

V-30 凍結融解作用を受けたコンクリートの細孔分布に関する基礎的研究

東北大学

東北電力(株)電力技術研究所

東北大学

○正会員 堀 宗朗

正会員 斎藤 裕

学生員 多田 浩治

1. 序

凍結融解作用を受ける場合、コンクリート構造物に劣化が発生する可能性があるが、これはコンクリートに微小亀裂が発生・進展しその組織が緩むためと考えられる。この劣化は、凍結融解の温度やその速度といった外的要因や、コンクリートの配合や施工状態といった内的要因に依存している¹⁾。細孔構造を測定して内部の微小亀裂を調べることができるため、凍結融解によって劣化したコンクリートの劣化度を診断することが可能であると考えられる²⁾。この観点から、本研究では凍結融解作用を受けたコンクリートの細孔構造と劣化の関係について報告する。

2. 実験概要

10cm×10cm×40cmの角柱コンクリート供試体に凍結融解の繰り返しをかけ、その劣化度を相対動弾性係数の低下として測定した。供試体から直径20mm、長さ15mm程度の円筒形のコアを引き抜き、40℃で15時間真空乾燥後、水銀圧入式ポロシメーターで細孔構造を測定した。なお、表1、2に示すように、凍結融解作用の外的要因（温度範囲、凍結融解速度）と内的要因（W/C、セメント・骨材の種類）をさまざまに変えて実験を行い、凍結融解作用の要因に対して依存の少ないコンクリートの細孔構造と劣化の関係を見いだすことを試みた。

3. 実験結果と考察

一般に粗骨材の細孔量はモルタルの細孔量に比べはるかに少ないため、本研究ではコンクリートの細孔構造をモルタル部分に限定した。コンクリートの弾性の低下は、細孔が新たに発生することや、細孔同士が連絡すること起因すると考えられるため、1)細孔の総体積（総細孔量）と2)細孔径毎の体積の分布（細孔分布）の2つに分けて細孔構造をとらえた。

最初に総細孔量について検討する。引き抜かれたコアには粗骨材が含まれるため、コアの密度を基にモルタル部分の細孔構造を推定する。いろいろな劣化の度合のコアについて測定された密度と総細孔量の関係を図1（外的要因を変えた場合）と図2（内的要因を変えた場合）に示す。密度と総細孔量の間には劣化の度合に依存しない極めて強い線形関係があることがわかる。この2つの図から、凍結融解作用を受ける際、モルタル部の総細孔量は外的要因に関わらずあまり大きな変化はなく、内的要因によって決定される劣化前の総細孔量とほぼ等しいと考えられる。

本研究の対象となった程度の劣化が凍結融解作用によって

表1 試験条件

No.	温度範囲 (℃)	冷却速度 (℃/min)	加熱速度 (℃/min)
1	+4~20	0.35	0.90
2	+4~70	0.35	0.90
3	+4~70	0.18	0.45
4	+4~70	0.09	0.23
5	-10~70	0.35	0.90

表2 配合表

No.	G _{max} (mm)	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	Unit Content (kg/m ³)				
					W	C	S	G	Admix.
1	25	56	2	42	194	346	725	1125	—
2	25	56	2	42	176	314	749	1170	—
3	25	46	2	40	175	383	689	1169	C×0.25%
4	25	36	2	38	174	489	622	1152	C×0.50%

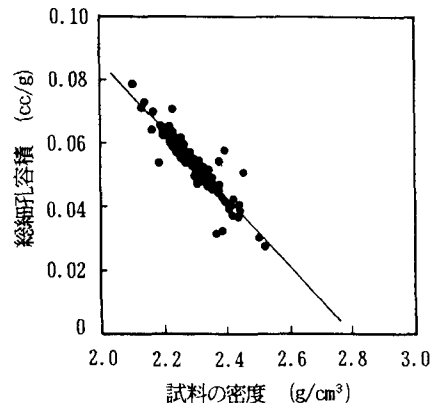


図1 密度と総細孔容積
（外的要因が異なる場合）

生じるコンクリートには、1%程度の残留膨張が発生することが種々の室内実験によって示されている³⁾。この膨張を総細孔量の変化と仮定した場合でも、総細孔量の変化はポロシメーターの誤差の範囲にある。これは、上記の総細孔量に大きな変化がないという結果と矛盾しない。

