

一様ハザードスペクトルによる全国7都市の地震リスク評価

正会員 ○大峯 秀人*
同上 矢代 晴実*
同上 福島 誠一郎**

地震ハザード 再現期間 一様ハザードスペクトル
損傷評価 耐震性能評価

1. はじめに

地震リスク評価は、地震ハザード評価と損傷評価に大別される。地震ハザード評価に関しては地震調査研究推進本部の「全国を概観した地震動予測地図」等から発生確率と関連付けられた予測震度などの地震強度が公表されている。一方、建物の損傷評価は過去の地震強度に対する被害統計から回帰された被害関数等を用いて評価されることが一般的である。しかし地震被害は、発生した地震動の周期や強度などの特性に影響を受け、また対象建物の剛性や耐力などの耐震性能特性により異なる挙動を示す。以上から本検討では地震動と耐震性能の特性を捉えた地震リスク評価を行うため、全国7都市の一様ハザードスペクトルに対して、2つの異なる耐震性能を持つ建物をモデル化し、各特性の影響を考察した。

2. 地震ハザード評価

地震ハザード評価は、札幌、仙台、新潟、東京、名古屋、大阪、福岡の7都市を対象とし、文献1)に従い、所与の年超過確率に対応した一様ハザードスペクトル(UHS: Uniform Hazard Spectrum)を応答スペクトルとして用いた。また年超過確率の逆数を再現期間とし各都市のハザードを決定した。図1に代表地として札幌と東京のUHSを示す。

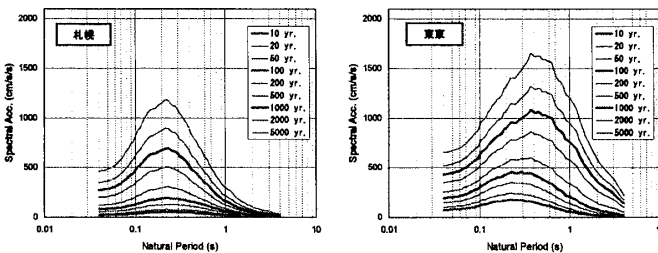


図1 UHSの評価例(札幌, 東京)

3. 損傷評価

3.1 最大応答の推定方法

建物の損傷評価は地震時の最大応答(変形・加速度)から算出する。与えられたUHSに対する最大応答を推定するため、地震ハザードおよび建物耐震性能を変形-加速度指標として説明する必要があり、地震ハザード評価で示した加速度-周期関係であるUHSを変形-加速度($S_d - S_a$)応答スペクトルへ変換する。建物耐震性能

は、等価線形化法により各層の応答変位を1質点系の代表変位で推定する簡易手法を用いるため、復元力特性の骨格曲線を図2に示すTrilinear型の変形-耐力加速度($\delta - A$)関係で近似する。また建物の塑性変形による履歴減衰の効果を考慮するため各変形状態で規定される加速度低減率 Fh を $S_d - S_a$ 応答スペクトルに乗じることによって考慮する。減衰乗数 h および加速度低減率 Fh は限界耐力設計の手法による。下図に応答値推定の模式図を示す。

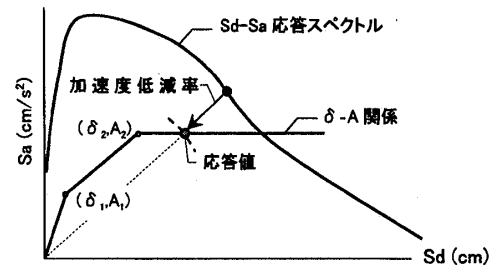


図2 応答値推定の模式図

3.2 モデル建物の設定

検討するモデル建物は、異なる耐震性能を持つ強度型(RC造壁形式)、靱性型(S造ラーメン形式)の2建物とした。1質点系の $\delta - A$ 関係は、図2で示す変数で規定する。限界耐力加速度である A_2 は、建築基準法ルート3による設計の必要保有水平耐力を定義する D_s 値を基に、実建物の構造計算で計上されていない余耐力を増分係数 α として $\alpha \cdot D_s$ で設定した。RC造の強度型の α は文献2)を参考に2.5とし、S造の靱性型は1.2とした。第1折点および第2折点の変形 δ の定義は、学会指針等を参考として設定した。表1にモデルの緒元を示す。

表1 評価モデルの緒元

	強度型	靱性型
構造形式	RC造壁形式	S造ラーメン形式
階数	5F	10F
階高(cm)	300	400
D_s 値	0.55	0.25
α	2.5	1.2
A_1	$1/3 A_2$	$2/3 A_2$
δ_1	$1/500 H_e$ *	$1/200 H_e$ *
δ_2	$1/100 H_e$ *	$1/50 H_e$ *

* H_e は、限界耐力設計における建物等価高さを示す。

3.3 各都市の最大応答の推定

モデル建物の7都市の各再現期間 $S_d - S_a$ 応答スペクトルに対する最大応答の推定結果を図3に示す。

各都市間により $S_d - S_a$ 応答スペクトルの強度・形状が異なり、札幌、福岡は強度が小さく、仙台、東京、名古屋、大阪は強度が大きい。形状に関して強度の大きい仙台と東京で比較した場合、再現期間が大きくなるに従い同レベルの S_a に対して東京の S_d が大きくなり、より長周期側に強度の強い形状となっていることが分かる。

