

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

九州工業大学大学院 学生会員 ○古林 篤 石原 弘樹
 九州工業大学工学部 正会員 永瀬 英生 清水 恵助 廣岡 明彦
 電源開発（株） 正会員 福島 英晃 篠崎 友利

1. はじめに

過圧密による砂地盤の液状化強度増加については、これまでに多くの研究がなされている。しかし、地盤に過圧密履歴を与える工法としては載荷盛土工法や地下水位低下工法が挙げられ、これら2つの工法が地盤に適用される際の K_0 値の挙動、液状化強度の増加傾向の相違等は十分に把握されていないのが現状である。本研究では、水平地盤内の K_0 応力状態を再現できる二重セル型中空ねじり試験装置を用い、載荷盛土工法、地下水位低下工法および載荷盛土工法と地下水位低下工法を組み合わせた場合を想定して、液状化強度に与える過圧密効果を比較検討した。また、液状化強度比と過圧密比および K_0 値の関係を定式化することにより、液状化強度増加率について検討を行った。

2. 試料および実験方法

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をを用いた。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ふるいを通過した試料のみを用いた。また、細粒分含有率は10%程度である。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。

圧密方法は K_0 圧密であり、繰返し載荷時の供試体拘束条件としては、鉛直変位を拘束した。ここで、載荷盛土工法は軸力制御により、地下水位低下工法は背圧制御により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 $\sigma'_{v0} = 49.0\text{kPa}$ で K_0 圧密した後、 σ'_{v0} の2倍、3倍または5倍の鉛直有効応力 σ'_v をそれぞれ与えて K_0 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。この場合の過圧密比 $(OCR)_v$ は、圧密時での最大の鉛直有効応力 σ'_v と初期鉛直有効応力 σ'_{v0} の比で定義した。なお、繰返し試験は周波数0.1Hzの正弦波荷重を用いて行った。

3. 繰返し試験結果

図1~4に繰返し試験で得られた繰返し応力比 R と両振幅せん断ひずみ DA が7.5%に至るまでの繰返し回数 N_c の関係を示す。なお、繰返し応力比としては、図1、2にせん断応力 τ を初期有効拘束圧 σ'_{v0} で除した値、図3、4にせん断応力 τ を初期鉛直有効応力 σ'_v で除した値をそれぞれ用いている。ただし、ここでいう有効拘束圧と平均有効主応力とは同義である。

図1の軸力制御および図2の軸力制御+背圧制御により過圧密履歴を与えた場合には、過圧密比 $(OCR)_v$ に伴う繰返し応力比 R の増加が見られず過圧密効果を確認することができない。これは、軸

キーワード：砂地盤、過圧密、 K_0 値、液状化

〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1 Tel 093-884-3111 Fax 093-884-3100

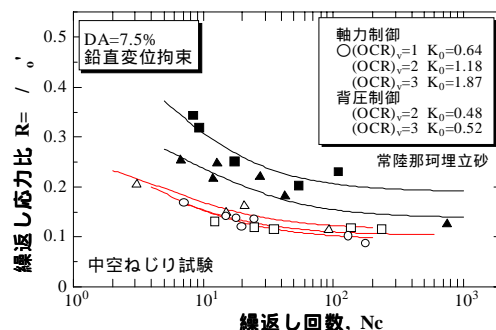


図1 繰返し応力比と繰返し回数の関係

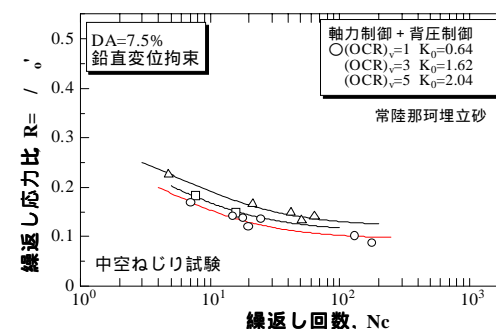


図2 繰返し応力比と繰返し回数の関係

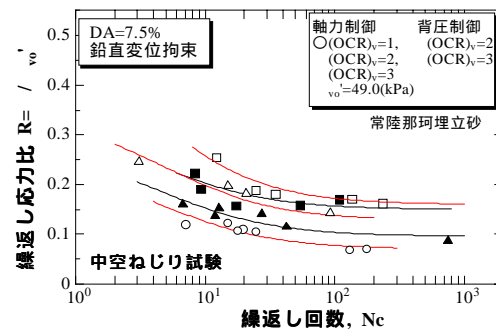


図3 繰返し応力比と繰返し回数の関係

力制御により過圧密履歴を与えたそれぞれの場合において、 K_0 値が大きくなり繰返し応力比 R の分母である初期有効拘束圧 σ'_0 が増加したからと考えられる。ただし、軸力制御+背圧制御では背圧制御による過圧密過程の開始点と終了点において K_0 値は変化していない。一方、図1の背圧制御により過圧密履歴を与えた場合の試験結果においては、過圧密比(OCR)_vが増加するほど、繰返し応力比 R は増加しており、過圧密効果を確認することができる。これは、過圧密履歴時に K_0 値が最終的には変わらないため、繰返し応力比 $R = \sigma'_v / \sigma'_0$ の分子に対してのみ過圧密効果が現れたものと考えられる。また、図3、4より繰返し応力比 R の分母を初期鉛直有効応力 σ'_0 にすると、この図に示した全てのデータにおいて、過圧密比(OCR)_vの増加に伴い、繰返し応力比 R は増加することが分かる。

