

鉱物質粉末系混和材を用いたコンクリートの発熱特性の評価

太平洋セメント(株)
(株)デイ・シイ
足利工業大学

正会員
正会員
正会員

○兵頭彦次
二戸信和
宮澤伸吾

平尾 宙

山田一夫

1. はじめに

近年、循環型社会の形成が求められる社会的背景の下、フライアッシュや高炉スラグといった副産物系の鉱物質微粉末の有効活用が重要性を増してきている。これらの粉末をコンクリートへ適用した場合、一般に低発熱化、強度発現の長期化などの特徴を示す。また遮塩性、ASR 抵抗性などの耐久性能についてはポルトランド系のセメントと比べて優れた性能を示すことが良く知られており、構造物の要求性能や環境条件に応じて合理的な適用を図っていく必要があると考えられる。著者らは環境負荷低減およびセメントの耐久性、体積変化特性の向上を目的として、フライアッシュ、高炉スラグおよび石こうを主成分とする混和材を試製した。本報告では、普通ポルトランドセメントに同混和材を内割で 25 質量%置換した場合の発熱特性について評価した結果を報告する。

2. 実験概要

2. 1 混和材の種類

混和材は、Ⅱ種フライアッシュをベースとしたタイプ(Type1)、Ⅱ種フライアッシュと高炉スラグを併用したタイプ(Type2)の 2 種類を試製した。表-1 に混和材に使用した鉱物質微粉末の基本物性を、表-2 に混和材の化学成分値をそれぞれ示す。

2. 2 使用材料・配合

表-3 にコンクリートに用いた材料を、表-4 にコンクリートの配合および標準養生時の圧縮強度を材齢 28, 91 日についてそれぞれ示す。W/B は 52% および 30% の 2 種類とした。混和材は普通ポルトランドセメントに内割で 25 質量%置換した(配合記号: Type1, Type2)。比較として普通ポルトランドセメント単体の配合も用意した(配合記号: N)。フレッシュ性状は、W/B=52% の場合、単位水量および AE 助剤でスランプ 12±1.5cm、空気量 4.5±1.5% の範囲に、W/B=30% の場合、高性能減水剤でスランプフロー 55±10cm、消泡剤で空気量 2.0% 以下の範囲となるようそれぞれ調整した。標準養生時の圧縮強度は、Type1 の場合材齢 91 日で、Type2 の場合材齢 28 日でそれぞれ N と同等となった。

2. 3 実験方法

①断熱温度上昇試験: 20℃恒温で練混ぜを行なった後、空気循環式の断熱温度上昇試験機(試料寸法: φ400×400mm)で材齢 7 日まで測定を行なった。②簡易断熱試験: 図-1 に示す簡易断熱容器(容器厚さ 200mm)に 400×400×400mm の供試体を打込み、T 型熱電対で中心温度を材齢 7 日まで測定した。

表-1 鉱物質微粉末の基本物性

材料	基本物性
Ⅱ種フライアッシュ	密度: 2.18g/cm ³ , 活性度指数: 86(28d), 101(91d)
高炉スラグ微粉末	密度: 2.91g/cm ³ , フレッシュ値: 8030cm ² /g

表-2 混和材の化学成分値

混和材	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
Type1	39.1	20.2	2.54	17.7	0.85	9.23
Type2	30.3	14.7	1.45	31.6	2.53	9.13

表-3 コンクリートの使用材料

材料	銘柄および産地	備考
セメント	普通ポルトランドセメント	密度: 3.16g/cm ³
混和材	Type1, Type2	フライアッシュ系, フライアッシュ+高炉スラグ系
細骨材	栃木県鬼怒川産川砂	密度: 2.61g/cm ³
粗骨材	栃木県葛生産砕石	密度: 2.68 g/cm ³
混和剤	AE 減水剤/高性能減水剤	リガコン系/ポリカルボン酸系
	AE 助剤/消泡剤	空気量調整用

表-4 コンクリートの配合および圧縮強度(標準水中)

W/B (%)	配合記号	混和材置換率 (%)	単位量(kg/m ³)					圧縮強度(N/mm ²)	
			W	C	混和材	S	G	28d	91d
52	N	—	165	317	—	860	948	40.1	45.1
	Type1	25	160	231	77	861	948	34.6	44.0
	Type2	25	160	231	77	867	948	39.7	46.9
30	N	—	160	533	—	811	895	92.3	98.4
	Type1	25	160	400	133	790	895	86.8	104
	Type2	25	160	400	133	777	895	89.5	101

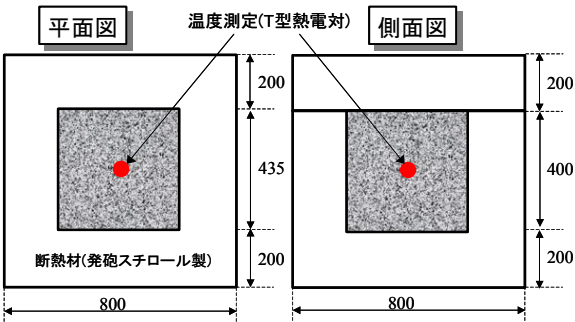


図-1 簡易断熱試験方法 単位: mm

キーワード 混和材, フライアッシュ, 高炉スラグ, 断熱温度上昇, 簡易断熱, FEM 温度解析

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株)中央研究所 Tel: 043-498-3909

3. 実験結果

①断熱温度上昇試験結果

図-2 に断熱温度上昇試験結果を示す。最終温度、温度上昇速度ともに、W/BにかかわらずNが最も大きく、Type2、Type1の順に小さくなった。混和材を用いたときのNに対する温度低減量(材齢7日時点)は、W/B=30%の場合3~6℃程度、W/B=52%の場合5~8℃程度であり、低発熱化の効果が認められた。表-5に、W/B=52, 30%の測定結果を式(1)および式(2)でそれぞれ回帰したときの各係数を示す。

