低温環境下における若材齢モルタルの発現強度

東日本旅客鉄道（株）　東北工事事務所　正会員　○児玉　章裕
東日本旅客鉄道（株）　東北工事事務所　正会員　杉田　清隆
東日本旅客鉄道（株）　東北工事事務所　フェロー会員　大庭　光商

１．はじめに

東北地方では冬季を中心に夜間の気温が氷点下となり、そのような環境下においても工事を行わざるを得ない場合もあるため、早期に強度が発現する材料が求められる。一般的に、低温環境下でのコンクリート養生では加温養生が行われるが、それが困難な施工箇所もある。例えば新幹線高架橋上の電化柱建替え工事においては、養生設備を施工箇所に置いたままにはできないため、加温養生は不可能である上、施工するモルタルの部材厚も平均 22㎜ と薄いため、外気温の影響を受けやすい。本研究では以上の条件を踏まえ、解析および実験を行うことで、低温環境下における水和発熱のみを加温条件としたモルタルの強度発現性および温度履歴について調べたので、報告する。

２．研究概要

2.1 解析条件

解析に用いた断面モデルを**図-1** に示す。本モデルは新幹線高架橋上の外径 400㎜、内空 240㎜ のＰＣ電化柱を対象としており、断面の対象性を利用して 1/4 モデルとした。実構造物においてモルタルを施工するのは**図-1** に示した厚さ 22㎜ の範囲であり、練上がり温度と外気温をパラメータとして、厚さ 22㎜ の点を対象に温度解析を行った。

温度解析におけるモルタルの断熱温度上昇式は 2007 年コンクリート標準示方書[設計編]により、その他の材料の特性値は一般的に用いられる値とした。

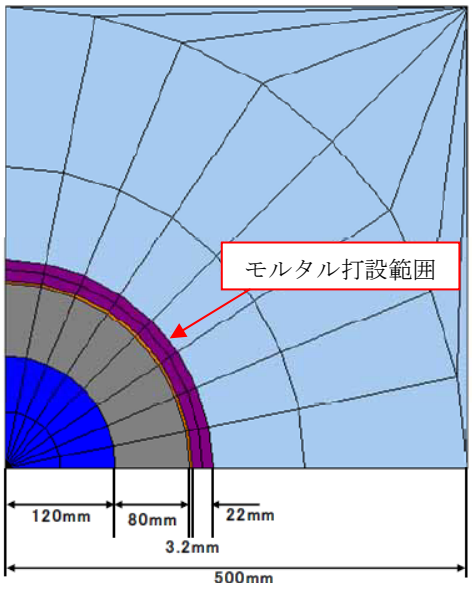

図-1　解析モデル

2.2 供試体の作製方法

本研究には、セメント系無機質・速硬性特殊混和材、細骨材を重量比 1:1 で混合したプレミックスタイプの超速硬型無収縮モルタルを用いた。本材料は、使用温度範囲の目安として 5～15℃としている。10±3℃の環境下で実施した各種試験成績を**表-1** に示す。

材料の練混ぜは-5℃に設定した恒温室内で行い、練混ぜ前の材料温度は全て 10℃で一定として試験を開始した。水の入った容器の中へ、セメント系材料をハンドミキサで撹拌しながら約 20 秒かけて投入し、投入完了後、2 分間撹拌を行った。

供試体の作製も-5℃に設定した恒温室内で行い、熱伝導率が高く外気温が供試体に伝わりやすい鋼製型枠を用いてφ5×10cm の供試体を作製し、試験実施材齢まで脱型せずに静置した。

表-1　材料試験成績表

		規格値	試験値
コンシステンシー　(秒)		8±2	7.4
ブリーディング率　(%)		0.0	0.0
凝結時間(h-min)	始発	10min以後	0-28
	終結	60min以内	0-35
塩化物量　(kg/m^3)		0.30以下	0.04
膨張収縮率(%)	1日	0～+1.0	+0.12
	3日	0～+1.0	+0.12
	7日	0～+1.0	+0.12
圧縮強度(N/mm^2)	3時間	10.0以上	26.1
	1日	25.0以上	42.2
	28日	45.0以上	71.2

2.3 試験項目

圧縮強度試験はφ5×10 の大きさの供試体に対して、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠し実施した。

キーワード　低温施工、寒中コンクリート、圧縮強度、温度履歴
連絡先　〒980-8580　宮城県仙台市青葉区五橋 1-1-1　ＴＥＬ022-266-3713

圧縮試験直前に供試体を脱型し、アンボンドキャッピングを用いて材齢 1.5 時間、2 時間、3 時間、24 時間で試験を実施した。モルタルの内部温度は、φ5×10 の供試体およびφ10×20 の供試体に対して、圧縮強度試験用の供試体と同じ環境下にて養生を行い、熱電対を用いて 10 分間隔で計測を行った。

