



プレストレスト 鉄筋コンクリート構造

鈴木計夫*

1. はじめに

人間が生きてゆくのに欠かせない衣・食・住のうちの住として、われわれは毎日建物のお世話になっている。見渡すまわりの殆んど建物にはコンクリートという構造材料が用いられているが、最近日本で利用され始めている新しいコンクリート構造がある。それは法規的にも認められ、日本建築学会もその設計指針を作成している標題のプレストレスト鉄筋コンクリート (Pre-stressed Reinforced Concrete) 構造、略して PRC 構造と呼ばれるもので、以下に述べるようないろいろ優れた特徴を持ち、21世紀に向けて大きく発展して行く新しいコンクリート構造として期待されている。

以下にその構造の概要を最近の研究データを若干織込んで紹介し、またこの PRC 構造の利用の観点からコンクリート構造の未来を展望した。

2. PRC 構造とその特徴

2.1 種々のコンクリート構造

PRC 構造を説明するためにはその他のコンクリート構造、すなわち

- 鉄筋コンクリート (Reinforced Concrete: 略して RC) 構造、
- 鉄骨鉄筋コンクリート (Steel Reinforced

Concret : 略して SRC) 構造、
プレストレストコンクリート (Prestressed Concrete : 略して PC) 構造、
などと関連づけた記述が必要である。鉄筋コンクリート (RC) にプレストレスを作用させたことを意味する PRC 構造は上記プレストレストコンクリート (PC) 構造と鉄骨鉄筋コンクリート (SRC) 構造との間に位置する構造となる。

まず、いわゆる“鉄筋の建物”として知られる鉄筋コンクリート (RC) 構造は、図1-(a)に示すように部材断面に作用する曲げモーメントに対し、断面圧縮側は主としてコンクリートで引張側は引張に強い鉄筋のみで抵抗させるようにしたものである。この構造は前世紀に生れて実用化されたが、日本では明治38 (1905) 年頃から用いられるようになった。

鉄骨鉄筋コンクリート (SRC) 構造は図1-(b)に示すように上記 RC 構造と鉄骨 (S) 構造を組合せたもので、より大きな荷重に耐える。この構造は建物の耐震性が特に強く要求される日本独特のものと考えた方がよく、戦後盛んに用いられているものである。

これら RC, SRC 構造ともはり材では図1に示すように中立軸は断面の高さの $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ の辺りに来るが、この中立軸より下のひびわれの生じている引張側のコンクリート断面は構造設計上

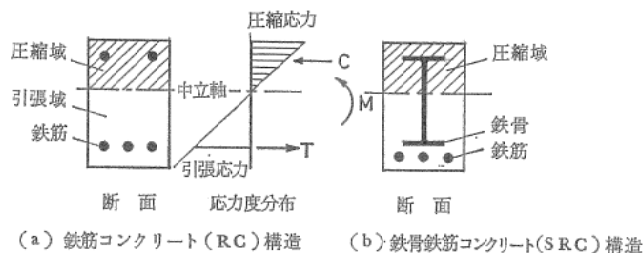


図1 鉄筋コンクリート構造および鉄骨鉄筋コンクリート構造

*鈴木計夫 (Kazuo SUZUKI), 大阪大学工学部, 建築工学科, 教授, 工学博士, 建築構造学

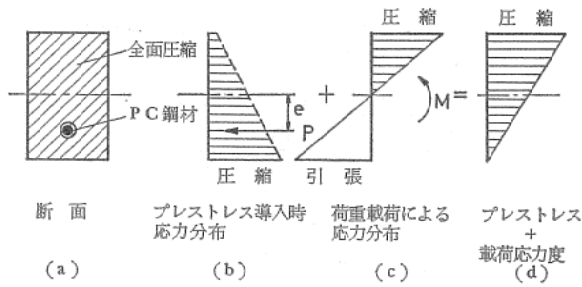


図2 プレストレストコンクリート構造

は利用しない。すなわち RC, SRC 構造ともコンクリートの半分以上を無駄にしていることになる。

プレストレストコンクリート (PC) 構造はこの無駄を無くすために図2に示すように荷重が作用する前に余応力すなわち断面に圧縮応力 (同図破線の分布) を与えておき、荷重が作用しても全断面圧縮かあるいは所定の許容引張応力までとなるようにして構造設計上全断面が有効に利用できるようにしたものである。

歴史的にはこの構造は、前世紀末までに一応の基本原則が発表されていたが、技術的困難さから今世紀前半においてやっと実用化されるに至った。わが国での本格的利用は戦後も昭和30年頃からである。

プレストレスト鉄筋コンクリート (PRC) 構造は、上記 RC, SRC と PC に対応して新しく生れた構造であるといえる。すなわち RC,

SRC では断面の下 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ までひびわれが生じる構造であり、他方 PC ではひびわれを生じさせない断面として設計されるので、任意のひびわれ状態を持つ構造物の設計はこれら3種の構造では実現することができなかった。PRC 構造はこの中間領域を埋めるべく、ひびわれ状態を任意に制御できる構造として生れたものである。PRC の考え方は今世紀中頃までに示されてはいたが、何しろひびわれ状態に関する知識が不十分であったために、設計方針がヨーロッパで初めて指針等に規定されるようになったのは1970年頃である。その後各国での研究も進められて設計規準を持つ国が次第に増えている。国際規準をすでに持っているヨーロッパ諸国に対し、米国、カナダは未だ準備中である。わが国では土木学会が6~7年前にヨーロッパ型の規定を作成し、建築学会は目下特徴のある内容を持つ指針をほぼ完成するに至っている。

