

オンライン実験による地震後の粘性土の沈下に及ぼす影響評価

日本大学 工学部 学生会員 ○坂本 裕貴
日本大学 工学部 非会員 矢板橋 尚輝
日本大学 工学部 正会員 仙頭 紀明

1. はじめに

軟弱地盤地域では、粘性土地盤の圧密沈下が問題となっている。加えて、大地震の後にも沈下が確認されている。粘性土地盤が地震のような繰返しせん断力を受けたあとの沈下量評価に関して、既往の研究¹⁾では、過剰間隙水圧が増加すると、再圧密体積ひずみも増加することが指摘されている。これらの研究は応力制御の規則波による載荷であり、地震のような不規則波条件でも成立つか不明確である。そこで本研究では、オンライン実験を用いて、地震時の載荷条件に近い非排水条件の供試体に繰返しせん断履歴を与えて、その後、再圧密試験を実施して、再圧密体積ひずみを求めた。加えて、繰返しせん断履歴と再圧密体積ひずみの相関関係について考察を行った。

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。試料に用いた粘性土はMCクレイ、AXカオリンを重量比1:1で配合した粘土である。物理特性は $\rho_s=2.713\text{ g/cm}^3$ 、 $w_L=54.7\%$ 、 $w_p=30.4\%$ であり、工学的分類はMHシルト(高液性限界)である。まず含水比を120%に調整した後、圧密容器を用いて100kPaで圧密した。供試体はトリミング法を用いて作製した。供試体寸法は、外径7cm、内径3cm、高さ10cmである。その後、10kPaで予備圧密を行い、CO₂を通した後、脱気水を通水した。さらに、背圧100kPaを載荷して飽和させ、B値が95%以上になったことを確認した。さらに、有効拘束圧100kPaで等方圧密を行ったため、過圧密比(OCR)は1の条件である。なお、圧密の終了は3t法を用いて確認した。実験ケースを表-1に示す。Case1～3の応力制御試験では、所定の繰返しせん断応力比で非排水繰返しせん断試験を行い、せん断ひずみが両振幅7.5%で試験を終了した。その後、再圧密を行い再圧密体積ひずみを求めた。なお再圧密試験においても3t法を用いて圧密終了を確認した。Case4～7のオンライン実験では、図-1に示す2種類のタイプの異なる地震波(神戸PI波 NS成分 GL-32.4m, 人工地震波ランダム位相)を用い、それぞれ最大加速度を調整して与えた。オンライン実験で想定した地盤モデル²⁾を表-2に示す。モデルは弾性基盤上の10層の水平成層地盤を想定し、地下水位は地表面とし、各層厚は2mとした。要素試験層は8層目であり、圧密応力は100kPaとした。

表-1 実験ケース

Case	間隙比 e	圧密後の間隙比 e_c	繰返しせん断応力比CSR	入力波	最大加速度(gal)
1	1.318	1.166	0.20	-	-
2	1.249	1.125	0.25	-	-
3	1.284	1.138	0.16	-	-
4	1.258	1.150	-	神戸PI波	150
5	1.314	1.167	-	NS成分	250
6	1.269	1.140	-	人工地震波	150
7	1.210	1.154	-	(ランダム位相)	250

表-2 地盤モデル

層番号	層厚(m)	密度(t/m^3)	せん断波速度(m/s)	規準ひずみ(%)	平均有効応力(kPa)	タイプ
1	@2.0	2.0	200	0.1	-	双曲線モデル
2						
3						
4						
5			240	0.1	-	双曲線モデル
6						
7			400	-	100	要素試験
8						
9						
10						
基盤						弾性基盤

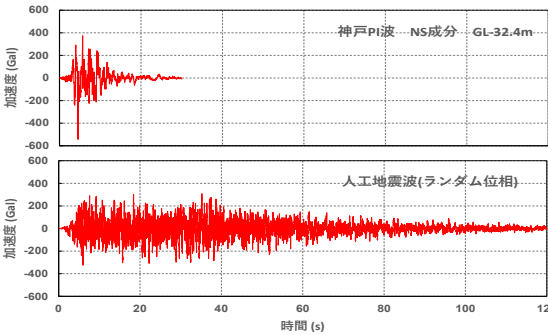


図-1 実験で用いた地震波の加速度と時刻歴

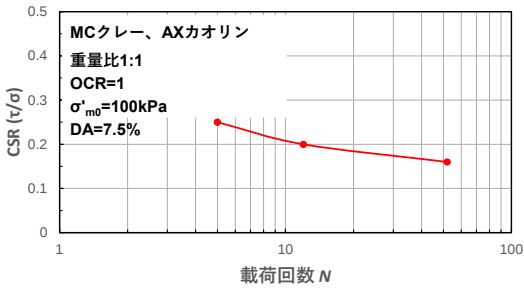


図-2 CSRと載荷回数の関係

3. 実験結果

図-2 に応力制御試験より得られた繰返しせん断応力比(CSR)と载荷回数
の関係を示す。繰返し回数 20 回の時の繰返し強度比 R_{L20} は 0.19 となった。

図-3 は応力-ひずみ関係と有効応力経路の例(Case1, 6, 7)を示す。応力
制御の Case1 は、せん断ひずみが最大 4.8% まで増大し有効応力が 40kPa
まで低下している。オンライン実験の直下型地震(Case6)では、せん断ひず
みの最大が 2.5% で、有効応力は 35kPa まで低下しているのに対し、海溝型
地震で繰返し回数が多い Case7 のせん断ひずみの最大が 2.9% 発生し、有
効応力は 20kPa まで低下していることがわかる。図のように発生する最大
せん断応力はほぼ 20kPa 付近で等しいものの、発生するせん断ひずみや
有効応力の低下傾向は異なっていることがわかった。

