論文

タックコートが残存する既設床版に適用可能な新たな床版防水層の開発研究

三浦康治*,　榎園正義*，橋本雅行*，谷倉泉*，豊田雄介**，和田吉憲**

*（一社）日本建設機械施工協会　施工技術総合研究所 研究第二部（〒417-0801 静岡県富士市大渕 3154）
** ㈱高速道路総合技術研究所 橋梁研究室（〒194-8508 東京都町田市忠生 1 丁目 ）

道路橋床版の耐久性は，交通荷重による疲労だけでなく，床版防水層の耐久性能にも大きく影響を受ける．従来，防水層の耐久性を確保するためには，床版上面に残存するタックコート等の不純物を取除き，適切な表面処理が行われてから施工することが重要とされている．しかし，交通規制時間の制約等から，表面処理後にある程度タックコートが残存していても膨れや剥がれ等の損傷が生じない防水層の開発が望まれている．本論文では，このような条件においても要求性能を満足する新しい防水層の性能評価に関する研究成果について述べる．

キーワード：床版防水層，既設床版，タックコートの残存，耐久性

1. はじめに

床版防水層は，平成 14 年の道路橋示方書 [1]の改訂に伴い，すべての橋梁床版への設置が求められている．

新設橋においては，供用前に施工時間を十分に確保した条件での防水層の施工が可能であり，高機能な防水層の適用が積極的に行われている．しかし，既設橋に適用する防水層の施工は，交通規制下で実施されることが多く，特に夜間規制時においては，舗装切削や表面処理時間が短く，コンクリート床版と舗装との接着に用いられるタックコートが残存した状態でやむなく防水層を施工する事例も散見されている．

一方，高速道路の長寿命化を目指し，床版の予防保全対策として，高機能防水層を既設床版にも適用するニーズも高まってきている．その場合，床版防水層の施工に必要とする時間を確保することが不可欠であるため，適用することが困難な状況である．

本研究においては，表面処理時間の短縮を図るため，表面処理後にある程度タックコートが残存する条件でも適用を可能とするために開発された新たな防水材料 3 製品について，室内試験および室外試験を行い，防水材料の性能を確認したものである．

2. 適用対象とした防水層

室内試験および室外試験に用いた防水層を表－1 に示す．ここで選定した防水層は，既設床版の補修工事への適用が可能であり，短時間施工が可能と想定される高機能防水とし，NEXCO3 社制定の構造物施工管理要領 [2]で規定されている“グレードⅡ(S)” の性能が期待できる 3 社 3 製品とした．

表－1　使用した防水層

防水メーカー	防水層の種別	施工上の制約条件
A社	塗膜系	制限なし
B社	シート系	床版上面温度 40℃以下
C社	シート系	床版上面温度 40℃以下

表－1 中に示す A 社の防水層は塗膜系防水層であり，防水材は吹付けにより行い，昼夜の温度変化を問わず防水層の施工が可能となっている．一方，B 社および C 社の防水層は流し貼りにて行うが，高温時の不具合が懸念されるため，床版上面温度 40℃以下となる夜間施工への適用を原則とする．

3. 室内試験による基本性能試験

3.1 概要

NEXCO では，既設床版に適用する高機能防水（グレードⅡ(S)）の性能評価は，タックコートが残存していない条件で確認することとしている．一方，現場で施工時間が不足して交通開放が優先されるようなケースでは，表面処理後のタックコートを完全に除去する処理時間がカットされ，これが残されたまま防水材の施工が行われることが危惧される．このため，本研究ではタックコート残存の有無の条件で防水層の基本性能を把握することを目的として，図－1 に示す性能試験を実施した [3]．なお，前出表－1 に示すように，防水層施工およびアスファルト混合物の舗設に制約があるため，これに応じて舗設負荷Ⅰの舗設条件および膨れ抵抗性試験温度を変更した．

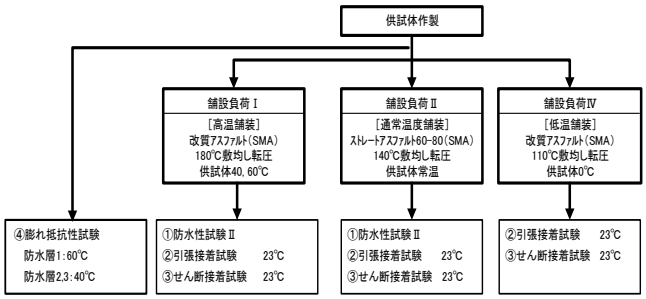
3.2　試験体

下地材には市販の JIS コンクリート平板を使用した．表面処理は，タックコートの残存が防水層の性能に及ぼす影響を確認するため，①「タックコート無し」および②「タックコート有り」の 2 条件とした．