$$Q(t)=Q_{\infty}\{1-\exp(-\alpha t)\} \quad (1)$$

$$Q(t)=Q_{\infty}\{1-\exp(-\alpha t^{\beta})\} \quad (2)$$

②簡易断熱試験結果

温度解析を行なう場合、発熱特性として断熱温度上昇特性を用いることが一般的である。しかしながら、断熱温度上昇特性は断熱状態での水和発熱を模擬した試験から得られたものであり、断熱状態にない場合の水和発熱とは厳密には異なるとの指摘がある^{1),2)}。また一方で、鉱物質微粉末を用いた場合、水和発熱の温度依存性が大きくなることが知られており、条件によっては断熱温度特性から求めた解析結果と実際の温度履歴と乖離する可能性が考えられた。そこで温度履歴が異なる断熱温度上昇試験結果と簡易断熱試験結果の両者の相関性をFEM温度解析によって確認し、簡易的に、混和材を用いた場合の水和発熱の温度依存性について確認した。解析モデルは、

供試体の1/8(200×200×200mm)の3次元モデルとし、発熱特性として前述の断熱試験の実測値を与えた。境界条件は簡易断熱容器と接する面を熱伝達境界、それ以外の面を断熱境界とした。熱伝達率はNについて解析を行い、実測値と解析値の残差平方和が最小になる値として本検討では0.40 W/m²℃を用いた。図-3に、簡易断熱試験時の中心温度履歴(打込み時の温度からの上

昇度)および解析結果を示す。解析値と実測値の差はW/Bにかかわらず最大で2℃程度であり、混和材を用いた場合の温度履歴を解析によって精度よく追従できた。このことから、本試験条件の範囲では、混和材を添加したことによる水和発熱の温度依存性は少なくともNとほぼ同等と判断でき、実務的には断熱温度上昇特性を用いて温度解析を行っても大幅な精度低下は生じないと考えられる。ただし、低温環境や混和材置換率を大きくした場合、水和発熱への影響が大きい可能性があるため今後の検討課題としたい。

4. まとめ

フライアッシュ、高炉スラグおよび石こうを主成分とする混和材を試製し、Nに対し内割で25質量%置換した場合のコンクリートの発熱特性について検討した。本検討の範囲内で得られた知見をまとめる。

(1) 標準養生時の圧縮強度は、Type1の場合材齢91日で、Type2の場合材齢28日でそれぞれNと同等となった。(2) 混和材の添加により、終局温度、発熱速度が小さくなり、低発熱化の効果が認められた。(3) FEM温度解析と簡易断熱試験時の温度履歴の整合性から、混和材を用いた場合の水和発熱の温度依存性はNとほぼ同等と判断された。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御に関する研究委員会報告書，2006年6月，pp75, 2) 鈴木ほか：フライアッシュセメントのマスコンクリート建築工事への適用 その3，日本建築学会大会学術講演概要集(関東)，2006年9月，pp125-pp126

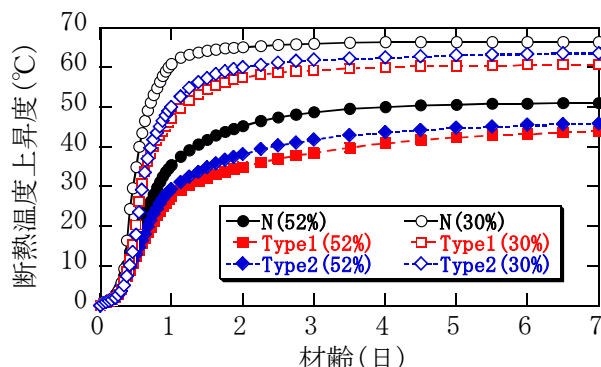


図-2 断熱温度上昇試験結果

表-5 断熱温度上昇式の回帰係数

W/B (%)	配合記号	Q_{∞}	α	β
52	N	52.2	0.95	—
	Type1	43.5	0.82	—
	Type2	46.3	0.84	—
30	N	64.9	3.74	2.48
	Type1	58.3	1.95	2.16
	Type2	60.8	2.08	2.42

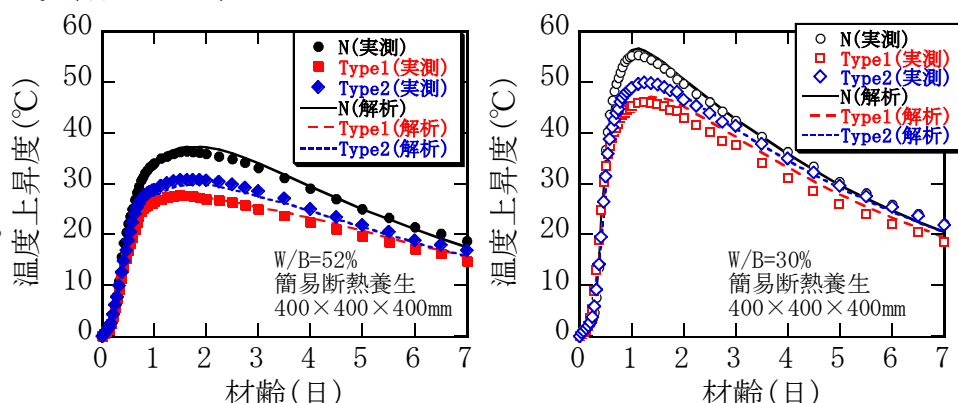


図-3 断熱温度特性から求めた解析値と簡易断熱試験時結果の比較