

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：23201  
研究種目：基盤研究(C) (一般)  
研究期間：2013～2015  
課題番号：25420461  
研究課題名(和文) 再生骨材とフライアッシュを組み合わせたコンクリート構造物のリサイクル技術の開発

研究課題名(英文) Development on the recycling technology of the concrete structure which put recycled aggregate and fly ash together

研究代表者  
伊藤 始 (Ito, Hajime)  
富山県立大学・工学部・准教授

研究者番号：10553133  
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：石炭火力発電所からの産業副産物であるフライアッシュ(FA)と、解体コンクリートからの再生骨材を用いた構造物のリサイクル技術を研究した。研究ではFAを混和した再生骨材コンクリートを構造物に使用するための基礎性能を知ることが目的で、3つの課題の解決に取り組んだ。1つ目はコンクリートの老朽化の目安を知るために耐久性能を把握した。2つ目はFAや再生骨材を用いたときの力学性能の変化を把握した。3つ目は実際の構造物を設計するために数値解析手法を確立した。

研究成果の概要(英文)：Recycling technology of structures was studied. In this study, the fly ash from a thermal power station and the recycled aggregate from concrete flake were used. Three examinations were carried out in the purpose of knowing the basic performance of concrete which used the fly ash and the recycled aggregate. Firstly, the durability was confirmed for knowing about deterioration progress of the concrete. Secondly, the mechanical property by using the recycled aggregate was confirmed. Thirdly, the numerical analysis method was established for designing of actual structure.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：建設材料  
リサイクル 再生骨材 フライアッシュ 塩害 アルカリ骨材反応 コンクリート 構造設計

1. 研究開始当初の背景

高度経済成長期に建設された橋梁やビルなどのコンクリート構造物は、老朽化が進行し、近い将来建て替えが必要となる。建て替える際にコンクリート塊が廃棄物として発生するとともに、再建設時に天然骨材を使用することになる。これら廃棄物処分と天然資源枯渇の2つの問題を解決する骨材リサイクルの方法に「再生骨材コンクリート」の技術がある。しかし、再生骨材コンクリートは、骨材に付着したモルタル分が弱点となり、力学性能が低下することから重要構造物に利用されていない現状がある。また、コンクリート塊の出どころの特定が困難なため、アルカリ骨材反応 (ASR) を起こす反応性骨材の可能性があり、耐久性確保の問題がある。特に、北陸地方では、1970 年ごろに建設された構造物に ASR が多く見られるため、耐久性確保が重要である。

一方、石炭火力発電所では、原子力発電所の停止により発電量が増加し、それに伴って産業副産物であるフライアッシュ (石炭灰の 9 割) の発生量が増加して最終処分される量が増加しているため、利用拡大が強く求められている。「フライアッシュ混和コンクリート」は、ポゾラン反応による細孔充填性があり、普通セメントを用いたものに比べてセメント代替による CO<sub>2</sub> 削減、緻密化による力学性能向上、緻密化による耐久性向上、ASR 抑制効果等の長所がある。

このような状況から、「再生骨材コンクリート」に「フライアッシュ」を組み入れることは、通常のコンクリートと同等の性能を有し、環境負荷の少ないコンクリート構造物のリサイクル技術を実現することにつながる。このコンクリートの環境負荷低減のメリットは、産業廃棄物の削減、産業副産物の利用、天然骨材利用の軽減、CO<sub>2</sub> の削減の 4 つである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、フライアッシュを混和した再生骨材コンクリートを構造物のリサイクルに利用する手法の開発である。この手法は、構造物に要求される構造性能と耐久性に応じて、再生骨材の品質 (低・中) や FA 混和の有無 (有・無) 短繊維による補強 (0.5%、1.0%) 等のメニューから適切な混和条件 (配合条件) の選定につなげるものである。

