

細粒分の分布状態が砂の液状化強度に及ぼす影響についての基礎的検討

中央大学理工学部土木工学科 正会員 國生剛治
中央大学理工学部土木工学科 学生会員 並木竜也
中央大学理工学部土木工学科 学生会員 岸本隆

1. はじめに

最近の地震被害調査によると 1995 年の兵庫県南部地震をはじめ、1987 年千葉県東方沖地震、1993 年の北海道南西沖地震等で、従来液状化しにくいとされていた細粒分を多く含む地盤が液状化し、大きな被害が発生した。以来、このような細粒分を含む地盤についても液状化の検討が重視されてきた。

本試験では、中空ねじりせん断試験機を用いて細粒分の分布状態が液状化強度に及ぼす影響について調べる。すなわち細粒分含有率を 20%と一定として、細粒分を水平成層に分布させた場合や柱状に分布させた場合の試験を行い、細粒分を均等に混ぜた場合や砂のみの場合との比較検討を行う。

2. 試験方法

中空ねじりせん断試験機は供試体外径 100mm、内径 60mm、高さが 200mm の空圧载荷タイプである。砂の試料としては豊浦標準砂($\rho_s=2.64\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $d_{10}=1.36\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $d_{60}=1.62\text{g}/\text{cm}^3$)を用い、細粒分としては石粉($\rho_s=2.75\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $d_{10}=1.30\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $d_{60}=1.75\text{g}/\text{cm}^3$)を細粒分含有率 $F_c=20\%$ 一定にして用いている。細粒分の分布状態としては、豊浦標準砂に均等に混ぜたもの、層状に分布させたもの、柱状に分布させたものを対象とし、全てウェットタンピング法で相対密度 $D_r=30\% \sim 70\%$ になるように調整して作成した。相対密度の算出方法としては層状の場合、砂層と細粒分層のそれぞれの相対密度を算出し、各層厚による重みつき平均した値をとっている。柱状にした場合も同様の算出方法をとっている。B 値が 0.95 以上であることを確認し、有効拘束圧 $\sigma'_v=98\text{kPa}$ で等方圧密したあと、非排水状態で一定応力振巾 σ'_d の繰り返し载荷を行っている。载荷周波数 0.1Hz、せん断応力比 $\sigma'_d/\sigma'_v=0.20$ として実験を行った。

3. 試験結果・考察

図 1 は液状化点(過剰間隙水圧が 100%に達した時点)までの载荷回数を縦軸に、相対密度を横軸にとり、豊浦標準砂のみの場合と細粒分を含ませた場合(全体に混ぜた場合と層状、柱状に分布させた場合全てを含む)との液状化強度の比較をした図である。細粒分を混ぜた場合、豊浦標準砂のみの場合と比較すると $D_r=30\% \sim 50\%$ において液状化するまでの载荷回数が豊浦標準砂のみの場合は 3 回～13 回までのケースが見られるが、細粒分を含ませた場合ほとんどのケースで载荷

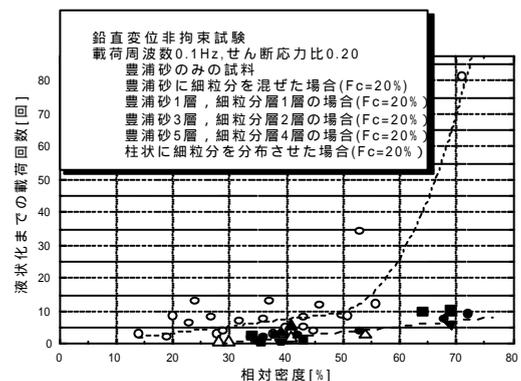


図 1 豊浦標準砂のみの供試体と細粒分を含ませた供試体との液状化強度の比較

回数が 1 回～5 回という早い段階で液状化する結果が得られた。さらに $D_r=60\%$ 以上の場合を比較するとその差が顕著に見られ、豊浦標準砂のみの供試体では骨格構造がしっかりしているために、液状化まで载荷回数 80 回以上と非常に多くの载荷を要した。一方細粒分を含ませると液状化までの载荷回数が 2 回～10 回までと非常に早い段階で液状化に達する結果となる。以上より、細粒分を含ませることでその分布状態に関わらず液状化強度の著しい低下を確認ができたが、次に分布状態の影響について見てみる。

図 2、図 3 は砂層が水平 3 層、細粒分層が水平 2 層の互層状態にした場合の鉛直変位非拘束試験の時刻歴と有効応力経路である。相対密度は平均 $D_r=46\%$ で各層間の D_r の変動係数は 3.1%程度となっている。载荷にと

キーワード: 細粒分、液状化、ねじりせん断、相対密度、せん断ひずみ、間隙水圧

ない過剰間隙水圧が上昇し始め、約 2.5 回の載荷回数で 100% まで上昇し、その後すぐにせん断ひずみは載荷装置の振幅の限界値に達し、せん断応力の急激な減少が生じた後、載荷回数 0.5 回で応力がほとんど回復しない状態へ収束している。間隙水圧は液状化後すぐに載荷にともなった変動をみせなくなり、一定値へと収束している。また図 3 の有効応力経路からわかるように、液状化後の砂粒子のダイレイタンス効果による供試体の有効応力の回復はほとんど見ることができない。

