

平成 21 年 4 月 15 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19560457

研究課題名（和文） 廃棄物処理量を増大させたセメント利用における品質検査システムの開発

研究課題名（英文） Inspection system of cement for increased waste usage

研究代表者

坂井悦郎 (SAKAI ETSUO)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号 90126277

研究成果の概要：

廃棄物処理量の増大したセメントの品質検査システムとして、各種の熱量計を組み合わせる簡便な手法を提案した。すなわち、本システムにより、サンドイッチ型の多点式コンダクションカロリメータにより長期や一時間程度までの水和熱、また、新たに開発した注水直後の水和熱の測定が可能な反応速度測定装置および微量試料による断熱熱量計により、流動性や凝結・硬化性状あるいは断熱温度上昇特性を簡便に検査することができる。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・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、廃棄物資源化、環境材料、無機工業化学

1. 研究開始当初の背景

セメント産業は、その製造において、セメント1t当り、混合材を含めると400kg、クリンカーでは280kgの廃棄物を利用し、その総量は2800万t/年と我が国の循環型社会形成における重要な役割を演じている。廃棄物としては、石炭灰、スラグ、建設残土や下水汚泥などが利用され、いずれもポルトランドセメントの化学組成に比べて、 Al_2O_3 量が多いことと MgO や P_2O_5 などの微量成分を含むことが特徴である。

今後のセメント使用量の大幅な増大は期待できないことから、セメント製造における廃棄物使用量が、さらに増加すると、 C_3A や C_4AF などの間隙相量（アルミネート相量）が増加することも予想される。現在、レディーミクストコンクリート工場やコンクリート製品工場などにおけるポルトランドセメントの受け入れ検査は、その化学組成や物理的性質などが記載された試験成績表によっている。しかし、上記のように廃棄物使用量が増大し、鉱物組

成が変化する場合には、このような受け入れ検査では十分とはいえない。廃棄物処理量や種類の変動に伴うセメント品質の変動を的確に捉えて、コンクリートの製造に反映できるような検査システムが必要である。

2. 研究の目的

廃棄物処理量を増大させたセメントの利用においては、これから利用しようとするセメントの性能を直接把握することが重要であり、これから利用しようとするセメントの品質検査が簡便に行える新たに開発した熱量計を用いた検査システムを構築する。

3. 研究の方法

図-1 に本研究で確立すべきシステムの概要を示す。廃棄物処理量増大の可能性とセメント強度、水和熱については、既に開発した線形計画法と相組成モデルにより組成を決定することができる。既に開発しているサンドイッチ型の多点式コンダクションカロリメータにより長期の水和熱を測定することで、凝結・硬化などの検査が可能となる。さらに、本研究で開発する反応速度測定装置により、初期の流動性が推定できる。なお、一時間程度の初期水和の測定も流動性の経時変化を考える上から重要であり、コンダクションカロリメータによる初期水和の測定も利用できる。また、本研究で開発する微小量

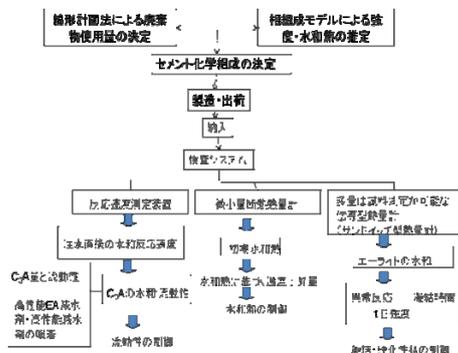


図-1 新型熱量計による検査システムの提案

試料による断熱温度上昇特性を測定することができる。以上のような総合的に各種の熱量計を組み合わせることで、簡便なセメントの性能を検査することができる。

4. 研究成果

(1) 廃棄物量を増大したセメントの材料設計

既に、平成15～16年度の研究「廃棄物処理量の増大を目的とした低環境負荷型高機能セメントの材料設計 (研究課題番号: 15560393) において、原料調合において、線形計画法により廃棄物処理量を予測し、さらにセメントの水和による相組成モデルを用いて、セメントの強度発現性状と水和熱を予測する手法を提案している。これによるとC₃A量を現行の普通ポルトランドセメントの9%から12%程度に増加することと、混合材を10～20mass%程度添加することで、性能を確保しつつ、廃棄物使用量を増大させたセメントの製造が可能となる。

