

# パーシャルプレストレスを導入したP C床版の輪荷重走行実験

## Wheel Running Tests for Partially Pre-stressed Pre-cast Concrete Slab

八部順一\*, 川畑篤敬\*\*, 佐々木保隆\*\*\*, 内田賢一\*\*\*\*, 宮崎和彦\*\*\*\*, 西川和廣\*\*\*\*\*

Junichi YABE, Atsunori KAWABATA, Yasutaka SASAKI, Kenichi UCHIDA, Kazuhiko MIYAZAKI and Kazuhiro NISHIKAWA

- \*工修 川崎重工(株) (〒136-8588 東京都江東区南砂2-11-1)
- \*\*工修 日本鋼管(株) (〒230-8611 横浜市鶴見区末広町2-1)
- \*\*\*工修 (株)横河ブリッジ (〒273-0026 千葉県船橋市山野町27番地)
- \*\*\*\* 建設省土木研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市大字旭1番地)
- \*\*\*\*\*工修 建設省土木研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市大字旭1番地)

In recent years, application of transverse pre-stress on deck slabs is considered to get high fatigue durability. From the economical point of post-tensioned pre-stressed slab construction cost, reducing pre-stress without less of fatigue durability is effective. But there is few data on those slabs. Authors carried out wheel running tests for partially pre-stressed pre-cast concrete slabs changing parameter of introducing pre-stress in order to confirm fatigue durability and final failure mode. Principal results and conclusions are as follows,

- ① Fatigue durability for partially pre-stressed concrete slabs introducing 25% or 50% value of fully pre-stressing design concrete slab in transverse direction became extremely higher than ordinary designed reinforced concrete slab.
- ② To reduce introducing pre-stress for post-tensioned pre-cast pre-stressed concrete slab is effective from the point of reducing construction cost and work.

key words : partially pre-stressed concrete slab, wheel running test, fatigue durability, reducing construction cost

### 1. まえがき

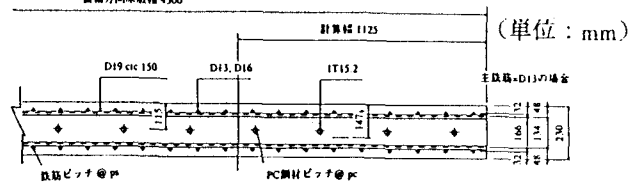
近年、道路橋床版の損傷原因となる疲労強度に関する研究は、輪荷重走行試験機の導入にともない、その研究事例<sup>1)~3)</sup>が増えているものの、今なお少なく、十分なデータが得られているとは言いがたい。これまでの研究によると、床版支間方向にプレストレスを導入した1方向P C床版の疲労耐久性は、従来のR C床版に比べ飛躍的に増加することが報告<sup>4)</sup>されている。P C床版の現場施工においては、現場施工の省力化、現場コストの縮減、さらに工期縮減<sup>5)</sup>の観点からポストテンション方式P C床版の設計において、P C鋼線の緊張本数を低減し、かつ耐荷力、疲労耐久性の低下を極力小さく抑えることは有効であると考えられる。

本研究は、単位長さあたりのP C鋼線の緊張本数を変えることにより、導入プレストレス力をパラメータにしたパーシャルプレストレス床版(以下、P R C床版と呼ぶ)の輪荷重走行実験により、導入プレストレス力と疲労耐久性との関係を把握することを目的に、(社)日本橋梁建設協会と建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室との共同研究<sup>6)</sup>として行ったものである。なお、本実験では、別途建設省土木研究所で行っている昭和39年および平成8年道路橋示方書(以下、道示と呼ぶ)に準拠して設計された既往のR C床版との比較検討も合わせて行うことにより、相対的な評価を加えている。

