

P C 技術の応用 — 建築構造物への利用と問題点 —

京都大学教授 正会員 六車 熙

1. まえがき

わが国のプレストレストコンクリート（以下P Cと略記）技術の本格的な普及は、1952年のFreyssinet法の技術導入にはじまる。その後、1950年代後半から1960年代始めにかけて、Dywidag 法、BBRV法など種々の工法技術の導入、設計および施工規準・指針の整備などが相次いで行なわれ、P Cの構造物への使用普及の基盤が築かれた。以来、P C技術の発展はとどまるところを知らず、材料、工法、構造の開発、改良が行なわれ、きわめて多様化するに至っている。ここでは建築構造へのP C技術の利用に主眼をおいて最近の発達を概説し、将来への普及をはかるために解決すべき問題点などをいくつか述べてみたい。

2. アンボンドP C

アンボンドP C（以下UPCと略記）は1952年に米国においてフラットスラブ構造学校建築の床スラブに用いられたのが最初といわれている¹⁾。しかし、スラブの異常むくりや垂れ下がりがおこり、建設後間もなく取り壊されている。設計モーメントに対する過大または過小プレストレスがその原因と言われている。この事故を契機にフラットスラブ構造の適正な設計法の研究が行なわれ、今日の諸外国ではUPCフラットスラブ構造建築物が数多く建設されるようになった。わが国におけるUPCの研究は、1955年に筆者らが梁の曲げ載荷試験を行なったのが最初であろう²⁾。しかし、厳しい耐震設計を要求されるわが国では、主梁を持たないフラットスラブ構造は耐震性の面で問題が多いとしてあまり歓迎されず、UPCもほとんど顧みられることはなかった。1970年代にはいってスパンの増大に伴うRCスラブのひびわれ、大たわみ障害がおこり、UPCの利用によりこれを容易に防止できることから、わが国でもUPC技術がにわかに注目されはじめ、また、グラウトを行なわなくてもよい点が歓迎されて、UPCが建築物の梁や床スラブに使用されるようになった。

UPCの耐震性に関する問題の1つはP C鋼材定着部の低サイクル疲労破壊である。すなわち、構造物が地震時に受ける正負両方向の曲げモーメントによって、P C鋼材定着部に繰り返し引張力が作用し、これによって定着部の疲労破壊がおこると、部材全長にわたりプレストレス力が失われて、場合によっては部材が崩壊する懸念がある。そのため、UPCの使用は小梁、スラブなどの耐震部材以外の部材に限られている。大梁、耐震壁などの地震力を直接負担する耐震部材への適用をはかるためには、ぜひとも定着部を含むUPC部材の低サイクル疲労強度の研究を推進する必要がある。これについてはChung、宮本ら、筆者の実験的研究があり³⁾⁻⁵⁾、同一載荷条件のもとではUPC梁の低サイクル疲労強度はグラウトを行なった梁（以下GPCと略記）と同等であり、かつ、破壊はコンクリートの圧縮疲労破壊によるものがほとんどであること、GPCといえども定着部の破壊に

よる疲労破壊がおこることなどが明らかにされている。一例として宮本らのP C鋼棒を用いた実験結果を図1に示す。これによると、設計モーメントの2倍の上限モーメントで繰り返し曲げ載荷した梁ではP C鋼棒定着部破断で破壊しているが、破壊までの荷重サイクル数は30万回であり、地震時に部材が受けると思われる荷重繰り返し数は多くても100回以下であることからいって、耐震安全上問題とはならないと言えよう。ただし、定着部の低サイクル疲労強度が異常に弱いものを用いた場合には、定着部での疲労破壊が早期におこって部材の疲労強度を損なう恐れがあるので⁶⁾、UPCを耐震部材に使用する際の定着部の引張疲労強度の判定指針も併せて確立する必要がある。建設省では、告示1320号において、暫定的ではあるが定着部の安全性確認試験方法を示している。これは、コンクリートブロック端面に定着したP C鋼材を、

