

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6 鉄骨造建物の設計法の提案)

正会員 ○西村勝尚^{*1} 同 多賀謙蔵^{*2} 同 福本義之^{*3} 同 田中嘉一^{*3}
同 吹田啓一郎^{*4} 同 多田元英^{*5} 同 田中 剛^{*2} 同 向出静司^{*6}鋼構造 設計法 部材耐力劣化
破断 局部座屈

1. はじめに

その1で示した目標耐震性能に照らして、鉄骨造建物として「限界状態Ⅰ：部材耐力劣化限界」と「限界状態Ⅱ：倒壊限界」の2つを設ける。ただし、倒壊限界に対する設計法に関しては今後の調査・研究に負うところが大きく、本編では部材耐力劣化限界に対する設計法を提案する。

鉄骨造建物の部材耐力劣化の大きな要因は破断と局部座屈であり、この点に着目し、建物の耐力劣化を層あるいは建物全体ではなく、部材レベルで評価することとする。ここで対象とする建物のレベル2地震動に対する崩壊形は、最下層柱脚、最上層柱頭、梁端に塑性ヒンジ発生を許容する梁降伏先行の全体崩壊形とする。

2. 設計クライテリア

設計クライテリアとして部材の最大塑性回転角あるいは累積塑性回転角を指標として定める。

(1) 破断限界塑性回転角； θ_f

梁端の塑性回転能力は、接合部係数、接合部ディテール、材料の破壊靱性および溶接施工条件等の影響を受ける。ここでは、現行の指針類に基づき適切に設計・施工された接合部を対象として、既往の研究例を参考に、破断限界の目安を以下の3ケースについて表1のように与えた。

- 1: ノンスラップ形式+固形エンドタブ工法
- 2: ノンスラップ形式
+ 鋼製エンドタブ (付け放し) 工法
- 3: 複合円スラップ形式

例として、図1にケース2で490N/mm²級鋼材を用いた純鉄骨梁実験のうち、溶接部が破断した試験体の最大塑性回転角 $\max \theta_p$ と累積塑性回転角 $\sum \theta_p$ との関係を示す¹⁾。塑性変形能力のばらつきは大きい、適切に設計・施工された試験体の概ね下限を与える目安として、 $\max \theta_p = 0.04(\text{rad})$ 、 $\sum \theta_p = 0.4(\text{rad})$ と考える。さらに、合成スラブによる変形能力の低減を3/4程度と考え、ケース2では、 $\max \theta_p = 0.03(\text{rad})$ 、 $\sum \theta_p = 0.3(\text{rad})$ とした。なお、表1の適用範囲は以下の通りとする。

- ・ 梁材の鋼種はSN400B材またはSN490B材であること。
- ・ 鋼構造接合部設計指針の梁端接合部最大曲げ耐力条件を満足していること。
- ・ 適切な溶接施工条件等を満足すること。

その2に示す設計用入力地震動のようなパルス性を有

する地震動に対する応答値は、図2に示すように、一方方向の応答値が大きく繰返し回数が少ないことより、破断限界に対する指標は最大塑性回転角 $\max \theta_p$ とした。

