

大規模盛土の施工における盛土管理について

菅野 豊¹・森本 聡²

¹近畿地方整備局 大和川河川事務所 調査課 (〒583-0001大阪府藤井寺市川北3-8-33)

²近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 和田山監督官詰所 (〒669-5211兵庫県朝来市和田山町平野348-2)

従来の盛土品質管理は、平面的な盛土層に対して、RI計器（ラジオアイソトープを用いた土の水分・密度の測定器）などを用いて締固め密度を計測する点的な品質管理であったが、今回、和田山八鹿道路上谷トンネル工事においては、TS（自動追尾トータルステーション）・GPS（衛星測位システム）を用いた盛土情報化施工技術とあわせて、盛土面全体の地盤剛性を面的かつリアルタイムに判定できる振動ローラ加速度応答システム（ α システムNETISNoKT-050054-V）を採用し、盛土品質ならびに作業効率の向上を図った。本論文は、本工事の大規模盛土における情報化施工など活用した盛土管理技術およびその経過について報告する。

キーワード 大規模盛土、情報化施工、振動ローラ加速度応答システム、盛土管理

1. 工事内容

(1) 工事概要

和田山八鹿道路上谷トンネル工事は、兵庫県北部で建設を進める北近畿豊岡自動車道和田山八鹿道路L=13.7kmのうち、ほぼ中間に位置する延長2,007mの工事で、主な工種は、トンネルNATM L=1,473mおよび盛土工である。盛土工の概要は、上谷トンネル和田山側坑口（発進側）付近に盛土量約52万 m^3 、最大高さ約45mを盛立てるもので、道路盛土の高さとしては、国内でも有数の規模を誇る。（図-1参照）

(2) 盛土材

盛土材は、本工事のトンネルずり、隣接する7工区から受け入れるトンネルずりおよび土砂であった。盛土材の内訳は、花崗岩を主とするC～D等級のトンネルずり約70%、真砂土約30%の割合で、材料特性に応じたゾーニングを行いながら盛立てを進めた。



図-1 上谷トンネル工事盛土平面図

2. 盛土管理フロー

本工事の情報化施工技術を採用した盛土管理フローは図-2のとおりである。



図-2 盛土管理フロー

3. 採用技術

本工事において、大規模盛土の品質向上および作業の効率化を図るために採用した主要技術を紹介する。

(1) 情報化施工 「 α システム」

a) 概要

α システムは、T S・GPSを用いた盛土の締固め情報化施工の付加技術である。

従来の盛土情報化施工は、盛土エリア内において締固め機械の走行軌跡データをリアルタイム測位によって計測することで、締固め回数を算出し、規定回数の締固め作業が実施されたか否かを車載モニターにより判定するものであるが、 α システムを付加することにより、従来の転圧回数による工法規定型情報化施工に加えて、盛土面の「地盤剛性」を同時かつ連続的に測位できる品質管理手法である。

α システムの原理は、締固め転圧の進行による振動ローラの加速度波形の乱れを「乱れ率」と定義し、この乱れ率を力学指標である地盤変形係数E（以下、地盤剛性）へ換算するものである¹⁾。この原理を提案した藤山・建山は、この乱れ率と地盤剛性の変化に着目し、乱れ率が大きいほど地盤が締まっていることを理論的に裏付け、土工の品質管理へ活用するシステムを構築した。

(図-3参照)

施工実績は、空港の埋立てやロックフィルダムなどで採用されており、近畿地方整備局管内においては、3例目となる。

b) α システムの施工フロー

準備工としては、現場事務所にGPS固定局を、振動ローラにGPS移動局を設置し、施工範囲のエリア情報(施工範囲・標高)を設定する。振動ローラの起振部には、転圧時のローラ加速度波形を連続測定するための計器を取り付け、システム環境を整える。

盛土材料の地盤剛性は、事前の転圧試験により、所定の締固め密度に至るまでの転圧回数と地盤剛性の関係を確認のうえ決定する。

締固め作業は、転圧作業の進行と同時に、地盤剛性の状況をリアルタイムに映す車載モニターで色目変化を確認し、盛立面全体の地盤剛性を判定する。(図-4参照)

c) 効果

- ・ 従来型の点的な管理ではなく面的な品質管理可能。
- ・ 転圧回数+地盤剛性をリアルタイムに確認でき、転圧不足の防止および作業の効率化が図れる。
- ・ 広大ヤードでも低剛性箇所を瞬時に発見するため不良箇所への対処が迅速かつ確実に行える。
- ・ 盛土品質を視覚判定できるため、オペレータや技術者の熟練度に依存しない。