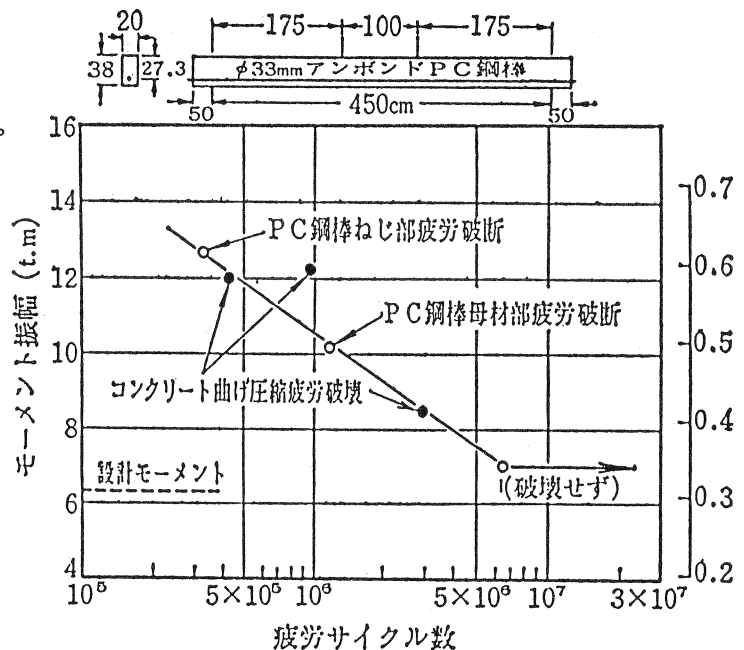


図1 UPC桁の疲労耐力試験結果(宮本ら)

表1 スtrandくさび定着部繰り返し引張載荷後の残留引張強度試験結果(竹本)

Diameter of unbonded 7-wire strand in mm	No	Applied cyclic load		Tensile strength after cyclic load apply in KN	Ratio of tensile strength obtained to specified value*	
		Load range in % of specified tensile strength from	to			No. of applied load cycles
φ 15.2	1	Monotonic		268	1.02	
	2			270	1.02	
	3	40	70	200	266	1.00
	4				272	1.02
	5	40	80	100	266	1.00
	6				266	1.00
	7	40	85	80	273	1.03
	8				268	1.01
	9	40	90	60	269	1.01
	10				263	0.99
φ 17.8	1	Monotonic		399	1.01	
	2			400	1.01	
	3	40	70	200	400	1.01
	4				400	1.01
	5	40	80	100	401	1.02
	6				400	1.01
	7	40	85	80	399	1.01
	8				398	1.01
	9	40	90	60	400	1.01
	10				401	1.02

* Specified tensile strengths are 266 KN for φ 15.2mm dia. strand and 395 KN for φ 17.8mm dia. one, respectively.

ロックに反力をもたせて $(0.5 \sim 0.9) \times$ (規格破断荷重) の荷重振幅で50回の繰り返し引張力をかけるもので、コンクリートブロックを含む定着部に有害な損傷または変形がおこらないことを要求している。しかし、この試験方法には引張力の繰り返し载荷後の定着部におけるPC鋼材の破断耐力についてはふれておらず、UPCの場合にはこれを規定することが必要であろう。竹本は、このような立場から上記コンクリートブロック定着体を用い、 $\phi 15.2\text{mm}$ 7本よりおよび $\phi 17.8\text{mm}$ 19本よりストランドの繰り返し引張载荷試験後の破断試験を行なって、表1の結果を得ている⁷⁾。下限荷重および繰り返し回数が上記告示の規定値よりもきびしいにもかかわらず、引張強度の低下はほとんど起こっていない。

UPCにとって解決しなければならないもう1つの重要問題は、定着部の防食を如何にするかである。これはGPCについても共通の問題である。アンボンドPC鋼材表面の防食被覆にはグリース、エポキシ樹脂、ポリエチレン樹脂、ポリプロピレン樹脂など種々の材料が使用されている^{8) - 11)}。これら材料の防食耐久性能については、塩水噴霧試験などの促進試験^{8) - 12)}、また一部では暴露試験や実際に使用に供したUPC部材の調査^{13) , 14)}などで十分であることが確認されているが、定着端部ではPC鋼材や定着具がコンクリート端面に露出し、モルタルなどを後施工してはいるものの、施工不良などでここからPC鋼材の発錆する危険性が心配される。同様なことがアースアンカーの定着部においても指摘されており、定着部の優れた防食処理方法の開発が望まれる。参考までに、Schupack提案のポケットフォーマー防食法を図2に示す。また、筆者はPC鋼材に加えて定着具もすべて接着性樹脂皮膜による防食を行なったものも開発している¹¹⁾。この場合、PC鋼材表面に防食被膜を付けたままくさび定着でき、かつ、軟質の防食被膜を介してくさびがかん合するので、防食被膜がクッションの役割をしてかえって一様なくさびかん合が可能になるなどの利点も確認されている¹¹⁾。

