

論文

[1172] 試験体寸法が凍結融解試験結果におよぼす影響

正会員○伊藤憲雄 (宮城高専建築学科)
 正会員 成田 健 (東北大学建築学科)
 正会員 三橋博三 (東北大学建築学科)
 正会員 平井和喜 (東北大学建築学科)

1. はじめに

コンクリートの凍害に関する研究は、耐久性設計や建物の寿命予測を設計段階から考えていく上で重要な課題の1つである。筆者らは、凍害発生過程に関連ある要因のうち、温度と水分環境に焦点を絞り、一連の凍結融解試験をとおして凍結温度の異なる履歴下での劣化特性の変化を明らかにすると共に寿命予測を想定した確率モデルの適用性を検討してきた[1][2]。この問題に対する今日までに多くの研究者によって蓄積された研究成果の中では、各研究機関で実施している実験用試験体の大きさは統一されていない。例えば、長谷川は寸法の大きさを含む試験体条件などの違いに着目した[3]。しかし、試験体寸法が凍結融解試験結果におよぼす影響については必ずしも明らかにされていない。

そこで、本報告では2つのシリーズで作製されたモルタルの断面寸法と水セメント比が各々3種類の試験体について試験を実施し、断面の寸法と水セメント比の相違が試験結果におよぼす影響の検討をするため、凍害劣化確率モデルへの適用と主成分分析を試みまとめたものである。

2. 実験計画

本研究では、コンクリートをモルタルと粗骨材との複合材料として扱い、コンクリートの調査から粗骨材の影響を除いたモルタルでの実験的検討とする。また凍結融解試験は気中凍結水中融解方式で行う。なお、I・IIシリーズは断面寸法が10cmと7.5、4cmを示す。

2.1 使用材料とモルタル調合

使用材料は表1の物理的性質を示す普通ポルトランドセメントと細骨材には宮城県阿武隈川産川砂(粗粒率:2.79、表乾比重:2.55、吸水率:2.75%)である。

表1 セメントの物理的性質

シリーズ	曲げ強度 (Kgf/cm ²)			圧縮強度 (Kgf/cm ²)			flow (mm)	比重
	3日	7日	28日	3日	7日	28日		
I	42.8	56.4	63.1	177	276	423	259	3.16
II	34.7	50.9	63.1	145	247	371	244	3.16

水セメント比(w/c)は65、55、45%の3種類とし、その調合は表2のとおりである。なお、フロー値の調整を行うため、流動化剤を断面寸法10cmのW/C:65、55%を除いたモルタルに使用する。

2.2 試験体

試験体寸法は、10×10×40、7.5×7.5×30、4×4×16cmの3種類とし、2つのシリーズに分割して各3本ずつ作製する。試験体の養生は、作製後4週間標準養生とする。

表2 モルタルの調合

シリーズ	W/C	セメント (Kg)	水 (Kg)	細骨材 (Kg)	容積 (l)	S/C	flow (mm)	Air (%)
I	0.65	7.95	5.17	18.87	15.1	2.37	285	0.7
	0.55	9.64	4.87	22.02	16.6	2.28	275	0.7
	0.45	10.88	4.9	21.59	16.8	1.98	265	1.5
II	0.65	7.5	4.875	18.75	14.6	2.5	270	0.7
	0.55	8.5	4.675	18.96	14.8	2.23	260	0.15
	0.45	9.5	4.275	18.81	14.7	1.98	268	1.4

2.3 実験方法と測定項目

凍結融解試験は気中凍結水中融解方式で、試験温度は+5~-18℃とし、実験では凍結融解時間は断面寸法10cmで4時間、7.5および4cmでは2.5時間と2時間である。測定項目は共鳴振動数による動弾性係数と試験体の容積変化を任意の凍結融解の繰返し数で測定する。

3. 結果および考察

3.1 試験体断面寸法と凍結温度勾配の関係

凍結融解試験をモルタル作製時毎に、断面寸法が10cmと7.5、4cmについて行った結果、試験体断面寸法が大きい程、凍結温度勾配は小さい。試験体の劣化損傷におよぼす影響が大きい凍結温度勾配(α)は断面寸法の大きい順に0.11、0.20、0.24℃/min、また融解に要した時間は凍結融解1サイクルの各々約1/5、1/5、1/4となった。これは試験装置が気中凍結水中融解方式であるため、試験体の中心が設定温度に到達する時間が試験体表面から中心までの距離に依存すること、試験槽内における試験体の状態や熱負荷が異なることにより生じたものである。

3.2 相対動弾性係数について

任意の凍結融解繰返し数での共鳴振動数を各試験体について測定して、相対動弾性係数の平均値を図1~3に示す。本実験での相対動弾性係数の変化は、水セメント比が小さく、試験体の断面寸法が大きい10cmのモルタルで劣化進行の傾向が最も穏やかであった。一方、劣化が顕著であったW/Cが55、65%で断面寸法が7.5、4cmのモルタルでは、断面寸法が10cmの試験体に比べて表面劣化が早く、特にW/C:55%の試験体で明確な傾向が認められた。本実験の範囲ではいずれも凍結融解の繰返し数が12~11回程度で膨らみや欠けが生じ測定が困難な状態となり、測定値数が少なくなった。一般的に断面寸法、水セメント比を含む調合条件、使用骨材の品質などが凍

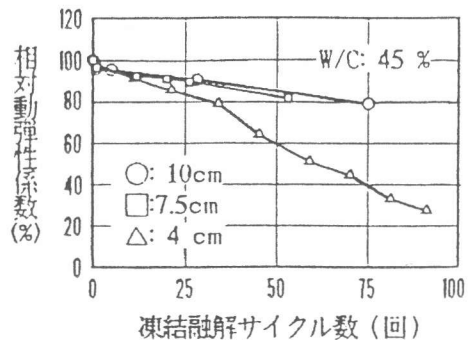


図-1 W/C:45%の凍結融解試験結果

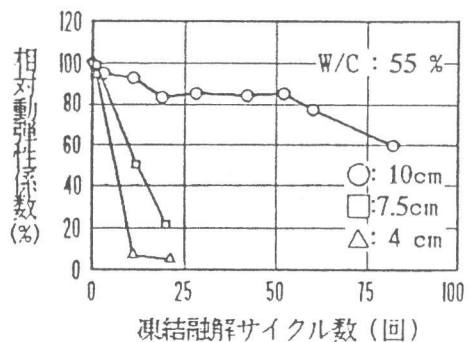


図-2 W/C:55%の凍結融解試験結果

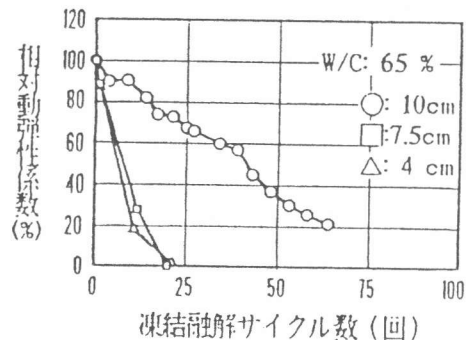


図-3 W/C: 65%の凍結融解試験結果

結融解試験時の劣化損傷に影響を及ぼすことが報告されている[3][4][5][6]。

3.3 凍害劣化確率モデルの適用

ここでは、動弾性係数の変化を直線的な傾向に置き換えて比較を容易にするため、成田らが提案した凍害劣化確率モデル[2]の適用を試みる。凍結融解作用によるモルタルの動弾性係数低下は、内部にある含有水分の凍結によって微細なクラックが発生し、それらの累積に起因する累積型劣化と仮定して、モルタルの凍害を確率現象として捉えると、次のような確率モデル式で表わすことができる。

$$\ln P_0(N) = -K \cdot N + \text{const.} \quad (1)$$

ここで、 $P_0(N)$ ：生存確率（試験体の健全度を表す指標）、 K ：試験体条件の影響係数、 N ：凍結融解繰返し数。

表3 モルタルの実験条件と凍害劣化の影響係数一覧

シリーズ	断面寸法(cm)	w/c	flow (mm)	Air (%)	温度勾配 (°C/min)	影響係数	相関係数
I	10	0.65	285	0.7	0.11	-0.01630	-0.986
		0.55	275	0.7	0.11	-0.00314	-0.883
		0.45	265	1.5	0.11	-0.00181	-0.968
II	7.5	0.65	270	0.7	0.20	-0.10482	-0.997
		0.55	260	0.15	0.20	-0.05945	-0.998
		0.45	268	1.4	0.20	-0.00358	-0.980
	4	0.65	270	0.7	0.24	-0.14156	-1.000
		0.55	260	0.15	0.24	-0.05555	-1.000
		0.45	268	1.4	0.24	-0.00884	-0.986

したがって、試験体の健全度を表す生存確率は、一般的な試験体の評価指標としての相対動弾性係数に対応すると考えることができ、影響係数はコンクリートの凍害による劣化と考えることができる。そこで、クラック発生過程に対応する相対動弾性係数が60%以上の範囲について生存確率： $P_0(N)$ と影響係数： K を求めて表3に示した。図4は凍結融解繰返し数に対する生存確率の関係を例示したものである。表3より、同一水セメント比に対して、断面寸法が小さくなるにしたがって、即ち温度勾配の増大と共に影響係数は大きな値をとり、また同一寸法の試験体に対しては水セメント比の大きいものほど大きな値をとることが明確に示されている。

