

プレキャスト床版を用いた合成桁の自動車走行 のもとにおける耐久性の実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON DURABILITY OF COMPOSITE GIRDERS USING
PRESTRESSED PRECAST CONCRETE SLABS UNDER MOVING VEHICLES

* ** ***
中井 博、竹中 裕文、喜田 浩

By Hiroshi NAKAI, Hirofumi TAKENAKA and Hiroshi KITA

A new composite girder using prestressed precast concrete slab, so-referred to as PPCS method has been developed by the authors et.al. In applying this method to the highway bridges, there are a few unclarified problems for evaluating the fatigue behaviors of composite girders, especially the cracking of precast concrete slab under the heavy traffic vehicles. In order to investigate the effects of moving vehicles on the composite girders built by PPCS method, five model girders are tested systematically under the repeated loads by making use of a moving vehicle apparatus. This paper reports and discusses the durability of composite girder using PPCS method through these test results.

1. まえがき

近年、交通量および車両重量の増大などに伴い道路橋における鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版という）の損傷が、橋梁の維持・管理上の大きな問題の一つとして取り上げられてきている。

このようなRC床版のひび割れを防止する工法^{1)~4)} および損傷を受けたRC床版の補修^{4)~8)}ならびに取替方法^{9)~13)}に関する研究が、わが国をはじめ諸外国においても活発に行われている。

これらの中で、プレストレスを導入したプレキャストコンクリート床版を用いる合成桁（以下、PPCS工法という）は、RC床版を有する合成桁に比較して、床版コンクリートのひび割れに対する供用性、主桁の経済性および急速施工性の面で優れているばかりでなく、損傷を受けたRC床版の取替方法としても有効な工法の一つであると考えられる^{14)~15)}。

しかしながら、この工法を実橋に適用するためには、重交通荷重下におけるプレキャスト床版のひび割れや合成桁としての疲労特性を慎重に調査して、その耐久性を確かめておくことが必要である。

そこで、本研究は、PPCS工法によって製作された合成桁橋の自動車荷重による疲労特性を把握するため、自動車走行装置による移動繰返し荷重を受ける模型桁の種々な挙動を調べるものである。

模型桁としては、PPCS工法によるもののほか、比較のために従来のRC床版を用いた模型桁も含め、

* 工博 大阪市立大学教授 工学部 土木工学科 (〒558 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

** 工修 (株)春本鐵工所 設計部主事 (〒551 大阪市大正区南恩加島 6-20-34)

*** 工修 住友金属工業(株)中央技術研究所副主任 (〒314-02 茨城県鹿嶋郡波崎町大字砂山16)

合計5体製作した。そして、移動繰返し荷重のもとにおける主桁・床版のひずみ、たわみ、および、鋼桁とプレキャスト床版とのずれ等の変化を計測するとともに、床版コンクリートのひび割れの発生・進展状況を調べた。また、プレキャスト床版に用いるコンクリートの品質を変化させて、それらが床版コンクリートのひび割れの発生・進展に与える影響についても調査した。

本文は、これらの結果から、走行荷重をうけるPPCS工法による合成桁の疲労特性について報告するとともに、種々な検討を加えたものである。

2. 実験方法

(1) 自動車走行装置

自動車走行装置の一般図をFig. 1に示す。このサーキット（幅員6.0m）の一部には深さ2.3mのAビット（8.5m（幅）×8.5m（長さ））とBビット（4.5m（幅）×4.5m（長さ））が設けられており、これらのビットに模型桁を設置することができる。今回の実験では、大きいほうのAビットには大型模型桁1体を、小さいほうのBビットには小型模型桁を2体並べて設置することとした。それらの模型桁上を走行する試験自動車は直流電動モーターによって駆動されており、速度15～25km/hで走行している。その際、半径12.0mで回転走行している試験車の遠心力をとるため、自動車走行装置と中心部とはタイバーを通じて連結されている。

Fig. 2には、試験自動車の形状・寸法および輪荷重を示す。試験自動車の輪荷重は、ロードセルによって正確に検定し、主として前輪が2.2tf（21.6kN）、後輪が5.0tf（49.0kN）となるようにカウンターウェイトで調整した。

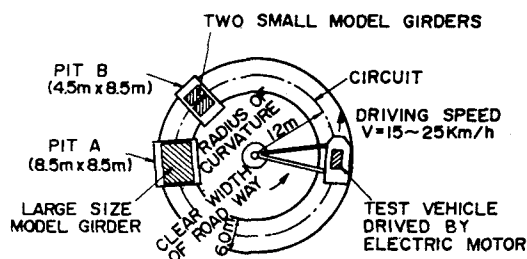


Fig. 1 Plane Configuration of Loading Apparatus

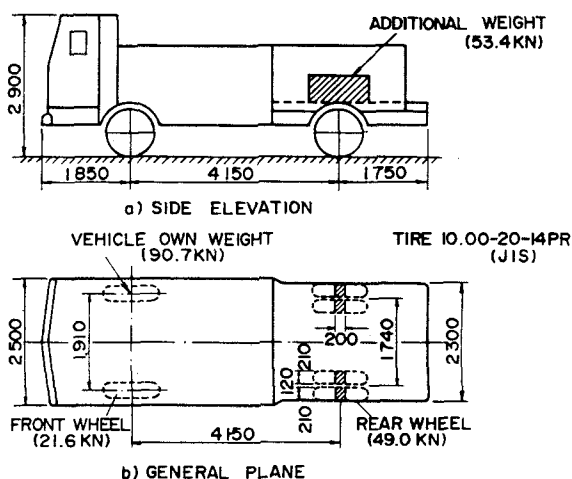


Fig. 2 Detail of Test Vehicle (Dimension in mm)

