T2R2東京工業大学リサーチリポジトリ Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報 Article / Book Information

論題(和文)	構造特性の高さ方向分布が不均一な中低層鋼構造建物のエネルギー配 分に関する研究	
Title		
著者(和文)	 渋谷政斗, 佐藤大樹, 佐藤大輔, 松澤祐介, 北村春幸, 山口路夫, 脇田直弥, 松蔭知明	
Authors	daiki sato, Haruyuki Kitamura, Michio Yamaguchi, Naoya WAKITA	
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, Vol. 83, , 2027	
Citation(English)	, Vol. 83, , 2027	
発行日 / Pub. date	2013, 3	
rights	日本建築学会	
rights	 本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである	
relation	isVersionOf:http://ci.nii.ac.jp/naid/110009769773	

2027

構造特性の高さ方向分布が不均一な中低層鋼構造建物のエネルギー配分に関する研究

構造一振動

鋼構造建物	エネルギーの金	う合 エネルギー配分
応答予測法	節点振分け法	時刻歷解析

1. はじめに

建物の耐震性能は,終局耐力と塑性変形能力の積 (塑性化エネルギー吸収量)により判定している。現在, このことに重点をおいた耐震計算法である,エネルギ ーの釣合に基づく応答予測法¹⁾(以後,エネルギー法) が,実設計にも適用されている²⁾。

階高や,積載荷重が層によって大きく異なるため,物流施設は,構造特性の高さ方向分布が不均一な計画 となることが多い。しかし,エネルギー法における構 造特性の高さ方向分布が不均一な建物に関する検討 例は少なく¹⁾,エネルギー法の実設計への更なる適用 を促進するため,知見の充実が望まれる。

本研究では、構造特性の高さ方向分布が不均一な建 物の応答性状を時刻歴解析とエネルギー法による検 討から明らかにすることを目的とする。

2. 入力地震動および検討対象建物概要

2.1 入力地震動概要

解析に用いる入力地震動は、コーナー周期 $T_c = 0.64(s)$ 以降の領域で、擬似速度応答スペクトル $_PS_V = 100(cm/s)$ (h = 5%)となる位相特性 HACHINOHE 1968 EW (以後、ART HACHI)の模擬地震動を用いる。解 析時間刻みは $\Delta t = 0.005(s)$ とする。図1に加速度時刻歴 波形、図 2(a),(b)に擬似速度応答スペクトルとエネル ギースペクトルをそれぞれ示す。

2.2 検討対象建物概要

検討対象建物は、物流施設を想定した地上5階,高 さ28.5m(1階7.5m,2,4階6.5m,3,5階4.0m),長辺 方向(X方向)11.0m×8スパン=88.0m,短辺方向(Y 方向)10.6m×3スパン=31.8mの鋼構造建物である。 図3(a),(b)に検討対象建物の基準階伏図と軸組図,表1 に部材断面一覧,表2に設計用積載荷重一覧,図 4(a),(b)に質量および層剛性の高さ方向分布をそれぞ れ示す。検討対象建物は、1,2,4 階が倉庫となる建築 計画を想定しているので、1,2,4 階の階高が高く、積 載荷重が大きい。そのため、1,3 層の質量が大きく、 1,2,4 層の層剛性が低いモデルとなっている。建物全 重量は、120293(kN)である。解析はX方向を対象とす る。検討対象建物の1次固有周期_fT₁に対してh=2%となる 剛性比例型とする。



表 1 部材断面一覧

符号	材種	断面	
SC1,SC2	BCP325	□-500×500×19~□-600×600×32	
SG1,SG2	SN490	H-588×300×12×20~HY-750×300×16×32	
SG11,SG12	SN490	H-600×200×11×17~HY-600×250×16×28	

表 2 設計用積載荷重一覧

RHŁ	設計用積載荷重(N/m ²)				
陌	床	小梁	架構	地震	
RF	5000	4500	4000	3000	
3,5F	5000	4000	3000	2000	
2,4F	10000	8000	6000	4000	
1F	15000	12000	9000	6000	



