

i-Constructionで適用する土工出来形の面管理に関する基準類の検討

○近藤弘嗣^{*1}, 長山真一^{*2}, 藤島 崇^{*3} 石田大輔^{*4}, 服部達也^{*5}, 池田広貴^{*6}

New Standard for All-over Dimensional Control of Surface in Public Earth Work

○KOJI Kondo^{*1}, SHINICHI Nagayama^{*2}, TAKASHI Fujishima^{*3},
DAISUKE Ishida^{*4}, TATSUYA Hattori^{*5}, KOUKI Ikeda^{*6},

^{*1}国土交通省総合政策局,

Ministry of Land, Infrastructure, Transport, and Tourism Policy Bureau

^{*2}国土交通省国土技術政策総合研究所,

National Institute for Land and Infrastructure Management

^{*3}(一般社団法人)日本建設機械施工協会,

Japan Construction Machinery and Construction Association

^{*4}アジア航測(株), Asia Air Survey Co. Ltd.

^{*5}国土交通省関東地方整備局,

Ministry of Land, Infrastructure, Transport, and Tourism Kanto Regional Development Bureau

^{*6}国土交通省近畿地方整備局,

Ministry of Land, Infrastructure, Transport, and Tourism Kinki Regional Development Bureau

i-Construction 一つ「ICTの全面的活用」の取り組みとして、土工における3次元点群データを活用した出来形の「面管理」を実現する基準整備に際しての検討や現場検証の状況、及び基準の根拠について紹介する。

Key Words : i-Construction, 情報化施工, 面的出来形管理, 地上型レーザースキャナ, 写真測量

1. はじめに

生産年齢人口が減少することが予想されている中において、経済成長を続けるためには生産性向上は避けられない課題である。国土交通省では、i-Construction と称して建設現場の抜本的な生産性向上を図る施策を打ち出したが、調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までのあらゆる建設生産プロセスでICTを全面的に導入していくことが中核的な取り組みに位置付けられている⁽¹⁾。

その中でも直ちに取り組むべき事項とされたのは、ICTを全面的に導入するため、3次元データを一貫して使用できるように直轄工事における受発注者間のやりとりに関する新基準を策定することであり、平成28年3月30日付で15の基準が策定された。

新基準の中でも特に画期的なものは、レーザースキャナ等により形状を網羅的に取得することで生成される3次元点群データを、完成形状の出来形管理に適用出来るように、出来形管理基準に「面

管理」の手法を新設したことである。これは、網羅的なデータが得られる反面、特定の計測点を選べない計測機器の特徴を生かし、全数管理に相当する管理基準として、従前の抽出管理を前提とした規格値よりも緩和した規格値とした基準である。

こうした基準とするメリットとしては、管理箇所を特定の測点としていた従来の基準では、計測作業において人手による測点の復元作業が必要とされることから現地作業の削減が限定的であったところ、多量の計測点による全数管理であることから、3次元設計データとの差分の計算処理だけで結果を出すことが出来ることである(Fig.1)。例えば、情報化施工でリアルタイムに得られる施工履歴をそのまま出来形として利用する等、計測機器の自動制御化といった技術や計算処理技術の進歩が省力化につながることを期待出来る。

本稿においては、ICTを全面的に導入した工事として今後急速に活用される場面が増えていくであろう、改訂版の出来形管理基準及び規格値、及び周辺の基準類の技術的背景を記録・整理するとともに、さらなる改善に向けた建設的な議論を喚

起する目的で、基準改定にあたっての検討や現場検証の状況を紹介するものである。

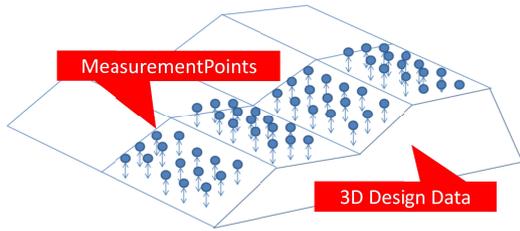


Fig. 1 Concept of All-over Dimensional Control

2. 研究の目的

出来形管理基準として、「面管理」を導入するにあたり基本的な考え方は、従前の管理手法で合格となっているものは、面管理においても合格する管理水準とすることである。そのために、以下の手順で理論整理、データ取得及び解析を行うものである。

