

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の考察

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

肥沼年光*, 平岩昌久**, 岡本浩***, 松井繁之****, 堀川都志雄*****

Toshimitsu KOINUMA, Masahisa HIRAIWA, Hiroshi OKAMOTO, Shigeyuki MATSUI, 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)

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

*** 工博 Samsung Engineering & Construction Co, Ltd. 部長 (Samsung Plaza Bldg 263, Seohyun-Dong, Bundang-Gu, Sungnam-Si, Gyonggi-Do, Korea)

**** 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)

***** 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 has very large bending stiffness due to the stiffening by prefabricated bar-trusses and the prestressing in the transverse direction. After installation of the half-prefab slabs on main girders, in-situ concrete is cast on them and both concrete elements work as a perfect composite slab. Also the composite slab has high fatigue durability. To verify the durability, the composite slabs were tested for fatigue durability verification with the wheel running test of Institute of Public Work, Ministry of Land, Infrastructure and Transportation. As expected, the slab bore the step-wise loading program up to 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, wheel running
test, crack density, bond stress*

キーワード: ハーフプレハブ床版, トラス鉄筋, 合成床版, 輪荷重走行試験, ひび割れ密度, 付着応力

1. はじめに

本研究で対象とするハーフプレハブ合成床版(以下, HPCa 合成床版と称する)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。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している。トラス鉄筋の力学的特性を把握するために, 静的試験や疲

労試験を行い, 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として寄与することが明らかになった¹⁾。

さらに平成 10 年に旧建設省土木研究所において 2 体の HPCa 合成床版の輪荷重走行疲労試験を実施した²⁾³⁾。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よる結果を厚板理論からなる多層板の数値解析の面から考察を行なったものである⁴⁾。

2. 試験概要

2.1 試験供試体

試験供試体は道路橋示方書に規定されるB活荷重とし、床版支間は3mの連続版として、1方向あたりの大型自動車の交通量が1日当たり2000台以上として設計されている。

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。なお、PCa 版では PC 鋼線 1 S12.7 を 150mm ピッチで配置し、鋼線 1 本あたり約 100kN で緊張している。

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 に示された厚みとコンクリート設計強度による合成床版である。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。実際に打設したコンクリートの材料定数の平均値を表-2、表-3 に示す。

両供試体の PCa 版のコンクリート強度はほぼ同じであったが、場所打ちコンクリート強度については約 10N/mm² の違いがあった。

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

表-2 供試体 1 の材料定数

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
平均値	55.7	36.5	0.25

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
平均値	45.1	33.9	0.213

表-3 供試体 2 の材料定数

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
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
平均値	34.9	27.7	0.220

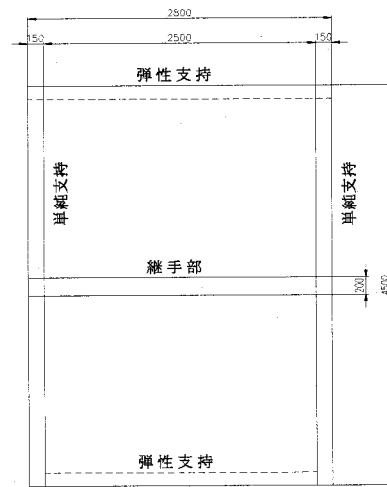


図-1 床版の形状・寸法

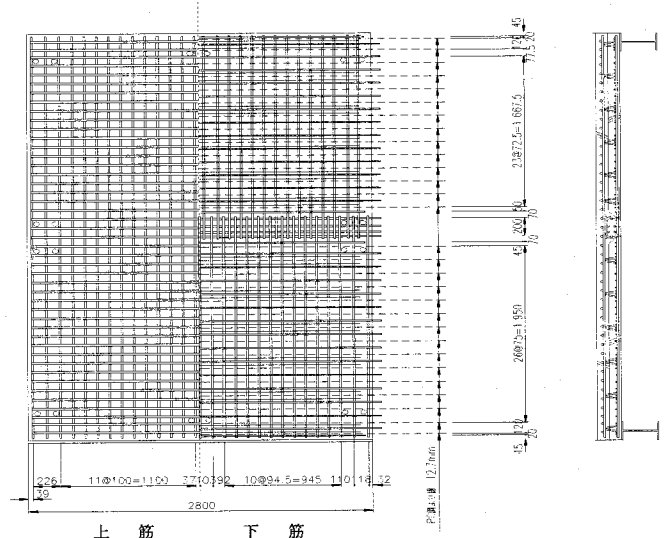


図-2 配筋図

2.2 試験方法

走行試験での荷重プログラムは、供試体 1 のものを予定していたが、供試体 2 では図-3 に示したように若干異なっていることが試験後判明した。

荷重の初期荷重を供試体 1 では 157kN、供試体 2 は 172kN（校正後の荷重値）を作用させ、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、供試体 1 は走行回数 52 万回（最大荷重：392kN）の繰返し走行荷重をおこなった。

