

1 はじめに

大地震時の都市災害を軽減するためには、震源域の周辺地域において、事前に安全性の高い構造物を普及させておくことが重要である。しかしながら、個人や企業が所有する私的な建築物については、原則として各々の費用負担で地震防災対策を講じる必要があり、建築物の所有者自身が、いつ起きるかわからない地震に対して投資するケースは少ない。特に、政府地震調査委員会などにより大地震の発生確率が高いと発表されている震源域¹⁾の周辺地域では、新築および既存建物について、適切な防災対策への誘導が急務である。

本稿の第2章では、建物所有者を防災対策への投資に誘導することを目的として新たに開発された、地震リスク・マネジメント手法を紹介する。従来の手法とは異なり、本手法では、政府地震調査委員会の成果、および、関連学問分野(地震学、地盤工学、構造工学、経済学など)の知見を最大限に活用し、防災対策のメリットを建物所有者に説明することができる。

第3章では、この地震リスク・マネジメント手法を、東京のオフィス・ビル(鉄骨9階建て)に適用した事例を紹介する。ここでは、制振ダンパーの設置に初期投資しておくことで、建物所有者の総支出(LCC:ライフサイクル・コスト)を効果的に軽減できることを示す。

第4章では、日本周辺で最も大地震の発生確率が高い宮城県沖地震(ここ30年で98%)を考慮して、宮城県に建つ戸建住宅(木造2階建て)の事例を紹介する。ここでは、免震工法に初期投資しておくことで、LCCを軽減できることを示す。

2 地震リスク・マネジメント手法の概要

地震リスク・マネジメントとは、図1のように、幾つかの耐震設計案の中から建物所有者にとって最適な案を選ぶ、いわゆる意思決定問題と定義できる。設計案は例えば、建築基準法の要求通りの設計、構造体の剛性・強度・靱性の向上、免震/制振化、地震保険の購入などが挙げられる。各設計案を実現した際の地震リスク、すなわち、建物所有者の総支出(LCC:ライフサイクル・コスト)を計算し、それらを比較することにより、どの設計案が良いかの意思決定が行われる。LCCに注目することにより、例えば、何らかの耐震部材の設置に初期費用を支払っても、ライフスパンで考えれば総支出の少ない設計案を選ぶことができる。

LCCは将来の値なので確定値としては予測できないが、最小期待損失基準によると、LCCの期待値(平均値)が最小となるものを最適設計案として選ぶことができる。各設計案のLCCの期待値($E[C_L]$)は(1)式のように定式化される²⁾。

$$E[C_L] = C_I + \sum_{\text{all sources}} \sum_{j=1}^K E[C_D(m_j)] \int_{t_0}^{t_0+t_{life}} Q^{t-t_0} \sum_{n=1}^{\infty} f_{W_n}(t, m_j | W_1 > t_0) dt \quad (1)$$

(1)式の詳しい説明は文献2)に譲るが、 C_I は初期費用、 $C_D(m_j)$ はマグニチュード m_j の地震に対する損傷費用、 $f_{W_n}(t, m_j | W_1 > t_0)$ はマグニチュード m_j の地震の発生確率である。ここで $C_D(m)$ は、図2に示

すような断層破壊及び弾性波の伝播、表層地盤の増幅、建物の応答、損傷費用の発生までの一連のプロセスを、関連学問分野(地震学、地盤工学、構造工学、経済学などの)において開発された最新のシミュレーション・モデルを用いて算出できる。また、 $f_{wm}(t, m_j | W_1 > t_0)$ については、政府地震調査委員会が発表する最新の地震発生確率¹⁾を直接導入できる。したがって、(1)式を用いることにより、信頼度の高い結果に基づいて、建物所有者に適切な判断を促すことができる。

