

模型 PC スラブ橋の載荷実験

石 川 達 夫*
大 和 竹 史**
松 尾 宏 一***

1. ま え が き

短スパン プレストレスト コンクリート橋では、プレテンションPC桁を並列にならべ桁間に中埋コンクリートを打設してスラブ橋とする方式がよく用いられている。この方式では、橋軸直角方向について桁部コンクリートと中埋コンクリートとの付着強度を増加し、荷重の横方向分配を良好にするために橋軸直角方向にプレストレスを導入するか鉄筋コンクリート構造としている¹⁾。

本実験は、橋軸直角方向のプレストレス量の多少が横方向荷重分配にどの程度の影響を及ぼすかを調べるために計画され^{2),3)}、橋軸直角方向のプレストレス量を変えた模型スラブ供試体 A, B および PC 鋼棒にナットがけしただけのスラブ供試体 C を製作し、集中荷重による載荷試験を行なったものである。本報告は、この試験結果について述べるとともに、ギヨン・マソネの方法によるパラメータをどの程度にとればよいかを検討し、また、オルゼンの図表との比較検討を行なったものである。

2. 実験概要

(1) スラブ供試体

本実験に使用した各材料の産地と、物理的性質とを表-1 に示す。PC 桁用コンクリートおよび中埋用コンクリートの配合、圧縮強度および弾性係数は、表-2 に示されるとおりである。プレテンション PC 桁の断面および

び諸定数などを 図-1, 2 および 表-3 に示す。PC 桁コンクリートと同バッチのコンクリートで $\phi 10 \times 40$ cm の円柱供試体を製作しクリープテストを行なった。クリープテストの結果は 図-3 に示すとおりであるが、クリープひずみの実験式を導くと、次のとおりである。

表-1 使用材料

セメント	早強ボルトランドセメント, 比重 3.12
細骨材	福岡県筑紫郡宝満川産砂, 比重 2.56, 粗粒率 3.13
粗骨材	佐賀県藤津郡嬉野産碎石, 比重 2.76, 粗粒率 6.74
PC 鋼より線	索線径 2.9 mm, 2本より SWPC 2, 断面積 13.2 mm ² , 引張応力度 197 kg/mm ²
PC 鋼棒	呼び径 18 mm, 2種 SBPC 95, 断面積 228 mm ² 引張応力度 90 kg/mm ²

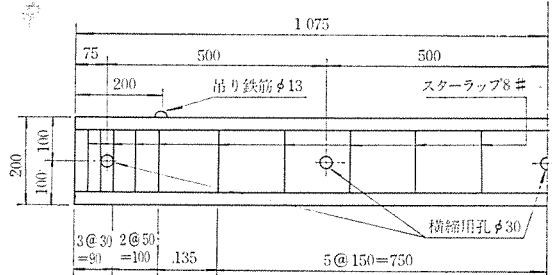
表-2 使用コンクリートの配合と圧縮強度・弾性係数

	単位セメント量 (kg)	単位水量 (kg)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	圧縮強度 (kg/cm ²)			弾性係数 ($\times 10^5$ kg/cm ²)		
					3日	7日	28日	3日	7日	28日
プレキャスト PC 桁用コンクリート	430	163	38	40	445	536	544	2.84	2.97	3.03
中埋コンクリート	306	171	56	44	319	384	390	2.27	2.36	2.40

表-3 プレキャスト PC 桁断面の諸定数およびスラブ供試体の有効プレストレス

プレキャスト PC 桁断面の諸定数	断面積	184.5 cm ²
	図心位置 (上縁より)	11.05 cm
	図心軸まわりの断面 2次モーメント	9 080 cm ⁴
	断面係数	821 cm ³
有効プレストレス	プレキャスト PC 桁 上 縁	0 kg/cm ²
	下 縁	98.6 "
中埋コンクリート打設後の供試体橋軸直角方向プレストレス	ス ラ ブ A	21.3 kg/cm ²
	ス ラ ブ B	12.8 "
	ス ラ ブ C	0 "

