

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：15501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760349

研究課題名(和文)ハイボリュームフライアッシュコンクリートの初期強度の改善とひび割れ抵抗性

研究課題名(英文)Strength-Improvement and Crack Resistance of High Volume Fly-Ash Concrete at Early Age

研究代表者

吉武 勇 (Yoshitake, Isamu)

山口大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：10335771

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではフライアッシュ置換率50%のハイボリュームフライアッシュ(HVFA)コンクリートの熱的・力学的性質に関する実験的検討に加えて、温度応力シミュレーションを実施した。HVFAコンクリートのひび割れ抵抗性を調べるため、一軸引張試験を実施し、引張強度や引張ヤング係数の定量化を図った。さらに断熱温度上昇試験や熱膨張係数試験を行い熱的性質も調べた。これらの試験に基づいて、マスコンクリート構造モデルにおける温度応力の有限要素(FEM)解析を実施した。このFEM解析によりHVFAコンクリートは温度応力低減できることを確かめた。

研究成果の概要(英文)：This study discusses numerical simulation of the thermal stress as well as experimental results establishing thermal and mechanical properties of high volume fly ash (HVFA) concrete of 50% replacement of cement by fly ash. To examine the crack resistance of the HVFA concrete at early age, a uniaxial tension test was performed and tensile properties such as tensile strength and tensile Young's modulus were quantified. Adiabatic temperature rise and CTE tests were also conducted to provide more evidence of the thermal properties. The thermal and mechanical properties of HVFA concrete were adopted in a Finite Element (FE) simulation. The numerical simulation confirmed the favorable thermal properties contributing to decrease of thermal stress.

研究分野：土木工学

科研費の分科・細目：土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：フライアッシュ ひび割れ 温度応力 石灰石 断熱温度上昇量 熱膨張係数

1. 研究開始当初の背景

(1)石炭火力発電所から定常的に排出される石炭灰(フライアッシュ;FA)は、資源の保全や再利用といった環境的観点から、その有効活用が求められる。しかし、社会基盤を支え続けていく土木構造物においては、副産物の有効活用は、それを使用することのみが目的になってはならない。このような副産物を用いることで、循環型社会の実現に寄与するばかりでなく、そのものの性能・機能の向上を図ることができなければ、将来にわたって使用者に負担を強いる資産を残してしまうことにもなりかねない。このような観点からも、FAはセメントコンクリートの結合材として用いることで、水和熱の低減や施工性の改善、これに伴う体積変化(温度・収縮)の低減を期待することができ、さらにはアルカリシリカ反応の抑制も図ることができるため、長期的にも安定した品質向上が期待できるものである。

(2)FAをセメントの一部代替置換して用いる場合、そのポゾラン反応が比較的長期におよぶことから、初期材齢においては、実質的な水結合材比(W/B)が大きくなり、強度発現が緩慢となる。このことは、コンクリートの体積変化の拘束応力を低減(クリープ作用)できることにも寄与するため、必ずしも不利な特性とはならないものであるが、初期ひび割れ抵抗性(引張強度)が小さくなることもまた事実である。FAのセメント代替置換割合を大きくすれば、特にこのような傾向は顕著となることは必然となる。

2. 研究の目的

(1)ハイボリュームフライアッシュ(HVFA)コンクリートの初期強度を改善することで、温度・収縮ひび割れ抵抗性を実験的に調べ、適切な配合を模索する。特に初期強度発現性が低調なHVFAコンクリートに対し、初期強度改善効果がある石灰石微粉末を添加することで、ひび割れ抵抗性の向上とひび割れ誘発因子の低減の両立を目指した材料開発(配合など)を行うことを目的とする。

(2)発熱・収縮特性および初期強度特性を定式化した上で、温度応力解析による解析的検証を通じて、初期ひび割れの低減を目指したHVFAコンクリートを提案する。

3. 研究の方法

(1)HVFAコンクリートのひび割れ抵抗性を定量評価するため、試験体に直接引張力を導入できる一軸引張試験を実施する。この試験では、一軸引張強度のみならず、引張ひずみ能力や引張ヤング係数も同時に測定することができる。

(2)圧縮・割裂試験や断熱温度上昇試験も併せて行うことで、材齢(水和度)に応じて発現するHVFAコンクリートの各種物性の予測式を実験データに基づき構築し、これらを温

度応力解析に組み込むことで、初期ひび割れの推定・評価を行う。

4. 研究成果

(1)一軸引張試験

コンクリートに作用する引張応力を求めるため、一軸引張試験用供試体の鉄筋リブに、検長3mmのひずみゲージを貼り付けた。さらに、偏心ひずみの有無やコンクリートと鉄筋の付着を確認するため、コンクリート供試体の両側面の中心位置に、それぞれ検長60mmのひずみゲージを貼付した。試験を行う7材齢(1, 2, 3, 5, 7, 28, 91日を基準)について、一軸引張試験用の供試体を各2体と予備として1本(計15体)作製するとともに、圧縮強度と割裂引張強度試験用の円柱供試体(寸法: 100×h200mm)を各材齢につき3本ずつ(計42本)作製した。

