8. 粗粒材を対象とした振動ローラ加速度法の課題と 提案

大成建設㈱:○西澤 修一

1. はじめに

近年、加速度計を重機の振動転圧輪付近に取り付け、 地盤剛性をリアルタイムに把握する振動ローラ加速度 法が、GPS 転圧回数管理システムと併用する形で広く 適用されている。今回、ロックフィルダム工事にて振 動ローラ加速度法を用いて適用性の試験を行った結果、 粗粒材を対象とした場合、一般に地盤剛性の判定法と して評価を得ている点に関しては、主に材料の締固め 特性の影響で基本的な課題があることがわかった。

しかし、同時に振動ローラ加速度法(以下、加速度法と称す)は、材料に対する締固め荷重の適正度が現場で簡易に判定できることがわかった。そこで加速度法を水置換試験法と併用して、締固め品質管理の高度化を図ることを提案する。

2. 現場試験の方法

2-1 振動ローラ加速度法の試験方針

試験を行うに当たり、3種類の盛土材の締固め品質は、水置換試験と表面沈下量測量で把握し、この水置換データを基準として、加速度計データとの比較検証を行った。加速度計は重機の振動転圧輪の回転軸付近に上下振動用と水平振動用の2個を取り付けて振動波形を取得しスペクトル分析して、上下加速度からは乱れ率を、水平加速度からは基本振動数の振幅値(f0)をそれぞれ求めた。

乱れ率は、締固めによって地盤が硬くなり、地表面で振動輪が跳ねて地盤に衝突することにより発生する基本振動数の1/2、1/4などの分数調波スペクトルに起因するもので、地盤剛性の指標となる。また水平振幅(f0)は、締固め機械で転圧するとき、振動輪の沈下によって転圧輪が走行時に地盤から受ける走行抵抗*1)により発生すると考えられ、弊社が独自に沈下量や沈下の収束を推定する指標としてシステム開発し、使用している。

締固め機械の走行速度は、3種類の盛土材ロック I, II, IIIに対してすべて2.5km/h 前後とし、転圧回数は過転圧を避けるため4回で終了する。

2-2 加速度データの取得方法

本システムは加速度データを1秒間で256個取得するが、スペクトル分析で精度よい振幅値を求めるため4秒間のデータ数が必要である。そこで1秒ごとに最新加速度データと4秒前の古いデータとを絶えず交換しながら、分析結果を1秒単位で出力する。

加速度の取得位置は、GPS を重機に搭載して1秒単位で重機の走行軌跡データを把握する。

2-3 試験概要と使用材料

現場試験は、加速度法と水置換試験法を併用する方法、および加速度法のみを実施する方法とを選択して行った。ロック I, II, IIIの撒出し厚は105cm で、30tf 級大型振動ローラを使用し、水置換試験法は表面沈下測量と併せて合計5ヵ所で行った。1ヵ所当たりの点数は3点である。

その他は加速度法のみで実施した。試験フィールドごとに距離約 20mの試験用走行レーンを白線で設定し、加速度データはこのレーン上で転圧回数別に記録した。加速度法は35ヵ所で行い、合計35種類の加速度データを取得した。

