

27. i-Construction で適用する土工出来形の面的管理に 関わる基準類の検討

－ 面的な出来形管理基準の検討について －

国土交通省
国土技術政策総合研究所
施工技術総合研究所

近藤 弘嗣
○ 長山 真一
藤島 崇

1. はじめに

国土交通省では、建設現場の抜本的な生産性向上を図る i-Construction の施策として、平成 28 年度から国土交通省発注工事のうち一定規模以上の土工工事で施工プロセスの各段階において ICT を全面的に活用する「ICT 活用工事」を導入することとなった。

「ICT 活用工事」では、出来形管理において、UAV による空中写真測量やレーザースキャナーを用いて取得した 3 次元点群データを活用することとし、出来形管理項目に、従来の管理断面に現れる幅・法長などの長さ計測に変えて、「面管理」を導入している。

本報文では、「面管理」に向けた管理項目の変更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。

2. 出来形管理基準の検討内容

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として以下の手順で理論整理、データ取得及び解析を行なった。

2.1 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（図-1）。これらを管理項目とする品質管理上の意味は、以下の通り整理し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。

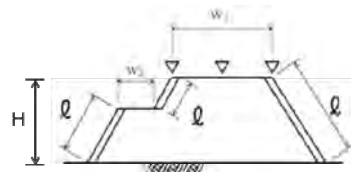


図-1 従来の出来形管理基準（道路土工（盛土））

2.2 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、2.1 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、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、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（図-2）。

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。

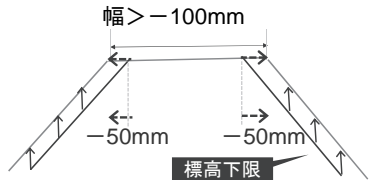


図-2 規格値の換算 (幅員)

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 (図-3)。法肩と天端の基準高の関係と同様に、法尻と小段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、小段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、実質的には管理されているとみなすことが出来る。

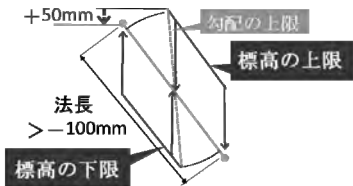


図-3 法長から高さ管理へ変換

2.3 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、従来の規格値そのままの±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図-4 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。

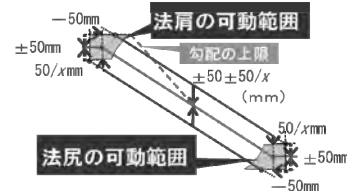


図-4 幅員規格値の換算 (標高較差)

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、図-5 のとおり、 $50+50x$ (mm) または、 $-50-50x$ (mm) と表せる。

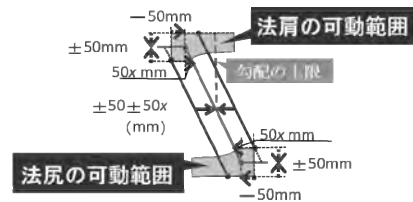


図-5 幅員規格値の換算 (水平較差)

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、図-6 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。

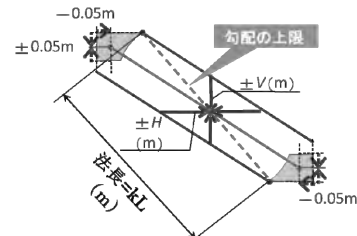


図-6 法長規格値の換算

幾何学的にこれら変数の関係を整理しすると、

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

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

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、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 したがって、法長の規格値は無視してよいと言える。

2.4 管理項目と平均値規格値の決定

2.3 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 (図-7)。

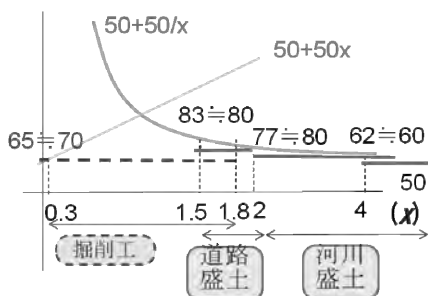


図-7 水平または垂直較差の上下限值

これにより、標高較差または水平較差の上下限值は、

- ・ 掘削法面の上下限值：±70mm
- ・ 道路盛土法面の上下限值：±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) の上下限值は、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) の値は抽出検査を想定した上下限值であるため、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。