2.2 RC, PRC, PC 構造の力学的連続性

日本の特に建築の分野では現在も RC と PC とは画然と区別され、PC は特殊な構造であると考えられている。筆者は RC も PC も鉄筋とコンクリートという同じ構造材料を使う同じ理論で統一できる同一カテゴリーの構造であると考え、これを従来よりの持論¹⁾としている。今回出現した PRC 構造は文字通り RC と PC を連結融和させるものであり、これまでに

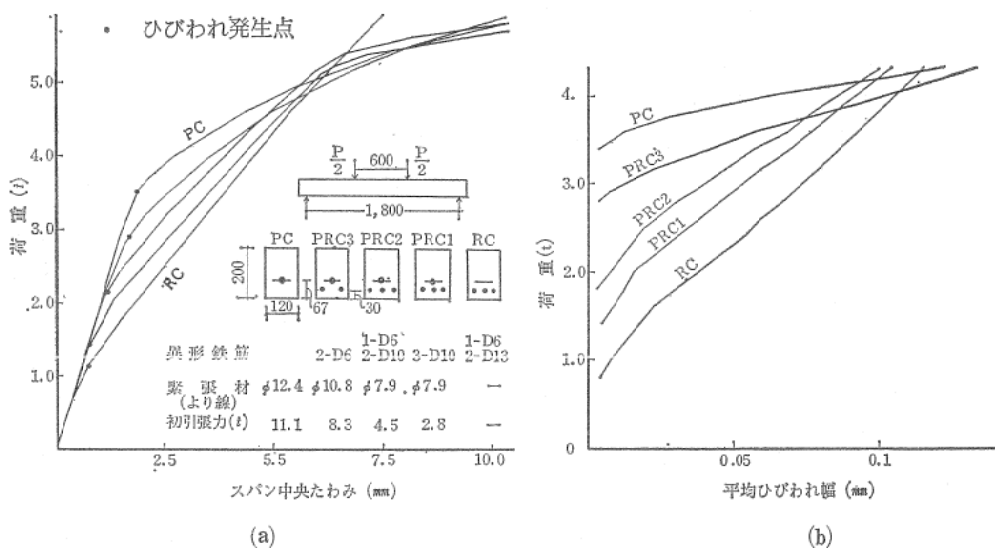


図3 RC, PRC, PC ばりの荷重とたわみ、ひびわれ幅の関係²⁾

その力学的性状を種々な面から検討してきた。ここではそれらの一部を示し、RC から PRC を経て PC までの各構造が力学的にも連続していることを示そう。

図3は RC と PC および3種の PRC はりを製作して試験した結果²⁾を示したものである。これらの試験は、RC は鉄筋のみ、PC は PC 鋼材のみ、PRC は鉄筋と PC 鋼材の量の割合を変えて RC および PC に近いものならびにその中間のものとなるようにし、また各はりの終局耐力は同じになるように計画したものである。

同図(a)は荷重(P)とたわみ(δ)の関係を表している。一番下側の線で表わされる RC はひびわれが最も早く発生し、その後は最大の鉄の断面積を持つ特性の現れた剛性の高い P- δ 曲線となっている。一番上の PC ばかりに関する曲線は直線域が最も長く最大のひびわれ発生荷重を示し、その後は最小の鉄材断面積の影響で最も剛性の低い P- δ 曲線を示している。3種の PRC はいずれも RC と PC の曲線の間に入り、しかも RC, PC の特性に関する上述の傾向をそのままその順序の通りに表わしていることが分かるであろう。

同図(b)は荷重と曲げひびわれ幅との関係を示しているが、その関係は RC から PC まで性質が連続的に変化している。

図4は地震荷重を想定した正負くり返し荷重載荷用に片持ばり式試験体を製作して、RC から PC までのヒステリシスループ性状変化を求めために行った実験結果³⁾である。RC ばかりの結果の特徴は残留変形が大きいこと、大変形域では断面の劣化を表わす逆S形のループとなることである。他方 PC ばかりの特徴は復元性が大きいこと、すなわち変形がよく戻り残留変形が小さいこと、および大変形域でも逆S形にはならず細目のループ性状を示すことである。二つの PRC 試験体の結果からはその PRC の程度に応じて上記 RC, PC という両極端の性状のどちらかに似た傾向を示している。

