

10. 道路橋伸縮装置の補修に関する技術資料

Technical Note on Repair of Bridges Expansion Joint

技術支援課 関口幹夫、大石雅登

1. はじめに

都道の道路橋伸縮装置（以下、ジョイントという）の補修サイクルの実績は、平成 15 年の分析によると図-1 に示すとおりであり、沿道環境の保全が優先される都内では 3~15 年と比較的短い。また、1990 年~2000 年の補修サイクルの平均は 10 年程度と推計されている¹⁾。このように比較的早期に補修（交換）される実態から、ジョイントの交換が数回繰返される既設の鉄筋コンクリート床版（RC床版）では、ジョイント撤去時にブレイ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、ブレイ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には、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既設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。

そこで、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 シリーズの実物大試験体による輪荷重走行疲労実験を実施した^{2), 3), 4), 5)}。

実験は、床版厚が薄く疲労耐久性が基本的に劣っている、ハンチ付きの昭和 48 年道示基準床版を対象とした。また、実験の検討パラメータは、ジョイント協会の定性的判断を参考に、ジョイント取付け部の床版厚が 10cm 以下では、早期に破損する可能性があると考えてシリーズ I ~ III は、ジョイント取付け部 RC 床版を 8cm、10cm、12cm の 3 種類としている。組合せるジョイントは、形式の異なる 3 種類を比較できるように、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)²⁾ である。同様にシリーズ II では、近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)³⁾ 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)⁴⁾ である。

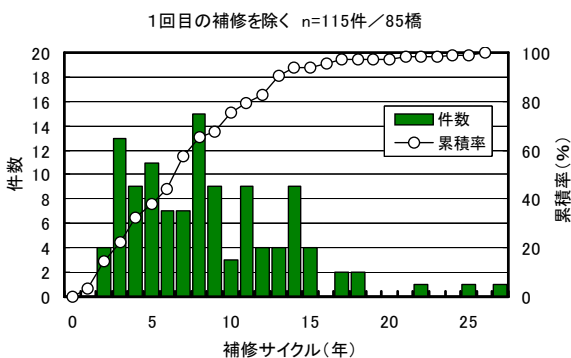


図-1 伸縮装置の補修実態¹⁾

表-1 実験シリーズ

シリーズ	試験体記号	取付部床版厚 (cm)	RC床版補強有無	選定区分	ジョイント形式	荷重支持方法	適用実績		
I	TF8	8	補強なし	標準品	ゴムジョイント (TF)	荷重支持型	重交通		
	TF10	10							
	TF12	12							
II	SM8	8		ノージョイント	アスファルト系埋設ジョイント (SM)	荷重分散型	中・軽交通		
	SM10	10							
	SM12	12							
III	NT8	8		炭素繊維シート埋設ジョイント (NT)	—	荷重支持型	重・中交通		
	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							

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、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⁵⁾。

その疲労試験結果から伸縮装置を取り付ける箇所の床版厚が薄いほど疲労耐久性は小さく、実績のあるゴムジョイントに比べて剛性の小さいアスファルト系埋設ジョイントでは、床版の疲労耐久性が小さく、適用に際しては十分な検討が必要であることが明らかとなった。

そこで、本技術資料のとりまとめでは、伸縮装置の補修時に耐久性を確保するために必要な有用な技術情報を提供することを目的に、最初に道路橋示方書 (以下、道示) の床版および伸縮装置に関する基準の変遷を整理した。次に実物大試験体による疲労試験結果の概要と伸縮装置の形式と床版厚の組合せに対して、大型車交通量との関係から疲労耐久性 (寿命) を推定する方法を提案する。最後に伸縮装置の交換 (補修) での失敗事例を紹介する。

2. 床版・伸縮装置の設計基準の変遷

2.1 RC床版の基準の変遷

RC床版に関する道示基準の変遷の要旨は、表-2のとおりである。昭和31年以前は主鉄筋の設計曲げモーメント式と自動車荷重が小さいのが特徴である。昭和40年代前半になると既設の鋼道路橋RC床版の疲労損傷が顕在化する。その主たる原因は、大型車の増加や過積載車両の横行が大きな要因とされた。昭和39年道示基準では、配力鉄筋量が主鉄筋の25%程度と少ないことも疲労損傷しやすことが指摘される。これらに対処する対策として、昭和42年の建設省道路局長通達では、配力鉄筋量を主鉄筋の70%以上にする対策が取られた。昭和43年5月には鋼道路橋床版に関する暫定基準案が出され、床版厚さが小さいと疲労損傷しやすいことから最小床版厚の基準を14cmから16cmに厚くした。一方で床版下面のひび割れを抑制するために、鉄筋の許容応力度を1,400kgf/cm²以下に抑える対策が打ち出される。昭和46年3月の建設省道路局長通達では、配力鉄筋に関する曲げモーメント式が追加され、さらに