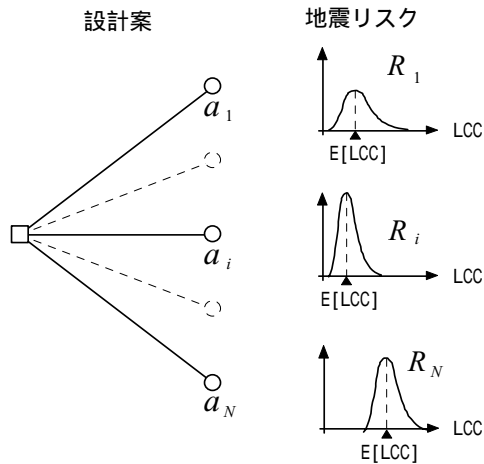


図1 地震リスク・マネジメントの概念図

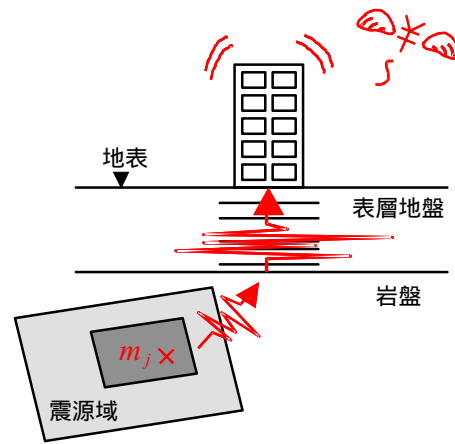


図2 断層破壊から損傷費用発生までのプロセス

3 東京のオフィス・ビルを対象とした事例研究

1999年竣工の(株)構造計画研究所新社屋(地上9階建て鉄骨造・図3に外観を示す)を対象とする。建設地点は東京都中野区である(図4中の印)。設計案は、(A)鉄骨フレームのみと(B)各層の層間にオイル・ダンパーを設置したものの二つとし、両者の期待LCCを比較する。鉄骨建物の総額は15.12億円、建物の各層に設置されたオイル・ダンパーの総額は0.36億円である。したがって、設計案(A)および(B)の初期費用はそれぞれ15.12億円、15.48億円となる。

震源域として、相模トラフを考慮する(図4中の網掛け部分)。地震カタログに掲載されている過去の記録地震を図4に印で示す。マグニチュード8.0($m_3 = 8.0$)の地震について、政府地震調査委員会により用いられているBPT(Brownian Passage Time)モデル¹⁾(平均再現期間=200年、 $\alpha = 0.24$)を適用すると、その発生率は図5のようになる。



図3 対象建物の概観

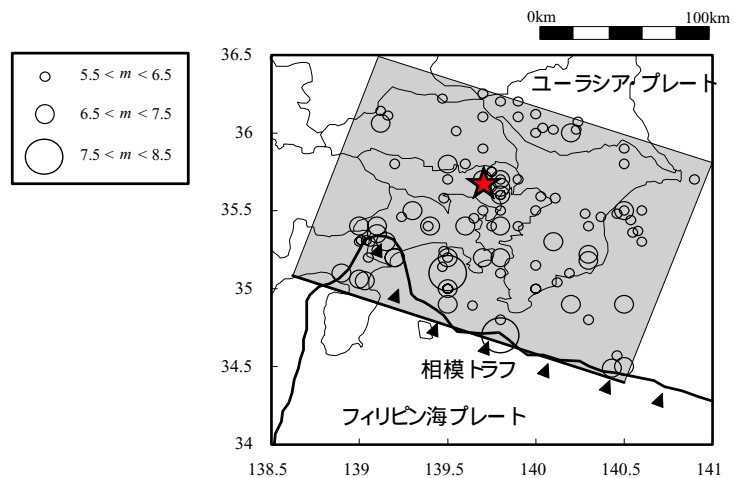


図4 建物位置()および相模トラフ周辺の歴史地震()

初期費用 C_0 、図 5 の地震発生率、最新の解析モデルを用いたシミュレーションにより求められた $E[C_D(m_j)]$ を(1)式に代入し、建物の供用期間と期待 LCC の関係を示したのが図 6 である。制振ダンパーを設置することにより、初期費用は上がるが、将来の地震による損傷が低減されるために、建物の供用期間 ($t_{life} = 50$ 年) で考えると期待 LCC (建物所有者の総支出) を軽減できる。なお、建物の供用期間における両設計案の期待 LCC の差 (2.09 億円) は、リスク・マネジメントにおいて、ダンパーを採用したことにより建物所有者もたらされる利益を表す。