図5は別の観点からコンクリート構造の連続性を表わしたものである。すなわち横軸 λ は鉄筋の量と PC 鋼材の量との割合を表わし、 $\lambda =$

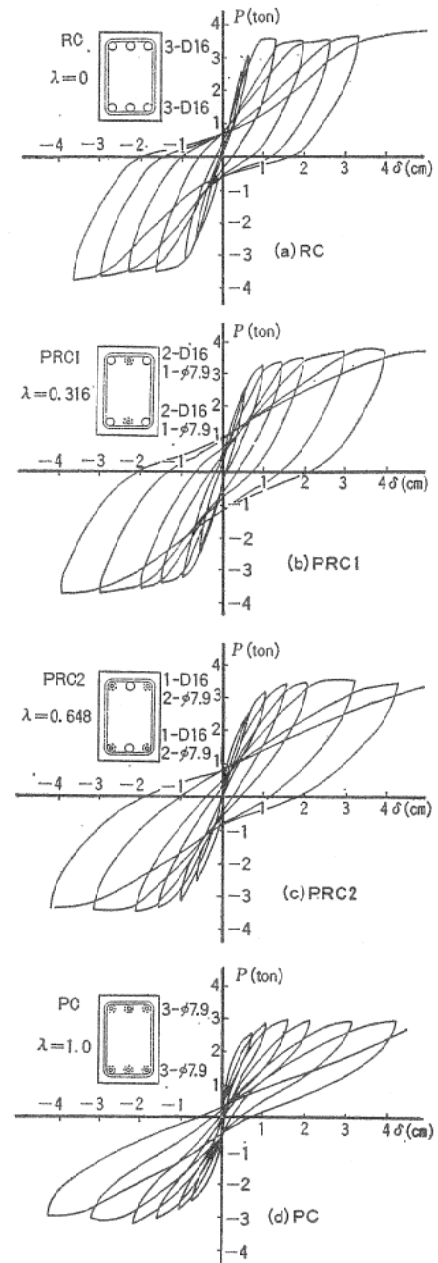


図4 RC, PRC および PC ばかりの正負繰返し荷重試験結果³⁾

0 は RC を、プレストレスを作用させると PRC となって λ の値は大きくなり $\lambda = 1$ では PC を表すと考えてもよい。縦軸は曲げモーメントを、図中の右上りの線は鉄筋の応力を表すが、ここでは単純に鉄筋応力は断面引張側の状態、すなわちひびわれ幅に対応していると考えたと(より正確にはひびわれ幅はその他多くの影響要因を持っている)、同図は RC から PC までの連続性を表しているだけでなく、プレストレスを作用させることによってひびわれ幅を変化させ得ることを示し、したがってひびわ

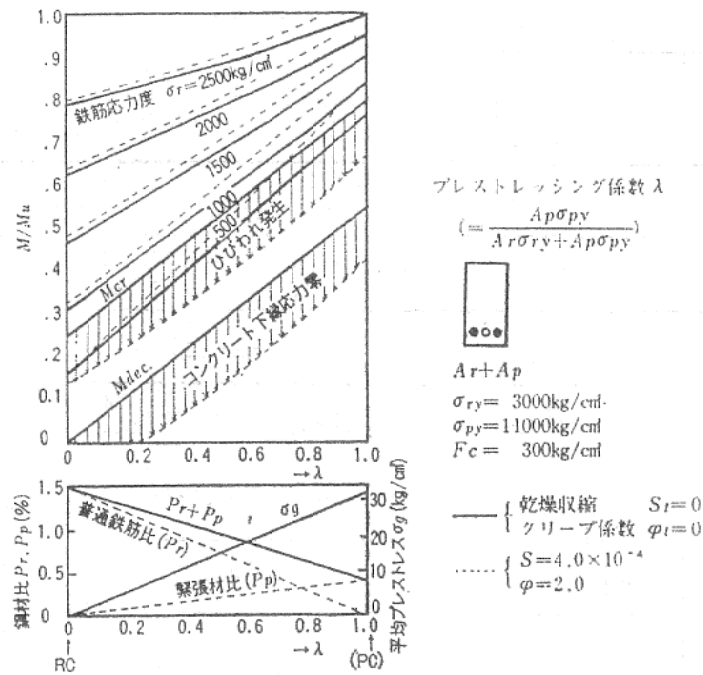


図5 PRC 部材の曲げモーメントと鉄筋応力との関係

れ幅の制御が可能であることを表している。

以上図によって示した力学的性質の連続変化という特性は、コンクリート構造物の設計においては所要の設計上の性質を自由に選択できるという点で極めて有用なものとなる。

2.3 設計規準・指針等におけるコンクリート構造の分類

日本建築学会で作成中の PRC 構造設計・施工指針では、RC から PC までのコンクリート構造を表 1 のように分類している。

同表ではコンクリート構造物を、長期設計荷重時（常時あるいは使用状態時と考えてよい）の断面引張縁の状態に応じてⅠ種からⅣ種までに分け、ひびわれの発生を仮定する RC をⅣ種に、ひびわれは安全率の範囲内で発生せず全断面有効という仮定で設計する PC をⅠおよびⅡ種に、その中間の PRC をⅢ種としている。Ⅰ種およびⅡ種のひびわれ発生時の安全率はおよそ 1.3 および 1.15 以上と推測されるが、これによりⅢ種の安全率は 1.0 と考えるのが妥当となる。いいかえるならば作用応力の変動を考慮してⅢ種は設計上ひびわれの発生を予測しなければならないことになるが、設計の便宜上Ⅲ種の中をさらに、Ⅰ種、Ⅱ種と同様コンクリートの引張応力を考慮して設計をするⅢ₁、Ⅲ₂ と、Ⅳ

種の RC と同様それを無視して設計をするⅢ_{0.1}、Ⅲ_{0.2} など 4 種に分けている。ここに添字 t、tb は設計応力時の引張縁コンクリート応力の値が引張強度および曲げ引張強度であることを意味し、また 0.1、0.2 は引張縁のひびわれ幅が 0.1 および 0.2 mm であることを意味している。

図 6 は RC から PC までの断面に設計応力が作用したときの断面の応力状態を表わしたもので上に述べたⅠ～Ⅳまでの分類の内容がこれでより明瞭になる。

ヨーロッパのコンクリート構造物設計の国際規準では、基本の規定では RC から PC までの構造を同一概念として扱い上記区分をしていないが、デイデールの指針等で“Ⅰ～Ⅲ種 PC 構造およびⅣ種の RC 構造”のように表わしⅢ種の中は細分していない。日本建築学会の分類はⅢ種を上述のように物理的な意味を持たせて区分し、後述するようにそれに対応する具体的な設計法を示している点でユニークさがある。

