

VR技術を用いた施工支援ツールの開発

熊本大学大学院 自然科学研究科
教授 小林 一郎

平成19年9月

目次

1. 序 論.....	1
2. 情報技術の普及と施工段階の課題.....	2
2.1 3次元の設計情報と情報技術を用いた出来形検査の確立.....	2
2.2 施工段階における監督・検査の課題.....	3
3. WEB3D技術を用いた施工支援システムの提案.....	4
3.1 問題解決に必要なシステム要件.....	4
3.2 基盤システム.....	5
3.2.1 基盤システムの概要.....	5
3.2.2 基盤システムの利用対象者.....	5
3.2.3 基盤システムの機能.....	5
3.2.4 稼働環境.....	7
3.3 WEB3D技術を用いた施工支援システム.....	7
3.3.1 Web3D技術を用いた施工支援システムの概要.....	7
3.3.2 Web3D技術を用いた施工支援システムの有効性.....	8
4. WEB3D技術を用いた施工支援システムの構築.....	10
4.1 システム開発フロー.....	10
4.2 工程管理機能の開発.....	10
4.2.1 工程管理機能の構成.....	10
4.2.2 工程管理機能の概要.....	11
4.3 段階・出来形確認機能の開発.....	12
4.3.1 段階・出来形確認機能の構成.....	12
4.3.2 段階・出来形確認機能の概要.....	12
5. 実証実験.....	13
5.1 実験の目的.....	13
5.2 現場概要.....	13
5.3 実験方法.....	14
5.4 本システムによる実験結果.....	15
5.4.1 施工管理機能の表示結果.....	15
5.4.2 段階・出来形確認機能の表示結果.....	16
5.5 評価項目の検証.....	19
5.6 考察.....	22
6. 結論.....	23
参考文献.....	24

1. 序 論

国土交通省は、建設CALIS/ECの新たな一歩として2006年3月「国土交通省CALIS/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、及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」及び「業務プロセスの改善」を項目としてあげている。

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。この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。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⁴⁾。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、監督検査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、施工時に発生する出来形情報に着目し、従来の長さを基本とした2次元での出来形管理から脱し、計測機器の発達を背景に3次元での出来形管理を提案した。これにより、3次元設計情報を有効に利用する情報化施工と連携でき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、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、工事情報共有システムと連携する施工支援システムの提案を行う。また、本システムを施工段階の業務に用いることで、監督職員と現場代理人が行う施工管理と段階・出来形確認業務を支援し、効率的な業務が遂行できるシステムの構築を目指す。さらには、実証実験を通して、Web3D化された3次元設計データと現場で取得される出来形計測データの利用を試み、システムの有効性の検証や考察を行う。

2章では、建設分野における情報技術の進展に伴う現状と問題点を整理し、今後の展開を推測する。3章では、既往研究で開発した工事共有システムを基盤とし、Web3D技術を用いた施工支援システムを提案する。また、本システムの有効性とシステム要件を述べる。4章では、提案するシステムの構成と機能について述べる。また、5章では、本システムを用いて道路舗装工の施工管理、段階・出来形確認を対象に実験を行い実験結果と業務効率の改善を検証する。

2. 情報技術の普及と施工段階の課題

2.1 3次元の設計情報と情報技術を用いた出来形検査の確立

近年、土木業界、CAD 業界において「3次元」をキーワードとした動きが活発になってきている。このような動向は、2000年頃にも見られたが、特に近年、ハード環境の整備に必要なコストの低下、CAD ソフトの種類増加、機能の充実といった要因により活発になってきている。さらにはソフトウェアのユーザーインターフェースは操作性が向上し続けており、技術的ハードルも低くなっている。これに関して、設計ツールである CAD は、ソフトウェアベンダーの新たな3次元ソフトの開発や、既存ソフトの3次元機能の拡張に取り組んだ結果、道路設計や造成設計からアニメーションのプレゼンデータ作成までを一式で行える「土木用の3次元CAD」が開発され、3次元データを実務レベルで使用できるソフト環境も整備されている。

一方、コンピュータの画面に、立体や空間等の3次元の存在を投影して描画した画像・映像を表現できる3次元グラフィックスとインターネットのネットワークに接続されているコンピュータを利用して、誰もが情報を閲覧することができるように公開する Web の2つの仕組みを兼ね備えた Web3D 技術の進展により、設計情報の可視化や施工情報の共有、指示等の合意形成、実施工と計画の比較・確認等に有効な情報化技術が普及しつつある。

以上のような3次元設計情報の普及や測量機器、ソフトウェア等の情報技術の進展に伴って、監督・検査業務における情報技術を用いた新しい検査手法が提案されている。

情報技術を用いた出来形管理手法とは、図-1のような情報型の出来形管理システム⁵⁾を構築し、3次元設計データとトータルステーション (以下TS)⁶⁾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ものである。この情報型の出来形管理により、コスト削減、品質向上の効果がみられたため、国土交通省ではTSを用いた出来形検査に関する要領案が作成されつつある。こういった状況の中、平成18年度には、道路土工の出来形検査が試行されており、平成19年度には同じく、道路土工の出来形検査が実証実験される予定である。このように、情報型による出来形検査は、実用化へ向けた実験が数多く行われている。

しかし、情報技術を用いてさらなるコスト削減や品質向上を目指すためには、受注から完成検査に至る施工一連の流れにかかわる業務を効率的に行わなければならない。つまり、設計形状および施工管理情報の情報流通による業務改善案の構築と今後の実現に向けた課題について整理する必要がある。

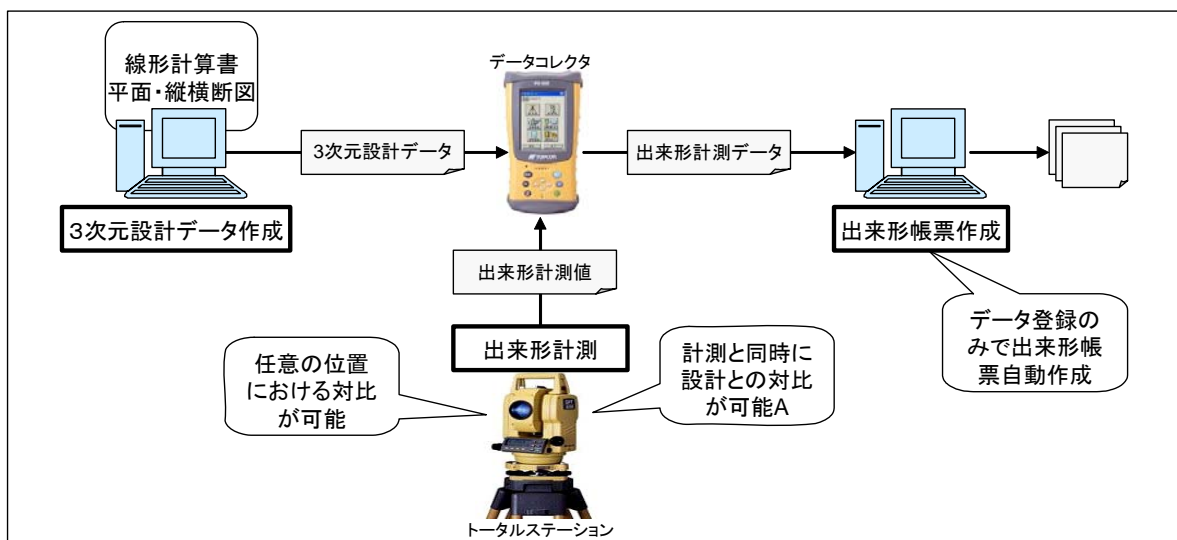


図-1 情報技術を用いた出来形管理システム

2.2 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及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大幅な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。

監督職員は、工事施工の立会として、土木工事共通仕様書により決められている頻度と項目を元に発注通り施工が行われているか現場に赴き、段階確認や出来形確認等の臨場立会する必要がある。また、臨場立会の実施時においては、施工状況や立会箇所の良否を判断するために、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も十分にしておく必要がある。

しかし、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から効率よくすべての臨場を行うことが困難となってきている。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。

一方、施工業者は施工前及び施工途中において、設計図書と工事現場の状態や施工条件が合っているか等、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。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。

また、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、立会い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」⁷⁾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が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。

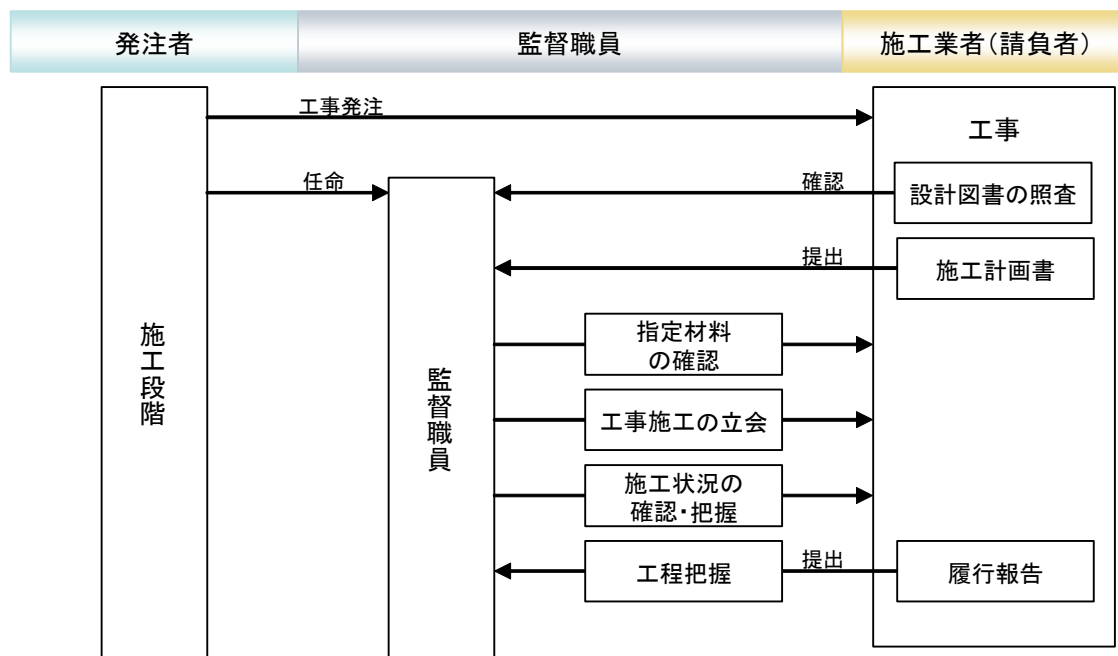


図-2 施工段階における監督・検査業務

3. Web3D 技術を用いた施工支援システムの提案

3.1 問題解決に必要なシステム要件

前述の課題を踏まえ、図-3に施工段階における監督・検査の改善が必要な項目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。

