

大地震時の合理的な斜面对策工に関する一考察

電力中央研究所 正会員 ○石丸 真
 中部電力 非会員 清水啓之
 東京電力 非会員 大島貴充
 東北大学大学院 正会員 河井 正

1. はじめに

従来、原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の地震時安定性については、周波数領域の二次元等価線形解析に基づき、すべり安全率評価に代表される応力照査が行われてきた。しかしながら、瞬間的な力のつり合いを満足できない場合に直ちに地盤が不安定化するわけではないことから、近年、残留変位量による照査を取り入れた新しい評価手法の体系化が検討されている^{1),2)}。

本報告では、上記を踏まえて、残留変位量を許容した合理的な斜面对策工に関して検討を行った。

2. 斜面对策工に関する問題の整理

図-1に、斜面とすべり線の模式図を示す。斜面深部に弱層等が存在しない場合は、一般的には斜面の表層付近が崩壊する場合が多いと推測される。しかし、地震による水平力が大きくなるほど、最小すべり安全率となるすべり線が緩傾斜となり、より深いすべり線の安全率が低下する。そのため、図中に点線で示した斜面深部を通る非現実的なすべり線が大地震時に評価基準値を満足できない状況も想定される。この斜面深部を通るすべり線に対してアンカー工や抑止杭工により対策を検討する場合、100m近いアンカー長が必要になる等、現実的には施工が困難になる場合もある。

斜面深部を通る水平に近いすべり線が瞬間的に力のつり合いを満足できない状況になったとしても、直ちにその全てが崩落するわけではない。この状況を模式的に示したのが図-2であるが、斜面深部に変位が発生することにより、最初に崩落する可能性があるのは斜面表層付近と推測される。したがって、実際に崩落する可能性のあ

る範囲を切り取るか補強すれば、斜面全体の安定性は向上すると考えられる。一方で、斜面深部を通るすべり線に対しては、残留変位量による照査を検討の方がより合理的である。

3. 遠心力模型実験による実証

上記の考え方に基づく対策工の効果を実証するため、遠心力模型実験³⁾を実施した。

(1) 実験条件

斜面模型と計測器配置を図-3に示す。遠心加速度は50Gで、斜面高さは600mm(実規模換算30m)、法面勾配は1:0.5、奥行寸法は344mmである。また、斜面模型の作製に用いた地盤材料はセメント改良土である(地盤材料の物性値は文献3)を参照されたい)。斜面模型は、図-3に点線で示した斜面前方の円弧上の範囲をジオテキスタイルで補強した。ここでのジオテキスタイル補強は、実際の斜面に対してはロックボルト工や鉄筋挿入工等対策を施すことに相当し、前述のように斜面表層付近が脆性的に崩落することを防止する意図である。なお、ジオテキスタイル補強の範囲は、補強境界の円弧すべり線において、仮に残留強度に低下した場合でも地震動終了後に自重で崩落しないような条件を考慮して設定した(ジオテキスタイル補強境界の円弧すべり線では、常時の残留強度によるすべり安全率は1.55である)。

