

地震リスクマネジメントの現状と将来について

The Present and the Future of Seismic Risk Management

中村 孝明 (なかむら たかあき)

(株)篠塚研究所 主席研究員



1. はじめに

地震災害は、一生に一度あるかないかの極めてまれな事象である。ところが、一度発生すると甚大な損失を被り、時に人命も失われる。地震リスクマネジメントは、このような低頻度重大事象に対し、現実的かつ費用効率の高い対策を見出すことを目的とした、支援ツールと位置付けることができる。

エンジニアにとって、対策として考えつくのは構造物の強度を高める、いわゆる耐震補強であるが、一般的な認識としては保険に加入する方が馴染みがある。これまでの地震リスクマネジメントは、耐震補強という物理的な対策に傾倒しがちであったことは否めない。耐震補強は被害を軽減する効果的な対策ではあるが、保険、積立、教育や訓練、消防設備の拡充など、直接的ではないものの、リスクを軽減する効果的な対策は多様に存在する。地震対策は、様々な対策の合理的な組み合わせによって、検討される必要がある。

本報は、地震リスクマネジメントの方法を概説した上で、耐震補強と保険を取り上げリスク軽減の仕組みと課題について示すと共に、地震リスクマネジメントの方向性について短述する。

2. 地震リスクマネジメントの概要

2.1 地震リスクの評価方法¹⁾

リスクは一般に、損益や損失を生じる可能性の大きさを言う場合もあれば、事故や災害の事象そのものを示す場合もある。これは学問分野によって様々であるが、地震は、利得にはつながらない全くの負け戦であり、損失のみが生じる厄介な災害である。このため、確率・統計的な評価に基づき、損失の期待値を以て地震リスクを定義している。式で表すと次のようになる。

$$L(x) = \sum_j P_f(c_j|x) \cdot c_j \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $P_f(c_j|x)$ は地震動 x を条件とした被害形態 j の発生確率、 c_j は被害形態 j による損失の大きさを、物的な損失（修復費用）や営業停止による損失、さらには企業イメージの失墜や人命などから構成される。一般的には、物的な損失と営業損失が用いられている。この定式化によればリスクは被害の可能性が高い程、また、それに伴う損失が大きい程、重大であることが表現される。一方、地震動は様々な地震によって励起されるもので、

小さいものから大きいものまで様々であり、地域によっても異なる。そこで、地震動の地域性や様々な地震動を考慮した年間当たりの地震リスクを以下のように求めることができる。

$$AEL = \int_0^{\infty} P_h(x) \sum_j \{P_f(c_j|x) \cdot c_j\} dx \dots \dots \dots (2)$$

ここに、AEL (Annual Expected Loss) は年間損失期待値、 $P_h(x)$ は地震動 x の年間当たりの発生確率である。一般的に式(2)の $P_f(c_j|x) \cdot c_j$ を脆弱性 (Fragility)、 $P_h(x)$ をハザード (Hazard) と呼んでいる。

被害形態の発生確率 $P_f(c_j|x)$ は、信頼性理論に基づく地震損傷度曲線 (Seismic Fragility Curve)^{2),3)} によって求めることができる。 $P_h(x)$ は、例えば Cornell⁴⁾ の方法や宇賀田⁵⁾ の方法によって評価できる。さて、式(1)によって求められたリスク $L(x)$ を縦軸に、横軸に地震動 x を採ると、地震損失曲線 (Seismic Loss Curve) を求めることができ、これを図-1 (a) に概念的に示す。図-1 (b) は地震ハザード曲線である。図-1 (c) は、損失額の年間超過確率を求める一価関数で、リスクカーブ (Risk Curve) と呼ばれ、以下のように求められる。