表1 塑性ヒンジ部破断限界塑性回転角および累積塑性回転角

ケース	最大塑性回転角 (rad)	累積塑性回転角 (rad)
1	0.04	0.40
2	0.03	0.30
3	0.02	0.20

- 1: ノンスラップ形式+固形エンドタブ工法
- 2: ノンスラップ形式+鋼製エンドタブ工法
- 3: 複合円形式+固形あるいは鋼製エンドタブ工法

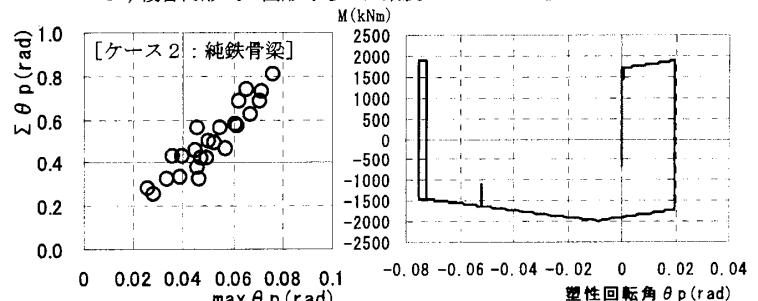


図1 破断により決定する塑性変形能力

図2 梁端曲げモーメントと塑性回転角関係例

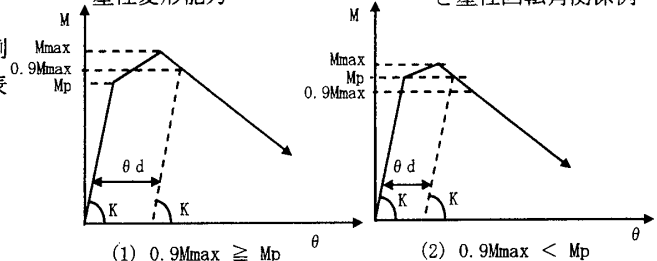


図3 局部座屈による部材耐力劣化限界塑性回転角の定義

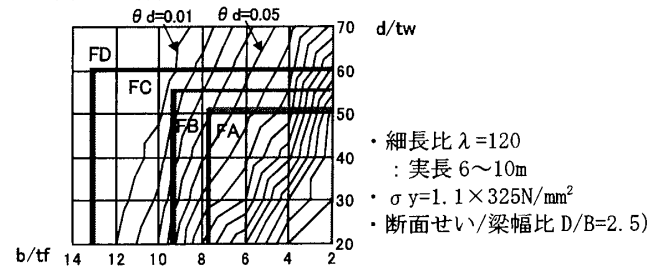


図4 H形鋼梁の幅厚比ランクと局部座屈による部材耐力劣化限界塑性回転角の関係例

(2) 局部座屈による耐力劣化限界塑性回転角； θ_d

塑性ヒンジ部の局部座屈による部材耐力劣化限界塑性回転角は、加藤・秋山の耐力劣化モデル²⁾による曲げモーメント-回転角関係において、最大曲げモーメント M_{max}

の90%あるいは全塑性曲げモーメント M_p のどちらか大きい曲げモーメントにまで低下した時点での塑性回転角とした(図3参照)。図4に、H形鋼梁の幅厚比と局部座屈による耐力劣化限界塑性回転角の関係を示す。なお、片側の累積塑性回転角が上述の θ_d に達した時点をもって局部座屈の部材耐力劣化限界とする。

(3) CFT柱の耐力劣化限界回転角: $\theta_{d,CFT}$

CFT柱の耐力劣化限界回転角 $\theta_{d,CFT}$ は、「コンクリート充填鋼管(CFT)造技術基準・同解説の運用および計算例等(CFT指針): (社)新都市ハウジング協会」により算出する。

3. 検証方法

(1) 解析上の留意点

- ・静的及び動的解析においてP- Δ 効果を考慮する。
- ・塑性ヒンジ部の塑性回転角を精度良く、過大に評価しない部材モデルとし、全塑性曲げモーメント M_p は $1.1 \sigma_y Z_p$ とする。ただし、 σ_y : 降伏強度、 Z_p : 部材の塑性断面係数。
- ・部材の曲げモーメント-回転角関係を Bi-linear 形あるいは Tri-linear 形で定義する場合の第2勾配あるいは第3勾配は、耐力劣化モデルにおける部材耐力劣化限界までの骨格曲線を越えないように設定する。

(2) 上下動の扱い

柱の耐力劣化限界回転角および柱梁曲げ耐力比を算出する場合の柱耐力の算定に際し、上下動による軸力増分を考慮する。

(3) 2方向入力への扱い

塑性化を許容しない柱部材は主軸2方向の各方向、各節点について原則として $\sum M_{cu} \geq 1.5 \times \sum M_{bu}$ (M_{cu} , M_{bu} は、柱、梁の全塑性曲げモーメント) を満足する。このとき、 M_{cu} , M_{bu} はスラブとの合成効果、鋼材強度のパラツキを安全側に評価する。また、45度方向入力による検討を行ってもよい。