2.4 設計方法の概要

土木、建築を問わず、また国内、国外を問わず構造物の設計で想定する荷重は、常時使用状態時に作用する長期的荷重と、地震や風のように短期的に作用する荷重とに大別しており、前者に対しては許容応力度設計を、後者の荷重に

表1 部材の分類と長期設計応力時の断面引張縁の状態

コンクリート 部材種別	引張縁の状態 の分類区分		長期設計応力 (G+P+X _p) 時の 引張縁の状態 (設計上の仮定)	曲げひびわれ幅 制御の方策
	σ_{ct} 無視	σ_{ct} 考慮		
コンクリート プレストレスト PC		I	圧縮応力 $\sigma_c \geq 0$: フルプレストレス設計	—
		II	引張応力 $\sigma_{ct} \leq f_t$ (許容引張応力度) : パーシャルプレストレス設計	
鉄筋 コンクリート (Ⅲ種PC) プレストレスト		III _t	" $\sigma_{ct} \leq F_t$ (引張強度) ^{*3)}	ひびわれ用心筋 の配置
		III _{tb}	" $\sigma_{ct} \leq F_{tb}$ (曲げ引張強度) ^{*4)}	
		III _{0.1}	最大ひびわれ幅 $w \leq 0.1 mm$	ひびわれ幅算定 による直接制御
		III _{0.2}	" $w \leq 0.2 mm$	
鉄筋 コンクリート RC		IV	[" $w \leq 0.2 mm$]	鉄筋応力制限による 間接的制御

\uparrow ← コンクリートの引張応力 σ_{ct} を断面設計で考慮
 \uparrow ← " " " " 無視

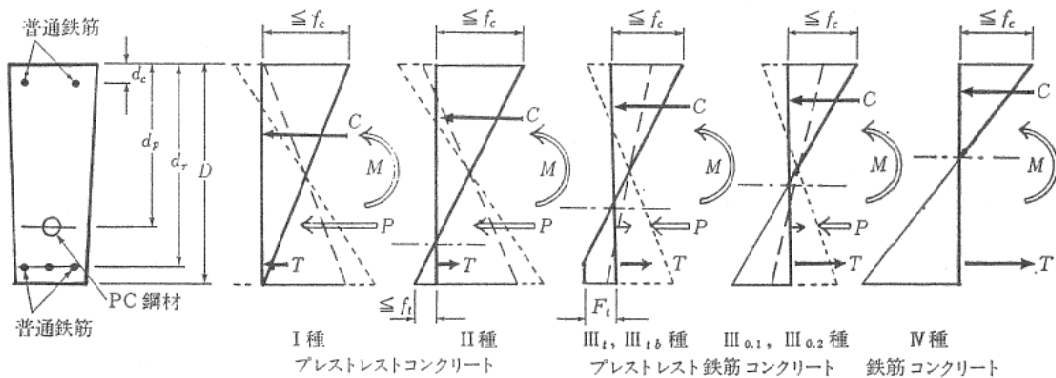
*1) X_p: プレストレス導入による不静定二次応力

*3) $F_t = 0.07 F_c$

*2) σ_{ct} : 断面コンクリートの引張応力

*4) $F_{tb} = \frac{5}{3} F_c$

F_c: コンクリートの設計基準強度



.....: プレストレス力のみによる応力分布
 - - - - : プレストレス導入時の応力分布
 ———: 長期設計応力時の応力分布 (太線部はコンクリートの応力を設計に考慮)

f_c : コンクリートの許容圧縮応力度
 f_t : パーシャルプレストレスのコンクリート許容引張応力度
 F_t : コンクリートの引張強度

図6 部材の種類と断面応力分布

対しては一般に終局強度に基づいた設計をする
 場合が多い。日本建築学会の PC, PRC 構造
 に対する規定もこの方針によっている。ここで
 は代表的に日本建築学会の指針に示される方法

に沿って説明しよう。

(1) 長期 (常時) 設計応力に対する設計
 固定荷重や積載荷重等による常時作用する応
 力に対して部材の断面設計は、i) 各材料の許

容応力度に対する検討, および ii) コンクリートの許容曲げひびわれ幅の検討が行われる。

許容応力度に関する設計 表1に示す I, II, III t, III tb においてはコンクリートの引張応力も考慮するので, コンクリートは圧縮縁および引張縁の応力が検討の対象となる。しかし III_{0.1}, III_{0.2} の設計では IV 種の RC と同様コンクリートの引張応力は無視するので圧縮縁の応力および引張側は鉄筋応力が算定の対象となる。詳細は省略する

曲げひびわれ幅の検討 I 種 II 種の PC 構造では, 長期 (常時) 設計応力時にはひびわれを許さないで, その応力の何倍で曲げひびわれが発生するかが問題になるのに対し, PRC すなわち III 種 PC ではひびわれ幅やたわみを直接的に制御することを目的としているので, ひびわれ幅の検討が RC や SRC 構造にない新たな設計項目になっている。