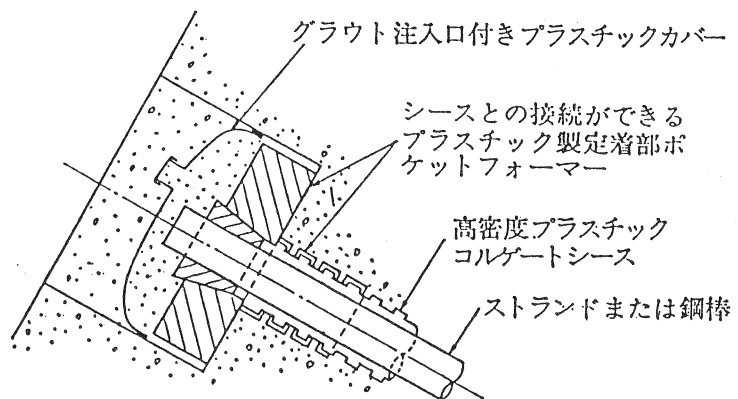


図2 定着部の防錆方法 (Schupackの提案)

3. パーシャリーPC

パーシャリーPC (以下PPCと略記) は、単純に言えば鉄筋コンクリート (以下RCと略記) 部材にプレストレスを導入し、常時使用状態における曲げひびわれ幅を耐久性を阻害する恐れのない限度以内に制御するもので、Abelesの提案になるものである^{15) , 16)}。1970年FIP-CEBモデルコードにIII種PCとして定義されてから急速に普及した。わが国でも部材のひびわれ幅をプレストレス導入によって直接制御できることから、RC構造物のひびわれ・大たわみ障害に悩まされていた技術者の関心が高く、1986年には日本建築学

会から設計・施工指針¹⁷⁾が刊行されて、建築構造物への使用が急速に進んだ。また、長期設計応力に対して最初に導入プレストレスを決め、以後はRC部材の設計法をそのまま適用する部材設計法を採用したため、ひびわれ幅のチェックはしなければならない点で多少の手間はかかるが、RCの設計になれた多くの技術者がほとんど抵抗なくPPCの設計に進み得たこと、プレストレス導入にはアンボンドPC鋼材を使用し、グラウト施工の手間が省けることなども、急速に普及した主因と考えられる。しかし、一方ではUPC工法が大梁、耐震壁などの耐震要素に自由に使用できないことから、最近では専らスラブや小梁に主として用いられるのみで、普及もひと休みといったところである。PPCの立場からもUPC工法の耐震要素への適用ができるよう、法改正に向かって前項でのべた定着部の低サイクル疲労安全性の確認データの早急な積み上げが望まれる。

なお、参考までに、PPC部材における導入プレストレス（プレストレス力およびその偏心距離）の選定方法を、図3の等分布荷重を受ける単純梁を例にとって概説しておく。PCの基本理念は、一般には、コンクリート断面の引張力の働く部分に予め圧縮力を与えておくことによって、コンクリートの引張抵抗力を増大することにあると説明される。このことを曲げ材について別の表現をすれば、

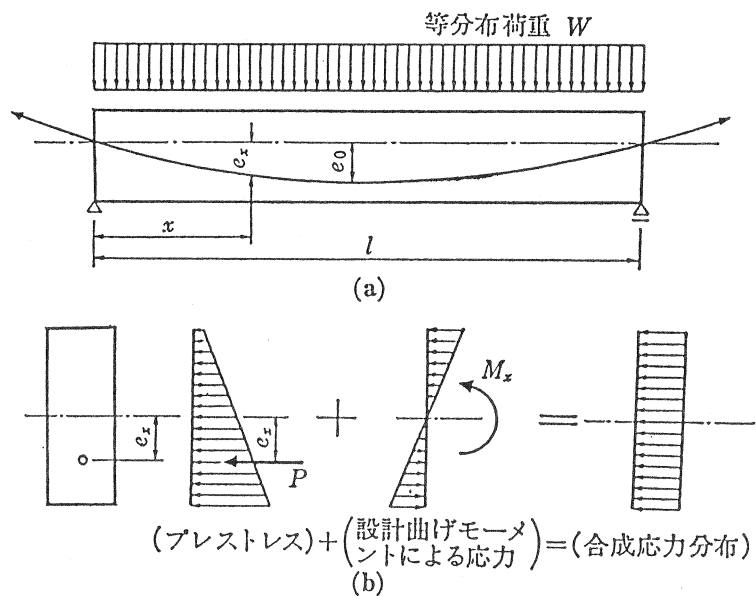


図3 荷重釣合法の概念 (T. Y. Lin 提案)