(2) 装置の開発と検査システムへの利用

① 初期水和熱

コンダクションカロリメータにおいて、練混ぜが通常使用されているような水セメント比で行われる必要がある。そこで、従来のプラスチック製プロペラをステンレス製の鋤状に変更し、ベルトをチェーンに変更することで練混ぜを可能とした。実プラントから採取したC₃Aの異なるセメントを用いて、化学混和剤を添加した際のセメントの初期水和と流動性の関連を整理することで、注水直後の初期水和を測定することでセメントの流動性の評価をできるシステムが構築できる。実プラントにおいて40試料を採取し、流動性とC₃A量の関係を調べた。図-1に示すよう

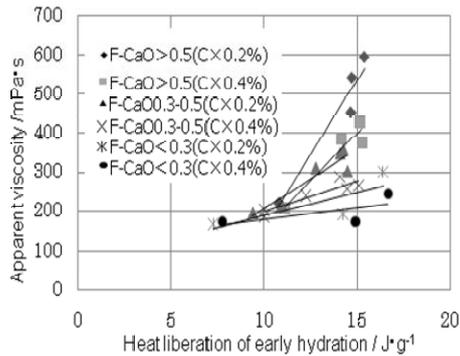


図-1 C₃A量と流動性と関連

に初期水和を促進するアルカリ量と関連するFree-CaO量で整理することにより、初期水和発熱量が一定量を超えると急激に流動性のバラツキが大きくなっている。このことより、流動性と一時間までの初期水和熱と関連すること、また、この一時間までの初期水和熱の情報でも流動性の評価が可能であることを明らかにした。しかし、1時間までの初期水和熱は、注水直後の流動性に加えて、経時変化の情報も含んでおり、詳細にはこれを分離して考える必要がある。

②注水直後の水和熱

注水直後のセメント水和熱を測定するには、サーミスタを検出素子とする恒温壁熱量計が有用である。しかし、恒温壁熱量計は、水量が多い条件でのみ測定が可能であり、実際使用されている水セメント比での測定はできない。一方、前項で改良したコンダクションカロリメータは、実用されている水セメント比での練混ぜは可能としたが、検出素子がサーモモジュールであり、時定数が大きいため、応答速度の速い反応の解析は不可能である。そこで、図-2に示すように測定機構などは、前項のコンダクションカロリメータと同様にし、検出素子を熱電対とした反応速度測定装置を開発した。



温度センサーを変更
サーモモジュール→熱電対へ
(熱変化に対する迅速応答)

図-2 試作した反応速度測定装置

間隙相量やセッコウ添加量の異なる種々の試製セメントペーストの流動性とそれに及ぼす混合材の影響を検討した。ペーストの流動性は、セメント中のCa₄Al₂Fe₂O₁₀(以下C₄AF)量を増加させても低下せず、間隙相量よりもCa₃Al₂O₆(以下C₃A)量に依存すること、また、C₃A量を増大した場合には、セッコウ添加量の増加により流動性が改善されることを確認した。また、C₃A量の多いセメントに対し、各種混合材の流動性改善効果を比較した結果、高炉スラグ微粉末では20%以上の混合が必要であるが、石灰石微粉末では10%程度の混合で流動性が改善され、その効果が最も大きいことが明らかになった。新たに開発した

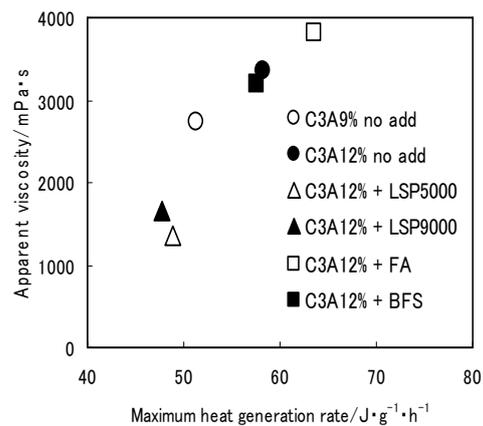


図-3 注水直後の反応速度と流動性の関係 (LPS 石灰石微粉末、FA: フライアッシュ、BFS: 高炉スラグ部粉末)

熱応答速度が速い反応速度測定装置を用いて、セメントの極初期の水和発熱速度を測定した結果、石灰石微粉末の添加により、注水直後の発熱速度が大きく低減し、初期水和が抑制されていることが明らかになった。さらに、図-3 に示すようにセメントの注水直後の初期水和とペーストの流動性が関連することを明らかにし、ペーストの流動性管理手法として、セメントの注水直後の水和反応速度測定による可能性を指摘した。

