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)	 頂部相対変形からの最大層間変形の簡易評価
Title	
著者(和文)	戸張涼太, 佐藤大樹, 北村春幸
Authors	Ryota Tobari, daiki sato, Haruyuki Kitamura
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, Vol. 83, , 2025
Citation(English)	, Vol. 83, , 2025
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/110009769771

頂部相対変形からの最大層間変形の簡易評価

構造一振動

最大相対変位 最大層間変形 鉄骨構造 履歴ダンパー せん断モデル 時刻歴応答解析

1. はじめに

建物の維持管理において地震時の応答観測を行う場合、地震計を 設置する事が多い。しかし、コストの関係やデータ管理が煩雑にな ることから全層に地震計を設置することは難しく、最上階・中間階・ 一階など特定の層に限定して用いられるのが一般的である。当然、 地震計非設置階の応答は不明である。地震経験後の構造物の損傷評 価は今後の建築物の耐用性評価につながり、それに応じた対策を講 じる上でも重要といえる。構造物の損傷を評価する手法としては応 急危険度判定があり、東日本大震災でも震度の大きかった地域を中 心に実施された¹⁾。しかし、応急危険度判定は判定士が損傷を目視 で判定するため、すべての建物を判定するのに多大な時間を要する。 大まかな損傷が推定出来れば、応急危険度判定や補強工事の実施優 先順位を判断するのに役立つ。

1 質点応答スペクトルと建物頂部応答の関係または建物頂部応答 と最大層間変形の関係がわかれば、1 階または最上階の加速度計の 情報から最大層間変形の簡易な推定が可能である。本報では、1 質

点変位応答スペクトルと多層建物頂部の最大相 対変位の対応関係および、頂部の最大相対変位 と最大層間変形角の関係について検討する。

5層モデル

8層モデル

21層モデル

35層モデル

21.3

33.0

80.5

141.0



74910

78009

115347

373868

1.10

1.54

2.41

4.07

15.7

23.7

53.7

94.5

正会員〇 戸張涼太^{*1} 同 佐 *¹ 同 北村春幸

佐藤大樹

2. 解析概要

2.1 検討モデル

検討モデルは5階建て、8階建て、21階建て、35階建ての鋼構造 建物とする。平面図と軸組図を図1に示す。全モデル階高は1階の み他の階に比べ高く,平面形状は各階同一とする。構造減衰は主架 構の弾性1次固有周期_fT₁に対して2%となる剛性比例型とする。建 物モデル諸元を表1に示す。1次の等価高さ₁ \overline{H} は式(1)によって算 出される²。

$${}_{1}\overline{H} = \sum_{i=1}^{N} m_{i} \cdot {}_{1}u_{i} \cdot H_{i} / \sum_{i=1}^{N} m_{i} \cdot {}_{1}u_{i}$$
(1)

ここで, *m_i*:*i*層の質量, ₁*u_i*:*i*層の1次固有モード, *H_i*:*i*層の高さ, *N*: 層数である。

制振モデルでは、履歴ダンパーとして座屈拘束型ブレースを想定 し、建物高さ方向に連層配置とする。ダンパーは塑性化部と弾性部 で構成され、部材長さ L_d に対して塑性化部の長さを L_d /3とし、塑 性化部断面積 A_d に対して弾性部断面積を $2A_d$ とする。塑性化部には LY225材(降伏応力度 225 N/mm²)を用い、ダンパーの履歴性状は 完全弾塑性型とする。5 層モデルと 8 層モデルにおける各層のダン パーの降伏層せん断力 Q_{y1} は、第 1 層のダンパーの降伏層せん断力 Q_{y1} と同じ一律分布とする($Q_{y1} = Q_{y1}$)。21 層モデルと 35 層モデル においては Q_{y1} を基準とし、地震層せん断力係数の高さ方向分布(Ai 分布)に基づく設計用層せん断力分布をもとに 4 段階とした。 Q_{y1} の層せん断力係数換算値 $_{dQ_1}$ をパラメータとし、各モデル $_{dQ_1} = 0.02$ 、 0.05、0.08、0.10 の4 モデルについて検討する。

