

## - 28 河川工事の出来形検査における3次元データ利用へ向けた実証実験

Experiment about Progress Control of Working Form  
in River Construction to using 3D-Data柿本亮大<sup>1</sup>・野間卓志<sup>2</sup>・小林一郎<sup>3</sup>

Kakimoto Ryota, Noma Takuji, and Kobayashi Ichiro

**抄録**：近年、あらゆる分野で ICT を活用した技術革新が行われている。建設業界においても、ライフサイクル全般にわたる各プロセス間でシームレスな情報運用による業務効率の改善が望まれている。本稿では河川工事に着目し特徴を分析する中で、3次元データ管理による2段階の業務プロセス改善を提案する。それぞれの段階における新たな出来形検査手法について示す。最初の段階では、3次元データ利用の普及を目的とした距離算出型検査を提案し、次の段階で管理基準の見直しまでを考慮した座標比較型検査を提案する。さらに熊本県の湯の浦川における実証実験を行った。現行手法と比較することで距離算出型検査の有効性と信頼性を検証し、web3D 利用によって座標比較型検査の可能性を示した。

**Abstract**: Recently, every field is innovated by ICT. Improvement of operating processes with seamless information is required in the construction field's life cycle. This paper analyzes river construction's features and proposes two step improvement of operating processes by 3-D data, and presents new methods of progress control of working form to each step. First step, presents inspection by distance calculation. Second, presents inspection by coordinate comparison. Finally, shows possibility of second method with Web3D by verify effectiveness of methods in actual river works at *yunoura-river in kumamoto* and considers the results of demonstrational experiments.

**キーワード**：3次元データ,出来形検査,河川工事,トータルステーション,情報化施工

**Keywords** : 3D-Data, progress control of working form, river construction, Total Station, Observational construction

## 1. 序論

現在、デジタル技術や通信技術の発達を背景に ICT を活用した技術革新が広い分野で行われている。建設業界においても、ライフサイクル全般にわたって ICT を利用した業務効率の改善が求められている。そのためには土木工事における、調査・測量、設計、施工、検査、維持管理といった各プロセスで発生する建設情報をシームレスに運用する必要がある。構造物の形状を定義する形状データの運用は、各業務効率に及ぼす影響が大きく、ライフサイクル全般にわたる情報の共有や蓄積が最も重要だといえる。

これまで形状データは2次元データによって運用されてきたが、2章で後述するようにプロセス間の情報共有という点で課題がある。一方で、測量機器や CAD などのツールは3次元での測量や設計へと対応しつつある。これらツールを利用して、維持管理までを含めた建設ライフサイクル全般における一貫した3次元データによる情報の運用が可能である。

これらの問題に対し、国土交通省を中心に道路土工においてトータルステーション(以下、TS)を利用した検査業務改善の取り組み<sup>1)</sup>が行われている。このように道路工事において、3次元データ利用による業務プロセスの見直し<sup>2) 3) 4) 5)</sup>や、建設データ運用のデータモデル開発が行われている。

一方で、河川工事については道路に比べ設計の自由度が高く複雑なため、研究が進んでいるとはいえない。筆者らは河川工事に着目し TS を用いた出来形検査手法に関する研究を行い、距離算出型検査手法を提案した<sup>6)</sup>。3次元データを利用した出来形検査について、現行の管理基準に沿った手法を示し、次の段階として管理基準の見直しまで考慮した手法の確立を課題に挙げた。本稿では、河川工事の特徴を考慮し、2段階の業務プロセス改善を提案する。その上で出来形検査業務について、距離算出型検査と座標比較型検査を示し、熊本県湯の浦川において実証実験を行った。その結果を基に考察を行い、新たな検査手法の有効性や可能性について示した。

1： 学生員 熊本大学大学院 自然科学研究科

(〒860-0855 熊本市黒髪2丁目39-1 Email:065d8810@gsst.stud.kumamoto-u.ac.jp)

2： 非会員 熊本県土木事務所 企画調査課 参事 (〒862-0901 熊本市東町3丁目11-63)

3： 正会員 熊本大学大学院 自然科学研究科 教授

(〒860-0855 熊本市黒髪2丁目39-1, TEL 096-342-3531 Email:065d8810@gsst.stud.kumamoto-u.ac.jp )

## 2. 河川工事の特徴と3次元データ管理の導入

現状の河川工事業務プロセスにおいて、設計者はイメージした3次元形状を平面図や横断図といった2次元図面で表現する。そのため、調査・測量でTSなどにより取得された3次元データは、2次元の平面図に変換される。施工者それら2次元データから3次元データを算出し直し、施工を行う。さらに構造物の形状についてチェックする出来形検査の段階では、設計データと比較するために、高さや延長といった2次元データを計測し検査する。このように2次元データでの情報交換が、各利用目的におけるデータ転用の煩雑さにつながっている。よって河川工事の特徴を踏まえた3次元データ運用が必要である。

