

## 報告 コンクリート表面保護工の長期耐久性に関する実験報告

久保 淳一郎\*1・田中 宏昌\*2・森川 昌司\*3・長谷川 昌明\*4

要旨：コンクリート構造物の中性化や塩害を防止するために、外界からの劣化因子防護を目的とした表面保護工が施工されている。表面保護工の長期耐久性を決定する要因のうち、本報告では、コンクリート表面と表面保護工材料との付着性に着目し、長期的な付着力の確保を目的とした素地調整方法についての比較実験を実施し、付着強度や仕上り状態について検討した。その結果、サンドブラスト工法が最も安定して高い付着力が得られる工法であることを明らかにした。

キーワード：東海道新幹線、表面保護工、付着性、素地調整、サンドブラスト

### 1. はじめに

最近、鉄筋コンクリート構造物の劣化対策について議論がなされ、同時に構造物を長期的に健全に利用する必要性の認識も高まりつつある。東海道新幹線の鉄筋コンクリート構造物については、中性化の進行抑制を目的とした表面保護工による予防保全対策を実施しているところである。ところで、中性化抑制のためには、施工する表面保護工が長期的に機能を発揮しつづけることが重要である。しかしながら、表面保護工の寿命はこれまでには明確にはなっておらず、東海道新幹線で過去に表面保護工を施工した箇所においても、塗装とコンクリート表面との付着不良により再補修をしている事例もあった。このため表面保護工について、付着力の耐久性という重要な要素について検討し、その向上を図った。

### 2. 既設の表面保護工効果の検証

表面保護工の施工を全線の高架橋に実施する場合、対策期間と経費の面から考えても、長期耐久性が予防保全工法選定条件の大きな要素と

なる。過去の研究では、紫外線に対する耐久性や塩分環境下での劣化程度を報告したもの<sup>1)</sup>はあるが、劣化の原因や、期待できる耐用年数に関する研究成果は明確になっていなかった。そのため、表面保護工の劣化の原因と期待できる耐用年数を明らかにするため、過去に東海道新幹線で施工された箇所について、劣化程度の調査と劣化の原因分析を実施した。

#### 2. 1 調査概要

1973年から1986年の間に表面保護工を施工した6橋りょうについて、表面の外観と中性化深さの調査を実施した。これらの6橋りょうは、住宅地あるいは田畑の近傍に位置し、塩害等の厳しい条件にさらされることのない良好な環境条件の箇所に位置している。外観の調査は目視によって行い、中性化深さは15cm×15cmのはつりの後、フェノールフタレイン1%溶液を噴霧し、赤色になった深さを測定することによって実施した。

6橋りょうの表面保護工の施工時期、表面の外観および中性化深さの結果を表-1に示す。現在の全線での中性化深さ平均が16mmである

\*1 東海旅客鉄道株式会社 新幹線鉄道事業本部施設部工事課 工修（正会員）

\*2 東海旅客鉄道株式会社 代表取締役副社長

\*3 東海旅客鉄道株式会社 東京新幹線構造物検査センター助役 工修（正会員）

\*4 東海旅客鉄道株式会社 東京保線所 工修

ことを考慮すると、比較的塗膜の状態が良好な A 橋りょうと B 橋りょうにおいては中性化深さの進行が抑えられ、表面保護工の効果が現れているといえる。しかし、表面保護工に亀裂あるいは膨れ、剥がれの生じた状態である C,D,E,F 橋りょうの劣化部については、表面保護工の効果が減少していることが明確である。これにより、表面保護工による中性化抑制を期待するためには、保護工の表面外観状態が健全である場合にのみ、その効果が発揮されることが判明した。特に、塗膜の膨れ、浮き並びにはがれ等、塗料とコンクリート表面との付着が十分でない場合は効果が見られないことが判明した。

表－1 調査結果一覧表

橋りょう	保護工の施工時期	表面の外観	中性化深さ(mm)
A	1973	等間隔の細かい亀裂はあるものの接着は良好	4.5
B	1978	目立つ変状はなく全体的に良好	3.5
C	1986	塗膜中央に接着不良による亀裂、浮き有り	11.0 (劣化部)
D	1966	部分的に接着不良による膨れ、浮き、はがれ有り	9.0 (劣化部)
E	1968	部分的に接着不良による膨れ、はがれ有り	9.5 (劣化部)
F	1975	部分的に接着不良による膨れ、はがれ有り	11.0 (劣化部)