表-2 道路橋示方書における鉄筋コンクリート床版諸基準の変遷

規格等の名称	制定年月	最小床版厚 (cm)	許容応力度 (kgf/cm ²)		連続版の曲げモーメント (M) 算定式と設計輪荷重 (P: 荷重, L: 床版支間, i: 衝撃係数)	
			鉄筋	コンクリート		
道路構造に関する細則	大正15年6月	規定なし	1200	45	$M = (P(L-b/2)/4)(1+i)$ $i=20/(60+L) \leq 0.3$	1等橋 P=4.5t
鋼道路橋設計示方書案	昭和14年2月	全厚: 14 (有効高: 11)	1200	45 $\sigma_{28}/3 \leq 65$	$M = (P(L-b/2)/4)(1+i)$ $i=20/(50+L)$	1等橋 P=5.2t
鋼道路橋設計示方書	昭和31年6月		1400	$\sigma_{28}/3 \leq 70$ $\sigma_{28} \geq 160$	$M = (P(L-b/2)/4)(1+i)$ $i=20/(50+L)$	1等橋 P=8.0t 2 ≤ L ≤ 4m
鋼道路橋設計示方書	昭和39年6月		1400 (SS41) 1600 (SS50) 1800 (SSD49)	$\sigma_{28}/3 \leq 80$ $\sigma_{28} \geq 180$	$M = (0.4P(L-1)/(L+0.4))(1+i)$ $i=20/(50+L)$ 配力鉄筋: 主鉄筋の25%以上	
建設省道路局長通達	昭和42年9月				$M = (0.4P(L-1)/(L+0.4))(1+i)$ $i=20/(50+L)$ 配力鉄筋: 主鉄筋の70%以上	
鋼道路橋床版に関する暫定基準案	昭和43年5月	3L+11 ≥ 16	1400 (SD24, SD30)	$\sigma_{28}/3 \leq 100$ $\sigma_{28} \geq 210$	M=0.8(0.12L+0.07)P: 主鉄筋 M=0.8(0.10L+0.04)P: 配力鉄筋 (衝撃を含む算定式)	1等橋 P=8.0t L ≤ 4m 大型車計画交通量1000台超のときP=9.6tに割増し
建設省道路局長通達	昭和46年3月					
鋼道路橋設計示方書	昭和48年2月	d ₀ = 3L+11 ≥ 16 d = k ₁ k ₂ d ₀	≤ 1200	$\sigma_{28}/3 \leq 100$ $\sigma_{28} \geq 240$	M=0.8α(0.12L+0.07)P: 主鉄筋 M=0.8α(0.10L+0.04)P: 配力鉄筋 α = 1 + (L-2.5)/12; L ≥ 2.5に対する割増し係数 (衝撃を含む算定式)	B活荷重 P=10.0t (100kN) L ≤ 4m
建設省道路局通達	昭和53年4月					
道路橋示方書	昭和55年2月					
道路橋示方書	平成2年2月					
建設省都市局・道路局通達	平成5年3月	k ₁ : 交通量係数 k ₂ : 付加曲げモーメント係数	≤ 1200	$\sigma_{28}/3 \leq 100$ $\sigma_{28} \geq 240$	M=0.8α(0.12L+0.07)P: 主鉄筋 M=0.8α(0.10L+0.04)P: 配力鉄筋 α = 1 + (L-2.5)/12; L ≥ 2.5に対する割増し係数 (衝撃を含む算定式)	B活荷重 P=10.0t (100kN) L ≤ 4m
道路橋示方書	平成6年2月					
道路橋示方書	平成8年2月					
道路橋示方書	平成14年2月					
道路橋示方書	平成24年2月					

注) : 表内の許容応力度および輪荷重Pは当時の重力単位系で記したが、SI単位系では許容応力度の1kgf/cm²は0.0980665N/mm²に、輪荷重の1tは9.800665kNに相当する。なお、本表は松井繁之編書「道路橋床版」森北出版2007年に加筆したものである。

大型車計画交通量が1,000台を超える場合の設計輪荷重の20%割増しの基準が追加される。これらの内容を包括したものが昭和47年度版(昭和48年2月)道示である。そして、昭和53年4月の建設省道路局通達では、最小床版厚の算定式に割増係数として交通量係数と付加曲げモーメント係数を考慮する修正があり、鉄筋の許容応力度も1,400kgf/cm²から1,200kgf/cm²に低減する対策が取られ、昭和55年の道示に反映された。

平成2年の道示基準では、コンクリートの許容応力度と σ_{28} 設計基準強度が変更された以外は変更がない。そして、平成5年3月の建設省都市局・道路局通達で25t対応となる設計輪荷重の体系としてB活荷重(10.0t)に変更される。以降の道路橋示方書の変遷では、主に耐震に関する変更が主であり、床版に関する変更は基本的にない。

2.2 けた端部床版の基準の変遷

伸縮装置を取付けるけた端部床版の道示基準の変遷は、表-3のとおりである。昭和39年以前では、特にけた端部床版の留意事項は基準化されていない。また、伸縮装置が取り付けられてあるけた端部床版は、ジョイント部の不陸が原因で衝撃荷重が作用することによる疲労損傷が一般部床版に比べ大きいことへの対策として、昭和48年道示では、けた端部床版に関する基準として、①けた端部床版の設計曲げモーメントは、一般部の2倍で設計

