

トラス鉄筋を用いたハーフプレハブ合成床版の階段載荷による輪荷重走行実験

Wheel Running Test by Step-wise Loading on Half-Prefab PC Composite Slab using Prefabricated Bar-trusses

肥沼年光*, 岡本浩**, 松井繁之***, 谷口義則****, 堀川都志雄*****

Toshimitsu KOINUMA, Hiroshi OKAMOTO, Shigeyuki MATSUI, Yoshinori TANIGUCHI, Toshio HORIKAWA

*日本カイザー(株) 技術部 課長 (〒150-0011 東京都渋谷区東 3-15-7)

**工修 飛鳥建設(株) 土木本部土木設計部 課長 (〒102-8332 東京都千代田区三番町 2)

***工博 大阪大学大学院 工学研究科 土木工学専攻 教授 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

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

Half-Prefab PC slab composing prefabricated bar-trusses is very stiff half slab due to the use of prefabricated bar-trusses and prestressing in the transverse direction. After installation of the slabs on the main girders, in-situ concrete is cast on them and both concrete elements work as a perfect composite slab due to the bar-trusses. Also the composite slab has high fatigue durability. To verify the durability, the composite slabs were tested with the wheel running machine of Institute of Public Work, Ministry of Land, Infrastructure and Transportation. As expected, the slab beard the step-wise loading program up top the maximum load of 392kN. Shear reinforcing by the bar-trusses against shear failure of concrete seems to be the most effective factor.

key words : half prefab slab, bar-truss, composite slab, fatigue test, wheel running machine

1. はじめに

本床版は橋軸直角方向にプレストレスを導入したプレキャスト版(以下、PCa版と称する)を下層部に、上層部を場所打ちコンクリートで構成されている合成床版である(以下、HPCa合成床版と称する)。両者を一体化させるために立体構造からなるトラス鉄筋をPCa版内に下半分だけ埋設させて、ずれ止めの機能を持たせるように配置されている。

トラス鉄筋の力学的特性を把握するために、数多くの静的試験や疲労試験を行った。トラス鉄筋は、綿密な数値解析による検証の結果、場所打ちコンクリート打込み前はPCa版の曲げ剛性に寄与し、かつ完成後の合成床版では上端鉄筋の役割を果たすことが明らかになった。

さらに平成10年に旧建設省土木研究所において2体のハーフプレハブ合成床版の輪荷重走行疲労試験が実施された。本論文ではそこで実施された2体の輪荷重走行疲労試験に関する試験結果のまとめと考察を行なったものである。

2. 試験概要

2.1 試験供試体

輪荷重走行試験に用いたHPCa合成床版は、トラス鉄筋を組み込み、橋軸方向にループ継手構造を持ち、橋軸直角方向にプレストレスを導入した薄いPCa版と場所打ちコンクリートとの2層の構造系からなっている。

2つの試験供試体はそれぞれ橋軸方向4.5m×橋軸直角方向2.8mの矩形版の形状を示し、表-1に示された厚みと強度を有するコンクリートで構成された床版である。各供試体の支持条件は橋軸方向と平行な長辺を単純支持、橋軸直角方向に沿った残りの対辺を弾性支持とした(図-1)。なお、いずれの供試体にも床版中央部にループ継手部が設置されている。各供試体の配筋図を図-2に示す。

表-1 床版厚とコンクリート強度

	PCa版厚	場所打部厚	PCa版設計強度	場所打部設計強度
供試体1	100mm	125mm	50N/mm ²	30N/mm ²
供試体2	100mm	100mm	50N/mm ²	30N/mm ²

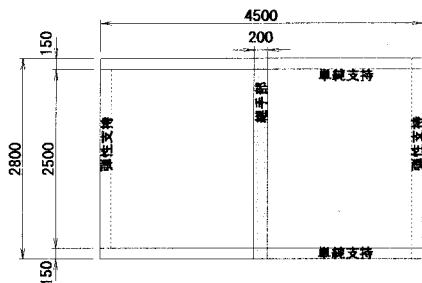


図-1 床版の形状・寸法

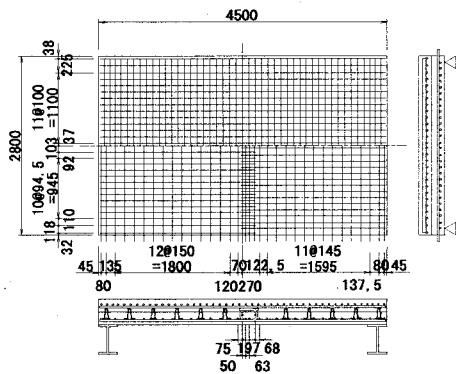


図-2 配筋図

表-2 供試体1の圧縮強度

a) PCa版

供試体	圧縮強度 (N/mm ²)	割線弾性係数 (kN/mm ²)	ポアソン比
NO.1	57.6	35.8	0.238
NO.2	55.0	36.8	0.259
NO.3	54.4	36.9	0.253
平均値	55.7	36.5	0.250

