

PRC 桁に関する実験について

小 寺 重 郎*
岩 城 良**

1. 概 要

本実験は、昭和 39 年度吉田奨励金をうけ、PRC 桁の曲げ性状について検討するために実施したものである。

Prestressed Reinforced Concrete (プレストレスト鉄筋コンクリート、以後 PRC と呼ぶ) は、RC 部材に PC 鋼材を配置してプレストレスを導入したものであって、その曲げ性状は RC と PC の中間の性状を有するものと考えられる。

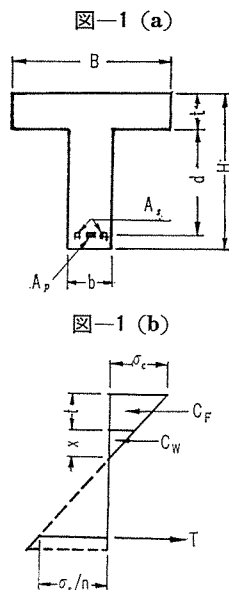
PRC は、設計荷重作用時に引張側コンクリートに無害なひびわれの発生するのを許容するものであって、部材応力の計算にあたっては、引張側に引張応力を生じない荷重に対しては PC と同様の仮定にもとづき応力度を求めるが、引張応力を生じる荷重に対しては RC と同様の仮定にもとづいて求める。

すなわち、PRC ではコンクリートに引張応力を生じる荷重を境にして断面の性質が変化するので、設計荷重作用時においても外力と応力とは比例しない。

設計荷重のもとでは、つぎの仮定にもとづき計算をすすめるものとする。

- 1) コンクリートの引張抵抗は無視する
- 2) ひびわれ発生後も平面保持の条件を満足する。
- 3) 設計荷重のもとでは鋼材とコンクリートの弾性係数はともに変化しないものとする。
- 4) ひびわれ発生まではつぎにのべるつり合い条件から求めるものとする。

図-1 (a) に示したような



* 八千代エンジニアリング株式会社
** 鹿島建設株式会社技術研究所

T 形断面のはりの場合は図-1 (b) に示したようなつり合いを考える。ここに B : 上縁幅、 b : 腹部幅、 A_p : PC 鋼材断面積、 A_s : 鉄筋断面積、 $T = A_p(\sigma_{p0} + \sigma_p) + A_s\sigma_s$ 、 σ_{p0} : PC 鋼材図心位置のコンクリートの応力が 0 となるときの PC 鋼材の応力度とする。

2. グラウトの付着強度試験

(1) PRC におけるグラウト

PC グラウト指針案では、グラウトの品質についてつぎのように規定されている。“PC 鋼材を十分包み、これをさびないように保護し、確実に十分な付着力を有するものでなければならない。圧縮強度については、型わく方式で $\sigma_7 \geq 150 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\sigma_{28} \geq 200 \text{ kg/cm}^2$ 以上であること”が規定されている。

グラウトの付着強度は、部材のひびわれ発生状況に大きく影響するものであり、特に PRC のように設計荷重のもとで引張側コンクリートにある程度の引張応力の生ずるのを許す場合は、グラウトの付着強度が大きいことが好ましい。

本研究では、グラウトの付着強度を検討するために引抜き試験と曲げ引張り試験を行なった。

(2) 引抜き試験方法と供試体

図-2 に示した大きさの供試体を表-3 に示す 5 組についてのおおの 9 個、計 45 個の供試体を製作した。荷重試験はアムスラー型 200 t 万能試験機を用いて行なった。供試体に用いたコンクリート、およびグラウトの配合は表-1, 2 に示したとおりである。また供試体はぬれた布でおおい、湿潤状態で試験時まで養生した。

図-2 引抜き試験供試体

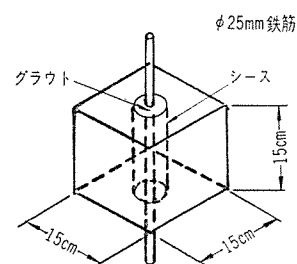


表-1 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	単位水量 W (kg)	単位セメント量 C (kg)	水セメント比 w/c (kg)	絶対細骨材率 s/a (%)	単位細骨材量 S (kg)	単位粗骨材量 G (kg)	ポゾリス P/C (%)
25	3~7	184	400	46	38	680	1110	0.25

