

# 建築構造物における耐震技術の変遷と将来展望

大野 義照\*

## 1. はじめに

建築構造物における耐震の研究は 1891 年（明治 24 年）の濃尾地震を契機として翌年に成立した「震災予防調査会」によって始まる。会は「地震の被害を予防すること」を目的とし、地震の予知から地震災害を最小にする耐震構造の設計までを対象としていた。その後地震が起こる度に大きな被害が発生し、そこから教訓を学び、耐震基準が改正された。また、コンクリートや鋼材などの材料に関する研究・開発、周辺技術の発展ならびにコンピュータの普及に伴う解析技術の進歩とともに、新たな耐震技術が開発されてきた。本論では建築構造物の耐震設計技術の変遷を略述し、次にプレストレストコンクリート（以下 PC と略記）技術に関連する耐震技術を紹介する。

## 2. 耐震設計技術の変遷

わが国における地震に対する建築物の設計の考えを振り返ると、強度・耐力で地震力に抵抗させていた耐震設計の初期の時代、強度だけでなく粘りも併せて考えるようになり中高層建築物が可能になった時代、地震力を柱・梁・壁ではなく制震部材によって抵抗させる方法や地震入力そのものを排除する免震構造などの新しい耐震技術が開発された現在と大きく 3 つの時代に区分されよう。ただし、これらの耐震技術はどれか一つに収められるのではなく、建築物の規模、構造形式、用途、要求性能、コストなどに応じた最善の技術が選択されている。以下に歴史的な流れを追いながら地震力に対する設計の考え方を見てみよう。表 - 1 に主な地震と耐震技術に関連する事項を年代順に示す。

### (1) 強度で抵抗・剛構造

1914 年佐野利器は震災予防調査会の報告集において「家屋耐震構造論」を表し、そこで震度法を提案し、建築物の耐震性には強度・剛性の確保が重要であることを述べた。震度法とは、時々刻々変化する動的な力である地震力を静的な力に置き換えて、建築物の重量のある割合（水平震度）

を水平力として建築物にさせて、建築物の構造部材の応力を算定し、許容応力度以下になるように部材を設計する方法である。関東大地震でアメリカの技術者によって設計された多くの鉄筋コンクリート（RC）造建築物が崩壊する中で、震度法に基づき内藤多伸によって設計された RC 造の日本興業銀行ビルが無被害であったことから、この設計法の妥当性が証明されるとともに耐震設計法の必要性が社会に広く認められるようになったり。

地震被害から得られた教訓は次のようなものである。

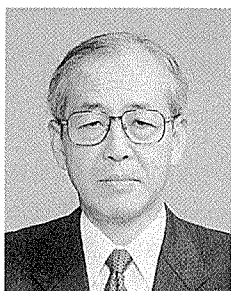
- ・地震力は壁体と架構の両方に負担させること。
- ・大スパン建物、長い柱をもつ建物は RC 造とせず、鉄骨または鉄骨鉄筋コンクリート造とする。
- ・架構式のものよりは壁を用いた構造の方が耐震的である。

関東大地震を契機にして、RC 構造に対する耐震研究が盛んになり、近代的な耐震設計法が整備されていくことになる。1924 年には市街地建築物法に震度の考え方が取り入れられ、設計水平震度 0.1 が用いられることになった。ここで、想定震度は 0.3 で、材料の許容応力度における安全率を 3 程度としている。ここではその後用いられる長期、短期という概念はまだでていない。

1950 年に、特定の都市だけに適用されていた市街地建築物法を廃止し、全国に適用する建築基準法が制定された。使用材料の許容応力度の考え方が長期・短期と分けられ、材料の安全率に差がつけられた。また地震力として水平震度  $k = 0.2$  が採用された。ただし、許容応力度（短期）もそれまでの 2 倍とされたので設計された建築物の強さは変わらない。このときの基本的な考え方は、 $k = 0.2$  の水平力に対して弾性範囲内におさまる強度を与えておけば関東大地震に対しても大丈夫であるというものであった。

1968 年の十勝沖地震では腰壁やたれ壁のついた柱（短柱）のせん断破壊によって RC 造建築物に大きな被害が生じた。これを契機に 1971 年に建築基準法施行令の一部が改正され、帯筋などに関する規定が改まり、建築物の靱性を確保することが定められた。

なお、1960 年代になると高度経済成長期に入り、超高層ビルに対する社会的ニーズが高まった。理論的な研究とコンピュータの普及とともに地震応答解析が進歩し、超高層ビルの建設が可能となった。地震に対して、地震動に含まれる卓越周期成分から建築物の 1 次固有周期を外し 1 次共振を避けること、建築物の揺れが増大して変形が塑性領域に及んだ場合十分な変形能力を発揮できる架構とすることによって対処するものである。その構造は柔構造とも呼ばれ、構造体だけでなく間仕切り壁や外壁も変形しやすいものが開発され、1968 年日本で最初の超高層ビル地上 36



