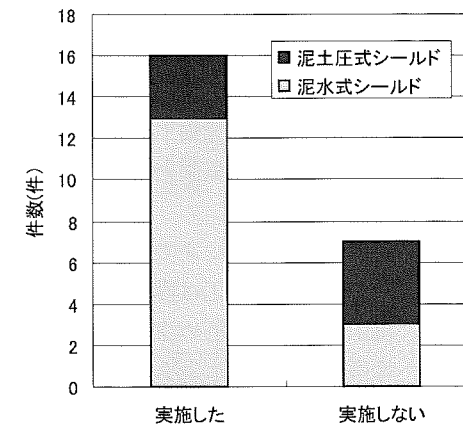


図-3 地盤改良併用の有無⁹⁾

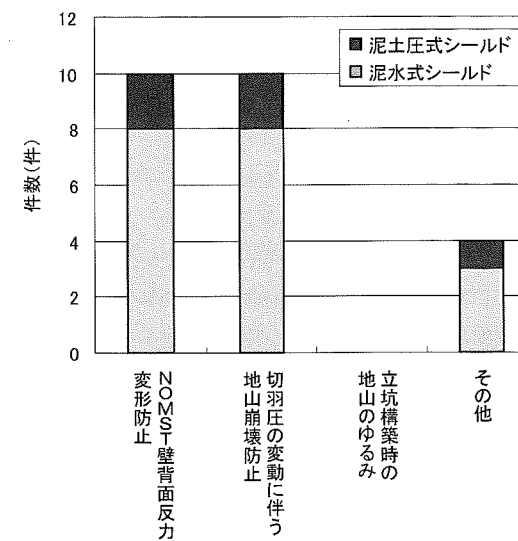


図-4 地盤改良併用の理由⁹⁾

1) 切削性の確保と安定した切削

NOMST壁のコンクリートの強度はプレキャスト製で70N/mm²、場所打ちでも40N/mm²程度とかなり高強度であり、それに適した先行ビットなど切削用ビットの装備が必要です。また、数mm/minの非常に遅い掘進速度で切削できる推進機構と十分な大きさのカットトルクの装備が、安定した切削には必要であり、泥水式シールドでは閉塞を回避する礫取り装置などの装備も必要です。また、推力やカットトルク、切削片の排出状況などを見ながら掘進速度の調節が必要です。

2) 坑口の止水性確保

発進時には、NOMST壁の切削からシールドが地山に貫入するまで、切羽圧力の保持と地下水の流入防止ができる坑口設備が必要です。そのため、坑口コンクリート(もしくは坑口金物)、エンタランスパッキンとその取り付け部は、この切羽圧力や閉塞時の過大な圧力(円形の坑口構造に内側から作用するフープテンション)に耐えうる構造とし、過大な圧力に対しては圧抜き孔などを設ける必要があります。また、シールドの中折れ部やセグメントとの段差などによる地下水の噴出を防止するため、高水圧下での発進に使用するエンタランスパッキンに対して、パッキンの二重化や止水性・追従性の高いチューブ式パッキンの活用などの対策が必要です。さらに、同時裏込め注入管などの突出部は止水の弱点や切削時の障害となるので、事前に対策を考えておく必要があります。

(文責：名倉浩/(株)間組)

参考文献

- 1) NOMST研究会：NOMST発進・到達工の手引き、2006。

Q 43. 急曲線補助工法の必要性和有効な方法について教えてください。

A. シールド急曲線は、都市部の合理的なトンネル構築に有用であり、軟弱な地盤や強度の低い地盤が対象となる場所では、補助工法を併用して実施されてきました。以下に、急曲線補助工法を整

理・分類したうえで、その目的と必要性および最近の急曲線施工の動向を踏まえながら、有効な方法について解説することとします。

(1) 急曲線補助工法の分類

標準的な急曲線施工の補助工法³⁾としては、「薬液注入工法」や「高圧噴射攪拌工法」「高粘性の充填材を注入する方法(中間充填材工法)」が挙げられます。また、『「シールド曲線施工」に関する実態調査報告(2)』²⁾によれば、急曲線対策として、「セグメントへの対策」や「裏込め注入への対策」、「方向制御のための補助的な対策」などが報告されています。

ここでは、トンネル標準示方書に示される標準的な工法と実態調査報告に示される対策の双方を合わせて「急曲線補助工法」と考えます。このうち、前者を「周辺地盤を対象とする方法」ととらえ、後者を「セグメントを対象とする方法」ととらえます。さらに、これらを施工位置や目的などにより整理すると図-1のように分類できます。

なお、「方向制御のための補助的な対策」として、シールドとセグメントとの間にテンションジャッキやけん引用ロードなどを用いる機械的な方法も従来から行われていましたが、シールド性能の向上などにより、最近では実施事例が少ない²⁾ので、図-1の分類からは除外しています。

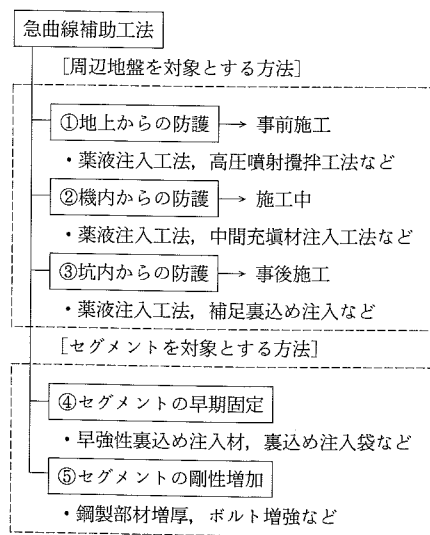


図-1 シールド急曲線補助工法の分類

(2) 急曲線補助工法の必要性

シールド工法における周辺地盤を対象とする急曲線補助工法は、一般に次の二つの目的で実施されています。

- ① 強度の低い地盤において、シールドジャッキ推力に伴う曲線外側の地盤反力を確保する(地盤改良による反力壁防護)。
- ② コピーカットで掘削された掘削面の変形(地山崩壊, 肌落ち)を防止し、シールドの回転に必要な余掘り量を確保する。また、余掘り部の緩みやシールド外周面での摩擦およびせん断破壊などによる地盤沈下を抑制する(外周面防護)。

①に対しては、急曲線施工時にシールドが曲線方向に回転を行うのに必要な地盤反力について検討を行います。このとき、ジャッキ推力に伴い発生する地盤反力が原地盤の受働土圧強度より大きい場合は、曲線部外側に地盤反力確保のための地盤改良などを行います。

②に対しては、コピーカットで掘削された余掘り量が大きければ急曲線施工は容易となりますが、その反面、地山の緩みや裏込め注入材の切羽への回り込み、地盤反力の低下によるトンネル変形の助長などの問題も多くなります。したがって、余掘り量は最小限必要な範囲で抑えるように検討し、急曲線の施工性や安全性などを考慮した余掘り量を設定したうえで、曲線部内側などの外周面に地盤改良などを行います。

(3) 有効な急曲線補助工法

図-1に分類した方法について、その特徴と施工上の留意点などを解説します。

1) 地上からの防護

地上からの防護は、シールド掘削に先立って行う事前施工であり、掘進進捗に影響を与えない利点があるとともに、従来から行われている信頼性の高い方法でもあります。

代表的な適用工法は、地盤改良工法のうち薬液注入工法(二重管ストレーナ工法<複相タイプ>, ダブルパッカー工法など)と高圧噴射攪拌工法(二重管工法, 三重管工法など)であり、それぞれの

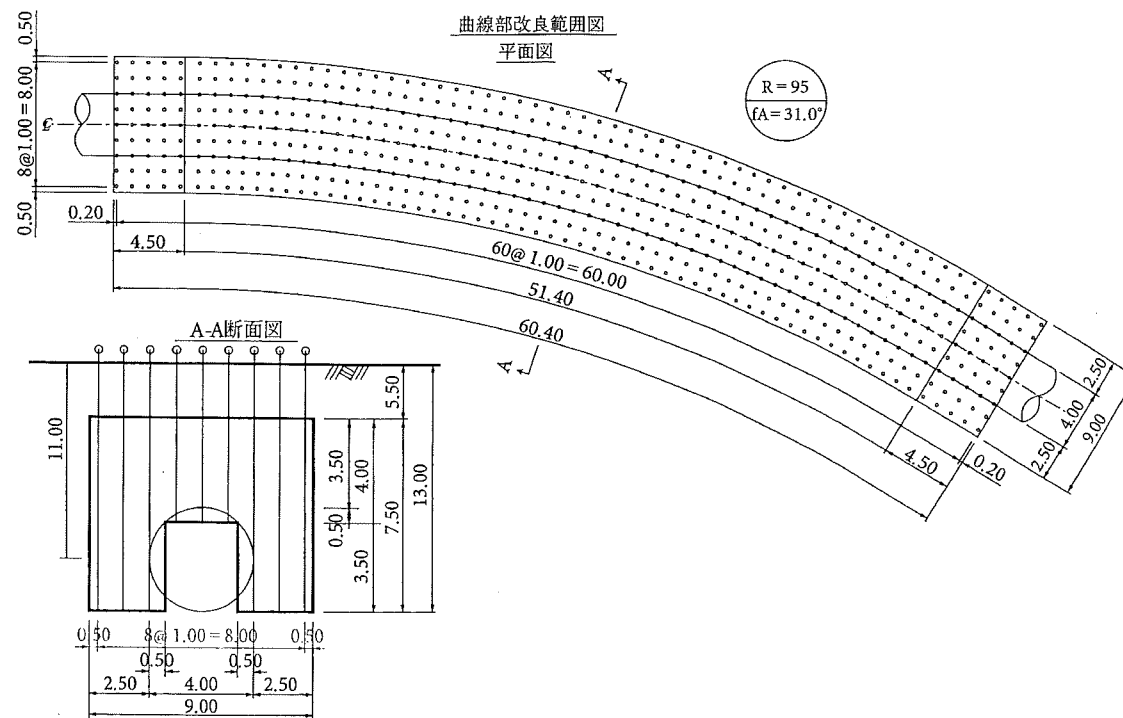


図-2 地上からの防護参考図(薬液注入単独)³⁾

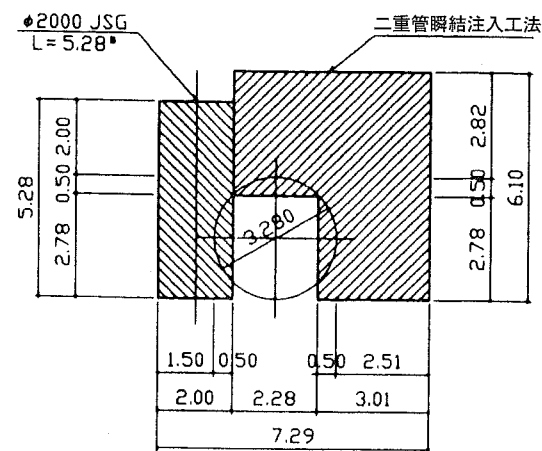


図-3 地上からの防護参考図(薬注+高圧噴射)

