

プレキャスト床版の新継手構造の輪荷重走行試験

Cyclic wheel Loading test on new Joints for precast bridge deck

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

Kazuto Naono, Kunihiko Togawa, Katashi Fujii, Toshio Horikawa, Yoshinori Taniguchi

*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)

***工博 大阪工業大学教授, 工学部土木工学科 (〒535-0002 大阪市旭区大宮 5-16-1)

****大阪工業大学, 工学部土木工学科 (〒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. A joint in which the ends of the reinforcing bar in the broom joint are bent upwards (BUP) has also been devised. These joints have proven to be both readily usable on-site and economical and to have enough strength through static bending, static shear, and fixed-point fatigue tests. However, introduction into practical use will require verifying the strength of the new joints by wheel loading test. 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

キーワード: プレキャスト床版, 継手構造, 疲労, 輪荷重走行試験

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のRCおよびPC床版が採用されている。この種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, またプレキャスト床版架設時には, 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⁾, 定点載荷疲労試験³⁾を行って, 鉄筋の定着長の長さや床版厚と継手部との関連事項から, 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, 定点疲労載荷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, ひび割れ, 打ち継目部の開閉量・段差量, 鉄筋のひずみを調べた。とくに, 輪荷重走行中の挙動については, Broom継手のみならずLoop継手においても未だ明らかにされていないので, 本研究ではこの点に注目して輪荷重の移動にともなう挙動を明示する。

なお, 本試験機はタイヤ荷重方式であるため, 輪荷重の大きさには制約がある。そこで, 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。供試体の対称性よりBroom-BUPとLoop1が、またBroom-SとLoop2が同じ荷重条件となる。

各継手の構造を図-2に示す。鉄筋径は、各継手とも主筋D19、配力筋D16を用いた。なお、継手部内の鉄筋の重ね継手長は、250mm（鉄筋径15φ）とした（図-2参照）。

また、床版コンクリートの材料特性を表-1に示す。

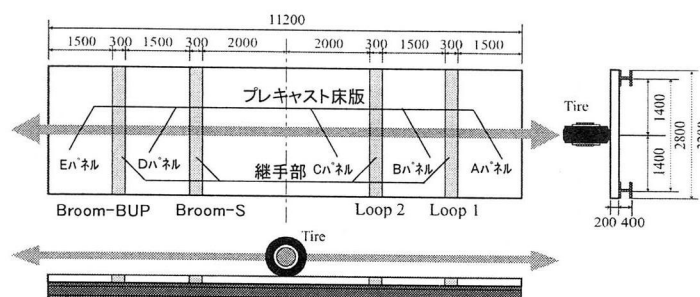


図-1 実験供試体

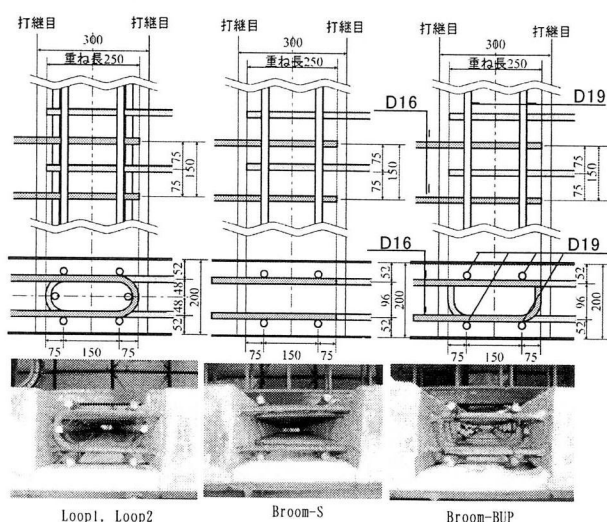


図-2 継手図

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

2. 2 実験方法

(1) 荷重方法

本実験では、図-1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-3に示す。

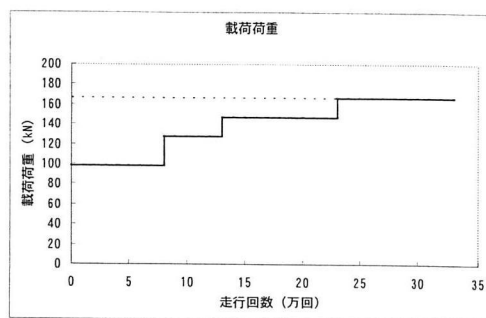


図-3 荷重プログラム

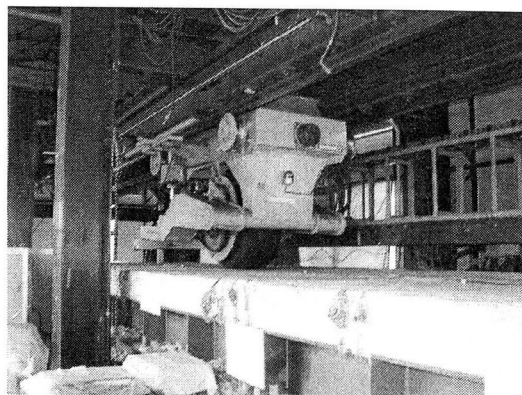


写真-1 荷重試験装置

図に示すように、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は実橋で計測された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。（写真-1）

(2) 計測項目

各荷重荷重で所定の走行回数後、輪荷重装置を停止させて図4に示す各床版中央部および継目部において静的荷重を行い、床版のたわみ、継目目地部の開閉量・段差量、鉄筋ひずみ等の経時変化を計測した。また、輪荷重走行中のこれらの挙動も随時計測した。なお、継手部の鉄筋ひずみの計測では、鉄筋の側面に約4mm×3mmの溝を加工した上で、溝内にひずみゲージを貼付し、鉄筋の付着機能の逸失を防止した。



図-4 輪荷重の荷重位置（静的）

(3) 設計値の比較

供試体中央部での各設計値を表-2 に示す。各設計式の載荷荷重は、道路橋示方書の B 活荷重 98kN である。

ここに、

道示単純版：道路橋示方書単純版の式により算出

道示連続版：道路橋示方書連続版の式により算出

級数解：端横桁の変形を考慮した解析

FEM解：立体要素を用いた FEM 解析（図-5 に要素分割を示す）

この結果、実測値との比較には、級数解を用いることとし、継手部の位置に対応させて級数解による計算値を求めて、以下の図中に示している。なお、FEM解析では、端横桁のみならず橋軸方向と平行に設置された主桁の変形も考慮しているが、主桁と床版との結合条件が剛な状態になっているため、級数解による値よりも床版のたわみは小さくなっている。

