

1. はじめに

地震による被害およびその対策についての研究は、これまでは工学的・技術的な側面から行われることが多く、経済的な側面から行われることは少なかった。しかし、実際には対策の費用とその効果に関する検討は欠かすことができない。

地震による被害を最小限に抑えることが地震防災の基本であるが、これまではどういった方法で地震対策の優先順位をつけていくかといった対策の選択法についてはあまり研究が行われてこなかった。地震防災の基本的な対策として構造別・建築年代別、および改修・建替えの量的規模によって様々な組み合わせが考えられるが、ここ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投資案を考えて、これらの対策の費用有効度分析を行うことにより、経済効果の最も高い政策を選択する評価法を検討していく。

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兼森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、年超過確率、損失額の関係を表す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。

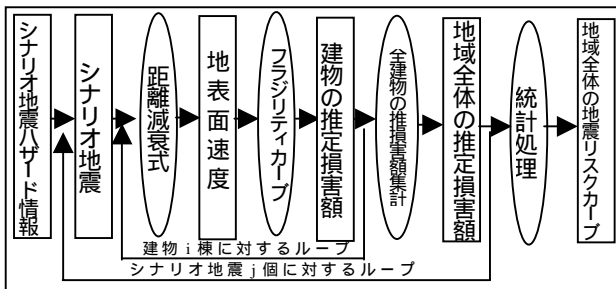


図 1. 評価フロー概要

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値を求めることができる。

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

E : 分析対象物の年間損失期待額

L_i : 地震*i*の損失額

p_i : 地震*i*の年間発生確率

損失期待値をシナリオ地震*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値が求まる。

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。

$$P_1 = p_1$$

$$P_2 = 1 - (1 - P_1)(1 - p_2)$$

$$P_3 = 1 - (1 - P_2)(1 - p_3)$$

$$P_i = 1 - (1 - P_{i-1})(1 - p_i)$$

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

リスクカーブは損失*R*以上の地震が一年間に起こる可能性(年超過確率)を縦軸に、推定損失額を横軸にとった曲線である。

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するものとに分け、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する。

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(1)のG-R式に従って発生すると考えられる地震域を設定する。

$$\log N(M) = A - b \cdot M \tag{1}$$

N(M) : マグニチュード*M*以上の地震の発生頻度

A・*b* : 係数

このとき地震は式(1)に従い、空間的、時間的にランダムに発生すると仮定する。また、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。このメッシュが、ポアソン過程に従うとして地震発生率を算出する。

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。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。⁽³⁾

今後*T*年間で活動する条件付確率*P_n*は、

$$P_n(T_p, T) = 1 - \frac{\phi(T_p + T)}{\phi(T_p)} \tag{2}$$

で評価される。信頼度関数 $\phi(t)$ は、

$$\phi(t) = 1 - \left\{ \phi(u_1(t)) + e^{2/\alpha^2} \phi(-u_2(t)) \right\} \tag{3}$$

$$u_1 = \alpha^{-1} \left(t^{1/2} T e^{-1/2} - t^{-1/2} T e^{1/2} \right) \tag{4}$$

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

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。また、 ϕ は標準正規分布の累積確率分布関数である。

2.2 建物被害の推定

地震発生率が与えられたら、図2のようにすべてのシナリオ地震による建物の被害を算出する。

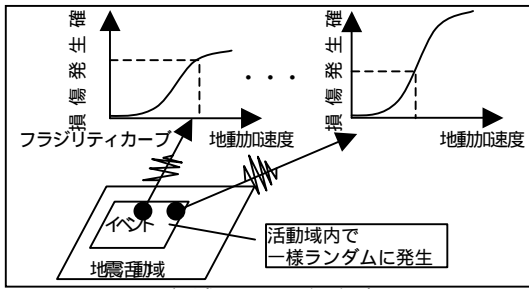


図 2. 広域リスク評価概

地表面速度については、ここでは、安中らによる最短距離式を用いた距離減衰式⁵⁾を適用して求める。増幅率は地形分類⁶⁾から松岡ら⁷⁾の手法により求めたものを用いた。また建物のデータについては東京都建設局のデータ⁸⁾を用い、建物全損率は村尾ら⁹⁾の式を用い算出する。

以上の結果を用い、木造・非木造別建築年代別に最大損失、およびその年超過確率を算出する。こうした方法ですべてのサイトに対し各地震源で起こる被害を累積し、全体の推定被害を算出する。

