

「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

北海道開発局事業振興部機械課

各地方整備局道路部機械課

独立行政法人土木研究所技術推進本部

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、更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。

2. 情報化施工の概要と課題

2.1 概要

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。

2.2 情報化施工を取り巻く課題

情報技術の進展により、施工現場にも IT 機器が導入され、効果的な利活用が進んでいるが、更に効果的な情報化施工を実現するためには多くの課題がある。

(1) 技術的な課題

受発注等に利用される設計図書類は現状では2次元で表現されており、施工に必要な3次元情報は改めて作り直されているため、コストアップや煩雑さなどが発生している。併せて、建設現場が建設業特有の重層化した請負構造のため、複数企業によって施工が行われていることから情報の共通利用が難しい環境にある。よって、情報機器やそのデータ様式などを共有または連携するための仕組み、いわゆる情報利用環境の整備が必要である。

(2) 基準類等の課題

例えば、情報技術を活用して盛土品質を管理する場合、締め固め回数を管理することにより、従来施工と同等以上の品質の確保、作業効率の向上を図ることが出来ることが確認されている。しかしながら、締め固め回数は現行の施工・管理

基準に適合していないため、情報化施工を実施しても現行の基準に従った管理項目で再測定することが必要で、施工の効率性が損なわれ、情報化施工の効果を十分に発揮させることが出来ない。このように、情報化施工の推進にあたっては発注者側の技術基準類のあり方についても検討を行うことが必要である。

3. 研究概要

3.1 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」^{1),2)}の研究成果を基に、直轄事業における情報化施工の導入効果を整理すると共に、関係各主体の効果や今後の活用の可能性と方向性について2カ年で調査検討するものである。

3.2 研究内容

本研究は、情報化施工を導入するための環境整備の一環として、自動追尾トータルステーション(以下TSという)・Global Positioning System(GPS)を用いた盛土締固め管理の実証試験を行った。さらに、実証試験の結果から情報化施工に対応した施工管理要領の作成と施工における施工管理情報の交換方法について提案を行うものである。また、施工管理情報の利活用に向けた取組として3次元空間情報を用いた出来形管理の実証試験を行い、3次元空間情報の有効性について検証を行った。

4. 情報化施工に向けた施工管理基準の導入

4.1 盛土の締固め管理の現状

近年、TSやGPSによる自動かつリアルタイムに計測された締固め機械の走行軌跡と3次元座標情報から転圧回数を確実に把握する盛土締固め管理システムが各種開発されている。このシステムは、仕上がり層厚管理や出来高管理が簡便に行えるという利点がある。盛土締固め管理システムによる締固め回数管理手法を導入することは、作業効率や品質の向上およびCALS/ECへの対応による電子納品や検査書類の合理化などが期待される。

