

## PRC の設計方法について

横 道 英 雄\*

PRC とは Prestressed Reinforced Concrete からきた術語で、鉄筋コンクリート (RC) に、そのひびわれ幅に対する所要条件を満足するために必要な比較的少量のプレストレスを導入したものをいう。この場合、原則として RC は破壊に対し必要な安全度をもつように設計する。

PRC は、1961 年ごろ著者がはじめて提案したもので<sup>1),2)</sup>、原則としてひびわれを許容するものとし、これに必要なプレストレスの量は、従来の PC の 1/5 以内ぐらいが普通である。PRC と従来の PC との根本的な相異点は、プレストレスを取り除いたときに残る構造が、前者では十分な耐力を有する RC であるのに対し、後者では耐力の劣弱な無筋コンクリートである点にある。

PRC 理論の根拠となった RC 桁の曲げひびわれ特性に関しては、1955 年以来北海道大学の横道研究室および北海道開発局土木試験所の林研究室の共同によって実験的研究が行なわれた。その成果は、北海道土木技術会制定の異形棒鋼を用いた RC 指針<sup>3)</sup> (ひびわれを許容する RC) となり、世界最初の PRC 工法による、支間 48 m のラーメン桁の上姫川橋の架設<sup>4)</sup> となった。

以下 PRC の設計の、理念、理論および方法について著者らの行なった実験研究成果をもとにして述べることに

にする。

### 1. PRC の設計理念

曲げをともなう構造物の主体に用いる構造用コンクリートを設計上大きく分けると、その発展順序からいえば RC, PC, PRC の 3 種類となる。これをさらに著者の方法で分類すると表-1 のように 8 種類となる。

この表では、ひびわれ発生 (許容) の有無、引張応力発生 (許容) の有無、そしてプレストレスの有無を基準としたものである。すなわち、著者の分類方法では、まずひびわれ条件として死荷重 ( $D$ ) および活荷重 ( $L$ ) とともに許さないものを 1 種、 $L$  にのみ許すものを 2 種、 $D$  と  $L$  のすべての荷重で許すものを 3 種とする。次に引張力条件として、 $D$  および  $L$  で許すものを a 種、 $L$  のみに許すものを b 種、 $D$  および  $L$  のすべてに対し許さないものを c 種とする。したがって、プレストレスの有無を考慮外におくときは、1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 3a の 6 種類となるが、プレストレスを考慮すると、表のように 8 種類となり、RC では 1a, 2a, 3a の 3 種類、PRC では 2a, 3a の 2 種類、PC では 1c, 1b, 2b (a) の 3 種類となる。表-1 には CEB-FIP\* 合同委員会の国

表-1 構造用コンクリートの分類

種 類	プレストレス	ひ び わ れ		引 張 応 力		著 者 の 分 類			CEB-FIP の分類 (1970)
		$D$	$L$	$D$	$L$	No.	ひびわれ 条 件	応力条件	
RC	×	×	×	○	○	1	1	a	
		×	○	○	○	2	2	a	
		○	○	○	○	3	3	a	IV
PRC	○	×	○	○	○	4	2	a	
		○	○	○	○	5	3	a	
PC	○	×	○	× (○)	○	6	2	b (a)	III
		×	×	×	○	7	1	b	II
		×	×	×	×	8	1	c	I

注:  $D$ : 死荷重 (持続荷重),  $L$ : 活荷重 (短期荷重)

\* 工博 北海道大学名誉教授

\* CEB は欧州コンクリート委員会, FIP は国際 PC 協会の略

際構造用コンクリート示方書勧告案(1970)<sup>5</sup>の分類方法も併示してあるが、これだけでは不完全なことがわかる。同勧告案のPCⅢ種は原則としてDの下で多少の引張応力を許すことも認めている(括弧で示す)が、Dの下でのひびわれ発生防止を確実にするため引張応力のおきないように従来強く勧告しているので、2a種を含むことはなかなか困難であり、したがって、PRCに含まれにくい。一方PRCはRCと同じくすべてa種、すなわちすべての荷重下で引張応力が生じている。ただひびわれをまったく許さないという1aを含まないだけである。

以上から、PRCとPCⅢ種との根本的差異は、前者は鉄筋を主としPC鋼を従と考えるのに対し、後者はその逆の考え方となっていることである。PRCはどちらかといえばRCの範ちゅうに属するものである。PRCの国内文献を参考に示すと巻末のごとくで、<sup>1), 2), 6)~16)</sup>。このほか著者は1968年第8回IABSE(国際橋梁構造工学協会)の国際会議で発表した<sup>17)</sup>。

## 2. PRC の設計理論

### (1) 概 説

すでにのべたように、PRCはRCを本体とし、そのひびわれ幅を減らすため比較的少量のプレストレスを導入するものであるから、その設計理論の基準となるのはRC桁の曲げひびわれ特性である。本章では、耐久上許される0.1~0.3mmの最大ひびわれを許したRC桁およびPRC桁のひびわれの安定性、RC桁の曲げひびわれ理論とこれをもとにした限界ひびわれ幅曲げモーメントの計算方法、PRC桁の曲げひびわれ理論などについて、著者らの実験結果をもとにして解説する。

### (2) RC 桁および PRC 桁の曲げひびわれ安定性

1955年から、著者のPRCを提唱した1964年までに北海道大学および北海道開発局で行なったRC桁の曲げ試験は総数150本の多きに達し、その大部分は支間3.0mのT形桁である。使用した鉄筋は、丸鋼および各種異形棒鋼で、静的および疲労曲げ試験が行なわれた<sup>18)</sup>。

まず静的曲げ試験は66本で、その結果は図-1および図-2にその代表例が示されているように、鉄筋応力度が降伏点以下である限り、異形棒鋼および普通丸鋼のいずれの場合も最大ひびわれ幅約0.3mm以内に対しその残留ひびわれ幅は約0.05mm以内となり、事実上閉合することがわかった<sup>19), 20)</sup>。同じ鉄筋応力度に対する最大ひびわれ幅の大きさについてはもちろん異形棒鋼の方が有利である。RC桁とくにPRC桁では施工目地を設けることが多いが、この場合に用いられる鉄筋のカプラー継手のひびわれ性状におよぼす影響については図-3<sup>20)</sup>に示すように、最大ひびわれ幅には影響なく、残留

