

特集

PRC (パーシャル)

PRC (パーシャル)

鉄筋コンクリート (RC) 構造とプレストレストコンクリート (PC) 構造とを両極端として、それらの中間に位置するコンクリート構造、即ち、プレストレスト鉄筋コンクリート構造は、その構造的長を活用して、世界的に各種コンクリート構造物に適用されてきています。

このプレストレスト鉄筋コンクリートに対する表現として、現在統一された用語はなく、外国では通常 partially prestressed concrete と称されています。

本特集号の標題“PRC” (Prestressed Reinforced Concrete) という用語は、最初、横道英雄博士によって RC に近い部材に対して用いられたものですが、本標題では、PRC が RC と PC の中間のコンクリート構造全般を示すという意味で、また、土木学会 PC 標準示方書でいうⅡ種 PC である partially prestressing という用語と混同しがちな我々日本人が“パーシャル”という言葉に馴染んでいく意味で、今回の特集号の標題とさせて頂いています。

パーシャルプレストレスト コンクリートの実用を盛ん にするために

西 澤 紀 昭*

* Noriaki NISHIZAWA
中央大学理工学部教授

ひびわれ

鉄筋コンクリートは 19 世紀半ばに誕生した。その設計理論が最初に発表されたのは、1887 年 M. Könen によってである。100 年の歴史をもつ RC の力学の特徴というべきか、最大の特異性とするべきかは、部材断面のうち、引張側のコンクリートを力学上考慮しない点である。RC 部材の引張側には必ずひびわれが発生するから、このひびわれゆえに、中立軸から引張側断面のコンクリートを全く無視するという、誠にさっぱりした、割り切ったというべき理論であって、一種の開き直りさえも認められる。

コンクリートにはひびわれが付き物であるとして、あきらめてしまった RC にあきたらなかつたのが、E. Freyssinet であった。1928 年プレストレストコンクリートの実用は、ひびわれを克服せんとする彼の執念の所産であるといえる。コンクリートに引張応力が生じないように設計するフルプレストレッシングは、ひびわれの存在を拒否した設計理論であって、徹底的で、断乎たる哲学すら感じ取れる。

1961 年発表の横道英雄先生の PRC 設計理論は、開き直りでもなく、断乎たるものでもない手法である、と言える。RC にプレストレスを加えて、あきらめていたひびわれ幅を制御しようというものである。これは、RC を出発点として、PC へ向けて動き出した新傾向であった。一方、1968 年スイスでは SIA 612 でパーシャルプレストレッシングを規格に初めて採用した。ある程度までの引張応力がコンクリートに発生するのを認める設計法は、Freyssinet の断乎たる PC から、ひびわれを認める PC への変針であり、これは RC の方へ向かっているとと言える。

RC 100 年、PC 60 年の歴史をふり返って見ると、その主役はひびわれであったことが認められる。このひびわれにノータッチだったのか、ひびわれをシャットアウトしようとしたのか、あるいはひびわれを制御しようとしたのか、すなわちひびわれに対してどのような態度をとったか、これをどのように扱ってきたか、によって、設計の理論と手法が違った形で生まれてきたことがわかる。

設計の不確定性

図は、パーシャル PC あるいは PRC を、曲げモーメントの大小によって、フル PC および RC と比較したものである。この図によって、それぞれの設計手順を追ってみよう。

