

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

東北大学 学生員 ○ 川島 恵介
東北大学 正員 三浦 尚
東北大学 日向 哲朗

1 まえがき

近年、クリーンなエネルギー源として、LNGが注目されており、環境保全の理由から、その需要はますます高まることが考えられる。このLNGを大量に貯蔵する施設の建設材料には、経済的で耐久性に優れたコンクリートが使用されている。

また、エネルギーの有効利用を目的として、超伝導現象を利用した電力貯蔵システムの開発も進められている。超伝導現象に必要な液体窒素などの極低温物質の貯蔵施設にも、LNGと同様の理由からコンクリートの使用が考えられる。これらの貯蔵施設において、LNGや液体窒素の充填・排出に伴い、コンクリートは極低温まで繰り返し冷却される。

そのため、このような環境におかれるコンクリートの耐久性に関する研究が必要である。過去の研究では、その耐久性に影響を与えると考えられる様々な要因について調査された。しかし、温度保持が劣化に与える影響に関する研究はされていない。一般的な凍害をもたらす低温での保持において、氷の体積増加が確認されており、これは劣化に影響を与える可能性がある。

極低温物質を貯蔵している間、コンクリートは極低温での温度保持を受ける。貯蔵施設の建設材料として、コンクリートを使用するためには、貯蔵時間が劣化に与える影響を調査する必要がある。よって本研究では、繰り返し冷却を与える際、冷却最低温度での保持がコンクリートの劣化に与える影響を調査した。なお、対象とした冷却最低温度は-70℃である。これは、-70℃以下の温度まで冷却しても、さらに劣化が激しくなることはないという、過去の研究結果に基づくものである。

2 実験材料・実験方法

セメントは市販の早強セメント、細骨材は宮城県大和産山砂、粗骨材は宮城県丸森産砕石、混和剤は減水剤および空気連行補助剤を使用した。コンクリートの配合を表1に示す。10×10×40cm型枠を使用して、角柱供試体を作製し、2週間水中養生した後、図1のような繰り返し冷却加熱作用を与えた。5サイクルごとに供試体のたわみ1次振動数を測定し、相対動弾性係数を計算した。相対動弾性係数の低下をコンクリートの劣化とみなし、その値が60%程度に低下するまで測定を継続した。また、角柱供試体にひずみゲージを貼付し、コンクリートの平均温度に対するひずみを測定した。

G _{max}	Slump	Air	W/C	s/a	Unit Content(kg/m ³)				
(mm)	(cm)	(%)	(%)	(%)	W	C	s	G	Agent
25	11±1	2+0.5	56	40	181	323	704	1190	0.808
25	11±1	4+0.5	56	40	171	305	741	1251	0.785

表 1: コンクリートの配合

3 実験結果および考察

コンクリートの温度履歴を図1に示す。中心温度が-70℃をこえてからの時間を保持時間とした。コンクリートは、約-72℃で温度保持されている。温度保持なしの供試体は、-72℃に達しないうちに加熱されているが、この程度の温度差であれば、劣化に影響がないとして実験を行った[1]。

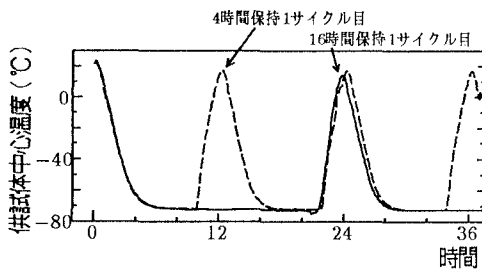


図 1: 供試体の温度履歴

一般にコンクリートは、繰り返し冷却されるほど劣化し、強度が低下する。強度の低下と弾性係数の低下には、密接な関係がある。相対動弾性係数の測定結果を図2に示す。コンクリートは、繰り返し冷却するほど劣化していくことと、空気の混入によってコンクリートの劣化は抑制されることがわかる。まず、空気量2%のコンクリートのグラフに着目すると、冷却最低温度で4時間保持したときの方が、保持しないときよりも劣化している。空気量4%のグラフについても、同様のことがいえる。この実験結果より、極低温での温度保持は、劣化を促進する可能性がある。そこで、保持時間を16時間に延長し、試験した結果が図3である。

