

3D 情報化施工支援ツールの開発

Development of assistant tools on 3D for information and communication technology

原 久純 *	佐藤 靖彦 **
Hisazumi Hara	Yasuhiko Sato
田中 勉 *	岩谷 隆文 *
Tsutomu Tanaka	Takafumi Iwatani
杉本 幸信 ***	
Yukinobu Sugimoto	

要 約

近年、土工事では施工の合理化と品質向上を目的に ICT が活用されつつある。一方、ICT から得られる多くの施工情報をより効率的に施工管理や施工計画に反映させるためには、施工情報の一元化やデータの可視化が必要と考えられる。そこで、情報化施工の品質管理の効率化・高度化を目的として施工情報を 3 次元で管理する「3D 情報化施工支援ツール」を開発した。開発したツールは、盛土の施工情報を 3 次元ブロックモデル上で管理する「3D 盛土情報管理システム」と、3D-CAD を用いて測量作業、出来形・出来形管理を支援する「3D 土工事施工支援システム」で構成される。本システムを実現場へ導入した結果、従来の 2D-CAD 等を用いた管理と比較して、盛土全体の施工状況と任意断面での進捗状況の確認などが容易になった。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 3D 情報化施工支援ツール
- § 3. 現場適用例
- § 4. まとめ

§ 1. はじめに

近年、土工事において GNSS（汎地球測位航法衛星システム）などの ICT（情報通信技術）を利用して施工の合理化を図る取組みが積極的に進められ¹⁾、GNSS を用いたワンマン測量や、振動ローラーの転圧回数を管理する「締固め管理システム」が利用されている。また、国交省では TS 出来形管理の一般化や CIM（Construction Information Modeling）の取り組みも行われている。

このように情報化施工が近年浸透してきているものの、測量丁張りの設置、出来形管理、土量管理は、従前からの 2 次元図面を用いた施工・管理が行われていた。また、GNSS 締固め管理においても、施工層毎のデータとして表示・管理されるため、盛土全体の状況を把握するには、

各種の膨大なデータをその都度参照・計算して管理しなければならず、管理業務がかなり煩雑であった。

そこで、情報化施工技術による品質管理の効率化・高度化を目的とし、「ICT」と「3D モデル」を融合した「3D 情報化施工ツール」を開発した。情報化施工で得られた平面、高さの位置座標情報、施工日時、盛土材の土質などの施工情報を用いて、出来形、出来高（土量）管理ならびに品質トレーサビリティの管理を、3D-CAD などの 3D ツールを利用して一元管理するシステムを構築した。本システムによれば、データを可視化するため、施工現場の立体的な状況把握、出来高管理や維持管理に反映でき、施工の合理化を図れる。