2.1 従来基準管理項目の換算による管理項目の立案

従来の土工の出来形管理項目（どの量を測定し、規格値との差を評価するか。例えば、盛土工で言えば幅員や法長等。）が、品質管理上どのような意味を持っていたかを整理し、3次元データと計測値の差分での管理への代替可能性を明らかにする。

2.2 面管理における規格値設定のための現場実態調査

2.1により、抽出検査であった従来手法の規格値を、全数管理に相当する面管理にそのまま換算適用すると過剰な品質管理となるため、従来手法で合格した現場において、出来形管理前後のタイミングで面管理を実施した場合を想定した計測調査を実施し、抽出検査の測点である管理断面間も含めた、施工精度の実態を整理する。

2.3 実現可能な面管理における規格値設定

出来形管理基準の規格値は、施工精度を発注者として許容できる一定水準以内にコントロールする役割があるが、出来形管理の計測値には、施工精度と計測手法の誤差の両方が含まれることを考慮し、2.4での検討成果を踏まえて、発注者、施工業者双方が受忍できる規格値を設定する。

2.4 達成可能な計測精度の検証 「面管理」では、空中写真測量やレーザースキャナの利用を想定しており、先述の通り、達成可能な計測精度を明らかにするために、利用を想定している技術について面的な計測精度の検証を実施する。

3. 方法

3.1 従来の管理項目の品質管理上の整理 従来の出来形管理基準（掘削工、盛土工）では、基準高、幅、法長を計測している（Fig.2）。これらを管理項目とする品質管理上の意味としては、以下の通り上げておけば十分であると考えられる。

①構造物としての機能確保に必要な形状（幅員・線形・連続性）の確保

・天端の基準高を管理することで、次工事に引き継ぐ基盤としての機能を確認できる。

・天端の幅を管理することで、構造令等で定められている設計条件を満たすための基盤としての最低限の幅員を確保するという機能を発揮できるかを確認できる。

・出来映えを目視で確認することで、線形構造物としての連続性を確認できる。

②構造物としての安定性（法面勾配）の確保

・土工部の法面の安定管理として設計の法長より規格値以上の長さを確保することで、勾配が十分緩やかになることを確保できる。

③設計数量の確保

・横断面を構成する線分について、設計値より規格値以上の長さを確保することで、体積算出の元となる横断面積が十分大きくなることを確保できる。

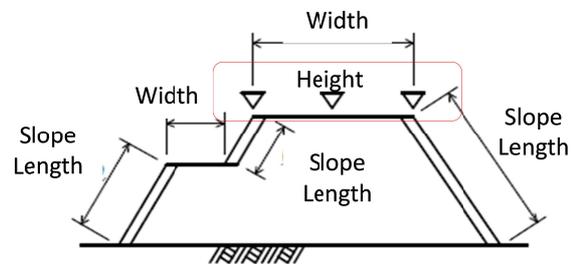


Fig. 2 Standard for Dimensional Control in Public Embankment

3.2 面的な形状管理での代替妥当性の整理

面管理では、点群データのそれぞれの計測点について、3次元設計データとの差分（標高較差等）だけで管理することを想定しているが、3.1で示した品質管理上の要求に対応できることを以下の通り整理した。

① 形状（基準高）の確保

計測対象が標高なので、当然、同等以上の管理は出来る。

② 形状（幅員）の確保

管理対象の両端の法面の形状（標高）を上下限内に制限することで、幅員を確保し得る基盤であるか否かが管理できる。幅員の規格値-100mmを両

端に-50mm ずつ配分した場合が中心の遷移を規制する意味において最もシビアな管理となるため、法肩の設計位置から 50mm だけ内側に入った点を通り、設計法面と平行する面が、法面との標高較差等の下限となるようにすればよい (Fig.3) . 法肩と天端の幅員の関係と同様に、法尻と小段の幅員についても同様の考え方を適用すると、法面の標高較差等の上限が導かれる。

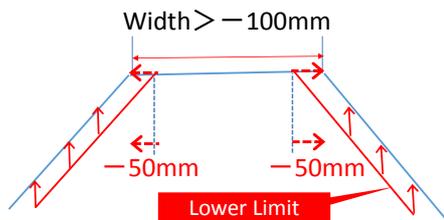


Fig. 3 Concept of Conversion from Width to Height

③ 法面勾配の確保 (法長の代替)

