

(21) プレストレストコンクリート骨組構造の設計用ベースシア係数に関する一考察

(株)大林組本店建築設計第六部 ○ 宮崎 依子
立花 章夫
正会員 深野 慶
板垣 勝善

1. はじめに

現在、プレストレストコンクリート(以下PCと略記)造建物の耐震設計は、建築基準法施行令で規定される地震荷重時(ベースシア係数で0.20)弾性応力を係数倍(1.50倍)した応力と他の応力とを組み合わせで求めた設計用応力に対して、断面の終局耐力がこれを下回らないように設計し、二次設計としての保有水平耐力の検討を省略するいわゆる耐震設計ルート上のルート3a型で行われることが多い。しかし、同設計法においては、大スパン架構から予想される長周期の振動特性や地震荷重設定のための設計用ベースシア係数等についての検討が十分に行われているとは言い難い。

本研究は、PC骨組構造の終局強度型設計法に関する基礎研究の一つとして、同構造の固有周期及び設計用ベースシア係数に関する検討を試みたものである。すなわち、単スパンで多層のPC骨組構造モデルを対象とし、質点系等価せん断型振動解析モデルに置換して固有値解析及び弾塑性応答解析を行い、PC骨組構造の基本振動特性、応答特性等を調べ、考察を加えたものである。

2. 研究方法

2.1 モデル建物概要

本研究の対象としたモデル建物は一般事務所ビルを想定したもので、鉄筋コンクリート(以下RCと略記)造柱及びPC造大梁から構成される単スパン多層PC骨組構造である。ここで、単スパンモデルを対象としたのは、最も基本的な構造形式として振動特性、応答特性を明確に把握できるものと判断したためである。

構造規模は図-1に示すように、スパン長さを15mとし、階高は1階を4.5m、基準階を3.6mとした2階から12階建の8種類の建物で、検討対象としてスパン方向1架構(桁行方向負担幅5m)を取り出したものである。

各モデルの柱断面の大きさは、ベースシア係数(以下CBと略記)を0.40及びせん断力分布形を建設省告示に示される分布係数(以下Ai分布と略記)として算定したせん断力に対して得られた柱の軸方向応力度を0.35FC(FCはコンクリート強度)以下及びせん断力を

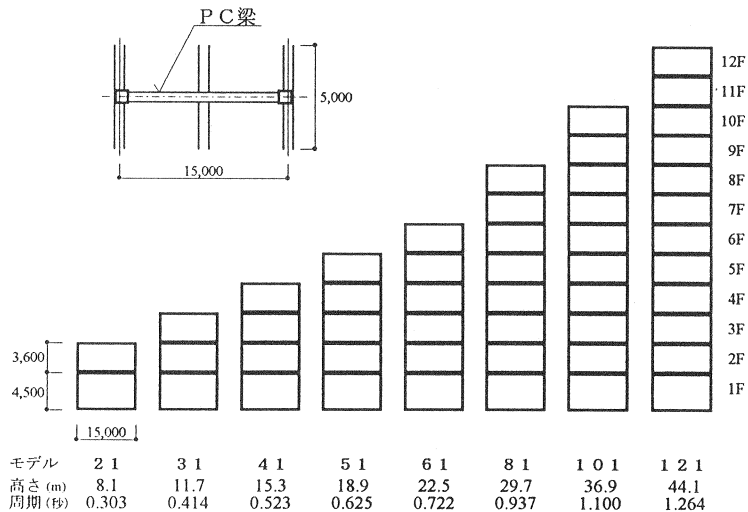


図-1 モデル建物概要図

終局せん断耐力以下になるように設定した。梁については、既往の研究結果を参考にして、梁せいをスパン長さ15mの約1/17の900とした。主要部材断面を表-1に示す。

使用材料は、コンクリート強度について柱はFC270、梁はFC360とした。

表-1 主要柱梁断面表

| モデル | | 幅×背 (単位 mm) | | | | | | | | |
|-----|-----|-------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|--|
| | | 21 | 31 | 41 | 51 | 61 | 81 | 101 | 121 | |
| 柱 | 最上階 | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | |
| | 一階 | 700 | 750 | 800 | 850 | 900 | 1000 | 1150 | 1300 | |
| 梁 | 最上階 | 550 | 550 | 550 | 550 | 550 | 550 | 550 | 550 | |
| | 一二階 | 600 | 600 | 600 | 600 | 650 | 650 | 650 | 700 | |