### 2. 実験対象としたパーシャルプレストレスP C床版

本実験で採用した床版構造は、床版支間方向にパーシャルプレストレス(フルプレストレスの50%,25%)で設計したポストテンション方式のP C床版を対象とした。使用したP C鋼線は施工性の良さから最近施工事例の増えているプレグラウトタイプとした。床版支間に関しては、土木研究所におけるこれまでの一連のR C床版に関する実験に準拠し、床版支間3.2mの連続版を対象としている。プレストレス量をパラメータにした計算結果を表-1に示す。活荷重載荷時に床版下面に生ずる引張応力度は、パーシャルプレストレス50%の場合15.8kgf/cm<sup>2</sup>、パーシャルプレストレス25%の場合26.2kgf/cm<sup>2</sup>となる。

表-1 プレストレス量を変えたP R C床版の設計計算



項 目	プレストレス量				
	フル 100%	75%	50%	25%	
P C鋼材	径	1T 15.2	1T 15.2	1T 15.2	1T 15.2
	本数	8.5	6.5	4.25	2.25
	ピッチ(m)	0.132	0.173	0.265	0.500
活荷重載荷時 合成応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )	5.3	-4.4	-15.8	-26.2	

### 3. 実験供試体

#### (1) 材料およびその性質

本実験に用いたコンクリートの配合を表-2に示す。コンクリートは、早強ポルトランドセメントを使用し、設計基準強度 $\sigma_{ck} = 50.0 \text{ kgf/cm}^2$ 、スランプは12cm、空気量は4.5%を目標値とし、鉄筋はSD295A(D19, D13)、PC鋼材はプレグラウトタイプPC鋼線 SWPR7B15.2 $\phi$ を使用した。表-3に静的実験および疲労実験時のコンクリートの圧縮強度、弾性係数、ポアソン比、引張強度を示す。表-4に鉄筋およびPC鋼線の力学的特性を示す。

表-2 コンクリートの配合

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	空気量 (%)	スランプ (cm)	単位量(kgf/m <sup>3</sup> )				
				水	セメント	最骨材	粗骨材	混和剤
42	45.3	4.5	12	153	365	814	990	4.02

表-3 コンクリートの力学的特性

	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	ポアソン比	引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
PRC50% 供試体	580	3.09E+05	0.201	29.9
PRC25% 供試体	549	3.12E+05	0.178	33.3

表-4 鉄筋およびPC鋼線の力学的特性

	降伏荷重 (tf)	最大荷重 (tf)	降伏点応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	引張強さ (kgf/cm <sup>2</sup> )	伸び (%)	公称断面 (cm <sup>2</sup> )
鉄筋 D13 SD295	4.54	6.73	3,583	5,314	19.2	1.267
鉄筋 D19 SD295	10.27	15.57	3,585	5,433	20.5	2.865
PC鋼線 15.2mm SWPR7B	24.29	27.04	17,513	19,495	7.6	1.387

#### (2) 供試体

##### 1) PRC50%実験供試体

図-1にパーシャルプレストレス50%として設計した実験供試体の一般図を示す。実験供試体の寸法は、これまでに建設省土木研究所で行われた一連のRC床版に関する実験供試体に合わせ橋軸直角方向長2.8m(床版支間2.5m)、橋軸方向床版長4.5mとした。PC鋼材は、プレグラウトタイプのPC鋼より線 SWPR7B15.2 $\phi$ を使用し、配置間隔は26.5cmとした。

