

免震建物と地震リスク

■ 免震建物は地震リスクを大幅に低減

大地震後にも事業継続ならびに生活継続を実現するには、建物の耐震化が重要となります。建物の耐震化による費用対効果は、地震リスクの低減効果を用いて評価できます。このため、2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえて改訂された全国地震動予測地図 2014年版¹⁾を用いて、耐震建物と免震建物の地震リスクを比較します。建設地は東京（東京都庁）、名古屋（愛知県庁）、大阪（大阪府庁）の3地点とし、建物はS造10階建てのオフィスビルに設定しました。なお、地震リスク評価に関する詳細な設定条件は、参考資料をご参照下さい。不動産投資・取引におけるエンジニアリング・レポート²⁾では、地震リスクの指標としてPMLが用いられています。PMLの定義を参考に、今後50年間における損失期待値と90%非超過損失を評価すると、図1となります。免震建物の損失率は耐震建物と比較してかなり小さく、免震建物の優位性が定量的に示されました。さらに、地震時に生じる物的損失の低減のみならず、事業が中断することによる機会損失の低減など事業継続ならびに生活継続の観点からも免震建物を採用した方が優位であるといえます。

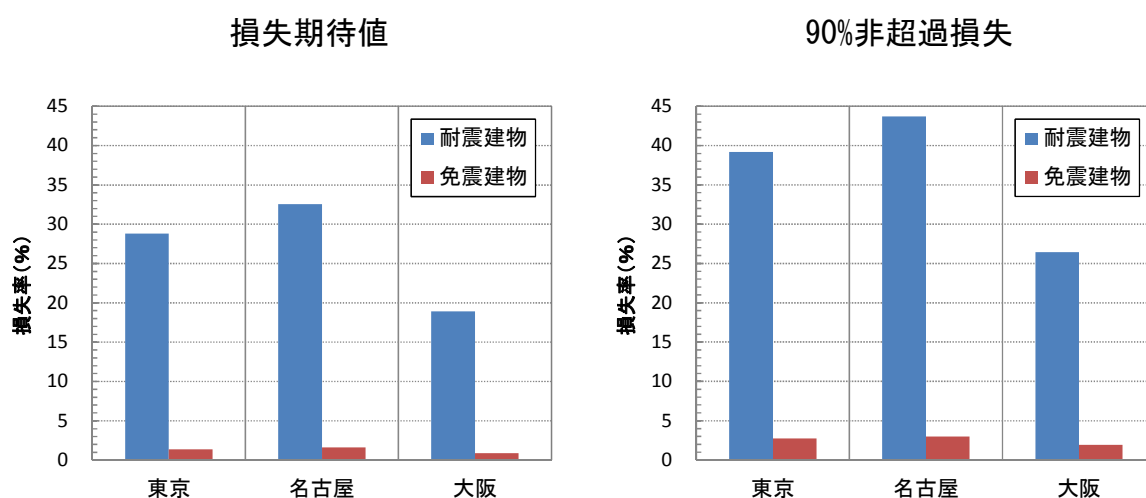


図1 今後50年間における損失率の比較

つぎに、南海トラフの巨大地震を想定して、耐震建物と免震建物の地震リスクを比較します。内閣府の南海トラフの巨大地震モデル検討会では、2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえて、南海トラフの巨大地震における強震断層モデル³⁾を公開しました。強震断層モデルとして図2の基本ケースを採用すると、建設地の工学的基盤における地震動の最大速度は表1となります。工学的基盤の最大速度に、地盤増幅率を乗じて地表面最大速度を評価すると表1となります。このとき、建設地の地表面最大速度と

建物の地震損失曲線を用いて損失期待値と90%非超過損失を評価すると、図3となります。免震建物の損失率は耐震建物と比較してかなり小さく、南海トラフの巨大地震に対しても免震建物の優位性が示されました。

