

# 石炭灰を用いた歩行者系舗装材料の力学特性

川原健治<sup>1</sup>・佐藤研一<sup>2</sup>・石田正志<sup>3</sup>・藤川拓朗<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 学生会員 福岡大学 大学院 (〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1)

<sup>2</sup> 正会員 博(工) 福岡大学 工学部社会デザイン工学科 (〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1)

<sup>3</sup> 法人会員 株式会社 NIPPO コーポレーション 九州支店 (〒810-0074 福岡県福岡市中央区大手門 2-1-34)

<sup>4</sup> 正会員 福岡大学 工学部社会デザイン工学科 (〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1)

近年、地球温暖化を背景に環境に優しい歩行者系の舗装が注目されている。一方、近年の原油高の影響から電気事業における石炭火力発電の需要が増加し、石炭灰の発生量も増加していることから有効利用の拡大は極めて重要課題となっている。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、2種類の石炭灰(FA 灰、PFBC 灰)を用いて材料力学特性の把握を行った。その結果以下の知見を得た。1) PFBC 灰を添加した材料は、FA 灰を添加した材料に比べ、優れた固結効果を有する。2) FA 灰を用いる際は、セメントと併用して使用することで PFBC 灰と同等以上の強度が得られる。3) 竹チップを10%程度混入させることにより舗装材料の脆性的破壊が改善される。

**Key Words** : pavement materials, coal fly ash, unconfined compression tests, bamboo chips

## 1. はじめに

歩行者系舗装に用いられる材料としては、瀝青材料、セメント、陶磁器、石材、合成樹脂材料、木材などであり、舗装の分類としては、アスファルト混合物系舗装、樹脂系混合物系舗装、セメントコンクリート系舗装、ブロック系舗装、二層構造系舗装、その他に分類される<sup>1)</sup>。

舗装の分類において、歩行者系土舗装はその他に分類されるが、近年、環境保全や地球温暖化、ヒートアイランド現象の緩和・軽減の点から注目されている。今のところ歩行者系土舗装の主な利用分野は公園、遊歩道、河川敷、庭園などに限られているが、舗装の強度が向上すれば利用範囲の拡大につながると考えられる。

しかし、現在の歩行者系舗装の設計法は、選択した土質材料に合わせて過去の経験を参考に舗装構成を決めているのが一般的である。したがって、その構造が妥当であったかどうかを耐久性、機能性、景観性等の観点から検証した例は少ない。耐久性に関していえば、加わる荷重に耐える材質と構造が要求され、気象条件などで材質の劣化や色彩の変化が少ないものが要求される。寒冷地の路面では凍害による剥離破損が懸念されるので、耐候性のある材料であることが要求される場合もある<sup>1)</sup>。このように要求される性能に対して、明確な基準が設けら

れていないのが現状である。

歩行者系舗装の材料特性としては、これまでにセメント改良土を用いた軸圧縮試験、カンタブロ試験及び回転磨耗試験の結果から材料特性の把握を行った研究<sup>2)</sup>やコルクを用いた土系舗装<sup>3)</sup>や樹脂を用いた歩行者系舗装に関する試験施工の研究は行われている<sup>4)</sup>。しかし廃棄物等のリサイクル材料を用いた歩行者系舗装材料に関する研究はほとんど報告されていない。

一方、石炭灰発生量は、平成15年度で約987万トンであり、前年度に対し約63万トン増加している。また、近年、原油高の影響から電気事業における石炭火力発電の需要が増加し、石炭灰の発生量も引き続き増加することが予想される。石炭灰の有効利用については、石炭灰発生量の約85%、838万トンが有効利用されているが、その他は灰捨て場に埋立て処分されている。今後は、大規模な灰捨て場の確保が困難になってきていることから有効利用拡大が極めて重要となっている。

