

9. 各種ジョイント付きCFRP補強床版の輪荷重走行疲労実験

Wheel Running Fatigue Test of CFRP Strengthened Slabs with Various Expansion Joints

技術支援課 関口幹夫、大石雅登、橋原正周

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）の補修サイクルは、沿道環境の保全が優先されるために3～15年と比較的短く、1990年～2000年の補修サイクルの平均は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で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、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⁾と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⁾および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⁾を取り付けたRC床版試験体による輪荷重走行実験での疲労耐久性を検討した。

3種類のジョイント付きRC床版の走行疲労実験の結果は、都内の主な軸重測定結果⁵⁾を用いて橋

梁の設計輪荷重 100kN 換算の疲労耐久年数を表-1のように算定した。表-1 から舗装計画交通量区分N7（一方向大型車交通量 3,000 台以上/日）⁶⁾の環八砦地点でのゴムジョイントの既設床版厚が 80mm の場合の耐久年数は 25.9 年程度、同床版厚が 100mm の場合 47.3 年程度、同床版厚が 120mm の場合 50 年以上と推定され、基本的に取付け部の床版厚さが薄いほど疲労耐久性は劣る結果となっている。

一方、荷重分散型アスファルト系埋設ジョイント付きのRC床版取付け部の疲労耐久性は、ゴムジョイントの場合の1/100程度と推定され、また、荷重支持型炭素繊維シート整形品の埋設ジョイントは、ゴムジョイントの約64%の疲労耐久性であると推定され、組合せるジョイントの性能により、疲労耐久性は大きく異なることが明らかとなった。

本論文は、一連の実験的研究を補完するために、床版下面を炭素繊維シート(CFRP)接着工法で補強した場合にジョイント取付け部の疲労耐久性がどの程度向上するかを検討するものである。具体的には、

表-1 ジョイント付きRC床版の疲労耐久性

取付け部 床版厚 (mm)	交通量区分 地点 タイプ	単位：年				
		N7	N7	N6	N5	N4
		環八通り 砦	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
80	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
100	TF10	47.3<	107.2<	269.2<	477.8<	957.1<
	SM10	0.8	1.9	4.8	8.5	17.1
	NT10	52.4<	119.0<	298.8<	530.2<	1061.9<
120	TF12	50<	110<	270<	480<	960<
	SM12	2>	4>	10>	18>	30>
	NT12	52<	119<	298<	530<	1060<

(注)：120mmの耐久年数は推定値

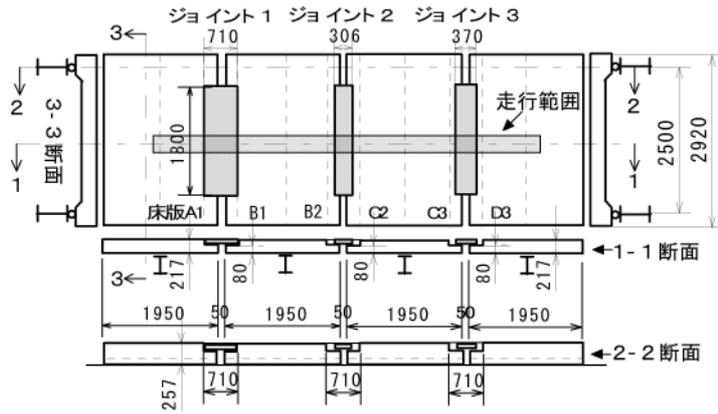


図-1 試験体寸法

ジョイント取付け部床版厚を80mm一定にして、形式の異なる3種類のジョイント（図-4参照）を組合せた場合について輪荷重走行疲労実験で検討したものである。

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体製作して、



写真-1 ゴムタイヤ式輪荷重走行試験機

輪荷重走行試験装置の主桁上に遊間50mmとなるように配置し、ジョイントを3箇所設置した。ジョイントの設置は、2.4で詳述するが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、写真-1に示すゴムタイヤ式の輪荷重走行試験機を使用して、試験体上を輪荷重が6m区間を往復載荷する方式で行った。床版の支持条件は、図-1に示す走行方向（配力鉄筋方向）は支間2.5mの単純支持、支間方向（主鉄筋方向）は床版中央

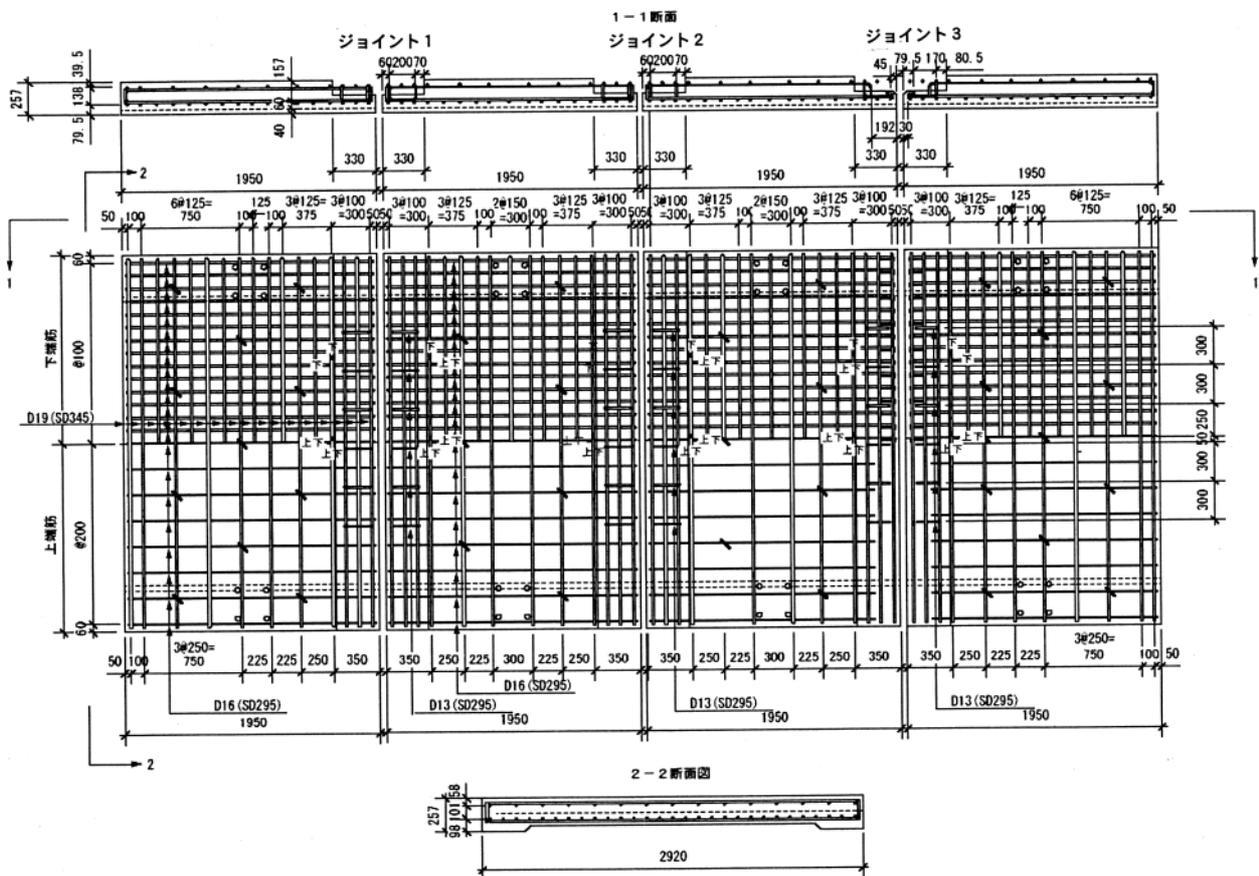


図-2 RC床版の配筋・形状寸法

の横桁(H328×B20
0×12×16)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。

表-2 床版の配筋(有効高さは実測値)