\* Yoshiteru OHNO

大阪大学大学院 工学研究科  
建築工学専攻 教授

表 - 1 地震と耐震基準・技術の変遷

年	地震	被害概要	耐震基準	耐震技術, その他
1891 (明 24)	濃尾 (M8.0)	れんが造の大被害		
1892 (明 25)			震災予防調査会設立	
1914 (大 3)				家屋耐震構造論—震度法 (佐野利器)
1920 (大 9)			市街地建築物法施行 (初めての構造規定)	
1922 (大 11)				架構建築耐震構造論 (内藤多仲)
1923 (大 12)	関東 (M7.9)	れんが造の大被害 RC 造無小被害		
1924 (大 13)			市街地建築物法改定 (設計水平震度 0.1)	
1933 (昭 8)			RC 構造計算規準	
1948 (昭 23)	福井 (M7.3)	RC 造デパート大破		
1950 (昭 25)			建築基準法施行 (設計水平震度 0.2 短期許容応力度導入)	
1951 (昭 26)				日本初 PC 橋 長生橋
1953 (昭 28)				東京駅ホーム PC 床板
1956 (昭 31)				PC 不静定架構・南淡町庁舎
1961 (昭 36)			PC 設計施工規準	
1964 (昭 39)	新潟 (M7.5)	液状化による建造物の沈下・傾斜		
1968 (昭 43)	十勝沖 (M7.9)	PC 校舎の短柱がせん断破壊		霞ヶ関ビル
1971 (昭 46)			建築基準法改正 (柱の帯筋ピッチ)	
1978 (昭 53)	宮城県沖 (M7.4)	沖積層地域で被害		
1981 (昭 56)			建築基準法改正 (新耐震設計法の導入)	
1983 (昭 58)				日本初免震構造
1995 (平 7)	兵庫県南部 (M7.2)	旧規準で設計された建築物の被害大		
2000 (平 12)			建築基準法大改正	

階の霞ヶ関ビルが誕生した。

(2) 強度と粘りで抵抗

1980 年, 十勝沖地震や宮城県沖地震被害とそれまでの耐震技術を背景に, 建築基準法施行令の耐震規定が大幅に改正され, 翌年から施行された。これは「新耐震設計法」と呼ばれ, 地盤, 建築物の固有周期, 平面・立面の偏心などが建築物の動的応答性状に与える影響を考慮して定められている。地震力に対する基本的な考えは, 「耐用年限中に数度は遭遇する地震 (中地震) に対しては, 建築物の機能を保持すること, 建築物の耐用年限中に一度は遭遇するかもしれない程度の地震 (大地震) に対し, 建築物の架構に部分的なひび割れ等の損傷が生じて最終的に崩壊から人命の保護を図る」となっている。前者を一次設計, 後者を二次設計と呼び, 一次設計では中地震 (80~100 gal) に対して部材の応力を許容応力度以内に設計する。二次設計では, 関東大地震級の大地震 (300~400 gal) に対して, 部材は損傷しても最低限人命だけは守ろうとするものである。二次

設計では保有水平耐力の検討を行う。すなわち, 建築物の保有水平耐力が次式で与えられる必要保有水平耐力  $Q_{ud}$  より大きいことを確かめなければならない。

$$Q_{ud} = D_s \cdot F_{cs} \cdot Z \cdot R_i \cdot A_i \cdot C_o \cdot \Sigma W_i$$

ここに,  $D_s$ : 構造特性係数, 建造物の塑性変形能に応じて層せん断力を補正する係数, 0.25~0.55

$F_{cs}$ : 形状特性係数, 偏心率・剛性率に応じて補正する係数 1.0~1.5

$Z$ : 地域係数, 0.7~1.0

$R_i$ : 地盤と建物の振動特性を表す係数

$A_i$ : 層せん断力の建物の高さ方向の分布を表す係数

$C_o$ : 標準せん断力係数, 1.0

$\Sigma W_i$ : 当該階より上の重量の和

上式から理解されるように, 粘りのない建物は構造特性係数が大きく, 耐震要素の配置が平面的にあるいは立面的に不均衡であれば形状特性係数が大きく, 地盤が軟弱で建物の固有周期が大きければ必要保有耐力が大きくなる。こ

ここでは Newmark らの研究によるエネルギー一定則が採用されている。すなわち、韌性のない耐震壁からなる構造と韌性のあるラーメン架構の荷重—変形関係を示す図 - 1 において、両者の荷重・変形関係が囲む面積が等しければ耐震性も同じとしている<sup>2)</sup>。

