論文

橋梁の短時間補修に適する高機能床版防水シートシステム

佐藤奈央*，奥田和男*，西村匠史**，山下圭介**

*スリーエム ジャパン株式会社 国土強靭化プロジェクト本部（〒252-5285 相模原市中央区南橋本 3-8-8）
** 中日本高速技術マーケティング株式会社（〒460-0003 名古屋市中区錦 2-18-19）

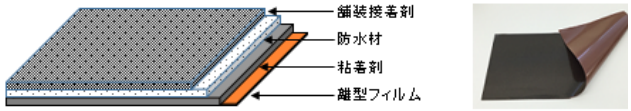
塩害や凍害，疲労破壊から床版を守る高機能床版防水システムは新設橋梁では普及してきたが，補修橋梁では交通規制による施工時間の制約や下地処理に要する手間が課題となりあまり利用されていない．本工法はこれらの問題に対し，エポキシアスファルト層を設けることにより，下地処理は切削床版のままでも可能であり，その上に強力な粘着材を備えた高耐久な高機能樹脂シートを貼付するだけの短時間施工で高機能な床版防水システムを実現する．補修床版を容易に補修するだけで，床版の寿命を長期化できる新規な工法として今後期待される．

キーワード：床版防水，床版，補修，橋梁補修，シート防水

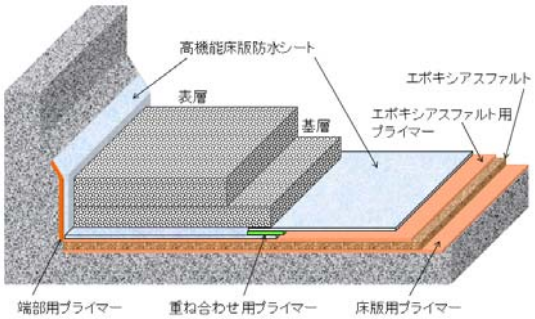
1. はじめに

2001 年に日本道路公団（現東日本高速道路㈱，中日本高速道路㈱，西日本高速道路㈱　以下「NEXCO」という）から提案された高機能床版防水システムは 2005 年の矢作川アローブリッジで本格的に採用され，その後，新東名高速道路での本格採用から NEXCO の高速道路では全て採用されてきている．防水性能は見做し三十年以上を担保されることにより床版から水を断ち，床版の寿命は延命されている [1]．しかしながら多くの既設床版では十分な防水機能を持たず，近年の多量の凍結融解剤散布や重交通量の増加により床版の寿命が著しく短縮化されている [2]．松井等の研究では，例えひび割れ劣化した床版でも防水をきちんと行うことによりさらに数十年の床版の寿命を延命することが可能であることが検証されている [1]．

NEXCO では著しく劣化した床版から随時床版の取り換え工事を行っているが，費用と時間がかかるため補修工事が追い付かない．また交通量の多い道路では激しい渋滞を招くために長期の工事が困難であり簡易な補修を行うが，傷んだ床版の上では数年後に舗装が劣化し再度の補修を行う必要を生じる場合があるのが現状である [2]．このため日中規制や夜間工事で簡単に行うことができる高機能な防水補修工法が望まれ，NEXCO 総研では 300 m^2 を 4 時間で行えるグレードⅡs 工法の規格を設定した [3]．しかし多くの高機能床版防水システムは下地の品質処理を新設床版並みに仕上げる必要があり，現実的には短時間規制で施工を行うには多くの人役や機材を投入する必要があり無理があった．このような要求に対し本工法は，アスファルト層を切削した凹凸床版面の上からでも施工でき，かつ短時間施工が可能な高品質，高機能な床版防水システムを提供する．