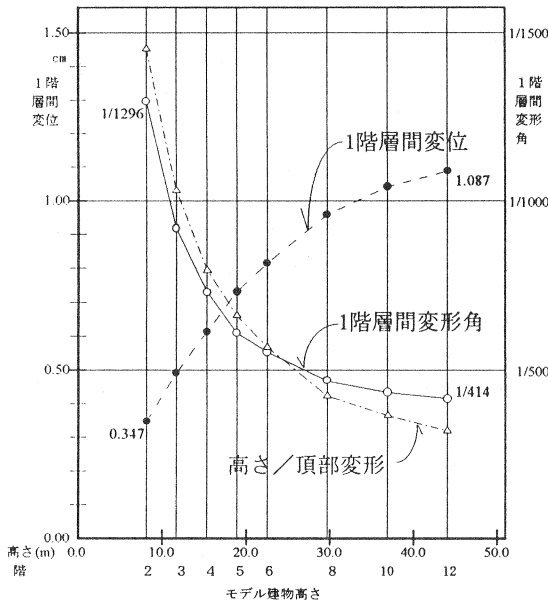


図-2 一次設計用せん断力時の1階層間変位及び変形角

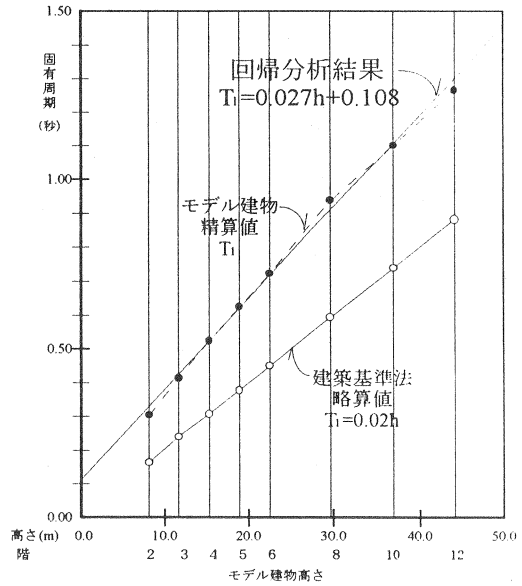


図-3 モデル建物の固有周期

2.2 動的解析モデル

各モデル建物を基礎固定の質点系等価せん断型振動解析モデルに置換するために、各層毎に復元力特性を次のように設定した。復元力特性のうち、スケルトンカーブは図-4に示すように、トリリニア型を仮定した。初期(弾性)剛性K1は、各モデル建物毎に一次設計用せん断力(CB=0.20、外力分布形はAi分布)を用いた平面応力解析から得られた層せん断力-層間変位の関係から求めた。層のひびわれ耐力に相当する第一折点Q1は、既往の研究結果(文献3、4)を基に、一次設計用せん断力の値とした。第二勾配K2については、初期(弾性)剛性に対する勾配比 α として各層毎に0.30から0.50の値を設定した。保有水平耐力に対応する

第二折点Q2は、CB=0.30、0.35、0.40、0.50及び0.60に外力分布形をAi分布として算定した各層のせん断力の値とした。第三勾配は、初期(弾性)剛性の1/1000とした。

履歴法則は、層の降伏までを対象とした応答解析(後述のレベル1応答)に対しては、PC梁に導入されたプレストレスによるPC骨組構造特有の復元性を考慮するために最大点指向型の履歴ループを、層の降伏以後を対象とした応答解析(後述のレベル2応答)については、柱梁による層の降伏性状がRC構造に近いものと仮定して、RC構造の評価で一般的なTAKEDAループを用いた。

