

I-13 Web3D 技術を用いた施工支援システムの一提案

A New Method for construction supporting system using Web-3D technology

椎葉祐士¹・小林一郎²・藤島崇³・西本逸郎⁴・松尾健二⁵

Shiiba Yushi, Kobayashi Ichiro, Fujishima Takashi, Nishimoto Ituro and Matsuo Kenji

抄録: 本論文は、建設分野における情報化技術による「情報共有・連携」および、「業務プロセスの改善」を目的として施工支援システムを構築したものである。Web3D 技術によるインタラクティブで直感的な表示画面により施工段階における監督業務を支援する。また、3次元CADデータとTSを用いた出来形管理システムの取得データを利用し情報の利活用を図る。まず、現行の監督・検査業務における立会いなどの問題点を整理し、業務改善に必要なシステム要件を設定した。次に、システム要件を満たすようにWeb3D技術を用いた施工支援システムを構築し、提案した。さらに、道路工事を対象に実証実験を行い、本システムの有効性を検証し考察を行ったものである。

Abstract: This paper proposes a new method for construction supporting system, purpose for “information sharing and cooperation” and “improvement of operating processes” in the construction field. Web3D technology helps field supervisions in construction with interactive and intuitive display. Utilization of information, progress control of working form support system using 3D-CAD and TS has. First, sort out problems in exciting supervision and inspection of works and set system requirements. Second, build and propose of systems to meet the requirements. Finally, verify effectiveness of systems in actual road works and consider the results of demonstrational experiments.

キーワード: Web3D, 監督検査業務, 道路工事, 情報化施工, トータルステーション, 3次元CAD

Keywords: Web3D, check inspection, Road construction, Observational construction, Total Station, 3D-CAD

1. 序論

国土交通省は、建設 CALS/EC の新たな一歩として 2006 年 3 月「国土交通省 CALS/EC アクションプログラム 2005¹⁾」を策定した。これまでは、各種情報の電子化を中心に取り組み「情報交換」するための環境を整備してきたが、さらなるコスト削減、品質確保、および、事業執行の効率化を図るために、「情報交換」に加えて「情報共有・連携」および、「業務プロセスの改善」を項目に挙げている。

本論文は、情報化技術を駆使し現場作業の BPR (Business Process Re-Engineering)を推進することで、現場の負担を最小限に押さえることを目指している。BPR に関する電子情報の利活用に向けた議論は、建設プロセスにおいて発生する情報量が最多となる施工段階について活発に行われており²⁾³⁾、情報化施工が注目されている。情報化施工とは、情報化技術を建設施工に適用し、3次元設計情報等の多様な情報の活用を図ることにより、施工の合理化を図る生産システムのことをいう⁴⁾。現在、情報化施工として無人化施工や丁張りレス施工、重機ガイダンス施工等の研究・開発が進められており、現場作業の負担軽減や施工品質の向上、さらに納品データの維持管理データとしての再利用の可能性が検討されている。

これに対し、著者らは、情報化施工の一環として、工事情報共有システムの開発や道路舗装の出来形管理手法に関し研究を進めてきた⁵⁾⁶⁾。工事情報共有システムの開発では、共有サーバを用いて、設計や現場で得られる電子データを一元的に管理し、受注者と発注者間の施工・施工管理における業務改善を提案してきた。また、道路舗装の出来形管理手法に関した研究では、計測機器の発達を背景に施工時に発生する出来形情報に着目し、3次元設計データとトータルステーション(以下 TS)⁷⁾により3次元的に出来形計測点を取得することで施工段階における出来形検査から帳票作成までを行う出来形管理システムを提案した(図-1)。これにより、従来の長さの基本とした2次元での出来形管理から脱し、3次元設計情報を有

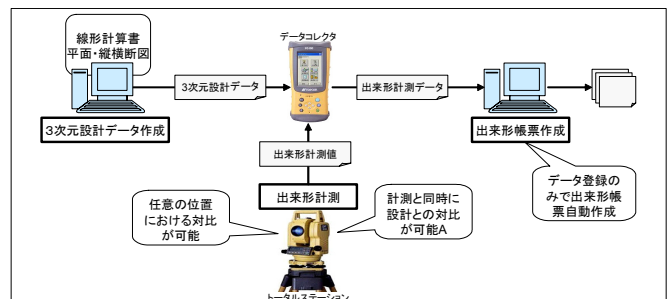


図-1 情報技術を用いた出来形管理システム

1 : 正会員 (社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 研究第3部

(〒417-0801 静岡県富士市大淵3154, Tel : 0545-35-0212, E-mail : shiiba@cmi.or.jp)

2 : 正会員 工博 熊本大学大学院自然科学研究科 教授(〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39-1)

3 : 正会員 博(工)(社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 研究第3部(〒417-0801 静岡県富士市大淵3154)

4 : 正会員 株式会社ラック(〒105-7111 東京都港区東新橋1-5-2 汐留シティセンター11F)

5 : 学生員 熊本大学大学院自然科学研究科(〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39-1)

効的に利用する情報化施工と連携する出来形管理が可能となり、さらに維持管理業務で利用できる形態での出来形データの取得に一步近づいたといえる。

しかし、今後さらに効率の良い工程管理や電子データによる新しい出来形検査(さらに遠隔立会い)等の実現を視野に入れると設計情報や検査箇所の可視化が必要であると考えられる。

本論文では、一連の施工業務に携わっている監督・検査業務に注目し、施工全体の業務効率化を目指すものとする。また 3 次元 CAD データと出来形計測データを Web3D 技術により可視化し、工事情報の共有だけでなく工事情報を利用した施工支援システムの提案を行う。さらには、実証実験を通して、3 次元情報の可視化による効果という側面から施工段階の監督・検査業務へのシステムの有効性の検証と考察を行う。

2 章では、監督・検査業務の現状と問題点を整理し、今後の展開を推測する。3 章では、Web3D 技術を用いた施工支援システムを提案し、システムの概要や機能について述べる。4 章では、本システムを用いて道路工事の施工管理、段階・出来形確認を対象に実験を行い実験結果から業務効率の改善を検証する。

2. 施工段階における監督・検査の課題

公共事業の施工段階における監督・検査業務は、発注者により任命された監督職員が契約どおり工事が進められているか工事状況の確認および、把握等を行うことで契約の適正な履行を確保することが目的である。図-2 に施工段階における監督・検査業務に関わる関係者のやり取りを示すが、これらの監督職員や施工業者とのやり取りが円滑に進まないことで工事の工期の遅れや品質への影響が起これる重要な業務であり、この業務を改善することにより施工段階におけるコスト削減や品質向上が期待される。以下に、監督・検査業務における監督職員と施工業者の課題を整理する。