単独もしくは両者の組み合わせで適用します。断面形状は、小口径の場合は全断面にて、中大口径の場合は門形断面にて計画されることが一般的であり、反力壁や余掘り部などの外周面の防護が目的となります。改良範囲としては、急曲線の進入部と脱出部の直線箇所シールド機長程度の余裕を設ける必要があります(図-2, 3参照)。

最近では、混雑する路上交通や輻輳する地下埋

設物、防護範囲が官民境界を越境するなどの地上施工が困難となる状況が多く、路上工事の削減を図るため、注入用立坑からの水平注入や以下に示す2)~5)の方法の検討が行われるケースが増えています。

2) 機内からの防護

機内からの防護は、シールド掘進と交互もしくは同時に行うものであり、余掘り部などの外周面の防護が主目的となります。適用工法としては、薬液注入工法(二重管ストレーナ工法<複相タイプ>)など)と中間充填材注入工法の二つがあります。

機内からの薬液注入工法は、シールド内で小型水平削孔機(ミゼットドリルなど)を使用して行うもので、隔壁や外殻に配置した注入孔から円形やドーナツ状などの断面の改良を、シールド掘進進捗に見合う範囲に分割して施工します。通常、シールド掘進と機内薬液注入を交互に行うため、掘進進捗への影響が大きくなり、急曲線施工に日数がかかることとなります(図-4参照)。

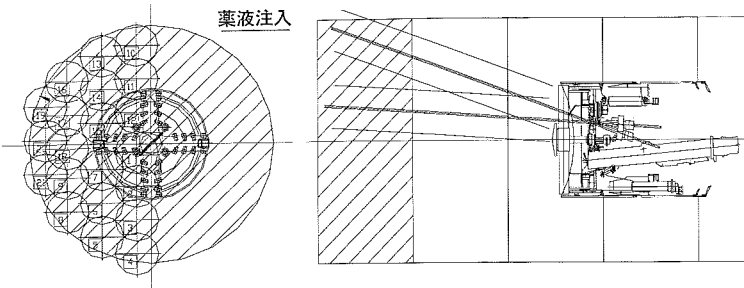


図-4 機内からの防護(薬液注入)参考図

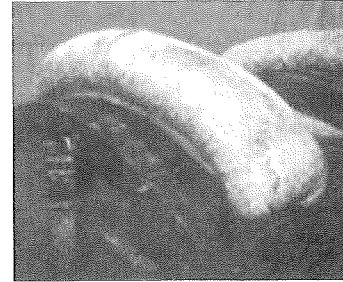


写真-1 袋付きセグメント

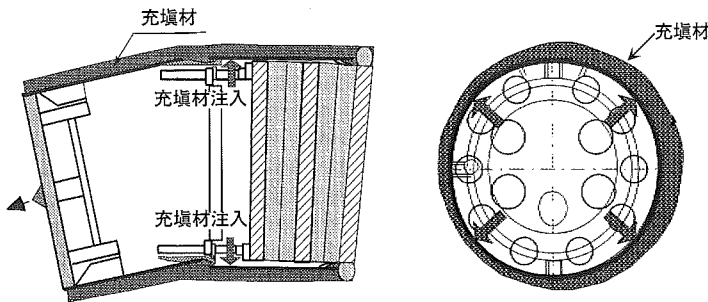


図-5 機内からの防護(充填材注入)参考図^①

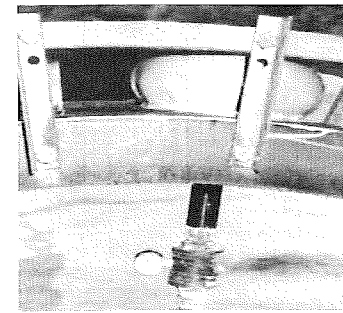


写真-2 ミニパッカー

中間充填材注入工法は、添加材注入などを行う切羽と裏込め注入を行うテールボイドとの中間で行う充填材注入です。この工法は、中折れ装置付近に配置した注入孔から余掘り部などの外周部の空隙に液体と固体の中間の性状を呈する可塑状の充填材を注入して、余掘り部を保持し外周面摩擦を低減するものです。掘進と同時に施工するので、掘進進捗への影響は少ない利点があります。適用土質には十分な配慮が必要で、シールドジャッキ推力に伴う曲線外側の地盤反力を確保できることが第一条件としてあり、軟弱粘性土や崩壊性砂質土などの自立性が著しく低い地盤については適用できない場合があります(図-5参照)。

3) 坑内からの防護

急曲線部は裏込め注入が不十分になりがちであり、坑内から施す補足裏込め注入は、従来から行われていました。現在では、充填性の良い2液型裏込め注入材料の普及やシールド掘進と連動した裏込め注入管理システムの充実などにより、補足注入を行うことは少なくなりました。

また、坑内から行う薬液注入については、シールド掘進で乱した地盤の緩み防止や強度回復など

の外周面防護の目的で行われることがあります。この際は、注入施工の時期や後続設備との位置関係などに配慮が必要となります。

4) セグメントの早期固定

シールドジャッキ推力に伴う地盤反力の確保や線形精度の確保のため、テール部から離脱した直後のセグメントを遅滞なく固定することが重要となります。この方法については、強度発現の早い裏込め材料に対応する方法とセグメントに取り付けた裏込め注入袋を使用する方法があります。

裏込め注入袋には、あらかじめ工場で袋が組み込まれた「袋付きセグメント」と現場で注入孔に後付ける「ミニパッカー」があり、袋に裏込め材が限定注入されるためシールド余掘り部への流入がなく確実なセグメントの早期固定が可能です。また、裏込め注入袋と2)に示した中間充填材注入工法を組み合わせシステム化した工法もあります(「充填式シールド急曲線工法」^②、「クレーショック・ミニパッカー工法」^③)。

5) セグメントの剛性増加

急曲線部のセグメントを補助する方法としては、従来からジャッキの片押しなどに対応するため、

縦リブの補強やリング間の目開き防止措置などが講じられてきましたが、後胴押し方式シールドの普及などにより極端な片押しは必要なくなり、これらの事例も少なくなっています。

現在では、セグメント自体の軸方向剛性を高め、曲線外側に発生する地盤反力をトンネル全体で負担してこれを低減させることにより、地盤改良による反力壁を省略または低減させる「急曲線部の合理的な設計手法」^④が提案されており、その設計施工実績も多くなっています。

(4) おわりに

近年、後胴押し方式シールドの普及や中折れ機構の改良、姿勢制御システムの充実などのシールド急曲線施工における周辺技術が格段の進歩を遂げ、R=10m以下の超急曲線施工の実績もできています。また、カッタのスライドや傾斜などのカッタ移動機構、機長短縮機構などの新しい発想の補助装備も実用化されています。

このように、現在では曲げるための機械的装備が整ってきた状況にある中、急曲線施工に伴い曲線外側に発生する地盤反力が従来に比し小さくできるなどの考え方もあります。さらに、路上工事削減やコスト縮減などの社会的要請とも相まって、前項1)に示した地盤改良による反力壁などを省略する検討もなされるようになってきています。

このような動向の中で、急曲線補助工法の計画にあたっては、シールドの姿勢制御機能を適正評価したうえで、地上・地下の状況や対象土質などの現地条件、周辺影響抑止や線形精度確保などの施工要求、環境性や経済性などの社会的要請を考え合わせ、適切な工法を選定することが肝要となります。

(文責：生野泰宏/日本国土開発(株))

参考文献

- 1) 土木学会：2006年度制定・トンネル標準示方書，シールド工法編・同解説，pp.190-191，2006.7.
- 2) JTA施工技術委員会：「シールド曲線施工」に関する実態調査報告(2)，トンネルと地下，Vol.30，No.6，pp.71-72，1999.6.
- 3) 日本グラウト協会：新訂正しい薬液注入工法，この

- 一冊で全てがわかる，p.81，2007.5.
- 4) 下水道新技術推進機構：充填式シールド急曲線工法技術マニュアル，2000.3.
- 5) 加納洋一：坑内補助工法による急曲線施工【ICAM アイカム】，(有)日本プロジェクト・リサーチ「シールド工法」技術提案の新たな試み，2007.7.
- 6) 東京都下水道局建設部：「シールド急曲線部」の設計検討の手引き，2002.9.

