

液状化試験後の残留せん断ひずみが再圧密体積ひずみに及ぼす影響

日本大学工学部 学生会員 ○後藤 直紀
日本大学工学部 正会員 仙頭 紀明

1. はじめに

近年頻発する大地震では、液状化被害が発生している。これらの地震では、液状化後の砂地盤の残留変形に起因する被害も発生しており、設計実務では、液状化した地盤の残留変形予測が求められている。ここで、地盤の残留変形は水平変位と垂直変位（沈下）に大別される。液状化後の沈下については、室内実験結果をもとに、再圧密体積ひずみの予測法が提案されている。しかし、液状化試験後に再圧密試験を行おうとすると、砂の剛性が極端に小さく、試験を終了するタイミングにより、残留の状態が異なる。海野らは、残留せん断ひずみが大きくなると、再圧密体積ひずみが小さくなることを指摘しているが、試験結果が限られており、定量的な評価に至っていない¹⁾。そこで本研究では、中空ねじりせん断試験装置を用いて、非排水条件で繰返しせん断試験を行った。その後、残留せん断ひずみを調整して与えて、再圧密試験を行い、再圧密体積ひずみの結果を比較した。

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。試料には豊浦砂を用いた。試料の物理特性は $\rho_s=2.638(\text{g}/\text{cm}^3)$, $e_{\text{max}}=0.964$, $e_{\text{min}}=0.598$ である。供試体は、外径7cm、内径3cm、高さ10cmの円筒状で、空中落下法により作製し、相対密度は50%と70%を目標とした。その後、10kPa で予備圧密し、CO₂を1時間以上かけて供試体に流し、脱気水を通水した後に背圧を100kPa 载荷した。

なお、B 値は95%以上とした。その後、有効拘束圧100kPa で等方圧密を行い、圧密終了後に繰返しせん断試験を行った。試験の終了は、ケースにより両振幅5%または10%とした。その後、残留せん断ひずみを調整して与え、再圧密試験を行った。再圧密の終了は3t 法で確認し、約15分を目安に終了した。表-1 に実験ケースを示す。相対密度、両振幅、残留せん断ひずみを変化させた計36 ケースを行った。

3. 実験結果

相対密度70%における応力とひずみ関係の例を図-1 に示す。ここで、液状化試験終了時点を A 点、その後、残留せん断ひずみを調整して与えた時点を B 点とし(γ_{res})、せん断ひずみの最大値を γ_{max} とする。有効応力経路の例

表-1 実験ケース

	相対密度 D _{r0} (%)	応力比 τ/σ _v	目標両振幅 DA(%)	最大せん断 ひずみ γ _{max} (%)	残留せん断 ひずみ γ _{res} (%)	累加せん断 ひずみ γ _{sum} (%)
A-1	50.4	0.18	10.0	7.93	0.01	30
A-2	49.5			8.63	1.01	31.6
A-3	48.5			8.35	5.01	34.6
A-4	49.0	8.97		6.00	36.5	
A-5	47.6	9.24		8.01	37.9	
A-6	49.1	8.29		9.00	32.6	
A-7	49.6	7.70		0.01	32.5	
A-8	50.0	8.50		3.00	38.6	
A-9	49.6	8.31		7.01	36.7	
A-10	48.6	9.47		1.01	43.2	
A-11	49.2	8.39		10.00	33.9	
A-12	47.6	8.81		4.00	25.8	
A-13	48.1	8.82		2.00	36	
A-14	50.0	9.39		2.00	44	
A-15	48.3	10.85		3.01	62.9	
A-16	47.6	11.31		4.00	54.7	
A-17	52.0	10.14		7.00	62.5	
B-1	71.2	0.25	5.0	3.65	0.00	30
B-2	69.3			4.53	1.00	32.3
B-3	71.7			4.17	2.00	40.9
B-4	69.4			5.02	3.01	36.6
B-5	72.0			3.83	4.01	29.6
B-6	68.9			4.12	3.51	26.9
B-7	71.4			3.56	5.01	24.2
B-8	70.7			4.23	2.51	33.3
B-9	70.6			3.76	1.01	29.6
C-1	71.3		10.0	5.39	0.00	61
C-2	69.2			6.00	1.00	57.4
C-3	70.5			5.58	2.00	84.4
C-4	71.1			5.16	3.00	65.6
C-5	69.2			5.42	4.00	48.4
C-6	70.7			5.20	5.01	69.9
C-7	70.9			5.29	6.01	90.4
C-8	67.7			5.75	4.51	49.6
C-9	68.9			5.66	1.50	57.7
C-10	71.4			5.18	7.01	73.2