本報告では、3D 情報化施工支援ツールの概要、機能、特徴を説明するとともに、現場適用例について紹介する。

§ 2. 3D 情報化施工支援ツール

開発した 3D 情報化施工支援ツールの構成を、図－1 に示す。「3D 盛土情報管理システム」と「3D 土工事施工支援システム」とがある。

2－1 3D 盛土情報管理システム

(1) システム概要

「3D 盛土情報管理システム」²⁾ は、GNSS 締固め管理

* 技術研究所土木技術グループ

** 技術研究所

*** 本社土木設計部設計1課

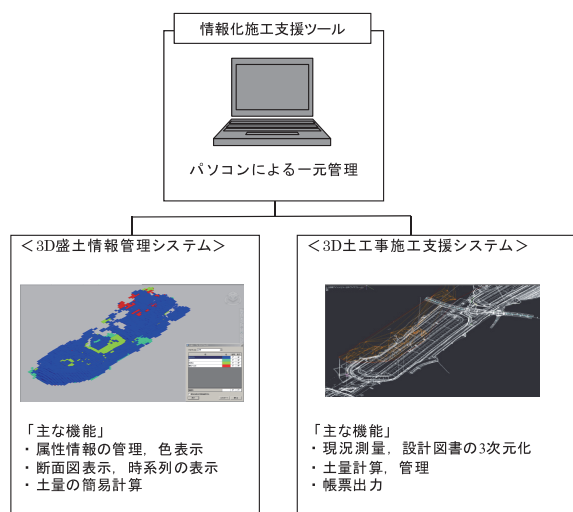


図-1 3D 情報化施工支援ツールの構成

システムによる各層の施工データ（施工日、施工座標、転圧回数、盛土材料情報など）と、盛土の動態観測データなどを、システム内のデータベースに読み込み・登録して、一元管理するものである。登録データは、その位置情報から3次元モデル化した3Dの各ブロックに属性として記録する。情報化施工（ICT）と3次元モデルを融合したシステムであり、施工データを3次元モデル上で一元管理し、データの3次元「可視化」や効率的な施工管理および施工情報の検索ができる。

(2) システム構成

本システムは図-2に示すように3つのサブシステムで構成される。

- ・管理情報の取得
- ・管理情報のデータベース化
- ・管理情報の3次元管理（情報の可視化）

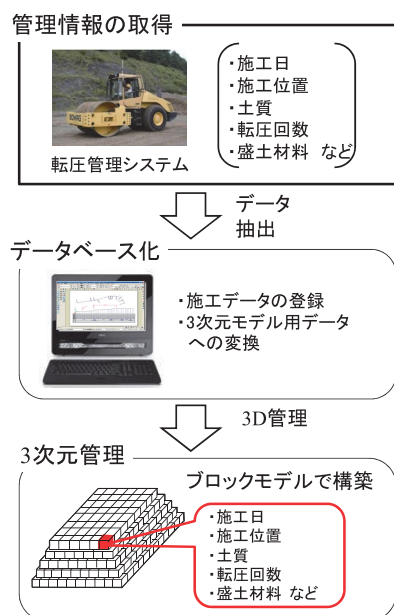


図-2 3D 盛土情報管理システムの概要

(3) 盛土管理情報の取得、データベース化

本システムは、GNSS または TS 締固め管理システム

から盛土施工情報（施工日、施工位置、盛土材料、転圧回数など）を、また動態観測で得られた沈下量などのデータを取得する。これらをデータベースに一元的に格納することで、盛土全体の管理を一括して行え、検索時間の短縮など施工管理、品質管理の効率化につながる。

(4) 3次元ブロックモデルによる管理

既往の研究³⁾では、地質などの情報を属性として付加し、地質構造を3次元ブロックで表現するシステムが開発・運用されている。本技術はそれを盛土に応用し、盛土情報の管理方法として、図-3のように盛土形状を3次元ブロックに分割してモデル化し、盛土管理情報を属性として付加・管理する。従来の層毎の面管理（2次元）と比較して、盛土全体を一括管理できる。ブロックサイズは工事規模や使用目的に応じて平面0.5m×0.5m～10m×10mのサイズに設定する。ブロック高さは施工層厚の0.3mまたは0.2mでモデル化する。また、位置情報を有する施工データから該当する位置ブロックにデータを割付けるシステムを構築した。

(5) システム機能

本技術では、Autodesk 社の Navisworks の関連ソフト⁴⁾を用いて3次元モデルの閲覧・検索などを行う。3D-CAD に比べ操作性が良く、膨大な情報の管理を即時に行える。

①属性情報の表示・検索・抽出機能

盛土管理として登録された属性情報は、任意の3次元ブロックをクリックすると図-4のように表示できる。

本システムは、属性情報を検索・抽出する機能と色別表示機能を有しており、特定の属性情報（土質材料、転圧回数等）を検索し、図-5のように3次元の鳥瞰図として表示する。また、2次元の水平断面、縦・横断面に表示を切替えることで、属性情報を立体や平面として

