

20層鋼構造骨組の倒壊挙動に柱梁耐力比が及ぼす影響

正会員 ○若月雄大\*1

柱梁耐力比 魚骨形モデル 劣化挙動 倒壊挙動 地震応答解析 上町断層帯地震

同 吹田啓一郎\*2

1. はじめに

上町断層帯における予測地震動は卓越周期が2秒程度以上のものが多い長周期パルス波の特性を有し、高層建築物の応答が大きくなることが予測される。吹田ら<sup>1)</sup>による実大倒壊実験によれば、2次設計レベルの入力地震波では全体崩壊型を形成しても、入力レベルが大きくなると柱の両端に局部座屈が生じて部分崩壊型へ移行し倒壊に至っている。2次設計レベルで全体崩壊型メカニズムを形成する条件として柱梁耐力比(以下COFと呼ぶ)1.5が用いられている。この値が倒壊時の挙動にどのような影響を及ぼすのかを調べるために、COFをパラメータとした高層骨組の倒壊挙動を数値解析により検討した。

2. 解析方法

解析モデルは超高層建物の一例として20層の魚骨形モデル<sup>2)</sup>とする。階高3.5m、スパン長さ3.5m、各層の重量800kNとし、COF1.5、幅厚比はFAランクを満たす限界値、柱の軸力比0.2、水平変位の弾性成分比は柱:梁=1:1の条件で検討した。解析モデルは剛棒と部材端弾塑性バネで構成し、部材端バネに加藤・秋山モデル<sup>3)</sup>を用いることで劣化挙動を考慮する。解析プログラムには材料非線形と幾何非線形を考慮できるCLAP.f<sup>4)</sup>を用いた。ただし、合成梁効果や立体挙動に関しては考慮していない。設計クライテリアは、1次レベルで層間変形角1/200以下かつ弾性範囲内、2次レベルで層間変形角1/100以下とした。設計用の地震応答解析によるレベル1、レベル2の従来観測波の最大応答と増分解析の結果を図1に示す。

COF1.5のモデルを基準とし、梁の耐力は一定のまま柱の耐力を変えることでCOFが1.0、1.3、2.0、2.5、3.0、3.5の各モデルを作成し、COFによる挙動の違いを調べた。

3. 増分解析

各層に一定の鉛直荷重と、 $A_i$ 分布に比例した水平力を作用させて増分解析を行った。得られた層せん断力 $Q$ -層間変形角 $R$ 関係を図2に、崩壊メカニズムの移行の様子を図3にそれぞれ示す。①は劣化開始点、②は最初にいずれかの部材が除荷された時点、③は倒壊時のメカニズムを形成した時点をそれぞれ示している。ここで、倒壊の定義は $Q=0$ となり鉛直荷重支持能力を喪失した時点とする。

COF1.5のモデルでは、はじめに全体崩壊型を形成したが、その後中間層に変形が集中し、最終的には7~11層の部分崩壊型となり倒壊に至った。COFが異なる各モデルの倒壊メカニズムを図4に並べて示す。はじめに全体崩壊型を形成したが、倒壊時のメカニズムは部分崩壊型となった。図4より、COF1.0~2.0ではCOFが大きくなるにつれて部分崩壊する層が下層から上層に移る様子がわかる。COF2.5以上ではCOFが変化しても倒壊時のメカニズムは変わらない。

また、図5に劣化開始点、倒壊メカニズムを形成した時点、倒壊した時点の層間変形角の最大値 $R_{max}$ とCOFの関係を示す。劣化開始点はCOFによらずほぼ一定であるが、倒壊メカニズム形成時と倒壊時はCOFが大きくなるにつれて $R_{max}$ の値も大きくなる。また、倒壊メカニズムを形成してから倒壊に至るまでの $R_{max}$ の差はCOFによらず概ね0.1程度で一定である。

4. 地震応答解析

検討地震波には川辺、釜江<sup>5)</sup>による上町断層帯の予測地震波のうち、卓越周期が解析モデルの1次固有周期2.06sに近いFKS、JMAEBCの2地点のEW成分を用いた。図6に速度応答スペクトルを示す。