### (1) 河川工事の特徴

#### a) 建設プロセス

建設プロセスにおける河川工事の特徴を以下に列挙する。

- ①多自然型工法など、設計の自由度が高く、設計者と施工者などの工事関係者の意思疎通が重要である。
- ②道路設計の場合は、線形が道路中心線のみであるのに対して、河川設計では災害復旧等、右岸と左岸でそれぞれ異なる線形を持っている場合が多くあり、構造物が複雑である。
- ③丁張り設置などの際に、道路の場合は道路中心線からの離れをテープ等でチェックし易いが河川は水の流れる場合が多く、中心線からの計測が困難である。
- ④台帳が未整備の中小河川も多々存在し、維持管理に必要な完成形状データが不足している。

#### b) 中小規模現場

今回、実証実験で対象とした熊本県を例にとると、河川整備の実施率はH17年時点で50.3%となっており、今後も一定数の整備事業が継続して行われる予定である。情報技術等を利用した業務改善は、県や市町村といった地方の中小規模現場へも適用可能であることが必須である。

### (2) 3次元データ管理導入へ向けた分析

#### a) 3次元データ管理導入の利点

3次元データ管理を行った場合の利点を前節で示した河川工事の特徴①～④に沿って以下にあげる。

①3次元設計データをムービーや静止画といったプレゼンテーション資料への転用が効率的に行え、工事関係者間の視覚的なコミュニケーションツールとして期待できる。

②任意断面における横断の抽出といった、施工者が必要とするデータの取得が容易となり、業務効率の改善が期待できる。

③TSなどの測量機器を利用することで、3次元座標を基に丁張り設置や川幅の計測を行うことが可能になり、効率的に作業できる。

④出来形管理において3次元座標を取得することによって、出来形計測データを完成形状データとして転用することが可能である。

#### b) 3次元データ管理導入の課題

一方で、3次元データ管理導入には以下のような問題点が挙げられる。

①河川構造物は複雑で自由度も高いため、3次元道路設計に対応した3DCADを用いても、河川の3次元設計は困難である。

②これまで高さ・幅といった長さについて管理していたが、3次元座標はポイントデータであるため、直感的に把握しづらい。

#### c) 3次元データ管理の導入

河川工事における3次元データ管理の導入について、河川構造物の3次元設計が困難でありネックとなっていることがわかる。まず設計以外のプロセスにおいて3次元データ活用法を検討し、3次元設計を行った場合に最大限の効果が得られることが望ましい。

一方で、丁張り設置や出来形検査といった構造物の形状管理について3次元データ利用することは比較的容易で、計測作業の簡略化や計測方法の一元化といった効果が期待される。

河川工事における3次元データ管理の導入について以下のような2段階のステップで行うことを提案する(図-1)。

STEP 1 : 3次元データ利用の普及を第一目的とする。現行の設計方法や管理基準において実現可能な範囲で効果的な運用を行う。

STEP 2 : 3次元データ利用の問題点を補いつつ、利点を最大限に活かした設計方法や管理基準の下、建設ライフサイクルにわたる一貫したデータ運用を行う。

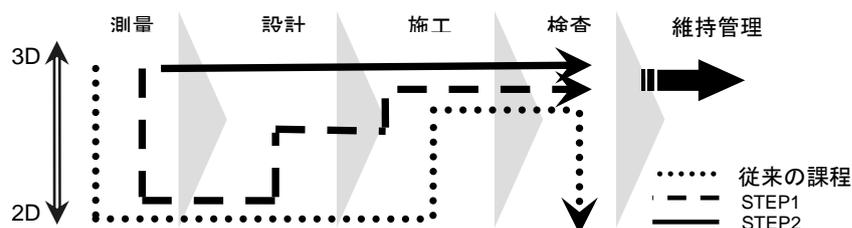


図-1 建設プロセスにおけるデータ運用

### 3. 3次元データを用いた出来形検査手法の提案

#### (1) 従来型の出来形検査手法と問題点

##### a) 出来形検査の概要

本研究では、3次元データ利用による業務効率の改善へ向けて、構造物の形状を管理する出来形検査手法に着目する。従来、発注者は工事対象区間における、平面図や展開図、管理断面と呼ばれる複数の断面の横断面図を示し、受注者はこれらの図面を基に施工を行う。施工される構造物の出来形管理は現場代理人、監督職員、検査職員という3者によって行われる(表-1)。構造物の施工精度については、出来形検査が行われ、各整備局や自治体毎に定められている管理基準の規格値を満足する必要がある。