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
床版A1, B1	220.5	D19@225	42.4	D19@100	177.8	D16@200	58.2	D16@100	159.3
床版B2, C2	216.3	D19@225	43.0	D19@100	175.8	D16@200	61.1	D16@100	159.9
床版C3, D3	216.4	D19@225	47.4	D19@100	177.4	D16@200	74.1	D16@100	164.5

2.2 RC床版

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た。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分厚く製作した。ハンチの高さは載荷装置の制約から40mm一定である。試験体は既報のゴムジョイント²⁾、特殊アスファルト系埋設ジョイント³⁾および炭素繊維シート埋設ジョイント⁴⁾試験体の切欠き部の厚さ80mmと同一仕様である。床版の配筋寸法を表-2に示す。なお、有効高さは試験終了後の切断調査による実測値である。使用材料の鉄筋の機械的性質を表-3に、コンクリートの配合表を表-4に示す。材齢28日の圧縮強度は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。

2.3 床版の補強

床版の補強は、炭素繊維接着工法で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(スダレ状に炭素繊維を加工したシート)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層貼りで、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⁷⁾で施工した。図-3にストランドシートの施工割付図を示す。

2.4 伸縮装置

伸縮装置は、床版を補強していない既報で検討した形式の異なる図-4に示す3形式である。ジョイント1には、図-4(a)に示すアスファルト系荷重分

表-3 鉄筋の機械的性質

用途	呼び径	降伏応力 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)
主鉄筋	D19/SD345	419.9	18.8	639.8
配力筋	D16/SD295A	352.6	18.1	504.1
補強筋	D13/SD295A	367.9	17.9	506.7

表-4 コンクリートの配合表

呼び強度 N/mm ²	スランブ cm	空気量	水セメント比 %	細骨材率
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

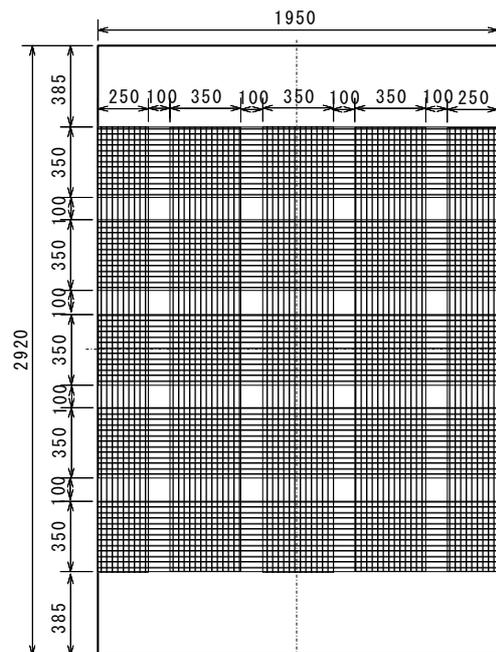
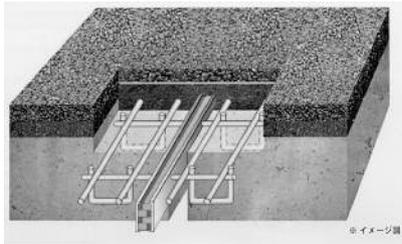
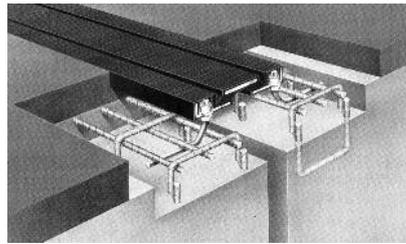


図-3 ストランドシートの割付図

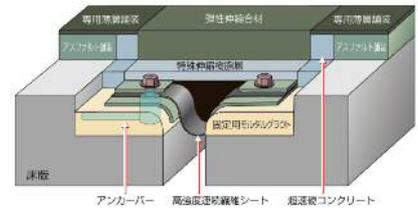
散型の埋設ジョイント(SM)である。ジョイント2には、図-4(b)に示す一般的な荷重支持型のゴムジョイント(TF)である。ジョイント3には、図-4(c)の炭素繊維シートをエポキシ樹脂で遊間部を下に凹型に成形した荷重支持型埋設ジョイント(NT)である。ジョイントの取付けは、即日交通開放の補修(交換)工事の施工機材を使用し、使用材料は各メーカーの仕様によった。なお、後打ちの超速硬モルタルおよび



(a) ジョイント 1 (SM)



(b) ジョイント 2 (TF)



(c) ジョイント 3 (NT)

図-4 ジョイントの概要図

超速硬コンクリートは、プレミックスタイプを使用した。

2.5 たわみと鉄筋ひずみの測定位置

ジョイント 1 の床版のたわみ、鉄筋のひずみ測定位置を図-5、平面図を図-6 に示す。また図-6 では、たわみの測定番号と床版 A1 の下側鉄筋ひずみ測定番号のみ標記している。たわみと鉄筋ひずみの測定位置は、遊間の左右で対称に配置している。ジョイント 2 およびジョイント 3 もジョイント 1 と同様な配置である。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に市販の鉄筋計と同様に焼付け仕様で製作した。たわみの測定は、ひずみゲージ式の変位計、リング式変位計および三軸変位計を使用した。

2.6 実験方法

走行荷重は、床版支間 2.5m の中央の 6m 区間を荷重 100kN で 10 万回、荷重 130kN で 10 万回、荷重 160kN で 10 万回、荷重 200kN で 30 万回（累計 60 万回）の走行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。また、タイヤ接地寸法は、157kN 荷重で走行方向 390 mm、床版支間（主鉄筋）方向 340 mm（有効幅 230 mm）、接地面積は 89,700 mm² である。

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

ひび割れの観察は、床版表面に発生するひび割れについて、目視観察でひび割れの発生、進展状況をスケッチする方法で記録した。

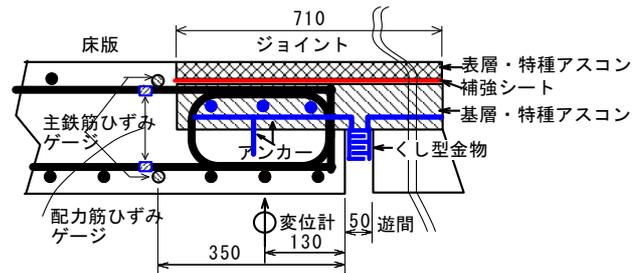


図-5 計測位置詳細（ジョイント 1）

- 凡例
- 上・下側主鉄筋ひずみ
 - 上・下側配筋鉄筋ひずみ
 - 下側主鉄筋ひずみ
 - 下側配筋鉄筋ひずみ
 - 床版たわみ
 - 横桁たわみ
 - △ 三軸変位計
 - 静的荷重位置

