

1.はじめに

構造物や盛土などの直下地盤では、地震時に間隙水圧があまり上昇しないため液状化が発生せず、地盤が側方に広がりながら圧縮が進行する場合がある。このような現象はシェイクダウンモードと呼ばれるが、このシェイクダウンモードの沈下特性に関する研究例は非常に少なく、未だに明らかにされていない部分が多い。本研究では中空ねじりせん断試験機を用いて異方圧密状態を再現し、要素試験を行い、シェイクダウンモードの沈下特性を明らかにすることを目的とした。また本研究ではさらに現実に近い地盤の条件を再現するため、細粒分を使用した実験も行った。

2.実験方法

本研究は中空ねじりせん断試験装置により行った。試料には豊浦砂と DL クレーを用いた。供試体のサイズは内径 30mm、外径 70mm、高さ 100mm の中空円筒形で、豊浦砂のみの供試体は水中落下法で、細粒分を含んだ供試体は静的締固め法を用いて作成した。二酸化炭素及び脱気水を通気通水させて供試体を飽和させ、背圧 190kPa と軸圧 110kPa、拘束圧 60kPa を与えて異方圧密

表-1 実験ケース

実験ケース	K_0	τ / σ'_0	Dr(%)	実際のDr(%)	圧密後のDr(%)	Fc(%)
Case1	0.55	0.17	40	40	40.2	0
Case2			60	60	60.3	0
Case3			80	80	80.1	0
Case4			60	61.1	61.3	20
Case5			60	62.2	62.4	30

($K_0=0.55$)した後、非排水条件下で軸差応力を一定、軸ひずみを許容した条件で繰返し載荷を行った。実験ケースを表-1 に示す。なお、載荷回数は水圧上昇やひずみの大きさに関わらず 100 回とした。

3.実験結果

図-1、図-2 に実験により得られた軸ひずみと過剰間隙水圧比を示す。全ての実験ケースにおいて、載荷回数の増加とともに過剰間隙水圧が増加するが、過剰間隙水圧の増加速度は徐々に減少し、過剰間隙水圧の上昇はやがて頭打ちとなる。軸ひずみも載荷回数の増加とともに増加するが、軸ひずみは過剰間隙水圧とは異なり、載荷回数が増加しても軸ひずみの増加が頭打ちとなるような傾向は見られない。しかし、Case1 のように過剰間隙水圧の上昇が頭打ちとなる場合は、その前後で軸ひずみの増加速度が変化している。これは、軸ひずみの増加のメカニズムが過剰間隙水圧の上昇が頭打ちとなる前後で異なるためと考えられる。つまり、過剰間隙水圧の上昇が頭打ちとなる前は、水圧上昇に伴うせん断強度の低下によって軸ひずみが増加するが、過剰間隙水圧の上昇が頭打ちとなった後はせん断強度の低下に伴う軸ひずみの発生はなく、繰返し載荷による水平方向のひずみの増加に応じた分だけ軸ひずみが増加するからであると考えられる。また、Case1 と Case2 はいずれも過剰間隙水圧の上昇が頭打ちとなっているが、水圧上昇が頭打ちとなったときの水圧の値はほぼ同じである。これから相対密度は過剰間隙水圧が頭打ちとなる値に影響を及ぼさないことが考えられる。実験結果は、軸ひずみは相対密度が高いほど、また、細粒分含有率が高いほど増加し難くなる傾向を示している。過剰間隙水圧にも同様の傾向が見られるが、Case5 は載荷回数が増加しても、過剰間隙水圧の上昇が緩やかになる傾向が見られず、増加を続けている。図-3 に載荷 160 回までの Case4 と Case5 の過剰間隙水圧比を示す。載荷 90 回程度で Case5 が Case4 を上回り、その差は載荷回数が増えるほど広がっていく。細粒分が多いほど、過剰間隙水圧上昇の感度がにぶく、そのかわり長く続く傾向を示す結果であると言えるが、実験ケース数が少なく、差も微小であるので更なる検討が必要である。

図-4 に Case1 における載荷 1 回あたりの軸ひずみの増加速度と過剰間隙水圧の増加速度を、各載荷回数において併記したものを示す。図中には移動平均を行なった結果も併記している。

過剰間隙水圧が上昇する間は軸ひずみ増加速度が大きく変化するが、過剰間隙水圧の上昇が頭打ちとなった後は軸ひずみ増加速度の変化は緩やかになる。軸ひずみ増加速度は載荷 80 回程度まで減少していて、その後一定値を示しているように見える。このことからシェイクダウンモードの沈下特性には、過剰間隙水圧の増加に伴い軸ひずみ速度が大きく変化する段階(A)と、過剰間隙水圧の上昇量がごく微小になり軸ひずみ増加速度が徐々に減少する段階

(B)と、過剰間隙水圧の上昇が完全に止まり、軸ひずみ増加速度が一定になる段階(C)、計3段階存在する可能性が考えられる。

間隙水圧が上昇しきっていない場合は、砂粒子は間隙に入り込むことができるため、軸ひずみ増加速度は大きく変化することができる。しかし、間隙水圧の上昇が頭打ち、もしくは上昇し難い場合は、砂粒子が間隙に容易に入り込むことができないため、軸ひずみ増加速度は急に変化できず、緩やかに変化する。その状態が、前述した段階(B)であると考えられる。この段階では、载荷1回あたりに変化することのできる軸ひずみの増加速度には上限があり、この上限を超えた分は次回の载荷に持ち越されるのではないかと推察する。また、この考えに基づくと载荷1回あたりに変化することのできる軸ひずみの増加速度は载荷周波数により変化する可能性が考えられるともいえる。もしこの考えが正しいとして、実際の地盤に置き換えると、周期の短い通常の地震動では地盤沈下がほとんど発生しなくても、長周期地震動の場合には大きな地盤沈下が発生するといったことが考えられるため、今後の検証が必要である。

