

### 海外における地震ハザード評価の一例

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 正会員○畑山 諒人  
正会員 小川 能克  
正会員 三木 茂

#### 1. はじめに

2011年の東北地方太平洋沖地震や2016年の熊本地震など、昨今のわが国ではマグニチュード7クラス以上の大規模地震が頻繁に起こっている。このようなわが国における大規模地震の危険性を評価するため、全国地震動予測地図が作成され、効果的な地震防災、減災対策を進めるための基礎資料として活用されている。一方で、海外では、国連の「国際防災の十年(IDNDR)」の一環として、世界地震ハザード評価プログラム (Global Seismic Hazard Assessment Program, GSHAP) が1992年から1999年に実施され、確率論的地震動予測手法に基づく地震ハザードマップが作成されている。また、プラント施設等の設計では、個別プロジェクトに対して地震ハザード解析が求められるケースが増えている。本報では、海外プロジェクトで実施されている地震ハザード解析の手法について概説するとともに、実際にマレーシアで実施したハザード解析の結果について紹介する。

#### 2. 海外における地震ハザード評価

海外プロジェクトでは、例えば、ASCE7-10<sup>1)</sup>では、確率論的手法 (PSHA: Probabilistic Seismic Hazard Assessment) と確定論的手法 (DSHA: Deterministic Seismic Hazard Assessment) による地震ハザード評価が求められることがある。図-1には、確率論的地震ハザード評価の大まかな作業フローを示している。作業はまず、対象地点周辺の地震履歴や活断層の分布を机上調査によって確認する。次に、机上調査によって明確な断層が確認される場合には、断層モデルを設定し、地震ハザード曲線を作成したのちに、基盤最大加速度 (PGA: Peak Ground Acceleration) が算定される。断層が確認できない、あるいは不明確な場合は、断層モデルを設定せずに、距離減衰式を用いた地震ハザード評価を行う。もしくは、上の2つの方法を組み合わせた地震ハザード評価が行われる。本報では、断層モデルを設定しない場合の評価手法について解説する。この手法は、地震履歴調査などにに基づき、グーテンベルグ・リヒター式 (G-R 式)<sup>2)</sup>により、地震の発生をモデル化する手法が広く用いられている<sup>3)</sup>。地震ハザード評価は、解析モデルや地震パラメータの不確定性を前提しており、これらの不確定性の処理過程と判断基準を明確に示すために、ロジックツリー手法が用いられる。ロジックツリー手法では、判断が分かれる事象に関して分岐させ、分岐された事象にはそれぞれ可能性の度合いに応じて重み付けがされる。ロジックツリー手法は、確率論的手法だけでなく確定論的手法にも適用される。

