

## 論文

## 維持管理型橋面コンクリート基層を設けたRC床版の輪荷重走行疲労実験による耐疲労性の評価

伊藤清志\*, 阿部忠\*\*, 児玉孝喜\*\*\*, 小堀規行\*\*\*\*

\*博(工), 鹿島道路株式会社 生産本部工事部 (〒 112-8566 東京都文京区後楽 1-7-27)

\*\*博(工), 日本大学名誉教授 (〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

\*\*\*博(工), 鹿島道路株式会社 技術開発本部技術部 (〒 112-8566 東京都文京区後楽 1-7-27)

\*\*\*\*住友大阪セメント株式会社 セメント・コンクリート研究所 (〒 274-8601 千葉県船橋市豊富町 585)

近年, RC 床版の老朽化に伴い各種取替床版が開発され, 実橋に採用されている. 取替床版は長寿命化を図るために高品質, 高強度の材料の採用により既存 RC 床版厚と同等以下で設計・製作され, 橋梁主げたに設置後に防水工とアスファルト舗装による基層・表層が舗装されている. 一方, アスファルト舗装はおおよそ 10 数年で維持修繕工事が実施され, 既設アスファルト舗装撤去時における取替床版上面の損傷が懸念される. そこで, 本研究では取替床版の間詰め部や継手部に作用する輪荷重を分散させる効果や, 維持修繕の切削工事において取替床版コンクリート上面を保護する維持管理コンクリート基層を設けるコンクリート基層, および橋面コンクリート舗装における, 輪荷重走行疲労実験による耐疲労性の評価を行った.

キーワード: コンクリート基層, 接着剤, 輪荷重走行疲労実験, 耐疲労性

## 1. はじめに

近年, RC 床版の劣化や道路橋示方書<sup>1)</sup>(以下, 道示とする)の変遷により耐荷力の不足, 補強した RC 床版の再劣化に対して, B 活荷重に対応した取替床版が採用されている. 取替床版は超高強度コンクリート(UFC)<sup>2)</sup>やプレストレストコンクリート(PC)で製作された取替床版<sup>3)</sup>, さらに鉄筋コンクリート(RC)で製作された取替床版<sup>4)</sup>が開発され, 実橋で採用されている. いずれの取替床版においても橋梁主げた上に併設し, 取替床版の形式によってはプレキャスト版同士を連結する場合とプレキャスト版間に継手構造を設けた間詰め部を有する場合がある. また, 設計においては 1994 年以前の道示で設計された床版厚と同等にするために UFC や PC 構造が採用されている. したがって, 1994 年改定道示以降の床版厚と比較して薄い床版厚で設計されている. 一方, 1994 年以前に設計された既存の RC 床版は老朽化や損傷が著しい場合に, 床版厚を厚くする RC 床版上面増厚補強などが施されている. この RC 床版上面増厚補強法は既設アスファルト舗装の撤去時に既設 RC 床版上面を 10mm 切削後に研掃により塵埃や脆弱部を除去してから超速硬鋼繊維補強コンクリートを専用機械で増厚することで新旧のコンクリートの一体性を確保し, 防水とアスファルト舗装を舗装する. しかし, プレストレストコンクリートや高強度材料で

製作された取替床版においては, 概ね 10 数年おきに実施される維持修繕にアスファルト舗装の切削やはぎ取りで床版を損傷させる懸念がある. また, 取替床版は床版継手部を有する構造から, 供用後の走行車両により継手部の上面に施される防水層やアスファルト表層にはく離やひび割れの発生が懸念される. 本研究では取替床版継手部界面のはく離に伴う貫通ひび割れを防止するために, 取替床版の間詰め部や継手部に作用する輪荷重を分散させる効果と, 維持修繕の切削工事において取替床版コンクリート上面を保護する維持管理コンクリート基層を設けるコンクリート基層および橋面コンクリート舗装を提案<sup>5)</sup>し, 輪荷重走行疲労実験による耐疲労性の検証により, 取替床版の長寿命化の一助としたい.

