

各種短繊維の量と長さの違いが短繊維混合土の強度・変形特性に及ぼす影響

福岡大学大学院 学生会員 古賀新太郎
福岡大学工学部 学生会員 米丸佳克
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 これまで著者らは土に短繊維を混合させることで土の引張強度を増加させ、せん断強度、靱性等の力学特性を向上させる短繊維混合補強土工法¹⁾に着目し、新たな液状化抑制手法の提案を目的に検討を行ってきた²⁾。その結果、著者らは液状化強度の増加を確認しているが、この強度増加は僅かであった。そこで本報告では、短繊維材料混合に伴う液状化抑制効果向上を検討するにあたり、短繊維の種類、添加率及び繊維長に着目し、一軸圧縮試験及び曲げ試験の結果から、効果的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. 実験概要

2-1 実験に用いた試料 土質試料は三河硅砂 6 号、豊浦硅砂、固化材には普通ポルトランドセメントを用いた。また、短繊維材料として 12、40、60mm のポリビニルアルコール(PVA)繊維、竹廃材を破碎した最大長 20mm の竹チップ(BC)及び最大長 30mm で綿状になった部材を多く含有する竹フレーク(BF)を用いた。竹チップ及び竹フレークは、60℃で含水比が一定になるまで乾燥させたものを用いている。図-1 に土質試料の粒径加積曲線を、表-1 に各短繊維材料の外観を示す。

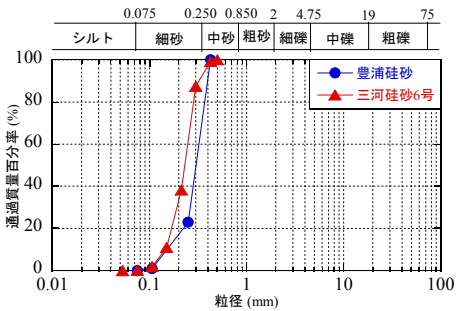


図-1 土質試料の粒径加積曲線

2-2 実験条件 表-2 に短繊維混合土の配合及び実験条件を示す。各短繊維添加率を 0.5、1%とし、PVA 繊維長 12、40、60mm にて検討を行った。また、固化材として普通ポルトランドセメント 5%混合、含水比 $w=10\%$ 、目標乾燥密度 1.49g/cm^3 (豊浦硅砂 $D_r=60\%$)としている。ここで、セメント及び短繊維材料の混合率は絶対質量に対する外割り配合としている。

表-1 短繊維材料の外観		
PVA繊維	竹チップ	竹フレーク
平均長さ 12, 40, 60mm	自然含水比37.5% 最大長さ20mm	自然含水比21.8% 最大長さ30mm 綿状含有率50%

2-3 実験方法 供試体の作製は土質試料に固化材、短繊維材料、含水比が 10%となる量の水を加え、攪拌混合させた。その後、一軸圧縮試験は目標密度管理のもと、直径 7.5cm、高さ 15cm のモールド内に 5 層で各層所定の回数突き固めを行い、供試体を作製した。養生期間は 3、7 日としている。一方曲げ試験の供試体は縦 16cm、横 4cm、高さ 4cm のモールド内に目標密度となるように 3 層で突き固めを行い供試体を作製した。養生期間は 3 日とした。

表-2 短繊維混合土の配合及び実験条件

検討条件	繊維長 (mm)	目標乾燥密度 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$	固化材添加率 C(%)	設定含水比 w(%)	養生日数 (日)
F=0%	-	1.49	5	10	3
PVA=0.5%	12				3,7
PVA=1%	12,40,60				
BC=1%	最大長20mm				3
BF=1%	最大長30mm				

3. 実験結果及び考察

3-1 短繊維混合土の強度特性

1) 土質試料の違いによる影響 図-2 に豊浦硅砂にこれまでの研究成果である PVA 繊維 1%、固化材添加率 $C=1\%$ の一軸圧縮試験結果を示す。PVA 繊維を混合することで、一軸圧縮強さは増加し短繊維混合の効果が確認できる²⁾。しかし、この程度の改良効果では大きな液状化強度の改善効果は見られなかった。