①は JIS 平板をディスクサンダーで研掃した条件とした．また，②は局部的にタックコートが多く残存する状況を再現させるため，①と同様にディスクサンダーで研掃→乳剤 PK-4 を 0.3 kg/㎡塗布→SMA を 40㎜舗設し 2 ヶ月以上屋外で暴露→試験体を 90℃の恒温槽に静置して舗装を撤去→スチールショットブラストを投射密度 5kg/m² の条件で 1 回研掃する条件で表面処理した（写真-1 参照）．

防水層の施工は防水メーカーが作成した施工要領に準拠して施工した．アスファルト混合物の舗設は，図－1 に示す舗設負荷条件で実施した．

写真-1 表面処理後のタックコート有り試験体



図－1　室内試験のフロー（基本性能試験）

3.3 試験結果と考察

(1) 防水性および遮塩性

防水性試験Ⅱの結果を表－2 に示す．A 社および B 社の防水層からは漏水は認められず，タックコートが残存しても十分な防水性を有する結果となった．一方，C 社の防水層は，舗設負荷Ⅰのうち，(180/40℃）の舗設条件では漏水は認められなかったが，（180 / 60 ℃）の舗設条件では，タックコート無しのケースの試験体 3 体中 1 体から漏水が確認され，高温下での舗設時に防水性が低下することが確認された．

なお，ここで表記した 180/40℃とは，舗設時の温度が 180℃で，JIS 平板を 40℃に温めて施工した条件を示す．

表－2　防水性試験Ⅱ結果

防水層	タックコート残存の有無	ケース		
		舗設負荷Ⅰ（180/40℃）	舗設負荷Ⅰ（180/60℃）	舗設負荷Ⅱ（140/常温）
A社	無	○	○	○
	有	○	○	○
B社	無	○	○	○
	有	○	○	○
C社	無	○	×	○
	有	○	○	○

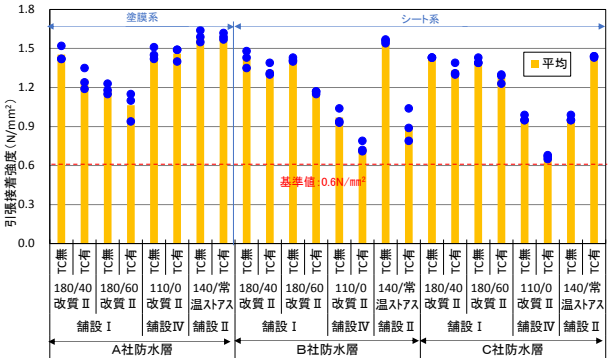
○…漏水が認められない，×…漏水が認められる

(2) 引張接着性

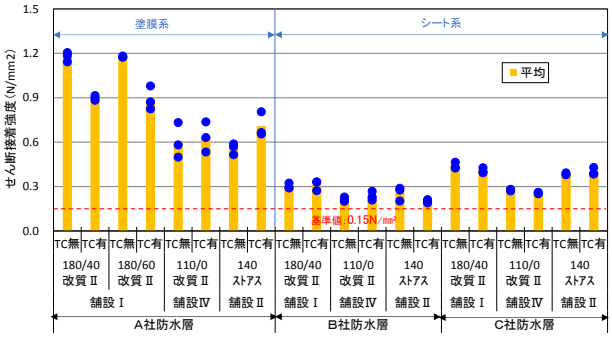
試験温度 23℃で実施した引張接着試験結果を図－2 に示す．全ての防水層の引張接着強度は，全ての舗設条件で基準値(0.6N/mm²)以上であり，タックコート有りの条件でも防水層に求められる引張接着性を満足した．また，防水層の種別により，引張接着強度が低下する要因が異なることが確認された．