①監督職員は、現場の施工計画、実施内容、現場環境等、各現場の施工状況の把握を十分にしておく必要があるが、実際の現場では、職員数の減少や集中投資により

担当する工事件数の増加しているため、効率よくすべての臨場を行うことが困難となってきた。また、現場までの移動を伴うため、複数の現場を抱える監督職員が毎日各現場を訪れることは困難であり、日々変化している施工現場の状況を常に把握しておくことは難しい状況にある。

②施工業者は施工前および、施工中において、設計図書の照査を行うが、図面の不具合はよくあり、これは単純な人為的ミスであるケースと設計自体が人間の処理能力を超えているケースがあるため、2 次元の図面で間違いがないか確認するのは容易ではない。しかし、図面のミスがあれば現場において対処を行う必要があり、施工進行にも大きく影響するため膨大な時間と労力を費やして設計図面の照査を行っている。

③施工業者は立会の行われる度に、監督職員が施工状況を確認、判断するのに必要な設計情報や規格値を事前に準備する必要がある。また立会后に立会報告書として提出しなければならないため、立会時と報告書提出時のチェックが必要で二度手間になっている。この他にも履行報告や施工計画書の提出等膨大な書類作成や手続きをしなければならないため、これらの業務を効率的に行う必要がある。

さらに、平成 17 年 4 月に施行された「公共工事の品質確保の促進に関する法律」⁸⁾により、「良質なモノを低廉な価格で調達し提供する」という発注者責任を果たすために監督職員の行う段階確認の重要度はさらに高まることが予想される。また、それに伴って、受発注者ともに工事状況の確認および、把握等、段階確認に関わる負担はさらに、増大する可能性が考えられる。

3. Web3D 技術を用いた施工支援システムの提案

(1) 問題解決に必要なシステム要件

2 章の課題を踏まえ、図-3 に監督・検査の問題点と解決法の関係を示した。

以下に、それぞれの解決法を満たす要件を設定した。

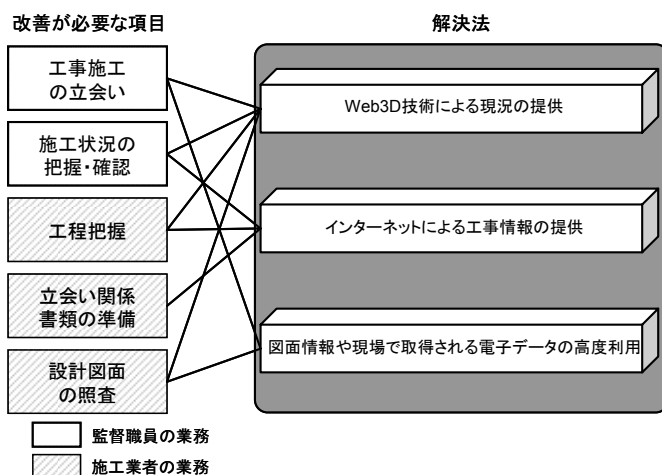


図-3 監督・検査業務の問題点と解決法

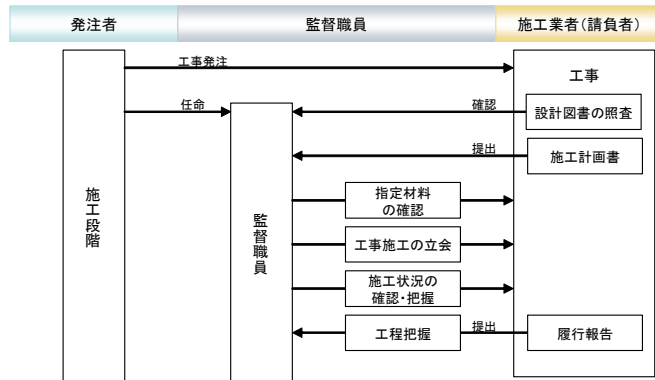


図-2 施工段階における監督・検査業務

a) Web3D 技術による現場状況の提供

Web3D とは、コンピュータグラフィックスにより、人工的に現実感を作り出す技術である。特徴としては Web ブラウザ上で 3D オブジェクトをインタラクティブに利用でき、表示された Web3D オブジェクトを自由な回転・拡大・縮小やアニメーションすることが可能な技術である。

この Web3D 技術を用いて設計情報や現場計測データから構成されるバーチャル空間を作成することで 3 次元的な可視化を行い、人間が現場で目視している形に限りなく近い状況を提供する。これにより、これまでの 2 次元の図面からの平面的な判断ではなく、3 次元的な判断が行え、設計図面の照査や工程の把握を理解しやすい表示画面で提供できる。また、臨場立会に代わる遠隔立会の実現のため情報の信頼性を確保することが重要であり、数値情報だけでなく設計値と現場での計測箇所の位置関係が判断できる空間情報が必要である。

b) インターネットによる工事情報の提供

工事情報を Web サーバ上で一元的に管理することで、異なる関係者間で相互に情報を共有することができ、必要となしに業務に関する情報の提供を行う。また、立会願いや立会報告書等の監督職員と施工業者が行うやり取りを効率化するために、申請や結果を電子決裁で行える必要がある。

c) 図面情報や現場で取得される電子データの高度利用

本論文では、設計情報は 3 次元 CAD データを利用し、監督・検査で必要となる現場計測データは TS での取得を行う。今後、展開されていく設計情報や管理手法で取得されるデータを本システムに取り入れることで、さらなる業務の効率化を目指す。そのため、3 次元 CAD データや TS で取得された現場計測データを利用できるシステムを構築する必要がある。

本論文では、以上のような要件を満たすシステムの提案を行う。これにより、監督職員はインターネットを利用して出張先・監督職員事務所等、どこにいても業務に必要な設計情報や施工計画情報を入手することができる。また、Web3D 技術で表現されたバーチャルな工事現場を閲覧することで、現場にいるのと同様に目視で設計形状と現場計測データ等の施工状況の把握や確認を行え、現場へ移動せずに監督することが可能となり、複数現場の状況を効率的に管理が行える。

