

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4 鉄筋コンクリート造建物の適用例

正会員 ○ 國末晃寛*¹ 同 太田 寛*² 同 辻 幸二*¹ 同 山本俊司*³
同 角 彰*⁴ 同 近藤一雄*⁵ 同 倉本 洋*⁶ 同 西山峰広*⁷上町断層帯 レベル3 地震応答解析
耐震設計法 限界部材角 鉄筋コンクリート構造

1. はじめに

本報では、(その3)で提案した設計法について、時刻歴応答解析に関する留意点および鉄筋コンクリート造建物への適用例について報告する。

2. 解析方法の留意点

本設計法では建物の地震時挙動を時刻歴応答解析により予測し、その変形性能に照らして耐震性能を評価することを基本としている。対象とする上町断層帯地震の設計用地震動レベルは、法令で定める極めて稀に発生する地震動を超えるレベルの地震動であることから、時刻歴応答解析を実施する際の留意点を以下に示す。

2.1 立体骨組解析モデル

部材レベルでモデル化した立体骨組解析モデルを用いて行う非線形時刻歴応答解析は、より精緻な建物挙動を再現できると考えられ、本設計法でも鉄筋コンクリート構造に対しては本手法を中心に検討を行った。ただし長時間の解析実行が必要であるため実用的には質点系解析モデルを用いた手法と併用することも考えられる。

2.2 質点系解析モデル

レベルI, II地震動に対する検討で使われる質点系解析モデルの復元力特性の設定は、一般的に設計クライテリアである層間変形角が1/100程度までを対象にして、履歴エネルギーが実建物の荷重変形関係と等しくなるようにモデル化することが多い。しかし本設計法で取り扱う設計用地震動では応答層間変形角は1/100を大きく超えることが想定される。従って層の荷重変形関係をモデル化して多折れ線を設定する場合には応答で達する可能性のある層間変形角を考慮して設定を行わなければならない。可能であれば従来多用される三折れ線モデルではなく、折れ線を増やすことも有効である。また、三折れ線を使う場合も第二折点を大きな変形時に移動し第三勾配を想定される応答層間変形角を模擬した勾配に設定する等、解析の精度向上を図ることが必要である。

2.3 減衰の設定

図-1に解析モデルの違いによる応答層間変形角の比較を示す。質点系解析モデル+瞬間剛性比例型減衰では特定層に変形が集中する傾向があり、部材レベルでの応答解析結果と全く異なる値になることが多く、解析結果の信頼性が低い。そこで、減衰を初期剛性比例型として減

衰エネルギーが瞬間剛性比例型3.0%と等価となる減衰定数の設定を行った。検討した結果を図-2に示す。初期剛性比例型で $h=0.9\%$ とした場合に、吸収エネルギーは瞬間剛性比例型 $h=3.0\%$ とほぼ等しくなる結果が得られた。図-1に示すとおり、減衰を初期剛性比例型にすることにより特定層の応答が大きくなる傾向はかなり改善されたが、立体骨組解析モデルの結果と比較すると、なお特定の層の応答値が大きくなり、その他の層の応答値が小さくなる傾向があるので結果の評価においては注意が必要である。なお、質点系モデルに置換する際に、構面毎に置換して多本棒モデルとすることで、瞬間剛性比例型3%の減衰設定でも特定層に応答が集中することのない応答解析結果も得られている。