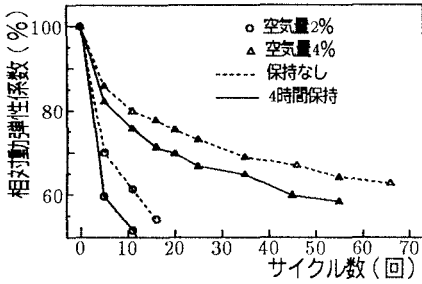


図 2: 供試体の劣化状況 1

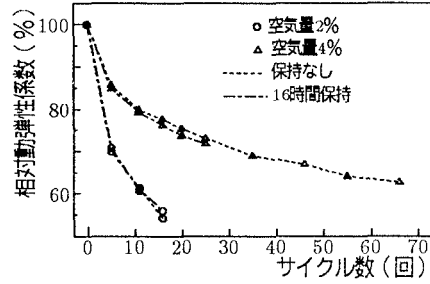


図 3: 供試体の劣化状況 2

保持なしと 16 時間保持の測定値はほぼ等しい。保持時間が長いほど、劣化が抑制されることは考えにくいので、4 時間保持したときに生じた違いは、実験誤差であることが予想される。

次に、冷却最低温度で保持したときの、コンクリート（空気量 4%）の平均温度とひずみの関係を図 4 と図 5 に示す。ひずみの挙動は、過去の実験結果とほぼ一致している [2]。一般的に、固体は冷却すると収縮する。図 4 と図 5 より、コンクリートも冷却すると、おおむね収縮しているといえる。ただし、約 $-30^{\circ}\text{C} \sim -50^{\circ}\text{C}$ までは膨張に転じており、これは水分の凍結による体積の増加が原因であると考えられている。このときに生じた膨張量は、加熱後常温に戻ったときの残留ひずみと相関がある [2]。コンクリートは、繰り返し冷却を与えられるほど、残留ひずみが増加する。残留ひずみの増加は、動弾性係数の低下とよく対応しており、コンクリートの劣化を評価する有効なパラメータである。図 4 と図 5 の -70°C におけるひずみに注目すると、コンクリートが -70°C で保持されている間、ひずみは

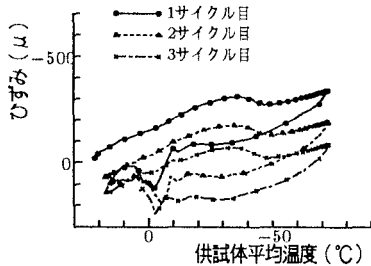


図 4: 4 時間保持のひずみのグラフ

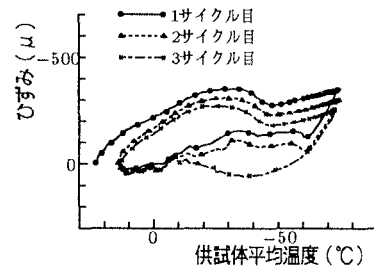


図 5: 16 時間保持のひずみのグラフ

変化（膨張）していない。このことから、冷却最低温度での温度保持が、残留ひずみ、すなわち劣化に与える影響は、無視できる程度であると思われる。

4 時間保持と 16 時間保持のひずみの挙動を比較すると、前者の方が冷却時に大きく膨張しており、残留ひずみも大きい。このことから、4 時間保持に使用したコンクリートは、何らかの理由で耐久性がなかったといえる。打設結果を比較すると、各保持時間で試験したコンクリートはほぼ均質である。また、冷却・加熱を与えたときの各温度履歴は、保持時間以外に違いはない。さらに、相対動弾性係数の測定値は、3 本の供試体の平均値であり、これらの測定値も図 2 ほどのばらつきが認められた。以上のことから、4 時間保持のコンクリートに生じた測定結果の違いは、実験誤差であることを再確認する必要がある。

4 まとめ

今回の実験結果から、16 時間以内の -70°C での温度保持は、劣化に影響を与えないことが確かめられた。温度保持なしと 2 種類の温度保持時間の実験結果を比較すると、 -70°C 以下の極低温においては、さらに保持時間を延長しても、劣化にはほとんど影響を与えないことが予想される。

参考文献

- [1] 李 道憲, 低温にさらされたコンクリートのひずみと劣化に関する研究. 昭和 62 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要, 1988.2
- [2] 李 道憲, 極低温下におけるコンクリートの劣化に関する研究. 東北大学博士論文, 1991