(2) 大型締固め機械による厚層盛土

a) 概要

本工事は、大規模盛土の効率的な盛立を進めるため、300kN級の大型振動ローラを用い、一層仕上り厚60cmの厚層盛土を行った。盛土材の対象は岩塊とし、範囲は、交通荷重の影響の少ない路床天端-5mまでに限定した。

b) 管理方法

厚層盛土は、下層(30~60cm)締固め密度の把握が重要であり、転圧試験により確認する。転圧試験は、2孔式RIを用い層内密度分布を観察し、下層平均密度が管理基準を満足する上層平均密度を管理値とする。(図-5参照)

c) 効果

- ・ 従来工法比約2倍の急速施工可能で作業効率向上。
- ・ 重機の稼働量減少によるCO₂削減が図れる。

(3) 自動走査式RI「SRID」

自動走査式RIは、走査(回転)機能を持ち、従来に比べ、約10倍の計測領域をもつ。浮上式で、粗粒土にも対応し、岩塊盛土管理に適している。従来との比較を表-1に示す。

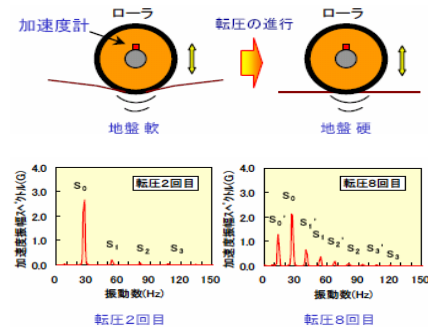


図-3 α システムの原理¹⁾

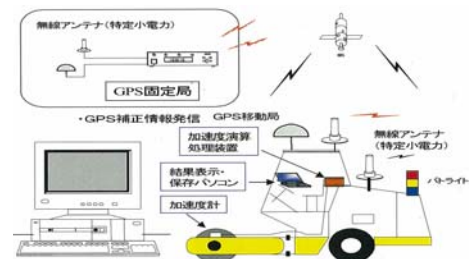


図-4 α システムの概要

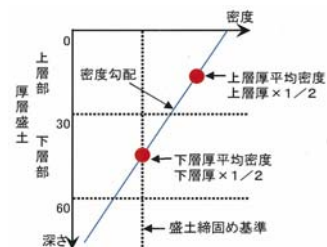


図-5 厚層盛土管理の概念図

表-1 従来式RIと自動走査式RIの比較

項目	従来式RI	自動走査式RI
対象粒径	径10cm以下	上限なし
測定領域径(深さ)	20cm(20cm)	80cm(30cm)
不陸地の使用	×	○
測定時間	1分	2分

4. 本工事における盛土品質管理

本章では、本工事の情報化施工技術を採用した盛土品質管理方法および地盤剛性管理の適用状況について、3種類の盛土材の転圧試験結果を示し報告する。

(1) 概要

転圧試験の目的は、転圧の進行に伴う密度、沈下量の推移を観察し、所定の盛土品質を満足する品質管理方法（転圧回数・まきだし厚・締固め度・地盤剛性）を決定するものである。なお、本工事の転圧試験の特徴は、加速度応答システムの活用の際に於ける盛土材料に応じた地盤剛性の推移および判定方法の設定である。

図-6は、本工事で実施した3種類の盛土材料(中硬岩・軟岩・土砂)の試験結果である。各材料の上段グラフは、転圧回数別の締固め度、沈下量および地盤剛性の推移を表し、下段の色目分布は、振動ローラに搭載した地盤剛性を色目判定するモニター画面である。

(2) 転圧試験結果

a) 中硬岩

中硬岩の結果は、転圧回数と比例して密度、沈下量、地盤剛性とも増加し、8回転圧以降から収束に転じた。地盤剛性の伸びも顕著で、8回転圧時点で+23MN/m²の上昇を示した。以上の結果から、本材の品質管理は、転圧回数8回、地盤剛性については、密度管理規定を満足する60MN/m²以上とした。

b) 軟岩

軟岩の結果は、中硬岩と同様に、転圧回数と比例して密度、沈下量、地盤剛性とも増加し、8回転圧以降から収束に転じた。地盤剛性の伸びも密度勾配とほぼ比例し、10回転圧時点で+20MN/m²の上昇を示した。以上の結果から、本材の品質管理は、転圧回数8回、地盤剛性については、密度管理規定を満足する40MN/m²以上とした。

c) 土砂

土砂の結果は、転圧回数と比例することなく、密度、沈下量、地盤剛性とも、2回転圧以降ほぼ平行に推移した。2回転圧時点で、密度管理規定を満足しているものの、6回転圧以降からやや減少に転じるオーバーコンパクションの傾向を示し、地盤剛性の増加を確認できなかった。以上の結果から、本材の品質管理は、転圧回数6回とし、地盤剛性については適用外とした。