また、石炭灰は灰の種類によってセメントと同様の固化材となることが知られている。しかし、石炭灰を固化材として使用する場合、一般的な固化処理土と同様に、脆性的破壊の挙動を示すことが予想される。このような材料を歩行者系土舗装の舗装材料として用いた場合、材

料の硬化等に伴うひび割れや歩行荷重による局所的な破壊を生じる恐れがある。そこで、脆性的破壊の改善策として、靱性を有する材料の添加を考える必要がある。靱性向上効果に関する研究として、森沢ら<sup>5)</sup>は、古タイヤをチップ状に破碎したゴムチップを用いて、固化処理土の靱性向上効果について報告している。また、高山ら<sup>6)</sup>は、古紙、ナイロン系、PET 短繊維補強材を用いて、気泡混合軽量土の脆性的挙動の改善効果について報告している。本研究では、脆性的破壊の改善を図る材料として、竹の繊維に着目した。その背景として、近年、竹や筍の輸入量の増大や代替材の進展等により、国産筍の価格低迷、竹製品の需要量の減少、生産者の減少・高齢化等が進み、多くの竹林が放置されるようになっており、竹林を保護するための伐採が行われている。しかし、竹は腐食しにくく、強い繊維質であり処分しづらい材料であることから、その有効利用法の検討が進められている。そこで本研究では、竹を繊維状に破碎した材料（以下竹チップ）を添加することで脆性的破壊の改善を図ると共に、竹の有効利用の拡大につなげる事を目的とする。

以上のことから本研究では、歩行者系舗装の現状と課題の把握、石炭灰の舗装材料への適用法の検討、竹による脆性的破壊の改善および有効利用の拡大に着眼した。本報告では、一般的な土系舗装材料の作製法に準じて、まさ土に2種類の石炭灰及びセメントを混合し、その材料特性について一軸圧縮試験から検討を行った。さらに材料に竹チップを混合させて靱性の評価を行い、竹チップの有用性についても検討した。

## 2. 石炭灰の有効利用

石炭灰については、燃焼方式<sup>7)</sup>の違いにより微粉炭燃焼方式と流動床燃焼方式の2つがある。現状は、微粉炭燃焼方式が主流であるが、近年、設備のコンパクト化が図れる事や、 $SO_x$ 、 $NO_x$ の発生を抑制できるという点から加圧流動床燃焼方式が実用化<sup>7), 8)</sup>されてきている。微粉炭燃焼方式から排出される石炭灰としては、大別すると電気集塵器で回収されるフライアッシュ（以下FA灰）とボイラ底部の水槽に落下体積したクリンカアッシュの2種類に分けられる。また、流動床燃焼方式から発生する石炭灰については、電気集塵器で回収されるフライアッシュ（以下PFBC灰）とボイラ底部で回収されるボトムアッシュの2種類がある。どちらの燃焼方式においてもフライアッシュの発生割合が約9割を占めている。

一般に、FA灰の化学成分は、主にシリカ・アルミナであることから、セメントの水和反応で生成する水酸化カルシウムとポゾラン反応を起こすような長期的に密実な構造が形成される。一方、PFBC灰の化学成分は、燃焼の際に石炭と石灰石を混合燃焼することから、CaOや

$SO_3$ がFA灰より多く、自硬性を有している<sup>7)</sup>。

また、石炭灰の有効利用を分野別に見るとセメント分野を筆頭に、土木、建築、農林、水産分野ですでに有効利用行われている。しかし、セメントの生産量は近年減少傾向にあり、今後も大幅な増産を見込むことは難しい状況にある。したがって、今後の石炭灰の増加に対処するためには、新しい分野での利用拡大が重要な課題となっており、特に大量利用の可能性の大きい土木材料としての利用が期待されている。