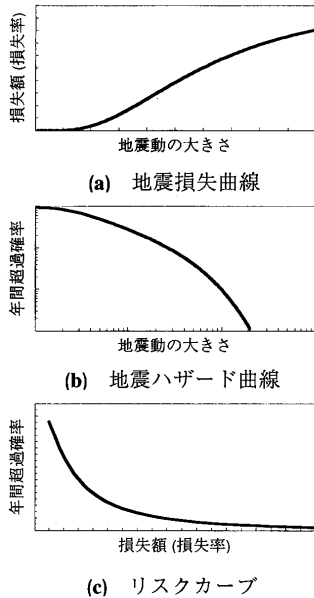
$$R_C(c) = \int_0^{\infty} P_h(x) \int_c^{c_{max}} P_f(y|x) dy dx \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 c_{max} は建物の再調達価格である。リスクカーブは、損失の発生頻度を直接評価できる点、便利な関数である。地震リスクマネジメントでは、地震損失曲線、年間損失期待値、リスクカーブなどが対策の効果を判断する指標として用いられている。

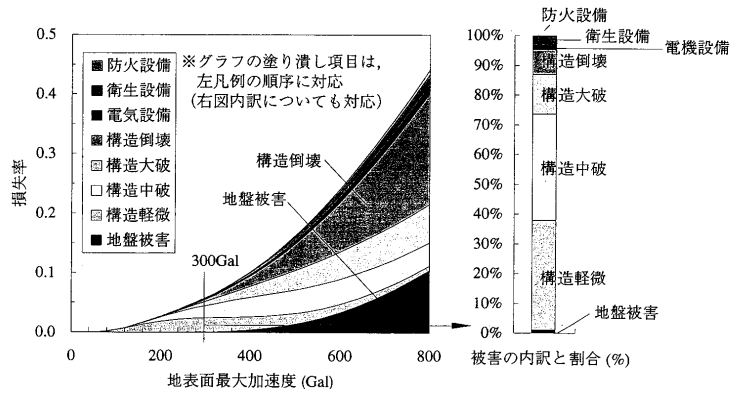
2.2 耐震対策の選び方

耐震性を向上させる具体的方策を見出すには、耐震上脆弱な設備やワークポイントを発見することが必要である。そこで、リスクの内訳を示すことができれば、ワークポイントを効率的に見出すことができ、便利である。図-2 は、物的損失を対象に、賃貸マンションの地震損失曲線の内訳を示した例である。横軸は地表面最大加速度 (PGA; Peak Ground Acceleration) で、縦軸は建物の再調達価格で基準化したものである。PGA が低い領域では、軽微被害や中破被害が支配的であるが、PGA が大きい領域では、倒壊や地盤被害の可能性が高くなる。例えば、建物周辺の地震環境から、東海地震の発生が最も懸念され、その場合の地震動はおよそ300 Gal と推定された場合、300 Gal での損失期待値の内訳

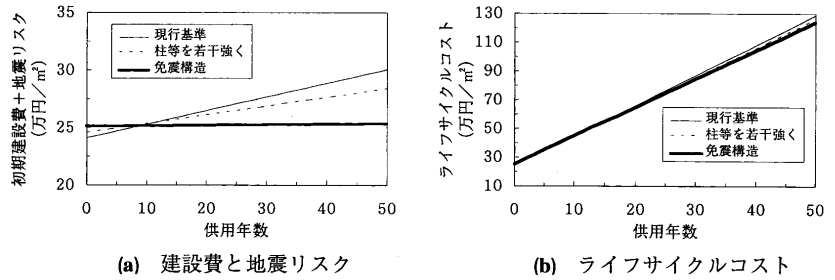
説 明



図一 地震リスクの評価と記述



図一 地震損失曲線とその内訳



図一 東京に所在する建物のライフサイクルコスト

を見れば、効果的な対策を見出すことができる。東海地震に備えるには、全体のおよそ73%を占める軽微や中破被害を軽減する対策が効果的であることが分かる。また、倒壊の割合は8.3%であるが、この確率は人命が失われる可能性を示している。耐震対策は、すべての地震動に対し万全を期す必要はなく、被害が懸念される具体的な地震を想定した上で、対策を考えることが住民の不安感を和らげる意味でも重要である。

