

## 論文

## 道路橋床版の耐久性の向上に向けた排水ますの開発

岡田慎哉\*, 澤松俊寿\*\*, 西弘明\*

\*博(工), (独)土木研究所寒地土木研究所寒地構造チーム (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3-1-34)

\*\*国土交通省北海道開発局網走開発建設部 (〒093-8544 北海道網走市新町2丁目6-1)

道路橋に用いられる排水ますの劣化損傷事例の調査結果に基づいて、現行の排水ますの問題点を整理し、露呈した問題点に対して、床版上面の水に対する排水能力、排水ますと床版防水層との接続性、排水ますと床版の一体性を強化・向上させることにより、道路橋床版の劣化要因である水を確実に排水できるよう構造を改善した排水ますを提案した。提案した排水ます構造の効果を確認することを目的に、排水ますを設置した鉄筋コンクリート床版に対して、輪荷重の繰返し走行を想定した定点疲労載荷試験を実施した。その結果、排水ますの疲労亀裂や排水ますと床版コンクリートの接続部からの漏水は認められず、排水ます自体の疲労耐久性および排水ますと床版の一体性が輪荷重に対して十分なものであることを確認した。

キーワード：排水ます、道路橋床版、耐久性向上、定点疲労試験

## 1. はじめに

道路橋 RC 床版の劣化要因は主に大型車の輪荷重による疲労や床版内部への水の浸入とされている<sup>1)</sup>。積雪寒冷地においては、これらの劣化要因に加え、凍害や凍結防止剤の散布による塩害の影響を受けた劣化損傷が顕在化してきており、最終的には陥没に至った事例も確認されている。このため、床版の健全性を確保していくためには、雨水や融雪水を床版内に浸入させないことが極めて重要となる。

水を誘因とした床版の劣化損傷を抑止するために床版防水システムという考え方が注目されている。これは、排水設備により入力(水の作用)の低減を図るとともに、舗装、防水層、床版の三位一体構造をもって損傷を抑止し、床版を守るものである。排水設備においては、図-1のように舗装上面の水および床版上面の水の排出を担う排水ますが特に重要な構成要素である。

一方で、橋面上および舗装内部の滞水や、これにより助長されたと考えられる舗装や防水層の劣化損傷および排水ます自体の劣化が認められる。特に積雪寒冷地では、凍結防止剤の散布による塩害や春先の融雪水の問題から、排水ますが確実に機能することが求められる。

本論文では、床版の劣化損傷要因となる橋面上の水を確実に排水できる排水ますについて各種の検討を実施した。まず、現地調査結果から確認される排水ますの劣化損傷状況を整理し、従来の排水ますが有する問題点を明確にした。これに基づき、問題点を改善した排水ます

構造(以後、「高耐久排水ます」という。)を提案した。さらに、提案した排水ます構造に対して、排水ます自体の耐久性および排水ますと床版との一体性すなわち止水性を検証するために、排水ますと床版からなる供試体の定点疲労載荷試験を実施した。最後に、排水ますを確実に機能させるための排水ますの施工上の配慮事項について示した。

## 2. 排水ますの劣化損傷状況と問題点および高耐久排水ます

## 2.1 排水ますの劣化損傷状況と問題点

排水ますの劣化損傷状況を把握し、現状の排水ますが有する問題点を明確にするために、北海道内の国道橋に関する橋梁点検結果を整理した。

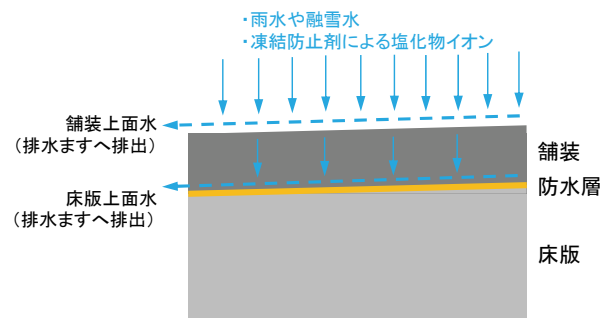


図-1 橋面における水の流れのイメージ



(a-1)漏水とこれに伴うコンクリートの劣化および排水管の腐食



(a-2)腐食による排水管の破断



(b-1)排水ますの土砂詰り



(b-2)排水ますの土砂詰りとそれに伴う周辺の滞水および土砂堆積



(c-1)伸縮装置近傍における床版防水層の剥離 (舗装撤去後)



