

斜面崩壊に伴う土砂移動を想定した室内振動実験

-高感度地震観測網における大規模土砂移動時の地盤振動特性の再現-

(株) エイト日本技術開発

国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター

国土交通省国土技術政策総合研究所

立命館大学

○竹田海渡・谷田佑太・海原荘一・福島康宏

木下篤彦・柴田俊・山田拓・小竹利明

金澤瑛・中谷洋明

藤本将光・里深好文

1. はじめに

高感度地震観測網による大規模土砂移動の発生検知は、新たな災害監視手法として期待されている。また、過去の大規模土砂移動時に取得した高感度地震観測網の振動データの解析結果に基づく土砂移動と振動特性との関係についても多くの知見が得られている¹⁾⁻³⁾が、大規模な土砂移動現象は発生頻度が低く、少ない観測事例でしか確認できておらず、それが実験でも再現できるかどうかについては十分検討されていないため、室内振動実験を実施した。

本研究の実験目的は、過去の大規模土砂移動時に取得した高感度地震観測網の振動データの解析(以下、「観測データに基づく既存知見」と表記する)で得られた下記の3つの知見を室内実験で再現することである。

①

土砂移動プロセスと振幅増大タイミングの関係：振幅の増大のタイミングは河床への衝突時または対岸への衝突時であること¹⁾

②

波形の形状と土砂移動形態の関係：崩土が対岸に衝突しない場合より衝突する場合の方が波形の立ち上がり勾配は急になること¹⁾

③

低周波成分の卓越：深層崩壊に伴う地盤振動の卓越周波数はほとんどが1～4Hzに含まれていること¹⁾なお、2011年赤谷地区の深層崩壊発生時の巨大ブロックの移動・衝突により0.01～0.1Hzの超低周波成分の波形も確認されている³⁾。

2. 実験方法

2.1 実験装置と使用機器

水路流下時の土砂移動の振動を地盤に直接伝達するため、図-1に示すようにコンクリートブロックを階段状に積み、コンクリートブロックと水路底面の隙間はモルタルで充填し、土台を作成した。また、対岸見立てた壁をコンクリートブロックで作成した。振動センサーは図-2に示す配置で据置型のサーボ型加速度計(白山工業JU410, 3成分計測)を4台使用した。

2.2 実験ケース

実験ケースは、表-1に示す対岸の壁の有無(2ケース)×土砂量変化(4ケース)の合計8ケースとした。土砂は大礫(直径5～10cm程度)と中礫(直径1cm程

度)を混ぜ合わせ、水を加えたものを使用した。深層崩壊の巨大ブロックが破碎せずに衝突することを再現するため、鉄球を加えたケースを追加した。鉄球は直径10cm, 重量5kg/個のものを3個使用した。

3. 実験結果

3.1 土砂移動プロセスと振幅増大タイミングの関係

壁あり・壁なしのいずれの実験条件においても、図-3に示すように斜路移動時の振幅より、斜路より下流移動時または壁衝突時の振幅が大きくなっており、観測データに基づく既存知見と同様、振幅の増大のタイミングは斜路より下流移動時(河床への衝突時)または壁衝突時(対岸への衝突時)であることが確認できた。また、3成分の中では壁あり・壁なしともに鉛直成分の振幅が最も大きいという結果となった。

3.2 波形の形状と土砂移動形態の関係

土砂移動形態と地盤振動の振幅波形の違いを表現する指標として、波形の立ち上がり勾配の緩急を確認した。具体的には既存知見¹⁾と同様に、勾配は土砂移動開始時の振幅と最大振幅の時刻差により定義した。実験結果としては、観測データに基づく既存知見と同様、図-4に示すように明瞭ではないもののセンサーの位置に関係なく、壁ありのケースが壁なしのケースと比較して勾配が急になっていた。