土木材料の分野における石炭灰の有効利用に関する研究は、例えば堀内ら<sup>9)</sup>は、10種類のFA灰を用い、石炭灰の土木材料としての利用に関する研究として、分割添加スラリーの原理と適用性について報告をしている。また、五十嵐ら<sup>10)</sup>は、発生炉の異なるFA灰及び比較試料としてPFBC灰を用いて、セメントを添加したフライアッシュの不良土改良特性に関する研究を報告している。また、越川ら<sup>11)</sup>は、下層路盤への石炭系固化材の適用として、PFBC灰を固化材として用いた研究を報告している。このように、石炭灰を土木材料として有効利用するための研究や、石炭灰を地盤改良材、道路路盤材、路床材としての研究は既に数多くなされ、実用化されているものも多い。

以上のように、石炭灰は種類により自硬性を有する性質もあることを考え、更なる石炭灰の有効利用の拡大につながればと考え、本研究では固化材として石炭灰を用いることとした。

## 3. 試料および実験方法

### (1) 試料

舗装材料の作製に用いた土質材料は、福岡県の大宰府まさ土である。また、固化材として用いた石炭灰は、九州電力(株)の微粉炭燃焼方式により発生したFA灰と加圧流動床燃焼方式より発生したPFBC灰である。また、副材としてセメント添加による強度増加を期待し、高炉セメントB種を用いた。

図-1に土質材料及び石炭灰の粒径加積曲線を示し、表-1に土質材料、石炭灰、竹チップの物理特性を示す。

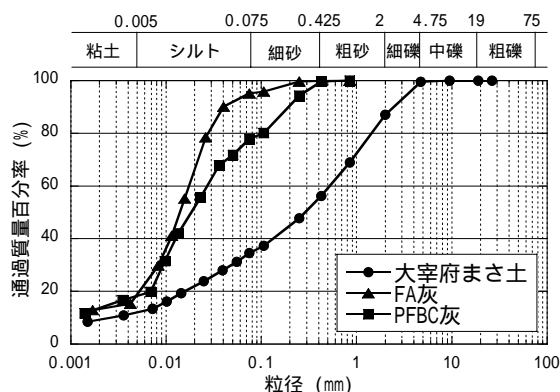


図-1 土質材料及び石炭灰の粒径加積曲線

表-1 試料の物理特性

	まさ土	FA灰	PFBC灰	竹チップ
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.612	2.297	2.919	1.514
自然含水比 (%)	2.5	0.4	0.04	21.7
最大粒径 (mm)	9.5	0.85	0.85	
細粒分 (%)	34.5	95.1	77.9	
砂分 (%)	52.5	4.9	22.1	
礫分 (%)	13	0	0	
均等係数 $U_c$	208			
曲率係数 $U_c'$	1.78			

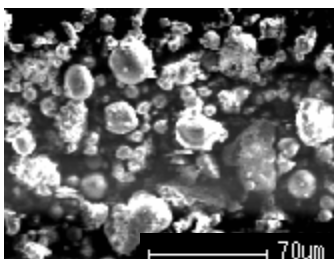


写真-1 FA 灰の電子顕微鏡写真

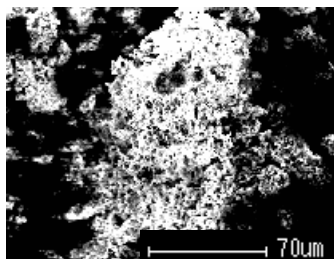


写真-2 PFBC 灰の電子顕微鏡写真

表-2 石炭灰の化学成分

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

単位 (%)



写真-3 竹チップ

また、写真-1 及び写真-2 に FA 灰と PFBC 灰の電子顕微鏡写真を示す。

大宰府まさ土は、広い粒度分布を有する材料である。石炭灰は、ほとんどが細粒分で構成されており、FA 灰と PFBC 灰を比べると、FA 灰は PFBC 灰より粒径が小さいことが分かる。このことは、写真-1 及び写真-2 を見ても分かるように、石炭灰粒子が FA 灰のほうが細かく球状であることに起因していると考えられる。

