

流動化ソイルセメントへのビニール紐の混入方法に関する研究

河合 良樹^{*1} 藤井 衛^{*2}

Study on a Mixing Method of Plastic String Fiber to the Fluidized Soil Cement

by

Yoshiki KAWAI^{*1} and Mamoru FUJII^{*2}

(Received on Mar. 30, 2016 and accepted on May. 12, 2016)

Abstract

Fluidized soil cement is a kind of soil-cement made with soil, water and solidification materials. It has high flowability but it does not have the elasticity, and so suffers sudden breakdown. We have been trying to improve the performance of fluidized soil cement, and recently found that its performance was improved by adding PVA fiber. However, PVA fiber is expensive and difficult to acquire, so we are attempting to use a vinyl string substitute with the PVA fiber. In this study, we cut the vinyl fiber into small pieces. Furthermore, we investigated the elasticity and dry shrinkage characteristics of fluidized soil cement containing vinyl string fiber. As a result, fluidized soil cement containing fine vinyl string fiber has superior toughness. It was found that the dry shrinkage of sandy soil is smaller than cohesive soil.

Keywords: Fluidized soil cement, Plastic string fiber, PVA fiber

1. はじめに

流動化ソイルセメントとは、現場発生土にセメント系固化材と水を添加し、攪拌することによって出来上がる1種の地盤改良土である。流動性が高いため施工性に優れ、現場発生土を使用するため生産コストを抑えられるなどの利点が挙げられる。実現場においては、基礎工事における埋め戻し材や充填材として用いられる。既往の研究では、流動化ソイルセメントにPVA繊維を混入することにより、靱性が向上することが報告されている^{1,2)}。これまでの研究によると、Fig.1に示すような流動化ソイルセメントを用いた小屋や擁壁といった実大構造物の築造が可能となった^{1,2)}。更に、PVA繊維の代替品として、一般的に誰でも入手が容易であるビニール紐を混入させることでも、流動化ソイルセメントの靱性が向上することが報告されている³⁾。しかし、単にビニール紐を切断し、混入させるのでは、PVA繊維を混入させた場合ほど

の靱性を得ることができない。そこで本研究は、ビニール紐を混入した流動化ソイルセメントの靱性を更に向上させることを目的とし、繊維の裁断方法を調べ、裁断した繊維を混入した時の流動化ソイルセメントへの影響を明らかにした。更に実大構造物を築造する際に重要となる乾燥収縮量を明らかにした。

2. 使用材料

2.1 使用する繊維

Fig.2は本研究で使用するPVA繊維とビニール紐である。ビニール紐を繊維方向へ細かく裂き、繊維状にしたものを、流動化ソイルセメントへ混入させることを考えた。Fig.3にUFPP繊維の作製手順を示す。使用したコンクリートカッターの仕様をTable 1に示す。まず、ビニール紐は取り出すと捻じれた状態が出てくるため、捻じれを取り除いた。Fig.3では作業の効率化を図るため引張り、ビニール紐を水平に伸ばした。伸ばしたビニール紐は紐固定器具に巻きつけ、両端を引っ張りながら、コンクリートカッターを使用して繊維方向と垂直に刃をあてがっ



Fig.1 House and retaining wall using PVA fiber.

*1 工学研究科建築学専攻修士課程

*2 工学部建築学科教授



Fig.2 PVA fiber (left) and plastic string (right).

て裁断した。この操作で、張ったビニール紐がコンクリートカッターの刃で引っ掻かれることにより、繊維状にほぐれる。ほぐれた紐を、所定の長さに切りそろえた。これを UFPP 繊維と称することにした。コンクリートカッターで裁断する際は、紐がコンクリートカッターに絡まってしまわないよう、よく張った状態にする必要がある。実大顕微鏡を用いて PVA 繊維と UFPP 繊維の繊維幅を比較したところ、Table 2 に示すように、PVA 繊維の繊維幅は 0.04mm であり、UFPP 繊維は 0.1mm から 0.2mm 程度となっていた。

2.2 使用する試料土

本研究で使用する人工配合土および自然土の物性を Table 3 と Table 4 に示す。また粒径加積曲線を Fig.4 と Fig.5 に示す。

Table 1 Specification of the concrete cutter.

