

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：10103

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14336

研究課題名(和文) 全量副産資源利用ゼロセメント固化体製造・実用化の可能性探索

研究課題名(英文) Search for possibilities for production and practical application of zero-cement mortar using by-product resources as all materials

研究代表者

濱 幸雄 (HAMA, Yukio)

室蘭工業大学・工学研究科・教授

研究者番号：70238054

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、フライアッシュと同様のポゾラン反応性と有し、高炉スラグ微粉末(BFS)の潜在水硬性を發揮させる刺激材の成分を含有している循環流動層ボイラー(CFB)灰の自硬性に着目し、セメントに代わる結合材としてCFB灰とBFSを混合して利用し、再生骨材やスラグ骨材を用いた全量副産資源のゼロセメント固化体の硬化性状および耐久性の評価と高付加価値化の検討を行った。その結果、高強度で耐久性に優れるゼロセメント固化体の配合条件を示すとともに、二次製品の試作と試験施工を行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, we focused the self-stiffness of the circulating fluidized bed boiler(CFB) ash containing the same pozzolanic reactivity as fly ash and the components of the stimulant that exerts latent hydraulic properties of blast furnace slag fine powder(BFS). Zero cement mortar using CFB ash and BFS are used as a binder instead of cement was manufactured. Recycled aggregate and slag aggregate were also used as aggregate. The evaluation of strength properties, durability of the zero cement mortar using by-product resources as all materials was carried out. Furthermore, we tried to make it high added value. As results, we showed the mix conditions of zero cement mortar with high strength and excellent durability, and trial production and test construction of secondary products were conducted.

研究分野：建築材料学

キーワード：建築構造・材料 土木材料 二酸化炭素排出削減 廃棄物再資源化

1. 研究開始当初の背景

建設分野は、エネルギーの消費量およびCO<sub>2</sub>排出量の大きい産業であり、エネルギー消費量は世界全体の年間のエネルギー消費量の約40%といわれている。また、建築関連の資機材製造、建設、改修、運用、廃棄までのライフサイクルを通じてのCO<sub>2</sub>排出量は、我が国全体の1/3を占めると推計されている。建築分野での低炭素化に向けた取り組みとしては、CO<sub>2</sub>排出割合の高い運用段階の省エネ化や再生可能エネルギーの効果的な利用などが積極的に検討されている。また、建設段階で発生するCO<sub>2</sub>の削減に対しても様々な取り組みがなされている。特に、建設段階でのCO<sub>2</sub>排出に対する寄与率が最も高いのはコンクリート工事であり、セメント製造時に排出されるCO<sub>2</sub>がその起源であることから、近年はフライアッシュ(FA)や高炉スラグ微粉末(BFS)を用いた混合セメントを積極的に利用するための研究開発が活発に行われている。しかしながら、FAとBFSの特性であるポズラン反応性、潜在水硬性は、セメントの存在下で発揮される性能であり、一定量のセメントの利用が不可欠である。

一方、2011年の東日本大震災および東電原発事故以降、脱原発の流れが加速し、自然エネルギー、再生可能エネルギーの利用が注目されているものの、直近の対策としては火力発電に依存せざるを得ず、大規模工場では自家発電の重要性が増しており、それにともなつてJIS規格外の石炭灰(フライアッシュ)の発生量の増加が予想される。例えば、循環流動層ボイラーから発生する石炭灰(CFB灰)は、一般的なフライアッシュとは組成、性状が異なるJIS規格外の灰であり、一般のコンクリート用混和材料としての利用は困難であり、その有効利用の方法は現段階では確立されていない。しかし、先行研究1)、2)において、CFB灰にはFAと同様にポズラン反応性を有するとともに、BFSの潜在水硬性を発揮させる刺激材の成分が含まれており、自硬性を有することが明らかになっている。

2. 研究の目的

本研究では、フライアッシュと同様のポズラン反応性と有し、高炉スラグ微粉末の潜在水硬性を発揮させる刺激材の成分を含有している循環流動層ボイラー灰の自硬性に着目し、セメントに代わる結合材として循環流動層ボイラー灰と高炉スラグ微粉末を混合利用するとともに骨材にも再生骨材やスラグ骨材を用いることで、全量副産資源のゼロセメント固化体を作製し、その硬化性状および耐久性に関する基礎資料を蓄積し、建設資材としての製造・実用化の可能性を探索することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では以下の項目について検討した。