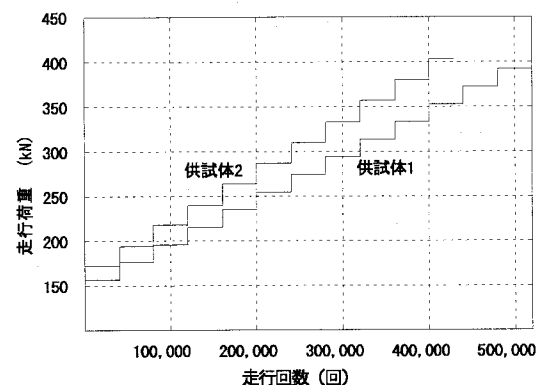


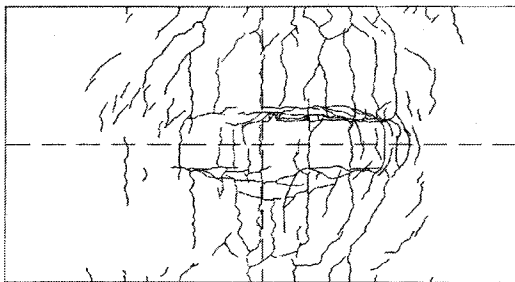
図-3 荷重プログラム（供試体 1, 2）

2.3 床版のひびわれ

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ひび割れ範囲が広がっていった。その後約36万回($P=332\text{kN}$)で橋軸方向にも走行位置近傍にひびわれが生じ、本数も増加していった。ついには格子状のひびわれを形成した。しかし、上面側でのひびわれは非常にわずかであった。

供試体2の損傷過程は走行回数3万回位にて床版中央部で、なおかつ輪荷重の走行軌道直下において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。その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。40万回程度で床版の上面にも全厚を貫通するひびわれが生じ、また下面ひび割れ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42.5万回で床版は押し抜きせん断タイプで破壊に至った。

図-4に試験終了後の床版上のひび割れ状況を示しているが、中央部の軌道両端位置で橋軸方向ひび割れを示している。この部分が押し抜きせん断破壊したことを示している。



試験終了時 $N=425,000$ 回
図-4 上面のひび割れ (供試体2)

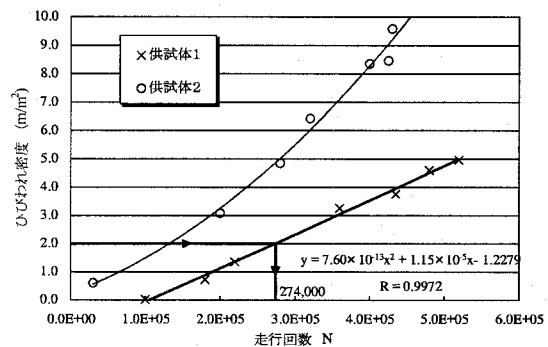
3. ハーフプレハブ合成床版の総合評価

3.1 ひび割れ密度に関する考察

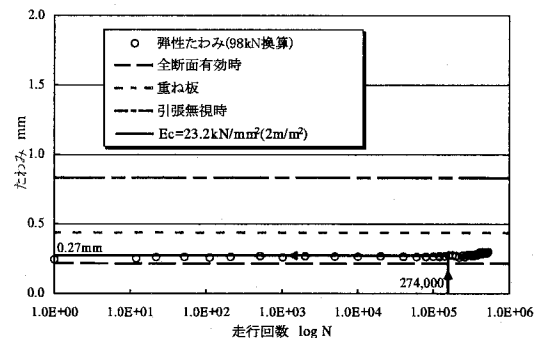
現在PC床版に対するひび割れの損傷度を判定する手法が未だ確立されていないため、既存のRC床版に対する損傷度判定基準を準用して、HPCa合成床版のひび割れ進展状況を分析する。走行回数とひび割れ密度の関係が二次の回帰曲線で表されると仮定すればこれらの曲線から任意のひび割れ密度に対応する走行回数が算出できる。さらに得られた走行回数に関連した換算弾性たわみを推量し、同一のたわみ値を持つようなPCa版の弾性係数を2層板の解析により試行錯誤して求め、復元力に関するパラメータ(=曲げ剛性)の低下を調べる。すなわち本床版が劣化する過程で、要求されるひび割れ密度を表す場合の床版のたわみや鉄筋応力の概算が把握できる。