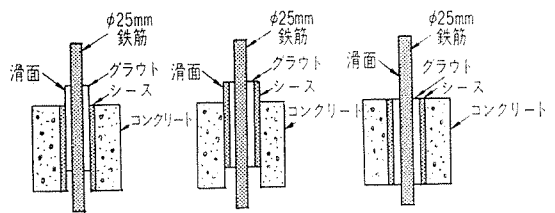
表-2 グラウトの配合

グラウトの種類	フロー値の範囲 (sec)	水セメント比 w/c (%)	単位セメント量 C (kg)	単位水量 W (kg)	ポゾリス P/C (%)	ベルタイト B/C (%)	アルミニウム粉末 Al/C (%)	膨張率の範囲 (%)
配合 A	6~12	48	1212	602	0.25		0.007	0~5
配合 B	6~12	42	1365	574		10	0.007	0~5

表-3 引抜き試験供試体

	平滑シース	フレキシブルシース	シースなし
コンクリート			9
グラウト A	9	9	
グラウト B	9	9	

図-4 滑動状況 (引抜き)



(3) 曲げ引張試験方法と供試体

グラウトの付着強度とひびわれの関係を検討するため 図-3, 表-4 に示したような3種の供試体を各種6個, 計18個の供試体を製作した。荷重試験はアムスラー型200t 万能試験機により, 供試体端部に突き出した鉄筋に張力を与え, 引張力と曲げモーメントを作用させた。

図-3 曲げ引張り試験供試体

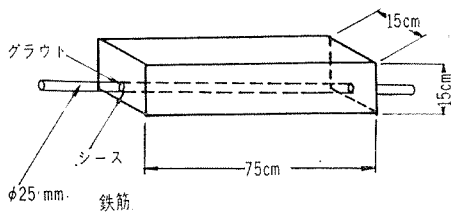


表-4 曲げ引張り試験供試体

	フレキシブルシース	平滑シース	シースなし
コンクリート			6
グラウト A	6		
グラウト B	6		

(4) 引抜き試験結果

a) フレキシブルシースと平滑シース フレキシブルシースが平滑シースにくらべて付着の点ですぐれていることは形状の点からも明らかであるが, 本実験結果からは 図-4, 表-5 に示す結果を得た。

みかけの付着強度は, 平滑シースにくらべてフレキシ

表-5 引抜き試験結果

供試体の数	滑 面			最大引抜き荷重 (t)	見かけの付着強度 (kg/cm ²)	
	鉄筋とグラウト	グラウトとシース	シースとコンクリート			
平滑シース	9個	1個	4個	3個	1.18	10
フレキシブルシース	9個	9個	0	0	1.40	12

注: 見かけの付着強度: $\tau_0 = \frac{\text{最大引抜き荷重}}{\text{鉄筋の表面積}}$
 注入グラウト: セメントペースト

ブルシースの方が20%大きい値を示した。また, フレキシブルシースの場合の滑面が鉄筋とグラウトの接着面であるのに対して, 平滑シースではシースとグラウト, またはシースとコンクリートとの接着面で滑動した。平滑シースのこの現象は細い線材で構成されたケーブルの場合は, グラウトと鋼材との付着力が大きくなるので, この傾向が大きくなるものと考えられる。

フレキシブルシースは, 従来より断面の均等性, 作業性などの点からすぐれているので, PC 部材に多く使用されているが, PRC 部材では特に付着の点からもフレキシブルシースを用いるのがよいと考えられる。

b) グラウトの添加剤 グラウトの付着強度を増すため, 数種の添加剤について検討した結果, モルタル用接着剤として市販されているベルタイト (日本ゴーレックスKK) を用いることとした。

ベルタイトの配合を決めるために行なった予備試験の結果, 図-5, 表-6, 7 に示したように B/C=0.1 のときもっとも効果が大きいことがわかった。

図-2, 表-1, 2, 3 に示した供試体について行なった試験結果をみると, 表-8 に示したようにセメントペー

図-5 強度試験法 (押抜き)