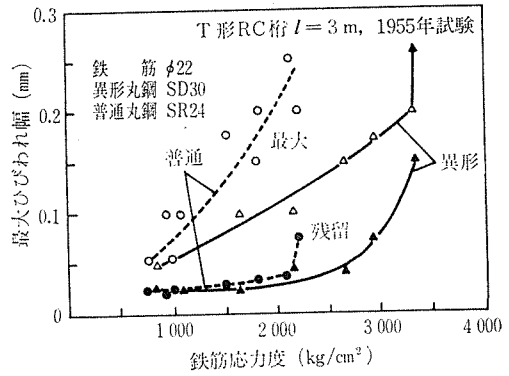


図-1 鉄筋応力度と最大ひびわれ幅の関係

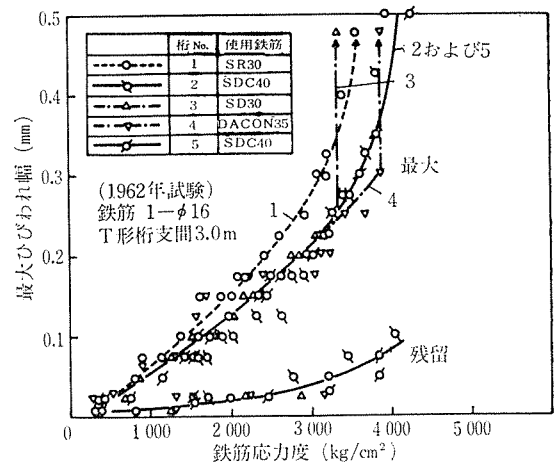


図-2 鉄筋応力度と最大ひびわれ幅の関係

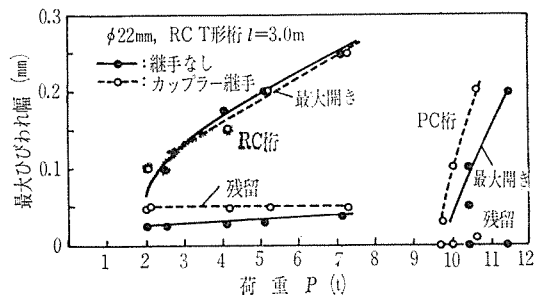
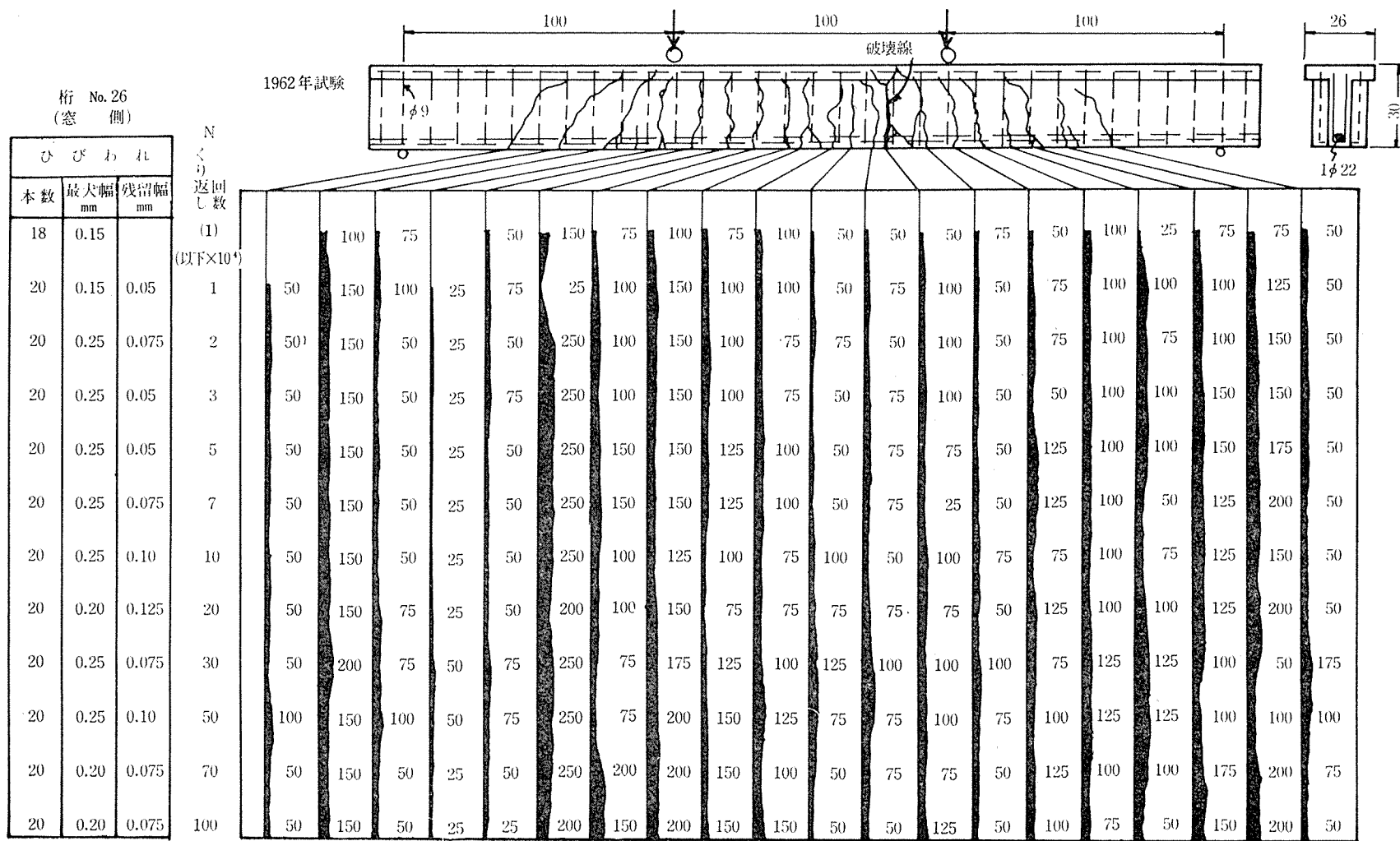