(2) 模型桁

模型桁は、全部で5体製作した。それらのうち1体は、PPCS工法により製作された合成桁の疲労特性を桁各部にわたり詳しく調べるための大型模型桁（G-1）である。また、残りの4体は、主として床版コンクリートにおけるひび割れの発生・進展状況を観察するとともに、従来のRC床版と比較するための小型模型桁（G-2～G-5）である。その内訳は、PPCS工法によるもの3体、従来のRC工法によるもの1体とした。これらの模型桁の製作方法自体が疲労特性に重大な影響を与えるので、以下で詳しく示すことにする。

a) プレキャスト床版

Table 1 に模型桁に用いた床版の種類を示す。プレキャスト床版には普通および膨張コンクリートを使用し、それが交互に配置されるようにした。

大型模型桁 G-1 に用いたプレキャスト床版の橋軸直角方向における支持条件は、中央の主桁上で連続するものと単純支持するものと2種類とし、小型模型桁 G-2 ~ G-5 では全て主桁上で単純支持とした。

これらの床版は、Fig. 2 に示した試験自動車の後輪荷重を 5 tf (49 kN) とし、道路橋示方書に基づき設計した。そして、大型模型桁 G-1 のプレキャスト床版厚は、道路橋示方書に規定されている最小厚 16 cm とした。一方、小型模型桁 G-2 ~ G-5 の床版厚は 10 cm と薄くした。

大型模型桁 G-1 の床版の主鉄筋としては、D-16 mm を 150 mm 間隔に配置したが、試験自動車後輪荷重による主鉄筋の応力度は、道路橋示方書 I 6.1.4 に従って計算したところ、 $\sigma_s = 938 \text{ kgf/cm}^2$ (91.9 MPa) であった(衝撃を含む)。小型模型桁 G-2 ~ G-4 の床版には、D-13 mm の主鉄筋を 150 mm 間隔で配置し、床版コンクリートのひび割れが卓越するように、主鉄筋の応力度が大型模型桁 G-1 のほぼ2倍となるように設計した。

そして、大型模型桁 G-1 (4 枚のプレキャスト床版のみ) および小型模型桁 G-5 のプレキャスト床版にはプレテンション方式により、それぞれ直径 9.2 mm および 7.4 mm の PC 鋼棒を用いて橋軸直角方向にもプレストレスを与えた。また、模型桁 G-1、G-4 および G-5 のプレキャスト床版には、橋軸方向に $\sigma_c = 30 \text{ kgf/cm}^2$ (3.0 MPa) の圧縮応力を残存させるように計画した。

Table 1 Details of Concrete Slabs for Model Girders

Model Girder	Type of Concrete Slab	Boundary Condition in Trans. Direction	Number of Panels	Thickness of Concrete Slab(mm)	Width of Concrete Slab(cm)	Used Concrete			Residual Prestress in Concrete Slab(MPa)	
						Mix Proportion Type	Quality	Strength (MPa)	Longi-tudinal	Trans-verse
G-1	Full size PPCS	Continuous Panel Simply supported Panel	4	160	500	A and B	NC* and EC**	42.2	3.0	0
			4		250			42.2		
			4			C	NC	52.0		4.2
G-2	Conventional RC-slab	-	-	100	180	D	NC	29.8	-	-
G-3	Completely removed PPCS	Simply supported Panel	2	100	180	A and B	NC and EC	42.2	0	0
			2			C	NC-	52.0		
G-4	Partially removed PPCS	Simply supported Panel	2	100	180	A and B	NC and EC	42.2	3.0	0
			2			C	NC	52.0		
G-5	Two-directionally prestressed PPCS	Simply supported Panel	4	100	180	C	NC	52.0	3.0	5.3

* NC : Normal Concrete, ** EC : Expansive Concrete

つぎに、Table 2 には、プレキャスト床版および RC 床版を施工する際のコンクリートの示方配合を示す。配合 A には膨張コンクリート、配合 B ~ D には普通コンクリートを用い、RC 床版は配合 D とした(その区分は Table 1 参照)。その際、RC 床版の設計基準強度は実橋における実情を考慮して $\sigma_{ck} = 300 \text{ kgf/cm}^2$ (29.4 MPa) とした。

Figs. 3 および 4 は、プレキャスト床版の設計図の一例を示したものである。型枠には、仕上り精度のよい鋼製のものを使用した。前述の鉄筋 D-16 mm および 13 mm、ならびに内径 35 mm および 32 mm のスパイラルシースを所定の位置に固定し、コンクリートを打設した。

Table 2 Concrete Mix Proportion

Cement	Type	Design strength (MPa)	Unit content (N/m ³)					W/C (%)	S/A (%)	Maximum aggregate size (mm)	Air entraining material (%)	Slump (cm)
			W	C	S	G	M					
Expansive	A	39.2	1441	2940	7350	11446	490*	42	40	20	2±1	6±1.5
	B	39.2	1441	3430	7350	11446	0	42	40	20	2±1	6±1.5
Normal	C	44.1	1490	3920	6684	11319	102**	38	38	20	2±1	6±1.5
	D	29.4	1421	3273	10800	7370	34***	43	40	20	4	8

*:Expansive admixture(Onoda Expan), ** and ***:Admixture (Pozzolith NL-4000 and No.10L)

