短繊維混入補強土の力学特性に及ぼすファイバー形状の影響

日本大学大学院 学生員 ○仲原 寛昭

日本大学理工学部 正会員 巻内 勝彦

同上 正会員 峯岸 邦夫

概要：

補強土工法の土塊を内部から補強（土粒子の変形拘束）する工法の一つに、短繊維混合補強土工法がある。この工法は、安定性を欠く原位置土や現場発生土の有効利用に際して、有限長の短繊維（ファイバー）を攪拌・混合することにより新しい土質性状の特性を付与し、より優れた土質材料を作り出す補強土技術である。この短繊維混入補強土については、補強原理や影響要因などの研究が十分に明らかにされていない部分も多い。

そこで本研究では、カオリン粘土と豊浦砂の混合土を試料土としてナイロン繊維の補強材の形状（繊維長、繊維径）の変化が、補強メカニズムに及ぼす影響を調べるために、一面せん断試験、一軸圧縮試験を行いその結果について報告する。

キーワード：ファイバー、短繊維混入補強土、一面せん断試験、一軸圧縮試験、強度定数

Effects of Fiber Shape on Mechanical Properties of Short Fiber-Reinforced Soil

By

Hiroaki NAKAHARA, Katsuhiko MAKIUCHI & Kunio MINEGISHI

(College of Science & Technology, Nihon University)

Abstract:

A short length fiber-reinforced soil is classified as one of the fiber reinforced earth construction methods. The dispersed fibers within the soils confine the deformation movement of soil particles. These fiber reinforced earth methods can be employed for the effective usage of unstable in-situ soils and problematic disposal geotechnical materials, and be able to add new and surplus properties to the original soil. However the reinforcement mechanism and their influence factors of the short length fiber-reinforced soil are not sufficiently revealed so far.

In this study, the effects of length and diameter of nylon-fiber reinforcements on mechanical characteristics of Toyoura sand, Kaoline clay and their mixtures are investigated using both shear box testing and unconfined compression testing.

Keywords : Fiber , Short fiber - Reinforced soil , Box shear test , Unconfined compression , Strength parameter

短繊維混入補強土の力学特性に及ぼすファイバー形状の影響

日本大学大学院 学生員 ○仲原 寛昭
日本大学理工学部 正会員 卷内 勝彦
同上 正会員 峯岸 邦夫

1 はじめに

繊維混入補強土工法は、土中にファイバーを混入させ土粒子の変形を内部拘束することにより補強するもので、連続長繊維方式と短繊維方式に大別される。一般に繊維長が長いほど補強効果が高いとされているが、補強メカニズムに及ぼす繊維径、繊維長、混入方式、混入率などの定量的関係は十分明らかにされていない。

短繊維混入補強土工法は、原位置土や現地発生土に有限長の短繊維を均一に攪拌・混合することにより、現地土の土質性状と異なる所望の特性を付与し、地盤材料を人工的に制御し造り出す補強土技術である。

本研究では、一面せん断試験および一軸圧縮試験により、比較的繊維長の短い場合のファイバー混合土について、混入率一定条件下におけるファイバー補強材形状の変化が補強メカニズムに及ぼす影響を調べ考察した。

2 試料および試験方法

2-1 試料

(1) 土質材料

本研究で用いた試料土は、気乾状態の豊浦砂（略称:S）および一軸圧縮試験の供試体作製時に自立可能な粘着力成分を有する土として、カオリン粘土（略称:K）を乾燥質量割合で10%混合した豊浦砂+カオリン粘土（略称:S+K）の2種類である。

(2) 補強材

表-1 一面せん断試験における補強材の形状

試料土名	纖維長 L (cm)	纖維徑 d (mm)	混入率(%)
豊浦砂:S	1.0	0.175	1.0
		0.330	
		0.660	
	0.5	0.330	
	1.0		
	2.0		

表-2 一軸圧縮試験における補強材の形状

試料土名	纖維長 L (cm)	纖維徑 d (mm)	混入率 (%)
S+K	1.0	0.175	1.0
		0.330	
		0.660	
	0.5	0.330	
	1.0		
	2.0		
	4.0		
	8.0		
	16.0

