

## 論文 繊維状高分子廃棄物の再利用に関する研究

長谷川 秀<sup>\*1</sup>・岩井 英夫<sup>\*2</sup>・丸山 久一<sup>\*3</sup>

**要旨：**繊維補強された高分子材料を製造する工程で発生する繊維状の高分子廃棄物をセメントと組み合わせて建設材料として再利用することを目的とし、斜面安定に用いる受圧板の不陸調整材に適用することを検討した。現在は不陸調整をモルタルを注入工法で行っているが、本材料を用いれば、工場等で作製し、現場で施工が容易になる。その不陸調整材に必要な力学的特性を満足する形状と配合に関して検討した結果、 $W/C=100\%$ 、密度 $=0.3g/cm^3$ の供試体( $\phi 5cm \times 5cm$ )を縦方向に並べたものが最も良いという結果が得られた。

**キーワード：**繊維状高分子廃棄物, 再利用, 受圧板, 不陸調整, 圧力測定紙

### 1. はじめに

産業活動の大幅な進展に伴いその副産物である産業廃棄物（以下廃棄物）が大量に排出し環境問題が起こっている。近年、各産業部門において再利用等によって廃棄物を減少させる動きが目立っている。

本研究で対象とした廃棄物は、FRFU (Fiber reinforced Formed Ulethane) と呼ばれるものの廃材で、熱硬化性樹脂発泡体をガラス繊維で強化された高分子材料の廃棄物である。FRFU は主に建築木材の代替品として用いられており、普通の木材と違って腐食せず軽くて引っ張りに強いという特長を持っている。しかし加工過程で発生する切粉、切屑等の廃材が大量に発生している。

現在、それらの廃材は主に切屑と切粉の 2 種類で、切粉は、グラウンドアンカー工法の軽受圧板<sup>1),2)</sup>の一部などに再利用されているが、切屑の再利用は少ないのが現状である。そこで、本研究では、この切屑（以下繊維状高分子廃棄物）を、受圧板と地面との不陸部分の調整に用いることを考え必要な力学特性

を満たす配合と形状に関して検討を行った。また、不陸調整の労力削減を目的として、持ち運び可能な形状での不陸調整材の製作を目標とした。

### 2. 使用材料

#### 2.1 セメント

セメントは JIS R 5210(ポルトランドセメント)に規定される普通ポルトランドセメントを使用した。

#### 2.2 繊維状高分子廃棄物

図-1 に、繊維状高分子廃棄物(FRFU)を示す。比重は 0.74 と非常に軽く、寸法は、幅 1mm

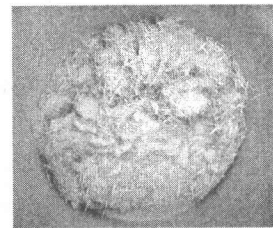


図-1 繊維状高分子廃棄物

\*<sup>1</sup> 長岡技術科学大学大学院 工学研究科 建設工学専攻 (正会員)  
 \*<sup>2</sup> 積水化学工業 栗東工場 環境安全・品質課  
 \*<sup>3</sup> 長岡技術科学大学教授 工学部 環境・建設系 Ph.D (正会員)

以下から 2mm 程度、長さは 10mm 以下から 50mm 程度である。

### 3. 実験方法

#### 3.1 実験の種類

##### 実験 1：配合の決定

製作の容易さや不陸調整の効果などを考慮し、形状を円柱供試体とした。不陸調整は、25mm 調整することを目的とし直径 50mm の円柱供試体を用いて不陸調整が出来るようにした。ところで、FRFU 製の受圧板の施工時にかかる地盤との平均の接地圧は既往の研究<sup>3)</sup>より約  $0.3\text{N/mm}^2$  であることから、 $0.3\text{N/mm}^2$  の圧縮応力で高さが約半分変形することを目標性能として、配合の決定を行うこととした。

##### 実験 2：載荷試験

不陸調整の主目的は、応力集中の緩和である。まず比較的大きな傾斜を有する不陸を想定して、図-3のような傾斜台を作成し図-2の装置によって、圧縮試験を行い供試体の変形性状を確認するとともに、荷重-変位関係や圧力分布を測定した。