例えば，塗膜系に分類される A 社の防水層は，低温舗装（舗設負荷Ⅳ）による引張接着強度は，高温舗設（舗設負荷Ⅰ）の場合と同程度であり，舗設温度の低下による引張接着性の低下が認められない結果となった．ただし，高温舗設（舗設負荷Ⅰの 2 条件）の場合には，試験体温度が高くなるにつれてタックコートの残存によらず引張接着強度が低下する傾向が見られた．さらに，タックコートの有無が引張接着強度に及ぼす影響は，高温舗設の方が低温舗設の場合より大きくなる傾向があることも確認された．

一方，シート系防水層に分類される B 社および C 社の防水層の引張接着強度は，低温舗装（舗設負荷Ⅳ）時に最も低くなることや，高温や低温舗設時ではタックコート有りの方が無しの場合より引張接着強度が低くなったことから，タックコートの残存が引張張接着強度に及ぼす影響があると考えられる．



図－2　引張接着試験結果



図－3　せん断接着試験結果

(3) せん断接着性

試験温度 23℃（常温）で実施したせん断接着試験結果を図－3 に示す．全ての防水層のせん断接着強度は，舗設条件で基準値(0.15N/mm²)以上であり，タックコート有りの条件でも防水層に求められるせん断接着性を満足した．また，塗膜防水層のせん断接着強度は，シート系防水層の 2 倍以上であり，塗膜系防水層の方がシート系防水層よりもせん断接着性が高い結果となった．

また，せん断接着強度の低下に着目すると，A 社の防水層（塗膜系）は，高温舗装（舗設負荷Ⅰ）の場合にはタックコートが残存するとせん断接着強度が低下する傾向が見られた．しかし，シート系防水層ではわずかであり，さらに，試験体温度が 40℃から 60℃に上昇しても強度は変わらない傾向であった．さらに，塗膜系防水層（A 社）に関しては，舗設負荷Ⅰより低温下で舗設した舗設負荷ⅡおよびⅣでは，タックコートの残存がせん断接着性に及ぼす影響はわずかであった．

(4) 膨れ抵抗性

膨れ抵抗性試験結果を表－3 に示す．タックコート無しの条件では，全ての防水層に膨れが生じなかったが，タックコート有りの条件は 3 製品中 1 製品に膨れが生じた．これは、プライマーの未硬化の箇所やシート敷設時のエアーだまりがあったことによると考えられる。このことから，タックコート残存の有無が，防水層の膨れ抵抗性に影響を及ぼすことが明らかとなった．

4. 室内試験による耐久性試験

4.1 概要

防水層 3 製品の耐久性を確認するため，NEXCO3 社制定の構造物施工管理要領に従って性能試験を行った．耐久性能の評価項目は，耐久性能に関する各種負荷後の防水性，引張接着性，およびせん断接着性とした．試験体は，前出の室内試験と同様の条件で防水層を施工したのち，舗設負荷Ⅱの条件で舗設とした．

耐久性に関する負荷は，同要領に従い，①温度変化および薬品負荷試験 30 サイクル→②ホイールトラッキング負荷試験 2 時間の順番で与えた．

引張接着性およびせん断接着性を評価する試験体に与える負荷は上記①および②とし，防水性を評価する試験体は，さらにひび割れ開閉負荷（繰返し回数 480 万回）を与えた後に防水性試験Ⅱを行って評価した．

4.2 試験結果と考察

(1) 引張接着性（試験温度-30℃, 23℃, 50℃）

引張接着試験結果を図－4 に示す．全ての試験温度で基準値以上を満たした防水層は A 社および C 社の防水層の 2 製品であった．B 社の防水層は，試験温度-30℃の条件において，引張接着強度がタックコート無しの条件では基準値を満足するが，タックコート有りの条件では，基準値以下となることが確認された．このことは，B 社の防水層の引張接着強度の低下はタックコートの有無によると推察される．

さらに，B 社の防水層は，試験温度 23℃ではタックコートの有無によらず基準値を満足しているが，タックコート有りの場合の引張接着強度は無しの場合より 30%程度低くなっており，タックコートの残存が引張接着性に及ぼす影響が 3 製品の中で最も顕著に現れた結果となった．