表-2 設計値の比較

	床版支間方向			床版支間直角方向			δ
	M	σ_c	σ_s	M	σ_c	σ_s	
	kN・m/m	N/mm ²	N/mm ²	kN・m/m	N/mm ²	N/mm ²	
道示 単純版	44.59	—	162	31.36	—	164	—
道示 連続版	34.57	—	125	25.09	—	131	—
級数解	36.75	—	133	32.34	—	169	-0.49
FEM解	28.65	-4.3	104	25.51	-3.8	133	-0.39
実測値	走行試験前の荷重98kNにて静的載荷時のたわみ値						-0.48

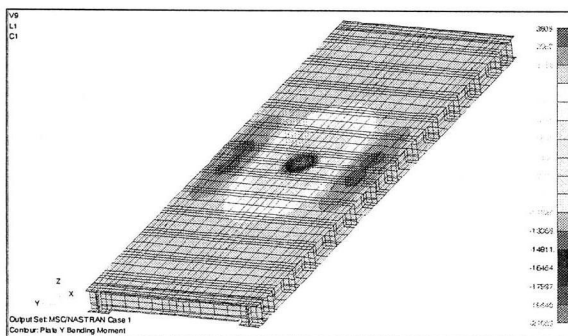


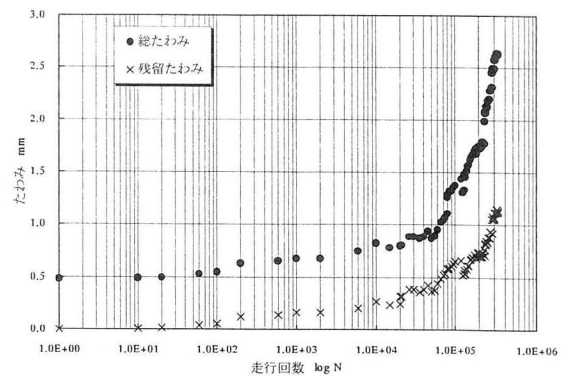
図-5 要素分割

3. 実験結果と考察

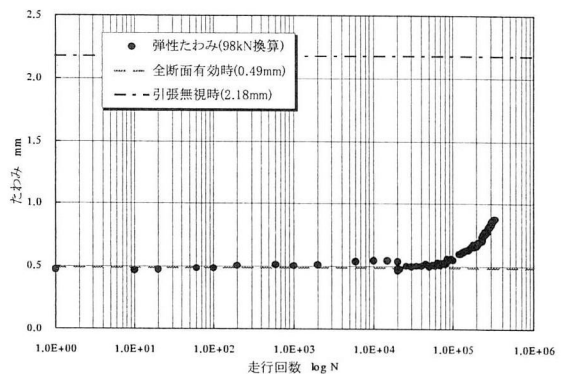
3.1 実験結果の解析手法

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り、これまでひび割れ損傷を受けた RC 床版の劣化過程を検討するために用いられている手法を以下に示す。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。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。

一例として、C パネル中央点の荷重直下での総たわみと残留たわみを示せば図-6 a) のようになり、これから 98kN に換算した弾性たわみを求めると図-6 b) を得る。なお、この点は、継手のない床版一般部の代表点である。すなわち、RC 床版は輪荷重の走行繰返し作用を受けて約 10 万回程度から徐々に劣化傾向を示し、全断面有効時から引張無視時の値に漸増することを意味している。



a) 総たわみおよび残留たわみ



b) 弾性たわみ

図-6 床版中央点のたわみ

3.2 たわみ

(1) 静的載荷による弾性たわみ

継手部は一般部の RC 構造と同一以上の耐久性を保持していなければならないことは言うまでもない。そこで継手部のたわみの経時変化も一般部のたわみと比較する必要がある。図-7~10 に各継手および継手なし（図-6 参照）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、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。これは、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小さくなっているが、Broom-S と Loop2 ではほとんど差はないと推測される。

