

CADDを利用した追加2車線道路の設計

A PRACTICE OF CADD APPLIED HIGHWAY DESIGN FOR 2ND STAGE CONSTRUCTION

荒川浩一*・石本一鶴**

Koichi ARAKAWA and Ichizuru ISHIMOTO

ハイバントンネル建設事業はトンネル土木工事を2000年10月より48ヶ月の工期で着工した。原設計は2車線道路を対面交通により供用する計画であったが、本2002年、追加2車線道路建設の可能性を検討した。この追加設計作業は地形モデルの構築と道路概略設計にCADDソフトを利用して1.5ヶ月という短期間で終了できた。本文は今回の設計業務を通して整理したCADDソフトを利用した段階施工時の道路設計の考え方と実際の作業について報告する。(213文字)

Key Words : highway, design, survey, CADD, DTM, workflow, stage construction

1. はじめに

ベトナム国ハイバントンネル建設プロジェクトは、国際協力銀行(JBIC)による円借款事業であり、ベトナム中部のダナン市近郊に位置するハイバン峠に道路トンネルの本坑(対面2車線6.27km)と避難坑、取付道路(4.27km)、橋梁(8橋、計1,653m)を建設する事業である。1998年1月から1999年7月までの期間に概略設計と詳細設計を終了、入札過程を経て、トンネル土木工事は2000年10月より48ヶ月間の予定で施工を開始している。

当初計画は本坑1本で対面交通の計画であったが、地域の社会・経済の急速な発展に伴う交通量の著しい増加を主な理由としてベトナム政府は避難坑の拡幅による2本の本坑(各一方通行)建設及び取付道路の4車線化の検討をコンサルタントに指示した。

本報文は上記の検討業務の内、2002年7月より1.5ヶ月間で作業を実施・完了した取付道路の4車線化の概略設計についてその考え方と作業手順を報告する。

2. CADD道路設計の概要と本報文の位置づけ

(1) CADD土木設計

近年海外の建設プロジェクトにおいては、パソコン環境の普及に伴い設計ソフトを利用したいわゆるCADD土木設計が急速に普及してきており、設計業務をリードすべき日本人技術者にもCADD土木設計の担当・管理スキルが不可欠になってきている。

CADD土木設計の利点は、各種データをデータベースとして取り入れ、測量、設計、製図、数量計算の一連の流れを効率的に実施できる点であり、代替ルートの土工量比較や既存土木構造物を考慮した複雑な地形の土工量算出においてCADDソフトは有効なツールである。

CADD土木設計の全体作業フローは図-1の通りであるが、実際の作業は各種の条件がプロジェクト毎に異なるため、プロジェクトに適した作業項目を抽出・整理し、作業期間を勘案した上で、プロジェクト毎の詳細な作業フローを作成することによって効率的な作業が実施可能となる。特に地形モデル(DTM: Digital Terrain Model)の構築は、測量結果のフォーマット及び入手可能なデータの状況などによりプロジェクト毎で最も異なる作業工程であり、設計作業の生産性・納期に大きく影響する作業である¹⁾。

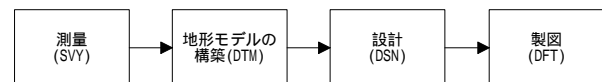


図-1 CADD土木設計の作業フロー¹⁾

(2) 海外におけるCADD道路設計

これまでの本情報誌上にて石本は「道路設計CADのための地形データ処理¹⁾」、「CAD道路設計の実際、作業フローと管理のポイント²⁾」として、CADD利用事例を紹介しながら、大規模な設計プロジェクトではCADDソフトの特性を活用し、測量、調査、設計の各チームが協同作業できる仕組みを構築することが生産性と設計品質の確保に大きく影響することを報告してきた。