2.2 せん断モデルの設定方法

2.2.1 主架構の設定

主架構に対する静的荷重増分解析より得られた各層の層せん断力 一層間変形の関係から、3 次剛性を0 とするトリリニア型復元力特 性を作成する。層のすべての梁端でヒンジができた時の層間変形を 終局変形 & と定義し、 & に達しない層はバイリニア型、降伏変形に 達しない層は弾性とした。本検討モデルでは、21 層モデルの1、19 ~21 層、35 層モデルの28~34 層をバイリニア型、35 層モデルの35 層を弾性、それ以外の層をトリリニア型とした。図2に5 層モデル と35 層モデルの荷重変形曲線と設定した復元力特性を示す。

0.74

0.72

0.67

0.67

2.2.2 制振構造の設定

本報では、笠井・岩崎³、石井・笠井⁴により報告された「骨組 特性値」を用いた簡易モデルの作成手法を採用する。提案されてい る骨組特性値を用いた制振構造に有用なせん断モデル^{3,4}は、擬似 ブレースとダンパー要素を直列結合により構成される(図3)。骨組 特性値 α_v および擬似ブレース剛性 K_b は、主架構のみの弾性部材モ デル(状態 M)および主架構の制振部材設置位置に剛性が極端に大 きい弾性バネを挿入した(状態 R)2 ケースの静的解析結果から得 られ、式(2)によって算出される^{3,4}。なお、静的解析時の荷重は Ai 分布に基づくものとする。

本論文では、主架構に擬似ダンパーと擬似ブレースを含めた制振 構造全体をシステムと呼ぶ⁹。

2.3 入力地震動

検討用入力地震動は、速度応答スペクトルを*S_V*=0.8m/s(*h*=5%) とした模擬波 2 波と観測波 2 波を用いる。模擬波の位相特性は HACHINOHE 1968 EW(以降 ART HACHI), JMA KOBE 1995 NS

(以降 ART KOBE) を採用する。観測波は、最大速度を 0.5 m/s に 基準化した EL CENTRO 1940 NS 波(以降 El Centro)と、 TOMAKOMAI 2003 EW 波の原波(以降 Toma)を採用する。以上の 4 波を基準とし、それぞれ加速度波形を 1.0 倍、1.5 倍、2.0 倍した地 震動を検討に用いる。図4 に、基準(1.0 倍)とする地震波の加速度 波形と最大加速度を、図5 に擬似速度応答スペクトル_PS_V (h=5%) と変位応答スペクトル S_D (h=2%)を示す。

3. 1質点変位応答スペクトルとの対応

本章では、各モデルの時刻歴応答解析より算出した頂部最大相対 変位と、1 質点変位応答スペクトルとの対応関係について検討する。 図6に1質点変位応答スペクトルSDに対する頂部最大相対変位x_{Nmax}の比率を示す。ここでSDはh=2%の1質点変位応答値を用いており、 対応する周期は、耐震モデルにおいては主架構のみの1次固有周期 とし、制振モデルにおいてはシステムの1次固有周期としている。

入力地震動の種類に着目すると、ART HACHI と El Centro の 5 層 モデルと 8 層モデルにおいて、他の入力・モデルに比べ x_{Nmax}/S_D は 小さくなるケースが見られるが、全モデルに共通して確認できる傾 向はこの図からは確認できない。入力地震動の倍率に着目すると、 倍率が大きいほど x_N/S_D が小さくなる傾向が確認できる。これは主



