

実橋採取試料によるコンクリート表面被覆材料の耐久性評価

佐々木 巖* 加藤祐哉** 守屋 進*** 西崎 到****

1. はじめに

表面被覆材料は、橋梁をはじめとしたコンクリート構造物の塩害対策などに広く用いられている。これらの被覆材料の性能に関する品質規格は、これまでの事例から優れているとみられる材料工法について、その新設時の材料試験結果から品質規格案等が設定されているに過ぎず、個々の橋梁が調査時点で十分な耐久性を有しているかどうかを検証するための評価指標にはなっていない。特に、被覆工が現在の程度の遮蔽性能を有し、今後何年程度の耐用年数を期待できるのかを知りたい場合には、被覆材料の性能を実際に調査試験するほかない。表面被覆工をはじめとした防食材料の健全性を評価する方法は目視等の主観的評価に頼っているのが現状であり、被覆層の機能の定量的評価方法の開発が課題となっている。

本報では、臨床的な調査研究の事例として、長期供用された実橋からコアリング等により採取した試料を活用した耐久性評価試験方法の開発と、この試験方法による調査事例について報告する。

2. 表面被覆材料の健全性調査と評価試験法

2.1 橋梁の健全性調査と実橋採取試料

コンクリート橋梁の健全度の調査判定は、ひび割れやふくれ等の外観、鉄筋腐食をはじめとした破損の状況把握を中心に行われる。表面被覆された構造物は、劣化段階でいう加速期までは外観に異常を生じることは少なく、これは景観機能でもある。しかしながら、塩化物イオン等の遮断性能が十分でない、劣化の発見をいたずらに遅らせることにもなりかねない。被覆された構造物の健全性は被覆材料の遮蔽性能に大きく依存している。したがって、劣化因子の遮断機能が長期供用後にも継続的に確保できているのか確認するための、正確かつ簡易な調査試験方法が求められる。

土木研究所では、以下に述べるように被覆材の試

料を実橋から採取して評価するための試験方法を提案しているが、実橋からの採取試料としては、被覆材料をかぶりコンクリートとともにコア採取(図-1)するものとしている。採取試料は表面付近のみでよいことから、構造物に与える影響は比較的小さく、評価項目次第では、微破壊試験などと呼ばれるような小規模で少数の試料採取にとどめることも可能となる。



図-1 表面被覆材健全性評価のための実橋試料採取の例

2.2 コンクリート表面被覆材料の性能評価

コンクリート表面被覆材料の評価試験方法には、その要求性能に応じて付着性や遮塩性などさまざまなものがある(表-1)。日本道路協会¹⁾や土木学会²⁾をはじめとした各団体の試験法や基準に規定されている被覆材料の性能評価試験法は、材料選定等における基準試験を想定していることもあり、新規塗布材料の遊離塗膜(フリーフィルム:PP樹脂板等の表面に施工した表面被覆層を剥がした試料)や特定の試験基盤に被覆施工して試料とすることになっている。しかしながら、長期間暴露された後の被覆材料の残存性能を評価することを目的とする場合、施工後にコンクリート表面から被覆材料のみを分離することは困難である。供用後の被覆材料の性能評価をするためには、かぶりコンクリートとともに測定できるような試験法が必要である。土木研究所では、既存の試験方法を改良し、供用中の材料に適用することを目的とした性能評価試験方法を提案した。

表-1 表面被覆材料の要求性能と評価項目

要求性能	評価項目
付着性	コンクリートとの付着強度
ひび割れ追従性	伸び量
遮塩性	塩化物イオン(Cl ⁻)透過量
遮水性	透水量
遮湿性	透湿度
酸素遮断性	酸素透過量

2.3 実橋採取試料による評価方法

実橋採取試料を使用して表面被覆材料を評価するためには、かぶりコンクリートとともに各種試験を行うこととなる。既存の試験方法の適用性を確認するとともに、その基盤コンクリートの影響ができるだけ少なくなるよう、必要に応じて試験方法や条件を設定する必要がある。土木研究所では、表-1に示す評価試験項目について、これまでの調査研究から被覆材残存性能の評価試験方法を提案している。

