

# PC ホロー型スラブ橋の載荷試験について

八 田 一 雄

## 1. 緒 言

PCホロー型スラブ橋とは、ホロー型プレテンション桁を並列して桁間コンクリートを打設し、PC鋼棒を用いて横方向にプレストレスを与えて一体のスラブとした橋体である。これはI型プレテンション桁を用いた合成スラブ橋は比較的橋体自重が重くなり、T型プレテンション桁橋は桁高が高くなるという欠点をさけて、上記両工法の利点をかねる目的で企図したものである。

この目的で、ねじりに関する係数 $\sqrt{\alpha}=0.7$ としてギヨン、マッソネーの数表を用いて設計計算した結果から次のことがいえる。

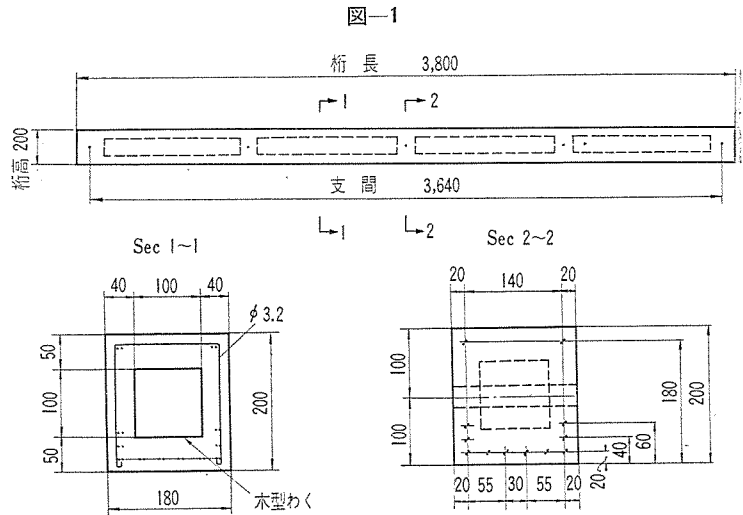
- a) I型合成スラブ橋に比して、コンクリート量が約30%節約できる。
- b) 自重が軽くなり、桁高を従来のプレテンション桁にくらべ低くすることができると同時に、PC鋼線量を10%ほど節約することができる。
- c) 橋体工費が比較的低廉となる。
- d) 桁高を低くすることができるから、桁下余裕の少ない現場や、橋面高を高めることのできない街路橋として利用度が大きい。
- e) 軽い橋体となるから、下部工に対して地震の影響が小となるから下部工費が安くなる。

## 2. 試験の目的

設計計算の結果から上述のことがいえるのであるがこの工法の本来の目的からみてできるだけ桁の中空部分を残すことが望まれ、したがって、この工法の構造から横締め箇所数が問題となるのである。

この試験においては、横締め箇所数を変えて、それぞれの場合における横方向荷重分配を測定して横締め効果を調べ、あわせてギヨン、マッソネーの数表を用いて、直交異方性版理論を適用するための曲げに関するパラメーター $\theta$ 、およびねじりに関するパラメーター $\alpha$ を実験によって求めて、この理論の設計計算に対する適用性の適否を検討する目的で、本試験を実施したものである。

## 3. 試験に用いたPCホロー桁ならびに合成スラブ



写真—1



本実験に用いたPCホロー桁の構造は図—1に示すとおりのもので、合成スラブは写真—1に示すようにPCホロー桁を9本並列して、各桁間に巾19mmの目地モルタルを填充したものである。

合成スラブは、横締め箇所穴を5カ所用意し、横方向プレストレスは $\phi 24$ mmのPC鋼棒を用いて、横締めを5カ所と3カ所で行った。

なお、PCホロー桁単独の計算上より求めた荷重の値は、それぞれ次のとおりである。

設計荷重	$P_D=1.48$ t
きれつ荷重	$P_{cr}=2.21$ t
破壊荷重	$P_u=4.38$ t

横方向プレストレスは、弾性係数をプレキャスト桁、 $400\,000$  kg/cm<sup>2</sup>、目地モルタル  $320\,000$  kg/cm<sup>2</sup> と仮定して $\theta=0.25$ をえ、また、 $\sqrt{\alpha}=0.7$ と仮定して、横締

め5カ所と3カ所のそれぞれに対する各位置のPC鋼棒に与える緊張力を、計算上より求めたところ表-1のとおりである。

表-1

区分 横締め数	初期緊張力 (t)			備 考
	中 央	1/4 点	支 端	
5	7.78	5.56	0.78	有効係数 $\eta=0.9$ と仮定
3	14.40		2.78	

