

部分排水条件における砂の液状化特性に関する実験的研究

国立大学法人 長岡技術科学大学 ○万所 求・大塚 悟  
 独立行政法人 港湾空港技術研究所 山崎 浩之・金田 一広・永野賢次

1. はじめに

今後発生が予測されている海溝型地震では継続時間の長い地震動や長周期の地震動が予想されている。このような地震動は排水による強度増加が期待できる。本研究は、梅原・善・浜田<sup>1)</sup>や兵頭<sup>2)</sup>らも行っているが、繰り返し三軸試験機で排水バルブの径を調節することにより排水をわずかに許す条件にて、砂の部分排水に伴う液状化強度や排水量の違いについて試験を行った。

2. 実験方法

試料は相馬6号砂(土粒子密度： $\rho_s=2.649\text{g/cm}^3$ 、最大乾燥密度： $\rho_{dmax}=1.539\text{g/cm}^3$ 、最小乾燥密度： $\rho_{dmin}=1.188\text{g/cm}^3$ )を用いた。内径5cm、高さ12.5cmのモールドを用い空中落下法<sup>3)</sup>で供試体を作成した。拘束圧は $100\text{kN/m}^2$ (セル圧 $200\text{kN/m}^2$ 、背圧 $100\text{kN/m}^2$ )でB値が95%以上であることを確認している。試験は図1に示すように流量を調整するバルブを用いて供試体の上部からわずかに排水させる部分排水試験を行った。バルブの径は0.28mmと0.18mmを用いた。図1にバルブの排水性能を示す。一定時間に各圧力をかけたときの排水流量を計測している。上下完全排水状態と比べるとバルブの径が0.28mmのときは0.018倍、0.18mmのときは0.006倍の排水流量となっている。また、繰り返し周波数は0.1と1Hzの2種類として、相対密度は53~59%の中密なもの72~74%の密なもの2種類を用いた。試験ケースを表1に示す。なお、液状化判定は過剰間隙水圧比( $\Delta u/\sigma'_v$ )が95%に達した時と定義した。

3. 実験結果

1) 周波数の影響

図3(a)にc003(0.1Hz, Dr60)、(b)にc006(1Hz, Dr60)の軸差応力~軸ひずみ関係を示す。繰り返し振幅比はどちらも同じである。c003よりもc006の方が大きな軸ひずみが発生し、液状化に至っている。図4(a)、(b)にそれぞれc003、c006の有効応力経路を示す。c003では有効応力が2回繰り返し減少した後有効応力が回復するが、c006では液状化後の有効応力はほとんど回復しない。図5(a)にそれぞれc003、c006の過剰間隙水圧比~経過時間の関係を示す。c003は载荷して直ぐに液状化するがその後水圧が低下するのに対して、c006では低下しない結果となった。図6に体積ひずみ~繰り返し回数関係を示す。c006の排水量はc003よりも少ない。すなわち、1Hzの周波数では非排水的な挙動になるのに対して、0.1Hzでは排水による液状化強度の増加が期待できることを示している。

表1 実験ケース一覧

ケース番号	バルブの径(mm)	圧密終了後の相対密度(%)	周波数(Hz)	繰り返し荷重(KN/m <sup>2</sup> )	繰り返し応力振幅比	液状化に至る繰り返し载荷回数	圧密終了後の間隙比(e)
c001	0.28	54.1	0.1	85.3	0.217	1	0.955
c002		59.7	0.1	94.6	0.238	1	0.926
c003	0.18	56.2	0.1	85.3	0.214	1	0.944
c004		53.5	0.1	95.6	0.238	1	0.958
c005		54.9	1	78.9	0.193	2	0.951
c006		56.9	1	90.2	0.219	2	0.940
c007		74.3	1	110.7	0.270	4	0.852
c008		74.4	1	116.1	0.282	3	0.851
c009		72.8	1	124.5	0.290	3	0.859

2) 相対密度の影響

図3(c)にc007(1Hz, Dr80)の軸差応力~軸ひずみ関係を示す。c006に比べてややゆっくりとひずみが進行しており、密な砂の液状化と類似している。図4(c)にc007の有効応力経路を示す。载荷後徐々に有効応力が低下してサ

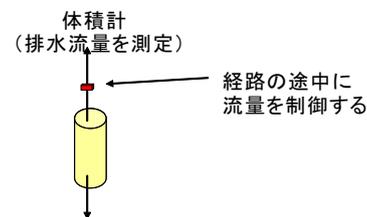


図1 排水経路

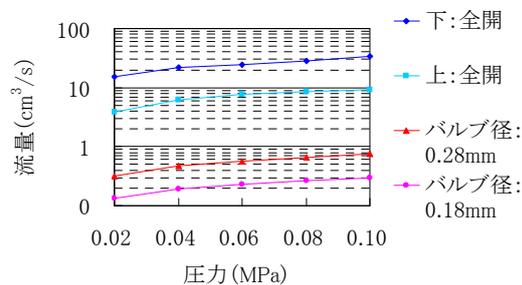


図2 圧力~流量の関係

キーワード：砂，繰り返し三軸試験，液状化，部分排水  
 連絡先：〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1 長岡技術科学大学 TEL 0258-46-6000

イクリックモビリティを示す。c006の時と同じ繰返し振幅比でDr80の砂に対して試験を行うと、200回繰返し載荷をしても液状化しなかった。供試体密度により部分排水試験結果の差異を確認できた。