許容ひびわれ幅: ひびわれはコンクリート部材の耐久性を最も大きく左右する要因と考えられているが, それは部材の中の鉄筋の腐食が外部環境の影響を最も受け易いひびわれ発生部から始まるからである。ひびわれ幅を幾らまで許容できるか, あるいは許容するかは大きな問題であり, また今後も変わらぬ重要な課題となっている。建物等の用途にもよるが, 環境条件や作用荷重の条件が厳しければその幅を小さく, 逆に良好であれば大きく採れる。内外の諸規定では一般に従来からの経験上のデータに基づいて部材表面で普通の条件では 0.2mm, 厳しければ 0.1mm, 特に良好であれば 0.3mm を許容している。なお日本建築学会の PRC 指針では表1のように 0.2mm までを認めている。また上記の“ひびわれ幅”とは所定の作用応力でコンクリート部材に生じているひびわれのうちでその幅が最大のもので, すなわち最大ひびわれ幅を意味しており, それは平均ひびわれ幅の 1.5 倍程度であることが最近の研究データで明らかにされまた理論的⁵⁾にも裏付けられている (図7参照)。

ひびわれ幅の算定: ひびわれの問題はとに角極めて複雑でややこしい。PRC 構造が実際の設計対象に浮上し得なかったのは, 最近までひびわれ性状 (表面における幅や内部での分布状

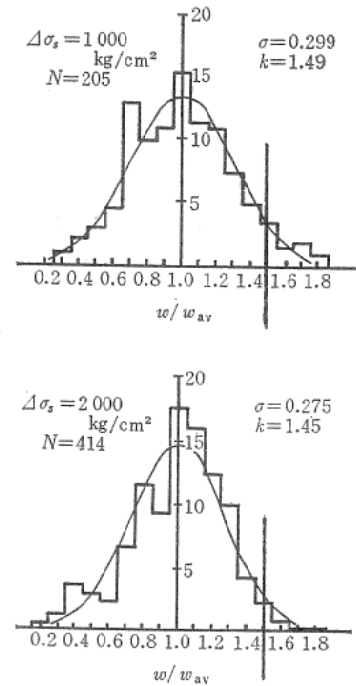


図7 ひびわれ幅の相対度数分布⁵⁾

況) 耐久性との関係などの知識が不十分であり, またその幅の算定法も満足できるものがなかったことによる。

学会指針では, 筆者等の提案した精度がよく適用範囲の広い実用的な算定式⁵⁾が, 簡便な算定図⁶⁾表とともに採用されている。これによってひびわれ幅の制御設計が, 従来の許容応力度設計とほぼ同じ手軽さで行えるようになった。

ひびわれ幅に関する諸問題: コンクリート内部のひびわれ状況は一体どうなっているのだろうか。コンクリート表面の幅と鉄筋位置および鉄筋の形状, 寸法などとの関係は?, また荷重による変化の状況は?, 持続荷重のときは?, そしてこれらの性状がどのような環境条件下で何年後に鉄筋の発錆にどう影響して現われるのか? またその測定方法は?, 考え出すとこのひびわれ問題だけでも気の遠くなる内容を持っている。

内部のひびわれ状態については古くから研究されては来たが, 最近インクを注入して荷重を保持したまま特殊な樹脂を注入するという“ダブルインジェクション法”を筆者の所で開発し, PRC 部材内部のひびわれ性状の究明に着手と成果をあげている。その一部を図8⁷⁾に示す。インクと樹脂を注入し, 十分硬化した後, 荷重を除いて内部を切り開いて詳細に計測した

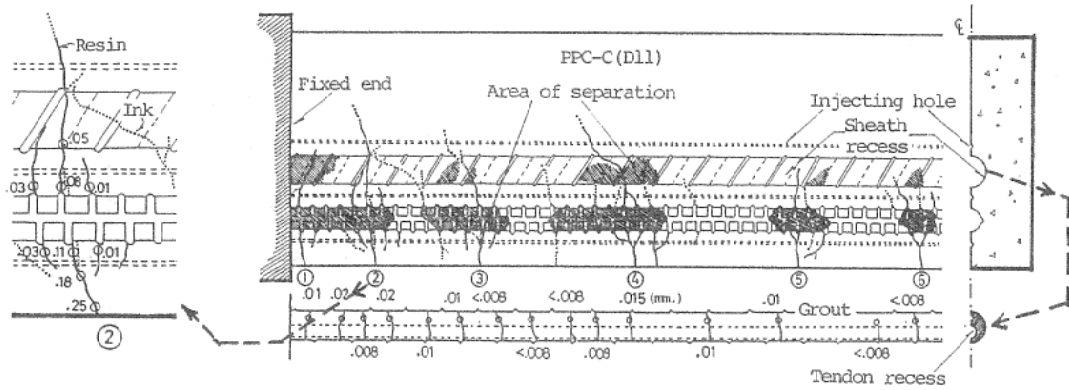


図8 PRC 部材の内部ひびわれ状況⁷⁾

もので、インクからはひびわれの分布形状が、樹脂の部分からはその幅が明らかにされる。表面と内部とでは幅は大きく変わり、また内部のみのひびわれも多数存在している。

このようなひびわれ性状が鉄筋の発錆、ひいては建物の耐久性とどのように関係しているのかの研究が今後の大きな課題である。

(2) 短期(地震時等)設計応力に対する設計

日本のコンクリート構造物はその重さから風荷重などは問題とならずすべて地震荷重で断面が決まると考えてよい。

地震荷重に対する設計法はRC 構造では今だに許容応力設計法が採られているが、PC 構造では断面の終局耐力が荷重係数を用いた割増し荷重に対して安全であるかどうかを検討する終局強度設計法によっている。この両者は異質の設計法であり、前述のように RC と PC と結ぶ PRC 構造においてどちらかの設計法を採るかが問題となった。ヨーロッパ諸国等では考え方として一歩前進した限界状態設計法(応力、ひびわれ、たわみ、振動数、終局耐力など考えられる項目の限界の状態と、それぞれに対する安全率を設定して許容の載荷荷重や応力を決める方法)が採られているので日本の RC の設計法もいずれは終局強度型の設計法に移行してくるものと判断して、今回の PRC 指針では PC 構造と同じ終局強度設計を行うよう定めている。

