

鉄筋腐食度推定に関する電気探査法と既存測定法の比較検討

(株)関西興産 耐震設計室 正会員 ○露口 雄次  
 埼玉大学 名誉教授 フェロー 町田 篤彦

1. はじめに

既存RC構造物の鉄筋腐食度判定手法には、自然電位法<sup>1)</sup>、分極抵抗法<sup>1)</sup>、交流インピーダンス法<sup>1)</sup>がある。その中でも、交流インピーダンス法は、0.001Hz~100Hz程度の交流電流を鉄筋に負荷し、周波数毎の「抵抗値」と「電流に対する電位の位相差」から腐食度を判定する検査方法であり、実績も豊富である。しかし、RC構造物から鉄筋端部をはつり出す局部破壊作業が必要であり、測定時間の長さや測定結果解釈の難解さ等が実用上問題となっている。これに反し、物理探査法の一つである電気探査法<sup>2)~7)</sup>は、はつり作業を行わずRC構造物表面から見掛け比抵抗<sup>2)</sup>と見掛け充電率<sup>2)</sup>を測定することで、鉄筋腐食度を簡便かつ精度良く判定することが可能である。

2. 電気探査法による推定結果

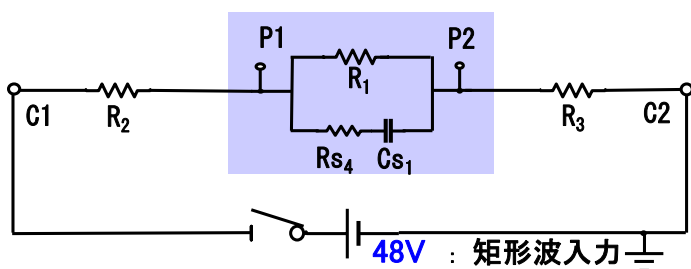


図-1 電気探査(ウェンナー)法の等価回路

表-1 電気探査法による等価回路の抵抗値とコンデンサー容量等

抵抗等 状態	$R_1$ [ $\Omega$ ]	$R_2$	$R_3$	$R_{S4}$	$C_{S1}$ [ $\mu F$ ]
	見掛け比抵抗 [ $\Omega m$ ] (*1)	[ $\Omega$ ]	[ $\Omega$ ]	[ $\Omega$ ]	見掛け充電率 [mV/V] (*2)
無筋	784 197	125,592	125,592	無し	無し
健全鉄筋	709 178	107,998	107,998	3,992	1,500 88
腐食鉄筋	567 143	35,580	35,580	6,655	500 51

凡例 (\*1)  $R_1$ と電極間隔(4cm)から「見掛け比抵抗」を算出。  
 (\*2) コンデンサー性能から「見掛け充電率」を算出。

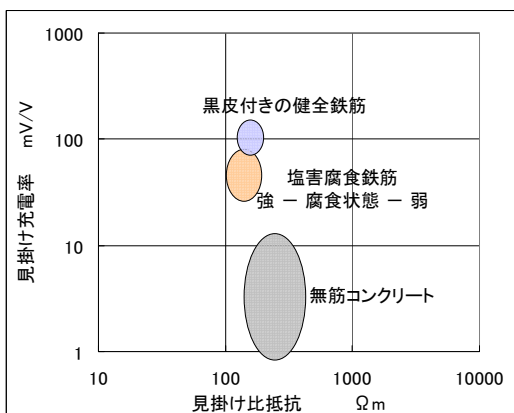
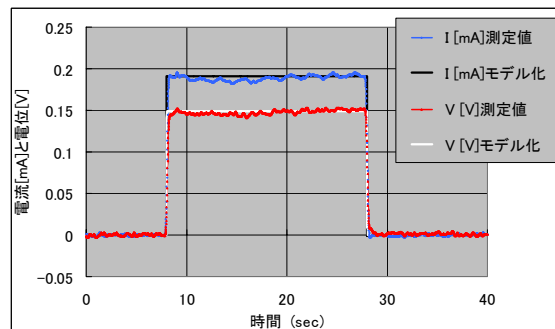
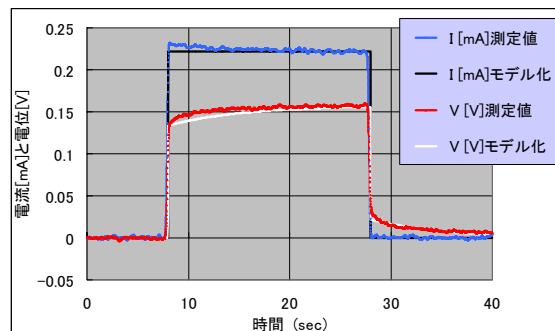


