

研究ノート

## プレストレスト鉄筋コンクリート

鈴木計夫, 大野義照\*

## 1. はじめに

コンクリートは引張応力に対して弱いという欠点があり、コンクリートを構造部材に用いる場合、その欠点を引張側に鉄筋を挿入することや、軸方向に高張力鋼材を用いてプレストレスを導入することによって補っている。これらの部材は、周知のようにそれぞれ鉄筋コンクリート部材およびプレストレストコンクリート部材と呼ばれている。

阪大吹田キャンパスなどに見られる大部分の建物は鉄筋コンクリート構造である。この鉄筋コンクリート構造は耐火性、耐久性に優れ、維持管理費が安く、また造形の多様性もあるが、過大なひびわれやたわみによる障害が生じやすく、その防止のためにはりの主要支点間距離は6~10m程度に制約されている。この鉄筋コンクリート部材はもともと曲げひびわれの発生を許すものであるが、その幅には耐久性や美観上の要求、またひびわれ幅の増加はたわみの増大をもたらすことからの制限がある。曲げひびわれ幅には鉄筋の応力やコンクリートのかぶり厚さが大きく影響するので、この制限により高強度鉄筋や太径鉄筋の有効な利用が阻まれている。一方、わが国においても終局限界およびひびわれやたわみの使用限界を規定した限界状態設計法を採用しようという機運が高まっている。このような現況から長期荷重時のひびわれ制御設計は従来に増して重要となり、積極的なひびわれ制御方法が望まれるのであるが、その最も効果的な方法は鉄筋コンクリート部材に付加的にプレストレスを導入することであろう。

他方、プレストレストコンクリート部材はひ

びわれを極端に制御した部材、すなわちその発生を許さないという思想で設計されたものである。プレストレストコンクリート部材は鉄筋コンクリート部材に比べ高強度材料を用い、しかもコンクリート全断面を有効に利用できるため、スパンを長く(15~40m)することができ、この吹田キャンパスでは工学部共同実験棟に、またこの近郊では千里阪急デパート、千里セルシーのボーリング場など、多くの構造物にこの部材が利用されている。しかしながら現在の設計規準で設計されたプレストレストコンクリート部材は、ひびわれ安全度が過大で不経済な設計となる場合もあるので、最近では構造物によって、普通鉄筋を併用して鉄筋コンクリートと同様にある程度のひびわれの存在を許容し、プレストレス量を低減しようとする動きも起きている。

付加的にプレストレスを導入した鉄筋コンクリート部材や普通鉄筋を併用しひびわれの存在を許すプレストレストコンクリート部材は両者の中間の性質を持つので、プレストレスト鉄筋コンクリート部材とも呼ばれ、プレストレスの量によって部材のひびわれ性状が任意に制御できるという大きな利点をもっているが、その設計法は未だに確立されていない。

ところで、現在わが国の建築におけるコンクリート構造の設計は鉄筋コンクリート構造計算規準とプレストレストコンクリート設計規準の2本だてで行われ、同じコンクリート構造でありながら、それぞれ許容応力度設計法と終局強度設計法を中心に異なる設計法が採用されている。さらに上述のようにプレストレスト鉄筋コンクリートの出現によって、よりいっそうコンクリート構造設計法の統一化が望まれる。当研究室ではコンクリート構造設計法の統一化を当面の目標として、両者の中間領域であるプレス

\* 鈴木計夫 (Kazuo SUZUKI), 大阪大学, 工学部, 建築工学科, 助教授, 工博, 建築構造学, 大野義照 (Yoshiteru OHNO), 大阪大学, 工学部, 建築工学科, 助手, 建築構造学

トレスト鉄筋コンクリートを最も特徴づけるひびわれの特性について、理論と実験の両面から研究を行っている。

2. プレストレスト鉄筋コンクリートの特徴

鉄筋コンクリートはり、プレストレスト鉄筋コンクリートはり、およびプレストレストコンクリートはりの荷重とたわみの関係を概念的に図示すると図1のようになる。これらの部材はそれぞれ異なった用語で定義されているが、何かのファクターを媒介にすると一つの概念に統一することが可能となる。たとえば終局時の曲

