

# 「情報技術を活用した建設施工の効率化に関する研究」

総合政策局建設施工企画課

国土技術政策総合研究所情報基盤研究室

各地方整備局企画部施工企画課

北海道開発局事業振興部機械課

独立行政法人土木研究所技術推進本部先端技術チーム

## 1. はじめに

建設産業は、単品受注生産・屋外での現地作業・工程毎の分業生産等、他の産業に比べて大きく異なる特性を有している。これらの特性を踏まえつつ、建設分野ではこれまで様々な生産性向上に向けた取り組みがなされ、大きくは人力作業から機械化施工へ、さらに機械化施工の高度化へと発展してきた。これからも更なる建設産業の発展を支えるため、安全面及び生産性向上に対する取り組みが必要とされている。しかしながら、現在では建設投資が低迷し、将来的にも回復の見込みが厳しい状況にあり、また、少子高齢化に伴い労働生産人口が減少し、これに伴う熟練作業者の減少等、建設産業を取り巻く環境は大きく変化しており、これらに対する取り組みが喫緊の課題となっている。

これらの状況を打破するため、品質を確保するとともに生産性の向上を図る手段として近年急速に進展している情報技術を施工現場において有効に活用する、いわゆる情報化施工の推進が急務である。

情報化施工とは、情報技術を建設生産に適用するもので、施工に関する情報の効率的な利用により、施工の効率性・安全性・品質の向上・省力化・環境保全等に関する施工の合理化を図る生産システムを指す。フィールドデータをリアルタイムに計測し、施工管理の省力化や施工の自動化による生産性の向上などの効果が期待される。

## 2. 研究概要

### 2.1 研究の目的

本研究の目的は、建設施工の効率化を目的として「情報化施工による施工合理化に関する研究」<sup>1)2)</sup>にて実施した3工種（測量、築堤・道路土工、舗装工）における情報化施工普及のための課題等の研究成果を基に、国土交通省での直轄事業での情報技術の導入のための試みと情報技術の活用に関する可能性について2カ年で検証するものである。

### 2.2 研究内容

昨年度は、情報化施工を導入するための環境整備の一環として、「TS・GPSを用いた盛土の締固め情報化施工管理要領（案）」を用いた施工での、品質や効果の検証について整理を行った。また、3次元空間情報を用いた出来形管理の実証実験から、測量作業・出来形管理作業の合理化が確認された。

今年度は、情報化施工の今後の方向性を整理した情報化施工マスタープランを示す。また、これを踏まえつつ、昨年度の成果を反映し、道路土工中心の取り組みから工種を

拡大するべく舗装工への適用、情報化を活用する場合の出来形管理要領の提案、施工データを共有し利活用するための標準化の適用について検証した結果を示す。

### 3. マスタープランの作成

これまで、2001年3月に情報化施工促進検討委員会（委員長：大林成行 元東京理科大学教授）がまとめた、「情報化施工のビジョン： - 21世紀の建設現場を支える情報化施工 - 」<sup>3)</sup>の提言を踏まえて情報化施工を推進してきた。また、CALS/ECを始めとした公共事業の情報化も進められ、建設施工分野の情報化は著しい速度で進展しており業界団体、個々の民間企業でも積極的な取り組みが開始されている。

そこで、情報化施工ビジョンの提言以降の建設施工を取り巻く環境の変化や他の情報化技術の開発動向を踏まえ、情報化施工の直轄事業における取り組みの方向性や取り組み内容をまとめた、情報化施工マスタープランを以下に示す。

#### 3.1 基本方針・目標

情報化施工の取り組みを推進するうえでの基本方針や目標は以下のとおりである。

##### (1) 基本方針

建設施工の情報化推進に寄与すること。

公共事業の品質の確保やコスト縮減に向けた施策に寄与すること。

CALS/ECと連携した施策であること。

##### (2) 目標

建設施工に情報化技術を導入し、生産性の向上・品質確保・安全性向上・良質な環境の確保を推進すること。

#### 3.2 取り組みの方向性

上記基本方針や目標を踏まえ、情報化施工の取り組みの方向性は以下のとおり。

(1) 公共工事の品質確保に向けて出来形管理・品質管理を支援する。

(2) 公共工事の業務効率化に向けて、設計の変更や資機材管理を支援する。

(3) 公共工事の環境改善・安全確保への効果がある。

(4) 共通する基盤技術の整備を行い、データ交換の標準を利用し、施工に必要な情報を効率的に利用できる。

#### 3.3 取り組み内容

以上の、基本方針、目標、取り組みの方向性を踏まえ、今後3カ年程度の具体的な取り組み内容は、以下のとおりである。

(1) 情報化施工によって得られる効果を発現するため、道路土工中心に展開している情報化施工について、舗装工、河川土工等の他の工種へ展開する。

(2) (1)において効果を具体化するため、施工管理要領やマニュアル等を作成し、建設事業への普及拡大を推進する。

(3) さらに、生産性向上、コスト縮減等の効果をより発現するため、施工情報の標準化等に取り組み、情報化施工の基盤を整備する。

## 4. 情報化施工普及に向けた取り組み

### 4.1 舗装工への情報化施工の適用展開

#### 4.1.1 概要

アスファルト舗装工における施工および施工管理の合理化を主目的として、3次元設計データによる「情報化施工要領(試案)」をまとめるとともに現行施工法との比較試験を行ったものである。