図-3 カプラー継手の影響

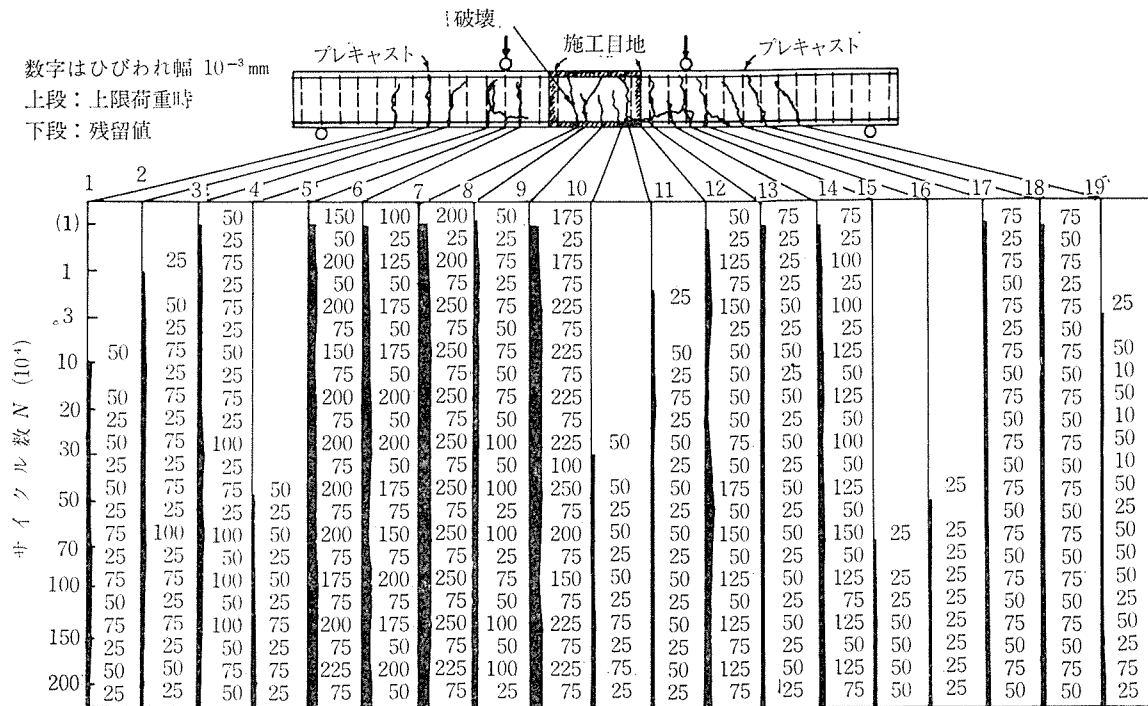
値も多少増加しているが0.05mmぐらいであるから心配ないことがわかった。以上のことから、静荷重に対するRC桁のひびわれ性状はほとんど弾性的挙動をするものと考えられる。

次に曲げ疲労試験を行なったRC桁は84本で、異形棒鋼SD30~40, SDC40, 支間3.0m, ローゼンハウゼン型構造物曲げ疲労試験装置使用, 2点載荷, 繰返し速度毎分250回で行なわれた<sup>21)</sup>。その結果、鉄筋の上限応力度が降伏点の80%以下の場合、上限荷重時における最大ひびわれ幅が0.3mmに達する場合でも、200万回以内の繰返し荷重に対して安定していることがわかった。たとえば図-4はツイストバーSDC40(直径22mm)



$N_B=1,418,800$  鉄筋 (1φ22) FY2<sup>2</sup> ( $\sigma_y=4,230 \text{ kg/cm}^2$ )  $P=1.18\sim 5.65 \text{ t}$   $\sigma_0=3,253 \text{ kg/cm}^2$  ( $0.769 \sigma_y$ )  $\sigma_u=897 \text{ kg/cm}^2$  ( $0.212 \sigma_y$ )  
 ひびわれ図の数値は上限荷重時の巾 ( $\text{mm} \times 10^{-3}$ )  $s = \sigma_u / \sigma_0 = 0.276$

図-4 ひびわれ幅の変化



T桁  $l=3$  m, 鉄筋ツイストバー-FYⅢ $\phi$ 22 (SDC40), 中央にFYカブラー継手。疲労試験250回/分  
 鉄筋上限応力  $\sigma_{so}=23.5$  kg/mm<sup>2</sup>,  $s=\sigma_{su}/\sigma_{so}=0.3$ , 破壊時サイクル数200万回

図-5 垂直施工目地を有する RC T形桁の疲労試験結果

を使用し、上限応力度  $0.769 \sigma_{sy}$ 、応力比  $s=0.276$  のときの上限荷重時ひびわれ幅および残留値の変化を示しているが、最大ひびわれ幅は最初  $0.15$  mm、桁の疲労破壊（鉄筋の疲労破断による）の直前では  $0.20$  mm でほとんど変化なく、残留値の変化もほとんど無視し得る程度である。しかも他の多くの実験結果から桁の疲労破壊の断面位置は、最初の最大ひびわれ幅とは無関係であることがわかった。

また PRC 桁では無支保工突出架設工法 (Freivorbau 工法) やプレハブ工法がよく用いられるが、このようなときに生じるコンクリート垂直目地が桁の疲労におよぼす影響についても実験が行なわれたが、その影響もまったく無視し得ることがわかった。図-5 はその一例<sup>22)</sup>で上限荷重時最大ひびわれ幅  $0.2$  mm、応力比  $0.3$  に対し疲労破壊 (200 万回) 直前まで安定したひびわれ性状を示していることがわかる。

以上から RC 桁のひびわれ性状は、静荷重においてはもちろん、200 万回以内の繰返し荷重に対しても、鉄筋の上限応力が降伏点の  $80\%$  以下の場合、したがって、設計に用いる許容応力度に対してはもちろん、最大ひびわれ幅  $0.3$  mm 以内において十分安定しており、残留値からいって耐久上十分安全であることがわかった。このことは主鉄筋にカブラー継手を用いた場合、コンクリートの垂直施工目地を有する桁の場合についても同様である。

したがって、著者のいう PRC工法が、RCを本体としこれに比較的少量のプレストレスを導入したものである以上、そのひびわれ特性がRC桁の場合と基本的には同等であることは容易に推論できるが、図-6 に実験結果の一例を示す<sup>23)</sup>。これは支間  $3.0$  m のT形桁で、ツイストバー (SDC40)  $1-\phi$ 22, PC鋼  $1-\phi$ 7, 鉄筋上限応力度  $0.63 \sigma_{sy}$ 、応力比  $0.3$ 、疲労破壊時サイクル数  $105.6$  万回の場合の例で、図は上限時ひびわれ幅の変化状況を示すが、RC桁の場合とまったく同様に安定したひびわれ性状を示していることがわかる。

