

保全における床版防水の課題と措置

Issues and Countermeasures for Deck Slab Waterproofing in Maintenance

宮永憲一*, 松井隆行**, 後藤昭彦*, 青木圭一*

Kenichi Miyanaga, Takayuki Matsui, Akihiko Goto, Keiichi Aoki

*株式会社高速道路総合技術研究所, 道路研究部, 橋梁研究室 (〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1)

** 西日本高速道路株式会社, 技術部, 技術課 (〒530-0003 大阪府大阪市北区堂島 1-6-20 堂島アバンザ)

NEXCO has established new standards for waterproofing deck slabs in April 2010 for the purpose of surely improving the durability of concrete slabs. The new standards were compiled taking into consideration the effects during construction and after the start of service. The new standards are employed in most of the bridges now constructed or when repaired for maintenance, but various issues have been identified in the actual application. In our thesis we will clarify the issues concerning materials and waterproofing works for maintenance and describe NEXCO's ideas on solving the problems using the knowledge gained through element tests and trial constructions.

Key Words: Concrete deck slab, slab waterproofing, maintenance

キーワード: コンクリート床版, 床版防水, 維持管理

1. はじめに

道路橋のコンクリート床版は, 交通荷重による疲労や凍結防止剤による塩害により変状し, 耐荷性能, 耐久性が低下するとともに, コンクリート床版上面の変状によって路面にポットホールが発生し, 走行性能が低下する場合もある。

これらのコンクリート床版の変状は, 雨水や凍結防止剤の影響により著しく促進させることもあり, 床版の耐久性を向上させるためには, 適切な床版防水を施工することが重要となる。

NEXCO では, 平成 22 年 4 月にコンクリート床版のより確実な耐久性の向上を目的に, 供用期間中の影響などを考慮した高性能な床版防水の基準を制定し, 現在では, 全ての新設橋梁において施工されている。

また, 維持管理を行う既設橋梁においても, 逐次, 新基準に適合する高性能な床版防水を施工してきているが, 現場において様々な課題が明らかになってきている。その課題の 1 つとしては, 既設コンクリート床版面を舗装切削作業時に損傷させてしまうことであり, マイクロクラックの発生による床版防水層の付着性の低下, 床版厚さの減少による疲労耐久性の低下, 床版の不陸による防水性能の低下 (凸部の膜厚不足等) などが懸念される。

また, コンクリート床版面にタックコートが残存する場合, 床版防水層の付着性が低下することが懸念される。

本文は, 維持管理が必要な保全における床版防水の舗装切削作業に関する課題とその対応について, 試験をもとに検討した結果を述べるものである。

2. 床版防水基準の変遷

我が国の道路橋における床版防水の技術基準と変遷について述べる。

国内においては, 昭和 47 年度に鋼道路橋示方書¹⁾に鉄筋コンクリート床版への水の浸透を防止する目的として防水層を設置する考えが示された。そして, 昭和 62 年 12 月に「道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工資料 (日本道路協会)」²⁾が発刊され, 床版防水が国内で認知されるようになり, 本格的にコンクリート床版に適用されることとなった。

平成 14 年度改訂の道路橋示方書³⁾では, アスファルト舗装を施工するコンクリート床版には, 雨水等の床版内部への浸透を防ぐため, 防水層等の設置が原則とされた。これを受けて, 床版防水に関して「道路橋示方書」の規定を補完する技術資料として, 平成 19 年 3 月に「道路橋床版防水便覧」(以下, 「床版防水便覧」という)が発刊

されている⁴⁾。

NEXCOでは、日本道路公団（以下、「JH」という）時代より床版防水工の規準を制定しており、平成6年度に、JH試験研究所において、「床版防水設計・施工基準(案)」を作成し、鋼橋RC床版への適用を開始した。その後、平成10年度に、高速道路橋の鋼橋RC床版に適用するため、JH「設計要領第二集」、「構造物施工管理要領」、「JHS試験法」⁵⁾が定められ、平成21年度末まで適用されてきた。

