

III- 421

排水履歴を伴う砂の非排水せん断挙動

茨城大学工学部 正員 ○佐藤研一 安原一哉
東京電力(株) 正員 見郷浩二

1.はじめに

防波堤のような海洋構造物下の基礎地盤は、波浪荷重により繰返し荷重を受けている。この繰返し荷重の作用により、基礎地盤内には荒天時に大きな間隙水圧が発生し、有効応力の低下が生じ地盤は不安定な状態になる。また、静穏時にはこの発生した間隙水圧が消散し、地盤は再圧密が起こり締め固めが生じる。このような地盤の排水の効果は、特に砂地盤の安定性に対して安全側に作用するとされている¹⁾。しかし、このような繰返しによる間隙水圧の消散による地盤の体積変化は圧密の除荷によるものよりも大きい^{2) 3)}と言われており、このような排水履歴の効果を詳細に調べることは海底地盤の安定性を調べるうえで重要である。本文ではこのような、排水履歴が砂の非排水せん断挙動に及ぼす影響について実験的な検討を行った結果を報告する。

2.実験概要および実験手法

海底地盤の排水履歴が砂の非排水せん断挙動に及ぼす影響を調べるために、中空ねじり試験装置を用いた静的繰返し非排水せん断試験を行った。実験のフローチャートを図-1に示す。実験は、中間主応力係数(b 値)0.5、主応力方向角(2α) 45° の状態繰返し振幅一定の繰返し載荷を5回行い、その後発生間隙水圧を消散させるために排水コックを開け、再圧密させ体積変化量の測定を行う。これを1サイクルとして、計3サイクル行った。このときの繰返し応力振幅の大きさは、同様な条件下での静的せん断試験の結果において、有効応力経路が破壊包絡線に達した時点のせん断応力の80%を用いた⁴⁾。載荷方法は、主応力方向が反転しない片振り試験(ONE-WAY)と、主応力方向を反転させる両振り試験(TWO-WAY)の2種類の方法によって行った。実験手法の概要と供試体の作成方法については、別報⁵⁾で報告しているので、ここでは省略する。表-1に実験に用いた供試体の初期条件を示す。供試体は、比較的高密な場合と緩い場合の2種類を空中落下法により作成した。

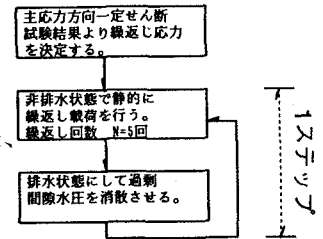


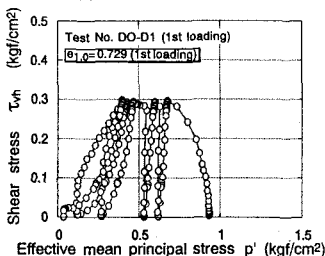
図-1 せん断方法

3.実験結果および考察

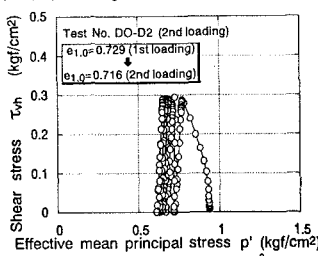
図-2(a),(b),(c)に密な砂の供試体に対する片振り試験の有効応力経路を示す。1ステップにおいて、1回目の載荷に大きな平均有効主応力 p' の低下が見られる。その後繰返し回数の増加とともに平均有効主応力は減少し、ほぼ0付近まで達している。しかし、排水履歴を1回受けた後の、2ステップ目の繰返し試験においては、1回目の載荷で、1ステップ目と同様に大きな平均有効主応力の低下が見られるが、その後の載荷においてはほとんどその低下が見られない。

表-1 供試体初期条件

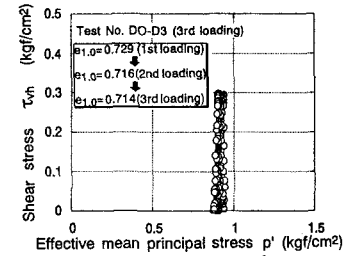
Test No.	ステップ数	繰返し応力 $\tau_{v,u}$ (kgf/cm ²)	間隙比 $e_{1,0}$	相対密度 D_r (%)	飽和度 B 値
DO-D	1	0.296	0.729	72.0	0.98
	2	0.296	0.716	74.8	---
	3	0.296	0.714	75.3	---
ONE-WAY	1	0.296	0.672	86.7	0.99
	2	0.296	0.670	87.3	---
	3	0.296	0.655	88.7	---
TWO-WAY	1	0.176	0.829	44.1	1.00
	2	0.176	0.823	45.9	---
	3	0.176	0.822	46.0	---
DO-L	1	0.176	0.828	44.2	0.97
	2	0.176	0.828	44.4	---
	3	0.176	0.827	44.5	---
ONE-WAY	1	0.176	0.828	44.2	0.97
	2	0.176	0.828	44.4	---
	3	0.176	0.827	44.5	---
DW-L	1	0.176	0.828	44.2	0.97
	2	0.176	0.828	44.4	---
	3	0.176	0.827	44.5	---
TWO-WAY	1	0.176	0.828	44.2	0.97
	2	0.176	0.828	44.4	---
	3	0.176	0.827	44.5	---



