

ゴムジョイント付き RC 床版の輪荷重走行疲労実験

Wheel running fatigue testing of RC slab with rubber joint

関口 幹夫*, 橋原 正周*, 堀川 都志雄**
 Sekiguchi Mikio, Hashihara Masanori, Horikawa Toshio

*東京都土木技術センター 技術支援課 (〒136-0075 東京都江東区新砂1-9-15)
 **工博 大阪工業大学 都市デザイン工学科 (〒535-8585 大阪市旭区大宮5-16-1)

It is short also at the repair cycle when environmental measures such as noises and the vibrations are given priority abounding next to the pavement as for the repair results of the expansion apparatus of the road bridge. It can be guessed that the existing deck from which the exchange of the joint is repeated several times influences the fatigue durability after damage by chipping increases, and it repairs harmfully. It was changed to three cases (80 mm, 100 mm, and 120 mm) that the deck thickness of the joint fitting, and then, The wheel running fatigue testing was done by using the RC slabs specimen repaired with the load support type rubber joint and the fatigue durability was examined.

As a result, the thinner it is the deck thickness of the joint fitting, the more inferior the fatigue durability of the main body of the deck and the main body of the joint is. Moreover, the estimated value at the service life by severest axle load data of eight loop roads in Tokyo is 25 in the deck thickness 80 mm. It is possible to presume for 50 years or more for 47.2 years for nine years in the deck thickness 120 mm in the deck thickness 100 mm.

Key words : RC slab, rubber joint, wheel running fatigue testing, fatigue durability
 キーワード : RC床版, ゴムジョイント, 輪荷重走行疲労実験, 疲労耐久性

1. はじめに

東京都が管理する道路（以下、都道と略記する）における道路橋の維持補修実績は、筆者らが平成 15 年に行った分析¹⁾では、伸縮装置（以下、ジョイントとも標記する）の補修件数の構成比は 11.5%で舗装の 17.4%に次いで多い。また、平成 6 年に都道を管理する各建設事務所への補修担当者に対する伸縮装置の補修工事 51 件のアンケート結果²⁾は表-1 のとおりであり、補修理由の順位は破損劣化 44%、安全性確保 18%、振動 16%、騒音 14% であり振動と騒音を合すると 30%と多く、伸縮装置は騒音・振動の発生原因となっている。さらに補修時に期待する効果では振動 31%、騒音 24%、耐久性 14% であり、振動騒音に関わる環境対策の占める割合が多いことが解る。一方、大型車の割合が多い阪神高速道路の伸縮装置の損傷要因の分析結果³⁾でも損傷件数は、舗装の 44%について伸縮装置 14%と多い。また、都市内高速道路の損傷

実態の鋼製伸縮装置の破損内訳によると、本体の浮き 63%、コンクリートの損傷 16%、ボルトの破損 11%、その他 10%との報告がある⁴⁾。

伸縮装置の点検は、外観の目視点検が一般的であり、異音や振動の発生がある場合に叩き点検される程度である。内部がどのように損傷しているかの調査事例はほとんどない。また、輪荷重の繰返しと雨水による伸縮装置と RC 床版端部の損傷は、そのプロセスと耐用年数が定量化できていない。さらには損傷原因が設計・施工の不良によるものか、構造的な寿命といえるのか確認できずに抜本的改良を施す妨げとなっているとの指摘もある⁴⁾。

表-1 伸縮装置の補修理由等の実態²⁾

補修理由 (%)	破損内容 (%)	供用年数 (%)	期待効果 (%)	補修時差 (%)
破損劣化 44	ゴム劣化 24	10年以下 4	耐久性 14	4mm以下 2
騒音 14	変形・段差 13	11~20年 11	騒音低減 24	5~9mm 24
振動 16	ひび割れ・ガタ 18	21~30年 15	振動低減 31	10~14mm 18
安全確保 18	腐食・磨耗 5	31~40年 2	変らない 1	15~19mm 2
その他 13	コンクリート劣化 29	41年以上 7	その他 3	20mm以上 8
不明 4	ボルト破損 3	不明 61	不明 27	不明 47
—	その他 6	—	—	—
—	不明 2	—	—	—

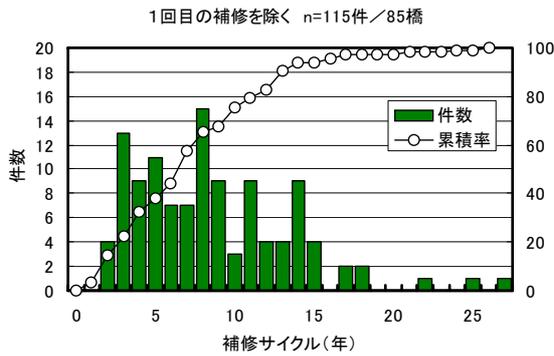


図-1 都道の伸縮装置の補修サイクルの実態¹⁾

都道の伸縮装置の補修サイクルは、沿道環境の保全が優先されるために短く、図-1に示すように概ね3~15年に分布し、年平均補修サイクルは10年程度である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と既設床版は、ジョイント撤去時にブレーカー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、ブレーカー先端のノミがRC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ってセットできないケースでは、鉄筋を切断することもある。すなわち、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などから、RC床版の疲労耐久性を悪化させていると推察できる。

近年、橋梁の耐久性向上の観点から、補修頻度の多い伸縮装置にも関心が持たれ、前述の破損実態の分析³⁻⁴⁾のほか、耐久性向上に関する検討事例⁵⁻⁸⁾も増加しつつある。しかしながら、補修の繰返しに既設床版に与える影響に関する検討は、ほとんど実施されていない。

以上の背景より本技術的検討では、伸縮装置の補修の繰返しが既設床版に与える影響に関する検討として、都市内で環境対策として使用実績が多いゴムジョイントについて、補修時の取付け部床版厚さが疲労耐久性に与える影響を輪荷重走行疲労実験で検討するものである。



写真-1 輪荷重走行試験状況

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-2に示す。ジョイントを取付けるRC床版を4体製作して、輪荷重走行試験装置の主桁上に遊間50mmで配置し、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行った。

輪荷重走行実験は、試験体上を輪荷重が6m区間を往復載荷する方式である。輪荷重走行試験機は、写真-1に示す自走式のゴムタイヤ載荷方式を使用した。床版の支持条件は、支間方向(主筋方向)は支間2.5mの単純支持、走行方向(配力筋方向)は、床版中央で横桁(H328×B200×12×16)により弾性支持して橋脚上の支持条件をモデル化している。

床版の実験パラメータは、ジョイントメーカーおよび日本ジョイント協会へのヒアリングの結果、ジョイント取付け部の既存床版厚さの限界は、特に規定や参考値は存在しない。しかしながら、経験的に既存床版厚さが100mm以下では早期に損傷する例が見られるとの一致した見解が得られた。本検討では、ジョイント取付け部の既存床版厚を約20mmチッピング後ジョイントAは80mm、ジ

