

斜面降伏震度を弾塑性 FEM により評価する方法の提案

群馬大学大学院 正会員 蔡 飛

パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 ○高橋 千明

石橋建設工業株式会社 正会員 藺 林

1. はじめに

2004 年新潟県中越地震, 2007 年新潟県中越沖地震の被災事例に見られるように, 地震による盛土被害が多数発生し, 社会的, 経済的に大きな影響を及ぼした. しかし, 従来から盛土の耐震性能照査手法は明確ではなく, コンクリート構造物と比較して耐震性能を考えた耐震強化および耐震補強の取り組みは遅れているのが実情であり, 盛土の性能評価手法の開発が喫緊の課題であると認識している.

2. 研究の背景

一般に, 盛土の耐震設計法は, L1 地震においては, 極限平衡法を用いて地震時の斜面安定性を評価している. L2 地震においては, Newmark 法を用いて地震による変位を計算することが多くの設計基準類で要求されている. Newmark では, 降伏震度を計算する必要がある. L1 地震時と L2 地震時ですべり面が同じであると仮定がしばしばされているが, この仮定について他の手法により検証する必要がある.

3. 目的

- ①常時と地震時の臨界すべり面を比較し, 水平震度の臨界すべり面に及ぼす影響を調べる.
- ②すべり面に関する仮定が降伏震度に与える影響を調べる.
- ③有限要素法が複雑な地層構造をもつ斜面にも適用できることを検証する

4. FEM により降伏震度を評価するためのフロー

図-1 に弾塑性 FEM により降伏震度を評価するためフローを示す. 最初に k_h を小さな値に設定する. 次に, k_h を段階的に増加させていくと, ある段階で繰り返し計算が発散し, 斜面が崩壊に至ったと判断される. この時の k_h の値を降伏震度 k_{hi} と考える.

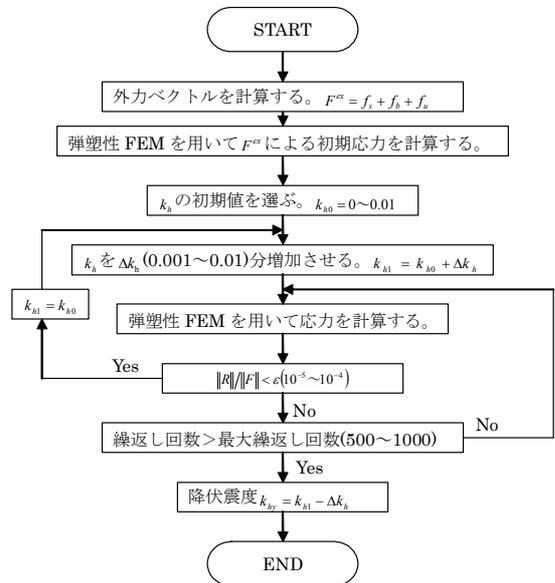


図-1 FEM により降伏震度を評価するためのフロー

5. 解析結果

5. 1 水平震度の臨界すべり面に及ぼす影響

斜面傾斜角 $\beta = 30^\circ$, 粘着力 $c = 30\text{kPa}$, 内部摩擦角 $\phi = 16.7^\circ$ の斜面における水平震度のすべり面に及ぼす影響を図-2 に示す. 図-2 (左) の $k_h = 0$ である時の臨界すべり面と図-2 (右) の $k_h = 0.37$ である時の臨界すべり面と比較すると, 水平震度がある場合の臨界すべり面が深くなることわかる.



図-2 水平震度の臨界すべり面に及ぼす影響 ((左) $k_h = 0$, (右) $k_h = 0.37$, $\beta = 30^\circ$, $c = 30\text{kPa}$, $\phi = 16.7^\circ$)

斜面傾斜角 $\beta = 45^\circ$, 粘着力 $c = 30\text{kPa}$, 内部摩擦角 $\phi = 16.7^\circ$ の斜面における水平震度のすべり面に及ぼす影響を図 3 に示す. 図 3 (左) の $k_h = 0$ である時の臨界すべり面と図 3 (右) の $k_h = 0.28$ である時の臨界すべり面と比較すると, $\beta = 30^\circ$ のケースと同じく, 水平震度がある場合の臨界すべり面が深くなることわかる.



図-3 水平震度の臨界すべり面に及ぼす影響 ((左) $k_h = 0$, (右) $k_h = 0.28$, $\beta = 45^\circ$, $c = 30\text{kPa}$, $\phi = 16.7^\circ$)

キーワード 斜面, 降伏震度, 弾塑性 FEM 解析

連絡先 〒 206-8550 東京都多摩市関戸 1 丁目 7 番地 5 パシフィックコンサルタンツ (株) TEL 042-372-7365

5. 2 すべり面の仮定が降伏震度に及ぼす影響

図-4には、 $k_h = 0$ をとし、極限平衡法により探索した、最小安全率をもつ臨界円弧すべり面における降伏震度と極限平衡法により探索した最小降伏震度との比較結果を示す。図-4(上)は斜面傾斜角が 30° 、(下)は斜面傾斜角が 45° の斜面における解析結果である。図-4より、降伏震度が高いほど、すべり面の仮定が降伏震度に及ぼす影響が大きいことがわかる。