##### b) 計測方法

各管理項目の計測方法について以下に示す(表-2)。

##### c) 現状の問題点

高さや延長、勾配といった管理項目毎に計測機器が異なるため、現場代理人や検査職員は日常管理や出来形検査の際に、複数の計測機器を使用する必要がある。

またレベルやテープで計測した値を野帳に記入し管理するので、出来形値と設計値の差を整理するための出来形測定表、出来形値と設計値の差のばらつきを管理するための出来形管理図、出来形のイメージを表現する横断面図等といった関係書類を作成する度に転記する必要があり、作業負担が大きく、転記ミスなどの日常管理に支障をきたす場合もある。また、監督職員は現場にて目視する以外の確認手段がない。このため遠方の現場や複数の現場を担当している場合、日常的に出来形管理状況を監督することは困難である。このような受発注者間での出来形情報の共有にも問題がある。

表-1 各役割の業務内容

発注者	監督職員	出来形管理項目を基に構造物が規格を満たしているか監督する。
	検査職員	所定の工程毎に出来形検査を行い、管理基準の規格値に構造物が収まっているかを検査する。
受注者	現場代理人	出来形管理として構造物の形状について施工精度を日常管理する。

#### (2) 新たな出来形検査手法の提案

本研究では3次元データを用いた出来形検査手法として、距離算出型検査と座標比較型検査を提案する。

##### a) 距離算出型検査コンセプト

2章で提案した3次元データ管理導入のSTEP1にあたる。ここでの目的は以下の3点である。

- ① 現行の設計方法や管理基準に即した3次元データ管理を導入する
- ② 管理項目にかかわらず計測機器を一元化する
- ③ 受発注者間の出来形データを共有する

構造物の変化点の3次元座標をTS測量によって取得し、2点間の距離や傾きから構造物の高さや延長、勾配などを算出し、設計データと比較する方法である。また、Webシステムを用い受発注者間の出来形データの共有を行う。

ここで、TSとは経緯儀と測距儀を一体化させたもので、水平角、高度角、斜距離を同時に測定できる測量機器である。機器の測距精度は $2\text{mm}+L \times 2\text{ppm} \sim 5\text{mm}+L \times 2\text{ppm}$ ( $L$ : 距離)である。TS測量では、まず計測するポイントにミラーマンを誘導する。そして、TSから光波を発信しミラーからの反射を読み取ることで対象の3次元位置情報を取得する。PCと互換性が良く、高精度の3次元デジタルデータを取得する測量方法として、基準点や測量点の設置といった地形測量の主流となりつつある。同様に3次元データを取得する方法としてRTK-GPS測量が考えられるが、中小規模現場では初期費用が高く、局所的な工事の出来形測量ではTS測量が汎用的に用いられている。座標データから各項目を算出する方法を図-2用いて以下に示す。

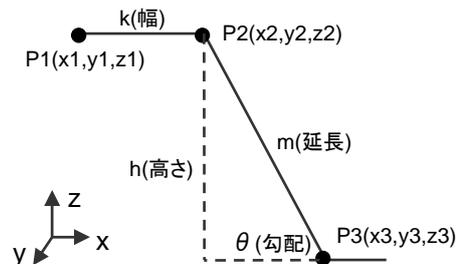


図-2 座標データから算出

表-2 各管理項目の計測方法

	高さ	幅	延長	勾配
道具	レベル, 標尺	スケール, メジャー, 標尺	スケール, メジャー, 標尺	勾配定規
作業人数	2人以上	3人以上	3人以上	2人以上
計測状況				

- ①k(幅) : 水平距離を求めるため、P1 と P2 の x, y 座標から 2 点間距離を算出
- ②h(基準高) : 垂直距離を求めるため、P2 と P3 の z 座標から 2 点間距離を算出
- ③m(延長) : 斜距離を求めるため、P2 と P3 の x,y,z 座標から 2 点間距離を算出
- ④θ (勾配) : P2 と P3 の x, y, z 座標から 2 点を通る直線の傾きを算出

b)座標比較型検査コンセプト

2章で提案した3次元データ管理導入のSTEP2の段階における出来形検査手法について、座標比較型検査を提案する。目的は以下の通りである。

- ①設計データを含めた各プロセスの見直しを前提に、3次元データ利用を活かした管理項目を設定する
- ②3次元データを可視化する

距離算出型検査では、3次元データから距離を算出するという作業が課題として挙げられる。現行の管理基準では、高さや幅といった項目となっているが、3次元データを用いた比較を前提とした管理基準を設けることで、管理項目は簡略化され管理・検査業務の作業効率は改善される。また座標としての3次元データは、長さなどに比べ直感的に把握しにくいいため、Web3Dを用いて可視化することによってこれを補う。