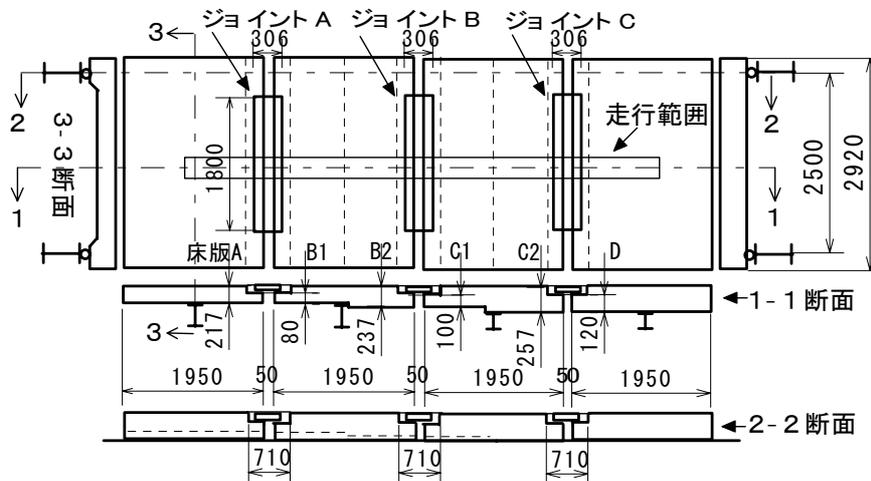


図-2 試験体設置状況

表-3 床版の配筋 (床版厚と有効高さは出来高)

床版	床版厚 (mm)	主鉄筋(mm)				配力鉄筋(mm)			
		上側		下側		上側		下側	
		呼径・間隔	有効高	呼径・間隔	有効高	呼径・間隔	有効高	呼径・間隔	有効高
A, B1	218.6	D19@225	49.3	D19@100	182.3	D16@200	62.2	D16@100	160.3
B2, C1	234.4	D19@225	51.8	D19@100	198.3	D16@200	68.1	D16@100	182.1
C2, D	256.8	D19@225	50.8	D19@100	213.7	D16@200	65.2	D16@100	201.1

2.3 RC床版

ジョイントを取付けるRC床版端部の仕様は、ハンチなしに打下げる現行基準以前の補修事例が多いハンチありの昭和47年道路橋示方書に準じて設計した。図-6にRC床版試験体の配筋・形状寸法を示す。実験終了後の切断調査による配筋の出来高の有効高さを表-3に、鉄筋の機械的性質を表-4に示す。

ジョイントAを設置する床版Aと床版B1の製作時の床版全厚は217mm、ハンチ高は40mmである。ジョイントBの床版B2と床版C1の製作時の床版全厚は237mmでハンチ高は20mmである。ジョイントCの床版C2と床版Dの床版全厚は257mm、ハンチ高さは0mmである。なお、切欠き部の製作時の床版厚さは、チップング前の20mmを考慮して、ジョイントA部では100mm、ジョイントB部は120mm、ジョイントC部は140mmで製作した。すべての床版A~Dのコンクリートの配合は同一で、その配合表を表-5に示す。

2.4 ジョイントの取付け

ジョイントの取付け方法は、標準的な鋼製ジョイント(フィンガージョイント)からゴムジョイントへの取替え(補修)工事と同じ方法手順により行った。すなわち、ジョイント設置部のRC床版切り欠き部は、ブレーカーで深さ20mmほどチップング処理したうえで、上側主鉄筋を補強し、チップング面に打継用プライマーを塗布して、アンカーでジョイントを所定の高さに固定してジェットコンクリートを打設した。

打継コンクリートは、ジェットセメント使用の設計基準強度24N/mm²(材齢3時間)で、その配合表を表-6に示す。コンクリートの製造は、補修工事で使用する専用のモービル車を用いた。ネコ車で小運搬して打設し、締固めは棒状バイブレータを使用した。打設3時間後の圧縮強度は、30.3N/mm²(3本の平均値)である。

2.5 たわみと鉄筋ひずみの測定位置

ジョイントA部の床版のたわみ、鉄筋のひずみ測定位置を図-7に示す。図ではたわみの測定番号と床版A部の下側鉄筋ひずみ測定番号のみ標記している。測定位置は、遊間の左右で対称に配置してあり、ジョイントB部およびジョイントC部も同様な配置である。なお、鉄筋ひずみゲージは、ゲージの疲労耐久性を確保するため市販の鉄筋計同様に焼付け仕様で製作している。

表-4 鉄筋の機械的性質

	呼び径	降伏応力	ヤング係数	引張強さ	破断伸び
	mm	N/mm ²	10 ⁴ N/mm ²	N/mm ²	%
主鉄筋	D19	383.7	18.22	572.6	18.3
配力鉄筋	D16	354.0	17.43	518.6	20.8

表-5 RC床版コンクリート配合表

呼び強度	スランプ	空気量	水セメント比	細骨材率
N/mm ²	cm	%		
24	8	4.5	57.0	43.2

セメント	水	細骨材	粗骨材	AE減水剤
Kg/m ³				
276	157	794	1,091	2.76

表-6 打継コンクリート配合表

呼び強度	スランプ	空気量	水セメント比	細骨材率
N/mm ²	cm	%		
24	8	3.0	34.5	40.4

セメント	水	細骨材	粗骨材	減水剤	遅延剤
Kg/m ³					
400	138	725	1143	3.2	2.8

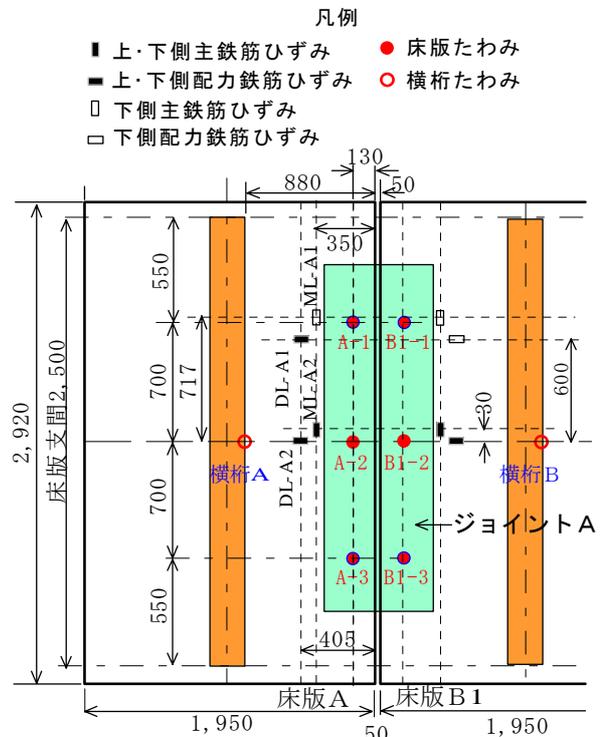


図-7 たわみと鉄筋ひずみの測定位置 (ジョイントA部)

3. 実験結果

ジョイントAは、図-8に示すとおり、走行荷重200kN 13.48万回（合計43.48万回）で床版Aにせん断ひび割れが発生して走行不能になり実験を終了した。その後、床版B2～床版D区間を荷重200kN 60万回で引き続き走行し、合計60万回でも破壊しないため試験を終了した。疲労試験終了後、床版Aおよび床版Dのひび割れの無い箇所から直径100mmのコアを各2本採取した。材齢約1年のコア試験結果は、表-7のとおりでコンクリートの圧縮強度は32～37N/mm²であった。