(1) Web3D 技術による現場状況の提供

Web3D 技術で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。よって、これまでの2次元の図面から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を提供できる。

また、臨場立会と変わって遠隔立会を行うために、情報の信頼性を確保するために、設計値と現場での計測箇所的位置が判断できる必要がある。

(2) 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、必要なときに業務に関する必要な情報の提供を行う。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。

(3) 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、更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。

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、どこにいても判断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、複数の現場の状況を効率的に行える。

施工業者に関しても、工程の把握や工程計画や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。

本論文では、以上のような解決法の要件を満たす Web3D 技術を用いた施工支援システムの提案を行う (図-4)。

今回、既往研究で開発を行った工事情報共有システムが (2) インターネットによる工事情報の提供の要件を満たすことが可能であるため工事情報共有システムを基盤システムとして利用し、(1) Web3D 技術による現場状況の提供、(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さらに2つの要件を満たすシステム構築を進めていく。

このように、本システムにより監督職員と施工業者の施工段階における監督・検査業務の改善を目指すものであり、さらには、3次元 CAD データや TS による計測データを利活用することで、建設 CALS/EC で標準化・共有されている電子データの高度利用の布石を投じる。

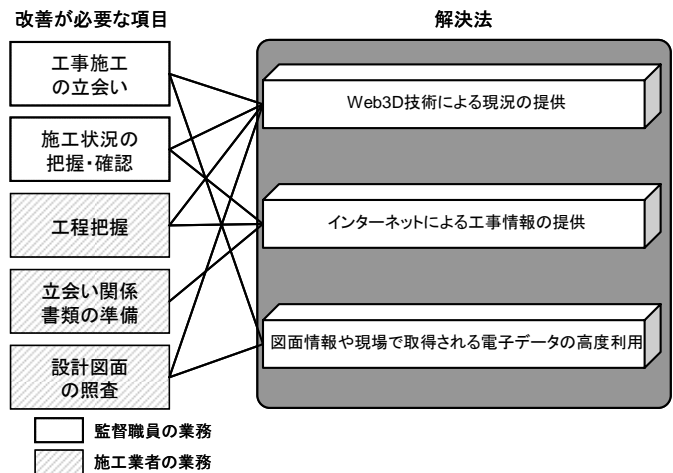


図-3 施工段階における監督・検査の問題点と解決法

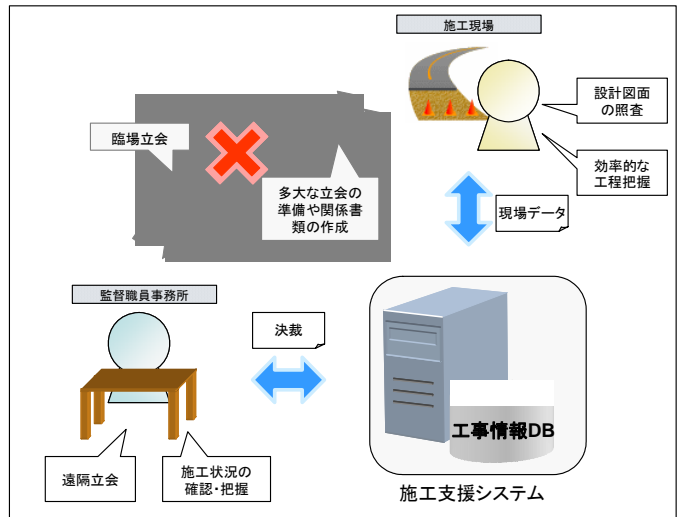


図-4 Web3D 技術を用いた施工支援システム

3.2 基盤システム

3.2.1 基盤システムの概要

前述のとおり、本論文では、既往研究で開発した工事情報共有システムを基盤システムとして、さらなるシステム構築を進めていく。以下に、基盤システムの概要を示す。

基盤システムは、工事の円滑な施工を図ることを目的として、工事中における発注者と受注者で相互に交換する各種書類の作成・交換・管理を支援するシステムとして開発した。

特徴としては、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、各個人に関連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といった工事関係者のつながりを促進・サポートする Web システムである。また、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。

3.2.2 基盤システムの利用対象者

基盤システムは、利用対象者として、発注者と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、監督職員と現場代理人の役割について述べる。

①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及び把握を行い、契約の適正な履行を確保するものをいう。

総括監督員とは、監督職員のうち工事の監督を統括する者であり、主任監督員とは 監督職員のうち工事を統括監督し、監督職員を指揮監督する者をいう。

また、監督員は、主に請負者に対する指示、承諾又は協議の処理、工事実施のための詳細図等の作成、工事実施のための詳細図等の交付、請負者が作成した図面の承諾、契約書に基づく工程の管理、立会、段階確認の実施、工事材料の試験又は検査の実施、設計図書の変更等、請負者との数多く書類のやりとりや現場の臨場を行い、契約図書に示された項目について内容を確認するものをいう。

②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、工事の施工及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。

基盤システムでは、これらの関係者の業務が Web 上で円滑に行えるように a)ファイル管理、b)写真管理、c)工程表、d)決裁の4つの機能を開発した。

表－1には基盤システムの機能と利用対象者の関係を示す。

表－1 基盤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	総括監督員	主任監督員	監督員
a)ファイル管理	○		○	○
b)写真管理	○			
c)工程管理	○			
d)決裁	○	○	○	○

3.2.3 基盤システムの機能

基盤システムは前述の通り4つの機能から構成されている。その内容について以下に示す。また、図－5は基盤システムの基本的な考え方を示している。

a)ファイル管理

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や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。

b)写真管理

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ー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）⁸⁾ 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。

c)工程表

所定の工事を工期内に完成させるように、また仕様書や規定の品質、精度を保ち、予算に応じた施工を計画し管理できるように進捗管理を行い、工期を管理する機能である。

工程管理機能では、工事を行う作業を工種あるいは種別・細別毎に入力し、全工程の作成を行う。

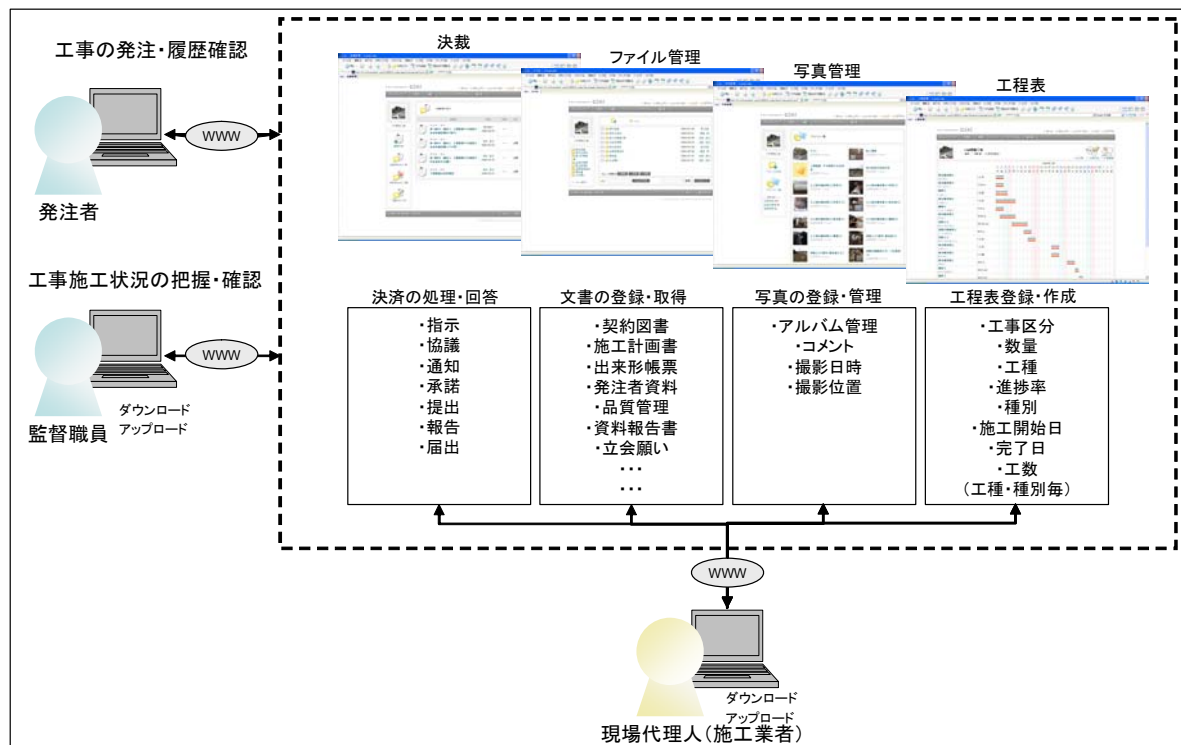
また、契約当初の計画工程の入力から毎日の実績入力、作業の遅れや契約変更に伴う変更計画の入力、作業数量及び期間を入力し、全工程の工程表作成が可能である。

d)決裁

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及び把握を行い、契約の適正な履行を確保するために、監督職員及び現場監督員が行う監督行為をWeb上で行うことが可能であり、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を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、監督職員及び現場代理人からの監督行為に対して迅速に回答するために、その監督行為の関係者が電子的に決裁を行うことで、日程調整や書類手続きの処理をリアルタイムに行うことが可能である。

また、各プロジェクトのトップページには、進捗率や決裁待ち、決裁済みの書類の一覧、ファイルや写真の到着情報等が表示され、当日の現場の動きを把握することが可能である。



図－5 基盤システムの基本的な考え方

3.2.4 稼働環境

表-2に基盤システムのハードウェア・ソフトウェアの基本構成を示す。

表-2 基盤システムの稼働環境

サーバ環境	
OS	Windows Sever 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

3.3 Web3D 技術を用いた施工支援システム

3.3.1 Web3D 技術を用いた施工支援システムの概要

基盤システムは工事中における発注者と受注者で相互に交換する各種書類、設計図書等の作成・交換・管理を支援する目的として開発してきたが、本論文で提案する本システムは、基盤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することができる Web アプリケーションを開発することが目的である。