これに対して図 4、図 5 は細粒分含有率 $F_c=20\%$ 、 $D_r=43\%$ の条件で、細粒分を柱状に分布させて試験を行った時の時刻歴と有効応力経路である。液状化までの載荷回数は約 2.5 回と層状に分布させた場合との違いは見られない。それに関わらず、液状化後にはせん断ひずみは細粒分を層状に分布させたときのようにすぐに載荷装置の振場の限界値に達することはない。せん断応力も急激に減少することなく、徐々に減少し、液状化後約 3.5 波目で応力がほとんど回復しない状態へ収束している。また間隙水圧の上昇を見ると段階的に上昇していき、液状化後も載荷にともなってダイレイタンス現象による変動が見られる。図 3 の細粒分を層状にしたものと異なり、図 5 では、

液状化後も供試体の有効応力の回復が顕著に見られている。鉛直ひずみの発生も、細粒分の分布を柱状にしたことで、液状化直後からではなく、液状化後 2 波目と図 2 に比べ遅れが生じたものと考えられる。細粒分を層状に分布させた場合に、このような液状化してからの強度、変形特性に柱状分布の場合と大きな差が見られたのは、細粒分の水平成層分布により供試体内部で間隙の再配分が起こり、細粒分土層の直下に間隙の大きな部分が形され大きなひずみが生じやすくなるためであると考えられる。¹⁾

4. まとめ

- ・ 豊浦標準砂に細粒分を 20% の一定割合で加えた供試体の液状化試験を行うと細粒分の分布状態によらず砂のみの供試体と比較して、液状化強度が著しく低下するとの結果が得られた。

- ・ 細粒分を層状に分布させた場合と柱状に分布させた場合の液状化試験を比較すると、液状化するまでの載荷回数にほとんど差は見られなかった。しかし液状化後には前者の場合に有効応力の回復が起きにくく、ひずみも大きく発生することが示された。

【参考文献】 1) 岸本隆, 國生剛治 (2002) 「中空ねじりせん断試験機を用いた水膜生成メカニズムの研究」 No. 140 第 11 回日本地震工学シンポジウム

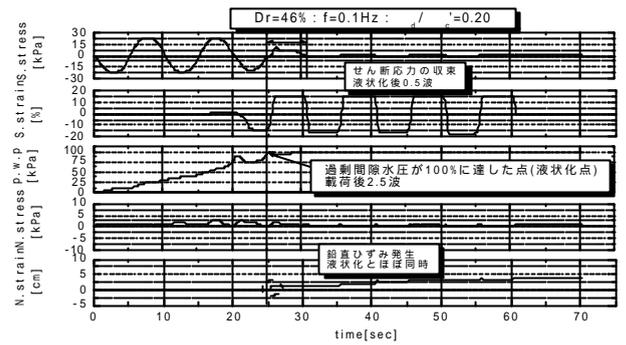


図 2 豊浦砂 3 層, 細粒分 2 層の時刻歴

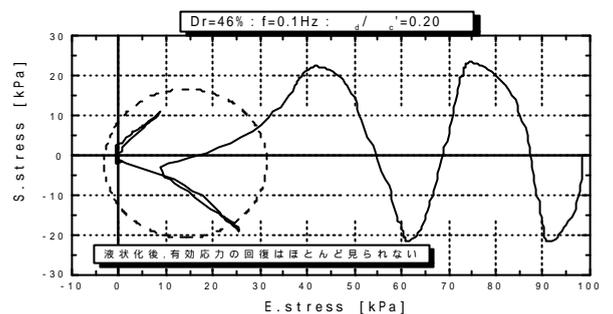


図 3 豊浦砂 3 層, 細粒分 2 層の有効応力経路

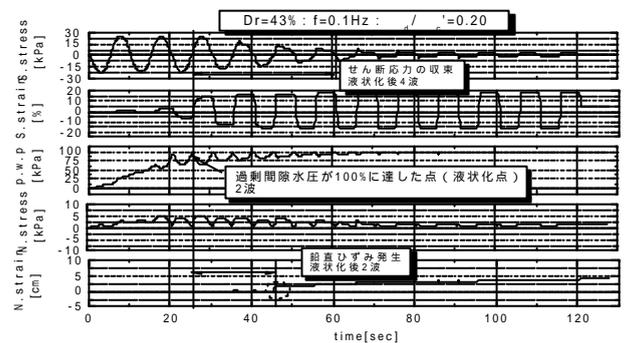


図 4 細粒分を柱状に分布させた時の時刻歴

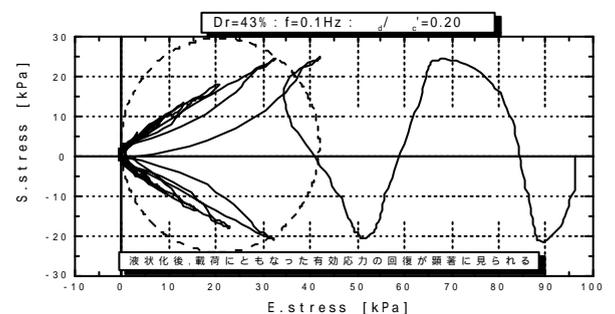


図 5 細粒分を柱状に分布させた時の有効応力経路