4.2 盛土の締固め情報化施工管理の概要

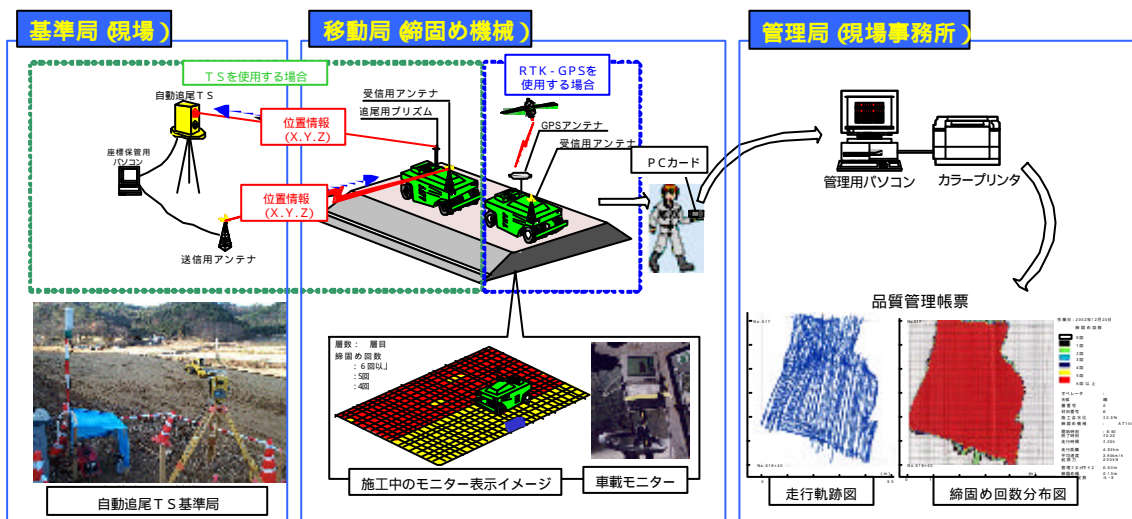


図 - 4.1 盛土の締固め管理システムの概要と情報の流れ

4.2.1 システムの概要

TSシステム¹またはGPSシステム²を用いた締固め回数管理は、以下の手順で行われる。

締固め作業開始に先立ち、設計データ等から施工範囲の電子情報（3次元座標データ）を、締固め機械の位置情報を取り込むパソコンに入力する。

事前に行う試験施工により、施工する現場における規定の締固め度が得られる締固め回数を決定する。

図-4.1に示すように施工エリアを平面上にメッシュ分割する。そのメッシュを締固め作業時の管理ブロックとする。

TSまたはGPSで計測した締固め機械の走行軌跡データを、車載モニタ上の管理ブロック図にあてはめて表示する。締固め機械が管理ブロックを通過すると、その管理ブロックを締固めたものと判定し、同時に締固め回数が色分けされて車載モニタに表示される。

締固め範囲全体に渡って盛土品質確保に必要な締固め回数を、確認・管理することができ、作業終了後管理帳票を作成することができる。

4.2.2 本システムの導入の効果

TSシステムまたはGPSシステム活用の盛土施工管理を実施することで、次のような利点をあげることができる。

- ・盛土全面の締固め状況が把握できることによる品質の向上（品質の均一化）
- ・締固め管理のリアルタイム把握による工程短縮（次層盛土の迅速な施工）
- ・品質管理業務の簡素化・効率化（品質管理のための計測時間短縮）
- ・締固め回数の管理による過転圧の防止（施工の効率化）
- ・オペレータの省技能化（オペレータの熟練度に左右されない品質確保）
- ・品質管理業務の電子化による電子納品への対応（施工管理の合理化）

4.3 締固め回数管理の検証

図-4.2に示すように従来の砂置換法やRI計法の品質管理値は「締固め度」である。情報化施工管理では、車載モニタに表示される施工管理ブロックが、締固め規定回数だけ締固めたことを示す色になるまで締固める「締固め回数管理」となる。この品質管理方法について、妥当性を「締固め率」³から検証を行った。

1 TSシステム：施工機械に取り付けたレーザターゲットを現場近傍に据えたトータルステーションで自動追尾し、機械の移動軌跡を取得する方法である。

2 GPSシステム：衛星からの信号を捕捉して機械位置を計測し、機械の連続的な移動軌跡として利用する方法である。

3 「締固め率」とは、締固め作業の管理ブロックを0.1m単位の基本ブロックサイズに変換したとき、規定回数まで締固めた基本ブロックと規定回数に満たない基本ブロックの割合と定義する。

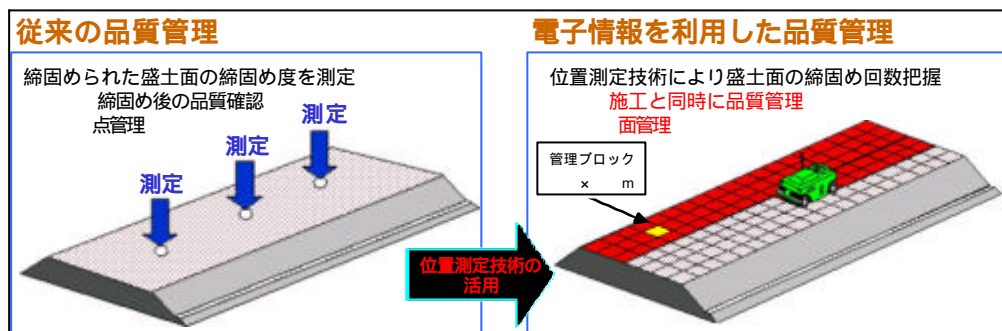


図 - 4 . 2 品質管理方法の比較

4.3.1 管理ブロックサイズについて

盛土の品質を締固め回数で管理する手法においては、締固め範囲を締固めたと識別する管理ブロックサイズが、品質と作業効率に大きな影響を与えることから、適切に決定することが最も重要である。

