

# 固化材・引張補強材を用いた改良土の液状化挙動に及ぼす周波数の影響

福岡大学大学院 学生会員 椎名 拓允 福岡大学工学部 学生会員 中道 美穂  
福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 福岡大学工学部 正会員 藤川 拓朗

**1.はじめに** 2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の発生により過去最大の液状化被害が発生した。東北地方はもちろんのこと、特に関東地方では、東京湾沿岸埋立部や内陸地において液状化被害が深刻な問題となっている<sup>1)</sup>。今回の地震は発生から収束までの継続時間が過去に経験したことがない150(s)と長かった。この継続時間の長さが液状化被害を大きくしたとされている<sup>2)</sup>。このように継続時間が長い地震は、今後も発生する可能性があり、継続時間を考慮に入れた液状化対策が必要である。そこで、本研究では液状化抑制手法で用いられているセメント固化処理に着目し、継続時間が長い地震動に対して被害を小さく抑える液状化抑制手法を開発することを目的とし、基礎的な研究を行った結果について報告する。

## 2.実験概要

**2-1 実験に用いた試料** 土質材料には、豊浦砂、固化材には、普通ポルトランドセメント、引張補強材には長さ11.5mmのポリビニルアルコール繊維(クラロンK-)を用いた。

**2-2 供試体作製方法** 固化材の添加有無に関わらず、供試体は、豊浦砂の相対密度  $D_r=60\%$ における乾燥密度  $\rho_d=1.489\text{g/cm}^3$  を目標にし、密度管理による締め固め法(タンピング法)による密度管理法により供試体を作製した。ここで、添加率は豊浦砂の絶乾質量に対する外割り配合を意味して

いる。また、含水比の調整は砂、固化材、引張補強材を混合した後に  $w=10\%$ に調整し、養生日数は3日間とした。

**2-3 実験条件および方法** 固化材添加率の変化によって、破壊形態が変化<sup>3)</sup>することから、別途行った一軸圧縮強さの結果を考慮し液状化対策として妥当な強度である  $50\text{kN/m}^2$  を最低限満足することを条件として設定した。上述した条件になるようにセメント(C)添加では、添加率2%とした。短繊維混合では、短繊維(F)1%をセメント(C)1%と混合して行った。非排水繰返しせん断試験は、載荷速度0.2、0.1、0.05Hzの3つの周波数の正弦波の応力制御により行い、両振幅軸ひずみ  $DA=5\%$ にて液状化の判定を行った。全ての条件において供試体の飽和度(B値)は0.96以上であることを確認している。また、図-1に周波数の載荷と繰返し回数を示す。今回の検討では、地盤の継続時間の長さの検討の代替として、同一時間内に生じる繰返し回数の周波数を変化させ検討を行った。

**3.結果及び考察** 図-2、3の(a)、(b)、(c)に同一繰返し応力比でかつ載荷速度を0.2、0.1、0.05Hzの周波数で繰返しせん断試験を行なった固化材及び短繊維混合における  $C=2\%$ と  $C=1\%+F=1\%$ の有効応力経路図を示す。液状化対策として用いた改良土に対する繰返しせん断挙動に及ぼす載荷速度の影響は、有効応力経路に現れ、同一繰返し応力にも関わらず、載荷速度が早くなるほど液状化し易くな

