

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

Shearing Fatigue characteristics of Slab Waterproofing under Water Condition

(独) 土木研究所寒地土木研究所
(独) 土木研究所寒地土木研究所
(一財) 災害科学研究所
大阪工業大学

○正会員 澤松俊寿
正会員 岡田慎哉
正会員 三田村浩
フェロー 松井繁之

(Toshikazu Sawamatsu)
(Shin-ya Okada)
(Hiroshi Mitamura)
(Shigeyuki Matsui)

1. はじめに

近年、道路橋床版の長期耐久性を確保する観点から床版防水層が注目されている。特に積雪寒冷地においては、凍結防止剤の散布による塩害や凍結融解の繰り返しによる凍害を起因としたRC床版の損傷事例¹⁾が報告されていることから、床版防水層が極めて重要である。

しかしながら、北海道における最近の現地調査結果によると、比較的新しく防水層が設置された橋梁においても防水層に所定の接着性が確保されていないものも確認されており、特に伸縮装置近傍では写真-1のような防水層の劣化損傷事例が多い傾向にある²⁾。伸縮装置近傍は、伸縮装置の段差に起因した輪荷重の衝撃力が作用することに加えて、橋面勾配の関係から滞水しやすい箇所である。このような、厳しい条件が伸縮装置近傍の防水層の損傷を招いている要因の一つとして考えられる。

ここで、床版防水層に関する技術基準³⁾では供用中の交通荷重に対する床版防水層の耐久性の照査手法として、せん断疲労試験が示されている。本試験は輪荷重の繰り返しによって舗装、防水層、床版コンクリート間に発生するせん断応力の繰り返し作用を再現して、防水層のせん断疲労特性を確認するものである。

ん断疲労特性を確認するものである。

本研究では防水層の損傷事例の多い伸縮装置近傍に着目し、水環境下における舗装、防水層、コンクリートの構造体のせん断疲労耐久性について検討するために、水浸状態でのせん断疲労試験を実施した。

2. せん断疲労試験の方法

2.1 供試体

試験には舗装、防水層、コンクリートからなる供試体を用いた。表-1には供試体の使用材料示している。舗装は13mmトップの碎石マスチックアスファルト (SMA) とし、バインダはストレートアスファルトとした。防水層には、北海道の国道橋において伸縮装置端部での適用実績が比較的多い吹付系のウレタン防水層を用いた。コンクリートはJIS平板とした。縦横300mm、厚さ100mm (舗装40mm、コンクリート60mm) の舗装、防水層、コンクリートからなる平板を図-1に示すように縦横150mmとなるように4等分に切断し、せん断疲労試験に供した。

2.2 せん断疲労試験装置

実験に使用したせん断疲労試験装置の全景を写真-2に、概要図を図-2にそれぞれ示す。本装置は大阪大学方式のせん断疲労試験機であり、偏心回転するカムによる強制変位付与部と床版および舗装からなる2層供試体の接合面に水平せん断応力をバネの力で与えるユニットから構成される。回転カムを中心に3つのユニットを放射状に配置することにより3つのユニットについて同時に試験を実施することが可能である。ユニットは、供試体の前後にバネを設けた構造となっている。回転カム側

表-1 供試体の使用材料

構成	使用材料	厚さ (mm)
舗装	SMA (13mm トップ) ストアス 60/80	40
防水層	ウレタン防水層	2.5
コンクリート	JIS 平板	60



写真-1 防水層の損傷例



写真-2 せん断疲労試験機の全景

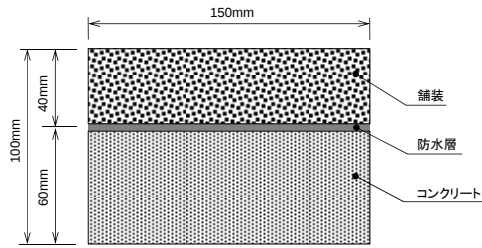


図-1 供試体断面図

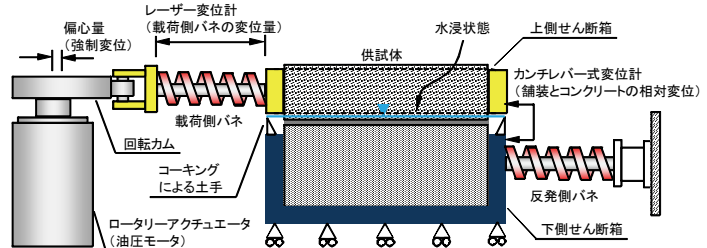


図-2 せん断疲労試験装置（回転カムと1つのユニット）

表-2 実験ケースおよび破壊回数

	水の条件	作用せん断応力 τ (N/mm ²)	破壊回数 N (回)	τ に対して文献5)の乾燥 状態のS-N曲線から求め た破壊回数 N_u (回)	N/N_u
D-1	乾燥	0.054	1,096,193 (継続中)	656,032	1.67
D-2		0.057	526,201	489,307	1.08
W-1	水浸	0.047	123,778	1,184,413 (乾燥の場合)	0.11
W-2		0.057	35,169	375,164 (乾燥の場合)	0.09

