

真空圧密併用盛土工法をシミュレートした三軸試験による高有機質土の変形挙動

秋田大学 ○柳田陽平

同上 正会員 荻野俊寛

同上 正会員 高橋貴之

(株)シーウェイエンジニアリング 山添誠隆

秋田大学 正会員 及川洋

1. 研究背景

地盤圧密工法のひとつである真空圧密工法は大きな圧密効果が期待でき、すべり破壊の可能性が低いというメリットを持つことから近年軟弱地盤の改良に積極的に取り入れられている。最近では、真空圧と盛土圧を複合的に载荷する真空圧密工法が一般的になっている。しかし、高有機質土地盤ではその軟弱さによってしばしば地盤を内側に引き込むような変形が発生し、これによる周辺地盤への影響が問題となっている。本報告は、三軸試験によってこれらを再現した一連のシミュレーション実験を行い、引き込み変形を最小にするための最適な载荷条件を検討している。また、代表的な土の構成モデルを用いて実験結果の再現性について検討している。

2. 試験概要

試験に用いた試料は北海道江別市および秋田県横手市の深度約 2m の泥炭層に直径 70mm の塩ビ管を貫入して採取した試料を高さ約 140mm 前後に形成したものをを用いた。上記の試料に表-1 の条件で三軸セル内にて圧密試験を実施した。一連の実験では原地盤における静止土圧係数を $K_0=0.6$ 、初期等方圧密応力を $\sigma_1=40\text{kPa}$ 、負圧の大きさは -80kPa 、载荷速度は 0.5kPa/min とした。盛土圧の大きさは幌向川泥炭の場合 $q=80\text{kPa}$ 、大雄泥炭の場合 $q=120\text{kPa}$ であり、载荷速度は $0.05, 0.25, 0.5\text{kPa/min}$ とした。盛土の载荷開始時期は供試体の間隙水圧が $0, 40, 75\text{kPa}$ に達した時点とした。また、真空解除後に軸ひずみ速度 $0.05\%/min$ で非排水せん断試験を実施した。

3. 試験結果

図-1、図-2 は真空圧密シミュレーション試験により得られた有効応力経路を示している。初期状態である原地盤の応力状態は図-1 中の点 A として示される。この地盤に盛土工法によって盛土が築造されると応力経路は経路 AB、真空圧密工法では経路 AC で表される。また、原地盤を真空圧密工法で改良した後、負圧载荷を継続したまま盛土を施工する場合は経路 ACD、盛土を負圧载荷と同時に始めた場合は AD、負圧がある程度载荷された段階で盛土を始めた場合は AED のような経路になる。また、盛土の载荷速度が負圧载荷速度に比べて大きい場合、より大きな過剰間隙水圧が発生するため、経路は左側にシフトしている。図 3 は負圧、軸応力载荷および負圧解除時の軸ひずみ ε_a と側方ひずみ ε_r の変化を示している。Test-H3 および Test-T8 を比較すると、側方ひずみはいずれも負の値となっている。また、幌向川泥炭は大雄泥炭のおよそ 2 倍の値を示しており、軸応力载荷では発生する側方ひずみが試料によって大きく異なることがわかる。Test-H4 および Test-T7 の側方ひずみの値も、軸応力のみを载荷した場合と同様に幌向川泥炭の変形量が大きい。負圧载荷過程(経路 AC)のひずみを見ると、有効応力は

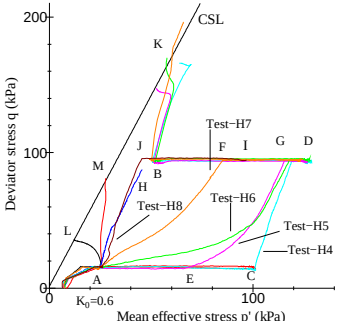


図-1 有効応力経路

(幌向川泥炭)

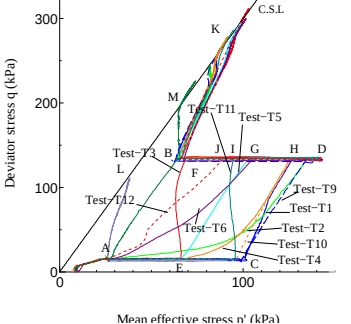


図-2 有効応力経路

(大雄泥炭)

表-1 実験条件

試料	試験	応力経路	真空圧密 速度 (kPa/min)	軸応力載 荷速度 (kPa/min)	軸応力載 荷時の真 空圧(kPa)
幌向川泥炭	test-H1	AL			
	test-H2	ACAM	1		0
	test-H3	AH			
	test-H4	ACDBK		0.05	80
	test-H5	AEGDBK			40
	test-H6	AGDBK	0.5		
	test-H7	AFDBK		0.1	0
	test-H8	AJ		0.5	
大雄泥炭	test-T1	ACHDBK		0.05	80
	test-T2	ADBK			0
	test-T3	AEFDBK		0.05	
	test-T4	AEHDBK		0.05	40
	test-T5	AEGDBK			
	test-T6	AGDBK		0.25	0
	test-T7	ACAL			
	test-T8	ABM			
	test-T9	ACDBK		0.05	
	test-T10	ACHDBK		0.25	70
	test-T11	ACIDBK			
	test-T12	AJDBK		0.5	0