* コンサルタント国際事業本部 道路・橋梁部

** ハイバントンネル建設開発事務所

(3) 本報文の位置づけ

これまで石本が整理した地形データ処理と CADD 道路設計の考え方と作業手順は表 - 1 のように整理できるが、本報文にて示した概略設計レベルで段階施工建設事業における 2 期工事の設計という業務はこれまでに報告例が無く、文献 1) の地形データ処理パターンにも含まれていないため設計事例としての価値は高い。CADD 土木設計は一つの事例が次の事例のテンプレートとして利用できるという特徴があり、本事例を報告することは将来の類似作業の生産性の向上に大きく寄与できると考える。

表 1 CADD道路設計報告事例

	工事の種類		
	新規	改良	段階施工
概略設計	1		本業務
詳細設計	2, 3	2, 3	2

1) インド国道バイパス (1997-8)
 2) エルサルバドル主要インフラ整備 (1996-7)
 3) ベトナム国道 10 号線改良 (1998-2000)

(4) 利用した CADD ソフト

本業務に利用した CADD ソフトは Autodesk 社の「Land Development Desktop R2」(以下 Land と称す)である。

3. 設計基本方針と作業フロー

(1) 本 2 期工事設計の特徴

新規工事と比較して今回の 2 期工事設計には次のような特徴がある。

- 1 期工事が実施中である。
- 作業期間が短く(1.5 ヶ月)、予算も少ない(外国人エンジニア:1人月、ローカルエンジニア:3人月)ため、測量調査は実施しない。
- 詳細設計時と工事開始時の測量データが数値データ並びに CAD データとして利用できる。

(2) 設計作業の基本方針

上記の設計条件の特徴を勘案し、次のような設計作業の基本方針を設定した。

- 工事現況測量と詳細設計時のデータから設計の基本とする地形モデルを構築する。
- 2 期線工事範囲に対して地形情報が不足すると考えられる箇所は既存の 10,000 分の 1 の地形図よりデータを補完する。
- 1 期線工事の完成形の地形モデルを構築する。
- 測量による地形モデルと 1 期工事の完成形を重ね合わせ 2 期線設計のための地形モデルを作成する。
- 2 期線の線形設計を実施する。

(3) 道路概略設計の全体作業フロー

本道路概略設計に用いた全体作業フローを図 - 2 に示す。図 - 2 の作業フローは図 - 1 の基本フローをベースに本道路概略設計用に条件・作業項目を追加したものである。