・供試体1

ひび割れ密度 2m/m^2 に至るときの走行回数は、図-5a) より約27.4万回と推定される。走行試験による換算弾性たわみと走行回数27.4万回との関係より、弾性たわみは 0.27mm と示される。この弾性たわみの値となるPCa版の弾性係数を計算値から推定すれば、 23.7kN/mm^2 となる。ひび割れ密度 2m/m^2 に至るときのPCa版の弾性係数は、初期時の 36.5kN/mm^2 に比べ約36%の 23.2kN/mm^2 にまで減少していると推測できる。



a) ひび割れ密度

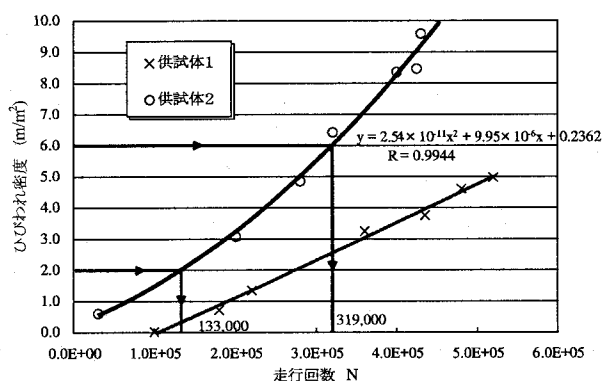


b) 推定弾性係数

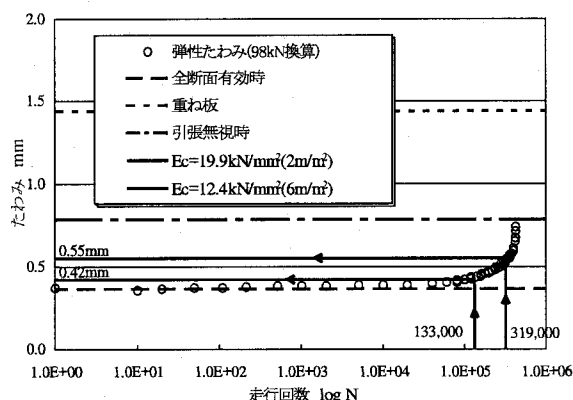
図-5 走行回数とひび割れ密度、弾性係数の関係 (供試体1)

・供試体2

供試体1と同様にして、ひび割れ密度 2m/m^2 に相当するときの走行回数は、図-6a) より13.3万回となる。このときの弾性たわみ 0.42mm に対応する推定弾性係数は 19.9kN/mm^2 であり、38%程度低下している。さらにひび割れ密度が 6m/m^2 になるときの走行回数31.9万回の推定から、弾性たわみは 0.55mm 程度となり、推定弾性係数は約62%に低減した値の 12.4kN/mm^2 と得られる。



a) ひび割れ密度



b) 推定弾性係数

図6 走行回数とひび割れ密度、弾性係数の関係 (供試体2)

格子密度法⁵⁾によるひび割れ密度をPC床版の劣化指標として採用している監督官庁や管理団体は数多くある。例えば東京都建設局管内の床版の損傷度判定基準⁶⁾によると、ひび割れ幅が0.1～0.2mm以下で、かつひび割れ密度が2m/m²未満であれば、aランクに位置づけられ床版は健全であると判定されている。この判定基準を本試験床版に準用すれば、供試体1では走行回数27.4万回、供試体2では走行回数13.3万回までの範囲がaランクの判定に該当している。供試体1と2で曲げ剛性の低下率に差があるのは、主に場所打ちコンクリートの版厚と走行荷重の大きさの違いによるためと推測される。さらに損傷度判定基準でbランク判定の最大値に相当するひび割れ密度6m/m²については、供試体1はこの大きさに至らずに試験を終了したが、供試体2は走行回数31.9万回でこの域に達していた。

RC床版の場合、実測たわみが引張無視時のたわみ値と一致する状態を筆者の一人松井は床版の使用限界状態と位置づけ、この状態でのひび割れ状況が格子状であり、かつ角欠けやすり減り現象がいたる所で存在していると説明している。⁵⁾

以上のことより、PCa版下面に引張応力を容認するPRC設計法の概念⁷⁾をHPCa合成床版に適用する場合、予測されるひび割

れ幅を0.1～0.2mm程度に抑えれば、結果的にひび割れ密度は2m/m²以下に留まると判断される。

3.2 ひび割れ幅に関する考察

CP110に提示されているひび割れ制御の方法は⁸⁾、ひび割れ断面を便宜的に、PCa版の全断面を有効とみなす弾性理論から得られる仮想引張応力の大きさを制限することで、間接的にひび割れ幅をコントロールする簡易な手法である。CP110に規定されている仮想引張応力の制限値を表4に、部材高さを考慮する係数を表5に示す。

表4 仮想引張力の制限値

	許容ひび割れ幅	コンクリートの等級に対する制限値 (N/mm²)		
	(mm)	30	40	50以上
プレテンション	0.10	—	4.1	4.8
	0.20	—	5.0	5.8
ボンド有りの ポストテンション	0.10	3.2	4.1	4.8
	0.20	3.8	5.0	5.8
断面引張線に近い位置に鋼材を 分散配置したプレテンション	0.10	—	5.3	6.3
	0.20	—	6.3	7.3

