

繊維材料の種類と長さに着目した短繊維混合固化処理土の強度・変形特性

福岡大学大学院 学生会員 ○堀 哲巳

福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣

1.はじめに 地震大国である日本では、地震発生に伴う液状化被害が多く発生している¹⁾。本研究では、この液状化被害を抑制するため、短繊維混合補強土工法²⁾に着目し、新たな液状化抑制手法の提案をしている。これまで短繊維混合補強土に関して、様々な研究グループにより研究が進められてきており、著者ら^{3),4)}はこれまで短繊維混合により粘り強さ(靱性力)の改善が液状化抑制につながることを確認している。しかしながら、短繊維のみの混合では、液状化強度は改善できるもののそれほど大きな強度増加は望めず、靱性力を固化材との併用によって向上を図る必要が明らかになっている。一般に砂質系材料の靱性の改善には、繊維混合、固化材、粘性剤等などが考えられている。そこで、本検討では実験対象土に最適な靱性力を発揮させるために、低改良の短繊維混合固化処理土を用い、特に繊維材料の種類、形状および繊維長に着目し、一軸圧縮試験の結果から効率的な靱性力の向上が可能な短繊維混合条件の検討を行った結果について報告する。

2. 実験条件

2-1 実験に用いた試料 実験では、土質試料に豊浦砂とまさ土、固化材には普通ポルトランドセメントを用いた。表-1に土質試料の物理特性、図-1に粒径加積曲線を示す。また、短繊維材料ではポリビニルアルコール(PVA)繊維と左右直角に短枝付きのポリプロピレン(PPP)繊維を用いた。表-2に短繊維の材料特性、写真-1に各繊維材料の外観を示す。

2-2 実験条件 表-3に実験条件を示す。短繊維混合率(SF)について、豊浦砂及びまさ土に対して PVA 繊維は SF=0, 1.0%、PPP 繊維では SF=0, 1.0%とし、2種類の繊維材料を用いた。固化材は、土質試料の絶乾質量に対して C=5%を混合して検討を行った。設定供試体密度は、豊浦砂の相対密度 $Dr=60\%$ 時の乾燥密度 $\rho_d=1.490\text{g/cm}^3$ とした。

2-3 実験方法 供試体作製は、土質試料、所定の短繊維及び固化材に水を加え、設定含水比に調整後、均一に攪拌混合した後、直径 7.5cm、高さ 15cm のモールド内にタンピング法により 5 層、各層所定の回数で突き固めて供試体を作製した。また PVA の $L=400\text{mm}$ については、各層の繊維混合率が均等になるように 5 分割で供試体を作製した。養生については恒温室で 7 日間、気中養生をさせた。一軸圧縮試験(JIS A 1216)においては、載荷速度はひずみ速度 $1\%/\text{min}$ とし、軸ひずみが 15% に到達時、もしくは供試体が破壊した時を実験終了とした。短繊維混合率(SF)の最大値は、供試体サイズにおいて、各繊維材料を 1.0%以上加えると土質材料と繊維材料の均一な攪拌及び混合が出来ないため、SF=1.0%を最大値としている。

3. 実験結果及び考察

3-1 短繊維混合土の強度・変形特性 図-2(a), (b)に各条件における一軸圧縮試験結果を示す。単一粒径である(a)豊浦砂に繊維を混合していない $SF=0\%$ では、いずれの土質材料ともにピーク強度を示した後に脆性的な破壊形態を示している。これに対し、各繊維を混合することにより圧縮強度は増加し、ピーク強度後にゆっくりと強度低下をする延性的な破壊形態を示していることが分かる。これは繊維が混合されていない $SF=0\%$ と比べ、各繊維を混合したことにより供試体の変形が抑制されながら破壊に至っているためであると考えられる。写真-2の豊浦砂の破壊状況を見ると、未混合土には明確なせん断面示しているが、繊維を混合することで土粒子と繊維の絡み合いが生じ、破壊形態が異なっており、実験結果からも延性的な破壊形態につながっていることが分かる。特に、PVAの繊維長を変化させた $L=400\text{mm}$ では、繊維と土質材料の絡み合いが強くなり、繊維が供試体の変形を拘束したことから圧縮強度が最も増加し、ピーク強度に至るまで徐々に強度発現していることが確認できる。写真の破壊状況を見ると、繊維長を $L=40\text{mm}$ から $L=400\text{mm}$

