

特集

アンボンド工法と プレストレスト鉄筋コンクリート構造

アンボンドプレストレストコンクリート構造と プレストレスト鉄筋コンクリート構造

—その問題点と展望—

六 車 熙*

1. ま え が き

最近、建築構造へのプレストレストコンクリート(PCと略記)の適用に関して技術者の注目を集め、かつ、将来の普及が大いに期待される工法に、アンボンドプレストレストコンクリート(UPCと略記)とプレストレスト鉄筋コンクリート(PRCと略記、Ⅲ種PCともよばれる)とがある。前者については、昭和50年に改訂された日本建築学会PC設計施工規準にその設計および施工に関する漸定規準が示され¹⁾、さらにこれを補う目的で昭和54年にアンボンド工法用PC鋼材と施工時の取扱いについての指針が発表され、その利用の道を開いている²⁾。また、後者については、日本建築学会で設計施工指針案の審議が進められ、近く成案が発表されることになっている。一方、近年の鉄筋コンクリート(RCと略記)をはじめとする各種建築構造物の地震被害に鑑み、建設省では新耐震設計法を折り込んだ建築基準法施行令の改正を行ったが、PCに関してもUPCやPRCを含めた施行令を補うための設計施工に関する技術規準等を審議中であり、両工法の利用の道が正規に開かれる情勢にある。本稿では発展の途上にあるこれら二つの構造に関し、今日まで種々の場所で論議されてきた諸問題のいくつかをとり上げ、今後の資料としたい。

2. UPCの施工上の特徴と耐久性

ポストテンションPCではPC鋼材と本体コンクリート間の付着の賦与およびPC鋼材の防せいを目的として、緊張後にシース内にグラウト注入を行うのが普通であるが、防せい材の発達によってPC鋼材表面にあらかじめ防せい材を塗布またはこれにポリプロピレン等のシースをつけたアンボンドPC鋼材が容易に得られるようになり、これをそのままコンクリート中に打ち込み、緊張後はグラウト注入を必要としないUPCがかなり以前から米国を中心に使用されてきた³⁾。通常のポストテンション工法とくらべて、現場でのPC鋼材の配置が容易であること、グラウト注入を必要としないことなど、施工の省力化、合理化が可能となる点が特徴の一つであ

る。とくに、部材寸法が小さく、かつ、比較的細径のPC鋼材を分散配置する場合が多い建築構造物では、上記の施工上の利点はPCの建築構造物への利用拡大をはかるうえで見逃すことのできない利点である。

UPCのもう一つの特徴はPC鋼材の防せいに対する信頼性が極めて高いことである。現在用いられているアンボンドPC鋼材用防せい材としては、アスファルト系、グリース、ポリマー系など種々あるが、基本的にはPC鋼材表面を完全に被覆し、緊張時にPC鋼材が本体コンクリート(または被覆シース)との間に摩擦を生ずることなく自由に伸びることができ、その伸びに追従してピンホールやひびわれなどをおこさないような適当な粘性と軟度を有すること、湿気を通さず温度変化(通常は-20°C~70°C)に対して脆化または液化流失しないこと、建物の耐用年数中は化学的に安定で十分な防せい力を保持し、コンクリート、PC鋼材、被覆シース材料等に悪影響を及ぼさないことなど、きびしい品質と防せい力に対する規定が設けられており、これらに合格した防せい材が使用されている。参考までに表-1および表-2にその品質試験方法、防せい試験方法と判定規準を示す²⁾。このような試験に合格した防せい材を用いるので、防せい力および防せい耐久力についてはまず心配はいらない。米国では1952年に建築構造物に最初に利用されたといわれ、以来、今日に至るまで主としてフラットスラブ構造に数多く用いられてきているが、20年以上

表-1 アンボンドPC鋼材用防せい材の品質試験方法と判定規準

項 目	試験方法	判定規準 ¹⁾	備 考
混和ちょう度	JIS K 2560	試験温度 25°C で 250~350	グリース類に適用
針 入 度	JIS K 2530	試験温度 25°C で 75~130	アスファルト類に 適用
滴 点	JIS K 2561	>100°C	アスファルト類 に適用
引 火 点	JIS K 2274	>200°C	
軟 化 点	JIS K 2531	>130°C	
流 下 試 験	JIS Z 1802	80°C 24 時間以上	
フラース破壊点	JIS A 6011	-30°C 以下	
低温付着性	JIS Z 0236	-17.5°C 1 時間以上	
遊離酸	JIS K 2562	損失量 <0.2 wt/.	
遊離アルカリ	JIS K 2562	損失量 <0.2 wt/.	
酸化安定度	JIS K 2569	98.9°C 100 時間で <2 kg/cm ²	