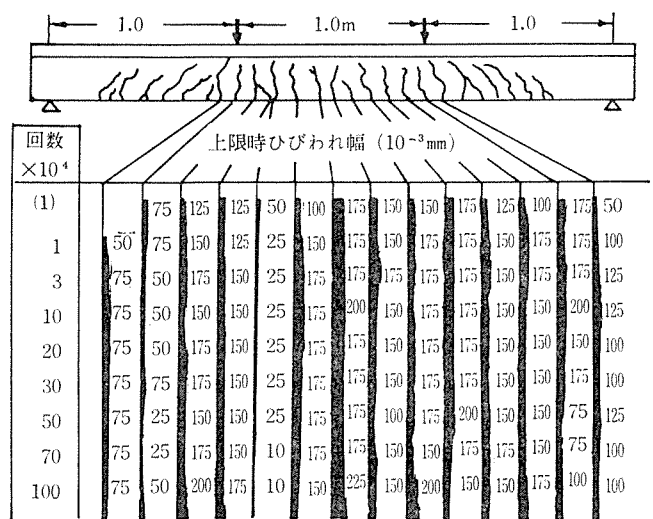


図-6 PC桁の疲労試験結果

(3) RC桁のひびわれ理論

a) RC桁のひびわれ曲げモーメント ( $M_{cr}$ )<sup>24)</sup>

コンクリート桁の引張縁における応力-ひずみ縁は 図

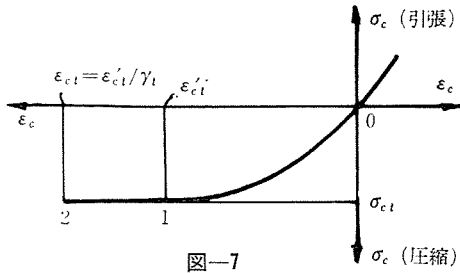


図-7

—7のように、単純引張りの極限ひずみ  $\epsilon_{ct}'$  の  $1/\gamma_t$  倍 ( $\gamma_t < 1$ ) の  $\epsilon_{ct}$  になったときひびわれを生じる。 $\gamma_t$  を引張塑性係数といい、横道・藤田の実験結果では 0.65 にとりてよい。したがって、任意断面形状のRC桁のひびわれ曲げモーメント  $M_{cr}$  は次式で与えられる<sup>4), 20)</sup> (図—8)。

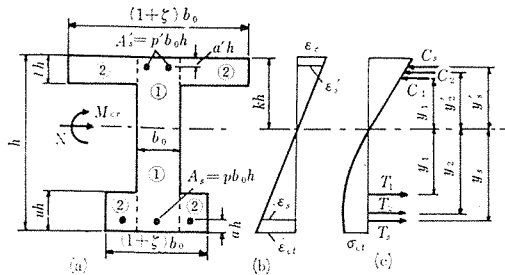


図-8

$$M_{cr} = C_1 y_1' + C_2 y_2' + C_s y_s' + T_1 y_1 + T_2 y_2 + T_s y_s \dots (1)$$

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= 0.5 k b_0 h \sigma_c, & C_2 &= \zeta t (1 - 0.5 t/k) b_0 h \sigma_c, \\ C_s &= (1 - a/k) n A_s' \sigma_c, & T_1 &= 0.783 (1 - k) b_0 h \sigma_{ct}, \\ T_2 &= u \xi b_0 h \sigma_{ct}, & T_s &= A_s \sigma_s = p b_0 h \sigma_s, \\ y_1' &= (2/3) k h, & y_2' &= (k - 0.5 t) h, \\ y_s' &= (k - a') h, & y_1 &= 0.593 (1 - k) h, \\ y_2 &= (1 - k - 0.5 u) h, & y_s &= (1 - k - a) h \end{aligned} \right\} (2)$$

$$\left. \begin{aligned} k &= -\frac{B}{2A} + \sqrt{\left(\frac{B}{2A}\right)^2 + \frac{C}{A}} \\ A &= 0.5 - 0.783 \sigma_{ct} / E_c \epsilon_{ct} \\ B &= \zeta t + (1.566 + u \xi) \sigma_{ct} / E_c \epsilon_{ct} + n p' + n p + N / (b_0 h E_c \epsilon_{ct}) \\ C &= 0.5 \zeta t^2 + (0.783 + u \xi) \sigma_{ct} / E_c \epsilon_{ct} + a' n p' + (1 - a) n p + N / (b_0 h E_c \epsilon_{ct}) \end{aligned} \right\} (3)$$

ただし、 $p = A_s / b_0 h$ ,  $p' = A_s' / b_0 h$  で、上式に用いる弾塑性諸元は著者の実験結果から表—2 で示される<sup>4)</sup>。以上の諸式が実験によく一致することは文献<sup>4), 20)</sup>を参照されたい。次にRC断面でひびわれ条件を検討したのちのPRC断面については、 $M_{cr}$  を検算する必要はないので、ここには省略するが、必要の場合は文献 2) もしくは文献 4) p. 46 を参照されたい。

b) RC桁のひびわれ限界幅曲げモーメント ( $M_w$ )

ひびわれを許容するRC桁およびPRC桁の設計には、ひびわれ限界幅(許容幅)  $w$  に対する曲げモーメント  $M_w$  の算定がぜひ必要である。 $M_w$  の計算方法については従来内外多数の文献があるが、ここでは著者研究室で行なわれた角田の実験研究成果をもとにした理論<sup>26), 27)</sup> を用いることにする。いま 図—9

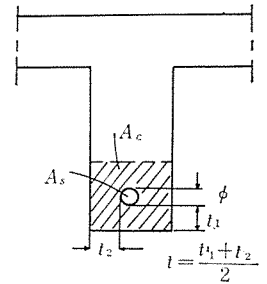


図-9

のようにRC桁の引張部から、鉄筋位置と同じ図心を有するハッチしたコンクリート部分  $A_c$  を断面とする要素をとりだしたものを 図—10 とする。ある荷重のとき初期

