

Ⅱ-23 測量 3 次元地形モデルを活用した設計業務の事例紹介

永富 大亮¹河西 正樹²上田 邦彦³

Daiuske Nagatomi

Masaki Kawanishi

Kunihiko Ueda

【抄録】急峻な山岳部に計画される土木工事は、平地部の計画に比べて、現況地形に即した設計・施工計画が求められる。このため、現況の地形をより正確に把握する目的から、詳細な測量を実施することも少なくない。しかしながら、一般的に普及している 2 次元 CAD による従来手法では、これらの膨大な測量データを、設計・施工計画に十分に反映させるには、非常に手間がかかる。当該事例は、測量成果から 3 次元地形モデルを構築することで、設計・施工計画の 3 次元土工計画を可能とし、計画の意思決定の効率化を図ることができた。

まえがき

設計スタイルの高度化は、紙のレベルから 2 次元 CAD レベルに移行し、3 次元 CAD レベルに到達し、データモデルへと進化する傾向にある。我々、土木分野で利用される設計ツールも、3 次元設計が可能なレベルに到達しているが、実際の現場で利用されているのは、2 次元 CAD を主体とした設計となっている。

土木の分野では、その名の如く、地形を扱う計画・設計が基本となる。このため、3 次元設計では、現況地形のモデル化必要不可欠となる。しかしながら、詳細設計レベルに耐えうる現況地形の 3 次元（モデル）化は、非常に手間がかかるため、計画に対する実測の縦横断測量成果を基本に計画するのが、一般的である。

道路詳細設計を例にすると、本線計画には、横路線（縦横断）測量を実施し、設計に反映させることとなる。しかし、設計フェーズにおける施工計画検討については、特別な事情が無い限り、工事用道路等の計画に応じた縦横断測量を追加で実施することは、稀である。このため、施工計画については、地形平面図から得られる地形情報から、任意の縦横断を作画し、計画することとなる。

今回、報告するのは、このような状況下の施工計画に対し、3 次元設計による土木設計を導入す

ることで、設計の効率を図れた事例を紹介するものである。

1. 業務概要

山梨県を縦断する主要地方道・南アルプス公園線。その青崖隧道を含む交通の難所を改築するバイパス計画において、一級河川・早川を渡河する橋梁のうち、1・2 号橋が今回業務の対象である。

橋梁形式は、鋼単純 RC 床版箱桁（1 号橋：L=70m、2 号橋：L=60m）である。架橋位置は、上流に位置する観光地・西山温泉郷を含む生活地域への迂回ルートがないことから、現道の交通確保が絶対条件となる。また、架橋位置の前後に架設ヤードが確保できないことから、河川内を利用したクレーン・ベント架設工法を採用している。一方、河川と並行する既設道路の拡幅計画に伴う護岸工事も、工事短縮を目的に、同時期に施工していく必要があり、施工ステップに応じた工事用道路の切り回しを、既定の通水断面確保の中で、詳細に検討する必要があった。

2. 技術課題

(1) 3 次元設計システムの導入

本線計画では、計画線形に対して、路線測量を実施し、実測の縦横断地形から、計画で必要な土

1: 日本技術開発株式会社 東京支社 構造・橋梁部 (nagatomida@jecc.co.jp)

東京都中野区本町 5 丁目 33 番 11 号 TEL (03) 5341-5111 FAX (03) 5385-8500

2: 山梨県峡北地域振興局建設部 (kawanishi-usd@pref.yamanashi.jp)

3: 望月測量設計株式会社 (ueda@mochisoku.co.jp)

工計画の作業を進めることができる。しかし、工事用道路等の施工計画では、その重要度と、設計時期の違いから、施工計画のための測量を実施しない場合も少なくない。しかしながら、当該地形は、図-1が示すような急峻な地形の中で、河川流下断面を確保しながらの施工計画が望まれるため、数多くの地形断面を作成し、検討する必要性があり、設計の難易度を高めていた。