締固め判定方法は、施工範囲を適切な管理ブロックに区切り四辺のうち一辺（1点）でも締固め機械が通過すると、そのブロックの全部を締固めたと判定する。その概念を図 - 4 . 3 に示す。図中の円弧で示された場所は、締固め機械の軌跡であり、赤色に着色されたブロックは、締固めが行われたと判定された場所である。締固め施工に適用する適切な管理ブロックサイズは、品質と作業効率を従来施工と同等以上に確保する必要がある。

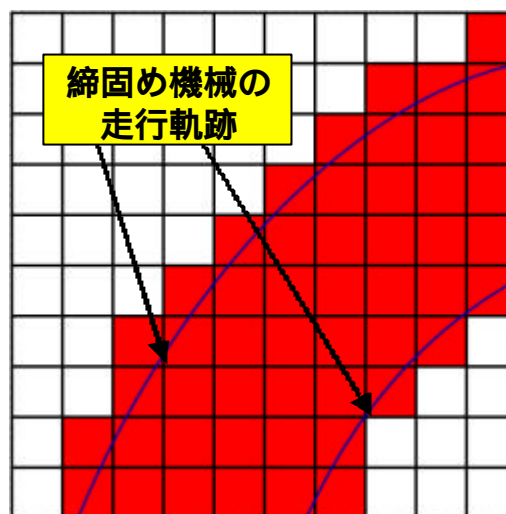


図 - 4 . 3 締固め判定方法の概念

4.3.2 締固め回数管理による品質の検証

従来施工と同等以上の作業効率と締固め率が確保できれば、品質も確保されるという観点から 締固め率について施工面積と締固め回数を同一にした施工条件において、従来施工と車載モニタからリアルタイムで施工箇所と転圧回数が把握できる情報化施工との比較試験を実施し、下記の項目について検証した。

従来施工の締固め率

従来施工の場合は、締固め回数のカウントと締固め位置の確認をオペレータ自身が行うため、締固め回数が不足する範囲が集中するケースが見られる。締固め率は約 88 % ~ 95 % 程度の範囲でバラツキ、平均は約93%であった。

標準管理ブロックサイズの決定

試験ブロックサイズとして、0.25m ~ 0.75mの間で各種サイズの施工を行い、作業効率と締固め不足率を評価した結果、標準管理ブロックサイズは、ブルドーザは0.25m、タイヤローラおよび振動ローラは0.5mが適していた。

情報化施工の品質

標準管理ブロックサイズで施工した場合、最低でも93%以上の締固め率を確保できており、従来施工と同等以上の施工精度を確保することができた。

また、締固め後に現場密度を測定し、締固め度が品質規格値を満足しているかについて確認を行い、従来施工と同等の品質が確保されていることも併せて確認した。

4.4 情報化施工に対応した施工管理手法の検証

種々の現場条件で盛土締固め回数管理による施工管理の適用性を検証するため、8地方整備局および北海道開発局の15現場で実証試験工事を実施した。

4.4.1 河川土工における実証試験工事

北海道開発局では、河川の築堤盛土工事において、TSを用いた情報化施工と従来施工による盛土締固めの品質管理を比較検証するための実証試験を実施した。

(1) 工事概要

工 事 名：石狩川改修工事の内 江部乙川上流六戸島築堤工事

工 事 場 所：北海道滝川市江部乙町

全 体 工 事 概 要：施工延長 1,050m，盛土量 86,640m³

実 証 試 験 概 要：盛土量 1,365m³，締固め面積 4,000m² (L 200m × W 20m)

(2) 締固め回数の設定

試験盛土施工において転圧回数毎に締固め度を測定した結果、3回転圧で90.9%，4回転圧で94.3%となった。基準締固め度（最大乾燥密度85%以上）を満たし、かつある程度余裕を見込み規定転圧回数は3回とした。

