

プレキャスト床版の Broom 継手構造の輪荷重走行による疲労耐久性(その1)

Fatigue Durability for precast deck slabs with broom joints under wheel tracking test for precast bridge deck (1)

直野 和人*, 戸川 邦彦*, 藤井 堅**, 谷口 義則***, 堀川 都志雄****

Kazuto Naono, Kunihiko Togawa, Katashi Fujii, Yoshi nori Taniguchi, Toshio Horikawa

*極東工業(株)開発室(〒732-0052 広島市東区光町 2-6-31)

**工博 広島大学大学院助教授 工学研究科(〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1)

***大阪工業大学 研究員(〒535-0002 大阪市旭区大宮 5-16-1)

****工博 大阪工業大学教授 工学部都市デザイン工学科(〒535-0002 大阪市旭区大宮 5-16-1)

The opportunities to use precast bridge decks have increased with demands to simplify work, reduce labor saving, and shorten the duration of construction work. In Japan, loop joints are being used more frequently in the joining of precast decks, however this method presents considerable difficulties in execution for reasons such as the complexity involved in forming the reinforcing bar loops, and the difficulty of inserting the main reinforcing bar in the loops on-site. In an effort to improve the difficulties of such work, the authors have developed a new joint structure which resembles the conventional lap joint, and has been termed the 'broom joint' for the purposes of this paper. From the test, it is concluded that the new joints can be applicable to a joint of practical precast bridge decks because of its enough strength and durability comparing loop joint.

Key Words: precast bridge deck, joint structure, fatigue, wheel loading test

1. はじめに

近年、コスト縮減や現場施工の合理化の観点から、鋼少数主桁橋の床版としてプレキャスト床版が採用されている。この床版の接合は床版の支間長に比べて幅の狭い領域に限定されているため、主として Loop 継手が多用されている。しかし、Loop 継手はプレキャスト床版製作時においては、鉄筋の Loop 加工や型枠作業が煩雑であること、また架設時には Loop 鉄筋内部に配置される主鉄筋の現場挿入が難しいことなど、の問題点が顕在化している。

これらの問題点を改善するために、筆者らは直鉄筋で構成される単純かつ簡単な継手構造を開発した。この継手(以下、Broom 継手と呼ぶ)は、プレキャスト床版の端面と直交するように出ている打ち継目部の鉄筋が、直鉄筋あるいは L 型に曲げ上げられており、それぞれの鉄筋同士は接触しない継手構造で、施工性・経済性の向上が期待できる。これまでに、Broom 継手の性能を確認するために、静的曲げ試験¹⁾、静的せん断試験²⁾、定点疲労試験³⁾を行って、鉄筋の定着長や床版厚と継手部との関連事項の調査検討を踏まえ、Loop 継手と比較して十分な強度を有することを確認した。しかし実際の自動車荷重走行による床版の力学的特性は、定点疲労荷重と大きく異なることが指摘されている⁴⁾。継手構造においても、床版一般部と同様に、輪荷重の影響を直接受けるので、この継手を実橋に適用する場合には、実際の荷重状態を想定した走行実験により疲労耐久性を明らかにしておく必要がある。

本研究では空気入りタイヤを介した輪荷重走行試験機により、Broom 継手および Loop 継手の疲労特性試験を実施して、たわみ、打ち継目部の開閉量・段差量、鉄筋のひずみなどがどのような経時変化にて損傷を受けるのかを調べた。また、ひび割れ損傷を受けた RC 床版の打ち替えには、耐久性を備えた PC 床版が用いられることが多い。その際工期や費用の面から一時的に新床版と旧 RC 床版を接合して併用が余儀なくされる場合もある。このことを想定して実験供試体の一部を RC 床版から PC 床版に置換え、再度輪荷重走行載荷試験を行い補修工事を意識した実験を行った。

なお、走行荷重は、本試験機がタイヤ荷重方式であり輪荷重の大きさには制約があるため、本研究では実測された過積載荷重と同程度の値に限定している。

2. 輪荷重走行載荷試験

2.1 実験供試体

図-1 に RC 床版での実験供試体を示す。寸法は、試験空間の容量を考慮して、11,200×3,200×200mm とし、床版支間は、2,800mm である。主桁とプレキャスト床版の接合は、主桁である H 鋼(400mm)の上フランジのウェブ直上に 500mm 間隔でスタッドジベル(φ22×150)を溶植し、プレキャスト床版を主桁上に敷設した後、無収縮モルタルを注入して一体化を図った。また、供試体の橋軸方向の端部には、端横桁を設置した。そして、図-1 に示す

