

高炉スラグ高含有コンクリートの断熱温度上昇特性に関する検討

西松建設株式会社 正会員 ○高木 雄介, 椎名 貴快, 我彦 聡志
戸田建設株式会社 正会員 田中 徹, 土師 康一, 澤村 淳美

1. 目的

近年、コンクリート構造物の建設において、CO₂削減や発熱抑制効果を目的として、高炉スラグ微粉末（以下、BFS と示す）やフライアッシュなどの産業副産物を多量に混合する結合材を用いたコンクリートの利用が進められている。しかし、温度ひび割れ解析に必要となる断熱温度上昇特性のデータはまだ十分ではない。

本研究では、BFS 置換率 70%で水結合材率の小さい高炉スラグ高含有コンクリートを対象に、BFS 中に添加するせっこう成分が二水または無水で異なる時、圧縮強度や断熱温度上昇特性に及ぼす影響について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 使用材料および配合

表－1 に BFS の仕様を示す。セメントは普通ポルトランドセメント（以下、N セメント）、BFS は 4000 で、BFS に添加するせっこうは、結晶水数の異なる二水せっこう（CaSO₄・2H₂O）および無水せっこう（CaSO₄）の 2 種類とした。またせっこうの添加量は、JIS R 5211 における高炉セメント B 種の規定（三酸化硫黄（以下、SO₃）4.0%以下）および N セメントにおける標準的な SO₃ 含有量 2.0%を参考に、本試験では SO₃ 量換算で 2.0%となるように調整した。細骨材には山砂と石灰砕砂の混合砂、粗骨材には石灰石碎石を使用した。

2.2 配合

表－2 に配合を示す。BFS の置換率は 70%で、水結合材比（以下、W/B）は 45%、40%、32%の 3 水準とした。

3. 試験結果

3.1 圧縮強度

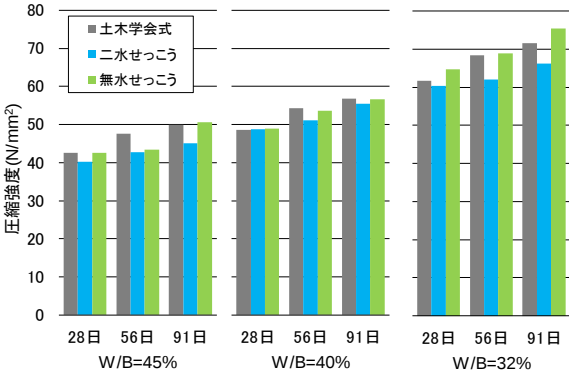
図－1 に本実験で得られた圧縮強度試験結果を土木学会のスラグ設計・施工指針¹⁾に示された高炉セメント C 種での圧縮強度式から求めた計算結果と比較して示す。二水せっこうは無水せっこうと比較して強度がやや低い傾向が見られた。また、土木学会式の計算値は、無水せっこうを用いた配合と比較的良く一致し、一方で二水せっこうを用いた場合にはやや危険側の予測結果になった。

表－1 高炉スラグ微粉末

項 目	高炉スラグ微粉末 4000		
	JIS A 6206 規格値	二水 せっこう	無水 せっこう
密度 (g/cm ³)	2.80 以上	2.88	2.89
比表面積 (cm ² /g)	3500 以上 5000 未満	4500	4310
活性度指数 (%)	材齢 7 日	55 以上	68
	材齢 28 日	75 以上	88
	材齢 91 日	95 以上	100
フロー値比 (%)	95 以上	100	99
酸化マグネシウム (%)	10.0 以下	7.00	6.13
三酸化硫黄 (%)	4.0 以下	2.10	2.26
強熱減量 (%)	3.0 以下	0.70	0.21
塩化物イオン (%)	0.02 以下	0.003	0.005
水砕スラグ塩基度	1.6 以上	1.94	1.87

表－2 コンクリート配合

せつこう	スラグ置換率 BF/(C+BF) (%)	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)				
			W	B		S	G
				C	BF		
二水	70	45	170	113	264	837	915
		40	170	128	298	795	915
		32	175	164	383	674	915
無水	70	45	170	113	264	838	915
		40	170	128	298	796	915
		32	175	164	383	675	915



