

# 盛土併用真空圧密にともなう泥炭の非排水せん断強度の変化

秋田大学 学生員 ○柳田陽平 正会員 荻野俊寛 学生員 鈴木京  
正会員 高橋貴之 正会員 及川洋

## 1. 研究背景

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ことから近年軟弱地盤の改良に積極的に取り入れられ、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。施工後の強度や剛性は真空圧および盛土圧の载荷によって大きく増加することがわかっている一方で、施工中の強度や剛性の増加率については明らかになっていないことが多い。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試験を行い载荷過程における強度発現を明らかにするとともにせん断弾性係数  $G$  との相関性を示したものである。

## 2. 試験概要

試験に用いた試料は北海道江別市から採取した幌向川泥炭、秋田県横手市から採取した大雄泥炭、および山形県南陽市から採取した白竜湖泥炭の3種類であり、幌向川泥炭および大雄泥炭については深度約 1~2m 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用い、白竜湖泥炭については深度 1~2m から採取した試料に蒸留水を加え含水比約 1000%にして練返した再構成試料を予圧密セル内で次元圧密し直径約 70mm、高さ約 140mm、のものを試料として用いた。

上記の試料に表-1 に示す条件で三軸セル内にて圧密および非排水せん断試験を実施した。一連の実験では静止土圧係数  $K_0 = 0.6$ 、圧密応力  $\sigma_1 = 40\text{kPa}$  の状態で原地盤とし、(図-1~図-3 の点 A)、真空圧は負圧の減少によって、盛土圧は軸応力の増加によって再現した。真空圧の大きさは  $-80\text{kPa}$  であり、盛土圧の大きさは幌向川泥炭の場合  $q=80\text{kPa}$ 、大雄泥炭および白竜湖泥炭の場合  $q=120\text{kPa}$  である。

盛土の载荷開始時期は幌向川泥炭では供試体の間隙水圧が 0, 40, 75kPa に達した時点とし、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。なお、白竜湖泥炭の一部の実験では真空圧および盛土载荷中の強度増加を評価するために载荷を途中で打ち切り非排水せん断試験を行っている。

また、応力経路上の様々な点で供試体の  $G$  をベンダーエレメント (BE) 試験によって評価した。送信波は 1000, 2000, 5000Hz の正弦波 (sin 波) を用いており、 $G$  は以下の式により与えられる。

$$G = \rho_s (L/\Delta t)^2 = \rho_s V_s^2 \quad (1)$$

ここに、 $\rho_s$  は土の密度、 $V_s$  はせん断波速度、 $L$  は送信 BE と受信 BE の先端間の距離、 $\Delta t$  はせん断波の伝播時間を表す。

## 3. 試験結果

図-1~図-3 は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点 B へ、真空圧密工法では点 C へ移動する。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点 C を通過し点 D へ、盛土を負圧载荷と同時に始めた場合は点 A から点 D へ、負圧がある程度载荷された段階で盛

表-1 実験条件

試料	試験	応力経路	真空圧密		軸応力載荷		非排水せん断開始時期
			速度 (kPa/min)	値 (kPa)	速度 (kPa/min)	時の真空圧 (kPa)	
大雄泥炭	test-T1	ACHDBK	0.5	80	0.05	0	B
	test-T2	ADBK					
	test-T3	AHFDBK					
	test-T4	AHDBK					
	test-T5	AEGBDK					
	test-T6	AGDBK					
	test-T7	ACAL	0.5	70	0.05	0	
	test-T8	ABM					
	test-T9	ACDBK					
	test-T10	ACHDBK					
	test-T11	ACIDBK					
	test-T12	AJDBK					
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)	非排水せん断開始時期	
幌向川泥炭	test-H1	AL	0.5	1	0.05	0	B
	test-H2	ACDBK					
	test-H3	AM					
	test-H4	AGDBK					
	test-H5	AHDBK					
	test-H6	AGDBK					
白竜湖泥炭	test-Y1	ACAJ	0.5	0.1	0.1	40	D
	test-Y2	ACAL					
	test-Y3	AEDK					
	test-Y4	AJ					
	test-Y5	AJFM					
	test-Y6	AJDBK					
	test-Y7	AK					