(c-2)排水マス近傍における床版防水層の剥離 (舗装撤去後)

写真-1 排水ますに関する代表的な劣化損傷状況 (a : 排水ます自体の劣化損傷, b : 排水能力の低下, c : 排水能力不足に起因した副次的な劣化損傷)

写真-1 は代表的な劣化損傷状況を示したものである。排水ますに関連する劣化損傷は次の3つに大別される。

### (1) 排水ます自体の劣化損傷

写真-1(a-1)では排水管が腐食し、排水管周りの床版コンクリートが剥落している。剥落したコンクリートの周辺においてエフロレッセンスの析出が認められることから、排水ますとコンクリート間で漏水があり、漏水に起因したコンクリートの凍害、排水管の腐食が発生したものと考えられる。写真-1(a-2)は漏水によるものと考えられる排水管の腐食が進行し、破断による欠損が生じている。このような劣化損傷を防止するためには、排水ますとコンクリートの一体性を強化し確実な止水性を確保する必要がある。

### (2) 排水能力の低下

写真-1(b-1)は排水ますの土砂詰まりの事例であり、このような状態ではほぼ排水能力を消失しているものと考えられる。写真-1(b-2)も同様に排水ますの土砂詰まりであるが、排水能力の低下に伴い排水ますの周辺が滞水していることから、舗装内が湿潤環境となりやすいことと推測される。定期的な排水ますの清掃を確実に実施することにより、排水性を確保する必要がある。

### (3) 排水能力の不足に伴うその他部材の副次的な劣化損傷

写真-1(c-1)では伸縮装置近傍において床版防水層が剥離している。既往の研究によると、滞水環境では舗装、

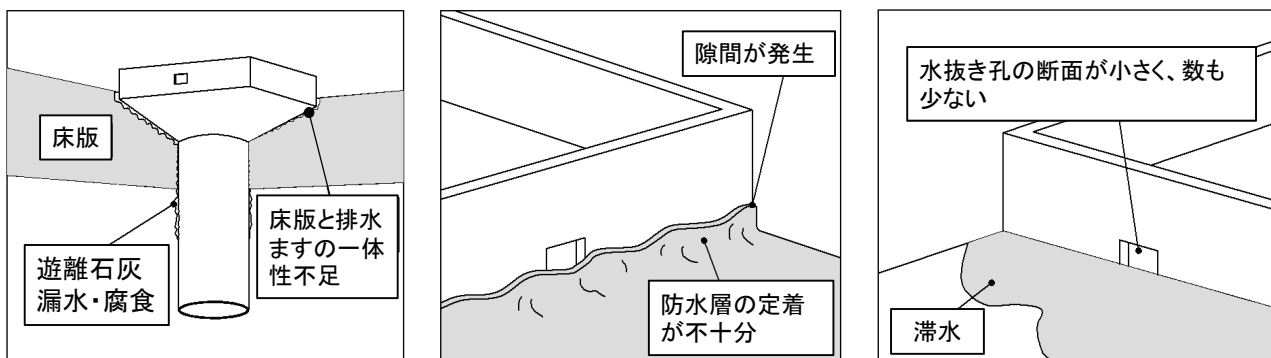
床版防水層、コンクリートからなる構造体の疲労耐久性が乾燥状態と比べて 1/10 程度に低下する場合があることが実験的に示されている<sup>2)</sup>。伸縮装置近傍は橋面における縦断勾配の関係から滞水しやすい箇所であり、排水ますの排水能力不足により防水層の損傷を助長した可能性がある。写真-1(c-2)は床版防水層が設置されている橋梁に対して、排水ます周辺の舗装を撤去した状態を示したものである。黒い部分が床版防水層であり、床版コンクリートとの界面で剥離している。床版防水層の下側に水が浸入したことが要因の1つと考えられる。排水ます周辺は滞水しやすいことから、防水層と排水ますの接続の確実性を強化する必要がある。

排水ますの劣化損傷事例と排水ますの構造上の特徴に基づき、従来の排水ますの問題点を整理すると次のとおりであると考えられる。

まず、図-2(a)のように排水ますと床版の一体性が不足している。このため、排水ますとコンクリートの間から漏水し、排水管の腐食や排水ます周辺のコンクリートの脆弱化の要因となっている。