応答値は強度型、靱性型それぞれの復元力 ($\delta - A$) の形状と $S_d - S_a$ 応答スペクトルの関係で決定される。

強度型は靱性型に比べて耐力加速度が大きいため、スペクトルの S_a 値レベルが大きい短周期側で応答値が決定され、靱性型に比べて大きな加速度応答となっている。また靱性型の大変形時は長周期の影響を受けやすいため東京における応答変位が大きくなっている。

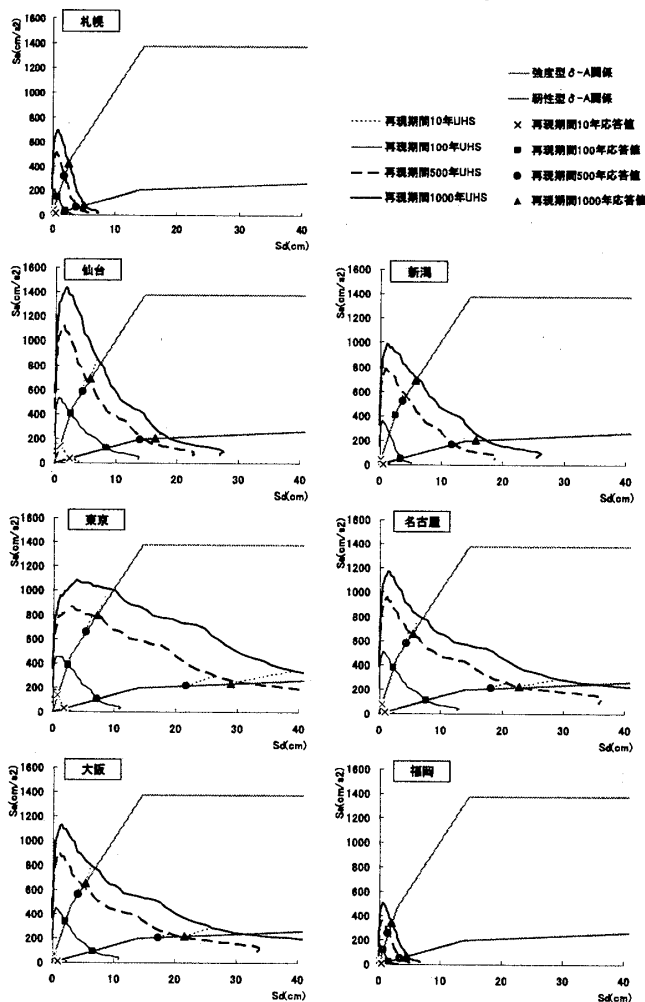


図3 各都市の応答結果

3.4 損傷度曲線の設定

各モデルの応答値から各要素の損傷度曲線を用いて損

傷超過確率を算出する。損傷度曲線は、建物要素の損傷起因を応答変形依存と応答加速度依存に分離し、各応答値に対して対数正規分布であることを仮定した。表2に変形依存の損傷度曲線の特性値および被害率をまとめる。加速度依存に関しては、いずれも1.5Gを中央応答加速度値、対数標準偏差を0.4として規定した。

表2 損傷度曲線(変形依存)の特性値と被害率

被害程度	損傷度曲線の特性値		被害率 (%)
	中央値*	対数標準偏差	
小破	1/250	0.4	2
	1/200		
中破	1/150	0.4	10
	1/100		
大破	1/100	0.4	30
	1/50		
倒壊	1/50	0.4	100
	1/20		

※ 上段: 強度型, 下段: 靱性型

3.5 各都市の損傷率

変形依存、加速度依存の各要素の資産配分を建設物価資料等から6:4とし、前述した各応答値と損傷度曲線との関係から損傷超過確率を求め、各資産の割合に乘じ、建物の損傷率を算出した。図4に各モデル、都市間の再現期間に対する損傷率を表したリスクカーブを示す。

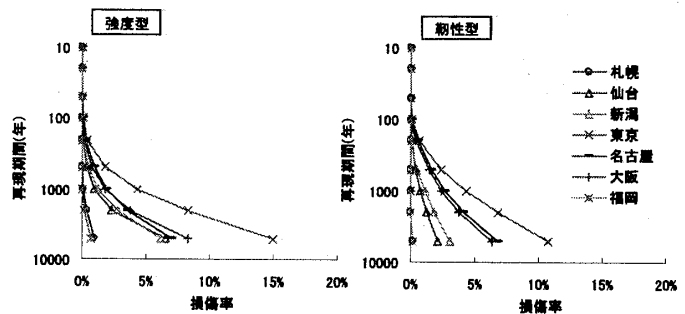


図4 各都市の損傷率結果

4. まとめ

全国7都市の再現期間ごとの一様ハザードスペクトルを地震ハザードとし、耐震性能の異なる2建物の地震リスク評価を行った結果、以下の知見を得た。

- ① 各都市間での一様ハザードスペクトルの強度・形状が異なり、建物の応答値に影響を与える。
- ② 建物の耐震性能を1質点系の復元力により説明し、応答スペクトルとの関係から地震リスク評価を行うことで、その特性を捉えた評価が可能である。

参考文献

- 1) 福島誠一郎: 設計用スペクトルの確率論的相互比較, 日本建築学会シンポジウム「建築・土木構造物の要求性能と地震荷重」, 2006
- 2) 川瀬 博: 建物の地震被害の予測とその軽減への展望, 地学雑誌, Vol.110, No.6, pp885-899, 2001

*東京海上日動リスクコンサルティング

**東電設計(株)

*Tokio Marine & Nichido Risk Consulting, Co., Ltd.

**Tokyo Electric Power Services, Co., Ltd.