図-1 τ-D曲線(繊維長の影響)

短繊維補強材には、ナイロン繊維（市販されている釣り糸を転用）を用いた。補強材の形状（長さと直径）および混入率は、一面せん断試験の場合は表－１，一軸圧縮試験用の場合は表－２に示す。

2-2 試験方法

(1) 供試体作製

一面せん断試験においては、直径60mm、高さ20mmのせん断箱に気乾状態の豊浦砂と補強材を均質に混ぜ、所定の密度（ $\rho_d = 1.43 \sim 1.45 \text{g/cm}^3$ ， $D_r = 45 \sim 55\%$ ）に詰めて成形した。一軸圧縮試験においては、締固め試験により求めた最適含水比9.5%に調整した試料土と補強材を均一に混合させ静的締固めエネルギー（ $P = 14.7 \text{kN}$ ）で圧縮し、直径60mm、高さ140mmの供試体（ $\rho_{d \max} = 1.74 \text{g/cm}^3$ ）を作製した。

(2) せん断試験

一面せん断試験は、変位速度0.25mm/minでせん断し、せん断応力とせん断変位の関係および強度定数の内部摩擦角 ϕ を求めた。また、一軸圧縮試験は、圧縮ひずみ速度1.0%/minで行い、圧縮応力と軸ひずみの関係、最大圧縮応力、残留強度を調べた。

3 試験結果

3-1 一面せん断特性

補強材混入率が一定の場合の豊浦砂に対して図－１は繊維長，図－２は繊維径が異なる場合の一面せん断試験のせん断応力とせん断変位の関係を示したものである。

図－１より、繊維を混入することにより、せん断抵抗に対する補強効果が得られることが分かる。繊維長が大きくなるに伴いせん断応力の最大値および残留強度が上昇する傾向が認められる。これは、砂粒子と補強材の表面の界

図－２ τ - D 曲線（繊維径の影響）

図－３ τ - σ 関係（繊維長の影響）

図－４ τ - σ 関係（繊維径の影響）

面摩擦抵抗とそれに起因するインターロッキング作用などの拘束が生じているためと考えられる。また、せん断ゾーンにおいて長い補強材ほど抵抗領域を広範囲に拡大するため、供試体全体に強度ピーク時だけでなく残留強度の補強効果を波及させると考えられる。

図－２では、繊維径が小さくなるに伴い、せん断応力は高くなる傾向が見られる。これは、同一混入率においては繊維径が小さくなるほど数多くの補強材が分散されること、および摩擦に寄与する表面積が増加するためと考えられる。また、初期における強度発現は、繊維径が太くなるに伴い低下することが認められる。これは、今回の実験では繊維径が太くなると砂と繊維の十分な絡み合いに必要な補強材料の量が不足するためと考えられる。

図－３は繊維長、図－４は繊維径が異なる場合のせん断応力と垂直応力の関係を示したものである。また、図－５、図－６は内部摩擦角と繊維長、繊維径の関係を示している。

図－３、図－５より補強材の混入により無補強に比べて内部摩擦角が高まり補強効果が向上することが分かる。また、繊維長が大きくなるに伴いその効果も増加する傾向にある。これは、補強材と土粒子との摩擦抵抗の連続性に加え、繊維長が大きくなると、より多くの繊維同士および砂による絡み合いの領域が増加するためと考えられる。

図－４、図－６より、繊維径が大きくなると、内部摩擦角が無補強時と等しく補強効果があまり得られていないことが分かる。繊維径が小さい場合は内部摩擦角が大きくなり補強効果が得られている。これは、繊維径が小さくなるほど繊維と砂の接触面積の増加に起因する摩擦抵抗が増大するものと考えられる。すなわち、供試体内での繊維の分散度が低下すると補強効果が得

図－５ φ－L関係

図－６ φ－d関係

図－７ σ－ε 曲線(繊維長の影響)