表-2 に 2 種類の石炭灰の化学成分を示す。石炭灰の化学成分は、一般的な FA 灰と PFBC 灰同様<sup>5)</sup>に FA 灰では、SiO<sub>2</sub> 及び Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の成分が 80%以上を占めている。一方 PFBC 灰では、CaO 含有量が FA 灰に比べて約 40%と多

表-3 試料の配合条件

配合番号	使用する石炭灰	石炭灰	セメント	竹チップ
Case1	—	0	0	0
Case2	FA灰	10	0	0
Case3		30	0	0
Case4		10	10	0
Case5		30	10	0
Case6	PFBC灰	10	0	0
Case7		30	0	0
Case8		10	0	5
Case9		30	0	5
Case10		10	0	10
Case11	—	30	0	10
Case12		0	0	5
Case13		0	0	10

単位 (%)

い。SiO<sub>2</sub> は、FA 灰の半分以上と少なく、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> も含有量が少ないことが大きな違いである。

写真-3 に竹チップを示す。竹チップは、伐採された竹を破砕機により繊維状に破砕したものであり、初期含水比は約 20%の湿潤状態のものを使用した。

## (2) 実験方法

表-3 に試料の配合条件を示す。試料の配合については、内割り配合で 1m<sup>3</sup> 当たりの体積比で配合を行った。

Case1 については、土質材料の強度特性を把握するために固化材の添加を行わないものとした。Case2～7 については、固化材として石炭灰及びセメントの添加率を変え、養生に伴う固結効果の把握を行った。Case8～13 については PFBC 灰を添加した試料に対し、竹チップを 5、10%の 2 種類添加し、材料の靱性評価を行った。Case12 及び Case13 については、Case1 同様、固化材 (PFBC 灰) の添加を行わずに土質材料の靱性の把握を行った。

今回の実験では、石炭灰を固化材としており、セメントは副材として捉えているため、セメントのみ添加しての固結効果の把握は行っていない。

実験は、力学試験の供試体密度決定のために締固め試験 (JIS A 1210, A-c 法) を行い、最適含水比及び最大乾燥密度を求めた。ここで、材料の混合をそれぞれのケースにおいて試料全体で 1m<sup>3</sup> となるように内割り配合 (体積比) で設計配合しており、一般的な含水比ではなく配合含水比で示している。なお、締固め試験では、石炭灰が非常にポーラスな材料で粒子破砕しやすいという特徴を有していることから、粒子破砕の影響が小さい非繰返し法を選択した。

一軸圧縮試験用の供試体は、締固め試験の結果から締固め度  $D=95\%$  ( $D = d/d_{max}$ ) で、 $\phi=50 \times h=100\text{mm}$  のモールド内に 5 層で突き固め作製した。

養生方法については、気中養生を行った。気中養生の供試体は、ラップで密封し、20 一定の恒温室で養生を行った。養生日数は 0、7、28 日とし、各養生日数経過後、一軸圧縮試験を実施し、固化材の配合比または養生日数、の違いが強度に与える影響について検討した。

## 4. 実験結果及び考察

### (1) 試料の締固め特性

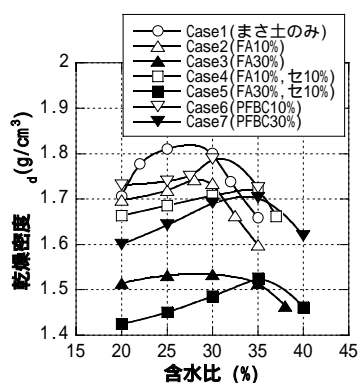


図-2 固化材のみ添加した試料の締固め曲線

表-4 固化材配合後の締固め試験結果

配合番号	配合条件	最大乾燥密度 dmax(g/cm <sup>3</sup> )	最適含水比 (%)
Case1	まさ土のみ	1.786	27.3
Case2	FA10%	1.742	28.6
Case3	FA30%	1.535	28.5
Case4	FA10%, C10%	1.720	34.1
Case5	FA30%, C10%	1.523	35.2
Case6	PFBC10%	1.789	30.9
Case7	PFBC30%	1.706	33.6

