

動的弾塑性 F E M による宅地盛土の耐震性能照査のための一考察 (その 1 斜面の残留変位と安全率)

正会員 若井 明彦*
 正会員 二木 幹夫**
 正会員 川端 宏和***

地震 斜面 宅地
 崩壊 残留変位 有限要素法

はじめに

著者らはこれまでに 2004 年新潟県中越地震において被災した緩傾斜宅地の変状を、動的弾塑性 FEM により再現することを試みてきた¹⁾。本研究では、動的弾塑性 FEM による宅地盛土の変形照査のための基礎的検討を行う。特に安全率法と変形解析の関係について考察を進める。

解析条件

解析対象は Fig.1 のような仮定の盛土斜面である。勾配 1:1.8 で斜面高さ $H=5, 10, 15\text{m}$ 、また勾配 1:3.6 で $H=10\text{m}$ の計 4 種類の斜面を対象にした。議論の単純化のため、基礎地盤の変形を無視する。下端に水平地震力 (建築センター波 / L2 : Fig.2) を入力して、地震後の斜面上における残留変位量 (水平・鉛直の合成成分) の最大値 δ を求めた。土の構成モデルには鶴飼・若井による簡易繰返し載荷モデル²⁾ (UW モデル) を採用した。全ケースでポアソン比 $\nu=0.3$ 、単位体積重量 $\gamma=19\text{kN/m}^3$ 、Rayleigh 減衰の $\alpha=0.172$ 、 $\beta=0.00174$ とした。ヤング率 E と内部摩擦角 θ に関しては Table 1 の計 4 種類の組合せを仮定して、各々パラメトリック・スタディ (粘着力 c を変化) を行った。上記 ν と γ を前提に、経験式に基づき Table 1 のヤング率をせん断波速度 V_s および N 値に換算すると、それぞれ表中の値に対応する。土の動的変形特性に関連する履歴パラメータ b, γ_{G0}, n の具体値の記述は省略するが、一般的な砂の物性³⁾ を再現するよう、ケース毎に値を調整した。

残留変位と安全率の関係 (解析結果)

E と θ を一定とすると、 c が大きくなるほど耐震性は向上する。4 種類の斜面各々に対して、 E と θ を一定とした各 4 シリーズのパラメトリック・スタディを行った。 δ を斜面長 ($H/\sin\theta$) で除した値を縦軸に、その時の安全率 F_s (ただし水平震度係数 $k_h=0.25$) を横軸にプロットしたものが Fig.3 である。 F_s 算定には、FEM により震度法 LEM と同様の安定計算を実現する SSRFEM⁴⁾ を採用した。

H または θ が大きいケースほど、縦軸の値 ($\delta\sin\theta/H$) は全般的に大きめである。安全率の低下とともに残留変位量が増加する相関関係はいずれのケースも類似しており、 $F_s=1$ 付近で $\delta\sin\theta/H=0.01\sim 0.04$ 程度となった。

全体の変形性状と地表面の残留傾斜角 (解析結果)

斜面全体の変形性状の例を Fig.4 に示す。 $(H, \theta)=(10\text{m}, 1:1.8), (10\text{m}, 1:3.6)$ の 2 種の斜面について、 $\delta\sin\theta/H$ = 約 0.02 となる時の結果 ($E=95,000\text{kN/m}^2$, $\theta=25^\circ$; c の値は互いに異なる) を示した。左は残留変形性状、右は残留最大せん断ひずみ分布である。肩の周辺の変状が顕著である。基礎地盤が軟弱な場合、斜面先の変状の増大が予想される。両ケースを比較すると、勾配の大きなケースで沈下がより顕著であり、斜面先に塑性域が集中している。

次に地表の残留傾斜角 (10m 区間平均) を示す。Fig.5 に $(H, \theta)=(10\text{m}, 1:1.8), (15\text{m}, 1:1.8), (10\text{m}, 1:3.6)$ の 3 種の斜面に対して、 $E=95,000\text{kN/m}^2$, $\theta=25^\circ$ で c を変化した各 3 通りの結果を示した。縦軸に 10m 区間の平均傾斜角、横軸に肩からの相対水平距離 x を斜面長 ($H/\sin\theta$) で除した値を示した。凡例には各結果の $\delta\sin\theta/H$ の値を記した。

斜面高さや斜面勾配に応じて、残留傾斜角の大きさは

Table 1 材料定数の組合せ .

