

清水建設（株）技術研究所 正員 ○石川 裕
京都大学 防災研究所 正員 亀田 弘行

1. はじめに

現在一般的に行われている地震危険度解析は、基本的には単一の地震動強度パラメータを対象に、ある期間での発生確率を評価するものである。一方、地盤や構造物の地震時挙動は、最大地動のみならず地震動の周波数特性や継続時間といった他の地震動パラメータにも支配される。ところが、複数の地震動パラメータを扱う地震危険度解析において、各パラメータの同時確率を扱うことは解析的にきわめて複雑となる。そこで、本研究では強度パラメータのハザード曲線に基づく、ハザード適合マグニチュード・ハザード適合震央距離を新たに定義し、これを用いて他の地震動パラメータを評価する手法について提案する。

2. ハザード適合マグニチュード・震央距離の定式化

地盤や構造物の地震時挙動を最も強く支配するパラメータは最大地動などの強度パラメータであると考えられる。そこで、ここでは、通常地震危険度解析で強度パラメータの年超過確率（ハザード曲線）を評価した後、その強度パラメータ値から、それに寄与する地震群（ M, Δ の確率分布）を逆に規定する。このとき、与えられる年超過確率（あるいは強度パラメータ）が異なれば、それに対応する地震群は図-1に示すように変化する。このようにハザード曲線上の1点に対応して規定される地震群、すなわち M, Δ の同時確率分布を扱うことは非常に重要であるが、工学的には、複雑な確率分布を直接扱わずにその代表値を用いる方が有用な場合が多いと考えられる。そこで、本研究では、ハザード曲線に対応する地震群より求まる M, Δ の条件付期待値を「ハザード適合マグニチュード」「ハザード適合震央距離」と定義する。

このとき、ハザード曲線において年超過確率 p_0 に対応する強度パラメータを $y(p_0)$ とすると、サイトに $y(p_0)$ 以上の地震動が生じた場合のハザード適合マグニチュード $E(M|Y \geq y(p_0))$ およびハザード適合震央距離 $E(\Delta|Y \geq y(p_0))$ は、次式で表される。

$$E(M|Y \geq y(p_0)) = \frac{\sum_k v_k s_k \sum_i \sum_j m_i P(Y \geq y(p_0) | m_i, \delta_j) P_k(m_i) P_k(\delta_j)}{\sum_k v_k s_k \sum_i \sum_j P(Y \geq y(p_0) | m_i, \delta_j) P_k(m_i) P_k(\delta_j)} \quad \cdots (1)$$

$$E(\Delta|Y \geq y(p_0)) = \frac{\sum_k v_k s_k \sum_i \sum_j \delta_j P(Y \geq y(p_0) | m_i, \delta_j) P_k(m_i) P_k(\delta_j)}{\sum_k v_k s_k \sum_i \sum_j P(Y \geq y(p_0) | m_i, \delta_j) P_k(m_i) P_k(\delta_j)} \quad \cdots (2)$$

ここで、 v_k は地震発生域 k における単位面積あたりの年地震発生数、 s_k は面積であり、 $P_k(m_i)$ 、 $P_k(\delta_j)$ はマグニチュードおよび震央距離の確率関数である。