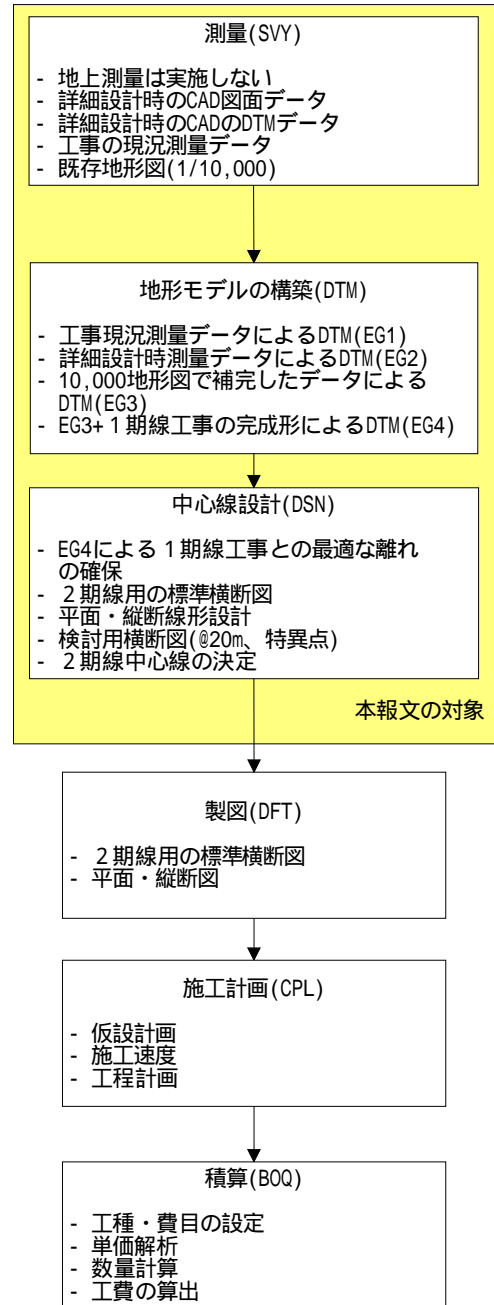


図 - 2 CADD道路設計の全体作業フロー

さらに図 - 3 に地形モデルの構築作業(DTM Phase)と線形設計作業(Design Phase)の作業フローを示す。

地形モデルの構築はコンピュータ内部で地形情報を 3 次元のデータベースとして格納する作業で、構築した DTM を利用すると複数の道路線形の位置関係や土工数量等の比較検討が短時間で可能である。

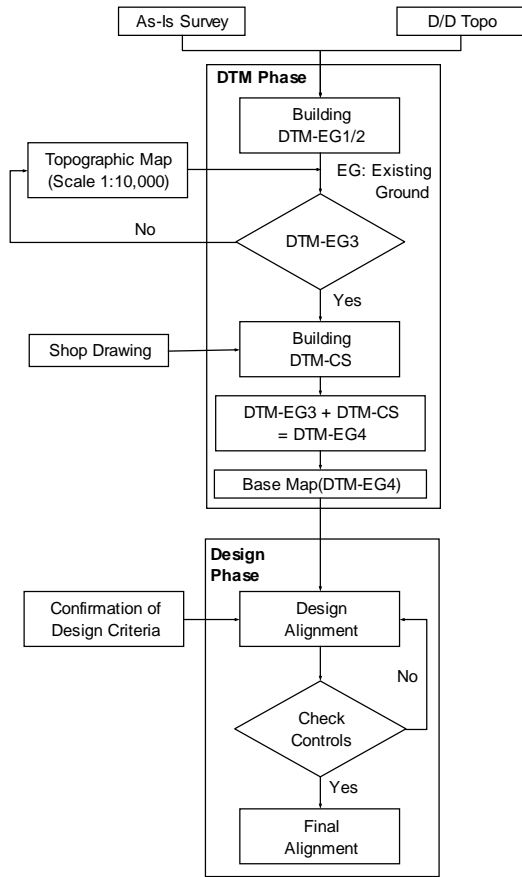


図 - 3 地形モデルの構築と線形設計の概略作業フロー

4. 既存データからの地形モデルの構築手順

(1) 地形データ処理の基本パターン

これまで報告されてきた地形データ処理のパターンは図 - 4 に示すように分類されていた。この分類は道路の新規建設を前提として作成されたため、今回のような1期線の工事実施中にそのデータを利用して2期線を設計するという作業フローは想定されていなかった。

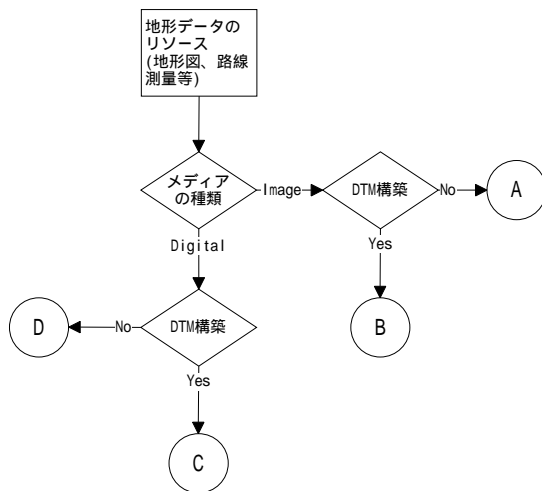


図 - 4 地形データ処理の基本パターン 1)

(2) 1期線の工事データを利用した地形モデルの構築

上述したように本設計の特徴は1期線の工事が実施中であり、その工事データが利用できることである。1期線の工事データを利用した地形モデル構築の作業フローを図 - 5 に示す。

