

トラス鉄筋付PC版合成床版の疲労耐久性

Fatigue Durability of New Composite Slabs based on
Prestressed PCa Half Decks with Bar-trusses

岡本浩*、川島知佳夫**、木村勝利***、平岩昌久****、土谷逸郎*****、松井繁之*****
Hiroshi OKAMOTO, Chikao KAWASHIMA, Katsutoshi KIMURA, Masahisa HIRAIWA,
Itsuo TSUCHIYA and Shigeyuki MATSUI

- *工修 飛島建設株式会社 土木事業本部 土木技術部 課長(〒102-8332 東京都千代田区三番町2)
- **飛島建設株式会社 土木事業本部 土木設計部 主任(〒102-8332 東京都千代田区三番町2)
- ***日本カイザー株式会社 技術部 課長(〒150-0011 東京都渋谷区東3-15-7)
- ***日本カイザー株式会社 技術部 課長代理(〒150-0011 東京都渋谷区東3-15-7)
- ****大阪大学大学院 工学研究科 土木工学専攻 修士課程(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
- *****工博 大阪大学大学院教授 工学研究科 土木工学専攻(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

A new type of composite slab consisting of prestressed precast concrete decks (PC-PCa) and in-situ reinforced concrete layer seems to be applicable to highway bridge decks. PC-PCa decks have new jointing parts in the transverse direction and bar-trusses as shear connectors. These slabs have many advantages of strength, construction, economy and so on. This paper describes the jointing behaviors and load carrying capacity by changing the jointing details and fatigue durability of the new composite slabs under wheel running machine at Osaka University. The fatigue lives of new composite slabs are verified to be quite longer than the one of reinforced concrete slabs of the same thickness. From those tests results, the composite slabs seem to have sufficient durability as bridge deck.

Key Words : composite slab, PC-PCa, bar-truss, wheel running machine, fatigue durability

1. はじめに

道路橋床版として経済性、施工性に優れたRC床版が標準的な工法として用いられてきたが、昭和40年代以降ひびわれの損傷事例が報告され始め、これに対応して床版の設計基準が適宜改定されてきたものの、未だ多くの床版が架け替えや大規模な補修・補強を必要とされていることは周知の事実である。

一方、高齢化社会への移行に伴う省力化・省人化の要請、工事近接地域への配慮や交通事情の悪化に伴う交通規制の制約などにより、短期間で施工でき、しかも特殊な作業を伴わない新しい床版工法が必要とされてきている。

輪荷重走行載荷実験による研究¹⁾²⁾により床版損傷のメカニズムが解明され、床版の疲労耐久性の検証方法が提案されたのは近年になってからで、これらの成果により優れた耐久性を有する新しい床版構造へのアプローチが可能となっており、社会的趨勢であるコスト削減の要請の後押しとあいまって、多くの新しい構造を有する床版が開発されている。

これらのうち、コンクリート系床版は大別して、すべて

現場にて施工するRC床版工法、プレキャスト版を架設した後プレストレス等で一体化を図るフルプレキャスト工法、桁間に型枠兼用の薄いプレキャスト版を設置して、配筋、コンクリート打設を行うPC合成床版工法(ハーフプレキャスト工法)等がある。

本文で報告する新しい床版工法は、ハーフプレキャスト工法のひとつで、トラス鉄筋を組み込み、橋軸方向の構造継手を持つ薄いプレキャスト版にプレテンション方式でプレストレスを導入し(PC-PCa版)、これを型枠・足場兼用として桁上に架設した後、鉄筋の配筋および場所打コンクリートの打設により一体の床版を構築する工法である。

本工法は桁間隔程度の長さで、かつ、8~10cm程度の厚さのPCa版を使用するので架設機械(クレーン等)が小規模で施工可能なことから、山岳部や都市内の狭隘部に有効な工法と言える。

本床版構造の疲労耐久性、特に構造の弱点と考えられる継手部に着目して、交番載荷実験および輪荷重走行載荷実験を実施して、その疲労耐久性について検証したのでここに報告する。

