

2 種類の工法で過圧密履歴を与えた場合の再構成砂質試料の液状化強度特性

九州工業大学大学院 学生会員 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. まえがき

過圧密履歴を与える工法としては、載荷盛土工法と地下水位低下工法が挙げられる。筆者らは、豊浦砂を用いて室内要素試験を行い、これら 2 種類の過圧密履歴が砂の液状化強度に与える影響について検討を行ってきた¹⁾。その結果、載荷盛土工法による方が地下水位低下工法によるよりも液状化強度に与える過圧密効果は大きい可能性があることが明らかになった。そこで本研究では、原位置におけるそれぞれの過圧密効果を検討する目的で、原位置より採取された試料を用い、上記 2 種類の工法を想定して、 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。

2. 試料および実験方法

表-1 に実験ケースを示す。実験には、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。その粒径加積曲線を図-1 に示す。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 以下のふるいを通じ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、空中落下法により乾燥密度 $\rho_d=1.40\text{g/cm}^3$ 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(軸力制御、背圧制御)であり、繰返しせん断時の供試体拘束条件は、鉛直変位拘束とした。ただし、軸力制御は載荷盛土工法、背圧制御は地下水位低下工法をそれぞれ想定している。過圧密履歴は、所定の初期鉛直有効応力 $\sigma'_v=49.0\text{kPa}$ で K_0 圧密した後、 σ'_v の 2 倍または 3 倍の鉛直有効応力 σ'_v を与え、その後 σ'_v を初期鉛直有効応力 σ'_v まで除荷する方法で再現した。なお、軸力制御と背圧制御を組み合わせたケースでは、先に軸力制御による過圧密履歴を与え、その後背圧制御による過圧密履歴を与えている。また、その際、それぞれで制御した鉛直有効応力の比を 1:1 とした。すべてのケースにおいて、過圧密比は、 $(OCR)_v$ の記号で表示し、最大の鉛直有効応力 σ'_v と初期鉛直有効応力 σ'_v の比で定義した。また、圧密時における側方ひずみは $\pm 0.05\%$ 以内に収まるように側圧にて制御した。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. 液状化試験結果

図-2、3 は、表-1 に示した条件での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 の関係を示したものである。図-2 においては、繰返し応力比 R としてせん断応力 τ を初期有効拘束圧 σ'_v で除した値、図-3 においては、繰返し応力比 R としてせん断応力 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。

軸力制御の結果について見てみると、図-2 に示した結果では、過圧密比 $(OCR)_v$ が 1 から 2 に増加した場合、繰返し応力比も増加しており、過圧密効果を確認することができる。しかし、過圧密比 $(OCR)_v$ が 2 から 3 に増加すると、繰返し応力比 R は減少している。これは、軸力制御により過圧密履歴を与えた場合、過圧密比 $(OCR)_v$ が大きくなる液状化、 K_0 圧密、過圧密、載荷盛土工法、地下水位低下工法

表-1 実験ケース

	鉛直有効応力の制御過程(kPa)	過圧密比 $(OCR)_v$	過圧密後の K_0 値	過圧密後の有効拘束圧 σ'_v (kPa)
(A)	軸力制御(0 49)	1	0.57	34.88
(B)	軸力制御(0 49 98 49)	2	1.28	56.66
(C)	軸力制御(0 49 147 49)	3	1.76	72.62
(D)	背圧制御(0 49 98 49)	2	0.57	34.88
(E)	背圧制御(0 49 147 49)	3	0.57	34.88
(F)	軸力+背圧制御(0 49 98 49)	2	1.39	60.52
(G)	軸力+背圧制御(0 49 147 49)	3	1.46	65.78

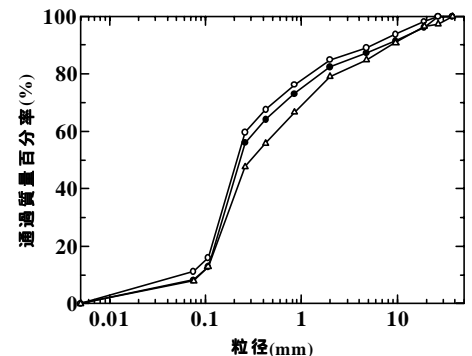


図-1 粒径加積曲線

につれて、繰返し载荷直前の K_0 値が大きくなり、その結果として繰返し応力比 R の分母である初期有効拘束圧 σ'_0 が増加したためであると考えられる。また、繰返し応力比 R を初期鉛直有効拘束圧 σ'_0 で正規化すると、図-3 に示したように過圧密比(OCR)_v が大きくなるにつれて繰返し応力比 R が大きくなる、いわゆる過圧密効果をすべてのデータで確認することができる。

