

4 1. レーザースキャナによる出来形管理手法について

国土交通省国土技術政策総合研究所

○田中洋一、上坂克巳、金澤文彦

【要旨】本研究は、レーザースキャナにより得られる地形情報と設計情報を比較することによる出来形形状評価の可能性について検証を行った。最初に、レーザースキャンにより施工現場の地形情報を地形データとして取得した。データ取得した場所は、平成17年度「施工管理情報を搭載したTSを用いた出来形管理要領（案）」を基に試行を行った現場とした。取得した地形情報は、出来形管理の算出プログラムを用いて設計形状とのを比較、評価を行った。また、出来形管理の現場試行で得られたトータルステーションの出来形値との比較を行った。それにより、レーザースキャナの計測精度について検証し、ロボット施工等の自動施工に必要な出来形計測方法について考察を行った。

1. はじめに

(1) 背景

我が国の土木施工においては、災害復旧現場、地下空間、トンネル、がけ地、土壤汚染の工事などで、危険・苦渋作業がいまだに多く存在しており、これらの劣悪な作業環境を改善し、安全を確保することが喫緊の課題となっている。そのため、最先端のIT・ロボット技術を活用し、現在行われている災害復旧現場等における施工効率を向上させるとともに、一般の施工現場においても低コストで容易に利用可能な作業支援システムや建設機械による施工の自動化技術などの開発が求められている。国土交通省では、平成15年度より平成19年度までの5ヵ年計画で総合技術開発プロジェクト「ロボット等によるIT施工システムの開発」¹⁾を実施している。このプロジェク

トでは、土木施工における危険・苦渋作業の解消のため、建設機械のIT施工技術の開発および3次元情報を用いた施工管理技術の開発を行っている。

(2) これまでの研究

ロボット等によるIT施工システムは、ITやロボット技術を活用し、現地での3次元地形情報をレーザースキャナやステレオカメラシステムでとらえて、3次元の設計情報を基に施工管理する技術である。国総研では、ロボット建設機械に搭載するためデータ量が少なく、面的な施工管理が可能となる3次元設計情報²⁾を定義した。そして、3次元設計情報とトータルステーションから得られる地形情報により、効率的な施工管理（出来形管理）を行う技術を開発³⁾した。また、レーザースキャナを用いて出来形管理を行う技術も大規模現場での利用事例⁴⁾が報告されているが、小規模な施工現場で利用するには多くの課題がある。

(3) 本研究のねらい

ロボット等によるIT施工システムは、施工中に面的な地形データを取得し、設計形状に対する差を指示値として表示するシステムとして検討がなされている。本研究では、ロボット等によるIT施工システムにおいて、施工途中で取得される面的な3次元地形情報を、出来形管理へ転用する手法について提案した。また、小規模な現場で実際に取得した出来形形状データからの評価手法についても検証した。さらに、平成17年度実施した現場試行で得られたトータルステーションの出来形計測値と比較を行い、レーザースキャナの出来形計測精度について検証を行った。

2. レーザースキャナによる出来形管理手法

(1) レーザースキャナによる地形データの取得

地形データ取得は、平成17年度に国土交通省直轄現場で行われた「施工管理情報を搭載できるトータルステーションを用いた出来形管理の現場試行」のうち1現場を選択した。

＜計測現場＞

取得時期 平成18年2月27日

取得現場 鳥取県東伯郡琴浦町田越地内

図-1に計測現場で利用した機器仕様を示す。本機器は、リーグル社製のレーザーミラーのうち、高精度／長距離対応型のLMS-Z420を利用して計測を行った。本機器は、計測機器（レーザーの発信機）からの相対位置として計測対象面の座標群を計測する。座標群を3次元データ化する方法としては、計測対象3点以上に3次元座標を与えて変換する方法、もしくはレーザーの発信点座標と機械の向きを設定し、機械からの角度と距離で3次元座標化する方法がある。今回使用したシステムでは、計測対象面にターゲット（タイポイントと呼ぶ。）を設置し、それらに座標を与える手法で地形データの3次元化を行った。図-2に計測方法の概念図を示す。タイポイントの測量は、

