

線路下横断工法

トンネルと地下 連載 2000.10～2001.8

目次

- 第 1 回 線路のはなし、調査・計画
- 第 2 回 開削工法、一般トンネル工法
- 第 3 回 フロンテジャッキング工法
- 第 4 回 アール・アンド・シー工法
- 第 5 回 ESA 工法
- 第 6 回 URT 工法
- 第 7 回 PCR 工法、パイプルーフ工法
- 第 8 回 HEP&JES 工法
- 第 9 回 計測管理、路盤陥没対策、補助工法他
- 第 10 回 施工法の選定、線路への影響予測他
- 最終回 Q&A

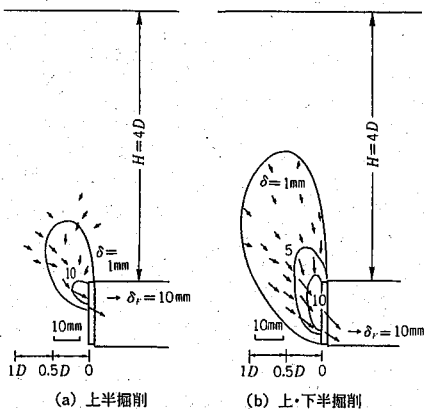


図-2 掘削時の等変位線と変位ベクトル(土かぶり比:4)

改良範囲(長さ)は、その打設角度からフォアボーリングに比べて短くなりますが、改良幅は厚くなるのが特徴と言えます。

(3) フォアボーリングの打設(作用)効果

フォアボーリングの打設効果は、まず亀裂性の地山では切羽掘削に先立ってロックボルトを斜め前方向に打設することによって、天端部の岩塊ブロックを縫い付ける作用が生じて、擬似的に亀裂間の付着力を高めてキーブロックの落下や抜け落ちを抑制する機能を発揮します。

また、未固結(土砂)地山におけるトンネル切羽や天端部の挙動⁹⁾では、図-2(a)、(b)に示すようにトンネルの掘削に先行して切羽前方および天端部に掘削面積に依存するように変形(緩み)領域が発生する傾向があります。

このような状況下では地山強度に依存した場合には、とくに切羽やトンネルの天端部において緩みが進行してグラウンドアーチが形成されずに天端の崩落・抜け落ちや鏡面の崩壊が発生しやすくなります。

そこで、これらの領域に斜め打ちボルトもしくはフォアボーリングを施工することにより、天端部の地山をロ

ックボルトで早期に改良することで、グラウンドアーチをトンネル掘削以前に形成させ、同時に地山の見かけのせん断強度の向上や緩み領域の拡大を防止して、切羽や天端部の崩落防止を図る補助工法と言えます。

(4) 注入式フォアボーリング

また最近、フォアボーリングボルトの間から地山の抜け落ちが懸念される場合には、地山の改良効果をより確実にする注入式のフォアボーリングの採用や施工が数多く行われています。

これは注入材により強制的に、ボルト周辺の地山に固結体を形成させることにより、地山内により強固なグラウンドアーチゾーンを形成させて、確実に切羽や天端部の崩落や抜け落ちを防止するものです。

このようにフォアボーリングは掘削に先立ちロックボルトや鋼管をアーチ部外周に斜め前方向に打設することで、ロックボルトの縫い付け効果と地山改良効果を用いてトンネル掘削以前に天端部地山にグラウンドアーチを形成させる補助工法であると言えます。加えて、その施工性・経済性からも施工中のトンネル切羽や天端部の安定を図る補助工法の中でもっとも一般的であり、亀裂の多い硬岩から土砂まで幅広い地山状況に対応できる補助工法であると言えます。

(文責: 須藤敦史/(株)地崎工業)

参考文献

- 1) 土木学会、トンネル標準方書(山岳工法編)・同解説、pp. 231, 1996, 7.
- 2) 田名瀬寛之、芹川博、山本宏司、菅正: 軟岩トンネルのTWSによる急速化施工(1)、北陸自動車道山王トンネル、トンネルと地下、第29巻10号、1998, 10.
- 3) 田名瀬寛之、芹川博、山本宏司、菅正: 軟岩トンネルのTWSによる急速化施工(2)、北陸自動車道山王トンネル、トンネルと地下、第29巻11号、1998, 11.
- 4) 上野 洋・足立紀尚・八島 厚・湯浅康則: 砂質地山トンネル掘削に伴う切羽前方の地山挙動について、第21回土質工学研究発表会講演集、pp.1683-1686, Vol. 2, 1986.

E. フック・E. T. ブラウン共著 岩盤地下空洞の設計と施工

理学博士小野寺透・工学博士吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳

B5判・442頁・上製本 本体価格9,800円(〒450円)

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

連載講座

線路下横断工法(1)

線路のはなし、調査・計画

連載を始めるにあたって

トンネルの施工法としては、開削、NATM、シールド、押し管などがまず浮かんでくる。また延長も、青函トンネルのように、40kmを超える特別なものは別に、でも、数kmと長いイメージが一般的である。

今回取り上げる「線路下横断トンネル」は、その名のとおりに線路を横断するためのトンネルであり、延長も数メートルからせいぜい100メートル程度の、一般のトンネルから見れば「点」のような小規模なものである。

ただし、写真-1, 2に示すように電車や列車を走行させながら土かぶりがほとんどないという厳しい施工条件が伴うことから、独特の各種特殊工法が開発適用されてき

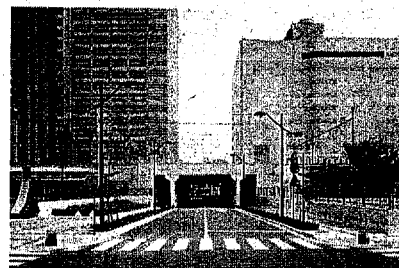


写真-1 土かぶりがほとんどない線路下横断例(その1)

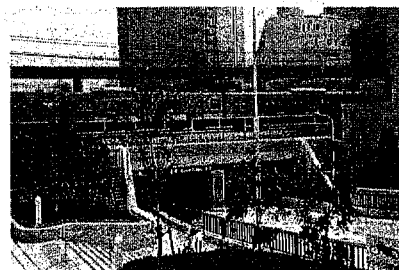


写真-2 土かぶりがほとんどない線路下横断例(その2)

「線路下横断工法」連載講座小委員会

表-1 連載講座: 線路下横断工法の構成(予定)

第1回	線路のはなし、調査・計画
2	開削工法、一般トンネル工法
3	フロンテジャッキング
4	アール・アンド・シー
5	ESA
6	URT
7	パイプルーフ、パイプビーム他
8	JES
9	計画管理、変状対策、補助工法他
10	施工法の選定、線路への影響予測他
11	Q&A

た。これらは、現在も改良発展中であり、今後も新しいアイデアが採用されるケースも十分に想定される。また、安全が一般の工法に比べてより優先されるため、建設費も割高になっており、コストダウンも大きな課題である。

本講座では、一応、線路下横断工法として取り上げるが、線路以外の道路や埋設物などの横断でも幅広く利用されており、トンネル工事や維持管理に従事する技術者にとって十分に参考となる講座内容である。

企画した本講座の全体構成を表-1に示す。

1. 線路のはなし

施工法の説明に入る前に、まず「線路」についてその構成や特質を概説する。

線路とは、レール、マクラギ、道床で形成される「軌道」と、それを支える「路盤」および「構造物」で構成されている。日本工業規格JISでは、「列車または車両を走らせるための通路、軌道およびこれを支持するために必要な路盤、構造物を包含している地帯」とされている。

1-1 線路の基本構造

もっとも一般的なバラスト軌道を図-1に示す。

軌道を支えるために天然地盤を加工してつくった人工

意施設である。また、分岐器(ポイント)は通常の軌道に比べ、前述の管理値がとくに厳しく設定されていることから、通常は計画時点でできるだけ影響範囲に横断構造物を計画しないことが得策である。

2. 調査・計画

計画に先立ってまず調査を行う。調査が不十分であると、不適切な構造形式や施工法を選定したり、思わぬ障害に遭遇して工費や工期の大幅な増大をきたすこととなる。

計画にあたっては、用途に適合し、列車運行への影響が少なくかつ安全であり、周辺に対する影響が少ない構造形式、施工法、補助工法などを選定しなければならない。

2-1 調査一般

調査は、線路条件、立地条件、既設構造物、線路下支障物、地形、地質、地下水、環境、法規および規制などのうち必要な事項について実施する。

とくに近年は、土かぶりの小さい状態でのけん引や推進工法が採用されるケースが多く、線路下支障物の調査は可能な限り実施した方がよい。

調査は、できれば何段階かに分けて実施することが望ましく、計画および施工法選定段階で予備調査と先行調査を、設計施工段階で事前調査・本調査・精密調査を、その計画件名の目的に適合した方法と精度で、必要項目について行う(表-2)。

2-1-1 計画および施工法選定段階

予備調査として、まず資料による調査と現地踏査を行う。これらは、以後の調査を効果的に進めるためにも大切で、とくに現地の地形や環境条件の把握を急に行うことが重要である。引き続き先行調査を実施する。先行調査では、土質の成層状態と地下水の調査を重点的に調べるが、合わせて、線路下支障物調査を行うことが望ましい。

また、線路下横断工事特有の調査として、線路内に立ち入るとき必要となる「線路閉鎖工事」の可否、「徐行」の可否、設定できる徐行速度や徐行期間、各種線路内工作物の有無と防護方法などについて、関係機関(鉄道事業者)との協議がある。これらは、基本計画にも大きく影響を及ぼすことから、支社や本社の他、現地の線路を保守している保線区などとも十分な協議による調査が大切である。

2-1-2 線路下支障物調査

調査法には、ボーリングと鉄筋棒やハンドドリルによる探針のほか、つば掘りによる試掘がある。これらは接触式調査法で、これまで一般的に用いられてきた調査法であるが、軌道内や調査時間の制約を受けるものも多い。最近では、地下レーダー探査や弾性波探査、電気探査な

どの非接触式調査法が開発実用化され、精度も飛躍的に向上し、多くの現場で採用されるようになってきた。

2-1-3 設計施工段階

事前調査として、着手前の周辺状況や建物・井戸調査などを行う。引き続き本調査を実施するが、ここでは、地質や地下水について、現位置試験を含め設計施工の重要な諸数値を求める。

本調査の結果、さらに必要と認められるものについては、精密調査を行う。

2-2 計画一般

計画の基本は、施工箇所の列車の運行と工事の安全を確保できるかの検討にある。検討の結果、安全の確保が困難となった場合は、計画位置(平面的、縦断的)の変更が望ましい。しかし、諸般の事情から位置の変更ができない場合は、実施可能な各種対策を講じることにより、改めて問題の解決を図れるかどうか検討する。それでもなおかつ危険な要素が残る場合は、やむを得ず計画の再検討を行わざるを得ない。

2-2-1 計画にあたっての留意点

線路下横断工事の計画は、その後の設計施工や工事費に与える影響がもっとも大きく、他の工事に比較して、とくに計画が重要な要素を占めている。

鉄道事業者にとっては、列車運行に与える影響が小さいことが何よりもまず第一条件であり、横断構造物の事業者にとっては、安全はもちろん建設コストや完成後のメンテナンスコストも重要な計画要素である。

このような状況を踏まえ、これまで行われてきた多くの線路下横断工事の施工経験にもとづく、計画にあたっての留意点は以下のとおりである。なお、表-3は東日本旅客鉄道(株)(以下、JR東日本と略す)で使用している計画時の基本的確認項目チェックシートである。

(1) 鉄道事業者が調査計画段階から参画する

列車を安全に走行させながら工事を行わなければならないことから、鉄道に係わる各種制約に詳しく、施工経験も豊富な鉄道事業者が参画することが望ましい。そうすれば、以後の設計・施工段階での手戻りが少なく、結果として工期やコスト面で良い結果を得ることができる。

(2) 構造形式は、箱型ラーメン構造、リング構造、アーチ構造を標準とする

これは、シューを用いない構造のため完成後のメンテナンスコストが安価になるためである。

(3) 土かぶりは2m以上を標準とする。

施工時の陥没事故を防ぐためにも十分な土かぶりが必要である。しかし道路を新設する場合、前後の道路との取り付けや規程内の縦断勾配からやむを得ず土かぶりが小さくなるケースがよく見受けられる。あらゆる可能性

表-2 調査の順序と内容

項目	調査目的	主な調査項目	判定事項
調査段階	予備調査	1. 地図類調査 2. 調査観測記録 3. 自然地盤沈下 4. 環境の調査 5. 既設構造物 6. 盛土材料	1. 地盤の概略把握 2. 地下水状態(水圧、被圧地下水位) 3. 既設構造物の設計・施工に関する記録と変状の有無 4. 騒音・振動などの規制の有無 5. 盛土内の玉石、礫などの怪
	踏査	1. 地形の変化および地質の観察 2. 地下水調査 3. 立地条件、支障物、環境などの調査	1. 露頭の地質(砂礫、砂質土、粘性土、風化土、崖壁など)および地形(地すべり、おぼれ谷など)の判定 2. 法面保護、地表の状態、植物の観察 3. 地下水位、湧水箇所などの観察 4. 用途地域の調査による施工法などの確認
	関係機関との協議などによる調査	1. 河川、道路、埋設物などに関しては、それらの管理者と打ち合せ協議などにより調査を行う。	1. 道路、河川管理者などとの協議 2. 保守区の人からの聞き取り調査 3. その他管理者との協議 4. 工事関係社(施工担当者、地域住民など)からの聞き取り調査
	先行調査	1. 標準貫入試験などのサウンディング 2. 乱さない資料による土質試験(物理、力学、工学試験) 3. 地下水関係調査	1. 土質の成層状態と支持層の概略選定 2. 圧密沈下の有無 3. 地下水の状態、水質
設計・施工段階	線路下支障物調査	1. 構造形式、施工法の選定のために線路下の支障物調査を行う。	1. 支障物の位置、形状、材質など
	事前調査	1. 施工前の周辺の状況を把握する。 2. 井戸調査	1. 建て付け、ひび割れ、傾きなど 2. 使用状況、水位、水質など
	本調査	1. 構造物の設計施工に必要なデータを得るために本調査を行う。 2. 原位置試験(工学、力学試験)	1. 土圧、沈下などの算定に必要な土質諸数値を得ること 2. 地下水の自然水位・流動、被圧地下水などの確認 3. 施工時の安定の確認(ヒービング、ボーリング、盤ぶくれ、切羽の安定など)
精密調査	本調査	1. 特殊調査 2. その他	1. 特殊調査 特殊条件(地すべり地帯、凍土、特殊土、水質、有毒ガスなど)が設計施工に及ぼす程度を確認 2. その他 本調査に準ずる

を調査して、線路下での土かぶりをできるだけ大きく取るよう、計画段階での検討が重要である。

(4) 分岐器区間を避ける

鉄道の分岐器は、精密な構造となっているため通常でもその保守がきわめて難しい状況にある。保守の管理値も一般部と比べかなり小さく設定されていることから、この区間での横断は極力避けるようにしている。

(5) 必要な施工余裕を確保する

推進やけん引といった特殊な方法で構造物を構築するため、通常の工事現場で見込む施工精度を確保できないケースが多い。したがって、過去の実績などを参考に、現場の条件などを勘案して十分な施工余裕を計画段階から見込んでおくことが大切である。なお、軟弱地盤では、想定される長期の圧密沈下を加味した施工余裕を確保し

表-3 計画の基本的確認項目とチェックシート例

種 別	項 目	記 事
目 的・用 途	鉄道・車道・歩道・河川 水路・共同溝・上水道・下水道他	
横断構造物の例	道路規格(○種○級) 設計速度($V=○\text{km/h}$)	
	計画位置 平面線形 縦断線形 その他	交差角度 曲線半径, 曲線長, 緩和曲線長, 視距 縦断勾配, 縦断曲線 (添架物, 埋設物)の有無
	幅	車道構成(車線数・幅員・中央帯・その他) 歩道幅員(自転車通行の有無), 排水溝
	高さ	建築限界(車道, 歩道) 横断勾配, 合成勾配 舗装厚, オーバーレイを考慮 その他(排水溝, ポンプ室, 照明設備)
	長さ	横断延長
	河川等級(○級河川) 計画洪水流量($Q=○\text{m}^3/\text{s}$) 河川改修計画の有無	
	平面線形 縦断線形 その他	曲線半径, 曲線長 縦断勾配 添架物, 埋設物
	幅	計画河川幅
	高さ	計画河床高, 計画高水位, 桁下余裕高
	長さ	横断延長
線 路 条 件	線路等級(○級線), 設計荷重, 電化・非電化 線路本数 分岐器の有無 レール種別(ロングレール, 定尺レール) 平面線形(直線, 曲線), 縦断線形(勾配, 縦曲線) 支障物(電柱, ケーブル類, 地下埋設物類) 列車本数 線路閉鎖工事の可否, 時間 徐行の可否, 速度, 期間	
	地 質 条 件 ・施工部分 ・支持地盤	土質, 土質強度, 地下水位(被圧の有無) 土質, 土質強度, 地下水位(被圧の有無)

ておく必要がある。

(6) 立坑は極力線路から離れた位置にする

鉄道事業者は、列車の安全運行のため、一般に線路近傍作業に各種制限を加えている。したがって、線路下横断工事にあたっての資材の搬入などに制約を受けない位置に立坑を計画することが望ましい。JR東日本では、線路の施工基面の縁端から5m以上離すことを標準としている。

(7) 工事用のヤードはできるだけ広く確保する

一般の工事でもいえることだが、線路下横断工事は狭く制約の多い特殊な工事となることから、安全で能率的

な施工が可能となるようできるだけ広い作業ヤードを確保するのがよい。なお、表-4にこれまでの施工事例から求めた各工法で必要とする立坑の大きさを示す。

2-2-2 施工法の分類(図-8)

線路下横断工事は、大きく開削工法と非開削工法に分類できる。

一般的開削工法は工事術工法とも呼ばれ、軌道を仮基礎と工事術(仮の桁)により仮受けし、仮受け後に軌道下を掘削して躯体を構築する工法である。

非開削工法は、軌道上からの掘削に代わり、軌道の側方からトンネル方式で掘削を行い躯体を構築する工法で

表-4 施工別立坑の大きさの目安

	非 開 削 工 法										
	エレメントけん引 (HEP 工 法)						エレメント推進工法				
	JES 工法	エレメン ト横締め 工 法	URT 工法	PCR 工法	NNCB 工 法	パイプ ーフ工法	パイプビ ーム工法	JES 工法	エレメン ト横締め 工 法	URT 工法	PCR 工法
発進坑	1エレメント長 (分割長) + 刃口長 + α						1エレメント長 (分割長) + 推進機長 + α				
到達坑	ジャ ッ キ 長 + α										

	非 開 削 工 法										
	エレメント推進			函体けん引工法		函 体 推 進 工 法					
	NNCB 工 法	パイプ ーフ工法	パイプビ ーム工法	フロンテ ジャッキ 工 法	B R 工法	刃口推進 工 法	セ ミ シールド 工 法	ホリゾン タルオー ガー工法	ESA 工法	S C 工法	S B 工法
発進坑	1エレメント長 (分割長) + 推進機長 + α			1 函体長 + 刃口長 + α	箱型ルーフ (分割 長) + 推 進延長 + α	刃口長 + 管体長 + α	シールド 延長 + α	1 管体長 + 推進延 長 + α	3 函体長 + α	箱型ルーフ (分割 長) + 推 進延長 + α	箱型ルーフ (分割 長) + 推 進延長 + α
到達坑	—			(片引き) ジャッキ 長 + α (両引き) 1 函体長 + 刃口長 + α	(片引き) ジャッキ 長 + α	刃口長 + α	同 上	—	刃口長 + α	箱型ルーフ (切断 長) + α	箱型ルーフ (切断 長) + α

凡例: α = 施工余長

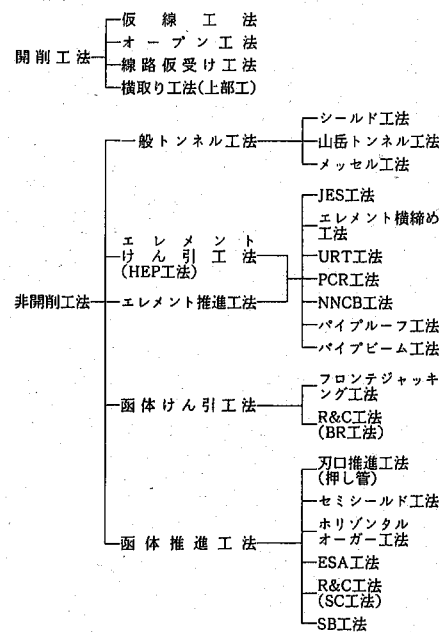


図-8 施工法の分類

あり、分類方法によっては十数種類の工法が存在する。
(文責: 土井博己・東日本旅客鉄道(株)建設工事部構造技術センター担当課長)

参 考 文 献

- (社)日本鉄道施設協会: JR東日本編 線路下横断工計画の手引き。
- 東日本旅客鉄道: 線路構造と管理, JR東日本社内通信研修講座テキスト。

Q 大 募 集 /

線路下横断工法の連載講座は11回を予定していますが、最終回で、皆さんからの質問に答えるQ&Aを企画しています。

どんな些細なことでも結構ですので、どしどし質問して下さい。質問状は、土木工学社宛にて、郵送またはFAXをお願いします。その際、氏名・年齢・会社名・連絡先を明記して下さい。

なおQ&Aに取り上げる場合は、会社名や氏名は伏せて取り扱う予定です。

送付先: 土木工学社

住 所: 〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16番地
メイジャー神楽坂

FAX: 03-3267-2807

(4) 定着メカニズムと定着力

鋼管膨張型ボルトの定着メカニズムを、図-1により説明します。

①は、ボルトが孔内に膨張している段階であり、ボルト自体が膨張するために必要な水圧が载荷されています。この水圧を膨張ポンプ圧 P_0 といい、約15~20MPa程度です。

②は、ボルトの膨張が穿孔径まで達し、さらに地山を押し広げることで、荷重圧力が増加する段階です。このときのポンプ圧と膨張ポンプ圧の差が、実際に地山に伝達される圧力 P_i であり、荷重した最大の水圧を P_{max} とすれば $P_i = P_{max} - P_0$ で表されます。

③は、荷重した水圧を解放する段階で、いったん孔の半径方向に生じた地山のひずみが解放されること、いったん膨張した鋼管ボルトが形状を保持しようとするにより、両者の間に接触圧が発生しています。

この圧力と変位の関係を模式的に描いたのが図-2です。図中では、施工過程での変位を下記の3種類に分類して考えます。

u_{00} : 水圧解放後の鋼管膨張型ボルトの収縮変位

u_r : 接触圧 q での鋼管膨張型ボルトの変位

u_i : 接触圧 q での掘削孔の変位

図-2より、圧力 P_i による孔壁の変位量 $U_i > u_{00}$ のと

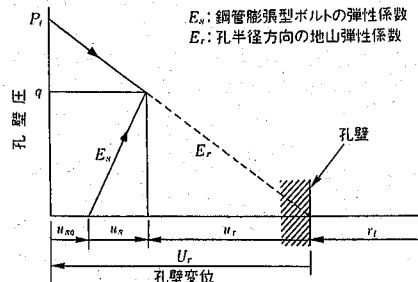


図-2 接触圧発生メカニズム⁹⁾

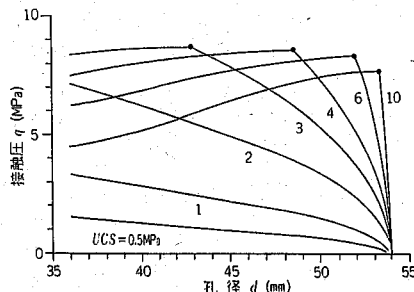


図-3 穿孔径と接触圧の関係⁹⁾

きに接触圧 q が生じ、その差 $(U_i - u_{00})$ が大きいほど接触圧 q は大きくなることがわかります。

実際に得られる接触圧は、穿孔径や岩盤の強度によって、図-3のように推定することができます。同図は最大水圧 $P_{max} = 24\text{MPa}$ のときの一例ですが、地山の一軸圧縮強度(UCS)が2~10MPaの軟岩地山では、穿孔径を適切に設定することにより最大7~8MPaの接触圧が得られることがわかります。

一方、硬岩地山では、同じ最大水圧 P_{max} においては圧力 P_i による孔壁の変位量 U_i が軟岩の場合よりも小さくなることから、得られる接触圧は比較的小さくなります。すなわち、硬岩地山では P_{max} を大きくすべきであることがわかります。実際には、硬岩においては最大水圧 P_{max} は30MPa程度、軟岩では20~24MPa程度で施工されています。

また、地山の一軸圧縮強度が2MPaに満たない地山では、図-3に示されているように、得られる接触圧は小さくなる点に注意する必要があります。

鋼管膨張型ボルトの極限引き抜き力は、接触圧 q が得られれば、(1)式により求めることができます。

$$F_{pull} = 2 \pi r_i \times L \times q \times \tan(\phi + i) \quad (1)$$

ここに、

F_{pull} : 極限引き抜き力

r_i : 穿孔半径

L : ボルトの有効長

q : 接触圧

ϕ : ボルトと地山間の摩擦角

i : 掘削孔壁の粗さ角

例えば、得られる接触圧が3~4MPa、 $(\phi + i)$ を30°程度と仮定すると、極限引き抜き力は[標準]タイプで200kN/m、[スーパー]タイプでは300kN/m程度まで期待できることがわかります。

(文責: 米山秀樹・(前)日本国土開発(株))

参 考 文 献

- 清水建設: 湧水多量地山における国内最長級の斜坑掘削, 清水建設土木クォーターリー, No.103, pp.29-42, 1994.
- Johan Brantmark: Consequences from a long term failure of rock bolts at the Daini Shibisan Tunnel project, Technical report of Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1997.
- 望月常好・穂刈利夫・斎藤義信・桑田俊男: 土かぶり200mで山はね現象に遭遇, トンネルと地下, Vol. 21, No. 9, pp.27-36, 1990.
- Ulf Hakansson, Chunlin Li: Swellex in Weak and Soft Rock-Design Guidelines, International Symposium on Rock Support-Applied Solution for Underground Structures, Lillehammer, Norway, 1997.

連載講座

線路下横断工法(2)

開削工法, 一般トンネル工法

1. 開 削 工 法

開削工法は、線路下横断工法のうち、もっともオーソドックスな施工法である。現在は後述する各種非開削工法が数多く施工されているが、これらの新工法が登場する以前は、すべてが開削工法といっても過言ではない。初期の開削工法は、線路をいったん仮線として横に振り(仮移設)、線路のない状況で横断構造物を構築し、完成後、出来上がった構造物の上に線路を復旧するやり方が一般的であった。しかし、現場の状況から、線路を仮移設する用地を確保できなかったり各種障害物があったりすると、現在の線路を仮受けして構造物を構築する工法を採らざるを得なくなる。

線路を仮受けする桁は「工事桁」と呼ばれ、新設構造物の規模が小さい場合は、この桁にレールやH形鋼が用いられる。

線路下横断構造物が、桁と橋台からなる構造形式の場合、橋台を上記工事桁方式で構築し、本設の桁を線路横で組み立て、列車間合いに一気に横取り架設する事例もある。

また、線路を破線(一時的に列車の運行を停止)し、その間に構造物を構築する方法もまれに採用される。

これらの方法は、いずれも列車運行への影響が大きく、採用にあたっては、計画時点で鉄道事業者と十分な協議を行う必要がある。

以下にこれら開削工法の概要を紹介する。

1-1 仮線工法

本工法は、仮線を設けて列車を仮線に切り替えた後、もとの線路部を全断面掘削し、構造物を構築する方法である。一般に、仮線への切り替えに伴う列車の徐行が可能で、なおかつ仮線敷設のための用地確保や障害物がないといった限られた条件下で採用される工法である。

1-1-1 仮線工法の得失

(長 所)

- ・土かぶりを最小限に抑えることが可能

「線路下横断工法」連載講座小委員会

- ・良好な管理のもとで躯体構築が可能

(短 所)

- ・仮線切り替えは大規模工事となり、両端部で線路閉鎖が必要
- ・仮線敷きとして長期間にわたり用地確保が必要
- ・仮線の線形にもよるが場合により長期間の列車徐行が必要

1-1-2 施工順序

一般的な施工順序を図-1に示す。

1-2 オープン工法

本工法は、列車運行を工事期間中停止し、この間に構造物を構築する方法である。当然、既設の線路は一時的に撤去し、構造物完成後に復旧することとなる。

構造物は、現地で現場打ちされる場合や、プレキャストまたはハーフプレキャスト部材を組み立てる方法が採られる。

この列車運行停止期間は、一般にバスによる代行輸送が行われるが、条件が整えば稀にはあるが、数時間で一気に工事を実施するケースもある。

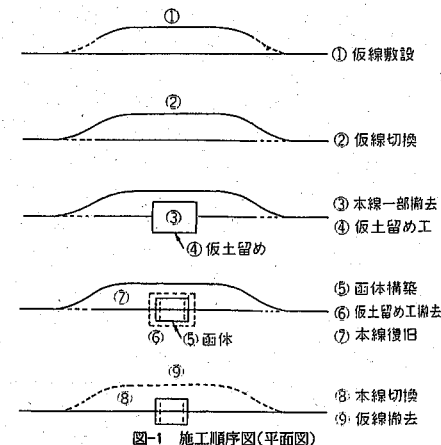


図-1 施工順序図(平面図)

1-2-1 オープン工法の得失

(長 所)

- ・工期、工費とも大幅に短縮可能
- ・良好な管理のもとで躯体構築が可能

(短 所)

- ・一般に長期の列車運行停止が必要

1-2-2 施工事例

単線区間の線路下横断工事で、最終列車通過後一夜で工事を行い、翌朝には列車を走らせた事例について紹介する。

(1) 工事概要

工事は、幅3m、高さ3.15m、延長7mのボックスカルバートを構築するもので、今回は、長さ1mのプレキャストブロック7個を使用した。

(2) 施工順序

① 準備工

線路の両側に立坑および作業ヤードを設け、プレキャストブロックの搬入(写真-1)や埋め戻し材料のストックなどを行った。

② 軌道撤去

最終列車通過後、ただちに線路閉鎖を開始し25mの軌道を撤去した。なお、レールは復旧時再使用するので、線路方向に縦移動して仮置きした。

③ 掘削・床付け(図-2)

2台のバックホウで掘削を行ったが、床付けは人力で施工した。なお、掘削土は工事に支障ない場所に仮置きした。

④ 函体基礎工

プレキャストブロックを移動させるための走行用

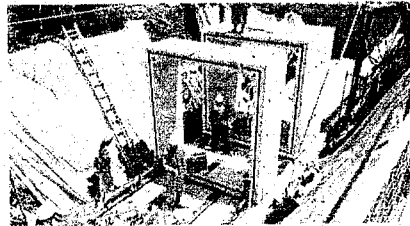


写真-1 プレキャストブロックの搬入

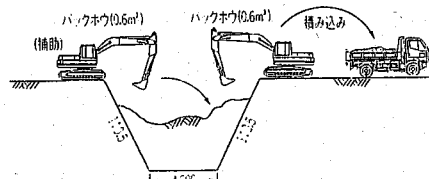


図-2 掘削

H形鋼を、予め立坑土留め杭などに溶接固定した鋼材を利用して沈下しないようにセットした。その後、碎石10m³を投入して突き固めたうえ平滑に転圧した。

⑤ 函体推進(図-3)

プレキャストブロックは7体で約50tあり、まず、下床版付近にセットした20tジャッキ4台で初期発進し、移動しはじめたら外側ジャッキ2台で盛替えながら所定の位置まで推進した(写真-2)。その後、道路センターのずれについて、予め用意しておいた水平ジャッキで微調整し、函体推進を完了した。

⑥ 埋め戻し・転圧

函体推進中に近くまで運搬しておいた埋め戻し材(クラッシュラン)を、バックホウ2台、振動ローラー、タンバーで埋め戻し転圧を行った。なお、今回はセメントを混入して、以後の軌道整備の回数削減を図った。

⑦ 軌道復旧

埋め戻し完了後ただちにバラスト投入、マクラギセット、レール敷設、バラスト再投入と突き固めを

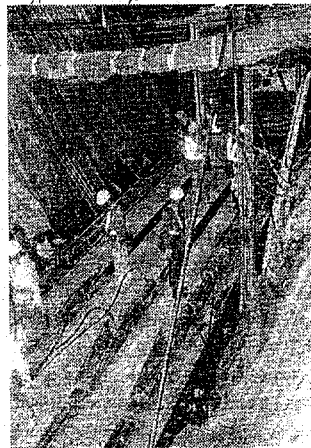


写真-2 函体推進

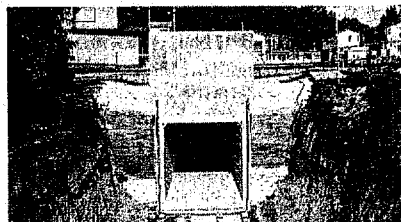
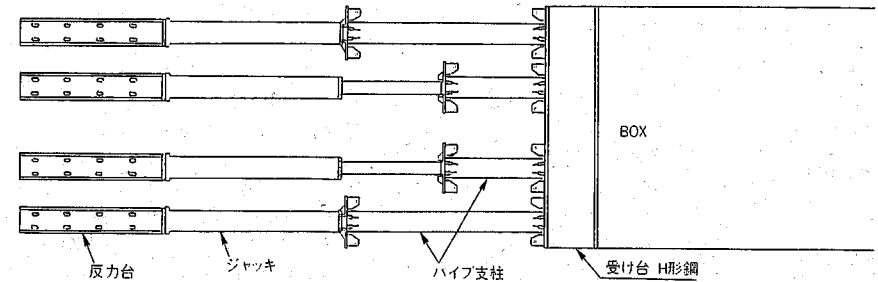


写真-3 工事終了

線路下横断工法(2)

平面図



側面図

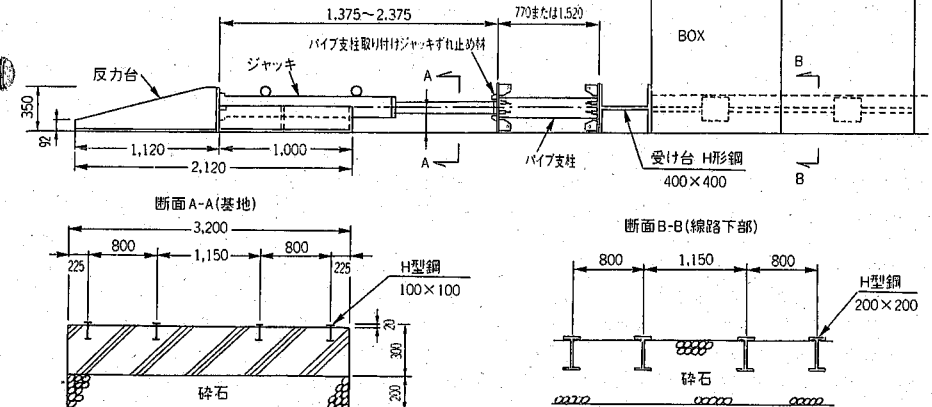


図-3 函体推進

工事種類	数	量	時間(分)	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7
軌道撤去	25.0m		20												
掘削	114.0m³		162												
函体基礎工	3.5m×4本		74												
函体けん引	8.0m		39												
埋め戻し・転圧	85.0m³		177												
軌道復旧	25.0m		107												

図-4 一夜施工実施工程

行った。なお、前後5m区間についても軌道整備を行い軌道検査した。異常のないことを確認して線路閉鎖を解除し初列車を走らせた。

工事終了後の様子を写真-3に示す。

(3) 施工結果

実施工程を図-4に示す。小規模な線路下横断工事であったが、1晩(9時間40分)で施工を無事完了した。

1-3 線路仮受け工法

本工法は、H形鋼などを組み合わせて仮の橋台橋脚を

線路下に構築し、工事桁を架設することにより列車荷重を支えながら線路下を掘削して目的の構造物を構築する工法である。

工事桁は、一時的とはいえ列車荷重を支えることから、列車運行が安全に行えるよう十分な耐力と剛性を有していなければならない。

図-5に一般的な工事桁を示すが、目的とする1現場のために製作する場合と、多くの現場で転用される標準タイプのものがある。

種 別	形 状	特 徴
① 上路プレートガーダー形式		(長所) 1) 桁幅を小さくできるため、狭い所に使用できる。 2) 桁重量が軽い。 (短所) 1) レールから桁最下端までの寸法が大きい。 2) 線路を破線して架設、撤去しなければならない。 ただし、下路形式より容易である。
② 上路ダブルI形式		(長所) 1) 桁幅を小さくできるため、狭い所に使用できる。 2) 桁重量が軽い。 (短所) 1) レールから桁最下端までの寸法が大きくなる。しかし、上路プレートガーダー形式に比べれば小さい。 2) 線路を破線して架設、撤去しなければならない。 ただし、下路形式より容易である。
③ トラフガーダー形式		(長所) 1) レールから桁最下端までの寸法が小さい。 2) 桁幅が小さいため、線路中心間隔の狭い所で使用できる。 (短所) 1) 線路を破線して架設、撤去しなければならない。 2) レールの締結がやや困難である。 3) マクラギ受けの構造が複雑で加工性が悪い。
④ 下路プレートガーダー形式 (橋マクラギ式)		(長所) 1) 支間が大きい場合に適用できる。 2) レールから桁最下端までの寸法が小さい。 3) 桁重量が軽い。 (短所) 1) 線路を破線して架設、撤去しなければならない。 2) 主桁中心間隔が広いので、線路中心間隔の狭い所での使用に困難が多い。
⑤ 下路プレートガーダー形式 (吊り桁ブロックマクラギ式)		(長所) 1) 支間が大きい場合に適用できる。 2) レールから桁最下端までの寸法が小さい。 3) 桁重量が軽い。 (短所) 1) レールの締結がやや困難である。 2) 線路を破線して架設、撤去しなければならない。 3) 主桁中心間隔が広いので、線路中心間隔の狭い所での使用に困難が多い。
⑥ 中路橋マクラギ式		(長所) 1) レールから桁最下端までの寸法が小さい。 2) マクラギ抱き込み式に比べて桁重量が軽い。 (短所) 1) 線路を破線して架設、撤去しなければならない。
⑦ マクラギ抱き込み式		(長所) 1) 線路を破線せずに架設、撤去ができる。 2) レールから桁最下端までの寸法を小さくできる。 (短所) 1) マクラギ受け桁が重い。 2) 鋼材量が多く、加工が多いので価格が高い。

図-5 工事桁の種類と特徴

1-3-1 線路仮受け工法の得失

(長 所)

- ・土かぶりを最小限とすることが可能
- ・仮受け後に行う躯体構築の品質管理が容易

(短 所)

- ・工事桁架設撤去に線路閉鎖作業が必要
- ・一般に徐行運転が必要
- ・仮橋台の架設撤去が必要

1-3-2 施工順序

標準的な施工順序を図-6に示す。なお、小規模(適用スパンが約4m以下)な場合は、工事桁としてレールやH形鋼を用いる場合もある。

1-3-3 実施例

(1) 工事概要

工事は、単線区間に、幅17.4m、高さ7.2m、延長11.2mの3径間ボックスカルバートを、70度の角度で建設するもので、工事桁2連を使用した列車を走らせながらの

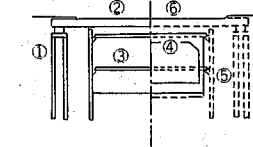


図-6 線路仮受け工法施工順序図

- ① 仮橋台、仮土留め杭の施工
- ② 工事桁架設
- ③ 橋脚、支保工仮設
- ④ 本体構築
- ⑤ 埋め戻し、支保工撤去
- ⑥ 工事桁撤去
- ⑦ 仮橋台、仮土留め杭の撤去

線路下横断工事である。

(2) 施工順序

ここでは、本工法の特徴である工事桁架設を中心に報告する。

① 工事桁の製作運搬組み立て(写真-4)

一般の鉄道橋梁と同様に、工場で作成した桁を現場付近に運搬し地組みする。今回は、マクラギ抱き込み式タイプで、支間12mのもの2連を準備した。

② 簡易工事桁・仮橋台の設置

まず線路敷内にH形鋼などを組み合わせた仮橋台を設置しなければならない。そのとき、線路下を一部掘削したり仮杭となるH鋼杭を打設することから、線路の防護を目的とした「簡易工事桁」を敷設した(図-7)。引き続き、図-8に示す仮橋台仮橋脚を設け

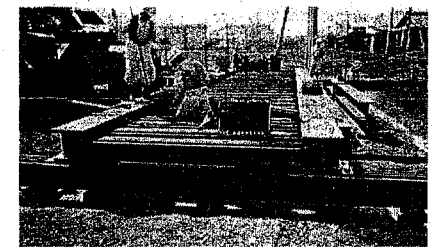


写真-4 工事桁の地組み

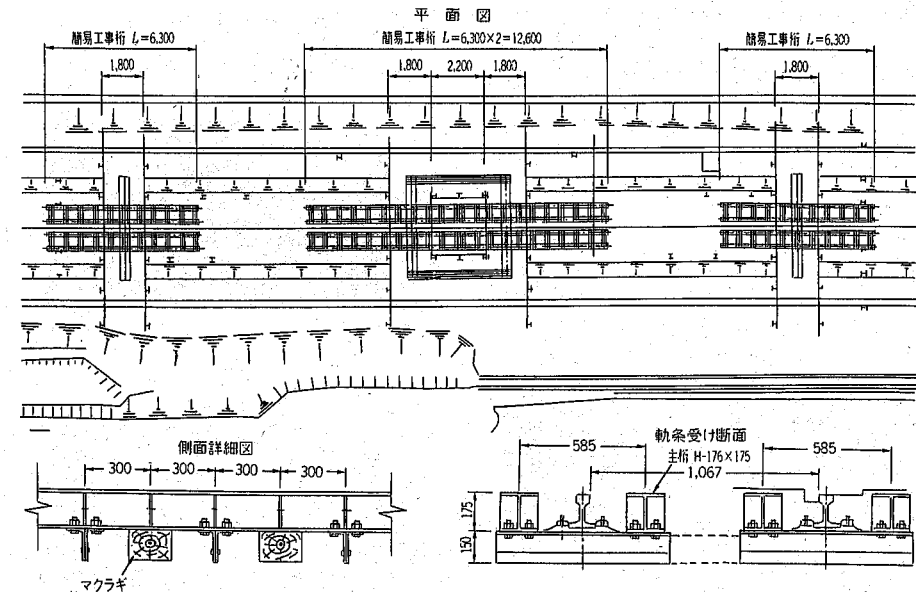


図-7 簡易工事桁

た。多くの部分が、夜間を中心とした線路閉鎖作業による工事となった。

③ 軌道・簡易工事桁・バラストの撤去

線路閉鎖後、ただちに撤去作業に入り、工事桁が挿入できるよう軌道などを撤去した。合わせて仮橋脚上部の動きよう組み立てを行った。

④ 工事桁横取り掘え付け(写真-5)

線路横に組み立てておいた工事桁を、チルホールで牽引移動させ、ジャッキダウンして所定の位置に据え付けた。合わせて、仮橋台部にマクラギ受けサンドルを施工した。

⑤ 軌道復旧

軌道復旧と整備を行い、線路閉鎖を解除して列車の運行を開始した(写真-6)。今回の工事桁架設は、約6時間の作業であった。

⑥ 躯体構築(写真-7, 8)

工事桁下部を掘削してボックスカルバートを構築した。一般に、工事桁との作業余裕が少ないことから、細かい配慮が必要となる。

⑦ 工事桁撤去・埋め戻し

工事桁架設と逆の作業だが、同じように線路閉鎖

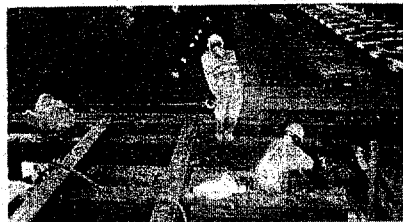


写真-5 工事桁横取り据え付け

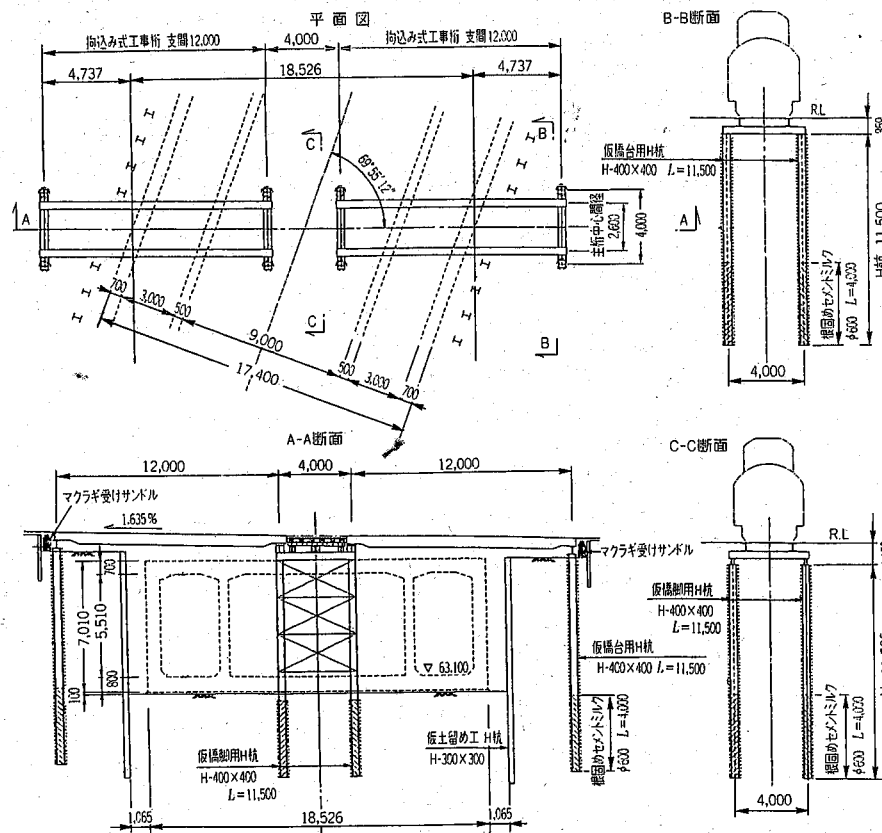


图-8 假橋台・假橋脚

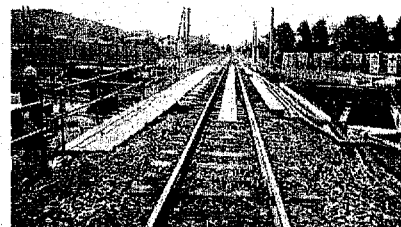


写真-6 軌道復旧



写真-7 掘削

による一晩の作業で工事桁撤去と埋め戻しを行った。

2. 一般トンネル工法

線路下横断工法の非開削工法として、もっとも多く用いられているのが、外径数十cmの管路を設置する押管やホリゾンタルオーガーである。これらは、線路への影響範囲も小さく、ほとんどの場合短期間で工事が完了することから、軌道整備のみで施工している。なお、一部で簡易工事術による線路防護を必要とする場合もある。

一般トンネル工法としては、NATMに代表される山岳トンネルや、泥水や土圧による切羽密閉形のシールドトンネルがあるが、まれにメッセル工法による施工事例も報告されている。今回は、山岳トンネル工法とシールド工法について以下に概説する。

2-1 山岳トンネル工法

線路下横断単独で用いられることはまれで、線路横断前後の長い区間の最適施工法として採用されることが多い。

2-1-1 工事概要

山岳トンネル工法は、トンネル周辺地山の支保機能を有効に活用し、掘削後、吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼製支保工などにより地山の安定を確保しながらトンネルを掘進する工法である。

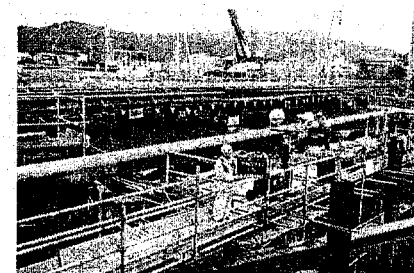


写真-8 躯体構築

したがって、基本的には掘削から支保までタイムラグが避けられないため、一時的にでも切羽の自立が前提条件となり、比較的地質の良い場合が多い。

線路下横断での検討は、

が主な項目で、必要により地盤改良やパイプーフといった補助工法が用いられる。

2-1-2 計畫事例

道路トンネルが線路と交差する事例で、図-9に交差箇所の断面を示す。

現在、影響解析を実施中で、その結果をもって補助工法や線路防護の必要性、線路や構造物の計測計画を協議することとなる。

なお、当初の道路事業者からの交差計画は、図-9に示したトンネル位置(深さ)より約3.3m高いところであったが、少しでも多く土かぶり厚を確保するよう縦断勾配

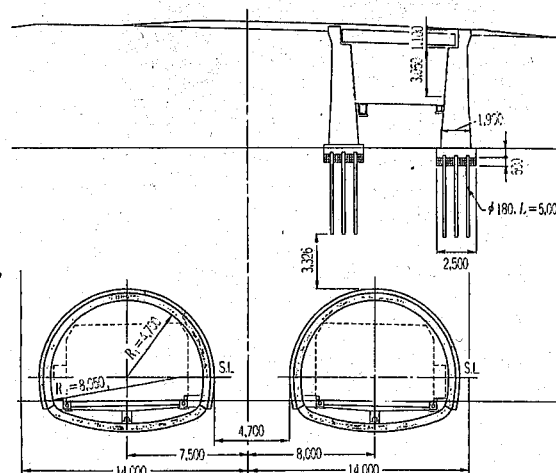


图-9 铁道交差部断面图

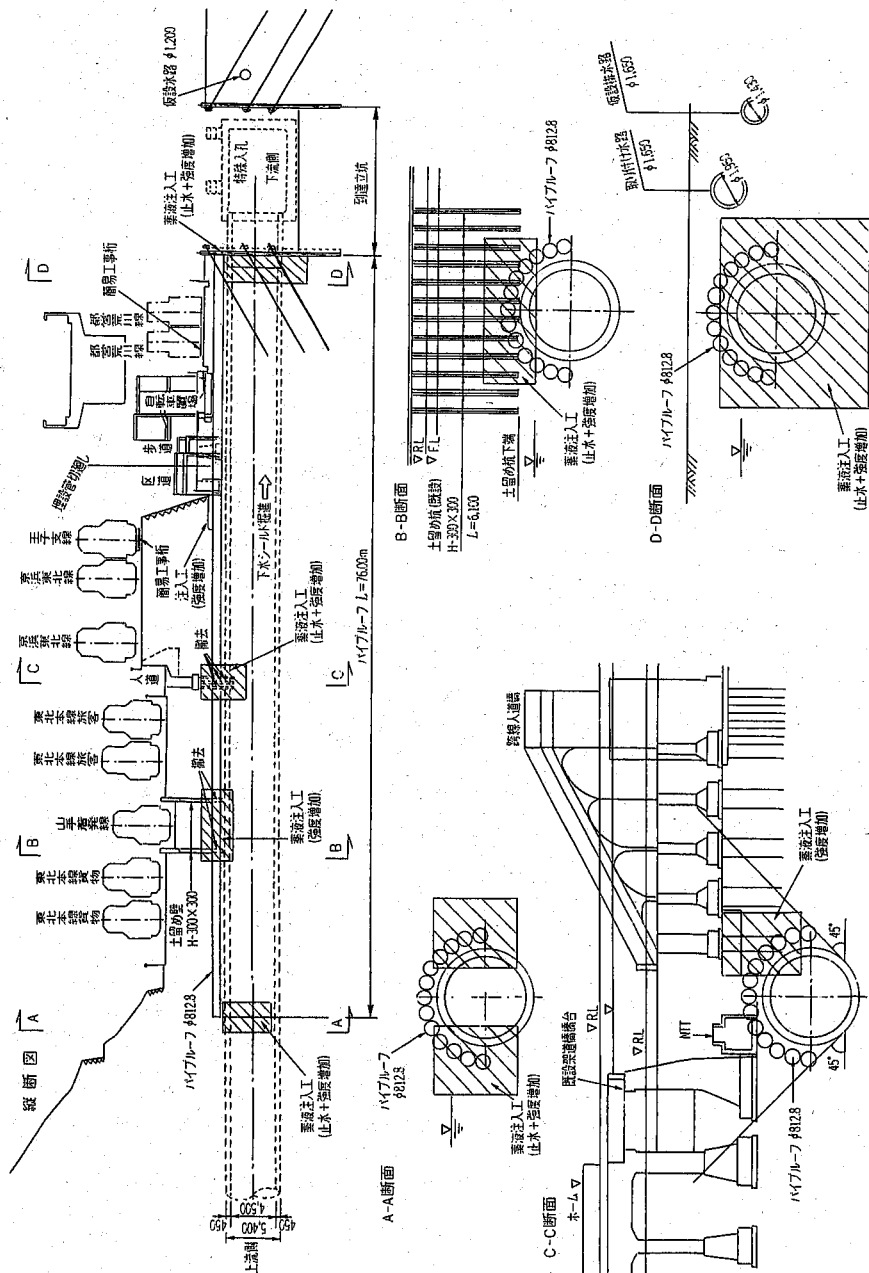


図-10 下水シールド工法概略図

の再検討を依頼した。その結果、図-9に示したような位置に変更したという協議経緯がある。

2-2 シールド工法

通常、長距離施工が前提となるため、横断する線路前後の最適工法として工法決定される。

2-2-1 工法概要

シールド工法は、トンネル外径よりやや大きな内径の鋼製の筒(シールド機)を、その前端(切羽)の掘削に合わせて、後部の覆工に反力を取ってジャッキで推進させ、その後部(テール内)でセグメントなどを用いて覆工を築造する過程をくり返しながらトンネルを構築する工法である。

最近では、泥水式や土圧式といった切羽密閉形のシールド工法が標準となっており、慎重な施工管理が行われれば、発生する地表沈下は比較的少ないといえる。

線路下横断の検討は、山岳トンネル工法と同様に、

- ① 土かぶり
- ② 線路の変状(沈下)予測

が主な項目で、必要により薬液注入などによる地盤改良やパイプルーフといった補助工法が用いられる。

2-2-2 計画事例

外径5.4mの下水道が線路群と交差する事例で、前後の地形や環境条件から、通常確保している1~1.5D以上(D:トンネル外径)の土かぶりを確保できなかったケースである。

図-10に概要図を示す。

今回は、支障する基礎杭や土留め杭の撤去、埋設管路の仮移設、軌道防護のための簡易工事街、陥没や急激な

沈下対策としてのパイプルーフ、強度増強や止水を目的とした薬液注入といった、数多くの補助工法が計画された。これらは、すべて線路への影響が小さくなる十分な土かぶりを確保できなかったために必要となったものであり、下水道本体工事費の数倍の費用をかけて行うため、非常に割高な工事となった事例である。

(文責:土井博己・東日本旅客鉄道(株)建設工事部構造技術センター担当課長)

参考文献

- 1) (社)日本鉄道施設協会・JR東日本編 線路下横断工計画の手引き

Q大募集!

