

コンクリート中の水分量と潜熱の関係に関する研究

東北大学大学院 学生会員 ○佐々木 健太
 東北学院大学 非会員 小林 亨
 東北学院大学 正会員 石川 雅美

1. はじめに

コンクリートの凍害による劣化を数値解析によって表現するためには、まず、コンクリート凍結時の温度特性を確認する必要がある。温度解析を行う際の問題点はコンクリートに水の潜熱がどの程度影響するのかということおよびコンクリートの常温時と凍結時とで熱定数がどのように変化するかということの2点である。そこで本研究では、円柱供試体を用いたコンクリートの凍結温度に関する試験を行い、温度履歴を求めた。さらに試験結果に対して潜熱を考慮した FEM による非定常熱伝導解析を行い、コンクリートが 0℃ 以下の場合の熱定数の検討を行った。

2. 凍結融解試験概要

コンクリートが凍結および融解する際の温度性状を確認する目的でφ100mm×200mmの円柱供試体を用いた試験を行った。中心と表面に熱電対を埋め込んだ円柱供試体を−17.8℃で16時間凍結、23℃で8時間融解の24時間1サイクルの凍結融解作用を与え、試験を行った。凍結融解試験機に入れる際に供試体の上下方向の熱の流れがないように厚さ30mmの断熱材を付着させた。供試体の材齢は28日以上とした。試験パラメータを表-1に示し、コンクリートおよびモルタルの示方配合を表-2および表-3に示す。

表-1 実験パラメータ

	コンクリート		モルタル	
W/C	40	60	40	60

表-2 コンクリートの示方配合

W/C	SI	Air	s/a	単位量(kg/m ³)			
				W	C	S	G
40	8.0	1.9	44.3	185	460	732	974
60	8.5	2.1	44.3	184	307	787	1048

表-3 モルタルの示方配合

W/C	FI	Air	s/a	単位量(kg/m ³)			
				W	C	S	G
40	12.3	2.0	44.3	292	730	1161	
60	16.0	2.0	44.3	306	510	1306	

3. 凍結融解試験結果

図-1に凍結融解試験結果の一例を示す。図の左側は凍結時であり、特に潜熱の影響が認められるのは図-1の右側の融解時である。W/C40のコンクリートおよびモルタルでは潜熱の影響は明らかではないが、W/C60のコンクリートおよびモルタルでは明らかにこの影響が現れた。水の融解潜熱の影響は凍結時と比べて融解時の方がやや高いようであり、およそ−2℃付近にあるようである。

4. コンクリート中の水分量の算出

W. チェルニンの水和理論¹⁾により、表-3に示したモルタルの配合をもとにモルタル供試体の水量を計算により求めた。また、これに対して、実際に作成した供試体の水分量の実測値と比較した。実測値は、測定材齢まで水中養生を行い、表乾状態となった時点で重量を測定し、その後、炉乾燥を行って絶乾状態の重量との差を水分量とした。その値は図-2に示すようにW/C40で77.6cc、W/C60で221.4ccである。これに対して理論値はW/C40の時0ccであり、W/C60の時158.6ccである。この差は理論値では外部からの水の供給がないと仮定しているためそのような差が生じた。しかし、W/C40とW/C60の理論と実測の水量

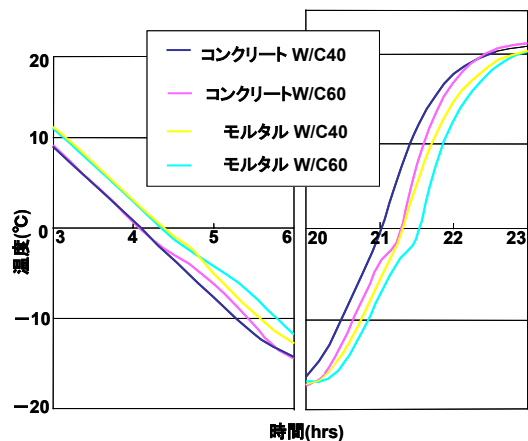


図-1 凍結融解試験結果

Key Words : コンクリート, 凍結融解, 潜熱, 非定常熱伝導解析, 熱伝導率

連絡先 : 〒985-8537 宮城県多賀城市中央1-13-1 TEL022(368)1189

の差は60～77cc程度であり、外部からの水の供給はほぼ等しいと考えられる。

潜熱の算出方法としては、水の融解潜熱が 0.335J/mm^3 であることから、供試体の体積と実際に求めた水分量の測定値との比を水の融解潜熱に乗じて求めた。理論値の水量に対するモルタル供試体の潜熱、はW/C40で 0J/mm^3 、W/C60で 0.0303J/mm^3 、実測値ではW/C40で 0.0166J/mm^3 、W/C60で 0.0397J/mm^3 である。