#### 3.2 配合の決定

廃材再利用のためできるだけ多くの廃材を入れることを目的として供試体を作製し、その圧縮試験の結果から配合の決定を行った。

##### (1)円柱供試体作製

配合を表-1に示す。廃材の置換率は 30-50vol%で変化させ、W/C は 100%一定とした。練り混ぜ方法は、FRFU とセメントをよくかき混ぜ、霧吹きを用いて少量の水を加えながら練り混ぜを行った。また、つめ方と強度との関係を把握するため、多量に詰め込んだ場合と、緩く詰め込んだ場合等数種類作成し、その単位体積質量を測定した。供試体寸法は  $\phi 50 \times 100\text{mm}$ 、養生は  $20^\circ\text{C} 65\% \text{RH}$  で材齢は 7 日間とした。なお廃材置換率 60vol%以上の配合も検討したが、脱型後、原型をとどめることができなかった。

表-1 配合

廃材置換率 (vol%)	W/C (%)	W (g)	C (g)	FRFU (g)	単位体積質量 (g/cm <sup>3</sup> )
30	100	531	531	222	0.762-1.062
40		455	455	296	0.385-0.734
50		380	380	370	0.290-0.570
60		304	304	444	—
70		228	228	518	—

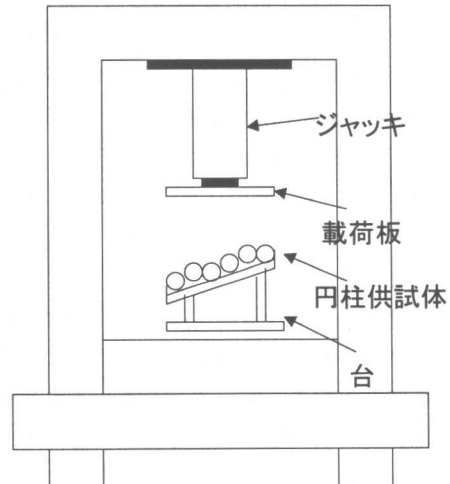


図-2 試験装置

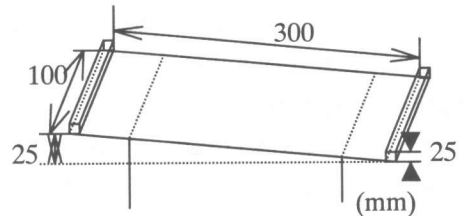


図-3 試験台の形状

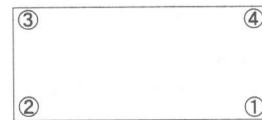


図-4 変位計設置位置

##### (2)要求性能

要求性能は、約  $0.3\text{N/mm}^2$  で供試体が半分変形するものとした。この場合、高さが 100mm の円柱供試体の高さが所定の圧力の下で

の円柱供試体の高さが所定の圧力の下で50mm以下になることとなる。

### (3)試験方法

圧縮試験は、円柱供試体の圧縮方向の最大で50mm変形するまで行った。

#### 3.3 載荷試験

##### (1)要求性能

要求性能は、3.2の試験と同様に約 $0.3\text{N/mm}^2$ で供試体が半分変形するものとする。この時の面積は、載荷板の面積とする。

##### (2)試験方法

図-2に試験装置、図-3に供試体の設置台および図-4変位計設置位置を示す。

図-2で示すように、反力フレームに図-3のような傾いた試験台をのせ、その上に円柱供試体を並べ、載荷板をのせて載荷した。この試験台は、片側が円柱供試体1つ分高くなっており、高い部分に応力集中がおこると仮定する。載荷は、高いところにある円柱供試体が約半分の高さになるまで行い、荷重-変位関係を測定した。ここで高いところとは、図-3では、左側の高くなっている方を指す。変位計の設置位置は図-4のとおりである。変位は、各測定点の平均とする。

また、この試験では、そのまま載荷したものと、袋に入れてから載荷したものの試験を行い比較した。供試体の個数は、袋に入れない場合は、供試体の個数は5個(以下、5個と記す)、6個(以下、6個)で行い、袋に入れた場合は供試体の個数は5個、6個、半分に切って縦に置いたもので行った(以下、縦方向)。

