

鉄筋コンクリート腐食ひび割れの発生機構に関する力学的考察

熊本大学 学生会員 ○郡山 卓也
 熊本大学 学生会員 川崎裕太郎
 熊本大学 学生会員 和久田倫代
 熊本大学 正会員 友田 祐一
 熊本大学 フェロー会員 大津 政康

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート構造物の塩害劣化が数多く報告されている。適切な補修・補強を行うために鉄筋コンクリートの腐食ひび割れの発生、進展機構を知る必要があり、塩害による鉄筋腐食の劣化進行過程を早期に評価する検査法の開発が重要である。本研究では、塩害による環境条件を作り出すため浸漬乾燥繰り返し実験を行い、鉄筋腐食ひび割れの計測を行った。この発生機構を解析的に考察するために、塩分浸透予測および BEM(境界要素)法による応力解析を行った。それらの結果から、コンクリート中の腐食ひび割れ位置について評価できることを検討した。

2. 実験概要

実験供試体は、図-1 に示すように 1100×150×75mm の角柱で鉄筋は SD295-D10 を使用し、かぶり厚は 20mm とした。腐食を促進させるために 28 日間標準水中養生後、供試体底面を 3%の食塩水に 7 日間浸漬後 7 日間乾燥させる浸漬乾燥繰り返し実験を行った。7 日間毎に自然電位を内部 2ヶ所、表面 9ヶ所併せて計測した。また、実験に用いたコンクリートの配合は表-1 に示す。

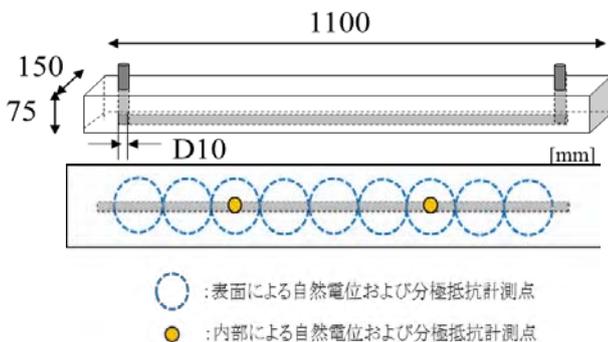


図-1 実験供試体

表-1 コンクリートの示方配合

名称	最大寸法	水セメント比	細骨材比	空気量	スラブ値	単位置 (kg/m ³)				NaCl	AE減水剤	AE助剤
	(mm)	W/C (%)	s/a (%)	(%)	(cm)	W	C	S	G	(kg/m ³)	(g/m ³)	(g/m ³)
NC	10	55	44	7	8	174	317	757	1106	0.704	634	13

3. 解析条件

塩分浸透予測では式(1)を用いた。

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

$C(x, t)$: 深さ x 時刻 t における塩化物イオン濃度 (kg/m³)

C_0 : 表面における塩化物イオン濃度 (kg/m³)

D : 塩化物イオン濃度の見かけの拡散係数 (cm²/sec)

erf : 誤差関数

ただし、実際の問題として、表面塩化物イオン濃度を一定と見なすことは困難とされている。そこで硬化コンクリート中の塩化物イオン濃度試験を行い浸透面から 5~15mm までの濃度を求め、見かけの表面塩化物イオン濃度を C_1 として式(2)より算出した。これを式(1)の C_0 に置き換えて塩化物イオン濃度浸透予測を行った。

$$C_1 = \frac{C(x,t)}{1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}}} \quad (2)$$

用いた値は塩分初期濃度 0.047kg/m³、拡散係数 2.24×10⁻⁸cm²/sec、表面塩分濃度の換算値 18.2kg/m³である。

BEM 法による応力解析では、上記の予測結果で鉄筋上の塩分濃度が 1.2kg/m³ を超えている位置に 1MPa の応力を与えたとき、各内部点の応力がどのような値となるかを解析した。解析モデル図を図-2 に示す。解析条件は境界点数 147 個、内部点数 15 個、ポアソン比 0.2、ヤング率 27.9GPa と設定した。

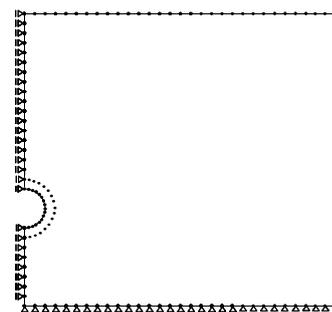


図-2 BEM 法による解析モデル

4. 実験結果・考察

図-3 に供試体断面深さ方向の塩分浸透予測結果を示す。図の 1~15 の数字は鉄筋周辺の境界点を示す。

84 日目には、鉄筋真下およびその周辺での塩分濃度がコンクリートの腐食ひび割れ開始時期¹⁾の基準値と定義されている 1.2kg/m^3 を超えていることが確認された。

図-3 から、塩化物イオンの浸透が時間の経過に伴い鉄筋上で塩化物イオン濃度が 1.2kg/m^3 を超える箇所が増えていることが確認された。この結果を踏まえ、BEM法を用いて供試体内部で発生する応力分布を調べた。

