

新しい耐震要素として考えられるプレストレスト コンクリート

水 津 秀 夫*

はじめに

建築の構造計画とは、どんな耐震計画をするかといってもよいくらいに、日本では耐震要素の選択が建物全体の設計を左右してしまう。このために設計者はいろいろな耐震要素を考えだしている。いずれも強度上の性能を満すばかりでなく、弾性時・塑性時において変形能力を充分にもっていることが要求されている。

たとえば、スリット入りRC壁、PC鋼棒を用いたブレース壁、仕口変形を考慮したPC壁や鉄骨ブレース壁などが実用化されている。これらの選択は平面計画に大きな影響をうけているので、いずれのものが最良のものであるかはいちがいには判定できないし、実際には大地震の経験を経っていないのでますますそれらの耐震性能の判別がしにくいのである。しかし日本の構造設計者は勇敢にも、大規模な高層建物にこれらをどんどん採用している。そこでそれに便乗して、プレストレスを受けている部材の面白い特性を使った、耐震要素を提案してみよう。

1. 弾性範囲にありながら剛から柔になる

大地が揺れ動くとき誰もが不安になるように、建物もふだんするときにはできるだけ剛い方が居心地が良いものである。いくら強度的に安全であるといわれても、風が吹くたびに揺れていたのではがまんできない。

しかし剛なものは変形能力が少ないという欠点もある

*株式会社日建設計 構造設計主管

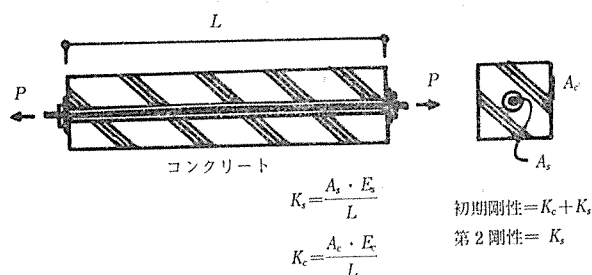


図-1

し、剛な耐震壁には、地震力が集中して、局部的な大破壊をまねくことにもなりかねない。そこで剛でありたいときは剛であり、柔でありたいときは柔になる変幻自在なものがほしくなってくる。

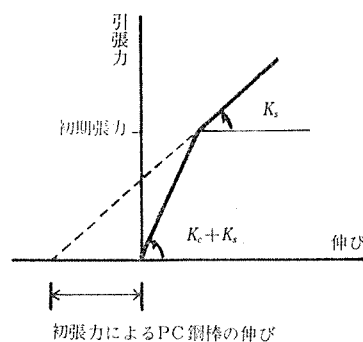
ここにプレストレスを受けている部材を引張ったときの特性が生かされてくる。図-1のようにコンクリートをPC鋼棒で締めつけて部材を引張ったときの初期剛性は、コンクリート部材とPC鋼棒の剛性の和であるが、引張り荷重がプレストレスを越えると、コンクリート部材からPC鋼棒は離れてしまい、PC鋼棒だけの剛性に低下する。しかも荷重を元へもどしていけば、同じ経路を通して原点へもどり残留変形を残さない。

このプレストレスの特性を生かすことにより、初期剛性は高いが、ある力(プレストレス力)を越えると剛性が低下し、しかも完全弾性に復元する機構が作り出される。

この機構を用いることにより、台風や中程度の地震にたいしては、比較的高い建物剛性をもっている一方、大地震にたいしては、建物剛性が低下し、地震の入力を減少させることができ、しかも相当な大地震までも弾性復元させることが可能になる。

締め付けられる圧縮材(コンクリート、鉄骨など)で初期剛性が、締め付けで剛性の変化点が、また締め付けの緊張材(PC鋼棒)で剛性が変わった後の特性を自在に作り出せるのが、この機構の変幻自在な機構といわれるゆえんである。

2. 使用できる場所としては……



この変幻自在な機構も建物のどこに使うかによってその効果がちがってくる。その効用はいずれも耐震要素の性能をより良くするのであるが、構造的な力の流れ方をよく理解してはならない

