

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3 鉄筋コンクリート造建物の設計法

正会員 ○太田 寛¹ 同 辻 幸二² 同 角 彰³ 同 近藤 一雄⁴
同 神澤 宏明¹ 同 森清 宣貴¹ 同 倉本 洋⁵ 同 西山 峰広⁶

上町断層帯 レベル3 鉄筋コンクリート構造
耐震設計法 限界部材角

1. はじめに

本報告(その3)および続報(その4)は、構造技術者協会関西支部を中心とする「大阪府域内陸直下型地震に対する建築設計用地震動および設計法に関する研究会」にて策定した上町断層帯地震を対象とした鉄筋コンクリート造建物の設計法に関する報告である。

2. 基本方針

鉄筋コンクリート造建物には様々な規模、様々な構造形式のものが存在するが、対象にするのは高さ60m超等、時刻歴応答解析を用いて設計を行う建物とし、別途告示1461号に定められた稀に発生する地震、極めて稀に発生する地震に対する設計が行われるものとする。構造形式は純ラーメン構造およびいわゆるコアウォール形式の連層耐震壁付きラーメン構造を想定しており、基本的に曲げ破壊先行型の部材で構成される建物が対象である。

現在、時刻歴応答解析を用いて設計する鉄筋コンクリート造建物の耐震安全性の評価は、層間変形角と塑性率により行うことが多いが、本報告では主として部材個々の性能を直接評価できる指標である部材角(部材回転角)により行うものとする。部材角は立体骨組解析もしくは質点系解析と静的弾塑性解析とを併用して求める。限界値は基本的に日本建築学会「鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針(案)・同解説」¹⁾にならう。

3. 設計用入力地震動²⁾

設計用入力地震動は、大阪府市予測波や地震工学的知見をもとに、想定される幅の中で3段階の設計用地震動レベルを設定する。また、大阪府域を合計32ゾーン(大阪市域は6ゾーン)に分割しており、ゾーンごとに設計用地震動を定義している。

水平地震動は、大阪府市の予測波形を分析すると、比較的フラットな応答スペクトル形状を示すケースもある一方で、応答スペクトルが非常に大きく、かつ周期特性の明瞭なケースがある。このような地震動の傾向を反映するものとして、①フラットタイプ地震動と②パルスタイプ地震動の二つのセットで設計に用いるものとし(レベル3Aには地震動②はなし)、地表面で定義した地震動が提示されている。

上下地震動も水平地震動と対応するように、地表面で定義した地震動が提示されている。

水平地震動のA3ゾーンのEW方向を例に、フラットタイプ地震動の設計用応答スペクトルpSvを図1に、そのレベル3B地震動のSvを図2に、パルスタイプ地震動のレベル3B地震動のSvを図3に示す。いずれも減衰定数は5%である。

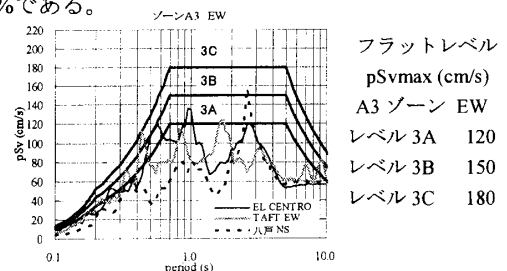


図1 フラットタイプ地震動 設計用応答スペクトル

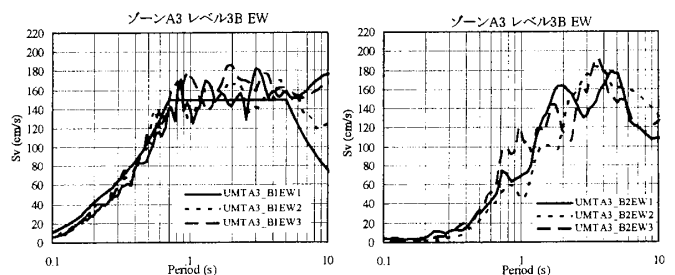


図2 フラットタイプ地震動 レベル3B EW Sv

図3 パルスタイプ地震動 レベル3B EW Sv

4. 設計クライテリアの設定

目標とする建物の性能に応じて2段階の設計クライテリアを設定する。2段階の設計クライテリアが想定している建物の状況は、限界状態Ⅰが「終局的な限界状態Ⅱに対してある程度の余裕があり、非倒壊の保証を目標とする限界状態」、限界状態Ⅱが「最新の研究レベルを踏まえて設定する建物が倒壊しない限界の状態」である。限界状態Ⅱについては、今後さらなる調査・研究を行う必要があるため、以下では限界状態Ⅰの設計クライテリアについて記述する。

(a) 最大応答層間変形角

層間変形角は設計クライテリアとはしないが、検討結果より得られた層間変形角を用い、外装材等の非構造部材や設備機器の取り付けディテールの検証を行う。

(b) 部材レベルのクライテリア

限界状態Ⅰの部材レベルのクライテリアは部材の水平

耐力または軸力支持能力が規定値以下に低下した点とする。以下に具体的な限界値の設定方法を示す。

①柱

以下のイ)~ハ)から決まる部材角のうち最も小さな値を柱の限界部材角とする。また、ニ)の圧縮軸力比の制限の検証も行う。

- イ) せん断（付着）抵抗機構が劣化して最大曲げ強度時せん断力の80%に低下する時の部材角
- ロ) 曲げ抵抗機構が劣化して断面の曲げモーメントが最大曲げ強度時の80%に低下する時の部材角
- ハ) 軸力に対する抵抗機構が劣化して長期荷重による軸力を支持できなくなる時の部材角