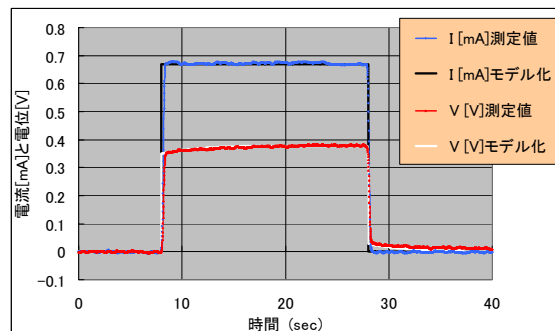
図-3 見掛け比抵抗と見掛け充電率の関係



1) 無筋供試体の測定値とモデル化



2) 健全鉄筋供試体の測定値とモデル化



3) 腐食鉄筋供試体の測定値とモデル化

図-2 電気探査(ウェンナー)法による測定値とモデル化

キーワード 非破壊検査, 電気探査法, 見掛け比抵抗, 見掛け充電率, 交流インピーダンス法

連絡先 〒543-0021 大阪府大阪市天王寺区東高津町 7-18 (株) 関西興産 耐震設計室 TEL06-6764-8865

図-1において、C1とC2：電流入力点、P1とP2：電位(差)の測定点、R<sub>1</sub>：鉄筋部とコンクリート部の抵抗、R<sub>2</sub>とR<sub>3</sub>：周辺コンクリート部の抵抗、R<sub>s4</sub>：電気二重層<sup>1)</sup>に関する抵抗、C<sub>s1</sub>：電気二重層に関するコンデンサー容量、図中の水色部：交流インピーダンス法と共通する鉄筋とコンクリートの測定部を、各々表している。

図-2は、長さ34cm、高さ10cm、奥行き24cm(材齢242~245日)の3供試体<sup>7)</sup>を電気探査(電極間隔4cmのウェンナ法<sup>2)</sup>)した際の測定値とモデル化<sup>8)</sup>を示している。さらに、図-2のモデル化を図-1の等価回路で表現した場合の物性値を表-1に示している。この表-1中の見掛け比抵抗と見掛け充電率を、図-3(供試体12個の測定実績<sup>7)</sup>)上にプロットすることで、簡便に鉄筋の存在や腐食状態を推定可能である。

3. 交流インピーダンス法による推定結果

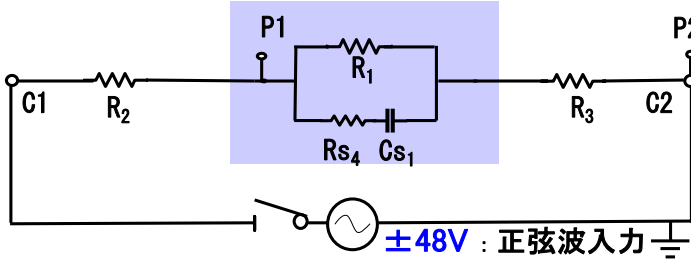
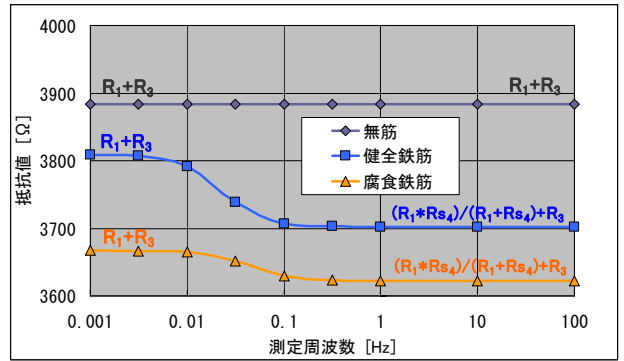
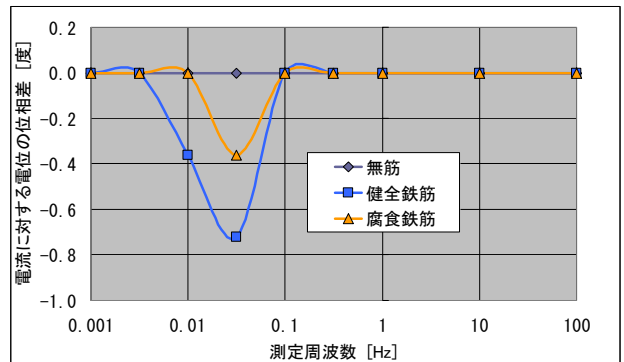