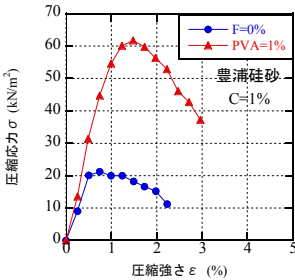


図-2 一軸圧縮試験結果
(土質試料の違いによる影響)

2) 添加率の違いによる影響 図-3 に固化材添加率 $C=5\%$ 、養生日数 3 日、PVA 繊維(12mm)添加率の異なる条件における一軸圧縮試験結果を示す。PVA 繊維の添加率の増加に伴い一軸圧縮強さは増加している。また、破壊の形態が延性的に変化している。これは供試体内の繊維の量が多いほど土粒子と PVA 繊維が良く絡みあい、ピーク強度発生後の急な強度変化と変形を抑制したためであると考えられる。また、粒度分布がほぼ等しい図-2 に示す豊浦硅砂の一軸圧縮試験結果と比較すると、固化材添加率が 5%に増加することで延性的な破壊形態を示したことから、混合材料の固結力が高まることで PVA 繊維の効果がより発揮されることが分かった。

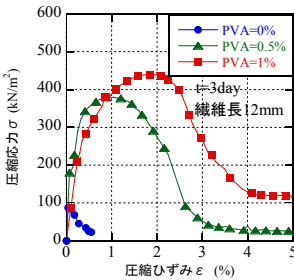


図-3 一軸圧縮試験結果
(添加率の違いによる影響)

3) 短繊維材料の違いによる影響 図-4 に各種短繊維材料を混合した場合の一軸圧縮試験結果を示す。短繊維材料を混合していない $F=0\%$ では、 100kN/m^2 程度の一軸圧縮強さを示した直後から急激な強度低下を生じ、脆性的な破壊形態を示している。BC=1%では未混合時に比べ 1.5 倍、BF=1%では 2 倍程度の強度増加が得られた。また、竹フレーク混合土(BF=1%)は竹チップ混合土(BC=1%)に比べ延性的な破壊形態を示している。これはフレークの特徴である綿状の繊維と土粒子が絡み合い、圧縮応力を竹フレークが受け持ったため、局所的な変形が生じ難い³⁾ことが原因と考えられる。これに対し、PVA 繊維を混合($F=1\%$)した結果は一軸圧縮強度の増加が最も大きく、ピーク強度発生後にゆっくりと強度が低下し、残留強度も示し、破壊時のひずみが 2%と延性的な破壊形態を示した。これは PVA 繊維混合土が、竹の短繊維材料に比べ、繊維と土粒子が良く絡み合い、短繊維自体の強度も強いいため、短繊維が効果的に働いたことによるものと考えられる。図-5 に曲げ試験結果、写真-1 に曲げ試験後の供試体断面の写真を示す。竹チップ及び竹フレークを混合することで僅かに曲げ強度は増加した。これに対し、PVA 繊維を混合(PVA=1%)することで曲げ強度は大きく増加し、延性的な破壊形態を示した。写真-1 から分かるように、PVA 繊維混合時(PVA=1%)では、竹の短繊維に比べ供試体の破壊断面に多く短繊維が存在し、供試体の急な破断を抑制したことが分かる。

4) 繊維長の違いによる影響 図-6 に繊維(PVA)長の異なる条件における一軸圧縮試験結果を示す。繊維長が長くなるに伴い一軸圧縮強さは増加し、未処理土($F=0\%$)に比べ破壊ひずみが大きくなり、延性的な破壊形態を示した。図-7 に曲げ試験結果、写真-2 に曲げ試験後の供試体を示す。繊維(PVA)長が長くなることで曲げ強度は増加を示した。また、繊維長が長くなるに伴い延性的な破壊形態となった。写真-2 に示すように PVA 繊維と土粒子の絡みが繊維長が長いほど強くなることが原因と考えられる。

