

学会制定の「プレストレスト コンクリート 設計施工指針」について

坂 静 雄*
岡 田 清**
六 車 熙***

昨年6月学会において「プレストレスト コンクリート設計施工指針」を制定発刊されたことは、わが国におけるPCの発展に大きな貢献をなすものとして喜ばしいかぎりである。筆者らは日本材料試験協会PC鋼棒委員会の委員として、鋼棒使用のPCについて調査研究を進めてきた関係上、本指針が鋼線使用のPCを対象として制定されているとはいえ、そのPC鋼棒への適用の適否について検討を重ねつつあるので本指針について若干の意見をのべたい。指針の巻頭に吉田徳次郎博士が述べていられるように、指針に対する意見の開陳は、将来の標準示方書制定への一つの礎石ともなることを信じ、あえて筆者らの意見希望をのべ参考に供したい。

本指針の制定にあたっては、主として独、英、仏諸国の示方書、文献を参考にし、国内における研究、従来の経験、等をも考慮し、現在の実情に即したものを目標とされているのであるが、PCに関する知識と技術の日進月歩はいよいよ急速であるから、今後それらの適正な採用によつて、さらに充実した指針とするよう努力されることを改めて要望したい。

本指針に対してまず述べたいことは、単なる静定構造のみを対象とし、不静定構造への応用の発展性を考慮して、説明あるいは解説を加えられていないこと、またそれに関連するが、構造物に地震力、風荷重、等の生起不定な大きな荷重に対しての設計規定なり、配慮が払われていないのは残念である。これらの荷重に対しては総則においてその設計方針を定めておくか、あるいは許容応力度の規定で若干の補足を加えるのが望ましい。以下本指針の各条について簡単に気づいた点をのべる。

1. 2条「定義」中の「フルプレストレッシング」と「パーシャルプレストレッシング」の定義がやや明確をかく。とくに設計荷重の意味が明瞭でない。後述の31条の解説においては、設計荷重の意味として、「プレストレスをあたえてから使用開始後の各階段における荷重」としてあるが、本項においてもこのことを明示されたい。したがつて上記意味の設計荷重下においては、フ

ルプレストレッシングの場合、後述42条「フルプレストレッシングの場合の部材引張部の設計」に規定してあるように、部材引張部に引張応力の発生することは許されないから、55条「許容引張応力度」の規定中にもこのことを示しておくべきであろう。DIN 4227ではこのことを明示してある。

また一般にパーシャルプレストレッシングとして分類されているものは、同じく上記31条で規定の設計荷重下において、引張応力の発生を許すものを広く包含し、そのうち本条規定のように引張応力度が許容引張応力度を超えてはならないと制限を設けたものは、制限付パーシャルプレストレッシング (beschränkte vorspannung) とよばれているものである。これらについて解説の補充が望ましい。

2. 3条「記号」中の

(i) A_e =PC鋼線断面積の n 倍とコンクリート断面積との和(換算断面積)となつていますが、普通鉄筋併用の場合もこの項の中に含まれるように訂正されたい。 A_s =鉄筋の断面積の規定がある以上、このことはつけ加えられるべきであろう。

(ii) e_p =PC鋼線の図心とコンクリート断面の図心との距離(PC鋼線の偏心距離)となつていますが、PC鋼線が幾段にも配置されているときには、PC鋼線の図心位置とプレストレス合力の偏心距離とは必ずしも一致しない。鋼線が一段に配置されているか、または幾段にも配置されているが、各段におけるプレストレス(鋼線応力度)が等しいときにかぎり、鋼線の図心と合プレストレスの作用点とは合致する。後述28条「計算上の仮定」の解説にも示されているように、応力度の計算に必要なものは合プレストレス力とその偏心である。したがつて e_p =全プレストレス力のコンクリート断面重心に対する作用位置、すなわち偏心距離とするのが正しい。