施工業者に関しても、工程の把握や工程計画、進捗管理等の工程管理をシステム上で一元的に管理できる。また、立会いの資料準備や関係書類の作成が電子決裁を行うことで、資料作成にかかる時間が軽減するとともに申請や結果もスムーズにやり取りを行うことが可能となる。

(2) システムの概要

前述のシステム要件を基に施工支援システムの開発を行う。本システムは、オンライン上で社会的ネットワークを

構築し、建設分野におけるソーシャルネットワーキングサイトという考えに基づいて開発を行った。本システムの主目的は、人と人とのコミュニケーションにあり、監督職員や施工業者などの工事関係者間のコミュニケーションを円滑にする手段や場の提供、現場に携わる工事関係者が理解しやすい形での情報の配信を目指す。その上で、本システムは、工事の円滑な推進を図ることを目的として、監督職員と施工業者が施工段階において相互に交換する各種書類、設計図書等の作成・交換・管理の支援や、システムに蓄積された工事情報を利用して工程管理を支援する施工シミュレーションや段階・出来形確認等の監督業務等を支援できるシステムの構築を行った。

(3) システムの利用対象者

システムの利用者はインターネットに接続された環境で、ブラウザソフトを使ってサーバにアクセスし、本システムを利用する。また、本システムの利用対象者としては、発注者、受注者の責任者である現場代理人、さらには監督職員を含めた工事関係者を想定している。以下に、施工段階における主な利用対象者の監督職員と現場代理人の役割について述べる。

・監督職員

監督職員とは、総括監督員、主任監督員、監督員で構成され、契約図書における発注者の責務を適切に遂行するために、工事施工状況の確認および、把握を行い、契約の適正な履行を確保するものをいう。

・現場代理人

請負契約の的確な履行を確保するため、工事現場の取締りのほか、工事の施工および、契約関係事務に関する一切の事項を処理する者として工事現場に置かれる施工業者の代理人であり、工事現場に常駐するものをいう。

本システムでは、これらの関係者の業務が Web 上で円滑に行えるように個人管理機能と①ファイル管理、②決裁、③写真管理、④工程管理、⑤段階・出来形確認の 5 つの機能から構成される現場管理機能を開発した。

表－1 にシステムの機能と利用対象者の関係を示す。

表－1 システムの機能と利用対象者

機能名称		利用対象者			
		現場 代理人	監督職員		
			総括 監督員	主任 監督員	監督員
個人 管理	各種	○	○	○	○
現場 管理	①ファイル管理	○		○	○
	②決裁	○	○	○	○
	③写真管理	○			○
	④工程管理	○			○
	⑤段階・出来形 確認	○			○

(4) 開発環境

表－2に示す稼働環境下において本システムを開発を行った。開発言語は PHP5 を使用した。PHP5 は Web3D 同様に HTML 内に埋め込むことが可能である。また、Web3D として Cult3D⁹⁾を採用した。Cult3D はサーバにデータを格納し Web 配信が可能である。また、データ容量が小さく、TIN (Triangulated Irregular Network) による地形モデルなど複雑なモデル構築が行える。

表－2 システムの稼働環境

サーバ環境	
OS	Windows Server 2003
CPU	Intel Xeon 3. 20GHz × 2
RAM	1. 0GB × 2
HDD	200GB
データベース	Microsoft office access 2003
対象クライアント環境	
ブラウザ	Internet Explorer 5. 5 以上
登録可能拡張子	gif, jpg, png, pdf, doc, xls, ppt, txt, csv

(5) システムの機能

図－4 にシステムの概念図を示す。以下にシステムの各機能について解説を行う。

a) 個人管理機能

システムユーザが多現場のスムーズな横断的管理が可能となるように、個人専用のトップ画面があり、各個人に関係している現場の工事情報を一元的に管理することができる。また、個人毎に関係している現場、関係者、各現場の更新情報を個人専用のトップ画面で一元的に把握、確認することができる。さらには、連絡先や血液型など工事関係者が必要なプロフィール情報やセキュリティ面を考慮

したユーザ毎のアクセス権限の管理機能やログイン機能を実装している。工事関係者間での情報のやり取りを想定しているため、不特定多数の人が閲覧できないように招待制としている。

b) 現場管理機能

Web アプリケーションを通して情報の登録・閲覧・編集することで監督職員と現場代理人の業務を行うことができる機能である。現場管理用アプリケーションとしては、①ファイル管理、②決裁、③写真管理、④工程管理、⑤段階・出来形管理の 5 つの機能を実装している。また、監督・検査業務を行うユーザが複数の現場を管理することを想定して、1つのサーバで複数の現場情報を管理でき、Web 上でワンクリックだけで現場ごとの Web サイト作成を行える。そのため、現場ごとにシステムを再構築する必要がなく、簡単に現場ごとの施工支援システムが構築できる。

①ファイル管理機能

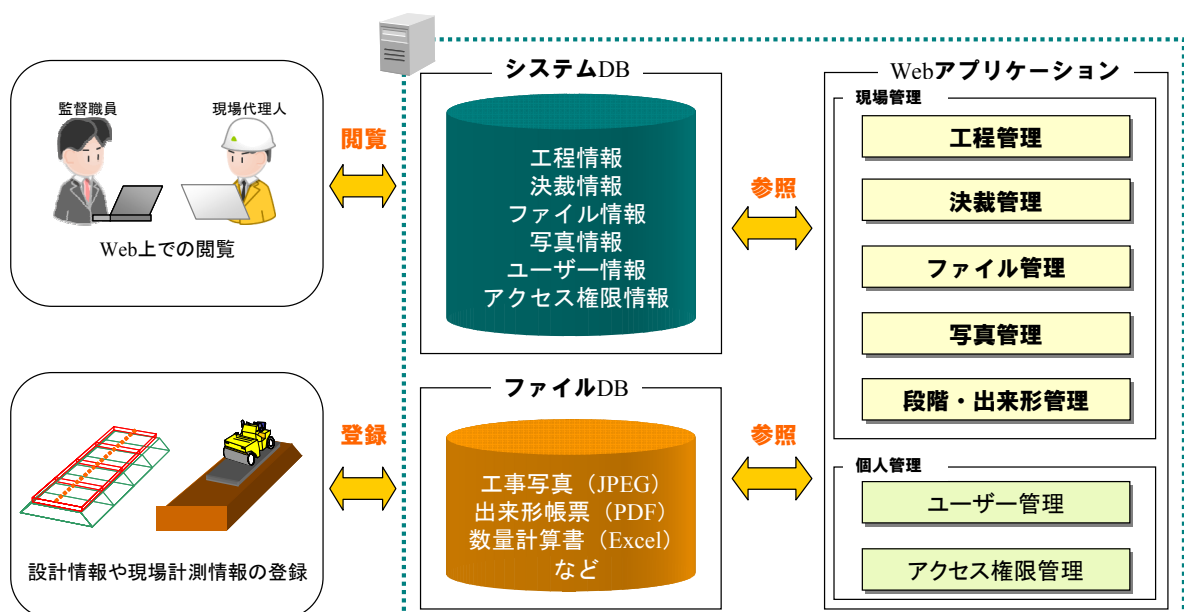
電子データで作成された設計図面や数量計算書等の設計図書、現場や本社で共有したい様々なファイルを共有サーバに保存しておくことにより、いつでもどこでも文書を登録・閲覧・編集することが可能である。