b) 場所打ちコンクリート

供試体	圧縮強度 (N/mm ²)	割線弾性係数 (kN/mm ²)	ポアソン比
NO.1	43.9	34.0	0.193
NO.2	46.6	35.2	0.228
NO.3	44.9	32.4	0.218
平均値	45.1	33.9	0.213

表-3 供試体2の圧縮強度

a) PCa版

供試体	圧縮強度 (N/mm ²)	割線弾性係数 (kN/mm ²)	ポアソン比
NO.1	54.4	32.0	0.160
NO.2	53.3	32.2	0.186
NO.3	54.8	32.8	0.184
平均値	54.2	32.3	0.177

b) 場所打ちコンクリート

供試体	圧縮強度 (N/mm ²)	割線弾性係数 (kN/mm ²)	ポアソン比
NO.1	36.2	29.8	0.228
NO.2	34.9	28.4	0.220
NO.3	33.6	24.6	0.213
平均値	34.9	27.7	0.220

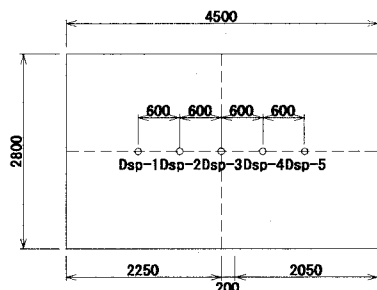
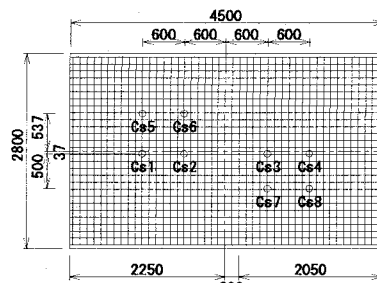
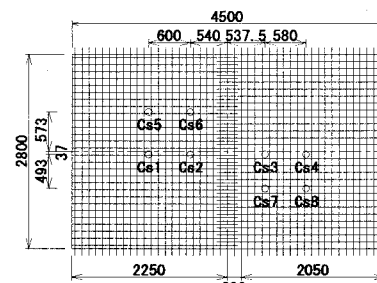


図-3 変位計の位置

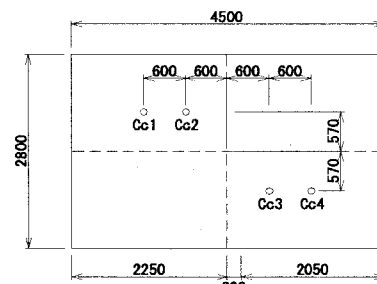


a) 上端鉄筋

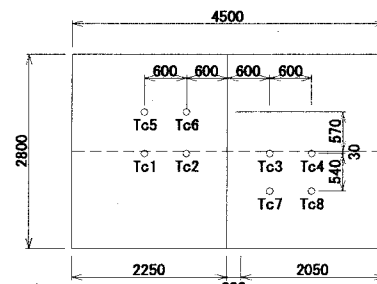


b) 下端鉄筋

図-4 鉄筋ひずみの貼付位置



a) 床版上面



b) 床版下面

図-5 コンクリートひずみの貼付位置

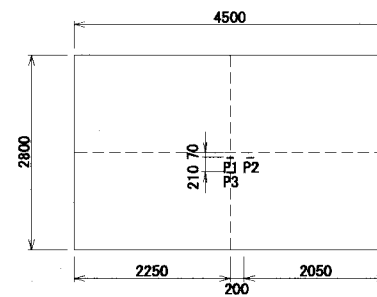


図-6 継手部の目開き量計測位置

供試体1と2に使用したコンクリートの材料定数を表-2と表-3に示す。さらに各供試体に設置した変位計、鉄筋のひずみゲージ、コンクリートのひずみゲージ、および継手部の目開き量を計測する π ゲージの位置を図-3～図-6に示す。

