

盛土併用真空圧密にもなう泥炭のせん断弾性係数の変化

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

1. 研究背景

盛土を併用した真空圧密工法は、工期の短縮や比較的低コストで効果が高いというメリットがあり、泥炭地盤では特にその効果が顕著であることから、近年道路盛土等に積極的に取り入れられ施工実績を伸ばしている。泥炭地盤ではこの工法を適用したときの周辺地盤への影響が問題となる場合もあるが、真空圧・盛土圧の荷重時期・荷重速度を最適化することで地盤の変形を制御し、周辺地盤の変形を抑えた盛土施工が可能であることがこれまでに示されている。施工後の地盤の強度や剛性が大きく増加することが分かっている一方、施工中の地盤内の強度や剛性の変化はほぼ明らかになっていない。刻一刻と変化する施工中の地盤内の強度や剛性の増加を連続的に把握することは、地盤変形のコントロールだけでなく、盛土の安全施工の観点からも極めて重要である。本研究はこの

ような背景をふまえ、盛土併用真空圧密中の泥炭の強度や剛性変化のメカニズムを土要素レベルで解明すべく、強度と S 波速度の関係を明らかにし、S 波速度から強度変化を推定可能であることを示すものである。本報告ではその第一段階として、強度と高い関係性をもつせん断弾性係数の変化を明らかにしている。

2. 試験概要

実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および山形県南陽市から採取した白竜湖泥炭の 2 種類であり、いずれも深度 1~2m の泥炭層より採取している。表-1 に物性値を示す。幌向川泥炭は直径 70mm の塩ビ管を貫入して採取した試料を高さ約 140mm に成形し、白竜湖泥炭は含水比約 1000%になるように蒸留水を加え、練返した再構成試料を直径 70mm の予圧密セル内で一次元圧密した後、高さ約 140mm に成形して供試体とした。これらの試料に対し、原地盤における静止土圧係数を $K=0.6$ 、圧密応力を $\sigma_1'=40\text{kPa}$ として三軸試験装置内で盛土荷重を考慮した真空圧密シミュレート試験を行った。表-2 に各実験の試験条件を示す。また、真空圧密シミュレート試験の応力経路上の様々な点で、ベンダーエレメント試験(以下 BE 試験)による S 波速度の測定を実施した。送信波は 1000, 2000, 5000Hz の正弦波(sin 波)を用いており、BE 試験によるせん断弾性係数 G は以下の式(1)により与えられる。

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

ここに、 ρ 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、 Δt はせん断波の伝播時間を表す。一連のシミュレート試験後、試料の強度を評価するために軸ひずみ速度 0.05%/min で非排水せん断試験を行っている。

3. 試験結果

図-1、図-2 は真空圧密シミュレート試験より得られた有効応力経路図である。図中で、点 A は原地盤における初期状態、点 B、点 C、点 D はそれぞれ、真空圧の解除後(盛土のみの場合も同位置)、真空圧のみの荷重後、真空圧と盛土を合わせて荷重した場合、の応力状態を示している。点 E は負圧がある程度荷重された状態から盛土が始ま

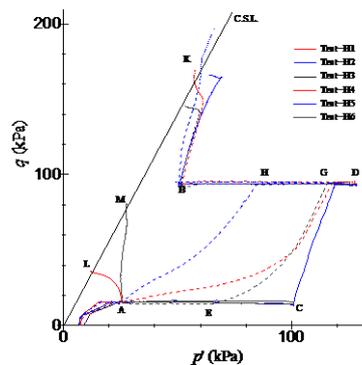


図-1 有効応力経路図 (幌向川泥炭)

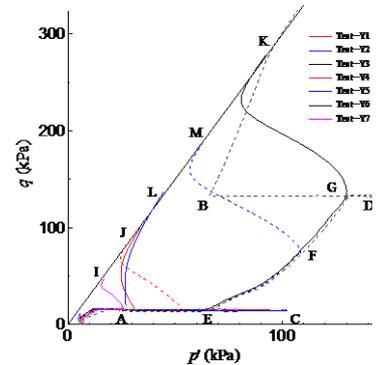


図-2 有効応力経路図 (白竜湖泥炭)