そこで、詳細設計の施工計画段階ではあるものの、任意の縦横断作成に便利な3次元設計システムを導入し、これらの計画検討の効率化を図ることとした。

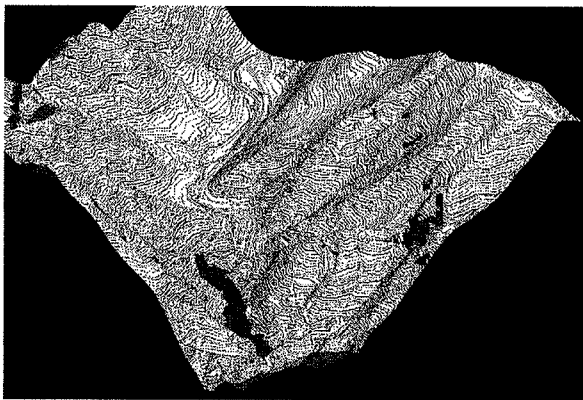


図-1 架橋計画地のCG

(2) 3次元設計システムの導入時の問題点

近年では、概略設計を支援するシステムとして、3次元設計システムは、徐々に、普及しつつある。しかしながら、詳細設計となると、その使用例は、かなり少なくなる。その理由として、施工精度に耐えうる地形モデルの構築が難しいことにある。3次元設計を採用する今回業務では、詳細な地形モデルを平面測量成果から作成しなければならない。その方法論が、技術的課題となった。

2. 地形モデル作成を意識した測量仕様

(1) 電子平板測量

複雑な細部測量から地形図を作成するには、平板測量を実施する。最近では、電子平板が利用するのが一般的である。電子平板による測量は、プリズムを持った作業員をTS（トータルステーション）が位置を追いかけて、座標を取得していく仕組み（写真-1）となっている。

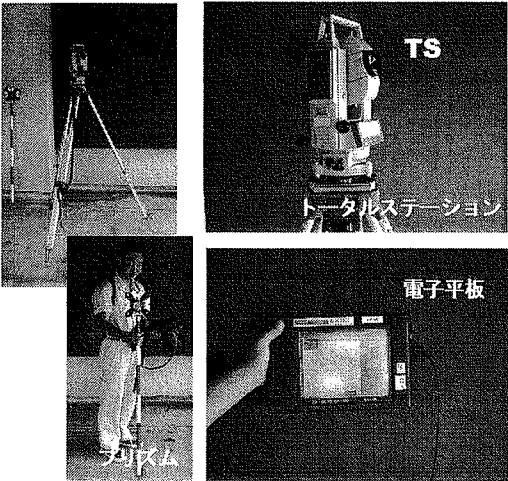
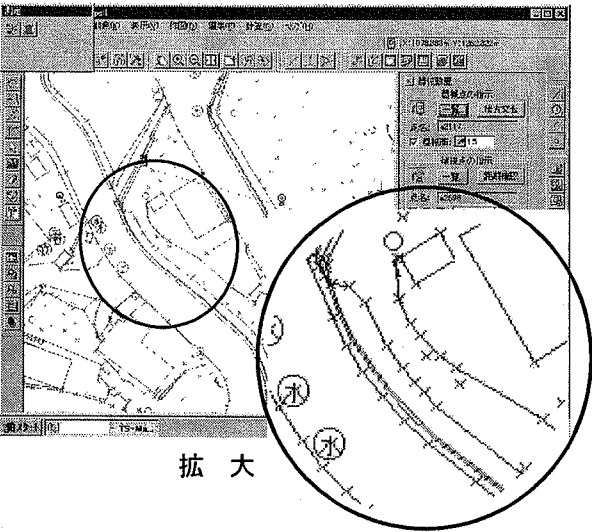


写真-1 電子平板で使用する機材

通常の測量成果は、2次元図面の提出が求められることから、XY座標の取得モードで成果を作成するのが一般的である。ただし、簡単な操作を加えて、3次元情報（XYZ）の取得モードで作業した場合、測量で得た位置情報は、3次元座標を持つことができる。意外に、設計技術者は、このことが知られていない。



※図中の×印の標高も取得可能

図-2 電子平板の実行画面

(2) 地形図の記述ルールの盲点

測量図面の作成規定では、地形平面図に記載する標高点は、縮尺に関わらず図面にした場合に、4cm四方に1箇所表記することになっている。このため、設計レベルで支給される地形平面図（測量成果）には、図面に記載されることのない

膨大な測量情報（3次元情報）が存在している。
しかしながら、現状の測量成果物（測量図面）の
仕様や、2次元を主体とした設計方法では、これ
らの情報が有効活用されない状況にある。

(3) 地形モデル作成を意識した測量仕様

今回業務では、測量技術者と設計技術者との情
報交換の上、設計の実状（3次元設計）の即した
測量仕様を定め、通常の測量範囲の程度の中で、
その仕様の変更を行い、細部測量を実施した。