##### (3)圧力測定紙による検討

水平方向の供試体の変形特性を調べるため載荷板と供試体間の圧力分布を観察した。そこで、圧力測定紙を間にはさんで載荷し観察を行った。圧力測定紙は、圧力がかかると変色するようになっている。図-5は、変色した圧力測定紙の様子を示す。変色した部分の面積が接地面積である。図-5は、供試体を6個に並べた場合を示した図で、変色した

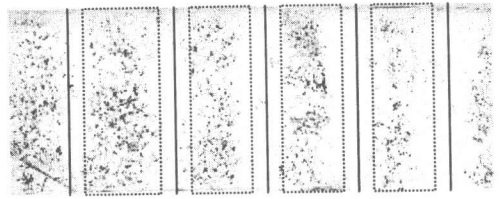


図-5 接地面積と領域面積

面積と載荷板面積との割合から、応力分布状態を調べることにした。試験パターンは供試体6個、5個、縦方向とした。

## 4. 結果と考察

### 4.1 配合の決定

図-6および図-7に圧縮試験の荷重と最大変位の関係および密度と強度の関係を示す。図-6より、いくつかの配合では最大変位が50mmに達しなかった。要求性能は3.2(2)に示すとおりで、最大変位が50mmに達していない配合は要求性能を満たしていないと判断した、次に変位が50mmを超えるものについて、圧縮強度と密度との関係を調べた。その結果を図-7に示す。密度が大きくなると、直線関係では表せないものの、それに伴い圧縮強度が大きくなっていることが確認された。また、3.2(2)の要求性能より圧縮強度が $0.3\text{N/mm}^2$ 以上の配合は、要求性能を満たしていないと判断した。そこで圧縮強度 $0.3\text{N/mm}^2$ 以下の配合のうち、最も密度の小さい配合を求める配合とした。廃材置換率が50vol%で密度が $0.3\text{g/cm}^3$ の供試体が、もっとも低い強度が得られた。これらのことから、供試体は、廃材置換率50vol%、W/C=100%で密度が約 $0.3\text{g/cm}^3$ なるように作製することとした。

供試体の例を図-8に示す。繊維の方向は一定でなくばらばらで、廃材がそれぞれ絡まって固まったようなものになり、間隙が大きい。

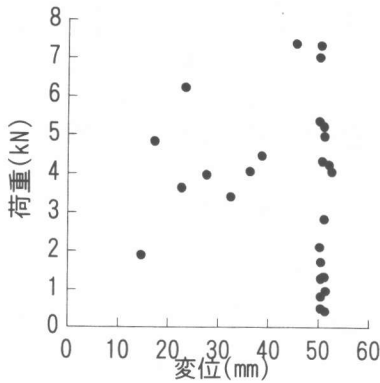


図-6 荷重-最大変位関係

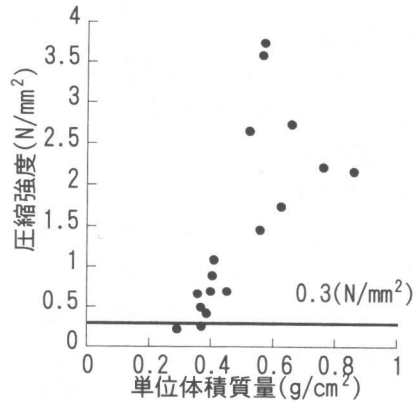


図-7 圧縮強度と密度の関係

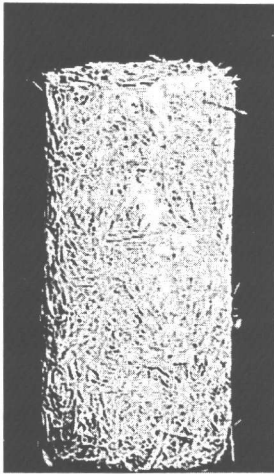


図-8 完成した円柱供試体

## 4.2 載荷試験

### (1) 袋に入れない場合の結果

図-9に袋に入れない場合の荷重と変位の関係の結果を示す。これより、同じ荷重では供試体の個数が5個の方が大きく変形することがわかった。また、供試体5個について、25mm変形するときの荷重は約4.195kN、6個のときの荷重は約4.800kNであった。応力に換算すると5個のときは $0.140\text{N/mm}^2$ 、6個のときは $0.160\text{N/mm}^2$ となり、ともに要求性能を満たしていることが確認された。