表5 部材高さの修正係数

部材高さ (mm)	200以下	400	600	800	1000以上
修正係数	1.10	1.00	0.90	0.80	0.70

図7 (供試体1) と図8 (供試体2) は、走行試験の3つの荷重段階98.1kN、150kN、および255kN (あるいは324kN) 下で得られる橋軸直角方向直応力の版厚方向分布する応力状態を示している。

実線で示される計算値は、床版中央点における全断面有効時の応力に有効プレストレスによる圧縮応力 (PCa版上縁: 5.9N/mm², 下縁: 6.6N/mm²) の値を付加したものである。なお床版に作用する荷重は床版の自重および輪荷重とし、輪荷重の載荷位置は曲げモーメントが最大となる床版中央に一致させている。破線で示されるCP110の制限値は許容ひび割れ幅を0.1mmにとり、さらに版厚に応じて表5の修正係数を乗じている。また圧縮側の上限值として、場所打ちコンクリートの許容曲げ圧縮強度 ($=f'_{ck}/3$) を一点鎖線で示す。B活荷重の作用時では両供試体とも引張応力は発生していないと推測される。

実橋で計測された最大の輪荷重値とほぼ同等の150kN作用時には供試体2に僅かな引張応力が発生しているが、ひび割れを引き起こすまでの大きさには至っていない。また引張縁での応力がCP110の制限値とほぼ同程度になるまで輪荷重を増加させると、供試体1では324kN、供試体2では255kNと得られ、許容ひび割れ幅がほぼ0.1mmに至る。さらに圧縮縁をみると、図-8では許容曲げ圧縮応力に近い値にまで達していることから、これ以上の輪荷重では圧縮縁において許容圧縮応力を超過する可能性を示唆している。

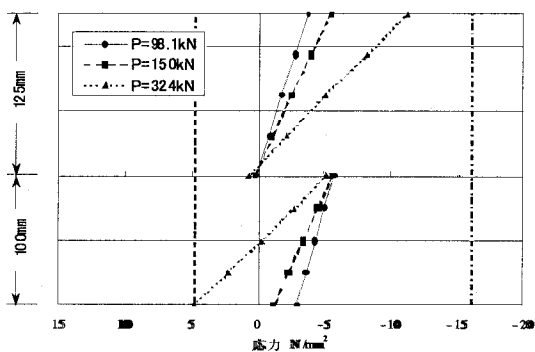


図-7 橋軸直角方向応力の分布 (供試体 1)

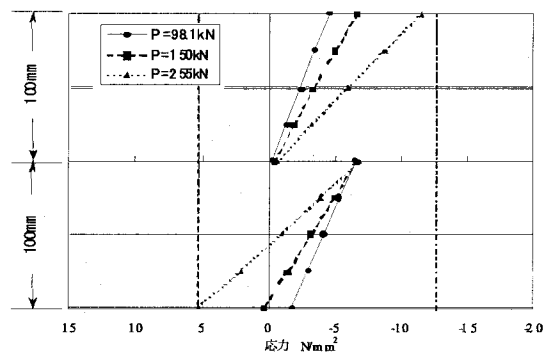


図-8 橋軸直角方向応力の分布 (供試体 2)

CP110 の制限値に至ったときの荷重値と載荷プログラムを比較すると、図-9 と図-10 のように示される。2層板の解析によれば、CP110 の制限値以下の範囲では、ひび割れ幅が許容値の 0.1 mm 以下に抑えられていることになる。また引張縁での応力が制限値と同等な値を示すときの荷重値は、ひび割れ密度が 2 m/m^2 に至ったときに作用していた荷重よりも大きいことを示している。換言すれば引張強度以内の引張応力を容認する本合成床版ではひび割れ密度を 2 m/m^2 以下に制限すれば、ひび割れ幅は 0.1mm 以下に留まると推察できる。

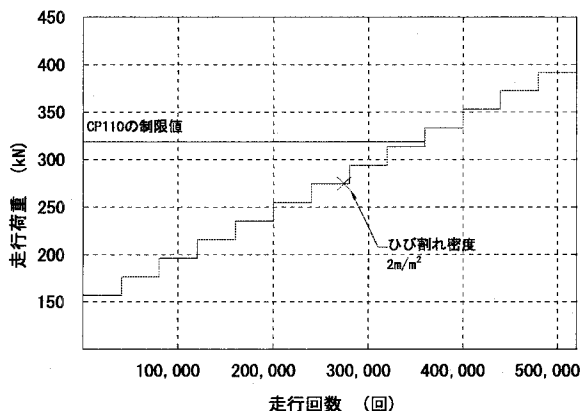


図-9 走行荷重と制限値 (供試体 1)

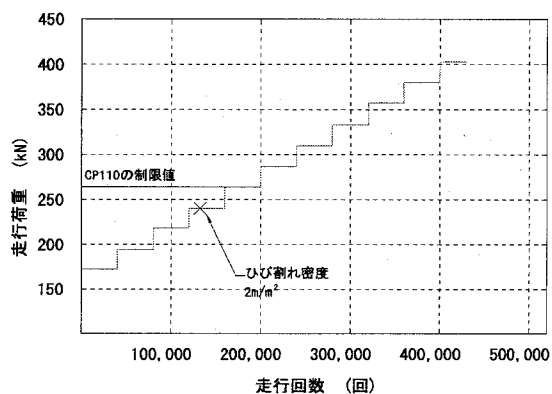


図-10 走行荷重と制限値 (供試体 2)