#### 4.1.2 課題

現行施工法については、以下の項目に示す課題がある。

現行施工方法は、測量によって高さの基準となる杭(丁張り)を必要な間隔で設置し、これを目安としてオペレータが目標施工面を形成する方法である。そのため、基準杭の設置や重機周りにおける出来形のチェック測量と施工面の修正作業を繰り返し行う必要があり、労力と時間を多く必要としている。

路盤の仕上がり精度が舗装の出来形や品質等に直接影響するため、オペレータに高度な技能が必要である。

出来形・品質確認は、掘り起こしやコア抜きによって行う破壊検査が必要となる。

#### 4.1.3 課題に対する対応

課題の対応として、次の項目を検討して図-1の～に示す情報化施工システムを構築した。

・前項の(1)と(2)については、3次元設計データで直接重機を制御する方法を検討

・前項の(3)については、締固め機械の締固め位置を連続的に管理することおよびトータルステーション(以下、TSという)<sup>1</sup>による3次元測量データで出来形を測定する方法を検討

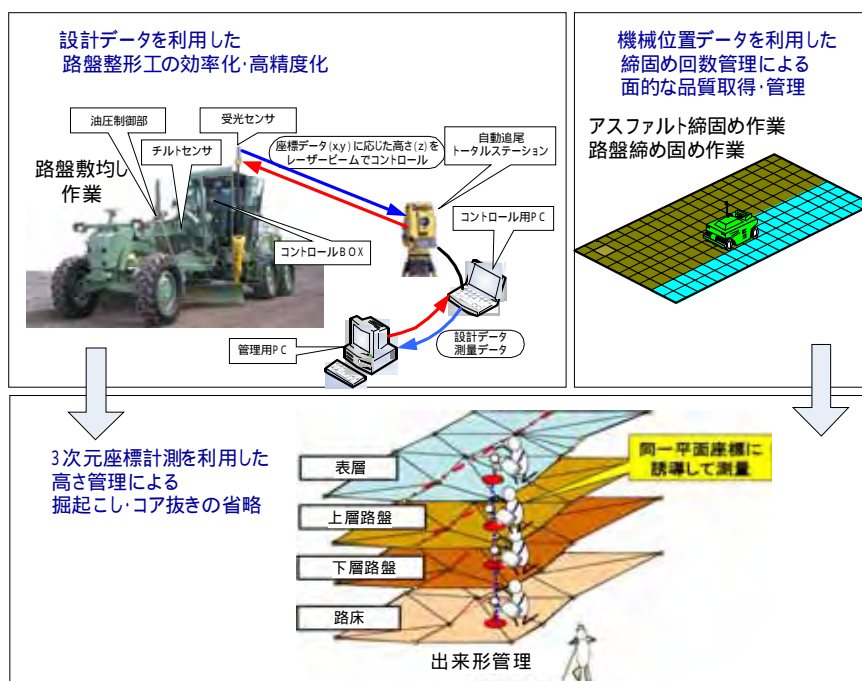


図-1 舗装工の情報化施工システム

<sup>1</sup> TSとは1台の機械で距離と角度を同時に測定し、未知点の3次元座標を取得可能な光波測距儀である。

#### 4.1.4 実証実験

前項で提案した情報化施工システムと従来の施工方法による比較試験を行い、その有効性と精度・効果について確認した。試験規模は情報化施工区間50m、現行施工区間50mとし、図-2に示す設計形状の道路を構築した。試験施工によって確認されたシステム導入の主な結果について以下に記す。

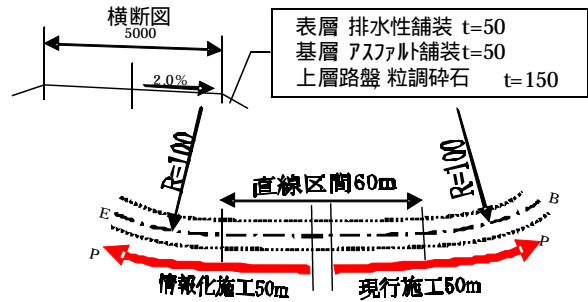


図-2 舗装工の設計形状

##### (1) 路盤整形の検証

現行施工では、重機による路盤整形作業と、写真-1に示すような基準杭による路盤仕上がり高さ確認作業を複数回繰返す必要がある。本システムでは、図-1に示すように路盤面を整形するブレードの標高を、重機搭載のターゲットと道路脇に設置したTSを用いて、施工中リアルタイムに測定し、仕上り面の標高を面的に把握できる。