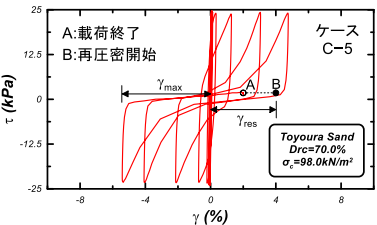


図-1 応力とひずみの関係

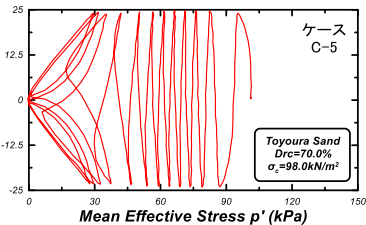


図-2 有効応力経路

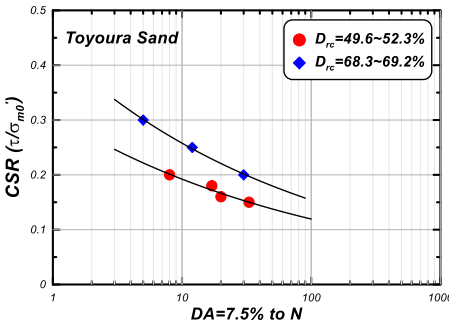


図-3 液状化強度曲線

キーワード 液状化, 再圧密, 残留せん断ひずみ, 再圧密体積ひずみ

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地 日本大学工学部土木工学科 TEL024-956-8710

を図-2に示す。液状化により、サイクリックモビリティ現象が発生していることが読み取れる。図-3には、液状化強度曲線($D_{rc}=50\%$ 、 70%)を示す。ここで、液状化判定はせん断ひずみ両振幅($DA=7.5\%$)とした。 R_{L20} は $D_{rc}=50\%$ で0.15、 $D_{rc}=70\%$ で0.22である。図-4に再圧密体積ひずみ(ε_{VRC})と最大せん断ひずみ(γ_{max})の関係を示す。比較のため、Yoshimineら²⁾の提案式で求めた値を実線($D_{rc}=50\%$)と点線($D_{rc}=70\%$)を併せて示した。 $D_{rc}=50\%$ の実験値は予測式と比べて小さめ、 $D_{rc}=70\%$ では、予測式は実験の平均値に近いことがわかり、いずれもばらつきが大きいことがわかる。図-5に再圧密体積ひずみと残留せん断ひずみの関係を示す。なお $D_{rc}=50\%$ では、最大せん断ひずみの値(10%以下、10%以上)によって分けて示した。図より、残留せん断ひずみの増加に伴い、再圧密体積ひずみは減少している。また、密な砂ほど減少割合が大きい。また、 $D_{rc}=50\%$ では γ_{res} が10%の時、再圧密体積ひずみの値が顕著に低下している。これは、再圧密前にせん断ひずみを与えた際に、間隙水圧が減少し、有効応力が回復したため、ダイレイタンスの影響を受けたものと考えられる。図-6に再圧密体積ひずみについて残留せん断ひずみを最大せん断ひずみで除した、残留せん断ひずみ比との関係を示す。これにより、残留せん断ひずみ比が1を超える場合は、再圧密体積ひずみの減少割合がより大きくなった。図-7に再圧密体積ひずみを $\gamma_{res}=0\%$ の再圧密体積ひずみで除した、再圧密体積ひずみ比と残留せん断ひずみ比の関係を示す。これにより、残留せん断ひずみ比が1より小さい場合、緩い砂で最大で約2割、密な砂の場合は最大で5割程度再圧密体積ひずみが減少した。この原因は、残留せん断ひずみによる、正のダイレイタンスによるものと考えられる。再圧密による体積収縮が、 γ_{res} に伴う正のダイレイタンスで相殺されたものと考えられる。

