

◆特集：GISの国土管理への活用◆

3次元地形・設計データを用いた情報化施工
—丁張り、出来形計測を中心に—

有富孝一* 松岡謙介** 奥谷 正***

1. はじめに

本論文では、平成13年より進めてきた当研究室における「情報化施工」の研究成果の概要をしめす。本論文において情報化施工とは、「工事の設計から竣工に至るまでの様々な作業が必要となる施工情報を統合的に作成、取得、管理、利活用することで施工管理の大幅な効率化をめざして建設工事を行うこと」と定義する。本研究により、3次元の地形、設計情報をXML形式等による電子情報を用いて交換し、情報化施工における適用の有効性を、丁張り・出来形計測を中心に実証実験で検証できた。また、3次元情報の標準化、3次元に対応した出来形管理基準の策定について、基本的概念を示すものである。

2. 情報化施工の目指すところ

近年の測量機器とコンピュータの進歩により、巻き尺だけに頼った計測手法に固執する必要はなくなった。いつまでも昔ながらのやり方を守り続けることは、かえって非効率を生み、ミスの発見が遅れ、手戻り、コスト増加の原因となる。

ITを活用することで、施工に必要な情報を正確に効率的に扱うことができるようになる(参考文献1~10)。従来、作業毎にばらばらに作成されていた帳票類や縦断・横断・平面の2次元設計データを3次元の位置情報を持った施工情報の形に統合することにより、図面間や設計と施工の不整合の有無を容易に確認することができる。また、視覚的に把握しやすい資料を迅速に作成できるため、複雑な構造物の形状をわかりやすく理解できるだけでなく、地元への事業内容を説明する際にも役立つことを目指す。

現在、2次元情報を前提としたCALS/ECが進められているが、紙を前提とした電子化が進められており、電子情報の交換・共有・連携による業務改善効果が十分引き出されていない。一方、3次元の設計情報や施工情報を活用した情報化施工は、品質及び出来形管理に係る資料作成など受

注者側の作業だけでなく、発注者側に提出される書類も大幅な軽減を想定している。また、2次元情報では更新が難しい出来形値による設計図の修正は、3次元情報を活用すると簡単に修正可能である。これにより、竣工時の出来形形状を反映した竣工図を維持管理業務で再利用することができるだろう。さらに、トータルステーション(TS)やGPSといった電子計測など、ITを活用して業務を効率化するため、巻き尺による計測を前提とした既存の監督検査要領や共通仕様書、施工管理基準などの技術基準類を、ITの利用を可能にする新しい基準に更新するための案を目指している。

情報化施工では、施工分野において6つの領域(施工管理、監督検査、積算・契約・決裁、機械施工、資機材管理、環境保全と安全)にサービスを分類している。サービスの定義に当たっては、現地観察、ヒアリング、実験を通じて問題点を明確にし、問題解決につながる論理分析を行ってきた(表-1、参考文献8)。本研究結果は、このサービス領域の一事例である。

3. 3次元地形情報の取得

平成15年度に国土交通省鳥取河川国道事務所郡家国道維持出張所管内国道29号道路改良工事において現地実証実験を行った。実験では、TSを用いた3次元地形情報の取得、丁張り設置支援、出来形管理手法について検証を行った。3次元地形情報の取得について、鳥取河川国道では、郡家国道維持出張所長の主体的な指導協力を得ながら、工事着工前の地形計測と設計照査、土砂・岩掘削範

表-1 代表的なサービス定義の事例

領域	メインサービス
施工管理	丁張り設置
	出来形管理
	GISデータ作成
監督検査	事実確認
	出来形検査
積算・契約・決裁	設計変更協議

E-construction Using 3D Terrain, Design Data



写真-1 現地地形の計測状況（ミラーマン：TSによる計測で日標となる反射鏡をもって移動する人）

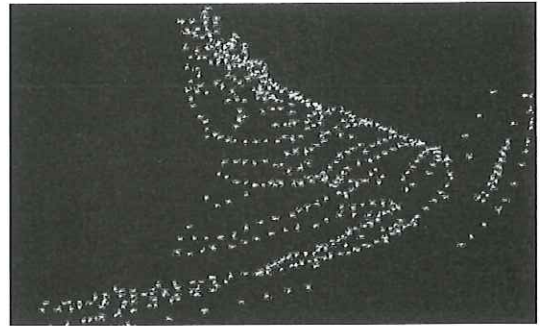


図-2 3次元地形情報の3次元ビュー



図-1 TSからパソコンへのデータ転送

表-2 パソコンで再現した3次元座標値群

name	x	y	z
GA-1	- 88203.068	16360.614	186.069
GA-2	- 88205.611	16358.546	185.839
GA-3	- 88210.515	16353.613	185.428
GA-4	- 88215.835	16346.11	184.905
GA-5	- 88220.739	16336.868	184.343