2.3 ライフサイクルコストによる費用効率の検討

建物のライフサイクルコスト (LCC: Lifecycle Cost) は、①設計や施工に関する初期建設費であるインシヤルコスト、光熱費や修繕・更新に伴う維持管理費用等ランニングコストに加え、②期せずして発生する設備危機の故障や自然災害による損失などから構成され、建物の使用期間を通じて掛かる総費用に相当する。建物の所有者は、総費用が少ない程経済的であると判断でき、効率的な工法や耐震対策あるいは補強や補修等の意志決定に利用することができる。①は出費がほぼ確実な必然的な費用であるのに対し、②は確率的な事象いわゆる蓋然事象による出費であるため、地震リスクマネジメントの方法が必要となる。LCCの評価では、確実な出費に蓋然的な損失を取り込む都合上、単位時間当たりの予想損失額、いわゆる年間損失期待値を利用する。地震リスクを考慮したLCCの一例を図一3(a)に示す。東京に所在し、鉄筋コンクリート造8階の一般的な事務所ビルで、インシヤルコストと地震リスクのみを比較したものである。損失は物的損失に加え営業損失を考慮している。構造種別としては、現行基準に則った場合、柱等を若干強くした場合、免震建物の場合の3ケースである。縦軸はm²当たりのコストである。図一3(b)は、更に建物のランニングコストを加えたものである。図一3(a)よ

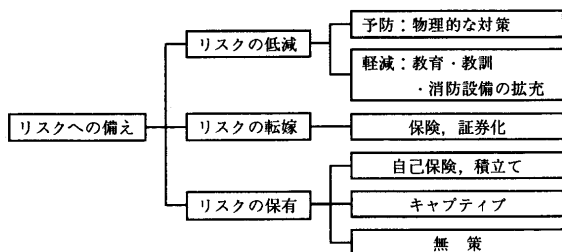
り、供用期間8年程度で現行基準の建物は、若干強化した建物と逆転し、9年程度で免震建物とも逆転する。また、供用期間を50年とした場合、現行基準の建物のコストは大きく、不利であることがわかる。一方、建物のランニングコストを考慮した図一3(b)からは、供用期間にわたって掛かる総費用という視点から見ると、地震リスクの影響は比較的小さいことが分かる。ただし、地震リスク評価において、人命や企業イメージ、市場の喪失などを考慮すると、様相は大きく異なることに注意が必要である。費用効率の高い対策を選定するには、耐震補強を実施した場合のLCCを評価し、供用期間内でコストが最も低くなる対策を見出せばよい。LCCは、地震対策の効果を記述する効果的な方法である。

3. 様々な対策の組み合わせを考える

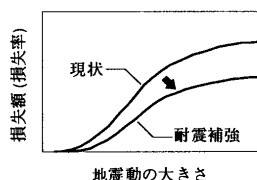
地震対策を大別すると、リスクの低減、リスクの転嫁、リスクの保有の3種に分けることができる(図一4参照)。リスクの低減は、補強や免震など構造物の強度に代表される物理的な対策、教育や訓練などから構成され、もっぱら被害の可能性を減らす対策である。リスクの転嫁は、被害の発生は容認するものの、生ずる損失を保険会社あるいは証券化等によって第三者に肩代わりしてもらうもので、事実上損失は回避できる。リスクの保有は、被害を見越して自己資金をプールしておく方で、社内積立やキャプティブ(Captive)保険^{注1)}などがある。

様々な対策はあるものの、被害の発生原因である地震動、すなわちハザードを減らすことはできない。このため、被害の発生確率と損失を減らすことが地震対策の主

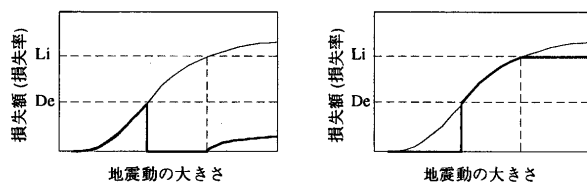
注1) Captive は、保険会社以外の企業が持つ保険子会社を意味し、一般の保険市場では安定的なカバーが得られなかったり、保険としての引き受けが困難なリスクを主な対象としている。