つぎに 2 層板の解析による橋軸方向応力の版厚方向分布を図-11 (供試体 1) と図-12 (供試体 2) に示す。本合成床版の橋軸方向はプレストレスしない RC 構造である。図中、縦の破線は PCa 版コンクリートの引張強度を、一点鎖線は許容曲げ圧縮強度 ($=f'_{ck}/3$) を示している。橋軸直角方向の断面でひび割れが発生しない荷重であっても、橋軸方向の断面でひび割れが起こっていることが判る。走行試験開始時の輪荷重の大きさは 157kN であり、両供試体ともすでに初期には床版下面で橋軸直角方向のひび割れが発生する状態にあったと推測される。橋軸直角方向のひび割れが進行すれば、橋軸方向の曲げ剛性が低下し、異方性版としての性状を呈して、橋軸方向は若干作用モーメントが減少する。

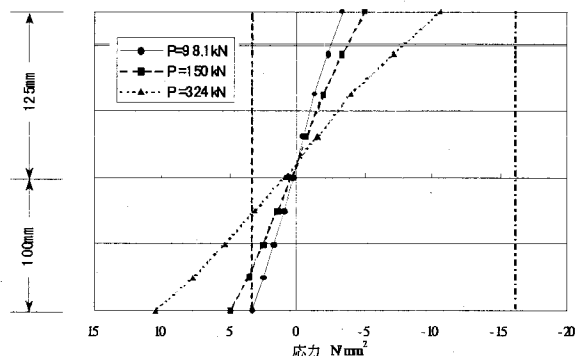


図-11 橋軸方向応力の分布 (供試体 1)

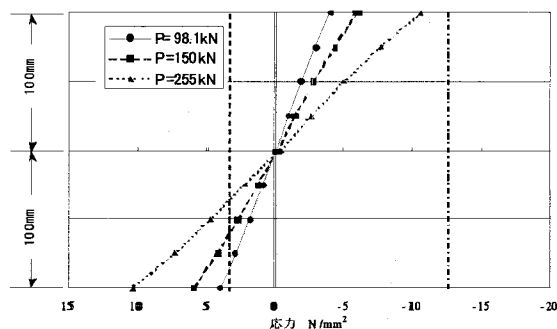


図-12 橋軸方向応力の分布 (供試体 2)

3.3 場所打ち部とPCa部接合面での付着に関する考察

本合成床版はPCa版と場所打ちコンクリート部の2層からなる構造系で、外荷重に抵抗するためにPCa版と上層部との一体化を確保することが重要である。そこで本合成床版の接合面に作用するせん断応力を、多層板の解析をもとに力学的な検討を加える。

押し抜きせん断破壊に至った供試体2を対象として、(1)アスファルト舗装部での輪荷重(載荷幅200mm×500mm)の荷重分散を考慮しないタイプと、(2)アスファルト舗装(弾性係数:2.0kN/mm²)の変形を考慮したタイプの2つの場合について数値計算を行う。なお、アスファルト舗装は感温性が高く、冬期と夏期によって弾性係数が異なり、一般に冬期で約10.0kN/mm²程度で、夏期には0.2kN/mm²まで低下すると言われている。夏期時には舗装の曲げ抵抗が少ないことを考慮すれば、(1)の場合とほぼ同様の挙動を示すと考えても差異はない。

輪荷重の大きさは98.1kNとし、載荷位置は床版中央とする。(1)と(2)の場合について計算されたせん断応力の結果を図-13と図-14に示す。接合面に最も大きなせん断応力をもたらすのは(1)の場合である。すなわちPCa版と場所打ち部との接合面でのせん断応力に着目すれば、冬期よりも夏期の方が大きなせん断応力が作用することになる。このせん断応力が許容付着応力の値やPush-Out Testによる値以下であれば、接合面でのせん断応力による付着破壊を防止することができる。

道路橋示方書による許容せん断応力はつぎのように規定されている⁹⁾。

$$\tau_{ba} = 3.8 + 38 \cdot P \cdot \sqrt{\sigma_{ck}}$$

ここに、

τ_{ba} : 接合面におけるコンクリートの許容せん断応力 (kgf/cm²),

p : 接合面の面積に対するずれ止め鉄筋比(%),

σ_{ck} : 場所打ちコンクリートの設計基準強度 (kgf/cm²)

