

鋼構造建築物の層剛性と耐力のばらつきを考慮した耐震安全性

正会員 ○澤田憲司*1 同 永野康行*2 同 朝川剛*3 同 山川誠*4

2. 構造—2. 振動—g. 建物応答特性とその評価

製品誤差, 剛性増大率, 質点系モデル, 地震応答解析, 鋼構造建物

1. はじめに

地震が発生しても建物が崩壊などせず、私たちが安全に生活できる建物が求められている。しかし、将来発生する地震動に対しての建物の振る舞いを全て予測することは非常に困難である。その要因として挙げられることとして、地震波の不確定性と建物の不確定性である。地震波の不確定には地震発生地、地震の規模などが考えられ、特定するのは不可能に近い。次に建物の不確定性は部材の製品誤差、築年劣化などがあげられ、すべての建物の地震応答に及ぼす特性を把握することは非常に困難である。近年では、スーパーコンピュータの性能向上に伴い、建物1棟1棟を解析するのではなく、都市レベルの建物何万棟に対して解析することが可能となった。その際建物の情報として設定するのは部材の標準の情報である。しかし、部材の製品誤差を持つ建物が都市モデルに含まれることを考えると、結果が変化する可能性がある。

本研究の目的は、鋼構造建築物を対象に建築部材の製品誤差と床スラブによる梁の剛性増大率の変化を考慮した場合の層の剛性・耐力の変化を考慮し、これら変化が地震応答解析を行った際に各層の最大変位応答と最大加速度応答に与える影響について検討することである。また、その応答結果が設計時に採用される標準の結果に対してどれほどの変化量があるのか検討する。

2. 検討方法

本論文では鋼構造建築構造において、建築物を立体フレームでモデル化し、静的増分解析により製品誤差と合成梁による剛性増大率の変化を考慮した復元力特性を設定する。その後、多質点系モデルにより地震応答解析を行い、最大層間変形角、最大絶対

加速度を求める。標準の情報と比較した際にどの程度応答結果に変化が出るのか検討する。製品誤差は部材である鋼材はロット番号ごとに作成しているため製品誤差に偏りがでる（標準より1つが小さければ全部が小さくなる）と考え、1部材の製品誤差を最小とすればすべてを最小になると仮定した。それに伴い、製品誤差が最大の場合には剛性増大率も大きくなる（本研究では0.2増）と仮定し検討を行った。

標準モデルの応答結果に対して誤差を含んだモデルの応答結果の変化を見るため、変化量を使用した。変化量は式①より求めた。

$$\text{変化量[\%]} = \frac{(\text{標準モデルの結果} - \text{増減モデルしたモデルの結果})}{\text{標準モデルの結果}} \times 100 \dots \text{①}$$

3. 例題

3.1 建物モデル

例題として、5階建て鋼構造建築物に対して静的増分解析を行い層の剛性と耐力を求め、多質点系モデルにて地震応答解析を行った。本研究では、構造設計・部材断面事例集²⁾（以下、事例集）よりS-1モデルを使用した。S-1モデルの平面図と軸組図を図1と図2に示す。

また、使用部材の実際にある製品誤差を調べ、その製品誤差と合成梁による剛性増大率の変化を考慮した。製品誤差は青木らの研究³⁾より、正の最頻値と負の最頻値を参考に決定し、剛性増大率の変化は大阪府指定・指定構造計算適合性判定機関⁴⁾が剛性増大率にどの程度変化が出ているのかを検証していたのを参考に決定した。その決定した部材と剛性増大率を表1と表2に示す。

Seismic safety considering variations in layer rigidity and yield strength of steel structures