Q44. 急曲線での施工管理方法について教えてください

A. 急曲線施工では、余掘り装置および中折れ装置を用いて曲線掘進を容易にするとともに、適切なテーパセグメントの選択および短尺セグメントや縮径セグメントを使用して曲線部に対応します。そのためには、事前に十分な対策の検討が必要であり、施工においても綿密な施工管理を行う必要があります。ここでは、密閉型シールドでの急曲線施工を左右する項目として、①余掘り、②中折れ、③線形管理測量、④セグメント組立て、⑤裏込め注入についての施工管理とその留意点を紹介します。

(1) 余掘りの施工管理と留意点

余掘りに関しては、余掘り量、余掘り開始位置と終了位置についての管理が必要です。また、余掘り装置についてもその特徴を十分に把握した管理が必要となります。余掘り量は、少ないとシールドの屈曲が困難となり推進抵抗が増大する要因となります。一方、余掘り量が多い場合、掘進と姿勢制御は容易になりますがテールボイドの発生に伴う地表面沈下や地下埋設物・近接構造物への影響が大きくなるほか、裏込め注入材の切羽への

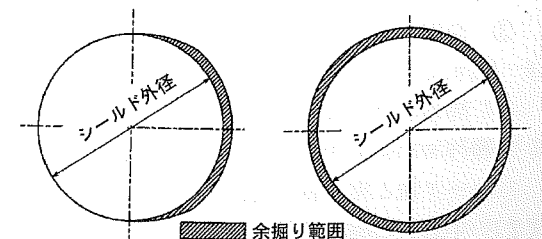
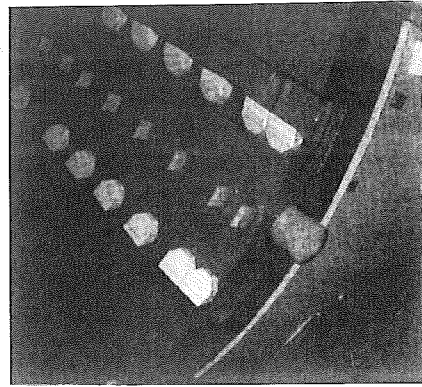


図-1 余掘り範囲^①

写真-1 コピーカッタの設置例¹⁾

回り込みによるシールドの拘束の可能性が大きくなります。そのため、余掘りは地山の自立性やシールド機長、中折れ装置を考慮した必要最低限の量と範囲で管理することが重要です。

余掘り装置には、コピーカッタとオーバーカッタがあり、この中で使用例が多いコピーカッタの留意点について説明します。コピーカッタは、カッタヘッドの外周から油圧ジャッキにより突出させ、任意の範囲の余掘りが可能な装置です。突出時は片持ち状態となることから、地山や余掘り量によっては大きな掘削抵抗が作用するので強度については検討が必要です。また、装備するストローク量は、計画余掘り量に対して十分余裕をもった構造とする必要があります。

以上より、余掘り管理の留意点は以下の項目が挙げられます。

- ① シールドの姿勢や位置を常に計測し、線形の確保が困難な場合は早期に余掘り量の見直しを行う。
- ② 下部余掘りは、シールドの上方姿勢修正が難しくなるので原則的に避ける。
- ③ 余掘り開始前にはシールド位置と姿勢を把握する。計画と異なる場合は早期に修正する。
- ④ 発進前にコピーカッタの動作状況を把握し、操作タイミングを確認するとともに表示ストローク値と実測値の検証を行う。

(2) 中折れの施工管理と留意点

中折れに関しては、中折れ角、中折れの開始時期と終了時期についての管理が必要です。また、

中折れ装置について、その構造の特徴を十分把握した管理が必要となります。中折れは、シールドを2段または3段に折り曲げることにより、余掘り量を少なくしシールドの操作性を高め、セグメントへの偏圧や偏心を低減し、テールクリアランスを確保することを目的として装備されています。また、中折れの開始時期と終了時期は、早めの開始と遅めの終了が多いようです。

次に、中折れ装置について説明します。中折れ装置には方式別では前胴押しと後胴押し方式、機構別ではX中折れとV中折れ機構とに大別されます。曲線推進中、シールド外側に作用する地盤反力が小さく中折れ角が大きく取れることなどから後胴押し方式、X中折れ機構の採用が多いようです。また、中折れ装置の構造は油圧ジャッキを使用しているため、油圧特有の性状を理解した管理や操作が必要となります。

以上のことから中折れの施工管理の留意点は以下の項目が挙げられます。

- ① 中折れ角は、テールクリアランスを常に実測して管理に反映させる。クリアランス確保が困難な場合は早期に中折れ角などの見直しを行う。
- ② 中折れ開始前には、シールド位置・姿勢を把握する。
- ③ 曲線施工中、シールドは中折れ状態なので軟弱地盤などではノーズダウンが発生し、これに起因するローリングが発生しやすいことに注意する。
- ④ 中折れジャッキストローク値は実測によりチェックが必要である。
- ⑤ 中折れ操作はシールドの運転状態で行う。
- ⑥ 中折れ装置の急激な操作(中折れジャッキの出し入れ)はジャッキの破損につながるのに注意を要する。

(3) 線形管理測定の施工管理と留意点

従来、急曲線での測量は測点の盛替え回数が増えることから測量回数の増大や測量精度の低下などが問題となっていました。最近では測量機器の機能向上もあり、測量とシールド制御、掘進作業

とを連携させた総合的な線形管理測量システムの採用などにより急曲線施工の測量管理が容易になっています。しかし、一般部の測量に比べてより正確な測量精度が必要なことや、使用機器の特性などによるトラブルが発生する機会が多いため、定期的に人力によるチェックが必要となります。

以上のことから、急曲線測量での施工管理の留意点は以下の項目が挙げられます。

- ① 曲線前後でのシールドとセグメントの位置関係および両者の方向を測量し、余掘り、中折れ操作に反映させる。
- ② 測量機器による測量データは人力測量などによる二重、三重のチェックにより精度を検測する必要がある。
- ③ ジャイロコンパスは、横すべり現象を検出できないので、ほかの方法により確認するよう留意する。

(4) セグメント組立ての施工管理と留意点

急曲線施工では、セグメントの組立てを容易にする目的で曲線半径に応じたテーパセグメントや短尺セグメントを採用します。また、急曲線では縮径セグメントを用いてテールクリアランスを確保する場合もあります。これらの採用についてはセグメント形状、強度を考慮するほか、使用割合・組み合わせでは余裕を加味した計画が大切になります。

セグメントの組立てでは、シールドの姿勢やテールとセグメントの相対位置などの条件によって組立精度が左右されるため十分な管理のもとに組み立てることが重要となります。以下に、セグメント組立ての施工管理の留意点を挙げます。

- ① 事前にセグメント割付図を作成し、この図にもとづいた組立管理を行う。なお、実施工での組立てが困難となる場合は、
 - ・必要テールクリアランスに計画と施工の差が発生する。
 - ・シールド方向に対してセグメントテーパ量が過不足となる。
 - ・セグメントの目開き、変形、横ずれによりセグメントテーパ量が過不足になる。

・セグメントのローリングによりセグメント上下にテーパが発生する。
が挙げられますので留意が必要です。

- ② テールとの競りを抑止するため、テールクリアランスをリングごとに測定し、シールドとセグメントの相対的な位置関係を常に把握して施工に反映させる。
- ③ 真円度測定の実施、目違い防止(セグメントの位置合わせ)・目開き防止(ボルトの締め付け確認)を確実にを行う。
- ④ 縮径セグメント使用は、通常径に戻した時に裏込め材の流入固結による大きな競り力に留意する。

(5) 裏込め注入の施工管理と留意点

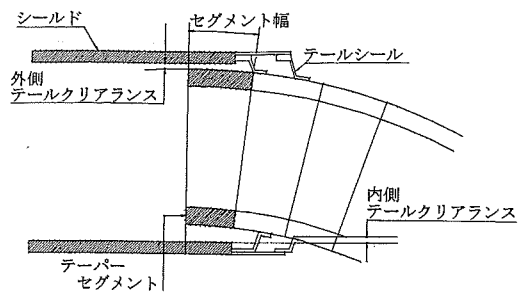
余掘りによりテール部に発生した空洞は早期に裏込め材を充填し、地山の緩みを防止し、早期にセグメントの地山への固定を図る必要があります。このため、急曲線施工での裏込め注入では、とくに注入材の選定、注入時期について十分な事前検討を行い、実施工では、これらの各項目についての施工管理が重要となります。裏込め材は、ゲルタイムが短く初期強度が大きい裏込め材が適しています。このため、注入材としては、材料分離が少なく地下水の影響を受けにくい、硬化時間を調整できる、必要により早期に所要強度を与えることができる、などの性質が求められることから、一般的には二液型の瞬結性注入材が採用されているようです。

次に、注入時期は、早期充填が必要なことから同時注入方式の採用が多いようです。この方法にはシールド本体テール部に設けられた注入管から掘進と同時に注入する方法とセグメントに設けられた注入孔より注入する方法があります。

このように、急曲線施工の裏込め注入では一般部に比べてより綿密な管理が必要となります。

以下に裏込め注入の施工管理の留意点を挙げます。

- ① ゲルタイムの短い初期強度の大きいグラウトを使用するので、注入圧や注入量の変化に留意するなど、綿密な施工管理を行う。

図-2 曲線施工時のテールクリアランス³⁾

- ② シールドテールシール内部への浸入、またシールドテール外周面への固着に注意を要する。
- ③ 充填状況の確認は頻度を高めて行い、充填不足時は二次注入を実施する。
- (6) 急曲線特有の裏込め注入方法
急曲線では、早期注入による切羽への回り込みにより余掘り量を確保できない問題があります。この対策として、最近採用例が見られる裏込め注入方法(限定注入方法)について紹介します。

1) 袋付きセグメントによる方法

この方法は、セグメント背面に事前に袋状のものを取り付け(一般的には3リングに1リングの間隔)ておき、セグメント組立て後、直ちに袋内注入することにより、余掘り部とテールボイドを仕切り、袋内への注入によりセグメントの早期固定を図るとともに、袋の後部の注入により地山の崩壊を防止することができる利点があります。しかし、短所として、袋間の空隙に泥水や添加材が

満たされている場合の対処や余掘り部の崩壊防止が困難な場合がありますので留意が必要です。

2) ミニパッカーによる方法

この方法は、セグメントの注入孔に布製の袋を装着した筒を差し込んで、セグメント組立て後直ちに注入し、セグメントの早期固定を図る方法です。袋付きセグメントに比べ比較的軽微な構造ですが、効果の確認が困難なことや一部の作業性が劣る場合があります。

以上紹介した方法のほかに、崩壊性地山を考慮した方法として、中間充填材注入工法(シールド内の注入孔から外周部の空洞に可塑性の充填材を注入して余掘り部を保持する方法)と前述した方法を組み合わせた「充填式シールド急曲線工法」や「クレーショック・ミニパッカー工法」もあります。

(文責: 大山 繁/鉄建建設(株))

参 考 文 献

- 1) 土木学会: 2006年制定・トンネル標準示方書, シールド工法編・同解説, 2006.7.
- 2) シールドトンネルの新技术研究会編: シールドトンネルの新技术, 土木工学社, 2001.10.
- 3) 土木学会土木施工研究委員会第3施工小委員会: 土木施工なんでも相談室, 1996.4.
- 4) 下水道新技术推進機構: 充填式シールド急曲線工法技術マニュアル, 2000.3.
- 5) (株)TAC: 急曲線補助工法「クレーショック+ミニパッカー」, <http://www.tac-co.com/etc/info3.html>

