コンクリート構造物の塗装系防食材に関する付着性能評価の研究†

吉 田 敦* 吉 田 幸 信**
内 田 純 二** 樫 山 好 幸***

An Evaluation of Adhesion Property of Coating for Concrete Structure

by

Atsushi YOSHIDA*, Yukinobu YOSHIDA**, Junji UCHIDA**
and Yoshiyuki MOMIYAMA***

Surface coating for concrete has been used for damage from salt injury or neutralization. We have studied adhesive evaluation technique on coating for concrete structure because some parts of coating were peeled off at the early stage of coating. We have also examined adhesive characteristics of coating in order to find out negative factors in painting execution.

In this paper, we report the results of the evaluation and the examination, and also discuss a test method of coating for concrete structure, aiming at the future specifications.

Key words: Coating for concrete structure, Adhesion, Dew condensation, Surface preparation, Specifications

1 緒 言

日本道路公団（以下「JH」という）における、コンクリート塗装系防食材（以下「防食材」という）に関する研究は、昭和58年の西湘バイパスの塩害対策を機に始まった。そして、その追跡調査をもとにJH試験研究所において策定された防食材の品質規格（案）が、昭和63年5月「日本道路公団維持管理要領（橋梁編）」に高欄・地覆用塗料材料品質規格として採用されている。その後、平成5～6年には民間との共同研究が実施され、新たな材料開発の動向を反映させるかたちで品質規格の整備が進められてきた。¹⁾一方、現地ではJH北陸支社管内の手取川橋²⁾や親不知高架橋³⁾における塩害対策、名古屋管理局管内でのアルカリ骨材反応対策等における追跡調査⁴⁾を踏まえ、防食材の品質改善や品質規格について鋭意検討が進められている。

このような取り組みの中で、JH四国支社管内の浦戸大橋の橋脚において実施された防食材による塩害・中性化対策について追跡調査を行った結果、施工後3年を経過した一部の防食塗膜において、カッターナイフでカットを入れた後に容易にはく離することが確認された。⁵⁾当初、全ての防食材で建研式付着試験による十分な付着性能が確認されていたことから、我々は、この要因として供用環境における防食塗膜の耐久性低下の他に、付着性の試験方法の違い、防食材の施工時における塗布面の下地処理や濡れの有無の影響等が、小さくないものと考えた。

そこで、防食塗膜の付着性能に着目して、評価手法の

違いによる影響、促進試験による耐久性の観点からの評価、さらに、この付着性能に影響を与える施工上の要因について検討を行った。

本稿では、これらの試験結果と得られた知見について述べるものである。

2 検 討 項 目

2・1 付着性能の評価試験方法に関する検討

防食塗膜の付着性能を適切に評価する試験方法を検討するため、塗膜面に対し垂直に引っ張る「付着強さ試験」、カッターナイフで塗膜をカットし、下地コンクリート面から剥がし起こす「カッターナイフはく離試験」、さらに新たな付着性能の評価試験方法として提案する「見かけのはく離強さ試験」について比較検討を行った。

(1) 付着強さ試験 (JSCE-K531-1997)

この試験方法の概要をFig. 1に示す。試験体上面にダイヤモンドカッターで下地コンクリートに達するカット(40×40mm)を行った後、そのカット部に引張用治具をエポキシ系接着剤で接着し、24時間後に防食材の塗装面に対して垂直方向に塗膜を引っ張り、その付着強さを評価する。

(2) カッターナイフはく離試験

この試験方法は、試験体の上面にダイヤモンドカッターで、50×5mmの大きさで下地コンクリートに達するカットを行った後、Fig. 2に示すようにカッターナイフの刃先を塗膜の下まで入れてそのはく離を促し、はく離した所までの長さを測定するものである。

† 原稿受理 平成14年12月2日 Received Dec. 2, 2002

* 正 会 員 日本道路公団試験研究所 〒194-8508 町田市忠生, Expressway Res.Inst., Japan Highway Public Corporation, Tadao, Machida, 194-8508

** 日本道路公団四国支社高松技術事務所 〒760-0065 高松市朝日町, Takamatsu Technical Office, Japan Highway Public Corporation, Asahimachi, Takamatsu, 760-0065

*** 正 会 員 (株)オーデックス 〒532-0003 大阪市淀川区宮原, Odex Co. Ltd., Yodogawa-ku, Osaka, 532-0003

Fig. 1. Adhesion strength test.

