

積雪寒冷地における床版防水工の性能評価に関する検討

The study on evaluation of water-proof for bridge deck slab in snowy and cold region

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 ○正員 吉田 英二
正員 三田村 浩
正員 石川 博之

1. はじめに

橋梁において、コンクリート床版の耐久性向上を目的に、床版全面に、防水工を施工することになっている。特に、北海道のような積雪寒冷地域において、凍結融解作用による床版劣化促進を抑制するために、床版防水が重要である。既設橋梁の床版において、要領の改訂以前では、防水工を施工していない橋梁も多く、また、比較的新しい建設年次の橋梁においても、床版下面に漏水やエフロエッセンスが確認されており、防水機能の低下が懸念されている。このような現状から、様々な条件下における既設橋梁の防水層の効果把握を目的とした実態調査が必要である。

このような背景より、既設橋梁の実態調査として、床版防水層の引張接着試験を行うこととした。また、その試験結果を、コンクリート床版の耐久性向上および床版防水層の品質向上のため、積雪寒冷地における床版防水工の設計・施工マニュアルの基礎資料として取りまとめた。

2. 積雪寒冷地におけるコンクリート床版劣化・損傷要因と床版防水の役割

2.1 コンクリート床版劣化・損傷要因

コンクリート床版の劣化・損傷では、その多くに輪荷重の繰り返し走行に起因する疲労が関係していると考えられる。一般に、コンクリート床版の疲労では、輪荷重の影響により、ひび割れが徐々に増加・進展し、最終的にはコンクリートの押抜きせん断破壊によって抜け落ちる(写真-1)。その過程において、コンクリート床版に水が存在すると、ひび割れの進行と劣化を促進させ、舗装にも損傷を与える等、床版の劣化を著しく加速させる。

水の影響による床版の疲労耐久性の確認として、水を張った試験体(湿潤状態)と通常の試験体(乾燥状態)における輪荷重走行試験結果から、湿潤状態のRC床版は、乾燥状態のRC床版と比較して、10倍以上の速さで試験体が破壊に至ったことが確認されている⁽¹⁾。以上の知見からも、コンクリート床版にとって、雨水等による水処理は重要な問題であり、特に積雪寒冷地においては、凍結融解作用が懸念されるため、通常的环境に比べ、床版の劣化が加速しやすいといえる。

2.2 床版防水の役割

実験あるいは、現地調査により、床版上面の水の滞水がコンクリート床版の耐久性に大きな影響を与えることが確認されている。このため、路面からの雨水の浸入を



写真-1 コンクリート床版の抜け落ち

防ぐ床版防水が必要不可欠となる。このとき、床版防水層によって、床版上面に到達した水が床版防水上で停滞することがないように、速やかな排水が行われることも重要である。

以上の積雪寒冷地におけるコンクリート床版劣化・損傷要因、床版防水の役割を踏まえた上で、既設橋梁の実態調査を行う。

3. 調査の概要

調査橋梁数は3管内(道東、道南、道南)4橋ずつの、合計12橋を選定する。橋梁選定は、道路橋設計施工要領の変遷と、橋梁架設年あるいは床版防水工補修施工年に対応させた条件により行う。

以下に選定条件を示す。

- 1) 防水層の主要変遷毎にグループ分けを行う。
- 2) 橋梁架設年あるいは防水工補修年おおよそ5年毎のグループに分ける。
- 3) 昭和62年以前の橋梁は、防水層設計・施工資料の発行前であり、防水層が設置されていない可能性が高いため、選定から除外する。表-1には、上記の選定条件を示す。

表-1 選定条件表

要領変遷グループ ^o	橋梁架設年グループ ^o
~S62	~S62
S63~H7	S63~H5
H8~H15	H5~H10
	H10~H15
H16~	H16~

橋梁選定

4. 引張接着試験

4.1 試験概要

既設橋梁床版防水工の実態調査として、床版、床版防

水層、舗装相互の接着状態を確認するため、コアカットにて、床版まで切込みを入れて、引張接着試験を行う。

試験方法は、道路橋床版防水便覧（平成19年3月社団法人日本道路協会⁽²⁾）に準拠して行う以下に概要を示す。

- 1) 温度：各路面温度毎
- 2) 試験箇所：3箇所/橋×12橋=36箇所
- 3) 試験位置の考えた方
 - i) 橋軸直角方向位置：試験位置は、車両輪荷重直下とする。橋面および交通状況から車両輪荷重ラインを確認し、試験位置を決定する（図-1）。但し、現地の状況で、輪荷重直下の舗装状態が悪い場合、舗装の損傷が少ない車線中央位置とする。
 - ii) 軸方向位置：試験位置は、橋梁端部付近（縦断勾配が低い位置）、中間支点上付近、支間中央付近とする（図-2）。但し、架設年次が古い橋梁においては、床版防水工層が確実に施工されている位置を優先する。