写真-1 現行の出来形確認作業

本システムによる施工の結果、基準杭の削減や出来形確認のための施工中断が無くなり、作業の効率化と燃料消費量の削減(約4割)が確認できた。また、図-3に示すように路盤の仕上りも現行の規格値を十分に満たす結果が得られた。この結果は、設計標高と路盤面との差を重機にフィードバックし、設計仕上り標高に近づくようブレードの上下動を自動制御する機能によるものであり、オペレータの技能の熟練度に左右されない施工を可能にすると言える。

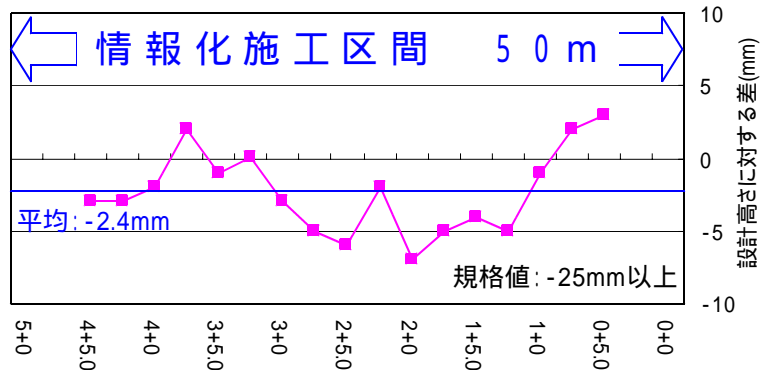


図-3 路盤設計高さに対する仕上り結果

##### (2) 舗装品質の確認

情報化施工区間では、機械位置データを利用した締固め回数管理による面的な品質管理を実施し、施工後にコアの密度試験を10箇所実施した結果、現行の品質管理規格値をいずれも満足する結果が得られた。この管理手法は、品質の確保に有効であると考えられる。

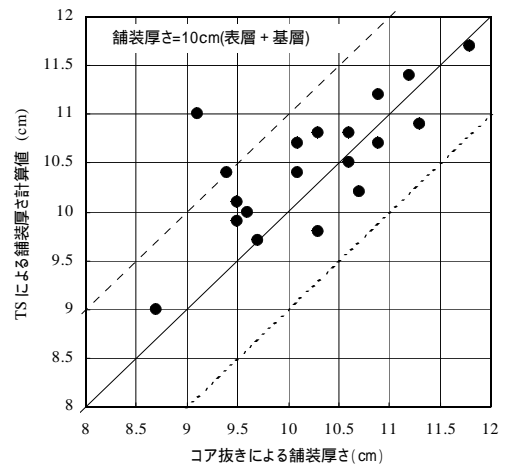


図-4 舗装厚検測の比較

### (3) TSによる舗装厚検測の検証

図-4は、TSで定点計測した路盤・基層・表層の仕上り面の標高から算定した舗装厚と、同じ箇所コア抜きにより実測した舗装厚を、それぞれ縦軸、横軸として示した図である。同図より、TSによる算定値とコアによる舗装厚実測値の差の多くは $\pm 6\text{mm}$ 以内に収まっている。この結果から、舗装の層厚管理に用いる手法として十分活用していただける可能性があり、コア抜き等の破壊検査に代わる手法として、より高頻度で舗装厚を把握できる可能性もあると考えられる。

#### 4.1.5 まとめ

試行工事において得られた成果を基に「舗装の情報化施工要領(試案)」を作成した。今後はフィールド試験などを実施してさらにデータ収集・検証することで、本要領(試案)の精度向上を図り、最終的には管理要領(案)の策定を図っていく予定である。

## 4.2 情報化施工技術を用いた出来形管理

### 4.2.1 概要

情報化施工の取り組みとして、道路土工における施工管理・監督検査の効率化・高度化を対象に、IT(情報技術)を活用した新しい出来形管理方法の現場適用性の検討を行っている。現行の出来形管理は、巻尺・レベルによる長さ・高さ計測であったが、新しい手法は出来形管理に必要な設計情報と出来形情報を3次元データ化し、TSで出来形の3次元座標データを取得し、パソコンとソフトウェアを用いて施工管理や帳票作成を行うものである。

この3次元座標データは、施工管理・監督検査に使用するだけでなく、後工程の工事・維持管理への活用が期待できる。

### 4.2.2 期待される効果

新手法で期待される効果として、例えば道路土工の以下の改善効果が挙げられる。

#### (1) 監督職員による出来形確認が容易

監督職員の出来形確認は、施工業者の計測に立ち会う形式で行われるが、巻尺や水準器を使用し計測することが一般的である。杭等の目印を設けていない管理断面以外の箇所について出来形管理は行わず、全体を「見栄え(とおり)」として監督職員や検査官が目視により確認している。新手法では、視準点と設計との差異を現地で瞬時に確認できることから、任意箇所を検測することが可能である。

