

主要都市の一樣ハザードスペクトルに基づく 鉄骨造建物の地震リスク評価

境 茂樹*・井上 超*

機能維持や事業継続性を考慮した建築物の地震リスク評価を行う場合、構造部材の被害だけでなく仕上げ材や設備の被害も考慮することが重要である。本研究では、主要都市の一樣ハザードスペクトルに基づき、応答スペクトル法を用いた鉄骨造建物の地震リスク評価を行い、地域や地盤条件、建物高さによる振動性状の違いと、制震構造の採用と設備補強の有無が地震リスク評価結果に与える影響について検討した。その結果、層間変形角および年期待損失率（NEL）は地盤条件が悪くなるほど大きくなった。また、制震装置を付加したケースは、付加しないケースに比べてNELは10～15%低減する効果がある一方、設備の耐震性向上のNELに対する効果は小さいことが判った。設備の耐震性向上は、低層建物に対して年超過確率によらず設備被害のコスト比率を低く抑える効果があることを示した。

キーワード：地震リスク評価、一樣ハザードスペクトル、鉄骨造建物、応答スペクトル法

1. はじめに

建物の地震リスク評価を行う際、建物の構造躯体だけでなく、仕上げや設備の損傷も建物の機能維持を考慮する上で重要である。本研究では、主要都市の一樣ハザードスペクトルを用いた鉄骨造建物の地震リスク評価を行い、地域および建物高さによる振動性状の違い、制震構造の採用が、地震リスク評価結果に与える影響について検討した。

2. 地震リスク評価手法の概要

2.1 一樣ハザードスペクトル

対象とした都市は仙台、東京、名古屋、大阪の4都市で、各都市の一樣ハザードスペクトル（UHS）は安中他³⁾による距離減衰式を用いた福島の結果⁴⁾を用いた。工学的基盤における4都市のUHSを図-1示す。東京のUHSのピーク周期は再現期間が大きくなると長周期側に移行する傾向が認められる。

2.2 表層地盤モデル

表層地盤の影響を検討するため、1種～3種地盤を選定⁵⁾し、表層地盤の増幅特性を考慮した地表面のUHSを設定した。本検討では表層地盤の増幅率は確定的に与え、限界耐力計算における地盤増幅Gsの詳細法と同様の算出法により求めた。設定した地盤モデルを図-2に、地盤増幅Gsを考慮した地表面のUHSについて、東京を例に図-3に示す。

2.3 対象建物モデル

検討に用いた建物モデルは、文献2)に掲載された鉄骨造標準モデル（5階、10階、20階建）を用いた。建物モデルの諸元を表-1に、代表変位のCapacity Spectrumを図-4に示す。本検討では、層間変形角を地震リスク評価の1指標としており、文献2)で示された代表変位より大きい変位についても、Capacity Spectrumをフラットに延長して設定した。

2.4 応答スペクトル法による地震リスク評価手法

筆者らは、米国FEMAが開発したHAZUS99⁶⁾を参考とし、限界耐力計算法と同様に構造物を1質点系に置換した応答スペクトル法による評価手法を開発している¹⁾。本検討ではHAZUS99のフラジリティカーブを参考とし、各部材の損傷に対し、構造部材（躯体）については層間変形角依存型とし、非構造部材の内、仕上げ材は層間変形角依存型、設備機器は応答加速度依存型として評価した。また、被害レベルに応じた各部材の補修費用の再調達価格（建設費）に対する比率は、Slight：2%、Moderate：10%、Extensive：50%、Complete：100%とした。躯体、仕上げ、設備の再調達価格の比は東京の2006年標準建築費指数⁷⁾を参考として4：3：3とした。各部材のフラジリティカーブを図-5に示す。