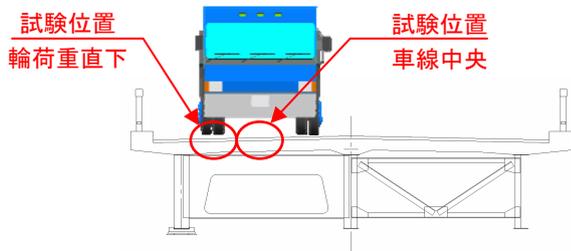


図-1 試験位置(i)

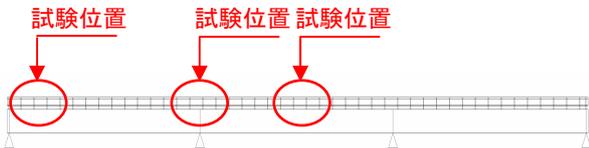


図-2 試験位置(ii)

4.2 試験方法

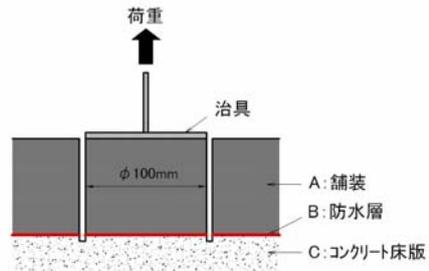
試験方法は、既設橋梁の舗装面に、コアカットによる切込みを入れ、試験機を取り付ける（写真-2）。接着材により舗装表面に治具（写真-3）を取付け、試験を実施する。載荷は、毎秒 0.1N/m² で鉛直方向に接着界面または材料が破壊するまで試験する。破壊したときの最大荷重を計測し、破壊状況（図-3）を記録する。



写真-2 引張試験機



写真-3 治具(Φ100)



項目	破壊状況
A	舗装材破壊
AB	舗装と床版防水層の界面破壊
B	床版防水層の破壊
BC	床版防水層とコンクリートの界面破壊
C	コンクリートの破壊

図-3 破壊状態

4.3 照査方法

引張接着強度は下記のように算出する（道路橋床版便覧より）

$$\text{引張接着強度 (N/mm}^2\text{)} = \frac{\text{最大荷重 (N)}}{\text{接着面積 (mm}^2\text{)}}$$

接着面積：7854mm² (φ100の場合)

4.4 合否判定基準

引張接着強度の合否判定は、「道路橋床版防水便覧⁽²⁾」の基本照査試験における合否判定の目安を用いる。

ここで、留意しなければならない点が試験温度である。引張接着試験の目安は、23℃→0.6N/m²、-10℃→1.2N/m²（表-2）であるが、現場試験温度（路面温度）は変動しているため、温度補正が必要であると考えられる。「道路橋床版防水便覧⁽²⁾」では、現場試験における温度変化毎の引張接着強度合否判定基準値を明示していないため、本試験では、温度毎の合否判定基準値として、「道路橋床版防水便覧⁽²⁾」の合否判定基準値を比例補間した式で、判定するものとする。

表-2 合否判定の目安

試験項目	試験目的	試験温度 ^{注1)}	合否判定の目安	試験方法
防水性試験 ^{注2)}	I 床版防水層の防水性を照査する。	23℃	漏水量0.2ml以下	付録1
	II 床版防水層の防水性を照査する。	23℃	漏水がないこと	#
ひび割れ追従性試験 ^{注2)}	I 床版防水層の低温時における耐変形性を照査する。（低温可塑性試験）	-10℃	床版防水材の折損が生じないこと	#
	II 床版防水層の低温時における耐変形性を照査する。	-10℃	追従限界ひび割れ幅0.3mm以上	#
引張接着試験	床版防水層と床版及び舗装との界面における引張接着性を照査する。	23℃	強度0.6N/mm ² 以上	#
		-10℃	強度1.2N/mm ² 以上	
せん断試験	床版防水層と床版及び舗装との界面におけるせん断抵抗性・せん断変形追従性を照査する。	23℃	強度0.15N/mm ² 以上 変位量1.0mm以上	#
		-10℃	強度0.8N/mm ² 以上 変位量0.5mm以上	
水浸引張接着試験	コンクリート床版に水が浸透している場合あるいは舗装内に水が蓄水した場合に床版防水層と床版及び舗装との接着性が著しく低下しないことを照査する。	23℃	水浸前の50%以上	#
耐薬品性試験	床版防水材の耐薬品性を照査する。	23℃	異常のないこと	#