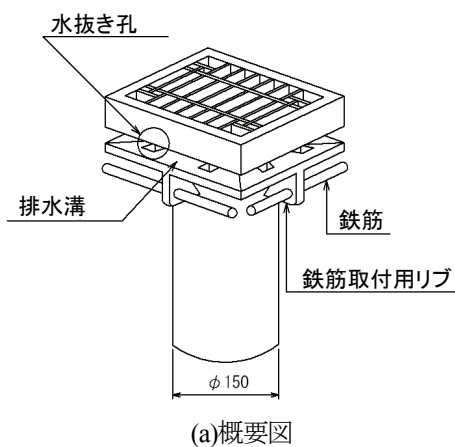
次に、図-2(b)のように排水ますと床版防水層の定着が不十分であるために、床版防水層下側への水の浸入を抑制できておらず床版防水層の劣化損傷を招いているものと考えられる。

また、図-2(c)のように床版上面の水を排水する水抜き孔の断面が小さく、その数も橋軸方向に直交する面に



(a) 排水ますと床版の一体性（止水性）不足  
 (b)排水ますと床版防水層の接続不良  
 (c)床版上面排水のための水抜き孔の排水能力不足

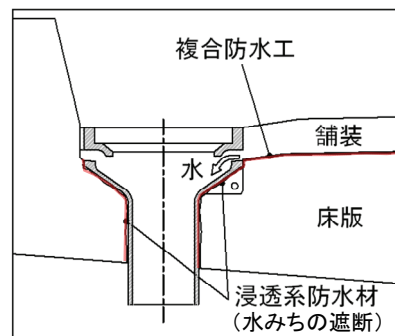
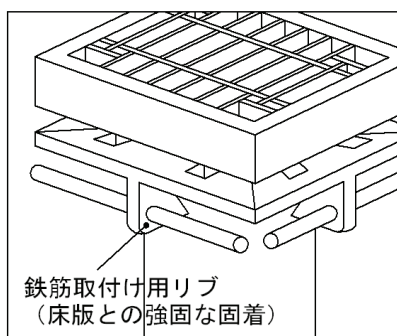
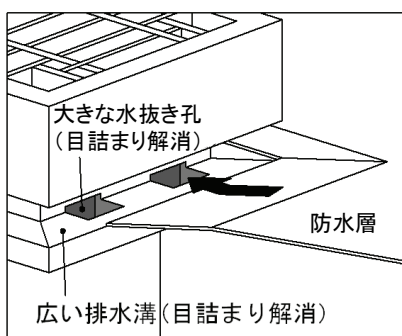
図-2 従来の排水ますに関する問題点



(a)概要図

(b)外観

図-3 高耐久排水ます



(a)排水溝と水抜き孔の強化

(b)鉄筋取付け用リブ

(c)浸透系防水材料の併用

図-4 高耐久排水ますの特徴

1つしかなく十分でない。排水ますの構造によっては、床版コンクリート上面よりも高い所に水抜き孔が位置する場合がある。

## 2.2 高耐久排水ますの提案

前節で整理した従来の排水ますの問題点に基づき、排水性および排水の確実性を向上させた図-3のような排水ます構造（高耐久排水ます）を提案した。高耐久排水

ますは、従来型の排水ますと比較して次のような特徴を有している。

### (1) 床版上面水に対する排水能力の強化

床版上面水に対する排水性を強化するために、断面の大きな水抜き孔をますの4面に2個ずつ設けた。また、図-4(a)のように水抜き孔近傍における目詰まりを抑制するために、従来の排水ますにはない排水溝を設けた。

## (2) 排水ますと床版防水層の接続性の向上

床版上面水を速やかに排水するよう、図-4(a)に示すとおり排水ます周辺において床版コンクリート上面に水勾配を設けるとともに、床版上面水を排水溝へ導水する構造とした。

## (3) 排水ますと床版の一体性（止水性）の向上

排水ますと床版の一体性の向上を目的に、鉄筋取付け用リブを設け、定着用の鉄筋を介して床版と排水ますの定着を強化する構造とした（図-4(b)）。

また、排水ます周辺に生じる床版コンクリートの初期ひび割れ等が水みちとなることを防ぐために、図-4(c)のように排水ます周辺の床版防水層に浸透性の高い樹脂材料（浸透系防水材）を隙間に十分浸透させ、床版自体に防水機能を与えるものとした。