しかし、試験時において支点はスラブ受台の構造上、必要に応じて緊張力を変えることができないので、いずれの場合も3000kgを与えておいた。

また、中央点ならびに1/4点のプレストレス導入に際しての、ストレージゲージの状況から、それぞれの緊張力を表-1の値より1000kg増して与えた。

#### 4. 載荷試験の実施

図-2に示すように、載荷点を、スパン中央①④⑧⑫⑯、および、1/4点②⑥⑩⑭⑰⑲⑳⑳に選び、ダイヤルゲージならびにストレージゲージを設置して、①……⑳の25点のたわみと、①……⑳の縦方向ひずみおよび①……⑱の横方向ひずみを測定した。

図-2 各測容器配置図

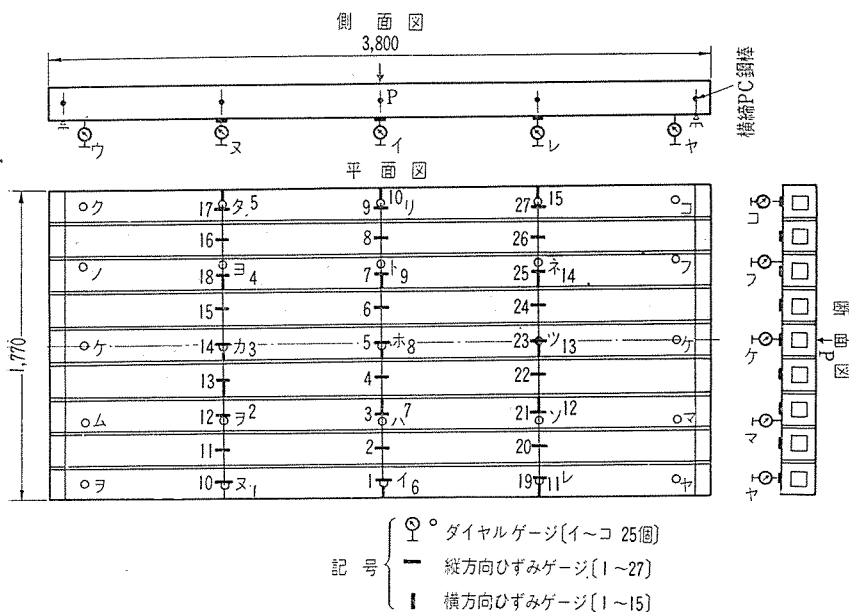


表-2

順序	横締め箇所数	最大荷重 (t)	載 荷 点	読みくり返し回数	特 記 事 項
1	5	7.0	イ.ハ.ホ.ヌ.ヲ.カ.	3	異状なし
2	3	7.0	同 上	3	〃
3	3	16.0	イ	1	15.5tできれつを認む
4	3	10.0	タ	1	異状なし
5	3	15.0	タ	1	15.0tで目地にきれつ発生
6	3	21.0	リ	1	破壊に至る

載荷試験の順序ならびに荷重の大きさは、表-2に示すとおりである。

表-2に用いた荷重は前述の仮定のもとに、横方向の荷重分配を考えて求めた耳桁に対する設計荷重が6.6t、きれつ荷重が9.9t、破壊荷重として19.6tを得たのでこれを載荷の目安としたのである。

まず、荷重分配状況を観測するため、横締め箇所数5カ所および3カ所のそれぞれの場合に、①④⑧⑫⑯の6点に7.0tまで載荷して1.0tごとに読みを記録した。

つぎに、②に荷重を移し10.0tまで載荷したところ異状が認められなかったので、両側1/4点に挿入してあったPC鋼棒を抜取って、再び同点に載荷したところ15.0tに至って初めてきれつ発生が認められたので載荷を中止した。つぎに⑩に載荷し、破壊に至るまで荷重を増加せしめた。このさい約16.0tできれつを生じ、21.0tで完全に破壊に至り、引続いてジャッキのストロークを増していったが、マンメーターの読みの増進が無いので載荷を中止した。

なお、別途に、曲げに関するパラメーター $\theta$ を求めるため、曲げ剛性係数EIおよびEJを測定した。

EIの測定はスパン中央に、全巾を横断する型钢よりなる載荷台を乗せ、この中心に載荷して、ダイヤルゲージ

によりスラブ各点のたわみ状態を調べることによって、荷重が線荷重として分布されることを確かめたのち、7.0tまで載荷して、スパン中央のたわみを実測し、たわみ式よりEIを求めた。

EJの測定には、スパン方向に巾40cmに切断したホロー型プレキャストブロック9個を、ホロースラブと同様に並列して、ブロック間に目地モルタルを施し、これをPC鋼棒によってプレストレスを導入して、スパン1.730mの桁とし、その中央点に載荷して、たわみを測定し、EIの場合と同様にしてEJを求めた。

#### 5. 試験結果

##### (1) EIの測定

EIの測定は、スラブの載荷重7.0tのときのたわみ量 $\delta=0.142$ cmをとり、たわみ式よりEIを求めた。

全巾当り

$$EI = \frac{7000 \times 364^2}{48 \times 0.142} = 4.8 \times 10^{10} \text{ kg-cm}^2$$