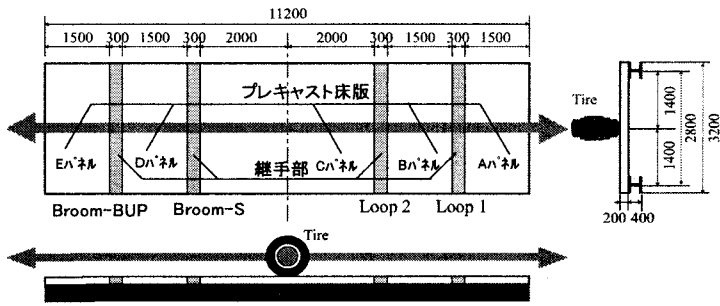


図-1 実験供試体 (RC 床版)

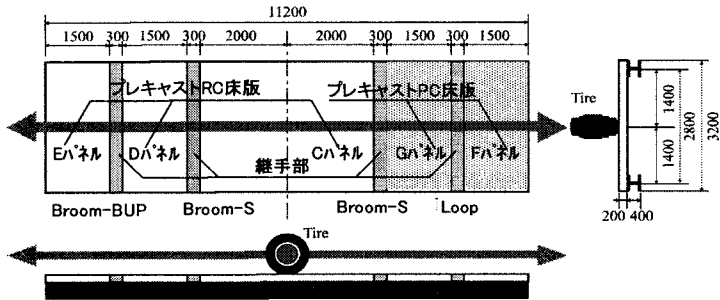


図-2 実験供試体 (PC 床版)

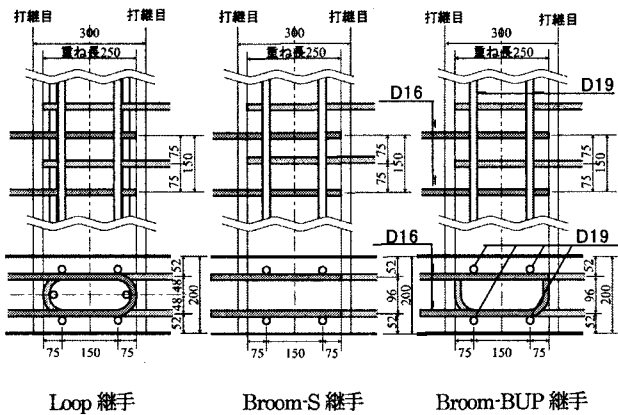
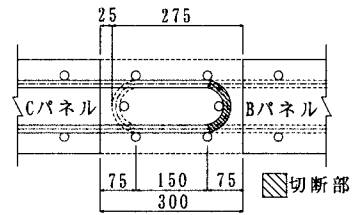


図-3 継手図

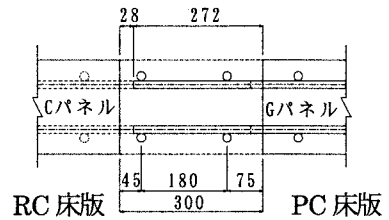
ように、5つのRC床版供試体(右から順にA~Eパネルと称する)を連結させるために、4つの継手を設け、左からBroom継手L型鉄筋(以下、Broom-BUPという)、Broom継手直鉄筋(以下、Broom-Sという)、2つのLoop継手とした。また、図-2にPC床版での実験供試体を示す。RC床版のAおよびBパネルをPC床版のFおよびGパネルに置換え、FパネルとGパネルの継手をLoop継手、GパネルとCパネルの継手をBroom-S継手とした。PC床版は、橋軸直角方向に引張を一部許容するPRC構造とした。橋軸直角方向へのプレストレスの導入は、PC鋼棒を用いてポストテンション方式にて行った。PC鋼棒はφ23mm(B種1号)を使用し、300mmピッチで配置した。初期緊張力は0.45kN/mm²で、PC鋼棒1本あたり187kNである。

次に各継手の構造を図-3に示す。鉄筋径は各継手とも主筋D19、配力筋D16を用いた。PC床版へ置換えたGパネルとCパネルの継手には、図-4のようにCパネルのLoop継手を削り出し、ループ状の鉄筋を直鉄筋に加工しBroom-S継手とした。なお、継手内部の鉄筋の重ね継手長は、250mm(鉄筋径15φ)とした(図-3参照)。

また、床版コンクリートの材料特性を表-1に示す。



RC 床版



RC 床版 PC 床版

図-4 Broom-S (G, Cパネル間の継手構造)

