

低温にさらされたコンクリートの歪と劣化に関する研究

東北大学○学生員 李 道憲
正会員 三浦 尚
学生員 竹内 淳

1. まえがき

寒冷地での構造物や液化天然ガス（LNG）貯蔵タンクのコンクリート壁等は凍結と融解の繰り返しを受けると劣化することがある。一般的に考えられる約-20℃までのコンクリートの劣化に関する研究は数多く行なわれて来たが、それ以下のかかなり低い温度までのコンクリートの劣化に関する研究はあまりない。そこで、本研究ではコンクリートが受ける繰り返し温度範囲を変え、その時のコンクリートの歪の挙動や劣化の状況に関して調べた。また、気中養生の物やAEコンクリート、冷却速度を変えた物等に関して繰り返し冷却試験を行い、比較検討した。

2. 実験材料及び配合

本実験に用いたセメントは、市販の早強ポルトランドセメント、細骨材は宮城県白石川産砂、粗骨材は宮城県丸森産砕石である。コンクリートの配合を表1に示す。

表1 コンクリートの配合

コンクリートの種類	粗骨材の最大寸法(mm)	スランピング範囲(cm)	空気量の範囲(%)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m³)				
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	ワイドンル (g)
Non-AE	25	11.1	2.0.5	56	42	194	346	725	1125	—
AE	25	11.1	6.0.5	56	40	172	307	686	1149	153.5

2. 実験方法

(1) 歪測定試験

本実験では、10×10×40cmの角柱供試体の両側面にゲージを貼付し、また供試体の中心と表面に熱電対を埋め、コンクリートの温度と歪とを連続的に測定した。供試体の冷却には、超低温恒温恒湿器を使用した。この歪測定試験は繰り返し冷却温度範囲を+4℃～-20、-30、-50、-70℃に変えて歪の挙動を調べた。供試体は28日間水中養生され（ただし、1種類だけは気中養生）、コンクリートの含水量を維持するために養生終了後表面をコーティングした。

(2) 繰り返し冷却試験

10×10×40cmの角柱供試体によって繰り返し冷却した時のコンクリートの劣化を調べた。NON-AE及びAEコンクリートとし、NON-AEコンクリートにおいては、繰り返し温度範囲が異なる物、気中養生の物、ポリエチレン断熱材を用いた物の劣化を調べた。この試験において、供試体は28日間水中養生したが、比較のために種類だけ同期間気中養生した。

4. 実験結果及び考察

(1) 歪測定試験

+4℃～-70℃の繰り返し冷却を受けたNON-AEコンクリートの歪の挙動の結果を図1に示す。この図より、試験開始(冷却)後コンクリートは収縮するが、平均温度が-22℃付近で収縮から膨張に転ずる。このことは、コンクリートの冷却による収縮より膨張の量の方が大きくなったことを示している。常温から-20℃までの間では比較的大きい空隙中の水の凍結によって膨張すると考えらるが、それ以下の温度における膨張量とくらべるとこれは無視できるほど小さかった。-22℃以下になると

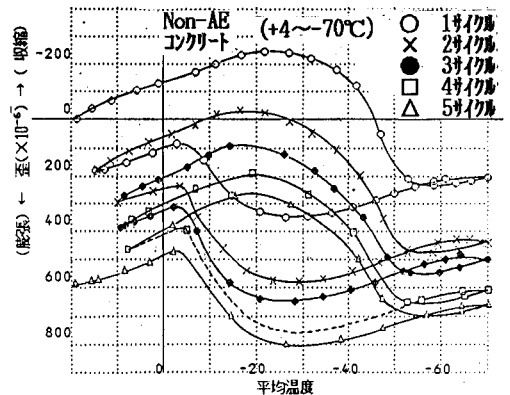


図1. 平均温度と歪との関係

コンクリートは膨張しはじめ、 $-30^{\circ}\text{C} \sim -50^{\circ}\text{C}$ の間では飛躍的に大きく膨張する。ここでは非常に小さい空隙中の水が凍結してコンクリートに大きい膨張をもたらすと考えられる。 -60°C 以降は収縮を続ける。加熱時は冷却時と違う挙動を示すが、これはコンクリート中の水の凝固点と融点が変わったためであると考えられる。この様な経路をたどり実験開始の温度に戻っても歪は元の値に戻らず残留する。また、ここには図示されていないが $+4^{\circ}\text{C} \sim -50^{\circ}\text{C}$ の歪の挙動は $+4^{\circ}\text{C} \sim -70^{\circ}\text{C}$ の物に比べて、 -50°C までは殆ど同じ挙動を示したが、 $+4^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ 、 -20°C の物では、冷却時の膨張は殆ど見られなく、5サイクルで後の残留歪は殆どなかった。

