

ローラ加速度応答法を利用したフィルダムロックの現場締固め管理

- (その1)現場転圧面の密度分布の評価 -

前田建設工業(株) 正会員 高橋 浩 藤山哲雄 石黒 健  
 東京電力(株) 正会員 内田善久 鶴田 滋  
 東電設計(株) 正会員 中野 靖  
 京都大学大学院 正会員 建山和由

1.はじめに フィルダムのロックゾーンの締固め管理では、一般に水置換法によって現場密度の確認が行われるが、径 2m × 深さ 1 ~ 1.2m の置換孔を掘削するため多大な労力と時間を要する。このため実施回数が限られ、堤体積 200 ~ 300 万 m<sup>3</sup> もの構造物に対して品質管理データ数はわずかに 20 ~ 30 点程度しか集積されず、実際には構築された堤体のマスとしての密度を合理的に把握できていないのが現状である。そこで本研究では、現場転圧面の密度を多点的に評価できる手法として、振動ローラの加速度応答を利用した締固め管理手法（以下、ローラ加速度応答法と称する）の適用を試みる。粗粒材料に対しては、筆者の一部が既に転圧試験による検討によって本手法の適用性を確認しているが<sup>1)</sup>、本報告は実堤体における広範囲な施工面においてその適用性を検証するとともに、従来まで不明であった現場転圧面の密度の平均値およびそのバラツキを評価することを試みる。

2. 振動ローラ加速度の処理方法

図-1 に、あるロック材の転圧試験により得られた振動ローラ加速度波形の一例を示す。図より、転圧 1 回目のとき、ローラ加速度は振動ローラの基本振動に相当する正弦波に近い波形を示し、その FFT 解析結果は、振動ローラの振動数である 30Hz に対するスペクトル  $S_0$  が主に卓越している。しかし、転圧 9 回目の波形をみると、締固まった地盤からの反発を受けて振動輪が地表面から跳ね上がる現象が顕著になるため、加速度波形が正弦波から大きく乱れた波形に変化し、またその時の FFT 解析結果は、高調波スペクトルといわれる基本振動数の整数倍に対するスペクトル  $S_1, S_2, S_3, S_4, \dots$ 、さらには 1/2 分数調波といわれる基本振動数の 1/2 振動数の整数倍に対するスペクトル  $S_1', S_2', S_3', S_4', \dots$  が卓越してくることが認められる。そこで、基本スペクトルに対するこれら高調波・1/2 分数調波スペクトルの出現量の比率をとり、式(1)により締固めに伴う加速度波形の変化を定量化する。これを、「乱れ率」と名付ける<sup>1)</sup>。すなわち、乱れ率が大きいほど、地盤が締固まっていることを表す。この乱れ率を加速度計測で得られる特性値とし、以後の評価を進める。

3. 試験方法および結果

今回計測の対象としたのは、現在建設中の中央遮水壁型ロックフィルダムの下流アウトターシェル部である。盛立材料は CH 級の石灰岩 (Gb:2.69,Q:0.28%) で比較的インタクテナ岩質である。粒

キーワード：振動ローラ / 加速度 / フィルダム / ロック材 / 締固め管理

連絡先：東京都練馬区旭町 1-39-16 前田建設工業(株)技術研究所 TEL. 03-3977-2241 FAX.03-3977-2251

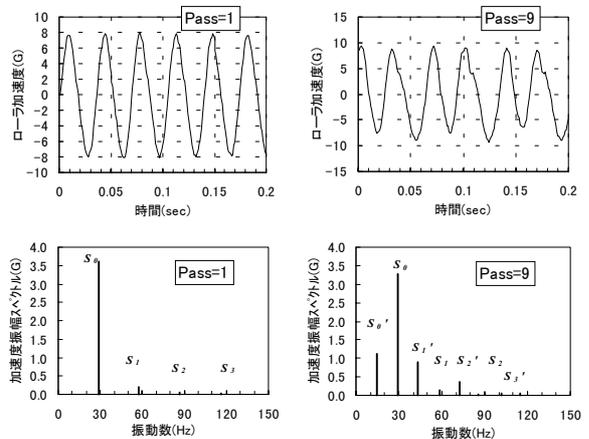


図-1 加速度波形の計測例と FFT 解析結果

$$\begin{aligned} \text{乱れ率} &= \frac{\text{高調波・1/2分数調波スペクトルの総和}}{\text{基本振動数} + 1/2 \text{基本振動数のスペクトル}} \\ &= \frac{F/(m_1 + m_2)g}{S_0 + S_0'} \quad \text{式(1)} \end{aligned}$$