ゆえに単位巾当り

$$EI = \frac{4.8 \times 10^{10}}{177} = 2.71 \times 10^8 \text{ kg-cm}^2/\text{cm}$$

これらと比較するため、プレキャスト コンクリート

写真-2 EI 測定状況

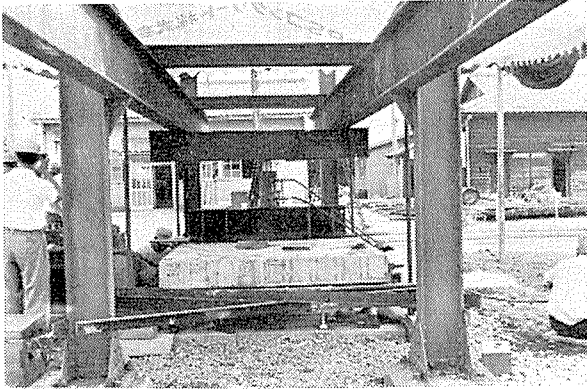
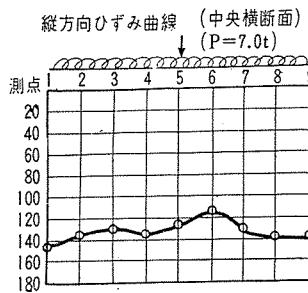
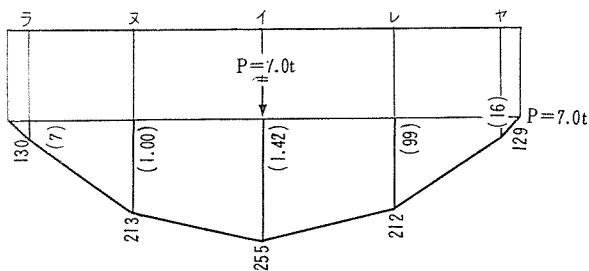


図-3 縦方向たわみ剛性 EI の測定



EI測定時のたわみ曲線



と目地モルタルとの弾性比  $n = E_c' / E_c = 3.2 \times 10^5 / 4.0 \times 10^5 = 0.8$  と仮定してこの計算値を求めると、 $EI = 4.86 \times 10^{10}$  kg-cm となる。図-3 は載荷重 7.0 t のときのたわみ曲線とひずみ曲線を示す。