設計モーメントと逆方向のモーメントを予め部材に与え、これによって曲げひびわれ耐力の増大をはかるということになる。したがって、PC曲げ材では設計モーメント分布と相似な形にPC鋼材を配置すればよいことになり、図3の場合には2次放物線形の配置となる。このような配置形のPC鋼材を緊張してプレストレス力Pを導入すると、同図に示すように配置形に沿って垂直上向きの分布荷重が働き、結果として任意の断面にはプレストレス力PがPC鋼材配置位置すなわち偏心距離 e_x の位置に作用するとみなすことができる。すなわち、与えられる逆モーメント（換言すればプレストレスモーメント）は $M_{px} = P e_x$ となる。PPC部材ではひびわれ幅制御を目的とするので、全設計モーメントをすべて打ち消す必要はなく、たとえば部材自重による設計モーメント M_{dx} と等しい大きさの逆モーメント $M_{px} = M_{dx}$ を与えればよく、これからPおよび e_x を選定すればよい^{18), 19)}。このように導入すべきプレストレスを決定すると、自重によるモーメントだけが作用した状態では、部材は全

く真直となり、このことから上記のプレストレス決定方法を荷重釣合法とよんでいる²⁰⁾。

PPCの耐震設計はPCと同様に終局強度にもとずいて行なわれる。構造物としてはすべての部材にPPCが適用されるわけではなく、柱はRC、梁はPPCとされるのが普通である。最近、RC構造でも終局強度にもとずく設計が行えるようになったが²¹⁾、適用の範囲が靱性フレームに限られ、一般のRC構造物としては旧来の弾性設計法によることが多い。つまり一つの構造物で弾性設計法と終局強度設計法とが混用されることになり、構造物の各構成部材の地震時安全性がバランス良く保たれる設計になっているかどうか疑問が残る。梁をPCとするときにも同様である。この問題については次項に述べることにする。

4. 耐震設計の諸問題

前項で述べたPPCはPCとRCの谷間を埋めるもので、これの出現によってPCとRCを両極とする一連のコンクリート系構造が形成され、いずれもコンクリートの特性に支配されるものであることから、これらを別のカテゴリーにもとずいて設計することは本質的に意味のないことである。とくに入力エネルギーの著しく大きい地震を相手に安全性を確保するには、終局強度型の設計によるのが最も妥当であることは早くから言われていることで、諸外国ではすでにPC、PPC、RCといった設計上の区別はなく、同一基盤にもとずいた終局強度設計法を採用していることは周知である。前項に述べた耐震設計上の矛盾をなくするためにも、PCからRCに至るすべての構造に対し、同一基盤に立脚した終局強度型の統一設計法の確立が望まれる^{22), 23)}。

新耐震設計法の施行により、構造物の耐震設計の基本の1つとして保有水平耐力の検討が要求され、構造物の保有する崩壊耐力（厳密にはエネルギー吸収能力）が地震入力（厳密には地震入力エネルギー）を上まわることを確認しなければならなくなった。ところが構造物の規模（とくに高さ）等に応じて保有水平耐力の検討を行わずに弾性設計だけで済ませることができる道筋も残され、これがRCにおける終局強度設計への移行を妨げる原因の1つともなっている。このような例外的規定はすみやかに取り除かれるべきと考える。

一方、フレームによって地震力を負担する構造物の理想崩壊形としては、図4(a)に示す弱梁強柱型の全体崩壊形が一般的である²⁴⁾。このような崩壊形をPCまたはPRCフレームに要求すると、必要以上に終局強度の高いRC柱を設計せざるを得なくなって、きわめて不経済、場合によっては設計不能となる。これは、フレーム各層の柱高さに比べて梁スパンが大きくなるというPCの構造的特性にもよるが、終局強度による設計を行なっているPCまたはPPC梁の曲げ破壊強度が、主として弾性設計によっているRC柱のそれに比べてかなり大きくなることにも起因している。日本建築学会においては、このような設計上の不都合およびPCまたはPRC構造の特性にもとずき、図4(b)に示す部分崩壊形を追加し、さらに、壁最下層部で曲げ降伏または回転降伏する連層耐震壁形フレーム構造を加えて、設計の自由度を増やすことを提案している^{25), 26)}。参考までに上記3つの構造形態に対する地震時ベースシェアー係数規定値（案）を表2に示す。PCまたは