2.2 試験方法

走行試験での荷重プログラムは、初期設定の相違により異なってしまったが、図-7に示した階段荷重方式を採用した。

荷重の初期荷重を供試体1では157kN、供試体2を172kNに設定し、4万回往復ごとに走行荷重を19.6kNずつ漸増させる促進形の走行試験方法である。供試体2は走行回数42.5万回(最大荷重:403kN)で破壊に至ったが、供試体1は走行回数52万回(最大荷重:392kN)に達しても未破壊のままであった。

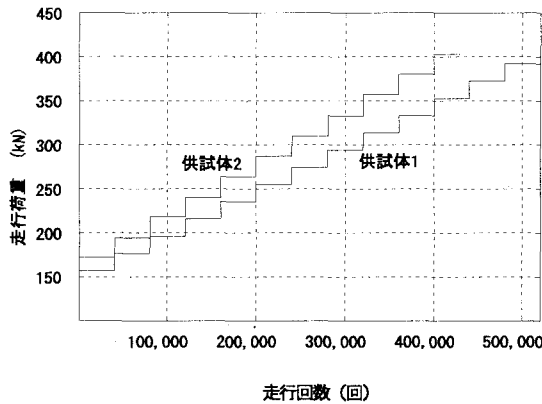


図-7 荷重プログラム(供試体1,2)

3. 試験結果

3.1 床版のたわみ

図-8a)に供試体1の床版中央点でのたわみの走行回数に伴う経時変化を示す。総たわみ、残留たわみ、および活荷重たわみ(=弾性たわみ)は、走行回数の増加につれていずれのたわみも増大する傾向にあり、床版の劣化が進行している様子が伺える。しかし総たわみには荷重の大きさによる影響が混入しているため、荷重の影響を取り除いて、基準値の98kNに換算された。すなわち、床版の復元力特性に関係する弾性たわみの変化に注目する。図-8b)によれば、中央点での換算弾性たわみは約20万回(荷重値:252kN)までは全断面有効時の計算値とほぼ同等な値を保持し、その後の走行繰返し作用によって換算たわみは増加するが、全断面有効時と引張無視時の計算値の中間の値より若干大きめの結果に留まっていたことより、供試体1の曲げ剛性の大きな低下は認められないと考えられる。

なお、図中の計算値は厚板理論を用いた2層板の解析結果である。

一方供試体2について、供試体1と同じ位置での計測結果を図-9にまとめる。供試体1と同様、走行回数の増加に

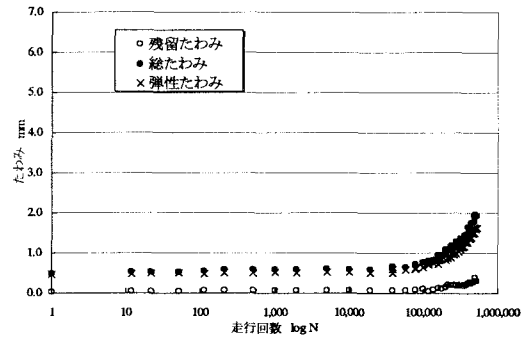


図-8 a) 供試体1の総たわみと残留たわみ

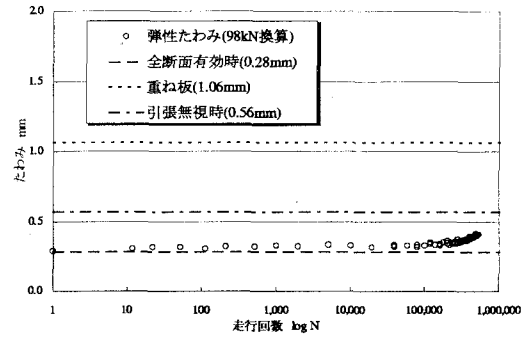


図-8 b) 供試体1の換算弾性たわみ(Dsp-3)

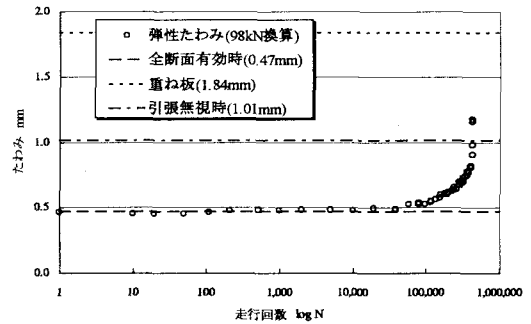


図-9 供試体2の換算弾性たわみ(Dsp-3)