平成21年度末までの規準による床版防水工は、防水材料を貼り付けるシート系防水と、加熱または熔融した液状材料を塗布する塗膜系防水が一般的であった。平成10年度のJH規準と同規格で施工された約15年経過後の実橋床版防水工を対象に床版コンクリート内の塩分浸透量について追跡調査を実施した結果、室内試験で品質規準を満足した材料でも、塗膜系防水工（ゴム溶剤型）では床版防水工未施工の場合と同程度の床版コンクリートの塩分量（Cl⁻）浸透が確認された。また、シート系防水工（流し貼り型、加熱溶着型）では、ある程度遮塩効果が認められたが、初期含有量に比べ塩分量の増加が確認された⁶⁾。

これらを受けて、平成22年4月にNEXCO「設計要領第二集」、「構造物施工管理要領」、「NEXCO試験法」⁷⁾において、新しい高性能な床版防水工の基準が定められ、実施工において適用されている。

3. 保全の現場における床版防水の施工の流れ

高速道路の既設コンクリート床版における床版防水の施工は一般的に下記の流れで実施される。

3.1 交通の規制

高速道路上で床版防水を施工する場合には、一般の交通を規制し作業スペースを確保する必要がある。交通規制には、日々解放規制、昼夜間連続規制、通行止め規制などの種類があり、交通量などの路線特性などを考慮し規制の種類や規制時間帯が決定される。規制時間帯については、交通規制の実施による渋滞発生を避けるため、重交通路線では、夜間に交通規制を行うことが多く、外気温の低下や施工騒音などによって作業工程や防水材料の選択に影響を与える場合がある。

3.2 舗装の切削・除去

交通規制後、直ちに既設舗装の切削、除去作業が行われる。切削に際しては一般的に大型切削機が用いられ、15 mm間隔で配置された鋼製ビットを回転させ切削していく。切削作業については、コンクリート床版面を損傷させないよう慎重に行うこととなる。また、コンクリート表面に残存するアスファルト塊については、小型バックホウや人力ブレーカーなどにより丁寧に除去することが一般的である（写真-1）。舗装の除去後は大型スィーパー



写真-1 バックホウによる
舗装除去作業

一車などにより、切削粉じんなどを清掃・除去する。

3.3 床版防水層の施工

既設舗装の切削・除去・清掃が完了した後に、床版防水層を施工する。高性能な床版防水については、一般的に下地床版面の処理、樹脂系プライマーの塗布、防水層の施工、舗装接着層の施工（防水材料の種類に応じて必要）という施工の流れとなる。

3.4 舗装の施工

高速道路の保全の現場においては、防水層の施工完了後は速やかに舗設作業が行われ、一般的に基層に碎石マスタック舗装が4 cm程度、表層に高機能舗装4 cmが舗設される。基層の舗設作業は床版防水層の直上に舗設され、一般的には合材温度 160℃程度で敷き均し、転圧作業を行う。

3.5 交通の解放

舗設が完了すると、舗装が解放可能な温度まで低下するのを待って、交通規制を解除することとなる。維持管理における床版防水の工事では、これら一連の作業を与えられた作業時間内に行うこととなる。

4. 舗装切削作業時における課題

4.1 舗装切削作業の影響

舗装切削作業は、既設コンクリート床版面を損傷させないよう慎重に施工することとしているが、既設床版の仕上がり面の形状によっては、不慮の事象としてコンクリート床版面を部分的に削ってしまうこともある。このような切削作業の影響によってコンクリート床版面に凹凸損傷が発生することもある（写真-2）。

凹凸損傷は切削ビットの形状より幅 15mm で高さ約 5mm 程度の形状を成している。凹凸形状の表面は、大型切削機の衝撃によりコンクリート床版の表面に微細なひび割れが生じ、表面強度の低下が危惧され、防水層とコンクリート床版面の付着性能に影響を与える可能性がある。

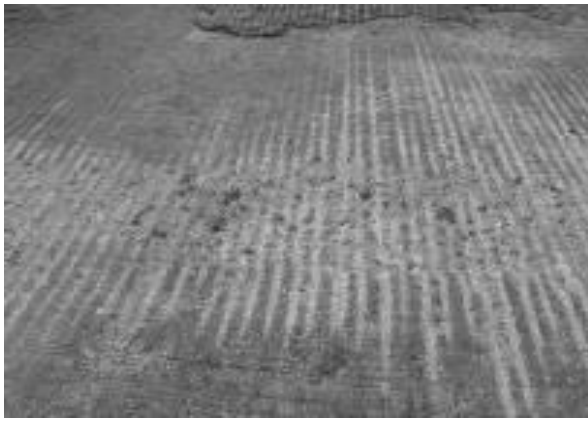


写真-2 床版切削による凹凸損傷



写真-3 残存するタックコートの状況

る。また、凹凸面を処理せずに防水層を施工すると塗膜系防水では凸部の膜厚が確保されにくい場合や、シート系防水では施工中にエアを介在し易くなり、膨れ損傷の原因となる場合もある。