すること、②けた端部の端床桁(充腹式又は逆V式)は、単独で設計輪荷重を受持つ構造とする。の二つの対策が基準された。しかしながら、昭和48年道示で設計された床版においても疲労損傷は発生することから、昭和59年2月の建設省通達では、三つ目の対策として前記①と②に加えて、③床版厚を一般部の床版の2倍にする対策が追加された。これら三つの対策は、平成2年の道示基準に盛り込まれ現在に至っている。

2.3 伸縮装置の基準の変遷

昭和39年道示以前は、伸縮装置の基準は特に存在しない。昭和48年道示では、共通編の一般事項に伸縮装置の項が設けられた。内容として「設置する道路の性格・橋の形式・必要伸縮量を基本として、全体的な耐久性・平坦性・排水性と水密性・施工性・補修性・経済性などを考慮して定める。」と概念が記述されたのみであり、同解説において、設計・施工では「道路橋伸縮装置便覧(日本道路協会)」を参考にするのがよい。とされており、具体的内容については道示を補完する便覧に任せている。また、設計伸縮量に関する基準はないが「支承の移動量」に関する基準の中に温度変化等による支承の移動量に関連する記述がある。

昭和48年道示の伸縮装置に関する基準は、平成2年の道示まで変更されなかったが、平成14年の道示で大幅に基準が変更され現在に至っている。

表-3 けた端部床版に関する道示基準の変遷

道示年度	昭和39年以前	昭和48年	昭和55年	平成2年	平成14年以降
端床桁	規定なし	けた端部の車道部分の床版は、端床げた、端ブラケットなどで支持するのが望ましい。この場合、端床げた、端ブラケットなどは単独で輪荷重に抵抗できるものでなければならない。	同左	十分な剛度を有する端床げた、端ブラケット等で支持する。	同左
端床桁で支持しない場合	中間支間	規定なし	けた端部から床版支間の1/2の間の床版については、けた端部以外の中間支間の床版の必要主鉄筋量の2倍の主鉄筋を配置しなければならない。	同左	同左
	片持部	規定なし	けた端部以外の片持ち部の床版の必要鉄筋量の2倍の主鉄筋を配置しなければならない。なお、この部分には、けた端部以外の片持ち部の床版の上側の配力鉄筋量の2倍の配力鉄筋を上側に配置しなければならない。	同左	同左
床版厚さ	規定なし	同左	同左	床版厚さをハンチ高だけ増すを原則とする。	床版厚さをハンチ高だけ増し、斜橋の床版においては、さらに補強鉄筋を配置する。

表-4 伸縮装置に関する道示基準の変遷

道示年度	昭和39年以前	昭和48年	平成14年
一般 (共通編)	規定なし	伸縮装置は、設置する道路の性格・橋の形式・必要伸縮量を基本として、全体的な耐久性・平坦性・排水性と水密性・施工性・補修性・経済性を考慮して定める。 解説：設計・施工には「道路橋伸縮装置便覧(日本道路協会)」を参考にするのがよい。	伸縮装置は、以下の性能を満足するよう、適切な形式、構造及び材料を選定するものとする。 1. けたの温度変化、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮、活荷重等による橋の変形が生じた場合にも、車両が支障なく通行できる路面の平坦性を確保するものとする。 2. 車両の通行に対して耐久性を有するものとする。 3. 雨水等の侵入に対して水密性を有するものとする。 4. 車両の通行による騒音、振動が極力発生しないよう配慮した構造とする。 5. 施工、維持管理及び補修の容易さに配慮した構造とする。 なお、伸縮装置の耐震設計は、耐震設計編の規定による。
設計伸縮量 (支承の移動量)	規定なし	規定なし (可動支承は上部工の温度変化、たわみ、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮、プレストレスによる部材の弾性変形などによって生じる移動量に対して余裕のある構造としなければならない)	1. 伸縮装置の設計伸縮量は、けたの温度変化、コンクリートのクリープ及び乾燥収縮、活荷重によって生じるたわみによる上部構造の移動量、ならびに施工時の余裕量を考慮して設定するものとする。 2. 設計伸縮量を4.1.3(支承の移動量)の規定により算出する場合には、1.を満足すると見なしてよい。
伸縮装置に作用する力	規定なし	同左	伸縮装置に作用する力は、作用荷重、伸縮装置の形式等を適切に考慮して設定するものとする。 解説：設計に用いる鉛直荷重は、T荷重(片輪100kN)を基本とし、ゴム、鋼材からなる形式では衝撃による応力は活荷重応力の40%、表面に張出しを有する鋼製フィンガージョイントなどでは活荷重応力の100%考慮する。