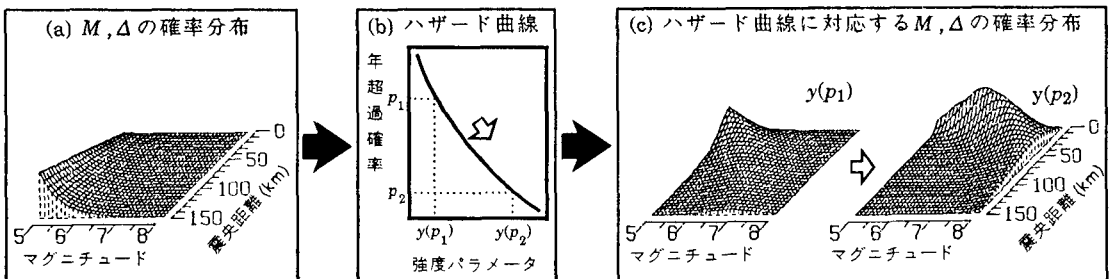


図-1 ハザード曲線に基づき規定される地震群（概念図）

3. 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

地震動の周波数特性や継続時間など、強度パラメータ Y 以外のパラメータ X が M, Δ により推定される
とき、 $Y \geq y(p_0)$ の条件下での X の期待値は、この条件下で規定した地震群に基づき、 $E(M|Y \geq y(p_0))$ 、 $E(\Delta|Y \geq y(p_0))$ を算定するのと同様の考え方で求めることができる^{1), 2)}。ところが、ここで定義したハザード適合マグニチュード・ハザード適合震央距離を用いれば、 $X(M, \Delta)$ の M, Δ の代わりにそれらを代入することにより、1次近似の形で、 X の期待値を算定することができる。すなわち、各地点において、地震危険度解析を行う場合、ハザード曲線を算定するのとともに、ハザード適合マグニチュード・ハザード適合震央距離を求めておけば、簡便な形で他の地震動パラメータを評価することが可能となる。

4. ハザード適合マグニチュード・震央距離の適用例

ハザード適合マグニチュード・ハザード適合震央距離を用いて他の地震動パラメータを評価した例として、模擬地震動作成のための地震動パラメータの評価結果を示す¹⁾。解析対象地点は大阪である。図-2は、工学的基盤における RMS 加速度 Γ のハザード曲線、図-3は、ハザード曲線に基づき算定されたハザード適合マグニチュード・震央距離である。図-2および図-3には、地表における最大加速度 A を対象とした場合の結果²⁾も合わせて示している。また、図-4は、 Γ のハザード曲線に基づき規定される地震群から直接算定した地震動パラメータ t_m, f_{p0}, β_{g0} の期待値¹⁾と、ハザード適合マグニチュード・震央距離から近似的に算定した結果とを比較したものである。継続時間を表す t_m はやや小さめの評価となっているが、周波数特性を表す f_{p0}, β_{g0} に関してはかなり良く一致しており、ハザード適合マグニチュード・震央距離を用いることの妥当性が示された。

5. おわりに

本報では、地震危険度解析を複数の地震動パラメータを扱う問題に拡張するための一手法として、ハザード適合マグニチュード・震央距離を定義し、これを用いて他の地震動パラメータを評価する手法を提案した。この考え方は、ここで示した動的解析用の模擬地震動の設定をはじめとして多くの工学の問題に適用できると考えられる。

<参考文献>

- 1) Kameda, H., Ueda, K., Nojima, N. : Proc. of 7th JEES, pp. 181-186, 1986.
- 2) 石川裕：地盤工学におけるリスク評価手法に関するシンポジウム, 1987.

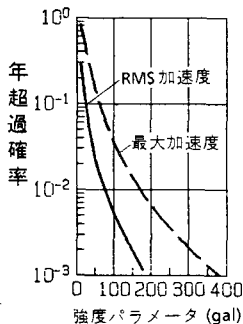


図-2 ハザード曲線

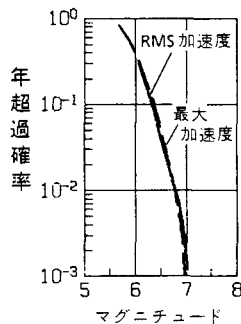


図-3 ハザード適合マグニチュード・震央距離

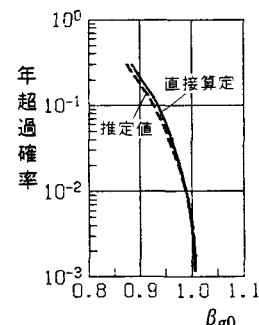
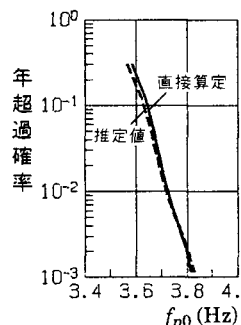
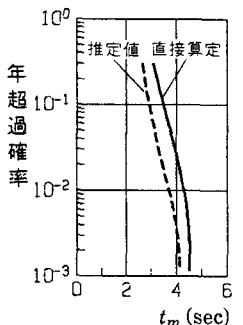
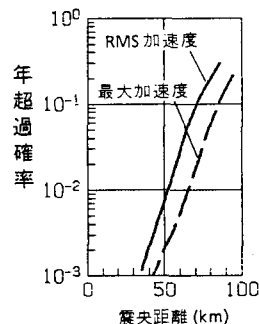


図-4 ハザード適合マグニチュード・震央距離による他の地震動パラメータの推定