

第V部門

鉄筋腐食モニタリングを用いたRC部材の劣化予測手法の検討

神戸大学工学部 学生員 ○山室 俊介 神戸大学工学部 正会員 森川 英典
 神戸大学大学院 学生員 山本 尚樹 神戸大学工学部 正会員 小林 秀恵

1. 研究の目的：コンクリート中の鉄筋の腐食状況を把握するための手段の一つとして、鉄筋の電気化学的なパラメータである自然電位、分極抵抗、コンクリート抵抗を計測する方法が提案されている。本研究では、塩害を想定した供試体にて定期的に鉄筋腐食モニタリングを実施し、その結果と実際の腐食量を比較することで得られた知見から、劣化予測手法を用いて実際の腐食量を精度よく推定する手法について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 塩害を考慮した供試体：供試体の概要を表-1、断面・下面(計測)図を図-1、鉄筋の表記例を図-2に示す。

供試体は、屋内の養生室にて湿度 100%、温度 60℃の高温湿潤環境で 3 日間、常温乾燥環境で 4 日間を 1 サイクルとし、このサイクルを定期的に繰り返す環境下で暴露した。塩化物量は発錆限界塩化物イオン含有量である 1.2kg/m³ 以上になるように打設時に 6 kg/m³、2 種類で混入した供試体については 6 kg/m³ と 3 kg/m³ を混入した。打設時に塩化物を混入しなかった供試体については、常温乾燥時に濃度 5% の塩水を含ませた布を計測面上に置くことで塩分供給を行った。鉄筋腐食モニタリングはこのサイクルの常温乾燥環境下で実施した。

2.2 腐食量の計測：腐食量は鉄筋を 10% クエン酸二アンモニウム水溶液に常温で 48 時間浸漬した後、腐食生成物を除去した状態で計測した。このとき、腐食生成物の他に黒皮も剥がれ落ちたため、健全鉄筋を同様の方法で重量の計測を行い、それらの差を鉄筋の表面積で割ったものを腐食量とした。

3. 腐食量推定手法の検討：鉄筋の腐食量と分極抵抗との関係について以下の式(1)で評価を行った。

$$G = \left(\frac{M}{2} \cdot \frac{K_v}{F_a} \right) \cdot \sum \left(\frac{\Delta t}{R_p} \right) \quad \cdots (1)$$

ここで、 G ：腐食減量(g/cm²) R_p ：分極抵抗(kΩcm²) Δt ：経過時間(sec)

M ：鉄の原子量(55.8g) K_v ：換算係数(V) F_a ：ファラデー定数(96500 クーロン)

供試体の鉄筋腐食量と分極抵抗値の逆数の時間積分値との関係を図-3に示す。一般的に用いられる換算係数 K_v の値の範囲は 0.026~0.052V であるため、図-3の2直線の間にプロットされると考えられるが、今回の供試体ではこの範囲を大きく逸脱している。そのため、評価できていない時間積分値があることがわかる。鉄筋腐食モニタリングが常温乾燥環境下で行われたことから考えると、この時間積分値は高温湿潤環境下で発生したものと推察される。この高温湿潤環境下では常温乾燥環境下に比べて温度が高く水分供給量が多いことから、鉄筋の腐食が進行しやすく、この環境下での分極抵抗値は常温乾燥環境下で計測された値よりも小さくなり、時間積分値としては大きくなるため、このような評価できていない時間積分値が発生したと考えられる。今回のような鉄筋腐食モニタリングの計測環境と腐食の進行の仕方が異なる環境は実環境でも存在するため、この計測時と異なる環境で進行した腐食を評価する手法が必要であり、

表-1 供試体概要

供試体名	鉄筋同士の絶縁の有無	考慮した要因
A1	絶縁	塩化物量一定で混入
A2	導通	塩化物量一定で混入
B1	絶縁	供試体中央を境に塩化物混入量を変化
B2	導通	供試体中央を境に塩化物混入量を変化
C1	絶縁	塩化物量一定で混入し、鉄筋に丸鋼を使用
C2	導通	塩化物量一定で混入し、鉄筋に丸鋼を使用
D1	絶縁	供試体中央から半分のコンクリートかぶりを25mmに変化

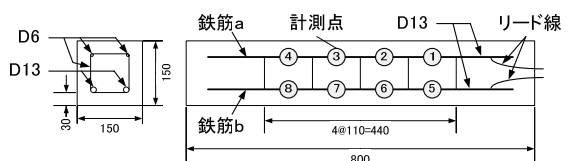


図-1 供試体の断面・下面(計測)図



図-2 鉄筋の表記例

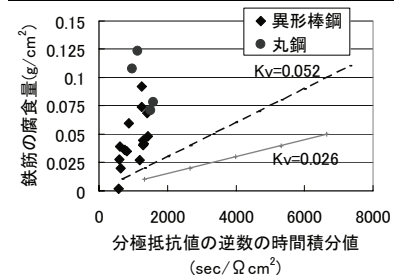


図-3 腐食量と分極抵抗値の逆数の時間積分値の関係

Shunsuke YAMAMURO, Hidenori MORIKAWA, Naoki YAMAMOTO, Hidee KOBAYASHI

その検討を行った。検討に際し K_v の値は 0.026V とした。

図-4 に示すように、まず腐食の進行を常温乾燥環境下のものと高温湿潤環境下のものに分けた。高温湿潤環境下での腐食は離散的に進行するため評価が難しい。そこで今回はこの高温湿潤環境下が定期的に作り出されていることから、連続的な腐食の進行として置き換えることができるかと仮定した。この変換に際して高温湿潤環境下の推定時間積分値と腐食ひび割れ幅との関係を調べたところ図-5 のような線形関係が得られた。この線形関係と既往の研究¹⁾における腐食ひび割れ幅の経時変化式を用いて変換を行った。その結果と常温乾燥環境下での腐食の進行とを合わせることで腐食の経時変化を表現した。この経時変化式から求まる分極抵抗値を換算分極抵抗値とし、供試体解体時点での換算分極抵抗値と供試体解体直前に計測された分極抵抗値を用いて劣化予測を行った場合の精度について検証した。