プレストレスト コンクリート

い。ひとくちに耐震要素といっても耐震壁や柱だけを単独に取り出したのでは構造設計はできない。建物全体が地震力をうけて揺れ動くのであるから、壁や柱のつながり方や、それぞれの変形具合で力の受けとめ方がちがってくる。したがって、全体計画のなかでこの変幻自在な機構をどのように使うかに構造設計の面白さがある。

さて建物の地震のときの剛さを左右する一番手はどこだろうか。それは誰しもが耐震壁と考えるだろう。耐震壁そのものとその周囲の境界条件が建物の剛性を左右する。そして部材の剛性を左右するのはその部材の曲げ変形とせん断変形と軸方向変形である。耐震壁そのものを考えたときは、軸方向の変形はあまり重要ではない。

そこでこの機構の使い方は、次のパターンに整理できる。

- | | | |
|---------|---|----------------|
| 耐 震 壁 | } | せん断剛性を変幻自在にする。 |
| | | 曲げ剛性を変幻自在にする。 |
| 境 界 ば り | } | せん断剛性を変幻自在にする。 |
| | | 曲げ剛性を変幻自在にする。 |

この使い方の具体的な例を図-2に示してある。これらの使い分けは建物全体の形、耐震壁の配置、外力の分布、応力の分布などによって最適なものを選択すれば良い。

またこの機構を用いた部分の変形具合を調整するには、圧縮材の材質、断面、長さや緊張材の断面、長さを選ぶことにより可能となる。

さらにその選択には仕上との関係も考えておかななくてはならない。動きの多い仕口のところでは当然逃げのとりが必要であるし、万一の場合には緊張材の保守点検や部品交換も可能にしておく。

いずれにしても建物を設計するには、部分設計ではなく、全体のものを見とおした上で、最も効果的な手段を選ぶ必要がある。

3. 実験によって……

この変幻自在な機構をもった耐震要素を実験によって確かめてみる。いくつかのパターンのなかから図-2のうちの耐震壁のせん断剛性が変幻自在なものを静的加力実験により試してみた。

(1) 実験体について

実験に用いた供試体の大きさはほぼ1/2のスケールであり、X型のコンクリートプレースをPC鋼棒(2-18φ)で締め付けたものを鉄骨フレームにカップラーを介してボルト止めしたものである。コンクリートプレースの剛性は、周辺の鉄骨フレームの約3倍の水平剛性をもって

