

論文 床版防水工とコンクリート床版の付着性状がもたらす影響

野村 謙二^{*1}・魚本 健人^{*2}

要旨: 道路橋では、コンクリート床版を保護するために床版防水工が多く採用されている。床版防水工とコンクリート床版との付着性状がアスファルト舗装およびコンクリート床版に及ぼす影響を実験的に検証した。その結果、床版防水工とコンクリート床版との間に付着切れがある場合、輪荷重載荷によるアスファルト舗装のわだち掘れ量が大きくなること、アスファルト舗装の挙動により床版防水工が損傷する場合があることを確認した。

キーワード: 床版防水工, コンクリート床版, わだち掘れ量, 塩分浸透量, 付着

1. はじめに

道路橋では、床版防水工は外部からの有害因子のコンクリート床版内への進入を防ぐ有効な手段として採用されている。床版防水工が最近特に注目されてきた主な要因として高機能舗装の採用および塩化ナトリウムの路面凍結防止剤としての使用が挙げられる。高機能舗装は、雨天時の走行環境の改善や走行中のタイヤから出る騒音の低減を目的として増加しているが、従来の舗装に比較してコンクリート床版への雨水等の進入を容易にするため、コンクリートの早期劣化を促す懸念が生じてきた。一方、路面凍結防止材として安価な塩化ナトリウムが多用されるようになり、その散布量はスパイクタイヤの禁止等により増加している。塩化ナトリウムがコンクリート床版に進入すると塩害による鉄筋の腐食およびアルカリ骨材反応によるコンクリートの早期劣化の懸念が生じてきた。このような状況から、コンクリート床版の耐久性を確保するために長期間防水性能を有する床版防水工が求められている。床版防水工材料が機能を損なう可能性としては次の場合が考えられ、アスファルト舗装の影響も少なくないと思われる。

- 1) プリスタリング等により床版防水工とコンクリート床版が付着切れを起こし、その上

にアスファルトが舗設され、交通荷重が作用して床版防水工が破断する場合

- 2) アスファルト締固め施工時に骨材の食い込みにより床版防水工が破断する場合
- 3) コンクリート床版上面に生じたひびわれの開閉により床版防水工が破断する場合
- 4) 切削オーバーレイにより床版防水工が損傷する場合

本文では、床版防水工とコンクリート床版の付着性状について取り上げ、アスファルト舗装下でその付着性状がアスファルト舗装の路面形状および床版防水工の保有するコンクリート床版保護性能にどのように影響するかを実験的に検証した。

2. 実験

2-1 供試体の作成

図-1 に示すように、供試体は 300mm×300mm×50mm のコンクリート版の上に床版防水工を貼り付け、その上に 35mm 厚の密粒度アスファルト混合物を舗設した。表層 40mm が高機能舗装、基層 35mm が密粒度アスファルト混合物で構成された舗装を想定しているが、表層は容易に水が進入可能であることから基層 35mm より下の部分を模擬した供試体とした。コンクリート版の配合を表-1 に、密粒度アスファルト混合物の配合を表-2 に示した。

*1 東京大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 工修 (正会員)

*2 東京大学 生産技術研究所教授 工博 (正会員)

表-1 コンクリート版の配合

粗骨材 最大寸法 G _{max} (mm)	水セメン ト比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
			W	C	S	G
20	55	47	166	302	860	1000

表-2 アスファルト混合物の配合 (重量%)

改質Ⅱ型 アスファルト	6号砕石	7号砕石	粗目砂	細目砂	石粉
5.8%	35.8%	20.1%	23.4%	9.8%	5.1%

本実験に用いた供試体の種類は次のとおりである。

- ① 床版防水工を通常施工した供試体
- ② 床版防水工とコンクリート版の界面にφ100mmの円形の付着切れを有する供試体 (コンクリート版上面中心に剥離紙貼付)
- ③ 床版防水工なしの供試体

実験に使用した床版防水工は、流し貼り施工による瀝青シート系防水工および吹き付け施工による塗膜系防水工の2種類である。図-2に各床版防水工および床版防水工なしの場合の材料層構成を示す。