図-1 プレキャスト PC 桁縦断面図



* 九州大学工学部
** 福岡大学工学部
*** オリエンタルコンクリート株式会社

図-2 プレキャストPC桁断面図

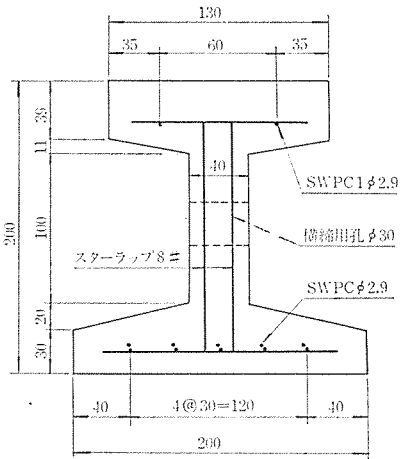
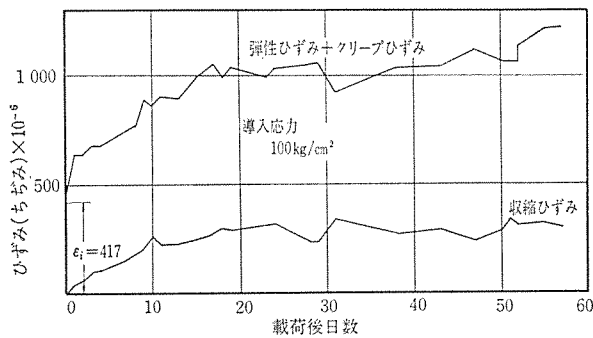


図-3 クリープテストの結果



$$C_t = \frac{t}{0.00597 + 0.00121t}$$

C_t : t 日後のクリープひずみ ($\times 10^{-5}$)

t : 載荷後の日数

となり、最終クリープ係数は 2.00 であった。

スラブ供試体は、PC 桁を 9 本ならべ桁間に中埋めコンクリートを打設し、橋軸直角方向に径 18 mm の PC 鋼棒を 50 cm 間隔に配置したものである。橋軸直角方向のプレストレス量の差異が、荷重の横方向分配にどの程度影響を与えるかを調べるためスラブ供試体 A, B および C を製作し、スラブ A は 21.3 kg/cm^2 、スラブ B は 12.8 kg/cm^2 、スラブ C は PC 鋼棒にナットがけしただけで、 0 kg/cm^2 のプレストレスを橋軸直角方向に導入した。これらの製作時の様子を写真-1, 2 に、でき上がったスラブ供試体の断面寸法を 図-4 に示す。

(2) 載荷試験方法

a) 線荷重による載荷試験 スパン 4 等分点に 2 点対称線荷重 (線荷重幅は 10 cm) をスラブ全幅にわたり 2.13 t/m 載荷し、橋軸および橋軸直角方向のスラブ上縁および下縁のひずみ測定を行なった。測定位置は、図-4 に示すとおりであり、載荷は各スラブ供試体について 2 回ずつ行なった。

