

過冷却によるモルタルの熱応力特性について

Research on the thermal stress characteristics of mortar on supercooling condition

苫小牧工業高等専門学校 ○学生員 琴崎裕任 (Yuto Kotozaki)

苫小牧工業高等専門学校 正 員 渡辺暁央 (Akio Watanabe)

苫小牧工業高等専門学校 正 員 廣川一巳 (Kazumi Hirokawa)

苫小牧工業高等専門学校 非会員 高橋正一 (Syouchi Takahashi)

1. はじめに

寒冷地ではコンクリートの凍結融解の繰り返しによる、ポップアウトやスケーリングの劣化は重要な課題である。これらはコンクリート内の水が氷に変化する際、体積が増えることで膨張圧が発生することに起因する。

この現象は一般に T.C.Powers の水圧説¹⁾ (Hydraulic Pressure Theory) によって説明される。水圧説とは、0℃以下の温度にて毛細管水が凍結し、コンクリートの構成要素である水が固体である氷へと状態変化し、体積が膨張する。ここで、凍結の生じた毛細管空隙内に、体積が膨張した分の空間がなければ、同じ空隙内に存在する未凍結の水は押し出され、その結果として飽和流水圧発生する。この時、水圧がコンクリートの強度を超えたならば、コンクリートは凍害による損傷を受けるというものである。しかし、この説は著者が発表後すぐに自身によって撤回されている²⁾。水圧説で示されるメカニズムは定性的なものが多く、定量的データが足りないため、十分成熟した理論とはいえない。

本研究では、温度制御が可能な多機能寒冷地材料物性試験装置(写真-1)を用いて、水中養生した湿潤供試体を両端固定し、一定速度で温度低下したときに発生する温度応力変化を測定した。この試験によって得られたデータより、飽和含水状態でモルタル熱収縮および、科冷却水の凍結による膨張圧の評価を行うことを目的とした。



写真-1 多機能寒冷地材料物性試験装置

2. 実験概要

2.1 供試体の作製

本研究で作製する供試体の配合設計は、水セメント比50%、セメント砂比1:2とした。骨材は川砂利で1.2mm以下にふるい分けしたものを、セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。打設後は乾燥を防ぐためにフィルムを静置し、24時間の硬化後に脱型した。その後20℃水中養生を行い、材齢7日で試験を実施した。完成後の寸法は40×40×240mm（アタッチメントを両端20mmずつ含む）の角柱供試体である。

2.2 アタッチメントの性能評価試験

角柱供試体の引張試験を可能にするために、ネジ式アタッチメント(写真-2)を使用する。このアタッチメントは構造上コンクリート供試体の強度による影響が発生することが考えられる。よって、適切な荷重伝達が行えているかの確認をするため、単純引張試験および円柱供試体の割裂試験を行い、算定式によって引張強度に換算し比較検討を行う。

応力算定式を表-1に示す。



写真-2 ネジ式アタッチメント

表-1 応力算定式

供試体の種類	算定式
円柱供試体	$\sigma = 2P / \pi ld$
角柱供試体	$\sigma = P/A$

2.3 温度応力試験

20℃で水中養生した角柱供試体を取り出し、ラップとタオルを用いて乾燥を防止する。その後、供試体の温度変化によって発生する長さ変化を補正するアタッチメント LVDT を装着し、多機能寒冷地材料物性試験装置の恒温槽内に設置する。装置の温度勾配を-10℃/hに、最終

温度を -30°C に設定し、供試体に発生する温度応力および、供試体の表面温度のデータを測定する。

3. 実験結果および考察

3.1 アタッチメントの性能評価試験

表-2 に角柱供試体および円柱供試体の引張強度を示す。ネジ式アタッチメントの強度への影響は $0.5 \sim 1.3 (\text{N}/\text{mm}^2)$ 程度だということが分かった。この値は、この後行う温度応力試験によって発生する荷重に対して、極端な影響を与えず、また、引張試験の最中もネジ抜けが発生しなかったことから、今回用いるアタッチメントの性能としては必要十分の性能を有しているといえる。

表-2 引張強度平均

	引張強度平均 (N/mm^2)	割裂引張強度平均 (N/mm^2)
w/c=0.5	3.19	4.50
w/c=0.4	4.08	4.47
w/c=0.6	2.55	3.42

3.2 温度応力試験

温度応力試験より得られた結果を図-1 に示す。グラフの縦軸は温度応力により発生する引張応力を、横軸は供試体の表面温度を示している。

試験開始から、温度応力は -30°C までほぼ断続的に上昇し続けていることが分かる。また、 0°C を境に不連続な応力増加が見られるようになるのは、過冷却により部分的な凍結が発生していることが起因していると考えられる。