(3) 地盤剛性管理の適用性

中硬岩・軟岩の地盤剛性は、密度との相関性を確認でき品質管理に採用できたが、土砂については、地盤剛性と密度との相関性を確認できなかった。この土砂の特性は、含水比41%、細粒分率46%、コーン指数730kN/m²のセメント安定処理を施した粘性土である。他方、含水比22%、細粒分率13%、コーン指数1630kN/m²の砂質土に

ついても、粘性土と同様の傾向を示した。振動ローラ加速度応答は、地盤の剛性に対応するもので、飽和度が高く、転圧の進行に伴い地盤剛性が増加しない粘性土等の材料については、加速度応答による密度評価が困難であることは既に指摘されており¹⁾、今回の土砂は、このような材料に該当したものと考えられる。

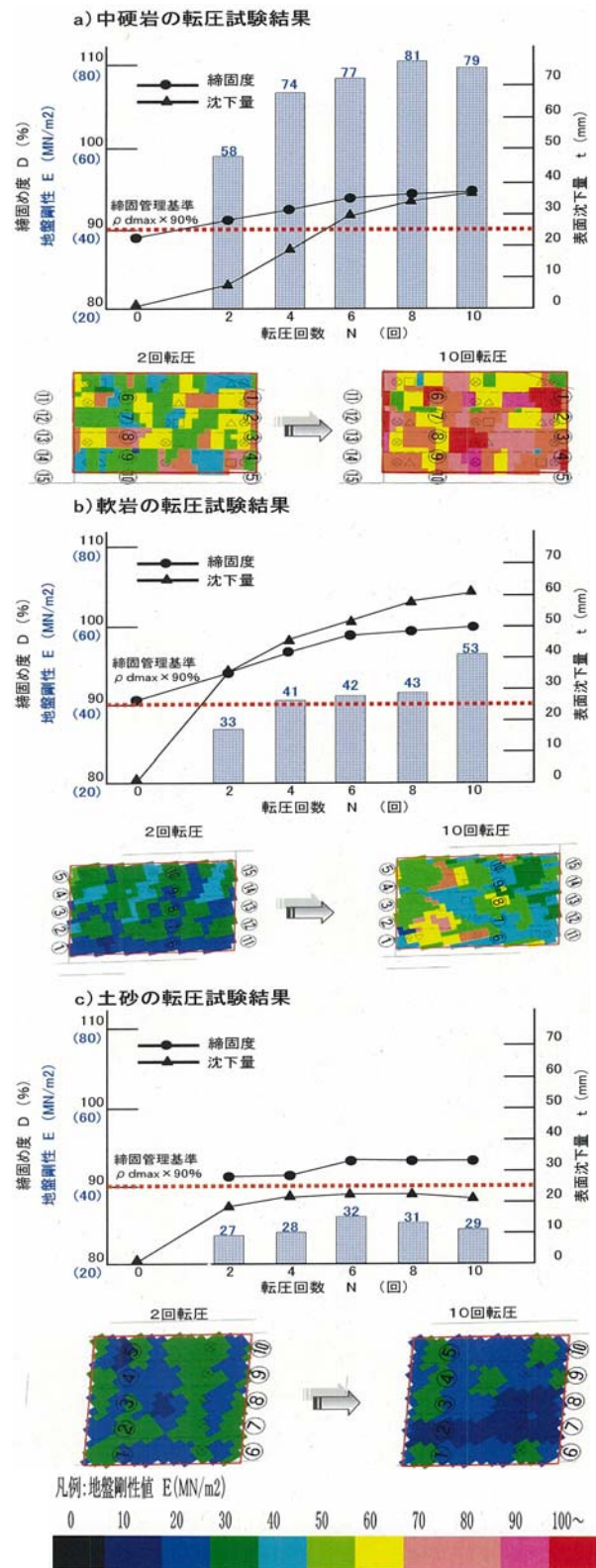


図-6 各材料の転圧試験結果

以上の結果を踏まえた本工事の盛土品質管理フローは、図-7のとおりである。

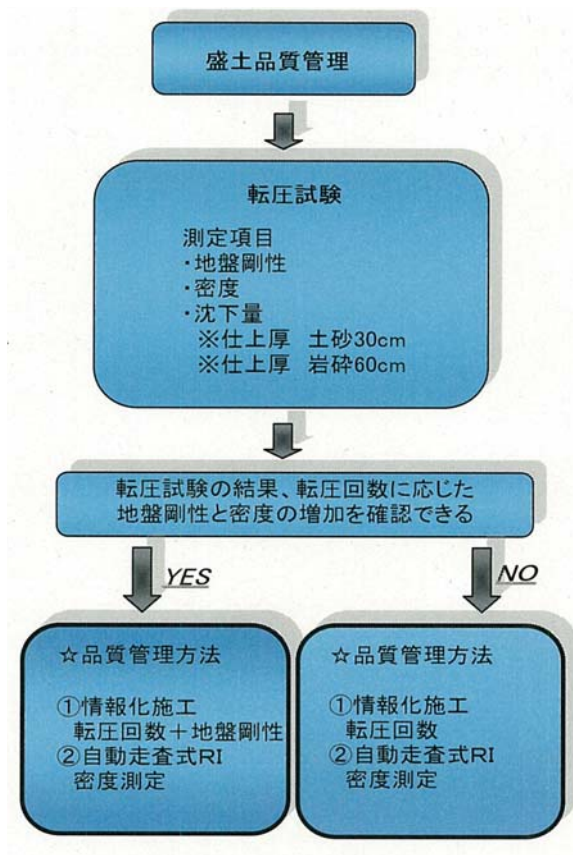


図-7 本工事の情報化施工技術を採用した盛土品質管理フロー

(4) RI測定による密度管理結果

本工事の盛土材比率70%を占める中硬岩・軟岩の締固め度は、中硬岩97.9%（ \geq 厚層盛土による特別管理規定94.3%）、軟岩99.8%（ \geq 厚層盛土による特別管理規定98.5%）であった。また、盛土材比率30%の土砂の締固め度は、97.2%（ \geq 管理規定90.0%）であり、情報化施工の採用により、全ての盛土材において高水準の締固め管理を達成することができた。

5. まとめ

本工事では、従来の点的な密度管理に加えて、情報化施工技術の採用による盛土面全体の品質管理を実施した結果、盛土層および盛土全体がRI測定結果と同水準の締固め度に仕上がし、密実な大規模盛土構造物を完成させることができた。

日常管理においては、情報化施工を補完するRI測定の結果から、全数データにおいて所定の締固め度を十分確保されており、再転圧を必要としなかった。結果、効率的かつ高精度な盛立を進めることができた。