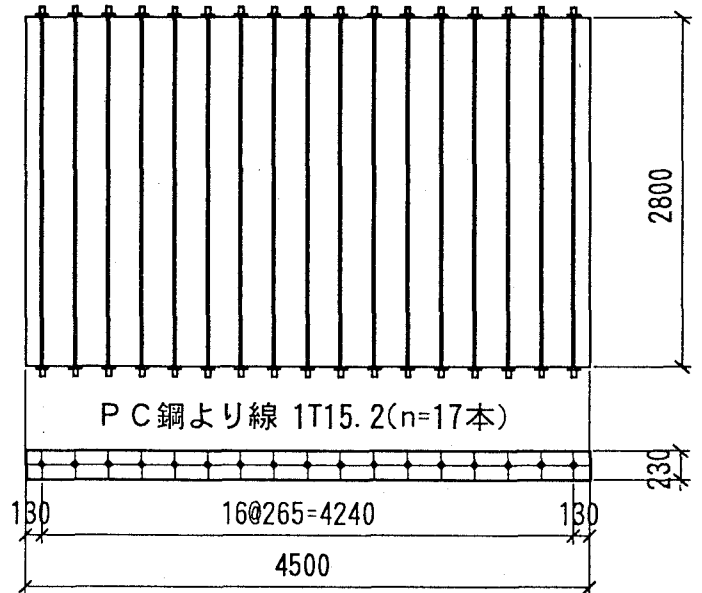


図-1 PRC50%実験供試体 (単位: mm)

##### 2) PRC25%実験供試体

図-2にパーシャルプレストレス25%実験供試体の一般図を示す。プレグラウトタイプPC鋼より線 SWPR7B15.2 $\phi$ は、50cm間隔の配置となる。

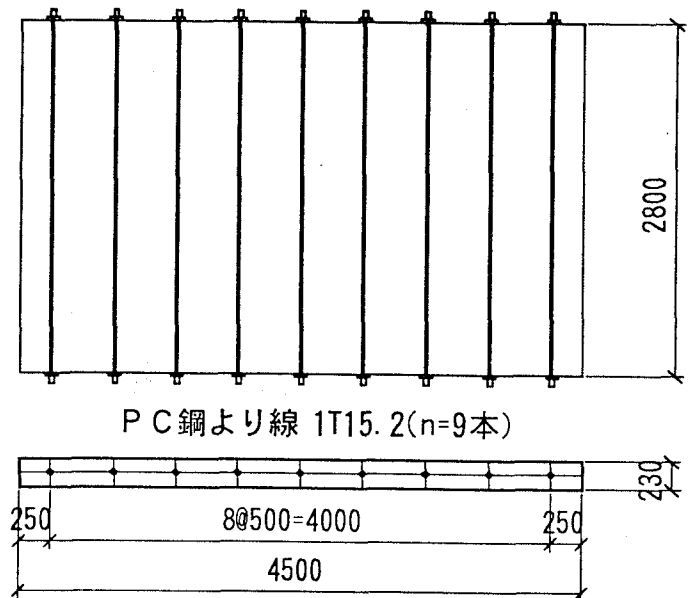


図-2 PRC25%実験供試体 (単位: mm)

#### 4. 実験方法

##### (1) 載荷方法

輪荷重走行実験は、段階的に載荷荷重を大きくすることにより変化を促進させる階段状荷重漸増載荷（以下、階段載荷）により行うものとした。階段載荷は、図-3に示すように16tfを初期荷重として4万回毎に2tfずつ荷重を増加する載荷方法により行った。具体的な載荷方法は、以下に示すとおりである。

STEP-1：輪荷重走行実験に先立ち、弾性範囲内における静的載荷実験を行う。載荷荷重は、0~16tfまで2tf刻みに増加させ、弾性挙動の計測を行う。

STEP-2：輪荷重16tf載荷時と除荷した状態で各々計測を行う。

STEP-3：輪荷重16tfより移動載荷を開始する。載荷回数100回、1000回、5,000回、10,000回、20,000回、40,000回走行後に停止し、荷重を除荷し、残留たわみおよび応力の測定を行う。

STEP-4：以後、載荷回数40,000回毎に、載荷荷重を16tfより2tf刻み増加させ、40tf、520,000回まで、繰り返し載荷を行う。各荷重段階で、荷重載荷時と除荷時における変位および応力の測定を行う。