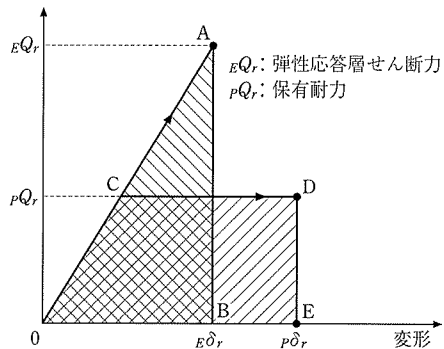


図 - 1 弾性応答と弾塑性応答のエネルギー一定の関係

1995 年 1 月に発生した兵庫県南部地震ではコンクリート系の建築物も多く被害を受けた。なかでも 1981 年の新耐震基準以前の基準によって設計された建築物の被害が大きく、新耐震基準で設計された建築物の被害は少なく、同基準はそれなりに評価された。旧基準で設計された建築物を含め、人命は守られたが建築物は損傷した、あるいは構造躯体は健全であったが非構造部材である間仕切り壁や外壁の二次部材が大きく損傷した建築物は、人命を守るという点で耐震設計の目的が果たされ、構造設計者には満足できる結果であっても、建築主や居住者にとっては大きな不満であった。

構造的な課題としては、柱・梁と非構造壁が構造的に連続しているため、柱や梁のせん断スパン比が小さくなり、せん断破壊を生じさせたり、柱の変形に追従できず非構造壁が大きく損傷したことがあげられる。この点については柱梁と壁の縁を完全に切った構造スリットが用いられるようになった。柱の帯筋が、計算上必要量を満たしていても外周筋のみで、コンクリートの拘束が十分でなくねばり強さを発揮できていない例もあった。

1998 年に建築基準法がほぼ 50 年ぶりに大改正され公布された。今回の改正の目的は、性能規定型設計法の導入による設計の自由度の拡大、建築生産でのコスト削減、ならびに規制項目の見直し、技術革新や海外資材の導入を円滑することである。構造に関しては、新たな検証法として「限界耐力計算法」<sup>3)</sup> が導入され、仕様規定は一部をのぞいて適用除外されることになった。限界耐力計算法では変形と耐力を比較的簡便に推定することが可能で、修復限界と安全限界を満足することが照査される。ここで、修復限界は地震後も修復を要しない限界を意味し、中程度の地震に対してその性能が求められ、安全限界は建築物の内外の人命に直接及ぼす危険が回避される限界で大地震に対して求められる。

### (3) 損傷制御設計

耐震設計では、大地震に対しては建物の塑性化による粘

りを期待して設計されている。すなわち、上述のように構造体は崩壊にはいたらないもののある程度の損傷は受けられている。たとえば RC のラーメン架構では梁の端部には曲げ降伏によるヒンジが形成される。兵庫県南部地震においてその設計法の妥当性は検証されたが、住民は避難生活を余儀なくされたり、補修不可能で財産価値がなくなった場合や避難所になるべき学校などの公共建築物が使用不能になった場合もあった。

そこで考え出されたのが次のような損傷制御設計<sup>4)</sup> である。

① レベル 1 (中地震) を越えレベル 2 (大地震) の地震に対しても再来地震に対して架構の継続使用を考慮すること、  
② 最大級の地震に対して残留変形が大きくなると補修継続使用の費用上問題が大きくなることから塑性化を特定の部材に集中させ、持続性をもつ構造部材は弾性設計とし、一定以上の変形が生じる地震に遭遇した損傷部の塑性化部品を交換する。

### (4) 制震・免震構造

耐震構造が地震力に耐えるように設計されるのに対して、建物に作用する地震力を抑制しようとするのが制震・免震構造である。制震構造を実現する条件として次の 5 項目があげられる<sup>5)</sup>。

- ① 地震のエネルギー伝達経路を遮断
- ② 地震動のもつ周期帯から建物側の固有周期帯を避ける
- ③ 非線形特性を与えて非定常非線形とする
- ④ 制御力を付加する
- ⑤ エネルギー吸収機構を利用する

これらの項目の中で、広く実用化されているのが②の免震構造、⑤の減衰付加してエネルギー吸収を行う制震構造である。

制震装置は構造物の揺れによって装置に変形が生じて初めてそのエネルギー吸収能が発揮される。剛性が高い RC 構造では制震装置が機能する前に部材が損傷する。高強度材料を使用した PC 構造、フラットスラブ工法および大スパン構造は水平剛性が小さい点が制震装置に対して有利に働く。

中低層建物では鉛直荷重を支持する構造要素と地震荷重に抵抗する構造要素が同じであった。それらの役割を分けることによって鉛直荷重支持要素の損傷を避けることができる。

建築物の最下層と基礎の間に設置されたアイソレータとダンパーにより建物の固有周期を延ばし、同時に減衰を増加させた構造が免震構造である。わが国では 1983 年に最初の免震構造が建設され、兵庫県南部地震以後急速に適用例が増えてきた。

