

極低温下におけるコンクリートの 冷却過程と劣化との関係

東北大学 学生員 ○ 川島恵介
東北大学 正員 三浦 尚
東北大学 韓 相黙

1. まえがき

コンクリートは耐久性に優れた建設材料であるが、特異な環境にさらされると諸種の要因によって劣化する。その一つに常温と低温の繰り返し作用がある。寒冷地以外でこのような作用を受ける代表的な構造物として、LNGの貯蔵タンク等が挙げられる。そして、超電導技術を応用した電力貯蔵システムが実用化される場合、その関連施設は極低温まで冷却されと考えられるため、性質的に即応したコンクリートを使用する可能性が高い。

このような背景を踏まえ、三浦らにより極低温まで繰り返し冷却されるコンクリートの劣化に関する研究が行われてきた¹⁾。一方、約 -20°C まで冷却されるモルタルは -20°C での凍結保持時間が長いほど劣化がおびただしいという研究報告がある²⁾。極低温での凍結保持時間に関しては、保持する温度が -70°C 以下であれば劣化に影響を及ぼさないことが確認されている³⁾。しかし、 -70°C より高い温度で保持することにより、コンクリートが劣化する可能性は十分考えられる。

したがって、コンクリートを極低温まで繰り返し冷却加熱する際に任意の温度を一定時間保持し、劣化に及ぼす影響を調査することが本研究の目的である。また、劣化が発生する機構を過去の研究に立脚し考究した。

2. 実験方法

表-1の配合で示すコンクリートで作製した供試体（ $10\times 10\times 40\text{cm}$ ）を28日間水中養生した後、表-2に示す冷却条件で繰り返し冷却加熱し、ひずみの測定を初期の10サイクルまで行い、所定のサイクルにおいて動弾性係数を測定した。供試体の温度が 0°C 以上になるときは、乾燥しないように細心の注意を払った。

表-1 コンクリートの配合表

G_{max} (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	Unit Content (kg/m ³)			
					W	C	S	G
25	11±1	2±0.5	56	40	180	321	706	1193
25	11±1	4±0.5	56	40	171	305	700	1183

表-2 実験した冷却条件を表中に示す

保持時間 保持温度	20 $^{\circ}\text{C}$	40 $^{\circ}\text{C}$	70 $^{\circ}\text{C}$
0 時間	I		
1.5 時間	V	III	*
3 時間	VI	IV	*
16 時間	—	—	II

3. 実験結果および考察

(1) 保持時間が劣化に与える影響

Non-AEコンクリートは、10サイクル程度で相対動弾性係数が60%以下に低下するため、劣化を比較するのは困難である。したがって、AEコンクリートについて30サイクルにおける相対動弾性係数に、保持する時間、および保持温度が及ぼす影響を比較する。図-1の左より、冷却過程において -70°C より高い温度で保持する場合、保持時間が長いほどコンクリートの劣化が激しくなる。これは、温度を保持している間にも、水分の凍結に起因しコンクリート内部で膨張応力が発生しているためである。なお、 -70°C での保持時間は劣化に影響を及ぼさないことから予想される推定値を点線で示した³⁾。

また、 -20°C で保持したときの実験結果では、保持時間の延長に伴い相対動弾性係数の低下量が漸減する傾向を示している。これは、凍結可能水分量に限界があることが原因であろう。したがって、 -40°C で保持する場合にも、相対動弾性係数の低下量は、いずれ頭打ちになることが予想される。

(2) 保持温度が劣化に与える影響

冷却過程において、保持する温度が劣化に及ぼす影響を比較したのが図-1の右である。点線は保持時間が0時間を示している。 -40°C で保持すると最も劣化する結果となった。

AE コンクリートは冷却過程において膨張する温度範囲が狭いため、初期の 10 サイクル程度では温度の保持による明瞭なひずみの変化を観測できなかった。しかし、サイクル数を重ねると混入空気の内膨張応力を緩和する能力が低下すると考えられる。したがって、Non-AE コンクリートのひずみ挙動から温度を保持している間における水分の凍結について考察する。図-2より、 -40°C で保持している間にコンクリートは膨張しており、 -40°C までの冷却に引き続き水分が継続的に凍結していることがわかる。熱力学の研究に基づく氷点降下を表す式から⁴⁾、温度を保持することによって細孔水の表面エネルギーが減少するため、過冷却水が凍結すると考えられる。

