

上町断層帯地震に対する設計用地震動ならびに設計法に関する研究

(その 7 鉄骨造建物の適用例)

正会員 ○堀本明伸^{*1} 同 西村勝尚^{*2} 同 多賀謙蔵^{*3} 同 吹田啓一郎^{*4}
同 多田元英^{*5} 同 田中 剛^{*3} 同 向出静司^{*6} 同 塚越治夫^{*1}設計用地震動 上町断層帯 レベル 3
鉄骨造建物 最大塑性回転角 片側の累積塑性回転角

1. はじめに

ここでは、超高層の鉄骨造建物を想定し、(その 2) に示した上町断層帯地震動に対する建物の性状を(その 6) に示した設計法を用いて検討した事例を示す。

2. 想定建物の概要

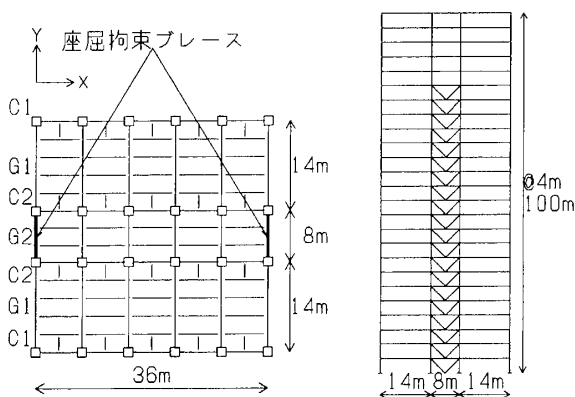
想定した鉄骨造建物は、25 階建ての制振ブレース付ラーメン構造である。想定建物の伏図及び軸組図を図-1 に示す。建物は X 方向に 4 架構、Y 方向に 6 架構を有し、Y 方向外周架構の 1~20 階に座屈拘束ブレース (LY225, 耐力 1500kN) を設置している。この建物の Y 方向を解析対象とする。建物の代表的な構造諸元は下記の通りで、A4 ゾーンのある地点を想定して作成した告示波 (極稀に発生する地震動レベル) に対して、最大層間変形角が概ね 0.01rad となるモデル設定となっている。

表-1 柱部材断面 (材質 SN490)

階	外柱 C1 (A,D 通り)	中柱 C2 (B,C 通り)
16~25	□-700×25 (FB)	□-700×28 (FA)
11~15	同上	□-700×32 (FA)
6~10	□-700×28 (FA)	□-700×36 (FA)
1~5	□-700×36 (FA)	□-700×45 (FA)

表-2 Y 方向の部材断面 (材質 SN490)

階	Y 方向大梁 G1 (外側)	Y 方向大梁 G2 (内側)
17~R	BH-800×350×14×22(FB)	BH-800×350×14×22(FB)
12~16	BH-800×350×14×25(FB)	同上
7~11	BH-800×400×14×25(FB)	BH-800×400×14×25(FB)
2~6	同上	同上



平面 36m×36m, 階高 4m, 建物高さ 100m
基準階床面積: 約 1,300 m², 延べ面積 32,400 m²
地上階総重量 240400kN (7.4kN/m²)

図-1 想定建物の伏図と Y 方向外周架構軸組図

3. 質点系モデルによる検討

3.1 質点系モデルの概要

建物の質量は、並進 1 自由度を有する 1 層 1 質点 (合計 25 質点) に集約した。建物主架構 (柱梁) 及び座屈拘束ブレースの復元力特性は、静的弾塑性荷重増分解析結果をもとに Tri-Linear 型または Bi-Linear 型にモデル化した (履歴法則は Normal 型)。上町断層帯地震波に対しては層間変形角が 0.01 を上回ることが予想されるため、復元力特性には PΔ 効果による剛性低下を考慮した¹⁾。減衰は振動数比例型とし、1 次減衰定数を 2% とした。固有周期は、1 次 3.19 秒, 2 次 1.16 秒, 3 次 0.71 秒である。

3.2 上町断層帯地震動に対する応答解析結果

図-2 に、A4 ゾーンにおける 3A, 3B, 3C レベルの地震波を入力した際の最大層間変形角を示す。

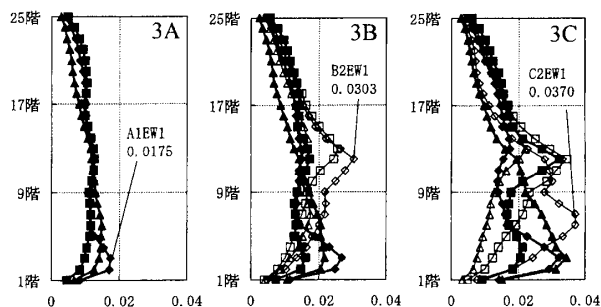


図-2 質点系モデルの応答解析結果 (最大層間変形角)