本申請では研究期間に、図 - 1 (数字) の「課題」～「課題」を、要素試験と有限要素解析を用いて検討する。

耐久性向上の確認

FA 混和による耐久性の違いを実験的に検討する。その中では ASR の抑制効果も評価する。耐久性は主に塩害、ASR を対象とする。

力学性能の把握と構成則の確立

力学性能実験から得る関係式や破壊エネルギーを通し、材料構成則を確立する。力学性能は主に圧縮特性と引張特性を対象とす

る。

構造設計手法の確立

得た材料構成則を解析プログラムに導入し、混和条件ごとの構造性能を検討する。結果から、実構造物を対象とした設計手法を確立する。

3. 研究の方法

本研究では、図 - 1 の研究課題 ～ を達成するために下記を実施した。(表 - 1)

課題 : フライアッシュを混和した再生骨材コンクリートを用いて、混和条件 (再生骨材の品質、FA 混和の有無等) を変えた供試体に塩分浸透試験を実施し、塩害への抵抗性を評価した。同様の条件で ASR 膨張率試験を実施し、アルカリ骨材反応の抑制効果の評価した。加えて、土木研究所が提案した表面吸水量試験を実施した。

課題 : 「課題」と同様の混和条件に加えて、短繊維を混入した供試体を用意し、圧縮強度試験、圧縮破壊実験と切欠きはりの曲げ試験、拘束ひび割れ試験を行い、材料特性とひび割れ抵抗性を把握するとともに、圧縮側と引張側の材料構成則を確立した。

課題 : 「課題」の材料構成則を構造解析プログラムに導入し、解析を実施することで混和条件による曲げ耐力やひび割れ抵抗性やひび割れ幅の変化を検討した。

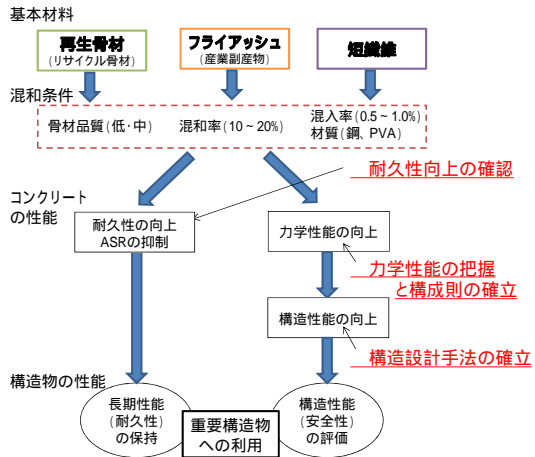


図 - 1 研究の全体構想と研究課題

表 - 1 実施した項目

	実施項目	H25	H26	H27
耐久性	塩分浸透			
	ASR膨張			
	表面吸水			
力学	圧縮特性			
	引張特性			
	収縮特性			
	ひび割れ抵抗性			
構造	ひび割れ特性 解析			
	曲げ特性 解析			

#### 4. 研究成果

フライアッシュ (FA) を混和した再生骨材コンクリートを構造物のリサイクルに利用する手法の開発を目的に、3 つの課題の解決に取り組んだ。課題は、(1)耐久性向上の確認、(2)力学性能の把握と構成則の確立、(3)構造設計手法の確立である。

##### (1) 耐久性向上の確認

FA を混和した再生骨材コンクリートを用いて、H25 年度に 塩分浸透試験 (電気泳動法) 表面吸水量試験 (土木研究所法) アルカリシリカ反応 (ASR) 膨張率試験 (デンマーク法) を実施した。

H26~H27 年度は、において拡散係数のばらつきが大きかった課題の解決のために浸漬法による塩分浸透試験を実施した。その結果から、FA 添加により再生骨材コンクリートの塩分浸透抵抗性の改善を確認した。加えて、ASR 膨張率試験の追加試験 ( ) を実施し、FA による ASR 膨張量の抑制の再現性を確認した。

その結果、FA を添加した再生骨材コンクリートの塩分浸透抵抗性は、材齢の経過とともに改善した。浸漬期間 12 ヶ月では、図 - 2 のように FA を添加することで表面からの深さ 25mm よりも深い位置に浸透しにくくなる事が確認できた。また、図 - 3 のように FA を添加することで、普通骨材コンクリートと再生骨材コンクリートの ASR 膨張量を 0.1% 以下に抑えることができた。