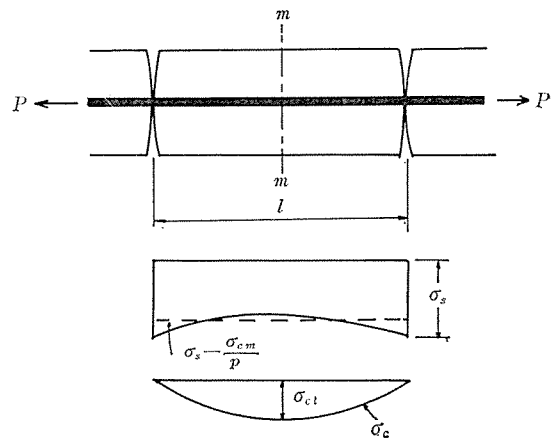


図-10

ひびわれが間隔  $l$  で生じたとし、ひびわれ位置の露出部鉄筋応力を  $\sigma_s$  とすれば、コンクリートと鉄筋の間の附着によってひびわれ間の鉄筋およびコンクリート引張応力の分布は 図—10 に示すようになる。荷重が増加して中央断面  $m$  における  $\sigma_c$  が引張強度  $\sigma_{ct}$  になったとき  $m$  点

† 正確にはひずみが  $\epsilon_{ct}$  になったときであるが、簡単のため  $\sigma_{ct}$  のときとする

表—2 コンクリートの弾塑性諸元

圧縮強度 $\sigma_{cB}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	270	300	330	360	390	420	450	500
弾性係数 $E_c$ (t/cm <sup>2</sup> )	308	320	332	344	356	366	375	420
弾性比 $n$	7.1	6.6	6.3	6.1	5.9	5.7	5.6	5.0
曲げ引張強度 $\sigma_{ct}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	28	29	31	32	34	35	37	40
曲げ引張極限ひずみ $\epsilon_{ct}$ (10 <sup>-5</sup> )	23.9	24.5	25.1	25.7	26.3	26.9	27.5	28.5

に新しいひびわれがおきる。このときの鉄筋応力を  $\sigma_s$  とすれば、 $l$  は  $\sigma_s$  に対する最大ひびわれ間隔と見てよい。 $\sigma_s$  をさらに増加すればまた新しくひびわれが生じるが、鉄筋の付着応力には限度があるから、 $\sigma_s$  のある値以上では、もはや新しいひびわれは生じず、ひびわれの幅が増大するだけである。これを定常ひびわれ状態といい、このときの最大ひびわれ間隔は次式で与えられる。

$$l_{\max} = 2 k_1 A_c \sigma_{ct} / \bar{\epsilon} \dots \dots \dots (4)$$

ここで  $u$  は鉄筋の周長、 $\bar{\epsilon}$  はひびわれ間の平均付着応力度の最大値、 $k_1$  は断面内コンクリート分布に関する係数である。 $\bar{\epsilon}$  はコンクリートの品質および断面  $A_c$ 、かぶり厚  $t$ 、鉄筋の種類および直径  $\phi$  に関係するが、角田の実験結果によれば  $\bar{\epsilon} = k_2 A_c \sigma_{ct} / t \phi$  で表わされ、結局

$$l_{\max} = k_4 t \text{ (異形鉄筋では } k_4 = 5.4 \text{)} \dots \dots \dots (5)$$

という簡単な式が 図-11 に示すように実験結果によく

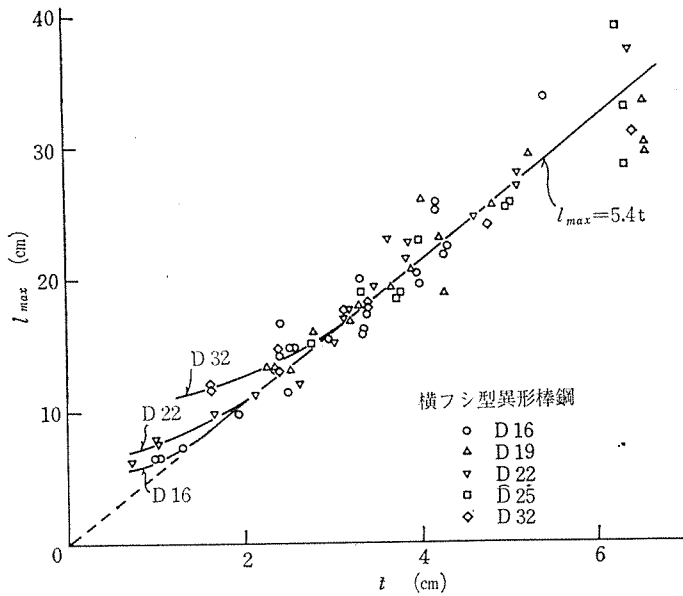


図-11

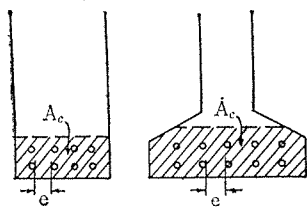


図-12

一致することがわかった。しかし実際の桁では複数本の棒鋼が配置されるので(図-12)、この場合は鉄筋の純間隔  $e$  がかぶりコンクリートと同様の影響をも

つことが考えられる。実験の結果次式を用いれば 図-13 のようによく一致することがわかった。

$$l_{\max} = \frac{k_4}{1.45} t (1 + 0.18 e/t) \dots \dots \dots (6)$$

したがって、鉄筋位置における最大ひびわれ幅  $w$  は

$$w = \frac{1}{E_s} \left( \sigma_s - \frac{\sigma_{cm}}{p} - \epsilon_p \right) l_{\max} \dots \dots \dots (7)$$

