

短繊維引張補強材と固化材を用いた液状化抑制手法の開発

福岡大学大学院 学生会員 ○中道美穂
福岡大学工学部 正会員 佐藤研一 藤川拓朗

1.はじめに 2011年3月11日に発生した東日本大震災では、約42km²にわたる過去最大の液状化被害が発生した。また、今回の地震は発生から収束までの継続時間が150(s)と長く、この継続時間の長さが液状化被害を大きくしたと言われている¹⁾。日本ではこれまでに主に固化材等を用いた液状化抑制手法が開発されてきた^{2),3)}が、引張力に弱い土質材料に引張補強材混合し、液状化対策として用いた例はあまり見られない。この引張補強材を用いた事例として、補強土工法の1つである短繊維混合補強土工法⁴⁾があり、繊維質材料の混合により強度・靱性等の力学特性の向上が明らかとなっている。そこで本研究では、今回の震災で家屋等の崩壊により大量に発生した廃木材や竹廃材に着目し、砂と混合させ引張補強材として用い、廃棄物を用いた液状化抑制手法の開発することを目的としている。本報告では、まず市販の短繊維引張補強材と固化材の利用が砂の液状化挙動に及ぼす影響について報告する。



写真-1 液状化による被害



写真-2 PVA 繊維
(平均長さ 12.0 mm)

2.実験概要

2-1 実験に用いた試料 土質材料には豊浦砂、短繊維引張補強材には平均長さ 12.0 mm (±0.05) のポリビニルアルコール繊維 (クラロン K-)、固化材には普通ポルトランドセメント、廃石膏ボードを焼成処理することにより得られる再生半水石膏を用いた。

2-2 供試体作製方法 供試体作製ではすべての条件において豊浦砂の Dr=60%における乾燥密度 $\rho_d=1.489\text{g/cm}^3$ を目標とし、密度管理による締固め法 (タンピング法) により供試体を作製した。ここで、含水比の調整は砂、短繊維、固化材の混合後に $w=10\%$ となる水を加え、手で十分に混合・攪拌を行った。また、セメントを混合した際の養生期間は3日間とした。

2-3 実験条件及び方法 表-1 に実験条件を示す。短繊維及び固化材混合率の設定は、各条件下において破壊形態が変化することから、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 50kN/m² を最低限満足すること³⁾を条件として設定した。検討条件は、短繊維 (F) 混合 0、1%、セメント (C) 1%、2%、セメント (C) 1% に対して短繊維 (F) 1%、再生半水石膏(B) 5%を混合させた6条件について検討を行った。ここで再生半水石膏混合条件については、再生半水石膏のみの混合では強度にばらつきが生じ、さらにフッ素の溶出も懸念されるためセメント (C) 1%も混合している。非排水繰返しせん断試験は、載荷速度 0.1Hz の正弦波の応力制御により行い、両振幅ひずみ DA=5%にて液状化の判定を行った。なお、全ての条件において供試体の飽和度 (B 値) が 0.96 以上であることを確認している。

3.実験結果及び考察

3-1 短繊維が砂の液状化強度に及ぼす影響 図-1 に短繊維混合条件における非排水繰返しせん断試験により得られた有効応力経路図を示している。同一繰返し応力比において (a) C=0%と (b) C=0%+F=1%の応力経路により短繊維混合の影響を確認すると、短繊維混合により繰返しに伴う有効応力の低下が抑えられ、変相線に達するまでの繰返し回数は多くなっていることがわかる。短繊維混合によって液状化抵抗を増加させる効果があることがわかる。次に短繊維と固化材を混合させた (c) C=1%+F=1%では、さらに繰返し応力比が大きくなったにも関わらず、液状化に至るまでの繰返し回数はさらに増加し、ストレスパスが変相線に達した後のサイクリックモビリティが顕著に現れていることがわかる。次に、繰返し回数と過剰間隙水圧比の関係を図-2 に示す。まず、未処理砂と短繊維混合のみの過剰間隙水圧の発生状況は、 $\tau/p_c'=0.6$ 付近から発生傾向が変化し、一気に液状化に至った。これに対し、固化材を加えると、過剰間隙水圧は繰返しに伴って急な変化はなく ゆっくりと $\tau/p_c'=1.0$ に達し、液状化に至っている。

キーワード 液状化抑制 短繊維引張補強材 固化材 三軸圧縮せん断試験

連絡先 〒814-0180 福岡市城南区七隈 8 丁目 19 番 1 号 福岡大学工学部社会デザイン工学科 TEL092-871-6631

図-3 に繰返し回数と両振幅軸ひずみ(DA)の関係を示す。短繊維の混合により液状化に至る変形をわずかではあるが抑制でき、さらに固化材を混合することにより変形は一気に進まずゆっくり破壊に至っている。これらは固化材混合により砂粒子間の固結力が発生し、短繊維混合により変形が拘束され、粘り強い挙動が現れたと考えられる。

3-2 固化材混合が砂の液状化挙動に及ぼす影響

図-4 に固化材の条件における有効応力経路図を示す。図-1(a)の未処理砂と比較すると、固化材混合により繰返しせん初期に膨張傾向を示し、有効応力は繰返しと共にゆっくり低下することがわかる。また、(c) C=1%+B=5%を見ると有効応力は0に達しておらず、特に伸張側で有効応力の増減を繰返した。次に繰返し回数と過剰間隙水圧比の関係を図-5に示す。セメント混合では、液状化に至るまで終止