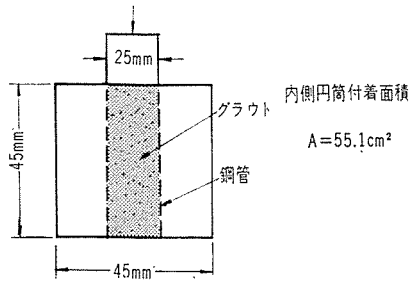


表-6 グラウトの配合

供試体	セメント (g)	ベルタイト (g)	水 (g)	w/c (%)
A	500	0	225	45
B	"	50	150	35
C	"	100	100	30

表-7 付着強度試験結果 (材令 28 日)

供試体番号	付着強度 (kg/cm²)	平均 (kg/cm²)
A - 1	16.8	25.8
2	33.6	
3	27.0	
B - 1	58.4	55.4
2	47.4	
3	60.3	
C - 1	34.9	32.3
2	32.1	
3	30.0	

ストのみをてん充したものにくらべてベルタイトを混入したものは約 30% 大きい値を示した。表-7 に示した

図-6 鋼線の位置

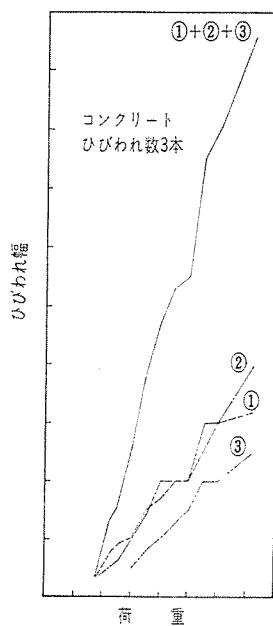
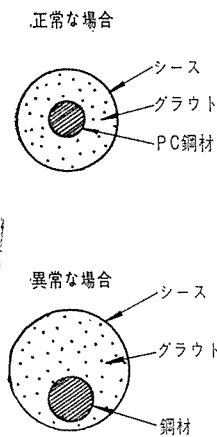


図-8 荷重-ひびわれ曲線

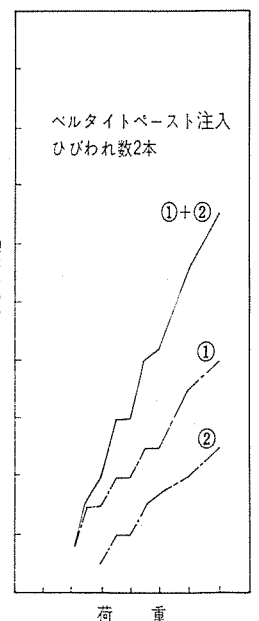
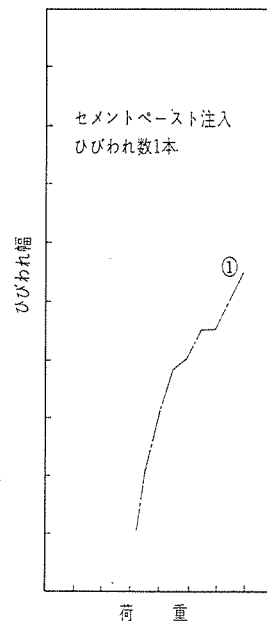


表-8 引抜き試験結果 (材令 7 日)

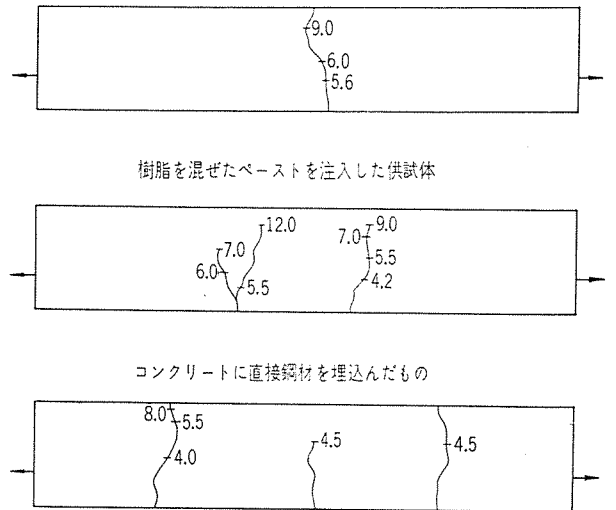
	平滑シース	フレキシブルシース	シースなし
コンクリート			37.0
グラウト A	10.0	12.0	
グラウト B	13.5	15.0	

