

すべり面形状および液状化の発生が3次元すべり安全率に及ぼす影響について

大成建設(株) 正会員○石井 亘, 正会員 広重敬嗣, 正会員 立石 章

1. はじめに

斜面安定問題において3次元のすべり面を考慮する場合, 2次元断面の検討では考慮されないすべり面側方の抵抗が, すべり土塊全体の安定に大きな影響を及ぼす. しかし, 実際の地層構成や地盤定数の分布を精度良く反映した3次元モデルの作成は多大な労力を要することや, 様々なパターンの3次元すべり面による計算コストは膨大となることから, 3次元のすべり安定性評価は実務設計において十分に普及していない. 一方で, 近年の3次元モデル作成ツールの普及や計算機能力の向上に伴い, 今後は3次元すべりによる合理的な設計も可能になるであろう.

そこで本研究では, 3次元すべり面形状と液状化の発生が3次元すべり安全率に及ぼす影響を明らかにすることを目的として, 地震時の液状化により安定性が損なわれる鉦さい集積場を対象にパラメータスタディを実施した.

2. 解析条件および解析ケース

解析手法は, 広重ら¹⁾と同じ3次元全応力地震応答解析であり, 3次元すべり面の全体すべり安全率 F_s の算定には本研究での開発プログラム(㈱アーク情報システムと共同開発)を用いた. 図1に示す解析モデルは, 広重ら¹⁾の用いた鉦さい集積場の2次元FEMモデルの下部に基礎岩を付加し, さらに斜面横断方向へ様に400m押し出した3次元FEMモデルである. 解析物性値と入力地震動を, 表1および図2に示す. 本地震動は, 東北地方太平洋沖地震の藤沢観測波NS成分より作成した基礎地震動(2E)である.

次に, すべり安全率算定時の解析ケースを表2に示す. ここで, 各ケースのすべり面は全て解析モデル中央断面において半径205mの円弧を成し, かつ法肩部地表面における斜面横断方向幅 W が50m, 100m, 200m, 300mとなる楕円体4パターンと, 中央断面における円弧を斜面横断方向に延長した円筒1パターンの計5パターンである. また, スライム3・4については, 液状化(過剰間隙水圧の上昇)を非考慮・考慮の2パターン設定した. なお, 円筒すべり面(ケースA⑤, B⑤)の解析結果は, 2次元断面モデルにおける円弧すべり解析と等価となる.

3. 解析結果

ケースA①, A⑤, B①, B⑤による全体すべり安全率 F_s の時刻歴を図3に示す. 過剰間隙水圧の上昇を考慮しないA①とA⑤では, 慣性力の作用に応じて F_s は振動して変化するものの, 最終時刻まで F_s は漸減することなく平均的に一定である. これに対し, B①とB⑤では過剰間隙水圧の上昇に伴いせん断抵抗が低下するため, 1回目の主要動が作用する12秒付近で F_s が急激に低下する様子が確認できる.

