

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

東洋建設(株)美浦研究所 正会員 ○末岡 英二 正会員 竹中 寛 正会員 水谷 征治
東洋建設(株)土木技術部 正会員 本庄 隆宣
早稲田大学 創造理工学部 フェロー 清宮 理

1. はじめに

マスコンクリート施工における温度ひび割れ抑制は、構造物の耐久性や耐震性の確保の上で重要である。施工によるひび割れ抑制方法として、パイプクーリング、打設リフト厚の低減、ひび割れ誘発目地の設置などがあるが、より施工性に優れ、費用対効果に優れる工法の開発が望まれている。そこで、著者らはマスコンクリート内部に中空材により中空部を設け、その内外コンクリートを分割施工することにより、コンクリート内部への蓄熱を低減してひび割れを抑制する、HTL(heat time lag)工法を提案している。本工法は、適用構造物や必要とされるひび割れ指数に応じて、中空材の径や間隔を簡単に調整できるため、費用対効果に優れる対策工法となる。本稿は中空部の設置、および中空部への湛水や通水による蓄熱低減効果を調べるために実施した実験の結果について報告する。

2. 実験内容

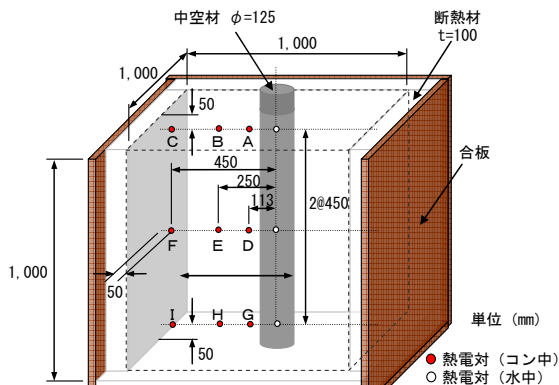
実験で用いたマスコンクリートのモデル試験体を図-1に示す。モデル体は内側に断熱材を貼り付けた合板型枠内に生コン工場で製造したコンクリートを打ち込み、養生期間中も型枠を存置した。中空材は、亜鉛メッキされた薄肉鋼製のものとし、その直径はコンクリートの打込み可能な最小径と考えられる 125mm とした。養生は 8~9 月の屋外で行い、養生中のモデル体の温度は内部（設置位置 A~I）に設置した熱電対により計測した。実験ケースは表-1 に示すように、中空材の有無、中空材内部への湛水や通水量の違いなどによる 4 ケースとした。コンクリートの配合を表-2 に示す。セメントは低熱ポルトランドセメント、細骨材は海砂と砕砂、粗骨材は碎石を用い、混和剤は、ポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を用いた。

3. 溫度計測結果

測点Hにおけるコンクリート温度と中空材内の水温の時間変化を図-2に示す。CASE1とCASE2は、材齢4日程度までコンクリート温度が上昇したが、中空材の設置や湛水効果によりCASE2の方がCASE1に比較して最高温度で5℃程度低かった。

CASE3 と CASE4 は、中空材の設置と通水効果により、コンクリート温度が材齢 0.5 日程度で最高温度となり、その後は徐々に低下した。これらの最高温度はいずれも CASE1 と比較して 10℃程度低かった。また、通水量による温度の顕著な違いは見られなかった。中空材内の水温は CASE2 ではコンクリート温度に追従して上昇したが、CASE3 と CASE4 では、通水効果により 30℃程度に保持されていた。モデル体中心軸からの距離とコンクリート温度の関係を図-3 に示す。CASE1 は中心軸からの距離によらず、ほぼ一定の温度を保持した。CASE2 においては、材齢 1 日では CASE1 とコンクリート温度はあまり変わらなかったが、材齢 5

キーワード マスコンクリート、温度ひび割れ、分割施工、中空材、蓄熱低減



※コンクリート打設後、上面も断熱材で養生
※CASE1は中空材なし。A, D, Gの熱電対は中央部に設置

図-1 モデル試験体 (CASE2~4)

表-1 実験ケース

CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
中空材 なし	中空材有り 湛水	中空材有り 通水 (流量 10ml/sec)	中空材有り 通水 (流量 100ml/sec)

表-2 コンクリートの配合

W/C (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	Gmax (mm)	単位量(kg/m ³)					混和剤
				W	C	S1	S2	G	SP (C×%)
55	12	4.5	20	158	287	634	272	982	0.75

日、7 日において
は、中心軸からの
距離によらず、
CASE1 に比べて
5℃程度低かった。

また、通水した
CASE3, 4 において
は、材齢 1 日におい
ても通水効果により
CASE1 に比較して温
度が低下し、中心軸
から温度勾配を生じ
た。材齢 5 日、7 日においては温度勾配が小さく
なり、CASE1 と比較して 15～25℃の温度低下を示した。

4. 中空部の熱伝達率の算定

CASE3, 4 において、3 次元 FEM 温度解析による解析値と実測値を同定して、中空部のみかけの熱伝達率を設定した。解析条件を表-3 に示す。解析値と測定値の比較を図-4 に示す。その結果、みかけの熱伝達率は CASE3, 4 で $93\text{W/m}^2\text{℃}$, $123\text{W/m}^2\text{℃}$ となった。また、田辺らのパイプクーリングにおける流速と熱伝達率の関係式¹⁾を用いて、熱伝達率の推定を試みた。熱伝達率は通水速度のみならず、熱流量の大きさに関係すると考え、通水流速に中空材の断面積と一般的なクーリングパイプの断面積の比 (40 と仮定) を乗じたみかけの通水流速 (3.2cm/s, 32cm/s) から求めた。その結果、CASE3, 4 で $58\text{W/m}^2\text{℃}$, $195\text{W/m}^2\text{℃}$ となり、中空部の熱伝達率を推定する場合には、熱流量に関係する中空材の断面積を考慮する必要があることがわかった。

