

ICT土工における過転圧防止に関する実証的考察

Prebention of Overrolling Pressure in I-construction

(株)砂子組
(株)砂子組
(株)砂子組
(株)砂子組
(株)砂子組

○正 員 成田 憲昭 (Kensho Narita)
正 員 廣上 伸二 (Shinji Hirogami)
正 員 田尻 太郎 (Tarou Tajiri)
正 員 近藤 里史 (Satoshi Kondou)
非会員 山元 康弘 (Yasuhiro Yamamoto)

1. はじめに

土工盛土の品質管理においては、砂置換法や RI 法が主として用いられてきたが、近年働き方改革の一環としても注目される ICT 土工では、TS（自動追尾トータルステーション）・GNSS（衛星測位システム）による締固め管理が一般的となってきた。

表-1 に各種締固め管理の試験法を示すが、砂置換等の従来法は現状では、手動による点測定で面的管理が困難である。また砂置換・RI 法は、試料を試験場に持ち帰るのが普通で結果が出るまで数日を要する事もあり、リアルタイム性に乏しい。それらに対して TS・GNSS による管理は自動化されており、面的管理およびリアルタイム性に優れるので、少なくとも ICT 土工では TS・GNSS 管理が必須項目となっている（国交省要領¹⁾）。

しかしながら後述するように TS・GNSS 管理は、転圧回数のみに注目する方法であり、土の締固め度を直接試験するものではなく、その運用の容易さとあいまって、逆に過転圧を誘発する可能性も否定できないと思われる。

2. GNSS による土工管理の概要と問題点

ここでは GNSS による土工管理をとりあげる。図-1 に示すように GNSS 土工管理は、GPS 搭載のローラー等を用い、車載ソフトが GPS による転圧位置の自動測位、転圧回数の自動カウント、現在位置と転圧履歴のモニター表示を行うもので、リアルタイムな転圧回数の面的管理が可能であり、非常に合理的で効率的な管理システムである。必要転圧回数と過転圧回数は、砂置換などを使った試験施工で事前に求めておく¹⁾。

しかしながら図-1 のモニターをリアルタイムに観察し、また過転圧回数を事前に決定したとしても、踏み残しを防ぐためと推測できるが、どうしても走行軌跡が密になるように運用し、過転圧傾向になる恐れがあると思われる（図-2）。

また盛土の転圧は、図-3 のように標準まき出し厚で盛り土を敷き均し、その後に転圧するのが普通である（図-4）。

敷き均した時点でブル等による転圧を受ける事になるので、特に必要転圧回数が少ない場合、部分的には過転圧になっている可能性もあるが、現行の GNSS 管理では検証できない。この点は、土の締固め度の直接試験でない現行システムの不足点と考えられる。

表-1 締固め管理試験法

方法	管理方法としての妥当性		試験方法としての妥当性
	面的管理	リアルタイム性	
GN・GNSS	◎	◎	△
砂置換・RI法	×	×	◎
球体落下法	×	○	○
衝撃加速度法	×	○	◎



