

# ソイルセメントに繊維や廃棄物を混練した改良体 ～地盤改良・補強のための材料的可能性の検討～



企業レポート

白川 義成\*, 白川 義晴\*\*, 清水 英良\*\*\*, 巽 昭夫\*\*\*\*

The improved soil which performed blend mixing of fiber and waste in soil-cement  
～ Possibility of fiber and waste material for ground improvement and reinforcement～

Key Words : improved soil, blend mixing of fiber and waste,  
ground improvement and reinforcement

## 1. はじめに

当社は、敷地内にある土壌にセメント系固化材と繊維を混入することにより、廃棄物である掘削土壌の外部への運搬が不要となる利点を活かす地業、特に土留め工事を得意とする建設業である。下記に

その施工手順を示す。

ここでは、これらの従来工法に廃棄物のおがくずや繊維くずを混練し、地盤改良に活用出来るかどうかの可能性についてこれらの材料の実験成果を示し検討を加えた。



<改良体を用いて施工される土留壁の施工状況>

<ファイバー混練詳細>



\* Yoshinari SHIRAKAWA

1963年11月生  
京都府立西宇治高等学校 (1981年)  
現在、株式会社 白川工業 代表取締役  
TEL : 0774-24-2728  
FAX : 0774-24-2748  
E-mail : shirakawa@shirakawa-g.co.jp



\*\* Yoshiharu SHIRAKAWA

1962年1月生  
現在、株式会社 白川工業 常務取締役  
TEL : 0774-24-2728  
FAX : 0774-24-2748  
E-mail : yoshiharu@shirakawa-g.co.jp



\*\*\* Hideyoshi SHIMIZU

1952年1月生  
京都大学 農学研究科 農業工学 博士  
課程 単位取得退学 (1981年)  
現在、岐阜大学応用生物科学部環境生態  
科学コース 施設環境工学研究室  
教授 農学博士  
農業土木 土地改良施設の振動解析  
TEL : 090-6590-5735  
FAX : 058-232-7842  
E-mail : hshimizu@gifu-u.ac.jp



\*\*\*\* Akio TATSUMI

1952年3月生  
大阪大学工学部建築工学科卒業 (1974年)  
大阪大学大学院工学研究科後期課程 単  
位取得退学 (1979年)  
現在、一般社団法人 生産技術振興協会  
執行理事・事務局長 工学博士  
建築 高力ボルト接合  
TEL : 06-6944-0604  
FAX : 06-6944-0605  
E-mail : seisan@maple.ocn.ne.jp

## 2. 実験の目的

従来当社の改良体におがくずや繊維くずを混入することにより、地盤改良土の力学特性を保持しながら廃棄物処理を可能にし、さらにその特性を向上させることが考えられる。おがくずは天然資源であるため、人工物に比べて安価であり、常時木材の加工所から発生している。これらの木くずの粉末は乾燥すれば水分を吸収し、水セメント比を下げ、その貯留水分が水和熱を吸収し、硬化に際する養生への影響の結果、その混練の割合によっては改良体のヤング率や引張強度や曲げ強度に効果がある可能性がある。

また、現在廃棄物処理場の狭小化が問題となっている。そこで廃棄物として紡績工場などから排出される繊維くずと、木製品製造業などから排出されるおがくずを改良材として用い、廃棄物処理場の負担を軽減し、地盤を改良する工法の可能性を探ることを目的とした。当社の現場で行われているソイルセメントを使用した地盤改良工法として、PIE工法1)がある。本研究ではこのPIE工法の配合を基準として混和剤を廃棄物に置き換えてソイルセメントを作成し、試験を実施する。ソイルセメントの強度特性については様々あるが、本研究では圧縮強度、動弾性係数及び引張強度について比較し、混和剤と強度の関係を調べ、さらに、応力とひずみの関係から変形特性を調べることにした。