| Shape of the blade | Speed of revolution | Diameter of chip saw | Diamond rim thickness |
|---|-----------------------|----------------------|-----------------------|
|  | 4200min ⁻¹ | 305mm | 3mm |

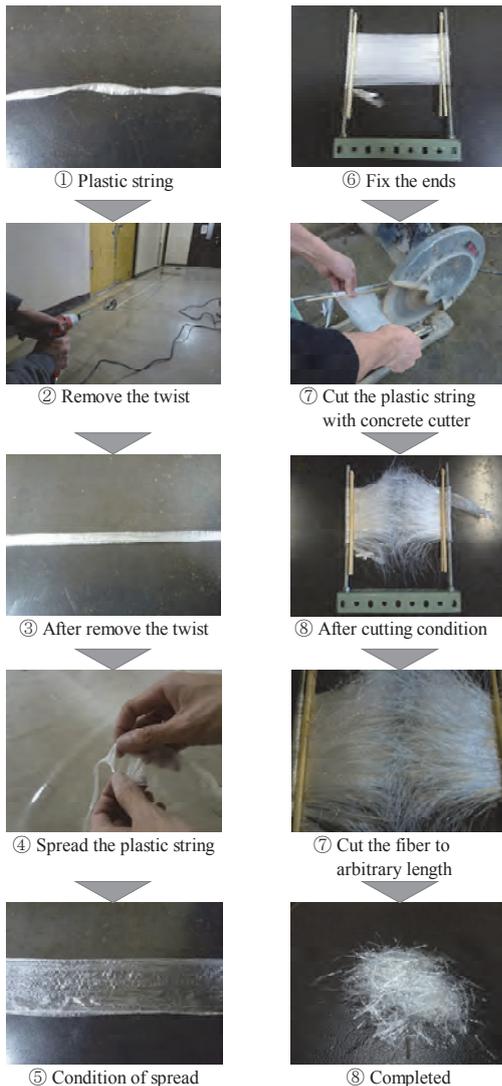


Fig.3 Making method of the UFPP fiber.

Table 2 Details of PVA fiber and UFPP fiber.

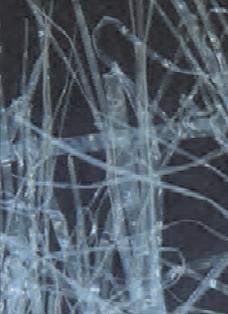
| Name | PVA fiber | UFPP fiber |
|---------------------|---|---|
| Fiber diameter (mm) | 0.04 | 0.1~0.2 |
| Microphotograph |  |  |

Table 3 Physical properties of soil samples.

| Composition ratio (Mass ratio) | Density (g/cm ³) | Liquid limit (%) | Plastic limit (%) | Plasticity index (%) |
|--------------------------------|------------------------------|------------------|-------------------|----------------------|
| Clay : Sand | | | | |
| 3 : 7 | 2.6 | 44.66 | 10.84 | 33.82 |
| 6 : 4 | 2.7 | 31.32 | 15.56 | 15.76 |
| 7 : 3 | 2.7 | 30.2 | 19.26 | 10.94 |
| 8 : 2 | 2.7 | - | - | - |
| 9 : 1 | 2.7 | - | - | - |
| 10 : 0 | 2.8 | - | - | - |

Table 4 Physical properties of Kuroboku soil.

| Soil sample | Density (g/cm ³) | Liquid limit (%) | Plastic limit (%) | Plasticity index (%) |
|---------------|------------------------------|------------------|-------------------|----------------------|
| Kuroboku soil | 2.61 | 83.25 | 62.17 | 21.08 |