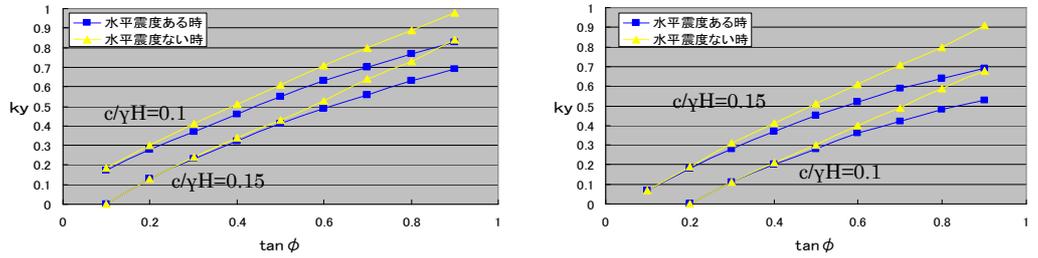


図-4 すべり面の仮定の降伏震度に及ぼす影響

5. 3 異なる解析手法による k_y の比較

極限平衡法、対数螺旋線法および弾塑性 FEM により計算した降伏震度を図-5(斜面傾斜角 $\beta = 30^\circ$)

及び図-6(斜面傾斜角 $\beta = 45^\circ$)に示す。図-5と図-6から、3つの異なる方法により算出した降伏震度の差は 10%以内であることがわかる。

5. 4 FEMによる複雑な斜面の解析

図-7には傾斜した地層構造をもつ斜面を示す。この斜面は地層1と地層3の間にせん断強度が小さい地層2がはさまれている。

弾塑性 FEMにより斜面の降伏震度を計算し、破壊直前の最大せん断ひずみ増分の分布から臨界すべり面位置を決定した。このとき、図-8示すようにすべり面付近では最大せん断ひずみ増分が大きい。また二つのすべり面が生じているように見える。これにより、有限要素法が複雑な地層構造をもつ斜面にも適用できることがわかる。

表-1 材料定数

材料番号	E (kPa)	C (kPa)	Φ ($^\circ$)	Ψ ($^\circ$)	γ (kN/m ³)	ν
1	200000	88.2	32.5	32.5	18.2	0.3
2	200000	29.4	14.7	14.7	18.2	0.3
3	200000	882	40	40	18.2	0.3

6. まとめ

本研究により得られた知見をまとめると以下の通りである

- ①常時の場合の臨界すべり面と比較すると水平震度がある場合の臨界すべり面は、より深くなることがわかった。
- ②降伏震度が高いほど、すべり面の仮定が降伏震度に及ぼす影響が大きい。
- ③極限平衡法、対数螺旋線法および弾塑性 FEMにより計算した降伏震度を図-5と図-6から三つの異なる方法により算出した降伏震度の差は 10%以内である。
- ④有限要素法が複雑な地層構造をもつ斜面にも適用できることがわかった。

参考文献

- 1) 蔡飛, 鶴飼恵三, 黄文峰 (2003): 斜面安定性の評価- 極限平衡法と弾塑性 FEM の比較, 日本地すべり学会誌, Vol.39, No.4, pp.395-402.
- 2) 日本地すべり学会: 有限要素法による地すべり解析, 山海堂.

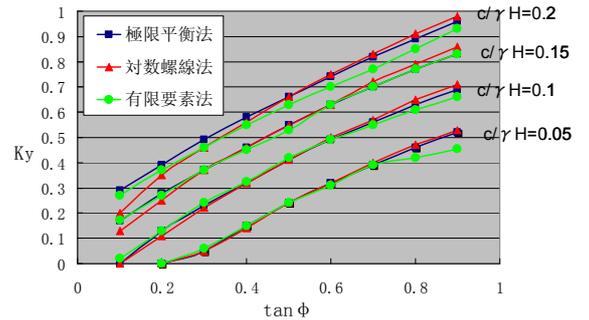


図-5 異なる解析手法による k_y の比較 ($\beta = 30^\circ$)

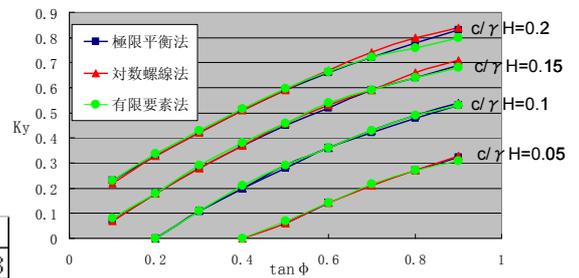


図-6 異なる解析手法による k_y の比較 ($\beta = 45^\circ$)

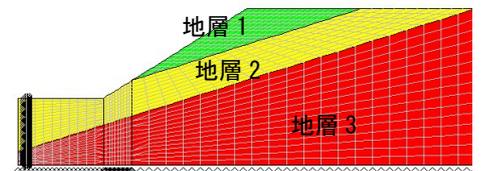


図-7 モデル断面図

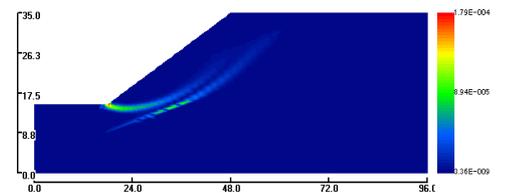


図-8 有限要素法により得られたすべり面