4.2 既設床版面の変状

防水層を設置する既設コンクリート床版面は、既設舗装を丁寧に除去しても様々な変状などが内在している。それら変状の中でも、舗装除去後のタックコート（写真-3）は、床版面を被膜した状態で残存することが多く、樹脂プライマー等の含浸を阻害し、防水層の付着性能に影響を与えることとなる。また、樹脂プライマーの種類によっては、既存タックコートをカットバックさせ、樹脂プライマーの性状が変質し、付着性能などが低下することが考えられる。

その他に、コンクリート床版表面の穴・くぼみ、建設当時の床版コンクリート打設時に用いられたと思われる段取鉄筋の露出や、供用期間中に生じた床版面のひび割れや劣化コンクリートのはく離・砂利化なども内在し、これらの変状は床版防水層の品質性能（防水性、付着性、耐久性など）に影響を与えることから、樹脂モルタルや樹脂プライマーなどにより補修を行うなど、適切な措置が必要となる（写真-4、5）。

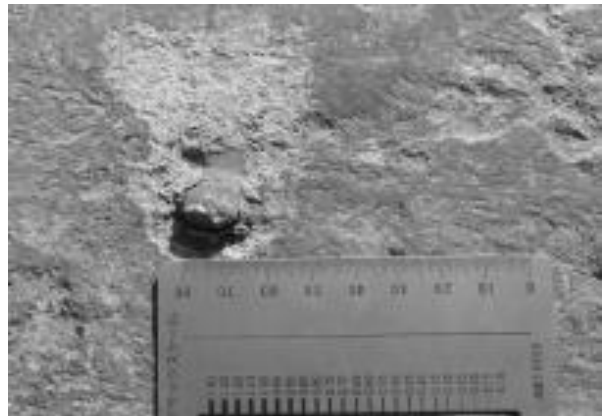


写真-4 段取鉄筋の露出



写真-5 床版面のひび割れの状況

5. 試験概要と試験結果

保全の床版防水の施工時における課題解決に向けて、模擬床版を用いた試験施工や要素試験（室内試験）を行い下記の事項について検証した。

5.1 既存タックコートが付着性能へ与える影響

要素試験として、タックコートを残存させた供試体（残存率0%、15%、30%、50%、70%）を作製し、既存タックコートが防水層に与える影響を引張接着試験にて検証した。供試体の寸法は300mm×300mm×60mmとし、引張接着試験はタックコートの残存率と試験温度（5℃、23℃、50℃）を変化させ実施した（写真-6）。高温側の試験温度（50℃）は、舗装下の防水層の温度を測

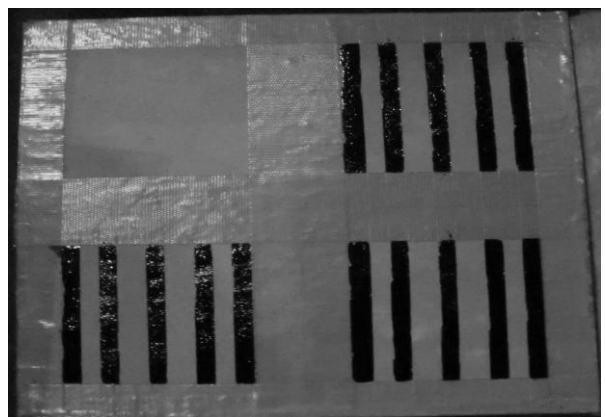


写真-6 残存タックコートの影響供試体（残存率50%）

定した既往の研究⁹⁾より、夏季の舗装表面温度が60℃を超える場合でも、防水層近傍の最大温度が50℃に達しなかったことから、高温側の試験温度を50℃に設定することとした。

試験結果を図-1に示す。床版面に残存した既存タックコートは床版防水層の付着性能を低下させ、特に高温時(50℃)においては熱可塑性の瀝青材料であるタックコートの強度が低下し、防水層の付着性能が著しく低下することが確認された。また、試験過程において、樹脂プライマーの種類によっては、タックコートが溶解してプライマー性状が変性する材料も存在することが判明し、それらの材料については耐久性の低下も危惧された。