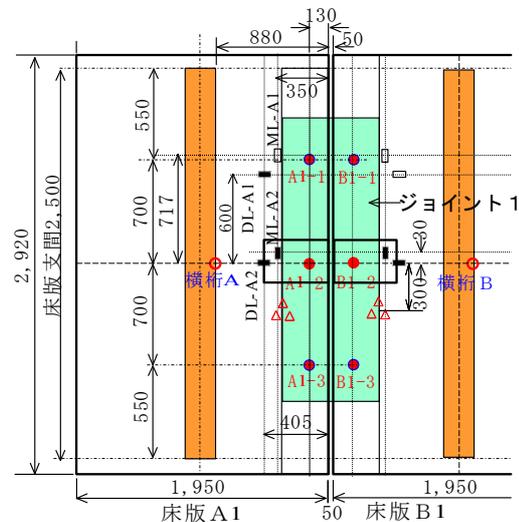


図-6 計測位置詳細（ジョイント 1）

静的荷重試験は、ジョイント設置部のそれぞれの床版端部を荷重位置（図-6 参照）とする静的荷重である。計測荷重は 0kN～100kN まで 20kN ピッチで荷重し、除荷は 20kN ピッチで戻す方式とし、各荷重段階でのたわみと鉄筋ひずみを測定した。

走行荷重試験は、走行 2 往復分のたわみと鉄筋ひずみを動的に測定した。また、ジョイント取付け部の床版上面の接合部に三軸変位計を取付けて、接合

部の開き（幅）、段差、ずれ量を測定した。測定位置は、支間中央から 300 mm 離れた箇所である。

重錘落下たわみ試験は、静的載荷試験と同じ載荷位置に直径 300 mm の載荷板を介して、100kg の重錘を落下高さ 200 mm で落とし、そのときの載荷板に作用する衝撃荷重をロードセルで、同時に載荷板中央と支持桁位置での床版上面の変位（たわみ）をサーボ型速度センサーで各 3 回測定し積分回路で変位に変換した。載荷板直下のたわみは、支持桁の変位を補正して求めた。

3. 実験結果

3.1 走行回数の結果

実験の走行回数を表-5 に示す。ジョイント 1 の床版 B1 は、100kN 載荷 69,032 回で破壊した。その後、走行範囲を床版 B2～床版 D3 に狭めて実験を継続した。ジョイント 3 は、床版 D3 が 426,390 回で破壊した。残ったジョイント 2 は、走行範囲が狭すぎて走行困難なため未破壊の状態を終了した。

3.2 ジョイントの破損状況

ジョイントおよび隣接する床版上面の損傷状況を写真-2 に示す。ジョイント 1 は、床版 B1 側の切欠き部で押し抜きせん断破壊したことから、B1 側走行面の舗装が 16mm 沈下（陥没）した。しかし、床版コンクリート上面には、ひび割れの発生がなく、また、ジョイント接続面が開くなどの損傷は確認できなかった。ジョイント 2 は、42.6 万回の未破壊で終了するまで、特に床版上面およびジョイント表面での損傷はない。一方、ジョイント 3 は、40 万回以降に写真-2(c)に示すように、ジョイントの左右のコンクリート面にひび割れが発生し、一部角欠けが生じた。

走行面直下の切断面（主鉄筋切断面）の状態を写真-3 に示す。ジョイント 1 の切断面では、切欠きの隅各部からのひび割れが斜め下方に入り、中間横桁位置まで補強シートの剥離が発生した。また遊間側の切欠きの下場筋位置に水平ひび割れおよび炭素繊維シートの剥離が確認できる。

ジョイント 2 の切断面では、切欠き隅部から入ったひび割れが下側主鉄筋位置へ斜めに進展して水

表-5 走行回数の結果

ジョイントNo.	荷重別走行回数（回）				備考
	100kN	130kN	160kN	200kN	
1	69,032	-	-	-	床版B1破壊
2	100,000	100,000	100,000	126,390<	未破壊
3	100,000	100,000	100,000	126,390	床版D3破壊



(a) ジョイント 1 (6.9 万回破壊)



(b) ジョイント 2 (42.6 万回未破壊)



(c) ジョイント 3 (42.6 万回破壊)

写真-2 ジョイント部走行面の状態

平ひび割れとなっている。ひび割れの先端は下場筋位置で止り、補強シートの剥離はない。一方、ジョイント 3 では、切欠きの隅部から斜めにせん断ひび割れが入り下面に達しているが、補強シートに剥離はない。また、ジョイントの鋼板下面から切欠き縦部に水平ひび割れが入っている。さらに、床版上面から入ったひび割れが、中間横桁位置と遊間での中間位置で確認できる。このひび割れは、いずれも

下側主鉄筋位置で止まっている状態が確認できる。

遊間部床版端から約 30 cm 離れた位置でのジョイント背面の支間方向切断面を写真-4 に示す。写真-4(a)のジョイント1の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位置からハの字状に下場筋のかぶり部コンクリートにひび割れが入っている。切欠き部の下場筋位置での損傷が激しく、二層化と砂利化が混在しボロボロの状態である。補強シートは破断がなく、ハンチ近傍まで剥離している。アスファルト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) ジョイント1 床版 B1 (6.9 万回破壊)



(b) ジョイント2 床版 C2 (42.6 万回未破壊)



(c) ジョイント3 床版 D3 (42.6 万回破壊)

写真-3 橋軸方向切断面



(a) ジョイント1 (6.9 万回)



(b) ジョイント2 (42.6 万回)



(c) ジョイント3 (42.6 万回)

写真-4 ジョイント背面での切断面

ジョイント2は、タイヤ走行直下とその近傍には、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先端から床版上面につな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の先端とほぼ一致している。

ジョイント3は、42.6万回で破壊したD3側の損傷が激しい。タイヤ幅方向の先端からハの字状にせん断ひび割れが入っており、上筋位置での水平ひび割れが床版D3および床版C3で確認できる。図-4(c)のD3右側の写真では、下場筋でも水平ひび割れが確認される。補強シートの剥離は、一部で確認されたがシートの破断はない。

3.3 床版のひび割れ

床版上面には、図-7に示すひび割れが発生した。走行面での初期ひび割れは、6.9万回で破壊したジョイント1の床版A1および床版B1では、上面のひ

び割れは破壊まで発生しなかった。

ジョイント2の初期ひび割れは、25万回で床版B2の中間横桁のフランジ先端に沿って60cmの長さで、床版C2と床版C3の中間横桁上に1.7mの長さで発生した。ジョイント3初期ひび割れは、床版D3の中間横桁上に27.5万回で発生した。ジョイント2と3の中間横桁上のひび割れは、負曲げによるひび割れと考えられる。

