

異なる過圧密履歴を組み合わせて受けた場合の砂の液状化強度特性

九州工業大学大学院 学生会員 ○田中 大介 三田井 義一
九州工業大学工学部 正会員 永瀬 英生 廣岡 明彦
九州工業大学工学部 澤田 修平

1. はじめに

わが国は、地震により多くの被害を受けてきた。その中でも液状化の被害は深刻である。本研究では、過圧密履歴を実際の地盤に与えるための工法のうち载荷盛土工法と地下水位低下工法の2種類の工法に着目し、二重セル型中空ねじり試験装置によってこれらの過圧密工法、およびこれらの工法を組み合わせた場合を想定し、 K_0 応力条件下での過圧密砂の液状化強度特性を調べた。

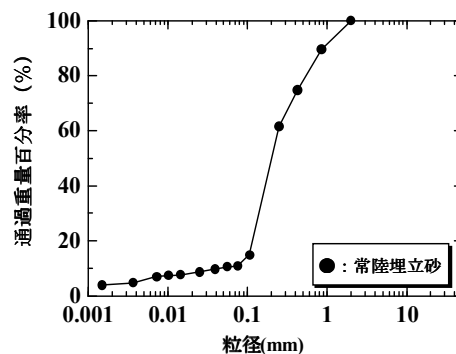


図1 粒径加積曲線

2. 試料および実験方法

図1に粒径加積曲線を示す。試料には常陸那珂火力発電所埋立地盤から採取したもの ($e_{\max}=1.143$, $e_{\min}=0.631$, $U_c=5.13$) を用いた。この試料は山砂であり、重量百分率で約18%の礫分を含んでいるが、実験では2mmふるいを通じた試料のみを用いた。供試体は、外径10cm、内径6cm、高さ10cmの中空円筒形とし、空中落下法により相対密度45%になるように作製した後、二酸化炭素と脱気水で十分に飽和させた。

実験ケースを表1に示す。圧密方法は K_0 圧密とし、軸圧制御により载荷盛土工法、背圧制御により地下水位低下工法をそれぞれ再現している。過圧密履歴は、所定の初期鉛直有効応力 σ_{v0}' で圧密した後、 σ_{v0}' の2倍または3倍の鉛直有効応力 σ_v' を与えて圧密し、その後 σ_v' を初期鉛直有効応力 σ_{v0}' まで除荷する方法で与えた。この場合、過圧密比(OCR) $_v$ は、 K_0 圧密における最大鉛直有効応力 σ_v' と初期鉛直有効応力 σ_{v0}' の比で定義した。

繰返し载荷は周波数0.1Hzの正弦波荷重を用いて行った。繰返しせん断時においては、供試体の鉛直変位を拘束した。

表-1 実験ケース

実験ケース	応力履歴	過圧密比(OCR) $_v$	過圧密後の K_0 値
A	軸圧制御	2	1.018
B	軸圧制御	3	1.634
C	背圧制御	2	0.416
D	背圧制御	3	0.427
E	軸圧载荷⇒背圧減少⇒背圧増加⇒軸圧除荷	3	1.072
F	軸圧载荷⇒背圧減少⇒軸圧除荷⇒背圧増加	3	0.983
G	軸圧载荷⇒軸圧除荷⇒背圧減少⇒背圧増加	2	1.131
H	背圧減少⇒軸圧载荷⇒軸圧除荷⇒背圧増加	3	0.862
I	背圧減少⇒軸圧载荷⇒背圧増加⇒軸圧除荷	3	1.001
J	背圧減少⇒背圧増加⇒軸圧载荷⇒軸圧除荷	2	1.124

3. 液状化強度について

図2,3にケースA,B,E~Gにおける繰返し応力比と両振幅せん断ひずみ $DA=7.5\%$ に達するまでの繰返し回数の関係をそれぞれ示す。

図2においては、過圧密比(OCR) $_v$ の増加に伴い繰返し応力比が大きくなる、いわゆる過圧密効果を確認することができる。

次に図3では、各ケースで繰返し応力比に差が見られ、特にケースEにおける繰返し応力比が最も大きく現れていることが確認できる。これは、ケースFと比較すると、過圧密比は同等であるが、過

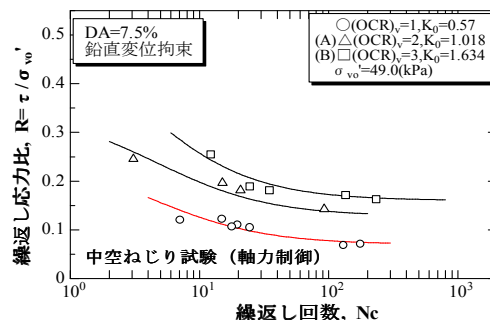


図2 繰返し回数と繰返し応力比の関係 (ケースA,B)

圧密後の K_0 値に差があり、この K_0 値の差が影響して繰返し応力比に差が生じたからと推察される。また、ケース G の結果を見てみると、過圧密比がケース E、F よりも小さいため、過圧密効果の影響で繰返し応力比が小さくなったものと推察される。

