

凍結融解によりひび割れたコンクリートの塩分浸透解析

北海道大学大学院工学研究科 学生会員 ○新居秀一

北海道大学大学院工学研究科 正会員 上田多門

北海道大学大学院工学研究科 非会員 王立成

本研究では、塩分浸透解析を骨材との界面及びひび割れでの浸透性を考慮して、解析できることが示されているトラスモデルを使用し、凍結融解によりひび割れたコンクリートの塩分浸透解析を数値シミュレーションした。また、既存の実験結果と数値シミュレーションの結果から凍結融解と塩分浸透との関係を検討した。

1. はじめに

コンクリートの劣化は、一つの原因というより複合された因子によって起こる。その中で塩分浸透はその耐久性に大きな影響を及ぼすために、塩分の浸透性を知ることは重要である。コンクリートにひび割れが発生すると塩分浸透が促進されることが示されており、それに関する検討・研究は数多く行われている。しかし、凍結融解後に塩分浸透を検討したものは極めて少ない。

2. 解析方法

解析は大きく分けて二つのパートに分かれる。凍結融解によるひび割れとその後の塩分浸透解析の二つである。

2.1 凍結融解作用

載荷によるひび割れは圧縮ならば載荷方向に対して平行に、引張ならば垂直にひび割れが発生する。凍結融解ではコンクリート内部の水分が凍る際に発生する引張応力によってさまざまな方向にひび割れが発生する。しかしながら、凍結融解後のコンクリートの内部のひび割れの分布は明らかになっていない。そこで本研究では、凍結融解試験の結果から残留引張ひずみに注目し、残留引張ひずみの値からコンクリート内のひび割れを仮定した。

$$f(\varepsilon_{pf}) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\varepsilon_{pf} - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (1)$$

$$\sigma = 0.3\mu$$

(1) 式は μ を実験から得られた残留ひずみを平均値

とした確率密度関数である。これを Voronoi 分割したコンクリートモデルの境界バネに分割し要素間距離をかけたものを凍結融解によるひび割れ幅とした。

2.2 塩分浸透解析

塩分浸透解析を行う際に、1次元のトラス間で物質移動が行われると仮定した2次元トラスネットワークモデル(図1)を使用した。ひび割れを表す境界トラスには、ひび割れが発生していない場合、断面積としてきわめてゼロに近い値を入力した。ひび割れが発生している場合はひび割れ幅に応じた断面積を境界トラスに与えた。それによってひび割れ中の移動を考えることが可能になる。また、ひび割れ幅によって浸透係数を変えることによりひび割れ界面での浸透を過剰に評価しないようにした(2)。

$$\log D_{cr} = -2.277[1 + 1.311 \exp(-20.6w_{cr})] \quad (2)$$

3. 解析結果

凍結融解試験におけるサイクル回数と残留ひずみを表1に示す。

解析では残留ひずみを生じない骨材要素があることを考慮して、実験で測定されたコンクリートの残留ひずみをモルタルのひずみ(ε)に変換して使用した。浸透解析における解析条件と解析供試体を表2、図2示す。

キーワード 凍結融解、ひび割れ、残留ひずみ、塩分浸透性

連絡先 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 Tel011-706-6181

表.1 サイクル数と残留ひずみ

回数	0	50	100	200	300
ε (μ)	0	340	700	1240	1783
ε'	0	458	944	1672	2404

表.2 浸透係数と表面塩化物イオン

拡散係数 (mm^2/day)	モルタル	骨材	遷移帯
	0.574	0.574 $\times 10^{-3}$	0.574 $\times 4$
表面塩化物 イオン濃度	$4.86(10^{-3} \text{ g/cm}^3)$		

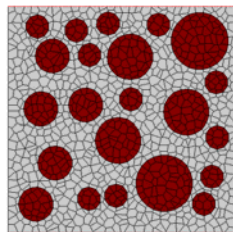
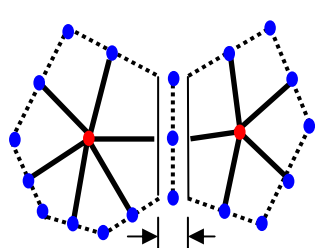