1期線に関するデータは、詳細設計時の地形測量結果、設計図面、工事開始前のコントラクターによる現況測量 (As-Is Survey)、施工図面 (Shop Drawing) の4つのデータに大別することができる。そのデータは、ハードコピーとデジタルデータに分類され、ハードコピーは全て成果品として保管されている。

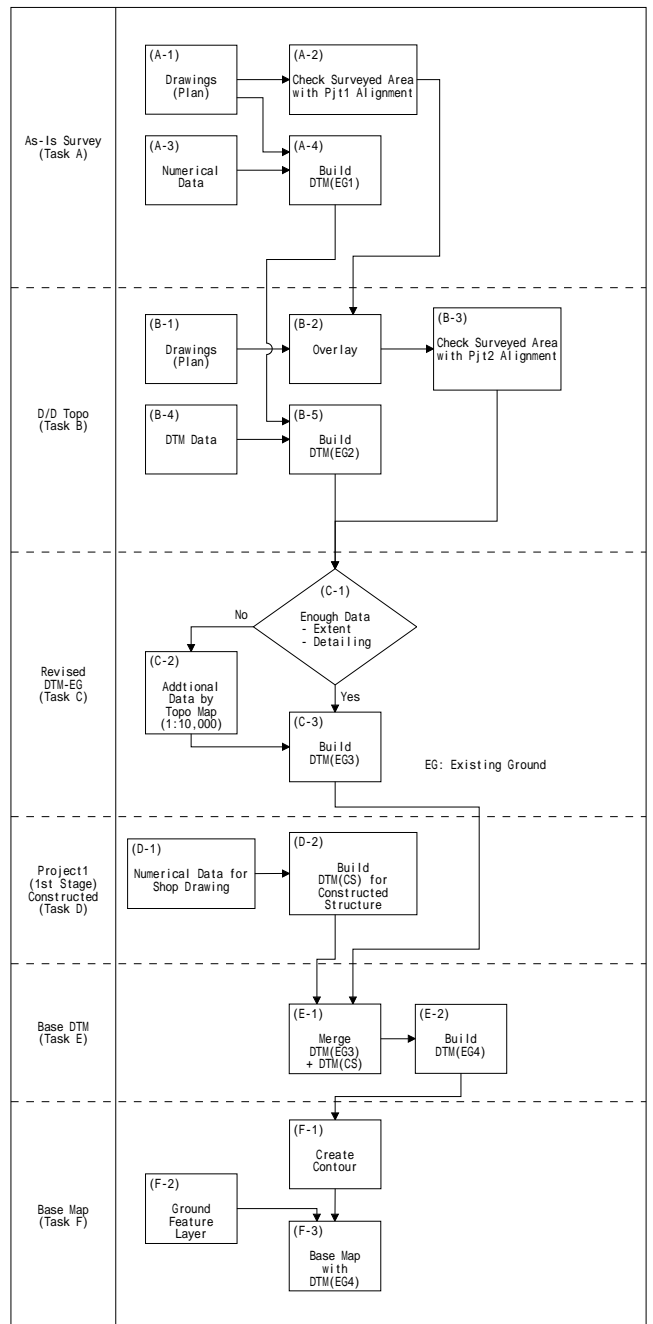


図 - 5 地形モデル構築の詳細作業フロー

(3) 各作業の概要

1) Task A: 現況測量データから DTM 構築

(Task A-1 ~ A-4) 工事開始前にコントラクターが作成した現況横断面図とその数値データを元に地形モデル(DTM-EG1)を作成した。伐開除根後に実施された測量であり、詳細設計の測量と比べ、信頼性の高い測量データであるが、測量範囲は詳細設計時のそれより狭い。