5. まとめ

マスコンクリート内に ϕ 125mm の中空材により中空部を設け、湛水や通水することにより、コンクリート内部の蓄熱低減に効果があった。コンクリート温度の計測値と 3 次元 FEM 温度解析値の同定により求めた中空部のみかけの熱伝達率は、CASE3 で $93\text{W/m}^2\text{℃}$, CASE4 で $123\text{W/m}^2\text{℃}$ であった。また、パイプクーリングを対象とした田辺らの式から、中空部の熱伝達率を推定する場合、熱流量に関係する中空材の断面積を考慮したみかけの通水流速から求める必要があった。

参考文献

- 1) 田辺忠顕, 他: パイプクーリングにおける管壁面の熱伝達率の決定ならびに冷却効果の解析, 土木学会論文集, 第 343 号, pp.171-179, 1984.3

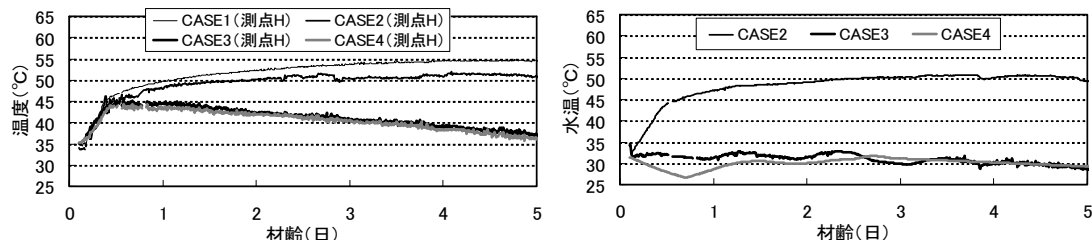


図-2 コンクリート温度および水温の時間変化

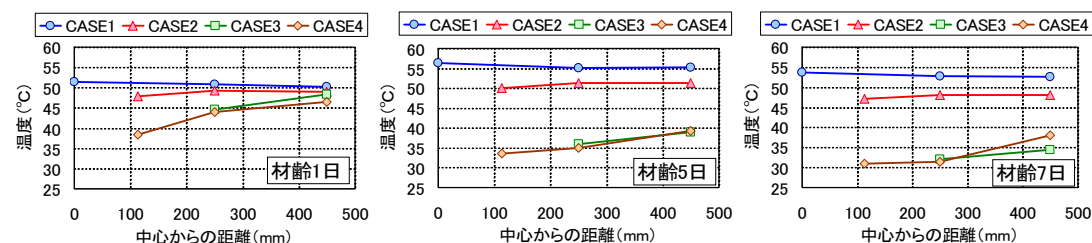


図-3 中心軸からの距離とコンクリート温度の関係

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	$\text{W/m}^2\text{℃}$	2.7	RC 示方書
	密度	kg/m^3	2,300	RC 示方書
	比熱	$\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$	1.15	RC 示方書
	打設温度	$^{\circ}\text{C}$	35.0	実測値
	断熱温度上昇特性	$K_T(^{\circ}\text{C})$	42.7	メーカー技術資料
		α_T	0.511	
		β_T	0.546	
断熱材	熱伝導率	$\text{W/m}^2\text{℃}$	0.099	モデル同定
	密度	kg/m^3	20.0	メーカー技術資料
	比熱	$\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$	1.1	メーカー技術資料
水 CASE2	熱伝導率	$\text{W/m}^2\text{℃}$	3.038	断面積比から算定※
	密度	kg/m^3	1,000	理科年表
	比熱	$\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$	4.18	
合板	熱伝達率	$\text{W/m}^2\text{℃}$	14	RC 示方書

※水と中空材の熱伝導率 (理科年表) から断面積比により推定

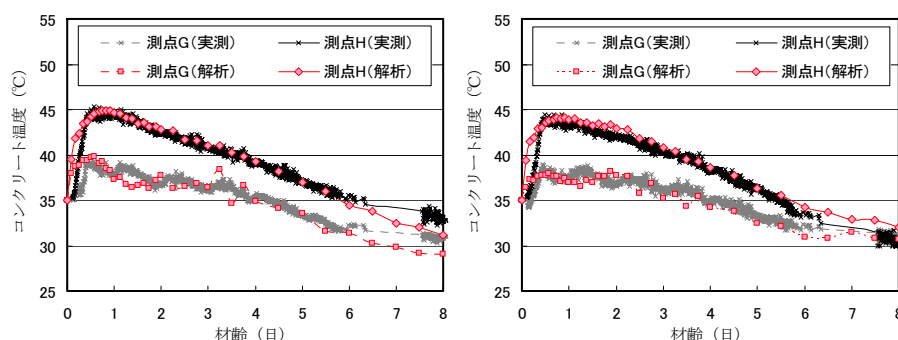


図-4 コンクリート温度の解析値と実測値の比較