### 3. 素地調整工法の選定

#### 3.1 目的

現地調査の結果から、表面保護工の長期耐久性に関する要因の一つとして、塗料とコンクリート表面との付着が長期的耐久性において重要であることが判明した。一般に付着力を向上させる方法として、コンクリート表面の不純物の除去（以下、「素地調整工」と称する）によってコンクリート表面と表面保護工との付着力を増大させることが可能であることが知られている。しかしながら、これまで鉄道事業者は、実際に施工するうえで、素地調整工に関する示方を具体的かつ詳細には定めていなかった。特に、現場施工管理者にとって、素地調整後に表面状態

がコンクリート塗装に適しているかどうかの判定を行える基準が必要であった。また、最近では、素地調整工の周辺騒音環境等への影響などについても考慮する必要があった。

そこで本報告では、これらの問題点を解決するための研究の成果として、最適な素地調整工法について検討した内容を報告する。なお、先述の 6 橋りょうの素地調整工にはディスクサンダーあるいはワイヤーブラシが使用されていた。

#### 3.2 実験内容

コンクリートと表面保護工との付着強さはコンクリート面の凹凸、汚れ、レイタンスなどの脆弱部、水分や保護工の種類により異なることが想定される。これらの要因と付着強さの関係は定量化されていない。そこで種々の要因のうち、施工方法の違いに伴うコンクリート面の凹凸程度がコンクリート表面と表面保護工との間の付着強さに及ぼす影響を把握する実験を実施した。

「施工方法の違い」を、素地調整に使用する施工機械とその施工時間によってパラメータ化して実験を行った。素地調整を実施するコンクリートとして、JIS A 5334「鉄筋コンクリート U 形ふた」に規程するコンクリート 2 次製品の U 字溝のふた（400×600×60 mm）を購入して使用した。

本実験で使用した素地調整用の施工機械の種類と施工時間は表－2 に示すとおりである。

表－2 施工機械及び施工時間

No.	施工機械	施工時間
1	無処理	-
2	無処理（炭付）	-
3	集塵式サンドブラスト	推奨時間
4	〃	推奨時間の 1/2
5	集塵式ディスクサンダー	推奨時間
6	〃	推奨時間の 1/2
7	〃（使い古した刃）	推奨時間
8	〃（削り粉あり）	推奨時間
9	集塵式ダイヤモンドディスクサンダー	推奨時間
10	〃	推奨時間の 1/2
11	電動回転式ワイヤーブラシ	推奨時間
12	〃	推奨時間の 1/2

ここで取り上げた施工機械は汎用性の施工機械から抽出したものである。また施工時間の「推奨時間」とは、入念に施工することを想定して、はじめにコンクリート表面にスプレーペンキを塗り、これを全て除去する時間として設定したものであり、「推奨時間の1/2」とは実施工において荒削りが許容されるかどうか、その可能性を確認する目的で設定したものである。

また、No.2 供試体の「炭付」とは実際のコンクリート表面に埃・粉塵等が付着している状態を、木炭を擦りつけることによって再現しており、No.8 供試体の「削り粉あり」とは、一旦素地調整を行ったコンクリート表面に粉塵等が再付着することを想定している。その他の供試体は全てフロアによって削り粉を入念に吹き飛ばした。なお、施工機械の仕様、性能を表-3に示す。

表-3 施工機械の仕様・性能

機械名	仕様・能力
集塵式サンドブラスト	厚地鉄工(株)製バキュームブラスト・コンポE ・標準吐出圧力：4.5kg/cm <sup>2</sup> ・投射材：アルミナ#20
集塵式ディスクサンダー	電動クリーンドレッサー PD-100(100V),11000RPM ・砥石状刃#16 ・ダイヤモンドディスク
電動回転式ワイヤーブラシ	電動クリーンドレッサー PD-100(100V),12000RPM ・カップ型ワイヤーブラシ