- ・転圧位置を自動測位
- ・転圧回数を自動カウント
- ・車載ソフトによる表示

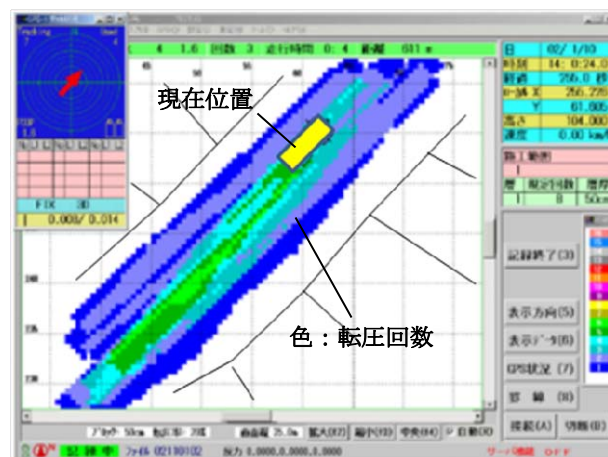
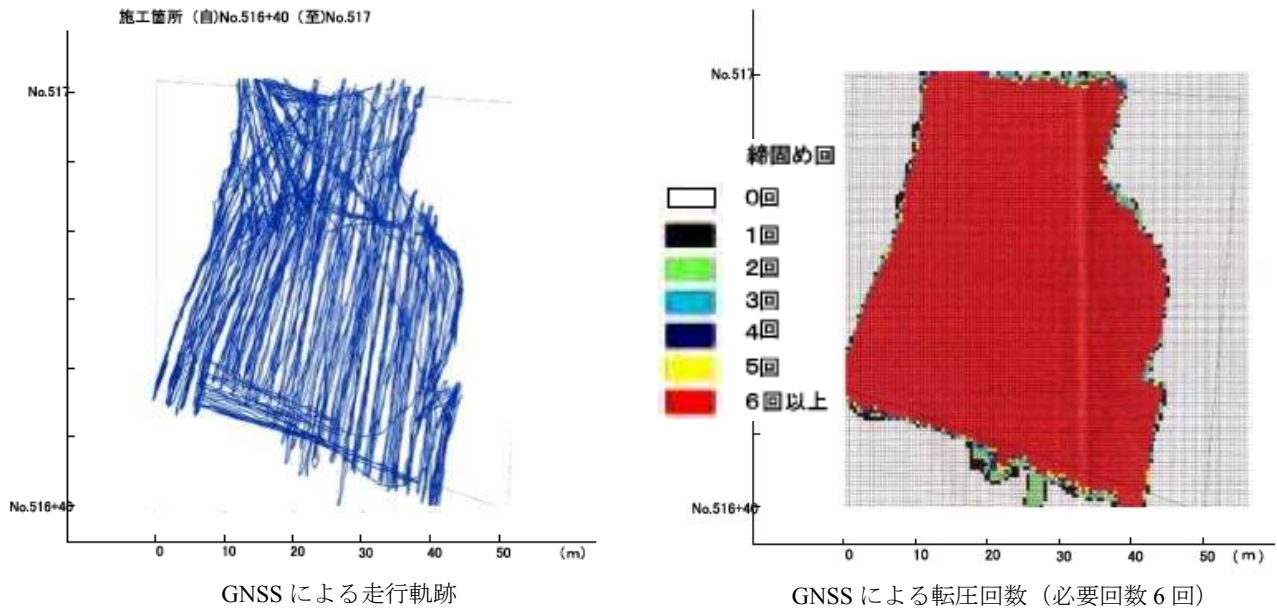


図-1 GNSS による土工管理

3. 直接試験の自動化

筆者らは、リアルタイム測定が可能であり、直接試験としてきわめて妥当との報告²⁾がある、衝撃加速度法に

図-2 走行軌跡と転圧回数分布（要領より引用¹⁾）

$$\frac{|a_{\min}|}{g} mA = 0.257 \beta^{6/5} \lambda^{2/5} \frac{|a_{\min}|^{2/3} m^{2/3} V^{6/5}}{a_{\max} - a_{\min}} A \quad (1)$$

$a_{\min}$: 測定上下動加速度の最小値
 $a_{\max}$: 測定上下動加速度の最大値
 A : 加速度より得られる運動量
 g : 重力加速度
 β : 架台に関する定数
 m : 架台質量
 V : 架台走行速度（GPS 併用）
 λ : 転圧土のラーメ定数

注目し、H26 年度よりその測定の自動化をすすめてきた。

具体的には、ローラー等に突起付き車輪を持った架台を曳行させ（図-5）、架台の上下動加速度を連続測定し衝撃加速度法を適用する。基礎となる式は(1)で、落石対策便覧のヘルツの衝撃力式を、計測システムに合わせてチューニングしたものである。測定結果から転圧土のラーメ定数 λ を、リアルタイム算出するのが目的である。



図-3 衝撃加速度法—連続測定システム



図-3 盛り土の敷き均し



図-4 転圧完了

4. GNSS 管理と自動化された直接試験の併用

図-5～9 は、自社開発の GNSS 転圧回数管理システム³⁾と、自動化された直接試験（衝撃加速度法）の測定結果である。試験施工での必要転圧回数は 2 回である。