Fig. 2. Peeling test by cutter knife.

Fig. 3. Apparent peeling strength test.

Fig. 4. Apparent peeling strength test. Position of scratch and application of gum tape.

(3) 見かけのはく離強さ試験

この試験方法は、Fig. 3 に示すように、塗装面に対し垂直ではなく、135度の角度で100mm/minの速さで塗装膜をはく離させて行う。

始めに、Fig. 4 に示すように試験体の上面にダイヤモンドカッターで幅50mm、長さ60mmの下地に達するカットを行い、塗膜の端部から10mmの部分を経基盤から剥がす。次に、塗膜の補強および塗膜の試験機への取り付けを容易にするため、はく離塗膜の下面(10mm)およびカット部上面(60mm)にガムテープを貼りはく離塗膜(10mm)を上下から挟み込むように固定した後に、これを引っ張り、塗膜をはく離させた。はく離に要した仕事量から、Fig. 5-式(1)~(5)を用いて見かけのはく離強さを算出する。

2・2 付着性能への影響要因の評価

(1) 防食材の塗装時における温・湿度環境

塗装における温・湿度環境が、塗膜の付着性能に与える影響を検討するため、下記の3種類の条件で付着性能の評価試験を行うこととした。

(a) 標準：温度20℃、湿度65%の環境で塗装し養生。

(b) 結露：試験体を温度10℃の環境で4時間冷却した後、温度20℃、湿度65%の環境に移して直ちに塗装し、その環境で養生。

(c) 低温：温度10℃、湿度65%の環境で塗装し養生。

(2) 塗装面の下地処理条件

付着性能の評価試験に用いるコンクリート板(形状：300×150×60mm)の下地処理の条件を下記の(a)~(c)

Calculation of apparent peeling strength

Apparent peeling strength(N/mm)

$$= (\text{work A} - \text{work C of unpeeled surfaces}) / \text{peeled area} \quad (1)$$

where

$$\text{work of peeled area (N} \cdot \text{mm)} = \text{work A} - \text{work of unpeeled area C} \quad (2)$$

work of unpeeled area C(N·mm)

$$= \text{apparent peeling strength between gum tape and finishing material} \times \text{unpeeled area C} \quad (3)$$

apparent peeling strength between gum tape and finishing material(N/mm)

$$= \text{work B} / \text{unpeeled area D} \quad (4)$$

peeled area = 50 × a - measured area

$$(5)$$

Fig. 5. Calculation of apparent peeling strength.

に示す3種類に変化させ、その影響を検討した。なお、コンクリート板は28日養生後、塗装面の下地処理を実施した。下地処理後の外観をFig. 6に示す。

(a) ショットブラスト：直径1.2mmの鋼球を50kg/m²の投射密度で吹付けブラスト

(b) サンダーケレン：研磨紙（粗度CC-16）を付けたディスクサンダーでケレン（ケレン後の平均粗さ；実測で34μm）

(c) ケレンなし

3 試験条件

3・1 試験材料

試験材料の選定は、メーカーに対しヒアリング調査を行い実施した。ヒアリングでは、防食塗膜を構成する各層に期待する機能、その組合せによる塗膜全体としての要求性能を確認した。その後、これらの機能・性能が類似する材料について整理を行い、Table Iに示す5社5仕

1) Shot blasted sample

2) Surface preparation by sanding

3) Sample without treatment

Fig. 6. Appearance after surface preparation.