b) 集中荷重による載荷試験 集中荷重は上限 4 t

写真-1 プレキャスト PC 桁

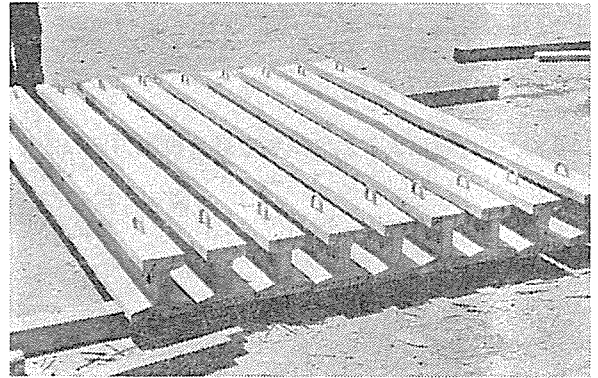


写真-2 でき上がったスラブ供試体

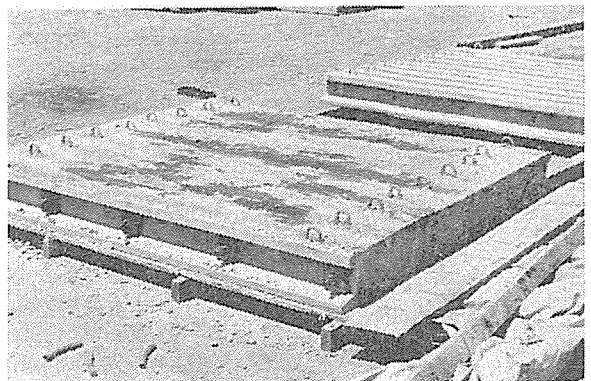
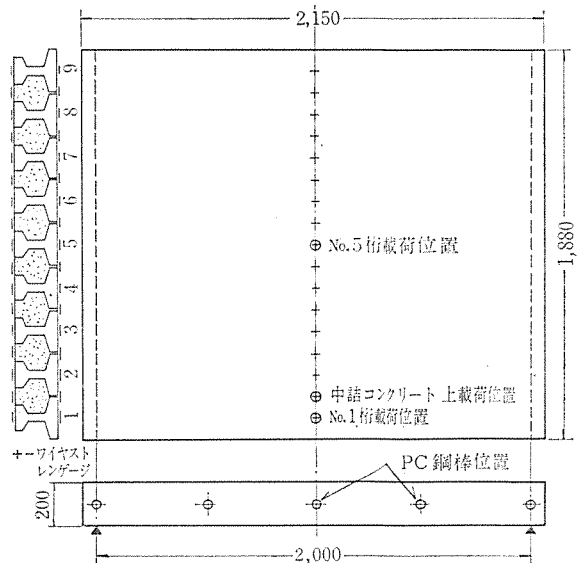


図-4 スラブ供試体断面寸法



であり、図-4 に示されるようにスラブ供試体の中央位置、端桁および端桁部中埋コンクリートのスパン中央位置に 15 cm 径の鋼製円板を介して載荷され、2.(2) a) と同様に、2 回の載荷時のスラブ上縁および下縁のひずみ測定を行なった。

c) ひびわれ試験 2.(2) a), b) の載荷試験のあとに各スラブについて中央点集中荷重を載荷して、スラブ下縁のひびわれ発生の状況を観察した。ひずみ測定位

置は前と同様であり、ひびわれの発見は、クラックメータ（最小目盛り 1/40 mm）を用いて行なった。

3. 実験結果と考察

(1) 線荷重による載荷試験結果と橋軸方向の曲げ剛性

スパン4等分点対称線荷重 2.13 t/m 載荷によるスラブ A, B および C の試験結果を 図-5 に示す。線荷重 2.13 t/m 載荷時のスラブ上・下縁の橋軸方向ひずみの平均値より、曲げ剛性 EI^0 を求めると、スラブ A で $1890 \text{ t}\cdot\text{m}^2/\text{m}$ 、スラブ B で、 $2711 \text{ t}\cdot\text{m}^2/\text{m}$ 、スラブ C で $2080 \text{ t}\cdot\text{m}^2/\text{m}$ となる。 $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ の円柱供試体で測定した P C 桁部のコンクリート弾性係数 $3.03 \times 10^5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ と中埋コンクリートのその $2.40 \times 10^5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ (材令 28 日) を用いて、曲げ剛性 EI^2 を計算すると $EI=1860 \text{ t}\cdot\text{m}^2/\text{m}$ となる。もし P C 桁と中埋コンクリートの付着が全くないものとすれば、P C 桁のみ有効となり、 $EI=1362 \text{ t}\cdot\text{m}^2/\text{m}$ となる。上下縁の橋軸方向ひずみより求めた EI は、橋軸直角方向プレストレスが一番大きいスラブ A のそれが小さくなっている。これは、本実験で用いたスラブ形式だけでなく、一般に EI を正確に求めることは困難であり、ばらつきが大きかったものと考えられる。それで EI の値としては、スラブ A, B および C のすべてに計算値の $1860 \text{ t}\cdot\text{m}^2/\text{m}$ を用いることにした。

(2) 集中荷重による載荷試験結果と考察

集中荷重 3 t を端桁 No. 1 桁、中央の No. 5 桁および端桁部中埋コンクリート上に載荷したときの橋軸方向のひずみ測定結果を 図-6~10 に、橋軸直角方向のひずみ測定結果を 図-11~

14 に示し、スラブ下縁の橋軸方向の実測ひずみの平均値で各実測値を除いた値を荷重分配係数とし、これを 図-15~17 に示す。ギオン・マソネの直交異方性板の理論に基づく数表をこれに適用してみる。ギオン・マソネの方法によれば、ねじりに関するパラメータ \sqrt{a} と曲げに