3. 品質管理試験と加速度法の併用試験の結果

3-1 試験結果

加速度法と水置換試験法の併用試験結果のうち、紙面の関係で3例のみを表-1で示す。

3-2 合成比重と沈下量及び空気間隙比と礫分の関係

材料に応じた沈下状態を調べるため、合成比重と沈 下量の相関性および空気間隙比と礫分の相関性を求め

表-1 水置換、レベル測量および加速度法の結果一覧

ゾーン	加速度指標		水置換試験						水準測量
種別	乱れ率	水平振幅	絶乾密度	吸水率	空気間隙比	礫分	砂分	均等係数	沈下量
ロック I	0. 638	6388	2. 855	0.7	0. 26	94. 4	5	14.8	-16. 5
	0. 562	5130	2. 823	0.6	0.28	96	3. 7	12.9	-23.3
	0. 59	4354	2. 795	0.7	0. 23	92. 5	6.6	16.6	-31.3
ロック Ⅱ	0. 752	5704	2. 669	1.9	0. 26	89. 4	8.5	34. 4	-16
	0.822	6349	2. 688	1.8	0. 23	87. 5	10.5	38. 4	-30.8
	0. 678	6515	2. 702	1.6	0. 25	88. 1	10.4	38. 4	-41.5
ロック	0. 623	5018	2. 667	0.9	0. 23	85. 5	12. 35	28. 1	-13. 5
	0. 687	4740	2. 658	1.1	0. 17	87. 7	10.3	76	-12.8
1111	0. 723	4474	2. 655	1	0. 24	84. 3	12. 7	41	-17. 3

た結果、ロック I にのみ図-1、図-2で示すように高い相関性が認められた。ロック I は比重が大きいほど沈下量が小さいことから、締固め荷重に対して比重が大きいほど締固め効果がすぐに限界になりやすいと考えられる。また礫分の割合が高いほど間隙比が大きい傾向を示し、間隙比が大きいままに締固め効果が限界になりやすいと考えられる。

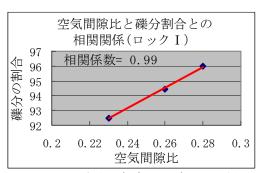


図-1 礫分の割合と間隙比の関係

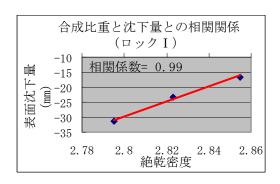


図-2 合成比重と締固め効果の関係

3-3 合成比重と水平加速度との相関性

締固めに伴う走行抵抗を材料別に調べるため、合成 比重と水平振幅(f0)との相関性を求めた結果、材料によ り大きな違いが見られた。ロック I は図−3 で示すよ うに比重が小さいほど水平振幅(f0) (=走行抵抗) は小 さく、ロック II、IIIは反対に図−4、図−5 で示すよう に、比重が大きいほど走行抵抗が小さい傾向を示す。

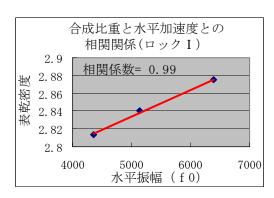


図-3 比重と走行抵抗の関係:ロック I

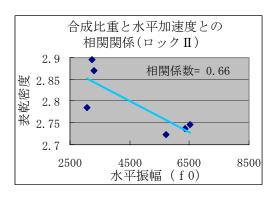


図-4 比重と走行抵抗の関係:ロックⅡ

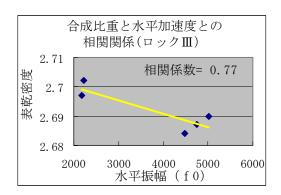


図-5 比重と走行抵抗の関係:ロックⅢ

3-4 合成比重と曲率係数との相関性

曲率係数は均等係数とともに粒度分布曲線の変化状態を示す指標である。特に均等係数が似通っている場合、曲率係数が大きいほど $D_{60} \sim D_{10}$ 間の粒度分布が粗礫側に偏っていることを示しており、小粒子が多く破砕されていると推定できる *2 。そこで比重と曲率係数との相関性を調べた結果、ロック I、IIIは相関性が見られなかったが、ロック IIは図-6 で示すように高い相関性があり、比重の小さい粒子構造が多い材料ほど、粒子破砕が多く生じた結果と推測される。

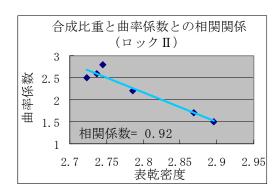


図-6 比重と粒度分布の関係:ロックⅡ

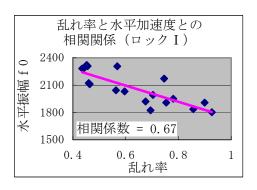
4. 加速度法のみの試験結果

4-1 乱れ率と水平加速度の相関性

乱れ率と水平振幅(f0)は、2個の加速度センサーで個別に取得し解析を行う。そこで加速度センサーの検知性能を調べるため、材料別に転圧回数2~4回のすべてのデータを抽出し、乱れ率と水平振幅(f0)の相互の相関性を調べた。