また、フォルダを任意に作成、追加することができカテゴリ別にファイルを管理できる。

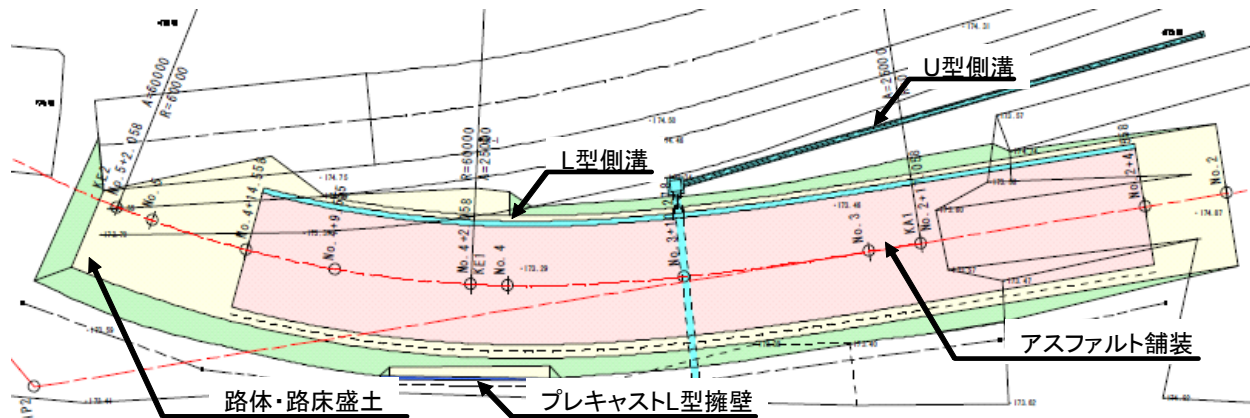
②決裁機能

工事書類の作成支援や段階確認や材料確認等の施工中の立会作業の申請を電子的に交換・共有するための機能である。これにより、監督行為に関する決裁プロセスがコンピュータシステムを利用することにより執り行うことが可能となる。

機能の特徴としては、監督職員および、現場代理人からの監督行為に対して、Web 上で電子的に決裁を行うこと



図－4 システムの概念図



図－5 実証実験図面

で迅速な回答が可能となり、日程調整や書類手続きの決裁処理をリアルタイムに行うことが可能である。

③写真管理機能

施工状況や出来形検査、品質管理等の不可視部分や工事記録の証拠となる写真を管理する工事写真帳の機能である。撮影後の写真確認の容易さや現像コストの削減等フィルム写真よりもメリットの多いデジタル写真での管理を行う。登録時には、デジタル写真にサムネイル画像や撮影情報等のデータを規約に準拠した形で埋め込まれているExif情報(Exchangeable Image File Format)¹⁰⁾から自動的に撮影日時、撮影場所を抽出することができる。

また、工種・種別・細別毎や施工状況・出来形検査・品質管理等のカテゴリ毎といった項目ごとにアルバム管理が可能である。

④工程管理機能

設計で得られる3次元CADデータをWeb3D技術で可視化し、工程表と3次元立体モデルを連動させ、任意の日程における施工の進捗度合いを把握する施工シミュレーションを行うことで施工管理における工事の計画・実施状況のチェックや進捗管理や作業量管理を支援する。

⑤段階・出来形確認機能

3次元設計データとTSで取得された出来形計測データを工種・種別毎にWeb3D化することで、設計値と計測値を視覚的に確認し、施工途中の各段階の管理・検査等、監督業務を支援する。また、Web3D技術を用いて設計情報を視覚的に出力表現することで、インターネットを介して行う監督行為や現場管理等、従来にはない新しい業務方法の可能性を見いだせる機能である。

4. 実証実験

3章にて監督・検査業務の業務改善を目標にWeb3D技術を用いた施工支援システムを提案し構築してきた。本章では、実証実験用の工事現場において本システムを運用し、実証実験を行った。

(1) 実験の目的

本論文では、特に3次元情報を利用可能なシステムの効果の検証を行うため、本実験では、a)3次元設計情報の可視化の効果、b)業務効率の改善の効果を検証することにより監督・検査業務における提案するシステムの有効性の把握と課題の抽出を行うことを目的としている。

(2) 工事概要

実験工事は道路改良工事を対象とし、平面線形にはクロソイド、縦断線形には勾配変化が設定されている。

以下に詳細な現場概要として表－3に工事概要、表－4に実験工事の主な管理項目、図－5に平面図を示す。

表－3 工事概要

場所	施工技術総合研究所構内
工期	平成19年1月18日～2月10日
工事内容	道路改良工事
延長	約50m
道路規格	3種4級

表－4 管理項目

工種／種別	項目
排水構造物工 集水樹工	集水樹工
	集水樹 均しコンクリート出来形
	集水樹工 砕石出来形
擁壁工 作業土工	掘削底盤計測
	切出位置計測
排水構造物工 作業土工	集水樹工 掘削出来形
	横断掘削出来形
	U字溝掘削出来形
擁壁工 プレキャスト擁壁工	擁壁工 砕石出来形
	擁壁工 均しコンクリート出来形
	擁壁工 設置出来形
排水構造物 側溝工	U字溝 砕石出来形
	U字溝 設置出来形
道路土工 路体・路床	路体盛土工
	路床盛土工
排水構造物工 作業土工	集水樹工
排水構造物工 集水樹工	集水樹工
排水構造物工 側溝工	L型側溝 設置出来形
舗装工 排水性舗装工	下層路盤出来形
	上層路盤出来形