(Task A-4) 図面データは AutoCAD ファイルの 3 次元の等高線データであるが、プリント用に測量範囲 3.9km が 10 ファイルに分割されていた。各ファイルの図面について AutoCAD の操作で図面を移動・回転し座標情報を復元した。次に 10 ファイルからなる等高線を結合し 3.9km をカバーする等高線図面を 1 つの AutoCAD ファイルとして作成した。さらに等高線上の不要なポイント(ほぼ同位置にあるポイント等)を除去しファイルの軽量化を行った後、Land の機能で地形モデル(DTM-EG1)を構築した(図 - 6)。

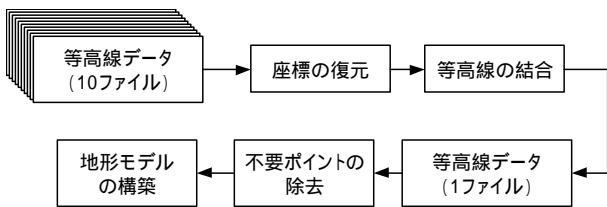


図 - 6 3次元の等高線データからの地形モデル構築

2) Task B: 詳細設計時の測量データから DTM 構築

詳細設計時には Autodesk 社の「AutoCAD Softdesk 8 Civil/Survey (S8)」を用いて地形モデル構築、道路設計を実施した。詳細設計時の図面データ、線形データと DTM データ(DTM-EG2)は当時の設計担当者から入手できた。本業務に利用した Autodesk 社の「Land Development Desktop R2 (Land)」は S8 のアップグレードソフトであり、S8 のデータフォーマットをそのまま利用できた。

(Task B-1 ~ B-3) 工事測量の詳細設計時測量の範囲を比較して、2期線設計に必要な測量範囲と比較した。

(Task B-4, B-5) Task A の DTM-EG1 と詳細設計時のそれを比較した。詳細設計時の現地盤標高が工事測量に比べ全体的に高いことが判明した。なお、地形モデルのポイント数の相違により、TIN(Triangulated Irregular Network、サーフェスの三角面の集まり)の大きさが異なっている(図 - 7)。

3) Task C: 測量データの補完と DTM 修正

(Task C-1) 2期線の設計に測量が不足していると判断された箇所について、必要な測量範囲(長さ、幅)をリストアップした。

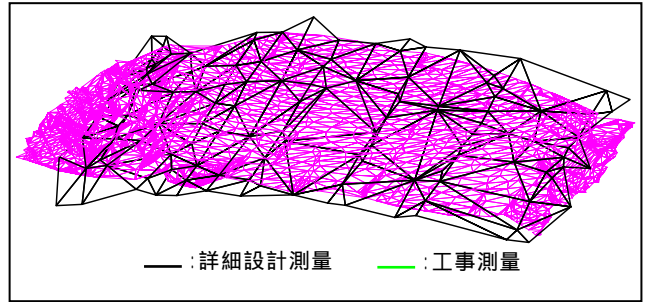


図 - 7 詳細設計測量(EG2)と工事測量(EG1)の比較

(Task C-1 ~ C-3) 不足している測量データを既存の 10,000 分の 1 の地形図から補完し Task B-5 で構築した DTM を修正し、2期線工事範囲をカバーする現況地形図の地形モデル(DTM-EG3)構築を完成した。

イメージデータの地形図(縮尺 1:10,000)を Land で読み込み、Task B-2 で作成した CAD 地形図と重ね合わせ、不足箇所について座標及び標高からなるポイントデータを追加し、現地盤地形モデルの不足箇所を補った。

4) Task D: 1期線工事の完成形の DTM 構築

(Task D-1) コントラクターから施工図(Shop Drawing)を作成した際の数値データ(図 - 8)を入手し、MS-Excel、テキストエディタ、gawk 言語を利用して CADD 用フォーマット(図 - 9)に変換した。利用した施工図は 20m 毎の横断面図である。

(Task D-2) 変換した後の数値データは、中心線の測点に関連づけられたデータ(線形ベース)であるため、1期線の平面線形のデータを利用して CADD で読み込んだ(地盤情報のインポート)。