加速度応答システムによる地盤剛性管理については、土砂材料の地盤剛性と密度評価の適用性を確認できなかったものの、岩塊盛土については有効な管理手法であり、実施工においても地盤剛性と密度の相関性を確認できた。

今後、サンプリングデータの蓄積を重ね、地盤剛性管理の有効性を立証できれば、転圧回数管理に代わる新たな管理手法となるものと考えられる。この場合、所定の地盤剛性を判定した時点で転圧作業を終えることが可能となり、作業の省力化、さらに重機作業の稼働量減少によるCO₂削減が図れるため、従来の情報化施工技術と比較し、より効率的な管理方法となるものと期待する。

6. 今後の課題

直轄工事における「TS・GPSを用いた盛土の締固め情報化施工」の検査データは、締固め回数分布図、走行軌跡図および盛土管理図を管理帳票として提出し、走行軌跡図については、別途、電子媒体の提出を義務づけている。しかしながら、今回の大規模盛土においては、莫大なデータ量となり全てのデータを保管することが実質的に不可能であった。結果、RI測定による補完管理を必要とした。

今後の改善策としては、日々収集される膨大な品質記録データの帳票を、低容量かつ合理的に整理できる安価なシステム開発が求められる。

7. おわりに

今回、情報化施工技術と併用したRI測定の補完管理は、サンプリングデータの収集および密実な大規模盛土構造物の盛立に有効な手段であったが、反面、情報化施工技術の発展途上を意味するものである。

情報化施工標準化に向けての発注者としての役割は、サンプリングデータの研究、検査書類の合理化策の検討、モデル工事の発注ならびに官民連携などが挙げられ、今後とも積極的に推進する所存である。

謝辞：本論文は、筆者が豊岡河川国道事務所在籍中の経験を基に研究成果としてとりまとめたものである。論文作成に際しては、本工事の施工者 前田建設工業(株)をはじめとする多くの方々にご協力頂いた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 2004 近畿地方整備局管内技術研究発表会 コスト構造改革・技術開発部門：振動ローラ加速度応答を利用した地盤剛性評価装置の開発 藤山哲雄 古屋弘