表-1 床版コンクリート材料特性

	圧縮強度 N/mm ²	弾性係数 N/mm ²	ポアソン比
プレキャスト床版	53.6	3.74 × 10 ⁴	0.20
継手部	37.3	3.62 × 10 ⁴	0.22

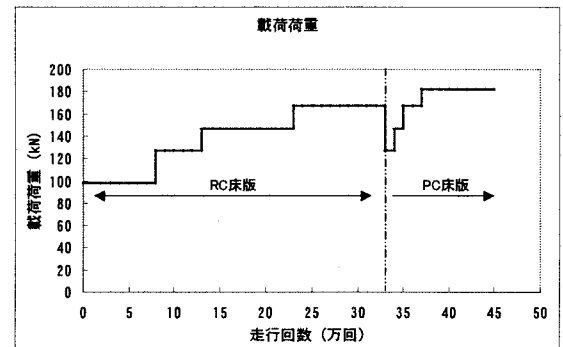


図-5 荷重プログラム

2. 2 実験方法

(1) 載荷方法

本実験では、図-1および図-2に示すように輪荷重が床版支間中央を橋軸方向に走行するように供試体を配置した。走行試験の荷重プログラムを図-5に示す。

図-5に示すように、RC床版における荷重はまず道路橋示方書の設計荷重98kN、次に衝撃係数を考慮し127kN、さらに20%および40%の過積載を考慮してそれぞれ147kNおよび167kNと増加させた。また、167kNは実橋で計測されている最大値とほぼ一致している。なお、輪荷重のタイヤは2万回まではトラック用ダブルタイヤを用いたが、それ以降はジャンボジェット用タイヤに切り替え33万回まで走行試験を行った。その後、PC床版に置換えて127kNから186kNまで荷重を上昇させ、186kNの高荷重を中心に載荷させた。PC版に置換え後の総走行回数は12万回である。(写真-1)

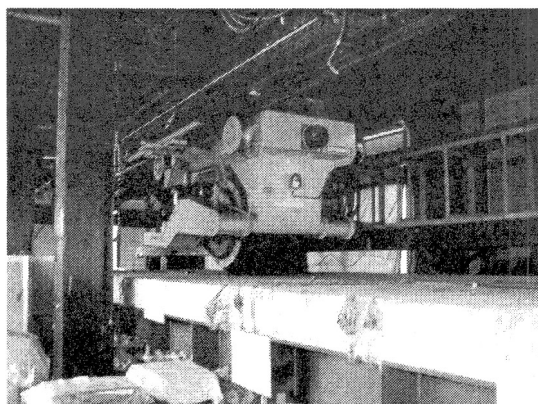


写真-1 載荷試験装置

3. 実験結果と考察

3.1 実験結果の解析手法

本走行実験では、階段状の載荷状態であるため、床版のたわみ等の劣化過程を直接議論するには無理がある。そこで、弾性成分を総成分と残留成分の差から求め、それぞれの載荷荷重で除した後、B活荷重 98kN に換算することで、ひび割れ損傷を受けた RC 床版の劣化過程を評価する手法を用いる。

これにより、床版の復元力を示す弾性成分は、荷重の大きさに依存しないので、各荷重段階における劣化度が明らかにできる。

3.2 RC 床版

(1) 静的載荷による弾性たわみ

図6~10 に各継手および継手なしの場合における弾性たわみ (98kN 換算) の経時変化を示す。図中の全断面有効時および引張無視時の計算値は、端横桁の変位を考慮した級数解より計算した値である。

実験開始時におけるたわみ量は、各計測値とも全断面有効とした値とほぼ同じであり、載荷荷重が 127 kN に上昇する 8 万回からたわみの増加傾向が見られる。この現象は、走行回数の増加につれて、床版下面の引張側にひび割れが発生し、徐々に進展するために曲げ剛性が低下することを示す。しかし、実験終了時の弾性たわみは、断面の引張側を無視した場合のたわみの 40%程度にとどまっている。供試体の中央線に関して対称に位置する Broom-BUP と Loop1 では、Broom-BUP の方が実験終了時では若干大きくなっているが、Broom-S と Loop2 ではほとんど差はない。