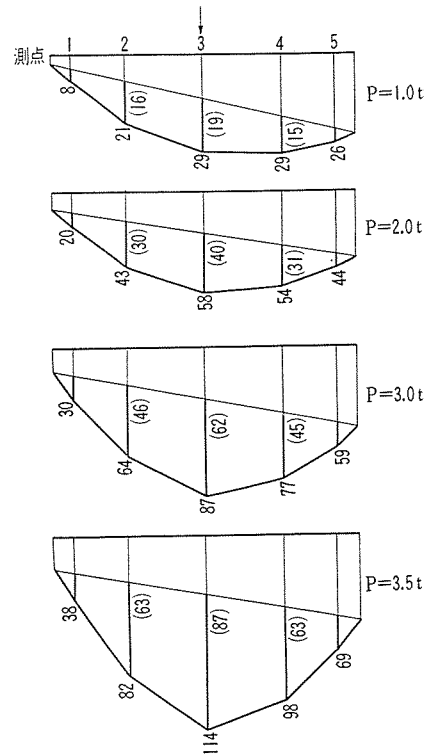
(2) EJ の測定

EJ の測定は、中央点のたわみの実測値より、EI と同様にして求めた EJ の平均値は  $EJ = 5.55 \times 10^9$  kg-cm となる。

単位長当り  $EJ = 5.55 \times 10^9 / 40 = 1.39 \times 10^8$  kg-cm<sup>2</sup>/cm

図-4 はたわみ曲線を示す。

図-4 EJ 測定時のたわみ曲線

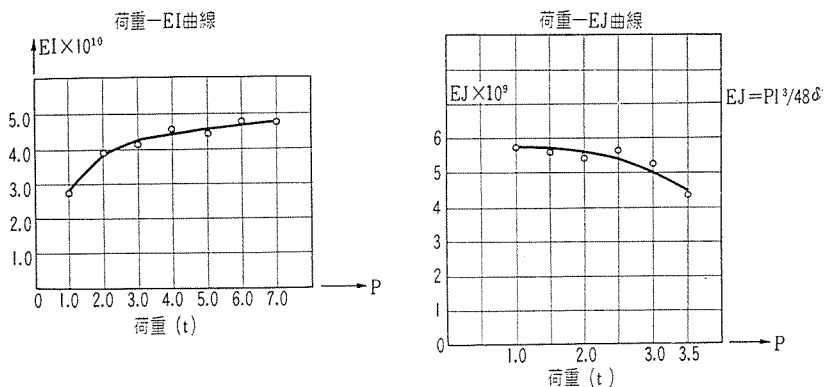


各荷重に於ける荷重-EI 曲線、および荷重-EJ 曲線を示すと 図-5 のようになる。

写真-3 EJ 測定状況



図-5



(3)  $\theta$  の決定

以上求めた EI, EJ を用いて  $\theta$  を次のように決めた。

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

$$= \frac{177/2}{364} \sqrt[4]{\frac{271}{139}} = 0.287$$

(4) E の決定

E の値は、ホロー桁製作と同時に作ったテストピース (10×20 cm) を加圧して、応力-ひずみ曲線を描き、 $E=400\,000\text{ kg/cm}^2$  と決定した。

なお、このテストピースの平均圧縮強度は  $600\text{ kg/cm}^2$  であった。

(5) ひずみの測定

各載荷点に於けるスパン中央部および 1/4 点における縦方向ひずみ曲線より、設計荷重程度の載荷によっては、横締め箇所数に関係なく、所期の荷重分配をしていることが認められる。

また、横方向ひずみ曲線より、すべて載荷重 4.0t 付近までは順調な荷重-ひずみ曲線を示しているが、これを越すと載荷点下のひずみが減少していることがわかる。

図-7 は縦方向ひずみ曲線を、また 図-8 は横方向ひずみ曲線を示す。

(6) たわみ測定

横締め箇所数 5 カ所と 3 カ所のそれぞれの場合について、載荷点 ①②③④⑤⑥⑦⑧⑨ に 7.0t まで載荷したときの全測点のたわみの測定値も、横締め箇所数によるたわみ量の相違が、ひずみの場合と同じく見出されないようである。