基本的な取り決めは、以下の通りとした。

- 1) 電子平板測量では、極度に作業負担が増え
ない程度で、3次元標高点を取得する。
- 2) 納品品の測量成果は、CAD仕様とする。
- 3) 通常の4cm四方一箇所の標高表示の他に、
非表示レイヤに全ての標高点を記載する。
- 4) トンネル坑口や下部工位置付近には、必要
に応じて、細部測量を追加する。

(4) 地形モデル作成に使用した測量結果

これらの作業結果から、地形モデル作成用に使
用した標高数は、表-1の通りとなった。特に河床
付近では、かなり細かいデータ（図-4）を取り扱
うこととなった。参考までに、1/500の地形図（図
-3）に表記される標高数を下段に示した。実に、
25倍以上の、河川内では、400倍の精度を用いて、
地形モデルを作成していることがわかる。

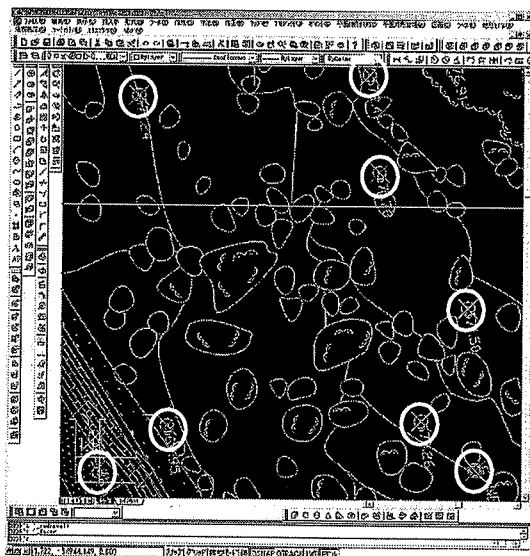


図-3 一般的な標高点表記

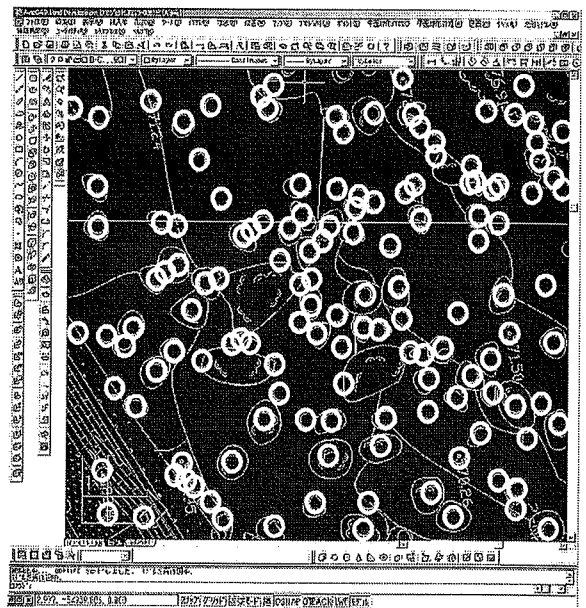


図-4 実際に測量した標高点

表-1 3次元標高の測量箇所数

	100m×100m	測量密度
今回測量 (河川内)	640 箇所	4m×4mに1箇所 (1m×1mに1箇所)
1/500 図面	25 箇所	20m×20mに1箇所

3. 測量成果からのモデル化

地形平面図から地形モデルに起こすためには、
一般に、高度を持たせた等高線と測量単点を利用
して、TINを作成する。

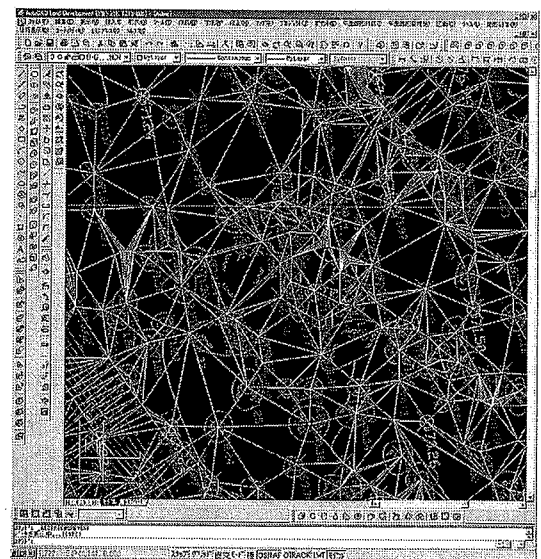


図-5 TINの生成結果

測量成果の CAD データは、2 次元情報で書かれているので、以下の仕様のプログラムを自主作成し、自動的に測量成果を地形モデルとして認識可能な 3 次元地形 CAD データに変換を行い、TIN を生成（図-5）した。

