

V - 7 極低温まで繰り返し冷却されるコンクリートの劣化機構

東北大学 学生員 ○ 韓 相黙
東北大学 正会員 岩城一郎
東北大学 フェロー 三浦 尚

1. はじめに

著者らはこれまで、極低温下で温度保持を行った場合、温度保持を行わなかった場合に比べ、コンクリートはより劣化することを明らかにした¹⁾。本研究では、温度保持の影響を考慮した極低温まで繰り返し冷却されるコンクリートの劣化機構を明らかにすることを目的として、温度保持時間、冷却最低温度、冷却速度を変化させ、劣化に及ぼすこれら要因の相互関係に着目した検討を行った。

2. 実験概要

早強ポルトランドセメントを使用して、表-1に示すようにW/Cが異なるAEコンクリートを作製した。

供試体の寸法は10×10×40cmの角柱供試体である。

冷却加熱は極低温恒温恒湿器を用いて、図-1に示すよ

うに、供試体を常温から等速で冷却し、各冷却最低温度に達した後所定の時間供試体温度を一定に保ち、常温まで戻した、これを1サイクルとし、このサイクルを繰り返す要領で20サイクルまで行った。冷却最低温度、冷却速度、温度保持時間の各条件の組み合わせを表-2に示す。劣化の指標としては、相対動弾性係数の値を用いた。

3. 実験結果および考察

W/C56%, 66%の各配合に対して、各冷却最低温度における温度保持の影響を冷却速度ごとに表したものを図-2に示す。この図は冷却速度ごとに、20サイクル終了時における温度保持を行わない場合において低下した相対動弾性係数と、劣化が頭打ちになるまで十分温度保持を行ったものと思われる6時間保持した場合²⁾において低下した相対動弾性係数を示したものである。ここで、相対動弾性係数の低下とは、100%から各サイクルでの相対動弾性係数の実測値を引いた値であり、この値が大きいほど劣化していることを表す。

各冷却最低温度における冷却速度の増加に伴う相対動弾性係数の低下傾向を詳細に分析すると、両者の関係は冷却最低温度や温度保持の有無によって複雑に変化していることが分かる。例えば-40℃の場合、冷却速度0.09℃/minから0.18℃/minの間で相対動弾性係数の低下の割合が最も大きくなっている。また、温度保持を行わない場合、冷却速度0.18℃/minから0.33℃/minの間においては、冷却速度の増加による相対動弾性係数の低下の割合が小さくなり、特にW/C66%では、冷却速度の増加に伴うコンクリートの劣化が頭打ちになる傾向を示している。これに対し、温度保持を行った場合においては、0.18℃/minから0.33℃/minの間で相対動弾性係数の低下の割合が、温度保持を行わない場合に比べて明らかに大きくなっており、その結果、温度保持による劣化への影響、すなわち相対動弾性係数の低下量の差が大きく現れている。

これに対して、-50℃の場合、-40℃と比較し冷却速度0.18℃/minから0.33℃/minの間、保持なしの相対動弾性係数の低下の割合が大きくなっており、その結果、温度保持を行っても、保持の有無による劣化の差はそれほど大きくなり結果になっている。

一方、-30℃の場合、冷却速度0.18℃/minまでの相対動弾性係数の低下の割合が非常に少なく、0.18℃/minから0.33℃/minの間で急に増加している。また、温度保持による劣化の差も、この間で増加している。

表-1 コンクリートの配合表

スランブ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 (%)	細骨 材率 (%)	単位量 (kg/m ³)			
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
11±2.5	4±0.5	56	40	171	305	714	1183
	4±0.5	66		171	259	729	1209

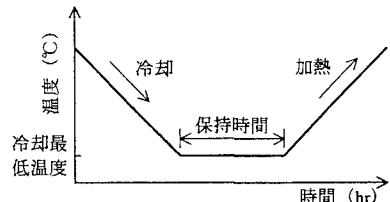


図-1 温度履歴の概念図

表-2 冷却条件の組み合わせ

冷却 最低 温度	冷却速度 (℃/min)					
	0.33		0.18		0.09	
	保持 なし	6hr 保持	保持 なし	6hr 保持	保持 なし	6hr 保持
-30℃	○	○	○	○	—	—
-40℃	○	○	○	○	○	○
-50℃	○	○	○	○	○	○

(○は実際に行った実験条件)