キーワード 高有機質土 盛土併用真空圧密工法 応力経路 構成モデル

連絡先 〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1 TEL 018-889-2364

等方的に増加しているにもかかわらず発生する側方ひずみは軸ひずみに比べてかなり小さく、変形挙動が強い異方性を有していることがわかる。負圧および軸応力を組み合わせて複合的な載荷を行った場合、発生する側方ひずみによって大きく変化している。Test-H4の実験結果から幌向川泥炭では、負圧載荷後負の過剰間隙水圧の消散を待って軸応力を載荷した場合、一度発生した引き込み変形が元に戻っていないことがわかる。また、負圧の載荷途中で軸応力を載荷した場合、側方ひずみはこれよりも小さく、引き込み変形が抑制されている。発生する側方ひずみ量は、軸応力の載荷時期が早いほど、載荷速度が大きいほど小さくなっている。また、負圧を解除すると側方ひずみが膨張側に变化している。大雄泥炭の場合もこれと同様の傾向が見られる。軸応力載荷速度が大きいTest-T12、Test-T3、Test-T11では他のケースに比べ最終的な側方ひずみが小さい。また、載荷条件が等しいTest-H6とTest-T2、Test-H7とTest-T6、Test-H8とTest-T12をそれぞれ比較すると大雄泥炭の方がより引込変形を起こしやすい試料であることがわかる。以上の結果は、発生するひずみ量が軸応力や負圧の載荷条件だけでなく、試料自体の変形特性にも大きく依存することを示している。また、Test-T3、Test-T11、Test-H8、Test-T12、Test-T3のような挙動は、盛土の載荷条件の組み合わせによって側方変形を増加または減少させることが可能であることを示唆している。

次に、数値解析による実験結果の再現性について検討する。解析対象としたのは大雄泥炭の実験シリーズで、代表的な応力経路としてTest-T5、Test-T6、Test-T7の3通りを選んだ。検討に用いた構成モデルは、オリジナルカムクレイモデル（以下OCC）、修正カムクレイモデル（以下MCC）、関口・太田モデル（以下SO）である。表-2は載荷終了時の各ひずみの解析結果を試験値と比較している。Test-T7での解析結果としてOCCが最も再現度が高い。MCCでは、側方ひずみが過大評価となり、SOでは軸ひずみよりも側方ひずみが卓越する。Test-T6についても側方ひずみが小さいOCCが最も試験値に近く、SOも同様の結果が得られた。MCCはTest-T7と同様、内向きの水平変位を大きく評価する。Test-T8でもOCCとSOの適用性が高い結果となった。MCCの $\varepsilon_v/\varepsilon_s$ は他のモデルと比較して大きな値となった。以上の結果から、OCCが実験結果を最もよく再現できているが、OCCは等方型のモデルであり、異方構造に起因する変形挙動が顕著に現れる泥炭に対しては本質的にはモデルの適用範囲外である。したがって、前提の異なるモデルの適用にはその予測精度に対して慎重な判断が必要と考えられる。

4. 結論

本研究から得られた知見は以下の通りである。

- ・ 高有機質土は真空圧密併用盛土工法において大きなひずみを生じるが、載荷条件を最適化することで側方ひずみをほとんど生じさせない施工の可能性を示した。
- ・ 代表的な構成モデルを用いた変形挙動の解析の結果、オリジナルカムクレイモデル(OCC)が最も実験結果をよく再現したが、OCCは変形の異方性を本質的に表現しうるものではないため、モデルの選択は慎重に行うべきである。

【参考文献】

- 1) Hayashi, H., Nishikawa, J., Odajima, H., Mitachi, T., Fukuda, F.: Deformation analysis of peaty ground with cam clay model, Proceedings of IS-Hokkaido 94, Vol.1, pp.575-581, 1994.
- 2) 三田地利之, 山添誠隆, 林宏親, 荻野俊寛; “泥炭性軟弱地盤の変形解析への各種構成モデル・解析手法の適用性”, 土木学会論文集 C, Vol. 66, No. 1, pp.1-20, 2010.
- 3) 三田地利之, 高橋秀彰, 香西篤; 真空圧密工法による地盤の変形と強度増加 -三軸試験によるシミュレーション-, 土木学会論文集 No. 722 / III-61, pp.245-252, 2002.

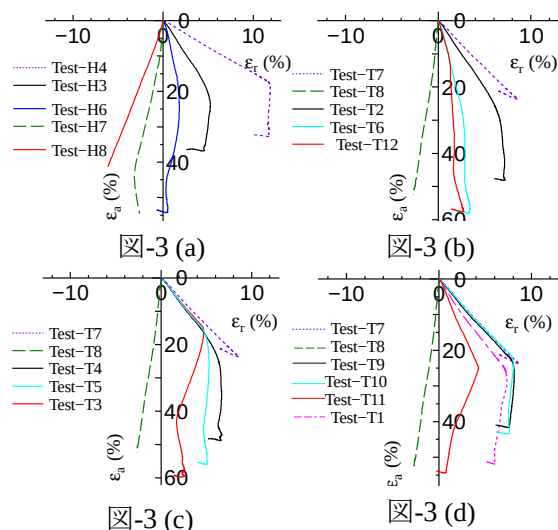


図-3 試験ごとのひずみの変化

表-2 解析結果

構成モデル	Test-T7			Test-T6			Test-T8		
	ε_a	ε_r	$\varepsilon_v/\varepsilon_s$	ε_a	ε_r	$\varepsilon_v/\varepsilon_s$	ε_a	ε_r	$\varepsilon_v/\varepsilon_s$
試験値	21	6	3.30	44	2	1.71	41	-2	1.36
OCC	23	6	3.18	43	4	1.96	41	-1	1.39
MCC	15	12	19.00	31	9	3.57	30	2	1.94
SO	3	19	-3.82	43	4	2.04	40	-1	1.44