Appendix C 質点系モデルによる応答解析

C.1 解析の概要と解析モデル

高層建物の耐震性の評価を行う場合には、部材レベルでのフレームモデルを用 いた地震応答解析をするのが望ましいが、弾塑性解析を多くの地震動に対して行 うのは、コンピュータの性能が向上した現在においても経費と時間がかかる。そ れに比べ、質点系の応答解析は自由度が大幅に減少するため計算時間が減少し、 より多くの地震動に対して検討する事が可能となる。しかし、質点系のモデルは 基本的には層崩壊モデルであり解析上変形集中を起こしやすく、梁のみにヒンジ を許容した全体降伏型の建物の地震応答解析には不適とされていた。これまで質 点系モデルのトリリニアーの復元力特性では、第2折れ点耐力を層の保有耐力とし、 第3勾配を弾性勾配の1%以下のほとんど0とすることが多かった。しかし、余・小 谷・青山*1は、質点系のモデルにおいて降伏後の剛性を0とすると変形集中を起こ しやすく、ある程度の降伏剛性を見込むとフレーム解析に近づく事を示している。 また、磯崎他*2は、適切に設定した質点系の曲げせん断モデルでフレーム解析の 結果をシュミレートできるとしている。

ここでは、平面フレームモデルによる地震応答解析と、平面フレームの静的増 分解析結果より得られた層の復元力を用いた質点系解析モデルを用いた応答解析 を行ない、質点系解析のモデル化が応答に与える影響について検討する。また、 降伏後の剛性を変化させた曲げせん断系の地震応答解析を行ない、復元力特性の 設定が最大応答層間形に与える影響を検討する。

解析の対象とした建物は、表-3.3に示した20、40、60層の3種の建物とし、各層 の耐力はCi分布とし、図-3.22に示したように設定した耐力が必要耐力分布の1.2倍 以内に収まるようにある程度まとめた耐力分布形とした。この建物の1構面を取り 出しフレーム解析モデルとする。このフレームモデルに対し、層せん断力が必要 耐力分布となるような外力分布による静的増分解析を行ない、この結果より質点

¹ 余 辛、小谷俊介、青山博之: せん断系モデルとフレームモデルの弾塑性応答解析の比較、日本建築学会大会梗概集、C、pp.403-404、1992年

² 磯崎 浩、福澤 栄治、高橋 元美:高層RC骨組みの柱の変動軸力を考慮した等価曲げせん断 モデルによる弾塑性解析、その1~その3、日本建築学会大会梗概集、C、pp.421-426、1992年

系モデルの剛性と復元力を定める。質点系の解析モデルは曲げせん断型と等価せん断型の2種類を考える。曲げせん断モデルの曲げ剛性は、弾性時の転倒モーメントと、柱の軸変形より平面保持を仮定してエネルギー等価で求めた回転角より求め、弾性を保つものと仮定する。この曲げ剛性を用い、せん断力に対応する転倒モーメントより曲げ変形を求め、全体変形より引いたものをせん断変形とする。 せん断の復元力特性はトリリニアー型とし、以下のルールによって定める。これを基本の復元力特性 I とする。

- ① 弾性時の荷重-変形関係より弾性剛性を求める。
- ② 割線剛性が、弾性剛性の80%になった荷重を第1折れ点荷重とし、弾性剛性との交点を第1折れ点変形とする。
- ③ 接線剛性が弾性剛性の10%となった点を第2折れ点荷重とし、その点までのエ ネルギーが同じとなるよう第2折れ点変形を定める。
- ④ 静的増分解析のせん断力-変形関係上の設計で想定する最大層間変形の1.5倍の変形の点(解析がそこまで達していない層においては最終点)を終局点と

し、第2折れ点と結び第3勾配を定める。 つぎに、降伏後の剛性の設定が応答に与える影響を検討するために、次のように 復元力特性IIを定める。復元力特性の設定方法は、復元力特性Iと以下の2点が異

- なる。
- ③ 接線剛性が弾性剛性の<u>5%</u>となった点を第2折れ点荷重とし、その点までのエネ ルギーが同じとなるよう第2折れ点変形を定める。
- ④ 第3勾配を弾性勾配の<u>0.001</u>倍とする。

弾性剛性による3種のモデルの固有周期の比較を表-C.1に、固有モードの比較 を刺激関数の形で図-C.1に示す。想定外力分布が1次モード外力でないため1次固 有周期においても若干の差はあるが、曲げせん断系モデルでは、3種類の建物で固 有周期、固有モード共にフレームモデルと良い対応を示している。等価せん断モ デルにおいては、固有周期は3種類の建物で2次モードからフレームモデルとの差 が見られ、2次の固有モード形においても差が見られる。 図-C.2に、求めた等価せん断系のトリリニアーの復元力特性 I (曲げせん断系 の復元力に曲げ変形を加えたものもほとんど同じである)と、静的増分解析結果 の比較を示す。両者は良い対応を示している。