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会編 代表 鈴木 章

B5判 285頁 本体価格4,660円 円340円

本書は、最近のシールドトンネルの新技术を実務経験者を中心にまとめたものである。本書の特色は、シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性の現況をまとめたうえで、新技术について調査・計画編、設計・施工編とに分けて、その理論と実際についてソフト、ハードにわたり記載している。また、これらのことを実務にすぐさま活用できるように、付録としてセグメントの設計、地盤変位予測解析、施工計画についての計画・設計例も紹介し、実務者をはじめトンネル技術者のニーズに応えた内容となっている。

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL

推進技術関連11団体
合同懇親会開催

推進技術関連11団体(ユニコン協会、SHスーパー工法協会、ケコム協会、エスパー探査協会、ロックマン工法協会、コマンド工法協会、エンビ・ホリゾン推進協会、ベビーモール協会、沈設立坑協会、PIT&DRM協会、エースモール工法協会)は、4月24日にグランドプリンス赤坂別館(東京)で各協会の通常総会終了後、合同の懇親会を開催した。

懇親会冒頭、11団体を代表して、菊地真・ユニコン協会会長より、推進技術60周年を迎え、社会のニーズに応えるべく、更に技術の創意工夫に尽力していきたいと挨拶があった。

その後、国土交通省都市・地域整備局下水道部下水道企画課下水道事業調整官の加藤裕之氏から更なる下水道普及率アップと老朽管対策および地震対策に努めていきたいとあいさつがあり、次に日本下水道事業団理事長の石川忠男氏からはマスコミの落札率の報道に苦言を呈し、価格だけではなく技術力を含めた総合評価の重要性を述べられた。

来賓挨拶の後、山岡礼三・日本下水道管渠推進技術協会会長の発声で乾杯が行われ、懇親会は技術談義に花を咲かせ大盛況のうち幕を閉じた。

シールド工法技術協会
平成20年度定時総会開催

シールド工法技術協会は、5月26

日、セルリアンタワー東急ホテル(東京)で定時総会を開催した。

冒頭、小林将志会長は、「当協会も10年目を迎え、業界での位置も確固なるものとなった。発足に携わった方の先見の明に敬意を表したい。建設業界の景気はあまり芳しいものではないが、わが国の狭隘な都市の中では、ただ円形を掘るということではなく、さまざまな条件に対応し、多種多様な断面を掘削できれば、まだまだ発展の要素はあると思う」と述べた。

総会では平成19年度事業報告・収支決算、平成20年度事業活動計画・収支予算を審議し、満場一致で承認され閉会した。



4連めがねトンネルの貫通

国土交通省とNEXCO西日本で建設を進めている第二京阪道路における(仮称)小路トンネルが、5月8日に貫通した。

同トンネルは大阪府寝屋川市の丘陵部を貫き、自動車専用部2本、一般部2本の計4本からなる「4連めがねトンネル」となっている。

開削工法区間が約515m、NATM区間が約265mで、合計約780m。今回、貫通したのは、NATM区間で、これにより2002年10月から約1年8か月かけて、4本すべてのトンネルが貫通した。

掘削は、センターピラーを構築するための導坑を3本同時に掘削し、掘削完了後、鉄筋コンクリートでセ

ンターピラーを構築。トンネル本坑掘削は、先進坑掘削(一般部下り線、専用部上り線)と、後進坑掘削(専用部下り線、一般部上り線)に分けて掘削し、先進坑掘削が約150m進んだところで後進坑の掘削を開始した。土かぶり最大でも10mと非常に小さい未固結の砂質土層を掘削するため、トンネル掘削部の地盤改良を行うなど、安全にトンネルを掘るための補助工法も採用している。

現在、阪神高速8号京都線接続部~枚方東IC間の約11.4kmが供用し、残る枚方東IC~門真JCT(仮称)間の約16.9kmについて、平成21年度末の完成を目指して整備している。

花仙トンネルが貫通

鳥根県が整備する一般県道浜乃木湯町線「花仙トンネル」で5月21日、貫通式が行われた。

同トンネルは、L=190mで11月の竣工予定。

船越トンネルが貫通

兵庫県が整備する余部道路に位置する船越トンネルで、5月24日貫通式が行われた。

同トンネルは、L=2,983.5kmのNATMトンネル。余部道路(5.3km)の大半を占め、2010年度の完成予定。完成すれば、供用済みの香住道路と接続し、鳥取と京都を結ぶ地域高規格道路「鳥取豊岡宮津自動車道」の一区間として、地域交流の促進や救急医療の確保など大きな効果が生まれると期待されている。

(仮称)養瀬トンネルが貫通

徳島県が整備する主要地方道神山鮎喰線の養瀬バイパス工区における(仮称)養瀬トンネル(L=531m)で6月13日貫通式が行われた。来年9月の完成を目指している。

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL

アンダーパス技術協会
第3回定時総会開催

アンダーパス技術協会は去る6月18日アルカディア市ヶ谷(東京)で定時総会を開催した。

冒頭、植村誠会長は、「昨年度は大規模工事が多く、協会にとってはよい年であった」とあいさつした。

総会では平成19年度事業報告・決算報告、平成20年度事業計画・予算を審議し、満場一致で承認された。

その後、役員改選が行われ、現職の役員が再任された。

総会終了後、工法PR用DVDのサンプルが事務局より披露され、今年度は工法の普及活動にさらに力を入れていくとの説明があった。



遊井名田トンネル 貫通式

東北地整が整備する東北横断自動車道釜石秋田線遊井名田トンネルで、6月4日、貫通式がとり行われた。平成19年10月16日からトンネル本体に着手し、このたび無事貫通を迎えたもの。

同トンネルは、延長L=592mのNATMトンネルで、覆工の品質向上を目指し、コンクリートの養生はトンネルバルーンを用いるなどした。

瀬田・御嶽トンネル貫通

長崎県が整備する対馬市上県町瀬田、佐護を結ぶ国道382号に建設中の「瀬田、御嶽トンネル」の貫通式が6月16日行われた。瀬田トンネル

は全長166m、御嶽トンネルは1,200mの山岳トンネル。

供用開始は2009年春を予定し、開通により、現道3.7kmが2.1kmに短縮され、安全性向上や時間短縮効果が見込まれている。

柏島トンネル貫通式

高知県が整備する高知県幡多郡大月町一切の県道柏島二ツ石線L=約1.55kmに位置する、柏島トンネル(152m)の貫通式が、6月20日現地で行われた。

付替県道6号トンネルの貫通式

関東地整湯西川ダム工事事務所がダム建設工事の一環として建設を進めてきた、県道黒部西川線の付替県道6号トンネル(L=1,194m)がこのほど貫通し、6月24日に貫通式が行われた。

同トンネルは、平成18年3月2日から平成20年12月2日の工期で工事を進め、平成20年4月10日に貫通、現在までに坑口部までの処理が整ったことに伴い同日トンネル終点側坑口部において貫通式が行われた。

付替県道(11.5km)のトンネル計画10本の中で最長のトンネルで、掘削断面積A=54.6m²を、発破NATMにより掘削した。

阿寒トンネルが貫通

北海道開発局が整備する北海道横断自動車道本別一釧路間(延長65km)の阿寒トンネル(1,173m)で7月8日、貫通式が同トンネル内で行われた。

同トンネルは泥岩主体の地山を発破NATMにより釧路側から片押し施工を行い、このたび貫通したもの。

東京メトロ副都心線が開業

平成13年6月15日に着工した東京

地下鉄副都心線が丸7年の歳月を経て、6月14日、開業した。

同線は、池袋～渋谷間8.9kmに途中、雑司が谷、西早稲田、東新宿、新宿三丁目、北参道、明治神宮前の6駅を通る新規建設路線と、既設路線である有楽町線、有楽町線の池袋～和光市間からなる。

新設区間では、駅間の工区を、渋谷～新宿三丁目で複線シールド、新宿三丁目～西早稲田では単線シールドによるUターン施工、西早稲田～池袋では単線シールドとして9機のシールドを投入して掘削された。

また、駅部では、西早稲田駅で駅シールドによりUターン工法を用いて施工し、雑司が谷駅では単線親子シールドを用い、駅部掘削後、子機により雑司が谷～池袋駅間を施行した。その他の駅部は開削工法により施工されている。

同線は平成24年度には、渋谷駅で、東急東横線と相互直通運転を開始する予定で、完成すれば、横浜から埼玉県西部を結ぶ大動脈となる。

東九州自動車道津久見一
佐伯間が開通

西日本高速道路が整備を進めてきた、東九州道津久見IC-佐伯IC間(13.0km)が6月28日開通した。

同区間は、尺間山トンネル(2.6km)ほかトンネルが4か所、橋梁が17本など、構造物区間が多く、それぞれ路線の36%、32%を占める。

今回の開通に伴い、同道が大分県南地域まで延伸され、九州縦貫自動車道・九州横断自動車道とともに広域的なネットワークを形成し、アクセスの向上が図られる。

同区間の完成予定であった9月30日から早期に開通が可能となったことから、10月30日まで「早期開通割引」を期間限定で実施している。

連載講座

シールド工事の施工に関するQ&A(最終回)

JTA都市トンネル小委員会

Q45. 泥水式シールド工法で、土質別に泥水比重と粘性の適正値を教えてください。また、比重および粘性が高すぎたり低すぎた場合にどのような不具合が発生するか教えてください。

A.