(4) 検証方法

クライテリアの指標が部材(塑性)回転角であるのに対して、地震応答解析モデルが魚骨形あるいはフレーム

モデルの場合は部材レベルの応答値を得ることができるため、直接検証可能である。しかし、質点系モデルの場合は、直接部材(塑性)回転角を応答値として得ることができない。一方、その5に示すフレームモデルによる梁部材の最大応答塑性回転角と最大応答層間変形角に対応する静的弾塑性解析結果の最大塑性回転角はよく対応している(図5)。この関係を利用した質点系モデルによる具体的な検証方法を以下に示す。

- ①各階の最大応答層間変形角に対応する静的弾塑性解析結果の当該層柱、上下階梁の最大塑性回転角を求める。
- ②前述したフレームモデルと設計用入力地震動による応答解析結果から得られた最大応答塑性回転角と片側累積塑性回転角の関係(図6参照)において概ね $\sum \theta_p$ の上限が関係付けられる下式により、①で求めた最大塑性回転角に対応する片側の累積塑性回転角を推定する。
 $\sum \theta_p = \max \theta_p + 0.005 \quad (\text{rad.})$; 図6中破線
- ③②で推定した対象部材の片側の累積塑性回転角が前述した局部座屈による耐力劣化限界塑性回転角(θ_d)以下、最大塑性回転角が破断限界塑性回転角(θ_f)以下、CFT柱の場合は最大回転角が耐力劣化限界回転角($\theta_{d,CFT}$)以下であることを確認する。

また、履歴系制振部材を使用している建物においては、制振部材の累積塑性変形および引張破断あるいは圧縮座屈の検討を行い耐力劣化が生じないことを確認する。また、耐震ブレースを採用している場合は座屈耐力以下あるいは引張破断が生じていないことを確認する。

4. まとめ

レベル2地震動を上回る設計用入力地震動に対して、地震応答解析結果を基に部材耐力劣化限界まで許容する設計法を提案した。今後、建物の最終的な性能を把握、説明するために、破断に対する繰返しの影響を考慮した変形性能、実験結果とより整合性のある耐力劣化モデル、倒壊限界に対する検討方法等を検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 日本建築学会: 鉄骨工事運営委員会・調査研究成果報告会資料, 2000年
- 2) 秋山宏: 建築物の耐震極限設計

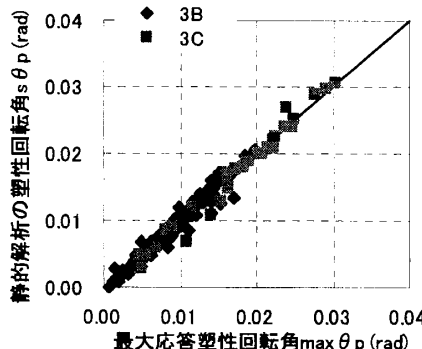


図5 静的解析と地震応答解析の塑性回転角関係

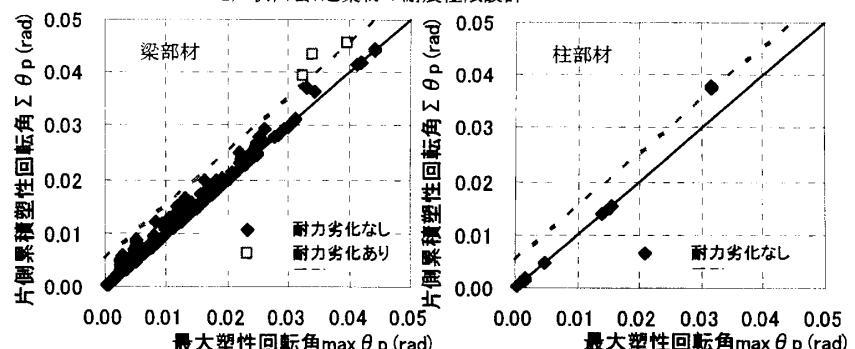


図6 最大応答塑性回転角と片側累積塑性回転角関係

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

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