

# ICT舗装工事出来形管理要領の適用性検証と改善

小塚 清・川邊好世・森川博邦

## 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」を導入した。続いて、平成29年度よりアスファルト舗装工事に対象を拡大し、「地上型レーザースキャナー（以下「TLS」という。）を用いた出来形管理要領（舗装工事編）（案）」（以下単に「出来形管理要領」という。）を発売したところである。

舗装での「ICT活用工事」では、出来形管理において、TLS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、出来形管理項目として、従来の「管理断面における各層の厚さ、幅計測」に代えて、「面管理」の概念を導入した。

国土技術政策総合研究所においては、出来形管理要領の作成を支援するとともに、要領策定後、実施されるICT活用工事が生産性の向上効果をより発揮できるような出来形管理の手法の確立を目指して研究を進めている。

本稿は、新たに導入された出来形管理要領について、使用機器の精度、成果物の精度の確認など、実際にICTを導入した工事を対象に、現場における適用性を検証した結果及び出来形管理要領の課題を整理した結果を紹介するものである。

## 2. 出来形管理要領の適用性検証

### 2.1 ICT活用工事（舗装）の枠組み

平成29年3月に定められた「ICT活用工事（舗装工）実施要領」においては、ICT活用工事は、「『3次元起工測量→3次元設計データ作成→ICT建設機械による施工→3次元出来形管理等の施工管理→3次元データの納品』という施工プロセスの全ての段階においてICT施工技術を全面的に活用する工事」と位置づけられている。うち、「3次元出来形管理等の施工管理」については、表層のみ3次

元点群等による面管理を必須としている。

### 2.2 現行（H29.3）の出来形管理要領において管理すべき内容及び規格値

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。検査可否の基準である「土木工事施工管理基準及び規格値」では、下層路盤から表層までの各層に対して厚さの規格値が、更に下層路盤には基準高、表層には平坦性の規格値が、表-1の通り規定されている。

表-1 土木工事施工管理基準及び規格値（単位：mm）  
（アスファルト舗装：面管理）

| 工種            | 評価方法               | 個々の測定 |     | 全点平均       |            | 測定間隔   |
|---------------|--------------------|-------|-----|------------|------------|--|
|               |                    | 中規模   | 小規模 | 中規模        | 小規模        |  |
| 下層路盤          | 厚さ<br>あるいは<br>標高較差 | ±90   | ±90 | +40<br>-15 | +50<br>-15 | 計測は設計幅員の内側全面全てで算出する。計測密度は1点/n <sup>2</sup> (平面投影面積当たり)以上とする。 |
| 上層路盤          | 厚さ                 | -54   | -63 | -8         | -10        |  |
| 加熱アスファルト安定処理工 | あるいは<br>標高較差       | -36   | -45 | -5         | -7         |  |
| 基層            |                    | -20   | -25 | -3         | -4         |  |
| 表層            |                    | -17   | -20 | -2         | -3         |  |

注)ほかに、基準高、平坦性の規格値あり

### 2.3 適用性検証の内容

「出来形管理要領の適用性検証」の具体的内容は以下の通りである。

#### ①実際の舗装工事における新基準への適合性検証

ICT舗装工事の3箇所の現場（工事A（新設道路本線部：中規模工事）、工事B（新設道路側道部：小規模工事）、工事C（道路休憩施設：小規模工事）の3工事）において、TLSによる3次元点群データを用いた出来形計測結果が、新たな要領に基づく規格値を実際に満足したか否かを確認した。表-1の出来形管理基準に定められた評価方法のうち、「厚さ」、「標高較差」の両方を確認の対象とした。