(iii) I_c =コンクリート断面二次モーメント

I_e =換算断面の断面二次モーメント

となつていますが、計算上の種々な誤りを避けるため、上記2つの断面二次モーメントがいかなる軸に対するものであるかを明記しておいた方が望ましいと考える。

3. 8条「PC鋼線」の解説中の図-aの減力時の応

* 正員，工学博士，京都大学教授，工学部建築教室1室
** 正員，工学博士，京都大学助教授，工学部建築教室
*** 准員，京都大学講師，工学部建築教室

力一ひずみ曲線がはつきりしない。図-b のように加力時の初期応力一ひずみ曲線と平行になるように訂正すべきである。

4. 16 条「プレストレスングについての注意」の解説中に、ポストテンショニングの場合は、鋼線のコンクリートよりの抜出し (spannweg) から、コンクリートの縮みを差引いたものが鋼線の伸びであることを書き添えた方が正しく、かつ親切である。

5. 27 条「PC 鋼線に与える引張力」の解説中、摩擦係数 μ , λ の値は、設計には $\mu=0.3$, $\lambda=0.4 \times 10^{-2}$ としてよいとしてあるが、実際には使用材料、施工法、等によつて種々変りうるものであるから、ただ実験方法と、実験結果例をあげておくにとどめ、設計に使用する数値として、明確に示しておかない方がよいのではない。

6. 29 条「PC 鋼線のヤング係数」ではヤング係数は試験により求めることになっているが、試験方法を明示すべきであろう。同様に 30 条「コンクリートのヤング係数」では、その試験方法および計算方法 (たとえば Initial tangent modulus か Secant modulus か) を明記しておく必要がある。

7. 32 条「最大応力度の計算を必要とする部材の状態」の解説中、コンクリートの応力状態については、プレストレスを与えた直後に、部材引張部には最大圧縮応力度が、部材圧縮部には最大引張応力度 (設計によつては最小圧縮応力度) が起るが、この状態は短時間のものであり、荷重は一般にこの応力を打ち消すように作用するから、これに対しては大きい許容応力度を用いてよいとしている。しかし 43 条の解説にもあるように、単純ばりの支点上、または連続はりにおいて、設計荷重による曲げモーメントが 0 なる点では、導入プレストレスは打ち消されない。したがつて材軸に平行な鋼線だけを用いた場合は、許容応力度その他を別に規定しておくのが望ましい。

8. 33 条「PC 鋼線のリラクセーション」の解説で、リラクセーションによるプレストレスの減少量は、一般には試験によつてこれを求めるが、設計の際には大体 5% を見込んでおけばよい旨を示してある。そして図-a の実験例をあげてあるが、これでは引張応力度の 64.5% の初期応力で緊張した場合、250~300 時間で 5% 近くのリラクセーションを示し、その減少曲線はなお増加の傾向を見せている。これらから推定して、設計に 5% の減少を見込むことに不安を感じずる人もなくはないであろうと思う。PC 部材中の PC 鋼線の実際の状態は、クリープとリラクセーション試験中の状態の中間にあると思われるのであるが、理論的には、リラクセーションについて、ある仮定をおいて、リラクセーションによるプレストレスの減少を計算すると、その減少量は、上記の

単なるリラクセーション試験結果による応力減少量そのものでなく、一般にそれよりも小さい。したがつて設計においてプレストレス減少量 5% と仮定するときは、リラクセーション試験では 5~12% 前後の応力減少を示すと仮定したことになるのであり、これらの点について若干の補筆がほしい。

