

コンクリートの分割施工における境界部の熱伝達に関する実験的検討

東洋建設(株) 正会員 ○竹中 寛  
 東洋建設(株) 正会員 水谷 征治  
 東洋建設(株) 正会員 末岡 英二  
 東洋建設(株) フェロー 佐野 清史  
 早稲田大学 フェロー 清宮 理

1. 目的

筆者らは、マスコンクリートの温度応力に起因するひび割れ(以下、温度ひび割れ)の抑制を目的として、コンクリート内部に薄鋼板の中空材を配置し、当該部コンクリートの打込み時期を遅らせることで、内部蓄熱を低減するHTL(heat time lag)工法(図-1参照)を開発し、実用化を進めている。本稿は、実大モデル試験体(大型・小型)による計測結果から、中空材内部の冷却手法の違いが中空材境界面からの放熱効果に及ぼす影響を明らかにし、温度解析結果との同定(以下、同定解析)から、各種冷却手法を温度応力解析に反映させるための熱伝達境界条件の定量化に言及したものである。

2. 実験概要

モデル試験体のコンクリートは、表-1に示す配合のレディーミクストコンクリート(呼び強度30)とし、セメント(C)は高炉セメントB種を、混和剤にはリグニンスルホン酸系のAE減水剤(Ad)を用いた。大型モデル試験体は、図-2に示すフーチングと壁を模擬した形状とし、フーチング部に冷却条件の異なるφ500mmの中空材を3本、壁部にφ175mmおよびφ100mmの中空材を各1本ずつ配置した。一方、小型モデル試験体は、図-3に示すブロック体の形状とし、冷却効果の異なるφ300mmの中空材を3体の試験体に1本ずつ配置し、図に示す箇所で温度を計測した。モデル試験体の検討条件を表-2に示す。

同定解析は、モデル試験体をモデル化し、3次元FEM温度解析プログラムを用いて行った。表-3に示す物性値を初期条件として解析を行い、モデル試験体の内部温度のうち、中空材の境界面からコンクリートの深さ方向に300mmまでの実測値と解析値を最小二乗法により同定し、冷却開始前後の中空材境界面における見かけの熱伝達係数を算定した。また、断熱温度上昇量の係数は、フーチング部についてはφ500mmの中空材境界面からコンクリートの深さ方向に1000mmの測点、壁部については部材中央部(φ175mmの中空材境界面から約1400mm)の測点において実測値と解析値と同定して求めた。なお、中空材内部の温度は、解析の簡便性を配慮し外気温度とした。

3. 実験結果および考察

中空材の径や中空材内部の冷却手法の違いが、コンクリートの内部温度に及ぼす影響を図-4に示す。中空材の径が500mmおよびφ300mm

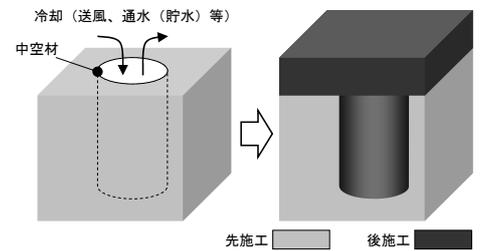


図-1 HTL工法のイメージ

表-1 コンクリート配合表

スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	Gmax (mm)	単位量(kg/m³)				
					W	C	S	G	Ad
12	4.5	48.5	43.3	20	159	328	784	1041	3.49

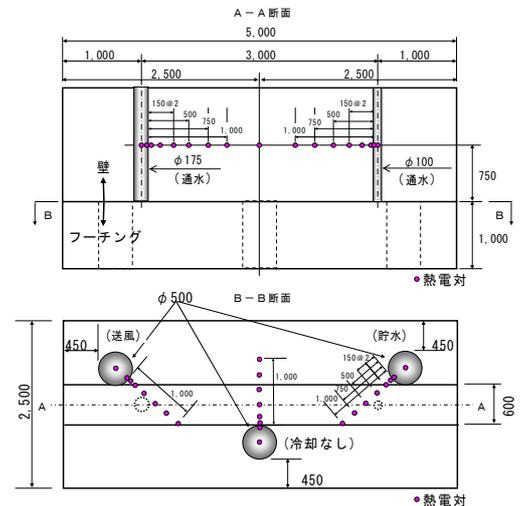


図-2 大型モデル試験体

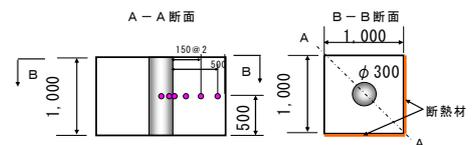


図-3 小型モデル試験体

キーワード マスコンクリート, 分割施工, 放熱効果, 温度応力解析, 熱伝達係数

連絡先 〒300-0424 茨城県稲敷郡美浦村受領 1033-1 東洋建設(株) 総合技術研究所 美浦研究所 TEL 029-885-7511

表-2 モデル試験体の検討条件

モデル種類	径 (mm)	中空材内部の冷却条件		
大型	φ 500	送風	材齢0~1日:冷却なし 材齢1~7日:送風 (送風機(口径300mm, 70m <sup>3</sup> /min)+風管(φ 300))	
		貯水	材齢0~1日:冷却なし 材齢1日~:貯水(初期水温26.1℃)	
		冷却なし	—	
	壁	φ 175	通水	材齢0~1日:冷却なし 材齢1~7日:通水(流速10ml/s, 初期水温22.6℃) 材齢7日~:貯水
		φ 100	通水	材齢0~1日:冷却なし 材齢1~7日:通水(流速10ml/s, 初期水温24.0℃) 材齢7日~:貯水
			冷却なし	—
小型	φ 300	送風	材齢0~1日:冷却なし 材齢1~7日:送風 (送風機(口径300mm, 70m <sup>3</sup> /min)+風管(φ 300))	
		貯水	材齢0~1日:冷却なし 材齢1日~:貯水(初期水温26.0℃)	
		冷却なし	—	