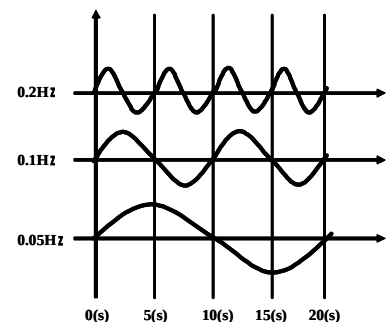


図-1 周波数の載荷と繰返し回数

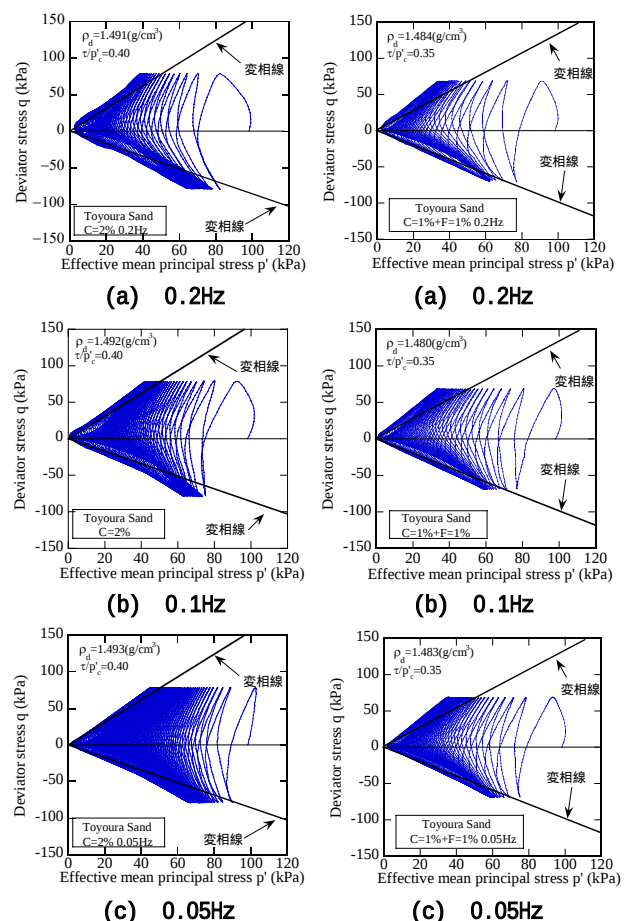


図-2 有効応力経路図 (C=2%)

図-3 有効応力経路図 (C=1%+F=1%)

っている。また、載荷速度の影響は、せん断開始直後の過剰間隙水圧の発生挙動に影響を及ぼし、載荷速度が早いほど大きな有効応力の低下を示していることが分かる。さらに、いずれの改良土ともに一旦有効応力を失った後のサイクリックモビリティが顕著に現れ、伸張側での有効応力の回復が顕著であることも分かる。図-4、5の(a)、(b)に図-2、3と同一条件における0.2、0.1、0.05Hzの周波数で繰返しせん断試験を行なった結果から得られる振動時間( $t=300\text{s}$ )と最大間隙水圧比 $(u/p'_c)_{\max}$ の関係と両振幅軸ひずみDAの関係を示す。今回の実験条件の設定では、せん断開始後載荷速度が異なるため、同一経過時間において供試体に載荷される繰返し回数が異なる。また、どちらの改良土においても過剰間隙水圧の発生量に載荷速度の影響が現れており、載荷速度の増加に伴って過剰間隙水圧の発生速度も大きくなっている。この過剰間隙水圧の発生量の違いがせん断変形量

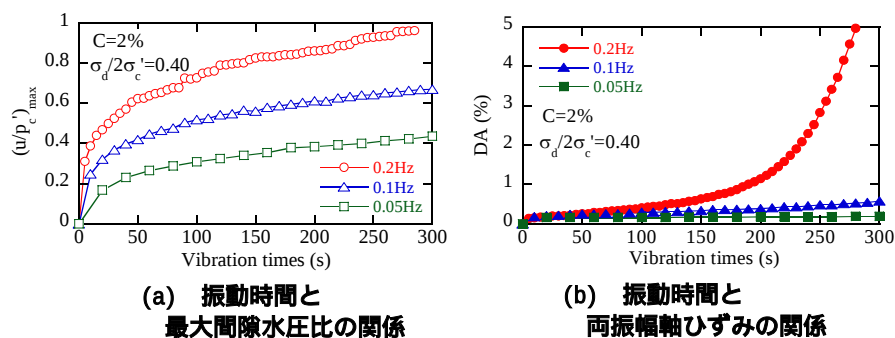


図-4 振動時間の経過に伴うせん断挙動( $C=2\%$ )

