

盛土の地震時破壊挙動に関する有限要素シミュレーション

群馬大学 正○若井 明彦
 科学技術庁 防災科学技術研究所 正 佐藤 正義
 群馬大学 正 鶴飼 恵三
 清水建設 正 田蔵 隆

1. はじめに

レベル2地震動に対する盛土の耐震設計を地震後の残留変位量に着目して行おうとする気運が高まっており、それに伴い必要となる簡便かつ合理的な変形解析手法の確立が急がれている。盛土の地震時破壊現象は構成土の性質によりいくつかのタイプに分けられるが、本稿では土の液状化を伴わない盛土内部のせん断変形ないしすべり破壊が卓越する崩壊現象を対象とする。20G の遠心力場における模型盛土の振動台実験の結果得られた系の残留変形に着目して、これを動的弾塑性 FEM により再現することを試みた。

2. 遠心模型実験

遠心実験で用いた模型を Fig.1 に示す（寸法は実寸の換算値）。シルトが主成分の不飽和な DL クレー（ $Dr=75\%$ 程度）からなる均一な盛土（勾配 1:1）である。加速度計（A）と変位計（D）の設置位置も図中に記した。以降の図で、各値の正方向は水平が向かって右方、鉛直が上方である。地震波は徐々に振幅が増大していく 3Hz の規則波形（Fig.2）とした。

3. 解析モデル

FE メッシュ（8 節点要素）を Fig.3 に示す。実験では板バネを併用したせん断土槽を用いている。解析では反射波の影響を低減するためメッシュの左端を延長したものをを用いた。

土の構成則は著者の一部が提案している繰返し载荷モデル（若井・鶴飼，1999）を適用した。本モデルの特長は、土の動的変形特性（ $G-\gamma$ 、 $h-\gamma$ 関係）と強度定数 c 、 ϕ （Mohr-Coulomb 規準）をともに考慮し、さらに Rowe のストレス・ダイレイタンシー関係等の流れ則を適用できるなど、多様な土からなる系の地震時挙動を簡便かつ合理的に解析できる点である。

解析に用いた材料定数を Table.1 に示す。 E 、 c 、 ϕ 、 K_{cv} 等は試料の三軸圧縮試験結果に基づいた。一方、解析で仮定した $b\gamma_{G0}$ 、 n から得られる $h-\gamma$ 関係を、試料の繰返し中空ねじり試験（ $\sigma'_c=30$ および 50kPa ）の結果とともに Fig.4 に示す。なお解析の $h-\gamma$ 関係においては、Rayleigh 減衰（周期 0.2～2.0sec で概ね $h=3\%$ ）分を履歴減衰の h に上乘せしてある。解析モデルは要素試験結果をよく再現していることが分かる。

