

## PFBC 灰を用いた歩行者系舗装材料の力学特性

福岡大学大学院 学生員 川原健治  
 福岡大学工学部 正会員 佐藤研一 山田正太郎 藤川拓朗  
 ㈱NIPPO コーポレーション 法人会員 石田正志

**1.はじめに** 石炭灰を大別すると、微粉炭燃焼灰(FA 灰)と流動床燃焼灰(PFBC 灰)の 2 種類に分けられる。2 種類の石炭灰うち PFBC 灰は、CaO 含有量が多いことから自硬性を有するとされている<sup>1)</sup>。一方、歩行者系舗装における現在の主な利用分野としては歩道や公園内の遊歩道などがある。特に土質材料を用いた場合、舗装材料の強度が向上すれば利用範囲の拡大が望まれる。しかし、このような歩行者系舗装の設計法は、安全で快適な歩行性、材料の強度及び耐久性について明確な基準がないのが現状である。そこで本研究では、石炭灰の有効利用を目的とした新しい歩行者系舗装の設計法を提案するため、一軸圧縮試験結果より得られた材料力学特性と靱性の評価について検討した結果を報告する。

### 2.実験概要

**2-1 実験に用いた試料及び固化材** 実験には土質材料として、粒度分布の良いまさ土を使用した。また、固化材として流動床燃焼灰(PFBC 灰)を用いた。本研究で用いた PFBC 灰は、九州電力(株)苅田発電所新 1 号機産の加圧流動床灰(PFBC 灰)である。図-1 に土質材料及び PFBC 灰の粒径加積曲線を示し、表-1 に物理特性値を示す。PFBC 灰の比較試料として九州電力(株)松浦発電所 1 号機産のフライアッシュ(FA 灰)を示す。石炭灰について

は、ほとんどが細粒分で構成されており、PFBC 灰と FA 灰を比べると、PFBC 灰は FA 灰より粒径が大きいことが分かる。また、舗装材料のひび割れ防止のため、竹をチップ状に砕き湿潤状態にした竹チップを用いた。表-2 に石炭灰の化学組成を示す。表より、PFBC 灰は FA 灰と比較し CaO 含有量が非常に多いことが分かる。

**2-2 実験方法** 表-3 に試料の配合条件を示す。Case1 については土質材料の強度特性を把握するため、まさ土単体とし、Case2、3 については PFBC 灰を添加し、養生に伴う固結効果の評価を、Case4~9 については竹チップを添加し、材料の靱性評価を行った。試料の添加割合は 1m<sup>3</sup> 当たりの体積比(%)で配合を行った。実験は、締固め試験(A-c 法)を行い、最適含水量及び最大乾燥密度を求める。ここで含水量とは、材料の混合を体積比で配合設計したため、含水量として示している。一軸圧縮試験の供試体については、含水比を最適含水量に調整し、締固め密度を  $D=95\%$  ( $D= d/d_{max}$ )とした。また、一軸圧縮試験は 20 一定の恒温室による気中養生を行った。養生日数は 0、7、28 日で実施し、固化材の配合比または養生日数が強度に与える影響について検討する。

### 3.実験結果及び考察

**3-1 試料の締固め特性** 図-2(a)に固化材配合後の締固め特性を示す。PFBC 灰添加による細粒分の増加によって最大乾燥密度

$d_{max}$  が小さくなり、最適含水量の増加が見られる。図-2(b)に竹チップ配合後の締固め特性を示す。竹チップ添加量が同一の場合、PFBC 灰の増加に伴い最大乾燥密度  $d_{max}$  が小さくなり、最適含水量は増加している。

キーワード PFBC 灰, 一軸圧縮試験, 靱性, 竹チップ, 歩行者系舗装

連絡先 〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1 福岡大学工学部 道路・土質研究室 TEL092-871-6631

