

コンクリートの耐凍害性とエントラップドエア内への水分移動現象

正会員 ○濱 幸雄¹
同 丸山一平²
同 兼松 学³

エントレインドエア 水分移動 凍害

1. はじめに

コンクリートの凍害対策には、エントレインドエアを入れることが推奨されており、レディーミクストコンクリートの JIS でも、すべてコンクリートは AE コンクリートであることと規定されている。

一方、寒冷地での長期屋外暴露試験において、AE 剤の使用の有無による相対動弾性係数の変化の差が小さく、促進試験でみられるエントレインドエアによる耐凍害性向上の効果が認められない場合のあることが報告されている¹⁾。

本研究では、このような現象が生じるメカニズムの提案とそれに関わる現象として、エントラップドエア内の水分移動挙動を中性子ラジオグラフィによって撮影して、視覚的な評価に成功したので、それを報告する。

2. 暴露環境での耐凍害性低下メカニズム

一般に AE コンクリートにおけるエントレインドエアは、練混ぜ時に、直径 100 μm 程度の独立気泡としてコンクリート内部に生成される。この独立気泡内部は、Kelvin 式で表現されるように非常に高い圧力の空気によって形成されており、それ故、硬化過程全般において、空隙が保持され、残存される。

標準水中養生中において、内部がセメントの水和によって自己乾燥したとしても、一般的な強度のコンクリートでは、毛管空隙を含めたセメント硬化体中の大きな空隙を利用して周囲の水分がコンクリートの内部に取り入れられる。しかし、一般に水分は小さな空隙ほど吸着しやすく、また、毛管凝縮作用が生じやすいので、より小さい空隙で吸着・凝集を生じつつ内部へ水分が侵入していくことから、高い圧力を有するエントレインドエアによる空隙（以下、AE 空隙）内には水分が侵入しないままコンクリートは硬化していくと考えられる。そのため、標準水中養生試験体を用いて凍結融解試験を行った場合には、AE 空隙は気相が残った状態で実施される。

しかし、もし、試験体やコンクリート部材が自然環境下に暴露され、AE 空隙周囲の水分が乾燥し、気相が外部環境と連結した場合には、AE 空隙内部の高い圧力は消失することになる。加えて、その後にあらためて、水分が

供給された場合には、AE 空隙には水分が供給され、AE 空隙は耐凍害性に貢献しなくなると考えられる。これが、ここで提案する暴露環境によってもたらされる耐凍害性の低下メカニズムであり、その様子を模式的に示したものが図 1 である。

3. 中性子ラジオグラフィによる検討と考察

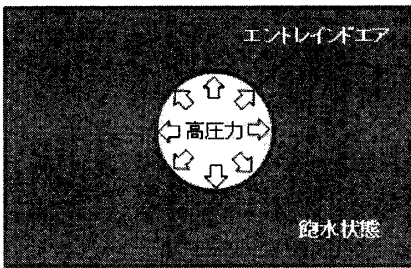
中性子ラジオグラフィとは、中性子線による照射によって得られる撮像のことで、レントゲンの中性子版と考えるとわかりやすい。中性子は、H 原子、あるいは H_2O 分子による減衰が大きく、一方で、Si や Fe、Al などのセメントや骨材で一般的な原子に対しては、減衰が小さいため、水分挙動の評価が行いやすいという特徴があり、現在までにひび割れ部の水分移動²⁾、含水軽量骨材からセメントペーストマトリクスへの水分供給挙動³⁾を始めとした様々な水分挙動の評価が行われている。本研究では、文献 2) に示した、水セメント比 0.55 のコンクリートで、相対含水率を 60% に調整した試験体を対象に、エントラップドエアに水分が供給されるかどうかを検討した。

これは、日本原子力開発機構における研究用原子炉 JRR-3 に付帯した中性子ラジオグラフィ装置における解像度が、当該実験において 1 画素あたり約 0.1mm であり、一般的なエントレインドエア内の観察ができないため、まずは巨視的にコンクリート内の毛管空隙より粗大な空隙に水分が侵入するかどうかを確認するためである。多孔質中の水分移動メカニズムから考えれば、より粗大な空隙の方が水分は侵入しにくいものと期待される。

試験体は 2cm \times 10cm \times 10cm のコンクリート試験体で、40cm \times 10cm \times 10cm 試験体から、ダイヤモンドソーによって切り出したものである。105 $^{\circ}\text{C}$ 乾燥により絶乾状態に調整した後に、5 面をアルミ粘着テープで固定し、側面 (2cm \times 10cm 面) にアルミで成型したプールを取付け、そこに水分を溜めて、経過を観察した。実験の詳細については、文献 2) を参考にされたい。

撮影の結果を示したものが図 2 である。ここでは、水との接触後、0, 15, 30, 40, 50, 60 分後の透過画像を示している。ここに示されるように接水後 50 から 60 分後に、急激にエントラップドエア内に水分が供給されてい

