

V - 9

極低温におけるコンクリートの劣化予測モデルに関する基礎的研究

東北大学 学生員 ○ 小原拓也

東北大学 小川憲治

東北大学 フェロー 三浦 尚

1. はじめに

LNGタンクや超電導を応用した電力貯蔵システム等の構造物にコンクリートを用いた場合、繰り返し極低温まで冷却されることで劣化が生じると考えられる。しかし、構造物の供用期間中にどの程度の劣化が生じるか、判断可能な劣化予測技術に関する研究はまだ十分には進められておらず、劣化予測モデルの確立が望まれている。コンクリートの凍害に関しては、コンクリート内の毛細管空隙内の水分が凍結することによって劣化が生じるため、毛細管空隙量が構造物の耐久性に関与すると考えられる。よって本研究では、細孔容積の異なるモルタルを用いて、劣化に影響を及ぼす毛細管空隙の容積と極低温まで繰り返し冷却加熱させた場合の残留ひずみとの関係を明らかにし、今後の劣化予測モデル作成の基礎とするための研究を行った。

2. 実験概要

モルタルは表-1に示す水セメント比が異なる5種類の配合から粗骨材を取り除くことにより作製した。セメントは早強ポルトランドセメントを使用した。実験に使用した供試体の寸法は4×4×16cmの角柱供試体である。供試体は標準養生28日後から順次極低温までの繰り返し冷却加熱試験に供した。また、養生期間終了後、水銀圧入法により、各配合における細孔径分布を測定した。

表-1 コンクリートの配合表、打設結果

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				モルタルフロー (mm)	モルタルの空気量 (%)
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G		
46	40	171	372	718	1180	196	1.0
51			335	730	1200	205	1.1
56			305	740	1217	212	1.0
61			280	748	1230	225	0.9
66			259	755	1242	229	1.2

冷却加熱の温度履歴は供試体を常温から約0.33℃/minで冷却を行い、その冷却温度が-40℃に達した段階で、所定の時間供試体温度を一定に保持し、常温まで戻した。これを1サイクルとした。保持時間は、0時間と劣化が進行しなくなるまで十分保持を行ったとされる¹⁾4時間とした。劣化の指標としては、供試体の残留膨張ひずみを示す平均ひずみを用いた。測定は1サイクルと、以後5サイクルごとに20サイクルまで行った。

3. 細孔径分布と残留ひずみとの関係の予測

図-1に水銀圧入法による水セメント比46%と66%の積算細孔容積の測定結果を示す。約0.1μmより大きい空隙においては細孔径分布中に大きい相違はなく、それより小さい細孔で細孔容積に差が生じている。

細孔内の水分の凍結温度は細孔径に依存していることが知られており、ここではこの関係を表すものとしてStockhausenの関係式²⁾を用いる。

$$r = 3.9 / \ln \frac{273.15}{273.15 + T} \quad r: \text{凍結半径}(\text{\AA})$$

T: 凍結温度(0℃からの低下温度)

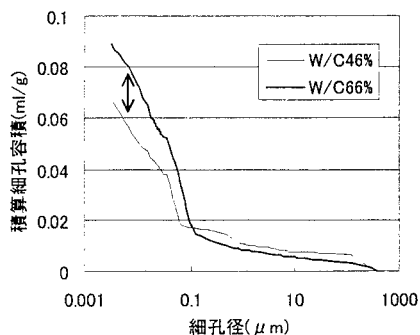


図-1 測定した積算細孔容積の範囲

これより、-40℃では直径0.0049μm以上の細孔が凍結するものとする。また、凍害に関与する細孔径の範囲については研究者により見解が異なるが、ここでは直径0.1μm以下の空隙が凍害による劣化に関与するものとする。よって、直径0.0049μm以上、0.1μm以下の細孔が劣化に関係してくる。この範囲における各配合

の細孔容積を表-2に示す。表より多少のばらつきはあるが、劣化に関与する細孔容積は水セメント比の増加とともに増えていることがわかる。この細孔容積中の水分が凍結し膨張すると考えられるので、劣化に関与する細孔容積と、冷却中に生じる膨張ひずみには、相関があるものと考えられる。また、冷却中に生じた膨張ひずみと、常温に戻したときの残留膨張ひずみとの間にも相関があるものと考えられる。

