

# 短繊維引張補強材混合による粘着力増加が砂の液状化挙動に及ぼす影響

福岡大学工学部 学生会員 中道美穂 福岡大学大学院 学生会員 椎名拓允  
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日に発生した東日本大震災では、千葉県浦安市をはじめとする広域にわたる過去最大の液状化が発生した。日本ではこれまでに固化材等を用いて砂の粘着力を向上させる様々な液状化抑制手法<sup>1)~4)</sup>が開発されてきている。短繊維混合補強土という土の強度・靱性等の力学特性の向上を目的とした工法がある。木幡ら<sup>5)</sup>は、繊維質材料を混合することにより、流動化処理土の靱性能が向上することを明らかにしている。また、引張補強材として短繊維を用いた液状化抑制手法の検討はほとんど行われていないのが現状である。そこで本研究では短繊維混合による靱性力・粘着力増加に期待し、砂に短繊維引張補強材を混合し液状化を抑制する手法を検討する。本報告では、豊浦砂砂を用いて単調及び繰返し三軸試験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、豊浦砂砂、短繊維引張補強材には、長さ11.5mmのポリビニルアルコール繊維(クラロン K- )、固化材には、普通ポルトランドセメントを用いた。



**2-2 供試体作製方法** 表-1 に実験条件を示す。供試体作製ではすべての条件において豊浦砂砂の  $D_r=60\%$ における乾燥密度  $\rho_d=1.489\text{g/cm}^3$  を目標とし、写真-1 ポリビニルアルコール繊維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、固化材を混合した後に  $w=10\%$ 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場合の養生期間は3日間とした。

表-1 実験条件

**2-3 実験条件および方法** 短繊維及び固化材混合率は、破壊形態が変化することから、別途行った一軸圧縮強度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<sup>3)</sup>を条件として設定した。検討条件は、短繊維(F)混合 0、1%及びセメント(C)1%に対して短繊維(F)0.5、1%混合させた4条件について検討を行った。

| 検討条件                | 供試体作製条件 | 初期含水比 (%) | 混合率 (%) |     | 目標乾燥密度 ( $\text{g/cm}^3$ ) | 養生日数 | 拘束圧 (kPa) |
|---------------------|---------|-----------|---------|-----|----------------------------|------|-----------|
|                     |         |           | C       | F   |                            |      |           |
| 豊浦砂砂                | タンピング法  | 10        | 0       | 0   | 1.489                      | 0    | 30        |
| 豊浦砂砂+短繊維(F)         |         |           | 0       | 1   |                            |      | 50        |
| 豊浦砂砂+セメント(C)        |         |           | 1       | 0.5 |                            | 3    | 100       |
| 豊浦砂砂+セメント(C)+短繊維(F) |         |           | 1       | 1   |                            |      | 200       |

排水・非排水単調せん断試験は、共にせん断速度を  $0.17\%/min$  とし、軸ひずみが15%に達したところで実験終了とした。非排水繰返しせん断試験は、載荷速度  $0.1\text{Hz}$  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.実験結果および考察

**3-1 排水・非排水単調せん断試験** 排水単調せん断試験により得られた強度定数を図-1に示す。短繊維及び固化材混合率の増加により粘着力  $c'$  は増加傾向を示している。一方、内部摩擦角  $\phi'$  は固化材と繊維混合により増加を示すが固化材より繊維混合が  $\phi'$  の増加に寄与していることが伺える。これらは、繊維混合による供試体の変形の拘束とセメント混合による砂粒子間の固結力の発生によるものと考えられる。次に、非排水単調せん断試験によって得られた変相線の傾き  $\eta_t$  と粘着力  $c'$  の関係を図-2に示す。 $\eta_t$  は圧縮側、伸張側共に粘着力  $c'$  の増加に伴い増加傾向を示している。これらの結果から、短繊維及び固化材混合により、非排水せん断挙動が改善されせん断に伴う軟化傾向が抑制されていることがわかる。