座標算出型検査では設計形状と出来形形状の対応する点の3次元座標を比較し、2点間のずれの距離と方向で評価する。ずれの距離については、河川護岸直行方向(x軸)、河川護岸方向(y軸)、高さ方向(z軸)とし各軸方向に設計の座標値を中心に規格値(ここでは一律にφとする)を定め、この範囲内に測定の座標値がある場合、一定の基準を満たしているとする(図-3)。ずれの方向については、左岸護岸の法肩を例にとると、治水の観点から護岸高及び川幅については設計値以上であることが望ましいため、計測値がこれを確保する方向に管理基準を定める(図-4)。

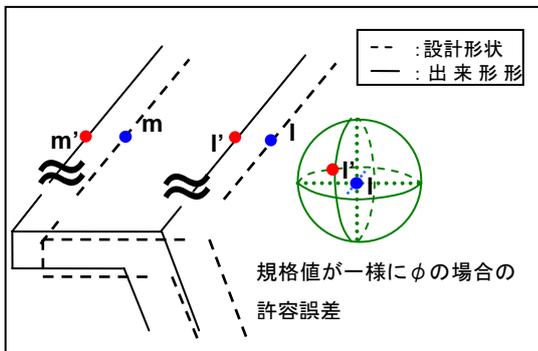


図-3 座標比較型検査イメージ

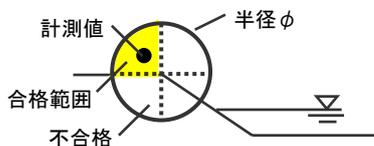


図-4 規格値の例

4. 実証実験

(1) 実験の概要

a)目的

本実験では同一現場において現行の計測方法と、TSを用いた計測方法の両方でデータを取得し、①TSを用いた計測手法、②距離算出型検査、③座標比較型検査、④Webを用いた出来形情報の共有、以上の有効性や可能性について検証する。

b)現場概要

湯の浦川災害関連工事において実証実験を行った。

表-3に現場工事の概要、図-5に平面図、図-6に横断面図、図-7に現場写真を示す。

c)実験手順

評価を行うための実験手順は以下のとおりである。

①設計値の座標データ算出

本実験が行われる現場は、災害復旧事業であることから原形復旧が基本であるため、護岸法線が河川中心線と平行ではない。よって、以下の方法で設計値の座標データを算出した。まず、横断方向線と護岸法線(肩のライン)が交わる点を平面図より算出する。この点を基準の点とする。さらに護岸法線に直角な方向を管理方向線とする。横断面図の護岸肩より、水平方向の距離を計算し、管理方向線上でx, y座標を求める。最後に横断面図よりz座標を求める。

②TS測量により実測値の座標データ取得

今回、距離算出型検査と現行手法の比較を行う管理基準<sup>7)</sup>は表-4に示したとおりである。

③出来形情報の共有

本研究で開発したWeb出来形管理システムによって試験的に出来形情報の共有を図る。

表-3 現場概要

場所	熊本県芦北郡芦北町大川内地区
河川名	湯ノ浦川(2級河川)
被災年月日	平成15年7月17~22日の梅雨前線
区間	8k400~8k520(左岸)
全長	120m
管理断面	5断面

表-4 管理項目

対象項目	測定項目	規格値
床堀	幅	設計値以上
	基準高	設計値以上
基礎採石	幅	設計値以上
	高さ	-30mm
基礎コンクリート	基準高	±30mm
護岸工	法長(L<3m)	-50mm
	法長(L≥3m)	-100mm
	法勾配	±10%
天端コンクリート	基準高	±50

