

機関番号：12701

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21760345

研究課題名（和文） 高炉セメントの使用を前提とした持続可能な高品質再生骨材リサイクルシステムの提案

研究課題名（英文） Proposal of Sustainable Recycle System of High Quality Recycled Aggregate with Blast-furnace Slag Cement

研究代表者 細田 暁 (HOSODA AKIRA)

横浜国立大学・環境情報研究院・准教授

研究者番号：50374153

研究成果の概要（和文）：

本研究で扱う技術的な課題は、高炉セメントコンクリートの収縮抑制と、骨材周囲の微細損傷を抑制することによるひび割れ抵抗性の改善である。この課題に対して、以下の3つの目標を達成した。1.軽量細骨材の内部養生効果による収縮抑制方法の確立、2.アコースティックエミッション（AE）法による骨材周囲の微細損傷の定量評価手法の確立、3.外部拘束試験と AE法を組み合わせた実験により、微細損傷を制御することによるひび割れ抵抗性の改善効果を定量的に示すこと、である。

研究成果の概要（英文）：

In this research, in order to contribute to sustainable recycle system of high quality recycled aggregate with blast-furnace slag cement, how to improve crack resistance of slag cement concrete was investigated.

The main results of this study are as shown below.

- (1) The effectiveness of the use of lightweight fine aggregate to reduce shrinkage of concrete and to improve crack resistance of slag cement concrete was exhibited.
- (2) The method to analyze microcrack around aggregate with Acoustic Emission Method was established. AE technique was utilized for very early age concrete under high temperature history. The mechanism of the generation of microcracking was clarified and the properties of microcracking were examined in detail.
- (3) The method to analyze microcrack of externally restrained concrete with AE was developed. The cracking strength of restrained specimens was much lower than the tensile strength of unrestrained specimens. The reason was investigated with AE analysis.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：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：コンクリート

### 1. 研究開始当初の背景

高性能の再生骨材の製造システムが開発され、実用化されてきている。再生骨材の持続的なリサイクルのシステムを構築するために、高炉セメントと組み合わせて使用することが有効である。アルカリシリカ反応の抑制効果が非常に大きく、再生骨材のリサイクルにおいてボトルネックとなるのはアルカリシリカ反応性の検査と考えられるからである。高炉セメントを用いることで、アルカリシリカ反応性の検査を省略し、リサイクルシステムをスムーズに機能させることが有効である。

高炉セメントを用いた場合、コンクリートのひび割れ抵抗性が必ずしも大きくない場合があり、この原因解明と対策が、高炉セメントを建築物や社会基盤の上部構造物に適用していく上で非常に重要である。

### 2. 研究の目的

本研究で扱う技術的な課題は、高炉スラグコンクリートの収縮抑制と、骨材周囲の微細損傷を抑制することによるひび割れ抵抗性の改善である。そのために、以下の3つの達成すべき目標を掲げた。

- (1) 軽量細骨材の内部養生効果による高炉セメントコンクリートの自己収縮抑制方法の提案と検証
- (2) アコースティック・エミッション (AE) 法による、骨材周囲の微細損傷の定量評価手法の確立
- (3) 外部拘束試験装置と AE 法を組み合わせることによる、温度ひび割れ試験中に微細損傷を分析する実験システムの構築

研究期間中にこれらの目標は達成された。(2)と(3)により試験方法が確立されたため、今後も引き続き、これらの試験方法を用いて、高炉セメントのひび割れ抑制についての研究を展開していく予定である。