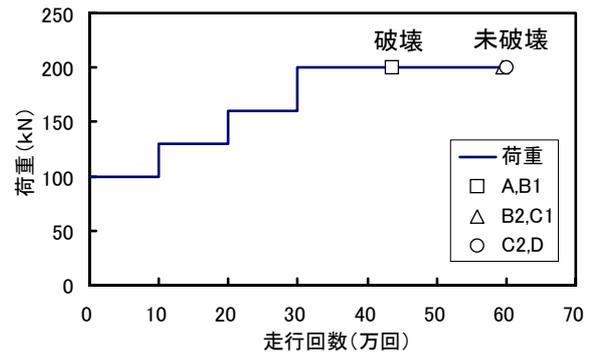


図-8 試験終了時の走行回数と荷重の関係

3.1 床版の損傷状況

走行面の試験終了時ひび割れ状況を図-9に示す。走行面の初期ひび割れは、床版B1と床版B2の横桁上に15万回（荷重130kN 5万回）で主筋方向に発生した。床版Aは25万回（荷重160kN 5万回）で横桁上の主鉄筋方向に発生した。床版C1、C2は20万回（荷重130kN 10万回）で横桁上主鉄筋方向に発生した。床版Dは、60万回（荷重200kN 30万回）で横桁上の主鉄筋方向に発生した。

ジョイントAは、走行回数43.48万回でジョイント取付け部の後打ちコンクリート打継ぎ目部にせん断ひび割れ（図-9参照）が発生したので、この時点をもって破壊と見なした。ジョイントBおよびDの床版は、60万回の走行でひび割れ損傷が見られるもののジョイントAの床版に比べ走行面での損傷は少ない。

床版下面のひび割れは図-10のとおりであり、走行面に比べてひび割れは多い。ひび割れの発生は、走行回数10回で床版厚の薄い床版B1に、走行回数100回で床版Aにそれぞれジョイント設置部の後打ちコンクリートに接するタイヤ走行直下の走行方向に発生した。なお、走行面の打継ぎ目の開きは、破壊直前まで微小であり床版本

表-7 RC床版コア試験結果

コア No.	平均直径	高さ	圧縮強度	静弾性係数	ポアソン比
	cm	cm	N/mm ²	N/mm ²	
A1	9.93	20.02	37.89	24,100	0.23
A2	9.96	20.09	32.25	28,400	0.21
D1	9.93	20.03	32.50	27,300	0.25
D2	9.92	19.96	36.24	24,800	0.22

体とジョイントは一体として機能していた。開きと段差とずれについては3.6で詳細に記述する。

ジョイント端から約20mm離れた後打ちコンクリート位置で主筋方向に切断、さらに支間中央配筋方向に1/2に切断した断面のひび割れの状態を写真-2～3に示す。ジョイントAの床版Aは、ジョイントの長手方向端部（写真-2(a)のA参照）からほぼ45度の角度でハンチ上端位置にひび割れが発生している。このひび割れは、せん断ひび割れである。ジョイントは、荷重支持型のゴムジョイントであるため芯材に鋼板が挿入されており、タイヤ荷重の分散が優れていることによって、タイヤ載荷位置から離れたジョイント端部でせん断ひび割れが発生したものと推察される。このことより、ジョイント端部に走行位置が一致する配置では、疲労耐久性が低下す

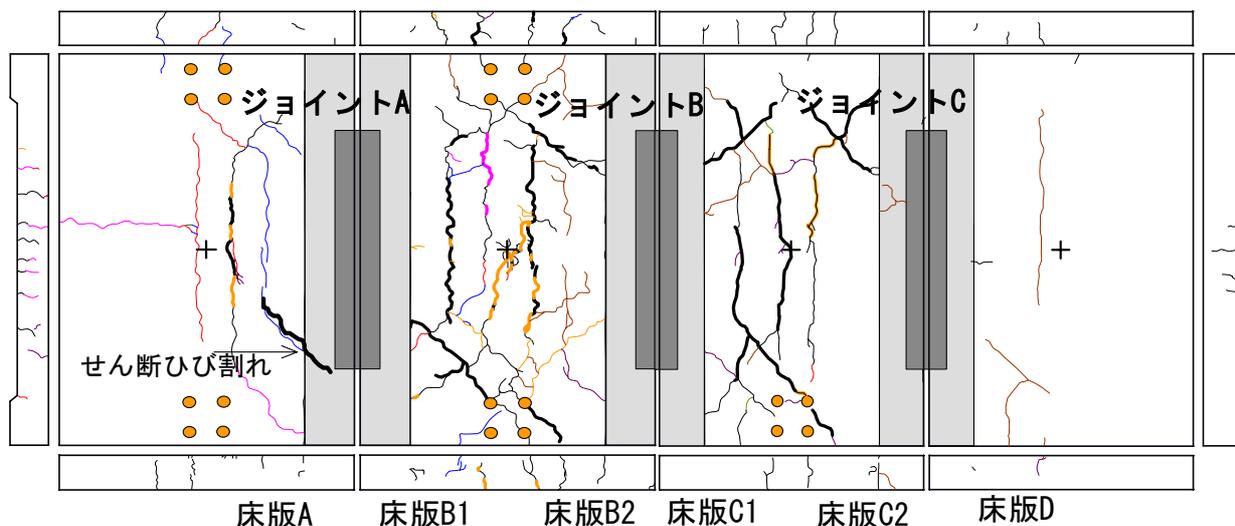
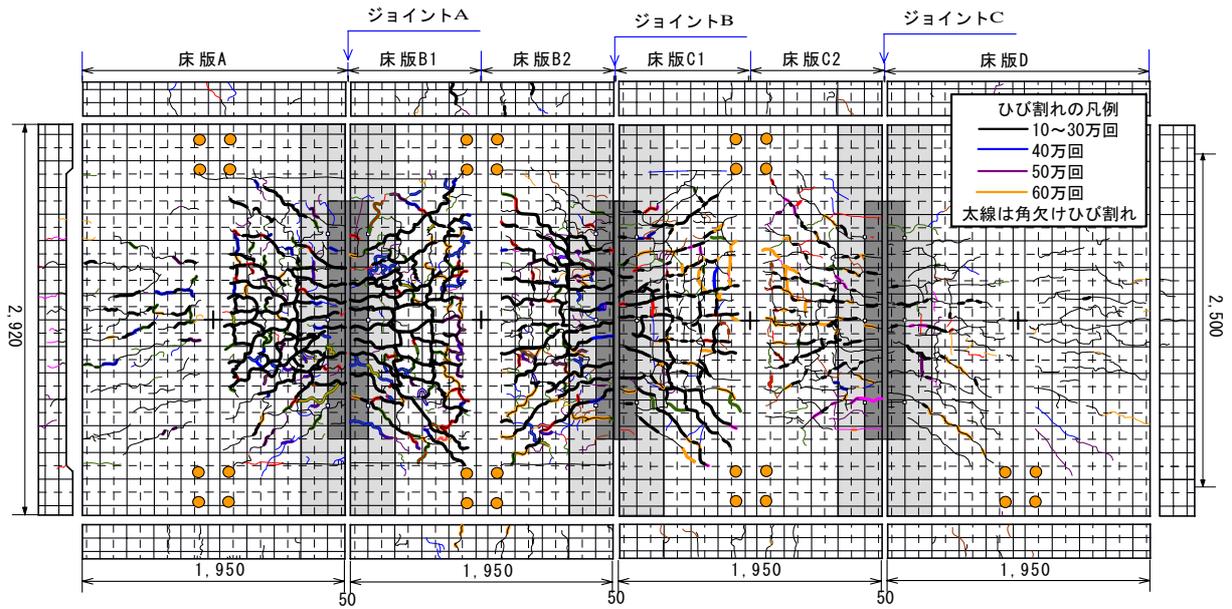