SAWADA Kenji, NAGANO Yasuyuki,
ASAKAWA Takeshi and YAMAKAWA Makoto

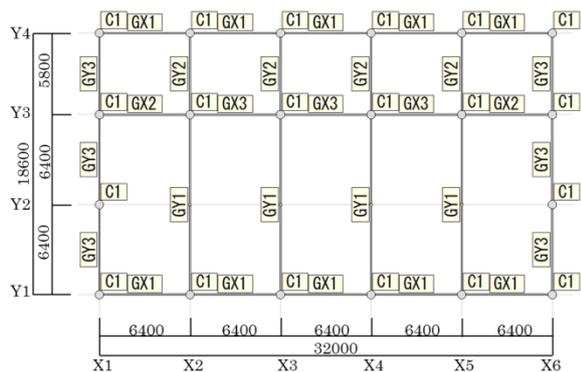


図1 基準階平面図

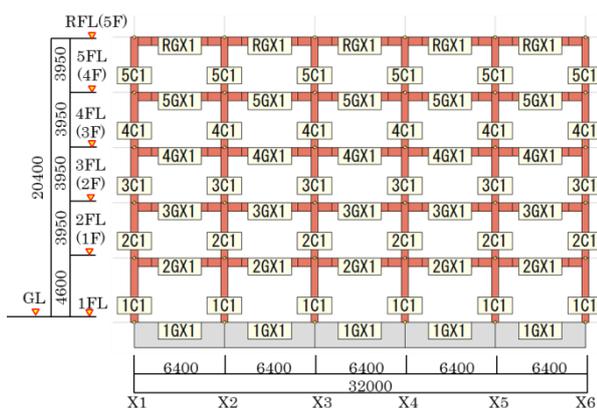


図2 Y4の軸組図

表1 製品誤差を含んだ断面^[3]

部材	材料	断面(mm)
柱	BCR295	□-500 (-2.5, +1.5) ×500 (-2.5, +1.5) ×22
梁① (2FL、3FL 端部)	SN490	H-600 (-2.5, +1.5) ×250 (±2.5) ×12×22
梁② (全2FL、3FL)	SN490	H-600 (-2.5, +1.5) ×250 (±2.5) ×12×19
梁③ (X2、X3、Y3 の4FL~RFL)	SN490	H-600 (-2.5, +1.5) ×200 (±2.5) ×12×22

※1 X方向の部材のみ製品誤差を考慮している。

※2 500 (-2.5, +1.5) は最小 497.5 で最大 501.5 ということを示す。

表2 剛性増大率の変化^[4]

剛性増大率φ	0.2 減	標準	0.2 増
両側スラブ	1.8	2	2.2
片側スラブ	1.3	1.5	1.7

3.2 静的増分解析

静的増分解析を行うにあたり、SS7にて作成した立体フレームモデル化した。SS7にて設定されている推定崩壊荷重を与え、静的増分解析を行った。推定崩壊荷重までのステップ数を101とした。図4に製品誤差：標準—剛性増大率：標準（以下、標準—標準と記載）の静的増分解析結果を示す。

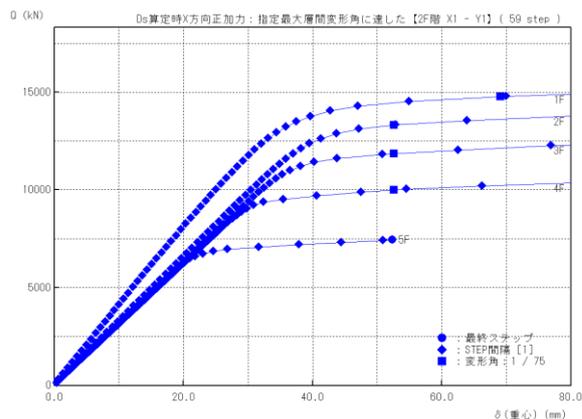
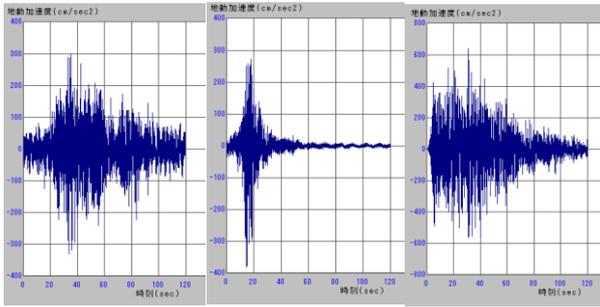


図3 静的増分解析結果例(標準—標準の場合)