図－1 圧縮強度試験結果

キーワード 温度応力解析, 高炉スラグ微粉末, 断熱温度上昇特性, 圧縮強度

連絡先 〒105-0004 東京都港区新橋六丁目 17 番地 21 号 西松建設(株)技術研究所 TEL. 03-3502-0249

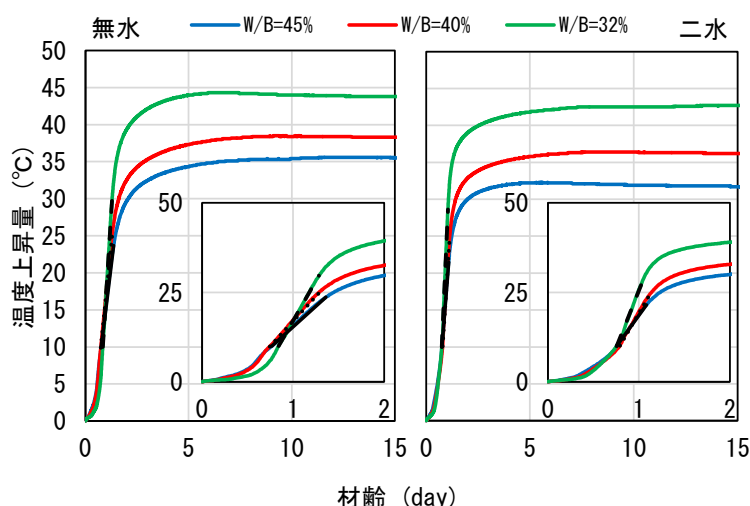


図-2 断熱温度上昇特性

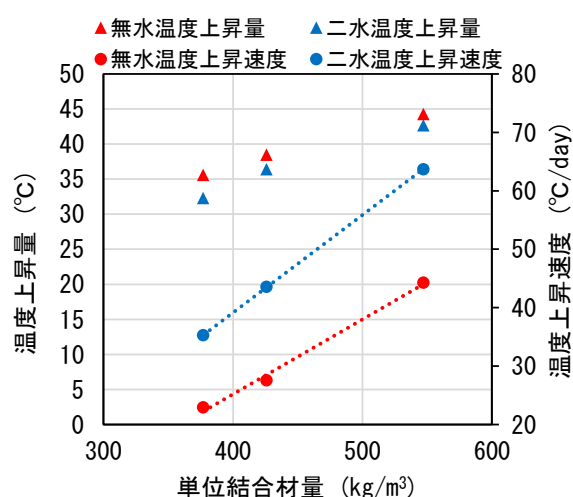


図-3 セッコウの違いによる諸要素の関係

3.2 断熱温度上昇特性

図-2 に断熱温度上昇試験結果を示す．終局断熱温度上昇量は，二水セッコウを添加した場合に比べて，無水セッコウを添加した方が W/B が大きいほどやや高い傾向（ $45\% > 40\% > 32\%$ ）であった．また，温度上昇速度の指標として，断熱温度上昇試験データから温度上昇速度に関わる値を α として求めた．なお，本試験では高水粉対比かつ，高炉スラグ高含有であるため，参考文献²⁾を参考に，簡易的に式(1)と定義した．

$$\text{温度上昇速度 } \alpha = \frac{T_{2/3\max} - 10^{\circ}\text{C}}{t_{2/3\max} - t_{10^{\circ}\text{C}}} \quad \cdots \text{式(1)}$$

$T_{2/3\max}$ ：終局温度上昇量の 2/3 点 ($^{\circ}\text{C}$)

$t_{2/3\max}$ ：終局温度上昇量 2/3 点 (day)

$t_{10^{\circ}\text{C}}$ ： 10°C 到達点 (day)

図-3 に温度上昇速度，温度上昇量および結合材量の関係を示す．結合材量の増加により，温度上昇速度は線形的に増加した．また，温度上昇量がやや高かった無水に比べ，二水セッコウを添加した場合，温度上昇速度が高い結果となった．これは，比表面積が無水の方が低く，粗かったことも要因の一つとして考えられるが，塩基度が上昇量や上昇速度に影響を及ぼすことが報告されている²⁾．そのため，僅かではあるが二水の塩基度が高かったことによる反応速度の違いによって生じているものと推定した．以上より，BFS に添加するセッコウの種類により，断熱温度上昇特性が異なる結果となった．

4. まとめ

高炉セメント中のセッコウ添加量の増大は水和熱を低減し，初期強度を高めるが長期強度の発現が低下することが明らかにされている．しかし，使用するセッコウの種類によってその影響程度は変化し，二水セッコウが最も大きく，半水，無水の順に影響が小さくなることも指摘されている³⁾．

本試験では既往の報告と同様に，二水セッコウを使用した場合は無水セッコウを使用した場合より最大温度上昇量や長期強度が低い傾向が見られた．また，温度上昇速度もセッコウの違いにより異なる傾向が見られ，無水セッコウと二水セッコウを同一算定式として評価することができない可能性がある．

参考文献

- 1) 土木学会：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計・施工指針，コンクリートライブラリー151，2018.9
- 2) 伊代田 岳史・ほか：高炉スラグ微粉末混入セメントの発熱特性に及ぼす各種要因の把握，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，2006
- 3) 花田光雄・宮入英彦：高炉セメントに関する研究－主としてセッコウの影響について，セメント技術年報，Vol.16，1962.