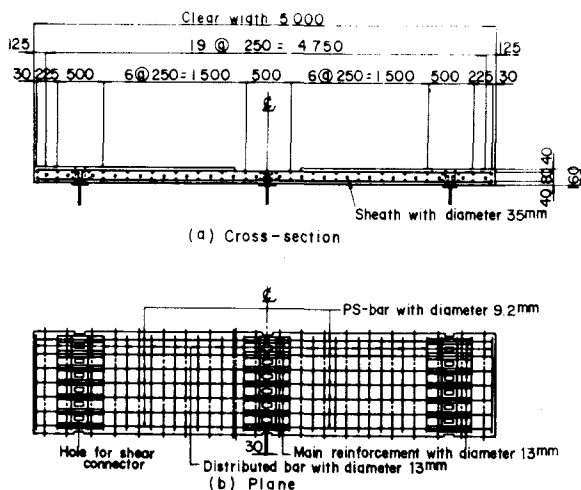


Fig. 3 Detail of Precast Concrete Slab Panel(G-1)

プレテンションを行った床版用のPC鋼棒としては、JIS G-3109-1977に規定されている異形棒D種1号に適合する公称径9.2mmおよび7.4mmのものを使用した。Table 3に、これらのPC鋼棒の規格と所要のプレストレスを与えるためのPC鋼棒1本当たりの緊張力とを示す。プレストレスの導入は、コンクリートを打設した後、圧縮強度が350kgf/cm²(34.3MPa)以上に達したことを確認のち行なった。

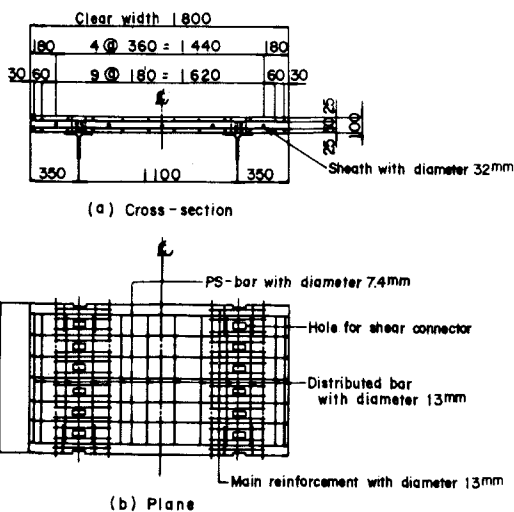


Fig. 4 Detail of Precast Concrete Slab Panel(G-5)

Table 3 Pretensioning Force of PS-bar

Model girder	Diameter (mm)	Yield stress (MPa)	Design pretensioning stress (MPa)	Applied pretensioning force (kN)
G-1	9.2	1274	784	51.7
G-5	7.4	1274	980	40.4

b) 大型模型桁

Fig. 5 には、PPCS工法で製作された大型模型桁の詳細を示す。鋼桁としては、スパン8.0m、両端単純支持の主桁3本を間隔2.0mに配置し、全体を横つなぎ材で結合した。各主桁は上フランジ180×10mm、ウェブ650×9mm、および下フランジ200×14mmのSS41材で製作されている。これは、建設省でまとめられている土木構造物標準設計¹⁶⁾から活荷重合成桁における主桁下フランジの活荷重応力レベルを調べたところ、許容応力度のおよそ2～3割程度であったので、試験自動車によって生じる鋼桁下フランジの応力度が、許容応力度 $\sigma_{td} = 1400 \text{ kgf/cm}^2 (137.2 \text{ MPa})$ の25%程度になることを目標としたためである。

これらの主桁のうえに、プレキャスト床版をFig. 5 b) に示すように配置した。そして、プレキャスト床版の継目の突起部 (Fig. 5 e) 参照) にエポキシ樹脂系の接着剤を塗布しながら敷設した後、プレキャスト床版の継目部に無収縮モルタルを充填して2日間養生して一体化を図った。つぎに、床版のシース内にPC鋼より線 $\phi - 19.3 \text{ mm}$ を20本挿入し、センターホール型の油圧ジャッキにより床版端部から順次1本当り32tf (313.6 kN) で緊張し、最終的に床版に $80 \text{ kgf/cm}^2 (7.84 \text{ MPa})$ の圧縮応力を与えた。また、床版のジベル孔に無収縮モルタルを充填して3日間養生し、鋼桁上フランジ上に2本ずつ150mm間隔で溶植されているスタッド (19 $\phi \times 110 \text{ mm}$) を介してプレキャスト床版と合成した。その後、再びジャッキを用いてPC鋼より線の張力を19.5tf (191.1 kN) だけ緩めた。最後に、シース内にセメント・ミルクをグラウトし、床版上面には厚さ5cmのアスファルト舗装を施工して大型模型桁を完成させた。