注1) 防水性試験 I、II 及びひび割れ追従性試験 I、II は、それぞれ I または II のいずれかの方法によつてよい。

注2) 従来20℃としていた試験温度については、ISOとの整合性を図るため23℃に変更した。ただし、既往の製品で20℃として行った試験結果は合否判定に有効なもののみとしてよい。

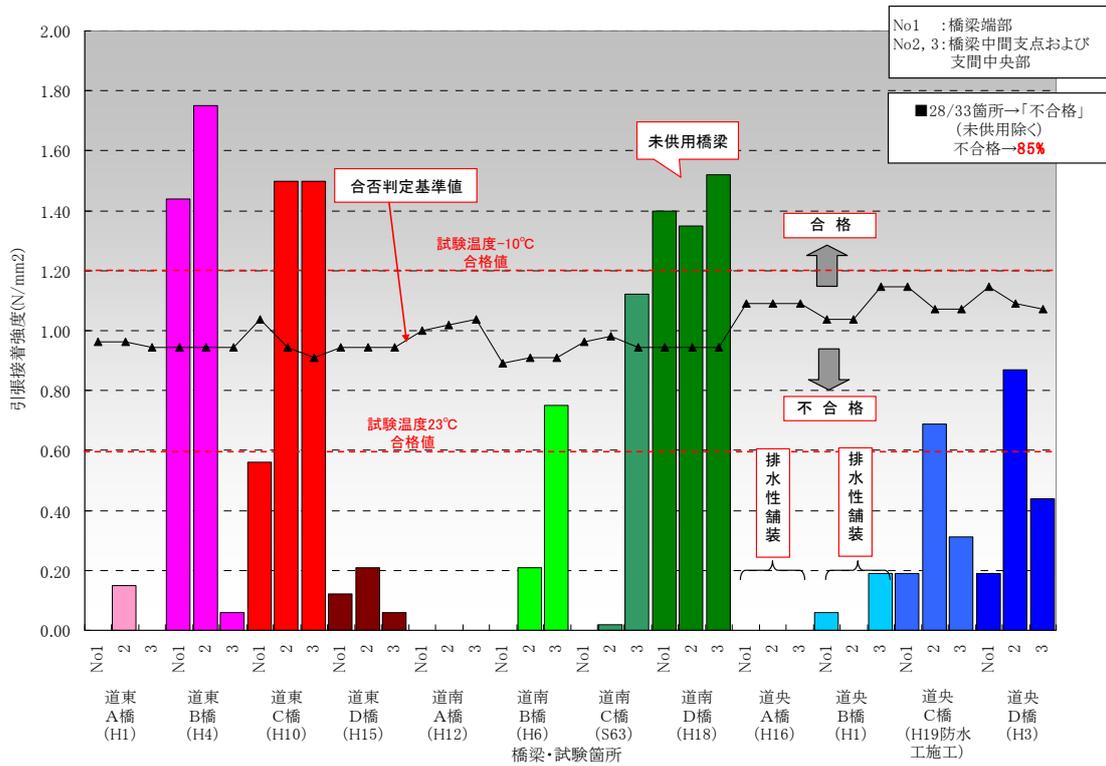


図-5 引張接着試験結果

5.引張接着試験結果

図-5、6には、試験を行った12箇所の引張接着試験結果及び調査箇所を示している。合否判定基準値は、各試験温度から算出した値とする。

防水層の種類は、全橋梁で塗膜系防水層を使用しており、道東C橋のゴム溶剤型を除いて、全てアスファルト加熱型を使用していた。

試験結果は、基準値を満たしていない試験数は28箇所、全体の約78%であった。また、未供用の橋梁を除いた場合、基準未達の試験数は、33箇所中28箇所となり、全体の85%が基準値を満たしていない。

この結果から、既設橋梁の防水層は、劣化・損傷により機能が低下していることが考えられる。

6.調査位置及び破壊状況による考察

6.1 調査位置による考察

橋梁端部 (No1) では、12箇所中10箇所が基準値未達となっている。また、未供用の道南D橋 No.1を除くと、約91%の箇所で基準値を満たしていない。橋梁一般部では、24箇所中18箇所が基準値未達であり、未供用の道南D橋 No2,3を除くと、約82%の箇所で基準値を満たしていない