ここでは、遮塩性試験およびひび割れ追従性試験を例として、試験法の提案内容を以下に述べる。

2.3.1 遮塩性試験条件の検討

被覆材料の遮塩性を評価する方法には、日本道路協会の遮塩性試験方法（拡散セル法：図-2）がある。これは本来はフリーフィルムを供試体とする試験である。通常は、3%食塩水が表面被覆材料の表面、純水が裏面（基盤側）となるように供試体を設置する。しかし、塩害環境下にある実橋から採取した試料の評価においては、コンクリートに塩分が既に侵入している可能性がある。そこで、コンクリート中の塩分が純水に溶出する影響を避けるために、コンクリート側が3%食塩水となるように配置して試験を行った研究³⁾を参考に、さらに検討を進めて実橋採取試料の性能評価方法として提案した。

適用性の確認試験には、沖縄県大宜味村および茨城県つくば市にて平成元年度より17年間暴露していた表面被覆コンクリート供試体⁴⁾を用いた。表面被覆材料の仕様はエポキシ樹脂塗料中塗り60μm、ポリウレタン樹脂塗料上塗り30μmで、沖縄、つくばとも同時に製作された。沖縄の暴露供試体にはあらかじめコンクリートに塩分（NaCl）が10kg/m²混入されており、これを塩分含有供試体として用いた。一方、つくばの暴露供試体は練混ぜの段階ではコンクリートに塩分を混入させおらず、また塩害環境下に暴露していなかったことから、これを塩分非含有供試体として用いた。厚さ10mmのコンク

リートが遮塩性試験結果に与える影響を調査するために、つくばの暴露供試体から採取した表面被覆材料の無いコンクリートのみの供試体でも試験を実施した。試験数は1種類の供試体当たり3回とした。

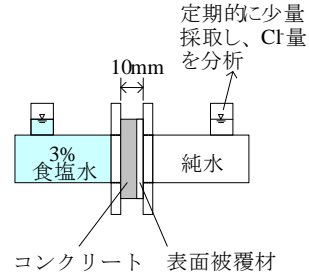


図-2 遮塩性試験（拡散セル法）

2.3.2 遮塩性の試験条件の提案

試験結果を図-3に示す。コンクリート中に塩分を含有していないつくばの供試体では、表面被覆材料のある供試体と比べてコンクリートのみの供試体の方が純水側の塩分濃度増加が認められた（図-3(a)）。被覆材料の種類が異なっても、その遮断性能がコンクリートのみよりも優れる場合は、被覆材の遮塩性が支配的で律速となる。従って、コンクリートが付着している供試体を用いても、表面被覆材料の遮塩性の差を評価できることがわかった。また、供試体の向きがどちらの場合でも、純水に溶出した塩分濃度の測定値はほぼ測定限界であった（図-3(b)）。したがって、被覆材料の遮塩性は供試体の向きによらないことがわかった。

一方、表面被覆材料のコンクリート中に塩分を含有している沖縄の供試体（図-3(c)）については、コンクリートを純水側に配置した場合は塩分が溶出

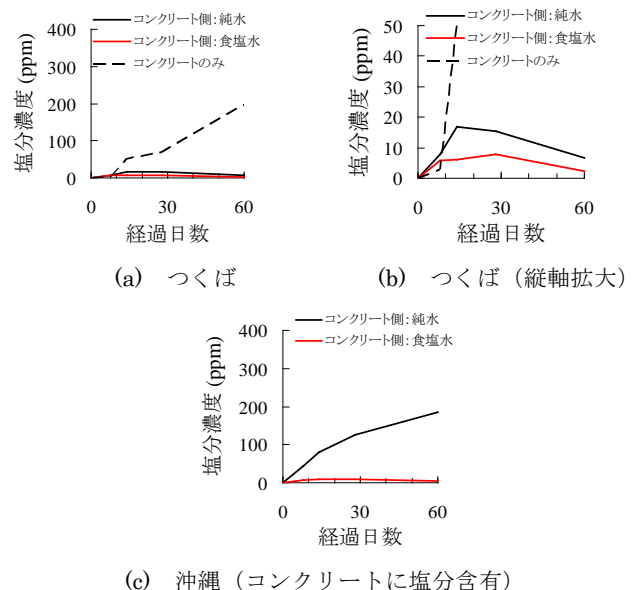


図-3 遮塩性試験の結果（純水側の塩分濃度変化）

し濃度が高くなったが、逆の場合はつくばの供試体とほぼ同等の値を示した。したがって、コンクリート中に塩分が含まれる場合は、コンクリートを純水側に配置してはならないことがわかった。

以上の結果より、暴露供試体から採取した試料の試験においては、表面被覆を有するかぶりコンクリートの厚さを10mmとし、供試体のコンクリート側を3%食塩水側に、表面被覆材料上面側を純水側に配置した試験を提案した。

