

浅層改良と深層改良を併用した地盤改良について

その2 (遠心力载荷模型実験結果)

(株) 東京ソイルリサーチ ○村田 健司
(国研) 土木研究所地質・地盤研究グループ 近藤益央、間瀬利明

1. はじめに

本報は、その1(併用型地盤改良概念と実験概要)に引き続き、浅層改良と深層改良を併用した設計照査方法の妥当性を検討するために行った遠心力载荷模型実験結果について報告するものであり、浅層改良体強度が破壊形態に及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法

盛土材料には2mm篩通した江戸崎砂(山砂)を用いた。江戸崎砂の土質工学的特性は、細粒分含有率 $F_c=15.9\%$ 、最大乾燥密度 $\rho_{dmax}=1.693g/cm^3$ 、最適含水比 $w_{opt}=14.1\%$ である。盛土は、木箱内に最適含水比付近の江戸崎砂を、締固め度 $D_c=90\%$ に締固めて作製した。作製後凍結させてから実験土槽内に運搬・静置し、一晚解凍させてから遠心力载荷実験に供した。一方軟弱地盤材料には、粉末のカオリンクレイ(ASP-400)を用いたり。カオリンは、液性限界の1.5倍(含水比77.4%)で加水攪拌によりスラリー状にし、土槽に3層に分けて投入した。軟弱地盤は、遠心力場50Gで自重圧密させて作製した。支持層には、東北硅砂5号を用いて相対密度 $D_r=90\%$ 相当に締固めて作製した。飽和は水頭差により行い、間隙水には水道水を用いた。

セメント改良土には、カオリンに早強ポルトランドセメントを加えて用いた。深層改良杭や浅層改良体は、注入ガンでスラリー状改良土材料を押し出して作製した。カオリンへの加水量は軟弱地盤と同じである。作製条件は湿潤養生日数4日、水セメント比 $W/C=1.0$ 、養生温度 $20^\circ C$ とした。目標一軸圧縮強度 q_u は、表-1の照査結果から $100\sim 1000kN/m^2$ の範囲に設定し、推定される浅層改良体破壊形態に合わせて添加量を7~45%の間に調整した。なお今回実験で深層改良杭の目標強度については、破壊しない十分な強度を有する $1000kN/m^2$ になるようにした。遠心力载荷実験当日の改良体強度を確認するため、一軸圧縮試験と割裂引張試験をそれぞれ3供試体ずつ実施した。

軟弱地盤作製時は、毎分1.0Gで遠心力を50Gまで载荷させた。所定の遠心加速度に達した後約7時間を目安に自重圧密させた。この時の圧密状況は、沈下計により \sqrt{t} 時間軸上で圧密度90%を確認している。载荷実験時には、50Gに達してから地盤変形がほぼ定常状態となる1時間ほど圧密させた。载荷中は、地表面沈下計の他地盤内に設置した土圧計や間隙水圧計により圧密状況をリアルタイムでモニターした。

3. 実験結果と考察

実施した遠心力载荷模型実験の結果を、表-1に示した。同表には実験時に行った改良体の一軸圧縮強度の他、地盤変状図や照査結果について整理してある。紙面の制約上本報には記載していないが、改良体に大きなクラックが発生すると、浅層改良体に設置した土圧計には、明確な変化が現れる。

実験結果の照査は、ALiCC工法マニュアル(土木研究所)^{2,3)}に基づき行った。改良体の設計基準強度 q_{uckse} 等の入力項目には、実験値をそのまま用いた。各地盤の土質工学的特性は、過去の実験や土質試験結果を基に設定したものである。また曲げ応力度、せん断力応力度、支持力安全率は、それぞれ1.0とした。その他許容曲げ応力度係数 q_t/q_u は、実験値である0.214を用いた。

曲げ安全率が0.99のCase1には、曲げ破壊が見られた。ただし開口幅が大きなクラックが見られる所は、深層改良杭の支えがなく片持ち梁状態の改良体外縁のみであり、改良杭が配置されている中央部は軽微であった。押し抜きせん断(パンチング)、曲げとも照査を満足していないCase2では、浅層改良体全体に渡って大きな破壊が見られた。これらの破壊は、遠心加速度が所定の50Gになる以前から確認されている。一方浅層改良体強度が比較的大きなCase3,4では、Case3で曲げ安全率が1を下回るものの、軽微なクラックが発生しているだけで、改良体全体的には段差もなく健全な状態であった。つまりパンチング及び曲げに対する両照査を満足していないと、盛土荷重により軟弱地盤の圧密が進行し大きな破壊に至ること、浅層改良体強度が一般的な仕様である $600kN/m^2$ 程度より大きいと曲げ破壊は軽微なもので、盛土や改良体の変状についても小さいことが分かった。

表-1 遠心力載荷模型実験結果 (R2 年度実験)

実験ケース	Case1	Case2	Case3	Case4	
実物換算改良体間隔 (m)	2.1	3.5	3.5	3.5	
深層改良杭平面改良率	18.7%	6.4%	6.4%	6.4%	
浅層改良体強度 q_u (kN/m ²)	85	191	679	947	
深層改良杭強度 q_u (kN/m ²)	931	892	827	988	
浅層改良体変状 (写真記録)					
浅層改良体変状 (平面)					
浅層改良体変状 (正面)					
浅層改良体の許容曲げ応力度	$q_t/q_u=0.214$ (実験値)				
浅層改良体照査 (安全率)	パンチング	4.05	0.73	2.60	3.62
	曲げ	0.99	0.34	0.77	1.02
実験時の破壊形態	曲げ破壊	曲げ破壊 パンチング	曲げ破壊	損傷なし	
備考 (浅層改良体の変状)	改良杭の支えがない浅層改良体外縁部で開口幅が大きなクラック。中央部は軽微なクラックで、段差も見られず比較的健全である。	盛土縦断方向に改良杭に沿って開口幅が大きなクラック。改良体全体に段差が見受けられる。クラックは、遠心加速度30G前後からの発生が確認。	盛土中央付近の縦断方向に軽微なクラック。全体的には段差もなく健全である。	浅層改良体の改良杭間1か所に極めて軽微なクラック。全体的には段差もなく健全である。	

4.まとめ

浅層改良体強度がその破壊形態及ぼす影響を、ALiCC 工法マニュアルに基づいて設計し、遠心力載荷実験で照査した。その結果、許容曲げ応力を実験結果である 0.2 倍程度に設定すれば、設計照査と実験結果の破壊形態は一致し、ALiCC 工法マニュアルの適用範囲としている改良体間隔以上となる低改良率でも同マニュアルが適用できることが分かった。

【参考文献】

- 1) 近藤益央, 宮原裕昭: 浅層改良盤の変状確認遠心力模型実験, 土木技術資料令和元年 8 月号, 2018 年 8 月
- 2) 独立行政法人土木研究所: 地盤改良のための ALiCC 工法マニュアル(土木研究所), 鹿島出版会, 2007
- 3) ALiCC 工法研究会, 国立研究開発法人土木研究所監修: ALiCC 工法マニュアル 低改良率セメントコラム工法, 鹿島出版会, 2015