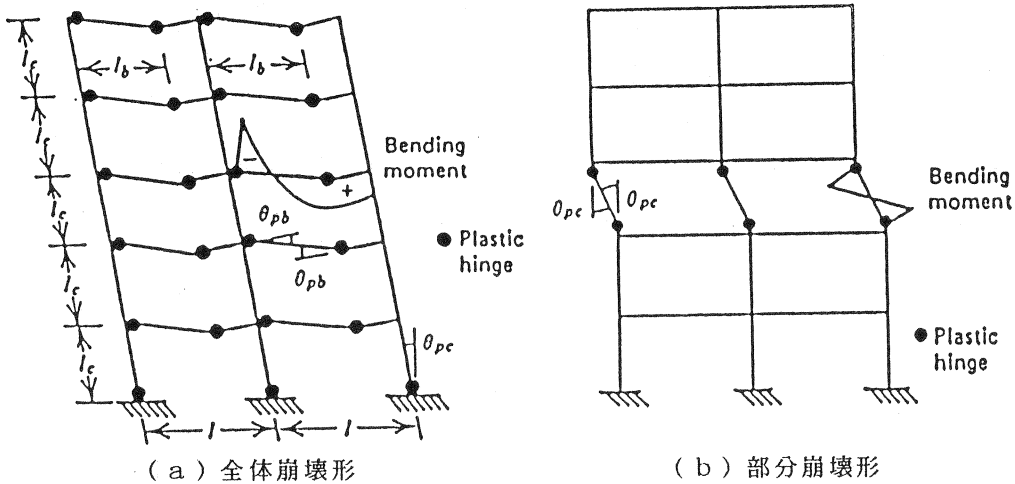


図4 靱性フレームの地震時水平荷重による崩壊形

PPC構造物のベースシヤ係数がRCのそれよりも大きく規定されているのは、PCまたはPPCになるほど地震入力が大きくなるという動的応答解析の研究結果を反映したものである²⁷⁾。

表2 コンクリート系建築物の終局強度による耐震設計用ベースシヤ係数（日本建築学会案）

構造種別	全体崩壊形 靱性フレーム	部分崩壊形 フレーム*	連層耐震壁形 フレーム
RC	0.25	0.35	0.3
PPC	0.275	0.3675	0.306
PC	0.3	0.385	0.315

*各層における部分崩壊強度の下層に対する比は原則として1.0~1.3の範囲になければならない。

耐震設計が終局強度にもとずいて行なわれるといっても、単に強さだけがあればよいというのではない。構造物の水平変位も安全性確保のための重要な要素であり、設計地震力に対する層間変位角の制限値を規定しなければならない。日本建築学会では、1/100を暫定的に規定している^{25), 26)}。また、構造物の各部材に生じるであろうヒンジの塑性変形能力が不足すると、想定した崩壊形に達する以前

に部材の局部崩壊がおこって、構造物の破壊につながる恐れがある。したがって、強さと同時に各部材に生じるヒンジの塑性変形能力が、想定した崩壊形を具現するのに十分であるかどうか併せて検討し、もし不足するのであればヒンジの塑性変形能力の改善をはからなければならない。すなわち、曲げ靱性設計を併せて行なう必要があり、強さ設計と曲げ靱性設計とは耐震設計における車の両輪と言えよう。部材のヒンジ発生域における曲げ靱性（または、曲率靱性）改善方法には種々あるが、最も実用的な方法としてはコンクリートの横拘束である²⁸⁾。すなわち、コンクリート系部材の曲げ破壊は圧縮側コンクリートの圧壊によっておこるが、横拘束するとコンクリートそのものの圧縮破壊ひずみが大幅に改善され、それだけ曲げ破壊時の部材曲率率が大きくなるので、ヒンジの塑性回転能力

が大幅に増大する。今日では横拘束コンクリートの技術が確立され、部材の曲げ靱性設計が可能となっている²⁹⁾。ただヒンジの塑性回転能力要求値を如何にして決めるかが問題である。日本建築学会では、一案として図5に示すように両端固定部材とした場合の部材角で1/50以上確保できるヒンジ塑性回転能力を付与しなければならないとしている^{25), 26)}。