* 京都大学教授、工学博士

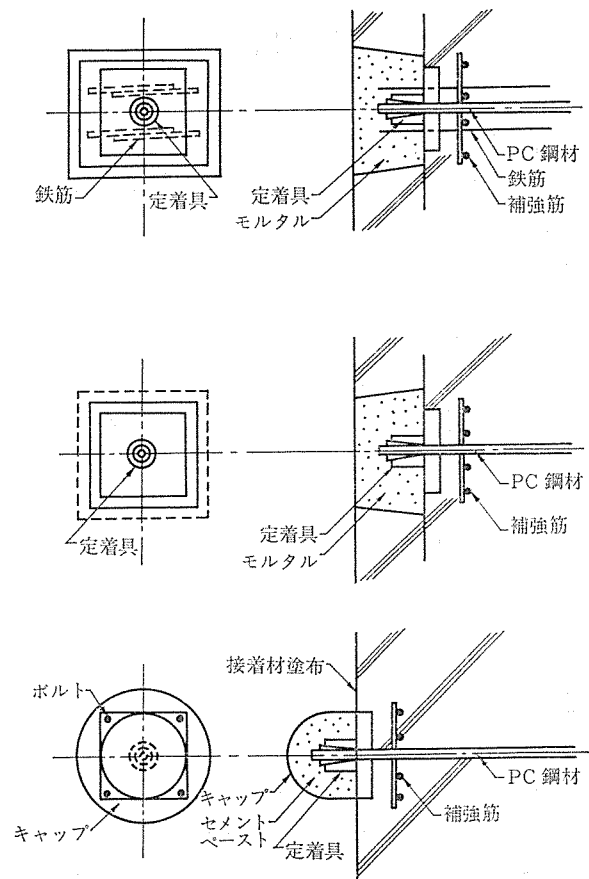
表一2 防せい試験の判定規準

試験項目	試験方法	判定規準	備 考
加熱銅板腐食試験	JIS K 2567	100℃ 24 時間試験で著しい変色やさびがおこらないこと	
塩水噴霧試験	JIS Z 2371	5% NaCl 溶液を 35℃ ±2℃ の温度のもとで噴霧したときの発せい時間がグリース類では >96時間アスファルト類では >24日	試験片形状および判定方法は JIS Z 0236 による。

にわたる使用実績で PC 鋼材の応力腐食による事故は聞かない³⁾。わが国では昭和 34 年伊勢湾台風によるいて河川および港湾護岸復旧工事に UPC 矢板が相当数用いられており、また、昭和32年以来阪急電車営業線に UPC まくら木が使用されているが、20年近く経過した今日でもこれらに用いられている PC 鋼材には発せいまたは品質の劣化はみられず、また、防せい材として使用しているブロンアスファルトの性質にもほとんど劣化が認められないことが確認されている^{4),5)}。

以上のほかにも供試体による曝露試験なども行われており、防せい材のすぐれた防せい力が実証されている。問題点として挙げられるのは、PC 鋼材両端の定着部の防せい処理である。いくら優れた防せい材を塗布したアンボンド PC 鋼材であっても、定着部では緊張定着の都合で PC 鋼材表面の防せい材を一たん除去することがあり、しかも、定着端面はコンクリート表面から露出しているから、そのままでは発せいまたはこれによる定着部 PC 鋼材破断がおこる危険性がある。定着部の防せい処理方法としては、モルタルまたはコンクリートにより被覆するのが一般であるが、その際、被覆モルタルまたはコンクリートのひびわれや脱落を防ぐために鉄筋による補強、膨張セメントの利用、本体コンクリートとの接着材による接着、防せい材の封入など種々の配慮が必要である。図一1 は定着端の処理方法の一例を図示したものである²⁾。

なお、もし万一 PC 鋼材が破断した場合、UPC では付着がないので PC 鋼材がコンクリート本体から飛び出



図一1 定着端処理法の一例

して危険であるとする技術者も多い。しかし、実際には PC 鋼材が破断しても飛び出すことはない。それは、PC 鋼材表面に塗布されている防せい材の粘弾性抵抗により破断時に急激に開放されるエネルギーが吸収されるためである。表一3 は破断時の飛び出しを実測した実験例で²⁾、飛び出しの心配はないことがわかる。ただし、破断個所が定着部直下の場合には防せい材の粘弾性抵抗が期待できないので、破断片の飛散の危険がある。これを防止するためにも図一1のような定着端の防護が必要である。なお、付着のある場合でも同様の危険防止のために定着端の防護は必要であることを付記する。

表一3 アンボンド PC 鋼材破断時飛び出し量実験結果の一例

PC 鋼 棒	防 せ い 材	供試体および切断箇所	切 断 方 法	切断時 PC 鋼材引張力 (t)	飛 び 出 し 量 (mm)
φ26 mm PC 鋼棒	1 mm 厚アスファルトコーティング	全長 490 cm の梁、中央部で切断	グラインダー	45.7	7~8
φ23 mm PC 鋼棒	同 上	全長 300 cm の梁、中央部で切断	同 上	33.7	7
φ12.7 mm PC ストランド	ちょう度 290~300 のグリース、0.5 mm 厚ポリエチレンシース付き	全長 400 cm の梁、一端より 100 cm の個所で切断	同 上	13.3	埋込み長 300 cm の側で 47 埋込み長 100 cm の側で 6
φ12.7 mm PC ストランド	同 上	同 上	ガス溶断	13.0	埋込み長 300 cm の側で 43 埋込み長 100 cm の側で 3

3. UPC の力学的特徴と問題点

UPC の力学的性質は付着のある場合と比較して基本的には同様であるが、相違点（または問題点）もいくつかあげることができる。その主なものを以下に列挙し、その対策等もあわせて概説する。