4. まとめ

液状化試験後の残留せん断ひずみを調整し、再圧密試験を行った結果、以下のことがわかった。

- ①残留せん断ひずみ比が1より小さい場合、緩い砂で最大で約2割、密な砂では最大で約5割再圧密体積ひずみが減少した。この原因は、せん断変形に伴う正のダイレイタンスの影響と考えられる。
- ②残留せん断ひずみ比が1を超える場合、相対密度の違いに関わらず、さらに再圧密体積ひずみが大きく減少することがわかった。

<謝辞>

本研究はJSPS 科研費基盤研究(A)15H02263(代表:風間基樹 東北大学)の助成を受けたものです。ここに感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1)海野寿康・仙頭紀明・小野大和・林健太郎(2012):繰返しせん断ひずみ履歴を用いた砂質土の液状化に伴う体積ひずみの評価法,土木学会論文集 C, vol. 68, No. 4, pp. 680-694.
- 2)Yoshimine, M., Nishizaki, H., Amano, K., and Hosono, Y., (2006): Flow deformation of liquefied sand under constant shear load and its application to analysis of flow slide in infinite slope, *Soil Dynamics and Earthquake Eng.* Vol. 26, pp. 253-264.

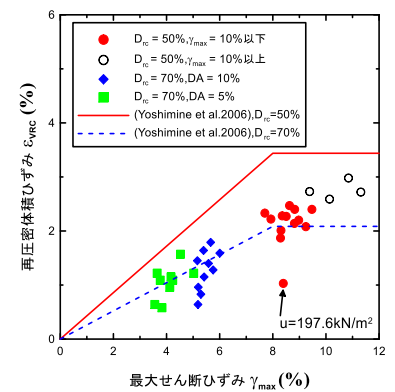


図-4 ε_{VRC} と γ_{max} の関係

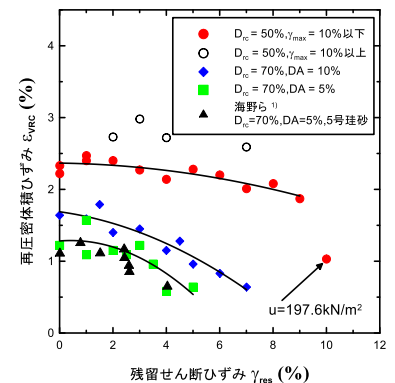


図-5 ε_{VRC} と γ_{res} の関係

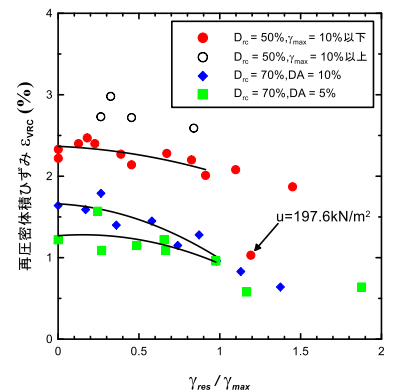


図-6 ε_{VRC} と $\gamma_{res}/\gamma_{max}$ の関係

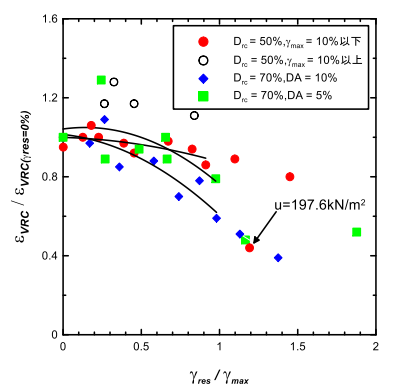


図-7 $\varepsilon_{VRC}/\varepsilon_{VRC(\gamma_{res}=0\%)}$ と $\gamma_{res}/\gamma_{max}$ の関係