キーワード 鉦さい集積場, 3次元すべり, 液状化

連絡先 〒163-0606 新宿区西新宿1-25-1 大成建設(株)土木設計部 TEL 03-5381-5418

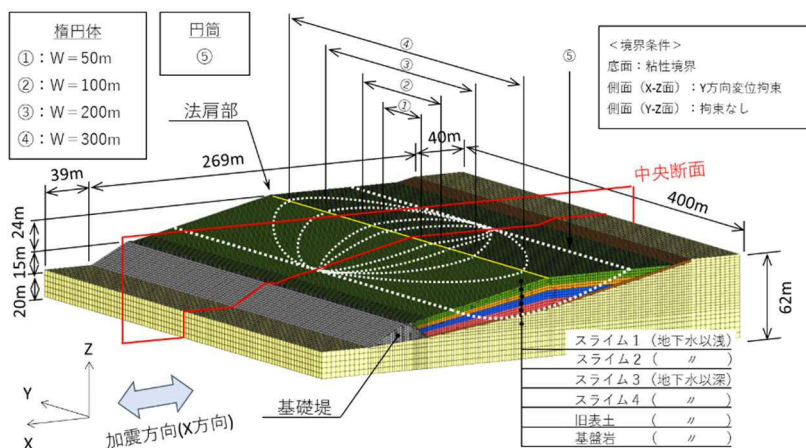


図1 解析モデル

表1 解析用物性値

土層	単位 体積 重量 (kN/m ³)	全応力地盤応答解析				液状化評価解析		すべり安全率算定解析	
		S波 速度 (m/s)	初期せん断 剛性 (kN/m ²)	動的 ポアソン比	非線形 特性	過剰間隙 水圧上昇 の考慮	液状化 強度比 RL20	粘着力 C' (kN/m ²)	内部摩擦角 φ' (°)
基礎堤	20.0	370	279,000	0.35	ひずみ 依存 剛性低下	なし	－	0.0	40.0
スライム1	18.8	120	27,600	0.46				0.0	44.4
スライム2		160	49,100						
スライム3	18.9	210	85,000	0.49	ひずみ 依存 剛性低下	あり	0.165	1.3	38.5
スライム4		240	111,000					1.3	
旧表土	18.9	380	278,000	0.47	なし	－	－	2.4	44.4
基礎岩	21.0	1,010	2,180,000	0.39				線形弾性	－

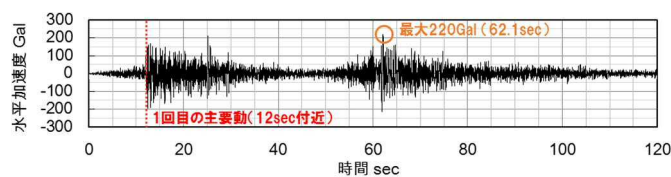


図2 入力地震動

表2 すべり安全率算定時の解析ケース一覧

解析ケース	A①	A②	A③	A④	A⑤	B①	B②	B③	B④	B⑤
すべり面形状	楕円体				円筒	楕円体				円筒
斜面横断幅W(m)	50	100	200	300	—	50	100	200	300	—
過剰間隙水圧の上昇	非考慮					考慮				

全体すべり安全率 F_s （初期値・時刻歴最小値・最終値）と斜面横断方向幅 W の関係を図4に示す。図4中には、楕円体すべりの結果をプロットで示すとともに、円筒すべり（A⑤およびB⑤）の結果を実線で示している。また、図5には、円筒すべりの F_s 各値を1とした場合の、楕円体すべりの各ケースの比率を示した。

図4および図5より、楕円体すべりの F_s は、慣性力の影響が無い初期値および最終値、慣性力の影響を受けた時刻歴最小値とともに、過剰間隙水圧上昇の非考慮・考慮に関わらず、 $W=50\text{m}$ が最も大きく、 $W \geq 100\text{m}$ のケースにおいては概ね同等の結果である。ここで、各ケースの3次元すべり面を構成する土層の割合を図6に示す。図6を考慮すると、上記の結果は、楕円体すべり面の構成割合が $W=50\text{m}$ では非液状化層49%、液状化層51%であるのに対し、 $W \geq 100\text{m}$ になると非液状化層45%、液状化層55%でほぼ収束することが主要因であると推察される。すなわち、3次元すべり面の横断方向幅 W が斜面安定性に及ぼす影響の大きさは、ある程度 W が大きくなると変わらなくなるものと考えられる。

次に、図4・図5において、楕円体すべりと円筒すべりにおける F_s の時刻歴最小値および最終値を比較すると、過剰間隙水圧の上昇を考慮しないケース（A）では大きな差はないが、考慮するケース（B）では2倍程度の差が生じている。これについても、楕円体すべり面と円筒すべり面ではすべり面全体に占める液状化層の構成割合が、それぞれ51~55%（ $W=50\text{m} \sim 300\text{m}$ ）と74%で大きく異なるためであると考えられる。

以上より、鉱さい集積場のように、最小安全率のすべり面が深部の液状化層を通過する場合には、2次元の円弧すべり解析は、3次元のすべりを生じる実現象に比べてかなり安全側の結果を与えているものと考えられる。