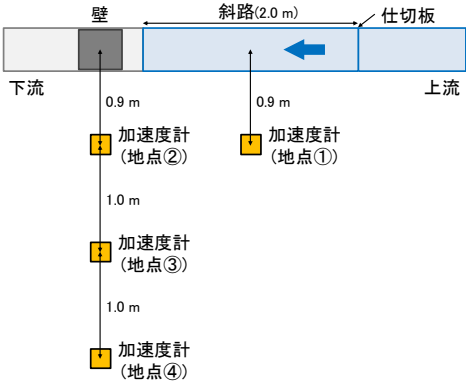


図-2 振動センサーの配置

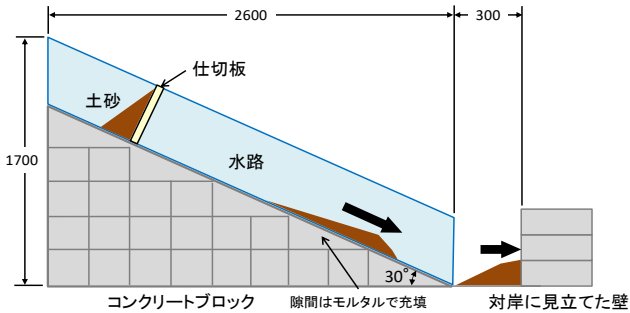


図-1 実験装置の模式図 (単位: mm)

表-1 実験ケース

実験番号	実験条件	使用材料(kg)				総重量(kg)
		大礫 (直径5～10cm程)	中礫 (直径1cm程)	鉄球 (直径10cm・重量5kg/個)	水	
1	壁なし	10	10	—	20	40
2		20	20	—	20	60
3		30	30	—	20	80
4		30	30	15	20	95
5	壁あり	10	10	—	20	40
6		20	20	—	20	60
7		30	30	—	20	80
8		30	30	15	20	95