表-3 解析で用いた主要物性値

項目		係数・単位	物性値	備考	
コンクリート	熱伝導率		W/m℃	2.7	示方書
	密度		Kg/m <sup>3</sup>	2,316	実測値
	比熱		kJ/kg℃	1.308	示方書
	打設温度	フーチング*	℃	30.9	実測値
		壁・小型	℃	19.7	
	断熱温度上昇	Q(t)=(1-exp(-γt))			示方書
		フーチング*	Q <sub>ε</sub>	45.9	
		壁・小型	γ	1.283	同定解析
			Q <sub>ε</sub>	56.0	
		見かけの熱伝達係数	外気	W/m <sup>2</sup> ℃	14
型枠(合板)				8	
灌水養生(上面)			5		

の場合、コンクリートの水和発熱温度が最大となる材齢において、送風および貯水することにより、中空材境界面からコンクリートの深さ方向に 500mm の範囲でコンクリートの内部温度が低下する傾向を示し、境界付近では内部に比べて 10~20℃程度低くなった。φ 500mm の場合については、中空材を設置するだけでも放熱の効果があることが確認された。また、材齢 3 日では、貯水した場合の温度が送風した場合に比べて 5~10℃程度大きくなっているが、これは貯水の水温がコンクリートの水和熱の上昇に伴い増加し、吸熱効果が低減したためであると考えられる。中空材の径が 100mm および 175mm の場合、通水して冷却することにより、中空材の境界付近で 15℃程度の温度低減効果が確認された。一般に、パイプクーリング工法などによりコンクリートを冷却する場合、冷却部近傍の温度勾配を過度に大きくすると温度ひび割れの発生を助長することが懸念されるが、本モデル試験体では、中空部と中空材近傍のコンクリートの温度差は 10℃程度以下と比較的小さく、モデル試験体や後述の解析においてひび割れは発生しなかった。

内部温度の実測値と、温度解析から求めた解析値を同定した結果、温度応力解析へ反映させるための見かけの熱伝達係数は図-5 に示すとおりとなった。これらは、中空材内部を貯水する場合については水和熱の影響による水温の上昇を考慮し、見かけの熱伝達係数の変化点を 2 箇所設け、冷却開始材齢から翌日までの間は線形補完した。また、送風および通水する場合は、冷却開始材齢から見かけの熱伝達係数を変化させ、冷却期間中は一定の値とした。また、冷却しない場合(φ 500, φ 300 のみ)は、初期材齢から一定の値とした。

4. まとめ

以上により、中空部を冷却することでコンクリートの放熱効果が向上し、温度応力によるひび割れの抑制に有効であることがわかった。また、各種冷却手法における中空材界面での熱伝達境界条件を定量化することで、未然の温度応力解析による効果検証の精度を向上できることがわかった。

参考文献 末岡英二ほか：マスコンクリート内部に配置した中空部による蓄熱低減効果に関する検討，土木学会年次学術講演会公演概要集，Vol.63, No.5, pp.889-890, 2008.9

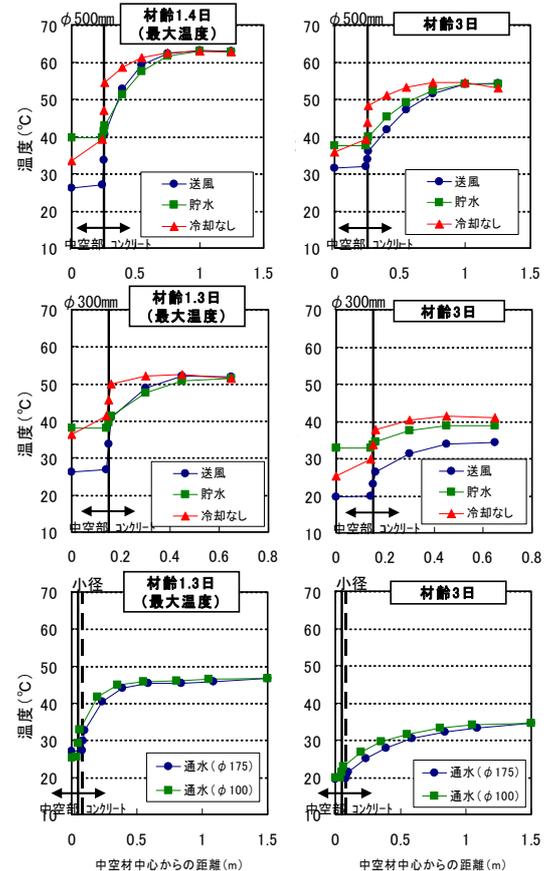


図-4 中空材中心からの距離とコンクリートの内部温度の関係

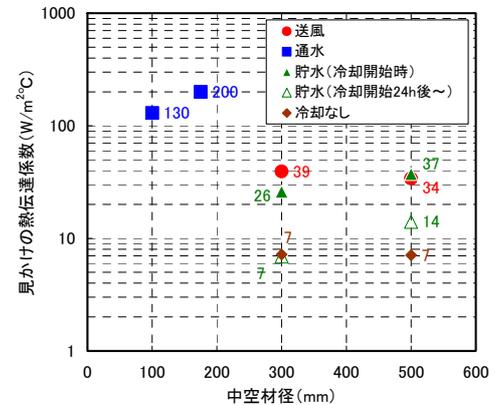


図-5 見かけの熱伝達係数