## 3. PC 技術と耐震技術

PC 不静定架構としてわが国において初めて建設された建築物は、1956 年に建設された淡路島にある兵庫県南淡町庁舎である。3 階建て 1 スパンラーメン構造で、1995 年の兵庫県南部地震の被害を受けることなく 46 年を経た今も庁舎として十分な機能を果たしている。この建築物は、強度と

粘りで地震力に抵抗させるように終局強度設計法で設計された耐震構造である。

その後さまざまなPC工法を活用した耐震技術が開発されている。PC鋼材を利用した技術を含めて紹介する。

### 3.1 免震工法とPC構造

PC本来の特徴は、鉛直荷重による曲げモーメントを打ち消すことが可能で、大スパンに適した構造であり、高強度材料を用いプレストレスを導入していることから高弾性で復元力に優れている点にある。一方、その履歴特性は非エネルギー吸収型でRC構造と比較して耐震性に劣るといわれている。前述の免震構造を併用することによってPC本来の特徴を十分に発揮できる。すなわち上部構造は鉛直荷重だけを負担すればよいのでスパンを大きくとれる。そのことによって柱の数は少なく個々の柱の負担する荷重は大きくなる。免震装置の数は少なく、しかも軸力が大であること、さらに上部構造が弾力的であることはコスト的にも性能の上でも免震工法にとって好都合である。また上部のPC構造は水平方向に柔軟免震層で支えられているので、PC梁におけるプレストレス導入時の弾性変形、その後のクリープ変形・乾燥収縮変形が基礎部によって拘束されないため、不静定二次応力が低減される利点がある<sup>6)</sup>。

### 3.2 フラットスラブと耐震壁、ブレース

フラットスラブは梁型がないことから室内空間が有効に使用でき、建設コストも削減でき、さらにプレストレスの導入によって、ひび割れやたわみの制御が可能になりRCに比べスラブ厚さを薄く、スパンを大きくすることができる。ただし、その場合柱とフラットスラブからなる架構で地震力を負担するのは難しく、平面計画上、耐震壁やブレースを設けやすい倉庫やデパートに用いられている。

### 3.3 PC鋼材のブレース利用

耐震技術としてのPCブレースの利用方法として次の2つがある。1つはPC鋼材をそのまま引張りブレースとして利用する方法、2つ目はプレレストレストコンクリート部材をブレースとして用い、圧縮力、引張力両方に抵抗させる方法である<sup>7)</sup>。

PC鋼材を耐震ブレースに利用する利点は次のとおりである。

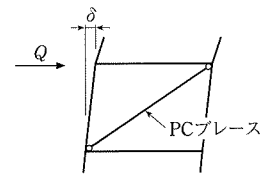
- ・PC鋼材は降伏点強度が高く、大きな応力に対しても弾性を保ち、大地震時の建物の大きな変形にも追従できる。
- ・圧縮力が作用すると容易に座屈し、座屈によりブレースの耐力が急変することがない。
- ・必要な強度や変形能力に応じてさまざまなPC鋼材が用意されている（A種、B種PC鋼棒、PC鋼より線等）。
- ・施工面でも、ブレースの運搬、取り付けが簡単である。

PCブレース付き鉄骨ラーメン架構の荷重変形関係を図-2に示す<sup>7)</sup>。PC鋼より線をブレースとして用いたPC造建物として、1978年神戸市ポートアイランドに建設されたプレキャストPC造の3階建ての倉庫がある。兵庫県南部地震では周辺地盤は大きな被害を受けたが、上部躯体は無損傷であった<sup>8)</sup>。

### 3.4 摩擦制御型接合PCブレース

図-3に示す摩擦制御型接合PCブレースはプレキャストコ

ンクリートブレースによる既存建物の耐震補強技術として開発されたものである。RC引張りブレースにひび割れが生じると、圧縮ブレースによる突き上げ力が生じ梁が損傷する恐れがある。またブレースが破壊すると、急激に水平耐力が失われ脆性破壊を起こす。そこでブレースにプレストレスを導入し、ひび割れ耐力を上げ、またブレースと梁の接合部に滑り摩擦材を取り入れ、ある一定の荷重以上になると滑りが生じ、ブレースの脆性破壊を防ぐ構造である。