9. 34 条「コンクリートのクリープ」、35 条「コンクリートの乾燥収縮」

この条項はコンクリートのクリープおよび乾燥収縮によるプレストレスの減少を計算する際のクリープ係数の定義とその値、乾燥収縮量とをあたえたものであるが、解説中にも示されたように、これらは DIN 4227 の値に準拠して、この計算にはドイツ式 (すなわち Dischinger の理論体系にもとづく) 計算法を用いることを予想されて定めているようである。例えば猪股氏が述べていられる設計法¹⁾をみても、このことは明らかである。わが国の現状よりみて、今日ただちにこの計算方法までを本指針中に明示することは困難であろうから、以上あたえられたクリープ係数、乾燥収縮量を用いる計算法として DIN の解説に示されているような近似式 (ただし、静定構造部材にのみ適用)

$$\sigma_{z\varphi} = \frac{\epsilon_s E_p - n\varphi\sigma_{BO}}{1 + n \frac{\sigma_{bv}}{\sigma_{zv}} \left(1 + \frac{\varphi}{2}\right)}$$

ここに $\sigma_{z\varphi}$: z の位置の PC 鋼線のプレストレス減少量

σ_{bo} : z の位置のコンクリートの導入時応力

σ_{bv} : PC 鋼線断面重心位置におけるコンクリートの導入時応力

σ_{zv} : PC 鋼線単位面積当りの導入プレストレス

ϵ_s : 乾燥収縮量

E_p : PC 鋼線のヤング係数

n : 弾性係数比

φ : クリープ係数

(上式は前記猪股氏論文中にも式 (59) として出されている) を示しておくか、あるいは設計上の資料として DIN があたえているようなクリープ、乾燥収縮による PC 鋼線のプレストレス減少近似値、ただしボンドのある場合) をあげておくことが適当かつ親切であろう。34 条、35 条の指針のみでは、その適用に際しとまどいする場合もあるからである。

10. 41 条「ポストテンショニングにおける PC 鋼線の定着」およびその解説中、計算に用いる定着部に加わる力として、鋼材の安全率に大体等しい 2 で PC 鋼線の破壊強さを割つたものを用いると、破壊時にはちょうど PC 鋼線と定着部とが同時に破壊することになると書いてあるが、この意味は明確でない。ボンドが与えられて

いるときには、PC 部材の破壊時には、普通の鉄筋コンクリート材と同じく、材全体にわたって PC 鋼線が伸びるのではなく、ひびわれの発生する部分においてきわめて大きな伸び、および応力が生じ、定着部ではボンドが完全に切れないかぎり、その伸びはひびわれ部の伸部に比べてきわめて小さいと考えられる。したがって PC 鋼線と定着部とが同時に破壊することは起らない。よつて本条項においては「設計プレストレスに対して定着部、定着具、定着板、等を設計する」と定めるにとどめておいた方がよいと思う。

11. 42 条「フルプレストレスリングの場合の部材引張部の設計」の解説中、設計荷重が作用したときに、部材引張部に引張応力が起らないように（このことは前述 1. にのべたように、許容応力の規定 55 条に明記する必要があるが）、部材の断面を大きくしたり、プレストレスの大きさを大きくしたりして、適当に設計するように書いてあるが、PC 部材では、ハリ高を最小にするとか、最も経済的な断面にするとかによつて、その決め方に相違はあるが、断面寸法、プレストレスの大きさは相互に関連して同時に決定されるものであるから、解説のこの文章は不適當であり、むしろ抹殺し、設計方法について参考文献をあげておいた方がよい。

12. 49 条「ひびわれに対する安全度」およびその解説においては、ひびわれに対する安全度の検討には、コンクリートの曲げ引張強度を基礎にとり、解説中の安全率 F に対する (a) 式

$$F = \frac{(\text{有効プレストレス}) + (\text{コンクリートの曲げ引張強度})}{(\text{荷重, 温度変化, 等による最大曲げ引張応力度})}$$

