

低炭素型のコンクリートの熱膨張係数および断熱温度上昇特性に関する検討

前田建設工業株式会社 正会員 ○白根 勇二 宮野 和樹

大成建設株式会社 正会員 荻野 正貴 正会員 大脇 英司

独立行政法人土木研究所 正会員 中村 英佑

1. はじめに

高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材を積極的に利用した低炭素型のコンクリートは、セメント量が少ないためコンクリートの発熱温度が抑制され、温度ひび割れに対して有効であると考えられるが、温度特性を検討を実施した事例は少ない。そこで、本研究では低炭素型のコンクリートの熱膨張係数の測定と簡易断熱温度試験を実施し、温度特性に関する検討を行った。本稿ではこれらの結果について報告する。

2. 試験概要

2. 1 配合および使用材料

表-1 に、検討対象とした低炭素型のコンクリートと比較コンクリート(N100)の配合、および使用材料を示す。低炭素型のコンクリートには早強ポルトランドセメントを使用し、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフェームおよび無水石こうを各割合で混合した。また、水結合材比は材齢 28 日の強度が一定(配合強度として 28.8N/mm²)となるよう決定した。図-1 に低炭素型のコンクリートの圧縮強度試験結果を示す。

2. 2 熱膨張係数の測定

熱膨張係数の測定に供する試験体は、直径 100mm×高さ 200mm の円柱とし、中心に埋込み型ひずみ計を埋設した。材齢 3 日まで室温 20℃の環境で湿潤養生した後、型枠を外し、20℃環境にて封緘養生を行った。材齢 28 日経過後に図-2 に示す温度履歴(10~60℃, 4 サイクル, 温度変化約 1.4℃/hr)を与えてひずみを測定した。

2. 3 簡易断熱温度試験

図-3 に示す断熱材(厚さ 200mm)と型枠で覆った 450mm×450mm×450mm のマスブロック内に、熱電対を埋設して打込み直後から温度を測定した。断熱温度上昇特性の推定は、既往の研究¹⁾を参考にブロック中心温度と外気

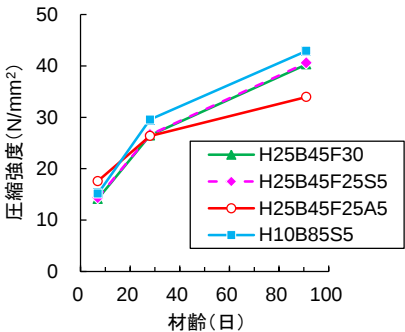


図-1 低炭素型コンクリートの圧縮強度

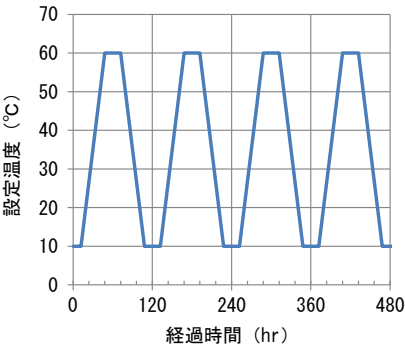


図-2 熱膨張係数測定の温度履歴

表-1 コンクリートの配合および使用材料

配合名	配合条件				単位量 (kg/m ³)											
	スランプ (cm)	空気量 (%)	水結合材比 (%)	s/a (%)	水						結合材		細骨材		粗骨材	
					W	N	H	B	F	S	A	S1	G1	G2	AD1	AD2
N100			55.0	45.0	165	300	—	—	—	—	—	810	510	510	0.25	—
H25B45F30	12	4.5	40.5	45.0	165	—	102	183	122	—	—	747	471	471	—	0.45
H25B45F25S5	±	±	42.1	45.0	165	—	98	176	98	20	—	754	475	475	—	0.75
H25B45F25A5	2.5	1.5	43.4	45.0	165	—	95	171	95	—	19	761	479	479	—	0.7
H10B85S5			42.5	45.0	165	—	39	330	—	19	—	764	481	481	—	0.4

※配合名は、アルファベット記号が結合材の種類を、数字が結合材中に含む質量割合を示す。

[使用材料]

- N : 普通ポルトランドセメント, 密度 3.16g/cm³
H : 早強ポルトランドセメント, 密度 3.14g/cm³
B : 高炉スラグ微粉末 4000, 密度 2.90g/cm³
F : ファイッシュ II 種, 密度 2.30g/cm³
S : シリカフェーム, 密度 2.25g/cm³
A : 無水石こう, 密度 2.90g/cm³
S1 : 静岡県掛川産陸砂, 表乾密度 2.56 g/cm³
- G1 : 茨城県笠間産 5 号砕石, 表乾密度 2.67g/cm³
G2 : 茨城県笠間産 6 号砕石, 表乾密度 2.67g/cm³
W : 水道水
AD1 : AE 減水剤, リグニルスルホン酸化合物とポリオール複合体
AD2 : リグニルスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体
AD3 : 空気量調整剤, 変性ポリリン酸化合物系陰イオン界面活性剤
AD4 : 空気量調整剤, 高アルキルリン酸系陰イオン界面活性剤と非イオン界面活性剤の複合体