架構またはダンパーが塑性化したことにより等価減衰が増加, x_{Nmax}が抑えられたためと考えられる。

モデル別に比較すると、5層・8層モデルでは21層・35層モデル に比べ x_{Nmax}/S_D は若干小さいことがわかる。これは表1に示した等 価高さ₁ \overline{H} が影響していると考えられる。1次モード形が直線と仮 定すれば、頂部の相対変位の1次モード成分 μ_{N} は等価高さ位置の 相対変位の $H_1\overline{H}$ 倍で表すことができる。また、 S_D は等価高さ位置 での相対変位ともいえるので、 μ_N/S_D は $H_1\overline{H}$ の値に近くなると考



えられる。 $H'_1 \overline{H}$ は5層モデルにおいて1.35,8層モデルにおいて1.39,21層モデルおよび35層モデルにおいて1.50となっており、5層・8層モデルでは21層・35層モデルに比べ x_N/S_D も小さくなると考えられる。

主架構またはダンパーの塑性化による影響を考察するため、図 7 に $x_{N_{max}}/S_D \ge \overline{K_{eq}}/K_1$ の関係を示す。 K_{eq} は最大層間変形時のシステ ムの等価剛性、 K_1 はシステムの初期剛性を表す。図 8 に K_{eq} および K_1 について図示す 。 $\overline{K_{eq}}/K_1$ は各層の K_{eqi}/K_{1i} の全層平均値とした。 なお、図 7 では、図 6 に示した全パターンをプロットしている。

図7より、 $\overline{K_{eq}/K_1}$ が1(システムが弾性状態)の時、概ね $x_{N_{\text{max}}}/S_D$ =1.3~1.6の範囲を示し、 $\overline{K_{eq}/K_1}$ の低下に伴い $x_{N_{\text{max}}}/S_D$ も低下する 傾向が確認できる。 $\overline{K_{eq}/K_1}$ =0.8程度まで x_N/S_D は低下し続けるが、 それ以下の領域では横ばいとなっている。塑性化状態が同程度の時 の x_N/S_D のばらつきに着目すると、 $\overline{K_{eq}/K_1}$ が低下するほど $x_{N_{\text{max}}}/S_D$ のばらつきも大きくなり、 $\overline{K_{eq}/K_1}$ =0.8以下では $x_{N_{\text{max}}}/S_D$ =0.6~1.5 の広範囲に分布していることがわかる。以上の現象は主架構または ダンパーが塑性化することにより、減衰が増大し $x_{N_{\text{max}}}$ が小さくな るが、その分等価周期が長くなり変位応答スペクトルの関係(図 5(b))より、 $x_{N_{\text{max}}}$ が増大する関係にあるためと考えられる。

入力地震動の違いについて着目すると、 $\overline{K_{eq}/K_1}$ が同程度でも、 ART KOBE・El Centro の2波ではART HACHI・Toma の2波に比べ Time(s) C_{20} 20 40 60 80 C_{40} (モデル:8層・耐震モデル、入力地震動:El Centro・2倍) 図9 頂部相対変位の時刻歴 $x_{N \max} / S_D$ が大きい範囲に分布する傾向が確認できる。特に ART KOBE では $\overline{K_{eg}}/K_1$ が大きく低下しても $x_{N \max}/S_D = 0.9 \sim 1.4$ の範囲

KOBE では K_{eq}/K_1 が大きく低下しても $x_{N \max}/S_D = 0.9 \sim 1.4$ の範囲 に分布している。図9に、 $\overline{K_{eq}/K_1}$ が最も小さいが $x_{N \max}/S_D$ が1.58 と高い値を示した図中Aで示す応答の時刻歴を示す。残留変形によ り、過大な最大相対変位が生じていることがわかり、大きな残留変 形が生じるような応答の場合 $x_{N \max}/S_D$ が大きくなると見られる。

4. 頂部最大相対変位と最大層間変形角の関係

本章では、各モデル頂部の最大相対変位と、いずれかの層で発生 した最大層間変形角の関係について検討する。

図10に最大層間変形角 R_{max}と等価最大層間変形角 R_{eq}の比率を示 す。等価最大層間変形角 R_{eq}は式(3)によって定義される。

$$R_{eq} = x_{N\max} / \sum_{i=1}^{N} H_i$$
(3)