伴って総たわみや残留たわみ等は増大する傾向にある。図-9によれば、床版中央点の換算たわみは約10万回頃から全断面有効時の計算値より離れて次第に増加傾向を示し、破壊に至る35万回(353kN時)近くで急増した後、引張無視時の値よりも大きくなる。しかし両供試体のどの位置の換算たわみも、重ね板の計算値にまでは至っていない。試験終了後の切断時での観察でもトラス筋の破断は認められず、かつ場所打ち部とPCa版の界面での付着切れによる破壊もなく、床版破壊時に至っても接合部の形状は保持されたままであった。このことから、本床版構造のPCa版と場所打ちコンクリート部は一体性が非常に高いことが判った。

3.2 床版のひずみ

図-10に供試体1の場所打ちコンクリート上面に貼付したコンクリートゲージ(Cc2)の換算弾性ひずみを示す。

また供試体2の同一位置での換算弾性ひずみを図-11に示す。図-12と図-13に各供試体の場所打ちコンクリ

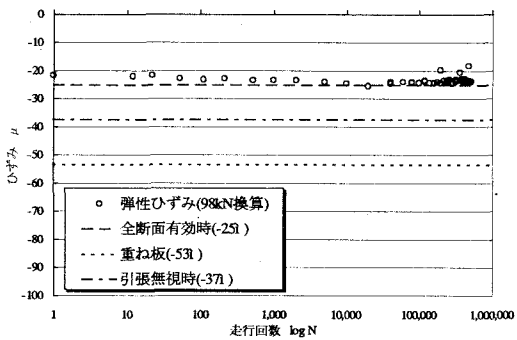


図-10 供試体1 換算弾性ひずみ (Cc2)

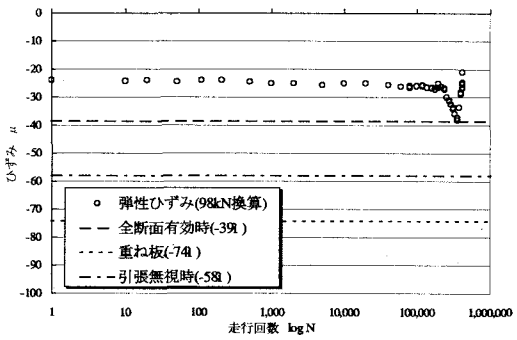
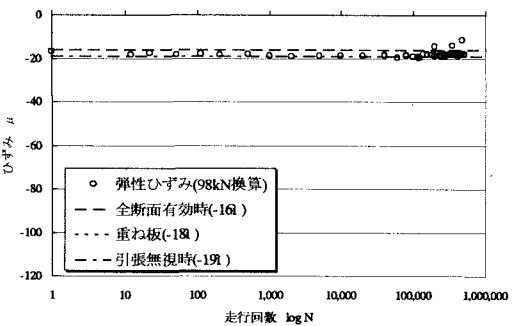
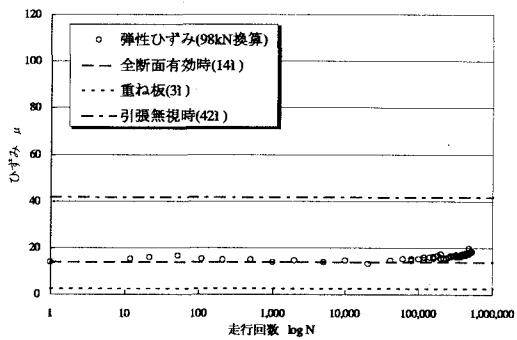


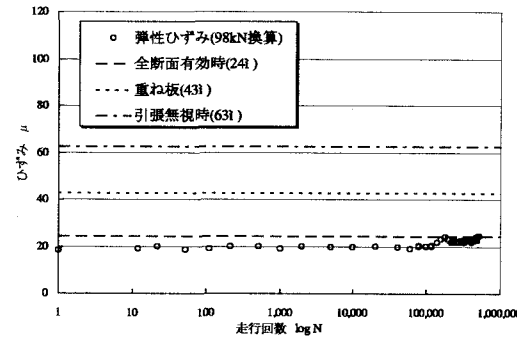
図-11 供試体2の換算弾性ひずみ (Cc2)



a) 上端鉄筋のひずみ (Cs6)



b) 下端鉄筋のひずみ (Ts6)