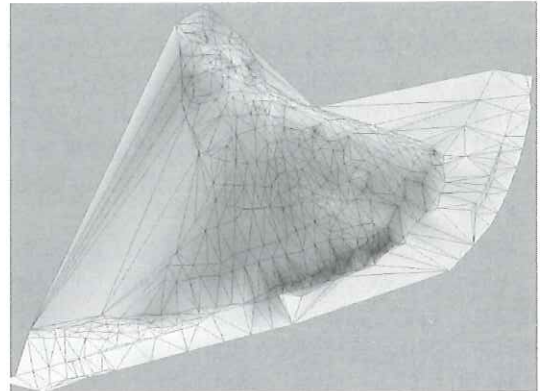


図-3 サーフェスを生成した3次元地形

圃の確認と設計変更について実施した（写真-1）。

実験の概要は、一般的なTSによりプリズム（反射鏡）を現地地形の変化点におくことで計測し、データコレクタからパソコン上の3次元CADに読み込ませるものである（図-1）。このとき、従来のように20mピッチの横断面上で地形を計測するのではなく、人間の認識力の助けを借りて、大きく地形が変曲する点を立体的に計測した（表-2、図-2）。

3次元地形情報を元に、3次元CAD上でサーフェス（平面形状モデル）を生成した（図-3）。

元々与えられていた2次元図面上の横断図をもとに、3次元CAD上で3次元化した設計上の地形情報と、施工前に取得した3次元地形情報を重ね合わせた（図-4）。

これによると、2次元図面の横断図上（20mピッチ）では表せなかった地形の起伏が表現でき、より現場に近い地形情報を取得できることがわかった。

また、当該現場は地山を大幅に斜面で掘削する



図-4 元地形と現況地形の重ね合わせ（グラビア参照）

際、軟岩掘削作業が発生したが、当初想定されていた横断図上の岩掘削範囲と実際の岩分布が異なった。現地確認のために、表土を取り去り岩が露出した状態で軟岩範囲を徒歩で確認し、土砂と軟岩の境界をTSで測定した（図-5）。

従来の岩範囲の確認では、横断図上に岩の範囲を表示するだけであったが、このように3次元地形情報を応用することで、岩範囲の確認作業が容易になり、より現地状況に近い情報を取得することが可能となる。

今回は、2次元横断面より設計上の地形情報を3次元化したのが、上流工程で3次元の測量結果を国土地理院が進めている拡張DMなどの電子情報で取得することができると、より簡便に3次元地形情報を生成することが可能となる。

4. 3次元設計情報の利活用

4.1 3次元設計情報の準備

設計情報については、2次元図面が与えられていたのを、これを元に3次元化を行った(図-6)。道路工事の場合、道路中心線、縦断面図、(標準)横断面図、構造物詳細図等から設計図面が構成される。このうち、道路中心線、縦断面図、標準横断面図より、道路の基本的な構造を構築することが可能となる。これらの情報を設計図面だけでなく、測量計算書などの座標計算資料に掲載されている線形計算書とあわせて道路の基本的な構造を構築するのに必要な情報を集め、3次元CADに入力する(図-7)。

3次元CADでは道路構造を立体的に表示することができるが、実はこれら線で描かれた形状情報では、施工に必要な座標値が得られない。後で述べる丁張り計算に必要な情報は、線形計算書に記載されている、道路中心線の座標値、曲率パラメータなどであり、これらの情報を電子的に取得

することが、効率的な作業につながる。

実験で使用した3次元CAD(Autodesk LDT3.0 英語版)では、海外で実績のある電子情報交換標準「LandXML」に対応しており、丁張り設置に必要な線形情報の主要な部分を電子的に出力可能である(図-8)。

3次元CADで設計形状を確認し、それに対応した線形情報をXML形式で生成したあと、データコレクタ経由で計測機器に情報を送り、また、重機施工支援に活用することが可能と考えている(図-9)。

LandXML形式の電子情報には、線形情報だけでなく、地形形状、設計形状をサーフェスとして記録することも可能であり、LandXMLに対応したソフトで、3次元ビューを表示することも可能である(図-10, 11)。XMLを直接人間が見るだけでは内容を理解できないので、このような3次元ビューワの存在は欠かせない。