#### (2) 施工業者による施工準備や資料作成の負担軽減

施工業者は、施工に先立ち、設計図書から管理断面の設計値を拾い出し、管理断面を基に施工の進捗に合わせて杭類を設置する必要がある。また、施工管理として巻尺・レベル等で長さ・高さを計測し、出来形値と設計値との比較を行い、施工管理帳票や出来高数量根拠資料を作成しているため相当の手間が掛かっている。新手法では、設計データをソフトウェア処理し任意点における丁張り計算を瞬時に行うことが可能となり、丁張り設置の手間が大幅に削減できる。さらに現地計測データを用いて瞬時に出来形関連の施工管理資料を作成することができ、資料作成の負担軽減が期待できる。

### 4.2.3 実証実験

昨年度、北陸地方整備局で実施した実証実験を示す。

#### (1) 工事概要

実験箇所は日本海沿岸東北自動車道の荒川IC(仮称)と国道7号を結ぶ道路盛土工で、施工延長860mのうち、約400mの盛土工の出来形管理を対象とし、従来の手法とITを活用した管理方法の比較を行った。

#### (2) 実験概要

設計値(線形計算書の測点座標、曲線パラメータ、縦断図の標高データ、横断図の幅員構成等)を3次元座標データ(XMLベースの形状モデル)に変換し、予めTSに実装し使用すること

とで、任意断面の実測値を道路中心からの離れ高さ・距離を計算し、設計値と比較を行い、比較結果を基に帳票作成システムにて即座に管理帳票を作成する。監督職員が行う出来形確認への適用性と、施工業者による出来形管理への適用性、新しい手法における施工管理資料の自動作成について試行評価を行った。

#### (3) 実証実験で判明した効果

設計値を3次元座標データに変換し、TSで測定した現地データとの対比が即座にできるため、管理断面の測量と計測後の帳票作成作業の省力化となり時間短縮が図られた。

#### (4) 実証実験で判明した課題

- ・ 設計値をTSに実装して使用する場合の3次元設計データの作成方法(費用分担を含む)と利用方法の確立が必要である。
- ・ 規格値は、道路中心からの離れ高さ、離れ距離を計測、管理するため出来形管理基準の見直しが必要である。



図-5 実験箇所図

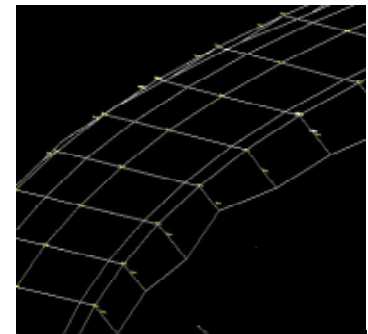


図-6 設計情報の3次元化

### 4.2.4 出来形管理要領の作成と試行

出来形管理を普及させるため、IT型出来形管理のための「トータルステーションを用いた出来形管理要領」(以下、TS要領)の作成と6件の試行工事を行う予定である。

図-7は「TS要領」で提案する、施工者の現場作業の流れである。「TS要領」では、4.2.3(4)の課題に対応し、主に以下の3項目を中心に検討している。



図-7 現場作業の流れ

### (1) TSに搭載できる3次元設計データを作成する方法

「TS要領」の出来形管理は任意測点の設計と実測値との比較によるため、3次元設計データをTSに搭載する必要がある。3次元設計データの作成は、図-8に示すような専用ソフトを使用する。従来の紙図面等から判読した道路線形、横断形状等の数値を専用ソフトに手入力し、TS用データに変換・出力する。作成時間は専用ソフトの操作法に慣れれば、延長L = 1.0km、標準横断形状5パターン程度の工事の場合、半日程である。

### (2) TSの基本的な取扱い方と出来形計測方法

出来形計測方法を図-9に示す。現行の法長・小段幅の長さ計測に変わり、新手法では設計値、実測値の道路中心線からの離れ距離と比高差を計算し、(設計値 - 実測値)に対する規格値で管理する。TSによる計測は巻尺・レベルより作業効率が高いため、従来手法と同じ作業工数で、より多くの箇所数を計測できる。計測箇所は、従来型の正確な管理測点でなく、任意測点も採用できる様にした。試行では計測箇所の検討を行い、現行の管理測点・箇所数を踏まえつつ、計測データが維持管理分野で利用されることも視野に入れ、有益な計測方法を提案する。