## 3. 高耐久排水ますを設置した RC 床版供試体の定点疲労 載荷実験

### 3.1 定点疲労実験の概要と目的

前章の高耐久排水ますについて、供用中における排水ます自体の疲労耐久性および排水ますと床版の一体性、すなわち排水ます周辺の止水性を確認することを目的として、排水ますを取り付けた RC 床版供試体の定点疲労載荷実験を実施した。実験条件は、今後その数が増大すると考えられる既設橋における排水ますの交換を想定したものとした。

### 3.2 定点疲労実験の方法

#### (1) 供試体

表-1 は RC 床版供試体の諸元、図-5 は実験概要図である。本実験では、既設橋での排水ますの交換に着目し、既設 RC 床版に対する高耐久排水ますの適用性を確認することを目的とした。このため、RC 床版供試体は昭和 31 年鋼道路橋設計示方書に基づいて設計し、床版の厚さや支間、排水ますは実規模とした。車両走行時における排水ます周辺の応力条件を考慮するために、床版は片持ち梁式として、張り出し部に排水ますを設置した。床版厚さは 16cm とし、反力架台の間隔は一般的な主桁間隔と同程度とした。

表-2 は排水ます、補強鉄筋、防水層の諸元である。本来の補修であれば既設の床版に対して排水ますを施工するところである。しかしながら本実験では、供用中における排水ます自体の疲労耐久性および排水ます周辺の止水性を確認することを目的としているため、床版と排水ますを一連で施工した。

排水ますの周囲には、排水ますを設置するために欠損する鉄筋量と同等の補強鉄筋（ループ鉄筋）を設置した。2.2(3)のとおり、コンクリートの初期ひび割れ等からの漏水を抑制するために、浸透系防水材を排水ますとコンクリート床版の隙間に浸透させた。床版上面には浸透系防

表-1 床版供試体の諸元

適用示方書	昭和 31 年鋼道路橋設計示方書
床版形式	RC 床版
主桁支間	2.35m
形状	橋軸方向 1.0m, 橋軸直角 3.5m, 厚さ 160mm
コンクリート	設計基準強度 24N/mm <sup>2</sup>
鉄筋	主鉄筋 SD345, D16@130
	配力筋 SD345, D13@260
	かぶり 40mm

表-2 排水ます、補強鉄筋、防水層の諸元

排水ます	鋳鉄 (FC250), 溶融亜鉛めっき
コンクリート	設計基準強度 24N/mm <sup>2</sup>
補強鉄筋	SD345
防水層	複合防水層
	・浸透系防水 ・アスファルト加熱型塗膜防水

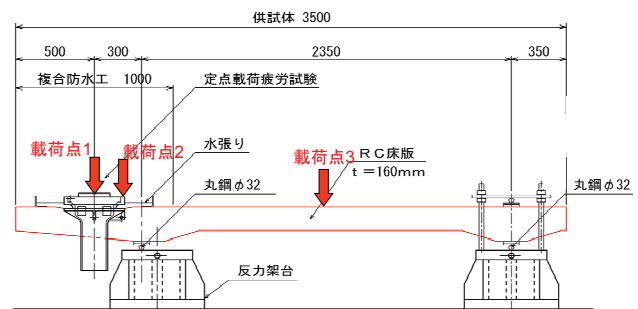


図-5 実験概要図（断面図）

水、アスファルト加熱型塗膜防水からなる複合防水を施工した。

写真-2 は載荷点 1 の場合の実験のセットアップである。排水ます周辺の止水性を確認するために水張り状態とした。なお、漏水の発生の確認を容易とするために、水に蛍光の塗料を混合した。

#### (2) 載荷方法

載荷方法は定点疲労載荷とし、図-5 および表-3 のように 3 箇所の載荷点（載荷点 1～3）に対して実施した。載荷点 1 および 2 は車両走行時に輪荷重が直接に排水ますへ載荷された場合を想定したものである。図-6 に示すとおり、排水ますのふたの縁に対して、橋軸方向、橋軸直角方向の 2 辺に載荷した。載荷点 3 は床版支間中央に輪荷重が載荷した場合であり、床版のたわみ振動に起因した排水ます周辺のがたつき等を確認するものである。載荷荷重の大きさについては、載荷点 1, 2 では TL-25 の後輪タイヤ 1 本 (50kN) が載荷された場合を想定し、排水ます周辺に段差があるものとして衝撃係数 1.4 を考