35万回では、床版C2および床版C3の中間横桁とジョイント2およびジョイント3の中間位置に主鉄筋に沿うひび割れが発生した。40万回では、ジョイント3の後打ちコンクリートの走行位置および床版D3の中間横桁フランジに沿うひび割れが発生し、42万回では床版D3の走行面で砂利化に進展した。

床版下面のひび割れの発生状況を図-8に示す。ジョイント1は、床版B1側のタイヤ幅先から10～50cmにかけて遊間部から半円状の補強シートの剥離が確認された。ジョイント1の破壊時6.9万回で

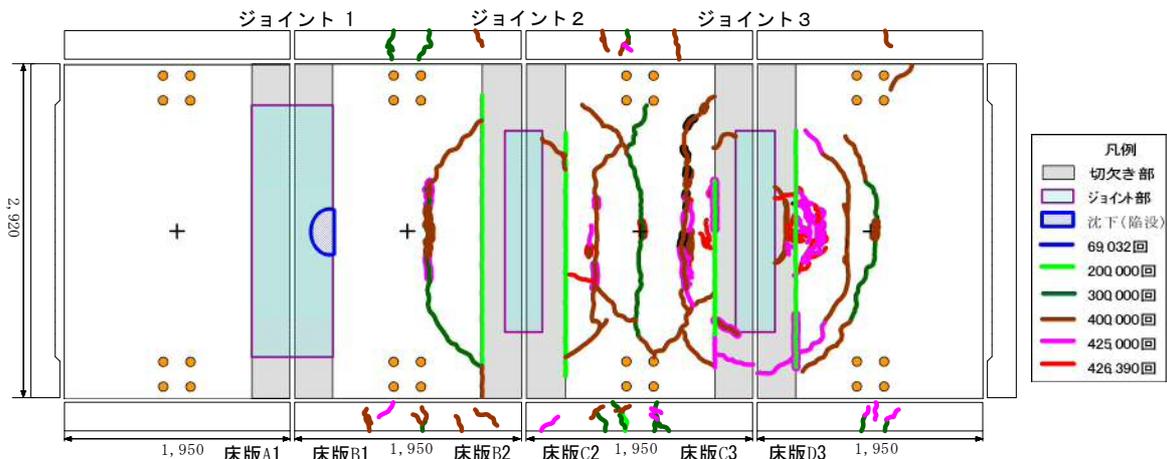


図-7 床版上面のひび割れ図

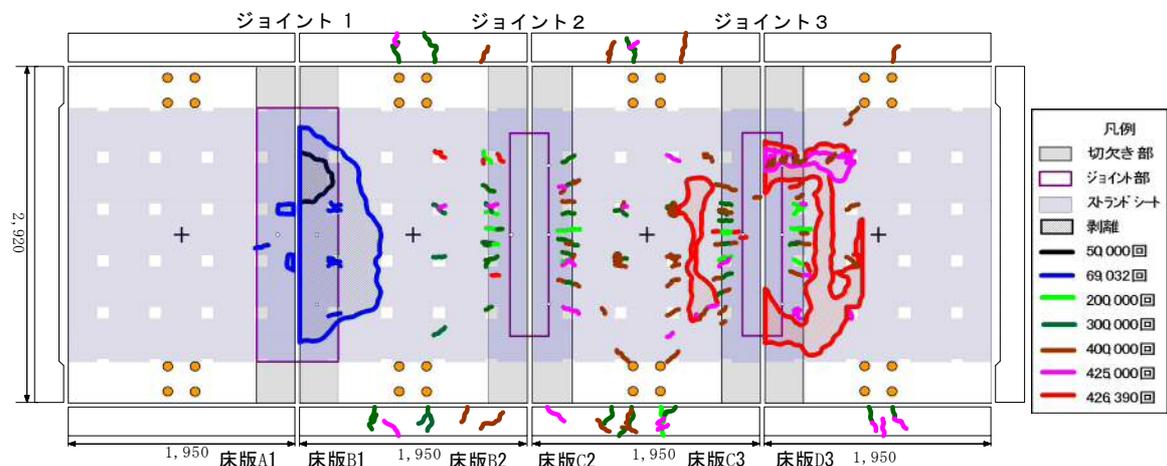


図-8 床版下面のひび割れ図

は、床版 B1 側で図-8 に示す広い範囲で補強シートの剥離が確認された。

ジョイント2では、25万回で切欠き隅角部真下の補強シートのひび割れ確認窓で配力筋に沿う曲げひび割れが最初に確認された。42.6万回で終了した時点では、ひび割れは増加したものの床版 B2 側でのシートの剥離は生じなかった。一方、ジョイント3では、切欠き部真下において15万回で曲げひび割れが観測窓で確認された。42万回では、床版 D3 のタイヤ幅先端から40~60cm、遊間から中間横桁手前の範囲でシートの剥離が確認された。ジョイント3の破壊時42.6万回では、床版 C3 側のジョイント背面位置でのシートの剥離が確認された。一方、床版 D3 側では、広い範囲でシートの剥離が生じた。また、遊間部ではタイヤ走行位置からやや離れた位置のせん断領域での剥離が確認できた。タイヤ走行直下での曲げ領域での剥離は生じていないことが確認された。

3.4 たわみ

ジョイント取り付け部の支間中央遊間から130mm位置の測定点(図-5 参照)のたわみの測定結果を図-9 に示す。走行荷重は、1~10万回まで100kN、10万1回~20万回まで130kN、20万1回~30万回まで160kN、30万1回以降は200kNでの階段荷方式である。図-9 の凡例の(総)は各荷重の最大値であり、(残)は荷重を0に除荷したときの残留値である。

本論文では、静的荷重のたわみ測定値は、(最大値-残留値) = 弾性たわみの100kN換算で評価する。

図-10 は静的荷重時の100kN換算弾性たわみである。弾性たわみの推移は、走行回数100回までジョイントの種類による差異はほとんど無く、床版のたわみは、FEMによる全断面有効の計算値(ジョイント1で1.12mm、ジョイント2で0.72mm、ジョイント3で0.84mm)以下でスタートしている。

ジョイント1の床版A1とB1は、ジョイント2とジョイント3の床版に比べて走行回数1,000回以降たわみが増加し、5万回以降急増して破壊に至っている。ジョイント1の引張り無視時の計算たわみは2.51mmであり、5万回の測定時に相当する。