表-1 物性値

試料	含水比w(%)	土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	強熱減量L(%)	分解度H(%)
幌向川泥炭	598.7	1.610	73.61	54.50
白竜湖泥炭	807.1	1.655	74.14	76.38

表-2 試験条件

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)	
幌向川泥炭	test-H1	AL				
	test-H2	ACDBK	0.5	0.05	0	
	test-H3	AM	1			
	test-H4	AGDBK	0.5	0.05	0	
	test-H5	AHDBK		0.1		
	test-H6	AGDBK		0.05	40	
白竜湖泥炭	test-Y1	ACAJ	0.5			
	test-Y2	ACAL				
	test-Y3	AEDK	0.1	0.1	40	
	test-Y4	AEJ			0	
	test-Y5	AEFM			40	
	test-Y6	AEDBK				
	test-Y7	AI				

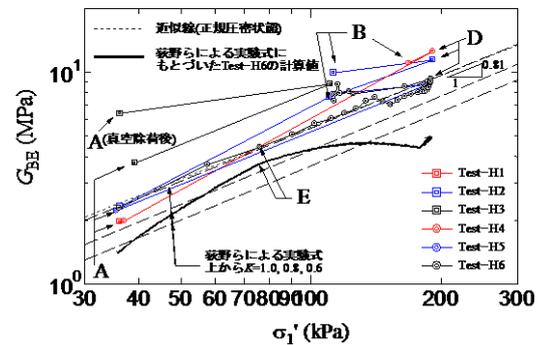


図-3 G - σ_1' 関係(幌向川泥炭)

キーワード 真空圧密併用盛土工法 泥炭 応力経路 圧密応力比 せん断弾性係数

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

際の応力状態を表す。図-3, 図-4 はせん断弾性係数 G と軸有効応力 σ_1' の関係をあらわしている。自然含水比の違いから同一圧密応力における G の値は幌向川泥炭(図-3)のほうが大きくなっている。真空圧および軸応力载荷中(AD間)の G - σ_1' 関係はほぼ直線関係を示しており、その傾きは幌向川泥炭で約0.81(Test-H6), 白竜湖泥炭で約0.64(Test-Y6)である。図中に示す直線は荻野ら²⁾による正規圧密された秋田泥炭の実験式である。試料の種類が異なるため、 G の値を直接比較することはできないが、正規圧密状態の泥炭の G は圧密応力比 $K=\sigma_3'/\sigma_1'$ の影響を受け、 K 値が減少し、側方有効応力 σ_3' が小さくなるほど G の値も減少することがわかる。これらの実験式はいずれも係数 A および指数 n を用いて、

$$G = A \sigma_1'^n \quad (2)$$

と表される。図-5(a),(b)は A および n と K 値の関係を示している。図中に示す近似線から任意の K 値に対する A, n を求めることができる。図-6 は Test-H6 および Test-Y6 の σ_1' と K の関係を示している。実験中の K 値は真空圧や盛土圧の载荷状態によって大きく変化し、AE 間では背圧の減少(真空圧の载荷)に伴って上昇するが、EG 間では軸応力の载荷に伴って減少している。図-3, 4 には図-6 の K 値に基づいて図-5 中の近似式から得られた A, n の値を式(2)に代入して得られた計算値を示している。計算値は K 値の変化に影響を受け、 G - σ_1' 関係は直線を示さず点Eで折れ曲がっているが、実験値の G - σ_1' 関係でこのような挙動は認められない。これは一次圧密終了点と真空圧および軸応力载荷中の供試体の間隙比の違いによるものと考えられる。一方、真空圧除荷過程の点Dから点Bにかけての過圧密状態の間では G は減少しているものの、その傾きは幌向川泥炭が約0.26(Test-H6), 白竜湖泥炭が約0.30(Test-Y6)と正規圧密状態の場合(約0.81(Test-H6), 0.64(Test-Y6))に比べて小さく、真空除荷(80kPa)による G の低下は幌向川泥炭がおおよそ15%程度、白竜湖泥炭がおおよそ10%程度である。また図-5, 6 は G - p' 関係を示しているが、図-3, 4 と同様にやはり直線関係を示している。