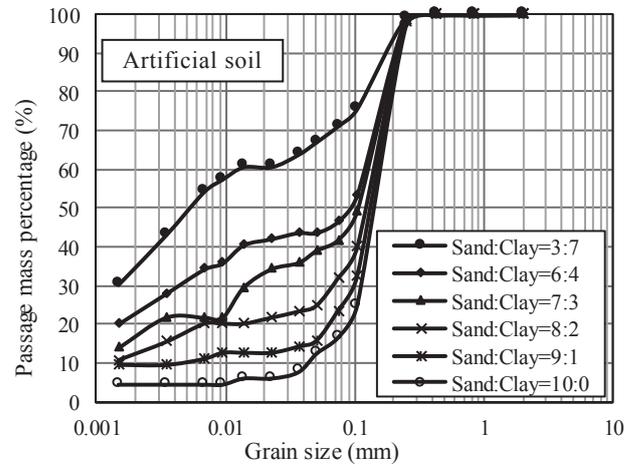


Fig.4 Grain size distribution of artificial soil.

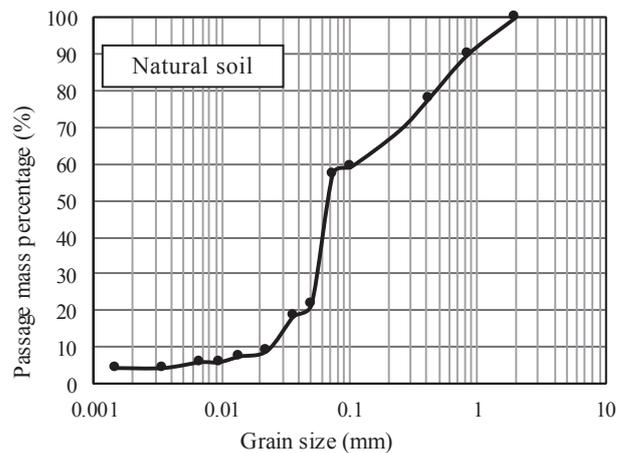


Fig.5 Grain size distribution of natural soil.

3. 研究概要

3.1 UFPP 繊維を混入した流動化ソイルセメントの力学特性

既往の研究により、流動化ソイルセメントを作製する際に試料土として粘性土を用いる場合は、混入するビニール紐の長さが長いほど靱性に優れた結果が出ると報告されている³⁾。だが、繊維材として UFPP 繊維を使用した場合や、土の種類が流動化ソイルセメントの力学特性に与える影響は明らかになっていない。そこで本実験では、流動化ソイルセメントが混入する UFPP 繊維の長さが、強度および変形特性にどのような影響を与えるかを、粘性土及び砂質土の場合のそれぞれにおいて明らかにする。また、各要因においてフロー試験を行うことにより、UFPP 繊維の長さが施工性に及ぼす影響を明らかにする。フロー試験は JHS A 313-1999 エアモルタルおよびエアミルクの試験方法に準拠して行った。一軸圧縮試験用の試験体は、直径 50mm、高さ 100mm の円柱試験体とし、打設後 3 日で脱型をし、材齢 7 日及び材齢 28 日で試験を行った。養生方法は封緘養生とした。本実験の要因を Table 5 に示す。実験で使用する試料土は、含水比 30% の人工配合土とし、珪砂 7 号と笠岡粘土をそれぞれ 7 : 3 で配合した砂質土と、3 : 7 の割合で配合した粘性土の 2 種類を用意した。固化材として普通ポルトランドセメントを使用し、固化材添加量は 300kg/m³ とした。また、繊維混入量は体積比で 0.4% とした。作製した流動化ソイルセメントは、UFPP 繊維を混入したもの、PVA 繊維を混入したもの、および繊維を混入していないもの 3 種類とした。ただし、適正長さの検討のため UFPP 繊維は繊維長が 12mm, 24mm, 36mm のもの 3 種類を用意した。W/C は適切なフロー値が得られるよう、予備実験の結果から砂質土 250%, 粘性土 550% とした。

Table 5 Mix proportions of fiber length.

| Soil sample (Sand:Clay) | Sandy soil(7:3) | Cohesive soil(3:7) |
|--|--|--------------------|
| Water content (%) | 30 | |
| Additional quantity of solidification materials (kg/m ³) | 300 | |
| Kind of the fiber | UFPP fiber 12mm UFPP fiber 24mm UFPP fiber 36mm PVA fiber No fiber | |
| Additional quantity of fiber (%) | 0.4 | |
| W/C (%) | 250 | 550 |
| Material age (days) | 7th 28th | |