(3) 実験方法

本実験では、情報技術を適用した場合の施工準備や施工管理を行うため、前提条件として以下の技術を本システムに適用した。

- ・施工情報を搭載できるTSを用いた出来形管理システム

TSを用いた出来形管理システムを利用することで出来形計測箇所の3次元座標(x, y, z)を取得でき、その取得座標を提案するシステムに登録することで計測点の可視化が可能となる。

- ・3次元CAD

3次元CADで設計された3次元情報からWeb3Dデータを作成することで、より詳細でリアルな設計情報を引き継ぐことができ、本システムにおける設計情報の可視化をするための重要な基データとなる。

次に、実証実験の実験手順と評価の方法を述べる。本実験による評価項目は、a)3次元設計情報の可視化の効果、b)業務効率の改善の2つとする。これらの評価は、監督・検査業務のi)設計図面の照査、ii)施工状況の確認・把握、iii)工程把握、iv)工事施工の立会い業務で運用した結果により評価を行う。

以下に、実験手順を示す。

i) 設計図面の照査

現場代理人は、施工開始前に施工管理機能のWeb3D表示画面を閲覧する。そして、設計図面から作成された3次元立体モデルをマウスやキーボード操作により、ズームや視点の移動を行うことで細部や構造物の干渉をチェックし、設計図面の照査を行う。

ii) 施工状況の確認・把握

監督職員は、必要に応じてファイル管理機能に蓄積されている設計図書や施工計画書をダウンロードし、閲覧することで施工状況の確認・把握を行う。また、段階・出来形確認前の各工種の詳細情報や設計情報を確認する場合には、段階・出来形確認機能に表示されている工程基本データや3次元立体モデルの操作を行い閲覧する。

iii) 工程把握

現場代理人は、施工管理機能により工程表の入力を行い、工程計画を立てる。

施工前、施工途中に施工シミュレーションボタンをクリックし、任意日の工程や現場状況の把握を行う。また、各工程の施工後は実績を入力し、工事全体の進捗を把握する。

iv) 工事施工の立会い

本システムを用いて監督職員が現場に臨場しない立会い、つまり遠隔立会いを実施する。

①現場代理人は、立会申請を電子決裁機能にて行い、立会いに必要な施工計画書等の書類をアップロードする。

②監督職員は、電子決裁機能より立会い申請を受理するし、立会い実施前に対応する施工計画書を参照してその内容を把握する。

③現場代理人は立会い日にTSにて出来形計測データを

取得し、ファイル管理機能にアップロードする。

④監督職員は出来形計測データの3次元座標を段階・出来形確認機能に登録し、Web3D表示画面に登録された計測値と設計値とを比較することで段階確認を行う。また登録と同時に帳票が作成される。

以上のように、立会の申請から、段階・出来形確認、立会後報告に至るまでの一連の業務を本システムにて運用して行う。また、a)の評価項目については、本システムの施工管理機能と段階・出来形確認機能のWeb3Dによる表示の効果についてヒヤリングを行い効果の検証を行う。また、b)の評価項目については、現行手法である臨場立会と本システムを用いた遠隔立会の作業時間を比較することで効果の検証を行う。

(4) 本システムによる実験結果

本システムの運用結果を図-7に示す。また、前節で記述した機能の表示結果について記述する。

i) 図面の照査では、図-6でわかるように土工において3次的に可視化し図面を照査した結果、地形の標高が設計より高いため切土を行う必要があることがわかる。

ii) 施工状況の把握・確認、iii) 工程把握は図-7、④の画面から日付を変えていくことによって工程の把握ができる。また、工程ごとの予定(青)と実績(赤)と色分けすることで工程の確認ができる。また、確認・把握に必要な図面などの情報は、①の画面よりpdfファイルなどの閲覧を行う。

iv) 工事施工の立会いでは現場代理人が図-7、①のファイル管理画面から立会いに必要な書類をアップロードし、監督職員は事前に閲覧しておく。その後図-7、②の決裁画面により現場代理人と監督職員の間で立会い実施日の申請と確認を行う。立会い当日、現場代理人は取得した出来形計測データを図-7、⑤の段階・出来形確認機能に登録する。表示された画像から監督職員は検査の可否を判断し、必要ならば再検査や追加工事の指示を出す。

検査が合格で立会いが終了した場合には現場監督は、計測データ等を図-7、①のファイル管理機能にアップロードし、現場の状況写真を図-6、③の写真管理画面にアップロードしてから図-7、②の決裁管理画面において段階・出来形検査の報告書の提出を行い、監督職員が報告書の受理を行う。