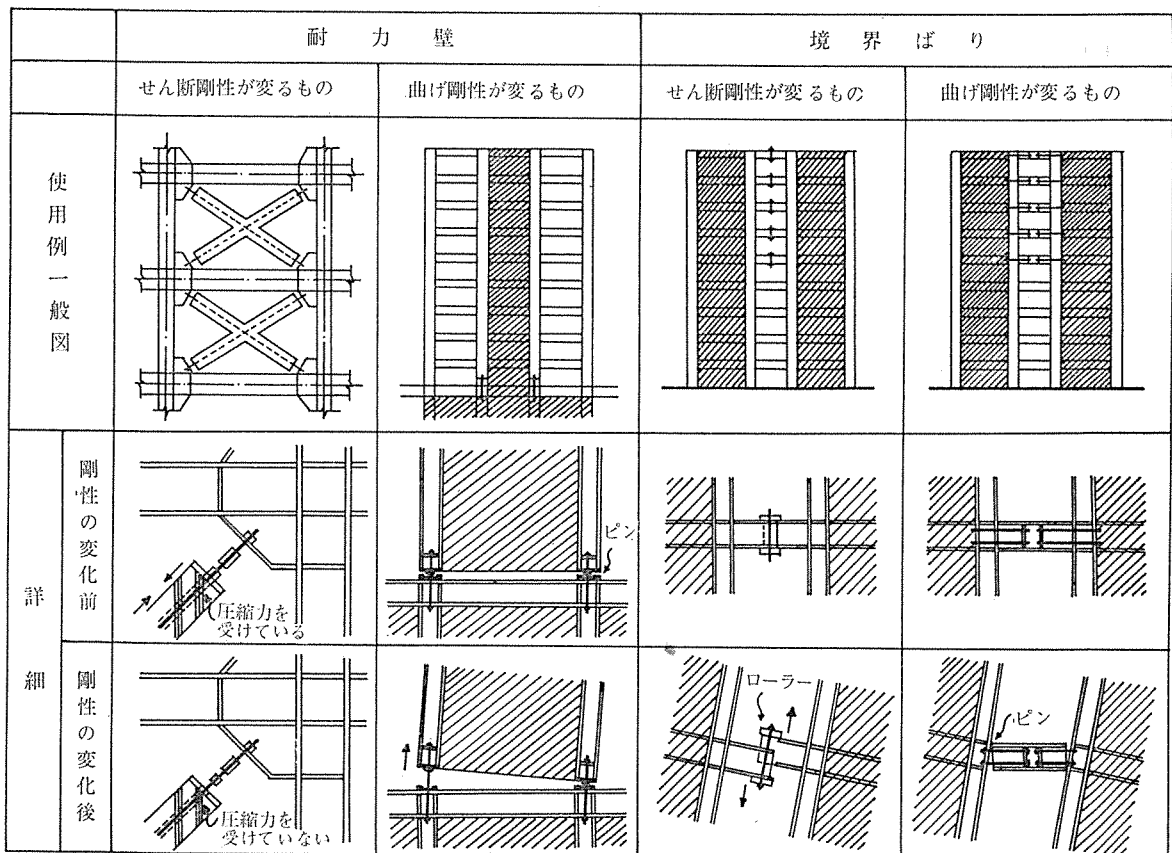


図-2

いる。加力の装置は図-3のように2階分のフレームを横にして、中間のはりに相当するところに静的加力をする。こうすることにより剛性が変幻自在なコンクリートブレースをもつ骨組みの性能テストを行った。このテストでは、一方向へ加力した後、供試体をひっくり返して加力することにより逆荷重を与え、くり返し荷重を与えた。図-4に供試体の詳細を示してある。

使用材料は鉄骨がSM 50 A, P C 鋼棒が第 4 種 (呼び径 18 mm), コンクリートが川砂, 川砂利使用の $F_c = 500 \text{ kg/cm}^2$ の高強度コンクリートである。コンクリートブレースをフレームに取り付ける部分の詳細からわかるように、定着部に球ナットを使用して、加力によってフレームとブレースの相対変形に追従できるようにしてある。接合するためのカップラーをこの球ナットまでの間の P C 鋼棒にはガタのない程度に締め付け力が入っている。これを強く締め付けてしまうと、周辺の鉄骨フレームにもプレストレスが入ってしまいその影響が初期剛性にでてくるので、注意をはらった。この供試体ではコンクリートブレースを取付けるためのガセット部分がフレームに比べてきわめて大きくなったために、フレームが剛くなりフレームとブレースの剛性差を大きくすることができなかったことは残念であった。

(2) 実験で確かめられたこと

測定はたわみ、節点回転角とともに鉄骨表面およびブレースの P C 鋼棒のひずみ度について行った。剛性が変

わると予想された荷重 ($P=110 \text{ t}$) では測定をこまかに行った。P C 鋼棒のひずみ度測定によると図-6のように明らかに 100 t 前後からひずみ度の増大がみられ、ブレース材に剛性変化が生じたことがわかる。また荷重の除去につれて、往路とほぼ一致したもどりの径路をたどって元に復元することがわかる。すなわち材質は弾性でありながら非線型の荷重-ひずみ曲線を描いている。

しかし全体の荷重-たわみ曲線においては図-5にみられるように $P=100 \sim 120 \text{ t}$ 付近では明瞭な剛性の変化は示していない。これはフレームの剛性が高く、ブレースの剛性変化がそれに比べて少なかったためである。