図-9 床版走行面のひび割れ図

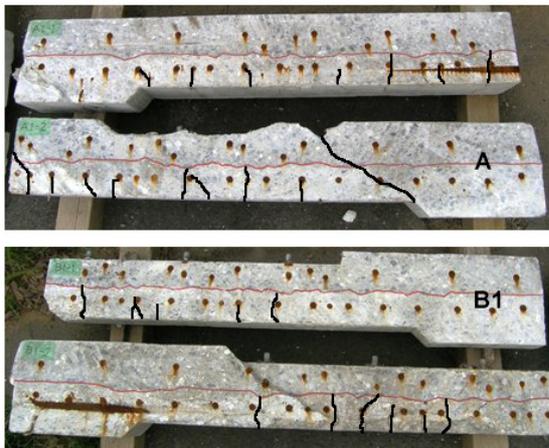


TFジョイント床版下面ひび割れ図（見下げ図・600,000回走行後）

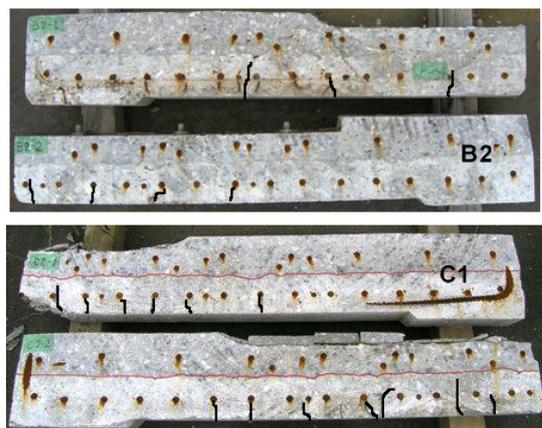
図-10 床版下面のひび割れ図

る可能性が高いので補修時の交換では、走行位置とジョイント端部を一致させない配慮が必要である。

床版AおよびB 1の曲げひび割れの深さは、写真-2



(a)ジョイントA部

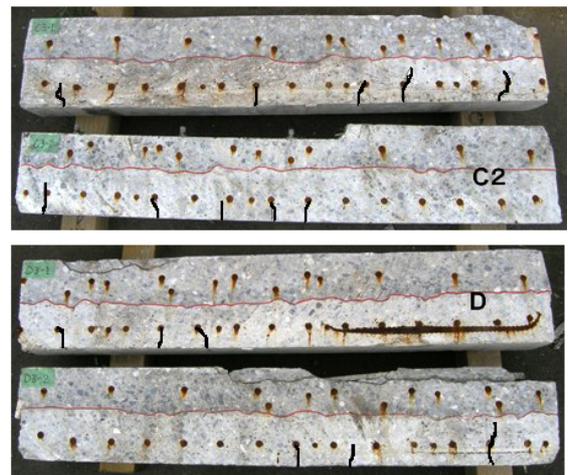


(b)ジョイントB部

写真-2 床版主鉄筋方向切断面のひび割れ

(a)より後打ちコンクリートの打継ぎ目面（下面から80 mm）で止まっている。写真-2 (b)のジョイントB（床版B 2, C 1）および写真-3のジョイントC（床版C 2, D）の曲げひび割れ深さは、下側主鉄筋位置で止まっているものが多い。一方、曲げひび割れ本数はジョイントAの床版Aで16本、床版B 1で13本（計29本）、ジョイントBの床版B 2は7本、床版C 1は13本（計20本）、ジョイントCの床版C 2は10本、床版C 1は6本（計16本）であり、設置床版厚さが薄いほど発生本数が多い傾向が見られる。したがって、ジョイント設置部の疲労耐久性は、既設床版厚が薄いほどひび割れ抵抗性が小さく、疲労耐久性も低いと推察できる。

本実験の範囲では、ジョイント取付け部床版厚80 mmに比べ床版厚100 mmは、走行荷重200kN 載荷で約20万回疲労耐久性が優れているので、床版厚100 mm以上確保する



ジョイントC部

写真-3 床版主鉄筋方向切断面のひび割れ

ことが疲労耐久性を低下させない目安になると考えられる。

3.2 ジョイントの破損状況

写真-4 は、実験後ジョイントを床版から外したタイヤ走行位置裏面の損傷状況である。なお、アンカーボルトの損傷は全くない。写真の点線（赤線）は遊間部に平行なひび割れが確認された範囲を示している。写真-4の最上段のD床版側にはひび割れはない。他の床版におけるゴムジョイント裏面のひび割れ長さは、床版厚の薄いものほど長くダメージも大きい傾向が見られる。

写真-5 は、写真-4のジョイント本体のひび割れの深さを調べるためにタイヤ走行位置で 30 mm 間隔に切断した断面である。ジョイントAは、芯材の上下鋼板端部からのひび割れによりゴムが完全に破断している。ジョイントCは芯材の上側鋼板からのひび割れは発生していない。ジョイントBは、ジョイントAとCの中間の損傷状況である。このことから、ジョイント取り付け部床版厚さが薄いと、ジョイント本体の疲労耐久性にも悪影響を与えていることが確認できた。