このように、冷却速度の増加に伴い、各冷却最低温度によって温度保持の有無による相対動弾性係数の低下に大きな差が現れた原因について考察を行う。

極低温まで冷却されるコンクリートのひずみ挙動を調べた実験結果より、 -20°C から -50°C にかけて大きい膨張が確認されている²⁾。これは毛細管空隙中に水が生成されると、より小さな細孔から水を吸収して成長する³⁾との機構により説明されている。つまり、その温度範囲において大きい膨張が確認されたことは、より小さい細孔中の未凍結水が、温度の低下に伴い熱力学的により安定な大きい細孔に移動し、そこで凍結するためであると考えられる。

本研究の範囲において、冷却速度の増加に伴い、温度保持を行わない場合の劣化量が大きくなる理由は、冷却速度を上げることにより、コンクリート内部の細孔水の凍結速度が大きくなり、それに伴う膨張が緩和されることなく、細孔壁に作用したためであると考えられる。一方、冷却速度が大きいほど、未凍結水が増加し凍結水量が減少する⁴⁾との報告に基づく、冷却速度をより大きくすると、逆に劣化が抑制される可能性があり、本研究のように -40°C で冷却速度 $0.18^{\circ}\text{C}/\text{min}$ および $0.33^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の保持なしの実験条件において、その劣化量の増加が頭打ちになったのも、このような機構が作用したためと考えられる。

さらに、温度保持を行うことにより、コンクリートの劣化が大きくなった理由は、温度保持を行うと、細孔中の未凍結水が氷晶に向かって移動し、保持を行わない場合と比較して、凍結水量が増加したためであると考えられる。この温度保持によるコンクリートの劣化への影響は、冷却速度が大きくなるほど未凍結水が増加し、温度保持期間中に氷晶への移動可能な水分が増加するため、より大きく現れたと考えられる。しかしながら、温度保持の間に移動可能な水分量には限界があるため、保持時間を長くするといずれその影響は頭打ちになる⁵⁾と考察される。

-50°C で温度保持が劣化に及ぼす影響が少なくなった理由は、 -50°C まで冷却されると毛細管中の未凍結水がほとんど存在しなくなり²⁾、温度保持の間に氷晶に向けて移動可能な水分量が少なくなったためであると考えられる。

また、 -30°C の場合、 -40°C 、 -50°C で見られるような冷却速度 $0.18^{\circ}\text{C}/\text{min}$ から $0.33^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の間での相対動弾性係数の低下割合の減少が見られないが、この理由は、未凍結水の移動に伴う氷晶の成長による影響が、 -40°C 、 -50°C に比べて小さいことが影響していると考えられる。

4. 結論

極低温まで繰り返し冷却されるコンクリートの劣化は冷却速度が大きいほど顕著に現れた。また、冷却速度が増加すると温度保持が劣化に及ぼす影響も増加することが確認された。さらに、冷却速度の増加に伴う温度保持の劣化に及ぼす影響は -40°C において最も大きく現れた。

【参考文献】

- 1) 韓相默, 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, No.53, pp.423-428, 1999
- 2) 三浦尚, 李道憲: 極低温下におけるコンクリートのひずみ挙動と劣化, 土木学会論文集, No.420, V-13, pp.191-200, 1990
- 3) Powers, T.C.: A Working hypothesis for further studies for frost resistance of concrete, *Journal of the ACI*, Vol.16, No.4, pp.245-272, 1945
- 4) 平井和喜: セメントモルタルの凍害に及ぼす凍結温度勾配の影響に関する実験的研究, 日本建築学会論文報告集, pp.9-17, 1977
- 5) 鎌田英治: セメント硬化体の微細構造とコンクリートの凍害, コンクリート工学, Vol.19, No.11, pp.36-42, 1981

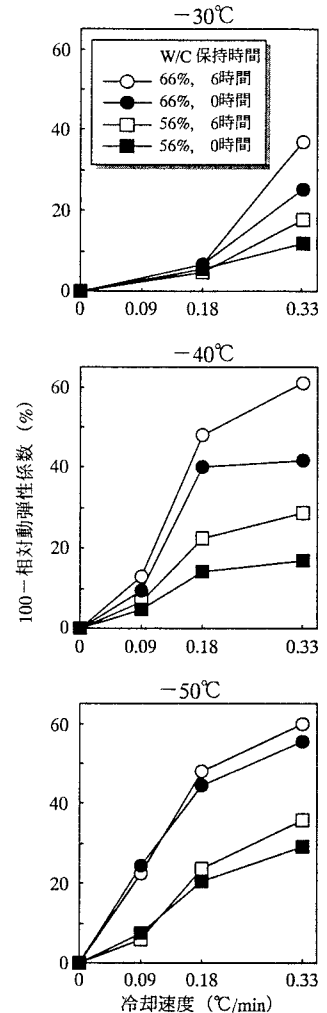


図-2 各冷却最低温度における冷却速度の増加に伴う相対動弾性係数の低下傾向