	$E(\text{kN/m}^2)$	(deg)
イ	150,000 ($V_s=173\text{m/s}$, $N=10$ に相当)	35
ロ	150,000 ($V_s=173\text{m/s}$, $N=10$ に相当)	25
ハ	95,000 ($V_s=137\text{m/s}$, $N=5$ に相当)	35
ニ	95,000 ($V_s=137\text{m/s}$, $N=5$ に相当)	25

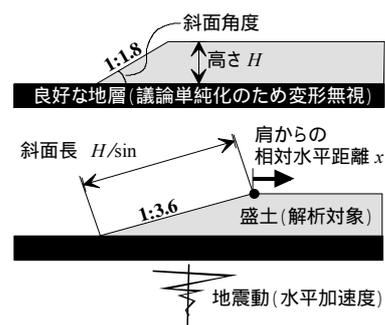


Fig.1 解析対象とした種々の形状の盛土斜面 .

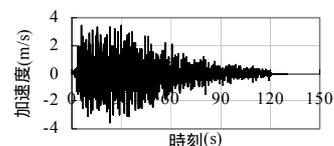
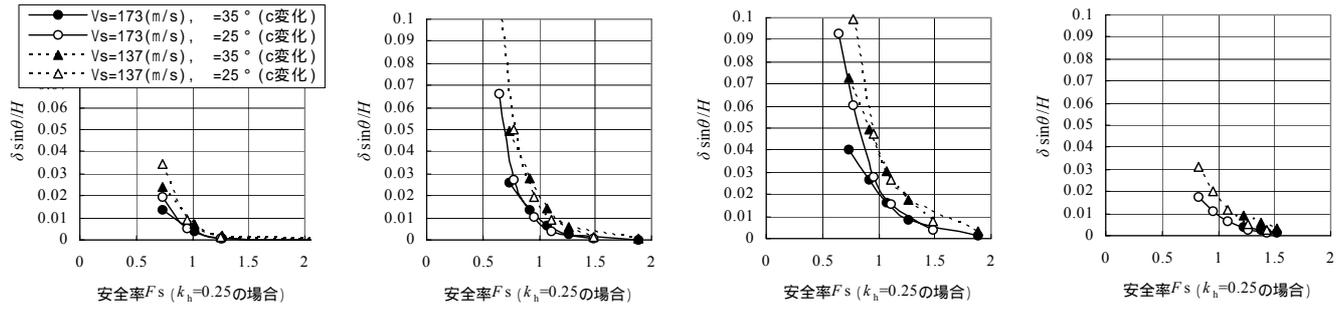
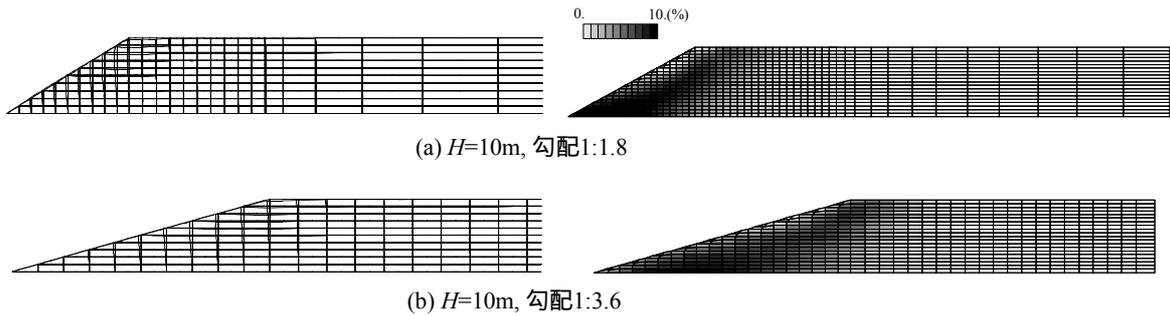