図－1　高機能床版防水シート

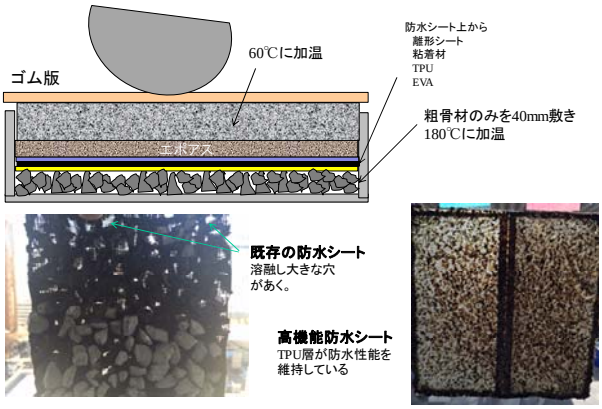


図－2　高機能床版防水シートシステム

2. 高機能床版防水シートシステム

2.1　本床版防水システムの構成

高機能床版防水シートは，図－1 に示すように離型紙を備えたアクリル系強力粘着材（< 0.8 mm）と高融点の



図－3　高機能床版防水シートの防水性検証実験

表－1　高機能床版防水シートシステムの性能

項目	負荷条件	照査項目	測定温度 ℃	結果 N/mm²	NEXCO規格 N/mm²
初期性能	標準舗設（舗設負荷Ⅱ）	引張強度	23℃	0.95	>0.6
		せん断強度	↑	0.23	>0.15
	低温舗設（舗設負荷Ⅳ）110℃合材 0℃床版	引張強度	↑	0.85	>0.6
		せん断強度	↑	0.35	>0.15
		重合せ引張強度	↑	0.7	>0.6
		重合せせん断	↑	0.29	>0.15
耐久試験後	標準舗設	引張強度	-30℃	1.65	>1.2
			23℃	0.86	>0.6
			50℃	0.26	>0.07
		せん断強度	-30℃	1.9	>0.8
			23℃	0.43	>0.15
			50℃	0.2	>0.01
検証データ エポアス合材/床版接着強度	研磨処理舗道版	引張強度	23℃	1.67	>0.6
	アスファルト残渣付き		↑	2.13	>0.6
	切削不陸舗道版		↑	1.36	>0.6

防水材（TPU < 0.3 mm）と舗装接着材（EVA < 1.0 mm）から構成される．

高機能床版防水シートシステムは，図－2 に示すように切削床版にプライマーを塗布後，高い靭性を有するエポキシアスファルト合材（5 mm トップ細粒　13 mm 厚）を通常のアスファルト合材と同様に転圧舗設し，その表面にプライマーを塗布後に貼付される．これだけで高機能床版防水システムが完成する．この上に直接基層を舗設でき，工程数が少なく品質の安定した短時間の床版防水システムが得られる．

2.2　本床版防水システムの構成材料の機能

(1) エポキシアスファルト合材

動的安定性が約 30,000～60,000 回/mm のエポキシアスファルト合材は薄層でも強靭性を保つため，不陸の修正材として選択された．補修床版の切削時の凹凸や下地の残存アスファルトプライマーなどの影響を 13 mm 厚の合材層で抑えることができる．また高温でも剛性が高いので床版のひび割れが合材層に伝搬するのを防ぐと考えられる．更に合材が持つ空隙は，床版防水シートを貼付する際にシートのエア溜まりを緩衝する役割を担う．

エポキシアスファルトは通常のアスファルト合材プラントでストレートアスファルトの半量をエポキシ樹脂に置き換えることにより容易に製造できる．骨材は 5 mm トップ細粒を使用する．

(2) 高機能床版防水シート

耐熱性および耐久性が高いアクリル系強力粘着材を下層に使用し，中間に 600%以上の伸び強度を有し，衝撃や傷に強い高融点の熱可塑性ポリウレタン（TPU）を使用している．更にその上の合材との接着材樹脂には高温でも高いせん断強度を持つエチレンビニルアセテート樹脂（EVA）を使用している．