同じく、管理対象の両端の法面の形状 (標高) を上下限内に制限することで、勾配を管理できる。法長の規格値-100mm を両端に-50mm ずつ配分し、法長がその分短い状況を想定すると、法の中心を回転軸として法が立つ方向に回転できる。法肩の標高の上限は天端の基準高の規格値 (+50mm) で決まってくるので、回転に伴い法肩が描く円弧と、設計基準高から+50mm だけ高い面との交点を通り、設計法面と平行する面が、法面の標高較差等の上限となるようにすればよい (Fig.4) . 法肩と天端の基準高の関係と同様に、法尻と天端の基準高についても同様の考え方を適用すると、法面の標高較差等の下限が導かれる。

なお、法肩・法尻に接する天端の一方が小段の場合、その基準高については規格値は無いが、小段には通常、法面排水設備を施工され、その排水工に基準高の規格値があることから、排水工の基盤となる小段の形状を法面の位置をもって管理することは、一定の意義があると考えられる。

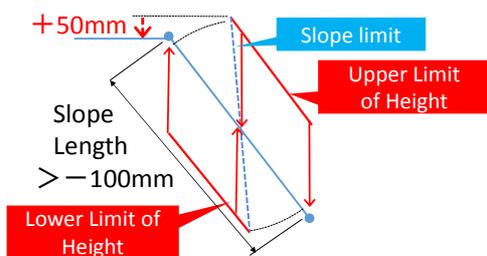


Fig. 4 Concept of Conversion from Slope to Height

3.3 従来の規格値の換算 40mの測点毎の管理断面に関する従来の規格値⁽²⁾について、以下の考え方により標高較差等に換算する。

① 基準高規格値の標高較差への換算

計測対象が標高なので、そのまま±50mm とする。河川盛土の場合は-50mm とする。対象とする部位は、天端である。

② 幅員規格値の標高較差等への換算

対象とする部位は、法面である。3次元設計データとの差分を標高較差と水平較差のいずれかで評価することを考える。水平較差も考慮に入れるのは、設計法面が1割勾配より急な場合、水平較差の換算規格値の方が厳しく、安全側の管理を供することが出来るためである。

標高較差への換算値は Fig5 のとおり、法肩の可動域が基準高の規格値±50mm と幅員の規格値を配分した-50mm からなるので、設計法肩が、幅員方向に-50mm、標高方向に-50mm 移動した地点を通る法面が下限となる。この時の設計法面との標高較差は、 $-50-50/x$ (mm) である。ここで、 x は比高を1としたときの法肩と法尻間の距離を x として勾配の程度を表したものである。

標高較差の上限値は法尻と小段の幅員の関係から同様に、 $50+50/x$ (mm) と表される。

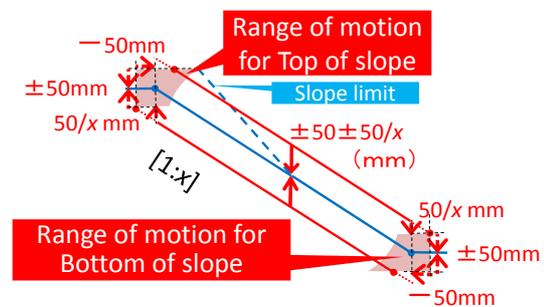


Fig. 5 Limit of Height originating from Range of motion

水平較差への換算値も法肩、法尻の可動範囲に由来し、下限ないし上限を示す面は、垂直較差の場合と同一である。ただし、設計法面との差分を水平距離で表すことから、Fig6 のとおり、 $50+50x$ (mm) または、 $-50-50x$ (mm) と表せる。

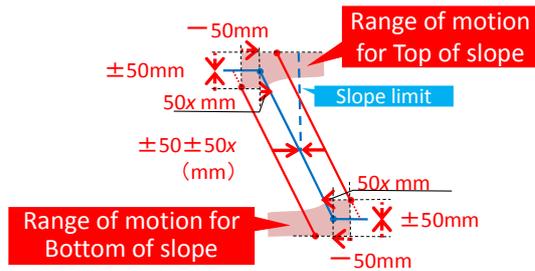


Fig. 6 Limit of Horizontal Distance originating from Range of motion

③ 法長規格値の標高較差等への換算

②と同じく対象とする部位は、法面であるが、②より規格値が小さい場合（すなわち安全側の管理を供することが出来る場合）のみ、換算結果を採用することとなる。まずは、Fig7で示すとおり、標高較差をV、水平較差をH、設計法長をL、そして法長の規格値に由来し、法長の下限をkLとして与える定数をkとする。

