

3次元計測による舗装工事の出来形管理手法の検討

森川博邦・近藤弘嗣・舛田裕司・若林康郎

1. はじめに

平成29年5月に閣議決定された「世界最先端IT国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画」では、『「i-Construction」を推進し、平成37年度までに建設現場の生産性の2割向上を目指す』とされている。このため、「ICT土工」以外のICT活用工事の対象を拡大させる必要がある。

舗装工事では、これまでマシンコントロールグレーダなどのICT建設機械を使う情報化施工が普及していることから、平成29年度より直轄現場に「ICT舗装工」を導入することになり、平成29年3月に「地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領（舗装工事編）（案）」等が国土交通省から発出されている。

本稿では、「地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領（舗装工事編）（案）」の策定に際し、地方整備局等の協力により実施した舗装工事の施工実態調査を踏まえて、地上型レーザースキャナー（TLS）を用いた出来形管理手法と規格値を検討した結果について紹介する。

2. 舗装工の施工管理（出来形管理）

平成13年度に「舗装の構造に関する技術基準」が国土交通省から発出され、これ以降、舗装工事は性能規定化が原則となっている。一方、みなし規定により従来の構造設計や施工管理の精度などは技術基準を満たすものとされており、今も多くの現場で従来の施工管理が行われている。

国土交通省の土木工事施工管理基準では、舗装工は層ごとに出来形の規格値を定めている。このうち特に、表層の厚さの出来形管理基準は、土工と比べ一桁小さい規格値となっている（表-1）。

すなわち「ICT舗装工」を「ICT土工」と比べると、出来形管理基準を層ごとに検討する必要がある、出来形の計測手法にはより厳しい精度が要求される。今回は舗装工事で求められる精度を確

表-1 土工と舗装工の施工管理基準及び規格値（面管理ではない従来の例）

土工 (単位:mm)			舗装工 (単位:mm)						
工種	測定項目	規格値	工種	測定項目	規格値				
					個々の測定値	10個の測定値の平均			
路体盛土工	基準高▽	±50	アスファルト舗装工	下層路盤工	基準高	±40	±50		
	路床盛土工	法長 < 5m			-100	厚さ	-45	-45	-15
		法長 ≥ 5m		法長 - 2%	幅	-50	-50		
		幅 w		-100	上層路盤工	厚さ	-25	-30	-8
	測定箇所			幅	-50	-50			
				積戻調整層工	厚さ	-9	-12	-3	-4
				表層工	厚さ	-25	-25		
				幅	-7	-9	-2	-3	
				幅	-25	-25			
				平坦性	3m×3mメーター(σ)2.4mm以下 直線式(足付き)σ1.75mm以下				
	測定基準			測定基準					
	土工延長40mにつき1箇所。 基準高は、道路中心線及び端部で測定。				・幅：延長80m毎に1ヶ所の割に測定 ・厚さ[下層・上層路盤]：各車線200m毎に1ヶ所を掘り起こして測定 ・厚さ[基層・表層]：1000mに1ヶ所の割でコアを採取して測定 ・基準高[下層路盤]：延長40m毎に1ヶ所の割とし、道路中心線および端部で測定 厚さは、個々の測定値が10個に9個以上の割合で規格値を満足しなければならないとともに、10個の測定値の平均値(×10)について満足しなければならない。ただし、厚さのデータ数が10個未満の場合は測定値の平均値は適用しない。				

（「土木工事施工管理基準及び規格値（案）平成29年3月国土交通省」より抜粋）

保できる3次元計測技術であるTLSを活用した出来形管理手法の検討を行った。

3. 舗装の面管理による出来形管理の方法

これまでの舗装工事の出来形管理基準では、下層路盤から表層までの各層に対して厚さと幅の規格値が、更に下層路盤には基準高、表層には平坦性の規格値が規定されており、一定の範囲や間隔毎に計測を行っていた。

ICT舗装工では、出来形管理に3次元計測技術を活用するため広範囲の計測を一度に短時間でできる。そのメリットを活かすために面管理の手法を導入した。以下、ICT舗装工でのデータの作成方法とデータによる管理方法を説明する。

3.1 出来形評価用データの作成法

舗装工事で面的に出来形評価をするにあたっては、3次元の計測データから評価点における出来形評価用データを作成する必要がある。評価点は、等間隔で区切った正方形グリッドの中央あるいは格子点に設定し、その標高値を求めて、評価点における出来形評価用データを作成する。評価点の密度は、ICT土工での面管理と同様に1m²（1m×1mの水平面正方形）あたり1点を基本とした。