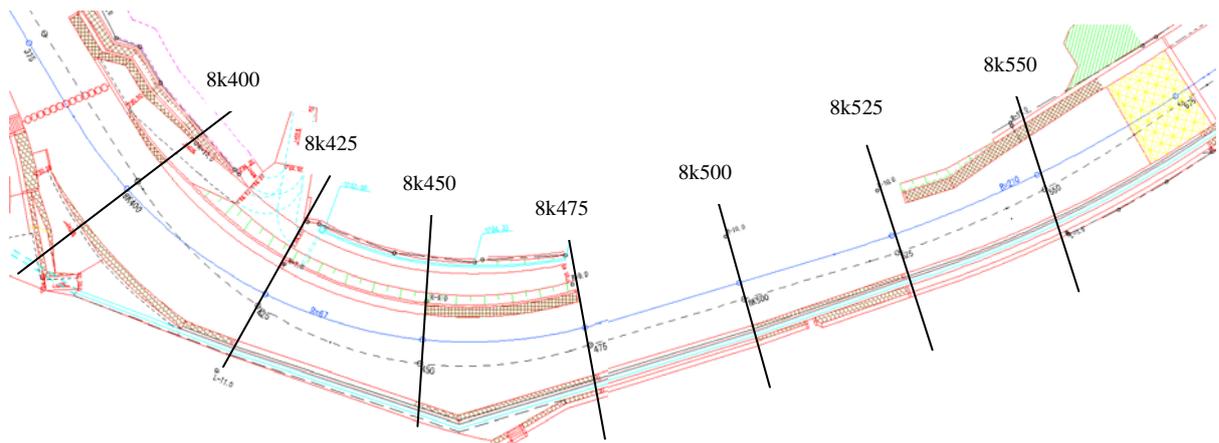


図-5 現場平面図

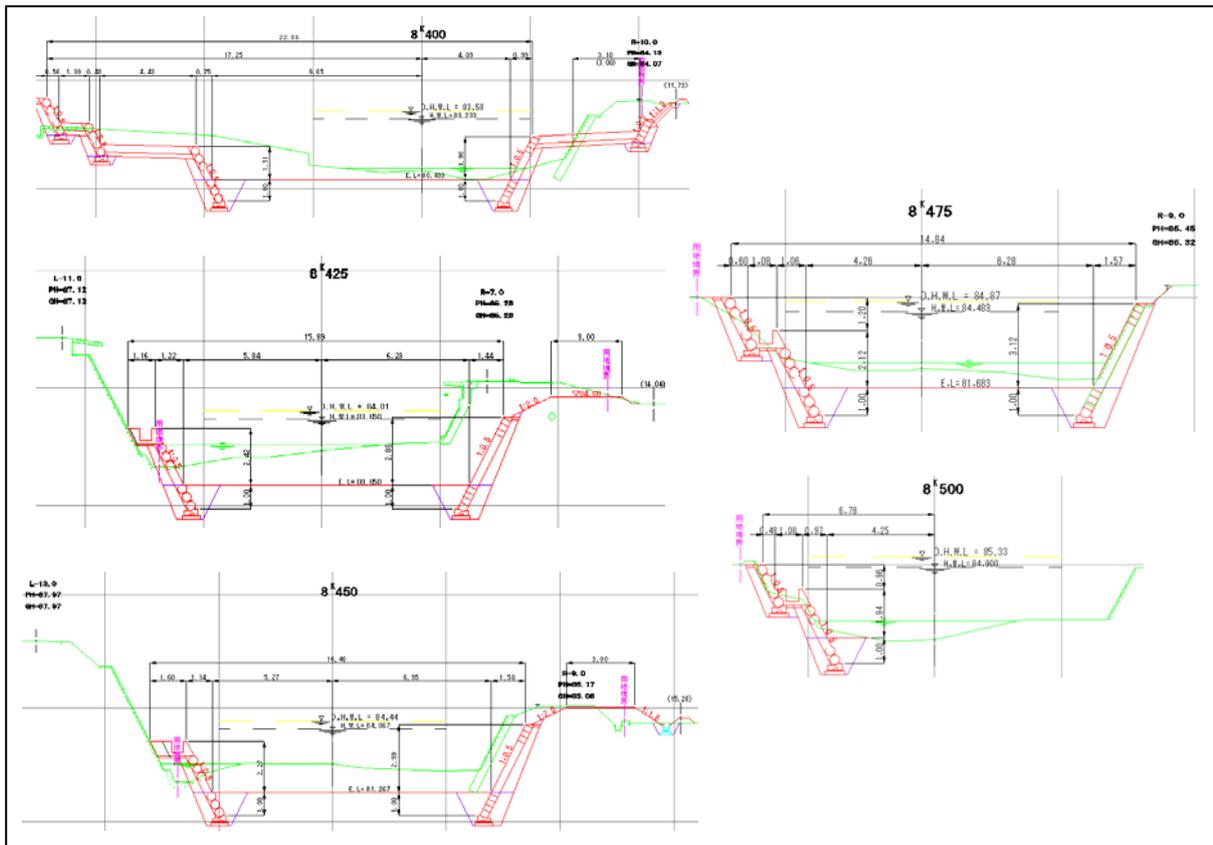


図-6 現場横断面図



(a) 施工前



(b) 施工後

図-7 現場写真

d) Web 出来形管理システムの機能

Web 出来形管理システムの概要を以下に示す(図-8).