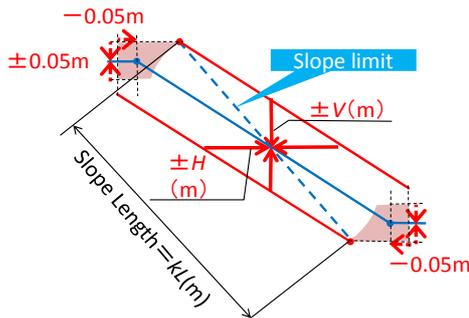


Fig. 5 Limit of Height or Horizontal Distance originating from Limit of Slope Length

幾何学的にこれら変数の関係を整理すると、

$$V = \left(\frac{0.5L}{\sqrt{1+x^2}} + 0.05 \right) \quad (1)$$

$$- \frac{1}{x} \sqrt{0.25k^2x^2 - \left(\frac{0.5L}{\sqrt{1+x^2}} + 0.05 \right)^2}$$

$$H = \left(\frac{0.5L}{\sqrt{1+x^2}} + 0.05 \right) x \quad (2)$$

$$- \sqrt{0.25k^2x^2 - \left(\frac{0.5L}{\sqrt{1+x^2}} + 0.05 \right)^2}$$

となる。(1)式と0.05+0.05/x、あるいは(2)式と0.05+0.05xとの大小を比較する。単位をmにそろえたため、②の式とは若干変形がなされている。

解析的に解くのは困難であるが、以下の特徴から代表的な条件の元で数値代入により、Fig8のような傾向が確認でき、少なくとも4割勾配以下通常の条件下においては、②の式の方が小さい、すなわち安全側で管理できることがわかる。

- H, Vとも、L=5mの時に最小の値を取る。
- この時のkは0.98または、0.96

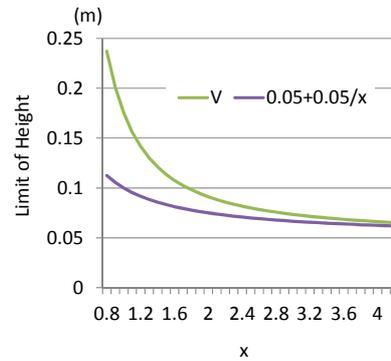


Fig. 8 Graph of “x” and Limit of Height showing the magnitude relationship between “V” and “0.05+0.05/x”

したがって、法長の規格値は無視してよいと言える。

3.4 管理項目と平均値規格値の決定 3.3の

検討から、管理すべき部位と従来の規格値の換算値としては、以下のとおりとなる。

- 天端：標高較差
(従来の規格値換算値：±50mm)
- 法面（1割勾配以上）：標高較差
(従来の規格値換算値：±50±50/x(mm))
- 法面（1割勾配未満）：水平較差
(従来の規格値換算値：±50±50x(mm))

ただし、これを面管理の規格値にそのまま適用することは、特に従前の管理断面間の施工精度の現状を無視しており、過剰管理の懸念がある。また、設計勾配xにより変化する規格値が実用上使いにくいことも懸念されることから、以下の手順で規格値素案を導くこととする。

i) 設計勾配xを含まない定数化

道路土工指針、河川砂防技術基準（設計編）、河川堤防指針及びそれらを参考とする地整の標準設計マニュアル類における、土質・岩質毎の標準法勾配の範囲から区分を設定し、区分内で最も安全側、すなわち標高較差等の式の最小値を採用する（Fig9）。

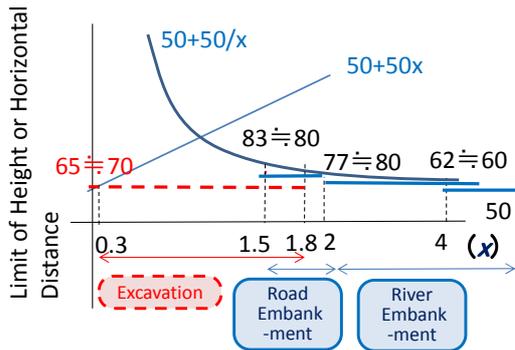


Fig.9 Graph of "x" and Limit of Height or Horizontal Distance showing the minimum value

これにより、標高較差または水平較差の上下限値は、

- ・掘削法面の上下限値：±70mm
- ・道路盛土法面の上下限値：±80mm
- ・河川盛土法面の下限値（4割勾配以下）：-60mm
（4割勾配より大きい）：-50mm