$EI=4.86 \times 10^{10}\text{ kg-cm}^2$  (計算値) を用いて算出したたわみの計算値も、よく実測値に接近している。

図-9 は測定の一例を示す。

(7)  $\alpha$  の決定

荷重分配率  $K_\alpha$  は、各載荷点をふくむ横断面の、各点におけるた

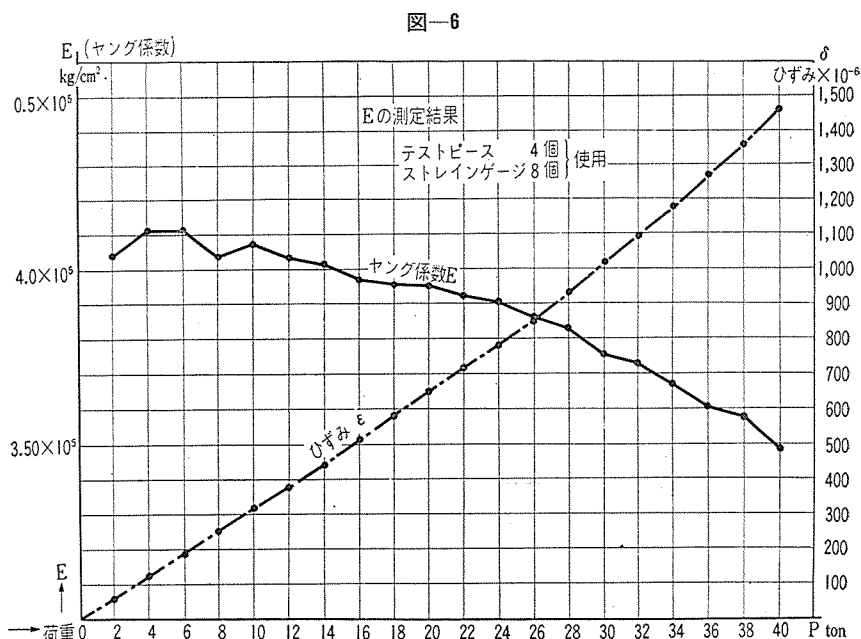


図-7

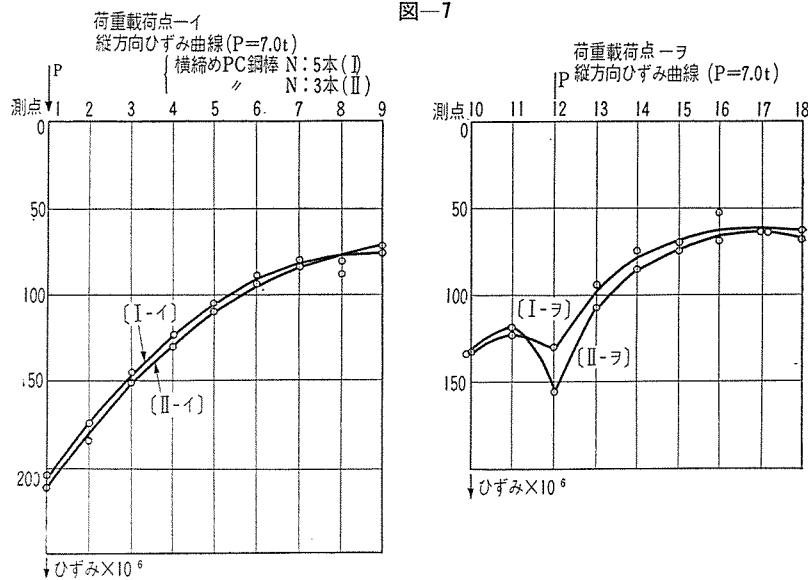


図-8

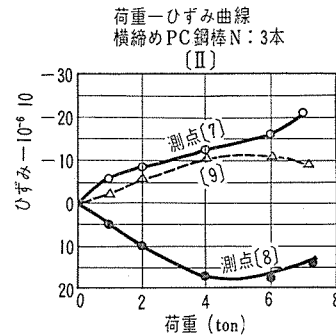
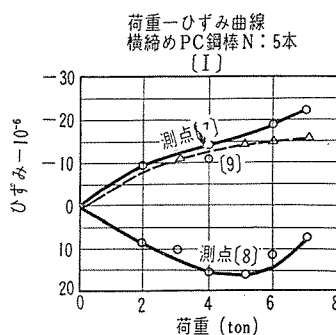
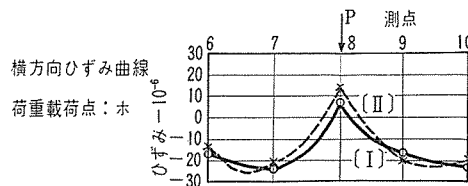
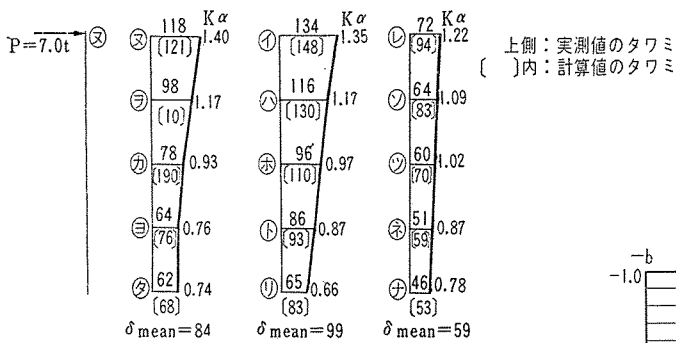
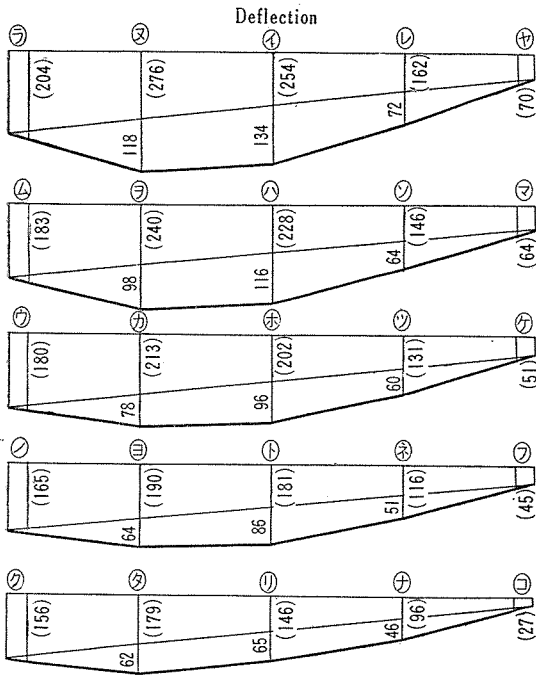


図-9

載荷点 xPC: Bar No.5  
p=7.0t



わみ量の平均値で各点のたわみ量を除して得られる。

$\alpha$  の値を決定するには、先に求めた  $\theta=0.287$  を用いて  $\sqrt{\alpha}=0, 0.8, 1.0$  のおのおのについての  $K_\alpha$  の値を下式より求め、これを図示してこの図上に実測によるたわみより求めた  $K_\alpha$  の値をプロットした結果  $\sqrt{\alpha}=1.0$  と推定した。図-10 はその一例を示す。

$$K_\alpha = K_0 + \sqrt{\alpha}(K_1 - K_0)$$

ここに  $K_0, K_1$  はそれぞれ  $\alpha=0, \alpha=1$  に対する荷重分配係数である。

## 6. きれつ状況

4. で述べたように、①に載荷した際、15.5t できれつの発生をみたのであるが、この際の発生

箇所は、載荷した耳桁の中央ダイヤフラムをはずれた側面下部で、底面には認められなかった。

ひずみからは、載荷重 13.0t に至って、すでにきれつを生じたもののようにひずみの低下をきたしている。このため無載荷の他の桁のひずみの増加が急激に大きくなってきている側向が認められる。このことから耳桁のきれつの発生後は、他の桁の荷重分担の割合が増大してきていることがわかる。図-11 はこのときのひずみ曲線を示す。