同時に、それぞれの現場において、従来の方法による管理（概ね20mピッチの管理断面における計測厚さと設計厚さとの差により評価）を行い、上記結果と比較した。

#### ②TLSの計測機器としての精度検証

出来形管理要領においては、出来形計測に用いるTLSの要求精度が、舗装の各層毎に表-2の通り定められている。

表-2 T L S 機器への要求精度

| 方向               | 比較方法 | 要求精度   | 備考    |
|------------------|------|--------|-------|
| 鉛直方向             | 平均高さ | 起工測量   | ±20mm |
|                  |      | 路床表面   | 以内    |
|                  |      | 下層路盤表面 | ±10mm |
|                  |      | 上層路盤表面 | 以内    |
|                  |      | 基層表面   | ±4mm  |
|                  |      | 表層表面   | 以内    |
| 注)ほかに水平方向の要求精度あり |      |        |       |

一般に流通している T L S 機器の精度が、表-2に示した鉛直方向要求精度を満足しているかを、実際の工事フィールド（工事A・B・C）を用いて検証した。

③面的な出来形計測結果のばらつきの検証

新たな出来形管理においては、取得された点群を「1㎡あたり100点以上」まで間引いた（計測点群データ）の上、これを用いて1㎡に1点の割合になるよう統計処理したデータ（出来形評価用データ）に対して、個々の出来形評価用データが所定の規格値（許容誤差）内に収まることを求めている。

一方、従来管理においては、「舗装各層において、1,000㎡に1個の割合でコアを採取した上で、それぞれの厚さを計測し、そのうち10個に9個以上の割合で所定の規格値の範囲内であること」（すなわち不良率が10%以内）が検査合格の条件となっていた。ICT舗装工事の結果についても、同様の条件を満足しているか否かを検証した。

④生産性向上効果の検証

ICT活用工事の段階毎の作業に要する時間を従来の手法と比較検証するとともに、施工者へのヒアリングにより、舗装工事へICTを活用するにあたっての効果及び課題を整理した。

2.4 適用性検証の方法及び結果

①実際の舗装工事における出来形管理要領への適合性検証

対象工事について、出来形管理要領に定められた方法により出来形計測を行い、「土木工事施工管理基準及び規格値」に照らし、合否を確認した。具体的には、図-1に示すとおり、出来形計測、計測点群の処理、出来形計測データ・出来形評価用データ作成を行った。

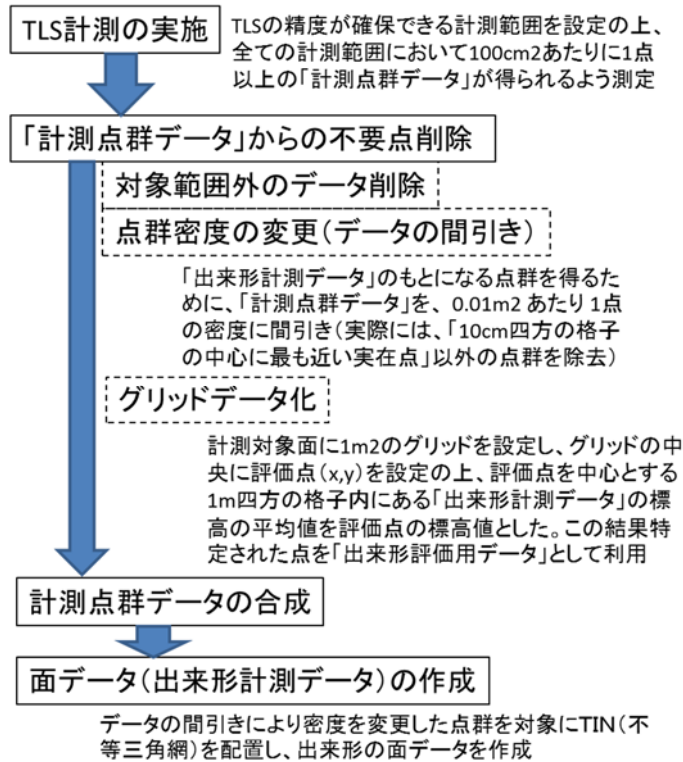


図-1 T L S による出来形計測点群処理の手順

表-3 実工事での T L S 計測による出来形計測値・規格値 (単位: mm)