ニ) 圧縮軸力制限

圧縮軸力（ N_{max} ）が下記の値を満足することを確認する。

$$N_{max} = 2/3 \cdot A_c \cdot F_c + A_g \cdot \sigma_y$$

A_c : 柱コンクリート断面 F_c : コンクリート設計基準強度

A_g : 主筋断面積 σ_y : 鉄筋強度

②梁

以下のイ)~ハ)から決まる部材角のうち最も小さな値を梁の限界部材角とする。

- イ) 曲げ抵抗機構が劣化して断面の曲げモーメントが最大曲げ強度時の80%に低下する時の部材角
- ロ) せん断（付着）抵抗機構が劣化して曲げ降伏後のせん断破壊が発生する時の部材角
- ハ) 引張主筋が破断する直前の部材角

以上の柱・梁のほか、耐震壁および柱梁接合部についても限界値を設定する。図4には、柱のクライテリアの一例として、柱の軸力比-限界部材角の関係を示す。軸力比が大きくなると、曲げ抵抗機構の劣化によって限界部材角が決まる結果となる。

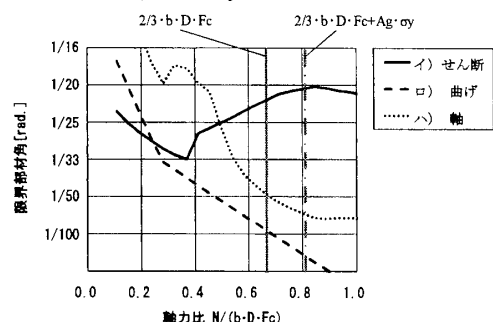


図4 軸力比-限界部材角の関係(柱)

5. その他の設計上の留意点

5.1 上下動

限界部材角の算定および軸力制限の算定に上下動によ

る軸力増分を考える。上下動は静的に考慮するものとし、レベル3A;0.35, レベル3B;0.40, レベル3C;0.45と設定する。ただし、提案された上下動波形を用いた動的相互作用を評価した検討結果より、設計者が数値を定めても良い。

5.2 水平2方向入力

塑性化を許容しない柱部材は主軸 X・Y それぞれの方向、各節点について原則として $\sum M_{cu} \geq 1.5 \times \sum M_{bu}$ を満たすこととする。このとき、 M_{cu} (柱曲げ耐力)、 M_{bu} (梁曲げ耐力) はスラブ筋の効果、鉄筋強度のバラツキを安全側に評価する(柱主筋;信頼強度, 梁主筋;上限強度)。柱の変動軸力としては X・Y 方向入力時のそれぞれの応答解析から求められた変動軸力の単純和とするなど、45 度方向の入力に配慮する。

以上のような条件を満足する場合は、主軸2方向以外の入力に対する検討を省略してよい。このほか、以下のような手法で2方向の入力に対する検討を行ってもよい。

- ・ NS,EW のいずれか大なる方向の地震動を 45 度方向入力として設計する。
- ・ 2 方向に地震動を同時入力して設計する。

6. 部材クライテリアと検証結果

上述したクライテリアを解析値と比較し、設計の妥当性の検証を行う。ここでは、既存建物の柱・梁の検証結果の一例を示す。図5, 6 は 120m 級超高層建物(純ラーメン構造, 設計年: 2009 年)の全柱の1階柱脚および梁端部での限界部材角と、レベル3Bでの応答部材角の検証結果である。梁はクライテリアを満足するが、一部の柱で応答部材角が限界部材角を上回る結果となる。

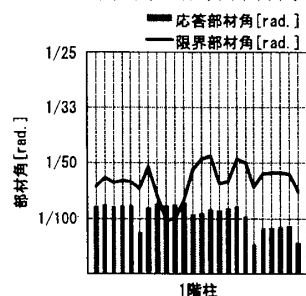


図5 限界部材角と応答部材角の比較(1階柱脚)

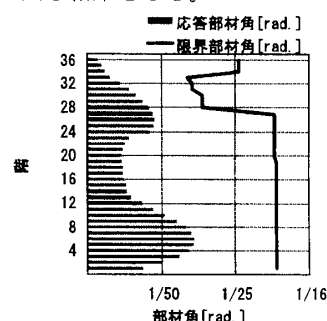


図6 限界部材角と応答部材角の比較(梁)

7. おわりに

法令を超えるレベルの地震動に対する、鉄筋コンクリート造建物の耐震設計法の基本的な考え方を示した。

参考文献

- 1) 日本建築学会編, 鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針(案)・同解説, 2004
- 2) 多賀謙蔵, 亀井功ほか: 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1,2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2011.8.

*1 鴻池組 大阪本店建築設計部
 *2 鹿島建設 関西支店建築設計部
 *3 日本建築総合試験所 博士(工)
 *4 東畑建築事務所
 *5 大阪大学大学院 工学研究科 教授・博士(工)
 *6 京都大学大学院 工学研究科 教授・博士(工)

Architectural Design Div. Osaka Head Office, Konoike Construction
 Architectural Design Div. Kansai Branch, Kajima Corporation
 General Building Research Co. of Japan, Dr. Eng
 Tohata Architects & Engineers INC.
 Prof., Dept. of Archi. Eng. Osaka Univ., Dr. Eng.
 Prof., Dept. of Arch. and Archi. Eng. Kyoto Univ., Dr. Eng.