

PVB-S 被覆鉄筋の腐食とインピーダンスの関係

鹿児島大学大学院 正会員 ○嶋田 祐人
 鹿児島大学 正会員 審良 善和
 (株)大林組 正会員 石田 知子, 太田 健司

1. はじめに

現在、エポキシ樹脂塗装鉄筋に替わる防錆鉄筋として、伸び能力が高い PVB 樹脂で鉄筋を被覆し、珪砂を吹付けることでコンクリートとの付着向上を図った PVB-S 被覆鉄筋が開発されている。既往の研究¹⁾²⁾より、防食性、付着性、耐衝撃性、疲労耐久性などの性能が確認されている。しかし、実構造物に PVB-S 被覆鉄筋などの防食鉄筋を使用した場合、既存の調査方法では防食鉄筋の健全性を適正に評価することが難しい。そこで本研究では、溶液中およびコンクリート中の PVB-S 被覆鉄筋の耐食性に関する検討を行い、腐食とインピーダンスの関係を整理することで、PVB-S 被覆鉄筋の鋼材腐食に関する診断に用いる一手法を提案する。

2. 試験概要

2.1 浸漬による腐食試験

試験にはφ16のPVB-S被覆鉄筋(膜厚 $300\pm 100\mu\text{m}$)を用いた。試験範囲は5cmとし、試験面以外をエポキシ樹脂で被覆した。試験溶液は、NaCl 5%水溶液、NaCl 5%模擬細孔溶液、模擬細孔溶液の3種類である。模擬細孔溶液は、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、KOH、NaOHの混合水溶液を使用し、pHは約13.6である。試験体数は各10本とした。調査方法は、外観目視、インピーダンス測定および解体調査とした。インピーダンス測定は、NaCl 5%水溶液に供試体を浸漬させ、対極に不溶性電極を用いて実施した。測定周波数は0.02Hz~200kHz、交流電圧は5Vである。これに試験面である被測定面積を乗じ抵抗率を算出した。解体調査は鉄筋の腐食面積および塗膜の剥離面積を測定した。

2.2 鉄筋コンクリート暴露試験

図1に供試体形状を示す。供試体の形状は、 $10\text{cm}\times 10\text{cm}\times 20\text{cm}$ の角柱供試体とし、断面中心に鉄筋を配筋した。鉄筋はD16のPVB-S被覆鉄筋(膜厚 $300\pm 100\mu\text{m}$)を用いた。また、試験鉄筋には、写真1に示すような、初期欠陥を模擬した直径1mmの疵と長さ5mm×幅1mmのカッター疵を導入した。供試体に使用したコンクリートは、結合材に普通ポルトランドセメントを用いた普通コンクリートとし、厳しい塩害環境とするために内在 Cl^- 量を0、10、 $20\text{kg}/\text{m}^3$ として作製した。水セメント比(W/C)は50%とし、目標スランプを $12\pm 2.5\text{cm}$ 、目標空気量を $2.0\pm 1.0\%$ とした。供試体養生後、両端からの腐食因子の浸透を抑制するため、端面をエポキシ樹脂により被覆した。暴露環境は谷山港(鹿児島県鹿児島市)の海上大気中、干満帯および室内(温度 20°C 、湿度50%)とした。調査方法は、2.1と同様にインピーダンス測定および解体調査とした。

3. 結果および考察

3.1 浸漬による腐食試験

樹脂被覆鉄筋のインピーダンスの挙動について、健全な塗膜では、高周波から低周波にかけて線形的に増加する傾向を示す。しかし、塗膜が劣化し始めると、低周波域でのインピーダンスは低下する挙動を示すとされている。ここでは、インピーダンスの低下が確認された1Hzのインピーダンスに着目して考察を行った。

図2に周波数1Hzのインピーダンスの経時変化を示す。PVB-S被覆鉄筋は Cl^- を含む浸漬溶液において、インピーダンスが大きく低下する試験体が確認され、個体差が非常に大きい結果であった。この低下は、経時的に低下が続くもの、ある程度低下した後に概ね一定になるものなどが確認された。インピーダンスの低下は、塗膜への水等の浸透、塗膜

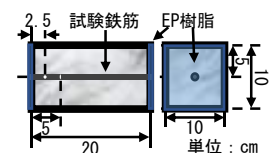


図1 供試体形状

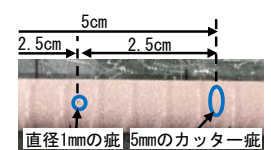


写真1 模擬欠陥

キーワード 樹脂被覆鉄筋, PVB樹脂, 塩害, 腐食, インピーダンス

連絡先 〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元1-21-40 鹿児島大学 海洋土木工学プログラム TEL 099-285-8480

の劣化および塗膜下の鋼材の腐食等に起因する。この急激な塗膜の劣化は、 Cl^- の影響は小さく、微細な疵や珪砂の剥落等の欠陥の存在、アルカリ性環境における塗膜の変質、水の浸透等が影響していると考えられる。いずれにしても、水分の多い高含水環境では塗膜の劣化が進行する可能性があり、水中での利用等は注意が必要と考えられる。

