

第VI部門

2024年9月5日(木) 15:10 ~ 16:30 会場 B101(川内北キャンパス講義棟B棟)

技術開発(2)

座長：織田 幸伸（大成建設）

16:00 ~ 16:10

[VI-185] リアルタイム締固め測定機構によるTS・GNSS密度管理の検証

\*加來 孝志<sup>1</sup>、田巻 瑠<sup>1</sup>、佐藤 昌志<sup>1</sup>、古川 大輔<sup>1</sup>、佐藤 欣治<sup>1</sup>、田尻 太郎<sup>1</sup> (1. (株) 砂子組)

キーワード：リアルタイム締固め測定機、盛土の品質管理、衝撃加速度、締固め度

TS・GNSSを用いた盛土は、試験施工で決定した転圧回数を根拠に締固め管理を行うことが一般的であるが、日々変動する盛土材や天候の善し悪しに厳密に対応するものではない。一方、盛土（転圧後）の品質検証では砂置換法が現実的だが、1000 m<sup>3</sup>に1回程度の頻度で管理するためデータ数が少なく、結果を得る数日を要してしまう。そのため、ローラー後部に衝撃加速度測定用のランマーを搭載し、位置をRTK-GPSにて測位しながら衝撃加速度を自動測定するリアルタイム締固め測定機を使用することで、取得した多数のデータを短い測定時間で締固め度の確認が可能と考え、盛土の事後検証を行った。

## リアルタイム締固め測定機構による TS・GNSS 密度管理の検証

(株)砂子組 ○正員 加来 孝志(Takashi Kaku)

(株)砂子組 正員 田巻 瑠 (Ryu Tamaki) 正員 佐藤 昌志(Masashi Sato)

正員 古川 大輔(Daisuke Furukawa) 正員 佐藤 欣治(Kinji Sato)

正員 田尻 太郎(Taro Tajiri)

## 1. はじめに

TS・GNSS を用いた盛土は、試験施工で決定した締固めに必要な転圧回数を根拠として、締固め管理が行われる。同管理法は、現在では最もよく使用される方法であるが直接試験ではないため、日々変動する盛土材や天候の善し悪しに厳密に対応するものではない。一方、盛土（転圧後）の品質検証では砂置換法が現実的であるが、1000 m<sup>3</sup> に 1 回程度の頻度で管理するためデータ数が少なく、結果を得る数日を要してしまう。

そのためローラー後部に衝撃加速度測定用のランマーを車載し、位置を RTK-GPS で測位しながら衝撃加速度を自動測定するリアルタイム締固め測定機を使用して、多数のデータを取得し、短い測定時間で締固め度の確認が可能と考え、盛土の事後検証を行った。

## 2. 試験フィールドの概要

試験フィールドは、盛土材がセメント改良土、高さ 3.5 m、層数 12 層のうち、50×20=1000 m<sup>2</sup> を対象とした範囲①～⑤である。表-1 に、各層の取得データを示す。なお盛土転圧後の事後検証についての過転圧傾向はみられない。

表-1 各層の取得データ

範囲	層	経過日数	基準加速度 (G)	平均加速度 (G)	データ数
①	3	1	43	77	166
②	5	1	39	62	64
③-1	6	直後	39	43	114
③-2	6	2	39	75	86
④	8	1	39	58	111
⑤	10	2	39	49	73

## 3. 試験施工結果

当該現場では盛土材の変更があり、2 回の試験施工で転圧回数は最大 6 回。リアルタイム締固め測定機構を搭載したローラーにより、各転圧回数の平均衝撃加速度を算出し、並行して砂置換法による密度試験を偶数回転圧（0、2、4、6 回）で実施した。砂置換法による必要転圧回数は 2 回となった。

図-1 に砂置換において奇数回転圧の締固め度を偶数回の値で補完した締固め度と平均衝撃加速度の相関を示す。図中の点線は回帰直線で R<sup>2</sup> 値は 0.826 と良好であるため、当初盛土材の基準加速度は 43 G とした。同様に変更後の盛土材は、必要転圧回数 4 回、基準加速度 39 G とした。R<sup>2</sup> 値は 0.856 である。

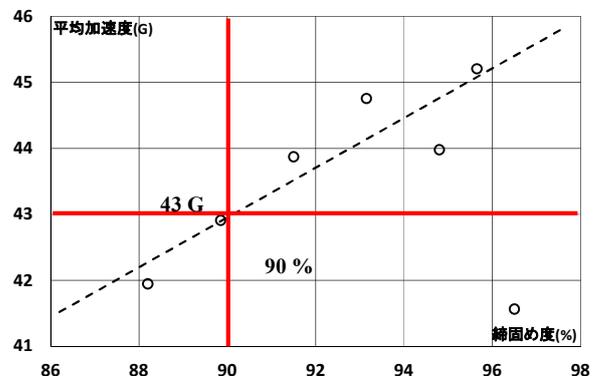


図-1 締固め度—平均加速度相関(当初盛土材)

