

V-10

コンクリートの耐凍害性の気中凍結融解試験による検討

北見工業大学工学部	正 員	桜井 宏
北見工業大学工学部	正 員	鮎田耕一
北見工業大学工学部	正 員	岡田包儀
北見工業大学大学院	学生員	田中 純

1. はじめに

コンクリート構造物は、日照、風、雨、雪などの様々な気象作用を直接受けるものが多く、凍結融解を含む温度変化、乾燥や水の浸透による水分変化、炭酸ガスなどの影響を受ける。これらのうち積雪寒冷地において最も厳しい作用はコンクリート中の水分の凍結融解の繰返しである。著者等は、各種環境条件下の促進試験と曝露実験等を行っている¹⁾。本研究ではRCモデル化供試体による気中凍結融解試験を実施し考察を行いコンクリートの耐久性評価を行うことを目的とする。

2. 実験及び検討方法

2.1 使用材料

表-1 使用材料

使用材料を表-1に示す。

2.2 供試体の形状及び寸法

図-1気中凍結融解試験に用いた供試体の形状と寸法を示す。供試体は角柱供試体として10×10×40cmを使用した。

セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
普通ポルトランドセメント 比重：3.16	比重：2.61 吸水率：2.40 産地：札内川産	最大寸法：25mm 比重：2.66 吸水率：1.63 産地：札内川産	A E 剤 (ヴィンソルW)

2.3 配合及び練上がり性状

コンクリートの配合は、水セメント比45%、55%及び65%の各々である。コンクリートの配合及び練上がり性状を表-2に示す。各配合とも打ち込み時における目標空気量及び目標スランプをそれぞれ $4.5 \pm 0.5\%$ 及び $8 \pm 1\text{cm}$ とした。

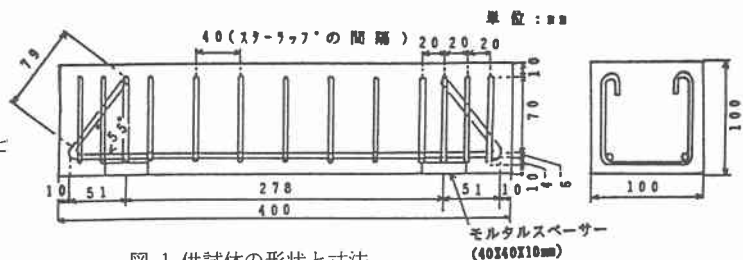


図-1 供試体の形状と寸法

2.4 気中凍結融解試験方法

気中凍結融解試験は1サイクル4時間(凍結行程2時間35分、融解行程1時間25分)とし、供試体の中心部の温度が $-17.8 \pm 1.7^\circ\text{C}$ から $4.4 \pm 1.7^\circ\text{C}$ になるように制御した。測定項目は、長さ変化、重量、共鳴振動数及び超音波伝播時間であり、各々の劣化指標を長さ変化率($\times 10^{-6}$)、重量変化率(%), 超音波伝播速度変化率(%)及び相対動弾性係数変化率(%)で示した。

Study on Concrete Durability to Frost damage by Freezing and Thawing Test in Air
by Hirishi SAKURAI, Koichi AYUTA, Kaneyoshi OKADA and Jun TANAKA

表-2 コンクリートの配合及び練り上がり性状

水セメント比 %	細骨材率 %	単位量配合 (示方配合)					対する割合 セメント重量に ウェインソル W の %	練り上がり時の性状				打ち込み時の性状				表面水率	
		水 W kg/m ²	セメント C kg/m ³	細骨材 S kg/m ³	粗骨材 G kg/m ³	混和剤 ウェインソル W (cc)		スランプ cm	空気量 %	空気量 重量法 %	練り 上がり 温度 ℃	スランプ cm	空気量 %	空気量 重量法 %	練り 上がり 温度 ℃	粗骨材 G %	細骨材 S %
55	33	152	276	616	1286	53.1	0.0192	14.9	5.8	5.66	25.3	9.4	4.7	4.12	25.0	-0.209	0.155
55	33	152	276	616	1286	53.1	0.0192	14.2	5.4	4.94	25.1					-0.209	0.155
65	34	152	234	647	1289	32.8	0.0140	14.7	5.0	5.07	21.0	11.0	4.2	4.25	21.5	-0.217	0.366
65	34	152	234	647	1289	33.9	0.0145	12.9	4.9	4.72	22.0					-0.217	0.366
45	31	152	338	564	1277	40.0	0.0728	6.8	5.5	5.32	18.5	4.0	3.8	3.85	18.0	0.029	0.232
45	31	152	338	564	1277	40.0	0.0728	5.1	4.4	4.01	19.0					0.029	0.232

測定方法の手順は以下の通りである。

①試験は材令28日まで標準養生を行った後に初期値の測定を行って開始した。その後は約30サイクル毎に測定を行った。

②測定は毎回融解行程中に供試体を取り出し、恒温室で1時間置いた後に測定を開始した。

③各測定項目をそれぞれ測定した後、供試体の劣化状況を記録するために写真撮影を行った。

2.5 解析方法

解析では相関分析を行い、各劣化指標と水セメント比及び凍結融解回数の相関係数を求めた。

3. 実験結果及び考察

3.1 実験結果

図-2に凍結融解回数と重量変化率の関係を示す。重量変化率については、水セメント比65%のケースで鉄筋とスターラップが完全に露出した供試体が存在するため、約7000サイクル時での減少率が50%程度となった。また、同ケースの他の供試体も表面剥離や粗骨材の露出が他のケースと比べ著しい。その他のケースでは表面劣化が極めて軽度で重量の減少率は2%にも達していない。

図-3に凍結融解回数と長さ変化率の関係を示す。長さ変化率については、水セメント比65%のケースで凍結融解初期の段階から供試体の伸びが起っており、他のケースとは異なっている。これはコンクリート組織の緩みに起因する微細なひびわれの発生、コンクリートと鉄筋の付着強度の低下などが原因として考えられる。他のケースでは約6000サイクル時より増加傾向にあり約8000サイクル時での増加率は水セメント比55%のケースで約1%、W/C45%のケースで約0.5%である。

図-4に凍結融解回数と超音波伝播速度変化率の関係を示す。超音波伝播速度変化率も水セメント比65%のケースでの減少量が他のケースとは異なっている。約8000サイクル時での減少量は水セメント比65%のケースで約45%となっている。これと比較して水セメント比55%、水セメント比45%のケースでは約6000サイクル時まで減少傾向はみられず、その後の減少も約4%程度である。

なお、気中凍結融解試験のそれぞれのケースの最大サイクル数は、水セメント比45%のケースが約7300サイクル、水セメント比55%のケースが約8300サイクル、水セメント比65%のケースが約7700サイクルである。

3.2 考察

3.2.1 各劣化指標の相関分析結果

各劣化指標と水セメント比及び凍結融解回数の相関係数を表-3に示す。

表-3から劣化指標ごとに相関係数をみる。重量変化率と水セメント比及び凍結融解回数の両劣化要因はともに負の相関を示し、このうち水セメント比との相関関係が高い。長さ変化率と水セメント比及び凍結融解回数の二つの劣化要因はともに正の相関を示し、二つの劣化要因ともにやや相関関係がある。超音波伝播速度変化率と凍結融解回数が正の相関を示しているが、これは $w/c=45\%$ と $w/c=55\%$ の両ケースが増加してその後低下がみられないためであると思われる。このことからこの両ケースではコンクリート内部の著しい劣化は起こっていないものと考えられる。

3.2.2 各劣化指標と凍結融解回数の変化の傾向について

図-3及び図-4において気中凍結融解開始から約4500サイクルまで長さ変化率は減少(収縮)、超音波伝播速度変化率は増加する傾向がみられる。特に図-4における水セメント比45%のケースでは約4500サイクルまで増加傾向にありその後の減少もわずかである。この傾向は図-3における水セメント比45%、55%のケース、図-4における各配合でも同様である。

3.2.3 気中凍結融解を受けるRC部材の耐久性モデルについて

前述の考察より、劣化指標の変化は上に凸の非線形的な経過を示すものと思われる。今後、モデルを検討する際には材令による上昇を考慮し、さらにはその後の低下を示すものが必要であると考えられる。また、大気中にある一般の寒冷地RC構造物の耐用年数予測の基礎的な検討を行う場合にも、この上昇と低下を考慮した耐久性モデルを検討する必要があるものと思われる。

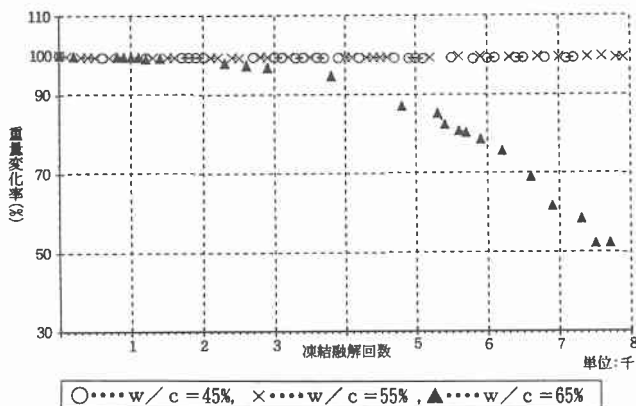


図-2 凍結融解回数と重量変化率の関係

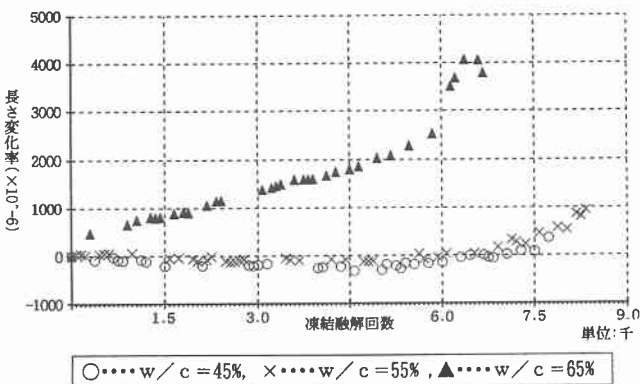


図-3 凍結融解回数と長さ変化率の関係

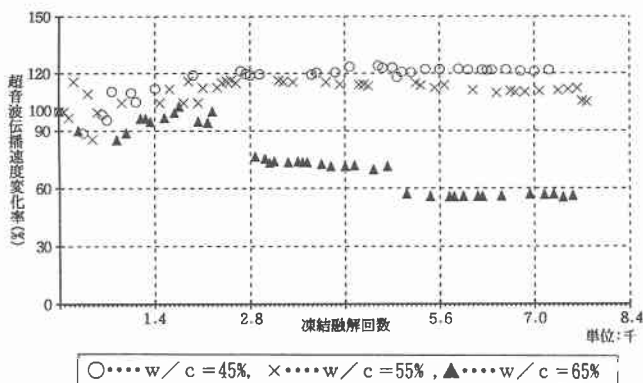


図-4 凍結融解回数と超音波伝播速度変化率の関係

表-3 劣化指標と劣化要因の相関係数

	重量変化率	超音波伝搬速度 変化率(ゴムなし)	長さ変化率
水セメント比	-0.835	-0.532	0.493
凍結融解回数	-0.376	0.780	0.534

<写真>



写真-1 w/c=45%,凍結融解回数:88

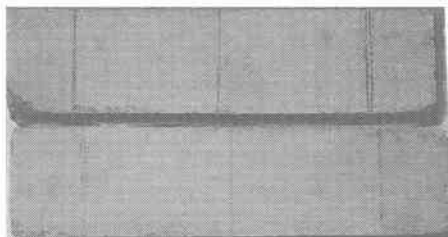


写真-2 w/c=45%,凍結融解回数:4001

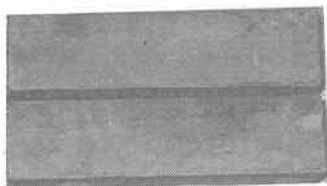


写真-3 w/c=55%,凍結融解回数:90

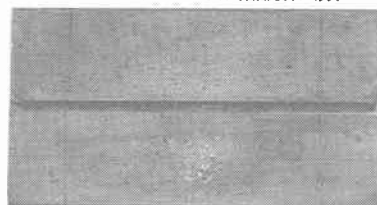


写真-4 w/c=55%,凍結融解回数:4034

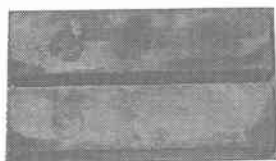


写真-5 w/c=65%,凍結融解回数:110

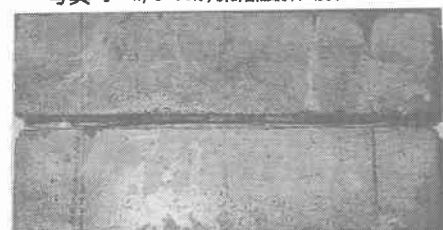


写真-6 w/c=65%,凍結融解回数:3995

4. まとめ

RCモデル化供試体を用いた気中凍結融解試験から、以下のことが明らかになった。

- (1)劣化指標としての重量変化率は、水セメント比及び凍結融解回数に対し負の相関を示し、水セメント比との相関関係が高い。
- (2)劣化指標としての長さ変化率は、水セメント比及び凍結融解回数に対し正の相関を示した。
- (3)水セメント比が低いと、気中で凍結融解の繰り返しを受けても、凍結融解約4500回までは劣化指標値が上昇する傾向がみられた。
- (4)気中凍結融解を受けるRC部材の耐久性のモデルを検討する際には、材令の上昇を考慮した非線形的なものが必要である。

【謝辞】本研究にあたり北海道大学佐伯昇教授、藤田嘉夫前北見工業大学客員教授のご指導を受けた。また、北見工業大学猪狩技官、北見工業大学大学院の阿部氏、同卒論生の白山、八重樫氏の御協力を得た。解析では北海道大学及び東京大学大型計算機センターの御協力を受けHITACを使用した。ここに感謝する。

【参考文献】

- 1)桜井宏、鮎田耕一、佐伯昇：セメント技術大会講演集42号，PP263-266;1988年
- 2)田浦秀春：土木技術者のための統計解析，吉井書店，1985