これらのことから、床版面に付着した既存タックコートは適切に除去する必要があると考えられた。

5.2 スチールショットブラストが表面性状に与える影響
(1) 既存タックコートの除去

既存タックコートの除去方法について検討するため、スチールショットブラスト(以下、「SS」という。)がコンクリート表面の性状に与える影響について検証した。

試験は、図-2に示す既存タックコートを再現した模擬的なコンクリート床版で実施した。

SSの照射密度については、表-1に示すとおり、30 kg/m²~150 kg/m²の範囲とし、照射回数はそれぞれ1回~2回とした。各条件において既存タックコートの除去状況を確認したところ、照射密度30 kg/m²では、照射回数にかかわらず残存するタックコートが全面に確認された(写真-7)。照射密度50 kg/m²で照射回数1回の条件では、既存タックコートは概ね除去することが可能で、部分的(一部)に残存タックコートが確認された程度であった。

(2) コンクリートの圧縮強度と表面粗さ
コンクリートの圧縮強度の違いがコンクリートの表面粗さ(凹凸形状)に及ぼす影響について明らかにするため、設計基準強度を変化させた供試体(寸法300mm×300mm×60mm, σ_{ck} =9.6, 14.6, 24, 40 N/mm²)を製作し、SS照射密度を30 kg/m²~150 kg/m²の範囲で照射して表面粗さについて検証した。CTメーターによる表面粗さの基準値については、防水材料の標準的な使用量をある程度満足することができるとともに、バックホウなどにより丁寧に舗装を除去した場合に確保できる表面粗さ1mm程度を基準の目安とした。

SSの照射密度とコンクリートの圧縮強度の関係は、図-3に示すように圧縮強度が低いほどコンクリート表面の粗さ(凹凸形状)は大きくなり、SSの照射密度を上昇させるとコンクリート表面の粗さは大きくなる傾向であった。また、床版コンクリートの設計基準強度が24N/mm²程度の場合、SSの照射密度は100kg/m²以下であれば、CTメーターによる表面粗さは1.0mmを下回った。

(3) SS処理による切削機の凹凸形状の改善
SS処理による大型切削機の凹凸形状の改善効果につ

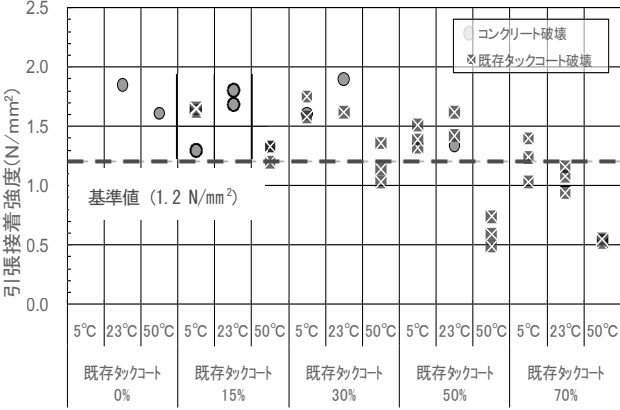


図-1 既存タックコートの影響

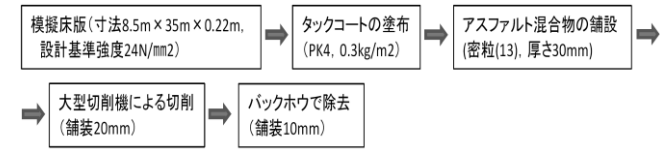


図-2 模擬床版の製作(既存タックコートの除去)

表-1 スチールショットの照射密度と
残存タックコートの有無

	表面処理条件					
	SS30*1	SS30*2	SS50*1	SS50*2	SS100*1	SS150*1
照射密度(kg/m ²)	30	30	50	50	100	150
照射回数	1	2	1	2	1	1
残存タックコートの有無	有	有	無(一部有り)	無	無	無



写真-7 残存タックコートの除去状況
(SS照射密度30kg/m², 照射回数1回)

