

京都大学防災研究所 正員 高橋 保

京都大学防災研究所 正員 中川 一

京都大学防災研究所 正員 里深 好文

京都大学大学院

学生員 辰巳 正人

(株)建設技術研究所 正員○大西 伸和

1. はじめに

本研究は、地震外力による斜面崩壊の発生メカニズムを解明することを目的として、振動台を用いた実験を行い、ついで実験結果を再現し、かつ実際の斜面崩壊に適用し得るシミュレーションモデルの構築を目指したものである。

2. 実験概要

図 1 に示すような傾斜した土槽を振動台に設置し実験を行った。高橋らの研究¹⁾を参考にし、土層の構成材料として平均粒径 0.82 mm の 4 号砂及び 0.476 mm の 5 号砂を用いた。浸透流の水深は 10cm としている。X=175cm の地点の Z=0、15、30cm に加速度計を、Z=0、10、20cm に間隙水圧計を設置した。崩壊過程を計測するために、X=70、150、230、310cm の地点の水路のガラス面に沿ってトレーサーを配置した。実験ケースを表 1 に示す。各実験ケースは振幅の異なる複数の加振で構成され、図 2 に示す手法で行われる。

3. 実験結果と考察

全ケースで、加速度が土層底面から表層に向けて増幅すること、また土層の 3 ヶ所（乾燥した表層、不飽和層、飽和層、底面の各境界面）にすべり面が発生することが確認された。さらに 4 号砂での実験においては高橋らの研究結果と同様に骨格応力の減少によって斜面崩壊が発生することが確認された。ただし 5 号砂を用いた実験では新たに、間隙水圧の変化と斜面崩壊との関連性が確認されたので、ここではこれが顕著に現れた、振動周波数 2 Hz、振幅 48mm で加振したときの結果について述べる。

土層の間隙水圧の変動を図 3 に示す。Z=0、10、20cm のいずれにおいても、間隙水圧変動が時間の経過に伴って次第に増加している。また不飽和層とその上部の乾燥層の境界が約 8cm の振幅で上下に振動していたことがビデオ映像で確認されている。さらにこの時、土層の大きな滑動がトレーサーにより確認された。この様な間

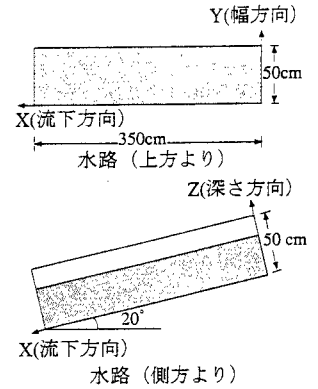


図 1 土槽外観

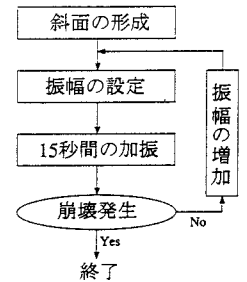


図 2 実験手法

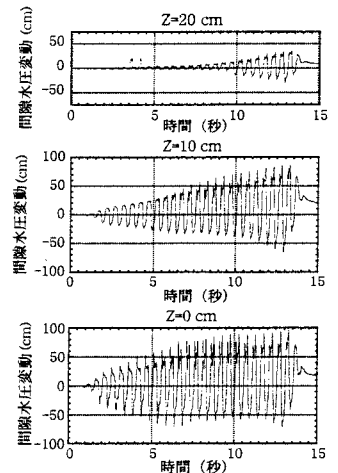


図 3 間隙水圧の変動

表 1 実験ケース

実験ケース	周波数	粒径	水深
1	2Hz	4号砂	0.1m
2	4Hz	4号砂	0.1m
3	6Hz	4号砂	0.1m
4	8Hz	4号砂	0.1m
5	12Hz	4号砂	0.1m
6	16Hz	4号砂	0.1m
7	2Hz	5号砂	0.1m
8	4Hz	5号砂	0.1m
9	6Hz	5号砂	0.1m

隙水圧変動の増加は 5 号砂を用いた他ケースにおいても確認された。いずれのケースにおいてもこのような現象が発生したとき土層が滑動していることを考えると、間隙水圧の変動幅の増加が斜面崩壊と関連しているものと思われる。

