

PRC 部材の設計の基本について

角 田 与 史 雄*

1. ま え が き

PRC (プレストレスト鉄筋コンクリート) は、古くから用いられている RC (鉄筋コンクリート) と PC (プレストレストコンクリート) との中間領域に属するコンクリート複合構造体で、緊張した鋼材 (PC 鋼) と緊張しない鋼材 (鉄筋) とが協力して曲げ引張力に抵抗するように設計されるものをいう。したがって、RC および PC は PRC の両極端の構造形態といえることができるが、たとえ PC 鋼と鉄筋の両者が存在しても、鉄筋の役割が二次的な場合は、従来の慣習から PC とみなされる。

昭和 30 年代にわが国では、高強度異形鉄筋の実用化のための研究が盛んに行われ、異形鉄筋の付着性状や疲労性状、異形鉄筋を用いた RC 部材のひびわれ性状や終局強度などに関する研究成果が相次いで公表された。その最中の昭和 36 年に横道英雄博士が、高強度異形鉄筋を用いた場合、RC としてでは所定のひびわれ性状を確保しがたいときは、RC に補助的にプレストレスを導入することにより所定の性状を得ることを提案した。そして北海道大学コンクリート研究室 (横道教授) と北海道開発局土木試験所構造研究室 (林正道室長) における研究成果をもとに具体化された。これが PRC の始まりであり、その設計の基本は次のような内容であった¹⁾。

- 1) 破壊安全性の検討……終局強度理論による。
- 2) ひびわれ安全性の検討……死荷重に対してはひびわれ発生または所定のひびわれ幅 (例えば 0.1 mm) に対する安全性を、また死荷重+活荷重に対しては所定のひびわれ幅 (例えば 0.2 mm) に対する安全



* Yoshio KAKUTA
北海道大学工学部助教授

性を検討する。ひびわれ発生曲げモーメントの計算はコンクリートの終局引張ひずみに基づく非線形理論、ひびわれ幅の計算は異形鉄筋を用いた RC 部材で得られた実験式による。

- 3) 疲労安全性の検討……使用する異形鉄筋の疲労試験に基づいて定めた許容応力度による。
- 4) クリープおよび収縮の影響……PC 鋼および鉄筋の両者による拘束作用を考慮した理論式による。

上記の考え方は、いわゆる限界状態設計法と実質的に同様なものであるが、当時はまだ限界状態設計法の思想がもたらされる前であったことを考慮すれば、いかに斬新なものであったか想像できよう。そして昭和 39 年の初めには桁長 80 m、支間 48 m の変断面 π 形ラーメンの上姫川橋^{2),3)}が設計されたのをはじめ、数橋の PRC 橋が架設された。しかし、昭和 42 年に土木学会コンクリート標準示方書⁴⁾に異形鉄筋の規定が加わったが、許容応力度設計法の枠内であったため、RC 部材として不利な SD 40 以上の高強度鉄筋の使用が敬遠され、SD 35 以下の中強度鉄筋の時代へ移行したことが、および PRC の普及には限界状態設計法の示方書が待望されたが、それには長い年月が必要であったことなどから、PRC の技術開発には成功しながら、普及をみるには至らなかった。

一方、昭和 39 年に RC の国際指針⁵⁾を刊行し、限界状態設計法を提唱した CEB (欧州コンクリート委員会) は、昭和 45 年に FIP (国際 PC 協会) と合同で PC を含む国際指針⁶⁾に拡充し、その際 I~IV 種のひびわれ設計条件を導入した。それは昭和 53 年の土木学会 PC 示方書⁷⁾に反映され、使用状態でひびわれ発生を許す PC (III 種 PC) が導入された。

他方、わが国独自の研究としては、横道らのグループの研究^{8),9)}に引き続き、建築分野で鈴木らによる研究¹⁰⁾が根強く続けられ、最近の六車・渡辺らの研究¹¹⁾と相まって、昭和 57 年の建築学会 PRC 指針¹²⁾へと実った。一方、最近の土木分野では豊福らによる III 種 PC の研究¹³⁾などがあるが、それとは別に、昭和 58 年にはコンクリート構造の限界状態設計法指針¹⁴⁾が作成され、これにより土木、建築ともに PRC の新たな発展、普及への基礎が固められたといえる。