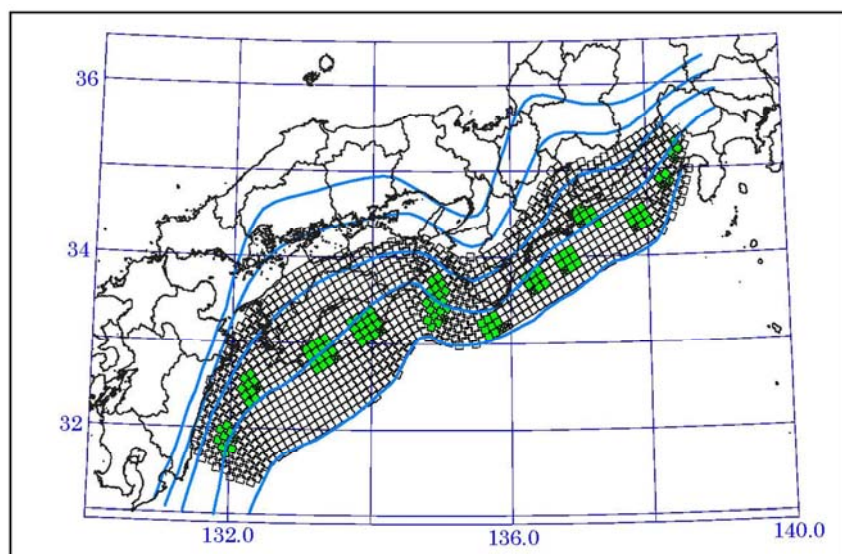


図2 南海トラフの巨大地震における強震断層モデル³⁾

表1 南海トラフの巨大地震における地表面最大速度

	工学的基盤の 最大速度 (cm/s)	地盤増幅率	地表面 最大速度 (cm/s)
東京	15.95	1.41	22.5
名古屋	33.85	1.3	44.0
大阪	48.7	1.35	65.7

損失期待値

90%非超過損失

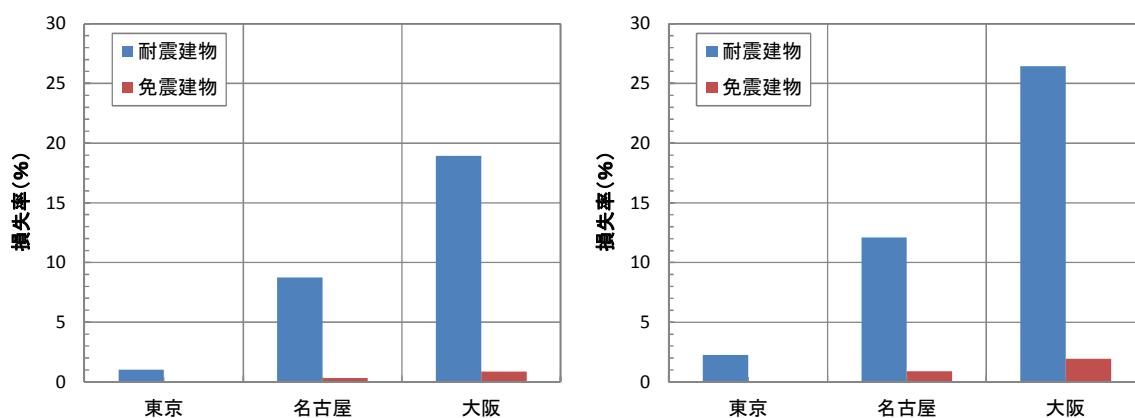


図3 南海トラフの巨大地震における損失率の比較

■ 参考資料 地震リスク評価における設定条件

1. 建物の設定条件⁴⁾

(1) 入力地震動の設定

入力地震動は、エルセントロ NS 波，タフト EW 波，八戸 NS 波，告示波（位相：ランダム），告示波（位相：エルセントロ NS 波），告示波（位相：八戸 NS 波）の 6 波とします。建物の地震応答解析では、地震動の最大速度を 5cm/s～100cm/s まで 5cm/s 刻みで変化させて合計 120 ケース行います。