最大層間変形角が最大となる階に対して、その層を構成する柱梁部材の最大塑性回転角 ($\max \theta_p$) を確認したところ、3C レベルに対し、梁 G2 端部で $\max \theta_p = 0.046$ となり、梁端がノンスラップ+固形エンドタブ工法で施工された場合の破断限界塑性回転角 ($\theta_f = 0.04$) を上回った。一方 (その 6) の図-6 を用いて、最も条件が厳しい梁部材について片側の累積塑性回転角の最大値 ($\Sigma \theta_p$) を推定し、局部座屈による耐力劣化限界塑性回転角 (θ_d) と比較したところ、3B レベルでは、 $\Sigma \theta_p = 0.042 > \theta_d = 0.036$, 3C レベルでも、 $\Sigma \theta_p = 0.051 > \theta_d = 0.042$ となり設計クライテリアを満足しないことが分かった。

4. フレームモデルによる検討

4.1 フレームモデルの概要

図-1 に示す建物を、部材劣化現象や幾何学的非線形性を考慮できる解析プログラム CLAP.f²⁾ を用いて、フレームモデルで検討した。主な特徴は下記の通りである。

- ・梁部材は「単純ヒンジ」でモデル化する。即ち、梁部材を曲げ剛性・軸剛性・せん断剛性を考慮した弾性の線材とし、その端部に剛塑性回転バネをつけて弾塑性性状を表現する。
- ・剛塑性回転バネは、劣化を考慮に入れた Tri-Linear 型の復元力特性³⁾とする。
- ・柱は1階柱脚のみ「単純ヒンジ」でモデル化する。柱の長期軸力と降伏軸力の比が概ね 0.3 となることを考慮して、1 階柱脚の剛塑性回転バネの耐力を設定した。なお、1 階柱頭及び 2 階以上の柱は弾性範囲の応答におさまっている。

図-3 に柱部材と代表的梁部材の復元力特性を示す。固有周期は、1 次 2.92 秒、2 次 0.94 秒、3 次 0.53 秒である。

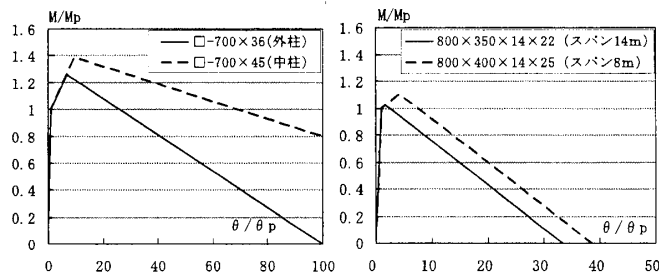


図-3 代表的な柱部材（1 階柱脚）と梁部材の復元力特性

4.2 上町断層帯地震動に対する応答解析結果

A4 ゾーンにおける 3A, 3B, 3C レベルの地震波を入力した場合の最大層間変形角を図-4 に示す。また図-5 に 3C レベルの地震波入力時の 6 階の層間変形角の時刻歴と、梁 G2 の剛塑性回転バネの履歴曲線を示す。これらの図より、応答が片側に偏っていることが確認できる。

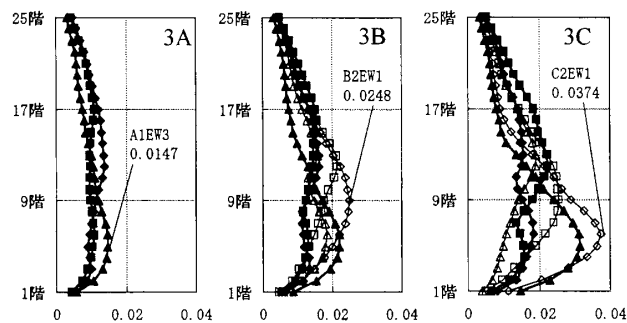
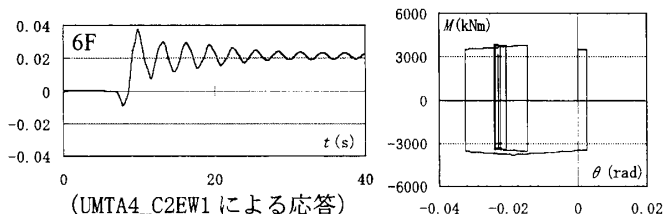