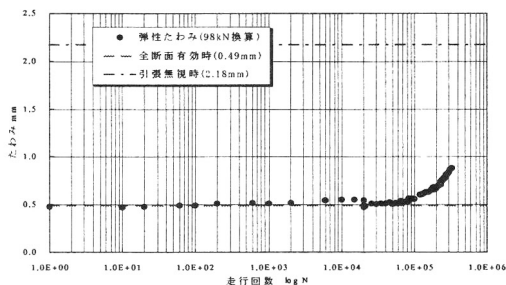


図-6 床版中央点のたわみ

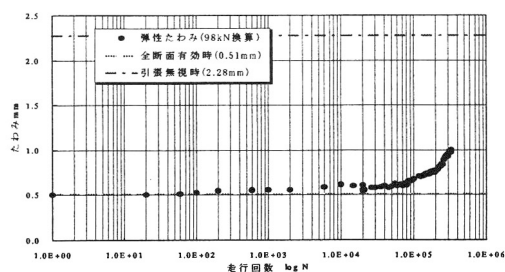


図-7 Broom-BUP のたわみ

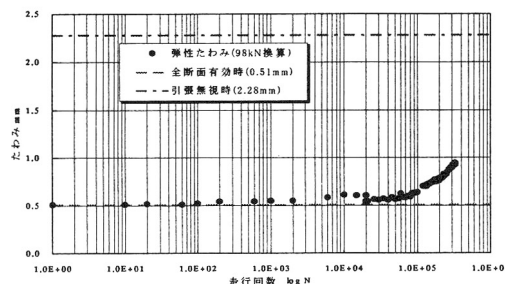


図-8 Loop1 のたわみ

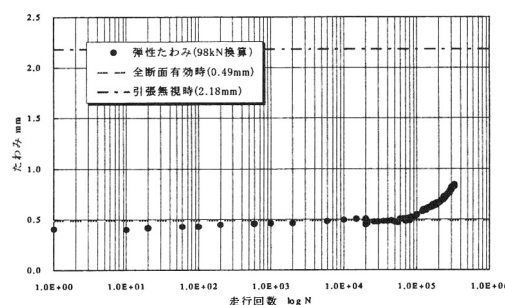


図-9 Broom-S のたわみ

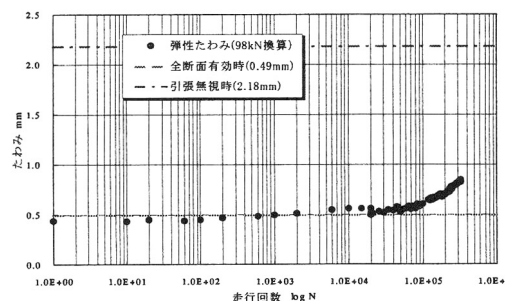


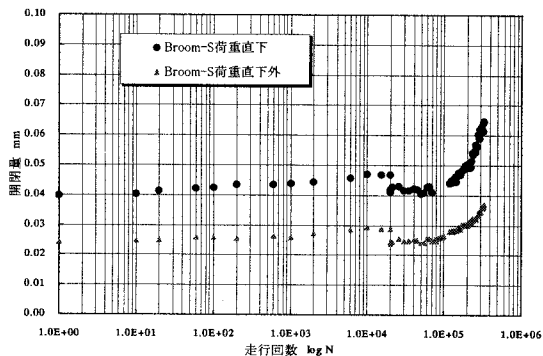
図-10 Loop2 のたわみ

(2) 弾性開閉量

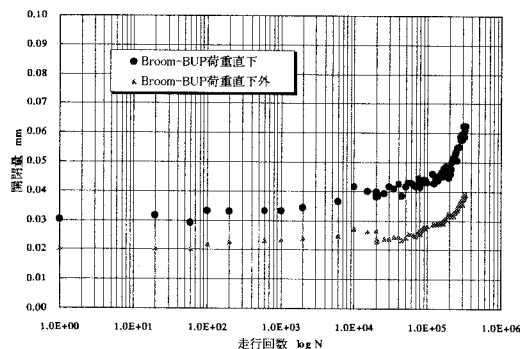
一般に、ひび割れの開閉量は床版に作用する曲げモーメントに影響されると言われている。図-11 に、各継手目地部の弾性開閉量 (98 kN 換算) の経時変化を示す。また、開閉量の測定位置は、輪荷重載荷直下と直下外 (走行中心線より 500mm 離れた位置) の 2 箇所である。なお、図-11 の開閉量は、各継手における目地部の左右の開閉量測定値の平均値をとっている。

載荷直下での実験終了時の弾性開閉量は、Broom-S では 0.065mm、Broom-BUP で 0.063mm、Loop2 は 0.060mm であった。そして荷重が 167 kN に上昇する走行回数 23 万回から開閉量が急増している。因みに、各継手の総開閉量は、Broom-S で 0.132mm、Broom-BUP では 0.124mm、