様の防食材料を試験に用いることとした。

3・2 促進試験

全ての試験体に塗装後に温度20℃、湿度65%の環境で28日間養生（これを標準養生という）を行った後、一部の試験体について次に述べる促進試験を行い、2つの条件で付着性の比較検討を行うこととした。

前述のカッターナイフによるはく離が認められた橋脚について、その設置環境を再現させることを目的に、次の(a)～(b)を1サイクルとし、これを20サイクル実施することで促進試験条件とした。

(a) 冷水浸漬

試験体を上部10mmが水中から出るように10℃の水中に水平に置き24時間浸漬させる。これは、橋脚のフーチング部のように地中に埋設されている部位から、地中の水分が供給される条件を再現するために行った。

(b) 表面加熱

橋脚における地中部からの水分の供給を想定した(a)を実施した後、試験体の表面温度が約55～60℃になるようにして24時間赤外線ランプで加熱する。この加熱の初期段階で、塗膜と試験体の間に45～50℃の温度差を与え、塗膜の内部応力を増大させる。さらに、下地コンクリート中の水分を、塗膜と下地コンクリートの境界面へ移行させ、付着力の低下を誘引しつつ塗膜の硬化を促す。これは、防食材を塗布された面が日射による影響を受ける条件を再現するために行った。

4 試験結果

4・1 付着強さ試験（JSCE-K531-1997）

(1) 促進試験前（防食材を塗布し、標準養生後試験）

各要因別の平均付着強さをFig. 7に示す。このうち、上図は塗装面の下地処理をディスクサンダーで行ったもの、下図は塗装時の温・湿度環境が標準状態であったものである。

Table I. Corrosion preventing materials.

Abbreviations of materials	Coating specification				dry film thickness(μm)
	Primer coating weight (kg/m ²)	Putty coating weight (kg/m ²)	Intermediate coat coating weight (kg/m ²)	Finishing coat coating weight (kg/m ²)	
AA	Epoxy 0.10	Epoxy 0.50 0.07~0.44	Polybutadiene rubber 0.75	Fluoro resin 0.12	(a) 0 (b) 0 (c) 500 (d) 30
BB	Epoxy 0.10	Epoxy 0.50 1.00	(1)Elastic epoxy 0.25 (2)Polybutadiene rubber 0.40	Elastic fluoro resin 0.15	(a) 45 (b) 350+700 (c) 150+200 (d) 30
II	Epoxy 0.10	Epoxy 0.50 1.00	Elastic epoxy 0.27	Low contaminate Fluoro resin 0.15	(a) 30 (b) 210+420 (c) 160 (d) 30
K	Water born epoxy 0.05	Polymer cement 1.60	Modified urethane 0.20 0.25	Acrylurethane 0.15	(a) 0 (b) 0 (c) 250 (d) 30
L	-----	Polymer cement 1.60	-----	Water born acrylic resin 0.36	(a) 0 (b) 1000 (c) 0 (d) 300

Fig. 7. Average of adhesion strength before acceleration test.

(a) 防食材の種類

KとLは不陸調整材にポリマーセメント系樹脂を, その他3社は不陸調整材にエポキシ系樹脂を使用している. 平均付着強さはIIが最も大きい. 試験体の破断場所については, 付着強さの大きいIIはすべて基板破壊であったのに対して, ポリマーセメント系の不陸調整材を使用したLでは凝集破壊が多い結果となった. 平均付着強さと試験体の破断場所については, 使用材料の違いが影響していること, さらに4週間程度の期間では養生が十分でないことも考えられる. BBはエポキシ系の主材とポリブタジエンゴム系の主材間の界面はく離が多い結果となった. この防食材は, 主材がエポキシ樹脂とポリブタジエンゴムによる2層の仕様となっており, この層間における物性差の影響が考えられる.

(b) 防食材の塗装時における温・湿度環境

不陸調整材にポリマーセメント系樹脂を使用しているKは, 結露面に対する付着力が大きく低下することが確認された. この他については, 塗装時の温・湿度条件の影響は明確に表れることがなかった.

(c) 塗装面の下地処理条件

IIとLを除き, 下地処理を行った他の2条件に比べ, ケレンなしの条件は最も付着強さが小さくなった. 下地処理の有効性が改めて確認された.

(2) 促進試験前後における相関性

全ての防食材について, 促進試験前後における付着強さの相関性をFig. 8に示す. AA, BBの付着力は, 促進試験前後で比較的相関が良いと言えるが, 他の防食材については, このような相関性が認められなかった.

Fig. 8. Correlation between before and after of acceleration test.