3.2 乾燥収縮特性

流動化ソイルセメントは水添加量が多いため、構造物

は含水分が多くなる。そのため乾燥すると、大きく収縮する。つまり、実大構造物の築造を想定すると、UFPP 繊維を混入した流動化ソイルセメントの乾燥収縮特性の把握が必要である。既往の研究により、試料土として粘性土を用いるより砂質土を用いた方が、乾燥収縮量が抑制されることが示されている⁴⁾。そのため本実験では、砂の割合が異なる人工配合土を用いて、それぞれの乾燥収縮量を確認することにより、砂の割合が乾燥収縮量に及ぼす影響を明らかにする。Table 6 に実験要因を示す。使用する試料土は、珪砂 7 号と笠岡粘土をそれぞれ 10:0, 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 の割合で配合した人工配合土とした。混入する繊維はすべて UFPP 繊維 24mm とし、試験体は 10cm×10cm×40cm の鋼製型枠を使用して打設した。脱型時期は打設から 3 日後とし、脱型直後から収縮量の計測を行った。収縮量の計測は試験体の縦 3 箇所、横 3 箇所の計 6 箇所をノギスで計測し、計測値の平均値をその試験体の収縮量とした。試験体の計測ポイント 6 箇所を Fig.6 に示す。なお、計測期間は 42 日(1000 時間)とした。

Table 6 Mix proportions of shrinkage experiment

| Soil sample Sand:Clay | Water content (%) | Additional quantity of solidification materials (kg/m ³) | Kind of the fiber | Additional quantity of fiber (%) | W/C (%) |
|-----------------------|-------------------|--|-------------------|----------------------------------|---------|
| 10 : 0 | 30 | 300 | UFPP fiber 24mm | 0.4 | 70 |
| 9 : 1 | | | | | 120 |
| 8 : 2 | | | | | 200 |
| 7 : 3 | | | | | 250 |
| 6 : 4 | | | | | 300 |

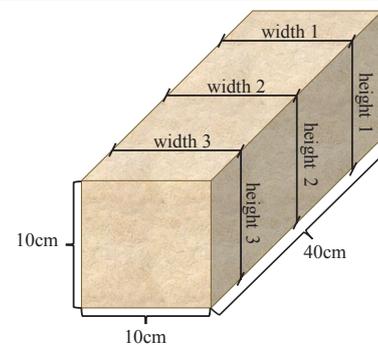


Fig.6 Measurement points of the specimen.

4. 結果および考察

4.1 UFPP 繊維を混入した流動化ソイルセメントの力学特性

Table 7 と Table 8 は、UFPP 繊維混入時の砂質土と粘性土のフロー試験結果である。UFPP 繊維 12mm, 24mm を使用した場合は、砂質土及び粘性土のどちらも流動性に問題はなかった。しかし、UFPP 繊維 36mm を使用した場合は、中央部に繊維塊ができてしまい、分散性に難があることが分かった。Fig.7 および Fig.8 は、砂質土と粘性土の応力ひずみ曲線である。Fig.9 と Fig.10 に破壊後の試験体の状況写真を示す。どちらも材齢 28 日であり、最大圧縮強度に関して、添加する繊維による違いは見られなかった。しかし、15%ひずみ時において、粘性

土では、UFPP 繊維の 15%ひずみ時の圧縮応力が PVA 繊維の 15%ひずみ時の圧縮応力を上回る結果となった。また、砂質土に関しても、PVA 繊維に近い結果を示した。繊維長別に比較すると、粘性土の UFPP 繊維 24mm のみ 15%ひずみ時圧縮応力が高いが、その他の繊維長については圧縮強度、および 15%ひずみ時圧縮応力に大きな違いは見られなかった。以上により、UFPP 繊維は特に粘性土では、靱性の向上に有効であることが判明した。

Table 7 Flow value of sandy soil using UFPP fiber.