(1) ひびわれ間隔およびひびわれ開口幅の増大

曲げひびわれ間隔および開口幅に影響する因子は多いが、付着性能もこれを左右する因子の一つであることはいうまでもない。UPC はもともと PC 鋼材と本体コンクリート間の付着はなく、これに類する性質のものとしてあえてあげれば、防せい材の粘弾性抵抗による摩擦が場合によっては存在する程度である。したがって、付着のある通常の PC 部材と比較するとひびわれの分散性が悪く、ひびわれ間隔や開口幅が一般に大きくなる^{6),7)}。本来、PC は常時使用状態において曲げひびわれの発生は許容しない設計となっているから、ひびわれ間隔や開口幅が常時使用上は問題とはならない。しかし、曲げ破壊の近傍では、曲げひびわれの1箇所への集中はその断面における曲げ変形の集中の原因となり、この意味から曲げひびわれの分散をはかる方が好ましいとする見方もある。その方策は簡単であり、わずかな普通鉄筋の配置でその目的を達成できる。ACI 建築規準 318-77 ではひびわれの分散を目的として、

$$A_s = 0.004 A \dots \dots \dots (1)$$

A_s : 引張側普通鉄筋必要断面積

A : 曲げひびわれモーメントの1.2倍の曲げモーメント作用時の引張側コンクリート断面積

の用心鉄筋の挿入を規定している⁸⁾。このような用心鉄筋は次項にのべる UPC 部材の曲げ破壊強度が付着のある通常の PC 部材のそれよりも、一般に小さくなることを補うのにも役立つものである。

(2) PC 鋼材応力利用率および曲げ破壊強度の低下

UPC 部材の力学的性質は、付着のある通常の PC 部材と比較して、弾性範囲では同様である。曲げひびわれ強度についても両者の差はほとんど認められない。これに対し、曲げ破壊強度は UPC 部材がやや小さくなる。多くの実験によると、UPC 部材の曲げ破壊強度は付着のある場合の 80~95% に低下している⁹⁾。その原因は曲げ破壊時における破壊断面の PC 鋼材引張力が付着のある場合よりも小さくなるためである¹⁰⁾。これを 図-2 に示す単純梁について説明すると、付着のある場合には平面保持の仮定が適用できるので、同図中央に示す曲げモーメント分布の大きさに応じて PC 鋼材が部材の各断面においてそれぞれ引張られ、曲げ破壊時には同図下段の点線で示すような曲げ破壊時 PC 鋼材伸びひずみ材軸

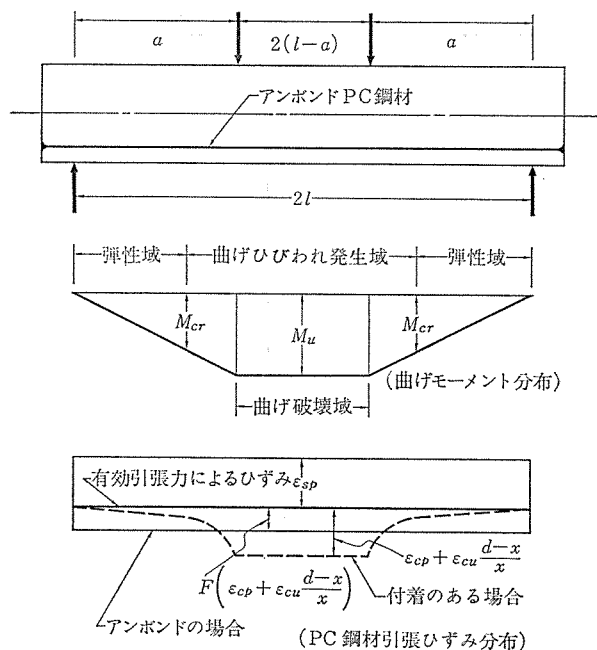


図-2 アンボンド PC 部材の曲げ破壊時 PC 鋼材引張応力分布

方向分布となる。これに対して UPC 部材では付着がないために各断面で平面保持とはならず、部材全長にわたって PC 鋼材伸びひずみは実線で示すようにどの断面でも同様となる。簡単にいえば、点線で示した付着のある場合の PC 鋼材伸びひずみ分布の平均値が、部材のどの断面でもおこるとみなすことができる。

このように平面保持の仮定が適用できない UPC 部材断面の曲げ破壊モーメントを精算することは可能ではあるが¹⁰⁾、計算が面倒で実用向きでない。最近、曲げ破壊に至るまでにおこる PC 鋼材のひずみ変化量または引張応力変化量の近似値を理論または実験に基づいて与え、これを用いた曲げ破壊モーメント略算法が提唱されている。一例として曲げ破壊時 PC 鋼材引張応力実験式をあげれば次のようになる。

Warwaruk, Sozen, Siess 式¹¹⁾

$$\sigma_s = \sigma_{sp} + (2110 - 49.4 \times 10^6 p / F_c) \dots \dots \dots (2)$$

Mattock, Yamazaki, Kattula 式¹²⁾

$$\sigma_s = \sigma_{sp} + 1.4 F_c / 100 p + 700 \dots \dots \dots (3)$$

ACI 建築規準 318-77⁸⁾

$$\sigma_s = \sigma_{sp} + F_c / 100 p + 700 \dots \dots \dots (4)$$

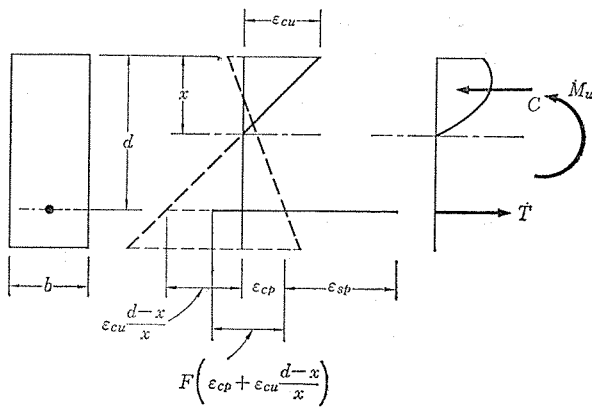
σ_s : 曲げ破壊時 PC 鋼材引張応力 (kgf/cm²)