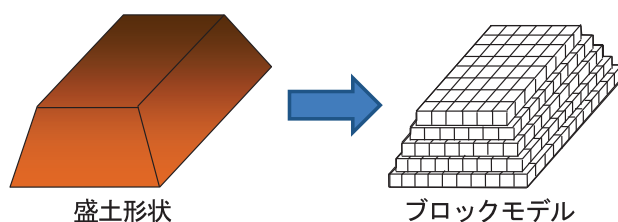


図-3 3次元ブロックによるモデル化

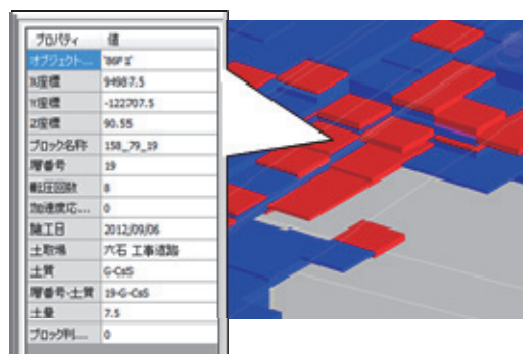
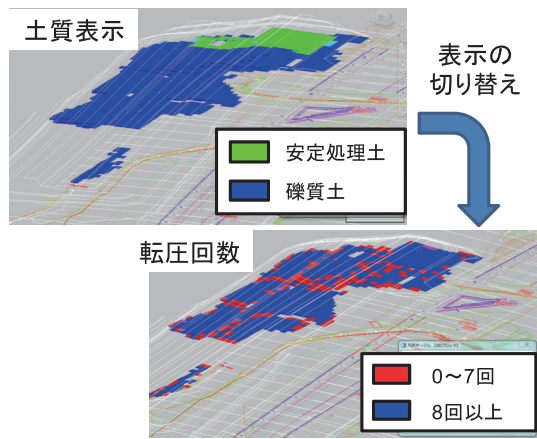


図-4 3次元ブロック内の属性表示例



図－5 属性情報の色別表示例（鳥瞰図）

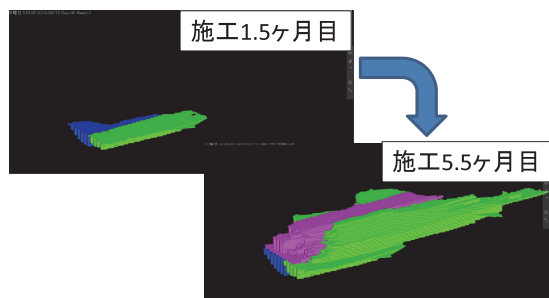
視覚的に把握できる。この機能により、どのエリア・部位にどの材料で施工されたかが容易に確認できる。

②土量管理機能

3次元ブロック数から、概略の施工土量が容易に計算できる。また、施工日や土質等の条件で検索することで、ある期間・条件における施工土量を即時に計算し、歩掛りの算出が可能である。

③時系列表示機能

属性情報の時系列表示機能（アニメーション機能）により、盛土状況や属性情報の進捗過程を再現することができる（図－6）。



図－6 盛土施工進捗の表示例

(6) システムの運用方法

盛土現場における本システムの運用手順を以下に示す（図－7）。

① 3次元設計データの作成

実際の運用では、図－8のように3D-CADを使用して、3D スキャナ等による現況測量または地形図から現況地形データを、設計図面から盛土設計形状データ（サーフェスデータ）をそれぞれ作成する。次に、盛土形状を3次元ブロックに分割してモデルを作成する。

② ICT の導入

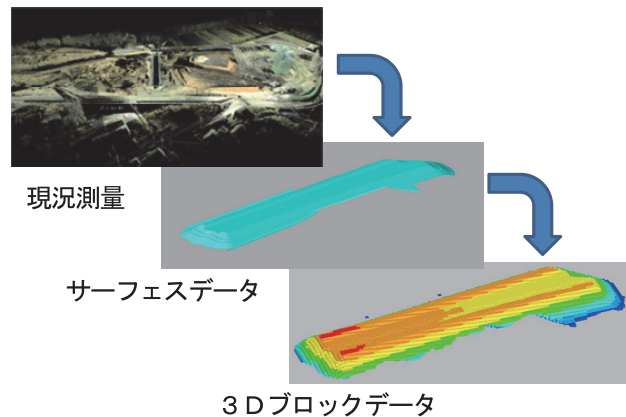
現場に GNSS の基地局、移動局を設置し、GNSS 締め管理システムを導入し、施工データを3D 盛土情報管理システムに取り込む。