ところで、PRC は前述のように RC のひびわれ性状

の改善のためにプレストレスを導入するという考えから生まれたのに対し、Ⅲ種 PC は PC のひびわれ発生を許すという考えから生まれた。その意味では両者の母体は異なるといえるが、PC にひびわれを許す場合、ひびわれ幅の制御を、例えば全断面を有効とするときのコンクリートの許容引張応力度により間接的に行おうというような論理的にあいまいな設計方法を用いる場合は別として、より合理的な方法で行おうという場合は、RC や PRC におけると同様に異形鉄筋のひびわれ分散効果(付着性状の悪い鉄筋の場合には大きなひびわれが少数生ずるのに対し、付着性状の良い鉄筋の場合には多数のひびわれが生ずることにより個々のひびわれ幅を小さくできる効果)を活用することになるので、Ⅲ種 PC と PRC とでは、設計上の基本的な考え方は実質的に同様であると考えられる。しかし両者には明確な相違がある。それは、Ⅲ種 PC はひびわれ設計条件に由来する呼び名であるのに対し、PRC は SRC (鉄骨鉄筋コンクリート) や SFRC (鋼繊維補強コンクリート) などと同様に複合構造体としての種類を表わす呼び名である。ひびわれ設計条件は元来 I ~ IV 種にこだわる必要はなく、また、PRC の設計もⅢ種に限定される必要はない。構造物の種類や環境条件などに応じて最も適したものを設定することができる。

2. PRC 部材の力学的性質

構造部材として PRC を選択するのは、その曲げ特性を利用しようとするのが普通であるので、以下に PRC 部材の曲げに対する力学的性質を、RC または PC 部材との対比のもとに述べることにする。なお、以下では簡単のために軸力がない場合を取り扱うが、軸力がある場合も容易に拡張できることを付記しておく。

2.1 終局曲げモーメント

PRC 部材の終局曲げモーメントは、RC 部材および PC 部材におけると同様に、コンクリートおよび鋼材の応力-ひずみ曲線、およびコンクリートの終局圧縮ひずみが与えられれば、平面保持の仮定に基づいて理論的に設計することができ、また計算値が実験値とよい対応を示すことが多くの実験により確かめられている。

いま、簡単のために図-1 に示すような長方形断面を考え、鉄筋および PC 鋼がともに完全弾塑性体に近似できるものとし、それぞれの降伏点を f_s, f_p 、コンクリートの圧縮強度を f_c' とおけば、 $(A_s f_s + A_p f_p) \leq \alpha b x_b f_c'$ (x_b は終局時に鉄筋および PC 鋼がともに降伏する条件を満たす最大の中立軸高さ) が成り立つとき、終局曲げモーメントは次のように表わされる。

$$M_u = M_{su} + M_{pu} \dots \dots \dots (1)$$

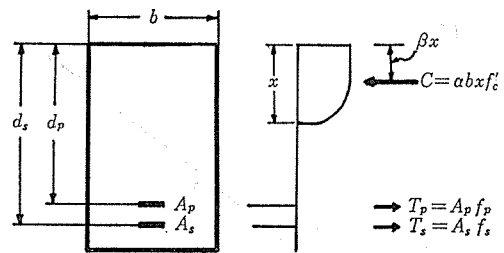


図-1 終局時の応力状態

ここに、

$$\left. \begin{aligned} M_{su} &= A_s f_s (d_s - \beta x) = (1 - \zeta) T_y (d_s - \beta x) \\ M_{pu} &= A_p f_p (d_p - \beta x) = \zeta T_y (d_s - \beta x) \\ x &= T_y / \alpha b f_c' \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、