## 7. 破壊状況

桁の破壊状況を調べるため、⑩点に 5.0t, 10.0t, 12.0t と一挙に荷重を上げ、以後 1.0t きざみに増加した測定を行なった。

この場合きれつは、④点の載荷時におけると同様に約 16.0t で始まり、その後荷重の増大とともにこれが増進し、21.0t でマンメーターの指針が進行を中止した。さらに荷重を増大していった結果、コンクリート圧縮縁にはく離を生じ、完全に破壊の状態に至った。

図-10

荷重分配曲線    ●..... 中央のたわみに対する  $K_\alpha$   
荷重載荷点一イ    △..... 1/4点の "  
横締めPC鋼棒N:3    ×

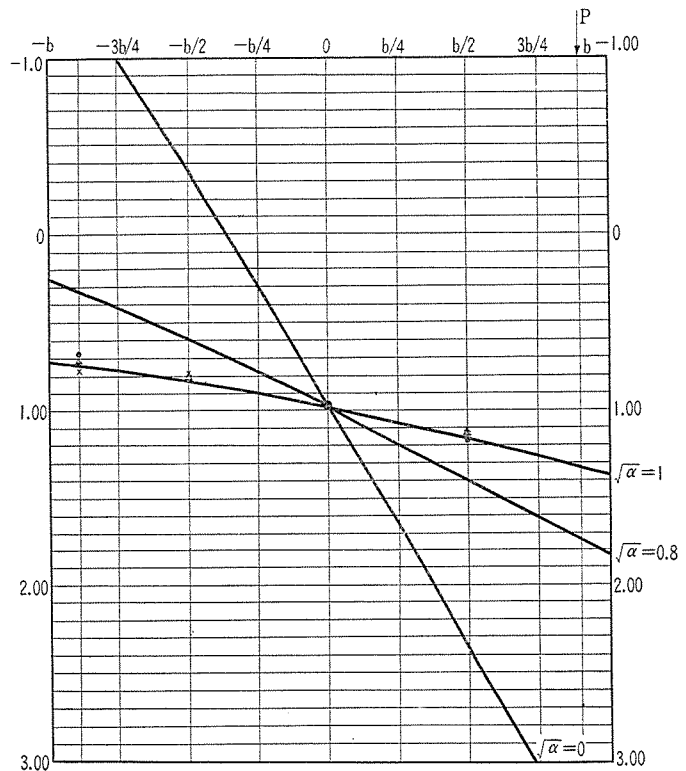
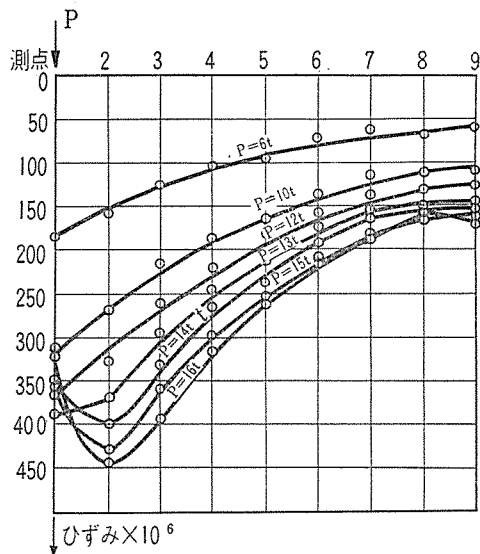
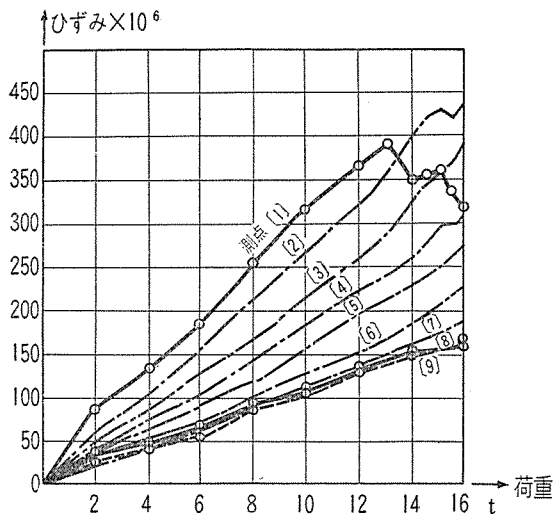


