

地域の集積度を考慮した想定地震の選定方法

石川 裕¹・奥村俊彦²

¹ 正会員 博 (工) 清水建設 技術研究所 主任研究員 (〒135-8530 江東区越中島 3-4-17)

² 正会員 工修 清水建設 和泉研究室 主任研究員 (〒100-0011 千代田区内幸町 2-2-2 富国生命ビル)

著者らは従来より、確率論的地震ハザード評価と想定地震を結びつける手法として確率論的想定地震の概念を提唱してきたが、想定地震選定のための規範は単一地点でのハザード情報であった。本論文ではそれを地域という拡がりを対象とした場合の想定地震の選定法に拡張するため、地域の集積地震リスク情報に基づく確率論的想定地震の概念 (リスク適合想定地震) を新たに構築した。この概念は地域防災計画や複数施設の地震被害シナリオ評価のための想定地震の選定などにおいて、今後きわめて有用な手法となると考えられる。

Key Words: *hazard-consistent scenario earthquakes, risk-consistent scenario earthquakes, portfolio seismic risk, regional earthquake disaster mitigation*

1. はじめに

構造物の耐震設計や地域の地震被害想定などにおける地震外力の評価では、地震発生条件の捉え方により、確率論的地震ハザード評価と想定地震 (シナリオ地震) の2つの考え方が用いられてきた。両者は優劣を論じるものではなく、目的に応じて使い分けことが肝要であるが、その前提として互いの関係について明確にしておくことが不可欠である。

こうした観点から、著者らは従来より、確率論的地震ハザード評価と想定地震を結びつける手法として確率論的想定地震の概念¹⁾を提唱してきた。確率論的想定地震とは、対象とするハザードレベルに対応するような強さの地震動を起こし得る可能性が高い地震活動域を想定地震として選定しようとするものである。その際、そのような地震動をもたらし得るような地震の相対的な出現可能性を表わす指標として各地震活動域の「貢献度」を定義しており、貢献度が想定地震選定のための尺度として用いられる。

多くの有用な特徴を有する確率論的想定地震であるが、従来の考え方においては、想定地震選定のための規範は基本的に単一地点でのハザードレベルであった。したがって、地域を対象とした地震被害想定や地域的に分散している複数の施設群を対象とし

た地震被害シナリオの評価などにおける想定地震の選定への適用性が問題点として残されていた。

本論文では確率論的想定地震の概念を地域という拡がりを対象とした場合の想定地震評価の問題に適用するため、上記の考え方をハザード情報のみでなく種々の被害を含めたリスク情報に基づく概念に拡張するとともに、地域の集積度を考慮するために対象地域での集積地震リスクレベルを想定地震選定のための規範とする新たな概念を構築した。以下、その考え方と適用例について示すが、以後確率論的想定地震の概念を、従来のハザードレベルに基づくものを「ハザード適合想定地震」、ここで新たに提案するリスクレベルに基づくものを「リスク適合想定地震」と区別して定義する。

2. 地震リスクの定義とリスク評価の考え方

(1) 地震リスクの定義と評価の考え方

ここでは構造物あるいは建物の地震リスクを「地震により将来のある期間内にどの程度の損失がどの程度の確率で生じるのか」という観点で定義する。リスクの高低は損失と超過確率の関係を表わすリスクカーブで表現される。

著者らは最新の活断層調査の結果を反映したハザード評価モデルや、兵庫県南部地震の被害事例分析を踏まえた建物の脆弱性評価モデルなど、わが国の地震環境や建物特性に即した地震リスクの評価手法を提案している²⁾³⁾。リスクの評価の手順は大きく、当該地点での地震動強さの発生確率の評価（ハザード評価）と、ある地震動強さに対する当該建物の被害の発生確率の評価（脆弱性評価）ならびに被害の損失コストへの換算（ロス評価）、に分けられ、これらを確率論的に統合することでリスクカーブが得られる。

(2) 集積地震リスクの評価の考え方

複数建物の損失を合算した地震リスクをここでは「集積地震リスク」と呼ぶ。集積地震リスクは地域分散の効果などの理由により、損失を当該建物の再調達価格に対する比率で規準化したリスクカーブで見ると、個々の建物単独のリスクより低くなる場合が生じるのが特徴である。集積地震リスクも上述のリスクカーブと同じ手順で評価できるが、ここでは評価の際に地震動強さの地域的なばらつきについては完全相関を仮定している。手法の詳細や集積地震リスクの基本性状については文献3)を参照されたい。