モルタル	W/C40	W/C60	キャピラリー 水量の差
実測値	77.6cc	221.4cc	143.8cc
理論値	0cc	158.6cc	158.6cc
差	77.6cc	62.8cc	

外部からの水の供給水
両者はほぼ同様な値

両者の水量はほぼ同様の差が潜熱に現れる

図-2 理論水量と潜熱

5. 解析モデルおよび解析結果

前述のコンクリート中の水量がどのような形でコンクリート凍結時の潜熱として現れるかを確認する目的で図-3に示す通り軸対象の問題として非定常熱伝導解析を行った。使用した熱定数を図-3中に示す。なお、初期温度は実測値を用い $-1^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$ の間に潜熱が現れると仮定した。潜熱としては、上記の理論および実測した水量から算出した値を用いた。図-4にモルタル W/C60 の凍結融解試験結果と理論値および実測値の水分量から算出した潜熱を用いて解析した結果を示す。解析の結果、氷点以下での冷却時の勾配および融解時の傾きが試験時に比べて急になっている。これは、解析では氷点下での熱伝導率および比熱を常温時の値を用いたのに対して、実際は水の凍結によってこれらの値が変化しているためと思われる。図中には示さないが実測と一致するような潜熱を求めたところその値は 0.02J/mm^3 であり、ここで用いた値の60%程度であった。これは水分量に換算すると155cc程度である。

軸対象の問題として解く

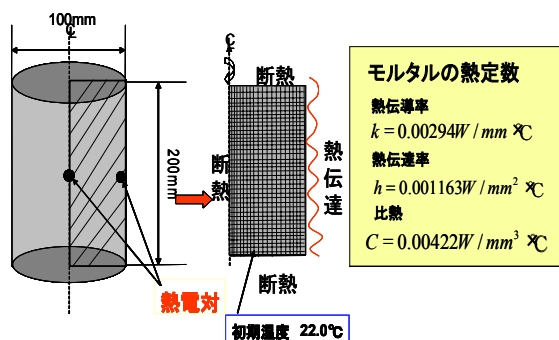


図-3 解析モデルおよび使用した熱定数

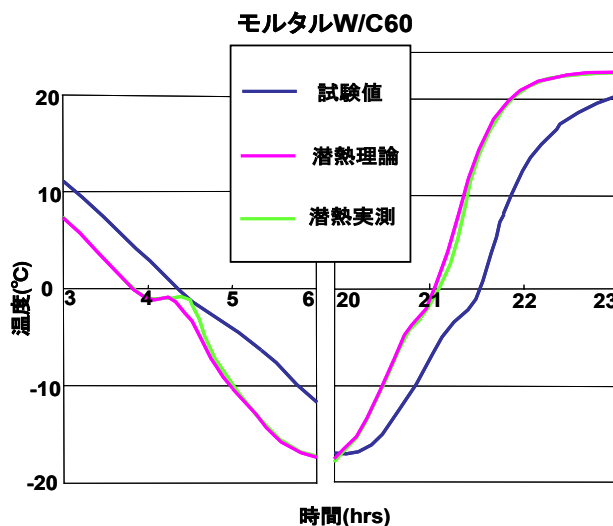


図-4 試験結果と解析結果の比較

6. まとめ

試験によって以下のことが明らかにされた。

- 1) W/C60 のコンクリートおよびモルタルでは僅かではあるが潜熱の影響が認められる。
- 2) コンクリート供試体とモルタル供試体ではモルタル供試体の方が潜熱の影響が顕著である。これは実測値および理論値においても、モルタルの方がコンクリートよりも水分量が多いことに起因しており、水量が多いほど潜熱の影響が明確となることを裏付けている。
- 3) この試験結果に対して FEM による非定常熱伝導解析より 0°C 以下のコンクリートおよびモルタルでは内部に含まれる水が氷に相転移する際に熱伝導率が変化し、差が生じたものと考えられる。
- 4) 凍結融解試験結果と一致した潜熱は供試体の含水量(実測値)から計算される潜熱の60%程度であった。

参考文献

- 1) W.チェルニン, 徳根 吉郎訳: 建設技術者のためのセメント・コンクリート化学 技報堂出版 pp61-64, 1969.