(1) 泥水の役割

泥水式シールド工法は、地山の条件に応じて比重や粘性を調整した泥水を切羽およびチャンバ内に加圧し、その泥水圧によって切羽の土水圧に対抗させ切羽の安定を図りながら地山を掘削するものです。掘削した土砂はチャンバ内で送泥水と攪拌し、坑外へ流体輸送します。排泥水は坑外の泥水処理設備によって、泥水と土砂に分離し、泥水は、比重、粘性の調整を行った後、再び送泥水として循環利用します。

泥水式シールド工法における泥水の役割は以下のとおりです。

1) 切羽の安定

① 切羽面に泥膜を形成し、泥水圧を有効に作用させ、切羽に作用する土圧および地下水圧を抑えます。

② 切羽面からある程度の範囲の地盤内に浸透し、切羽地盤に粘着性を与えます。

2) 掘削土砂搬送

流体輸送中に掘削土砂の沈降を防止し、掘削土砂の流体輸送を容易にします。

以上により、泥水性状は、切羽の安定に対しては高比重、高粘性の方が望ましいのですが、反面、流体輸送設備および泥水処理設備の負荷が大き

表-1 泥水管理(比重、粘性)の参考値

項目	土質		
	粘性土	砂質土	礫質土
粘性(FV)	22~25秒	25~35秒	25~40秒
比重	1.10~1.20	1.15~1.25	1.20~1.30

FV: ファンネル粘性

なるため、掘削対象土質や粒度組成に応じて適正な泥水管理を行う必要があります。

(2) 泥水比重と粘性について

切羽の安定に有効な泥水の物性は、比重、粘性、ろ過特性および砂分量ですが、通常、現場では、比重と粘性を管理するのが一般的です。

1) 比重と粘性の適正値

比重と粘性の適正値を数値化するのには難しいので、土質別の泥水管理の参考値を表-1に示します。

切羽の安定している粘性土においては、流体輸送、泥水処理の容易さから、比重、粘性の管理値を低く設定しているようです。また、透水係数が大きい砂質土や礫質土においては、逸泥などにより泥膜が十分に形成されないため、適切な土粒子分を含有させて目詰り効果を持たせるとともに、比重、粘性の高い泥水が必要となります。

2) 比重

泥水の比重は、粘性と相関を持ち限界沈殿流速および泥水圧の設定に関係します。現場での比重測定はマッドバランス(写真-1)により測定するのが一般的です。また、処理設備の稼働状況により砂分が完全に回収できない場合、見掛けの比重は高くなりますので、砂分量の確認が必要です。

3) 粘性

泥水の粘性は、土粒子保持による切羽の安定および地山への浸透距離に関係します。泥水の粘性

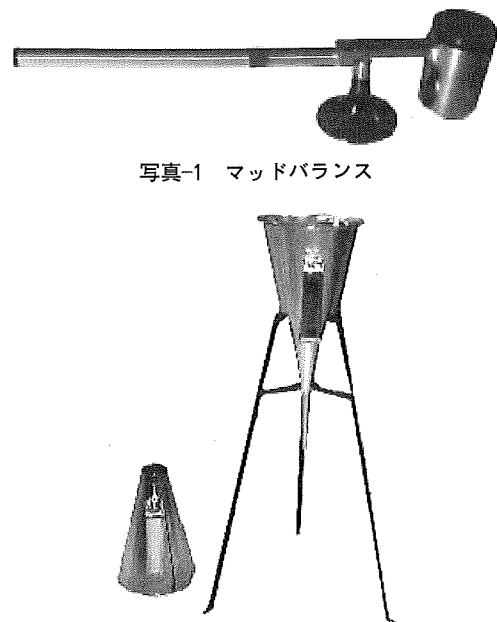


写真-1 マッドバランス

写真-2 ファンネル粘度計

は、ファンネル粘性(FV)およびイーールドバリュウ(YV)などで表されます。ファンネル粘性は測定が比較的簡単であるということもあり、泥水性状を知る目安として、一般的に使われています。ファンネル粘度計(写真-2)は漏斗型粘度計で、粘度の測定は、漏斗より500mlの泥水が流出する時間を測る方法であり、水の場合では18.5±0.5秒です。イーールドバリュウ(YV)は、回転粘度計(ファンネルVGメーター)による回転数600と300の読み値から、次式²⁾により算定します。

$$YV(N \cdot s/m^2) = 0.479 \times (2 \times T_{300} - T_{600})$$

T_{300} : 回転数300rpmのときの読み値

T_{600} : 回転数600rpmのときの読み値

イーールドバリュウ(YV)は流体が運動を続けるのに必要な力で、泥水のろ過特性、沈降などの指標となる重要な値です。ただし、YVの計測は煩雑なため、ファンネル粘性で代用されることが多いですが、崩壊性の砂層および砂礫層(透水係数 $1 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ 程度)掘削には用いられていることがあり、参考値としては5~10($N \cdot s/m^2$)の範囲で管理している場合があります。

4) 泥水品質管理

泥水性状は、掘削地盤の変化に大きく影響され、

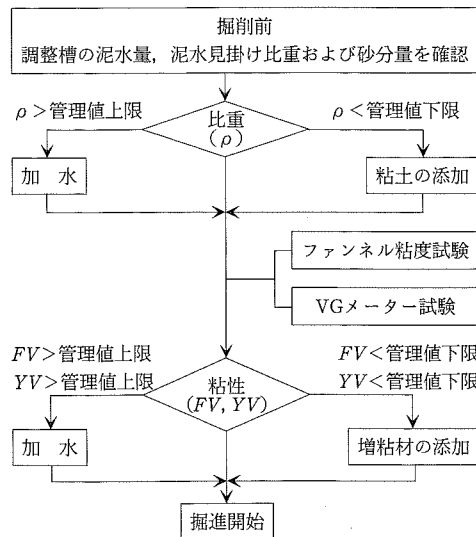


図-1 泥水管理フロー

品質が変化するので、常に物性を計測し、測定値が所定の管理基準値から外れたときは、必要に応じて粘土、増粘材などの材料の添加、加水による泥水の希釈などを行い所定の品質を保ちながら、掘進します。通常、泥水の調整は1リング掘進ごとに行いますが、工事条件によっては掘進中でも調整します。

図-1に泥水管理フロー²⁾を示します。

(3) 比重、粘性が高すぎたり低すぎた場合の不具合について

1) 比重、粘性が高すぎた場合

処理設備に負荷がかかり、処理が困難となったり、流体輸送の送排泥ポンプの負荷が高くなり、切羽水圧および送排泥流量を保持できなくなるため、掘削土砂がチャンバ内および排泥管内で閉塞することがあります。

また、粘性土層を掘削する場合、泥膜を介さなくとも泥水圧が地山に直接作用するため、泥水性状に関係なく、切羽の安定は図れますが、排泥水の比重、粘性が高くなり、面板のスリットおよびチャンバ内に粘性土塊が付着して閉塞し、掘進不能になるおそれもあります。この場合、泥水の対策としては、比重・粘性の低い泥水を使用するのが一般的ですが、泥水に分散剤を添加し、付着を防止する方法もあります。

表-1 埋設物や障害物調査に使用される物理探査

ボーリング孔の利用	分類	用途	適用範囲	精度	
なし	地中レーダ探査	パルスレーダ	地層構造、埋設物、地中障害物、空洞など	2~3m	±20cm
		ステップ式連続波レーダ		10m	±数十cm
	電磁探査	金属埋設物、地質構造	2~3m	±20cm	
あり	ボア・ホール・レーダ法	地下障害物の状況、地盤の性質	10~20m	±数十cm	
	弾性波速度検層	地下障害物(金属)の状況、地盤の性質	数十m		
	磁気探査				

注)適用範囲と精度については、用途に応じた機器についてのメーカー発表の参考値である^{1),2)}。

2) 比重、粘性が低すぎた場合

砂層および砂礫層においては、土粒子による地山間隙の目詰まり効果が期待できないため、逸泥量の増加、泥膜形成の遅れなどを生じ、切羽の崩壊につながります。また、掘削土砂が沈降し、流体輸送が困難となります。

(4) おわりに

泥水式シールド工法では、切羽泥水圧の管理とともに泥水の品質管理が重要です。切羽の状態は、目視で確認することができないので、切羽の安定を判断するために、シールド負荷(カッタートルク、シールドジャッキ推力)の計測、掘削土量と逸泥量の推移を含めた計測などにより、切羽状況を間接的に確認して、その掘削地盤に応じた泥水性状の適正値を決定する必要があります。掘進中はその適正値にもとづいた適切な泥水性状に保つことが重要です。

(文責：小山正幸/戸田建設(株))

参考文献

- 1) 平岡成明：地中連続壁の安定液，山海堂，1991.8.
- 2) シールドトンネルの新技术研究会：シールドトンネルの新技术，土木工学社，1995.1.

Q 46. 埋設物や障害物探査について質問します。探査方法の種類別に適応範囲と特徴や精度などを教えてください。

A. 埋設物や障害物の調査は、既存の資料調査と現地調査に分けられます。既存の資料調査は事前調査ともいわれ、埋設物についてはそれを管理している管理者の図面などで、障害物については過去の工事資料などから、位置、規模および深さなどの確認を行うものです。ここでの確認作業が正確にできれば、後の作業は比較的容易になります。現地調査は試掘やボーリングによる直接確認と物理探査による間接確認に分けられます。直接確認の調査は掘削地点のみの情報は得られますが、そ

の周囲を調べるには物理探査を併用します。

埋設物や障害物の調査として使用されている物理探査を表-1に示します。ここでは、物理探査を地表から実施する探査とボーリング孔を利用する探査に分けています。この中で、主に用いられている地中レーダ探査とボア・ホール・レーダ法および磁気探査について紹介します。

(1) 地中レーダ探査

1) 概要

地中レーダ探査は、地中における電磁波の反射・屈折・透過現象を利用して、それらの伝播時間から埋設物や地盤構造の位置・形状を画像化する探査です。この探査は、埋設物、障害物、空洞、地層境界および岩盤亀裂などの調査に使用され、もっとも普及している探査の一つです。

2) 特徴と適用上の問題点

この探査の特徴は、計測が非接触かつ高速であることと、高分解能(精度±20cm程度)であること、そして、計測対象は金属、非金属を問わず空洞も計測可能であるので適用範囲が広く、画像によって可視化することができることです。適用上の問題点としては、高周波数の電磁波を使用するので地中での減衰が大きく、探査可能深度が現状では2~3m程度であること、粘土地盤では測定精度が低下すること、また地下水水面下や金網・鉄筋などがある法面などの探査は難しいことです。探査可能深度については、最近、連続波レーダ探査技術が開発され10m程度まで実用が可能になっています。

3) 調査結果の例

道路下の埋設物調査では、送・受信アンテナの間隔を一定に保ち、一定速度で移動しながら計測しますが、この方法の実施イメージを図-1に示します。また、図-2に地層構造、埋設物および空洞の各測定パターン³⁾と実際に測定された埋設物の調査結果を示します。地層構造については、その境界、埋設管や埋設物については上に凸の双曲線形、空隙については水平線、空洞については双曲線形と水平線がそれぞれのパターンで濃淡表示されます。実際に測定された埋設物の調査結果では、深さ2m付近に地中埋設物による反射波が表れています。