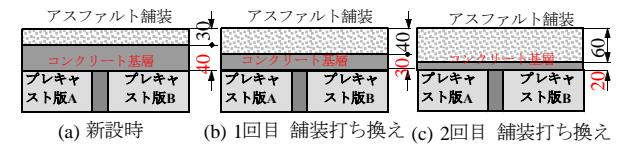
## 2. 道路橋床版橋面の維持管理

## 2.1 アスファルト舗装撤去

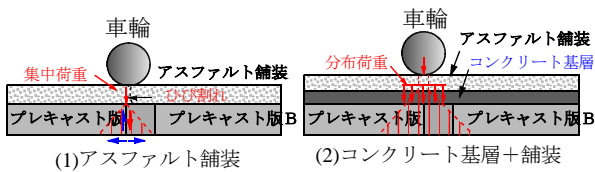
アスファルト舗装撤去においては写真-1に示すように重機を用いた剥ぎ取りや切削作業が行われていち込みが出来る範囲(面積)を想定して塗布範囲を. とくに, 切削作業においては床版コンクリート表面が切削される可能性や, 重機の衝撃・振動により取替床版の目地部の損傷が懸念される. 取替床版に使用されるコンクリート材料は超高強度から普通コンクリートまで幅広く使用されているが, 高強度



(a)舗装撤去 (b)切削作業  
写真-1 舗装撤去および切削作業



(a)新設時 (b)1回目 舗装打ち換え (c)2回目 舗装打ち換え  
図-1 コンクリート基層を設けた床版の維持管理



(1)アスファルト舗装 (2)コンクリート基層+舗装  
図-2 取替床版継手部の荷重分布

な材料が用いられる程、床版厚も薄く、切削による断面欠損は耐荷力に大きく影響すると考えられる。

## 2.2 コンクリート基層を設けた床版の維持管理

コンクリート基層を設けた床版の維持管理を図-1に示す。取替床版の上面にコンクリート基層を設けることで、取替床版に損傷与えることなく、舗装打ち換えが可能となる。また、舗装打ち換えごとに基層を切削しても数回の舗装打ち換えが可能となる。

## 2.3 取替床版継手部の荷重分布

取替床版に輪荷重が作用した場合の荷重分布を図-2に示す。取替床版にアスファルト舗装を直接施した場合は、図-2(a)に示すように間詰部に荷重が直接作用し、それに伴い底面に曲げ引張力を生じ、界面においてはく離が懸念される。一方、コンクリート基層を設けた場合は図-2(b)に示すように、コンクリート基層により輪荷重は45度に分布され、間詰部界面のはく離を生じし難い構造となる。よって、コンクリート基層は取替床版の耐疲労性の向上と舗装打ち換え時の維持管理、さらには荷重分布作用による取替床版の間詰部界面のはく離の発生が抑制される。

## 3. 供試体に用いる材料

### 3.1 RC床版コンクリート

RC床版供試体のコンクリートの設計基準強度は道示<sup>1)</sup>に規定する $24\text{N/mm}^2$ を目標とし、RC床版に使用する供試体のコンクリートは、普通ポルトランドセメントと細骨材の砕砂、粗骨材は最大寸法 $20\text{mm}$ の

表-1 コンクリートおよび鉄筋の材料特性値

供試体	圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	鉄筋			
		使用鉄筋	降伏強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	引張強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	ヤング係数 ( $\text{kN/mm}^2$ )
RC床版	30.3	D13	355	498	200
取替床版A					
取替床版B					

砕石を使用し、鉄筋はSD295AのD13を用いた。供試体材料の力学特性値を表-1に示す。なお、鉄筋の力学特性値は鉄筋の試験成績表による値である。

### 3.2 コンクリート舗装材の配合および発現強度

橋面コンクリート舗装は1.5日程度の連続施工を想定し、発現強度は材齢24時間(1日)で道示<sup>1)</sup>に規定するコンクリートの圧縮強度が $24\text{N/mm}^2$ 以上確保できる配合条件とする。ここで、本実験に用いるコンクリート舗装材の配合条件を表-2に示す。セメントには早強セメントを用いて超早強性低収縮型混和材と高強度ビニロン繊維(繊維長 $12\text{mm}$ )を $1.27\text{Vol.}\%$ を配合し、水セメント比は $38\%$ とする。この早強セメントを用いたコンクリート舗装材をPFRCとする。また、超速硬セメントを用いた配合条件を表-2に併記する。この材料は、材齢3時間で道示<sup>1)</sup>に規定するコンクリートの圧縮強度が $24\text{N/mm}^2$ 以上を有する材料である。超速硬セメントを用いたコンクリート舗装材をUFRCとする。