その結果、ロック I が 0.7、ロック II が 0.8、ロック III が 0.6 の相関係数があり、個々に取得した乱れ率と 水平振幅(f0)のすべての検知データは、信頼性のあるデ

ータであると確信できた(図-7参照)。



図−7 ロックΙの上下・水平加速度

4-2 締固め地盤特性と乱れ率の相関性

乱れ率と水平振幅(f0)の変化傾向は、図-8 ~図-13 で示すとおり様々な形態を示し、乱れ率と空気間隙 比・締固め密度との相関性は見られない。

4-3 加速度データの変化傾向

4-3-1 変化タイプの分類

35 種類の加速度データを用いて、転圧回数に伴う乱れ率と水平振幅(f0)の変化傾向について、それぞれ転圧回数4回の値から2回の値を差し引き、その増・減傾向に基づいて加速度データを下記の4タイプに分類した。

A タイプ: 乱れ率は上がり,水平振幅(f0)も上がる。 B タイプ: 乱れ率は上がり,水平振幅(f0)は下がる。 C タイプ: 乱れ率は下がり,水平振幅(f0)は上がる。 D タイプ: 乱れ率は下がり,水平振幅(f0)も下がる。

なお水置換試験の結果から、ロック I, II, IIIの空気 間隙比はいずれも4回転圧で規定値をすべて超えてお り、十分な締固め効果が得られている。

4-3-2 加速度軌跡データと変化タイプの発生要因

上記 A~Dで示すように、転圧に伴う加速度波形の変化が4タイプに異なって発生した要因について、品質管理データ、沈下測量データ、加速度データおよび加速度軌跡データに基づいて総合的に検討し、以下のような知見を得た。

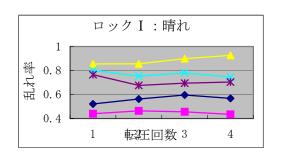


図-8 ロック I の乱れ率

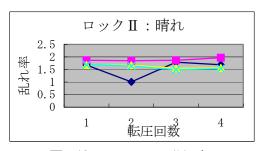


図-10 ロックⅡの乱れ率

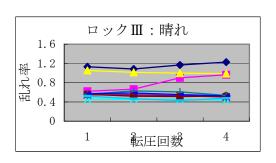


図-12 ロックⅢの乱れ率

(1) A タイプ

転圧に伴って乱れ率と水平振幅(f0)が共に増大しており、振動転圧輪が地表面で上下・水平方向で跳ねていることが原因と思われる。特に水平振幅(f0)が増大する要因は、粗礫分が偏って多い粒度分布の場合、転圧面の平坦性が確保される前に締固め効果がすぐに限界となって、走行抵抗を受け続けるためと思われる。 A タイプは全体の 34%と最も多い。ロック I の半数データがこれに入っており、ロック I が代表的な材料である。

(2) B タイプ

転圧に伴って乱れ率が上昇し、一方で水平振幅(f0) が低下する。特に水平振幅(f0)が減少する要因は、細粒分や砂分が適度に混じった粒度分布の場合、砂分が粗礫の間にかみ合うことによって締固め効果が高められ、転圧面が次第に平坦になって走行抵抗が収束したと考

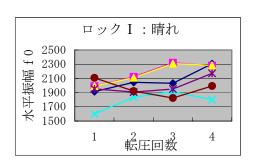


図-9 ロック I の水平振幅(f0)

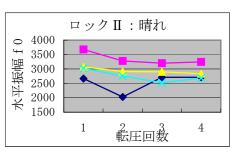


図-11 ロックⅡの水平振幅(f0)