(2) 繰り返し冷却試験

コンクリートの繰り返し冷却による相対動弾性係数試験結果を図2に示す。この図

より、 $+4^{\circ}\text{C} \sim -50^{\circ}\text{C}$ 、 -70°C の物はわずか5~10サイクルで劣化したが $+4^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ までの物の相対動弾性係数は30サイクルで約80%以上であり、 $+4^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$ の物は95%以上であって、繰り返し冷却温度範囲による劣化状況は大きく異なることを示した。また、断熱材を用いて冷却速度を約1.4倍遅延させた物は劣化がかなり遅れていることが分かった。AEコンクリートでは30サイクルで相対動弾性係数が95%程度であり、コンクリートにAE剤を用いることによって劣化を防ぐことができることを示した。また、気中養生させたNON-AEコンクリートの相対動弾性係数は、AEコンクリートより劣化したものの、30サイクル90%以上であった。以上のことから、繰り返し冷却温度範囲によってコンクリートの劣化の程度は大きく違い、その対策としてはAE剤を用いることや、冷却速度を遅延させることが考えられる

(3) 歪と劣化の関係

図3に各サイクルにおける最終歪（各サイクルでの最終歪-1サイクルでの最終歪）と繰り返し回数との関係を示す。この図より、繰り返し回数が増えるに従って最終歪は大きくなるが、その増加量は小さくなって来ることが分かる。また、図4はた各サイクルでの残留歪と相対動弾性係数との関係を示している。この図より、残留歪と相対動弾性係数は5サイクルまでは比例関係にあることが分かる。

5. 結論

低温まで冷却させる時のコンクリートの歪の変化は劣化に大きく関係し、各サイクルにおける最終歪は5サイクルまではほぼ比例関係にあり、またコンクリートの劣化は繰り返し温度範囲、配合、冷却速度等によって大きく違った。

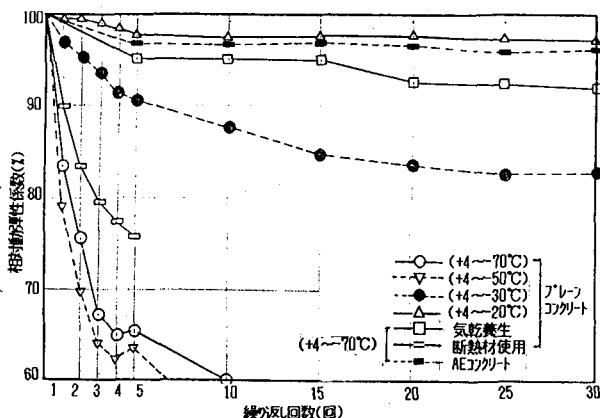


図2. 繰り返し冷却による劣化の状況

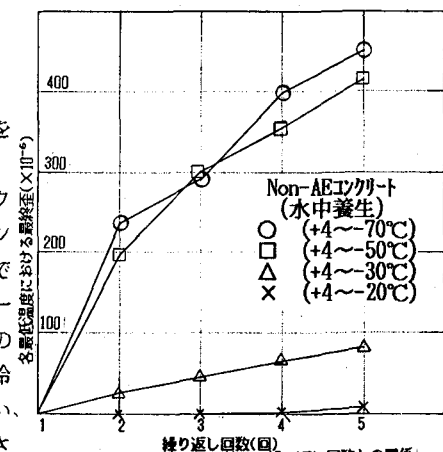


図3. 各最低温度における最終歪と繰返し回数との関係

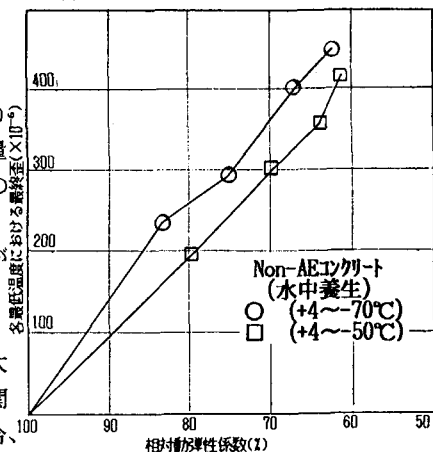


図4. 各最低温度における最終歪と相対動弾性係数との関係