

東京都 23 区における耐震改修による費用対効果に関する地震リスクマネジメント

正会員 名波 文乃*
同 鈴木 宏伸**
同 久田 嘉章***

リスクマネジメント 意思決定 リスクカーブ 損失期待値 シナリオ地震 耐震改修

1. はじめに

大都市圏では、地震により甚大な被害が生じることは自明ではあるが、実際に耐震補強等の具体的な策を取るケースは少ない。近年、リスクに関する経済的な側面での研究が急速に進んできており、地震リスクマネジメントは、耐震対策の意思決定法として定量的に評価するのに有効な手法であると考えられる。本研究では東京都を対象として、関東周辺で地震が発生したと想定し、町丁目ごとリスク評価を行い、これに対する耐震対策案を考え、耐震対策を行う前後での損失期待額の変化について考察を行う。

2. 地震リスク評価手法

今回、複数建物の地震リスク評価手法として阿知波ら¹⁾の手法を用いた。これは、多数のシナリオ地震に発生頻度や発生確率を与えて解析し、すべての建物に対し推定損害を算出する。その上で、リスクカーブを求めてリスクの評価を行うもので、建物 *i* 棟、シナリオ地震 *j* 個を対象として図 1 に示す流れにより求める。

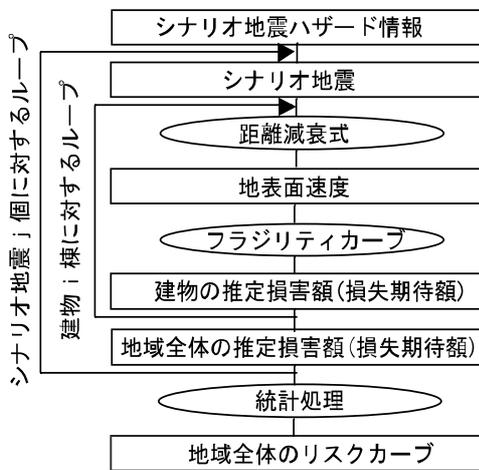


図 1. 評価フロー概要

ここで、個々のシナリオ地震による被害額にその地震の起こる確率を乗じることで、その地震による損失期待額を求めることができる。

$$E = \sum_{i=1}^{i=N} (L_i \times p_i) \tag{1}$$

E : 全分析対象物の年間損失期待額
L_i : 地震 *i* による全損失額、*p_i* : 地震 *i* の年間発生確率

損失期待額をシナリオ地震 *j* 個に対しループをかけることで地域全体に対する損失期待額が求まる。

つぎに各地震の年間発生率からその累積確率である年間発生超過確率を下式により算出する。

$$\begin{aligned} P_1 &= p_1 \\ P_2 &= 1 - (1 - P_1)(1 - p_2) \\ P_3 &= 1 - (1 - P_2)(1 - p_3) \\ \dots &\dots \\ P_i &= 1 - (1 - P_{i-1})(1 - p_i) \end{aligned} \tag{2}$$

P_i : 地震 *i* の年間発生超過確率
p_i : 地震 *i* の年間発生確率の年間発生確率

2.1 シナリオ地震

シナリオ地震となりうるデータは、神田²⁾に従い、地震の破壊面が設定できないものとできるものとに分け、さらに設定できるものは活断層地震とプレート境界地震に分類した。

まず、破壊面が設定できないものについては、地震の活動度が一定とみなせ、式(3)の G-R 式に従って空間的、時間的にランダムに発生すると考えられる地震域を設定する。

$$\log N(M) = A - b \cdot M \tag{3}$$

N(M) : マグニチュード *M* 以上の地震の発生頻度
A・*B* : 係数

また、文献³⁾より、ある程度震源を特定するため、ここでは地震域の範囲を面積が約 270 km²となるようメッシュ分割する。このメッシュごとで、ポアソン過程に従うとして地震発生率を算出する。なお、マグニチュードは 5 M 6.5 の場合のみを考慮し、5.3 M 6.7 を *M*=5.0、5.8 M 6.2 を *M*=6.0、6.3 M 6.7 を *M*=6.5 としている。