図-5 線荷重載荷時のスラブ下縁橋軸方向ひずみ実測値

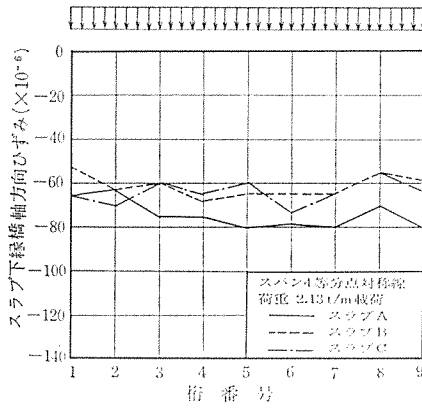


図-6 集中荷重を No. 1 桁に載荷したときのスラブ上縁橋軸方向ひずみ実測値

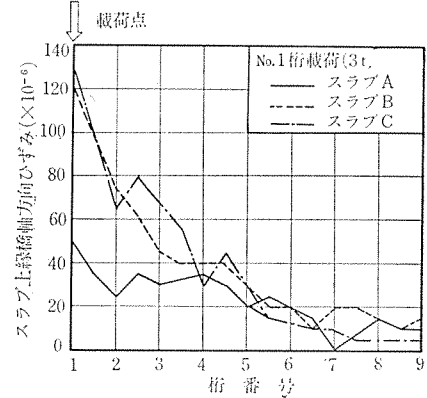


図-7 集中荷重を No. 5 桁に載荷したときのスラブ上縁橋軸方向ひずみ実測値

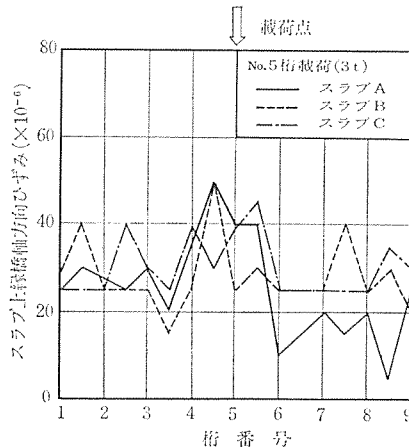


図-8 集中荷重を No. 1 桁に載荷したときのスラブ下縁橋軸方向ひずみ実測値

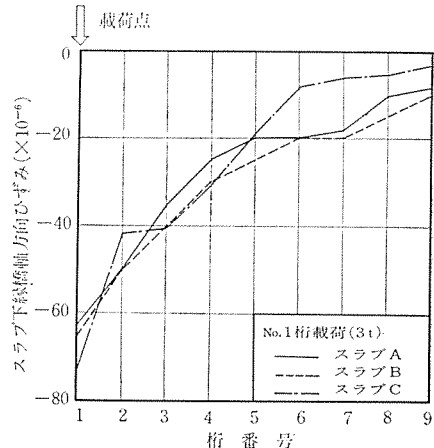


図-9 集中荷重を端部中埋コンクリート上に載荷したときのスラブ下縁橋軸方向ひずみ実測値

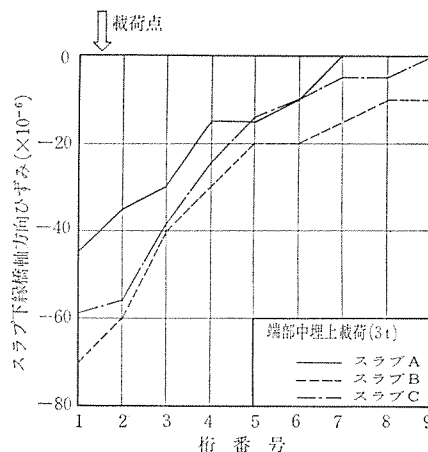
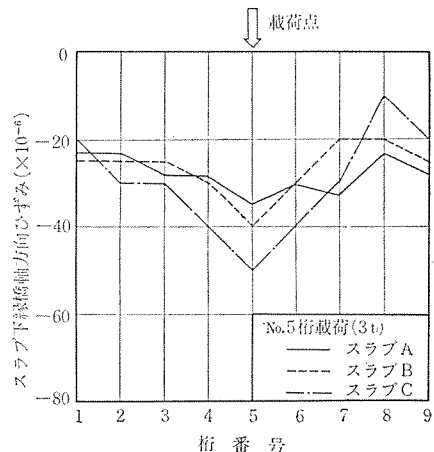