2. 新しい床版構造の特徴と問題点

(1) 床版構造の特徴

本床版構造が、従来のハーフプレキャスト構造と異なる点を以下に列記する。

- プレキャスト版の表面に凹凸形状を設けプレキャスト版と場所打コンクリートとの間にせん断抵抗をとらせる方法ではなく、トラス鉄筋をあらかじめプレキャスト版に組み込んでおくことによりトラス鉄筋を介して場所打コンクリートとプレキャスト版との間にせん断力を伝達させる。
- プレキャスト版の橋軸方向に図-1のようなループ形状の継手を設け、プレキャスト版内の橋軸方向鉄筋の連続化を図ることにより、場所打コンクリート部の下端に配置する鉄筋が不要になるだけでなく、床版の有効高さをプレキャスト版の厚さを含めたものとしてでき、床版の曲げおよびせん断耐力が大幅に増加する。
- ループ継手内への橋軸直角方向鉄筋の挿入は、図-1に示すようにループ鉄筋を折り曲げることにより、すべてプレキャスト版上で施工が可能である。

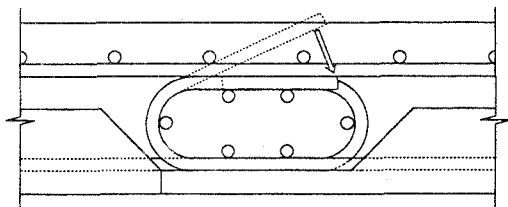


図-1 継手構造

- 既往の研究^{3,4)}によれば、トラス鉄筋が床版内に配置されているので疲労耐久性が高いことが予想される。
- PC-PCa版には、橋軸直角方向にトラス鉄筋が配置されているため、架設時の版の曲げ剛性が高く張出床版部までPC-PCa版を敷設することができるため、足場・支保が不要になる。

(2) 疲労耐久性に関する問題点

このように多くの利点が考えられる構造ではあるが、以下のような未確認事項があり、実験により確認する必要があった。

- 継手構造の構造的信頼性、特に曲げとせん断に対する能力と疲労耐久性。
- トラス鉄筋がプレキャスト版と場所打コンクリートとの一体性および耐久性に及ぼす効果。
- プレキャスト版にプレストレスが導入されている分、通常のRC床版よりも疲労耐久性が高いと考えられ、RC床版に比べてどの程度薄くすることが可能かの合理的な最小厚の決定。

(3) 実験計画

以上の事項の検証のため、以下の実験を実施した。

- 梁中央部に継手構造を設けた試験体に対して、交番荷重実験による継手部の耐久性に関する構造的検証。
- 中央部に継手を設けた実大サイズの試験体を2体、継手を設けない試験体を1体の計3体の試験体に対して、輪荷重走行荷重試験による疲労耐久性の検証。

3. 橋軸方向継手に関する交番荷重実験

(1) 実験の目的

道路橋床版の適切な耐久性評価を行うには、輪荷重走行荷重試験による必要があるが、その前段階として継手構造に曲げおよびせん断力を与えた時の耐力の評価を梁モデルで行うことにした。継手の能力の比較のため、継手の異なる数種の試験体やトラス鉄筋を配置しない試験体、継手のないRC構造の試験体等についても実験を実施した。

(2) 試験体の設計および荷重計画

試験体は幅50cm、長さ300cm、総厚25cmの梁とし、プレキャスト版厚は10cm、場所打コンクリート厚は15cmとした。プレキャスト版の継手構造を設ける場合には、梁中央部に継手を設けた。ただし、橋軸方向に着目した試験であるため、プレキャスト版にはプレストレスを導入していない。試験体に使用したコンクリートの設計基準強度はプレキャスト版がすべて $40(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、場所打コンクリートはすべて $24(\text{N}/\text{mm}^2)$ である。

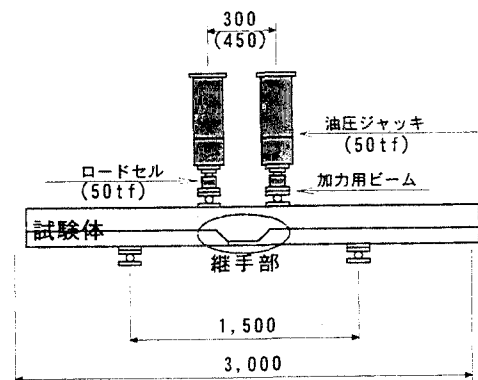


図-2 交番荷重装置

荷重方法は、梁中央に設けた継手の両側に設置した2台のジャッキを交互に作用させ、継手部に発生するせん断力が正負の繰り返しになるようにし、各荷重毎に2台のジャッキを交互に計100回荷重した。このときの荷重荷重は支間長を2.0mとした道路橋示方書⁵⁾の床版の橋軸方向の設計曲げモーメント（B活荷重）を基本とし、荷重を段階的に大きくしていき設計上の終局曲げモーメントまで作用させ、最終的な破壊に至らない試験体については、2台のジャッキを同時に駆動させ破壊まで荷重した。