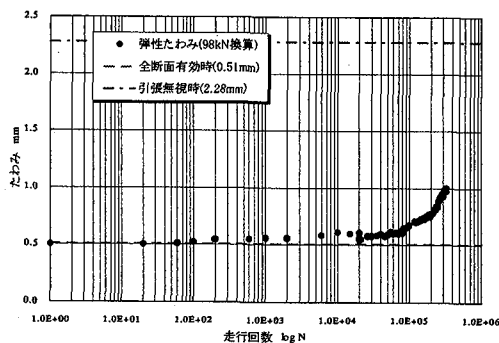


図-7 Broom-BUP のたわみ

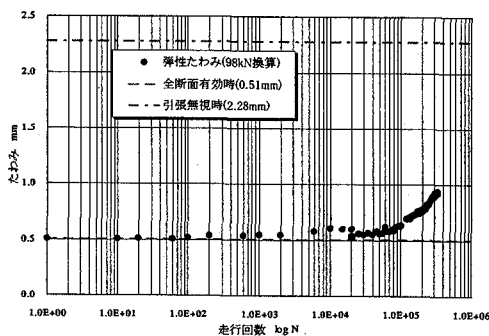


図-8 Loop1 のたわみ

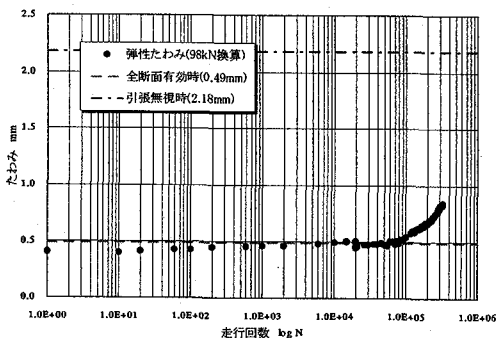


図-9 Broom-S のたわみ

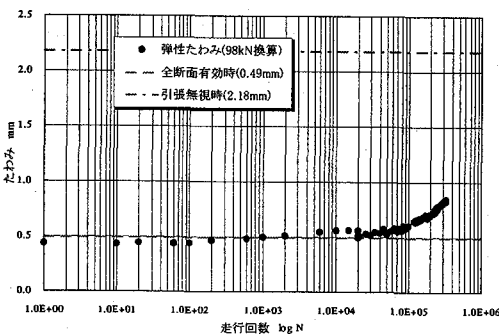
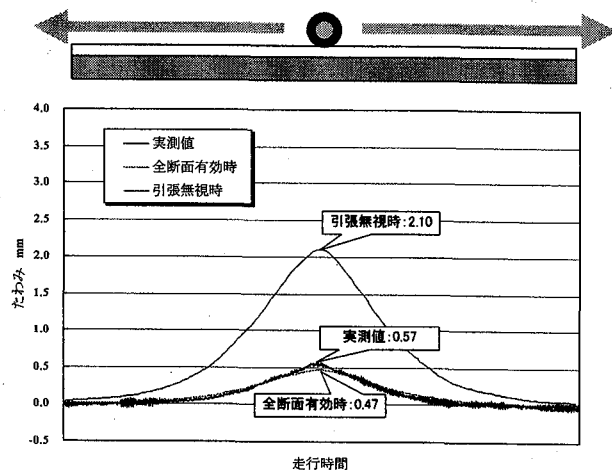


図-10 Loop2 のたわみ

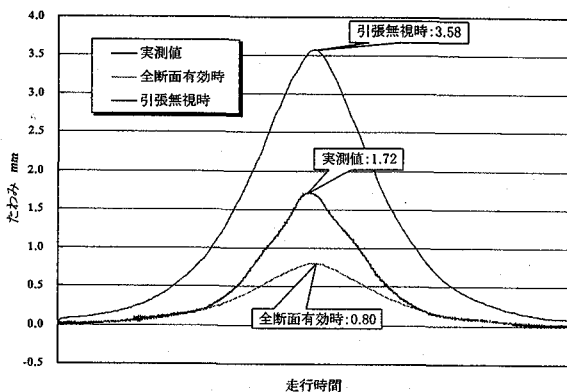
(2) 輪荷重走行時のたわみ

図-11 に継手部なしの輪荷重走行に伴う弾性たわみを示す。測定位置は、Cパネルの中央点である。計測時点毎に、初期化しているので、計測値は、ほぼ弾性成分とみなしてよいと考えられる。なお、輪荷重の走行速度は床版面の粗度の関係から一様ではなく、計測された値の正確さを期するため、図の横軸には走行時間を用いている。

計測値は、98kN・3万回時では、全断面有効とした値0.47mmとほぼ一致し、167kN・10万回時では、全断面有効時の0.80mmから引張側無視時の計算値3.58mmへと移行しつつあり、引張側無視時の値の約50%近くまで達している。



a) 98kN・3万回時



b) 167kN・10万回時: 累計33万回

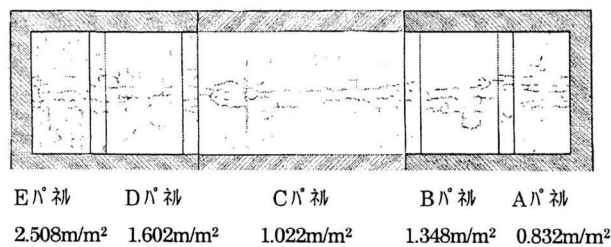
図-11 輪荷重走行に伴うたわみの挙動

3. 3 ひび割れ性状

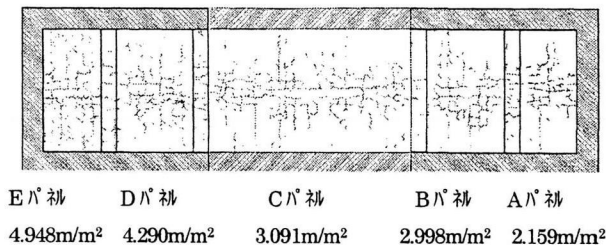
図-12 に、走行回数 98kN・3万回時、147kN・5万回 (累計18万回) 時、167kN・10万回 (累計33万回) 時での床版下面のひび割れ状況とひび割れ密度を示す。

図から床版部では亀甲状のひび割れが進展しているのに対して、継手部では橋軸方向のみにひび割れが発生しているのがわかる。これは、継手部の幅が300mmと短く、橋軸直角方向のひび割れが打継目部に集中したためと考えられる。

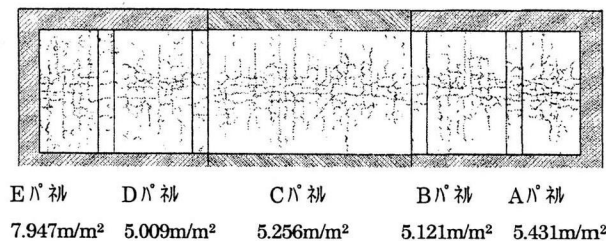
中央床版 (C パネル) のひび割れ密度は、98kN- 3 万回
時 1.022m/m², 167kN- 10 万回 (累計 33 万回) 時 5.256m/m²
であり、約 5 倍程度のひび割れ密度に成長している。



a) 98kN-3 万回



b) 147kN-5 万回 (累計 18 万回)



c) 167kN-10 万回 (累計 33 万回)

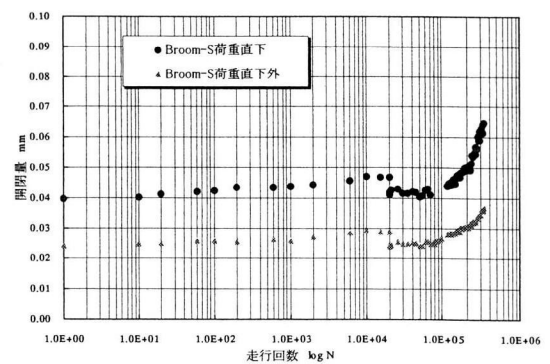
図-12 床版下面のひび割れの進展

3. 4 開閉量

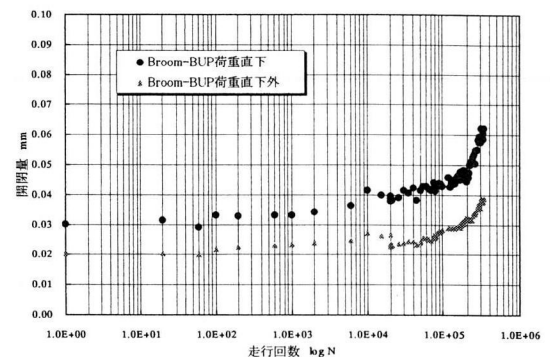
(1) 弾性開閉量

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-13 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 (図-14)) の 2 箇所である。なお、図-13 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。