ゆっくりと過剰間隙水圧が上昇し、最終的に1.0に近づいている。またその傾向はセメント混合量にも大きく依存している。さらに再生半水石膏混合では、よりゆっくりとした上昇挙動を示し、過剰間隙水圧は完全に1.0に至らず、変形が5%に達し液状化状態に至った。さらに図-6に示す繰返し回数と両振幅軸ひずみを見ると、未処理砂は液状化直前で大きなひずみが発生し液状化に至るのに対し、セメント混合に伴いひずみは徐々に発生し、再生半水石膏を混合するとさらにひずみの発生がゆっくりとなる。これは、セメントのみの混合に比べ、再生半水石膏混合に伴い砂粒子間の固結力が増加し、より粘り強さが現れたためと考えられる。これらの結果から DA=5%を液状化判定とし、図-7に液状化強度曲線を示す。液状化強度 N_{20} と東日本大震災クラス(M9.0)の地震の液状化強度 $N_{34}^{(5)}$ に着目すると、未処理砂に比べ処理土はいずれも液状化強度が増加した。この強度増加は、固化材混合による粘り強さ、短繊維混合による変形拘束が起因したと考えられ、再生半水石膏、短繊維は液状化抑制に十分期待できる材料であると考えられる。

4.まとめ 砂に短繊維引張補強材を混合させると変形拘束が生じ、液状化強度は増加した。さらに、固化材を混合させることにより砂粒子間に固結力が発生し、短繊維引張補強材のみの混合より液状化強度は増加した。これらの結果から、短繊維、再生半水石膏の混合は液状化抑制に期待できることが示された。今後は木チップや竹チップ等の災害廃棄物を用いて検討を行っていく予定である。

参考文献 1) 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/>。 2) 小野田ケミコ株式会社：深層混合処理工法 <http://www.chemico.co.jp/02improvement/category03/> 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) 財団法人土木研究センター：短繊維混合補強土工法 http://www.pwrc.or.jp/fukuyuu/higradesoil/tanse_mni.html 5) 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

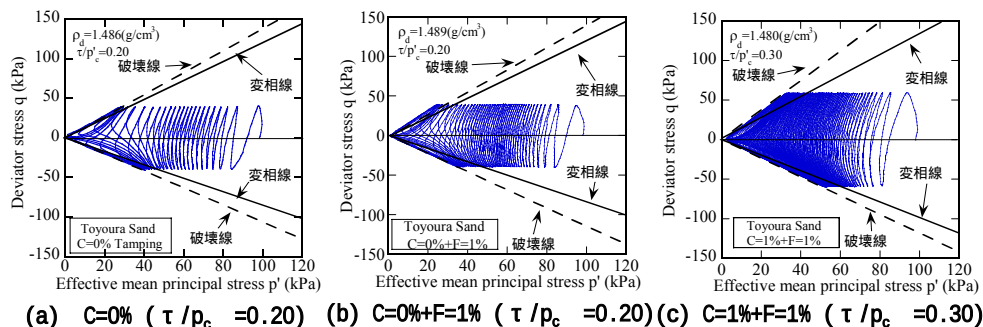


図-1 有効応力経路図

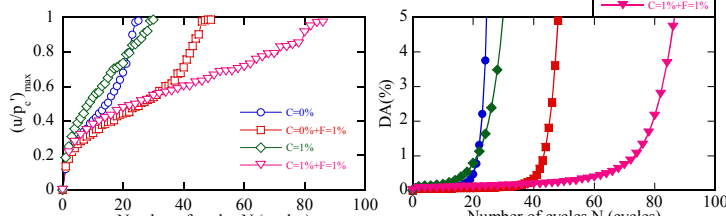


図-2 繰返し回数と過剰間隙水圧比の関係

図-3 繰返し回数と両振幅軸ひずみの関係

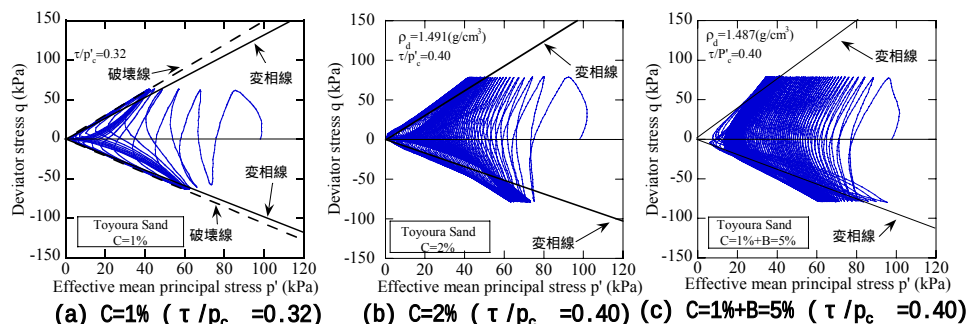


図-4 有効応力経路図

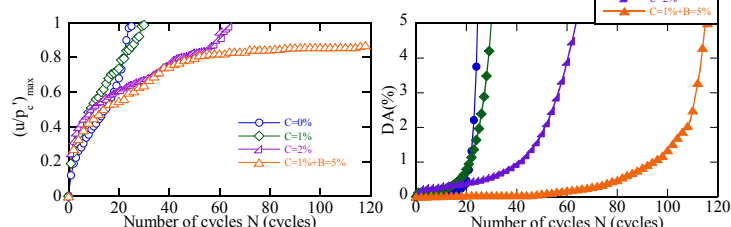


図-5 繰返し回数と過剰間隙水圧比の関係

図-6 繰返し回数と両振幅軸ひずみの関係

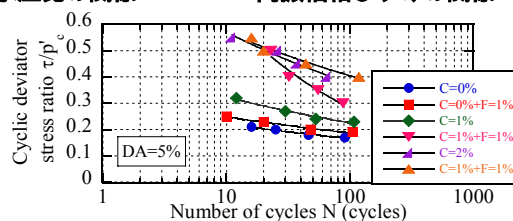


図-7 液状化強度曲線