なお、盛土材は、現場内堤外の土取場から掘削した礫質土（細粒分まじり砂質礫）、現場締固め度の測定は、砂置換法である。

(3) 実証試験施工結果

実証試験施工の標準的な走行軌跡図および締固め回数管理図を図-4.6および4.7に示す。



図-4.4 工事箇所平面図

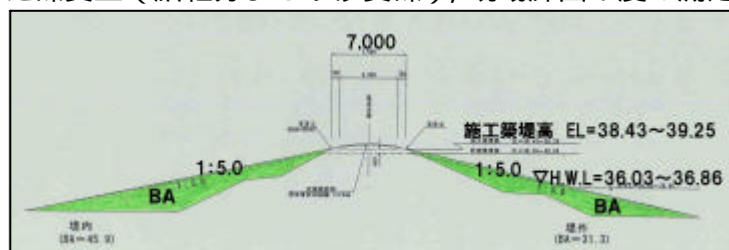


図-4.5 工事箇所横断面図

端部に規定回数に満たない部分があるが、これは施工範囲外の部分であり施工範囲内は規定の締固めが実施されていることを確認した。そして、締固め機械の運転席のモニタで締固め状況を確認しながら施工できるため、施工面全体の均一な締固めが可能となった。また、締固め回数を確認できるので過転圧を防止でき、施工時間の短縮など効率的な作業ができた。



写真 - 4.1 実証試験施工状況

締固め度

実証試験施工における締固め度は平均93.7%で、締固め回数の設定で基準である90.9%を十分に満たしている。実証試験施工と従来施工による締固め度の分布を図 - 4.8 に示す。実証試験施工の締固め度は93.0~94.4%で、従来施工に比べばらつきが少なく均一な品質が確保されている。

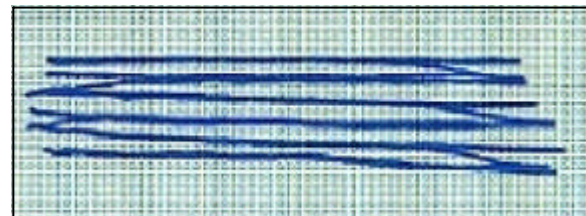


図 - 4.6 走行軌跡図

品質管理

従来の盛土締固めの品質管理は点による管理で、面的な管理が不可能であったが、情報化施工による回数管理では、図 - 4.7 に示すとおり施工面全体の面的な品質管理が可能となり品質の向上が図られる。また、図 - 4.6 の走行軌跡図および図 - 4.7 の締固め回数管理図により出来形管理をするため、CALLS/EC、電子納品等へ対応でき施工管理に要する労力を軽減することができると考えられる。

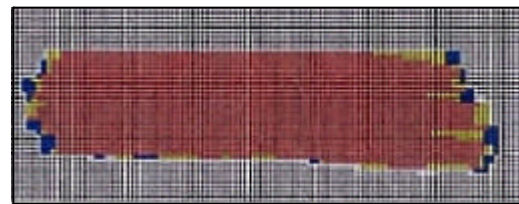


図 - 4.7 締固め回数管理図

(4) まとめ

従来の盛土締固め施工では、各計測点での締固め度の試験結果が基準値以上であることを確認しなければ次層の施工ができないが、情報化施工では規定の締固め回数を管理するだけで、連続した盛土施工が可能になり、大規模な工事であれば、

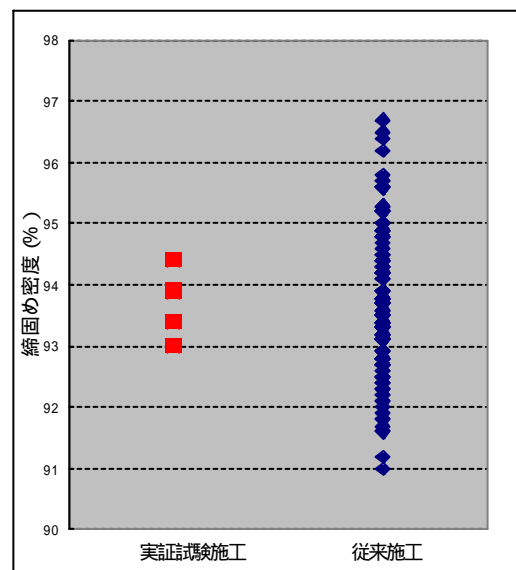


図 - 4.8 締固め度分布図

工程管理が容易になり工期短縮が図られる。また、締固め状況を運転席のモニタで確認しながら施工できるので、オペレータの技量によらず、均一な品質の確保が期待できる。

4.4.2 道路土工における実証試験工事

四国地方整備局では、道路の路体盛土工事においてTSを用いた情報化施工による盛土締固め管理の実証試験を実施した。

(1) 工事概要

工 事 名：田井改良第2工事

工 事 場 所：徳島県海部郡由岐町田井地先

全体工事概要：施工延長430m，盛土量150,000m³

実証試験概要：盛土量1,120m³，締固め面積800m²(L40m×W20m)