3. 地震リスク評価結果

3.1 層間変形角

* 技術研究所

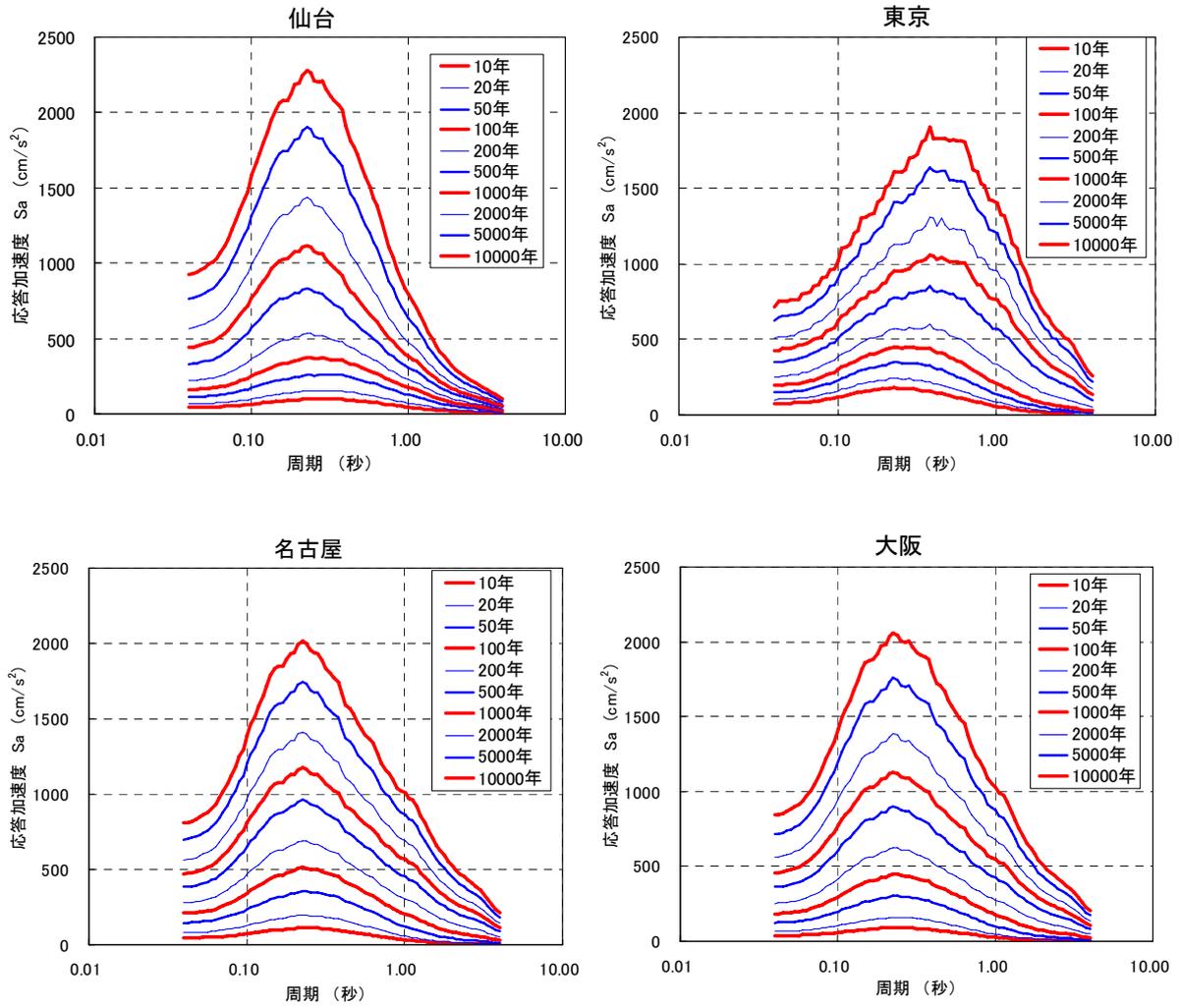


図-1 主要都市の工学的基盤における一様ハザードスペクトル

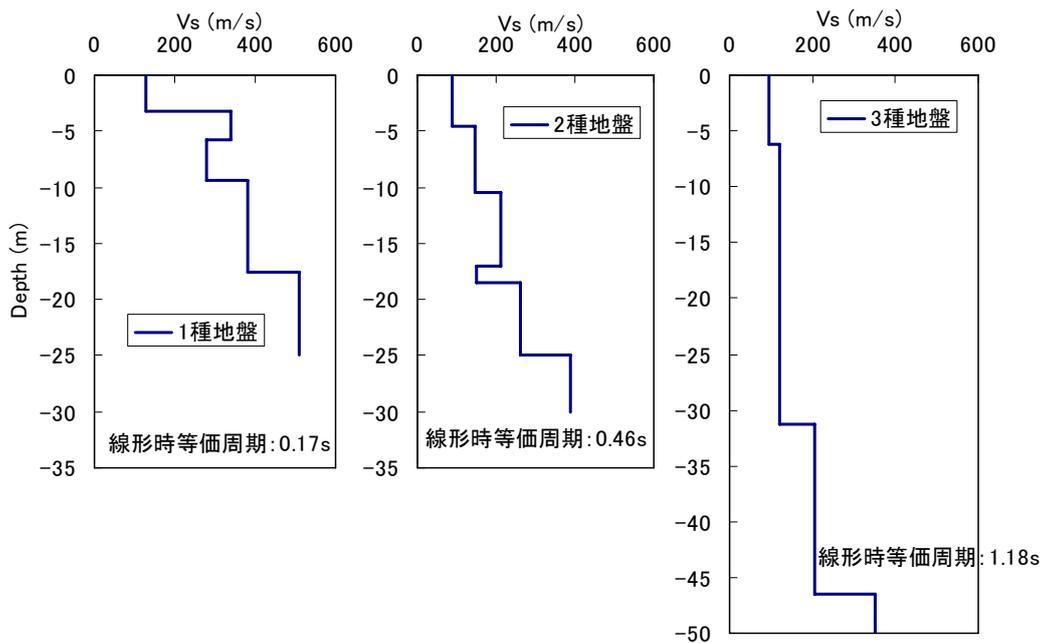


図-2 検討に用いた表層地盤モデルのS波速度構造

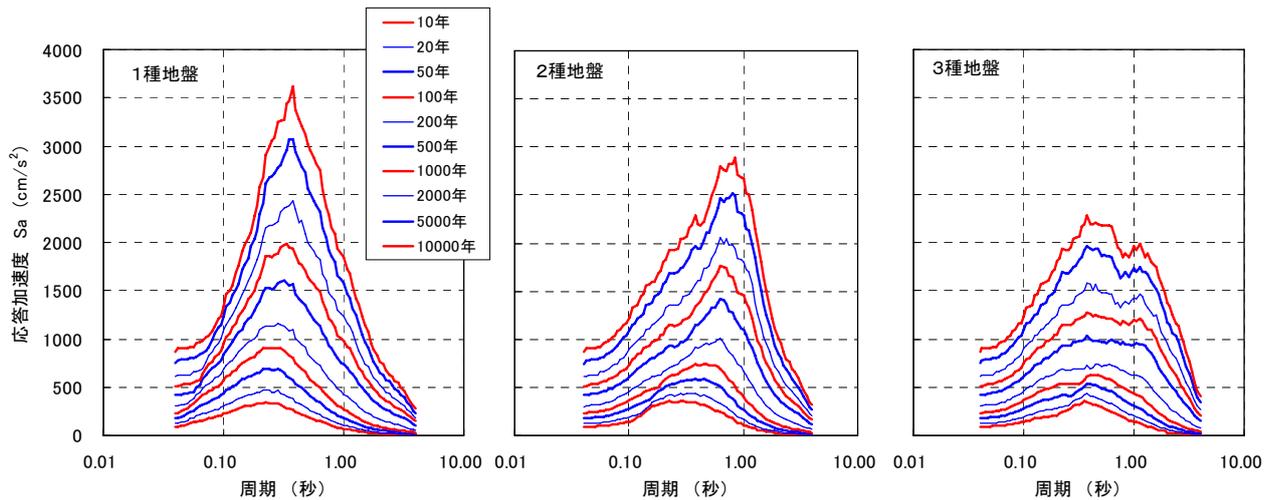


図-3 地盤増幅 G_s を考慮した地表面の一樣ハザードスペクトル

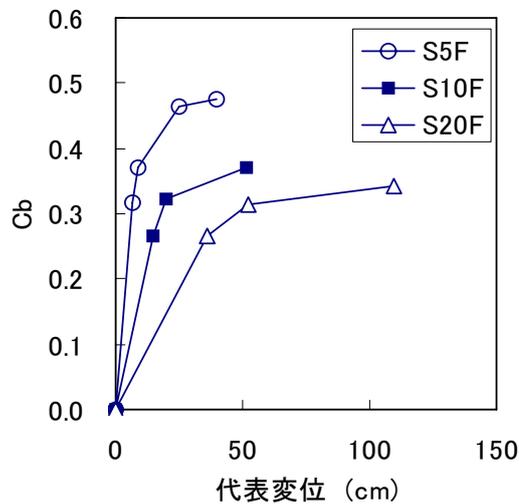


図-4 対象建物の Capacity Spectrum と建物諸元

表-1 建物の諸元

階数	S造モデル		
	5	10	20
代表高さ(m)	15.2	26.6	56.35
建物重量(t)	2,800	5,300	18,325
固有周期 (s)	0.86	1.36	2.47