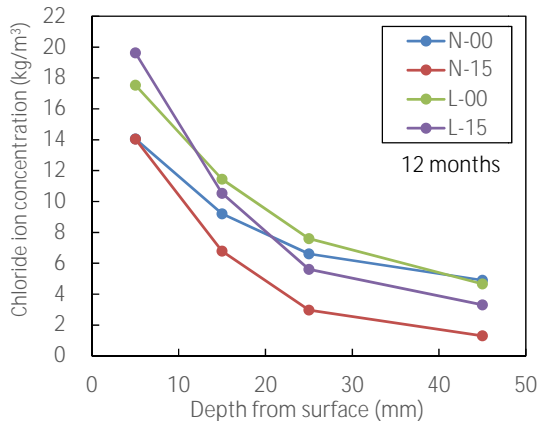


図 - 2 塩分浸漬試験の結果

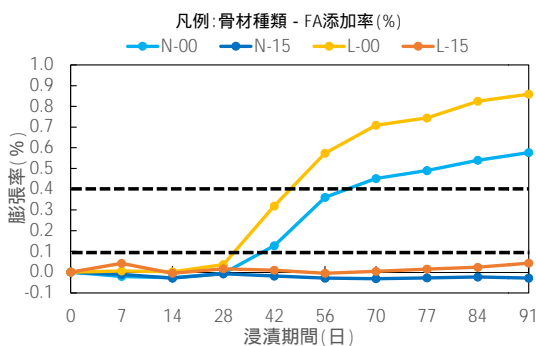


図 - 3 ASR 膨張率試験の結果

##### (2) 力学性能の把握と構成則の確立

課題(1)と同様の混和条件に加えて、短繊維を混入した供試体を用意し、H25 年度に圧縮破壊実験を実施した。

H26 年度には、切欠きを有するはりの曲げ試験を実施し、引張軟化曲線を算出した。また、拘束ひび割れ試験を実施し、ひび割れ抵抗性を評価した。加えて、乾燥収縮試験を実施した。

H27 年度には、圧縮破壊実験の追加実験 ( ) を行い、圧縮破壊を受けるコンクリートの応力軟化モデルを構築した。

その結果、図 - 4 のように再生骨材の使用による圧縮強度とヤング係数の関係を求めるとともに、FA 添加による圧縮破壊挙動の変化を明らかにした。また、図 - 5 のように収縮ひずみの履歴を土木学会の算定式を用いて粗骨材の吸水率を考慮することで推定することができた。

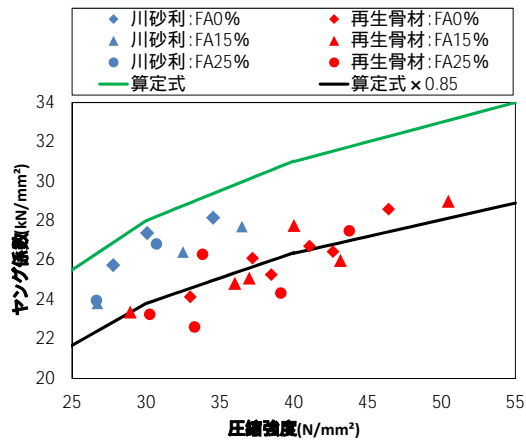


図 - 4 圧縮強度とヤング係数の関係

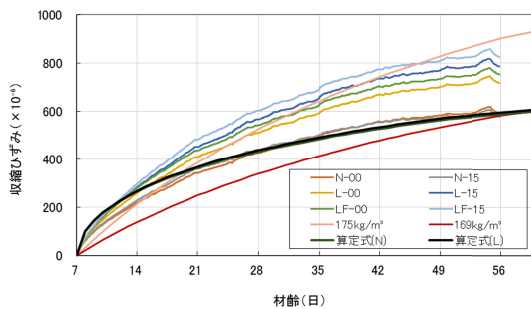


図 - 5 収縮ひずみの履歴

##### (3) 構造設計手法の確立

課題(2)の材料構成則を導入した構造解析を実施し、混和条件による耐荷力や変形性能の違いを検討する項目である。引張軟化モデルと乾燥収縮ひずみ式を導入した拘束ひび割れ試験のモデル解析を実施した。また、鉄筋コンクリートの曲げ試験を模擬した解析を実施した。