質量条件は一般事務所ビルとしての地震時荷重条件より設定した。

減衰条件は、振動数比例型の内部粘性減衰を仮定し、 $h1=3\%$ とした。

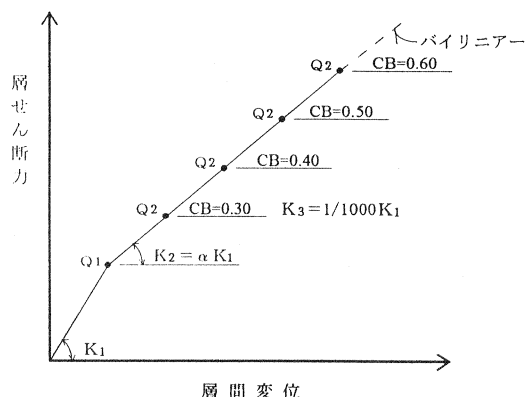


図-4 スケルトンカーブの設定

2.3 解析条件

地震動の入力条件は、中小地震に対応するレベル1(耐用年数中に一度以上受ける可能性が大きい地震動レベル)及びレベル2(過去の最強又は将来想定される最強の地震動レベル)の2種とし、入力レベルは速度換算にてそれぞれ25及び50cm/sとした。レベル1については、トリリニアール型のスケルトンカーブの条件の中で第二勾配までを採用したバイリニアール型のスケルトンカーブに最大点指向型の履歴法則を採用することで最大応答量を求め、建物の各層の降伏以前の挙動や、建物が層降伏を起こさない限界ベースシア等を検討した。また、レベル2については、層降伏は許容するが、保有水平耐力レベル(第二折点レベル)をパラメータとして設定したトリリニアール型のスケルトンカーブにTAKEDAループを採用することで最大応答層間変形角、層塑性率等に対する検討を主体とした。

解析に用いる入力地震動波形は日本建築センターより示された標準波5波とした。入力条件の概要を表-2に示す。

解析種別は時刻歴弾塑性応答解析、解析手法はRunge-Kutta 4次法とし、時間刻みは0.005秒とした。解析は(株)大林組開発保有の振動総合評価システムを用いた。

表-2 入力地震動条件

| ID | 地震名称 | 略称 | 波形データ | | 最大入力加速度 (cm/s ²) | |
|----|----------------|------|-----------|-----------|------------------------------|--------------|
| | | | 長さ (sec.) | 刻み (sec.) | レベル1 25 cm/s | レベル2 50 cm/s |
| 1 | EL-CENTRO 1940 | ELCN | 53.73 | 0.02 | 255.4 | 510.8 |
| 2 | TAFT 1952 | TAFT | 54.38 | 0.02 | 248.4 | 496.8 |
| 3 | HACHINOHE 1968 | HACH | 35.99 | 0.01 | 165.1 | 330.1 |
| 4 | TOKYO 101 | T101 | 11.38 | 0.02 | 242.5 | 484.9 |
| 5 | OSAKA 205 | 0205 | 14.98 | 0.02 | 123.0 | 246.1 |

3. 研究結果及び考察

3.1 解析結果

図-2に、平面応力解析にて得られた一次設計用せん断力時における各モデルの1階の層間変位、層間変形角及び建物全高さに対する頂部変形の比である全高変形角を示す。図-3に、各モデル建物の固有値解析にて得られた精算一次固有周期を示す。又、表-3及び図-5にはレベル1の最大応答ベースシア係数を示す。表-4にはレベル2の1階の最大応答量を、図-6にはレベル2の最大応答ベースシア係数、最大応答層塑性率等をそれぞれ示す。

3.2 結果の考察

① モデル建物の剛性について

図-2によると1階層間変形角はモデル21で1/1452、モデル121で1/414、全高変形角はモデル21で1/1296、モデル121で1/319となり、本研究で設定したモデル建物は高層になるにつれて、単スパン大スパン柔構造の特徴を明確に示している。

② 基本振動特性について

図-3には、モデル建物の高さや弾性精算固有周期の関係を示す。同図には建築基準法施行令に示される略算値を共に示すが、各モデルの周期は同略算値と比較して、ここでの単スパンのモデル設定及びPC構造の大スパン構造に起因する結果と考えられるが、かなり長周期化の傾向を示した。回帰分析による建物高さ $h(m)$ - 固有周期 $T(秒)$ の関係は同図に示すように、 $T = 0.027h + 0.108$ であった。