設計結果ならびに載荷荷重を表-1~2に示す。

表-1.試験体の設計結果

	床版厚 h ₀ (cm)	設計結果(橋軸方向)		
		h(cm)	d(cm)	配筋
試験体A	25.0	25.0	20.4	D16@125
試験体B	25.0	25.0	20.4	D16@125
試験体C	25.0	25.0	20.4	D16@125
試験体D	25.0	25.0	20.4	D16@125
試験体E	25.0	25.0	20.4	D16@125
試験体F	25.0	17.0	13.0	D19@125
試験体G	25.0	25.0	20.4	D16@125

h₀:実際の床版厚 h:設計床版厚 d:有効高さ

表-2.交番載荷実験の載荷荷重

stage	倍率	載荷荷重(t)		摘要
		A~C	D~G	
1	1.00	4.70	4.86	設計荷重(道路橋示方書)
2	1.34	6.28	6.50	ひびわれ荷重
3	1.50	7.05	7.30	
4	2.00	9.40	9.73	
5	2.50	11.80	12.21	
6	3.00	14.10	14.59	
7	3.65	17.10	17.74	曲げ破壊時荷重
8				曲げ破壊まで

3次元のFEM解析により床版に作用する曲げモーメントとせん断力の比を求めた結果、梁実験で発生する応力は曲げモーメントに比べてせん断力の割合がかなり小さいことが判明したので、試験体の支承間隔(継手構造を中心とした支点間距離)を継手部の影響が生じない範囲でできるだけ小さく(150cm)することにより、相対的にせん断力を大きくするようにした。トラス鉄筋は橋軸直角方向に500mmピッチで配置した。

(3) 実験ケース

試験体の概要を表-3~4に示す。

試験体A, Dは本床版の標準的な継手構造を有する合成床版であり、試験体Eは標準的な継手構造にスタッドを配置し補強した合成床版である。試験体Cは一体の継ぎ目のないプレキャスト版と場所打コンクリートとの合成床版である。試験体Fはトラス鉄筋および継手鉄筋がない合成床版であり、場所打コンクリート内の橋軸方向に鉄筋を上下2段で配筋した。試験体Bは、建築分野で利用されている継手構造を有した合成床版である。試験体Gは、プレキャスト版を用いないRC床版構造である。各試験体は、床版厚をすべて25cmで一定とした。

また、ジャッキの設置位置がA~CとD~Gで異なっているのは、荷重載荷位置が継手形状に与える影響を考慮したものであり、試験体A~Cは、ジャッキ間隔が30cm、試験体D~Gは45cmとした。

場所打コンクリートとプレキャスト版の付着の効果を調べるために、試験体A~Cにはプレキャスト表面を目荒

らしせず、試験体D, Eはプレキャスト版コンクリート打設後、遅延剤を散布し、場所打コンクリート打設前に十分に水洗いして目荒らしとした。試験体Fはプレキャスト版の上表面に50mmピッチで4mmの深さの凹凸を付けた。

表-3.試験体の概要

試験体	ジャッキ間隔(cm)	接合部		合成トラス鉄筋	目荒し	摘要
		継手形状	連続性			
A	30.0	ループ	○	○	○	標準型
B	30.0	かぶせ	○	○	○	建築仕様継手
C	30.0	—	○	○	○	接合部なし
D	45.0	ループ	○	○	○	標準型
E	45.0	ループ+スタッド	○	○	○	スタッド補強
F	45.0	—	—	○	—	PC合成床版
G	45.0	—	—	—	—	標準RC床版