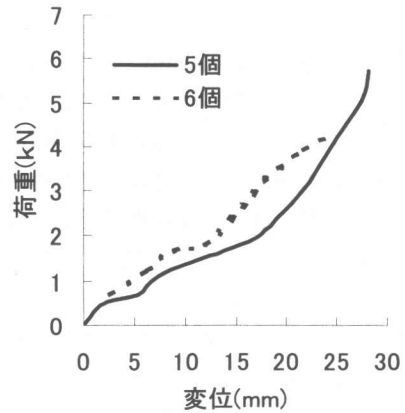


図-9 袋に入れない場合の荷重-変位関係

### (2) 袋に入れた場合の結果

図-10に袋に入れる場合の荷重と変位の関係の結果を示す。同じ荷重では供試体の個数が6個のもの、縦方向のもの、5個のものの順に大きく変化する。また、縦方向のものは大きく変形し最大荷重も大きい。変位25mmの時の荷重では、供試体5個では約3.234kN、6個では約4.116kN、縦方向とした場合は3.772kNであった。応力に換算すると5個のときは $0.108\text{N/mm}^2$ 、縦方向の供試体 $0.126\text{N/mm}^2$ 、6個のときは $0.137\text{N/mm}^2$ となり、ともに要求性能を満たしていることが確認された。

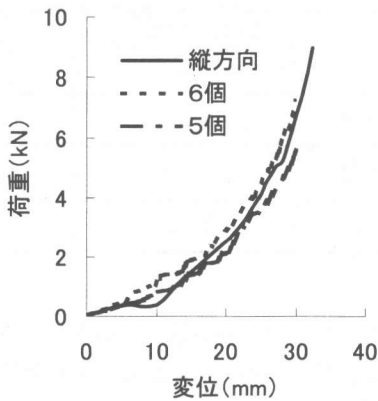


図-10 袋に入れた場合の荷重-変位関係

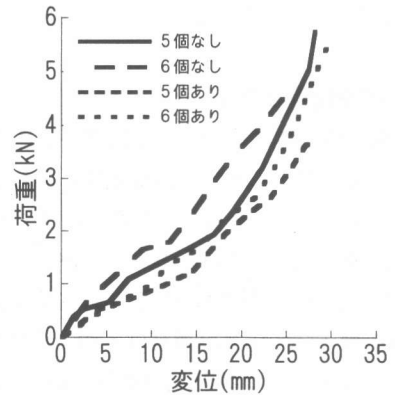


図-11 袋入りと袋無しの比較

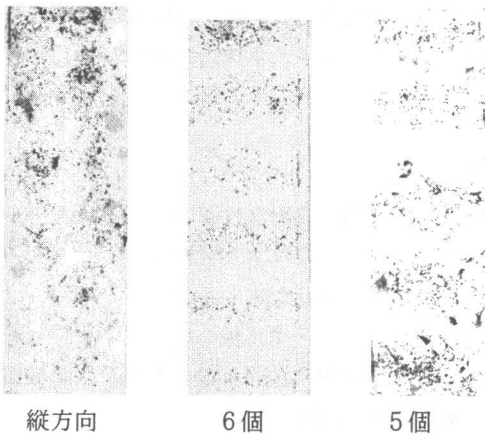


図-12 圧力測定紙の結果

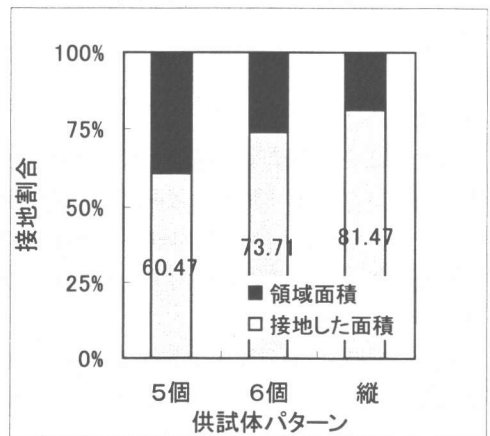


図-13 接地割合

### (3) 袋詰めの影響

図-11に、供試体個数5個、6個において袋に入れたものとそうでないものの、荷重-変位関係を示す。袋に入れたケースの方が入れてないものより同じ荷重下では大きく変形していることがわかった。これにより袋に入れることでより応力分散がなされるようであった。供試体5個の場合と6個の場合でも5個の方が大きく変形している。