実証試験現場全景を写真 - 4 . 2 に，工事箇所平面図を図 - 4 . 9 に示す。

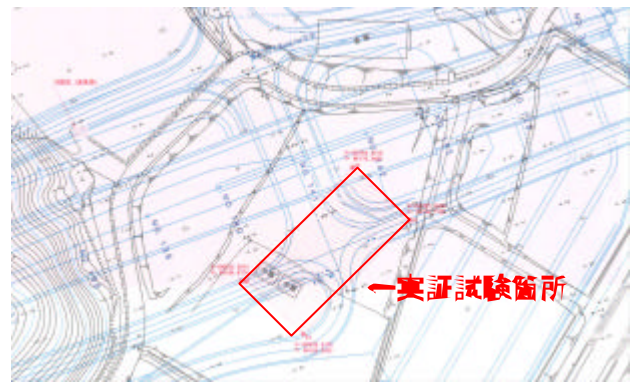


写真 - 4 . 2 実証試験現場全景

図 - 4 . 9 工事箇所平面図

(2) 締固め回数の設定

実証試験に先立ち、試験盛土施工を転圧回数4，6，8回について実施した結果、締固め度はそれぞれ88.0%，88.2%，90.9%となった。品質管理基準(案)によると路体の基準締固め度は最大乾燥密度で85%以上であるが、転圧回数4回で締固め度は88.0%となり基準締固め度を上回ったため転圧回数は4回とした。

なお、盛土材はトンネル掘削箇所にて発生した砂礫であり、現場締固め度の測定は砂置換法である。

(3) 締固め実証試験結果

締固め度

締固め度は、平均で情報化施工の場合で91.4%，従来施工の場合で92.1%となった。情報化施工の場合の締固め度は従来施工の場合と同程度の値となっていることが確認できた。図 - 4 . 10 に両施工法

実証試験施工と従来施工における締固め度

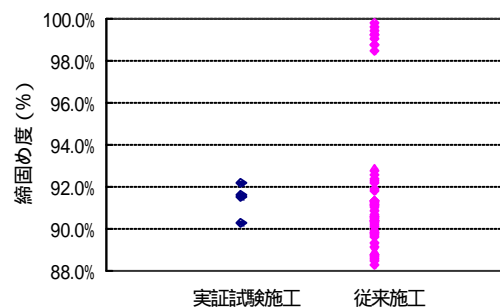


図 - 4 . 10 締固め度分布図

における締固め度分布図を示す。情報化施工の締固め度 90.3 % ~ 92.3 %であるのに対して従来施工は 88.3 % ~ 99.8 %となっていることから締固め度のばらつきは情報化施工のほうがはるかに小さく、効率良く施工されていることが判った。

システムによる施工の不具合点

ローラ停止後の再運転時および施工中のバウンド時においてTSの追尾遅れによりデータ欠落が生じることがあった。

(4) 施工現場における適応性の考察

締固め度

従来施工と比較して情報化施工の締固め度は、十分満足できるものであるとともに、ばらつきについても従来施工と比べて小さいことから品質管理手法として十分使用が可能であると考ええる。

TSの追尾遅れ

TSの追尾遅れによるデータ欠落は、盛土材中の大礫にローラが乗り上げた際の大きなバウンドに、TSの首振りに対応できず、自動追尾できなかったものと考えられる。

当該現場のような場合には、事前に適切な追尾距離を確認したり、TSの配置位置等の工夫が必要であると考えられる。

(5) まとめ

情報化施工を導入することにより施工効率および施工管理において以下の効果が期待できる。

施工においてはオペレータはモニタを見ながらの作業となるため過転圧がなくなり効率が改善されるものと考えられる。

施工においては締固め度確認を転圧回数で管理することにより砂置換法と比べて迅速化が図れるとともに、従来施工が点での管理であるのに対して情報化施工では面的管理になることから品質が向上するものと考えられる。