4・2 カッターナイフはく離試験

(1) 促進試験前 (防食材を塗布し, 標準養生後試験)

各要因別のカッターナイフはく離長さを, Fig. 9に示す. このうち, 上図は塗装面の下地処理をディスクサンダーで行ったもの, 下図は塗装時の温・湿度環境が標準状態であったものである.

(a) 防食材の種類

AAは, 結露面とケレンなしの試験体においてはく離長さが大きくなった. はく離場所は, プライマーと基板または不陸調整材との間であり, いずれもプライマーが介在する部分が弱点となっていることが確認された. なお, 前述の付着強さと試験との相関性は明確に表れなかった.

(b) 防食材の塗装時における温・湿度環境

下地処理をサンダーケレンした試験体で, はく離長さを防食材の塗装環境と比較すると, 結露環境で施工されたもののはく離長さが最も大きくなる結果となった.

Fig. 9. Length of peeling and circumstance at the time of painting.

(c) 塗装面の下地処理条件

下地処理条件別のはく離長さは、ケレンなしが最も大きく、次いでサンダーケレン、ブラストケレンとなった。付着強さ試験と同様に下地処理の有効性が確認された。

(2) 促進試験後

(a) 防食材の種類

促進試験前後におけるはく離長さについて、防食材別にまとめて Table II に示す。促進試験により、はく離長さは AA で約 23%、BB で約 62% 増加したのに対し、II と L のはく離長さはそれぞれ約 80%、約 74% 減少した。

(b) 促進試験前後における相関性

促進試験前後における相関性を Fig. 10 を示す。AA のみが相関係数 0.7 以上となったものの、他の防食材では、明確な相関性を見出すことができなかった。

4・3 見かけのはく離強さ試験

(1) 促進試験前（防食材を塗布し、標準養生後試験）

各要因別の見かけのはく離強さを Fig. 11 に示す。このうち、上図は塗装面の下地処理をディスクサンダーで行ったもの、下図は塗装時の温・湿度環境が標準状態であったものである。

(a) 防食材の種類

標準の温・湿度条件でサンダーケレンの場合、付着試験で最も付着強さが大きかった II、カッターナイフはく離試験によるはく離長さが最も小さい（＝付着性が大きい）BB の見かけのはく離強さは、他の防食材に比べ必ずしも大きいとは言えない結果となった。見かけのはく離強さ試験と付着強さ試験、カッターナイフはく離試験との相関性は明確に把握できなかった。なお、Fig. 11 には、はく離面積も併せて示した。概ね、はく離面積が大きいと見掛けのはく離強さは小さくなる傾向にある。

(b) 防食材の塗装時における温・湿度環境

塗装環境の影響による、見かけのはく離強さの大小関

Table II. Peeling length, before and after of acceleration test.

	AA	BB	II	K	L
Before acceleration test	10.1	1.4	2.1	2.8	4.4
After acceleration test	12.4	2.3	0.4	2.3	0.9

unit:mm

Fig. 10. Correlation of length of peeling before and after of acceleration test.

Fig. 11. Average of apparent peeling strength.

係は材料によって異なる。プライマーが無く、不陸調整材にポリマーセメント系樹脂を使用している K は、結露面に対する見かけのはく離強さが大きく低下することが確認された。この他、AA、BB でも、他の条件に比べ結露面に対する見かけのはく離強さが最小となった。

(c) 塗装面の下地処理条件

AA、II、K では、見かけのはく離強さが、ブラストケレン、サンダーケレン、ケレン無しの順に低下した。ここでも、下地処理の有効性が確認された。

(2) 促進試験前後における相関性

促進試験前後における見かけのはく離強さの相関性を Fig. 12 に示す。養生後と促進試験後を比較すると、材料の違い、塗装時の温・湿度環境、塗装面の下地処理条件により、その変化は異なる。各防食材の促進試験前後の相関係数を算定したところ、AA で約 0.66、K で約 0.94 となった。しかし、他の防食材についてこのような相関性は認められなかった。

Fig. 12. Correlation of apparent peeling strength before and after of acceleration test.

