

大規模斜面崩壊時の地盤振動特性に関する室内実験による検討

和歌山県土砂災害啓発センター

○宮崎徳生・筒井和男・坂口隆紀

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（現所属：長野県姫川砂防事務所） 柴田俊

株式会社エイト日本技術開発

海原荘一・谷田佑太

国土交通省国土技術政策総合研究所

木下篤彦・中谷洋明

1. はじめに

防災科研の Hi-net や国土交通省の高感度の地震計による観測網を用いた大規模土砂移動の発生検知は、新しい災害監視手法として重要なものである。大規模土砂移動現象が発生する振動特性については、既往研究より知見が蓄積されつつ¹⁾あるが、発生頻度が稀であることから、十分な観測が行われているとは言えない。そこで筆者らは、大規模土砂移動の再現を目指して、室内振動実験を実施している²⁾。本稿では下記の3つの知見¹⁾が室内実験で再現できるのかという観点で室内実験の結果を検討したので報告する。

①河床幅（対岸までの距離）の違いによる振動特性

崩壊土砂が対岸に衝突する場合（衝突型）と衝突しない場合（流下型）に分類すると、波形の立ち上がり勾配が衝突型において急になること。

②土砂の粒径・重量の違いによる振動特性の違い

粒径が大きいものが崩土に含まれていると卓越周波数において低周波成分（1～7Hz）が発生すること。

③変位波形と土砂の移動方向との関係

変位波形（パーティクルモーション）が斜面の移動方向に一致すること。なお、2011年の赤谷地区での振動解析において0.01～0.1Hzの速度波形から求めた変位波形において土砂の移動方向への変位が確認されている。

2. 実験方法

2.1 実験装置と使用機器

土砂移動時に発生する振動を地盤に伝達するためコンクリートブロックを積み、隙間にモルタルを充填した水路を作成した（図-1, 2）。対岸に見立てた壁を水路下流に設けた。振動は据置き式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、水路と平行に1mの距離に設置した（図-3）。ナイキスト周波数は200Hzである。

2.2 実験ケース

実験ケースは表-1に示す。粒径と質量の異なる3種類の鉄球の組み合わせを変えて移動させるケースと、粒径の異なる礫を移動させるケースに大別し、礫を用いたケース（A-8・9, B-8・9）に壁位置（0m, 1m）を変えた。合計11ケース実施した。なお、水は加えていない。

表-1 実験ケース

実験 ケース	鉄球			礫	総重量 (kg)	壁位置
	小 2.74 kg	中 5.24 kg	大 7.16 kg			
A 1	1				2.74	0m
A 2		1			5.24	0m
A 3			1		7.16	0m
A 4	4				10.86	0m
A 5		2			10.48	0m
A 6		3			15.72	0m
A 7			2		14.36	0m
A 8				小礫	15.00	0m
A 9				大礫	15.06	0m
B 8				小礫	15.00	1.0m
B 9				大礫	15.06	1.0m