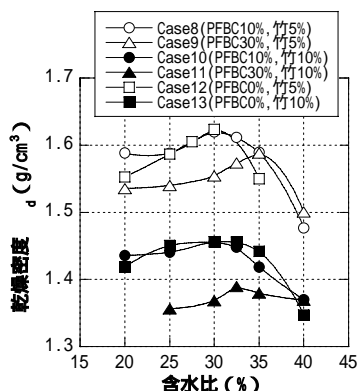


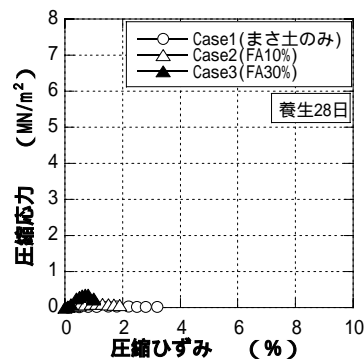
図-3 固化材と竹チップを添加した試料の締固め曲線

表-5 固化材及び竹チップ配合後の締固め試験結果

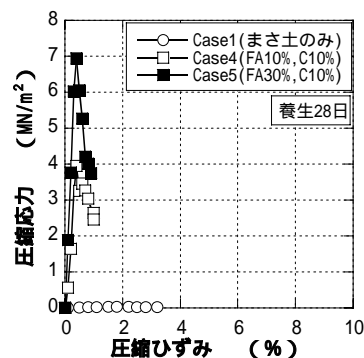
配合番号	配合条件	最大乾燥密度 dmax(g/cm <sup>3</sup> )	最適含水比 (%)
Case8	PFBC10%, 竹5%	1.618	30.6
Case9	PFBC30%, 竹5%	1.585	35.0
Case10	PFBC10%, 竹10%	1.456	30.3
Case11	PFBC30%, 竹10%	1.387	32.6
Case12	PFBC0%, 竹5%	1.620	30.3
Case13	PFBC0%, 竹10%	1.456	30.3

図-2 に固化材のみ添加した Case2 ~ Case7 の締固め試験結果を示す。また、表-4 に締固め試験より得られた最適含水量と最大乾燥密度を示す。Case1 については、固化材の添加による影響を把握するため比較試料として示している。

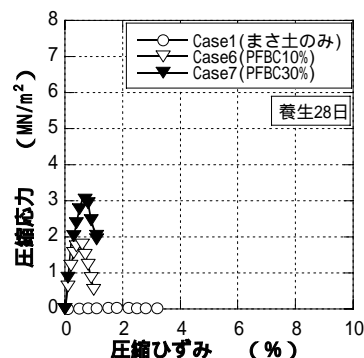
石炭灰を混合した材料の締固め特性は、FA 灰、PFBC



(a) FA 灰添加



(b) FA 灰とセメント添加



(c) PFBC 灰添加

図-4 一軸圧縮試験結果

灰共に、添加率を増加させると、最大乾燥密度は減少し、最適含水量は増加していることが分かる。これは、固化材を添加したことにより、試料の細粒分が増加したことに起因しているものと推察できる。また、FA 灰を添加した試料と PFBC 灰を添加した試料の締固め特性とでは、同一の配合条件において、PFBC 灰を添加した試料の最大乾燥密度が大きくなっており、締固め特性が良いことが示された。これは、図-1 の粒径加積曲線及び写真-1、写真-2 に示す電子顕微鏡写真の様子から分かるように、PFBC 灰は FA 灰に比べ粒径が大きく、ポーラスな粒子形状であることに起因しているものと推察できる。

図-3 に固化材と竹チップを添加した Case8 ~ Case13 の締固め試験結果を示す。表-5 に締固め試験より得られた最適含水量と最大乾燥密度を示す。竹チップを添加した