(2) 建物モデルの設定

①耐震建物

建物モデルとして、S 造 10 階建てのオフィスビルを設定します。ここで、各階の床面積は 1000 m²，延べ床面積 10000m²とし、基準階の階高を 400 cm（ただし、1 階の階高は 450cm）とします。建物の弾性 1 次周期を 1.37sec に設定し、降伏ベースシア一係数を 0.3 として高さ方向の降伏層せん断力係数を A_i 分布で与えます。各階とも、第 1 折れ点の層間変形角を 1/160、第 2 折れ点の層間変形角を 1/100 とし、第 2 剛性比は弾性剛性の 0.3、第 3 剛性比は弾性剛性の 0.03 とします。各階の復元力特性は、ノーマル・トリリニア型を用いてモデル化します。減衰は 1 次の減衰定数が 2% の剛性比例型で与え瞬間剛性比例型とします。

②免震建物

耐震建物に対する地震ライフサイクルコストとの相互比較を行うため、耐震建物を免震化した場合を想定します。このとき、免震周期を 4sec とし、免震装置部は天然ゴム系積層ゴムと履歴ダンパーの並列型配置とします。また、履歴ダンパーの降伏層せん断力係数は 0.04，降伏変位は 1cm とします。

(3) 被害確率関数の設定

①耐震建物

耐震建物の地震応答解析を行い、地表面最大速度と各層の応答層間変位の関係を求め、両者の関係を累乗式で回帰します。つぎに、被災度に対応した限界層間変形角の中央値と対数標準偏差は過去の地震被害事例などを参考に設定し、被害確率関数は対数正規分布でモデル化します。

表 2 限界層間変形角の設定

	小破	中破	大破	倒壊
中央値	1/200	1/100	1/75	1/50
対数標準偏差	0.4	0.4	0.4	0.4

②免震建物

免震建物の地震応答解析を行い地表面最大速度と各層の応答層間変位の関係を求め、両者の関係を累乗式で回帰します。地表面最大速度と各層の応答層間変位の関係から、各層の被害確率関数を算定します。免震層は、免震層の限界層間変位を 60cm, 対数標準偏差 0.1 に設定し、免震層の応答層間変位が限界層間変位を超過した場合には建物全体は倒壊に設定します。

(4)新築費用の設定

耐震建物の新築費用は 240000 円/m² とし、免震建物の新築費用は耐震建物の 5% アップに設定して 252000 円/m² とします。

(5)復旧費用の設定

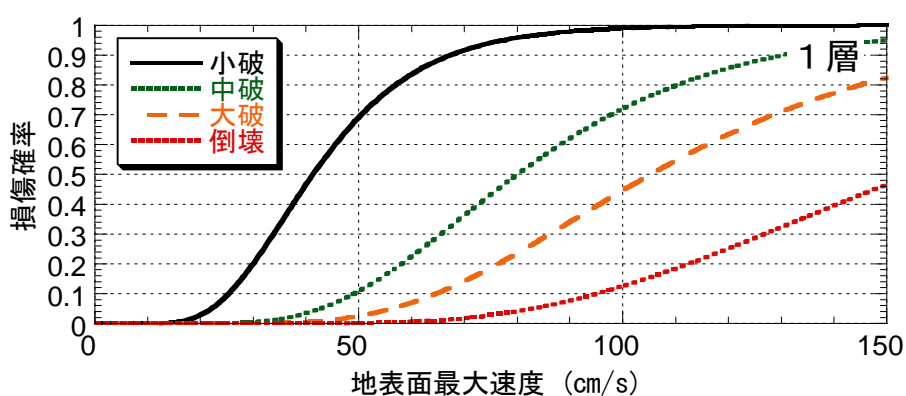
被災度に対応した復旧費用は、兵庫県南部地震などの復旧費用データベースを参考に設定します。新築費用に対する復旧費用の比率は、表 3 で設定します。