(単位: kg/cm²)

予備試験結果よりも小さい値を示したのは、ベルタイトを混入したペーストは、ペーストのみのものにくらべて初期強度の増加率が小さいことによるものと考えられる。材令 28 日で行なった実験結果では、ベルタイトを混入したものはセメントペーストのみのものにくらべて約 40% 大きい値を示している。

c) 鋼材の偏心と付着強度 みかけの付着強度は、

図-7 曲げ引張り試験供試体に発生したひびわれペーストを注入した供試体



報 告

PC 鋼材の位置によっても影響をうける。本実験において図-6のように偏心したものは中心にあるものにくらべて 20~30% 小さい付着強度を示した。

(5) 曲げ引張試験

ひびわれ発生状況は図-7,8 に示したとおりである。

1) 発生するひびわれの数は付着力の影響をうけ、付着力が大きいほどひびわれ間隔が小さく、ひびわれの数が増加する。

ベルタイトを混入したグラウトをてん充した供試体は、在来の PC グラウトをてん充したものにくらべてひびわれの数も多く、付着強度の大きいことがわかった。

2) 鋼材の応力とひびわれ幅の関係は、付着力の大きいものほど発生するひびわれの数、ひびわれの累計幅は増加するが、個々のひびわれについての最大幅は小さくなる。

3) グラウトの効果を検討するための試験法として曲げ引張り試験は有効である。

3. PRC 桁の曲げ載荷試験

PRC 桁の曲げ性状を検討するため図-8 に示した 3 種の供試桁をおのおの 2 本、計 6 本を製作し、RC, PC, PRC についての比較試験を行なった。また各供試桁を比較検討するため、 $\sigma_{sy}A_s$ の値がほぼ等しくなるよう配筋した。

(1) 使用材料

コンクリート (配合は表-1 参照)

セメント アサノベロセメント

骨 材 多摩川産 (最大径 25 mm)

グラウト (配合は表-2 B 参照)

セメント アサノベロセメント

ベルタイト 日本ゴーレックス KK

鋼 材

PC 鋼棒 住友電工 KK 4 種

異形丸鋼 尼崎製鉄 KK Dacon 35

(2) 供試桁の種類と数

供試桁は図-9 に示すような 3 種の桁をおのおの 2 本製作した。

(3) 載荷試験方法

図-10 に示した要領で、アムスラー型万能試験機により載荷し、コンクリートおよび鋼材のひずみ、たわみ、ひびわれ幅などを測定した。これらの測定にはつぎのものをを用いた。

ひ ず み ワイヤーストレインゲージ

た わ み 1/100 mm 目盛のダイヤルゲージ

ひびわれ幅 1/20 mm 目盛のルーペ (倍率 10 倍)

図-9 模 型 桁

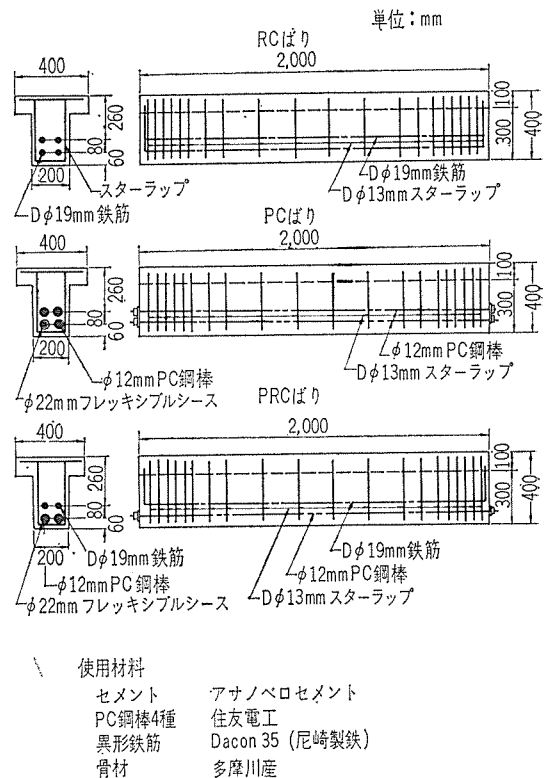
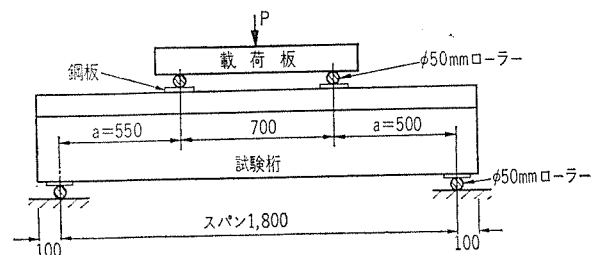