$$T_y = A_s f_s + A_p f_p \dots \dots \dots (3)$$

$$\zeta = A_s f_s / (A_s f_s + A_p f_p) \dots \dots \dots (4)$$

ζ は、この PRC 部材が RC 部材と PC 部材のいずれに近いかを示すパラメーターで、 $\zeta=0$ は RC 部材の場合に相当する。

そこでいま、終局曲げモーメント M_u が与えられて PRC の断面設計を行う場合を考えよう。その場合、 d_s と d_p の値が近いときは x の値がほぼ一定となるが、もしも d_s と d_p の値がかなり異なる場合であっても、 ζ の値によって x の値は変化するが、 $(d_p - \beta x)$ や $(d_s - \beta x)$ の値に及ぼす影響は大きくないから、いずれにせよ(1)式は、PRC 部材の終局曲げモーメントが、鉄筋による成分と PC 鋼による成分の単純な和に近似できることを示している。すなわち、終局耐力の観点から見た PRC 部材は、同じ終局耐力をもつ RC 部材の鉄筋の一部をこれと等価な曲げ抵抗を与える PC 鋼に置きかえたものに相当し、また、同じ終局耐力をもつ PC 部材の PC 鋼の一部をこれと等価な鉄筋に置きかえたものに相当する。実際にどれだけの量を置きかえるかは ζ の値に依存し、それは終局耐力以外の条件から定まる。

なお、前述の上姫川橋などの PRC 橋の設計では、 ζ の値が 1/5 ~ 1/4 と比較的小さい値であったので、上記のうち RC 部材との置換性が利用された。

2.2 曲げ応力

RC 部材または PC 部材の曲げによる応力およびひずみは、ひびわれ発生前には全断面を有効とする弾性理論(以下では理論 I と呼ぶ)に従い、ひびわれが発達した後はコンクリートの引張抵抗を無視する弾性理論(以下では理論 II と呼ぶ)に従うことが知られている。PRC 部材もこれらと本質的に異なる点はない。図-2 は PRC 部材の曲げモーメント-鉄筋ひずみの測定例を示したものであるが、測定値ははじめ理論 I に従い、ひびわれ発