以下に、本システムの各機能の目的を述べる。

(1) 工程管理機能

土木工事における工程管理は、所定の工期内に与えられた工事を、①良い品質、②最低の費用、③最小の時間という3つの目標を満足させて完成させることを目的としたものである。そして計画、実施が良好であるかをチェックし、常に望ましい施工状態にしておく必要があるため、工事の各単位作業を有効に組合せて各単位作業工程を構成する。また、その単位作業工程をさらに総合工程に組立てて工程計画を樹立し、これに基づいて材料、労務、建設機械及び予算を順序よく手配運用しつつ契約条件に示された基準を満足する構造物を所定の工期内に完成していくための管理を行う。

本システムでは、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。この機能は、基盤システムに蓄積された工事情報を利活用するため、基盤システム上の工程表と関連づけ、工程の各段階での形状の確認も行うことができる機能を開発する。

(2) 段階・出来形確認機能

段階確認とは、設計図書に示された段階、監督職員が指示した施工途中の段階において、監督職員が臨場等により出来型、品質、規格、数値等を確認することをいう。また、出来形管理・検査とは、設計図面通りに施工時に受注者の現場代理人は出来形管理として、工事構造物の形状、寸法について施工精度を日常管理し、発注者の監督職員はそれを監督する。

本システムでは、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を開発する。

図-6に基盤システムと本システムとの関係を示しているが、本システムでは、基盤システムのシステムデータベースやファイルデータベースに蓄積された情報を利用してシステムを運用する。以下に、重要な要素となる情報をあげる。

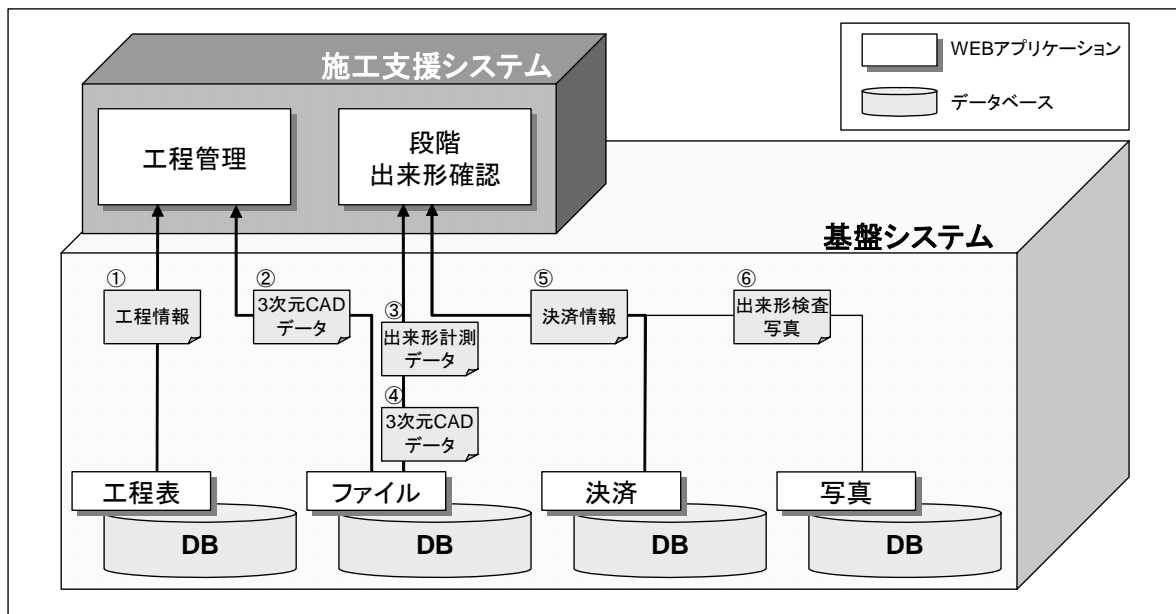


図-6 基盤システムと施工支援システムの関係

- (1) 工程管理機能
 - ①施工日程、数量等の工程情報（工程表機能）
 - ②3次元CADデータ（ファイル機能）
- (2) 段階・出来形確認機能
 - ③TSで取得された出来形計測データの登録（ファイル機能）
 - ④工種・種別毎の3次元CADデータ（ファイル機能）
 - ⑤段階・出来形確認等の監督業務の決裁（決裁機能）
 - ⑥段階・出来形確認等の工事写真（写真機能）

3.3.2 Web3D技術を用いた施工支援システムの有効性

(1) 工程管理－計画段階

i) 設計情報のチェック

本システムは、現場状況を設計情報である3次元CAD図面により再現していることから、構造物の干渉部等、図面のミスを簡単に発見できる。さらに、工程管理機能により視覚的に工程の事前確認を工事関係者全員で行うことにより、ミスの発見に要する時間は格段に短縮されると言ってもよい。

ii) 施工空間の把握

本システムは、現場状況を視覚的空間的に捕らえることが可能で、正確かつ迅速に状況想定を行うことが可能となる。例えば、市街地における周辺構造物の位置関係の把握、各構造物の相対的大きさ、形状等の確認が速やかに行える。また、重機の作業範囲を検討するに際しては、建設中の構造物や仮設構造物、さらに既存の構造物をその視野に入れる必要があるが、本システムを利用すれば、3次元における重機作業範囲の検討が行え、効率的な配置ができるものとする。

iii) 工程時間の把握

本システムは、刻々と移り変わる現場状況を再現していることで、各施工段階の状況を連続的に捉えることができる。施工において最も考慮しなければならないのが労働災害であり、建設業は人命に関わるものが多く安全に施工が行える計画の立案は絶対条件である。本システムを用いれば、施工段階における現場状況が確認でき、具体的にどの工種で作業危険箇所があるのか、その数と正確な位置の把握が可能である。そして、これらをプロジェクト関係者間で考慮し、計画のアクティビティに余裕を持たせるなどの処置を行うことができる。

(2) 工程管理－施工段階

i) 実施工と計画の比較、確認

実工事の施工段階における本システムの利用法の1つとして、実施工と計画の比較、確認が行える。本システムは、指定した日の現場状況をWeb3Dで表すことができるので、工事の進捗状況を確認することができ、実際の現

場状況と比較することで、作業が遅れているのかいないのかを読み取ることができる。

ii) 施工情報の開示

建設事業は、施工現場だけでなく周辺環境に対して大きく影響を与える。そして、周辺の地域住民の理解無くしては、事業を推進させることが出来ない場合も多く存在する。この場合、工事情報の開示、つまりアカウントビリティをどこまで果たせるかが重要な課題となる。しかし、施工現場は安全面から遮蔽された空間であり、その中で施工が進められているため、住民にとっては閉ざされた空間であることは事実である。そこで、物理的には遮蔽されていても、本システムの施工シミュレーション情報や工事の概要等を広く開示すれば、十分な説明責任をとれることはできる。施工シミュレーションは、視覚的空間的に施工情報を示したものであるから、専門的な知識がない一般の人々にも、分かりやすい情報提供のツールとして十分な効果を上げることが期待できる。

(3) 段階確認・出来形検査

i) 遠隔立会い

段階確認や出来形検査においては監督職員が現場に赴き、施工の手順管理手法など施工途中でしか確認できない行為についての把握や設計図書の契約通り施工されているかの検査を行う必要がある。さらに、監督職員は、段階確認の実施時において、現場の施工計画、実施内容、現場環境等、現場の現況を十分に把握しておく必要がある。しかし、実際の工事においては、複数の現場を抱える監督職員が毎日現場に訪れることが困難ということや、日々変化する施工状況を常に把握できないといった問題点があり、効率的な段階確認が必要とされている。

本システムを用いることで、インターネットによる監督業務に必要な情報の提供や現場計測結果のリアルタイム通信、設計情報と実施工計測値の3次元的な表現が可能となることで、現場の施工状況がリアルタイムで遠隔地から確認可能であり、現場で目視して確認する行為に代わる確認行為として成立する可能性がある。

ii) 不可視部分の確認

不可視部分の確認とは、工事の完成後に水中又は地中に埋没明視できなくなり確認不可能、不明瞭となる箇所の出來形確認のことである。従来では、監督員の測定あるいは工事写真により、各工事の不可視部分の施工状況、出来形寸法検査を行っているが、写真や図面など平面的な確認しかできないため、実際に現場臨場したものと比較すると不可視部分の把握しにくいものとなっている。

本システムの出来形確認機能を用いることで、バーチャル空間の中に工事の設計情報と施工後計測された実測値が3次元的に可視できる形で存在するため、自在に任意のオブジェクトを表示、非表示にすることで不可視部分の工程をいかにも現場にいるかのように把握することが可能となる。

4. Web3D 技術を用いた施工支援システムの構築

4.1 システム開発フロー

本システムの開発フローを図-7に示す。

まず、3次元CADデータから施工対象データをWeb3Dソフトウェアに取り込んでWeb3Dデータに変換する。

次に、マウスやキーボード操作による視点移動やオブジェクトの移動回転、また、連携プログラムに対応するように、イベント付与を行う。本論文のWeb3Dオーサリングでは、Web3DソフトウェアCult3Dを用いて制作した。ソフトウェアの主な特徴としては以下があげられる。

- HP上において一般的なブラウザソフトを使用しWeb3Dを閲覧できる。
- データが非常に軽い。1MB程度である。
- データが軽い割に操作性、表現能力が高く、複雑なモデルデータにも対応している。
- オブジェクトのアクション、アニメーションを作成できる。
- URL、サウンドへのリンクができる。
- Mac、WindowsのOSに対応している。
- ハイエンドPC以外でも高品質のVRが閲覧できる。
- Javaを完全にサポートし、JavaScriptにも対応している。

このようなオーサリングツールでWeb3Dデータを編集することで、インタラクティブなコンテンツを作成することができる。また、編集作業を効率的に行えるように、ビジュアルプログラミング手法を採用しておりEvent Mapと呼ばれる機能で様々な関数や視点位置などを論理的に組み合わせることでイベント付与が可能である。