次に細孔分布について検討する。マイクロメカニクスの理論によれば、体積の非常に小さい亀裂が材料に発生する場合でも材料の弾性が低下することが示されている⁴⁾。したがって、総細孔量が一定のままで、細孔ないし亀裂の連絡による細孔分布の変化によってコンクリートの弾性が下がることが可能であると考えられる。

この観点から、細孔分布の変化を、比較的径の大きな細孔の体積変化(X)と比較的径の小さな細孔の体積変化(Y)の2つの指標で表わすことを試みた。亀裂の大きさの変化と弾性の相対的な変化にはある程度の範囲で線形関係が成立することが理論的に示されているため、それらの細孔分布の変化を示す指標と相対動弾性係数の低下(Z)との相関を次式で調べた。

$$Z = AX + BY + C \quad (*)$$

ここで、A, B, Cは係数である。外的要因と内的要因を変えた場合、XとYには、直径10.0~1.0と直径0.05~0.025、及び直径50.0~1.00と直径0.25~0.025(μm)の細孔の体積変化を各々とする。図3と図4に実測されたX, Y, Zを示す。式(*)の相関係数は0.89と0.70である。同一のコンクリート供試体から採取したコアの劣化の程度にはばらつきがあることやポロシメーターによる測定精度を考慮すると、十分高い相関関係があると思われる。なお、内的要因が異なる場合は、高い相関を得るためには選定される細孔の径にある程度の幅をもたせることが必要である。しかし、内的要因が同一で外的要因のみ異なる場合は、高い相関を示すような小さな細孔の径の範囲が選べる。

4. 結論

径毎の細孔の体積として表わすことのできる細孔分布の変化に着目することで、凍結融解作用によるコンクリートの劣化の度合を診断することが可能であると考えられる。

本研究の実施に際し、東北大学三浦尚教授の指導を得た。

5. 参考文献

- 1) 長谷川・藤原:凍害, 技報堂出版, 1988.
- 2) 多田・堀・斎藤:コンクリートの劣化と細孔分布に関する基礎的研究, 土木学会第45回年次学術講演会講演概要集, 第5部, pp. 278-279, 1990.
- 3) 三浦・李: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, 第420号, pp. 191-200, 1989.
- 4) M. Hori. and T. Miura.: Overall Moduli of Heterogeneous Elastic Materials, 土木学会論文集 (印刷中).

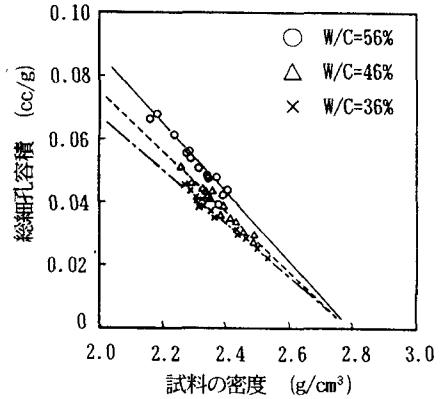


図2 密度と総細孔容積
(内的要因が異なる場合)

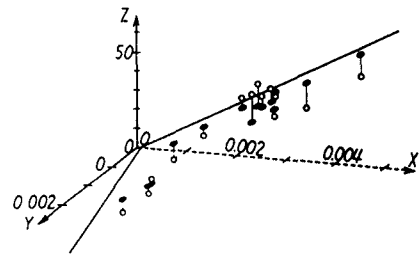


図3 細孔容積の変化と
相対動弾性係数の低下
(外的要因が異なる場合)

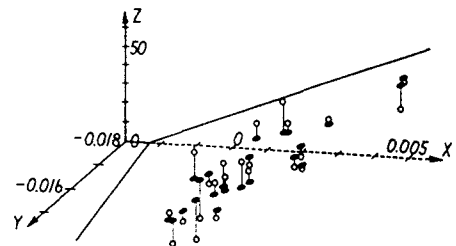


図4 細孔容積の変化と
相対動弾性係数の低下
(内的要因が異なる場合)