

盛土併用真空圧密中の泥炭の非排水せん断強度におよぼす載荷条件の影響

秋田大学 学生会員 ○御手洗匠 正会員 荻野俊寛
学生会員 柳田陽平 正会員 高橋貴之

1. はじめに

著者らの一人はこれまでに盛土を併用した真空圧密工法をシミュレートした三軸試験から、負圧および軸応力載荷を複合的に受ける泥炭の側方ひずみが軸応力の載荷条件によって圧縮側から引張側まで幅広い範囲で制御可能であることを示した。負圧および軸応力の複合的な載荷によって載荷後の剛性や強度は大きく増加することがわかっているが、載荷中にどのような変化をたどって最終的な剛性や強度を発揮するのかについては不明な点が多い。本研究では一連の三軸試験から載荷中の非排水強度の変化におよぼす軸応力載荷条件の影響について検討している。

2. 試験概要

試験に用いた試料は山形県南陽市にて採取した白竜湖泥炭であり、深度 1~2m から採取した試料を含水比約 1000%になるよう蒸留水を加え、練り返した再構成試料を直径 70mm の予圧密セル内で一次圧密した後、直径 70mm、高さ 140mm に成形したものを供試体として用いた。上記の試料に対し三軸試験装置内で盛土併用真空圧密をシミュレートした試験を行った。静止土圧係数を $K=0.6$ 圧密応力を $\sigma'_v=40\text{kPa}$ 加えた状態を原地盤とし、背圧の減少によって真空圧密を、軸応力の増加によって盛土圧密をそれぞれ再現した。真空圧の大きさは -80kPa 、軸応力は $q=120\text{kPa}$ である。表-1 に実施した実験の負圧および軸応力の載荷条件を示す。Test-Y3~Test-Y6 は真空圧載荷速度、軸応力載荷速度をともに 0.1kPa/min として圧密を行った場合の経路を示しており(経路①)、Test-Y8~11 は真空圧載荷速度を 0.1kPa/min 、軸応力載荷速度を 0.5kPa/min として、軸応力載荷をより短期間に完了させた場合の経路を示している(経路②)。いずれも軸応力の載荷時期は真空圧が 40kPa に達した点(図 1, 図 2, 点 E)とし、一連の試験後、真空圧および盛土載荷中の強度を評価するために載荷を途中で打ち切り軸ひずみ速度 $0.05\%/min$ で非排水せん断試験を行っている。図 1, 2 はそれぞれ、経路①および経路②の有効応力経路を示している。図中における A 点は初期状態である原地盤の応力状態を表す。真空圧 40kPa を載荷した点 E を境に軸応力載荷速度が小さい経路①(図 1)では応力点は点 D へと移動し、軸応力載荷速度が大きい経路②(図 2)ではより破壊線に近い点 B を通って点 D へと移動する。

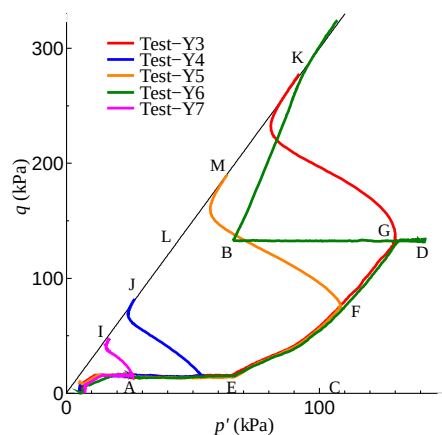


図 1 有効応力経路(経路①)

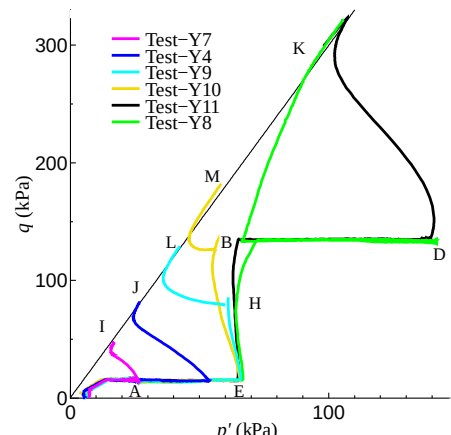


図 2 有効応力経路(経路②)

