

部分排水繰返しせん断試験による間隙水圧消散工法の液状化抵抗評価

○日本大学工学部 学生会員 松下 亮太
五洋建設株式会社 正会員 海野 寿康
日本大学工学部 正会員 仙頭 紀明

1. はじめに

間隙水圧消散工法とは、合成樹脂製ドレーン等の排水性の良い材料を地盤中に設置することにより地盤内の透水性を高め、間隙水をドレーン内に流入させ地震時の砂層内に発生する過剰間隙水圧の上昇を抑制する液状化対策工法である¹⁾。このことからドレーン周辺の地盤は部分排水状態となる²⁾。間隙水圧消散工法は液状化の発生を抑制できるが、液状化強度の増加や過剰間隙水圧の消散過程に生じる残留沈下の定量評価に課題がある。そこで非排水条件ならびに部分排水条件の繰返し中空ねじりせん断試験を行い、液状化強度および体積ひずみを評価した。また、ドレーン設置時の振動や中小地震時に受ける履歴を考慮し、繰返しせん断応力履歴を与えた後の液状化強度および体積ひずみを評価した。

2. 実験方法

実験には中空ねじりせん断試験装置を用いた。試料は硅砂5号ならびに若洲砂である。東京都江東区若洲では間隙水圧消散工法が施工され、その効果が確認されており、周辺の未改良部の噴砂より採取したものである。これら試料の物理特性を図-1に示す。硅砂5号は若洲砂に比べ、粒径の揃った試料であり、最大・最小間隙比はいずれも硅砂5号が低い値である。供試体は外径7cm、内径3cm、高さ10cmの中空円筒状である。供試体の作製方法は、硅砂5号は空中落下法で作製し、若洲砂は水中落下法で作製した。目標相対密度 D_r はいずれも70%とした。供試体を飽和させるため、間隙の空気を二酸化炭素と置換し、脱気水を通水した後、背圧を100kPa 載荷した。なお、供試体の B 値は95%以上であった。供試体の圧密条件は有効拘束圧100kPaの等方圧密とした。圧密終了後、非排水条件・部分排水条件にて繰返しせん断を行った。部分排水条件の制御方法は既往の研究²⁾に従い、供試体下部の排水経路中に微量の排水量を調整できるバルブにより再現した³⁾。バルブの開度 (R :目盛) における排水量はダルシーの法則²⁾に従うものとし、排水係数 $\alpha (=k/l)$ とバルブの開度の関係を求めた。このとき、 k 、 l は透水係数(cm/s)、排水距離(cm)である。さらに、載荷周波数 f を考慮した排水効果係数 $\alpha^* (= \alpha/f)$ を実験パラメータとした^{2), 3)}。ここで α^* が大きい程、排水効果が高いことを意味している。実験ケースを表-1に示す。 $\alpha^*=0$ (非排水条件) を含む4つの α^* で実験を行った。また、繰返しせん断載荷前に繰返しせん断応力履歴をせん断応力振幅5kPaで、100回と1000回の履歴を与えた。なお、繰返し載荷はせん断ひずみが両振幅で5% ($DA=5\%$) に至るまで継続した。

3. 実験結果

キーワード：間隙水圧消散工法 (DEPP 工法) 中空ねじりせん断試験 液状化 部分排水繰返しせん断試験

〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地 TEL 024-956-8710 FAX 024-956-8858