### 3. 研究の方法

本研究では、主として2つの実験システムを構築した。その実験システムを用いて、高炉スラグコンクリートのひび割れ抵抗性に関する研究を実施した。

- (1) 打込み後から高温履歴を受けるコンクリートへ AE 法を適用するシステムの構築

### Experimental program

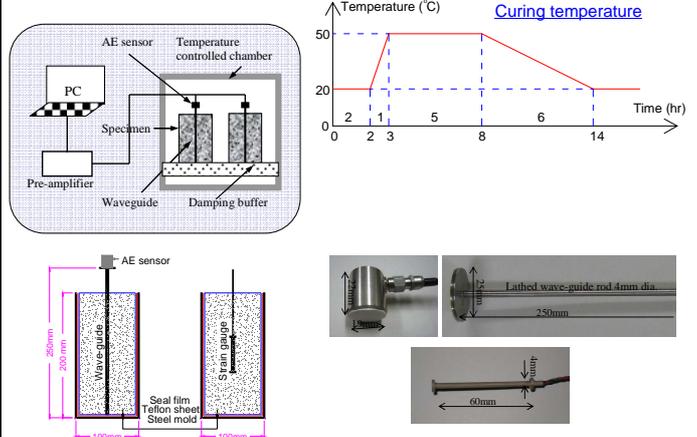


図-1 若材齢コンクリートに AE 法を適用するシステム

図-1 に示すように、若材齢コンクリートにステンレス製のウェーブガイドを埋め込み、コンクリート中で発生した AE をウェーブガイドを通して AE センサで検知するシステムを構築した。

- (2) 外部拘束を与える温度ひび割れ試験と AE 法を組み合わせた評価手法の開発

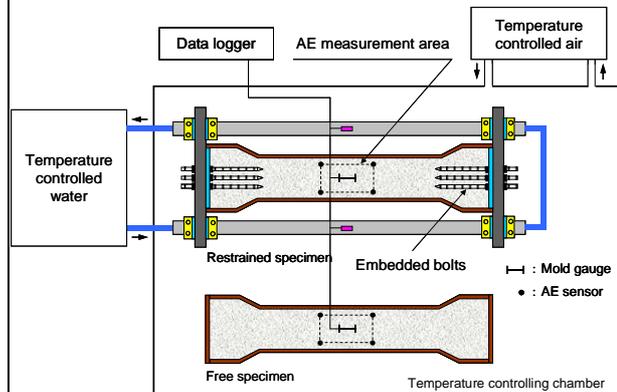


図-2 温度ひび割れ試験中に AE 分析を行なうシステム

図-2 に示すように、JIS 原案の温度ひび割れ試験装置を作製し、AE 法を適用するシステムを提案した。図-1 で示したウェーブガイドを活用した。

拘束試験体の変形を拘束する鋼管はステンレス製であり、拘束試験中は 20°C 一定の水を鋼管中に循環させているが、高温履歴を与えた後、鋼管中の循環水の温度を上げていくことにより、コンクリートには強制引張力を

作用させることができ、ひび割れ発生強度を求めることができるシステムとなっている。以上の2つの試験システムを研究期間中に開発し、研究を進めた。

#### 4. 研究成果

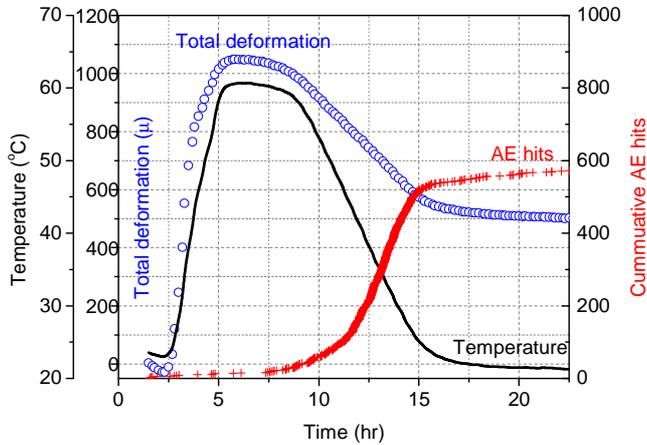


図-3 コンクリートの打込み後に計測された AE

図-3に、コンクリートの打込み後に計測された AE の一例を示した。主として温度下降期に AE を検出した。検討を重ねた結果、AE は骨材周囲の微細ひび割れから発生しており、モルタルの収縮を骨材が拘束することによる微細ひび割れが支配的であることが分かった。

微細ひび割れの発生が顕著になる条件として、① 高炉セメントを用いた場合、② 粗骨材の最大寸法が大きくなった場合、③ 粗骨材の熱膨張係数が小さい場合、などが明らかとなった。

①の理由としては、高炉セメントを用いることで、セメントペーストの熱膨張係数が大きくなり、温度変化を受けるときの骨材の挙動との不適合が顕著になることが明らかとなった。さらに、高炉セメントを用いることでセメントペーストの自己収縮が大きくなり、微細ひび割れを発生しやすくなることも明らかとなった。軽量細骨材の内部養生効果により自己収縮が軽減され、微細ひび割れの発生が抑制され、引張強度が改善することも示された。