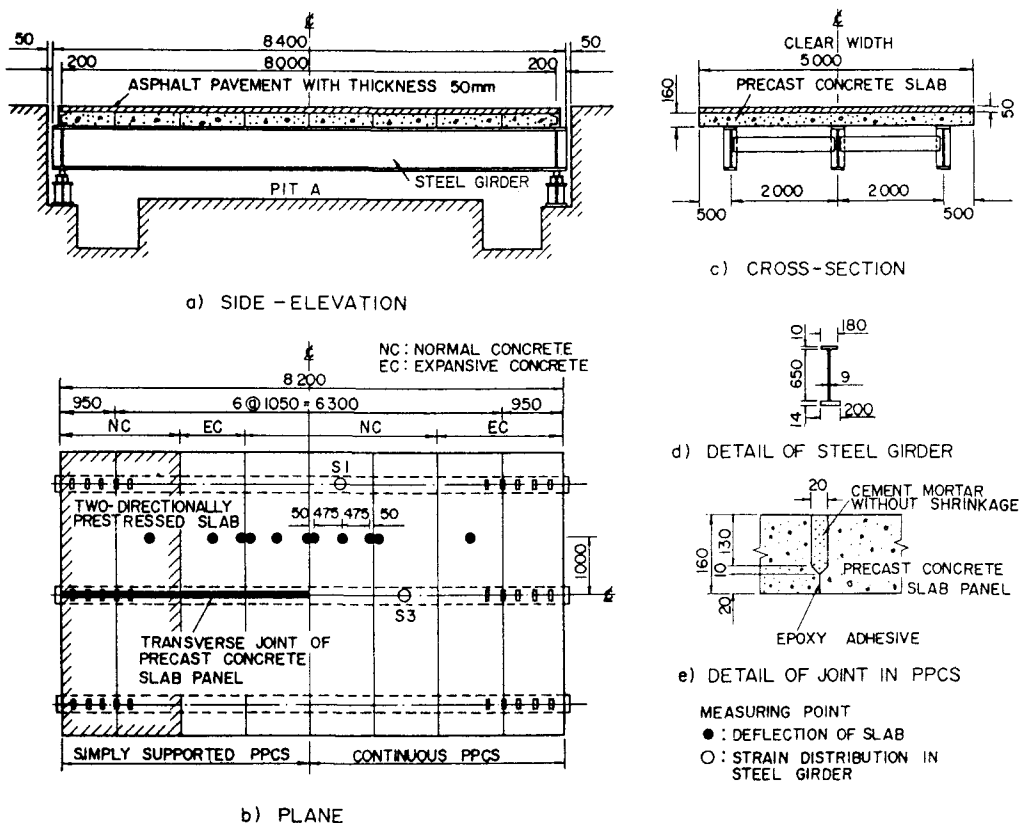


Fig. 5 Details of Model Girder G-1 (Dimension in mm)

c) 小型模型桁

Fig. 6に小型模型桁の詳細を示す。鋼桁は、H型鋼400×200×8×13mmを利用し、スパン4.0m、両端単純支持の主桁2本を間隔1.1mに配置した。ジベルには、 ϕ -16×80mmのスタッドを2本ずつ、150mmのピッチで上フランジ上に溶植した。

これらの小型模型桁のうちG-2は通常のRC床版を有する模型桁とした。また、G-3～G-5はそれぞれ4枚のプレキャスト床版を用いた小型模型桁で、その製作手順は、大型模型桁G-1と同様としたが、PC鋼より線は ϕ -17.8mmのものを使用した。鋼桁との合成前に導入した橋軸方向の床版コンクリートの応力度は $\sigma_c = 80 \text{ kgf/cm}^2$ (7.84MPa)で、合成のち模型桁G-3ではPC鋼より線の張力をすべて解放し、G-4およびG-5ではシムプレートにより調整しながらプレストレス力の一部解放して $\sigma_c = 30 \text{ kgf/cm}^2$ (3.0MPa)の圧縮応力を残存させた。これら小型模型桁では、とくに舗装は施さず、直接自動車荷重を走行させることとした。

(3) 測定方法

大型模型桁G-1はAビット (Fig. 1参照) 内に、小型模型桁G-2～G-5はBビット内に2体ずつ設置した。そして、試験自動車を大型模型桁G-1では62.5万回、小型模型桁G-2・3では25万回、G-4・5では37.5万回に至るまで走行させた。Table 4には、走行回数の区切りとそのときの試験自動車後輪の輪荷重を示す。

これら走行回数の1区切りごとに、試験自動車を静的に載荷させ、Fig. 5～6中に示した床版のたわみや主桁のひずみを測定した。それらの詳細は後で示す。

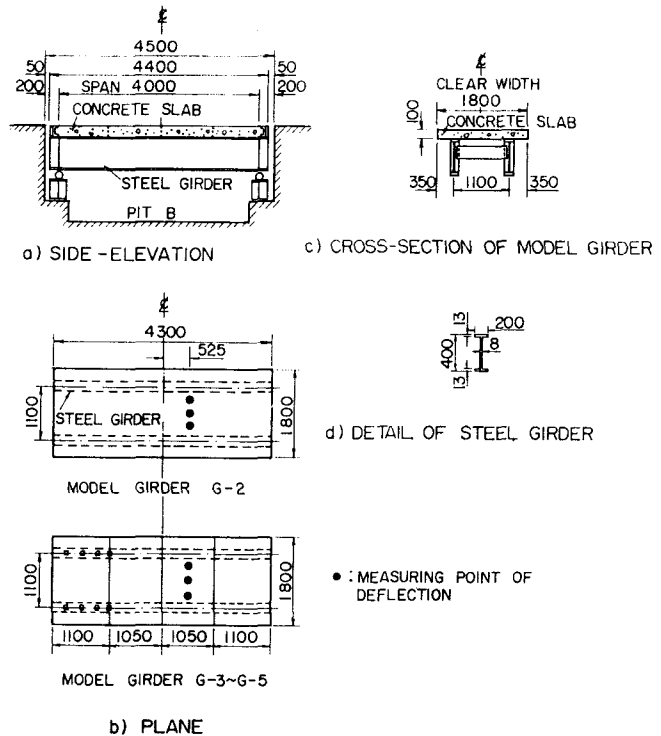


Fig. 6 Details of Model Girder G-2 through G-5 (Dimension in mm)