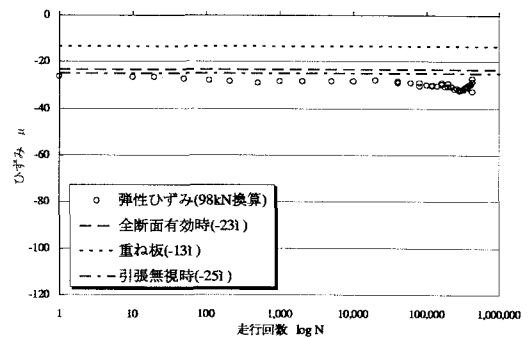


c) 下面コンクリートひずみ (Tc6)

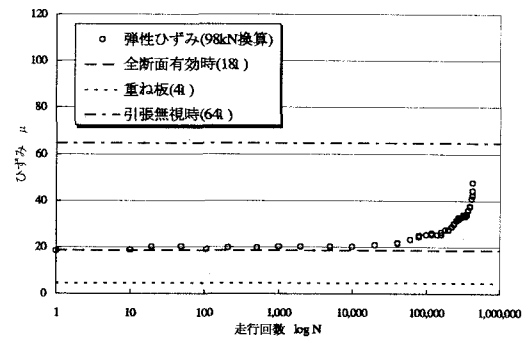
図-12 供試体1の換算ひずみ

ト部内の上端鉄筋のひずみゲージ (Cs6), およびPCa版の下端鉄筋 (Ts6) と床版下面での橋軸直角方向の換算弾性ひずみの経時変化を示す。供試体1におけるこれらの換算ひずみは、走行回数が増加してもほとんど変化がなくほぼ全断面有効時の値に留まっており、試験終了後でも供試体1は健全であると判断することが出来る。

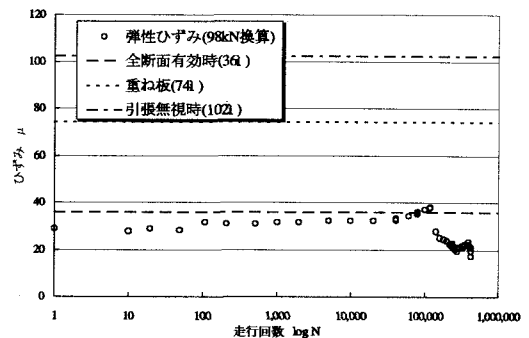
一方、図-13によれば、供試体2では上端鉄筋のひずみ (Cs6) は走行回数約5万回から全断面有効時の値よりも大きくなる傾向にあるが顕著ではない。しかし下端鉄筋のひずみ (Ts6) 走行回数約10万回から次第に増大し、計測位置近傍に発生したひびわれによって、ひずみが急激に増加していることが伺える。これは、図-9に示す換算たわみと一致し、版がひびわれにより合成低下したことにより下端鉄筋の応力が増加していると考えられる。



a) 上端鉄筋のひずみ (Cs6)



b) 下端鉄筋のひずみ (Ts6)



c) 下面コンクリートひずみ (Tc6)

図-13 供試体2の換算ひずみ

3. 3 床版のひびわれ

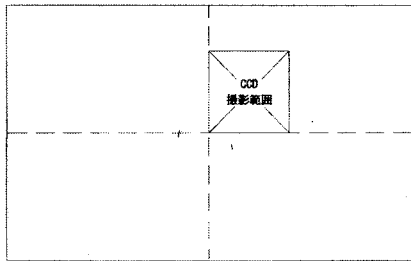
走行回数に伴う供試体1と2の床版下面に発生したひびわれの進展状況をそれぞれ図-14と図-16に示す。図中、Nは走行回数を、Pは荷重強度を表している。

また試験終了時での各供試体の床版上面のひびわれを図-15と図-17に示す。

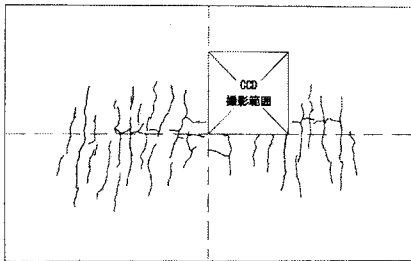
図-14より供試体1のひびわれ損傷過程は走行回数10万回程度で輪荷重の走行位置近傍で初期ひびわれが橋軸直角方向に発生し、走行回数の増加に伴って支間方向に進展した。その後約36万回(P=332kN)で橋軸方向にも走行位置近傍でひびわれが生じ、これらのひびわれが繋が