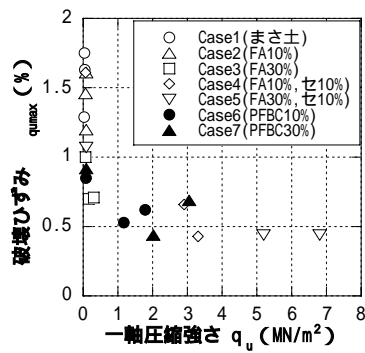


図-5 一軸圧縮強さと破壊ひずみの関係

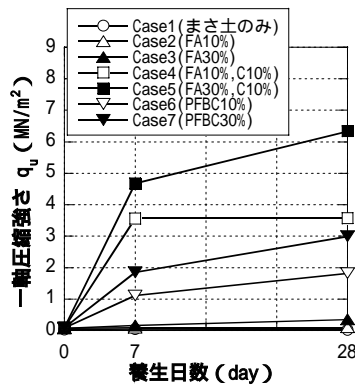


図-6 養生日数と一軸圧縮強さの関係

ことにより、乾燥密度が急激に低下している。これは、竹チップの密度が小さく、内割り配合であるため、竹チップ添加率の増加に伴い土質材料の割合が減った事に起因しているものと考えられる。竹チップを混合させた材料の締固め特性は石炭灰の添加量に関わらず竹チップの添加量に依存していることがわかる。

## (2) 固化材添加による一軸圧縮特性

図-4 (a), (b), (c)に28日間養生させた各ケースの一軸圧縮試験結果を示す。土質材料にFA灰とセメント及びPFBC灰を混合させた場合、養生に伴う強度発現が顕著であることが分かる。これに対し、FA灰のみの添加では、あまり大きな強度発現が望めないことがわかる。

特に、FA灰30%にセメント10%を混合したCase5が最も大きな強度を示した。FA灰のみの結果と比較するとFA灰とセメントの混合は材料の強度発現にかなり効果的であることも分かる。

図-5に28日養生させた各ケースの一軸圧縮強さ $q_u$ と破壊ひずみ $q_{umax}$ の関係を示す。一軸圧縮強さが増加するに従って破壊ひずみは0.5%付近で破壊に至っていることがわかる。このことは、石炭灰とセメントの配合によって材料の強度を増加させると同時に破壊ひずみが小さく、剛性力のある材料になることを示している。

また、特に強度発現が顕著であった材料は、いずれも破壊ひずみが1%以下と小さく、剛性があることから脆性的な破壊を示すことも明らかになった。このような特

表-6 靱性の評価指標<sup>5), 6)</sup>

パラメーター	靱性評価指標	呼称
応力	$q_{ures}/q_{umax}$	靱性度
仕事量	$\frac{W}{(q_{umax} \times (q_{ures} - q_{umax}))}$ ( $P_1/(P_1+P_2)$ に相当)	靱性ポテンシャル
	$W = \int_{q_{ures}}^{q_{umax}} (q_f \sim ) d$	

性は、舗装材料にとって歩行荷重等によるひび割れの大きな原因となり、足にとって硬い感触の舗装材料となることが示唆される。図-6に養生日数の経過に伴う一軸圧縮強さ $q_u$ の発現過程を示す。FA灰とセメント添加及びPFBC灰を添加した場合、どの試料も養生7日目までに大きな強度発現が見られる。FA灰30%とセメント10%添加したCase5及びPFBC灰を添加した試料は7日目以降も徐々にではあるが強度が増加している。これに対し、FA灰10%とセメント10%を添加したCase4は1週間程度で強度発現は終了している。このことから、舗装体の強度を基準に考える場合、養生7日目までの強度発現を考慮する必要があることが分かる。

## (3) 竹チップ添加による靱性の評価

### a) 靱性の評価方法について

今回検討した材料は、固化材を添加しているため、一般的な固化処理土と同様に破壊ひずみは小さく、破壊後の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(図-5)。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。そこで本研究では、竹チップ添加により脆性的破壊の改善を図ることを検討した。