$\delta$ : ある階での1階分の変位(層間変位という)  
 $Q$ : 層せん断力

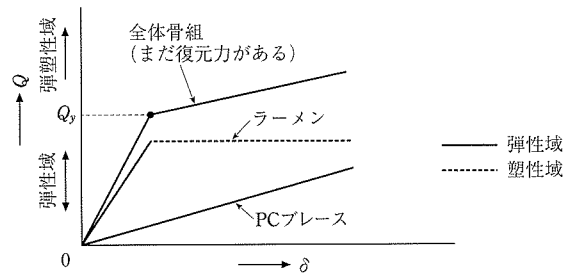
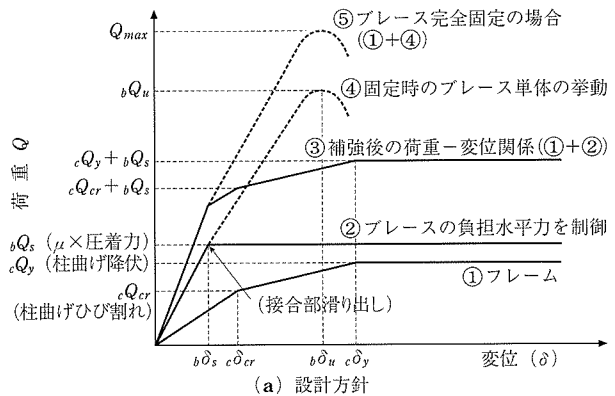
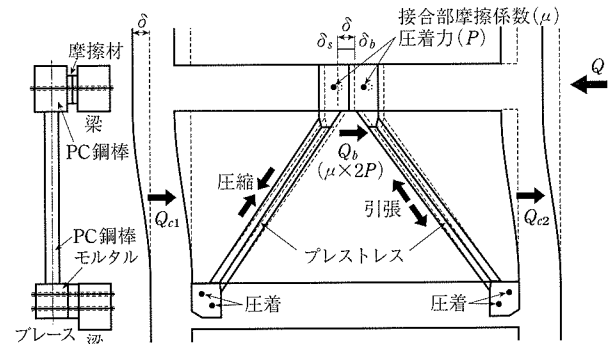


図-2 PCブレース付きのラーメン架構のQ- $\delta$ 関係



(a) 設計方針



$Q$ : 水平荷重  
 $Q_{c1}, Q_{c2}$ : 柱の負担せん断力  
 $Q_b$ : ブレースの負担せん断力  
 $Q = Q_{c1} + Q_{c2} + Q_b$

$\delta$ : フレームの変形  
 $\delta_b$ : ブレースの変形  
 $\delta_s$ : 複合部の滑り量

(b) 補強方法

図-3 PCa PCブレースによる補強

滑り摩擦材はエネルギー吸収材としても有効で、水平耐力の大きいブレースで補強した場合は水平剛性が改善され、変形が押さえられ、耐震型の補強となり、水平耐力の小さいブレースで補強した場合は変形性状が改善され、エネルギー吸収量が大きく制震型の補強となる<sup>9), 10)</sup>。

### 3.5 PC 鋼材と普通鉄筋の併用

#### (1) PRC 部材

PC 部材の履歴エネルギー消費は RC 部材と比較してかなり小さい。しかし、PC 部材に普通鉄筋を加え両者を併用することによって履歴特性を改善することができる。図 - 4 は終局曲げ耐力をほぼ同じに設計した PC および PRC 片持ち梁の正負繰返し载荷試験結果である<sup>10)</sup>。図 - 5 に示すプレストレス係数  $\lambda$  ( $= T_{py} / (T_{py} + T_{sy})$ ,  $T_{py}$ : PC 鋼材の引張力,  $T_{sy}$ : 鉄筋の引張力) が 0.6 程度でも等価粘性減衰定数が大きく改善されている。