り始め、ついには格子状のひびわれを形成した。しかし、上面側のひびわれは非常にわずかであった。

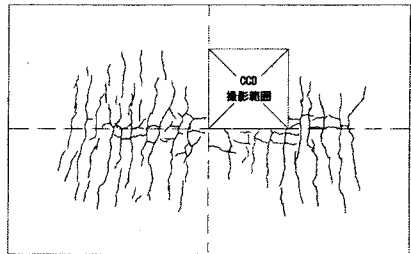
図-16に示したように供試体2の損傷過程は走行回数3万回位で輪荷重の走行レーン近傍で初期ひびわれが橋軸直角方向に、さらに橋軸方向には約20万回で発生した後、走行繰返しの影響を受けて次第に格子状のひびわれへと発展した。その後床版の上面にも、貫通ひびわれに成長すると見込まれるひびわれが走行回数40万回で生じ、また下面の一部では角落ちやコンクリート小片の剥離が生じ始め、走行回数42.9万回で床版は押し抜きせん断タイプで破壊に至った。



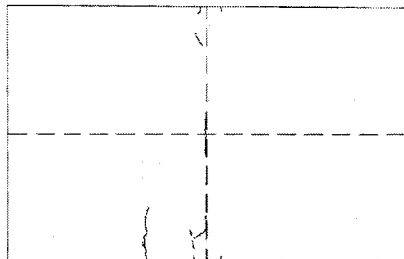
a) N=100,000回 P=196kN



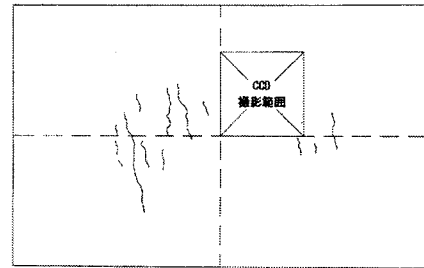
b) N=360,000回 P=314kN



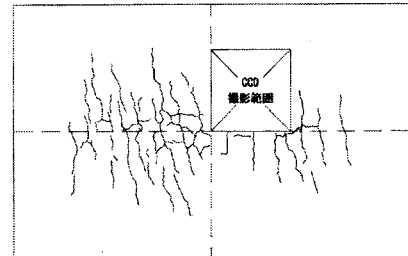
c) 試験終了時 N=520,000回
図-14 下面のひびわれ (供試体1)



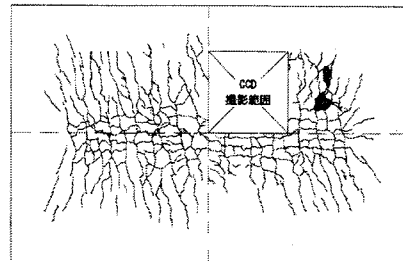
試験終了時 N=520,000回
図-15 上面のひびわれ (供試体1)



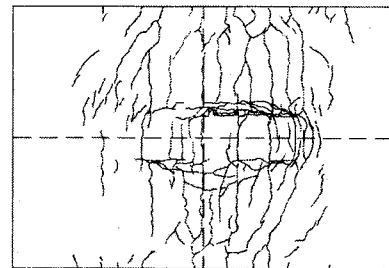
a) N=30,000回 P=156kN



b) N=200,000回 P=235kN



c) 試験終了時 N=429,000回
図-16 下面のひびわれ (供試体2)



試験終了時 N=429,000回
図-17 上面のひびわれ (供試体2)

3.4 継手部の目開き量

PCa版とPCa版の継手部にはJ型ループ継手鉄筋を用いていることが特徴である。(図-18)

