

カルシア改質土で構築した盛土の遠心加速度上昇実験に対する円弧すべり解析の適用

日建設計シビル 南野佑貴 片桐雅明  
 沿岸技術研究センター 春日井康夫 渡部耕平  
 九州工業大学 廣岡明彦  
 国土交通省九州地方整備局 瀬賀康浩 南正治 末次広児 高嶋紀子

1. はじめに

近年、港湾では、泊地・航路の増深や航路維持により大量の浚渫土が発生しており、その浚渫土の処理が問題となっている。そこで、浚渫土の活用技術として転炉系製鋼スラグを成分管理・粒度調整したカルシア改質材を混合したカルシア改質土の開発が進められている<sup>1)</sup>。この改質土を土砂処分場の護岸の腹付け材に用いることを想定し、所定の形状の改質土の破壊メカニズムと破壊時の安定性を評価するための諸量を求めることを目的に遠心模型実験が実施された。この遠心模型実験では、テイラーの安定図表を用いて盛土の安定度を評価することが可能であることが確認された。

本検討では、テイラーの安定図表による安定度確認が実施されている既往の遠心模型実験を対象に、実験条件用いた円弧すべり解析を実施し、実験結果から得られる安定係数と解析結果を比較することで、改質土を用いた盛土の安定性評価への円弧すべり解析の適用性を検討する。

2. 既往の遠心模型実験<sup>2)</sup>

表-1 に実施された遠心模型実験の実験ケース毎の実験条件（初期含水比、改質材混合率など）、実験結果（降伏時 G、崩壊時 G）を示す。実験ケースは大きく分けて「混合直後の A シリーズ」と「1 日養生の B シリーズ（ある程度固化した状態を想定）」の 2 種類が実施された。実験結果は、混合直後で強度の低い A シリーズでは、降伏時と崩壊時の安定係数はそれぞれ 6.4~7.5 (3.2~10.1G), 8.4~11.6 (4.3~18G) であった。一方、ある程度固化した状態である B シリーズでは、降伏時と崩壊時の安定係数はそれぞれ 5.7~7.7 (3.2~10.1G), 8.4~11.6 (4.3~18G) であった。

本検討では、上記の A シリーズと B シリーズに対して、表-1 に示す諸条件（ $\gamma$ , c）を基に「降伏時」と「崩壊時」の円弧すべり解析を実施し、実験結果から得られる安定係数と解析結果の安全率を比較する。

表-1 遠心模型実験/条件と結果<sup>2)</sup>

【条件】

実験ケース	実験条件			
	初期含水比 (%)	混合率 (%)	粘着力 c (kN/m <sup>2</sup> )	湿潤重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
A-1	200	25	1.30	17.29
A-2	150	25	2.54	17.76
A-3	150	30	4.09	18.64
B-1	200	25	10.69	17.45
B-2	200	20	10.32	16.46
B-3	200	15	8.30	15.68

【結果】

実験ケース	実験結果 遠心加速度		安定係数	
	降伏時 (G)	崩壊時 (G)	降伏時	崩壊時
A-1	3.2	4.3	6.4	8.4
A-2	7.1	13.0	7.5	11.6
A-3	10.1	18.0	6.9	10.9
B-1	28.0	48.0	6.9	10.2
B-2	32.0	52.0	7.7	10.8
B-3	20.0	36.0	5.7	8.8

3. 解析概要

円弧すべり解析は修正フェレニウス法を用いて実施した。解析モデルは、解析対象となる実験ケースにおける降伏時と崩壊時の遠心加速度を用いて、相似則から盛土を実大スケールに換算してモデル化を行った。例として、実験ケース A-1 を対象とした解析モデルを図-1 に示す。盛土の地盤物性は遠心模型実験で得られている湿潤重量と粘着力を基に設定した。

なお、解析モデルでは、遠心模型実験における実験装置のプラットフォームを考慮するために、盛土以深の地盤物性は仮値として  $c=999\text{kN/m}^2$  を設定している。

4. 解析と実験の結果比較

図-2 に 1 実験ケース A-3 の円弧すべり解析結果および遠心模型実験結果を、図-3 に 1 実験ケース B-1 の円弧すべり解析結果と遠心模型実験結果を示す。A シリーズの円弧すべり解析では、すべり面は盛土天端から盛土底部近傍を通り法尻付近に達した。一方で、遠心模

型実験結果では円弧すべり解析に比べてすべり面は浅い箇所に発生しており、円弧すべり解析結果の方が、回転半径が短いことがわかる。この傾向は A シリーズに共通したものであった。円弧すべり解析と遠心模型実験ですべり面の回転半径に差異が生じている要因としては、A シリーズは改質材混合直後で強度の低い改質土を用いたために、遠心模型実験では、斜面すべりに近い挙動を示したことが考えられる。

一方、ある程度固化した状態である B シリーズでは、円弧すべり解析と遠心模型実験のすべり面は比較的類似しており、円弧すべり解析によりすべり破壊が評価できていると考えられる。