σ_{sp} : 有効プレストレスによる PC 鋼材引張応力 (kgf/cm²)

F_c : コンクリートの圧縮強度

p : 有効高さをを用いた PC 鋼材鉄筋比

これらの各式による計算値は必ずしも実験とよい一致を示すわけではない。部材に作用する曲げモーメント分布形や PC 鋼材配置形などの他の諸因子によっても、



図—3 アンボンド PC 断面の曲げ破壊時ひずみおよび応力分布 σ_s はかなり影響を受けるためである。筆者は曲げ破壊に至るまでの PC 鋼材伸びひずみ変化量 $\Delta \epsilon'$ を図—3 に示すように PC 鋼材配置位置でのコンクリートひずみ変化量 $\Delta \epsilon_s$ の F 倍 (ただし、 $F \leq 1$) とし、 F の値を種々の荷荷条件および PC 鋼材配置形に対して精算し、これらを含めた曲げ破壊時 PC 鋼材応力略算式を与えた¹³⁾。ちなみに、図—3 に示す記号を用いて PC 鋼材応力を記述すると、曲げ破壊時には PC 鋼材応力は弾性範囲にあることが多いことを考慮して、

$$\sigma_s = \sigma_{sb} + E_s F \left(\epsilon_{sc} + \epsilon_{cu} \frac{d-x}{x} \right) \dots\dots\dots (5)$$

- E_s : PC 鋼材のヤング係数
- d : 有効高さ
- ϵ_{sc} : PC 鋼材配置位置におけるコンクリートの有効プレストレスによる圧縮ひずみ
- ϵ_{cu} : 曲げ破壊時コンクリート圧縮縁ひずみ (一般には $\epsilon_{cu} = 0.25\%$ と仮定)
- x : 曲げ破壊時中立軸位置

F 値は、たとえば図—2 に示す直線配置 PC 鋼材を持ち 3 分点荷荷を受ける単純梁の場合には、

$$F = \frac{0.457}{a/b + 0.499} + 0.0836 \dots\dots\dots (6)$$

- a : せん断スパンの長さ
- $b = 2(l-a)$: 純曲げスパンの長さ
- $2l$: 支点間距離

である¹³⁾。(6) 式から $a=0$ (すなわち、部材全長にわたり純曲げを受ける場合) $\sim a=l$ (すなわち、中央 1 点集中荷荷の場合) に対し、 $F=0.0836 \sim 1$ の範囲に変化し、 a/b の値によって (5) 式の σ_s はかなり変化することがわかる。なお、(5) 式で中立軸位置 x は、 F 値がわかっているから、曲げ破壊時断面軸方向力の釣合式から容易に計算され、次いで曲げ破壊モーメントが通常の手法で計算できることは改めていうまでもない。ここでは計算式の記述を省略する。

以上述べたように、UPC 部材の曲げ破壊強度の計算

には曲げ破壊時 PC 鋼材応力がいかになるかを知らなければならず、実用式の一例をここに紹介したが、実際構造物の設計に適用するにあたっては、PC 鋼材配置形や荷荷条件など影響する諸因子も多いので、今後の検討課題といえよう。とくに、多スパンラーメンの梁に通し配筋を行ったような場合、地震時水平力の作用で PC 鋼材応力がどのように変化するかといった重要な問題も残されている。

(3) 地震時低サイクル疲労問題

耐震設計で重要なことは、地震時に構造物が受ける地震力に対し構造物各部の強度がこれを上回らなければならないこと、および、地震エネルギーを吸収するのに十分なじん性を確保しなければならないことである。PC 構造物は地震力に対しては終局強度設計を行っているので前者についてはある意味では保証されていることになる。後者については普通鉄筋を含む全引張鋼材量にある値に制限することによってこれを保証する手段がとられており、最近の研究では鉄筋係数の値を $q \leq 0.2 \sim 0.25$ とする必要があるといわれている¹⁴⁾。UPC 部材は同じ鉄筋係数を持つ付着のある部材とくらべて曲げ破壊に至るまでの変形量が大きく、じん性の点ではどちらかというやや優れてはいるが、とくにこの点を強調できるほどの有利性は持たない。したがって、じん性の点では付着のある場合と同等とみなしてもよいであろう。

一方、UPC 部材は付着のないことから地震時の高応力繰返しによって PC 鋼材が部材全長にわたって一様に伸縮し、これが定着端の疲労破断の原因となることが考えられる。とくに、建築架構では最外端隅角部を考えると、定着端と地震時最大曲げモーメントを受ける柱内側断面との距離が極めて短く、その心配がないでもない。このような地震時高応力繰返し作用による定着端 PC 鋼材の疲労 (低サイクル疲労) 破断の心配から、米国では 1960 年頃まで、ヨーロッパ各国ではつい最近まで、UPC の使用は危険視または禁止されていた。最近はその安全性の評価も徐々にかわり、地震力を受ける骨組架構にはまだ全面使用するまでには至っていないが、床板や小梁といった地震力の影響を受けない部材や、骨組構造であっても地震力の大部分を耐震壁等で負担させるようにしたものには、使用されるようになってきた^{15), 16)}。