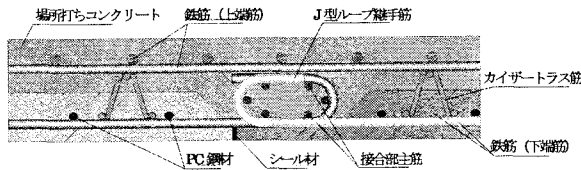


図-18 ループ継手部の詳細

各供試体の床版中央に位置する継手部 P1 の総目開き量と残量目開き量の経時変化を図-19 と図-20 にまとめる。供試体 1 における試験終了時での総目開き量は約 0.14mm で、残留目開き量は 0.02mm に留まっており、下端鉄筋のかぶり厚から規定される $0.0035c=0.0875\text{mm}$ よりも小さい。一方破壊に至った供試体 2 での最大の総目開き量は 0.65mm に達し、また残留目開き量も最大で 0.2mm であった。破壊現象をもたらした輪荷重の大きさが 403kN であり、さらに実橋で計測される交通荷重での最大値 176kN を勘案すれば、残留目開き量は 0.1mm 程度に収まると推測される。

以上のことより、両供試体の残留目開き量は共にひびわれの許容値 0.125mm 以下に留まると判断される。

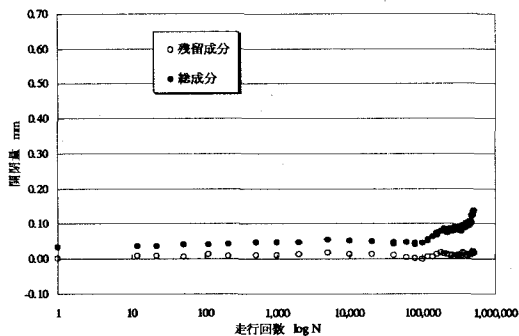


図-19 継手部の目開き量 (供試体 1)

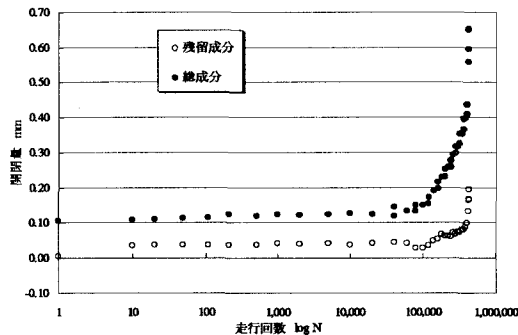


図-20 継手部の目開き量 (供試体 2)

3.5 おわりに

旧建設省土木研究所において実施された PCa 版の厚さが 10cm で場所打ちコンクリートの厚さが 12.5cm と 10cm の 2 体の輪荷重走行載荷試験を行い、試験体に生じたたわみ、試験体内に配置された鉄筋のひずみ、試験体のコンクリートひずみ、ひびわれ及び試験体継手部の目開き量の伸展状況について解析および考察を行ない、本床版構造の疲労耐久性の高さを検討した。また、荷重が大きくなるとひびわれが伸展して版としての剛性が低下して鉄筋ひずみ、継手部の目開き量、たわみが急激に増大したあと押し抜きせん断にて破壊することを確認した。押し抜きせん断破壊は継手部ではなく一般部において生じたことから継手部は十分な耐荷力を有していることも確認した。

本論文はハーフプレハブ合成床版研究会(委員長:松井繁之 大阪大学大学院教授)における研究の一環として実施されたこと、および輪荷重走行載荷試験は旧建設省と民間の共同研究「道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究」の一環として実施されたものの抜粋である。旧建設省土木研究所橋梁研究室の方々のご助言とご協力を賜りましたことを心より感謝し、ここに付記します。

参考文献

- 1) 岡本浩, 肥沼年光, 大田孝二, 松井繁之, 堀川都志雄: トラス鉄筋を有するハーフプレハブ合成床版の疲労耐久性に関する評価, 第3回床版シンポジウム講演論文集, 平成 15 年 6 月 (投稿中)
- 2) 土木学会 鋼構造委員会: 道路橋床版の新技术と性能照査型設計, 平成 12 月 10 月
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, I 共通編 III コンクリート橋編, 平成 14 年 3 月
- 4) 左東有次, 日野伸一, 松井繁之, 平岩昌久, 児玉崇: トラス鉄筋ハーフプレハブ合成床版の構造特性に関する実験的研究, 第二回道路橋床版シンポジウム講演論文集, 平成 12 年 10 月
- 5) 谷口義則, 肥沼年光, 堀川都志雄: ハーフプレキャスト合成床版の応力と断面力について, 第2回道路橋床版シンポジウム講演論文集, 平成 12 年 10 月
- 6) 建設省土木研究所: 道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書(その2), 平成 11 年 10 月
- 7) 国土交通省土木研究所: 道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書(その5), 平成 13 年 3 月