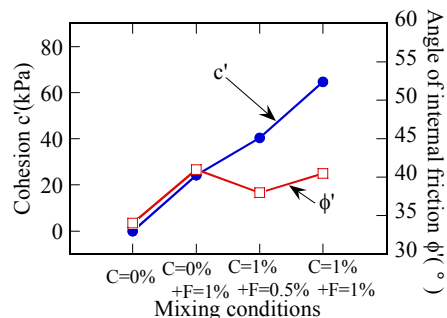


図-1 強度定数と混合条件の関係

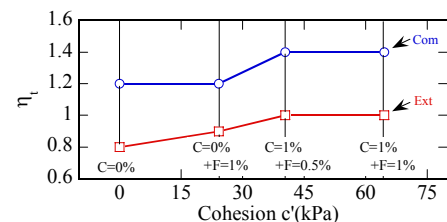


図-2 変相線における応力比  $\eta_t$  と粘着力  $c'$  の関係

**3-2 非排水繰返しせん断試験** 図-3に各条件における有効応力経路図を示している。(a)  $C=0\%$  と (b)  $C=0\%+F=1\%$  の応力経路を見ると同一繰返し応力比において、短繊維混合により繰返しに伴う有効応力の低下は小さく、変相

線に達するまでの繰返し回数は多くなっている。短繊維混合のみにおいても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場合の(c)、(d)では、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ている。また、短繊維及び固化材混合率増加に伴い変相線に達した後にサイクリックモビリティを生じ剛性を取りもどしながら破壊に至る挙動が顕著に現れていると言える。これらは、短繊維の変形拘束に加え、砂粒子間が固結されたため液状化抵抗がさらに増加したと考えられる。次に、図-4に繰返し回数と過剰間隙水圧比の関係を示す。未処理砂と短繊維混合のみの過剰間隙水圧比の発生状況は、 $\tau/p'_c = 0.6$ 程度から発生傾向が変化し、液状化に至っている。次に短繊維と固化材を混合させた場合では、繰返し応力比が大きいこともあり繰返しせん断初期に大きな過剰間隙水圧比が発生するものの、一気には液状化に至らずゆっくりと $\tau/p'_c = 1.0$ に達している。これは短繊維と固化材の混合により繰返しに対して変形が拘束され、粘り強い挙動を示した現れと考えられる。図-5に繰返し回数と両振幅軸ひずみの関係を示す。短繊維混合が液状化に至る変形を抑制することがわかる。さらに固化材を加えることによって図-3からもわかるように有効応力が0に近づいても変形は一気に進まずゆっくり進み破壊に至ることがわかる。図-6に液状化強度曲線を示す。短繊維混合のみでは液状化強度で表すとわずかな強度増加となっている。これに対し、さらに固化材を加えると顕著な強度増加を示している。また、 $C=1\%+F=1\%$ 混合と別途行った固化材のみ  $C=2\%$ では、ほぼ同一強度を示しており、固化材混合の軽減が示唆される。次に、 $N=20$ と東日本大震災クラスの地震として  $N=34$ における繰返し応力比を液状化強度<sup>6)</sup>として各条件の粘着力 $c'$ との関係を図-7にまとめた。短繊維混合と固化材混合量による液状化強度の増加は粘着力 $c'$ の増加に伴って大きくなり、 $N=34$ においても十分な液状化抵抗を示している。

4.まとめ (1)短繊維引張補強材及び固化材の混合は粘着力 $c'$ を増加させ、非排水せん断挙動が改善されせん断に伴う軟化挙動が抑制される。(2)短繊維混合のみでも液状化抵抗を改善できるが、短繊維と固化材の混合により繰返しに対して変形が拘束され、より粘り強い挙動を示し、さらに液状化強度は増加することが明らかとなった。また、短繊維混合により固化材混合量の軽減が示唆された。

参考文献 1)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/> 2)西松建設株式会社：浸透固化処理工法、<http://www.nishimatsu.co.jp/solution/tech/doboku/kairyou.html> 3)善功企：液状化対策としての事前混合処理工法の開発、土と基礎、Vol.38, No.6, pp.27-32, 1990. 4)善功企：事前混合処理土の動的強度・変形特性、第27回土質工学研究発表、pp.933-934, 1992. 5)木幡行宏：流動化処理土の三軸せん断特性に及ぼす繊維材混合の影響、第39回地盤工学研究発表会講演概要集 pp.722-723, 2004. 6)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