図-10 集中荷重を No. 5 桁に載荷したときのスラブ下縁橋軸方向ひずみ実測値



関するパラメータ θ より荷重分配係数 k がスラブ幅の 8 等分点で求まる⁵⁾⁶⁾⁷⁾。本実験では 9 本の桁を用いてスラブとしたので、各桁の圆心位置を、8 等分点として考え

$$\theta = \frac{b}{l} \sqrt[4]{\frac{EI}{E_Q I_Q}}$$

図-11 集中荷重を No. 5 桁に載荷したときのスラブ上縁橋軸直角方向ひずみ実測値

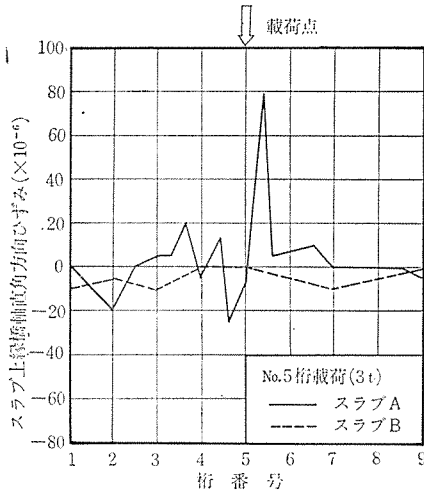


図-12 集中荷重を No. 1 桁および No. 5 桁に載荷したときのスラブ上縁橋軸直角方向ひずみ実測値

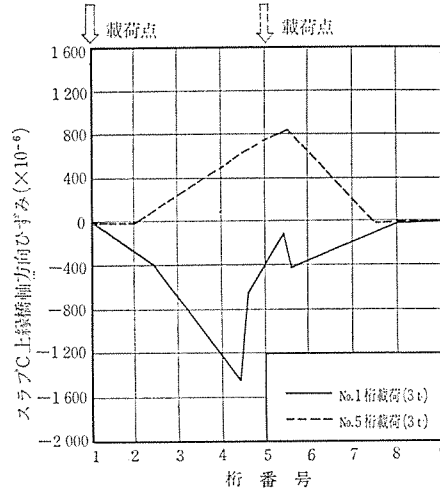


図-13 集中荷重を No. 1 桁に載荷したときのスラブ下縁橋軸直角方向ひずみ実測値

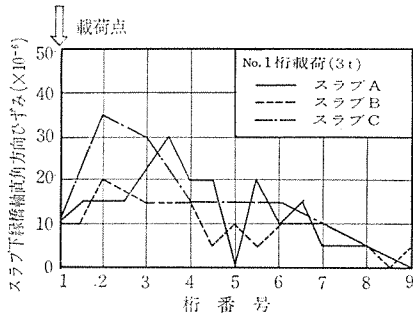


図-14 集中荷重を No. 5 桁上に載荷したときのスラブ下縁橋軸直角方向ひずみ実測値

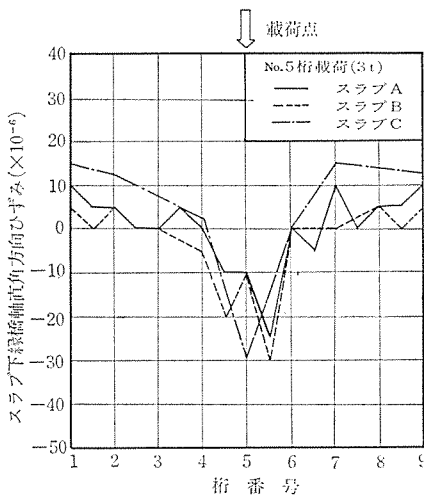


図-15 集中荷重を No. 1 桁に載荷したときのスラブ下縁橋軸直角方向ひずみ実測値による荷重分配係数

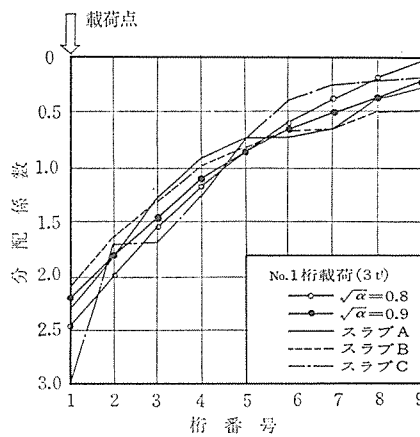
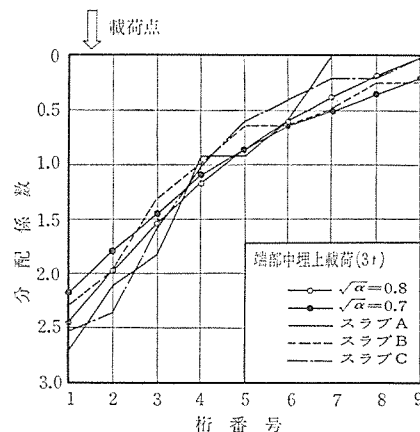


図-16 集中荷重を端部中埋コンクリート上に載荷したときのスラブ下縁橋軸直角方向ひずみ実測値による荷重分配係数



$2b$: スラブ幅

l : スパン

I : 橋軸方向単位幅あたり換算断面 2 次モーメント

I_Q : 橋軸直角方向単位幅あたり換算断面 2 次モーメント

E : 橋軸方向弾性係数

E_Q : 橋軸直角方向弾性係数
で表わされるが、本実験のように桁用コンクリートと中埋コンクリートの弾性係数の差が大きいスラブ形式では $\sqrt[4]{I/I_Q}$ はほぼ 1 に等しくなり、 $\theta \approx b/l$ となって θ はスラブの幅とスパンのみによって決定されることになる。パラメータ $\sqrt{\alpha}$ は

$$\sqrt{\alpha} = \sqrt{\frac{GJ + G_Q J_Q}{2} \sqrt[4]{\frac{1}{E I E_Q I_Q}}}$$