- 1) 初期設定値（一つ目の高度、高度間隔）を元に、等高線（ポリライン）を自動認識し、高度を与える機能
- 2) 標高値を自動認識し、近接する点に対し、高度を修正する機能
- 3) 確実に中間点と分る線分に対して、TIN 作成時の不整合防止の中間点の自動生成機能

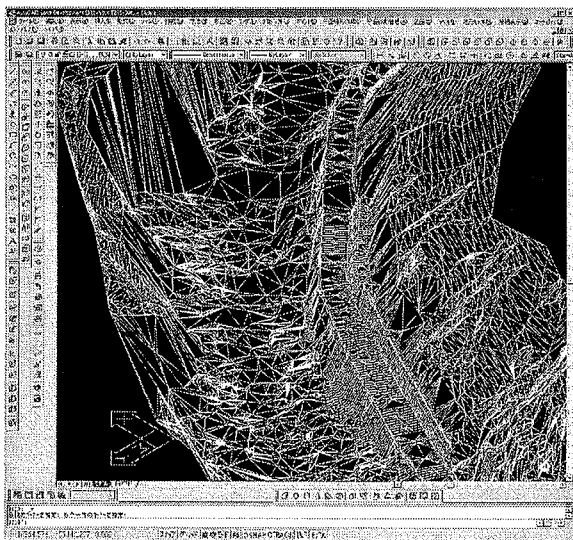


図-6 TIN の鳥瞰図

4. 3 次元の土工設計

当該業務での 3 次元（道路/土工）設計には、オートデスク社の AutoCAD Land Development DeskTop(LDT)と AutoCAD Civil Design(Civil)を使用した。LDT/Civil では、地形モデルの TIN 生成や、切盛土の土工を含む工事用道路の計画や、架設ヤードの造成、下部工のと床掘計画、河川協議で必要となる流下断面照査等に対して利用し、設計や計画・検討の効率化が図ることができた。

3 次元設計を可能とするツールは、他にも幾つか市販されている。その性能差は、一概に比較ができないが、地形モデルを精度良く生成することができれば、何れも、従来の 2 次元設計レベルよりも大幅に作業効率が改善されことは、過去の論文発表¹⁾で、検証済であるため、ここでは、特に

明記しない。

あとがき

電子納品という統一ルールの下、成果品を納品する仕組みが整備されてきた現状では、3 次元設計の必要性は、納品仕様に左右される危険性がある。具体的には、3 次元設計で作業を進めた場合、納品時の 3 次元モデルを 2 次元図面に逆コンバートして納品しなければならないからである。3 次元設計支援システムの位置付けは、CG を作るツールでなく、3 次元という次元の高度化により、従来作業に対するソリューションを促す行為と受け止め、設計コストの増加を限りなく抑え、その生産性の向上を伸ばすような仕組みであるべきと考えることが重要である。これを認識した利用方法が普及することで、電子納品の仕様も、高度化して行くことを期待したい。

土木業界の 3 次元設計の取り組みは、現況地形という 3 次元のリアル空間からアプローチする点だが、他産業に比べて異なる。それ故に、仮想データとリアル・データとの同期化は、設計の矛盾（仮定条件）を縮小するためには、必要な技術である。

測量の高度化からの地形モデルの変換するアプローチも重要な技術的課題であるが、現状の機材を工夫することにより、今回のケースのような設計の高度化手法は、設備投資が少なく、手法が簡易であるため、3 次元設計ユーザーの裾野を広げる意味からも、是非、現場での採用に、ご検討願いたいと考える次第である。

【参考文献】

- 1) 小林一郎他：ウェブを用いたコラボレーション型授業による 3 次元道路設計演習，土木情報システム論文集 Vol. 11 pp103-112, 2002. 10
- 2) 三上市蔵，田中成典他：電子国土を活用した道路の測量業務に向けての現業分析，第 27 回土木情報システム講演集 2002 pp13-16, 2002. 10