4. 斜面崩壊に関するシミュレーション

ここでは平面要素間にジョイント要素を配置し、荷重伝達法によって斜面土層の崩壊に関する動的な有限要素解析を行った。

斜面土層を図 4 のように要素分割し、境界の安定のため、図中で灰色で示される要素を付加している。計算に用いた材料特性を表 2 に示す。材料番号 1、2、3、4 はそれぞれ $0\text{ cm} < Y \leq 12\text{ cm}$ 、 $12\text{ cm} < Y \leq 24\text{ cm}$ 、 $24\text{ cm} < Y \leq 30\text{ cm}$ 、 $Y \leq 0\text{ cm}$ の要素に用いた。4 号砂を 4 Hz の周波数、振幅 8mm で加振した実験ケースを対象にして計算を行った。図 1 の $X=175\text{ cm}$ においてシミュレーションで得られた応答加速度の様子を図 5 に示す。土層の底面から表面に向かうにつれて位相の遅れ、応答加速度の増幅が発生していることが分かる。斜面土層の最大応答変位、最大応答加速度の様子を図 6、7 に示す。斜面上方に向かうにつれ、前者、後者ともその値が増加する傾向が見てとれる。これらの結果は実験結果と合致するものである。

6. おわりに

本実験において、土層構成材料の粒径が斜面崩壊に寄与する可能性があることを確認できた。そして数値シミュレーションの研究においても、実験で確認された現象のいくつかが再現され、実際の斜面崩壊現象を数値的に解明する可能性が確認された。

今後は、5 号砂を用いた実験の際に確認された間隙水圧変動の増加と斜面崩壊との相互関係を明らかにするとともに液状化と地下流の存在を考慮した解析等を行っていきたい。

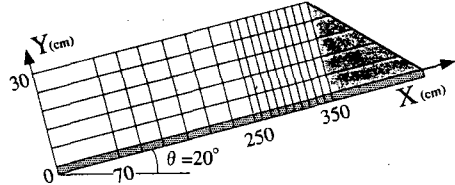


図 4 有限要素分割図
表 2 材料特性

材料番号	構成要素	弾性波速度 (m/s)	ポアソン比	密度 (kg/m³)	粘着力 (kgf/m²)	内部摩擦角 (°) (°)
1	平面ひずみ要素	300	0.4	1.99×10^3	0(0)	30(30)
2	平面ひずみ要素	280	0.45	1.79×10^3	1×10^2 (1×10^2)	25(25)
3	平面ひずみ要素	260	0.48	1.59×10^3	0(0)	20(20)
4	平面ひずみ要素	200	0.28	7.8×10^3	1×10^3 (1×10^3)	89(89)
5	ジョイント要素	$K_n=3 \times 10^8$ (kgf/m²)	$K_s=3 \times 10^8$ (kgf/m²)	0	2×10^2 (2×10^2)	30(30)

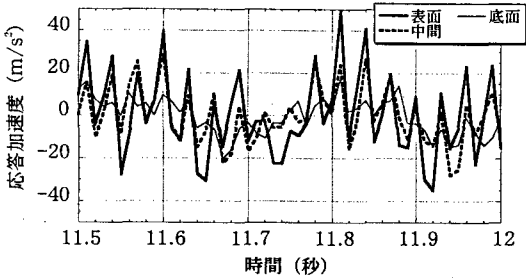


図 5 応答加速度の様子

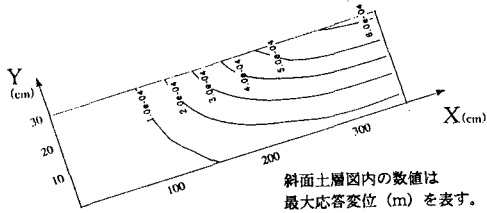


図 6 最大応答変位分布

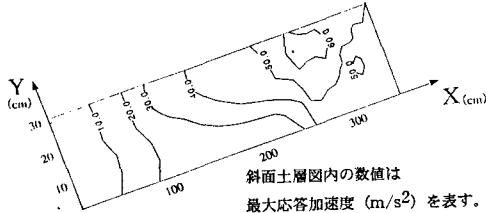


図 7 最大応答加速度分布

謝辞 本研究で用いた動的解析プログラムは (株) 若築建設 酒井 久和氏よりご提供いただいた。記して深謝する。

参考文献 1) 高橋 保・中川 一・里深 好文・北 勝利・吉田 義則・辰巳 正人：京都大学防災研究所、地震外力を考慮した斜面崩壊に関する実験的研究、平成 9 年 4 月