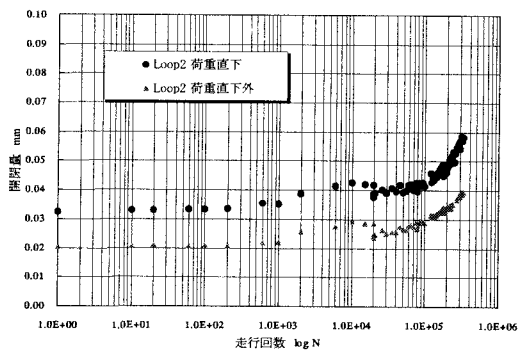
Loop2 は 0.112mm であった。 荷重直下外では, Broom-S は 0.037mm, Broom-BUP は 0.040mm, Loop2 は 0.040mm であった。 すなわち, 弾性開閉量はいずれの継手でもほぼ同等であることがわかる。 荷重直下外での弾性開閉量は, その値が小さいことから, 輪荷重は 45° 分散の領域内に集中する傾向にあると言える。



a) Broom-S



b) Broom-BUP

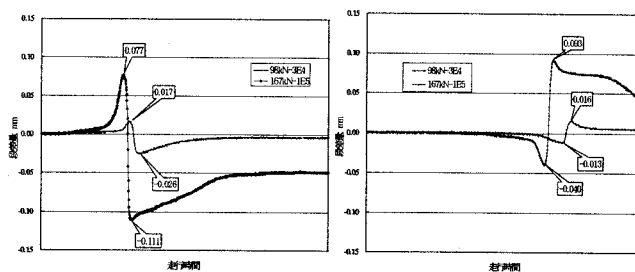


c) Loop2

図-11 継手目地部の弾性開閉量

(3) 輪荷重走行時の段差量

図-12 に Broom-S と Loop2 との 98 kN-3 万回時と 167 kN-10 万回 (累計 33 万回) 時における走行時の段差量を代表として示す。 98 kN-3 万回時での振幅は, Broom-S が 0.043mm, Loop2 が 0.029mm, さらに 167 kN-10 万回時では Broom-S が 0.188mm, Loop2 が 0.133mm であり, Broom-S の方が Loop2 よりも約 41% 程度大きくなる。 すなわち, 鉛直方向のせん断力に対する抵抗力は Loop2 に比べて小さいと考えられる。 既往の RC 床版での走行試験によれば終局時の段差量は 0.3mm であることを考慮すると小さい値にとどまっている。



a) Broom-S

b) Loop2

図-12 走行時の段差量の挙動

(4) 輪荷重走行時の橋軸方向の鉄筋ひずみ

継手部の疲労耐久性を検討する上で重要な物理量の 1 つとして, 鉄筋に作用する付着応力が挙げられる。 しかし, 付着応力を計測することは困難であるため, 鉄筋のひずみ値よりこれらの大きさを推定することが考えられる。 そこで, 鉄筋に溝加工を施し, 溝部にひずみゲージを 5~10mm 間隔に貼付した。

図-13~15 に各継手における橋軸方向の下側の鉄筋ひずみの挙動を示す。 測定位置は各継手部の目地部を挟んだ±90mm の個所である。 各継手での 127 kN-5 万回 (累計 13 万回) 時と 167 kN-10 万回 (累計 33 万回) 時での鉄筋ひずみの挙動の変化を比較している。

各継手の鉄筋ひずみは輪荷重が直上に位置するとき最大となるが, 下側鉄筋の一部では荷重直下の前後で圧縮作用が現れており, この現象から鉄筋の付着応力も交番することがわかる。 振幅の最大値は Loop1 が 305 μ, Broom-BUP が 219 μ, Broom-S が 270 μ であった。 とくに, Broom-S では輪荷重の走行がもたらす疲労作用によって, Broom-S の継手側のひずみが床版内のひずみ値よりも大きくなっているが, 各継手とも差異はない。