(2) ボア・ホール・レーダ法

1) 概要

地中レーダ探査が地表から浅い位置(地表より2~3m程度)にある埋設物などを調査の対象とするのに対して、ボア・ホール・レーダ法は、地表から深い位置(地表より数十m程度)にある埋設物などを調査の対象としてボーリング孔を利用する探査です。この探査の原理は、ほぼ地中レーダ探査と同じで、地中における電磁波の反射・屈折・透過現象を利用して、それらの伝播時間や振幅減衰から埋設物や地盤構造の位置・形状を画像化します。

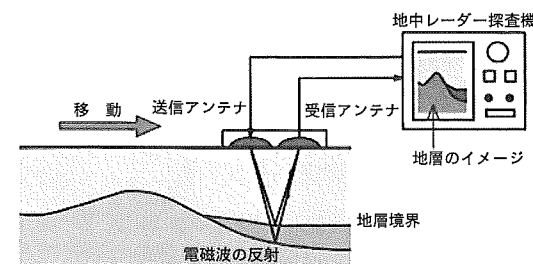
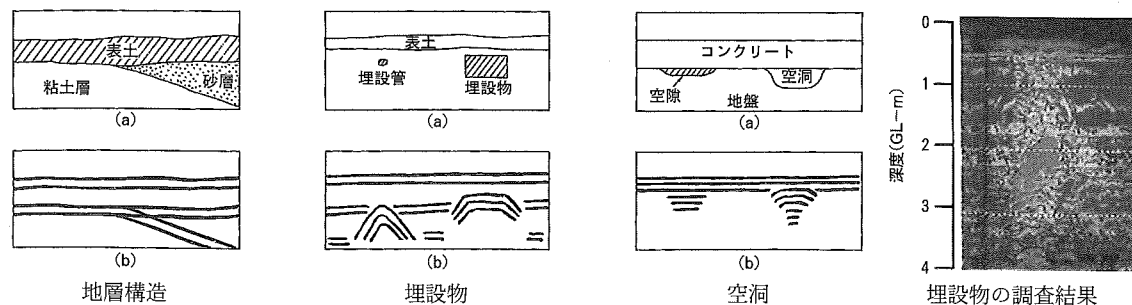


図-1 地中レーダ探査実施イメージ



注) : (a)は概略断面図, (b)は測定パターンを示す。

この図は物理探査ハンドブック(物理探査学会)³⁾より抜粋して掲載

図-2 地層構造、埋設物および空洞の各測定パターンと実際に測定された埋設物の調査結果

この探査の特徴は、計測が非接触かつ高速であることと、精度は±数十cmであること、そして、鋼製障害物の根入れ深度の調査には表-1に示した速度検層や磁気探査も適していますが、木杭や杭間隔の調査に適用できる技術はボア・ホール・レーダ法のみであることです。さらに、地下の障害物や地盤の性質の調査および地下水理の環境計測などに有効な探査です。適用上の問題点としては、地下障害物を調査する場合、ボーリング孔を利用するのでその近傍の情報のみしか得られず、その存在がある程度わかっていることを前提としていることと、地盤中の電磁波は減衰が大きく、適用範囲が10~20m程度となることです。

2) 特徴と適用上の問題点

この探査の特徴は、計測が非接触かつ高速であることと、精度は±数十cmであること、そして、鋼製障害物の根入れ深度の調査には表-1に示した速度検層や磁気探査も適していますが、木杭や杭間隔の調査に適用できる技術はボア・ホール・レーダ法のみであることです。さらに、地下の障害物や地盤の性質の調査および地下水理の環境計測などに有効な探査です。適用上の問題点としては、地下障害物を調査する場合、ボーリング孔を利用するのでその近傍の情報のみしか得られず、その存在がある程度わかっていることを前提としていることと、地盤中の電磁波は減衰が大きく、適用範囲が10~20m程度となることです。

3) 測定法の種類と調査結果の例

この探査の各種測定法⁴⁾と解析結果例を図-3に示します。この探査は、送・受信アンテナを直径100mm程度のボーリング孔に入れ、電磁波を地中に発信し受信するもので、送・受信アンテナを同じボーリング孔に入れて測定する反射法と、別々のボーリング孔に入れて測定する透過法および電磁波トモグラフィ法があります。

反射法は、地中の電気的性質が異なる境界面で反射した電磁波を受信し、その電磁波の反射した方向と往復時間から障害物や地層の亀裂・断層な

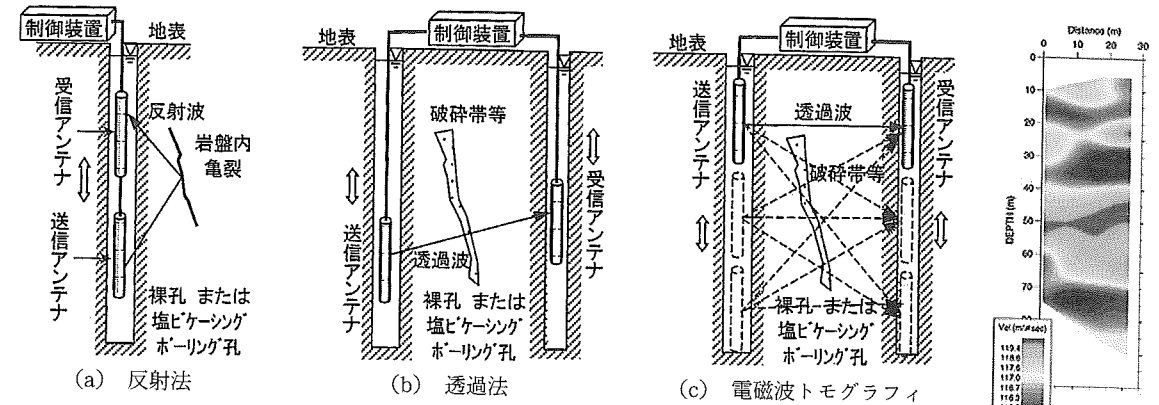


図-3 ボア・ホール・レーダ法の各種測定法⁴⁾と透過法の解析結果例

どを見つけるものです。ボーリング孔の近傍の調査に多く用いられます。

透過法は、地中を透過してきた電磁波の伝播時間と振幅減衰といった二つの異なる計測情報を利用して、ボーリング孔間の障害物・地質情報を2次元断面に画像化します。

電磁波トモグラフィ法は、透過法と方法は変わりませんが、電磁波の減衰が大きいため受信点から離れるに従い分解能は極度に低下するので、より多くの受信点で計測を行い精度を高めている方法です。

電磁波の速度と減衰にもっとも影響するのが地盤中の地下水で、ボア・ホール・レーダ法を使った探査は、地下水に富む亀裂などの地盤の弱い部分の検知には非常に優れています。通常弱い地盤は速度が遅く、減衰が大きくなります。図-3の解析結果例では色の薄い部分が良質な岩盤を、濃い部分が弱い岩盤を示しています。深度40mに岩盤境界があり上部より下部が良質なものになっています。

(3) 磁気探査

1) 概要

磁気探査は、鉄が磁化して極を持つことを利用して、この極を捉え、解析することにより位置を求める探査法です。調査対象は鋼製埋設物や鋼製障害物のみに限られます。

2) 特徴と適用上の問題点

この探査の特徴は、計測が非接触かつ高速であることと、精度は±数十cmであること、そして、

鋼製の基礎杭や土留め壁の根入れ深度、位置、規模などの確認が比較的簡易なデータ処理でできることです。適用上の問題点としては、地下障害物を調査する場合、その存在がある程度わかっていることを前提としていることと、鉄道・工場・幹線道路など都市部では磁場測定に人工磁気ノイズをもたらす要素が多く、測定精度が低下することです。

3) 測定法の種類と調査結果の例

磁気探査は、地表から浅い位置(地表より2m程度)にある埋設物などを調査の対象とする水平磁気探査と、地表から深い位置(地表より数十m程度)にある埋設物などを調査の対象としてボーリング孔を利用する坑内磁気探査があります。

水平磁気探査は、磁気センサを人が持って歩行して移動させる方法が一般的です。水平探査で探知できない深い位置の探査は坑内磁気探査で行います。磁気測定は、ボーリング孔内に磁気傾度計を挿入し、連続した磁気記録を測定して得られた磁気異常波形を解析することにより埋設位置および磁気量を求めます。図-4に磁性の変化と残留鋼製埋設物の磁気波形を示します。鋼製埋設物などによる磁界は、その上端、下端部分で変化しますが、その途中部分でも、材質(特性)の変化、構造(厚み)の変化、損傷などにより磁性が変化します。地中に残留された鋼製埋設物の残留磁気による磁気異常波形が図中の磁気記録に示されていますが、この波形によって埋設位置を確認することができます。

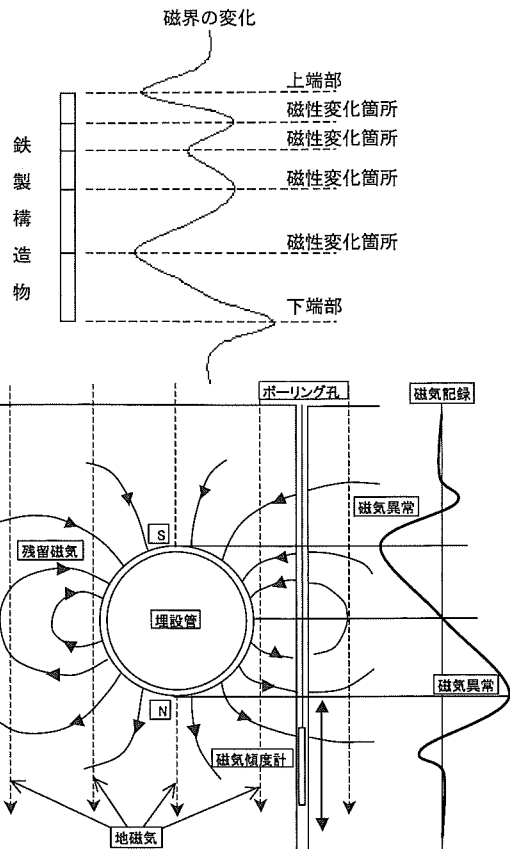


図-4 磁性の変化と存置鋼製埋設管の磁気波形

(4) まとめ

さまざまな期待をもって物理探査を適用しても、調査の精度をすぐに飛躍的に高めることは難しいと思われます。むしろ、既存技術をトンネル向けに最適化することが優先されるべきでしょう。それには、事前の調査を確実なものにするために、過去の資料の整備体制を充実させることやコアチューブを埋設位置まで設置してカメラ撮影する⁹⁾などの必要に応じた調査法を取り入れ使用していくことが必要です。また、物理探査などの間接確認技術の向上は、今後も期待されることです。