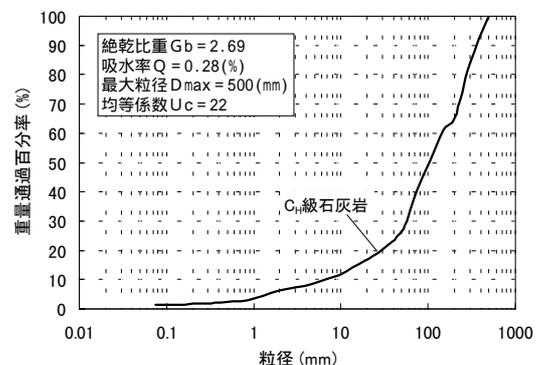


図-2 試験材料の粒度分布

度特性を図-2 に示す。転圧試験は、通常の施工仕様（撤出し厚さ：1.5m、敷均し：32t 級ブルドーザ、転圧：18t 級振動ローラにて4回転圧）で構築されたシェル部の盛立面を利用し、乱れ率とRI 乾燥密度の関係を把握するための転圧試験（以下、キャリブレーション試験と称する）と、実施工面の振動ローラ加速度および RI 密度を多点的に取得する計測を行った。キャリブレーション試験は、低～高密度の広い密度レンジにおいて乱れ率～乾燥密度関係を把握するため、既施工面を1リフト厚に相当する1.5m までバックホウにて掘削・埋戻し、人為的に低密度にしたゾーンを造成した。キャリブレーション試験の計測配置図を図-3 に示す。図に示すように、RI の他、従来の現場試験法である水置換法、および1層の深さ方向密度分布を測定する目的で2孔式RI で密度を確認した。なお、RI は測定容積を大きく取れるタイプのSRID<sup>2)</sup>を使用している。また、多点計測エリアは計測面積を約1,000m<sup>2</sup> 確保し、エリア内に4m ピッチの格子状に測点を設けてRI 密度を計測後、振動ローラを全試験面にわたって1往復走行させてローラ加速度を計測した。図-4 にキャリブレーション試験によって求められた乱れ率とRI 乾燥密度の関係を示す。図をみるとややバラツキが大きいのが、乱れ率とRI 乾燥密度のあいだには正の相関が認められる。これを累乗関数で近似し、本材料の乱れ率から乾燥密度を求めるための推定式とした。この推定式を用いて、多点計測エリアにて計測された93点の乱れ率から転圧面の乾燥密度を多点的に推定し、4m ピッチで実測したRI による密度分布を重ねると、図-5 のようなヒストグラムが得られる。図を見ると、推定密度はRI による実測密度の平均およびバラツキの大きさとも良く対応しており、特に平均密度の差はわずかに0.03(t/m<sup>3</sup>)にすぎないことが注目される。これにより、フィルダム実施における広範な転圧面においても、振動ローラ加速度応答からの推定によってRI 法とほぼ同等の精度で盛立面の密度の平均値およびその分布を評価できることがわかる。また、図には本ダム盛立開始からの現時点までにおけるCH 級石灰岩に対する現場密度管理試験（水置換法）結果を併記している。従来の水置換法による管理試験ではデータ数が少ないために（この時点ではわずかに2点）、堤体のマスとしての平均密度、および管理基準密度からの余裕度を合理的に判断することはできないが、多点データを集積することによって初めてそれが可能になることを、このヒストグラムは明瞭に示している。

4. おわりに 乱れ率～乾燥密度キャリブレーションカーブを用いて振動ローラ加速度応答から地盤の締固め密度を多点的に推定することにより、RI 法とほぼ同等の精度で転圧地盤の密度のバラツキおよび平均値を評価できる事が確認できた。今後、岩種による乱れ率～乾燥密度関係の違いを検討していく予定である。

《参考文献》1) 藤山, 石黒：振動ローラの加速度応答を利用した粗粒材料の現場締固め管理について, 土と基礎No.507, pp.17～20, 2000. 2) 豊田光雄：フィルダム盛立材料の現場密度測定に関する研究, ダム技術No.125, pp.23～34, 1997.

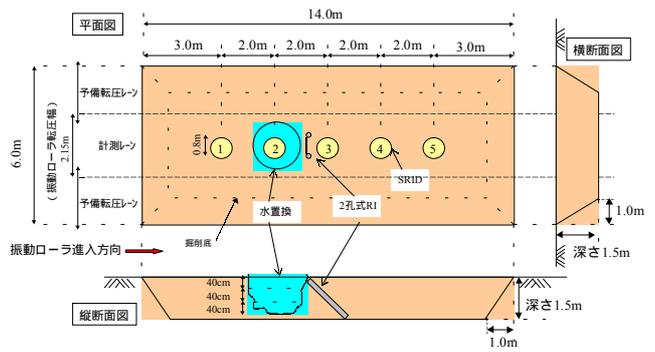


図-3 キャリブレーション試験計測ヤード図

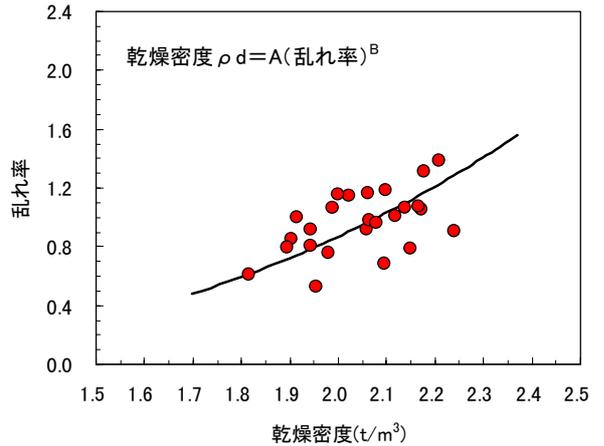


図-4 乱れ率と乾燥密度の関係

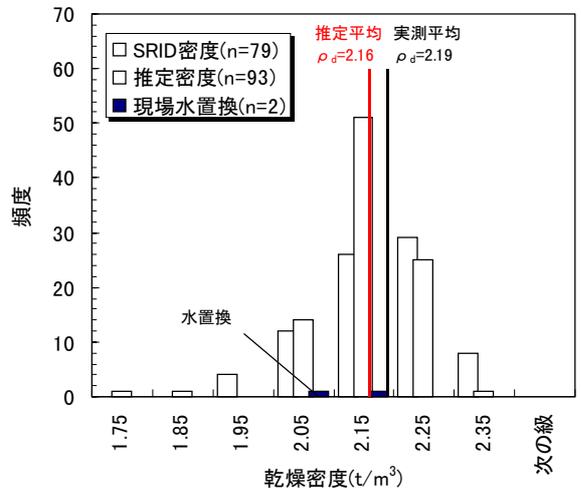


図-5 実施面における 乱れ率からの推定密度と実測密度の比較