2-2 輪荷重載荷実験

2-2-1 概 要

床版防水工の有無および床版防水工とコンクリート版との付着の状態に着目し、輪荷重載荷時のアスファルト表面の変形状況を確認する実験である。図-3に示したホイールトラッキング (WT) 試験機を用いて供試体に載荷幅 50mm の輪荷重を載荷した。輪荷重の大きさは 686N とし、ゴム硬度を調節して接地圧を大型トラックの輪荷重相当分である 0.6272N/mm^2 とした。輪荷重載荷速度は、使用した WT 試験機の最大速度とし、1 分間に 260mm の距離を 30 往復する設定とした。輪荷重載荷回数は 1 供試体につき 10800 往復 (6 時間) した。輪荷重載荷時の温度を 60℃ とし、輪荷重載荷中の輪荷重載荷点のわだち掘れ量を計測した。また、輪荷重載荷位置付近 100mm 区間におけるアスファルト表面の凹凸をレーザー変位計で測定した。

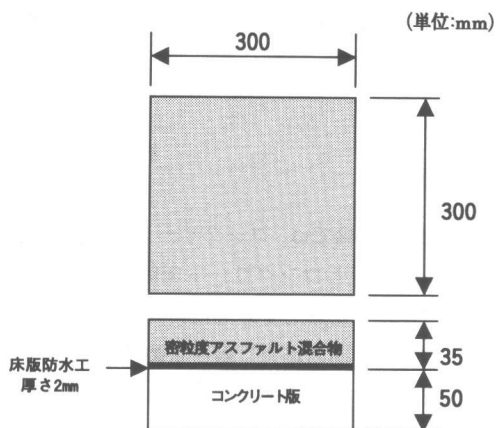
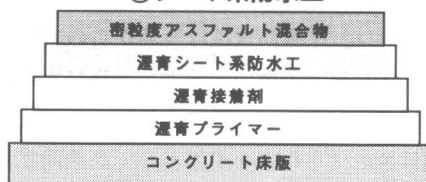
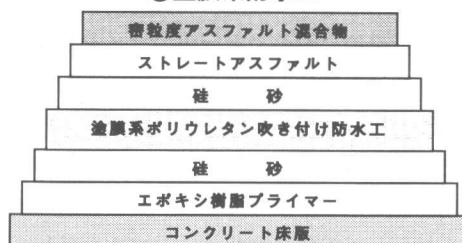


図-1 供試体概要図

①シート系防水工



②塗膜系防水工



③防水工なし

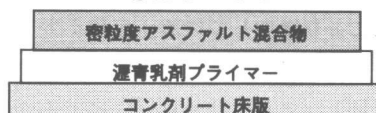


図-2 防水工材料等の層構成

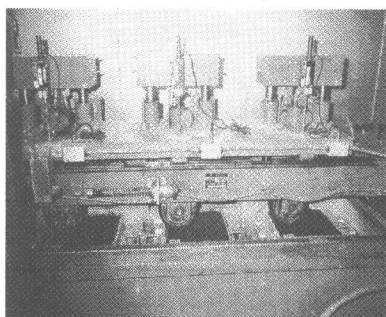


図-3 WT試験機による輪荷重載荷状況

2-2-2 実験結果

WT 試験機に取り付けた変位計でアスファルト表面のわだち掘れ量の計測結果を図-4 に示す。図中の凡例の数字は供試体数を示している。この図から分かることは、次のとおりである。

- 1) 防水工を有するものは防水工なしのものに比べてわだち掘れ量が多い。
- 2) 防水工の種類にかかわらず、付着切れのある場合が付着切れのない場合に比べてわだち掘れ量が多い。
- 3) シート系防水工を用いた供試体が塗膜防水工を用いた供試体に比べてわだち掘れ量が多い。

図-5 は輪荷重載荷後にレーザー変位計で計測したアスファルトの表面形状である。この図から分かることは、次のとおりである。

- 1) シート系防水工で付着切れを有する供試体のわだち掘れ量が最も大きい。
- 2) シート系防水工を用いた供試体および塗膜系防水工で付着切れを有する供試体は明確な凹凸形状が現れている。