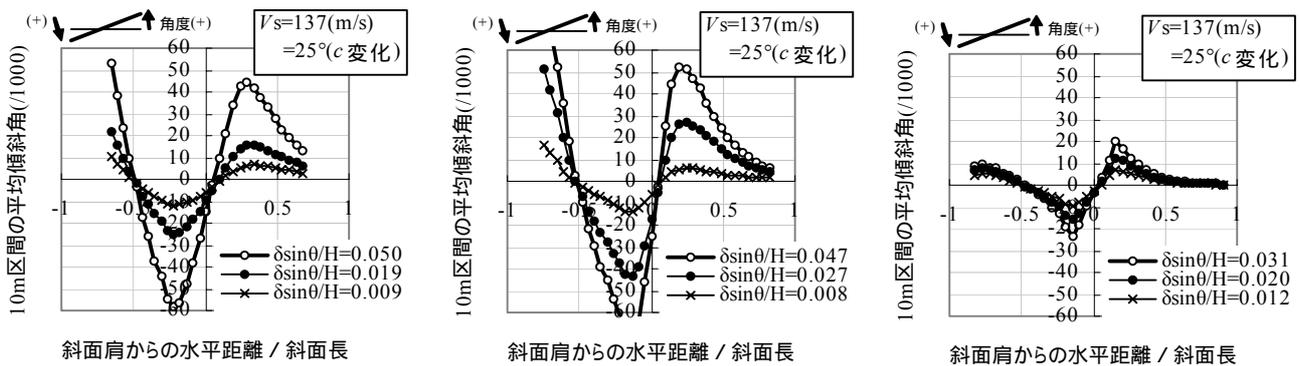
Fig.2 入力地震波形 (水平加速度) .



(a) $H=5\text{m}$, 勾配 1:1.8 (b) $H=10\text{m}$, 勾配 1:1.8 (c) $H=15\text{m}$, 勾配 1:1.8 (d) $H=10\text{m}$, 勾配 1:3.6
Fig.3 斜面上の残留変位の最大値 δ と安全率 F_s ($k_h=0.25$ の場合) の相関関係 .



(a) $H=10\text{m}$, 勾配 1:1.8 (b) $H=10\text{m}$, 勾配 1:3.6
Fig.4 地震後の残留変形状と残留最大せん断ひずみの例 (ともに $\delta \sin \theta / H =$ 約 0.02 のケース) .



(a) $H=10\text{m}$, 勾配 1:1.8 (b) $H=15\text{m}$, 勾配 1:1.8 (c) $H=10\text{m}$, 勾配 1:3.6
Fig.5 斜面肩 ($x=0$) 付近の地表の残留傾斜角度 (10m 区間で移動平均した値を水平座標に即してプロット) .

変化する。なお、この着目長 10m 自体に明確な根拠はないが、建物の限界傾斜角を照査する際、あまり局所的な傾斜角にとらわれない方がよい。基礎形式によって、地震に抵抗あるいは追従する効果が期待されるためである。

まとめ

極限平衡法 (震度法) による安全率と動的弾塑性 FEM による残留変位には相関性がある。簡易な照査には安全率を、耐震対策の効果判定など厳密かつ定量的な耐震性評価には変形解析を用いるのが望ましいと考えられる。

参考文献

- 1) 若井明彦, 清水直道, 田村昌仁, 林宏一(2006): 緩傾斜宅地の地震時残留沈下に関する解析的考察, 第 3 回地盤工学会関東支部研究発表会講演集, pp.61-66 .
- 2) Wakai, A. and Ugai, K.(2004): A simple constitutive model for the seismic analysis of slopes and its applications, Soils and Foundations, Vol.44, No.4, pp.83-97 .
- 3) 石原研而(1976): 土質力学の基礎, 鹿島出版会, pp.196-199 および pp. 252-253.
- 4) 地盤工学会編(2003): 弾塑性有限要素法がわかる, 地盤技術者のための FEM シリーズ , pp.151-160.

* 群馬大学大学院工学研究科 准教授

** (財)ベターリビング 筑波建築試験センター 所長

*** 群馬大学大学院生

* Dept. Civil and Environmental Eng., Gunma University

** Center for Better Living

*** Graduate student of Gunma University