

V - 6

極低温まで冷却されるコンクリートの劣化予測モデル作成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

コンクリートは繰返し極低温まで冷却されることで劣化が生じるが、この種の劣化を定量的に予測する技術に関する研究はまだ十分には進められていない。一方、コンクリートの凍害は、コンクリート内の細孔中の水分が凍結することによって生じることが知られている。よって本研究では、劣化に影響を及ぼす細孔径を仮定するとともに、細孔容積の異なるモルタルによる極低温下での繰返し冷却試験結果から新たな劣化指標を導入し、両者の関係を明らかにすることで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4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)				圧縮強度 (MPa)	モルタルフロー (mm)
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G		
36	40	171	475	684	1124	50.6	216
41			417	703	1156	40.7	230
56			305	740	1217	30.7	224
61			280	748	1230	22.4	220

温度履歴は供試体を常温から一定の冷却速度で冷却を行い、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。冷却速度は0.33,0.18,0.09℃/minの3種類、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4時間とした¹⁾。劣化の評価には、相対動弾性係数を用いた。測定は1サイクルと、以後5サイクルごとに40サイクルまで行った。

3. 劣化に寄与する細孔容積の仮定

図-1に水銀圧入法による積算細孔容積と劣化に寄与する細孔範囲決定の模式図を示す。細孔内の水分の凍結温度は細孔径に依存す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。

$$r = 3.9 / \ln \frac{273.15}{273.15 + T} \quad r: \text{凍結半径}(\text{\AA}) \quad T: \text{凍結温度}(0^\circ\text{Cからの低下温度})$$

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、急激に細孔量が増えるしきい細孔径³⁾以下の細孔においては劣化に寄与する十分な水分があるものと仮定し、本実験におけるこの値の最大値となるW/C 61%のしきい細孔径である直径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から0.1μmの細孔が劣化に関係すると仮定した。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、劣化に関与する細孔容量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。

4. 劣化指標の決定

図-2に冷却速度0.09℃/min、保持なしにおけるサイクル数と劣化の関係を示す。縦軸には（100-相対動

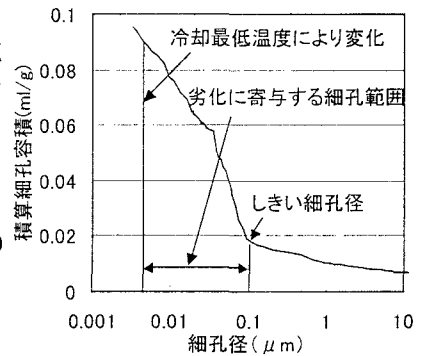


図-1 劣化に寄与する細孔容量決定の模式図

表-2 劣化に寄与する細孔容量

W/C	細孔容積(ml/g)
36%	0.0337
41%	0.0444
56%	0.0605
61%	0.0711

弾性係数) をとり、これを劣化度と定義し、また横軸には対数軸を用いている。この図より、それぞれの配合において、劣化度が約 50% に至るまでは劣化度の増加が直線的に表されている。この近似直線における勾配と切片の関係を、本実験以外に最近本研究室で実験を行ったものも含め、全ての配合、冷却条件においてプロットしたものが図-3 である。ばらつきはあるものの、勾配と切片は良好な相関を示しているといえる。以上より、劣化度は以下の式で表される。

$$y = A \ln(x) + 1.9A$$

ここで、x: サイクル数、y: 劣化度

上式における A を劣化の指標として用いることとした。また、この式と照合して、再度各条件に対する近似直線を算出した。その結果得られた劣化指標 A の値を表-3 に示す。

5. 劣化に寄与する細孔容量と劣化との関係

横軸に表-2 の劣化に寄与する細孔容量、縦軸に表-3 の劣化指標 A を冷却速度ごとにプロットしたものを図-4 に示す。この図より、どの冷却条件においても、劣化指標と劣化に寄与する細孔容量との間には、直線的な関係があることがわかる。さらに、劣化が生じないとされる劣化指標が 0 の時の細孔容量は 0 よりも大きい値となることがわかる。これは、この値以下の細孔容量において水分の凍結による膨張が生じても、供試体中の水分の絶対量が少なく凍結による膨張圧が小さいため、もしくは、マトリクスのひずみが弾性範囲内にあるためクラック等の欠陥が生じないためと考えられる。また、冷却速度ごとに図-4 を比較してみると、冷却速度の増加に伴い、劣化指標の値は増加するものの、近似直線から予測される劣化指標が 0 となる細孔容量は冷却速度、温度保持の有無にかかわらず 0.03ml/g 付近を示している。よって、冷却最低温度-40℃においては、冷却条件の変化によらず細孔量がある値以下であれば劣化は進行しないと考えられる。

6. 結論

相対動弾性係数から算出さ

れる極低温での劣化指標を提案した。また、細孔径分布から求まる極低温での劣化に関与する細孔容積と劣化指標の関係から、冷却最低温度-40℃では冷却条件の変化によらず細孔量がある値以下であれば劣化は進行しないことが予測される。今後、この結果が反映されるよう、劣化予測モデルを作成していくものである。

【参考文献】

- 1) 韓相熙: 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, 3) 後藤孝治, 魚本健人: セメントの水和反応による強度発現のモデル化, セメントコンクリートの反応モデル解析に関するシンポジウム論文集, 日本コンクリート工学協会, 1996.5

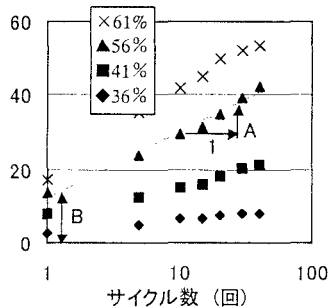


図-2 サイクル数と劣化度の関係

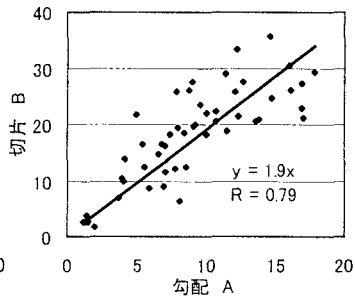


図-3 切片と勾配の関係

表-3 各配合、冷却条件における劣化指標 A

冷却条件		W/C (%)			
冷却速度	保持時間	36	41	56	61
0.09 ℃/min	なし	1.43	3.59	7.10	9.65
	十分保持	1.64	4.39	8.81	10.41
0.18 ℃/min	なし	1.28	5.27	10.63	12.91
	十分保持	1.51	5.93	12.35	15.34
0.36 ℃/min	なし	1.25	6.09	12.26	14.22
	十分保持	1.34	6.50	13.52	16.17

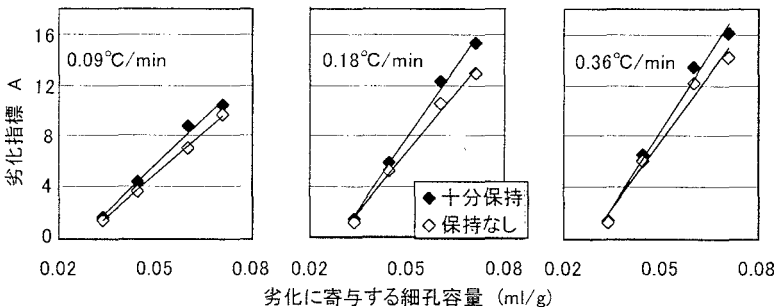


図-4 劣化に寄与する細孔容量と劣化指標の関係