4.2 丁張り設置支援

高知県伊野土木事務所管内国道439号線道路改良工事では、3次元設計情報を用いた丁張り設置支援の実証実験を行った。

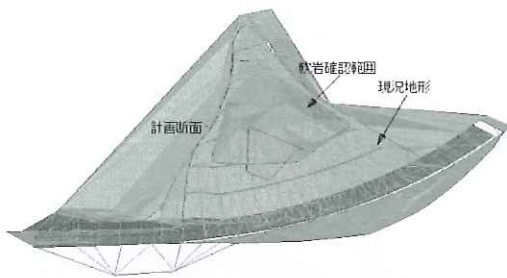


図-5 土砂と軟岩の範囲

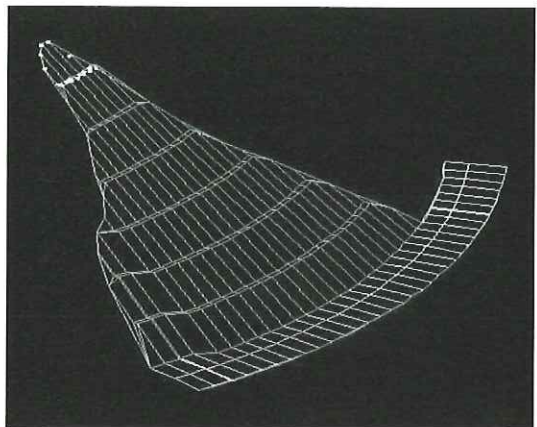


図-7 2次元図面の3次元化表示例

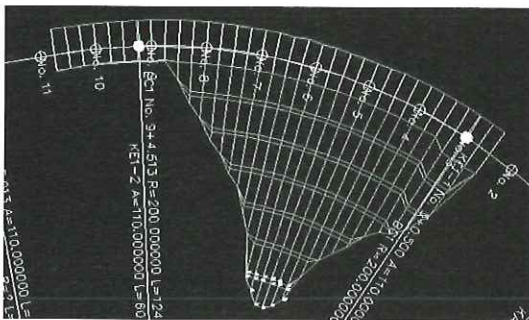


図-6 2次元ベースのCAD図面例

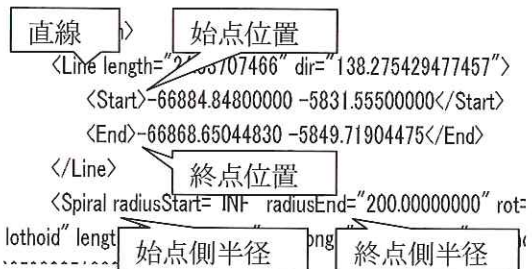


図-8 LandXML v.1.0形式のサンプル

実験に使用した計測機器は、国土技術政策総合研究所（以下国総研という。）との共同研究「建設施工における3次元空間情報の取得利用に関する研究」（株）大林組、（株）トプコン、コマツ）で開発したTSを用いた（参考文献5, 7）。LandXMLの開発は海外の技術者が主体となっているので、日本の起伏に富んだ地形の実態を米国の技術者とともに議論した（写真-2）。

実験に使用した計測機器では、3次元CADから出力された電子ファイルをもとに、現地で任意の地点における設計上の座標値を計算できるもので

ある（写真-3）。これによって従来丁張り設置準備計算に当てていた時間や座標計算書の作成が不要となり、現地で柔軟な丁張り設置作業が可能となった（図-12）。

今回の実験では、実際にLandXMLファイルを計測機器に入出力できるものではなかったが、同様の情報をCSV形式や手入力によって保管し、LandXMLの情報と標準断面に相当する情報を保管することによって、丁張り設置に必要な準備作業の効率改善が行われたことを確認した（図-13）。

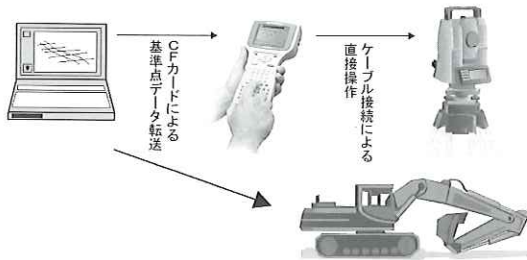


図-9 パソコンから計測機器、重機へ転送



写真-2 高知県における実証実験風景

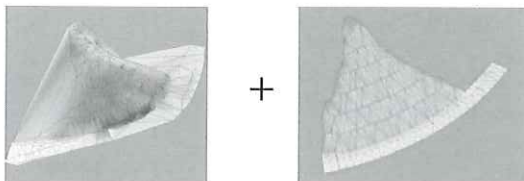


図-10 LandXML形式による地形、設計情報 (Autodesk Envision8)