| Soil sample | Kind of fiber | Maximum flow value (mm) | Minimum flow value (mm) | Flow value (mm) | Picture |
|-------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|---|
| Sandy soil | UFPP fiber 12mm | 262.6 | 255.4 | 259 |  |
| | UFPP fiber 24mm | 232 | 220.15 | 226.075 |  |
| | UFPP fiber 36mm | 212 | 200 | 206 |  |

Table 8 Flow value of cohesive soil using UFPP fiber.

| Soil sample | Kind of fiber | Maximum flow value (mm) | Minimum flow value (mm) | Flow value (mm) | Picture |
|---------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|---|
| Cohesive soil | UFPP fiber 12mm | 213.3 | 207.5 | 210.4 |  |
| | UFPP fiber 24mm | 250.2 | 230.85 | 240.525 |  |
| | UFPP fiber 36mm | 198.6 | 180 | 189.3 |  |

4.2 乾燥収縮特性

Fig.11 は、各試料土の収縮量を測定した結果である。砂の割合が多いほど、W/C が低く設定できるため乾燥収縮量が抑えられた事が分かる。また 720 時間(30 日)を経過すると収縮量が一定になると分かった。1000 時間経過時の収縮量は、砂:粘土=10:0 の試料土では 588 μ m と最も少なく、次に砂:粘土=9:1 の 688 μ m, 砂:粘土=8:2 の 957 μ m, 砂:粘土=7:3 の 2035 μ m となった。これ

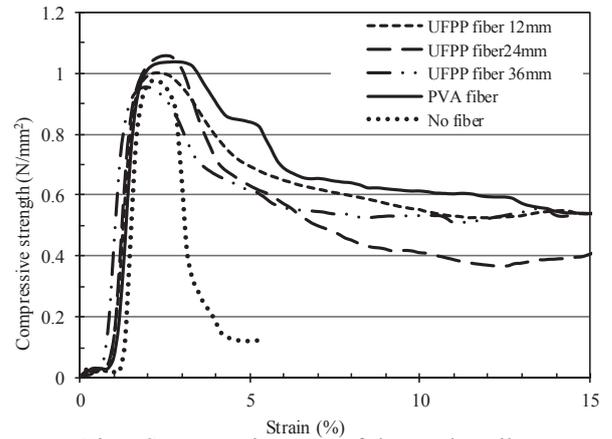


Fig.7 Stress-strain curve of the sandy soil.

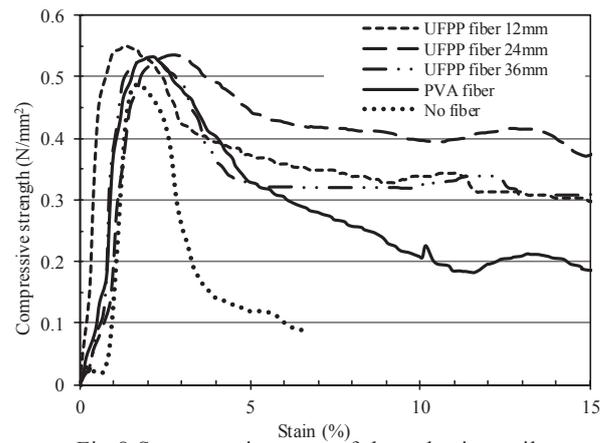


Fig.8 Stress-strain curve of the cohesive soil.

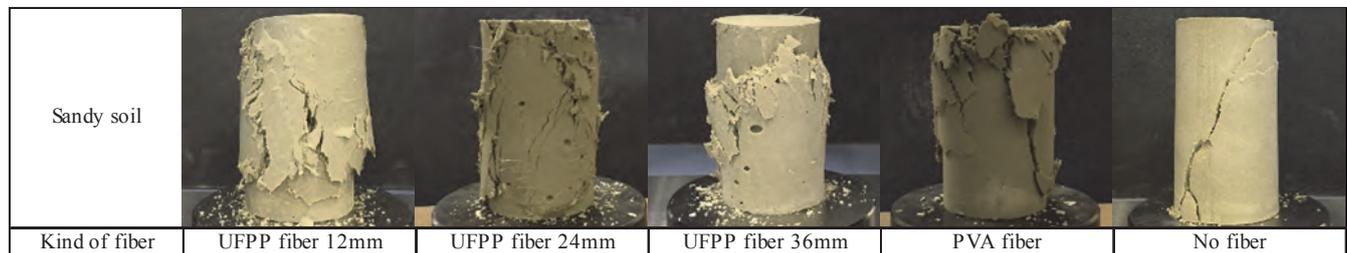


Fig.9 Break down condition of sandy soil specimen.