## 3. 供試体

### 第1節 配合設計

#### 1. 供試体の種類

プレーン、PIE工法、おがくず、全部繊維くず、半分繊維くずの5種類、またそれぞれ材料には砂と細粒土の2種類を用い、計10種類の供試体を作成した。

- **プレーン** 混和剤を入れない供試体。土に対してセメント15%、水セメント比93%で混練する。
- **PIE工法** プレーンの配合をベースに、土に対してファイバー0.02%、ビニロン0.04%を混練する。
- **全部繊維くず** PIE工法のファイバー、ビニロンを全部繊維くずに置換。砂では繊維くずの量を10倍にした。
- **半分繊維くず** PIE工法のファイバー、ビニロンを半分繊維くずに置換。細粒土では繊維くずの量を10倍にした。
- **おがくず** PIE工法のファイバー、ビニロンをおがくずに置き換えたもの。

下記に配合設計表を示す。

## 2. 使用材料

- (1) **細粒土** 細粒土については岐阜大学柳戸農場の上層土を使用した。粒度分布の結果から三角座標を用いると、「礫まじり砂質細粒土」となった。
- (2) **砂** 砂については、ホームセンターで得られる砂を用いた。粒度分布の三角座標を用いると、「礫まじり砂」となった。

## 第2節 ソイルセメント供試体の作成

### 1. 供試体の作成

#### (1) 供試体の寸法および器具

供試体は高さ10cm、直径5cmの円柱形で型枠には金属製および使い捨てのプラスチック製を使用した。

#### (2) 混練

ソイルセメントの練り混ぜにはミキサーを使用した。はじめに土材料とセメントが一様になるように1分間混練し、さらに水および混和剤を加えて

Table3-1 配合設計表

		PIE工法	全部繊維くず	半分繊維くず	おがくず
砂	2400g			ファイバー 0.24g	
セメント	360g	ファイバー 0.48g ビニロン 0.96g	繊維くず 14.4g	ビニロン 0.48g 繊維くず 0.72g	おがくず 1.44g
W/C	93%				
細粒土	2400g			ファイバー 0.24g	
セメント	360g	ファイバー 0.48g ビニロン 0.96g	繊維くず 1.44g	ビニロン 0.48g 繊維くず 7.2g	おがくず 1.44g
W/C	93%				

約2分間混練する。繊維くず、ファイバー、ピニロンは均等に混ざりにくいため、ミキサーから取り出した後にスコップを使って再度練り混ぜた。

### (3) 締固め

土材料が砂の場合は突き棒での締固めを行い、細粒土の場合はバイブレーターと突き棒を用いて締固めを行った。突き棒の場合は型枠にソイルセメントを詰め、突き棒で25回突き、型枠の周りの木づちでたたき穴を塞ぐ。この工程を2回行い、上部を少し残して型枠に詰める。残した部分にはキャッピングをする。バイブレーターを使用する場合は型枠にソイルセメントを詰め、一度バイブレーターで締め固めた。さらに突き棒で25回突き、型枠の周囲を木づちでたたき穴を塞ぐ。この工程を2回行い、上部を残して型枠に詰める。残した



Photo3-1 突き棒による締固め



Photo3-2 空中養生

部分にはキャッピングをする。キャッピングには水セメント比約30%のセメントペーストを使用し、こてを用いて表面を平らにする。引張試験を行うものについてはキャッピングをしない。最後に、全ての供試体について蒸発防止のため、新聞紙をはさみ、ガラス板でふたをした。

### (4) 脱型・養生

脱型は材料が砂の場合は練り混ぜの1日後、細粒土の場合は練り混ぜの3日後とした。作成したソイルセメントのうち半分ずつ水中養生と空中養生に分けた。全部繊維くずについては空中養生のみ行った。空中養生では現場の状態に合わせるため、湿潤にしてある。

## 4. 共振法

共振法とは、供試体に微小振幅の振動を変化させて入力した場合に、最も大きく反応する共振時の振動数を求め、動弾性係数を求める方法である。本研究では縦振動法を用いた。(Photo4-1 参照)