#### (2) プレストレスによる耐震性能の改善

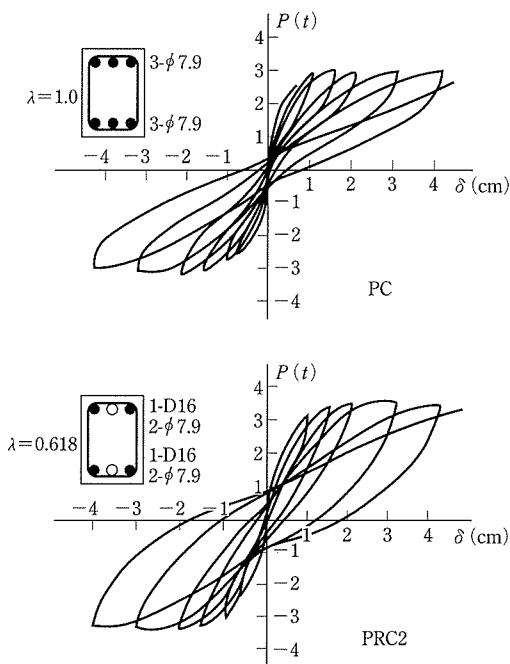


図 - 4 PC, PRC 梁の正負繰返し载荷試験結果

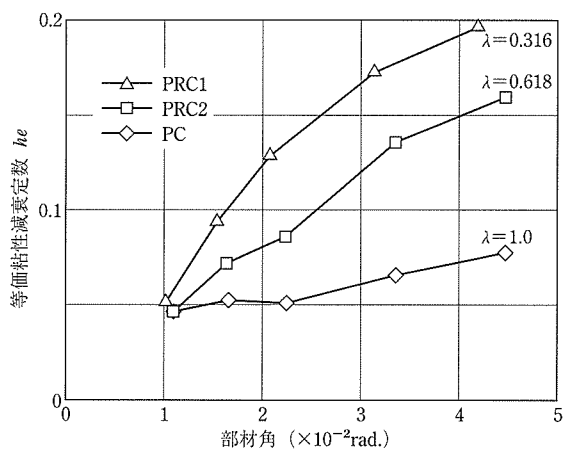


図 - 5 等価粘性減衰定数

PC 部材の履歴エネルギー消費が少ないのは履歴ループが弾性的であることによるが、これは残留変形が小さいことを意味している。この利点を生かし、大地震時にも PC 鋼材を弾性状態にとどめ地震後の残留変形を抑制し、地震エネルギー吸収は普通鉄筋に期待する考えがある。図 - 6 は Precast Seismic Structural Systems (PRESSS) Research Program による 1 例で、柱にプレキャストコンクリート梁を圧着接合する構法である。アンボンド鋼材を梁断面の中央位置に配置し、柱梁接合部近傍では梁断面上下縁に普通強度鋼材をダクト内に配置し、グラウトを行って普通強度鋼材には付着を与える。PC 鋼材は常に弾性範囲内にあるようにアンボンドとし、かつ部材断面中央に配置する。普通強度鉄筋はその降伏によってエネルギー吸収を行うため降伏しやすいように断面の縁付近に配置する<sup>12), 13), 14)</sup>。

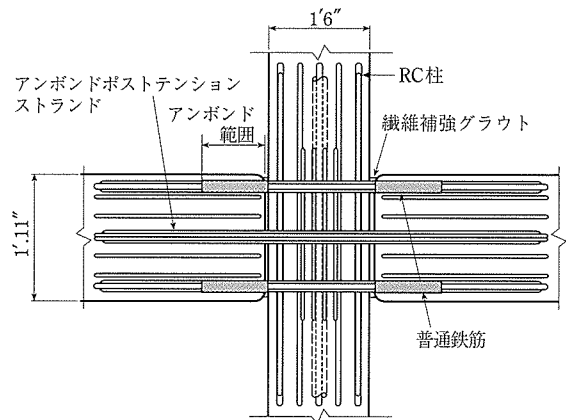


図 - 6 ハイブリッドフレーム接合

### 3.6 混合ストランド

図 - 7 に示す混合ストランドは、降伏強度 400 N/mm<sup>2</sup> 級の普通強度の素線と 1700 N/mm<sup>2</sup> 級の PC 鋼材に用いられる高強度素線をよりあわせて作成されたストランドで、プレキャストコンクリートの圧着接合部における圧着材用として開発された。図 - 8 に示す PC 鋼材のみを通し配筋として圧着接合されたプレキャストコンクリート造柱梁骨組は通常の鉄筋コンクリートと比較して原点指向性の強い、履歴面積の小さな荷重-変位性状を示す。混合ストランドを用いて圧着した場合、圧着力は高強度素線に、エネルギー吸収は普通強度素線にそれぞれ分担させることにより、プレキャストコンクリート梁柱圧着接合骨組の履歴性状が改善される<sup>15)</sup>。

### 3.7 可変剛性機構

可変剛性機構とは、建物の耐力壁やその境界ばりの変形-復元力特性を非線形で、かつ弾性復元する機構であり、

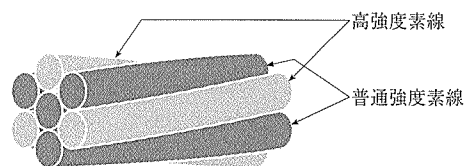


図 - 7 混合ストランド

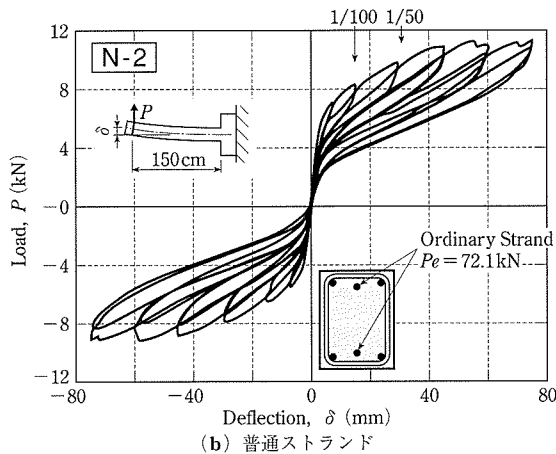
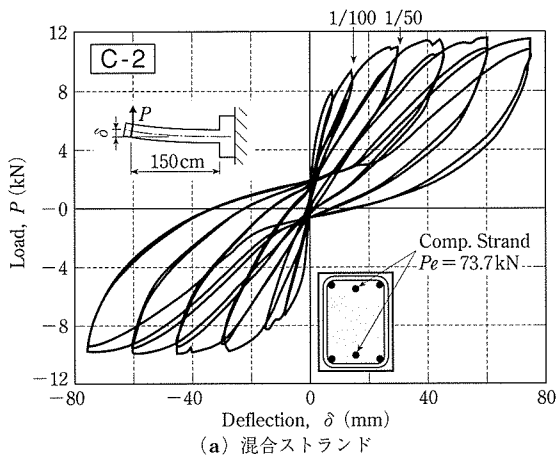