線路下横断工法の連載講座は11回を予定していますが、最終回で、皆さんからの質問に答えるQ&Aを企画しています。

どんな些細なことも結構ですので、どしどし質問して下さい。質問状は、土木工学社宛てに、郵送またはFAXでお願いします。その際、氏名・年齢・会社名・連絡先を明記して下さい。

なおQ&Aに取り上げる場合は、会社名や氏名は伏せて取り扱う予定です。

送付先:土木工学社

住所:〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16番地
メイジャー神楽坂

FAX: 03-3267-2807

【新刊のご案内】



景気浮揚は温泉の有効利用で!!
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 219頁 本体価格1,200円 円210円

株式会社 **土木工学社**

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

変質することがありますので、使用前の点検を十分に行ってください。

2) 液体急結剤

- ① 液体急結剤は、長期貯蔵すると、鋼製容器ではサビによって変質することがありますので、ステンレスやプラスチックなどの容器を使います。
- ② 貯蔵中に振動の影響を受けると、分離・沈降し、成分が劣化・変質するおそれがありますので、貯蔵タンクに攪拌機を取り付けたものもあります。
- ③ 低温による凍結や高温変質など、温度の影響も受けやすいので、低温対策として加熱器を付けることもあります。

このように、現場内での長期貯留は液体急結剤の品質に大きく影響しますので、常に新しい材料を使うように努め、材料の在庫管理をきめ細かく行ってください。一旦、長期貯留したものを使用する場合は、事前に性能確認試験を実施すべきでしょう。

(文責：倉原隆二・梅林建設(株))

参考文献

- 1) (社)土木学会：コンクリート標準示方書，平成8年度。
- 2) (社)日本トンネル技術協会：トンネルの吹付けコンクリート，1996.2。

【新刊のご案内】

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	本体価格4,078円 円380円
第Ⅱ巻 地下水環境学	本体価格4,272円 円380円
第Ⅲ巻 地下水と地質	本体価格3,689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。

<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、方法と応用） ■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 ■物質輸送の数理理論 ■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 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

連載講座

線路下横断工法(3)

フロンテジャッキング工法

1. 工法の概要

1-1 工法開発の経緯と現状

フロンテジャッキング工法(以下、FJ工法という)は、1960年代半ばに、プレキャストのボックスカルバート(以下、函体という)を地中に埋設する施工法として開発し、現在も多く実施されている。

非開削による函体の構築方法として、現在まで国内外約700件の実績数を数え、主に営業する軌道下横断または道路下横断などの特殊条件のもとで小規模な水路や地下通路、大規模な都市計画道路、踏切除去に伴う立体交差、河川の改良工事などに幅広く採用されている。

1-2 名称の由来

開発当時の類似工法に、円形断面の埋設に多く用いられていた函体後方の反力体をアンカーとして油圧ジャッキで函体を推進する元押し推進工法があった。

これに対し、本工法は「ジャッキを前へ」の発想から函体の前方へ反力体と油圧ジャッキを配置しPC鋼線で引っ張る方法であり、フロントのジャッキを「フロンテジャッキング工法」(Fronte Jacking Method)としている。

1-3 工法のしくみ

本工法は、非開削で軌道または道路下へ函体を埋設する施工方法であり、周辺地盤の安定および軌道または道路の安全を確保するため、条件に対応する補助工法(図-1)を併用して、防護された中を施工するケースが多い。

函体施工は、到達側の反力体または函体と発進側の函体間にPC鋼線で連結し、専用のセンターホールジャッキ(フロンテジャッキ)を使用して、函体を所定位置までけん引(掘進)するものである。

1-4 施工方法と特徴

FJ工法は構成する施工要素の組み合わせにより計画される(図-2)。

1-4-1 函体製作

函体製作は、軌道および道路を管理する公的機関また

2000年(平成12年)12月

「線路下横断工法」連載講座小委員会

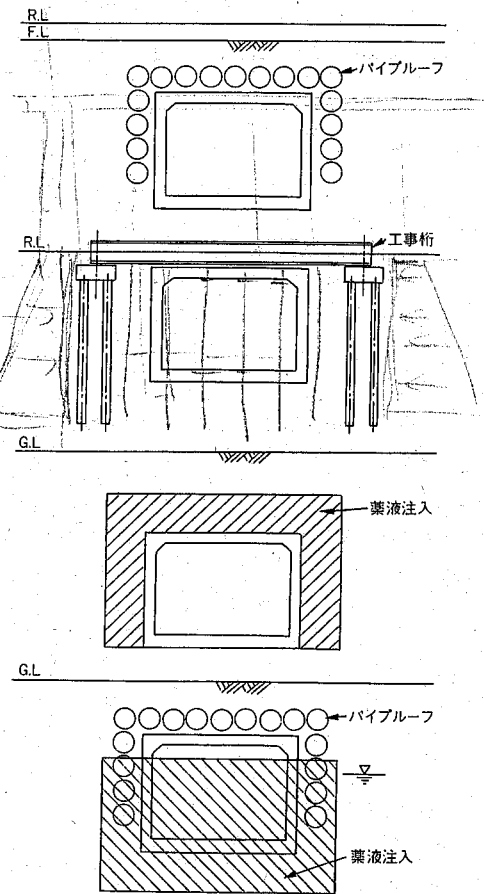


図-1 補助工法(例)

は民間機関が制定する設計示方書、施工管理基準などを基本に、その施工条件に応じた設計を行い製作するほか、

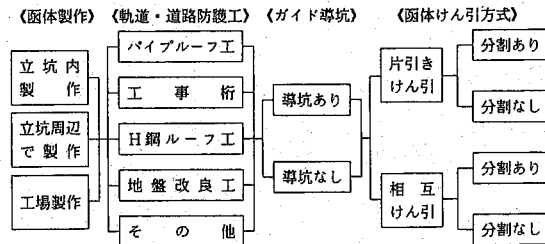


図-2 施工要素の組み合わせ

FJ工法の施工に留意した設計を行う必要がある。また、函体製作は現地の状況や工事規模に応じていくつかの方法がある。

(1) 立坑内で製作する場合

立坑内掘削後のベースコンクリート(発進台)上に、現地でRCの函体を製作する。立坑用地に制約がある場合など函体を分割して製作する。また、分割した函体を立坑内で同時期に製作する場合と時期を変えて製作する場合があり、前者は立坑が大きくなるが工期の短縮になり、後者はその逆となるので諸条件を勘案して決定する。

立坑用地の長手方向に制約がある場合、立坑を横方向へ広く築造し函体を並列に複数製作して函体を横移動して設置し工期の短縮を図る方法がある。

(2) 立坑外で製作する場合

立坑外では、工場製作する場合と立坑周辺の用地で製作する場合がある。他の工種と並行作業で行えるため工期の短縮が図れるが、製作費が割高となる。

函体は運搬および吊り降ろしを考慮した大きさとする。また、函体の断面を複数に分割し現地で組み立てる方法もある。

① 工場で製作する場合

輸送可能な小規模函体や立坑基地が狭い場合に用いられる。工場製作の場合、コンクリートの許容圧縮強度を高くすることが可能であり、函体断面の部材厚さを薄くすることができる。

② 立坑外の周辺で製作する場合

立坑基地は狭いが周辺に用地が確保できる場合や函体の搬入路が確保できない場合などで用いられる。

1-4-2 防護工

函体のけん引工事を行う場合、一般的には軌道または道路あるいは周辺地盤や近接構造物に対し影響を及ぼさないような適切な防護工を設置して行うものである。

また、現在ではパイプルーフによる防護工が普及し一般的となっているが、土かぶり、土質、地下水の有無、近接構造物の有無、上部交通量によって他の防護工による場合もあり、施工性、安全性、信頼性、経済性などを

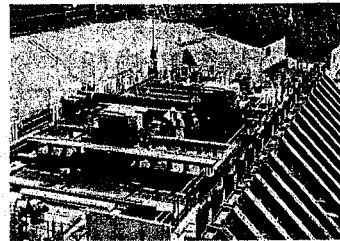


写真-1 パイプルーフ推進工

総合的に検討し最適な防護工を選択する。

(1) パイプルーフ

函体のけん引に伴う軌道・道路変状や路盤の陥没防止を図り、列車または車の運行の安全確保のために行うものである(写真-1)。

パイプルーフは函体の外周に一定の離隔を確保して函体のけん引方向と同一方向に配置する。また、パイプルーフで囲まれた、函体先端部の切羽の防護として、上載荷重を支持する必要な部材強度を有する形状寸法とする。

(2) 工事桁

列車の運行本数や路線によっては、軌道に工事桁を架設し、工事桁の下を函体けん引する方法もある。鉄道管理者との協議が必要で、軌道表面は開削状態となるが、本工法との併用の場合一般の工事桁開削工法と比較し軌道内の仮土留め杭の打設がない。

(3) 地盤改良

パイプルーフおよび函体けん引などの施工を行う場合、土質などの条件や(とくに地下水のある場合、軟弱地盤の場合、礫や転石の混入地盤の場合、自立性のない地盤の場合など)近接構造物の有無、埋設物の有無によっては、工事の安全と既設構造物などの防護のため地盤改良などを行う。

1-4-3 ガイド導坑

ガイド導坑とは、函体のけん引を導くガイド部材を有する小規模のトンネル(写真-2)であり、函体底部位置に



写真-2 ガイド導坑工

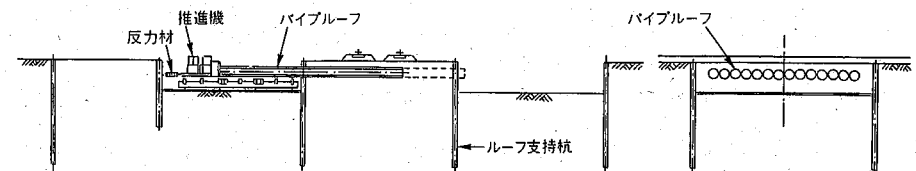
工事規模に応じた必要本数を設置するものである。

(1) ガイド導坑の必要性は、主に函体掘進時に対する方向規制とけん引用PC鋼線の集中挿入であるが、その他に、横断部土質の事前確認、地下水を有する場合は水平の水抜きとして地下水処理としての効果を期待するものである。

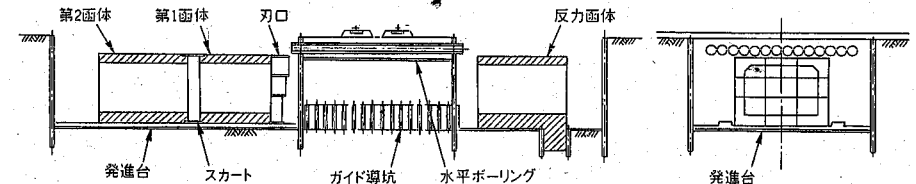
(2) FJ工法を施工するための、PC鋼線設置は、一般に水平ボーリングの削孔を行って挿入するが、施工延長が長い場合や砂礫層や玉石混じり層などで所定の精度を確保することが困難な条件では、工事規模に係わらずガイド導坑を設置する場合がある。

(3) 導坑の施工は、一般に山岳トンネル方式で行い、

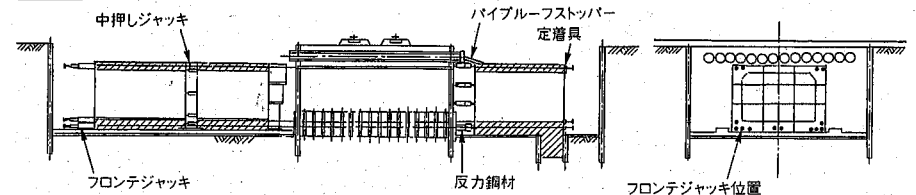
第1工程 1. 仮土留め杭の打設工 2. 二次掘削・ルーフ推進準備工 3. パイプルーフ推進工



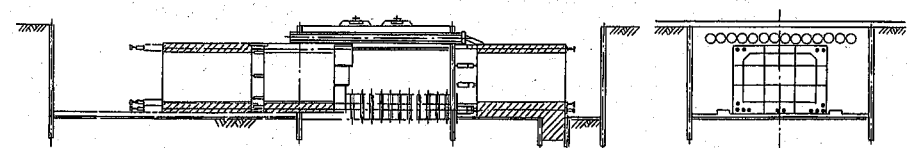
第2工程 4. 二次掘削工 5. 水平ボーリング工 6. ガイド導坑築造工 7. 発進台築造工 8. 刃口、スカート組み立て工・函体築造工 9. 反力函体築造工



第3工程 10. 反力鋼材組み立て工 11. けん引準備工



第4工程 12. 函体空引き・刃口貫入工 13. 函体けん引掘削工



第5工程 14. けん引完了 15. けん引設備撤去工・函体接続工 16. 刃口部函体打設工 17. 目地防水工

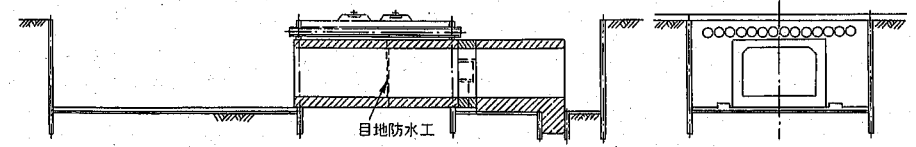


図-3 片引きけん引法・施工順序

掘削と鋼製支保工の建て込み、木製土留め矢板の架設を順次に行い、適宜の間隔で行っていくものである。また、土質条件や施工延長などによってはメッセル矢板を使用したり、地盤改良を行っての施工の場合がある。

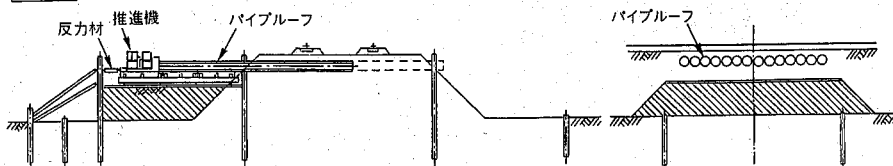
1-4-4 函体のけん引方法

FJ工法の函体けん引方法には、立地条件や作業ヤードの有無・工事規模などの施工条件によって、片引きけん引方法または相互けん引方法とがあり、更に施工延長

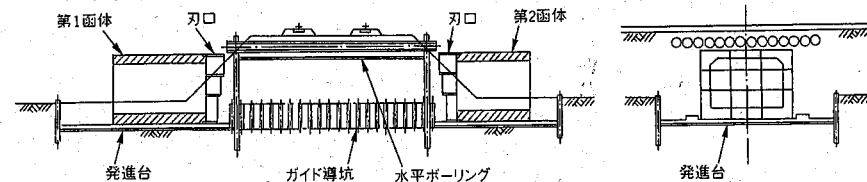
が長い場合やけん引力の低減を考慮する場合など、函体を複数に分割して行い、分割けん引方法がある。

(1) 片引きけん引方法とは、到達側に設けた構造体などを反力抵抗のアンカーとして、施工する函体を一方にけん引して埋設する方式である。到達側の反力となる構造体などは、地形条件や計画内容によって形式が異なるが、一般に地盤の抵抗力を反力とする場合と取り付け部などの構造物を予め構築し反力とする場合がある(図-3)。

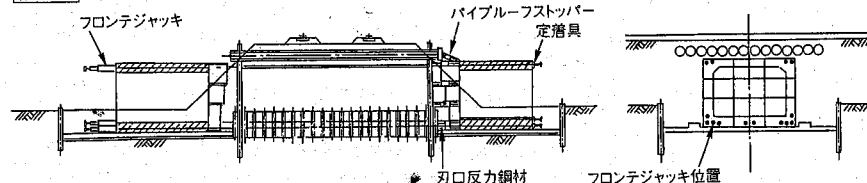
第1工程 1. 仮土留め杭の打設工 2. ルーフ推進準備工 3. パイプルーフ推進工



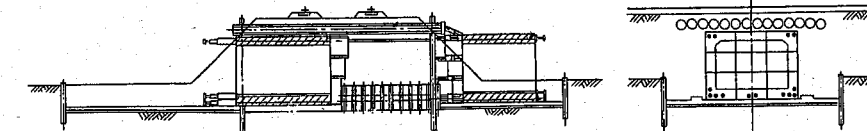
第2工程 4. 立坑掘削工 5. 水平ボーリング工 6. ガイド導坑掘削工 7. 発進台築造工 8. 刃口組み立て工・函体築造工



第3工程 9. けん引準備工 10. 刃口内反力壁築造工



第4工程 11. 第1函体空引き・刃口貫入工 12. 第1函体けん引・掘削工 13. 第1函体所定位置到達後、けん引設備一部取り替え工



第5工程 14. 第2函体空引き・刃口貫入工 15. 第2函体けん引・掘削工 16. けん引完了 17. けん引設備撤去工 18. 刃口処理・刃口部面体打設工 19. 目地防水工

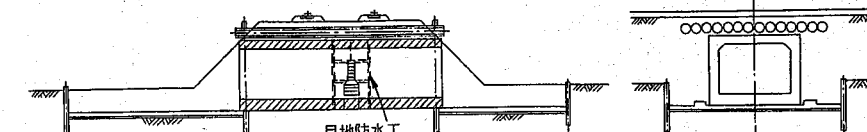


図-4 相互けん引法・施工順序

(2) 相互けん引方法とは、埋設する函体を横断箇所の両側で製作し、けん引する函体に対し反対側の函体を反力抵抗体として施工するものである。両側へ製作する函体は、大きさ(長さ)を若干変えて製作し、はじめに大きな函体をけん引して埋設した後、大きな函体を反力として、小さな函体を引き寄せドッキングさせるものである。(図-4)

(3) 分割けん引とは、施工延長が長い場合などに用いられる方法で、けん引抵抗力を低減して設備の縮小を図るほか、立坑用地に制約がある場合など、すべての函体製作(掘え付け)が同時にできない場合に、複数に分割して製作するものである。

2. 計画・設計と施工のポイント

2-1 計画と設計および施工について

非開削工法で地下構造物を構築する際、とくに上部交通機関の安全確保、近接構造物や周辺地盤および周辺環境への影響を考慮したうえ、工期・経済性などに優れた施工計画を立てることが必要不可欠である。

ここでは、FJ工法特有の施工性を考慮した計画・設計(図-5)をするものであり、それらについて主なものを次に記述する。

2-2 調査

工事計画を行うため、一般に現地調査、用地調査、地質・土質調査、地下水調査、埋設物・支障物や近接構造物の調査、周辺環境の調査などを行うが、それらの資料を十分検討し、必要な補助工法の計画を行うとともに、プレキャストの一体構造物(函体)をけん引する特有の施工性を考慮するための調査が必要である。とくに、埋設物や支障物のある場合、けん引作業途中での対処は困難な場合もあり、事前に対策を講じておくことが大切である。

2-3 計測

仮設工事、補助工事を含め、函体けん引施工中の周辺地盤や近接構造物への影響の有無を計測し、状況の変化に伴う適切な処理を行うとともに、蓄積した計測データをもとに、事前の予測を行い急激な変化を防止するものである。

軌道や路面の変位計測、近接構造物の変位計測、函体けん引方向やけん引力の計測などを一般に行っている。

2-4 施工

FJ工法を実施するための特有の工種について概説する。

2-4-1 水平ボーリング工

函体のけん引を行うために使用するPC鋼線を、横断箇所の所定位置に設置する工種であり、一般にケーシ

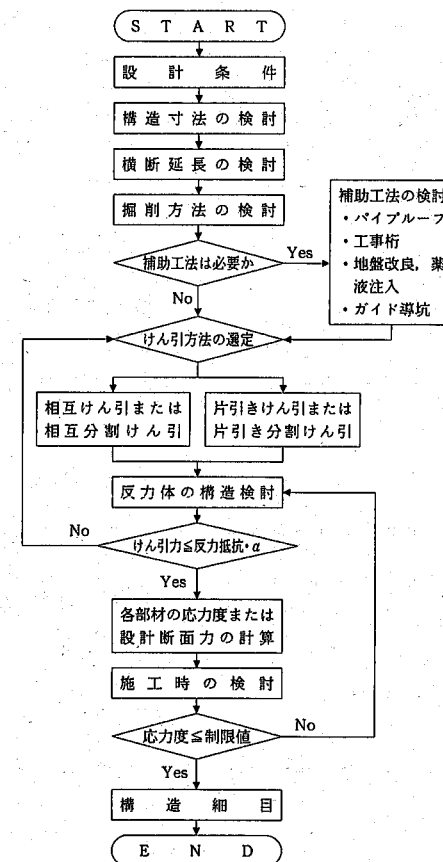


図-5 計画・設計のフロー

ングパイプ(小口径の鋼管)を使用して削孔する。貫通後ケーシングパイプの中へ塩ビ管を挿入して、ケーシングパイプを引き抜き、函体構築後PC鋼線を挿入するものである。1削孔に対し、PC鋼線(8T15.2)1ないし2ケーブルを挿入するので、最低必要な口径のケーシングパイプを、土質、削孔延長などとともに考慮して選定するものとする。

2-4-2 発進台工

函体けん引の発進基地(写真-3)として、立坑内床付け面を整地し、ベースコンクリートを打設する。発進台は、函体打設時の基礎ベースとけん引方向を定めるガイドの役目を果たすとともに、函体の自重を支持する強固な構造と正確な平面性が重要であり、必要により底部の地盤改良などを行うものとする。



写真-3 発進台

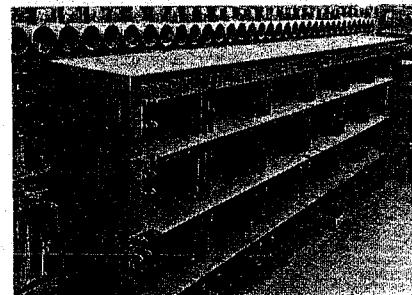


写真-4 刃口

2-4-3 刃口

刃口(写真-4)とは、けん引する函体の先頭部に設置して、切羽を掘削するための作業棚であり、函体全断面複数の小断面に分割し、外部土圧に耐える強度を有す鋼製の部材である。一般に工場製作を主体とし、運搬可能な大きさに分割して、現場へ搬入し、現地で組み立てることが多い。また、切羽の掘削方法によって、人力掘削用または機械掘削用とがある。

2-4-4 スカート

函体を分割けん引方式で施工する場合に設置する部材であり、函体間の接続部に取り付けられるものである。外部土圧に耐える強度を有す鋼製の部材であり、スカート部には中押し設備を装備し、函体けん引時はスカート部材

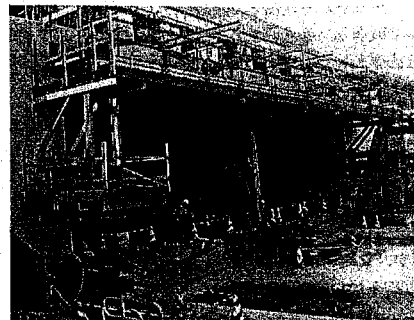


写真-5 フロンテジャッキ受け架台

の中で函体がスライドできる構造となっている。

2-4-5 函体底部敷き鋼板

発進台上で函体を製作する場合の函体底部型枠を兼ねた薄い(板厚4.5~6.0mm)鋼板である。鋼板は函体底部に固定し函体とともにけん引されるもので、函体底部の補強と摩擦抵抗力軽減が考慮されている。

2-4-6 けん引設備工

(1) パイプルーフ・ストッパー

軌道および道路面の防護工としてのパイプルーフを固定する部材である。函体けん引時の共引き防止として設置するものである。

(2) パイプルーフ吊り防護材

単管部材のパイプは、継手部材を介し連結してルーフ(屋根)を形成しているが、単管部材のパイプルーフを両端部でH形鋼などで連結することにより、ほぼ一体の部材として、函体けん引時の動きに対応するものである。

(3) ジャッキ設置工

フロンテジャッキ(写真-5)、中押しジャッキ、フェースジャッキを所定の位置に設置する架台の製作・組み立て工とジャッキの据え付け作業である。

フロンテジャッキおよび中押しジャッキの取り付け位置は、函体けん引の方向を定める要素があり、けん引抵抗の合力位置とそれぞれのジャッキごとの合力位置はほぼ等しいことが望ましい。

(4) PC鋼線と定着工

水平ボーリングの削孔またはガイド導坑掘削で開けられた中へ、PC鋼線(表-1)を挿入して一方にフロンテジャッキ(写真-6)を、他方に定着具(写真-7)を設置し、函体けん引の設備とする。PC鋼線(8T15.2)は、より線8本が

表-1 PC鋼線の仕様

品名	線径	断面積	重量	引張強度	降伏点引張強度	許容引張強度
PC鋼より線(SWPR7BL)	15.2mm・8本	1,109.6mm ²	8.808kg/m	212.8kgf/mm ²	180.8kgf/mm ²	160kgf/mm ²



写真-6 作動中のフロンテジャッキ



写真-7 PC鋼線の定着側

よりケーブルとしている。

(2) 函体けん引時反力工

けん引方式により反力体の構造は異なるが、共通して、到達側の土留め部材に抵抗力を负担させておき、抵抗力を受ける部材は、山留めの要素として耐力に耐える検討が必要である。また、反力を支える低抗体として全体のバランスと局所的な強度計算が必要である。

(3) 函体けん引工

(4) 刃口貫入(鏡切り)工

土留め工を切断撤去して、函体を地山の中へ進めていく作業である。

切羽けん引において、発進台上で製作(または設置)した函体を横断部前面の仮土留めまで近づけ、刃口の最上端より仮土留め材の切断・撤去を行い、フェースジャッキを使用した土留め(写真-8)を行い、刃口を地山に貫入

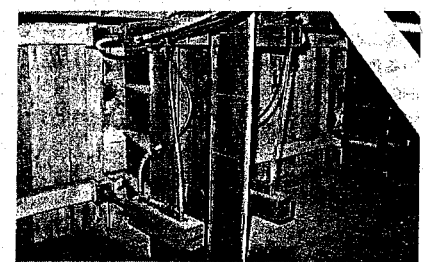


写真-8 刃口内切羽の土留め

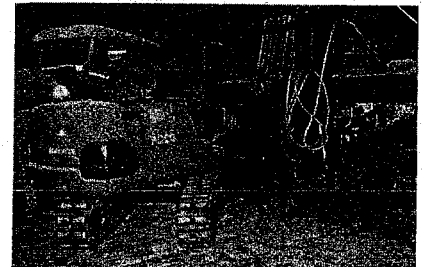


写真-9 刃口内切羽掘削

して行くものである。

(2) 函体掘進工

切羽の掘削は、刃口を小断面に仕切った格子状の各ブロックごとに、人力または機械掘削(写真-9)で行い、掘削後フェースジャッキで切羽の土留めを行い、全断面の掘削と土留めが行われたら、函体をけん引して行くものである。

函体けん引中、切羽土留めのフェースジャッキは、常に作動しておき、一定の必要土留め力を保持したまま函体けん引を行う。

(3) 刃口接続(ドッキング)工、刃口処理工

相互けん引では、相互に函体をけん引して土中で両刃口を接続し、現場溶接で一体化する。また、刃口内では場所打ちの函体を製作するため、不要な部材を切断撤去し函体の製作を行うものとする。

(4) 函体接続工

スカート部材および中押し設備を有する分割けん引方式では、先頭函体のけん引終了後、中押し設備を撤去して、順次後続函体を接続する。

2-4-8 グラウト注入工

(1) 函体外周裏込め注入工

函体けん引終了後、函体外周の空隙部にグラウト注入を行い、空隙の充填を行う。注入方法は一般に、函体の外周部材に予め開けられた、注入孔から行うものとしている。

(2) パイプルーフ内、中詰め注入工

防護工としてのパイプルーフは一般に、埋め殺しとして、将来の腐食を考慮して中詰め注入を行う。

2-4-9 最終緊張工

函体のけん引作業完了後、必要に応じ各函体の接続部を補強するため、PC鋼線による緊張とシース管内のグラウト注入を行うものである(写真-10)。

緊張はフレシネー方式で行うことが標準である。また、緊張力についてはとくに定量的な定めはなく、一般的にけん引時の推力に対し50%程度の緊張力を与えている。



写真-10 最終緊張作業

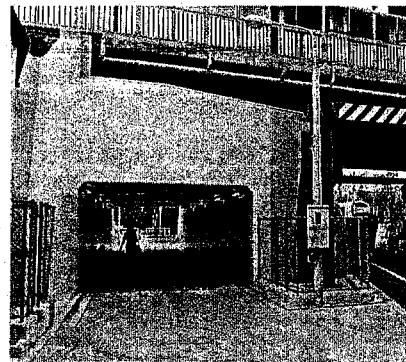


写真-11 完成例①

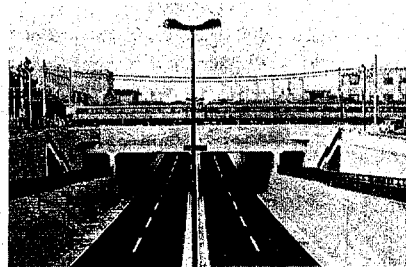


写真-12 完成例②

表-2 大断面施工実績表

施主	施工場所	横断箇所	用途	函体寸法		土かぶり	土質	索引方法	防護工	導坑
				幅	高さ 長さ					
1 日本道路公団	広島市 山陽自動車道	道路	道路	37.60	9.00×43.20	2.73	砂、砂礫	片引	φ=812.8	4か所
2 韓国	韓国 京金線 所溪〜北綿間	鉄道	道路	36.10	8.65×38.00	2.09		両引	φ=609.6	
3 JR 東海	東海道本線 垂井〜関ヶ原間	鉄道	道路	32.26	8.90×47.20	1.59	砂礫、礫混じりシルト	両引	φ=812.8	5か所
4 韓国	韓国 新瀾津地下歩車道	道路	道路	36.40	7.40×7.00	1.59		片引	箱形ルーフ	
5 名古屋鉄道(株)	瀬戸線 喜多山〜大森間	鉄道	高速道路	27.06	9.60×15.00	4.01	ローム	両引	φ=609.6	4か所
6 JR 東日本	信越線 春日山〜直江津	鉄道	道路	32.00	7.90×8.00	1.70	腐植物混じり粘土	片引	φ=609.6	5か所
7 JR 東日本	東北本線 一ノ関〜山ノ目間	鉄道	道路	30.00	8.40×24.00	2.86	砂、砂礫、シルト	片引	φ=812.8	5か所
8 日本道路公団	名古屋市 香流川横断東名阪道	河川	高速道路	24.50	10.20×40.60	9.10	シルト混じり細砂	片引	φ=609.6	4か所
9 JR 東海	東海道本線 南荒尾〜関ヶ原間	鉄道	道路	28.60	8.60×29.60	6.22	普通土、砂礫混じりシルト	両引	φ=812.8	4か所
10 韓国	韓国 京釜線 頭溪〜開太寺間	鉄道	道路	33.00	7.32×22.00	1.86		両引	φ=609.6	

参考文献

- 1) フロンテ協会：フロンテジャッキング工法技術資料，2000.6.
- 2) FKK：フレシネー工法施工基準，2000.6.

Q 大募集！

線路下横断工法の連載講座は11回を予定していますが、最終回で、皆さんからの質問に答えるQ&Aを企画しています。

どんな些細なことで結構ですので、どしどし質問して下さい。質問状は、土木工学社宛てに、郵送またはFAXをお願いします。その際、氏名・年齢・会社名・連絡先を明記して下さい。

なおQ&Aに取り上げる場合は、会社名や氏名は伏せて取り扱う予定です。

送付先：土木工学社

住所：〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16番地

メイジャー神楽坂

FAX：03-3267-2807

写真-13 完成例③

3. 施工例

3-1 主な施工実績

1960年代半ばより、施工実績700件を超える国内外の実績を数えた中で、とくに最近では大型工事が増え、掘削断面積200m²を超える規模の工事が多くなっている(表-2)。施工例を写真-11〜13に示す。

(文責：丸田新市・フロンテ協会)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
(64頁からのつづき)			
三重県	国道167号第二伊勢道路1号T	五洋・磯部・出馬JV	2,350
滋賀県	国道260号神津佐T	宮本・谷口JV	655
島根県	9号琵琶湖流下下岩倉工区	佐藤工業	920
広島県	穴見・福田T	竹中土・都間JV	1,360
山口県	芦田川流下沼隈幹線1工区	五洋・占部JV	1,490
香川県	県道藤生停車場錦帯橋線平田第2T	勝井・技巧団JV	1,252
愛媛県	町道猪谷紅雲亭線猪谷T	大成・西徹JV	670
大分県	新居浜別子山線霞T	白石建設工業	403
宮城県	緊急地改A第5-4号日田玖珠線道改	新成・小倉JV	738
富士見市	ふるさと林道大石見明線T	谷川・赤峰JV	607
千葉市	国道219号中尾第4T	前田・大淀JV	1,428
新潟市	市道第738号江川第4汚水準幹線	戸田建設	120
名古屋市	下水道坂月12の1工区	佐伯建設工業	133.3
名古屋市	五十嵐第1排水区幹線4-10	福田組	128.5
名古屋市	白金町準幹線下水道	西武建設	131.25
名古屋市	御器所通幹線下水道	飛鳥建設	415.8
名古屋市	丸新町雨水幹線下水道	鉄建建設	359.1
神戸市	須磨うら汚水準線その1	大林・前田・ハザマJV	3,750
中井町(神奈川)	風越汚水準線第1工区	清水建設	152
家島町(兵庫)	真浦地区公下	奥村土・タイヨウ・住徳JV	380
千葉県・下水公	長生村管渠その17	五洋建設	142
千葉県・下水公	その18	青木建設	129.3
千葉県・下水公	その20	東鉄工業	108.5

あけましておめでとうございます

平成13年元旦



TOYO
ROCK DRILL

製造
発売元



マツダアステック株式会社

本 社 〒734-0026 広島市南区仁保2丁目1番26号 TEL 082-287-5811 FAX 082-287-5808
土木営業部 〒136-0071 東京都江東区亀戸1丁目16番8号 TEL 03-3636-3211 FAX 03-3636-3217

代表取締役 有 田 肇

北海道支店・東北支店・関東支店・中部支店・関西支店・中国・四国支店・九州支店

販売元
総代理店



ロードヘッダ、ツインヘッダ、コンクリート橋脚はつり機、トンネル換気設備

ミイテ機材株式会社

本社 〒132-0021 東京都江戸川区中央1丁目13番19号 TEL.03-3241-4711 FAX.03-5678-4105

製造元



株式会社 三井三池製作所

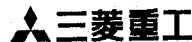
本店 〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井2号館 TEL.03-3270-2006代 FAX.03-3245-0203

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)

三菱重工業株式会社

搬送システム部地中建設グループ

東京都千代田区丸の内2-5-1 〒100-8315 TEL.03(3212)3111



ニューキルナ誕生、信頼に応じて新たなるチャレンジ

ミワキルナ(コンテナ車両) マックローダー(ずり積込み機)ほか建設機械製造・販売・リース

三輪運輸工業株式会社

代表取締役社長 三輪 武

本 社 〒651-0072 神戸市中央区脇浜町2丁目1-16 TEL.(078)251-5007

東京事務所 〒141-0032 東京都品川区大崎1-20-16 小林ビル TEL.(03)5437-0191

播磨工場 〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島39番地 TEL.(0794)35-5115

連載講座

線路下横断工法(4)

アール・アンド・シー工法

「線路下横断工法」連載講座小委員会

1. 工 法 概 要

1-1 工法開発の経緯と現状

推進工法やけん引工法(フロンテジャッキング工法)などでは、線路脇の立坑や工場で製作された品質良好なボックスカルバートを、線路下にトンネル式で設置できることが最大の特徴である。

これらの工法は、線路の防護工としてパイプルーフ工法を併用することが必要である。したがって、その施工空間を確保するため計画構造物の土かぶりが大きくなることが特徴であった。

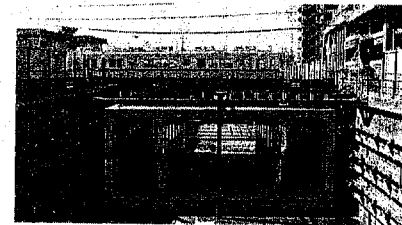


写真1 完成写真(新成線五番1号踏切道立体交差)

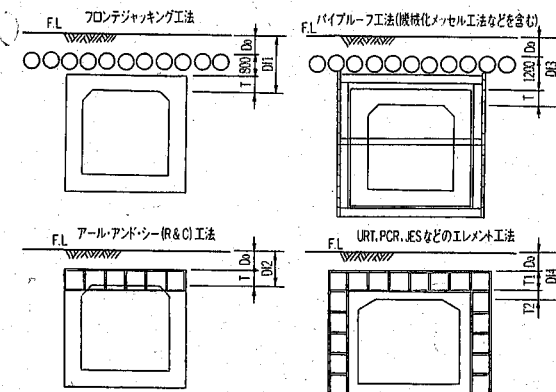


図1 他工法との土かぶり比較図

アール・アンド・シー工法(以下、R&C工法という)はパイプルーフに矩形断面の鋼管(以下、箱形ルーフという)を用い、これを設置するボックスカルバートと置換することにより、土かぶりの小さい条件下での施工を容易にした(写真-1、図-1参照)。

実物大での実験による実証を経て、昭和60年に道路下の工事に、鉄道下では翌61年に東北・京浜東北線東十条駅近くの井頭地下歩道新設工事に初めて採用された。

施工箇所は活線6線を横断するものであり、1日あたりの列車運転本数は1,050本を数え、時間あたりにおいても80本を超える超過密線区であった。初弾工事としては厳しい条件であったが、当時の国鉄技術陣の設計・施工監理による工事の成功により、R&C工法の基礎が確立された(本工事は当時SC工法と称された)¹⁾。

その後、R&C工法は土かぶりが小さく品質良好な構造物が設置できる工法として評価され、平成12年9月末までの実績は233件となり、断面幅では31mを越す事例や、横断長さが60mを超える施工も行われるようになった。

R&C工法において軌道への影響が考えられる工種は、立坑仮土留め・掘削工、地盤改良(薬液注入)工、箱形ルー

フ推進工、函体置換工の4つに大別される。このうち、函体置換工が本工法独自のものである。これによる影響は、予めその数量・位置・時間が限定できるものであるが、これをいかに小さくできるかが課題である。

この工程による軌道への影響は高低狂いなどの発生が主となるが、その程度は箱形ルーフ設置精度の良否により左右される。

発生する変状は箱形ルーフ施工時とは異なり急激なものではなく、時間的にも限定されることから、関係機関との緊密な連携および適切な施工管理によりその影響を最小限に抑え、交通の安全を確保

することが重要である。

1-2 工法のしくみ

R&C工法は、ボックスカルバートの計画高さに合わせて設置した箱形ルーフを、推進またはけん引によりボックスカルバートと置き換える施工法である。このとき、

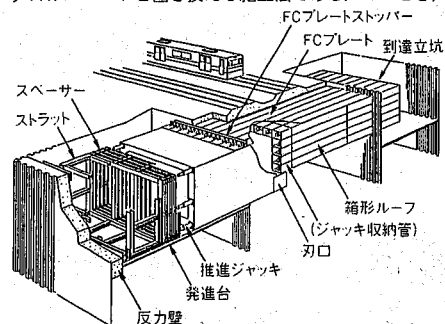


図2 R&C工法概念図

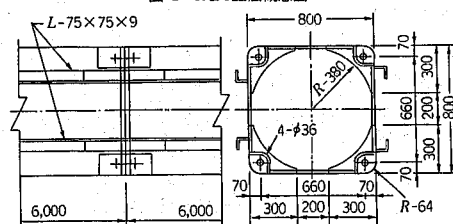


図3 箱形ルーフ標準管図

表1 箱形ルーフ断面・重量

種別	断面形状	標準6m管 幅×高さ(mm)	重量(kg)	調整6m管 重量(kg)
標準管	800×800	800×800	3,107	1,612
	1000×800	1000×800	4,337	2,200
	950×800	950×800	3,797	1,950
	900×800	900×800	3,257	1,680
調整管	850×800	850×800	3,167	1,635
	700×800	700×800	2,897	1,500
	600×800	600×800	2,723	1,413

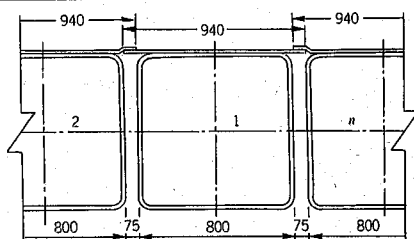


図4 FCプレート取付け組み合わせ図

推進される箱形ルーフやボックスカルバートとともにその直上の土砂や構造物が移動することを防ぐため、箱形ルーフとともに土中に設置した縁切り鋼板（以下、FCプレートという）を土中に残置する。FCプレートは短冊状の鋼板であり、箱形ルーフの上面先端に固定させて1列ごとにルーフとともに土中に推進設置したものである。ボックスカルバートの推進（または、けん引）に先立ち、FCプレートはH形鋼などの連結（桁）材に結合し、立坑の土留め壁などに固定される（図-2参照）。

箱形ルーフは断面が800×800mm、単体の長さ6mが標準である。その端部は横断長に合わせて所定本数をボルト接合するためフランジ加工が施され、再利用しやすい構造となっている（図-3参照）。また、ボックスカルバート幅と箱形ルーフ配列の全体幅を合致させるため、幅が800mm以外のサイズも調整用として用いられる（基本的に高さは800mm、表-1参照）。

FCプレートは縦方向を溶接により接合することになる。その厚さは、施工性から9mmが標準的に用いられるが、上載荷重条件や中押しなどの施工条件により選定される。幅はルーフ幅とすることが多かったが、最近では箱形ルーフの横継手幅や水平方向設置誤差をカバーするため、幅方向の端部を折り曲げ加工したもの（図-4参照）の実施例が増えている。

2. 施工法の形式と特徴

2-1 工法の定義

R&C工法は先行設置した箱形ルーフとボックスカルバートを置換する施工法である。箱形ルーフが横断部を貫通しない場合や置換する構造物が桁状の場合も含むものとする。

R&C工法はその施工要素の組み合わせにより様々な施工パターンが考えられ、計画構造物の形状や土質、立坑立地などの施工条件に最適な形式となるように計画することとなる。

また、箱形ルーフを路面覆工または工事桁の代用として、開削直埋式に設置（土かぶりがないため1～数夜施工）した後、函体を推進設置する事例も行われるようになった。

主な施工要素である箱形ルーフ配置形式、函体の前進方法、ガイド導坑の有無、函体の製作方法などの組み合わせが施工条件により選択されている。

2-2 箱形ルーフの配置形態

一文字型、門型、函型、側壁パイプルーフ型の4形式がある。

2-2-1 一文字型（図-5参照）

一文字型は函体側方にパイプルーフを水平に張りだし

設置する形式であり、ルーフ施工のための立坑工事が軽減できる特徴がある。このパイプルーフの支持は地山によるため、切羽地山の安定が確認される場合に用いられることが基本であり、掘進切羽の防護として刃口側面にメッセル式矢板を組み込む例が多い。