TLSで得られる個々の計測点の座標には計測誤差が含まれるが、舗装工には厳しい計測精度が求

められる。そこで個々の計測点が持つ誤差によるばらつきの影響を減らすため、ICT舗装工では評価点における標高値を求める方法を、評価点を中心とする1m四方グリッド内における「計測点群の平均標高値」または「計測点群と設計面との標高差の最頻値」を用いる方法に限定した(図-1)。

3.2 厚さの管理

評価点を用いた厚さの管理方法には以下の2種類の方法が想定される。

3.2.1 2層の評価点の比較による管理

厚さとは、管理する層の上面と下面の間の距離である。そして、管理する層の下の面とは、当該層直下層の上の面と同じである。すなわち、管理する層の標高とその下の層の標高の差が計測厚さとなる。例えば、「上層路盤の計測厚さ」=「上層路盤標高値」-「下層路盤標高値」である。

従前より舗装工事の厚さ管理ではコア抜きや掘り返しをして管理する層の上下面の距離を測っており、上記の管理手法はこの従来の方法に近い。

3.2.2 評価点と設計データの比較による管理

一方、上記の方法ではなく、管理する面の標高を評価点と設計データとの「標高較差」で管理することで厚さ管理に代える方法も考えられる。この場合は、当初の3次元設計データの設計面をそのまま目標にして施工をすると、下層が高く仕上がっていた場合には設計厚さを満たさなくなることが懸念される。このため、例えば、上層路盤の場合は、図-2に示すように上層路盤の当初の設計高さ(下層路盤の設計基準高に上層路盤の設計厚さを加えた高さ)に、直下層の下層路盤の設計基準高(図-2の①)と出来形の高さ(仕上がり高さ)との標高格差の平均値(図-2の②)を加え



図-2 目標高さの設定 (上層路盤の場合)

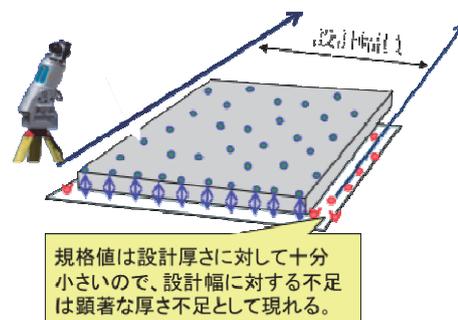


図-3 厚さ不足として現れる幅員不足

たものを、上層路盤の目標高さとする。このような形で設計面に対して高さをオフセットした目標高さを設定すれば、出来形の高さと目標高さとの標高較差で管理することができる。

設計データに応じてブレードを自動制御するICT建設機械(グレーダ)を施工に使う場合には、上記の管理手法はより施工手順に近い方法である。

3.3 幅の管理

一般的には設計厚に対して厚さの規格値は十分に小さい(例えば上層路盤の設計厚100mmに対して厚さの規格値30mmなど)。厚さの出来形評価を設計幅員の全体で行うとき、出来形の幅が不足する部分は厚さの計測データが0となり、グリッドデータ化した場合でも通常の厚さ不足よりも顕著な厚さ不足として現れる(図-3)。このため厚さの評価で幅も管理できると考えられる。

4. 舗装の面管理における規格値設定の考え方

従来の管理基準では厚さは200mまたは1,000㎡毎に一箇所の抽出管理であるが、3次元データを活用する面管理では1㎡毎に1点の評価点をもとに管理することから、従来の規格値を面管理に適用すると過剰に厳しい管理になると想定される。

そこでICT土工と同様に¹⁾、従前の出来形管理基準で施工管理された現場において、出来形を面的に調査し、この結果をもとに出来形のバラツキは正規分布に従うものと考え、統計的な不良率を算出し、当該不良率を許容する分布を是とした上

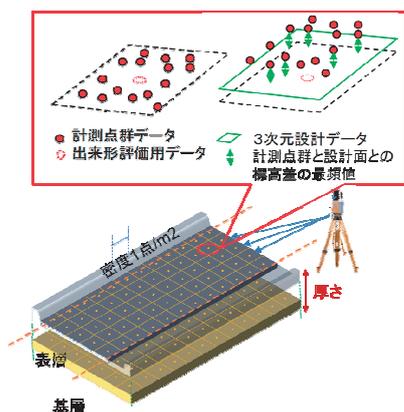


図-1 出来形評価用データ生成に関する規定

で面管理に相応しい規格値を設定する。

4.1 従来管理で想定している不良率

従来の基準では、厚さは一定密度の測定で、10個に9個以上の割合で規格値を満足しなければならないとされている(表-1)。従って10%程度の不良率は織り込んでいると考えられる。