6.2 破壊状況による考察

6.2.1 舗装材破壊(A)

舗装材破壊(A)には、i)表層と基層の界面、ii)それ以外の部分での破壊の2つの破壊形式がある。

舗装材破壊(A)の場合、防水層の引張力より、舗装材自体の引張力が弱ければ、試験値が防水層の引張強度と



写真-4 道央B橋 No3

はならないが、破壊形状 i)、ii)において、残りの舗装が容易に抜けた場合、試験値が防水層の引張強度と判断できる。また、排水性舗装で基層が劣化している場合、基層に多くの水が浸透していることが予想できるため、その場合も、防水層は劣化していることが考えられる。引張接着強度がない舗装材破壊(A)の場合、舗装の損傷(ひび割れ)が顕著である。

排水性舗装である、道央B橋の場合、表層と基層に付着がなく、水の浸透により基層部が劣化していたため、防水層の機能は低下していると考えられる。(写真-4)

6.2.2 舗装と防水層の界面破壊(AB)及び防水材と床版の界面破壊(BC)

界面破壊(AB)、(BC)は、主に、舗装面と床版面に付着する防水層の量にて区別している。界面破壊の試験値は、防水層の引張接着強度であると判断できる。

基準値以上の値を示した道東C橋の橋梁一般部は、H10年架設より、9年経ているが、床版防水層の劣化は少なく、十分な防水機能を有している。これは、必要膜

厚で確実に施工され、床版も乾燥した状態で行われたと考えられる。(写真-5)

サンドイッチ床版の道東 D 橋は、施工当初から、鋼板と防水層の引張接着強度が低下している状態であった。(写真-6)



写真-5 道東 C 橋 No2



写真-6 道東 D 橋 No3



写真-7 道央 C 橋 No2



写真-8 道南 A 橋 No1

6.2.3 コンクリートの破壊(C)

コンクリートの破壊(C)は、防水層の引張接着強度より、コンクリートモルタルの引張力が小さいことを示している。これは、床版防水層下面に水分が残っており、コンクリート表面が脆弱化していたことによる破壊と考えられる。(写真-7)

6.2.4 破壊状況：試験なし

試験なしは、コア抜きの際、舗装材が抜けた状況である。舗装材が抜けるのは、防水層と舗装あるいは、床版が完全に分離しているためであり、引張接着強度はなしである。

道南 A 橋は、12 年架設の比較的新しい橋梁であるが、舗装の損傷が顕著である。特に、縦断勾配が 6% 程度であるため、橋梁端部が滞水しやすい構造であり、橋梁端部の舗装の損傷が大きい。また、コア抜き後の確認により、常時、床版上面に水が流れている状態であり、防水層の機能は損なわれている。これは、橋梁に適した排水処理がなされておらず、床版防水層が常時湿潤状態となり、防水層の劣化の進行を促進させたものと考えられる。(写真-8)

7. 験結果考察のまとめ

各試験結果から以下の知見が得られた。

- 1) 架設年次によらず、約 85%の試験箇所で、引張接着強度が出ておらず、防水層の機能低下が懸念される。

- 2) 舗装材破壊(A)は、舗装の損傷が顕著であり、表層と基層に付着がなく、水の浸透により基層部が劣化していたため、防水層の機能は低下していると考えられる。
- 3) 舗装と防水層の界面破壊(AB)は、接着強度の基準値以上の値を示し、十分な防水機能を有している状態だといえる。
- 4) コンクリート破壊(C)は、床版上面が水の滞水により脆弱化していたと考えられ、施工時の床版は、湿潤状態だったと推測される。
- 5) 試験なしは、橋梁に適した排水処理がなされていないことが、防水層の劣化の進行を加速させたものと考えられる。

上記から、積雪寒冷地域である北海道においては、防水層の劣化メカニズムに凍害、経年劣化、などによる舗装の劣化・損傷が、大きく寄与している可能性がある。また、本試験では、全橋梁が塗膜系防水層であったため、他の防水材料の機能についても確認する必要がある。以上により、既設橋梁の塗膜系防水層の機能低下は確認できたが、その劣化メカニズムまで言及できなかった。

今後は、更なる基礎資料の収集、劣化メカニズムの解明、防水材料の適応性を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 小野、三田村、林川、松井：積雪寒冷地における RC 床版の耐久性に関する研究、第六回道路橋床版シンポジウム論文報告集 pp75-80、2008
- 2) 道路橋床版防水便覧 社団法人 日本道路協会 平成 19 年 3 月