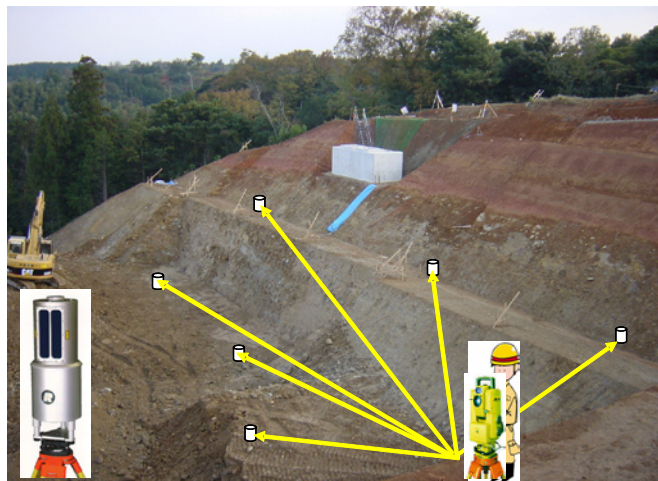


図-2 計測方法の概念図

全体計測前か計測後に行われるもので、計測密度は水平及び鉛直方向に0.004度ピッチ（100mで19mm）でスキャンを行う。そのあと、タイポイント形状の認識を行い、登録した形状とのフィッティングにより中心位置を算出する仕組みとなっている。図-3に測量結果の3次元モデルを示す。レーザースキャナでは、反射距離から対象物の位置を特定するが、距離でフィルタリングを行うことで、除外区域が設定できる。また、画面内の欠測部分は、レーザーの反射が乱れるため計測されていないところである。

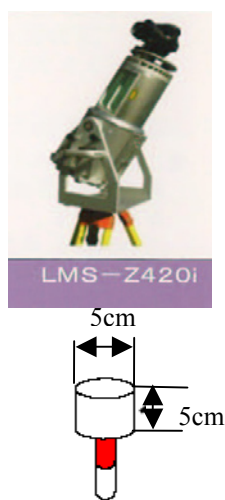
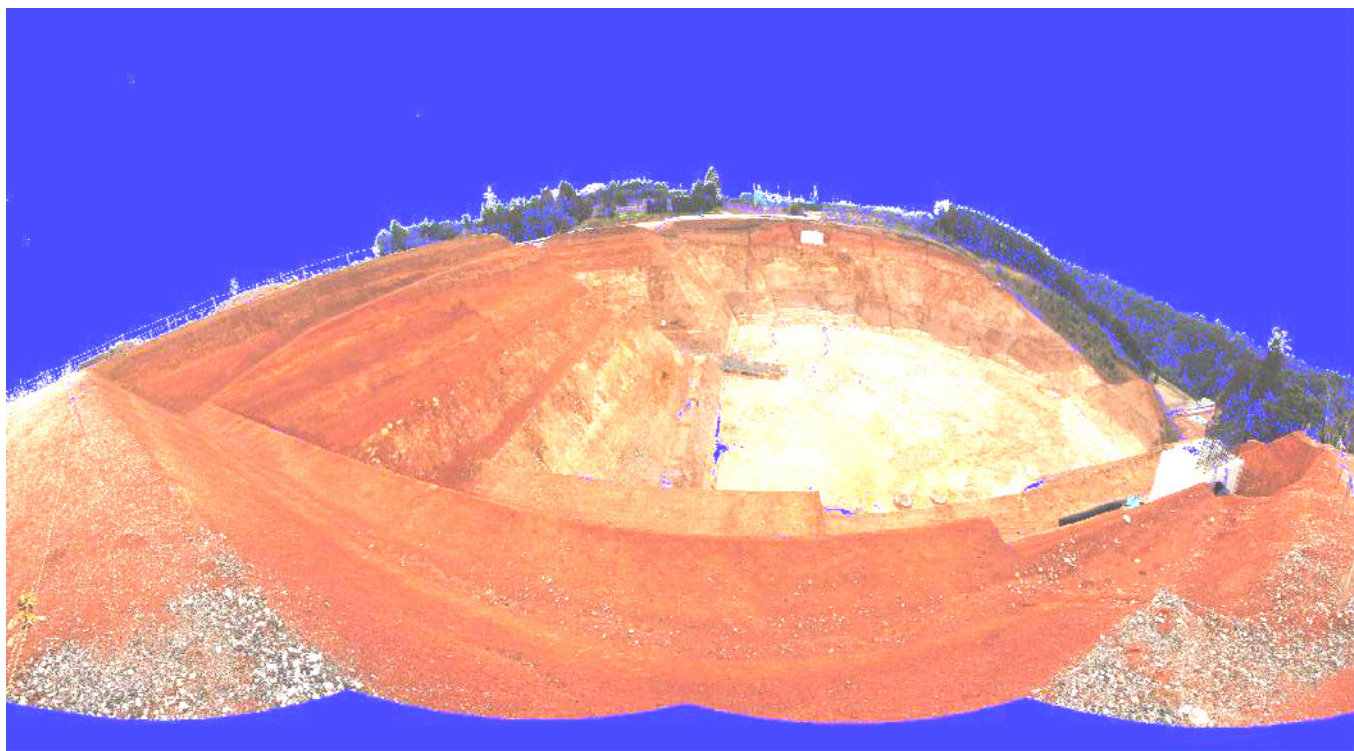