1) ゼロセメント固化体の基本配合と硬化機構

CFB灰とBFSの混合比と強度増進の関係

を把握するとともに、粉末X線回折(XRD)を用いたリートベルト解析によってCFB灰の鉱物組成の測定と反応解析を行った。

2) ゼロセメント固化体の硬化性状・耐久性

CFB灰:BFS=75:25として、養生方法、水結合材比、細骨材種類、空気量、CFB灰の品質の違いが強度および耐久性に与える影響について確認を行った。試験項目は、固化体の強度発現性状、細孔構造、乾燥収縮、耐凍害性、中性化抵抗性、塩分拡散、耐硫酸塩性とした。

3) ゼロセメント固化体の高強度化

無水石膏添加率、BFS比表面積水酸化カルシウム混入および高性能AE減水剤使用量、練り混ぜ時間が圧縮強度に及ぼす影響について検討を行い、ゼロセメント固化体の高強度化のための方策・仕様を確定した。

4) ゼロセメント固化体の早硬化

CFB灰-BFS混合系固化体にカルシウムアルミネート系速硬材を混入することによる凝結・硬化の促進効果を確認した。

5) ゼロセメント固化体の高靱性化

CFB灰-BFS混合系固化体にPE(ポリエチレン)繊維を混入することによる曲げ、引張靱性の向上効果を確認した。

6) 全量副産物ゼロセメント固化体を利用した二次製品の試作と性能評価

ゼロランプ、即時脱型成型でインターロッキングブロックを実機で試作し、要求性能である寸法精度、曲げ強度および凍結融解抵抗性を評価した。さらに、試作品を用いて室蘭工業大学構内で試験施工を実施した。また、インターロッキングブロックの事業化を想定して、製造CO<sub>2</sub>だけでなく輸送CO<sub>2</sub>も含めたCO<sub>2</sub>排出量削減効果の評価した。

4. 研究成果

本研究で得られたCFB灰-BFS混合系全量副産物ゼロセメント固化体の硬化性状と耐久性についての知見を以下に示す。

1) CFB灰とBFSを結合材とした全量副産物ゼロセメント固化体の作製が可能であり、その硬化機構はBFSの潜在水硬性に対するCFB灰に含まれる刺激剤の働きによるものである。CFB灰とBFSの混合比による強度増進を比較して図1に示す。

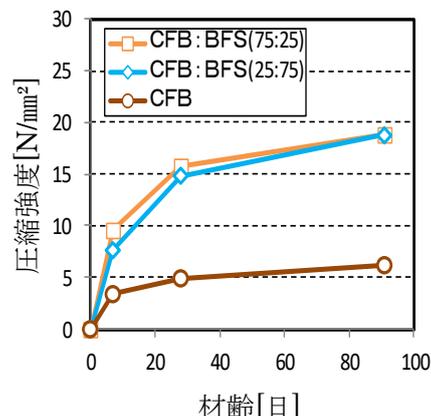


図1 ゼロセメント固化体の圧縮強度増進

- 2) ゼロセメント固化体の乾燥収縮率はセメント系固化体に比べて大きく、細骨材種類により収縮量が大きく異なる。
- 3) ゼロセメント固化体の塩分浸透抑制効果は水結合材比を低くすることで向上し、耐凍害性は低水結合材比化と空気連行で向上する。また、耐硫酸性は優れるものの中性化抵抗性が低い。硫酸浸漬試験結果を図2に、凍結融解試験結果を図3に示す。

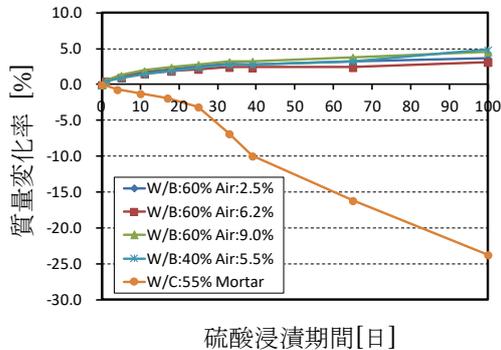


図2 硫酸浸漬試験結果

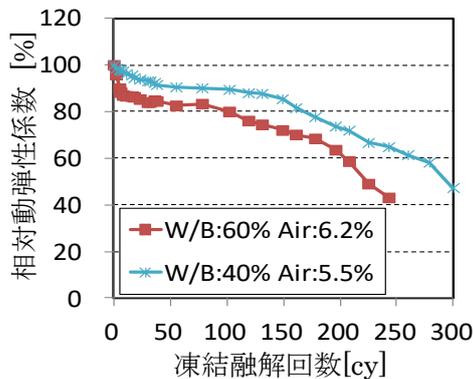


図3 凍結融解試験結果

- 4) CFB 灰と BFS (比表面積  $6000\text{cm}^2/\text{g}$ ) の質量比を 75 : 25, 水結合材比を 40% とし、無水石膏添加率を 2.5%, 水酸化カルシウムを 6%混入することで、本研究での目標値として設定した材齢 28 日での圧縮強度  $36\text{N}/\text{mm}^2$  以上の高強度化を実現した。高強度ゼロセメント固化体の強度増進性状を図4に示す。