表-4.試験体の継手構造概要

試験体	継手仕様	概略図
A	標準継手	
B	建築仕様継手	
C	連続構造	
D	標準継手	
E	標準継手+スタッド補強	
F	継手なし	
G	RC床版	

(4) 実験結果

各試験体の破壊時の荷重と繰返し回数を表-5に示し、実験結果の概要を述べる。

表-5.破壊荷重と載荷回数

試験体名	最終破壊状況			
	stage	荷重(tf)	回数	摘要(破壊時)
試験体A	7	17.14	60	終局荷重
試験体B	2	6.28	10	曲げひびわれ荷重
試験体C	8	>20.0	—	終局+α
試験体D	7	17.74	80	終局荷重
試験体E	8	>20.0	—	終局+α
試験体F	7	17.74	80	終局荷重
試験体G	8	>20.0	—	終局+α

a) 標準の継手構造を有する試験体(A, D)は、設計終局耐力荷重の繰返し回数60~80回で破壊に至った。図-3に試験体Dの荷重~たわみ関係を示す。また、試験体Dの側面の最終ひびわれ状況を図-4に示す。

b) 標準の継手構造にスタッドを補強した試験体(E)、継手部のない試験体(C)は、設計上の終局耐力荷重100回載荷においても残留変形が小さくかつ破壊せず、その後の

を用いた。試験体の厚さは、試験データの多い 18cm の RC 床版と比較するため、同じ 18cm とした。試験に用いた床版の大きさは幅 220cm、長さ 300cm、総厚 18cm（プレキャスト版の厚さ 9cm、場所打コンクリートの厚さ 9cm）である。試験体の継手位置、試験体寸法、支持条件および輪荷重の荷重範囲を図-5 に、試験体の荷重概要を表-8.に示す。

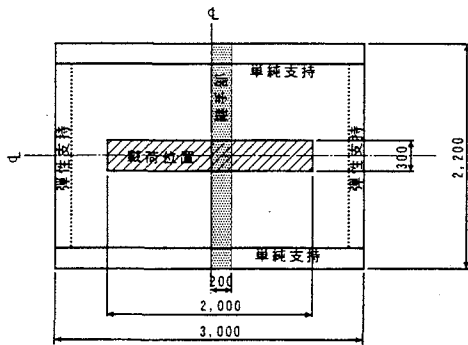


図-5. 試験体の寸法、継手位置、支持条件および荷重位置

表-8. 試験体の荷重計画

試験体	継手	荷重回数(往復)			コア抜き
		15(t)	18(t)	21(t)	
I	○	3万回	50万回	12万回	実験終了後
II	—	3万回	50万回	—	実験終了後
III	○	3万回	30万回	—	0,3,18,33万回

試験体 I、II に対しては、荷重荷重は RC 床版との対比から最初に 15(t) を 3 万回、続いて 18(t) を 50 万回荷重することを基本とした。ただし、試験体 I については、53 万回終了後も破壊に至らなかったため、引き続き 21(t) を 12 万回荷重した。また、試験体 III については、15(t) を 3 万回、18(t) を 30 万回荷重し、0 回、3 万回、18 万回、33 万回荷重終了後にコアボーリングを行い、このコアに引張試験、トルク試験を行い、プレキャスト版と場所打コンクリートとの付着性状の変化を調べた。試験体 I、II についても、実験終了後、コアボーリングをして同様の実験を行った。また、実験終了後、試験体を切断し、ひびわれ深さについても調査を行った。

(4) 実験結果

実験により得られた結果を以下に示す。

a) 図-6、7 はそれぞれ試験体 I、II の下面の最終ひびわれ状況を示したものである。試験体 I は比較的初期(通算 10 万回目)に継手近傍に橋軸方向および橋軸直角方向に数箇所ひびわれが発生したが、その後は橋軸方向ひびわれは進展せず、橋軸直角方向のひびわれだけが発達している。

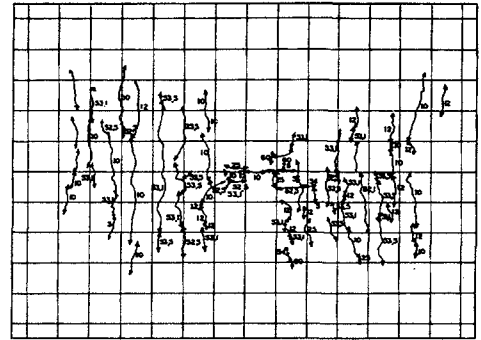


図-6. 最終ひびわれ状況(試験体 I、単位: 万回)

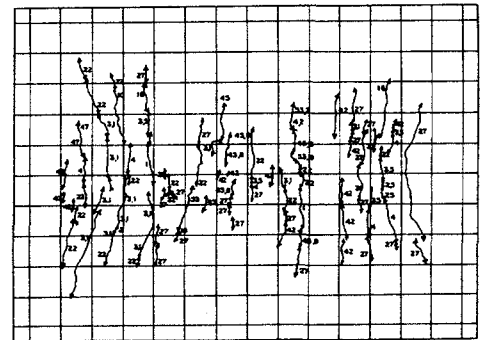


図-7. 最終ひびわれ状況(試験体 II、単位: 万回)