変更事項は三つの内容からなる。一つ目は、一般事項の伸縮装置の選定について、①けたの温度変化・クリープ・乾燥収縮などで変形が生じた場合にも、車両が支障なく通行できる平坦性を確保する。②耐久性、③水密性、④騒音振動への配慮、⑤施工、維持管理・補修の容易さの5項目の検討内容が列挙されている。二つ目は設計伸縮量の基準であり、けたの温度変化、クリープ、乾燥収縮、活荷重による移動量、施工時の余裕を考慮する。三つ目は伸縮装置に作用する力に関する基準が新たに設けられ、作用する力は作用荷重、伸縮装置の形式等を考慮して設定するとされ、同解説において設計に用いる鉛直荷重はT荷重(片輪 100kN)を基本とし、ゴム、鋼材からなる形式では衝撃による応力は活荷重応力の40%、表面に張出しを有する鋼製フィンガージョイントなどでは活荷重の100%を考慮するとの割増しの基準が導入された。

このように道示のけた端部床版と伸縮装置の基準の変遷が示すように、昭和39年以前の伸縮装置取付け部の床版は、基本的に疲労対策が取られていないことから疲労耐久性が劣っていることは明白である。したがって、昭和39年道示以前の橋梁において振動や騒音対策の一環として、鋼製フィンガージョイントを剛性の小さいゴムジョイント形式や埋設ジョイント(アスファルト系や炭素繊維シート系)などに交換する際には、特に疲労耐

久性を十分確保するための検討が必要である。

3. 疲労耐久性の実験

3.1 試験体の概要

輪荷重走行実験の試験体の設置状況を図-2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に示す当センターの自走式ゴムタイヤの輪荷重走行試験機を使用して、試験体上の6m区間を輪荷重が往復載荷する方式である。床版の支持条件は、図-2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。

3.2 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 48 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-3 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 30.5kN/mm²、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 33.72N/mm²、弾性係数は 26.2kN/mm²であった。他のシリーズの特性値もほぼ同様である。

3.3 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 幅の高強度型ストランドシートを使用した。シートの引張弾性率は 245kN/mm²、設計厚さ 0.333mm、繊維重量 600g/m²である。シートの貼り付け方法は、主鉄筋方向×配力筋方向各 1 層貼り、コンクリート面が観察できる 100×100mm の窓を設ける格子接着工法である。

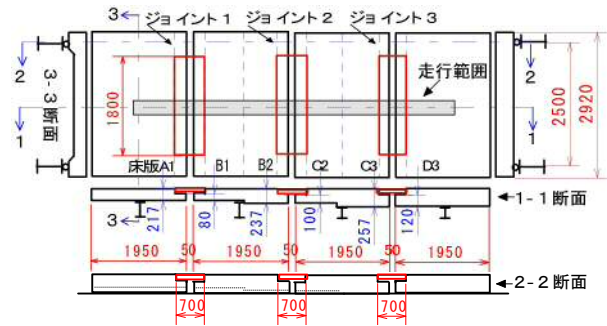


図-2 試験体設置図



写真-1 ゴムタイヤ式輪荷重走行疲労試験機

3.4 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-4 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

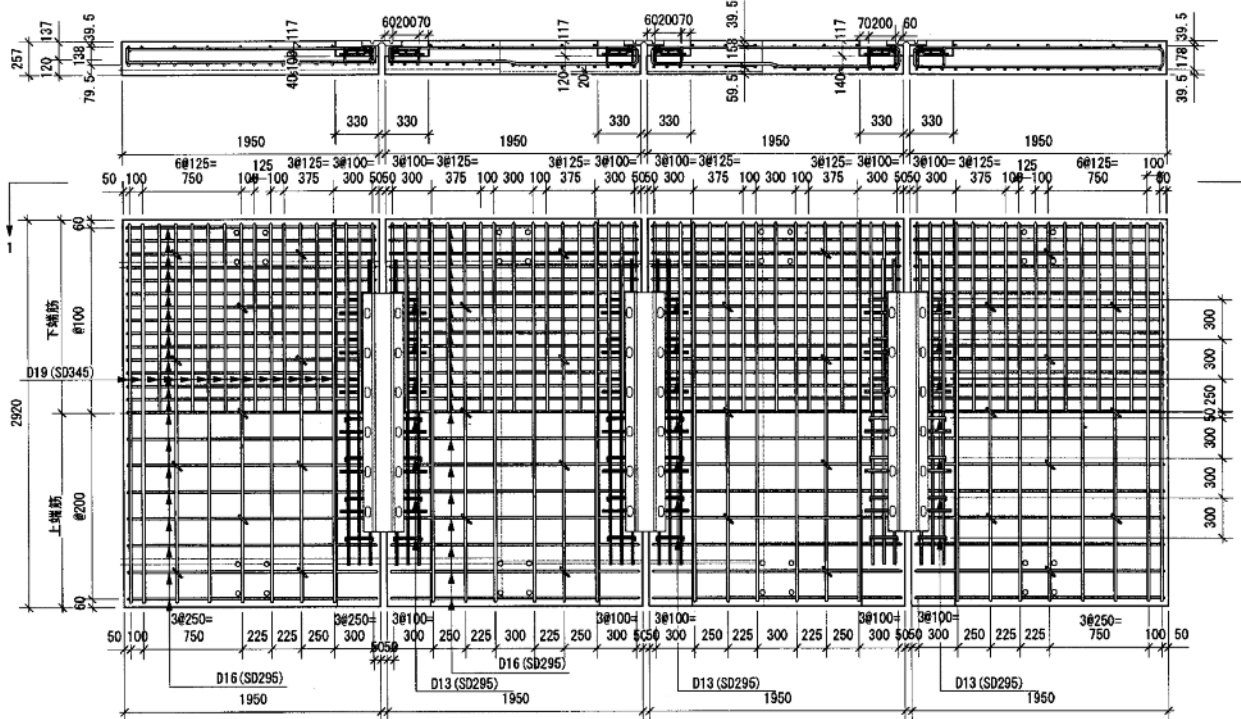
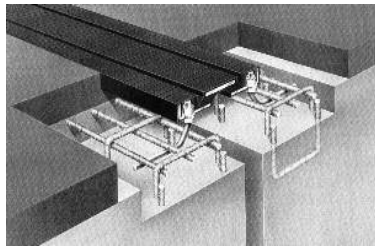
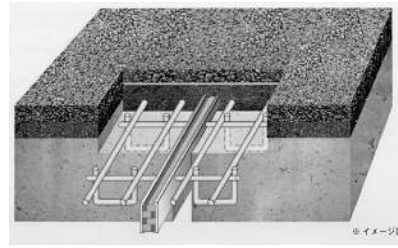