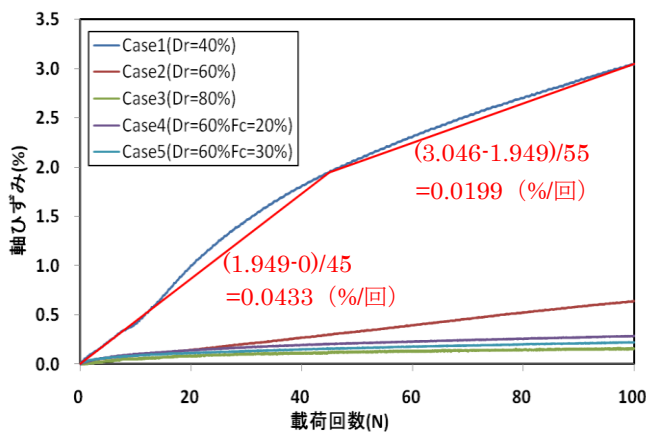


図-1 軸ひずみの比較

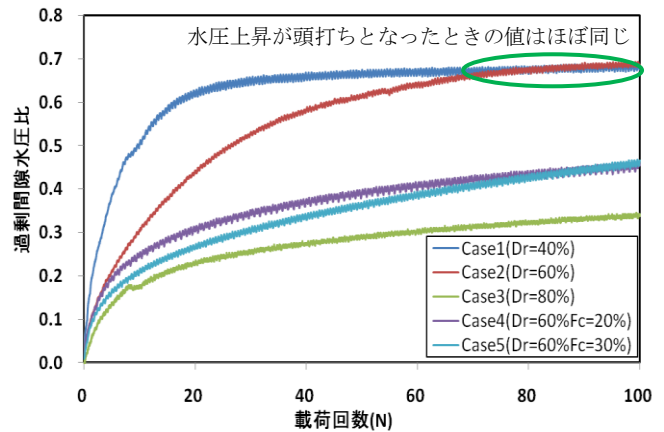


図-2 過剰間隙水圧比の比較

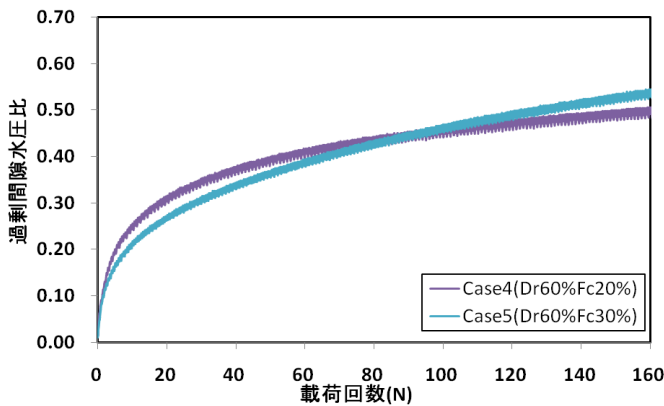


図-3 载荷160回までの過剰間隙水圧比の比較

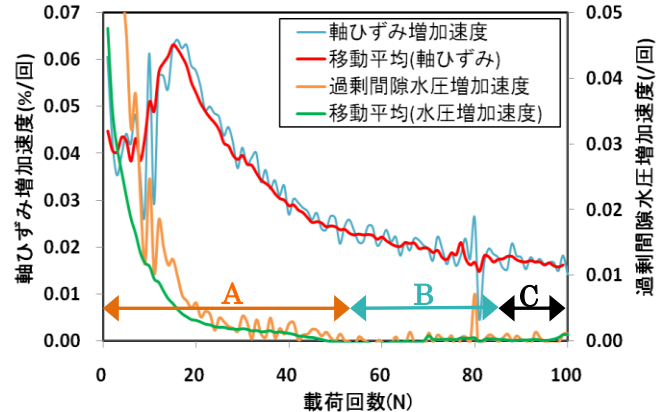


図-4 軸ひずみ増加速度と過剰間隙水圧増加速度

4.まとめ

- 過剰間隙水圧の上昇が頭打ちとなった後も軸ひずみの増加は累積するが、過剰間隙水圧の上昇が頭打ちとなった後の軸ひずみ増加速度は、過剰間隙水圧の上昇が頭打ちとなる以前に比べ遅くなる。
- シェイクダウンモードの沈下特性には、過剰間隙水圧の増加に伴い軸ひずみ速度が大きく変化する段階と、過剰間隙水圧の上昇量がごく微小になり軸ひずみ増加速度が徐々に減少する段階と、過剰間隙水圧の上昇が完全に止まり、軸ひずみ増加速度が一定になる段階の計3段階のフェイズが存在すると考えられる。
- 通常の液化化試験では、载荷周波数は実験結果に影響を及ぼさないため特に規定はないが、シェイクダウンモードの沈下特性に関しては载荷周波数が沈下に大きな影響を及ぼす可能性が推察できる。ただし、更なる検討が必要である。