| 出来形評価項目 | 評価方法 | 計測値<br>規格値 | 工事A(中規模) |         |     | 工事B(小規模) |      | 工事C(小規模) |     |
|---------|------|------------|----------|---------|-----|----------|------|----------|-----|
|         |      |            | 上層路盤     | AS安定処理層 | 基層  | 表層       | 上層路盤 | 基層       | 基層  |
| 平均値     | 厚さ   | 計測値        | -4       | -4      | +1  | +1       | 0    | -3       |     |
|         |      | 規格値        | -7       | -4      | -3  | -4       | -3   | -3       |     |
|         | 標高   | 計測値        | +10      | -4      | +1  | +1       | -4   | -3       | +11 |
|         |      | 規格値        | -8       | -5      | -3  | -2       | -10  | -4       | -3  |
| 最小値     | 厚さ   | 計測値        | -20      | -13     | -6  | -16      | -14  | -18      |     |
|         |      | 規格値        | -45      | -25     | -20 | -25      | -20  | -20      |     |
|         | 標高   | 計測値        | -13      | -27     | -14 | -9       | -28  | -22      | -13 |
|         |      | 規格値        | -54      | -36     | -20 | -17      | -63  | -25      | -20 |

注)「最小値」: 異常値0.3%を除外した数値  
※評価例: 工事Aの上層路盤の場合、「計測値-設計値」が-54mm以上であれば合格、実際の「計測値-設計値」は-13mmであったので「合格」

表-4 実工事での従来管理による出来形計測値・規格値 (単位: mm)

|     | サンプル数       | 設計厚 (mm) | 「計測厚さ」-「設計厚さ」(a)(mm) |     |     | (a)の規格値(mm) | 判定    |       |
|-----|-------------|----------|----------------------|-----|-----|-------------|-------|-------|
|     |             |          | 最大値                  | 最小値 |     |             |       |       |
|     |             |          |                      | 第1位 | 第2位 |             |       |       |
| 工事A | アスファルト安定処理層 | 12       | 80                   | +7  | -13 | -11         | -15以上 | ○     |
|     | 基層          | 12       | 50                   | -1  | -6  | -6          | -9以上  | ○     |
|     | 表層          | 12       | 50                   | +1  | -8  | -6          | -7以上  | ○(※1) |
| 工事B | 上層路盤        | 10       | 150                  | +37 | -9  | +4          | -25以上 | ○     |
| 工事C | 下層路盤        | 4        | 150                  | +28 | +1  | -           | -45以上 | ○     |
|     | 上層路盤        | 4        | 150                  | +8  | -22 | -           | -25以上 | ○     |
|     | アスファルト安定処理層 | 4        | 60                   | +1  | -2  | -           | -15以上 | ○     |
|     | 基層          | 4        | 50                   | +15 | -5  | -           | -9以上  | ○     |
|     | 表層          | 4        | 50                   | +2  | -7  | -           | -7以上  | ○     |

※1: aの最小値(第1位)は「-8mm」であり規格値を満足していないが、施工管理基準においては、サンプル数が10以上の場合、10サンプルにつき1個の割合で不良を認めており、第2位値が「-6mm」のため、「合格」の判定。

表-3に、図-1の手順により得られた「出来形評価

用データと3次元設計データとの差分（表-3において「計測値」欄に示した）」と「規格値」とを対比した結果を示した。

以上により、全ての計測値は規格値を満足していた。

一方で、従来評価の結果を、表-4に示した。従来評価においても、同様に所定の規格値を満足しており、T S Lによる面管理と同等の品質が確保されていたことが明らかとなった。

② T L S の計測機器としての精度検証

出来形管理要領に記載された方法により、T L S の機器としての精度検証を行った。検証には、測量業者向けに一般に流通している機器のうち比較的詳細な空間測量が可能なものを用いた。