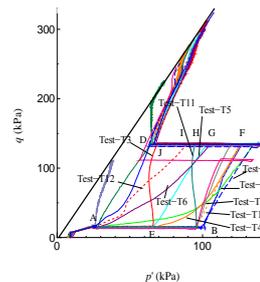


図-1 有効応力経路 (大雄泥炭)

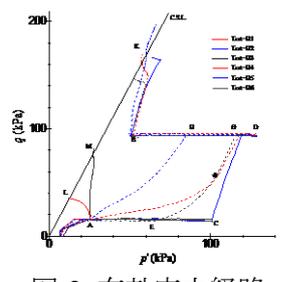


図-2 有効応力経路 (幌向川泥炭)

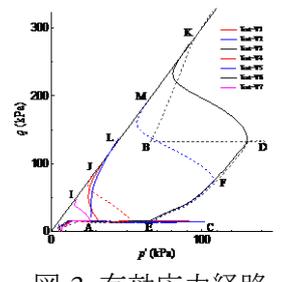


図-3 有効応力経路 (白竜湖泥炭)

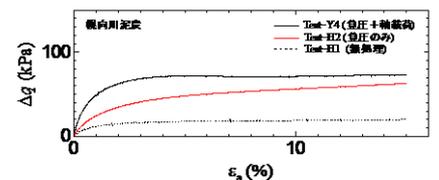


図-4  $\Delta q$ - $\epsilon_s$  関係 (幌向川泥炭)

土を始めた場合は点 E を通過し点 D へ移動するような経路になる。

図-4～図-6はそれぞれの試料での非排水せん断時の軸ひずみ $\epsilon_a$ とせん断強度 $\Delta q$ の変化を示している。幌向川泥炭では原地盤の状態である Test-H1 に比べ負圧のみをかけた Test-H2 では、 $\Delta q$  が大幅に増加している。また、Test-H2 と負圧および軸圧を載荷した Test-H4 を比較するとさらに $\Delta q$  が大きな値を示しており、負圧と軸圧の相乗効果が現れていることがわかる。大雄泥炭では負圧(80kPa)のみを載荷した Test-T7 と軸圧(120kPa)のみを与えた Test-T8 の非排水せん断強度はほぼ等しく負圧の載荷は盛土載荷と同等の効果を発揮している。図-6の白竜湖泥炭では真空圧および軸応力載荷中の強度増加を示している。無処理の状態 (Test-Y7) と比べると、真空圧および軸応力載荷が進むにつれ順次非排水せん断強度が増加していくことがわかる。

図-7～図-9 は  $s_u/\sigma'_{vc}$  と OCR の関係を示しており、図中の実線は式(2)による計算値である。Mitachi&Kitago<sup>1)</sup>によれば、過圧密粘土の非排水強度増加率は以下の式によって表される。

$$(s_u/\sigma'_{1c})_{OC} = (s_u/\sigma'_{1c})_{NC} OCR^\Lambda \quad (2)$$

ここに  $S_u$  は破壊時の偏差応力 $\Delta q/2$  であり、 $\Lambda=1-C_s/C_c$  である。上式が泥炭にも適用可能であることは対馬<sup>2)</sup>によって示されている。図-7、図-8では、負圧のみを載荷した場合若干のばらつきは見られるが実験式は式(2)による計算値とおおむね一致しており、真空圧あるいは軸応力を載荷した後の強度増加は式(2)によって予測可能であることがわかる。白竜湖泥炭(図-9)では、OCR=1 に対応する  $s_u/\sigma'_{1c}$  はほぼ 0.65 となっている。これらの中には真空圧および軸応力載荷途中にせん断を行った実験(Test-Y3～Test-Y5)も含まれているが、 $s_u/\sigma'_{1c}$  値に変化は見られないことから、載荷中であっても有効応力の増加に応じて強度が増加していることが確認できる。