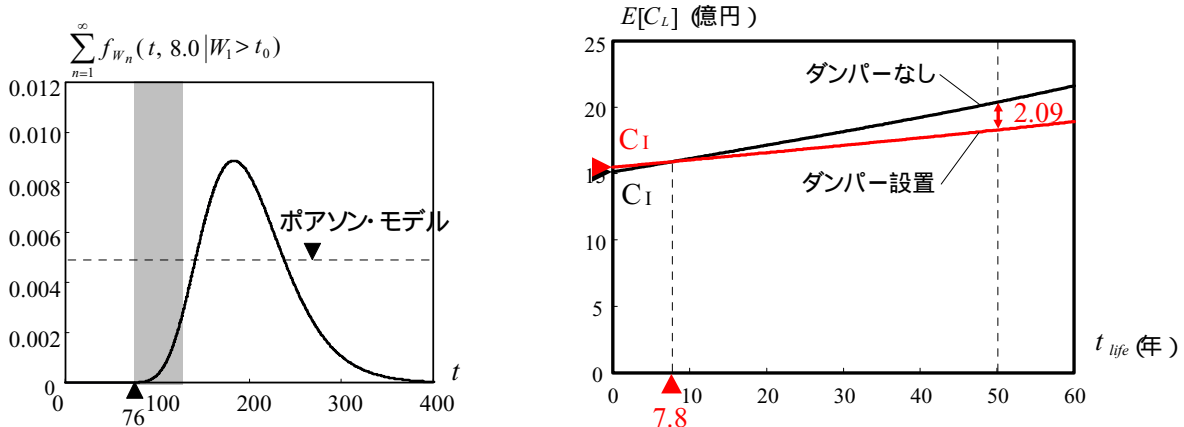


図 5 BPT モデルの地震発生率 ($m_3 = 8.0$) 図 6 供用期間 - 期待 LCC (BPT モデル : $t_0 = 76$)

4 宮城県の戸建住宅を対象とした事例研究

2003 年完成の戸建住宅 2 階建て在来軸組木造 (図 7 に外観を示す) を対象とする。建設地点は宮城県古川市である (図 8 中の印)。設計案は、(A) 基礎固定と (B) 基礎免震したものの二つとし、両者の期待 LCC を比較する。住宅建設の費用は 4,500 万円、免震化工事には 718 万円が掛かる。したがって、設計案 (A) および (B) の初期費用はそれぞれ 4,500 万円、5,218 万円である。

宮城県沖地震の発生が予想される地域を震源域とする (図 8 中の矩形部分)、地震カタログに掲載されている過去の記録地震を図 8 に印で示す。マグニチュード 7.5 ($m_3 = 7.5$) の地震について、政府地震調査委員会により用いられている BPT モデル¹⁾ (平均再現期間 = 37.1 年、 $\lambda = 0.176$) を適用すると、その発生率は図 9 のようになる。



図 7 対象戸建住宅の外観

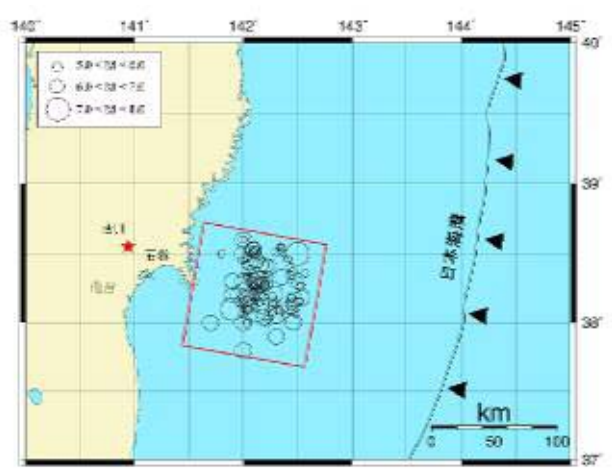


図 8 住宅位置 () および震源域付近の歴史地震 ()