図-1 計測現場で利用した機器仕様

主な特長	高精度／長距離
レーザー安全規格 (IEC60825-1:2001)	Class1
分解能(選択可能)	5mm
最短距離	2m
測定距離範囲 (反射率ρ≧80%自然物ターゲット) (反射率ρ≧10%自然物ターゲット)	800m 250m
精度(単発測定)	±10mm
精度(平均化)	±5mm
スキャンレート(ラインスキャン) (フレームスキャン)	1~20スキャン/秒 0.01~15度/秒
スキャン範囲(ラインスキャン) (フレームスキャン)	80度 360度
角度分解能	0.0025度
最小ステップ角	0.01度
測定点数/秒	回転ミラー: 8000点まで 振動ミラー: 12000点まで
レーザー波長	近赤外
ビーム拡がり角	0.25mrad
データインターフェース	ECP、TCP/IP

(2) 地形データによる出来形管理ソフトの開発

レーザースキャナで取得される3次元の地形データを用いた出来形の評価方法を検討し、その評価方法に基づいて出来形評価を行うアプリケーションを開発した。計測機器により取得された地形データは、3次元座標値を持つデータ（1点/10cm²以上）である。座標値が道路形状のどこを測ったかという情報をもたないことが、地形データを用いて出来形評価を行う際の課題である。出来形を評価するためには、設計形状と出来形形状の対比を行わなければならない。このため、設計形状と対比させるための情報を、地形データからいかに導き出すかが、出来形評価を行ううえでの課題となる。