使用した表面保護工材料は有機系の材料で、その仕様に示されているコンクリート面との付着強さの強弱により二種類を選定した。表-4にその仕様を示す。

表-4 表面保護工材料の仕様

種類	中塗りの材質	標準塗布量 (g/m <sup>2</sup> )
A	エポキシ	350
B	アクリルゴム	2000

先述の施工機械4種類を含む表-2に示す12通りの試験パターンに対し、表面保護工材料2種類を施工し合計24の試験体を作成した。試験体の作成に際しては、実際のスラブへの表面保護工の施工状態を想定して、上向き施工で表面保護工材料の塗布を行った。なお、表面保護工材料塗布に先立ちコンクリート表面水分量を測定し、塗装条件の確認を行った。塗装終了後、7日間温度30℃、湿度60%の養生室にて養生を行った。

表面保護工の引張試験(付着強さ)はJIS K 5400「塗料一般試験方法」の「8.7 付着強さ」に準拠して実施した。試験機は建研式の引張試験機を使用した。付着試験は各ケースとも8測点ずつ行い、それらの平均値をもって付着強さとした。破断面の状況については図-1に示すような記号でその界面の位置を示すものとした。

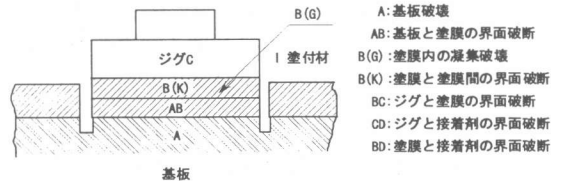


図-1 破断面の記号

次に、素地調査終了後の表面の凹凸度を調査するため、素地調整工を終了したコンクリート表面の凹凸度を CCD レーザー距離計及び感圧紙により測定した。測定方法の仕様を表-5に示す。

表-5 測定方法の仕様

方法	仕様
CCD レーザー 距離計	ニッケン社製 表面形状測定装置 ・レーザーセンサの精度：10 μm ・測定範囲：500 mm×450 mm
感圧紙	富士フィルム社製 プレスケール ・超低圧用 (0.5~2.5Mpa) ・ツーシートタイプ

レーザー距離計により測定を行う測定点につ

いては、素地調整を行ったコンクリート表面に10 mmピッチの6 cm×24 cmの格子を作成し、その各格子点(全175測点)を測定点とした。素地調整を行っていない面の高さを基準として各測定点との段差をレーザー距離計によって測定し、切削深さとした。さらにその平均値と標準偏差を求めた。

また、レーザー距離計との比較のために、機器を用いずに簡易な計測を行う方法の導入の可能性を検討するために、感圧紙による凹凸度の測定を実施した。測定方法は、素地調整工を終えたU形ふたを載荷装置の上に置き、さらに素地調整を終了した面に感圧紙を置き、上から載荷装置により載荷した(載荷板直径240 mm, 載荷荷重60kN, 載荷応力1.33Mpa)。載荷後の感圧紙の着色状況を写真撮影した。

### 3.3 各種素地調整工の比較施工結果

各実験No.に対する表面状態の違いを表-6に示す。参考にサンドブラストとディスクサンダーを使用した場合の施工の様子、仕上りの様子をそれぞれNo.3, No.5の試験体を例示として図-2, 図-3に示す。また、引張試験による付着強度試験結果を図-4に、破断位置割合を図-5に示す。付着力の大きい順に並べると、サンドブラスト、ダイヤモンドディスクサンダー、電動式回転ブラシ、ディスクサンダーの順であったが、全ての施工において一定以上の付着力が得られる結果となった。

付着力の大きい施工方法は、施工後の表面状態のばらつきも小さく、破壊形態も基盤破壊(A)が多い結果となっている。付着力が小さくなるにつれて、表面状態のばらつきが大きくなり破壊形態も塗膜とコンクリートとの界面で破壊する形態(AB面)が多くなっている。これは、施工のムラによるコンクリートの不均一性による影響と考えられる。また、材料種類Bの付着強さが小さいのは、破壊形態のほとんどがB(K):塗膜と塗膜間の界面破壊になっており、表面保護工材料の性質に起因する問題と考えられる。

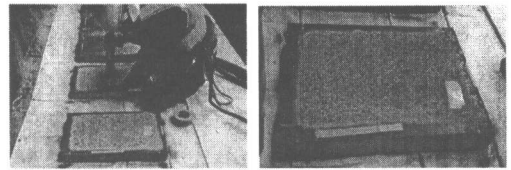


図-2 サンドブラストによる施工 (No. 3)



図-3 ディスクサンダーによる施工 (No. 5)