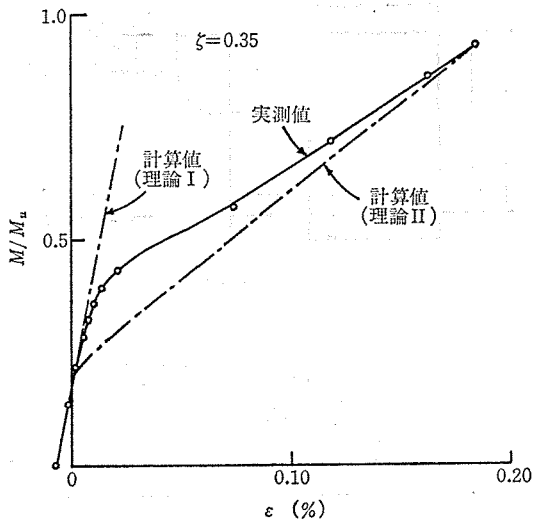


図-2 PRC 部材の鉄筋ひずみの測定例

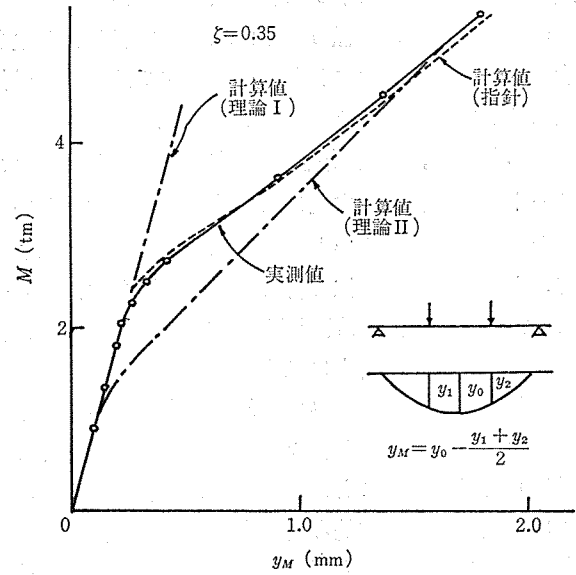


図-4 PRC 部材のたわみの測定例

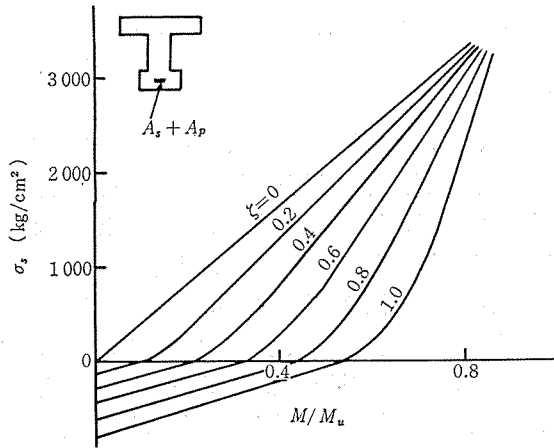


図-3 PRC 部材の鉄筋応力とプレストレスの関係

生後は急速に理論Ⅱに移行しており、上記のことを裏づけている。従来、RC 部材の設計では理論Ⅱ、PC 部材の設計では理論Ⅰが多く使われているが、PRC 部材の設計では目的に応じて理論Ⅰと理論Ⅱを使い分ければよいことになる。

ところで図-3 は、同じ断面において、終局曲げモーメントを一定に保ちながら ζ の値を種々に変化させた場合の、曲げモーメント M と理論Ⅱによる鉄筋応力 σ_s の関係の計算例に示したものである。この図に見られるように、 $M-\sigma_s$ 曲線は $\zeta=0$ (RC) のときに原点を通る直線となるが、 ζ を大きくするにつれて横軸を切る点が右側に移動し、それより左側では負の値をとっている。このようにプレストレスの効果は、同じ荷重レベル M/M_u における鉄筋応力の減少として現われ、その減少量は M/M_u が小さいほど大きくなっている。また、 ζ が大きくなるにつれて σ_s の絶対値は小さくなるが、 σ_s の変化率すなわち $M-\sigma_s$ 曲線の勾配は大きくなるこ

とがわかる。

2.3 たわみ

RC 部材の短期荷重によるたわみは、ひびわれ発生前は理論Ⅰの曲げ剛性を用いた計算値に従い、ひびわれ発生後は上記の計算値から理論Ⅱの曲げ剛性を用いた計算値に徐々に近づいてゆくことが知られている。そしてこの理論Ⅰから理論Ⅱへの過渡状態を計算でとらえる方法も種々に提案されている。前述の土木学会の限界状態設計法指針では、RC 部材に対して Branson の有効断面二次モーメント法を採用しているが、PRC 部材に対しても、ディコンプレッションモーメント (断面引張縁のコンクリートの応力が 0 になるときの曲げモーメント) M_D によるたわみを理論Ⅰで計算し、 M_D を超える曲げモーメント成分によるたわみは、PC 鋼も鉄筋の一種とみなした仮想 RC 断面として Branson 法より計算し、両者を加え合わせる方法を用いてよいことにしている。図-4 は、PRC 部材の曲げモーメント-たわみ関係の測定例を示したものであるが、RC 部材におけると同様に理論Ⅰから理論Ⅱへの過渡状態が示されているとともに、上記の指針の方法による計算値が実測値とよい対応を示すことも合わせて示されている。

2.4 ひびわれ発生曲げモーメント

RC 部材または PC 部材のひびわれ発生曲げモーメント M_{cr} は、コンクリートの終局引張ひずみを用いる非線形理論によって求めることができるほか、実用的な近似法として、理論Ⅰによる引張縁のコンクリートの応力がコンクリートの曲げ強度に達するときの曲げモーメントとして求めることもできる。このとき、PRC 部材の M_{cr} は同じ断面の RC 部材に比べてほぼ $W_i \sigma_{clp}'$ だ