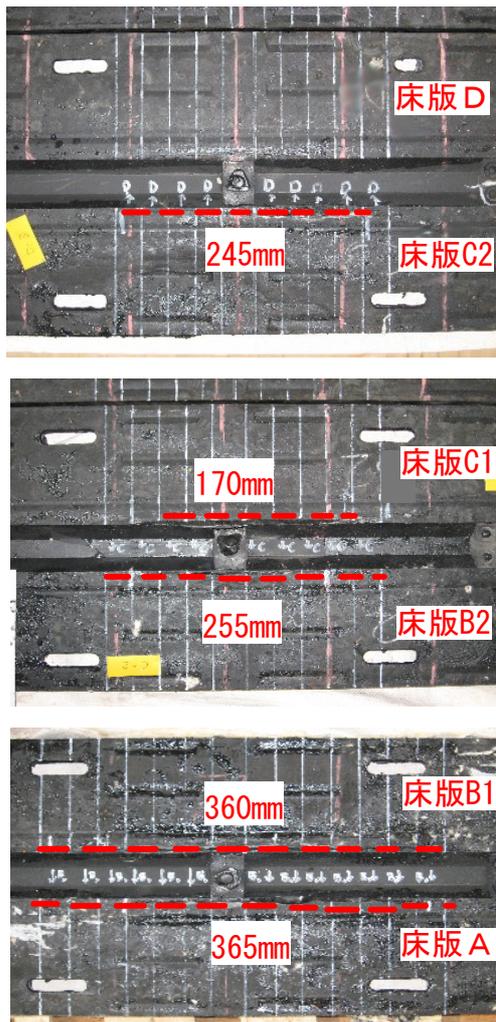


写真-4 ジョイント裏面のひび割れ長さ

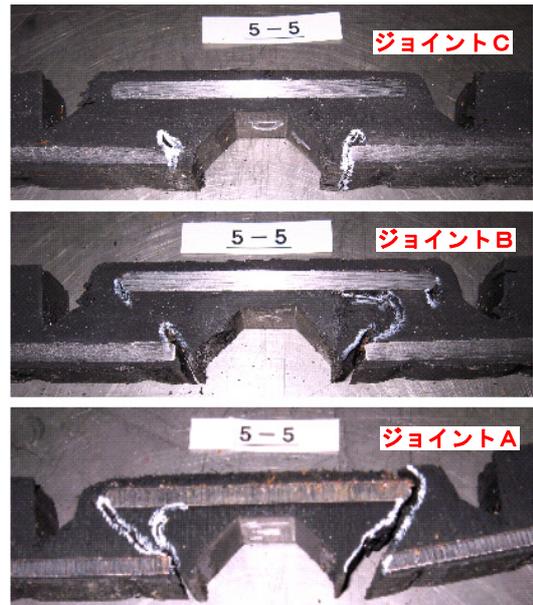


写真-5 ジョイント切断面の破損状況

3.3 たわみ

ジョイント取り付け部の支間中央床版端部から 130 mm 位置の測定点（図-11 参照）の 100kN 載荷時のたわみ計算値を表-8 に示す。なお、計算値は、厚板理論で弾性係数を全断面有効時は 24,000N/mm²、ポアソン比 0.17、引張り無視時の弾性係数は 9,000 N/mm²、ポアソン比 0.2 と仮定している。図-12 に静的載荷時の弾性たわみの測定結果を示す。床版Aの破壊は43万回で、その時の200kN 載荷の弾性たわみは 8.5 mm であり、引張無視時の 200kN 載荷計算たわみ 5.8 mm の約 1.4 倍に相当する。他の床版は 60 万回走行後も未破壊であるが、床版Dを除くとたわみは 7mm を超えており、ダメージは相当進行していると推察できる。一方、10 万回以降降荷重が増加していることから、図-13 には 100kN 換算たわみの推移を示した。図中の計算たわみは床版B 2とC 1（ジョイントB）の値

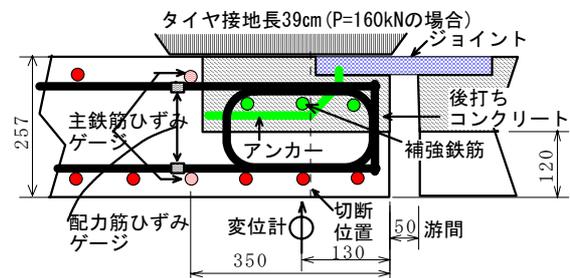


図-11 たわみ・ひずみ測定位置（C2, D床版の例）

表-8 100kN 載荷のたわみ計算値（単位：mm）

床版	全断面有効	引張り無視
A, B1	1.238	2.900
B2, C1	0.968	2.240
C2, D	0.772	1.785

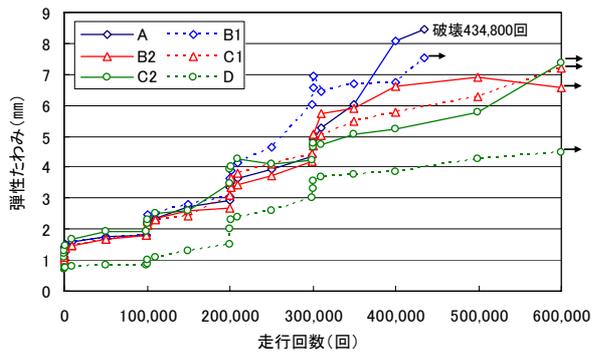


図-12 ジョイント取付け部支間中央弾性たわみ

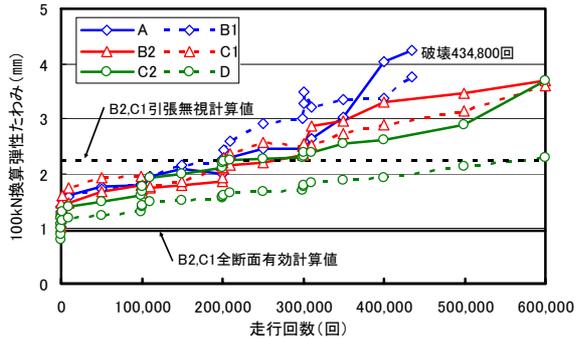


図-13 ジョイント取付け部 100kN 換算弾性たわみ

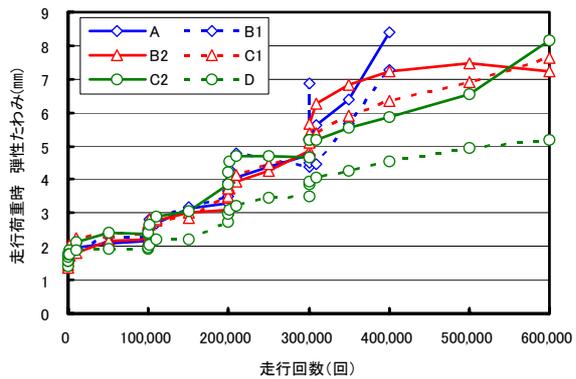


図-14 ジョイント取付け部走行荷重時たわみ

を併記している。なお、床版を支持している主桁上の不陸調整モルタルが走行回数とともに劣化して、床版の基準面が変化したことから補正している。走行1回目のたわみは、すべての床版で計算たわみの全断面有効と引張無視の中間にある。また、バラツキはあるものの各床版の100kN換算たわみを超える走行回数は床版Dを除くと概ね20~30万回程度である。ジョイント取付け部床版厚さが厚いほど耐久性が良い結果になっている。

図-12と同じ測点の走行荷重時動的計測の弾性たわみの測定結果を図-14に示す。走行スピードが最大でも2.5km/hと遅いために図-12の静的載荷と同程度のたわみ値であり、本試験装置による衝撃や制動荷重による影響は小さいと推察される。

3.4 鉄筋ひずみ

表-9 主鉄筋ひずみの計算値 (単位: $\times 10^{-6}$)

床版	上側		下側	
	全断面有効	引張り無視	全断面有効	引張り無視
A, B1	-153.4	-275.9	150.9	331.3
B2, C1	-131.4	-318.7	128.6	302.0
C2, D	-114.1	-375.8	111.1	275.7

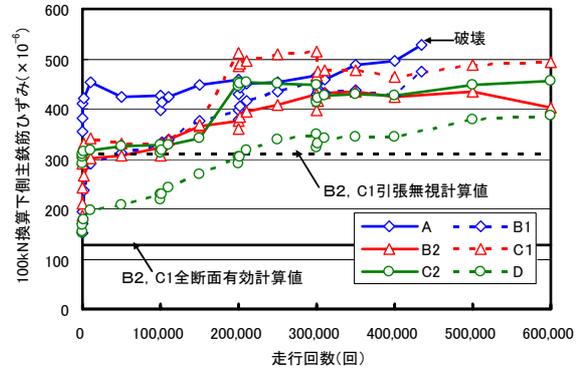


図-15 100kN 換算下側主鉄筋ひずみ

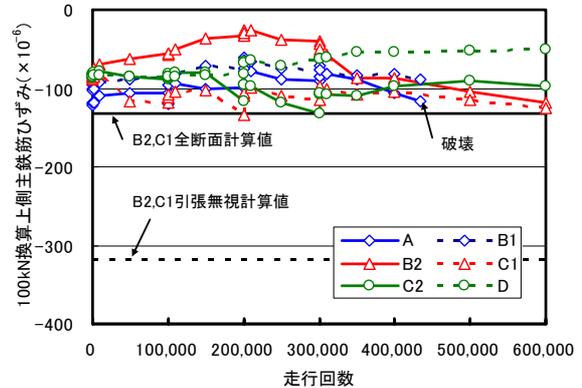


図-16 100kN 換算上側主鉄筋ひずみ

床版支間中央でジョイント設置床版端部から350mm位置における主鉄筋の100kN載荷時ひずみ計算値を表-9に示す。計算値に対応する主鉄筋の弾性ひずみの測定結果を図-15に示す。引張無視時計算ひずみを上回る回数は、床版Aは1回、床版B1では10万回、床版B2は1万回、床版C1は100回、床版C2は1回、床版Dは10万回である。また、床版Aの破壊時の主鉄筋ひずみは 1000×10^{-6} を超えている。

