

計測震度を指標とした地震危険度解析

石川 裕¹・奥村俊彦²

¹正会員 工修 清水建設株式会社 技術研究所 主任研究員 (〒135 東京都江東区越中島3-4-17)

²正会員 工修 清水建設株式会社 和泉研究室 (〒100 東京都千代田区内幸町2-2-2 富国生命ビル27F)

従来の確率論的地震危険度解析では地震動指標として最大加速度や最大速度が用いられるケースが多かったが、当該地域地震被害との関連で地震危険度を理解するには計測震度を地震動指標として用いることも有用である。そこで、本報では計測震度を指標とした地震危険度解析を行い、ある期間での最大震度の発生確率と震度階級ごとの地震活動域の貢献度により地震危険度解析結果を表現する方法について論じた。神戸をはじめとする複数の地点を対象とした地震危険度解析例を示すことにより、こうした方法の有用性について考察した。

Key Words : *probabilistic seismic hazard analysis, instrumental JMA intensity, contribution factors, active fault data*

1. はじめに

兵庫県南部地震を契機に気象庁震度階の見直しが行われ、震度(計測震度)が揺れの強さを表す定量的な指標という位置づけが明確となった。従来の確率論的地震危険度解析においては、地震動指標として最大加速度や最大速度が用いられるケースが多かったが、当該地域における構造物や施設の被害と関連づけて地震危険度を理解するには、計測震度を地震動指標として用いることも有用である。特に、地震防災技術の普及という観点から地震危険度を表現する場合には、広く馴染みのある震度を指標とする意義は大きい。また、確率論手法を用いた構造物や施設の地震リスク評価において、被害の条件付発生確率(いわゆるフラジリティ曲線)が震度階級ごとに評価されるような場合には、地震危険度解析の結果も震度階級ごとに表現しておく必要がある。

そこで、本報では計測震度を指標とした地震危険度解析を行い、ある期間での最大震度の発生確率と震度階級ごとの地震活動域の貢献度によって、当該地域の地震危険度を個々の地震活動域の影響程度まで含めた形で表現する方法について論じた。神戸をはじめとする複数の地点におけるケーススタディを通じて、計測震度による地震危険度解析の有用性について検討した。

2. 計測震度の距離減衰式

計測震度は定義が発表されてから間もないこともあり、その距離減衰式を直接評価した研究例は見当たらない。そこで、ここでは山崎らの研究¹⁾²⁾に基づき、i) SI 値の距離減衰式(式(1))と、ii) SI 値と計測震度の関係式(式(2))、を組み合わせることにより、暫定的に計測震度の距離減衰式を作成した。

$$\log SI = -1.64 + 0.614M - 0.00133R - \log R + 0.00233h \quad (1)$$

$$I = 2.43 + 1.96 \log SI \quad (2)$$

ここで、 I : 計測震度、 SI : SI (Spectral Intensity) 値、 M : マグニチュード、 R : 断層との最短距離(km)、 h : 震源深さ(km)である。図-1に計測震度の距離減衰特性を示す。

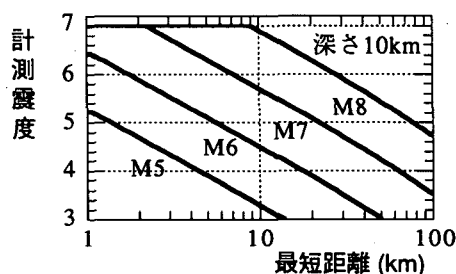


図-1 計測震度の距離減衰特性

なお、後述する地震危険度解析においては、(1)、(2)式により算定される計測震度が1.0を下回る場合には1.0、7.0を上回る場合には7.0と評価している。また、式に含まれるばらつきは標準偏差 σ を0.5とし¹⁾²⁾、 $\pm 2\sigma$ で裾切りした正規分布でモデル化した。

3. 計測震度を指標とした地震危険度解析

(1) ハザード曲線と最大震度の確率分布

計測震度を地震動指標とした場合でも、地震危険度解析の定式化は最大加速度や最大速度を指標とした場合と全く同じである。ポアソン型モデルによる地震危険度解析の場合、サイトにおいて、 t 年間に計測震度 I がある値 i を上回る確率は次式のようになる。

$$P(i, t) = 1 - \exp \left\{ -t \cdot \sum_k w_k(I \geq i) \right\} \quad (3)$$

ここで、 $w_k(I \geq i)$ は地震活動域 k の地震によりサイトで1年間に I が i を上回る事象の発生頻度で、 k における地震の発生頻度、地震のマグニチュードと距離の確率分布、計測震度の距離減衰式を用いて算定することができる。

