

鉄筋コンクリート部材の塩害シミュレーションシステムの構築

関西電力株式会社 総合技術研究所 正会員 藤田修一
近畿コンクリート工業株式会社 正会員 近藤 充
株式会社ユニック 石原貴司

1. まえがき

一般に塩害によるコンクリート構造物の劣化は、1)塩分等腐食因子の拡散、2)鉄筋の腐食、3)ひびわれの発生の経過をたどる。各事象のメカニズムについては既往の研究等で知られているところであるが、これら一連の事象を連携させた形でのシミュレーションシステム(モデル)の報告例は少ない。

本報告は上記 1)～3)の事象をそれぞれモデル化した後、鉄筋腐食の計算の際に塩分等の腐食因子拡散の結果を反映させる形で、腐食開始・ひびわれ発生時期を推定できる劣化シミュレーションシステムの構築を試みたものである。

2. システム構成

システムの構成を図-1 に示す。

システムは大きく分けて 3 モデルから構成され、有限要素法を用いた 2 次元解析とした。

(1) 腐食因子浸透モデル

対象とした腐食因子は塩化物イオン、酸素および水分であり、それぞれ移流、反応項を考慮しない 2 次元の拡散方程式を基礎式¹⁾として用いた。また、塩化物イオン拡散係数に対し水分量の影響²⁾を考慮した。

(2) マクロ腐食モデル

2 次元のラプラス方程式を基礎式として電位場を解き、その結果得られる電流密度から腐食量を算出した。また分極特性には、ターフェルの式を用い、S.C.Kranc and A.A.Sagues³⁾を参考にカソード分極特性に対し酸素量の影響を考慮した。自然電位およびターフェル勾配は塩化物イオン濃度の関数¹⁾として与えた。

(3) ひびわれ応力解析モデル

鉄筋まわりの軸対称モデルを想定した FEM 弾性解析による方法を用い、ひびわれ発生時限界腐食量を求めることとした。

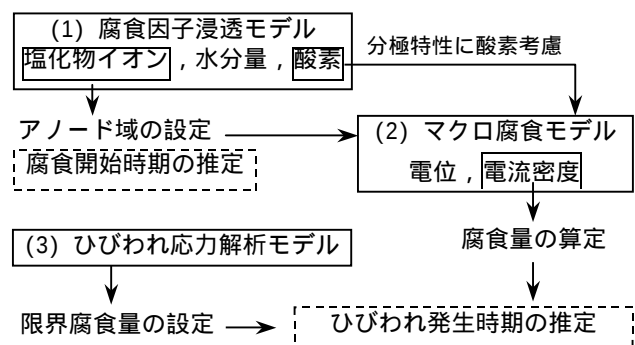


図-1 システム構成

3. 感度解析

作成したシステムを用い、入力値の重要度を検討する目的で図-2 に示すモデルで感度解析を行った。感度解析の対象は、a)酸素拡散係数、b)外部相対湿度、c)飽和時水分拡散係数、d)表面係数、e)外部塩化物イオン濃度、f)飽和時塩化物イオン拡散係数、g)コンクリートの比抵抗の 7 入力項目である。観測データまたは文献に掲載されているデータに基づき、各対象項目の取りうると考えられる下限および上限値を把握し感度解析に用いた。

シミュレーション結果の一例として、図-3 および図-4 に塩化物イオンおよび電位の平面分布を示す。

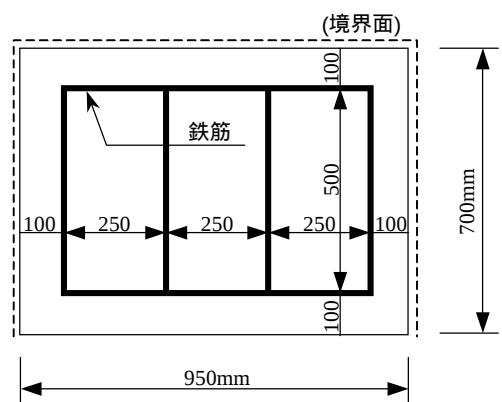


図-2 モデル形状

キーワード：塩害、シミュレーション、2 次元解析、有限要素法、感度解析

連絡先：〒661-0974 兵庫県尼崎市若王寺 3 丁目 11 番 20 号 TEL:06-6494-9818 FAX:06-6498-7662

なお感度解析は、求められた「腐食開始時間」,「ひびわれ発生時間」を目的変数とし、前記 a) ~ g) を説明変数として重回帰分析により検討したものである。得られた標準偏回帰係数の値を比較したところ、「腐食開始時間が早くなる」,「ひびわれ発生時間が早くなる」ことに対して寄与の大きい説明変数はそれぞれ、表-1 に示す入力項であった。

表-1 目的変数に対して寄与の大きい説明変数

	腐食開始時間が早くなる	ひびわれ発生時間が早くなる
目的変数に対して寄与の大きい説明変数	・ 外部湿度 ・ 外部 CL ・ 外部 CL の濃度 ・ 飽和時 CL ・ 拡散係数	・ 酸素拡散係数 ・ 外部湿度 ・ 外部 CL ・ 外部 CL の濃度 ・ 飽和時 CL ・ 拡散係数