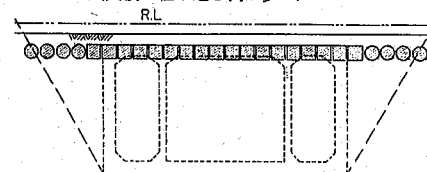


図5 一文字型配置断面図

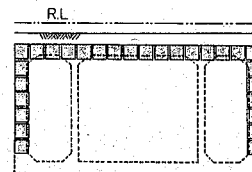


図6 門型配置断面図

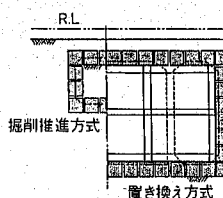


図7 函型配置断面図

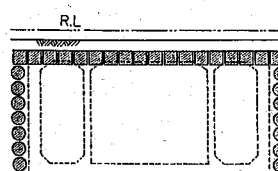


図8 側壁パイプルーフ配置型断面図

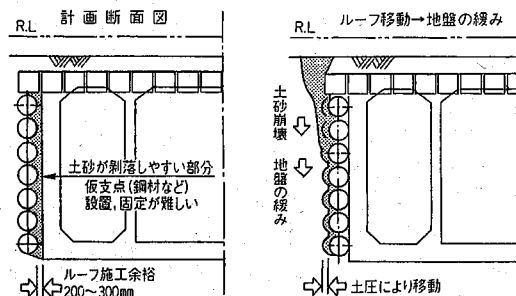


図9 側壁パイプルーフ留意点説明図

函体断面が小から中断面の場合に用いられることが多いが、横断部側壁位置において転石や岩が出現する場合など、鉛直に箱形ルーフやパイプルーフが配置できない場合は大断面においても用いられる。

2-2-2 門型（図-6参照）

門型は立坑幅を最小にでき、掘進切羽の防護が確実であることから適用範囲の広い施工形式であり、箱形ルーフ押し抜き力が推進当初より大きい特徴がある。側壁間が小さい場合は、箱形ルーフ間に挟まれた土塊が到達側に押し出される力を受けるため、立坑仮土留め工はこれを考慮する必要がある。

函体の前進方法をけん引とする場合は、箱形ルーフが到達立坑に押し出されることから、反力体（地山など）は到達立坑の先に設置することとなる。

2-2-3 函型（図-7参照）

函型は函体全周に箱形ルーフを配置する形式であり、函体基礎地盤部の地山の支持力が不足する場合など、軟弱地盤に対して用いられる。小断面では箱形ルーフ間に土砂を挟んだまま、またはこれを掘削しながら函体を前進させることがあるが、中断面以上では先に箱形ルーフ間の土砂を掘削してから函体を前進させることとなる。

2-2-4 側壁パイプルーフ型（図-8参照）

函体側壁位置の外側にパイプルーフを配置する形式である。函体をけん引とする形式において到達立坑および反力体設置スペースが確保できない場合、推進力を軽減させる場合などに用いられる。

側壁パイプルーフと刃口および函体側壁の施工位置の地盤が、砂、砂礫、軟弱粘性土など自立性の良好でない地盤の場合は、地山の緩みや空隙の発生によりパイプルーフが函体側に変形・移動する場合がある。このため本形式を用いる場合は、刃口外側に空隙を生じさせないための地盤改良および掘削工法、空隙が生じた場合の充填方法、捨てルーフの設置などを検討する必要がある（図-9参照）^{2),3)}。

2-3 函体の前進方法

推進、けん引、併用（ESA）の3形式がある。

2-3-1 推進形式

推進形式は元押しとも呼ばれるものであり、函体の前進方向の背面側に反力体を設置する。小から中断面の工場製作函体を多数個連続設置する場合に適し、反力の条件が良い場合は、大断面の場合にも適用される（写真-2参照）。

立坑現位置で場所打ち製作する函体の個数が多い場合は、反力鋼材の設置撤去数量が多くなるため、けん引とする場合との得失を検討

討する必要がある。

2-3-2 けん引形式

けん引形式は函体の前進方向の前方に反力体を設置するもので、PC鋼線をけん引(反力)材とし、センターホールジャッキであるフロンテジャッキを用いて行う(写真-3、4参照)。

函体後端部と反力体側の固定点との距離があるため、反力体の変形によるジャッキ設置精度への影響は少なく、函体が斜角でもジャッキ設備が取り付けやすいなどの利点がある。反面、けん引材の伸び量が大きく、函体が動き始める瞬間(けん引材の縮みによる)の衝撃が発生する場合がある。この対策として中押しジャッキのシリンダーの戻り抵抗を利用するアンチショック工法が開発されている⁹⁾。

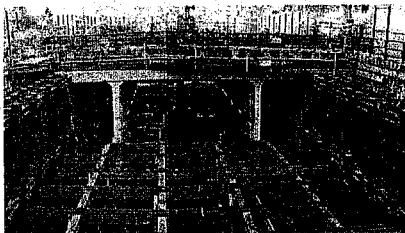


写真-2 大型函体推進状況



写真-3 けん引反力壁



写真-4 けん引状況

2-3-3 併用(ESA)形式

前述の両形式はともに中押しを併用することもある。併用方式とはこれらを併せて行う方式であり、ESA工法に代表される。横断長が長い場合、横断部が盛土などにより推進・けん引反力が得にくい場合に効果的である。

ESA工法は3個以上の函体を前進させる場合に用いられるもので、前進させる1個の函体を、他の2個以上の函体を反力に『尺取り虫』方式に前進させる自走方式である(写真-5参照)。施工状況により立坑などにも反力を得る場合がある。

2-4 ガイド設置

函体掘進に先立ちガイド部材を埋設、ガイド導坑掘削・構築する場合がある(写真-6参照)。

前進させる函体は一般に前下がりになる傾向がある。これは、

- ・切羽掘削時に地山の緩みが発生する
- ・刃口部は切羽防護の箱形ルーフの支点となり、底盤への載荷量が函体の一般部より大きくなる

ことによる。

ガイドによりこれを防ぐことは、とくに大断面においては困難であるが、ガイドには、

- ・玉石混じり地盤などの掘削による乱れを防止する
- ・ガイド(前進)方向に荷重を分散させる
- ・けん引材のPC鋼線を坑内に集中配置できる



写真-5 ESA方式施工状況

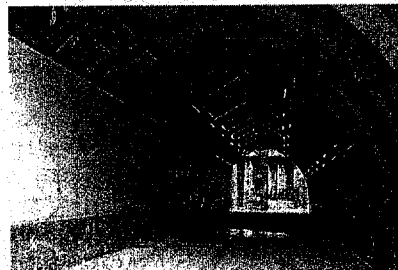


写真-6 ガイド導坑、ガイド構築状況

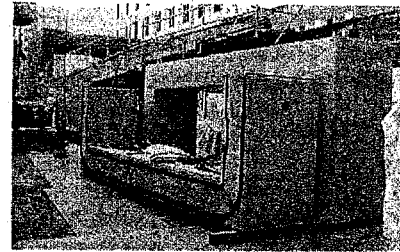


写真-7 工場製2分割函体

・パイロット坑の水抜きなどの効果が期待できる。

ただし、ガイド導坑をトンネル式に掘削設置する場合は、それによる地山の緩みが発生するため設置にあたっては十分な対策が必要である。

推進方式による場合は一般にガイド導坑は設置していない。

2-5 函体の製作形態

函体の製作形態は次の3つに大別される。

- ・工場製作
- ・立坑近辺で製作
- ・立坑内で場所打ち製作

工場製作の場合、搬送する重量の関係から部材厚を小さくすることが有効であるが、推進またはけん引の施工条件を考慮する必要がある(写真-7参照)。

また、立坑用地を大きく確保できる場合は、一度に数ブロックの函体を製作し、所定位置に横取りまたは縦取りして使用し工期短縮を図る場合もある。

3. 工事計画・施工上のポイント

3-1 箱形ルーフの設置

3-1-1 箱形ルーフの施工性

トンネル施工時の切羽を防護し、移動する函体と地山との縁を切るFCプレートの設置を担うのが箱形ルーフである。FCプレートは函体計画位置に合わせ正確に設置する必要があり、この施工の良否が軌道に与える影響の程度を左右する。また、土かぶりが小さい地盤での施工となることから、軌道などの上部構造物への影響が直接的であるため、慎重な施工が必要となる。

立坑形状が許容する範囲内で箱形ルーフを長くセットし、立坑にて方向性を定め推進することは有効な手段である(写真-8参照)が、中小断面では採用できない場合も多い。

箱形ルーフ施工の難しさは次の点にあると考えられている。

- ① 断面が矩形であることから、その四隅が掘りにく

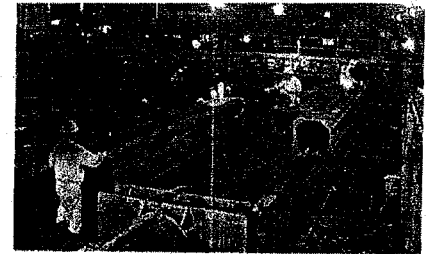


写真-8 長尺箱形ルーフ並列施工(2列)状況

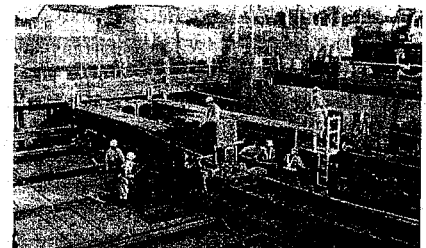


写真-9 ホリゾンタルオーガー施工状況

いため転石などに遭遇した場合、精度不良および軌道または路面の変状を起こす。

- ② 矩形断面のためローリングの影響が無視できない。
- ③ 小さい土かぶりでは埋め土などの不均質な緩い土層が主であり、転石やコンクリート塊が多い。
- ④ 箱形ルーフの設置位置と函体設置との差が直接的に軌道や路面の変状要因となる

3-1-2 主な箱形ルーフ施工法

(1) ホリゾンタルオーガー推進機(写真-9参照)

推進管の中にオーガスクリューをセットし、その先端にカットを取り付け、オーガーを回転させることにより掘削と残土排出を同時に行うものである。従来パイプルーフ施工機械として用いられ、これまでも箱形ルーフ施工機械として多く用いられてきた。通常1ないし2セットで施工する。

特徴は以下のように整理される。

〈長 所〉

- ・施工速度が速い
- ・土質適用範囲が広い

〈短 所〉

- ・矩形の四隅が完全に掘削できず、精度が不良
- ・ローリングが発生しやすい

(2) 人力施工

推進管先端に刃口を取り付け、人力により掘削を行うものである。特殊な機械設備を必要としないが、狭小な作業環境から効率が悪く、安全衛生面において十分配慮

する必要がある。

一般に作業速度の低さをカバーし、施工精度の向上を図るため並列施工される場合が多い(写真-10参照)。特徴は以下のように整理される。

〈長 所〉

- ・支障物対応が容易
- ・土質適用範囲が広い

〈短 所〉

- ・施工速度が遅い
- ・作業者の能力に品質が左右される

(3) 新形式の掘進機による施工

泥水式、土圧式、ドライメカ方式などが開発されている。泥水式などの切羽密閉方式は浅い地山特有の支障物などへの対応が難しい面がある。切羽解放式は帯水性地盤には適用が難しいが、支障物対応性に優れている。

水平部箱形ルーフの対象地盤は埋土など比較的軟らかく、地下水位以上にある場合が多い。地質条件をこのような地盤に絞り込み、ベルコンによる連続排土が可能なドライメカ方式が実用化された(写真-11、12参照)。その特徴は以下のように整理される。

〈長 所〉

- ・品質(施工精度)、安全性が高い
- ・施工速度が速い
- ・支障物対応が比較的容易

〈短 所〉

- ・堅い地盤には適用できない

3-2 函体掘進時の切羽対策

3-2-1 箱形ルーフ配置形状と対策

切羽前面については、箱形ルーフ標準管の断面性能が大きく、通常地下水のない安定した地山に対し切羽角度を60度程度に保つことは困難なことではないため、掘削高さが8m程度までは掘進時の切羽山留めが不要となる場合が多い。箱形ルーフ標準管の1本あたりの断面2次モーメントは路面覆工桁(多用されているH-588×300×12×20)の5本分に相当する。

しかしながら、上部構造物の重要性、調査結果と実際の地盤の性状の差、安全性向上(列車通過振動などによる)を十分配慮し作業休止時などには切羽を山留めすることが望ましい。

切羽側面については、箱形ルーフ配置形式が門型または函型の場合は、切羽周囲が完全に防護され安全性が高い(写真-13、14参照)。

一方、一文字型(側壁パイプルー配置形式を含む)の場合、切羽側方への地山の緩み・崩壊防止に留意し、刃口を切羽に貫入した状態で掘削することが困難な砂礫地盤などに対しては、側方地盤の改良およびスライド式

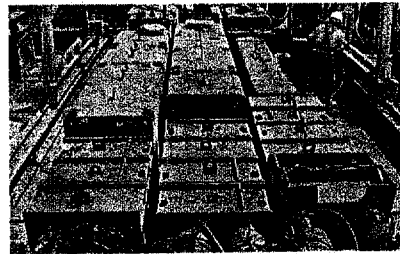


写真-10 人力並列施工(3列)状況



写真-11 ドライメカ掘進機(背面、礫質土掘削)

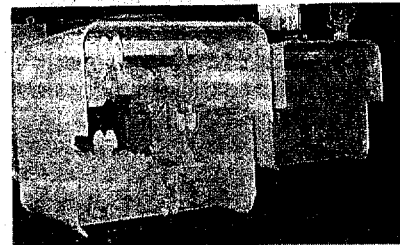


写真-12 ドライメカ掘進機(前面)

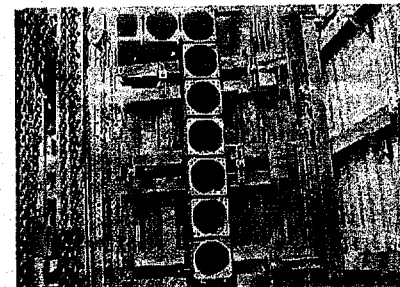


写真-13 箱形ルーフ門型施工例

刃口の採用などを検討する。

3-2-2 刃口構造による対策

刃口は、函体先端を保護し、上部構造物の防護工である箱形ルーフの支持点となるものである。一方、掘進に際しては地山に貫入・当接し、計画掘削断面に対し余掘

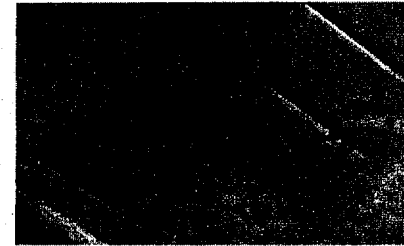


写真-14 門型配置の函体掘進切羽状況



写真-15 スライド式刃口(側方の矢板伸長)

りを発生させないことが求められる。

箱形ルーフが門型の場合は刃口はほぼ底盤部のみとなり、箱形ルーフの支保枠という状態になる。山留め機能が求められるのは側壁下部のごく一部となり、切羽角度に合わせた固定したスキンプレートが装着されている。

箱形ルーフが一文字型(側壁パイプルー配置形式を含む)の場合は、刃口を地山に貫入させることが不可欠となる。砂礫などの地盤は崩壊性が高く刃口貫入が困難なため、側面にメッセル矢板を装備したスライド式刃口を設備することが必要となる(写真-15参照)。

箱形ルーフが函型の場合は、刃口は掘削に対する機能が不要となり、箱形ルーフと函体とを接合する当枠となる。

3-3 函体けん引・推進設備

3-3-1 推進抵抗力の算定

R&C工法の推進またはけん引抵抗力は、

- ・箱形ルーフ押し抜き抵抗
- ・刃口部(貫入)抵抗力
- ・函体周面摩擦抵抗力

の要素の組み合わせとなる(図-10参照)。

また、推進方式の場合の実績値(最大推進力を函体周面積で除した単位面積あたりの摩擦力度)を、図-11に示す⁹⁾。

(1) 箱形ルーフ押し抜き抵抗力

函体掘進開始時が最大値となり、以後進捗につれ漸減することが特徴である。

一文字型の場合は、箱形ルーフの施工位置が浅いこともあり推進設備全体の大きさを決定する要因とはならないが、門型などの場合は、土との接触面積が函体の場合より大きくなることもあり、推進設備全体の大きさを決定する要因となる場合がある。

また、横断長が長い場合などにおいては、刃口位置で箱形ルーフを適宜本数ごとに先押しすることがある。

(2) 刃口部(貫入)抵抗力

刃口の刃先(スキンプレート)部分が地山に貫入する抵抗力と、山留めジャッキを設置した場合の作動抵抗力とからなる。

中位から堅い砂礫地盤においては、刃先の貫入が困難な場合が多い。これに大量のジャッキを設備することで対抗することは函体への影響、コストアップ、反力地盤の変形などを招くため避けるべきであり、貫入する部分を小さくした刃口形式の採用や、箱形ルーフの門型配置を検討すべきである。

(3) 函体周面摩擦抵抗力

函体底面位置に作用する外力がもっとも大きくなることから、函体の底面に摩擦低減用の鋼板を装着させる場

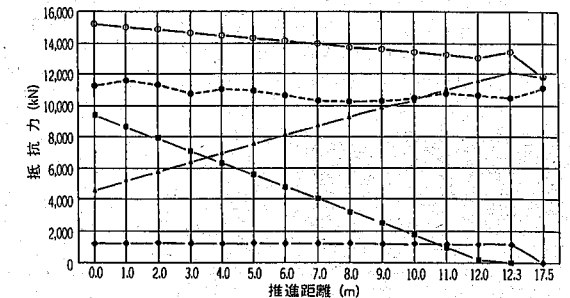


図-10 推進抵抗力の推移図(新成五香の例)

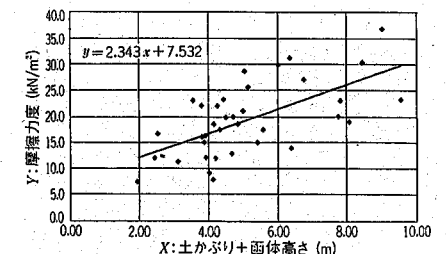


図-11 単位面積あたりの摩擦力度図

合が多い。

3-3-2 推進(けん引)設備

反力体となる地山(あるいは堤体)の耐荷力内で経済性および施工性が最適となるように計画すべきである。設備の種類としては、

- ・元押し・けん引設備
- ・中押し設備
- ・ルーフジャッキ設備(中押しの一形態)

に分けられる。各設備とも施工途中でのジャッキ増設は容易でないため、設備計画には十分に余裕を持たせることが望まれる(一般に元押し20~40%、中押し20%:「推進工法の調査・設計から施工まで」土質工学会)。

元押し(または、けん引)設備のみでは推進力が不足する場合、中押しを設備する。R&C工法では箱形ルーフ押し抜きや刃口部の抵抗力が大きいため、中押し設備は第1函体の後ろとする場合が多い。

ルーフジャッキは刃口位置において函体推進に先立ち箱形ルーフを先(中)押しするもので、全く必要としない場合と適宜本数使用する場合とがある(写真-16参照)。一般的に、函体推進抵抗より箱形ルーフ押し抜き抵抗が大きい場合や、箱形ルーフ押し抜き位置が地表近く、ルーフ押し抜きの反力が不足する場合に必要となる。

また、函体推進開始時はFCプレートが箱形ルーフに付着している場合があり、このためにFCプレート固定装置に大きな力が加わりこれを変形させ、軌道をも水平変位させる場合がある。これを防止するため適宜本数の



写真-16 ルーフジャッキと収納管

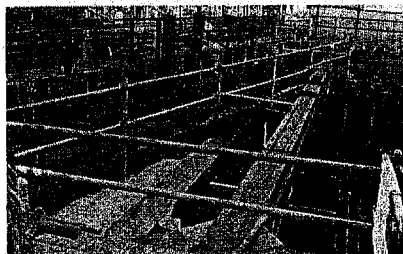


写真-17 FCプレート固定の例

箱形ルーフを先押しすることも効果がある。

3-4 FCプレート固定法

箱形ルーフに載せて軌道直下に設置された短冊状のFCプレートは、発達立坑においてH形鋼などの桁に溶接され、函体の移動により水平方向に共ズレしないように固定される(写真-17参照)。

函体幅が大きくなるとこの固定桁の変位防止が重要である。曲げ剛性の高い桁をトラス構造などとする場合は端部固定点の反力が大きくなるのに対し、施工地点の土かぶり小さいため十分な反力が得にくいことに留意する必要がある。

また、固定桁の中間点にタイロッドを取り、これを背面の支圧壁などに固定する場合は、タイロッド長が長くなるのでその伸び量を大きくさせないことが必要である。

固定桁の定着点を伸長するジャッキを介し、移動する函体とする場合がある。現在この方法の自動化が進められている。

4. 施 工 例

4-1 施工実績にみる傾向

これまでに施工された230件を越すR&C工法工事の中で、函体外幅のもっとも小さな例は1.42mとなっている。函体幅が小さい場合は、軌道下の掘削を小さくして軌道への影響を小さくする効果が薄れるため、この程度が限界であろう。函体幅が2m以下の例は施工実績の中で約4%であり、その用途は水路である。

一方、函体幅の最大は現在施工中の31.4m(千歳線南千歳・美々間)となっており、掘削断面積は253m²に及ぶ。函体幅が20mを超える例は、施工実績の中で約6%であり、その用途は道路である。

また、横断長については、最短が6.9m(構造物長)、最長は施工中であるが62.7m(同)となっている。横断長(構造物長)が30mを越す例は実績の中で約21%を占め、箱形ラーメンの構造形式の特質を活かしていることが反映されている。

用途が特異な例としては、函体を駅舎や橋台に利用したことが挙げられる。また、橋梁の桁を設置した事例もある(これは従来SB工法と称された)。以下にこれまでに施工された代表的事例を紹介する。

4-2 代表的施工例

4-2-1 並列施工

図-12は、昭和61年に竣工した東海道線藤枝構内で施工された並列施工の例である。大きな断面が人道であり、小さな方が下水路である。工法が開発された当初であり、大きな断面の施工実績がなかったこと、財産および維持管理の区分などの理由から、2つの函体を同時並列推進

することとなった。

4-2-2 狹隘な都市部での施工

図-13は、地下鉄駅の出入口工事に適用された事例(南北線六本木一丁目停車場出入口工事)である。首都高速道路高架橋下に位置するため開削工事が困難と判断されたため、近接する橋脚基礎や幅狭る埋設物にもっとも影響の少ない工法として採用された。これらの施工条件から函体は上下2分割のプレキャストボックスとし、箱形ルーフは、矩形泥水掘進機(シールド)により施工された(写真-18参照)。

写真-19、図-14は立坑(作業基地)立地の条件が厳しい施工例(東武東上線成増駅地下道)である。箱形ルーフは仮設材であり場合によっては全損とすることができる。

4-2-3 大断面施工例

写真-20は施工中の千歳線南千歳・美々間の工事である(函体全幅31.40m、全高8.05m、長さ18.00m)。新

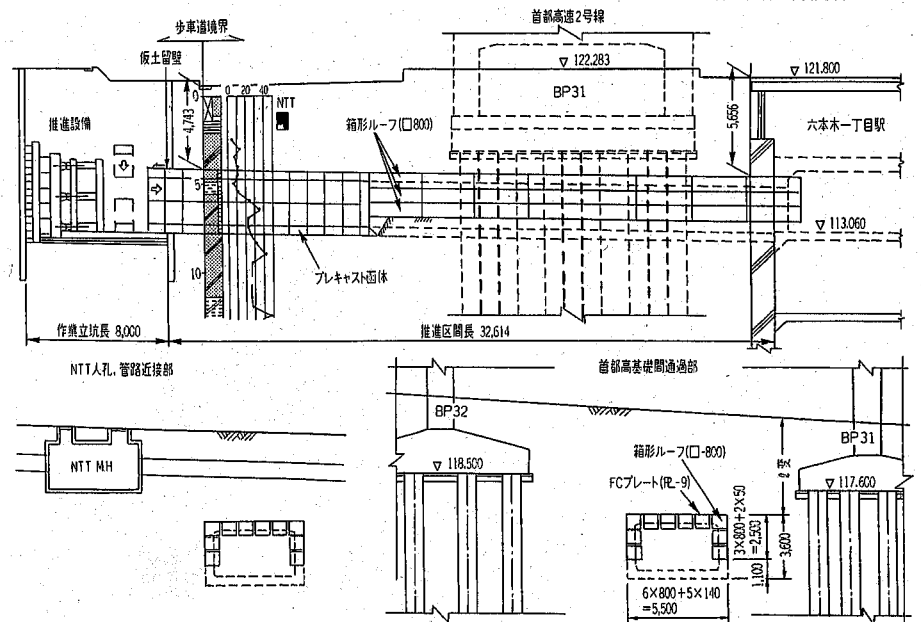
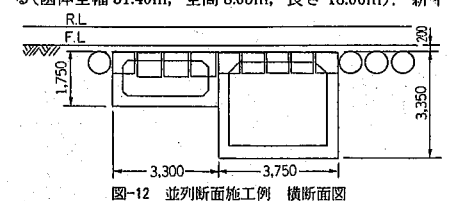


図-13 地下鉄出入口工事での適用例 (一般図)

歳空港の滑走路延長上に位置するため空頭制限を受け、また、既設架道橋および幹線国道に隣接した厳しい条件下の工事となっている。

写真-21は4車線の都市計画道路アンダーパスの工事例である(奥羽線北山形・羽前千歳間、函体全幅27.60m、

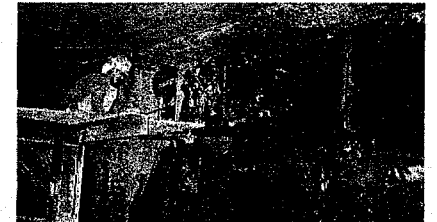


写真-18 矩形泥水掘進機による箱形ルーフ施工状況



写真-19 狹隘な立地条件での施工例(完成)

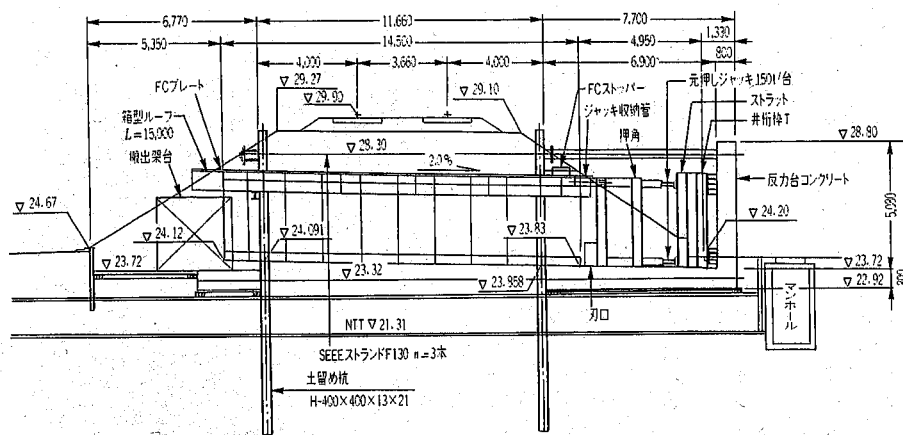


図-14 狭隘な立地条件での立坑設置例(縦断面図)

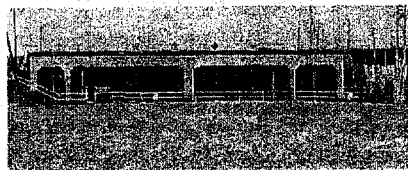


写真-20 大断面施工例①(千歳線)

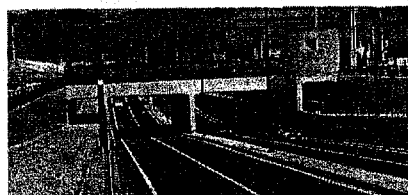


写真-21 大断面施工例②(奥羽線)

全高7.80m, 長さ14.50m).

4-2-4 高速道路下での施工例

図-15は高速道路下での最大断面であり、都市計画道路をアンダーパスとして新設した工事例である(京葉道路改築蘇我IC工事、函体全幅30.40m, 最大高8.00m, 長さ26.74m)。高速道路に勾配があるため函体の端においては土かぶりが不足すること、掘削土量を小さくするなどの理由から変形断面となった。

写真-22は既設函橋に近接して施工された例であり(東名牧ノ原SA 函渠工事)、小土かぶりで施工された状況がわかる。

4-2-5 箱形ルーフ開削設置例

箱形ルーフは仮設材であり、これを路面覆工材または工事桁とみなし、これを開削設置することは浅い掘削であるため限られた通行規制時間内に可能である。非開削

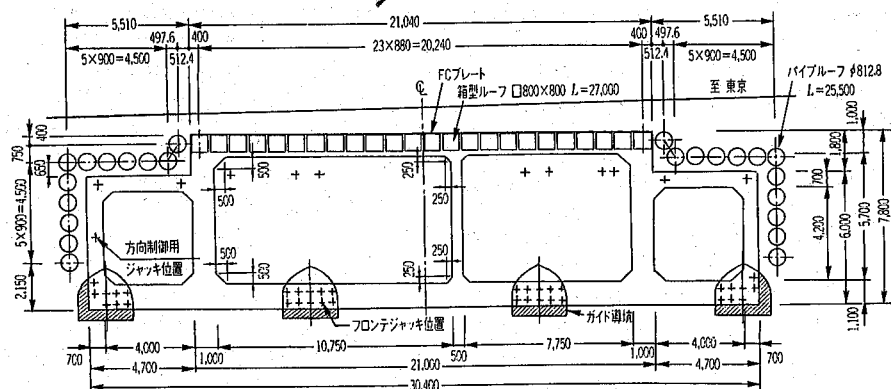


図-15 高速道路下大断面施工例(横断面図)

5. おわりに

R&C工法は、構造物の土かぶりが小さい箇所においても施工可能であり、永久構造物として信頼性のあるシンプルボックスラーメン構造物を設置することが本工法適用の最大の特徴である。

工法が一般化するとともに施工時の一時的なトラブル事例も聞かれるようになった。施工環境は厳しい場面が多いが、本連載記事が工法の正しい理解に役立ち、ライフサイクルコストに優れ利用しやすいアンダーパスの整備に資することになれば幸甚である。

(文責：田中秀和・アール・アンド・シー工法協会)

参考文献

- 1) 曲尾理三郎・ほか：SC工法による井頭地下道新設工事，基礎工 1986, 2.
- 2) 大港和司・他：「分岐器直下における線路下横断構造物の施工法と軌道変状対策」，日本鉄道施設協会誌，1996, 5.
- 3) 田光 誠二・ほか：ホーム直下における立体交差化工事，土木施工 1997, 11.
- 4) 谷村賢治・ほか：R&C工法(BR型)による軌道直下大断面地下道の施工，土木施工 1999, 3.
- 5) 村瀬孝司・ほか：ルーフの門型配置による立体交差の合理的施工，土木施工 2000, 2.
- 6) アール・アンド・シー工法協会：アール・アンド・シー工法技術資料，2000, 4.

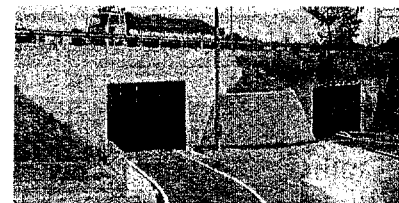


写真-22 高速道路下施工例(既設函橋近接)



写真-23 既設橋梁の改築工事例(新川雨水)

工法の枠をはみ出した施工法となるが、上部交通への影響がきわめて短期間になること、箱形ルーフ施工コストが安いことが特徴である。

写真-23は既設道路橋の改築工事(大津市新川雨水函渠工事)であり、既設橋桁を箱形ルーフに置き替え(開削設置)で、これらを押出し、橋台を撤去した河川拡幅工事である。

【新刊図書】

わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修 B5判 209頁 本体価格2,500円(税別) 千340円

本書は、平成11年3月号より17回にわたって「トンネルと地下」に連載した「トンネル技術者のための応用地質学入門」をベースに、加筆および整理してまとめたものである。本書では、最新のトンネル技術、地質学、ならびに、地質調査法などを挙げ、学生から実務者まで広範に満足させる内容となっている。

【主要目次】

序編 トンネルと地質の関わり

第Ⅲ編 地質調査法

第Ⅰ編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学

第Ⅳ編 工事を対象とした地質調査の進め方

第Ⅱ編 トンネル工事と地質条件

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

残る場合、防水シートの取り付け作業が困難となるばかりか、覆工コンクリートの打設によりシート防水材に局部的に大きな引張力を生じたり、覆工背面に空隙が残るなどの問題が発生することがあります。したがって、吹付け面はできるだけ平坦に仕上げる必要があります。

また、支保構造をトンネル構造とするシングルシュール・ライニングでは、その仕上げを吹付けコンクリートで行う場合が多く、その出来映えの点からも、吹付け面の平滑性が求められる場合があります。

このような点からも、吹付け作業において均一な施工を満足するためには、以下のような事項に注意する必要があります。

- ① 吹付け作業は十分な照度のもとで行わなければならない。
 - ② ノズルは常に吹付け面に直角になるように保持し、適切な吹付け距離と吹付け圧力を保たなければならない。
 - ③ 吹付けは、コンクリートがたれ下らない範囲の適切な吹付け厚さで吹付け、所定厚さになるまで反復して吹付けなければならない。
 - ④ 鋼製支保工の設置箇所には、地山と鋼製支保工との間に空隙ができないように吹付け、かつ吹付けコンクリートと鋼製支保工が一体になるように注意しなければならない。
 - ⑤ 吹付けコンクリートの表面は、とくに必要のある場合の他は、吹付けのみによる仕上げを原則とする。
- ①について：吹付けにあたり、地山状況の判断、吹付けの品質管理、吹付け作業を安全に行うため、適性な照明を行う必要があります。

②について：吹付けは、ノズルから射出される材料が適当な衝突速度で壁面に直角にあたった場合、もっとも圧密され付着性も良いと考えられています。吹付け角度が斜めになると、すでに吹付けられた部分を傷つけ、はね返りや剝離が多くなります。吹付け距離は、衝突速度と付着密度とが最適な状態となるよう定めなければなりません。近すぎると、先に吹付けたコンクリートがえぐれたり、あばたになり、遠すぎると骨材が分離してはね返りが多くなり所定の強度が得られなくなります。これらを踏まえ、吹付け距離は通常1~2m程度と言われています。ただし、仕上げの際には、吹付け面を平滑にするために、ノズルを少し離して吹くことが平滑面を形成するのに効果的です。また、スランプの大きい生コンクリートはポンプ圧送における流動性・吐出性には効果的ですが、あばた発生の原因にもなることから、スランプ

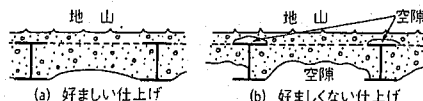


図-1 吹付けコンクリートの仕上げ

管理には十分な注意が必要です。

③について：1回で吹付ける吹付け層の厚さは、吹付け面の位置および乾湿の状態、吹付け材料の相違ならびに急結剤使用の有無、吹付け方式の相違や、ノズルマンの吹付け技術などによって異なりますが、吹付けられた材料が垂れ下がったり、剝離しない厚さを限界とし、先に吹付けた層が、次の層を保持できるまで硬化したら、ただちに次層を吹付けることが望ましいと思われます。数層に分けて吹付ける際、先に吹付けたコンクリートの表面に付着した粉じんなどを圧縮空気などで清掃した後、吹付けなければなりません。また、最近の吹付け機械は生コンクリートの吐出量が多くなっているため、ノズルの移動速度を上げるなどの工夫が必要となります。

吹付け厚さは、吹付け面の凹凸などにより均一にしにくく、一度吹付けコンクリートで表面を覆ってしまうと、その厚さがわかりにくいのが現状です。したがって吹付け後、レーザーマーキングなどにより、所定の吹付け仕上がり面が確保されているかを確認し、不足している箇所については増し吹きなどの処置を行う必要があります。

④について：鋼製支保工より薄い吹付け厚の場合は、支保工と壁面の接触の連続性を確保することが困難になります。また、変位を受ける鋼製支保工のフランジが、吹付けコンクリートを引き離す傾向を示すので、鋼製支保工のウェブにコンクリートを十分に充填して、地山や吹付けコンクリートと一体となる支保を形成する必要があります(図-1参照)。

また、鋼製支保工のない掘削パターンでは、H-100×50などを定規(ガイド)代わりにして、厚み管理を行いながら、平滑な吹付け面を実現している例もあります。

⑤について：吹付け完了後に仕上げを行うことは、仕上げの際、部材表面に損傷を与えたり、吹付けコンクリートと鉄筋あるいは吹付け面との付着に悪影響を与えるおそれがあるので、できるだけ避けた方が良く考えます。

(文責：岩田広己・(株)フジタ)

参 考 文 献

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説，1996.7.
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書[施工編]，1996.3.
- 3) 日本鉄道建設公団：NATM設計施工指針，1996.2.

連載講座 線路下横断工法(5)

ESA工法

1. 工法の概要と特徴

1-1 工法開発の経緯と現状

ESA工法は、非開削での長距離地下構造物(以下、函体という)の構築方法で、この工法の前身であるフロテジャッキング工法(本講座第3回; Vol.31, No.12)や推進工法の特徴を継承し、改良を加え考案された。

従来のフロテジャッキング工法による場合、到達側の反力体をアンカーとして、けん引部材であるPC鋼線

「線路下横断工法」連載講座小委員会

関係で施工延長に限度があった。

また、元押しの推進工法では、発達立坑後方に反力壁を設置し、推進力の伝達部材としてストラット鋼材などを用いた設備となるが、工事規模に準じて設備が大きくなり、反力壁体には強固な剛性も必要となることから、大規模工事への採用は少ないのが現状である。

これらの部分を改良し、到達側の反力体や、発達立坑後方の反力壁、およびストラット部材を必要としないで、複数に分割した函体を、長距離に前進する施工方法として開発された。

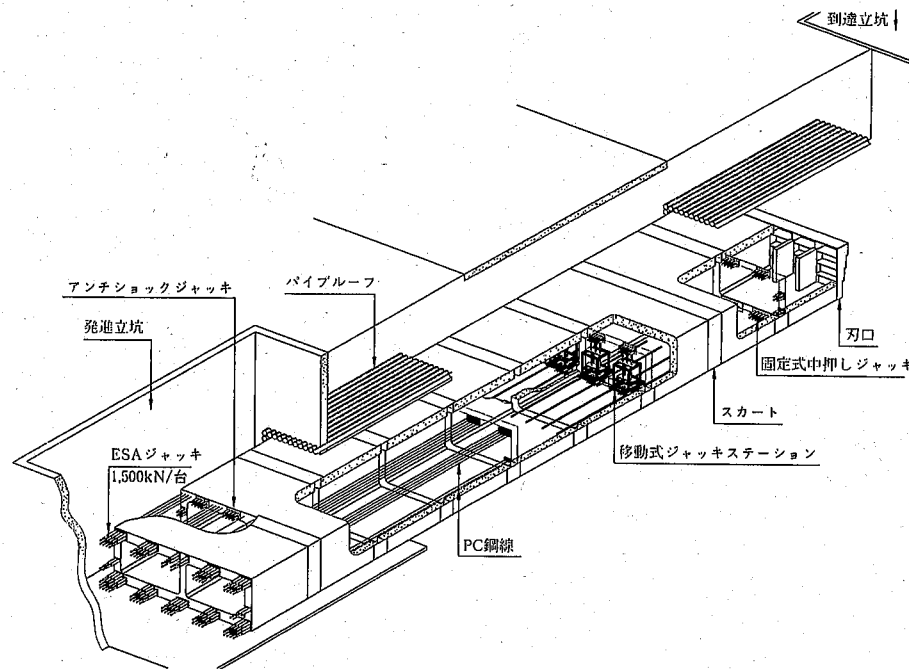


図-1 ESA工法概念図

採用事例としては、線数の多い駅構内の自由通路新設や、道路線形に沿った曲線施工のほか、到達側に用地の制約がある場合などの事例がある。

1-2 名称の由来

ESA 工法は、長距離をイメージした施工方法であり、函体の無限自走前進(Endless Self Advancing)工法とも称され、英文の頭文字を取って ESA 工法(通称、エッサ工法)としている。

1-3 工法のしくみ

複数の分割した、矩形で等断面の函体を非開削で施工する工法である(図-1)。

その原理は、尺取り虫の動きに似ており、まず、尾部を固定(反力)して頭部を前進させ、次に頭部を固定(反力)して尾部を引き寄せるように動いていく。

これを交互にくり返し、前進していくものである。

基本的には、複数(3 函体以上)の函体を貫いて PC 鋼線で連結し、各函体間と最後部に油圧ジャッキを設置して ESA 設備を構成する。

一つの函体が前進するときは、他の複数の函体が反力抵抗体となり、油圧ジャッキで 1 函体ずつ順次前進させるものである。

また、反力抵抗は、推進する函体を受ける土圧および自重による摩擦抵抗力の総和としている。

このように、基本的には外部に反力体が必要とせず、ESA 設備の構成内で相互の函体を反力として自走前進する施工法である。

1-4 施工法の特徴

- ① 長距離のトンネル施工が可能である。
- ② 函体製作は容易で品質管理が良い。
- ③ 構造は RC 造のラーメンボックスである。
- ④ 一般に基礎杭は不要である。
- ⑤ 大断面や異形断面トンネルの施工が可能である。
- ⑥ 掘削土砂が少ない。
- ⑦ 相互に函体を反力として行うため、基本的に外部には反力体が必要としない。
- ⑧ 曲線施工が可能である。

2. 計画・設計のポイント

2-1 計画について

本工法の特徴には、外部に反力体が必要とせず函体をけん引するものとしているが、発進側の用地立地条件の制約や函体の大きさによっては、初期段階において補助反力設備を必要とする場合がある。

現地の諸条件を考慮して計画は行われるが、ESA 工法の初期発進を含め次の事柄に留意して計画を行うものとする(図-2)。

- ① 反力抵抗の取り方。
- ② 函体の分割数と長さ。
- ③ 立坑内で同時期に構築する函体の数。

2-2 設計について

2-2-1 推進力と反力抵抗の関係

(1) 函体、推進抵抗力の算出

$$T = (P1 + P2 + P3) \cdot \alpha 1$$

T : 総推進抵抗力(kN)

S T A R T

設計条件

構造寸法の検討

横断延長の検討

補助工法は必要か

yes

軌道防護の検討

・ルーフ材

・工事桁架設

地盤改良の検討

・地下水対策

・地山安定対策

ガイド導坑の検討

no

函体の前進方法の検討

発進立坑の検討

切羽掘削方法の検討

函体分割数の検討

中押し形式の検討

推進 ≤ 反力・α

no

補助反力の検討

推進 ≤ 反力・α

no

yes

各部材の応力度または設計断面力の計算

施工時の検討

応力度 ≤ 制限値

no

yes

構造細目の検討

E N D

図-2 計画のフロー

- $P1$: 刃口先端抵抗力(kN)
 $P2$: 函体の外周摩擦抵抗力(kN)
 $P3$: フェースジャッキの作動荷重(kN)
 $\alpha 1$: 安全率(一般に=1.2)

(2) 反力抵抗の考え方

$$\Sigma R \geq T \cdot \alpha 2 \quad (\text{条件} 1)$$

ΣR : 総反力抵抗(kN)

$$\Sigma R = R1 + R2 + \dots + Rn$$

$R (1 \sim n)$: 各函体の反力抵抗(kN)

$\alpha 2$: 安全率(一般に=1.3)

ESA 工法において、推進する函体以外の函体を反力とする場合は、次の条件とする。

- ・発進台上にある函体を反力とする場合は、函体自重の40~60%を反力抵抗とする。
- ・土中に推進(埋設)された函体を反力とする場合は、その函体の推進時の実摩擦抵抗力の50~70%を反力抵抗とする。

計算例(図-3 参照)

$$\text{case} 1 : \Sigma R = (R2 + R3 + R4)$$

$$\text{case} 2 : \Sigma R = (R3 + R4)$$

$$\text{case} 3 : \Sigma R = (R2 + R4)$$

$$\text{case} 4 : \Sigma R = (R2 + R3)$$

※いずれのケースでも、条件1を満たしていることが必要であり、不足の場合函体分割数および分割長さの調整、または初期補助反力設備(図-4 参照)の有無を検討する。

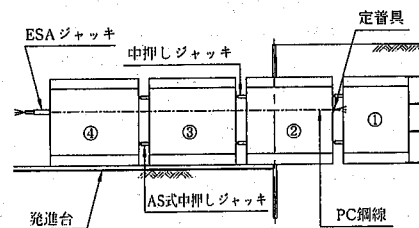


図-3 ノーマルな ESA 設備

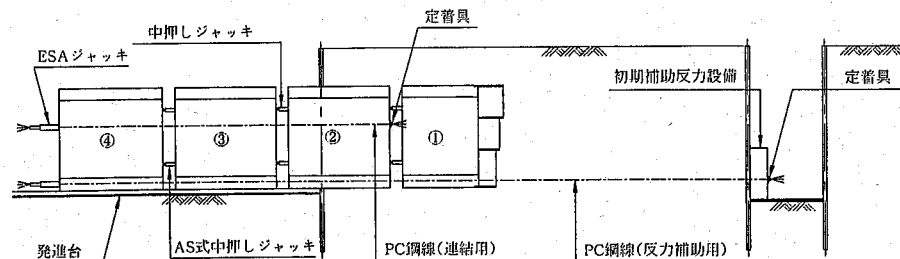


図-4 補助反力(例)を用いた ESA 設備

2-2-2 作業ヤード(立坑)

発進立坑は、パイプルー推進スペース、または函体製作スペースのいずれか、大きい値の形状寸法を確保し、立坑周辺には必要能力のクレーン設置箇所や、資材置き場などを考慮したスペースを必要とする。

また、函体製作スペースは、全体の工程にも係わってくるので、現地の状況・ESA の設備構成との関係・経済性・施工性などを検討し、決定するものとする。

2-2-3 ガイド導坑工

ガイド導坑とは、掘進する函体を導くガイド部材を有する小規模なトンネルであり、函体断面の底部位置に設置して、函体掘進の施工精度向上を図るほか、次の目的がある。

- ① 導坑を掘削することで横断部土質の事前確認。
- ② 地下水を有する場合は、水平水抜き坑として地下水処理の一環をなすものとする。
- ③ 初期反力設備を必要とする場合、到達側への PC

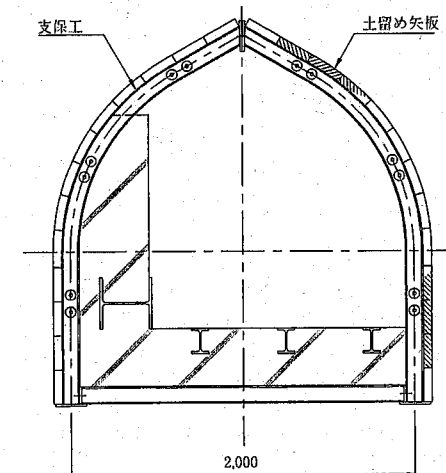


図-5 ガイド導坑標準断面図

鋼線設置坑とする。

- ④ ガイド部材を有する構造であり、函体推進時のピッチングや揺動を抑え、周辺地山に対する影響を少なくするものである。

また、導坑は函体の掘進に伴い、支障する部材を切断撤去するため、通常H形鋼による支保工と土留め矢板を使用した構造としている(図-5)。

2-2-4 刃口工

刃口は、切羽で掘削作業を行うための作業空間と、土留め設備を有する構造で、掘進する函体の先頭部に設置する。

函体全断面を複数の小断面に分割して、外部土圧に耐える十分な強度を有する鋼製の部材である(写真-1)。

一般に、工場製作を主体として製作し、運搬可能な大きさに分割して、現場へ搬入し、現地で組み立てる。

刃口形式として、入力掘削方式と機械掘削方式があり、工事規模、函体内空面積、既存機械の適用性、土質、施工延長などを考慮して選択する。

2-2-5 スカート工

刃口同様、外部土圧に耐える十分な強度を有する鋼製の部材であり、各函体間の目地部で函体の後端部に取り付ける。

スカート内部には中押し設備を装備し、函体掘進時はスカート部材の中で、前後の函体がスライドする構造と

なっている(写真-2)。

2-2-6 函体製作工

函体製作は、工事発注または管理する公的な機関の設計示方書、施工管理基準などによるほか、現場の施工条件およびESA工法特有の設計を講じて行うものとする。

ESA工法の特有なものとしては、

- ① 函体底部敷き鋼板の設置
- ② ジャッキ受圧部の局部載荷に対する補強
- ③ スカート内、スライド函体の断面(欠損)変化

などがある。

2-2-7 ESA設備工

主なESA設備には次のものがある。

(1) ESA ジャッキ

メインジャッキとして、函体の引き寄せと函体間の応力伝達部材である、PC鋼線の緊張用として使用する。

センターホールの機構で、能力1,500kN、ストローク850mmを有する(写真-3)。

(2) PC鋼線と定着具

必要な函体数を連結し、反力抵抗の伝達と最終函体の引き寄せ部材として使用する。一般にPC鋼線は8T15.2mm(SWPR7BL)、定着具は8T15を使用している(写真-4)。