表-2および表-3に遠心模型実験結果からテイラーの安定図表により算出した「安定係数」と円弧滑り計算で算出した「安全率  $F_s$ 」を示す。安定係数は、 $nd=1$  で約 8.05 であり、降伏時の安定係数は 5.67~7.66 と  $nd=1$  よりも低く、崩壊時には安定係数は 8.04~11.56 と  $nd=1$  よりも高い。一方で、円弧すべり解析で得られた安全率は、A シリーズ、B シリーズともに概ね降伏時では 1 以上、崩壊時は 1 以下の値を有した。このように、円弧滑り解析の安全率は実験結果と対応しており、カルシア改質土を用いた盛土の工学的な安定性を判断する一つの手法として、円弧すべり解析を適用することは可能であると考えられる。

5. まとめ

本検討では、既往の遠心模型実験を対象に円弧滑り解析を実施し、実験結果から評価される盛土の安定度と円弧滑り解析結果を比較して、カルシア改質土の盛土安定評価に対する円弧滑り解析の適用性を検証した。その結果、円弧滑り解析で得られる安全率とすべり形状は実験結果と概ね対応しており、カルシア改質土の盛土の安定性を判断する手法として円弧滑り解析を適用することは可能であると判断できた。

参考文献

- 1)沿岸技術研究センター：港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利活用技術マニュアル，2017
- 2)副島ら：カルシア改質土で造成された土構造物の破壊メカニズム及び安定性評価に関する遠心模型実験，令和元年度土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会，III-512

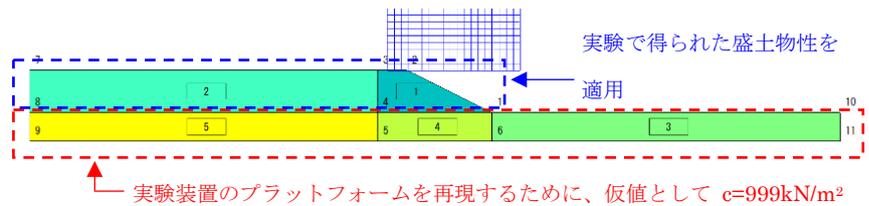


図-1 円弧すべり解析モデル

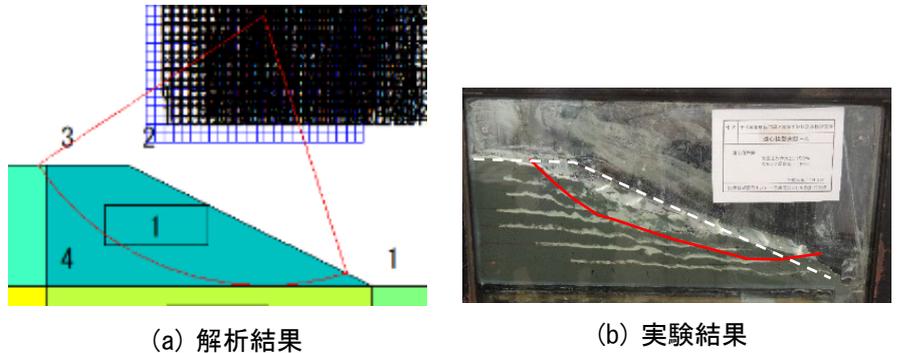


図-2 円弧すべり解析と遠心模型実験の比較 (A-3 崩壊時)

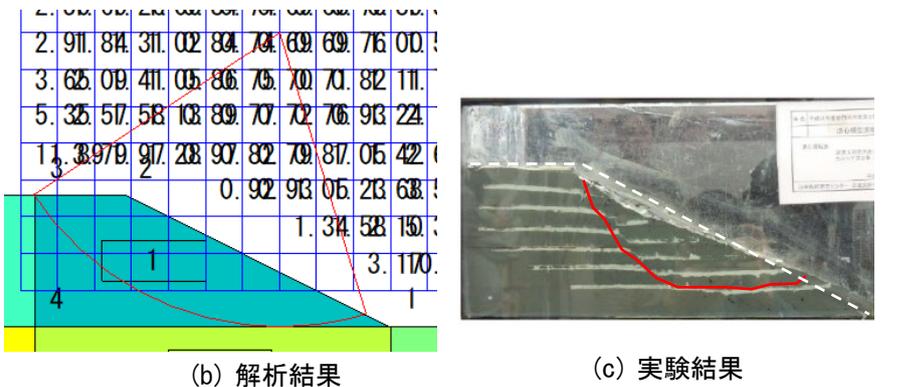


図-3 円弧すべり解析と遠心模型実験の比較 (B-1 崩壊時)

表-2 A シリーズの安定係数と安全率

		A-1	A-2	A-3
降伏時	遠心加速度 (G)	3.2	7.1	10.1
	安定係数 (実験)	6.4	7.46	6.9
	安全率 $F_s$ (解析)	1.517	1.141	1.273
崩壊時	遠心加速度 (G)	4.3	13	18
	安定係数 (実験)	8.4	11.56	10.93
	安全率 $F_s$ (解析)	1.019	0.694	0.661
安定係数 $nd=1, \beta=26.6$		8.05		

表-3 B シリーズの安定係数と安全率

		B-1	B-2	B-3
降伏時	遠心加速度 (G)	28	32	20
	安定係数 (実験)	6.86	7.66	5.67
	安全率 $F_s$ (解析)	1.182	1.057	1.456
崩壊時	遠心加速度 (G)	48	52	36
	安定係数 (実験)	10.19	10.79	8.84
	安全率 $F_s$ (解析)	0.689	0.65	0.801
安定係数 $nd=1, \beta=26.6$		8.05		