Table 4 Running Cycle and Corresponding Rear Wheel Load at Measuring

G-1		G-2 and G-3		G-4 and G-5	
Running cycle	Rear wheel load (kN)	Running cycle	Rear wheel load (kN)	Running cycle	Rear wheel load (kN)
1	49	1	49	1	49
14000	49	10000	49	10000	49
88000	49	45000	49	77000	49
145000	49	99000	49	133100	49
190000	49	150000	49	185000	49
250000	49	250000	49	250000	49
295000	49	-----	---	250001	73.5
350000	49	-----	---	289000	73.5
500000	49	-----	---	375000	73.5
500001	73.5	-----	---	-----	---
539000	73.5	-----	---	-----	---
625000	73.5	-----	---	-----	---

3. 実験結果とその考察

(1) 大型模型桁の実験結果とその考察

a) 主桁のひずみ、ずれの変動

所定の回数自動車を走行させた後に、自動車の後輪を静的に載荷したときのプレキャスト床版および鋼桁のひずみ分布を梁理論による計算値とともにFig. 7に示す。この図より、ひずみ分布は走行回数にほとんど無関係で、PPCS工法による合成桁は自動車が50万回以上走行した後においても合成桁として十分機能していることがわかった。

つぎに、Fig. 8には、床版と鋼桁との間のずれと走行回数との関係を示した。ずれ量は、最終走行までほぼ一定で0.006mm以下の小さい値を呈した。この結果からも、本文で示した床版と鋼桁との結合方法は、十分有効ではないかと考えられる。

b) プレキャスト床版の継目の開口幅、たわみの変動

まず、Fig. 9は、輪荷重載荷によるプレキャスト床版間の継目下端における開口幅を各繰返し数に応じて示したものである。この開口幅の測定値は0.005mm～0.01mmの間で変動している。この変動は、屋外実験であるため、供試体構成要素の温度分布が、一様ではなく模型桁が変形したためであると考えられる。ちなみに、床版上下面で10℃程度の温度差が観測されている。これらの影響を考察すると、継目の開口幅は走行回数が増加しても大きくならないと判断される。

つぎに、Fig. 10は、外桁と中桁との間の床版中央部の橋軸方向のたわみの変動を示すが、走行回数にかかわらずたわみ値はほとんど一定と考えられ、そして、隣

接プレキャスト版端のたわみ差もないと考えられる。また、Fig. 10中に示した床版全断面有効としたFEM解析結果とも実測値は近いようである。したがって、これらの結果は、プレキャスト床版間の継目には異常はなく、かつ複数のプレキャスト版からなる床版が一枚の連続した床版として挙動し得ることを示している。

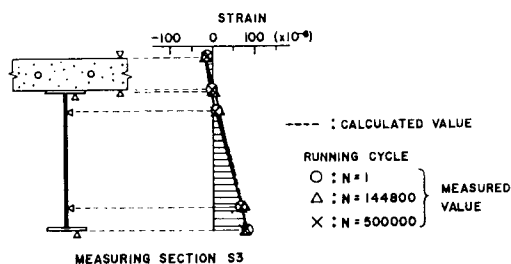


Fig. 7 Variations of Strain in Composite Girder

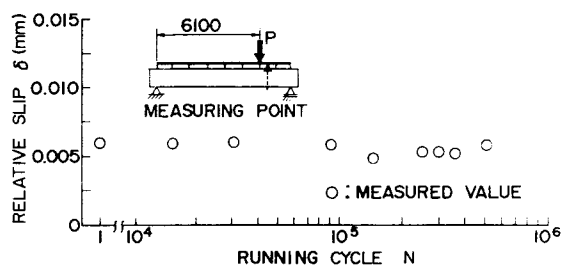


Fig. 8 Variations of Slip between Slab and Girder

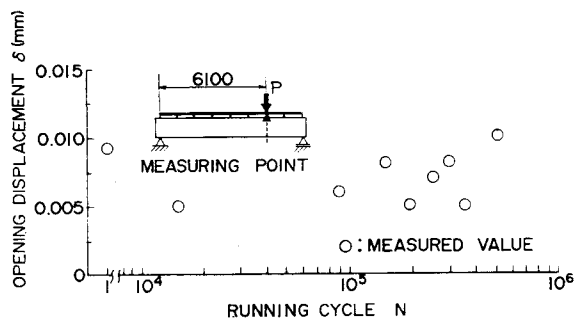


Fig. 9 Variations of Opening Displacement of Joint of Precast Concrete Slab (Large Scale Model Girder)