(3) 移動式ジャッキステーション

施工延長が長く、函体の分割数が多くなると、中押し設備の数もそれに比例して増えるため、設備費の増大に

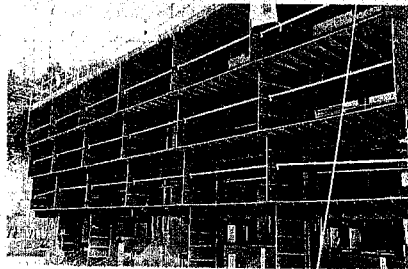


写真-1 刃口

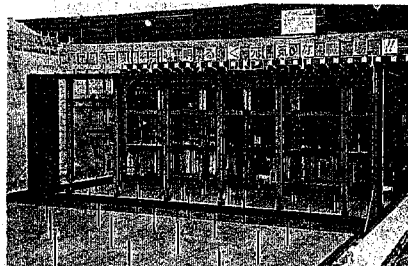


写真-2 スカート組み立て

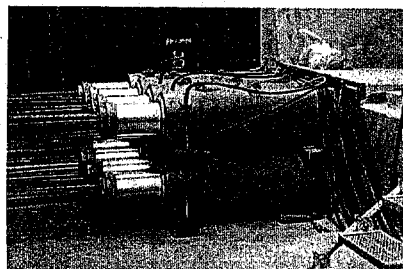


写真-3 ESA ジャッキ

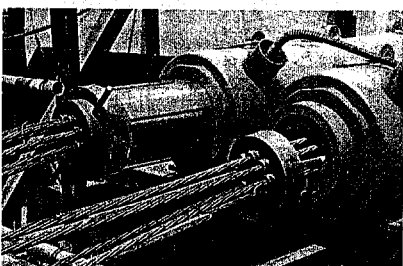


写真-4 ESA ジャッキにセットする定着具

つながる、この装置は1組みの中押し設備を装備した台車を移動させ、所定の函体を順次推進させるための、自走式の台車装置である(写真-5, 6, 図-6)。

工事規模に応じ、経済性と施工性を考慮し採用の是非を決定するものとする。

(4) 中押しジャッキ

函体分割部に設置する推進装置で、函体の推進を行うほか、他の函体推進時には、反力抵抗の伝達部材ともなる設備である(写真-7)。

(5) アンチショック(AS)ジャッキ

ショックアブソーバーの機能を油圧回路に、組み込む中押しジャッキであり、全函体をスムーズな動きとするための装置である。一般にPC鋼線を使用して引張る場合、函体の動きがPC鋼線の伸びと関連して瞬時に動く場合があり、アンチショックはこれを改良している。

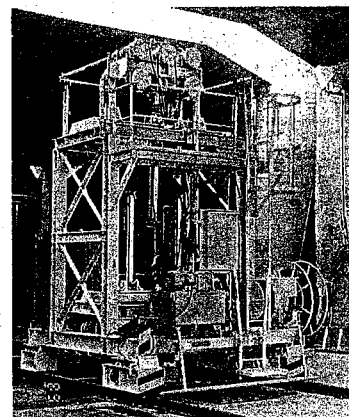


写真-5 移動式ジャッキステーション

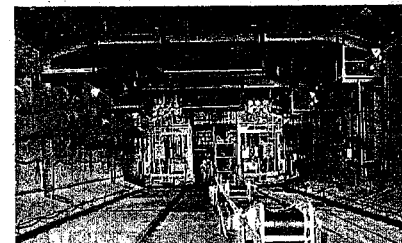


写真-6 軌条の上を走行中

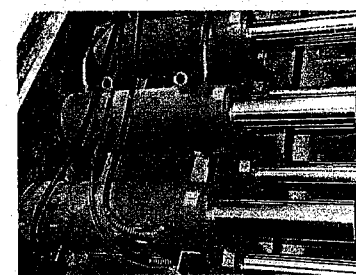


写真-7 中押しジャッキ

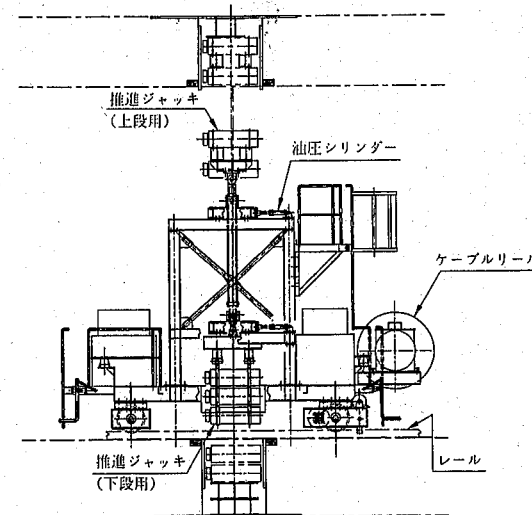
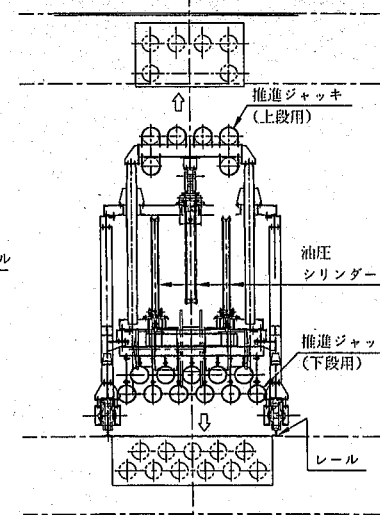


図-6 移動式ジャッキステーション



(6) 初期反力設備

発進基地が大きく取れない場合など、初期発進時には少数の函体製作を行うため、函体の大きさによっては、初期反力の不足が予想される。

その場合、初期反力を補うために到達立坑側に反力壁を設置し、PC鋼線を挿入して、けん引方式との併用で対処するものである。

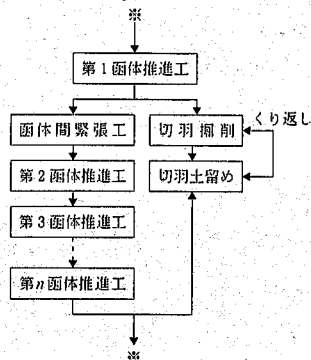


図-7 函体推進のフロー



写真-8 切羽掘削中

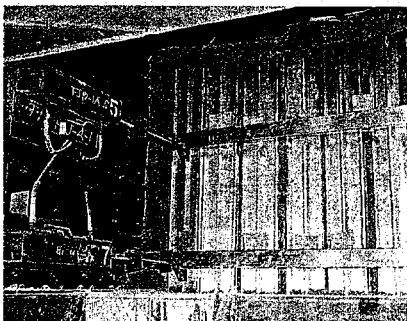


写真-9 フェースジャッキによる切羽土留め

2-2-8 函体掘進工

函体の掘進は、先頭函体から順に行い、第1 函体推進後、切羽の掘削作業と併行して、第2 函体以降の後続函体を推進することで、作業効率を上げる(図-7)。

切羽の掘削は、刃口を小断面に仕切った格子状の各ブロックごとに行い(写真-8)、掘削後フェースジャッキで切羽の土留めを行う(写真-9)。

また、函体掘進中はフェースジャッキで、全断面の切羽土留めを行い、一定の土留め力を保持した状態のまま、函体の掘進を行うことで、切羽の安全を図るものである。

2-2-9 函体接続工

先頭函体到達後、順次前方の中押し設備を撤去して、後続函体を接続する。

3. 施工のポイント

本工法は、施工延長の長い計画や、到達立坑の取れない計画などに有利であり、採用事例では、その特徴がでている。ただし、その反面発進立坑スペースに制約がある場合など、一時に構築する函体の数によって、工期の増大や補助工法の併用が発生するため、用地確保など十分に検討を要す。

4. 施工例・実績表

4-1 施工例

大型の矩形断面でスパンの長い($L=303.0\text{m}$)施工やフロンテジャッキング工法、あるいはR&C工法との併用事例のほか、曲線($R=1,000\text{m}$)施工などの特殊なケースでの採用もあり、次に主な事例を紹介する。

(1) 施工事例①:「第二阪奈有料道路事業宝来トンネル工事」は、大阪と奈良の両県を結ぶ道路として施工し、このうち奈良県側の終点付近に位置する奈良国際ゴルフ場の下に構築したトンネル工事である。到達側の工事との関係で方向からの施工で、函体掘進と函体構築を同時施工とした。また、土かぶり最大9.0mでありパイプルーフを使用していない(写真-10、図-8、9)。



写真-10 宝来トンネル

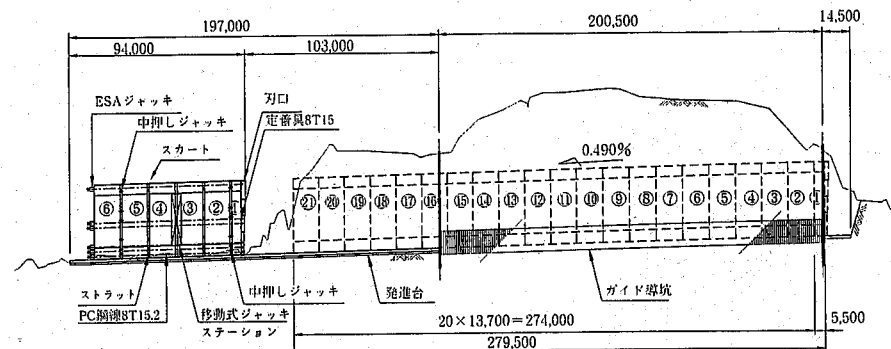


図-8 宝来トンネル縦断面

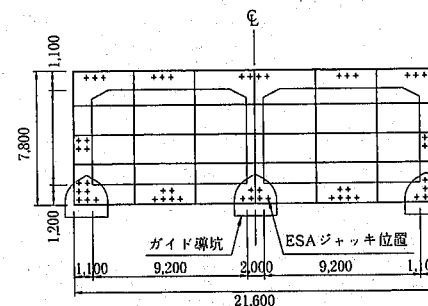


図-9 宝来トンネル正面図

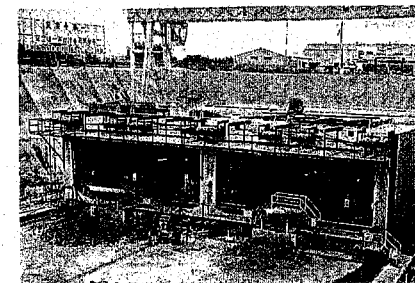


写真-11 信太山トンネル ESAジャッキ設備

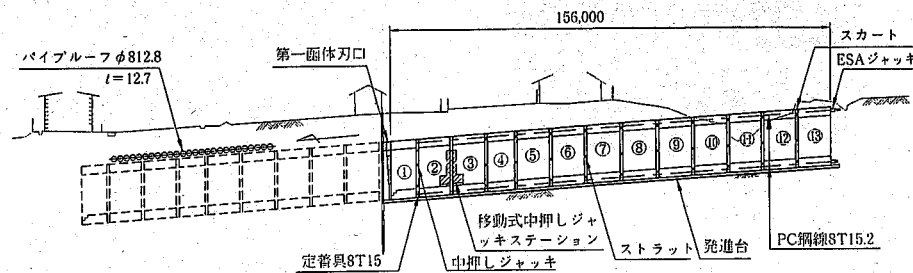


図-10 信太山トンネル縦断面

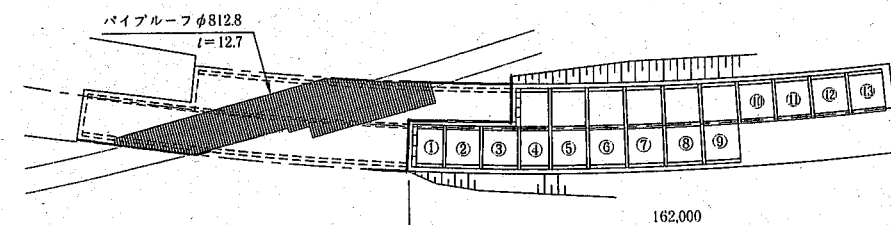


図-11 信太山トンネル(曲線施工)正面図

(2) 施工事例②:「近畿自動車道松原海南線松尾工事」は、近畿自動車道天理吹田線と連結する大阪府松原市を起点とし、和歌山海南市に至る約70kmの高速道路のうち、大阪府和泉市内を通る府道下の横断工事(信太山トンネル)として、施工されたトンネル工事である。本工

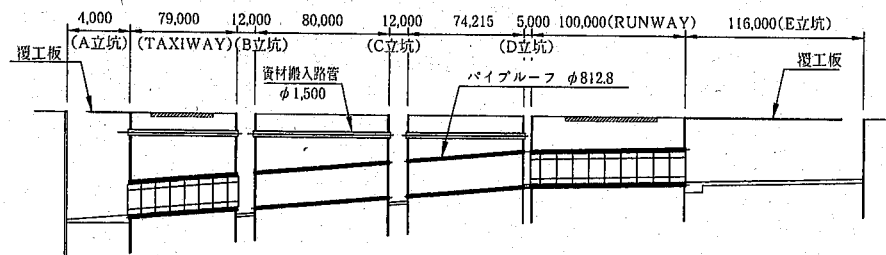
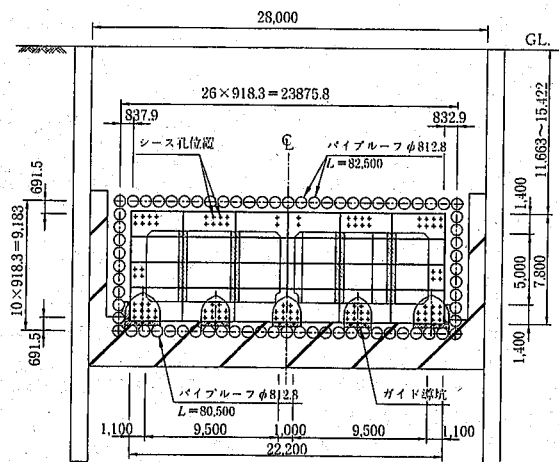
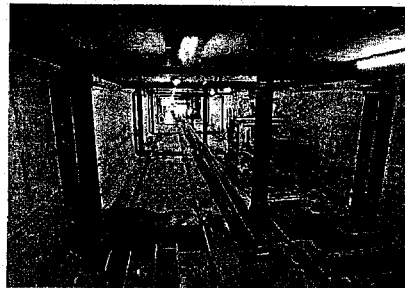
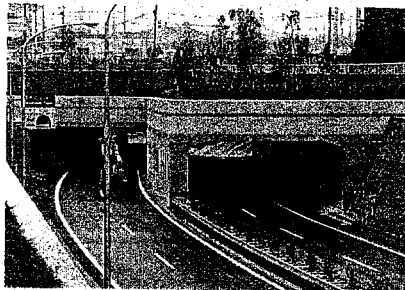


圖-13 台灣松山機場橫斷圖

表-1 ESA 工法施工実績表

No.	発注者	工事(経)名/工事場所	用途	団体形状寸法(m) 幅 高さ 延長	面体分割数	土かぶり(m)	備考
1	宮城県土木部	仙台市福田町国道45号架設橋新設工事	自転車道	3.70×3.30×20.00	4	GL-2.5	道路橋新設
2	国鉄長野鉄道管理局	信越線 長野駅構内 東西自由通路	歩道	7.48×5.20×133.50	10	RL-3.0	鉄道橋新設
3	国鉄札幌工務局	石北線 北見駅構内 自由通路	歩道	6.50×4.30×52.00	7	FL-2.4	鉄道橋新設
4	神奈川県川崎市	川崎運河入船橋下 河川改良	河川	4.20×3.40×55.00	5	GL-1.0	河川橋新設
5	国鉄下関工務局	山陽本線 幡生駅構内	河川	8.40×5.50×62.00	6	RL-1.8	鉄道橋新設
6	国鉄天王寺鉄道管理局	紀勢本線 松坂駅構内	歩道	5.20×3.90×62.85	6	RL-2.0	鉄道橋新設
7	近畿日本鉄道(株)	近鉄山田線 松坂駅構内	歩道	5.20×3.90×23.25	4	RL-2.1	鉄道橋新設
8	JR仙台工務事務所	東北本線 郡山駅構内 郡計道々町橋梁新設	歩車道	27.50×7.85×42.00	5	RL-2.1	鉄道橋新設
9	JR山形工務事務所	東北本線 郡山駅構内 郡計道々町橋梁新設	歩車道	27.50×7.85×37.35	5	RL-1.6	鉄道橋新設
10	建設省宮城県事務所	千葉県市川市二区 国道8号架設橋共同済	歩道	5.40×3.80×98.50	9	GL-1.7	高速道路橋新設
11	金沢市西部開発事務所	秋田県開成地区 国道8号架設橋共同済	共同済	5.45×3.15×70.00	8	GL-3.6	道路橋新設
12	日本道路公団大阪建設局	阪和自動車道 信太山トンネル	道路	26.60×8.30×156.00	13	GL-4.0~7.0	道路橋新設・曲線(R=1,000)
13	新東京国際空港公社	成田新空港自動車道橋新設	鉄道	12.02×7.60×87.50	9	GL-2.0~10.1	高速道路橋新設
14	JR東日本 長野支社	信越線 長野駅構内 自由通路新設	歩道	3.80×3.60×56.50	7	RL-2.28	鉄道橋新設
15	JR西日本 金沢支社	北陸線 魚津駅構内 連絡地下通路新設	歩道	5.50×3.65×78.80	8	RL-2.59	鉄道橋新設
16	JR西日本 金沢支社	北陸線 魚津駅構内 鬼瓦二線橋新設	歩道	4.30×3.65×31.00	6	RL-1.55	鉄道橋新設
17	日本道路公団大阪建設局	名神高速道 栗東町川辺果樹町道	歩車道	7.10×6.15×49.14	5	GL-1.0	道路橋新設
18	奈良県道路公社	第2阪奈有料道路 宝来トンネル	車道	21.60×7.80×279.50	21	GL-2.7~8.4	ゴルフ場下橋新設
19	小田急電鉄(株)	小田急線 相模大野駅ビル連絡通路新設	歩車道	7.80×12.00×35.47	5	FL-1.584	鉄道橋新設
20	JR西日本	東海道線 喜津駅構内 軽車道連絡通路新設	車道	8.50×6.35×45.50	6	FL-1.562	鉄道橋新設
21	JR西日本	東海道線 東淀川・秋田町、庄内新設	歩車道	25.50×9.00×82.00	6	FL-3.18	鉄道橋新設
22	JR東日本 上信工	信越線 長野駅構内 新七瀬架設橋	歩車道	24.90×7.45×41.00	5	FL-0.9~2.1	鉄道橋新設
23	JR東日本 上信工	飯山線 十日町駅構内 自由通路新設	歩道	5.00×4.05×23.60	5	FL-2.41	鉄道橋新設
24	台北市政府工務局	松山空港地下橋断工事	車道	22.20×7.80×100.00	10	GL-15.4~11.7	空港滑走路橋新設
25	台北市政府工務局	松山空港地下橋断工事	車道	22.20×7.80×79.00	8	GL-5.8~4.8	空港誘導路橋新設
26	福井県敦賀港事務所	金ヶ崎臨港トンネル工事	車道	13.40×8.10×64.50	6	GL-3.0	鉄道橋新設
27	JR九州	鹿児島本線 八幡駅構内南北通路新設	歩道	8.20×4.20×47.30	5	FL-2.14	鉄道橋新設
28	神戸市都市整備公社	中国自動車道神戸JCT内近	歩道	4.70×4.35×61.05	6	GL-10.25	高速道路橋新設

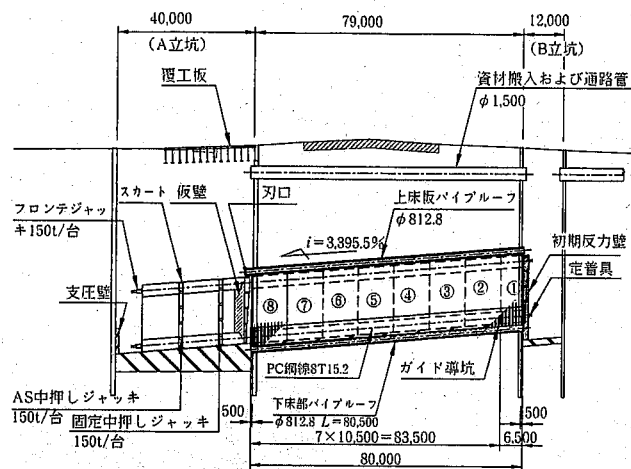


図-14 台湾松山機場縦断面図

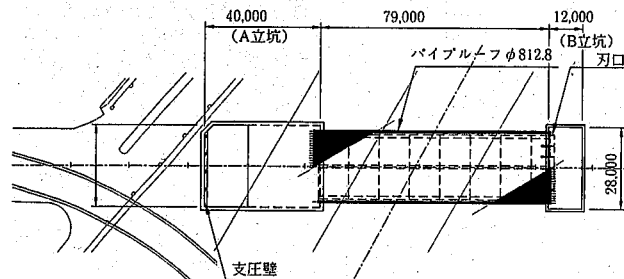


図-15 台湾松山機場平面図

山空港の滑走路直下を横断して建設する往復2車線の道路トンネル工事であり、現在2スパンを施工中である。土かぶり $h=12.0\sim15.0$ m区間と $h=約5.0$ mの区間であり、地下水の豊富な軟弱地盤での施工となっている(写真-13, 14, 図-12~15)。

4-2 施工実績

施工実績を表-1に示す。

5. おわりに

ESA工法の特徴は、地下構造物を非開削で構築する施工法として、長距離施工が可能であることである。構造は、シンプルなRC造のボックスラーメン構造であり、将来の維持管理がほとんどなく、利用しやすい施工法である。

本稿が、今後地下立体交差などのトンネル施工の参考になれば幸いである。

(文責：丸田新市・植村技研工業(株)取締役部長)



(社) 日本トンネル技術協会
研究開発委員会

タルテギュトンネルの施工—粘性岩盤の掘削/LA TRAVERSEE DES ARGILES DU TUNNEL DE TARTAGUILLE

D. ANDRE, B. DARDARD, A. BOUVARD, J. CARMES: TUNNELS ET OUVRAGES SOUS TERRAINS MAI/JUIN, 1999.

1. 施工概要

山岳トンネル工法による新TGV地中海線(リヨン・マルセイユ間)のタルテギュトンネルの建設が行われた。同トンネルはモンテリマルの東方20kmに位置し、延長2,430m(明り巻き部を含む：トンネル部実延長2,338m)、内空断面積100m²、当初設計覆工厚(インバートを除く)は500mmである。工事は1995年10月2日に両坑口より開始され、33か月の工期が予定された。

2. 地山特性

当該地山は北北東の方向に向かって傾斜角10度の単傾構造を形成し、トンネル路線内に北北東より南南西に走るマルサーヌ断層を有する。ボーリング調査および研究所における土質試験により、地山は、北坑口より以下のとおりであることが判明した。

- ① スタンプ階前期(第3紀漸新世)の石灰岩(北坑口より365m)：区間1
- ② スタンプ階後期(第3紀漸新世)の泥灰岩質粘土層(365~1,285m)：区間2
- ③ オープ階(中生代白亜紀)の砂岩(1,260~1,520m)：区間3
- ④ アプト階(中生代白亜紀)の青色マール(1,520~2,338m(南坑口))：区間4

地下水位に関しては、石灰岩中には約100mの水頭が確認されたが、他の地山においては地下水位に関する十分な情報が得られなかった。各地山の物理特性を表-1に示す。

3. 支保パターン

掘削は全区バックホウによる機械掘りを行うが、地山条件にもとづき、支保パターンを表-1のように決定した。

ここで、青色マール区間(区間4)に関しては、再度のボーリング調査により、トンネル軸方向の側圧係数が $K_{ax}=1.2$ 、トンネル軸直角方向の側圧係数が $K_{ay}=0.86$ と偏圧を受け、かつ、異方性を示しており、また、掘削完了後、変形係数が $E_1=400$ MPaより $E_2=260$ MPaに軟化することが判明したため、早期のインバートの閉合が必要と考えられ、インバートを除く全断面掘削を行った後、切羽より20~50m後方にて覆工コンクリートを打設した(図-1参照)。区間4の施工がもっとも困難であると予想された。

表-2において、支保パターン1~3の内空断面は当初の内空断面をカバーしている。

4. 青色マール区間(区間4)の施工実績

青色マール区間(区間4)は南坑口より掘削を開始し、計測施工が行われた。同工区では、外周部をコンクリートにて充填する延長24mのロックボルトを用いて前方12mまでの切羽の補強が実施された。切羽あたりのロック

表-1 地山特性

地 山	石 灰 岩	泥灰岩質粘土層	砂岩	青 色 マール
単体重量(kN/m ³)	25	21.5	22.5	22
変形係数(短期)(MPa)	300~1500	200	500	1500
変形係数(長期)(MPa)	225~1125	120	375	1125
内部摩擦角(Deg)	45	35	45	30
粘 着 力(MPa)	1	0	1	0.2
側圧係数	0.50	0.66	0.50	0.50

表-2 地山区別支保パターン

支保パターン	当初設計	支保パターン1	支保パターン2	支保パターン3
対 象 地 山	一般的提案	石灰岩、砂岩(区間1, 3)	泥灰岩質粘土層(区間2)	青色マール(区間4)
掘 削 の 分 割	検討せず	3分割 上半, 下半 インバート	3分割 上半, 下半 インバート	2分割 インバートを除く 全断面 インバート
一 次 支 保	検討せず	鋼製支保工(H-220) 吹付け トンネル断面法 線方向のロック ボルト	鋼製支保工(H-220) 吹付け 上半のみ切羽より トンネル軸方向の ロックボルト	鋼製支保工(H-220) 吹付け インバートを除く 全断面トンネル軸 方向のロックボルト
覆工コンクリート厚(mm)	500	550	700	1000

覆工コンクリート厚は一次支保の厚さ(鋼製支保工の桁高)を除く。

E. フック・E. T. ブラウン共著

岩盤地下空洞の設計と施工

理学博士 小野寺透・工学博士 吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳

B5判・442頁・上製本 本体価格9,800円(〒450円)

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 ジャーナル

TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL

一ノ瀬第2トンネル貫通

日本道路公団四国支社が建設を進めている高知自動車道川之江JCT～高知IC間の4車線化工事のうち、新宮IC～大豊IC間の一ノ瀬第2トンネルが12月14日に貫通した。

同トンネルは、高知自動車道の大豊ICから北へ約3kmに位置する延長343.0mのトンネル。1期線で施工したトンネルに並行して建設が進められた。掘削断面積は約70m²、発破方式による全断面掘削方式で南側から片押しで施工した。

吹上～西谷(西行き)開通

名古屋高速道路公社が建設を進めてきた高速2号東山線の吹上～四谷間約3.5kmが12月11日開通した。

今回の開通は、四谷入口から吹上西出口までの西行き方向のみだが、同市東部の交通渋滞緩和、名古屋都市圏の高速ネットワーク形成などに大きな役割を果たすものと期待されている。区間の途中には名古屋高速道路初半地下・トンネル構造の春岡出口も設置、沿線環境に配慮したさまざまな対策を行っている。

名古屋地下鉄次期建設路線決まる

名古屋市交通局は、地下鉄の次期建設路線を桜通線野並～徳重間(約4.2km)とする意向を明らかにした。運輸政策審議会の答申をもとに検討、需要の見通し、採算性沿線の状況の評価が高い同区間を適切と判断した。04年度着工、10年度開業を目標にしている。

路線沿線には、鳴子団地、相生山団地などの大規模団地があり、徳重方面への路線として市東南部方面を結んでいる。また、土地区間整理事業も進行し、住宅地が形成されつつあることなども考慮された。

新湊川トンネル通水

兵庫県は12月16日、新湊川が会下山(神戸市兵庫区)を貫く湊川隧道に代わる新湊川トンネルの通水式を行った。96年3月から着工していた新湊川の河川災害復旧助成事業は、95年度から新湊川合流点から天王寺川と石井川の合流点までの延長2,508mを改修中。このうち、ほぼ中央に位置するトンネル工区は、明治34年に竣工の湊川隧道(延長680m)に平行して築造するバイパストンネルで、下流の一部では湊川隧道を拡大するとともに、転流坑を設けた。隧道拡大部分では、上部と下部に分けて掘削するとともに、施工中は仮配水路を内部に設置。

新トンネルの延長は683.2mで、トンネル断面は2.3倍に拡大して約105m²。完成は01年3月25日予定。

開削トンネルの設計標準策定

国土交通省は、鉄道の開削トンネルに関する設計標準を策定し、地方運輸局に通達した。

土留め壁として用いた仮設構造物を地下連続壁の本体構造物として利用するための設計法を明記するとともに、①鋼製地下連続壁、コンクリート充填鋼管柱といった構造部材の採用、②限界状態設計法の導入による設計の合理化、③構造解析法の合理化、などの新技術を採用し、安全性や合理性、経済性を考慮した構造物の設計法を可能とした。

大都市新生プロジェクト構想

エンジニアリング振興協会(エン振協)地下開発利用研究センターは、「地下を活用した大都市新生プロジェクト構想」をまとめた。

ネットワーク形成構想として「成田と羽田を結ぶリニア弾丸鉄道」

「都市域分散型エネルギーネットワーク」の2案、拠点整備構想として「地下防災センター」、データベースセンター」の2案がある。拠点整備は主に公共側での、そしてネットワーク型施設はPFI手法での整備・運営を求めている。

土木学会が地下空間でシンポ

土木学会の地下空間研究委員会(委員長・西淳二名古屋大学教授)は1月12日、早稲田大学国際会議場(東京・新宿)で地下空間シンポジウムを開いた。

都市の創造と再生へ向けた21世紀の地下空間利用に関するパネルディスカッションが行われ、地下空間を今後利用するにあたり、「技術的、精神的な飛躍のチャンスだ」、「情報を公開し、リスクを踏まえたうえで利便性を含めた社会的合意が必要だ」などの意見がだされた。

蘇武トンネル貫通

兵庫県日高町と村岡町の町境で国道482号の蘇武トンネル(3,697m)が1月28日貫通した。

国道482号は、京都府宮津市を起点に兵庫、岡山県を経て鳥取県米子市に至る延長約191kmの幹線道路で、但馬地域を東西に横断している。日高町と村岡町の町境区間は、地形や自然条件に阻まれて、自動車の行き来が難しい状態になっている。兵庫県では、通行不能を解消するため、96年から整備に着手。急峻な地形を通過するため全体延長約5.7kmのうち、約3.7kmがトンネルとなっている。

工事は97年10月に日高工区(2,478m)、98年9月に村岡工区(1,214m)を着工。トンネル本体工事の完了は02年3月、照明設備工事など全体の完成は03年度末の見通し。

連載講座

線路下横断工法(6)

URT工法

1. 工法の概要と特徴

仮設物である鋼管パイプを線路直角方向に推進した後、支保工を設置しながら線路下の地盤を掘削し、本体の横断構造物を構築するという従来の工法に対して、URT工法(Under Railway Tunnelling Method)は初めから本体構造物の要素(エレメント)となる部材を推進することにより作業工程を短縮し、安全性、経済性を向上させようという発想から誕生したエレメント推進工法の一つである。

構造物を小断面の要素に分割したエレメントは、矩形または台形の厚板鋼板を工場加工した角形鋼管で(図-1)、隣接するエレメント間には施工上の継手をもうけている(図-2)。

推進はエレメント内に装備したカッターヘッド、スクリーコンベヤにより掘削排土を行いながらエレメントを土中に圧入する水平スクリー方式によっている。この工法の主な特色を列記すれば次のようになる。

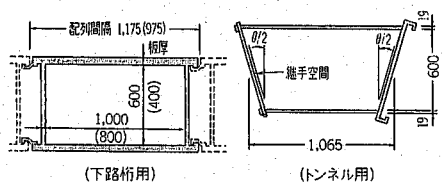


図-1 URT標準エレメント

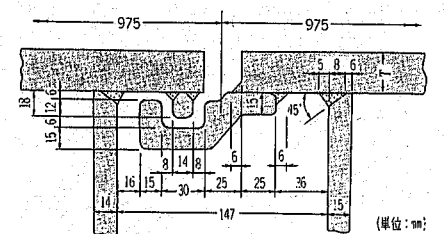


図-2 水平エレメント継手

「線路下横断工法」連載講座小委員会

- ① 構造物を小断面のエレメントに分割して掘削推進を行うので、大断面掘削に比し切羽の自立性が高くなり周辺地盤への影響を軽減できるので安全性が高い。
- ② 鋼製エレメントは、現地での加工性に富んでおり、万一障害物に遭遇した場合でも、隣接エレメントの側部に開口部を設けて除去するなど応用性に優れている。
- ③ 本工法のカッターヘッドは、ウォーム式、オーガー式とも逆転2軸方向をとっているため、回転による偏方向性をもつパイプ推進などに比べ推進精度を維持しやすい(図-3)。

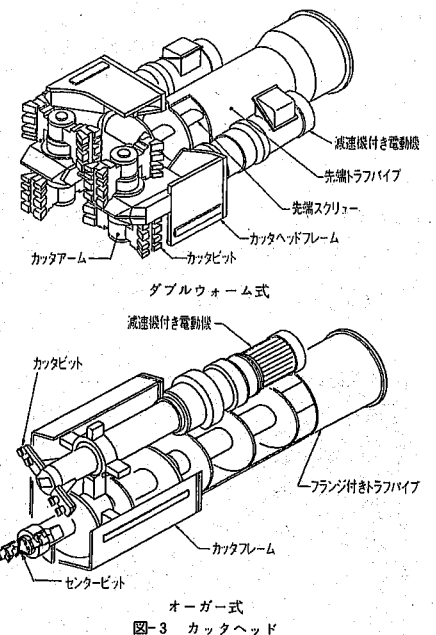


図-3 カッターヘッド

④ エレメントには強靱な継手がついているので、最初のエレメントの推進精度が確保されれば、後行するエレメントは継手を介して遊び幅の範囲に推進方向が自動的に抑制され施工性が高い。

2. 構造形式と適用範囲

この工法は、角形の鋼製エレメントを線路横断方向に推進し、外殻を構成したのち内部を掘削するという施工法を中心に開発が進められたものであり、現在考えられている主な構造形式別に適用範囲と課題について紹介する。

2-1 下路形式

下路形式は、工場製作した長方形の鋼製エレメントを線路横断方向に推進敷き並べて横桁(上床エレメント)とし、その両端部を線路方向の主桁で支持する。また、側壁部は縦に配列したエレメントで土圧を受け、その両端を橋台に結合したものである(図-4、写真-1)。

2-1-1 適用範囲

(1) 土がぶり

一般的に活線施工となる横断構造物の土かぶり、施工の安全と将来の保守の観点から2m以上確保するのが望ましいとされている。しかし、交差する路線の縦断線形の制限や、交差河川の計画水位の関係でこれを確保できない場合があり、この形式はこうした場合に採用され、土かぶり約1m以下を適用範囲としている。

なお、横桁(上床)エレメントの最小桁高は40cmまで縮小できる。

(2) 横断延長

この形式は、活荷重および軌道などの上載荷重を小桁高のエレメントで支えること、また、信頼性の観点からエレメントの現場溶接は原則として行わないこととしており、輸送上の制限から横断延長は最大約20mに制限される。

これは、通常の複線程度の横断までとなるが、線間の広がった3線横断で中間に主桁を設け、3主桁方式とした例もある。

(3) 主桁構造

主桁は、RC単純桁が一般的であるが、径間が20mを超えると多径間化、またはPC化で対応している場合が多い。

また最近では、保守の観点からU型橋台と主桁を剛結した無支承構造とする施工例が増えている(図-5)。

2-1-2 課題

(1) 継手効果

横桁となる上床エレメントには、強靱な継手が付いており(図-2)、隣接するエレメント相互間で曲げモーメントとせん断力の伝達効果を期待できるものと考えられている。しかし、現状ではエレメント間および継手部の充填モルタルの疲労性状などが明らかでないため、これを無視した計算を行っている。したがって、これらが解明できれば適用範囲の拡大や経済設計の実現が期待できる。

(2) 最大幅厚比

エレメントフランジの最小板厚は、鋼橋の設計標準に定める最大幅厚比に準拠して決定しているが、エレメント

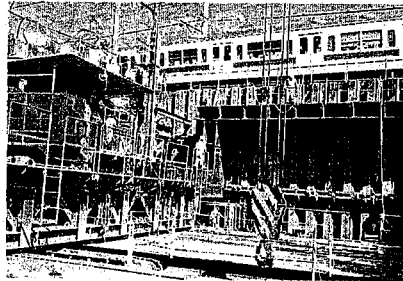


写真-1 下路形式の例

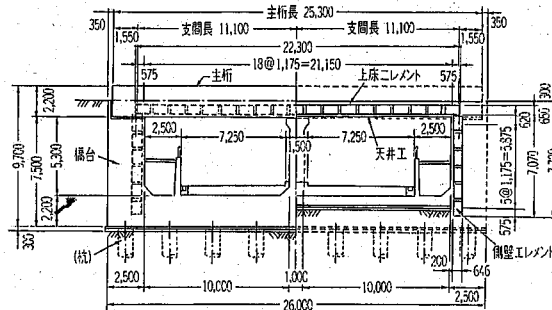


図-4 下路形式の形状

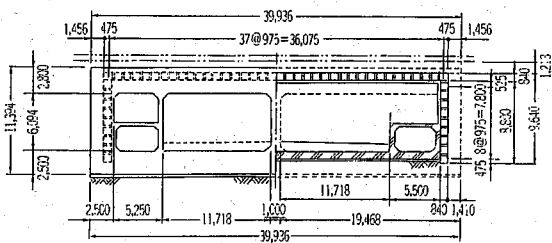


図-5 無支承下路形式の例

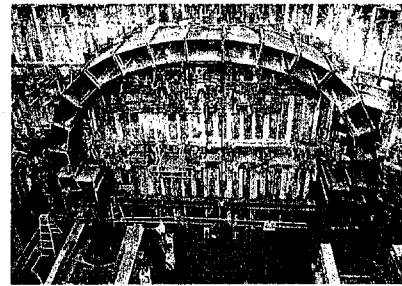


写真-2 トンネル形式の例

ト内空はコンクリートを充填しているので構造上の工夫により、このしばりを緩和できれば鋼重量を減らし、より経済的な設計を実現できる。

2-2 トンネル形式

トンネル形式は、工場製作した台形の鋼製エレメントをアーチ状に配置し、エレメント内空にコンクリートを充填し、このアーチにより内空断面を保持しようというものである(写真-2)。

2-2-1 適用範囲

(1) 断面形状

断面形状は、土かぶり、地盤支持力、要求寸法などを勘案してアーチアクションがうまく働くよう決めることになる。一般的には、馬蹄形、楕円形、真円形などが採用されている。

ちなみに、トンネルをつくる時のもっとも有利な形は、外圧とその点の曲率半径の逆数が比例する形であると言われている²⁾。

また、エレメントの継手は構造継手ではないので、断面に曲げ引張力が働く場合断面方向にプレストレスを導入して対応した例もある。

断面外径最大は10mの施工例がある。

(2) トンネル延長

延長についての構造上の制限はない。施工上の推進可能距離と推進精度が決め手となる。楕円形や真円形などの閉合断面では推進精度を維持できるか否かが特に重要である。

施工実績の最長は約80mである。

2-2-2 課題

(1) 継手の曲げ剛性有効率(η)

継手を介したエレメントのアーチは、継手有効率(η)を考慮した剛性一様な部材として断面力を算定している。これはシェルトンネルのセグメント設計に用いられている慣用計算法を準用したものであるが、継手構造に応じた有効率(η)を的確に把握する手段に欠けており課題の一つである。

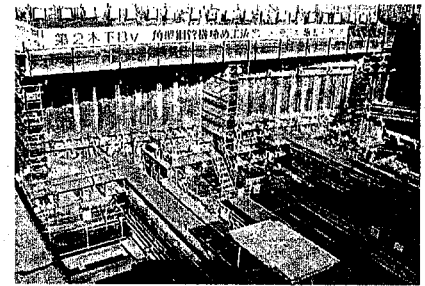


写真-3 ボックス形式の例

2-3 ボックス形式

箱形または門形に推進したエレメントの断面方向に配置したPC鋼線をコンクリート充填後緊張して、ボックス、門形などのラーメン構造としたもので、トンネル形式と同様横断長の制限がないので複雑な線区間や駅構内の横断のため開発されたものである。

なお、この形式についてはURT工法とは区別して「エレメント横締め工法」として分類する場合もある(写真-3)。

2-3-1 適用範囲

(1) 断面・横断延長

一定の土かぶりが必要なトンネル形式と比べると、ボックス形式は上載荷重が小さいほどPC緊張力が軽減できる。断面の単径間は12m程度とし、それ以上は多径間連続構造との比較検討が必要である。

横断延長は、トンネル形式と同様構造上の制限はないが、延長の長大化に伴い推進誤差も累積するので調節代を加味した設計寸法の決定が必要である。

2-3-2 課題

(1) コンクリート充填

推進長の長距離化に伴いエレメント内への充填には、高流動コンクリートが用いられている。材料分離の観点から施工指針では水平流動距離を15mまでとしているが、30~60mといった指針をはるかに越えた現場が出現し、打設方法、管理基準の検討、実大モデル実験などにより所要の要求性能を満たす配合、施工法を決定した例もある²⁾。

こうした充填コンクリートに求められる主な特性としては、①流動性、②分離抵抗性、③間隙通過性があり、①については一般にスランプフローで判定可能であるが、②、③については試験方法が確立しておらずこの分野における課題の一つであるとされている²⁾。

3. 施工上の留意点

施工は、鋼製エレメントの工場製作と推進などの現場施工に区分され、施工順序、作業工程は構造形式により

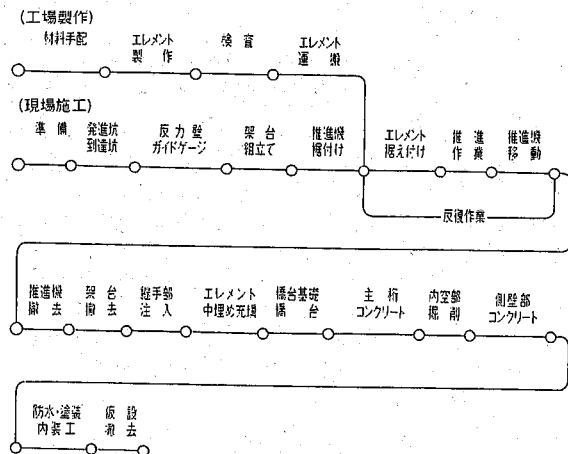


図-6 施工順序(下路桁形式の例)

若干異なるが、下路桁形式の例を示したのが図-6である。

3-1 エレメント製作

(1) 溶接基準

下路桁形式のエレメント溶接は、列車荷重を直接的に受ける上床については鉄道橋、道路橋の基準に、抗土圧部材となる側壁は鉄骨の基準によっている。参考として、線路下横断構造物設計の手引き(国鉄、構造物設計事務所、S.62)がある。

トンネル形式、ボックス形式については、上記の側壁と同様鉄骨の基準によっている。

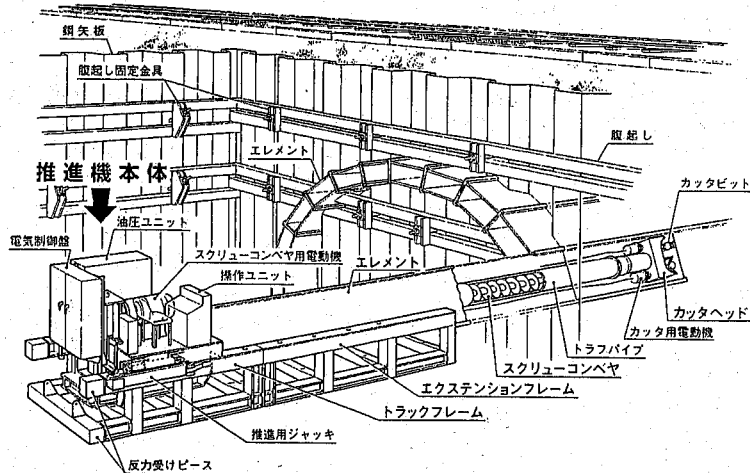


図-7 推進機械の配置(例)

(2) 製作寸法

製作寸法は継手の遊び幅を小さくして施工性を高めるため独自の許容値によっている。

3-2 現場施工

3-2-1 仮設立坑

(1) 仮土留め

発進・到達坑の仮土留めは、現場の土質や地下水位などから選定されるが、一般的には鋼矢板方式あるいは鋼杭横矢板方式が多く用いられている。また、切梁支保工は推進機の移動、エレメントの搬入に支障するのでアンカー方式が標準的である。しかし、諸条件によりグラウンドアンカー方式が採用できず、自立式矢板で対応した例もある。

(2) 反力壁

下路桁形式、ボックス形式の上床およびトンネル形式のクラウンエレメントの中心が立坑背面天端より低ければ問題ないが、逆の場合は構台などを利用して反力壁を仮設する必要がある。また、先行エレメントからの牽引方式や杭の水平力を利用した例など種々工夫がなされている。

3-2-2 使用機械

使用する機械類は、推進機などの本工法専用のものとクレーンなどの汎用機械に大別できる。

(1) 推進機など

この工法の専用機としては、油圧ユニットにより駆動

表-1 推進機の選定

構造形式	推進長(m)	機種(推力tf)
下路桁形式	10~20	URT-200型(230)
	10~30	
	30~60	URT-600型(560)
トンネル・ボックス形式	30~60	URT-800型(800)
	50~70	

する推進機本体のほか、本体をガイドするフレーム、エレメント内に装備するカッターヘッドおよびスクリーコンベヤがある(図-7)。現在、推進機は推進抵抗に応じて200型、600型、800型の3機種が準備されており主として推進延長をもとに表-1のような選定が行われているが、礫層、泥岩層など推進抵抗の大きい土質の場合は慎重な検討が必要である。

(2) その他機器

この工法では上記専用機のほか排土用コンベヤ、ダンプ、機材搬入用クレーン、受電設備、排水ポンプなどが必要となる。

クレーンの機種は、吊り荷重、作業半径のほか作業期間なども勘案して決定する。

3-2-3 推進

水平線状オーガー方式による推進では、礫・玉石層あるいは帯水層の掘削時に多くのトラブルが発生しており、今後の大きな課題と言える。

以下に推進作業について考慮すべき事項を列記する。

(1) 推進支障

エレメントの推進中に転石や支障物に当たり掘削前進が困難になる場合がある。こうした場合は、機械の運転音や油圧機器のメーターにも変化が生じるので、運転を中止して対策を講じなければならない。カッターの前後進のくり返しで突破できない場合は、

- ・上載土砂を排土して除去する
- ・隣接エレメントに開口部を設けて除去する
- ・カッターを引き抜いて人力で除去する

などの方法がとられているが、タイミングを誤ると軌道隆起などの問題を生じるので注意が必要である。

(2) 作業時間帯

上床エレメントの推進による軌道の高低、通り狂いは、土かぶり50cmより少なくなると急速に高まるのが経験的に知られている。

このため上床エレメントの推進は列車運行のない夜間の線路閉鎖間合で行う場合が多い。

(3) 余掘り

推進の切羽は、いわば開放式掘削のため周辺地山のゆるみや過掘りを完全に防ぐことはむずかしい。また、地下水位以下の掘削では、止水注入を実施しても完全に止

水することは困難で、長期的には地中に空洞をつくりかねない。こうしたことから起こる軌道沈下を防ぐためエレメント背面には必要に応じて裏込め注入を行っている。

(4) 推進精度

エレメントは剛性が高いので、容易には変形しないが、延長が長くなり、掘削断面に取り込めなかった支障物があると変位を生じる場合もあるので、計測で確かめ方向修正を行う必要がある。なお、エレメントが土中で固定されるのは最初の7~8mと考えられるので、この範囲での精度管理は特に重要である。

3-2-4 コンクリート工

(1) 中埋め工

トンネル形式、ボックス形式における中埋めコンクリートは構造材として所定の品質で内空部に空隙が残らないよう充填する必要がある。

コンクリート到達側の上部部にメッシュを設け粗骨材が一定割合に達しないコンクリートは外に流出させ品質の均一化をはかるなどの方法がとられている。

(2) 止水工

土中に圧入したエレメントをビルトアップした特殊な構造なので、漏水対策もキーポイントの一つである。エレメント継手部の止水対策を種々行っているが、さらに工夫を要する点である。

4. 工事実績

昭和52年に常磐線土浦・神立間で下路桁形式の公道橋がURT工法により施工されたのが最初で、以後、平成12年9月現在111件の工事が完成または工事中である(表-2)。

実績でみると鉄道を対象としたものが依然として多数を占めているが、ここ数年道路横断の事例が増加しており全体で14件となっている。

また、この工法の応用例として下記のようなものがある。

① 仮土留め工(軌道変位の防止策)

東海道新幹線の盛土区間での公道橋(RC場所打ちボックスラーメン)新設に際して、剛性の大きいURTエレメントを側壁仮土留めとして8段圧入し

表-2 工事実績推移(S52~H12)

年度	S52 ~56	S57 ~61	S62 ~H3	H4 ~8	H9 ~12	合計
下路桁形式	3件	12	16	21	12	64
トンネル形式	3	4	4	17	6	34
ボックス形式	0	3	2	3	5	13
合計	6	19	22	41	23	111

(注)各欄は5か年ごとの件数であるが*のみ3.5か年実績である。

て工事術仮設後、切梁を入れながら掘削した。

- ② アンダーピニング(構造物沈下抑制)
近鉄東大阪線の掘削区間の切梁式U形ラーメン下を斜めに縦断する道路新設に際してURTエレメントを連続圧入し、面で仮受けして道路構造物を築造した。
- ③ 軌道下斜め縦断(地盤弾性支承)
東海道本線軌道直下を斜め縦断する片幅連絡線(現 JR 東西線)の構築に際し、軌道横断方向に圧入したエレメントの軌道下支持を改良地盤で弾性支承して下部掘削を行った。
- ④ 連続立体交差(複線同時施工)
近鉄京都線の盛土区間のRC ラーメン高架化に際して、仮線単線施工や、工事術工法に変えてURTエレメントを連続圧入して、上下線下を同時掘削する工法を採用した。

5. おわりに

大断面シールドの対応工法として登場し、実用化されつつあるMMST(Multi Micro Shield Tunnel)工法の考え方を先取りしてスタートしたのがURT工法である。当初、設計上明確でない部分は、安全側の設計でカバーすることとしてきたが、その後、鋼とコンクリートの複

合構造物の設計標準の制定、レベル2地震動に対する耐震設計標準の制定などがあり、いずれの構造形式についても大幅な見直しにより、より合理的な構造物とする必要がある。

一方、施工機械に求められる課題は、礫、玉石層と地下水にいかに対応するかである。いざれにしても本工法のような活断近接の施工技術にもっとも求められているのは、軌道の変位や路面の沈下など既存の施設への影響をいかになくして安全かつ経済的に工事を完成するかである。こうした見地から関係者の一層の奮起が望まれているといえる。

(文責：小林 進・石川島建材工業(株)営業本部技師長)

参 考 文 献

- 1) 垂水尚志・ほか：URTエレメントの継手剛性評価一現地測定結果の解析一、土木学会第45回年次学術講演会、Ⅲ-292, pp. 620-621, 1990. 9.
- 2) 福島啓一：連続掘削機を用いたトンネルの力学(最終回)トンネルと地下、Vol.24, No.3, p.76, 1993. 3.
- 3) 古谷時春・ほか：角型鋼管機械工法における高流動コンクリートの施工、コンクリート工学、Vol.37, No.8, pp.32-38, 1999. 8.
- 4) 三浦律彦・ほか：高流動コンクリートの分離抵抗性や施工性判定のための漏斗落下試験、フレッシュコンクリートの流動性に関するシンポジウム論文集、日本コンクリート工学協会、pp.34-36, 1996. 4.