2-3 コンクリート中の塩分浸透実験

2-3-1 概 要

アスファルト表面の輪荷重載荷により、床版防水工のどの箇所が損傷を受ける可能性が高いかを確認するための実験である。輪荷重載荷後の供試体のアスファルト表面にセメントペーストで高さ 20mm 程度の土手を作成し、20℃の環境において濃度約 25%の塩水を 1 ヶ月間張った。1 ヶ月経過後、図-6 に示すようにコンクリート版を 25 分割し、硝酸銀による全塩分定量方法にてアスファルトおよび床版防水工を経てコンクリート版に浸透した塩分浸透量を測定した¹⁾。

2-3-2 実験結果

床版防水工とコンクリート版との間に付着切れを有する供試体のコンクリート版への塩分浸透量を図-7 に示した。ここに示した塩分浸透量は、コンクリートにもともと含まれている塩分量を差し引いたアスファルト表面から供給さ

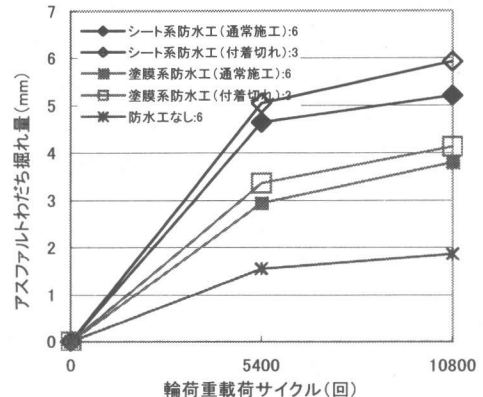


図-4 アスファルトのわだち掘れ量

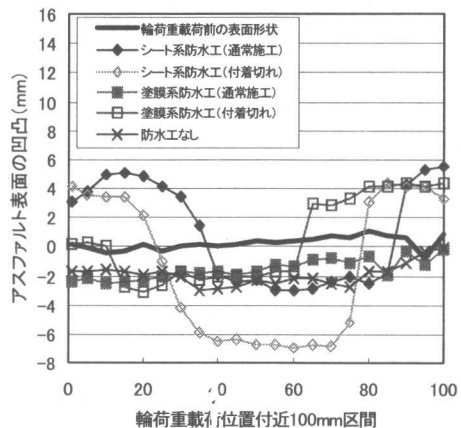


図-5 供試体中央付近のわだち掘れ形状

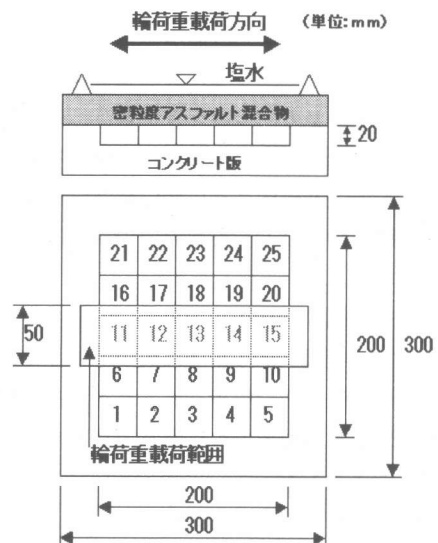


図-6 塩分分析のための分割図

れた塩分量を示している。シート系防水工の付着切れを有する供試体では、 $\phi 100\text{mm}$ の円形付着切れ部分の外側に 0.005%以上の塩分の浸透が見られた。特に、左上隅部分の塩分量が 0.03%程度と大きくなっている。塗膜系防水工の付着切れを有する供試体では、0.005%以上の塩分量となる箇所が左下隅部にわずかに現れている。

3. 考 察

実験では、次の事項が示された。

- 1) 床版防水工を敷設するとアスファルト舗装のわだち掘れが大きくなった。
- 2) 床版防水工とコンクリート版の付着切れがあるとアスファルト舗装のわだち掘れが大きくなった。
- 3) 輪荷重載荷後の塩分分析結果から、付着切れの円形の境界より外側に塩水の進入した形跡が見られた。