その後、イベント付与したWeb3Dデータと基盤システムのデータベースが連携できるように、JavaScriptにより連携プログラムを作成し、各機能を開発する。

4.2 工程管理機能の開発

4.2.1 工程管理機能の構成

工程管理機能は、①3次元立体モデル、②工程連動プログラム、③工程情報データベースで構成される。

- ①3次元立体モデルとは、建設プロジェクトに関連する構造物、地形等の3次元データである。3次元CADにより正確に現場状況を再現している。また、色やテクスチャなどの属性や工程連動プログラムと連携できるようにイベント付与を行う。工程管理機能では、キーボードによる視点操作、マウスによる構造物や地形等、オブジェクトの移動回転のイベント付加のほか、工程連動プログラムのために表示・非表示のイベント付加を行う。
- ②工程連動プログラムは3次元立体モデルと工程情報DBとを結ぶ重要な実働部であり、3次元立体モデルと工程情報DBを連携させ、工程に連動した施工シミュレーションの作成を行うプログラムである。前述で示したようにJavaScriptにより3D立体モデルを制御するプログラムであるが、具体的には3D立体モデルに付与されている表示・非表示のイベントを実行することで連動している。
- ③工程情報DBとは、基盤システムの工程表機能により入力した工程情報をデータベース化したものである。これを用いて3D立体モデルをWeb3D空間で表示・非表示させることにより、施工シミュレーションの時間管理を行っている。



図-7 開発フロー

このように、以上の要素を組み合わせることで工程管理機能を構成している。それでは、工程情報 DB 作成から Web 配信までの具体的な流れを図-8に示す。まず、基盤システムの工程表機能により工程情報を入力する。これが工程情報 DB である。次に工程連動プログラムが、3D 立体モデルデータと工程情報 DB の連携を行うことで施工シミュレーションの作成を行い、Web 上で閲覧可能な状態にする。このように、工程管理機能には、工程表作成から Web 配信までをスムーズに行うことができる。

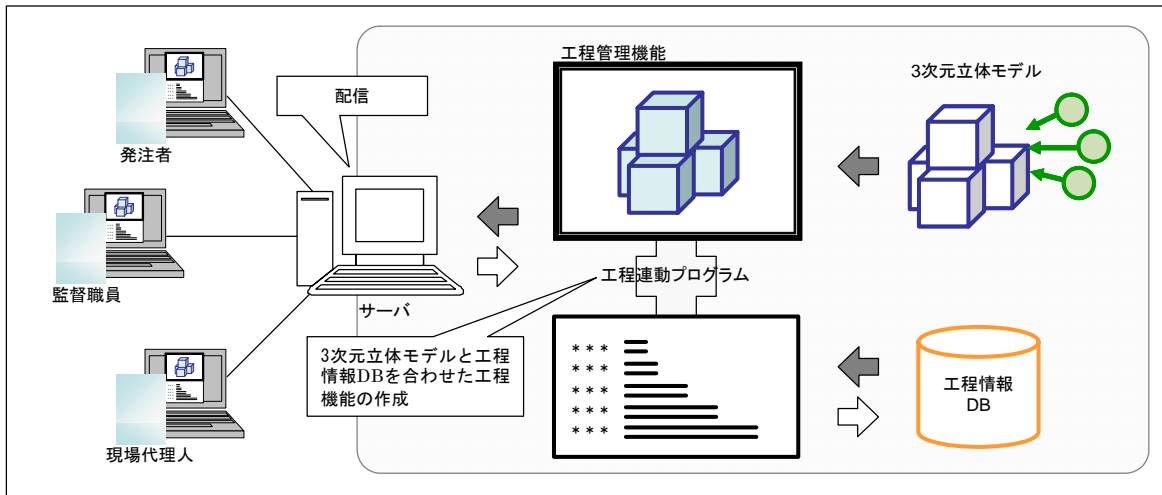


図-8 工程管理機能の構成

4.2.2 工程管理機能の概要

図-9は施工管理システムの工程管理機能の画面である。

画面上部には、工程表の入力、編集を行うメニューがあり、工種・種別ごとに予定数量や予定工程や実施工程などを登録し、画面下部に表示されている工程表の作成を行う。さらには、実施数量として現場の実績を登録することで自動的に進捗が更新されるシステムとなっている。

Web3D表示画面には、視覚的に表現された工事の設計情報である3次元立体モデルがWeb上に表示される。また、3次元立体モデルの細部を閲覧するためにオブジェクトの回転や移動、ズームなどの操作をすることが可能である。操作方法としてはマウス、キーボード、PC用コントローラのいずれかを用いる。工程管理機能のキーボード操作方法や視点移動のためのボタン配置はシステム上に紹介している。また、PC用コントローラを用いることでさらに自在に操作できよりバーチャルな空間を体感することができる。

施工シミュレーションボタンは、3次元立体モデルの時間軸に対する変化を行うもので、工程表に沿って配置してある。ユーザは、このボタンの中から施工予定日の現場の様子を把握する日時を選定してクリックを行う。そうすることで、任意の工程日を再現した3次元立体モデルを表示できる。

このよう従来の工程表を見ながら、任意の現場状況や視点からの施工進捗状況を同時に把握することにより、正確かつ迅速に施工内容を包括的に理解することができる。



図-9 工程管理機能メイン画面

4.3 段階・出来形確認機能の開発

4.3.1 段階・出来形確認機能の構成

段階・出来形確認機能は、①3次元立体モデル、②出来形計測データ、③出来形計測データベースで構成される。

①3次元立体モデルは、前述したとおり、建設プロジェクトに関連する構造物、地形等の3次元データであるが、ここでは、段階・出来形確認の対象となる工種・種別毎の3次元立体モデルを利用する。

②出来形計測データは現場でTSにて取得された出来形計測データである

③出来形計測DBとは、登録された出来形計測データをデータベース化したものである。これを用いて3次元立体モデル上に計測点の表示と取得座標一覧をシステム上に生成する。

このように、以上の要素を組み合わせることで段階・出来形確認機能を構成している。それでは、出来形計測データの取得からWeb配信までの具体的な流れを図-10に示す。まず、TSを用いて現場の出来形を計測する。その後、取得した出来形計測データを本システムに登録する。次に出来形計測DBに登録されている座標情報を抽出し、3次元立体モデル上に計測点と座標一覧表の生成を行い、Web上で閲覧可能な状態となり、段階確認や出来形確認を行う。

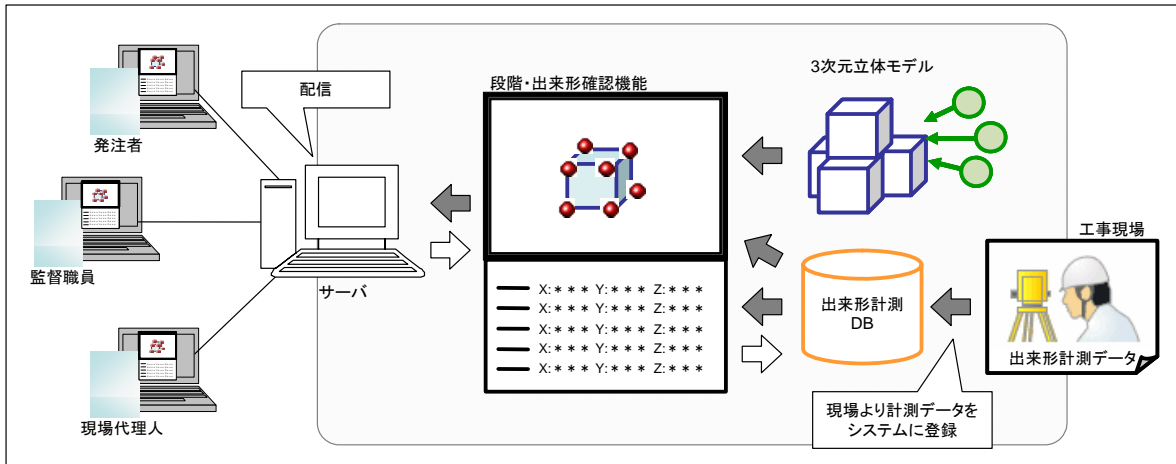


図-10 段階・出来形確認機能の構成

4.3.2 段階・出来形確認機能の概要

図-11は施工管理システムの段階・出来形確認機能の画面である。

この表示画面には、工程管理機能の工種・種別メニューの各工種のリンクをクリックすることで閲覧できる。

Web3D表示画面には、検査前は設計形状の3次元立体モデルのみ表示するが、各工程が進み出来形検査が行なわれる度に計測点が追加される。この画面でマウス、キーボード、PC用コントローラを使用し、視点とオブジェクトの操作を行なう。

視点の操作は、各検査箇所へズームするようにキーボードに割り当てられる。また、1工種に複数の種別の工程がある場合は、どの種別の計測箇所かわかりやすく表示をできるようにマウスクリックで種別毎に表示・非表示を行える。

画面中央部には、工程基本データが表示される。表示内容は工事区分、工種、種別、細別、計画数量、進捗率、施工開始日・終了日である。

画面下部には、TSで取得された出来形計測データの座標一覧が表示される。

以上により、Web3D表示画面を閲覧することで、監督職員は、計測箇所と設計値との差異を現場で目視したかのように確認し、判断することが可能である。

工事区分	道路改良	計画数量	10.0 m
工種	排水工	進捗率	0%
種別	プレキャスト集水棟	施工開始日	2007-01月18日
細別	基礎材・地コン打設	施工完了日	2007-01月19日

検査項目	排水工	検査日	2007-01月19日	
本線測点番号	X座標	Y座標	Z座標	備考
NO.3+10.813	-85336.660	16078.288	172.024	
NO.3+9.313	-89337.259	16079.568	172.017	
NO.3+10.691	-89338.430	16077.496	172.02	
NO.3+9.573	-89339.975	16078.639	171.994	

図-11 段階・出来形確認機能メイン画面

5. 実証実験

5.1 実験の目的

4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てきた。本実験では、実証実験用の工事現場において本システムを運用し a)3次元設計情報の効果、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。

5.2 現場概要

実験工事は3種4級の約50mとし、実験のために平面線形にはクロソイド、縦断線形にも勾配変化が設定されている。図-12に平面図、図-13に現場写真、表-3に工事の主な対象項目を示す。