によつて計算するのが、理論上からも正しいように述べてあるが、これは一つの近似解であることに注意すべきである。コンクリートが曲げモーメント M と軸圧縮力 P をうけたときには、コンクリート全断面を有効として弾性式 $\sigma = -\frac{P}{A} + \frac{M}{W}$ で求められる破壊時の引張側縁維応力は、曲げモーメントのみが作用したときにえられる引張側縁維応力度、すなわち曲げ引張強度とは同じでなく、前者の方が後者より大きい。その程度は一般に軸圧縮応力度が大きいほど大である。PC 部材のひびわれについても同様のことが認められていて、これらについては Guyon²⁾ や著者ら³⁾ が理論的考察を加えてある。したがって、ひびわれ安全度は本条項の方法で近似的に計算されるということを付記しておきたい。

13. 52 条「斜引張応力度の計算」の解説中

プレストレスの伝達長について Ross の実験結果があげてあるが、これは PC 鋼線の直径、その表面の形、状態および引張応力度、コンクリートの強度、摩擦係数、等によつて左右されるのであるから、このことを一言付記されておきたい。

14. 57 条「許容斜引張応力度」(1)、において設計荷重をうけた場合の曲げ部材における許容斜引張応力度が規定されてあるが、曲線状に鋼線を配置する場合は、プレストレスを与えた直後（自重を加えてもよい）のときの斜引張力についてもこの条が適用されるべきであるから、57 条 (1) は「プレストレスを導入した後および設計荷重をうけた場合、曲げ部材……」と改めるべきである。

15. 本指針には、部材のたわみについてなんらの制限もないが、この点についても検討する必要があるのではなからうか。

以上のほか、条文の不適當と思われる点も二、三あるがここではのべない。

以上本指針について若干の希望、意見をのべたのであるが、これが PC 委員会の今後の本指針の改定に何らかの参考になれば、筆者らの喜びはこれに過るものがない。終りに本稿の執筆にあつて御援助を願つた日本材料試験協会 PC 鋼棒委員会の諸賢に厚く感謝する。

参考文献

- 1) 土木学会：「鋼橋設計示方書とプレストレスコンクリート指針」昭.30.8 夏期講習会パンフレット
- 2) Guyon：“Prestressed concrete”，1953
- 3) 坂・岡田・六車：「プレストレスコンクリートの龜裂荷重について」材料と設計，Vol. 1. No. 4, 1955.
坂・岡田・六車：「丸径太樺ポストテンション型 PC 梁の実験的研究」材料試験，Vol. 4. No. 26 昭.30.9

上記のような質疑が寄せられましたので、編集委員会ではその回答を土木学会プレストレスコンクリート委員会に依託、次のような答えを得ましたので掲載いたします。

なお会員の方で「プレストレスコンクリート設計施工指針」に対し御意見があれば、改訂の資料といたしたいと思っておりますから同委員会あて申出て下さい。

【編集部】

土木学会プレストレス コンクリート委員会

京大 坂教授、岡田助教授、六車講師から、本学会制定「プレストレスコンクリート設計施工指針」について意見の開陳があつたので本委員会として若干の説明をするとともに、将来本指針改正にあつての重要な参考資料とするものである。

不静定構造物への応用についての考慮説明を必要とするとの点について 本委員会発足当時においては、不静定構造物にプレストレスングを実施することによつて

おこる不静定力（ここで2次モーメントと呼ぶこととする）の計算法、またコンクリートの乾燥収縮およびクリープによる、この2次モーメントの変化の計算法、等についてある程度は明らかとなつてはいたが、破壊時にこの2次モーメントがいかなる役割をはたすかについて明らかとなつていなかった。終局強度をもととした破壊安全度の検討は静定はりの曲げについてはすでに明らかとされているが、不静定構造物のプラスチックヒンジ発生機構について、理論的にある程度は明らかであるが、PC鋼線断面積、その位置、コンクリートの圧縮強度、等に関係した、曲げモーメントと回転角との関係がまだ十分明らかとされていない。また可能な最大回転角も未知である。これらの事情からある程度の理論的解はできるとしても、不静定構造物破壊時のモーメントの再分配を確実に規定することはなかなか困難であり、これらの問題については諸外国においても研究中のことであり、本委員会においても、この点については将来の研究事項としたものである。