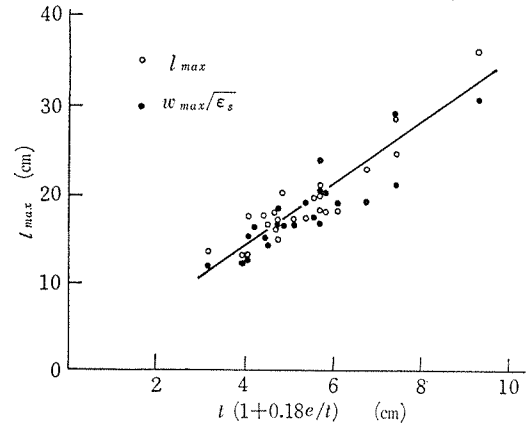


図-13

で与えられる。 $\sigma_{cm}$  はひびわれ間のコンクリート応力の平均値で、実験結果では  $\sigma_s = 2000 \sim 3000 \text{ kg/cm}^2$  に対し  $0.4 \sigma_{ct}$  にとってよい。 $\epsilon_p$  はひびわれ発生前のクリープおよび収縮によるコンクリートひずみであるが、通常は無視することができる。 $p$  は 図-9 および 図-12 に示す  $A_c$  に対する鉄筋比である。ひびわれ位置では状態IIの弾性領域と考えられるから、ひびわれ限界幅曲げモーメントは

$$M_w = A_s E_s z (w/l_{\max} + \sigma_{cm}/p E_s + \epsilon_p) \dots (8)$$

で与えられる。 $z$  はRC断面の内応偶力の間隔である。

また  $l_{\max}$  は式(6)から異形鉄筋の場合  $k_4 = 5.4$  として

$$\left. \begin{aligned} l_{\max} &= 5.4 t & e/t \leq 2.5 \text{ のとき} \\ l_{\max} &= 3.7(t + 0.18 e) & e/t > 2.5 \text{ のとき} \end{aligned} \right\} (9)$$

となる。図-14 は  $w = 0.1, 0.2, 0.3 \text{ mm}$  に対する  $M_w/A_s E_s z$  の図表を参考に示したものである。

なお以上の理論式を用いる代りに、著者らの行なった多数のRCの桁の実験のうちから、異形鉄筋を

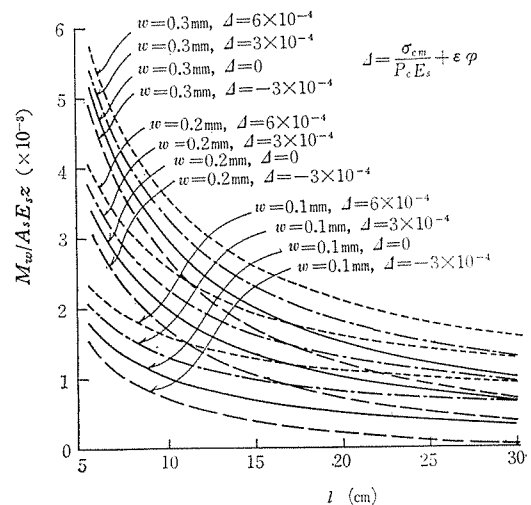


図-14

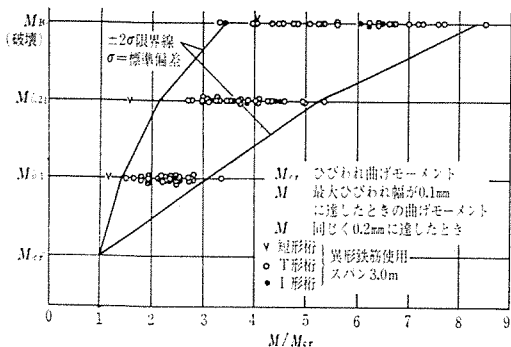


図-15 異形鉄筋を使用した RC 桁の実験結果  $M_{0.1}$ ,  $M_{0.2}$   $M_B$  と  $M_{cr}$  との関係

用いた 31 本の実験結果から得た 図-15 を利用することもできる。この図は、最大ひびわれ幅が 0.1, 0.2 mm に達したときの曲げモーメント  $M_{0.1}$ ,  $M_{0.2}$  とひびわれ曲げモーメント  $M_{cr}$  との比をプロットしたものである。この図から、異形鉄筋を使用した RC 桁に対し十分の安全側の近似式として

$$\left. \begin{aligned} M_{0.1} &= 1.4 M_{cr} \\ M_{0.2} &= 2.0 M_{cr} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

を用いることができる。

c) ひびわれ幅の制御 同じ鉄筋応力度に対するひびわれ幅はできるだけ小さいのにこしたことはないが、これにもっとも関係するのは鉄筋の付着性状とかぶりコンクリート厚である。しかし前者は異形鉄筋の場合はあまり差がなく、後者は少なくとも主鉄筋の直径以上としなければならない。鉄筋直径の大きい場合、厚くなったかぶりコンクリート中に鉄線網をそう入することはひびわれ間隔を小さくするのに有効である。著者らの実験<sup>28)</sup>によれば、支間 3.0 m, 高さ 30 cm の矩形桁で、幅 20, 10 cm にそれぞれ主鉄筋 2φ16, 1φ16 を配置し、かぶりコンクリートに φ3, 網目 5 cm の鉄線網をそう入して実験した結果は 図-16 および 図-17 のようで、それぞれ 20%, 40% だけ最大ひびわれ幅を逡減すること

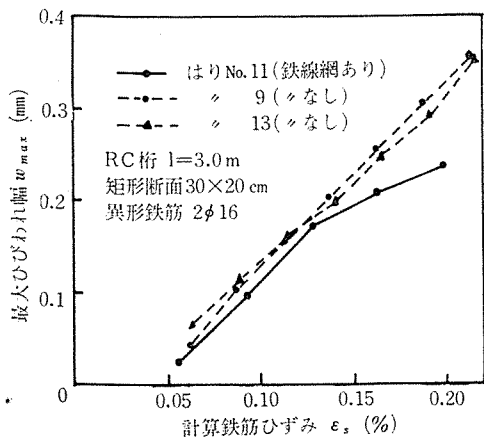


図-16

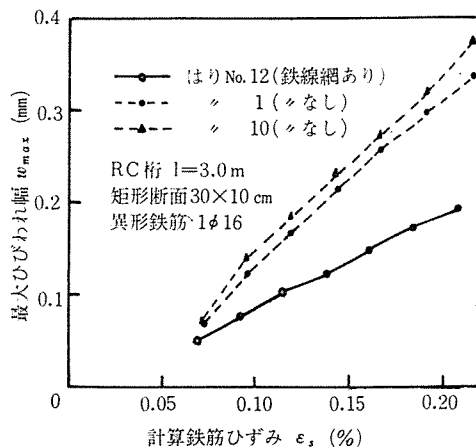


図-17

ができた。また使用鉄筋から推定される  $l_{max}$  より小さい間隔にスターラップを配置することもある程度の効果をもたらした。

(4) PRC 桁の曲げひびわれ理論

PRC 桁は RC 桁のひびわれ性状を改善する目的で比較的少量のプレストレスを導入したものであるから、本質的には RC 桁と同様のひびわれ特性をもつものと考えられる。この点、付着性状のよい鉄筋量が比較的少なく PC 鋼の量が比較的多い PC III 種とは異なるものである。すでに 2.(2) においてのべたように、PRC 桁は疲労に対しても RC 桁と同様にひびわれ性状が十分安定していることが確認されている。