4都市の2種地盤におけるUHSに基づく年超過確率と層間変形角の関係を図-6に示す。いずれの都市も階高が高くなるほど層間変形角は小さくなる結果となった。また、東京の層間変形角は、年超過確率が0.01を下回ると大きくなり、4都市の中で最も大きくなった。仙台は他の都市に比べて小さい結果となった。

また、東京における各種地盤の増幅特性を考慮したUHSに基づく年超過確率と層間変形角の関係を図-7に示す。この結果より、地盤条件が悪くなるほど層間変形角が大きくなり、特に第3種地盤では超過確率が0.01程度以下になると急激に応答が増加する傾向を示した。

3.2 NELに及ぼす制震補強、設備補強の効果

4都市における年超過確率と年期待損失率(NEL: 損失期待値/建設費)の関係について検討した。その結

果、各都市のNELと年超過確率の関係は、層間変形角と年超過確率の関係と同様の傾向を示した。ここでは、東京を例に2種地盤におけるNELと年超過確率の関係を図-8に示す。同図には、比較として制震装置を付加(等価粘性減衰20%)した場合と、設備の耐震性を向上(各損傷レベルの fragility の中央値を1.67倍)した場合について、それぞれ破線で示した。

その結果、制震装置を付加した場合は、付加しない場合の結果に比べ、年超過確率に対するNELを10~50%低減する効果が認められた。一方、設備の耐震性向上は、NELに対してそれほど大きな効果は認められなかった。

設備の耐震性向上が、制震装置の付加に比べてNELに対する効果が小さい理由を検討するため、図-10に東京2種地盤の5Fを例に、年超過確率と各部材の損失コストの関係を示した。このグラフより、制震装置の付加は、躯体、仕上げおよび設備それぞれの損失コストを

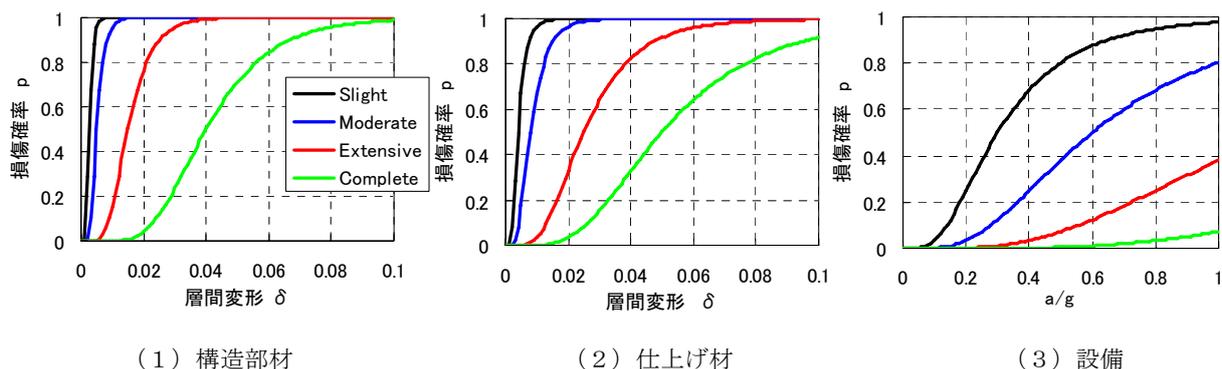


図-5 フラジリティ曲線

低減させるのに対して、設備の耐震補強は、設備の損失コストのみ低減させ、損失コスト全体に対する設備の損失コストの割合が小さいこと、また、年超過確率が大きくなると（入力レベルが大きくなると）、躯体、仕上げの損失コストが緩やかに増加するのに対し、設備の損失コストは年超過確率が 0.01 程度で一定になることがわかった。設備の損失コストが一定になるのは、応答加速度が頭打ちになるためと考えられる。

3.3 設備被害の全体被害に対する割合

設備の耐震性向上の効果を、設備被害コストの全体損失に対する割合の変化から検討した。図-9には、東京の2種地盤における年超過確率と設備損失コストの全体損失コストに占める割合の関係を示した。その結果、10F、20Fについては、設備被害のコスト比率は10%程度以下と小さいが、5Fは年超過確率が大きいほど（再現期間が小さいほど）設備被害のコスト比率が大きくなる傾向にあり、低層建物では設備の耐震性向上は、年超過確率によらず設備被害のコスト比率を10%以下に抑える効果が期待される。

