## 4.4 応答値の推定法

4.4.1 応答値の推定法の概要

本論で提案する方法のフローを図-4.12に示す。ここでは、このフローに乗った 推定方法を、試設計された60層鉄筋コンクリート純ラーメン構造物<sup>7),8)</sup>を例に取り 具体的に示す。なお、文献<sup>7)</sup>では建物の部材の降伏点剛性 *ay*を一律に仮定し、Ai 外力分布形を用いて増分解析しているが、本論では実際の部材に基づいて計算し た*ay*とモード合成外力分布形を用いて増分解析しているので、参考文献の層せん 断力-層間変形関係とは異なった結果となっている。



図-4.12 地震応答の推定のフロー図

4.4.2 解析モデル

構造物を各層を1質点とした集中質点系の曲げせん断型モデルで表わす。各層の 弾性全体曲げ剛性は、図-4.13に示したように、柱の断面積*Aciとコンク*リートのヤ ング率*Ec*の積に各層の重心からの距離*xi*の2乗を乗じたものを層内の全柱について 総和して求める。全体曲げ剛性は、解析の全般にわたって弾性とする。各層のせ ん断剛性は、武藤のD値法<sup>13)</sup>によって求めることができる。弾塑性特性を求める時 は以下のようする。各層から反曲点を階高の半分および、スパンの半分とするト 型および、十字型の部分骨組を取り出し(但し、1層に関しては柱脚までを取り出 し)、武藤の曲げ・せん断・剛域を考慮したラーメン解法<sup>1)</sup>および、ひび割れモー メント*M*<sub>c</sub>、降伏モーメント*M*<sub>y</sub>、梁・柱の降伏時の剛性低下率α<sub>y</sub>を用いて部分骨組 のせん断力ー変形関係を求める。このとき、柱の軸力はどの部分骨組に対しても 長期軸力のみとする。この各部分骨組のせん断力ー変形関係を各層毎に総和する ことにより層せん断力ー層間せん断変形関係を求める。

具体例として、本算定法により求めた弾性全体曲げ剛性と、本算定法による弾 性全体剛性、D値法により求めた弾性全体せん断剛性をフレーム解析の結果より 武藤の方法<sup>8)</sup>で求めたものと比較して示す。図-4.14に弾性全体曲げ剛性を示す。 左図は弾性全体曲げ剛性を示し、右図はその比を示している。頂上部で両者の差 は大きくなっているものの他の階では良く一致している。上層部の曲げ剛性の差 が曲げ変形にもたらす影響は小さいので問題はないと考えられる。

図-4.15に、部分骨組みの弾性せん断剛性の和から求めた弾性全体せん断剛性と、 D値法による弾性全体せん断剛性とをフレーム解析によるものと比較して示す。 左図は弾性全体せん断剛性を示し、右図はその比を示している。両者は良い対応 を示している。

以上より構造物の弾性剛性は、本手法で用いる略算により充分に推定できること がわかる。こうして求めた曲げとせん断の弾性剛性を用いて曲げせん断系の解析 モデルにより固有値解析を行い、第2章で設定した平滑化した応答スペクトルを 用いて建物の応答を予測することができる。

153



(a) 曲げ剛性



(b)せん断剛性

図-4.13 弾性曲げ剛性とせん断剛性の算定法







図-4.15 弾性全体せん断剛性の略算値と精算値の比較

4.4.3 層せん断力-層間変形関係

部分骨組より求めた層せん断力-層間せん断変形関係は、部材の性質、形状な どが同じであれば同じものとなる。ところが、外力分布が決まっている場合には その外力分布に応じて耐力が各層で上下層へ分配され、外力分布に対応した耐力 分布となる。そこで以下の手順により層せん断力-層間変形関係を求める。

1) 部分骨組のせん断力-層間変形を足し合わせて、層せん断力-層間変形関係を 求める(図-4.16)。

- 2) 曲げせん断系の解析モデルにより固有値解析を行い、1次~5次までの固有周期 と固有モードを求める。
- 3) これらの値と設計用加速度応答スペクトルを用い、SRSS法によりモード合成 層せん断力を求め、この等価外力をモード合成外力分布形とする。
- 4) 部分骨組より求めた降伏層せん断力(1層に関しては2階梁降伏時)が全層に分布 したときの1層床位置の転倒モーメントを求める。
- 5) 3)で求めた外力分布形で、3)で求めた転倒モーメントを1層床位置に生じさせるような大きさの外力分布時の層せん断力を各層の降伏層せん断力とする(図-4.17)。
- 6) 降伏層間せん断変形δ<sub>y</sub>は、図-4.15(a)に示す部分骨組より求めた層せん断力-層間せん断変形関係上の各降伏層間せん断変形を結ぶ『δ<sub>y</sub>折れ線』上に配置す る。他の折れ曲がり点の層せん断力、層間せん断変形もこの降伏点と変化の割 合を同じにして求める。ただし、弾性剛性が変化しないように、第1折れ点の 層せん断力を変更する。
- 7) 1階柱脚降伏時までの降伏層せん断力の増加を考慮するために、1階柱脚降伏時 に対応するモード合成外力分布による降伏層せん断力を用いて図-4.18のように 層せん断力-層間せん断変形関係を変更する。この時用いる塑性率μは、1層 の層せん断力-層間せん断変形関係上の『1層(1階柱脚降伏時)のδ<sub>y</sub>』と『1層 (2階梁降伏時)のδ<sub>y</sub>』との比とし、全層にわたり一定とする。