3. 耐力算定法の違いがエネルギー法に及ぼす影響

エネルギー法の損傷分布は、耐力分布に大きく影響 されることから、耐力算定法における選定の重要性が 指摘されている³⁾。本章では、耐力算定法の違いがエ ネルギー法の損傷分布に及ぼす影響の検討を行い、検 討建物に最適な耐力算定法を選定する。

3.1 エネルギー法における損傷分布の算定式 1)

エネルギー法における損傷分布は式(1)で評価される。nには梁降伏型の8を採用する。

$$\frac{{}_{f}W_{pk}}{{}_{f}W_{p}} = \frac{s_{k} \cdot p_{k}^{-n}}{\sum_{i}^{N} s_{i} \cdot p_{i}^{-n}}$$
(1)

*s*_i *p*_iは式(2),(3)で表される。

$$s_{i} = \left(\sum_{j=i}^{N} \frac{m_{i}}{M}\right)^{2} \cdot \overline{\alpha}_{i}^{2} \cdot \left(\frac{f^{k_{1}}}{f^{k_{i}}}\right)$$
(2)

$$p_i = \frac{\int \alpha_{vi} / \int \alpha_{v1}}{\overline{\alpha_i}}$$
(3)

ここに、 $_{f}W_{pi}$: *i* 層の塑性歪エネルギー、 $_{f}W_{p}$: 全層の 塑性歪エネルギー、N: 層数、 m_{i} : *i* 層質量、M: 全質 量、 $_{f}k_{i}$: 層剛性、 $\overline{\alpha}_{i}$: 最適降伏層せん断力係数分布、 $_{f}\alpha_{yi}$: 降伏層せん断力係数分布である。

3.2 耐力算定法概要

2.3 節では,耐力算定法として一般的な方法と考え られる静的増分解析と極限解析的な方法である節点 振分け法の2通りの概要を示す。

3.2.1 静的増分解析による耐力の算定

以下,静的増分解析における耐力算定法(以後,増 分法)について述べる。図5に静的増分解析のQ-R関係,図6に復元力特性をそれぞれ示す。図6に示す ように,静的増分解析から得られる各層の履歴曲線の $_{30}$ 面積と,終局変形 $_{f\delta_{ui}}$ 時の履歴面積が等しくなる(面 $_{25}$ 積 $S_1 = 面積 S_2$)完全弾塑性型に置換し,降伏耐力 $_{f}Q_{yi}$ 20 を算定する。以下に算定式を示す。なお本研究におい $_{15}$ て, $_{f\delta_{ui}}$ を静的増分解析の最大変形とした。10

$${}_{f}\delta_{yi} = {}_{f}\delta_{ui} - \sqrt{{}_{f}\delta_{ui}^{2} - \frac{2W_{i}}{{}_{f}k_{i}}}$$

$${}_{f}Q_{yi} = {}_{f}k_{i} \cdot {}_{f}\delta_{yi}$$

$$(4)$$



ここに, $_f \delta_{yi}$:降伏変形, W_i :静的増分解析結果の履 歴曲線の面積である。

3.2.2 節点振分け法による復元力の算定

以下,節点振分け法(以後,節点法)について示す⁴⁾。 各節点で,柱材端あるいは左右の梁材端部に塑性ヒン ジを形成させ,柱材端の全塑性モーメント *M_p*を決定 する。柱の全塑性モーメントから,その柱の降伏耐力 を算定する。各階における柱の降伏耐力の総和が各層 の降伏耐力となる。なお左右の梁材端部に塑性ヒンジ が形成される場合は,両梁端における全塑性モーメン ト和の 1/2 を上下の柱に分配した。ある部材の全塑性 モーメントは以下の式から算定する。

