

分極抵抗測定値に基づく進展期における鉄筋腐食進行予測方法の実構造物への適用性検討結果

四国総合研究所 正会員 ○横田 優 香川大学 正会員 松島 学
四電技術コンサルタント 非会員 朝倉光司 同左 非会員 中村俊夫

1. はじめに

塩害を受ける鉄筋コンクリート構造物を適切に維持管理していくためには、現状の腐食劣化過程を把握するとともに、将来の腐食進行予測を行う必要がある。そこで、筆者らは、前報の文献1)において、進展期において、分極抵抗法により測定される鉄筋の腐食速度をもとに、測定時点での腐食量を推定するとともに、将来の鉄筋腐食の進行予測を行う方法を提案した。また、文献2)においては、実構造物を対象に、分極抵抗測定後はつり出した半定量的な指標である鉄筋の腐食度(腐食グレード)をもとに、本予測方法の適用性について検証した結果を報告した。今回は、鉄筋の腐食減量をもとに検証した結果について報告する。

2. 分極抵抗測定値に基づく鉄筋腐食進行予測方法²⁾

本予測手法は、外観に変状が認められない鉄筋腐食によるひび割れ発生前までの進展期において、分極抵抗法により得られた鉄筋の腐食速度測定値等をもとに、温度やかぶり位置での塩化物イオン濃度(Cl⁻濃度)が腐食速度に及ぼす影響を考慮して、腐食開始後の進展期における年平均腐食速度やその時間積分から求められる腐食量の経時変化を推定する方法である。図-1に本予測手法の計算手順を示す。

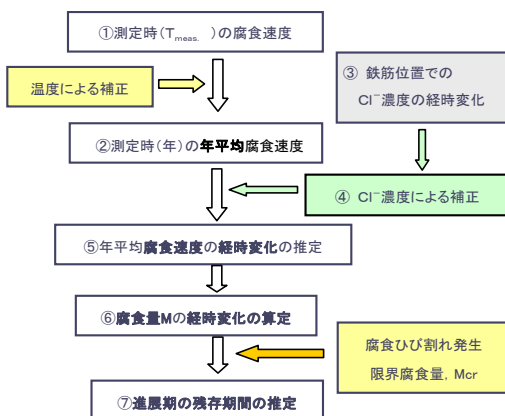


図-1 予測手法の計算手順

温度やかぶり位置での塩化物イオン濃度が腐食速度に及ぼす影響や腐食発生限界Cl濃度(以下C_{cr}という)については、式(1)~(6)により考慮する。

・温度が腐食速度に及ぼす影響関数(アレニウス式)

$$C_T(T) = \exp\{-2.593 \times (1000 \times 1/K) + 8.695\} \quad (1)$$

ここに、K：絶対温度(=T+273.15)，T：摂氏温度(°C)

・塩化物イオン濃度が腐食速度に及ぼす影響関数

$$C_c(C) = 1.93 \sqrt{1 - \frac{(C - 12.0)^2}{(12.0 - C_{cr})^2}} \quad (2)$$

ここに、C：かぶり位置でのCl⁻濃度(kg/m³)，C_{cr}：腐食発生限界Cl⁻濃度(kg/m³)である。

かぶり位置でのCl⁻濃度の経時変化は、別途調査した深さ方向の塩化物イオン濃度分布データから求めた見かけの拡散係数D_c(t)等を用いて、式(3)に示すように、拡散係数の経時変化を考慮して算出する。

$$D_5 = \left(\frac{t}{5}\right)^m \times D_c(t) \quad (3)$$

ここに、D₅：コンクリートの品質を評価する基準年5年での見かけの拡散係数(cm²/sec)，D_c(t)：供用年数t年時点で調査したCl⁻濃度分布から求めた見かけの拡散係数(cm²/sec)，m：係数(=0.54)である。