表-6 施工機械別表面調査

実験No	表面状態
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表面にペースト分(脆弱部)が存在する。</li> <li>・製造時の気泡が多く見られる。</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表面に薄く炭の粉が付着している。</li> <li>・表面の凹凸は製造時と変化がない。</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表面のペースト分(脆弱部)が完全に除去されている。</li> <li>・施工ムラがなく均一に施工されていた。</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表面のペースト分(脆弱部)が完全に除去されている。</li> <li>・施工ムラがなく均一に施工されていた。</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>・切削深さは深くなく、凹凸も大きくないが、ペースト分は除去されていた。</li> <li>・施工ムラがあり、表面の切削深さに違いがあった。</li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験No.5よりも施工ムラが大きかった。</li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>・切削深さは深くなく、凹凸も大きくないが、ペースト分は除去されていた。</li> <li>・施工ムラがあり、表面の切削深さに違いがあった。</li> </ul>
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表面に切粉が付着していた</li> </ul>
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ペースト分は除去されていた。</li> <li>・施工ムラが大きく、表面の切削深さに違いがあった。</li> </ul>
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験No.9よりも施工ムラが大きく、ペースト分も除去できていなかった。</li> </ul>
11	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ペースト分は除去されていた。</li> <li>・赤のスプレーペンキが除去できなかった。</li> <li>・施工時ワイヤーブラシが飛散した。</li> </ul>
12	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験No.11と同程度であった。</li> </ul>

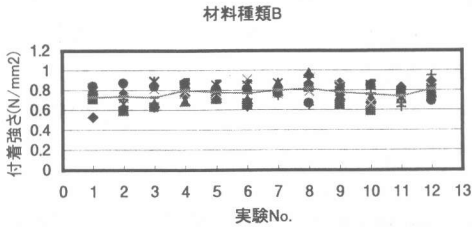
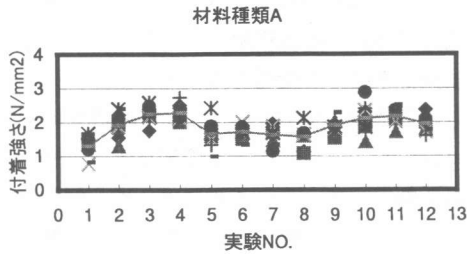


図-4 付着強さ

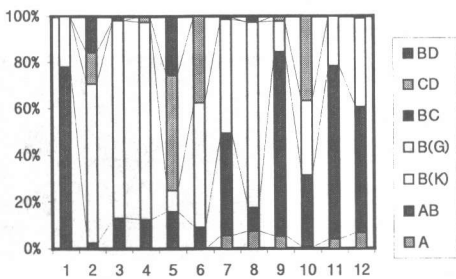
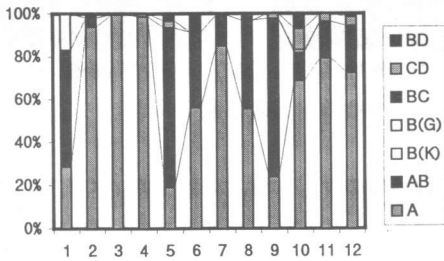


図-5 破壊形態割合

### 3. 4 表面仕上げ程度の相違・確認方法

表面仕上げ程度と付着強さについて述べる。レーザ-距離計による表面仕上げ程度(凹凸度)の測定結果の平均値と標準偏差を図-6に示す。平均切削深さは、サンドブラスト、ダイヤモンドディスクサンダーが大きく、次にディスクサンダーで電動式回転ワイヤーブラシ、無処理は

同程度であることが分かる。切削深さの標準偏差は凹凸度を表す指標と考えられ、サンドブラストが大きく、電動回転式ワイヤーブラシが小さくなっている。図-4、図-6との比較により、付着力の強さは表面仕上げ凹凸度のみ支配されるのではなく、表面の脆弱部がどの程度除去できているかが、大きな影響があることが明らかになった。このため、人的能力の差の影響の少ないサンドブラスト工法が有効であることが示された。