図-8 混合ストランド、普通ストランドを用いた片持ち梁の繰返し載荷試験結果

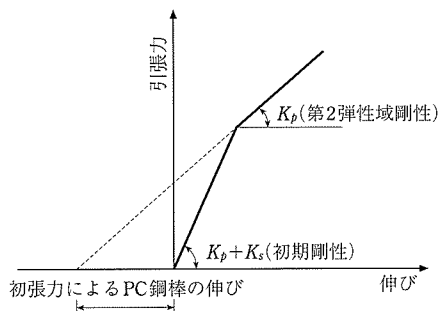
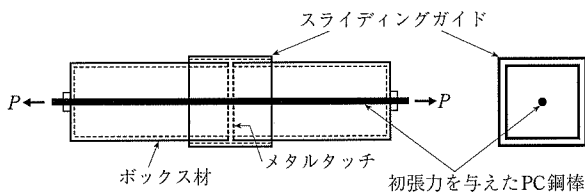


図-9 鋼管にプレストレスを導入した可変剛性機構

その変形—復元力特性を簡単に変化させることができる。この機構によって、台風や中地震に対しては比較的高い剛性を保ち、大地震に対しては剛性が低下し地震の入力を低減できる。しかも弾性復元が可能である。具体的には、鉄筋コンクリートや鉄骨のブレースにPC鋼材にてプレストレスを導入し、プレストレスが効いている間はRCとPC

鋼材の、また鋼管とPC鋼材の剛性もち、それ以上に引張力が作用するとPC鋼材だけの剛性になる。図-9に鋼管にプレストレスを導入したものを示す<sup>16)</sup>。

### 3.8 PC鋼材を用いたアースアンカー

PC鋼材の腐食性や定着部の安定性が確保されるようになり、建物の本設として用いられるようになった。水圧による浮き上がり、土圧による滑動などの長期荷重に抵抗させるだけでなく、地震力による基礎の浮き上がりや高層建物においては転倒防止の目的で使用されている<sup>17)</sup>。

### 3.9 アンボンドPC鋼材の減衰性能の利用

アンボンドPC鋼材の地震時における鋼材とシースの相対変位に着目し、その発生減衰力を耐震性の向上に利用する工法が提案されている。アンボンドPC鋼材は鋼材表面をアスファルト系またはグリース類などの粘弾性系防錆材料で被覆されている。その粘弾性による図-10に示す減衰性能を活用しようとするものである<sup>18)</sup>。研究・調査は始まったところであるが、既存のアンボンドPC鋼材の利用だけでなく、目的に応じたPC鋼材の開発も含め、アンボンド部材の耐震部材への利用が認められた時期でもあり今後の発展が期待される。

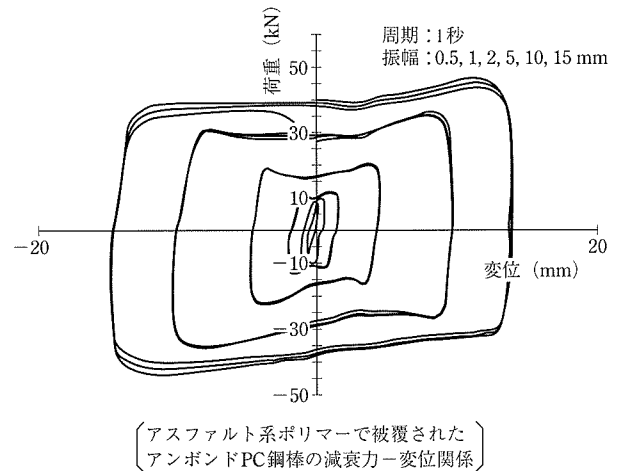


図-10 アンボンドPC鋼材の動的滑動載荷試験

## 4. 将来展望

地震に対する設計は、建築物の耐力で地震力に抵抗させる強度型、あるいは構造躯体自身のエネルギー吸収により抵抗させる強度+粘り型、デバイスにより構造躯体に入力される地震力を制御する制震型、地下階あるいは中間階に免震層を設け上階への地震力の入力を制御した免震型、および構造躯体の他に制震デバイスを組み込みその損傷によって建物を地震から守る損傷制御型とさまざまな構造システムが考えられる。