図—4 は繰返し荷重の上限を静的曲げ破壊荷重の 60~90%、下限を 10% にして、UPC 梁の高応力繰返し荷荷試験を行った一例¹⁷⁾で、同一条件での付着のある梁のそれと比較してある。供試体はそれぞれ 22 体であるが、疲労強度は付着の有無には関係なく両者に差がないことがわかる。破断は UPC 梁 4 本が PC 鋼棒ねじ部の疲労破断、付着のある梁 5 本が PC 鋼棒中央部での疲労破断

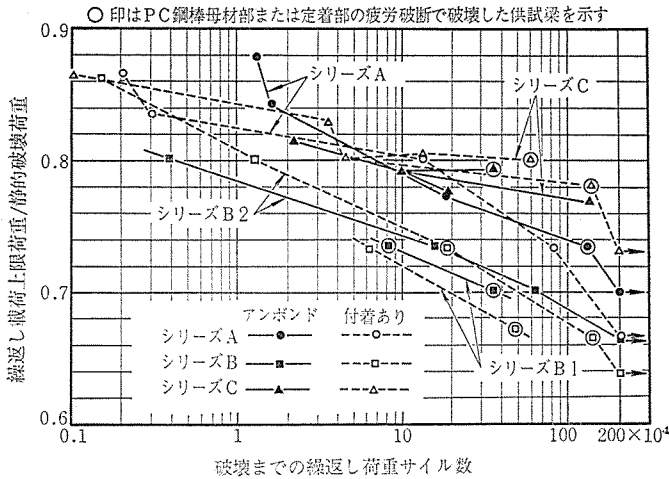


図-4 UPC および付着のある PC 梁の低サイクル疲労強度の比較の一例

(ただし、1本はねじ部破断)で破壊し、他はいずれも中央曲げスパン内での圧縮側コンクリートの圧縮疲労破壊であった。しかも、PC 鋼棒ねじ部または中央部の疲労破断は繰返し荷重の上限が 65~80% の範囲に限られ、このような上限荷重に対する疲労破壊までの荷重繰返しサイクル数は 10~200 万回であるので、構造物の耐用期間中に受けると思われる地震力繰返し数をはるかに上回るものと判断され、地震による低サイクル疲労破壊の心配はないものと考えられる。

もちろん、定着部における PC 鋼材の疲労強度は、一般に本体部のそれと比較して劣るのが普通であり、定着部における疲労強度が著しく劣化するような定着装置を用いた場合には、上記の低サイクル疲労が問題となることは否定できない¹⁸⁾。したがって、UPC を地震力を負担する骨組構造に用いるにあたっては、定着部の低サイクル疲労強度がどの程度であればよいかを検討する必要がある。現在、この種の研究は極めて少なく、今後の重要な課題として指摘しておく。

4. PRC 構造の位置づけ

RC にわずかなプレストレスを導入することにより、

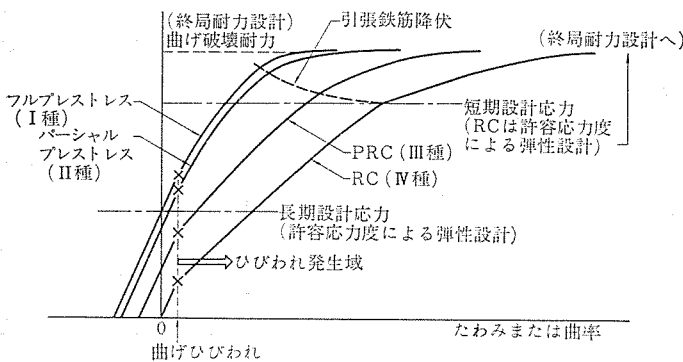


図-5 PC, PRC および RC 曲げ材たわみ曲線の比較

常時使用状態におけるひびわれ開口幅やたわみを制御しようとする PRC 構造は、P.W. Abeles の提唱によるもので¹⁹⁾、1970 年に発表された CEB-FIP コンクリート構造物設計施工国際指針²⁰⁾にとり入れられて以来、その利用性が注目され今日に及んでいる。図-5 は PC から RC に至るまでのコンクリート系各種構造の比較を、曲げ材の荷重たわみ曲線を例にとって示したものであるが、いずれの部材も曲げ破壊強度は同じ設計になっているにもかかわらず、導入されるプレストレスの大きさによって曲げひびわれ強度を自由に制御できることを示している。換言すれば常時使用状態におけるひびわれ幅やたわみを導入プレストレスの大きさによって自由に制御できることを意味しており、引張鉄筋の許容応力度によってひびわれ幅を間接的に制御している RC (すなわち、導入プレストレスが 0 の場合) と、常時使用状態のもとではひびわれが発生しないことを保証するのに十分なプレストレスを導入した、いわゆる本来の PC とをコンクリート系構造の両極とするならば、PRC 構造はこの両者の中間を埋めるものと位置づけられる。