一方、式(3)を用いれば、 t 年間の最大震度の確率分布を求めることができる。すなわち、 t 年間の最大震度が震度階級 I_m^* ($i_{mu} > I \geq i_{ml}$) となる確率は次のようになる。

$$\tilde{P}(I_m^*, t) = P(i_{ml}, t) - P(i_{mu}, t) \quad (4)$$

(2) 震度階級ごとの地震活動域の貢献度

著者ら³⁾は「確率論的想定地震」の概念を提案しており、そこでは設定された想定地震の相対的な出現可能性を定量的に評価するための指標として地震活動域の「貢献度」を定義している。貢献度は地震危険度解析の結果の理解を深める上でも有用であり、当該震度を上回る地震動強さをもたらし得るような地震、あるいは当該震度階をもたらし得るような地震の特徴を定量的に把握することが可能となる。

ポアソン型モデルによる地震危険度解析の場合、サイトにおいて、計測震度 I がある値 i を上回るという条件下での地震活動域 k の貢献度は先に示した $w_k(I \geq i)$ を用いて次式のようになる。

$$c_k(i) = \frac{w_k(I \geq i)}{\sum_k w_k(I \geq i)} \quad (5)$$

一方、サイトにおいて震度階級が I_m^* ($i_{mu} > I \geq i_{ml}$) となる条件下での地震活動域 k の貢献度は次式のようになる。

$$\bar{c}_k(I_m^*) = \frac{w_k(i_{mu} > I \geq i_{ml})}{\sum_k w_k(i_{mu} > I \geq i_{ml})} \quad (6)$$

ここで、 $w_k(i_{mu} > I \geq i_{ml})$ は地震活動域 k の地震によりサイトで震度階級が I_m^* ($i_{mu} > I \geq i_{ml}$) となる事象の発生頻度である。

こうした考え方はポアソン型モデルによる地震危険度解析のみならず、地震発生の非定常性を考慮する場合⁴⁾にも容易に拡張できる。

4. ケーススタディ

4.1 最大加速度を指標とした場合との比較

(1) 解析条件

まず、神戸における解析結果を示し、最大加速度を指標とした場合の結果と比較してみる。解析手法および条件の概要は文献3)で用いたものを基本的に踏襲したが、活断層のモデルやその地震発生頻度については文献5)6)を参考に一部修正している。表一に今回の解析で用いた主な地震活動域の地震発生頻度とマグニチュードを示す。これらの値のみならず、特に有馬高槻・六甲・淡路断層帯のモデル化については、今後の調査結果などにに基づき、再検討する必要があると考えている。なお、ここではすべての地震ともポアソン過程に従うと仮定している。

表一 主な地震活動域の諸元

地震活動域	発生頻度	マグニチュード
地震域 No.9	$1.8 \times 10^{-5} *$	$b=0.95 \ m_u=7.5$
地震域 No.12	$1.3 \times 10^{-5} *$	$b=1.22 \ m_u=7.3$
南海地震	1/117年	8.0~8.4
六甲断層帯	1/2,500年	7.3
上町断層帯	1/4,700年	7.3
有馬高槻断層帯	1/2,500年	7.7
淡路島東岸断層帯	1/2,000年	7.1
淡路島西岸断層帯	1/2,000年	6.7
MTL和泉金剛断層帯	1/2,500年	7.8
MTL四国東部断層帯	1/1,200年	8.2

* 1km^2 あたりの $M \geq 5$ の地震の年発生頻度

(2) 解析結果と考察

図-2に神戸における計測震度を指標とした場合の1年間のハザード曲線 $P(i,1)$ を最大加速度を指標とした場合と比較して示す。地震発生データに基づく結果と活断層データに基づく結果が交差するレベルを見ると、最大加速度がほぼ200Galに対して計測震度はほぼ5.0の所に位置している。曲線の形状が両者で異なっているのは計測震度が最大加速度の対数に比例するような関係にあるためである。また、計測震度が6.0~7.0にかけて曲線が持ち上がるような形状を呈しているのは、この領域において六甲断層帯の影響が顕著となることによると考えられる。

図-3には主な地震活動域の貢献度を比較して示す。計測震度を指標とした場合には、全体的に地震域No.9の貢献度が小さくなるとともに、年超過確率が $10^{-1} \sim 10^{-3}$ のレベルでは南海地震の、また年超過確率がそれ以下のレベルでは六甲断層帯や有馬高槻断層帯の貢献度が大きくなることからわかる。これは計測震度が最大加速度と比べてやや長い周期の地震動

特性を表わす指標であり、マグニチュードの大きさにより強く影響されるためと考えられる。

4.2 複数地点の解析結果の比較

(1) 解析条件

次に、大阪および岡山における解析結果を示し、神戸での結果と比較する。これらの3つの地点は南海地震に対してほぼ同じ距離に位置しているが、大阪は神戸と同様に直近に上町断層帯が位置しているのに対して、岡山では特に近傍に活断層は分布していない。これら3地点に影響を及ぼす地震活動域の諸元については表-1に示したとおりである。