図—4 地震への備え



図—5 耐震補強による地震損失曲線の変化



(a) 被保険者

(b) 保険会社

図—6 保険による地震損失曲線の変化

体となる。すなわち、地震対策は地震損失曲線を安全側にシフトすることが目標となる。最初に物理的な対策であるリスクの低減対策を考えてみる。図—5は、耐震補強などの物理的な対策によって改善された地震損失曲線の概念図である。補強によって被害の発生確率が下がった分、地震損失曲線は図のように安全側に移動することになる。必然的に年間損失期待値も下げることができる。次に、保険によるリスク転嫁を考えてみる。保険には免責 (De; deductible) と支払い限度額 (Li; limit) があり、すべてをカバーしてくれるわけではない。De 以下は被保険者が負担し、Li 以上の損失は、Li を差し引いた損失を負担しなければならない。保険加入による地震損失曲線の変化を被保険者と保険会社のそれを分けて図—6に示す。保険会社は De から Li までの範囲と、Li 以上は上限までカバーすることになるが、一方の被保険者の地震損失曲線は、De から Li までが抜け落ちた不連続な関数となる。保険の範囲にもよるが、被保険者の年間損失期待値は、かなり下げることができる。保険料を LCC の中で捉えれば、保険料はランニングコストに取り込まれるものの、その分蓋然事象による損失が軽減することになる。すなわち、蓋然事象による損失を必然

的な支出に置き換えたことになる。

一方、保険料は、年間損失期待値に相当する純保険料と諸経費から成る付加保険料から構成される。耐震補強等の物理的な対策を実施することで、純保険料を下げるができる。すなわち、地震リスクマネジメントの枠組みの中で、保険と補強対策といった異質な対策を組み合わせたリスク軽減効果を評価することができるわけである。一方、物理的な対策は、一時期の支出であるのに対し、積立や保険は毎年の支出である。支出形態が異なる対策費を一元的に扱うには、前記した LCC によって比較することが必要となる。ところが、物理的な対策以外を含めた LCC 評価手法は必ずしも整備されておらず、今後の研究に待つところが大きい。

4. まとめ

地震リスクマネジメントの概説と共に、耐震補強と保険という異質な対策と効果について示した。また、対策の費用効率を検討する上では LCC 評価が必要であることを示した。一方、地震対策は、リスクの軽減といった実質的效果に加え、安心という無形の価値を与えてくれる。このため、費用効率だけを捉えて、対策を決定することは必ずしも正しいとは言えない。また、安全に絶対を求める人もいれば、災害に無関心な人もいる。耐震補強を好む人もいれば、保険を好む人もいる。このような個人の生活慣習や嗜好も対策の在り方に少なからず影響を与える。これからの地震リスクマネジメントは、地震リスク評価の技術的高度化も必要であるが、災害に対する人々の情動的反応や個人の主観的な判断を柔軟に取り入れることも積極的に考えていく必要がある。

参考文献

- 1) 中村孝明・水谷 守：地震リスクマネジメントにおけるイベントツリー解析, JCOSSAR'95, pp. 75~80, 1995.
- 2) Shinozuka, M.: Statistical Analysis of Fragility Curves, Proc. of Asian-Pacific Symp. on Structural and its Applications, pp. 1~18, 1999.
- 3) Freudenthal, A. M., J. M., Garreit, and M., Shinozuka: The Analysis of Structural Safty, J. of Struct. Div., ASCE, Vol. 92, No. ST1, pp. 267~325, 1966.
- 4) Cornell, C. A.: Engineering Seismic Risk Analysis, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 58, No. 5, pp. 1583~1606, 1968.
- 5) 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, 第541号, pp. 95~104, 2001.

(原稿受理 2001.4.20)