①データの登録

測量データと写真データを登録する。測量データについては、TS 測量により得られた測量データを SIMA 形式、または APA 形式によって外部メモリーに書き出し、システムにアップロードすることで、測量データを断面毎に一括登録できる仕様となっている。

②出来形管理の情報の閲覧

登録された設計値と対応する測量値の一覧が表示される。メニューから検索フォームを表示し、断面を指

定することで設計値と測量値の一覧を表示させ、閲覧する。

③現場写真の閲覧

写真閲覧機能より断面を選択し、断面毎に登録された写真を閲覧する。

④Web3D の表示

設計値や計測値の 3 次元座標、設計形状を 3D 空間で表示する。開発ツールとして Cult3D を用いた。横断面から 3DCAD 上で仮想的に設計形状をモデリングし、Cult3D に組み込み、イベント開発をおこなった。



図-8 Web 出来形管理システム機能概要

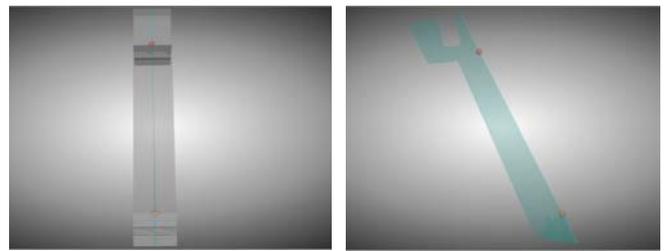
## (2) 実験結果

### a) 距離算出型検査と現行手法の結果

図-9には、現行手法と距離算出型検査を比較した例の一部として護岸工の延長，勾配，基準高の結果について示す。現行手法と距離算出型検査において出来形検査を行った際の、測定項目毎に設計値と測定値の差と対象の規格値をグラフ化したものである。y軸が差(mm)，x軸が距離標となっている。

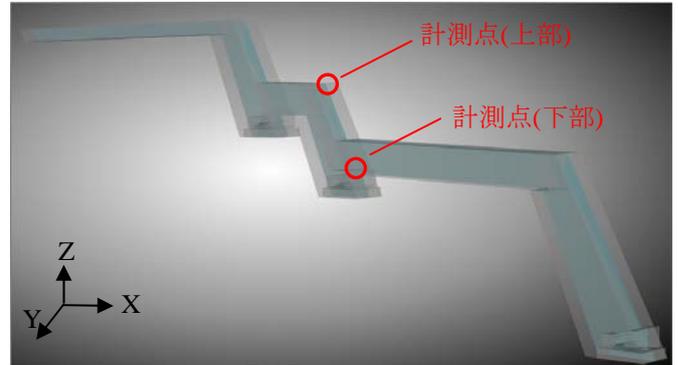
### b) 座標比較型検査の適用結果

Web3Dではキーボードによって管理断面の表示，正面，左右側面，上下面の表示を切り替え，マウスアクションによって回転や上下左右の移動，ズームといった操作を行う(図-10)。距離算出型検査で示した管理項目に対応する計測値と設計値，設計形状をWeb3Dで表示した。護岸工に関する設計値，計測値を直径1cmの球で表示し，管理基準は各方向5cmとし直径10cmの球とした。管理基準の範囲を示す球の色を検査の可否によって変えることで，検査結果を判定できる。表示結果の一例を図-11に示す。

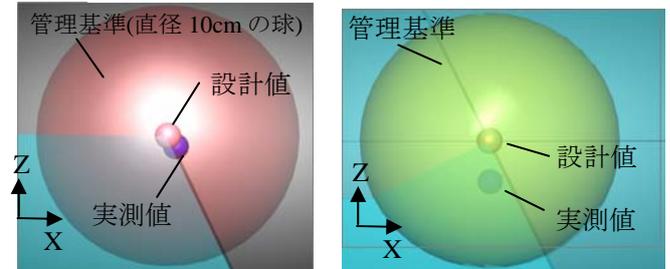


(a) ビュー切替え(正面図) (b) 管理断面表示

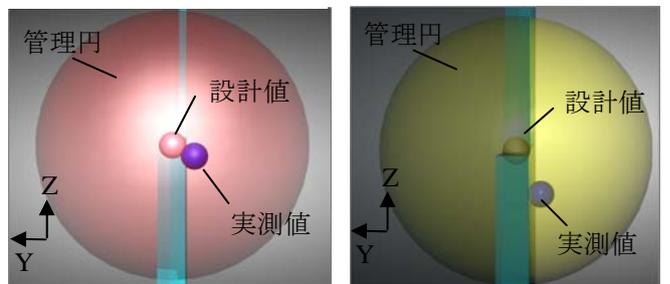
図-10 Web3Dの操作例



(a) 設計形状全体



(b) 横断方向拡大(上部) (c) 横断方向拡大(下部)