なお，試験温度 50℃では，3 製品ともほぼ同じ引張接着強度となっているが，これは全ての試験体の破断面が舗装破壊であったためと考えられる．

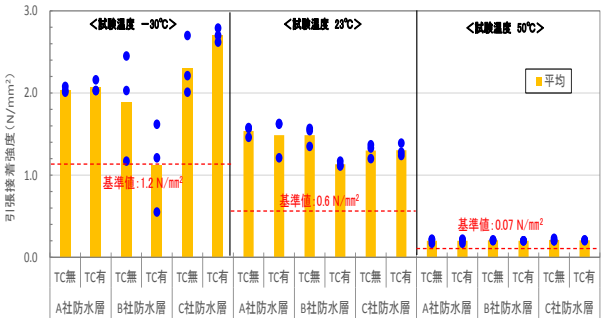
(2) せん断接着性（試験温度-30℃, 23℃, 50℃）

せん断接着試験結果を図－5 に示す．全ての防水層のせん断接着強度は，全ての試験温度で基準値以上であり，タックコートが残存した条件でも防水層に求められるせん断接着性を満足することを確認した．

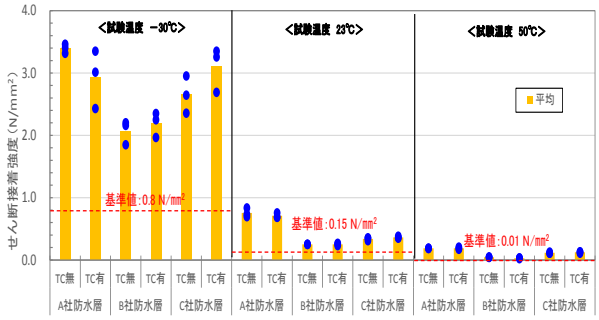
塗膜防水層のせん断接着強度は，試験温度-30℃では，「タックコート無し」の場合はシート系防水層より高くなるが，「タックコート有り」の場合には，シート系防水層の C 社の防水層のせん断接着強度が塗膜系防水層以上となった．一方，試験温度 23℃では，

表－3　膨れ抵抗性試験結果

防水層		異常の状況	
		タックコート無し	タックコート有り
A 社	塗膜系	異常なし	異常なし
B 社	シート系	異常なし	膨れあり
C 社	シート系	異常なし	異常なし



図－4　引張接着試験結果



図－5　せん断接着試験結果

塗膜防水層のせん断接着強度がシート系防水層の 2 倍以上であった．なお，試験温度 50℃では，3 製品ともにほぼ同じせん断接着強度となった．このことは，前出(1)引張接着性と同様にすべての試験体が舗装破壊であったことによるものと考えられる．

(3) ひび割れ開閉負荷後の防水性および遮塩性

防水性試験Ⅱの結果を表－4 に示す．全ての防水層から漏水は認められなかったことから，施工した 3 種類の防水層はタックコートの有無によらず，耐久性を考慮しても十分な防水性および遮塩性を有することが確認された．

5. 室外試験による性能確認試験

5.1 概要

既設床版での半幅施工（走行車線，追越車線）を想定した模擬床版（L=35m，W=4.5m）を使用した．模擬床版の表面処理区分は表－5 に示すとおりとした．タックコート無しの箇所は，予備舗装をせずにスチールショットブラストによる研掃のみとした．

一方，タックコート有りの箇所はタックコート塗布後に SMA を 40mm 舗設し，2 ヶ月程度暴露したのち，舗装除去を行った．舗装除去の方法は、床版を大型切削機により，舗装を 10mm 残しまで切削したのち，バックホウおよびロードヒータを使用することとした。ロードヒータによる舗装除去では、舗装を十分に加熱したのち人力作業により実施した。舗装除去後は，スチールショットブラストにより表面処理 [4)5)]を行った．なお，凹凸部は大型切削機のビットで 10mm 切削して再現した．

表面処理後は，3 社の防水層を施工要領書に従って施工し，その上に SMA を 35mm 舗設した．試験体は，舗装完了後にコアカッターを用いて Φ100mm でコアリングしたのち，高さ 95mm（舗装 35mm，防水層，コンクリート 60mm）に成形した円柱供試体とした．採取したコアから確認した 3 社の防水層の性能は，防水性，引張接着性，せん断接着性とした．

5.2 試験結果と考察

(1) 防水性および遮塩性

防水性試験Ⅱの結果を表－6 に示す．全ての防水層から漏水は認められなかったことから，施工した 3 種類の防水層はタックコートの残存によらず，平坦部，凹凸部ともに十分な防水性および遮塩性を有することが確認された．