静荷重下におけるクリープおよび収縮が PRC 桁のひびわれにおよぼす影響について横道・角田の実験結果<sup>14)</sup>では、PRC 桁のひびわれ幅はこれらの影響に対しても十分安定していることが確認され、また同じ研究で、PRC 桁の曲げモーメントとひびわれ幅についての関係は 図-18 に示すようにプレストレス導入の効果が認められた。すなわち、最大ひびわれ幅  $w$  の同じ値に対する曲げモーメントは RC 桁より PRC 桁の方が大きく、その差はわずかながら  $w$  の値の増加とともに大きくなってい

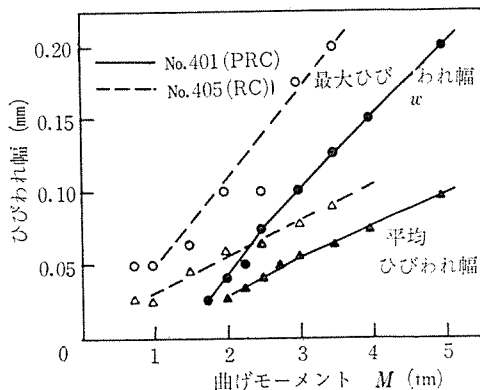


図-18

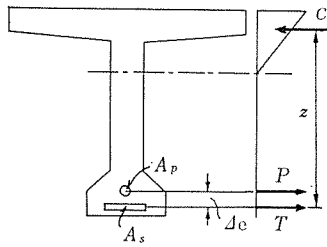


図-19

る。したがって、安全側としてその差  $\Delta M$  を  $M_{cr}$  のときにとるものとすれば、 $\Delta M = 0.7 tm$  で、これは RC断面の  $z$  から鉄筋と PC鋼の間隔  $\Delta e$  を差し引いたものとプレストレス力との積に等しい。したがって、図-19を参照して

$$\left. \begin{aligned} M_w^P &= M_w + \Delta M \\ \Delta M &= P(z - \Delta e) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

となる。ただし  $M_w$ ,  $M_w^P$  は RC桁, PRC 桁の曲げモーメント,  $P$  はプレストレスである。

### 3. PRC の設計方法

#### (1) 設計方法

前章までに述べた理論を用いて設計を行なえばよいが、PRC の設計は RC の限界状態設計法を具体化したものとも考えられる。まず最初に RC 桁を所要の破壊安全度が得られるように設計して主鉄筋配置を決める。次に使用状態では各断面でひびわれ安全度を検算し、これを満足しない区間に対し、必要なプレストレスを導入する。この場合 PC 鋼の断面積は通常は  $A_s$  の 7% 以内であるから、最初の破壊安全度のときに考慮しなくても実用的にはよいわけである。また PRC 断面としてのひびわれ安全度の再計算も必要ない。プレストレスの量は比較的小さいので、通常はこれによるコンクリート圧縮応力度の検算も必要がない。またクリープの影響は  $A_s$  の量が多いので全体としてはコンクリート引張応力には有利となるが、PRC 断面のクリープおよび収縮の影響の計算方法は文献 2), 6) を参照されたい。

PRC 桁の設計に用いる ひびわれ条件 は RC 桁の場合と同様で次式を用いる。

$$\left. \begin{aligned} \text{死荷重 } M_{w1}/M_D &= f_1 \\ \text{活荷重 } (M_{w2} - M_D)/M_L &= f_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (12)$$

死荷重および活荷重に対する許容ひびわれ幅  $w_1, w_2$  については環境条件により 0.1~0.3 mm であるが、北海道土木技術会の指針<sup>3)</sup> では少しきびしい条件であるが

$$\left. \begin{aligned} \text{死荷重 } f_1 &= M_{0.2}/M_D \geq 1.4 \\ \text{活荷重 } f_2 &= (M_{0.2} - M_D)/M_L \geq 1.2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

ただし海岸に近接しているかまたはきびしい環境では

$$\left. \begin{aligned} \text{死荷重 } f_1 &= M_{cr}/M_D \geq 1.2 \\ \text{活荷重 } f_2 &= (M_{0.2} - M_D)/M_L \geq 1.4 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (14)$$

とし、 $M_{0.2}$  は異形鉄筋の場合式 (10) を用いてよいとしている。次に、ひびわれ条件を満足しない場合のプレストレス  $P$  は、式 (11) より次式のように決められる。

$$P = \frac{f_1 M_D - M_{w1}}{z - \Delta e} \quad \text{または} \quad P = \frac{f_2 M_L + M_D - M_{w2}}{z - \Delta e} \dots\dots\dots (15)$$

#### (2) 設計細目

PRC 桁における PC ケーブルの配置は必要な区間だけに配置すればよく、必ずしも桁全長に配置する必要はない。また縦断方向でも、できるだけ鉄筋に近くして  $\Delta e$  を小さくするのが得策である以外は、特に注意する事項はない。ただ不静定構造物の場合、ディスコーダントのときに生ずる 2 次曲げモーメントについては普通の PC と同じである。

不静定構造物、とくにラーメン桁、連続桁において無支保工突出架設工法を用いる場合、PRC では各ブロックごとにプレストレスを導入する必要はなく、施工中もしくは閉合後の任意時期に行なうように設計できる。このようときアウトサイドケーブル方式を用いると有利なことがある。また各ブロックごとの主鉄筋の継手には著者らの開発した FY カプラーを使用すれば有利である<sup>29)</sup>

またかぶりコンクリート中に鉄網をそう入することにより同じひびわれ幅に対する鉄筋応力を式 (7) よりも 20% 高く見積ることができる。

PRC 桁の計算例およびその PC 桁との比較については文献 4) p. 433~ を参照されたい。また支間 48 m, 橋長 80 m の  $\pi$  型ラーメン上姫川橋の設計についても巻末の文献を参照されたい<sup>30)</sup>。