これらの床版防水シートが合材転圧時に骨材により損傷しないかを確認するため，過酷な検証実験を行った．

図－3 に示すように 180℃に加温した粗骨材を型枠に敷詰め，その上に床版防水シートを貼付した舗道版を逆向きに置いて転圧負荷を施した．この結果，図に見られるように本システムの床版防水シートは穴が開くことなく防水性能が確保できていた．

また NEXCO 構造物施工要領に記載された床版防水規格の 480 万回のひび割れ開閉負荷試験後の防水試験における防水層の耐久性も検証中である．

なお EVA を含む本材料は複層シート状であり，表面に水が滞留しても容易に発見でき，舗装時の接着不良のトラブルをなくすことができる．

3.　本床版防水システムの性能

NEXCO 構造物施工管理要領の床版防水グレードⅡの性能照査試験の第三者機関を通じて測定した結果を表－1 に示す．

測定結果はすべての NEXCO 高機能床版防水規格に合格している．しかも寒冷地を考慮した条件においても高い接着強度を示している．これは従来の熱融着工法と比較し，舗装と融着する EVA の樹脂量をより多く使用しているためである．また耐久試験後の接着性能においてもせん断強度などかえって向上しているが，これは高強度粘着材特有の現象と考えられる．更に高温 50℃のせん断強度は規格値より格段に高い値を示している．このことは夏期の高温時の舗装の流動などが起きにくく，舗装の長寿命化に寄与すると考えられる．

また検証データとして測定したエポキシアスファルト合材とコンクリート床版の接着強度は，アスファルト残渣や切削不陸状態でも接着強度が低下しないことが確認されている．本床版防水システムは補修床版の切削面にアスファルトプライマーなどが付着していてもそ

図－4　アスファルト残渣を伴う切削床版表面

図－6　エポキシアスファルトの施工

図－5　床版用プライマーの塗布

図－7　高機能床版防水シートの施工

のまま施工が可能であり，寒冷地から温暖地まで優れた防水性能を発揮できる．

4.　高機能床版防水シートシステムの施工

本床版防水シートシステムの施工は2工程の簡単な施工で高機能な床版防水層が形成される．

名古屋郊外の駐車場を使用し4 m x 8 mの大きさの試験施工を春，夏，夏の 3 度にわたり施工性を検証した．2016年7月の気温38度の環境下でも問題なく施工できることが確認された．

(1) 下地の調整

切削機により舗装合材の表面を切削すると6 mmの高低差ができる．実橋ではアスファルト合材や旧防水シートなどが残留する．これらの浮遊異物ははつり機などによりきれいに除去する．砂利化したコンクリートは丁寧に除去しラテックスモディファイドコンクリート（LMC）などにより補修する．従来の高機能床版防水工法は下地に残渣アスファルトや不陸があると施工が困難な工法が多い．床版面は表面粗度を1 mm以下に抑え，またショットブラストなどにより残渣アスファルトを完全に除去しなければ施工できない．本工法は13 mmの強靭なエポキシアスファルト合材で床版面を強固に覆うため，例え小さな凹凸や切削床版面でも舗装に悪影響を与えない．これは限られた時間に施工しなければならない全面舗装打ち替え工事では大きなメリットとなる．

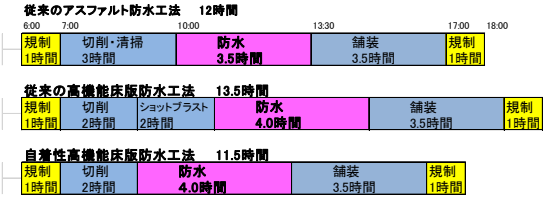
図－4 に切削機により切削した後，清掃した床版表面の外観を示す．

(2) エポキシアスファルト層の施工

エポキシアスファルト合材の接着性向上のために床版用プライマーを0.3 kg/m^{2}塗布する（図－5）．15分程度の指触乾燥後，アスファルトフィニッシャーにより合材を13 mmの厚さで，150℃以上の敷均し温度で舗設する．ロードローラやタイヤローラにより規定回数転圧を行う．このときローラへの離型のための車輪への水散布は通常通り行うことができる．この方法によるエポキシアスファルトの施工時間は300 m^{2}でも1時間以内に完成する（図－6）．