と導かれる。

ii) 管理項目の設定

i)の上下限値は、以下の管理項目の設定の根拠となる。

- ・設計数量の担保の観点から、計測値の平均値に対する規格値として採用

従来管理断面に対して規格値が設定されており、数量は2管理断面の面積を平均したものに延長を乗じる平均断面法により算出していたので、面管理においても、計測値の平均値が従来の規格値を基に導き出した、i)の値に収まるよう管理されれば、数量の担保としては十分である。

- ・形状管理の観点から計測値全数に対する規格値設定のための目標値として採用

i)の値は管理断面における形状管理の目標とした上下限値であるため、これを全数管理相当の規格値とするために、次節で紹介する不良率算出にあたっての境界値とする。

3.5 全数規格値設定の考え方 Fig10は、全数計測値の分布と、3.4の上限値 B_U 、下限値 B_L の関係を模式的に示している。土工形状のバラツキ管理は、規格値が下限のみの場合を含めて正規分布を前提として行っている。管理断面における形状管理を想定した境界値なので、全数管理を行うと境界値を外れた分布が存在し得る。これは「許容すべき不良」であることを踏まえ、下限値を外れた計測点数の割合（下限不良率 P_L とする。）、上限値を外れた計測点数の割合（上限不良率 P_U とす

る。) を、従来手法で合格した現場の施工精度実態調査から求めることで、全数管理に相応した規格値とするものである。施工精度実態調査の方法は、次節で述べる。

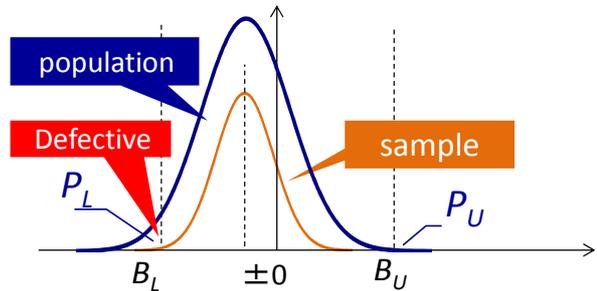


Fig.10 Concept of Percent defective allowable

実態の上限不良率及び下限不良率から、全数管理に相応した規格値を設定する考え方は以下のとおりである。

- ・許容不良率 P

工種別（掘削工、河川盛工等）、部位別（天端、法面）に現場の実態から求めた上限不良率、下限不良率の大きい方を許容不良率 P とする。

- ・許容分布の標準偏差 σ_p

平均を ± 0 とし、 B_L を外れる下限不良率 P 、 B_U を外れる上限不良率 P を与える分布の標準偏差を σ_p とする (Fig.11)

- ・全数管理に相応した規格値： $\pm 3\sigma_p$

許容分布の標準偏差 σ_p 自体を管理対象とすると施工完了後にしか良否が判断できないので、日々の施工管理に使い勝手が悪い。そこで標準偏差を管理対象とするのではなく、許容分布の標準偏差の3倍 ($\pm 3\sigma_p$) を全数管理的に個々の計測値に適用する規格値とする。

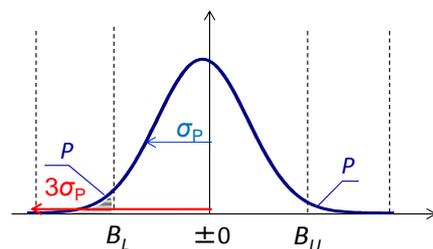


Fig.11 Concept of Limit of Error for All-over Dimensional Control

3.6 施工精度実態調査 3.5の P_L 、 P_U の調査及びとりまとめ方法は以下のとおりである。

- i) 現地調査諸元

- ・使用機材及び測定項目

- TS（トータルステーション）での標高測定
- 測定内容

Fig.12 で示すとおり、天端上、法肩等を結んだ曲線（ブレイクライン）上とその両端に測線を設け、管理断面間の延長を1つの測線あたり2m間隔で測定する。測線間隔も2mとする。従前の管理手法で合格する現場の施工精度を取得できるように、竣工検査の直前・直後（現場に改変が加えられない程度の時間差）で調査を実施した。