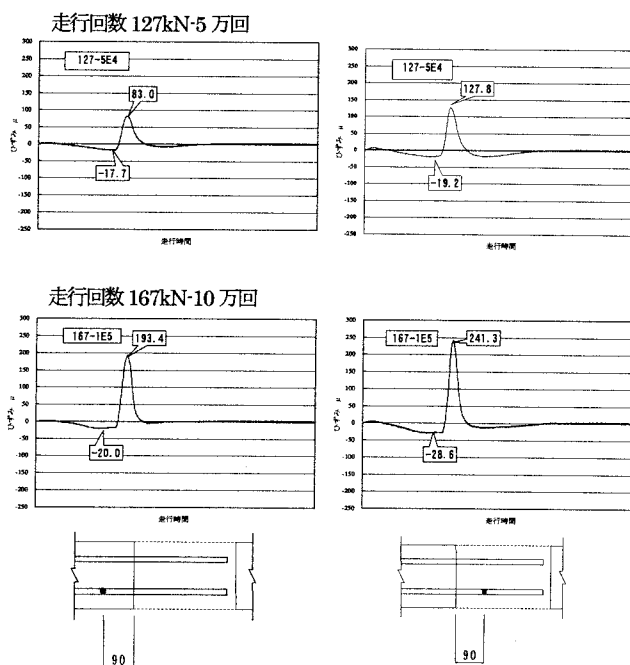


図-13 走行時での橋軸方向の鉄筋ひずみ (Broom-S)

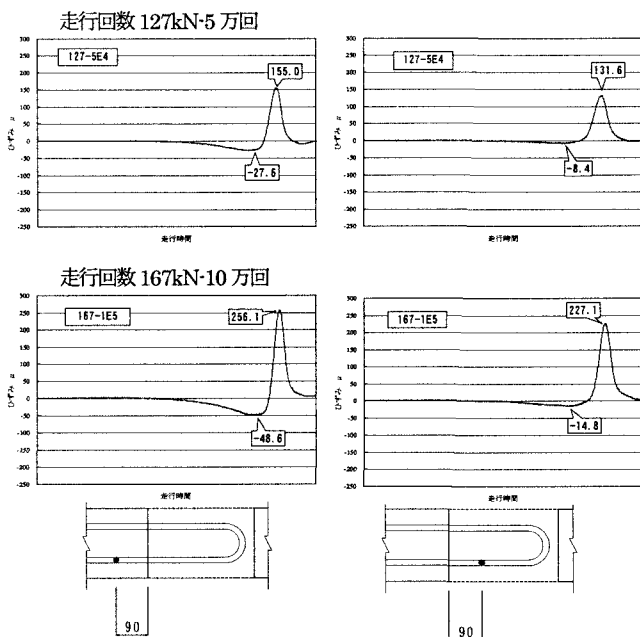


図-14 走行時での橋軸方向の鉄筋ひずみ (Loop1)

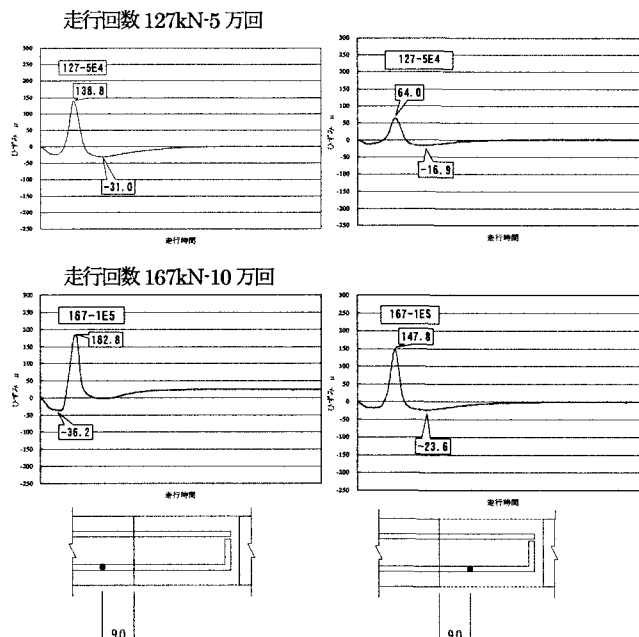


図-15 走行時での橋軸方向の鉄筋ひずみ (Broom-BUP)

3. 3 PC床版

(1) 静的载荷による弾性たわみ

図-16, 17 に各継手の弾性たわみ (98kN 換算) の経時変化を示す。

各計測値とも、PC 床版置換え時から全断面有効時の値を下回る値で推移し、载荷荷重が 186kN に上昇する 4 万回から若干のたわみの上昇が見られるが、全断面有効時以下の値である。また、Broom-S (C パネルと G パネル) と Loop (G パネルと F パネル) の継手による差は見られな