一方、試験体 II は橋軸方向ひびわれが発生せず、走行回数の増加に伴い橋軸直角方向のひびわれのみが発生した。これらのひびわれはいずれも荷重時にのみ確認でき、写真でも示し得ないほど微細なものであった。実験完了後、試験体を切り出して CCD カメラを用いてひびわれの深さを調査した結果、ひびわれ深さはプレキャスト版内の主鉄筋で約 40mm、配力筋で約 15mm であった。

b) 図-8~9 は試験体 I および II の走行回数(往復回数)とたわみの関係を示したもので、活荷重たわみおよび残留たわみとも 18(t) の荷重下では安定しており疲労耐久性が大きいことが理解できる。試験体 I に対して荷重荷重を 21(t) に上げた場合、活荷重たわみ、残留たわみともに増加率が若干大きくなっている。継手あるなしで両試験体を比較すると、試験体 I の方が試験体 II よりもやや大きい。これは継手の影響と考えられる。

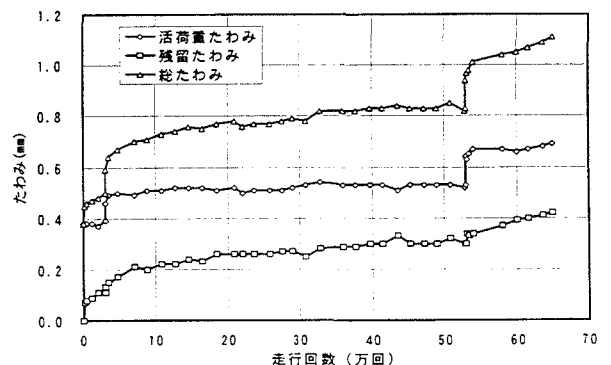


図-8. たわみ～サイクル曲線(試験体 I)

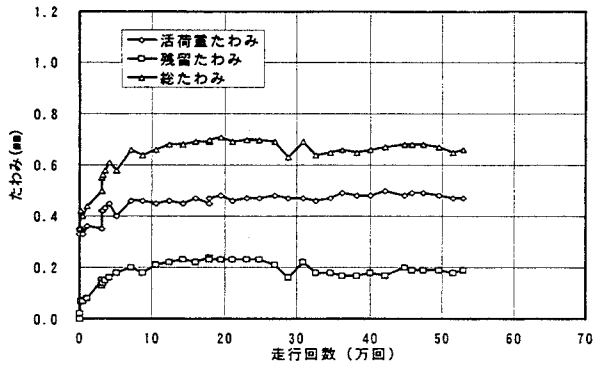


図-9. たわみ～サイクル曲線 (試験体II)

c) 図-10～11 は試験体 I および II の荷重荷重～たわみの関係であり、継手構造を有する試験体 I の最大荷重間の荷重～たわみ関係にはほぼ直線関係が見られるが、図 7～8 の結果に対応して傾きが徐々に小さくなっている。また、その傾きは試験体 II に比べて若干小さい。

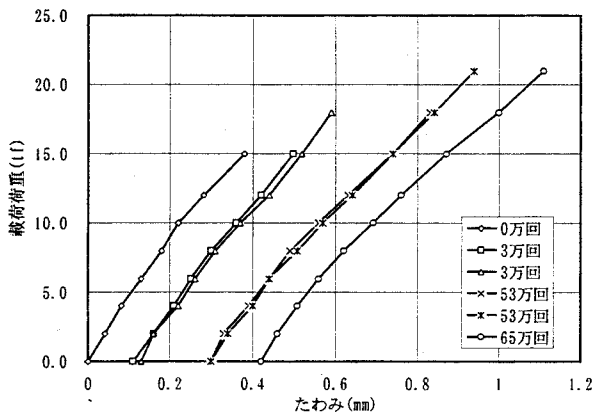


図-10. 荷重～たわみ曲線 (試験体 I)