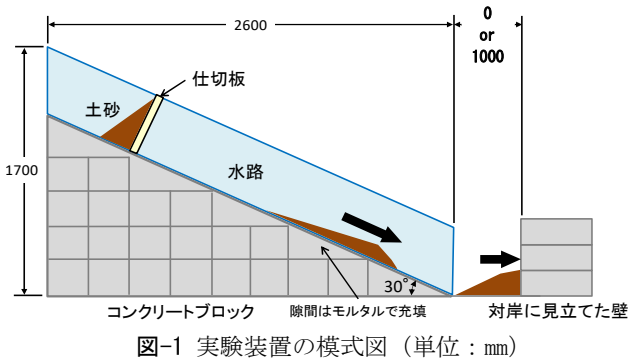


図-1 実験装置の模式図（単位：mm）



図-2 実験装置外観

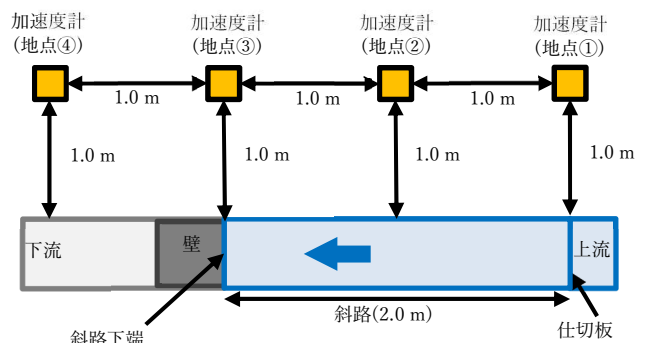


図-3 振動センサーの配置

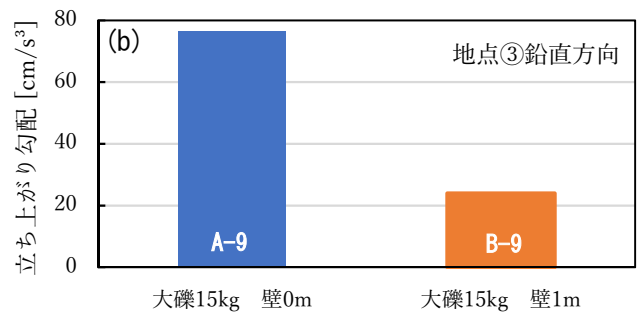
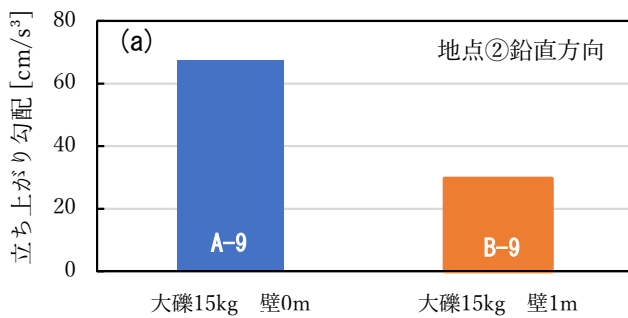


図-4 立ち上がり勾配の比較。ケース A-9, B-9 について (a) 地点②の鉛直方向の振動 (b) 地点③の鉛直方向の振動

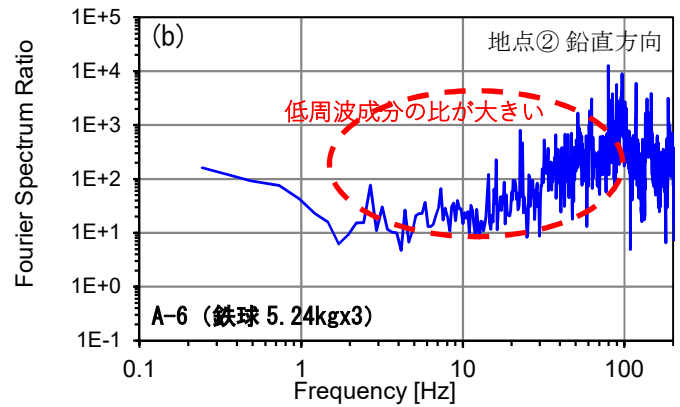
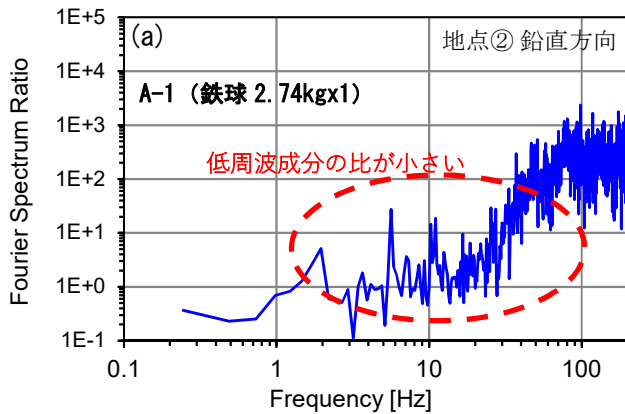