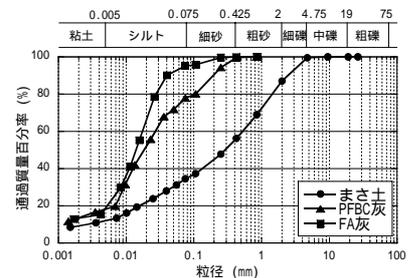


図-1 試料の粒径加積曲線

表-1 試料の物理特性値

	まさ土	PFBC灰	FA灰
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.612	2.919	2.297
自然含水比(%)	2.5	0.04	0.4
最大粒径(mm)	9.5	0.85	0.85
細粒分(%)	34.5	77.9	95.1
砂分(%)	52.5	22.1	4.9
礫分(%)	13	0	0
均等係数 $U_c$	208		
曲率係数 $U_c'$	1.78		

表-2 化学組成

	PFBC灰	FA灰
SiO <sub>2</sub>	25.2	54.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.7	27.6
CaO	40.5	7.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.0	6.4
MgO	1.5	0.9
Na <sub>2</sub> O	0.4	0.1
K <sub>2</sub> O	0.2	0.1
Ig-Loss	7.2	2.3

単位(%)

表-3 配合条件

Case	PFBC灰	竹チップ
Case1	0	0
Case2	10	0
Case3	30	0
Case4	0	5
Case5	10	5
Case6	30	5
Case7	0	10
Case8	10	10
Case9	30	10

単位(%)

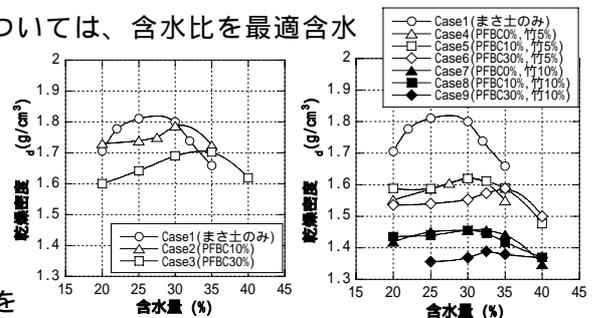


図-2 締固め特性

**3-2 PFBC 灰の固結効果** 図-3(a), (b)に養生7日及び28日の一軸圧縮試験結果を、図-4に一軸圧縮強さと養生日数の関係を示す。PFBC 灰を添加すると養生に伴う強度の増加が見られる。PFBC 灰添加率 10%と 30%を比較すると、養生28日において30%添加した試料の方が  $1\text{MN/m}^2$  程度大きな値を示している。これらの強度増加の要因はPFBC 灰中に多く含まれるCaOの水和反応によるものだと考えられる。また、固化材を添加した供試体の一軸圧縮せん断特性は、せん断初期にピーク強度を示し、直後に大きな強度低下する脆性的破壊の挙動を示している。

**3-3 竹チップ添加による靱性の評価** 今回検討した材料は、一般的な固化処理土と同様に破壊ひずみは小さく、破壊後に著しい強度の低下に伴う脆性的な破壊形態を示すことが明らかになった。そのため、舗装材料として用いる際に硬化等に伴うクラックや局所的な破壊が起こる可能性がある。このような脆性的破壊の改善策として、繊維やゴムチップなどの材料を混合した研究が行われている<sup>2), 3)</sup>。そこで本研究では、竹チップ添加による脆性的破壊の改善について検討した。竹チップを5%及び10%配合した材料の一軸圧縮試験結果を図-5に示す。竹チップの添加により、破壊ひずみ、残留ひずみ共に大きくなっており、図-3と比較すると破壊形態が延性的破壊形態に移行していることが分かる。ここで、靱性とは、単に強度だけでは表現しえない材料の粘り強さを言い、靱性を評価する指標<sup>1), 2)</sup>を表-4

のように定義する。一軸圧縮強さ  $q_{u\max}$  を破壊点とし、その時のひずみを  $q_{u\max}$  とした。残留状態はひずみが10%時の一軸圧縮応力を残留強度  $q_{u\text{res}}$  とし、残留状態のひずみを  $q_{u\text{res}}=10\%$  とした。本研究では、表-4に示す三つのパラメーターを用いて靱性の評価を行った。応力による検討を靱性度、応力ひずみによる検討を変形係数  $E_{50}$ 、仕事量による検討を応力ひずみ曲線で囲まれる部分の面積で行う。これらより、注意点として、養生日数や密度が異なるケースを比較することから、一軸圧縮強さ  $q_{u\max}$  で正規化した応力ひずみ曲線で考えることとした。

