

III-260 セメント改良砂質土の非排水繰り返し載荷試験

東京湾横断道路株式会社 正会員 元山 宏
 武蔵野土質調査株式会社 正会員 ○木村 勝・中垣 透
 東京大学生産技術研究所 正会員 龍岡 文夫・澁谷 啓

はじめに：セメント改良砂質土の静的な三軸圧縮試験の方法¹⁾および実験結果^{2), 3), 4)}は、既に報告した。今回は、同じ大型三軸圧縮試験機を用いて、セメント改良砂質土の繰り返し載荷試験を行った。実験の目的は、地盤の動的解析に必要な非排水状態での繰り返し変形特性($G \sim h \sim \gamma$ 特性)を調べることにあった。以下に、その試験方法の詳細と実験結果の一部を報告する。結果の詳細は、文献5)で別途報告している。

実験とその基本的考え方：大型水槽を用いた、セメント改良砂質土の現場打設試験からコアサンプリングした試料から、直径30cm、高さ60cmの円柱供試体を得た²⁾。大型三軸試験機の詳細と供試体のセッティング方法については、文献1)を参照されたい。表1に、3つの試験 AGH-1, AGH-2, BGH の供試体の初期条件を示す。せん断試験までの手順は、①供試体を三軸セル内にセットし、背圧 -0.2kgf/cm^2 、セル圧ゼロの状態にする、②負圧法により供試体内の余剰ガスを取り除くと同時に脱気水を流入させる、③初期有効拘束圧 0.2kgf/cm^2 を一定に保ち、表2に示す所定の背圧まで上昇させる、④B値の測定(結果は表1参照)。せん断中はセル圧一定とした。その手順は、(1)初期有効拘束圧 0.2kgf/cm^2 の等方状態から、排水条件で軸力を表1に示すバイアス値 q_B まで増加させる(軸ひずみ速度： $0.02\%/min$)、(2)偏差応力 $q = q_B$ で排水が停止するまで放置する、(3)供試体を非排水状態にし、荷重制御により q_B を振幅の中心として周期2.4秒の繰り返し載荷を10回行う、(4)供試体の排水を許す。(5)荷重振幅レベルを所定の最大値まで段階的に増加させることにより(3)と(4)を繰り返す。その後、 $q = q_B$ まで有効拘束圧を増加(圧密)させ、(2)～(5)を繰り返す。繰り返し試験終了後、非排水状態で偏差応力を軸ひずみ(外部変位計)2%まで単調増加させた。その理由は内ロードセルの破壊を未然に防止し、かつ、供試体のピーク強度をもとめるためである。供試体の軸方向の力と変位は、セル内部のロードセルと局所変位測定器(LDT)でそれぞれ測定した。よって、ピストンの摩擦力と供試体上下端面のベディングエラーによる測定誤差はない¹⁾。バイアスを用いた理由は、繰り返し載荷中に伸張応力状態で供試体とキャップ/ペダスタルの分離を防止する、つまりセル圧 σ 。(圧密有効拘束圧+背圧)とバイアスの合計が伸張側の最大偏差応力 q_{Emax} よりも小さくならない条件に起因する。表2に示したセル圧と背圧は、①所定の圧密有効拘束圧のもとで、 $(\sigma_o' + \text{背圧}) > q_{Emax} - q_B$ を満たし、②極力広範囲なひずみレベルでの変形特性を把握する(荷重振幅をできる限り大きくとることに等しい)目的で、(セル圧) = 6kgf/cm^2 (一定)とした。繰り返し荷重振幅の段階は、供試体の初期ヤング係数を一様に 30000kgf/cm^2 ^{2), 3)}と仮定し、バイアスを含めた偏差応力の ①圧縮側の最大値がピークのそれを越えない、② q_{Emax} のときに供試体とキャップが離れない、の2条件を満たすように、適切なひずみレベル間隔での変形特性が求められるように決めた。