図-10 は非排水せん断強さ  $s_u$  と  $G$  の関係を示している。それぞれの近似線の傾きは大きく異なっており、試料による違いは明瞭であるものの、試料ごとに見れば  $s_u$  と  $G$  にはよい相関関係が見られる。また、白竜湖泥炭の結果から、この相関関係は、真空圧および軸応力載荷中であっても成り立っており、有効応力の増加に応じて増加する  $s_u$  と  $G$  には試料ごとに一義的な関係があることがわかる。

#### 4. 結論

盛土併用真空圧密をシミュレートした一連の三軸試験を実施した。本研究から得られた知見は以下の通りである。

- ・真空圧および盛土載荷の途中、完了後に関わらず、泥炭の非排水強度は式(2)によって表せる。
  - ・非排水強度  $s_u$  とせん断弾性係数  $G$  の間には良好な相関が見られ、有効応力の増加に応じた剛性および強度増加は試料ごとに一義的な関係を示す。
- 謝辞：本研究は NEXCO 東日本 技術研究助成および地盤工学会 道路保全地盤技術向上の調査・研究助成事業 の助成を受けた。ここに記して謝意を表す。

#### 【参考文献】

- 1) Mitachi, T. and Kitago, S.: Change in undrained strength characteristics of saturated remolded clay due to swelling, *Soils and Foundations*, Vol. 16, No. 1, pp. 45-58, 1976.
- 2) 対馬雅己, 三田地利之, 荻野俊寛: 高有機質土の残留有効応力と一軸圧縮強度に及ぼす異方圧密の影響, 土木学会論文集, No. 743/III-64, pp. 235-240, 2003.

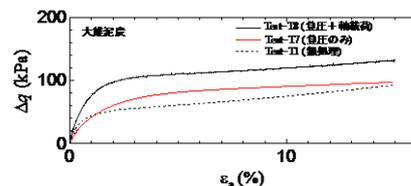


図-5  $\Delta q$ - $\epsilon_a$  関係(大雄泥炭)

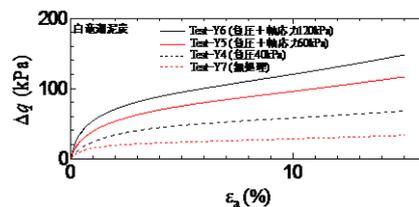


図-6  $\Delta q$ - $\epsilon_a$  関係(白竜湖泥炭)

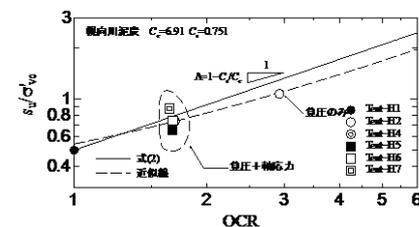


図-7  $s_u/\sigma'_{vc}$ -OCR 関係(幌向川泥炭)

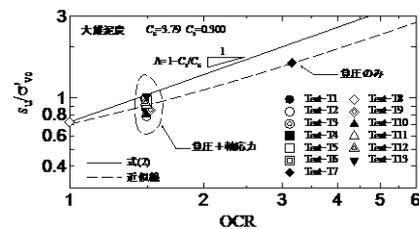


図-8  $s_u/\sigma'_{vc}$ -OCR 関係(大雄泥炭)

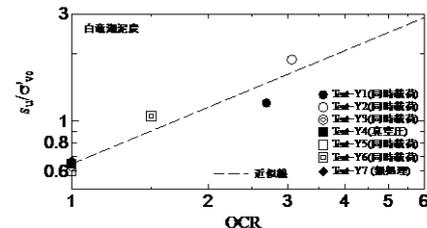


図-9  $s_u/\sigma'_{vc}$ -OCR 関係(白竜湖泥炭)

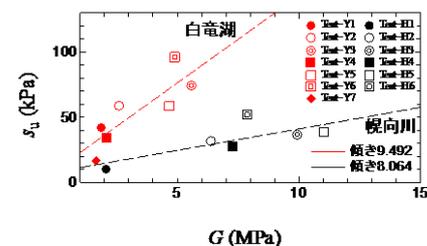


図-10  $s_u$ - $G$  関係