が載荷側、他方が反発側であり、供試体に安定した荷重を加えるために載荷側、反発側でそれぞれ2本のバネが並列に設置されている。供試体の舗装部分が載荷側のバネ、コンクリート部分が反発側バネで接続される。ラケット状の載荷側のせん断箱で舗装部分を、反発側のせん断箱でコンクリートを固定する。油圧式のロータリーアクチュエータによるカムの回転運動は載荷側バネの並進往復運動に変換される。この並進往復運動が載荷側バネを介して供試体舗装部に水平力の繰り返しを与える。回転カムの中心はロータリーアクチュエータの回転中心に対して δ_L だけ偏心している。このとき防水層に作用する最大せん断応力は次式により与えられる。

$$\tau = \frac{k\delta_L}{A} \quad (1)$$

ここに、 τ は作用せん断応力、 k はバネ定数、 A は供試体の断面積である。

2.3 せん断疲労試験の手順

供試体を上下のせん断箱に設置し、箱内での水平の動きをボルトで固定した。水浸状態で実験を実施する場合には、防水層が水浸するまで下側せん断箱に注水した。その後、回転カムを作動させ、供試体の破壊により舗装とコンクリートの間の相対水平変位が著しく大きくなり載荷不可能となった段階で載荷を終了した。

2.4 計測項目

試験中において、レーザー変位計により載荷側バネの変位量を、カンチレバー式変位計により上下のせん断箱を介して舗装とコンクリートの相対水平変位を測定した。

2.5 実験ケース

表-2に実験ケースを示す。水の条件をパラメータとして乾燥状態すなわち水を張らない状態、および水浸状態の2種類についてそれぞれ2供試体ずつ実験を実施した。作用せん断応力 τ は、舗装、ウレタン防水層、床版に対する既往の有限要素解析結果⁴⁾を参考に0.05N/mm²程度に設定した。なお、各供試体において作用せん断応力が異なっているのは、各載荷ユニットのバネ定数の特性値

として、3つあるユニットのそれぞれのバネの載荷試験により求めたバネ定数を用いたためである。

2.6 実験結果の整理の方法

(a) 破壊回数

実験終了時の載荷回数をもってせん断疲労による破壊回数とした。

(b) 破壊モード

実験終了後の供試体破断面の破壊モードを①舗装の材料破壊、②舗装と防水層の界面破壊、③防水層の凝集破壊、④防水層とコンクリートの界面破壊、コンクリートの材料破壊の5種類に分類した。ここで、界面破壊とは材料間の界面で剥離した状態、凝集破壊とは防水層の層内部で破壊した状態を意味する。

3. せん断疲労試験の結果と考察

3.1 載荷回数

表-2に実験終了時の載荷回数を示す。図-3はせん断疲労試験結果から得られた実験終了時の載荷回数と作用せん断応力の関係である。図中には既往のせん断疲労試験結果から得られているウレタン防水層の乾燥状態におけるS-N曲線⁵⁾を併記した。なお、D-1は供試体が破壊に至っておらず、現在も試験を継続している。乾燥状態の載荷回数はD-1が52万回、D-2が110万回以上であり既往のS-N曲線と概ね対応している。一方で水浸状態の載荷回数はW-1が12万回、W-2が3.5万回であり、乾燥状態と比較して著しく少ない値である。

表-2には、既往の乾燥状態のS-N曲線⁵⁾から求めたD-1～W-2の作用せん断応力に対応する破壊回数 N_u および、 N_u に対する本実験の破壊回数 N の比である N/N_u を示している。これより、乾燥状態では N/N_u は1程度またはそれより大きな値を示しているのに対し、水浸状態では N/N_u は0.1程度である。すなわち、乾燥状態に比べて水浸状態ではせん断疲労耐久性が1/10に低下している。

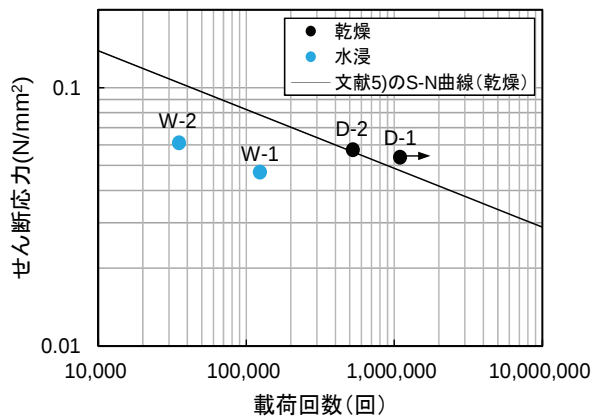


図-3 載荷回数とせん断応力の関係

3.2 破壊モード

写真-3 は実験終了後の供試体破断面の状況である。左が舗装側の面、右がコンクリート側の面を示しており、コンクリート側の黄緑色が防水層である。なお、D-1 については供試体が未破壊であるため示していない。図より、乾燥状態では D-2 の 1 供試体のみではあるが、コンクリート側の面に舗装が付着しており舗装の材料破壊が卓越している傾向にある。一方で水浸状態の W-1 および W-2 では、コンクリート側の面に舗装の付着が少なく W-2 ではほぼ 100%を占めていることから、舗装と防水層の界面破壊が卓越している。

