

Ⅲ-B 333

加速度計を利用した締固め管理システムにおける解析手法の比較

(株)大林組

○古屋 弘

大林・飛島・宮本特別共同企業体 藤原 宗一 市川 賀寿男

同上

尾下 真規 佐藤 祐明

1. はじめに

土工事における盛土の施工管理は、工事の品質、工期、および経済性が確保できるように計画・管理を行うものであり、①工程管理、②品質管理、③出来型管理、④現場計測による盛土の沈下・安定管理、の4点が主な管理項目となる。ここで、大土工における②の品質管理については、経済性と管理の容易さを考慮し、盛土材料別に試験施工を行い、試験施工の結果に基づいて工法規定方式で管理する方式が一般に採用されることが多い。この管理手法においては、定められた施工機械によって所定の転圧回数を確実にを行い、締固め作業のやり残し部分がないような施工を行うことが基本となるため、近年この工法規定管理にGPSおよびトータルステーションを用いて転圧機械の位置または軌跡を計測し、データ処理・記録を行い、転圧回数管理を客観的に行うことのできるシステムが開発されてきている¹⁾。

今回筆者らは、より高度な品質管理手法を確立すべく、GPSを用いた締固め管理システムに加速度センサーを付加し、データ解析により締固め状態をリアルタイムに把握することを試みた²⁾。本報告は、このシステムの適用実験と管理手法に関する考察の概要を示すものである。

2. システム構成および特徴

本システムは、兵庫県企業庁姫路利水事務所発注の神谷ダム（ロックフィルダム）建設工事にて導入を試みた。システムの構成は図-1に示す通りであり、以下のような特徴を有する。

- ①GPSを用いたシステムにより、オペレーターが施工位置・転圧回数を確認でき、効率のよい施工が行える。
- ②所定の試験施工によって計測された現場密度と加速度解析結果をもとに管理基準値を設定し、実施工時の解析結果と比較することにより盛土材の締固め状態（密度）が判定できる。
- ③施工管理はGPSによる位置情報を基にした任意のメッシュを基準として行うため、締固め度の不十分な箇所がメッシュ毎に判定でき、不良部分の除去などの対策を講じることで盛土全体を所定の基準で施工できる。
- ④理論的に全域での密度測定が可能となるため、工法規定による品質管理に比べて、より高度な品質管理が実現できる。
- ⑤リアルタイム解析結果から品質管理を行うことができ、総合的に転圧時間の短縮が可能となり、転圧の効率化・省力化に有効である。

3. 加速度計を利用した締固め管理手法の検討

振動ローラーの加速度の変化を測定し、土の締固め度を判定する研究や手法はこれまでにも各方面で実施されており、多くは締固め中の振動加速度を測定し、調和振動成分を解析する方法を用いている。このとき、振動ローラーを起震源として加速度センサで計測された加速度波形は、一般には図-2(a)に示すような調和振動成分で構成される。すなわち調和解析を行うと振動ローラー自体の基本（1次）振動と転圧する地盤の弾性挙動の関数である2次以上の振動成分が卓越して表れてくる³⁾。しかし、この状態は、振動ローラーの振動輪が地面から跳ね

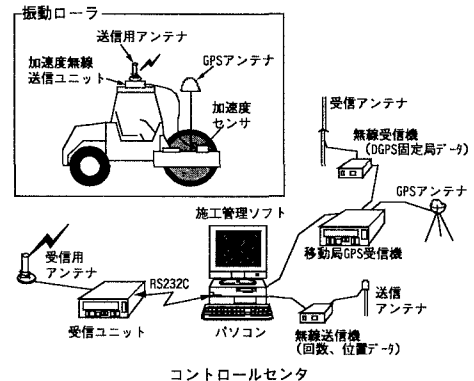


図-1 システム概要図

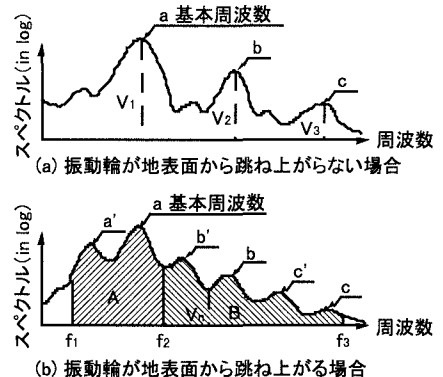


図-2 周波数と振動波形

キーワード：技術開発 施工管理 締固め GPS 加速度 振動

連絡先：東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティB棟 (株)大林組土木技術本部 TEL:03-5769-1322 FAX:03-5769-1978

上がらない状態では成り立つが、今回適用を試みたロックフィルダムの現場においては、材料および種々の要因で振動輪が転圧中に跳ね上がる場合が発生した。この場合は図-2(b)に示すように基本振動数の1/2の周波数、およびその整数倍の成分も成長してくることが解っている⁴⁾。

そこで今回、加速度解析において以下に示す3種類の手法を比較し、現場適用上の問題点の検討を行った。

(a)加速度計の振動波形のスペクトル解析を行い、図-2(a)に示すように基本振動スペクトル a （第1次調和振動成分）と2次以上の成分 b, c のパワースペクトルの比 $C = (b + c)/a$ を締固め度を表す指標とする手法⁴⁾ (PSDピーク法)。