(2) 解析結果と考察

図-4に上記3地点における1年間のハザード曲線 $P(i,1)$ を比較して示す。また、図-5には3地点において50年間の最大震度が震度階級 I_m^* ($i_{mu} > I \geq i_{mi}$) となる確率 $\bar{P}(I_m^*, 50)$ を比較して示す。

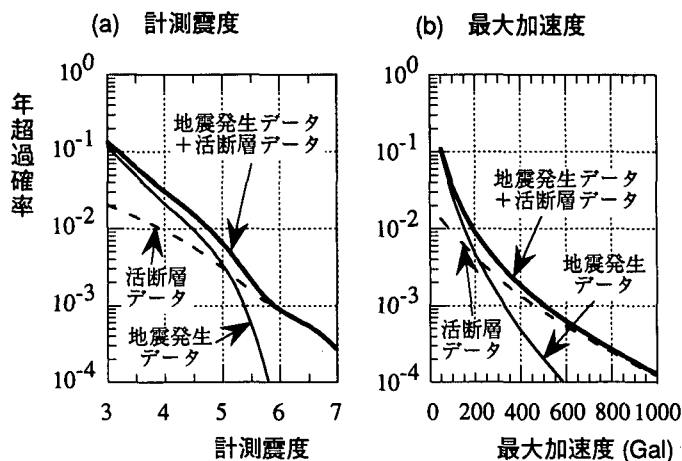


図-2 神戸におけるハザード曲線

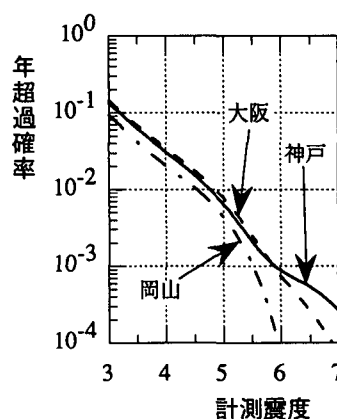


図-4 3地点におけるハザード曲線

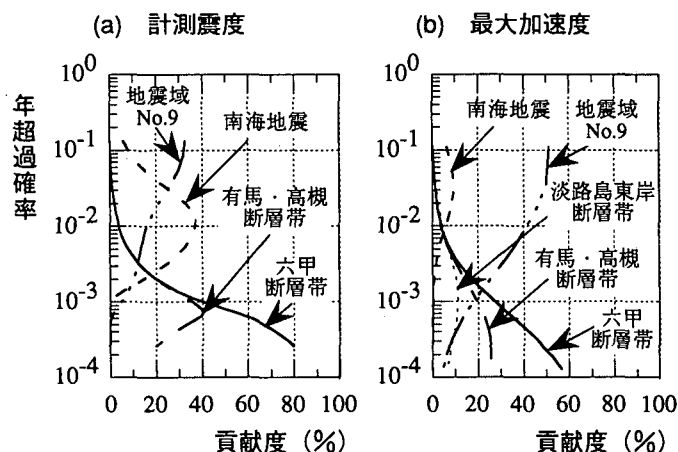


図-3 神戸における各地震活動域の貢献度

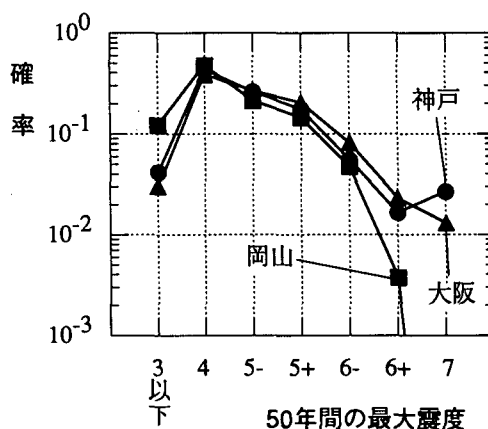


図-5 3地点における50年間の最大震度の確率

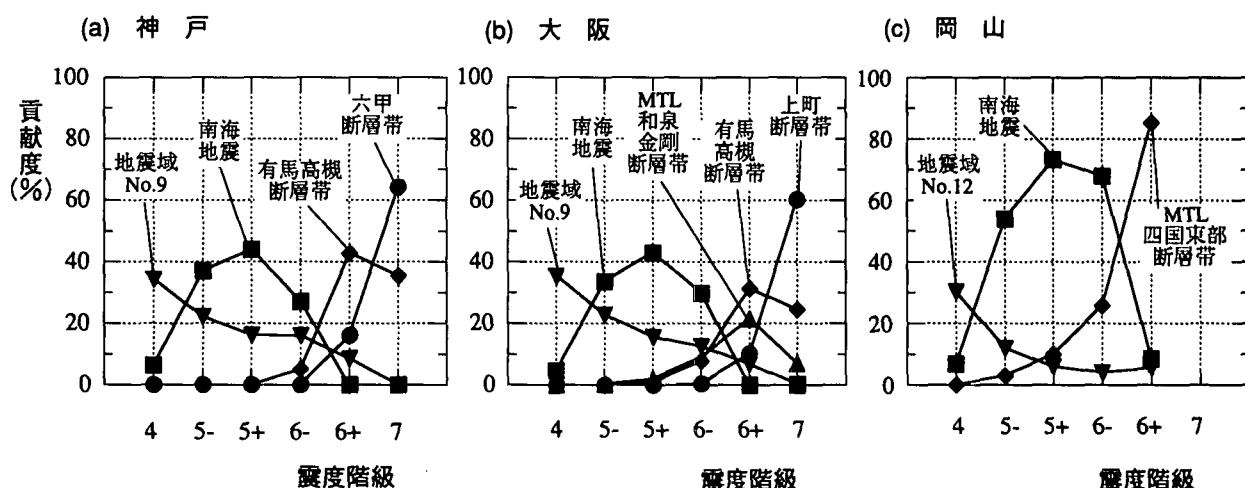


図-6 3地点における震度階級ごとの各地震活動域の貢献度

図-4より、大阪においては計測震度が6.0以下のレベルでは神戸とほぼ同程度の年超過確率を示す。

また、計測震度がそれ以上のレベルで神戸の方が年超過確率が大きくなるのは六甲断層帯と上町断層帯の発生頻度の差が現れたものと理解できる。こうした影響は神戸と大阪での最大震度が7となる確率の差にも現れている(図-5)。一方、岡山は神戸や大阪に比べると地震危険度は低く、なかでも計測震度が5.5以上のレベルでその差はより顕著となる(図-4)。50年間の最大震度を見てもこの傾向は同様であり、震度6+以上の発生確率が神戸や大阪に比べて非常に小さいのが特徴的である(図-5)。

図-6には震度階が I_m^* ($i_{mu} > I \geq i_{mi}$)となる条件下での地震活動域 k の貢献度 $\bar{c}_k(I_m^*)$ について3地点での結果を示す。神戸においては震度6以下では複数の地震活動域が影響を及ぼすのに対して、震度が6+や7となると六甲断層帯と有馬高槻断層帯の両者の貢献度が支配的となる。大阪では震度が7になると上町断層帯の貢献度が顕著となるが、震度6+以下では複数の地震活動域の影響が複雑に変化している。神戸や大阪においては南海地震の貢献度が大きくなるのは震度5~6のレベルである。一方、岡山においては、震度5以上のレベルでは貢献度が大きくなる地震活動域が南海地震と中央構造線四国東部断層帯の2つにある程度限定され、震度6~6+のレベルにおいてその大小関係が逆転している。