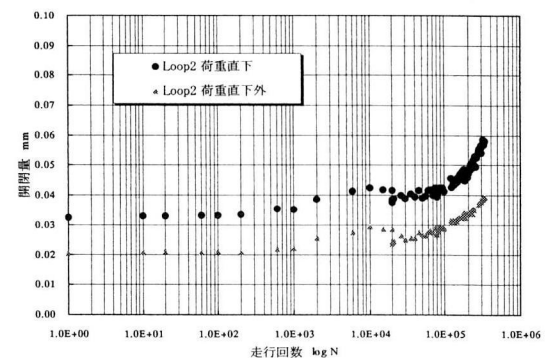
載荷直下での実験終了時の弾性開閉量は、Broom-S では 0.065mm, Broom-BUP では 0.063mm, Loop2 は 0.060mm であった。そして、荷重が 167 kN に上昇する走行回数 23 万回から開閉量が急増している。因みに、各継手の総開閉量は、Broom-S は 0.132mm, Broom-BUP では 0.124mm, Loop2 は 0.112mm であった。載荷直下外では、Broom-S は 0.037mm, Broom-BUP は 0.040mm, Loop2 は 0.040mm であった。すなわち、弾性開閉量はいずれの継手でもほぼ同等であることがわかる。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-13 継手目地部の弾性開閉量

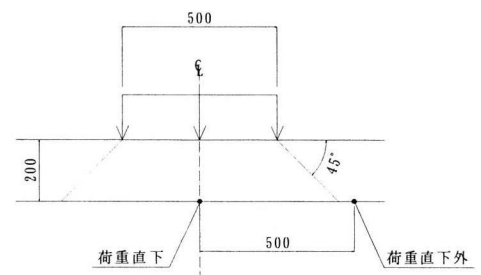


図-14 開閉量測定位置

(2) 輪荷重走行時の開閉量

各継手目地部の走行に伴う開閉量の挙動を図-15 に示す。測定位置は、床版支間中央から橋軸直角方向に50mmはなれた所である。開閉量はRC床版のひび割れ挙動と同様、正および負の振幅を示す性状を有しており、いずれの継手においても直上に輪荷重が位置する場合に最大の開き量となることが判る。

例えば、127kN-5万回（累計13万回）時での最大値と最小値は、Broom-BUPでは0.080mmと-0.007mm、Loop1は0.084mmと-0.012mmである。また、167kN-10万回（累計33万回）時での最大値と最小値は、Broom-Sは0.154mmと-0.012mm、Loop2は0.148mmと-0.006mmである。各継手とも開閉量に負の領域が発生している。過去に実施されたRC床版の走行実験によれば、負の値は閉じる方向を意味しており、この閉じる量が大きくなると、RC床版の引張側のひび割れがスリット化する現象を引き起こすと言われている。本供試体の目地部においても磨耗にともなって次第にせん断力に対する抵抗力が損失すると予想される。しかし、各継手とも127kN-5万回（累計13万回）時と167kN-10万回（累計33万回）時を比較する限り、圧縮量の増加は荷重値に比例して増大する傾向にはなく、本実験においてはスリット化が進行していないと推測される。

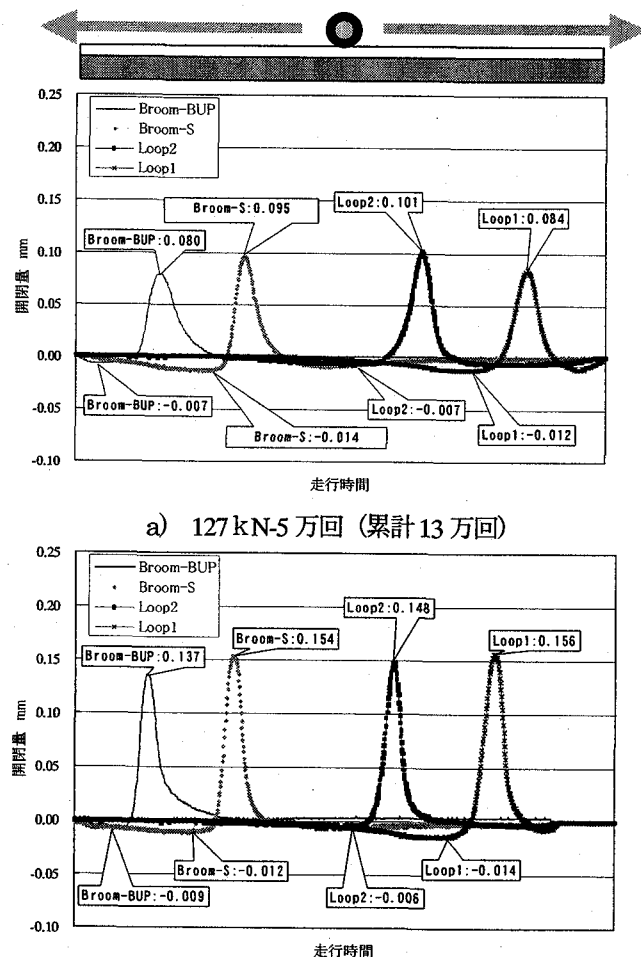


図-15 荷重走行時の目地部開閉量

3. 5 段差量

(1) 弾性段差量

図-16 に、各継手部の左右の目地部における弾性段差量（98kN換算）の経時変化を示す。

各継手部の最終弾性段差量は、Broom-BUPが0.035mm、Broom-Sが0.055mm、Loop2が0.035mmとなり、Broom-BUPはLoop2と同じ値にとどまっている。すなわち、Broom-BUPは曲げ上げによる効果を発揮し、Broom-Sとの間で差が生じたと考えられる。