## 4. 検証測定のデータ処理方法

盛土面積は最大で 250×83.5 m で約 20000 m<sup>2</sup> あり、検証面積は層全体の 1000/20000=5%程度となるので、今回の検証試験は明らかにサンプリング調査である。母集団の推定のため正規分布を利用した。測定値の出現頻度の確率密度分布  $p$  は、表-1 の各範囲で得られた衝撃加速度を区間幅  $L=10$  G の度数  $n$  として集計し、データ数  $N$  で割って出現頻度とした後、出現頻度を区間幅で割った値とした。代表結果を図 2 に示す。

$$p(x) = \frac{n}{NL} \quad (\text{式.1})$$

ここに、

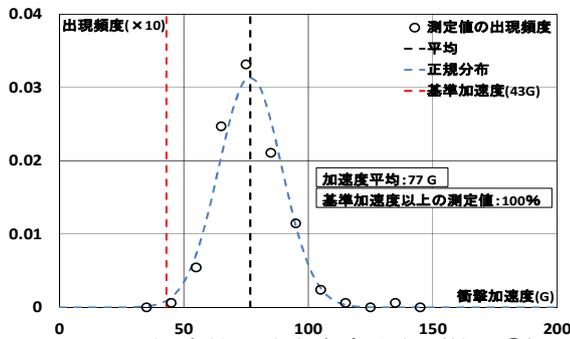
 $p$  : 測定値の出現頻度の確率密度。 $x$  : 度数を集計する区間の中央値。 $L$  : 度数集計の区間幅(0~10 G, 10~20 G, …) $n$  : 区間幅  $L$  で集計した測定値の度数。 $N$  : データ数。

標本として得られた測定値から母数を推定する場合、厳密には  $t$  分布を用いるべきであるが、図-2 に示すよ

キーワード リアルタイム締固め測定器、盛土の品質管理、衝撃加速度、締固め度

連絡先 〒079-0394 空知郡奈井江町字チャシュナイ 987 番地 4 (株)砂子組 TEL 0125-65-2326

うに、実測から求めた測定値の出現確率密度は、正規分布の理論値にかなり近い。実際各層の測定値の平均と標準偏差から理論値を計算し、実測による確率密度分布との相関をとると R2 値は非常に高いので、ここでは母数の推定に関して正規分布で代用する。また、標準偏差は、不変分散から与えたものである。



## 5. 母数の推定

不変分散から与えた標本の標準偏差を母集団の標準偏差とみなして区間推定を行う。母集団の平均の下限 = 各回 (各層) の基準加速度  $\mu$  とすると、標準正規分布における  $\mu$  の標準化偏差  $z$  は、式.2 で計算できる。

$$z = \frac{\mu - x_m}{s} \quad (\text{式.2})$$

ここに、

- $z$  : 標準正規分布での基準加速度の標準化偏差.
- $\mu$  : 基準加速度.  $x_m$  : 各層の測定値の平均.
- $s$  : 不変分散による各層の測定値の標準偏差.

標準正規分布の累積確率から母集団の平均値が基準加速度  $\mu$  以上である信頼確率  $P(\mu)$  は式.3 で推定でき、表-3 に結果を示す。

$$P(\mu) = 1 - N_s(z) \quad (\text{式.3})$$

ここに、

- $P(\mu)$  : 母集団の平均が  $\mu$  以上である信頼確率.
- $\mu$  : 基準加速度.
- $z$  : (式.2) で与えた  $\mu$  の標準化偏差.
- $N_s(z)$  :  $z$  における標準正規分布の下確率.

表-2 より、転圧後 1 日以上経過したケースでは信頼確率は 85% 以上ある。これは各層毎に、盛土面積全体 20000 m<sup>2</sup> に対して 8~9 割以上で測定値の平均が基準加速度を上回るであろうという事とほぼ同等であるため、当該現場ではどの層も基準締固め度 90% を十分にクリアしていると結論できる。

次にケース③-1 と③-2 を比較する。③-1 は転圧直後で、測定値の平均と基準加速の比が 1.1 倍と最も近い

値を示す。転圧直後は最も試験施工時に近いはずなので、これは試験施工の妥当性を示すと考えられる一方で、③-2 では、転圧から 2 日経過した状態で平均は 1.9 倍、基準加速度以上の測定値は 100% となり、セメント改良効果の進展がみられ、検証測定の実用性を示すものと考えられる。

表-2 基準加速度以上の信頼確率

範囲	経過日数	標準化偏差 $z$	信頼確率 (%)	平均/基準
①	1	-2.66	99.6	1.8
②	1	-2.39	99.2	1.6
③-1	直後	-0.57	71.5	1.1
③-2	2	-2.77	99.7	1.9
④	1	-1.67	95.3	1.5
⑤	2	-1.05	85.3	1.3

## 6. まとめ

リアルタイム締固め測定機構を用いれば TS・GNSS で管理された盛土の転圧後の品質検証を従来と比較して測定時間の短縮が可能で、データも多数取得できる。今回は事後解析であったが、測定機構のシステムに組み込めば、より土工管理に資するものと考えられる。

[参考文献]

- 1) TS・GNSS を用いた盛土の締固め管理要領，国土交通省，平成 29 年 3 月。
- 2) 道路・河川工事仕様書付表，P40-40，北海道開発局。
- 3) 衝撃加速度による盛土の品質管理方法，建設マネジメント技術，2014 年 4 月。
- 4) 盛土転圧の情報化施工に資する締め固め測定器の開発，好川他，2015 年北海道支部論文報告集第 71 号 C-12。
- 5) 情報化施工に資するリアルタイム締め固め測定法とデータの評価に関する研究，廣上他，2016 年北海道支部論文報告集第 72 号 C-01。
- 6) 衝撃的挙動測定による土質密度管理測定法の評価と課題，廣上他，2017 年北海道支部論文報告集第 73 号 C-08 1-4。
- 7) ICT 土工における過転圧防止に関する実証的考察，成田他，2019 年北海道支部論文報告集第 75 号 F-08。
- 8) 締め固め密度測定に資する重錘落下高と土のラーメ定数，西村他，2021 年北海道支部論文報告集第 77 号 F-02。
- 9) 過転圧防止工法の開発(ICT)と測定データの評価，佐藤他，2022 年北海道支部論文報告集第 78 号 F-01