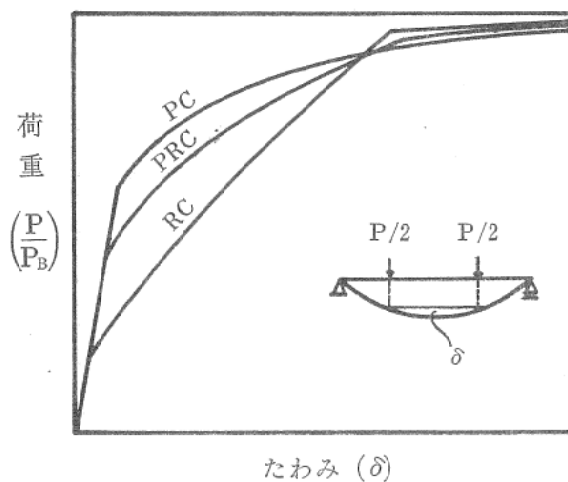


図1 PC, PRC, RC はりの荷重—たわみ曲線  
(PC : プレストレストコンクリート  
PRC : プレストレスト鉄筋コンクリート  
RC : 鉄筋コンクリート)

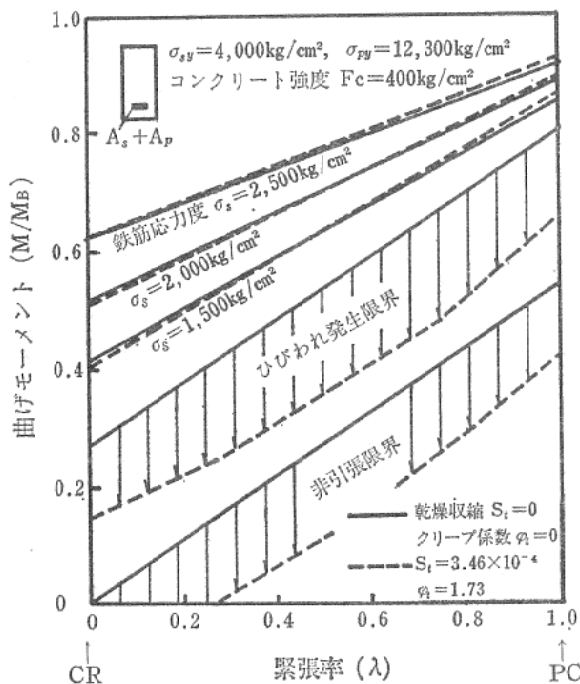


図2 ひびわれ限界状態に対する緊張率の影響

げ引張力中に占めるPC鋼材の受け持つ引張力の割合すなわち  $A_p \cdot \sigma_{py} / (A_p \cdot \sigma_{py} + A_s \cdot \sigma_{sy})$  ( $A_p, A_s$ : PC鋼材および鉄筋の断面積,  $\sigma_{py}, \sigma_{sy}$ : PC鋼材および鉄筋の降伏点応力度) のファクターを導入し、これを緊張率 ( $\lambda$ ) と呼ぶことにすれば、緊張率が0の場合には鉄筋コンクリートになり、1の場合にはプレストレストコンクリートに対応することになる。プレストレスト力は、 $A_p \cdot \sigma_{py}$  に比例するとして、ひびわれに関する次の3つの限界状態すなわち (i) コンクリートに引張応力が生じない限界 (非引張限界と呼ぶ)、(ii) ひびわれ発生限界および (iii) ひびわれ幅の限界状態に対応する各鉄筋応力度に対する曲げモーメントともなつて増加する。このようにプレストレスト鉄筋コンクリート部材は、終局耐力を一定に保ちながら鉄筋とPC鋼材の断面積比を変えることによって作用荷重下の性状を任意に変えることができる。

3. プレストレスト鉄筋コンクリートの問題点

さて、この種の部材はひびわれがいつ発生するか、また発生後はその幅がどの程度のものとなるかという点が最も重要であり、同時に部材のもつ性質を特徴づけることになるが、このひびわれに関する性状は、コンクリートの乾燥収縮およびクリープの影響を大きく受ける。したがってこの影響を明らかにすることが、プレストレスト鉄筋コンクリート部材の合理的設計の可能性を左右することになる。一方わが国では、長期荷重に対してひびわれ幅を0.2mm以下に押えようという観点で、ひびわれ幅の正確な算定が困難なため、実験および経験から鉄筋の長期許容応力度を鉄筋の強度に関係なく一率に定めている。このように長期許容応力度を規定するのは材料の経済的利用の点からは不利であり、建物の用途、建物の置かれている環境条件に応じて許容されるひびわれ幅を決めて、部材断面を設計するのが合理的であろう。しかしそのためには部材に生じるひびわれ幅を正確に予