図-10 載 荷 要 領



(4) 供試桁に関する計算値

a) 材料の強度

コンクリート 圧縮強度 $\sigma_{14} = 380 \text{ kg/cm}^2$
 ヤング係数 $E_c = 3.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
 (仮定)

鋼 材 (Dacon 35 φ 19)

破断強度 $\sigma_{su} = 5 600 \text{ kg/cm}^2$

降伏点強度 $\sigma_{sy} = 3 700 \text{ kg/cm}^2$

ヤング係数 $E_{SD} = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

(PC 鋼棒 φ 12 mm 4 種)

破断強度 $\sigma_{pu} = 14 100 \text{ kg/cm}^2$

降伏点強度 $\sigma_{py} = 12 100 \text{ kg/cm}^2$

ヤング係数 $E_p = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

b) ひびわれ荷重

1) RC 桁

コンクリートの引張強さを $\sigma_{ct} = 35 \text{ kg/cm}^2$ と仮定すると、ひびわれ抵抗曲げモーメント

$M_{R1} = \sigma_{ct} z = 35 \times 6963 = 243\,500 \text{ kg}\cdot\text{cm}$
ひびわれ発生荷重

$$P = \frac{2M}{a} = \frac{2 \times 243\,500}{55} = 6\,850 \text{ kg} \approx 6.9 \text{ t}$$

2) PC 桁

載荷試験時の合成応力度

鋼棒 1 本あたりの有効緊張力を 5 t/本とした。したがって全緊張力は $P_t = 5 \text{ t} \times 4 \text{ 本} = 20 \text{ t}$ である。載荷試験時の自重とプレストレスによる合成応力はつぎようになる。

上縁の応力度 $\sigma_{ce}' = 0 \text{ kg/cm}^2$

下縁の応力度 $\sigma_{ce} = 47 \text{ kg/cm}^2$

RC 桁と同様、コンクリートの引張強さ $\sigma_{ct} = 35 \text{ kg/cm}^2$ と仮定すると、ひびわれ抵抗曲げモーメント M_{R1} は

$$M_{R1} = (\sigma_{ce} + \sigma_{ct})z = (47 + 35) \times 6\,604 = 540\,000 \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

ひびわれ荷重 P_1 は

$$P_1 = \frac{2M}{a} = 19\,600 \text{ kg} = 19.6 \text{ t}$$

3) PRC 桁

載荷試験時の合成応力度

鋼棒 1 本あたりの有効緊張力を 5 t/本としたので、全緊張力 $P = 5 \text{ t} \times 2 \text{ 本} = 10 \text{ t}$

したがって、載荷試験時の自重とプレストレスによる合成応度はつぎのとおりである。

上縁の応力度 $\sigma_{ce}' = 11 \text{ kg/cm}^2$

下縁の応力度 $\sigma_{ce} = 8 \text{ kg/cm}^2$

コンクリートの引張強さ $\sigma_{ct} = 35 \text{ kg/cm}^2$ とすると、ひびわれ抵抗曲げモーメント M_{R1}

$$M_{R1} = (\sigma_{ce} + \sigma_{ct})z = 299\,000 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$$