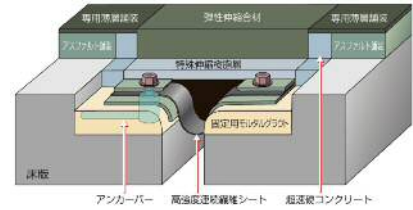
図-3 RC床版の配筋・形状寸法（シリーズ I の場合）



(a) シリーズ I (TF)



(b) シリーズ II (SM)



(c) シリーズ III (NT)

図-4 ジョイントの概要図

は各メーカー仕様とした。シリーズ I 図-4(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タール車（コンチニアスマキサ）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-4(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-4(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タール車で超速硬コンクリートを製造して取付けた。

3.5 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（回数）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 89,700mm²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。

4. 実験結果

4.1 走行回数と破壊形式

実験の走行回数を表-5 に示す。シリーズ I の

表-5 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

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(a)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、写真-2(c)の床版 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 64,731 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 万回まで載荷して未破壊のまま終了した。

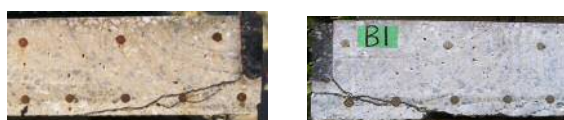
シリーズIVは、写真-3(a)の SM8+C は 100kN 載荷の 69,032 回で床版 B1 側の走行面直下の切欠き部から水平に対して約 40~45 度の角度で押し抜きせん断破壊した。これは補強なしのシリーズ II の SM8 の走行 15,460 回に対して 4.46 倍の補強効果が確認された。

また、写真-3(c)の 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。写真-3(b)の 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。

4.2 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 (TF) 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、床版厚が薄いほど損傷が激しい。写真-4(b)のシリーズ II (SM) 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、



(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

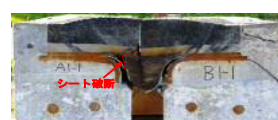


(c) ジョイント 3



(a) シリーズ I (TF)

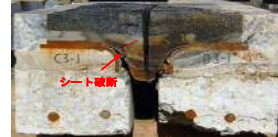
(b) シリーズ II (SM)



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

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 (NT) 炭素繊維シート製埋設ジョイントは、200kN 載荷 12.6 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。

4.3 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。

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が入り、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。また、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。

5. 疲労耐久性の評価

5.1 評価方法



(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

表-6 平成 14 年度軸重調査データ

区分	地点名	方向 (車線)	通称道路名	軸重区分別通過軸数 (軸/日)												合計	大型車交通量 (台/日)		
				2.0t ~ 4.0t	4.0t ~ 6.0t	6.0t ~ 8.0t	8.0t ~ 10.0t	10.0t ~ 11.0t	11.0t ~ 12.0t	12.0t ~ 14.0t	14.0t ~ 16.0t	16.0t ~ 18.0t	18.0t ~ 20.0t	20.0t ~ 24.0t	24.0t ~		測定 車線	一方 向	
区部	築地	上	新大橋通り	18,816	2,566	963	348	128	21	16	15	2	0	1	1	0	22,877	3,163	4,501
	東大井	上	海岸通り	14,719	4,141	1,818	928	476	148	133	121	35	7	6	3	0	22,535	3,853	5,748
	北子束	外	環七通り	22,705	6,516	4,035	2,332	1,172	417	252	151	20	5	2	5	0	37,612	6,551	8,075
	豊玉	下	目白通り	26,815	4,360	2,736	1,332	888	202	77	37	9	1	3	2	0	36,462	4,713	6,203
	小茂根	内	環七通り	21,390	5,485	3,307	1,316	763	166	95	70	17	2	1	0	0	32,612	5,068	6,899
	永代	上	永代通り	18,419	1,347	431	110	45	6	3	6	3	0	0	1	0	20,371	1,642	5,368
	本一色	内	環七通り	20,737	5,207	3,645	1,552	855	264	126	69	14	3	1	0	0	32,473	5,151	8,891
	三好	内	三ツ目通り	12,146	3,817	1,848	705	332	102	72	66	11	14	2	1	0	19,116	3,393	4,095
	砧	外	環八通り	22,265	5,218	3,721	2,434	1,065	276	176	139	42	12	5	2	0	35,355	5,507	9,861
	瑞穂	上	青梅街道	14,418	1,361	965	686	345	33	17	13	4	3	1	0	0	17,846	1,821	2,485
多摩 地域	秋川	上	五日市街道	13,111	528	301	132	209	44	7	3	0	0	0	0	0	14,335	683	683
	町田	下	町田街道	15,445	922	450	415	204	54	50	74	22	12	8	0	0	17,656	1,361	1,361
	百草	上	川崎街道	18,529	1,586	782	307	191	86	69	50	14	2	0	0	0	21,616	1,681	1,681
		下		19,348	1,897	759	322	135	52	24	45	20	0	0	0	0	22,602	1,782	1,782
	小平	上	府中街道	14,657	2,290	1,310	551	432	86	59	63	13	6	1	0	0	19,468	2,229	2,229
	立川	上	新奥多摩街道	15,069	3,036	1,840	1,060	768	186	71	52	4	1	0	0	0	22,087	3,267	4,073
平均軸荷重(t)				0.50	1.50	2.50	3.50	4.50	5.25	5.75	6.50	7.50	8.50	9.50	11.00	12.50	—	—	—

