

V-61 面状発熱体を用いた初期凍害防止方法に関する研究

五洋建設機技術研究所 正員 ○ 山田 正貴
五洋建設機土木本部 正員 曾我 晋也

1. まえがき

寒中コンクリートの施工では、十分な初期養生を行わないと凝結硬化過程における凍結（初期凍害）により強度低下を生じる危険性がある。従来の養生方法としては、構造物全体をシートでおおいジェットヒーター等の加熱器具を用いる空間加熱養生などが実施されている。しかし、この方法は、熱効率が悪く加熱が局部的なため温度管理が困難という問題点があり、コンクリートが所要の品質を得るために効果的な方法とはいえない。本報告は、寒中コンクリートの施工に面状発熱体（以下、面発と称す）を用いた表面加熱養生の適用を図るため、初期養生実験を行いコンクリートの品質、温度の経時変化等を把握するとともに二次元有限要素法を用いた温度解析値と実測値を比較し本養生方法の効果について考察を加えたものである。以下にその結果について報告する。

2. 実験概要

a. 配合、使用材料：示方配合を表-1に示す。材料は、普通ポルトランドセメント、細骨材（鬼怒川産川砂）、粗骨材（八王子産砕石）であり混和剤としては天然樹脂酸塩系のAE剤を用いた。

b. 実験方法：実験ケースを表-2に示す。実験には、図-1に示す壁試験体を用い、初期養生のコンクリート温度（C-C熱電対）、および材令28日におけるコンクリート表面強度（シュミットテストハンマー）を測定した。温度の測点を図-1に併記する。壁試験体の養生方法は環境温度：-9℃で1週間、その後屋外で養生した。面発は、特殊な合成樹脂にカーボンを混合してフィルム状にしたものを使用した。また、養生初期の温度がコンクリート強度に与える影響を把握するため、標準養生の供試体と凍結供試体〔打設後壁試験体と同一環境（1週間）に供し、その後標準養生）を製作した。

c. 解析方法：解析は二次元有限要素法により行った。解析モデル、解析に使用した定数を、それぞれ図-2、表-3に示す。なお、面発の影響を受ける対流境界には熱流束として実験で得られた面発電力値を熱エネルギーに換算し面発の熱効率を仮定した係数（0.9～0.95）を乗じた値を用いた。熱伝達率は、無風条件下でラバーシートの影響を考慮して算出した。

c. 解析方法：解析は二次元有限要素法により行った。解析モデル、解析に使用した定数を、それぞれ図-2、表-3に示す。なお、面発の影響を受ける対流境界には熱流束として実験で得られた面発電力値を熱エネルギーに換算し面発の熱効率を仮定した係数（0.9～0.95）を乗じた値を用いた。熱伝達率は、無風条件下でラバーシートの影響を考慮して算出した。

3. 実験結果と考察

図-3に面発による養生を行わない壁試験体（No.1）のコンクリート表面部の温度履歴を示す。壁試験体のコンクリートが凍結するまでの時間は、打込時のコンクリート温度、体積、環境温度等によって異なるが、今回の実験では約8～25時間要している。

表-1 示方配合

スラブの 範囲(cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位重量 (kg/m ³)				
			W	C	S	G	AE
12±2	60	43	175	292	770	1,040	0.073

表-2 実験ケース

Case No.	面発の有無	コンクリート 部材厚(cm)
1	無	10
2	有	10
3	有	20

環境温度：-9℃

表-3 解析に用いた熱定数

材料	定数 比熱 (kcal/ kg・°C)	熱伝導率 (kcal/ m・h・°C)	密度 (kg/ m ³)	その他
合板	0.31	0.13	600	コンクリートQ(t)
コンクリート	0.28	2.3	2,300	=37.6(1-e ^{-0.4t})