今回の試験結果では、温度応力は設定した最終温度まで増加し続けるという挙動を見せている。しかし、これは昨年度の研究³⁾と比べると、異なるものとなっている。昨年度の結果では温度が -10°C と -20°C との間で供試体の温度応力はピークを迎え、 -25°C から減少するという挙動を示している。このことから今年と昨年度の供試体の差異を明確にする必要があるといえる。

昨年度との大きな違いは細骨材の粒径である。昨年度は、細骨材を川砂利のまま使用したが、今年は長さ変化を均一化するため、粒径を 1.2mm 以下に変更した。そのため、今回の挙動の変化は、細骨材の粒径の変化によって空隙構造が変化したことが影響していると考えられる。

昨年と同じ粒径 5mm 以下の細骨材を用いて供試体を作製し、再現実験を行った。その結果を図-2 に示す。

図-2 より、試験開始から 0°C 付近までほぼ断続的に応力が増加し続けており、粒径を変える前の図-1 とほぼ同じ挙動をしている。しかし、 0°C を越えたあたりから図-1 とはまったく違う挙動を示していることが分かる。まず、 -10°C を境に応力の増加が緩やかになり、 -20°C 付近でピークを迎え、試験終了まで応力は減少し続けた。このことから、骨材の粒径によって左右された空隙構造と温度変化によって発生する応力には密接な関係があると考えられる。

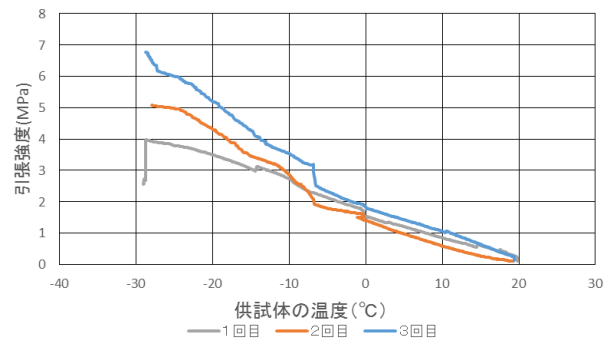


図-1 $-10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ における応力の時間変化(粒径 1.2mm 以下)

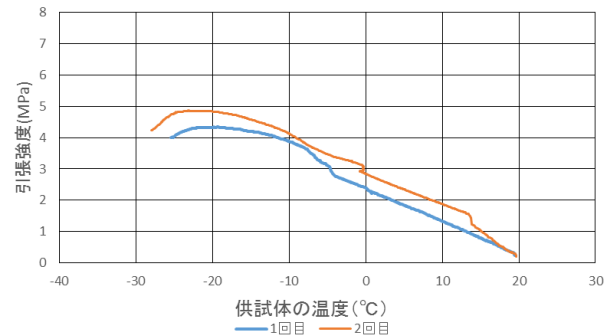


図-2 $-10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ における応力の時間変化(粒径 5mm 以下)

3. まとめ

本研究は、凍害による劣化を熱収縮及び、温度の低下による応力の変化に焦点を当ててアプローチしていくことを目的に、水中養生したモルタル角柱供試体を両端固定し、一定速度で温度低下したときに発生する温度応力変化を測定した。得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 細骨材の粒径を 1.2mm 以下と 5mm 以下の2種類で作製した角柱供試体の温度応力は、前者は -30°C 付近まで増加し続け、後者は -20°C 付近で増加のピークを迎えた後減少を始めた。これは細骨材の粒径の違いによって供試体内の空隙構造が変化したことにより起因すると考えられる。
- (2) 2種類の供試体のどちらも 0°C を境に急な応力の増加が見られた。これは過冷却状態の水が氷に相変化した際の反応を示すものだと考えられる。
- (3) 0°C までの応力発生勾配はほぼ一定となり、安定的なデータを取得できたと思われる。しかし、 -10°C を超えた直後からすべての供試体で温度応力に差が見え始め、最大応力での差は著しいといえ、品質のばらつきがあるものと考えられる。

3. 参考文献

- 1) 洪・鎌田他:寒中コンクリート、技術書院、2000
- 2) 川村満紀・S チャタジー:コンクリートの材料力学、森北出版、2002
- 3) 小橋美穂:コンクリートの多機能寒冷地材料物性試験装置を用いたコンクリートの応力試験、土木学会北海道支部論文報告集 第73号 E-27、2016