#### 参 考 文 献

- 1) 横道英雄：新工法 PRC について、日本道路公団における講演、1963.12
- 2) 横道英雄：鉄筋コンクリートの新発展と PRC 工法、土木学会北海道支部、1964.2
- 3) 北海道土木技術会：異形棒鋼を用いた鉄筋コンクリートの設計および施工指針、1965.12、このあと部分改正が 2 回行なわれ現行のものは 1971.5. 改正のもの。
- 4) 横道英雄：“コンクリート橋”（改訂版）、技報堂、1972.11、の索引により見られたい。
- 5) CEB-FIP：International recommendations for the design and construction of concrete structures, June 1970
- 6) 横道英雄、角田与史雄：PRC 桁のクリープ応力の一解法、北海道土木技術会テキスト、1964.3
- 7) 横道英雄、林 正道：PRC 工法について、土木学会第 19 回年次学術講演会講演概要集、1964.5
- 8) 横道英雄：PRC について、プレストレスト コンクリート Vol. 6, No. 6, 1964.12.
- 9) 小寺重郎、岩城 良、太田陽一：PRC について、コンクリート ジャーナル Vol. 3, No. 5, 1965.9



- 10) 横道英雄, 角田与史雄: PRC 桁におけるクリープおよび収縮の影響について, 土木学会第 20 回年次学術講演会講演概要集, 1965.5
- 11) 小寺重郎, 岩城 良: PRC 桁に関する実験について, プレストレスト コンクリート Vol. 7, No. 6, 1965.12
- 12) 横道英雄, 外崎 忍: 上姫川橋 (PRC 工法) の設計および施工について, プレストレスト コンクリート, Vol. 7, No. 5, 1965.12
- 13) 横道英雄, 角田与史雄: PRC 桁のひびわれに対する収縮およびクリープの影響について, 土木学会第 21 回年次学術講演会講演概要集, 1966.5
- 14) 横道英雄, 角田与史雄: PRC はりのひずみにおよぼすクリープおよび収縮の影響について, セメント技術年報XX, 1966
- 15) 横道英雄, 角田与史雄: PRC 桁の設計について, 土木学会第 23 回年次学術講演会講演概要集, 1968.10
- 16) 中川英憲, 森島 務: プレストレスト鉄筋コンクリートはりに関する基礎研究, 土木学会第 25 回同上, 1970.11
- 17) Yokomichi: Prestressed Reinforced Concrete System, Final Report of 8th. Congress of IABSE(New York), Aug. 1968, p. 901
- 18) このうちの一部については前出文献 4) の p. 100~ および p. 341~ に実験状況と結果が述べられている。
- 19) 横道英雄, 藤田嘉夫: 各種異形棒鋼を用いたRC桁の曲げ実験について, 土木学会コンクリートライブラリー 2号 1962.12
- 20) 藤田嘉夫: 単純曲げをうけるRC桁およびPC桁の極限強さ設計法に関する研究, 北大工学部研究報告 32号, 1963.10, 同 土木学会論文集 133号, 1966.9
- 21) これに関する報告文献は多数あるが, 横道英雄, 藤田嘉夫, 西堀忠信: 各種異形棒鋼を用いたRCゲタの疲労について, 北海道開発局土木試験所報告 37号, 1965.10, および横道英雄, 藤田嘉夫: 異形鉄筋の静的および疲労強度について, 土木学会コンクリートライブラリー 14号, 1965.4 の2編に統括されている。
- 22) Yokomichi: Influence of existence of construction joints on fatigue behavior of reinforced concrete beams, Reports of Seminar under Japan-USA Cooperative Science Program on "Construction and Behavior of Precast Conc. Structures", Seattle Aug. 1971
- 23) 角田与史雄: PRC 桁に関する研究, 修士論文, 北大横道研究室, 1965.3
- 24) 詳しくは前出文献 4) の p. 92~ を参照のこと
- 25) 同じく p. 102~ を参照のこと
- 26) 角田与史雄: 鉄筋コンクリート桁の曲げひびわれおよび変形に関する基礎的研究, 北大工学部研究報告, 54号, 1969.10
- 27) 角田与史雄: 鉄筋コンクリートの最大曲げひびわれ, コンクリートジャーナル Vol. 8, No. 9, 1970.9
- 28) 横道英雄, 角田与史雄, 小野 薫: 鉄筋コンクリートのひびわれ幅制御に関する 2, 3 の研究, セメント技術年報 XXVIII, 1970
- 29) 横道英雄, 藤田嘉夫: 異形鉄筋の FY カプラに関する実験, 北大横道研究室, 1965.5
- 30) 上姫川橋については前出文献4), 22)のほか, 齊藤幸俊: 上姫川の架設工事, 土木技術, 21巻3号, 1966.3; Yokomichi, Oshima: Measurements and Observations of Creep and Shrinkage in Prestressed Reinforced Concrete Bridge, Sympos. of IABSE on Design of Concrete Structures for Creep and Shrinkage, Madrid, 1970

1973.6.25・受付



阪神高速道路 / 守口高架橋

## プレストレストコンクリート

構造物の設計・施工

(BBRV・フレシネー・SEEE工法)

製品の製造・販売

(けた、はり、パイル、マクラギ、版類)

# ASCC 北海道ピー・エス・コンクリート株式会社

本社 (東京営業社)

札幌営業所  
大阪営業所  
福岡営業所  
仙台事務所  
名古屋事務所  
広島事務所  
美唄工場  
幌別工場  
掛川工場  
京都工場

東京都豊島区北大塚1丁目16番6号(大塚ビル)

札幌市北三条西4丁目(第一生命ビル)  
大阪市北区万才町43番地(浪速ビル西館)  
福岡市大名1丁目1番3号(石井ビル)  
仙台市本町1丁目1番8号(日本オフィスビル)  
名古屋市中区錦3丁目23番31号(栄町ビル)  
広島市立町1番20号(広島長銀ビル)  
美唄市宇美唄1453の65  
北海道登別市千歳町130番地  
静岡県掛川市富部  
京都市南区久世東土川町6

☎ (03)918-6171

☎ (011)241-5121  
☎ (06)361-0995  
☎ (092)75-3646  
☎ (022)25-4756  
☎ (052)961-8780  
☎ (0822)48-3185  
☎ (01266)3-4305  
☎ (01438)5-2221  
☎ (05372)2-7171  
☎ (075)922-1181