3.3 考察

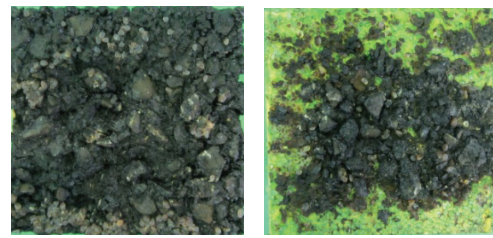
図-3 および写真-3 を踏まえると、乾燥状態と比較して水浸状態では舗装と防水層の界面の破壊が卓越し、疲労耐久性が 1/10 程度まで著しく低下した。疲労耐久性低下のメカニズムとしては、水の影響により舗装と防水層の界面における摩擦係数が低下することや、界面付近の舗装骨材がせん断挙動する際に界面に浸入した水が水压上昇することで破壊の進展が助長されること等が考えられる。しかしながら、明確なメカニズムを解明するためには、より詳細な検査を実施していく必要がある。

本実験結果を踏まえると防水層のせん断疲労耐久性を確保するためには、舗装との一体性が高い防水層を開発することが望まれる。これに加えて舗装内部、すなわち防水層の上に長期間滞水しない環境とすることも肝要である。そのためには、雨水や融雪水を速やかに排除するための排水計画や排水設備が極めて重要である。

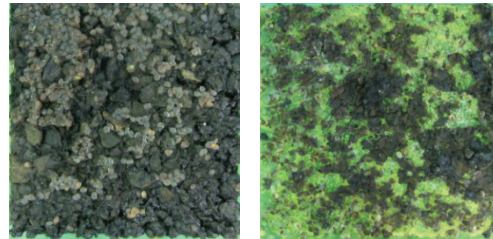
4. まとめ

本実験の範囲で得られた知見を以下に示す。

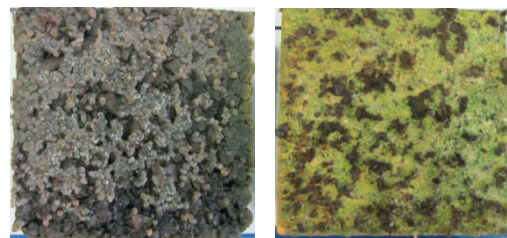
- (1) 乾燥状態に比べて水浸状態では、舗装、防水層、コンクリート構造体のせん断疲労耐久性が 1/10 程度に低下した。
- (2) 乾燥状態では舗装の材料破壊が卓越するのに対し、水浸状態では舗装と防水層の界面破壊が卓越する傾向にあり、せん断疲労状態において舗装と防水層の界面が水の影響を大きく受ける。
- (3) 防水層のせん断疲労耐久性を確保するためには、舗装と防水層の一体性を向上させるのはもちろんのこと、舗装内部すなわち防水層の上が長期間滞水しない



(a) D-2 (N=526,201 回)



(b) W-1 (N=123,778 回)



(c) W-2 (N=35,169 回)

写真-3 実験終了後の供試体破断面の状況（左が舗装側面、右がコンクリート側面、緑色が床版防水層）

い環境とすることが肝要であり、雨水や融雪水を速やかに排除するための排水計画や排水設備が極めて重要である。

本論文の内容は 1 種類の防水層に対する試験結果に関するものである。今後、各種の防水層についても実験を実施する予定である。

謝辞

本研究は、(独)土木研究所寒地土木研究所が大阪工業大学と共同で実施した「橋梁の床版構造および防水構造における性能評価に関する研究」における成果の一部であり、関係各位に多大なるご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 三田村浩，佐藤京，本田幸一，松井繁之：道路橋 RC 床版上面の凍害劣化と疲労寿命への影響，構造工学論文集，Vol.55A，pp.1420-1431，2009.3.
- 2) 吉田英二，三田村浩，石川博之：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，平成 20 年度土木学会北海道支部論文報告集，Vol.65，2009.
- 3) 日本道路協会：道路橋床版防水便覧，2007.3.
- 4) 小浦貴明，大西弘志，松井繁之：道路橋床版防水システムの付着耐久性評価，土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集，pp.311-312，2005.9.
- 5) 小浦貴明，大西弘志，松井繁之：道路橋床版における防水システムの付着耐久性評価手法の開発，土木学会第 59 回年次学術講演会講演概要集，pp.249-250，2004.9.