また、腐食開始時期はかぶり位置でのCl⁻濃度がC_{cr}に達した時点とし、C_{cr}は次のように設定した。まず式(3)より求めた拡散係数D₅を式(4)に代入して水セメント比(W/C)を推定し、このW/Cから式(5)または(6)よりC_{cr}を求める。

$$W/C = 0.5 \times (D_5 / 10^{-8})^{0.15} \quad (4)$$

(W/Cが0.45未満の時)

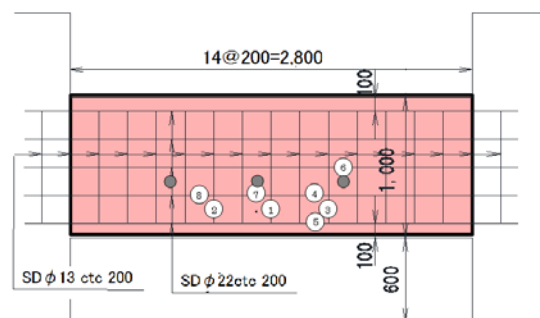
$$C_{cr} = 3.7 \times (1.0 - 9.87 \times (W/C - 0.45)^2) - 0.801 \quad (5)$$

(W/Cが0.45以上の時)

$$C_{cr} = 3.7 - 0.801 \approx 2.90 \quad (6)$$

3. 実構造物への適用性検討

3.1 実施概要



②：分極抵抗測定位置，●：塩分分析用コア採取位置

図-2 調査対象部材

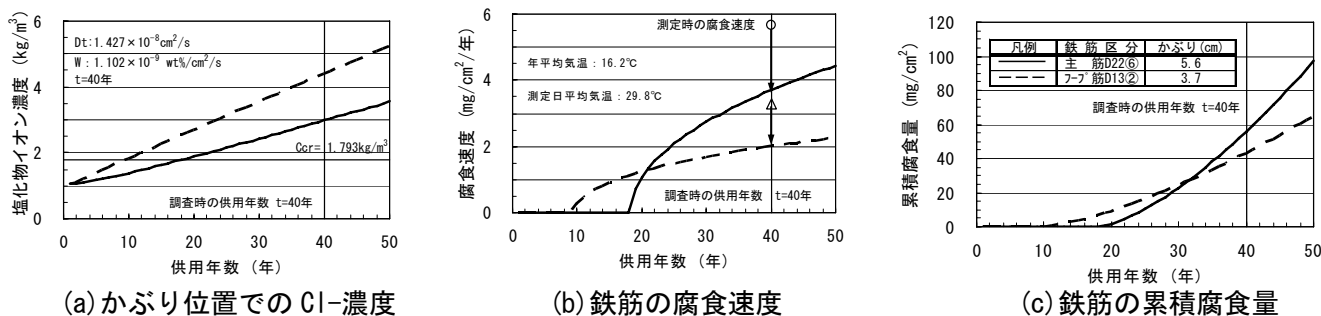


図-3 主筋 D22⑥およびフープ筋 D13②の腐食劣化進行予測結果

(1) 調査対象部材

図-2 に調査対象部材を示す。岸より約 30m 離れた海上に位置する点検のための通路橋で、寸法が幅 1m、長さ 2.8m、厚さ 0.3m の RC 造の桁部材である。設計図によると、かぶり 5cm のフープ筋 D13 と、その奥に主筋 D22 がそれぞれ 20cm 間隔で配筋されている。調査時点での供用年数は 40 年であり、ほとんどの部材の塩害劣化過程は加速期以降にあり撤去されることから、今回、比較的劣化が軽微な桁を対象に調査した。

(2) 調査項目

調査はひび割れ等の変状が少ない桁下面で実施した。最終的に全くひび割れの発生が認められない箇所での分極抵抗法による腐食速度測定は、フープ筋が①～③の 3 箇所、主筋が④～⑧の 5 箇所、計 8 箇所となった。なお、腐食速度は $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{年}$ で整理した。