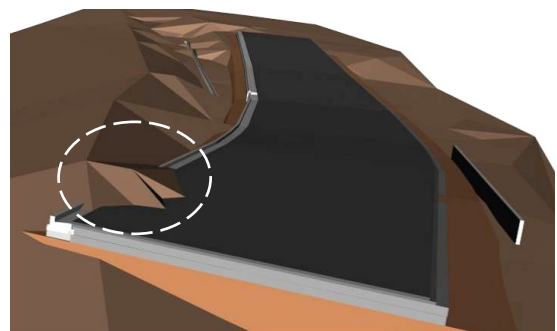


図-6 Web3D 表示画面による図面の照査

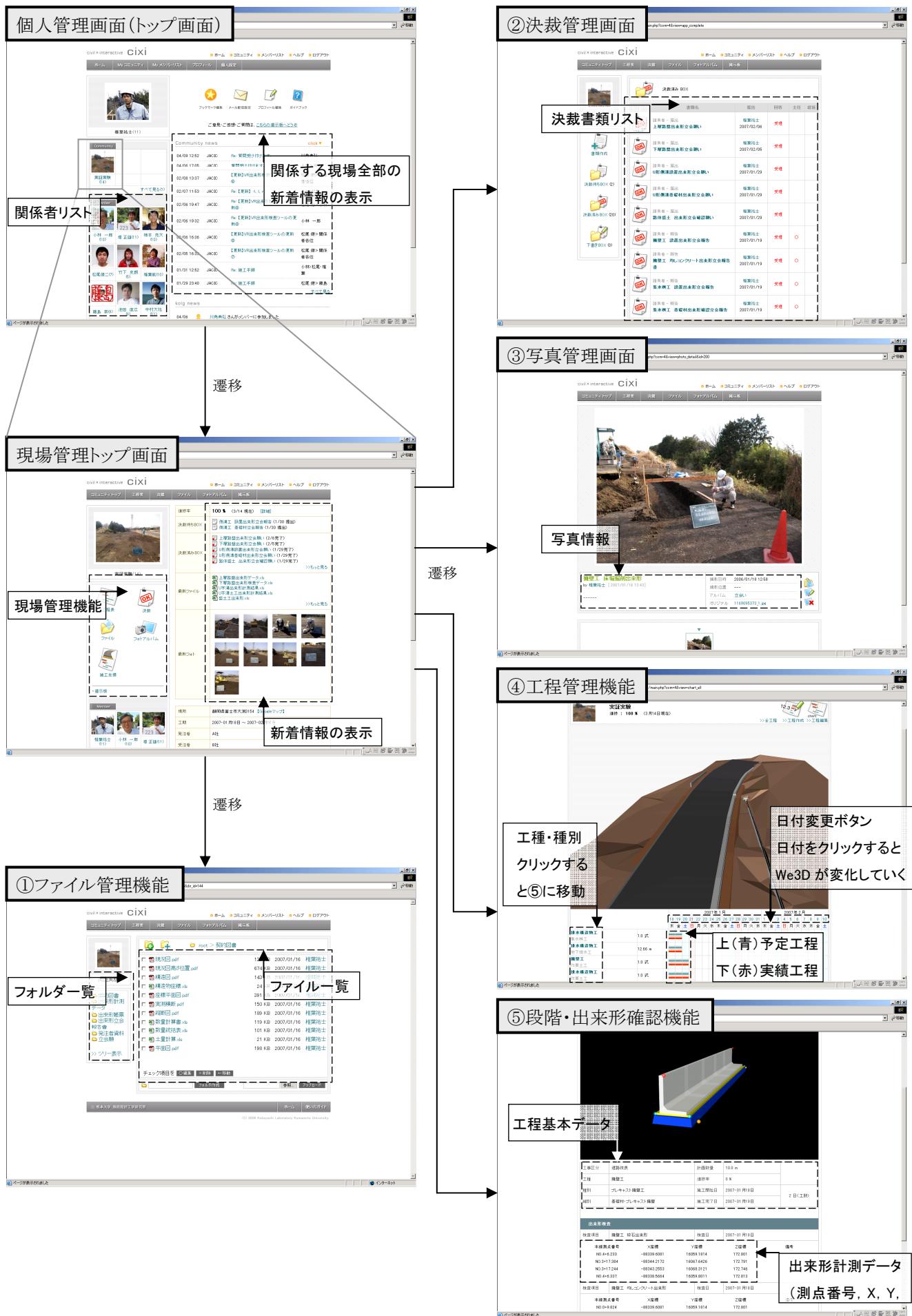


図-7 本システムの表示結果

また、以下に可視化した3次元情報を利用している工程管理機能と段階・出来形確認機能による表示結果の解説を行う。本論文では道路土工と擁壁工の出来形検査の結果について紹介する。

図-8は道路土工路体出来形確認表示結果である。①現場写真②盛土工事日の工程管理画面③段階出来形確認画面(真上からの表示)、④段階出来形確認画面(延長に対して側面からの表示)である。

③、④の画面は設計形状と出来形計測点が表示されており、図上の○(丸印)は計測点を示している。③は真上からの表示にすることで幅の確認をすることができる。これにより、路体全体の様子をみて設計値の線形と計測点の線形が一致していることが確認できる。また、幅が設計形状と一致していることを確認した。④は真横からの表示にすることで厚さの確認をすることができる。これにより、設計形状の路盤上面に計測点が接していることが確認できるとともに、設計どおりの厚さがあることが確認できる。以上の機能の表示画面を用いて、路体盛土の工事終了後、Web3D上で表示された測量点から盛土幅と盛土高の出来形確認を行った。

表-5 道路土工出来形検査帳票

道路土工 路体出来形			
管理項目	規格値	結果	判定
厚さ	-30	1.20	OK
幅	±50	6.80	OK
延長	-200	42.88	OK

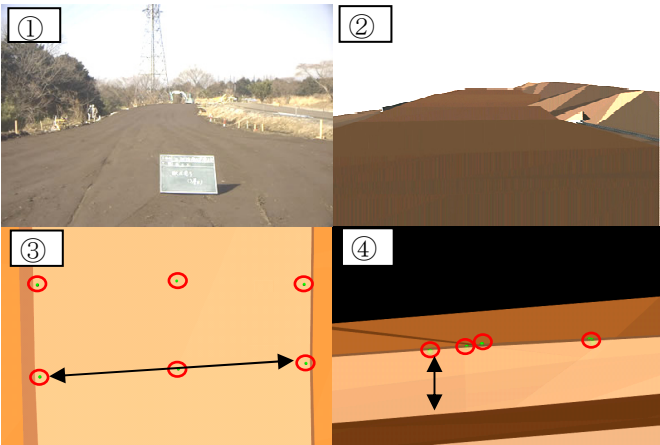


図-8 道路土工路体出来形確認表示結果

同様に、図-9は擁壁工出来形確認表示結果である。①現場写真②盛土工事日の工程管理画面③段階出来形確認画面(側方からの表示)、④段階出来形確認画面(正面からの表示)である。③は擁壁の側方からの表示である。擁壁工の工程である。擁壁設置、均しコンクリート、碎石の各計測点が表示され、画面をクリックすることで各工程の表示・非表示が可能である。この画面の各計測点と設計形状を見ることで高さが規格値内収まっていることが確認できる。④は正面からの表示にすることで擁壁工の延長の確認をすることができる。以上の機能の表示画面を用いて、各工程の工事

