

V - 8

極低温領域まで冷却されるコンクリート中の水分移動に関する研究

東北大学 学生員 ○ 山本高士
 東北大学 柿崎和朗
 東北大学 フェロー 三浦 尚

1. はじめに

LNGタンクなどに代表される極低温関連構造物の建設材料として経済性や耐久性に優れたコンクリートが既に数多く建設され、近い将来、超電導を応用した電力貯蔵システム等の開発が進めば、ますますその利用は増加するものと思われる。しかし、そうした極低温という特異な環境にさらされたコンクリートは通常の気象作用による現象に比べ劣化が進行することが既往の研究からも知られている。また近年、韓¹⁾によって、極低温で一定時間温度保持を行うことで劣化がより助長されることも明らかになった。その原因として、韓は「コンクリート中の未凍結水の凍結と氷晶への移動によるもの」との考察を述べている。そこで、本研究では、そうした極低温領域でのコンクリート中の内部現象に着目し、様々な冷却条件をモルタル供試体に与えることで供試体に現れたひずみ挙動の測定・分析を行い、その結果に基づいて極低温領域でのコンクリートの主たる劣化要因であると考えられる「水分移動」現象について考察を行うこととした。

2. 実験概要

本研究においては、想定したコンクリートの配合から粗骨材を除去したモルタル供試体を使用した。これは、極低温領域まで冷却されるコンクリートの劣化機構はモルタルと大きく異なることはないと考えられるためである。実験に用いた配合は3種類で、水セメント比が異なるW/C56%と66%のNon-AEモルタル供試体と水セメント比66%で内部にエントレインドエアを連行させたAEモルタル(空気量4.5%)である。実験には4×4×16cmの角柱供試体を使用した。また、既往の研究によりコンクリートの劣化は加熱過程にはあまり左右されないことが分かっているため、本研究でも加熱速度は一定とし、図-1に示したような冷却過程における①冷却速度、②冷却最低温度、③温度保持時間といったパラメータを幾つか組み合わせた冷却条件を設定し供試体に与えることによって、各冷却条件毎に現れたひずみ挙動について調べることにした。また、ひずみの測定方法としては供試体にひずみゲージを貼り付け、水分の浸入を防ぐために防湿処理を施し、その供試体に所定の温度履歴を1～5サイクル繰り返し与えることで得られるひずみ値をデータロガーにより連続的に測定する方法を採用した。

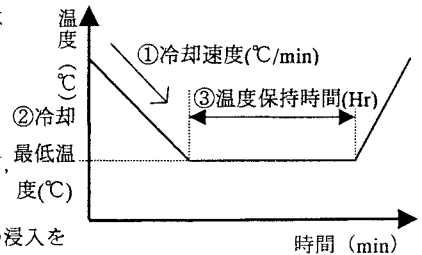


図-1 温度履歴の概念図

3. 実験結果及び考察

①冷却速度は0.18°C/minで一定のまま、②冷却最低温度を-20°C及び-40°Cに設定し、③12時間温度保持するという冷却条件から得られたひずみ履歴の結果を図-2に示す。図より、冷却最低温度-20°Cでは冷却中はほぼ

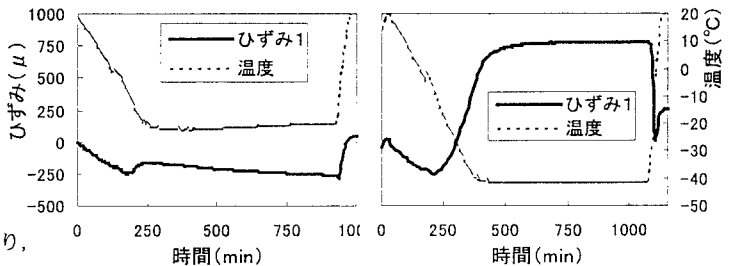


図-2 ひずみ履歴と温度履歴（左：-20°C，右：-40°C）

一様に収縮し、保持に入る直前から膨張に転じ、保持中は少しずつ収縮するという傾向を示している。一方、冷却最低温度-40°Cでは、-20°C以下での冷却期間中及び温度保持中の最初の数時間で膨張し、その後は膨張が頭打ちになる傾向を示すことが確認された。このように、冷却最低温度によって、冷却中及び保持中のひずみ挙動が全く異なる傾向を示したため、発生したひずみを冷却中に発生するものと保持中に発生するものに大別し、各