4. まとめ

本検討では、応答スペクトル法による4都市の1様ハザードスペクトルを用いた鉄骨造建物の地震リスク評価を行い、地域および地盤条件の違いが層間変形角及びNELに与える影響を分析した。また、東京を例に制震構造の採用や設備の耐震性向上の地震リスク評価結果に与える効果を考察した。その結果、以下のことが判明した。

- ①東京の層間変形角は、年超過確率が0.01を下回ると急激に大きくなり、4都市の中で最大となった。
- ②地盤条件が悪くなるほど層間変形角が大きくなり、特に3種地盤では、超過確率が0.01を下回ると応答が

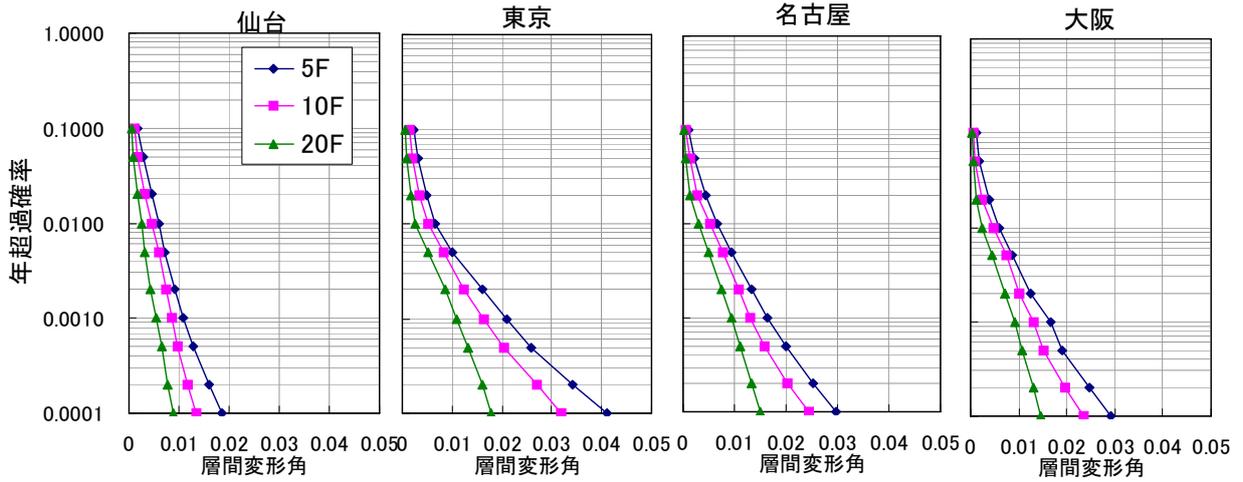
急激に増加した。

- ③制震装置を付加した場合は、付加しない場合に比べて年超過確率に対するNELは10~15%低減する効果がある。
- ④設備の耐震性向上のNELに対する効果は小さい。
- ⑤低層建物において、設備の耐震性向上は年超過確率によらず設備被害のコスト比率を低く抑える効果が期待される。

なお、本研究では東電設計㈱の福島誠一郎博士より主要都市の1様ハザードスペクトルをご提供いただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 井上他：地震リスク評価手法に関する考察，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-1，pp.89-90，2005
- 2) 国交省：改正建築基準法の構造関係規定の技術的背景，ぎょうせい
- 3) 安中他：気象庁87型強震計記録を用いた最大地動および応答スペクトル推定式の提案，第24回地震工学研究発表会論文集，pp161-164，1997
- 4) 福島：建築・土木構造物の要求性能と地震荷重，シンポジウム資料，pp.33-40，2006.10
- 5) 飯場：限界耐力計算における入力地震動・増幅特性に関する技術的背景，第29回地盤震動シンポジウム，pp.23-46
- 6) Federal Emergency Management Agency, HAZUS99 technical manual, Washington, D.C., NY, 1999
- 7) 建設工業経営研究会：経研標準建築費指数季報，2006年夏季号