Photo4-1 共振法の様子

## 第1節 試験方法

### 1. 質量および寸法の測定

供試体の質量は0.1gまで量り、長さは型枠の100mm、断面積も同じく型枠の直径50mmを用いて算出した。

### 2. 計算式

動弾性係数  $E_D$  は以下の式から算出した。

$$E_D = 4.00 \times 10^{-3} \times \frac{L}{A} m f_1^2$$

$E_D$ : 動弾性係数 (N/mm<sup>2</sup>)  $L$ : 供試体の長さ (mm)

A: 供試体の断面積 (mm<sup>2</sup>) m: 供試体の質量 (kg)  
 f<sub>1</sub>: 縦振動の一次共鳴振動数 (Hz)

## 第2節 結果および考察

共振法は非破壊試験であるため、ソイルセメント作成後から1週毎に測定した。以下に材齢ごとの動弾性係数の平均のグラフを示す。

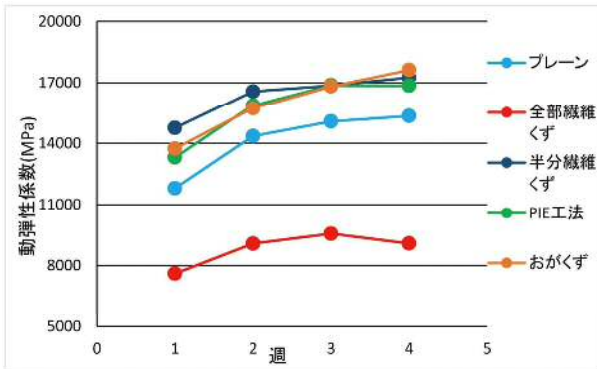


Figure4-1 砂の動弾性係数 (空中養生)

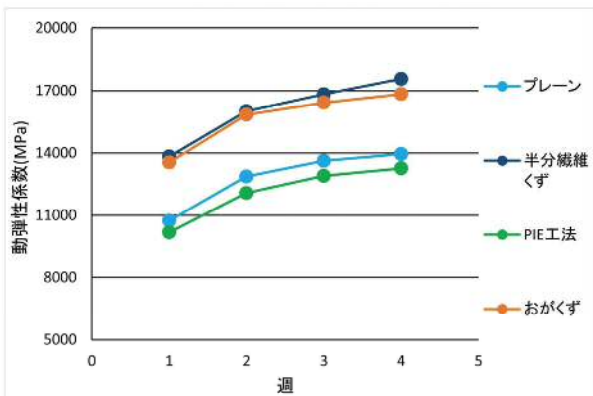


Figure4-2 砂の動弾性係数 (水中養生)

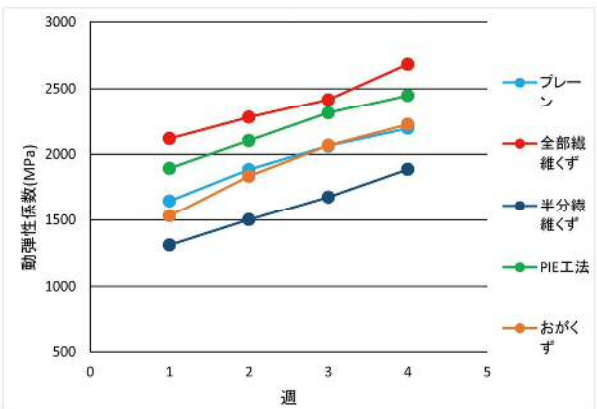


Figure4-3 細粒土の動弾性係数 (空中養生)