③ 3次元による施工管理

3D 盛土情報管理システムにより、逐次施工情報、進捗状況を閲覧確認する。また管理画面をもとに月報等の帳票を作成・出力する。



図－7 システム運用フロー



図－8 3次元設計データの作成手順

2-2 3D 土工事施工支援システム

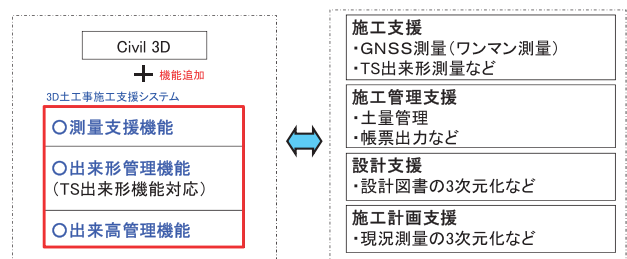
本システムは、Autodesk 社の Civil 3D⁵⁾ を根幹とするアドオンソフトであり、土工事における測量作業、盛土施工の出来形、出来高を管理・支援するシステムである。

(1) システム構成

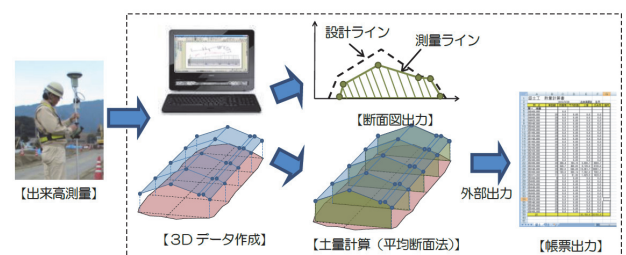
3D 土工事施工支援システム⁶⁾ の構成を図－9に示す。本システムは次の3つで構成されている。

- ・測量支援機能
- ・出来高管理（土量計算）機能
- ・出来形管理機能

本システムでは、3D 設計データから丁張り点の座標を算出・出力するとともに、GNSS・TSによる測量データから3次元モデルを作成し、日々の測量データを3D-CADで一元管理する。3次元モデルから土量を算出して帳票出力する作業を簡易化し、効率的に出来高管理ができるようにした（図－10）。またTSによる出来形管理の機能も付加した。



図－9 3D 土工事施工支援システムの構成



図－10 3D 土工事施工支援システムによる出来高管理

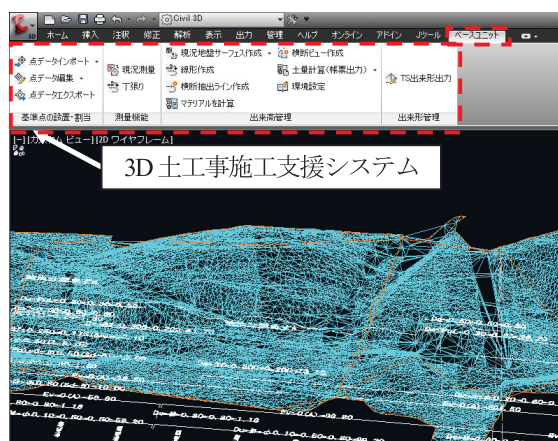


図-11 3D 土工事施工支援システムの表示画面

(2) システムの特徴と機能

既往の 3D-CAD ソフト Civil 3D は、座標データの入出力、データ編集、断面図作成・表示、数量計算の機能もあり、測量・土量計算業務に活用することも可能である。

しかし、Civil 3D ではこれらの機能は各タブ内に散在しているため、測量座標の登録、編集や土量計算を行う際に 3D-CAD の操作方法を熟知する必要があり、現場担当者にはその操作・作業が困難なことが課題であった。