破壊面が特定できる活断層地震およびプレート境界地震では、最新活動時期からの経過時間を考慮し、地震発生確率が算出される。ここでは、マグニチュード 5.5 M 6.5 を *M*=6.0、6.5 M 7.5 を *M*=7.0、7.5 M 8.5 を *M*=8.0 とし、地震動発生間隔のばらつきは BPT (Brownian Passage Time) 分布によるものとする。

今後 *T* 年間で活動する条件付確率 *P_n* は、

$$P_n(T_p, T) = 1 - \frac{\phi(T_p + T)}{\phi(T_p)} \tag{4}$$

で評価される。信頼度関数 $\phi(t)$ は、

$$\phi(t) = 1 - \left\{ \phi(u_1(t)) + e^{2/\alpha^2} \phi(-u_2(t)) \right\} \quad (5)$$

$$u_1 = \alpha^{-1} (t^{1/2} T e^{-1/2} - t^{-1/2} T e^{1/2}) \quad (6)$$

$$u_2 = \alpha^{-1} (t^{1/2} T e^{-1/2} + t^{-1/2} T e^{1/2}) \quad (7)$$

ここに、 T_e は平均活動間隔、 T_p は最新活動からの経過時間である。 α は活動間隔ばらつきの変動係数で、ここでは $0.24^4)$ とする。 ϕ は標準正規分布の累積確率分布関数である。

2.2 建物被害推定の算定

ここでは、地表面速度については、安中ら⁵⁾による最短距離式を用いた距離減衰式を適用、増幅率は松岡ら⁷⁾の手法により求め、そこでの地形分類は久保ら⁶⁾のものを用いた。また建物データについては東京都建設局のデータ⁸⁾を、建物全損率は地震被害想定支援マニュアル⁹⁾の式を用い、算出した。以上から、木造・非木造別建築年代別に町丁目ごとの30年超過確率を算出する。

3. リスク軽減策に関する考察

清家ら¹⁰⁾に従い以下の7つのカテゴリー別に耐震投資戦略の検討を行う。

- Case(0): 何も対策を行わない。
- Case(1): 1970年以前の木造を非木造に建て替える。
- Case(2): 1970年以前の木造を耐震改修する。
- Case(3): 1971年以降の木造を非木造に建て替える。
- Case(4): 1971年以降の木造を耐震改修する。
- Case(5): 1980年以前のRCを耐震改修。
- Case(6): 1980年以前の鉄骨、軽量鉄骨を造耐震改修。

何も策を施さない case(0) のときと比較し、30年間の累積損失期待値がどの程度低下したか各投資効果分かる。なお、復旧及び耐震投資に掛かる費用は表1に示す値を用いた。

その結果、図2、及び表2に示すように最も効果的とされるケースの分布が得られた。また全ての町丁目において最善策を行った場合の効果、及び費用対効果を表3に、それぞれのリスクカーブを図3に示した。今回は、表3からわかるように費用対効果はマイナスの値が出てしまったが、リスクカーブをみることで、同じ30年超過確率確率において損失期待額は、いずれの場合も下がっていることがわかる。

4. まとめ

本研究では東京都23区を対象に町丁目単位でリスク評価を行った。今回のように直接的な被害のみを考慮した場合にはいずれの場合も有効であるという結果が得られなかった。しかし実際の地震被害というものは、今回検討したような一次的な被害のみでなく、火災等による二次災害、及びプレファブ建設費や瓦礫等撤去料検討が必要であるというのが大きな原因であると考えられる。大会当日にはこれらを考慮した結果を発表する予定である。

[参考文献]