(2) 引張接着性

平坦部で採取したコア試験体について，試験温度 23℃で実施した引張接着試験結果を図－6 に示す．全てのケースについて，防水層の引張接着強度が基準値以上となった．このことから，タックコート有りの場合でも，床版面を平坦に仕上げることにより，十分な引張接着性を有することが確認された．

また，ケース 1 のようにスチールショットブラストを投射密度 50kg/m² で表面処理した場合や，ケース 2

表－4　ひび割れ開閉負荷後の防水性試験Ⅱ結果

防水層		漏水の有無	
		タックコート無し	タックコート有り
A 社	塗膜系	○	○
B 社	シート系	○	○
C 社	シート系	○	○

○・・・漏水が認められない

表－5　模擬床版の表面処理区分

試験ケース		床版面の条件		予備舗装		舗装除去方法および表面処理条件		
		平坦性	タックコートの残存	タックコートの塗布量	舗装の種類	一次処理	二次処理	三次処理
ケース1	1	平坦	なし	なし		SSB50kg/㎡	－	－
ケース2	2-1	平坦	あり	PK4 0.3kg/㎡	SMA 40mm 舗設後 2ヶ月暴露	バックホウ	SSB 5kg/㎡	－
	2-2	平坦	あり	PK4 0.3kg/㎡	SMA 40mm 舗設後 2ヶ月暴露	バックホウ	－	－
ケース3	3-1	凹凸大	あり	PK4 0.4kg/㎡	SMA 40mm 舗設後 2ヶ月暴露	大型切削機で舗装10mm残しで切削	バックホウ	SSB 5kg/㎡
	3-2	凹凸大	あり	PK4 0.4kg/㎡	SMA 40mm 舗設後 2ヶ月暴露	大型切削機で舗装10mm残しで切削	ロードヒータ	SSB 5kg/㎡
	3-3	凹凸大	あり	PK4 0.4kg/㎡	SMA 40mm 舗設後 2ヶ月暴露	大型切削機で舗装10mm残しで切削	バックホウ	SSB 50kg/㎡
	3-4	凹凸大	あり	PK4 0.4kg/㎡	SMA 40mm 舗設後 2ヶ月暴露	大型切削機で舗装10mm残しで切削	ロードヒータ	SSB 50kg/㎡
	3-5	凹凸大	あり	PK4 0.4kg/㎡	SMA 40mm 舗設後 2ヶ月暴露	大型切削機で舗装10mm残しで切削	バックホウ	－
	3-6	凹凸大	あり	PK4 0.4kg/㎡	SMA 40mm 舗設後 2ヶ月暴露	大型切削機で舗装10mm残しで切削	ロードヒータ	－

※SSBは，スチールショットブラストの略称

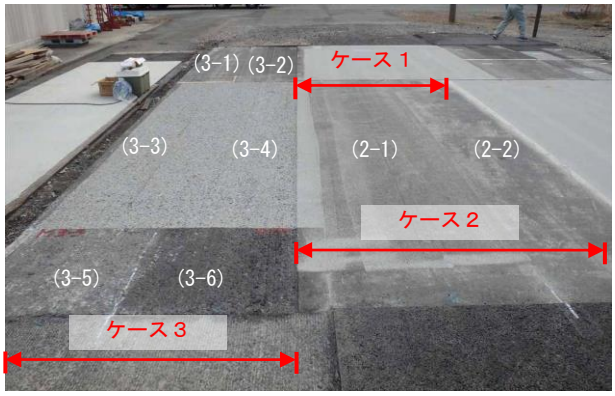
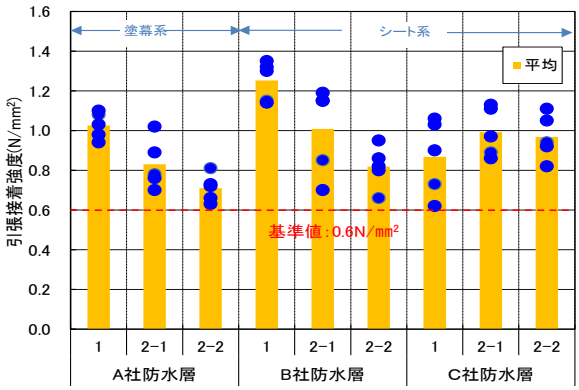