J : 橋軸方向単位幅あたりねじり係数

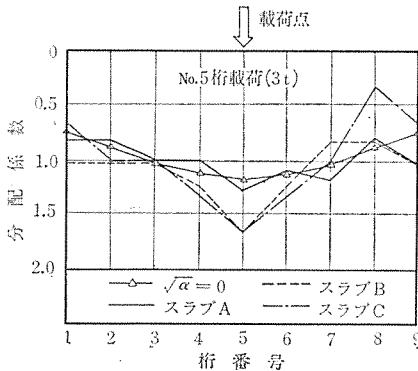
J_Q : 橋軸直角方向単位幅あたりねじり係数

G : 橋軸方向せん断弾性係数

G_Q : 橋軸直角方向せん断弾性係数

で表わされる。実測結果によろあう $\sqrt{\alpha}$ は、No. 1 桁および端部中埋上載荷の実測値に対して $\sqrt{\alpha} = 0.8 \sim 0.9$ 、中央 No. 5 桁上載荷のそれらに対しては $\sqrt{\alpha} = 0$ であり、ギヨン・マソネの方法による $\sqrt{\alpha} = 0$ の荷重分配係数を求め 図-17 にプロットした。これを見てみると、橋軸直角方向プレストレスの差による $\sqrt{\alpha}$ の違いは、あまりみられず、ここで注目すべきことは、中央桁上載荷と端桁上載荷とにおける実測結果にあう $\sqrt{\alpha}$ の相違である。すなわち、中央桁上載荷時には、 $\sqrt{\alpha} = 0$ に近く、ねじりを無視したギヨンの方法

図-17 集中荷重を No. 5 桁に載荷したときのスラブ下縁橋軸方向ひずみ実測値による荷重分配係数



($\alpha=0$)の結果により近くなり、端桁上載荷時には $\sqrt{\alpha}=0.8\sim 0.9$ で、マソネの方法 ($\alpha=1$)の結果に近いことである。

次にオルゼンの表³⁾を適用する。オルゼンは2辺単純支持一方向スラブを橋軸方向と橋軸直角方向とに8等分し、スパン (l) とスラブ幅 (b) との比および荷重分布幅 ($2c$) とスラブ幅 (b) との比に対して、スパン中央における中央位置および端部位置の橋軸方向モーメント M_x および橋軸直角方向モーメント M_y の影響線を与えている。この表を用いると、中央桁載荷 3t の場合、橋軸方向モーメント M_x は $0.821 \text{ t}\cdot\text{m/m}$ となり、橋軸方向下縁ひずみは -44×10^{-6} となる。下縁ひずみ実測値は、スラブAで -35×10^{-6} 、スラブBで -40×10^{-6} およびスラブCで -50×10^{-6} である。これから橋軸方向についてオルゼンの表より求めたひずみは、実測値と大体一致しているといえるようである。