- 1)阿知波正道、水谷守: 地震損害保険ポートフォリオ算定手法 第18回日本材料学会 材料・構造信頼性シンポジウム, 2001
http://www.sjrm.co.jp/rsk_teryo/02.pdf
- 2)東京大学 神田高田崔研究室: 地震危険度評価手法
http://ssweb.k.u-tokyo.ac.jp/help/SHA.pdf
- 3)宇賀田健: シナリオ地震による日本全国の地震危険度評価, 日本建築学会構造系論文集 No.541, pp.95-104 2001.3
- 4)地震調査研究推進本部地震調査委員会: 長期的な地震発生確率の評価手法について, 2001.3
http://www.jishin.go.jp/main/
- 5)安中正, 山崎文雄, 片平冬樹: 気象庁 87型強震記録を用いた最大地動及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講演論文集, pp.161-164, 1997
- 6)久保智弘, 久田嘉章 他: 全国地形分類図による表層地盤特性のデータベース化、及び、面的な早期地震動推定への適用, 地震, 日本地震学会, 2003 (印刷中)
- 7)松岡昌宏, 翠川三郎: 国土数値情報を利用した地震ハザードの総合的評価, 物理探査, vol.48, No.6, pp519-529, 1995
- 8)東京都建設局道路管理部: 東京都修正データ
- 9)国土庁防災局: 地震被害想定支援マニュアル, 1997
http://www.bousai.go.jp/manual/manual.html
- 10)清家規, 多賀直恒: 経済的尺度に基づく地震防災行政における意思決定法に関する考察, 自然災害科学, JJSNDS 18-2, pp227-239, 1999

表1. 耐震投資に掛かる費用¹⁰⁾ (万円/㎡)

	建て替え	改修
木造	15	30
非木造	1	4

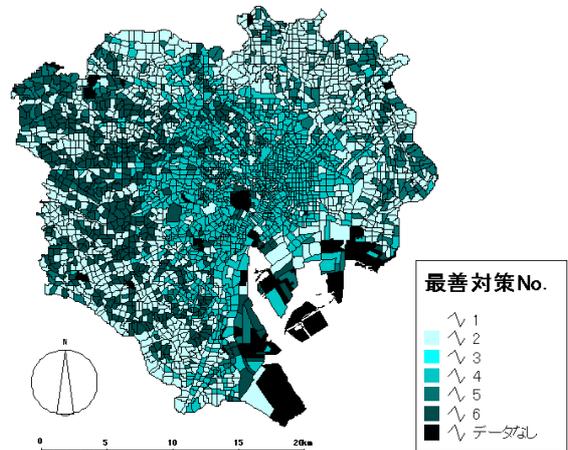


図2. 各町丁目における最善策(東京都23区)

表2. 各最善策をとる町丁目数

case(1)	case(2)	case(3)	case(4)	case(5)	case(6)
0	1196	0	1104	263	516

表3. 23区全体での耐震対策の効果 (億円)

case(0)の損失期待値	最善策での損失期待値	差額	耐震補強に掛かる費用	費用対効果
4971.8	2375.4	2596.4	5884.3	-3288.0

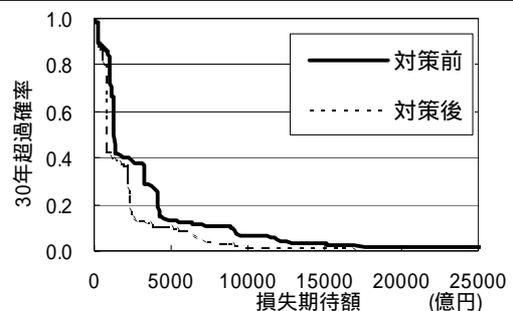


図3. 対策前後での23区全体のリスクカーブの変化

*工学院大学大学院 修士課程

** (株) ネットウェーブ 修士 (工学)

*** 工学院大学建築学科 工学博士

*Graduate student, Dept. of Architecture, Kogakuin Univ

**Net Wave, Ms.Eng

*** Prof., Dept. of architecture, Kogakuin Univ, Dr. Eng