図-4 フレームモデルの最大層間変形角



(UMTA4_C2EW1 による応答)

図-5 3C レベル地震動入力時の層間変形角と梁端の履歴曲線

- *1 日建設 構造設計部
 - *2 大林組 大阪本店構造設計部
 - *3 神戸大学大学院 工学研究科
 - *4 京都大学大学院 工学研究科
 - *5 大阪大学大学院 工学研究科
 - *6 大阪大学大学院 工学研究科
- 部長・博士 (環境科学)
教授・博士 (工)
教授・博士 (工)
教授・博士 (工)
助教・博士 (工)

図-6 に、3B, 3C レベルの地震波入力時の最大塑性回転角 ($\max \theta_p$) と破断限界塑性回転角 ($\theta_f=0.04$) との比率を示す。また図-7 に、片側の累積塑性回転角の最大値 ($\Sigma \theta_p$) と局部座屈による耐力劣化限界塑性回転角 (θ_d) との比率を示す。 $\Sigma \theta_p$ のうち 1 階の値は柱の値を、それ以外の階については梁の値を示している。

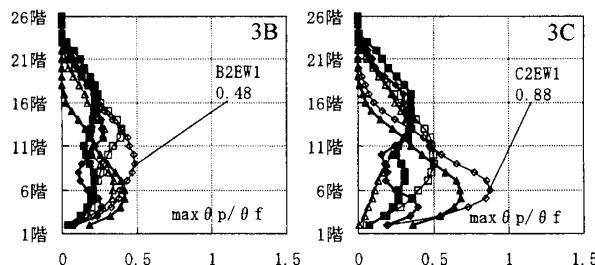


図-6 3B, 3C レベル地震動入力時の $\max \theta_p$ と θ_f との比率

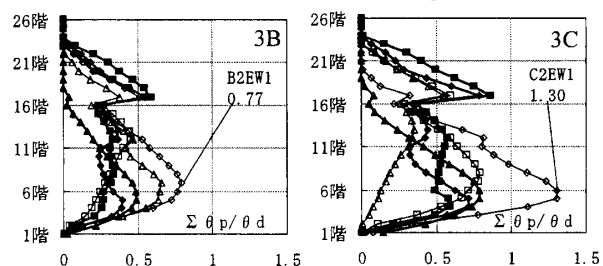


図-7 3B, 3C レベル地震動入力時の $\Sigma \theta_p$ と θ_d との比率

前述した質点系モデルによる検討と異なり、フレームモデルで検討した場合、 $\max \theta_p$ はいずれの地震動レベルに対しても θ_f より大きく、設計クライテリアを満足している。また $\Sigma \theta_p$ も、3B レベルに対して θ_d より大きくなり、クライテリアを満足することが分かった。3C レベルに対してはいずれの検討でもクライテリアを満足させることができず、梁断面の増大などの対応が必要である。

なお 1 階柱脚は、3C レベルに対しても $\Sigma \theta_p$ はクライテリアを満足している。なお、座屈拘束ブレースは 3C レベルに対しても最大歪度が 7.4% で、累積疲労損傷度も余裕があることを別途に確認している。

5. まとめ

上町断層帯地震動に対する鉄骨造建物の検討事例を示した。質点系モデルによる応答解析で部材耐力劣化限界までの応答性状を把握することが可能であるが、フレームモデルによる場合と比べて応答をやや過大に評価する場合がある。

参考文献

- 1) 財団法人日本建築センター：評定・評価を踏まえた高層建築物の構造設計実務，2002
- 2) 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，pp.79-84，1994 年 12 月
- 3) 秋山 宏：建築物の耐震極限設計第 2 版，1987

Structural Eng.Div. Nikken Sekkei Ltd.

General M.Structural Eng.Dept. Osaka Head Office, Obayashi Corp., Dr. Env Prof., Dept. of Arch. Eng., Kobe Univ., Dr. Eng. Prof., Dept. of Arch. and Archi. Eng. Kyoto Univ., Dr. Eng. Prof., Dept. of Arch. Eng. Osaka Univ., Dr. Eng. Assist. Prof., Dept. of Arch. Eng. Osaka Univ., Dr. Eng.