け大きくなる。ここに W_t は断面引張縁に対する断面係数、 σ_{clp}' はプレストレスによる断面引張縁の圧縮応力を表わす。

2.5 ひびわれ幅

RC 部材のひびわれ幅は、鉄筋のひずみにコンクリートが追随できないことによるひずみ差がひびわれ位置に集中したものであり、したがってひびわれ間隔とひずみ差の積として表わすことができる。例えば鉄筋位置のひびわれ幅 w に対しては、

$$w = l(\bar{\epsilon}_s - \bar{\epsilon}_c - \epsilon_p) \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 l はひびわれ間隔、 $\bar{\epsilon}_s$ はひびわれ間の鉄筋の平均ひずみ、 $\bar{\epsilon}_c$ は鉄筋位置のコンクリートのひびわれ間の平均ひずみを表わす。また、 ϵ_p は鉄筋とコンクリートとでひずみの原点に差があるときにその差を表わすもので、例えばコンクリートのクリープや乾燥収縮によって鉄筋および鉄筋位置のコンクリートに付加された応力をそれぞれ σ_{sp} (引張を正)、 σ_{csp}' (圧縮を正)、ひびわれ発生後に生じたコンクリートの乾燥収縮を ω_2 とおけば、 $\epsilon_p = \sigma_{sp}/E_s + \sigma_{csp}'/E_c - \omega_2$ となる。ただし、 E_s および E_c は鉄筋およびコンクリートのヤング係数を表わす。

ところで $\bar{\epsilon}_s$ は、理論Ⅱによる計算値 $\epsilon_s = \sigma_s/E_s$ に比べてひびわれ間のコンクリートとの付着作用による影響の分だけ小さくなること、および $\bar{\epsilon}_c$ は一般に微小で無視できることが明らかにされており、したがって (5) 式の代りに次式で表わすこともできる。

$$w = l \left(\frac{\sigma_s - \Delta\sigma_s}{E_s} - \epsilon_p \right) \dots\dots\dots (6)$$

このように、ひびわれ幅はひびわれ間隔 l と鉄筋応力 σ_s により大きな影響を受けることがわかる。それらのうち σ_s は理論的に計算することができるので、ひびわれ幅の制御設計ではひびわれ間隔の予測が重要となる。そしてこの点については過去に多くの研究が行われ、ひびわれ間隔は第一に鉄筋の付着性状に関係すること、付着性状が良好な異形鉄筋を用いるときは、かぶり厚、鉄筋間隔(あき)、鉄筋径など、主として配筋方法の影響を受けることなどが明らかにされている。そして、著者を含むいく人かが既にひびわれ幅の算定式を提案しているが、現象があまりにも複雑すぎるため、まだ決め手となる式はないようである。しかし、完全な知識がなくてもその時点での知識を活用することで次の発展がもたらされてきたことは、工学における常道であるので、上記の点は PRC の発展にとって何らかの障害にはならないと考えられる。

ところで、RC 部材におけるひびわれ間隔が、配筋方法に支配されることは、PRC 部材に対してもそのまま

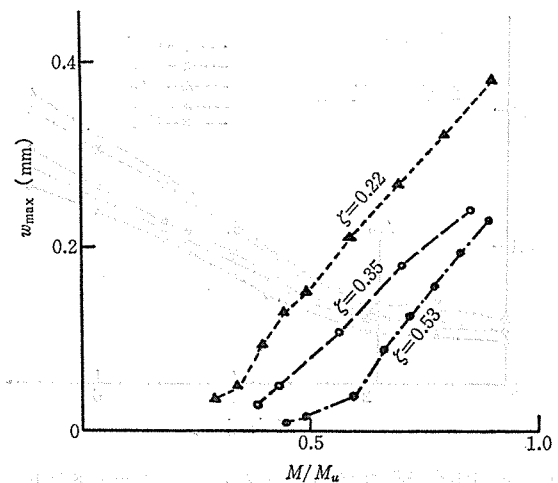


図-5 PRC 部材の最大ひびわれ幅の測定例

当てはまる。図-5 は PRC 部材のひびわれ幅に対する z の影響を実験的に調べた例を示したもので、 z が大きいほど同じ M/M_u におけるひびわれ幅は小さくなっている。その原因はひびわれ間隔の違いによるよりも、同じ M/M_u における鉄筋応力の違いにあることは、前に図-3 に示した性質から明らかであろう。すなわち、PRC 部材におけるひびわれ幅の制御の主役はプレストレスにあるが、それは鉄筋応力の制御によるものであって、ひびわれ間隔の制御は RC 部材におけると同様に、異形鉄筋のひびわれ分散作用に依存しなければならないのである。