写真-2 表面処理後の模擬床板

表－6　防水性試験Ⅱ結果

防水層	ケース								
	平坦部			凹凸部					
	1	2-1	2-2	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6
A社	○	○	○	○	○	○	○	○	○
B社	○	○	○	○	○	○	○	○	○
C社	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○…漏水が認められない，×…漏水が認められる



（2-1, 2-2 はタックコート残存有り）

図－6　引張接着試験結果（平坦部）

のようにバックホウで舗装を除去した場合には，スチールショットブラストによる表面処理を行わなくても所定の引張接着強度が得られる結果となった．

凹凸部で採取したコア試験体について，試験温度23℃で実施した引張接着試験結果を図－7 に示す．ケース 3-3 およびケース 3-4 の表面処理条件（舗装除去後にスチールショットブラストにより投射密度 50kg/m^2 1 回研掃）では，防水層 3 製品の引張接着強度が基準値を満足した．一方，ケース 3-1 のようにスチールショットブラスト 5kg/m^2 で研掃した場合や，ケース 3-6 のように研掃を行わずタックコートが最も残存する場合には，基準値を満足しない場合が見られた．また，舗装除去後にスチールショットブラストにより表面処理を行った 4 ケース全ての条件で基準値を満たしたのは，A 社の防水層のみであったが，その値はシート系の防水層（B 社）とは著しい差はなく，また，スチールショットブラストの投射密度による差もあまり見られなかった．このことから，凹凸部にタックコートが残存する状態でも確実に引張接着性を保持するためには，舗装除去後にスチールショットブラストにより投射密度 50kg/m^2 以上で研掃する必要があると考えられる．

(3) せん断接着性

平坦部で採取したコア試験体について，試験温度23℃で実施したせん断接着試験結果を図－8 に示す．全てのケースで，防水層のせん断接着強度が基準値以上となり，タックコートが残存した場合でも，床版面を平坦に仕上げることにより十分なせん断接着性を保持することが可能であることが確認された．

凹凸部で採取したコア試験体について，試験温度23℃で実施した引張接着試験結果を図－9 に示す．凹凸部も平坦部と同様に全てのケースにおいて，防水層のせん断接着強度が基準値を満足した．また，塗膜系防水層（防水層 A）のせん断接着強度は，シート系防水層（B 社防水層および C 社防水層）より 1.5 倍程度高くなったことから，本研究で施工した塗膜系防水層の凹凸の部におけるせん断接着性はシート系防水層より優れていると考えられる．しかし，ケース 3-6 のようにスチールショットブラストによる研掃をしない場合には，塗膜系防水のせん断接着強度が明らかに低下したことから，凹凸部で確実に接着性を確保するためには，現行の NEXCO の要領[1]どおり，スチールショットブラストによる研掃を投射密度 50kg/m^{2}以上で行う必要がある．

また，シート系防水層の施工では，重ね合わせ部を設けるため，その箇所の接着性が低下することが危惧されるため，凹凸部にシート系防水層を適用する場合には，シート 1 枚施工部および重ね合わせ部の接着性の確認を行うことが望ましいと考えられる．