これは実験体の大きさを実物のほぼ 1/3 としたため、コンクリートブレースを取り付ける部分がフレームに比べてきわめて大きくなり、フレームの剛性を増大させた

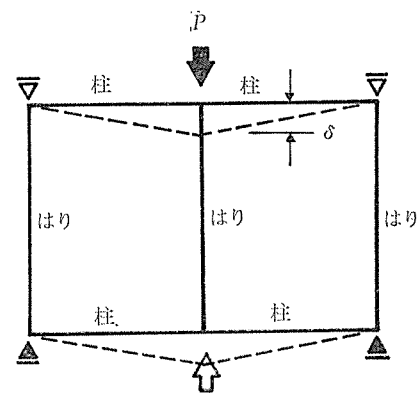


図-3

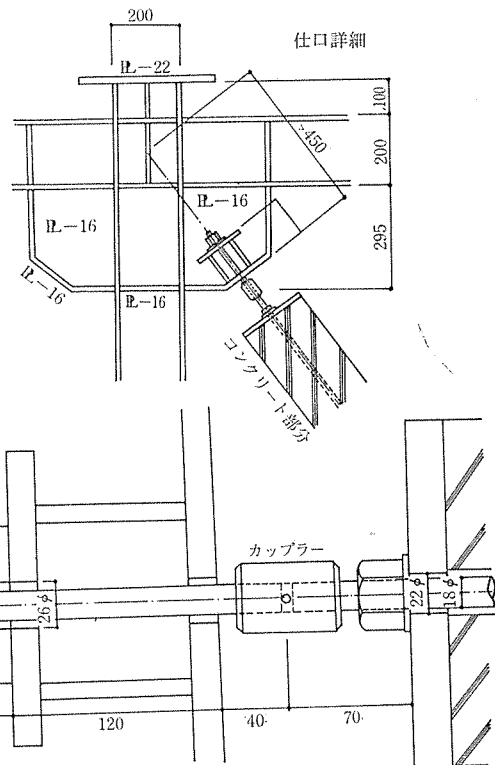
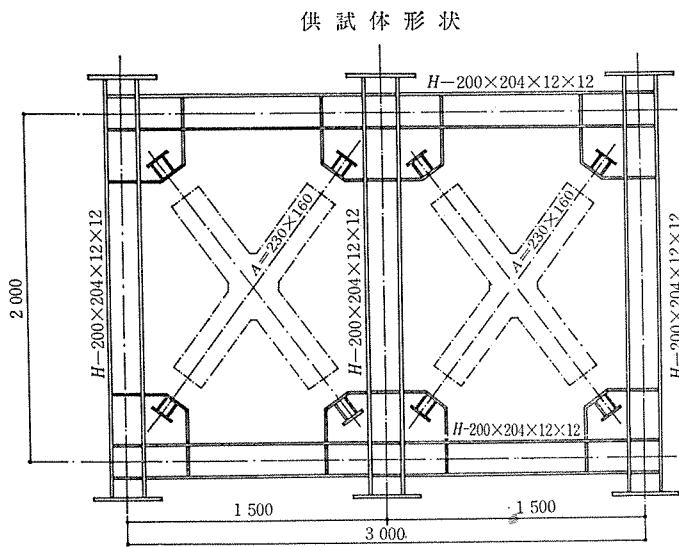