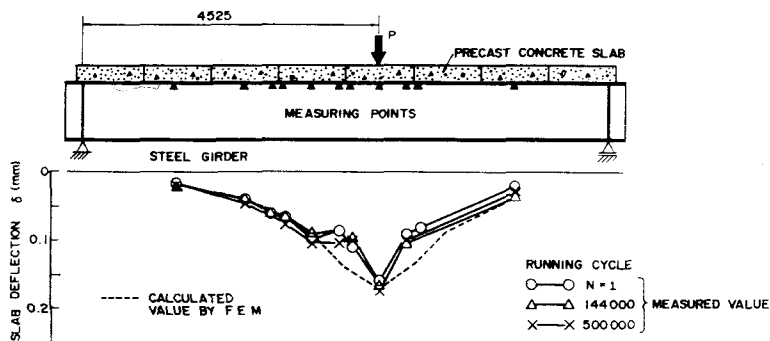


Fig. 10 Variations of Deflection for Precast Concrete Slab (Large Scale Model Girder)

c) 床版のひび割れ

床版下面におけるひび割れ状況を Fig. 11 に示す。ひび割れは、走行回数が 230,000 回に至ったときにはじめて連続版の橋軸方向に発生し、その後、500,000 回に至っても進展していない。このひび割れ発生が観測された日の気象状況は、前夜に降雪があり、翌日には快晴で、プレキャスト床版の温度変動が激しかったことも一因であると考えられる。また、普通セメントおよび膨張セメントの 2 種を用いているにもかかわらず、このひび割れはそれらの境界で停止しておらず、むしろ単純版と連続版との境、および端部連続版との境で停止している。これらのことより、PPCS 工法によるコンクリート床版は橋軸直角方向にひび割れが起りにくいこと、また膨張コンクリートを用いた場合でもひび割れは抑止し得ないことがわかる。

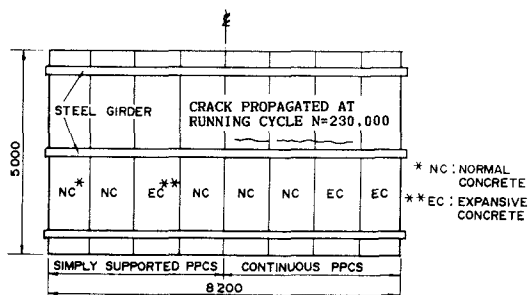


Fig. 11 Initiation of Crack in Model Girder G-1 (Dimension in mm)

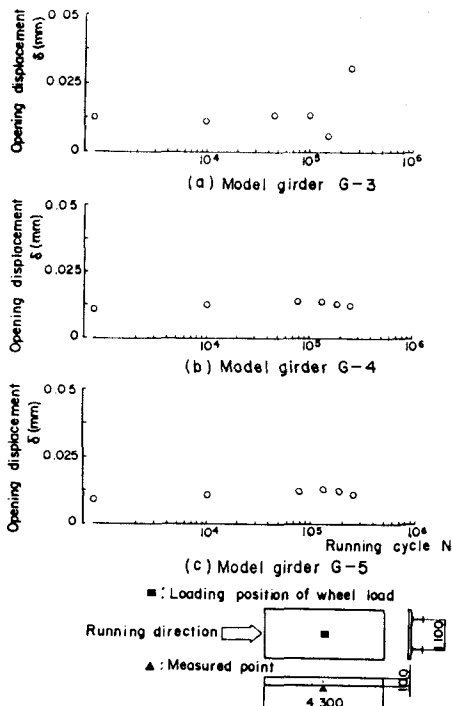


Fig. 12 Variations of Opening Displacement at Joint of Precast Concrete Slab (Small Scale Model Girder)

(2) 小型模型桁の実験結果とその考察

a) プレキャスト床版継目の開口幅、たわみの変動

Fig. 12 は、プレキャスト版間継目下端の開口幅と走行回数との関係を示す。いずれの模型桁も走行回数が增大してもほぼ一定の開口幅を示す。この結果より、大型模型桁と同様プレキャスト版間の継目が健全であると考えられる。

Fig. 13 には、床版の橋軸方向のたわみ曲線と走行回数との関係を、版が全断面有

効であるという仮定のもとにFEM解析した結果とともに示す。小型模型桁G-3およびG-4の実験値は、第一回目の走行回数のおきのみ計算値と一致するが、その後走行回数の増加に伴ってたわみ量も増大している。一方、小型模型桁G-5ではたわみ量はほとんど変化せず、床版の継目が走行25万回まで十分な耐久性を有することがわかる。