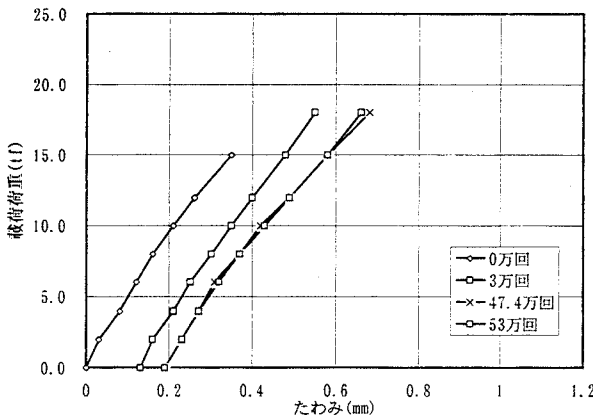


図-11. 荷重～たわみ曲線 (試験体 II)

d) 図-12 は試験体 I の継手部内の橋軸直角方向に配置されている鉄筋のひずみ分布の変化状況を示したものである。走行回数が増加するにしたがい鉄筋ひずみの増加がみら

れる。18(tf) 荷重時には回数が増えてもあまり鉄筋ひずみの大きな変化はなかった。21(tf) 荷重後は、増加率が 18(tf) 時よりも大きくなっている。65 万回荷重時の継手内鉄筋の最大ひずみは 266 μ となっているが、継手部以外におけるプレキャスト版内の橋軸直角方向鉄筋のひずみは 250～322 μ となっており、両者に差がないことから橋軸直角方向ひびわれの発生による直交異方性板化の影響と考えられる。図では示していないが、65 万回荷重後に除荷したときの橋軸直角方向鉄筋の中央位置の最終残留ひずみは 18(μ) と非常に小さく、継手部は両側のプレキャスト版部の変形拘束を受けて挙動していると評価できる。

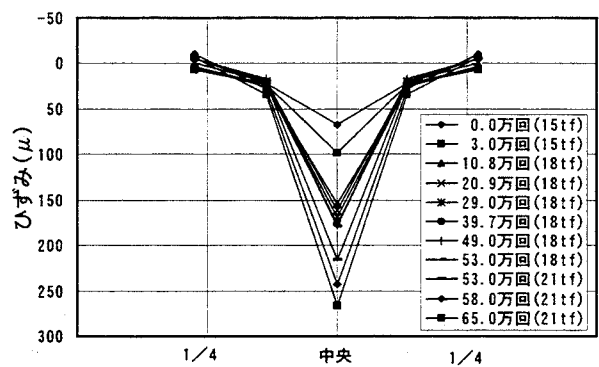


図-12. 橋軸直角方向鉄筋ひずみ分布 (継手部 試験体 I)

e) プレキャスト版と場所打コンクリートとの界面の付着せん断強度および付着引張強度を調べるために、試験体に対して深さ 10 cm、 ϕ 68 mm のコアリングを行い、採取した円柱形状コンクリートについてトルク試験と引張試験を行った。トルク試験はトルクレンチを用いて床版面の鉛直軸まわりのねじりモーメントを加え、界面に残留する付着せん断強度を測定した。また、引張試験は建研式に準拠した装置を用いて床版面に鉛直な方向に引張力を加え界面に残留する付着引張強度を測定した。

18(tf) の輪荷重を幅 30cm、長さ 12cm の面に等分布する分布荷重として輪荷重走行荷重実験において荷重する範囲で移動させ、試験体床版に発生する応力度を直交異方性版の理論から解析的に求めた。この時の荷重中心点からの橋軸方向および橋軸直角方向において付着界面に発生するせん断応力度分布を、図-13 に示す。

また、試験体 I および試験体 II のコアリング位置とその位置におけるトルク試験結果並びに引張試験結果を図-14 に、試験体 III におけるトルク試験結果並びに引張試験結果を図-15 に示す。図-14 には試験体 I と II のデータがそれぞれ上下に、図-15 には試験体 III のデータが荷重回数ごとに 1/4 ずつ示してある。試験結果はトルク試験結果ならば付着せん断強度を、引張試験では付着引張強度を表している。