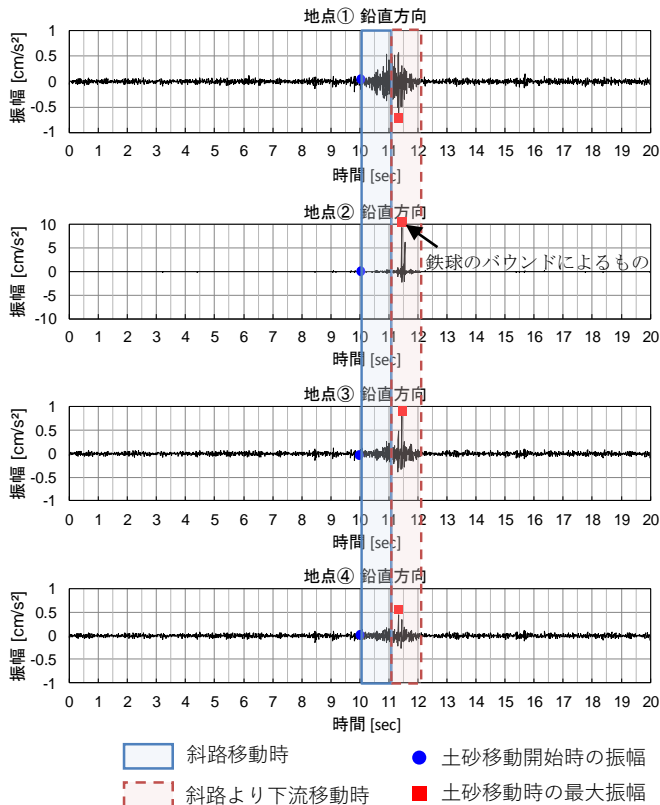


図-3 時刻歴波形 (実験 4-1)
※地点①～④の位置は図-2 に示す

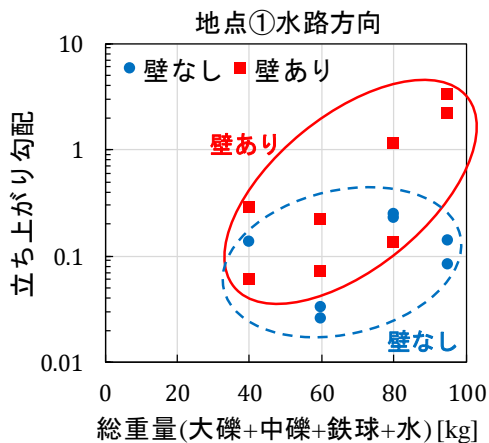


図-4 立ち上がり勾配と総重量の関係

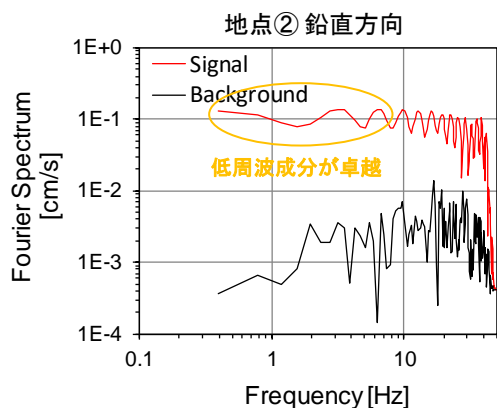


図-5 土砂移動時全体のフーリエ振幅スペクトル
(実験 8-2, 鉄球あり)

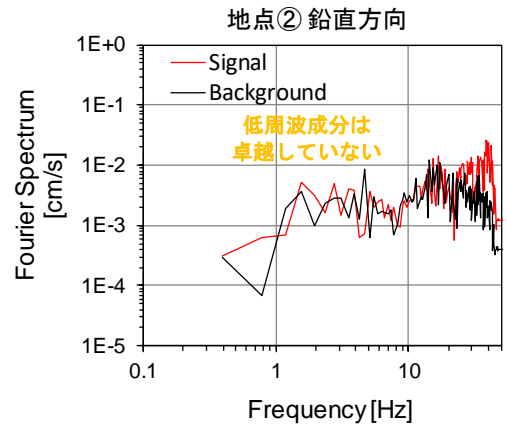


図-6 土砂移動時全体のフーリエ振幅スペクトル
(実験 7-2, 鉄球なし)

3.3 低周波成分の卓越

図-5 に示す鉄球を加えたケースで低周波成分が卓越していることが確認できた。これは鉄球のバウンドによる波形の立ち上がりが影響していると考えられる。鉄球を加えた他の実験ケースでも上記の低周波成分が確認されたが、図-6 に示す鉄球を加えていないケースでは低周波成分は卓越していなかった。つまり、観測データに基づく既存知見と同様、深層崩壊の移動土砂のうちで巨大ブロック (=鉄球) が低周波を発生させている可能性があると推察される。なお、実験施設の床面の固有周期については、図-5, 6 のバックグラウンドノイズに示しているように、2~40Hz の範囲では比較的フラットな特性であるが、その中でやや高くなっているところ約 20Hz となっていた。

4. 結論

本実験の目的であった「土砂移動プロセスと振幅増大タイミングの関係」、「波形の形状と土砂移動形態の関係」、「低周波成分の卓越」については、観測データに基づく既存知見と水路実験で同じ傾向を再現することができた。さらに、「低周波成分の卓越」については、深層崩壊の巨大ブロックが低周波を発生させている可能性があることを推察できた。これは、数少ない事例で調査されている大規模土砂移動時の土砂移動形態と地盤振動特性の関係を立証する 1 つの材料であると考えられる。今後は 2011 年紀伊半島大水害における奈良県五條市大塔町の赤谷地区の深層崩壊時に発生した 0.01~0.1Hz の超低周波の変位波形と斜面移動方向が一致する事象等³⁾についても再現を検討していきたい。

参考文献

- 1) 木下篤彦, 海原荘一, 山路広明, 廣瀬昌宏, 只熊典子, 浅原裕: 崩壊時の地盤振動特性に着目した大規模土砂移動の検知に関する研究, 河川技術論文集, 第 23 巻, p. 441-446, 2017
- 2) 海原荘一, 浅原裕, 木下篤彦, 田中健貴: 高感度地震観測網による土砂移動発生箇所近傍の地盤振動特性, 第 9 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, p. 197-200, 2018
- 3) 高原晃宙, 木下篤彦, 水野秀明, 長谷川真英, 梅田ハルミ, 海原荘一, 浅原裕: 振動センサデータによる大規模土砂移動現象発生タイミング及び移動プロセスの解明について, 河川技術論文集, 第 22 巻, p. 43-48, 2016