4.5 管理要領(案)の策定

現地実証試験から「締固め回数管理」についての有効性は検証することができた。しかし、情報化施工に対応した施工管理基準が整備されていないために、現場に導入しても従来の管理手法(砂置換法やRI計法など現場密度試験から求まる「締固め度」での管理)を実施せざるを得ない。そのため、施工管理が二重化してしまい当該技術を普及させる妨げとなっている。そこで、実証試験工事の結果を踏まえ「TS・GPSを用いた盛土の締固め情報化施工管理要領(案)」を策定し、現場への導入環境整備を行った。管理要領では、以下の内容についてとりまとめを行った。

- ・盛土の品質を締固め回数で管理する場合の施工管理方法、データ取得管理方法、締固め回数の確認方法、システムの取り扱い方法等について規定した。
- ・現在、盛土締固め施工管理方法として行われている「砂置換法」「RI計法」に続く第3の選択肢として同管理要領(案)をとりまとめた。

・河川土工，道路土工における，盛土の締固め管理に適用することとした。

そして，同管理要領（案）の現場周知を図るため，各事務所での説明会や出張所長等連絡会議において紹介および活用依頼を実施した。さらに，施工関連の業界団体への紹介なども行い，普及促進に努めているところである。

今後はCALS/ECと連携した管理要領とすべく，3次元設計情報の受渡しや施工管理情報の利活用について取組んでいく必要があると考える。

5. 3次元設計情報を用いた出来形管理実証試験

5.1 出来形管理の現状と問題点

道路工事に使用する測量データは，3次元の要素を有しているが平面図，横断図，縦断図を基にした出来形管理として2次元管理を行っている。さらに，幅員，高さなどの設計値を示した横断図は，特定の間隔でしか作成されていない。このような状況では，横断図のある特定断面でしか出来形管理ができず，現地での管理断面の位置特定，巻き尺による計測，図面・帳票作成などに手間がかかる。しかし，測量に用いるTSでは，角度と距離の実測値から3次元の計測情報を自動的に算出することができるが，2次元的管理にとらわれ，3次元情報を有効に活用できていない。これらの非効率な業務を改善するために，道路中心線線形，標準横断による3次元設計情報を用い，TSによる3次元測量データを有効利用した，任意断面での出来形管理手法について実証試験を行った。

5.2 出来形管理実証試験の概要

中国地方整備局鳥取河川国道事務所の国道29号西御門歩道設置工事では，40,000㎡の道路土工において3次元設計情報を用いたIT型出来形管理についての実証試験を行った。

実証試験は，IT型と従来型の比較が行えるよう図-5.1に示すとおり工事区間を分割して，それぞれ並行して出来形確認・検査を行った。

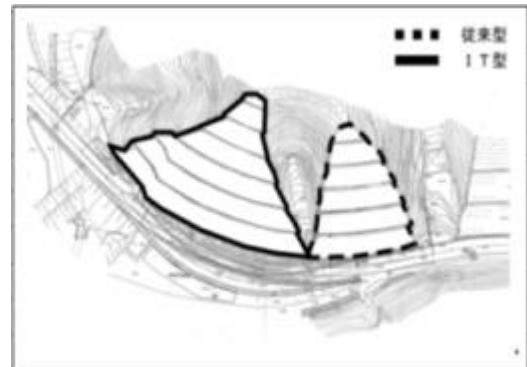


図-5.1 IT型と従来型の工事区間

5.3 実証試験の内容

5.3.1 3次元設計情報の作成

実証試験の事前準備として，発注された2次元図面から平面・縦断・横断および線形計算書等から，道路の基本的な構造を構築するために必要な情報を3次元CADに入力し，3次元設計情報を作成した。図-5.2および5.3に道路構造を電子化した図面と立体的に表現した図を示す。