8) 外力分布による層間曲げ変形を層間せん断変形に加えて層せん断力-層間変形 関係を求める。

このように、降伏層せん断力を上下の層に分配するには、柱が降伏しないこと が前提となっている。6)および7)の作業により変更された降伏層せん断力が、 図-4.16により求められた降伏層せん断力よりも大きくなるような層に対しては、 柱の強度が十分であることを確認する、梁の強度に対する柱の強度の割り増し 係数を大きくするなどの処置が必要となる。この前提が成立すれば本手法を進 めることができる。

60層建物において具体的に、1階柱脚降伏時までの耐力上昇を考慮して求めた層 せん断力-層間変形関係を図-4.19(a)に示す。また、モード合成外力分布を用いて フレームを静的増分解析した結果を図-4.19(b)に示す。本手法とフレーム静的増分 解析を比較すると本手法によるものの降伏点変位が下層部でやや大きめであるも のの両者は良い対応を示している。



図-4.16 部分骨組みより求めた層せん断カー層間せん断変形関係





図-4.18 層せん断カー層間せん断変形関係の変更



(b) フレーム解析より求めた層せん断カー層間変形関係 図-4.19 層せん断カー層間変形関係

4.4.4 応答予測法

- 設定した解析モデルによる固有値解析結果と2章で設定した速度応答スペクト ルを用い、1次~5次までの層間変形、層せん断力、曲げモーメントを求める。 減衰定数は、全ての次数に渡り2%で一定とする。高次振動ほど減衰が大きくな ることがいわれている<sup>9</sup>が、高次振動の影響が大きくなるような地震動に対し てその影響を消してしまうことを危惧して、このように減衰定数を一定とした。
- それぞれにSRSS法を用いて層間変形の弾性応答値、層せん断力の弾性応答値 SRSSQ<sub>MAX</sub>、曲げモーメントの弾性応答値srssM<sub>MAX</sub>を求める。また、srssQ<sub>MAX</sub>に釣り合う曲げモーメント分布*EquivM<sub>MAX</sub>*を求め、srssM<sub>MAX</sub>/*EquivM<sub>MAX</sub>*を曲げモーメントの動的低減率とする。
- 3) 高層建物においては、応答変位一定則が成り立つとして弾性層間変形を弾塑性 応答値とする。
- 4) 求めた層間変形と層せん断力-層間変形の関係より応答層せん断力RESQを求める。
- 5) RESQに釣り合う曲げモーメントを求め、これに2)で求めた動的低減率を乗じる ことにより応答曲げモーメント、外柱の変動軸力を求める。
- 6) 層間変形、層せん断力の分布形が適当であることや塑性率、軸力変動などがク ライテリアを満足していることなどを検討する。

具体的に60層建物に適用した結果として、El Centro NS、Taft EW、Hachinohe NS、New RC(Random)<sup>10)</sup>の4種の地震動に対する応答解析結果と比較して、層間 変形を図-4.20、層せん断力を図-4.21、外柱の変動軸力を図-4.22に示す。 本算定法による応答層間変形は、Taft EW、New RC(Random)を用いた場合の下層 部を除き、全体的に質点系応答解析およびフレーム応答解析による応答層間変形 に比べ大きめな値となっている。本手法は、設計に用いることを意図しており、 主として応答の最大値を推定するという趣旨より、応答スペクトルの谷の位置で 偶然に応答値が小さくなることがそのまま設計に反映されないように、本手法で 設定した応答スペクトルが2%減衰の応答スペクトルをほぼ包絡する形になってい る。このため、本手法により求めた応答層間変形は質点系応答解析およびフレー ム応答解析により求めた応答層間変形より大きくなったものと思われる。Taft EW 波では、質点系応答解析およびフレーム応答解析による下層部の応答層間変形が 本算定法による応答層間変形より大きい。建物の曲げ剛性は主として柱の軸剛性 でありほとんど弾性であると考えられ、非線形性がせん断変形にのみ現われ、せ ん断変形成分の割合の多い下層部で非線形性が強く変形が増大し、その分上層部 の変形が減少する結果となったと考えられる。本算定法では、弾性剛性を用いて いるためにこのような下層階で変形が大きくなるような現象は、表わしにくい。

応答層せん断力は質点系応答解析およびフレーム応答解析による応答層せん断 力とよい一致を示している。設計用スペクトルを用いた場合には、質点系応答解 析およびフレーム応答解析による応答層せん断力をほぼ包絡しているといえる。