5. プレストレス導入理念の拡大と応用

わが国にPC技術が導入された当時は、コンクリートの引張抵抗力の増大がプレストレス導入の役割と考えられていた。PPCの出現でその役割がひびわれ幅制御に拡大され、さらには、コンクリートの収縮ひびわれ防止などのように、構造的な要求からではないプレストレス力の利用も考えられるようになった。PCやPPCはプレストレス導入によって設計荷重負担能力を増大するPCの使い方であるのに対し、収縮ひびわれ防止は、設計荷重負担という構造的な要求からではない使い方である。

最近では、これら両面のPC技術の使われ方が多様化しつつあり、きわめて興味深い構造システムも登場しつつある。たとえば、アウトケーブルによる構造部材の補修、補強ある

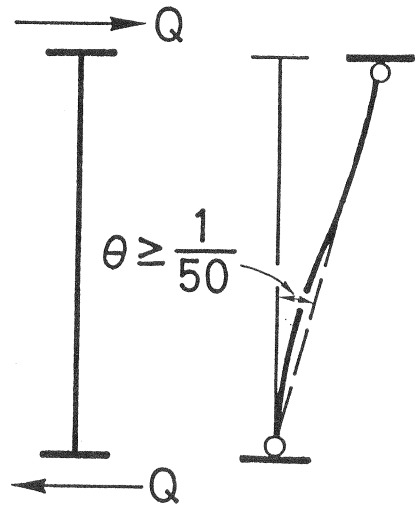


図5 塑性ヒンジの必要回転能力の決め方(暫定案)

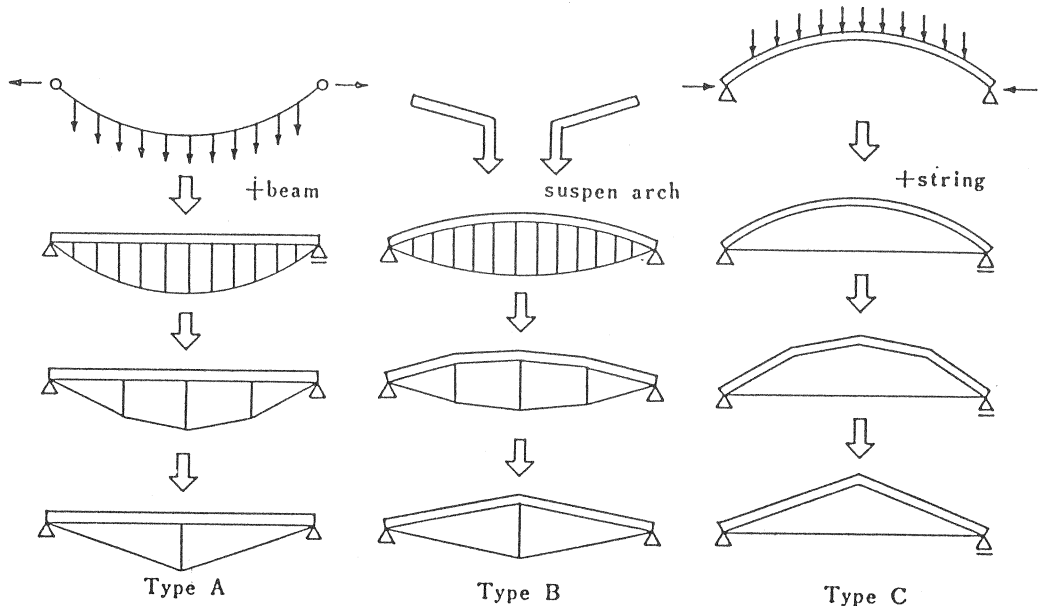


図6 張弦梁構造の原理と形態(斉藤による)

いは荷重負担能力増大は、P C鋼材の偏心距離を大きくとれることから、設計モーメントと逆方向の曲げモーメントだけを部材に与えるという曲げ材における最も理想的なプレストレスの与え方に近いものと解釈できるし、これをアーチのタイやトラス構造の下弦引張材に使用すれば、逆モーメントだけを部材に与えるという理想状態にさらに近くなる。3項図3で述べた荷重釣合法も同様の考え方にもとづくものであることはいうまでもない。このような方向で開発された一つの構造に張弦梁構造がある^{30), 31)}。図6はこれの3つの形態を示したもので、鉄骨構造による軽量大張間構造を可能にしている。張弦材としてはアンボンドP C鋼材が使用されており、鉄骨構造へのP C技術の応用として今後の普及が期待される。

