

公開ハザード情報を用いた建築物の耐震余裕度評価の検討  
その2.鉄筋コンクリート造建物による信頼性解析

公開ハザード情報 確率論的手法 信頼性解析  
フラジリティ 時刻歴応答解析 耐震余裕度

正会員 久保田雄大\*<sup>1</sup> 同 小豆畑 達哉\*<sup>2</sup>  
同 皆川 隆之\*<sup>1</sup> 同 花井 勉\*<sup>3</sup>

1. はじめに

その2では、まずその1で設定したフローに従い、鉄筋コンクリート造建物の時刻歴応答解析を行う。次に文献<sup>3)</sup>に倣い、最大層間変形角を基に信頼性解析を行う。信頼性解析では建物応答を対数正規分布でモデル化する場合が多く、本検討のように地盤及び建物の強非線形性を有する場合は、例えばエネルギー一定則による等価な終局時変位より算定する方法<sup>6)</sup>などもある。本検討では、建物応答の分布と対数正規分布の適合性についても確認し、出来る限り非線形によるばらつきを考慮した評価を選択する。また、解析値(設計限界)と実験値(安全限界)の関係を考慮して耐震余裕度を評価する。

2. 建物モデルと時刻歴応答解析

図1に示すプランの長手方向を解析対象とする。建物規模は3階建てとして、保有水平耐力計算(Ds=0.3相当)により耐震安全性が検証された純ラーメン架構とする。なお、設計では各検定値に余裕をもたせない断面とした。図2には荷重増分解析による骨格曲線を示す。同図より、1層又は2層が先行降伏する事が確認できる。

時刻歴応答解析モデルは、図3に示す集中マス-せん断パネモデルとし、骨格曲線よりデグレーディングトリニアの復元力特性を設定し、減衰は1次固有周期(0.39秒)に対してh=3%の瞬間剛性比型とする。図4,5に縦軸を地震動の工学的基盤最大速度(PBV)横軸に最も変形が大きい層の最大層間変形角としたグラフを示す。同図には、第2種地盤のうち比較的良好的な地盤(Tg=0.5s以下)を-印、第3種地盤(Tg=0.75s超)を+印、その他をx印とし、その1でハザードを選択した東京大手町のサイト(Tg=0.59s)のみ印で示した。特に+印の場合には、地盤の塑性化に伴い、工学的基盤での入力倍率が上がっても、地表面加速度が頭打ちになる事や、地盤が長周期化した事の建物応答に対する影響がグラフに表れている。図6,7には地表面最大速度(PGV)の代表値(幅±5cm/s)の標本を作成し、小さい順に並べ直した後、すべてのデータが同じ確率と仮定した累積確率関数を作成した。PGV=50cm/sの曲線において、ほとんどの解析値が最大層間変形角約0.01~0.03radの範囲に含まれ、概ね想定した範囲内(Ds=0.3相当)の応答であることが分る。