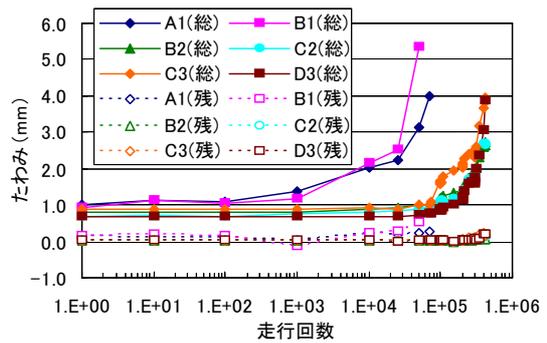


図-9 たわみ測定値

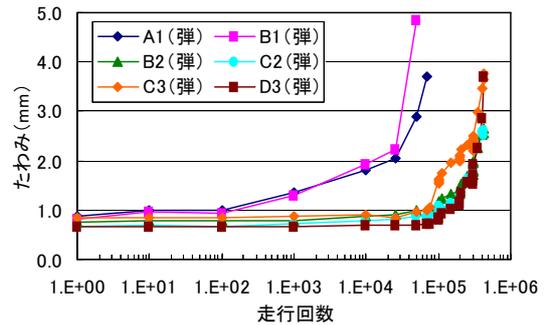


図-10 100kN換算弾性たわみ

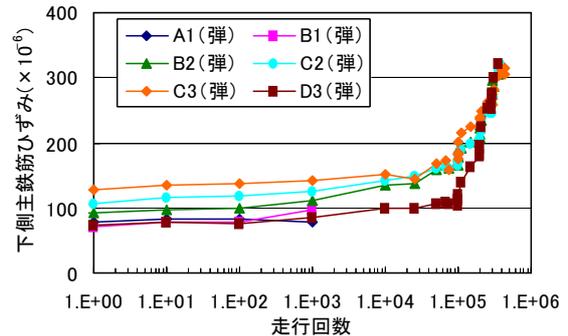


図-11 下側主鉄筋100kN換算ひずみ

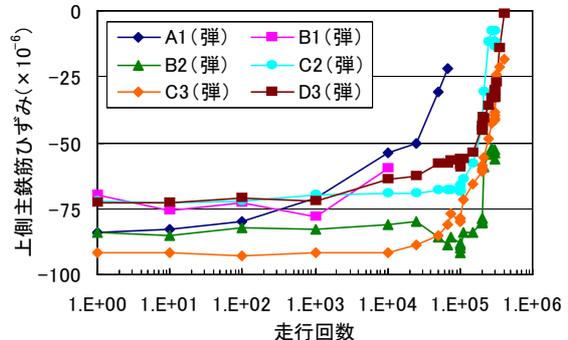


図-12 上側主鉄筋100kN換算ひずみ

ジョイント2の引張り無視の計算たわみは1.3mmであり、床版B2では11万回、床版C2では20万回を超えている。ジョイント3の引張り無視の計算た

わみは 1.42 mm で、床版 C3 では 10 万回、床版 D3 では 21 万回で超えている。たわみの挙動は、引張り無視の計算値を超えると、急激にたわみが増加して破壊に至ると想定される。

3.5 鉄筋ひずみ

鉄筋ひずみの階段载荷による評価は、たわみ同様に弾性ひずみの 100kN 換算値で行う。支間中央床版端部から 350mm 位置 (図-5 参照) における下側主鉄筋の静的ひずみの測定結果を図-11 に示す。ジョイント 1 の床版 A1 および B1 は、走行回数 1,000 回まで計測できたが以降にひずみゲージが断線して、計測不能となった。たわみが 1,000 回以降で増加していることから、切欠き背面の鉄筋ゲージ近傍に隅角部から入ったひび割れにより断線したものと推察される。1,000 回までのひずみの値は、概ね 80~150 μ の範囲で安定した推移を示している。

上側主鉄筋ひずみの結果を図-12 に示す。最初に破壊したジョイント 1 の床版 B1 は 1 万回以降で破断している。床版 A1 は 1,000 回以降減少傾向を示している。他の床版も -75~-100 μ の範囲で概ね 1 万回まで推移し、10 万回以降減少傾向を示している。

図-13 に上下位置の主鉄筋ひずみから計算される中立軸の推移を示した。下側主鉄筋のひずみが急増すると、中立軸位置が圧縮主鉄筋位置 (かぶり約 42 mm) に接近して、図-12 の上側主鉄筋ひずみが急減したものと考えられる。

配力鉄筋のひずみ測定結果を図-14 および図-15 に示す。いずれの図においてもジョイント 1 の床版 A1 と床版 B1 は、他のジョイントの床版の値と比較して引張りひずみであり、値が大きく性状が異なっている。これは、ジョイント 1 では、早い段階に切欠き隅角部から入ったひび割れによって、下側は引張りひずみが、上側は張出し床版と同様な変形が生じて曲げによる引張りひずみが発生したものと推察できる。一方、ジョイント 2 およびジョイント 3 の床版は、切欠き隅角部に発生するひび割れの発生時期が 10 万回以降であり、版とし破壊近くまで機能して、大きなひずみは発生しなかったと推察する。