代表的実験結果：まず、単調試験の供試体との比較により、繰り返し試験の供試体のintrinsicな変形・強度のパラッキを把握する。表3は、3つの試験におけるバイアス(排水)載荷時の初期ヤング係数と、載荷試験終了後の非排水単調載荷により求めたピーク強度をまとめたものである。AGH-1の供試体の初期ヤング係数が小さい³⁾理由は、供試体上部に弱層(セメント混入率の極めて低い砂層)が存在していたためである。AGH-2のヤング係数が大きい理由は、解らない。BGHの E_0 は、単調試験供試体の E_0 の平均値にほぼ等しい。ピーク強度は、AGH-2, BGH両試験共にそれほど特異値を示していない²⁾。表4に、試験BGHの $\sigma_o' = 0.2, 1.0, 2.5\text{kgf/cm}^2$ における各段階('S-1'などで表示)の10回載荷のせん断ひずみの平均値と試験時の体積ひずみを示した。同一圧密有効拘束圧のもとでは、非排水繰り返しによる体積変化は極めて小さい。同じ試験の $\sigma_o' = 1.0\text{kgf/cm}^2$ における応力・ひずみ関係(各段階10回目のサイクル)を図1、第5段階(S-5)の q, ε_a 、有効拘束圧の変化を図2にそれぞれ示した。 3×10^{-6} の小さいひずみレベルでも、客観的な等価せん断剛性率の決定が可能(図1)であり、非排水繰り返し載荷時の平均有効主応力の変化が小さい(図2)こと、等が明かである。

まとめ：セル内部に設置したロードセルと局所軸変位測定器を用いて、 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ のせん断ひずみ領域でのセメント改良砂質土の繰り返し変形特性を、かなり正確に測定することに成功した。

謝辞：東大生産の佐藤 剛司技官の実験における協力に感謝します。

参考文献：1)佐藤ら(1989)、“セメント改良土の三軸圧縮試験方法”、24回土質工学研究発表会。2)河本ら(1989)、“セメント改良土の大型三軸圧縮試験”、同上。3)澁谷ら(1989)、“セメント改良土の微小ひずみレベルでの変形特性”、同上。4)龍岡ら(1989)、“セメント改良土の変形・強度特性の各種の特徴”、同上。5)澁谷ら(1989)、“セメント砂質改良土の繰り返し変形特性”、44回土木学会。

表1 原位置採取セメント砂質改良土の大型三軸繰り返し試験供試体の初期条件

試験名	養生 日数 days	初期 含水比 w_i %	初期 密度 ρ_t gr/cm ³	背圧 σ_{BP} kgf/cm ²	B 値	初期圧密 拘束圧 σ_o' kgf/cm ²	バイアス q_b kgf/cm ²	供試 体の 種類
AGH-1	185	35.93	1.838	5.8	0.987	0.2	5.0	A
AGH-2	209	33.90	1.845	5.8	0.984	0.2	7.0	A
BGH-1	213	32.93	1.841	5.8	0.952	0.2	7.0	B

表2 大型三軸繰り返し試験供試体の体積変化

実験	0.2 (5.8)	→	0.2 → 0.5 (5.8) (5.5)	→	0.5 (5.5)	$\leftarrow \sigma'_c$ (kgf/cm ²)		
AGH-1	0.181	G~h	0.177/0.251	G~h	0.281	$\leftarrow \varepsilon_v$ (%)		
AGH-2	0.112	G~h	0.123/0.193	G~h	0.204	$\leftarrow \varepsilon_v$ (%)		
実験	0.2 (5.8)	→	0.2 → 1.0 (5.8) (5.0)	→	1.0 → 2.5 (5.0) (3.5)	→	2.5 (3.5)	$\leftarrow \sigma'_c$
BGH	0.119	G~h	0.128/0.287	G~h	0.274/0.374	G~h	0.380	$\leftarrow \varepsilon_v$