標準養生試験体



暴露試験体

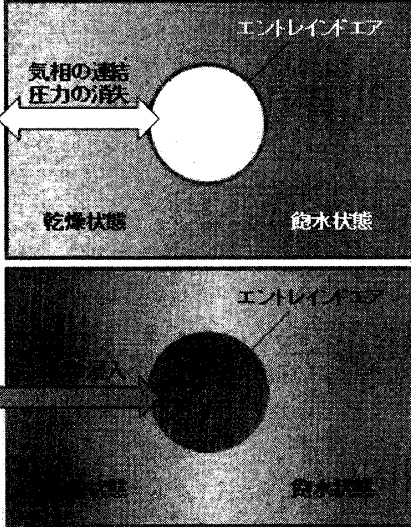


図1 暴露試験体でのエントレインドエア内での水分挙動の模式図

ることが見て取れる。このエントラップドエアを横切る断面における水分強度（中性子の透過率を対数変換したもので、2cm厚さの断面における水分存在量に比例する実験値）を経時で示したものが図3である。

ここで、確認されているように、水分の供給は、試験体端面で水分と接触しているところから、接水後15分において既に30mm程度の奥まで、水分が供給されている。この水分の供給の傾向は、接水後50分後まで継続しているが、それまでに、エントラップドエア内における水分には大きな変化は見られない。しかし、接水後50分後から60分後までの間に急激に水分強度が上昇しており、このときにおいて水分が内部にたまる様子が視覚的に確認された。空隙内部に水分が侵入するためには、そこに存在していた気体が動く必要があるが、非定期的な変化がここで生じて、気体の移動と水分の侵入が生じたものと考えられる。

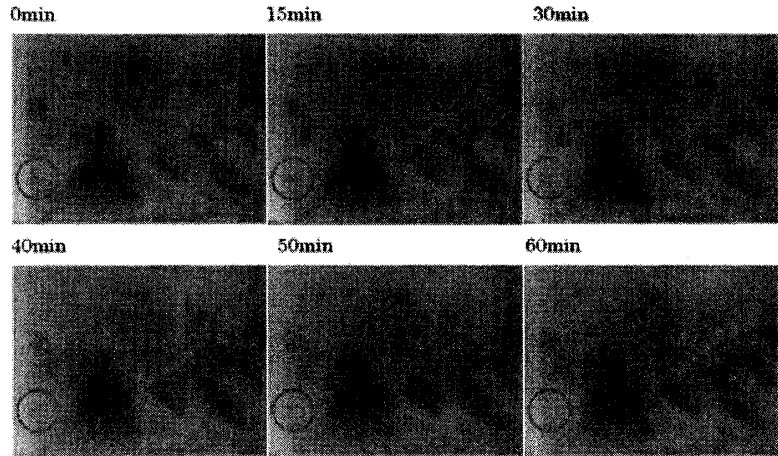


図2 中性子ラジオグラフィにおけるエントラップドエアへの水分侵入

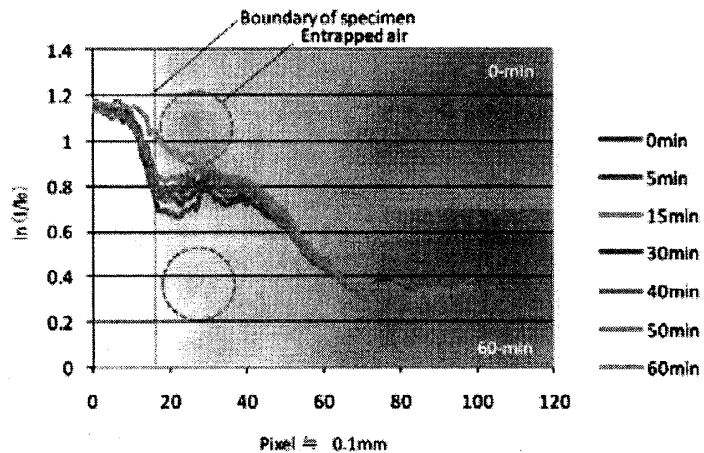


図3 エントラップドエア近傍における水分強度の経時変化

4. まとめ

中性子ラジオグラフィによって確認されたエントラップドエア内への水分の侵入現象は、2.で示した暴露環境での耐凍害性低下メカニズムの一つの論拠となるものと著者らは考えている。

参考文献

- 1) 田畑雅幸ほか：寒冷地に25・26年屋外暴露したコンクリートの耐凍害性に関する研究，日本建築学会北海道支部研究報告集，No.80，pp.13-16，2007.7
- 2) 兼松学ほか：中性子ラジオグラフィによるコンクリートのひび割れ部における自由水挙動に関する研究，セメント・コンクリート論文集，No.61，pp.160-167，2007
- 3) 丸山一平ほか：中性子ラジオグラフィによる骨材とセメントペースト間における水分挙動評価，日本建築学会構造系論文集，Vol.74，No.645，pp.1905-1912，2009.11

*1 室蘭工業大学大学院工学研究科 教授・博士(工学)

*2 名古屋大学大学院環境学研究所 准教授・博士(工学)

*3 東京理科大学理工学部 准教授・博士(工学)

*1 Prof., Graduate School of Engineering, Muroran Institute of Technology, Dr. Eng.

*2 Assoc. Prof., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

*3 Assoc. Prof., Dept. of Arch., Fac. of Sci. and Tech., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.