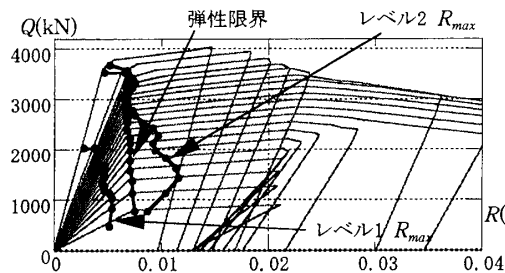


図1 増分解析結果と設計用地震応答解析結果

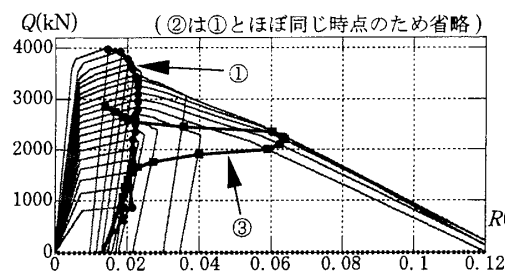


図2 増分解析結果による倒壊までのQ-R関係

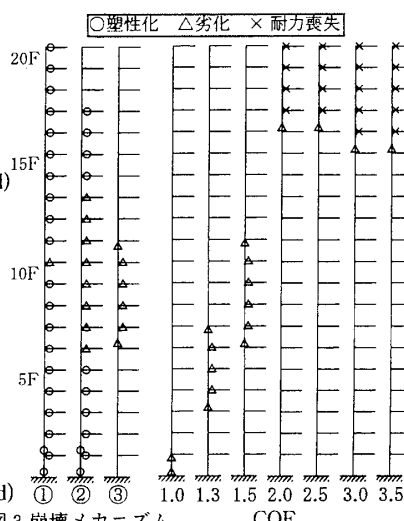


図3 崩壊メカニズムの移行

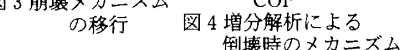


図4 増分解析による倒壊時のメカニズム

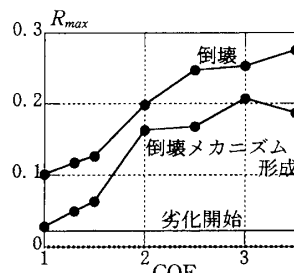


図5 増分解析によるCOFとRmaxの関係

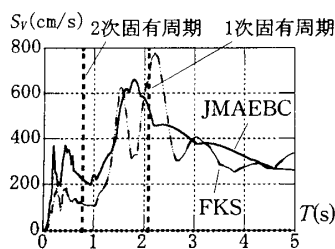


図6 速度応答スペクトル

Influence of Column Overdesign Factor on Collapse Behavior of 20 Story Steel Plane Moment Frame  
WAKATSUKI Takehiro and SUITA Keiichiro

表1に入力倍率とCOFによる倒壊の有無をまとめて示す。COFの増加に伴い倒壊に至る入力レベルが大きくなることわかる。次に、時刻歴応答解析により得られた倒壊時のメカニズムをFKS, JMAEBCに関して図7, 図8にそれぞれ示す。全ての解析ケースで倒壊時には部分崩壊型のメカニズムを形成した。FKSの場合は, COF1.0で最下層での部分崩壊となったが, COF1.3以上では中間層での部分崩壊となりCOFの値が大きくなるほど部分崩壊する層の範囲が上下層に広がる。JMAEBCの場合は, COF1.0~2.0ではCOFが大きくなるほど部分崩壊する層が上層に向けて移動しており, COF2.5以上になるとFKSの場合と同様にCOFが大きくなるほど部分崩壊する層が上下層に広がる。

次に入力レベルと $R_{max}$ の関係を図9に示す。●は倒壊時の入力倍率の結果を, ○はそれよりも入力倍率が0.1小さいときの結果をそれぞれ示しており, 各COF毎にそれらを直線で結んでいる。●の結果よりどちらの地震波も入力レベルが大きくなると $R_{max}$ の値が大きくなる。○は概ねひとつの直線上に連なることわかる。●の $R_{max}$ をみると, FKSのCOF1.0,3.5のような例外も見られるが, 概ねFKSでは0.09~0.11rad, JMAEBCでは0.07~0.1radの値となる。また, ○の $R_{max}$ を倒壊時と比べると, FKSでは多くの場合0.05rad程度の差になり, JMAEBCではその差はかなり小さいことわかる。

最後に, COFごとの応答解析による倒壊時の $R_{max}$ を増分解析と比較し, 図10に示す。COFが大きくなるほど $R_{max}$ も大きくなるが, 地震応答解析より得られた $R_{max}$ は増分解析よりもかなり小さい値となっている。これは, 本研究で用いた耐力劣化モデルが塑性変形の累積によって劣化が進行するため, 繰り返し変形を受ける地震応答解析では単調荷重の増分解析よりもその影響が強く現れたと考えられる。

5. まとめ

1. 増分解析ではCOF1.0~3.5の範囲で変形が小さいときは全体崩壊型のメカニズムを形成し, さらに変形が大きくなると部分崩壊型へ移行した。
2. 地震応答解析による倒壊時のメカニズムはCOFによらず全て部分崩壊型となり, COFを大きくするほど部分崩