③ レベル1 応答結果について

図-5にレベル1最大応答ベースシア係数と弾性精算固有周期の関係を示す。最大値はモデル21の0.607であるが、モデル81より低層の場合0.30以上の大きな値を示した。同値をレベル1入力に対して1階を降伏させないための限界ベースシア係数と考え、低層モデルで示される大きな値は終局強度型設計用ベースシア係数を決定する上でレベル1入力からの必要条件として考慮すべき値と考えられる。

なお、本研究では、レベル1 応答には最大点指向型の履歴ループを設定したが、参考のために行なったTAKEDAループによる同条件の解析結果のうち、最大ベースシア係数の比較結果を表-3に示す。いずれのモデルにおいても最大点指向型の方が大きい値を示し、その傾向は低層モデル程著しく、両者の比の最大はモデル21の1.31倍であった。このように履歴ループの設定による応答結果の差異がレベル1 応答時でも顕著に現れることは、今後の大きな検討課題の一つと考えられる。

表-3 最大応答ベースシア係数(レベル1)比較

| モデル | ベースシア係数 | | 比較 |
|-----|-----------------|-----------------|------|
| | 最大点指向 | TAKEDAループ | |
| 21 | 0.607 (TAFT) | 0.464 (TAFT) | 1.31 |
| 31 | 0.402 (ELCN) | 0.367 (ELCN) | 1.10 |
| 41 | 0.374 (ELCN) | 0.368 (ELCN) | 1.02 |
| 51 | 0.352 (ELCN) | 0.304 (T101) | 1.16 |
| 61 | 0.307 (TAFT) | 0.284 (T101) | 1.08 |
| 81 | 0.304 (ELCN) | 0.282 (ELCN) | 1.08 |
| 101 | 0.223 (ELCN) | 0.208 (ELCN) | 1.07 |
| 121 | 0.174 (ELCN) | 0.174 (ELCN) | 1.00 |

() は 入力地震波を示す。

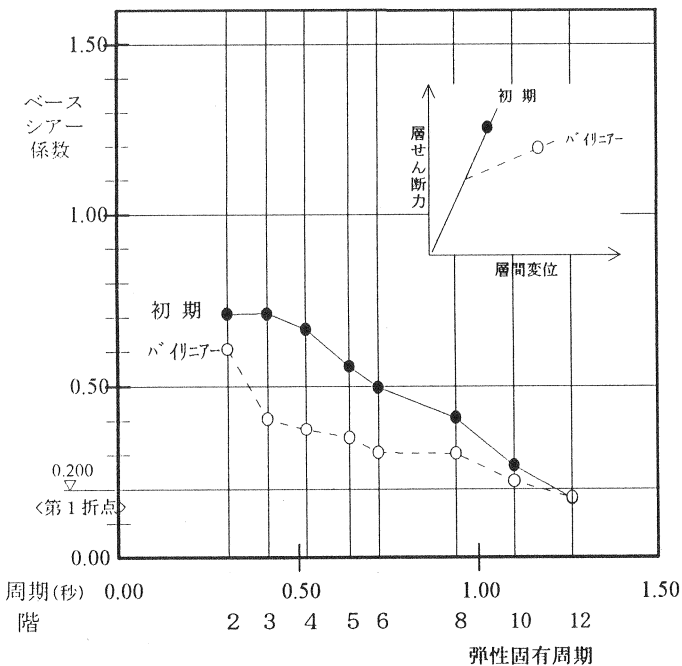


図-5 最大応答ベースシア係数(レベル1)

④ レベル2 応答結果について

図-6にレベル2最大応答ベースシア係数と弾性精算固有周期の関係を示す。同図には参考のために、初期(弾性)剛性による解析結果及びレベル1の応答にて採用したバイリニア型のスケルトンカーブにTAKEDAループを用いた解析結果も併せて示した。初期(弾性)剛性の場合、モデル31が最大応答ベースシア係数 1.422を示し、バイリニア型の場合モデル21が0.902を示した。バイリニア型の結果がレベル2入力に対する最大応答層塑性率=1.0に対する限界値であると見なすと、モデル21をレベル2で降伏させないためには0.90以上のCBが必要であることを示している。

