

極低温におけるコンクリートの温度保持を考慮した劣化機構

東北大学 学生員 小原拓也
東北工業大学 正会員 韓 相黙
東北大学 フェロー 三浦 尚

1. はじめに

既往の研究において、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、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。

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

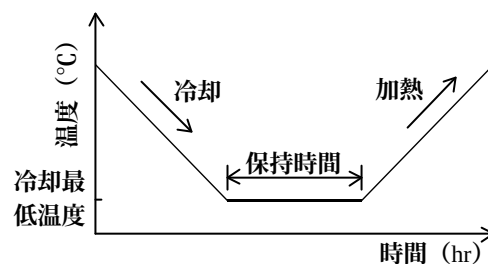


図-1 温度履歴の概念図

3. 実験結果及び考察

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が劣化に及ぼす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¹⁾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。

まず-40℃に着目すると、冷却速度が増加するに従い、劣化も増加する傾向を示している。ただし、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。冷却速度 0.09℃/min から 0.18℃/min の間では、冷却速度を上げることにより、細孔中の水の凍結速度が大きくなり、この冷却速度の間で水

表-2 冷却条件の組み合わせ

冷却 最低 温度	冷却速度 (°C/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)

キーワード：極低温、温度保持、冷却速度、劣化、相対動弾性係数

連絡先：〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06 TEL&FAX022-217-7432

晶の成長に伴う微小クラックの発生が著しく起こっているものと思われる。それに対し、保持を行わない場合、それ以上冷却速度を上げて劣化に影響を及ぼさないのは、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²⁾という影響が大きくなったためと考えられる。ただし、これらの冷却速度範囲においても、十分な温度保持を行うことにより、速度が大きいためにまだ凍結していない水が凍結し、さらに周囲のより小さい細孔にある未凍結水が氷晶にひきつけられ凍結する³⁾という機構が作用することで、温度保持中に凍結水量が増加し、劣化が進行するものと考えられる。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¹⁾と考察される。

これに対して、 -50°C の場合、 -40°C と比較し冷却速度 $0.18^{\circ}\text{C}/\text{min}$ から $0.33^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 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らない結果になっている。この理由は、毛細管中の未凍結水は -50°C に冷却される際に凍結してしまうため、 -50°C の時点においては劣化に関与する未凍結水がほとんど存在しなくなり⁴⁾、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。

一方、 -30°C の場合、冷却速度 $0.18^{\circ}\text{C}/\text{min}$ までの相対動弾性係数の低下の割合が非常に少なく、 $0.18^{\circ}\text{C}/\text{min}$ から $0.33^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 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。これについては、凍結水量が冷却最低温度 -40°C 、 -50°C における水量よりも小さく、より大きい冷却速度でないと、大きい膨張が発生しないため。このような結果になったものと考えられる。

本研究の結果より、 -30°C から -50°C の範囲においては、冷却速度が大きいほど温度保持が劣化に与える影響が顕著に現れる結果となった。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 にかけて膨張が進行することが確認されている⁴⁾。よって、主にこの温度範囲において温度保持を行うことにより、細孔内における水分の凍結、また未凍結水の氷晶への移動が行われ、その影響は冷却速度が大きいほど顕著に現れる結果になったと考察される。

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) 韓相黙, 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) 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
- 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) 三浦尚: 超低温下における鉄筋コンクリートの性質に関する基礎的研究, 東北大学博士論文, 1980
- 5) 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

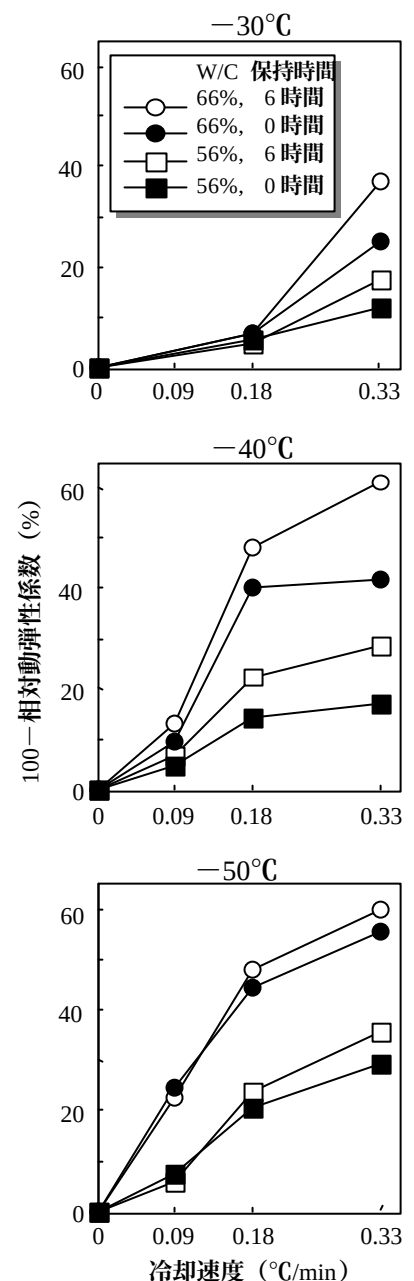


図-2 各冷却最低温度における冷却速度の増加に伴う相対動弾性係数の低下傾向