

地盤改良(浅層混合)の3次元管理 ～ICT活用工事への応用～

金山 雅人

近畿地方整備局 福知山河川国道事務所

2000年代に入り情報化施工が進められ、近年は3次元データを活用し施工や検査の効率化を図るICT施工がかなり一般化してきた。2015年から始まったICT施工(土工)を皮切りに舗装や浚渫、法面や地盤改良など対象となる工種は拡大している。しかしながら拡張された工種の中には管理手法にまだまだ改良の余地があるものが多い。本検討ではICT施工(地盤改良工)において中でも最も施工件数が多い浅層混合において3次元データの活用方法などを新たに提案するものである。

キーワード ICT施工, 3次元管理, 出来形管理

1. はじめに

地盤改良工の工種は置換工法や積荷工法、脱水工法、締め固め工法、杭工法など多様な工種が存在する。その中でも固化材を混ぜることで地盤強度を向上させる混合処理方法においてICT施工が実施され始めている。混合処理方法は改良する深さによって浅層混合、中層混合、深層混合と3つに分類されており、一番深い深層混合では実用される段階から固化材の使用量などの施工履歴が残るよう開発されていたため、その管理手法は初期段階から施工管理が数値で得られる形であった。浅層混合や中層混合は固化材の投入などに専用機器を必要としないため固化材1袋当たりの施工範囲をマス目状に石灰ラインなどで明示し、マス目毎に実施することで所定量の固化材と対象地盤が改良された証明とする手法が従来からとられてきた。この手法では改良した深さの証明がしづらく、現場立会か改良深さの検測写真で施工確認をとるしかなかった。これらの作業性を改善するために浅層・中層混合工法においてはICT建機を使用して改良範囲や改良深さがオペレーターにモニター表示されるようになり、実際の地盤面に石灰などでラインを引く手間などが減り施工効率が向上してきている。改良深さの管理方法においても浚渫や河道掘削に用いられているICT建機のバケット軌跡データから整形された面を出来形評価する手法を改良工にも適用されるようになり、これによって以前のような掘削深さを検測する工事写真を撮影する手間が省かれ省力化につながっている。本検討はこの浅層混合の更なる管理方法の向上につながる提案をするものである。

2. 本検討及び実証実験を行った現場

今回検証を行った現場は国道24号寺田拡幅小樋尻地区改良工事(京都国道事務所発注)(写真-1)

寺田拡幅事業は城陽市内の国道24号における交通混雑の緩和、交通安全確保等を目的とし、新名神高速道路事業と一体となって整備する全長2.1kmの拡幅事業です。



写真-1

3. ICT施工(地盤改良工)の中の浅層混合

(1) 本検討の対象工種

浅層混合処理工法(表層安定処理ともいう)(表-1)

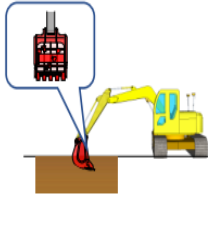
概要図	施工方法	改良材	改良深度
	改良材を必要量均等に散布し、攪拌装置を用いて所定の改良深度まで掘削し、改良材と原地盤の攪拌混合を行う。	粉体等	最大2m程度

表-1



写真-2

(2) 対象となる作業

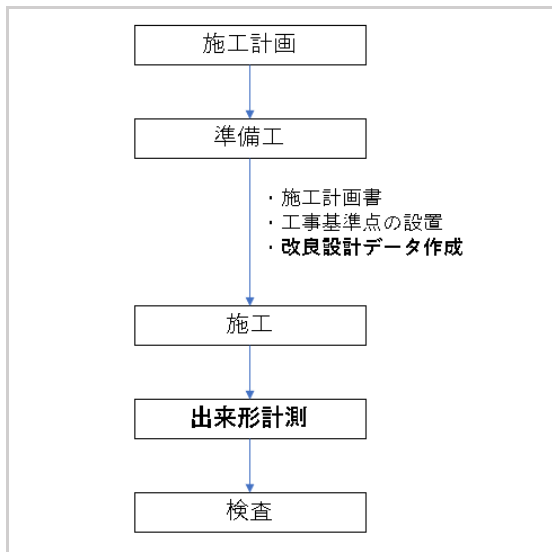


図-1



写真-3

対象となる作業は上図太字の「改良設計データの作成」と「出来形計測」についてです。

現在のICT施工（地盤改良工）では、ICT建機に入力される改良設計データは3次元のLandXML形式で平面的な施工範囲の認識だけでなく、深さデータも認識可能である。さらにマシンコントロール機であれば改良範囲の外周に壁状の面を作ることによって攪拌の範囲を制限することができ、攪拌バケットが施工範囲からはみ出すことが無い。これによってオペレーターの負担が軽減されるようになっている。