表-1 土質試料の物理特性

土質試料	土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	最大間隙比 e_{max}	最小間隙比 e_{min}
豊浦砂	2.649	0.984	0.612
まさ土	2.782	-	-

表-2 短繊維の材料特性

繊維名	繊維径 (mm)	繊維長 (mm)
PVA 繊維	0.10	40, 400
PPP 繊維	0.85	40

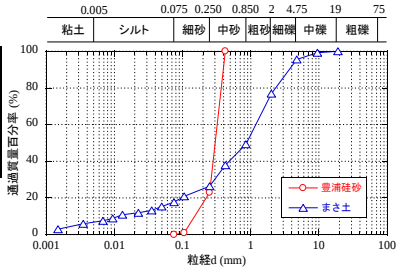


図-1 土質試料の粒径加積曲線

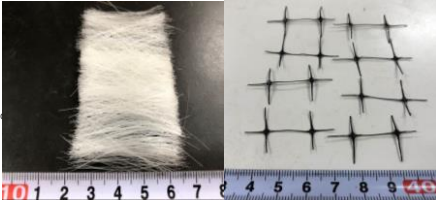


写真-1 各短繊維材料の外観

表-3 実験条件

土質試料	短繊維混合率 SF (%)		繊維長 L (mm)	固化材添加率 C (%)	養生日数 t (日)	設定含水比 w (%)	目標乾燥密度 ρ_0 (g/cm ³)				
	SF=0%		-	5	7	10	1.490				
豊浦珪砂	1.0	PVA繊維	40								
			400								
		PPP繊維	40								
まさ土	SF=0%		-								
	1.0	PVA繊維	40								
			400								
		PPP繊維	40								

キーワード 短繊維 繊維材料 改良土 靱性挙動

連絡先 〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1 福岡大学工学部 TEL092-865-6031

にすることにより、繊維の拘束力が強くなり、せん断に伴い、供試体が局所的な破壊から全体的な破壊になっていることが確認できる。しかしながら、PPP 繊維を混合した条件では PVA 繊維混合土と比べ、ピーク強度も小さく、残留強度保つことなく実験が終了している。これは既報⁵⁾より、繊維の形状よりも繊維径が細く、単位体積当たりに繊維本数の多い PVA 繊維がより供試体の変形を抑制したことが考えられる。一方、粒径の異なる(b)まさ土においても、各繊維を混合することで延性的な破壊形態を示していることが分かる。また、PVA、PPP 繊維

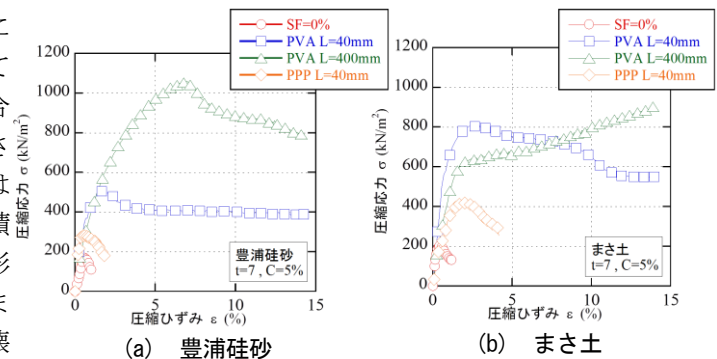


図-2 一軸圧縮試験結果



写真-2 一軸圧縮試験終了後の破壊状況 (豊浦砂)

に一軸圧縮強度および破壊ひずみと各繊維混合条件を示す。未混合と比べ、いずれの条件においても強度増加していることが分かる。しかし、PPP 繊維の強度増加は小さく、繊維径が細く繊維本数の多い PVA 繊維の方が補強効果に期待できることが示唆された。また、破壊ひずみにおいても、繊維混合によりピークひずみの発生量が増加している。さらに、繊維長が最も長い L=400mm を粒径幅の広いまさ土に混合することで、より破壊ひずみが増加している。このように粒径幅が広くすることで土粒子と繊維の絡み合いが向上し、延性的な破壊形態に移行していることが確認できる。