インポートした数値データは線形ベースの横断地盤情報として CADD に認識されているため座標情報を持たない。DTM の TIN を作成するために横断土工定規(テンプレート)からのポイントの書き出し機能によって中心線、路肩、法面、小段等のポイントを各ステーション毎に書き出して1期線完成形の地形モデル(DTM-CS)を構築した(図 - 10)。

この一連の作業によって1期線完成地形の地形モデルを構築した(図 - 11)。

2期線の中心線の設計のためには1期線の法尻の位置情報が必要である。本設計では工事開始前の現況横断面測量に基づいて法尻位置を CADD 情報として確定したため精度が高い。

海外道路設計業務では、測量・設計を実施する国や地域によって測量の精度のバラツキが大きいので、このバラツキを考慮して安全側に2期線の線形を計画する必要がある。

STA.:8+125				
Finished Elevation at center line of section				
125.425				
Offset distance to the left				
-5.5	-0.75	-8.044		
Finished elevation to the left				
125.535	125.55	121.081		
Offset distance to the right				
5.5	0.75	1.105	0.5	0.34
Finished elevation to the right				
125.315	125.3	124.686	124.686	124.966

図 - 8 フォーマット変換前

8125		Station No
S SF1		Surface name
-14.294	121.081	offset and elevation
-6.25	125.55	ditto
-5.5	125.535	ditto
0	125.425	ditto
5.5	125.315	ditto
6.25	125.3	ditto
7.355	124.686	ditto
7.855	124.686	ditto
8.195	124.966	ditto

図 - 9 フォーマット変換後

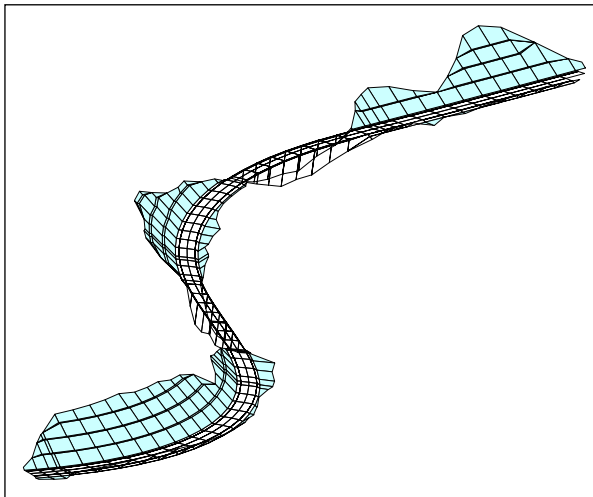


図 - 10 1期線完成地形の3次元モデル(DTM-CS)

5) Task E: 地形モデル (DTM) の合成

(Task E-1) 現況地形図の地形モデル (DTM-EG3) と1期線完成形の地形モデル (DTM-CS) を Land の機能で合成した。

(Task E-2) DTM の加算の際に境界部に生じる TIN の乱れを修正して、現況地形と1期線完成形を合成した地形モデル (DTM-EG4) を完成した。

6) Task F: 基本地形図の完成

(Task F-1 ~ F-3) Land の機能により DTM-EG4 から等高線を作成し、その他の地物情報とあわせて設計のための基本地形図とした。1期線の工事完成形である切・盛土区間が等高線に反映された (図 - 12)。