図-C.3に、弾性時と梁にかなり降伏ヒンジが生じた時点での各モデルの曲げ変 形成分とせん断変形成分の割合を示す。弾性時においては、全体変形の最上階で もせん断変形成分がほとんどであるが、60層建物においては約半分が曲げ変形成 分となっている。層間変形においては、60層建物の最上階では曲げ変形成分がほ とんどとなっている。梁に降伏ヒンジが生じ、層の降伏耐力に近い段階では、全 体的にせん断変形成分が増しており、60層建物の最上階においても、曲げ変形成 分は全体変形で約2割、層間変形においても約5割に低下している。

用いる地震動記録は、El Centro NS、Taft EW、Hachinohe NSとTho30-1FL NSの4 種類を最大速度振幅を25,50,75cm/secに規準化して入力した3種のレベルについて 解析を行う。さらに、参考として第2種地盤模擬地震動に対する応答解析も行う。

	解析モデル		固有周期	(sec)
層数		1次	2次	3次
20層	フレーム	1.097	0. 372	0. 209
	曲げせん断	1. 101	0. 378	0. 219
	等価せん断	1.098	0. 401	0. 245
40層	フレーム	2. 317	0. 767	0. 415
	曲げせん断	2. 327	0. 776	0. 426
	等価せん断	2. 321	0.895	0. 553
60層	フレーム	3. 822	1.194	0. 644
	曲げせん断	3.839	1. 205	0.657
	等価せん断	3.846	1. 484	0. 925

表-C.1 解析モデルの弾性固有周期





図-C.2 トリリニアー化した復元力特性



図-C.3 曲げ変形成分とせん断変形成分の比較

C.2 最大応答層間変位の比較

1) 解析モデルによる相違

図-C.4に、地震応答解析より得られた各モデルの最大応答層間変形の比較を示 す。最大速度振幅が25cm/secの入力に対する応答値は、各建物、各地震動にかか わらずほとんど同じであり、モデル化の影響はない。

最大速度振幅が50cm/secの入力に対する応答も、応答値がおおむね降伏変形以下であり、モデル化の影響は少ないが、等価せん断系モデルの応答がやや大き目となっている。また、高次モードの影響の大きいTho30-1FL NS地震動に対する応答では、40層建物においてフレーム系と質点系の変形モデルの層間変形が最大を示す層が異なっている。

最大速度振幅が75cm/secの入力に対する応答は、応答値が降伏変位を越えるも のがほとんどであり、変形集中している層が見られる。質点系モデルの応答の方 が全体的に大きめになっている。曲げせん断系モデルは、最大応答を結んだ曲線 の傾向がフレームモデルに似ているが、等価せん断系モデルでは異なった傾向を 示すものもある。







図-C.4(b) 各モデルの最大応答層間変位(40層建物)

225



図-C.4(c) 各モデルの最大応答層間変位(60層建物)

2) 復元力の設定によるによる相違

ここでは、降伏後の剛性を変化させた復元力 I、IIを用いた曲げせん断系の地 震応答解析を行ない、フレーム応答解析結果と比較して、復元力特性の設定が最 大応答層間形に与える影響を検討する。

図-C.5に、地震応答解析より得られた各モデルの最大応答層間変形の比較を示 す。最大速度振幅が50cm/secの入力に対しては、応答値が降伏変形を超えるもの については、降伏後の剛性の無い復元力Ⅱの層間変形の応答値は層によって変形 集中を起こし、それ以外の層で変形が小さくなっている。最大速度振幅が 75cm/secの入力に対する応答は、応答値が降伏変位を越えるものがほとんどであ り、復元力Ⅱの応答変形は発散状態にある。



図-C.5(a) 復元力の設定による最大応答層間変位の相違(20層建物)



図-C.5(b) 復元カの設定による最大応答層間変位の相違(40層建物)



図-C.5(c) 復元力の設定による最大応答層間変位の相違(60層建物)

表-C.1	解析モデルの弾性固有周期	220
2. 0.1		

図-C.1 解析モデルの弾性固有モード	220
図-C.2 トリリニアー化した復元力特性	221
図-C.3 曲げ変形成分とせん断変形成分の比較	222
図-C.4(A) 各モデルの最大応答層間変位(20層建物)	224
図-C.4(B) 各モデルの最大応答層間変位(40層建物)	225
図-C.4(c) 各モデルの最大応答層間変位(60層建物)	226
図-C.5(A) 復元力の設定による最大応答層間変位の相違(20層建物)	228
図-C.5(B) 復元力の設定による最大応答層間変位の相違(40層建物)	229
図-C.5(c) 復元力の設定による最大応答層間変位の相違(60層建物)	230