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いう。そこでこの特性を定量的に評価するため一軸圧縮試験より得られた応力ひずみ曲線より靱性を評価する。靱性を評価する指標を表-6のように定義する。

破壊点とは、一軸圧縮強さ $q_{umax}$ を破壊点とし、その時のひずみを $q_{umax}$ 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 $q_{ures}$ とし、残留状態のひずみを $q_{ures}=10\%$ とした。そして、評価指標を定義する上で、応力と仕事量(力×変位量)の二つをパラメーターとした。応力は、 $q_{umax}$ と $q_{ures}$ であり、仕事量は応力ひずみ曲線で囲まれる部分の面積で示すことができる。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 $q_{umax}$ で正規化した応力ひずみ曲線で考えることとした。

また、靱性度は、材料の破壊後の応力低下の度合いを表すものである。一方、靱性ポテンシャルは、破壊後の



材料の耐力を表すものであり、どちらも、その値が1に近いほど靱性を有していることを示す。

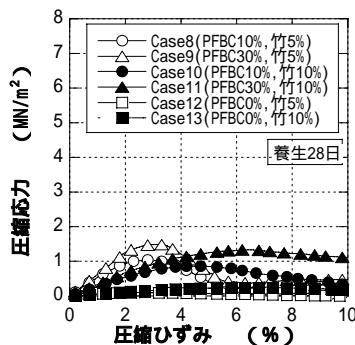


図-7 竹チップ添加した試料の一軸圧縮試験結果

#### b) 竹チップを添加した試料の破壊形態の把握

図-7 に竹チップを添加し 28 日養生させた材料の一軸試験結果を示す。竹チップを添加したことにより、破壊ひずみが著しく大きくなっており、図-4(c)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。また、竹チップの添加率が5%の材料と10%の材料を比較すると、破壊ひずみが大きくなっていることが分かる。

#### c) 竹チップ添加による靱性の評価

図-8 に竹チップ添加率と靱性度の関係を示す。図より、どの試料においても、竹チップ添加率の増加に伴い靱性度は大きくなっていることから、残留時において破壊後の応力低下が小さいことを示している。気中養生の試料に関しては、竹チップ添加率の増加に伴い、靱性度が約0.3～0.5程度増加していることが分かる。

図-9 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の値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。靱性ポテンシャルにおいても、竹チップ添加率が増加すると0.3～0.4程度の増加が見られることを示している。竹チップの添加は、材料の靱性力の増加に効果的であることが示された。

## 5. まとめ

本研究では、歩行者系舗装材料の開発を目的とし、土質材料として用いた大宰府まさ土に発生炉の異なる2種類の石炭灰添加を行い、気中養生により固化材(石炭灰)の固結効果及び力学特性の把握をおこなった。さらに、舗装材料の乾燥収縮に伴うひび割れ等の防止を目的とし、竹チップの添加を行い、一軸圧縮試験の結果から靱性の評価を行った。研究で得られた知見をまとめると以下の通りである。