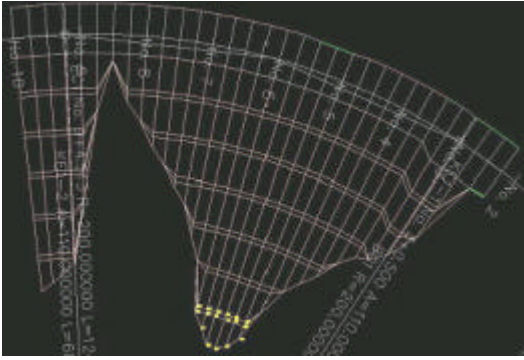


図 - 5 . 2 2次元ベースのCAD図

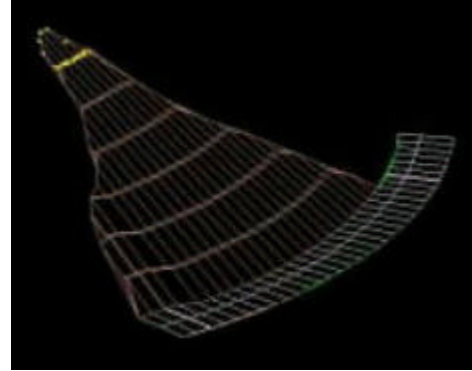


図 - 5 . 3 2次元図面の3次元化

5.3.2 出来形測量

出来形測量は、3次元CAD図面上で設計形状を確認し、測定箇所に対応した線形情報をデータコレクター経由でTSに送り行った。従来型出来形測量は、20mピッチの管理断面上において横断幅、法面長さ、仕上がり高さを計測し、横断面図と出来形管理図表に設計寸法と計測寸法(出来形寸法)、出来形管理規格値を転記していた。

IT型出来形測量は、管理断面にこだわらず、任意の点で3次元計測を行い、あらかじめ作成した3次元設計情報と比較による管理を行うために、道路中心線からの離れ値管理(オフセット)による数値の比較で行う。

(図 - 5 . 4) この場合、設計上のどこの部分を測るのか対象位置を決める必要があり、図 - 5 . 5 のような出来形計測の対象点に管理番号を指定し計測・管理を行った。

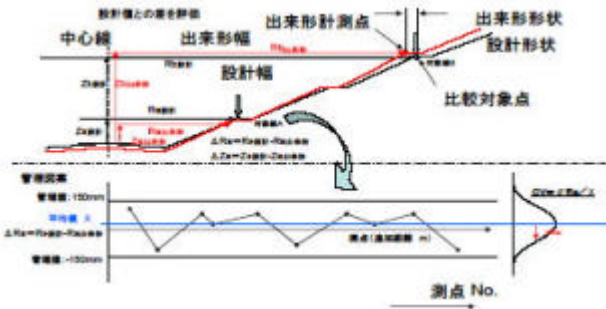


図 - 5 . 4 IT形出来高管理の概念図



図 - 5 . 5 出来形計測の対象位置



写真 - 5 . 1 施工状況

5.3.3 出来形確認・検査

(1) 出来形確認は、設計図書で示された工事目的物の形状・寸法が決められた範囲内に収まっているか確認・把握するものである。そのため、請負者から提出

された任意点での出来形データを基に，管理断面上の出来形寸法を計算する。そして，監督者が対応する設計寸法と計算された管理断面上の寸法をPC画面上で確認する。また，今回監督者は，現地で任意断面上における変化点を計測し，請負者と同様の作業を行いIT型出来形管理の有効性を確認した。

- (2) 段階確認時は，改ざんや紛失等のトラブル防止のため，現地計測データをメモリーカードに保存し提出を義務づけた。
- (3) 出来形検査も同様に，検査官がPC画面上で出来形値と設計値を対比し規格値を満足しているか検査を行った。また，現地においても任意の点を計測し，提出された出来形値と相違ないか検査を行った。

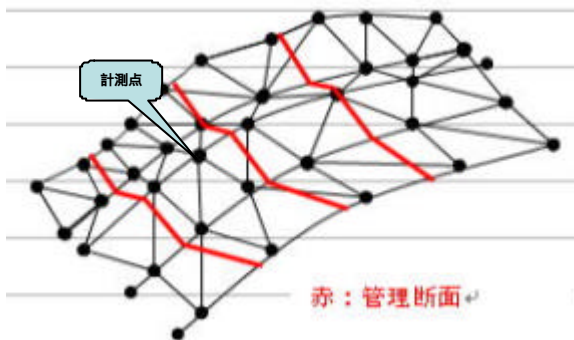


図 - 5 . 6 出来形計測点と管理断面図

x	y	z	name
-66889.68	-5962.23	120.71	-4
-66891.81	-5966.53	122.42	-4
-66892.54	-5969.74	123.75	-4
-66891.43	-5972.24	123.87	-4
-66886.32	-5973.85	120.41	-4
-66881.41	-5975.39	117.55	-4
-66885.91	-5961.04	117.58	-3
-66884.58	-5960.46	117.81	-2