5. PRC 構造の設計法と問題点

上記のように PRC 構造の出現によってコンクリート系構造の一貫した形態が整うことになるが、設計法についてはわが国では必ずしも一貫した思想体系の指針が整えられているわけではない。日本建築学会で作成中の PRC 構造設計施工指針(案)(以下指針(案)と略記)の審議過程で問題となった主な事項をまとめて以下に概説する。

(1) ひびわれ幅制御と必要プレストレス

RC, PRC を問わず、曲げひびわれ幅は引張鉄筋の存在応力、引張鉄筋比、鉄筋径、かぶり厚さ、断面寸法、鉄筋とコンクリートとの付着特性などによって複雑に左右され、たとえば、引張鉄筋の存在応力(換言すれば許容引張応力度の大きさ)だけでひびわれ幅を制御できるものではない²¹⁾。PRC 構造は本来の目的がひびわれ幅およびたわみ制御にあるので、長期荷重に対する設計はひびわれ幅制御目標値に基づいて行うのが理想であるが、上述のようにひびわれ幅に影響する諸因子が多いために、実用上はひびわれ幅制御目標値から出発する妥当な設計法を確立することは極めて困難が多い。日本建築学会 PC 分科会では、使用鉄筋径、本数、かぶり厚さをパラメーターとしてひびわれ幅制御目標値を満足するための引張鉄筋許容応力度を算出し、これ

と RC 断面設計図表を組み合わせることによって、PRC 断面の設計を RC の場合と同手順で行う方法を検討しているが、この場合に問題となるのは導入プレストレス力および偏心距離の決定である。一案としては固定荷重のもとではひびわれが発生しないことを条件に、ひびわれ幅とは無関係にこれを決めるという方法である。これは固定荷重と積載荷重の大きさの相対的關係や、積載荷重の性格（積載荷重の仮定値と実際の値との相対差や、荷重繰返し作用頻度など）にも関係づけて考えなければならないことであって、たとえば、積載荷重が固定荷重と比較して相対的に大きい場合には、固定荷重またはこれに積載荷重の一部を加算した荷重に対してフルプレストレスの設計となるような導入プレストレスとするなど、設計上の判断が必要となる。

(2) ひびわれ幅制御目標値について

導入するプレストレスおよび偏心距離が決まれば、長期荷重に対しては軸力と曲げモーメントを同時に受ける RC 断面の取扱いに必要な主筋を設計する。この場合、長期荷重作用による PC 鋼材応力変化は無視する。このようにして設計された部材の長期荷重時ひびわれ幅がその制御目標値を満足するかどうかを検討して長期荷重に対する設計を終わるが、ひびわれ幅計算式については提案式が数多くあり、簡便かつ適確な実用式の研究が急務である。指針(案)では漸定的に、阪大鈴木博士らの提案による次式を用いることにしている。

最大ひびわれ幅

$$w_{\max} = 1.7 l_{av} \cdot \epsilon_{sm} \quad (\text{cm}) \dots\dots\dots(7)$$

平均ひびわれ間隔

$$l_{av} = 2 \left(c + \frac{S}{10} \right) + 0.10 \frac{\phi}{\rho_e} \quad (\text{cm}) \dots\dots\dots(8)$$

引張鉄筋ひずみ

$$\epsilon_{sm} = \frac{1}{E_s} \left\{ \sigma_s - \frac{1}{\rho_e} \left(20 - \frac{3\sigma_s}{500} \right) \right\} \dots\dots\dots(9)$$

$$S = \frac{b - 2c - \phi}{m - 1}, \quad \rho_e = \frac{A_s}{(2c + \phi)b} \dots\dots\dots(10)$$

b : 断面の幅 (cm)

c : 引張鉄筋のかぶり厚さ (cm)

ϕ : 引張鉄筋の径 (cm)

m : 引張鉄筋本数

A_s : 引張鉄筋全断面積 (cm²)

E : 引張鉄筋のヤング係数 (= 2.1×10^6 kgf/cm²)

σ_s : 引張鉄筋存在引張応力, PC 鋼材ではデコンプレッションの状態からの引張応力増分 (kgf/cm²)

なお、平均ひびわれ幅は、

$$w_{av} = l_{av} \cdot \epsilon_{sm} \quad (\text{cm}) \dots\dots\dots(11)$$

から計算する。すなわち、(7) 式の最大ひびわれ幅は (11) 式の平均ひびわれ幅の 1.7 倍と仮定している。

ひびわれ幅制御目標値については、通常の場合は 0.2 mm 以下、きびしい条件におかれる場合には 0.1 mm 以下を標準に考えているが、問題はこのようなひびわれ幅のひびわれが発生した状態での PC 鋼材耐腐食性の研究がほとんど発表されていないことである。PC 鋼材は腐食に対して敏感であり、ポストテンション部材等でグラウト不良による腐食切斷事故例もあるので、PRC においてもひびわれを許容する一方で PC 鋼材の腐食に対する細心の配慮を欠いてはなるまい。もちろん、かぶり厚さが大きくなると PC 鋼材位置でのひびわれ幅は極めて小さくなるか、またはひびわれが生じないゾーンになるので、腐食の心配はなくなる。この意味で PC 鋼材に対するかぶり厚さをある程度大きくするのもその対策であるが、床スラブのように比較的薄い部材で十分なかぶり厚さを確保できない場合には、腐食の心配のないアンボンド PC 鋼材を用いるのがよい。なお、常時使用状態では通常は仮定したすべての積載荷重が常時作用することはごくまれであり、実際に常時作用する積載荷重は設計に仮定したそれよりもかなり小さいのが一般である。したがって、このような実際に作用する荷重に対してはひびわれは発生しないかまたは発生するとしても極めて微細で、実際上は PC 鋼材の腐食は問題とならないとする考え方もある。したがって、実際に持続作用する荷重を適確に把握できる場合には、その荷重の作用のもとで PC 鋼材配置位置までひびわれが伸展しないことを条件に部材設計するのも、PRC 設計方法の一つといえよう。