その結果、図 - 6 のように FA 添加の再生骨材コンクリートを用いた場合でも、短繊維を混入することでひび割れ幅を抑制することができた。また、図 - 7 のように、解析の

ひび割れ幅が拘束ひび割れ試験で測定したひび割れ幅におおむね一致した。

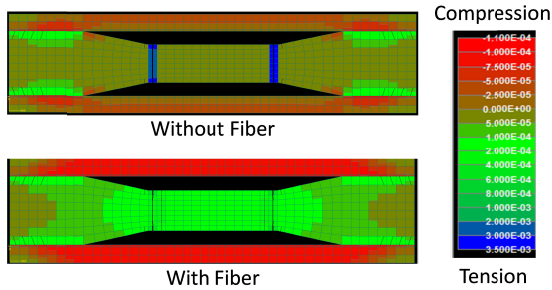


図 - 6 拘束ひび割れ試験を模擬した解析のひび割れ幅分布 (上: 繊維なし、下: あり)

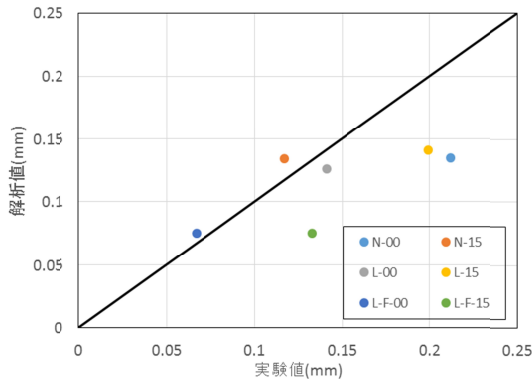


図 - 7 実験と解析のひび割れ幅の比較

<引用文献>

土木学会：電力施設解体コンクリートを用いた再生骨材コンクリートの設計施工指針(案)、コンクリートライブラリーNo.120、2005  
 土木学会：循環型社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術、コンクリートライブラリーNo.132、2009  
 コンクリート工学会(経済産業省委託)：建設廃棄物コンクリート塊の再資源化物に関する標準化調査研究・成果報告書、2004、  
 陶山ら：フライアッシュの外割混合による再生骨材コンクリートの強度改善、建築学会九州支部研究報告、Vol.45、2006  
 友竹ら：再生骨材を使用したオートクレープ処理ポーラスコンクリートの強度性状、コンクリート工学年次論文集、Vol.24、2002

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1件)

中畔大夢, 伊藤始, 谷拓郎, 鈴木祥太：フライアッシュを添加した再生骨材コンクリートの圧縮破壊特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集(査読あり), Vol.36, No.1, pp.1738-1743, 2014年

〔学会発表〕(計 4件)

蘭森悠伎, 伊藤始：フライアッシュを添加した再生骨材コンクリートの強度特性に関する実験的研究, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2016年3月4日, 豊田市

窪田一沙, 伊藤始, 鈴木祥太, 蘭森悠伎：フライアッシュの添加が再生骨材コンクリートの乾燥収縮特性に与える影響, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2015年3月6日, 豊橋市

窪田一沙, 伊藤始, 鈴木祥太, 中畔大夢, 谷拓郎：フライアッシュの添加が再生骨材コンクリートの曲げ強度特性に与える影響, 土木学会第69回年次学術講演会, 2014年9月10日-12日, 大阪市

谷拓郎, 伊藤始, 中畔大夢：フライアッシュ添加による再生骨材コンクリートの塩分浸透抵抗性改善に関する研究, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2014年3月7日, 岐阜市

〔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

富山県立大学 工学部

環境工学科 伊藤研究室 HP

<http://www.pu-toyama.ac.jp/EE/itouh/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

伊藤 始 (ITO, Hajime)

富山県立大学・工学部環境工学科・准教授  
 研究者番号：10553133

(2)研究分担者

( )

研究者番号：

(3)連携研究者

( )

研究者番号：