2.3.3 ひび割れ追従性試験方法の検討

被覆材料のひび割れ追従性を評価する方法にはJSCE-K 532がある。ところが、これは切り欠きを有する試験基板上に被覆材料を直接塗布して試験を行うものである。このため、実橋採取試料のようにコンクリート構造物に施工済みの被覆材料にはこの方法は適用できない。そこで、図-4に示す試験方法³⁾を参考に評価を行うこととした。試験法は、表面被覆を有するコンクリートを10mm厚にスライスし、被覆層の背面に2mm厚のコンクリートが残るように切込み（ノッチ）を入れた試料を、鋼板を介して引張試験する。切込み部分がひび割れの開きを模した動きとなることを利用して、被覆材の追従性を評価できる。

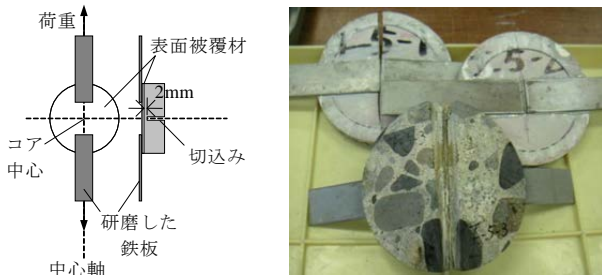


図-4 実橋採取試料を用いたひび割れ追従性試験

3. 表面被覆材料の残存性能評価事例

本報では、被覆材の耐久性の相対評価として、同一箇所様々な被覆材を試験的に適用した塩害補修橋梁の詳細調査⁵⁾からその一部を述べる。

3.1 調査橋梁

調査対象とした橋梁（旧板貝橋：図-1）は、塩害の影響を強く受ける日本海の海岸に昭和43年に竣工した、橋長13.6m幅員6.5m、3主桁(RCT型)1径間のコンクリート橋である。建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」の研究において、補修工法・材料の適用性や耐久性を調査する目的で、17年間供用後の昭和60年

に試験施工が行われた⁶⁾。今回の調査時には、被覆材による補修から23年が経過している。この橋梁は、全12工区に分けられ、有機系から無機系にわたる材料から選定された異なる被覆材が施工されている。このなかから、種類や実績等を勘案し7種類について調査した。

3.2 実橋採取被覆材料の遮塩性調査結果

遮塩性試験の結果を図-5に示す。試験開始後30日のCl⁻透過量はいずれの被覆材も10⁻²mg/(cm²・d)未満である。今回はコンクリート付の被覆材で評価試験方法がやや異なるものの、道路協会の新材に対する基準値¹⁾と対比してみると、いずれの材料も10⁻²mg/(cm²・d)以下(A,B種)を満足し、さらに、10⁻³mg/(cm²・d)以下(C種)に相当するものがあるなど、23年間供用後でも優れた遮塩性を有することがわかった。同じエポキシ材料でも、ガラスクロスを配して膜厚を2倍以上としたIはIIの2倍の遮塩性を有しているほか、ポリマーセメントでは有機系上塗りのほうが含浸よりも遮塩性能が高いなどの特徴もみてとれる。

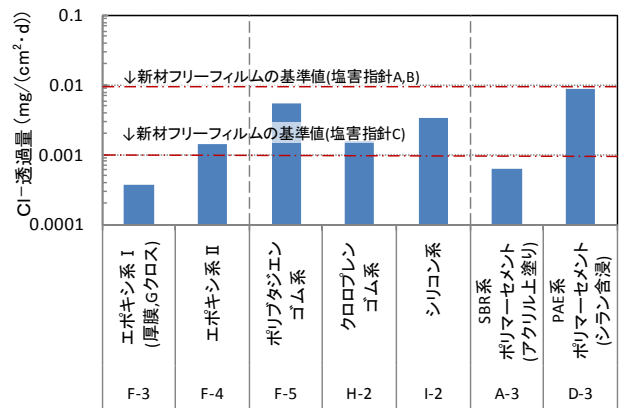


図-5 遮塩性試験結果（30日経過後のCl⁻透過量）

しかしながら、初期性能と比べると性能が低下しているものもある。エポキシ系IIは、新材では塩害指針¹⁾のC種を満足するものであったが、23年供用後には遮塩性が低下しB種相当（初期7以下→14×10⁻⁴）となっている。また、ポリブタジエンは一桁、クロロプレン系では二桁ほどCl⁻透過量が大きくなった。