(3) PRC 構造の終局強度設計

地震力に対する設計は、RC では設計水平震度 0.2 に対する弾性設計、PC では設計水平震度 0.3 に対する終局強度設計を行っている。両者の中間に位置する PRC については、どちらかという RC に近い力学的性質を示すことから、RC に準じた弾性設計とすることも可能ではあるが、昨今の建築基準法施行令の改正によって大地震時の構造物の安全性を保有耐力によって検討する設計法が規定され、弾性設計によるよりはむしろ終局強度設計によるのが実際設計上は便利であり、また、設計上は構造物の終局強度を知ることができる点でも望ましい。指針(案)では PC に準じた終局強度設計によることにした。ただし、地震力を直接負担しない床スラブや小梁については、PC 設計施工規準に示されている曲げ破壊に対して考慮すべき応力の組合せを適用すると、常に長期設計荷重に対して必要とする引張鉄筋量を上回る鉄筋を必要とすることになる。この点を勸案して指針(案)では荷重係数をやや緩和している。漸定的に定め

解 説

られた曲げ破壊に対して考慮すべき応力の組合せを表一4に示す。なお、これらについては新耐震設計法ともならみあわせて、より合理的な荷重組合せに改められるよう、今後の検討がまたれる。

表一4 曲げ破壊に対して考慮すべき応力の組合せ

応力の種類	状態	考慮すべき応力の組合せ	主として適用される部材
長期	常時	$1.2G+2.0P+S^*$	スラブ、小梁など、短期応力を受けない部材
		$1.7(G+P)+S^*$	
短期	地震時	$(G+P+S^*)+1.5K$	柱・大梁、ただし、短期に対する応力組合せが長期のそれを下回るときには長期に対する応力組合せを用いる
	積雪時	$(G+P)+1.5S$	
	暴風時	$(G+P+S^*)+1.5W$	

G: 固定荷重による応力, P: 積載荷重による応力, K: 地震力による応力 (水平震度の基準値は 0.2), S: 積雪荷重による応力, S*: 多積区域の積雪荷重による応力, W: 風圧力による応力

6. コンクリート系構造物の設計思想統一

すでに述べたように PRC 構造の出現により、RC から PC に至るすべてのコンクリート系構造の構造形式が一貫して確立されたことになる。現行の建築構造物の設計ではとくに短期荷重に対して RC では弾性設計、PC では終局強度設計によっており、一貫した考え方に基づく設計法にはなっていない。一方、終局時の破壊の様相は、たとえば、圧縮側コンクリートの圧壊により曲げ破壊に至るなど、構造形式によって全く相違はなく、計算式もすべてに共通して適用できること、また、図一5に示したようにどの構造形式に対しても同じ終局強度を持つような部材の設計が可能であり、長期設計荷重のもとでひびわれが発生するか否か、発生する場合にはひびわれ幅が厳しく制御されているか否かといった点がそれぞれの構造形式に対する基本的特徴としてみなされることなどを勘案すれば、RC—PRC—PCといった一連のコンクリート系構造物として、同じ思想に基づく一貫した設計法にこれらをまとめ上げることが強く望まれる²³⁾。新耐震設計法の適用が間近い今日こそ、このような設計思想統一をはかる、またとない良い機会ではなからうか。

7. 結 言

建築構造への PC の適用が土木構造物と比較してはかばかしくない理由は多く考えられるが、このような状況のもとでアンボンド工法や PRC 構造の出現は、建築構造にとって PC の利用拡大の有力な武器となり得ると考えられる。今回の建築基準法施行令の改正にもなっており、これら二つの構造の利用も法的に道が開かれようとしており、その普及が大いに期待される。本稿は、これら構造に関する問題点の二、三を列記するとどまっているが、これら構造の普及の一助ともなれば幸いであ