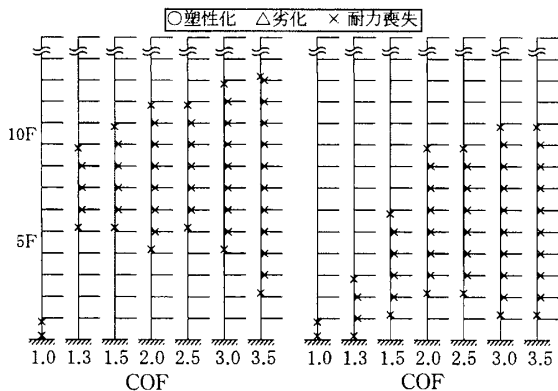


図7 FKS入力時の倒壊時のメカニズム

図8 JMAEBC入力時の倒壊時のメカニズム

壊する層の範囲が上下層に広がる。

3. 本研究で得られた結果は, 幅厚比による分類がFAランクの限界値の部材で構成される結果であり, 幅厚比が異なる場合の影響は今後検討する必要がある。

謝辞

大阪大学, 多田元英先生より部材の耐力劣化にともなう骨組の倒壊挙動を解析可能にした改造版CLAP.fを提供いただき, また向出静司先生にはモデル化に関して助言をいただいた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 吹田啓一郎, 松岡祐一, 山田哲, 島田侑子, 多田元英, 笠井和彦大崎純, : 実大4層鉄骨造建物の完全崩壊実験 その1~その3-, 日本建築学会構造系論文集, 第74巻, 第635号, pp157-166, 2009年1月, 第74巻, 第644号, pp1851-1859, 2009年10月, 第75巻, 第653号, pp1351-1360, 2010年7月
- 2) 小川厚治, 加村久哉, 井上一郎: 鋼構造ラーメン骨組の魚形地震応答解析モデル, 日本建築学会構造系論文集, 第521号, pp119-126, 1999年7月
- 3) 秋山宏: 建築物の耐震極限設計(第2版), 東京大学出版会, 1987年
- 4) 小川厚治, 多田元英: 柱・梁接合部パネルの変形を考慮した静的・動的応答解析プログラムの開発, 第17回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp79-84, 1994年12月
- 5) 川辺秀憲, 釜江克宏: 上町断層帯の地震を想定した強震動予測, 上町断層帯による想定地震動に対する建物の耐震設計を考える, 日本建築学会近畿支部耐震構造研究会シンポジウム資料, pp17-24, 2009年1月

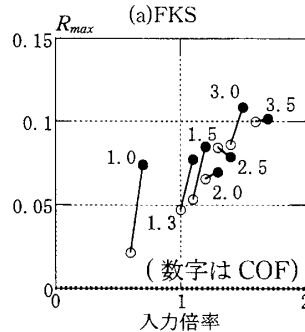
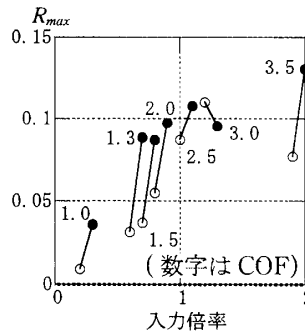


図9 地震応答解析における入力倍率と $R_{max}$ の関係

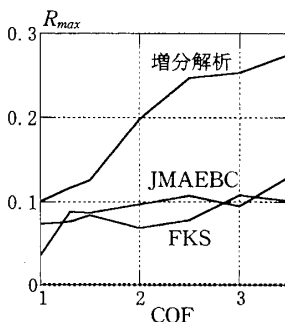


図10 倒壊時の $R_{max}$ の比較

表1 地震応答解析結果まとめ (a)FKS

入力倍率	COF						
	1.0	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
0.2	○						
0.3	×						
0.4	×						
0.5	×						
0.6	×	○					
0.7	×	×	○				
0.8	×	×	×	○			
0.9	×	×	×	×			
1.0	×	×	×	×	○	○	○
1.1					×	○	○
1.2						○	○
1.3						×	○
1.4							○
1.5							○
1.6							○
1.7							○
1.8							○
1.9							○
2.0							×

(b)JMAEBC

入力倍率	COF						
	1.0	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
0.6	○						
0.7	×						
0.8	×						
0.9	×						
1.0	×	○	○	○	○	○	○
1.1		×	○	○	○	○	○
1.2			×	○	○	○	○
1.3				×	○	○	○
1.4					×	○	○
1.5						○	○
1.6						×	○
1.7							×

○倒壊に至らなかったケース  
 ×倒壊したケース

\*1 京都大学工学部建築学科

\*2 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 教授・博士(工学)

Student.Undergraduate School of Architecture,Kyoto Univ.

Prof.,Dept.of Architecture and Architectural Engineering,Kyoto Univ.,Dr.Eng.