写真-3 実験に使用した計測機器用データコレクタ

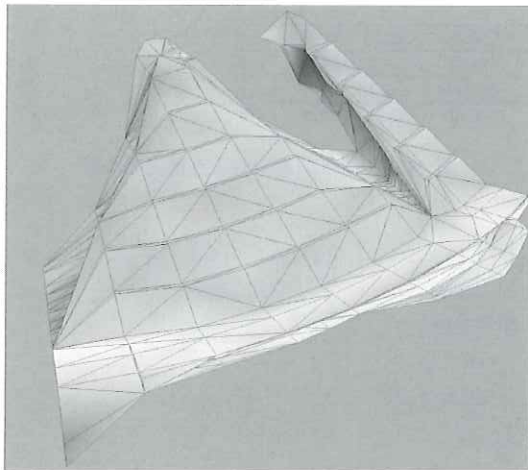


図-11 掘削後地形と設計情報を合わせて表示 (Autodesk Envision8)

設計情報より観測値と設計値の差異を表示
(測点方法, 横断方向, 高さ方向)

NO.3+4.921	
右杭	1.143m
標高	2.738m
上 0.825m	

図-12 丁張り設置支援ソフト操作画面の一部

4.3 出来形管理支援

出来形管理とは、設計図面で示された形状・寸法と、工事完成構造物の形状・寸法が、決められた範囲内に収まるかどうか（出来形管理基準）を確かめながら、施工していくことをいう。従来は、図面上の2次元平面で示された寸法を、現地丁張りなどによって再現し、20mピッチの管理断面上により横断幅、法（のり）面長さ、仕上がり高さを計測し、横断図上、出来形管理図表に設計寸法と、計測寸法、出来形管理規格値を転記していた。

3次元計測情報を活用した出来形管理を可能にするためには、従来型の「やり方」を変えて、目的を達成する工夫が必要である。出来形管理が実現すべきことは、「設計通り工事完成物を構築する」ことであり、現地において原寸大の設計図と完成構造物を3次元上で比較するという概念によって、これを実現することができる（写真-4）。

実際に3次元の出来形計測結果を用いて、3次元設計情報と比較し、従来の出来形管理に近い計算を行うために、丁張り設置時と同様な「中心線からの離れ管理（オフセット）」の技法を用いた（図-14）。

これにより、任意の地点における出来形計測地点の、設計形状との差異を計算することが可能となり、かつ、従来慣れ親しんでいる出来形管理図

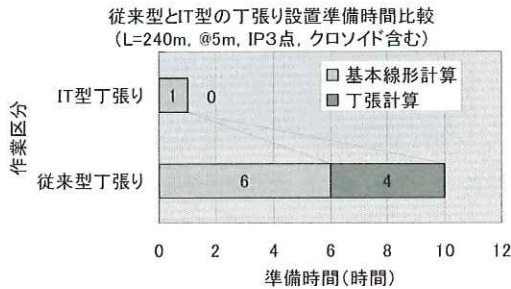


図-13 従来型と今回実験結果の比較

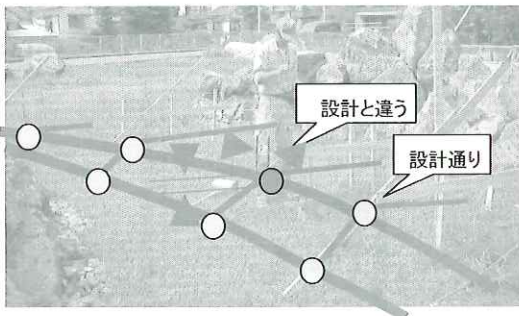


写真-4 3次元に対応した出来形管理のイメージ

表上の規格値との比較も容易となる。ただし、管理断面以外の計測が可能となることで、出来形計測作業時に、「設計上のどこを図ろうとしているか」という比較対象点を用いなければならない（図-15）。

ここで、図-15中の数字、負号の意味は次の通り。

- ・道路中心線から左側法面は（負）、右は正値で記述
- ・道路中心線上は0で記述
- ・路肩端は1で記述
- ・小段中心線側は2、法肩/法尻側は3で記述
- ・法肩/法尻は4で記述