各モデルに対して第二折点をCB=0.30から0.60に対応させて設定しているため、モデル61より低層側では最大応答量が第三勾配に入り、最大ベースシア係数すなわち第二折点耐力レベルに対応した1階の最大応答層塑性率が得られた。結果を図-6中に数値で示した。低層で短周期になるほど、又CBが小さくなるにつれて層塑性率が大きくなる傾向が明瞭に見られる。最大値はCBが0.30の場合のモデル21における6.31である。最大応答層塑性率の点から設計用ベースシア係数の傾向を把握するために、最大応答塑性率がほぼ1.0及び2.0と推定される位置を結ぶと同図中の太い実線が得られた。一方、最大応答層塑性率に対応した1階の最大層間変形角を表-4を見ると、いずれのモデル建物においてもCBの大小にかかわらず変形角はおおよそ同程度の値が得られており、塑性化の程度は塑性率と同時に変形角も合わせて評価する必要があることが示唆されている。

以上の傾向から、ここでのモデル建物の特性として、振動特性を代表する建物一次固有周期を軸として

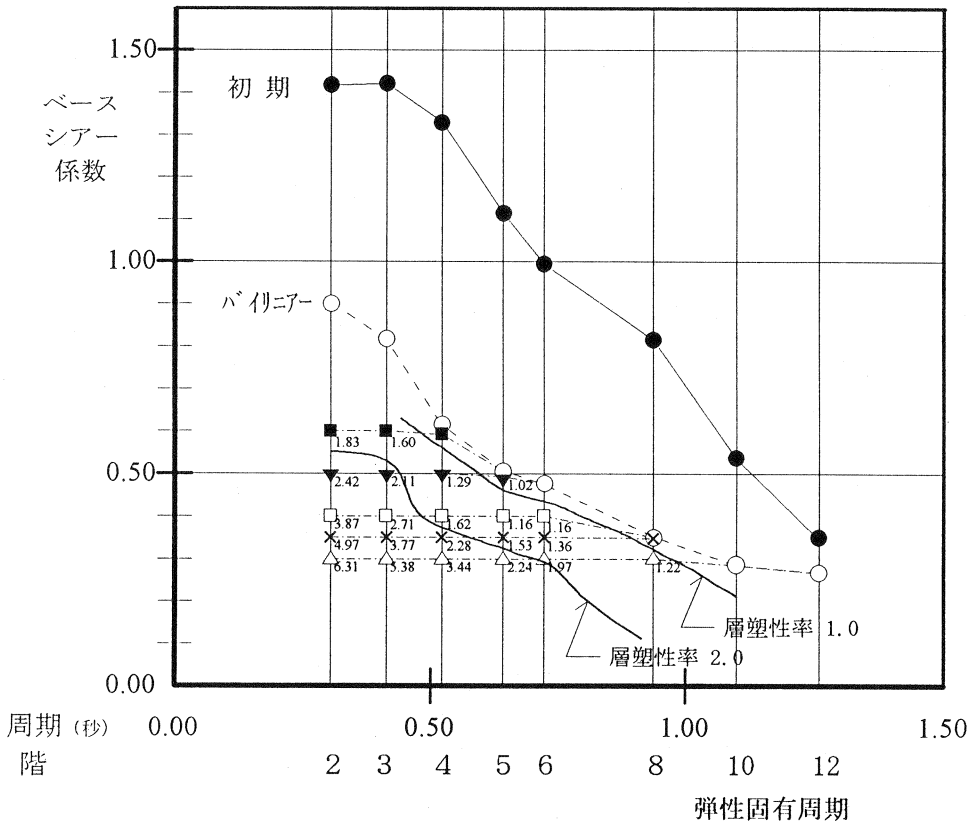


図-6 最大応答ベースシア係数(レベル2)

設計用ベースシア係数CBを見た場合、高層すなわち長周期側では小さなCBでもそれほど大きな変形能力が要求されずに靱性設計が可能と考えられるが、低層の短周期側になるにつれて応答塑性率が格段に大きくなるため大きな変形能力を確保する必要があり、部材設計の点から見ても靱性設計よりも強度指向型の設計法を採用すべき領域であると考えられる。