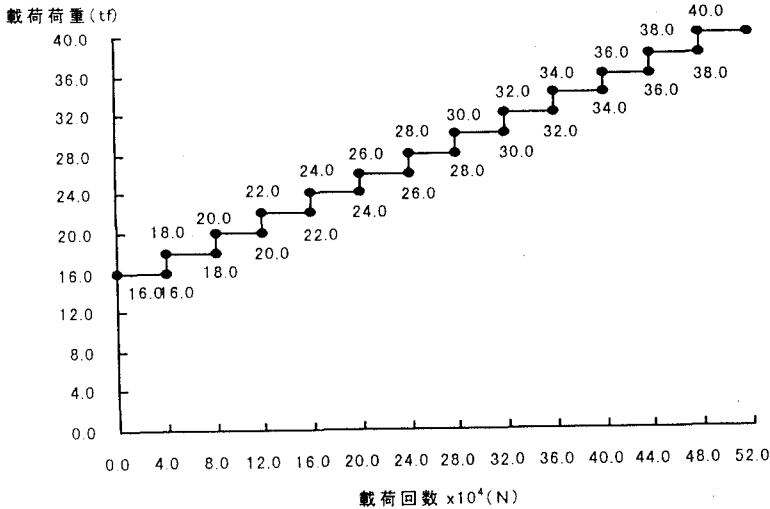


図-3 輪荷重走行実験載荷ステップ

本試験機には、24時間計測が可能となる自動計測システムが用いられており、ひずみ、変位等のデータを自動的にパソコンに取り込むとともに、床版下面に発生するひび割れに関しては、CCDカメラによる画像データを基に、ひび割れ幅、ひび割れ長さ、およびひび割れ密度を算出した。実験時には、常時、動的な変位と応力をモニターした

##### (2) 計測方法

輪荷重走行実験におけるコンクリート床版の変位測定位置は、図-4に示すように床版中心位置から橋軸、橋軸直角方向とした。また、床版鉄筋ひずみの測定位置も図-5に示すように同様に決定した。各ひずみは、ひずみゲージ、変位はひずみゲージ式変位計、クラック幅は、初期クラックが発生した位置にπ型変位計を取付けることにより適宜測定を行った。

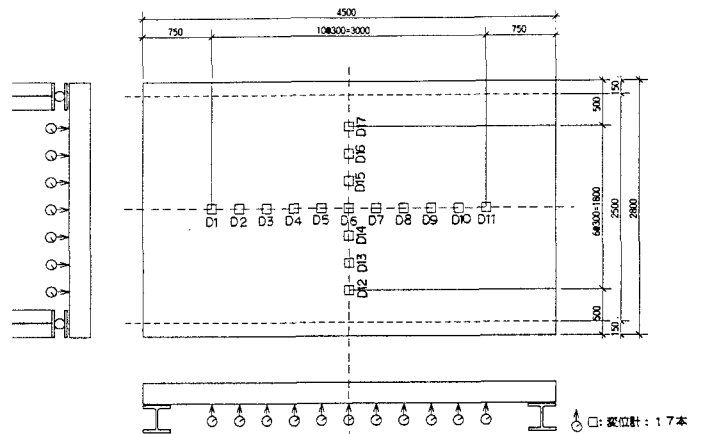


図-4 床版変位計の取付位置 (単位: mm)

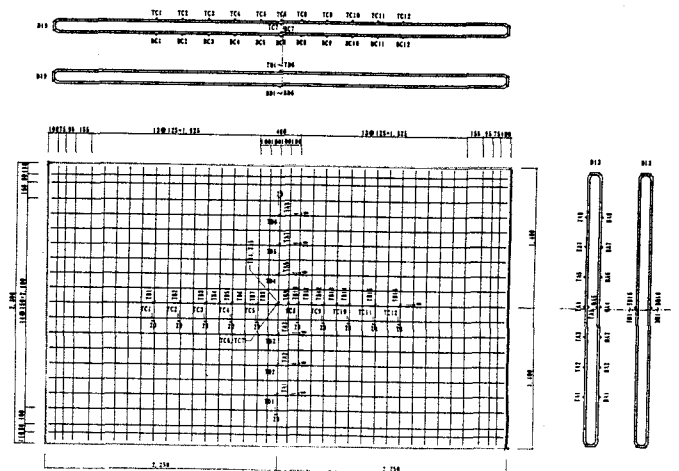


図-5 床版鉄筋ひずみゲージの取付位置 (単位: mm)