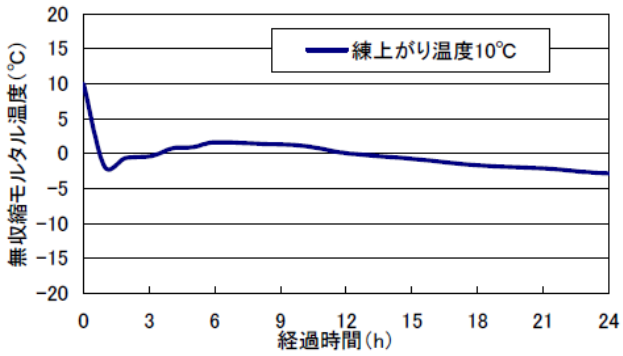

図-2　温度解析結果の一例

3．解析結果

温度解析結果の一例を**図-2** に示す。本結果は、モルタルの練り上がり温度 10℃、外気温-5℃の環境下における解析結果である。練上がり後 30 分を過ぎた辺りから、温度が上昇している様子が見て取れる。この上昇傾向は、他の解析結果においても同様であった。この結果から、材料厚が 22mm と非常に薄く周囲に熱を奪われやすい環境であっても、モルタル自体の水和反応による温度上昇が見込めることが明らかとなった。すなわち、水和反応開始時に水分が凍結していなければ水和反応が開始され、モルタルの強度発現が開始されると共に、自己発熱によって材料の温度も上昇する。

4．実験結果

4.1 圧縮強度

表-2　圧縮強度試験結果

圧縮強度 (N/mm^2)					
0.5時間	1時間	1.5時間	2時間	3時間	24時間
-	-	2.40	6.19	15.2	24.2

各材齢 3 体の供試体を作製し、その平均値を圧縮強度とした。圧縮強度試験の結果を**表-2** に示す。なお、1.5 時間よりも若材齢においては供試体が完全に固化せず脱型が不可能なため、圧縮試験ができなかった。材齢 3 時間および材齢 24 時間における本試験と**表-1** に示した材料試験の結果を比較すると、養生温度が低いため本試験の圧縮強度が低い。しかし、本試験においても緩やかではあるが養生によって強度の増進が確認でき、低温環境下の養生でも、強度発現は期待できるといえる。

4.2 供試体の温度履歴

練混ぜ完了後から 12 時間経過時点までの供試体の温度履歴を**図-3** に示す。練混ぜ完了直後の供試体温度は 12.7℃であった。練混ぜ完了後約 30 分までは外気温の影響により供試体温度が低下したが、その後モルタル内部での水和反応による発熱が外気温による供試体温度の低下を上回り供試体温度が上昇し、これはφ5×10、φ10×20 のいずれの供試体においても、同様である。また、水和発熱による温度上昇時点の供試体温度が 0℃を下回っていないことから、モルタルが凍結する前に水和反応が開始している。圧縮強度試験を行ったφ5×10 の供試体は、練混ぜ完了後 5 時間程度で、材料温度が 0℃を下回った。**表-2** に示したとおり、材齢 24 時間における圧縮強度が材齢 3 時間のものより高いことから、水和反応後であれば、氷点下での養生でも強度が増進することが確認できた。

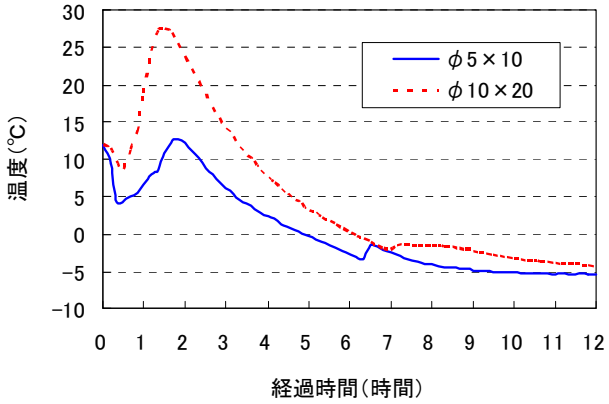

図-3　－5℃環境下での供試体温度履歴

また、φ5×10 よりもφ10×20 の供試体の方がモルタルの水和反応中における供試体温度が高いことから、供試体サイズが大きいほど供試体自体の発熱量が大きいことが確認できた。

5．結論

使用温度範囲の目安が 5～15℃と設定されている材料を用いた場合、氷点下の環境であってもモルタルの水和反応が開始されるまで水分が凍結しなければ、強度発現する。また、氷点下の養生であっても、水和反応後であれば、緩やかではあるがモルタルの圧縮強度は上昇する。