表-6 擁壁工出来形検査帳票

擁壁工 設置出来形			
管理項目	規格値	結果	判定
高さ	±40	0.09	OK
延長	-50	1.96	OK

擁壁工 碎石出来形			
管理項目	規格値	結果	判定
幅	-50	1.01	OK
高さ	-30	0.22	OK
延長	-200	-10.02	OK

擁壁工 均しコンクリート出来形			
管理項目	規格値	結果	判定
幅	-50	0.94	OK
高さ	-30	0.06	OK
延長	-200	9.91	OK

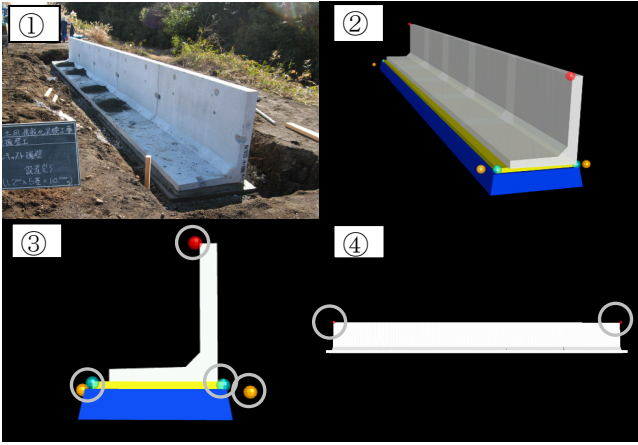


図-9 プレキャスト擁壁出来形確認表示結果

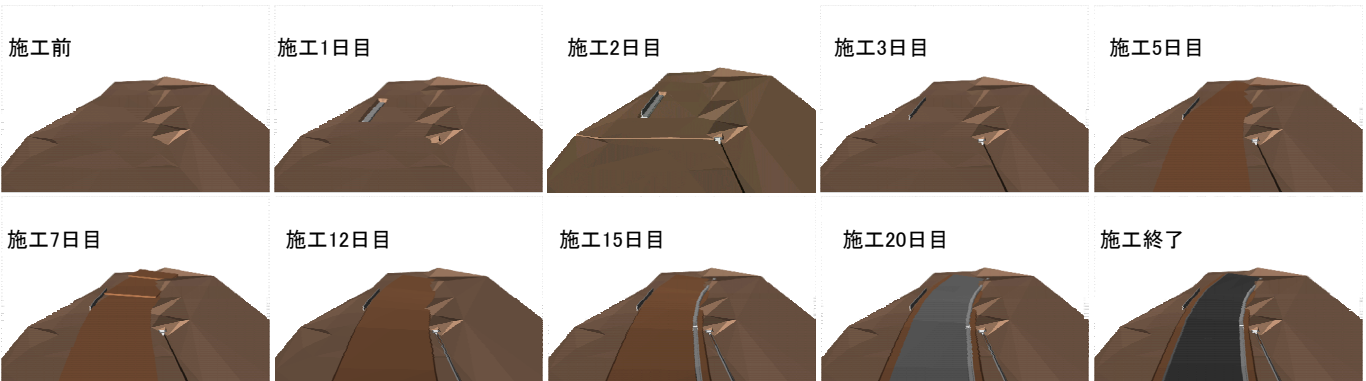


図-10 施工管理機能の表示結果

終了後、Web3D上で表示された計測点から擁壁設置、均しコンクリート、碎石の出来形確認を行った。

表－５，６は対象の設計値と出来形計測座標より算出された値とを比較し差異が対象の管理項目における規格値に収まっているか調べることで判定を行ったものである。対象の管理項目における規格値には、参考となる管理基準が必要であり、整備局、自治体毎に最低限の管理基準が定められている。出来形管理基準には、構造物や舗装構成、管理項目、適用工事の規模ごとに、規格値が記されている。本論文では関東地方整備局による、道路土工と舗装工の規格値を参照している¹¹⁾。

また、**図－１０**は施工管理機能による表示結果を示している。これは、実験工事の施工前の現場状況から24日後の施工完了までの現場状況をシミュレーションしたものである。施工管理機能の施工シミュレーションボタンをクリックすることにより、任意日の施工状況の3次元立体モデルを閲覧することができる。また、マウス、キーボード操作により画面を見ながら視点移動、拡大縮小、ズームや3次元立体モデルの操作を行うことができる。

（５）評価項目の検証

a) 3次元設計情報の可視化の効果の検証

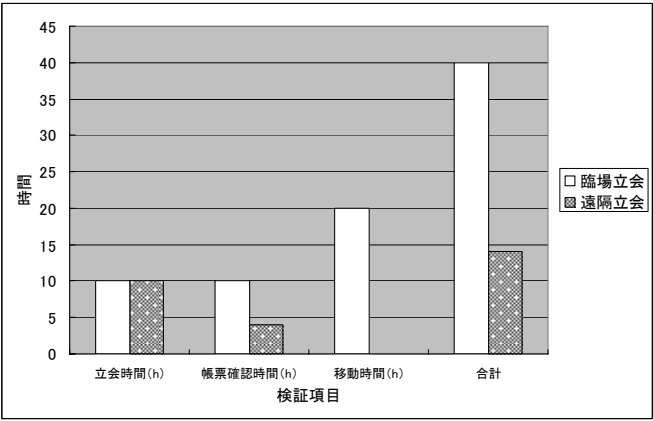
本システムを利用した監督職員と現場代理人に3次元設計情報の可視化の効果についてヒヤリングを行い、**表－７**にその効果についてまとめた。これにより、3次元設計情報の可視化に関して、図面の照査、施工中の工程管理と関係者間の合意形成、施工後の不可視部分の確認において効果があつた。

b) 業務効率の改善の検証

本論文では、定量的な効果を示すために現行手法と提案手法で実験を行った工事施工の立会いの業務改善効果の検証を行った。

図－８，図－９の表示結果より、監督職員は設計値と計測値の比較がWeb上で評価できるため段階・出来形確認時の遠隔立会の実現が可能であることがわかる。

其の効果を示すために、監督職員の工事施工の立会いにおける時間短縮効果の検証を行った。**図－１１**に今回実証実験工事で行った10工程の中の20項目の総立会い時



図－１１ 遠隔立会いによる時間短縮効果

間を現行の臨場立会いと遠隔立会いで比較することで業務改善効果を示す。検証の項目としては、監督職員が行う現場での立会時間、帳票確認時間、現場までの移動時間とした。また、今回は、監督職員の現場までの移動時間は往復1時間程度であったが、これは現場状況によって変動する。

それぞれの手法の1回の立会い当たりの平均時間は、現行手法では、現場での立会い30分、帳票確認30分、移動時間60分であり、提案したシステムでの遠隔立会いでは、立会い30分、帳票確認12分、移動時間0分であった。

実証実験において、提案したシステムでの遠隔立会いでは、立会い後の資料確認が不要であり、現場まで移動する必要もないため現行と比較すると3分の1の時間での段階・出来形確認が可能となった。

（６）考察

本実証実験では、a) 3次元設計情報の可視化の効果、b) 業務効率の改善を評価し、提案したシステムの有効性の把握と改善点の抽出を行うことを目的としていた。以下、提案したシステムの有効性と課題について、評価項目ごとに考察を行う。

a) 3次元設計情報の可視化の効果

監督・検査業務である設計図面の照査、施工状況の確認、把握、工程把握、工事施工の立会いにおいて、従来の施工計画書や工事関係書類とともに併用することで、2次元情報では理解不能な箇所が明確になることや、不可

