

浅層改良と深層改良を併用した地盤改良について

その1 (併用型地盤改良概念と実験概要)

(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
(株) 東京ソイルリサーチ 村田健司

1. はじめに

軟弱地盤対策でのコスト削減を目的として、深層混合処理工法と浅層混合処理工法を組み合わせる場合がある。深層混合処理工法と浅層混合処理工法を組み合わせる工法は、低改良率化によるコスト削減のみならず、深層改良杭と未改良地盤との沈下量の差により発生する盛土の不陸抑制でも大きな効果が期待できる。浅層改良体の厚さを薄くしたり、深層改良杭領域の改良率を低くしたりして組み合わせると、浅層改良盤の下部に引張り応力が発生する。そこで、超低改良率の深層混合処理工法と浅層改良体を組み合わせた遠心力載荷模型実験を実施した。本報告では、浅層改良と深層改良を併用した地盤改良の概念と実施した模型実験の概要について報告する。

2. 深層混合処理工法と浅層混合処理工法を併用した地盤改良の概念

深層混合処理工法と浅層混合処理工法を併用した地盤改良は、低改良率地盤改良技術である ALiCC 工法に紹介されている。ALiCC 工法においては、未改良地盤上の盛土沈下量と深層改良杭上の盛土沈下量により発生する不陸対策として浅層改良体やジオテキスタイルの併用した工法を紹介している。しかし、改良杭の間隔が広がり、低改良率化が進むと、盛土下面で発生するアーチ効果が十分発揮されない場合があるため、ALiCC 工法マニュアルでは改良体間隔の上限値を 2.5m としている。図-1 に示した浅層改良との併用の場合、盛土荷重は浅層改良体を通じて、深層改良杭に伝達されることから、浅層改良体が健全な状態、すなわち損傷を受けることなく、盛土荷重を深層改良杭に伝達出来ることが重要となる。コスト削減及び工期短縮を目的とした浅層改良と深層改良を併用した地盤改良の設計において、照査すべき事項の確認と、その照査方法の確立することを本研究では目的としている。

著者らは、浅層改良と深層改良を併用した地盤改良で発生する損傷パターンを遠心力載荷模型実験で確認した。実験で確認出来た浅層改良体の損傷パターンは、押し抜きせん断 (パンチング) と曲げ破壊であった。曲げ破壊は浅層改良体下面から進展する曲げ破壊と片持ち梁状になった端部での浅層改良体上面からの曲げ破壊の 2 パターンが確認している。

ALiCC 工法マニュアルでは浅層改良体の押し抜きせん断 (パンチング) と曲げ破壊の照査方法について紹介している。浅層混合改良体の押し抜きせん断照査については、地盤の許容支持力度を「道路橋示方書・同解説IV下部構造編」に拠って算定し、浅層改良体に生じるせん断応力算出する。曲げ破壊の照査については、浅層改良体に生じる曲げ応力を弾性床上梁として計算する。浅層改良体の許容曲げ応力度は浅層改良体の設計基準強度 q_{uckse} から推定し、浅層改良体に生じる最大曲げモーメントは、等分布荷重が作用する弾性床上梁に生じる最大曲げモーメントとし、構造力学公式集(土木学会)の弾性床上両端ヒンジ有限梁の式により求めるものとしている。この時、曲げ破壊に対する照査で重要になるのが浅層改良体の許容曲げ応力度である。既往の研究では、粘性土の一軸引張り強度 q_t は一軸圧縮強度 q_u の 1/2~1/3 程度、砂質粘性土の一軸引張り強度 q_t は一軸圧縮強度 q_u の 1/4 程度で、砂質粘性土で添加材をセメントペースト、セメント粉体、生石灰とした場合、締固めで高い密度が期待できる最適含水比では、セメント粉体及び生石灰の水和反応に必要な水分が不足していることが考えられ、これらの一軸引張り強度 q_t は一軸圧縮強度 q_u の 1/10~1/15 程度であった。著者らが実施した研究のうち、カオリンにセメントペーストを混合させて実施した試験では、一軸引張り強度 q_t は一軸圧縮強度 q_u の 0.268 倍であった。浅層改良体の設計基準強度 q_{uckse} を用いて曲げ応力照査が出来れば実務的であると考えられることから、過年度に実施した遠心力載荷模型実験結果を ALiCC 工法マニュアルの設計法に準拠して照査した。