4. 液状化強度に与える過圧密効果の評価

K_0 値と過圧密比 OCR による液状化強度の算定方法は、石原ら(1979)の研究¹⁾で要素試験により導かれている。そこで、今回行った実験についても、液状化強度比 R_{120} と過圧密比 OCR および K_0 値の関係を定式化することにより液状化強度増加率(R_{oc})_vを表し、それぞれの工法による過圧密効果の検討を行った。本研究では、繰返し応力比 $R = \sigma'_v / \sigma'_0$ を用いた図3、4より全てのケースで過圧密効果を確認することができたので、液状化強度増加率としては(R_{oc})_vを選択した。ここに液状化強度増加率(R_{oc})_vを式で表すと、

$$(R_{oc})_v = \frac{(\sigma'_v / \sigma'_0)_{A,OC}}{(\sigma'_v / \sigma'_0)_{A,NC}} = \frac{1 + 2(K_0)_{OC} \cdot (\sigma'_v / \sigma'_0)_{OC}}{1 + 2(K_0)_{NC} \cdot (\sigma'_v / \sigma'_0)_{NC}} \dots (1)$$

となる。ここで、式(1)の右辺第2項は、 n の値に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すると、式(1)は、

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

と表すことができる。よって、上式より各実験ケースにおける液状化強度増加率(R_{oc})_vを求め、液状化強度に与える過圧密効果の評価を行う。なお、 n の値は、同一の試料を用いて繰返し三軸試験を実施した結果より0.50となっている。図5、6にこのようにして求めた算定値と試験値の比較を示す。

図5に示した結果および図6に示した過圧密比(OCR)_v = 3の結果では、試験値と算定値がほぼ一致している。また、軸力制御の場合の方が背圧制御の場合より液状化強度増加率の値が大きく、過圧密比(OCR)_v = 3までにおいては軸力制御+背圧制御の場合、最も液状化強度増加率の値が大きい。ただし、図6より過圧密比(OCR)_vが5と大きくなると、式(2)が成立しなくなる可能性があると考えられる。

5. まとめ

K_0 応力条件下での砂の液状化強度増加率(R_{oc})_vを液状化強度比 R_{120} と過圧密比(OCR)₀および K_0 値の関係を定式化することにより液状化強度増加率について検討を行った結果、載荷盛土工法の方が地下水位低下工法よりも液状化強度増加に与える過圧密効果は大きく、過圧密比(OCR)_v = 3までにおいては、載荷盛土工法と地下水位低下工法を組み合わせた場合、最も大きな過圧密効果を得られる可能性があることが明らかになった。

<参考文献> 1) K. Ishihara and H. Takatsu (1979) : Effects of Overconsolidation and K_0 Conditions on the Liquefaction Characteristics of sands, Soils and Foundations, Vol.19, No.4, pp.59-68

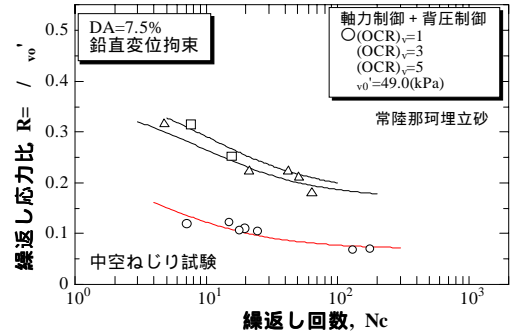


図4 繰返し応力比と繰返し回数の関係

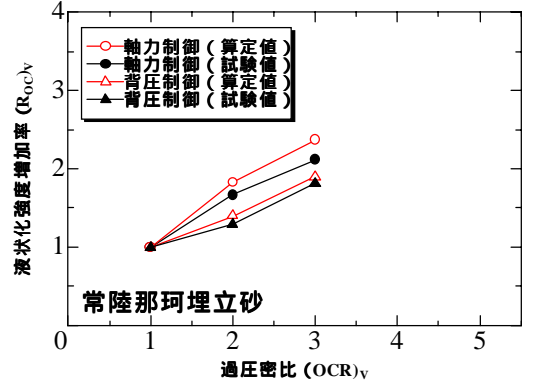


図5 液状化強度増加率と過圧密比の関係

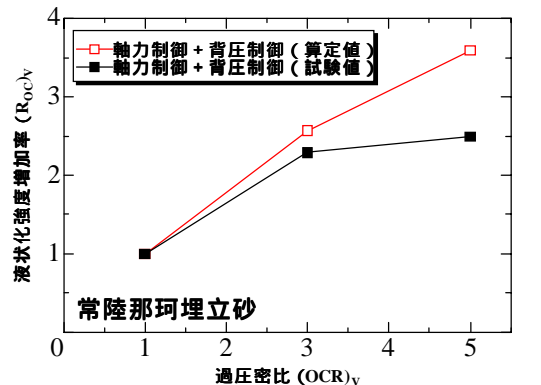


図6 液状化強度増加率と過圧密比の関係