3.2 鉄筋コンクリート暴露試験

鉄筋腐食面積の測定は、模擬欠陥から発生した腐食を被覆損傷部として、それ以外からの腐食を健全部として区分した。健全部は、いずれの鉄筋も腐食は確認されず、鉄筋の防錆が維持されていることを確認した。図3に被覆損傷部の腐食面積を示す。被覆損傷部では、 Cl^- を含む供試体において腐食面積が大きく増加していることが確認された。したがって、 Cl^- が多量に内在する環境下において鉄筋素地が露出するような欠陥がある場合には、防錆性能の著しい低下が起こるため、適切な補修を行う必要がある。また、図4に被覆損傷部側の端部から9.5cmの範囲におけるインピーダンスを示す。なお、図中には、別途測定したPVB-S被覆鉄筋の健全な状態(図中黒線)も併せて示す。全体的な傾向として、低周波数域でインピーダンスは低下していることがわかる。鉄筋素地への腐食が確認された供試体は腐食が発生していない供試体と比較して、インピーダンスが大きく低下していることが確認できる。この結果より、PVB-S被覆鉄筋の鋼材腐食とインピーダンスには関係性があると考えられる。

4. PVB-S 被覆鉄筋の鋼材腐食に関する診断手法の提案

樹脂被覆鉄筋の鉄筋防錆効果を検証する目的で、インピーダンスの測定を行った。その結果より得られた1Hzのインピーダンスと腐食面積の関係を図5示す。(a)は腐食試験の結果、(b)は暴露試験の結果である。ともにインピーダンスが小さくなるほど、腐食面積は増加する傾向にあることが分かる。いずれの試験においても、インピーダンスが $10M\Omega \cdot cm^2$ 以下の範囲で塗膜の膨れや剥離が確認された。また、インピーダンスが $1M\Omega \cdot cm^2$ 以下で鉄筋腐食が発生し、その後、インピーダンスの低下に伴い、腐食面積が急激に増加していることが確認できる。これらの結果から、表1のような閾値を設けることで、コンクリート中の樹脂被覆鉄筋の防錆性能を評価することができると考えられる。

5. まとめ

PVB-S膜は水の浸透や OH^- による変質により塗膜が劣化すると考えられる。また、塗膜の劣化の進行により素地鉄筋の腐食が進行するが、PVB-S被覆鉄筋のインピーダンスとよい相関が得られることが分かった。そのため、インピーダンスを計測することで塗膜の劣化状態および塗膜下の鉄筋腐食を把握することが可能であり、塗膜の劣化状態を表1に示す3段階に区分することができる。これを用いることによって、コンクリート中におけるPVB-S被覆鉄筋の防錆性能を診断できると考えられる。

参考文献：1) 片野啓三郎, 竹田宣典: PVB樹脂および珪砂を用いた高性能被覆鉄筋の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, 2017, 2) 石田知子, 片野啓三郎, 福永和生, 審良善和: PVB樹脂および珪砂を用いた高性能被覆鉄筋の疲労に対する耐久性の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, 2019

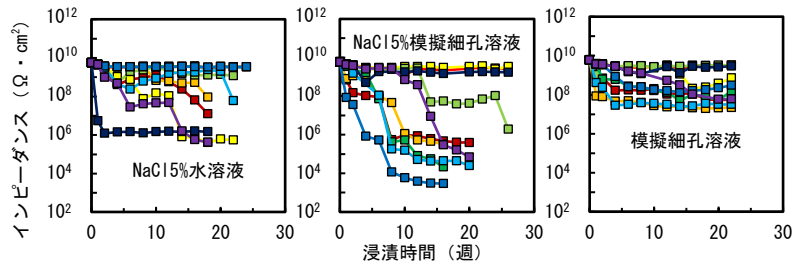


図2 周波数1Hzのインピーダンスの経時変化

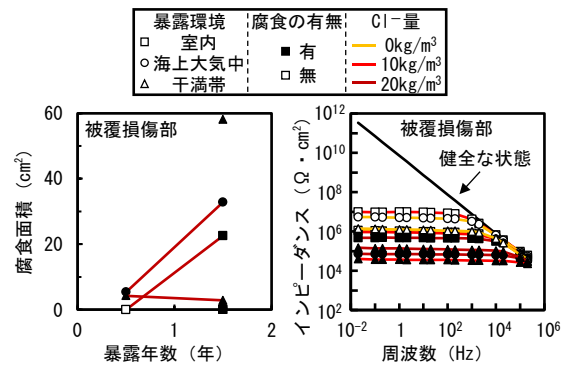


図3 腐食面積

図4 インピーダンス

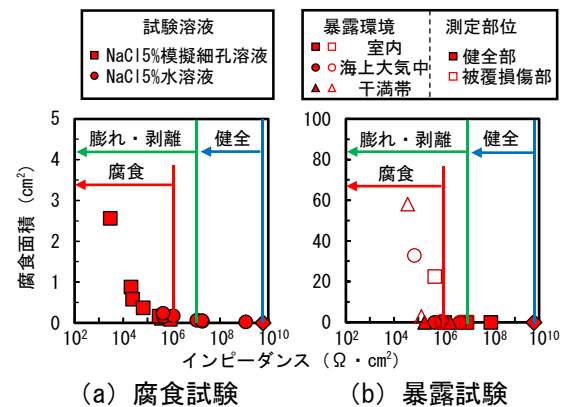


図5 1Hzのインピーダンスと腐食面積の関係

表1 劣化度判断方法

| 1Hz時の交流抵抗 | 判定 |
|------------------------------------|-------|
| $10^7 \Omega \cdot cm^2$ 以上 | 健全 |
| $10^7 \sim 10^6 \Omega \cdot cm^2$ | 膨れ・剥離 |
| $10^6 \Omega \cdot cm^2$ 以下 | 腐食 |