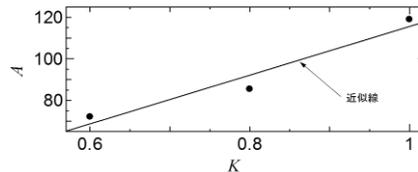


図-5(a) A - K

図-5(b) n - K

図-5 係数 A 及び指数 n と K 値の関係

4. 結論

盛土併用真空圧密中のせん断弾性係数 G の変化を三軸シミュレート試験により確かめた。本報告から得られる知見は以下の通りである。

- 盛土および真空圧载荷過程の泥炭の G は、圧密応力比の変化にかかわらず、 $\ln G - \ln \sigma_1'$ 関係あるいは $\ln G - \ln p'$ 関係において、ほぼ直線的に増加する。
- 真空圧除荷過程における泥炭の G の減少は比較的小さく、10%~15%程度である。

本報告の実験条件では常に p' が増加し、実際の盛土併用真空圧密を想定した場合、真空圧と盛土圧の载荷条件によっては正の過剰間隙水圧の発生が卓越し、 p' が減少する場合も考えられる。そのような場合の G の挙動については引き続き検討する必要がある。

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) 柳田陽平, 荻野俊寛, 高橋貴之, 及川洋, 山添誠隆; “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”, 土木学会東北支部技術研究発表会, CD-ROM, 2014
- 2) 荻野俊寛, 高橋貴之, 及川洋, 三田地利之, 対馬雅己; “ベンダーエレメント試験および繰返し载荷試験による泥炭のせん断弾性係数”, 地盤工学会誌 Vol. 4, No. 1, 125-133

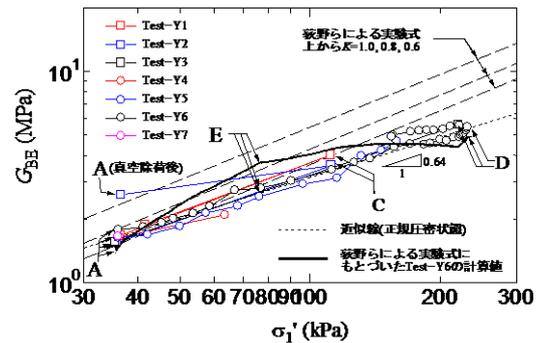


図-4 G - σ_1' 関係(白竜湖泥炭)

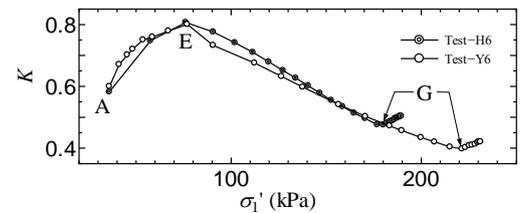


図-6 K - σ_1' 関係(Test-H6, Test-Y6)

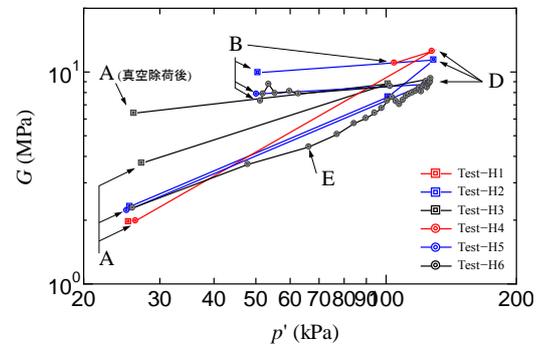


図-7 G - p' 関係(幌向川泥炭)

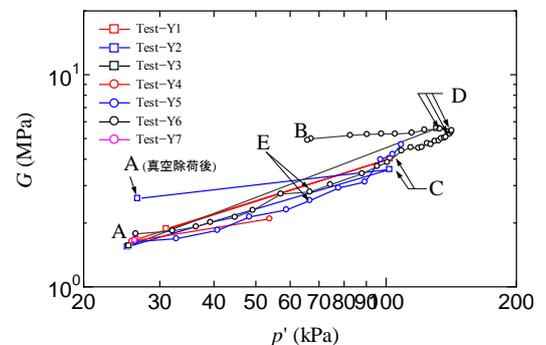


図-8 G - p' 関係(白竜湖泥炭)