(3) 出来形計測における従来とICT施工の違い

従来（ICT施工以前）は改良範囲は石灰などでライン明示し、平面範囲については幅・奥行を巻尺などの実測により確認してきた。深さについては前述でも説明したが、施工基面から攪拌バケットの下がり量を検測して確認していた。（写真-2）（写真-3）

ICT施工になると平面範囲及び深さ共に攪拌バケットの施工履歴で確認に代えることができることになり、特に深さについては攪拌バケット下端の標高（z）を計測し、これを基に施工完了範囲を求めてよいこととなっている。¹⁾

ICT建機からは攪拌バケットが移動した距離・位置・標高のデータを出力する事ができるため、それらのデータをまとめて出来形とするソフトウェアも建機と共に提供されるサービスも多い。（写真-4）



ICT建機の様子

キャビン内のモニター

写真4

キャビン内でオペレーターが認識できる情報は自分の機械位置とバケットの向き・傾き・高さ（深さ）である。これらの情報を出力し出来形計測に利用するわけなのだが、この建機とソフトエウエアのシステムは先に実用化されたICT施工（浚渫工）で開発されたものを転用して使用している。したがって深さに関してはバケットが到達した最深部をプロットし設計深度に到達したか否かを計測するシステムになっている。（図-2）

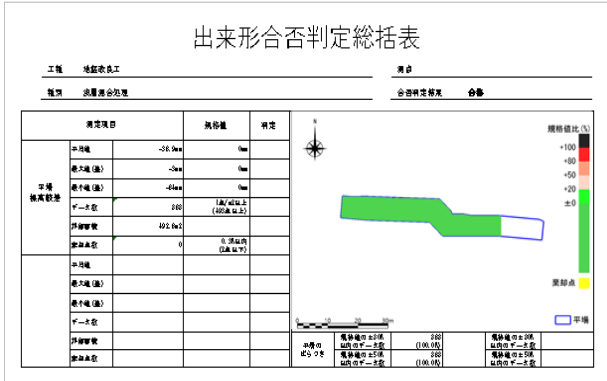


図-2

4. ICT施工の更なるステップへ

設計深度に達していることはもちろん重要な確認要素なのだが、せっかく3次元モデルを利用して施工し、出力データも (X, y, z) の座標データがあるのであれば出来形も3次元化して確認する事が出来ないだろうか。これが本検討のスタートであった。

(1) 出来形帳票の工夫

まず最初に着手したのは出来形成果票である。図-2のとおりICT施工で用いられる成果票は必須であるとして、さらに3Dで視認しやすくするために再下面の出来形評価を3D表示出来ないだろうか検討した。

これは案外簡単に実行することができた。出来形評価を行う際に点群データ処理ソフト²⁾を使用しているが、ソフトウェア内では3次元表示しているものの出来形帳票出力で2次元表示にするのはもったいない。施工モデルのLandXMLデータに出来形のヒートマップ表示をし、ビューソフトで3次元表示のまま確認できるようにした。

3次元表示のヒートマップでは、設計深度の変化が視認し易く画面内で見やすいように方向替えやズームが可能なので施工完了範囲の確認を視覚的に行うことができた。（図-3）

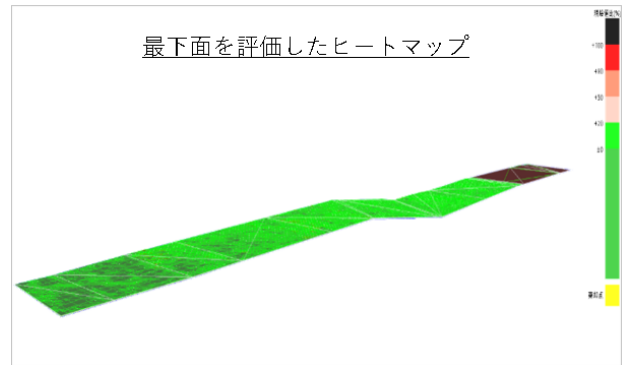


図-3

(2) 施工履歴の出力を工夫

3(3)で述べたが浅層混合のICT施工システムではバケットの軌跡データを再下面（最深部）で出力している。建機のシステム内データを調べると再下面以外の軌跡データが蓄積されているのが分かった。出力の際にわざとフィルターを掛け再下面のみの出力をしているのだった。我々はシステムのフィルターを解除し全施工履歴データを出力する事に成功した。（表-2）これはメーカーによって不可能な場合もあるかもしれない。

	A	B	C
1	X	Y	Z
2	-127965.29	-19877.59	16.566
3	-127965.29	-19877.59	16.581
4	-127964.95	-19877.59	16.453
5	-127964.95	-19877.59	16.535
6	-127964.95	-19877.59	16.504
7	-127964.95	-19877.59	16.06
8	-127964.95	-19877.59	16.279
9	-127964.61	-19877.59	16.42
10	-127964.61	-19877.59	16.505
11	-127964.61	-19877.59	16.435