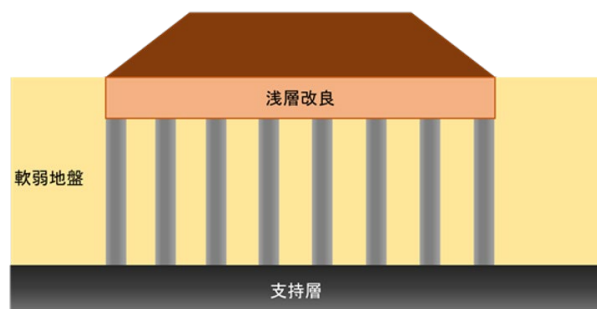


図-1 ALiCC 工法における盛土の支持機構

照査方法を検討するため用いた実験模型を図-2に示す。この実験では、盛土施工の進捗段階での浅層改良体の損傷状況を確認するため、実験模型に作用した遠心加速度が50Gに達し、間隙水圧が一定になった後に遠心場で盛土を空中落下法により作成した。遠心場でのジリコンサンドを空中落下法による作成のため、盛土のり尻が浅層改良体端部からはみ出るような形状になり、そのため浅層改良体端部では片持ち梁状態となったことで、浅層改良体上面から曲げクラックが発生した。表-1に設計判定と実験時の損傷形態を示す。許容曲げ応力を一軸圧縮強度の0.268倍を用いて設計した場合には、押し抜きせん断、曲げ照査で安全率1.0を満足しなかったのはCASE4のみで、設計時の照査結果と実験結果に乖離が見られた。そこで、実験時に実施した割裂引張強度試験結果から得られた許容曲げ応力を一軸圧縮強度の0.23倍として再計算すると、曲げ破壊が発生したCASE3においても曲げ破壊安全率が1.0を下回り、設計照査と実験結果が概ね一致した。

そこで、設計照査方法の再確認を行うため、図-3に示す遠心模型実験を行い、設計照査方法の妥当性を再検討した。実験準備として、目標設計強度を満足するための配合試験を行い、割裂引張強度試験と一軸圧縮試験を行い、この強度比0.21を用いて、許容曲げ応力を計算し、各CASEの浅層改良体強度を決定した。

3. まとめ

ALiCC工法マニュアルでは、深層改良杭間隔の上限値を2.5m(2.5~3.25mは要試験施工)としているが、浅層改良を併用する場合には、浅層改良体の押し抜きせん断(パンチング)と曲げ破壊の照査適切であれば、従来の設計法が適用出来る範囲拡大の可能性があったことがわかった。ただし、設計条件となっている深層改良杭間隔が確保されるためには、深層改良杭頭と浅層改良体下面が密着している必要がある。さらに、許容曲げ応力を一軸圧縮強度から算出する場合には一軸圧縮強度の0.2倍程度として照査すれば、妥当であることがわかった。

【参考文献】

- 1) 古関潤一他：セメント改良土の引張強度特性,生産研究 53巻11・12号,東京大学生産技術研究所,2001年11月
- 2) 近藤益央他：固化材改良した土の一軸引張り強度に関する実験的検討,第13回地盤改良シンポジウム,2018年10月
- 3) 藤澤久子他：盛土載荷による浅層改良体の変形特性に関する遠心力模型実験,令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会,2019年9月
- 4) 近藤益央他：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