③微小量サンプル断熱熱量計

図-4 に示すようなフィルムケースに入る程度の試料量で断熱温度上昇特性が測定可能なように断熱熱量計を開発した。試作した断熱熱量計では、砂セメント比を2から3としたモルタルで、一般のコンクリートと同程度の温度履歴を得ることができ、簡便な品質管理手法として利用可能であることを明らかにした。

図-5 に、この装置を用いた測定結果の一例を示す。セメントの間隙相量に伴い断熱温度上昇量は増加するが、 C_3A 量を9%から12%まで、 C_4AF 量ならば9%から14%まで増大しても、断熱温度上昇量はほとんど増加せず、断熱温度上昇量はセメント中のエーライト (Ca_3SiO_5) 量により決定さ



図-4 微小量試料による断熱熱量計

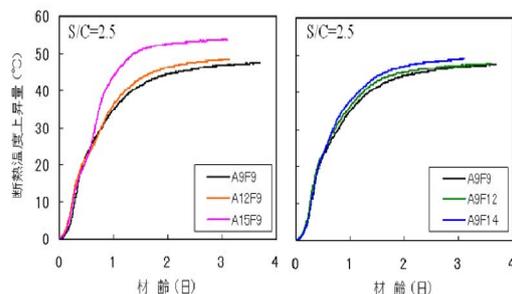


図-5 断熱温度上昇測定例

れていることを明らかにした。また、 C_3A 量が多いほどセッコウ添加量の増加により断熱温度上昇量は低下し、 C_3A 量が15%程度であっても、 SO_3 量を4%まで増加すれば、断熱温度上昇量は C_3A 量9%程度のセメントと同等の値を示した。また、間隙相量の多いセメントでは、高炉スラグ微粉末を20%混合することで断熱温度上昇量が低減することが明らかとなった。

以上のように間隙相量を増大したセメントの簡便な品質管理手法として、セメントペーストでコンクリートの流動性を評価する方法と少量のモルタルで簡易に断熱温度上昇量を測定できる新たに開発した微小量断熱熱量計を使用する方法を提案した。

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 12 件)

- ① 萩原清市、坂井悦郎、佐藤博、浅賀喜与志、長期間に亘る測定で高性能を目指した断熱温度上昇測定装置の開発、Netsu Busei, Vol. 23 (1), 21-26 (2009) 査読有
- ② 丸屋英二、坂井悦郎、萩原清市、大門正機、セメントの断熱温度上昇特性に及ぼす間隙相組成および高炉スラグ微粉末の影響、材料 Vol. 57 (10)、999-1004 (2008) 査読有
- ③ 一瀬龍太郎、坂井悦郎、大門正機、丸屋