疲労耐久性は、マイナー則を適用して評価する方法による。ここでは、表-6 に示す平成 14 年に道路管理部保全課の軸重観測データ⁶⁾を活用して評価する。軸重観測データは、概ね 2t ピッチの区分で観測していることから、軸重区分の平均値の 1/2 を観測軸荷重と見なす。各観測地点の 10t (98kN) 換算軸数を約 100kN 換算軸数と見なして式(1)により算出する。

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

ここに、

- N : 年間の一方向 100kN 換算軸数
- P_i : 任意の軸荷重 (軸重測定値の 1/2)
- n_i : P_i の観測軸数 (軸数)
- $a_k = A/a$ 、ただし、(a_k : 一方向換算軸数の補正係数、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

なお、式(1)の代表的な m 値は、はり状化した RC 床版の押抜きせん断耐荷力 (P/P_{sx}) を基にしている m=12.76 が使われている⁷⁾。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≒4 を採用して検討する⁸⁾。また、各シリーズの疲労耐久性 (寿命: N_y) は、表-5 の走行回数を 100kN 換算軸数 (N_d) に m=4 の条件で換算して式 (2) で算定する。

$$N_y = N_d / N \dots (2)$$

ここに、

- N_y : 耐久年数 (年)
- N_d : 各試験体の 100kN 換算走行疲労破壊軸数 (軸)
- N : 各観測地点の 100kN 換算軸数 (軸/年)

5.2 耐久性の評価結果

各シリーズの破壊回数に対する各観測地点の疲労耐久年数は、表-7 のとおり算定される。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 の部分と比較すると、シリーズ I の TF8 で 25.88 年、シリーズ II の SM8 で 0.13 年 (TF8 の 0.5%)、シリーズ III の NT8 で 16.71 年 (TF8 の 65%) 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、補強効果は約 4.4 倍と推定され、シリーズ III の NT8+C は 24.79 年であり、補強効果は約 1.5 倍と推定される。TF8+C は未破壊状態のため 38.4 年以上と推定される。なお、破壊しなかった TF12、SM12、NT12 および TF8+C については、それぞれの 8cm と 10cm の関係から推定した。

総ての実験シリーズの表-7 の結果を S-N 線図として図-5 に示す。図の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。

伸縮装置取付け部の床版厚さが 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、床版厚との関係を十分に検討する必要がある。

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工法も考えられるが、けた端部は作業スペースの確保が困難である。したがって、現行基準を満足する床版厚を確保するために部分的に打替えてハンチなしに増厚する対策や端床桁を取替えて剛性を改善する対策工法が望ましい。

ジョイントから床版への荷重分布は、図-6 の概念図に示すように作用する。シリーズ II 図-6(a) 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 図-6(b) やシリーズ III 図-6(c) 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。

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

表-7 疲労耐久性 (m=4 と仮定した場合)

観測地点		環八通り 砵	環七通り 小茂根	町田街道 町田	永代通り 永代	五日市街道 秋川	
舗装設計交通区分		N7 (D交通)	N7 (D交通)	N6 (C交通)	N5 (B交通)	N4 (A交通)	
大型車交通量 (台/日・一方向)		9,861	6,899	1,361	5,368	683	
測定車線大型車交通量 (台/日)		5,507	5,068	1,361	1,642	683	
100kN換算輪数 (輪/車線・年)		69,016	40,001	21,693	3,739	6,103	
100kN換算輪数 (輪/一方向・年)		123,582	54,453	21,693	12,223	6,103	
ジョイント設置部床版厚別疲労耐久年数	80mm	TF8	25.9	58.7	147.4	261.6	524.0
		SM8	0.1	0.3	0.7	1.3	2.5
		NT8	16.7	37.9	95.2	168.9	338.4
	100mm	TF10	77.6	176.2	442.2	784.8	1,571.9
		SM10	0.8	1.9	4.8	8.5	17.1
		NT10	52.4	119.0	298.8	530.2	1,061.9
	120mm	TF12	155.3	352.4	884.5	1,569.7	3,143.8
		SM12	2.0	4.5	12.0	22.0	45.0
		NT12	100.3	227.5	571.1	1,013.6	2,030.1
	ただし、120mm及びTF8+Cは推定値	TF8+C	38.4	87.2	218.9	388.5	778.1
		SM8+C	0.6	1.3	3.2	5.6	11.3
		NT8+C	24.8	56.3	141.2	250.6	501.9