図-5 はモニター上に示された盛土範囲全景で、図-6 は図-5A 部の拡大であり、赤いラインが走行軌跡を示す。

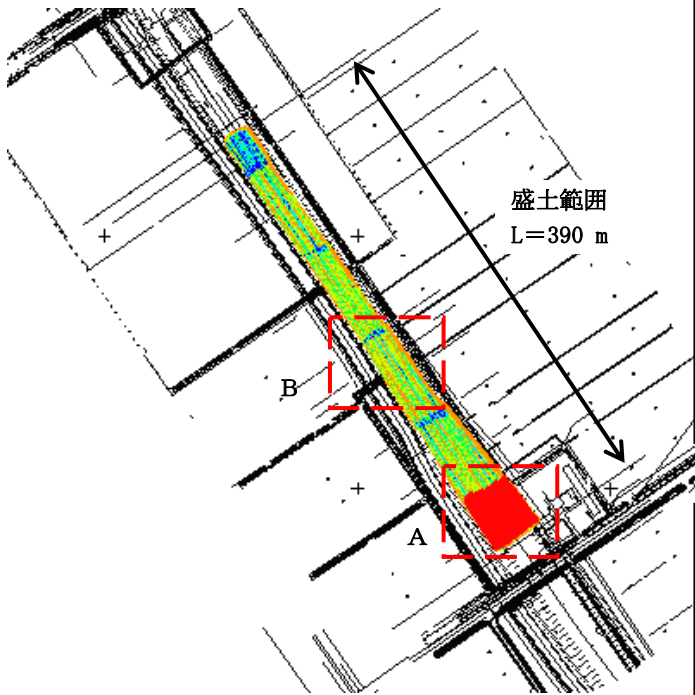


図-5 盛土範囲全景（必要回数2）

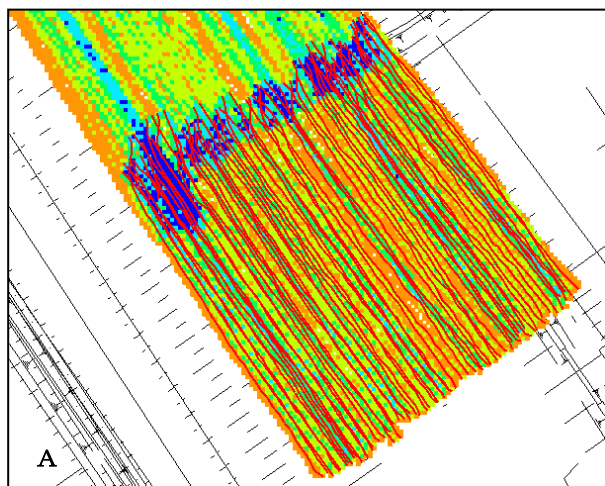


図-6 A部拡大，走行軌跡と転圧回数

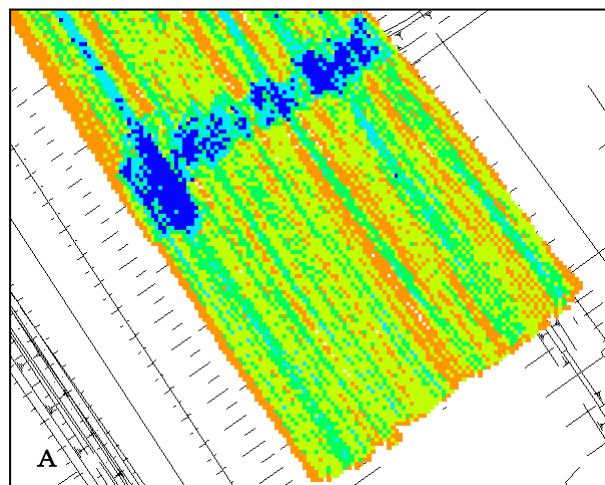


図-7 A部拡大，転圧回数分布

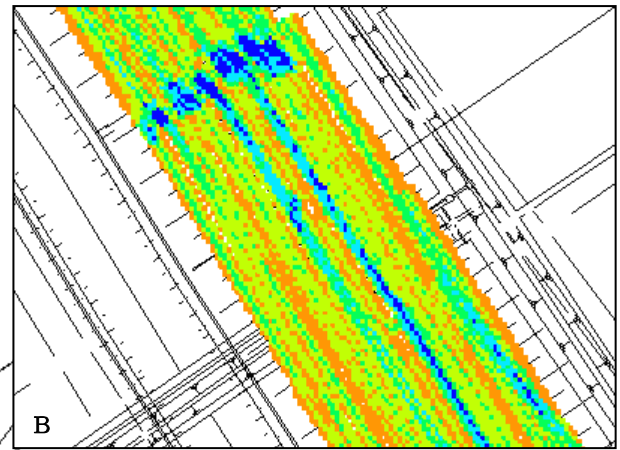


図-8 B部拡大，転圧回数分布

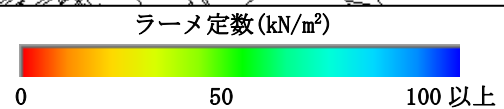
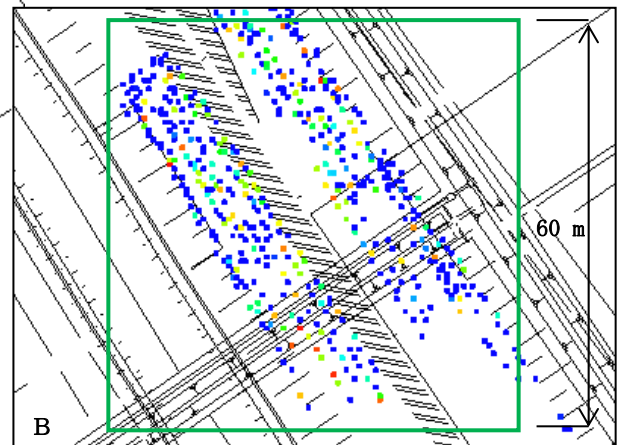


図-9 B部拡大，ラーメ定数分布

図-7 は図-6 の走行軌跡を非表示にしたもので、色の分布は転圧回数である。

図-8 は図-5B部の拡大で、図-9 は同範囲で連続測定されたラーメ定数の測定点とその値を示す。図-9 の緑枠は、まき厚を 30 cm とした場合の 1000 m³ の範囲（約 60×60 m）であり、砂置換法の標準測定頻度に比較して遥かに密に測定されているのがわかる。後述するラーメ定数の集計機能により、ラーメ定数は 100 kN/m² 以上であれば良いと判断したが、データにばらつきはあるものの、概ね妥当に転圧されたと判断できる。

図-5 のA部，B部の拡大において転圧回数が青（5回以上）の範囲は、ローラー走行の運用上生じた、前回作業範囲と現時点での作業範囲のオーバーラップ部分であり、踏み残しをなくそうとした結果と考えられる。しかしながら、5回以上の転圧範囲に注目すると、若干ラーメ定数の低下傾向がうかがえる。

図-10 は、同システム³⁾のラーメ定数集計機能である。グラフの直線は、転圧回数に応じて最小二乗法で算出した式(1)であり、実測データもあわせて表示する事により、データのばらつき程度も把握できるようにしている。転圧回数に応じた平均ラーメ定数は式(1)の傾きであり、その値を表としても出力する。