## 5. 実験結果

### ①床版中央位置における鉛直たわみの進展状況

図-6に床版中央位置における鉛直たわみと走行回数との関係を示す。導入したプレストレス力に応じて、荷重載荷時たわみと残留たわみが異なることが理解される。別途行った平成8年道示に準拠して設計されたRC床版（床版厚25cm）は、載荷回数26万回（載荷荷重28tf）で破壊に至るが、フルプレストレスの50%と25%を導入したPRC床版実験供試体に関しては、載荷回数52万回（載荷荷重40tf）まででは破壊に至っておらず、疲労耐久性の向上が確認された。

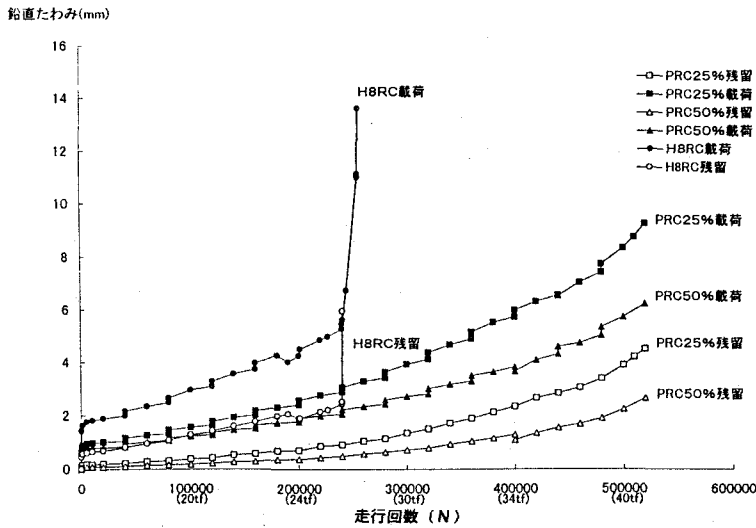


図-6 床版中央たわみと走行回数との関係

### ②床版下面ひび割れ密度の進展状況

図-7に床版下面ひび割れ密度と載荷回数との関係を示す。平成8年道示準拠のRC床版は、ひび割れ密度が $4\text{m}^2$ を超えた後、急激に破壊に至るが、PRC25%実験供試体は、ひび割れ密度が $8\text{m}^2$ を超えても破壊に至らない。さらに、PRC50%実験供試体については、最終荷重ステップにおけるひび割れ密度は $3\text{m}^2$ とPRC25%実験供試体の1/2以下の値を示し、導入したプレストレス量に応じてひび割れ密度も小さくなる。

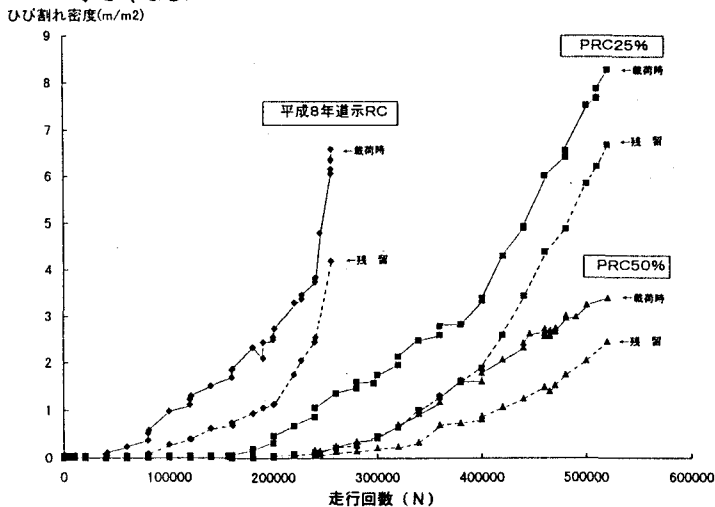
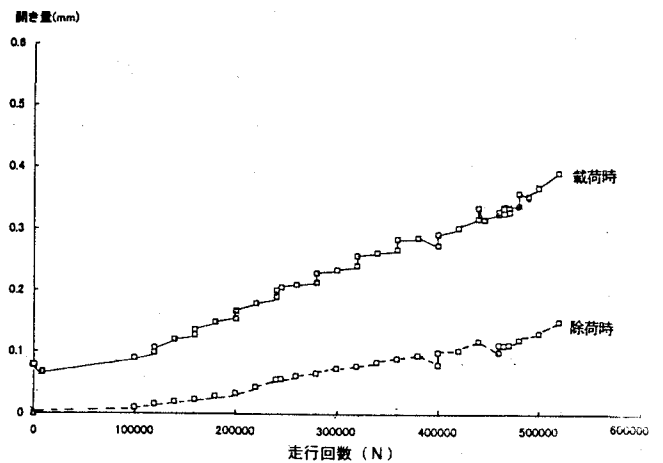