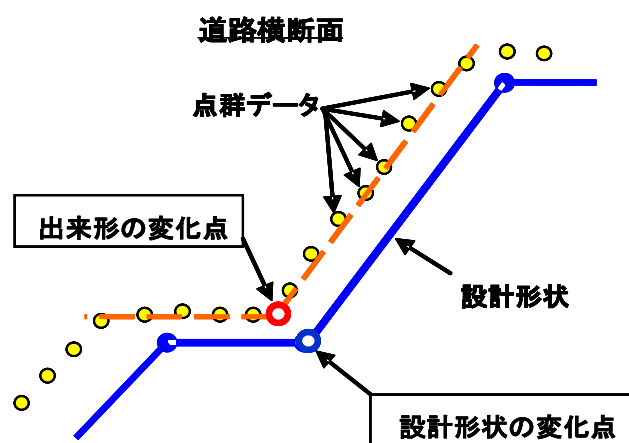


図－３ 測量結果の３次元モデル

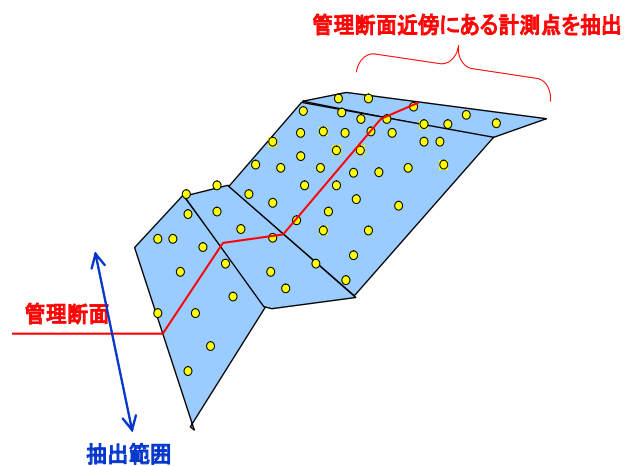
道路形状は、横断形状が定義され、横断形状が道路線形に沿って帯状に連続する構造となっている。道路の横断形状は基本的には折線により構成されるので、道路の横断面上で抽出した点群データの連なり具合を評価することで、設計上の変化点に対応する出来形の変化点が求められると考えた。このようにして求めた出来形の変化点を、評価することで出来形の評価を行うものとした。また、道路の横断面上で、設計形状と、その近傍にある地形を重ねて表示させることで、視覚的に設計と出来形の比較が可能であると考えた。図－４に出来形評価方法のコンセプトを示す。

出来形評価（出来形の横断形状変化点の算出）ロジックは、最初に管理断面近傍にある計測点を抽出し、評価を行う管理断面上に計測点を投影させる。このとき抽出範囲は、アプリケーションで任意に変更することができる。図－５に管理断面近傍の計測点抽出方法を示す。

そして、設計形状の変化点ごとに計測点を抽出し、設計形状の横断形状変化点ごとに、対応する出来形変化点の算出に用いる計測点を抽出する。現在の計測点抽出範囲は、設計形状線の前後にあ



図－４ 出来形評価方法のコンセプト



図－５ 管理断面近傍の計測点抽出方法

る線要素の1/2幅としている。抽出範囲は、アプリケーションで任意に変更することができる。図一6に変化点毎の計測抽出方法を示す。

出来形の変化点算出は、まず設計形状の横断形状変化点を中心とした1cm幅のグリッドを設定し、全てのグリッド交点位置で左右の各計測点への方向角(ϕ , ψ)を算出する。算出した ϕ , ψ についてそれぞれ標準偏差を算出し、その和が最小となるグリッド交点を、設計形状と対応する出来形の変化点位置とする。図一7に出来形変化点算出方法を示す。

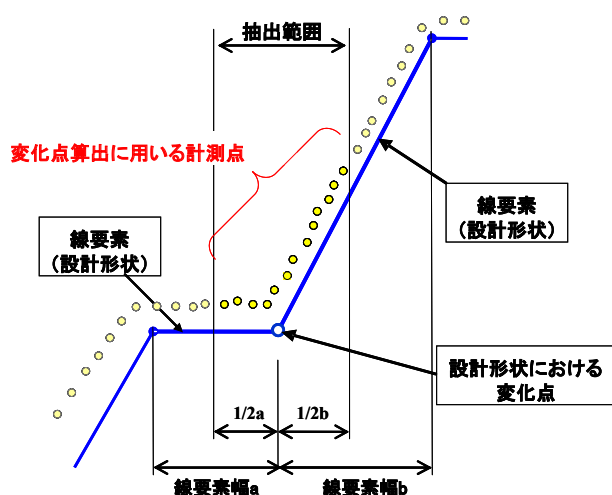
算出した出来形変化点位置を、設計形状と対応する出来形計測点とみなし、TSによる出来形管理の方法と同様に、設計形状と出来形形状の対比を

行う。地形データを用いた出来形評価のための機能を、Autodesk Civil3D上で動作するプラグインプログラムとして開発を行った。【プラグインプログラムの動作環境：Autodesk Civil3D2006, Microsoft NET Framework 1.1】