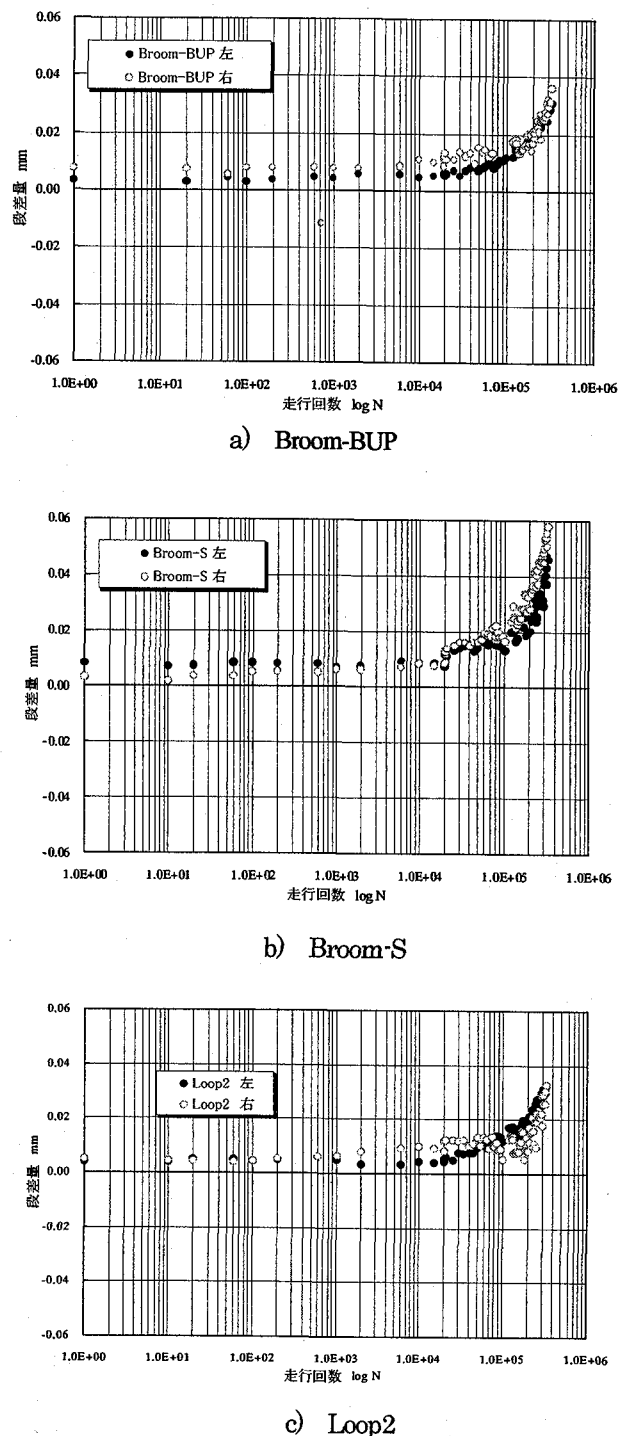
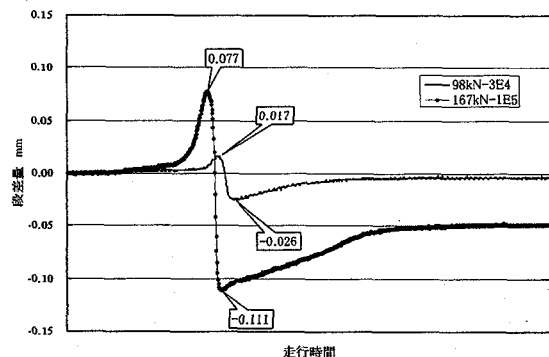


図-16 目地部の弾性段差量

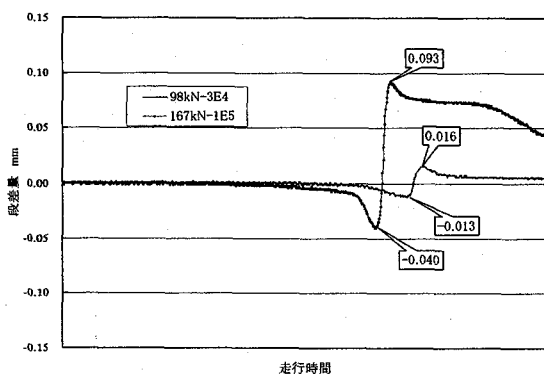
(2) 輪荷重走行時の段差量

図-17 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。因みに両者は試験体の中心線に関して対称点に位置している。

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 に比べて小さいことが判る。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-17 走行時の段差量の挙動

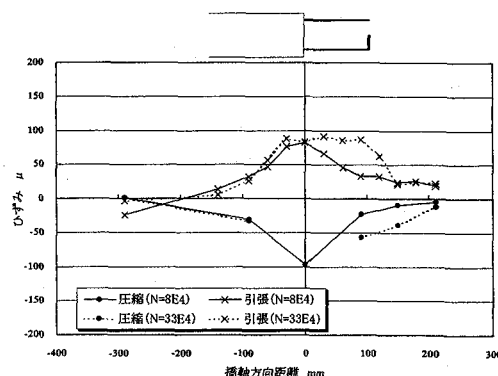
3. 6 鉄筋の弾性ひずみ

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。

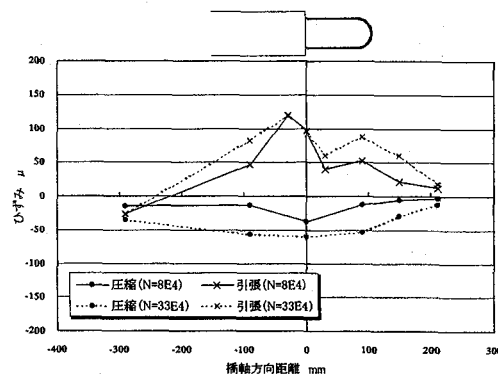
(1) 橋軸方向の鉄筋ひずみの分布状態

図-18 に, 8 万回および 33 万回での静的載荷時の橋軸方向の鉄筋ひずみを示す。グラフの横軸は, 橋軸方向での打継目位置を原点としている。鉄筋ひずみ値は, 各継手部の左・右に配置された 2 つの鉄筋ひずみの平均値である。

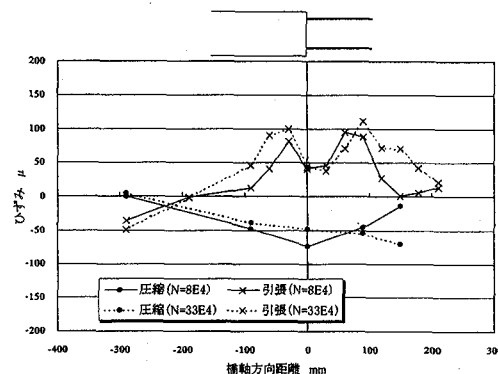
各継手とも, 打継目付近の値が最大で 100~150 μ , 目地部より 200mm 離れた位置ではほぼ零になる。また, ひずみは走行回数の増加につれて増大する傾向にあるが, その分布形状にはあまり変化がない。