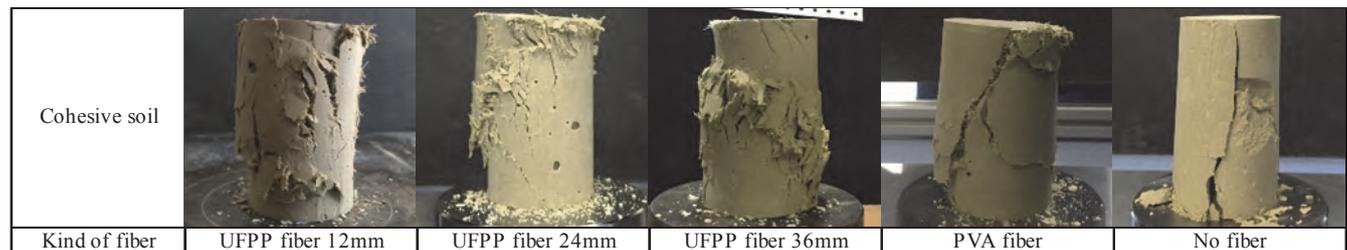


Fig.10 Break down condition of cohesive soil specimen.

より、砂:粘土=7:3 と砂:粘土=8:2 では乾燥収縮量が全く異なることが分かった。

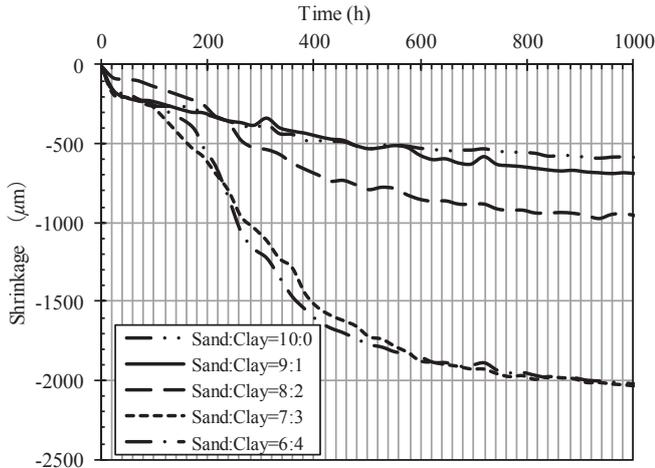


Fig.11 Shrinkage result.

5. まとめ

本論文の各実験における、主な結論をまとめると以下のようなになる。

- 1) コンクリートカッターを使用したビニール紐の裁断により、繊維幅 0.1mm から 0.2mm のものが得られた。

また、この方法によって得られた UFPP 繊維を混入した流動化ソイルセメントは、優れた靱性を有することが判明した。

- 2) 乾燥収縮実験により、砂の割合が多いほど W/C を低く設定できるため乾燥収縮量が抑えられることが分かった。また、砂:粘土の割合が 7:3 と 8:2 では収縮量が全く異なることが分かった。

今後は、乾燥収縮を減少させるために分散剤や流動化剤を使用することも考えている。また、この UFPP 繊維を使用した実大構造物の築造も行いたい。

参考文献

- 1) 萩原直人, 藤井衛: ビニロン繊維が流動化処理土の力学特性に及ぼす効果, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.111-112, (2012).
- 2) 橋本佳大, 藤井衛: ソイルセメントによる土堀の築造に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 612 号, pp.95-101, (2007).
- 3) 奥墨直人: PVA 繊維および PP 繊維を混入した流動化処理土に関する研究, 東海大学工学研究科建築学専攻 修士論文, (2014).
- 4) 萩原直人, 藤井衛: PVA 繊維を混入した流動化処理土の配合について, 第 48 回地盤工学会研究発表会, pp.651-652, (2013).