(d) 正面方向拡大(上部) (e) 正面方向拡大(下部)

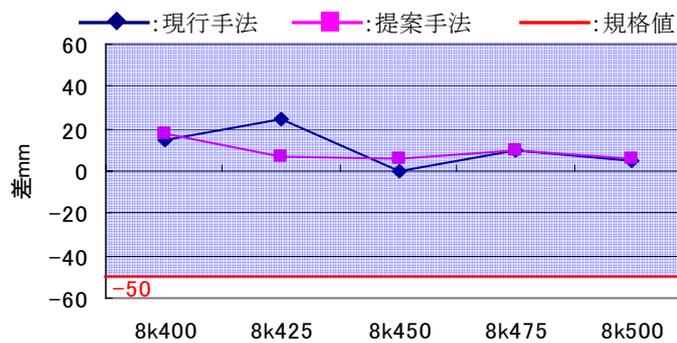
図-11 表示結果例

## (3) 考察

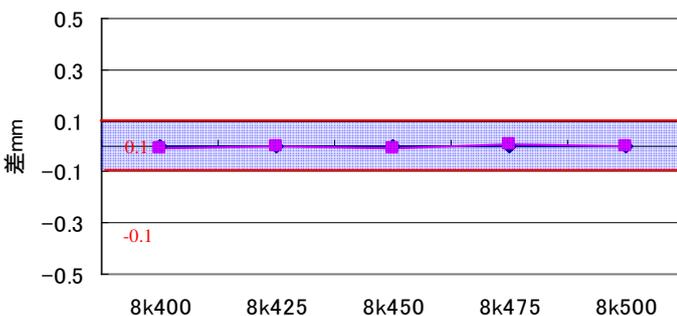
### ①TSを用いた計測手法

熊本大学にて対象工事に関する現場代理人，監督職員，検査職員の3者に対してヒアリング調査を行い，出来形管理業務で使用する測量機器を一元化することである程度の作業効率の改善が達成されたとの意見を得た。今後，この作業効率の改善については，作業に必要な人数や時間を算出し，現行の計測手法とTS計測を比較することで，さらに実証していく必要がある。

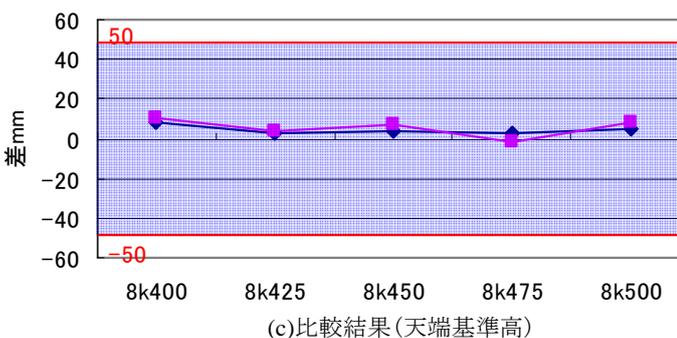
今回，設計値座標データの算出は表計算ソフトを用いて行ったが，CADソフト上で平面図と各横断図の関連づけを行い座標算出するといった改善の余地がある。



(a)比較結果(護岸工延長)



(b)比較結果(護岸工勾配)



(c)比較結果(天端基準高)

図-9 各管理項目における比較結果

設計から施工、検査へのデータの運用方法を改善することで、今回の距離算出型検査はさらに効率的なものになると考える。

レベル測量と TS 測量について距離標毎に基準高の設計と実測の誤差の絶対値を平均した(図-12)。レベル測量は水準測量であるため、不動点から高さを追って測定を実施し、仮ベンチを設置して高さの計測を行う。対象の現場では 8k450 付近に仮ベンチを設置しており、距離が離れるほどばらつきが大きくなっている。このことから、従来の方法による出来形検査における高さ計測では、仮ベンチからの距離で誤差が大きくなるという問題点が明らかになった。

### ②距離算出型検査

現行手法と距離算出型検査の差異は約±2cm に収まっている(図-13)。±5cm 以上差が現れた場所が 3箇所みられたが、確認したところ 2次元の設計値(従来の横断面図から得られるもの)と 3次元の設計値(3次元座標から算出された距離)の間に 4cm ほどの差があることがわかった。これは、設計図面として 2次元の横断面図を作成する際に生じる歪みや、設計値の端数の処理によるものと考えられる。よって、これは検査手法のみによる差異とは言い難い。図-9 に示したとおり、今回の現場において、現行の計測手法と距離算出型検査で算出した計測値の差異は管理基準の範囲で推移しており、出来形検査の可否に関わる程の差異はみられなかった。