表 3 新築費用に対する復旧費用の比率

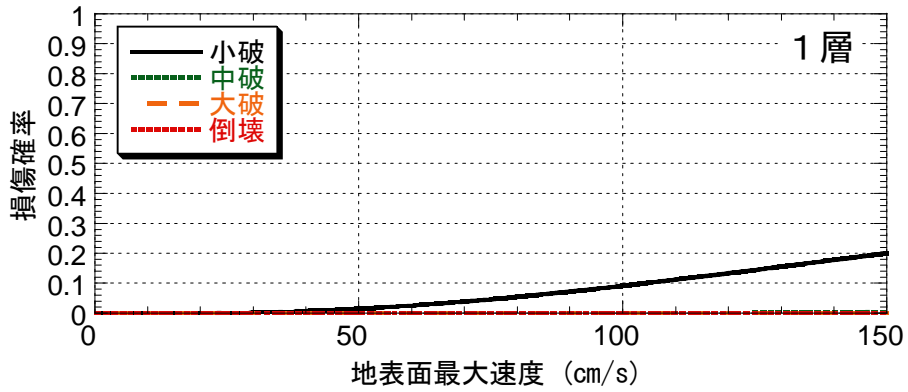
小破	中破	大破	倒壊
0.1	0.2	0.5	1.0

2. 被害確率関数の評価

被害確率関数の評価例として 1 層を対象に、耐震建物と免震建物の被害確率関数を図 4 に示します。耐震建物では地表面最大速度が大きくなると、中破以上の被害が生じる可能性が高くなりますが、免震建物では中破以上の被害はほとんど生じないことがわかります。



(a) 耐震建物

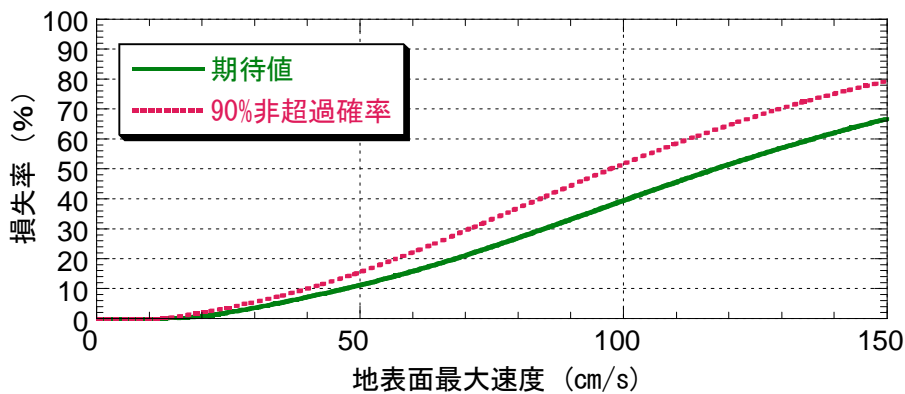


(b) 免震建物

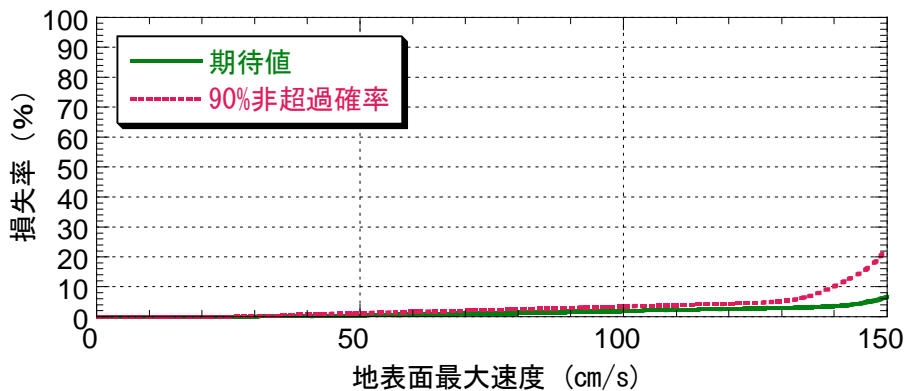
図4 建物の被害確率関数 (1層)

3. 地震損失曲線の評価

ある大きさの地表面最大速度に対する建物の損失額分布をベータ分布でモデル化し、90%非超過確率に対応した損失率を計算すると地震損失曲線は図5となります。耐震建物では、地表面最大速度が大きくなるに従い損失が大きくなりますが、免震建物では損失はほとんど生じていないことがわかります。