そこで本システムは、3D-CAD に含まれている現場管理作業に必要な各機能を図-11 のように「ベースユニット」と称する一つのタブに機能を集約・ユニット化することで、操作を簡易化し、3次元表示や出来高管理などの作業が効率的に行えるようにした。図-11 に示す本アドオン部分の操作のみで、必要なデータ処理や計算が可能になるため、3D-CAD 機能の熟知や作業時間・手間が少なくなることが本システムの特徴である。

本システムは以下の機能を有する。

①基準点の設置、割当て支援機能

基準点を定義・登録し、基準点の x , y , z 座標を入力・出力（点データインポート、エクスポート）および編集ができる。

②測量支援機能

現況測量で計測した各点の座標データを取り込む。測量データは、測量用端末等で採用されている SIMA, CSV, LandXML の各データ形式に対応する。

また、3次元設計データから丁張りなど現場で設置したい測量杭地点の座標 (x , y , z 座標) を算出し外部端末へデータの変換・出力が可能である。ポケット端末に表示することで、丁張りの位置出しが容易に行える。

③出来高管理機能

計測した測量データから、サーフェスデータを作成することで、現施工面（切土・盛土面）の土量を計算し帳票出力する。また、施工時の管理断面（横断面）図を図-12 のように表示することで施工の進捗が把握できる。

なお、土量計算方法として、既往 Civil 3D にも土量計算機能はあるが、トータル土量のみが計算されるだけで計算帳票の作成機能はない。本システムでは、平均断面

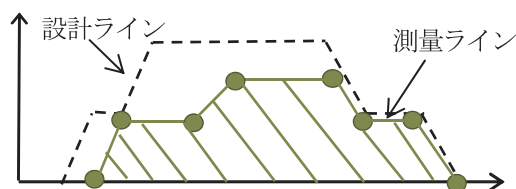


図-12 管理断面の表示例

法による土量計算をして出来高帳票を出力できる。

④出来形管理機能

市販の TS 出来形管理ソフトとデータ交換が容易にできる。現場では、ポケット端末を利用し、設計データの修正や帳票出力が可能である。

(3) 本システムによる出来高管理（土量計算）

従来の出来高管理の手順を図-13 に示す。従来の管理では、測量データの取込み、図面への反映、帳票出力までの手順をステップごとで 2D-CAD や EXCEL など別々のソフトで編集・管理する必要がある、データの取込みや反映などに時間が掛かる。