構造種別も、従来からの柱、梁ともRC、PC、S、SRCといった構造から柱、梁それぞれに各種の適切な構造を選択するようになってきている。さらに一つの部材においても部分的に別種の構造が混在することも可能であり、選択の幅が広がっている。

建築基準法は2000年の改正において性能規定型に変わり新しい技術を採用しやすくなった。PC工法に関してはこれ

まで耐震部材への使用が制限されていたアンボンド PC 鋼材が耐震部材への使用も可となり、前述のアンボンド PC 鋼材に関連する工法が広まっていくことが期待される。

建築構造物も環境問題などから長寿命化が求められている。PC 技術は、建築物の材料・構造面からの物理的な耐久性のみならず機能的な要求に対しても対処できる有用な技術であり、またアンボンド圧着工法は解体を容易にし、部材の再利用も可能とするものである<sup>19)</sup>。

## 5. おわりに

PC は鉛直荷重によって生じる引張応力を打ち消すようにあらかじめ圧縮応力（プレストレス）与えておき、曲げひび割れ耐力を高めるコンクリート構造として普及してきた。すなわち常時荷重を対象に発展した構造である。今後もその特徴は、大スパン構造やコンクリート構造のひび割れ幅制御などに大いに生かされるであろう。しかし、今や PC の技術は、ひび割れの制御だけでなく本論で紹介したように耐震技術としても広く利用されている。アンボンド PC の使用に法的な制約がなくなった現在さらにその発展が期待される。地震に対する設計法にしても、部材の損傷によって地震エネルギーを吸収させる耐震設計から制震・免震構造あるいは損傷制御設計まで各種の手法が開発されている。設計者にはそれらの中から適切なものを選択する能力が求められる。一方設計者は、設計しようとする建築物の目標性能について建築の発注者あるいは所有者と合意し、その構造性能を解りやすく説明する責任がある。

### 参考文献

- 1) 大橋雄二：日本建築構造基準変遷史，日本建築センター，1995.3
- 2) 梅村魁編：新しい耐震設計，日本建築センター，1979
- 3) 加藤博人：限界耐力計算法と PC 建築，プレストレスコンクリート Vol.43, No.4, pp.10-16, Jul. 2001
- 4) 和田章他：建築物の損傷制御設計；丸善，1998
- 5) 鹿島都市防災研究会編：制震・免震技術，都市・建築防災シリーズ 4；鹿島出版会
- 6) 林三雄：プレキャスト免震建築，プレストレスコンクリート Vol.43, No.4, pp.21-27, Jul. 2001
- 7) 下伊豆隆三：PC 建築の話，建築技術選書 15 学芸出版社
- 8) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神淡路大震災調査報告 建築編-2 プレストレスコンクリート造建築物他，日本建築学会，pp.71-74, 1998
- 9) 森山毅子彦他：プレキャストプレストレスコンクリート造プレースによる耐震補強に関する実験報告，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1013-1014, 1998.9
- 10) 小山内裕，渡辺史夫，勅使川原正臣：摩擦制御型接合プレースにより耐震補強した建物の動的挙動，コンクリート工学年次論文集，Vol.22, No.3, pp.1-6, 2000
- 11) 鈴木計夫，大野義照他：プレストレス鉄筋コンクリート梁部材の変形状について，日本建築学会近畿支部研究報告集構造系 pp.305-308, 1981
- 12) 渡辺史夫他：21 世紀のプレストレスコンクリート建築；プレストレスコンクリート技術協会第 29 回技術講習会テキスト p.71, 2001
- 13) M.J.Nigel Priestley et al. : Preliminary Results and Conclusions From the PRESSS Five-Story Precast Concrete Test Building. PCI Journal, Vol.44, No.6, pp.42-67, 1999
- 14) 妹尾正和：PRESSS（プレキャスト耐震構造システム）によるすぐれた耐震性能の実現，プレストレスコンクリート，Vol.44, No.4, pp.42-44, July 2002
- 15) 西山峰広他 3 名：混合ストランドを用いたプレキャスト圧着接合部骨組の履歴性状；コンクリート工学年次論文報告集，Vol.16, No.2, pp.811-816, 1994
- 16) 須藤福三他：壁体を用いた超高層建家構造の計画—WTC ビルの構造計画の推移— (2)，建築技術，No.203, pp.163, 1968.7
- 17) プレストレスコンクリートの利用性追求研究委員会報告書，日本コンクリート工学協会 p.62, 1991.7
- 18) 森高英夫他：アンボンド PC 鋼材の減衰性能の利用に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.941-944, 2001.9
- 19) 大野義照：プレストレスとコンクリート（PC）造建築物と長寿命，プレストレスとコンクリート Vol.42, No.4, pp.13-18, Jul. 2000

【2002 年 9 月 9 日受付】