ひびわれ荷重 P は

$$P = \frac{2M}{a} = 10\,900 \text{ kg} = 10.9 \text{ t}$$

c) 破壊荷重 RC, PC 桁については従来より用いられている方法で計算した。

PRC 桁についてはつぎの仮定にもとづいて求めた。

- 仮定 1) ひびわれ発生後も平面保持の条件を満足する。
- 2) ひびわれ発生後も弾性的諸性質は変わらない。

破壊曲げモーメント M_{R2} は次式によって求められるものとする。

$$M_{R2} = A_p \sigma_{py} \left(d_1 - \frac{x}{2} \right) + A_s \sigma_{sy} \left(d_2 - \frac{x}{2} \right)$$

$$x = \frac{A_p \sigma_{py} + A_s \sigma_{sy}}{\sigma_{cu} b}$$

ここに A_p : PC 鋼材の断面積 A_s : 鉄筋の断面積

σ_{py} : PC 鋼材の降伏点強度 σ_{sy} : 鉄筋の降伏点強度

強度 強度

d_1 : 上縁から PC 鋼線 関心位置までの距離
 d_2 : 上縁から鉄筋 関心位置までの距離

計算結果は表-9 に示したとおりである。

表-9 最大荷重

		PC (kg)	RC (kg)	PRC (kg)
破壊荷重	桁 1	55 000	54 000	57 000
	" 2	57 000	68 000	65 500
	平均	56 000	61 000	61 250
計 算 値		50 900	43 900	48 000
$\Sigma \sigma_{sy} A_s$		49 420	43 216	46 318

d) たわみ たわみの計算にはつぎの断面 2 次モーメントを用いた。

1) 全断面有効の場合

I : 換算断面に関する断面 2 次モーメント

2) ひびわれ発生後

その 1 (計算値 ①)

$$I_i = \frac{d \times M}{(\epsilon_c + \epsilon_s) E_c} \text{ (Billgeppes の実験式)}$$

ここに d : 鋼材関心位置から上縁までの距離

ϵ_c : 圧縮側コンクリートのひずみ

ϵ_s : 引張側鋼材のひずみ

E_c : $\frac{\sigma_{cu}}{3}$ に対するコンクリートのヤング係数

その 2 (計算値 ②)