(1) 仙台 (2) 東京 (3) 名古屋 (4) 大阪

図-6 各都市の年超過確率と層間変形角の関係

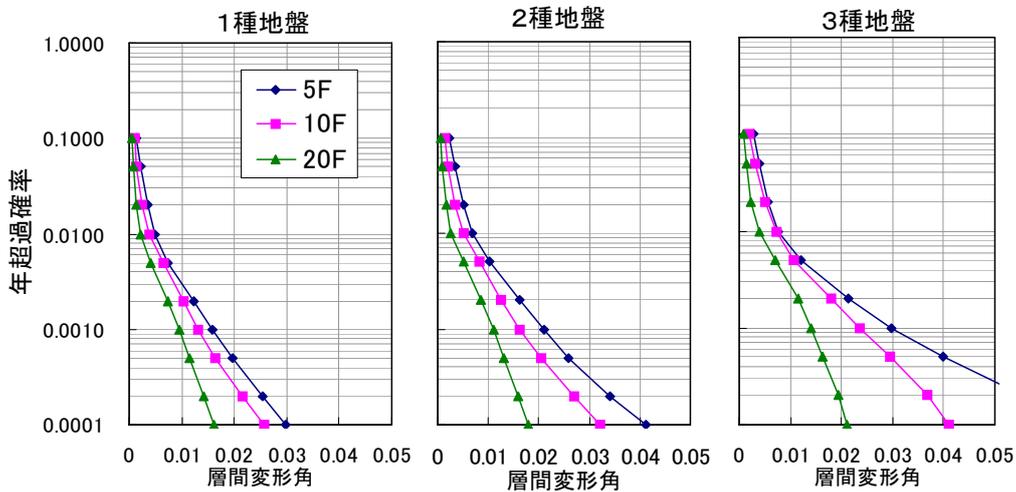
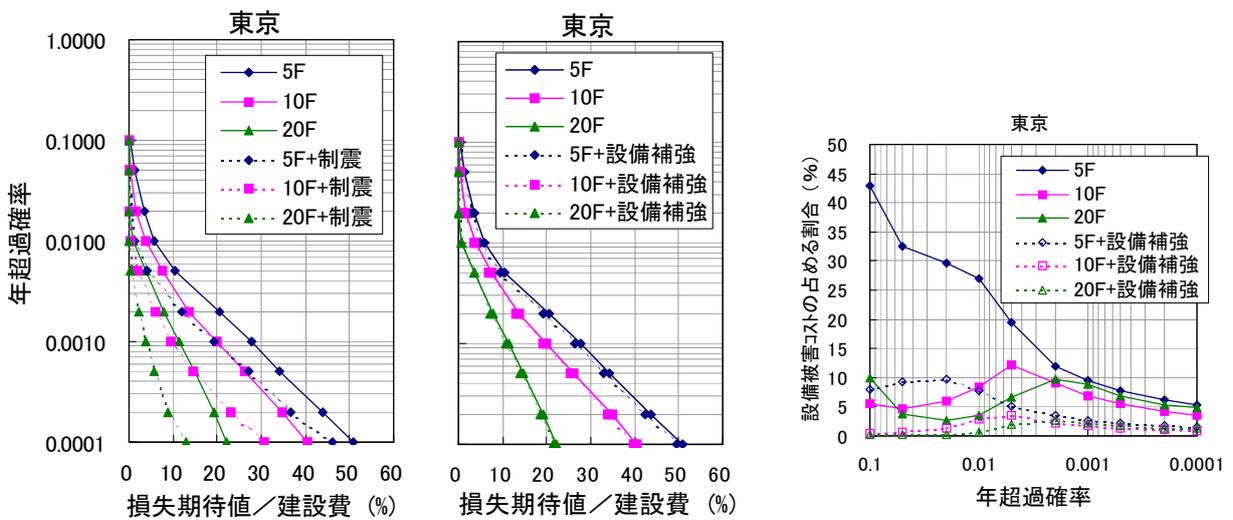


図-7 地盤条件の違いによる年超過確率と層間変形角の関係 (東京)