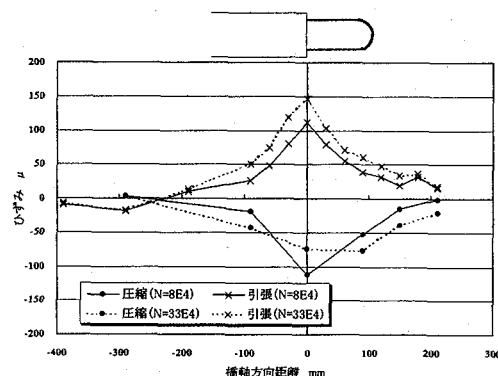
a) Broom-BUP



b) Loop1



c) Broom-S



d) Loop2

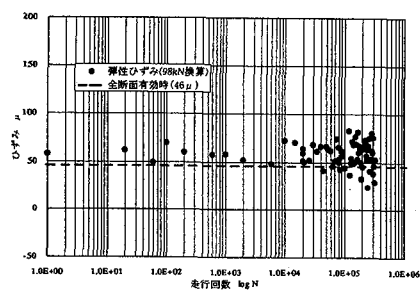
図-18 橋軸方向の鉄筋ひずみ

(2) 橋軸方向の鉄筋ひずみの経時変化

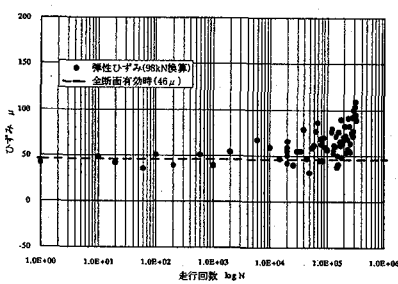
図-19 と 20 は、輪荷重が継手部中央に位置するときの橋軸方向下側の鉄筋ひずみの 98kN 換算値の経時変化を示す。測定位置は各継手部の目地部を挟んだ $\pm 90\text{mm}$ の個所である。図-19 は、Broom-BUP と Loop1 との比較、図-20 は、Broom-S と Loop2 との比較を示す。なお、全断面有効時のひずみ値は 46μ である。

各継手部の最終鉄筋ひずみは、Broom-BUP が 79μ 、Loop1 が 118μ 、Broom-S が 128μ 、Loop2 が 93μ であつ

た。そして、荷重が 127kN に上昇する走行回数 8 万回から鉄筋ひずみが増加する傾向が見られるが、全体的には小さい値である。特に、Broom-S では、輪荷重の走行がもたらす疲労作用によって鉄筋の抜け出しが懸念されるが、各継手との差異はなく、鉄筋の付着は荷重の大きさが 167kN に至っても保持されていることがわかる。

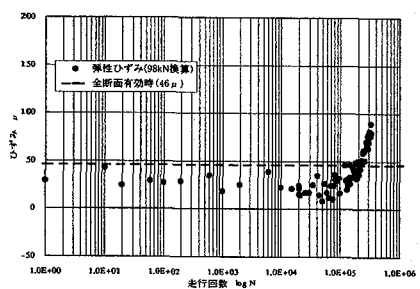


a) Broom-BUP

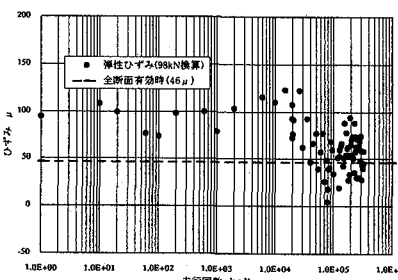


b) Loop1

図-19 橋軸方向下側鉄筋のひずみ (Broom-BUP, Loop1)



a) Broom-S



b) Loop2

図-20 橋軸方向下側鉄筋のひずみ (Broom-S, Loop2)

(3) 輪荷重走行時の橋軸方向の鉄筋ひずみ

図-21～24に各継手における橋軸方向の上・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127kN・5万回（累計13万回）時と167kN・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。

ることがわかる。振幅の最大値は、Loop1が305 μ 、Broom-BUPが219 μ 、Loop2が239 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く、いずれに対しても鉄筋の抜け出し現象が懸念される程ではない。鉄筋の付着は荷重の大きさが167kNに至っても保持されていることがわかる。