図-4 供 試 体

定着部詳細

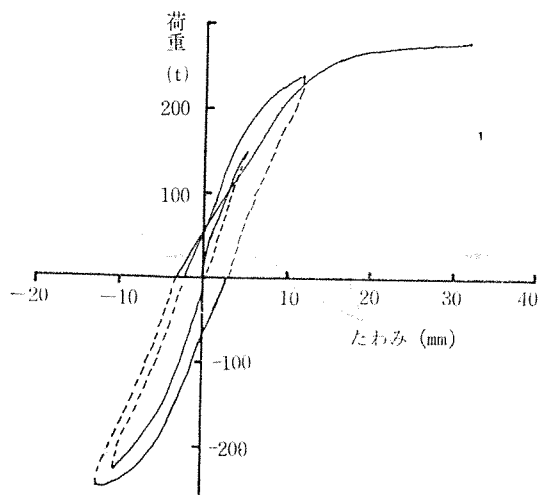


図-5

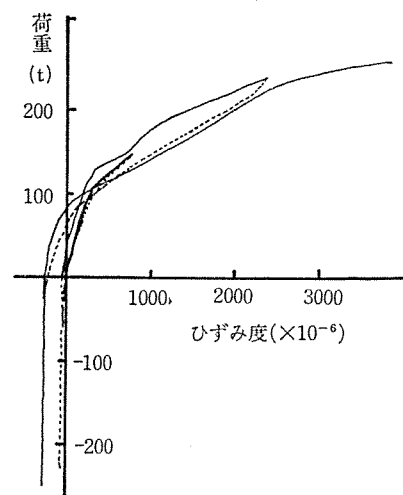


図-6

ことと、ブレースを取り付けるための部分や結合するためのカップラー部分が、ブレースの締め付けられている部分の長さ比べて実際の場合より長くなっているためブレースの剛性を減少させたなどの理由からである。

したがって、ブレースの締め付けられている部分のみに目をつけてみると明らかに目的とした変幻自在な機構の役目を果たしていることがわかった。

実際の建物に組み込むときは、フレームの剛性よりもブレースの剛性のほうがはるかに高くなるであろうから骨組として変幻自在な特性がさらにはっきり出てくるといえる。

実験体の破壊は $P=238t$ に達したときPC鋼棒の破断で生じた。このときの層変形角は階高の $1/45$ であった。

以上のことから、取り付け部分のディテールおよび面外への振れなどの問題は多少残るにしても実際の建物に適用しても充分その目的を達しうることがわかった。

4. 高層ビルに使用したら……

今度はこの変幻自在な機構をもつ建物が地震のときに

どんな応答を示すか振動解析をしてみた。

建物の剛性がLinearなもの、一般的なNon-Linearなもの、この変幻自在な機構をもつものとの三つのタイプでシュミレーションを行った。いずれも初期剛性は同じであり、高応力になった以後の復元力特性がちがうものである。

それぞれの復元力特性の型を図-7に示す。

図-8は、FL-CENTRO波を入力としたときの応答最大層せん断力の包絡線である。図-9はLinearタイプのものと変幻自在機構をもつものの比較のために時刻を横軸にとり、建物のうける地震力のちがいを示したものである。

これらの振動解析の結果から、明らかのように、受ける力が大きくなったときに剛性が柔かくなると建物に働く地震力が減少するし、Non-Linearタイプのように残留変形を残してエネルギー吸収をするものに比較して、あまり入力力の減少という点では大差のないことがわかる。