3. 最大層間変形角のハザードカーブ  
応答解析結果より、PBV=5~70cm/s, 5cm/s刻みを代表値

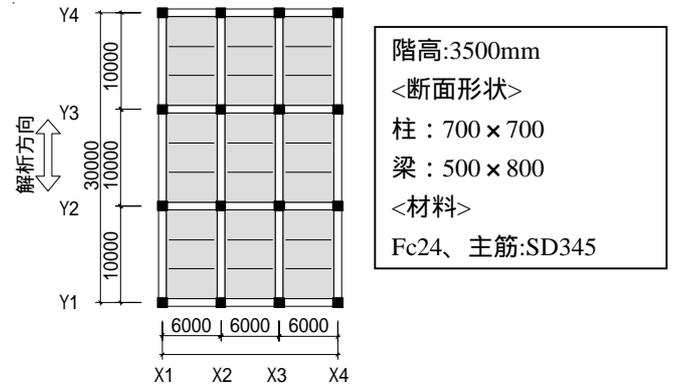


図1.検討プラン,使用部材

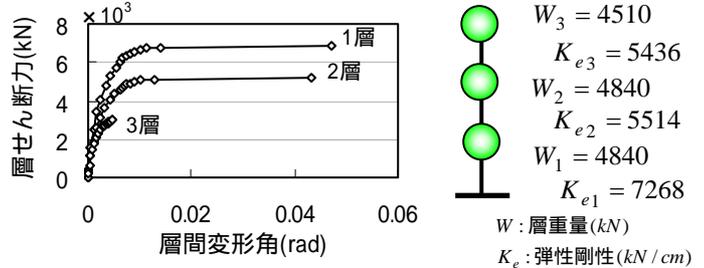


図2.荷重増分解析結果

図3.質点モデル

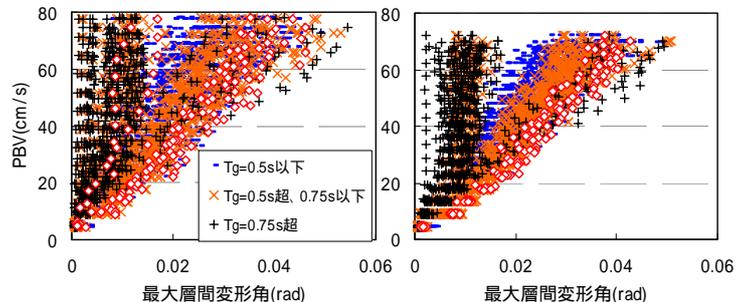


図4.解析結果(内陸直下型)

図5.解析結果(海溝型)

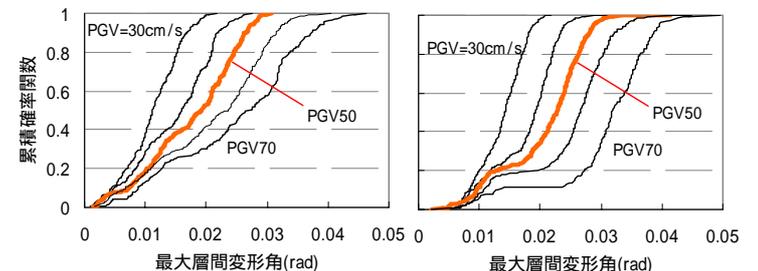


図6.PGV分布(内陸直下型)

図7.PGV分布(海溝型)

として±2.5cm/sの標本を作成し、確率分布を設定する。図8,9には、前項と同様に累積確率関数を作成した曲線を薄線で、確率分布を対数正規分布と仮定して最尤法によりパラメータを推定した結果を太線で示した。PBVの小さい

曲線はよく合っているが、大きくなるに従いほとんど一致しなくなる。表層地盤の影響により、PBV が大きいにも関わらず、建物応答は弾性挙動をしたものがばらつき  
の主要因と考えられる。このような曲線に対しては、弾  
性領域と塑性領域がそれぞれ対数正規分布となる混合分  
布などで合わせ込みが出来るが、今回の検討では解析結  
果を直接用いたものを累積確率関数として扱う。図 10,11  
に条件付き確率による超過確率を、図 12 に 'その 1' で  
設定した地震ハザードによる最大層間変形角のハザード  
カーブを示す。また、東京大手町の地盤周期に近い  
 $T_g=0.5s$  超 0.75s 以下のみで評価した時のハザードカーブ  
も細い線で示した。結果、ほぼ弾性でとどまっているデ  
ータが少なくなった分、範囲を絞った方が若干大きくな  
ったと思われる。

#### 4. フラジリティカーブ

文献<sup>3)</sup>では鉄筋コンクリート造の限界変形角  $R_{u\_cal}$  が  
与えられたときに実際の限界変形角  $R_u$  が  $r$  以下になる確  
率をフラジリティカーブとし、実験値  $R_{u\_exp}$  / 解析値  
 $R_{u\_cal}$  の関係に対数正規分布と仮定して平均値 1.41、標  
準偏差 0.39 が例示されている。本検討では上記関係式の  
逆数  $R_{u\_cal} / R_{u\_exp}$  を耐震余裕度と設定し、実際の建物性  
能と解析値 ( $idr$ ) とのばらつきをフラジリティカーブとし  
て図 13 に示す。フラジリティカーブと前項の最大層間  
変形角のハザードカーブを用いて、耐震余裕度のハザード  
カーブを作成した(図 14)。同図では太線が耐震余裕度  
で、細線は図 12 の最大層間変形角のハザードカーブを再  
揚している。耐震余裕度は概ね超過確率が下がる傾向で  
ある。尚、変形が大きくなるとフラジリティカーブの影響  
により超過確率が上がる部分があるが、安全限界を判  
断する 0.01 ~ 0.03rad 付近での影響は小さいと判断する。  
表 1 に対象建物の耐震余裕度判定を示す。このサイト  
では海溝型地震により、かなりの確率で変形角 1/100rad 程  
度の損傷が起きそうである。

#### 5. まとめ

設定した耐震余裕度評価フローに従い、鉄筋コンクリ  
ート造 3 階建て建物の時刻歴応答解析結果を基に信頼性  
解析を行った。応答値の確率分布評価では、地盤、建物の  
非線形性の影響によるばらつきを考慮するため、対数正  
規分布ではなく、解析結果を直接確率分布として信頼性解  
析を行った。結果として公開地震ハザード情報を用いた耐  
震余裕度の評価が表 1 のように求まる。