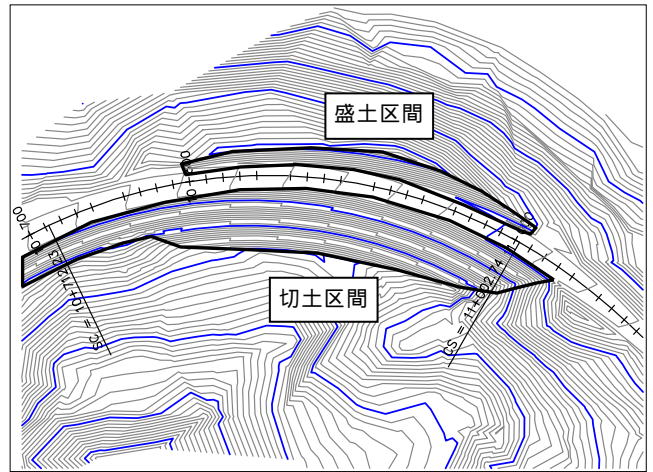


図 - 12 合成した地形モデルから作成した等高線の例

5. 道路線形の設計

(1) コントロールポイント

2期線の線形において、主要なコントロールポイントとなるのは、1期線ののり面と橋梁の計画高である。この2つのコントロールを考慮しながら2期線の平面・縦断線形設計を実施した。

(2) 1期線と2期線の横断図の確認

DTM 情報を含む基本地形図に基づいて平面・縦断線形を決定すれば、横断土工定規を設定することにより、横断図を作成・検討することができる。

図 - 13 に示すように、1期線と2期線ののり面の距離 A は、1期線の切・盛土の構造的安定を保つように適正な距離を保つ必要がある。Land の機能により 20 m 毎に横断図を作成し、各横断面について1期線と2期線ののり面の位置関係を確認し、平面・縦断線形に反映させた。

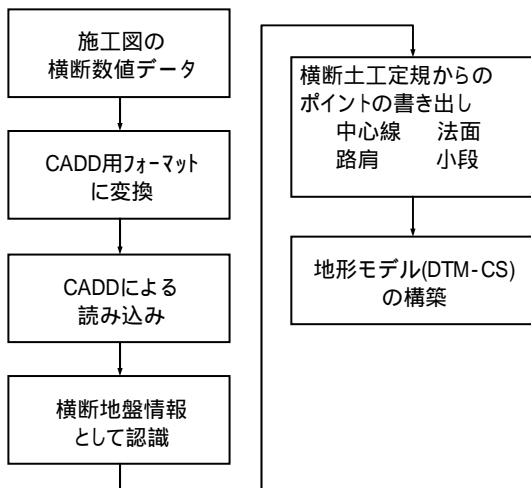


図 - 11 線形データからの地形モデル構築

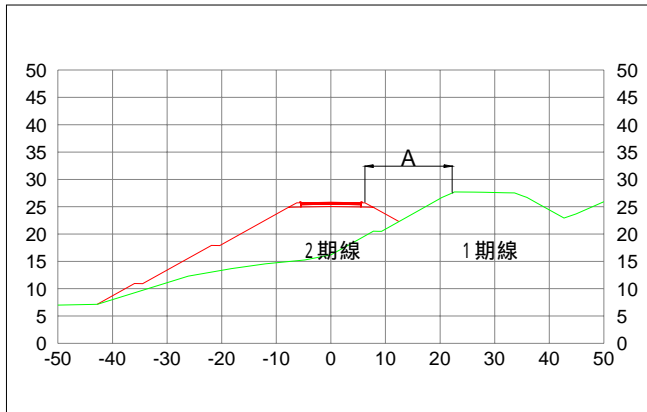


図 - 11 1期線と2期線の横断面図

(3) 道路線形の決定

上記のコントロールを考慮しながら、検討用の横断面図をプリントし、20m 毎の各断面について1期線との適切な離れの確保を確認し、数回のトライアルを経て最終的な平面線形と縦断線形設計を決定した。

(4) 線形データの管理

Land では、「プロジェクト」という1つの作業単位で、測量、地形、線形、各種座標点、図面の全てのデータ管理されている。また線形データを定義することにより、平面・縦断・土工定規の情報がデータベースとしてプロジェクト内部に収納され、その線形データはプロジェクトに関連する全ての図面へインポートすることが可能である。