(文責：五味信治/りんかい日産建設(株))

参考文献

- 1) 日本物理探査(株)：物理探査手法技術紹介, <http://www.n-buturi.co.jp/technology/geophy/>
- 2) 川崎地質(株)：技術資料, <http://www.kge.co.jp>

- 3) 物理探査学会：物理探査ハンドブック，手法編，1998.
- 4) 物理探査学会物理探査要領作成委員会：物理探査適用の手引き(とくに土木分野への適用)，2000.3.
- 5) マイクロサンプリング調査会：テクノ・ウォーターホールズ, <http://www.microsampling.org/waterholes.html>

Q 47. NOMSTによる発進・到達で振動が起きたと聞きましたが、どのような状況で発生するのですか、また、対策はありますか？

A. NOMSTは施工実績が200件近くなり、シールド発進・到達の直接切削工法として普通工法に位置づけられるようになってきました。この間、各種条件で、施工を担当した各社がNOMSTの技術的な検討や施工を行い、適用性を拡大してきました。NOMST研究会は、施工結果の詳細なデータを得るために実績調査を実施し、施工上の留意点を整理して、「NOMST発進・到達の手引き」¹⁰⁾としてまとめています。今回の質問に対して、上記の調査結果をもとに振動発生要因を考察し、とくにNOMSTの施工で留意すべき項目を記述します。

(1) 騒音・振動の発生の現状

NOMST施工実績調査の回答件数は29件で、シールド工法別には泥水式21件、土圧式8件、また立坑形式別ではケーソン6件、柱列杭9件、連壁14件です。

1) 切削方数

図-1は、仮壁の種類別の切削に要した方数を表しています。昼夜で10方(5日間)以下が多いですが、16方(8日間)以上のケースもあり、掘進速度の低下や閉塞などの問題がありました。この中には切削不良によると思われる騒音・振動の発生事例が多く含まれています。また、連壁の種類には鋼製、ソイルモルタル、RCがありますが、トラブルが発生している種類はRC連壁で、切削性に問題が多いためと考えられます。

2) 切り込み深さ

ビットの切り込み深さ(図-2参照)の確保は、安定した切削にはとくに重要なことです。ビット先

端の形状は曲線半径1mm程度で製作しているため、この半径以上の切り込み深さを確保する必要があります。

図-3は、切削時のシールド切り込み深さ(掘進速度をカット回転数とNOMST用先行ビットのパス数で除したもの)の分布を示しています。切り込み深さ0.5mm以下のものは切削性が悪く、掘進速度が低下したことを表しています。ここでもRC連壁の事例は多いようですが、ケースにより切り込み深さにばらつきが大きく出ています。

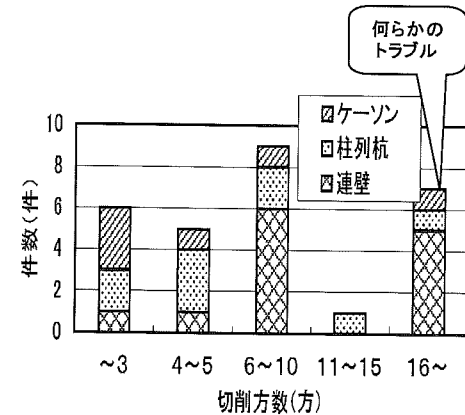


図-1 立坑形式と切削方数の関係

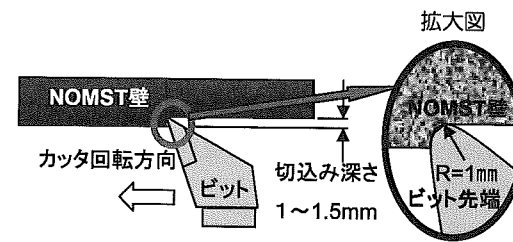


図-2 切り込み深さ

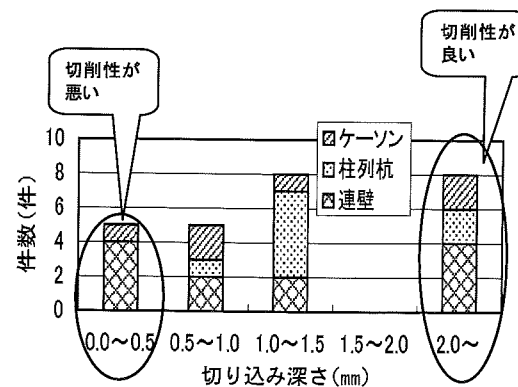


図-3 立坑形式とシールド切り込み深さの関係

今回の調査結果では、切り込み深さが1.0mm以下の場合、かつ立坑形式が連壁の場合に騒音・振動の発生がみられました。掘進速度が極端に遅い場合(掘進速度0.5mm/min以下)には、ビットが同じ箇所を切削し、その結果ビット摩耗を進行させているだけにしか過ぎません。したがって、NOMSTの効率的な切削を行う場合、切り込み深さを確保する掘進速度が必要であり、最低でも切り込み深さを1mm以上確保する必要があります。例えば、パス数が2パスで、カット回転数が1.0rpmのシールドでNOMSTを切削する場合には、掘進速度を2mm/min以上確保して施工する必要があります。

したがって、NOMSTでは1mm/min以下の掘進速度での切削が基本であると一般的に言われていますが、切り込み深さとの関係を保てば、掘進速度を1mm/min以下にする必要はありません。

3) 振動の意識調査

図-4は、施工担当者の振動に対する意識調査の結果です。振動の対策が必要と感じるレベルか感じないレベルかで分類しています。これは振動の大きさを問わない形式の意識調査ですが、RC連壁では多くの担当者は振動対策が必要と考えています。また、対策が必要と答えたRC連壁はすべてが矩形立坑で、円形立坑の担当者は不要と考えています。円形の場合、立坑壁体は圧縮力が卓越し構造的に安定するほか、矩形に比べ剛性も大きく変形が小さいためと考えられます。

4) ビット摩耗と振動

調査前、振動発生はビット摩耗に伴って到達時に多い、または、中小口径ではなく大口径に限ると推測していましたが、発進と到達での振動発生比率、さらにはシールド外径別の振動発生比率には違いが認められませんでした。シールド外径別に違いがないことは日本トンネル技術協会の「発進・到達実態調査報告」のアンケート²⁾の結果からも示されています(図-5参照)。一方、極端に掘進速度を落とした事例を除くと掘進後のビット摩耗が認められなかったとの調査結果もあり、ビット摩耗が振動の主原因ではないと考えられます。

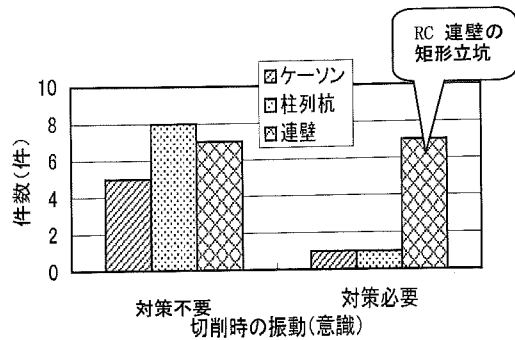


図-4 振動対策の意識調査結果

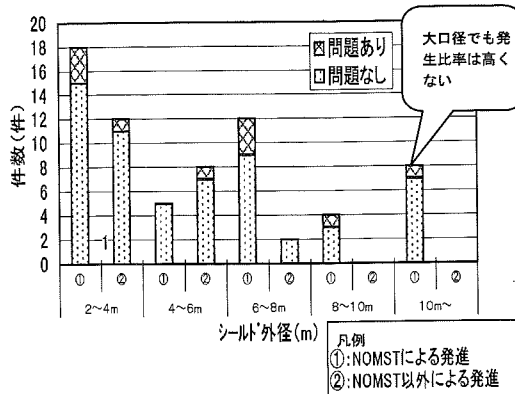


図-5 NOMSTとNOMST以外の直接切削工法における振動発生の有無

(2) 振動発生の要因調査

振動発生の要因を特定するのは困難ですが、聞き取り調査結果をまとめると以下ようになります。

- ・ケーソンやRC連続壁で、NOMST部の現場打ちコンクリートに石灰石の骨材が使われなかったこと。
- ・NOMST用先行ビット間隔を大きくしたため掘り残し部が撤去されず、ティースビットに当たったこと。
- ・NOMST用先行ビットとティースビットの高低差が少なくティースビットでも切削していたこと。
- ・先行ビットのチップの欠けやチップの脱落により未切削部ができたこと。
- ・NOMST用先行ビットの数を増やしたためトルクが大きくなり、掘進速度を上げられなかったこと。

- ・先行ビットのパス数を増したため切り込み深さを確保できなかったこと。
- ・シールド発進時、反力部材の剛性が低く変位が大きかったこと。
- ・到達掘進時、到達壁反力受けの強度剛性が低く変位が発生したこと。

(3) NOMST施工の留意事項

切削性の良否は振動の発生を防止するポイントです。とくに、大口径のRC連壁矩形立坑の場合には振動レベルが大きいと考えられ、切削性を向上させるための慎重な検討が必要です。

1) 立坑構築の留意事項

ケーソンやRC連壁で、NOMST部を現場打ちコンクリートとする場合、骨材に良質な石灰岩を用いてください。良質な石灰岩の入手が困難な場合は、プレキャスト材やモルタルの使用なども検討してください。