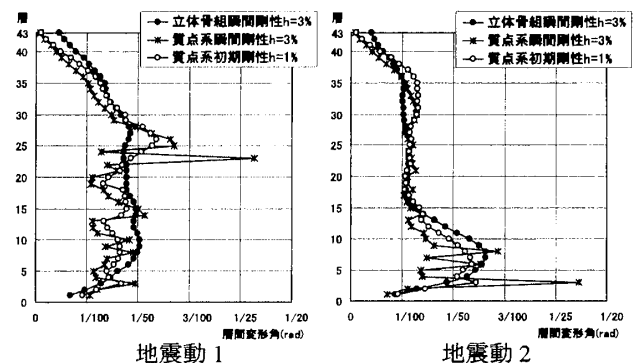


図-1 解析モデルによる応答層間変形角の比較

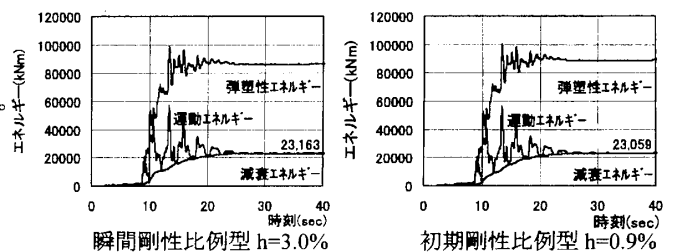


図-2 減衰設定による減衰エネルギーの比較

2.4 部材耐力劣化の影響

部材の耐力劣化にはスケルトン上で変形が大きくなることにより生じるものと繰り返し加力により生じるものがある。本設計法における部材耐力劣化の取り扱いを以下に示す。

1) 立体骨組解析における部材耐力劣化と最大応答の関係

図-3 には既設建物の梁を例に、変形増大による耐力劣化の性状を把握するために行った断面解析結果を示す。断面解析結果より、劣化開始塑性率(μ)は 5.4, 下り勾配(η)は初期剛性の 0.019 倍となる。劣化開始点については安全側の仮定で劣化開始塑性率を 3 および 4 とし、下り勾配については断面解析で用いたコンクリートのモデルがせん断補強筋による拘束効果を考慮していないことから、断面解析の結果よりも緩やかな勾配を仮定して初期剛性の 0.01 倍とした。図-4 は立体骨組解析モデルを用いて梁の耐力劣化を評価した場合の応答最大層間変形角の増大率を示す。変形角の増大率は最大で 6%程度である。特に層間変形角が 3/100 程度以下に限れば 3%程度の増大率であり、1/50 以下ではほとんど変形角の増大は無い。よって、本設計法では概ね層間変形角が 1/50 を超える場合には部材耐力劣化を考慮して設計を行うことを原則とする。解析モデルで耐力劣化を考慮しない場合には、検討事例が少ないことを考慮して安全側の評価として得られた応答部材角に 15%の割増しを行うこととした。

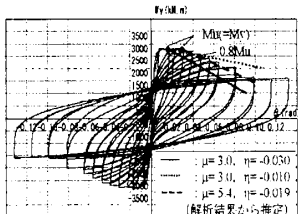


図-3 断面解析結果と耐力劣化の設定

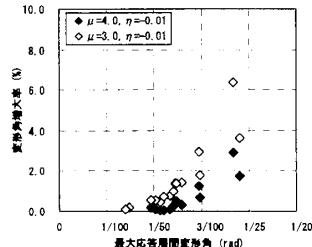


図-4 梁の耐力劣化による最大応答の増大率

2) 繰り返し加力による耐力劣化

繰り返し加力による部材の耐力劣化は、長周期地震のような繰り返し数の多い地震の場合には大きくなる可能性がある。しかし上町断層帯地震はパルス的な地震動であり、図-5 に示す既設建物での検討例によれば最大応答を示す揺れの繰り返し数は少ないため、繰り返しの影響は大きくないと思われる。本設計法においては繰り返しによる耐力劣化は考慮しなくても良いとした。

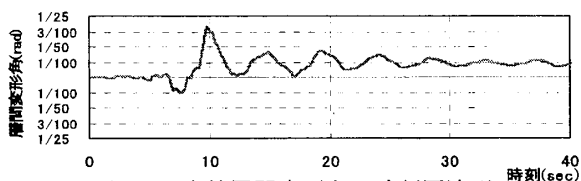


図-5 応答層間変形角の時刻歴波形

2.5 P Δ 効果の実務的扱い

本設計法で対象とする設計用地震動では、建物の応答変形が大きくなる事が予測されるため、設計においては P Δ 効果を考慮することを基本としている。解析において P Δ 効果を考慮する手法は複数存在するが、何れの手法を

用いる場合でも危険側にならないように配慮する必要がある。また質点系モデルで解析を行う場合、市販プログラムでは P Δ 効果によりスケルトンが負勾配になると解析できない事が多い。その場合は復元力特性を三折線に置換する際に P Δ 効果を考慮しても第三勾配が負勾配にならないように、第二折点の荷重を低下させる方法も考えられる。

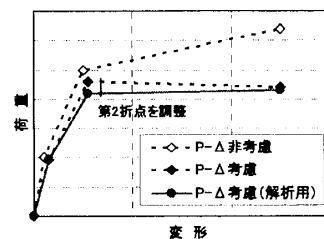


図-6 復元力特性の設定模式図

3. 検討事例

表-1 に検討対象とした建物一覧を、図-7 に検討結果の応答最大層間変形角および応答最大部材角を示す。レベル 3B の入力地震動に対して 1/50 を超える応答層間変形角が生じている。部材角の検討では、梁については告示制定以前の設計例である検討例 3 で限界部材角¹⁾を超え、柱については検討例 1,3 で応答部材角 (15%割増しを含む) が限界部材角を超える結果となった。

表-1 検討対象建物

	検討例 1	検討例 2	検討例 3	検討例 4
建物高さ	120m	80m	140m	130m
地上階数	36 階	25 階	43 階	39 階
構造形式	ラーメン構造	ラーメン構造	ラーメン構造	コア壁構造
解析モデル	立体骨組	質点系	立体骨組	質点系

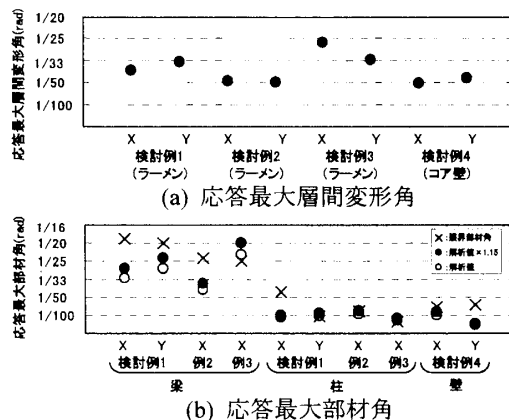


図-7 検討結果

4. おわりに

本報告は、構造技術者協会関西支部が主催して活動している「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」の成果の一部である。研究会会員および専門委員会の学識経験者のご協力ご指導に対して感謝の意を表します。

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

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

Architectural Design Div. Kansai Branch, Kajima Corporation
 Architectural Design Div. Osaka Head Office, Konoike Construction
 Architectural Design Div. Osaka Head Office, Takenaka 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.