2.6 ディコンプレッションモーメント

フルプレストレスの PC (I 種 PC) では以前から設計荷重下で断面引張縁のコンクリートに引張応力が生じないという設計条件が用いられている。この条件を満たす限界の曲げモーメントがディコンプレッションモーメントと呼ばれるもので、PRC 部材の設計条件の一つとして利用することができる。その際、I 種 PC では一般に(永久荷重+変動荷重)の状態に対して用いるのに対し、PRC 部材では(永久荷重+変動荷重の持続成分)に対して用いられる。その物理的意味は、変動荷重や偶発荷重によってひびわれが生じて、それらが除荷された後はひびわれを閉じさせよう、というものである。

図-6 は PRC 部材の曲げモーメント-ひびわれ幅の関係を示したもので、この図は、終局荷重の 60% に相当する荷重を 20 万回繰り返し載荷した後のものであるが、曲線はディコンプレッションモーメント M_D において明確な屈折点を有しており、 M_D がひびわれ閉合の機能を十分に果たしていることがわかる。

2.7 疲労性状

大きな変動荷重を受け、かつその作業頻度の大きい

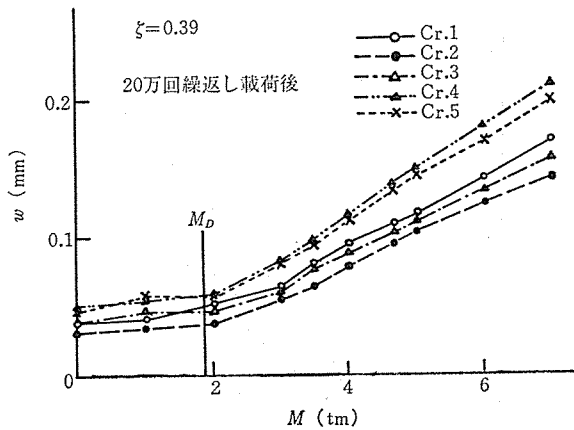


図-6 PRC 部材のディコンプレッションモーメント M_D におけるひびわれ閉合性の測定例

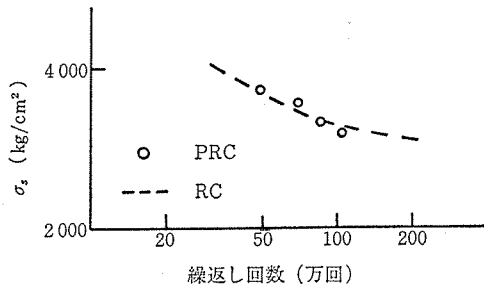


図-7 PRC 部材における鉄筋の疲労強度と RC 部材との比較

RC 部材では、異形鉄筋の疲労に対する検討が必要であるが、ひびわれの生じない PC 部材では変動応力（応力振幅）はそれほど大きくないので、通常は疲労に対する検討を省略することができる。それに対して PRC 部材は、どのようなひびわれ設計条件を用いるかによるが、ひびわれ発生を許す場合は RC 部材と同様に疲労に対する検討が必要である。その場合、鉄筋と PC 鋼の両者の疲労強度に注意を払う必要がある。

図-7 は、PRC 部材における異形鉄筋の疲労破壊に関する試験結果を丸印で示し、同じ鉄筋を用いた RC 部材での結果を点線で示したもので、鉄筋応力はいずれも理論Ⅱを用いて計算している。両者の良い一致に見られるように、理論Ⅱによる応力計算を用いれば、PRC 部材の疲労の検討は、RC 部材と同様に行うことが可能である。