以上について確認するため、FEM 解析を行った。

3-1 解析モデル

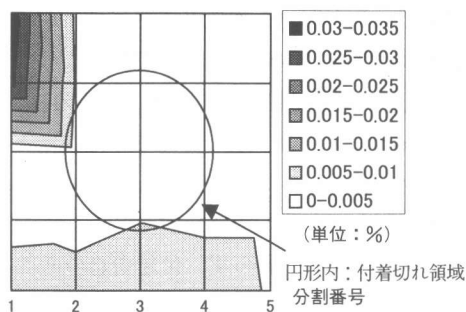
解析モデルを図-8 に示した。アスファルト混合物および床版防水工は弾性体と仮定し、二次元平面ひずみ場の問題として解析した。床版防水工とコンクリート版の拘束条件は、付着切れがあるものについては床版防水工の底面の両端 100mm は x 、 y 方向ともに変位量 0 に拘束、中央 100mm を y 方向のみを変位量 0 に拘束した。通常施工のものについては、床版防水工底面をすべて x 、 y 方向ともに変位量 0 に拘束した。側面は型枠となるため x 方向のみを変位量 0 に拘束した。

輪荷重載荷幅は車輪幅の 50mm とし、接地圧 0.6272N/mm^2 を図-9 のように仮定して与えた。今回の解析は静的弾性解析であるため、疲労による塑性変形を表現するのに便宜上荷重を累積載荷することとした。

3-2 解析のための定数の設定

既往の研究²⁾より 60°C におけるアスファルトの弾性係数を 500N/mm^2 とした。アスファルト

①シート系防水工



②塗膜系防水工

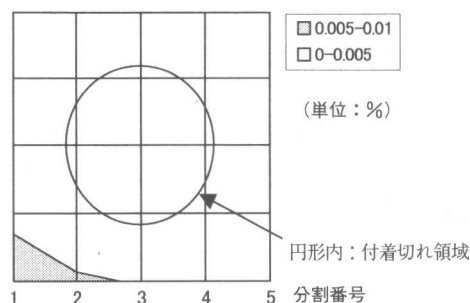


図-7 コンクリート版への塩分浸透量

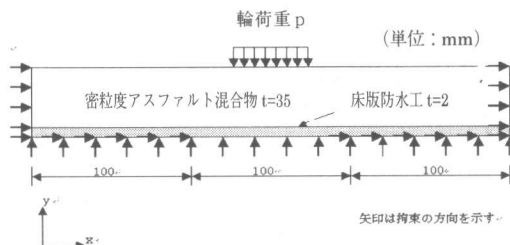


図-8 解析モデル

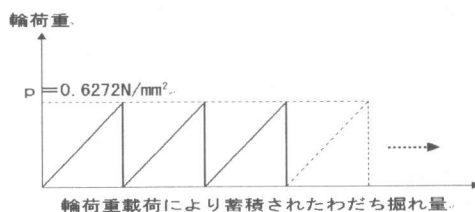


図-9 輪荷重の載荷方法

のポアソン比は 0.35 と仮定した³⁾。

床版防水工材料の引張弾性係数は、図-10 に示す 60°C における床版防水工材料単体での引張試験結果から設定した。この図から、床版防水工単体の引張弾性係数は $-10^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ の範囲では温度の影響をあまり受けないことが分か

る。実際の床版防水工はアスファルト舗設時に高熱の影響を受けるが、ここでは引張弾性係数は温度の影響を受けないと仮定して、シート系防水工は 70N/mm^2 、塗膜系防水工は 10N/mm^2 とした。60℃における各々の床版防水工の圧縮弾性係数は、ヴィッカーズ硬度計により測定した。その結果から、シート系防水工は 100N/mm^2 、塗膜系防水工は 60N/mm^2 とした。

図-11 にアスファルトとコンクリート版の境界面に床版防水工を敷設した供試体の $\phi 100\text{mm}$ のコアを 60℃ にとってせん断試験を行った結果を示す。この関係から、60℃ におけるせん断弾性係数は、シート系防水工は 0.02N/mm^2 、塗膜系防水工は 0.09N/mm^2 とした。