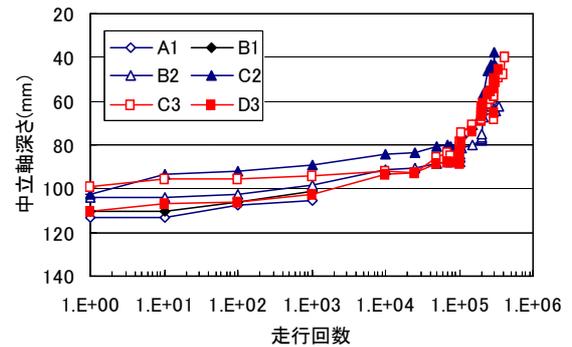


図-13 主鉄筋断面の中立軸深さ

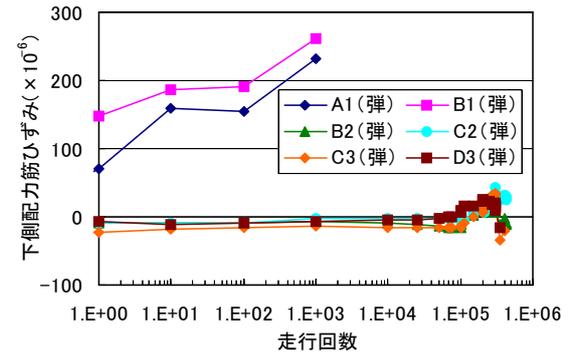


図-14 下側配力筋 100kN 換算ひずみ

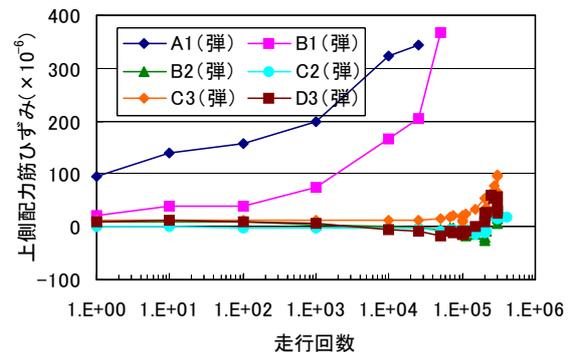


図-15 上側配力筋 100kN 換算ひずみ



写真-5 重錘落下たわみ測定状況

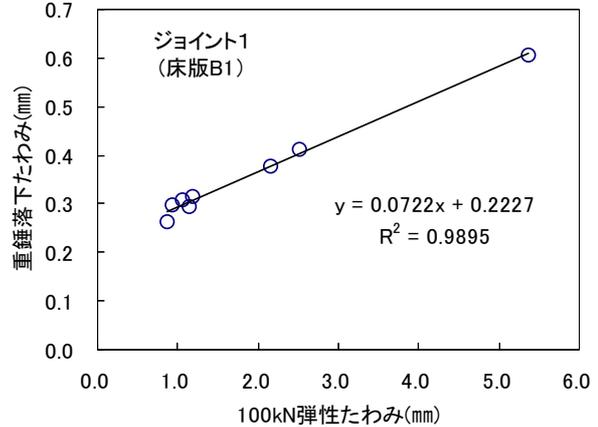
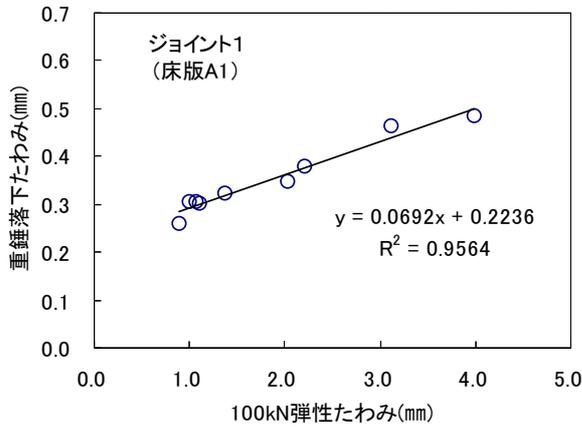
3.6 重錘落下たわみ

重錘落下たわみ測定機 (IIS) による载荷位置は、静的载荷と同一とし、たわみセンサーは、载荷板の

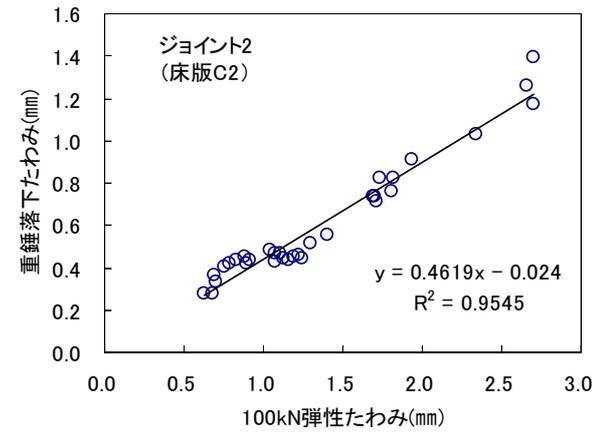
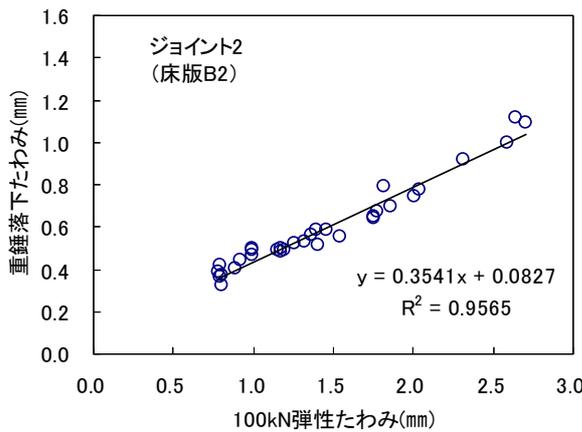
中心位置(支間中央)と両支持桁上に配置して、100kgの重錘(写真-5)を200mmの落下高さで3回測定した。床版中央のたわみは、両支持桁の鉛直変位量を補正して測定値とする。

100kN 静的載荷時の弾性たわみと重錘落下たわみの関係を図-16に示す。ジョイント取付け部の床版

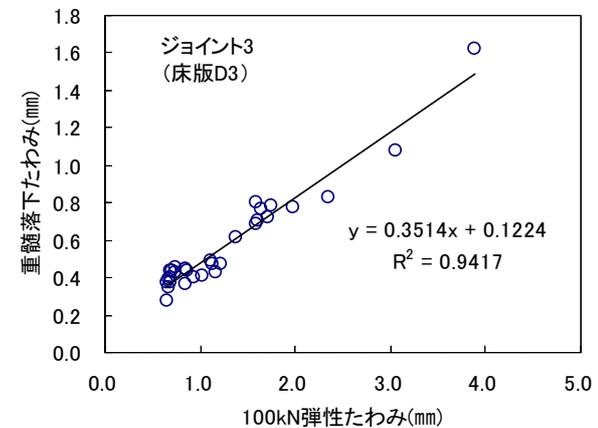
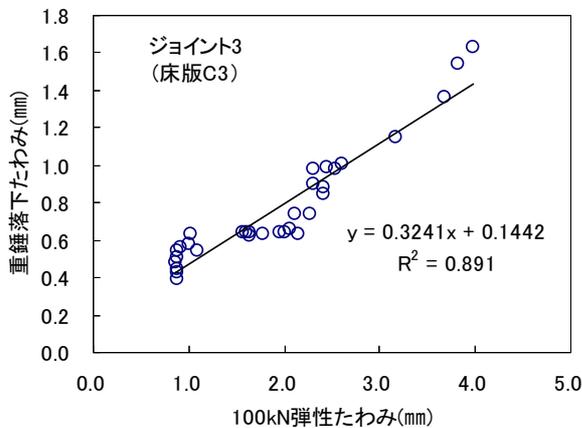
にひび割れが発生進展して剛性が低下すると、たわみは剛性に反比例して増加する。静的載荷と重錘落下たわみの相関決定係数 (R^2) は、すべて 0.89 以上であり高い相関関係が認められる。IIS 重錘落下たわみ法は床版の点検に有効であるが、ジョイント取付け部床版の剛性評価でも簡便な点検手法に成り得



(a) ジョイント 1 (SM)



(b) ジョイント 2 (TF)



(c) ジョイント 3 (NT)

図-16 静的弾性たわみと重錘落下たわみの関係

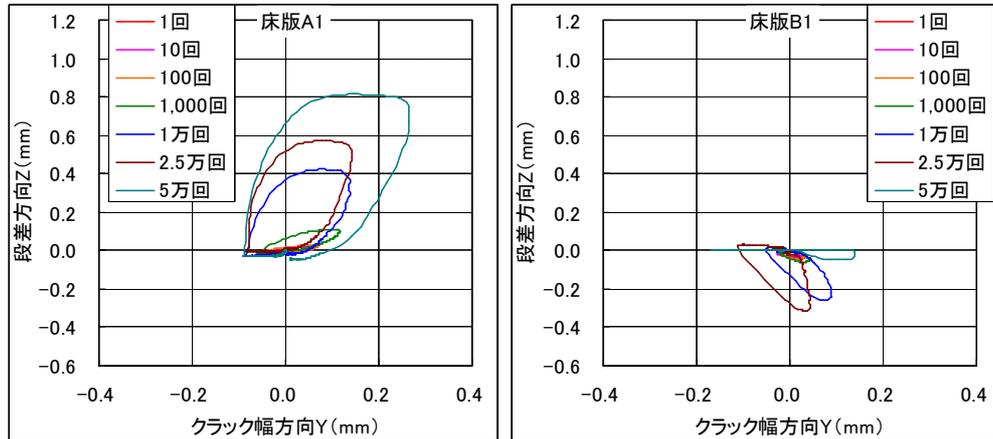
ると考えられる。

なお、ジョイント1の回帰式の傾きがジョイント2およびジョイント3に比べて一桁小さく異なっている要因は、落下衝撃の載荷板の3点の足の2点がコンクリート上で1点がジョイント遊間側にセットされているので、ジョイント設置部は剛性が急激に