3.3 地震応答解析

静的増分解析の結果より多質点系モデルを作成し、DynamicPROにて地震応答解析を行った。減衰には剛性比例型として減衰定数0.02とした。地震応答解析に用いた入力地震動には水平方向入力地震動の設定^[5]を参考に観測波3波と告示波3波を使用した。観測波3波にはEL Centro 1940 NSとTaft 1952 EWとHachinohe 1968 NSを使用した。告示波3波にはShakepro-Lで搭載されている八戸EW位相とJMA神戸NS位相と乱數位相を使用した。これらの地震波6波の元波の最大速度・最大加速度はEL Centro 1940 NSで33.45cm/s・341.7cm/s²、Taft 1952 EWで17.71cm/s・175.9cm/s²、Hachinohe 1968 NSで34.4cm/s・229.65cm/s²、八戸EW位相で40.8cm/s・328.84cm/s²、JMA神戸NS位相46.4cm/s・380.10cm/s²、乱數位相で40.6cm/s・327.11cm/s²である。これらの地震波6波の加速度波形を図4に示す。稀に発生する地震動と極稀に発生する地震動を想定するため最大速度を250mm/sと500mm/sに振幅調整を行い、使用した。



(a) 八戸 EW 位相 (b) JMA 神戸 NS 位相 (c) 乱数位相

図4 告示波

4. 解析結果

4.1 静的増分解析結果

静的増分結果(図3)から地震応答解析にて用いるため、2折れ点に近似することとした。2折れ点からは初期剛性と剛性低減率を式②と式③より求めた。第1折れ点のステップは1Fのステップを基準に決めた。1Fのステップ数は各モデルのQ-δ曲線を重ね合わせ目視にて決定した。最終ステップには保有水平耐力の基準である層間変形角1/75の点とした。2折れ点に近似した結果を図5に示す。

初期剛性=原点から第1折れ点までの層せん断力 / 原点から第1折れ点までの層間変位 ……②

剛性低減率=

第1折れ点から層間変形角1/75までの剛性 / 原点から第1折れ点までの剛性 ……③

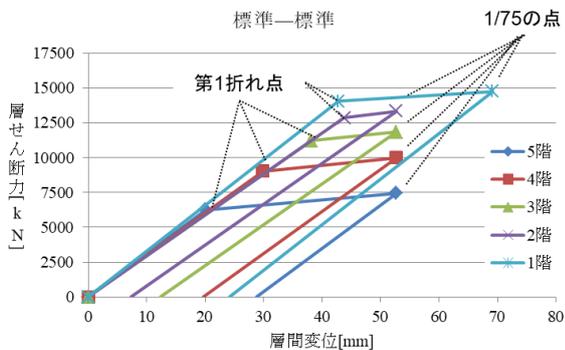


図5 2折れ点近似線

図7の2折れ点より求めた初期剛性と剛性低減率を表3と表4に示す。また、SS7にて求めた各モデルの重量について表5に示す。

表3 各モデルの初期剛性[kN/cm]

	各モデル名称		
	最小-0.2 減	標準-標準	最大-0.2 増
5F	2884	3122	3330
4F	2805	3027	3230
3F	2740	2939	3137
2F	2769	2938	3121
1F	3120	3278	3465

表4 各モデルの剛性低減率

	各モデル名称		
	最小-0.2 減	標準-標準	最大-0.2 増
5F	0.122	0.115	0.122
4F	0.149	0.138	0.135
3F	0.167	0.147	0.143
2F	0.189	0.176	0.161
1F	0.0852	0.0846	0.0878

表5 各モデルの重量[kN]

	各モデル名称		
	最小-0.2 減	標準-標準	最大-0.2 増
5F	7637	7639	7641
4F	5520	5523	5525
3F	5520	5523	5525
2F	5540	5544	5546
1F	5569	5573	5575

4.2 地震応答解析結果

結果を比較するため安全基準として250mm/sにて最大速度振幅調整した結果には層間変形角1/120、500mm/sにて最大速度振幅調整した結果には保有水平耐力の基準である層間変形角1/75と倒壊の基準である層間変形角1/50を使用して検討を行った。

絶対加速度から層せん断力係数を求め、保有水平耐力の層せん断力係数と比較する。結果例として 250mm/s の結果として乱数位相の層間変形角を図 6 に、500mm/s の結果として Hachinohe 1968 NS の層せん断力係数を図 7 に示す。