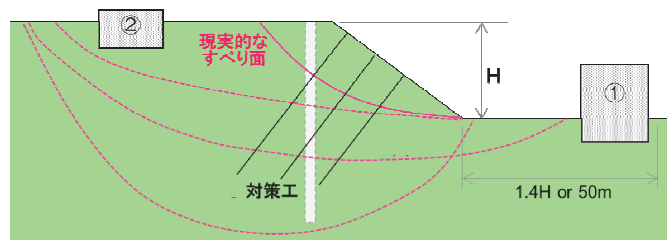


図-1 斜面とすべり線の模式図

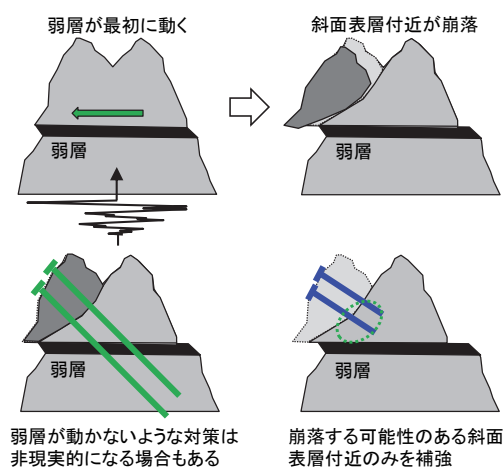


図-2 斜面の合理的な対策工の模式図

キーワード 斜面, 対策工, 残留変位, 遠心力模型実験

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 電力中央研究所 地球工学研究所 地震工学領域

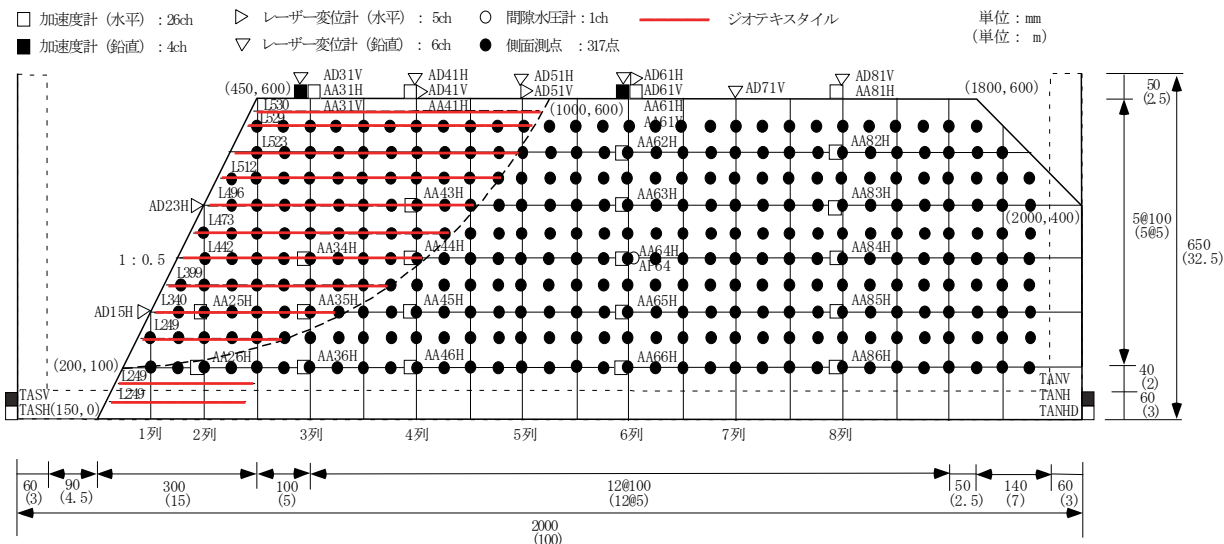


図-3 斜面模型と計測器配置 (単位 mm, 括弧内は実規模換算値で単位 m)

入力加速度波形は主要部で波数 20 波の正弦波 (実規模換算の周波数 1.2Hz, 以降は実規模換算した値で示す) であり, 主要部前後に 4 波のテーパを設けた. 実験では, 加振ステップ毎に加速度振幅を大きくして入力した.

(2) 実験結果とすべり安全率評価

図-4 に, 加振ステップと斜面模型表面の残留変位 (累積) の関係を示す. また, 図-5 には, 等価線形解析に基づく最小すべり安全率とそのすべり線形状を示す. これらの図より, 実験では加振ステップ d06 において残留変位が発生しており, それ以降, 徐々に残留変位が累積することが確認できる. また, すべり安全率評価については, 実験で残留変位が発生した加振ステップ d06 で最小すべり安全率が 1 を下回っており, すべり安全率評価は斜面模型が破壊するか否かの判定については妥当と考えられる.

実験では, 斜面模型側面に設置した標点の動きから, ジオテキスタイルで補強された土塊の法尻方向への移動が観察されたが, すべり安全率が 1 を下回った後の加振ステップでも斜面模型の残留変位は有限な値に収まっており, 脆性的な崩落は発生していない. したがって, 少なくとも斜面深部を通るすべり線については, すべり安全率が 1 を下回っても直ちに不安定化するわけではないので, 残留変位量による照査を適用する方がより合理的である.

4. まとめ

本報告では, 斜面深部に対しては残留変位の発生を許容した対策工の考え方を提案し, 遠心力模型実験により実証した. 今後は, 残留変位量照査における適切な許容値の設定について検討を行う必要がある.

謝辞

遠心力模型実験については, [1]平成 22~24 年度電力共通研究, [2]平成 25~26 年度共同研究の成果の一部を使用しました.

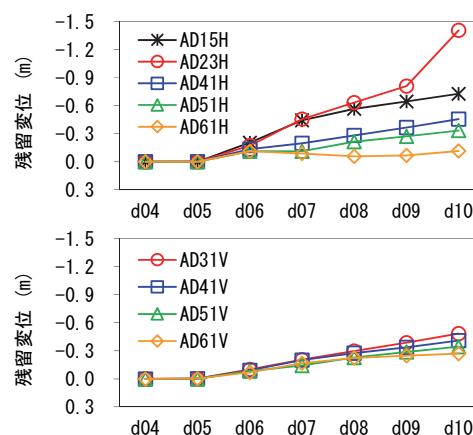


図-4 加振ステップと斜面模型の残留変位 (累積)

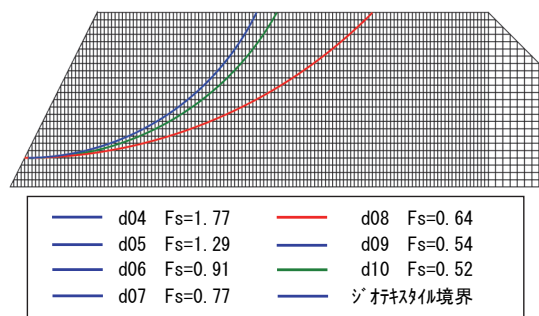


図-5 最小すべり安全率とすべり線形状

([1]については, 電力 9 社, 日本原子力発電, 電源開発, 日本原燃による. [2]については, 北海道電力, 東北電力, 中部電力, 北陸電力, 関西電力, 中国電力, 四国電力, 九州電力, 日本原子力発電, 電源開発, 日本原燃による.)

参考文献

- 1) 原子力安全基盤機構: 基礎地盤及び斜面の安定性に係る設計・リスク評価手引き, 2014.
- 2) 日本電気協会: 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2015, 2016.
- 3) 石丸真, 岡田哲実, 中村大史: 延性的な崩壊挙動を示す泥岩斜面の地震時残留変位量と時刻歴非線形解析の適用性, 第 44 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp. 7-12, 2016.