R. E. グッドマン, G. H. シー著

ブロック理論と岩盤工学への応用

A5判 上製本 360頁 本体価格4,855円 円380円

吉中龍之進 大西有三訳

ブロック理論とは、岩盤内に分布する不連続面と自由面をなす岩盤表面、あるいは掘削面ととの間の三次元の幾何学的関係から岩盤の安定に影響を与える岩塊を見出す新しい手法である。

自由面と不連続面をなす不安定岩塊をキーブロックと呼び、そのブロックを安定させ岩盤全体の安定化をはかることがブロック理論の体系である。

したがって、トンネル・地下空洞・岩盤斜面などの築造に際しては、同理論の適切な活用によって安定した岩塊を確保し、支保や安全対策工の合理化・省力化をはかることができる。

(目次) 序説/ベクトル解析を用いたブロックの形状と安定性の記載/図解法(ステレオ投影法)/ブロックの移動可能性/ジョイント・ブロック/地表の岩盤掘削へのブロック理論の応用/地下空洞へのブロック理論の適用/トンネルと立坑についてのブロック理論/移動可能ブロックの力学安定解析

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



(社) 日本トンネル技術協会
研究開発委員会

革新的な支保コンセプトのTBM/TBM with innovative Support Concept

Helmut Hentschel: Tunnel 2/2000, pp.20-28

長年、高速掘進を主眼にして、TBMはカッターヘッド部に機能を集中させてきた。しかし、不均質な地山では安全性が損なわれる。アルプスの基底トンネルでは土かぶりが大きいために内空変位が大きく、また湿潤膨張性のため盤膨れが発生する可能性がある。それらに対処するために、掘削直後にロックボルトやリング支保工、吹付けコンクリートで補強することが必要となる。長期的な耐力を確保するためには、二次ステップで支保を増強する方法がとられる。

Tscharnertトンネルは、長さ2,325mで全長にわたって部分的に泥灰岩が介在した石灰岩を主体とした地質で構成されている。トンネルはセメント工場の資機材運搬用で大型機械も通行可能な一方通行の一車線道路と、幅1.2mの2本のベルトコンベヤを通す構造になっている(図-1)。

TBMは1か所のみにグリッパを備えており、直径は

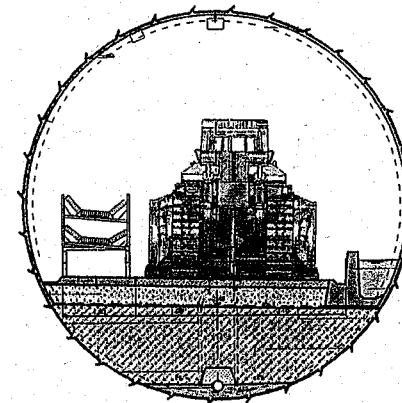


図-1 重機とベルトコンベヤを通すトンネル断面

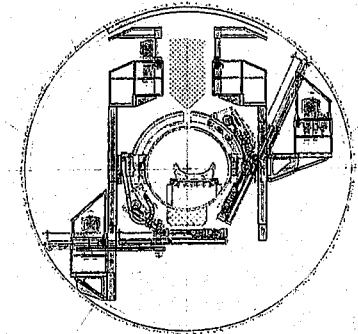


図-2 上半220°に4mのロックボルトを、インバート部に1.5mのロックボルトを打設できる2台のロックボルトユニット

9.53mであり支保の厚さを増加させるために最大9.73mまで拡大できる仕様になっている。フェースから6.5mの位置で支保工とロックボルトの施工ができる。上半の220度の範囲は4mのボルト、その下は1.5mのボルトを打設する。また、その部分にボーリングとグラウトができる装置を備えており、状況に応じて吹付けユニットに交換できる構造になっている(図-2)。グリッパはフェースから13m後ろにあり、1回の推進長は最大2mとなっている。フェースから30~35m後ろに吹付け設備を備えており、切羽近くで施工した一次支保を補強する二次支保を施工する。ずりはシャフト部分に設置した幅1m、毎秒2.2mのベルトコンベヤで搬出する。搬出量は1,000t/hとなっている。2mの1ストロークを約80分で掘進する。トンネル掘進は2000年5月に開始して、約6か月で完了する予定である。(文責：山田・(株)竹中土木)

硬岩用TBMと即時支保/Matching TBMs to hard rock and immediate support needs

Shani Wallis: Tunnel 3/2000, pp.26-34

切羽になるべく近い位置で金網・ロックボルトや吹付けコンクリートなどで支保を行うというNATMと同様のコンセプトにより、硬岩地山のトンネルでオープンタイプの大型TBMが採用された。大型のTBMでは、カッターヘッドサポート後方のモーターの外側空間に余裕があるため、ロックボルト打設機や吹付け機を停止して施工することになるため、とくに支保の施工に時間のかかる不良地山部で掘削停止時間が増大しトンネル進行速度が低下する傾向にある。また、このタイプのTBMでは後

表-1 ファイバーボルトの主な素材

強化繊維	樹 脂
ガラス	不飽和ポリエステル
カーボン	ビニルエステル
アラミド	エポキシ
ビニロン	

一般にトンネルで用いられるファイバーボルトは、引き抜き成形によるものです。引き抜き成形によるファイバーボルトの素材を、表-1に示します。

現状では、経済性から、強化繊維としてガラス繊維が、ベースとなる樹脂として不飽和ポリエステルが多く用いられています。ガラス以外の強化繊維は素材の価格は高くなりますが、高強度を得られるため、同一強度であればボルトの径を小さくできるという利点があります。また、樹脂の種類は、繊維ほどには強度に影響ませんが、ビニルエステル、エポキシによれば強度や耐薬品性が改善されるという効果があります。

3) 特長

ファイバーボルトの一般的な特長として、以下の点が挙げられます。

- ① 腐食する恐れがなく、耐久性に優れている
- ② 軽量で柔軟性に優れ、施工性がよい
- ③ 機械切断が容易である

ガラス繊維を用いたファイバーボルトと構造用鋼材の物性値を比較したものを、表-2に示します。同表に示すように、ファイバーボルトの重量は鋼材の約1/4ですが、引張り強さは鋼材の約2倍となることがわかります。また、弾性率が1/7程度と小さいことから可撓性に富み、せん断強度が小さいことから切断しやすい材料であることがわかります。

4) 施工法

ファイバーボルトの施工は、通常のロックボルトと同様に、ジャンボドリルで穿孔した後、先充填方式(充填式)または後充填方式(注入式)によってボルトを地山に定着します。支保部材となるファイバーボルトに対しては、壁面端部において、グリップで座金を固定して用います。鏡ボルトの場合には、孔壁が自立しない不良地山に施工されることも多いため、ケーブルボルトの説明においても述べたように、捨てビットを用いる方法が採られることがあります。このとき、鋼製のケーシング内にファ

表-2 物性値の比較¹⁾

項 目	単 位	ファイバーボルト (ガラス繊維)	構造用鋼材
比 重		1.8~2.1	7.8
引張強さ	N/mm ²	590~980	330~490
引張弾性率	"	24,500~44,100	206,000
曲げ強さ	"	690~1180	330~440
曲げ弾性率	"	24,500~44,100	206,000
圧縮強さ	"	390~590	440
せん断強さ	"	100~180	370

イバーボルトを挿入する方法のほか、ケーシングそのものをFRBチューブとして残置する方法も開発されています。

5) 留意点

表-2に示したガラス繊維によるファイバーボルトは、他の強化繊維を用いたボルトに比べて安価で使用実績の多い代表的なものです。耐アルカリ性は低いといわれています。ファイバーボルトを打設した部分をすぐに掘削する仮設的な使用の場合には問題ないといえますが、永久支保として使用するには他の強化繊維を用いるなどの留意が必要です。

ファイバーボルトの定着材としては、セメント系と樹脂系があり、新素材に対してとくにどちらが優れているという点はありません。ただし、耐アルカリ性の低いガラス繊維のファイバーボルトを長期にわたり機能させるためには、樹脂系の定着材が望ましいといえます。

ファイバーボルトは、先に述べたように掘削時に容易に切削できるボルトですが、通常、掘削ずりと一緒に土捨て場に処分することはできません。したがって切削後のファイバーボルトは、掘削ずりと分類して集積する、などして処分する必要があります。

(文責：永井 誠二・日本国土開発(株))

参 考 文 献

- 1) ジェオフロンテ研究会長尺ボルト分科会ケーブルボルトWG：ケーブルボルトに関する調査研究報告書、ジェオフロンテ研究会、1997。
- 2) ジェオフロンテ研究会長尺ボルト分科会ケーブルボルトWG：ケーブルボルトに関する調査研究報告書—長尺鏡ボルトの施工実態調査結果とその分析—ジェオフロンテ研究会、1998。

連載講座

線路下横断工法(7)

PCR工法、パイプルーフ工法

P C R 工 法

1. 概 説

1-1 工法の概要

PCR(Prestressed Concrete Roofing)工法は、中空方形断面のプレキャストコンクリートの桁を利用し、供用中の鉄道や道路の下に、地下道や河川などの横断構造物を構築する工法の一つである。

PCR工法は、このプレキャストコンクリート桁(PCR桁)を交通を遮断することなく1本ずつ順次圧入し、これらの桁をPC鋼材で緊張し、そのまま本体構造物として利用し、目的とする構造物を構築する工法である。

1-2 特 長

この工法は、構造形式や施工手順が単純で、安全に構造物を施工できる大きな特長と利点がある。その主なものを挙ると、次のとおりである。

(1) 施工性と安全性

小断面のPCR桁単位で圧入掘削するので、周辺の地盤を乱すことなく安全な施工が可能である。また、床版部のPCR桁の場合、夜間の線路閉鎖間合いで施工することにより、列車の徐行なしで掘削圧入することも可能である。

(2) 品 質

PCR桁は、十分な品質管理のもとで製作される高強度コンクリート製品なので、耐蝕性、耐久性に優れている。

(3) 経済性

線路や道路下に圧入されたPCR桁は、そのまま本体構造物となるので、仮受けなどの仮設工事が節減できるほか、土か

「線路下横断工法」連載講座小委員会

ぶりも小さくできるので、取り付け部のある構造物では全体工事費の節減、工期の短縮などが図れる。

1-3 形式種別

PCR工法には、図-1に示すように4種類の形式があるが、現在まで施工された64か所のうち62か所が下路桁形式であり、スラブ桁形式はわずかに2件のみである(表-1)。しかし、その他の形式も逐次計画されるようになり、現に中央高速道路下などで、箱形トンネル形式を

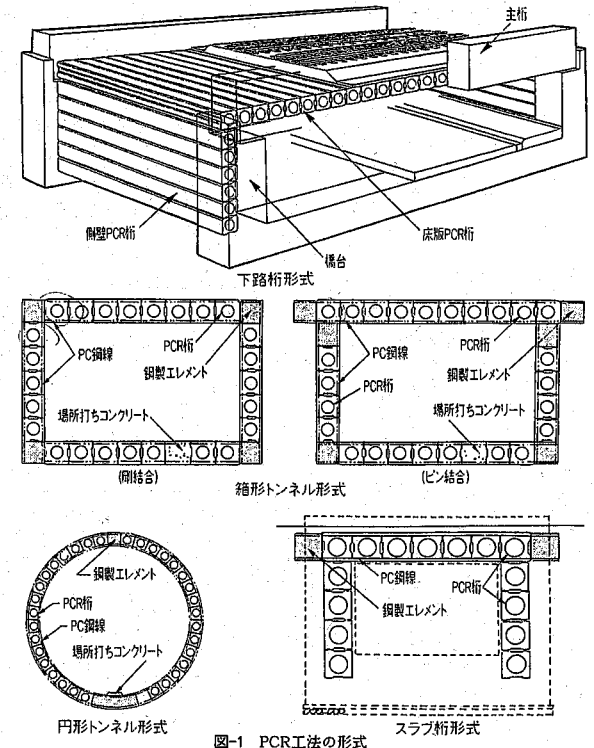


図-1 PCR工法の形式

表-1 PCR桁断面別施工実績

桁断面 (mm)	箇所数	形式別	構造物種別	平均寸法 (m)			記事
				内空幅	内空高さ	構造物の延長	
750	8	下路桁	道路	12.62	5.10	11.92	
	1	"	水路	7.90	3.07	9.36	
850	11	"	道路	20.74	5.77	13.76	
	5	"	河川	13.64	4.60	14.30	
950	1	スラブ桁	旅客通路	4.54	3.59	11.00	
	20	下路桁	道路	16.15	5.84	17.29	
	13	"	河川	18.41	4.01	15.35	
1,050	3	"	道路	15.21	6.68	22.90	
	1	"	河川	17.65	4.90	19.90	
計	64	スラブ桁	道路	25.00	5.66	17.40	ブロック桁 接合方式
			水路	7.90	3.07	9.36	
	62	下路桁	道路	42	10.61	5.74	
			水路	1	7.90	3.07	
			河川	19	17.11	4.21	
			旅客通路	1	4.54	3.59	

施工中である、各形式の概要は以下のとおりである。

(1) 下路桁形式

PCR桁を長軸方向にPC鋼材に緊張して、その両端を図-1に示した主桁にPC結合(PC鋼材にプレストレスを与えて一体化)した形式。

(2) 箱形トンネル形式

PCR桁相互間を水平または上下に緊張して一体化した形式。

(3) スラブ桁形式

PCR桁相互間を水平に緊張して一体化した形式。

(4) トンネル形式

PCR桁を円形に圧入し、これらの桁をリング状に緊張した形式。

2. 設 計

2-1 工法の適用範囲

本工法により構築できる横断構造物本体の適用範囲は、土かぶり・活荷重の大きさなどにより異なるが、標準的な適用範囲は表-2のとおりである。表中、横断延長とは横断構造物の軸方向の長さであり、純径間は、構造物の横断面における最短内空寸法である。

2-2 形式別設計の考え方

下路桁形式は、図-2の構造解析モデルのように、平面格子構造により解析し、PCR桁の横桁を現場打ちの主

表-2 適用範囲

構 造 形 式		適用範囲 (m)		シューの有無
		横断延長	純 径間	
下路桁 形 式	箱 形 ラ ー メ ン 形 式	20	40	有
		20	25	
ス ラ ブ 桁 形 式		60	10	無
箱形トンネル形式			13	
円形トンネル形式			径 8 ～15	

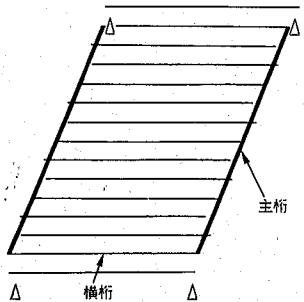


図-2 下路桁形式の構造解析モデル

桁にPC結合し、下路PC桁として設計するもので、その他の形式は、横桁相互をPC結合して、PC版または門形およびボックスラーメンとして設計するものである。

下路桁形式は桁構造なので、支那部はゴムシューを用いているが、主桁のスパンが短い場合は、下部構造と主桁を一体構造としてシューを省略する場合がある。表-2の構造形式にある箱形ラーメン形式とは、この種の形式である。

3. 施 工

3-1 施工法

PCR桁を推進する機械は水平ボーリングマシンで、その主なものを図-3に示す。このPCR桁の推進が施工の主体を占める。

PCR工法の施工順序は、おおむね次のとおりである。図-4に下路桁形式の施工順序を、写真-1にPCR桁の推進状況を示す。

- ① 交差する位置の線路または道路の両側に、発進および到達立坑を構築する。
- ② PCR桁を架台に据え付けた後推進し、床版部から順次すべてのPCR桁の推進が完了した後、桁間

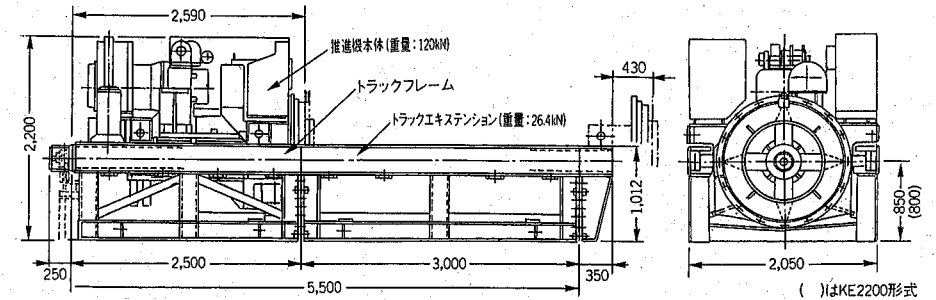


図-3 推進機(KE2300)

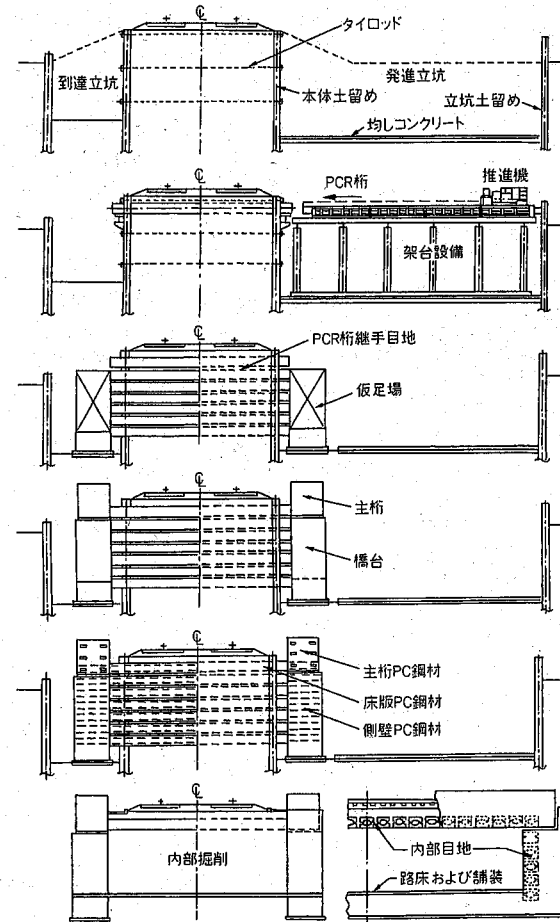


図-4 下路桁形式の施工順序

土留め壁・作業用立坑の設置
 ・H鋼または鋼矢板の打ち込み
 ・発進・到達立坑の掘削
 ・土留め壁のタイロッド取り付け
 ・均しコンクリートの打設

PCR桁の推進
 ・水平・昇降架台の仮設
 ・推進機の据え付け・組み立て
 ・PCR桁の推進(床版部→側壁部)

PCR桁継手目地の止水
 ・継手目地の高圧洗浄
 ・無収縮モルタルの充填
 ・止水材の充填

橋台・主桁の構築
 ・橋台の施工
 ・支那の設置
 ・主桁の施工

PC鋼材の緊張
 ・床版PCR桁と主桁の緊張
 ・主桁の緊張
 ・側壁PCR桁と橋台の緊張

内部の掘削
 ・内部の掘削
 ・内部目地の施工・内装
 ・路床・路面舗装

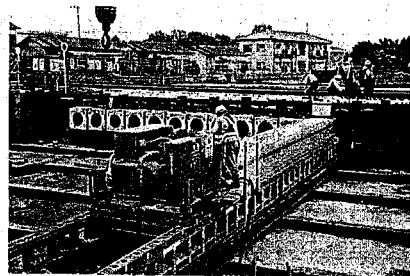


写真-1 PCR桁の推進状況

の目地工を行う。

③ 立坑内に橋台および主桁を構築し、先に推進したPCR桁と主桁間をPC鋼材で緊張する(箱形トンネル形式およびスラブ桁形式の場合には、推進したPCR桁を上下、左右にPC結合して構造体を構成するので、主桁および橋台は構築しない)。

④ 内部を機械掘削したのち、内部目地の施工・内装および路床・路盤などの舗装を行う。

3-2 施工実績

本工法は、昭和55年に完成した仙台の大野田架道橋に初めて採用されて以来、平成12年末までに69の橋で採用され、5橋が施工中である。平成11年までに完了した形式別内訳は表-1に示したとおりであり、ほとんどが下路桁形式である。

4. PCR工法の今後の動向

最近、メンテナンスフリーが重視されているが、既設のPCR構造物は前述のように下路桁形式が主体で、上部構造と下部構造との境界には支承がある。構造はゴムシューであり常時検査を必要とするものではないが、省力化の点からは好ましくない。

これに反して他の形式(箱形トンネル形式およびスラブ桁形式)では、PCR桁を相互に緊張して、全体をスラブ構造またはボックスおよび門形のラーメン構造とするものでありシューの必要はない。

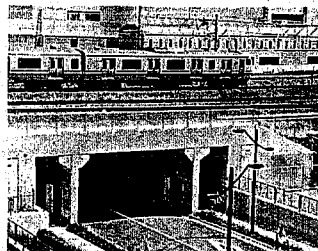


写真-2 スラブ桁形式による錦糸町架道橋

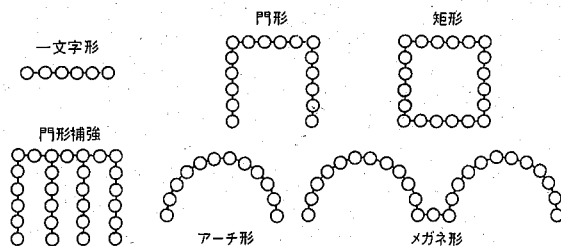


図-5 バイブルーフの断面形状

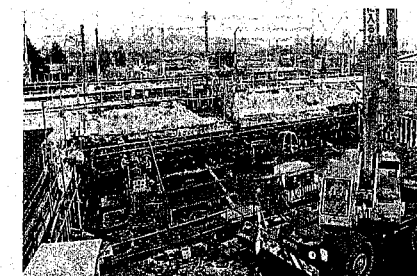


写真-3 バイブルーフ工法

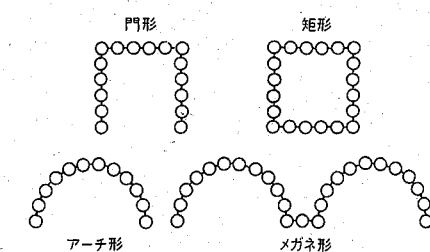


図-6 ダブルアングル形継手の諸元

るだけで容易に管径を変更でき、異なった管径での組み合わせバイブルーフの施工が可能である。

1-3 トンネル断面形状

バイブルーフの断面形状は、構造物の形状や土質によって、これに適合した種々の形状が用いられる。図-5は、現在用いられているバイブルーフの断面形状を示したものである。

2. 設 計

バイブルーフの設計は、施工時とトンネル掘削時について検討を行う。

2-1 鋼管の径と肉厚

トンネル掘削時の支保工間隔に大きく影響される、たわみ、応力のほか、施工時の推力や障害物の有無による安全性および経済性のチェックが重要である。また、鋼管内に人が入って作業する場合、労働災害防止などの観点から鋼管径は800mm程度以上のものが用いられることが多い。

2-2 鋼管の種類

線路下横断工事で用いられる鋼管の種類には、SKK(鋼管杭)、STK(一般構造用炭素鋼管)、SKY(鋼管矢板)があるが、引張強度および継手を含めた経済性を検討して選択する。

2-3 鋼管の継手

継手は、施工時における鋼管推進のガイドの役目を果たすもので、施工精度の確保を主目的としている。継手形状には様々な種類があるが、一般に図-6に示すダブルアングル形継手が用いられている。

3. 施 工

バイブルーフ工のフローチャートを図-7に示す。発進

立坑内に架台を設置し、推進機をセットする。あらかじめ立坑の外でカットおよびオーガーを鋼管内に組み込んでおき、これを推進機にセットし、推進を開始する。先頭管の推進が終わったら、推進機を後退させ次の鋼管をセットし、オーガーを接続したうえ鋼管を溶接し、再び推進する。この作業のくり返しによって所定の長さの推進が完了する。この最初に推進する一本目の鋼管を基準管と称し、鋼管の接続ごとに入念に測量し、高精度を確保する。これにより、2本目以後の鋼管の精度が確保される。

鋼管推進完了後、支保工を仮設しながら鋼管を一時覆工としてトンネルの掘削を行い、その後躯体を構築する。

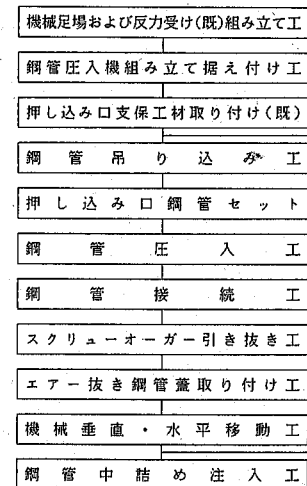


図-7 バイブルーフ工フローチャート

呼 称 寸 法	300	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100	1,200
使用鋼管外径 A (mm)	318.5	406.4	508.0	609.6	711.2	812.8	914.4	1,016.0	1,117.6	1,219.2
鋼管の中心間隔 B (mm)	370	460	580	690	790	900	1,010	1,135	1,240	1,330
ジョイント部材	L-50×50×6		L-65×55×6		L-75×75×9		L-90×90×10		L-100×100×12	

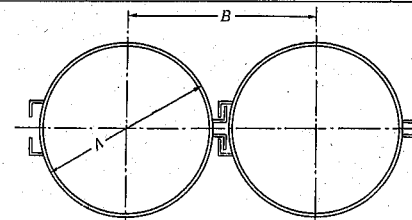
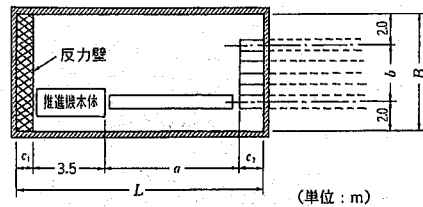


図-6 ダブルアングル形継手



(単位: m)

図-8 発達立坑の標準形状寸法

このとき、まだ施工例は少ないが、立坑内で製作したボックスラーメンの構造物を、鋼管を切羽崩壊防止工として掘削推進することもある。

3-1 立坑

立坑には、発達と到達の立坑があるが、到達立坑は、構築する構造物の種類などにより異なり、かつ、省略されることもある。図-8に発達立坑の標準形状を示す。

3-2 架台設備

架台設備には、一文字パイプルーフに使用する水平架台、幅の狭い門形パイプルーフに使用する全断面昇降架台、および幅の広い門形パイプルーフに使用する側壁断面昇降架台があり、その構造を図-9に示す。

昇降架台は、架台支柱の天端に取り付けられたチェーンブロックにより、受けばりを上下させて埋設位置に正しく鋼管をセットできるよう工夫されている。

3-3 反力設備

推進機の推力を支持するための反力は、推進する鋼管の径、高さ、推進機の推力、立坑の地盤高、などにより形状は異なるが、一般的に図-10のような反力受けが用いられる。

推進する鋼管の高さが現地盤より高い場合には、且鋼などを用いたストラット方式を採用し、鋼管の高さが現地盤より低い場合には、現地盤の受働土圧を利用した地盤反力方式が用いられる。

4. パイプルーフ工法の今後の動向

ケーモエ工法は、1963年にアメリカより導入されて以来、主としてパイプルーフ工法に利用され、それまでの開削工法に代って、鉄道や道路の基本的な構造を何ら変更することなく、アンダーパスの施工が

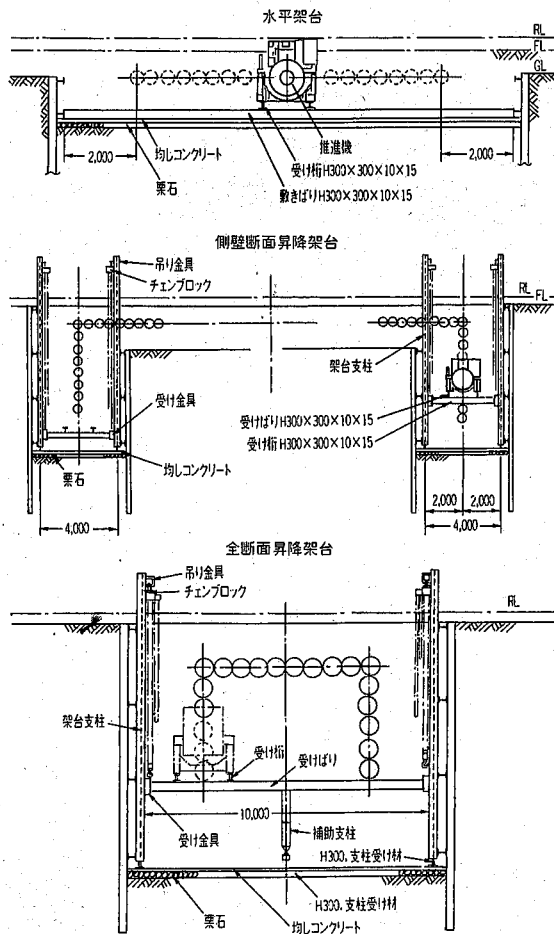


図-9 架台設備の種類(正面図)

できる利点が評価されて、次第に施工実績を重ねてきた。

現在は、パイプルーフ工法の主流となり、1999年度末で、施工件数は約1,300件、推進延長は約511kmに至っ

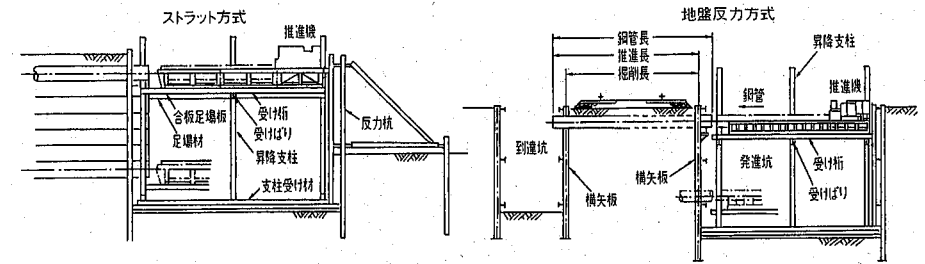


図-10 反力設備の概要

ている。

このような成果実績に全く問題がないわけではない。すなわち、工期に大きく影響する鋼管の溶接の効率化を図ることが推進時間の短縮に必要であり、近年、鋼管の接着式接続工法が開発されつつある。

また、玉石や障害物による推進精度の低下や上部の軌

道や路面の変状を防ぐための地盤探査方法の開発も要望される。

とくに近年、長距離パイプルーフの需要が増えてきており、新しい技術、推進機の開発研究などを進めているところである。

(文責: 山田幸男・高崎勝利/日本ケーモエ協会)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
(60頁からのつづき)			
和歌山県	すさみ古座線道改曲利T	大成・松村・小池JV	1,288
徳島県	道改山城東祖谷山線和田T	日産・丸浦・島谷JV	1,200
福岡県	広営農道京築地区第10号T	三井・松崎・三原JV	1,320
熊本県	国道266号道改高戸1号T	吉永・岩永JV	738
鹿児島県	道改生勝3号T	竹山・福永JV	630
船橋市	中山連集幹線管渠その1	西松建設	143
"	長津幹線管渠その11	日産建設	100
"	城門幹線管渠その3	大林組	189
"	" その4	大成建設	207
"	三田東幹線管渠その3	飛鳥建設	226.8
川崎市	澁川雨水貯留管その8	東急・丸紅・大山JV	1,226
名古屋市	中川区太平通7丁目地内臨港幹線改良	飛鳥建設	128
"	犬山系導水路三光寺連絡管渠布設	熊谷組	111
"	高速鉄道2号線および上飯田連絡線平安通駅	奥村組	1,090
"	第三次南郊北部幹線下水道	三井・りんかい・市川JV	530
向日市	石田川1号幹線	大林組	1,930
大阪市	市営地下鉄8号線井高停留場・地下線路(10工区)	鉄建・福田・井上JV	3,380
"	" 端光停留場・地下線路(11工区)	熊谷・鹿島・村本・大末JV	6,260
"	" 蒲生4丁目停留場(12工区)	フジタ・浅沼・東海JV	2,600
"	" 今里停留場・地下線路(13工区)	ハザマ・大林・東亜・森・中林JV	8,850
岸和田市	公下第15-1工区管渠	竹中土木	470
洲本市	公下洲本汚水管管渠その2	大林・淡路JV	1,025
備前市	三石汚水第1幹線2工区	大本・大丸JV	163
真備町(岡山)	備前町公下4号汚水管2-4工区	大本・吉田JV	205
奈良生駒高速鉄道	東生駒T南工区	奥村・前田・五洋・不動JV	4,500
"	" 北工区	鹿島・飛鳥・東急・浅沼JV	3,500
"	北大和T	大林・清水・戸田・村本JV	4,840
京都大学	京都大学桂団地基幹・環境整備	国土開・長村JV	960

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL

山陰道3路線同時開通

中国地方整備局と日本道路公団中国支社が整備を始めた山陰道のうち、安来道路安来IC～東出雲IC間(12.5km)、松江道路東出雲IC～松江市東津田町間(4.3km)と、松江造IC～穴道IC間(14.1km)が3月24日同時開通した。

安来道路は、鳥取県米子市から鳥根県東出雲市までを一般国道9号のバイパスとして改築する延長19.1kmの自動車専用道路。これまで米子IC～安来IC間6.6kmが供用しており、今回の開通により、全線が供用することになる。

同区間の構造物としては、橋梁20橋(約3.7km)、トンネル3本(約1.4km)、土工延長約7.4km。また、伐採木、竹をチップ化し再利用したほか、セメントの固化材を三隅発電所から発生する石炭灰を利用するなどリサイクル、環境保全に取り組むとともに、RCCカルバート工法、少本数主桁橋など新工法、新技術を取り入れてコスト削減を図っている。

とくに、安来市荒島地区では遺跡を保存するため、当初の切り土計画をトンネルに変更、土かぶりが小さいためパイプ工法を導入した。また、東出雲町揖屋地区では世界で初めてとなるRCC(転圧コンクリート)を使用したカルバートの施工も行った。

松江道路は、鳥根県東出雲町出雲郷から玉湯町布志名までを一般国道9号のバイパスとして改築する延長10.9kmの道路。橋梁9橋(約0.6km)、土工延長約3.7kmとなっている。

15%コスト削減を実現

川崎市建設局は、五反田川放水路のシールドトンネルの設計で約15%のコスト削減を実現した。

内水圧対応型・高剛性継手の合成セグメントを採用することで2次覆工を省略。これによりシールド機の小径化や掘削土量の削減などを含めた大幅な工事費の抑制を図った。同工事は現在、立坑築造中で、引き続き進められる予定のシールド工事でその成果に期待が寄せられている。

小田原早川線が完成

神奈川県が建設していた都市計画道路小田原早川線が4月22日供用を開始した。

同線は、小田原城西側でJR東海道本線に沿う形で計画された全長950mの路線。すでに北側部分の約270mは92年度に供用されており、今回の完成で全面開通する。

工事の目玉、城山トンネルは延長233m、幅員10.5mで7.5m幅の車道と3m幅の歩道が整備されている。このうち歩道については、歩行者専用の照明設備を設けるなど通行する人の安全性の向上が図られている。

大阪港夢州トンネル着工

大阪港の人工島「夢州」と「咲州」を結ぶ道路・鉄道併設の海底トンネル「大阪港夢州トンネル(延長約2.1km)建設工事」が3月12日着工した。

同トンネルは、大阪市臨海部(咲州～此花区桜島間延長約8km)を結ぶ北港テクノポート線の一部区間となる。事業主体は近畿地方整備局で、これ以外の鉄道区間を大阪市と大阪港トランスポートシステム(OTS)が手がける。

関空2期用土砂採取施設完成

大阪府土地開発公社が、関西国際空港2期事業に伴う埋め立て用土砂の採取地として岬町多奈川東畑地区で進めていた「岬町多奈川地区多目的公園用地造成事業」の準備工事が

完成。土砂搬出が始まる。

埋め立て総量の約3割に相当する7,000万m³の土砂を5年がかりで採取・供給するもので、大量の土砂を安定的に、しかも急速に供給するため土砂採取地から海上棧橋までを結ぶ3本のトンネルは総延長2,900mにのぼる。ダンプトラックやブルドーザなど大型重機を使用するとともに、破碎設備に世界最大級の破碎機を導入するなど最新の技術を導入する。

福万山トンネル貫通

日本道路公団九州支社が、大分自動車道玖珠IC～日出JCT間(約16.7km)の4車線化工事の一環として進めていた福万山トンネルが3月16日、貫通した。

同トンネルは、大分湯院町の北西に位置する福万山を南北に貫く全長1,318mのトンネル。1999年10月に大分市側の北坑口から工事着手し、鳥栖市側へ片押し施工で掘進した。施工は機械掘削工法を主体とした全断面掘削ショートベンチカット工法、最急縦断勾配1.3%となっている。

神谷ダムが竣工

兵庫県企業庁が、96年度から姫路市豊富町の2級河川市川水系神谷川に建設を進めていた神谷ダムが3月18日竣工した。

同ダムは、市川の流量が豊富なときに河川水をポンプで揚水しダムに貯留しておき、市川の流量が少ないときに逆にダムの貯留水を市川に隣接する船津浄水場に導水する河道外揚水式貯留ダム。

姫路市をはじめ2市5町に1日最大206,000トンの水道水の取水を可能とし、西播磨地域の発展に大きく寄与する。水道専用のロックフィルダムとしての堤高79.0mは日本一を誇る。

連載講座

線路下横断工法(8)

HEP & JES 工法

1. 概要

1-1 工法概要

HEP(High-speed Element Pull) & JES(Jointed Element Structure)工法は、線路下横断構造物を構築する際に、列車走行の安全性を確保すること、施工期間が短いこと、経済性が高いことを目標に開発された工法であり、増加してきている用地の高度利用、都市基盤整備により発生する、営業中の鉄道下を横断交差する都市交通や上・下水道構造物への適用が図られている。本工法は、小さな鋼製エレメントを特殊な継手(JES継手)で沿わせてけん引貫入した後、この継手をグラウト充填しエレメント内にコンクリートを充填することで連続した線路方向の構造物材として函体構造を形成することを基本としている(図-1)ため、以下に示すような特長を有する。

- ① 線路方向の函体構造のため、線路横断延長に制限がない。
- ② 路盤面防護工と本体構築工を同時に行うため削孔・圧入作業が1回で済み、軌道面に影響を与える回数が少ない。
- ③ 軌道下に挿入する個々のエレメントが小断面であり、1回あたりのけん引・掘進による軌道面への影響が小さい。
- ④ 従来防護工として用いられた鋼製エレメントを本体構造とするため工期を短くできる。
- ⑤ 作業工程の減少、工期の短縮により、工事費が低減できる。

1-2 構造形式

JES工法により構築される構造物は、1径間ボックスラーメン構造の他、多径間ボックスラーメン構造、円形トンネルなど(図-2)があるが、いずれもJESエレメントを組み合わせることで構築できる。また、多径間を

「線路下横断工法」連載講座小委員会

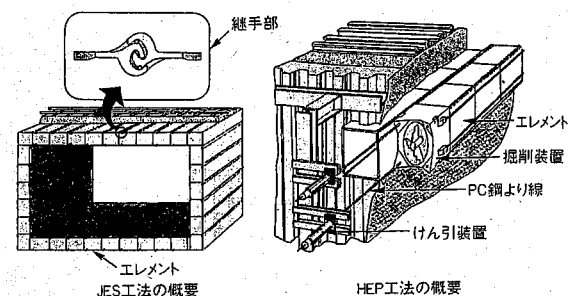


図-1 HEP&JES工法の概要

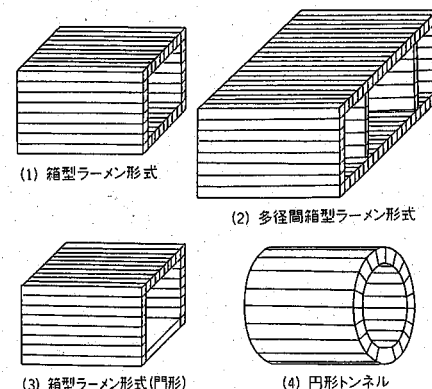


図-2 構造形式の例

含むボックスラーメン構造は、地盤条件により下床版または中壁を場所打ちの鉄筋コンクリート構造とすることができ、この方が一般的に経済的となる。

使用するエレメントは、構造形式により以下のエレメントを組み合わせる。なお、エレメントに使用する鋼材は $t=16\text{mm}$ (SM400)を標準とする。

(1) 標準エレメント

1本目に施工するロの字形のエレメントを標準エレ

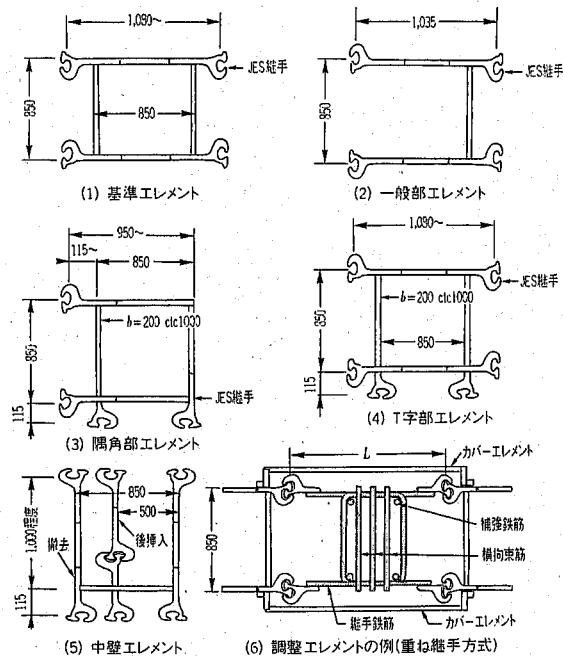


図-3 エLEMENT形状

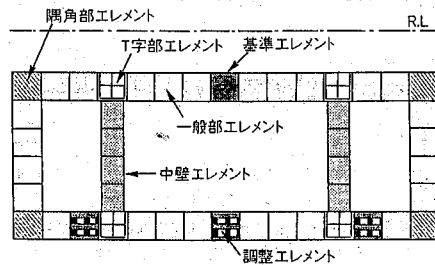


図-4 ELEMENTの配置例

ントと呼び、基本タイプの形状を図-3(1)に示す。2枚の継手を有するフランジと2枚のウェブ材により構成される鋼管構造となっている。ELEMENT割り付けの調整を行うことが多く、幅が大きくなった場合、人力掘削による施工となる。

(2) 一般部ELEMENT(図-3(2))

2本目以降に施工を行うコの字形のELEMENTを一般部ELEMENTと呼び、ウェブが1枚しかない構造となっている。基準ELEMENTなどに沿わせて土中にけん引貫入される。

(3) 隅角部ELEMENT(図-3(3))

床版と側壁が交差する隅角部に使用するELEMENTで、

継手が交差する2方向に4個配置されていることが特徴であり、継手位置での応力伝達の軸線をそろえるため、幅200mm程度の補強材を使用している。ELEMENT割り付けの調整に使用されることが多い。

(4) T字部ELEMENT(図-3(4))

床版と中壁などが交差する部分に使用されるELEMENTで継手が交差する2方向に6か所配置されている。継手位置での応力伝達の軸線をそろえるため、隅角部ELEMENTと同様、幅200mm程度の補強材を使用している。

(5) 中壁ELEMENT(図-3(5))

中壁の幅が850mm以上の場合については、一般部ELEMENTが使用できる。中壁の幅が850mmより狭い場合、図-3(5)に示すような特殊なELEMENTを用い、幅850mmのELEMENTを挿入し、内側に500mm程度の中壁を構築することができる。

(6) 調整ELEMENT(図-3(6))

ラーメン構造として、最後の閉合部に用いるELEMENTであり、累積する施工

誤差を調整する働きをもつ鉄筋かごと継手から構成される。施工時はカバーELEMENTが使用できる。中壁の幅が850mmより狭い場合、図-3(5)に示すような特殊なELEMENTを用い、幅850mmのELEMENTを挿入し、内側に500mm程度の中壁を構築することができる。

これらのELEMENTを使用した線路下横断構造物の例を図-4に示す。

1-3 施工方法

HEP工法とは、ELEMENTを線路下の土中にけん引貫入する工法であり、具体的には、水平ボーリングによって削孔したケーブル孔にPC鋼より線を挿入した後、このPC鋼より線を到達側からけん引装置(油圧ジャッキ)でけん引することにより、発進側から掘削装置およびELEMENTを引き込み土中に敷設する。次のELEMENTからは前回の掘削時に掘削装置に取り付けておいたPC鋼より線により、順次、同様に敷設していく(図-5)。

この工法の特長は、以下に示すような点である。

(1) 簡易な反力設備

到達側の土留め壁を反力として、到達側のけん引装置(油圧ジャッキ)でELEMENTを引き込む工法であるため、従来必要であった発進側の推進装置および反力設備が不要となり、立坑設備が軽減できる(写真-1)。