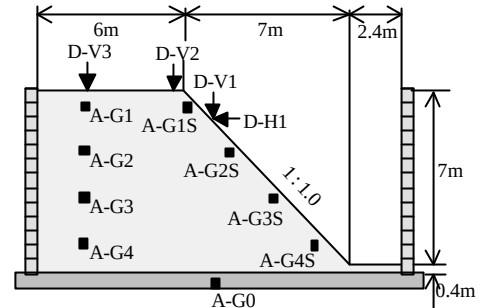


Fig. 1 遠心模型実験で対象とした斜面。

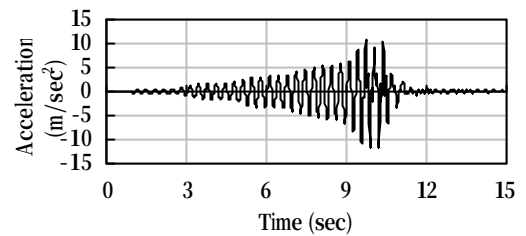


Fig. 2 入力地震波形（水平加速度）。

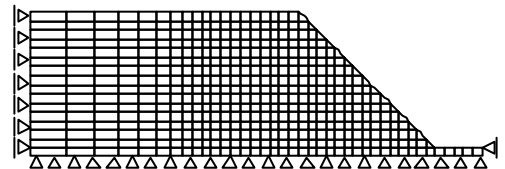


Fig. 3 有限要素メッシュ（8 節点要素）。

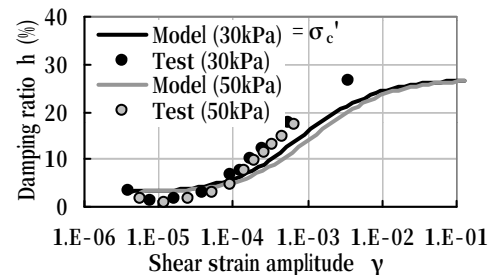


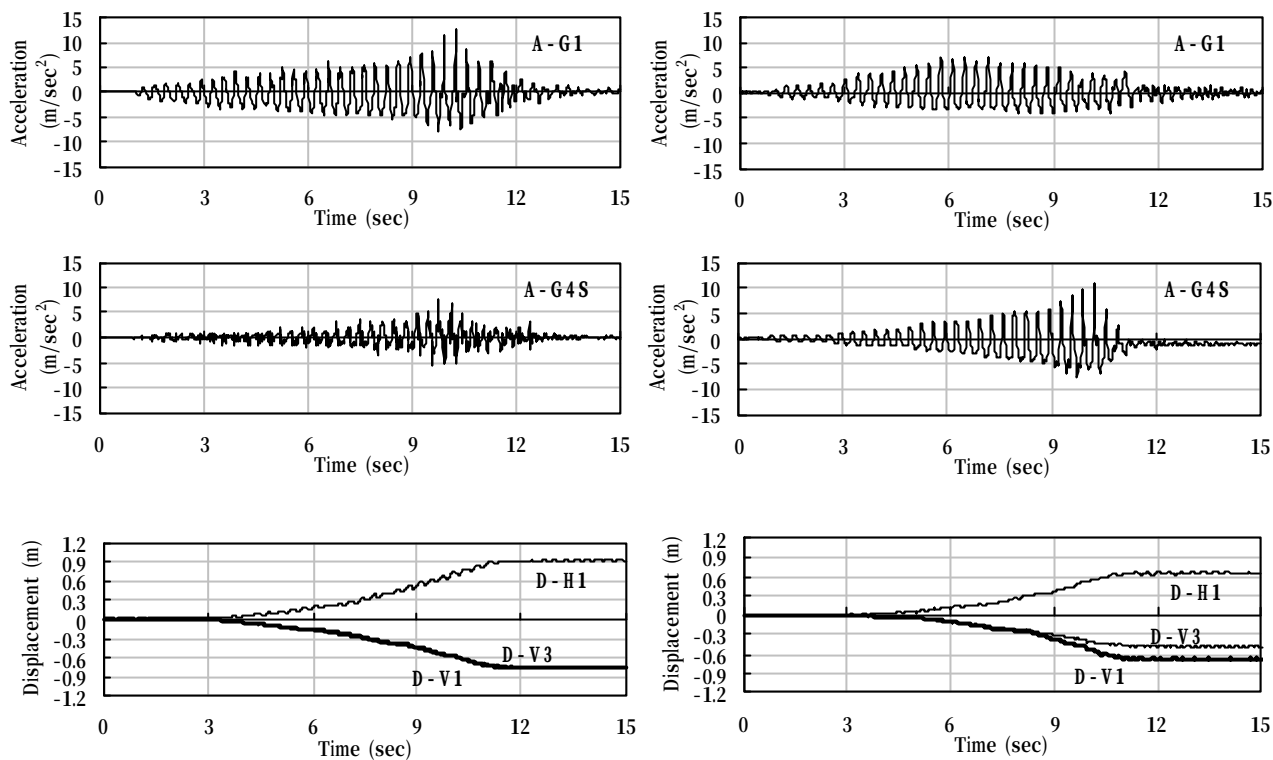
Fig. 4 土の減衰のひずみ依存性（ $h-\gamma$ 関係）。

Table. 1 解析に用いたパラメータ。

E (kPa)	ν	c (kPa)	Φ (deg)
17000	0.4	11.1	33.3
K_{cv}	$b\gamma_{G0}$	n	γ (kN/m ³)
3.24	8.0	1.5	15.7

Keywords：斜面，地震時，残留変位，弾塑性，有限要素法。

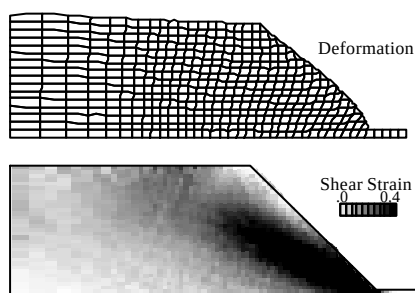
連絡先/ 若井明彦，群馬大学工学部建設工学科（〒376-8515 桐生市天神町 1-5-1, Ph.&Fax 0277-30-1624）



(a) FEM による解析結果

(b) 遠心実験結果

Fig. 5 各点の応答加速度，応答変位の時刻歴（解析と実験の比較）.



(a) FEM による解析結果（残留変形とせん断ひずみ分布） (b) 遠心実験結果（実験後の写真）

Fig. 6 地震後の斜面の残留変形（解析と実験の比較）.

4. 解析結果と考察

各点の加速度と変位の時刻歴を Fig.5 に示す。解析と実験で加速度振幅に若干の相違（A-G1 の 10 秒前後など）はあるものの，負方向に比べ正方向により増幅している点など，両者は近い傾向を示している。一方，地震後の残留変位量は解析と実験で良く一致している。実設計へ適用する場合には十分な精度を有していると考えられる。

実験後に観察した盛土の破壊形態を解析結果と比較したものが Fig.6 である。法肩付近の土は右下方へほぼ剛体的に移動している。法尻付近より天端に向かってすべり面が形成される傾向が解析と実験でよく一致している。

5. まとめ

地震時に斜面内部にすべり破壊を生じて大きな残留変形が観察された遠心模型実験の結果を，簡易な繰返し載荷構成モデルを用いた動的弾塑性 FEM により再現した。今後は本解析手法の設計への適用性を検討するとともに，盛土の地震時崩壊機構を詳細に検討していきたい。繰返しによる軟化の影響などの考慮も今後の課題である。

参考文献 若井明彦・鶴飼恵三（1999）：簡易な繰返し載荷モデルに基づく非線形動的応答解析と設計への応用，第 44 回地盤工学シンポジウム発表論文集，地盤工学会，pp.337-342.