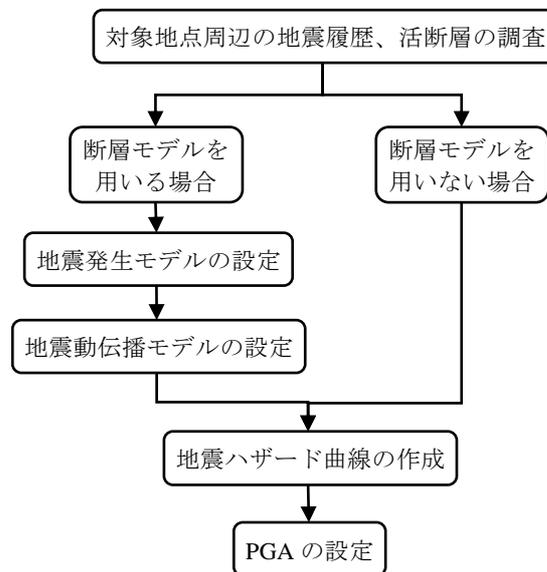


図-1 確率論的地震ハザード評価フロー

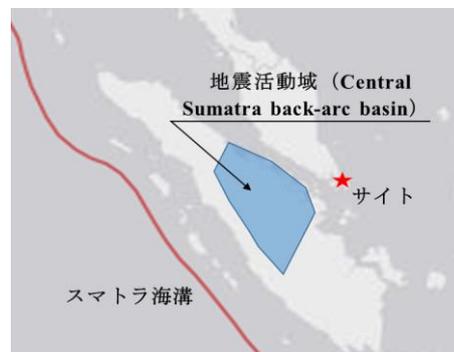


図-2 対象サイト

#### 3. マレーシア半島における地震ハザード評価の解析例

本報では、マレー半島の南に位置するプラント建設予定地を対象に、確率論的・確定論的手法による地震ハザード評価の一例として、図-2示す1つの地震活動域 (Central Sumatra back-arc basin) を対象とした地震ハザード曲線の算定方法を解説する。地震データは、この地震活動域のうち、震源深さ40km以内、 $M_w=4$ 以上で、1900年から

キーワード：地震ハザード評価、確率論的手法、確定論的手法

連絡先：60 Kallang Pudding Road, #02-00, Singapore 349320 Kiso-Jiban Consultants Co., Ltd. Singapore Branch TEL+65-6747-3233

2016年までに発生したものに限定した。取得した地震データは57個あり、最大地震規模は  $M_w=6.7$  であった。

### 3.1 確率論的地震ハザード評価

確率論的地震ハザード評価では、上述した地震活動域に対して、地震の発生モデルを式(1)に示す G-R 式によって設定する。

$$\log \lambda_m = a - bM \quad \text{式(1)}$$

ここで、 $\lambda_m$  は1年あたりのマグニチュード  $M$  を超える地震の平均発生個数である。  $a$  と  $b$  は定数である。定数  $b$  は地域性などによって違いはあるが概ね1前後となる。図-3は、地震の発生頻度と規模の関係を示す。この地震活動域の定数  $b$  は小さく、比較的、地震活動度が低い地域であると分かる。次に、特定の地震が地震動強度  $y$  を超える年発生頻度  $\lambda_y$  を式(2)から求める。

$$\lambda_y = \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^{N_R} v_i P[Y > y | m_j r_k] P[M = m_j] P[R = r_k] \quad \text{式(2)}$$

ここで、 $v_i$  は特定の地震域での年地震発生数、 $P[Y > y | m_j r_k]$  は、地震規模  $m_j$ 、震源距離  $r_k$  の地震が発生した場合に地震強さが  $y$  を超える確率であり、距離減衰式を用いて計算される。本報では、Cauzzi & Facciolo (2008)<sup>4)</sup>、Abrahamson & Silva (2008)<sup>5)</sup>、Campbell & Bozorgina (2008)<sup>6)</sup>及び、Chiou & Yougs (2008)<sup>7)</sup>の4つ距離減衰式を採用した。それぞれの式の重みは等しく0.25とした。 $P[M=m_j]$ と $P[R=r_k]$ はそれぞれ地震規模と震源距離の確率であり、図-4、5のようにヒストグラムで表すことができる。式(2)から計算された地震ハザード曲線を図-6に示す。横軸に最大加速度PGA、縦軸に年超過確率 $\lambda_y$ を示す。同図には、重み付き平均から得られたMeanと84%フラクタイル曲線を併せて示す。また、年超過確率と再現期間の関係から、再現期間475年(50年10%確率)では、 $\lambda_y=0.00211$ と計算され、このときのPGAは、図-6のMean値から $0.26 \text{ m/s}^2$ と読み取ることができる。

### 3.2 確定論的地震ハザード評価

確定論的地震ハザード評価では、対象地点に対して最も支配的となる地震パラメータを設定し計算される。地震規模は地震活動域で最も大きな規模の地震を、震源距離は対象地点に最も近い震源を、それぞれ地震パラメータに設定する。図-3から50年10%確率でのマグニチュード  $M_w=6.9$  と、対象地点までの最短震源距離  $R_{\min}=131 \text{ km}$  から算出した結果、確定論的地震ハザード評価による最大加速度 (Mean 値) は  $0.30 \text{ m/s}^2$  を得た。