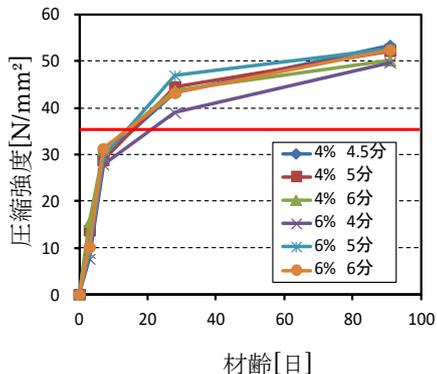


図4 高強度化固化体の強度増進性状

- 5) カルシウムアルミネート系速硬化材を CFB 灰-BFS 系結合材の 10wt%混入することで終結時間が 16 時間程度となり、20wt%までの混入率の範囲で実用的な凝結時間の制御が可能である。速硬化材混入率による凝結時間の変化を図5に示す。

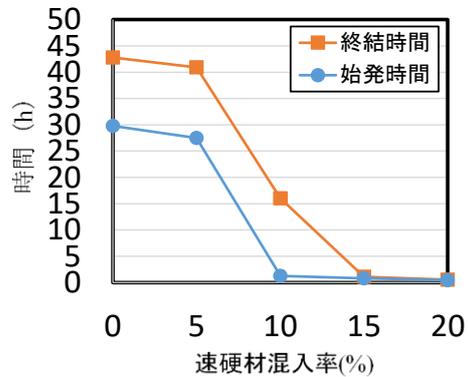


図5 速硬化材混入率と凝結時間の関係

- 6) PE (ポリエチレン) 繊維を 3vol%程度混入することで、曲げ強度および引張強度ともに増大し、靱性を大幅に向上させることができる。曲げ靱性係数は PE 繊維の混入によって、 $0.2\text{N}/\text{mm}^2$  から  $3.2\text{N}/\text{mm}^2$  と大幅に増大した。曲げ試験における試験体の破壊状況を図6に示す。



図6 繊維混入試験体の曲げ試験破壊状況

- 7) CFB 灰-BFS 混合系全量副産物ゼロセメント固化体によるインターロッキングブロック (ILB) を試作し、試験施工を行った。ILB の質量と曲げ強度の関係を図7に示す。締め固めが十分になされれば必要な曲げ強度は確保できると考えられる。また、試作した ILB の凍結融解抵抗性は配合条件により大きく異なることが明らかとなった。今後は適切な充填性、締め固めが可能な配合条件を確立する必要がある。

ILB の試験施工の状況を図8に示す。6種類の試作品と市販品を図のように割付け、室蘭工業大学構内付属図書館と教育・研究4号館の間の通路に敷設した。

- 8) CFB 灰-BFS 混合系全量副産物ゼロセメント ILB の製造時および運搬時の  $\text{CO}_2$  排出量は、従来品に比べ 83%の削減が可能である。

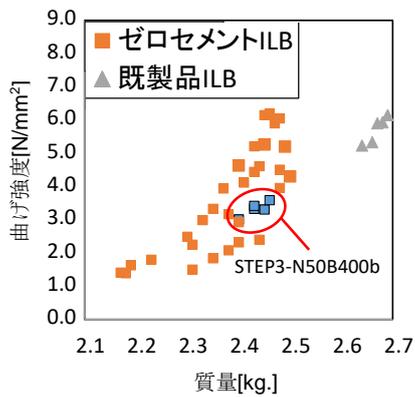


図7 ILBの質量と曲げ強度の関係



図8 ILB試験施工の状況

## 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)

Wenyan Zhang, Hyeonggil Choi, Takahiro Sagawa, Yukio Hama: Compressive strength development and durability of an environmental loadreduction material manufactured using circulating fluidized bed ash and blastfurnace slag, Construction and Building Materials, 146, pp.102-113, 2017  
10.1016/j.conbuildmat.2017.04.042

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

濱 幸雄 (HAMA, Yukio)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：70238054