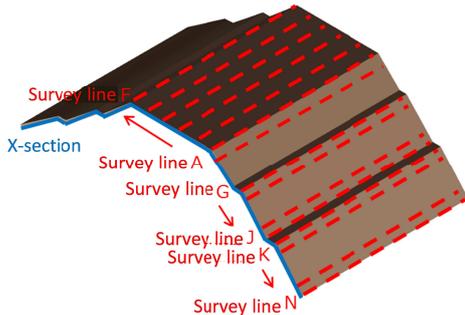


Fig.12 Setting of Survey Line

- 現場諸元

出来形管理基準の工種別（掘削工、道路盛土、河川盛土の別に最低5現場）、部位別（天端、法面）が取得できるように、

- 道路掘削：3現場（天端・法面）
- 河川掘削：2現場（天端のみ）
- 道路盛土：7現場（天端6・法面5）
- 河川盛土：5現場（天端5・法面4）

について調査した。

- ii) とりまとめ方法

・工事現場ごとではなく、工種別・部位別にデータをとりまとめて、 P_L 、 P_U を算出した。

3.8 計測精度検証

出来形管理基準の規格値に織り込むべき、達成可能な計測精度を確定すべく、利用が見込まれるレーザースキャナ及び無人航空機による写真測量の面的な計測精度検証を以下のとおり実施した。

- i) 検証方法

- ・正解データ

TSを用いて標高測定

- ・被評価データ（地上型レーザースキャナ）

設置箇所から最も遠い箇所において、点密度10cm以内、2既知点の基線長が $\pm 2\text{cm}$ 以内となることが確認された地上型レーザースキャナとする。

- ・被評価データ（無人航空機による写真測量）

標定点は概ね100m間隔以内、同程度の数の検証点を設け、すべての点において各成分それぞれ $\pm 50\text{mm}$ 以内であることを確認した。

地上解像度2cm以内となるような高度及びカメラの性能とした。ラップ率は、進行方向80%、隣接コース間60%とした。

使用したsfmソフトはPix4Dである。

- ・比較方法

被評価計測から得られる点群データをFig.13のようにTINデータ化したうえで、正解データと同じ平面座標値における三角面上の標高座標値と正解データとの標高較差を評価する。

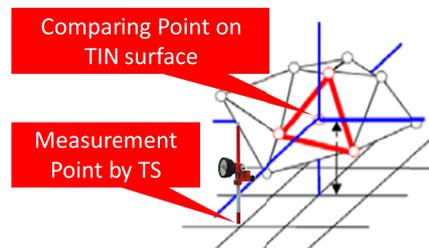


Fig.13 Concept of Comparison between TIN surface and TS

- ii) 測定内容

Fig.14で示すとおり、正解データは管理断面上に測点を設け2m間隔で測定する。これを5断面間（6測線分）について測定する。測線間隔は4mを標準とした。この5断面間を評価範囲として、この範囲を含む形で被評価データの計測を行った。地上型レーザースキャナの設置位置は、評価範囲においてi)を満たす限りにおいて任意の箇所とした。正解データと被評価データが同一物を計測できるように、現場に改変が加えられない程度の時間差で調査を実施した。

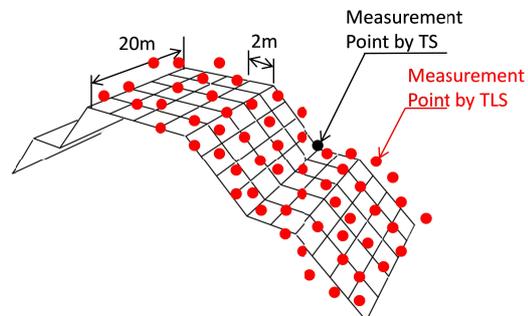


Fig.14 Setting of Survey Line

- iii) 現場諸元

国土交通省直轄の道路事業6現場、治水事業3現場において実施した。TS、レーザースキャナで

の計測作業は、道路事業、治水事業各1現場については著者らで実施したが、残りについては、直轄工事の発注地整に依頼して計測した。写真測量については、著者らで実施した。

4. 結果と考察

4.1 施工精度調査結果 工種別・部位別の、 P_L 、 P_U を、 P 及び σ_p 算出結果と、個々の測定値の規格値案 ($=\pm 3\sigma_p$) は Table.1 のとおりである。