道路中心線の線形設計は平面線形、縦断線形、横断土工定規のバランスを考慮して数回にわたる試行錯誤作業を繰り返し、最終線形を決定する。試行錯誤の作業履歴をトレースャブルに残すためにも適正な線形データの履歴管理は重要である。また概略設計で作成されたデータは次のステージである詳細設計においても継承し、修正・変更することが可能であることから、継続的な管理システムの構築が必要である。

6. まとめ

(1) 地形モデルの構築

1期線が工事中である場合の特殊な例について地形モデルの構築方法が整理できた。効率的な作業のポイントは地形モデルの履歴管理である。本業務においては EG1～EG4 と4回の地形モデルのメジャーな更新を実施した。

(2) 道路中心設計

CADD 道路設計のポイントは文献 2)に示したとおりである。適正な DTM が構築されており、設計基準が適正に策定されており、CADDソフトを利用して短時間に効果的な比較設計が実施可能である。

(3) 作業期間

2期線の概略設計の業務は、合計1.5ヶ月の期間で完了した。作業項目ごとに要した期間を以下に示す。設計基準は1期線のものに従ったため、設計基準の作成作業は含まれていない。

- 既存データの確認と地形データの処理 : 3週間
- 道路線形の検討 : 1週間
- 数量計算と製図(図面の仕上げ) : 1週間
- レポート作成 : 1週間

CADD 道路設計の中で、地形データの処理に要する時間が、全体の作業期間に大きく影響する。本業務では効率的な地形データの処理を行うため、作業フローを用いた系統的な処理方法を紹介した。

(4) 業務実施体制

CADD 実務を担当した荒川にとって今回の道路設計の仕事ははじめての設計業務であり、CADD ソフトの操作チュートリアルを事前に実施してベトナムで実施中のプロジェクトに参加した。石本は CADD 道路設計に精通していたが別業務で忙しく、荒川に作業フローと作業のポイントを指示したのみであった。

CADD ソフトは設計作業の設計判断 (Engineer's Judgment) 以外の部分をマシンが担当してくれる。マシンとエンジニアの作業分担を効率的に実施するためには CADD ソフトの操作と設計作業の内容について理解していることが鍵である。本報文並びに文献 1)、2)で示した作業パターン、作業フローがこのマン・マシンインターフェースの理解に役に立つ。

7. 今後の課題

(1) ベストプラクティスの蓄積

道路設計において、CADD は製図のみを行うツールではなく、測量データの加工、地形モデルの構築、設計、数量計算、製図の全ての設計プロセスを支援するツールである。

今後は、表 - 1に示したようにマスタープラン、フィージビリティスタディ、詳細設計などの各ステージで必要なスキル、作業項目を分類、整理し、CADD 道路設計の標準化を図る必要がある。

(2) WEB を利用した業務支援とナレッジの蓄積

本業務を実施するにあたり、プロジェクト派遣前の準備及び作業実施中に Web 会議室上で作業の進捗及び CADD 道路設計の手順をメモとして残した。また、CADD の操作及び設計に関する質問を Web 会議室へ書き込み、CADD ユーザーから経験に基づいた技術的な回答を得ることにより、作

業をスムーズに実施することができた。Web 会議室を活用し、情報を個人ではなく組織として蓄積し、共有することは、CADD 道路設計のみならず、今後のコンサルタント業務を遂行していく上で有効な方法であると考えます。

8. おわりに

文献 1)、2)に示したとおり CADD 土木(道路)設計は業界のトレンドであり、その適用は常識となってきた。効果的な CADD の利用は適切な作業のシステム化と設計チームのマネジメントが不可欠である。

業務へのITの利用は組織と個人のナレッジの蓄積と有効利用に関して大きな可能性を提供している。これらを考慮すると我々の実施するコンサルタント業務にも新しいアプローチが可能である気がしている。

参考文献

- 1) 石本一鶴:道路設計CADのための地形データ処理、日本工営技術情報、No.19、pp.233-239、1999
- 2) 石本一鶴:CAD 道路設計の実際、作業フローと管理のポイント、日本工営技術情報、No.20、pp. 199-207、2000