プレストレスの非構造的使用のユニークなもの1つは、R C構造の柱梁接合部のわずかなプレストレス導入による特性改善である。R C柱梁接合部では地震時に受ける正負繰返しモーメントにより梁主筋の付着不足によるパネルゾーンからの抜け出しがおり、これが原因でパネルゾーンの拘束が失われて、斜めひびわれがパネルゾーンに発生し、せん断強度が損なわれる³²⁾。とくに、隅柱、外柱などの拘束がもともと少ないパネルゾーンにこのようなせん断強度の低下がおり易い。この防止策の1つとして、パネルゾーンを貫通して梁部材にプレストレス力を導入する方法がある。すなわち、パネルゾーンを貫通して緊張された梁部材のP C鋼材が弾性バネの役割をするので、パネルゾーンからの鉄筋の抜け出しを防止し、その結果、パネルゾーンのせん断強度の低下を防ぐばかりか、図7の説明図に示すように、パネルゾーンを含む柱梁接合部の復元力特性を著しく改善する。これに関する研究は筆者らの行なったものがあるだけで^{33) - 35)}、どの程度のプレストレス力を導入すればパネルゾーンの力学的特性を理想的なものに改善できるかについては、今後の研究に待たねばならない。

6. 結論にかえて

建築構造物における最近のP C技術の応用と問題点につき、思いつくまま述べたが、ここに取り上げた事項はその一部にしか過ぎない。圧縮強度1000kgf/cm²以上の超高強度コンクリートのP Cへの利用、連続繊維補強材(FRP)の緊張材としての利用、プレキャスト部材を用いた組み立て構造へのP C技術の応用など、今後の研究開発、普及の期待さ

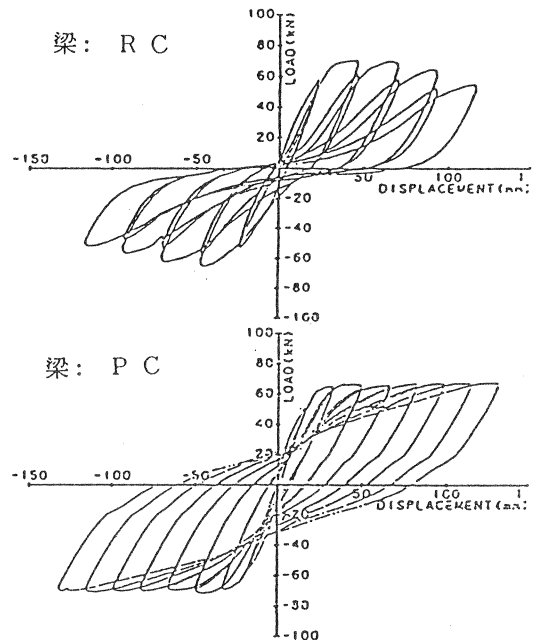


図7 柱梁接合部の繰返し曲げせん断荷重試験結果の一例(梁載荷点における荷重たわみ履歴曲線)

れる新素材、新技術は枚挙に暇がない。これらについては別の機会に譲りたい。本稿がP C技術の発展、普及に少しでも役立つことを願ってやまない。

(参考文献)