3. リスク適合想定地震の選定方法

(1) 想定地震選定の流れ

リスク適合想定地震の選定の流れは、基本的にハザード適合想定地震¹⁾のそれと同様であり、次のようになる。

- ①対象建物あるいは複数建物の損失を集積したリスクカーブの評価
- ②対象とするリスクレベルにおける各地震活動域の貢献度の算定
- ③貢献度による重要地震活動域の選定
- ④選定された地震活動域における想定地震の諸元の設定

このうち、④の想定地震の諸元に関しては著者らの提案によるハザード適合マグニチュード・距離の考え方⁴⁾と同様に、リスクレベルに対応した形でマグニチュードと距離の条件付期待値を導出することも可能である。しかしながら、昨今では特に活断層や海溝型地震をはじめとして、種々の地震の震源の具体像に対する理解が進展していることから、こうした知見を参考に、マグニチュードや距離以外のパラメータも含めて個別に諸元を設定するのが現実的である。以下では、上記の手順中の②と③に関わる

貢献度の定式化について示す。

(2) リスク適合想定地震の貢献度

現時点より t 年間に対象建物の損失 L が少なくとも1度以上 l を上回る確率を $P(L \geq l; t) = p_l$ としたとき、当該リスクレベルに対する地震活動域 k の貢献度 $c_k(p_l; t)$ は、 l を上回るような損失をもたらす地震が地震活動域 k で発生したものであるという条件付確率で定義され、次式ようになる。

$$c_k(p_l; t) = \frac{P_k(L \geq l; t)}{\sum_k P_k(L \geq l; t)} \quad (1)$$

なお、 $P_k(L \geq l; t)$ は地震活動域 k の地震で t 年間に損失 L が少なくとも1度以上 l を上回る確率である。

一方、複数建物の集積リスクを対象とする場合の貢献度は、式(1)における損失 L を複数建物に対して合算することにより得られる。

4. ハザード適合想定地震とリスク適合想定地震の貢献度の比較

(1) 評価の前提

本論文のケーススタディでは、リスクを評価する対象として住宅を取り上げる。住宅は各地域にくまなく分布しており、その損失の大小は地域のリスクを表わす代用特性の一つとなると考えられる。

対象とする期間は西暦2001年より50年間とし、地震動強さの指標は地表における最大速度を用いる。また、地域としては中部地方を対象とする。

なお、ランダム地震域の貢献度については、ユーラシアプレート内(EU)、太平洋プレート上面付近(PA)、フィリピン海プレート上面付近(PH)の各面ごとに合算して評価する。また、住宅の損失は再調達価格に対する比率(%)で表わす。

(2) 地震ハザードモデル

地震ハザードのモデルは著者らがすでに提案しているもの⁵⁾を用いた。このモデルは最新の活断層調査の結果を反映したものである。また、最大速度を推定する距離減衰式は安中・山崎・片平による式⁶⁾を用い、式のばらつきは対数標準偏差が0.5の対数正規分布でモデル化した。また、表層地盤による増幅率はいずれの地点においても一律1.6と仮定した。

(3) 住宅のロス関数

住宅のロス関数は、兵庫県南部地震の際の建物の被害関数に関する研究(例えば文献7))と、全壊、

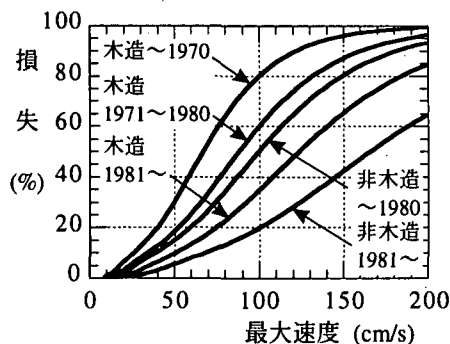


図-1 住宅のロス関数

全半壊の際の損失額等を勘案して、図-1のように設定した。その際、耐震性の高低を考慮するために、
i) 木造：～1970年，ii) 木造：1971～1980年，iii) 木造：1981年～，iv) 非木造：～1980年，v) 非木造：1981年～，の5つのカテゴリーに分類した。

(4) 評価結果

ここでは岐阜における前記カテゴリー iii) (木造：1981年～) の住宅を対象として、ハザード適合想定地震とリスク適合想定地震の貢献度を比較した。ロス関数のばらつきを考慮しない場合には、当然のことながら同じ確率レベルで見た場合の両者の貢献度は同一となる。よってここでは、ロス関数の標準偏差 σ (%) が中央値 λ (%) に対して $\sigma = \lambda \times (2 - \log \lambda)$ となる正規分布 (ただし損失が0%～100%で裾切り) でばらつきを考慮した。