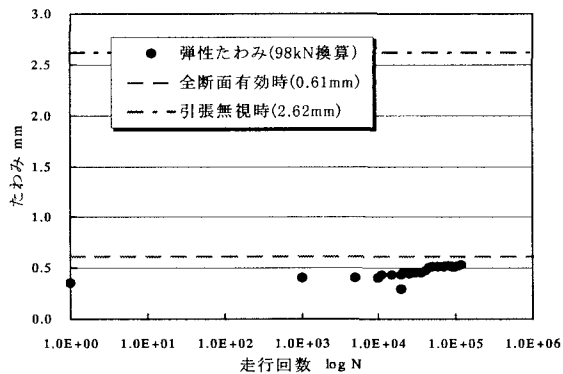


図-16 Loop のたわみ

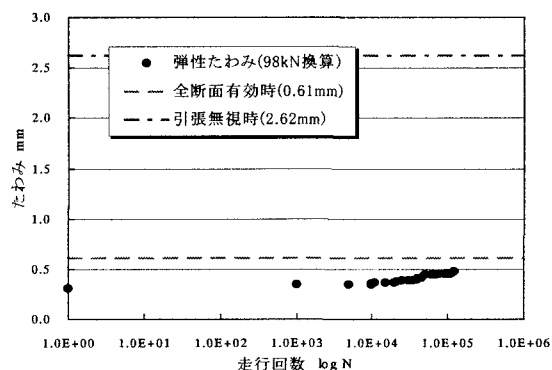
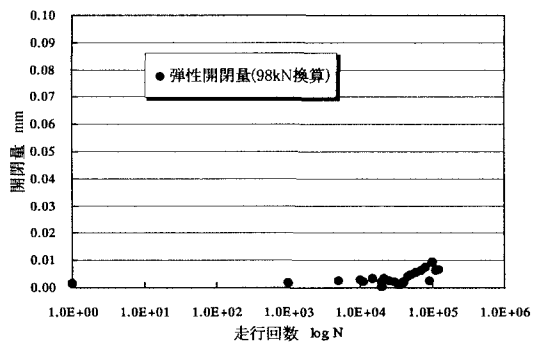


図-17 Broom-S のたわみ

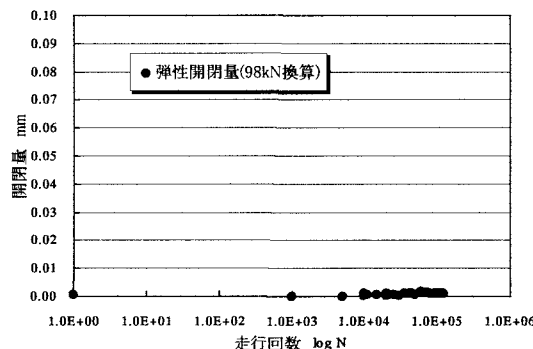
った。

(2) 弾性開閉量

図-18 に各継手目地部の弾性開閉量 (98kN 換算) の経時変化を示す。Loop 継手にて载荷荷重が 186kN に上昇する 4 万回から若干の弾性開閉量が見られるが、その値は 0.01mm 以下である。また、Broom-S 継手では弾性開閉量が見られなかった。



a) Loop



b) Broom-S

図-18 継手目地部の弾性開閉量

(3) 輪荷重走行時の段差量

図-19 に Loop と Broom-S との 186 kN-8 万回 (累計 12 万回) 時における走行時の段差量を示す。両者の振幅は、Loop が 0.027mm, Broom-S が 0.010mm であった。

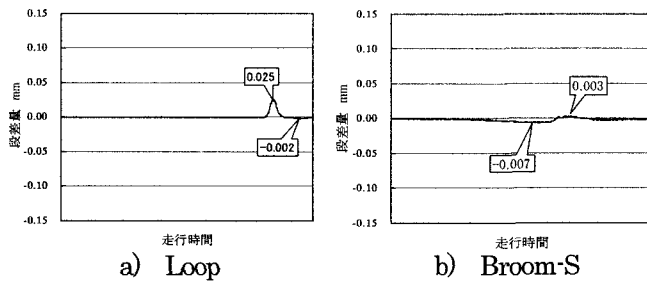


図-19 走行時の段差量の挙動

(4) 輪荷重走行時の橋軸方向の鉄筋ひずみ

図-20,21 に 186kN-8 万回 (累計 12 万回) 時における各継手の橋軸方向の下側の鉄筋ひずみの挙動を示す。測定位置は各継手部の目地部を挟んだ±90mm の個所である。各継手の鉄筋ひずみは輪荷重が直上に位置するとき最大となるが、下側鉄筋の一部では荷重直下の前後で圧縮作用が現れており、鉄筋の付着応力も交番することがわかる。この現象は RC 床版と同じ挙動である。振幅の最大値は、Loop が 137 μ , Broom-S が 143 μ であった。RC 床版と同様に Broom-S の継手側のひずみが床版内のひずみ値よりも大きくなっていることより、継手側の鉄筋の付着抵抗力に注意を要するが、各継手とも差異はない。