6. まとめ

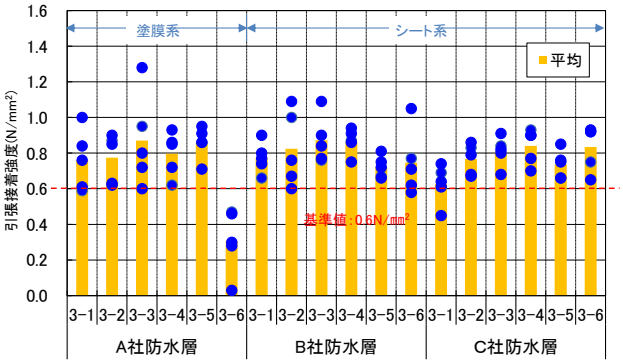
(1) 室内試験による基本性能試験結果

・引張接着性は，舗装温度および下地材（平板）の温度の影響を受けて変化するが，いずれの防水層（3 製品）も要求性能の基準値を満足した．

・せん断接着性は塗膜系（A 社）とシート系（B, C 社）では大きく異なり，塗膜系ではシート系の 2 倍以上となった．

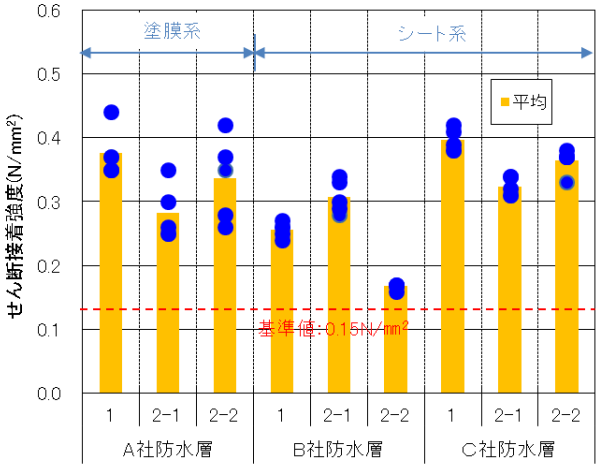
・シート系防水層（B 社）のみ膨れ抵抗値を満足しなかった．

・タックコートがある程度残存していても，塗膜系の A 社とシート系の C 社防水層は全ての要求性能を満足した．



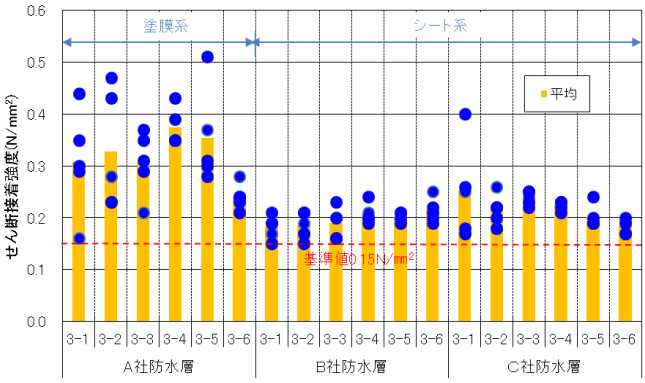
（全てタックコート有り）

図－7　引張接着試験結果（凹凸部）



（2-1 および 2-2 はタックコート有り）

図－8　せん断接着試験結果（平坦部）



（全てタックコート有り）

図－9　せん断接着試験結果（凹凸部）

・シート系の B 社防水層は，タックコートが残存すると，防水層の接着性に影響を及ぼすだけでなく，膨れ抵抗性も低下してブリスタリングが生じた．この傾向は，高温になるほど顕著であった．

(2) 室内試験による耐久性試験結果

・引張接着性については，タックコート有りの条件でシート系防水層（B 社）のみ-30℃で基準値を満足しなかったが，他の 2 社の製品は満足した．

・せん断接着性については，すべての防水層で基準値を満足した．

・ひび割れ開閉負荷後の防水性については，すべての防水工が 480 万回の繰返し後の防水性を確保できることがわかった．

(3) 室外試験による性能確認試験結果

・引張接着性は，平坦仕上げを行った場合は，すべての防水層は基準値を満足し，強度差もさほど大きくなかった．しかし，下地に凹凸がある場合には，舗装除去後にスチールショットブラストによる表面処理を行ったケースでは，塗膜系防水層（A 社）のみ基準値を満足した．しかし，その値はシート系の防水層（B 社）とは著しい差はなかった。また，ブラストの投射密度による差もほとんど見られなかった．

・せん断接着性については，全ての防水層は基準値を満足し，おおむね基準値の 2 倍の数値を示した．

以上の各種室内外での性能評価試験の結果，表面処理後にタックコートが多少残存していても要求性能を満足する塗膜系防水層（A 社）が存在することが明らかとなった．

しかし，下地に凹凸が少なく平坦に仕上げられていれば，どの材料も要求性能を満足することも判明し，今後は，施工品質を確保する上で平坦性の確保が重要と考えられる．さらに，平坦性が確保できない場合でも，スチールショットブラストを 50kg/m^2 以上で投射すれば，いずれの防水層も十分な性能を発揮することも明らかとなった．

参考文献

1) (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説,2002.3

2) 東・中・西日本高速道路株式会社:　構造物施工管理要領，H27.7

3) (社) 日本道路協会：道路橋床版防水便覧，2007.

4) 日向,三浦,榎園,谷倉,和田：防水層の施工に向けた床版上面の処理機械に関する検討,第八回道路橋床版シンポジウム論文報告集，pp.163-168, H26.10

5) 松井,後藤:補修における床版防水の課題,第 20 回シンポジウム論文集,プレストレストコンクリート技術協会，H23.10