4. まとめ

鉱さい集積場を対象として、地震時のすべり安全率算定解析を行った。その結果、深部の土層が液状化を生じる場合には、すべり面が通過する地下水位が浅・以深の土層の割合が全体すべり安全率 F_s に大きな影響を及ぼすことが明らかとなり、3次元のすべり安定性評価によって2次元による従来評価法を合理化できる可能性を示した。ただし、土層構成や地盤物性、すべり面形状の設定によっては異なる傾向を示す場合も考えられる。今後は、3次元すべり安定性評価の実務設計への適用方法について検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 広重ら：鉱さい集積場の3次元すべり安定性評価による実被災事例の検証，土木学会第72回年次講演会，2017（投稿中）

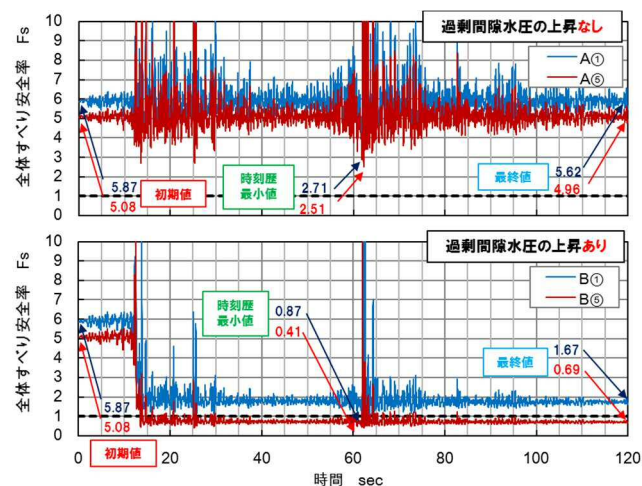


図3 全体すべり安全率時刻歴

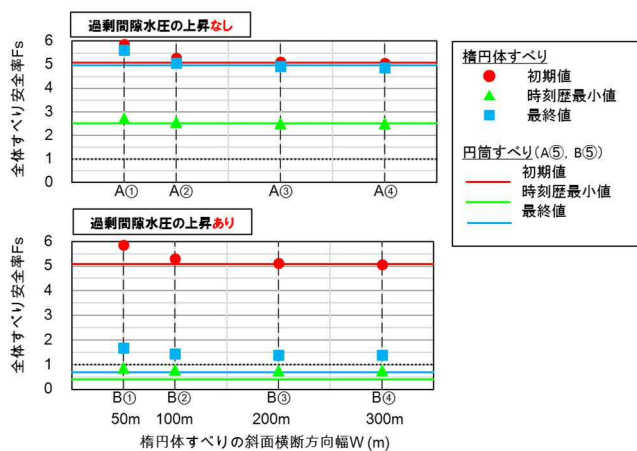


図4 全体すべり安全率 F_s ～斜面横断方向幅 W 関係

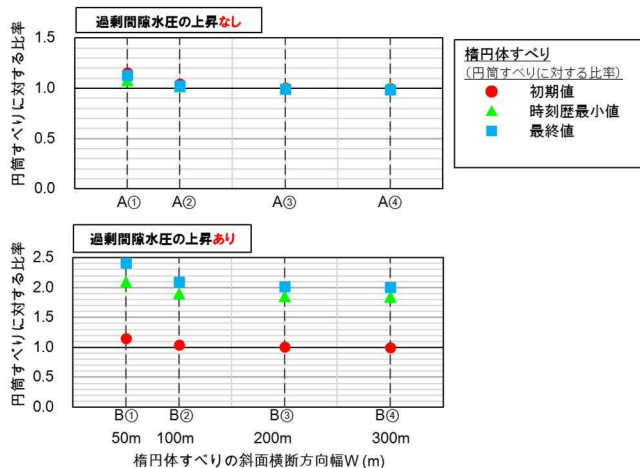


図5 円筒すべりに対する楕円体すべりの F_s 比率

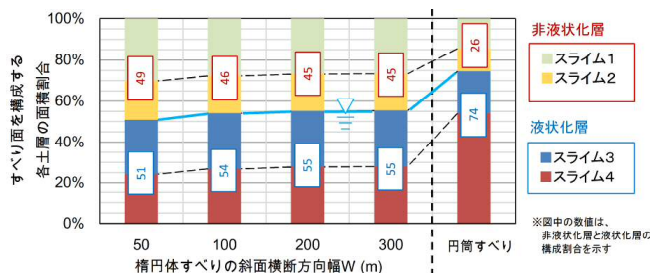


図6 3次元すべり面における各土層の面積割合