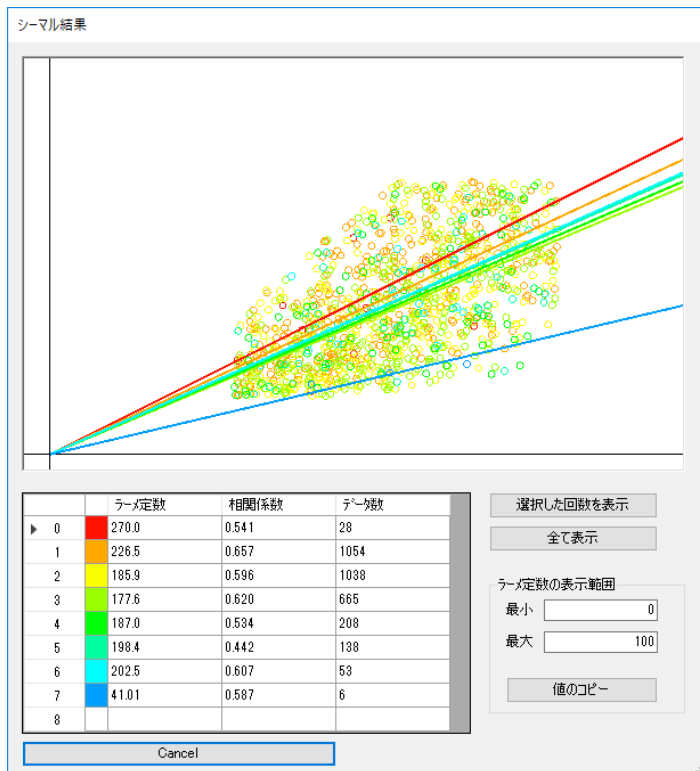


図-10 ラーメ定数集計機能

5. 過転圧傾向

図-11 は、転圧回数ごとのデータ数（箇所数）であるが、数は少ないものの最大8回踏まれた箇所もあるのがわかる。

当現場の盛土は5層であったが、図-12 は各層における転圧回数による平均ラーメ定数の変化である。図から明らかなように、ラーメ定数は、必ずしも試験施工での必要転圧回数2回でピークとなっておらず、全体としては過転圧傾向が見受けられると思われる。盛り土の敷き均しの影響、ローラー走行運用上の問題の現れとも考える事は可能である。

6. まとめ

近年一般化している TS・GNSS 土工管理は、効率的な管理システムではあるが、転圧回数のみによる管理であり、転圧土の締固め度を直接測定しない点に疑問が残る。

実際に転圧土のラーメ定数を連続測定した結果、施工手順上避けられない敷き均しの影響、ローラー走行運用上の問題などが得られた。転圧回数のみによる管理だけでなく、自動化された直接試験による連続測定も併用するのが望ましいと考えられる。

その際にも、試験施工による必要転圧回数と過転圧回数の決定は重要な指標となるが、直接試験のリアルタイムな連続測定結果から、必ずしも必要転圧回数に達しない時点で転圧を打ち切るのが妥当な事態も、あり得ると考えられる。

現在、性能照査への移行期でもある事を考慮すると、標準まき出し厚を必ず墨守する事も、一考に値すると思われる。実際、国交省要領¹⁾では、必要転圧回数、過転圧回数とともに、適切なまき出し厚を試験施工で決定

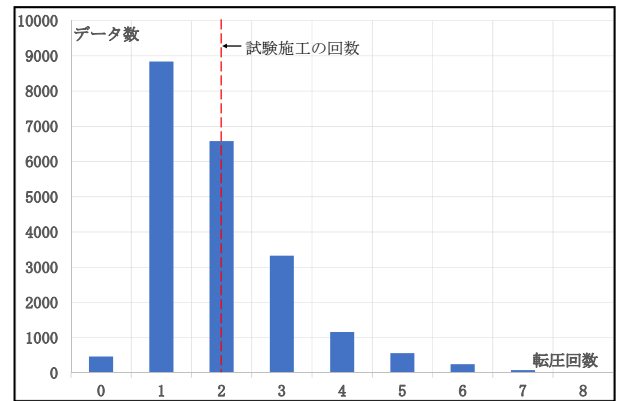


図-11 転圧回数ごとのデータ数（1～5層集計）

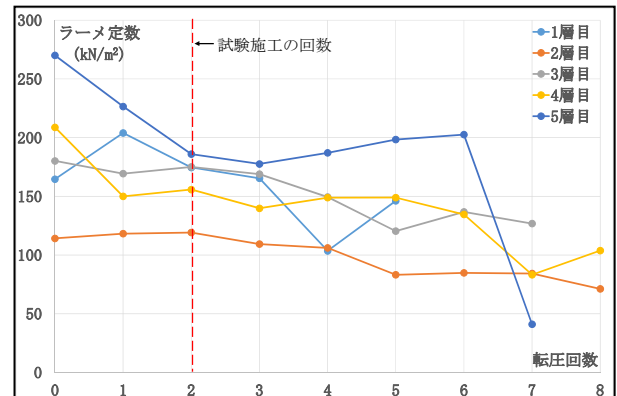


図-12 転圧回数による平均ラーメ定数

する旨が明記されている。

[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) 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。
- 3) z_Roller Ver.0.0.0, Copy Right (株)砂子組，2018年5月。