### (4) 圧力測定紙による検討

荷重-変位関係測定の際に用いた円柱供試体を試験台に横に6個、あるいは5個並べた場合、および縦に6個並べてb荷したときの

圧力測定紙の結果を図-12に示す。圧力測定紙は、載荷台の高いほうでは圧力が強くかかるため低いほうより色が濃くなるという特徴を持っている。従って、変色部分の濃い部分が載荷台の高い方で薄い方が低い方である事がわかる。接地面積の割合を調べ、その結果を図-13に示す。供試体5個と6個を比較すると供試体6個の方の接地面積が広い結果となった。また、供試体の個数が同じ(6個)で縦方向の場合と比較すると縦方向の接地面積が広がった。荷重は供試体平面にすべて作用しているので、そのままなら変色する面積は、横方向が50mm、縦方向が39.25mm

であるので、6個が大きいはずであるが縦方向が大きくなっている。したがって、縦方向にした方が水平方向にふくらんでいるものと推定できる。

#### (5)不陸調整の判断

不陸調整の判断は、荷重-変位関係と圧力測定紙により判断する。判断基準は、同じ変位になる荷重は、できるだけ小さく。圧力測定紙は接地割合の大きいものが、一番良いと判断した。荷重-変位関係と圧力測定紙による結果を表-2に示す。荷重は5個、縦方向、6個の順に小さく、接地割合は縦方向、5個、6個の順に大きいことがわかった。これにより最も不陸調整に適しているのは縦方向に配列した場合と判断できる。

#### 5. まとめ

繊維状高分子廃棄物を資源として再利用するために、グラウンドアンカー工法で使用する受圧板と地盤との不陸調整材への適用を検討した結果、本研究の範囲内で以下のような結果が得られた。

- (1)配合の決定において圧縮強度  $0.3\text{N/mm}^2$  で最大変位が  $50\text{mm}$ 以上を要求性能とし、それを満たす配合は、廃材置換率  $50\text{vol}\%$ 、 $\text{W/C}=100\%$ で密度が約  $0.3\text{g/cm}^3$ の配合である。
- (2)載荷試験の荷重-変位関係では、袋に入れた場合でも入れない場合でも、供試体個数が6個より、5個の方が同じ変位下での荷重が大きい。また、供試体が縦方向の場合は5個と6個の間くらいになる。
- (3)圧力測定紙の検討は、圧力測定紙の変色具合から、高い方に圧力が大きく掛かっている。また、接地面積と領域面積の割合は供試体5個と6個を比較すると供試体6個の方が接地面積が広い結果となり、供試体の個数が同じ(6個)で縦方向の場合と比較すると縦方向の接地面積が広がる。

(4)不陸調整の判断は、同じ変位になる荷重は、できるだけ小さく。圧力測定紙は接地割

表-2 不陸調整の判断

	荷重-変位関係	圧力測定紙
	25mm変形荷重 (kN)	接地割合 (%)
5個	3.234	60.47
6個	4.116	73.71
縦方向	3.772	81.47

合の大きいものが一番適していることから、縦方向に配列したのが最も不陸調整に適している。

#### 謝辞

今回の研究にあたり、材料を提供してくださいました積水化学工業株式会社に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1)青柳計太郎：高耐久性グラウンドアンカーの開発，長岡技術科学大学学位論文，1999
- 2)橋本崇・青柳計太郎・丸山久一：FFUのグラウンドアンカー受圧板への適用に関する研究，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集，pp244-245,1996
- 3)中村秀樹・丸山久一・片山修一・青柳計太郎：グラウンドアンカーに用いるFFU受圧板の耐荷性状について，土木学会第49回年次学術講演会講演概要集，pp204-205,1994