(a) 耐震建物



(b) 免震建物

図5 建物の地震損失曲線

4. 全国地震動予測地図 2014 年版¹⁾ を用いた地震リスク曲線の評価

全国地震動予測地図2014年版に基づき、今後50年間における建設地の地震ハザード曲線を評価すると図6となります。

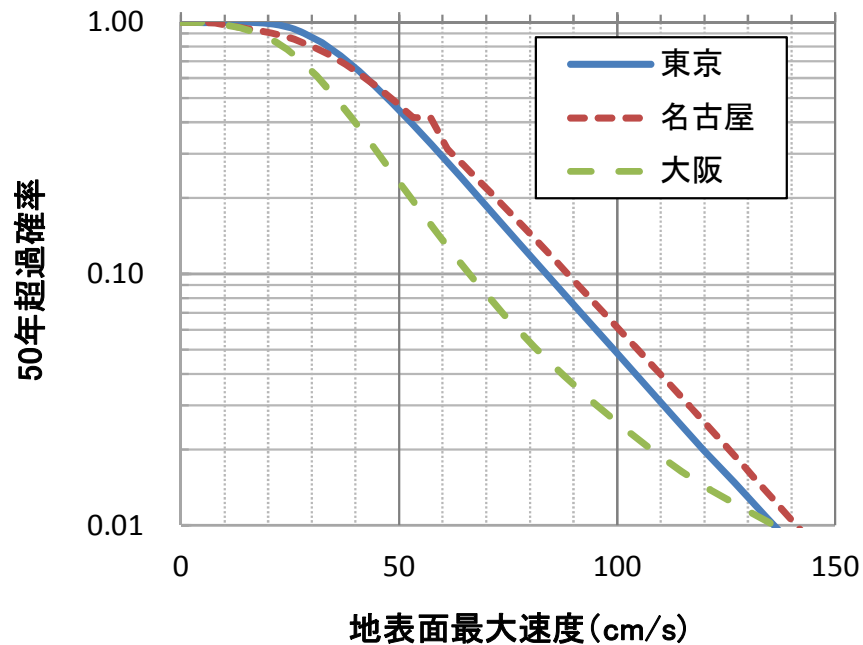
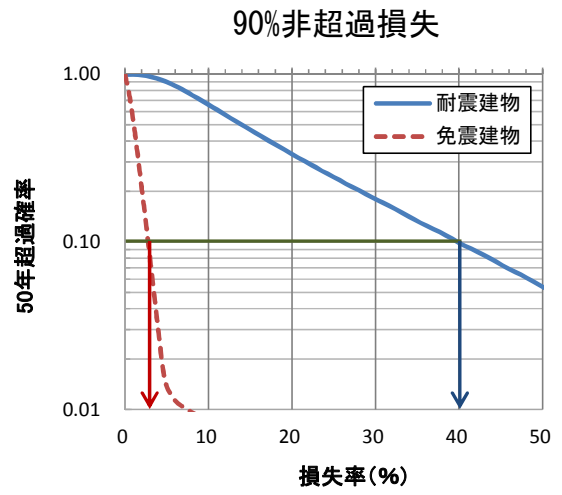
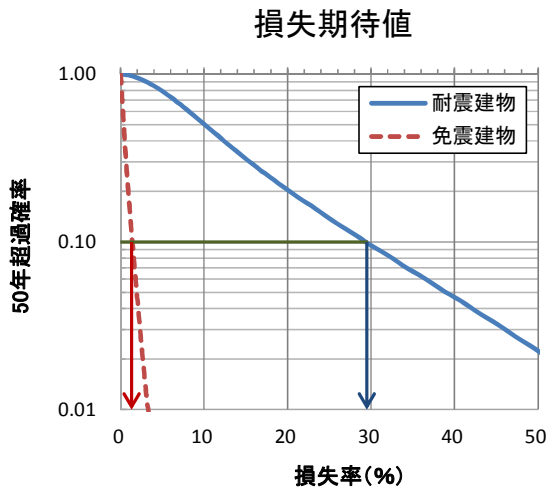
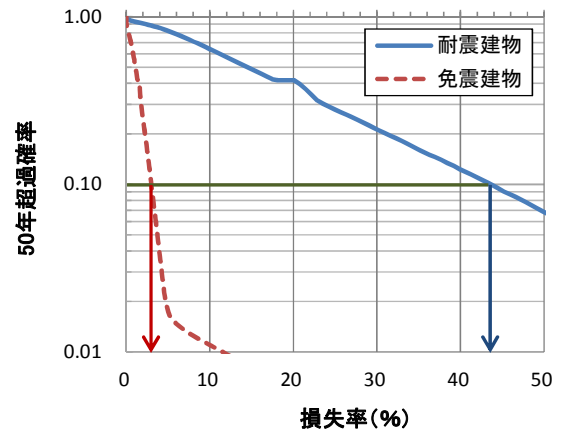
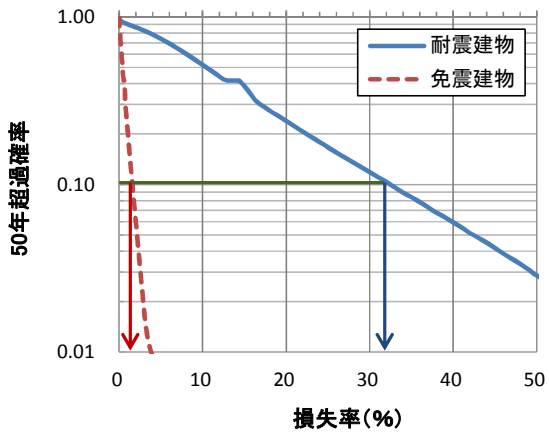