そこで従来管理での不良率を実際の施工現場で把握するため、平成28年12月から平成29年3月の間に、4地方整備局の検査に合格した8つの舗装工事現場において、施工精度の実態調査を実施した。図-4に示すように、延長100mの施工面上の標高を、精度を確保するためレベルを使って計測した。測点は現場の施工に支障が生じない範囲で実測可能な間隔(横断2m間隔、縦断4m間隔)で設置した。

厚さは同一平面座標の施工前後の標高差から求めている。表-2に、全計測の設計値との差の平均値、標準偏差、及び現行基準の個々の測定値の規格値の範囲外となる計測点の割合、すなわちこの調査での実測の不良率を示す。

4.2 受忍すべき不良率からの上下限規格値の設定

不良率に規格値を設け、計測後に不良率を求める管理方法では、現場で良否結果がすぐに判断できず不便である。このため、面管理における個々の測定値に対する新たな規格値を設定する。なおここでの測定値とは、計測厚さと設計厚さの差、または評価点と設計データとの標高較差を指す。

実態調査から得られた不良率がP%であるとき、従来の個々の測定値の規格値に対して不良率P%となる正規分布を合格ボーダーラインとする。ここで従来管理における個々の測定値の規格値の上限側をSU、下限側をSL、10個の測定値の平均の規格値(下限)をm、正規分布における無限小からSLまでの累積分布関数がP%となるときの当該正規分布の標準偏差を σ_p としたとき、分布の中心がm(又はm以上)で、標準偏差が σ_p より小さい正規分布が合格とすべき正規分布である(図-5)。

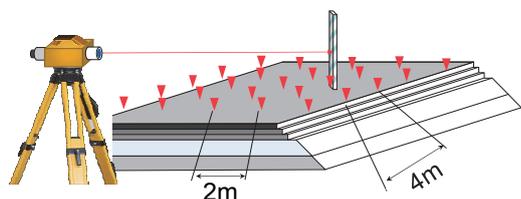


図-4 施工精度の実態調査の模式図

表-2 施工精度の実態調査結果

(単位:mm)

			平均値	標準偏差	実測の不良率(%)	(参考)規格値	サンプル数(個)
下層路盤	中規模	基準高	-5	26	11.3	±40	577
		厚さ	14	43	8.0	-45	577
	小規模	基準高	14	22	5.8	±50	104
		厚さ	5	23	1.0	-45	104
表層	中規模	厚さ	2	8	10.9	-7	871

※この表の規格値とは、従来の施工管理基準における「個々の測定値」に対する規格値を指す。

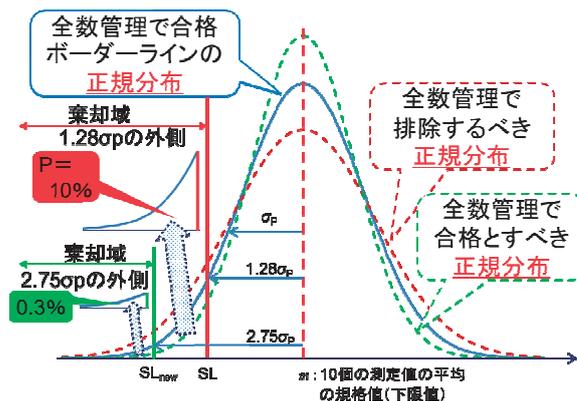


図-5 合格とすべき分布の考え方(不良率Pが10%の場合)

このときm、 σ_p とSLの関係は、不良率Pから累積分布関数の計算で求められる平均からのずれを表す数値 k_p により、次の式(1)で表される。

$$m - SL = k_p \sigma_p \quad \text{式(1)}$$

面管理データが正規分布と仮定し、ほぼ全数(99.7%)が適合する値を面管理の規格値とする。棄却域が0.3%(両側に規格値がある場合は0.15%)となる新たな下限側の規格値 SL_{new} を設定すると、m、 σ_p との関係は次の式(2a)~(2c)で与えられる。なお、式(2b)、(2c)は両側規格値の場合であり、mは0、 $-SL_{new} = SU_{new}$ とした。

$$m - SL_{new} = 2.75\sigma_p \quad \text{式(2a)}$$

$$0 - SL_{new} = 2.97\sigma_p \quad \text{式(2b)}$$

$$0 + SU_{new} = 2.97\sigma_p \quad \text{式(2c)}$$

これらの式から、各測定項目について適用する不良率P毎の k_p と、個々の測定値の規格値の下限値 SL_{new} (両側規格値の場合の上限値は SU_{new})を再設定した(表-3)。なお再設定にあたり、実測の不良率が10%を超えた下層路盤の基準高と表層の厚さでは実測の不良率を適用し、他では不良率を10%とした。また実態調査結果では小規模の下層路盤の不良率が中規模のそれを下回る結果となったが、小規模の規格値の方が厳しいことは実態に合わないため中規模に統一することとした。