Table 1 Result of limit of any value

		Limit of Average value B_U, B_L	Percent defective allowable $P(P_L/P_U)$	σ_p	Limit of any value $\pm 3\sigma_p$
Road Embankment	Roadbed	$\pm 50\text{mm}$	6.2 (0.2/6.2)	33	$\pm 99\text{mm}$
	Slope	$\pm 80\text{mm}$	4.7 (4.7/1.1)	48	$\pm 144\text{mm}$
River Embankment	Crown	-50mm	8.2 (8.2/-)	36	-108mm
	Slope	-60mm	6.8 (6.8/-)	40	-120mm
Excavated	Roadbed	$\pm 50\text{mm}$	5.9 (5.9/2.0)	32	$\pm 96\text{mm}$
	Slope	$\pm 70\text{mm}$	2.7 (1.7/2.7)	36	$\pm 108\text{mm}$
Excavated	Crown	$\pm 50\text{mm}$	24.2 (24.2/8.1)	71	$\pm 213\text{mm}$

以上の結果を用いて規格値とする場合に、問題が生じ得る以下の点について考察を加えた。

i) 河川掘削の結果について

今回の現場が全て河床掘削であったため、そもそも平滑に施工されることが期待されないことから、バラツキとしては非常に大きくなっている。一方で、陸部の掘削について、同じ地山掘削である道路の掘削工の結果と違いがあることも考えにくいこと、またそもそも従来管理の規格値も河川掘削と道路掘削は共通であることから、以後道路掘削の結果を準用することとする。

一方、河床掘削そのものの管理としては、水中計測となることから光学的に計測する機器が適用できる可能性は極めて低く、面管理がそもそも適用されない可能性が高いことから、考慮から外してもよいとした。

ii) 個々の計測値の規格値案に対する適用性の確認

従来の管理手法で合格となる成果が、面管理における規格値でも合格となるかどうかについて、今回の現

場において確認したところ、1現場について、路体盛土法面に関する個々の計測値の規格値を満足出来ないことが確認できた。

具体的には、地山との擦り付け部分の仕上がりが設計面からかなり膨らんでいたことが確認された。施工中の沈下によるものと考えられ、下限値しかない法長での従来管理では特に問題とならなかったが、標高較差に上下限値を設けたためにこれが顕在化した形だ。法面の標高較差の上限値は、法尻の基準高や小段の幅員に由来するが、盛土の最下段についてはそもそもそうした管理がなされていないので、その部位については、面管理から除外するといった応用動作が必要となるだろう。

4.2 計測精度検証結果 (レーザースキャナ) 9現場における TS とレーザースキャナの標高較差について、部位別 (天端・法面の別) に取りまとめた結果のうち、より結果が悪い天端についてのものが Fig.15 のとおりである。

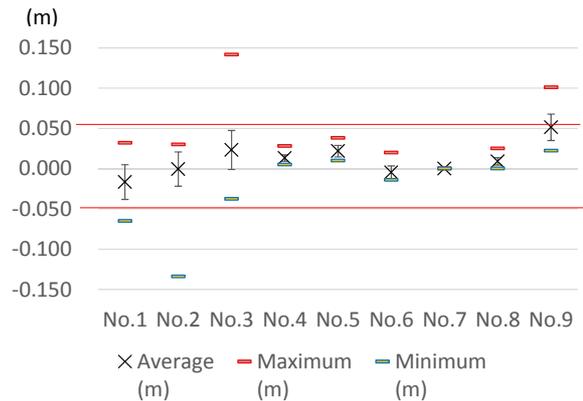


Fig.15 Result of difference between TLS and TS

検証したすべての現場の結果から、標準偏差は22mm、平均+14mm ということ、標準偏差の2倍が $\pm 50\text{mm}$ に収まっていることを考えると、概ね $\pm 50\text{mm}$ が達成可能な計測精度であると評価できるが、個々の計測値で評価することを考えると、実態として $\pm 50\text{mm}$ を超えている部分については、排除可能な原因があれば排除すべきであり、以下の点について考察を加えた。

i) 平均値の差について

特に現場 No.9 において、平均値が+50mm を超えている状況である。データを精査したところ、2 既知点の基線長が $\pm 2\text{cm}$ 以内となることの確認がなされていなかったため、そもそも精度が担保出来ない条件での測定がなされていた可能性がある。

ii) 較差が大きい結果の個別原因について

現場 No.3 について、較差が $\pm 50\text{mm}$ を大きく超えている結果が含まれている。この現場を精査すると、ブルドーザによる転圧途中の現場であり、履帯の凹凸により、レーザースキャナがとらえた表面と、正解データとしての TS がとらえた表面が大きく異なっていた可能性がある。現場 No.2 については、原因は特定できないものの、計測点 72 のうち 3 点と、エラーとしては 5% を下回っているので、実用上問題にならない（個別にエラーとして排除出来る）ものと考えられる。