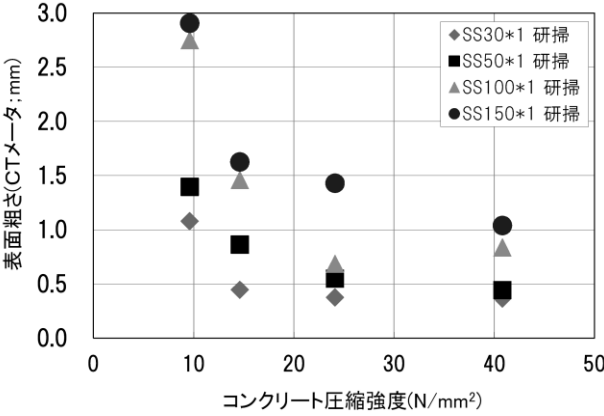


図-3 表面粗さと圧縮強度の関係

いて検証するため、模擬的なコンクリート床版（寸法 8.5m×35m×0.22m）を用いて、CT メーターと型取りゲージにより表面粗さを計測した。CT メーターと型取りゲージの測定方法の概要を表-2 に示す。

大型切削機とバックホウによる表面粗さを CT メーターにて計測した結果を図-4 に示す。大型切削機で切削した床版面における SS 処理前の表面粗さは 1.7 mm であり、バックホウで丁寧に舗装除去した場合の 0.6 mm と比較し約 3 倍の表面粗さとなった。また、SS 処理の照射密度を上昇させると表面粗さが大きくなる傾向が見られ、凹凸の平均値を計測する CT メーターのデータからは凹凸形状の改善効果を確認することができなかった。

一方、図-5 に示す大型切削機で切削した床版面の型取りゲージによる最大凹凸の計測結果では、SS 処理前と処理後（SS30 kg/m²～SS50 kg/m²）とでは約 4 割程度の改善効果が見られた。

型取りゲージと CT メーターによる表面粗さは、既往の研究⁸⁾より概ね 1:3 の相関が見られることが報告されている。よって、SS 処理による照射密度が 30 kg/m²～50 kg/m²程度であれば、ある程度の切削凹凸の改善が図れる可能性があると考えられた（写真-8）。

これら（1）～（3）に加え、施工性および経済性を考慮すると、SS による既設床版の表面処理については、照射密度 50kg/m²で照射し、既存タックコートが残存した場合には部分的に 2 回研掃することとした。

5.3 切削凹凸が付着性能に与える影響

大型切削機の切削ビットの衝撃により、床版コンクリート面には微細なひび割れ（マイクロクラック）が発生し、コンクリートの引張接着強度を低下させることが考えられた。よって、模擬的なコンクリート床版（寸法 8.5m×35m×0.22m）にて大型切削機による切削を行って、マイクロクラックの発生状況を観察するとともに、引張接着試験により付着性能への影響を検証した。

大型切削機によるマイクロクラックの発生状況は、切削後に採取したコンクリートコアに蛍光エポキシ樹脂を真空含浸させ目視観察する方法により検証した。目視観察の結果、大型切削機で切削した面には一様に数ミリの脆弱層が存在し、部分的に骨材の裏面までひび割れが発生していることを確認した（写真-9）。

大型切削機による切削後に SS 処理（50 kg/m²）を行なった場合のマイクロクラックの発生状況を写真-10 に示す。骨材の裏面のひび割れの除去はできないが、切削面表面の脆弱層についてはある程度除去できると考えられた。

引張接着試験は、樹脂プライマーの影響を評価するために、切削面に樹脂プライマーを塗布した床版面と、塗布していない床版面で実施した。また、表面の処理程度を検証するため、SS の照射密度を 30 kg/m²～150 kg/m²の範囲で変化させて実施した。

表-2 表面粗さ測定方法の概要

測定方法	評価方法
CTメーターによる表面粗さ測定	レーザを用いて、円周の線的な平均粗さを求める。
型取りゲージによる凹凸の最大値測定	針により凹凸の最大値を求める。