- (1) 材料の固結効果の検討した結果、FA 灰とセメントを添加することにより、大きな強度発現を得ることができる。

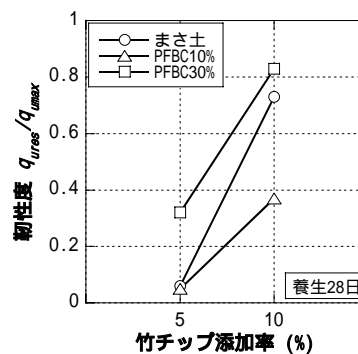


図-8 竹チップ添加率と靱性度の関係

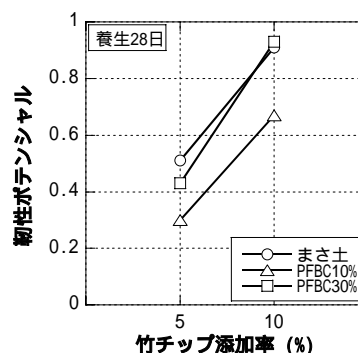


図-9 竹チップ添加率と靱性ポテンシャルの関係

- (2) PFBC 灰を添加した試料については、FA 灰のみを添加した試料に比べ、優れた固結効果を示した。
- (3) 舗装体の強度を考える場合、養生7日目までの強度発現を考慮する必要があることが明らかになった。
- (4) 竹チップ添加による靱性の評価を行った結果、竹チップ添加率を10%程度添加することで、脆性的破壊の改善ができることが示された。

謝辞：本研究において使用した石炭灰は、九州電力(株)から提供していただいた。また、竹チップについても(株)林田産業より提供して頂いた。記して感謝する次第である。

## 参考文献

- 1) 土木学会：舗装工学，pp. 401-406，1995.
- 2) 佐藤研一：セメント改良土を用いた歩行者系舗装の材料特性，土木学会論文集，Vol. 62, No. 4, pp. 689-697，2006.
- 3) 松本光久，本間正弘，小橋弘美：コルクを用いた土系舗装，第23回日本道路会議論文集，pp. 336-337，1999.
- 4) 斉藤昌之，金森功，高橋章：樹脂を用いた歩行者系舗装，第22回日本道路会議論文集，pp. 594-595，1997.
- 5) 森沢友博，御手洗義夫，安原一哉，菊池喜昭，Ashoke K Karmokar：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，pp. 359-364，2005.
- 6) 高山英作，落合英俊，安福規之，大嶺聖，小林泰三：短繊維

- 維材添加による気泡混合軽量土の脆性的挙動の改善，地盤工学会九州支部 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，pp. 55～58，2005
- 7) 社団法人 土木学会，エネルギー土木委員会，新技術・エネルギー小委員会，石炭灰有効利用分科会：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，pp. 3-7，2003.
  - 8) 環境技術協会，日本フライアッシュ協会：石炭灰ハンドブック，pp. -133，2005.
  - 9) 堀内澄夫，玉置克之，尾上篤生，後藤茂：石炭灰の土木材料としての利用に関する研究(その7)-分割添加スラリーの原理と適用性-，第 19 回土質工学会研究発表会講演集，pp. 1503-1504，1984.
  - 10) 五十嵐由一，小野寺収：セメントを添加したフライアッシュの不良土改良特性，土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集，pp. 71-72，2002.
  - 11) 越川康弘，矢ノ川実，斎藤直：下層路盤への石炭系固化材の適用，第 25 回日本道路会議論文集，No. 9110，2003.

## MECHANICAL PROPERTIES OF PAVING MATERIAL OF PEDESTRIANS-FRIENDLY PAVEMENTS USING COAL FLY ASH

Kenji KAWAHARA, Kenichi SATO, Masashi ISHIDA and Takuro FUJIKAWA

Materials for paving on the pedestrians-friendly pavements, which are constructed as the pavements and the promenade in parks, attracts attention, because it is welcomed as eco friendly method considered recent global warming. On the other hand, under the recent influence of rising crude oil price, the demand of thermal power generated by coal has been growing, causing a large amount of coal fly ash. However as securing the large scale of disposal site has been getting more difficult, widening effective utilization of coal ash has become a fairly critical theme. Considering those conditions, this study concludes the properties of the strength of materials using two types of coal ash, PFBC and FA. And then we tried to improve the vulnerability by adding the wasted bamboo crashed to the chip state as a step against the crack. The main conclusions are summarized as follows: 1) Materials added PFBC ash has prominent congealment effect, compared with material added FA ash. 2) In case of using of FA ash, it is possible for the material to gain the higher strength than the PFBC's at the same level, by mixing cement. 3) Destruction due to vulnerability is restrained by mixing 10 percent bamboo chips.