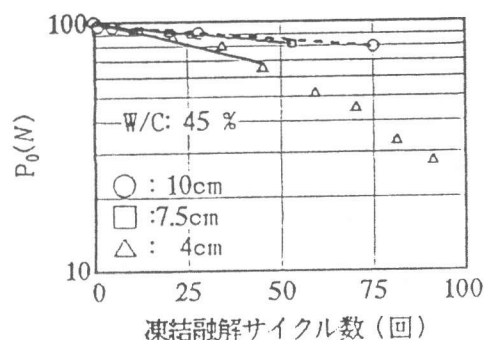


図4 凍結融解繰返し数と生存確率の関係

3.4 主成分分析での検討

ここでは本研究での実験条件と測定結果を基に条件の異なった実験結果を考察するために、主成分分析による相対的な評価を試みた。分析に用いた変量は断面寸法、水セメント比、フロー値、空気量、凍結温度勾配、影響係数の6変量である。分析結果から累積寄与率が第2主成分までで0.811であるため、横軸に第1主成分、縦軸に第2主成分を取り、構造図を描くと図5の如く表

わされる。分析結果から第1主成分中、固有ベクトルが正で大きいのが試験体の断面寸法で0.50、負では凍結温度勾配の-0.52が得られた。第2主成分では正の固有ベクトルで水セメント比が0.65、負では空気量が-0.38であった。したがって、各々の軸線が示す意味は、第1主成分では試験断面寸法と凍結温度勾配が相反する関係であるが、本実験から後者は前者に依存するところが大きいため、試験体の断面寸法を表わす指標と考えられる。一方、第2主成分では水セメント比の固有ベクトルが大きく、負側で空気量が影響しているが試験体の調合を表わす指標と考えられる。

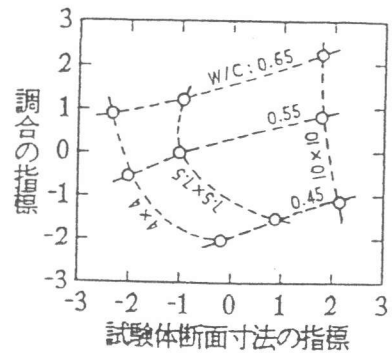


図-5 主成分分析による構造図

4. まとめ

今回実施したモルタル試験体の凍結融解試験結果の範囲から、次のことが明らかとなった。

- 1) 本実験の範囲内では、条件の異なった試験体の結果を含む6変量について、主成分分析による相対評価を試みた結果、第1主成分では試験体断面寸法の固有ベクトルが0.50、第2主成分では水セメント比で0.65と大きく、断面寸法および水セメント比が試験結果への影響があることを示すことができた。
- 2) 本実験で取り扱った範囲ではモルタル試験体の耐凍害性は、試験体断面寸法が大きく、水セメント比が小さいほど優れている傾向が確認された。
- 3) 確率モデルを適用した結果、劣化速度は温度勾配の増大と共に、即ち、試験体に対する温度条件が厳しいほど、また水セメント比の大きいほど大きくなることを定量的に示すことができた。

【謝 辞】

本研究をまとめるにあたり、宮城工業高等専門学校建築学科 内海康雄助教授及び同機械工学科野田重太郎助手に貴重な助言を頂きました。記して謝意を表します。

【参考文献】

- [1] 成田 健・三橋博三・平井和喜：上昇・下降を伴う凍結温度履歴下でのモルタルの劣化特性，セメント・コンクリート論文集，No.43，PP442-447，1989
- [2] 成田 健・三橋博三・平井和喜：コンクリートの凍害劣化特性と寿命予測の確率モデルに関する考察，東北大学建築学報，第30号，PP53-61，1991.3
- [3] 長谷川寿夫：コンクリートの凍結融解方法が試験結果に及ぼす影響，セメント技術年報，No.39，PP118-121，1985
- [4] 永倉 正：コンクリートの配合諸条件が凍結抵抗性におよぼす影響に関する基礎的研究，土木学会論文集，第98号，PP15-25，1963.10
- [5] 成田 健・三橋博三・平井和喜；モルタルの凍害劣化に及ぼす骨材粗粒率の影響に関する一考察，セメント・コンクリート論文集，No.44，PP412-417
- [6] 平井和喜・川上勝弥・伊藤憲雄：粒度調整砕砂モルタルの耐凍害性に及ぼす骨材粒度の影響について，日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），PP413-414，1981.9