劣化予測は既往の研究の手法¹⁾を用いて行った。この手法の調査時点の腐食速度が鉄筋腐食モニタリングの分極抵抗値から求められる腐食速度となるように補正係数 η を求め、その η の値を腐食量の経時変化式に用いることで予測を行った。また、図-6 に示す劣化予測の加速期における腐食量と腐食ひび割れ幅に関する係数 a について文献調査を行った結果(図-7)、以下の新たな算出式が得られた。

$$a = 0.5693 \cdot \exp(0.5718 \cdot d/\phi) \quad (\text{異形棒鋼}) \quad \cdots(2)$$

$$a = 0.3544 \cdot \exp(0.1493 \cdot d/\phi) \quad (\text{丸鋼}) \quad \cdots(3)$$

ここで、 d : コンクリートかぶり(mm) ϕ : 鉄筋径(mm)

この式(2)、(3)を用いた場合と既往の研究¹⁾の a の算出式を用いた場合との予測結果の違いについても検討を行った。この予測手法を用いて解体時点の腐食量を推定した結果を図-8 に示す。図-8 縦軸の指標では、0 に近いほど精度よく推定できており、プラスの値で安全側、マイナスの値で危険側の評価となる。図-8 では換算分極抵抗値を用いた場合の方が精度よく安全側に推定できていることがわかる。ただし、丸鋼の供試体で式(3)を用いた場合に危険側の評価となっているため、この a の算出式については今後も検討が必要である。

4. まとめ: 以下に得られた知見をまとめる。

- 鉄筋腐食モニタリングの計測環境と異なる環境で進行した鉄筋腐食について別途評価する手法として、腐食ひび割れ幅の経時変化式から算出した別環境下における分極抵抗値の逆数を時間積分した値の経時変化式を用いて評価できる手法を示した。
- この手法と鉄筋腐食モニタリング、既往の研究の劣化予測手法を用いることで予測精度の向上したことから、劣化予測手法の妥当性が確認できた。

【参考文献】1) 小島, 森川, 岡本, 岸: コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.2, pp.1579-1584, 2005.

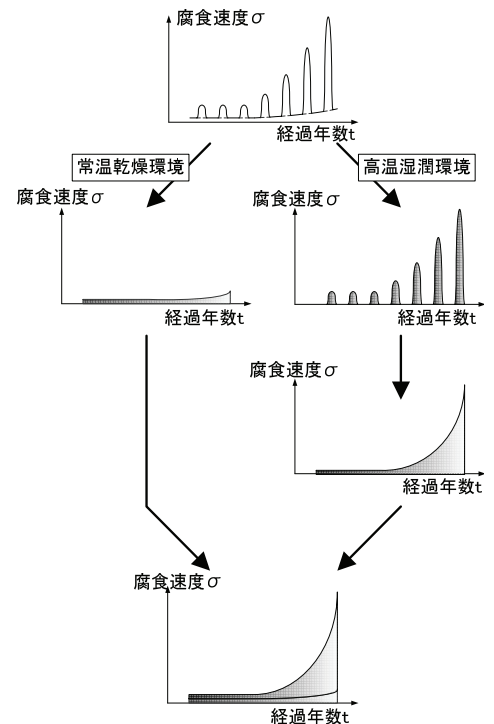


図-4 評価手法の流れ

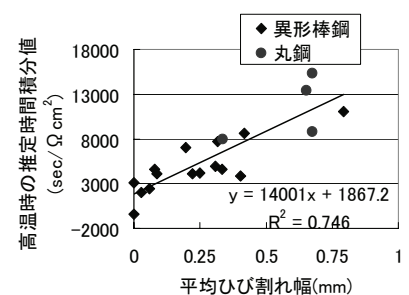


図-5 推定時間積分値と腐食ひび割れ幅との関係

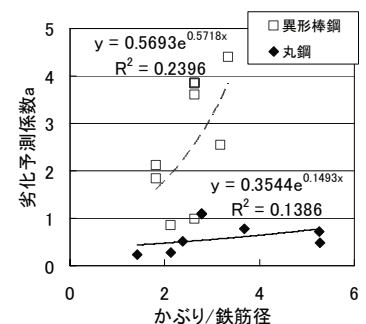


図-7 係数 a の文献調査結果

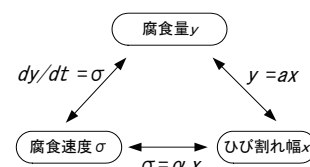


図-6 加速期における関係

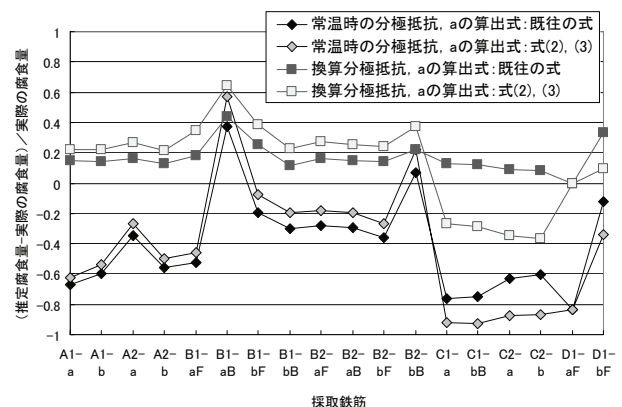


図-8 劣化予測精度