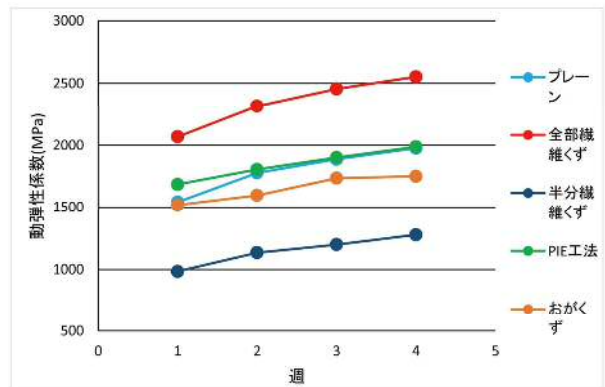


Figure4-4 細粒土の動弾性係数 (水中養生)

### 〈考察〉

#### 1. 砂と細粒土の比較

動弾性係数について、砂は10000～20000MPaとなったが、細粒土は1000～3000MPaとなった。また、砂は1週から2週で大きく増加し、その後増加量が低下したのに対し、細粒土では1週から2週でも増加量が小さく4週まで直線的な増加をした。細粒土に関しては反応する振動数の幅が広く、厳密な振動数の特定が困難であった。

#### 2. 水中養生と空中養生の比較

ばらつきがあるが、養生方法による違いはあまり見られなかった。全部繊維くずの砂について、3週から4週にかけて空中養生が乾燥状態となり、動弾性係数が低下した (Figure4-5)。ソイルセメント内部の水分が蒸発し、水和反応が抑制されたと考えられる。

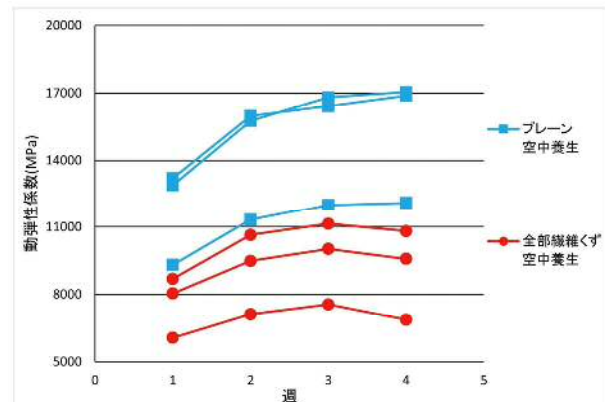


Figure4-5 全部繊維くず砂の動弾性係数の変化

### 3. 各混和剤の比較

砂と細粒土について動弾性係数のパターンが大きく異なった。繊維くずの量を10倍にした、「全部繊維くず」の砂と「半分繊維くずの細粒土」に関しては小さい値となった。これは土の締固め特性によるものと考えられる。

## 5. 圧縮試験

コンクリートの強度としては、圧縮・引張・曲げ・せん断・付着などがあるが単にコンクリートの強度といえば圧縮強度を指すのが普通である。これは、たとえば圧縮強度が引張強度の約10倍と、ほかの強度に比べ大きく、他の強度は圧縮強度からある程度推定できるためである。コンクリートの圧縮強度は材齢とともに増加するが、一般の構造物では28日の強度を基準とすることになっている。本研究においてソイルセメントでも同様に扱うこととした。

### 第1節 試験方法

#### 1. 試験実施材齢および計算

供試体の直径を測定して断面積を算出し、荷重速度は毎秒  $0.6 \pm 0.4 \text{ N/mm}^2$  となるように荷重を加え圧縮強度試験 (JIS A 1108) を行った。圧縮強度は (5-1) 式より求めた。

$$f = \frac{4P}{\pi d^2} \dots (5-1)$$

$f$ : 圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ )  $P$ : 最大荷重 (N)  $d$ : 直径 (mm)

#### 2. キャッピング方法

今回キャッピングはセメントペーストを塗布しているが、試験誤差を軽減する目的で、さらにアンボンドキャッピング装置を用いた。

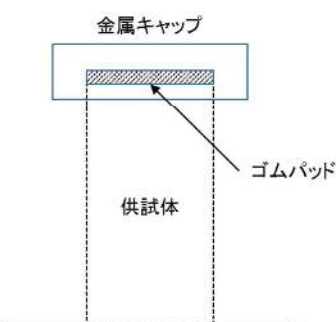


Figure5-1 キャッピング図



Photo5-1 圧縮強度試験

### 第2節 結果および考察

基本として4週の供試体で試験を実施するが、砂のPIE工法については1日目と3日目と4週目試験を実施し、細粒土のPIE工法とおがくずについては3日目と4週目に試験を実施した。砂の全部繊維くずについては1週目と4週目に試験を実施した。