図6 建設地の地震ハザード曲線

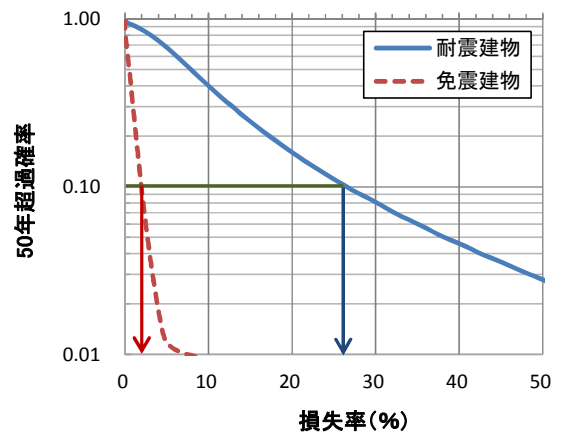
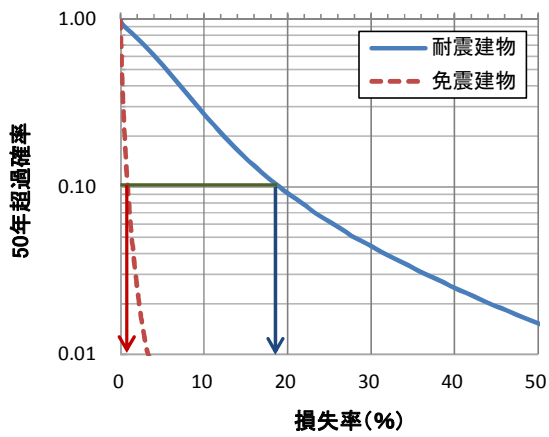
このとき、建設地の地震ハザード曲線と建物の地震損失曲線を用いて地震リスク曲線を評価すると、損失期待値と90%非超過損失に対応した地震リスク曲線は図7となります。



(a) 東京



(b) 名古屋



(c) 大阪

図7 建物の地震リスク曲線

【参考文献】

- 1) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会：全国地震動予測地図 2014 年版～全国の地震動ハザードを概観して～，平成 26 年 12 月
- 2) ロングライフビル推進協会：不動産投資・取引におけるエンジニアリング・レポート作成に係るガイドライン（2011 年版），2011
- 3) 内閣府（防災担当）南海トラフの巨大地震モデル検討会：南海トラフの巨大地震モデル検討会（第二次報告）強震断層モデル編－強震断層モデルと震度分布について－，平成 24 年 8 月
- 4) 日本免震構造協会 普及委員会 社会環境部会：社会環境委員会活動報告書（免震建物と地震リスク、環境問題、地震防災），平成 19 年 9 月