I : 引張側コンクリートを無視した断面 2 次モーメント

計算結果は図-11, 12 に示したとおりである。

(5) 試験結果に対する考察

a) ひびわれについて ひびわれの数は図-13 に示したように RC 桁がもっとも大きく、PC 桁がもっとも少なかった。鋼材の応力度とひびわれ幅の関係をみ

図-11 PRC 桁の荷重-たわみ曲線

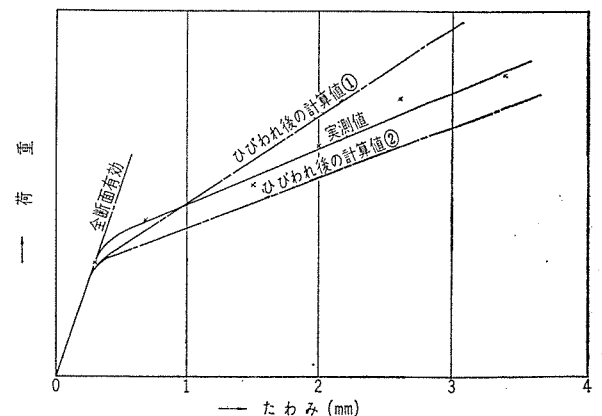


図-12 PC, RC, PRC 桁の荷重-たわみ曲線

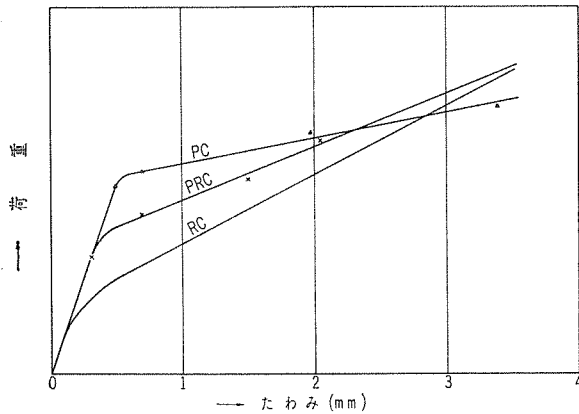


図-13 ひびわれ発生状況

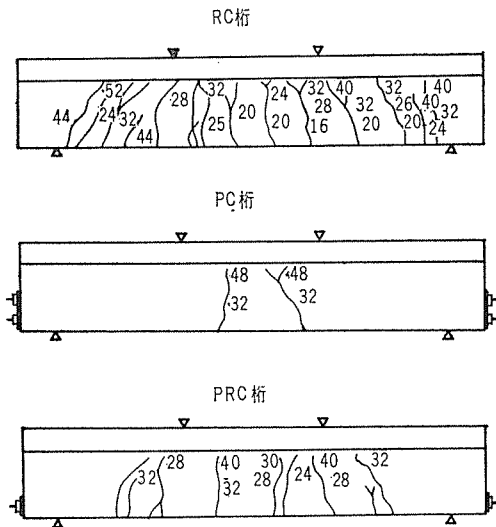
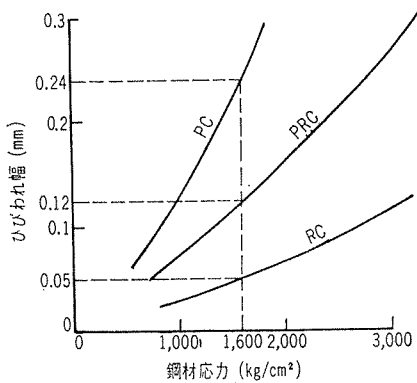


図-14 鋼材応力とひびわれ幅



ると図-14に示したように $\sigma_s = 1600 \text{ kg/cm}^2$ のときPC桁が 0.24 mm の値を示しているのに対し、PRC桁のひびわれ幅は 0.12 mm である。したがって PRC 桁の場合については $\sigma_s \leq 1600 \text{ kg/cm}^2$ の範囲においては有害なひびわれを生じるものと考えられる。

また、ひびわれ発生荷重については計算値と実測値はよく一致した。

b) 応力度 PRC 桁の鋼材応力度についてみると、

図-15 PRC 桁の鋼材応力度

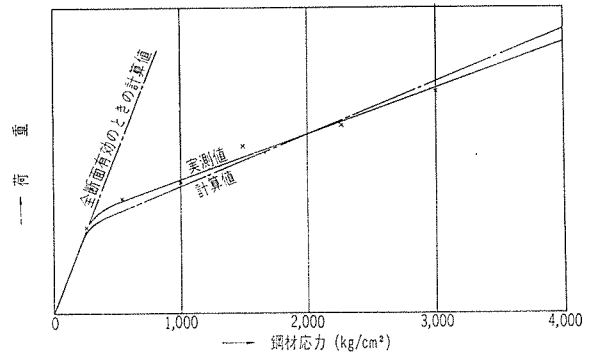


図-16 PRC 桁のコンクリート応力度

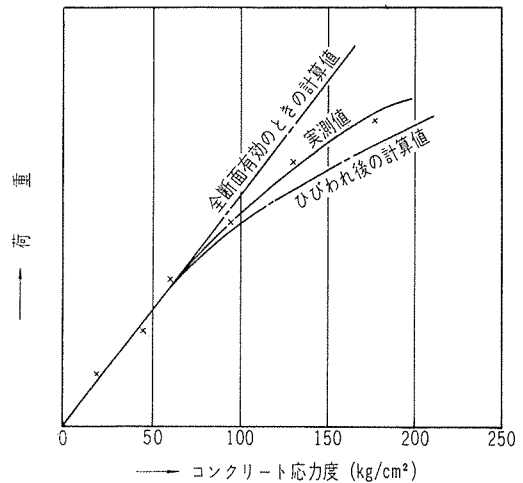


図-14に示したように計算値とよく一致した。

c) たわみ PRC 桁は、PC と RC 桁の中間の値を示した。PRC 桁ではひびわれ発生荷重を境にして断面の性状が変化するので、たわみ量を推定することはむずかしいが、前節で述べた方法で求めた計算値と実測値を比較すると図-11に示したように実測値は計算値①と②の中間の値を示した。