本実験においてはPFRCをコンクリート基層材とし、その上面にアスファルト舗装を施すものとして用いている。また、PFRCは橋面コンクリート舗装としても使用可能である。

### 3.3 付着用接着剤および特性値

既設RC床版のSFRC上面増厚補強法においては、輪荷重走行によるはく離の発生が見られることから、打ち継ぎ面となるRC床版のコンクリート上面に高耐久型エポキシ系接着剤(以下、付着用接着剤とする)が塗布されている<sup>9)</sup>。これらのことからPFRC基層および舗装においても輪荷重走行によるはく離を抑制し、耐疲労性の向上を図るために付着用接着剤を研掃された打ち継ぎ界面の全面に塗布する。ここで、付着用接着剤の材料特性値を表-3に示す。

コンクリートとの付着強度は $3.7\text{N/mm}^2$ 以上確保され、引張試験においては母材コンクリートで破壊している。この付着用接着剤は既設コンクリート床版上面を研掃した後、平均 $1.0\text{mm}$ 厚( $1.0\text{m}^2$ 当たり $1.4\text{kg}$ )で塗布する。付着用接着剤の主剤と硬化剤の配合比は $5:1$ となり、攪拌混合した後の可使時間は常温で120分程である。このため、実施工においては塗布後120分以内にコンクリートの製造・運搬後に確実に打ち込みが出来る塗布面積を決める必要がある。

表-2 コンクリート基層・舗装材の配合条件

セメントの種類	スランプ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単用量 (kg/m <sup>3</sup> )					減水剤 (C×%)	AE剤 (C×%)
				セメント	水	粗骨材	細骨材	繊維		
早強セメント (PFRC)	8.0±2.5	38	55	434	165	919	789	3.64	2	0.003
超速硬セメント (UFRC)	8.0±2.5	40	51	430	170	851	858	3.64	2	0.003

表-3 2種類の接着剤の特性値

項目	付着用接着剤
外観	主剤 白色ペースト状
	硬化剤 青色液状
混合比	5 : 1
硬化物比重	1.42
圧縮強度	102.9N/mm <sup>2</sup>
圧縮弾性係数	3,976N/mm <sup>2</sup>
曲げ強さ	41.6N/mm <sup>2</sup>
引張せん断強さ	14.9N/mm <sup>2</sup>
コンクリート 付着強さ	3.7N/mm <sup>2</sup> 以上 または母材破壊

#### 4. 供試体寸法および鉄筋配置

##### 4.1 RC床版供試体寸法

供試体寸法は 1994 年改定の道示<sup>1)</sup>に規定に基づいて B 活荷重で設計し、その 3/5 モデルとする。供試体寸法および鉄筋の配置は図-3(a)に示すとおり、全長 2,200mm、幅 1,600mm とし、橋軸方向支間を 2,000mm、橋軸直角方向支間 1,400mm、床版厚 150mm である。鉄筋は複鉄筋配置とし、引張側の軸直角方向および軸方向に D13 を 120mm 間隔で配置した。その有効高さは、それぞれ 125mm、115mm である。また、圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置した。コンクリート基層を設けた取替床版の耐疲労性の評価は供試体 RC 床版を基準とする。

##### 4.2 取替床版供試体寸法

RC 構造とした取替床版供試体の寸法を図-3(b)に示す。外形寸法は供試体 RC と同様である。プレキャスト床版 (パネル A) の寸法は軸直角方向 1,600mm、軸方向はプレキャスト版部は 950mm とする。間詰部の寸法は、軸方向支間中央で継手長 280mm を考慮し、幅 300mm とした。よって、全長 2,200mm である。プレキャスト床版の鉄筋配置は供試体 RC 床版と同様である。間詰部の主鉄筋には D13 を上下に 3 本並列配置する。継手部の構造は、主筋の内側に配力筋を配置し、継手部はループ状にした鉄筋を配置した。