▲備考
① ε_v の表示は、G~h試験前の体積ひずみ/G~h試験後の体積ひずみ。
② 括弧内は背圧の値。

表4 試験B GHにおけるせん断ひずみ振幅と体積ひずみの変化

$\sigma_o' = 0.2$ (kgf/cm ²)			$\sigma_o' = 1.0$ (kgf/cm ²)			$\sigma_o' = 2.5$ (kgf/cm ²)		
Stage	γ	ε_v (%)	Stage	γ	ε_v (%)	Stage	γ	ε_v (%)
S-1	3.129×10^{-4}	0.089	S-1	3.333×10^{-4}	0.287	S-1	3.065×10^{-4}	0.374
S-2	3.121×10^{-4}	0.119	S-2	8.641×10^{-4}	0.268	S-2	1.315×10^{-4}	0.374
S-3	8.310×10^{-4}	0.120	S-3	1.339×10^{-4}	0.271	S-3	5.081×10^{-4}	0.374
S-4	1.283×10^{-4}	0.120	S-4	5.038×10^{-4}	0.271	S-4	8.859×10^{-4}	0.377
S-5	4.853×10^{-4}	0.122	S-5	6.791×10^{-4}	0.271	S-5	1.428×10^{-4}	0.377
S-6	6.522×10^{-4}	0.122	S-6	1.428×10^{-4}	0.272	S-6	3.132×10^{-4}	0.378
S-7	1.399×10^{-4}	0.122	S-7	3.077×10^{-4}	0.274			
S-8	1.377×10^{-4}	0.122						
S-9	3.089×10^{-4}	0.124						

＜備考＞ γ : 繰り返しせん断ひずみ（片振幅）、各段階における100回載荷の平均値。
 ε_v : せん断開始時（ $\sigma_o' = 0.2$ (kgf/cm²)、等方状態）からの体積ひずみ。
 σ_o' : 圧密有効拘束圧。

表3 原位置採取セメント砂質改良土の大型三軸繰り返し載荷試験でのバイアス部分の初期ヤング係数とピーク強度

Test	$(E_o)_{LDT}$ kgf/cm ²	$(E_o)_{GS}$ kgf/cm ²	q_p kgf/cm ²	ε_p %
AGH-1	15830.0	3374.4	測定不能	測定不能
AGH-2	44453.0	5900.1	19.85	0.77
BGH	31148.8	6268.2	20.20	1.46

▲備考
① $(E_o)_{LDT}$ 、 $(E_o)_{GS}$ は、それぞれ局所変位測定器(LDT)およびギャップセンサーで測定された $0 < \varepsilon_s < 5 \times 10^{-5}$ の範囲を直線近似して求めた初期ヤング係数である。
② ε_p : 外変位計で測定したピーク時の軸ひずみ。

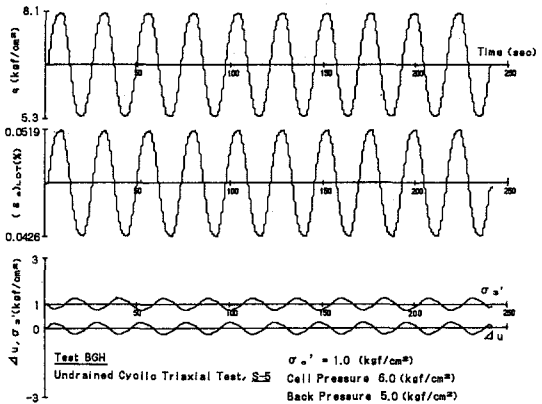


図2 繰り返し載荷試験（同一ひずみレベル）における応力・ひずみ・過剰間隙水圧の変化。

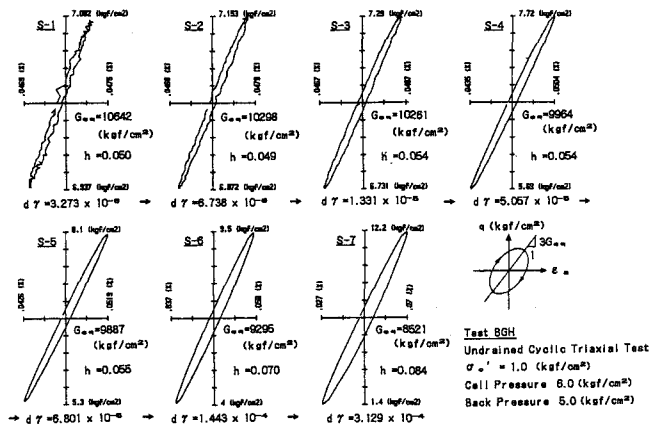


図1 繰り返し載荷試験（異なるひずみレベル）における応力・ひずみ関係。