

MSWスラグ微粉末を用いたコンクリートの発熱特性

東北学院大学大学院 学生員 櫻井晋弥
東北学院大学 正会員 遠藤孝夫
宮城農業短期大学 正会員 北辻政文

1. はじめに

近年、ごみ溶融スラグ（以下MSWスラグと記す）を混和材として用いたコンクリートが提案されている。スラグの発生量は増加傾向にあり、MSWスラグを混和材として有効利用することはゼロエミッション、環境保全の見地から極めて有効である。このMSWスラグを混和材として用いたコンクリートは北辻らが行った実験¹⁾より、高炉スラグを用いた場合と同等かそれ以上に低発熱型のセメントとしてマスコンクリートへの利用の可能性があることが報告されている。

そこで、本研究では試験打設したコンクリートの温度測定値をもとに、熱特性値を逆解析によって算定し、コンクリートの発熱特性を検討した。

2. 使用材料および試験方法

MSWスラグをボールミルで比表面積がセメントと同程度の約 $4,000\text{cm}^2/\text{g}$ となるように微粉碎したものを供試試料とした。

試験に用いたコンクリートの配合を表-1に示す。MSWスラグ微粉末の他に普通ポルトランドセメント（密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$ 、比表面 $3,290\text{cm}^2/\text{g}$ ）を用いた。MSWスラグ微粉末の置換率は、普通ポルトランドセメントに対し、質量比で30、70%とし、図-1に示す形状を有するコンクリート供試体を打設し、この中に温度計（A1～A6）を埋設しコンクリート内部温度の測定を行った。

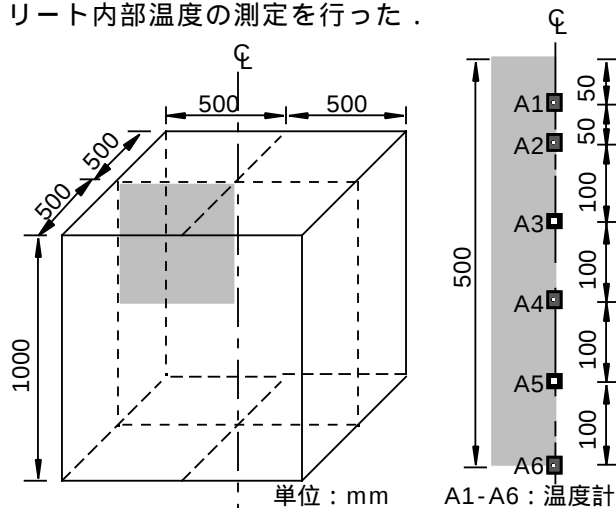


図-1 供試体形状および温度計位置

3. 逆解析理論

本研究では、逆解析手法にGauss-Newton法を採用した。誤差関数 f を次のように定義する。この誤差関数を最小とするような未知パラメータ $\tilde{X}$ が推定したい物性値である。

$$f = \sum_{i=1}^N \left\{ u_i(t) - T_i(\tilde{X}, t) \right\}^2 \quad (1)$$

ここで、 f ：逆解析の測定点数

t_0, t_1 ：逆解析を行う時間の下限と上限

$u_i(t)$ ：時刻 t における i 点の測定温度

$T_i(\tilde{X}, t)$ ：時刻 t における i 点の解析温度

いま、式(2)のように $T_i(\tilde{X}, t)$ を $\tilde{X}$ について1次の項までTaylor展開で近似した値に置き換え、式(1)と区別するために $\hat{f}$ とおけば次式を得る。

$$\hat{f} = \int_{t_0}^{t_1} \sum_{i=1}^N \left\{ u_i(t) - T_i(\tilde{X}, t) - \sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial T_i}{\partial X_j} \right) DX_j \right\}^2 dt \quad (2)$$

誤差関数 $\hat{f}$ を最小とする条件 $\frac{\partial \hat{f}}{\partial X_k} = 0$ より

$$\sum_{j=1}^m \left\{ \int_{t_0}^{t_1} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial T_i}{\partial X_j} \right) \left(\frac{\partial T_i}{\partial X_k} \right) dt \right\} DX_j = \int_{t_0}^{t_1} \sum_{i=1}^N \left\{ u_i(t) - T_i(\tilde{X}, t) \right\}^2 \left(\frac{\partial T_i}{\partial X_k} \right) dt \quad (k=1, \dots, m) \quad (3)$$

上式を解くことにより、 $\tilde{X}$ を推定することができる。

4. 解析条件

熱特性値としてコンクリートの熱伝導率 κ 、熱伝達率 h 、終局断熱温度上昇量 Q_c 、断熱温度上昇速度に関する定数 g 、コンクリート比熱 C_c の5つのパラメータを選択した。

解析モデルは、図-1に示す立方体形状のマスコンクリートを試験的に木製の板上に打設した供試体を想定したものである。解析の対象となるマスコンクリートは等方等質の物質と仮定し、熱的な境界条件を設定した。境界条件は、モデルの底面が固定温度境界、側面が断熱温度境界、上面が対流温度境界とした。