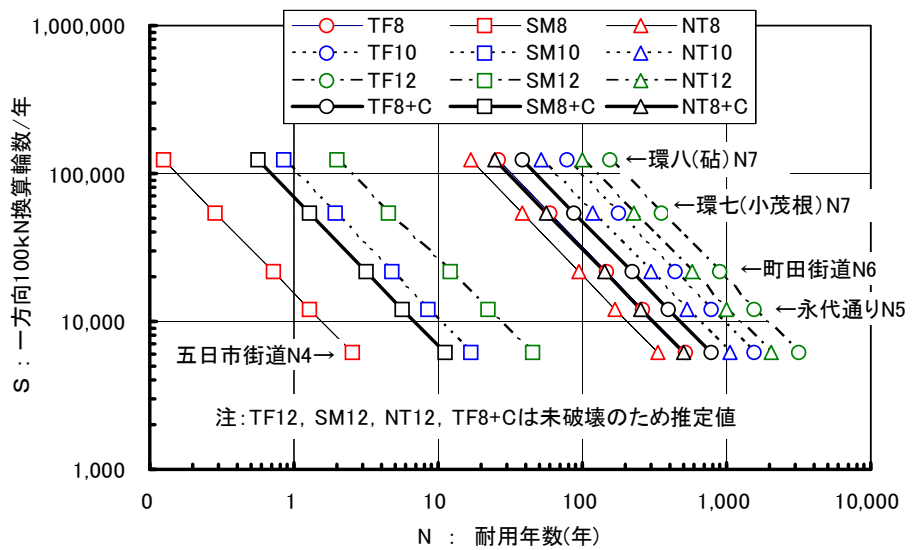


図-5 S-N線図 (m=4 と仮定した場合)

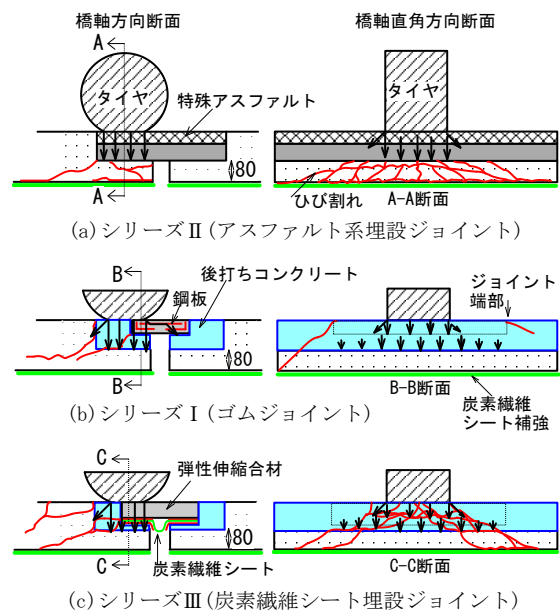


図-6 伸縮装置取付け部の荷重分布概念図

トは、今回検討した 3 形式の中で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。

一連の疲労耐久性の実験結果から、各種ジョイントの特徴と適用条件を整理すると、表-8 に示す内容にとりまとめることができる。

6. ジョイント交換の失敗事例

6.1 複合橋梁形式における事例

T橋の中央径間は、JRを跨ぐ跨線橋で開断面の鋼床版（橋長 50mの鋼 2 箱桁形式）であるが、両側径間はRC床版（橋長 35mの活荷重合成 I 桁）で構成されている複合橋梁形式である。RC床版は、交通荷重による疲労でひび割れによる損傷が進行したことから、プレキャスト形式の合成床版（コンポスラブ）に取替え補修した。また、床版の取替え時に伸縮装置も鋼製フィンガージョイントから騒音振動の少ないゴムジョイントに交換した。ところが伸縮装置交換後は、交換前より騒音が大きくなり、再度同じフィンガージョイントに交換し直す失敗事例である。

本事例のけた端部の鋼床版は、端床桁（逆V形）で支持されている。しかし、開断面鋼床版形式のため伸縮装置が取り付けられる先端部は、縦リブでデッキプレートを支持する構造であり、剛性の大きいフィンガージョイントの組合せでは、輪荷重が乗ってもたわみは小さく構造的に全く問題がなかったが、剛性の小さいゴムジョイントに交換したことで鋼床版側に輪荷重が乗った際には大きなたわみが発生する。一方、RC床版は補修前に比べ補修後では、剛性の大きい合成床版に交換されており、フィンガージョイントに比べ剛性の小さいゴムジョイントに交換しても床版のたわみは十分に小さく構造上全く問題がない状態である。