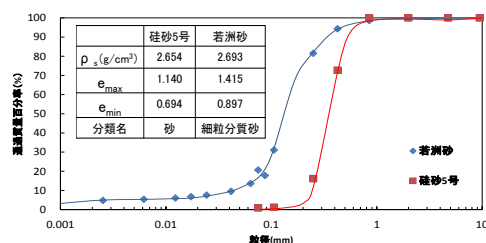


図-1 試料の物理特性

表-1 実験ケース

ケース	試料	α^*	R	f (Hz)	応力比 τ / σ'_{vo}	相対密度 D_r (%)	繰返しせん断 応力履歴
1-1	硅砂5号	0	0	0.10	0.20	67.7	なし
1-2					0.25	67.3	
1-3					0.30	71.7	
1-4					0.35	69.5	
1-5	若洲砂	0	0	0.10	0.15	74.5	
1-6					0.20	72.4	
1-7					0.25	76.3	
1-8					0.30	74.7	
2-1	硅砂5号	3.00×10^{-6}	12	0.20	0.30	70.9	
2-2					0.35	67.3	
2-3					0.40	67.5	
2-4					0.45	72.9	
2-5	若洲砂	3.00×10^{-6}	12	0.20	0.15	70.7	
2-6					0.20	67.2	
2-7					0.25	67.0	
2-8					0.30	67.8	
2-9	硅砂5号	1.00×10^{-5}	43	0.20	0.35	69.3	
3-1					0.35	68.4	
3-2					0.40	67.7	
3-3					0.45	71.1	
3-4	若洲砂	1.00×10^{-5}	43	0.20	0.50	69.7	
3-5					0.20	76.3	
3-6					0.25	75.7	
3-7					0.30	76.3	
3-8	硅砂5号	3.00×10^{-5}	130	0.20	0.35	76.8	
4-1					0.40	69.7	
4-2					0.45	68.8	
4-3					0.50	70.6	
4-4	若洲砂	3.00×10^{-5}	130	0.20	0.55	68.8	
4-5					0.60	70.0	
4-6					0.65	68.6	
4-7					0.25	70.8	
4-8	硅砂5号	3.00×10^{-5}	130	0.20	0.30	76.8	
4-9					0.35	70.7	
4-10					0.40	73.9	
4-11					0.45	68.7	
5-1	若洲砂	3.00×10^{-5}	130	0.20	0.35	67.8	あり (100回)
5-2					0.40	65.6	
5-3					0.45	68.5	
5-4	硅砂5号	3.00×10^{-5}	130	0.20	0.35	72.4	あり (1000回)
5-5					0.40	70.8	
5-6					0.45	66.2	

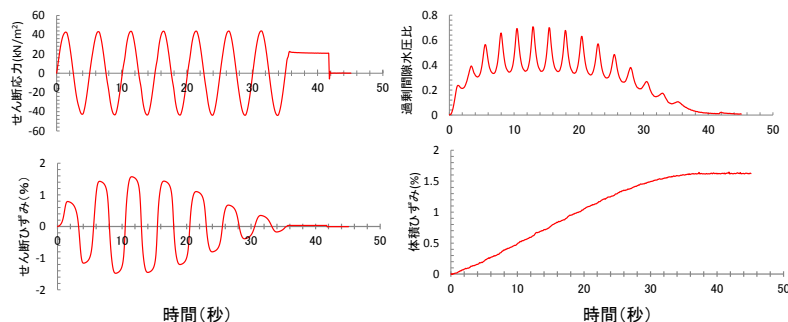


図-2 ケース 4-2 セン断応力、せん断ひずみ、過剰間隙水圧比および体積ひずみの時刻歴

図-2 は実験結果の一例であり、ケース 4-2 のせん断応力、せん断ひずみ、過剰間隙水圧比および体積ひずみの時刻歴である。部分排水状態であるため、体積ひずみが増加するにつれて、せん断ひずみが一時は増加傾向にあったが減少に転じる様子が見える。同様に過剰間隙水圧比も増加するものの途中から消散した。図-3 に繰返し載荷回数とせん断剛性率の関係を示す。せん断剛性率とは各載荷回数のせん断応力振幅をせん断ひずみ振幅で除したものである。非排水条件下（ケース 1-2）では繰返し載荷回数の増加とともに、せん断剛性率が低下するものの、部分排水条件下（ケース 1-2 以外）では、いったん剛性率が低下するが、その後剛性が回復し硬化していることがわかる。図-4 に液状化強度曲線を示す。非排水条件とそれぞれの α^* を比較すると、珪砂 5 号および若洲砂ともに α^* が増加するにつれて液状化しにくくなり、 $R_{dmin}^{2)}$ が増加している。 R_{dmin} とは液状化強度曲線の繰返し載荷回数が十分大きい時に漸近する最小の応力比である。また、部分排水条件で液状化が生じるような高い応力比でせん断した場合は、非排水条件の液状化強度曲線にすりつく傾向がある²⁾。また繰返しせん断履歴を与えたケースでは、100 回履歴を与えた状態で高い応力比の強度が増加するのに対し、1000 回履歴を与えると R_{dmin} も増加した。

