# 盛土併用真空圧密を想定した圧密応力履歴を受けた 高有機質土のせん断波速度

秋田大学 学生員 〇柏谷知洋 秋田大学 正会員 荻野俊寛 日本大学 フェロー会員 三田地利之 秋田大学 正会員 高橋貴之 秋田大学 正会員 及川 洋

### 1.はじめに

高有機質土をはじめとする軟弱地盤の改良工法として近年頻繁に用いられるようになった真空圧密工法では、施工中の真空圧および盛土 圧の複合的な載荷・除荷によって地盤内の有効応力状態が複雑に変化 する.真空圧や盛土圧の変化にともなう連続的な地盤の強度や剛性の 変化を知ることは各段階の地盤改良効果を確認する意味で重要である が、その過程で強度や剛性がどのように発揮されていくのかは明らか にされていない.本報告は盛土併用真空圧密工法の一連の工程におけ る高有機質土の強度および剛性の変化を明らかにするため、三軸試験 において強度や剛性の指標となるせん断波速度 Vs をベンダーエレメン ト試験から求め、非排水強度や有効応力との関係について示している.

#### 2.試験概要

試験に用いた試料は北海道の江別市で採取したものであり,以後こ れを幌向川泥炭と呼ぶ.この試料は泥炭層に直接塩ビ管を差し込んで 採取した不攪乱試料であり,供試体作成にあたっては,試料の上下端 面のみを形成し供試体高さを130~150mmとした.

実験は盛土併用真空圧密工法の真空圧載荷、盛土載荷、真空圧除荷 の一連の流れを室内実験で再現した三軸圧縮試験である.真空圧の載 荷は背圧を減少させることにより再現している.実験条件単純化の都 合上以下のことを仮定する.1.盛土載荷における地盤の応力状態は、 水平全応力 $\sigma_h$ が一定で、鉛直応力 $\sigma_v$ のみが増加、その増加量 $\Delta \sigma_v$ は 80kPaとする.2.真空圧載荷において地盤に負圧を載荷した場合,負の 間隙水圧  $\Delta u$  が作用することにより鉛直および水平有効応力 $\sigma_v$ ,  $\sigma_h$ が増加する. 負圧はあらかじめ供試体に加えた背圧を減少させるこ とにより載荷し、その大きさは-80kPa および-40kPa とする. 図1は 一連の実験の応力経路であり、表1はその載荷条件を示している. 点 A は原位置の応力状態を示しており K<sub>0</sub>=0.6, 鉛直応力σ<sub>v</sub>=40kPa とした. 点 B は真空圧を載荷した状態, 点 C は真空圧に加え盛土を 載荷した状態を示している. 点 D はその後真空圧を解除した状態を 示している。 各 Test の最後には盛土併用真空圧密工法により改良さ れた地盤の強度を確かめるため軸ひずみEa=15%になるまで非排水三 軸圧縮試験を行う. Test-1, 2, 3, 4 は真空圧, 盛土を段階的に載荷 するパターン, Test-5, 6, 7, 8は真空圧, 盛土を同時に載荷するパ ターンである. BE 試験は A~D 点において圧密を打ち切った後に実 施した.BE 試験は送信波に 10V, 2000, 3000, 5000Hz の正弦波(sin 波)を用いた. なお Test-5 については点 A~D の各点に加え経路 AD に おいて一定間隔で連続的に BE 試験を行い V.を測定した. BE 試験に よるせん断弾性係数 G は式(1)により与えられる.



(1)



図 1 応力経路

表 1 載荷条件

	応力経路	真空圧 速度 (kPa/min)	軸応力 速度 (kPa/min)	軸応力 載始荷 開真の
Test-1	AE	/	/	/
Test-2	ABAF	1.0	/	0
Test-3	AG		0.05	/
Test-4	ABCDH	0. 5		80
Test-5	AIJCDK			40
Test-6	ALCDM			0
Test-7	ANCDO		0.1	0
Test-8	APQ		0.5	0



図 2 Test-4のBE 試験の波形

ここに $\rho_t$ 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である.