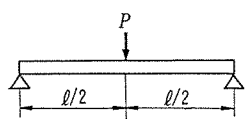
図-11

ひびわれ荷重測定結果  
荷重載荷点一イ  
縦方向ひずみ曲線  
横締めPC鋼棒 N:5



8. 縦方向平均曲げモーメント

前述の試験結果より得た  $\theta$  と  $\sqrt{\alpha}$  の値を用いて求めた荷重分配係数  $K_\alpha$  を使用して、実測たわみ値から平均曲げモーメントを下式より計算推定し、理論上の平均曲げモーメントとを比較すると表-3のごとくなる。

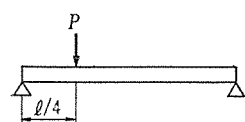


載荷点における換算曲げモーメント

$$M_0 = 12 EI \delta / l^2 = 43.5 \delta$$

測定平均曲げモーメント

$$M_{mean} = M_0 / 1.1 K_\alpha$$



載荷点における換算曲げモーメント

$$M_0 = 85.3 \times 3 EI \delta / 16 l^2 = 57.9 \delta$$

測定平均曲げモーメント

$$M_{mean} = M_0 / 1.1 K_\alpha$$

表-3

載荷点 (測点)	$K_\alpha$	たわみ $\delta$ cm	$M_0$ t-m	$M_{mean}$ t-m	平均曲げモーメント理論値 t-m
イ	1.32	$206 \times 10^{-3}$	8.96	6.17	$\frac{pl}{4} = 6.37$
ハ	1.08	$162 \times "$	7.05	5.94	
ホ	1.02	$151 \times "$	6.58	5.87	
平均				6.00	
ヌ	1.32	$118 \times "$	6.82	4.70	$\frac{3pl}{16} = 4.78$
ヲ	1.08	$96 \times "$	5.55	4.68	
カ	1.02	$84 \times "$	4.86	4.34	
平均				4.57	

この計算において、 $EI = 4.8 \times 10^{10} \text{kg-cm}^2$  を用い、載荷点における局部的影響を考慮して、 $M_\alpha = 1.1 K_\alpha M_{mean}$  によって  $M_{mean}$  を求めた。

表-3 よりわかるように、実測値よりの平均曲げモーメントの値は理論値よりも下位にあって接近しているので、 $K_\alpha$  の値は正しいものとみなすことができる。

なお、 $K_\alpha$  の同値を用いて、ひずみの実測値から平均曲げモーメントを下式より求め、理論値と比較すると、表-4 のようになる。

測点における換算曲げモーメント

$$M_0 = 2 EI \epsilon / h = 4.8 \times 10^9 \epsilon$$

測定平均曲げモーメント

$$M_{mean} = M_0 / 1.1 K_\alpha$$

ひずみより求めた測定平均曲げモーメントは、たわみより求めた値にくらべ、大きい値を示しているが、これは載荷点における局部的影響によるものと思われる。このことを考慮して理論値と比較すると、分配係数として表中の  $K_\alpha$  の値を用いても不都合はないものと考えられる。

9. 横方向平均曲げモーメント

横方向ひずみ曲線から、荷重 4.0 t 程度までは順調に弾性変形をなしているが、これを越すとひずみの減少をきたしている。この原因は後述するように、横方向プレストレスの不足と桁間モルタルの付着強度の小なることにより、桁間に縁切れを起こしているものと想像される。

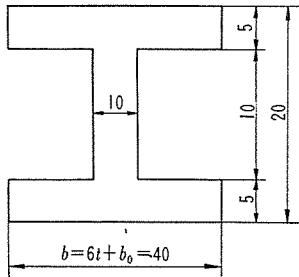
すなわち EJ の測定の際、PC鋼棒、緊張力をゆるめることによって、試験桁自重により、中央ブロック間目地にひびわれを生じ、桁が切断したのであるが、これよ

り、曲げ引張応力度は下記のごとく  $2 \text{ kg/cm}^2$  となるのであり、このことから目地間の付着強度は期待できないように思われる。

桁自重による曲げモーメント  $M=1/8 ql^2=0.097 \text{ t-m}$

$$\text{曲げ応力度} \quad \sigma = \pm 4700 \times \frac{6}{40 \times 20^2} = \pm 2 \text{ kg/cm}^2$$

また、横締め 5 カ所の場合についていえば、中央断面におけるプレストレスは、横方向緊張力を求めた予備計算において、有効断面を下記のようにとり、



断面積  $A=500 \text{ cm}^2$   
断面係数  $Z=2420 \text{ cm}^3$

横締め PC 鋼棒引張力として  $8780 \text{ kg}$  を与えて、

$$\sigma_{cp} = 8780/500 = 17.5 \text{ kg/cm}^2$$

としたものであるが、実際ストレインメーターによる測定結果では、ひずみは最大  $25 \times 10^{-6} \text{ cm}$  であるので  $10.0 \text{ kg/cm}^2$  のプレストレスが導入されたことになるのである。