以上は、橋軸方向についてギヨン・マソネ法およびオルゼンの表を用いて検討を行なったものであるが、橋軸直角方向についても同様にギヨン・マソネ法およびオルゼンの表を用いて検討してみる。

ギヨン・マソネ法では、橋軸直角方向曲げモーメント M_y は次式で示される。

$$M_y = \mu_\alpha \frac{2P}{l} \cdot b \cdot \sin \frac{\pi x}{l}$$

P : 集中荷重

x : 支点から荷重作用点までの距離

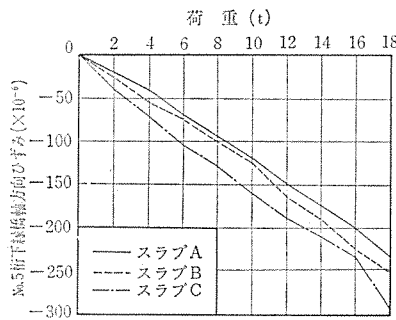
l : スパン

μ_α : この場合 $\theta=0.45$, $\sqrt{\alpha}=0$ に対して求められ、中央桁載荷のとき、中央桁位置では $\mu_\alpha=0.228$ となる

$P=3 \text{ t}$ のときの $M_y=0.645 \text{ t}\cdot\text{m/m}$ となり、この M_y より計算した中央桁下縁ひずみは -35×10^{-6} となる。

オルゼンの表を用いて橋軸直角方向のモーメント M_y を求めると $M_y=0.498 \text{ t}\cdot\text{m/m}$ となり、この M_y より計

図-18 集中荷重を No. 5 桁に載荷したときの No. 5 桁下縁橋軸方向ひずみ実測値



算した中央桁下縁ひずみは -27×10^{-6} となる。スラブA, スラブBおよびスラブCの実測ひずみは、それぞれ -10×10^{-6} , -10×10^{-6} および -30×10^{-6} であり、橋軸方向に比較して測定値が小さいので、測定誤差の範囲内であるかもしれないが、ギヨン・マソネ法およびオルゼンの表より求めた値と大体合っていると思われる。

(3) ひびわれ発生状況

ひびわれ発生の状況を見るために、スラブA, B およびCとも中央点に集

中荷重を載荷した。そのときの中央桁下縁の橋軸方向ひずみの増加を図-18に示す。橋軸直角方向にプレストレスを導入したスラブA, Bでは、スパン中央部下縁に曲げモーメントによるひびわれが橋軸直角方向に入ったが、橋軸直角方向にプレストレスを導入していないスラブCでは、PC桁の下フランジの継目に沿う橋軸方向にまずひびわれが発生し、ついでスラブA, Bと同様曲げモーメントによるクラックが生じた。これらを写真-3~5に示す。ひびわれ発生荷重は、橋軸直角方向ひびわれでスラブAで30t, スラブBで26tであり、スラブCではPC桁下フランジ継目に沿って14tであった。

スラブA, B およびCでそれぞれ30t, 26t および14tの集中荷重を載荷したときの中央桁下縁橋軸方向ひずみ実測値はそれぞれ -430×10^{-6} , -365×10^{-6} および -200×10^{-6} であった。ひびわれ発生時においても、低荷重のときの荷重分配性状が同じと考えて、ギヨン・マソネ法を適用してみる。この場合 $\theta=0.45$, $\sqrt{\alpha}=0$ より求めた中央桁の荷重分配係数は、 $k=1.18$ であり、この値を用いて算出したひびわれ発生荷重時の中央桁下縁橋軸方向ひずみは、スラブAで -420×10^{-6} 、スラブBで -365×10^{-6} 、スラブCで -196×10^{-6} である。オルゼンの表から算出した中央桁下縁橋軸方向ひずみはスラブAで -440×10^{-6} 、スラブBで -381×10^{-6} 、スラブCで -205×10^{-6} である。ギヨン・マソネ法およびオルゼンの表より求めた結果と実測値は、ほぼ一致していると考えてよく、ひびわれ発生までの荷重に対しては、これらの方法でスラブ下縁の橋軸方向のひずみを算出してもよいであろう。