2.5 全数規格値設定の考え方

図-8 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。抽出検査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結果は、次節で述べる。

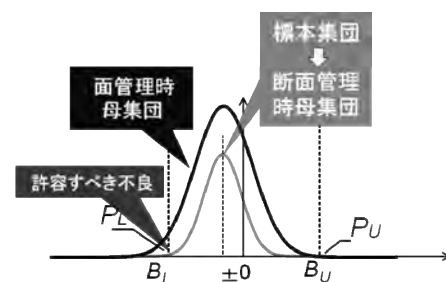


図-8 不良率の考え方

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 (図-9)。

・全数管理に相応した規格値： $\pm 3\sigma_P$
 標準偏差の3倍以内に収まっていれば許容分布にはほぼ(99.7%)入ることから、 $\pm 3\sigma_P$ を個々の計測値に適用する規格値とする。

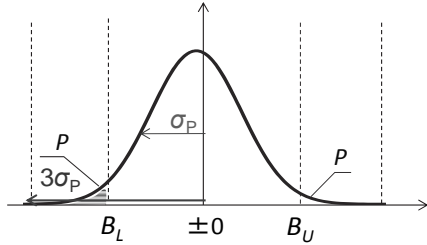


図-9 許容すべき不良率の規格値の設定

3. 結果と考察

3.1 施工精度実態調査結果

工種別・部位別の、 P_L 、 P_U 、 P 及び σ_P 算出結果と、個々の測定値の規格値案(= $\pm 3\sigma_P$)は表-1のとおりである。

表-1 調査結果からの規格値案

		平均値規格値(案)	不良率(%)	σ_P	規格値(個々の計測値) $\pm 3\sigma_P$
		B_U, B_L	$P(P_L/P_U)$		
路体路床	天端	$\pm 50\text{mm}$	6.2(0.2/6.2)	33	$\pm 99\text{mm}$
	法面	$\pm 80\text{mm}$	4.7(4.7/1.1)	48	$\pm 144\text{mm}$
河川盛土	天端	-50mm	8.2(8.2/-)	36	-108mm
	法面	-60mm	6.8(6.8/-)	40	-120mm
掘削	路盤	$\pm 50\text{mm}$	5.9(5.9/2.0)	32	$\pm 96\text{mm}$
	法面	$\pm 70\text{mm}$	2.7(1.7/2.7)	36	$\pm 108\text{mm}$
	天端	$\pm 50\text{mm}$	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るにくいこと、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逸脱していたことが確認された。通常、天端の数量不足を避けるため、用地境界を侵さない範囲内で設計よりも大きめに盛ることが想定される場所であり、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、これが顕在化した形であると考え。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. 結論

表-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表-2のとおり面管理に適用する出来形管理基準の規格値を策定した。

表-2 面管理に適用する出来形管理基準の規格値

		平均値規格値(案)	規格値(個々の計測値)
		B_U, B_L	$\pm 3\sigma_P$
路体盛土	天端	$\pm 50\text{mm}$	$\pm 150\text{mm}$
	法面	$\pm 80\text{mm}$	$\pm 190\text{mm}$
河川盛土	天端	-50mm	-150mm
		-60mm^{*1}	-170mm
	法面	-50mm^{*2}	-170mm
掘削	天端	$\pm 50\text{mm}$	$\pm 150\text{mm}$
	法面	$\pm 70\text{mm}$	$\pm 160\text{mm}$

*1 法面勾配が4割以下

*2 法面勾配が4割より大きい場合

5. おわりに

15の基準類を発出するべく行った検証作業は、限られた時間の中で行ったため、要求精度を達成するプロセス規程に過不足があることも想定される。今後展開されるICT活用工事の中でさらなる検証作業を進め、基準類については不断の見直しを行う所存である。

参考文献

- 1) 早坂寿彦・大野裕幸他：UAVによる空撮写真を用いた三次元モデリングソフトウェアの精度検証，国土地理院時報，No.127，pp.107～116，2015
- 2) 近藤弘嗣他：i-Constructionで適用する土工出来形の面管理に関わる基準類の検討，第16回建設ロボットシンポジウム論文集，2016