表-2

これらの施工履歴データ（座標データ）を点群処理ソフト内で表示すると下図（図4）のようになる。そしてさらに全施工履歴データを出力してみたわかったことは軌跡データの出力が34cmピッチでしか出力されないという事である。これは履歴をプロットするシステムの性能で変わるようでICT建機のメーカーで間隔は様々であることが判明した。

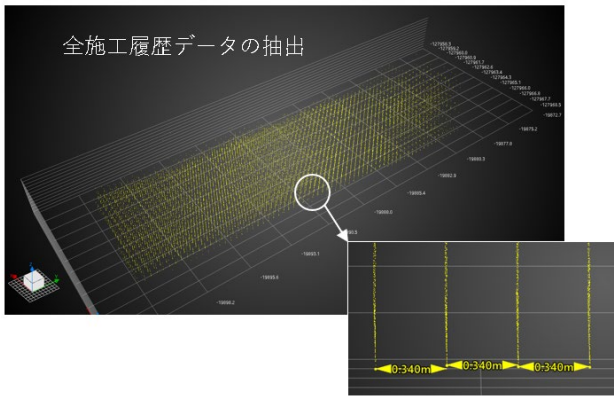


図4

地盤改良工で用いる場合はもっと細かいピッチで出力できる方が攪拌の状態（回数など）が把握できるようになるのではないだろうか。

この施工履歴データと同時に表示させる設計データ（LandXML）を施工範囲である側面の壁も作成し、深さだけでなく施工範囲も設計と比較できるのではないかと考えた。

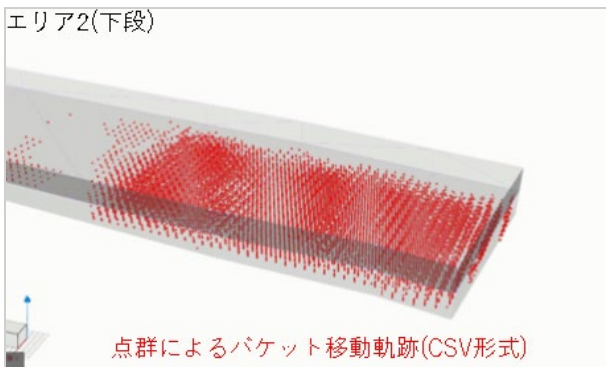


図-5

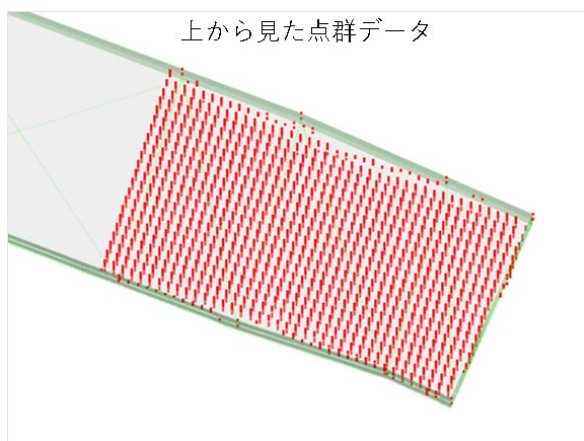


図-6

図-5、図-6では攪拌バケットが改良範囲の隅々まで稼働していたことが見て取れます。このような手法でデータの抽出が可能になれば、攪拌バケットが上から下まで満遍なく稼働した証明になるのではないでしょうか。浅層混合がバックホウに攪拌バケットを装着して混合するため施工ムラが生じやすい。それらの証明として確認できる手法となる可能性があると考えます。

5. まとめ

現在のICT施工（地盤改良工）の浅層混合では、バケットが到達した最深部のみでの出来形評価であったため、到達するまでの中間の範囲では攪拌の度合いや範囲が分からなかった。今回の検証でその問題解決に一歩近づく結果が得られた。

もちろんまだまだ改良の余地もあり更なるエビデンスの蓄積も必要で、建機からのアウトプットももっと細かい出力で出来ればリアルタイムでトレースできるシステムが望ましい。そしてそれらのデータの蓄積から点群密度によって攪拌の回数が推定されたり、施工ムラを判定する材料にも役立てるのであると考える。

今年度からB IMCIM活用工事も原則発注となり益々3次元データを有効活用していく気運が高まる中、これまでのICT施工の施工方法や管理手法も同時にフォローアップし更なる品質向上・生産性向上に繋げていかなければならない。

謝辞：今回の検証にあたり株式会社第一土木には全面的に協力いただき貴重なデータを取得する事ができましたこと、ここに深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：3次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）令和4年3月版
- 2) 福井コンピュータ：トレンドポイント