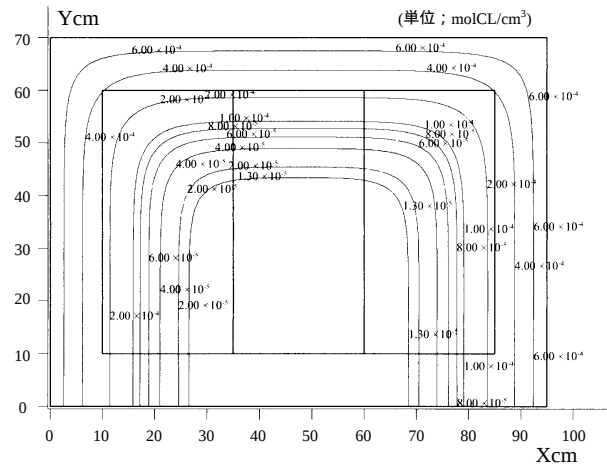


図-3 塩化物イオン濃度の平面分布(50 年経過後)

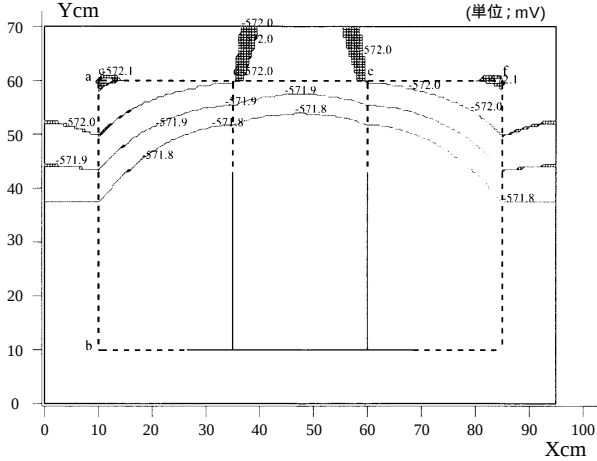


図-4 電位の平面分布(50 年経過後)

また得られた重回帰式の定性的な評価を行う目的で、濱田⁴⁾、森永⁵⁾らの提案する発錆開始時刻および腐食速度の重回帰式を参考に、ひびわれ発生までの期間についての比較を行った。結果は図-5 に示す通りであり、濱田、森永らの提案する式と比較しても定性的には大きく逸脱するところが無いものであった。

4. まとめ

塩害のマクロセル腐食に関する一連の事象を連携させた形で、ひびわれ発生期間推定可能となることが確かめられた。しかしながら、実際の塩害による諸現象は他の様々な因子が複雑に絡み合っていると考えられ、本モデルを用いて構造物の劣化を評価するためには、まだ多くの課題が残されている。今後、本システムの実験等による検証も含め、これら課題については更に取り組んで行く予定である。

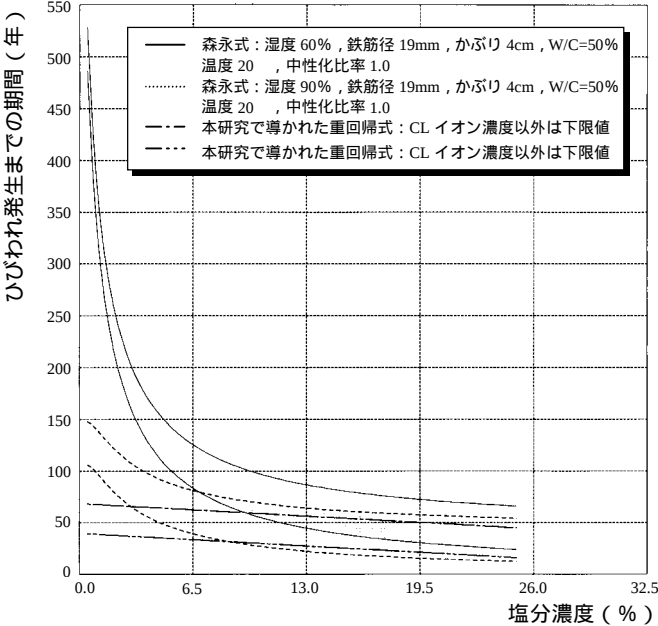


図-5 森永式との比較

参考文献)

- 1) 例えば日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の補修工法研究委員会報告書()、1996 年 10 月
- 2) 佐伯竜彦，二木央：不飽和モルタル中の塩化物イオンの移動，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18，№ 1，pp.963～968，1996 年
- 3) S.C.Kranc and A.A.Sagues：Computation of Reinforcing Steel Corrosion Distribution In Concrete Marine Bridge Substructures，CORROSION—93 - 327(The NACE Annual Conference and Corrosion Show)，1993 年
- 4) 濱田：RC 港湾構造物の塩害に係わる環境要因の定量的評価に関する研究，港湾技術研究所報告，第 38 巻
- 5) 森永：鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究，東京大学博士論文，1986 年