さて最近のわが国に生じた幾つかの大きな地震によって、コンクリート建築物も含めて種々の建物が何らかの形で被害を受けている。大地

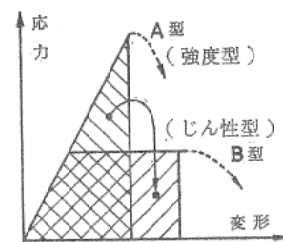


図9 建無への耐震性の与え方

震に対しても安全なコンクリート構造物を作るにはどうしたらよいか。それには図9に示すように大別して二つの考え方がある。その一つは同図A型のもので構造体を極力強くしてどんな大きな地震力すなわち地震エネルギーも部材の弾性範囲で抵抗させようとするもので、一般にこのような構造体はそのピーク後は同図点線のようにもろく破壊する。他の一つは構造体は弱目にし、同図Bのように低い地震入力で部材を降伏させて塑性ヒンジを作り、地震エネルギーは塑性変形能力で吸収する方式である。費用さえいとわなければどんな強い建物も作れる訳であるが、一般のコンクリート建物の規模の大きさからすればB型が経済性の点からも今後向うべき妥当な方向であると考えられる。しかしこの方式で設計しようとする場合でもコンクリート部材は大地震のエネルギーを十分安全に吸収できるほどのじん性、すなわち塑性変形能力を持っていないことが多い。それはコンクリート部材のじん性を十分なものに改善する方法、ならびに変形能力の解析手法が確立されていないことによる。

図10は今回の学会の PRC 指針に示された筆

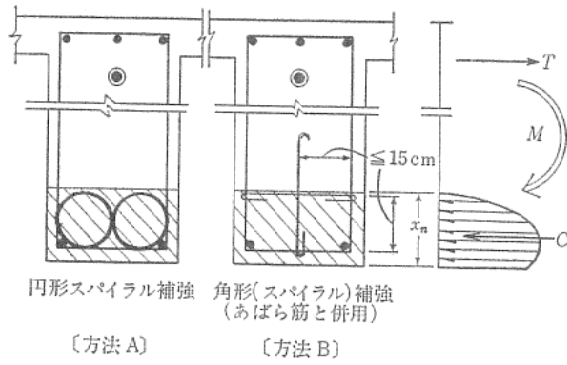


図10 曲げ変能力(じん性)増大の方法

者らの提案しているコンファインド(横方向拘束)コンクリートを用いてじん性を改善する方法を示した⁴⁾もので、はり材のじん材のじん性改善に対しこのような方法を提示したのは世界で初めてである。コンファインドコンクリートとは以前本誌⁹⁾にも解説したように、破壊の過程で粉体化して行くコンクリートをねばり強い鉄筋で取囲んだもので、これによってコンクリートの変形能力は飛躍的に大となる。最近のこの方面の研究によって所要の変形能力を得るための補強筋の量も解析によって一応定量的に算定できるまでに至っている。しかしこの論題については数編に分けても盛り込むことのできない多くの内容を持っているので本稿では、“近い将来コンクリート構造物については、その変形能力の解析理論が確立されると共に、どのような地震に対しても必要かつ十分な変形能力を与えることによって破壊的地震エネルギーを安全に吸収できる経済的な耐震建築が実現される”と確信していることを述べるに留めよう。

3. 建築構造物への利用と将来への発展

3.1 RC, PRC, PC 構造と利用上の特質

各種コンクリート構造の特徴を適切に生かして建物に利用する上での判断材料となる各構造の特質を分かり易く一覧表にまとめたのが、表2である。同表は極く概略の表現をしたものであるが、これによって各構造の特徴をつかむことができよう。

先ずスパンについて、PRC 構造は 10~20m 程度の無柱空間を作るのに適しており、これは従来 SRC 構造によってカバーされていた部分であるが、コストやひびわれ、たわみ等の点から今後は次第に PRC 構造に置き換えられて行くものと考えられる。

次にひびわれ及びたわみに関して特に RC 構造ではこれまでに多くの大ひびわれ、大たわみ事故が発生しており、これらの制御設計を行う PRC 構造によってこの問題が解決されている。

復元性については、PC 構造では中程度の地震であれば発生したひびわれは地震が終れば元通りに閉じてしまい、たわみも殆んど零に戻るという素晴らしい特性を持っている。他方 RC 構造ではひびわれは開口したままで残留変位も大きい。PRC 構造はこの復元性を、RC と PC の中間域の任意の所に選んで設計を行うことができる。