図.1 トラスネットワーク

図.2 解析供試体

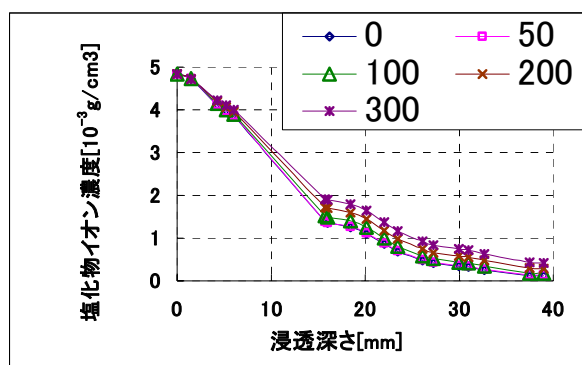


図.3 浸透深さと塩化物イオン濃度

供試体サイズは実構造物の鉄筋のかぶり厚が約 3cm であるので 4×4cm とした。骨材容積率は約 40% とし、骨材径は供試体のサイズに合わせて実際の骨材粒度分布にそうものでなく 10,8,6,4 mm のものをそれぞれ 25% の割合で配置した。浸透面の濃度は常に一定で $4.86 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ とした。計測点は供試体を縦に 4 等分する 3 線上とし浸透係数は 3 箇所の平均をとった。

解析結果を図 3 に示す。浸透期間は 300 日とし、浸透面からの距離と塩化物イオン濃度のグラフにまとめた。グラフ上より凍結融解サイクルが増えるにつれ深く浸透することが確かめられた。また、塩分浸透係数を以下の理論式(3)により近似値を求めその増加比とサイクル回数を図.4 に示す。グラフから

は凍結融解回数が 50 回、100 回程度では塩分浸透性の増加はほとんど見られなかった。

$$C(x, t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2 \sqrt{Dt}} \right) \quad (3)$$

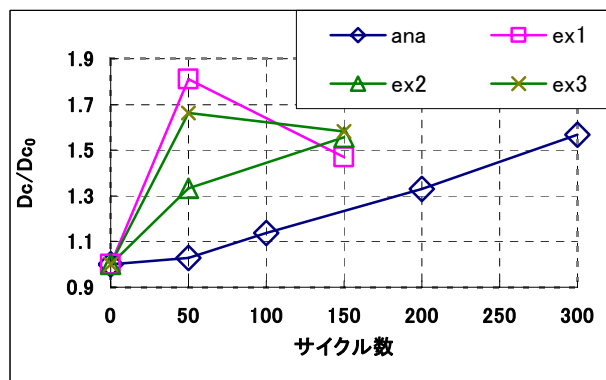


図.4 サイクル回数と浸透係数比

4. まとめ

1. 凍結融解による残留ひずみをひび割れとして与えることにより、凍結融解が塩分浸透に与える影響を考慮した解析を行い、塩分浸透が早まる結果を得た。
2. 凍結融解試験を受けたコンクリートのひび割れ分布の分析とひび割れ間の浸透係数を確認するなど、実験結果を蓄積することにより解析の精度を高めることが今後の課題である。

参考文献

- 1) 早田光孝、上田多門：剛体バネモデルによるひび割れたコンクリートの塩分浸透解析；修士論文集 2006、北海道大学工学研究科
- 2) Muttaqin Hasan, Hdetoshi Okuyama, Yasuhiko Sato and Tamon Ueda：Stress-Strain Model of Concrete Damaged by Freezing and Thawing Cycles：journal of advanced Concrete Technology Vol.2, No.1, 89-99, February 2004
- 3) F.H Wittmann, P.Zhang, and T.Zhao：Influence of Combined Environmental Loads on Durability of Reinforced Concrete Structures：Restoration of Buildings and Monuments Vol. 12, No 4, 349-362(2006)