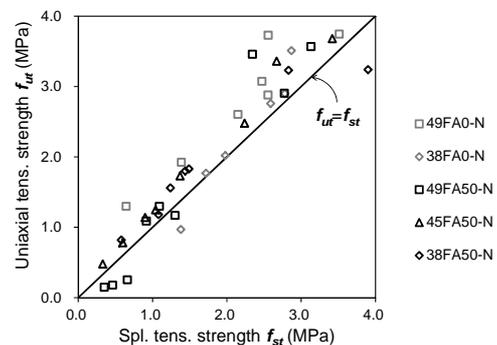


図-1 引張強度比較(標準養生)

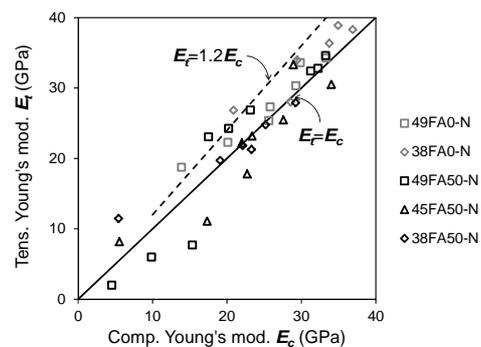


図-2 ヤング係数比較(標準養生)

図-1には割裂引張強度と一軸引張強度の比較を示す。この図に示すように一軸引張強度の方が高い傾向にあり、一般的に使用される割裂引張強度を用いると過小評価する可能性が窺える。さらに図-2には圧縮・引張ヤング係数の比較を示す。引張ヤング係数が0~20%高い傾向にある。すなわち、ひずみから応力を換算する上で必要となるヤング係数は、引張応力を推定するにあたり一般的な(圧縮)ヤング係数を用いると、応力を仮称推定する可能性があることを示唆している。

図-3にはw/cm=0.49で作製したHVFAコンクリートの現場養生・湿潤養生下における圧縮強度発現をまとめている。初期材齢では充分な硬化促進が行えず、各種強度試験ができ

なかった場合もあったが、長期材齢では十分な強度発現性状を示した。さらに標準養生を行った HVFA コンクリートの圧縮強度試験結果(図-4)を勘案すると、w/cm を下げることで標準的なコンクリート(w/c=0.49)と同等の強度発現性まで得られることが分かった。これは引張強度等の他の力学特性においてもほぼ同様である。

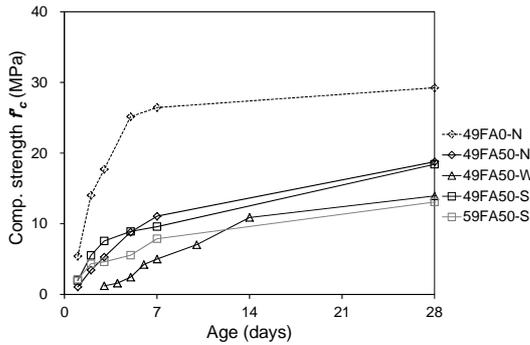


図-3 圧縮強度発現(現場養生)

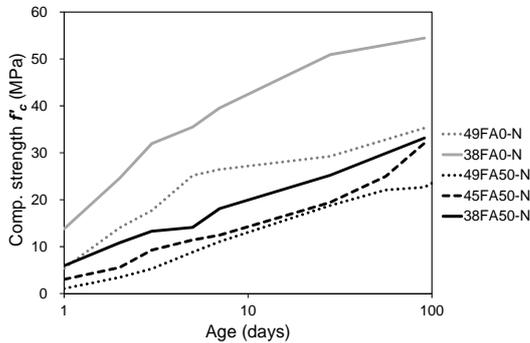


図-4 圧縮強度発現(標準養生)

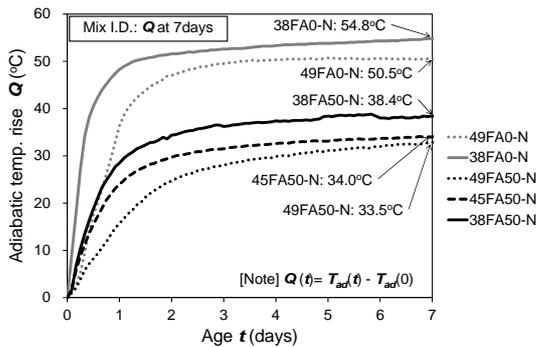


図-5 断熱温度上昇試験

(2) 熱特性試験

簡易断熱温度上昇試験結果を図-5 にまとめて示す。FA 置換しないコンクリートに比べて、FA をセメント質量の 50%置換した HVFA コンクリートの断熱温度上昇量は著しく小さく、最もセメント量(224kg/m³)の多い w/cm=0.38 の HVFA コンクリートでも、終局断熱温度上昇量は 38.4 であった。