上側主鉄筋の100kN換算ひずみの結果を図-16に示す。実測値は引張無視の計算値とかけ離れている。一致しない理由として考えられることは、床版剛性の取扱いにおいて、ジョイント設置部の床版端部は、下側主鉄筋間隔が一般部150mmに対して100mmと狭く配置し、上側主鉄筋間隔も一般部225mmに対して100mmと狭く配置するなど端部補強筋が存在する。また、後打ちコンクリートの圧縮強度は材齢3時間で 30 N/mm^2 を上回り、一般部のコンクリート圧縮強度より大きいと考えられる。したがって床版端部の版剛性は一般部より大きいと推察できるが、一般部の剛性を基準に、ゴムジョイントの剛性を無視し

た換算床版厚で計算しているため、端部の補強が適切に考慮できていないことも理由として挙げられる。また、ジョイント取付け部の打継目近傍は断面急変部であり、ひび割れが入った部位での鉄筋ひずみ測定値は、不安定な性状を示すことも影響していると考えられる。

計算方法については今後さらに検討する必要があると

表-10 配力鉄筋ひずみの計算値 (単位: $\times 10^{-6}$)

床版	上側		下側	
	全断面有効	引張り無視	全断面有効	引張り無視
A, B1	-30.1	-101.5	30.1	87.5
B2, C1	-23.1	-82.2	23.1	67.9
C2, D	-18.2	-68.1	18.2	53.5

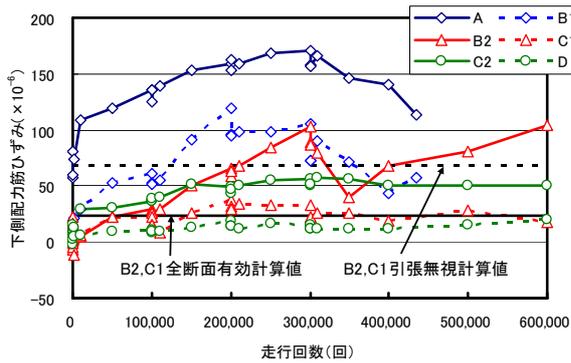


図-17 100kN 換算下側配力筋ひずみ

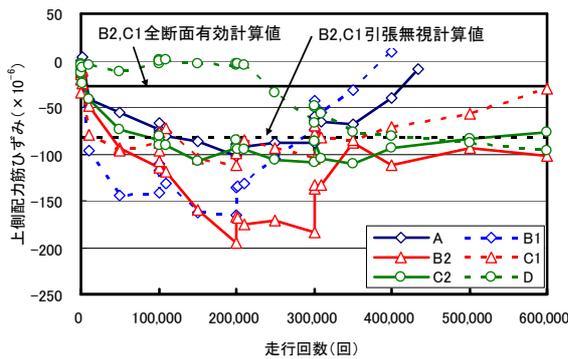


図-18 100kN 換算上側配力筋ひずみ

考えられるので、本検討における計算値は参考値扱いとして検討する。主鉄筋と同位置の配力鉄筋の 100kN 荷重時たわみ計算値を表-10 に示す。計算値に対応する配力鉄筋の弾性ひずみ測定結果を図-17, 図-18 に示す。下側配力筋の引張り無視時計算ひずみを上回る回数は、床版 A では 10 回目、床版 B 1 では 10 万回、床版 B 2 と床版 C 2 では 15 万回。なお、床版 C 1 と床版 D はほぼ全断面有効時のひずみ程度で推移している。また、上側配力筋の引張り無視時計算ひずみを上回る回数は、床版 A では 10 万回、床版 B 1 と C 1 では 1 万回、床版 B 2 と C 2 では 5 万回、床版 D では 35 万回であった。

3.5 主鉄筋断面の中立軸

支間中央で床版端部から 350 mm 位置 (ジョイント設置後打ちコンクリート境界から約 20 mm) の上下主鉄筋ひずみから求まる主鉄筋断面の中立軸深さと走行回数 (回) の関係を図-19 に示す。床版厚が薄いほど中立軸は走行回数 (回) が少ない段階で、引張り無視時の中立軸計算値より浅くなり、40 万回以降は 60 mm 前後で安定している。

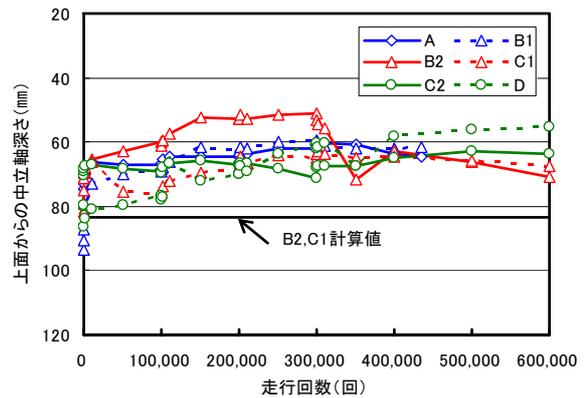
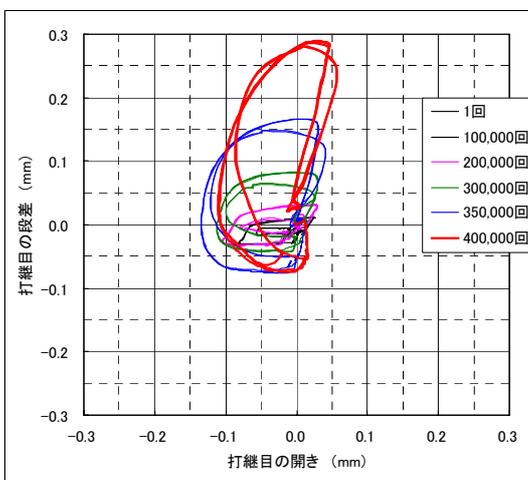
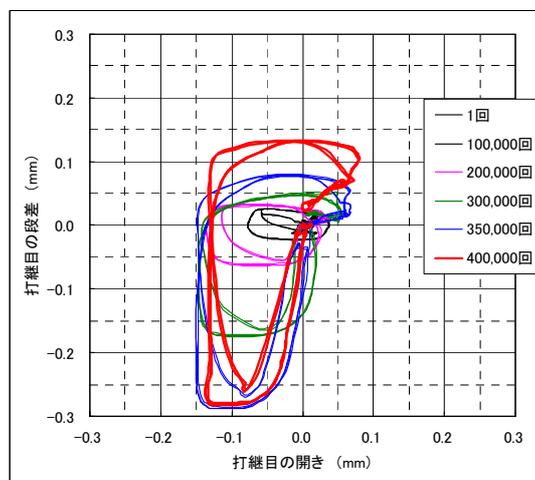