#### 1. 材齢の比較

4週の圧縮強度について砂は6~12MPaとなったが、細粒土は3~6MPaとなった。3日の圧縮強度について、圧縮強度にほぼ差がなかったことから、土のタイプは初期の圧縮強度に与える影響が少ないと考えられる。また、細粒土に関しては3日から28日にかけて圧縮強度の変化がなかったが、砂では大きく増加した。

Figure5-2に4種類の材齢ごとの平均圧縮強度を示す。なおPIE工法とおがくずの28日目は水中養生の平均と空中養生の平均をプロットした。

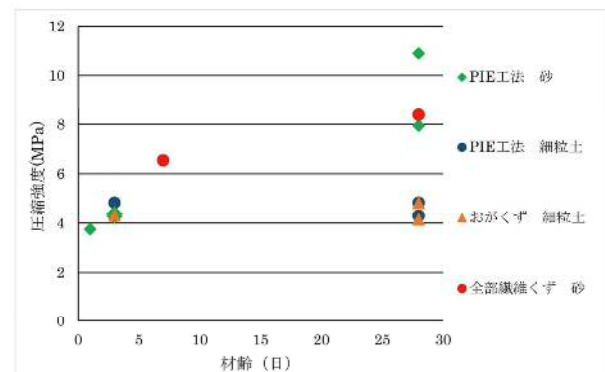


Figure5-2 材齢ごとの平均圧縮強度

#### 2. 水中養生と空中養生の比較

ここでは細粒土の4週強度について検討する。砂については、動弾性係数との相関性について後で述べることとする。

Figure5-3は、プレーンと各種混和剤を混ぜたケースについてのグラフである。図から、空中養生の方がどのケースも水中養生より大きくなっており、また、混和剤を混練すればプレーンより若干強度が落ち、混和剤 (繊維くず) の量を10倍にした半分繊維くずのケースが最も小さな値になっていることがわかる。

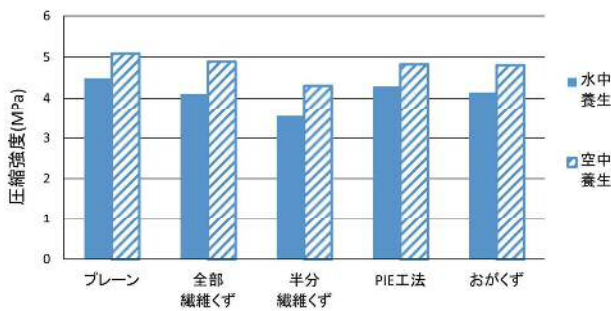


Figure5-3 細粒土の圧縮強度 (4週強度)

## 6. 引張試験

### 第1節 試験方法および計算

引張強度については割裂引張強度試験 (JIS A 1113) を行う。荷重速度は衝撃を与えないように、毎秒  $0.6 \pm 0.4 \text{ N/mm}^2$  となるように荷重を加え試験を行った。また、全部繊維くずの砂、PIE工法の砂及び細粒土、おがくずの細粒土の4種類のみ引張試験を行った。引張強度は (6-1) 式より求めた。

$$f_t = \frac{2P}{\pi dl} \dots (6-1)$$

$f_t$ : 引張強度 ( $\text{N/mm}^2$ )  $P$ : 最大荷重 (N)  
 $d$ : 供試体の直径 (mm)  $l$ : 供試体の長さ (mm)