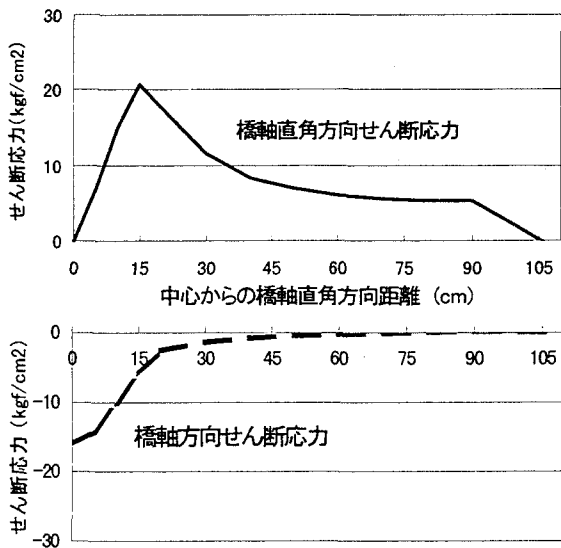
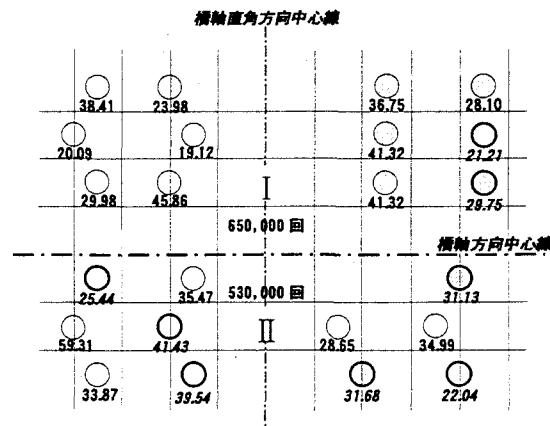


図-13. 付着界面に発生するせん断応力度の解析結果



凡例 - ※ 1メモリ 20cm 角
 ○ トルク試験結果 ○ 引張試験結果 ○ 付着界面で破壊
 (単位 kgf/cm²)

図-14. コアリング位置と試験結果(試験体 I, II)

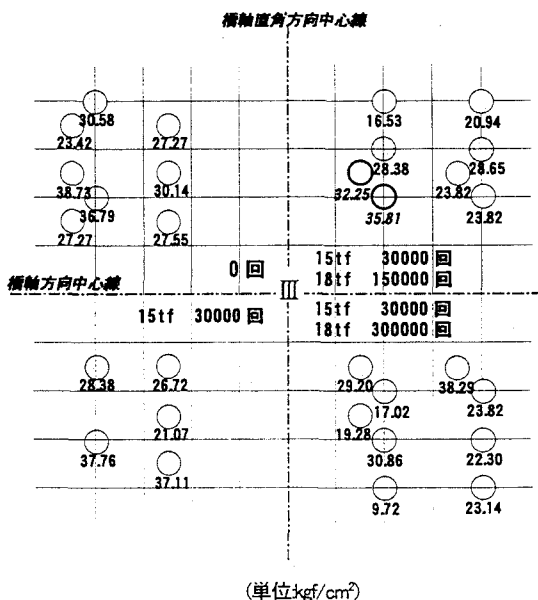


図-15. コアリング位置と試験結果(試験体 III)

図-13 からコアリングした位置においては、橋軸直角方向に発生したせん断応力度が橋軸方向に発生したせん断応力度よりもはるかに大きいため、界面では橋軸直角方向に発生したせん断応力の影響だけを受けていると考えられる。その値の分布を見ると、載荷輪端(中心より 15cm の位置)で最大となり、離れるにしたがい減少している。発生するせん断応力度の繰り返しが付着強度を低下させると考えると、発生せん断応力度が小さいところでは付着強度が低下せず、大きいところでは付着強度の低下が予想される。しかし、図-14 に示すように、試験体 I・II の実測値をみると橋軸直角方向上では位置の差による違いはあまり見られない。

トルク試験および引張試験において、付着界面で破壊したものは少ない。また、10 kg/cm² 前後の極端に低い付着強度の試験結果が存在するものの、付着界面で破壊したケースを含めて大半は 20 kg/cm² 以上の付着強度が残存している。図-15 に示す試験体 III の実測値においても同じような傾向にあり、載荷回数による影響もあまり見られない。

以上のことから、今回の試験体では疲労試験によってプレキャスト版と場所打ちコンクリートとの界面が剥離するほど大きなせん断力は発生しなかったといえる。その理由の一つとしてプレキャスト版と場所打ちコンクリートとの界面に発生するせん断力を両者の間に配置されたトラス鉄筋が分担しているためと考えられ、今後トラス鉄筋を配置しない試験体を用いた輪荷重走行載荷実験を行い、今回の実験結果における付着強度との比較を行い、トラス鉄筋の効果を明確にしたいと考えている。