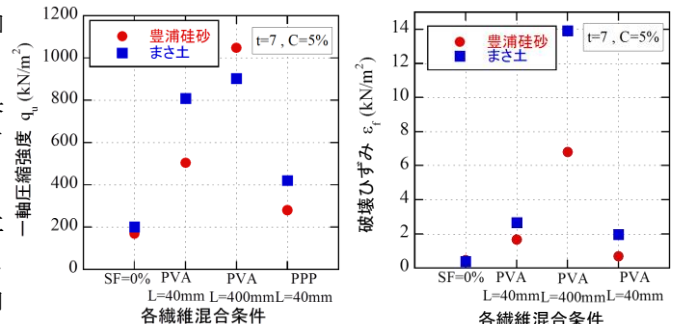


図-3 一軸圧縮強度と各繊維混合条件の関係

図-4 破壊ひずみと各繊維混合条件の関係

3-2 短繊維混合による靱性の評価 靱性とは材料の力学的

性質の中で、単に強度だけでは表現することのできない材料の粘り強さの性質を示すものである。本報告では森沢らの研究⁶⁾にて行っている靱性度の評価方法を用い、PVA繊維混合時の靱性度の評価を行った。ここで、ひずみが10%時の一軸圧縮応力を残留強度 $q_{(ε=10\%)}$ としている。また、靱性度は材料の破壊後の応力低下の度合いを表すものであり、その値が1に近いほど靱性を有していることを示す。図-6に靱性度と各繊維混合条件の関係を示す。PVA繊維の繊維長の増加に伴い靱性度が大きくなっていることから、残留変形において破壊後の応力低下が少ないことを示している。次に、土質試料の違いについて着目すると、同条件においてまさ土が最も高い靱性度を示していることが確認できる。これは、図-4と同様に単一粒径の豊浦砂よりも粒径幅の広いまさ土の方が繊維と土粒子が絡み合い、変形を抑制したことから靱性度の増加につながったと考えられる。また、土質試料に関係なく、繊維径が細く繊維長が長い方がより粘り強い材料することが可能であることを示している。

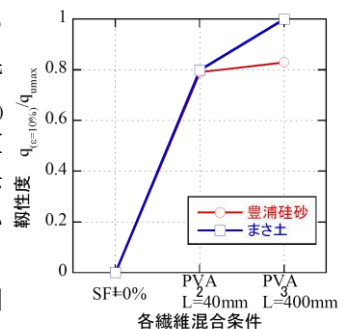


図-5 靱性度と各繊維混合条件の関係

4. まとめ 1) 繊維材料の違いが強度・変形特性に及ぼす影響は、繊維径が細く、単位体積当たりに繊維本数の多い PVA 繊維の方が、PPP 繊維より強度の増加につながり、延性的な破壊形態を示すことが明らかとなった。2) 効果的な短繊維混合条件を検討するにあたり、PVA 繊維の繊維長の増加により供試体の変形抑制につながることが示唆された。3) 粒径の広い土質試料を用いることで、繊維材料の機能を十分に発揮することができ一軸圧縮強度の増加及び靱性挙動に変化することが明らかとなった。4) 短繊維混合固化処理土の靱性度は、PVA の繊維長を長く、かつ粒径分布の良い土の利用において、靱性度の増加につながることが示唆された。

【参考文献】1) 安田ら：東京湾岸における液状化被害，地盤工学会誌，Vol.59，No.7，pp38-41，2011． 2) 財団法人土木環境センター：短繊維混合補強土工法 3) 中道ら：短繊維引張補強材混合土を用いた液状化抑制に関する実験的検討，ジオシンセティックス論文集，第28巻，pp155-160，2013． 4) 堀ら：シルト分を含む短繊維混合土の液状化特性，ジオシンセティックス論文集，第31巻，pp235-240，2017． 5) 今村ら：繊維径の違いが短繊維混合固化処理土の強度特性に及ぼす影響について，第52回地盤工学研究発表会，2017.7 6) 森沢ら：ゴムチップ混合固化処理土の靱性向上効果，第6回環境地盤工学シンポジウム発表論文集，pp359-364，2005