Photo6-1 割裂引張試験

### 第2節 結果および考察

引張試験と圧縮試験は破壊試験であるため、圧縮試験とは別の供試体を用いた。引張強度の値は砂では約  $2 \text{ MPa}$ 、細粒土では約  $1 \text{ MPa}$  となった。また、圧縮強度と同様に水中養生よりも空中養生の方が大きい値となった。PIE工法と廃棄物を混練したパターンを比較するとあまり大きな違いはなかった。

混和剤のないソイルセメントはコンクリートと同様に圧縮強度が引張強度の約10倍程度 (脆度係数) と言われている。4種類の試料について実験を行ったところ、脆度係数は  $3.8 \sim 5.3$  の範囲となり、混和剤を混練すると粘り強い材料になるものと思われる。

Figure6-1に引張強度と圧縮強度の関係をプロットしたグラフを示す。近似直線の傾きは  $4.43$  であり、 $R^2 = 0.8801$  である。また、図中に脆度係数が  $10$  の直線も示した。

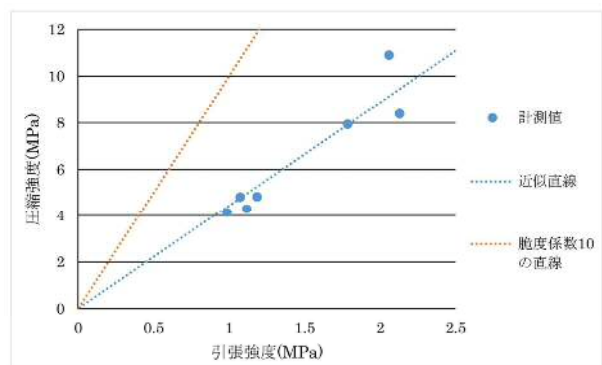


Figure6-1 圧縮強度と引張強度の関係

## 7. 動弾性係数と圧縮強度の関係

以下に平均動弾性係数と平均圧縮強度の関係のグラフを示す。Figure7-1, 7-2はそれぞれ4週の細粒土と砂のグラフであり、Figure7-3は材齢ごとのグラフである。