(1) 引張縁コンクリートの応力度を 0 とする曲げモ

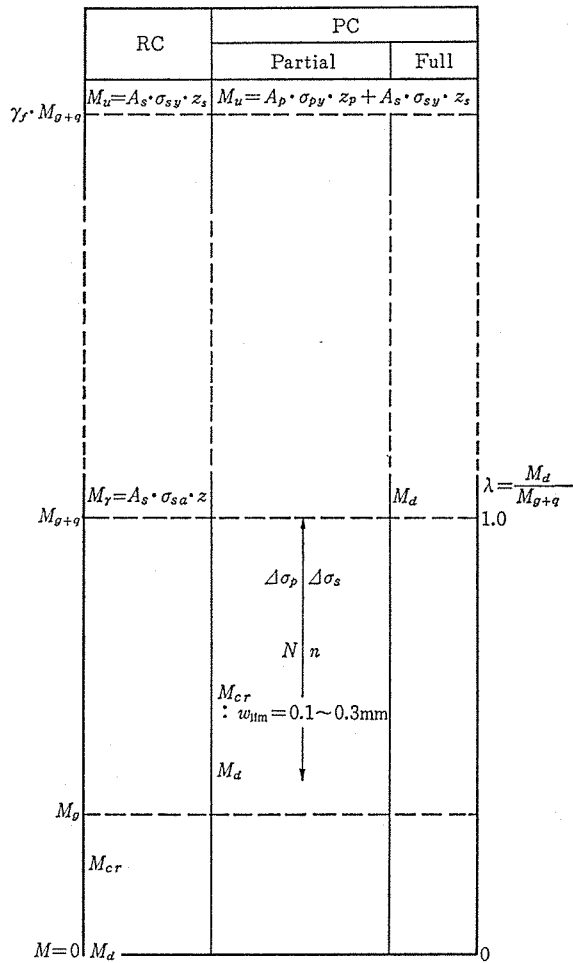


図-1 RC および PC の曲げ部材の設計条件

メント、すなわち Decompression Moment M_d が、曲げ部材断面の設計の出発点である点は、パーシャル PC もフル PC と同様である。ここで、プレストレスの大きさと偏心量が求められ、PC 鋼材の断面積 A_p が決まる。

(2) 曲げ耐力 M_u は、設計終局曲げモーメント $\gamma_f \cdot M_{g+q}$ より大きくなければならない。

パーシャル PC では、 M_u 式に (1) の A_p を入れて、鉄筋の断面積 A_s を決定する。すなわち、 M_u は、 A_p による分担分 $(M_u)_p$ と、 A_s 分担分 $(M_u)_s$ とに分けられる。

$(M_u)_p/M_u$ 、すなわち Partial Prestressing Ratio (PPR) を、まず選定して、ここから設計をスタートさせれば、 M_u から A_p と A_s とが同時に決まる。

フル PC の M_u は主として A_p の降伏で決まる。

RC では、 M_u は A_s のみで決定される。この A_s は、抵抗モーメント M_r が作用設計曲げモーメント M_{g+q} より大きくなるように予め決定されたものである。

(3) A_p と A_s とを配慮して、使用状態における断

面応力を求め、許容応力度 σ_{pa} 、 σ_{sa} 、 σ_{ca} をこえないことをチェックする。

(4) たわみが許容値以下であることをチェックする。

(5) パーシャル PC では、 A_s を配置して、使用状態におけるひびわれ幅が限度 w_{lim} 以下であることをチェックする。

(6) パーシャル PC の PC 鋼材応力増加 $\Delta\sigma_p$ および鉄筋応力増加 $\Delta\sigma_s$ を求め、これらが繰り返される載荷回数 n および各鋼材の疲労破断繰返し回数 N を用いて、疲労破壊に対する安全度をチェックする。

* * *

パーシャル PC の断面設計手順の特色は、 A_p と A_s とが一義的に決まらない点にある。(1) において決定した A_p は、図において $M=0$ から M_{g+q} の間で、 M_d を選んで、求めたものであった。 M_d/M_{g+q} 、すなわち Degree of Prestressing: λ を 0~1.0 の間で選定しなければ、 A_p は決定できない。あるいは、(2) に述べたように、PPR を選定しなければ、 M_u 式から A_p 、 A_s が決定できない。

λ の値を選択することは、いつコンクリートにひびわれが入るか、すなわちひびわれ曲げモーメント M_{cr} の大きさを決定することでもあり、またいかなる荷重状態のとき、ひびわれが制限値 w_{lim} 程度までは開くとしてもよいか、を判断することとも直接関連しているのである。

PPR の値の選定は、使用状態の部材挙動とは直接結びついてはいないが、 A_p と A_s が決定され、これがひびわれなどの状態に影響することは明らかである。

パーシャル PC の設計には、 λ あるいは PPR を選定しなければ、断面が決定できないという不確実性があり、またこれらの値の適正な選択がキーポイントになっているという特色がある。適正な選定の裏づけとして、鋼材量 $A_s + A_p$ あるいは鋼材費 $\alpha A_s + \beta A_p$ を小さくするという経済的理由を採り、 λ は 0.45~0.60、PPR は 0.40~0.85 の範囲を推奨している報告もある。