本システムを利用した出来高管理では、図-14 のように 1 つのソフト・タグで編集・管理ができるため、次の利点が挙げられる。

- ・1つのソフトで管理するため、取扱うデータファイル数が少なくなる。
- ・土量計算、帳票出力を一連で行うことができ、帳票作

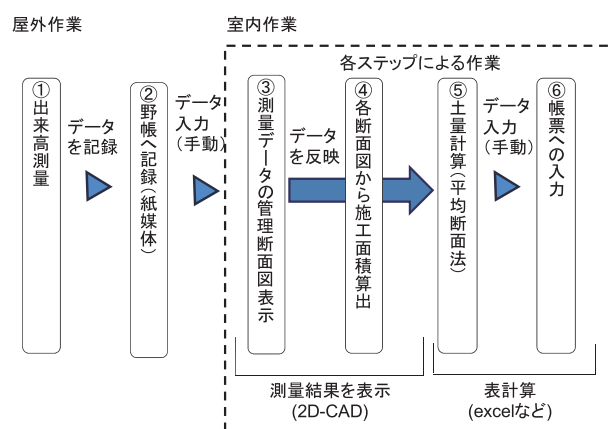


図-13 従来の出来高管理のフロー

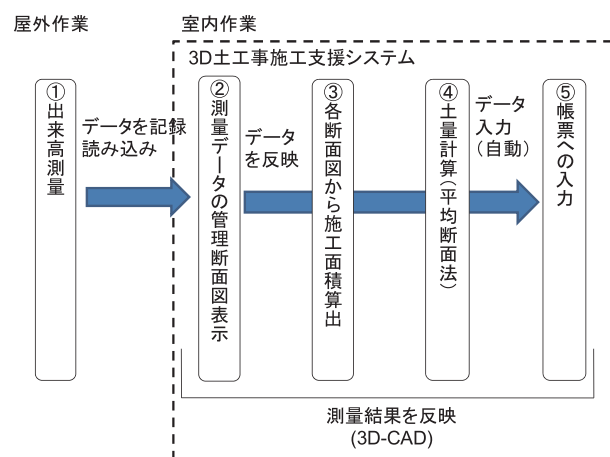


図-14 本システムによる出来高管理のフロー

成までが効率的になる。

- ・土量計算は、従来と同じ平均断面法にて計算を行う。

§3. 現場適用例

3D 情報化施工支援ツールの現場適用例を、以下に紹介する。

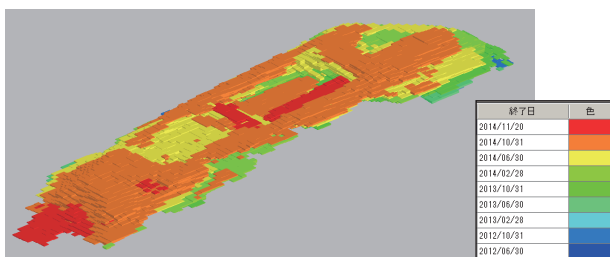
(1) 事例 1：大規模道路盛土工事における 3D 盛土情報管理

工 事 名：新名神高速道路猪名川東工事，猪名川中工事
工事場所：兵庫県川辺郡猪名川町

企 業 先：西日本高速道路株式会社

盛 土 量：約 200 万 m^3

高盛土かつ盛土材に複数現場から発生土を受入れ利用するため、盛土材（土取場、土質）の盛立て箇所と施工情報（転圧回数等）をトレーサブルにし、沈下量と対比して次施工計画にフィードバックすることを目的として、「3D 盛土情報管理システム」を適用した。ブロックサイ



図－15 3次元表示による盛土状況（事例1）

ズは $5\text{ m} \times 5\text{ m} \times 0.3\text{ m}$ ，151,387 個のブロックとしてモデル化した。図－15 に 3 次元表示（鳥瞰図）による盛土状況を、図－16 に施工日別の進捗状況横断面図を示す。

(2) 事例 2：トンネル坑口部盛土工事における 3D 盛土情報管理

工 事 名：金沢東環御所トンネル（2 期線）工事

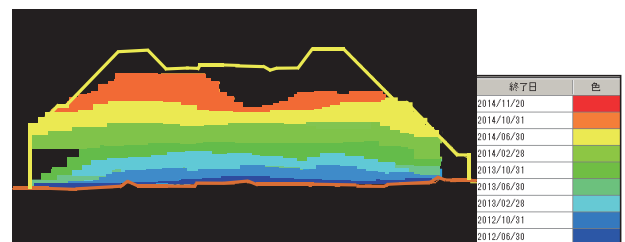
工事場所：石川県金沢市小坂町～御所町

企 業 先：国土交通省北陸地方整備局

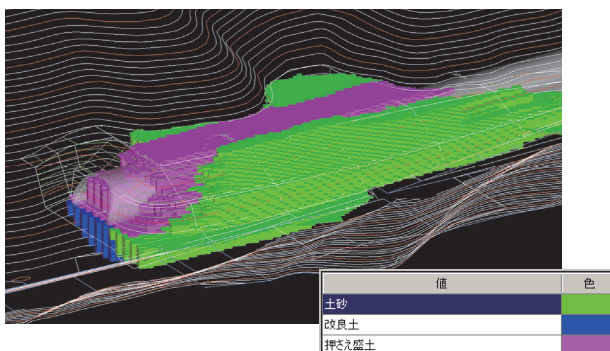
盛 土 量：約 16,000 m^3 （ソイルセメント含む）

既設道路 1 期線に並行した道路トンネルの新設工事であり、坑口部の狭隘な場所で改良土盛土，ソイルセメントによる押え盛土，一般部盛土の複数種類の用途の盛土を行うため、これら盛土の品質管理と施工情報のトレーサビリティを目的として、「3D 盛土情報管理システム」を適用した。本事例でのブロックサイズは $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 0.2\text{ m}$ ，155,334 個のブロックとしてモデル化した。