よって、上記より、細孔径分布より凍結に関与すると予測される細孔容積と、冷却加熱サイクルをかけた供試体の残留膨張ひずみには、冷却加熱条件ごとに相関があるものと予測し、検討を進めることとした。

4. 実験で計測された残留ひずみとの比較

極低温まで冷却加熱サイクルをかけたときに計測された残留膨張ひずみを図-2に示す。保持なし、4時間保持の両条件において、劣化に関与する細孔容積がほとんど等しかった水セメント比51、56、61%においては、残留ひずみにおいてもほとんど差は見られなかった。水セメント比66%にお

いては、それよりも若干大きい程度であった。一方、水セメント比46%では残留ひずみが大幅に低下した。一例として、1サイクルでの残留ひずみの結果と、表-2で示した細孔容積との関係をプロットしたものを図-3に示す。これより、保持なし、4時間保持ともに両者の関係は良い精度で線形近似できた。近似直線の切片が温度保持の有無にかかわらずほとんど同じであるが、これは水セメント比が非常に低く緻密なモルタルでは、劣化に伴う残留ひずみがほとんど生じないことを表している。また、近似直線の切片がほとんど同じことで、保持を行わない場合の残留ひずみと十分保持を行った場合の残留ひずみの比は、水セメント比によらずほぼ等しいことが明らかとなった。

今後、これらの現象をモデルに反映させることにより、冷却速度の影響、温度保持の影響を含む様々な温度履歴に対応した劣化モデルの構築を進めていく予定である。さらに、凍結融解作用を受けるコンクリートの劣化指標の一般化、及び水分の移動を考慮したモデルの構築が必要であると思われる。

5. 結論

本研究の範囲において、モルタルの細孔径分布から求まる凍害に関与と思われる細孔容積と、極低温まで繰り返し冷却加熱を行ったときの残留膨張ひずみとの間には冷却条件ごとに良好な相関があることが明らかになった。

【参考文献】

- 1) 韓相然：極低温の温度保持がコンクリートの劣化に及ぼす影響，東北大学博士論文，2001
- 2) N. Stockhausen：Die dilatation hochprosser Festkörpern bei Wasseraufnahme und Eisbildung, Dissertation Technische Universität München, 1981

表-2 劣化に関与する細孔容積

W/C	細孔容積 (ml/g)
46%	0.0446
51%	0.0655
56%	0.0630
61%	0.0655
66%	0.0710

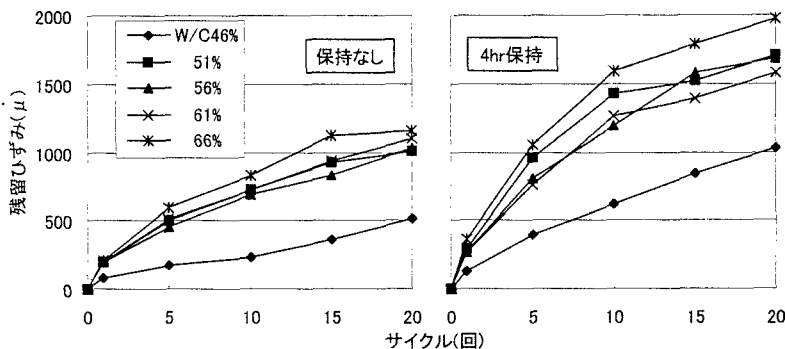


図-2 測定した残留ひずみの結果

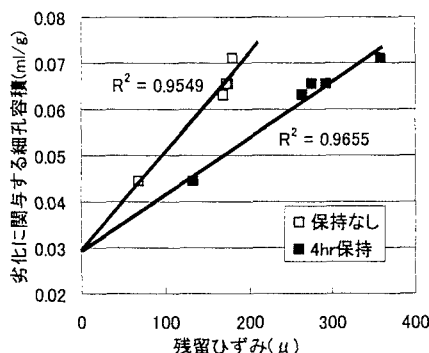


図-3 細孔容積と残留ひずみとの関係