4. 液状化強度増加率について

図 4～6 にケース A～D、E～G、H～J における液状化強度増加率 $(R_{oc})_v$ と過圧密比 $(OCR)_v$ の関係を示す。ここで液状化強度増加率 $(R_{oc})_v$ とは、過圧密比 $(OCR)_v = 2, 3, 5$ での液状化強度比 R_{120} を $(OCR)_v = 1$ での R_{120} で除した値と定義している。なお、ここで液状化強度増加率と過圧密比の関係を $(R_{oc})_v = (OCR)_v^n$ のように近似した。また、算定値は K_0 値および過圧密比 OCR により下に示す式にて求めている。 n の値には等方圧密により過圧密履歴を受けた場合の値を用い、平均有効主応力で表す過圧密比 $(OCR)_0$ の n 乗に比例すると仮定している。ここに、 $(K_0)_{OC}$ と $(K_0)_{NC}$ は過圧密後の K_0 値と正規圧密後の K_0 値をそれぞれ表す。なお、今回用いた試料の n の値は繰返し三軸試験の結果より 0.5 である。

$$(R_{oc})_v = \frac{1 + 2(K_0)_{OC}}{1 + 2(K_0)_{NC}} (OCR)_0^n \quad (1)$$

図 4 において、背圧制御よりも軸圧制御での n の値が大きい。これは、軸圧制御では鉛直方向に大きく過圧密されることになり、粒子構造が安定しやすく、 K_0 値が大きくなるためと推察される。また、算定値と実験値を比較すると、軸圧制御の過圧密比 $(OCR)_v = 3$ において、実験値が算定値より小さい値を示しているが、これは圧密終了後の K_0 値にばらつきが生じたためと推察される。

次に図 5, 6 では、全てのケースにおいて n の値は 0.50～0.66 であり、両制御を単独で行った場合の中間にある。また算定値と実験値を比較すると、両者の値はほぼ同程度の液状化強度増加率を示している。ただし、ケース E の過圧密比 5 において算定値が実験値より小さい値を示しているが、これは粒子構造の安定化が過圧密比 5 以前にほぼ完了したため、実験における過圧密効果が小さく現れたものと推察される。

5. まとめ

2 種類の過圧密工法を組み合わせた場合の砂の液状化強度特性を調べた結果、以下のことが明らかになった。すなわち、(1) 繰返し応力比と繰返し回数の関係においては、過圧密比、過圧密後の K_0 値の違いにより、繰返し応力比に差が生じた。(2) 液状化強度増加率においては、2 種類の工法を組み合わせた場合の全ケースで、 n の値が 0.50～0.66 であり、両制御を単独で行った場合の中間にある。

<参考文献> 永瀬英生・清水恵助・廣岡明彦・福島英晃・篠崎友利・古林篤・石原弘樹：載荷盛土および地下水位低下工法により過圧密履歴を受けた砂地盤の液状化強度特性、土木学会第 58 回年次学術講演会

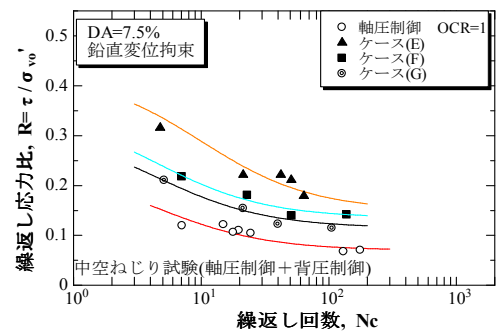


図 3 繰返し回数と繰返し応力比の関係 (ケース E～G)

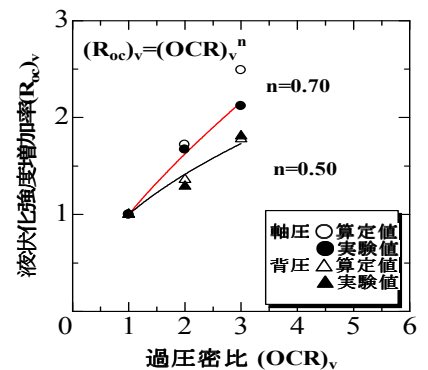


図 4 液状化強度増加率 (ケース A～D)

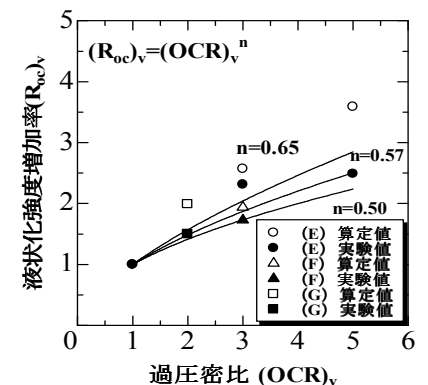


図 5 液状化強度増加率 (ケース E～G)

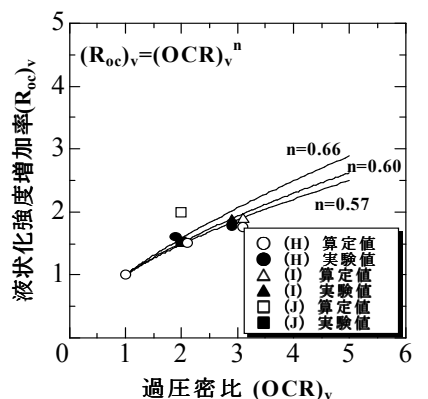


図 6 液状化強度増加率 (ケース H～J)