これらの情報により、出来形管理図表作成に必要な情報を、CAD図面上にテキスト文字列を出力することが可能となる（図-16）。

ここで、項目の意味は次の通り。

測点：計測位置の測点

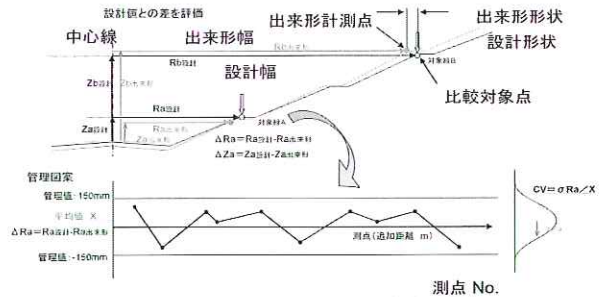


図-14 3次元に対応した出来形管理モデル

x	y	z	name
-66889.68	-5962.23	120.71	-4
-66891.81	-5966.53	122.42	-4
-66892.54	-5969.74	123.75	-4
-66891.43	-5972.24	123.87	-4

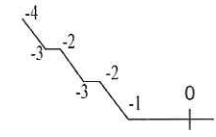


図-15 出来形計測の対象点指定の事例

測点：NO.5 + 19.970
 計画幅：-77.425
 測量幅：-77.479
 計画標高：118.144
 測量標高：117.890
 幅員差：0.054
 標高差：0.254

図-16 出来形管理値の出力事例

計画幅：計画上の中心線からの離れ

測量幅：出来形を計測した位置の中心線からの離れ

計画標高：計画上の標高値

測量標高：出来形を計測した標高値

幅員差：計画と計測した出来形の差異（法線方向の平面距離）

標高差：計画と計測した出来形の差異（標高差）

以上により、3次元情報を施工に有効活用することで、様々な効果が期待できることが確認できた。今後は、3次元情報の標準化に向け、データ辞書、3次元対応出来形管理基準の作成に取り組む予定である。

5. おわりに

本研究を進めるに当たって、共同研究者「(株)大林組、(株)トプコン、コマツ」、高知県建設技術公社スタッフ一同、鳥取河川国道事務所郡家国道維持出張所長、施工技術総合研究所情報化施工チーム、(株)Autodesk、LandXML.org (Nathan Crews) など多くの方々に助言を頂いた。この場を借りてお礼を申し上げる。

参考文献

- 1) 奥谷 正、青山憲明、新田恭士、有富孝一他：電子納品情報を活用した業務改善に関する研究，平成14年度国土交通省国土技術研究会指定課題，国土交通省，pp.11.1-11.29，2002
- 2) 有富孝一：建設プロジェクトにおける施工情報の高度利用に向けて，JACIC 情報 第68号，(財)日本建設情報総合センター，pp.30-34，2002
- 3) 奥谷 正、有富孝一：電子納品情報を活用した業務改善（BPR）に関する研究，土木技術資料 第45号第3巻，(財)土木研究センター，pp.38-39，2003
- 4) 有富孝一：IT化による施工管理業務の改善，JCM マンスリーレポート 12 (7)，(社)全国土木施工管理技士会連合会，pp.3-6，2003
- 5) 有富孝一、先村律雄、若井秀之：土木施工の情報化と業務改善（その2），一プロダクトモデルを活用した施工情報の高度利用－，第58回年次学術講演会，土木学会，CS11-004，2003
- 6) 奥谷 正、青山憲明、有富孝一、岸野正他：電子納品情報を活用した業務改善に関する研究，平成15年度国土交通省国土技術研究会指定課題 継続4，国土交通省，2003
- 7) 有富孝一：ITを活用した施工管理の業務改善，第21回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集：土木学会建設マネジメント委員会，pp.147-150，2003
- 8) 岸野 正、奥谷 正、有富孝一：システムアーキテクチャ構築による建設マネジメントの効率化，第21回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集：土木学会建設マネジメント委員会，pp.135-138，2003
- 9) 有富孝一、奥谷 正：電子納品情報を活用した業務改善に関する研究，土木技術資料，(財)土木研究センター，第46号第3巻，pp.30～33，2004.3
- 10) 有富孝一、松岡謙介、奥谷 正：出来形管理の変遷とITによる出来形管理の提案，建設マネジメント研究 論文集，土木学会建設マネジメント委員会，2004（投稿・審査中）

有富孝一*



国土交通省国土技術総合研究所高度情報化研究センター情報基盤研究室主任研究官
Koichi ARITOMI

松岡謙介**



国土交通省国土技術総合研究所高度情報化研究センター情報基盤研究室研究官
Kensuke MATSUOKA

奥谷 正***



国土交通省四国地方整備局土佐国道事務所所長（前国土交通省国土技術政策総合研究所高度情報化研究センター情報基盤研究室室長）
Tadashi OKUTANI