(5) 本床版構造に関する考察

a) 既往の研究⁹⁾によれば、同じ 18cm の厚さを有する RC 床版は 18(tf) の繰り返し回数 41.8 万回(往復)で破壊し、この床版の耐用年数が 50 年に相当することから、これと比較して本床版構造(試験体 I)に与えた荷重サイクルによる疲労効果を等価繰り返し回数 N_{eq} で評価できる。等価繰り返し回数は載荷荷重 18(tf) を基本荷重として、以下の式で表される。

$$N_{eq} = \sum_i \left(\frac{P_i}{P_0} \right)^m \cdot n_i \quad (1)$$

$$T = \frac{N_{eq}}{N_0} \cdot T_0 \quad (2)$$

N_{eq} : 等価繰り返し回数

P_0 : 基本となる荷重 = 18.0(tf)

P_i : 載荷荷重

n_i : 荷重 P_i の繰り返し回数(往復)

$m = 1/k = 12.763$

T : 試験体 I の疲労寿命(年)

T_0 : RC床版の疲労寿命 = 50(年)

N_0 : 荷重 P_0 の繰り返し回数 = 418(万往復)

式(1)および(2)に試験体 I に載荷した荷重と繰り返し回数(15tf を 3 万往復、18tf を 50 万往復、21tf を 12 万往復)を代入すると、163(年)という数値が得られる。

この疲労荷重載荷後の試験体 I は、まだひびわれ深さも小さく、プレキャスト版と場所打コンクリートの界面の付着も十分に残存している。また、わずかにたわみが増加しているもののほとんど全断面有効に近い状況と考えられることから、本床版構造の疲労寿命は非常に長く、十分な疲労耐久性を有しているものと考えられる。

b) 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(PC-PCa)を用いた合成床版であるが、最小厚の決定法はまだ明確ではない。そこで、本床版の設計上のスパン 2.25m (実験のスパン 1.8m により生じる曲げモーメントを連続版の条件に直したもの) に対応する PC 床版の最小全厚は、道路橋示方書⁹⁾を準用すれば

$$d_0 = 3 \cdot l + 11 = 17.8(\text{cm}) \quad (3)$$

となり、今回の実験に使用した床版全厚 18.0(cm)とほぼ一致する。この規定による最小全厚を有する本床版の疲労耐久性が実験的に十分であることが明らかになったので、本床版構造の最小全厚は式(3)の規定によってもよいと考えている。

5. まとめ

プレキャスト版間に構造継手を持ち、トラス鉄筋を配置した新しい構造のプレキャスト版と場所打鉄筋コンクリート上置層との合成床版について、継手の曲げおよびせん断に対する耐荷力に関しては交番載荷実験により、継手部を有する床版全体の疲労耐久性に関しては輪荷重走行載荷実験により検証し、以下の結果を得た。

a) 本床版構造は曲げおよびせん断力並びに疲労耐久性に対して優れた構造であることを実験的に明らかにした。

b) 中央部に継手を設けた場合、すなわち、ここではループ形状の継手構造を提案したが、十分な疲労耐久性を有していることを実験的に明らかにした。

c) 本床版の最小全厚は、式(3)によってよい。

d) トラス鉄筋を配し、遅延剤による目荒らしを行ったプレキャスト版表面と場所打コンクリートの界面には剥離するほど大きなせん断力は発生せず、界面は試験終了後も十分な強度を有していたことが明らかになった。これはジベルとして挿入したトラス鉄筋が大きく寄与しているものと考えられる。

最後に本研究における実験・解析に協力して頂いた金氏、板野氏他大阪大学の大学院生、学部生諸氏に深謝します。

参考文献

- 1) 前田幸雄、松井繁之：鉄筋コンクリート床版の押し抜きせん断耐力の評価式、土木学会論文報告集 V-1、1984.
- 2) 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、コンクリート工学年次論文報告集、1987.
- 3) 松井繁之、川本安彦、梨和甫：トラス形鉄筋によりせん断補強した RC 床版の疲労耐久性、土木学会第 49 回年次学術講演会、1994.
- 4) 松井繁之、辻誠治、文兌景 他：トラス形鉄筋を用いた RC 床版の耐久性に関する研究、土木学会第 50 回年次学術講演会、1995.
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I～III、1996.
- 6) 阪神高速道路公団：道路橋 RC 床版のひびわれ損傷と耐久性、1991.