床版防水工のポアソン比については、シート系防水工はアスファルトと同じと仮定し 0.35、塗膜系防水工は塩化ビニルと同程度と仮定し 0.38 とした⁴⁾。解析に用いた定数を表-3 に示す。

表-3 解析に用いた定数

材料 ¹⁾	弾性係数 (N/mm^2)		せん断 弾性係数 (N/mm^2)	ポアソン比
	Ex	Ey		
密粒度アスファルト混合物	500	500	—	0.35
シート系防水工	70	100	0.020	0.35
塗膜系防水工	10	60	0.090	0.38

3-3 解析結果

3-3-1 アスファルト表面形状に及ぼす影響

輪荷重載荷点付近のアスファルト表面形状解析結果を図-12 に示す。この図は、まず、防水工なしの供試体における輪荷重載荷 10800 回の実験で得られた最大わだち掘れ量 1.87mm (図-4 参照) を、防水工なしの解析モデルで輪荷重を 1 回載荷した時に算出された最大わだち掘れ量 0.0302mm で除して、便宜上の載荷繰返し回数 62 回を求め、次に、①床版防水工なしの場合、②床版防水工を通常施工した場合、および、③床版防水工とコンクリート版の付着切れがある場合、の各解析モデルで輪荷重を 1 回載荷した時の解析上のわだち掘れ量に便宜上の

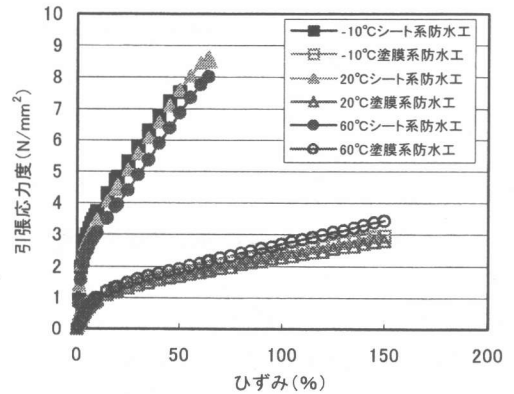


図-10 材料温度の違いによる防水工材料単体の引張応力度-ひずみの関係

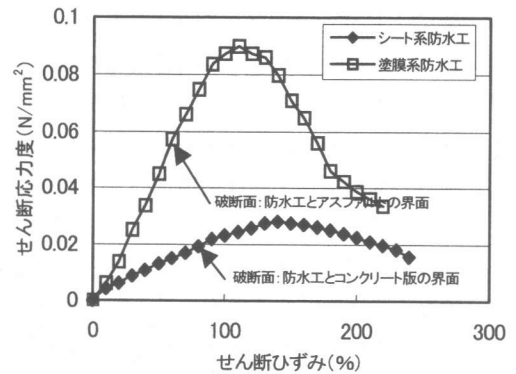


図-11 60℃における防水工を敷設したコアのせん断応力度-ひずみの関係

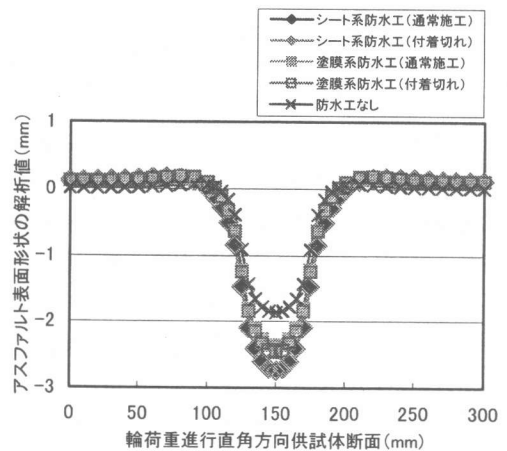


図-12 アスファルト表面形状 (解析値)

載荷繰返し回数を乗じて得られたわだち掘れ量を示したものである。この図から解析結果と実験結果が次の点で一致している。

- 1) わだち掘れ量の大きい順は、シート系防水工、塗膜系防水工、防水工なしである。
- 2) 床版防水工を施した場合、付着切れのあるものの方が付着切れのないものよりもわだち掘れ量が多い。