 $M_p = Z_p \times 1.1 \cdot \sigma_y \tag{6}$

ここに, Z_p:塑性断面係数, σ_y:降伏応力度である。 図 7に増分法と節点法の耐力分布の比較を示す。図 7より,増分法と節点法で大きく異なる耐力分布を得 られた。また節点法による耐力分布は層剛性分布(図 4(b))と同様に,各層で不均一となっている。

3.3 検討結果

図 8 に耐力算定法の違いによる p_i分布(式(3))を 示す。図 8 より,増分法における p_i分布は全層でおお むね 1.0 となっており,損傷集中が大きく生じない評 価となっている。一方,節点法における p_i分布は,耐 力分布(図 7)と同様に,不均一となっており,p_iが 最小の2層が最弱層となり損傷集中する評価となって いる。図 9 に耐力算定法の違いによるエネルギー法の 損傷分布(式(1))と時刻歴解析の比較を示す。図 9 より,増分法の場合,時刻歴解析における最弱層(以 後,損傷集中層)である 2 層の損傷評価に対し大きな



隔たりが生じており,検討建物において増分法では損 傷評価が適切に行われないことを確認した。一方,節 点法の場合,2層の損傷評価を精度良く捉えている。 以降,耐力算定法として節点法を用いて検討を行う。

4. 構造特性をパラメータとした損傷分布の検討

本章では、構造特性の高さ方向分布を変化させたと きの時刻歴解析およびエネルギー法の損傷分布への 影響を検討する。

4.1 検討パラメータの概要とモデル名称

図 10(a)~(c)に各パラメータにおける変更諸元の高 さ方向分布を示す。図 4, 図 7 (前頁) で示した状態 を original と呼ぶ。図 10(a)における質量のパラメータ は, original における 3 層の質量を 0.2, 0.6, 1.6, 3.0 倍したもので,それぞれ m3-0.2, m3-0.6, m3-1.6, m3-3.0 と呼ぶ。図 10(b)における剛性のパラメータは, original における 4 階梁と 3 階柱のヤング係数 E を 0.2, 0.7, 1.5, 5.0 倍したもので,それぞれ E3-0.2, E3-0.7, E3-1.5, E3-5.0 と呼ぶ。図 10(c)における耐力のパラメータは, original における 4 階梁と 3 階柱の材料基準強度 F を 0.5, 0.7, 1.5 倍したもので,それぞれ F3-0.5, F3-0.7, F3-1.5 と呼ぶ。なお図 10(c)において 3 層の耐力だけ でなく 4 層の耐力も変化している理由は, 4 階梁材の 材料基準強度の変化によって, 4 階柱脚に配分される モーメントが変化するためである。

4.2 時刻歴解析による損傷分布の検討

図 11(a)~(c)に各パラメータにおける時刻歴解析の 損傷分布を示す。図 11(a),(b)より,検討パラメータの 範囲において質量分布,剛性分布を変化させても時刻 歴解析の損傷分布にほとんど影響がないことを確認 した。一方,図 11(c)より,時刻歴解析における最弱 層が Original や他のケースでは 2 層であるのに対し F3-0.5 では 3 層であり,耐力の変化は損傷分布に大き な影響を及ぼすことを確認した。

4.3 エネルギー法による損傷分布の検討

エネルギー法の損傷分布は s_i および p_i によって,評価されることから(式(1))、本節では、はじめに各パ ラメータおける s_i および p_i 分布について確認する。図 12(a)~(c)に各パラメータおける s_i 分布,図13(a)~(c)に 各パラメータおける p_i 分布をそれぞれ示す。なお耐力 分布を変化させても s_i 分布は変化しないこと(式(2))、 剛性分布を変化させても p_i 分布は変化しないこと(式(3)) は明らかであるが参考までに示している。図 12(a),(b)より、質量分布、剛性分布の変化によって、 異なる s_i 分布となることがわかる。図13(a),(c)より、 質量分布、耐力分布の変化によって、異なる p_i 分布と なることがわかる。なお図13(c)において、F3-0.5、 F3-0.7 で4層の p_i が小さくなっている原因は、4.1 節