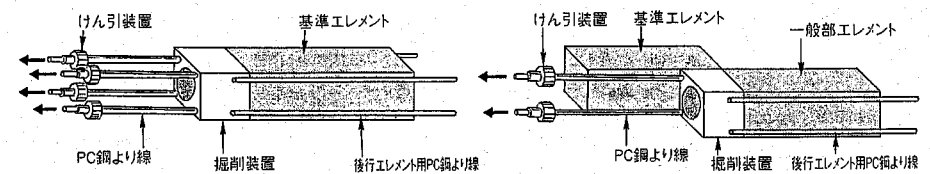


図-5 ELEMENTけん引方法

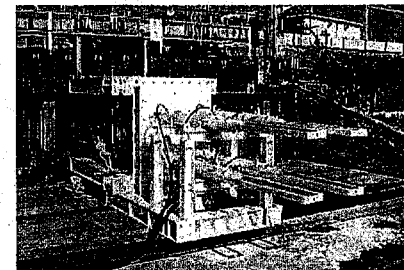


写真-1 けん引装置

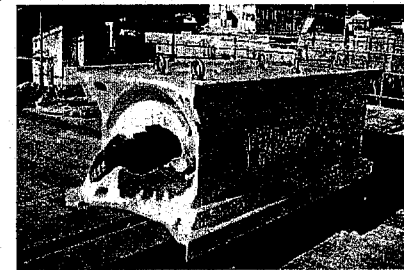


写真-2 掘削装置

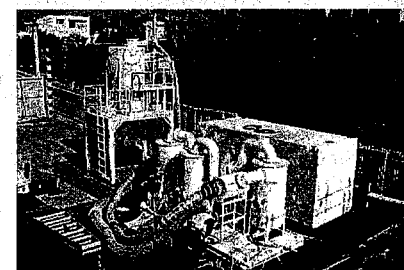


写真-3 吸引排土装置

(2) 小型の掘削装置

オーガー部分を短くし、駆動部を刃口内部に装備することにより、機械効率が向上し、小型の掘削装置での掘削を可能とした(写真-2)。

(3) 高速度掘削

吸引排土装置を用いることにより、排土管1本で連続排土を行うため、土砂の積み替えロスがなく、高速の掘

進速度を確保できる(写真-3)。

(4) 施工管理のシステム化

掘進状況をリアルタイムに監視するシステムにより、的確な管理で安全な施工を行うことができる。

(5) 高い施工精度

施工管理のシステム化と先行ELEMENTの継手をガイドにして、ELEMENTを到達側の目的地点よりけん引しながら掘進するため、施工精度の向上が図れる。

2. 計画・設計上のポイント

2-1 ELEMENTの配置、割り付け

ELEMENTの割り付けに際しては、地盤条件などより施工性を考慮したうえで必要な内空断面などを確保しなければならない。必要な内空断面などを確保するためには、次の4点を考慮するものとする。

① 継手部の遊間

頂版においては継手の有する遊間より、計画内空断面に対し1継手あたり5mmの縮小を考慮する。

② ELEMENTけん引精度

けん引精度はELEMENTけん引延長距離の1/500程度とし、ELEMENTけん引延長距離に応じて施工余裕を確保する。

③ 内装余裕

内装はパネルなどを取り付けることが一般的である。JES構造の場合、継手の突出分があるため、内装板の取り付け余裕に50mm程度を加算する。

④ 頂版ELEMENTの沈下

地盤条件とELEMENT延長、施工期間より沈下に対する影響が大きいと判断される場合は、これを考慮する必要がある。

以上、①～④の余裕量を考慮して内空断面を決定する。余裕量の取り方を図-6に示す。

ELEMENTの割り付けは、一般的には一般部ELEMENT幅を均等にし、基準ELEMENTおよび隅角部ELEMENTで全体の長さを調整することが多い。この場合、基準ELEMENT、隅角部ELEMENTの幅を広げすぎると、機械掘削が不能となり、人力施工となる場合もあるため注意を要する。ELEMENT割り付けの例を図-7に示す。上記の例は頂版についてであるが、側壁および中壁は均

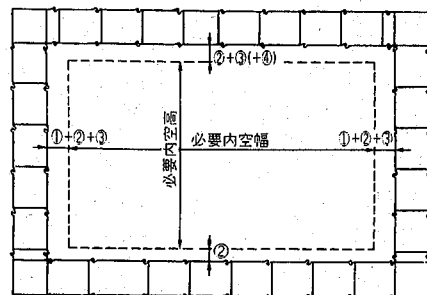
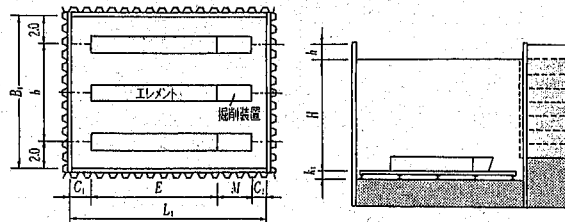


図6 余裕量の取り方

等に割り付けるものとし、施工性(作業員の作業性、掘削機械の出し入れ)より965mm以上(エレメント内空850mm+継手長115mm)が望ましい。また、底板は調整エレメントで幅の調整は可能であるが、鉄筋継手長を考慮して調整エレメント長を決定しなければならない。

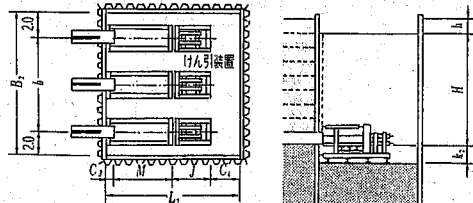
2-2 立坑形状およびエレメント長

HEP工法に必要な立坑の形状・寸法を図-8に示す。



発達立坑長さ(L_1)=エレメント長(E)+掘削装置長(M : 2.5~3.0m程度)
+エレメントセット余裕(C_1 : 1.5m)+掘削装置セット余裕(C_2 : 1.5m)
発達立坑幅(B_1)=両端エレメント中心間隔(b)+両端作業余裕(4.0m)
発達立坑深さ=土かぶり(h)+構造物高さ(H)+架台高さ(k_1 : 0.6m)

(1) 発達立坑



到達立坑長さ(L_2)=掘削装置引き出しスペース(M : 2.5+0.5m程度)
+エレメント出代(C_3 : 0.5~1.0m)
+けん引装置ジャッキ最大伸び時の設置スペース(J : 標準3.7m程度)
+PC鋼より線曲がり余裕(C_4 : 1.8m)
到達立坑幅(B_2)=両端エレメント中心間隔(b)+両端作業余裕(4.0m)
到達立坑深さ=土かぶり(h)+構造物高さ(H)+架台高さ(k_2 : 1.0m程度)

図8 HEP工法に必要な立坑の形状・寸法の例

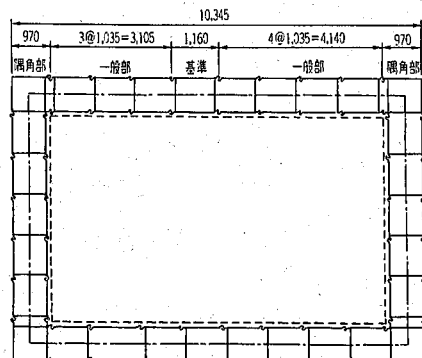


図7 エレメントの割り付け例

発達立坑の平面形状・寸法は、長さ方向には、エレメントセット余裕、掘削装置セット余裕などを考慮し、幅方向には、エレメントの水平方向の施工が全数可能な範囲として、両端の作業余裕などを考慮し決定する。また、到達立坑の長さは、掘削装置の引き出しスペース・切り離し余裕、けん引装置設置スペース・けん引ジャッキストローク長、およびPC鋼より線の曲がり余裕を考慮し決定する。到達立坑の幅は、発達立坑の幅と同じとする。

発達立坑の延長は、基本的にエレメント長(E)+掘削装置長(M : 2.5m)によって決まるが、1本あたりの掘削長が長い場合、エレメントは途中で連結を行う必要が生じる。

エレメントの連結方法は、けん引、支障物撤去時の掘削装置の引き出しを考慮し、また、構造上の必要性に応じて決定されるが、JES工法の場合、添接板によるボルト接合が一般的に用いられる(図-9)。

この連結方法は、エレメント端部に連結板を溶接し、添接板をボルトによる摩擦接合とするものである。エレメントの連結箇所は、変動荷重の影響を1断面に集中させないことを原則とする。連結位置は、図-10に示すように1断面に集中させず、千鳥に配置することを原則としている。連結部を同一断面に集中させないため、連結部を縦断方向に相互にずらす距離は、エレメント厚さの2倍以上の長さを標準とする。

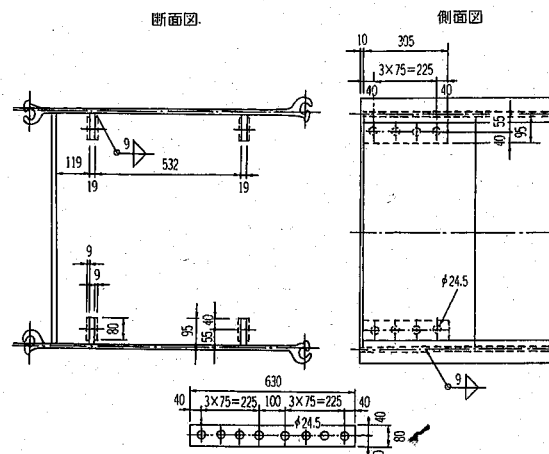


図9 エレメント連結構造の例

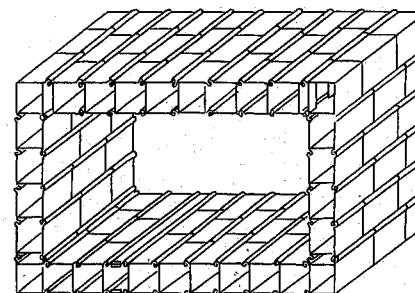


図10 エレメントの分割の例

2-3 設計法

JES工法により構築される構造物は、エレメント間の継手を有効に利用して合理的な設計を行うことができる。また、コンクリートを充填した鋼製エレメントを継手により連結した構造であるため、その特徴を十分理解したうえで設計を行う必要がある。図-11にJES工法における一般的な設計フローを示す。また、以下に設計上の留意点を示す。

2-3-1 JES継手

JES工法では、部材に発生する引張応力を鋼製エレメント継手(JES継手)が確実に伝達することで構造を構築しているため、所定の引張強度、疲労強度を有する継手が必要である。

そこで、JES継手の形状は、直線鋼矢板の継手を基本形状としてFEM解析で局部応力が小さくなる形状に改良し、実際の構造物の適用に対し十分な強度を確保できるものとしている。

(1) 静的引張強度試験

本施工と同様に無収縮モルタルをグラウト注入したJES継手を試験体として、引張強度一定で試験体が破壊するまで静的載荷を行った。試験結果を図-12に示すが、この結果より本継手が設計で使用するSM400材13mm相当(腐食代3mmを考慮するため、使用鋼板は16mm)を上回る耐

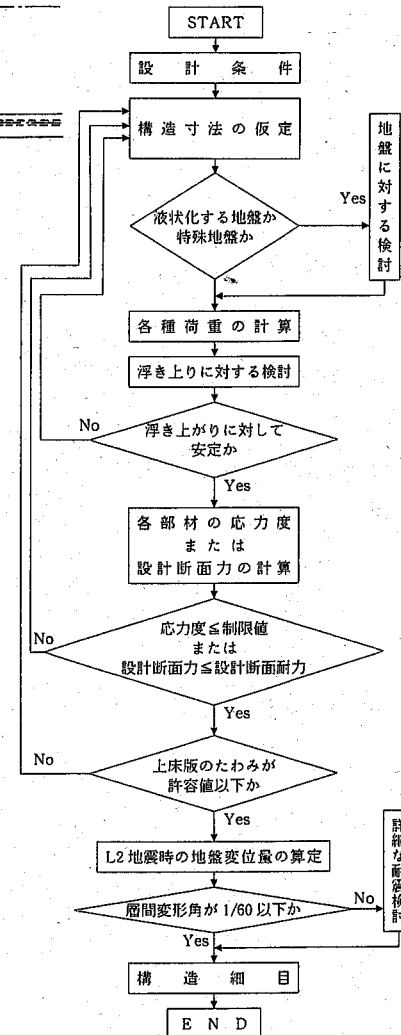


図11 HEP&JES工法の設計フロー

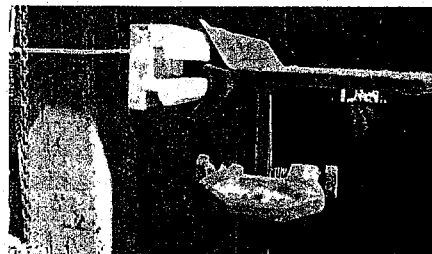


写真-4 継手部の防護構造

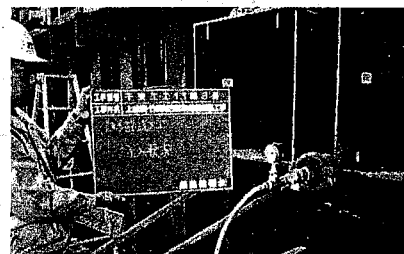


写真-5 継手部へのグラウト充填

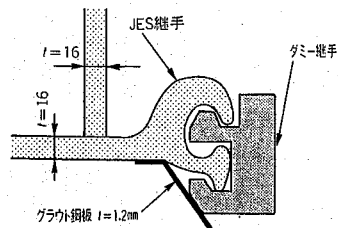
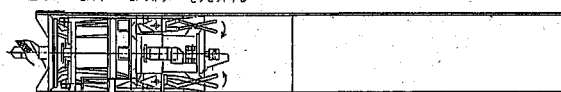


図-17 継手部の防護構造

1. 油圧ホースを外す 2. スッパーをリフトする



3. 本体を抜き出す 引っかけがないことを事前に確認する

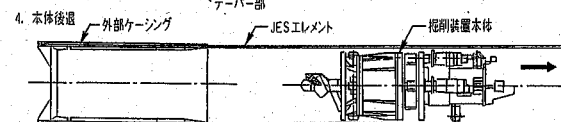
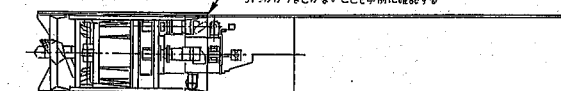


図-18 支障物撤去方法

ス、排土管、電線類を撤去して掘削装置本体を後方に引き抜き、切羽にて支障物を除去後、再び本体を外側ケーシングに収めてけん引を再開することが可能である(図-18)。

3-3 継手グラウト

エレメントの継手は、けん引時には所定位置に施工するためのガイドの役目を果たし、また、けん引の抵抗が過大にならないよう適度の間隙を設けてある。構造物の完成後、継手は引張力を伝達する構造上重要な部位となるため、この間隙部にグラウトを充填しなければならない(写真-5)。

使用するグラウト材は、次に示す性能を有するものを

選定する。

- ① 所定強度 30N/mm²程度を確実に確保できる。
- ② 空隙のない充填とするための適度の流動性を有する。
- ③ 過度の外部漏出のない適度の粘性を有する。
- ④ 材料分離がなく、均質性が確保できる。

3-4 中詰めコンクリート

地中に挿入されたエレメントの内部を充填するコンクリートは、所定の品質が得られるよう次の事項を考慮して決定する。

- ① 構造物の形状・寸法、施工条件などを考慮し、適切な流動性を持ったコンクリートを選定する。
- ② 選定したコンクリートが確実に入手できることを確かめる。
- ③ 使用するコンクリートの流動特性にあった打ち込み計画を定める。
- ④ 打ち込み時に作用する荷重に配慮した打ち込み計画を定める。

コンクリートの品質は、バラツキが少なく、作業に適するワーカビリティを確保するためスランプフローにより管理する。

使用材料は、品質が明らかで安定して供給される材料を用いる。また、所定の性状に適合する材料を選定する。

配合は、施工上必要とされる保持時間を満足するスランプフローを維持することに留意して決定する。配合決定にあたっては試し練りにより確認する必要がある。

コンクリートの練り混ぜから打ち込み終了までに時間制限があるので、運搬時間、打設能力を考慮した打ち込み計画を立案する。打ち込みにあたっては、打設側には打設口およびシャッター、到達側には跳ね返し防止板および空気抜きを適宜設けて未充填部分が発生しないよう留意する(図-19)。中詰めコンクリートの施工状況を写真-6に示す。

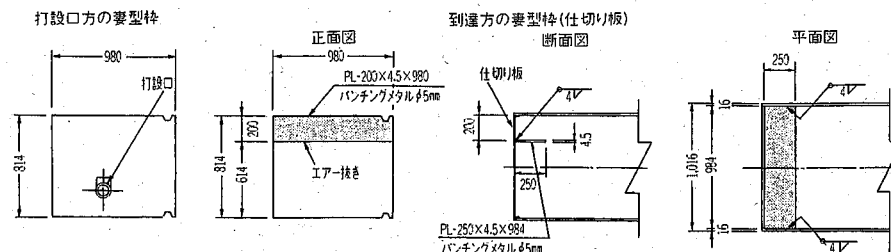


図-19 打設口および到達側の型枠の例

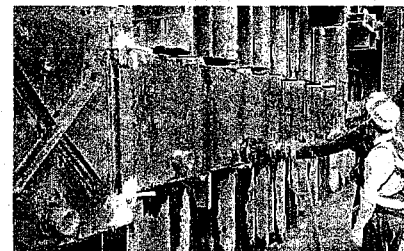


写真-6 中詰めコンクリート充填状況(下床版)

表-1 HEP&JES工法実施件名一覧

	線名	構造形式	幅 W (m)	高さ H (m)	延長 L (m)	施工 時期	記事
1	内房線	1層1径間	10.0	7.7	10.0	H11~ H12	施工 完了
2	東北線	1層2径間	13.2	8.0	13.0	H11~ H12	施工 完了
3	東北線	円形 トンネル	φ12.9		107.9	H10~	施工中
4	大崎支 線	円形 トンネル	φ11.8		149.0	H11~	施工中
5	東北線	橋台形式	4.3	6.7	11.3	H11~	施工中
6	上越線	1層1径間	14.0	10.0	14.5	H11~	施工中
7	日光線	1層3径間	19.0	8.0	15.5	H11~	施工中
8	東北線	1層2径間	24.0	8.0	15.5	H11~	施工中
9	東北線	1層3径間	20.0	7.2	18.0	H11~	施工中
10	羽越線	1層2径間	20.0	7.7	9.0	H12~	施工中
11	東北線	1層1径間	11.0	7.0	12.0	H12~	施工中
12	総武線	1層2径間	24.0	9.0	52.0	H12~	施工中
13	羽越線	1層1径間	18.5	8.0	11.5	H12~	施工中
14	東北線 (貨)	1層4径間	42.0	8.4	12.0	H12~	施工中
15	山田線	1層3径間	13.2	8.0	13.0	H12~	施工中
16	東北線	1層3径間	18.0	8.0	21.0	H12~	施工中
17	東北線	1層3径間	19.0	8.0	54.0	H12~	施工中

4. 施工実績および施工例

JES工法による線路下横断構造物の施工実績を表-1にまとめる。現在、2件が施工完了し、15件が施工中である。以下に、代表的な例を紹介する。

図-20は、1層1径間ボックスラーメン構造であり、写真-7は函体内部の掘削が完了した状況を示している。図-21は高規格道路トンネル(円形断面)を線路下の土かぶり1D以下で築造するためにJES工法を適用した事例である。延長55m、外径12.9mの並列円形トンネルで営業線7線を横断する。

図-22は、新設線複線断面トンネル(円形断面)を営業

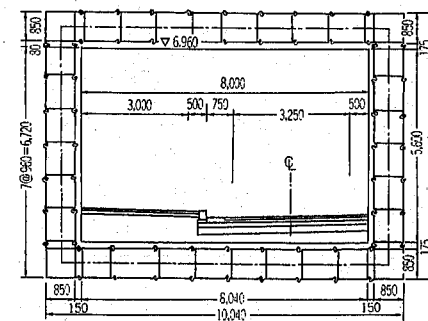


図-20 1層1径間ボックスラーメン構造の例

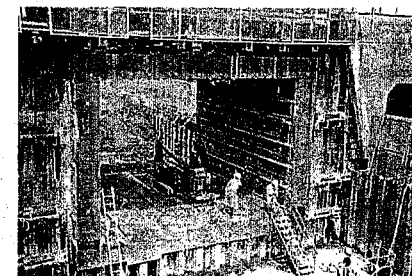


写真-7 内部掘削完了状況

線直下で縦断方向に施工を行うものである。この事例は外径 11.8m の円形トンネルを中間立坑を設けて、46m、107m の 2 本を築造する。

図-23 は、線路下横断道路の拡幅に伴う橋梁の改築において、橋台上に JES 工法を適用した事例である。線路

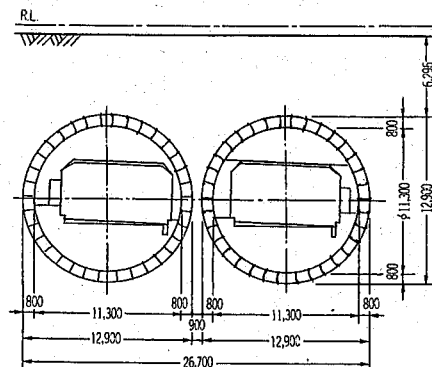


図-21 道路トンネルの例

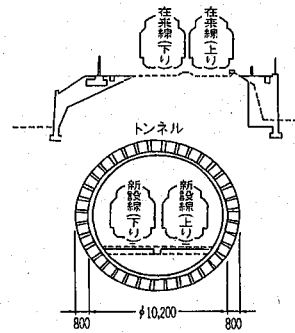


図-22 鉄道トンネルの例

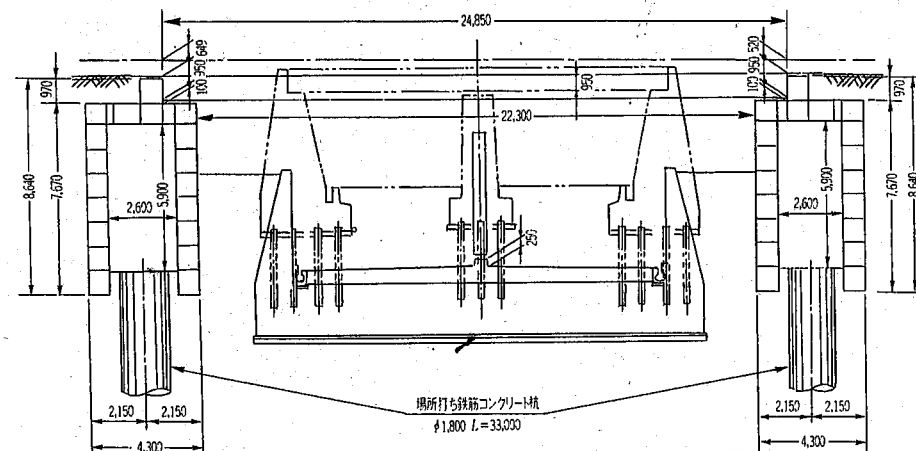


図-23 橋台の例

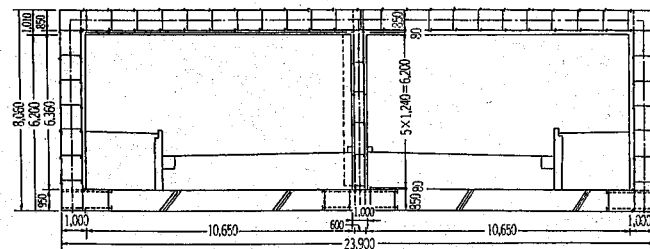


図-24 1 層 1 径間ボックスラーメン構造の例

撤去する方法を採用している。また、底面付近の地盤支持力が十分得られるため、下床版は現場打ちコンクリート構造としている。

5. おわりに

JES 工法は、エレメントや躯体が線路下を横断する回数を極力減らし、また、1 回の横断時の軌道に与える影響をできるだけ小さくすることを目標として開発された工法である。また、HEP 工法は、線路下でのエレメント敷設をスピーディーに精度良く行うことを目標に開発された。この二つを組み合わせることで、安全で確実

に線路下に構造物を構築する工法として確立することができた。

JES 工法の最初の適用事例の施工開始から 2 年が経過しようとしているが、その間にも適用される構造形式、施工規模は多種多様な広がりをみせている。今後は、より応用的な構造形式への適用を図り、掘削機械の様々な地質状況への対応などを開発目標とし、線路下だけでなく道路対道路のような立体交差へも適用を図っていく予定である。

(文責：長尾達児・東日本旅客鉄道(株)建設工事事務部構造技術センター)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単 位 百万円
(48頁からのつづき)			
道公・関西	名神道彦根T覆工補修	公成建設	263
首都高	SJ11工区(4)~31工区(外回り)T	鹿島・熊谷・竹中土JV	18,200
"	SJ22工区(3)換気所	清水・東亜・安藤JV	4,520
"	SJ35工区(3)T	銭高・国土開・本間JV	2,550
"	SJ52工区(1・2-1)T	大林・青木・大日本JV	4,730
"	SJ52工区(2-2)T	大豊・小松・森JV	3,320
"	OE22工区(2)T	住友・日産JV	3,670
"	KJ125工区(1-1-2)T	鉄建・浅沼JV	2,100
"	KJ132工区(4-1)半地下・共同溝	西武・森本JV	1,290
"	OE21工区(2)OE22工区(1)T	不動・三菱JV	2,380
都・財務局	新交通臨海線延伸部下部その6	地崎・大蔵JV	465
"	大崎T本体整備その2	三英建設	175
都・水道局	台東区雷門2-4地先~同2-3地先間配水本管	勝村建設	180
都・下水道局	港区赤坂1丁目、六本木2丁目付近再構築	東急・竹中土・熊谷JV	1,315
"	港区芝浦3丁目付近再構築その2	徳倉建設	393
"	港区西麻布1、南青山2付近再構築	青木建設	465
仙台市	東郡山雨水幹線1	加賀田・橋本JV	306.5
横浜市	高速鉄道4号線日吉本町駅工区	鉄建・東鉄・紅梅JV	2,410
"	" 東山田駅工区	鹿島・日産・奈良JV	4,950
"	" 北山田駅工区	佐藤・村本・京浜JV	3,220
"	" 葛谷駅工区	三井・西武・保土ヶ谷JV	3,720
"	" 富士見が丘工区	西松・青木・工藤JV	3,500
"	汐見台第2幹線下水道	千代田アクス・加藤JV	525
名古屋市	小田井貯留管築造	大林組	210
京都市	堀川中央幹線その1	大豊・徳倉JV	464
大阪市	鴨野西~中浜幹線下水管	大林・佐藤・青木JV	508
堺市	大野芝町外地区整備下水道12-21	国営・木下JV	815
福岡市	松崎第2雨水幹線	小牧建設	530
"	奈多第10雨水幹線	国土開・大豊・地崎JV	1,585
北九州市	初音町川代主要幹線管渠	西松・三井・銭高・岡部土JV	3,630
北千葉広水企団	送水管沼南段我孫子線14の2	五洋建設	216
熊本県住公	武蔵ヶ丘東ニュータウン下水道	地崎・八方JV	426

トンネルワールドニュース

(社)日本トンネル技術協会
国際委員会国内広報ワーキング

Lotschberg ベーストンネルへの Steg 接続トンネル

BLS アルプストランシットの Lotschberg トンネル建設のために1機目の Herrenknecht 社製の TBM が搬入され、Marti 社、Walter 社、Porr 社、Balfour Beatty 社の共同企業体である Matrans により、Steg 接続トンネルの TBM 掘進が開始されている。

Steg 接続トンネルは横側の坑道から本線に向かって掘削し、Ferden 作業坑方向へ北に向きを変え、西側本線の線形上を掘進する。掘進開始より8.5km地点で掘削

は完了する。

また、同接続トンネルはBrigの溪谷地帯へ接続する本線への将来的なジャンクションとなる。

2機目の同じ形式の TBM が Raron トンネル坑口から5月より東側本線10.2kmの掘削を開始する。こちらは、開業当初から本線として使用される。両方の Herrenknecht 社製 TBM は山の深部に存在すると予想される結晶質岩にも対応するために、極度に頑丈な設計がなされている。

Steg 接続トンネルの坑口は11基の鋼製支保工を1m間隔で建て込み、金網を設置して吹付けコンクリートが施されている。

TBMの組み立て基地は、ちょうど坑口を入った所のロックボルトと吹付けコンクリートのみによって支保された安定した地山箇所設けられている。後続設備や運搬列車のためのレールが組み込まれているコンクリートセグメントによるインバートが掘進とともに設置されている。

(WT '00.12 担当 小林裕二)

【新刊図書】

わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修 B5判 209頁 本体価格2,500円(税別) 円340円

本書は、平成11年3月号より17回にわたって「トンネルと地下」に連載した「トンネル技術者のための応用地質学入門」をベースに、加筆および整理してまとめたものである。本書では、最新のトンネル技術、地質学、ならびに、地質調査法などを挙げ、学生から実務者まで広範に満足させる内容となっている。

【主要目次】

序編 トンネルと地質の関わり	第三編 地質調査法
第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学	第四編 工事を対象とした地質調査の進め方
第II編 トンネル工事と地質条件	



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

連載講座

線路下横断工法(9)

計測管理、路盤陥没対策、補助工法他

1. 計測管理

1-1 計測管理一般

線路下横断工事の施工を行う場合には、計測管理を行い、列車の走行安全性を確保する必要がある。そのための計測管理は、自動計測などによる監視がよい。

また、施工期間中は、著しい軌道変状や不測の事態に対応するために、軌道保守体制を整え、さらに列車防護措置などを適切な位置に設置し、速やかに列車の防護が取れるような体制を整えておく必要がある。

非開削工法による線路下横断工事において、エレメントおよび函体のけん引・推進などの際に、過去の施工実績から土かぶりや地盤条件などによっては、軌道狂いが発生することが予測されることから、計測管理体制を整えたうえで施工する。

エレメントおよび函体の施工などの際の軌道狂い量は、主に土かぶりや地盤条件に左右される。しかし、非開削工事では、支障物の確認精度や軌道直下での作業というきわめて厳しい施工条件を考慮し、土かぶりや地盤条件に関係なく、計測管理体制を整え、施工中は、常に列車の走行安全性を確認しながら工事を進める。

1-2 計測方法

計測管理にあたっては、下記の項目を十分に検討し、計測管理計画を策定する。

1-2-1 計測項目

軌道狂い量の計測は、エレメントおよび函体施工時などの軌道の隆起、沈下、通り狂いなどの変状を的確に把握するために、軌道の「高低」、「通り」、「水準(平面性含む)」、「軌間」について、精度よく計測するとともに、計測値と表-1に示す管理値を対比し、列車の走行安全性を常に確認しながら工事を進める。

推進力については、過剰な推進力の付加により、著しい軌道狂いを発生させないように注意し、常に適正な範囲内で推進力が推移していることを確認しながら施工することも大切である。

「線路下横断工法」連載講座小委員会

表-1 管理値の区分と対応方法

管理値の区分および定義	管理値に達した場合の対応方法
警戒値 この値は当該工事をこの値以下で施工するための目標値であるとともに、警戒すべき値	この値に達した場合は、軌道およびエレメントの推進・けん引などの作業状況を確認するとともに関係箇所へ連絡する。また、変状原因の究明を行い、必要により対策を講じる。 さらに、軌道整備を行う体制、計測値の確認、点検を強化する。
工事中止値 この値は施工中の工事を一旦中止するとともに、直ちに軌道整備を行う値	この値に達した場合は、直ちに工事を一旦中止し、軌道およびエレメントの推進・けん引などの作業の状況の確認を行うとともに関係箇所へ連絡する。 また、直ちに軌道整備を行うとともに変状原因の究明を行い、必要により対策を行い、工事を再開する。
限界値 この値は施工中の工事を一旦中止するとともに、必要により徐行または列車抑止手配を行う値	この値に達した場合は、直ちに工事を一旦中止し、軌道およびエレメントの推進・けん引などの作業の状況の確認を行うとともに関係箇所へ連絡する。また、必要により、列車の抑止または徐行などの手配を行う。 その後関係箇所と打合せを行い、施工状況の点検および変状原因の究明を行い、必要により対策を行うとともに、軌道整備を行い、工事を再開する。

1-2-2 計測機器の種類

計測に用いる計器は、現場の要求する条件(範囲・精度・計測期間および計器設置条件など)を把握して選定する。とくに、列車の走行安全性に直接影響を及ぼす軌道狂い量の計測方法については、軌道変位自動測定器(図-1)、マトリックス変位自動計測システム(HyPoS)(図-2)などの連続的かつ自動的に計測できる機器を使用することが望ましい。さらに、自動計測を補足し、工事の安全性および計測の信頼性を高めるために、手動によ

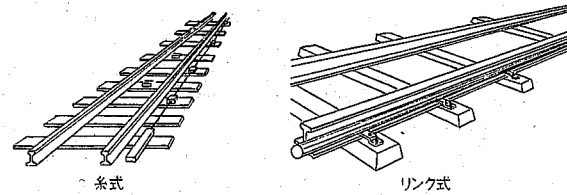


図-1 軌道変位自動測定装置

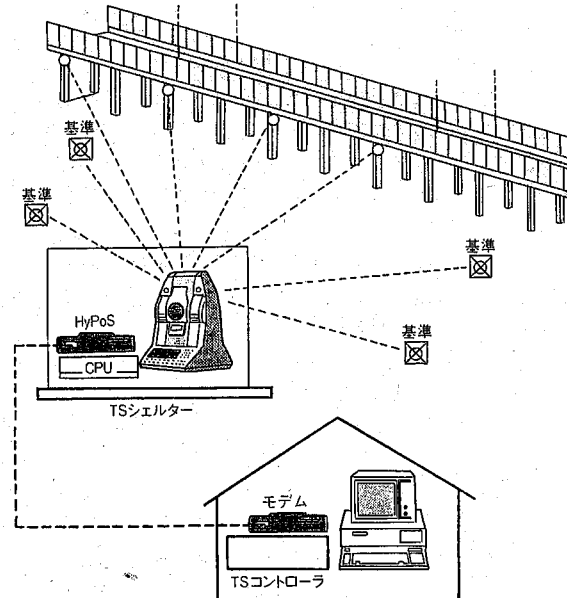


図-2 マトリックス式変位自動計測システム

る軌道計測器(ゲージなど)によって、軌間・水準を適当な頻度で検出し、レベル測量や糸張りなどを使用した高低・通り検測も実施することも必要である。

1-2-3 計測期間および頻度

列車の走行安全性に直接影響を及ぼす軌道の計測は、高頻度で行う必要がある。また、各計測項目相互の関連を比較検討するため、個々の計測項目は、時間軸を同一とし、その頻度も適切に定める必要がある。

計測期間は、工事着手前(初期値の測定)から工事の終了または状況に変化が見られなくなるまで行うのが望ましい。

なお、R&C工法などにおいて先行箱形エレメント推進後、函体を施工する場合には、先行箱形エレメントの施工誤差(上下方向)に相当する軌道狂いが函体の施工時に発生することから、先行箱形エレメントの施工後は、

施工精度を正確に検測・確認し、函体の施工時に発生する軌道の沈下・隆起量を予測し、軌道狂いを最小限に抑える対策を講じる必要がある。

測定計器としては、レベルやトランシットなどのほか、軌道異常警報装置や近接構造物に沈下計、傾斜計、変位計などの計器(表-2)を取り付けて、精度の高い計測を実施する場合もある。また、工事現場と近接構造物の間の地中に沈下計、傾斜計などをセットして、構造物の変位を間接的に察知する方法を取る場合もある。構造物の許容変位量は、対象とする構造物によって異なるので、十分に調査・検討のうえ、必要な監視・測定を行う。

1-3 管理値

計測管理に先立ち、工事中の列車の安全、安定輸送を考慮した適切な管理値を定める。施工を行う場合は、列車運転の安全・安定輸送、およびエレメントや函体の施工などに伴う事故を未然に防ぐために、軌道に対して以下に示す管理値を定めて計測管理を行う必要がある。

1-3-1 管理値の区分と対応方法

通常の場合の管理値区分と対応方法は表-1に示したとおりである。

1-3-2 管理値の考え方

(1) 軌道の変位・変形に対する管理値
管理値の基本値は、東日本旅客鉄道(株)の場合、軌道整備心得の整備基準値(静的)および運転規制の判断基準を限界値とし(表-3, 4)、警戒値、工事中止値は限界値に割引率(表-5)を乗じる。整備基準値とは、この値に達した後15日以内に軌道整備を行えない場合には徐行の措置を取らなければならない値である。

軌道は工事中止値を超えないように管理を行わなければならない。工事中止値を超えた場合を想定し、工事中は、即座に軌道整備を行えるような体制を整えておく必要がある。

(2) 列車動揺および複合狂いへの対応

列車動揺に対する管理および複合狂いに対する管理については、軌道整備基準(規程)により工事施工区間も他の一般区間と同様な取り扱いとする。工事期間中に高速軌道検測車が走行し、測定結果により工事区間が複合狂いによる軌道整備の対象区間となった場合に、その前後の区間を含めた軌道整備を行う。

表-2 計測器の種類

名 称	製 造 ・ 販 売	型 式	測 定 限 界	最 小 検 出 値	備 考
マトリックス式変位自動計測システム(HyPoS)	東横エルメス	TMS-1	±15mm(標準精度±3mm)	1mm	100mで1mm程度の精度で3次元変位を測定
軌道変位自動測定器	カネコ		±15mm		
リンク型変位計	東京計測	TRH-5	±5mm(100mmあたり)		構造物、土留め、軌道に適用可能
コンバージェンスメジャー	新技術計画	K型	1.5~30.0m	測定長の0.001%	テープ式
内空変位計	東横エルメス	NH-15(M)	0.5~15.0m	0.1(1.0)mm	テープ式、重量約3kg(2kg)
内空変位計	ミニベアジオテック/ロジック	TE-(*)MB	0.5~30.0m	0.05mm	*測定範囲、テープ式、重量約4kg
ユニニテンションメジャー	東京測定研究所	KH-5A	~30.0m		
ユニニテンションメジャー	東亜測器	TE-15)MB	0.5~15.0m	0.1mm	テープ式、重量約4.0kg
ユニニテンションメジャー	自動制御技術研究所	UTM-20-01	~20.0m	0.5mm	テープ式、重量約2.6kg
テープ式バーニアスケール	坂田電機	MM-27C	1.8~18.0m	0.1mm	テープ式、重量約2.6kg
テープ式エクステンションメーター	坂田電機	SINCO-51811510	~20.0m	0.2mm	テープ式、重量約2.0kg
パイプ式バーニアスケール	坂田電機	MM-21	2.5~10.5m	0.1mm	パイプ式
天端沈下計	東亜測器	KU-700	0.5~7.0m	±0.1mm	
天端沈下標尺	東横エルメス	CES-10A	~7.5m	0.1mm	重量530g
ELビームセンサー	応用地質		23mm/m	0.005mm/m	ビーム式、延長線上での連続計測可
変位計	ミニベアジオテック/ロジック	PSJ-(*)RG	~100, 200, 500mm	0.05, 0.1, 0.25mm	*定格容量、電気式
多点変位計	ミニベアジオテック/ロジック	PAR-10CM-G6	~100mm	0.05mm	*電気式
ワイヤ式変位計	東横エルメス	PV-100(*)	~100mm	±0.1mm	*測定数、ポテンショメータ
地中変位計	東亜測器	EM(+)-(*)M	~150, 300mm	0.05mm	*測定数、目視
電気式地中変位計	東亜測器	EM100-(*)E	~300mm	±0.01mm	*測点定数、**測定限界、機械式
地山変位計	坂田電機	EDL-5(*)WG	~100mm	0.025mm	*測定数、電気式
チェーンディフレクトメーター	応用地質		~50mm	0.5mm	*測定範囲、差動トランス式
FRPロッドエクステンションメーター	新技術計画		~35mm	0.005mm/m	多段式XYZ測定
小型エクステンションメーター	新技術計画		~100mm	0.01mm	機械式(電気式も可)
多点地中変位計	自動制御技術研究所	MSB(ESA)-75	~50mm	0.01mm	機械式(盛替えも可)
機械式地中変位計	土木計測	DMH(+)-(*)P	~±50(10)mm	0.01(0.05)mm	機械式(電気式)
スライディングメーター	応用地質		~±120mm	0.01mm	*測点数、**長さ、機械式
地圧計	東横エルメス	CF-10	~±5mm	0.01mm	多段式XYZ測定
			~10kgf/cm ²	~±5%	

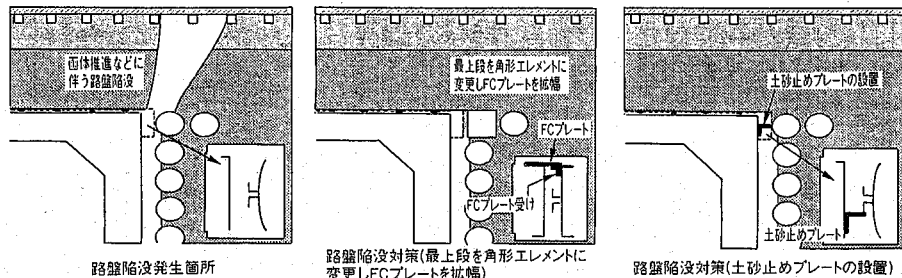


図-5 両体推進・けん引時の路盤陥没対策

め注入が終了するまでの間は、地盤が非常に不安定な状態にあるため、降雨などの影響により路盤陥没のみならず軌道変状が発生しやすい状況にある。このため、現場や現場事務所に工事管理者などが不在となる場合でも、警報装置が鳴動した場合には即応できる体制を整備しておく必要がある。ただし、現状の軌道変状監視装置では、路盤陥没の発生を確実に把握することが困難であることから、施工中はとくに人の目による監視も併用した方がよい。期間としては、鉛直方向エレメント施工時から裏込め注入が終了するまでの間および両体施工時から裏込め注入が終了するまでの間がよい。

(2) 軌道監視員、軌道工を配置する。

(3) 施工時に多量の湧水、土砂の流出が発生した場合は、線路下地盤に空洞が発生していることが考えられるため、地中レーダーや調査ボーリングなどで空洞調査を行う。

(4) 投入バラストなど応急資材を準備しておく。

(5) 空洞対策は、調査の結果、空隙が発見された場合、骨材などによる空隙部への裏込め、両体側部へのバラスト投入による突き固め(強制沈下)などの空隙対策を実施する。また、空洞が深い位置に存在する場合は、高周波振動杭打ち機などを用いると有効である。

(6) 鉛直方向エレメント施工時から、裏込め注入が終了するまでの間、および両体施工時から裏込め注入が終了するまでの間は、降雨時・降雨後の路盤監視を強化する。

(7) 鉛直方向エレメント推進・けん引後は、エレメント周囲の空隙調査(鉛直方向エレメント内の監視孔から目視および探査棒などで確認する)を実施する。

(8) 鉛直バイアルーフ・エレメントおよび両体施工後は、速やかに裏込め注入を実施する。

(9) 両体と鉛直方向エレメント間の空隙調査(鉛直方向エレメント内の監視孔から目視および探査棒などで確認する)を実施する。

(10) 地下水位低下工法、薬液注入工法などの補助工法を採用する場合は、その効果を確認する。そのとき、湧

水や土砂流出が確認できた場合は、補助工法の追加を施工する。

3. 補助工法

3-1 補助工法の選定

選定した施工方法に対して、線路および地盤条件その他種々の条件により、補助工法を必要とする場合は、十分な調査と検討を行って適切な補助工法を選定する。

施工の安全を確保するとともに軌道、路盤、周辺地盤、近接構造物の変状防止を図るために補助工法を必要とする場合が多い。通常採用されている主な補助工法は、図-6に示すように軌道を直接防護するものと間接的に防護するものとに分類できる。また、線路下横断構造物の施工にあたっては、補助工法を採用した場合でも軌道への影響を生じることがあるので、軌道整備も併せて検討しておく必要がある。

補助工法の選定にあたっては、施工法、地盤条件、周辺環境などを考慮し、安全性、経済性、工程などについて比較検討を行い、最適な工法を採用する必要がある。選定の目安の一例として、図-7に排水工・地盤改良の選定フローの一例を示す。一般的には、排水工の方が地盤改良よりも経済的である場合が多いが、補助工法選択の際は周辺地盤への影響が小さい工法を優先する必要がある。

3-2 補助工法の種類

各補助工法の特徴および適用性については、以下のとおりである。

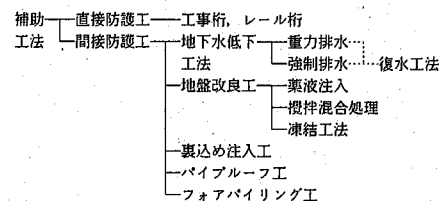


図-6 補助工法の分類

3-2-1 直接防護工

軌道を直接支持して防護する方法である。工事桁、レール桁工法があり、けん引、推進、エレメント推進、メッセル工法などの施工において、土かぶり小さく、軌道の横移動や道床の陥没などの生じる恐れがある場合に、架設している。

3-2-2 間接防護工

軌道を直接支持しないで防護する方法である。

(1) 地下水位低下工法

地下水を揚水することにより地下水位の低下を図り、工事の安全性と経済性を確保することを目的とする。

地下水位低下工法の代表的なものを図-8に示す。

1) 排水工法の適用範囲

排水工法の分類は、重力排水と強制排水によって行われている。しかし、地下水位の低下をどのような工法で行うかは、対象地盤の水理学的性質、低下の目的とその

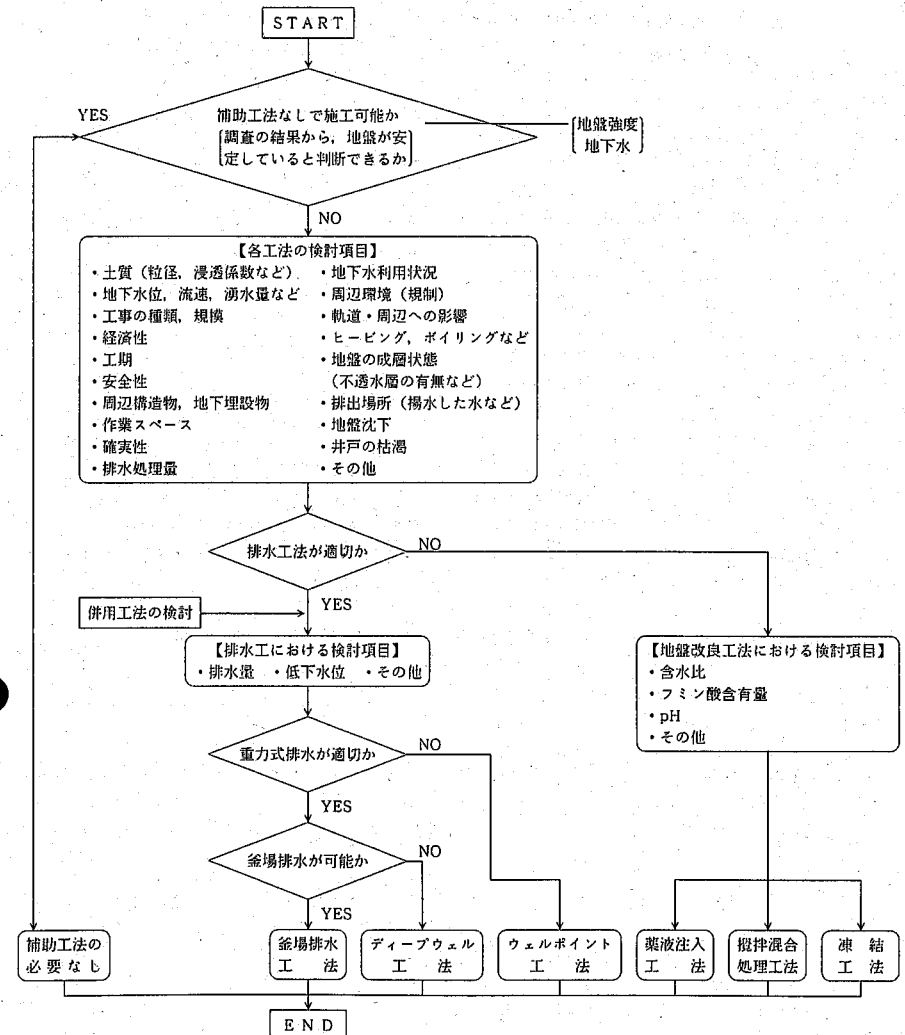


図-7 計画段階における補助工法(排水工・地盤改良)の選定フロー例

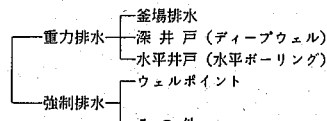


図-8 代表的な地下水位低下工法

程度、工事内容、工事場所、および工期などによって異なる。

図-9は、土の粒径加積曲線と工法の適用範囲を示したもので、この図によれば対象地盤の粒度分布から工法を選択することができるが、実際には土質が不均一で、しかも地下水の流動も非常に複雑になっているので、事前の調査や検討が必要である。

2) 排水した水の処理方法

揚水した水の処理方法としては、現場の地盤中へ戻す方法と、下水道あるいは河川・海などに放流する方法がある。河川・海などへの放流する場合は、水質が法令などの諸基準に適合している必要があるとともに、管理者への事前の届出が必要である。

地盤への復水する復水工法はリチャージ工法ともいい、排水工法により揚水した水をディープウェルと同様の構造の復水井戸（リチャージウェル）を介して帯水層に注入する工法である。

(2) 地盤改良工

1) 薬液注入

これは、注入材を地中に注入し、固結させることにより、地盤の強度、止水性の増加、または地盤の圧縮性を低減させることを目的としたものである。

① 注入材

現在使用されている注入材の分類を図-10に示す。

・止水を目的とする場合

砂質地盤などで透水性が大きい場合には、セメント系や水ガラス系の懸濁液が可能となるが、砂の多い砂礫や砂質地盤では、一般には浸透性を考えて、溶液型注入材から選定するのがよい。また、地下水に流速がある場合は、注入材が希釈されることがあるので、ゲル化時間の短い注入材を選定する。

・地盤強化を目的とする場合

地盤強化には、注入材を地盤に均一に浸透固結させることにより、注入材と土粒子が一体となって強化されるものと、注入が脈状となり、部分的には未改良部分が残るが、土の圧密効果や注入材の強度により、改良範囲全体として強化されるものがある。前者の場合は、浸透可能な土質に対

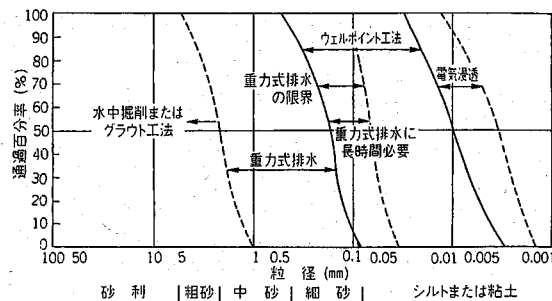


図-9 土粒子の径と排水工法の適用範囲

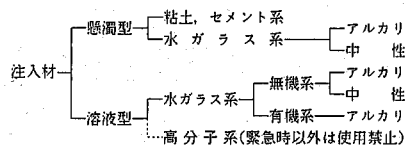


図-10 注入材の分類

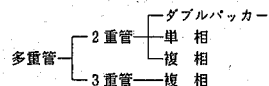


図-11 代表的な注入方式（線路下横断工の場合）

表-6 攪拌混合処理法の攪拌方式による分類

高圧噴射攪拌工法	スラリー噴射方式	CCP工法 ミニマックス工法(MM工法)
	スラリー・エア噴射方式	JSG工法 MJS工法
	スラリー・エア水噴射方式	CJG工法 [※] RJP工法
機械攪拌工法	スラリー噴射機械攪拌方式	大口径ミニマックス工法(JMM工法) HQS工法, Ldis工法, SDM工法
	スラリー・エア噴射機械攪拌方式	NJP工法
機械攪拌工法	DLM系方式	CMC工法, DCM工法, POCM工法, デコム工法
	HCM系方式	DeMIC工法, SWING工法, DCCM工法
	アースオーガ系方式	JST工法, テノコラム工法, SEC工法, SMW工法, MR-DI工法, CSL工法, MIP工法, SSS工法, YSWD工法, RMP工法, ESCソイルパイル工法, HEMS工法
	粉体混合方式	DJM工法

※この工法は、地盤土とセメントを置換して改良体を造成するものである。

社団法人セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル（1994年）

表-7 JETMS 配合例

	A 液			B 液		試 験 値			
	A 材 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	気 泡 (ℓ/m ³)	B 材 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	密 度 (t/m ³)	フロー値 (mm)	7日強度 (kgf/cm ²)	28日強度 (kgf/cm ²)
①	300	150	155	80	565	1.10±0.1	80~120	2 程度	5 程度
②	300	150	0	100	714	1.26±0.1	80~120	2 程度	5 程度
③	400	200	0	89	633	1.33±0.1	80~120	5 程度	10程度

表-8 e-soil の配合例

	配 合 剤				試 験 値		
	主 材 (kg/m ³)	A 材 (kg/m ³)	B 材 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	フロー値 (mm)	7日強度 (kN/m ²)	体積圧縮 (%)
ソフトタイプ	1,037	31	0.6	674	187	30 程度	2 以内
ハードタイプ	1,037	73	0.6	674	190	70 程度	2 以内

しては、浸透性を考えて注入材を選定する。緩者の場合（粘性土）は、ホモゲル強度の大きい注入材が必要となる。

・空洞充填を目的とする場合

水ガラスを使用した注入材は、水ガラスに含まれるナトリウム(Na)、シリカ(SiO₂)が地下水に溶脱するため、効果が徐々に失われるといわれている。したがって、空隙充填を目的とする場合は、永久系に効果を期待する場合は多いので、注入材の耐久性を考慮して、水ガラスを主剤とする注入材は使用しないのが望ましい。

② 注入方式

注入方式とは、注入材の混合方法、注入管の構造などをいい、この選定は、注入目的の達成とともにも関係があるので、慎重に検討する必要がある。一般に、線路下横断工で使われる注入方式は、図-11に示すようなものである。

2) 攪拌混合処理

セメントの添加方法によって、粉体方式とスラリー方式に区別され、施工方法を土との攪拌方式によって分類すると、地中に供給したセメントをプロペラ状の攪拌翼で機械的混合によって改良土坑を造る機械攪拌工法と、セメントスラリーを高圧噴射により地盤を破壊すると同時に、土をセメントの噴流による混合作用によって強制攪拌する高圧噴射攪拌方式とがある。

高圧噴射攪拌工法の中でCCP工法やMJS工法などは改良体を鉛直方向だけでなく、斜め、水平方向に構築

可能で、線路下横断工において発達・到達立坑掘削後に地盤改良が可能な工法もある。機械攪拌工法においてもHEMS工法のように水平方向に改良体が構築可能な工法もある。

攪拌混合処理工法を攪拌方法によって分類した例を表-6に示す。

3) 凍結工法

地盤中に含まれている水分を一時的に人工凍結させ、その間に必要な建設工事を行い、その目的達成後解凍させて地盤を元の状態に戻すものである。線路下に適用する場合は、変状が大きいため注意を要する。

(3) 裏込め注入

地中に鋼管、函体を押し込んだ後、鋼管相互間または鋼管と函体間および函体背面などの空隙に対し、地表面陥没防止および変状範囲の拡大防止の観点から施工するものである。既存の空隙充填材料としては、硬質発泡ウレタン、スラグ系充填材、発泡モルタル、セメントベントナイトなどが挙げられるが、高価であったり、流動性が高すぎ十分な充填性が得られないなどの問題がある。これらの問題点を解消するためにJETMS(表-7)やe-soil(表-8)を主材とした充填材が開発されている。(文責：新堀敏彦・東日本旅客鉄道(株)建設工事部構造技術センター副課長地下・トンネル構造グループ)

参 考 文 献

- 1) (社)日本鉄道施設協会：線路下横断工計画の手引(東日本旅客鉄道(株)編)、2000.4.
- 2) 東日本旅客鉄道(株)：近接工事設計施工、1999.9.

