

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420437

研究課題名(和文) リサイクルできる石灰石・フライアッシュコンクリート舗装の耐久性と環境負荷の評価

研究課題名(英文) Durability and Environmental Impact of Recyclable Concrete Pavement Made with Limestone and Fly-ash

研究代表者

吉武 勇 (Yoshitake, Isamu)

山口大学・創成科学研究科・准教授

研究者番号：10335771

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：石炭火力発電所から排出されるフライアッシュをコンクリートに混和することで性能向上が期待できることから、セメントの一部代替材としてしばしば使われる。石灰石骨材でつくったフライアッシュコンクリートは、セメント製造の原料としてリサイクルできる可能性もある。この研究の目的は、十分な強度特性(特に初期強度)を満足し、セメント原料としてリサイクル可能なコンクリート舗装を開発することである。本研究では、曲げ強度を基に配合を決定した。その上で疲労や摩耗といった耐久試験を実施し、リサイクル可能なコンクリートの適用性を確かめた。試験結果より、リサイクル性に加え、十分な強さ発現性と耐久性を確かめた。

研究成果の概要(英文)：Fly ash collected from coal-burning power plants has remarkable properties that can improve the performance of cement concrete when added, and the powder material is thus often used as a supplemental binder of Portland cement in concrete (fly ash concrete). The fly-ash concrete made with limestone aggregate may be recyclable as raw material for cement production. The foci of this study were to achieve high early strength development of fly-ash concrete and to develop a recyclable concrete pavement. The study investigated the mixture proportioning of the recyclable concrete based on the flexural strength. In addition, some durability tests (fatigue, abrasion etc) were conducted to confirm the applicability of the recyclable concrete. Test results confirmed the adequate strength development and durability as well as recyclability.

研究分野：土木工学

キーワード：コンクリート舗装 リサイクル セメント 石灰石 フライアッシュ 耐久性

### 1. 研究開始当初の背景

国内における高速道路や一般国道，都道府県道においては，アスファルト舗装が延長比で95%程度を占めており，コンクリート舗装はわずか5%以下にすぎない．今後，社会資本投資も減少していく情勢において，コンクリート舗装に比べて，轍が生じやすく寿命の短いアスファルト舗装を，これまでのように建設していけば，その維持管理・更新費用に逼迫され，適切な道路ネットワークを形成できなくなることは必至である．コンクリート舗装は，一般的なコンクリート構造の中でもセメント量が多いものである．また近年ではIDAY PAVEのように，できるだけ早期に交通開放が求められるようになり，しばしば早強セメントが使用されている．このようなセメント量の増加は不経済であるばかりか，セメント製造に伴うCO<sub>2</sub>排出量の増大をもたらす．そのため，セメント使用量をできるだけ減らした環境に優しいコンクリート舗装が今後の持続的社會において求められる．

### 2. 研究の目的

石炭火力発電所から定常的に排出される石炭灰のうち，約9割を占めるフライアッシュ(FA)は，環境負荷低減の観点から，その有効活用が求められる．本研究では，フライアッシュをセメント代替材としてできるだけ大量活用し，セメント量の低減を図ったコンクリート舗装を目指した．具体的にはフライアッシュをセメント代替材(結合材量の40%程度)として大量使用し，全ての骨材を石灰石とすることで，経済性および長期耐久性に優れ，さらに解体後はセメント製造の主原料にできるコンクリート舗装の開発を目的とした．

### 3. 研究の方法

コンクリート舗装に求められる性能のうち，耐久性・使用性の観点から疲労試験・凍結融解試験・摩耗(ラベリング)試験・すべり抵抗性試験を実施した．さらにフライアッシュコンクリート舗装の化学組成分析を行うとともに，同コンクリート塊を用いてポルトランドセメントを試作し，その物理的・化学的性状を調べた．

### 4. 研究成果

本研究で検討した舗装コンクリートの曲げ強度試験結果を図-1に示す．フライアッシュを混和したコンクリート(M-1・M-2・M-3)は初期強度が基準コンクリート(M-0)に比べて劣るものの，長期強度においては同等レベルにまで達した．また石灰石微粉末を混和したコンクリート(M-1)は，同等配合で混和しないコンクリート(M-2)に比べて初期強度発現が若干優れる傾向にあった．なお単位水量が多く有スランプのフライアッシュコンクリート(M-3)は，他のフライアッシュコンクリートよりも曲げ強度は低下する