検証は、以下の2通りの方法により実施した。評価範囲までの計測距離は、現地試験により所要の精度が確保可能であることが確認された「25m以内」に設定した。

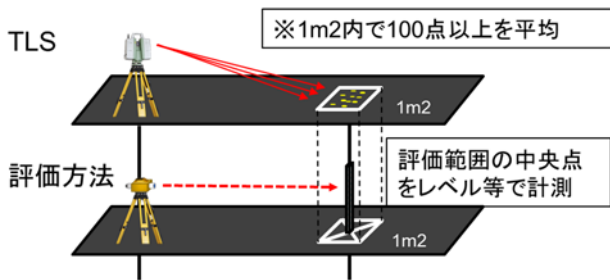


図-2 T L S による精度検証の方法

※検証1：評価範囲内で「T L S が計測した点群の高さ（図-2上図参照）の平均値」と、「評価範囲の中央点をレベルで計測（図-2下図参照）した高さ（この値を真値と見なす）」との差が「要求精度」以内にあるか否かを確認した。

※検証2：「1m²内でT L S により得られた点群（100点以上）の高さ」と「レベルにより計測された高さ（この計測値を真値と見なす）」の差の分布が許容範囲内に収まっているかを確認した。過年度の知見より、上記の「差の分布」における標準偏差（ $\sigma$ ）が概ね要求精度の1/2以内に収まっていれば、機器としてのT L S の性能が十分であると判断される。

表-5 T L S 機器の精度検証結果

|     | サンプル数       | 「TLS点群高さ」-「レベル計測高さ」(mm) |     |     |          | 要求精度 (mm) | 判定  |     |
|-----|-------------|-------------------------|-----|-----|----------|-----------|-----|-----|
|     |             | 平均値                     | 最大値 | 最小値 | $\sigma$ |           | 検証1 | 検証2 |
| 工事A | 上層路盤        | +2                      | +17 | -10 | 3        | ±10       | ○   | ○   |
|     | アスファルト安定処理層 | +3                      | +7  | -11 | 2        | ±10       | ○   | ○   |
|     | 基層          | ±0                      | +6  | -5  | 2        | ±4        | ○   | ○   |
|     | 表層          | +5                      | +23 | +2  | 2        | ±4        | ×   | ○   |
| 工事B | 上層路盤        | -3                      | +32 | -23 | 6        | ±10       | ○   | ×   |
|     | 基層          | +4                      | +18 | -9  | 4        | ±4        | ○   | ×   |
| 工事C | 基層          | +3                      | +7  | -3  | 2        | ±4        | ○   | ○   |
|     | 表層          | -2                      | +9  | -4  | 1        | ±4        | ○   | ○   |

検証1及び2の結果を表-5に示した。結果として、「×」の判定が概ね全体の2割の範囲に留まったこと、「×」の場合でも要求値と大きくかけ離れていないことを勘案すると、いずれも概ね目標の範囲に収まっていたと判断される。

③ 面的な出来形計測結果のばらつきの検証

ここでは、舗装工事の各層において、従来管理で許容されていた「不良率（10サンプルにつき1まで許容）」をICT活用工事（面管理）の現場において面的に判定し、出来形の安定性を評価した。これは、「工事成果品の出来映え」の善し悪しに相当すると考えられる。本検証の対象現場においては、従来管理において求められていた「個別厚さの計測値」が許容範囲を満たしているか否かを確認した。

検証方法は以下の通りである。

個別各工事の舗装各層について、実際の現場での全面的仕上がり層厚を、レベルにより、ランダムに縦横2m間隔となるよう計測（この計測値を真値と見なす）し、層厚の設計値と比較し、両者の差分を算出する。従来管理における「個別厚さの規格値」に照らし、規格値に収まらない個数の全体に対する割合（真の不良率）を算定する。この「真の不良率」が出来形管理基準において許容されている「10%以内」に収まっていたか否かを確認した。