図-19 主鉄筋断面の中立軸深さ



(a) 床版A



(b) 床版B 1

図-20 後打ちコンクリートの打継目の開きと段差の測定結果

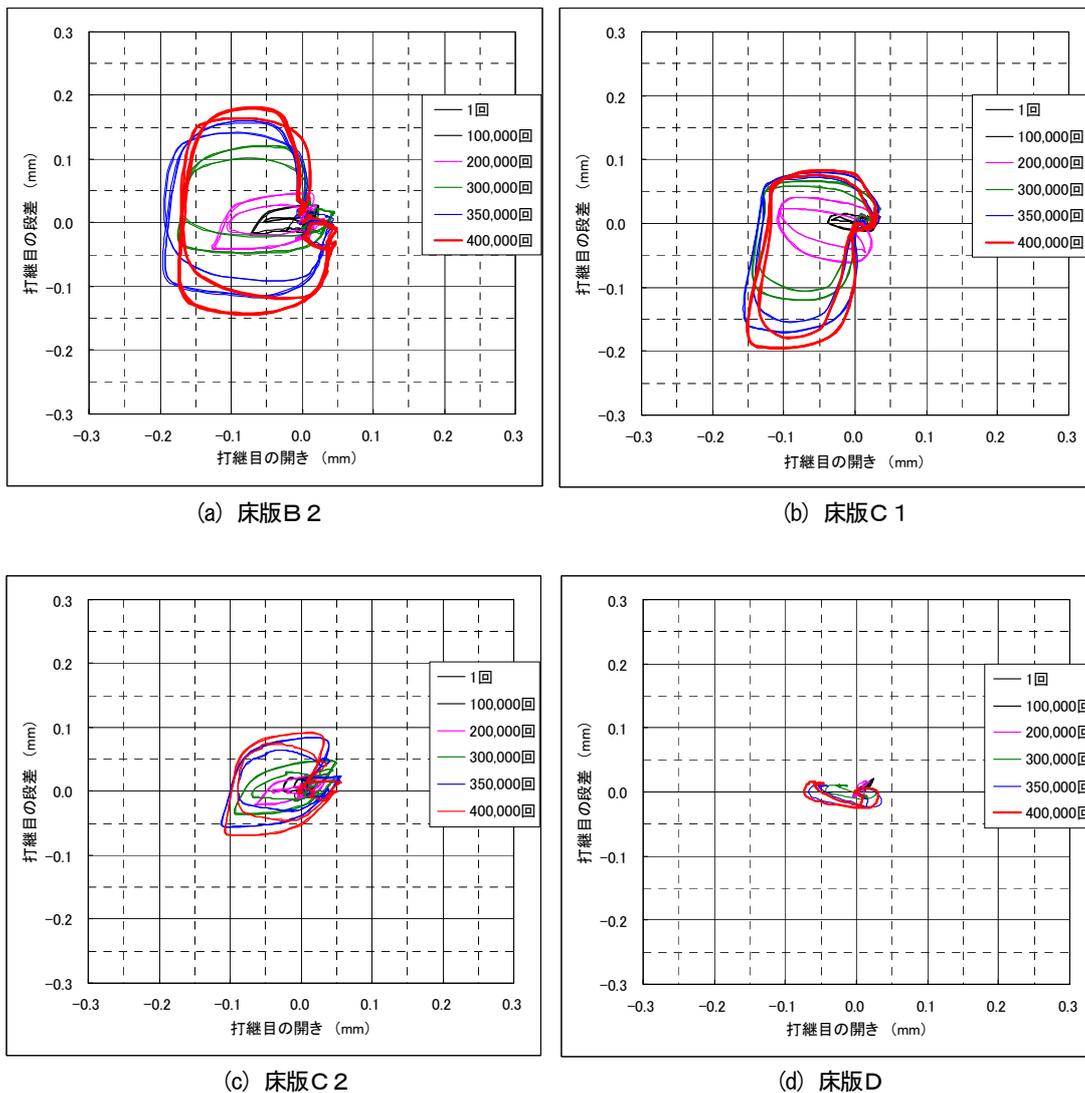


図-21 後打ちコンクリートの打継目の開きと段差の測定結果

3.6 打継目の開き（幅）・段差・ずれ量

ゴムジョイントを取付ける後打ちコンクリートと床版上面の打継目の開き（幅）・段差・主筋方向ずれ量を三方向変位計により動的に測定した。測定位置は、タイヤ外側より 50 mm離れた箇所である。走行方向の開き（幅）と段差の関係を図-20～21 に示す。図-20 の床版厚 80 mmの薄い床版Aと床版B 1は 35 万回以降に段差が急激に増加して、破壊直前の 40 万回の開きの絶対量は 0.4 mm程度である。床版Aの段差の急増は、打継目位置の既設床版に発生した主鉄筋方向のひび割れが貫通した状態になったことを示している。さらに、後打ちコンクリート部で発生したせん断ひび割れが、ハンチ上端にまで進展して破壊した現象とリンクした動きと推察できる。また、床版B 1は、床版Aが 43 万回で破壊したことで走行を終了しているが、床版A同様に 30 万回以後に段差が急増していることから破壊は近いと推察できる。

図-21 のジョイント取付け部床版厚 100 mmの B 2 と C 1 の段差は 40 万回で 0.3 mmとやや大きく、ダメージが認められる。また、床版厚 120 mmの床版C 2の段差量は 0.15

mm以下と小さく、床版Dは段差も開きも動きが微小で、床版本体と打継部は一体性を保持していることよりダメージは取付け部床版厚 100 mmの B 2 と C 1 に比べてさらに小さいと推定される。

一方、開き（幅）は、40 万回でも床版A, B 1, B 2, C 1, C 2は概ね 0.2～0.25 mmであり、床版Aと床版Bにおいても破壊直前に急増する動きは見られない。さらに主筋方向のずれについては、図を省略しているが開き同様に微小な範囲であった。なお、40 万回以上の測定は、タイヤがバーストした際に変位計が破損したことにより測定を中止している。

4. 疲労耐久性の評価

疲労耐久性の評価では、本実験の載荷荷重は階段状載荷であることから、まず走行回数の実験結果をマイナー則に従うものとして、設計輪荷重である 100kN 換算の等価繰返し走行回数（100kN 換算輪数）に換算する。また、衝撃荷重が作用しない実験結果の評価であるため、衝撃の影響は無いものとして検討する。ここで、マイナー則

表-11 実験結果の100kN換算輪数

既設床版厚 (mm)	100kN走行換算輪数の内訳(m=4)				100kN 換算輪数計
	100kN	130kN	160kN	200kN	
80	100,000	285,610	655,360	2,156,800	3,197,770
100	100,000	285,610	655,360	4,800,000	5,840,970
120	100,000	285,610	655,360	4,800,000	5,840,970

のm乗則を4に仮定すると100kN換算輪数は表-11になる。43万回で破壊した床版Aの100kN換算輪数は約320万輪、60万回で終了した床版CおよびDは約584万輪と算定される。

なお、 $m=4$ を採用した理由は、ジョイント付きRC床版のS-N式は現段階では存在しない。道路橋RC床版のS-N線図の代表的なm値は、大阪大学のクランク式鉄輪方式による松井式¹⁰⁾の $m=12.76$ が使われる場合が多いが、松井式のS-Nは、2辺単純2辺弾性支持条件下のRC床版であり、状態化した床版の押抜きせん断耐力(P/Psx)を基にしている。一方、ここでの検討では、2辺単純支持中央弾性支持ジョイント部自由辺の支持条件下であり、支持条件が大きく異なるほか、ジョイント取付け部の評価であることから $m=12.76$ による検討は適切でないと考えられる。そこで、都道の環状八号線高井戸陸橋RC床版から切出した試験体の残存疲労耐久性の検討で得られた推定値¹¹⁾ $m=3.53 \div 4$ を採用する。この推定値は、m乗則と経年の感度分析¹²⁾でも概ね妥当であると考えられている。 $m=4$ は $m=12.76$ に対してS-N線図の傾きが急であり、耐久年数(寿命)の推定値は $m=12.76$ 比べて80mmの場合で約300分の1小さく算定されるので、算定結果は安全側の評価になる。