d) 破壊荷重 各供試桁の破壊荷重は表-9に示したように、鋼材の応力が降伏点をこえないものとして求めた計算値よりも大きな値を示した。

4. ま と め

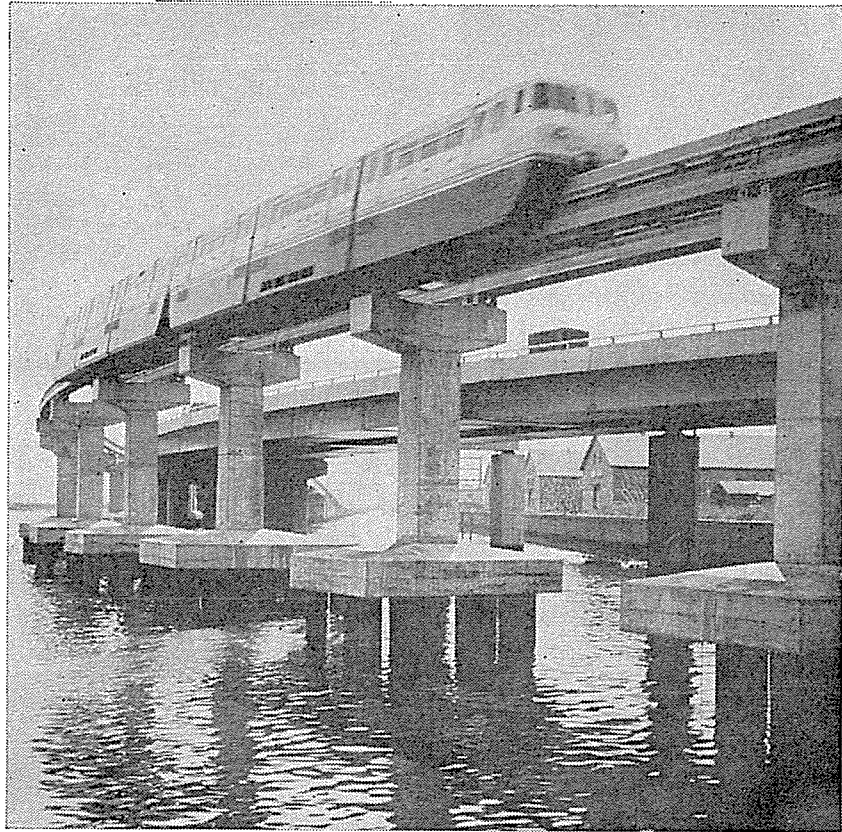
以上簡単に述べたとおり、本実験結果から PRC は破壊安全度、剛性、ひびわれ安全度などの点からも構造物に要求される条件を十分満足するものであることがわかった。また、グラウトの付着力を増加するための添加剤についても本実験では資料が少なく詳細な資料を得ることができなかったが、本実験では十分効果があったものと考えられる。添加剤については、さらに各種の添加剤について検討することが望まれる。

本研究を実施するにあたり御指導くださった東京大学国分教授、鹿島建設技術研究所 北川義男氏に感謝の意を表します。

1965.10.28・受付

NCS-PCパイプ

プレテンション方式 NCS溶接継手



NCS-PCパイプの特長

- ① 継手—全強であるから支持力の低減がいらぬ。
- ② 耐撃性—頭部が耐撃的であるため確実に打止りが得られる。よつて支持力に全材強を活用できる。
- ③ 曲げ剛性—プレストレスの効果によつて曲げ剛性が大きい。よつてパイプ施工中の安全はもちろん、くい基礎の経済設計ができる。



日本コンクリート工業株式会社

本社	東京都中央区銀座東8の19	東京(542)大代表3151番
営業所	大阪市阿倍野区天王寺町南2の66 名古屋市中村区下広井町1丁目66番地(三建設備工業ビル)	大阪(718)1881～5番 名古屋(58)代表9706番
工場	川島(茨城県下館市) 鈴鹿(三重県鈴鹿市)	下館代表2181番 鈴鹿(8)代表1155番
研究所	茨城県下館市川島工場内	下館3942番