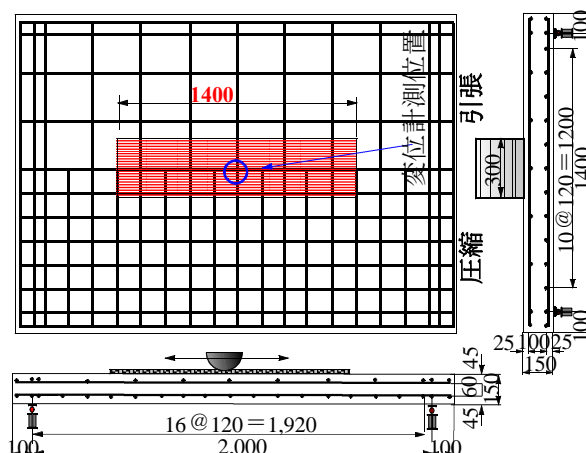
次に、取替床版上面に 30mm 厚でコンクリートを打ち継ぐ。この 30mm のコンクリート舗装が維持管理型橋面コンクリート基層となる。

#### 5. 開閉幅に関する検証実験および等価走行回数

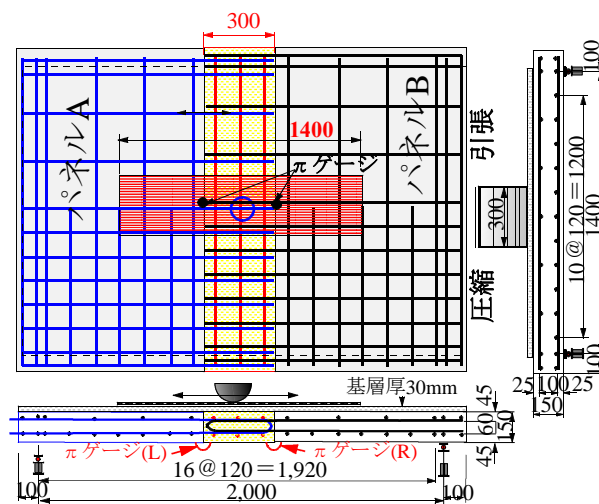
##### 5.1 輪荷重走行疲労実験方法

###### (1) 取替床版の実験方法

輪荷重走行疲労実験は、幅 300mm の輪荷重が軸方



(a)RC 床版



(b)取替床版 (RC 構造)

図-3 供試体寸法および鉄筋配置

向に 900mm の範囲で繰返し走行する実験である。

コンクリート基層を設ける前の取替床版 A および B を実験走行回数 20,000 回まで輪荷重走行疲労実験を行い、たわみ、ひずみおよび間詰部界面の開閉幅を検証する。計測は実験走行回数 1, 10, 100, 1,000, 5,000 回および 5,000 回以降は 5,000 回走行ごととする。そして、20,000 回走行後にコンクリート基層 30mm を設ける。

##### 5.2 RC床版・基層を設けたRC床版

RC 床版および基層を設けた RC 床版の輪荷重走行疲労実験は荷重 100kN 載荷で 20,000 回ごとに 20kN ずつ増加し、破壊するまで荷重増加と繰返し走行する。計測は 1 走行後 5,000 回走行ごとにた



わみ, ひずみ, 開閉幅を計測する.

### 5.3 走行疲労実験における等価走行回数

輪荷重走行疲労実験における等価走行回数  $N_{eq}$  は式(1)より算出する. なお, 式(1)における基準荷重  $P$  は設計活荷重の 3/5 に安全率 1.2 を考慮した 72kN として等価走行回数を算出する. S-N 曲線の傾きの逆数  $m$  の絶対値には松井らが提案する 12.7 を適用する<sup>7)</sup>.

$$N_{eq} = \sum_{i=1}^n (P_i/P)^m \times n_i \quad (1)$$

ここで,  $P_i$ : 載荷荷重 (kN),  $P$ : 基準荷重,  $n_i$ : 実験走行回数 (回),  $m$ : S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値

### 5.4 取替床版20,000回走行までの結果および考察

#### (1) 等価走行回数

コンクリート基層を設ける前の実験走行回数および等価走行回数を表-4に示す.

実験走行回数 20,000 回における等価走行回数は  $1.296 \times 10^6$  回である.

#### (2) たわみと等価走行回数の関係

たわみと等価走行回数の関係を図-4に示す. 取替床版 A の荷重 100kN 載荷時の初期たわみは 0.9mm, 等価走行回数  $1.296 \times 10^6$  回においては 3.0mm, 荷重除荷時の残留たわみは 1.02mm である. また, 取替床版 B は荷重 100kN 載荷時の初期たわみは 0.7mm, 等価走行回数  $1.296 \times 10^6$  回は 2.5mm, 残留たわみ 1.2mm である. コンクリート基層後のたわみは残留たわみを初期値とする.

#### (3) ひずみと等価走行回数の関係

取替床版 A の荷重 100kN 載荷時の初期ひずみは表-4 実験走行回数 20,000 回までの等価走行回数  $413 \times 10^{-6}$ , 等価走行回数  $1.296 \times 10^6$  回で  $1,135 \times 10^{-6}$ , 残留値は  $557 \times 10^{-6}$  である. 取替床版 B の初期ひずみは  $497 \times 10^{-6}$ , 等価走行回数  $1.296 \times 10^6$  回で  $1,134 \times 10^{-6}$ , 残留値は  $479 \times 10^{-6}$  である. 取替床版 A および B ともに降伏ひずみに達していない.

#### (4) 間詰部の開閉幅と等価走行回数の関係

取替床版 A (L) の初期開閉幅は 0.08mm, ひび割

表-4 実験走行回数 20,000 回までの等価走行回数

供試体	走行回数	荷重
		100kN
取替床版 A (PFRC用)	実験走行回数	20,000
	等価走行回数	1,296,903
取替床版 B (UFRC用)	実験走行回数	20,000
	等価走行回数	1,296,903

れ幅 0.2mm に達した等価走行回数は 58,000 回, 等価走行回数  $1.296 \times 10^6$  回で 0.29mm, 残留値は 0.02mm である. 計測点 (R) の初期開閉幅は 0.09mm, 橋梁定期点検要領<sup>8)</sup>に示すひび割れ幅 0.2mm に達した等価走行回数は 21,000 回, 等価走行回数  $1.296 \times 10^6$  回で 0.29mm, 残留値は 0.01mm である.

取替床版 B (L) も同様な増加傾向を示している.

ひび割れ幅 0.2mm に達した等価走行回数は 56,000 回, 等価走行回数  $1.296 \times 10^6$  回で 0.30mm, 残留値は 0.01mm である. 計測点 (R) のひび割れ幅 0.2mm に達した等価走行回数は 24,000 回, 等価走行回数  $1.296 \times 10^6$  回で 0.32mm, 残留値は 0.03mm である.

## 6. コンクリート基層の施工手順

供試体 PFRC 基層床版および UFRC 基層床版の施工手順を写真-2に示す. 両供試体 (写真-2(a)) ともにコンクリート表面を研掃し (写真-2(b), (c)), 吸引清掃により塵埃を除去し, 付着用接着剤を塗布 (写真-2(d)) 後に基層コンクリートを打ち継ぎ, 取替床版コンクリートと基層コンクリートの付着力を高める. 付着用接着の硬化時間は常温で 120 分ほどであることから, 接着剤塗布と同時にそれぞれの配合による基層材を専用ミキサー車で製造 (混練り) し, 打ち込みと締め固め後に表面仕上げする (写真-2(e)). 本実験供試体の基層厚は 30mm である.

## 7. RC床版および基層床版の結果および考察

### 7.1 RC床版・基層床版の等価走行回数

RC床版および基層床版の輪荷重走行疲労実験における実験走行回数および等価走行回数を表-6に示

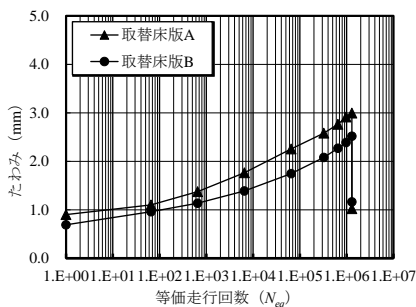


図-4 たわみと等価走行回数

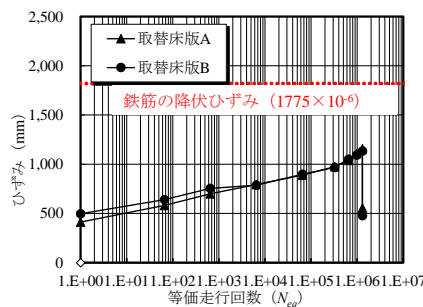


図-5 ひずみと等価走行回数

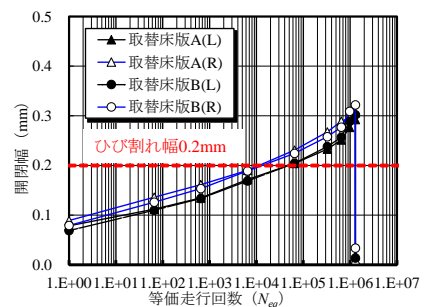


図-6 開閉幅と等価走行回数



(a)床版供試体 (b)研掃 (c)研掃表面 (d)接着剤の塗布 (e)コンクリート基層

写真-2 コンクリート基層の施工手順

表-6 コンクリート基層後の実験走行回数および等価走行回数

供試体	舗装材の 圧縮強度	実験走行回数および等価走行回数					合計	等価走行回 数比
		荷重	100kN	120kN	140kN	160kN		
RC床版	—	実験走行回数	40000	14000			54,000	—
		等価走行回数	2,593,806	919,617			11,789,979	
PFRC基層 床版	63.1N/mm <sup>2</sup>	実験走行回数	40,000	40,000	40,000	13,000	133,000	46.2
		等価走行回数	2,593,806	26,274,781	186,107,271	329,719,344	544,695,202	
UFRC基層 床版	68.0N/mm <sup>2</sup>	実験走行回数	40,000	40,000	40,000	13,800	133,800	47.9
		等価走行回数	2,593,806	26,274,781	186,107,271	350,009,765	564,985,623	

す。なお、本実験における破壊は、輪荷重が走行中に押抜きせん断破壊となった時点で実験を終了し、走行回数は一走行を完走した回数とする。

RC床版の輪荷重走行疲労試験における等価走行回数は  $11.789 \times 10^6$  回、取替床版に PFRC 基層を設けた取替床板 A の等価走行回数は  $544.695 \times 10^6$  回、UFRC 基層を設けた取替床板 B は  $564.985 \times 10^6$  回であり、RC床版供試体と比較するとそれぞれ 46.2 倍、47.9 倍であり、僅かであるが基層材に超速硬セメントを用いると耐久性が向上する結果となった。なお、実橋においては維持修繕においてアスファルト舗装切削時にコンクリート基層も削られる可能性があるが、切削による断面減少については研掃後に付着用接着剤を塗布し、あらためてコンクリート基層を施すことで復旧することが可能と考える。

## 7.2 たわみと等価走行回数

たわみと等価走行回数の関係を図-7に示す。図-7には維持管理の目安となるたわみが床版支間 L の  $1/400^9)$ 、すなわち 3.5mm の位置も併記した。

RC床版供試体の初期たわみは 1.18mm、たわみが 3.5mm に達した等価走行回数は  $2.594 \times 10^6$  回となり、最大たわみは 9.60mm である。

次に、PFRC 基層を施した取替床板 A の初期たわみは 1.03mm、たわみが 3.5mm に達した等価走行回数は  $366.703 \times 10^6$  回となり RC床版の 141 倍、最大たわみは 5.2mm である。また、UFRC 基層を施した取替床板 B の初期たわみは 1.16mm、たわみが 3.5mm に達した等価走行回数は  $305.000 \times 10^6$  回、RC床版の 118 倍である。

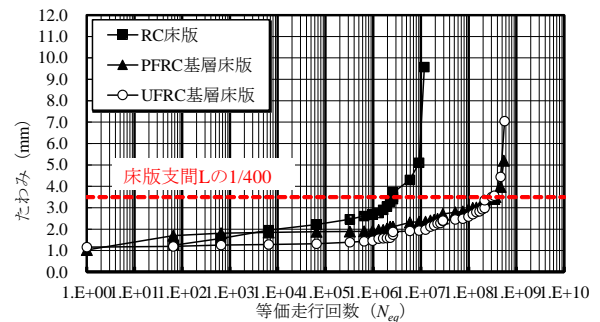


図-7 たわみと等価走行回数

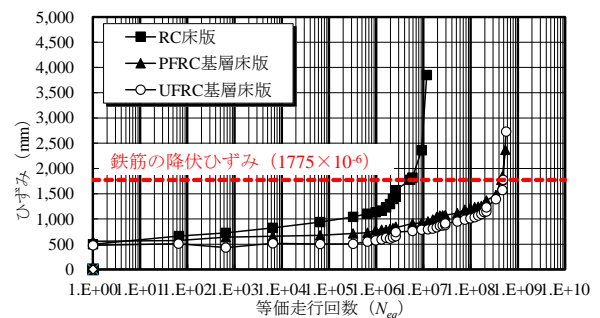


図-8 ひずみと等価走行回数

## 7.3 ひずみと等価走行回数

ひずみと等価走行回数の関係を図-8に示す。図-8には表-3に示す鉄筋の材料特性値より求めた降伏ひずみ (=  $1,775 \times 10^{-6}$ ) を併記した。

RC床版供試体の初期ひずみ  $499 \times 10^{-6}$  であり、降伏ひずみに達した等価走行回数は  $5.259 \times 10^6$  であり最大ひずみは  $3,850 \times 10^{-6}$  である。次に、PFRC 基層を施した取替床板 A の初期ひずみは  $557 \times 10^{-6}$ 、降伏ひずみに達した等価走行回数は  $443.940 \times 10^6$  回で RC床版の 84 倍、最大ひずみは  $2369 \times 10^{-6}$  である。

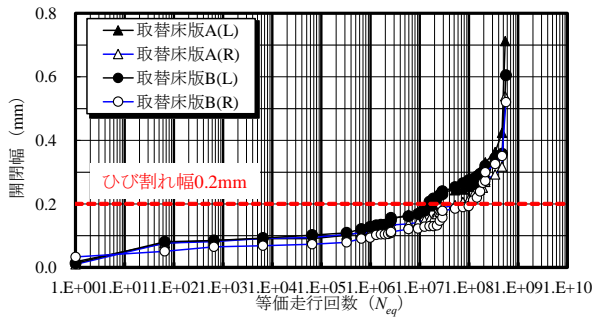


図-9 開閉幅と等価走行回数

また、UFRC 基層を施した取替床板 B の初期ひずみは  $480 \times 10^{-6}$ 、降伏ひずみに達した等価走行回数は  $485,800 \times 10^6$  回で RC 床版の 92 倍、最大ひずみは  $2,730 \times 10^{-6}$  である。

#### 7.4 開閉幅と等価走行回数

間詰部下面の開閉量は図-3(b)に示す2カ所とし、開閉量と等価走行回数の関係として図-9に示す。

##### (1) 取替床版A

未基層の取替床版供試体 A(L)の等価走行回数  $123,219 \times 10^6$  回後の残留開閉幅 0.02mm を初期値とする。PFRC 基層を施し、実験走行 1 走行、すなわち等価走行回数 65 回の開閉幅は計測(L)が 0.08mm となり、ひび割れが 0.2mm に達した等価走行回数は  $19,600 \times 10^6$  である。また、供試体取替床版 A(R)の開閉幅の初期値は 0.01mm、ひび割れが 0.2mm に達した等価走行回数は  $61,800 \times 10^6$  である。よって、PFRC 基層を設けることでそれぞれ 337 倍、2,942 倍であり、開閉幅が大幅に抑制される結果となった。等価走行回数  $544,695 \times 10^6$  回の最大開閉幅はそれぞれ 0.71mm、0.54mm である。

##### (2) 取替床版B

未基層の供試体取替床版B(L)の初期開閉幅は 0.01mm であり、これを初期値とする。UFRC 基層を施し、等価走行回数 65 回の開閉幅は計測(L)が 0.08mm である。ひび割れが 0.2mm に達した等価走行回数は  $15,100 \times 10^6$  である。また、取替床版 A(R)の開閉幅の初期値は 0.03mm、ひび割れが 0.2mm に達した等価走行回数は  $108,000 \times 10^6$  である。よって、取替床版 A 同様に UFRC 基層を設けることでそれぞれ 270 倍、4,500 倍であり、開閉幅が大幅に抑制される結果となった。等価走行回数  $544,695 \times 10^6$  回の最大開閉幅はそれぞれ 0.61mm、0.52mm である。

#### 8. まとめ

(1) 打継ぎの間詰め部を設けた取替床版はたわみ・ひずみの増加は小さいが、間詰部の開閉幅は早期に橋梁点検要領に示すひび割れ幅 0.2mm を超え、このひ

び割れの伸展による貫通ひび割れに雨水が浸透することで損傷が早まる結果となった。

(2) 取替 RC 床版供試体に接着剤を塗布し、PFRC 材でコンクリート基層を 30mm 設けた供試体は、同一寸法の RC 床版供試体に比して 46.2 倍、UFRC 材を用いて基層を設けた供試体は 47.9 倍となり、耐疲労性が大幅に向上する結果が得られた。

(3) 30mm のコンクリート基層を打ち継ぐことにより、次回の補強までの等価走行回数が大幅に増加し、開閉幅も橋梁点検要領<sup>8)</sup>に示すひび割れ幅 0.2mm に達するまでの等価走行回数も大幅の増加している。

(4) 取替 RC 床版の上面に打ち継ぐコンクリート基層は床版構造でないことから、維持修繕工事のアスファルト舗装の打ち換えにおいてコンクリート基層の切削も可能となり、維持管理層としても効果を発揮する構造になると考える。

#### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I，II，1994
- 2) 田中良弘，高倉克彦，阿部忠，木田哲量，前堀信平：超高強度繊維補強コンクリート床版の輪荷重走行に対する疲労特性，第 5 回道路橋床版シンポジウム講演論文集(土木学会)，pp. 149-154(2006)
- 3) 中村定明，三浦尚：RC ループ継手の力学挙動に関する基礎的研究，土木学会論文集 No.774/V-65，pp.17-26，2004.
- 4) 阿部忠，小野晃良，木内彬喬，高橋明彦，大西弘志，久田真：取替 RC 床版の押抜きせん断耐荷力および疲労寿命推定法に関する実験研究，構造工学論文集，Vol.66A，pp.741-751，2020.3
- 5) 阿部忠，児玉孝喜，伊藤清志：橋梁の舗装構造及び舗装方法，特許 6572419，2019.8
- 6) Tadashi Abe, Kiyoshi Ito, Noriyuki Kozakai, and Takayoshi Kodama：Proposition of Thin-Layer Repairing Methods Using Low-Elasticity Polymer Portland Cement Materials and Glue and Study on the Fatigue Resistance of Reinforced Concrete Slab，International Journal of Polymer Science, Volume 2018, Article ID 6545097, pp.1-8,2018.10.
- 7) 松井繁之：道路橋床版設計・施工と維持管理，森北出版，2007.
- 8) 国土交通省，橋梁点検要領，2019
- 9) 阿部忠，木田哲量，高野真希子，小森篤也，児玉孝喜：輪荷重走行疲労実験におけるRC床版上面増厚補強法の耐疲労性の評価法，構造工学論文集，Vol. 6A，pp.1270-1281，2010.3

(2022年7月8日受付)

(2022年9月9日受理)