土木情報 No. 337

今月の主な入札結果

(5月11日～6月10日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
北陸地整	五十島・津川T補修	小林組	148
緑資公	園八4工区農用道T	西松・大本・寺尾JV	1,200
水資公	滝沢ダム付替県道5号T	五洋建設	1,060
首都高	SJ11(4)～SJ31内回りT	大成・フジタ・戸田JV	24,500
都・水道局	足立区花畑3-13～保木間5-26配水管付替	新井組	270
"	千代田区神田佐久間町1-21～同2-1配水管本管	日本鋼管工事	195
"	町田市金井2～金井町2984配水管本管	クボタ・高橋JV	547.9
"	足立区千住曙町2～8番地先配水管	銭高組	215
"	神谷ポンプ所放流渠吐口	西松・青木・村本JV	493
静岡県	磐田掛川線豊沢T	住友・若杉JV	998
福井県	農道若狭西地区第1号多田T	飛島・直・岡JV	1,572
和歌山県	国道480号道改滝T	浅沼・三友JV	780
高知県	ふるさと林道松原中津川T	藤・須工・杉本JV	1,400
長崎県	主地道福江富江線道改増田T	白石・坂口・林田JV	1,704
"	" 長崎南環状線道改大浜T	才津・別所・長興JV	1,250.3
仙台市	高速鉄道南北線泉中央駅改良	鹿島・熊谷・深松JV	1,437
所沢市	北野地内雨水管	西武建設	135
"	市東部クリーンセンター雨水貯留施設	西武・明豊JV	172
相模原市	緑ヶ丘雨水幹線2工区	国土開・肥後JV	1,695
名古屋市	志段味配水池	西松・名工・鈴中JV	770
"	善進本町幹線下水道	東亜・矢作・徳倉JV	500
宇治市	黄檗山手線T工区	大林・大日本JV	5,130
八尾市	飛行場北排水区第29工区下水道	浅沼組	212
守口市	大枝寺方線下水道	鹿島	1,480
津山市	中央汚水幹線その2	大林・大本・大豊JV	440
"	神戸南幹線ほかその2	佐藤・銭高・アイサワJV	388
福山市	松浜新瀬2号幹線下水道	国土開・平和JV	315
"	岩成幹線下水道	地崎・小川JV	285
佐賀市	公下下高木汚水幹線1工区	奥村・松尾JV	300
長崎市	西部27号汚水幹線南部地区共同T	不動・星野・菱重JV	1,208
"	" 幹線小江町シールド	銭高・上滝・武藤JV	900
葉山町(神奈川)	長柄枝線その1	西武建設	139
千葉県下水公	袖ヶ浦横田第一汚水幹線その5	東亜建設工業	125
"	長生村官渠その20	五洋建設	96.7
"	" その21	西松建設	110
千葉市都整公	六方都市下水路改修	東急建設	108
神奈川県内広域水企	社家・伊勢原導水管布設その4	三井・浅野・小島JV	1,350
"	" その5	飛島・大旺・保土ヶ谷JV	1,030
岡山県土開公	液化石油ガス国家備蓄基地	大本・東洋JV	2,280
北海道電力	京極発電所第1工区	鹿島・大林・飛島・伊藤JV	25,100
"	" 第2工区	大成・佐藤・北電・三井JV	5,000
"	" 第3工区	熊谷・清水・地崎JV	9,800
PFIプロジェクト(英国)	ロンドンT220工区	西松・セメンJV	25,000
デリー交通社(インド)	デリー地下鉄MC1A	熊谷・スカン・ヒンド・伊藤忠JV	25,600

連載講座

線路下横断工法(10)

施工法の選定, 線路への影響予測他

「線路下横断工法」連載講座小委員会

1. 施工法の選定

線路下横断工事の計画にあたっては、用途に適合し、列車運行への影響が少なくかつ安全であり、周辺に対する影響が少ない構造形式、施工法を選定する必要がある。横断構造物の高さ、構造形式、施工法の選定にあたっては、現地の諸条件になかった数種の構造形式、施工法について、工事費、工期の比較検討を行い、徐行の有無・程度、線路閉鎖工事の対象、将来の線路保守なども考慮

し、適切なものを選定する。

1-1 構造形式の選定

構造形式は、施工法を考慮して、使用目的、軌道構造、地盤条件など、現地の諸条件に適合するように選定するものとする。

地盤条件(地質、地形、地下水位など)、軌道構造などの調査結果をもとに施工法を考慮して、使用目的に適合した断面形状、構造形式を選定する。表-1は使用目的および現地条件に対する構造形式の適否をまとめた

表-1 構造形式の選定表

条 件	構 造 形 式		リング	アーチ	桁 式	
	箱形ラーメン	門形ラーメン			下路桁形式 ¹⁾	その他
目 的	道 路、地下通路 線 路 水 路(無圧) " (圧力)	○ ○ ○ △	○ ○ ○ ×	○ ○ ○ △	○ ○ ○ ×	○ ○ ○ ×
単スパン	10m 未満 10～15m " 15m 以上	○ ○ △	○ ○ △	○ ○ △	○ ○ ○	○ △ △
横断延長	20m 未満 20～30m " 30m 以上	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ×	○ ○ ○
土かぶり	0～2m 未満 2～5m " 5～10m " 10m 以上	△ ○ △ △	△ ○ △ △	△ ○ ¹⁾ ○ ¹⁾ ○	○ ×	△ ○ ×
地盤条件	構造物底面部	○ ○ ○ △	○ ○ ×	○ ○ ⁶⁾ -	○ △ △ △	○ △ ○ △
	地下水位	○ ○	○ △	○ ○ ⁶⁾	○ ○	○ △
維持管理が不要なメンテナンス構造		○	○	○	△	△

○：一般的に適用

△：適用可能であるが問題があり、対策の検討を要する

×：一般的には不適

1)：シールド工法の場合は、直径により異なる。

2)：土かぶりとは施工基面より図体天端までの距離を示す。

3)：砂質土N値30以上、粘性土N値20以上。

4)：砂質土N値10～30未満、粘性土N値4～20未満。

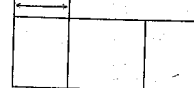
5)：砂質土N値10以下、粘性土N値4以下(液状化地盤は基礎杭が必要)。

6)：インバート付きとする。

7)：非開削による。

凡 例

単スパン



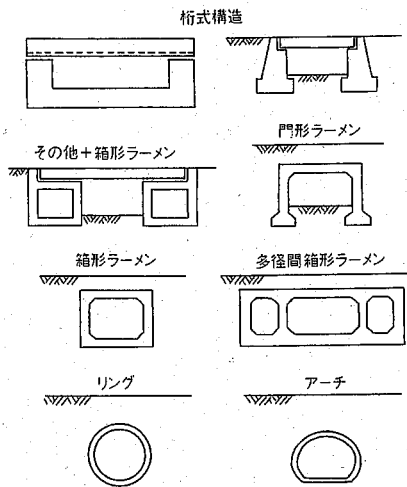


図-1 構造物形式

ものである。

なお、構造型式により施工法が限定されるので、施工法、補助工法などを含め総合的に検討することが望ましい(図-1)。

1-1-1 箱形ラーメン構造

スパンがあまり長くない場合(通常10m前後が限度)に有利である。土かぶりが大きくなると(おおむね5mを超える場合)応力上不利となる。

地下水位が下床版以上の場合、躯体の浮き上がりの検討が必要である。一般には、基礎杭を必要としない。

1-1-2 門形ラーメン構造

地盤条件が良好で直接基礎でできる場合は、箱形ラーメンより有利になる場合がある。地下水位以下の場合、対策が必要となる。

1-1-3 リング構造

一般に内水圧が作用する場合には、この形式が有効である。流体の流路としては最適(有効断面の活用)で、土かぶりの大きい場合や土圧の働く地盤の場合は、他の形式より応力上有利である。

1-1-4 アーチ構造

一般的には、土かぶり大きい場合に適する。支持地盤が軟弱の場合は、アーチと一体になったインバートコンクリートの施工を要する。

1-1-5 複合構造、多径間、多層構造

スパン、土かぶり、その他の条件により1径間で目的に適合できない場合、各構造それぞれの特性を検討のうえ用いるのがよい。

多径間にせざるを得ない長スパンで、不同沈下の恐れ

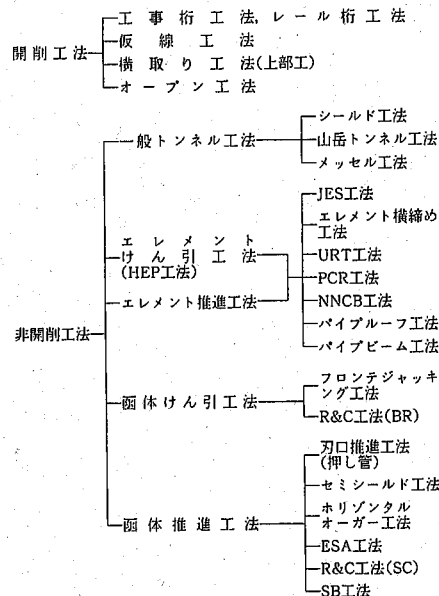


図-2 施工法の分類

がある場合は、単径間の箱形ラーメンの並列構造とする方法も考えられる。

1-1-6 桁式構造

下路桁形式は、一般に桁とU形擁壁兼橋台よりなる構造物であり、その他としては、橋台に作用する土圧に対し、桁をストラットとして働かせ、下部工をスレンダーにした事例もある。

なお、メンテナンスフリーにするため、桁とU型擁壁を剛結にした無支保構造も考えられている。

1-2 施工法の選定

線路下横断構造物の施工法は、大きく二分すると開削工法と非開削工法に分けられ、構築にあたりもっとも望ましい工法は、施工期間中に列車運行に影響を与えず、しかも経済的に施工が容易な工法である。

1-2-1 施工法の分類

ここでは、図-2に示す施工法に限定しているが、大規模構造物、特殊な地盤の場合は、工法の組み合わせや単一工法による分割施工についても検討したほうがよい。

1-2-2 線路の条件

線路の条件については、高密度、高速度の線路条件の実情から、列車本数が多いため、線路閉鎖間合いの確保、徐行の長期にわたる実施が困難な場合が多く、この条件から施工法が限定されることが少なくない。そのため、これらの状況を考慮して施工法を選定する。

1-2-3 軌道、路盤の条件

停車場構内などにおいては、分岐器、ダイヤモンドクロッシング下に構造物が選定されることがあるが、開削工事では、工事桁の架設が困難であり、非開削工事でも掘削周辺の沈下は避け難いので、できれば横断位置を変更するのがよい。やむを得ない場合には、路盤や軌道の変状対策を十分に講じて施工するか、配線変更などによる分岐器の位置を変更することも必要である。

なお、軌道、路盤の条件として、以下を考慮して施工法を選定する。

- ① 線数
- ② 曲線、勾配
- ③ 分岐器、ダイヤモンドクロッシング(直下および近接)、EJ(伸縮継目)
- ④ ロングレール

1-2-4 地形、地質、地下水条件

掘削地盤が軟弱な場合は、土留め、掘削面、周辺地盤の変状が発生する恐れが高いため、特別の配慮が必要となる場合がある。地下水位が高い場合には、ボーリングや盤ぶくれの検討が必要である。また、軟弱粘性土地盤においては、ヒーピングの検討を十分しておく必要がある。

なお、地形、地質、地下水の条件として、以下を考慮して施工法を選定する。

- ① 地形
- ② 地層の縦横断方向の変化
- ③ 土の工学的性質(力学特性: c , ϕ , q_u 物理特性: γ , w)
- ④ 地下水位(水圧)
- ⑤ 酸欠空気、有毒ガス

その他、施工上問題となる条件としては、硬軟互層(掘削機の刃口の貫入抵抗、切羽面の安定性、切削難易の差異などによる施工法の適用上の問題)がある。

1-2-5 周辺環境条件

周辺の土地利用状況によっては、直接の工事公害として、騒音、振動、漏水、汚水搬出運搬時の粉塵の飛散、道路交通の輻輳などの発生する恐れがある。また、地盤条件によっては、土留め変形、土砂流出、地盤の脱圧圧密などによる周辺地盤の沈下や、近接構造物の変状の発生する恐れがある。これらの恐れがある場合においては、施工法、補助工法に配慮する必要がある。

なお、周辺環境条件としては、以下を考慮して施工法を選定する。

- ① 支障物(地中構造物を含む)
- ② 近接構造物(こ線橋、鉄道橋、伏び、建物、その他)
- ③ 道路

- ④ 水路
- ⑤ 井戸
- ⑥ 土地の利用状況
- ⑦ 工事の規制(法規格令)

1-2-6 用地条件

- ① 確保できる用地
- ② 運搬道路
- ③ 用排水路

④ 関連工事(取り付け部など)

1-2-7 構造物の断面、寸法、構造形式

1-1による他、次の点に留意すること。

(1) 掘削設備に多額を要するシールド工法では、施工延長が短い場合、工事費が割高になるのでアプローチ部も含め、おおむね300mに満たないときは適用しない方がよい。

反対に、函体推進工法、エレメント推進工法は、一般に延長が長くなると周面摩擦の増加による推進設備、方向制御の問題も生じる。

(2) 構造物断面が大型となる場合は、施工法によっては安全上分割施工も行われる。

1-2-8 土かぶり

構造物の設置位置に関する土かぶりについては、開削工法の場合、土かぶりが大きくなるにしたがって、掘削土量が増加し、土留めも大規模になるため、非開削工法に比較して不経済になってくるので、土かぶりの大きい場合は、経済比較を行って有利な施工法を選定するのが望ましい。

函体けん引工法、函体推進工法、メッセル工法では、防護工としてのパイプルーフなどが施工できる土かぶりを確保する。

パイプルーフおよびエレメントなどの位置深さは、推進またはけん引時の軌道の変位、施工の精度(穴曲り)、路盤表層の支障物の存在を考慮すると、一般的には2m程度が適当である。

シールド工法の場合は、土質によって異なるが、一般に土かぶりを1.0~1.5D以上(D: 掘削外径)とするのが安全である。なお、土丹などは、1.0D以下としても可能な場合もある。

1-2-9 施工法の比較

前述の1-2-1~8の各項は、施工法の選定にあたり検討を要する主要な条件である。表-2は、施工法の前記条件に対する適否をまとめたものであり、これを参考にして最適工法を選定する。

2. 線路への影響予測他

線路下横断工事を行ううえでもっとも注意を払わなけ

ればならないことは、線路への影響である。線路への影響は予測することはできないが、過去の状況より想定することは可能である。

ここでは、過去の実績をもとに線路に影響を与える要因および事象について述べる。

2-1 路盤陥没

過去の施工実績によると、鉛直部のエレメントの施工時に大きな軌道変位が生じることは少ない。これは、水平部エレメントなどにより軌道が防護されているためと、推進位置の土かぶり高が水平部エレメントに比べ大きいと考えられる。しかしながら、推進位置の地盤の自立性が良好でない砂や砂礫、軟弱な粘性土の場合、エレメント側部の空隙の発生に起因する軌道面の陥没の事例が報告されている(図-3)。

このため、鉛直部のエレメントの推進時についても水平部に準じた条件とするとともに、軌道面での陥没などが生じない対策を行う方がよい。とくに、円形鉛直エレメント使用の場合は、推進後のエレメント背面への裏込め注入を施工条件や地盤条件を問わず行う。とくに補助工法として鉛直方向エレメント施工位置に止水目的の薬液注入を行っていたとしても円形エレメント推進時の陥没対策とはならないものとし、この場合にも裏込め注入を行う。

鉛直方向エレメントの土かぶり高が2m以上確保できない場合は、エレメントなどの側部の地盤の崩落による軌道面の沈下が考えられる。このため、土かぶり高が2m以上確保できない場合は、地盤条件に関係なく水平部に捨てルーフを施工し、軌道への影響を抑えるのがよい。た

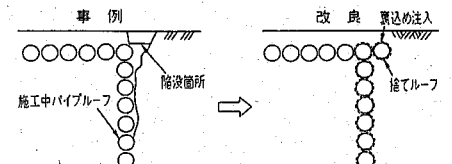


図-3 鉛直方向エレメント施工時の陥没例

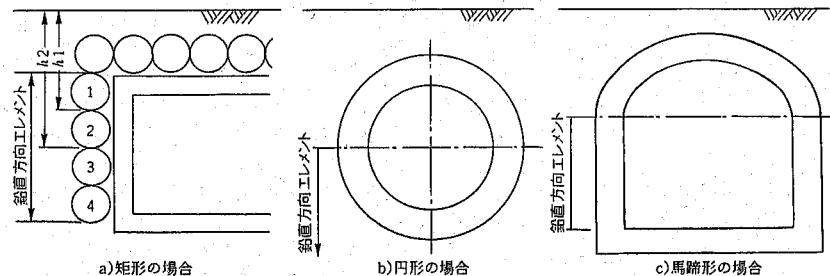


図-4 鉛直方向エレメント

だし、この捨てルーフは早期に裏込め注入をすることが前提であり、さもないと捨てルーフの範囲を超えるほど主側崩壊面が大きくなり、路盤陥没が発生する可能性がある。

ここで、鉛直方向エレメントの土かぶり高は図-4に示すとおりであり、エレメント番号1に対してはh1、2に対してはh2となり、施工エレメントごとに値が変わることになる。そのため、2本目以降から土かぶり高が2m以上となる可能性があるが、その際には2m以上の土かぶりという条件を満足したとしてよい。

鉛直方向エレメントが円形でなく角形で線路下を一回の横断だけで構築できる場合は、裏込め注入を十分実施することで捨てルーフの代わりとすることができる。

2-2 軌道変位の要因と対策

非開削により線路下に構造物を構築する場合、現状の施工法では線路直角方向にルーフ材を施工し、そのルーフ材を本体利用する場合とルーフ材を防護工(仮設材)として利用する場合がある。

いずれの場合でも、営業線直下の施工となるため、軌道の安全確保は重要な課題であり、施工法を選択するためには、それぞれの施工法を理解するとともに、各施工法に伴う軌道への影響要因を事前に把握し、対策を講じる必要がある。

また、軌道の変位要因として、現地の環境条件や施工条件などが、複合要因として関係するため、一般的に行われている調査の他、以下の内容についても事前に把握しておくことが重要である。

(1) 支障物の有無

線増時の腹付け盛土などでは、単線時の擁壁、残杭、埋設物がそのまま埋めである場合が多く、線路上下線間に支障物が存在することが多い。施工にあたっては、工事誌や関係者からの聞き取り調査を行い、試掘などにより支障物を確認することが必要である。

(2) 土質の変化

盛土造成時の盛土材は、トンネル近傍であるとトンネ

ル工事で発生した岩ずりを使用している場合があり、線路下横断工を行ううえで支障となる。

また、素地の場合でも河川の近傍では転石が存在する場合があるため、十分な地質調査を実施して、必要により線路下部分の調査ボーリングを実施する。

(3) 施工時の地下水

施工箇所の地下水位については、地質調査時と相違する場合があるため、季節変動などで地下水位の年変動が大きい場合には、十分注意する。

また、地下水位の観測井は線路をはさんで2か所以上設けた方がよい。

次に主要な線路下施工工種における軌道への変位要因と対策について、事例などをといて述べる。

2-2-1 水平ルーフ・エレメントの場合

一番軌道に近い部分の施工であるため、掘削先端部において支障物などにより何らかの異常が発生するとダイレクトに軌道面へ現れる。

(1) 変位要因

① ルーフ・エレメント内を人力掘削時に地盤に関係なく先掘りを行ったため、軌道陥没が発生した。

② ルーフ・エレメント内を機械掘削の場合、支障物により掘削トルク値が上昇したにも関わらず、施工を続行したため軌道隆起が発生した。

③ 支障物を撤去した部分の埋め戻し・締め固めが不十分であったため、しばらくして陥没が発生した。

(2) 対策工

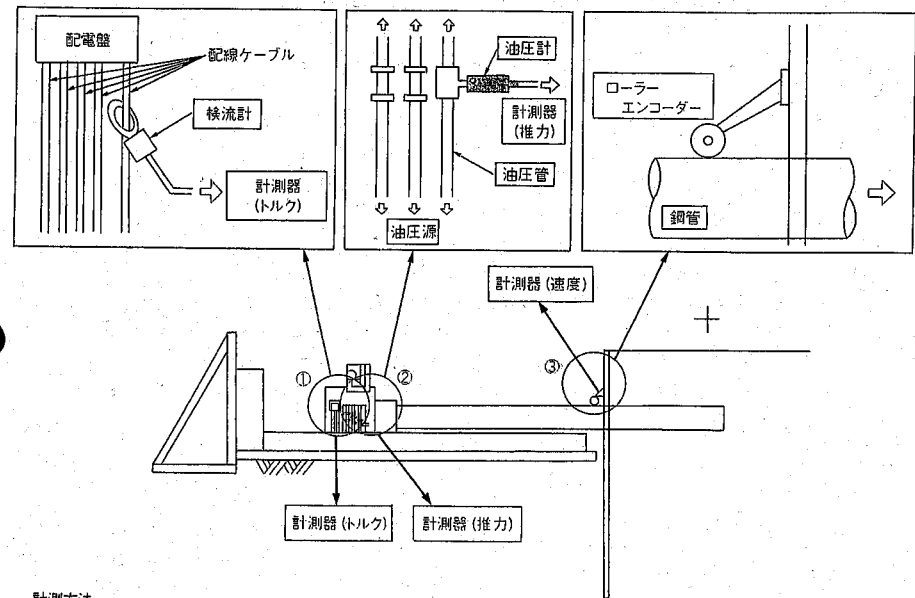
① 先掘りは、できるだけ少なくするようにする。支障物などの撤去で大きく先掘りを行う場合には、地山強化などを十分実施する。

② オーガトルク値、油圧、推進力を測定し、それらを確認しながら施工する(図-5)。また、操作作業員も鉄道工事を熟知した者を従事させることも重要である。

③ 支障物を撤去した部分の周辺は、緩んでいるため徹底的に締め固めを実施する。施工完了後の軌道監視も十分に実施する。

2-2-2 鉛直ルーフ・エレメントの場合

鉛直部分のルーフ・エレメントの施工は、軌道面から離れるため軌道の変位がすぐに現れることは少なく、しばらくして起こる場合が多い(図-3)。



計測方法

① オーガトルク: 検流計をオーガトルクの配線ケーブルに取り付け、電流値測定により計測する。

機種によっては油圧を動力とするものもあるので、その場合は推進力計測と同様に油圧計により計測する。

② 推進力: 油圧計を推進力の油圧管に取り付け、油圧測定により計測する。

③ 速度: 回転検出器(ローラーエンコーダー)を鋼管に取り付け、推進速度、推進距離を計測する。

図-5 トルク値等計測方法

(1) 変状要因

- ① 止水のため、薬液注入を鉛直ルーフ外面に行ったが、施工期間と地質の関係で注入した部分に空隙が発生して路盤陥没した。
- ② 連続雨量が20mmを超えた場合に、降雨が鉛直ルーフ部の空隙部を流れ、空洞が発生して陥没した。
- ③ 導坑を有する施工法の場合であるが、鉛直ルーフと導坑の間が大きいため、導坑施工時の土砂流出などにより、路盤陥没が発生した。

(2) 対策工

- ① 注入の確実な施工と空洞部分の裏込め注入や強制沈下などの実施を行う。
- ② 降雨時および降雨後の路盤監視を強化する。たとえば、調査により空洞が確認されている場合には、連続雨量が20mmを超えたときは、3～4時間周期で点検する。
- ③ 鉛直ルーフと導坑の間をできるだけ小さくするか外側にラップさせ、導坑掘削間の影響が外側に及ばないようにする。また、薬液注入による地山強化の確認や深い部分での空洞解消法(杭打ち機などによる強制振動)も必要である。

2-2-3 函体推進・けん引の場合

先行ルーフなどにより軌道防護を行った後に函体のけん引・推進を行う場合は、函体の施工精度もさることながら先行ルーフの施工精度が函体移動時の軌道狂いへ大きく影響する。これは、先行箱形ルーフが函体と同時に移動することに起因していると推測される。また、函体移動時の変状発生領域は、広範囲となる場合もあるので施工時の軌道観測は十分実施する必要がある。

(1) 変状要因

- ① ルーフの下方施工による路盤の押し上げで軌道が隆起した。

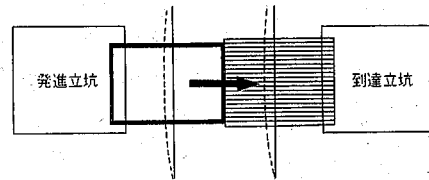


図-6 函体のけん引・推進時のFCプレートの移動・リバウンド

- ② 函体と鋼管のクリアランス部分の空隙発生で鋼管の沈下により軌道が沈下した。
- ③ 函体けん引・推進時のフリクションカットプレートの移動により、通り狂いが発生した(場合によっては、推進・けん引方向と逆向き(リバウンド)に発生する)(図-6)。

(2) 対策工

- ① 水平ルーフ・エレメントの施工を精度よく行い、函体の施工に影響がないようにする。また、そのような傾向が確認された場合は、軌道隆起の修正は大変であるので軌道に予め対策工を実施しておく。
- ② 函体移動完了後は、裏込め注入を実施して空隙を充填する。ただし、施工時に裏込め注入を行うと摩擦係数が増加するため、施工中は軌道監視・軌道整備により対応したほうがよい。
- ③ フリクションカットを剛なものとして、立坑に固定することにより、リバウンドの発生を小さくすることができる。

(文責: 新堀敏彦・東日本旅客鉄道(株)建設工事部構造技術センター)

参 考 文 献

- ① (社)日本鉄道施設協会: 線路下横断工計画の手引き(東日本旅客鉄道編), 2000. 4.

お 知 ら せ

土木工学社ではホームページを開設いたしました。おもな掲載内容は「トンネルと地下」バックナンバー検索、「トンネルと地下」最新号案内、弊社書籍一覧などです。多数の方にご利用いただけるようお待ちしております。

*準備中となっております「トンネルと地下」バックナンバー検索は使用可能となりました。

ドメイン名 <http://www.tunnel.ne.jp>

トンネル ジャーナル

大都市新生へ研究会

ゼネコンら25社で構成される日本プロジェクト産業協議会(JAPIC、千速晃会長)は、東京圏の大深度地下を利用した大都市新生プロジェクトの実現に向けて、企画小委員会に新たな研究会を設置し、本格的な検討を開始した。国際都市としての魅力を高めていくうえで、大深度地下の利用による都市構造の変革が重要な課題であると位置づけ、実現性の高い効果的なプロジェクトを提案。JAPICは、今後の方向性をマスタープランにまとめるとともに、実現に際して法制度面での課題や具体的な整備手法についても調査・研究し、東京都や国土交通省など関係機関に提示していく方針。

大谷トンネル貫通

日本道路公団四国支社が整備を進めている四国横断自動車道鳴門IC～板野IC間に建設されている大谷トンネルが4月20日貫通した。

同トンネルは、延長450m、幅員9.5mの暫定2車線。工事は発破方式による全断面掘削NATMで、掘削断面積約80m²、掘削量約26,000m³。

静岡第3トンネル着工

日本道路公団静岡建設局発注の第二東名高速道路静岡第3トンネルが4月20日着工した。

同トンネルは、静岡市街の北西部に位置し、一級河川の藤科川と安倍川の間を山間部を通過する。延長は、上り線が1,039m、下り線が1,027m。西坑口の位置が一級河川新間谷川から60mの高さにあり、また、東坑口側にトンネル掘削土の処理場所が確保できないため、作業用の横坑を約500m掘削し、本線トンネルのほぼ中間点に接続。そこから東西坑口に向け本坑を掘削する。

TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL

作業用の横坑から両側の坑口に向けてトンネル掘削を行うのは、静岡県内の第二東名高速道路のトンネル工事では初めてとなる。

阪神高の長田・高取山(南行)貫通

阪神高速道路公団が建設を進めている阪神高速道路神戸山手線の長田工区・高取山(南行)トンネルが4月25日貫通した。

神戸市須磨区の妙法寺付近から高取山の下を抜け、長田区の蓮宮付近に至る約2kmのトンネル。高取山工区の南行き線が1,359m、北行き線が1,240m、長田工区の南行き線が760m、北行き線が770mとなっている。民家付近での硬岩掘削、住宅密集市街地直下で土かぶりが約10～40m、地下水位以下の未固結地山を対象という非常に厳しい条件下での工事となった。

今回貫通した南行き線の高取山工区は、95年12月に坑口付けし、低振動発破工法で50m、残る1,300m弱を機械掘削で施工。長田工区は、97年6月に坑口付けに着手し、170mを補助工法の効果を比較検討する試行区間として位置づけ、テレビチューブ工法を主体に工事を進めた。

井関川放水路が完成

都市基盤整備公団関西支社が工事を進めていた井関川の流水のバイパス水路井関川放水路が5月15日完成した。

京都府木津町の中心市街地を横断して木津川に流れる井関川は、住宅地よりも川底が高い「天井川」で、昔からたびたび河川の氾濫が発生。また、同公団が施行しているハートニシティ木津の開発の進行に伴う雨水量増加に対処するため、抜本的な治水対策が必要になり、同放水路が計画された。

改修総延長は3,470m。トンネル

部分は内径約6.9m、延長1,520mで近畿地方の放水路トンネルで最大級。

同放水路の完成で、市街地に流れる井関川の水量は、毎秒最大1m³にとどめ、この数値を上回る流水は放水路に流れることになる。

TBM工法報告書

日本電力建設業協会の電力工事技術委員会(内田興太郎委員長)は、TBM工法に関する施工事例調査の結果を報告書にまとめた。

同書では、88年から97年までに施工された電力分野のTBM工事24件を対象として、電力会社やTBMメーカー、施工業者から施工にかかわる情報を収集し、TBM工法の現状や普及に向けた課題を整理した。地質条件が複雑な日本では、海外に比べてTBM工法の特長が十分に発揮されていない点や施工延長の長大化や転用の拡大、多様化する断面形状の対応などの課題を挙げ、急速施工と経済性というTBM工法の利点を最大限に発揮する必要があると報告している。

上越～富山間が起工

北陸新幹線上越～富山間が5月27日起工した。同区間は、日本海沿岸沿いに山岳地帯を縦走し、富山平野にでて富山市に至る。

既着工の糸魚川～魚津間を含め全長110.1kmのうち、トンネルおよび橋梁などの構造物が98%を占める。とくにトンネルは7本、延長55.6kmに及ぶ。北陸自動車道の山側を通すだけに、いずれも3km以上の長大トンネルとなる。今回新たに着工となる上越～糸魚川間および魚津～富山間では、①松ノ木トンネル(6,720m)、②峰山トンネル(7,090m)、③高峰トンネル(3,940m)、④第2魚津トンネル(3,125m)、⑤4トンネルが計画されている。

土木情報 No.335

今月の主な入札結果
(3月1日～3月26日)

事業主	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
小樽開建	229号積丹町武蔵T	草別・新太平洋・安田JV	286.5
東北地整	仙人峠甲子T	五洋建設	910
"	森吉山ダム麓ノ瀬T	大旺建設	499
"	向桃田1号T	秋田土建	275
"	普代T	大成建設	930
関東地整	丹生Tその2	ハザマ	585
"	川原湯T	東急建設	1,155
"	久森T	佐藤工業	930
"	東日本橋共同溝発進立坑	飛鳥建設	940
"	坂下・舟渡共同溝到達立坑	西松建設	740
"	保土ヶ谷共同溝その10	熊谷組	1,800
"	蘇我共同溝発進立坑	鹿島・浅沼JV	1,900
"	神明共同溝発進立坑	森本組	912
"	外郭放水路第1工区T付属施設設置	大林・熊谷・前田JV	186.4
"	" 第2工区T昇降施設設置	大成・ハザマ・戸田JV	125
"	鋸山T坑口防災	安藤建設	304
北陸地整	新潟港(西港地区)道路T付帯	加賀田組	338
中部地整	1号四日市共同溝	丸紅建設	590
"	東海環状大平T	鉄建・福田JV	3,200
"	" 可児亜炭坑充填	飛鳥建設	2,000
"	" 御嵩亜炭坑充填	フジタ	830
"	" 鞍ヶ池T	竹中土木	1,550
"	" 片町T	森本組	470
"	302号富田1共同溝大西北	森組	480
"	" 号名東(4)梅が丘共同溝立坑	地崎工業	400
"	" 号小田井山田共同溝大我麻	大成・西松JV	5,500
"	19号春日井共同溝大泉寺	鹿島・清水・奥村JV	6,300
近畿地整	清水谷排水T(3号)拡幅補強	関西JV	293
"	春日和田山道路沼栗住野T	大本組	870
中国地整	青谷羽合道路吉川T	西松建設	1,000
"	岡南共同溝2	鹿島・飛鳥JV	2,640
"	岡山西第12共同溝	新井組	535
四国地整	戸手野T	奥村組	1,315
九州地整	福岡202号外環状共同溝(I)向新町地区	森本組	645
"	" (I)日佐地区	丸紅建設	655
"	" (I)横手南地区	東洋建設	720
"	" (II)野多目地区	銭高組	645
"	" (III)野芥地区	村本建設	380
水資公	滝沢ダム付替県道2号T	西武建設	780
鉄公・関東	常新、南流山T(木)他	若築・大本・ユニオンJV	1,380
鉄公・北陸	北陸幹(糸・魚)上野T	竹中土・名工・後藤JV	335
"	" 高丘T(南)他1	戸田・フジタ・アイサワ・藤森JV	2,750
"	" 高社山T(南)他1	佐藤・大日本・吉川・鹿熊JV	1,910
鉄公・九州	九幹陸、木葉T他1	銭高・日産・志多・杉本JV	1,580
"	" 野田T他1	西松・三井不・梅林・諫山JV	3,540
道公・静岡	第二東名今里第1T	清水・アイサワ・三菱JV	7,180

(77頁へつづく)



解説

線路下横断構造物を新工法で構築

渡邊明之・栗田隆夫・
佐藤拓也

1. はじめに

近年、限られた用地の高度利用、都市基盤整備を目的として、営業する鉄道下を横断交差する都市交通や下水道構造物が計画・施工されるケースが増えている。線路下を横断して構造物を構築する場合、列車走行の安全性を確保することを第一とし、さらには施工期間が短く経済性の高い構造・施工方法が求められている。

線路下横断構造物の構築方法は、施工条件による制約が多く、これに対応する様々な工法が開発されている。

本稿では、線路下にエレメントを短時間で精度よくけん引掘削するエレメントけん引工法「HEP(High-speed Element Pull)方法」と線路下横断延長に制限を受けず、施工期間中に列車運行への影響が少なく、さらに、経済的に施工が容易な新しい線路下横断構造物の構築工法「JES(Jointed Element Structure)工法」について紹介する。HEP&JES工法とは、HEP工法とJES工法を組み合わせる施工の場合を総称したものである。

2. 新しい線路下横断構造物構築方法

線路下横断構造物の構築工法には、大別すると2つの工法がある。一つは、軌道を工事桁などで仮支持し軌道側面から掘削して、掘削完了後に現場施工で構造物を構築する開削工法である。もう一つは、軌道下の路面をパイプルーフなどで防護する中で軌道側方から構築された構造物を掘削しながらけん引・推進し軌道下に設置する、もしくは、部材を掘削しながらけん引・推進し軌道下で組み合わせて構造物を構築する非開削工法がある。

非開削工法の中には、軌道への影響を抑えるために、小断面のエレメントを軌道下に挿入し、これを組み合わせた構造物がある。しかし、この工法は、鋼製もしくはコンクリート製のエレメント桁を線路下に削孔・圧入し、

これを横桁として現場打ちコンクリートの主桁と剛結して構造物を構築するため、軌道下の土かぶりからエレメント桁の部材高さが制限され、横断延長に限界があった。そこで、鋼製エレメントを特殊な継手(JES継手)で沿わせてけん引貫入した後、この継手をグラウト充填しエレメント内にコンクリートを充填することで、連続した線路方向の構造部材として構造物を構築するHEP&JES

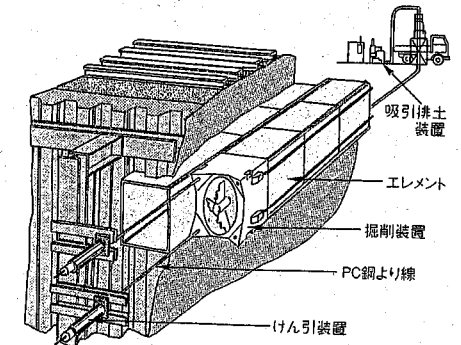


図-1 HEP工法の施工概要

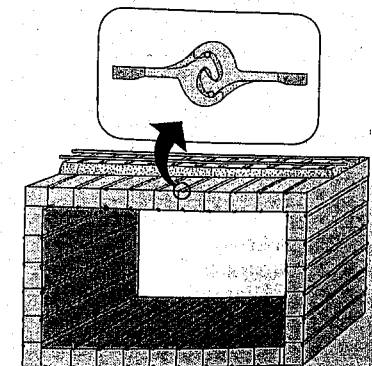


図-2 JES工法の構造概要

*東日本旅客鉄道(株)建設工部局技術センター主席
** 千葉支社設備部工事担当課主席
*** 東北工事事務所工事管理課課員

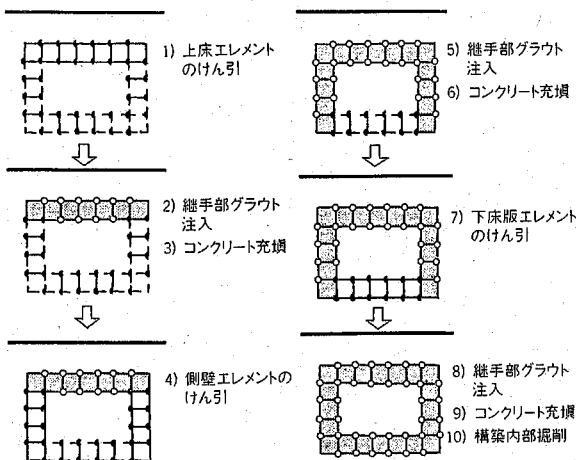


図-3 JES 工法への施工手順

工法を開発した。HEP 工法の施工概要を図-1、JES 工法の構造概要を図-2、JES 工法の施工手順を図-3に示す。

2-1 HEP&JES 工法の特徴

以下に、HEP&JES 工法の特徴を記す。

- ① 線路方向の部材による函体構造のため、線路横断延長に制限がない。
- ② エレメントを1本ずつけん引するため、反力設備が小さく、到達立坑を小さくできる。
- ③ 路盤面防護工と本体構築工を同時に行うため削孔・圧入作業が少なく、軌道面や舗装面に影響を与える回数が少ない。
- ④ 軌道下もしくは道路下に挿入する個々のエレメントが小断面であり、1回あたりのけん引・掘進による軌道面や舗装面への影響が小さい。
- ⑤ コの字形のエレメントを用いるため、発進部側では常に1面が開放状態で、掘削けん引に用いるホース・ケーブル類などの接続・離脱作業が容易である。
- ⑥ 従来防護工として用いられた鋼製エレメントを本体構造とするため工期を短くできる。
- ⑦ エレメントを上床版とするため、構造物の施工基面高などを上げることが可能であり、アプローチを短くできる。
- ⑧ 発進側の所定位置にエレメントを設置し、到達側の所定位置からけん引するため、発進・到達部で施工誤差がなく全体の施工精度も高い。
- ⑨ 上床版のエレメントけん引が終了した時点で、継手部のグラウト充填、エレメント内コンクリート充填を行うため、早期に地山が安定した状態となる。

- ⑩ 工期面、構造面から、既存の線路下横断工法に比べ工事費が低減できる。

以下に2件の施工事例を紹介する。

3. 白狐 Bv 新設工事

本工事は、千葉県が実施する緊急地方道路整備のうち、館山自動車道竹岡インターチェンジから一般道127号線を結ぶ県道竹岡インター線とJR内房線との交差部に架道橋をHEP&JES工法により新設する工事である。当該箇所には既に市道とJR内房線が立体交差しているが、それに並列して、今回、架道橋を新設し、既設の架道橋と合わせて県道竹岡インター線とする計画である。ボックスカルバートの所要内空断面は、計画道路の線形、構造寸法より幅8.0m、高さ5.6m、延長

は10.0mである。図-4に一般図を示す。

3-1 エレメントのけん引

HEP&JES 工法は、高速度で鋼製エレメントを地盤中にけん引掘進するHEP工法を基本としている。エレメントのけん引は、まず1本目の基準エレメントけん引のためのPCケーブルを水平ボーリングにより設置する。この水平ボーリングの精度により構造物全体の精度が決定づけられるため、施工には細心の注意を要した。けん引は、エレメント前部に取り付けられた掘削機により土砂を取り込みながら、到達側に設置したけん引装置により引き込むこととなる。けん引装置を写真-1に示す。このとき、後続の隣接エレメントけん引用のPCケーブルを掘削機に取り付け同時に引き込んでいる。2本目のエレメントからは、既に引き込まれているPCケーブルによりけん引しているが、JES継手をガイドとして所定の位置への挿入が可能となる。けん引時は、けん引力、けん引速度、切削速度、精度を中央管理室の管理システムにより制御しており、ここではモニターにより掘進状況も監視することができる。支障物の発生、掘削トルクの異常な上昇など、掘削の異常が確認されると、この中央管理室ですべて制御した。

現地での施工条件は、内房線と総湊・竹岡間58k234m付近の曲線半径400mの単線盛土区間で、土かぶり2.1mであった。土質は、盛土区間でありながら線路右側が砂質土、左側が粘性土と極端に地質が変化していた。また、1本目の基準エレメント施工時に確認した地山性状からは、自立性が必ずしも確保できないことを確認した。これらの条件から、「無徐行のための構造物の設計・施

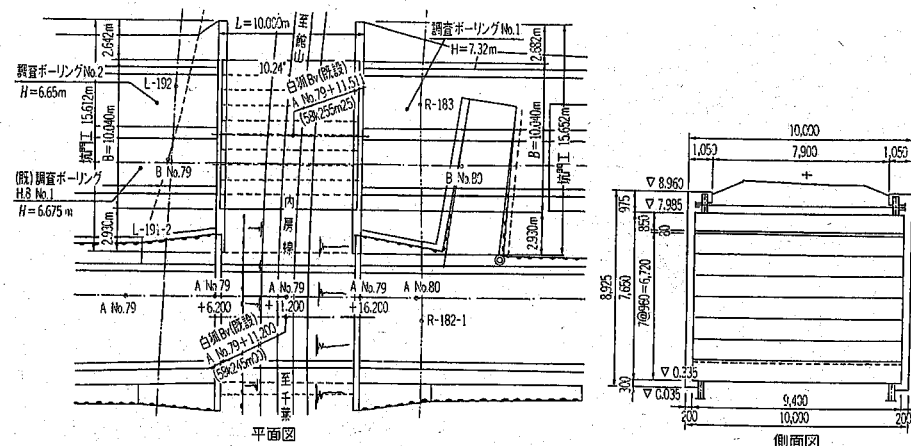


図-4 白狐Bv一般図(平面図、側面図)

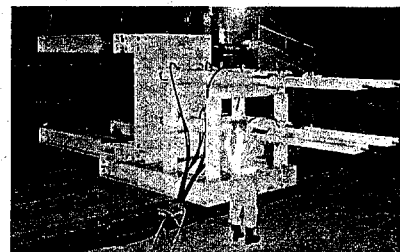


写真-1 けん引装置

工の手引：東日本旅客鉄道(株)社内参考資料」を参考に、軌道への影響を考慮し、上床および側壁最上段のエレメントけん引は、線路閉鎖間合(約3.5時間)内で作業を進めることとした。施工時の挙動監視は、掘削状況の監視とともに、路盤面の挙動と軌道変位を自動測定器によって常時監視した。

また、上床エレメントけん引時については、軌道監視員を配置し施工進捗に合わせて軌道の動きを監視した。異常な挙動が観測されたときには、線路閉鎖間合内で軌道整備を完了できるように即応体制を配備した。各エレメント形状を図-5に示す。

設計上の内空断面の余裕量は、継手部の遊間、施工延長による施工誤差の増分、内装の余裕、必要によって地盤の乱れによる沈下量を考慮している。しかし、エレメントの施工精度は、土質およびけん引速度によって変わるため、現地施工では設計値より12mm上げ越してけん引を行った。

盛土は、自立性の低い砂質土と軟弱な粘性土であり、エレメントの掘削けん引では、先端部が下がる傾向が見

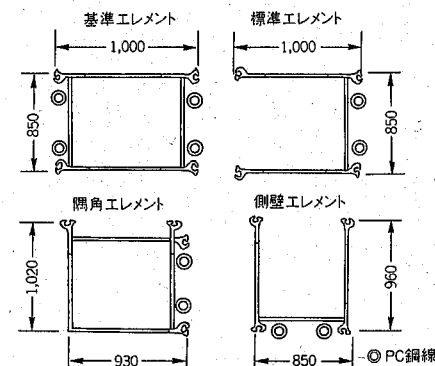


図-5 各エレメント形状

られた。基準エレメントは、到達時に発進側で最大8mm下方に下がる変位が発生した。しかし、全体のエレメントけん引精度を検証すると、設計上で考慮しているエレメント施工延長の1/500(18.8mm)の施工誤差に対して、最大沈下量(下方変位)で15mm、水平変位(左方向変位)で13mmであり、設計値以内に収まっていた。

白狐Bv断面図(エレメントNo.)を図-6に、施工精度を図-7に示す。

3-2 掘削時のオーバーカット対策

エレメントの掘削けん引は、土砂の取り込み量と貫入量をつり合わせることで、地盤陥没は発生しない。しかし、今回の施工箇所の地盤のように自立性の低い地盤条件の場合は、切羽上面からの土砂の崩落によってエレメントの貫入量以上に土砂が取り込まれるため、エレメントの前面および周辺に空隙が発生し路盤陥没の発生が考

えられた。

そこで、オーバーカット(エレメント貫入量以上の掘削土砂の取り込み)対策として掘削機先端部に鋼板フードを取り付けて施工を行った。掘削装置(オーバーカット防止鋼板フード)を写真-2に示す。この対策により、掘削けん引時の切羽前面の土砂崩落を抑えることができ、路盤陥没の発生を抑えることができた。

3-3 掘削・排土システム

掘削装置は回転ビットを有した開放型であり、地下水位の高い状況では水位低下などの補助工法を必要とする。

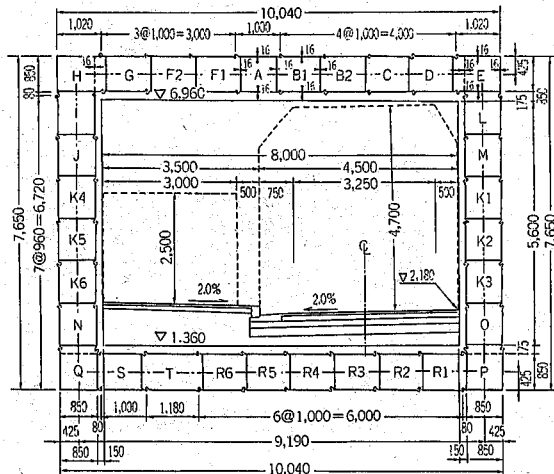


図-6 白狐Bv断面図(エレメントNo.)