表-3 「個々の測定値」上下限値の設定

(単位:mm)

層別	測定項目	適用する不良率 P(%)	k_p	m	σ_p	上下限値	
						SU _{new}	SL _{new}
下層路盤	中規模(小規模) 基準高	5.64	1.59	0	25	±75	
	厚さ	10	1.28	-15	23	-79	
上層路盤	中規模 厚さ	10	1.28	-8	13	-44	
	小規模 厚さ	10	1.28	-10	16	-53	
基層	中規模 厚さ	10	1.28	-3	5	-16	
	小規模 厚さ	10	1.28	-4	6	-21	
表層	中規模 厚さ	10.9	1.23	-2	4	-13	
	小規模 厚さ	10.9	1.23	-3	5	-16	

4.3 計測誤差を含めた規格値の設定

上述の上下限値を面管理の個々の測定値の規格値にするには計測精度を加える必要がある。工事において1割程度の数量増減で設計変更がある考慮すると、各層の最小設計厚さ²⁾(路盤10cm、基層・表層5cm)の1割未満に計測精度が入ることが望ましいといえる。また計測精度は規格値の4分の1程度に収まっているべきとの関係者意見もあった。このため上下限値に加える計測精度は、路盤では10mm、基層・表層では4mmとした。

下層路盤には基準高と厚さの規格値があるが、基準高と厚さの個々の測定値の下限値がほぼ同じであったことから、基準高と厚さを同一の規格値とし、計測精度を加え10mm単位で丸めた90mmを個々の測定値の規格値とした。

また、全点平均の規格値には従前基準の10個の測定値の平均の規格値の値、下層路盤の基準高の全点平均の規格値の上限には従前基準の個々の測定値の上限側の規格値を使った。

表-4に作成した出来形管理基準及び規格値(素案)を示す。

表-4 出来形管理基準及び規格値(素案)(舗装工/面管理)

(単位:mm)

工種	測定項目	個々の測定値		全点平均		測定間隔
		中規模	小規模	中規模	小規模	
下層路盤	基準高及び、厚さあるいは標高較差	±90		-15	-15	計測は設計幅員の内側全面とし、全ての点で標高値を算出する。
				40	50	
上層路盤	厚さあるいは標高較差	-54	-63	-8	-10	計測密度は1点/m ² (平面投影面積当たり)以上とする。
		-20	-25	-3	-4	
表層	平坦性*	-17	-20	-2	-3	1.5m毎
		σ=2.4mm以下				

*平坦性は従前の方法(3mプロファイルメータ)による。

5. まとめ

ICT舗装工として、TLSでの計測を念頭に置いた出来形管理基準等の検討を行った。

ICT舗装工における厚さの出来形管理では、上下2層の計測データの標高差を厚さとして用いる方法と、計測データと設計データから生成する目標高さとの標高較差を用いる方法の二つの方法を示した。また、従来の管理基準による舗装工事現場の施工実態を踏まえて、同等の施工精度となるような面管理のための新たな規格値を策定した。

今後は、今年度より直轄で実施されるICT舗装工事における実態のフォローアップ調査を行い、新たな出来形管理手法による作業性向上効果などについて把握し、必要であればICT舗装工のための基準類の見直しをしていく。

なお、今回の基準類では、コンクリート舗装への未対応や平坦性計測に従前のプロファイルメータ計測を残すなど、検討の余地があると考えている。今後新たに開発される3次元計測技術の動向等も踏まえ、新たな手法も検討して参りたい。

参考文献

- 1) 森川博邦、長山真一、舛田裕司：出来形管理への3次元計測技術導入及、pp.12~15、2017
- 2) 日本道路協会：舗装設計施工便覧、pp.77~78、2006

森川博邦



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本施工高度化研究室長
Hirokuni MORIKAWA

近藤弘嗣



国土交通省総合政策局公共事業企画調整課 課長補佐
Kouji KONDOH

舛田裕司



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本施工高度化研究室 研究官
Yuji MASUTA

若林康郎



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本施工高度化研究室 交流研究員
Yasuo WAKABAYASHI