さらに熱膨張係数試験を実施したところ、石灰石骨材のみを用いる本研究の HVFA コンクリートは $4.6 \sim 5.2 \times 10^{-6}/$ と一般的な熱

膨張係数 $10 \times 10^{-6}/$ に比して、約 50%の値を示した。なお、比較用として作製した FA を用いない石灰石骨材コンクリートにおいても、熱膨張係数は $4.7 \sim 5.2 \times 10^{-6}/$ であったことから、このように低い熱膨張係数は石灰石骨材使用の影響が支配的と判断される。

(3) 温度応力解析

(1)(2)に示した実験結果を用いて温度応力解析を実施した。対象としたモデルは、T字型橋脚およびフーチング基礎である。図-6に示すように、低い断熱温度上昇量・熱膨張係数を示す HVFA コンクリートでは、一般的な解析条件を用いて求めた普通コンクリート(w/cm=0.38)に比べて、温度応力を大きく低減できることが確認された。さらにひび割れ指数(引張強度/温度応力)で整理すると、図-7のような結果が得られる。w/cm=0.49 の HVFA コンクリートでは、熱特性に優れたものの、初期強度発現が低調なため、結果的に最も低いひび割れ指数を示した。一方、w/cm を小さくすることで、適度な強度発現性が得られ、温度ひび割れの可能性を小さくすることができた。本研究で用いた解析モデルでは、w/cm=0.45 の HVFA コンクリートが初期から長期にかけて高いひび割れ抵抗性を示した。

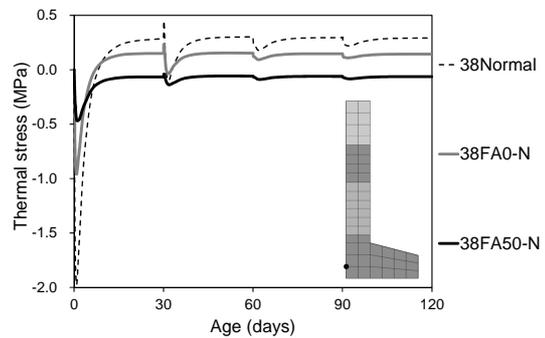


図-6 温度応力解析(w/cm=0.38)

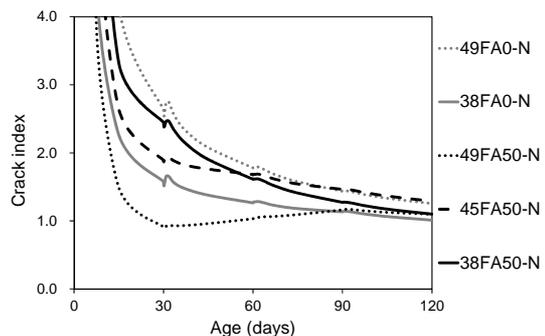


図-7 ひび割れ指数

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 3件)

Isamu YOSHITAKE, Hiroki KOMURE, Ayman Y. NASSIF and Sunao FUKUMOTO: Tensile Properties of High Volume Fly-Ash (HVFA) Concrete with Limestone

Aggregate, Construction and Building Materials, 査読有, Vol.49, pp.101-109, 2013.12.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuilmat.2013.08.020>

Isamu YOSHITAKE, Wenbo ZHANG, Yoichi MIMURA and Tadashi SAITO: Uniaxial Tensile Strength and Tensile Young's Modulus of Fly-ash Concrete at Early Age, Construction and Building Materials, 査読有, Vol.40, pp.514-521, 2013.3.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuilmat.2012.11.022>

沖本翔平, 張 文博, 三村陽一, 吉武 勇: 若材齢におけるフライアッシュコンクリートの引張ヤング係数に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol.34, No.1, pp.310-315, 2012.7.

〔学会発表〕(計 3件)

Isamu YOSHITAKE, Yuya TOKIKUNI, Hiroki KOMURE and Sunao FUKUMOTO: Strength Properties of Fly-Ash Concrete Mixed with Limestone Powder, *Proceedings of ISEC-7*, pp.697-702, 2013.6.19 ホノルル(米国)

小牟禮宏樹, 吉武 勇, 菖蒲泰啓, 大西利勝: 石灰石骨材を用いたハイポリウムフライアッシュ(HVFA)コンクリートの熱膨張係数, 第67回セメント技術大会, [1314], pp.144-145, 2013.5.13 ホテルメトロポリタン(東京 池袋)

Mingjie MAO, Qiuning YANG, Wenbo ZHANG and Isamu YOSHITAKE: Thermal Stress Analysis of Fly-ash Concrete with Cement Replacement Ratios up to 50%, *Proceedings of ICETCE2012*, Vol.3, pp.2054-2057, 2012.5.18 宜昌(中国)

〔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・大学院理工学研究科・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: