V-56　促進型凍結融解試験法の理論と実用化に関する研究

浅野工学専門学校 正会員 加藤　直樹
日本大学生産工学部 フェロー 河合　紘玆
防衛大学校 正会員 加藤　清志
防衛大学校 正会員 黒田　一郎

1. まえがき

コンクリート構造物の耐震性および耐久性向上は全世界的課題であり、著者らも材料[1]および構造[2]の見地から基礎的な研究を進めてきた。今後も新素材の開発とともによりよい機能部材が開発されるものと思われる。本報告では、気象作用としてもっとも厳しいとされている“凍結融解試験法”に関し、暴露温度条件の急速かつ適正な評価試験法を案出することを目的としたものである。

2. 現状分析

供試体の形状・寸法に関しては若干の研究[3),4)]があるが、なお、実用性に問題がある。このような視点から、標準供試体（10×10×40cm）を“長角柱”、高さを1/2とした“短角柱”（10×10×20cm）、常用圧縮強度試験用供試体“円柱”の三タイプにつき凍結融解試験を実施し、後二者は十分な適性評価が可能であることを明らかにし[5)]、とくに、“円柱型”は通常の品質管理試験に常用されるもので、さまざまな大きな利点がある。暴露温度条件については、一般に、温度範囲－18℃～＋5℃に拘束されている。

3. 損傷劣化の理論的背景

従来の劣化のメカニズムとしては、コンクリート中の気泡水の凍結に伴う内部破壊が支配的であった。しかし、現象論的には表面劣化が内部に進行するものと考えるのが至当である。すなわち、図1に示すマトリクスのスケーリングが進み、さらに、図2に示すように、骨材粒子がポップアウトすると考えるのである。

(1) スケーリング　図1でマトリクス中の気泡を厚肉球殻と仮定し、天頂における最大引張応力$\sigma_{\theta,max}$が、マトリクスの設計引張強度f_{td}との等価条件から、この臨界状態での外・内半径との比λは次式で与えられる。

$$\lambda \equiv b/a=\{(1+p/f_{td})/(1-0.5p/f_{td})\}^{1/3} \quad (1)$$

ここに、p；内圧で、$p=p_o(1-T/0.0099)$、p_o：標準大気圧

いま、$p=2f_{td}$とすると、$\lambda\rightarrow\infty$となり、球殻の弾性破損開始を意味する。いっぽう、このような臨界状態での“臨界温度”T_cは次式で与えられる。

$$T_c=0.0099(1-f_{td}/0.5p_o) \quad (2)$$

(2)、(3)式より、(1)式は次のように表わされ、半径比と凍結温度との関係は図3で与えられる.

$$\lambda=[\{1+0.098(T/0.0099-1)/f_{td}\}/\{1-0.5\times0.098(T/0.0099-1)/f_{td}\}]^{1/3} \quad (3)$$

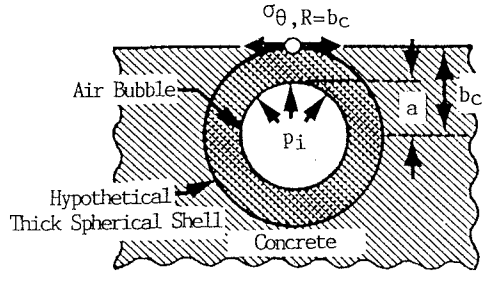

図1 仮想厚肉球殻のポップアウト

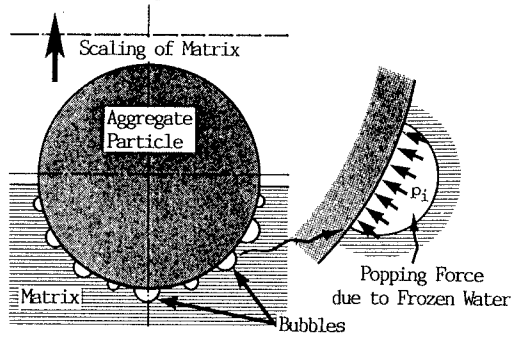

図2 骨材粒子のポップアウトのモデル化

ｷｰﾜｰﾄﾞ：凍結融解試験、表面劣化、臨界層 〒221-0012 横浜市神奈川区子安台1-3-1 ☎(045)421-0403 FAX(045)431-9724

① 氷点は同一半径比でも、コンクリート強度増とともに低下する。

② 氷点は同一コンクリート強度でも、半径比の増大とともに低下する。

③ 氷点もコンクリート強度も、ともに、その物性は“臨界層”で組織敏感であり、それ以上では“組織鈍感”となる。

④ ［EX.］a=250μm に対し、b/a=2.5. b=2.5×0.25≒0.63mm. すなわち、コンクリート強度に無関係に約0.7mm が臨界層となる。

(2)ポップアウト　図2に示すように気泡半球が骨材粒子界面に接すると、界面の単位面積あたりの平衡条件は（4）式で与えられる。f_pを押出し力とすると、

$$f_{bo} = f_p(\equiv p\pi d^2/4 \times n) \qquad (4)$$

（ここに、f_{bo}；マトリクスの付着強度[6]、$f_{bo}=0.03f'_{cp}$、f'_{cp}；ペーストの圧縮強度、p；内圧、d；気泡径、n；界面単位面積あたりの気泡数）