表1 許容ひびわれ幅 (ACI 224 委員会)

| 露出条件              | 最大許容ひびわれ幅 (mm) |
|-------------------|----------------|
| 乾燥した大気中, 保護層のある部材 | 0.40           |
| 湿った大気中, 土中にある部材   | 0.30           |
| 凍結防止用の薬品に接する部材    | 0.18           |
| 海水中, 海水の飛沫を受ける部材  | 0.15           |
| 水密構造部材            | 0.10           |

表2 許容ひびわれ幅 (CEB・FIP 国際指針)

| 露出条件<br>検討すべき荷重                | 最大許容ひびわれ幅 (mm) |                  |
|--------------------------------|----------------|------------------|
|                                | 永久荷重と長期に作用する荷重 | 永久荷重と変動荷重の不利な組合せ |
| 著しく露出している部材<br>(はなはだしく侵食性の環境中) | 0.1            | 0.2              |
| 防護されていない部材<br>(屋外構造物等)         | 0.2            | 0.3              |
| 防護されている部材<br>(屋内構造物等)          | 0.3            | 美観による            |

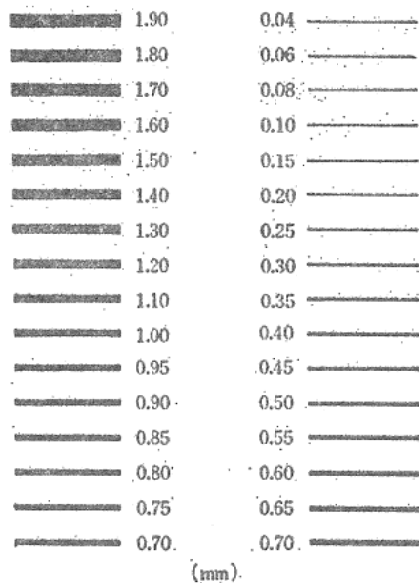


図3 クラックスケール

測し得なければならない。この点に関して内外で広く研究が行われ、種々のひびわれ幅の算定式が提案されているが、それらはいずれも乾燥収縮およびクリープのひびわれ幅への影響を全く無視しているか考慮している場合でも極めて不十分なものである。荷重載荷までのこの影響はひびわれ発生時の鉄筋とコンクリートのひずみ差を大きくする方向に作用するので、ひびわれ幅は大きくなり、また載荷後もこの乾燥収縮

によって時間の経過とともにひびわれ幅は増加する。当研究室ではこれらの点に注目して解析と実験の両面から検討を行っているが、その結果は荷重載荷までの乾燥収縮とクリープは現行の鉄筋の許容引張応力度を $\frac{2}{3}$ ～ $\frac{1}{2}$ としなければならないようなひびわれ幅を生じさせる場合もあり、また持続載荷中のひびわれ幅の増加量は初期ひびわれ幅の40～100%にも達することを示している。

この影響に関して図2を説明すると、実線と破線の間が、それらの影響の程度を示しており、(i) (ii) の限界状態に対する曲げモーメントは大きく低下するが、(iii) の限界状態に対応する鉄筋の応力は殆んど影響を受けないことが示されている。しかし、(iii) の場合、鉄筋の応力は変化しなくても前述のようにひびわれ幅は、大幅に増加するのでこの点を設計に考慮することが特に重要となる。

#### 4. ひびわれ幅はどこまで許されるか

また一方では、ひびわれ幅は一体どこまで許されるかという点が問題となるが、ACI (アメリカコンクリート学会) やヨーロッパコンクリート委員会では指針として表1および表2を与

えている。参考までにひびわれ幅を視覚的に理解するために図3にクラックスケールを示した。これらの指針の値は主として耐久性（鉄筋の錆の発生）の観点から定められているが、わが国の鉄筋コンクリート建物では前述のように0.2mm程度に押えるように鉄筋の許容引張応力度を規定している。

上記の事柄と3項で述べた事項とを考え合わせるならば、乾燥収縮およびクリープがコンクリート構造物のひびわれ性状すなわちその耐久性にいかにか大きく影響するかが、理解できよう。

## 5. おわりに

以上主としてコンクリート部材のひびわれ制御の観点から鉄筋コンクリートとプレストレストコンクリートの中間領域に位置するプレストレスト鉄筋コンクリート部材の特徴について述べたが、乾燥収縮およびクリープの影響を明確にすることによって、ひびわれ性状を自由に制御できるプレストレスト鉄筋コンクリート部材の設計手法が確立され、鉄筋コンクリートからプレストレストコンクリートまで含めたコンクリート部材の設計プロセスを統一化することが近い将来可能となろう。