その結果を表-6に示した。A・B・C全ての工事の全ての層において、「真の不良率」が10%以内に収まったという結果を得たことから、ICT活用工事の出来形の安定性が従来施工と同等以上であることが確認された。

④ 生産性向上効果の検証

工事A・B・Cそれぞれについて、工事担当者へのヒアリングを行った。ヒアリングにより、それぞれの作業に要した人工を調査した。結果を表-7のとおりとりまとめた。



同時に、ICT活用にあたっての課題等を整理し、結果を表-8の通りとりまとめた。

表-7、8をまとめると、TLSを用いた出来形管理を導入した舗装工事の生産性向上効果に関し、以下のことが推測される。

- ・「丁張り設置」「施工」は作業時間が短縮。
- ・その他の作業項目は、現場の状況、工程の逼迫状況等に応じ、生産性向上の程度に差が発生。
- ・TLSの計測可能距離が短いことによりTLSの

表-6 面的な出来形計測結果のばらつきの検証結果

| 工事  | サンプル数       | 設計厚さ(mm) | 「レベル計測厚さ」-「設計厚さ」(a)(mm) |     |     | (a)の規格値(mm) | 不良点数 | 不良率 | 判定   |   |
|-----|-------------|----------|-------------------------|-----|-----|-------------|------|-----|------|---|
|     |             |          | 平均値                     | 最大値 | 最小値 |             |      |     |      |   |
| 工事A | アスファルト安定処理層 | 182      | 80                      | -6  | +21 | -20         | -15  | 5   | 2.7% | ○ |
|     | 基層          | 182      | 50                      | -4  | +5  | -12         | -9   | 17  | 9.3% | ○ |
|     | 表層          | 182      | 50                      | -3  | +8  | -20         | -7   | 16  | 8.8% | ○ |
| 工事B | 基層          | 198      | 50                      | +2  | +37 | -23         | -9   | 7   | 3.5% | ○ |
|     | 下層路盤        | 209      | 150                     | +10 | +34 | -31         | -45  | 0   | 0%   | ○ |
| 工事C | 上層路盤        | 176      | 150                     | -14 | +7  | -40         | -25  | 14  | 8.0% | ○ |
|     | アスファルト安定処理層 | 231      | 60                      | -2  | +14 | -17         | -15  | 1   | 0.4% | ○ |
|     | 基層          | 231      | 50                      | +6  | +18 | -14         | -9   | 5   | 2.2% | ○ |
|     | 表層          | 230      | 50                      | -1  | +8  | -10         | -7   | 2   | 0.9% | ○ |

表-7 作業人工の調査結果

| 現場作業\計測手法 | 工事A                             |           |           |       | 工事B  |           |           |         | TLSを用いた効果 |                   |
|-----------|---------------------------------|-----------|-----------|-------|------|-----------|-----------|---------|-----------|-------------------|
|           | 従来計測                            |           | TLSを用いた計測 |       | 従来計測 |           | TLSを用いた計測 |         |           |                   |
|           | 作業時間                            | 体制        | 作業時間      | 体制    | 作業時間 | 体制        | 作業時間      | 体制      |           |                   |
| 事務所内準備作業  | 設計図書の照査作業(調査対象:工事全体)            | 施工中常時     | 同左        |       | 1週   |           | 1週        |         | 従来と同じ     |                   |
| 工事基準点設置   | 施工計画書作成(調査対象:工事全体)              | 1週        | 2人        | 1.5週  | 2人   | -         | 2日(1CT分)  |         | 従来と同じ     |                   |
| 丁張り設置作業   | 基準点確認・設置作業(調査対象:工事全体)           | 2日        | 2人        | 同左    |      | 5日        | 5日        |         | 従来と同じ     |                   |
|           | 丁張り計算(ICTでは3次元データ作成)(調査対象:工事全体) | 2日        | 1人        | 1週    | 1人   | 1日(車道部のみ) | 1日(車道部のみ) | 1人      | 工数増       |                   |
| 施工        | 丁張り設置(100m区間相当)                 | 法丁張 1日 2人 | 1日 2人     | 5日/km |      | 省略        | 省略        |         | 工数大幅低減    |                   |
|           | トンボ                             | 5.5日 2人   | 省略        |       |      |           |           |         |           |                   |
| 施工管理      | 施工(調査対象:工事全体)(オペレータ、検測、補助作業員)   | 3月        | 3人        | 3月    | 2人   | 上層路盤10日   | 5人        | 上層路盤10日 | 3~4人      | 路盤敷均し工の作業能力向上     |
|           | 出来形計測作業(調査対象範囲の100m区間相当)        | 2時間       | 2人        | 2時間   | 2人   | 10分/1測点1層 | 1人        | 2日/1層全体 | 1人        | 計測時間短縮(ただし作業中断発生) |
| 監督検査立会    | 立会作業(調査対象:工事全体)                 | 2時間       | 1人        | 2時間   | 1人   |           | 1人        |         | 1人        | 従来と同じ             |