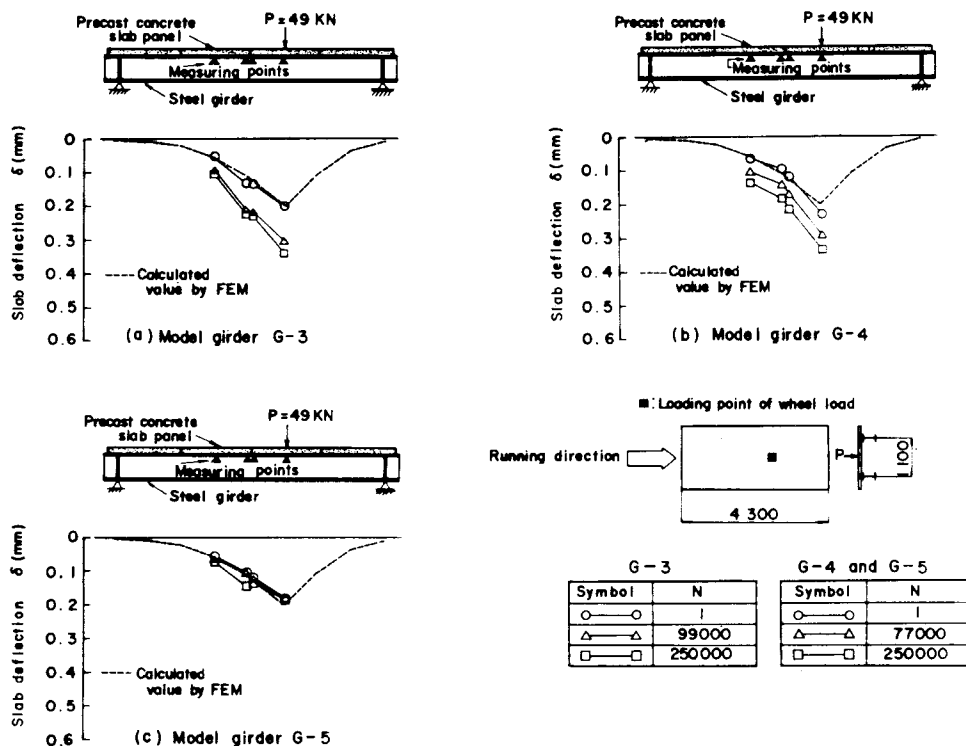


Fig. 13 Variations of Deflection for Precast Concrete Slab (Small Scale Model Girder)

b) 床版のひび割れパターン

床版のひび割れパターンは、建設省や日本道路公団等で床版の疲労損傷度に対する指標として用いられ、重要な特性である。本実験に用いた自動車走行装置は、亀甲状ひび割れや角落ち等を含め実際の床版のひび割れパターンを再現しうるものである。しかしながら、ここで得られたひび割れ密度については、模型桁が小型で配筋ピッチや床版厚が実物より小さいため、ひび割れパターンから定量的な評価をするのは危険であると思われる。

そこで、以下ではFig. 14に示すように従来のRC床版を基準とし、PPCS床版のひび割れパターンについて定性的な評価を試みる。

まず、従来のRC床版(G-2)のひび割れは、橋軸直角方向および橋軸方向に成長しはじめ、走行回数の増加につれそれらのひび割れが進展するという現実起っている床版のひび割れパターンを現わしている。ところが、PPCS床版では、プレストレスを全面解放した床版(G-3)において橋軸方向ひび割れがわずかな進展がみられるものの、プレストレスを残存させた一軸床版(G-4)ではひび割れの進展は遅く、橋軸直角方向ひび割れも少ない。この理由としては、プレストレスを解放する際、鋼桁と合成された床版のポアソン比の影響によって橋軸直角方向に圧縮応力が導入されるためであると考えられる。したがって、初

期導入されるプレストレス量と解放プレストレス量とを調整することにより、橋軸直角方向ひび割れはもちろん橋軸方向ひび割れもコントロールし得ることを示している。さらに、二軸方向のプレストレスを導入した床版（G-5）においては、ひび割れの発生は全く見られなかったで、図では省略してある。

他方、プレキャスト床版の品質を種々変化させているが、ひび割れの発生および進展がプレキャスト版の継目で必ずしも防止されていない。このことから、プレキャスト版を膨張コンクリートで製作してもひび割れを防止する効果は小さいものと思われる。

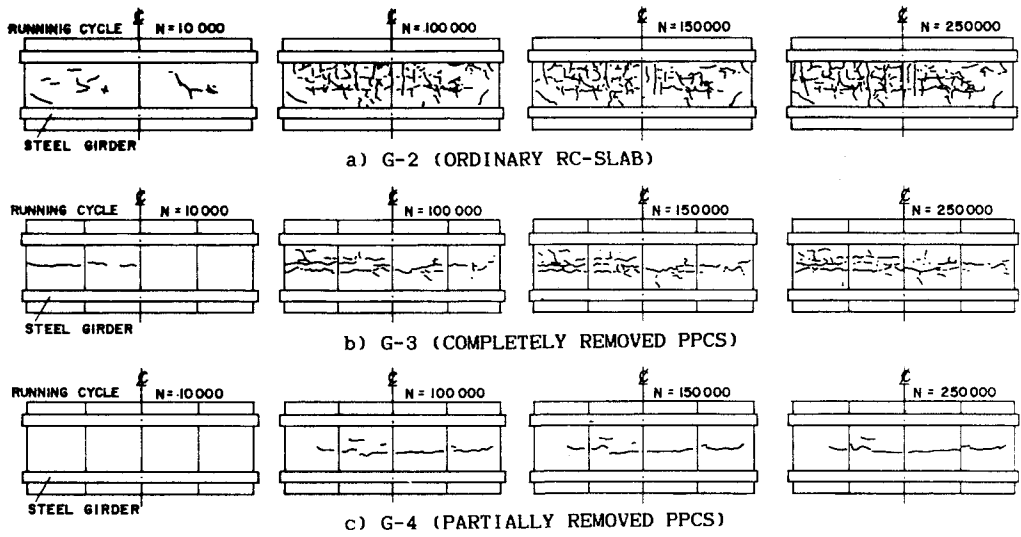


Fig. 14 Propagations of Crack for Model Girder G-2 - G-4

Fig. 15には、床版橋軸直角方向のたわみ曲線と走行回数との関係を示す。この結果は、Fig. 14に示したひび割れの進展状況とよく対応しており、ひび割れの進展に伴いたわみが増加している。床版の疲労損傷を判定するための一つの指標である橋軸直角方向床版たわみの増加は、従来のRC床版（G-2）、プレストレス全面解放床版（G-3）、一軸プレストレス床版（G-4）の順に小さくなっており、二軸プレストレス床版（G-5）では増加傾向は全くみられない。