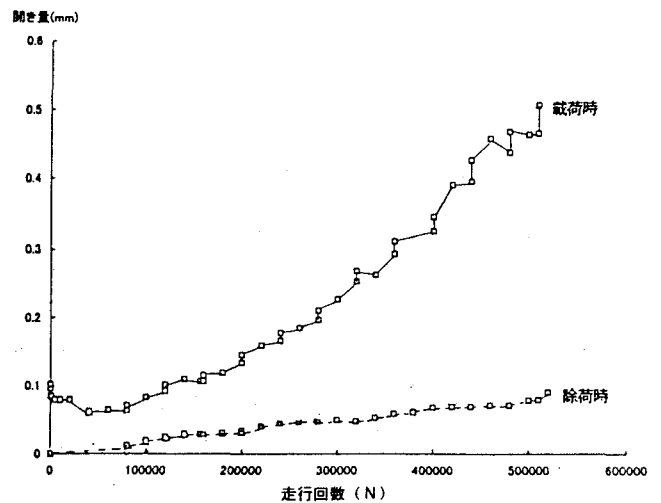
図-7 床版下面ひび割れ密度と走行回数との関係

### ③クラック開口幅の時系列変化

図-8に床版中央位置の橋軸直角方に生じたクラック開口幅の時系列変化を示す。載荷回数30万回（載荷荷重30tf）までは、PRC50%実験供試体、PRC25%実験供試体ともに同様な傾向を示すが、載荷回数30万回を超えるとプレストレス導入量の少ないPRC25%実験供試体の開口量がやや大きくなる。最終荷重ステップ52万回（載荷荷重40tf）におけるクラック開口幅は、PRC25%実験供試体の場合、0.5mm、PRC50%実験供試体の場合0.4mmとなる。