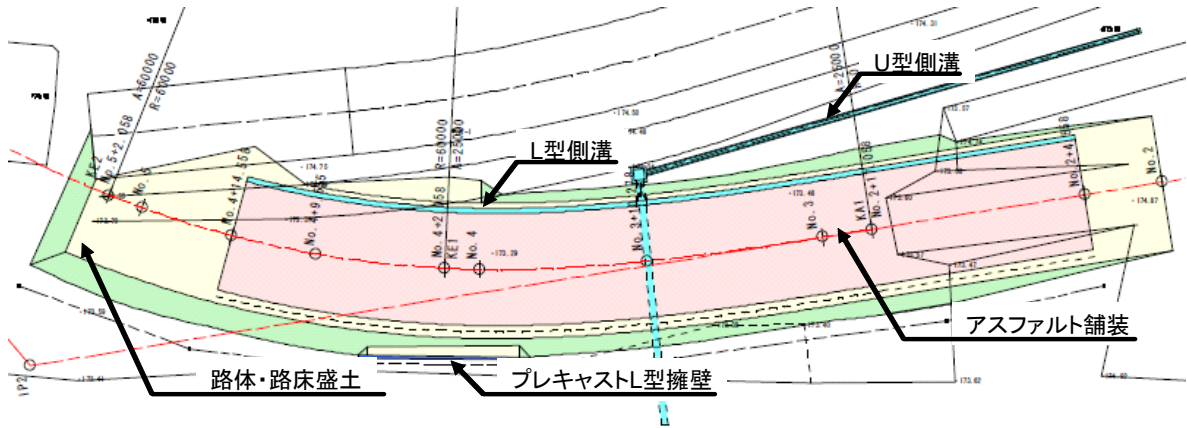


図-12 実証実験図面



図-13 実証実験現場写真

表-3 工事の対象項目

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

5.3 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、前述した以下の技術を適用して本システムの有効性を検討する。

- ・ 施工情報を搭載できるTSを用いた出来形管理システム
- ・ 3次元CAD

また、本実験による評価項目は、a)3次元設計情報の効果、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より評価を行う。

以下に、実験手順とその評価方法を示す。

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、立会いの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、3次元立体モデル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、立会后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。

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3次元立体モデル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。

5.4 本システムによる実験結果

5.4.1 施工管理機能の表示結果

図-14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や3次元立体モデルの操作を行うことができる。

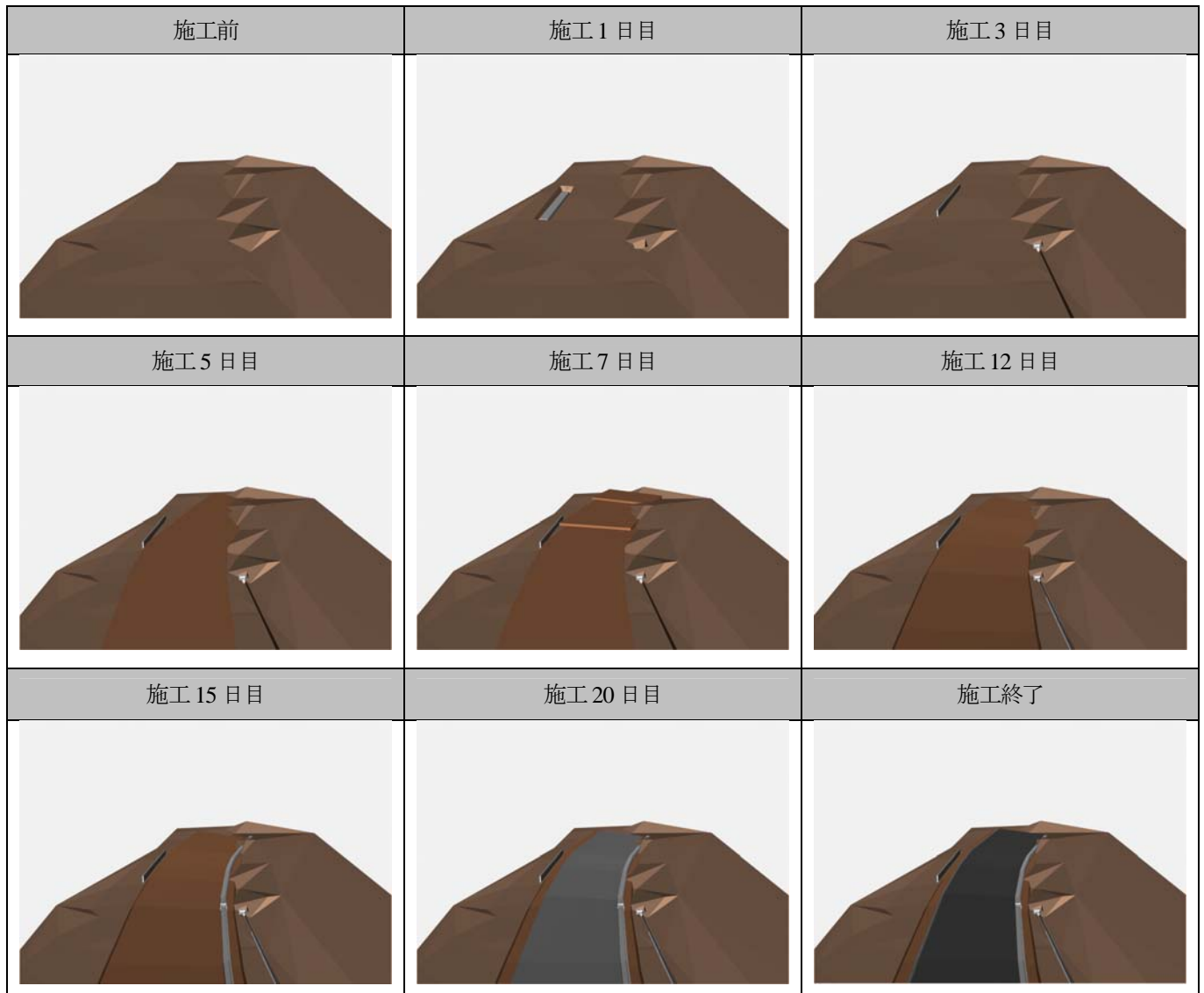


図-14 施工管理機能の表示結果

5.4.2 段階・出来形確認機能の表示結果

次に、段階・出来形確認機能の表示結果を以下に述べる。この結果は全行程の一部である5つの工程についての結果をまとめている。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う。

また、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。道路土工と舗装工の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⁹⁾。

(1) 集水枡工 掘削土工

表-4の帳票より出来形の判定は不合格になっている。掘削面の高さとは基準高で±50の規格値で61.82という結果は61.82(mm)掘削してしまい、設計形状よりも深く掘削してしまっていることを示し、規格値より11.82(mm)深く掘りすぎている。

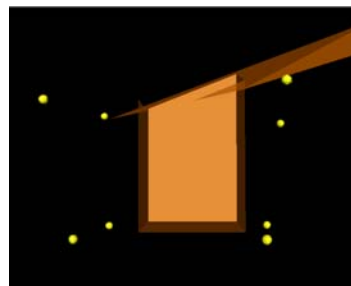
表-4 掘削出来形検査帳票

集水枡工 掘削出来形			
管理項目	規格値	結果	判定
高さ(掘削面)	±50	61.82	NG

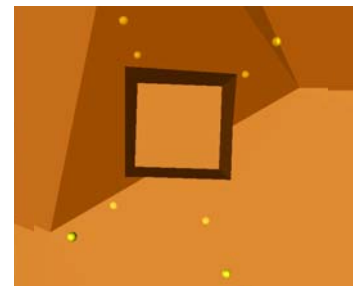
図-15(計測点は黄色)を見ていくとb)では掘削の高さの確認をしたところ設計形状の掘削面より計測点は下方にプロットされており、帳票との一致が見られる。a)、c)では全体を立体と平面で確認したところ設計形状の掘削面積より計測点で示される掘削面積の方が広いことから実際の施工現場では設計よりも大きく掘削が行われている。



a)全体確認



b)高さの確認



c)掘削面積の確認

図-15 集水枡工掘削出来形検査 VR 確認

(2) 集水枡工 均しコンクリート基礎材、集水枡設置

表-5から帳票を見て分かる通り出来形の判定はいずれも合格で満足に施工されている。結果から集水枡工の施工は設計よりもプラスに施工されていることが分かる。

表-5 集水枡工出来形検査帳票

集水枡工 均しコンクリート出来形			
管理項目	規格値	結果	判定
幅	-50	0.90	OK
厚さ	-30	0.90	OK

図-16を見るとa)では集水枡の均しの厚さ、集水枡設置の高さの確認を行ったが、集水枡設置の計測点が設計形状よりも右にずれていることが分かる。b)では均しコンクリート幅の確認を行ったところ掘削面が大きくなっており、図-10のc)と見比べると掘削の形状に合わせてあることが分かる。また、b)、c)ではそれぞれ幅の確認ではあるが、均しコンクリートと集水枡は設計形状よりも位置と向きが移動した位置に施工されていることが分かる。

集水枡工 設置出来形			
管理項目	規格値	結果	判定
幅	-50	1.10	OK
高さ	-30	1.10	OK

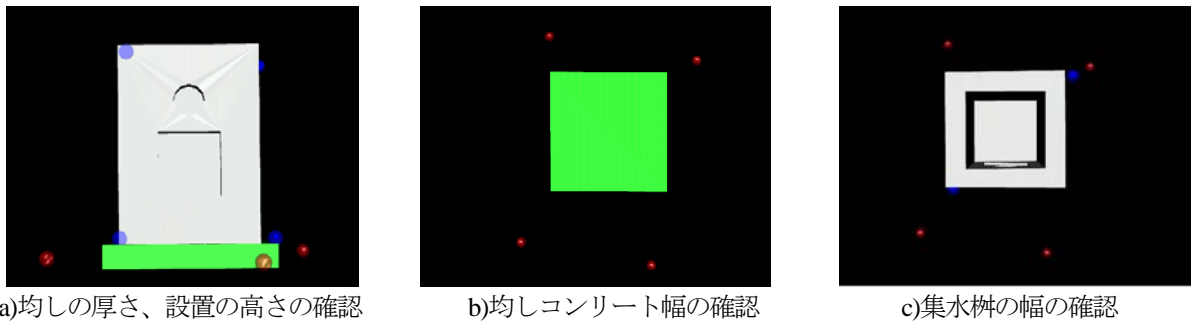


図-16 集水枡出来形検査 VR 確認

(3) 擁壁工

表-6の帳票から分かるように擁壁工における砕石、均しコンクリート、設置の出来形の判定は合格になっている。結果からは幅と延長に関して砕石以外は設計値より結果の数値の分だけ大きく施工しており、砕石は延長が短くなっている。規格値の高さに関しては基準高での判定で、いずれも1(mm)以下の差という結果になっている。