一方、背圧制御の結果について見てみると、図-2、3 に示したように過圧密比(OCR)_v が大きくなるにつれて、繰返し応力比 R が大きくなり、すべてのデータにおいて過圧密効果を確認することができる。背圧制御により過圧密履歴を与えた場合は、繰返し载荷直前の K_0 値はあまり変わらず、繰返し応力比 R 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-2、3 において、過圧密比(OCR)_v=2、3 のとき、繰返し応力比 R の値が異なり、図-2 の場合の方が図-3 のときよりも繰返し応力比 R は大きくなっている。これは、初期有効拘束圧 σ'_0 の方が初期鉛直有効応力 σ'_{v0} よりも小さいためである。

軸力+背圧制御の結果では、図-2、3 に示したように、過圧密比(OCR)_v が増加するにつれて、繰返し応力比 R は大きくなっている。しかし、その増加割合はこれらの図において異なり、図-2 の場合の方が図-3 のときよりも繰返し応力比 R は小さくなっている。この場合は、各過圧密比において、 K_0 値が 1.0 を超えているため、繰返し载荷直前において初期有効拘束圧 σ'_0 の方が初期鉛直有効応力 σ'_{v0} よりも大きくなり、繰返し応力比に差が生じたものと考えられる。なお、過圧密比(OCR)_v=3 のときは、軸力制御のみの場合の方が軸力制御と背圧制御を組み合わせたときよりも、 K_0 値は大きくなっているが、過圧密比(OCR)_v=2 のときは、それとは逆の傾向を呈している。したがって、ケース (F) においては、 K_0 値が予想よりも大きくなっていると指摘できる。ただし、現状ではデータ数が少ないので、その原因は明らかになっておらず、今後の研究課題としたい。

4. 液状化強度増加率

今回行ったすべてのケースにおいて、図-3 を用いて液状化強度増加率を算出し、過圧密効果を評価してみる。液状化強度増加率(R_{oc})_v は、図-3 より繰返し回数 20 回での繰返し応力比 R を液状化強度比 R_{120} とし、各ケースにおける過圧密比(OCR)_v=2 または 3 での R_{120} を(OCR)_v=1 での R_{120} で除した値である。その値を過圧密比(OCR)_v に対してプロットしたのが図-4 である。この両者の関係が (R_{oc})_v=(OCR)_vⁿ で近似されると仮定し、 n の値を求めると、軸力制御の場合は 0.70、背圧制御の場合は 0.50、軸力制御と背圧制御を組み合わせた場合は 0.78 となった。

これより、今回用いた試料に対して、载荷盛土工法による方が地下水位低下工法によるよりも、原位置において液状化強度に与える過圧密効果は大きい可能性があると言える。ただし、軸力制御と背圧制御を組み合わせた場合では、 n の値が最も大きくなっている。この原因については、軸力・背圧制御によるそれぞれの過圧密効果が足し合わさったこと等が考えられるが、まだ明確にはなっていない。こちらも今後の研究課題としたい。

5. まとめ

本研究では、载荷盛土工法と地下水位低下工法を想定して、 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。その結果、今回用いた試料に対して、原位置において、载荷盛土工法による方が地下水位低下工法によるよりも液状化強度に与える過圧密効果は大きい可能性が認められた。

<参考文献> 1) 永瀬・清水・廣岡・前田・石原：2種類の工法で過圧密履歴を受けた砂地盤の液状化強度特性、第36回地盤工学会研究会発表会発表講演集、pp425～426、2001

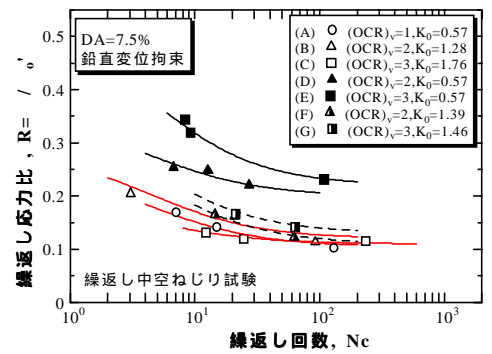


図-2 R と Nc の関係

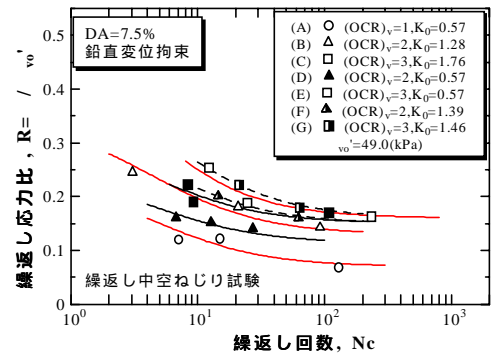


図-3 R と Nc の関係

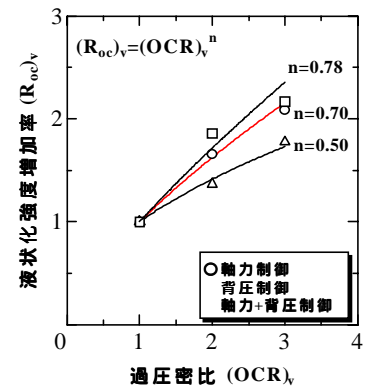


図-4 (R_{oc})_v と(OCR)_v の関係