図-2にハザード適合想定地震ならびにリスク適合想定地震の貢献度を示す。いずれの図も縦軸は西暦2001年より50年間の超過確率である。図より、岐阜では際立って大きな貢献度を有する地震活動域はなく、広い確率レベルにわたって多数の地震活動域が複雑に影響していることがわかる。

図-2の結果より、ロス関数にばらつきを与えた場合でも、同じ確率レベルで見ると、リスク適合想定

地震の貢献度とハザード適合想定地震の貢献度の値は大きくは変わらない。すなわち、単一の地点を対象とする場合には、対象とする構造物の被害との相関がよい地震動強さ指標を選べば、ハザード適合想定地震とリスク適合想定地震の貢献度は基本的には等価であると言える。

5. 複数地点の集積度を考慮したリスク適合想定地震のケーススタディ

(1) 評価条件

以下のケーススタディでは、中部地方の県単位でリスクを評価し、複数の県の損失を集積した場合のリスク適合想定地震の貢献度について考察する。ここでは、県庁所在地の位置に当該県での上述のカテゴリーごとの住宅棟数⁸⁾を割り当てることで集積の度合いを考慮することとした。表-1に各県の住宅棟数(総数のみ)を示す。なお、以下の評価においてはロス関数のばらつきは考慮しない。

(2) 山梨と長野の場合

図-3(a)に山梨・長野の両県を対象とした場合のリスク適合想定地震の貢献度を示す。両県を対象とした場合に影響が大きい地震は、糸静線、東海・南海地震、富士川河口断層帯、ユーラシアプレート内のランダム地震域での地震である。50年超過確率で数10%程度の確率レベルではこれらの地震の貢献度が拮抗しているが、それより小さな確率レベルになると、糸静線の貢献度が際立って大きくなる。これは、各地震の発生頻度と規模や両県との位置関係に依存するものであるが、加えて表-1に示した住宅棟数(集積度)が長野の方が山梨より多いことも要因の一つと思われる。そこで、架空の計算として、両県の住宅棟数を逆にした場合の評価を行ってみた。

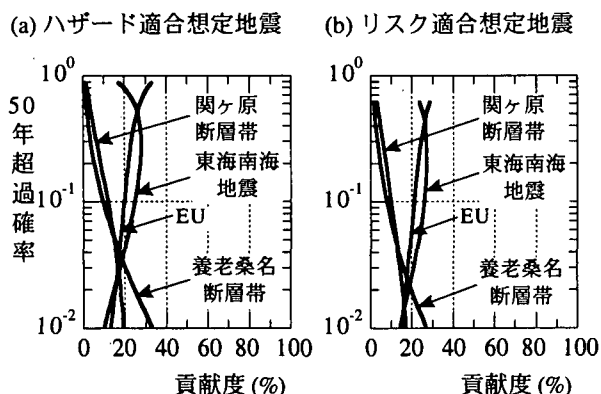


図-2 岐阜における貢献度の比較

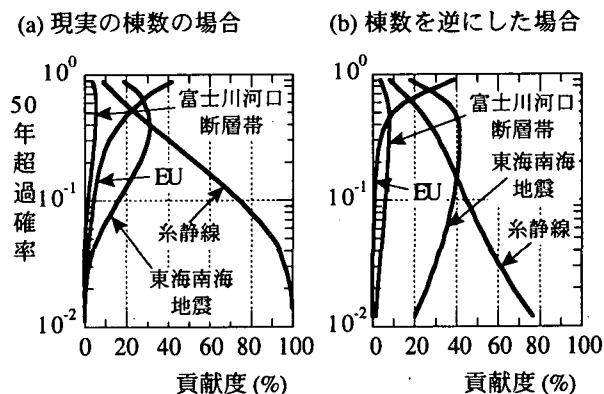


図-3 山梨・長野のリスク適合想定地震の貢献度

表-1 各県の住宅の総数

県	棟数	県	棟数
富山	337,400	長野	713,900
石川	389,700	岐阜	649,000
福井	244,300	静岡	1,206,600
山梨	297,700	愛知	2,342,000