(3) 高機能床版防水シートの施工

図－8　防水工の完成（基層施工準備）



図－9　各工法の日中規制 300m^2 の施工時間推定

65℃以下に冷却したエポキシアスファルト合材の上に床版防水シート用のプライマーを 0.2 kg/m^2 塗布する．10 分程度の指触乾燥後，床版防水シートを貼付する．重ね合わせ部にはプライマーを塗布し施工する．（図－7）その後，30 分程養生して防水工は完成する．

完成後直ちに基層の舗設が可能となる．ただし実橋では基層の厚さは制限されるので，基層には 5 mm トップの砕石マスチックアスファルト混合物（SMA）または橋梁レベリング層用混合物（FB5）[4]の使用が好ましい．

5.　高機能床版防水シートシステムの展開

施工の工程数が少なく，工場で品質管理された材料を使用する本システムは施工のトラブルの確率が低く，寒冷地から温暖地まで安定した性能の高機能床版防水層を設置できる．また下地の品質を厳しく要求しないので短時間の交通規制でも施工でき，都市部の交通量の多いところでも適する．

さらに本システムは，①残渣アスファルトの接着強度が 2 N/cm^2 以上であること，②靭性のあるエポキシアスファルト全体で床版を覆うため局部的な舗装への悪影響がないこと，③実績のあるグレードⅠ工法に類似した下地処理を利用していることなどから，下地のショットブラストを省略できる．このため図－9 に示されるように，本工法は従来の簡易な床版防水工と同等の時間で補修を行うことができる．

また本工法の更なる特徴は高価な施工機械も必要なく，少人数の人工で施工を行うことができるので，計画が変動する集中工事などの施工にも適する．

劣化した床版に簡易な防水工を施しても床版を保護することができず，また舗装の耐久性も得られない．本システムは高機能樹脂により床版を完全に防水し，かつ高温でも高いせん断強度が舗装のわだち掘れを防ぎ舗装の耐久性も向上することが考えられる．

6.　まとめ

高機能床版防水シートシステムは高機能な防水層を短時間で施工できる工法であり，

(1)　NEXCO グレードⅡs の照査試験に適用可能
(2)　高い防水機能, 接着性能が補修床版を長寿命化
(3)　少人数で機械を必要としない短時間工法
(4)　切削床版に直接施工が可能
(5)　固着した残渣アスファルトの上に施工可能
(6)　工程が簡略で品質が安定
(7)　小規模から大規模工事まで適用可能

などの特徴を持つ．高い接着強度を有するシート状の高機能樹脂層は舗装と防水層を一体化し，また強靭柔軟なエポキシ成分が床版のひび割れを保護する．しかしながら 13 mm のエポキシアスファルト層があるため基層に割り当てられる合材厚が少なくなり，13 mm トップ合材ではなく 5 mm トップ合材の使用が求められる．今後は本システムの舗装耐久性について，輪荷重試験やせん断疲労試験などを行い検証する必要がある．

本床版防水システムは劣化した床版を回復し，都市インフラの長寿命化と交通渋滞の解消，経費節減につながる新工法として今後期待される．

謝辞

本システムの開発にあたり多大なるご貢献をいただきました，株式会社近代化成　林昭一社長および松下忠男技術部長に感謝の意を表します．

参考文献

1) 松井繁之「道路橋床版における防水システムの必要性」，欧州に於ける防水システムの調査報告会，2009
2) 小川篤生「高速道路橋コンクリート上部構造の損傷分析と耐久性向上に関する研究」，九州大学大学院博士論文，2013
3) 東日本高速道路㈱・中日本高速道路㈱・西日本高速道路㈱，構造物施工管理要領，2015
4) 東日本高速道路㈱・中日本高速道路㈱・西日本高速道路㈱，設計要領第一集　舗装編，2015

（2016 年 7 月 18 日受付）