地震力、風荷重、等について 土木構造物で現在までのところ利用されている範囲においては、地震力、風荷重、等によつて構造物設計が決定されることは割合に少ないことは建築構造物の場合と非常に異なる点である。地震力の場合、いかなる程度の引張応力度を許容してよいか、また許容圧縮応力度をどれくらい増加させてよいか等は構造物の安全度、震度に関係するものであつて現在研究中の事項である。

1. 55条「許容引張応力度」の規定中にフルプレストレッシングの場合の補足説明を必要とする点については43条の規定があるから特別、55条に補足説明は不要と考えられる。

パースシャルプレストレッシングは定義中に許容引張応力度をこえない引張応力度となる……と規定してあるので、特に“制限付”は不要と考えた。

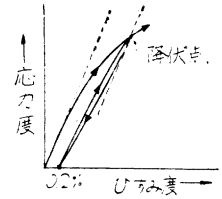
2. (i) A_s としてはプレストレスト コンクリートにおける基本的なものを示したものであつて、一般の場合組立用、その他ひびわれ安全度の点から配置される鉄筋断面積はコンクリート断面積に比して小さいので無視して計算する機会が多いので、 A_s については述べなかつたのである。

(ii) 普通的设计計算にあつて、全 PC 鋼線円心位置を考えてプレストレスを求めても実用の目的からは十分である。夏期講習会パンフレット「鋼橋設計示方書とプレストレスト コンクリート指針」(30年8月)中に説明してあるように PC 鋼線円心位置と圧力作用点との相違による補正値は実用計算では無視できる。また、数段の PC 鋼線引張応力度をすべて異なるようにすることは実際の作業面からあやまりを生じやすいので、全部の PC 鋼線引張応力度を最初引張るとき同一とするの

が实际的であると考へた。

(iii) コンクリート断面、換算断面の図心に関するものと書きかえて考へる軸を明示することとする。

3. 減力時の応力-ひずみ曲線は減力当初の加力時の応力-ひずみ曲線に平行となり、少しく彎曲しており、厳密には加力時の応力-ひずみ曲線に平行とはならない。この点 図-a をつぎのように訂正したい。



4. 本規定中の PC 鋼線全長の伸びの意味は、PC 鋼線の伸びの絶対量である。したがつて、測定する場合にはコンクリート無応力状態のとき、PC 鋼線のコンクリート端面位置にマークをつけておいて、このマークの移動量をコンクリート端面から測定すれば、コンクリート端面からの拔出しからコンクリート部材の弾性縮みをさし引いたものが PC 鋼線伸びとなる。

5. 基本的には測定によつて決定することを規定してあるが、設計者の便を考へて大体の標準をあて、PC 鋼線の長さ、角変化等に関せず常に一定の PC 鋼線の有効応力度を仮定するようなあやまりを設計者がおかないようにするための注意である。もちろん鋼棒の類を用いるときは異なる値となる。

6. 本指針では試験法の細部については述べなかつた。PC 鋼線のヤング係数としては応力度の低い所での initial tangent modulus でよいと考へる。それは、プレストレッシングのあとで PC 鋼線応力度はコンクリートの乾燥収縮、クリープ、によつて減少する。このときの応力-ひずみ曲線は応力度の低い部分の応力-ひずみ曲線に平行である。再び PC 鋼線応力度が増加する場合にも同じ直線に沿うものであると考へている。コンクリートにおいては、PC に用いられる高強度コンクリートにおいては応力-ひずみ曲線がほとんど曲線的であるから、initial tangent modulus でよいと考へる。

7. 本指針においては、プレストレスをあてた直後に一時的に大きい許容応力度をあてたのは実際上の便を考へたものであつて、あとで作用する応力度によつて打ち消すように作用されない場合でも、プレストレスをあてた直後では、この許容応力度が許される。しかし、コンクリートの乾燥収縮、クリープによつてプレストレスが減少したときには、54条の許容応力度をこえてはならないのである。