外柱の変動軸力は、質点系応答解析およびフレーム系応答解析と本手法による 算定結果は、ほぼよい対応を示しているが、Taft EW波を用いた場合には下層部で やや小さめの傾向を示している。本論の動的低減率は高次の影響の大きな弾性層 せん断力から求めているが、弾塑性層せん断力は、層間変形より各層のQ-δス ケルトンを用いて求めているので、変位スペクトルが高次程小さいことを考えあ わせると、高次の影響はあまり受けていない。つまり、高次の影響の大きな弾性 層せん断力による動的低減率を高次の影響の少ない弾塑性層せん断力から求めた 転倒モーメント(変動軸力)に乗じてしまうことになり危険側になる可能性があ る。本手法のように、応答スペクトルを包絡する平滑化した応答スペクトルを用 いる場合には、応答層間変形、応答層せん断力を求めるときには、安全側の値が 得られるが、変動軸力を求める場合には、動的低減率に高次モードの影響が過大 に含まれて危険側の値が得られる可能性がある。

161



図-4.20 応答層間変形



図-4.21 応答層せん断力



図-4.22 外柱の変動軸力

## 4.5 まとめ

本章ではまず、フレームにおける曲げとせん断の変形成分を考慮して、適切な 剛性分布についての検討を等価せん断型の質点系モデルによりおこなった。次に、 必要耐力分布を第3章に示した手法で設定して各部材耐力を定めるとともに、応 答値の推定を行った。また、平滑化した弾性応答スペクトルを用いて各次の応答 の最大値を求め、これに基づいて多自由度系の最大応答を略算する方法の一つで あるSRSS (Square Root of Sum of Squares)法により応答層間変位を求める手法を提 案した。さらに、この層間変位に対応する、設定した非線形荷重変形関係上での 層せん断力等を求める手法を示した。

本章では、以下の結論を得た。

- 1) 頂部でむち振り現象を起こさないような剛性分布として、等価せん断剛性が頂 部で基部の0.10~0.15以上あるような放物線分布~直線分布とすればよい。
- 2) 下層部でのベースシアー、軸力制限とこの剛性分布により、部材の断面の1次 設定をすることができる。
- 本推定法による応答予測精度は入力地震動のもつばらつきに比べ許容できる精 度である。
- 本算定法を用いて設計の初期の段階で応答を推定する事ができることができ、
  設計のクライテリアの事前評価が可能となる。
- 5) 本算定法は、骨組構造物の地震時の応答を見極める際に有用である。
- 6)加速度応答スペクトルによる弾性せん断力をSRSSにより求めた場合には、高次モードの影響が過大に含まれている可能性がある。

## 第4章の参考文献

- 1) 武藤 清: 耐震計算法、丸善、1963年
- 2) 堀昭夫,島崎和司:超高層RC建物の設計用せん断力分布(その1)弾性剛性によるSRSS と応答値との比較,日本建築学会大会学術講演梗概集,C,pp.865~866,1991年9月
- 3) 武藤 清:構造物の動的設計、丸善、1977年
- 4)全 大翰、井上 豊:一様な速度応答スペクトルを持つ模擬地震動波形群によるせん断型多層 建築物の弾塑性応答特性、日本建築学会学術講演梗概集,C,pp.817~818,1991年
- 5) 神永敏行、渡部 丹、神田 順、佐藤玲圭:高層建築物の標準的地震応答特性、その1、その 2、日本建築学会学術講演梗概集,C,pp.773~776,1991年
- 6)鉄筋コンクリート運営委員会・靱性設計小委員会:靱性設計小委員会報告書(終局強度型耐震 設計法似関する最新の研究成果)、日本建築学会、1992年
- 7)山本勝義、芳村 学:60階建集合住宅の試設計(その1 純フレーム構造の弾塑性解析) New RC建物の試設計と耐震性能の検討-、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.923~924、
  1990年10月
- 8) 山本昌士、宮永英彦:60階建集合住宅の試設計(その2 純フレーム構造の質点系モデルによる地震応答解析)-New RC建物の試設計と耐震性能の検討-、日本建築学会大会学術講演梗概集、 pp.925~926、1990年10月
- 9) 日本建築学会:建築物の耐震設計資料、1981年4月
- 10)地震動・荷重WG:検討用入力地震動作成のための解析的研究、建設省総合技術開発プロジェクト、鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発、平成2年度設計分科会報告書、(財)国土開発技術センター、1991年3月

図-4.12	地震応答の推定のフロー図	152
図-4.13	弾性曲げ剛性とせん断剛性の算定法	154
図-4.14	弾性全体曲げ剛性の略算値と精算値の比較	155
図-4.15	弾性全体せん断剛性の略算値と精算値の比較	155
図-4.16	部分骨組みより求めた層せん断力ー層間せん断変形関係	157
図-4.17	各層の降伏せん弾力分布	158
図-4.18	層せん断力-層間せん断変形関係の変更	158
図-4.19	層せん断力-層間変形関係	159
図-4.20	応答層間変形	
図-4.21	応答層せん断力	163
図-4.22	外柱の変動軸力	