

平成 28 年 4 月 21 日現在

機関番号：13701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2015

課題番号：15K14014

研究課題名(和文) アルカリシリカ反応の膨張を活用した長期微膨張型高靱性コンクリートの開発と構造利用

研究課題名(英文) Development of long-term stable-expansive HPFRCC due to Alkali-Silica Reaction and structural applications

研究代表者

六郷 恵哲 (ROKUGO, Keitetsu)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：40127155

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究においては、長期微膨張型のセメント系材料を開発することを目的としている。膨張材と粒子状静的破碎剤と反応性骨材とを組み合わせた長期微膨張型の高靱性コンクリート(HPFRCC)を開発した。膨張型HPFRCCの膨張性能を評価するための試験方法を提案した。膨張型HPFRCCで作製した模擬骨材をコンクリートに混入することにより、アルカリシリカ反応(ASR)によるひび割れに似たひび割れを生じさせることができた。ひび割れが生じたコンクリート供試体を、ひび割れへ注入するエポキシ樹脂の注入性能の評価試験に利用した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop new cementitious materials that are capable of keeping expanding over a long time in a stable manner. Long-term stable-expansive HPFRCC (High Performance Fiber Reinforced Cement Composite) was developed by combining expansive additive, non-explosive demolition agent and alkali-reactive aggregate. A testing method to evaluate the expansive properties of the long-term stable-expansive HPFRCC was proposed. Artificial aggregates made of the expansive HPFRCC was mixed into concrete to produce cracks like ASR (Alkali Silica Reaction) cracks. Concrete specimens with cracks were used for examination of the injectivity of epoxy-resin into ASR cracks.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：アルカリシリカ反応 膨張 高靱性コンクリート 繊維補強 静的破碎剤

1. 研究開始当初の背景

コンクリートは収縮しやすく、収縮が拘束されるとひび割れが生じやすい材料である。このため、膨張材や収縮低減剤等が収縮低減のために用いられているが、それらの効果は十分ではない。

骨材のアルカリシリカ反応(ASR)は、コンクリート構造物にひび割れを生じさせる主な劣化原因の一つであり、ASRを防止するための研究が行われ対策が取られている。しかし、ASRを積極的にコンクリートに活用することを目的とした研究は、国内外においてほとんど行われていない。

引張力下でひずみ硬化と複数微細ひび割れ挙動を示す高靱性繊維補強コンクリート(HPFRCC)の性能評価と構造利用に関する研究を行ってきた。引張性能に優れたHPFRCCと膨張系材料を組み合わせると、コンクリートの可能性が広がる。

2. 研究の目的

本研究では、HPFRCCと従来は排除すべきと考えられているASRとを組み合わせ、長期にわたって微膨張性能を有するHPFRCC(長期微膨張型HPFRCC)を開発することを目的としている。長期微膨張型HPFRCCを含むコンクリートの膨張性能を簡便に評価するための試験方法を提案し、長期微膨張型HPFRCCをRC部材へ利用することを目的として、下記の研究を行った。長期微膨張型HPFRCCのイメージを図-1に、本研究の内容と目的を図-2に示す。

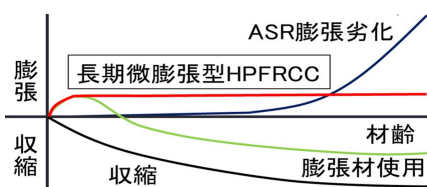


図-1 長期微膨張型HPFRCCのイメージ

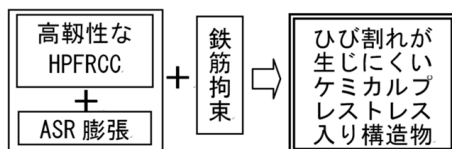


図-2 研究の内容と目的

(1) 長期微膨張型HPFRCCの開発

水ガラスカレットや粒子状静的破碎剤等を用い、常温で長期(少なくとも数ヶ月、可能なら数年)にわたって微膨張(拘束条件にもよるが、目的により0.01~0.1%程度)の状態を維持できる長期微膨張型HPFRCC(図-1)の配合と使用材料とを明らかにする。