すなわち、大地震でも弾性復元するという大きなメリットをもっていながら、地震力を受け流すことができる

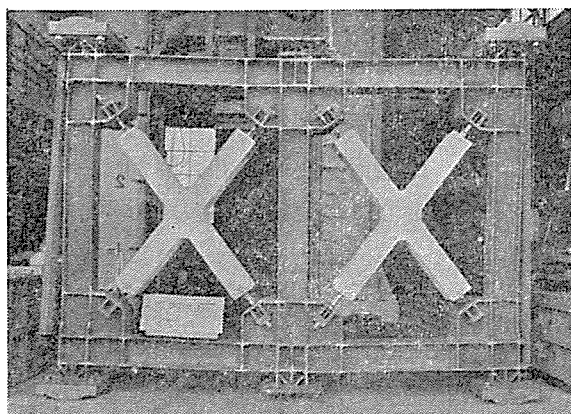


写真-1

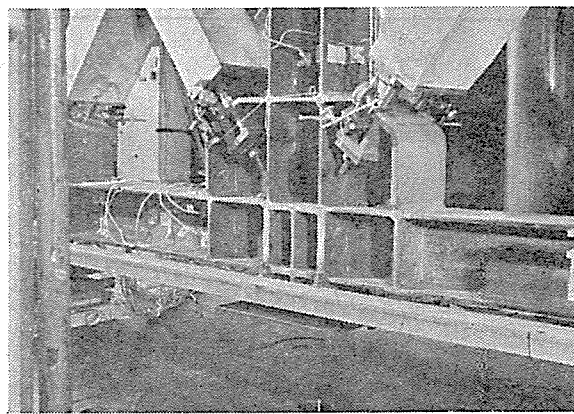
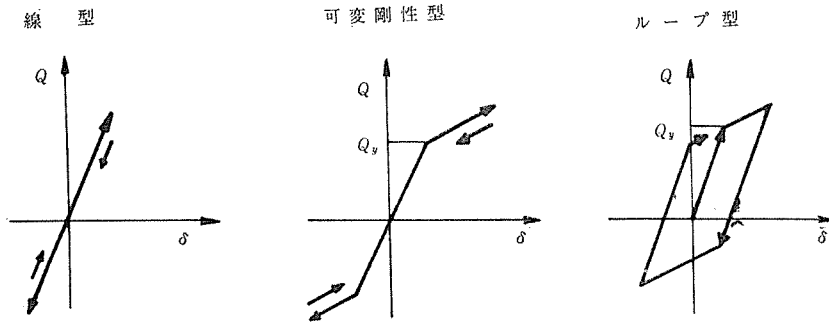


写真-2



Q: 復元力 Q_y : 剛性変化時せん断力 δ : 変形

図-7

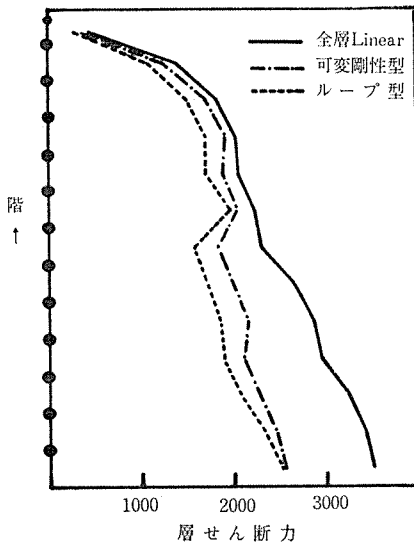


図-8

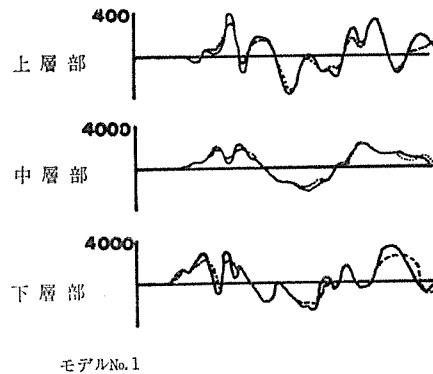


図-9

のがこの変幻自在な機構をもつ建物の特長である。

あとがき

10 年位前のある超高層ビルの耐震設計をしたときに、この面白いプレストレストコンクリートの特長を使った計画をしたことがあった。残念ながら実現はしなかったが、耐震設計をしているかぎり、いつかこの変幻自在

な機構をもつ建物を作りたいと夢みている。

しかしまた地震そのものがよくわかっていない現段階においては、ただちにこの機構のみに頼ることは軽率すぎるという非難をまぬがれまい。これからの耐震工学のひとつの研究課題としてプレストレストコンクリートは私達の目前でよりよく利用されることを待ち望んでいると考えてよいだろう。

1974.2.20・受付

「プレストレスト コンクリート構造物の設計法と現況」発売について

本書は、I. プレストレスト コンクリートの性質、II. プレストレスト コンクリート用材料、III. 設計法の基本、IV. 土木構造物の設計計算例、V. 建築構造物の設計計算例、の5章よりなり、プレストレスト コンクリートについての入門書としてさきに本協会が行いました講習会のテキストとして刊行したものです。

購入ご希望の方は代金を添え協会まで申込み下さい。

定 価: 1 000 円 (〒 200 円)

申込先: プレストレストコンクリート技術協会

東京都千代田区麴町1の10の15 紀の国屋ビル