$$\therefore f_p = 1.75\pi d^2 p \qquad (5)$$

骨材粒子のポップアウトの発生の可否はf_{bo}とf_pとの比較により判定される。

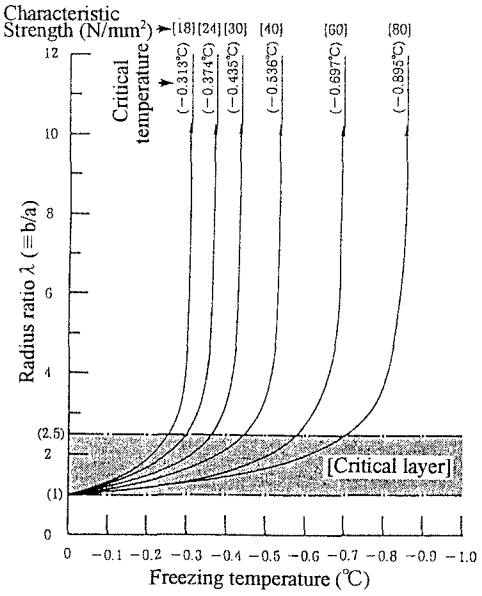

図3　強度に伴う半径比と氷点との関係

4. 凍結融解促進試験法とその検証

前節で、臨界層は1mm 弱で−1℃以下でスケーリングが発生し、この進行により骨材粒子のポップアウトが必然的に進行することが明らかとなった。温度管理精度を考慮し、−5℃～+5℃とし、かつ、供試体は10φ×20cm の管理供試体の併用型とした。図4は、リーンミックス（1：3：6）の場合の劣化の事例で、よく表面劣化の特性を示していることがわかる。

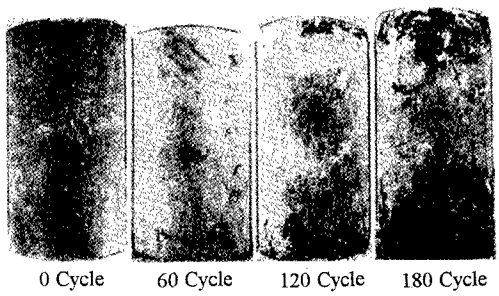

図4　促進法による劣化の特性

5. ま と め

以上の解析および実験により、(1) 供試体は短角柱または円柱型でよく、とくに、円柱型は品質管理用と共用可能。(2) 理論的には、コンクリートの表面は−1℃弱で、1mm 弱の“臨界層”がスケーリングする。(3) −5℃～+5℃の暴露条件は実用性がある。

［謝　辞］ ワープロは防大青木友彦事務官の尽力によった。付記して謝意を表する。

［参考文献］ 1) K.Kato, N.Kato and T.Kawai : Fundamental Mechanism of Surface Deterioration of Structural Concrete due to Freezing and Thawing Action and Its Counter measure, Proc. 38th Jpan Cong. Mat. Res., pp.250-255 (1995) 2) 加藤清志、加藤直樹、岩坂紀夫、木田哲量：曲げ載荷された重拘束 RC 柱の曲げ復元特性と自己誘発ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽに関する研究、ｾﾒﾝﾄ・ｺﾝｸﾘｰﾄ論文集、No.52、pp.804-809 (1998) 3) 石田　宏、ｺﾝｸﾘｰﾄの凍結融解促進試験法、第2回ｺﾝｸﾘｰﾄ工学年次講演会講演論文集、pp.349-352 (1998) 4) 長谷川寿夫：ｺﾝｸﾘｰﾄの凍結融解試験法が試験結果に及ぼす影響、ｾﾒﾝﾄ技術年報、39、pp.118-121 (1985) 5) 加藤直樹、加藤清志、河合糺茲：凍結融解供試体の形状および寸法の合理化に関する研究、土木学会 53 回年講、5、pp.632-633（1998）
6) T.C.Hsu and F.O.Slate : Tensile Bond Strength Between Aggregate and Cement Paste or Mortar, ACI Jour., pp.465-486 (1963)