る。

参 考 文 献

- 1) 日本建築学会 プレストレストコンクリート 設計施工規準・同解説, 昭 50.1
- 2) 日本建築学会 プレストレストコンクリート 構造分科会: アンボンド工法用 PC 鋼材と施工時の取扱いについて, 建築雑誌, Vol. 94, No. 1153, pp. 57~64, 昭 54.7
- 3) T.Y. Lin: Unbonded vs. Bonded Tendons for Building Construction, with Particular Reference to Flat Slabs, Proc. of the FIP Symposium on Prestressed Concrete in Building, Sydney, Sept. 1976
- 4) 日本建築学会 PS 第3小委員会資料 No. 28, PC 矢板調査報告書 (高周波熱練 K.K.), 昭 51.10
- 5) 六車: 18年間の使用に耐えたアンボンド PC まくら木について, PC 技術協会第17回研究発表講演概要, pp. 7~8, 昭 52.11
- 6) 小池, 黒川: アンボンド PC 桁に関する研究 (第2報), 木更津工専紀要, 第8号, pp. 43~61, 1975
- 7) R. Park: Post-tensioned tendons in prestressed concrete—to grout or not to grout?, New Zealand Engineering, pp. 315~319, 15 Nov. 1975
- 8) ACI Committee 318, Building Code Requirement for Reinforced Concrete, American Concrete Institute, 1977
- 9) 坂, 六車, 中島: 付着のない PC 梁の亀裂および曲げ破壊耐力, 日本建築学会論文報告集, 第60号, pp. 645~648, 昭 33.10
- 10) 坂, 六車: 付着のない PC 梁の曲げ破壊耐力, 日本建築学会論文報告集, 第60号, pp. 641~644, 昭 33.10
- 11) J. Warwaruk, M.A. Sozen & C.P. Siess: Strength and Behavior in Flexure of Prestressed Concrete Beams, Bulletin No. 464, Engineering Experiment Station, Univ. of Illinois, Aug. 1962
- 12) A.H. Mattock, J. Yamazaki & B.T. Kattula: Comparative Study of Prestressed Concrete Beams With and Without Bond, J. of the ACI, Vol. 68 No. 2, pp. 116~125, Feb. 1971
- 13) 六車, 内藤, 新谷, 松本: アンボンド PC はりの曲げ破壊耐力に関する研究, 日本建築学会近畿支部 研究報告集 (構造系), pp. 69~72, 昭 53.5
- 14) R. Park & K.J. Thompson: Some recent research in New Zealand into aspects of the seismic resistance of prestressed concrete frames, Proc. of the 12th New Zealand Prestressed Concrete Institute Annual Meeting, pp. 98~108, Aug. 1976
- 15) P. Matt & W. Thorpe: Alternative Design Procedures for Post-tensioned Flat slabs in Buildings, Proc. of the FIP Symposium on Prestressed Concrete in Building, Sydney, 1976
- 16) P. Matt: FIP design recommendations for flat slabs in post-tensioned concrete using unbonded and bonded tendons, Proc. of the 8th FIP Congress, Part 3, pp. 15~23, May 1978
- 17) H. Muguruma: Study on low-cycle fatigue strength of post-tensioned unbonded prestressed concrete beams, プレストレストコンクリート, 第8回 FIP 大会特集増刊号, pp. 41~48, 昭 53.5
- 18) T. Brondum-Nielsen: Effect of Grouting on the Fatigue Strength of Post-tensioned Concrete Beams, Final Report of the IABSE Symposium on Resistance and Ultimate Deformability of Struc-

- tures Acted on by well defined Repeated Loads, pp. 71~82, Lisbon, 1973
- 19) P.W. Abeles: Design of Partially Prestressed Concrete Beams, J. of the ACI, Vol. 64 No. 10, pp. 669~676, Oct. 1967
- 20) CEB-FIP Recommandations internationales pour le calcul et l'exécution des ouvrages en béton, 1970
- 21) ACI Committee 224, Control of Cracking in Concrete Structures, J. of the ACI, Vol. 69 No. 12, pp. 717~752, Dec. 1972
- 22) 杉山, 田中: 最近の事務所 建築における 積載荷重についての調査研究, 日本建築学会論文報告集, 第165号, pp. 41~51, 昭 44.11
- 23) 六車: コンクリート系構造物の設計法——学会計算 規 準をめぐる諸問題, 建築雑誌, Vol. 93 No. 1136, pp. 21~25, 昭 53.6

◀刊行物案内▶

プレストレストコンクリート世界の動向と 新道路橋示方書による設計計算例

本書は第7回技術講習会のためのテキストです。その内容は、前半は世界における PC の動向として、諸外国の特殊な PC 橋施工例 Alm 橋ほか数橋と LNG タンクについて、また建築構造物については最近世界的に関心の高まってきたアンボンド PC 工法をとりあげ、その理論と利用法について詳しく説明されている。後半には新しいコンクリート道路橋示方書に基づいた設計計算例として、静定構造物についてはポストテンション単純Tげた橋について、また不静定構造物については連続げた橋について詳細折込付図を添付し詳述されている。実務者には必携の図書としてお勧めいたします。希望者は代金を添えプレストレストコンクリート技術協会にお申し込みください。

体 裁: A 4 判

定 価: 3,000 円 送 料: 400 円

内 容: プレストレストコンクリート世界の動向——(A) 土木構造物——Alm 橋, Ruck-A-Chucky 橋, Columbia 斜張橋, Brotonne 橋, Carpinto 橋, Fos-sur-Mer, Montori-en-Bretagne の各 LNG タンクほか, (B) 建築構造物——アンボンド PC 工法の発達の歴史, アンボンド PC 鋼材と防せい材, アンボンド PC 部材の曲げひびわれおよび曲げ破壊耐力, 曲げひびわれおよびたわみ特性と普通鉄筋の必要性, アンボンド PC 部材の曲げ疲労耐力, フラットスラブ構造, Ⅲ種アンボンド PRC 構造, 新コンクリート道路橋示方書による設計計算例, (C) 静定構造物設計計算例——設計計算の対象, 材料強度・許容応力度等, 曲げモーメントが作用する部材としての設計, せん断力が作用する部材としての設計, (D) 不静定構造物設計計算例——不静定構造物の断面力の算定, 設計条件, 各部の設計ほか, 折込付図 4 枚