## 3.試験結果および考察

BE 試験により得られる波形を図2に示す.図2は Test-4の各点 において BE 試験を行った時の送受信波形である.無処理の原地盤 に対応する点Aに比べ真空圧を載荷した点BではΔtは著しく減少 している.経路ABでは供試体高さも減少しているがVsを比較す ると点Aで43.7m/s,点Bで75.4m/sとなっており,真空圧載荷に よって大幅にVsが増加していることがわかる.点Bに比べ盛土載 荷をした点CではΔtは減少している.経路BCでは供試体高さが 減少しており,点Bと点CのVsを比較すると点Cで90.3m/sとな っているので盛土載荷によって更にVsが増加していることがわか る.点Cに比べ真空圧除荷をした点DではΔtが増加している.経 路CDでは供試体高さはほぼ変化していないが,点Cと点DのVs を比較すると点Dで80.3m/sとなっているので真空圧除荷により Vsが減少していることがわかる.

図 3 は練り返し泥炭に BE 試験を用いて応力比を変化させ鉛直 有効応力とせん断弾性係数 G の関係を示した過去のデータいに今 回の実験で得られたデータを付け加えた図である. 図中の直線は 荻野らによる K=0.6, 0.8, 1.0 で圧密した場合の σ'<sub>v</sub>-G 関係の近似 線であり,高有機質土のgi-G関係はKが減少するほど下方にシフ トすることが分かる.真空圧密を受けた高有機質土のσι'-G関係は 過圧密状態となっている真空解除後の点(Test-2 の点 A あるいは Test-4の点D)を除けばほぼこの近似線の範囲内にあることが分かる. Test-4 の各状態点に着目すると原位置を示す点 A(K=0.6)から真空圧 を載荷した点 B(K=0.88)にかけて近似線よりもやや大きな傾きを持 って増加しているが、その後盛土圧を載荷した点 C(K=0.51)では傾き が小さくなっている.一方,真空圧と盛土圧を同時に載荷した Test-5 では,経路 AC における G の増加量は近似線よりもやや小さい.各 点のKの値は真空および盛土圧の載荷によって大きく変化しており, 荻野らの近似線と同様に G が K の値の影響をうけていることがわか る.

図4は図3の横軸を平均有効主応力 $p'(=(\sigma_1'+2\sigma_3')/3)$ で整理して示した図である.図3のKの影響はあまりみられず、 $\sigma_1$ 'よりもp'によってよく整理できることがわかる.真空圧密を受けた高有機質土のp'-G



 $\boxtimes$  5  $\Delta q$ -Vs

関係は過圧密状態となっている点(状態点 A あるいは D)を除けば荻野らが示した近似線上に集まろうとしている. 図1において非排水三軸圧縮試験前後の偏差応力の差 $\Delta q$ と非排水三軸圧縮試験開始直前の Vs の関係を図5に示 している. せん断波速度 Vs が大きい程,  $\Delta q$  も大きくなっており,両者に正の相関が見られる. 図5の Test-1 と Test-2の $\Delta q$  を比較すると Test-2の $\Delta q$  は真空圧密の効果によって Test-1の3倍以上となっているが, Vs の値もお よそ 1.5倍に増加しており真空圧の載荷,除荷による過圧密効果によって, Vs,  $\Delta q$  とも増加していることがわか る. また, Test-4, 5, 6, 7 は Test-2 以上の過圧密状態になっているので $\Delta q$  が大きな値をとっている.

# 4.結論

本研究から得られた知見は以下の通りである.

・盛土併用真空圧密をシミュレートした三軸試験において,盛土圧および真空圧あるいはそれらの複合的な載荷 による Vs の変化は,平均有効応力 p'によってよく説明することができた.

・盛土圧および真空圧あるいはそれらの複合的な載荷・除荷をうけた高有機質土の Vs と非排水強度には一定の正の相関がみられた.

参考文献 1) 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載 荷試験による泥炭のせん断弾性係数,地盤工学ジャーナル, Vol.4, No.1, pp.125-133, 2009.