3) バルブの影響

図3(d)、図4(d)にc001(バルブの径:0.28mm)の軸差応力~軸ひずみ関係、有効応力経路を、図5(a)に過剰間隙水圧比~経過時間関係を示す。c001は液状化後すみやかに水圧が消散している。図6に体積ひずみ関係を示すが、繰返しの初期に排水しその後一定の幅で繰返し変動することが分かる。

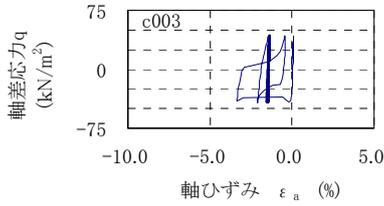


図3(a) 軸差応力~軸ひずみの関係(0.1Hz,Dr60, 0.18mm)

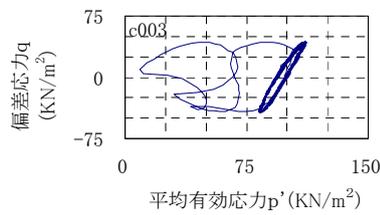


図4(a) 有効応力経路(0.1Hz,Dr60,0.18mm)

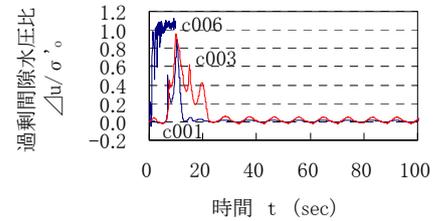


図5(a) 過剰間隙水圧比~経過時間

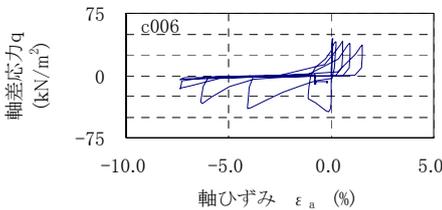


図3(b) 軸差応力~軸ひずみの関係(1Hz,Dr60, 0.18mm)

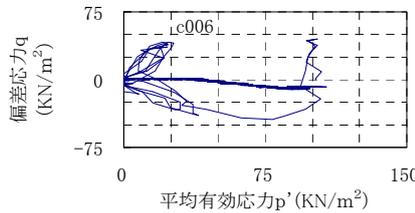


図4(b) 有効応力経路(1Hz,Dr60,0.18mm)

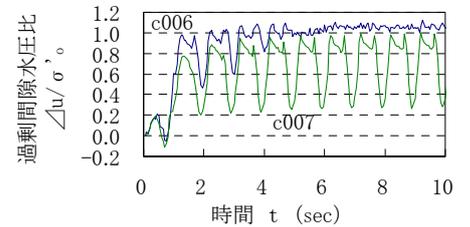


図5(b) 過剰間隙水圧比~経過時間

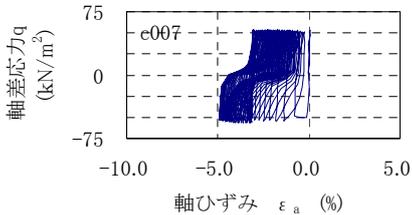


図3(c) 軸差応力~軸ひずみの関係(1Hz,Dr80,0.18mm)

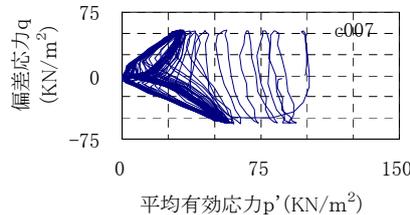


図4(c) 有効応力経路(1Hz,Dr80,0.18mm)

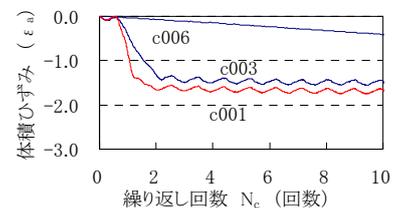


図6 体積ひずみ~繰返し載荷回数

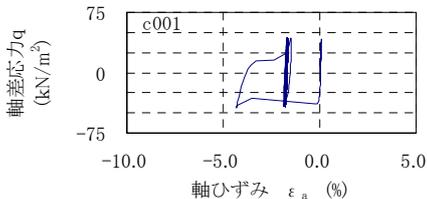


図3(d) 軸差応力~軸ひずみの関係(0.1Hz,Dr60, 0.28mm)

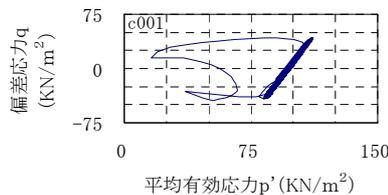


図4(d) 有効応力経路(0.1Hz,Dr60,0.28mm)

4. おわりに

周期が短く、バルブの径が小さいほど液状化に至りやすいことが示された。長周期や、継続時間の長い繰返し載荷では排水による強度増加が期待される。今後はさらに実験を加え、これらの影響について調べる予定である。

参考文献

- 1) 梅原・善・浜田(1981)：排水効果を考慮した飽和砂の液状化強度、港湾技術研究所報告、Vol.20, No.1.
- 2) 兵頭ら(1994)：飽和砂の部分排水繰返し三軸試験について、第46回土木学会研究発表講演会、pp. 402-403.
- 3) 社団法人地盤工学会(2000)：土質試験の方法と解説(第一回改訂版)。
- 4) 永野賢次：中密な砂の排水繰返し後の液状化強度に関する実験、港湾技術研究所報告。