以上から、適切な手法で計測した場合、レーザースキャナの達成可能な精度として、 $\pm 50\text{mm}$ として差し支えないと考えた。

4.3 計測精度検証結果（無人航空機による写真測量）

9 現場における TS と写真測量の標高較差について、部位別（天端・法面の別）に取りまとめた結果のうち、より結果が悪い法面についてのものが Fig.16 のとおりである。

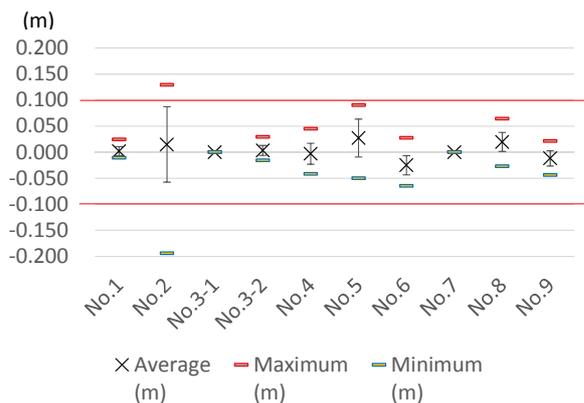


Fig.16 Result of difference between Photogrammetry and TS

検証したすべての現場の結果から、標準偏差は 28mm, 平均 $\pm 0\text{mm}$ ということで、標準偏差の 2 倍が $\pm 50\text{mm}$ 超えていることを考えると、今回の測定条件で $\pm 100\text{mm}$ が達成可能な計測精度であると評価できたとしても $\pm 50\text{mm}$ が達成可能な計測精度であるとは評しにくい。しかし、明らかに結果を悪くしている No.2 等に排除可能な原因が見いだせれば、運用上の工夫で精度がよくなることから、以下の点について考察を加えた。

i) 基準点残差について

No.2 の現場では、標定点 5 点、検証点 5 点であったが、検証点の RMS 誤差が 33mm, 最大誤差が 48mm と他の現場よりもはるかに大きく、モデルそのものがゆがんでいた可能性がある。検証点を設置したのがちょうど種子吹付がなされている箇所で、色味が暗く、タイポイントが取りにくかったことが推測される。

いずれにせよ、レーザースキャナを用いれば $\pm 50\text{mm}$ の計測精度が達成できるため、出来形管理基準として許容する計測誤差は $\pm 50\text{mm}$ とすべきである。

5. 結論

Table.1 の $\pm 3\sigma_p$ の値を四捨五入（下限値しかない河川盛土は切り捨て）し、誤差の発生要因が独立している計測精度として個々の計測値に $\pm 50\text{mm}$ を加えた結果として、Table.2 のとおり面管理に適用する出来形管理基準及び規格値を策定した。

Table.2 Standard for All-over Dimensional Control of Surface in Public Earth Work

		Limit of Average value	Limit of Any value	
Road	Roadbed	$\pm 50\text{mm}$	$\pm 150\text{mm}$	
	Embankment	Slope	$\pm 80\text{mm}$	$\pm 190\text{mm}$
River	Embankment	Crown	-50mm	-150mm
		Slope	-60mm ^{*1}	-170mm
			-50mm ^{*2}	-170mm
Excavated	Roadbed / Crown	$\pm 50\text{mm}$	$\pm 150\text{mm}$	
	Slope	$\pm 70\text{mm}$	$\pm 160\text{mm}$	

*1 If slope gradient 'x' is 4 or less than 4

*2 If slope gradient 'x' is more than 4

Gradient 'x' is quotient obtained by dividing the horizontal distance between bottom of slope and top of slope by the vertical distance between them.

なお、計測誤差を $\pm 50\text{mm}$ 含んでいることをふまえて、法肩及び法尻周辺 $\pm 50\text{mm}$ については、出来形の評価から外すこととした。これは、部位ごとに規格値が異なる状況において、法肩至近（50mm 以内）の法面を取得した計測点の座標が水平方向に 50mm ずれることにより、天端としての評価を受けることとなり不具合が想定されるためである。土工事の完成時点で、 $\pm 50\text{mm}$ 以内に実際に法肩がなくても次工事で連続的に法面が形成できるだけの土台が構築出来ていれば土工事の出来形管理としては問題はないと考えている。

参考文献

- (1) 国土交通省 i-Construction 委員会，“i-Construction～建設現場の生産性革命”，2016.4.
- (2) 国土交通省“土木工事施工管理基準”，2015.3.