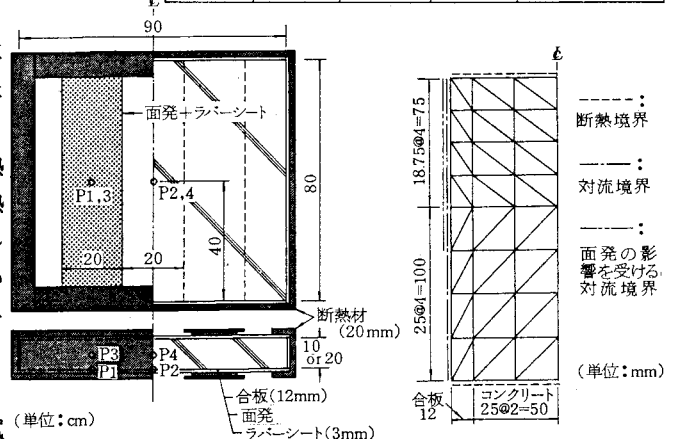


図-2 解析モデル

図-1 壁試験体（P：温度測点）

この壁試験体に、面発を純配置間隔40cm（端部配置間隔20cm）で設置した場合の表面部でのコンクリート温度実測値と解析値を図-4に示す。実測値は、96時間（4日）まで5℃以上、15℃以下を保っており、その後は安定する傾向にある。この値はコンクリート標準仕方書、JASS5で規定する寒中コンクリート養生温度5℃以上20℃以下を満足し養生条件としては望ましいといえる。実測値と解析値との対応は全般的によく、両者の差は約1℃以内に収まっている。これより面発の熱効率は90～95%と推定できる。一方、初期凍害を防止できるコンクリートの目安となる強度は約50kgf/cm²であり、この強度に要する積算温度は約80° DDである。実験結果より約80° DDはNo. 2, 3ともに96時間（4日）で得られており、今回のような設定条件（環境温度、面発配置間隔、部材厚）での初期養生に要する日数は4日程度と考えることができる。

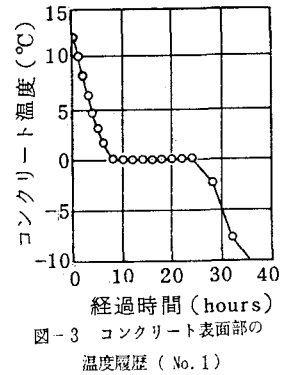


図-3 コンクリート表面部の温度履歴（No. 1）

次に、壁試験体のコンクリート温度ピーク時、50、80時間後におけるコンクリート表面、中心部温度を図-5に示す。No. 2については各時間における表面部温度と中心部温度との差はほとんど時間経過とともに減少し、ある一定温度に近づく傾向を示す。一方、No. 3については表面部と中心部で温度勾配があり、かつ面発直下（P1, P3）と面発の影響を受けにくい測点（P2, P4）とでは逆の温度勾配の傾向を示しておりNo. 2とは異なった様相を呈している。これは部材厚の違いによる水和熱によるものでさらに時間が経るにしたがいある温度に近づくものと察せられる。一般に、加熱養生方法の設計においては水和熱が無視されている。実験結果より面発を用いた養生方法の設計においては環境温度、部材厚の他に水和熱を考慮して適切な面発の配置を求めることが望ましいことが判る。

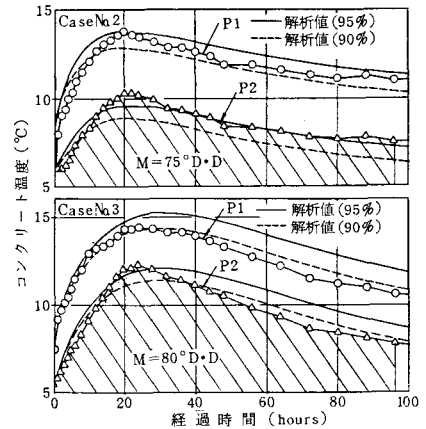


図-4 コンクリート温度の実測値と解析値

表-4に、材令28日における強度試験結果を示す。表より、凝結過程で凍結させた凍結供試体の材令28日圧縮強度（ σ_{28} ）は、標準養生供試体の σ_{28} の約60%程度であり、初期凍害によってコンクリートの強度が著しく損なわれることがわかる。一方、面発によって養生された壁試験体の表面強度（推定値）は標準養生供試体の σ_{28} より約20%程度大きい。また、面発直下（面発部）と面発から離れた箇所（型枠部）の強度差はほとんど認められない。

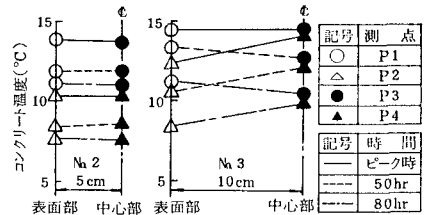


図-5 コンクリート表面、中心部の温度変化

表-4 強度結果

Case	圧縮強度 (kgf/cm ²)	Case	表面強度(kgf/cm ²)	面発部	型枠部
標準養生	258	2	322	318	
凍結	153	3	309	316	

4. まとめ

(1) 面発を用いた初期養生方法により、コンクリート温度は環境温度-9℃の条件下で、4日間5～15℃内に保持できる。

また、材令28日のコンクリート表面強度は、面発部分と型枠部分で差がほとんど認められない。

(2) コンクリート温度実測値と二次元有限要素法による温度解析で得られた解析値の差は約1℃以内に収まっている。これより面発の熱効率は90～95%と推定できる。

(3) 解析値と実測値はよく符号することより、環境条件（温度、風等）、部材厚などの変化に対して所要養生日数を考慮に入れた面発の配置間隔を計画、設計することができる。