初期費用 C_0 、図 9 の地震発生率、最新の解析モデルを用いたシミュレーションにより求められた $E[C_D(m_j)]$ を(1)式に代入し、建物の供用期間と期待 LCC の関係を示したのが図 10 である。免震化することにより、初期費用は上がるが、将来の地震による損傷が低減されるために、住宅の供用期間 ($t_{life} = 50$ 年) で考えると期待 LCC (建物所有者の総支出) を軽減出来る。

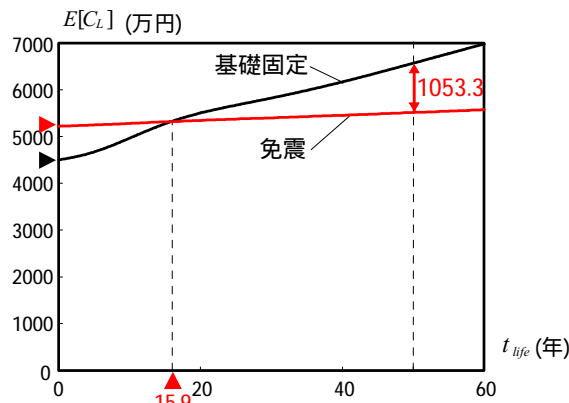
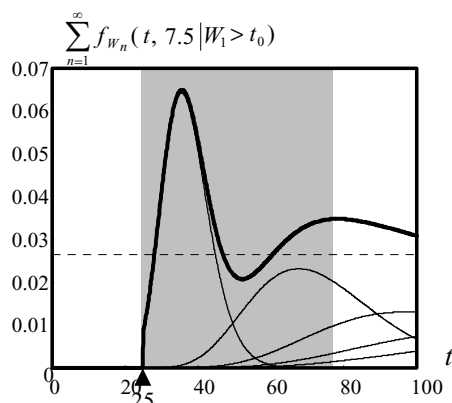


図 9 BPT モデルの地震発生率 ($m_3 = 7.5$) 図 10 供用期間 - 期待 LCC (BPT モデル : $t_0 = 25$)

5 まとめ

本稿の第 2 章では、地震防災対策促進を目的とする、地震リスク・マネジメント手法を紹介した。本手法では、政府地震調査委員会の成果、および、関連学問分野 (地震学、地盤工学、構造工学、経済学など) の最新の知見を体系的に導入し、建物所有者に合理的な判断を提供できる。

第 3 章および第 4 章では、東京のオフィス・ビル、宮城の戸建住宅を対象にした事例研究を紹介した。それぞれ、制振ダンパー、免震工法に初期投資することで、建物所有者のライフサイクル間の総支出 (LCC : ライフサイクル・コスト) を効果的に軽減できることが確認された。

以上の二つの事例研究は、建物所有者に対して、適切な防災対策に投資をすることのメリットを示すためのプロトタイプであり、他の建築物にも広く適用できる。都市的な観点からは、地震危険度の高い地域において耐震安全性の優れた建築物を普及させ、都市災害軽減に貢献できる。

同時に、建物所有者の防災対策への関心を高め、防災分野に対する需要を喚起し、経済の活性化にも寄与できる。現在筆者は、公団、設計事務所、ゼネコン、免震 / 制振装置メーカー、ソフト・メーカーと共同研究「建築物の地震リスク・マネジメント手法の開発および地震危険度の高い地域の建築物の防災対策への適用 (研究代表者 : 高橋雄司、期間 2002 年 12 月 ~ 2005 年 3 月)」を組織し、本稿で紹介した地震リスク・マネジメント手法の実用化を進めている。このような地震リスク・マネジメント技術を、地震危険度の高い地域において、建物所有者を適切な防災対策に誘導するためのツールとして活用していく。新たな結果がまとめ次第、改めて報告させて頂きたい。

【参考文献】

- 1) 地震調査研究推進本部 HP、<http://www.jishin.go.jp/main/index.html>
- 2) Takahashi, Y., Der Kiureghian, A. and Ang, A.H-S., "Decision methodology in seismic risk management of a single building based on minimum expected life-cycle cost", *UCB/SEMM Report-2002/02*, Department of Civil & Environmental Engineering., UC Berkeley, CA, 2002.