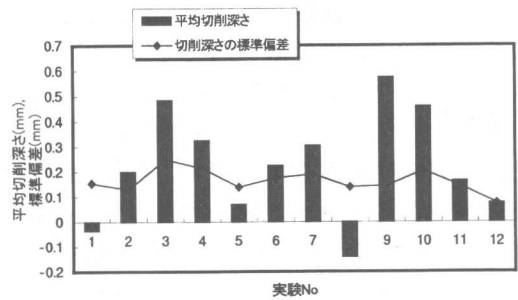


図-6 レーザ-距離計による凹凸度

なお、簡易法として今回比較のために実施した感圧紙の測定では表面仕上げ程度等の実態把握は確認できなかった。今回の測定では、供試体として使用したU字溝のふたの表面にたわみがあり、一様には平らでなかったため測定が均一に出来なかったためと考えられる。このため、実構造物に対する素地調整の仕上がりの確認に適用するためには、さらなる改良が必要になると思われる。結果として、施工による差異が生じにくく、仕上がり確認を実施する必要のないサンドブラスト工法が極めて有効という結論を得た。

### 4. まとめ

本報告では、表面保護工の付着耐久性を向上させるための検討を実施した。結果をまとめると、いずれの施工機械を用いた場合にも素地調整の仕上がり状態が良好であれば付着力は十分に得られることが判明した。また、付着力に大

きな影響を持つ要因は表面の凹凸度だけではなく、表面の脆弱部の除去状態等の仕上がり状態であり、素地調整の施工の良否が付着力に大きな影響を及ぼすことが判明した。このため、人的技能の影響が少なく施工の均一性及び凹凸度の大きく確保されるサンドブラスト工法が有効であることが確認できた。

東海道新幹線では、工事記録によれば、これまで素地調整工法としては、ディスクサンダー、ワイヤーブラシによる程度であった。表面保護工は安価な補修工法として、広く採用されている。一方で、その効果について疑問的な報告もある。効果がない場合は、必ずしも変状の進行程度が原因ではなく、また、表面保護工の材料品質が原因でもないことが本報告では示唆された。素地調整工の施工精度により、表面保護工の効果が高くなることは明らかである。しかも、東海道新幹線のように、中性化があまり進んでいないコンクリート構造物に対して、早期に予防保全という目的で表面保護工を実施することは大いに意義深いと考えている。そのためにも、サンドブラストによる素地調整はライフサイクルコスト面でも推奨される工法と思われる。この点については、施工箇所の長期的な追跡・検証調査を継続して実施したい。

なお、サンドブラスト工法では吸塵式仕様のものを使用することによって粉塵を回収できるため、周辺の粉塵環境に対しても配慮した工法であるといえる。また、アルミナの使用並びに吸塵式仕様の導入により経済性も大幅に改善された。

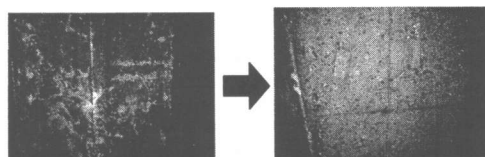
しかし、作業に伴う施工環境には今後共十分配慮が必要である。場所によっては、シートによりシールド施工も必要である。施工機械の改良は今後の課題としたい。

## 5. 対策の現状と今後の展望

東海道新幹線の鉄筋コンクリート構造物の中性化対策として、平成11年7月に「東海道新幹線鉄筋コンクリート構造物維持管理標準<sup>2)</sup>」

を制定し、本報告の内容に基づいて、表面保護工を施工する際に集塵式サンドブラストによる素地調整工を初めて全面導入している。

さらに同標準の制定に際し、「東海道新幹線鉄筋コンクリート構造物施工管理技士（二級）」の資格を制定している。これによって、同資格を有する技術者を現場に常駐させ、素地調整工を実施する際に、同技士の責任のもとに、コンクリート表面のレイタンス、塵埃、油脂類などの塗装の支障となるものが完全に除去され、コンクリートの新鮮な面が露出しているかの確認を義務付けている。



図一七 素地調整前（左）と素地調整後（右）の縦梁下面の表面

今後の展望としては、素地調整工を実施する際に、足場と作業員を必要としない素地調整工の自動ロボット化が挙げられる。東海道新幹線のラーメン高架橋は標準設計がなされているため、汎用性は高く、大幅な施工性の向上とコストダウンが見込まれる可能性があり、今後検討を行っていく予定である。



図一八 素地調整工の様子

## 参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の補修工法研究委員会案報告書Ⅲ，pp. 1-153，1996. 10
- 2) 東海旅客鉄道株式会社施設部：東海道新幹線鉄筋コンクリート構造物維持管理標準，日本鉄道施設協会，pp. 59-61，1999. 7.