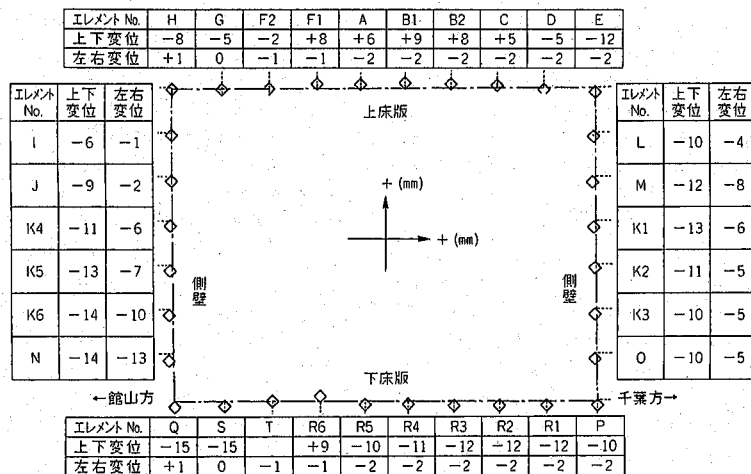


図-7 白狐Bvエレメント施工精度

掘削装置を図-8に示す。回転ビットにより取り込まれた土砂はリボンスクリューにより掘削機後方に運ばれ、吸引排土システムに送り込まれる。このシステムは後方の大型の吸引設備によって土砂を吸引運搬するものであり、粘性の高い土の場合には吸水材を添加することで吸引効率を上げている。吸引排土システムを写真-3に示す。掘削機は外殻を残して、内部機構全体が後方へ引き出せる構造であり、前方の支障物はこれを引き出すことにより人力での撤去を行う。

現地の地質は、盛土で砂質と粘性土が混在していた。

砂質土は、良好な吸引排土ができた。しかし、粘性土では、粘性が強く吸引負荷が大きくなったため吸水材を添加し粘性を低減する処置を講じた。吸水材は、切羽から取り込まれる掘削土砂に直接散布しスクリューコンベヤにかき込まれると同時に混合されるシステムとした。

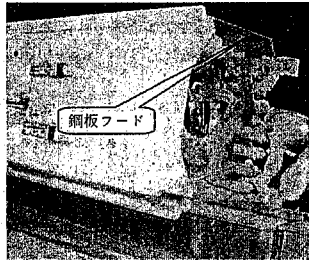


写真-2 掘削装置(オーバーカット防止鋼板フード)

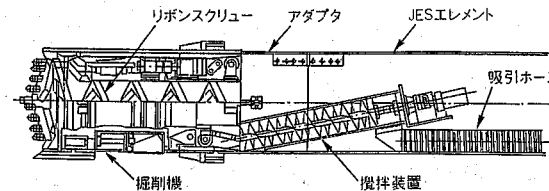


図-8 掘削装置

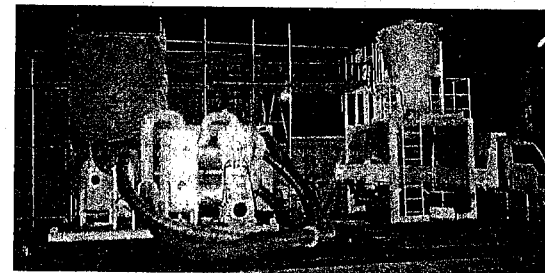
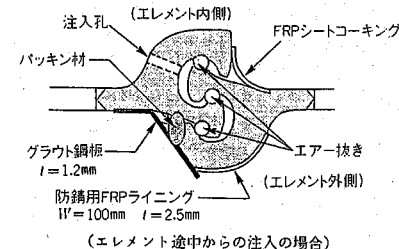


写真-3 吸引排土システム

3-4 継手部グラウト

JES工法では、エレメント同士の接合に特殊な継手(JES継手)を用いている。JES継手は、継手嵌合時にはエレメントの母材強度と同程度の強度を有するとともに、エレメント掘削けん引時にはエレメントの方向ガイドとしての役目を有している。そのため、継手嵌合状態で5mm程度の余裕もたせて、掘削けん引時の摩擦抵抗を軽減している。この継手内の空隙部分は、エレメントが地盤に掘削けん引された後、高圧水による洗浄を行い、グラウト充填を行う。グラウト材料は、材料分離のないもので早強性無収縮モルタルを用いている。継手部のグラウト注入は、面体延長20m程度までは片側から注入し、それを超える場合には継手の途中に注入孔を設けて分割注入を行っている。グラウト充填の品質管理は、エア抜きからの吐出状況、比重測定および圧縮強度の確認によって行っている。JES継手グラウト概要を図-9に示す。図はエレメント途中からの注入の場合を示しており、



(エレメント途中からの注入の場合)

図-9 JES継手グラウト概要

片側からの場合は注入孔を設けずに端部に注入管とエア抜き管を設置する。

現地では、10m弱で延長が短いことからグラウト注入は片側からの1回施工とした。また、グラウト鋼板からのグラウトの漏れを少なくするため、両端2.0mのグラウト鋼板部の内側に水膨張性ゴムパットを取り付けた。グラウト鋼板とは、底合した継手からのグラウトの漏出を抑えるために、継手に溶接接合された当て鋼板のことである。このグラウト鋼板部の改良による注入率の大幅な向上は確認できなかったが、ゴムパット取り付け部からの漏出量は減っており、今後、グラウト注入効率の改善ポイントになることが確認できた。

3-5 中埋めコンクリート充填

地中に掘削けん引されたエレメント内部には、中埋めコンクリートを充填して本体構造物とする。設計上もエレメント内部にコンクリートを完全に充填された部材としている。中埋めコンクリートは、設計強度流動性を確保するため試験配合の実施、打設計画の確認をしている。とくにエレメント延長が長く、30mを超える場合には、エレメント内部に仕切り板を設けて、跳ね返りによるエア溜まりを防止するため防止板を設置し、一回の打設量を減らすことで確実な施工にしている。中埋めコンクリートの打設は、地中に掘削けん引されたエレメント内部を高圧水により洗浄後、中埋めコンクリートを充填している。打設順序は、上床・側壁・下床エレメントに分けエレメントの掘削けん引の進捗に合わせて施工している。

現地では、打設延長が10m弱と短いことから、エレメント1本あたり1回の打設で中埋めを実施した。コンクリートは発進側より打設し、到達側エレメント妻部に仕切り板(上部にエア抜きパンチングメタルの蓋)を取り付け、充填状況を確認し、空隙のないように施工を行った。また、中埋めコンクリートは、上床版のエレメントを掘削けん引後、すぐに施工している。これは、上床版のエレメントを掘削けん引後、早い段階で上床版を構築することで施工中の軌道への影響を遮断するためである。

3-6 調整エレメント

面体(管体)構造の場合、最終のエレメントは全体の施工誤差を吸収しなければならない。そのために、調整エレメントと呼ばれる特殊なエレメントを使用している。調整エレメントは、閉合部に施工誤差を吸収でき、一定の耐力を確保するため、閉合形状の鉄筋継手を応用した

鉄筋コンクリート構造となっている。施工は、外側に土砂止め用のカバーエレメントを掘削けん引し、閉合部を掘削し中空状態とする。その後、JES 継手を有した閉合継手形状の鉄筋かごを隣接するエレメントの継手と嵌合しながら所定の位置にけん引設置し、コンクリートを打設して鉄筋コンクリート構造を完成させる。鉄筋かごは通常 1m の長さに分割されており、構造物の延長分を設置する。調整エレメントの概略図を図-10 に、鉄筋かごを写真-4 に示す。

現地で閉合部の最終エレメント施工にあたり、閉合前の両隣エレメントの誤差を確認した。発進側において上

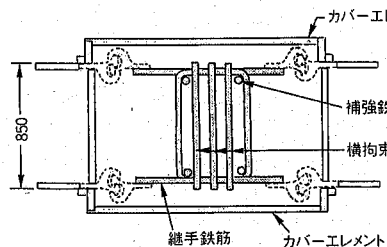


図-10 調整エレメント概略図

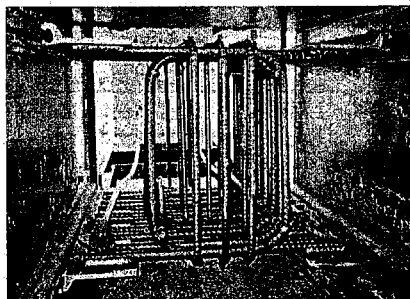


写真-4 調整エレメント用鉄筋かご

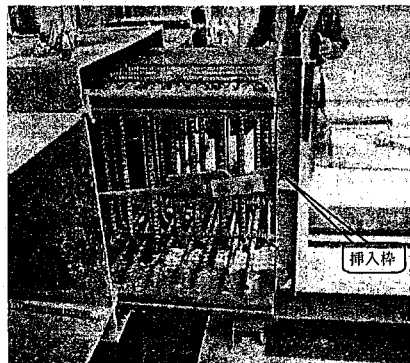


写真-5 調整エレメント用鉄筋かごの挿入状況

下方向のずれ 0 mm、水平方向の開き +4 mm、到達側で上下方向のずれ 6 mm、水平方向の開き +3 mm であった。1 継手あたり 4 mm の誤差を吸収できることから、発進側については、通常のエレメント構造で対応可能であるが、到達側ではとくに水平方向誤差が大きくなることから、調整エレメントを採用した。調整エレメントの施工は、カバーエレメント掘削けん引後、鉄筋かごの挿入にあたっては、鉄筋かご全体にけん引力がかかるように後端に挿入棒を取り付けこれをけん引し、鉄筋かごの変形を防止した。けん引状況を写真-5 に示す。

4. 大村前小路 Bv 新設工事

大村前小路 Bv は、二戸市が事業主体である新幹線二戸駅周辺土地画整理事業により、都市計画道路大村前小路線を、東北本線ならびに建設中の東北新幹線の線路下を横断するものである。東北本線直下は、断面幅 18 m、高さ 7.9 m の JES 構造によるボックスカルバートである。構造は、完成時には、車道に左右の歩道を有する 1 層 3 径間となる。図-11 に一般図を示す。施工段階では、仮設のエレメントを用いて 2 径間の門形構造を構築し、断面内部の掘削完了後は、左右の歩道境界部および下床版は場所打ちコンクリートで構築され 1 層 3 径間のボックスカルバートとなり最終形状が構築される。地盤条件は、下床版付近で N 値 ≥ 50 の砂岩層と強固であるため、仮設構造で門形構造が構築できる。地質状況を図-12 に示す。施工中および完成時の断面図を図-13 に示す。

ここでは、大村前小路 Bv 新設工事の特徴的な“仮設中間壁の施工”、“側壁ダブルエレメントの施工”について報告する。

4-1 仮設中間壁の施工

当該箇所の構造は、1 層 3 径間で歩車道境の中壁(厚さ 50 cm)となる計画であった。掘削を機械施工とする場合、JES 工法で構築できる中壁の最小厚さは 85 cm であり、中壁は最小断面の関係からエレメントでの構築不可能であった。そこで、施工時に 2 径間とし、完成構造で 3 径間とする構造形式について検討した。下床版付近の地質は、砂岩層であり良質な支持地盤であり、側壁部の鉛直支持に関する安定検討と、仮設の門形構造の耐力、変形検討が満足することを確認した。そこで、施工段階で 2 径間の門形構造とし、完成時に 1 層 3 径間のボックスカルバートとすることとした。また、施工段階で門形形状とすることによるエレメントの施工本数の減少によって、工事費を削減することもできた。

施工段階に用いる断面の中央位置の仮壁は、ダミー・エレメントと呼ばれる鋼製の仮設エレメントを用いてい

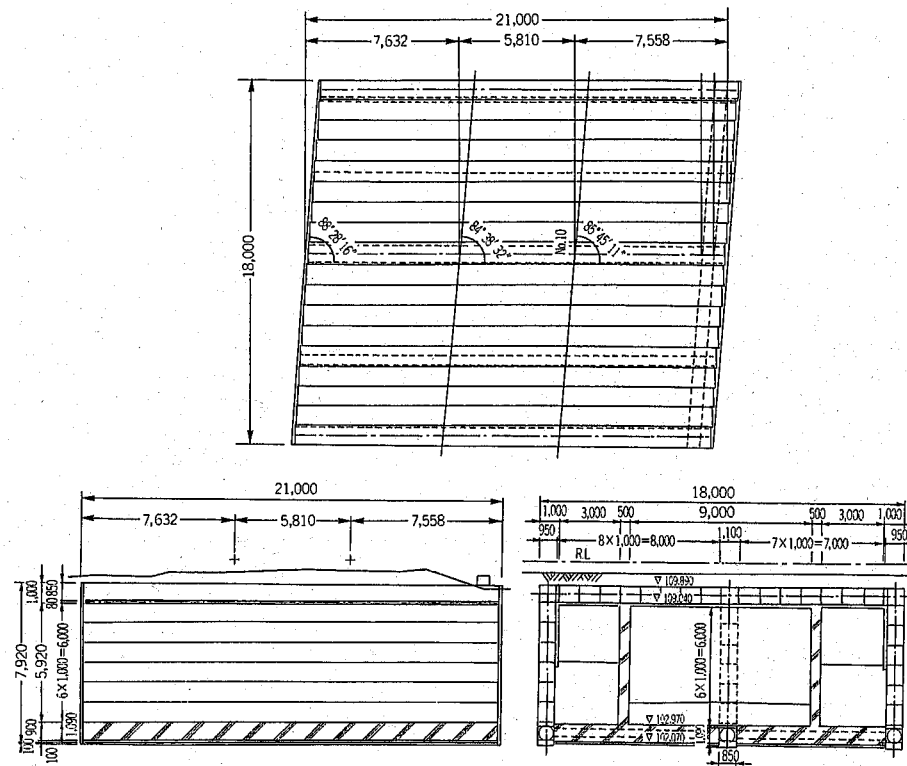


図-11 大村前小路Bv一般図

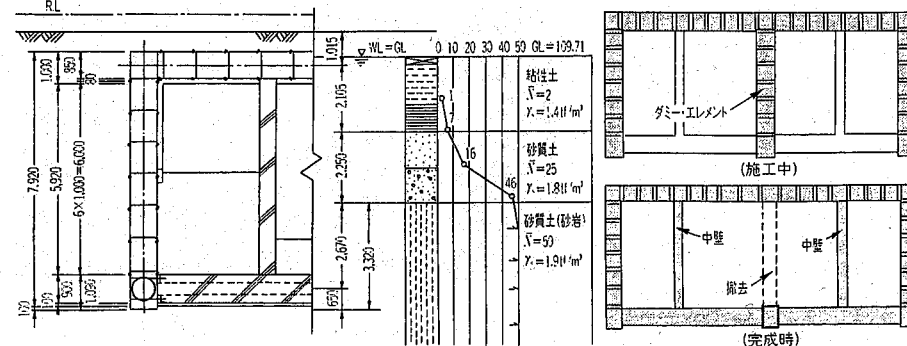


図-12 大村前小路Bv地質状況

図-13 施工中および完了時の断面図

る。ダミー・エレメントは、通常のエレメントと同様に掘削けん引して断面の中央位置に仮設壁を構築する。断面内部の掘削時に上床版を支え、歩車道境界の両側の中壁を場所打ちで施工後に撤去する。

4-2 側壁ダブルエレメントの施工

下床版近くの側壁エレメントは、 N 値 50 以上の砂岩層の中での掘削けん引となるため、掘削機械が困難であり人力掘削となった。そのため、今までに示した当初のエ

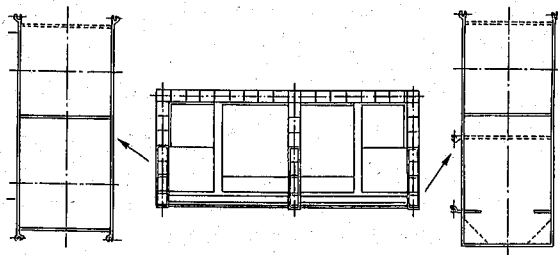


図-14 ダブルエレメント概観

エレメント配置の一部見直し、縦方向2段分の断面をもったダブルエレメントを採用した。図-14にダブルエレメント概観を示す。ダブルエレメントとは、通常のエレメントを縦に2個分重ねた大きさで、エレメント間にはJES継手を用いずに一体としたエレメントのことである。ダブルエレメントを用いることで、広い空間を確保

例を紹介した。

本工法は、平成12年11月27日建設大臣認定の(財)先端建設技術センターより先端建設技術審査証明書を授与しており、公的機関に先端技術として認められただけでなく、今後、鉄道と道路、道路同士の交差構造物の構築工法として幅広い適用が期待されている。

し人力による掘削の効率を上げ、エレメント2つつを一度に掘削けん引することで施工効率を上げた。また、地山の固結度が高かったため、大断面の掘削による地山の挙動は確認されなかった。

5. おわりに

HEP&JES工法は、2001年2月現在26件程度計画されており、2件が完成、16件が施工中である。本報告では、工法をイメージできる参考として2件の施工事

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380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メジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

連載講座

吹付けコンクリート・ロックボルトに関するQ & A (10)

JTA支保幹事会

吹付けQ. 27 吹付け厚の管理方法について教えてください。

A. 吹付けコンクリート厚の管理方法は、あらかじめ企業者ごとに決められており、吹付け厚の管理の判定基準には、平均巻き厚管理と最小巻き厚管理とがあります。ただし、堅固な岩盤に限り、設計吹付け厚を侵す地山の部分的突出部は、日本鉄道建設公団で設計吹付け厚の30%¹⁾、日本道路公団で設計吹付け厚の1/3²⁾を限度として認められています。

表-1に、日本鉄道建設公団と日本道路公団の吹付けコンクリートの出来形基準および巻き厚検査方法を示します。

(1) 吹付け厚のばらつき

吹付けコンクリートでは、

- ・所要の吹付け厚が確保されていること
- ・所要の強度が初期および長期で得られていること
- ・表面は平滑であること

により設計の出来形を満足するとされています。

吹付けコンクリートは、型枠が不要で上方・側方を含む任意方向に施工が可能であるなどの長所を有している反面、平滑な仕上げ面が得にくいこと、施工条件および

表-1 吹付けコンクリート厚の出来形基準¹⁾²⁾

管理要領	規定値	検測箇所・箇所	検測方法
日本鉄道建設公団	設計厚が最小厚の場合は設計厚以上	・延長20m以内に1断面	・φ32mm以上の検測孔
	設計厚が平均厚の場合は平均厚以上	・アーチ部5か所 側壁左右各1か所 計7か所	・掘削後検測位置に丸釘、丸鋼を使用して設計厚を表示
日本道路公団	設計吹付け厚以上	・20mごとに1断面 ・アーチ部5か所 側壁左右各1か所 計7か所	・φ32mm以上の検測孔

ノズルマンの技術により吹付け厚にばらつきが生じやすいなどの短所も併せて持っています。とくに、吹付け厚を管理することは出来形を満足させることはもちろんのこと、耐荷能力を確保し、トンネルの安定性や作業の安全性を確保するために重要なことです。

(2) 吹付け厚の測定方法

図-1は、吹付け厚管理方法のアンケート結果です。これによると、吹付け厚の管理方法は検査孔による巻き厚管理が主であり、チェックピンの設置、鋼製支保工などのガイドの使用、その他が続きます。

一般に、吹付けコンクリートの厚さは支保パターンごとに決まっています。吹付け厚を管理する方法には、施工中に行う方法と施工後に行う方法があります。以下に、吹付け厚の管理方法の例を挙げます。これらのうち、1)は標準的に採用されていますが吹付け作業の手戻りが発生する場合があります。2)と3)は施工の手戻りを防止でき、4)は鋼製支保工のない支保パターンに適しており、5)は簡易的に採用されることが多いです。

1) 検査孔による方法

施工後に吹付け厚を管理する方法として、削孔径32mm以上の電気オーガーなどにより削孔後、吹付け厚を計測する方法があります。検測箇所は、表-1に示したように7か所/断面で行われるのが標準です。いずれの方法にしても吹付け厚の検測は、吹付け厚さに不足があった場合直ちに措置できるように、吹付けコンクリート施工後できるだけ早い時期に行うことが望ましいでしょう。

2) チェックピンを設置する方法

施工中に吹付け厚を管理する方法として、指標となる

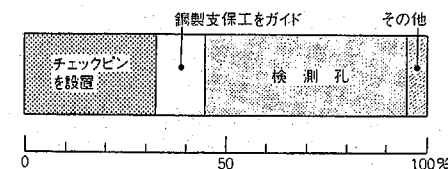


図-1 吹付け厚の管理方法(アンケート結果)³⁾

土木情報 No. 338

今月の主な入札結果

(6月11日～7月10日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
中部地整	東海環状道白山T	戸田・東洋JV	2,750
九州地整	新若戸道路陸上T部土留杭打設試験	ハザマ	222
鉄公・関東	常新, 小張路盤他	大林・東洋・植木JV	2,850
鉄公・東京	臨海, 大井町St本屋他	大林・戸田・東急JV	2,020
"	常新, 元浅草St第二出入り口建物2	清水・東武谷・池田JV	165
道公・中部	東海環状道潮見T南	三井・国土開JV	4,450
千葉県	上・下水道布設および道路その1	フジタ	170
都・水道局	和田堀給水所内配水管, 配水池1号	大成・新井JV	621
"	町田市薬師台2～金井町85配水管	大明・佐々木JV	367.58
都・下水道局	千代田区岩本町三丁目付近再構築	日本鋼管工事	150
"	江東ポンプ所放流渠吐口	大成・飛島・日東JV	795
"	台東幹線	大成・戸田・青木JV	2,710
"	多摩川上流雨水幹線その5	五洋・西松・竹中土JV	2,310
"	谷川雨水幹線その14	西松・日産・小田急JV	975
"	荒川区東尾久2, 6丁目付近再構築	大豊・佐田JV	895
"	港区北青山3, 南青山6付近再構築	アイサワ・南海辰JV	393
"	東品川幹線流入渠その2	前田建設	220
"	大田区西馬込2付近枝線	飛島建設	435
香川県	高松西部幹線渠	アイサワ工業	262.5
函館市	銭亀沢3号污水幹線1工区	西武・加藤JV	158
"	" 2工区	東急・森川JV	191
千葉市	小仲台雨水13号幹線	三井建設	241.5
木更津市	島田1号幹線H12の2	銭高組	226
横須賀市	39工区大楠地区第1幹線	地崎工業	208.8
神戸市	谷上区画整理地区污水管布設その18	中西組	247
"	" 其の17	王子建設	260
加古川市	神野1号污水幹線第5工区	本間組	260
篠山市	公下味間新1工区	浅沼組	225.75
高砂市	神爪污水幹線第1工区	前田建設	274
筑後市	公下6工区	三菱・西田JV	86
"	" 7工区	福田・サンワJV	114
"	" 8工区	松村・堤JV	105
山口市	補助第1工区污水管	佐藤・三菱・技工JV	900
北九州市	東西連絡管布設13-1工区	鴻池・九鉄JV	730
日高町(兵庫)	日高中央処理区管渠1工区	巴・岡崎JV	273
"	" 3工区	北田・谷口JV	256.5
"	" 4工区	谷垣・祝木JV	221
"	" 中央污水幹線	新井組	283
小郡町(山口)	公下川東雨水幹線1工区	フジタ	303
"	" 2工区	山陽建設工業	222
吉井町(福岡)	吉井地区3号污水幹線その1	日特・安達JV	56.5
"	" 其の2	熊谷・西野JV	77
"	" 其の3	鴻池・平井JV	93
"	" 5号污水幹線その2	五洋・西見JV	220
"	" 新治地内第1工区下水道	浅沼・稲富JV	96

連載講座

線路下横断工法(最終回)

Q & A

線路下横断工法について、線路のはなしから各種工法紹介、施工法の選定と10回にわたり講座を進めてきた。この分野はまだ発展途上にあり、実際に計画施工する個々のケースも千差万別で、全体的に歯切れの悪い表現が多く、読者の皆様にとっては不満な内容となっていると推察される。

そこで最後に、皆様の実務の一助にさせていただくよう、Q&Aを企画した。質問大募集で集まったものと小委員会でも出し合ったいくつかの質問をとりあげ、計画、設計、施工、維持管理について実務の参考になるよう、思い切った回答を用意した。

Q.1: 構造形式選定にあたり、とくに留意する点は?

A.1: 構造物維持と線路維持の二つの事業者が存在しており、この両者に共通する項目が、施工中の安全と供用開始後のメンテナンスフリーである。

もちろん構造形式は使用目的を満足する形状であることが大前提で、安全面から施工法にも限定されるが、将来の維持管理を考慮したメンテナンスフリーをまず考慮すべきである。具体的には、通常のスパンの場合、支承(シュー)を有する桁形式は特別な場合を除き初期の検討対象から除外し、まず、箱形・多径間ラーメン構造やアーチ・リング構造について検討をはじめることが望ましい。

ただし、既存の道路や水路を切り回しながらの分割施工や、レールからの所要空頭が確保できないことから、桁形式を採用せざるを得なかった事例も過去に多くみられる。

Q.2: 施工法選定にあたり、類似した工法も含め検討対象となる工法がたくさんあるが、もう少し絞り込み(淘汰)や分類分けはできないか?

A.2: 先にも述べたとおり、線路下横断工法は現在発展開発段階にあり、とくに非開削工法のうちの、エレメントけん引推進・面体けん引推進のジャンルに類似を含め多数の施工法が存在している。

「線路下横断工法」連載講座小委員会

これら非開削工法が登場する前は、工事術を利用する開削工法がほとんどであった。ところが、フロンテジャッキング工法が開発採用され一気に非開削工法が主流になると同時に、個々の現場に合わせ多くの施工法が開発(改良)され現在に至っている。

現時点では百花繚乱の状態だが、それぞれに一長一短があることも事実であり、近い将来、主体的な工法への絞り込みが進むことは確実で、施工実績が一つのものさしとなるであろう。ただし、個々の現場ではそれぞれに特有の条件があり、実績は少ないが特殊な条件にマッチングした重宝な工法としていつまでも存続する工法もあると思われる。

これは韓国の関係者から聞いた話だが、韓国では線路下横断工法として1工法のみが採用されており、最近の国の監査で新工法の導入が勧告され、実績重視の役所に對し、各種新工法の売り込み説明が激化しているとのこと。一昔前の日本の状態を思い出させる話題である。

非開削工法の分類分けは、当面、エレメントか面体か、けん引か推進かということで進んでおり、それぞれの代表的施工法が、先の施工実績から世の中に認知されると推測される。

Q.3: 計画設計にあたり、徐行速度はできるだけ大きくとか無徐行でと要望されるが、鉄道にとって徐行の影響はどのように大きいのか?

A.3: 鉄道の運行はダイヤと呼ばれる運行表で行われている。列車本数の多い線区では、精密な5秒10秒単位で計画されている場合もあり、その中で一番重要な項目が列車速度である。列車速度は、列車の能力はもちろん線路の勾配、曲線半径、分岐器など線路の条件も加味されて算出されている。

徐行は、決められた定常状態の速度に対し、災害時の応急復旧や線路近接工事の影響といった現場条件の変更に起因して、列車運行の安全を確保するため行うものである。

徐行は、減速から徐行速度、加速といったランカーブを伴い、このための影響が次のポイント(例えば駅)までに回復できるかどうか徐行速度決定の一つの要素となる。もし回復できないならば、時刻(ダイヤ)変更をしなければならず、その影響は非常に広範囲に及ぶ。したがって、鉄道事業者にとっては無徐行が一番望ましいことだが、徐行する場合でも、その速度はできるだけ大きく設定したい。

もちろん安全が第一であり、線路下横断工事のように常に列車の運行に配慮する必要がある工事関係者にとっても、安全の次に徐行に対して最大限の努力が求められる。鉄道事業者によっては、徐行期間が長くその影響が大きい場合は、徐行のための費用(ブレーキ使用に伴うエネルギー電気代他)を、線路下横断構造物の事業者に請求するケースもある。

Q.4: 計画段階では、土かぶりを2m以上とすることが望ましいといわれているが、その根拠は?

A.4: ひとことで言えば、これまでの多くの実績から比較的線路へ与える影響が少ない、ということである。

具体的には、列車走行の路盤への影響を深度別に計測したところ、2mを超えると列車走行振動の影響が急速に減衰すること、過去の事例からもトラブルが少ないことが代表例である。

その他、エレメントやパイプ工法施工時に、コンクリートガラやまくらぎ破片といった障害物で苦戦する事例が多く報告されているが、これらは、土留めなどの構造物の残骸を除き、多くが2m以内にあって記録されている。

しかしながら、最近の事例では、前後の道路への取り付けや下水の縦断勾配から、土かぶり2m以下の工事も多数計画施工されており、土かぶり2m以上は、原則から標準に様変わりしているといっても過言ではないようだ。

Q.5: 構造寸法を決めるにあたって、内空余裕はどの程度確保すればよいのか?

A.5: 必要とする内空断面(機能上必要な断面、内装スペース、保守余裕、将来の補修余裕)は事業者の指示了解が必要である。その他の余裕としては、施工余裕、完成後の地盤に付随した変形余裕などが考えられる。

施工余裕はその名前のとおり、施工法によって異なる。団体けん引推進工法では、施工精度を考慮すべきで、その精度も地盤条件、立坑など施工条件、線形により異なる。

施工余裕絶対量については、まさに多くの実績を積んだ専門業者のノウハウで、マニュアルなどに示されたも

の以外についても個々の現場で議論すべきである。回答とはならないが、施工余裕に関する検討を忘れないことと注意喚起することが現時点の回答である。

JES工法では、エレメントけん引精度として1/500を考慮することとしており、特殊な構造として1継手あたり5mmの内空断面縮小を現時点では考えるよう計画設計している。

地盤に付随した変形としては、完成後の圧密沈下などの他、施工中の地盤のゆるみや乱れによる即時的な沈下現象が発生するケースもあるので注意が必要である。

Q.6: 線路横断延長での制約はあるか?

A.6: 横断延長が長くなれば、施工法が限定されるが、電車基地など、通常現存する規模での横断延長に関する制約はないと考えてよい。

工事術を利用する開削工法は、時間と工事費がかかるが対応可能である。

シールドなどの一般トンネル工法は、短い場合は不経済となるが、長くなることでの制約はない。

非開削工法の場合、フロンテジャッキング工法やESA・R&C工法は100mを超える実施例もあり、理論的にも十分対応できる。エレメントけん引推進工法は、パイプビーム工法のようにスパンに制約を受ける構造形式の場合は限定されるが、アーチリング構造として用いる場合は100m程度の実績もあり対応可能である。ただし、現時点では、曲線施工が不可能である。

Q.7: 線路下横断場所の線路(軌道)がロングレールの場合、必ず定尺レールに置き換えなければならないのか?

A.7: ロングレールを定尺レールにする目的は、レールの張出し防止である。

とくに、基準や規程で決まっているわけではなく、鉄道事業者(保線区など)の判断で対応している。軌道の張出し対策は、定尺レールに置き換える他、まくらぎ側部のバラスト増強や抑え杭の設置といった、軌状の横異動抵抗力の増強策もある。どちらにしろ、線区の特状を熟知している保線担当者と、あらかじめ相談しておくことが望ましい。

Q.8: JR東日本では、できる限り調査計画段階から鉄道事業者が関与(受託)するようにしていると聞いているが、鉄道に精通しているコンサルを利用すれば問題はないのでは?

A.8: 線路下横断工事にとって、一番重要なポイントは、線区の条件を念頭においた基本計画にある。土かぶり、施工法選定、徐行の必要性、などの項目がそれにあたる。

これまでの事例で、基本・概略設計までを自治体などの事業者が行い、詳細設計を鉄道事業者が行うというパターンが多くとられていたが、中には、詳細設計段階で、それまでの基本条件を変更しなければならないケースも見受けられる。その結果、供用開始の大幅な遅れやトータル工事費の増加といった問題が発生し、事業主体である自治体などが大きな被害を被るbecomeこととなり、社会的損失も大きい。

したがって、実際の作業を鉄道に精通したコンサルが実施することはもちろん、早い段階で、施工時期、縦断線形、施工法選定などに関して、協議という手法などをとりながらでも、鉄道事業者が関与すべきとしている。

Q.9: エレメント推進またはけん引中に支障物に遭遇するケースがよくあるが、そのときの対処方法は?

A.9: 現時点では人力による撤去以外これといった有効な方法はない。

事前調査方法も各種開発が進んでいるが、全体を確実に把握するレベルに達していない。したがって、支障物に遭遇したら、カットやスクリーコンベヤの正逆回転などを試み玉石などを取り込む努力を行い、それでも処理できない場合は、カットやスクリーコンベヤを引き出し、人力で除去しているのが現状である。ただし、無理な推進けん引は、線路上昇や陥没といった危険をはらんでいるので注意が必要である。

エレメントの土かぶりが小さい場合、線区の条件が許されれば、列車間合いを利用して地表から支障物撤去を行った施工事例も多数報告されている。

鋼製エレメントで、土かぶりが大きくかつ延長も長い場合、すでに設置済みの隣接エレメントウェブをガス切断し、横方向から支障物を取り出すこともしばしば行われている。

事前調査で支障物の存在が予想されている場合、上床エレメント部分の土砂を、支障物撤去をしながら安定性に優れる路盤材にすべて置き換える工法(例えば、パンナビー工法)を採用し、その後のエレメント推進けん引工事を安全に施工しやすいよう配慮された事例もある。

いづれにしても、これといった確実な決め手となる対策工法がない現在、施工中支障物に遭遇して無理な推進けん引を行ったため、線路に大きな変状をもたらしたトラブルが多数発生していることを考えれば、まず、人力による撤去を最優先に考えるべきであろう。

なお、多数の支障物の存在が予想される場合、あらかじめ機械掘削不能と判断し、人力掘削で計画することが、工事工程の大幅な変更を防ぐ意味から、現時点では一番の選択肢といえる。

Q.10: 線路への有害な変状を起こしてはならないのはもちろんだが、沈下と隆起を比較した場合、緊急に軌道整備することになるが、あえて言うところどちらが対処しやすいか?

A.10: あえて比較するならば、隆起の方が対処に時間と労力を必要とし、復旧にあたり、列車運行に影響を与える可能性が大きい。

沈下の場合、バラストを投入して突き固め、軌道を整正する作業となるが、隆起の場合、これら作業の他に、一旦バラストを撤去したのち路盤のすき取りを行わなければならない。したがって、取り扱う数量が多くなり、復旧に多大な時間を要することとなる。

一般に、工事期間中はレールや路盤の計測が連続して行われており、警戒値を設定して計画的に軌道整備を行うシステムが準備されている。急激な変状を除き、早い段階での対応が、列車への影響防止に有効であることは言うまでもない。

Q.11: 路盤陥没事故は、雨上がり時に発生することが多いと聞きますが本当でしょうか?

A.11: 最近発生した事例をみると、確かに降雨直後の事例が多いようである。

とくに、エレメント推進けん引を行い、上床部の水平エレメントが設置完了し、側部の縦方向エレメント施工時に発生しているケースが多い。これは、雨水がエレメント施工に伴う地盤のゆるんだ箇所の土砂流出を引き起こし、空洞となり、陥没へとつながったと想定される。

もちろん、上床エレメント施工時での陥没の発生もあるが、同様に、地盤のゆるみに起因し、雨水により空洞化、陥没へとつながったと想定される。

したがって、現場ではあらかじめ、降雨量により点検周期を〇時間ごとに実施するなど、線路管理者と相談のうえ決めておくことが望ましい。また、エレメント周辺への裏込め注入をできる限り早期に実施しておくことも、陥没対策の有効な手段である。

Q.12: 道路の計画にあたり、前後の取り付けから、線路下で土かぶりゼロとせざるを得ない場合、施工は可能か?

A.12: 土かぶりゼロでの事例もないことはないが、決して好ましい計画ではなく、列車運行の安全確保の面から、できるだけ避けたい。

それでもあえて計画せざるを得ない場合、まず、線路の縦断勾配を変更(線路高さを上げる)する案が考えられるが、当然、電化柱・架線・信号などのケーブルなども移動させなければならない。その影響が大きいことから、

実現することはまれである。

土かぶりゼロが非常に危険である要因としては、例えばエレメント施工時、刃口の上部がバラストとなり、掘削に伴い切羽にぐずれ落ちて軌道の沈下に直結すること、ぐずれ落ちないまでも影響が即レールに現れることが考えられる。

したがって、先述したように事前に路盤を安定した材料に置き換え、エレメントをけん引推進する場合の刃口切羽が十分に自立するよう対策を施すことなど、相当大掛かりな事前対策が必要となる。

いずれにしても、十分な施工計画と、監視・緊急線路整備体制の確保、けん引推進といった施工時間の制約、地盤改良を含めた補助工法の実施など、万全の準備のもと、線路管理者の承認が必要である。

Q.13: 排水計画や漏水防止で特段の配慮が必要か?

A.13: 一般的にいえることは、完成後の構造物からの漏水は、時として地山(路盤)の土砂を流出させ、長い時間経過の後、線路陥没の原因となることも予測されることから注意が必要である。もちろん構造物の劣化や機能障害の原因ともなるので万全を期したい。

また、万が一漏水が生じた場合、直上が線路で列車が頻繁に走っており、その漏水箇所への対策が不可能に近いことから、入念な漏水防止が必要である。

とくに道路の場合、線路下が一番深い位置となることから、前後のアプローチ部分からの漏水や雨水も集中し、水没の危険性もでてくる。したがって、構造物からの漏水防止の他、全体の排水計画についても、特段の配慮をしておくことが大切となる。また、排水のためのピットが線路近傍に計画され、その施工に対する線路近接の影響についても十分な検討が必要である。

Q.14: 線路下横断工事は、一般に高額な工事費が必要となるがその要因は? また、コストダウンのための技術開発は成果として現れているのか?

A.14: ご質問のとおり、一般に工事費が割高となっている。その要因は、本講座で紹介したとおり、列車運行

の安全を確保するため、多くの制約を受けていることにすべてが起因している。

列車は、自動車や一般通行者に比べ、重く、変状制限も非常に厳しい。そのため施工時間に制約を受け、1日の実作業時間が極端に短かったり、列車ダイヤが乱れるたびに作業が中止となるなど、全体的に長い工期を必要としている。

また、エレメントを用いる工法に代表されるように、特殊で複雑な施工法を採用せざるを得ない状況にもある。このような状況のもと、非開削工法の一環であるフロンテジャッキング工法の開発から、URTやR&Cといった新しい工法の開発。最近のJES工法の開発に見られるよう絶えず技術開発が行われてきた。また、それぞれの工法についても、作業ステップの簡略化、使用機器の改良、設備能力の見直しといった改善も行われている。これらはいずれも、安全を基本としたコストダウンが目的であり、それぞれが線路下横断工事というジャンルでの生き残りをかけた競争状態にある。その意味でも、今すぐ、飛躍的、画期的な開発改善はともかくとして、着実なコストダウンは進んでいくと確信している。

Q.15: 最近、一般の道路や高速道路での道路下横断計画が多くなってきたが、本講座はそのまま適用可能か?

A.15: 各施工法の技術的な考え方はそのまま適用可能と思われる。しかし、対象となるものが線路と道路、列車と自動車と異なること、一般的に対象構造物の設計施工思想に若干の差異があることなどから、とくに、基本計画(構造形式や土かぶり、施工上の制約)、施工法選定などで参考とならないケースもある。

現在、これまでの実績をとりまとめた標準(手引き)がたまたま線路下ということで整備されている。近々、道路下横断としての標準や手引きが制定されるとのニュースもあり、それまでは、事業者である道路管理者と、早い段階で協議しながら安全でロスの少ない計画設計、施工について、本講座を活用していただければ幸いである。(文責: 土井博己・ジェイアール東日本コンサルタンツ(株)技術第3部長)

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

B5判・285頁 本体価格4,660円(¥380円)

株式会社 工本工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸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

ロンドントンネル受注

西松建設は、英国で世界最長クラスのシールドトンネル工事をセメンテーションスカンスカ社とのJVで受注した。

この工事は、チャンネルトンネル(ユーロトンネル)とロンドン市街を接続する高速鉄道線を建設するチャンネルトンネル・レーリングプロジェクトの最大工区であるロンドントンネル220工区。世界最長クラスの延長7.5kmのトンネル2本(上下線)をシールドトンネルで構築する。来夏には2基のシールド機で2本のトンネルを同時に掘り進める予定。受注金額は日本円で約250億円。

埋め戻しに建設廃土100%利用

帝都高速度交通営団は、シールドトンネルのインバート部や駅舎構築で掘削した道路下の埋め戻し材料として建設排土を100%再利用する方針を固めた。

シールド掘削で発生した余剰泥水や発生土にセメントと固化剤を加えて作った「流動化処理土」を埋め戻しに使う。環境マネジメント活動の一環で、今後は地権者から山砂で埋め戻すよう要請があった場合を除き、原則的に埋め戻しには流動化処理土を使用する。

大深度テーマ14項目を選定

国土交通省の大深度地下利用に関する技術開発ビジョン検討委員会(委員長・黒川洸・東京工業大学名誉教授)は、6月15日会合を開き、本年度末に予定している「大深度地下技術開発ビジョン」策定に向け、本年度に検討すべき技術開発テーマとして「大深度地下構造物の設計技術」など14項目を選定した。

具体的な研究・検討作業は、エン

TUNNEL JOURNAL TUNNEL JOURNAL TUNNEL JOURNAL TUNNEL JOURNAL TUNNEL

지니어リング振興協会、日本トンネル技術協会、先端建設技術センター、地盤工学会、次世代都市整備技術研究組合、土木学会の6機関が担当。どの機関がどのテーマを担当するかは、同検討委員会が9月に開く次回会合までに決定する。

北神戸線畑山T東行き貫通

阪神高速道路公団が建設を進めている阪神高速道路北神戸線(東伸部)の畑山トンネルが6月5日貫通した。

同トンネルは、北神戸線の最北部に位置する延長575m、98年12月着工。15mほどの深い谷に土を盛り立てないで坑口にたどり着けない状況で、坑口までのアプローチ道路の検討や当地の複雑な有馬層群でのトンネル掘削にあたって、安全対策に万全を期すため、学識経験者を交えて種々の検討が行われた。

合流式下水道改善策検討へ

汚水と雨水を同じ管渠で処理する合流式下水道の改善を緊急的かつ総合的に進めるために、国土交通省などが設置した「合流式下水道改善対策検討委員会」(委員長・松尾友矩・東洋大学教授)は6月18日に初会合を開き、検討事項や今後のスケジュールなどについて意見交換した。

同検討委員会は、①合流式下水道の実態把握、②改善対策の手法と効果、③改善目標、④対策のあり方、の4項目を審議し、年内をめどに今後の基本方針をまとめる。

藤枝第二トンネル貫通

日本道路公団静岡建設局が藤枝市寺島地内で進めている第二東名高速道路「藤枝第二トンネル」の下り線が6月21日貫通した。

同トンネルは、藤枝市内の北西部に位置し、瀬戸川と谷稲葉川の間の

丘陵地を通過する。長さは上り線が309m、下り線が322m。施工は、地盤の地耐力不足や切羽の崩落が予測されたことから、中央導坑併進掘削掘削工法が採用された。

峯寺弥山トンネルが貫通

日本道路公団中国支社が建設を進めている中国横断自動車道尾道松江線のうち、島根県三刀屋町内で建設中の峯寺弥山トンネルが6月21日貫通した。

同トンネルは、島根県石郡三刀屋町大字給下地内に建設しているもので、延長1,343m、幅員9.5m、第1種3級B規格。99年3月から補助ベンチ付き全断面掘削により施工された。

東海環状道(岐阜県側)が着工

日本道路公団中部支社は、6月23日東海環状自動車道の岐阜県側の着工式を行った。これにより同支社が施工を担当する愛知・岐阜県境の工事も本格化、すでにほぼ全面着工している中部地方整備局担当区間とあわせ、2005年愛知万博開催前の開通へ向け大きく前進した。今回の着工区間の瀬戸北IC~土岐南IC間は、愛知・岐阜県境を貫く潮見トンネル(3,303m)、笠原トンネル(1,239m)や7本の橋梁があり、構造物が多いのが特徴となっている。

岡豊トンネル貫通

日本道路公団四国支社が建設を進めている高知自動車道川之江JCT~高知IC間の4車線化工事のうち、南国IC~高知IC間の岡豊トンネルが貫通した。

同トンネルは延長518m。横断掘削による補助ベンチ付き全断面掘削工法NATM。掘削開始が2000年9月25日で、貫通まで276日を要した。