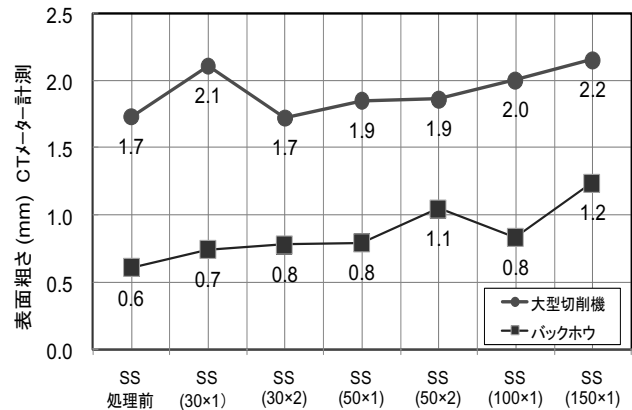


図-4 表面粗さ（CTメータ）とスチールショット

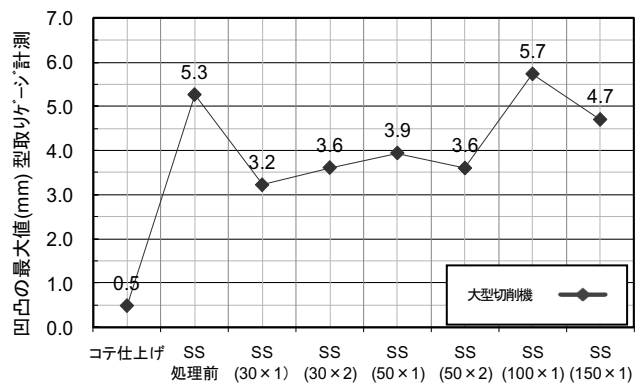


図-5 表面粗さ（型取りゲージ）とスチールショット

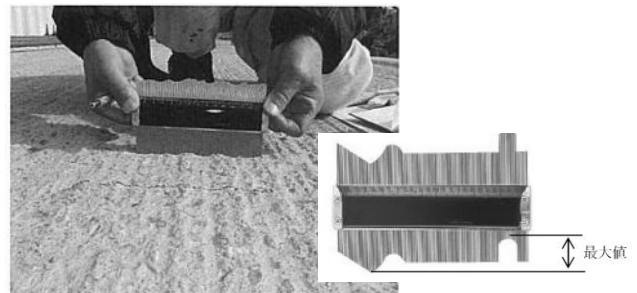


写真-8 型取りゲージによる測定

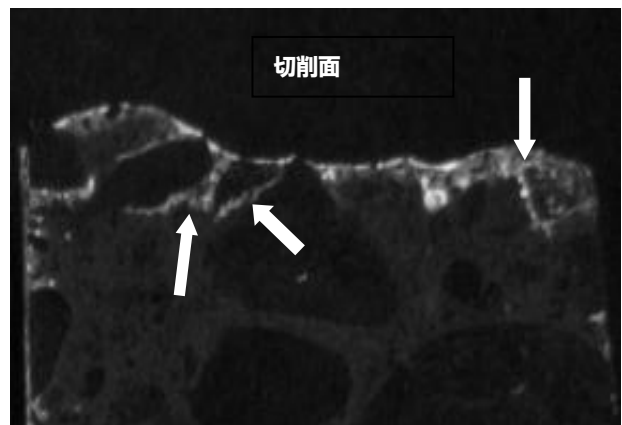


写真-9 マイクロクラック発生状況（大型切削機）

図-6に示すように大型切削機の切削面（SS 処理なし）では、プライマー無しの状態で引張接着強度は 0.86N/mm^2 であり、基準値（ 1.2N/mm^2 ）を大きく下回る結果となった。また、切削面をSSによる研掃処理を行うことで、付着性能は改善され、照射密度を上げるほど付着性能は上昇する傾向にあった。ただし、SSの照射密度が高くなる場合は、前述した表面粗さが大きくなることが懸念された。

また、切削面（図-6）およびバックホウ除去面（図-7）ともに、樹脂プライマーの塗布により付着性能が大きく向上することが確認された。これは、樹脂プライマーがマイクロクラック等に含まれ付着性能を向上させたと考えられた。よって、大型切削機により損傷した部分があったとしても高性能床版防水に用いる樹脂プライマーを塗布することで所定の付着性能を確保することが可能であると考えられた。

6. おわりに

今回の模擬床版における試験施工および要素試験の結果等を踏まえ、NEXCOでは、既設橋梁のコンクリート床版における下地処理については、下記に留意することとした⁹⁾。