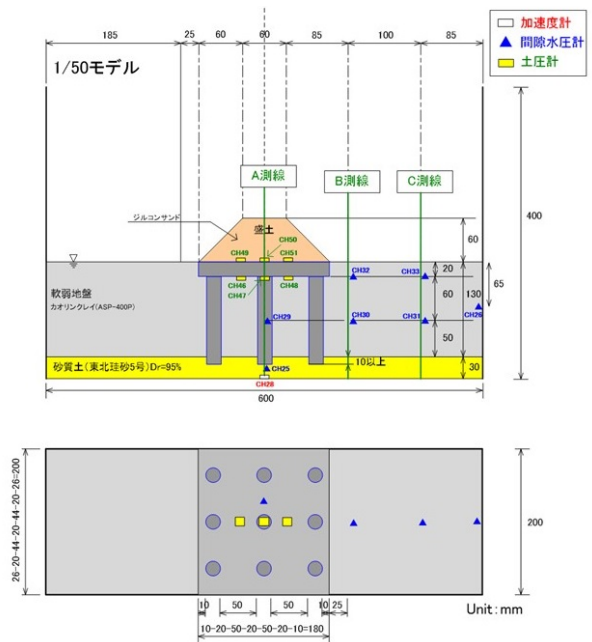


図-2 浅層改良体の変状確認に関する遠心力載荷実験模型概要(H30年度実施)

表-1 浅層改良体の設計照査結果と実験結果

項目	記号	単位	実物検査				
			CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	
浅層改良盤	浅層改良盤の厚さ	H _{1a1}	m	0	0	0	0
	浅層改良盤の厚さ	H _{1a2}	m	1	1	1	1
	浅層改良盤の設計基準強度	Q ₁₀₀	kN/m ²	212.1	144.5	752.8	223.5
	浅層改良盤の変形係数	K		100	100	100	100
	許容曲げ応力係数	F ₁₀		0.268	0.268	0.268	0.268
	許容せん断応力係数	F ₁₁		1.0	1.0	1.0	1.0
	地盤の支持力係数	F ₁₂		1.0	1.0	1.0	1.0
浅層改良盤の判定	浅層改良盤のせん断応力	τ ₁₀	kN/m ²	22.59	22.59	120.31	120.31
	浅層改良盤の許容せん断応力	τ ₁₀	kN/m ²	106.05	72.25	376.40	111.75
	パンチング安全率	F ₁₃		4.69	3.20	3.13	0.93
	パンチング判定			OK	OK	OK	NG
	浅層改良盤の曲げ応力	σ ₁₀	kN/m ²	28.51	28.03	183.45	127.08
	浅層改良盤の許容曲げ応力	σ ₁₀	kN/m ²	56.84	38.73	201.75	59.90
遠心模型実験結果	曲げ破壊安全率	F ₁₄		1.99	1.38	1.10	0.47
	曲げ破壊判定			OK	OK	OK	NG
	損傷形態			偏重による上部からの曲げ破壊	偏重による上部からの曲げ破壊	下部からの曲げ破壊	下部からの曲げ破壊

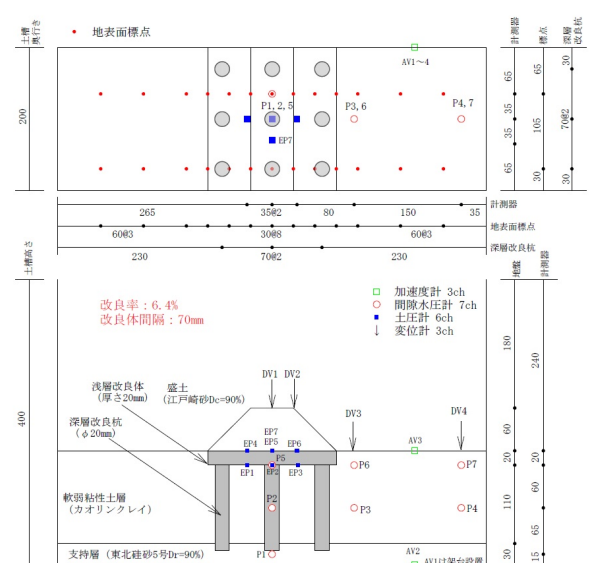


図-3 浅層改良体の設計照査方法確認のための遠心力載荷実験模型概要(R2年度実施)