図-4 に再圧密体積ひずみと過剰間隙水圧比の関係を示す。既往の研究
¹⁾で、応力制御試験では過剰間隙水圧比の増加とともに、再圧密体積ひず
みも増加することがわかっているが、若干のバラつきはあるものの、オンラ
イン実験でも同様の傾向がみられる。図-5 に再圧密体積ひずみとせん断ひ
ずみ片振幅の関係を示す。図中の()内の数字はCSRである。応力制御の結
果はCSRが0.16と小さいケースで再圧密体積ひずみが大きくなっている。ま
た、関根ら²⁾との比較でバラつきはあるものの、同様の傾向がみられる。オン
ライン実験は同程度のせん断ひずみ片振幅であっても、地震波の違いで再
圧密体積ひずみに差がみられており、継続時間の影響が表れている。図-6
に再圧密体積ひずみと累積せん断ひずみの関係を示す。Case7のデータを
除けば累積せん断ひずみの増加に伴い、再圧密体積ひずみも増加してい
ることがわかる。また、既往の研究²⁾で緩い砂の液状化による ε_v - γ_{acm} が類似し
た傾向がみられた。なお、Case7の ε_v がその他のデータと比べて小さめにプ
ロットされているが、これは初期の間隙比が若干低く密になっていた可能性
がある。

4. まとめ

オンライン実験を用いて、正規圧密状態の粘性土試料について地震時の
载荷条件に近い繰返しせん断履歴を与えて、その後、再圧密試験を実施し
た結果、以下のことがわかった。

- 1) せん断応力の最大値がほぼ等しい条件であっても、地震波の種類によ
って発生するせん断ひずみの大きさや有効応力の低下量が異なる。
- 2) オンライン実験による不規則波条件であっても既往の研究結果と同
様に r_u の増加に伴って ε_v も増加する傾向がみられた。 ε_v と γ_{SA} はバ
ラつきがあるものの既往の研究と同様の傾向がみられた。また、地
震波の継続時間が ε_v に影響を及ぼすことがわかった。
- 3) ε_v と γ_{acm} でも増加傾向の関係がみられたと共に、緩い砂の液状化に
よる ε_v と γ_{acm} の関係と類似していることがわかった。

今後は過圧密粘土を対象として同様の実験を実施する予定である。

5. 参考文献

- 1) 関根優介・仙頭紀明(2018):過圧密比が異なる粘性土における非排水繰返しせん断後の沈下量評価, 平成 30 年度土
木学会東北支部技術研究発表会, III-29.
- 2) 仙頭紀明・風間基樹・渦岡良介(2004):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, pp307-317.

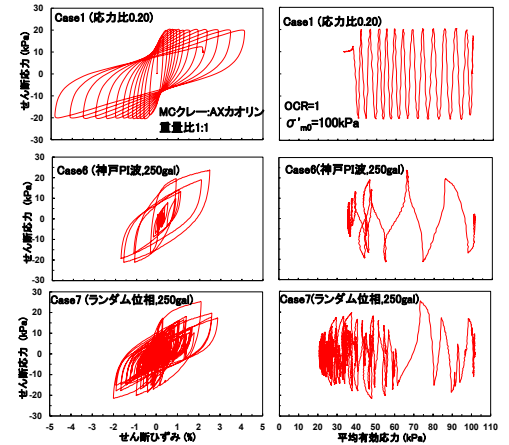


図-3 実験結果の比較

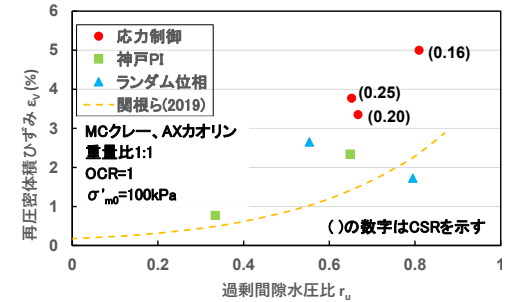


図-4 ε_v と r_u の関係

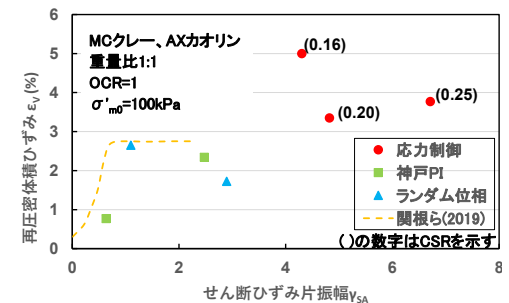


図-5 ε_v と γ_{SA} の関係

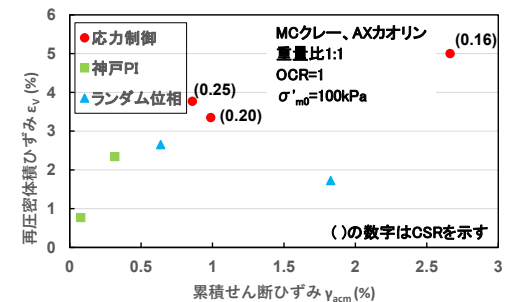


図-6 ε_v と γ_{acm} の関係