上式を本合成床版に適用する。

トラス鉄筋の斜材をずれ止め鉄筋と考えると、鉄筋比 $p=0.00191$ となりコンクリート強度として現場打ちコンクリートのもの、即ち34.3N/mm²を採用すると

$$\tau_{ba} = 0.51 \text{ N/mm}^2 \quad \text{となる。}$$

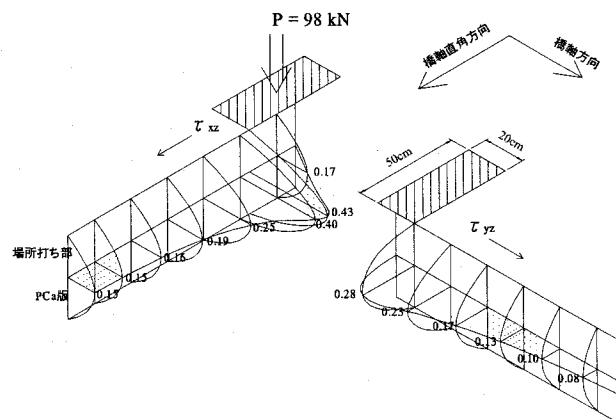


図-13 接合面での付着応力分布
(アスファルト舗装なし)

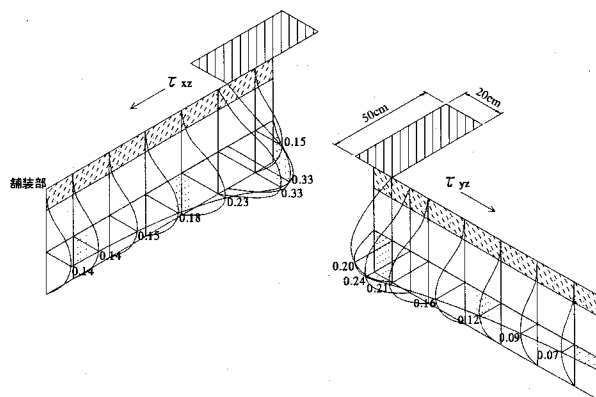


図-14 接合面での付着応力分布
(アスファルト舗装あり)

(1)の場合の作用最大せん断応力0.43N/mm²と比較すれば、B活荷重の下では安全側にあると言える。ずれ止め鉄筋を考慮しない場合は0.37となり、せん断力は許容値をオーバーすることになる。走行試験では403kNまでの輪荷重が載荷されており、計算値によれば最大せん断応力は1.77N/mm²にまで上り、トラス鉄筋に作用する軸力は6.5kNと推定される。しかし試験終了時の切断による観察では、接合面での剥離現象は確認されなかった。このことより、接合面に配置されたトラス筋の寄与は非常に大きく、付着破壊や剥離を防止していると考えられる。

3.4 疲労耐久性に関する考察⁸⁾

本合成床版はプレストレスが導入されたPCa版と場所打ちコンクリートからなる構造系で、異なった圧縮強度を有しているため、松井によるPC床版を対象として提案した疲労曲線(S-N曲線)を直接適用することは無理が

ある。RC床版の破壊メカニズムでは、輪荷重の走行繰返し作用によって貫通ひび割れの発生に伴って、橋軸方向の分配機能が低下し、床版が梁状化に至ることが前提条件であると言われている。一方、供試体2は走行回数が約35万回頃から98.1kN時での換算弾性たわみも急増し始め、かつひび割れ密度も6m/m²を超過しており、床版が梁状化する段階になっていたと分析される。

一般に押し抜きせん断耐力はコンクリート強度、版厚、鉄筋量、鉄筋位置および載荷荷重に影響されるため、これらの数値が当初の設計通りの値になっているかどうかを確認した上で、押し抜きせん断試験の結果を補正することが必要になる。

試験終了後供試体2を切断し、押し抜きせん断破壊面を観察した結果、ひび割れの角度は場所打ち部は約45度ラインであるが、PCa部内でのひび割れの角度はプレストレスの影響により水平に近くなっていた。このことを踏まえ、松井によるS-N曲線に修正を施し、本合成床版の梁状のせん断耐力P_{sx}に補正係数αを導入する。

$$P_{sx} = 2 \cdot B \cdot (\tau_{smax_c} \cdot X_m + \alpha \cdot \tau_{smax_p} \cdot tP/2 + \sigma_{tmax_p} \cdot tP/2) \quad (1)$$

$$B = b + 2 \cdot d_d \quad (2)$$

ここに、

tP=プレキャストの版厚、

$$\tau_{smax_c} = 2.214 \cdot \sigma_{ck}^{0.533} \quad (3)$$

$$\tau_{smax_p} = 2.214 \cdot \rho_{\sigma ck}^{0.533} \quad (4)$$

$$\sigma_{tmax} = 0.583 \cdot \rho_{\sigma ck}^{2/3} \quad (5)$$

$$\log(P/P_{sx}) = -0.07835 \cdot \log N + \log 1.520 \quad (6)$$

σ_{ck}: 場所打ちコンクリートの設計基準強度、

ρσ_{ck}: プレキャストコンクリートの設計基準強度

B: はり状化幅

b: 載荷板の橋軸方向辺の長さ

d_d: 引張側配力鉄筋の有効高さ

ところでRC床版のS-N曲線は(6)式で提案されており、このS-N曲線の傾きが本合成床版でもほぼ同じになると仮定すると、供試体2の階段載荷による累積疲労損傷度は式(7)のように表される。