次に橋軸直角方向ひずみを考えてみる。スラブA, B およびCでそれぞれ30t, 26t および14tの集中荷重載荷時の中央桁下縁橋軸直角方向のひずみ実測値はそれぞれ -55×10^{-6} , -65×10^{-6} および -50×10^{-6} である。ギヨン・マソネ法において $\theta=0.45$, $\sqrt{\alpha}=0$ より

写真-3 スラブAの下縁側より
みたひびわれ状況



写真-4 スラブBの下縁側よりみた
ひびわれ状況

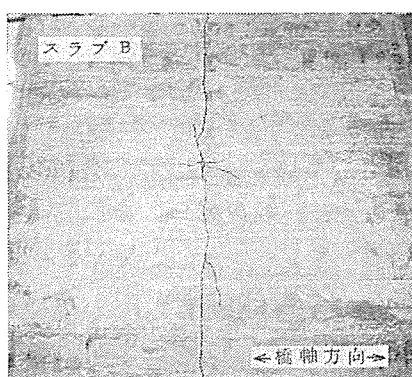


写真-5 スラブCの下縁側より
みたひびわれ状況



$\mu_a=0.228$ を求め各荷重における中央桁下縁橋軸直角方向ひずみを算出すると、それぞれ -321×10^{-6} 、 -278×10^{-6} および -150×10^{-6} となり、さらにオルゼンの表より算出すると、それぞれ -267×10^{-6} 、 -231×10^{-6} および -125×10^{-6} となる。これをみると、ひびわれ発生荷重付近では、ギヨン・マソネ法およびオルゼンの表より求めた中央桁下縁橋軸直角方向ひずみは実測値とかなり違っていることがわかる。

4. あとがき

以上の実験の結果をまとめてみると、橋軸直角方向にプレストレスを導入していないスラブCにおいても中埋コンクリートとPC桁コンクリートとの付着は良好であり、曲げ剛性は全断面有効としてよいと考えられる。また端桁部に集中荷重を載荷するときの荷重分配係数は、ギヨン・マソネ法における、ねじりに関するパラメータ $\sqrt{\alpha}=0.8 \sim 0.9$ として求めてよく、中央部に集中荷重を載荷するときのそれは、 $\sqrt{\alpha}=0$ として求めてよい。荷重がひびわれ発生程度付近になると、橋軸方向曲げモーメントによる中央桁下縁橋軸方向ひずみ実測値は、ギヨン・マソネ法およびオルゼンの表より求めたひずみとほぼ一致するが、中央桁下縁橋軸直角方向ひずみ実測値は、それらとはかなりの差を生じている。またひびわれ

発生荷重の大きさも、橋軸直角方向のプレストレスの大きさの順序になっている。

スラブCのように橋軸直角方向にプレストレスを導入しないスラブでも中埋コンクリートの打込みを入念に行ない、鉄筋による補強などを行なえば、ひびわれ発生荷重よりも小さい荷重に対する荷重分配性状は、橋軸直角方向にプレストレスを導入したスラブと大差ないといえるであろう。

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会：プレストレスコンクリート道路橋示方書解説
- 2) 猪股俊司：プレストレスコンクリートけたを並列した床版橋の横方向剛度について、土木学会誌 44 巻 1 号
- 3) 大島 久・西堀忠信：横締めしないプレテン PC スラブの実験、コンクリートジャーナル, Vol. 6, No. 4
- 4) 佐伯俊一：プレストレス コンクリート橋 (理工図書)
- 5) リチャード・パレシユ, シャルル・マソネ：成岡昌夫, 国広哲男監訳；格子桁と直交異方性板の計算 (共立出版)
- 6) 木村公道・清野茂次・佐伯俊一・田中 登：PC橋の設計 (オーム社)
- 7) 高島春生：道路橋の横分配実用計算法 (前編) (現代社)
- 8) OLSEN & REINITZHUBER: Die Zweiseitig gelagerte Platte. 1 Band, 2 Band (Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn)

1970.5.7・受付