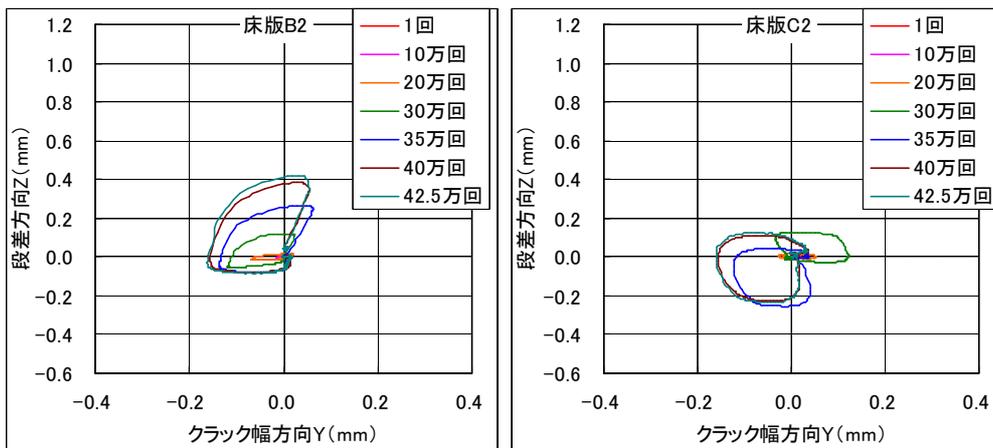
低下したのに対して、ジョイント背面の床版側は剛性の低下が急激でなかった影響が、荷重の小さい衝撃落下たわみで顕著に現れた可能性が考えられる。

3.7 打継目の幅・段差・ずれ

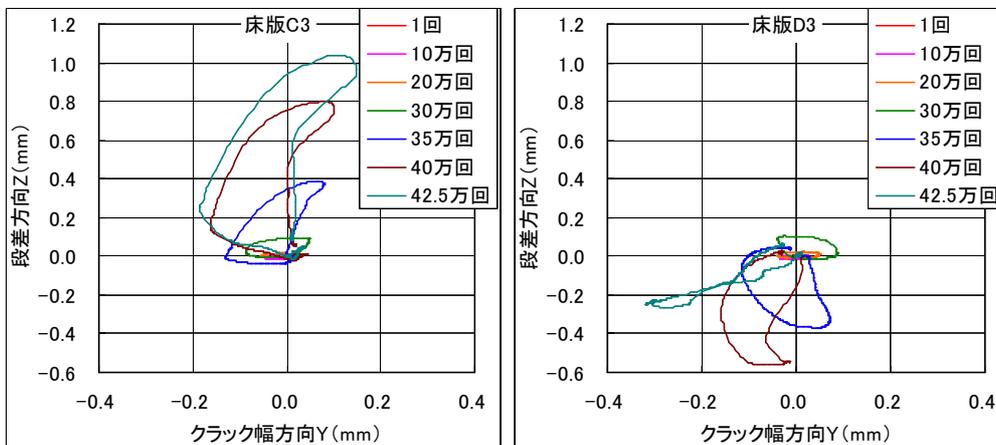
ジョイントと床版上面の打継目の開き(幅)・段差・水平方向ずれ量を三軸変位計により動的に測定した。



(a) ジョイント1 (SM)



ジョイント2 (TF)



ジョイント3 (NT)

図-17 切欠き部打継目の開き(幅)と段差の関係

表-6 炭素繊維ストランド補強床版のジョイント取付け部疲労耐久性の評価結果

項目	観測地点	環八通り 砦	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
舗装計画交通量区分		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
軸重測定車線大型車交通量/日		5,507	5,068	1,361	3,163	1,642	683
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
炭素繊維補強床版 t=80mm 疲労耐久性年数	ジョイント1 (SM8+C)	0.6	1.3	3.2	5.4	5.6	11.3
	ジョイント2 (TF8+C)	24.8<	56.2<	141.2<	239.9<	250.6<	501.9<
	ジョイント3 (NT8+C)	24.8	56.3	141.2	239.9	250.6	501.9

走行方向の開きと段差の関係の代表例を図-17に示す。ジョイント1の床版A1は、1万回以降段差が増加したが、B1は破壊(6.9万回)前の5万回時に急激に段差も開きも減少し、破壊の前兆が確認できなかった。ジョイント2およびジョイント3についても明瞭な破壊の前兆現象は確認できなかった。段差の急増が無かった理由は、下面を炭素繊維シートで補強してあるため、ひび割れの動きが抑制された効果が考えられる。

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。

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

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

なお、RC床版のS-N線図の代表的なm値は、大阪大学⁸⁾のm=12.76が使われる例が多い。ただし、この式のSは、はり状化した床版の押抜きせん断耐

荷力(P/P_{SX})を基にしていることから、このmを使用すると耐用年数の推定値は過大に評価される恐れがある。そこで、本検討では、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 $m=3.53 \approx 4$ を採用して検討する⁹⁾。なお、荷重支持型ゴムジョイントや荷重分散型埋設ジョイントでのm=4による評価においては、ほぼ妥当な結果を得ている。^{2, 3) 4)}

ここでは、平成14年度に都道で観測した軸重測定データ⁵⁾を使って、主な観測地点の疲労耐久年数の算定結果を表-6に示す。都道のなかでも重交通路線である環八通り(砦)地点での耐用年数は、ジョイント1(SM)で0.6年、ジョイント2(TF)で24.8年以上、ジョイント3(NT)で24.8年と試算される。

ジョイント1の補強なしの耐久性年数は表-1に示したとおり0.1年であったので、補強効果は約5倍となる。また、ジョイント3の補強なしは16.7年であったので、補強効果は約1.5倍である。ジョイント2の補強なしは25.9年であったが、補強後は未破壊状態の24.8年以上で終了したため、補強効果は直接比較できない。しかし、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、補強なし以上で破壊すると容易に想定できるので、ジョイント3程度の補強効果はあるものと推察される。

図-18には、これまでに実験を行ったすべての結果のS-N線図を示す。荷重支持型ゴムジョイント(TF)、荷重分散型特殊アスファルト系埋設ジョイント(SM)、荷重支持型炭素繊維シートジョイント(NT)である。また、記号に続く数字の8、10、12は切欠