#### (1) PRC50%実験供試体

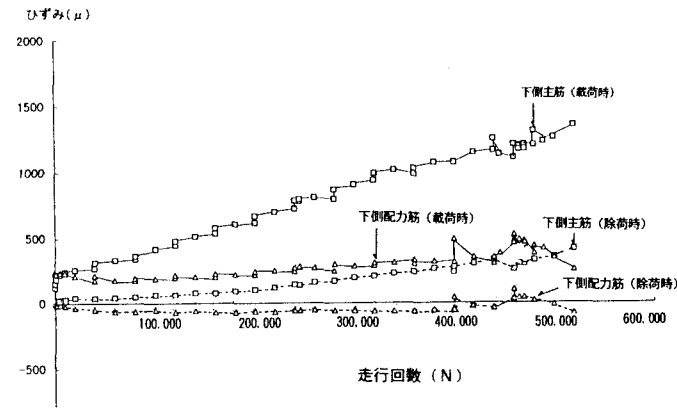


#### (2) PRC25%実験供試体

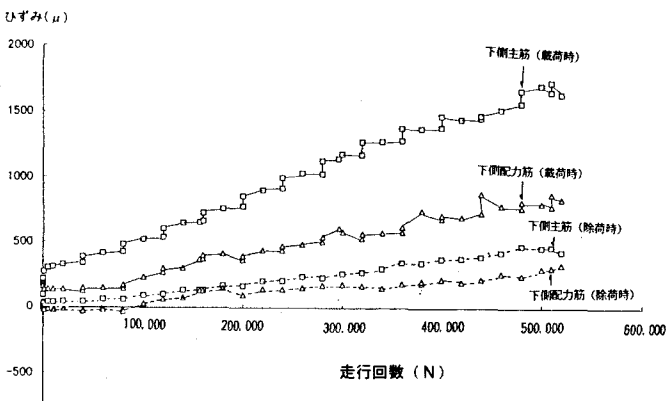
図-8 床版下面クラック幅と走行回数との関係

#### ④鉄筋ひずみの時系列変化

図-9に床版中央位置の主鉄筋(補強筋)および配力筋ひずみの時系列変化を示す。PRC 50%実験供試体における鉄筋ひずみは、PRC 25%実験供試体に比べ導入プレストレス量の違いにより主鉄筋、配力鉄筋ともに若干小さめの値を示す。



(1) PRC 50%実験供試体

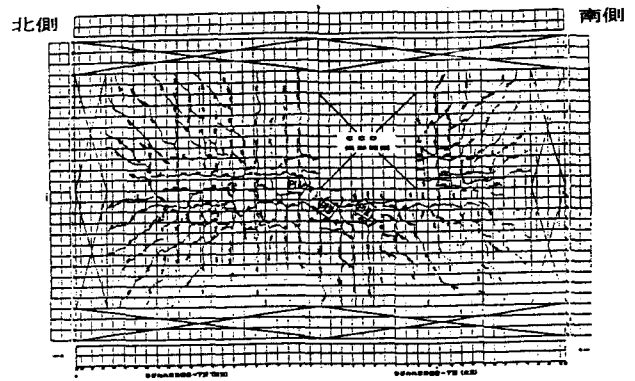


(2) PRC 25%実験供試体

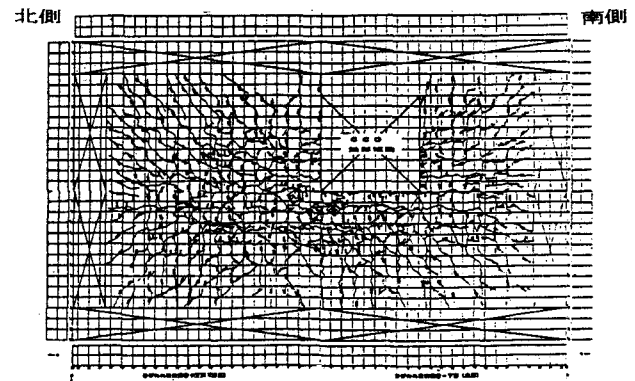
図-9 鉄筋ひずみと走行回数との関係

#### ⑤実験終了後の床版ひび割れ状況

図-10に移動載荷実験終了後の床版下面の目視によるひび割れ状況観察図を示す。床版下面の最終ひび割れ状況は、進展速度の違いはあるものの、ひび割れ発生位置、亀甲状のひび割れ形状の発生過程はほぼ同様であり、PRC 50%供試体は、PRC 25%供試体に比べひび割れの発生が遅れるが、ひび割れ状況にはプレストレス導入量による有意な違いは認められない。また、実験終了後の切断面におけるひび割れ状況にも有意な違いは認められなかった。PRC 25%の最終ひび割れ状況は、平成8年道示に準拠したRC床版のひび割れ状況に近づいたものとなり、RCに近いひび割れ挙動を示すが、プレストレスの効果により破壊に至らないものと思われる。



(1) PRC 50%実験供試体



(2) PRC 25%実験供試体

図-10 実験終了後の床版下面のひび割れ状況

#### ⑥既往のRC床版輪荷重走行実験結果との比較

図-11に既往の昭和39年道示、平成8年道示準拠のRC床版輪荷重走行実験結果との比較を示す。PRC 25%、50%実験供試体は、既往のRC床版に比べ、プレストレス導入の効果により、飛躍的に疲労耐久性の向上が認められる。