図-4 交流インピーダンス法の等価回路



1) 周波数と抵抗値の関係



2) 周波数と位相差の関係

表-2 交流インピーダンス法による等価回路の抵抗値とコンデンサー容量等

抵抗等	R <sub>1</sub> [Ω]	R <sub>2</sub> [Ω] (*1)	R <sub>3</sub> [Ω] (*2)	R <sub>s4</sub> [Ω]	C <sub>s1</sub> [μF]	低周波時		高周波時	
						R <sub>1</sub> +R <sub>3</sub> [Ω]	(R <sub>1</sub> +R <sub>s4</sub> )/(R <sub>1</sub> +R <sub>s4</sub> ) +R <sub>3</sub> [Ω] 無筋以外	位相差 [度]	
無筋	784	0	3,100	無し	無し	R <sub>1</sub> +R <sub>3</sub> =3,884Ωで一定 (*3)		位相差=0度で一定 (*3)	
健全鉄筋	709	0	3,100	3,992	1,500	3,809	3,702	文献 <sup>1)</sup> 等を参照	
腐食鉄筋	567	0	3,100	6,655	500	3,667	3,622	文献 <sup>1)</sup> 等を参照	

凡例 (\*1) 露出鉄筋部の抵抗値を零と仮定。  
 (\*2) 溶液抵抗値(周辺コンクリート部の抵抗値)を測定結果の平均値と仮定。  
 (\*3) コンデンサー効果が無いため、抵抗値、位相差とも一定。

交流インピーダンス法は、測定時の境界条件(R<sub>2</sub>とR<sub>3</sub>)が電気探査(ウェンナ)法と異なっている(表-1と2参照)。具体的には、図-4と表-2においてR<sub>2</sub>は露出鉄筋部の抵抗、R<sub>3</sub>は溶液抵抗<sup>1)</sup>(交流インピーダンス法による鉄筋測定部・直上のコンクリート部の抵抗)を、各々表している。

実施した模擬解析結果(図-5と表-2参照)から、i)低周波数(0.001~0.00316Hz)における抵抗値が「R<sub>1</sub>+R<sub>3</sub>」となること、ii)高周波数(0.316~100Hz)における鉄筋モデルの抵抗値が「R<sub>1</sub>+R<sub>3</sub>」から「(R<sub>1</sub>\*R<sub>s4</sub>)/(R<sub>1</sub>+R<sub>s4</sub>)+R<sub>3</sub>」に低下すること、iii)遷移周波数(0.01~0.1Hz)における鉄筋モデルの位相差が変化すること、等、交流インピーダンス法による測定実績<sup>7)</sup>と傾向が類似(図-5の「周波数と抵抗値(位相差)の関係」の表示方法は文献<sup>1)</sup>からの引用)するため、得られた「R<sub>1</sub>+R<sub>3</sub>」、「(R<sub>1</sub>\*R<sub>s4</sub>)/(R<sub>1</sub>+R<sub>s4</sub>)+R<sub>3</sub>」、「電流に対する電位の位相差」から、鉄筋腐食状態を推定可能といえる。

4. まとめ

10~100サイクル程度の安定状態の電流と電位を測定する交流インピーダンス法の場合、1測点毎の測定時間は170分以上(例えば0.001Hz正弦波10サイクルは1/0.001\*10=10,000秒)必要である。一方、コンデンサー効果の充電状態を目視確認する電気探査(ウェンナ)法の場合、1測点毎の測定時間は40~100秒程度(本研究の実績値：電極間隔4cm時は40秒、6.25cm時は100秒)で済むため、今後の活用が期待できる。

参考文献

- 1) 小林一輔, 小林豊治, 米澤敏男, 出頭圭三: コンクリート構造物の耐久性診断シリーズ3・鉄筋腐食の診断, 森北出版, 1993.
- 2) 島裕雅, 梶間和彦, 神谷英樹: 建設・防災・環境のための新しい電気探査法 比抵抗映像法, 古今書院, 1995. pp.1179 - 1180, 2005.
- 3) 露口雄次, 町田篤彦: 直流比抵抗法を用いたコンクリート構造物の内部推定に関する基礎的研究, 土木学会第60回年次学術講演会, 5-590. ↑
- 4) 露口雄次, 町田篤彦: 直流比抵抗法を用いたRC構造物の内部推定に関する基礎的研究, 土木学会論文集E, Vol. 62, No.4, pp.641 - 656, (2006).
- 5) 露口雄次, 町田篤彦: 携帯型鉄筋腐食度判定装置の開発と試用, 土木学会第61回年次学術講演会, 5-547, pp.1089 - 1090, 2006.
- 6) 露口雄次, 町田篤彦: 直流比抵抗法を用いた鉄筋腐食度推定手法の実用化, 土木学会第62回年次学術講演会, 5-016, pp.31 - 32, 2007.
- 7) 露口雄次, 町田篤彦: 電気探査法を応用したRC構造物の鉄筋位置と腐食状態の推定, 土木学会論文集E, Vol. 64, No. 1, pp.42-61, (2008).
- 8) 棚木義則: 電子回路シミュレータ PSpice入門編, CQ出版, 2007.