表 1 実験条件

試料	試験	応力経路	真空圧載荷速度 (kPa/min)	軸応力載荷速度 (kPa/min)	軸応力載荷時の真空圧(kPa)
白竜湖泥炭	test-Y3	AEGK	0.1	0.1	40
	test-Y4	AEJ			0
	test-Y5	AEFM			40
	test-Y6	AEDBK			
	test-Y7	AI			
	test-Y8	AEDBK	0.1	0.5	40
	test-Y9	AEHL			
	test-Y10	AEBM			
	test-Y11	AEDBK			

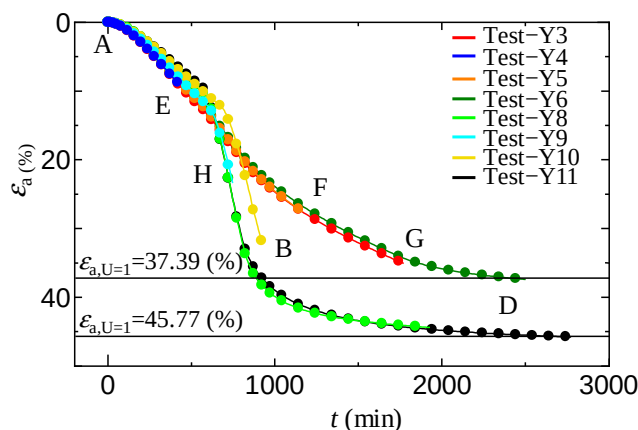


図 3 軸ひずみ-時間 関係

3. 試験結果および考察

図 3 は各経路における背圧および軸応力载荷時の軸ひずみの変化を示している。図 4, 図 5 は非排水せん断時の軸ひずみ ε_a と軸差応力 Δq の変化を示している。経路①(図 4)では軸応力载荷が進むにつれ、強度が増加しており、軸応力载荷中の強度が常に増加しているが、経路②(図 5)では軸応力载荷中にせん断した場合 (Test-Y9, Test-Y10), 軸応力载荷前 (Test-Y4) に比べ、強度が低下していることがわかる。その後、軸応力载荷が完了し、圧密が進むと強度は増加し、点 D (Test-Y8) からせん断した場合、強度は 188kPa となっている。経路①で点 D の近傍の点 G からせん断した場合 (Test-Y3), 強度は 148kPa と Test-Y5 に近い値となっている。また、点 D から真空圧を解除した点 B からせん断した Test-Y6, Test-Y11 では強度はいずれもおよそ 180kPa となっており、強度は経路によらない。

一方、実務において真空圧密併用盛土のすべりに対する安定を検討する場合、原地盤の非排水強度 s_u は式(1)によって評価される¹⁾。

$$s_u = s_{u0} + m \cdot \Delta p \cdot U \quad (1)$$

ここに、 s_{u0} は原地盤の非排水せん断強さ、 m は非排水強度増加率、 Δp は地盤内の増加応力、 U は圧密度をそれぞれ表す。図 6 はそれぞれの経路について、 U と s_u の関係を示している。なお、 U は Test-Y6, Test-Y11 の最終軸ひずみを $U=100\%$ に対応する軸ひずみと仮定して図 3 から算出した。経路①の場合、 s_u はほぼ直線的に増加している。近似線(図中赤点線)の傾きは 0.59 であることから、 m をおよそ 0.3 とした場合、式(1)によって s_u が適切に評価されることがわかる。ところが、経路②では Test-Y9, Test-Y10 の s_u は Test-Y4 よりも小さく、軸応力载荷速度が大きい場合、軸応力载荷中、一時的に強度が低下していることがわかる。载荷完了後、 s_u は大きく増加し、Test-Y8 では $m=0.4$ とした線上にある。このような s_u の変化は式(1)では表現することができず、軸応力载荷中の強度を過大評価することになる。図 7 に軸応力 q と真空圧 u および $s_u (=q_{\max}/2)$ の経時変化を示す。経路②の場合、軸応力载荷中の点 E から点 B において、強度低下が見られる。