(2) 長期微膨張型HPFRCCの膨張エネルギーの評価試験方法の提案

円形断面孔に長期微膨張型HPFRCCを詰めたコンクリート製円柱供試体を用い、膨張型コンクリートの膨張エネルギーと材齢と

の関係の評価するための試験方法を提案する。

(3) RC部材への長期微膨張型HPFRCCの適用とケミカルプレストレスの評価

常温で、長さ1600mmのRCはり供試体を用いて、ケミカルプレストレスの発生を確認することを目指す。この目的に適した膨張性材料とHPFRCCの配合の選定を行う。

(4) 模擬膨張骨材によるコンクリートへのひび割れ導入

粒子状静的破碎剤を混入したHPFRCCにより製造した模擬膨張骨材を用いて、弱材齢でコンクリートにASRによるひび割れに類似した立体亀の子状のひび割れを発生させ、補修用樹脂の注入性能の評価試験に用いる。

3. 研究の方法

(1) 長期微膨張型HPFRCCの開発

HPFRCCと組み合わせる膨張系材料として、図-3に示す場所打ちRC杭の杭頭処理用の粒子状静的破碎剤(遅延剤により反応速度を抑制)と水ガラスカレット(アルカリシリカゲルの吸水膨張を示す)とを取り上げ、種々の混入量について長さ変化を計測する。粒子状静的破碎剤については、3水準の粒度(2.5~1.2, 1.2~0.6, 0.6mm以下)を用いる。角柱供試体(40×40×160mm)を作製し、所定の温度(主に温度20前後)と湿度(60%や80%)の環境における長さ変化を計測する。



図-3 粒子状静的破碎剤

(2) 長期微膨張型HPFRCCの膨張エネルギーの評価試験方法の提案

コンクリート製円柱供試体(直径150mm、高さ150mm)に箱抜きによりあけた孔(円形断面孔)に、膨張型のHPFRCCを入れ、膨張圧によってコンクリートにひび割れが生じたときの材齢とコンクリートの破壊エネルギー(コンクリートひび割れ部の面積(肉厚×供試体高さ150mm)に対応)の関係を評価する。箱抜きによる孔の断面寸法や、位置を円柱供試体の中心から偏心させてひび割れ部の面積を変化させる。

(3) RC部材への長期微膨張型HPFRCCの適用とケミカルプレストレスの評価

先の「(1)長期微膨張型HPFRCCの開発」において、常温(20℃)で長期微膨張挙動を示すHPFRCCの配合を明らかにする。

この長期微膨張型HPFRCCを用いて、寸法100×200×1600mmのRCはりを作製し、数ヶ月間膨張させた後に曲げ載荷試験を行い、ひび割れ発生荷重を計測し、ケミカルプ

レストレスの大きさを検出する。

はり供試体の等モーメント区間の引張縁に長さが異なるひずみゲージ（例えば長さ30mmと60mm）を平行して複数組添付し、平行するひずみゲージで検出したひずみの値の差が大きくなり始める時点の荷重をひび割れ発生荷重として高精度に検出する。

(4) 模擬膨張骨材によるコンクリートへのひび割れ導入

粒子状静的破碎剤を 100kg/m^3 混入した HPFRCC により 15mm 程度の大きさの模擬膨張骨材を作製する（図 - 4）。粗骨材の 10, 30, 50% をこの模擬膨張骨材で置換したコンクリートを作製し、ASR によるひび割れに類似したひび割れを生じさせる。養生条件については、湿布養生、水中養生、乾燥養生を組み合わせる。ひび割れが生じたコンクリート供試体（寸法：140×250×400mm）に、内圧充填接合補強工法（IPH システム）を用いてエポキシ樹脂を注入する。



図 - 4 模擬膨張骨材

4. 研究の成果

(1) 長期微膨張型 HPFRCC の開発

杭頭処理用の粒子状静的破碎剤は、粒度と添加量を適切に定めて HPFRCC に混入することにより、セメントが硬化した後に損傷を与えずに膨張挙動を示す膨張材料として利用できることを明らかにした。膨張性を確認する場合、供試体温度、水分散逸の影響が試験結果に大きく影響するため、使用環境を想定した供試体の保存環境ならびに保存方法の設定を適切に行うことが重要なことを指摘した。本実験で用いた水ガラスカレットを添加した HPFRCC のマトリクスモルタルは、20 で外部からの水の供給がなくても膨張挙動を示し、40 の環境で著しく膨張した。