$$D = \sum (n_i / N_i) \quad (7)$$

N_i: 荷重P_iで載荷した寿命で

式(6)で計算される

n_i: 階段載荷で荷重P_iをかけた回数

この供試体2が42.5万回で破壊したので式(7)の疲労損傷度が1.0でなければならない。よって、式(7)の値が1.0になるよう式(1)の補正係数を求めればよい。試行錯誤した結果、補正係数は0.06461と得られた。この値を用いたときの累積疲労損傷度の経過を表-6に示す⁹⁾。

表-6 補正係数を求めるための累加損傷度の試算

P _{sx} =626.94kN						
ni	Σni	Pi(kN)	Pi/P _{sx}	Ni(回)	損傷度	累計
40000	40000	171.6	0.2738	3.1561E+09	0.0000	0.0000
40000	80000	194.2	0.3098	6.5267E+08	0.0001	0.0001
40000	120000	217.8	0.3474	1.5154E+08	0.0003	0.0003
40000	160000	240.3	0.3834	4.3061E+07	0.0009	0.0013
40000	200000	263.9	0.4209	1.3064E+07	0.0031	0.0043
40000	240000	287.4	0.4585	4.3889E+06	0.0091	0.0134
40000	280000	310.0	0.4945	1.6729E+06	0.0239	0.0374
40000	320000	333.5	0.5320	6.5721E+05	0.0609	0.0982
40000	360000	357.1	0.5696	2.7519E+05	0.1454	0.2436
40000	400000	380.6	0.6071	1.2181E+05	0.3284	0.5720
25004	425004	403.2	0.6431	5.8410E+04	0.4281	1.0000

因みに、ひび割れ密度2m/m²での累積損傷度は約0.0010程度であり、ひび割れ密度6m/m²では約0.0900に相当する。供試体1の累積疲労損傷度を表-7に示す。計算の結果、累積損傷度は0.3828となり最大値1.0よりも小さかった。すなわち供試体1は破壊に至っていないことと符合する。

表-7 供試体1の累加損傷度

P _{sx} =674.25kN						
ni	Σni	Pi(kN)	Pi/P _{sx}	Ni(回)	損傷度	累計
40000	40000	157.0	0.2504	2.5146E+10	0.0000	0.0000
40000	80000	176.6	0.2817	5.5923E+09	0.0000	0.0000
40000	120000	196.2	0.3129	1.4574E+09	0.0000	0.0000
40000	160000	215.8	0.3442	4.3179E+08	0.0001	0.0001
40000	200000	235.4	0.3755	1.4222E+08	0.0003	0.0004
40000	240000	255.1	0.4068	5.1200E+07	0.0008	0.0012
40000	280000	274.7	0.4381	1.9884E+07	0.0020	0.0032
40000	320000	294.3	0.4694	8.2429E+06	0.0049	0.0081
40000	360000	313.9	0.5007	3.1670E+06	0.0111	0.0191
40000	400000	333.5	0.5320	1.6684E+06	0.0240	0.0431
40000	440000	353.2	0.5633	8.0440E+05	0.0497	0.0928
40000	480000	372.8	0.5946	4.0344E+05	0.0991	0.1920
40000	520000	392.4	0.6259	2.0963E+05	0.1908	0.3828

ところで供試体2が初期に予定した載荷プログラムで実験した場合の累積疲労損傷度について照査すると表-8のように0.9717となる。392.4kNで52万回の最終段階に破壊すると考えられる。この原因は床版厚が若干小さいことに原因していると言える。

表-8 供試体2の正規載荷プログラムで実験した場合の累加損傷度

P _{sx} =626.94kN						
ni	Σni	Pi(kN)	Pi/P _{sx}	Ni(回)	損傷度	累計
40000	40000	157.0	0.2504	9.9053E+09	0.0000	0.0000
40000	80000	176.6	0.2817	2.2029E+09	0.0000	0.0000
40000	120000	196.2	0.3129	5.7409E+08	0.0001	0.0001
40000	160000	215.8	0.3442	1.7009E+08	0.0002	0.0003
40000	200000	235.4	0.3755	5.6024E+07	0.0007	0.0010
40000	240000	255.1	0.4068	2.0170E+07	0.0020	0.0030
40000	280000	274.7	0.4381	7.8328E+06	0.0051	0.0081
40000	320000	294.3	0.4694	3.2470E+06	0.0123	0.0204
40000	360000	313.9	0.5007	1.4248E+06	0.0281	0.0485
40000	400000	333.5	0.5320	6.5721E+05	0.0609	0.1094
40000	440000	353.2	0.5633	3.1698E+05	0.1262	0.2356
40000	480000	372.8	0.5946	1.5892E+05	0.2517	0.4873
40000	520000	392.4	0.6259	8.2578E+04	0.4844	0.9717