4. 結論

盛土併用真空圧密における強度変化の過程を一連の三軸試験にてシミュレート試験によって確かめた。本研究から得られる知見は以下の通りである。

- ・ 負圧および軸応力载荷を複合的に受ける泥炭の非排水強度の変化は軸応力载荷速度によって大きく異なる。軸応力载荷速度が小さい場合、非排水強度は軸ひずみに基づいた圧密度とともに単調に増加するが、軸応力载荷速度が大きい場合、発生する過剰間隙水圧によって有効圧密応力が低下するため、一時的に非排水強度が低下する。
- ・ このような非排水強度の変化は真空圧密併用盛土の安定を検討する場合に用いられる式(1)では表現できない。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 15K06207 の助成によって実施された。ここに記して謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル, 泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル, 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所。

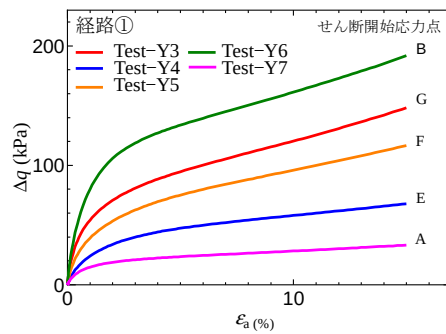


図 4 Δq - ε_a 関係(経路①)

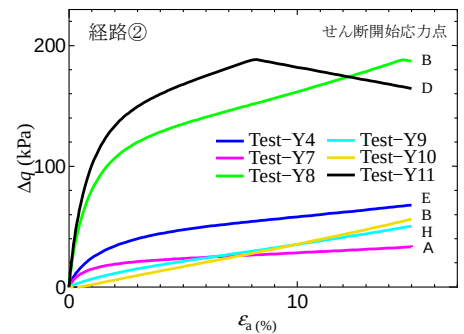


図 5 Δq - ε_a 関係(経路②)

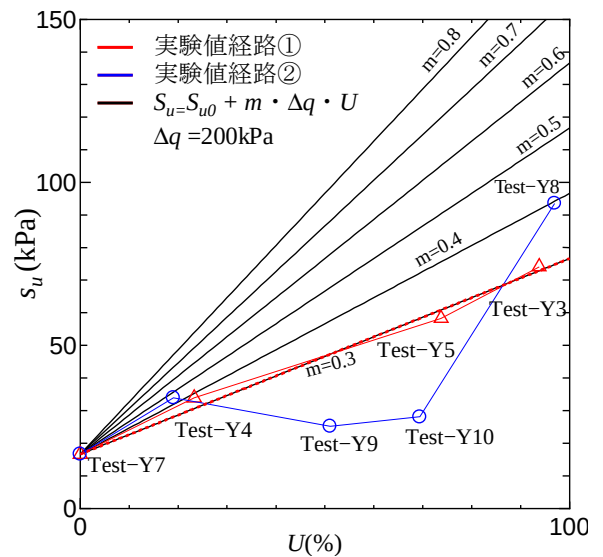


図 6 U - s_u 関係

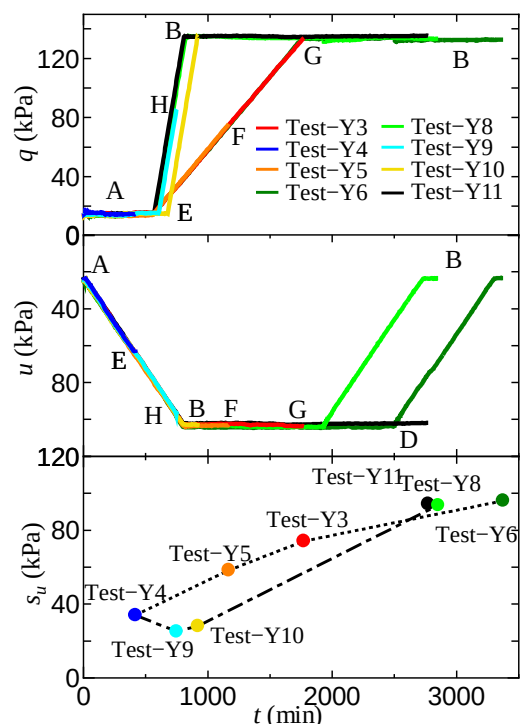


図 7 t - q, u, s_u 関係