図-3 より鉄筋上における塩化物イオン濃度が 1.2kg/m^3 を超えたと判断される点に 1MPa の膨張圧を付加した。このときの鉄筋孔より 2.5mm 奥に取った内部点における径方向応力の解析結果を示す。84 日目での膨張圧負荷位置 3 点(白丸)を図-4 に、応力解析結果を図-5 に示す。その結果、図-5 より -45° の方向に最大となる応力集中部が確認できた。

図-6 に 126 日目におけるコンクリート供試体断面の実体顕微鏡による観察結果を示す。図-6 より、126 日目には鉄筋から供試体底面へ向かって約 -45° の方向にひび割れが進展していることが確認された。このひび割れは図-5 による応力解析結果と一致していることが確認できた。

以上の結果から、鉄筋腐食に伴うコンクリートのひび割れ進展機構に関して、塩分浸透予測と BEM による応力解析を併用した結果、実際の現象と一致することを評価できた。

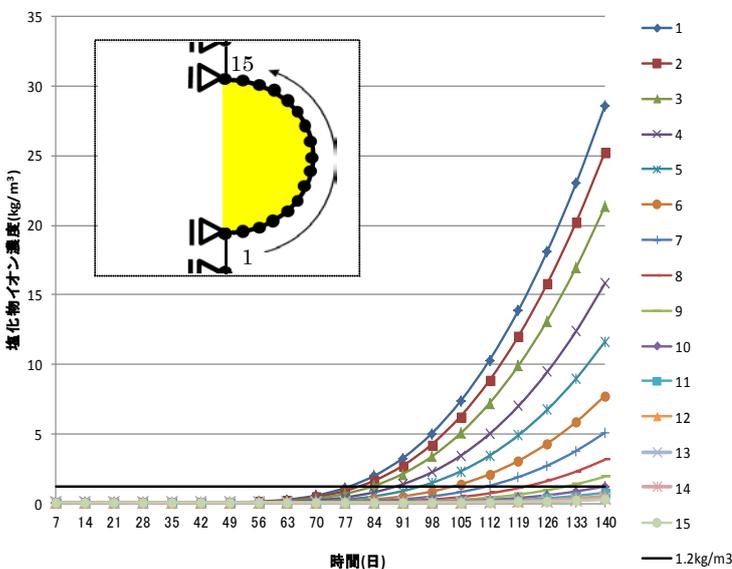


図-3 塩分浸透予測結果

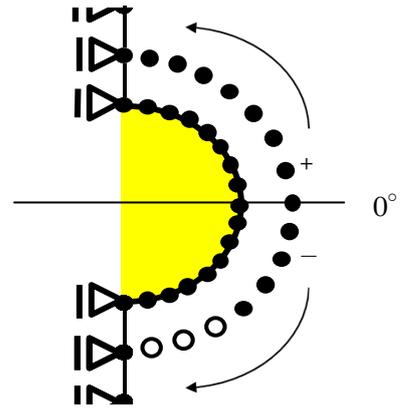


図-4 応力付加位置

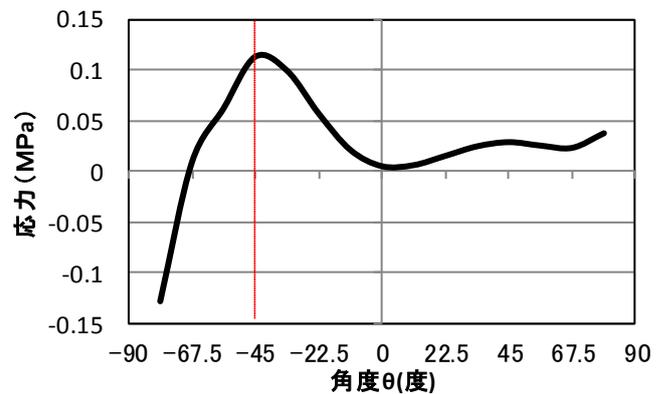


図-5 応力解析結果

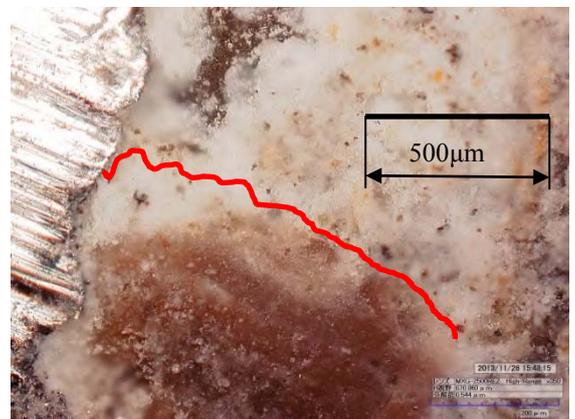


図-6 顕微鏡観察結果

5. 参考文献

- 1) 土木学会：2002年制定、コンクリート標準示方書「施工編」、2002