また、順解析における温度の計算では、1次元モデルを考えSchmidt法を用いた。

キ・ワード：MSWスラグ、発熱特性、逆解析

連絡先：〒985-8537 宮城県多賀城市中央1丁目13-1 電話番号：022-368-1115

表-1 配合表

スラグ 微粉末 置換率 (%)	Gmax (mm)	水セメン ト比 W/C (%)	スラン プ SL (cm)	空気量 Air (%)	細骨材 率 S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 Ad
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
0	20	60.0	8.0	4.5	46.0	170	283	858	1069	0.709
30	20	60.0	8.0	4.5	46.0	170	283	858	1069	0.708
50	20	60.0	8.0	4.5	46.0	170	283	852	1063	0.708

表-2 解析に用いた初期値

物性値	初期値
熱伝導率 [kcal/cm hr]	0.023
比熱 [kcal/kg]	0.28
密度 [kg/cm ³]	0.0023
熱伝達率 [kcal/cm ² hr]	0.0011
固定温度 []	10
終局断熱温度上昇量: Q _c	36
断熱温度上昇速度に関する定数:	0.57

表-3 解析結果

スラグ 微粉末 置換率 (%)	断熱温度上昇試験結果		解析結果				
	断熱温度上昇 速度に関する定数	終局断熱 温度上昇量 Q _c []	断熱温度上昇 速度に関する定数	終局断熱 温度上昇量 Q _c []	熱伝達率 c [kcal/cm ² hr]	熱伝導率 c [kcal/cm hr]	比熱 C _c [kcal/kg]
0	0.694	49.3	0.570	45.0	0.0016	0.023	0.23
30	0.552	48.0	0.561	26.2	0.0011	0.023	0.25
50	0.470	44.3	0.518	21.4	0.0011	0.023	0.28

解析に用いた初期値は、普通ポルトランドセメントを使用した既往のデータ²⁾を参考にし、表-2に示す値とした。ただし、打込み時の温度は測定値とした。

5. 解析結果および考察

解析結果を表-3に示す。表中の断熱温度上昇試験結果とは室温20±1の環境で行った試験結果であり、コンクリート内部の温度測定を行った試験とは環境が異なる。断熱温度上昇特性に影響を及ぼす諸要因の1つである打込み時の温度が異なるため、断熱温度上昇試験結果と解析より得られた終局断熱温度上昇量および断熱温度上昇速度に関する定数では差異が生じている。しかし、MSWスラグ微粉末の置換率の増加に伴い終局断熱温度上昇量が減少する傾向が示された。また、熱伝導率と比熱は既往のデータ²⁾より一般的な値と考えられる。

図-2は供試体表面から5cmの位置にあるA1、図-3は供試体表面から50cmの位置にあるA6の実測値と解析値の温度履歴であり、解析値は概ね良好な結果が得られた。

6. まとめ

本研究は、試験打設したMSWスラグ微粉末を混和材として用いたコンクリートの温度測定値をもとに、逆解析によって熱特性値を算定した。その結果、MSWスラグ微粉末の置換率の増加に伴い終局断熱温度上昇量が小さくなり、発熱抑制効果が大きくなる傾向が示された。さらに、解析より得られた温度履歴が良好であるため、算定した熱特性値は適当な値と考えられる。

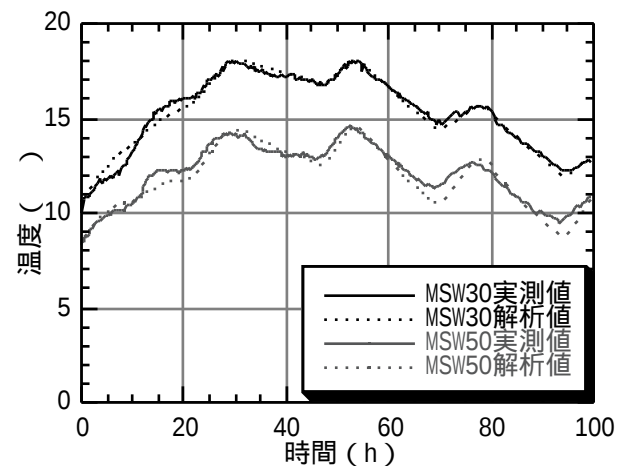


図-2 A1の温度履歴

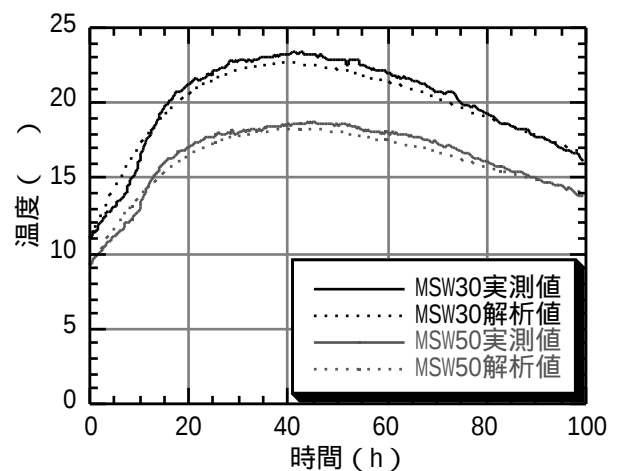


図-3 A6の温度履歴

参考文献

- 1) 北辻政文：ごみ溶融スラグ微粉末を混和材として用いたコンクリートの性質，平成12年度土木学会東北支部技術発表会講演概要，pp.574-575,2000
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書〔施工編〕，pp.182-186,1996