- 英二、石灰石微粉末を置換したアルミネート高含有セメントの特性、Cement Science and Concrete Technology, No, 62, 8-13(2008) 査読有
- ④ Etsuo Sakai, Keisuke Aizawa, Akinori Nakamura, Hiro Yoshi Kato and Masaki Daimon, Influence of superplasticizers on the fluidity of cements with different amount of aluminate phase, Proc. Second Int' l Symp. On Ultra High Performance Concrete, 85-92(2008) 査読有
- ⑤ Eiji Maruya, Etsuo Sakai and Masaki Daimon, Influence of the interstitial phase composition on the fluidity and the adiabatic temperature rise of cement increased interstitial phase, Proc. of The 3rd ACF Int' l Conf. -ACF/VCA2008, 158-164(2008) 査読有
- ⑥ 丸屋英二、坂井悦郎、萩原清市、大門正機、間隙相量を増大したセメントの断熱温度上昇特性、Cement Science and Concrete Technology, No, 62, 68-75(2008) 査読有
- ⑦ 坂井悦郎、丸屋英二、新大軌、山田貴之、アルミネート相量の異なるセメントの流動性に及ぼす高炉スラグ微粉末の影響、Cement Science and Concrete Technology, No, 61, 8-13(2007) 査読有
- ⑧ 丸屋英二、坂井悦郎、萩原清市、大門正機、少量サンプル断熱熱量計によるセメントの品質管理手法の開発、Cement Science and Concrete Technology, No, 61, 86-92(2007) 査読有
- ⑨ 丸屋英二、坂井悦郎、萩原清市、大門正機、少量サンプル断熱熱量計の開発とその利用、材料、Vol. 56(11), 1076-1080(2007) 査読有
- ⑩ 坂井悦郎、エコマテリアルとしての混和材、コンクリート工学、Vol. 45(5)、56-59(2007) 査読有
- ⑪ 坂井悦郎、熱測定とセメント・コンクリート、J. Inorganic Materials, SOC. Japan, Vol. 14, 459-(2007) 査読有
- ⑫ 坂井悦郎、社会のインフラと材料、Material Integration, Vol. 20, 32-36(2007) 査読無
- [学会発表] (計 13 件)
- ① 柿沼保夫、相川豊、市川牧彦、黒川大亮、坂井悦郎、高強度セメントペーストの流動性に及ぼすセメントの粒度分布の影響、日本セラミックス協会 2009 年年会、2009 年 3 月 17 日、千葉
- ② 茂木淳、大場陽子、坂井悦郎、大門正機、マグネシアリン酸塩セメントの硬化反応と Pb 溶出抑制、日本セラミックス協会 2009 年年会、2009 年 3 月 17 日、千葉
- ③ 依田侑也、茂木淳、大場陽子、坂井悦郎、大門正機、ドロマイトー高炉スラグ微粉末系材料の水和と六価クロム固定、日本セラミックス協会 2009 年年会、2009 年 3 月 17 日、千葉
- ④ 一瀬龍太郎、坂井悦郎、大門正機、丸屋英二、石灰石微粉末を添加したアルミネート高含有セメントの流動性、第 62 回セメント技術大会 2008 年 5 月 28 日東京
- ⑤ 増田佳介、柿沼保夫、坂井悦郎、相川豊、サスペンションの流動性に及ぼす粉体の形状と充填性の影響、第 62 回セメント技術大会 2008 年 5 月 29 日東京
- ⑥ 丸屋英二、坂井悦郎、大門正機、萩原清市、間隙相量を増大したセメントの断熱温度上昇特性、第 62 回セメント技術大会 2008 年 5 月 30 日東京

- ⑦ 柿沼保夫, 相川豊, 市川牧彦, 黒川大亮, 坂井悦郎, 大門正機, 粒度分布を考慮した無機粉体ペーストの流動性、日本セラミックス協会 2008 年年会、2008 年 3 月 21 日、長岡
- ⑧ 山田貴之, 坂井悦郎, 大門正機, 新大軌 アルミネート相量の異なるセメントの流動性に及ぼす分散剤後添加の影響、日本セラミックス協会 2008 年年会、2008 年 3 月 21 日、長岡
- ⑨ 神山亮, 盛岡実, 大場陽子, 坂井悦郎, 大門正機, 層状カルシウムアルミネート水和物による着色剤の固定、日本セラミックス協会 2008 年年会、2008 年 3 月 21 日、長岡
- ⑩ 茂木淳, 青木徹, 大場陽子, 坂井悦郎, 大門正機, ドロマイトーリン酸塩系セメントの特性、日本セラミックス協会 2008 年年会、2008 年 3 月 21 日、長岡
- ⑪ 坂井悦郎, 山田貴之, 新大軌, 丸屋英二, アルミネート相量の異なるセメントの流動性に及ぼす高炉スラグ微粉末の影響、第 61 回セメント技術大会、2007 年 6 月 1 日東京
- ⑫ 丸屋英二, 坂井悦郎, 大門正機, 萩原清市, 少量サンプル用断熱熱量計によるセメントの品質管理手法の開発、第 61 回セメント技術大会、2007 年 6 月 1 日東京
- [図書] (計 2 件)
- ① 笠井芳夫, 坂井悦郎編著、新セメント・コンクリート用混和材料、技術書院 (2007) (ページ数 392)
- ② 大門正機・坂井悦郎編、社会環境マテリアル、技術書院 (2008) (ページ数 247)
- [産業財産権]
- 出願状況 (計 1 件)
名称：セメント組成物の製造方法
発明者：坂井悦郎、中村明則、加藤弘義、関卓哉
権利者：東京工業大学、(株)トクヤマ
種類：特許願

番号：2007-133240
出願年月日：2007 年 5 月 18 日
国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂井悦郎 (SAKAI ETSUO)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究番号：90126277

(2) 研究分担者

大場陽子(OHBA YOHKO)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：50223938

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

丸屋英二(MARUYA EIJI)

東京工業大学大学院理工学研究科博士課程 (宇部興産(株))