8. PC 鋼線レラクセーションについての補足説明が不十分であつたので、レラクセーションを5%としてよいことの説明を解説中に補足する。

9. コンクリートの乾燥収縮、クリープによる PC 鋼線引張応力度の減少についての近似式を補足し設計者の

便をはかることとする。

10. 付着のない場合をも含めて安全を見込んだ規定であるが、完全なグラウテングによつて付着のある場合には、定着装置を破壊してもけたの破壊荷重に変化がなかつた実験結果もわが国にあるので、この条の規定についてはさらに研究をする。

11. 実際の設計計算にあつては、最初に求めた、または仮定した断面寸法を本質的に変えることなく、下突縁の巾を少しく増加したり、偏心量を少しく増加したりしながら、許容応力度が満足されるようにしてゆくのが普通であり、この解説では実際の計算方式を述べたものである。

12. 本式が近似的であることは曲げ引張強度を表-5から仮定することで明らかと考へた。

13. Ross の実験結果について補足説明をすることとする。

14. 設計荷重の意味は当然自重だけの場合も含まれているので特別なことわりは必要でないと考へた。

15. たわみについては、それぞれの構造物に関する規定中にあるので特に規定しなかつた。

学会備付図書雑誌 (外国) 一覧 (11)

(昭 31. 3. ~4. 間に受付けの分、ただし土木に関係少いため省略したものあり、雑誌中号を追つて受付けのものは*印以外は省略した)

◎アメリカ

○Proceedings of the First Midwestern Conference on Solid Mechanics. Apr. 1953, Urbana, Illinois

◎イギリス

*○D.S.I.R. 関係

Building Research

○Building Research Station Digests

No. 82 (Nov. 1955) Building Mastics. Bonding New Concrete to Old

No. 83 (Dec. 1955) Index to Building Research Station Digests Nos. 1 to 82

Road Research

○Road Note

No. 14 (Second Edition) (1955) Prevention of Wet-Weather Damage to Surface Dressings

No. 20 (1955) Construction of Housing-Estate Roads using Granular Base and Sub-Base Materials

◎フランス

○A. Couard: Nouvelle Conception de la Résistance des Matériaux (Torsion, Effort Tranchant)

付記 学会備付図書雑誌 (外国) 一覧 (10) は 41-6
・文献目録欄に掲載

書 評

プレストレスト コンクリート構造物 (上・下)

猪 股 俊 司 著 日本セメント技術協会

現在ではプレストレスト コンクリート、すなわち PS コンクリートという名称を知らない土木技術者はいないであろうが、PC がどんなものであるかについてはつきり知らない人は案外に多い。これらの人も PC について一応の概念を得たいと思いつながらぬ、適当な解説書がないので心ならずもそのままになっているようである。そういう人たちにとつて本書は入門書として当を得たものだと思う。これは日本セメント技術協

会のコンクリート・パンフレットの第 43, 44 号として発行されたものである。著者は数年前同じシリーズの第 24 号に「プレストレスト コンクリート」という題名で PC について啓蒙的なものを書かれ、今度はこれを書直された形になっている。しかし PC が何であるかを知ろうとする人は旧著の第 24 号も同時に読まれることをすすめた。

PC にはまだ未解決の問題も多く、またここ数年の発展が激しか

つたと同じように、今後の発展もめざましいものがあると思うし、また PC の示方書も公表の準備が着々なされているようである。著者はこうした啓蒙的な著書を手がけられた以上、将来ある程度の間隔で半ば定期的に次々と続編を発表される責任があると思う。著者の現在第一線に立つておられる地位と経歴とから考へて、これも決して無理な注文ではないと思う。

著者：正員、極東鋼弦コンクリート振興 KK 設計部長、A5 判 (148 × 210 mm) 上巻 46 ページ・下巻 55 ページ、並製 定価 各 60 円