(a)第1ステップ



(b)第2ステップ



(c)第3ステップ

図-2 有効応力経路図

また、排水履歴を2回受けた後の、3ステップ目の繰返し試験においてはその有効応力経路はほぼ同じ経路をたどっている。これは、供試体は排水履歴を受けることにより、繰返しによる有効応力の低下が抑制されたことを示している。図-3に密な砂の供試体に対する片振り試験の残留ひずみと繰返し回数の関係を示す。ここで残留ひずみとは、各繰返し载荷が終了した時点に生じているせん断ひずみを残留ひずみとした。1ステップ目の载荷においては、残留ひずみは繰返し回数の増加とともに発生しているが、排水履歴を受けると発生量は小さくなり、3ステップ目ではほとんど残留ひずみが見られない。この結果より、排水履歴は、供試体の変形量においても抑制する効果があることが分かる。図-4に密な砂の供試体に対する片振り試験におけるせん断剛性率と繰返し回数の関係に及ぼす排水履歴の影響を示す。せん断剛性率はせん断応力-ひずみ曲線の割線を取り、1ステップ目の最初の繰返し载荷で求められるせん断剛性率 G_1 で各繰返し载荷でのせん断剛性率 G_N を除いたものを示した。せん断剛性率は、繰返し回数の増加とともに減少する傾向を示すが、排水履歴を受けることにより増加する傾向を示す。これは、排水履歴によって供試体密度が増加したことがその要因であると考えられる。図-5に今回行った全ての実験結果において、排水履歴によって再圧密した時に生じる体積ひずみと発生間隙水圧の関係を示す。この結果より、繰返し载荷時に大きな間隙水圧が発生するほど、再圧密時に大きな体積ひずみが生じていることが分かる⁵⁾。また、この関係には主応力方向の反転の影響と供試体初期密度の影響はほとんど見られず、両者の間には一義的な関係があることが分かった。ここで、間隙水圧の発生量が両振り载荷時より片振り载荷時の方が大きく、緩い砂より密な砂の方が大きいのは、繰返し応力の振幅が両振りと片振り試験において同じであること、供試体密度によって繰返し応力の大きさが異なることが影響している。次に繰返し载荷によって発生した残留ひずみと再圧密時に生じた体積ひずみの関係について全ての結果を取りまとめたものを図-6に示す。繰返し载荷時に発生する間隙水圧が大きいほど再圧密時に大きな体積ひずみが生じている。また、主応力方向を一定(片振り試験)で繰返し载荷を行った場合は、正の残留せん断ひずみが生じているのに対し、主応力方向を反転させた(両振り試験)場合では、負の残留せん断ひずみを生じていることが分かる。しかし、残留せん断ひずみと体積ひずみの関係には密度の影響はほとんど見られず一義的な関係を示している。

4.まとめ 非排水繰返し応力を受けた砂供試体は、排水履歴を受けることにより、供試体密度が増加し、間隙水圧の発生は抑制され、せん断剛性率が増加する。したがって、排水履歴を受ける地盤は、非排水の繰返しせん断に対して安全側に作用すると考えられるが、間隙水圧の消散に伴う体積ひずみは間隙水圧の増加とともに大きくなり、一義的な関係がある。

参考文献 (1)Rahman et al.(1977):Proc.of ASCE,Vol.103,GT12,pp.1419-1436. (2)吉見(1991):砂地盤の液状化,技報堂,pp.47-48. (3)佐藤他(1992):第27回土質工学講演会概要集,pp.619-622. (4)佐藤他(1992):地盤と建設Vol.10, No.1, pp.93-100. (5)Lee K. L. et al.(1974):Proc.of ASCE,Vol.100,GT4,pp.387-406.

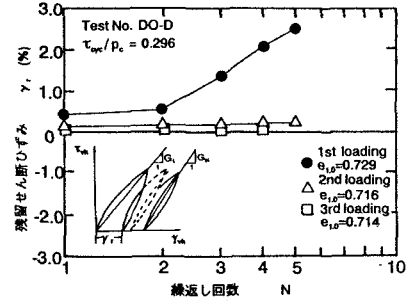


図-3 残留ひずみに及ぼす排水履歴の影響

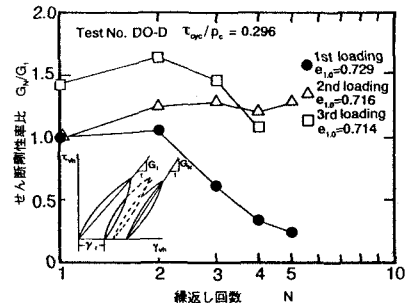


図-4 せん断剛性率比に及ぼす排水履歴の影響

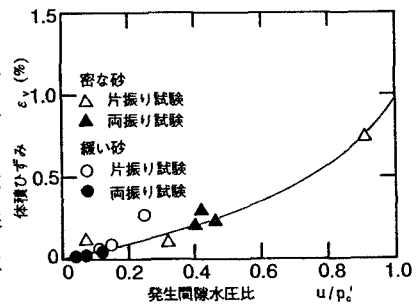


図-5 間隙水圧と体積ひずみの関係

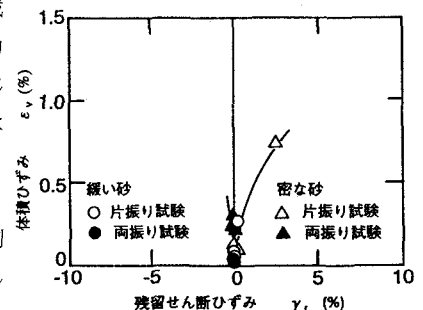


図-6 残留ひずみと体積ひずみの関係