以上の結果から、PPCS工法によって製作された床版は、従来のRC床版と比較してより優れた耐久性を有することがわかった。

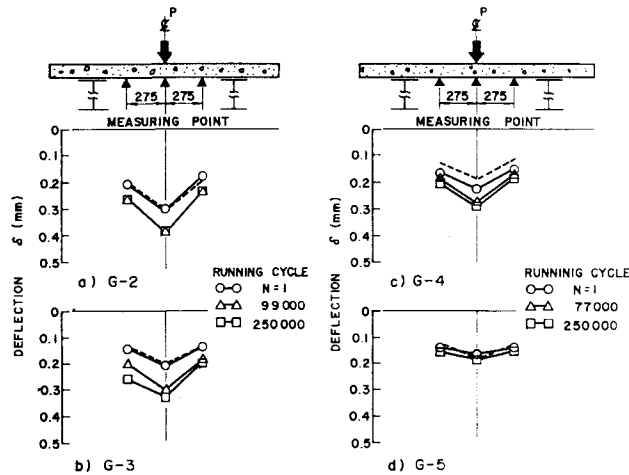


Fig. 15 Variations of Deflection for Concrete Slabs in Model Girder G-2 - G-5

4. まとめ

本文は、プレキャスト床版を用いた合成桁の輪荷重による疲労特性を調べるため行なった一連の実験的研究について報告したものである。実験により得られた結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) P P C S 工法により製作された合成桁のコンクリート床版は、多数のプレキャストコンクリート版により構成されているにもかかわらず、P C 鋼より線によるプレストレスの導入により、全体が一枚の床版として移動輪荷重に対して抵抗しうる。
- (2) プレキャスト床版に箱抜きされたジベル孔にモルタル充填して鋼桁と合成する方法は、移動輪荷重に対して十分な耐久性が確保される。
- (3) さらに、P P C S 工法で製作された合成桁は、合成桁としての機能を走行荷重下でも十分に保持しつづける。
- (4) プレキャストコンクリート床版のひび割れは、膨張コンクリートを用いるよりもむしろ、適切なプレストレスの導入により効果的に減少させることができる。
- (5) P P C S 工法で橋軸方向に導入された床版のプレストレス力は、幅員方向ひびわれはもちろん橋軸方向ひびわれをも制御することができる。
- (6) P P C S 工法による床版は、従来の R C 床版よりも疲労耐久性にすぐれていると考えられる。
- (7) とくに、2 軸方向にプレストレスを導入した場合には、ひび割れの発生を極力防止することができ、重交通を受ける橋梁の床版として利用できるとと思われる。

謝辞：本研究をまとめるに当たり、京都大学・小西一郎名誉教授をはじめ、住友金属工業（株）中央技術研究所・山川純雄所次長および（株）春本鐵工所設計部・岸田博夫次長に多大のご助言を賜ったことに感謝する。また、実験の実施に際しては、住友金属工業（株）および（株）春本鐵工所の関係各位のご協力を得たことを付記する。

参 考 文 献

- 1) PCI Bridge Committee : Tentative Design and Construction Specifications for Bridge Deck Panels, Jour. of the Prestressed Concrete Institute, Vol.23, January-February, 1978, PP.32~39
- 2) Fagundo, E.E. and Hays, Jr. C.O. : Experimental and Analytical Evaluation of Causes of Cracking in Precast Panel Highway Bridges, ISA Transactions, Vol.23, No1
- 3) 阪神高速道路公団・日本材料学会：P C 埋設型枠床版の耐荷性状に関する調査研究報告書，昭和57年3月
- 4) 鋼構造進歩調査小委員会：鋼道路橋コンクリート床版の現況と動向，土木学会誌，1985年2月号
- 5) 財団法人・首都高速道路協会：床版補強の設計施工に関する調査研究（その1）報告書，昭和55年3月
- 6) 鯨井裕嗣：増設桁による床版補強の載荷実験，橋梁と基礎，Vol.17，昭和58年8月，pp.121~128
- 7) 園田歳文：鉄筋コンクリート床版の補修・補強，橋梁と基礎，Vol.17，昭和58年8月，pp.129~133
- 8) 土木学会関西支部：道路橋鋼およびコンクリート合成床版の設計法に関する研究－共同研究グループ報告書，昭和59年5月
- 9) Luts, J.G. and Scalia, D.J. : Deck Widening and Replacement of Woodrow Wilson Memorial Bridge, PCI Journal, Vol.29, May-June 1984, pp.74~93
- 10) Slavis, C. : Precast Concrete Deck Modules for Bridge Deck Reconstruction, Jour. of the Prestressed Concrete Institute, Vol.28, 1983, pp.120~135

- 11) 樋川 篤：I形鋼格子床版による床版の打換え，橋梁と基礎，Vol.17，昭和58年8月，pp.134～138
- 12) 南 隆・沼沢義広・木田光良・恩田真人・高松満：茶志別橋の床版打換え工事，橋梁と基礎，Vol.17
昭和59年5月，pp.37～44
- 13) 大日方忠勝・森国夫：鋼床版パネルによるコンクリート床版の復旧，橋梁と基礎，Vol.19，昭和60年
4月，pp.41～45
- 14) 中井 博・岸田博夫・竹中裕文：プレキャスト床版を用いた合成桁の耐荷性に関する実験的研究，土
木学会構造工学論文集，Volume 31A，昭和60年3月，pp.395～408
- 15) 土木学会関西支部共同研究グループ：プレキャスト床版を用いた合成桁橋の耐荷性と実用化に関する
研究，報告書（1），昭和60年6月
- 16) 全日本建設技術協会：建設省制定土木構造物標準設計第23～28巻・数値表（活荷重合成プレートガー
ダー橋），昭和54年3月