にくくなることが考えられる。

3-2 一軸圧縮特性

図-7は繊維長、図-8は繊維径の違いによる圧縮応力-圧縮ひずみの関係を示したものである。

図-7より、繊維長が大きくなるに伴い、圧縮強度は増加する傾向が認められる。これは、繊維長が長くなるに伴い、繊維同士による絡み合い抵抗領域が供試体内に拡大するためであると考えられる。また、今回使用した試料土(S+K)は、繊維混入により土質性状として粘り強さが付与され、補強効果が得られたと考えられる。

図-8より、繊維径が小さくなるに伴い圧縮強度は高くなる傾向が認められる。これは、繊維径が細いものは、太いものと比べて柔軟性に優れ繊維が砂と絡みやすく、供試体内で土粒子接触との密着性を高め補強効果は高まると考えられる。また、今回行った試験では、混入率一定であるために繊維径が小さいものほど、繊維の本数が多いために土と均一に混合されやすく土粒子と密接に絡み合うためといえる。

図-9は繊維長、図-10は繊維径が異なる場合の圧縮応力-繊維長・繊維径の関係を0.5%~8.0%の各ひずみ段階ごとに示したものである。

図-9より、繊維長L:0.5cm~4.0cmまでは、圧縮応力の増加傾向が見られるが、L:4.0cm以上繊維長になるとその増加割合が鈍くなりL:16cmにおいては下がる傾向が見られた。これは、繊維長に比例して補強効果が向上するが、ある一定以上の繊維長になると絡み合いによる補強増分が得られなくなったと考えられる。

図-9、図-10より、0.5%ひずみ時(初期段階)においては繊維混入による補強効果は得

図-8 $\sigma - \varepsilon$ 曲線(繊維径の影響)

図-9 $\sigma - L$ 関係

図-10 $\sigma - d$ 関係

られていないことから，初期の段階においては，繊維の補強作用は発揮されておらず，ひずみ約2％時に最大圧縮応力を示している。

図－11，図－12は，縦軸に圧縮応力のピーク後の強度減少率 T ($T = (\text{最大圧縮応力} - \text{残留圧縮応力}) / \text{最大圧縮応力}$)，横軸に圧縮ひずみ ε をとり，繊維の残留強度への影響を示している。

図－11より，繊維長が大きいものほど強度減少率が小さく，残留強度が高くなる傾向が見られた。繊維長 $L:0.5\text{cm} \sim 2.0\text{cm}$ においては，強度減少率がひずみ4％時と10％時を比べると約50％の減少率が認められるのに対し，繊維長 $L:4.0\text{cm} \sim 16\text{cm}$ においては，約10％の強度低下にとどまっており，繊維が大きいものほど残留強度の保持率が高いことが分かる。これは，繊維長が大きいものほど，繊維同士または繊維と砂との絡み合いにより，せん断破壊の抵抗に有効的に作用しているため，変形破壊に対して靱性が増し補強効果が得られたと考えられる。

図－12より，いずれの繊維径においてもほぼ同様な傾向がみられ，繊維径は，残留強度に影響を及ぼさないことが分かる。これは，せん断面に対して，繊維径の影響はなく残留強度は繊維長の影響を受けるためである。今回，繊維径の影響を調べる試験においては繊維長 $L:1.0\text{cm}$ であるため，残留強度はほとんど同程度の値になったと考えられる。

4 結論

本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1) 繊維径が一定の場合，繊維長が大きくなるに伴い，補強効果は高くなる。
- (2) 混入率一定条件では，繊維径が小さいものほど繊維の本数が増すため分散性が高まり，補強効果が高い。
- (3) 一軸圧縮試験において，繊維長が大きくなるに伴い補強効果が得られるが，ある一定以上の繊維長になるとその増加幅は緩やかになる傾向が見られた。

図－11 T－ ε 関係(繊維長の影響)

図－12 T－ ε 関係(繊維径の影響)

(4) 一軸圧縮試験による残留強度においては、繊維長に左右されるが、繊維径の影響は受けない。

【謝辞】 本研究を行うにあたり、本学学生渡辺太一、天粕和彦、細田智也君の協力を得た。ここに深甚の謝意を表します。

【参考文献】

(1) プラダン テージ, 今川竜二: 短繊維混合土の排水せん断特性, 第33回地盤工学研究発表会講演集 PP. 2371-2372, 1998.