- 1) 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.
- 2) 坂、岡田、六車：太径丸棒ポストテンション型P C梁の実験的研究、材料試験、第4巻第26号、pp.525-533、昭30.4.
- 3) H. W. Chung : Unbonded Tendons in Post-Tensioned Concrete Beams Under Repeated Loading, ACI Journal, Vol.70 No.12, pp.814-816, Dec. 1973.
- 4) 宮本、岩崎、西郷、田母神、アンボンドP Cげたの疲労試験、鉄道技術研究報告、No.844、1973.3.
- 5) 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F I P大会特別号、pp.41-48、昭53.5.
- 6) 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 Structures Acted on by Well Defined Repeated Loads, pp.77-82, 1973.
- 7) 竹本：アンボンド工法用C C L定着具の性能試験、P C技術協会第21回研究発表会講演概要、pp.9-10, Nov. 1981.
- 8) 川端：アンボンド工法用P C鋼材について、プレストレストコンクリート、Vol.17 No.2, pp.42-47, 昭50.4.
- 9) V. Dorsten, F. F. Hunt & H. K. Preston : Epoxy Coated Seven-Wire Strand for Prestressed Concrete, PCI Journal, Vol.29 No.4, pp.120-129, July/Aug. 1984.
- 10) 小須田、安部、高瀬：アンボンドケーブル用材料(土木)(被覆材料の比較試験)、プレストレストコンクリート、Vol.24 No.4, pp.31-36, 昭57.7.
- 11) H. Muguruma, F. Watanabe & M. Nishiyama : Development of New Corrosion Protection Prestressing Tendons and Their Use in Bonded and Unbonded Prestressed Concrete Members, Proc. of Pacific Concrete Conference (Auckland, New Zealand), Vol.2, pp.581-590, Nov. 1988.
- 12) 浜崎、桐村、永井：軌道スラブ用P C鋼棒の試験、鉄道線路、Vol.33 No.6, pp.9-14, June 1985.
- 13) 豊田コンクリート(株)：伊勢湾台風災害復旧に使用されたP C鋼棒を用いたP Sコンクリート矢板について、昭35.9.
- 14) 六車：18年間の使用に耐えたアンボンドP Cまくら木について、P C技術協会第17回研究発表講演概要、pp.5-6, 昭52.11.
- 15) P. W. Abeles : Introduction to Prestressed Concrete, Vol.2, Concrete Publications Ltd., 1964.
- 16) P. W. Abeles, Design of Partially Prestressed Concrete Beams, ACI Journal, Vol.64 No.10, pp.669-676, Oct. 1967.

- 17) 日本建築学会：プレストレスト鉄筋コンクリート（III種PC）構造設計・施工指針・同解説、昭61.1.
- 18) 六車：アンボンドプレストレストコンクリート—最近の発達と問題点、PC技術協会昭和53年度講習会テキスト「プレストレストコンクリート世界の動向」、pp.25-61, 昭54.1.
- 19) 六車：アンボンドPCフラットスラブについて、PC技術協会昭和60年度講習会テキスト「最近のプレストレストコンクリート構造物と30年の歩み」、pp.15-30. 昭61.1.
- 20) T. Y. Lin : Load-Balancing Method for Design and Analysis of Prestressed Concrete Structures, ACI Journal, Vol.60 No.6, pp.719-742, June 1963.
- 21) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針（案）・同解説、昭63.10.
- 22) 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.90 No.1136, pp.21-25. 昭53.6.
- 23) 六車：建築構造物とパーシャルプレストレストコンクリート、コンクリート工学、Vol.25 No.7, pp.13-18, July 1987.
- 24) R. Park & T. Paulay, Reinforced Concrete Structures, John Wiley & Sons, Inc, 1975.
- 25) 日本建築学会編：建築耐震設計における保有耐力と変形性能（1990年10月発刊予定）
- 26) 岡本、渡辺：保有水平耐力に基づいたPC造建物の終局強度型耐震設計（案）について、PC技術協会平成元年度講習会テキスト「最近のPC技術の動向と話題」、pp.9-21, 1990.1.
- 27) R. Park & J. K. Thompson : Some Recent Research in New Zealand into Aspects of the Seismic Resistance of Prestressed Concrete Frames, Proc. of Technical Conference of New Zealand Prestressed Concrete Institute, pp.98-108, Aug.1976.
- 28) 六車：PC構造物の曲げ靱性改善、PC技術協会昭和58年度講習会テキスト「PC構造物最近の設計例と未来像」、pp.27-41, 昭59.1.
- 29) H. Mugeruma, F. Watanabe & M. Nishiyama : Curvature Ductility Design of Reinforced and Prestressed Concrete Members, Proc. of the 9th WCEE, Vol.VIII, pp.617-622, Aug. 1988.
- 30) 齊藤公男：張弦梁構造の原理と応用、カラム、No.75, pp.67-77, 昭55.1.
- 31) 齊藤公男：張弦梁構造の理念と応用、Structure, No.13, pp.39-53, Jan. 1985.
- 32) 小倉、関根：鉄筋コンクリート柱・はり接合部に関する研究の動向、コンクリート工学、Vol.19 No.9, pp.3-15, 1981.9.
- 33) 藤村、大平、西山、渡辺、六車：プレストレストコンクリート外部梁・柱接合部の繰り返し載荷試験（その1：試験概要）、日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）、構造2、pp.967-968, 1989.10.
- 34) 大平、西山、渡辺、六車：同上（その2：試験結果及び考察）、同上 pp.969-970, 1989.10.
- 35) 大平、西山、渡辺、六車：同上（その3：試験結果とNZS 3101:1982 設計法との比較）日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）掲載予定、1990.10.