3. リスク軽減策に関する考察

これまでの結果の上、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。

何も耐震投資を行わない case(0)のときと比べ、30年間の損失期待値がどの程度低下したかで各投資効果が分かる。ここで復旧に掛かる費用は平川¹¹⁾を参考に、木造で5.16万円/m²、RCで4.57万円/m²、S・軽量鉄骨で7.63万円/m²が掛かるとする。さらに、文献⁷⁾より、新築・建替えの場合、木造で15万円/m²、非木造で30万円/m²の費用が掛かり、改修の場合は、木造で1万円/m²、非木造で4万円/m²の費用がかかるとし、投資に掛かる費用を考慮し、最善策を策定する。

4. 結果

これまでの手法を実行したところ、表1に示すような損失期待値の分布を得ることができた。(図3.)

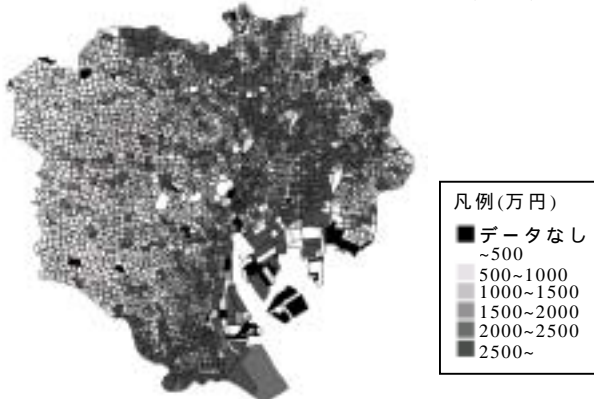


図 3. case(0) (現状) の 30 年間損失期待値

この分布と各町丁目における構造別建築年代別棟数の分布を比較したところ、1970年以前の木造の少ない地区が損失期待値が小さいという傾向がみられた。

また全ての町丁目を対象とし、case(0)と最も効果の高かった case(2)とでリスクカーブを描くと次のようになる。(図4.)

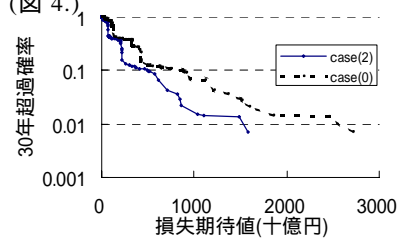


図 4. case(0)と case(2)の 23 区全体でのリスクカーブ

case(0)の損失期待値	case(2)の損失期待値	耐震に掛かる費用	case(2)+費用	case(0)との差額
497.18	294.1	582.45	876.55	-379.37

表 1. case(0), (2)での損失期待値および耐震に掛かる費用(十億円)

これらを見ることで、case(2)の効果があつたかがわかる。リスクカーブの右端点は予想最大損害額を表しているが、case(0)ではそれが2717.9(十億円)であるのに対し、case(2)では1583.5(十億円)まで軽減されている。また同じ30年超過確率でみたとき、その損失はどの場合においても減っていることが分かる。

しかし、今回全ての投資策において、30年累積損害期待値を、投資策に掛かる費用が上回ってしまった。これは、耐震投資に掛かる費用のパラメータと復旧に掛かる費用のパラメータを別の文献から用いた点、さらに、火災被害、瓦礫の撤去費等を考慮しなかった点にあると考えられる。

5. まとめ

本研究は、東京都23区を対象に町丁目単位でリスク評価を行った。しかし今回の手法では、構造種別および年代別、さらに被害の度合いによる場合分けがかなり粗く、これでは一元的に評価することは難しいという結論が出た。さらに今回は地震後起こる火災等の二次災害、仮設住宅建設費等は考慮していない。これらを考慮すれば耐震対策の効果はやはりあると考えられる。今後はより詳細なデータのもと、二次災害等も考慮し、経済的な耐震投資を行えるよう、研究を進めていく必要があるだろう。

[参考文献]

- 1) 兼森孝: 定量的リスク分析法 - リスクカーブ法 -, 土と基礎, 1, 1999
- 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, 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, 6, 2001
- 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) 日本地図センター: 「土地分類図 14974 年、監修: 国土庁」
- 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) 村尾修, 山崎文雄: 自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数, 日本建築学会構造系論文集 第 527 号, 2000.1
- 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
- 11) 平川倫生: 兵庫県南部地震の被害データに基づく被災建物の復旧費用に関する考察