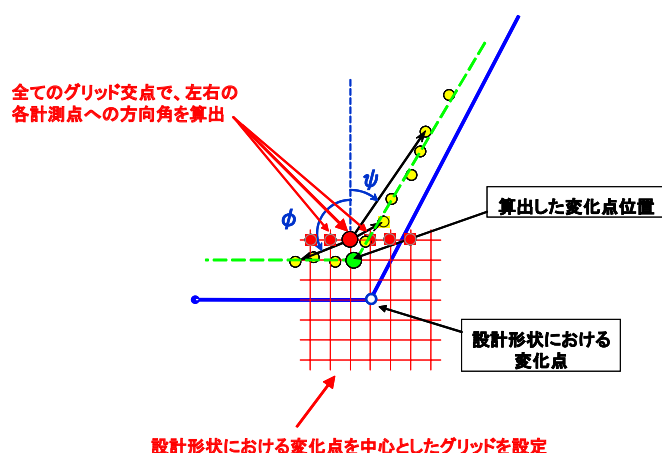
(3) 各種計測データとの比較

データを取得した工事は、橋梁施工のための進入路設置を兼ねた切土工事であり、設計形状と異なる箇所が多い特殊な現場であった。設計形状どおり構築されている箇所では、概ね出来形形状が計測点と重なるように、出来形変化点(出来形の横断形状変化点)が設定されることが確認できた。図一8に出来形評価形状の結果を示す。

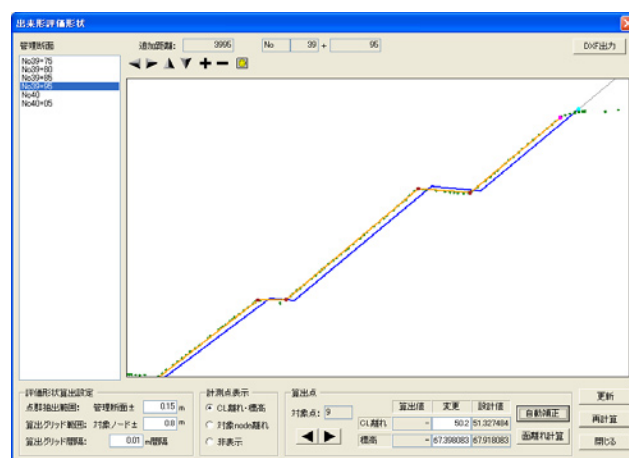
測量機器の設置位置の関係で、場所によっては計測点を取得されていない部分があり、このような箇所ではうまく出来形ノードの設定ができなかった。特に、小段の上面については、奥まった部分で部分的に、全く計測点がないことがあった。また、小段の幅が狭いため、評価に用いる計測点が少なく、設定できない箇所があった。今回開発したアプリケーションでは、横断面図上に計測点をプロットして表示、出力する機能を持たせてある。道路横断面に、計測地形をプロットすることで、その連なりから視覚的に出来形形状が把握でき、設計形状と比較して見ることで、差異を確認することができた。