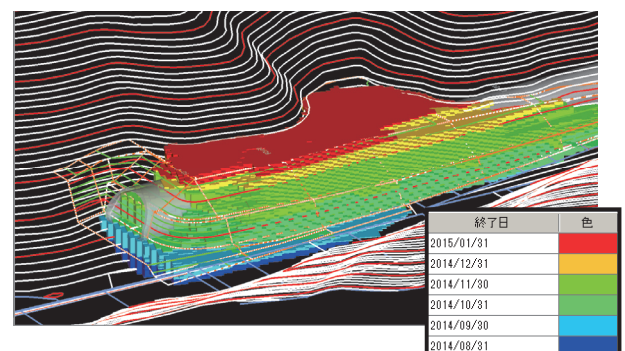
図－17 に 3 次元表示（鳥瞰図）による盛土状況を、図－18 に盛土土質別の進捗状況横断面図を示す。



図－16 横断進捗管理図（事例1）

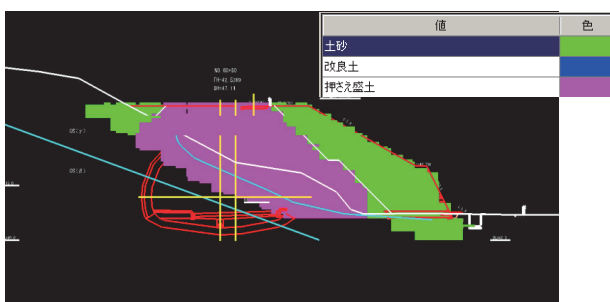


(a) 盛土材料

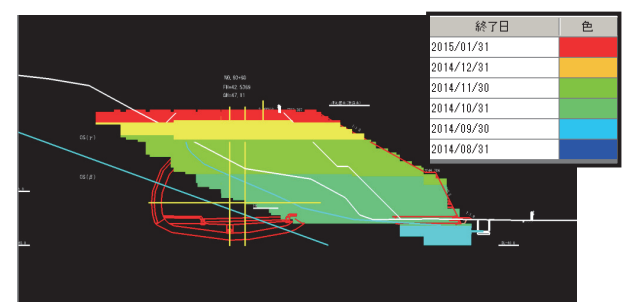


(b) 施工日

図－17 3次元表示による盛土状況（事例2）



(a) 盛土材料



(b) 施工日

図－18 横断進捗管理図（事例2）

(3) 事例 3：大規模盛土工事における 3D 施工管理

工 事 名：新東名高速道路 新城工事

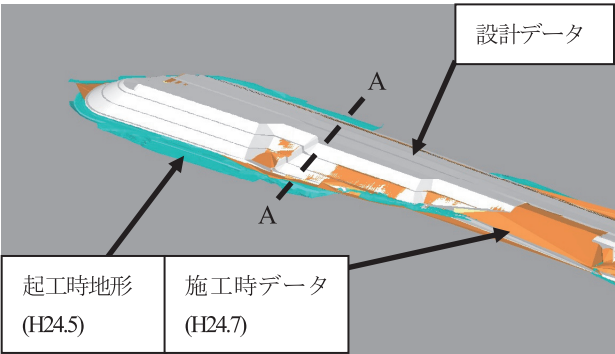
工事場所：愛知県新城市

企 業 先：中日本高速道路株式会社

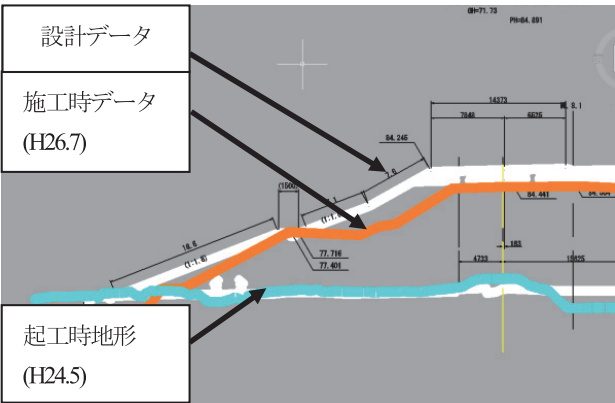
盛 土 量：約 100 万 m³

大規模盛土の施工管理，出来形・出来高（土量）管理を効率的に行い，盛土品質を確保するために，「3D 土工事施工支援システム」を用いて管理を行った。

図－19 は，起工時測量による現況地形（H24.5），施工段階測量（H26.7）における施工形状および設計の 3 次元データ（サーフェスデータ）を重ねて示したものである。管理断面（測線）以外も含めた全区間における形状データであることから，任意位置の断面形状の確認・把握が容易になる。本システムでは，管理断面（20 m 毎）における横断面図を自動生成する。例として測線（A-A）の横断面図を図－20 に示す。各測線での進捗状況と出来形を確認できる。表－1 は出来高（土量計算）帳票の



図－19 3次元による施工状況（事例3）



図－20 管理断面図による進捗状況（事例3）

測 点	単距離	断面積	平均断面	土量	出来高	備考
単一 本線						
452+20.000	20	719.6	678.10	13,345.2	13345.1	
452+40.000	20	854.7	787.12	15,742.3	15742.3	
452+60.000	20	863.4	859.05	17,181.1	17181.1	
452+80.000	20	907.9	885.65	17,713.1	17713.0	
453+00.000	20	1038.6	973.22	19,464.4	19464.4	
453+20.000	20	1184.4	1111.49	22,229.8	22229.8	