図-17よりa)では高さの確認を行ったところいずれの計測点も設計形状の高さにあっていることが確認できる。b)、c)では擁壁設置の幅、均しコンクリートの延長と幅の確認を行っており設計形状上に計測点が接していることが分かる。d)では砕石の延長と幅の確認を行ったが延長で見ると計測点が設計形状の内側に大きく入っていることが確認でき帳票の結果と一致する結果となった。

表-6 擁壁工出来形検査帳票

擁壁工 砕石出来形			
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

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

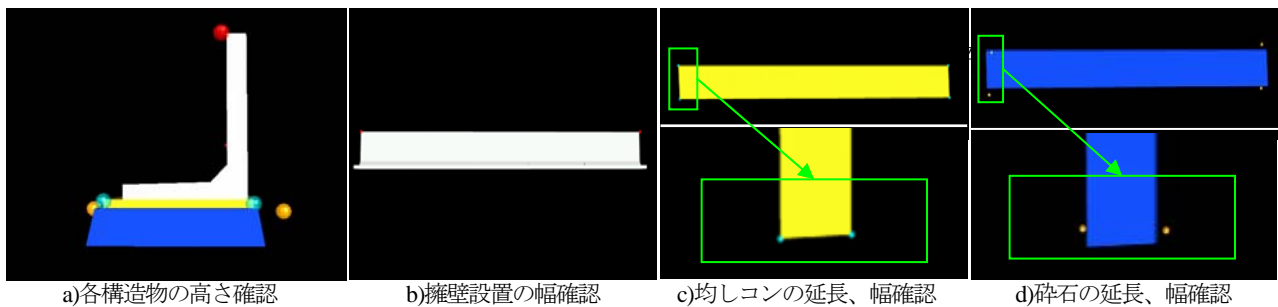


図-17 集水枡出来形検査 VR 確認

(4) 道路土工 路体出来形

表-7の帳票から路体の出来形は規格値の範囲内におさまっており、出来形の判定は合格している。

図-18からはa)で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。b)からは幅が設計形状と一致していることを確認した。c)では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。

表-7 道路土工 路体出来形検査帳票

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

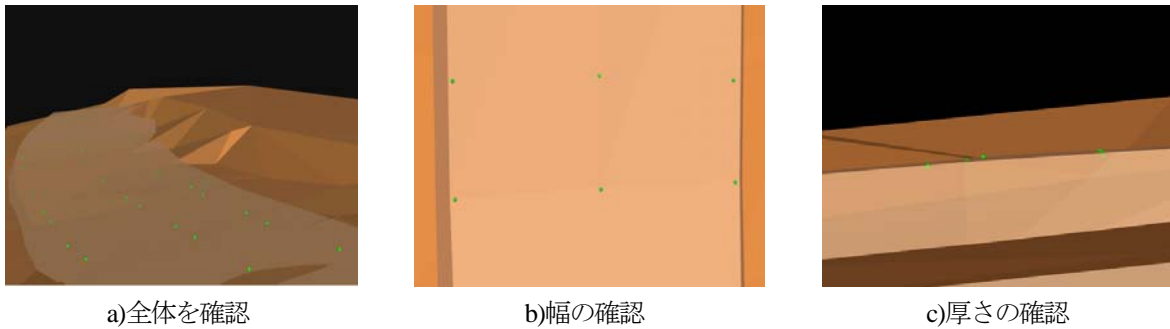


図-18 集水柵出来形検査 VR 確認

(5) 舗装工 下層路盤出来形

表-8の帳票から下層路盤の出来形は規格値の範囲内におさまっており、判定は合格している。

図-19のa)では管理断面上の計測点が設計形状にあることを確認した。b)では計測点の幅が設計形状にほぼ接していることが確認できた。c)では路盤の設計形状の上面にほぼ接していることから設計形状と出来形の厚さと高さがほぼ設計通りであることを確認した。

表-8 下層路盤出来形判定

舗装工 下層路盤出来形			
管理項目	規格値	結果	判定
幅	-50	6.60	OK
高さ	±40	5.17	OK
厚さ	-45	0.01	OK

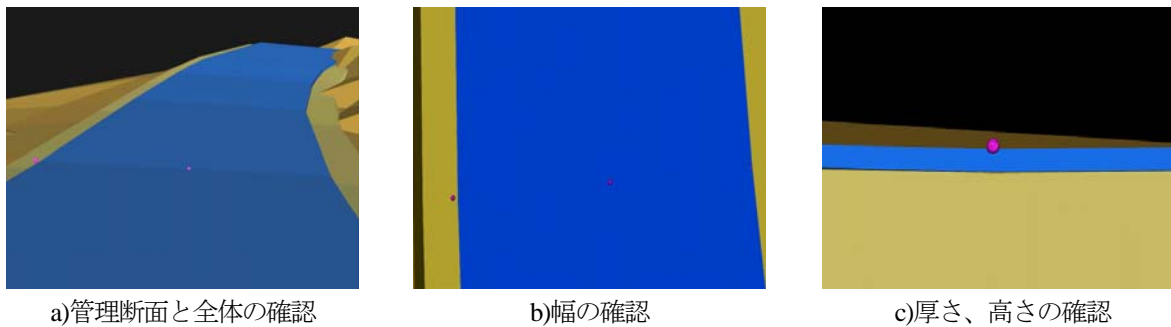


図-19 下層路盤出来形検査 VR 確認

以上の実験結果において、(1)集水柵工掘削土工(2)集水柵工均しコンクリート基礎材集水柵設置は集水柵工における土工から設置までの工程での掘削土工で出来形検査が不合格となった。このとき、Web3D表示画面では深さの数値までは分からないが、出来形検査の結果が意味する掘削深さが深すぎたことが把握しやすく、埋め戻しといった追加工事で行うことのイメージが容易にできた。設計形状よりも掘削面積が広がっていたが、作業のために広めに掘削を行うことを設計者が理解できていない為に起こった結果である。このことから設計者と現場との迅速な情報交換の必要性がわかった。(2) 集水柵工均しコンクリート基礎材集水柵設置は集水柵工における計測点のずれは、この集水柵は別に施工される横断管渠と連結するためその位置の調整のためにずれが生じたと考えられる。(3)擁壁工で、砕石が設計形状よりも延長が短かったが、プレキャスト擁壁の延長とほぼ同じだったことから、大きさを合わせて施工したと考えられる。(4)道路土工路体出来形、(5)舗装工下層路盤出来形において路盤と路体の結果から盛土や舗装といった大規模な工程においても有効であることが分かった。

また、各工程を見てみると、設計値と出来形計測座標より算出された値を数値的に確認し、本システムに表示されるWeb3D表示画面の3次元立体モデルを操作し、対象箇所(画面上に球で表示)を臨場目視に近い形で確認することで、数値的にも視覚的にも判断を行うことが可能となっている。したがって、Web上で設計値と計測値の比較が判定できるため遠隔立会いの実現が可能であることがわかる。

5.5 評価項目の検証

a) 3次元設計情報の効果の検証

本システムを利用した請負者や監督職員にヒアリング調査を行った。以下その結果を示す。

調査内容は、①施工段階における監督検査に関連する業務項目を時間短縮が見込まれる項目と②施工支援システムやTSを用いた出来形検査システム等の情報化技術を用いても現行と同様な業務が可能な項目に分けて調査を行った。①時間短縮が見込まれる項目は時間での分析を行い、②情報化においても現行業務と同様に業務を執り行える項目については関係者の意見をとりまとめた。

表-9は①時間短縮が見込まれる項目について調査したものである。現行業務と情報化技術を用いた業務内容の作業時間を調査した。これらの調査により測量情報や設計情報を3次元情報として電子化することにより立会の準備や出来形検査を行う際の丁張り設置や帳票の自動出力など時間短縮効果がみられた。また、表-10は②情報化を用いて従来と同様な業務が可能な項目についてのヒアリング結果をまとめたものである。この調査により3次元設計情報の可視化を行うことで、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ったと考えられる。

表-9 ①ヒアリング結果—時間短縮が見込まれる項目

[設計データの電子化比較] (施工業者)

現 行				情報化			
作業	時間 (h)	発生回数(回)	合計(h)	作業	時間 (h)	発生回数(回)	合計(h)
※従来はこの作業はなし				地形データ設計形状の電子化	16.0	1	16.0
総計(h)				総計(h)			16.0

[立会関係書類の準備] (施工業者)

現 行				情報化			
作業	時間 (h)	発生回数(回)	合計(h)	作業	時間 (h)	発生回数(回)	合計(h)
事前資料作成	0.5	20	10	事前資料作成	0.5	20	10
事後報告書作成	0.5	20	10	(システムへ入力)			
総計(h)			20	総計(h)			10

[工事施工の立会い準備] (施工業者)

現 行			
作業	時間(h)	発生回数(回)	合計(h)
出来形測量			
準備	8.0	1	8.0
中心点復元等	8.0	1	8.0
立会当日現場作業	4.0	1	4.0
図面作成	24.0	1	24.0
丁張り作業	8.0	1	8.0
総計(h)			52.0

情報化			
作業	時間(h)	発生回数(回)	合計(h)
出来形測量			
出来形測量	4.0	1	4.0
(すべての作業込み)			
図面作成	4.0	1	4.0
丁張り作業	4.0	1	4.0
総計(h)			12.0

[工事施工の立会い] (監督職員)

現 行			
作業	時間(h)	発生回数(回)	合計(h)
出来形検査			
移動	1.0	1	1.0
資料確認	0.1	1	0.1
実測	0.3	1	0.3
設計値と実測値の確認	0.2	1	0.2
総計(h)			1.6

情報化			
作業	時間(h)	発生回数(回)	合計(h)
出来形検査			
(システム上で実施)			
資料確認	0.1	1	0.1
設計値と実測値の確認	0.2	1	0.2
総計(h)			0.3

表-10 ②ヒアリング結果-情報化を用いて現行と同様な業務が可能な項目

対象項目	対象者	意見
[設計図面の照査]	施工業者 (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次元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	<p>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次元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。</p> <p>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次元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。</p>
[工程の把握]	施工業者 (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。

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情報化技術を用いた提案手法で実験を行い、そのデータをもとに工事施工の立会いの業務改善効果の検証を行う。