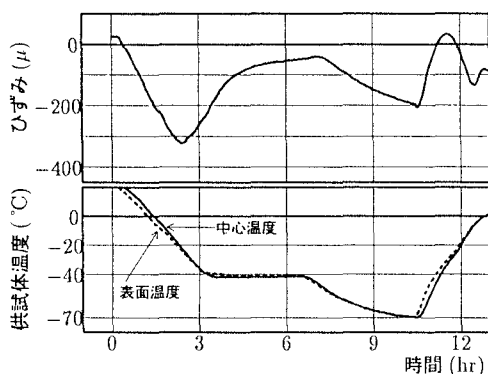


図-2 時間の経過に伴う温度とひずみの変化：Non-AE

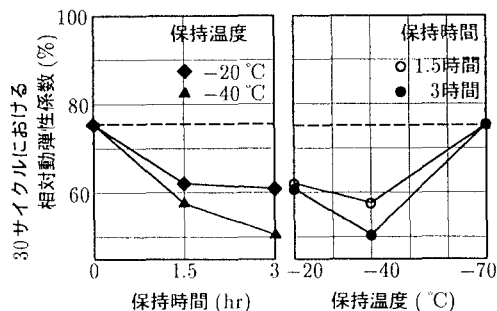


図-3 冷却条件の違いが劣化に及ぼす影響：AE

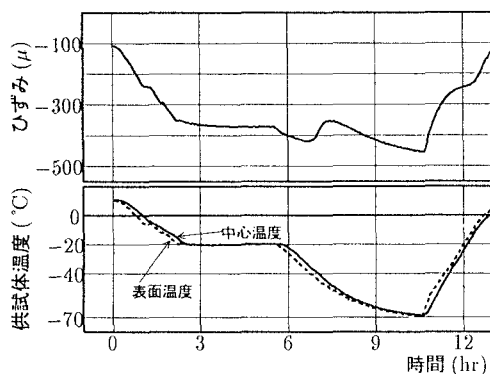


図-3 時間の経過に伴う温度とひずみの変化：Non-AE

また、 -20°C で保持しても確かに劣化している。しかし図-3より、保持している間にひずみは変化していないため、内部組織が破損しているとは考えにくい。この原因を次のように推考した。熱力学的に不安定な比較的小さい細孔中の過冷却水は、温度の保持により大きな細孔中に向けて移動するが、 -20°C で凍結可能な氷晶まで到達する過冷却水は微量である。しかし、熱力学的に安定した位置に集約した過冷却水は、温度の保持後再び冷却した途端一体となって凍結するため、保持しないで冷却する場合よりも効果的に内部組織を破壊する。

4. 結論

実験結果から、極低温で温度を保持することによってコンクリートは劣化するといえる。しかも、温度の保持が影響を与えるのは -70°C より高い温度であり、特に -40°C 付近での保持により激しく劣化する。

また、保持する時間が長いほど劣化が激しくなる傾向がある。しかし、凍結可能な水分量には限界があるため、この傾向はいずれ頭打ちになることが予想される。

参考文献

- 1) 三浦 尚, 李 道憲: 低温下におけるコンクリートのひずみ挙動と劣化, 土木学会論文報告集, 第 420 号, V-13, pp.191~200, 1990.8.
- 2) 平井 和喜: モルタルの凍害に及ぼす凍結持続時間の影響 — 気中凍結 12 時間以内の場合について —, 日本建築学会論文報告集, 第 70 号, pp.1-6, 1962.
- 3) 川島 恵介, 三浦 尚, 日向 哲朗: 極低温における温度保持がコンクリートの劣化に与える影響, 平成 6 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要, pp.568~569, 1995.
- 4) Zech, B., Setzer, M. J.: The dynamic elastic modulus of hardened cement paste. Part 2: Ice formation, drying, and pore size distribution, Materials and Structures, Vol.22, pp.125-132, 1989.