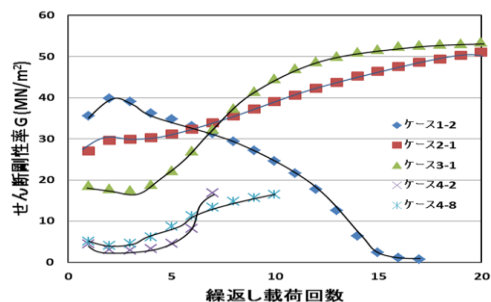


図-3 繰返し載荷回数とせん断剛性率の関係

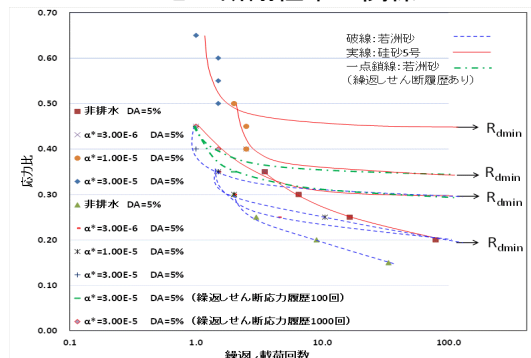


図-4 液状化強度曲線

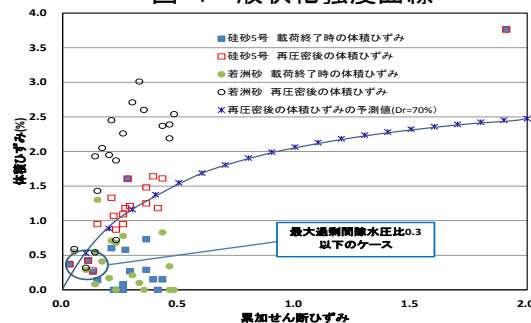


図-5 累加せん断ひずみと体積ひずみの関係

図-5 に累加せん断ひずみ⁴⁾と体積ひずみの関係を示す。累加せん断ひずみとは、各時間間隔のせん断ひずみ増分の絶対値を積分したものである。図-5 中の丸で囲まれたケースでは累加せん断ひずみが低く、その結果残留沈下も抑制された。なお、これらのケースでは発生した最大過剰間隙水圧比は概ね 0.3 以下であった。このことから排水効果により土が硬化しせん断ひずみが抑制されることで、体積ひずみも抑制されることがわかった。

4. まとめ

排水効果係数 α^* が増加すると、液状化強度が増加することがわかった。残留沈下は、累加せん断ひずみや最大過剰間隙水圧比と関係しており、排水に伴う土の硬化がせん断ひずみを抑制し、その結果残留沈下を抑えることができる。また、事前のせん断応力履歴を与えたケースは履歴無しのケースに比べ、液状化強度増加しているため、施工後に時間が経過した土の液状化強度は設計段階より増加していると考えられる。

謝辞：本研究は、財団法人建設工学研究振興会、建設工学奨励賞の一環として行いました。

参考文献 1)地盤工学会：地盤工学・実務シリーズ 18 液状化対策工法，pp.363，(2004) 2)山本・兵動・上原・高橋：飽和砂の部分排水繰返し三軸試験に基づくグラベルドレーン液状化抑止効果の評価，土木学会論文集 No.687/III-56，pp.77-79，pp.84-86，(2001) 3)梅原・善・浜田：排水効果を考慮した飽和砂の液状化強度，港湾技術研究所報告第 20 巻第 1 号，pp.3-26，(1981) 4)仙頭・風間・渦岡：非排水繰返しせん断履歴後の再圧密実験と体積収縮特性のモデル化，土木学会論文集 No.764/III-67，pp.311-316，(2004)