図-5 スペクトル比の比較。(a) ケース A-1 (b) ケース A-6

3. 実験結果と考察

3.1 河床幅の違いによる振動特性

河床幅の違いによる振動波形の違いを評価するため波形の立ち上がり勾配を確認した。既往研究を参考に、最大振幅と、その発生時刻と土砂移動開始時刻との差から定義した。大礫を用いたケースの壁位置による違いで比較した(図-4)。斜面下端と壁との距離がないケースで立ち上がり勾配が大きくなる傾向が確認できた。

3.2 土砂の粒径・重量の違いによる振動特性

計測した波形のフーリエ振幅スペクトルを求め、周波数特性を検討した。ケース A-1, A-6 での土砂移動時と常時微動とのスペクトル比 (S/N 比) を図-5 に示す。卓越周波数はどのケースでも 100Hz 程度となり、粒径の違いによる明瞭な違いは確認できなかった。また、重量が増えると低周波成分 (1~100Hz) で S/N 比が大きくなる傾向が確認できた。

3.3 変位波形と土砂の移動方向との関係

10~200Hz のバンドパスフィルターを通した波形を積分し、変位波形を求めた。鉄球を流下させたケースにおいて鉛直方向の変位が確認できた(図-6)。時間的には、①→②の順で下方向に変位後、上方向に変位したことがわかる。第1章の見知③で述べた土砂移動により生じる力の方向に応じた変位を計測できた可能性がある。

3.4 室内振動実験における相似則

模型実験において現象に関係する力の相似性を用いれば、模型と実体との長さの縮尺比を λ とすると、振動数の縮尺は $\lambda^{0.75}$ となる³⁾。例えば、100分の1の縮尺を用いた実験の場合、振動数の比は約31.6となる。大規模土砂移動の実現象において数 Hz の低周波成分が卓越すると言われており¹⁾、本実験で 100Hz 前後が卓越周波数と確認できたことは矛盾しないと考えられる。ただし、実現象では弾性波の伝達過程で減衰が生じていると考えられるため、今後、低周波成分が実現象で卓越する理由について、数値実験からの分析を進めていきたい。

4. おわりに

実現象の観測が困難な大規模土砂移動現象の室内実験による再現を試みた。移動土砂の粒径、重量の違い、対岸との衝突の有無、および変位波形の観点から計測した振動波形について検討した。対岸に見立てた壁の有無により波形の立ち上がり勾配が大きくなる傾向が確認でき、実現象から得た知見と調和的な結果を得ることができた。今後、数値実験等も行い大規模土砂移動の検知に資する現象の解明を図りたい。

参考文献

- 1)海原ほか：高感度地震観測網による大規模土砂移動発生時の地盤振動特性と検知，砂防学会誌，2021 2)筒井ほか：土砂移動時の地盤振動の再現－模型実験からの考察－，砂防学会誌，2021 3)香川：土構造物の模型振動実験における相似則，土木学会論文報告集，1978

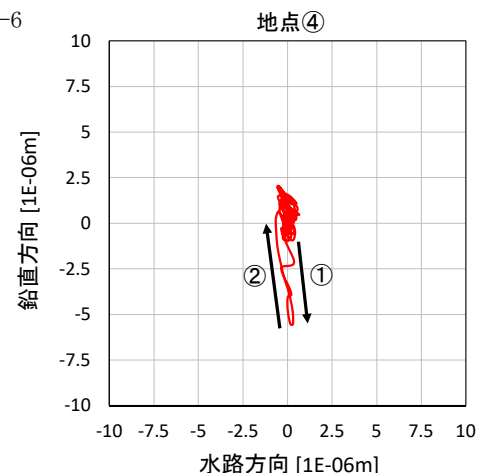


図-6 積分して求めた変位波形 (ケース A-7)