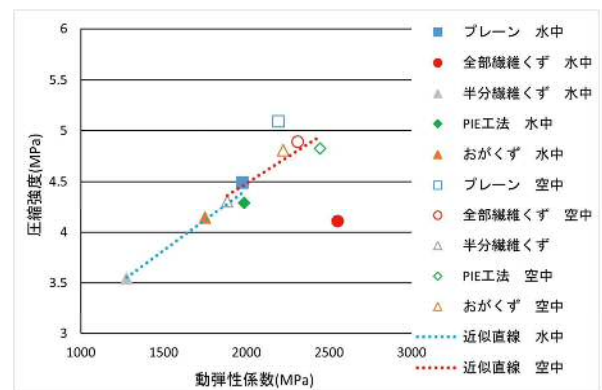


Figure7-1 細粒土の比較

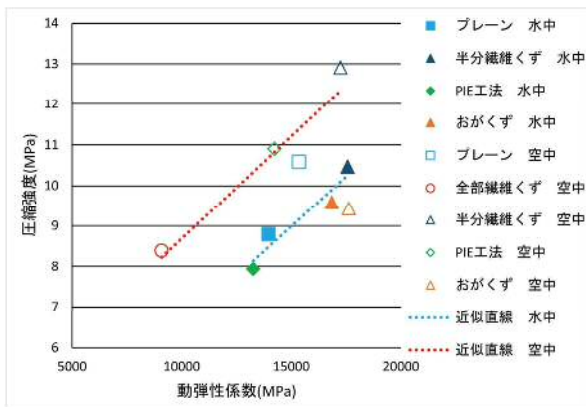


Figure7-2 砂の比較

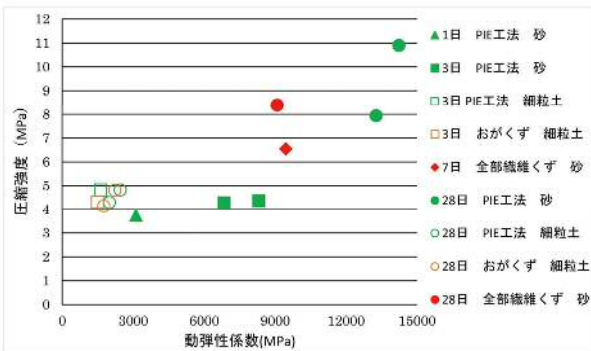


Figure7-3 材齢ごとの関係

<考察>

Figure7-1 で示した細粒土の近似直線は水中養生で $R^2=0.9536$ 、空中養生で $R^2=0.8436$ となり、良い相関があると考えられる。同様に、Figure7-2 で示した砂の近似直線についても水中養生で $R^2=0.9207$ 、空中養生で $R^2=0.9037$ で相関性があると考えられる。

砂と細粒土を比較すると、4週では動弾性係数と圧縮強度ともに砂の方が大きい値となった。また、砂は養生方法で近似直線の傾向が異なったが、細粒土は同じような傾向が見られた。特に、繊維くずの量を10倍にしたパターン（細粒土では半分繊維くず、砂では全部繊維くず）については動弾性係数、圧縮強度ともに小さい値となったが、圧縮強度と動弾性係数の関係は全て同一の直線上に乗っている。つまり、圧縮強度と動弾性係数の関係は混和剤の種類・量に関係なく、ほぼ直線で表されることが明らかになった。

材齢に注目すると、Figure7-3 に示したように、細粒土に関しては3日から28日で動弾性係数と圧縮強度にあまり変化がなかった。また、砂では1日

から3日で動弾性係数は大きく増加したが圧縮強度はあまり変化がなかったことに対して、3日から28日にかけて動弾性係数と圧縮強度ともに大きく増加していることが明らかになった。

8. まとめ

本研究では、ソイルセメントへ廃棄物を混練することによる変形・強度特性への影響を調べることを目的とした。

1. 動弾性係数について 混和剤による違いははっきりとは見られず、各供試体の締固めの違いによると思われる。しかし、空中養生において、乾燥状態となった場合に動弾性係数が減少したことから、空中養生における水分状態が動弾性係数に与える影響は大きいと考えられる。

2. 圧縮強度について 圧縮強度については、プレーンと廃棄物を混練したパターンを比較すると廃棄物を混練したパターンはプレーンよりも若干小さい値となったが、PIE工法と廃棄物を混練したパターンを比較するとあまり差が見られず、廃棄物を混練したパターンは十分な強度を満たしていると考えられる。また、養生方法で比較すると空中養生の方が大きい値となった。

3. 引張強度について PIE工法と廃棄物を混練したパターンを比較するとあまり差が見られず、十分な強度を満たしていると考えられる。また、プレーンの脆度係数は約10と言われているが、廃棄物を混練したパターンは3.8～5.3となったため、混和剤の効果があると考えられる。

4. 動弾性係数と圧縮強度の関係について 土タイプと養生方法で分けると相関が認められた。砂では養生の相違によって近似直線が異なったが、細粒土では養生方法の違いによらず、同一の近似直線が得られた。

以上のことから、繊維くずやおがくずを使った工法は十分な強度を満たしていると考えられるため、配合量と適切な混練により廃棄物処理場の負担を軽減でき、PIE工法の混和材に追加できる経済的な工

法として期待できる。

### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、岐阜大学応用生物科学部4年生の三島仁成君には実験・解析に多大な協力を頂いた。記して謝意を表します。

### 参考文献

1. PIE 工法とは：(株)白川工業  
<http://shirakawa-g.co.jp/pie.html>
2. 菊地弘視, 出村克宣:竹補強セメントモルタルの機械的性質, コンクリート工学年次論文集, VoL29, No.2, pp.794-798, 2007
3. 佐藤嘉昭, 大谷俊浩, 清原千鶴, 永松静也, 平居孝之, 小野篤徳:木炭と竹繊維を使用したセメント系複合材料の開発に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1025-1026, 2000.9