ヒステリシスループの特性は地震時のエネルギー吸収能力すなわち Dampmig 効果に関係するものであり、これも所要の値に選ぶことができる。

表2 各種コンクリート構造とその特性の比較

項目 構造の種類	(1) スパン(柱間隔) の範囲 m									(2) はりせい (l :スパン)	(3) 許容ひびわれ 幅 〔制御設計方式〕	(4) たわみ	(5) 復元性 (残留変形)	(6) ヒステリシスループ	
	5	10	15	20	25	30	35	40	45					面積	大変形時の形
鉄筋コンクリート (RC)	////									約 $\frac{l}{10}$	約 0.3mm以下 〔間接的〕	大	小 (大)	大	逆S字型
鉄骨鉄筋コンクリート (SRC)	////	////								" $\frac{l}{10} \sim \frac{l}{15}$	"	"	"	"	(")
プレストレスト鉄筋 コンクリート(PRC)	////	////	////							" $\frac{l}{15}$	0.2mm以下 〔直接算定〕	中	中 (中)	中	↑ 中間 ↓
プレストレスト コンクリート(PC)				////	////	////	////	////	////	" $\frac{l}{20}$	ひびわれなし	小	小 (大)	小	鈎錘型

3.2 実施建物の例

PRC 構造については最近は何れにも程多く実施されているが、阪大のキャンパスには未だ現れていない。しかし PC 構造の方は吹田キャンパスの共同大実験棟に用いられ、4本の柱で $40\text{m} \times 40\text{m}$ の空間が覆われているが、これは十数年前に建設された建物で、若し現在計画されるのであれば PRC 構造で設計されることになったであろう。

PRC の多くの実施例のうち工学系に共通する用途の建物として、ここでは京都は百万辺の近くにある日本材料学会会館を簡単に紹介しておこう。写真1および図11に示すように3階建と規模は小さいが前面道路の関係で建物を少しでも低くするためスパン 7.5m に対し、はりせいを 55cm と小さくし、またスラブが $3.6\text{m} \times 7.5\text{m}$ と大きいので、アンボンド工法によるプレストレスの構造として小ばりを無くすなど、小規模ながら PRC 構造の特徴を巧く生かした建物である。

4. 将来への発展

将来のコンクリート構造物に対し筆者としては確たるイメージを描いている。コンクリート構造物は鉄骨造と比べるとねばりが余り期待できず、大地震時の脆さに対する不安が持たれていることは否めない。従来通りの方法でコンクリート構造物を作るならば、このことは残念ながら一面事実といわざるを得ない。しかし、前述のコンファインドコンクリートを架構骨組のはり、柱等の塑性ヒンジとなる部分に用いれば耐震上必要なねばり強さは容易に得られることが推測できる。このことは最近の一連の研究結果⁹⁾¹⁰⁾ から次々と明らかにされて来ている。この場合その具体的な補強法は、はりに対しては図10のような、また柱に対しては図12-(a)に示すような円形配筋を基本としたものであろう。柱を PRC とした実大に近い柱部材のくり返し載荷試験結果の一例を図12-(b)¹⁰⁾ に示す。この図から円形スパイラル筋によるコンファインドコンクリート PRC 柱のねばり強さがよく分る



写真1 日本材料学会会館

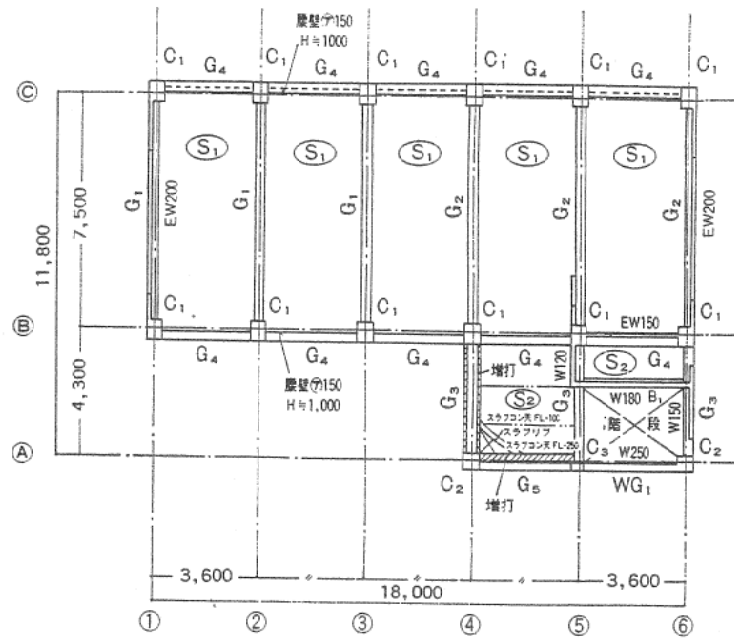
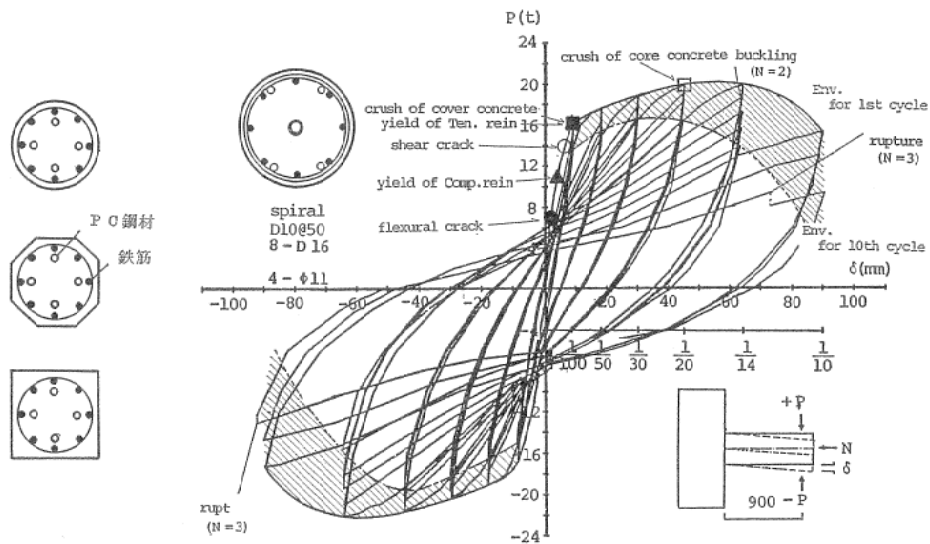


