

自然電位法による鉄筋腐食推定に関する一考察

鉄道総研 正会員 ○飯島 亨

鉄道総研 正会員 玉井 譲

鉄道総研 正会員 上田 洋

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物を適切に維持・管理するためには、鉄筋腐食の状態の把握が必要である。コンクリート構造物中の鉄筋腐食の状態を非破壊で測定する方法として、自然電位法があり、その測定方法は土木学会で規準化されている。一方、コンクリート構造物の補修の要否は、外観の変状等に加えて、鉄筋の腐食状態すなわち腐食量などにより判断されている。しかし、自然電位法による診断は、測定時の鉄筋腐食反応の程度を計測しており、時間の積分値ではないため、通常、コンクリート構造物の補修の判定に用いる鉄筋の腐食量の推定は出来ない。そこで、過去の研究¹⁾では劣化した実構造物の調査結果から、自然電位と鉄筋腐食度の関係を経験的に求め、鉄筋腐食度の評価を行ってきた。今回、さらに、鉄筋腐食判定の信頼性を向上させるために、自然電位と腐食速度の関係を調べ、この腐食速度と供用年数から鉄筋腐食量の推定を試みたのでその結果を報告する。

2. これまでの自然電位法による鉄筋腐食推定

コンクリート構造物表面で測定される自然電位は、かぶり部分のコンクリートの品質・性状に起因して生じる電位分も加算される。このため、鉄筋腐食度の推定には、右記の式(1)¹⁾を用いて、この電位分を差引いた補正自然電位を用いてきた。なお、コンクリート表面が湿潤状態（表面含水率が6%以上）である場合では、測定自然電位＝補正自然電位となり、補正の必要はないことがわかっている¹⁾。

$$Y=X-4C-(-20W+150)$$

式(1)

Y:補正自然電位(mV)

X:測定自然電位(mV)

C:コンクリートの中性化深さ(mm)

W:コンクリート表面の含水率(%)

これまで、数多くの構造物の現地調査から、経験的に、補正自然電位と鉄筋腐食度の関係を表1のように整理し、実構造物への適用例（表2）を示してきた¹⁾。

表 2 実構造物への適用例

表 1 補正自然電位と鉄筋腐食度の関係

補正自然電位 E(mV)	腐食度
E>-250	腐食なし
-250≧E>-350	点錆状態
-350≧E>-450	面錆状態
-450≧E	一部断面欠損

調査 No.	構造物 部位	測定自然電 位(mV)	ASTMの 判定	表面含 水率(%)	中性化 深さ (mm)	塩化物 イオン量 (kg/m ³)	補正自然電 位(mV)	鉄筋腐食度	
								補正自然電位 による判定	目視による 判定
1	床版	-100~-120	腐食なし	4.3~4.6	8~10	1.0	-230~-250	腐食なし	腐食なし
2		-230~-260	不確定	4.8~5.2	20~25	1.0	-410~-440	面錆状態	面錆状態
3	橋脚	-20~-40	腐食なし	3.0~3.2	53~55	3.5	-280~-330	点錆状態	点錆状態
4		-250~-280	不確定	4.0~4.5	5~10	3.0	-310~-340	点錆状態	点錆状態
5		-270~-320	不確定	4.0~4.5	5~10	3.0	-360~-420	面錆状態	面錆状態
6		-350~-370	腐食あり	4.0~4.5	5~10	3.0	-430~-450	面錆状態	面錆状態
7	トンネル側壁	-460~-490	腐食あり	7.1~7.8	15~20	10	-460~-490	一部断面欠損	一部断面欠損
8		-530~-580	腐食あり	7.1~7.8	15~20	10	-530~-580	一部断面欠損	一部断面欠損

3. 自然電位と腐食速度の関係

自然電位と腐食速度の関係は、供試体試験から求めた。自然電位は式(1)から算出した補正自然電位を用いた。腐食速度は、交流インピーダンスを用いた分極抵抗法により分極抵抗値を求め、式(2)に定数（K値）として26mVを用いて腐食電流密度を算出、さらにファラデーの第2法則から1年あたりの鉄筋腐食速度(mg/cm²/年)を求めた。使用した供試体は、既報²⁾と同様に腐食速度を精度よく測定するため、鉄筋の面積を規定し、鉄筋毎にステンレス対極を配置した。コンクリートの配合は水セメント比を4種類（W/C：50, 60, 65, 70%）

キーワード 鉄筋, 自然電位, 補正自然電位, 腐食速度, 腐食度, 分極抵抗

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 （公財）鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7338

と初期混入塩化物イオン量を5種類(Cl^- :0, 0.6, 1.2, 2.0, 5.0 kg/m^3)の計20配合とした。その後、作製したコンクリート供試体の促進中性化を実施した。自然電位と分極抵抗の測定は、供試体表面にひび割れ等の変状が認められない進展期で合計200測定を実施した。