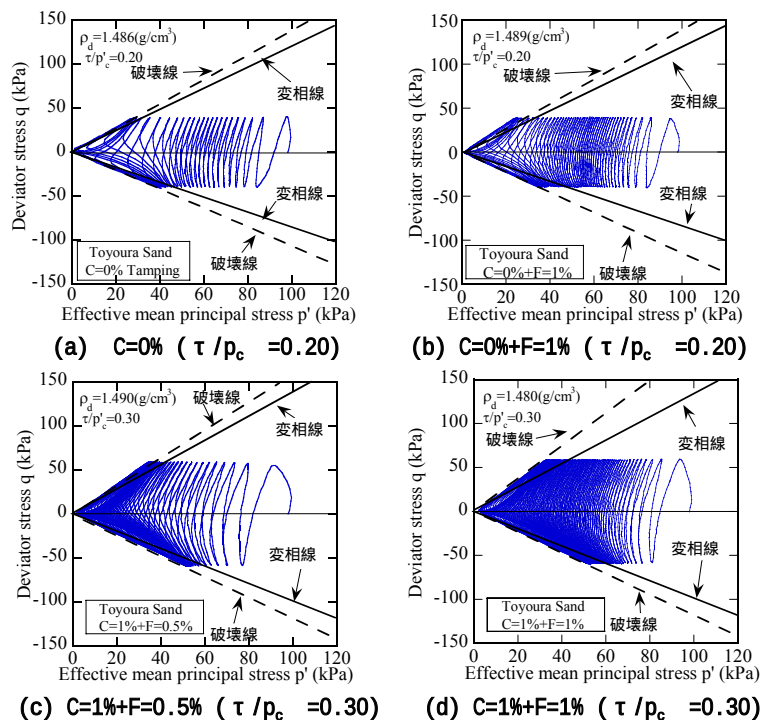


図-3 有効応力経路図

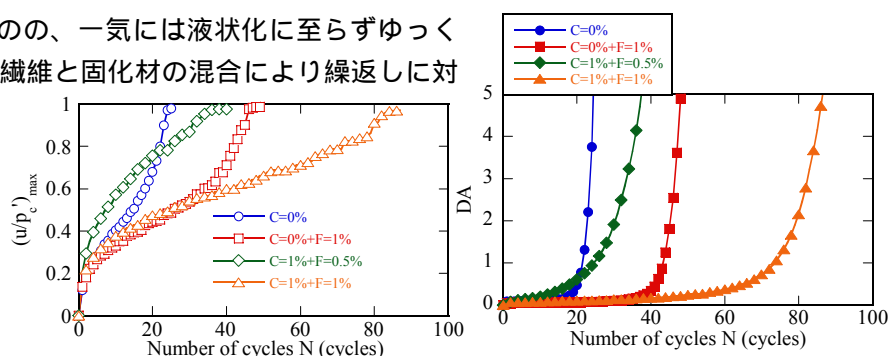


図-4 繰返し回数と過剰間隙水圧比の関係

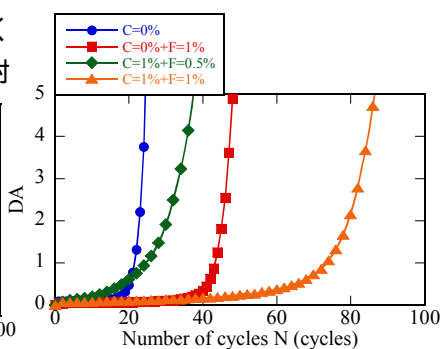


図-5 繰返し回数と両振幅軸ひずみの関係

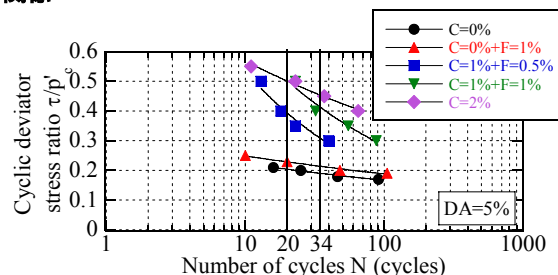


図-6 液状化強度曲線

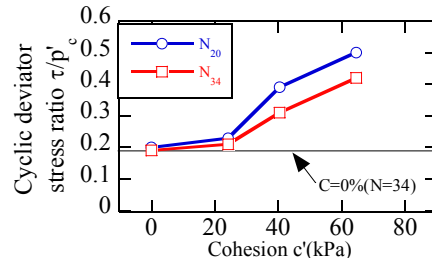


図-7 粘着力と繰返し応力比の関係