以上まとめてみると、最大震度の確率分布のみならず、地震活動域の貢献度の特徴からも神戸と大阪は非常に似かよった地震危険度の特性を有していると言えることができる。これに対して岡山の地震危険度の特性は神戸や大阪とは多少異なったものであると評価できる。

5. おわりに

本報告では計測震度を指標とした地震危険度解析について論じ、ある期間における最大震度の発生確率とともに震度階級ごとの地震活動域の貢献度という指標を用いることによって、地点ごとに異なる地震危険度の特徴を系統的に評価できることを示した。ここで用いた計測震度の距離減衰式は暫定的なものであることに加えて、活断層のモデル化等についても今後改良していく必要があるが、震度は専門家以外の人にとっても馴染みやすい指標であることから、地震危険度解析結果の表現方法の一つとして計測震度による方法が今後広く用いられていくものと期待される。

謝辞：計測震度の距離減衰式に関して、東京大学生産技術研究所・山崎文雄先生から貴重な資料を提供していただくとともに、多くの有用な意見をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 山崎文雄先生よりの私信。
- 2) 童 華南・山崎文雄：地震動強さ指標と新しい気象庁震度との対応関係，生産研究，48巻11号，pp.31-34，1996。
- 3) 石川 裕，奥村俊彦，亀田弘行：活断層を考慮した神戸における地震危険度評価，土木学会阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集，pp.61-68，1996。
- 4) 奥村俊彦・石川 裕・亀田弘行：活断層の活動履歴に関する情報を考慮した地震危険度評価，土木学会第2回阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集，pp.49-56，1997。
- 5) 岡田篤正：中央構造線活断層系の活動区の分割試案，地質学論集，第40号，pp.15-30，1992。
- 6) 地質調査所：平成7年度活断層研究調査概要報告書，地質調査所研究資料集，No.259，1996。