パーシャル PC 設計手法の不確実性は、設計者の自由裁量の広いことを意味しており、研究者の興味を大いにそそるものである。しかし反面では、この不明確さがパーシャル PC の実用化を阻んでいることも見逃せないのである。

使用時限界状態

1970 年代には、RC、PC の部材について、ひびわれの研究が多く発表されている。これらが、1960 年代後半から世界的な流れとして動き出した限界状態設計法と

論 説

関連あることはもちろんである。この設計法では、使用時の限界状態の一つとして、ひびわれ幅が採り上げられ、鋼材の腐食防止の点から、これを制限値以下とすることとしているからである。

限界状態設計への動きは、また PRC 化あるいはパーシャル化の動向とも、時期が一致しており、更にひびわれを主要な設計条件としている点でも、軌を一にしているのである。

曲げやせん断を受ける部材のひびわれ幅推定の方法が、研究成果として多数提案されており、更にこれらを基として、ひびわれ幅推定式が各国の規格にかかげられている。

ひびわれ幅は、鉄筋の種類、直径、量、かぶり、配置、引張応力などから推定され、この推定値が制限値をこえるときは、鉄筋の量や配置を変えなければならない、とされている。

これらのひびわれ幅推定式の結果を比較してみると、大小さまざまであり、数倍の差すら認められるほどである。この点からも、PRC あるいはパーシャル PC の設計手順の不明確さが指摘されており、ひびわれ幅制御は主要な設計手順たりえないとの主張もある。更に、ひびわれ幅の制限値 $w_{lim}=0.1\sim 0.3\text{ mm}$ の数値は、鋼材の腐蝕やコンクリートの劣化を防止するための限界値として、それほど重大な意味をもっているわけではなく、むしろ、RC、PC の部材の耐久性は、コンクリートの品質や施工の優劣の程度に大きく左右されるから、ひびわれ幅のチェックは不要であるとする立場もある。

ひびわれ幅を設計手順から除くかわりに、鉄筋の径、量、配置などの構造細目や鉄筋の組立、シースの配置、コンクリートの締固めなどの施工細目を規定し、これを確実に実行すべし、とする考えの方が現実的であるとの議論もある。

ひびわれ幅を制限する方法として、有効で実用的であるのは、使用状態における鉄筋引張応力の制限である。この制限値をどの程度にすべきかは、上述の構造細目と関連させて決定すべきであり、実験的研究のほか、パーシャル PC の実橋の調査や経験の成果の蓄積に期待するしか今のところ方途がないかもしれない。

疲 勞

前節 (3) で述べたように、PC 鋼材、鉄筋およびコンクリートの使用状態応力を計算し、これらをチェックすることは、ひびわれ幅のチェックよりも重要である、とする考えもある。既に述べたように、鉄筋の引張応力を制限することによって、ひびわれ幅制御の目的をも兼ねることができることのほかに、前節 (6) で述べたよう

に、疲労に対するチェックに必要な PC 鋼材応力増加 $\Delta\sigma_p$ および鉄筋応力増加 $\Delta\sigma_s$ を求めるのに、 σ_p 、 σ_s の正確な計算は不可欠であるからである。

使用状態における応力計算の結果には、コンクリートのクリープと乾燥収縮の量が影響し、これらの推定が重要であることは論をまたない。PC の歴史とともに蓄積された、これらに関する資料やノウハウの量は、たしかに膨大であるが、PRC の経時変形については、質・量ともに劣るようである。これは、PRC 部材には、相当量の鉄筋が配置されているため、これがコンクリートのクリープや乾燥収縮にどのように影響するか、不明な点が少なからず残されている。無筋ではなく、鉄筋コンクリートのクリープと乾燥収縮に関する実験データや変形理論がまたれるところである。

更に使用時の応力計算に必要な資料は、 A_p と A_s の応力分担の割合についてである。これは、PC 鋼材と鉄筋とではコンクリートとの付着性状が大いに相違しているため、コンクリートとの応力伝達に差があるはずであるからである。コンクリートと直接付着している異形鉄筋と、シーとグラウトを介してコンクリートと接している PC 鋼材とが、その応力分担を単に A_p と A_s の比で分け合うはずがない。更に、これら鋼材の表面性状や表面積の大小とその分布、ひびわれ発生後の応力分布の変化、など、複雑なファクターが多い。これらを総合した、実用的な解決を早急に手にすることが今後の課題である。