(2) 長期微膨張型 HPFRCC の膨張エネルギーの評価試験方法の提案

コンクリート製円柱供試体（直径 150mm、高さ 150mm）に孔（内径 59mm）を、円柱供試体側面から所定の位置（5mm 刻みに 15～45mm）に設け、各種の長期微膨張型 HPFRCC を孔に充填して肉厚部分にひび割れが発生する時間を計測することにより、材齢と膨張エネルギーの関係計測する試験方法を提案した。

図 - 5 に示すように、孔に充填した長期微膨張型 HPFRCC の上部を 20 mm 下げて、その窪みに一定量の水を常に供給し、コンクリートにひび割れが生じるとひび割れにそって水が染み出る仕組みを提案した。デジタル

カメラで 30 分ごとに供試体側面を撮影し、ひび割れ部からの水の浸み出し時刻（ひび割れ発生時刻）を簡便に検出する方法を提案した。

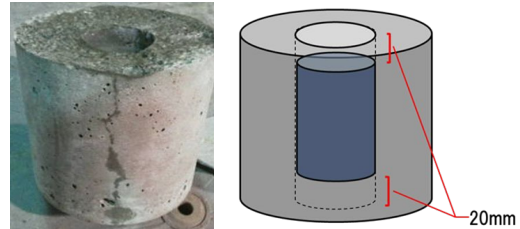


図 - 5 円柱供試体

(3) RC 部材への長期微膨張型 HPFRCC の適用とケミカルプレストレスの評価

先に述べた「(1) 長期微膨張型 HPFRCC の開発」の研究において、常温（20）であっても、湿潤状態であれば長期微膨張挙動を示す HPFRCC を、膨張剤（主に材齢 2 週間程度まで）、粒子状静的破碎剤（主に材齢数ヶ月まで）、反応性骨材（さらに長期）を組み合わせて使用することにより作製できることを明らかにした。

今後、この長期微膨張型 HPFRCC を用いて RC はり供試体（寸法 100×200×1600mm）を作製し、養生条件を変えて長期にわたって変形を計測したのちに、曲げ載荷試験を行い残存ケミカルプレストレスを測定する予定である。

なお、60 の促進養生下で ASR により長期膨張する HPFRCC で作製した長さ 400mm の RC はり供試体に導入したケミカルプレストレスについては、本研究を開始する直前に公表済である（土木学会論文集 E2, Vol.70, No.4, pp.356-369, 2014.11）。

(4) 模擬膨張骨材によるコンクリートへのひび割れ導入

粒子状静的破碎剤を混入（本実験では 100kg/m^3 ）した膨張型 HPFRCC により作製した模擬膨張骨材（寸法 15mm 程度）を粗骨材として混入したコンクリートを作製することで、ASR ひび割れの様な立体亀甲状のひび割れを有するコンクリート供試体（図 - 6）を 2～3 週間で造ることができた。

静的破碎材を細粒のまま混入したコンクリートと、模擬膨張骨材を粗骨材置換して混入したコンクリートでは、模擬膨張骨材を混入したコンクリートの方が、三次元的なひび割れの不連続性などが、反応性骨材を用いたコンクリートの ASR ひび割れに近かった。



図 - 6 供試体に生じたひび割れの例

ひび割れを生じさせたコンクリート供試体を、ひび割れへ注入するエポキシ樹脂の注入性能の評価試験に利用し、その有用性を明らかにした。この研究成果については、論文投稿中である。この研究テーマは、膨張型 HPFRCC の利用として追加したものである。

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 2 件)

1. 河村将史, 高田浩夫, 浅野幸男, YUN Hyun-Do, 六郷恵哲: 水ガラスカレットや静的破砕剤粒子を混入したコンクリートや HPFRCC の膨張挙動, コンクリート構造物の補修・補強・アップグレード論文報告集, Vol.15, pp.435-440, 2015, 査読有.
2. Hiroo TAKADA, Keitetsu ROKUGO, Koichi KOBAYASHI, Masashi KAWAMURA, Yukio ASANO and Hyundo YUN: Chemical Prestress of Reinforced ASR-Expansive SHCC Beams and Possibility of Other Expansive Materials, Proc. of the 2nd R.N. Raikar International Conference and Bantia-Basheer International Symposium on Advances in Science and Technology of Concrete, Mumbai, India, pp.401-407, 2015.12, 査読有.

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

六郷 恵哲 (ROKUGO, Keitetsu)
岐阜大学・工学部・教授
研究者番号: 40127155

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし