

各種ジョイント取付け部RC床版の疲労耐久性

Fatigue durability evaluation of slab with various expansion joints

関口幹夫*, 大石雅登*, 橋原正周*

Mikio Sekiguchi, Masato Oishi, Masanori Hashihara

* 東京都土木技術支援・人材育成センター, 技術支援課 (〒136-0075 東京都江東区新砂1-9-15)

It could be guess that existing slabs at the highway bridge are given damages and bad influences on fatigue durability by increasing chopping by exchanging the expansion joint repeated several times. Besides, the thinner attaching portions under expansion joints are, the weaker the fatigue durability of slab is.

This report is a result of examination of life prolongation under wheel running fatigue test by using the specimen which is the strengthen slab by CFRP bonding method, and it has three different type expansion joints (rubber joint, asphalt pavement buried joint, and CFRP buried joint).

Key Words: RCslab, expansion joint, CFRP bonding method, wheel running fatigue test

キーワード: RC床版, 伸縮装置, CFRP接着工法, 輪荷重走行疲労実験

1. はじめに

道路橋の伸縮装置(以下, ジョイントという)は, 騒音振動の発生元であるとともに, 沿道環境の保全が優先される都市内では, 比較的早期に補修(交換)される。ジョイントの交換が数回繰返される既設床版では, ジョイント撤去時にブレーカによるハツリ過ぎや不用意なひび割れによるダメージを受ける。また, ブレーカ先端のノミが床版を貫通する例もあるほか, 交換用ジョイントのアンカーが既設の鉄筋に当たりセットできない場合では, 鉄筋を切断することもある。したがって, ジョイントを何回も交換することは, 同じ箇所を何度もハツリ取ることによって床版の疲労耐久性を悪化させていると推察できる。しかしながら, ジョイント取付け部の疲労耐久性の検討は, ほとんど行われていない。

筆者らは, ジョイントの種類とジョイント取付け部の既設床版厚さの組合せが疲労耐久性に与える影響を把握することを目的に表-1に示す4シリーズの輪荷重走行疲労実験を実施した^{1), 2), 3), 4)}。

シリーズI~IIIは, ジョイント取付け部RC床版の厚さを8cm, 10cm, 12cmの3種類としている。組合せるジョイントは3種類で, シリーズIでは, 都市内で環境対策として使用実績の多い, 荷重支持型ゴムジョイント(TF)¹⁾である。シリーズIIでは, 近

表-1 実験シリーズ

シリーズ	試験体記号	取付け部床版厚(cm)	RC床版補強有無	ジョイント形式	荷重支持方法
I	TF8	8	補強なし	ゴムジョイント(TF)	荷重支持型
	TF10	10			
	TF12	12			
II	SM8	8	補強なし	アスファルト系埋設ジョイント(SM)	荷重分散型
	SM10	10			
	SM12	12			
III	NT8	8	補強なし	炭素繊維シート埋設ジョイント(NT)	荷重支持型
	NT10	10			
	NT12	12			
IV	SM8+C	8	炭素繊維シート接着工法	(SM)	—
	TF8+C	8		(TF)	—
	NT8+C	8		(NT)	—

年簡易なノージョイントとして普及している特殊アスファルト系の荷重分散型埋設ジョイント(SM)²⁾である。シリーズIIIでは, 炭素繊維シート成型品で荷重支持型埋設ジョイント(NT)³⁾である。

一方, シリーズIVは, 床版下面を炭素繊維シート(CFRP)接着工法で補強した場合のジョイント取付け部疲労耐久性がどの程度向上するかを検討目的に, 取付け部の床版厚は8cm一定として3種類のジョイントを組合せている⁴⁾。

2. 実験概要

2.1 試験体の概要

輪荷重走行実験の試験体の設置状況を図-1 に示す。ジョイントを取付けるRC床版を4体製作し、輪荷重走行試験装置の主桁上に遊間が50mmとなるように配置してジョイントを3箇所設置した。ジョイントの設置は、即日交通開放の補修（交換）工事を再現する手順で、実際の補修機材を使って行った。

輪荷重走行実験は、写真-1 に示す自走式ゴムタイヤの輪荷重走行試験機を使用して、試験体上を輪荷重が6m 区間を往復载荷する方式である。床版の支持条件は、図-1 に示す支間方向（主鉄筋方向）は単純支持、走行方向（配力鉄筋方向）は床版中央の横桁(H328×B200×12×16)で弾性支持し、中間支点上の支持条件をモデル化している。なお、ジョイントを取付けている床版名称として、ジョイント1は床版A1とB1、ジョイント2は床版B2とC2、ジョイント3は床版C3とD3と略記する。

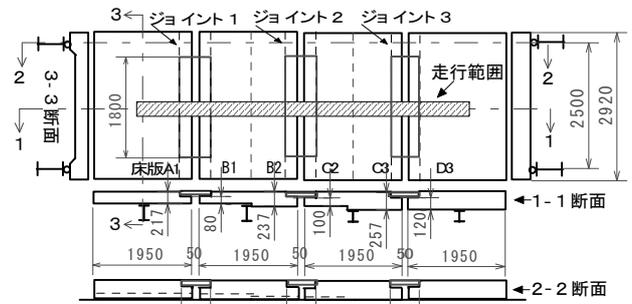


図-1 試験体設置図

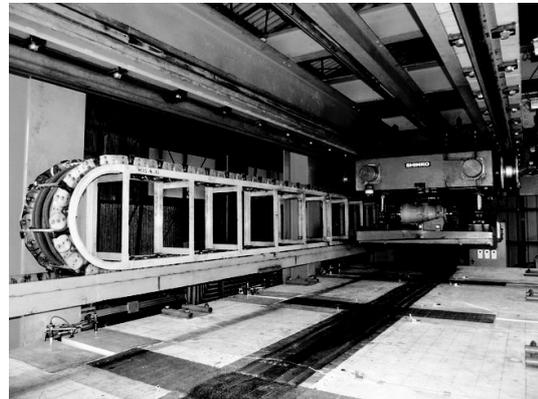


写真-1 ゴムタイヤ式輪荷重走行試験機
ポアソン比は 0.204 であり、実験終了後のコアの圧縮強度は 33.72 N/mm²、弾性係数は 26.2 kN/mm²であった。他のシリーズの特性値もほぼ同様である。

2.2 RC床版試験体

ジョイントを取付けるRC床版端部の仕様は、現行基準以前で補修事例の多いハンチ付き床版を昭和47年道路橋示方書に準じて設計している。試験体の配筋と形状寸法を図-2 に示す。ジョイントを取付ける切欠き部の厚さは、チップング深さ2cm分厚く製作し、ジョイント取付け前にブレーカでチップングした。

床版の主鉄筋はD19(SD345)、配力筋D16(SD295A)を使用した。コンクリートは同一配合の呼び強度24N/mm²の生コンを使用し、材齢28日の圧縮強度はシリーズIVで32.4N/mm²、弾性係数は30.5 kN/mm²、

2.3 床版の補強

実験シリーズIVの炭素繊維シート接着補強工法では、施工時間を短縮できる350mm幅の高強度型ス

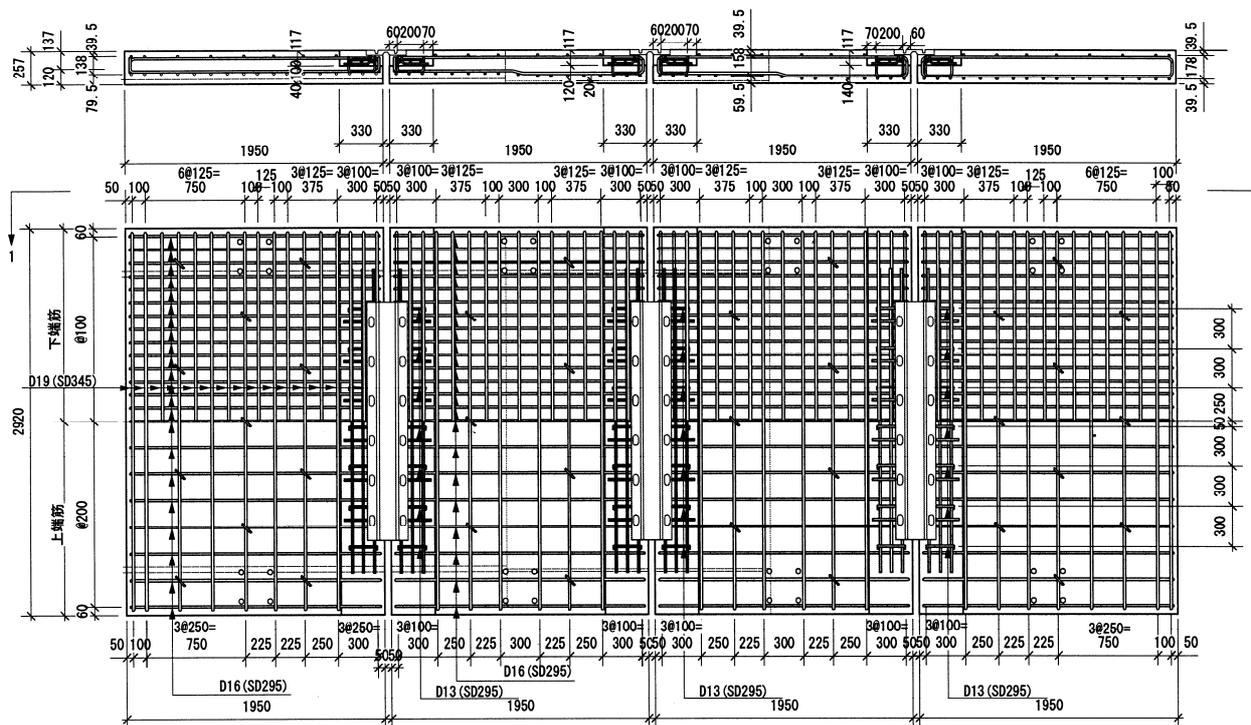
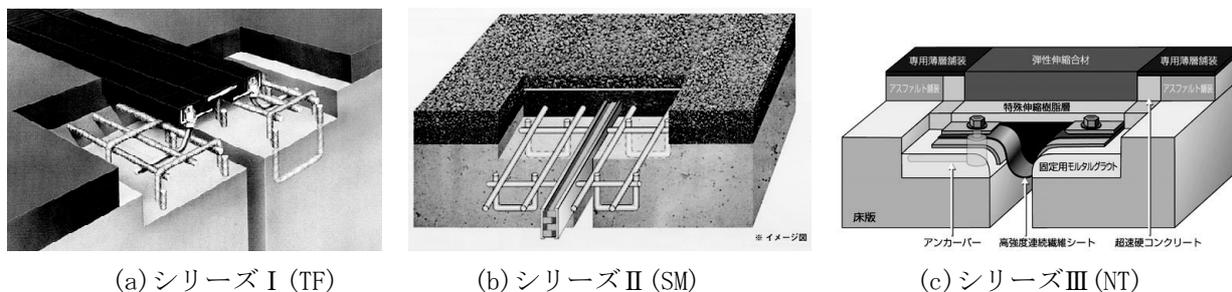


図-2 RC床版の配筋・形状寸法



(a) シリーズ I (TF)

(b) シリーズ II (SM)

(c) シリーズ III (NT)

図-3 ジョイントの概要図

トランドシートを使用した。シートの引張弾性率は 245kN/mm^2 、設計厚さ 0.333mm 、繊維重量 600g/m^2 である。シートの貼り付け方法は、主鉄筋方向×配筋方向各1層貼りで、コンクリート面が観察できる $100\times 100\text{mm}$ の窓を設ける格子接着工法である。

2.4 伸縮装置の取付け方法

各ジョイントの形状と取付けイメージを図-3に示す。ジョイントの取付けは、即日交通開放の補修(交換)工事の施工機材を使用し、使用材料は各メーカー仕様とした。シリーズI図-3(a)のゴムジョイントは、チップング面に打継ぎ用のプライマーを塗布して、ジェットコンクリート用モービル車(コンチニアスミキサ)で超速硬コンクリートを製造して取付けた。シリーズII図-3(b)の特殊アスファルト系埋設ジョイントは、プレミックスタイプの基層用と表層用(排水性)アスファルト合材を、専用のアスファルト熔融クッカーで製造して、タンパーと振動ローラで締め固めて取付けた。シリーズIII図-3(c)は、炭素繊維シートをエポキシ樹脂で成形した荷重支持型埋設ジョイントを、チップング面にエポキシ系の打継ぎ専用接着剤を塗布して、ジェットコンクリート用モービル車で超速硬コンクリートを製造して取付けた。シリーズIVは、耐久性の劣るシリーズIIを早期に破壊しても実験が継続できるように図-1に示した試験設置図の外側のジョイント1部に取付け、ジョイント2部にシリーズIを、ジョイント3部にシリーズIIIの順番で取付けた。

2.5 実験方法

走行荷重は、床版支間中央位置を 100kN 荷重で10万回、 130kN で10万回、 160kN で10万回、 200kN 荷重で30万回、累計60万回の荷重プログラムで行った。走行速度は、24時間で6m区間を約8,000回往復する。タイヤ接地寸法は、 157kN 荷重で走行方向 390mm 、床版支間(主鉄筋)方向 340mm (有効幅 230mm)、有効接地面積は $89,700\text{mm}^2$ である。

実験での各種測定は、走行1回、10回、100回、1000回、1万回など原則対数回毎に動的測定後、走行を一旦止めて、ひび割れの観察、静的荷重試験、重錘落下たわみ試験を行った。

3. 実験結果

3.1 走行回数と破壊形式

実験の走行回数を表-2に示す。シリーズIのゴムジョイントTF8は、 200kN 荷重の134,800回(累計434,800回)で床版A1側のジョイント長手方向の端に発生したせん断ひび割れで段差が生じた時点を破壊と見なした。TF10とTF12のジョイント取付け部は、床版の上下面にひび割れは発生したが累計60万回で未破壊の状態を実験を終了した。

シリーズIIのアスファルト系埋設ジョイントは、写真-2の切断面SM8では 100kN 荷重の15,460回で床版B1側の走行面直下の切欠き部から水平に対して約 30 度の角度で押し抜きせん断破壊した。その後走行範囲を床版B2~床版D3に狭めて実験を継続し、SM10の床版C2が 100kN 荷重の104,116回で床版B1同様に押し抜きせん断破壊した。また、SM12はSM10の破壊に伴い走行距離不足となり、床版C3~D3は未破壊で実験を終了した。なお、床版C3は切欠き部からのせん断ひび割れは床版下面まで進行しており、荷重ステップを 130kN に上げると短時間で破壊すると推察できる状態であった。

シリーズIIIの炭素繊維シート製埋設ジョイントのNT8では、 200kN 荷重の64,721回(累計364,731回)で床版B1側の走行面直下の切欠き部から水平に対して約 30 度の角度で横桁近傍に達するひび割れが入り押し抜きせん断破壊した。NT10とNT12は、累計64万回まで荷重して未破壊のまま終了した。

表-2 破壊時の走行回数

シリーズ	試験体記号	荷重ステップと走行回数			
		100kN	130kN	160kN	200kN
I	TF8	100,000	100,000	100,000	134,800
	TF10	100,000	100,000	100,000	>300,000
	TF12	100,000	100,000	100,000	>300,000
II	SM8	15,460	0	0	0
	SM10	104,116	0	0	0
	SM12	>104,116	0	0	0
III	NT8	100,000	100,000	100,000	64,731
	NT10	100,000	100,000	100,000	>340,000
	NT12	100,000	100,000	100,000	>340,000
IV	SM8+C	69,032	0	0	0
	TF8+C	100,000	100,000	100,000	>126,390
	NT8+C	100,000	100,000	100,000	126,390

シリーズIVは、写真-3(a)の SM8+C は 100kN 載荷の 69,032 回で床版 B1 側の走行面直下の切欠き部から水平に対して約 40~45 度の角度で押し抜きせん断破壊した。これは補強なしのシリーズIIの SM8 の 15,460 に対して 4.46 倍の補強効果が確認された。

NT8+C は、200kN 載荷 126,390 回（累計 426,390 回）の床版 D3 側で切欠き部から押し抜きせん断破壊した。これは補強なしの NT8 の 200kN 載荷 64,731（累計 364,731 回）に対して 200kN 載荷分では 1.95 倍の補強効果である。TF8+C は NT8+C の破壊に伴って走行不能で終了したことから、無補強の TF8 と直接比較できないが、床版下面のひび割れ損傷は明らかに少なく NT8+C と同程度の効果が想定される。

3.2 ジョイントの破損状況

ジョイント本体の破損状況は、写真-4(a)のシリーズI ゴムジョイントの破損は、上下の鋼板を連結しているゴム部で破断が確認され、床版厚の薄いほど損傷が激しい。写真-4(b)のシリーズII アスファルト系埋設ジョイントは、早期にわだち掘れが発生して走行に支障が生じたので、アスファルト系の路面補修材で補修して走行した。写真-4(c)のシリーズIII 炭素繊維シート製埋設ジョイントは、200kN 載荷 12 万回でジョイントの一部で破断が確認された。一方、シリーズIVの炭素繊維シート補強床版での各ジョイント本体の損傷は、SM8+C では押し抜き部で変形が確認された。TF8+C は無傷の状態であった。NT8+C は本体には損傷はなく、周辺の後打ちコンクリート部での損傷が確認できた。

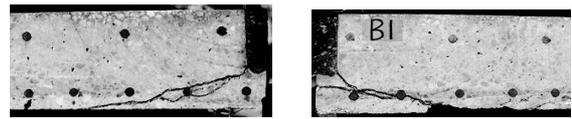
3.3 床版のひび割れ

シリーズI と III および IV の TF8+C と NT8+C の床版上面には主鉄筋方向のひび割れが発生した。一方、シリーズII とシリーズIVの SM8+C では、床版上面にひび割れは発生しない段階で破壊した。

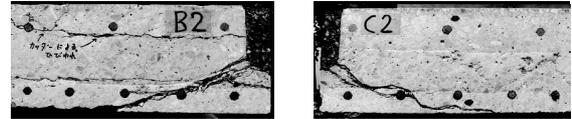
下面のひび割れは、シリーズI~IIIで RC 床版での輪荷重走行疲労実験特有の格子状から亀甲状に進展するひび割れが発生した。また、シリーズIVの補強床版では、観測窓で主に曲げひび割れの発生は確認されたが、ひび割れの発生量は無補強に比べ少なく補強効果が確認できた。

写真-5は、シリ

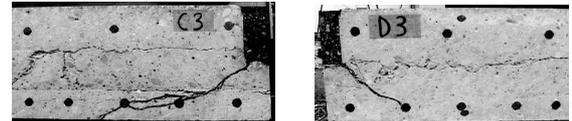
ーズIVのジョイント背面で切断した断面である。写真-5(a)の SM8+C では、100kN 載荷 6.9 万回で破壊



(a) SM8 床版 A1-B1 切断面 (1.5 万回で破壊)

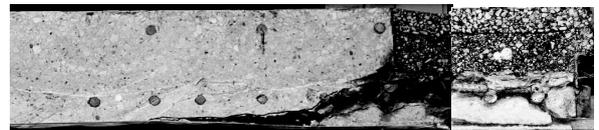


(b) SM10 床版 B2-C2 切断面 (10.4 万回で破壊)

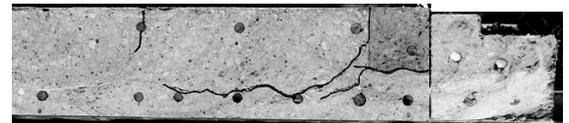


(c) SM12 床版 C3-D3 切断面 (10.4 万回まで未破壊)

写真-2 シリーズIIの橋軸方向切断面



(a) SM8+C 床版 B1 (6.9 万回で破壊)



(b) TF8+C 床版 C2 (42.6 万回まで未破壊)



(c) NT8+C 床版 D3 (42.6 万回で破壊)

写真-3 シリーズIVの橋軸方向床版切断面



(a) ジョイント 1



(b) ジョイント 2



(c) ジョイント 3

(a) シリーズ I (TF)



(b) シリーズ II (SM)



a) ジョイント 1



b) ジョイント 2



c) ジョイント 3

(c) シリーズ III (NT)

写真-4 ジョイント本体の切断面

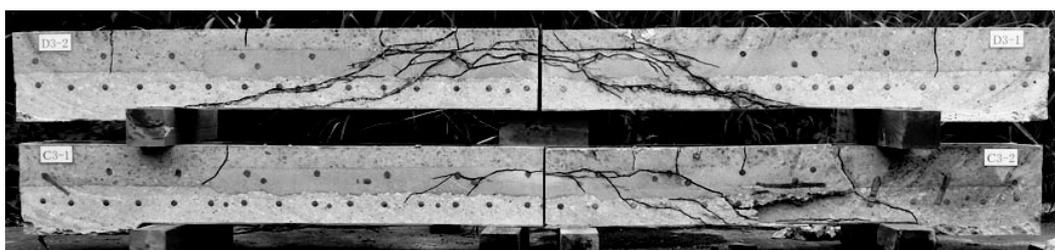
した床版 B1 側での損傷が激しい。支間中央のタイヤ走行面からハの字状に引張側鉄筋のかぶり部にひび割れが入っている。切欠き部の引張側鉄筋位置での損傷が激しく、二層化と砂利化が混在した状態である。補強シートは破断がなく、ハンチ近傍まで剥離している。ジョイントの表層に若干のわだち掘れが確認できる。基層は、ひび割れが入るなどの損傷は確認できない。



(a) SM8+C(6.9 万回で破壊)



(b) TF8+C(42.6 万回まで未破壊)



(c) NT8+C(42.6 万回で破壊)

写真-5 ジョイント背面での切断面

写真-5(b)の TF8+C では、タイヤ走行面とその近傍にひび割れやシートの剥離などの損傷は無く、補強シート先端のハンチ上端から床版上面に繋がるせん断ひび割れが特徴的である。床版 C2 上面のひび割れ発生位置は、ジョイント長手方向先端とほぼ一致する。

写真-5(c)の NT8+C では、累計 42.6 万回で破壊した D3 側の損傷が激しい。タイヤ走行面からハの字状にせん断ひび割れは入り、圧縮鉄筋位置での水平ひび割れが床版 D3 および C3 で確認できる。D3 右側では、引張側鉄筋位置での水平ひび割れが確認できる。なお補強シートは一部剥離したが破断はない。

4. 疲労耐久性の評価

ジョイント取付け部床版の疲労耐久性を評価するために、都内の主要な軸重観測地点の 100kN 換算輪数を式(1)により算出した。

$$N = \sum_{i=1}^n \left[\left\{ \frac{P_i}{100} \right\}^m \times n_i \right] \times a_k \times 365 \quad \dots (1)$$

ここに、

N : 年間の 100kN 換算輪数

P_i : 任意の輪荷重 (軸重測定値の 1/2)

n_i : P_i の観測輪数 (軸数)

$a_k = A/a$

a_k : 一方向換算輪数の補正係数

A : 一方向大型車交通量/日

a : 軸重測定車線の大型車交通量/日

m : RC床版の S-N線図の傾きの逆数

式(1)の代表的な m 値は、はり状化した床版の押抜きせん断耐荷力 (P/P_{sx}) を基にしている 12.76 が使われている⁵⁾。しかし、ジョイント取付け部に適用した場合は、過大に評価される恐れがあり、安全側の評価となるように環状八号線の高井戸陸橋 RC 床版の残存疲労耐久性の検討で得られた推定値 $m = 3.53 \div 4$ を採用して検討する⁶⁾。平成 14 年度に都道で観測した軸重測定データ⁷⁾を使って、主な観測地点の疲労耐久年数を算定した。都道の中でも重交通路線である環八通り (砧) 地点での耐用年数の推定値は、最も薄い 8cm の部分で比較すると、シリーズ I の TF8 で 25.88 年、シリーズ II の SM8 で 0.13 年、シリーズ III の NT8 で 16.71 年と試算される。

一方、床版を補強したシリーズ IV の SM8+C は 0.56 年であり、補強効果は 4.47 倍と推定され、シリーズ III の NT8+C は 24.79 年であり、補強効果は 1.48 倍と推定される。TF8+C は未破壊状態の 24.79 年以上であり直接比較できないが、たわみと鉄筋ひずみの測定結果や切断面のひび割れの状態を総合的に評価すると補強なし以上と容易に想定できる。

5. まとめ

(1) 総ての実験シリーズのS-N線図を図-4に示す。図中には主な軸重観測地点の関係を示し、舗装計画交通量区分が分かれば、ジョイントの種類と切欠き部の床版厚さと耐用年数の関係の目安が得られる。例えば、舗装計画交通量区分がN7で耐用年数20年以上を期待できるジョイントの種類と切欠き部の床版厚さの関係は、NT8又はTF8以上であり、SMは総て期待できないことが分かる。

(2) 伸縮装置取付け部の厚さが2cm異なると疲労耐久性は2倍程度異なり、厚さが薄いほど疲労耐久性は劣る。また、ジョイントの形式によっても耐久性は異なるので、古い橋梁での伸縮装置の交換では、交換時に床版厚に留意する必要がある。

(3) 炭素繊維シートで床版を補強することで、ジョイント取付け部の疲労耐久性をある程度改善できるが、耐久性の高いゴムジョイントに対しては、十分とはいえない。剛性の大きい鋼板接着やハンチなしに部分的に打替えて増厚する対策や端横桁を取替えて剛性を改善する対策工法が効果的と考えられる。

(4) ジョイントから床版への荷重分布は、図-5の概念図に示すように作用する。シリーズIIの荷重分散型特殊アスファルト系では、輪荷重分布は表層から45度に分散して取付け部の床版に直接作用する。荷重支持型のシリーズIやシリーズIIIでは、ジョイント底部にある鋼板の存在により、取付け部に作用する橋軸直角方向の荷重分布幅がより広く、輪荷重直下の切欠き部での応力集中が緩和される。

(5) シリーズIIIに比べてシリーズIのゴムジョイントの方が疲労耐久性は優れている。ゴムジョイントは、ジョイント本体の断面積が最も小さく後打ちコンクリートの体積は最も大きい。したがって、取付け部全体の剛性は最も大きく、剛性の大小が耐久性に影響を与えている。また、ゴムジョイントは中間層にも遊間を跨ぐ様に鋼板が挿入されており、橋軸方向への荷重分布幅が広いほか、タイヤが遊間を通過する際の衝撃を緩和する効果も期待できるなどにより、疲労耐久性を向上させていると推察できる。

参考文献

- 1) 関口幹夫, 橋原正周, 堀川都志雄: ゴムジョイント付きRC床版の輪荷重走行疲労実験, 構造工学論文集 Vol.55A, pp.1509-1520, 2009.3.
- 2) 関口幹夫, 橋原正周, 堀川都志雄: シームレスジョイント付きRC床版の輪荷重走行疲労実験, 構

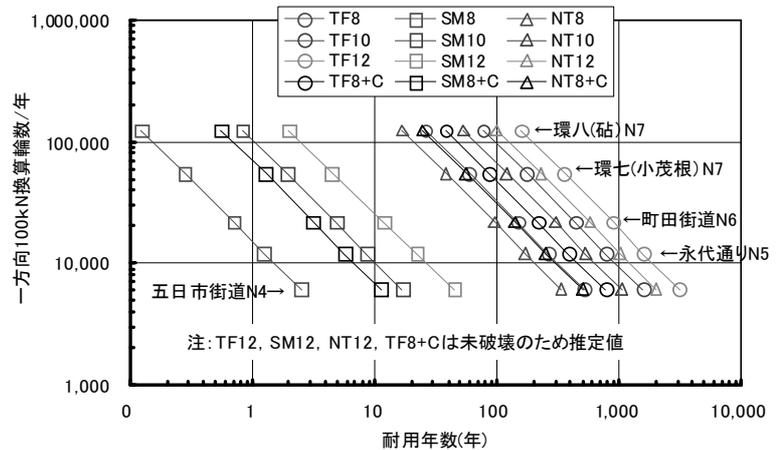


図-4 伸縮装置取付け部 RC 床版の S-N 線図 (傾き m=4)

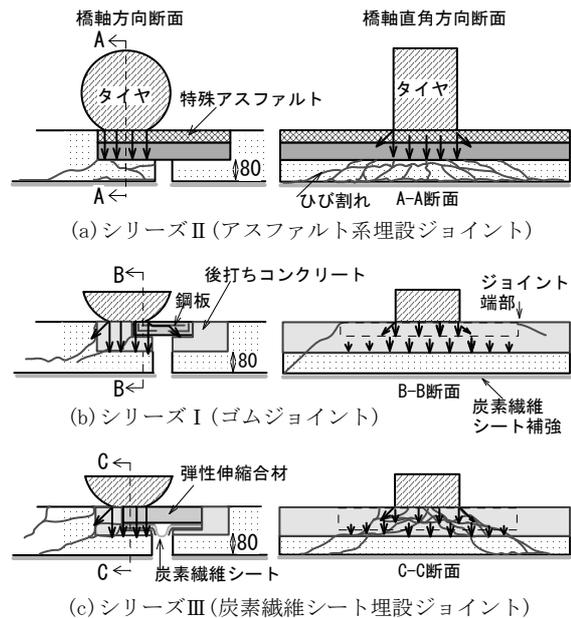


図-5 伸縮装置取付け部の荷重分布概念図

造工学論文集 Vol.56A, pp.1206-1216, 2010.3.

- 3) 埋設型炭素繊維シートジョイント付きRC床版の輪荷重走行疲労実験, 構造工学論文集 Vol.57A, pp.1326-1337, 2011.3.
- 4) 関口幹夫, 大石雅登, 橋原正周: 各種ジョイント付きCFRP補強床版の輪荷重走行疲労実験, 平23. 都土木技術支援・人材育成センター年報, pp.87-100, 2011.10.
- 5) 松井繁之: 橋梁の寿命予測, 安全工学 Vol.30, No. 6, pp.432-440, 2004.10.
- 6) 関口幹夫, 宍戸薫, 森俊介: 高井戸陸橋RC床版の残存疲労耐久性の評価, 平成14年東京都土木技術研究所年報, pp.101-112, 2002.
- 7) 東京都建設局: 走行車両の軸重実態調査報告書 (平成15年3月), 2003.3.