注：赤枠は人工増加、青枠は人工減少

表-8 ICT舗装工の主な課題(施工者ヒアリング)

|   |
|---|
| ・TLS計測による計測待ちが発生すること、計測可否が気象条件(特に、降雪・積雪時)の影響を受けることから、工程の余裕がない現場での適用が困難。 |
| ・現場合わせの箇所が多い箇所(構造物への擦りつけが多い、交差点・支線が多い)では、施工精度管理が困難。                     |
| ・TLSの計測結果が現地でリアルタイムに確認できないため、修正が必要となった場合、手戻りが発生。                        |
| ・計測可能距離が30m程度と短く、多数の基準点が必要となるため、設置(位置決め)等に手間。                           |

盛り替え(設置位置の移動)回数が多くなることが、生産性向上の阻害要因。

### 3. 結果のまとめ及び出来形管理要領の改善

「実際の舗装工事における新基準への適合性」「TLSの計測機器としての精度」「面的な出来形計測結果のばらつき」については、いずれも所要の条件を満足しており、出来形管理要領は実際の舗装工事へ適用可能であることが明らかとなった。

一方、「生産性向上効果」については、現場・工程等、工事特有の条件により効果に差が見られたと同時に、機器の盛り替え回数が多くなることが阻害要因となっていた。

近年、手押し車等によりレーザースキャナーを移動しながら高精度の点群が取得できる技術が開発されている。そこで、平成30年3月に、この技術を用いた出来形管理の具体的手順、精度確認方法を規定した「地上移動体搭載型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領(舗装編)」を新たに作成し、この技術を用いることにより、盛り替え回数が削減でき、生産性の向上への寄与が可能となるよう対応した。同時に、今後、本稿同様のフォローアップを行い、必要に応じ改善を行うこととしている。

また、舗装工事へのICT活用事例とその効果を紹介することにより、今後ICTを活用すべき工事の選定にも寄与できると考えられる。

### 4. 終わりに

今回紹介した例に限らず、i-Constructionの目的である建設プロセスにおける生産性向上を実現するためには、基準類作成対象工種や対象技術の拡大のみならず、工事の実例をもとにした基準類の検証、検証結果に基づく基準類の不断の見直しが不可欠であると考えられる。

地道なプロセスではあるが、今後ともこのような対応を進めて参りたい。

### 謝辞

本報文作成に先立ち、(一社)日本機械施工協会施工技術総合研究所の竹本憲充氏から、基準検証の有効性並びに生産性向上のための課題のポイントについて多数の助言を頂いた。ここに謝意を表すものである。

**参考文献**

- (1) 森川博邦、近藤弘嗣、舛田裕司、若林康郎：3次元計測による舗装工事の出来形管理手法の検討、土木技術資料、第59巻、第10号、pp.42～45、2017
- (2) 近藤弘嗣他：i-ConstructionにおけるICT舗装工に関する基準類の策定について、土木学会論文集 F3（土木情報学）、2017