5.4.2段階・出来形確認機能の実験結果より、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いの実現が可能であることがわかる。

そ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-20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。

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の時間で段階・出来形確認が可能となる。

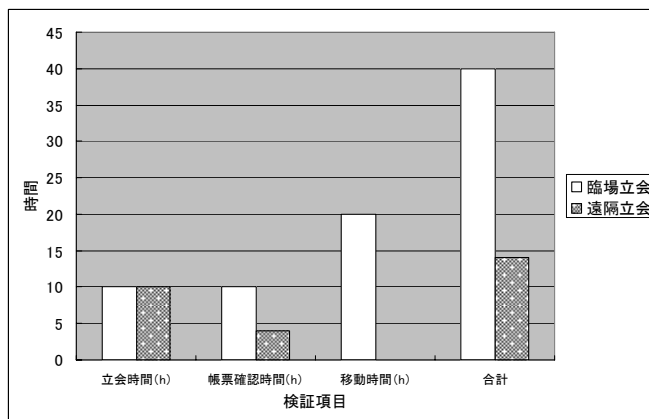


図-20 遠隔立会いによる時間短縮効果

5.6 考察

本実証実験では、a)3次元設計情報の効果、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見られた。また、3次元情報を流通して利活用することで出来形検査や帳票出力などの時間短縮効果があった。

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ことができると十分な効果があったといえる。

また、3次元設計情報の可視化した3次元立体モデルは、3次元情報であるがもちろん2次元情報を含んでいるため、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かれていることがわかる。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の品質の向上や、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。

現状の土木事業では、建設 CALS/EC の進展により、建設情報の電子化、標準化、情報の共有が図られており、国土交通省はアクションプログラムを策定し段階的に推進している状況にある。今後、建設 CALS/EC が目指すものは、このような情報基盤の整備に基づく建設情報の高度利用であるがその情報をどう利用するのか、どう利用できるかといった具体的な利用方法については研究がすすんでいないのが事実である。その中で提案した Web 3D 技術を用いた施工支援システムは、3次元 CAD データや情報技術による出来形管理システムにて取得されたデータの導入や遠隔立会いの実現の可能性等、監督・検査業務における建設情報の高度利用の一例として位置付けることができると思われる。

今後は、建設分野での Web3D 技術の活用を実現するために、土木的なアプローチも兼ね備えた土木仕様の Web3D 言語の開発が課題となってくる。特に本論文では、Web3D 言語の標準化については触れていないが、Web3D 技術が施工フェーズ、または建設フェーズ全体において有効性が認められ、ニーズが高まれば、Web3D 言語の標準化に対して、今後の大きな進展が期待される。

6. 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、本論文では、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。

- 1) 2 章では、建設分野における情報化技術の普及と施工段階の課題について述べた。これらをもとに、施工段階における監督職員と施工業者がやり取りを行う監督・検査業務に着目し、その課題を整理した。
- 2) 3 章では、2 章で整理した課題を踏まえ、(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を課題の解決法として考え、それぞれの項目に対して要件を設定した。また、この要件を満たす Web3D 技術を用いた施工支援システムを提案し、その概要を述べた。
- 3) 4 章では、3 章で提案した Web3D 技術を用いた施工支援システムの構築するための開発フローを示し、各機能の構成と運用方法、システムの画面構成を紹介した。
- 4) 5 章では、提案したシステムを用いて監督・検査業務における 3 次元設計情報の可視化の効果と業務効率の改善を確認するために道路土工において実証実験を行った。そのシステムの結果から、3 次元設計情報の可視化の効果と業務効率の改善の評価を検証し考察を行った。これによって、監督・検査業務の改善へ提案したシステムが有効であるとともに、実務に適用できる可能性があることを示せたと考える。

本論文では、監督・検査業務における Web3D 技術に用いた 3 次元設計情報の可視化に焦点を絞っているが、建設・施工部門だけでなく、企業内の様々な部門に展開できると考えられる。図-21 の示すように設計部門で生み出された Web3D データを、施工現場だけではなく、維持管理部門・営業部門などの基礎資料やマニュアル等に展開することで、データを有効に利用することが可能になる。また、部門間の情報共有を図ることで、企業内におけるライフサイクルのプロセス自体を変革していき企業の質の向上につながる効果も期待される。今後、Web3D の発展により、誰でも気軽にその場で活用できる 3D データ環境を、様々なフィールドで提供でき、今後大きく展開できることを期待している。

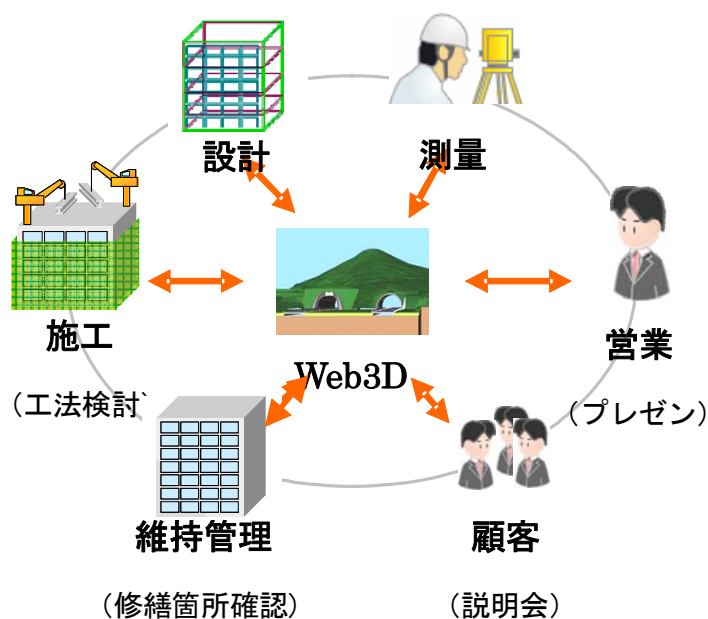


図-21 Web3D データの企業内部での流れ

参考文献

- 1) 国土交通省 CALS/EC ホームページ : <http://www.mlit.go.jp/tec/cals/>, 2007.08 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) 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
- 5) 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
- 6) TOPCON ホームページ <http://www.topcon.co.jp/positioning/ts00.html>, 2007.08 現在
- 7) 国土交通省ホームページ : http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/13/130825_.html, 2007.08 現在
- 8) IT 用語辞典-Exif : <http://e-words.jp/w/Exif.html>, 2007.08 現在
- 9) 関東地方整備局土木工事施工管理基準及び規格値(案), 平成 15 年度改訂済

助成研究者紹介

こばやし いちろう

小林 一郎

現職：熊本大学大学院自然科学研究科 教授

(工学博士)

主な著書：

1. 空間構成と人の動きに着目した橋詰広場のデザイン
土木学会 景観・デザイン研究論文集 No.1、pp35-44、2006.12
中島幸香、松尾賢太郎、星野裕司、小林一郎
2. 地域特性に着目した旧国鉄宮原線アーチ橋梁群の土木遺産調査及び評価
土木構造・材料論文集、Vol.22、pp.145-154、2006.12
永村景子、本田泰寛、小林一郎、星野裕司、松尾和人
3. 3次元データを利用した築堤・護岸工の出来型検査手法に関する一提案
土木構造・材料論文集、Vol.22、pp.163-170、2006.12
柿本 亮大、野間 卓志、小林 一郎、坂口 正光
4. 自動属性判別法によるレーザ計測データの有効活用について
土木情報利用技術論文集、Vol.14、pp.79-86、2005.10
山本一浩、小林一郎、上野幹夫、橋本淳也
5. レーザー計測データを用いた有限要素法による洪水氾濫解析
土木情報利用技術論文集、Vol.14、pp.1-6、2005.10
上野幹夫、小林一郎、山本一浩、安重晃、橋本淳也
6. 工事写真記録群に見る白水堰堤の造形と建設経緯
土木史研究論文集 vol.24、pp.121-128、2005.06
松尾和人、星野裕司、小林一郎、本田泰寛
7. シャテルロー橋の建設に見る鉄筋コンクリート橋技術
土木史研究論文集 vol.24、pp.1-8、2005.06
本田泰寛、小林一郎、M・コット
8. 河川プロジェクトモデルのデータ運用に関する一提案
土木情報利用技術論文集、Vol.13、pp.33-42、2004.10
邵兵、小林一郎、山本一浩、指宿晃典
9. VR技術を用いた意見集約型工程計画システムの提案
土木情報利用技術論文集、Vol.12、pp.149-158、2003.10
Ichiro Kobayashi, Ken Baba, Kazuhiro Yamamoto, Katuto Maekawa
10. 都市河川へのアプローチを含めた横断時の歩行体験に関する予備的考察
土木計画研究・論文集 No.20、pp.393-400、2003.09
青井克志、星野裕司、小林一郎
11. 有限ひずみ仮想仕事の定理に基づく二段階制御型柔構造解析
土木構造・材料論文集、第18号、pp.109-116、2002.12
橋本淳也、橋本祐己、三池亮次、小林一郎
12. 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、第11巻、pp.103-112、2002.10
Ichiro Kobayashi, Shao Bing, Akinori Ibusuki, Yoshihiko Fukuchi, Mikio Ueno
13. 外部共有サーバを用いた公示写真検査システム
土木情報システム論文集、第11巻、pp.55-65、2002.10
Kazuhiro Yamamoto, Ichiro Kobayashi, Yuuji Hoshino, Yuuichi Matsumoto
14. 九州内の明治期に建設された砲台から得られる眺望景観に関する研究
土木計画学研究・論文集、No.18、pp.339-348、2001.11
星野裕司、萩原健志、小林一郎