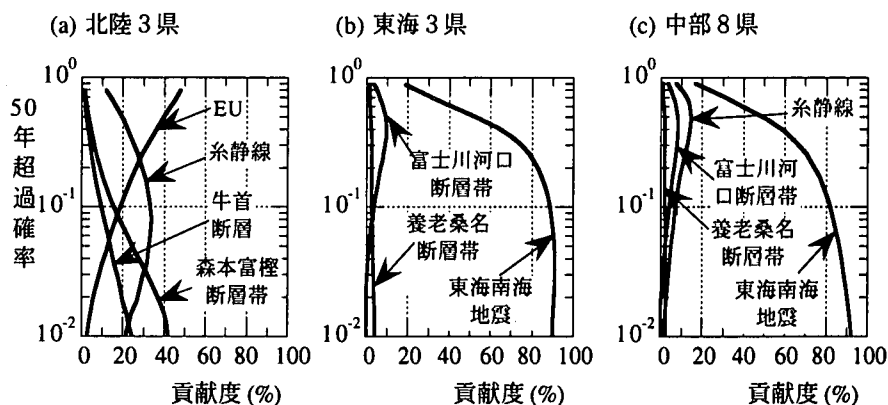


図-4 中部地方のリスク適合想定地震の貢献度

結果を図-3 (b) に示す。同図(a)と比べると、糸静線の貢献度は相対的に小さくなり、逆に東海・南海地震や富士川河口断層帯の貢献度は大きくなっている。すなわち、これらの結果より、同じ地域を対象とする場合でも、地域的な集積の程度が異なれば想定すべき地震のシナリオを変える必要があることが理解できるとともに、本論文で提案したリスク適合想定地震の概念を用いることによって、留意すべき地震の貢献度が集積度やリスクレベルに応じて定量的に評価できることがわかる。

(3) 中部地方における想定地震の考察

北陸3県（富山、石川、福井）、東海3県（岐阜、静岡、愛知）、および中部8県を対象とした場合のリスク適合想定地震の貢献度を図-4に示す。北陸3県を対象とした場合には、際立って大きな貢献度を有する地震はなく、いくつかの活断層ならびにユーラシアプレート内のランダム地震域での地震による貢献度がリスクレベルによって複雑に大小関係を呈している。これに対して東海3県を対象とした場合には東海・南海地震の貢献度が突出して大きい。

図-4(c) は中部地方8県を対象とした場合の結果であるが、表-1より明らかのように、住宅棟数（集積度）が愛知と静岡が相対的に多いことの影響が相まって、東海・南海地震の貢献度が際立って大きく、山梨・長野や北陸3県を対象とした場合にある程度支配的であった糸静線の貢献度はそれほど大きなものとはならない。

6. むすび

本論文では確率論的想定地震の考え方を地域の拡がりや考慮した想定地震の選定方法に拡張するため、リスク適合想定地震の概念について新たに提案した。

同じ地域を対象とする場合でも、地域的な集積度が異なれば想定すべき地震のシナリオを変える必要があることを指摘するとともに、ここで提案した方法によれば、留意すべき地震の貢献度をその集積度やリスクレベルに応じて定量的に評価し得ることを示した。この概念は地域防災計画や複数施設の地震被害シナリオ評価のための想定地震の選定などにおいて、今後きわめて有用な手法となると考えられる。

参考文献

- 1) 亀田弘行・石川 裕・奥村俊彦・中島正人：確率論的想定地震の概念と応用，土木学会論文集，第577号 / I-41, pp.75-87, 1997.
- 2) 石川 裕・武田正紀・奥村俊彦・林 康裕・掛川秀史：建物の地震リスクの評価方法，日本建築学会技術報告集，第11号，pp.275-278, 2000.12.
- 3) 石川 裕・奥村俊彦・武田正紀：複数建物の集積地震リスク評価，JCOSAR2000論文集，34-B, pp.205- 208, 2000.11.
- 4) 亀田弘行・石川 裕：ハザード適合マグニチュード・震央距離による地震危険度解析の拡張，土木学会論文集，第392号 / I-9, pp.395-402, 1988.
- 5) 損害保険料率算定会：活断層と歴史地震とを考慮した地震危険度評価の研究～地震ハザードマップの提案～，地震保険調査研究47, 2000.6.
- 6) 安中 正・山崎文雄・片平冬樹：気象庁87型強震計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回土木学会地震工学研究発表会講演論文集，pp. 161-164, 1997.
- 7) Miyakoshi, J., Hayashi, Y., Tamura, K. and Fukuwa, N. : Damage Ratio Functions of Buildings Using Damage Data of the 1995 Hyogo-Ken Nanmu Earthquake, Proceedings of the 7th International Conference on Structural Safety and Reliability (ICOSSAR'97), pp.349-354, 1997.
- 8) 総務庁統計局：平成10年住宅・土地統計調査報告一第5巻都道府県編一，2000.