図11 日本材料会会館はり伏図



(a) 各種断面形 (b) 繰返し載荷試験結果
図12 円形スパイラル補強 PRC 柱とそのじん性¹⁰⁾

であろう。

なお、スラブに対しても前記日本材料学会会館のように、プレストレスを導入すれば、小ばりのない大スパンとなり、同時にひびわれやたわみの制御が行われる使用性のよい床が得られる。結局、PRC 構造とコンファインドコンクリートを適切に利用することによって、将来は今までになかった次のような耐震的なコンクリート構造物が可能となるであろう。

(1) 中程度の地震に対しては建物はほぼ弾性

域で挙動し、地震終了後は生じていたひびわれはすべて閉じて変位も元の位置に戻る。

(2) 大地震時には塑性変位によってそのエネルギーを十分吸収し、たとえば数cm程度の層間変位が生じても塑性ヒンジ部の外周部が破壊する程度でコンファインドコンクリートの内部は十分な耐力力を保有している。地震が終ればプレストレスの作用で残留変位は僅か数mm程度という他の構造では到底考えられない驚異的な復元性を示す。したがって建直しをする必要は

ない。その後はその塑性ヒンジ部のみの補修によって再使用する。

(3) 高さに関しては、10～20階建の建物は一般的となり、コンクリートの強度を高くすれば超高層建築も容易となろう。

これらのほか、現在の技術では不安要因の多いピロティ方式の建物も円形スパイラル筋補強の PRC 柱を用いれば簡単に実現される。そして軽快でねばり強く耐震的な中・高層の PRC 構造が、設計者には大きな設計の自由度を与え、使用者には広々とした自由な効率のよい空間を与えて実現されることになろう。

5. あとがき

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) 構造を両極としてこれらをつなぐプレストレスト鉄筋コンクリート (PRC) 構造の出現によって、コンクリート部材のひびわれやたわみのトラブルは解消され、またスパンすなわち柱の間隔も RC 用の数mから PC 用の40m 前後まで連続的に任意に選べるようになり、設計上の自由度は飛躍的に拡大された。さらにコンファインド (横方向拘束) コンクリート⁸⁾ を部材の要所に用いれば、地震後の残留変位の極めて小さい、すなわち高い復元性を持つ耐震建築構造が実現される。21世紀に向かってコンクリート構造物にいろいろな可能性と夢を与えてくれる PRC 構造であるだけに、ひびわれ挙動および耐久性との関連の究明、終局塑性域での挙動、特に変形能力の解明等々、今後われわれに与えられた課題分野は広大である。

引用文献

- 1) M. Okushima, K. Suzuki and H. Tamura; Influence of Delayed Deformation on Initial Cracking Behavior of Concrete Reinforced with Steel; Proceedings of Int. Conference on Mechanical Behavior of Materials, Vol. IV, August 1971.
- 2) 鈴木計夫, 大野義照, 佐田裕之; プレストレスト鉄筋コンクリートはりの曲げ性状について; コンクリート工学年次講演会論文集, 第2回, 1980
- 3) 鈴木計夫, 大野義照, 吉田輝幸, 姫野洋一; プレストレスト鉄筋コンクリートはり部材の変形性状について; 日本建築学会近畿支部研究報告集; 昭56・6
- 4) 鈴木計夫; 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 (案) について; プレストレストコンクリート; Vol. 24, No. 2, Mar. 1982
- 5) 鈴木計夫, 大野義照; プレストレスト鉄筋コンクリートはりの曲げひびわれ幅に関する研究 (その1); 日本建築学会論文報告集第303号, 昭56・5
- 6) 鈴木計夫, 大野義照; PRC 部材の曲げひびわれ幅算定法; プレストレストコンクリート; Vol. 24, No. 1, Jan. 1982
- 7) 鈴木計夫, 大野義照, ソムチャイ・シーソンボン, 横谷隆幸; プレストレスト鉄筋コンクリートはり内部のひびわれ状況; 第6回コンクリート工学年次講演会論文集, 1984
- 8) 鈴木計夫, 中塚 侑; コンクリート曲げ部材の終局変形能力とその改善; 生産と技術Vol. 37, No. 1, 1985
- 9) 鈴木計夫, 中塚 侑, 平松一夫, 長田省作; 多数回正負交番繰返し荷重をうける高靱性 PRC 梁の終局域特性; 日本建築学会近畿支部研究報告集, 昭60・6
- 10) 鈴木計夫, 中塚 侑, 中川隆夫, 蔡 健, 安倍 勇, 中田浩之; 高靱性・高復元性 PRC 柱部材に関する基礎的研究; 日本建築学会近畿支部研究報告集, 昭60・6