で述べたように、4 層の耐力が小さくなっているため である(図 10(c))。

図 14(a)~(c)に各パラメータおけるエネルギー法の 損傷分布を示す。図 14(b)より,エネルギー法におい て,s_i分布のみに影響を及ぼす剛性分布の変化は損傷 分布にほとんど反映されないことがわかる。一方,図 14(a),(c)より,質量分布,耐力分布の変化は損傷分布 に対し大きな影響を及ぼすことがわかる。以上のこと から,エネルギー法の損傷分布は,*s*_i分布の変化には ほとんど影響されず,主として*p*_i分布の変化が大きな 影響を及ぼしていることがわかる。

4.4 エネルギー法の損傷分布の精度検証

図 15(a)~(f)に時刻歴解析とエネルギー法の損傷分 布の比較を示す。図 15(a)~(c)には、エネルギー法にお いて、損傷集中層の損傷を安全側に捉えた m3-3.0, E3-0.2, E3-5.0 を示している。一方,図 15(d)~(f)には、 エネルギー法において、損傷集中層以外の層を最弱層 として評価した m3-0.2, F3-0.5, F3-0.7 を示している。

本検討におけるパラメータの範囲において,3層の 質量,耐力を大きくしたもの,3層の剛性を変化させ たものにおける予測値は,損傷集中層の損傷を安全側 に評価できている。しかし,3層の質量,耐力を小さ くした結果は,損傷集中層の損傷を危険側に評価して いる。具体的には,m3-0.2,F3-0.5,F3-0.7において, エネルギー法は損傷集中層以外の層を最弱層として 評価し,m3-0.6において,損傷集中層の損傷を過小評 価している。その理由はm3-0.2,F3-0.5,F3-0.7 は他 の層と比べ4層のp_iが最小であり,m3-0.6 は4層の p_iが最小であった2層とほぼ等しい値であった(図13) ためと思われる。以上のことから,本検討建物におい て,損傷集中層以外のp_iが最小かそれに近い値となる と,エネルギー法による損傷評価の精度が悪化する傾 向が見られることがわかった。

5. まとめ

構造特性の高さ方向分布が不均一な建物の応答性 状を明らかにするために,時刻歴解析とエネルギー法 を用いて検討を行った。得られた知見を以下に示す。

- (1) 耐力算定法に静的増分解析を用いると、エネルギー法による損傷の評価が適切に行われないことを確認した。一方、節点振分け法を用いると、時刻歴解析における最弱層を精度良く捉えられることを確認した。
- (2) 時刻歴解析による検討より,質量分布,剛性分布の変化は,損傷分布に対してほとんど影響はないが,耐力分布の変化は大きな影響を及ぼすことを確認した。
- (3) エネルギー法の損傷分布に対し,剛性分布の変化 はほとんど影響がないこと,質量分布,耐力分布 の変化は大きな影響を及ぼすことを確認した。
- (4) 損傷が集中する層以外の p_iが最小かそれに近い 値となると、エネルギー法による損傷評価の精度 が悪化する傾向が見られた。



謝辞

本研究は,新日鉄住金エンジニアリング株式会社,東京理科大学に よるエネルギー法研究会の成果の一部である。

参考文献

 1) 秋山宏:エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計,技報堂出版, 1999.11

2) 脇田直弥,松蔭知明,樋口公平,中村秀司:エネルギー法による建物の構造設計~優れた耐震性と経済性を両立した設計手法の確立~,新日鉄エンジニアリング技報,vol3,2012

3) 独立行政法人 建築研究所:鋼構造建築物へのエネルギー法活用マ ニュアルー平成17年度国土交通省告示第631号「エネルギーの釣合に 基づく耐震計算法」に準拠して一,技報堂出版,2008.9

- 4) 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
- 5) 北村春幸:性能設計のための建築振動解析入門, 彰国社, 2002.9

*1 東京理科大学

*2 新日鉄住金エンジニアリング株式会社