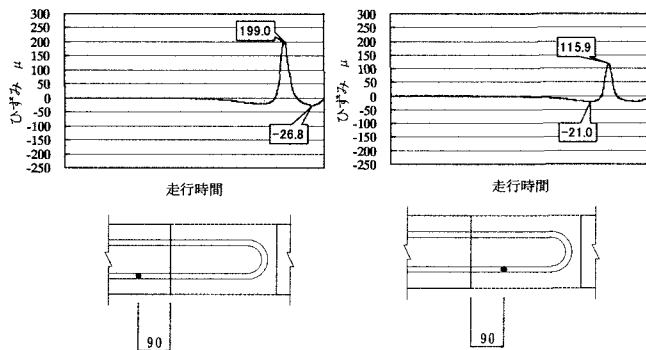


図-20 走行時での橋軸方向の鉄筋ひずみ (Loop)

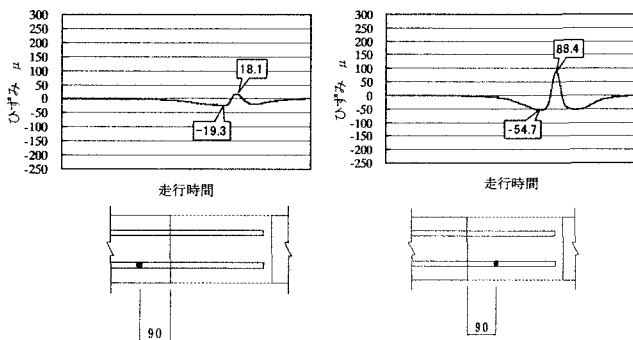


図-21 走行時での橋軸方向の鉄筋ひずみ (Broom-S)

4. まとめ

輪荷重走行試験の結果から、Broom 継手の疲労特性をまとめると以下の通りである。

- ① 床版の弾性たわみは、RC 床版では全断面有効時の計算値とほぼ一致しており、走行回数の増加に伴い、継手なしおよび各継手部のたわみは増加する傾向を示すが、急激な変化は見られない。このことから、Broom-BUP および Broom-S の走行繰返荷重による曲げ剛性の低下は、Loop 継手や継手のない一般部と同等である。
- ② 弾性開閉量は、最終荷重において各継手とも差異は見られなかった。そして、RC 床版では各継手とも荷重が 167kN になるときから開閉量の増加傾向が見られる。また、輪荷重の載荷範囲外では、各継手とも劣化のスピードは鈍ってくる。このことから、維持管理の立場からすれば自動車走行位置を中心にした観察が有効であるといえる。
- ③ 走行時の段差量の振幅は、RC 床版では各継手とも 0.133mm~0.188mm であり、RC 床版の終局時の段差量 0.3mm には達していない。また、PC 床版では、0.010mm~0.027mm 程度の小さな段階に留まっている。
- ④ 走行時における橋軸方向の床版下側に位置する鉄筋ひずみは、荷重直下ににて最大の引張作用を受けるが、直下前後では圧縮作用が発生するため、鉄筋ひずみ応力は交番する。したがって、継手部鉄筋が引張力を受ける引抜き疲労試験による付着応力の劣化性状を確認する必要がある。
- ⑤ RC 床版と PC 床版におけるの Loop 継手部を、弾性たわみ、弾性開閉量、走行時の段差量および鉄筋ひずみにて比較すると、PC 床版における Loop 継手部の疲労耐久性が大きいことがわかる。また、補修工事を意識した RC 床版と PC 床版を接合した Broom-S 継手は、PC 床版を接合した Loop 継手と同等の疲労耐久性を有する。

参考文献

- 1) 藤井堅, 戸川邦彦, 平田雅也: プレキャスト床版の新しい継手構造に関する実験的研究, プレストレストコンクリート技術協会第9回シンポジウム論文集, pp405~410, 1999.
- 2) 岩田雅靖, 平田雅也, 藤井堅: プレキャスト床版の新しい継手構造のせん断耐力, プレストレストコンクリート技術協会第10回シンポジウム論文集, pp327~332, 2000.
- 3) 戸川邦彦, 岩田雅靖, 藤井堅, 中茂康則: プレキャスト床版の新しい継手構造に関する定点載荷疲労試験, プレストレストコンクリート技術協会第11回シンポジウム論文集, pp123~128, 2001.
- 4) 前田幸雄, 松井繁之: 輪荷重移動装置による道路橋床版の疲労に関する研究, 第6回コンクリート工学年次講演会論文集, p221~224, 1984.