いま計算断面の有効巾として、 $b=12t+b_0=70 \text{ cm}$  にとり、断面積  $A=800 \text{ cm}^2$  としてプレストレスを算定すると、

$$\sigma_{cp} = 8780/800 = 11.0 \text{ kg/cm}^2$$

となり大体一致している。

ゆえにこの値を用い、また前記引張強度を無視して、横方向曲げモーメントの式より逆算して許容荷重を求めると  $P=4.6 \text{ t}$  となり、これは前述の横方向荷重—ひずみ曲線から考えられる許容荷重と大体において一致するのである。

以上のことから、載荷重  $4.0 \text{ t}$  の場合の横方向曲げモーメントについて、下記計算による理論値と実測結果よりの計算値  $M=2\epsilon EJ/h$  とを比較すると表—4のごとくなる。

$$\tau_n = \frac{4P}{nl \Delta \varphi} \cdot \sin \frac{n\pi}{2} \cdot \sin \frac{n \Delta \varphi}{2}$$

$$\Delta \varphi = \frac{2c\pi}{l} = \frac{0.18\pi}{3.64} \doteq 8^\circ \sim 54'$$

$$\tau_1 = 0.548 P, \tau_3 = -0.548 P, \tau_5 = 0.547 P$$

表—4 (a)

	中 央 点	b/2 点
$\theta_1=0.287$	$\mu_1=0.188$	$\mu_1=0.159$
$\theta_3=0.861$	$\mu_3=-0.089$	$\mu_3=-0.083$
$\theta_5=1.435$	$\mu_5=0.055$	$\mu_5=0.055$

$$M_y = b(\mu_0 \tau_1 - \mu_3 \theta \tau_3 + \mu_5 \theta \tau_5)$$

表—4 (b)

載 荷 点	平均曲げモーメント (理論値)	実 測 値 よ り の 値				
		PC横締め5カ所		PC横締め3カ所		
		ひずみ	平均曲げモーメント	ひずみ	平均曲げモーメント	
l/2	ハ-b/2	0.0625 P	$14 \times 10^{-6}$	0.0486 P	$15 \times 10^{-6}$	0.0522 P
	ホ 0	0.0745 P	$16 \times 10^{-6}$	0.0555 P	$17 \times 10^{-6}$	0.0591 P
l/4	ヲ-b/2	0.0528 P	$11 \times 10^{-6}$	0.0382 P	$11 \times 10^{-6}$	0.0387 P
	カ 0	0.0443 P	$12 \times 10^{-6}$	0.0417 P	$13 \times 10^{-6}$	0.0452 P

表—4 より理論値と実測値の最大誤差は 20% におよんでいるが、これは低応力度におけるひずみ量の測定誤差であると思われる。

## 10. 結 言

いままでの試験結果より、荷重分配に関しては横締め 5 カ所と 3 カ所の場合を比較して、荷重がコンクリートに肉眼で認められる程度のきれつを起こさせる荷重に至るまでは、所期の荷重分配を行っていることを明らかにしている。このことは、横方向プレストレスの不足と、付着強度の小なる原因により、許容載荷重の低下をきたしていることと一見矛盾を生じているようであるが、これは、荷重分配作用に協力する格子構造的な働きと、プレストレスにもとづく摩擦力の働き等の原因によるものではないかと思われる。

所要の横方向プレストレス量が与えられるならば、設計荷重に対し、荷重分配の点に関しては、横締め箇所数はそれほど問題とはならないように感ぜられる。

また  $7.0 \text{ t}$  載荷時のスパン方向のたわみ値にもとづいて分配係数を求め、これより  $\sqrt{\alpha}$  を推定したのであるが、 $4.0 \text{ t}$  載荷時の横方向たわみ値やひずみの状況からも分配係数を求めれば、これからも  $\sqrt{\alpha}=1.0$  と推定される。ゆえにこの試験によって、この種のホロー桁合成スラブ橋において、分配係数  $K_a$  を用いる計算方法は十分信頼性があると考えられる。

ただし、横方向所要プレストレスの算定に当っては、有効断面の有効巾の算式として  $b=12t+b_0$  を用うべきと考えられる。しかし桁間における結合の非信頼性から横締め間における輪荷重等の集中荷重による安全度確保のため、横方向プレストレスのみに頼るとすれば、横締め箇所数は最小限 5 カ所の必要が感ぜられ、横締め 3 カ所の場合は、別途に桁間結合力の増大方法を考えるべきだと思われる。

本試験は猪股俊司博士、金沢大学工学部 柳場重正助教授の御指導のもとに実施したもので、両氏に対し厚く感謝申上げる次第である。あわせて、現在この工法を採用して頂いている、京都府並びに、福井市御当局には、衷心より御礼申上げる次第である。

(筆者：日本ビー・エス・コンクリートKK)