(b)基本振動数およびその1/2成分も考慮し、図-2(b)に示すように f_1 から f_2 、および f_2 から f_3 で構成される帯域別のパワースペクトルの値を積分し、その相乗平均の比 $X = B/A$ を指標とする手法（積分値比較法）。

(c)上記(a),(b)の手法のように調和解析を行わず、単位時間 t における周波数 f_2 のハイパスフィルタを介した加速度の積分値 A' とフィルタを介さず加速度を積分した値 B' の積分値比率 $X' = B'/A'$ を指標とする手法（フィルタ透過法）。

4. 締固め管理の試験施工および解析結果

実験は、兵庫県企業庁姫路利水事務所発注の神谷ダム（ロックフィルダム）建設工事現場にて、解析値と現場密度との比較検討を行う目的で、堤体上流側内部ロックゾーンを対象に実施した。図-3に試験施工の概要図を示す。なお、強制震動源（転圧機）は15t級振動ローラーを用いた。また、各転圧毎の現場密度は転圧完了時に実施した現場密度試験結果を基に各回転圧終了毎に沈下量を計測することにより推定した。システムの詳細に関しては既報を参照されたい²⁾。

図-4には試験盛立におけるBレーンの沈下量から推定した転圧回数毎の現場密度と各手法による解析結果を示す。なお、今回の実験で計測された加速度波形において、起震源である振動ローラー自体の基本振動は27.3Hzであった。また、今回の解析では各測点の沈下データ（現場密度）のばらつきは比較的小さかったため、解析には転圧回数毎の各レーン（実転圧領域3m×24m）の平均値を用いている。

実験の計測結果から、現場の乾燥密度は転圧回数に比例して増大してゆき、管理基準値である1.986g/cm³を転圧回数4回で超えることが解る。また、各解析手法による解析値もほぼ右上りの性状を示し、転圧回数が増えるにつれ増加傾向を示しており、加速度データは十分現場密度を推定し得る手法であることが解った。特に積分値比較法、およびフィルタ透過法は現場密度と良い相関を示し、さらに解析値の比率の変化も明確である。これは前述のように、ロック材料を転圧する際に振動ローラーが局所的に跳ね上がる状態が発生し、これをPSD比較法では的確に捉えることができない部分が発生するが、後2者の手法では解析周波数を帯域として捉えるためこの影響を受けにくいものと考えられる。

5. まとめ

今回の試験において、加速度データを各種手法で解析し比較検討を行ったが、その結果は締固め評価の指標となり得ることが確認できた。今後はGPSの位置情報とこの解析手法を組み合わせ、リアルタイムな品質管理が可能となる施工管理システムの整備をさらに推し進め、締固め管理の省力化と自動化へ取り組んでいきたい。

5. まとめ

今回の試験において、加速度データを各種手法で解析し比較検討を行ったが、その結果は締固め評価の指標となり得ることが確認できた。今後はGPSの位置情報とこの解析手法を組み合わせ、リアルタイムな品質管理が可能となる施工管理システムの整備をさらに推し進め、締固め管理の省力化と自動化へ取り組んでいきたい。

参考文献：1) 古屋 他：DGPSを用いた盛土の締固め管理システムの開発、第52回土木学会年次学術講演会、1998
2) 古屋 他：加速度計とGPSを利用した締固め管理システムの開発、第34回地盤工学研究発表会、1999
3) 粗粒材料の現場締固め：土質工学会、1990
4) 土木研究所資料：振動ローラーによる盛土の締固め管理に関する調査、1985

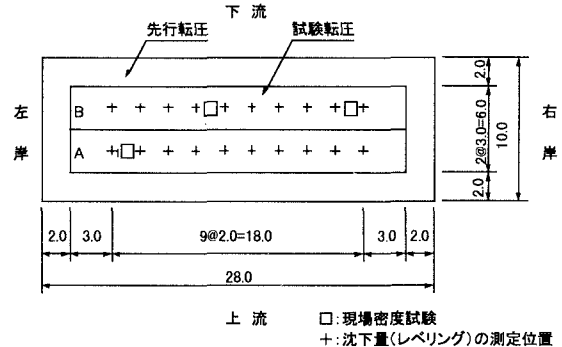


図-3 試験盛立概要図

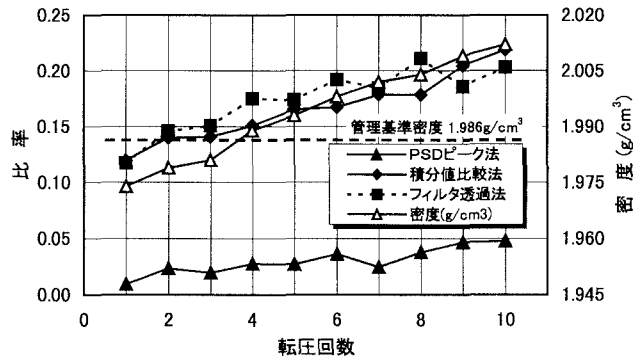


図-4 加速度解析と現場密度との比較