表－７ ヒヤリング結果

対象業務	対象者	3次元設計情報の可視化の効果
設計図面の照査	現場代理人	本工事では別の道路と合流する箇所があり、照査前は合流部の地形が道路線形の標高と同じであったが、本システムにより3次的に可視化し図面を照査した結果、地形の標高が設計より高いため切土を行う必要があることが分かり施工前に設計変更を行うことができた。
施工状況の確認・把握	監督職員	これまでは紙図面により現場の状況を把握していたが、3次的な施工シミュレーションを行うことにより対象の工程を迅速に判断できるようになった。また、インターネット環境があればどこでも確認できるため、数多くの現場もしくは工程の状況の確認・把握を行うことができ数多くの現場を抱えている場合においては業務が効率的に行えた。 不可視部分の確認については、工事が進むにつれて土中や水中に埋まって見えなくなってしまう構造物の形状や位置を3次的に視覚で把握できることは、各工程完了後、構造物を把握する際に非常に理解しやすい。
工程の把握	現場代理人	施工シミュレーションにより施工業者はもちろん現場での作業員が工程の把握を行うことで、各関係者が完成形状のイメージを掴むことで関係者の合意形成を図ることができた。

視部分の構造物の設計形状と実測値を確認できるといった効果が得られた。

さらには、視覚的にわかりやすい表示であるため現場経験に影響されない工事情報の把握を行うことができた。

視認性については事前に設定した視点と自由に視点を動かして納得するまで見るができるため十分に効果があったといえる。

また、3次元設計情報を可視化した3次元立体モデルは、3次元情報であるが2次元情報を必然的に含んでいるため、視点を変えることで平面図、立面図、断面図等、従来広く利用されていた紙媒体と同じ2次元情報での表示も可能である。それにより、これまでの2次元情報から3次元情報に移行していく際に、感覚的に捉えやすく、理解しやすいことがわかった。しかし、3次元立体モデルの回転や移動などマウスによる操作は個人差が出る結果になった。慣れることで自由自在に操作を行うことができるが、全ての人の感覚に合わせることは不可能であるため個人によるパラメータの設定ができるようシステムの改善をすることが一番の解決策だと考えられる。

b) 業務効率の改善

提案したシステムの導入による工事施工の立会いを行うことで、遠隔立会いが実現可能となり、現行手法の3分の1の時間で業務を行うことができた。また、工事情報を共有することで施工業者は立会い申請や施工計画書等の書類作成の手間が軽減し、監督職員も工事施工の立会いに必要な施工状況の資料をいつでもどこでも閲覧できるため、効率よく現場の状況を把握・確認することができた。

しかし、複雑な施工条件のもとに実施される工事については、臨場目視による判断が必要不可欠な場合があり、必要に応じて臨場による立会いを行い、それ以外については遠隔立会いを併用するなど、監督職員の判断で使い分けることも必要である。

監督・検査業務全体を通して見ると、提案したシステムによって多くの手間が省けることがわかる。さらに遠隔立会いの実現によって段階・出来形確認の頻度が多くなることで品質の向上や、工事情報を高度利用することで情報化施工との連携が可能となるといったメリットもあり、提案したシステムによって監督・検査業務は大きく改善するものと考えられる。

5. 結論

本論文では、監督・検査業務改善の提案にあたり、(1) Web3D 技術による現場状況の提供、(2) インターネットによる工事情報の提供、(3) 図面情報や現場で取得される電子データの高度利用の3点を述べた。これらの要件をもとに Web3D 技術を用いて建設情報の可視化を行う施工支援システムを構築し、その運用法を示した。

また、本システムによる監督・検査業務改善の効果を検証するために実証実験を行った。その結果、工程管理においては、施工空間や工程時間の把握、実施工と計画の比較、確認、施工情報の開示に対して有効であり、段階・出来形確認においては不可視部分の確認の有効性や遠隔立会い実現へ向けての可能性を示すことが出来た。

しかし、いくつかの課題も残る。本システムを用いた目視での確認では読み取りに関して個人差が出てくる場合があるため Web3D 表示画面のみの確認だけでは限界がある。本論文では、数値的に判定した結果と Web3D を併用することで判定をし、検査を行ったが計測点間の距離を自動算出し数値情報を画面上に表示させる機能も必要である。また、今回は複数現場での実験を行わなかったため、何件の現場を本システムで管理することが可能であるかは把握できていないが、本システムに対するアクセス数が増大した場合を考慮して、負荷を軽減させる WEB アクセスの負荷分散やサーバ容量の検討等も今後の課題として残る問題である。

最後に、本システムを実務レベルでの効率化へと結びつけるには、制度の変更や新たな管理手法の考案によって、建設情報のライフサイクルにわたる一貫した3次元データ運用を可能とする環境の整備が必要であると考ええる。

謝辞

本研究を進めるにあたり(財)日本建設情報総合センターには研究助成をしていただき心より感謝致します。記して謝辞を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省 CALS/EC ホームページ:
<http://www.mlit.go.jp/tec/it/cals/index.html>, 2007. 05 現在
- 2) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 施工情報の標準化・利活用検討業務 報告書 平成 15 年
- 3) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 施工情報の標準化・利活用検討業務 報告書 平成 16 年
- 4) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 ホームページ:
<http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/sekojoho-vision.html>, 2007.05 現在
- 5) 藤島崇他:情報化技術を用いた舗装工における出来形管理手法の一提案, 土木情報利用技術論文集, VOL. 14, pp. 231-238
- 6) 藤島崇他:情報化施工における道路土工事の出来形管理の実証実験, 土木情報利用技術論文集, VOL. 13, pp. 251-260
- 7) TOPCON ホームページ
<http://www.topcon.co.jp/positioning/ts00.html>, 2007. 05 現在
- 8) 国土交通省ホームページ:<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/const/hinkakuhou/hourituhonbun.pdf>, 2007. 05 現在
- 9) サイコア社 Cult3D ホームページ:<http://www.cult3d.com/>
- 10) IT 用語辞典－Exif:<http://e-words.jp/w/Exif.html>, 2007. 05 現在
- 11) 関東地方整備局土木工事施工管理基準および、規格値(案), 平成 15 年度改訂済

(2007.5.18受付)