453+40.000	20	1271.7	1228.07	24,561.4	24561.4	
453+60.000	20	1307.9	1289.79	25,795.7	25795.7	
453+80.000	20	1224.2	1266.01	25,320.2	25320.2	
454+00.000	20	1258.9	1241.53	24,830.6	24830.5	
454+20.000	20	1195.5	1227.20	24,543.9	24543.9	

表－1 出来高帳票の表示例（事例3）

出力例であり，指定した期間内の土量計算を迅速に行うことができ，帳票出力がされる。

§4. まとめ

情報化施工技術を利用した品質管理の効率化・高度化を目的として，「ICT」と「3D モデル」を融合した「3D 情報化施工ツール」を開発した。本システムによる成果を以下に示す。

- (1) 盛土構造物を立体的に可視化・表示でき，全体の施工状況の把握が容易になった。
- (2) 施工した箇所・部位を盛土材料や施工期間毎で色分け表示することで，材料や施工過程がトレサブルになり，進捗状況の把握や次施工の計画に有効となった。
- (3) 測量データの取込みから帳票出力までの手順を一括化することで，作業時間を短縮できた。
- (4) ワンマン測量や GNSS 転圧管理と組み合わせて利用することで，測量作業や現場管理業務の省力化となった。

なお，現在の 3D 盛土情報管理システムは 3 次元ブロック数に制約があることや，盛土沈下に伴う位置座標の変化を反映できないという課題もあり，今後も検討改善を続けていきたい。

謝辞：本システムの開発・適用にあたり，ご協力いただいた関係各位の方々に深く感謝します。

参考文献

- 1) 国土交通省：情報化施工推進戦略（案），2013.03.
- 2) 岩谷・佐藤・杉本：3次元ブロックを利用した盛土の施工管理システム，平成 25 年度建設施工と建設機械シンポジウム，pp. 77～80，2013.
- 3) 竹本憲充：掘削工事の概略設計への立方体地盤モデルの適用，平成 23 年度建設施工と建設機械シンポジウム，pp. 210～213，2011
- 4) 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
HP：http://www.ctc-g.co.jp
- 5) Autodesk 株式会社 HP：http://www.autodesk.co.jp
- 6) 原・佐藤・田中：3D-CAD を用いた簡易な土工事施工支援システム，平成 26 年度建設施工と建設機械シンポジウム，pp. 51～54，2014.