## 4. おわりに

マレー半島南で確率論的、確定論的手法により地震ハザード評価を実施した結果、この震源活動域での50年10%確率でのPGAは確率論的、確定論的手法でそれぞれ  $0.26 \text{ m/s}^2$ 、 $0.30 \text{ m/s}^2$  であり、確定論的手法で得られたPGAの方が高い値を示した。本報では、断層モデルを設定しない手法の一部を紹介したが、海外では地震ハザード評価を含むプロジェクトが年々増しており、今後、更に地震ハザード評価の需要は高くなると考える。

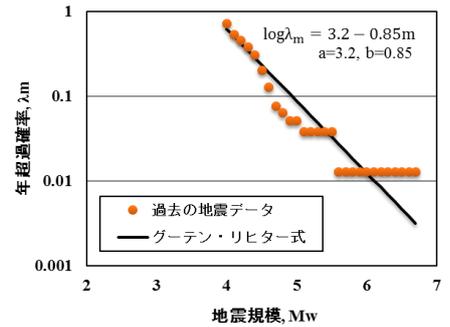


図-3 地震の発生頻度と規模

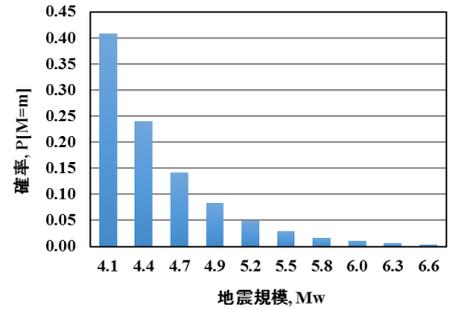


図-4 地震規模の確率分布

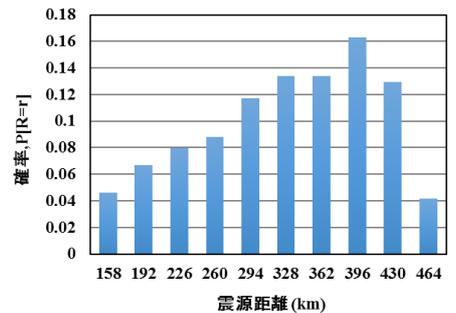


図-5 震源距離の確率分布

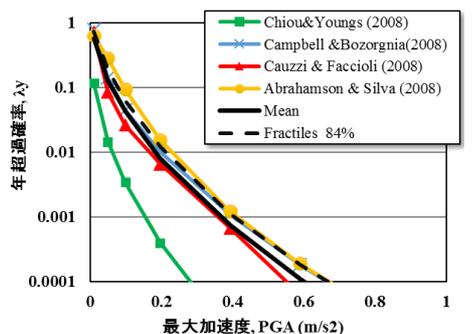


図-6 地震ハザード曲線

[参考文献] 1) Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers Standard ASCE/SEI 7-10. 2) B. Gutenberg and C. F. Richter (1944): Frequency of earthquakes in California, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 34, No. 4, pp. 185-188. 3) McGuire, R. K. (2004). Seismic Hazard and Risk Analysis, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA. 4) Cauzzi, C., & Faccioli, E. 2008. Broadband (0.05 to 20 s) prediction of displacement response spectra based on worldwide digital records. Journal of Seismology, 12(4), 453-475. 5) Abrahamson, N., & Silva, W. 2008. Summary of the Abrahamson & Silva NGA ground-motion relations. Earthquake Spectra, 24(1), 67-97. 6) Campbell, K. W., & Bozorgnia, Y. 2008a. Empirical ground motion model for shallow crustal earthquakes in active tectonic environments developed for the NGA project. In: Proceedings of Fourteenth World Conference on Earthquake Engineering. Paper no. 03-02-0004. 7) Chiou, B. S.-J., & Yougs, R. R. 2008. An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. Earthquake Spectra, 24(1), 173-215.