

骨材分布を考慮した塩分浸透シミュレーションによる塩分濃度のばらつき評価

立命館大学大学院 学生員 ○池田 唯順
立命館大学大学院 学生員 豊田 亮太

立命館大学 正会員 水田 真紀
立命館大学 正会員 児島 孝之

1. はじめに

塩害環境下にあるコンクリート構造物の劣化予測には、採取したコアから塩分量を測定する方法がある。しかし、コンクリート中の塩分浸透は同一環境下であっても、一様でないとの報告¹⁾があることから、材料的要因によってばらつきが生じると予測される。材料的要因によるばらつきを評価することができれば、精度の高い劣化予測が可能になると考える。そこで、本研究では、塩分が骨材を迂回して浸透することによるばらつきを評価するため、有限要素法（以下、FEM）による塩分浸透シミュレーションを行った。

2. FEM 解析方法

本解析では骨材分布の影響を評価するため、コンクリートを骨材部およびセメントペースト部（以下、ペースト部）の2種類で表現した。骨材部とペースト部の識別には、塩害環境下にあるコンクリートから採取した試料のEPMAによる面分析結果を用いた。EPMAはコンクリート断面をおよそ0.1mmの測定間隔で骨材部あるいはペースト部であるかを識別するが、本解析で用いた各要素は一辺0.5mmの正方形要素とした。そこで、解析では要素内全てのEPMAによる測定結果が骨材である場合のみ、要素を骨材部とした。また、骨材要素内には塩分が浸透しない条件とし、ペースト部への塩分浸透は、式(1)に表すFickの第二法則に基づく二次元非定常拡散方程式に従うものとした。さらに、本解析は海洋構造物を対象とするため、表面塩分量を一定の0.8mass%とした境界条件を与えた。

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

ここで、 c は塩分濃度、 D はペースト部の拡散係数である。

3. 解析結果および考察

3. 1 骨材による塩分の遮断効果

EPMA法から測定された塩分濃度と、FEMから得られた塩分濃度を比較した。そして、骨材の塩分遮断効果による塩分濃度のばらつきを評価した。ここで、EPMA分析に用いた試料²⁾

（試料A）は沖縄沿岸に3年間暴露した水セメント比50%の供試体から採取したものである。図-1にEPMAによる試料Aの塩分濃度の面分析結果、図-2に解析結果による塩分の分布状況

を示す。図-1、2より、FEMによる塩分浸透シミュレーションでは、骨材への塩分浸透を無視した初期条件により、EPMAによる塩分の分布状況と同様、骨材を迂回しながら浸透する結果が得られた。次に、塩分濃度プロファイルおよび塩分濃度の変動係数を図-3および図-4に

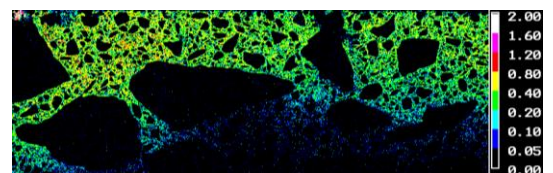
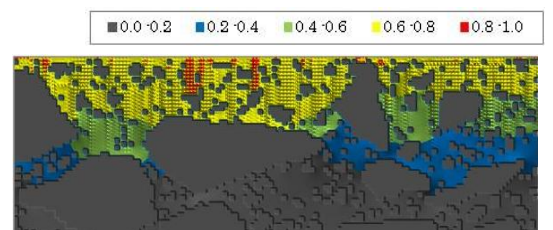
図-1 EPMA 面分析結果²⁾（試料 A）

図-2 FEM 解析結果（試料 A）

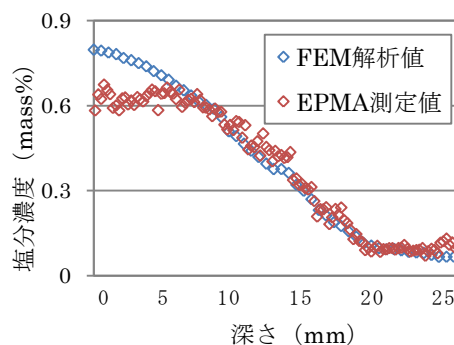


図-3 塩分濃度プロファイル

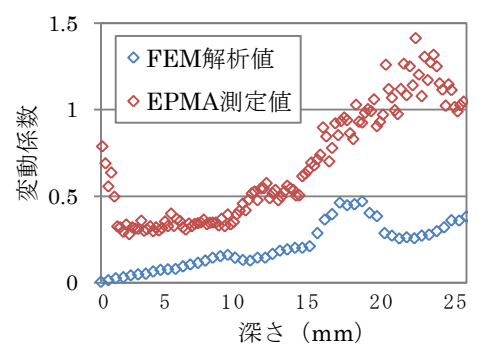


図-4 塩分濃度の変動係数

キーワード 塩害、ばらつき、骨材分布、FEM

連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学理工学部 TEL077-561-3344

示す．ここで、解析に用いた拡散係数は、解析値と EPMA 測定値から算出したペースト部の塩分濃度プロファイルが同じ挙動を示すように $0.48\text{cm}^2/\text{年}$ と設定した．また、FEM 解析値、EPMA 測定値ともに塩分濃度にはペースト部のデータのみを使用した．図-3 から、同じ拡散係数を与えたことによって解析値と測定値はほぼ同様の結果となったが、図-4 に示すように変動係数は測定値に比べて解析値の方が小さくなった．このような変動係数の相違は、解析ではコンクリートの微細な構造や、塩分の固定化および中性化といった化学反応を考慮していないことから生じたものと考えられる．しかし、解析値と測定値はいずれも、浸透深さが大きくなるほど変動係数が大きくなっていることから、塩分の浸透経路によりばらつきが生じることが示唆された．