キーワード 低炭素, CO₂ 排出削減, 高炉スラグ微粉末, フライアッシュ, 熱膨張係数, 断熱温度上昇特性

連絡先 〒179-8914 東京都練馬区旭町1-39-16 前田建設工業(株)技術研究所 TEL 03-3977-2384

温の差による熱損失分（放熱温度）を算出して、中心温度に放熱温度を随時加算する方法を適用した。

3. 試験結果および考察

3. 1 熱膨張係数

表-2 に熱膨張係数の測定結果を示す。1 回目の測定で乾燥収縮の傾向があり、2 回目から封緘状態の手直しを行ったため、2 ～4 回目の平均値を示している。低炭素型のコンクリートの熱膨張係数は N100 よりも大きく、 $10 \sim 12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度であった。一般的に、高炉セメント B 種を用いたコンクリートの熱膨張係数はポルトランドセメントを用いた場合よりも大きく、 $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度あることが知られている²⁾が、高炉スラグ微粉末を高混入している低炭素型のコンクリートは高炉セメント B 種を用いたコンクリートと同程度であった。また、シリカフェームを混合した H25B45F25S5 や無水せっこうを混合した H25B45F25A5 の熱膨張係数は、H25B45F30 よりも小さくなる傾向が認められ、特に無水せっこうの混合による影響が大きかった。

3. 2 断熱温度上昇特性

図-4 および表-3 に、簡易断熱試験結果から推定した断熱温度上昇特性と近似式を示す。また、図-5 に JCI 指針²⁾から推定した各セメントの終局断熱温度上昇量 Q_{∞} と断熱温度上昇速度に関する係数 r を示し、試験結果と比較する。低炭素型のコンクリートの Q_{∞} は、他セメントと比べると非常に低く、低熱ポルトランドセメントよりも低くなっている。特に、H10B85S5 の Q_{∞} は 26.6°C で発熱温度の抑制効果が高い。また、 r は H25B45F25A5 を除き BB よりも小さく、発熱の上昇速度も抑えられている。無水石こうの影響に着目すると、H25B45F25A5 は H25B45F30 よりも発熱速度が速くなるが、終局断熱温度上昇量が低下する特徴が見られる。これは、図-1 に示す強度発現と同様の傾向であり、発熱と強度との関係性を示唆する結果と考えられる。

4. まとめ

- (1)低炭素型のコンクリートの熱膨張係数は、高炉セメント B 種を用いたコンクリートと同程度であることが確認された。
- (2)終局断熱温度上昇量 Q_{∞} は、低熱ポルトランドセメントよりも小さく、発熱が抑制されることが示された。
- (3)シリカフェームや無水せっこうを混合すると、熱膨張係数が小さくなること、異なる発熱特性を示すことが明らかとなった。

なお、温度ひび割れに対する抵抗性は、発現強度や自己収縮などの要因も含めて検討する必要がある、今後の課題である。

また、本研究は土木研究所が主催する共同研究の成果の一部である。

参考文献

1)吉武勇ら：現場利用可能なマスコンクリートの簡易断熱温度上昇測定法の提案，土木学会論文集，No.606，V-41，pp.103-110，1998.11
2)日本コンクリート工学会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008，pp.47-56 および pp.93-114，2008.11

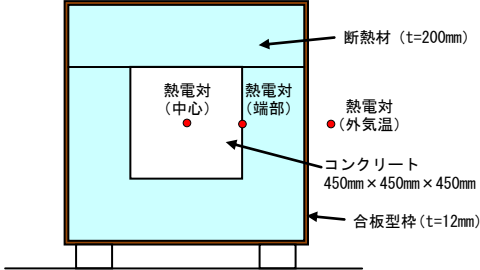


図-3 簡易断熱温度試験の概要

表-2 熱膨張係数の測定結果

配合	サイクル	熱膨張係数 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)		
		上昇時	降下時	平均
N100	2回目	8.48	8.48	8.45
	3回目	8.30	8.56	
	4回目	8.24	8.61	
H25B45F30	2回目	11.11	11.65	11.58
	3回目	11.12	12.10	
	4回目	11.28	12.23	
H25B45F25S5	2回目	10.04	10.75	10.78
	3回目	10.36	11.43	
	4回目	10.60	11.47	
H25B45F25A5	2回目	9.76	9.74	9.93
	3回目	9.35	10.34	
	4回目	9.83	10.53	
H10B85S5	2回目	11.37	11.22	11.47
	3回目	11.15	11.85	
	4回目	11.41	11.80	

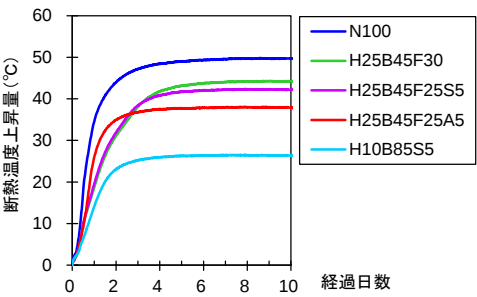


図-4 断熱温度上昇特性

表-3 断熱温度上昇特性の近似式

配合名	$Q(t) = Q_{\infty} [1 - \exp\{-r(t - t_{0,Q})\}]$		
	Q_{∞}	r	$t_{0,Q}$
N100	49.4	1.187	0.086
H25B45F30	44.8	0.636	0.100
H25B45F25S5	42.7	0.734	0.112
H25B45F25A5	38.0	1.195	0.131
H10B85S5	26.6	0.942	0.116

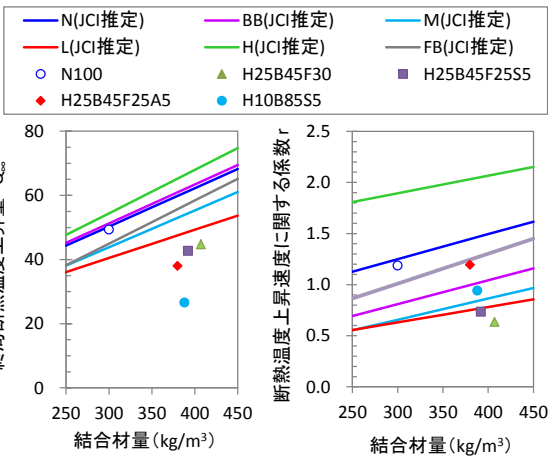


図-5 Q_{∞} および r の他セメントとの比較