15. 明治期の砲台跡地にみる近代遺産の保存・活用について
土木史研究、第 21 号、pp.89-100、2001.6
星野裕司、小林一郎
16. 中間荷重が作用する骨組構造のマトリックス構造解析
土木構造・材料論文集、第 16 号、pp.71-78、2000.12
橋本淳也、三池亮次、小林一郎、橋本祐己
17. 建設CALS/EC実証フィールド実験のためのデータ交換技術について
土木情報システム論文集、第 9 巻、pp.1-10、2000.10
山本一浩、小林一郎、星野裕司、緒方正剛
18. Themes et Variations sur Le Pont Saint-Michel a Toulouse
La Technologie au Risque de L'Histoire、 pp.199-205 2000.8
Ichiro Kobayashi、 Maki Yamashita
19. 町在・関連資料に見る通潤橋架橋による関係町村の政治・経済的背景と効果について
Journal of Historical Study of Civil Engineering, Vol 20、 pp.97-104、2000.6
本田泰寛、石井清喜、小林一郎
20. 対称剛結合骨組構造の分岐のメカニズムについて
土木構造・材料論文集、第 15 号、pp.47-54、1999.12
橋本淳也、三池亮次、小林一郎、橋本祐己
21. Application of Virtual Model to Achieve Consensus for Construction Project
Journal of Civil Engineering Information Processing System,
pp.277-284、 1999.10.
Seigo OGATA、 Ichiro KOBAYASHI、 Yoshihiko FUKUCHI
22. SERIES OF APPLICATIONS OF COMPUTER GRAPHICS FOR A DAM CONSTRUCTION SITE MANAGEMENT AND SITE SURROUNDINGS
Journal of Civil Engineering Information Processing System in 1999、
pp.239-246、 1999.10.
Yoshihiko FUKUCHI、 Ichiro KOBAYASHI、 Daiki NOMURA、 Takasi YAMANE
23. ウェブ技術を用いた施工管理支援システムの構築とその運用
土木情報システム論文集、第 8 巻、pp.49-56、1999.10
平井裕二郎、小林一郎、星野裕司、福地良彦
24. 橋梁建設工事における施工支援FAAの適用
土木情報システム論文集、第 8 巻、pp.9-16、1999.10
星野裕司、小林一郎、緒方正剛、福地良彦
25. VMを用いた工程可視化システムの構築に関する研究
土木情報システム論文集、第 8 巻、pp.1-8、1999.10
緒方正剛、小林一郎、星野裕司、福地良彦
26. 形状マトリックスを用いた骨組構造の幾何学的非線形解析、
応用力学論文集、Vol.2、 pp.261-269、1999.9
橋本淳也、三池亮次、小林一郎、佐藤啓治
27. 橋梁景観の評価と設計への特異点概念の利用
構造工学論文集、Vol.45A、 pp.615-622、 1999.4
山下真樹、小林一郎、増田剛士、橋本淳也
28. 主題と変奏－E. フレシネの設計手法の一側面
構造工学論文集、Vol.45A、 pp.561-568、 1999.4
小林一郎、山下真樹、橋本淳也
29. Restoring and reusing historical bridges in Kyushu island
Patrimoine de l'industrie、 Vol.1、 109-118、1999.1
Michel Cotte、 Seiji Totsuka、 K. Venkataramana Katta、 Ichiro Kobayashi
30. マルカート法およびGAを用いたケーブル構造の大変形解析
土木構造・材料論文集、第 14 号、pp.97-104、 1998.12

共同研究者

ふじしま たかし

藤島 崇

現職：社団法人 日本建設機械化協会施工技術総合研究所 主任研究員
工学(博士)

主な著書：

1. レーザスキャニングシステムを用いた舗装出来形管理手法の一提案
土木情報利用技術論文集 VOL.15,土木学会,pp.249-258, 2006.10
藤島崇, 小林一郎, 星野裕司, 中村太祐
2. WEBカメラと現場計測データを利用した段階確認手法の一提案
土木情報利用技術論文集 VOL.15,土木学会,pp.241-248, 2006.10
山元弘, 二瓶正康, 藤島崇, 小林一郎, 池田直広
3. WEBカメラと現場計測データを利用した段階確認手法の一提案
土木学会,2006年度土木情報利用技術論文集 VOL.15, 東京,pp.241-248, 2006.10
山元弘, 二瓶正康, 藤島崇, 小林一郎, 池田直広
4. Construction Management Using Position Measuring Technology of Construction Equipment in Paving Work
国際建設ロボット学会, 国際ロボットシンポジウム 2006(ISARC2006), 東京,pp580-585, 2006.10
Tamotsu Ogasawara, Tetsuya Kanazawa, Koichi Kobayashi, Takashi Fujishima
5. 舗装の情報化施工について
平成17年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, pp89-90,2005.11
坂本鋼三, 金澤哲也, 藤島崇
6. 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、2005.10
藤島崇、篠原雅人、小林一郎、樋口明彦、橋本大志
7. 地形確認業務への情報化施工の適用に関する一提案
土木学会, 2004年度土木情報利用技術論文集 VOL.13, 東京, pp.261-270, 2004.10
藤島崇, 新田恭士
8. 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
土木学会, 2004年度土木情報利用技術論文集 VOL.13, 東京, pp.251-260, 2004.10
藤島崇, 新田恭士
9. Introduction of IT into Road Construction and its Typical Applications
Proceedings of the First International Conference on Construction Information Technology, Beijing
CHINA, pp.243-252, 2004, Aug.
Fujishima T, Ageishi S, Shinohara M & Takemoto N
10. 情報化施工に関する要素技術の実証実験と適用性
日本建設機械化協会 平成11年度建設機械と施工法シンポジウム論文集, pp140-145, 1999.10
星野剛, 小櫃基住, 藤島崇

ほしの ゆうじ

星野 裕司

現職：熊本大学大学院自然科学研究科 准教授

工学(博士)

主な著書：

1. 風景演出のためのトンネル坑口デザイン
土木学会 景観・デザイン研究論文集 No.1、pp27-33、2006.12
星野裕司、小林一郎
2. 高速道路における景観検討箇所選定への3D-CADの利用
土木構造・材料論文集、第20号、pp.119-126、2004.12
橋本大志、小林一郎、星野裕司
3. リソルジメント橋の設計を通して見たエヌビック社の技術移転の事例
土木史研究論文集、Vol23、pp.83-93、2004.06
本田泰寛、小林一郎、M・コット
4. 河川におけるプロジェクトモデルに関する一提案
土木情報利用技術論文集、Vol.12、pp.33-42、2003.10
山本一浩、小林一郎、邵 兵、星野裕司
5. 道路線形を考慮した地形デザインのための3次元CG表現について
土木情報利用技術論文集、Vol.12、pp.159-166、2003.10
趙 暁明、星野裕司、小林一郎、緒方正剛
6. 明治期に建設された沿岸要塞における砲台配置と眺望景観の関係に関する研究
土木計画学研究・論文集、No.19、pp.347-358、2002.11
星野裕司、永野謙一、小林一郎
7. 自然災害における危機管理模擬演習訓練システムの構築に関する研究
Vol 11,土木計画学研究・論文集、No.18、pp.245-254、2001.11
小林一郎、菊池良介、橋本淳也、星野裕司、高口友久

A NEW METHOD FOR CONSTRUCTION SUPPORTING SYSTEM USING WEB-3D TECHNOLOGY

Kobayashi,I.¹ Hujishima.T.² Hoshino.Y.¹

¹Kumamoto University ²Japan Construction Method and Machinery Research Institute

. This paper proposes a new method for construction supporting system using Web-3D technology. This system builds a construction information sharing system which I developed in an existing study to a base. In particular ,the function of the process control and Progress Control of Working Form made visible with Web-3D is newly developed. The profit use of construction information is attempted by operating 3D-CAD data and Working-Form measurement data with this system. Then, the usefulness and some points to improve will be pointed out by a experimental use of this system in the construction of the road construction.

.

KEYWORDS: *Web3D, Process control, Working-Form Management, Total Station, 3D-CAD.*

研 究 成 果 の 要 約

助成番号	助 成 研 究 名	研 究 者 ・ 所 属
第 2 0 0 6 - 1 2 号	VR技術を用いた施工支援ツールの開発	小林一郎・熊本大学
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>1. 序 論</p> <p>本論文では、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、既往研究で開発した工事情報共有システムと連携する施工支援システムを開発するものとする。</p> <p>2. 情報技術の普及と施工段階の課題</p> <p>情報技術の進展により、3次元CADやWeb3Dなど3次元情報を扱える機器やソフトウェアが整備されている。そのような中、情報技術を用いた出来形管理システムの研究が進められ監督・検査業務の出来形検査、帳票作成に関して有効であることが示されている。しかし、監督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から効率よくすべての臨場を行うことが困難となってきている。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。</p> <p>そこで、さらなるコスト縮減や品質向上を図るためには、受注から完成検査に至る施工一連の流れに関わる監督・検査業務を円滑に行えるシステムが必要とされる。</p> <p>3. Web3D技術を用いた施工支援システムの提案</p> <p>2章で整理した課題を踏まえ、以下の3つの解決法を挙げた。</p> <ol style="list-style-type: none"> 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 <p>以上の要件を満たすシステム開発のために既往研究で開発した工事情報共有システムを基盤として提案した。</p> <p>基盤システムは工事中における発注者と受注者で相互に交換する各種書類、設計図書等の作成・交換・管理を支援する目的として開発し、機能としてはファイル管理、写真管理、工程表、決裁の4つの機能を備えている。</p> <p>本論文で提案するシステムは、基盤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することが目的であり、Web3D技術を用いて工程管理機能と段階・出来形確認機能の開発を行った。</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>4. Web3D技術を用いた施工支援システムの構築</p> <p>本システムの開発フローは、まず、3次元CADデータから3次元立体モデルを作成する。このモデルは、視点移動や表示・非表示の設定等のイベントを付加したWeb3Dデータである。その後、基盤システムと3次元立体モデルが連携できるように連携プログラムを作成し、各機能を構築していく。</p> <p>5. 実証実験</p> <p>提案したシステムを用いて、道路土工、舗装工を対象に実証実験を行った。実験工事は3種4級の約50mとし、実験のために平面線形にはクロソイド、縦断線形にも勾配変化が設定されている。</p> <p>また、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、施工情報を搭載できるTSを用いた出来形管理システムと3次元CADの技術を適用して本システムの有効性を検討する。</p> <p>本実験による評価項目としては、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より評価を行う。</p> <p>実験結果としては、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工程表と3次元立体モデルが連動したシミュレーションを画面表示できた。また、3次元立体モデルによる計画値とTSで取得した出来形計測箇所による実測値をWeb3Dで立体的に表示することで計画値と実測値を目視で確認することができた。</p> <p>6. 結論</p> <p>本論文では、提案したシステムを用いて道路工事を対象に実証実験を行った。その結果、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。また、業務改善の効果としては、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。</p> <p>このように、工事情報を利活用して3次元的可視が可能なシステムを運用することは、施工段階の監督・検査業務の改善に有効であることがわかった。</p> </div> </div>		