3. 2 骨材分布を考慮した浸透性状

骨材分布の違いが塩分浸透のばらつきに与える影響を検討するために、最大粗骨材寸法 ($G_{\max}$) および単位体積あたりの骨材の割合が異なる配合のコンクリートについて、FEM 解析を行った．試料要因を表-1 に示す．ここで各試料は、試料 A と水セメント比が等しいため、拡散係数に同じ値を使用し、塩分の浸透期間を 3 年間とした．また、骨材分布は 3.1 節と同様の方法で EPMA 測定値から決定した．各試料の塩分の分布状況を図-5 に示す．図-5 より、塩分の浸透は骨材間隔が広い個所で進行が速いことが確認できた．塩分濃度プロファイルを図-6 に示す．図-6 より、各試料は拡散係数を一定値としているため、各深さにおける塩分濃度が一致する結果となった．次に、各試料の塩分濃度の変動係数を図-7 に示す．図-7 より、骨材分布の違いでは、ばらつきの差が小さいことが確認できた．しかし、G20A の変動係数は浸透面から 10mm 以深で大きくなった．これは、図-5b) から判断すると、比較的粒径の大きな骨材が密な間隔で分布しており、骨材による塩分の遮断効果が大きかったことを示唆した．

4. 結論

- (1) 塩分量の材料的なばらつきを引き起こす要因として、塩分が骨材を迂回することによる影響を解析的に確認できた．また、その影響は実測値と同様に浸透が進むにつれて大きくなった．
- (2) 骨材分布の違いによるばらつきの差は小さいが、比較的粒径の大きな骨材が密な間隔で分布することにより、ばらつきが大きくなることを解析的に確認した．

参考文献

- 1) 中村秀明ほか：海洋環境下におけるコンクリート中の塩分測定
のばらつきに関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，
No.2，pp.1549-1554，2009，
- 2) 池田唯順ほか：EPMA による塩化物イオン濃度の推定方法の統計
的手法を用いた評価，コンクリート構造物の補修，補強，アップ
グレード論文報告集，Vol.9，pp.125-130，2009

表-1 試料要因

試料 番号	G _{max} (mm)	W/C (%)	骨材体積 割合
G15	15	50	0.693
G20A	20		
G25	25		
G20B	20		0.669

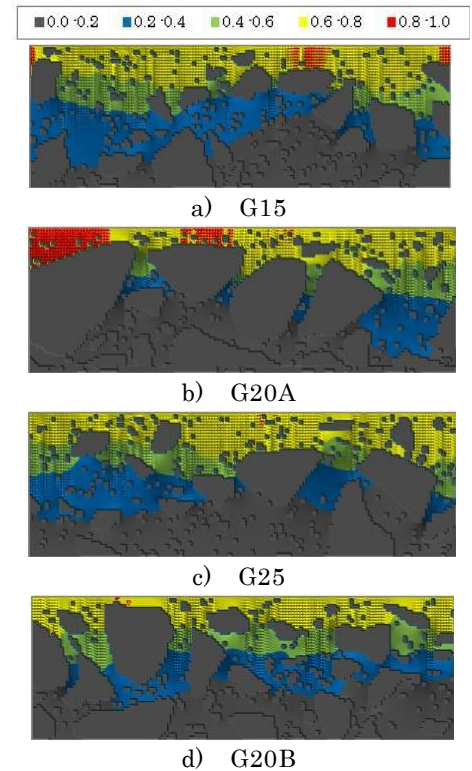


図-5 FEM 解析結果

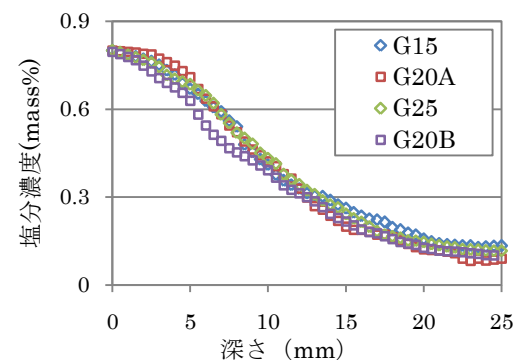


図-6 塩分濃度プロファイル

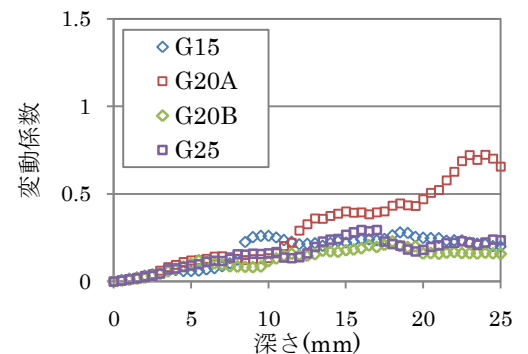


図-7 塩分濃度の変動係数