図 - 5 . 7 出来形計測の座標



図 - 5 . 8 出力した出来形平面図

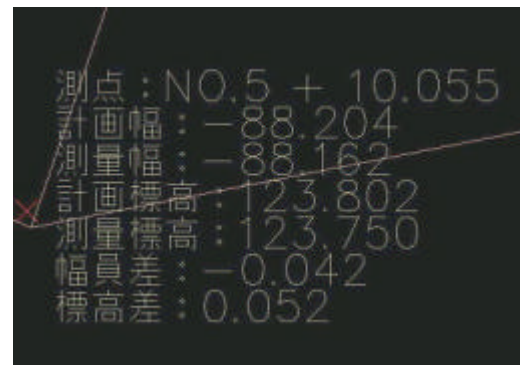


図 - 5 . 9 出力した出来形管理

5 . 4 実証試験の結果と効果

- (1) 従来の出来形管理は，管理断面上の出来形に対しそれぞれ確認・計測を行っていたが，3次元設計情報を用いることで，任意断面上の計測から，管理断面上の出来形値を計算し確認することができる。また，出来形管理図表の作成も容易となり，測量時間の短縮や出来形管理に要する時間が図 - 5 . 10 に示すとおり 2 / 5 程度に短縮された。

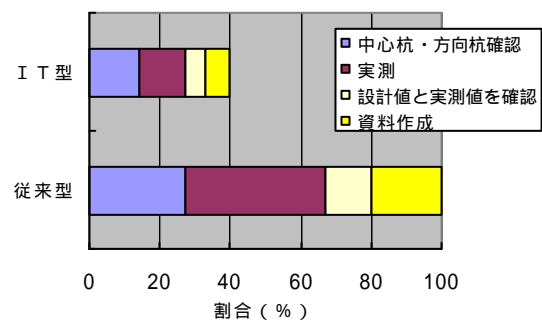


図 - 5 . 10 出来形管理の業務比較

- (2) 従来、作業毎にばらばらに作成されていた帳票類や平面・縦断・横断の2次元図面を3次元設計情報に統合することにより、図面間や設計と施工の不整合を容易に確認することができる。また、施工途中段階での施工誤差の修正が可能となり、品質向上にも有効であることが確認された。
- (3) 掘削施工途中で軟岩が発生し表土を取り去り、土砂と軟岩の境界をTSで測定した。従来の岩線確認は、管理断面上で離れと高さを測定し、横断図に岩の範囲を表示するだけであった。3次元設計情報を応用することで、岩線確認の作業が容易となり、現地の正確な地質情報を取得することが可能となった。
- (4) 実証試験を通して、IT型の出来形管理の手法においても、従来から行われている管理・検査を問題なく行えることを確認できた。

6. 結論

今回報告した結果から、以下の結論を得た。

情報化施工による施工管理の合理化を目的として従来の管理方法に代えて新たに提案した「締固め回数管理」による方式は従来の盛土施工と同等の品質を確保できる。上記の方式により、締固め工を実施した場合、工期短縮効果、過転圧の防止、施工管理の迅速化が図られる。

従来の「点」管理による品質管理から「面」管理に概念が変更されたことにより、構造物の品質向上が図られたものと考えられる。

3次元設計情報を用いた出来型管理においては、従来と比べて測量作業・出来高管理作業が合理化された。

7. おわりに

今回新たに策定された「締固め回数管理要領(案)」を基に、舗装工をはじめ他工種についても、情報化施工に対応した施工管理基準を策定し、情報化施工技術(NETIS「新技術情報提供システム」に登録している技術等)が活用できる環境を整備していくことが重要である。また、3次元空間情報を利用したIT型出来形管理・検査などの基準類を構築し、現行基準へ追加することで、さらなる情報技術の利用の促進を図るとともに技術開発の推進が必要と思われる。

今後、情報技術の利用による建設施工の効率化の実現に向けて、従来の業務スタイルを改善し、業務目的に即した情報技術の利用を考えることが重要である。

<参考文献等>

- 1) 平成10年度 情報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) 情報施工のビジョン - 21世紀の建設現場を支える情報化施工 -
平成13年3月 情報化施工促進検討委員会