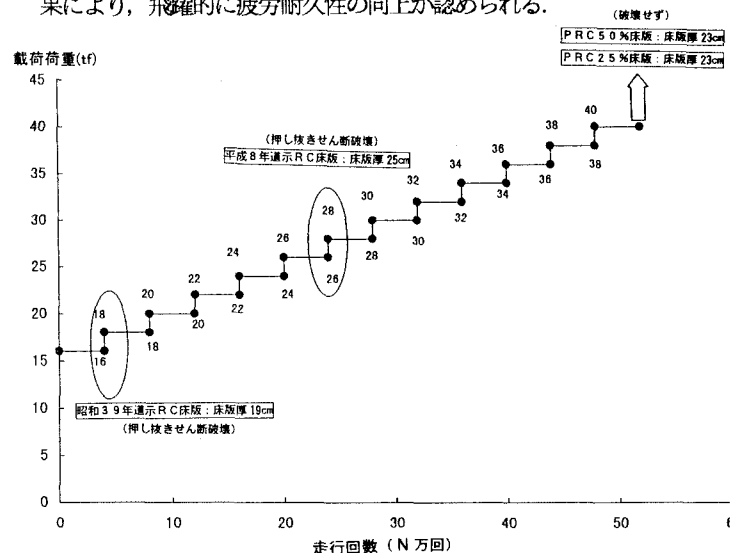


図-11 既往のRC床版輪荷重走行実験結果との比較

## 6. まとめ

本実験は、ポストテンション方式PC床版の現場施工の省力化、工費縮減の観点から、PC鋼線の緊張本数を低減することにより、導入プレストレス力を変え、フルプレストレス設計に対し50%と25%に低減した実験供試体について輪荷重走行実験を行い、導入プレストレスと疲労耐久性の関係を把握したものである。今回の輪荷重走行実験結果ならびに平成8年道示に準拠したRC床版に関する輪荷重走行実験結果を比較することにより、以下の結論が得られた。

- (1) フルプレストレスに対し50%程度(PC鋼線の緊張本数を半減)のプレストレスを導入することにより、平成8年道示に準拠したRC床版に比べ飛躍的に疲労耐久性が向上する。
- (2) ポストテンション方式のPC床版においては、現場施工の省略化、工費節減の観点から疲労耐久性を十分確保できる範囲で、単位長さあたりのPC鋼線の緊張本数の低減が可能と考えられる。ただし、PRC床版も最終的には押し抜きせん断破壊により破壊することを考えると、PC鋼線の配置間隔は、押し抜きせん断破壊線との関係を考慮して決定する必要があるものと思われる。

謝辞：本実験は、(社)日本橋梁建設協会と建設省土木研究所橋梁研究室との共同研究として行ったものである。本実験を遂行するにあたり適切なお助言を頂きました大阪大学松井繁之教授をはじめ日本道路公団ならびに(社)日本橋梁建設協会の関係各位に深甚なる謝意を表する次第である。

## 参考文献

- 1) 松井繁之：床版の技術開発—耐久性の向上，施工合理化—，橋梁と基礎，97-8，pp. 84-94
- 2) 内田賢一・西川和廣・神田昌幸：輪荷重走行試験機による道路橋床版の疲労試験，土木学会第51回年次学術講演会，pp. 998-999，平成8年9月
- 3) 中須誠・安松敏雄・長谷俊彦：鋼少数主桁橋の長支間PC床版の移動載荷疲労試験について，土木学会第52回年次学術講演会，pp. 346-347，平成9年9月
- 4) 大西弘志・松井繁之：橋軸直角方向にプレストレスを導入した鉄筋コンクリート床版の疲労耐久性，構造工学シンポジウム，Vol. 44A，1998. 3，pp. 1373-1382
- 5) 西川和廣：ライフサイクルコストを最小にするミニマムメンテナンス橋の開発，橋梁と基礎，97-8，pp. 68-69
- 6) 八部・川畑・佐々木・内田・宮崎・西川：パーシャルプレストレスを導入したPC床版の輪荷重走行実験，土木学会第53回年次学術講演会，pp. 28-29，平成10年10月