3. PRC 部材の設計の基本

PRC 部材のように性格の異なる複数の鋼材を有する複合構造体の設計は、最小限、破壊安全性の検討と使用状態に対する検討を切り離して行う設計方法を用いることが肝要であり、現在のところ限界状態設計法か、またはそれに準じた方法が適している。前述の建築学会の PRC 指針や土木学会の限界状態設計法指針はこれに該

当する。ただし、以下ではこれらの指針にこだわらずに、できるだけ一般的に述べることにする。

PRC 部材に限らず、一般に構造物の設計において考慮すべき事項は多数あるが、PRC 部材の断面決定にとって特に重要な項目は、

- a. 終局限界状態（破壊安全性）
- b. ひびわれ限界状態（ひびわれ安全性）
- c. 疲労限界状態（疲労安全性）

である。以上の b. については具体的な設計条件として種々のものが考えられる。例えば、

- b1. ディコンプレッション——所定の荷重レベル以下ではひびわれが閉じる。
- b2. ひびわれ発生曲げモーメント——所定の荷重レベル以下ではひびわれが生じない。
- b3. コンクリートの許容引張応力度——理論Ⅰによるコンクリートの引張応力の大きさを制限することによりひびわれ発生に対する安全性または間接的なひびわれ幅の制限を図る。
- b4. 鋼材の応力増分——ディコンプレッションの状態からの鉄筋または PC 鋼の応力増分の大きさを制限することにより、間接的にひびわれ幅の制限を行う。
- b5. ひびわれ幅——ひびわれ幅の大きさを直接制御する。

従来の RC または PC 部材に代って PRC 部材を用いるには、その目的があるはずであるが、その中で最も一般的なものは、RC 部材に比してのひびわれ性状の改善、PC 部材に比してのひびわれ設計条件の緩和である。PRC 部材の設計における最も基本的な事項は、どの程度のプレストレスを導入する必要があるか、前述の ζ の値の選択であるが、その基礎となるのが通常このひびわれ設計条件である。

まず、b5. すなわちある荷重レベルに対する許容ひびわれ幅 w_a が与えられた場合を考える。

$$w \leq w_a \dots \dots \dots (7)$$

前述のようにひびわれ幅の制御はひびわれ間隔の制御と鉄筋応力の制御とからなり、プレストレスは後者に対してのみ有効であり、前者は配筋方法の問題である。この場合、配筋方法のまずさをプレストレスによって補うというのではなく、最善の配筋方法を採用してもなお (7) 式の条件を満足できないときに、プレストレスを導入するという考え方が大切である。その場合、ひびわれ間隔のみでなく、一般に許容ひびわれ幅も配筋方法（かぶり厚など）の関数と考えられるから、(7) 式を満足する ζ の値を選択する場合、やみくもに試算を繰り返すのは得策ではない。まず、およその ζ の値を想定して終局

限界状態（疲労が支配的な部材では疲労限界状態）の設計条件より試設計を行い、標準的な配筋方法を定めてしまふのがよい。そうすることによりひびわれ間隔が定まり、したがってひびわれ幅に対する設計条件を鉄筋応力に対する設計条件に置きかえてしまうのである。すなわち(6)式と(7)式より

$$\sigma_s \leq \sigma_{sa} \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{ここに, } \sigma_{sa} = \frac{E_s w_a}{l} + \Delta\sigma_s + E_s \varepsilon_\phi \dots\dots\dots (9)$$

上式中の ε_ϕ の値は未知量であるが、およその値を仮定すればよい。このように w の条件を σ_s の条件に置きかえれば、 κ の値の決定は容易である。それは、特定の荷重レベル (M/M_u) における σ_s と κ との関係はほぼ直線的であるので、せいぜい 1~2 回の試算で κ の値を決定することができるからである。このように κ の値が定まれば、改めて実際の配筋方法を定め、 l や ε_ϕ の値の精算を行えばよい。その際、 l の値に最も敏感なのはかぶり厚であるが、かぶり厚が試設計において仮定した値と多少変わっても、 l とともに w_a も変化するはずであるので、 σ_{sa} の値への影響は小さい。また、 κ の値が初めに仮定した値と相当に変わったとしても、2.1 に述べた終局耐力に対する A_s と A_p との置換性より、鋼材量の修正も容易にできるはずである。その場合の中立軸高さ x の値は、試設計における値をそのまま用いても誤差は一般に無視できるほど小さい。