5 考 察

5・1 付着性能の評価試験方法

5・1・1 各試験方法の評価 付着試験方法として3種類について検討したが、測定結果に相関性が認められない結果となった。これは、付着試験、カッターナイフはく離試験、見かけのはく離試験のそれぞれにおいて、防食塗膜をはく離させるメカニズムが異なり、これに塗膜の破壊形態が影響を受けた結果と考えられる。今後、この3種類の試験方法のメカニズムと、実環境下における塗膜の脹れやはく離といった変状との関連性について検討を行い、塗膜の付着性を適切に評価する手法を確立する必要がある。

5・1・2 促進試験の影響 3種類の付着試験方法について、促進試験の前後における比較を行った。付着強さ試験では、AA、BB、IIの付着強さが促進試験後に増大する結果となった。さらに、カッターナイフはく離試験では、IIとLの塗膜は促進試験後に剥がれ難くなった。促進試験を行うことにより防食材の養生が進んだことの影響が考えられる。一方、見掛けのはく離強さ試験では、促進試験後に見かけのはく離強さが大きくなるケースが全体の4割を占めた。今後、3種類の付着試験方法と促進養生条件の関係について十分に検討を行い、各試験方法に応じた合理的な促進養生条件を整備する必要がある。

5・2 付着性能への影響要因

5・2・1 防食材の塗装時における温・湿度環境 塗装時の3条件（20℃の標準環境・10℃の低温環境・10℃から20℃へ移した直後に塗装する結露環境）で付着性能を評価した結果、付着強さ・カッターナイフはく離・見掛けのはく離強さともに結露環境で塗装した時に、付着性能が小さくなる材料が幾つかみられた。よって、規格試験など試験体作成条件時の塗装環境については、施工実績環境を考慮しつつ、より現実に近い条件で塗膜の付着性能を評価することが必要と考えられる。

5・2・2 塗装面の下地処理条件 プラストケレン・サンダーケレン・ケレンなしの3条件で試験体を作成したが、幾つかの材料でケレンなしは付着性能が最も小さな結果となった。ただし、ケレンなしの場合でも、不陸調整材にポリマーセメントを使用した場合は、樹脂系プライマーに比べて付着が良いことも確認された。実際の防食材の塗装実施にあたっては、各材料の特性に配慮しつつ、適切な下地処理を実施することが必要である。

6 結 言

今回の検討から、現地において実際の塗装作業を行う際には、防食材の能力を十分に発揮させるため、各材料の特性に応じて施工時の禁止条件（下地調整・表面水分・結露環境・湿度等）を明確にしておくことが重要であると言える。また、その一方では、防食材の品質規格を検討する際には、実際の塗装作業の環境・評価条件に応じて、適切な条件・手法で、その評価を行う必要がある。

なお、本検討に関連して次のような事項についても明らかにしていく必要があると考える。

(a) 防食材の屋外暴露と促進試験との相関性

(b) 防食材塗装後に塗膜に生じる内部応力の影響

今後、既設コンクリート構造物の老朽化、塩害・中性化・アルカリ骨材反応による早期劣化等により、塗装系防食材による補修工法への期待が高まることが想定される。その評価において本論文が役立てば幸いである。

最後に本研究の実施にあたり、ご指導、ご助言を頂いた宮川豊章京都大学大学院教授、水口裕之徳島大学教授、並びに御参加御協議戴いた関西ペイント(株)・コニシ(株)・電気化学工業(株)・ショーボンド建設(株)・住友ゴム(株)の関係諸氏に感謝の意をしるす。

参 考 文 献

- 1) 日本道路公団試験研究所試験研究推進委員会材料施工研究会, “試験研究所技術資料第121号「材料施工資料(第1号)コンクリート保護工”, p.78 (1994) (財) 高速道路技術センター。
- 2) 佐々木祐三, 森山 守, 土木学会誌, **80**, No.12, 10 (1995)。
- 3) 増田 隆, 松永嘉久, 渡邊芳春, コンクリート工学, **31**, No.9, 53 (1993)。
- 4) 野田幹夫, 小川 健, 小柳 治, 川村満紀, コンクリート工学, **36**, No.9, 15 (1998)。
- 5) 吉田幸信, 大西邦晃, 樺山好幸, 山田卓司, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム論文報告集第2巻, 361 (2002)。
- 6) 樺山好幸, 内田純二, 舌間貴宏, 吉田 敦, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム論文報告集第2巻, 353 (2002)。