慮して最大荷重振幅を 70kN とした。載荷点 3 については、既設橋床版において TL-25 荷重が載荷した場合のたわみ量と同等以上のたわみとなる荷重を載荷することとし、既往の輪荷重走行試験結果等を参考に 50kN とした。全ケースにおいて最小荷重振幅は 5kN、載荷周波数は 10Hz とした。載荷回数は載荷点 1 および 2 が各 100 万回ずつで、排水ますに合計で 200 万回載荷することとした。載荷点 3 は 200 万回とした。一般に排水ますは地覆近傍に設置されるものであり、排水ます上を TL-25 相当の荷重が通過することは少なく、実際と比べて実験の荷重条件は過酷なものと考えられる。

### (3) 排水ますの損傷および漏水の確認方法

排水ます自体の疲労亀裂を確認するために、目視観察および浸透探傷試験を実施した。

また、目視により床版下面における漏水の有無を確認した。

### 3.3 定点疲労実験の結果

図-7 は載荷終了後の排水ます内部および床版下面の排水管周辺の状況であり、表-3 には実験結果の一覧を示した。実験終了後に実施した浸透探傷試験の結果、排水ますに疲労亀裂は認められず健全な状態であった。また、床版下面において排水管周辺からも漏水は認められず、排水ますと床版との一体性が確保されていた。

実験結果に基づくと、排水ます自体の疲労耐久性および排水ますと床版の一体性は、供用中における輪荷重に対して十分なものであると考えられる。



写真-2 載荷点 1 の実験のセットアップ(蛍光色の部分が着色した水)

### 4. 既設橋における排水ます交換施工時の留意事項

ここでは、橋梁の維持管理事業において今後その数が増大すると考えられる既設橋の排水ますの交換施工に関する留意事項を施工手順に沿って示す。

(1)既設排水管の切断・撤去

(2)床版コンクリートの取壊し・排水ますの撤去

はつり施工機械を用いて既設排水ます周辺のコンクリートをはつりとるが、既設床版への影響に配慮して、コンクリートの取り壊し範囲が小さくなるように検討を行う。また、新旧コンクリートの打継ぎ界面の付着が良好となるよう、コンクリート脆弱部等がある場合には、確実に除去する。

(3)補強鉄筋・型枠の設置

排水ますを設置するために欠損した鉄筋と同等以上の補強鉄筋(ループ鉄筋)を配筋する。補強鉄筋は乾燥収縮による斜めひび割れ対策として有効に機能するよう設置する(図-8(a))。

(4)排水ますの設置

排水ますと床版を強固に定着させるために、図-8(a)のとおり定着用鉄筋をリブに取り付ける。

(5)排水ます周辺のコンクリート打設

コンクリート打設の際には、排水ますとコンクリート床版を強固に定着させるために、排水ます下部の締め固めを確実に進行。また、床版上面水をスムーズに排出できるように、図-8(b)のようにコンクリートに排水勾配を付けて仕上げる。

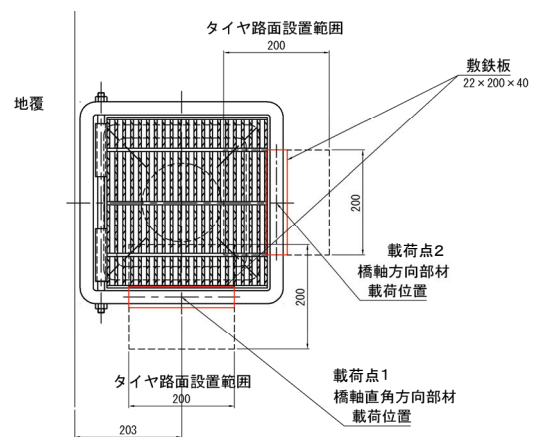


図-6 荷重載荷位置の詳細(載荷点 1, 2)

表-3 実験条件および実験結果の一覧

	実験条件				実験結果	
	載荷位置	載荷荷重(kN)	載荷回数(万回)	水条件	排水ますの疲労亀裂の発生	漏水の発生(床版下面)
載荷点 1	排水ますの枠(橋軸直角方向)	70	100	水張り	なし	なし
載荷点 2	排水ますの枠(橋軸方向)	70	100		なし	なし
載荷点 3	床版支間中央	50	200		なし	なし