4. まとめ

PC骨組構造の終局強度型設計法確立のための基礎研究としてモデル建物を設定し、固有周期及び設計用ベースシア係数に関する検討を行なった。限られた範囲での検討ではあるが結果を以下に要約する。

- ① PC骨組構造の精算弾性一次固有周期は、いずれのモデル建物でも建築基準法施行令に示される略算値と比較して大きな値が得られた。
- ② 低層の短周期建物では、レベル1地震動入力による応答せん断力が大きいため、レベル1において建物を塑性化させない等のクライテリアを設ける場合には設計用ベースシア係数を設定する際に、この点を考慮する必要がある。
- ③ 設計用ベースシア係数は、建物周期並びにレベル2地震動入力による1階での最大応答層塑性率を考慮して設定できることを示した。
- ④ 建物周期、最大応答ベースシア係数及び1階での最大応答層塑性率の関係から、建物固有周期を指標として、靱性能力に期待する設計領域と強度指向とする設計領域が明瞭に存在することが限られた検討の中でも示された。今後は、設計領域設定に関する検討及び対応する設計用ベースシア係数の設定に関する検討を進める必要があると考えられる。

表-4 1階の最大応答量(レベル2)

| モデル | ベース シア 条件 | レベル2 1階 最大応答量 | | | | |
|-----|-----------------|---------------|-------|-------|-------|------|
| | | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.50 | 0.60 |
| 21 | C.B | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.50 | 0.60 |
| | 層間変形角 | 1/77 | 1/75 | 1/77 | 1/89 | 1/92 |
| | 層塑性率 | 6.31 | 4.97 | 3.87 | 2.42 | 1.83 |
| | 地震波 | ELCN | ELCN | ELCN | ELCN | TAFT |
| 31 | C.B | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.50 | 0.60 |
| | 層間変形角 | 1/64 | 1/69 | 1/78 | 1/72 | 1/75 |
| | 層塑性率 | 5.38 | 3.77 | 2.71 | 2.11 | 1.60 |
| | 地震波 | T101 | T101 | T101 | ELCN | ELCN |
| 41 | C.B | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.50 | 0.59 |
| | 層間変形角 | 1/79 | 1/91 | 1/103 | 1/94 | 1/96 |
| | 層塑性率 | 3.44 | 2.28 | 1.62 | 1.29 | 0.99 |
| | 地震波 | T101 | T101 | T101 | T101 | ELCN |
| 51 | C.B | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.50 | |
| | 層間変形角 | 1/103 | 1/115 | 1/122 | 1/100 | |
| | 層塑性率 | 2.24 | 1.53 | 1.16 | 1.02 | |
| | 地震波 | T101 | T101 | T101 | T101 | |
| 61 | C.B | 0.30 | 0.35 | 0.40 | | |
| | 層間変形角 | 1/115 | 1/130 | 1/124 | | |
| | 層塑性率 | 1.97 | 1.36 | 1.16 | | |
| | 地震波 | T101 | T101 | T101 | | |
| 81 | C.B | 0.30 | | | | |
| | 層間変形角 | 1/193 | | | | |
| | 層塑性率 | 1.22 | | | | |
| | 地震波 | HACH | | | | |

5. 参考文献

- ① 日本建築センター：『プレストレストコンクリート造設計施工指針(1983年版)』
- ② 日本建築学会：『建築耐震設計における保有耐力と変形性能(1990)』プレストレストコンクリート構造
- ③ 深野 慶 他：『終局強度型設計法による試設計PCフレーム構造の耐震性能について』
構造工学論文集 VOL.40B(1994年3月) P.335-344
- ④ 深野 慶 他：『PC骨組み構造の終局強度型設計法に関する基礎研究 その1-3』
日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)1994年9月 P.1009-1014

謝辞：本研究に際して、大阪大学 鈴木計夫教授、中塚信講師及び岸本一蔵助手の各先生方には終始変わらぬご指導を頂きました。ここに謝意を表します。