②の理由としては、粗骨材の最大寸法が大きくなることで、骨材周囲に発生する応力が大きくなることを弾性論に基づく計算で示し、実験で実証した(図-4)。

③の理由として、粗骨材の熱膨張係数が小さいほど、セメントペーストの挙動との不適合が大きくなり、微細損傷が顕著になり、引張強度が低下することを明らかにした。

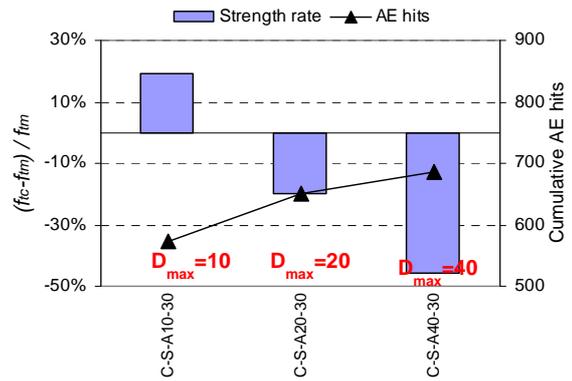


図-4 粗骨材の最大寸法の影響

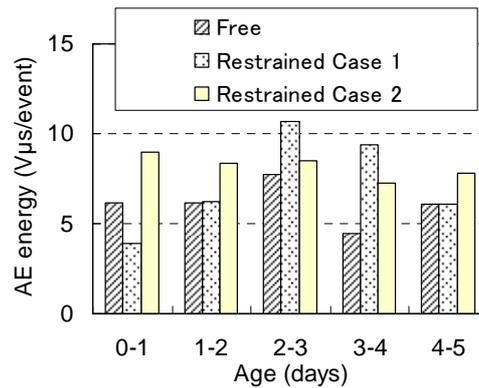


図-5 温度ひび割れ試験中の AE 計測の結果

図-5に、温度ひび割れ試験中の AE 計測の結果の例を示した。同じ温度履歴を受けた拘束試験体と無拘束試験体では、ひび割れ強度に大きな差が認められた。図-5は、温度履歴を受ける過程での平均 AE エネルギーを示した。温度下降期にあたる材齢1から4日程度において、拘束試験体で計測された AE のエネルギーの平均値が大きくなっていることが分かる。

外部拘束による拘束引張力を受ける状態で、より大きな微細ひび割れが発生し、これが部材のひび割れ強度の低下に結びついた可能性を考えており、今後詳細な検討を続ける予定である。

#### 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 Ha Ngoc Son and Akira Hosoda : Detection of Microcracking in Concrete Subjected to Elevated Temperature at Very Early Age by Acoustic Emission, *Journal of Advanced Concrete Technology*, Vol.8, No.2, pp.201-211 (2010) (査読あり)
- ② Ha Ngoc Son, Akira Hosoda, Takeshi Watanabe: Characterization of Microcracking in Very Early Age Concrete

Subjected to Elevated Temperature by AE,  
*Proceedings of JCI*, Vol.32, No.1,  
pp.323-328, (2010) (査読あり)

〔学会発表〕(計 6 件)

- ① 招待講演「ひび割れ抑制対策と表層品質の向上」, 第 6 回コンクリート材料-構造の最先端技術に関する研究会, 横浜国立大学, 2010 年 12 月 21 日
- ② 招待講演「ひび割れ抑制対策と表層品質の向上」, 青森県のアセットマネジメント研究会, 2010 年 11 月 12 日
- ③ 招待講演「ひび割れ抑制対策と表層品質の向上」, 山口県の構造物の表層品質調査の結果速報会, 2010 年 7 月 30 日
- ④ コンクリート工学年次大会「Characterization of Microcracking in Very Early Age Concrete Subjected to Elevated Temperature by AE」(Ha Ngoc Son), 2010 年 7 月 10 日
- ⑤ 土木学会 333 委員会成果報告会「高炉スラグタスクフォース成果報告」, 2010 年 5 月 24 日
- ⑥ 招待講演「高炉スラグコンクリートのひび割れ抵抗性」, 日本コンクリート工学協会の研究専門委員会にて, 2009 年 9 月 24 日

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

細田 暁 (HOSODA AKIRA)  
横浜国立大学・環境情報研究院・准教授  
研究者番号: 5 0 3 7 4 1 5 3