### (3) 出来形管理項目と基準値および評価基準

出来形評価基準は従来の出来形管理図表等のほか、図-10のような(設計値-実測値)のバラツキを統計的に評価する基準を検討している。試行ではIT型の出来形計測データを数工事分取得し、出来形合否判定とバラツキ評価のための帳票の形式と基準値・評価基準の検討を行う。新しい管理項目・基準値・評価基準の設定に際しては、現場からの意見を踏まえ、受発注者ともに了解できるものとする。

#### 4.2.5 まとめ

北陸地方整備局の実証実験ではIT型出来形管理の導入効果として、監督職員による出来形確認作業と施工業者による施工準備や資料作成作業の効率化を確認できた。実証実験を受け、施工者・監督官・検査官向けの要領を作成するため、3次元データの作成方法、出来形計測方法、出来形管理項目と基準値および規格値の検討を行なっている。今後、道路土工におけるIT型出来形管理の本運用と道路土工以外の他工種への展開を目指している。

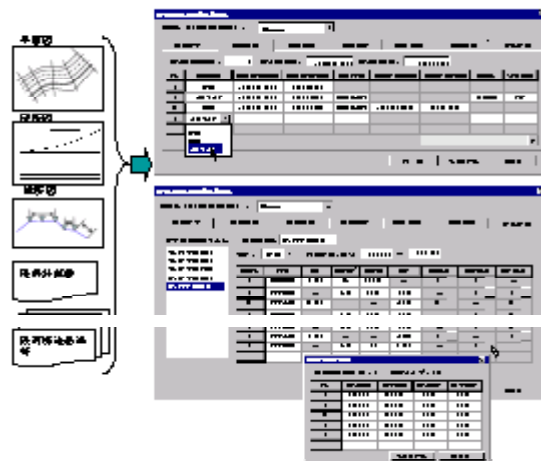


図-8 設計情報入出力プログラム

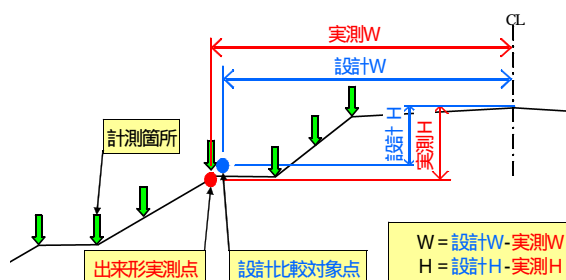


図-9 出来形計測方法

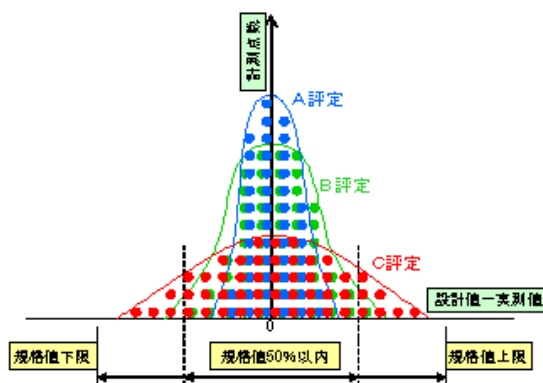


図-10 バラツキ評価のイメージ

## 4.3 機械施工でのデータ交換技術の検証

### 4.3.1 データ交換の現状とデータ交換標準の適用

IT技術の進展により、情報化施工の開発導入事例が見られるようになってきた。しかし、これまで施工現場に導入された情報化施工システムは、各社各様に開発されているため、システム間の施工情報の交換・共有は容易ではない。システム間でのデータ交換は、システムの数に応じた変換が必要で非常に煩雑である。そこで、標準ルールを定め、それに準拠したデータ変換方法(データ交換標準)を準備しておけば、システム間のデータ交換が容易となる(図-11)。ここでは、機械施工で扱う情報の標準化を目的と

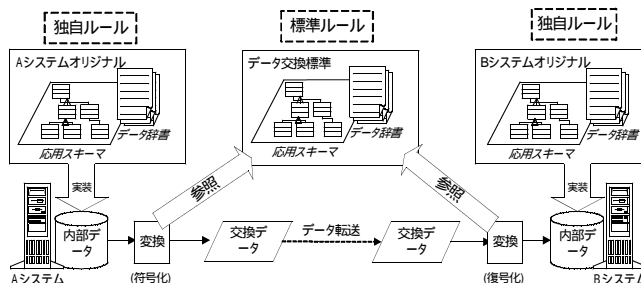


図-11 データ交換標準を利用したデータ交換

として、データ交換標準を参照して変換したデータを別システムにて同じ内容のデータとして共有可能であることの確認を行った。

今回、北陸地方整備局と九州地方整備局で情報化施工を用いて盛土工を実施した。以下にその概要を示すとともに、そこで使用した土木研究所と民間企業の共同研究による施工管理システムで、機械施工で取り扱う施工情報(位置・時間情報、材料情報等)に関するデータ交換技術の検証結果も併せて示す。

### 4.3.2 道路土工における実証試験工事

#### 4.3.2.1 北陸地方整備局での実施内容

##### (1) 工事概要

工事名：荒川道路その6工事

工事場所：新潟県岩船郡荒川町大字中野地先

全体工事概要：施工延長 860m、盛土量 22,000m<sup>3</sup>

実証試験概要：施工長 400m、施工重機 振動ローラ10t × 1台 ブルドーザ8t × 1台

##### (2) 実験概要

本工事は、ブルドーザによる敷均しと振動ローラによる締固め回数管理による施工を行った。

施工重機のオペレータは、施工指示情報を自動受信する車載モニタで指示値との差を確認しながら作業を行い、指示値を満たせば作業完了となる。転圧回数は事前の試験施工より6回転圧で締固め度92.5%が得られたため6回とし、敷均し厚は200mmとした。

##### (3) 実証試験施工内容

実証実験において確認取得した情報は次の通りである。なお、作業指示毎の敷均し、締固めに対して帳票の自動作成と、作業状況のインターネットでのリアルタイム表示を行った。

締固め回数分布図(図-12)：指示した施工範囲を50cmのメッシュに分割し、締固め機械に搭載した RTK-GPSによる走行軌跡から作成したメッシュ毎の締固め回数の表示結果である。オ



オペレータは、この画面を確認して、全面が所定の回数になるよう施工を行う。請負者および監督職員は、インターネット上でリアルタイム確認可能である。

(締固め)層厚分布図：締固め機械の走行軌跡から、各層の締固め仕上がり高さを算出した。その層毎の高さの差分より、50cm間隔のメッシュ毎に層厚管理が可能である。

出来高図：締固め機械の走行位置に対応する締固め機械のローラ最下部の高さを50cmのメッシュ毎に示したものである。これにより、日々の進捗状況が定量的に確認できた。

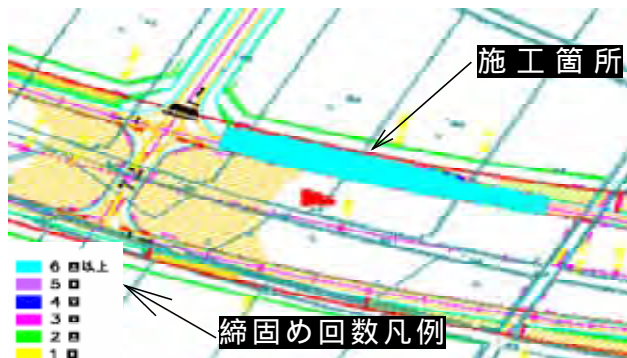


図-12 締固め回数分布図  
(転圧回数を色別に表示)

#### 4.3.2.2 九州地方整備局での実施内容

##### (1) 工事概要

工 事 名：大分57号田原園地区改良工事

工 事 場 所：大分県大野郡千歳村大字前田～大野町大字後田地内

実証試験概要：施工長100m、施工面積1,200m<sup>2</sup> 施工重機ブルドーザ(湿地型)19t×2台

##### (2) 実験概要

本工事では、ブルドーザによる敷均しと締固め回数管理による施工を行った(図-13、14)。品質管理は従来方法のRIによる密度管理と平行し施工管理システムにより回数管理を実施した。締固め回数は、試験施工により所定密度が得られる締固め回数の確認を行った。また、施工管理システムに作業指示毎に土質材料の搬入箇所を指定し、オペレータは作業範囲内にて材料の混合の無いよう施工することとして、層厚毎のエリア単位で土質材料の記録がとれるものとした。



図-13 実験現場の機器配置図



図-14 施工状況と重機車載モニタ

### (3)実証試験施工内容

土質毎の施工範囲指定

現場導入した施工管理システムでは、敷均しおよび締固め時に、オペレータに車載モニタで施工範囲と重機の現在位置を示した(図-15)。これにより、土質毎の施工範囲が現場施工で正確に指定可能であった。

仕上り厚の品質確保

現行施工では、層厚の管理は200mにつき1箇所の出来形管理であり、丁張の無い箇所は計測も無く目視確認である。今回の情報化施工では、50cm間隔のメッシュによる層厚をオペレータに表示するとともに、面的な層厚管理による良好な仕上り厚の品質確保ができることを確認した(図-16)。

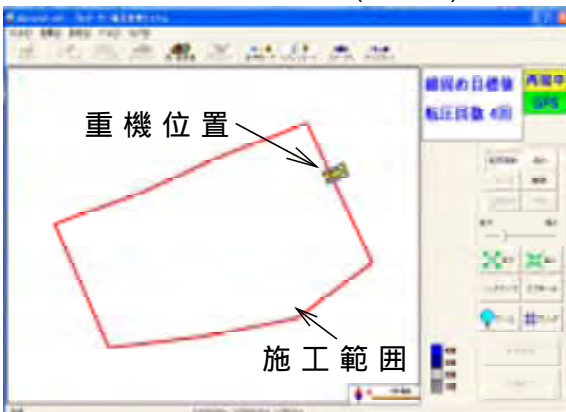


図-15 車載モニタによる施工範囲の表示

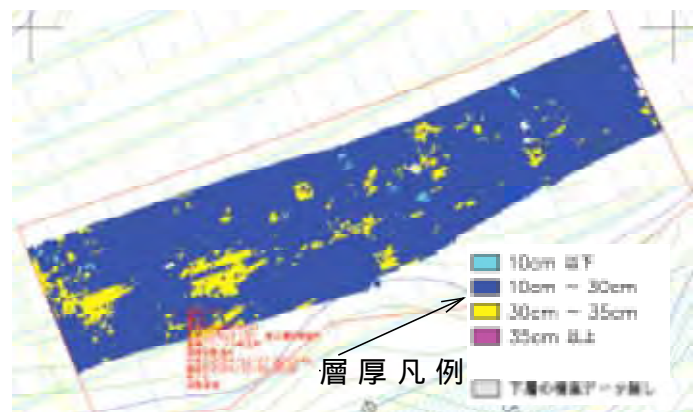


図-16 情報化施工での締固め層厚分布図

#### 4.3.3 データ交換技術の検証

北陸・九州地方整備局の2箇所の盛土施工現場にて実施したデータ交換技術の実証試験は以下の通りである。

##### (1)実証実験の概要

本実証実験では、図-17の構成にて盛土施工でのブルドーザ(図中 )と振動ローラ(図中 )で取得した施工情報(位置・時間情報、材料情報等)を元に、次の2つについてデータ交換が可能であることを検証した。

建設機械と施工管理システムとのデータ交換

2つの異なる施工管理システム間のデータ交換

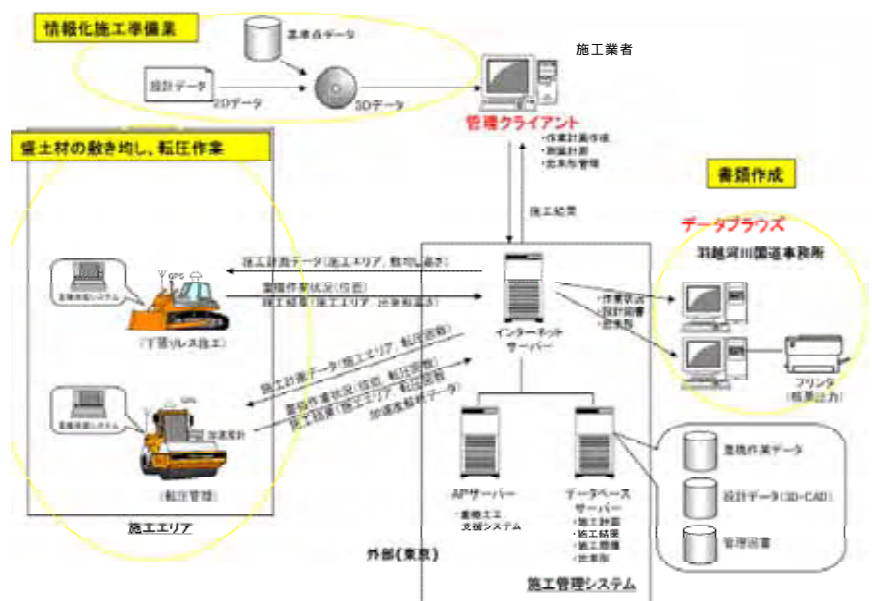


図-17 実験機器及びシステム構成

## (2)実証実験内容

### 建設機械と施工管理システムとのデータ交換

#### 1)実験手順

- ・建設機械(ブルドーザ、振動ローラ)の車載パソコンは、施工情報(位置・時間情報、材料情報等)を、標準のデータ形式(XMLスキーマ等)を参照して、XMLデータを作成する。
- ・建設機械の車載パソコンは、作成データを施工管理システムに受け渡す。
- ・施工管理システムは、受け取ったデータを標準のデータ形式を参照して、施工管理システムに利用可能なデータ形式に変換して再利用する。

#### 2)実験結果

建設機械と施工管理システムで、標準のデータ形式(土木研究所が共同研究で作成)を介してデータを共有することが可能であり(図-18)、データ交換標準が機能することを確認した。

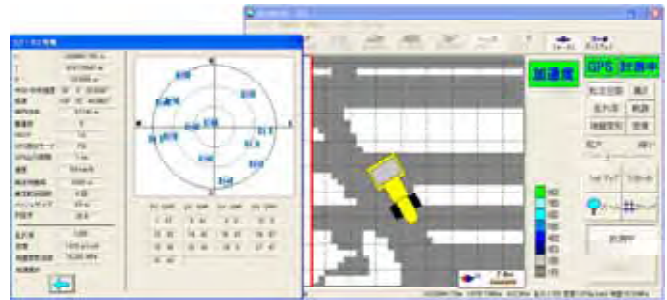


図-18 施工管理システムの表示画面  
(建設機械から受け取ったデータ)

### 2つの異なる施工管理システム間の データ交換

#### 1)実験手順

- ・施工管理システムA(送信側)はシステム独自形式のデータを、標準のデータ形式(XMLスキーマ等)を参照してXMLデータを作成する。
- ・施工管理システムA(送信側)は、作成データを施工管理システムB(受信側)に受け渡す。
- ・施工管理システムB(受信側)は、受け取ったデータを標準のデータ形式を参照して、施工管理システムBに利用可能なデータ形式に変換して再利用する。

#### 2)実験結果

2つの異なる施工管理システム間で、独自形式から標準のデータ形式に変換されたデータを、受信システムで独自形式に再変換可能であった。また、異なる施工管理システムの間で、同じ内容のデータを共有することが可能であり(図-19)、データ交換標準が機能することを確認した。

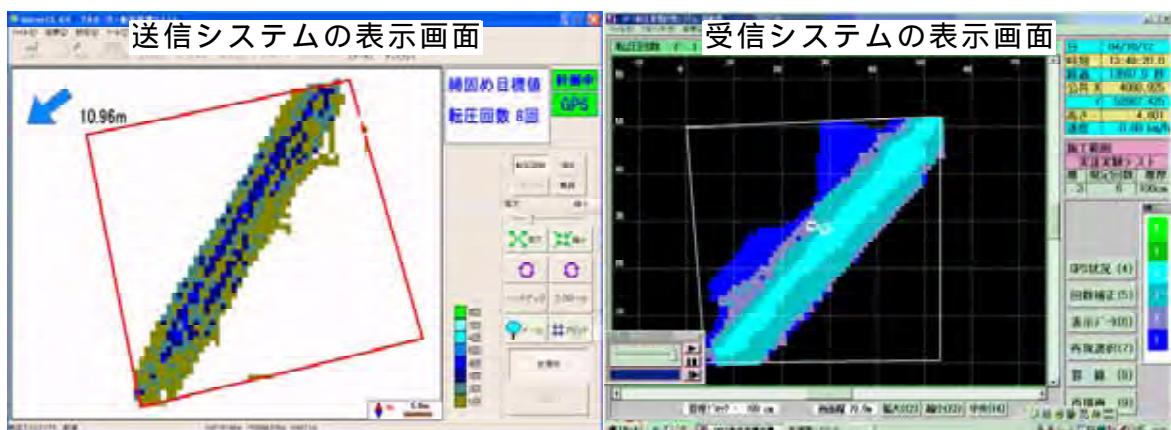


図-19 データ交換標準を用いてデータを共有した施工管理システムの表示画面

#### 4.3.5 まとめ

(1)2つの現場では、情報化施工による品質確保等の効果を確認したほか、帳票の自動作成、インターネットによる作業状況把握、盛土材料記録、盛土層厚管理等に対する有効性について知見を得た。

(2)建設機械の位置情報に加えて、盛土材種別毎の施工範囲指定による施工に必要な情報項目について、データ交換標準が適用可能であることが確認された。

(3)建設機械で取得した情報をデータ交換標準に従って変換したデータが、他のシステムで意味のあるデータとして読み取り可能であり、データ交換標準の妥当性が検証された。

#### 5. おわりに

本研究では、2年間にわたり情報化施工が目指す目標である、生産性の向上・品質確保等の発現を確認すべく各種の検証を行い、以下の成果を得た。

道路土工においては、「TS・GPS」を活用し、取得した3次元空間情報を利用した出来形管理の施工管理・検査業務の効率化と施工品質の確保について検証を行い、実証の確認がとれた。

舗装工への情報化施工技術の適用については、品質の確保や施工効率化が確認された。

機械施工のデータ交換技術の検証では、作成したデータ交換標準に従ってシステムに依存しないデータ交換が可能であることを検証した。

民間においても国の管理要領を応用し、情報化施工により施工効率を上げている例(九州電力小丸川発電所上部調整池工事)も出てきており、広がりを見せ始めているところである。今後とも、これらの取り組みを推進し、マスタープランで示している、建設施工において情報化施工による生産性の向上や品質確保等の効果を発現するため、努力を続ける所存である。

#### < 参考文献等 >

- 1):平成10年度 情報化施工による施工の合理化に関する研究, 建設経済局建設機械課他
- 2):平成11年度 情報化施工による施工の合理化に関する研究, 建設経済局建設機械課他
- 3):平成13年3月 情報化施工のビジョン - 21世紀の建設現場を支える情報化施工 - ,  
情報化施工促進検討委員会