1) **応力による検討** 図-8に竹チップ添加率と靱性度の関係を示す。図より、竹チップ添加率の増加に伴い靱性度は大きくなっており、残留時において破壊後の応力低下が少ないことを示している。

2) **応力ひずみによる検討** 図-9に竹チップ添加率と変形係数の関係を示す。図より、竹チップ添加率の増加に伴い変形係数は小さくなっており、延性的破壊となっていることを示している。

3) **仕事量による検討** 図-10に竹チップ添加率と靱性ポテンシャルの関係を示す。図より、竹チップ添加率の増加に伴い靱性ポテンシャルが大きくなっており、材料の耐力が増していることが分かる。

**4.まとめ** PFBC 灰の固結効果の評価及び竹チップ添加による靱性の評価を行った結果、以下の知見を得た。

PFBC 灰を添加した試料は、養生に伴い強度増加し、高い固結効果が確認された。竹チップを10%程度混入させることにより脆性的破壊が改善されることが明らかとなった。

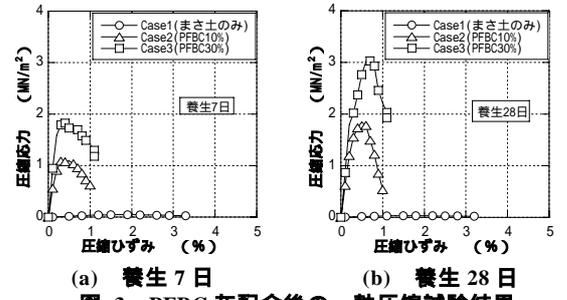


図-3 PFBC 灰配合後の一軸圧縮試験結果

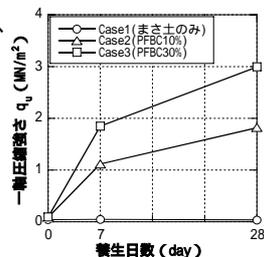


図-4 一軸圧縮強さと養生日数の関係

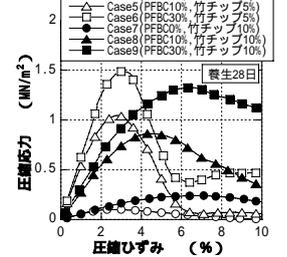


図-5 竹チップ配合による影響

表-4 靱性の評価指標<sup>1), 2)</sup>

パラメーター	靱性評価指標	呼称
応力	$q_{ures}/q_{u\max}$	靱性度
応力-ひずみ	$E_{50}$ $E_{50} = \frac{q_u}{50}$ (10に相当)	変形係数
仕事量	$W$ $W = \int_{0}^{q_{ures}} (q_f - q_{res}) d$	靱性ポテンシャル

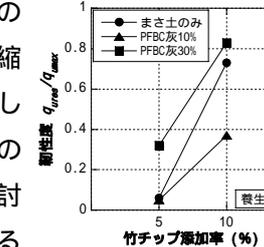


図-8 竹チップ添加率と靱性度の関係

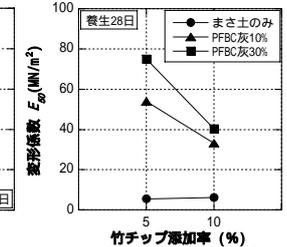


図-9 竹チップ添加率と変形係数の関係

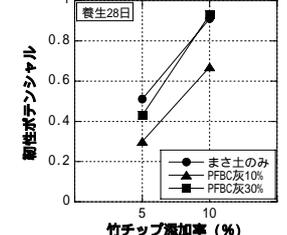


図-10 竹チップ添加率と靱性ポテンシャルの関係

【参考文献】1) 社団法人 土木学会等;石炭灰有効利用技術について -循環型社会を目指して- 報告書, pp48, 2003. 2) 森沢ら;ゴムチップ混合固化処理土の靱性向上効果,第6回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp359-364, 2005. 3) 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,人工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.