- ①既設舗装の切削は、既設床版を損傷させないようにバックホウ等で丁寧に除去する。
- ②既存タックコートは床版防水の付着性能を著しく低下させることからスチールショットブラスト等にて適切に除去する。
- ③スチールショットブラストは、既存タックコートの除去状況、表面粗さ、施工性（時間）および経済性等を考慮して、照射密度 50 kg/m^2 で1回研掃を標準とする。1回研掃で残存タックコートが見られた場合は、部分的に2回研掃を行う。
- ④誤って床版面を切削した場合などは、樹脂モルタルなどにより凹凸形状を適切に補修して、残存する小さな凹凸部分については防水材料により不陸成形を行い対応する。

昨今、橋梁の長寿命化が求められており、高耐久な材料が日々開発されているが、その性能を十分発揮させるためには適切な施工技術や品質管理が必須である。今後も、効率的で効果的な施工技術や品質管理手法などについて検証していきたい。

参考文献

- 1) 鋼道路橋示方書・同解説 I 共通編 S48.2, 日本道路協会
- 2) 道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工資料 S62.12, 日本道路協会
- 3) 道路橋示方書・同解説 I 共通編 H14.3, 日本道路協会
- 4) 道路橋床版防水便覧 H19.3, 日本道路協会

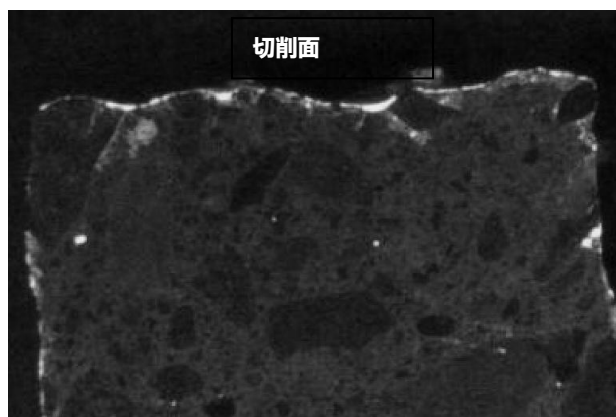


写真-10 マイクロクラック発生状況
(大型切削機+SS 照射密度 50 kg/m^2 (照射回数 1 回))

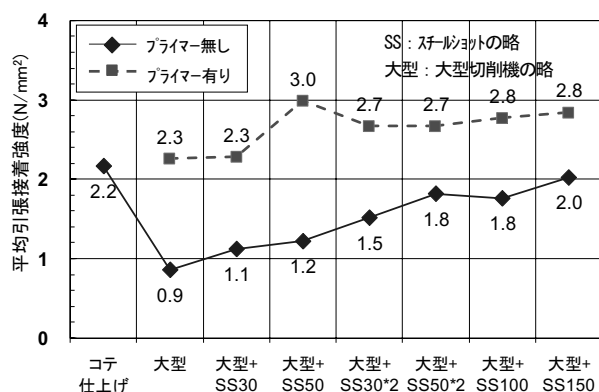


図6 付着性能へ与える影響 (切削面)

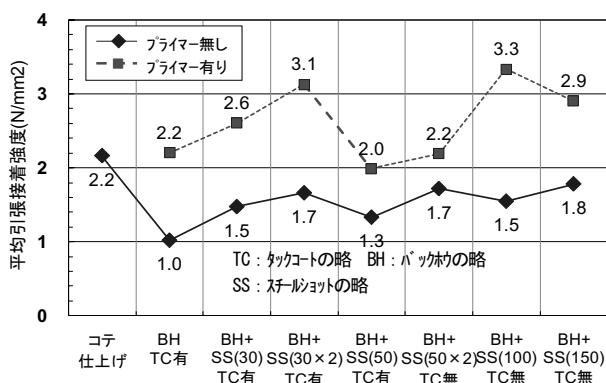


図7 付着性能へ与える影響 (BH 面)

- 5) 設計要領第二集（橋梁建設編，橋梁保全編），構造物施工管理要領，JHS 試験法 H10.4，日本道路公団
- 6) 塩害環境下のコンクリート橋に適用した塩害対策の追跡調査；横山他，コンクリート工学 Vol.42, No.3, 2004.3
- 7) 「設計要領第二集（橋梁建設編，橋梁保全編），構造物施工管理要領，NEXCO試験法」H22.4，東・中・西日本高速道路㈱
- 8) コンクリート表面処理の簡易測定手法に関する研究；松井他，土木学会第66回年次学術講演会
- 9) 「設計要領第二集（橋梁建設編，橋梁保全編），構造物施工管理要領，NEXCO試験法」H23.7，東・中・西日本高速道路㈱