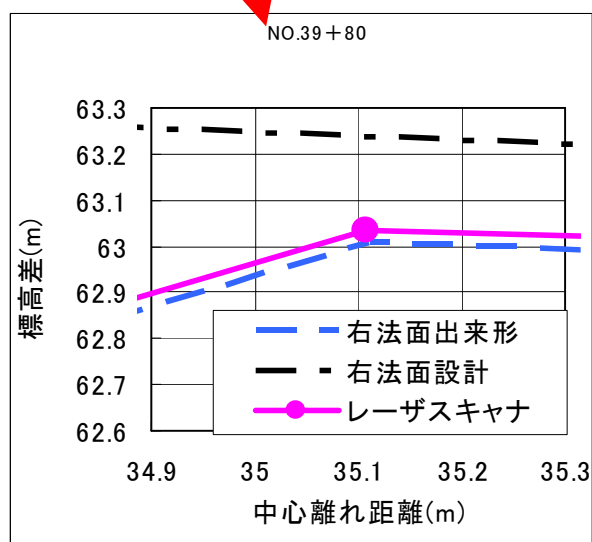
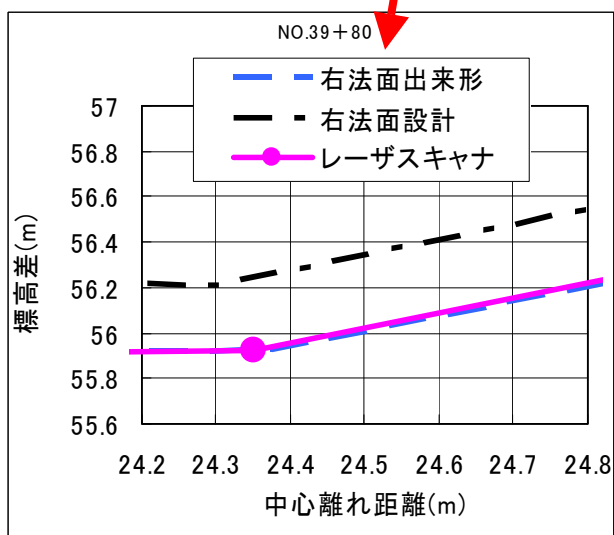
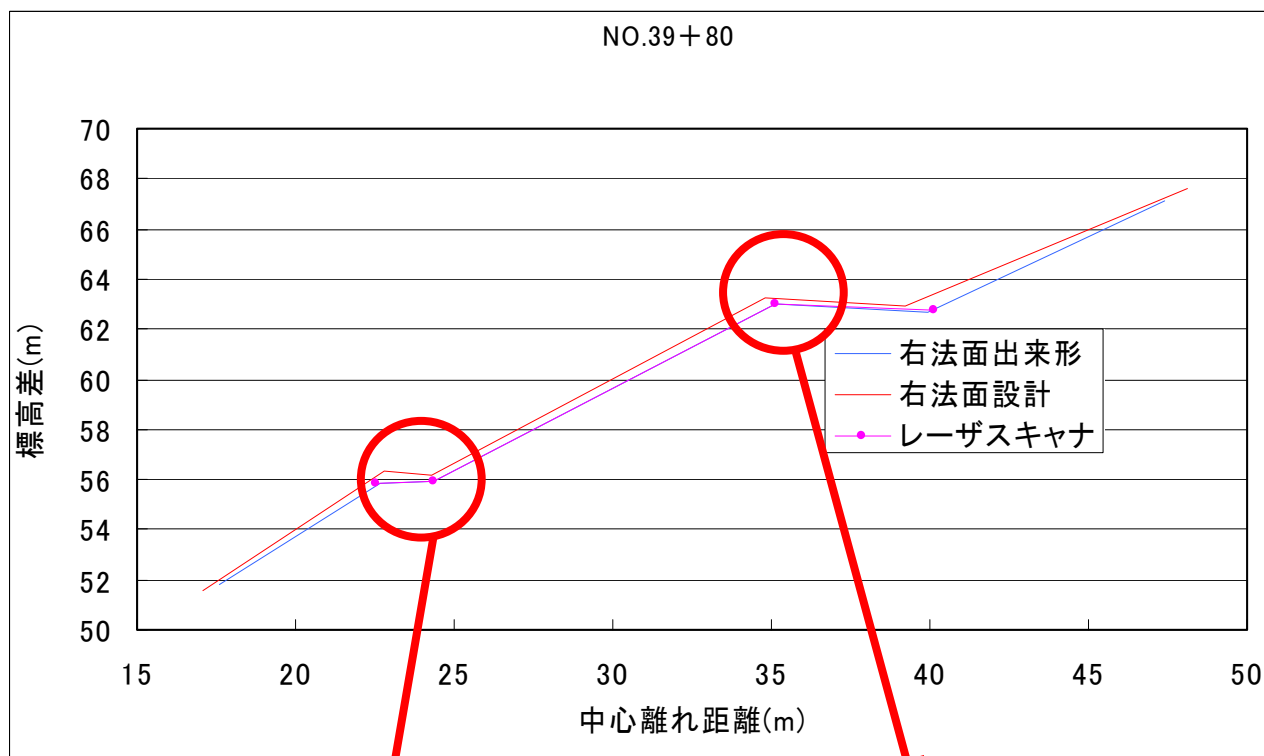
図一6 変化点毎の計測抽出方法