本検討と同様な手法により、工業化住宅など性能が同一  
の建物の場合、そのサイトの地震ハザードに変えるだけで  
建物のハザードカーブが得られる。例えば、図 15 のよう  
に耐震等級毎の曲線を施主に提示することで、どの耐震レ  
ベルの設計を選択するかの有効なツールとなる。

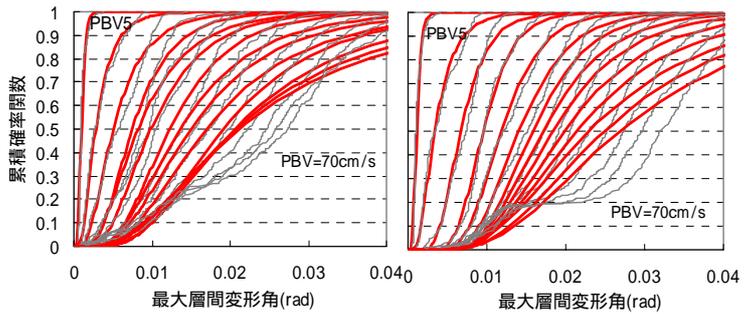


図 8. 確率分布(内陸直下型)

図 9. 確率分布(海溝型)

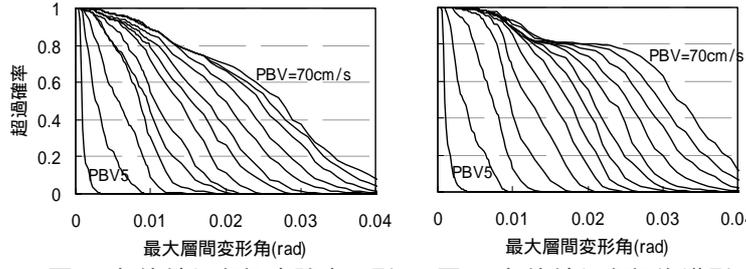


図 10. 条件付き確率(内陸直下型)

図 11. 条件付き確率(海溝型)

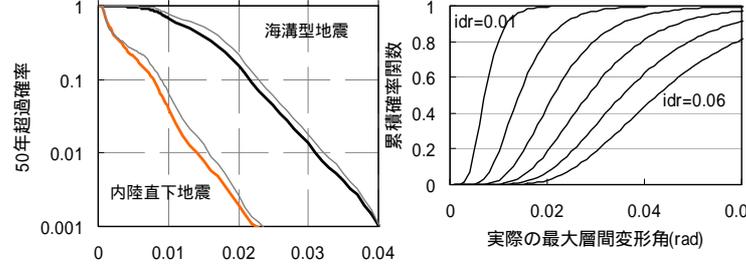


図 12. 最大層間変形角の  
50年超過確率

図 13. フラジリティカーブ

表 1. 耐震余裕度 (%)

地震 タイプ	最大層間変形角		
	0.01	0.02	0.03
直下型	3	0.2	0.03
海溝型	45	9	1.8

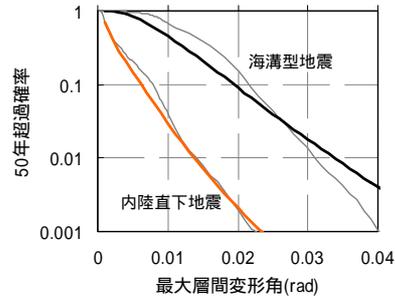


図 14. 耐震余裕度のハザードカーブ

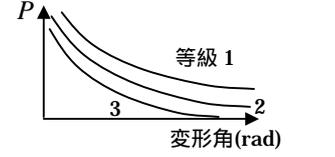


図 15. 耐震等級別  
ハザードカーブ

#### 参考文献:

- 1) 地震調査研究推進本部: <http://www.jishin.go.jp/>
- 2) 防災科学研究所: <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 3) 長江拓也、他: 層降伏する鉄筋コンクリート造とピロティ建物の耐震性能、日本建築学会構造系論文集, No610, pp123-130, 2006.12
- 4) 鷲津、皆川、他: 低層鉄骨造住宅の被災判定指標に関する検討、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道) B-2、1045-
- 5) 吉田 望: DYNES3D, A computer program for DYNamic response analysis of level ground by Effective Stress nonlinear method, version 2.41, 2003.
- 6) 地震リスクマネジメント: 中村孝明、宇賀田 健 著

\*1 えびす建築研究所  
\*2 国土技術政策総合研究所  
\*3 えびす建築研究所 代表取締役・博士(工学)

\*1 Ebisu Building Laboratory Co.  
\*2 National Institute for Land and Infrastructure Management  
\*3 President, Ebisu Building Laboratory Co., Dr. Eng.