入力地震動の種類に着目すると、Toma において比較的 R_{max}/R_{eq} は小 さくなっており、入力地震動の倍率に着目すると、倍率が大きいほ ど R_{max}/R_{eq} は大きくなる傾向が確認できる。塑性化が進むほど R_{max}/R_{eq} は大きくなると予想できる。Toma は図4、5 より入力加速度、応



答スペクトル共に比較的小さく、塑性化が進まなかったため R_{max}/ R_{eq}が小さくなったといえる。モデル別および制振構造の有無による R_{max}/R_{eq}の傾向はこの図からは確認できない。

特に R_{max}/R_{eq} の大きかった図 10, A および C の各層の最大層間変 形角 R_{imax} を, R_{max}/R_{eq} の小さい図 10, B および D と比較して図 11 に示す。A, C の層間変形角に着目すると、特定層に過大な層間変 形角が生じており、このような場合は R_{max} が極端に大きくなり、 R_{max} / R_{eq} も大きくなることがわかる。B, D のように変形が特定層に集中 していない場合、 R_{max}/R_{eq} は1に近づくと考えられる。

塑性化の程度と R_{max}/R_{eq} の関係について検討する。図12に R_{max}/R_{eq} と $\overline{K_{eq}/K_1}$ の関係を示す。 $\overline{K_{eq}/K_1}$ が小さくなるほど R_{max}/R_{eq} は大きくなっていく傾向が確認できる。 $\overline{K_{eq}/K_1}$ が概ね1の場合、 R_{max}/R_{eq} は概ね1.2~1.8 程度、 $\overline{K_{eq}/K_1}$ が1以下になると徐々に大きくなり、 $\overline{K_{eq}/K_1}$ が0.8 を下回る範囲では概ね1.3~2.8 である。地震動の違いに着目すると、塑性化の程度が同程度である時の R_{max}/R_{eq} の特徴は見られず, R_{max}/R_{eq} は塑性化の程度による影響が強いものと言える。

5. おわりに

本報では多質点せん断モデルを用いた時刻歴応答解析より,頂部 の最大相対変位と1質点変位応答スペクトルとの対応関係,および 頂部の最大相対変位と、最大層間変形角の関係について検討した。 以下に知見を示す。

- (1) 本検討において、頂部最大応答変位は1質点変位応答スペクト ルに比べ、弾性状態において1.3~1.6倍、主架構またはダンパ ーが塑性化すると低下、大きく塑性化するとばらつきも大きく なり0.6~1.5倍の範囲に分布した。
- (2) 変位応答スペクトルに対する頂部最大応答変位の比率は層数 の少ないモデルにおいて若干小さく分布した。
- (3) 頂部の最大相対変位を建物高さで除した等価な層間変形角に 対する最大層間変形角の比率は、塑性化の程度に影響し、本検 討では弾性状態において概ね 1.2~1.8 程度、塑性化が進むと最 大2.8 であった。

参考文献

- 1) 日本建築学会:長周期地震動対策に関する公開研究集会, 2012.3
- 2) 柴田明徳:最新 耐震構造解析 第2版,森北出版株式会社
- 3) 笠井和彦,岩崎啓介:様々な形式の制振構造における自由度縮約法と水 平バネ系への変換法,日本建築学会構造系論文集,No.605, pp.37-46, 2006.7
- 4) 石井正人、笠井和彦:多層制振構造の時刻歴解析に用いるせん断棒モデ ルの提案、日本建築学会構造系論文集、No.647, pp.103-112, 2010.11
- 5) パッシブ制振構造設計・施工マニュアル 第2版, (社) 日本免震構造会 (JSSI), 2005.9

^{*1} 東京理科大学