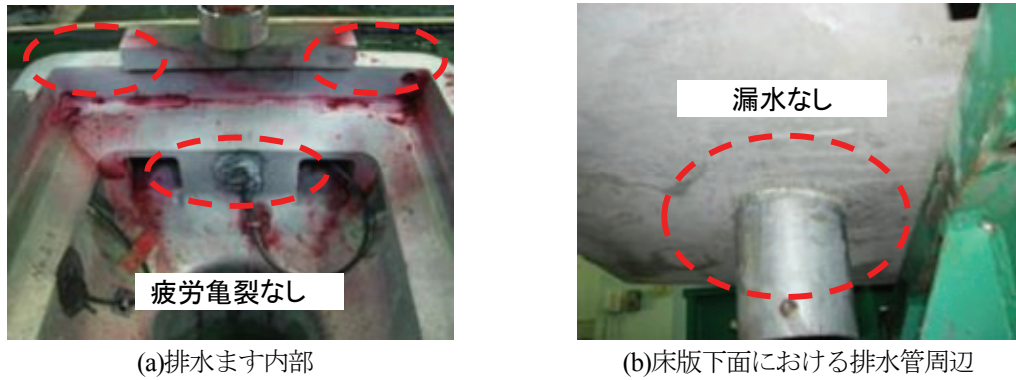


図-7 実験終了後の状況

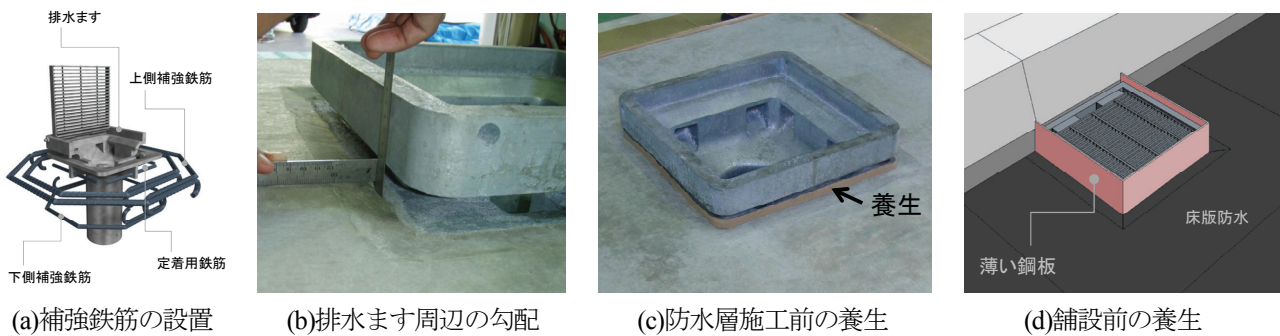


図-8 排水ます交換施工時の留意事項

## (6)床版防水工

防水層の施工前には、排水溝に防水層材料が流入しないように配慮し、排水ますの周囲に図-8(c)のようにテープ等で養生を行うのがよい。床版コンクリートの初期ひび割れ等が水みちとなることを防ぐために、排水ます周囲のコンクリートに浸透系防水材を浸透させる。アスファルト塗膜系防水材は、流し込んで施工すると排水勾配が埋まって平坦となりやすいため、刷毛塗りで施工するのが望ましい。

## (7)舗設

排水溝をアスファルト合材で閉塞しないよう配慮する必要がある。この場合、図-8(d)のように排水ますの周囲を鋼板等で養生した状態で基層を舗設するのがよい。

## 5. まとめ

本論文のまとめを以下に示す。

- 1) 橋梁点検結果から確認される排水ますの劣化損傷状況と既設排水ますの構造より、既設排水ますの問題点を整理した。
- 2) 上記の問題点に対する構造の改善を行った高耐久排水ますを提案した。

- 3) 高耐久排水ますを含む RC 床版供試体に対する定点疲労載荷実験を実施し、排水ます自体の疲労耐久性および排水ますと床版の一体性が、輪荷重に対して十分なものであることを確認した。
- 4) 今後その数が増加すると考えられる排水ます交換施工時の留意事項について整理した。

## 謝辞

本報における高耐久排水ます構造の提案および定点疲労載荷試験の実施にあたり、松井繁之大阪大学名誉教授に貴重な意見を賜った。ここに記して深く感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，森北出版株式会社，2007。
- 2) 澤松俊寿，岡田慎哉，三田村浩，松井繁之：水浸状態における床版防水層のせん断疲労特性に関する実験的検討，土木学会北海道支部論文報告集，Vol. 69，A-10，2013