ひびわれ幅の設計条件として前述の b4 が与えられる場合は上記より更に設計が容易である。また、b1~b3 の設計条件が与えられる場合は、理論 I によるコンクリートの応力制限であるので、このときも予めおよその κ の値を選んで断面の試設計を行い、その断面の断面係数を用いてコンクリートの応力計算を行い、必要プレストレス量を定めればよい。もしもそれが初めに仮定した κ の値と著しくかけ離れたとしても、1~2 回の試算で断面決定ができるであろう。

以上のように断面が決定されれば、疲労安全性を確かめることになるが、疲労が断面設計に支配的な影響を及ぼす場合は、 κ の値にはほとんど関係なさそうである。したがって前述の設計過程のうち、断面の試設計を行った段階で疲労安全性の予備的検討を行っておけば、疲労が支配的影響をもつ部材であるか否かのおよその見当をつけることが可能である。

なお、上姫川橋など過去に北海道で架設された PRC 橋の設計では、上記の試設計は $\kappa=0$ すなわち RC 断

面として行われた。そして、ひびわれ設計条件を満たさない区間のみプレストレスが導入された。したがって PRC に修正された区間と RC のままになった部分とからなる PRC/RC 複合構造である。

また、PRC 部材ではクリープや収縮の影響の計算（有効プレストレスの計算やひびわれ設計における ε_ϕ の計算）において、一般に PC 鋼よりも鉄筋による拘束作用の方が大きいことに注意する必要がある。上姫川橋などの設計では著者の導いた理論式¹⁴⁾が用いられ、上姫川橋でのひびわれ測定により理論と実測との良い一致が確認されていること¹⁵⁾を付記しておく。

参 考 文 献

- 1) 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
- 2) 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，プレストレスコンクリート，Vol. 7, No. 5, 1965.12
- 3) H. Yokomichi : Prestressed Reinforced Concrete System, Final Report of 8th Congress of IABSE, New York, 1968.8
- 4) 土木学会コンクリート標準示方書，昭和 42 年版，1967
- 5) CEB : Recommendations for an International Code of Practice for Reinforced Concrete, 1964
- 6) CEB. FIP : International Recommendations for the Design and Construction of Concrete Structures, 1970. 6
- 7) 土木学会プレストレスコンクリート標準示方書，1978
- 8) 横道英雄：PRC の設計方法について，プレストレスコンクリート，Vol. 15, No. 4, 1973.8, ほか
- 9) 角田与史雄：PRC 桁の曲げ特性に関する実験，プレストレスコンクリート，Vol. 15, No. 3, 1973.6, ほか
- 10) 鈴木計夫，大野義照：プレストレス鉄筋コンクリートはりの曲げひびわれ幅に関する研究，その 1 初期ひびわれ幅について，日本建築学会論文報告集] 第 303 号，ほか
- 11) 六車 照，渡辺史夫，藤井正則：プレストレス鉄筋コンクリートはりのせん断抵抗挙動に関する実験研究，第 5 回コンクリート工学年次講演会講演論文集，1983.4, ほか
- 12) プレストレス鉄筋コンクリート（Ⅲ種 PC）構造設計・施工指針（案），建築雑誌，Vol. 97, No. 1194, 1982.6
- 13) 豊福俊英：純ねじりを受けるⅢ種プレストレスコンクリート部材の挙動，第 4 回コンクリート工学年次講演会講演論文集，1982.4, ほか
- 14) 横道英雄：コンクリート橋，第 10 章，技報堂
- 15) H. Yokomichi, H. Ohshima : Measurements and Observations of Creep and Shrinkage in Prestressed Reinforced Concrete Bridge, IABSE Symposium on Design of Concrete Structures for Creep and Shrinkage, Madrid, 1970