既存の走行繰返し試験による結果とを比較すれば、図-15 および図-16 のようになる。図-15 には供試体1と平成8年度版の道路橋示方書に基づいて製作されたRC床版（以下、RC8oおよびRC8nと称する）の疲労耐力と破壊時の走行回数が記されている。供試体1はRC床版よりも大きな荷重と走行回数を重ねているにも係わらず、床版は破壊に至っていない。このことから供試体1の疲労耐久性はRC8oやRC8nよりも勝っていることが判る。図-16によれば、両RC床版と同一の階段載荷方式を架したと仮定するときの供試体2の推定疲労耐力（図中の▲印）を表している。その結果供試体2は供試体1と同様、RC床版に比べて過大の荷重と走行回数の下で試験が行われていたことが判る。供試体2が走行回数42.5万回で破壊したが、両RC供試体よりも疲労耐力が大きいことは明らかである。

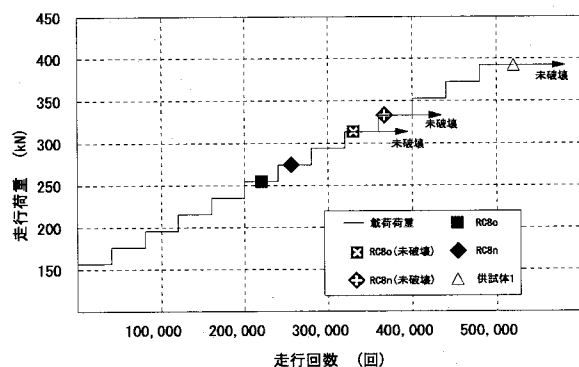


図-15 既往研究との比較（供試体1）

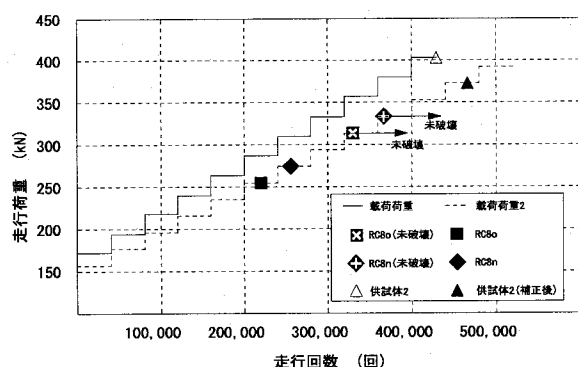


図-16 既往研究との比較（供試体2）

4. まとめ

2つの供試体を対象に輪荷重走行繰返しの下での結果、および解析面からの考察を総括して以下にまとめる。

- (1) 合成床版が設計荷重(= B 活荷重)を受ける段階では橋軸直角方向の床版下面の引張応力によって引き起こされる橋軸方向の曲げひび割れは発生しない。橋軸方向の引張応力がわずかに許容引張応力を超えるが、橋軸直角方向の曲げひび割れを発生するまでには至らない。
- (2) 本合成床版が過積載荷重(= 150kN)を受ける場合でも方向の曲げひび割れは発生しない。軸方向の引張応力が許容値を越えるために、橋軸直角方向に曲げひび割れが生じる可能性がある。荷重走行の影響を受けて

このひび割れは成長するが、ひび割れ幅は0.1mmにも達せずひび割れ密度も小さい段階に留まるであろう。

- (3) 輪荷重の大きさが255kNになれば、橋軸方向にも曲げひび割れが発生するが、そのひび割れ幅は0.1mm程度と推定される。走行繰返し作用を受けて格子状のひび割れ網が形成されるが、その時のひび割れ密度は2m/m²程度でおさまる。
- (4) 場所打ちコンクリートとPCa版との付着性状は、トラス筋の存在によって飛躍的に向上し、接合面での付着破壊の危険性はほとんどないと言える。
- (5) 本合成床版の疲労耐久性は平成8年度版の道路橋示方書による供試体の疲労耐久性に比べて大きく、実用上十分な疲労耐久性を有している。

5. おわりに

本研究にあたり輪荷重走行試験は旧建設省土木研究所と民間との共同研究「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ことを付記し、関係各位のご助言とご指導を賜りましたことに感謝します。

参考文献

- 1) 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。
- 2) 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。
- 3) 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3), 平成12年11月。
- 4) (財)災害科学研究所: ハーフプレハブPC合成床版設計・施工マニュアル(案), 技術資料, 平成14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) 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年10月。
- 7) 小林和夫: コンクリート構造学, 国民科学社, 1995年9月。
- 8) 日本建築学会: プレストレス鉄筋コンクリート(Ⅲ種PC)構造設計・施工指針・同解説, 1986年1月。
- 9) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 共通編, 平成14年。
- 10) 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。

2003年9月12日受付