このように補修で交換されたゴムジョイントは、左右で剛性が大きく異なる床版に設置されている

表-8 伸縮装置の形式と適用条件

項目 \ タイプ	ゴムジョイント	炭素繊維シート埋設ジョイント	特殊アスファルト系埋設ジョイント
荷重支持形式	荷重支持型		荷重分散型
ノージョイント化	×	○	○
表層のタイプ	ゴム/コンクリート	特殊弾性舗装	アスファルト舗装
騒音・振動	やや静か	低騒音・低振動	
施工性	普通	やや複雑	比較的容易
耐久性	良好	やや良好	低い
適用交通量区分	N 7 (D交通)	N 6 (C交通)	N 4 (A~B交通)
取付け部床版厚さ	10 cm以上		12 cm以上
適用遊間* 1	20 cm以下	15 cm以下	5 cm以下
適用橋梁形式	鋼床版を除く		小スパンのRC橋、PC-T桁橋等床版厚の厚い橋梁

* 1：メーカ推奨値

ことから、鋼床版側から合成床版側への輪荷重の移動時には、鋼床版側でたわみが大きく発生するために合成床版側へ乗り上げる際に激突音を発生させる。一方、合成床版側から鋼床版側への輪荷重の移動では、合成床版側は剛性が大きいためたわみが小さく、鋼床版側に移動すると大きくたわむためにフェースプレートと鋼床版のデッキプレートとの隙間で大きな激突音が発生することになった。

激突音を発生させないためには、伸縮装置取付け部の鋼床版を補強して剛性を大きくする必要があるが、遊間部は狭小であり補強作業は困難である。鋼床版のデッキプレートとフェースプレートの隙間に鋼板を挿入する改良を試みられたが、改善効果はほとんどなく、最終的には、補修前と同じフィンガージョイントに交換する解決策が有効であった。

この失敗事例から伸縮装置が取付けられるけた端部の床版の剛性が左右の床版で大きく異なる場合は、補修前と同等な剛性を持つ伸縮装置でない限り、本橋の事例と同じ失敗となる可能性が高く十分な検討が必要である。

6.2 埋設ジョイントの失敗事例

比較的橋長が短いRC桁橋やPC桁橋では、遊間も小さいことから、損音や振動対策として埋設ジョイント形式を採用したいとの要望がある。施工が簡便なアスファルト系埋設ジョイントで補修した場合には、重交通路線ではわだち掘れが早期に発生して、騒音や振動の発生原因になるといった欠点が顕在化する。したがって、アスファルト

系埋設ジョイントを選択する場合には、伸縮量を確保するために遊間部のアスファルトの厚さが大きいことによるわだち掘れが発生しやすい欠点を考えて、比較的軽交通路線に適用する配慮が必要である。また、古い鋼橋では、けた端部床版にハンチがあり床版厚が小さい。ここにアスファルト系埋設ジョイントを適用すると、例えば、既設フィンガージョイントを撤去して床版をハツリ出した切欠き部に埋設ジョイントを施工することになる。このとき埋設ジョイントの厚さを確保するために上鉄筋の下まで床版コンクリートをハツリ出す必要がある。このような状態での施工では、伸縮装置に輪荷重が作用したときに、張出し部の上側の配力鉄筋がアスファルトの中に埋め込まれてしまうので荷重に抵抗できなくなり、切欠き部の

隅角部に大きなせん断力が発生して、早期に押し抜きせん断破壊する失敗に繋がる。したがって、アスファルト系埋設ジョイントの適用では、床版厚が大きく遊間が小さい橋長の短いPC桁橋やRC桁橋で、かつ軽交通の条件が満足する橋梁での採用が望ましい。

7. あとがき

古い橋梁を多く抱える東京都においては、今後益々伸縮装置の交換需要も高まる。環境に配慮するとともに交換後の耐久性も確保する選択が重要である。そのためには、床版の耐久性と伸縮装置の形式との組合せについても十分な配慮が望まれる。

参 考 文 献

- 1) 関口幹夫、西尾伸郎、竹田敏憲(2004)：道路橋および歩道橋の補修履歴と健全度の現状分析、平 16. 都土木技術研究所年報、137-152
- 2) 関口幹夫、橋原正周、堀川都志雄(2009)：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、1509-1520
- 3) 関口幹夫、橋原正周、堀川都志雄(2010)：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、構造工学論文集 Vol. 56A、1206-1216
- 4) 関口幹夫、橋原正周、堀川都志雄(2011)：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、1326-1337
- 5) 関口幹夫、大石雅登、橋原正周(2011)：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、87-100
- 6) 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）
- 7) 松井繁之(2004)：橋梁の寿命予測、安全工学 Vol. 30、No.6、432-440
- 8) 関口幹夫、宍戸薫、森俊介(2002)：高井戸陸橋RC床版の残存疲労耐久性の評価、平 14. 都土木技術研究所年報、101-112