3.3 実橋採取被覆材料のひび割れ追従性調査結果

ひび割れ追従性試験結果を図-6に示す。破断時伸びは、4mm、1mm程度、0.4mm未満の3段階に分かれたが、多くの材料が土木学会の提案する新材に対する指標²⁾において高追従に相当し、23年間の長期暴露後においても優れたひび割れ追従性を保持

していることがわかった。

本橋の補修施工は四半世紀前でありエポキシは柔軟型ではないが、現在はほとんどが柔軟型エポキシとなっているなど、材料技術も常に変化している。また、構造物の損傷状況や調査時点の環境や使用条件によって、要求性能としてひび割れ追従性を求めないこともあり得る。このように、構造物の使用材料や要求性能は普遍的ではなく、これらにあわせた健全度評価を調査対象ごとに行う必要がある。そのためにも、実橋試料を直接試験するための試験法は重要である。

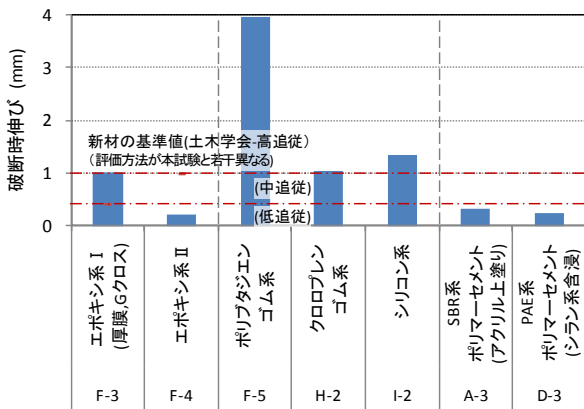


図-6 ひび割れ追従性試験結果

4. まとめ

表面保護工法は、腐食環境が非常に厳しい条件においても確実な防食効果を得られるため、電気防食と並んで信頼度の高い工法である。しかしながら、表面被覆材料を適用すると構造物の外観に異常が生じることは少なくなるため、表面被覆材料の環境遮断性能に何らかの機能低下があった場合でも、潜伏期-進展期-加速期には変状が生じにくく、劣化期になって異常が発見されると手遅れとなりかねない。本報で提案したような実橋採取試料を用いた防食工の健全度評価方法は、材料工法の開発のための指標

ばかりでなく、適切な橋梁保全のための健全度診断の一助となるものと考えている。

本報では、表面被覆材料に対する実橋採取試料を活用した耐久性評価手法について、遮塩性とひび割れ追従性を例に紹介した。土木研究所では、その他の様々な性能項目についても、室内試験や実橋採取試料等を活用し、評価試験方法の提案と実環境に即した調査事例の蓄積を行っている。これらの手法を用いて、本報で触れた調査結果をはじめとした多くの性能評価結果を得ており^{4),5)}ほか、これらの成果について活用と普及を進めてゆきたい。

謝 辞

本報で述べた評価試験法の検討や、その後の耐久性評価に供した試料の多くは、様々な橋梁管理者の御協力により提供頂いたものである。ここに記して深く感謝します。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：道路橋の塩害対策指針(案)・同解説、pp.58～59、61～63、1984。
- 2) 社団法人土木学会：表面保護工法設計施工指針(案)、コンクリートライブラリー119、2005。
- 3) 守分敏朗、三浦成夫、長滝重義、大即信明：既設コンクリート構造物に施工した表面塗装材料の耐久性評価、土木学会論文集、No.520、V-28、pp.99～110、1995。
- 4) 加藤祐哉、佐々木 徹、守屋進、西崎到：コンクリート用表面被覆材の塩害抑制効果および耐久性に関する検討、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、pp.357～364、2008。
- 5) 佐々木 徹、西崎到、守屋進：塩害環境におけるコンクリート表面被覆材料の長期耐久性、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、2010。
- 6) 建設省：建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発報告書、第1編、pp.115～127、1988。

佐々木 徹*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料地
盤研究グループ新材料
チーム主任研究員、博士
(工学)
Dr. Iwao SASAKI

加藤祐哉**



関東地方整備局横浜国道
工事事務所調査課(前
独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所技術推
進本部研究員)
Yuya KATO

守屋 進***



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料地
盤研究グループ新材料
チーム 総括主任研究
員、工博
Dr. Susumu MORIYA

西崎 到****



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料地
盤研究グループ新材料
チーム 上席研究員、博
士(工)
Dr. Itaru NISHIZAKI