図一7 出来形変化点算出方法



図一8 出来形評価形状の結果



T S 出来形 離れ (m)	T S 出来形 標高 (m)	レーザ算出 中心離れ (m)	レーザ算出 標高 (m)	幅員差 (mm)	標高差 (mm)
17.59	51.828				
22.687	55.829	22.52	55.856	-16.7	2.7
24.375	55.923	24.35	55.924	-2.5	0.1
35.111	63.006	35.107	63.034	-0.4	2.8
39.916	62.673	40.157	62.732	24.1	5.9
47.378	67.107				

図-9 レーザスキャナとT S計測結果の比較

図-9にレーザースキャナとトータルステーションによる計測結果の比較、地形データによる出来形管理ソフトで得られた座標値と、トータルステーションによる出来形管理箇所の計測座標値を示す。図より、最大 24 mm の差が生じている。誤差の要因としては、タイポイントのフィッティングによる誤差と出来形変化点の算出誤差がある。タイポイントのフィッティングによる誤差は、事前検証にて約 10 mm 程度という結果を得ている。算出誤差としては 15 mm 程度の誤差が生じていると考えられる。

3. 考 察

レーザースキャナによる測量では、特性から必要な箇所を限定して計測できないことや、雨・雪・砂塵なども計測してしまうことから、計測箇所が確実に出来形形状であるかどうか判断しにくい。このように計測点を出来形形状として判定する基準についても検討が必要である。

今回は、現状の出来形管理手法にあわせて出来形変化点を求め、管理断面上での設計データとの比較を行った。地形データによる出来形管理ソフトは、断面付近の点の抽出範囲設定などを変化させることによって、さらなる精度向上の可能性もある。今後は、対象点範囲と実測値との差についてより多くのデータ取得し検証する必要があると考えている。

また、レーザースキャナでは、多くの計測点を取得することができるが、人の判断には取得した地形情報全てを必要としない。無理にデータを少なくして管理断面上に投影して、出来形評価を行うより面的な設計情報と比較を行ううべきであることがわかった。地形の変化に対する評価は、平坦度や平滑性などの評価で十分である。そのため、数 cm 間隔の密な座標値全ては必要がない。今後は、平坦度や平滑度に必要な情報を抽出して、表現することができるアプリケーションが必要であると考え。そのときには、レーザースキャナで測定した面的な地形データを、平均化された

面として算出できることが課題であり、客観的な評価するためのアルゴリズムを構築することが重要と考えている。

4. おわりに

ロボット等による IT 施工システムで開発されている地形取得技術を活用して、レーザースキャナにより得られる地形データを用いた出来形管理に応用できるかについて検証を行った。現状の出来形管理手法と同程度の制度で行える可能性を示すことができたと考える。また、コストダウンが図られレーザースキャナによる施工管理が一般化し、小規模な現場で広く浸透すれば、今回の出来形管理手法を利用して施工の効率化に役立つことも期待できる。

参考文献

- 1) Hiroshi Yamamoto: Introduction to the General Technology Development Project: Research and Development of Advanced Execution Technology by Remote Control Robot and Information Technology, International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2006
- 2) Koichi Aritomi: The Construction Management Cooperated with Clients Using a Parametric Information Design Method; The second International Conference on Cooperative Design, Visualization and Engineering 2005, The International Information visualization Society, pp.157-165, 2005
- 3) 有富孝一・他: TS を活用した道路土工における出来形管理のトータルシステムの構築, 土木情報利用技術論文集, 土木学会, Vol. 15, 2006 年 10 月
- 4) 大塚正幸・他: 大規模土工工事の施工管理への空中レーザ計測の適用の試み, 第60回年次大会講演集, 土木学会, CD-ROM, 2006年9月