が，舗装コンクリートに求められる曲げ強度4.5MPaを十分に満足し，既往の研究で報告されるフライアッシュコンクリート舗装に比べても高い曲げ強度を示した．

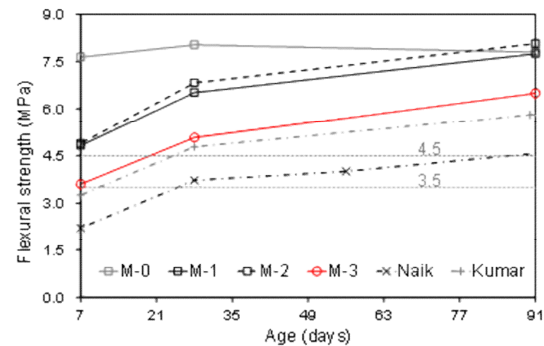


図-1 曲げ強度

このコンクリートで試製したリサイクルセメントの化学成分を図-2に示す．M-1とM-3に有意な差異はみられないが，いずれもJIS R 5210で規定される基準を十分に満足し，さらに物理試験も満足できるものであったことから，フライアッシュを大量に用いた石灰石コンクリート舗装は，次世代のセメント原料として利活用できることが確認された．なお同コンクリートを石灰石代替材として100%用いたリサイクルセメントであっても，フライアッシュに微量に含まれる重金属等の影響は全くみられず，同フライアッシュコンクリートをセメント原料の一部代替材として用いることを想定すると，環境への影響は事実上無視できるレベルにあることがわかった．

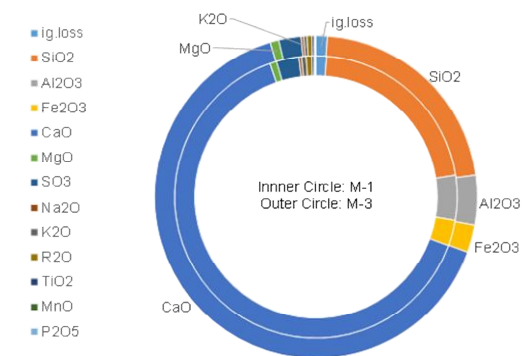


図-2 リサイクルセメントの化学成分

舗装コンクリートに求められる耐久性のうち，輪荷重に対する曲げ疲労特性や凍結融解抵抗性については，従来の舗装コンクリートと遜色ないレベルにあることが確認され，これらはフライアッシュや石灰石を用いるコンクリート舗装において特有の問題はみられないことが分かった．一方，石灰石を用いることで懸念されるのが，耐摩耗性の低下やすべり抵抗性である．そこでアスファルト舗装の標準的な試験法であるラベリング試験およびすべり抵抗性試験を実施した．

その結果、図-3 に示すように硬質砂岩を用いた標準的な舗装コンクリート（C.M.）に比べ、石灰石を用いたコンクリートはいずれも摩耗損量が大きい傾向にあった。さらにフライアッシュ混和量が大きくなるにつれて（凡例の末尾数字がフライアッシュ量  $\text{kg/m}^3$  を示す）、摩耗損量が大きくなる傾向がみられた。ただし、これらの石灰石・フライアッシュコンクリートであっても、アスファルト舗装で規定される摩耗損量の基準値を十分に満足できるものであった。さらにすべり抵抗性を示す BPN 値で比べると、図-4 に示すように基準コンクリートと遜色ない値を示したから、本研究で検討したセメント原料としてリサイクル可能な石灰石・フライアッシュコンクリート舗装は、実用上でも十分に利用可能であることが示唆された。