### ③座標比較型検査

x, y, z の各軸方向にそれぞれ規格値を定め(今回は直径 10cm の球とした)Web3D 上に示すことで、設計値と計測値の差異が基準値を満たしているかを視覚的に捉えることができた。今後、長さや勾配といった項目ではなく、各ポイントについての管理基準規格値を定め、表示させることで、監督員や検査員が出来形状況を把握・確認することが可能だと考えられる。2 点の計測値を確認することで、現行の基準高、延長や勾配といった複数の項目を確認でき、業務効率の向上が見込める。また、床掘といった埋め戻しの作業などで発生する不可視部分を可視化する効果もある。

### ④Web による出来形情報の共有

受発注者間において設計値、計測値、現場写真といったデータを Web システムにおいて共有した。Web3D と写真データを参照することで現場状況を確認でき、遠隔地に現場がある場合や、監督職員が同時に複数の現場を抱えている場合の日常監督業務に有効である。

## 5. 結論

本研究では、河川工事の特徴を分析しライフサイクルにわたる 3次元データ管理へ向けて、比較的導入し易い出来形検査に着目した。3次元データ利用の普及

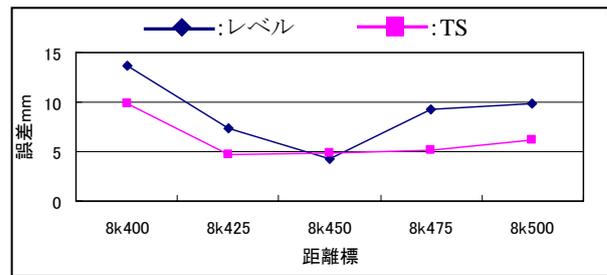


図-12 レベル測量と TS 測量の誤差

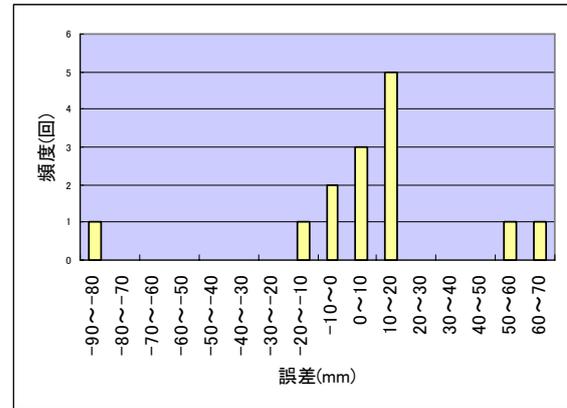


図-13 現行手法と距離算出型検査の誤差

を目的に、現行の管理基準や設計手法に即した距離算出検査手法を示し、TS 測量による測量機器の一元化などにより検査業務の効率化を図った。さらに管理基準の見直しを含めた座標比較型検査手法を示し、Web3D を用いた 3次元データの可視化や管理基準の見直しによる、さらなる効率化の可能性を示した。また、実証実験において現行手法と距離算出型検査の結果を比較することにより、TS 測量の有効性や手法の信頼性を実証した。座標比較型検査については、取得したデータを Web3D で表示することで出来形状況の把握が可能である。今後、新たな規格値等を含め有効性をさらに検証する必要がある。

**謝辞:** 本研究を進めるに当たって、熊本県芦北地域振興局をはじめ多くの方々にご協力頂きました。記して謝辞を表します。

### 参考文献

- 1) 施工管理データを搭載したトータルステーションによる出来形管理要領(案)(道路土工編): <[http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/01/010406\\_2/02.pdf](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/01/010406_2/02.pdf)> (入手 2007.05).
- 2) 3次元データを利用した業務プロセスの見直し: 情報化施工における道路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
- 3) 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
- 4) レーザスキャニングシステムを用いた舗装工出来形の面的管理手法の一提案: 土木情報利用技術論文集, Vol. 15, pp. 249-258
- 5) 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, pp. 241-248.
- 6) 3次元データを利用した築堤・護岸工の出来形検査に関する一提案: 土木構造・材料論文集, 第22号, pp. 145-154.
- 7) 管理基準: 熊本県土木工事施工管理基準 <<http://www.pref.kumamoto.jp/construction/section/doboku/kijyun/index.html>> (入手 2007.05).

(2007.5.18受付)