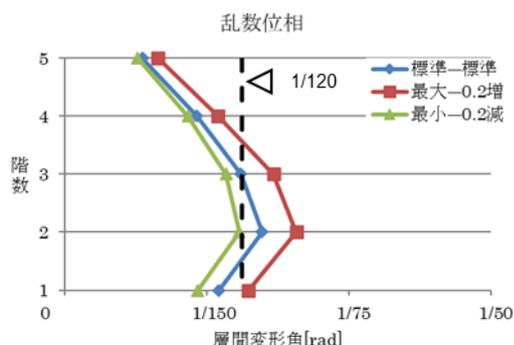


図 6 乱数位相の結果
(最大層間変形角) [最大速度振幅 250mm/s]

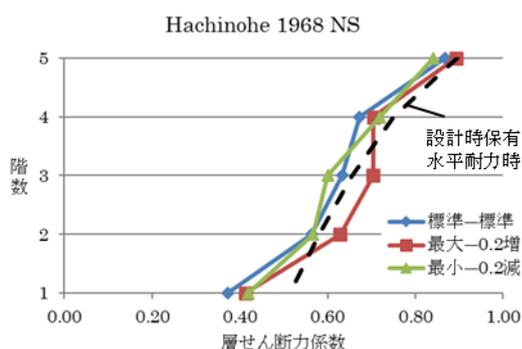


図 7 Hachinohe 1968 NS の結果
(最大層せん断力係数) [最大速度振幅 500mm/s]

基準にて比較すると、図 8 からでも標準-標準の結果は 2F だけ超えている結果となったが、誤差を考えた最大-0.2 増は 1~3F まで超える結果となった。図 9 では、標準-標準は基準を超えていないのに対し、最大-0.2 増の 2F と 3F の結果は超えており標準より大きな力がかかっていることがわかる。

また、標準の結果と増減したモデルの結果での変化量を求めると ±1 割程度変化が出ることがわかった。

5. おわりに

本研究では、鉄骨の実際にある製品誤差の範囲を調べ、考慮した場合の影響について調べることにした。また、床スラブによる剛性増大率の変化を考慮し、この二つの変化に対しての影響を検討した。

誤差を考慮した際に初期剛性を比較すると最大で 1 割出ることが確認できた。この初期剛性と剛性低減率を含んだモデルにて地震応答解析を行い、最大層間変形角と最大絶対加速度を求めた。標準モデルの結果と増減したモデルの結果を変化量にて比較すると ±1 割程度の結果範囲があった。

今後は設計時にも製品誤差などがあつた際にも今回の例題と同様の方法にて求めることでその結果にて安全性を検討できると考えている。

謝辞

本研究のモデル作成及び解析にはユニオンシステム社の告示波作成ソフト ShakePRO-L Ver.1.29 と解析ソフト Super Build/SS7 Ver.1.1.1.15 と DynamicPRO Ver.7.17 を使用した。ここに記し謝意を示す。

参考文献

- [1]上田哲弘, 永野康行, 朝川剛, 山川誠: 建築部材の製品誤差による不確定性を考慮した耐震ロバスト性の評価手法, 日本建築学会近畿支部研究発表会, pp325-328, 2022.06
- [2]財団法人日本建築防災協会: 構造設計・部材断面事例集, pp496-501, 2007年6月27日
- [3]青木博文, 松永一宏, 増田正之, 赤井正樹: 鋼構造骨組みの製作誤差が構造強度に及ぼす影響に関する実測調査日本建築学会学術講演梗概集(東海), pp805-806, 1988.10
- [4]大阪府, 大阪府指定・指定構造計算適合性判定機関: 大阪府内の構造計算適合性判定に係る「よくある質疑事項の解説」, 4.1.5 合成梁の剛性増大率, 2013年3月
- [5]一般財団法人日本建築総合試験所: 時刻歴応答解析建築物構造安全性能評価業務方法書, pp4-5, 2021.01

*1 兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究所 博士前期課程院生

*2 兵庫県立大学大学院情報科学研究科 教授・博士(工学)

*3 東京電機大学未来科学部建築学科 准教授

*4 東京理科大学工学部 教授・博士(工学)

Graduate Student, Grad. Sim. Studies, University of Hyogo Prof., Grad. Sch. Info. Sci., University of Hyogo, Dr. Eng. Associate Professor, Tokyo Denki University Prof., Tokyo University of Science., Dr. Eng.