冷却最低温度毎の劣化に及ぼす影響を評価することとした。図-3に冷却最低温度 -40°C の場合を例に挙げ、その概念を示す。この図から、 $-20^{\circ}\text{C}\sim-30^{\circ}\text{C}$ 付近の冷却段階でひずみ履歴はほぼ直線に近似できるため接線を引き、さらに曲線中において保持温度付近を境目に勾配が変化する点に着目してもう一つの接線を引き、その交点の温度を“保持に入る温度”と定義する。そして、ひずみ履歴において約 -10°C で収縮から膨張へ切り替わる時の温度から、“保持に入る温度”の間に発生したひずみを冷却中の膨張ひずみ、そして、“保持に入る温度”から保持終了後までに確認されたひずみを温度保持中の膨張ひずみと定義する。さらに、図-2、3を見ると、保持中にも若干の温度降下が確認されることからその影響も補正し、保持中と冷却中の膨張ひずみを各冷却最低温度毎に表した結果を図-4に示す。図より、

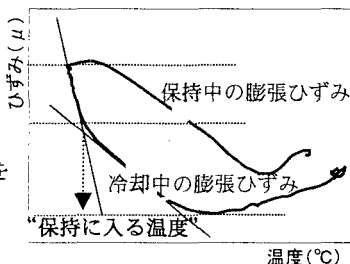


図-3 膨張ひずみの分配方法

保持中のひずみに着目すると、 -20°C ではひずみは大きく収縮し、 -30°C ではほぼ横ばい、そして -40°C で最も膨張し、 -50°C でも多少膨張する傾向が確認される。

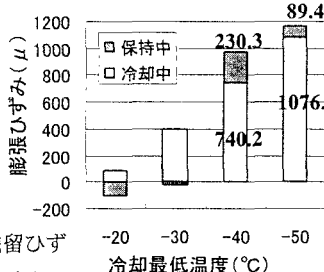


図-4 膨張ひずみの分配

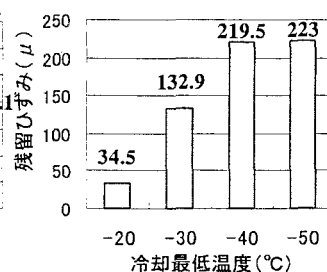


図-5 残留ひずみ

また図-2のひずみ履歴から常温時に残留ひずみが発生するため各冷却最低温度毎に

算出した結果を図-5に示す。算出された残留ひずみが劣化の程度を表すものとするれば、図-5より

-20°C では劣化がほとんど進行しておらず、 -30°C では -20°C に比べると劣化が進行するものの、 -40°C や -50°C に比べれば劣化は少ないものと判断される。図-4、5より、 -50°C では膨張ひずみの値は -40°C に比べ、明らかに大きいものに対して、残留ひずみの値はほぼ等しくなっていることがわかる。また、 -40°C と -50°C では膨張ひずみに及ぼす冷却中と保持中の割合が大きく異なることから、この温度範囲においては、冷却中の膨張ひずみより温度保持中の膨張ひずみの方が残留ひずみに

与える影響がより大きいことを示唆していると考えられる。次に、以上の検討結果と

「水分移動」現象とを関連付けて考察を行う。

極低温領域まで冷却されるコンクリートの「劣化機構」は図-6に示すような2つの水の

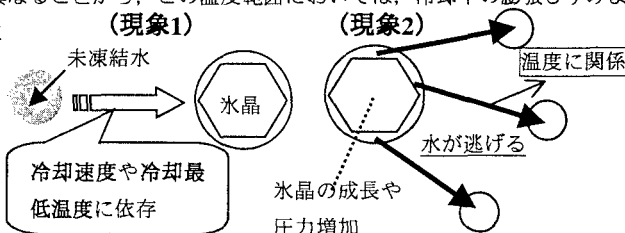


図-6 「水分移動」現象のメカニズム

動き、すなわち浸透圧の影響やエネルギー的不均衡によって起こると思われる「現象1. 水が引き付けられる作用」と体積膨張や氷晶の成長に伴う圧力の増加によって起こるものと考えられる「現象2. 水が逃げる作用」とに大別できると考えられる。実際の冷却段階においては、これら2つの現象が相互作用も含めて、冷却速度や冷却最低温度の影響を受け、その2つの作用の大・小関係によって今回のようなひずみ挙動を示したものと推測される。すなわち、 -20°C での温度保持中には、主に現象2の作用がより強く働き、結果として内部の圧力が抜けてひずみが収縮を示したと考えられる。一方、 -40°C や -50°C では温度保持中に現象1の作用がより大きく起こったため保持中に氷晶が成長し、ひずみが膨張現象を現したと考えられる。しかしながら、保持中に生じる現象1は未凍結水分量に依存し、その量は冷却速度が下がる程低下するため、 -50°C では -40°C ほど保持中のひずみの増加が顕著に現れなかったものと考えられる。

4. 結論

本研究の実験結果から、保持中に起きる膨張ひずみはより大きな劣化をもたらすこと、さらにその現象は「水分移動」により引き起こされている可能性があることが示唆された。

【参考文献】1) 韓相熙, 岩城一郎, 三浦尚「極低温下での温度保持がコンクリートの耐久性に与える影響」, セメント・コンクリート論文集, pp.423-428, 1999