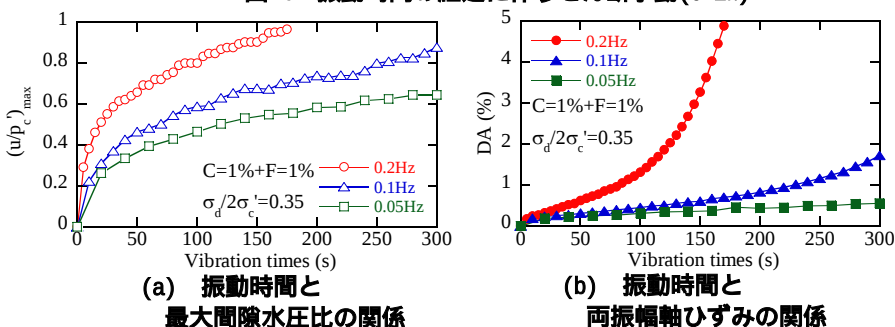


図-5 振動時間の経過に伴うせん断挙動( $C=1\%+F=1\%$ )

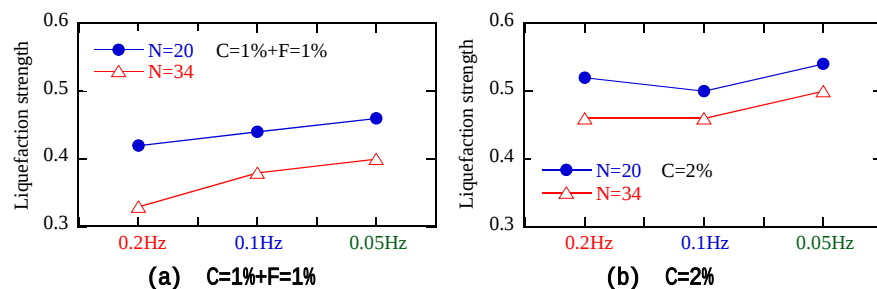


図-6 液状化強度と周波数

にも現れており、同一条件の改良土にも関わらず載荷速度の違いによってせん断変形量が異なる結果が生じている。これらの結果から、周波数の違いが液状化挙動に現れることが示され、地震動の継続時間の増加が繰返し回数の増加と置き換えて考えると、地震継続時間の増加は繰返しせん断に対する抵抗力の低下に繋がることが分かる。次に、図-6の(a)、(b)に  $DA=5\%$ における液状化強度と周波数の関係を示す。載荷速度の違いは、先に示したせん断挙動に現れた変化より小さく、周波数 0.2Hz、0.1Hz にほとんどその差が現れていない。載荷速度が遅くなるほど液状化強度が増加し、周波数 0.05Hz が最大となっている。また、瀬崎<sup>4)</sup>は、東北地方太平洋沖地震のような M9.0 クラスの地震では、液状化強度を 34 回で取るとしている。 $N_{34}$ の液状化強度はいずれの条件において低下している。また、その低下傾向は  $C=1\%+F=1\%$ の方が大きいことも分かる。これらの結果から、地震継続時間が長くなると繰返し回数が多くなることから、液状化しやすくなることが示唆された。従来の液状化改良工法においても載荷継続時間の影響について再検討を行う必要があることが予見された。

**4. まとめ** (1)液状化対策として用いた改良土に対するせん断挙動に及ぼす周波数の影響は、周波数が高いほど、せん断開始直後から発生挙動に影響を及ぼし液状化し易くなった。(2)振動継続時間による改良土の過剰間隙水圧の発生挙動は、周波数が高いほど発生速度が増加しており、この挙動により両振幅軸ひずみの発生挙動も増加挙動を示した。(3)地震動の継続時間の増加が繰返し回数の増加と置き換えて考えると、地震継続時間の増加は繰返しせん断に対する抵抗力の低下に繋がって液状化被害の発生・拡大に繋がる。このことから、従来の液状化改良工法においても振動継続時間の影響について再検討を行う必要があり、今後に向けて新たな対策工法も検討すべきであると考えられる。

【参考文献】1)安田進: 関東の液状化被害, 東北地方太平洋沖地震災害調査報告会, 2011. 2)佐々木哲也: 河川堤防と液状化, 独立行政法人土木研究所 地質地盤研究グループ土質・振動チーム <http://www.pwri.go.jp/>. 3)善功企: 事前混合処理工法による埋立地盤対策, 土と基礎, Vol.42, No.2, pp.37-42, 1994. 4)瀬崎満弘: 東日本大震災における斜面災害と液状化, 平成 23 年度道路技術講習会テキスト, 2011.