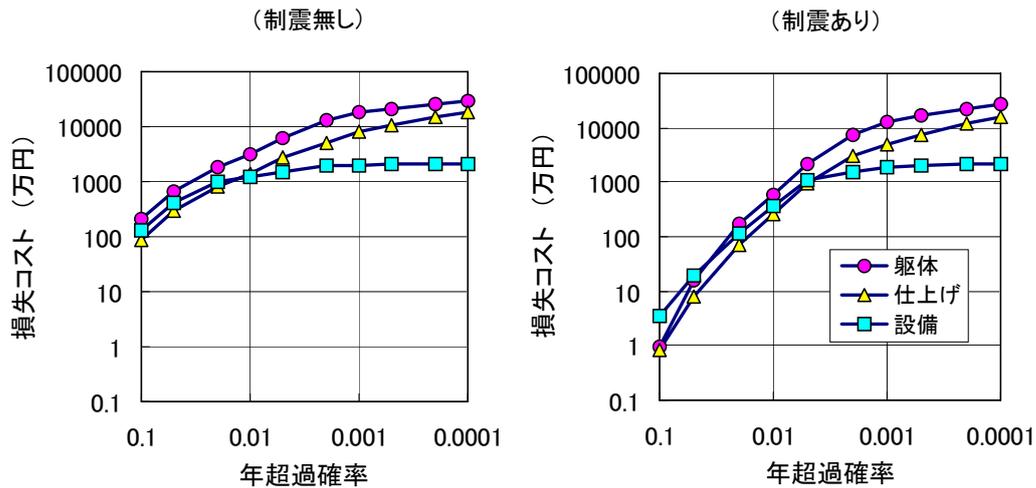


(1) 制震の有無 (2) 設備補強の有無

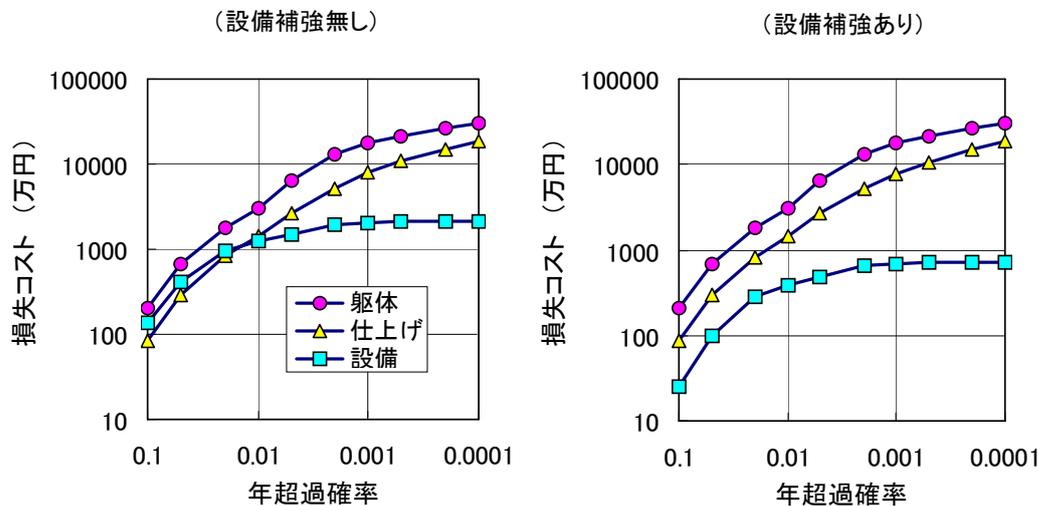
図-8 補強の違いによる年超過確率とNE Lの関係

図-9 設備被害のコスト比率

(東京・2種地盤)



(1) 制震の有無による年超過確率と損失コストの関係



(2) 設備補強の有無による年超過確率と損失コストの関係

図-10 耐震補強条件の違いによる損失コスト (東京) (*建設コストを 100 億円と仮定)

Seismic Risk Evaluation of Steel Buildings Based on Uniform Hazard Response Spectra of Main Cities in Japan

Shigeki SAKAI, Takashi INOUE

To consider the damage of the completing material and the facilities, in addition to the damage of the structural members in seismic risk evaluation of buildings, is important for the maintenance of function and business continuity. This study is a seismic risk evaluation of steel buildings by the response spectral method based on uniform hazard spectra of main cities in Japan. The effects of the vibration characteristics depending on the area, the ground condition, and the existence of the damping system of the structure, and the facility reinforcement for earthquakes on the seismic risk evaluation results were reviewed. As a result, the worse the ground condition becomes, the larger the inter-story deflection angle and the normal expected loss (NEL) become. Also, as for the case to which the damping system is added, it is found there is a 10-15% reduction in NEL, whereas the effect of the facility reinforcement to NEL is little. Moreover, the facility reinforcement for earthquakes has an effect to suppress the cost ratio of the facility damage regardless of the annual probability of exceedance for the low-rise building.