補正自然電位と鉄筋腐食速度の関係は、図1に示すとおりで、補正自然電位が卑側になるにつれて、鉄筋腐食速度は速くなる傾向であった。

4. 新たな自然電位法による鉄筋腐食推定

鉄筋腐食は、図2に示すように、鉄筋腐食が生じていない潜伏期、外観上の変化はほとんど認められないが鉄筋に腐食が生じている進展期、コンクリート表面にひび割れや剥離などの劣化が顕在している加速期、さらに、耐力の低下が生じる劣化期と進行していくと考えられている。

自然電位法による鉄筋腐食の推定は、通常、進展期に実施されるため、構造物の経年を潜伏期と進展期に分け、進展期の期間に、その間の腐食速度を積算して求めることができると考える。そこで、上記の図1から、補正自然電位($E \leq -200\text{mV}$)と鉄筋の腐食速度の関係を求め(式(3))、進展期の期間を積算(式(4))して、鉄筋の腐食量を算出することを考案した。

表2に示す実構造物の調査結果を用いて、鉄筋の腐食量を算出した。なお、潜伏期と進展期の期間は「鉄道構造物等維持管理標準・同解説(コンクリート構造物)」³⁾の予測モデルを用いて算出した。また、鉄筋腐食度と鉄筋腐食量の関係は、柘田らの研究⁴⁾から表3の値を用いた。

鉄筋腐食量の算出結果は表4に示すとおりで、目視観察結果と一致していた。

5. まとめ

自然電位法による鉄筋腐食の新たな推定法として、補正自然電位から鉄筋の腐食速度を求め、進展期の期間を積算して鉄筋の腐食量を算出することを考案した。この推定法は、実構造物でもよく一致することを確認した。

参考文献

- 1) 立松英信他：塩害による鉄筋腐食の診断と抑制に関する研究，コンクリート工学論文集，第11巻，第2号，pp. 11-20, 2000
- 2) 飯島亨他：コンクリート中の鉄筋の腐食速度に及ぼす気温の影響，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，第8巻，pp. 299-304, 2008
- 3) 鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）コンクリート構造物，（財）鉄道総合技術研究所編，2007
- 4) 柘田佳寛他：鉄筋腐食度評価式の検討，日本建築学会大会（北陸）学術講演集A，pp. 1051-1052, 1992

$$I_{corr} = K/R_p \quad \text{式(2)}$$

I_{corr} : 腐食電流密度(A/cm^2)

R_p : 分極抵抗($\Omega \cdot \text{cm}^2$)

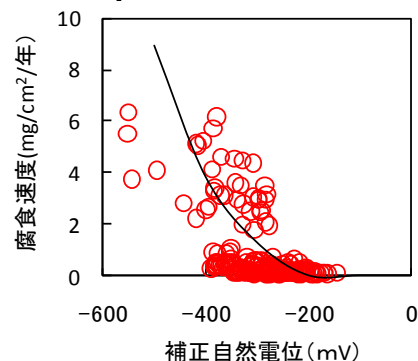


図1 補正自然電位と鉄筋腐食速度の関係

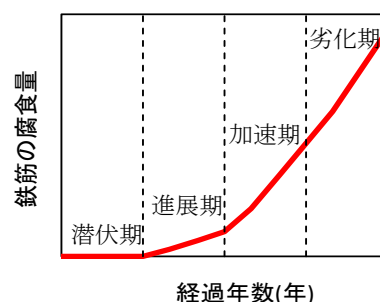


図2 鉄筋腐食の進行の概念図

$$V = 0.00009 \times (-200 - E)^2 + 0.0014 \times (-200 - E) \quad \text{式(3)}$$

V : 鉄筋の腐食速度($\text{mg}/\text{cm}^2/\text{年}$)

E : 補正自然電位(mV)

$$W = V \times T \quad \text{式(4)}$$

W : 鉄筋の腐食量(mg/cm^2)

T : 進展期の期間(年)

表3 鉄筋腐食度と腐食量の関係

鉄筋腐食度	質量減少率 (%)	鉄筋腐食量* (mg/cm^2)
腐食なし	0	0
点錆状態	0.1~1	1~25
面錆状態	1~2.5	25~65
一部断面欠損	2.5~5	65~130

*: D13(鉄筋)を用いて算出

表4 鉄筋腐食量の推定結果

調査No.	構造物部位	補正自然電位 (mV)	鉄筋腐食速度 ($\text{mg}/\text{cm}^2/\text{年}$)*	進展期の期間 (年)	腐食状態 (鉄筋腐食量 (mg/cm^2))
1	床版	-230	0.12	0	腐食なし(0)
2		-420	4.7	9	面錆状態(42)
3		-300	1.0	16	点錆状態(16)
4	橋脚	-330	1.7	12	点錆状態(20)
5		-390	3.5	13	面錆状態(46)
6		-430	5.1	13	面錆状態(66)
7	トンネル側壁	-490	8.0	10	一部断面欠損(80)
8		-570	13	10	一部断面欠損(130)

*: 補正自然電位から式(3)を用いて算出