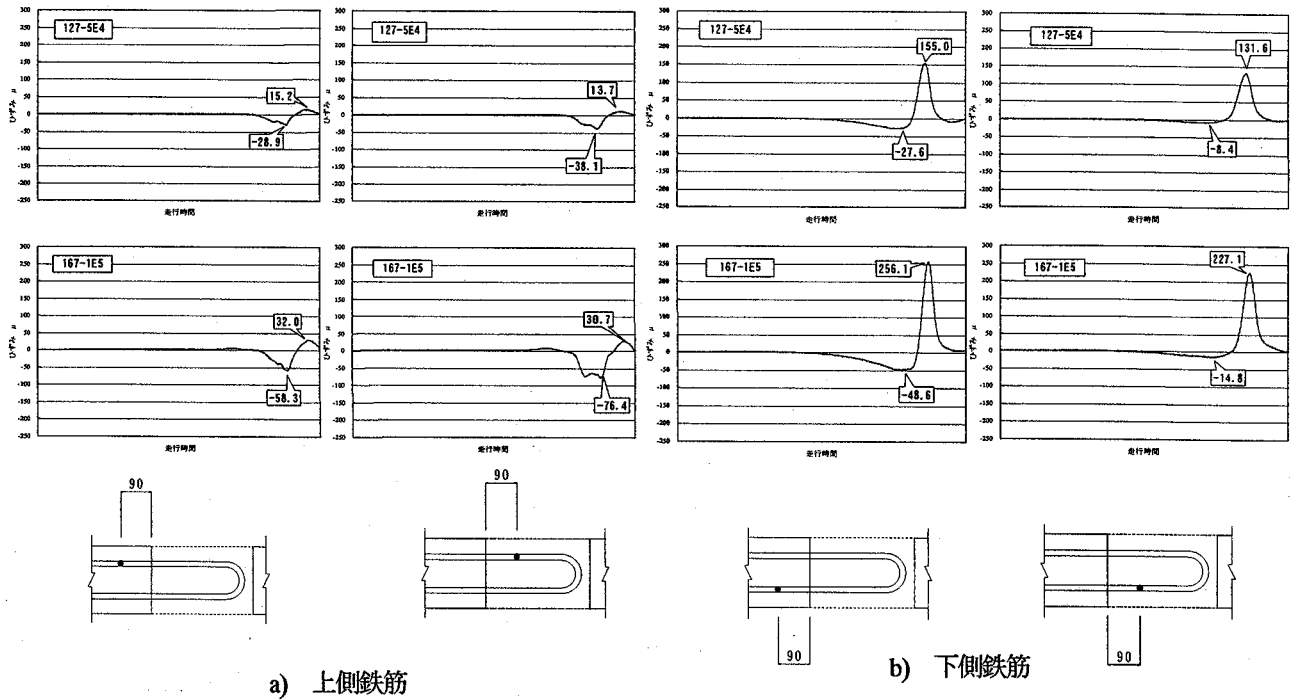


図-21 走行時での橋軸方向の鉄筋ひずみ (Loop1)

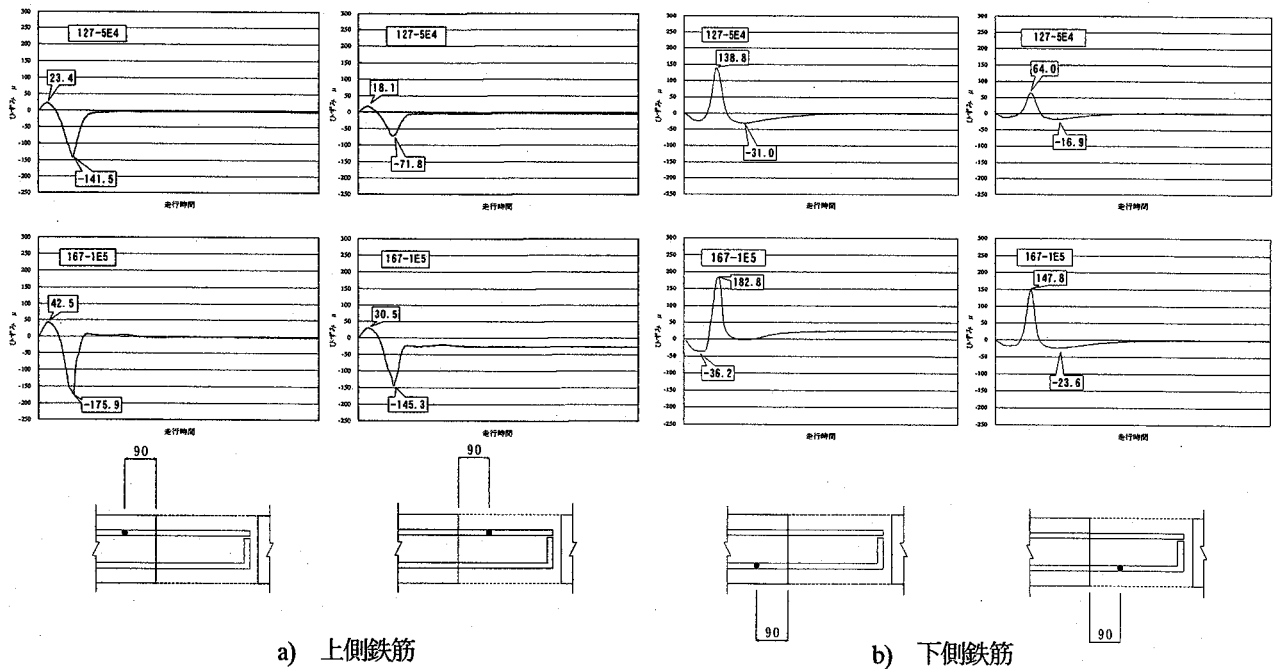


図-22 走行時での橋軸方向の鉄筋ひずみ (Broom-BUP)

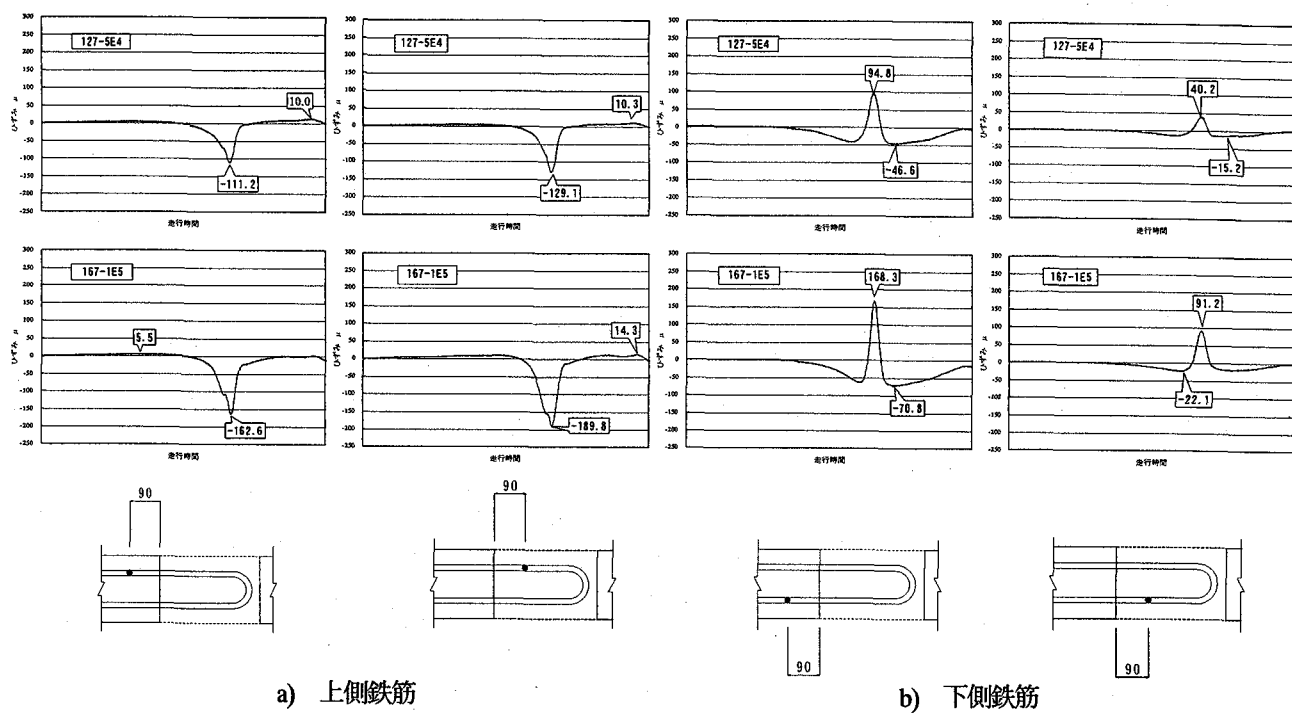


図-23 走行時での橋軸方向の鉄筋ひずみ (Loop2)