前節 (6) に述べた疲労のチェックのさいに必要なデータとして、PC 鋼材の疲労性状があげられる。パーシャル PC の疲労破壊は、主として鉄筋の疲労破断によって生じるから、RC 部材と同様に取り扱うことができる、との議論もある。しかし、 $\Delta\sigma_p$ がある程度以上大きくなると、PC 鋼材の疲労破断も起こりうるのであって、PC 鋼材の応力レベルと応力振幅とに関する疲労実験データが不可欠である。

フルプレストレッシング PC では、荷重変動による応力増加が小さい点に特色があったため、大きい応力振幅による疲労に関する資料は不足しており、PRC ゆえに新たに必要になった疲労データの早急な集積・整理がのぞまれる。

PC 鋼材の応力増分 $\Delta\sigma_p$ は、 M_d と有効プレストレスの大きさ、大荷重のひん度と大きさ、永久荷重による曲げモーメント M_g と、変動荷重をも含めた曲げモーメント M_{g+q} との比、などに影響される。すなわち、 $\Delta\sigma_p$ は、PRC あるいはパーシャル PC においては、これらの部材や構造の形式、死荷重と活荷重の割合、活荷重に占める大荷重の割合と載荷回数、 M_{g+q} あるいは

M_g に対する M_d の比, PC 鋼材の有効引張応力度 σ_{pe} と引張強度 σ_{pu} あるいは降伏点 σ_{py} との比, など主要な設計条件のほとんどに関係している。このように疲労については, 設計上説明すべき問題点が多くあり, 比較設計による検討のみでなく, 実験や調査などをも実施して, 研究しなければならない究明点でもある。たとえば, 高速道路における大型車のひん度と重量の実態, これらが橋梁の構造形式やスパン割りなどの相違によって及ぼす曲げモーメントの変動, などの調査研究である。

実 用

パーシャル PC あるいは PRC を設計して気づくこ

とは, そのフローのなかにループの多いことである。これは, 既に指摘したように, その設計の不確定性によるものである。設計のプロセスが複雑で, 長く, しかも多くの判断を必要とすることは, パーシャル PC の設計を少数のスペシャリストのみに限ってまかせてしまう結果になるおそれを意味している。この傾向は, RC と比べてみて, PC の設計に既に認められているところである。

パーシャル PC あるいは PRC の実用を盛んにするためには, その設計手法の簡潔化がかかせない条件であると信じている。RC 設計の見事な簡便さと実用性を, PC 設計にも大いに採り入れたいものである。

◀刊行物案内▶

プレストレストコンクリート技術の現況

本書は全国七都市で行った第 10 回 PC 技術講習会のテキストとして編纂したもので, PC 技術の現況と題し, 下記に示すとおり内容も豊富なものとなりました。地区によってはテキストの不足を生じた会場もあり, 大変な盛況でした。その内容は大きく 4 項目からなっており, すなわち PC の設計に関する各国の規定, PC 鋼材について, 建築に関する PC 部材の接合法, さらに今度の編纂に最も力点を置いた PC 橋の架設工法総覧であります。

特に最後の項は, PC 橋梁関係者にとっては, 最近の新しい工法も採りいれられていることにもより, 大変よくまとまった格好の資料になることと思います。掲載資料を欲ばり, 頁数が多くなり過ぎた嫌いがありましたが, ご自身の勉強のためもさることながら社員教育用にも最適かと存じます。ご希望の方は代金を添えて (社) プレストレストコンクリート技術協会 (電 03-261-9151) 宛お申し込みください。

体 裁 : A 4 判 216 頁

定 価 : 5,000 円 送 料 : 800 円

内 容 : (A) プレストレストコンクリートの設計に関する各国の規定 (主としてひびわれ発生許容プレストレストコンクリートについて)。(B) PC 鋼材について。(C) PC 部材の接合法 (その力学的基本特性)。(D) プレストレストコンクリート橋の架設工法総覧, 1) 概説, 2) PC 桁の移動架設工法, 3) 場所打ち工法 (支保工), 4) プレキャストブロック工法, 5) カンチレバー工法, 6) 移動支保工, 7) 押出し工法, 8) PC 鉄道橋の架設。