分極抵抗測定終了後、測定箇所から鉄筋を含めてコアを採取し、鉄筋のかぶり深さを確認するとともに、取り出した鉄筋については JCI-SC1「コンクリート中の鋼材の腐食評価方法」に準拠して腐食生成物を除去し、腐食していない鉄筋との重量差から腐食減量 (mg/cm^2) を求めた。

また、図-2 の ● の位置から採取したコアの 2cm ごとの深さ方向の Cl-濃度分布を分析した結果、見かけの拡散係数 $D_c=1.427 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{sec}$ 、外部環境からの塩化物物浸透量(付着塩分量) $W=1.102 \times 10^{-9} \text{ wt\%/cm}^2\text{sec}$ および初期混入塩化物物量 $C'=0.048\%$ が得られた。

なお、測定時の温度は 29～30℃ であり、年平均温度は最寄りのアメダスデータから 16.2℃ とした。

以上より得られたデータをもとに、2 章の分極抵抗測定値に基づく鉄筋腐食進行予測方法に従って、かぶり位置での Cl-濃度、腐食速度測定値から年平均温度での腐食速度(年平均腐食速度)への換算、かぶり位置での Cl-濃度の増加に伴う腐食速度の増加ならびに累積腐食量の経時変化の計算を行った。

3.2 実施結果

図-3 に、フープ筋 D13 と主筋 D22 の代表例として、測定点②および⑥での計算結果を示す。表-1 に、調査時点での鉄筋の腐食減量実測値と本予測手法により求めた腐食減量推定値を測定時の腐食速度とともに示す。

鉄筋の腐食減量実測値は、かぶりの大きい主筋がかぶりの小さいフープ筋よりも大きくなっている。これ

表-1 鉄筋腐食減量の実測値と本予測手法により求めた腐食量推定値の関係

鉄筋区分 (記号)	かぶり 実測値 (cm)	Cl-濃度 計算値 (kg/m^3)	腐食速度 測定値 ($\text{mg}/\text{cm}^2/\text{年}$)	鉄筋の腐食減量 (mg/cm^2)	
				実測値	推定値
フープ筋 D13	①	3.6	4.51	34.9	50.5
	②	3.7	4.41	35.4	43.3
	③	4.0	4.15	35.1	49.0
主筋 D22	④	5.4	3.11	39.2	57.1
	⑤	5.5	3.05	41.3	44.4
	⑥	5.6	2.99	47.3	55.9
	⑦	5.8	2.87	44.7	57.3
	⑧	6.0	2.76	47.1	54.0

に対し、推定値は、いずれの点でも実測値よりもやや大きな値と示しているが、オーダーならびに主筋とフープ筋の腐食減量の大小関係はいずれも一致している。図-3 より、かぶりの大きい主筋はかぶりの小さいフープ筋よりも腐食開始時期は遅いが、腐食速度が速いため、調査時点での腐食量が大きくなったことが分る。

また、従来、潜伏期に対して進展期は短いと考えられていたが、今回のように、初期混入塩化物物が多く、腐食ひび割れ発生限界腐食量の値によっては、進展期が長い場合もあることが確かめられた。

4. おわりに

1 回の腐食速度測定ではあるが、本予測手法によって、進展期にある部材の腐食量をある程度推定できることが確かめられた。引き続き、実構造物を対象に本予測手法の妥当性の検証を継続するとともに、腐食ひび割れが発生するまでの期間(進展期の残存期間)の予測の可能性についても併せて検討する予定である。

【参考文献】

- 横田ほか：塩害を受ける RC 構造物の分極抵抗測定値に基づく鉄筋腐食進行予測法の提案，平成 24 年度土木学会四国支部第 18 回技術研究発表会講演概要集，pp. 301-302，2012. 5
- 横田優：外的塩害を受ける RC 構造物の進展期における鉄筋腐食進行予測方法の提案，土木学会コンクリート技術シリーズ No. 98，材料劣化が生じるコンクリート構造物の維持管理優先度研究小委員会(342 委員会)委員会報告書およびシンポジウム講演概要集，pp. 367-374，2012. 7