3-3-2 床版防水工の塩害性に及ぼす影響

図-13 に解析による輪荷重進行直角方向の床版防水工下面のせん断ひずみ分布を示した。この図は、床版防水工の厚さ方向に要素を3分割し、解析モデルに輪荷重を1回載荷した時にその最下面における要素のx方向倒れ量を要素のy方向高さ(2/3mm)で除した値に、便宜上の載荷繰返し回数を乗じて得られた値をせん断ひずみとしている。この図から分かることは次のとおりである。

- 1) 通常施工の場合、シート系防水工を用いた場合のせん断ひずみは塗膜系防水工を用いた場合よりも大きい。
- 2) 付着切れのある場合、付着切れの円形境界箇所での床版防水工下面のせん断ひずみ分布が不連続となり、分布幅が狭いことからその箇所にせん断ひずみが集中している。

これに加えて、図-11 のせん断試験で得られた結果を考慮すると次のことが推測可能である。

(1) シート系防水工を用いた場合

60℃におけるせん断破断面は床版防水工とコンクリート版の界面であり、当初の円形付着切れを付与した面と一致している。当初の円形付着切れ境界がせん断ひずみの集中により新たな付着切れのきっかけとなり外側に広がったと思われる。一方、瀝青シート系防水工を用いると、アスファルト締固め時に防水工が熱により溶けて、アスファルト混合物中の骨材が溶けた防水工に食い込む現象が生じる⁵⁾。骨材が食い込んだ箇所の新たな付着切れは、防水性能を低下させる可能性が大きいと思われる。今回は、骨材の深い食い込みが存在したため、新たな付着切れ箇所に塩分浸透が見られたものと考えられる。

(2) 塗膜系防水工を用いた場合

60℃におけるせん断破断面は床版防水工とア

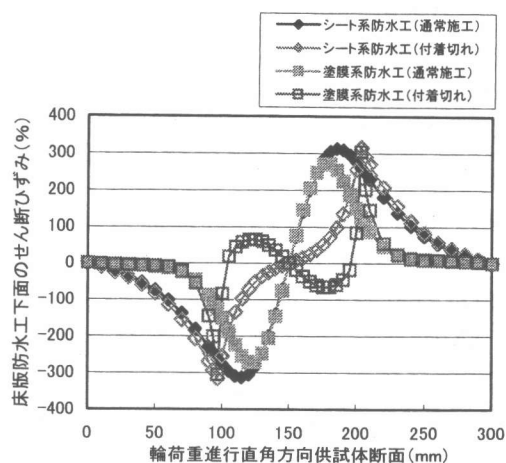


図-13 床版防水工下面のせん断ひずみ分布(解析値)

スファルトの界面であり、当初の円形付着切れを付与した面と一致していない。また、塗膜系ポリウレタン吹き付け防水工は、熱により溶け難く、防水工への骨材の食い込みも小さい⁵⁾。このことから、シート系防水工よりも損傷が小さく顕著な塩分浸透がなかったものと思われる。

4. 結 論

本研究により次の事項が明らかとなった。

- 1) 床版防水工を敷設した場合、敷設しない時よりもアスファルトのわだち掘れ量が大きくなる。
- 2) 床版防水工とコンクリート床版の付着の有無はアスファルト舗装の路面形状に影響する。
- 3) 床版防水工とコンクリート床版の付着切れが存在すると、付着のない部分とある部分の境界でせん断ひずみが集中し、床版防水工の性能を低下させる場合がある。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、ご協力いただいたニチレキ(株)の蒔田氏および(株)ボジリス物産のノルベルト・パウマン氏に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 「コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに規準(案)」 pp39～pp42 社団法人日本コンクリート協会
- 2) 神谷, 金井, 東, 松井「逆解析手法の違いによるひずみおよび破壊回数の比較検討」第55回土木学会年次学術講演会 平成12年9月
- 3) 「舗装試験法便覧別冊(暫定試験方法) pp255 社団法人日本道路協会 平成8年10月
- 4) 西村, 藤井著「最新土木材料」 pp180 森北出版
- 5) 野村・魚本「道路橋における鉄筋コンクリート床版の防水工に関する研究(その3)」生産研究投稿中