き部の床版厚さ (cm) であり、+C は炭素繊維シートで床版を補強した今回の実験結果である。図の縦軸は、年間の一方方向 100kN 換算輪数、横軸は耐用年数である。図中には、表-6 に示す主な軸重観測地点の輪数の関係を示し、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。

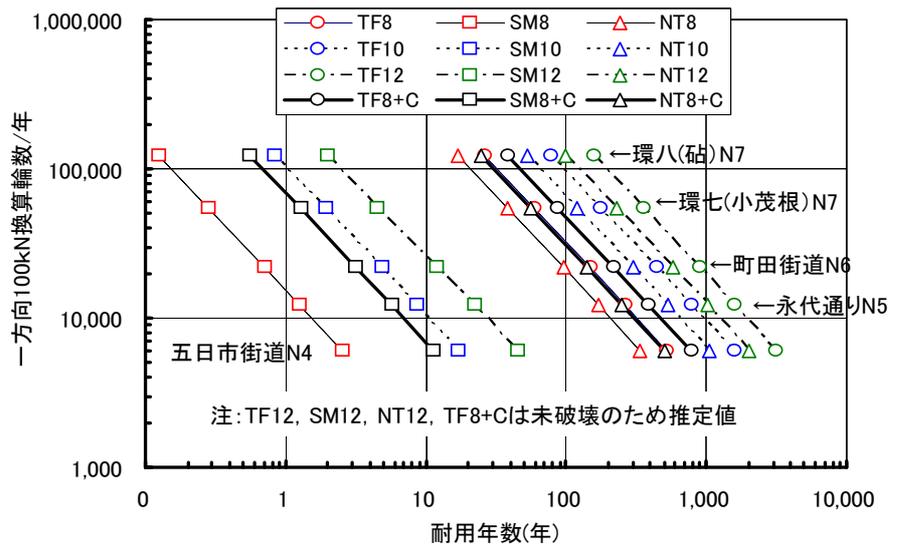


図-18 伸縮装置取付け部 RC 床版の S-N 線図 (傾き $m=4$)

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。

埋設ジョイントの荷重支持型と荷重分散型での床版への輪荷重分布は、図-19 の概念図に示すように作用すると考えられる。ジョイント 1 の荷重分散型特殊アスファルト系では、輪荷重の荷重分布が表層から 45 度に分散して取付け部の床版に直接作用するのに対して、ジョイント 2 の荷重支持型ゴムジョイントや炭素繊維シート埋設系では、ジョイント底部での鋼板の存在により、ジョイント取付け部床版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。また、同じ荷重支持型であっても炭素繊維シート埋設ジョイントに比べてゴムジョイントは疲労耐久性が優れている。ゴムジョイントは、断面積が最も小さいので、後打ちコンクリートのボリュームが最も大きく、ジョイント取付け部全体の剛性が最も大きいと言えるので、ジョイントを含む取付け部全体の剛性の大きさが耐久性に差をもたらしたと推察できる。さらに、ジョイントの中間層にも遊間を跨ぐ様に鋼板が挿入されているので、橋軸方向への荷重分布幅が広く作用する。また、タイヤが遊間を跨ぐ際に衝撃を緩和する効果も期待できるなどによって、疲労耐久性を向上させていると推察できる。

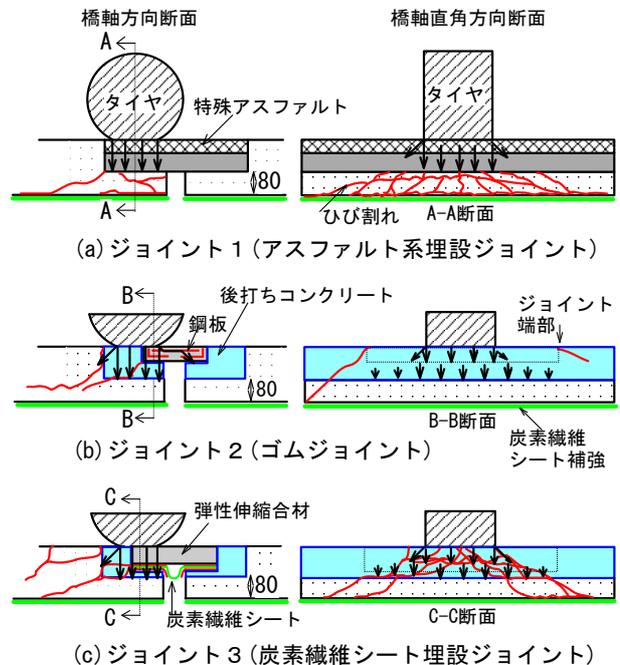


図-19 伸縮装置取付け部の荷重分布概念図

5. まとめ

3 種類のジョイントに対して、床版下面を炭素繊維シートで補強した場合の延命効果を検討した結果、以下の知見が得られた。

- ① 荷重分散型特殊アスファルト系埋設ジョイントでは、約 5 倍延命する効果が認められた。
- ② 荷重支持型炭素繊維シート埋設ジョイントでは、1.5 倍の延命効果が認められた。
- ③ 荷重支持型のゴムジョイントでは、補強なしの

25.9 年に対して、補強ありは 24.8 年以上で終了したので延命効果は直接比較できないが、たわみや切断面のひび割れの状態を総合的に評価すると、荷重支持型炭素繊維シート埋設ジョイント程度の効果は期待できるものと推察される。

- ④ IIS 重錘落下たわみ法によるジョイント取付け部床版の剛性評価法では、静的載荷の弾性たわみと高い相関関係が認められ、床版同様に簡便安価な点検手法に成り得ると考えられる。
- ⑤ これまでの一連の疲労耐久性に関する検討結果から、ジョイントの種類と切欠き部の床版厚さおよび一方 100kN 換算輪数での関係を S-N 線図で提示した。これにより、任意の舗装計画

交通量区分に対する期待する耐用年数と満足するジョイントの種類および切欠き部の床版厚さとの関係を明確にした。

6. あとがき

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することが分かった。しかし、剛性の小さい炭素繊維シートでの補強では、耐久性の高い炭素繊維シート埋設ジョイントやゴムジョイントに対しては、十分とはいえない。剛性の高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アップする対策工法が効果的と考えられる。

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) 関口幹夫、橋原正周、堀川都志雄：ゴムジョイント付き R C 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
- 3) 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 R C 床版の輪荷重走行疲労実験、構造工学論文集 Vol. 56A、pp. 1206-1216、2010. 3
- 4) 埋設型炭素繊維シートジョイント付き R C 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
- 5) 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
- 6) (社)日本道路協会：舗装設計便覧（平成 18 年 2 月）、pp. 30、2006. 2
- 7) 岡田真澄、大西弘志、松井繁之、小林朗：格子配置された炭素繊維シートによる床版補強効果、第二回道路橋床版シンポジウム講演論文集(土木学会)、pp. 175-180、2003. 6
- 8) 松井繁之：橋梁の寿命予測、安全工学 Vol. 30、No.6、pp. 432-440、2004. 10
- 9) 関口幹夫、宍戸薫、森俊介：高井戸陸橋 R C 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