次に、実際の交通荷重条件下での疲労耐久性の検討では、平成14年度に都道の軸重測定データ¹²⁾を使って、マイナー則により式(1)で算定して検討する。

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

ここで、

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)、通常1車線で観測

$a_k = A/a$

a_k : 一方向換算輪数の補正係数、複数車線の場合に1車線の観測値を一方向へ補正するための係数

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

主な東京都内の軸重観測地点の疲労耐久年数の算定結果を表-12に示す。表-12には参考値として舗装設計交通区分、一日一方向大型車交通量も併記した。都道でもっとも重交通路線である環状八号線の砧地点の耐用年数は、43万回で破壊した既存床版厚80mmでは100kN換算輪数計(3,197,770)÷100kN換算輪数/一方向/年(123,632)=25.9年、同様に未破壊ではあるが破壊に近いと推定される床版厚100mmでは47.2年、60万回でも破壊しない床版厚120mmでは50年以上と推定される。

本検討で使用したゴムタイヤ式の輪荷重走行試験機は、自走式であることから発進トルクや停止時の制動荷重が作用するため、クランク式鉄輪載荷方式に比べてより自動車の輪荷重による疲労損傷を再現することが期待される。しかしながら、走行スピードが時速2~3kmと遅いため、大きな発進トルクや制動力は作用しない。したがって、長期間供用した実橋で見られるゴムジョイント表面のゴムの磨耗は少ない状態で試験を終了している。

5. まとめ

都道の道路橋の伸縮装置の補修実績は、舗装の次に多く、比較的補修サイクルは短い。補修(交換)が数回繰返されると既設床版は、ハツリによるダメージが増加すると推測され、補修後の疲労耐久性にも悪影響を及ぼしていると推察できる。そこで、ゴムジョイントで補修(交換)した実物大RC試験体の輪荷重走行実験を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 床版本体の疲労耐久性は、床版本体の版厚が薄いほど、床版下面および床版上面の曲げひび割れの発生

表-12 100kN換算輪数による各地点の疲労耐久性

項目	観測地点	環八通り砧	環七通り小茂根	町田街道町田	新大橋通り築地	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)	N6(C交通)	N5(B交通)	N4(A交通)
一日一方向大型車交通量		9,861	6,899	1,361	4,501	5,368	683
a_k		1.79	1.36	1.00	1.42	3.27	1.00
100kN換算輪数/車線/年		69,016	40,001	21,693	8,973	3,739	6,103
100kN換算輪数/一方向/年		123,582	54,453	21,693	12,769	12,223	6,103
ジョイント設置部床版厚別疲労耐久性年数	80mm	25.9	58.7	147.4	250.4	261.6	524.0
	100mm	47.3	107.3	269.3	457.4	477.8	957.1
	120mm	50<	110<	270<	460<	480<	960<

量は多く疲労耐久性は劣る。また、ジョイント取付け部の床版厚さが薄いほど、取付け部床版下面のひび割れは多く疲労耐久性は劣る。

- (2) ジョイント本体の疲労性状は、ゴムジョイント裏面に発生するゴム部に入るひび割れの長さや深さで評価すると、ジョイント取付け部の床版厚が薄いほどひび割れは長く、またひび割れの深さも深く疲労のダメージは大きいと評価できる。
- (3) ジョイントを取付ける際のRC床版と打継コンクリート面の疲労性状は、走行面の打継目の開き(幅)、段差、主筋方向のずれの三方向の動きは、床版Aの破壊直前の段差が急増してダメージが大きくなったと推察できる。一方、床版C2と床版Dは、開きも段差も微小であり、床版本体と一体的に機能していることが確認された。
- (4) ゴムジョイント付きRC床版の疲労耐久性は、重厚通で過酷な環状八号線の砧地区の軸重観測データを用いてS-Nの傾きの逆数を $m=4$ と仮定して評価するならば、ジョイント取付け部床版厚80mmの耐久年数は25.9年、ジョイント取付け部床版厚100mmでは47.2年、ジョイント取付け部床版厚120mmでは50年以上と推定される。
- (5) 荷重支持型ゴムジョイントは、既設のジョイント取付け部床版厚が100mm以上確保できれば、重交通路線においても床版およびジョイントの疲労耐久性は良好と考えられる。一方、ジョイント取付け部床版厚が80mmでは、疲労耐久性はジョイント取付け部床版厚100mmの半分程度に低下することから、鋼板接着工法等を併用して床版裏面を補強することにより、ジョイント取付け部床版およびジョイントの疲労耐久性も改善すると考えられる。

6. あとがき

ゴムジョイントを交換する際の既存床版厚さが疲労耐久性に与える影響は、取付け部の床版厚さが20mm変動するだけで、床版とジョイントの双方に影響を与えることが把握できた。今後は、他のジョイント形式の実験も進めるほか、版理論による解析方法については、課題があると思われることからFEMを活用した解析による検討も進める必要がある。また、ジョイント取付け部の床版厚が小さい場合の床版補強方法については課題としたい。

参考文献

- 1) 関口幹夫, 西尾伸郎, 竹田敏憲: 道路橋および歩道橋の補修履歴と健全度の現状分析, 平成16年東京都土木技術研究所年報, pp. 137-152, 2004
- 2) 阿部忠行, 関口幹夫, 小原利美ほか: 土木構造物の維持更新と機能向上技術開発, 平成7年東京都土木技術研究所年報, pp. 101-110, 1996
- 3) 村上睦夫, 日野泰雄, 黒崎剛史: 効率的維持管理のための高架橋道路伸縮継手の損傷要因分析, 土木学会論文集D, Vol. 62 No. 3, pp. 474-482, 2006. 9
- 4) 大間知良晃, 八代茂, 岩崎雅紀: 鋼道路橋の床版端部と鋼製伸縮装置の損傷実態と補修・改良工法, 横河ブリッジグループ技報, No.27, pp. 70-81, 1998. 1
- 5) 宮本文穂, 榎田賢一, 竹内和美, 高木秀敏, 沼田克: 橋梁懸垂式ジョイントの設計と施工, 橋梁と基礎, 93-11, pp. 41-48, 1993. 11
- 6) 大間知良晃, 渡辺孝一, 折口俊雄, 岩崎雅紀: 鋼製伸縮装置まわりの劣化機構の究明と耐久性向上手法の提案, 横河ブリッジグループ技報, No.28, pp. 53-61, 1999. 1
- 7) 八木貴之, 山田健太郎, 小塩達也: 道路橋伸縮装置の疲労耐久性評価法の検討, 土木学会論文集A, Vol. 63 No. 3, pp. 486-495, 2007. 7
- 8) 阿部忠, 木田哲量, 小森篤也, 樋田俊一: CFRP支持埋設型伸縮装置の疲労耐久性に関する研究, 土木学会・第六回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp. 81-86, 2008. 6
- 9) 関口幹夫: 炭素繊維シート埋設ジョイント工法による騒音・振動低減効果について, 平成10年東京都土木技術研究所年報, pp. 111-116, 1998
- 10) 松井繁之: 橋梁の寿命予測, 安全工学 Vol. 30. No. 6, pp.432-440, 2004. 11
- 11) 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
- 12) 土木学会鋼構造委員会道路橋床版の調査研究小委員会: 道路橋床版の設計の合理化と耐久性の向上, pp. 18-23, 2004. 11
- 13) 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

(2008年9月18日受付)