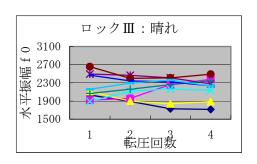


図-13 ロックⅢの乱れ率

えられる。Bタイプは全体の17%にすぎない。

(3) C タイプ

転圧に伴い乱れ率は下降傾向を示し、また水平振幅 (f0)が上昇傾向を示すのは、転圧面の上層部の地盤剛性が高まりにくいことに加え、走行抵抗が収束しにくい結果と思われる。ロック Ⅱ の半数がこれに入っており、ロック Ⅲ が C の代表的な材料である。 C タイプは全体の 31%と多い。

特に乱れ率が高まらない原因は、粒径が小さいか比重が小さい粒子が破砕しやすい場合、地盤剛性は高まりにくく、その結果、乱れ率も高まらないと考えられる。また粒子破砕と関連して水平振幅(f0)が増大する原因は、破砕の進行によって沈下が収束しにくいと推測される。

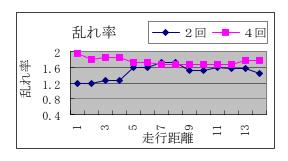


図-14 A タイプの乱れ率

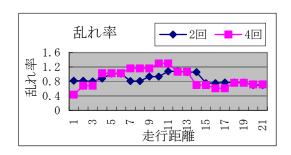


図-16 B タイプの乱れ率

ロックIIの特徴として、図-6で示すように比重が 小さいほど曲率係数が大きい現象は、比重が小さいも のほど粒度分布が粗礫分の多いほうに偏っていること を示す。これは小・中粒径の粒子が破砕されやすい特 性をもつことを裏付けていると推測される。

今回の試験とは別に、2003 年 7 月にロック II を用いた試験を敷均し厚 1.5mで行っており、このときは 2 孔式 RI 計器を No.1~No.3 の 3 ヶ所に設置し、締固め層内を上・下層に分けて密度計測を行った。その結果、層内の平均締固め密度は 3 ヶ所ともに大きな差は無かったが、図一18 で示すように No.1, No.2 の沈下量が8cm に対し、No.3 は倍の 16cm あり、また No.3 の上層部の密度は 3 者で最も大きく、また下層部の密度は反対に最も小さかった。

このように No.3 の沈下量が大きい原因は、上・下層の密度差が他より大きいことを考慮すると、上層部において粒子破砕が生じたことによると推測される。そして No.3 の上層部の密度が他より高かった原因は破砕された細粒分が礫間に入り込んだことによると思われる**3。 反対に No.3 の下層部の密度が他よりも低かった原因は、上部層における粒子破砕の影響により下層部への締固めエネルギーの伝達量が減少したことによると思われる**4。

上記2003年7月のロックⅡの試験結果からも、今回

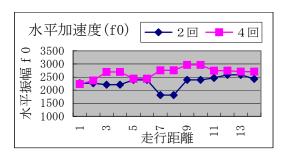


図-15 A タイプの水平振幅(f0)

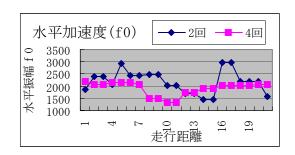


図-17 Bタイプの水平振幅(f0)

の結果が裏付けられたと考える。

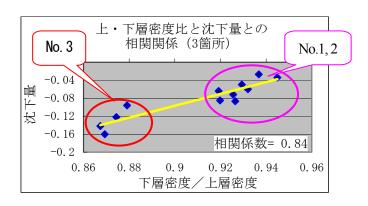


図-18 沈下量と層内密度比の関係

(4) Dタイプ

転圧に伴い乱れ率が下降傾向を示すとともに水平振幅(f0)も同様に下降傾向を示すが、締固めに伴い沈下傾向も収束を見せる。C タイプと同様に粒子破砕が発生しやすい材料であるが、水平振幅(f0)が低下傾向を示すのは、締固め効果が生じていると考えられる。その原因は、粒度分布において砂分や細粒分の割合が C タイプよりも多く含まれることにより、粒子破砕をある程度防ぐとともに、砂分が粗礫の間にかみ合うことにより締固め効果が高められたと考える**5。D タイプは全体の 18%と少ない。