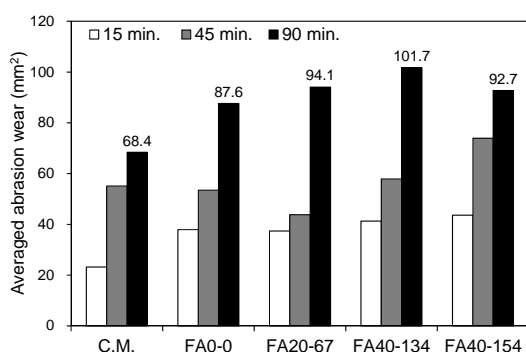


図-3 ラベリング試験結果

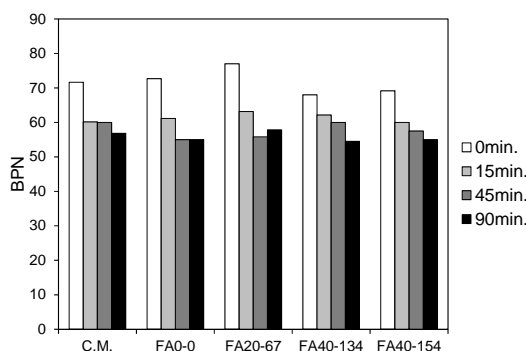


図-4 すべり抵抗試験結果（湿潤）

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3件)

Isamu YOSHITAKE, Sayaka UENO, Yuta USHIO, Hiroki ARANO and Sunao FUKUMOTO: Abrasion and Skid Resistance of Recyclable Fly Ash Concrete Pavement Made with Limestone Aggregate, *Construction and Building Materials*, Elsevier, 査読有, Vol.112, pp.440-446, 2016.6.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.185>

Isamu YOSHITAKE, Takeo ISHIDA and Sunao FUKUMOTO: Recyclability of Concrete Pavement Incorporating High

Volume of Fly Ash, *Materials*, MDPI, 査読有, Vol.8, No.8, pp.5479-5489, 2015.8.

<http://www.mdpi.com/1996-1944/8/8/5260>

時國裕也, 上野沙也加, 牛尾祐大, 福本直, 吉武 勇: 石灰石微粉末を用いて初期強度を改善した FA 置換率 40% の舗装コンクリートの曲げ強度特性, *材料*, 査読有, Vol.63, No.10, pp.710-715, 2014.10. <http://dx.doi.org/10.2472/jsms.63.710>

〔学会発表〕(計 8件)

Isamu YOSHITAKE, Sunao FUKUMOTO, Takeo ISHIDA and Koichiro YAMATO: Experimental Investigation of a Recyclable Fly-Ash Concrete Pavement Having Moderate Slump, *11th International Conference on Concrete Pavement*, 2016.8.31. サンアントニオ（アメリカ）田中裕隆, 荒野浩輝, 大和功一郎, 福本直, 吉武 勇: セメント原料としてリサイクル可能なフライアッシュコンクリート舗装の基礎的特性, 土木学会中国支部第 68 回研究発表会, 2016.5.21. 広島工業大学（広島県広島市）

Isamu YOSHITAKE, Takeo ISHIDA and Sunao FUKUMOTO: Recyclability of Fly Ash Concrete Pavement Made with Limestone Aggregate, *ISEC-8*, 2015.11.16. シドニー（オーストラリア）

牛尾祐大, 吉武 勇, 石田剛朗, 福本直: フライアッシュコンクリート舗装から試製したリサイクルセメントの物性評価, 土木学会第 70 回年次学術講演会, V-368, 2015.9.17. 岡山大学（岡山県岡山市）

Isamu YOSHITAKE, Sayaka UENO, Takeo ISHIDA, Yuya TOKIKUNI and Sunao FUKUMOTO: Recyclable High Volume Fly Ash (HVFA) Pavement Concrete Using Limestone Aggregate, *12th International Symposium on Concrete Roads*, 2014.9.23. プラハ（チェコ）

上野沙也加, 牛尾祐大, 吉武 勇, 福本直: セメント原料としてリサイクル可能なフライアッシュコンクリート舗装の曲げ・疲労強度, 土木学会第 69 回年次学術講演会, V-636, 2014.9.12. 大阪大学（大阪府吹田市）

牛尾祐大, 上野沙也加, 吉武 勇, 福本直: 石灰石骨材を用いた FA 舗装コンクリートの摩耗・すべり特性, 土木学会中国支部第 66 回研究発表会, V-08, 2014.5.31. 松江工業高等専門学校（島根県松江市）

上野沙也加, 吉武 勇, 牛尾祐大, 福本直: 石灰石骨材を用いたフライアッシュコンクリート舗装の曲げ強度とすべり抵抗性, 第 68 回セメント技術大会, 2014.5.13. ホテルメトロポリタン（東京都豊島区）

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

吉武 勇 (YOSHITAKE, Isamu)  
山口大学・大学院創成科学研究科・准教授  
研究者番号：10335771

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

##### (4) 研究協力者

( )