2) シールドの留意事項

NOMST用先行ビットの幅、間隔および先行量は、未切削部が剥離しやすい配置とします。ビット間隔は掘り残し部の幅をビット幅程度とし、先行量は掘り残し部の幅程度を確保した場合、切削性が良い結果が得られています(図-6参照)。ティースビットは背面肉盛り厚とピンタイプのガタに注意してください。この厚さを過度に大きくするとチップ先端がNOMST壁に直接当たらずに溶接部の背面で壁を擦ることになります。ビットの数と配置は切削トルクをチェックし装備トルクをもとに決めてください。パス数は推進時のビット切り込み深さが確保できるパス数としてください。

また、NOMST切削時では、安定した低推進速度での制御を可能とするため、シールドジャッキの油量を通常掘進の1/10~1/20程度まで制御できる専用の油圧制御装置が必要です。

3) 施工時の留意事項

施工にあたっては、シールドのトルクや推力の変化に注意し、切り込み深さを考慮した掘進速度を確保してください。また、掘進速度が小さいとビットの切り込み深さのばらつきが大きくなり、振動が発生しやすくなるため仮壁の固定とシール

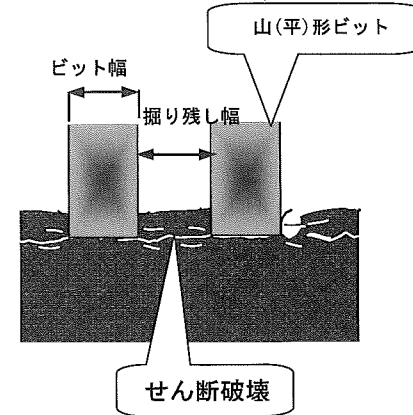


図-6 ビットの切削概念

ドの固定が重要となります。大口径での振動発生の主要因は壁の固定に問題があると思われ、とくに到達時の反力材の変形防止工による剛性確保が重要です。

(4) まとめ

NOMSTによる発進・到達では、仮壁とシールドを固定したうえでビットの切削性を確保し、掘り残し部を適切に処理することで振動を最小に抑えることができます。また、日本トンネル技術協会の「発進・到達実態調査報告」によると10m以上の大口径施工結果より、8件中7件は振動もなく無事切削が終了されていることを付記いたします。

(文責：早川淳一/佐藤工業(株))

参考文献

- 1) NOMST研究会：NOMST発進・到達工の手引き、2006.6.
- 2) JTA都市トンネル小委員会：シールド発進・到達実態調査報告(2)、トンネルと地下、Vol.36, No.2, pp.55-61, 2005.2.

連載講座を終えるにあたって

2007年7月より約1年にわたって連載してきました「シールド工事の施工に関するQ&A」講座は、今回をもって終了いたします。この間、本講座をご愛読いただきました読者の皆様に感謝申し上げます。

この講座は、シールド工法に関する皆様の日

常疑問に感じている点について解説し、Q&A方式にまとめたものです。回答は、現場の第一線で活躍されている技術者にお願ひし、若い技術者が現場ですぐ役に立つ、わかりやすい内容といたしました。

シールド工法は、今では日本の特殊工法ではなく、世界的に都市トンネルの代表工法と位置づけられています。シールド工法に関する技術者は、安全性確保と適応性拡大に、常に試行錯誤と創意工夫で対応してきました。このQ&Aを通じて、シールド工法の施工ノウハウを「技術の伝承」の一環として残すことができると考えております。同時に、この連載が今後のシールド技術の発展進歩に少しでも寄与できれば幸いです。

今回、施工Q&Aを始めるにあたって、関係者からいただきました質問案すべてを取り上げることはできませんでした。また、内容的にも限られた誌面で記述するのは難しく、説明不足な箇所や幹事会で議論を尽くせなかった項目もあったのでは、と危惧いたしております。

最後に、熱心に討議いただきましたWG委員、ならびに執筆者の方々に感謝いたします。(文責：中島泰彦/Q&A施工WG主査・(前)東京都下水道局)

Q&A連載講座掲載項目(掲載年月)

1. 発進準備工
 - (1) 発進基地の工法別、径別の最小および標準面積 (2008年2月号 Q26)
 - (2) 発進、到達時における地盤改良工法の種類と得失 (2007年10月号 Q12)
 - (3) 発進準備工の計画および施工上の留意点 (2007年9月号 Q8)
2. 掘進設備
 - (4) シールド仮設備の配置計画上のポイント (2008年2月号 Q27)
 - (5) 土砂搬出の方法と得失 (2007年7月号 Q2)
3. 測量
 - (6) シールドの長距離化に伴う坑外測量の新し

- い方法と留意点 (2007年7月号 Q3)
- (7) 中間立坑や測量観測孔がない場合の坑内測量方法 (2008年4月号 Q35)
- (8) 掘進管理測量における自動測量の現状、精度、信頼度 (2008年2月号 Q28)
4. 掘進管理
- (9) 土質条件に応じたシールドの姿勢制御のポイント (2008年1月号 Q21)
- (10) 掘進指示書作成のポイント (2007年8月号 Q4)
- (11) 工法別(泥水式、泥土圧)の掘削土量管理の方法、ポイント (2008年3月号 Q31)
- (12) 泥水式シールドにおける流体制御 (2007年8月号 Q5)
- (13) 密閉式シールドでの切羽圧の設定方法の考え方と留意点 (2007年9月号 Q9)
5. 一次覆工管理
- (14) セグメントのクラック・欠けの防止および補修の方法 (2008年3月号 Q32)
- (15) セグメントの防水工の種類とその特性 (2007年10月号 Q13)
6. 裏込め注入管理
- (16) 裏込め材料の種類と得失 (2007年11月号 Q14)
- (17) 同時裏込め注入装置の長所・短所および留意点 (2008年3月号 Q29)
- (18) 土質に対する裏込め注入管理上の注意点 (2008年4月号 Q33)
7. 泥水式シールドの泥水管理
- (19) 泥水式と土圧式で、どのような場合にどちらが有利となるか (2008年6月号 Q40)
- (20) 土質別泥水比重と粘性の適正值および泥水管理上の不具合 (2008年8月号 Q45)
- (21) 泥水式シールド工法の逸泥や噴発に対する対処方法 (2008年6月号 Q41)
8. 土圧式シールドの添加剤管理
- (22) 泥土圧シールド工法の添加剤の目的と選定 (2008年1月号 Q22)
- (23) 土圧式シールド工法でのポンプ圧送が可能

な地山条件と添加材 (2007年11月号 Q15)

9. 環境対策

- (24) 泥土圧シールド工法での建設汚泥の判断基準 (2007年11月号 Q16)
- (25) シールド掘進時の低周波音対策と効果 (2008年5月号 Q36)
- (26) シールド掘進に伴う地盤変状のメカニズムとその防止対策 (2008年3月号 Q30)
10. 急曲線対策
- (27) 急曲線施工における補助工法の必要性和有効な方法 (2008年7月号 Q43)
- (28) 急曲線での施工管理方法 (2008年7月号 Q44)
- (29) 中折れ装置を装備する基準とその使用・管理方法 (2007年7月号 Q1)
- (30) 急曲線施工時の必要余掘り量の考え方とその使用時期 (2007年11月号 Q17)

11. 近接施工

- (31) 既設構造物に近接して施工する場合の対策の要否の判定 (2008年5月号 Q37)
- (32) 近接施工による既設構造物の挙動予測解析 (2008年1月号 Q23)
- (33) 近接する既設構造物への影響を防止する対策方法 (2008年6月号 Q39)
- (34) 近接施工における現場計測管理 (2007年9月号 Q10)

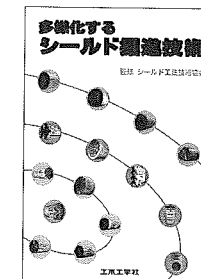
12. 大深度・長距離施工

- (35) 大土かぶりシールドにおける計画の留意点 (2007年8月号 Q6)
- (36) カッタビットの摩耗予測方法と摩耗低減方法、交換方法と留意点 (2008年4月号 Q34)
- (37) 地中接合方法と施工上の留意点 (2007年9月号 Q7)

13. 障害物対策

- (38) 埋設物や障害物探査に対する探査方法と適応範囲 (2008年8月号 Q46)
- (39) 礫地盤で想定されるトラブルの要因と留意点 (2008年2月号 Q25)
- (40) 基礎杭の事前撤去方法 (2007年12月号 Q18)

- (41) 障害物をシールドで切削撤去する工法 (2007年12月号 Q19)
- (42) 発進・到達で仮壁撤去工法と仮壁切削工法の得失 (2007年10月号 Q11)
- (43) NOMSTによる発進・到達時の振動の発生要因と対策 (2008年8月号 Q47)
- (44) Uターンなどシールドを引き出す場合の坑口設備と補助工法 (2007年12月号 Q20)
- (45) 到達坑口からの漏水対策 (2008年1月号 Q24)
15. トラブル等
- (46) 同時裏込め注入管を使用する場合の問題と対処方法 (2008年5月号 Q38)
16. 思い込み等
- (47) NOMSTによる発進方法で地盤改良は必要か (2008年7月号 Q42)



多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会
B5判 141頁 本体価格2,500円

本書は、「トンネルと地下」に約1年間にわたり連載した『多様化するシールド掘進技術』をベースとして、掲載しなかった工法、技術などを整理、体系化するとともに、各種工法の境界、システム・考え方の違い、適用での留意点が、よりわかりやすいように手を加え再度同名の図書としてシールド工法技術協会が監修を行ったものである。

【掲載工法】

①ラチス式同時施工シールド工法、②F-NAVIシールド工法、③ハニカムセグメントを用いた同時施工法、④ロングジャッキ式同時施工シールド工法、⑤ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法、⑥充填式シールド急曲線工法、⑦地下茎シールド工法、⑧T-BOSS工法、⑨球体シールド工法、⑩上向きシールド工法、⑪MMST工法、⑫拡大シールド工法、⑬偏心多軸(DPLEX)シールド工法、⑭ワギング・カッタ・シールド工法、⑮自由断面シールド工法、⑯OHM工法、⑰H&Vシールド工法、⑱単円～三連型駅シールド工法、⑲MFシールド工法、⑳DOT工法、㉑MSD工法、㉒親子シールド工法、㉓拡径シールド工法、㉔DSR工法、㉕泥土加圧シールド工法、㉖ケミカル・プラグ・シールド工法、㉗気泡シールド工法、㉘コンパクトシールド工法、㉙既設シールド撤去工法

株式会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072