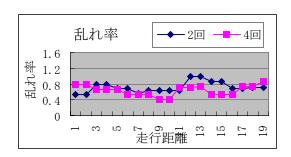


図-19 Cタイプの乱れ率

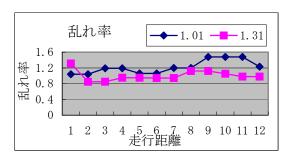


図-21 Dタイプの乱れ率

5. 締固め度評価指標としての乱れ率の課題

ロック I・II・IIIの3材料を使用したフィールド試験の結果、乱れ率が転圧に伴って上昇傾向を示したデータ数は全体の半数に過ぎず、残り半数は下降傾向を示すか、または変化傾向はほとんど見られなかった。乱れ率の半数が転圧に伴って上昇傾向を示さなかったことは、粗粒材を対象とした場合、乱れ率と空気間隙比・締固め密度との相関性は低く、乱れ率で締固め度を評価する方法に課題があることを示した。

粗粒材に対する乱れ率の課題としては、①粒子破砕の影響の有無、②盛土材に対する締固め荷重の適正度が主な要因と考えられる**6。

粒子破砕は構成する粒子群の接点部の圧砕や、粒子 全体が破壊分離するなどして初期の粒度分布が変化す る現象であるが、その詳細に関してはほとんどわかっ ていないのが現状である。しかし、振動ローラ加速度 法の実用化においては、上記の課題解決が不可欠であ ろう。

6. まとめ

振動ローラ加速度法を用いた今回の試験結果から、 実工事において締固め荷重の適正度合いを適宜に管理 することの重要性を再認識した。締固め効果を挙げる 上で、一般にせん断強度は空気間隙比の減少に伴って

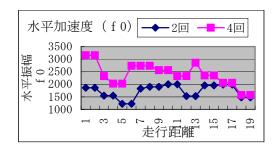


図-20 C タイプの水平振幅(f0)

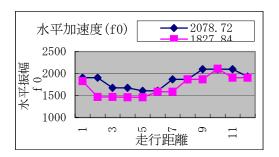


図-22 Dタイプの水平振幅(f0)

増加するとの考え方が支配的であり、せん断強度の低下そのものへの関心は低い。しかし、締固めに伴う粒子破砕の発生は、地盤変形係数やせん断強度の低下を招き、内部摩擦角が小さくなるなど、施工する上で好ましくない影響がある**7。

そこで、締固め品質管理に関する新たな方法として、 今回の試験で行ったように水置換試験を行う際に振動 ローラ加速度法を併用する現場試験方法を提案する。 水置換試験法で得られた転圧後の品質管理データと、 振動ローラ加速度法で得られた転圧過程の加速度軌跡 データを併用することにより、転圧過程での判定が重 要な粒子破砕の有無や締固め荷重の適正度など、品質 管理データを裏付ける資料が簡易な方法で得られるで あろう。これにより、盛土の品質をさらに高める必要 があると考える。

参考文献

- 1) 転圧ローラ工学、テラメカニックス研究会、pp104~108
- 2) 粗粒材料の現場締固め、俎土質工学会、pp73
- 粗粒材料の現場締固めの評価に関するシンポジウム 論文集、 (社)土質工学会、pp110
- 4) 粗粒材料の現場締固め、社上質工学会、pp70
- 5) 粗粒材料の現場締固めの評価に関するシンポジウム 論文集 (社土質工学会、pp. 107~pp. 112
- 6) 粗粒材料の変形と強度、社上質工学会、pp176
- 7) 粗粒材料の現場締固め、社)土質工学会、pp10