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。本報告では高山らの研究⁴⁾により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 $q_{(\epsilon=10\%)}$ としている。図-8 に繊維長と靱性度の関係を示す。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。これは、繊維長が長いほど粘り強い材料となっていることを示している。

4. まとめ (1)各種短繊維材料を混合させると、PVA 繊維混合時が最も一軸圧縮強度が高く、延性的な破壊を示した。(2)PVA 繊維混合率増加は一軸圧縮強さを増加させ、延性的な破壊状態となる。(3) 各種短繊維材料を混合させると、PVA 繊維混合時が最も曲げ強度を効果的に改善することができる。(4)PVA 繊維の繊維長を長くすると一軸圧縮強度、曲げ強度、靱性度は高くなり、延性的な破壊となることが示唆された。

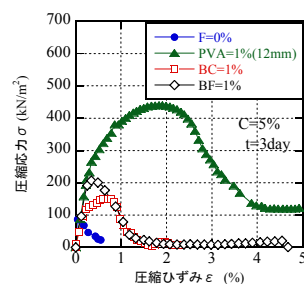


図-4 一軸圧縮試験結果
(短繊維材料の違いによる影響)

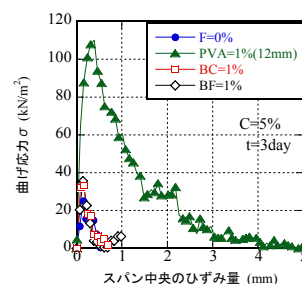


図-5 曲げ試験結果
(短繊維材料の違いによる影響)

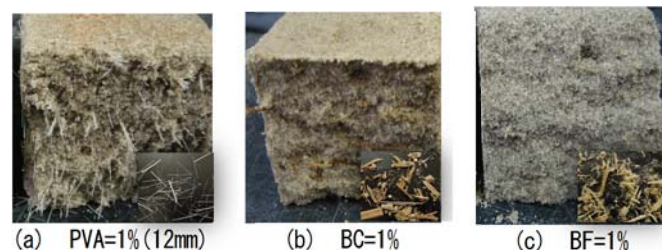


写真-1 曲げ試験後の供試体断面

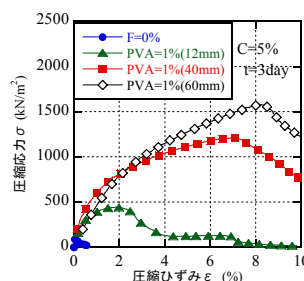


図-6 一軸圧縮試験結果
(繊維長の違いによる影響)

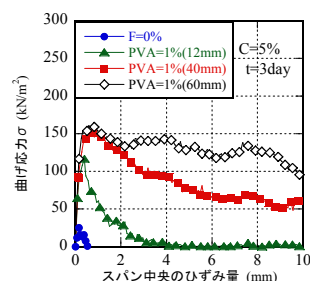


図-7 曲げ試験結果
(繊維長の違いによる影響)



写真-2 曲げ試験後の供試体

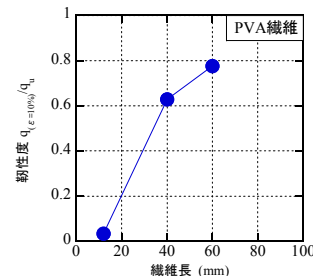


図-8 繊維長と靱性度の関係

【参考文献】 1) 財団法人土木環境センター：短繊維混合補強土工法 <http://www.pwrc.or.jp/fukyuu/higradesoil/tansenni.html> 2) 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，pp. 155-160, 2013. 3) 森ら：故紙破砕物と高分子系改良剤を用いた新しい高含水比泥土リサイクル工法の提案と繊維質固化処理土の強度特性，資源と素材，vol.119, No.4-5, 2003 4) 高山ら：短繊維材添加による気泡混合軽量土の脆性的挙動の改善，人口地盤材料の利用技術に関するシンポジウム発表論文集，pp55-58, 2005