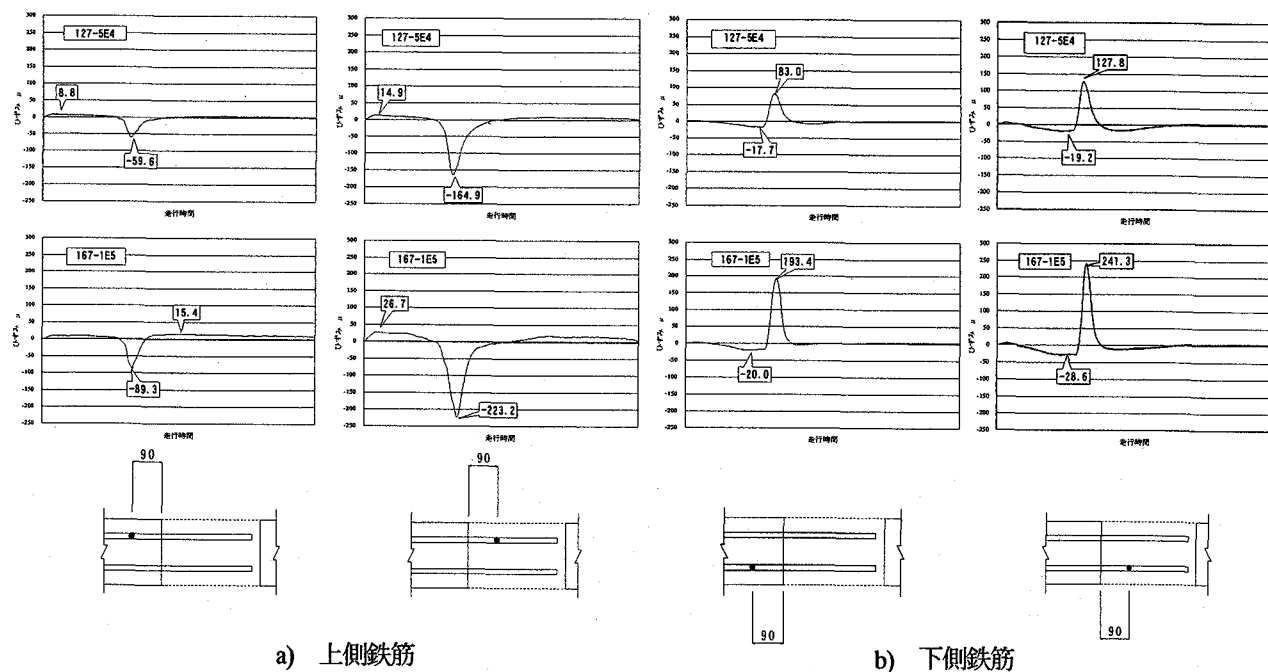


図-24 走行時での橋軸方向の鉄筋ひずみ (Broom-S)

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、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、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、輪荷重載荷直下以外では、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走行位置を中心にした観察が有効であるといえる。
- ③ 輪荷重走行時の開閉量は、各継手とも引張側で圧縮作用が発生しており、疲労の影響を受けて目地部がスリット化へと進展する可能性があることは、RC 床版のひび割れ損傷の劣化過程と同様である。しかし、本実験からは圧縮部分の増加傾向は見られなかった。
- ④ 弾性段差量については、Broom-S の方が鉛直方向のせん断力の抵抗度合いが若干劣る値となったが、Broom-BUP は、Loop 継手とほぼ同等であり、曲げ上げた鉄筋の効果であることが確認された。
- ⑤ 走行時の段差量の振幅は、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。
- ⑥ 鉄筋ひずみの分布状態は、Broom-S で懸念されている鉄筋の抜け出し現象は発生しておらず、鉄筋ひずみは継手長さ 250mm (鉄筋径 15φ) 以内で減衰している。このことから、Broom 継手の継手長の性能が確認された。
- ⑦ 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、鉄筋の付着応力は交番すると推測される。

謝辞

本実験研究の計画・実施にあたり、大阪工業大学および当時広島大学学生であった千葉憲之氏（現 松尾建設(株)）をはじめとして学生の方々には、多大なるご協力を頂いた。これらの方々に対し、心より感謝の意を表します。

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.
- 5) 松井繁之: 移動荷重を受ける道路橋RC床版の疲労強度と水の影響について, 第9回コンクリート工学年次講演会論文集, p627～632, 1987.
- 6) 森山陽一, 向井盛夫, 相場充, 西垣義彦: RCループ状継手を有するプレキャストPC床版接合の疲労破壊試験, プレストレストコンクリート技術協会第5回シンポジウム論文集, pp495～500, 1995.
- 7) 松井繁之, 角昌隆, 向井盛夫, 北山耕造: RCループ継手を有するプレキャストPC床版の移動載荷試験, プレストレストコンクリート技術協会第6回シンポジウム論文集, pp149～154, 1996.
- 8) 八部順一, 山本晃久, 済藤英明, 星埜正明, 堀川都志雄: リブ付きプレキャストPC床版の疲労耐久性に関する実験的研究, 構造工学論文集 Vol. 46A, pp1299～1306, 2000.
- 9) 江頭慶三, 袴田文雄, 松井繁之, 堀川都志雄: 省力化接合部を有する鋼橋プレキャスト床版の疲労特性と耐久性について, 構造工学論文集 Vol. 46A, pp1291～1298, 2000.
- 10) 松井繁之: プレストレッシングによる道路橋床版の耐久性向上について, プレストレストコンクリート技術協会第6回シンポジウム論文集, pp163～168, 1996.
- 11) 東山浩士, 松井繁之: 橋軸方向プレストレスしたコンクリート床版の走行荷重に対する疲労耐久性に関する研究, 土木学会論文集 No.605/I-45, pp.79～90, 1998.

(2002年9月13日受付)