

## 複数回の地震発生を考慮した地震ハザード評価

清水建設	和泉研究室	正会員	石川 裕
同		正会員	奥村俊彦
同			斎藤知生

## 1. はじめに

確率論的地震ハザード評価において、震源を特定した地震を対象とする場合には、通常は地震の繰り返し発生間隔が対象とする期間に比べて長いために、その期間内に当該地震が発生するのはたかだか1回と仮定した定式化が行われる。しかしながら、昨今地震調査委員会より公表された宮城県沖地震、東南海地震、南海地震は将来30～50年間で地震発生確率が数10%以上と非常に高く<sup>1)</sup>、場合によってはその次の地震の発生まで考慮する必要がある。本稿では、複数回の地震発生を考慮した場合の地震ハザード評価の方法について論じる。

## 2. 複数回の地震発生を考慮した地震ハザードの定式化

現時点より $t$ 年間に地震動強さ $Y$ が少なくとも1度以上 $y$ を上回る確率 $P(Y \geq y; t)$ は、対象とする地震活動域 $k$ における地震 $E_k$ ごとの確率 $P_k(Y \geq y; t)$ に分解して次式のようになる。

$$P(Y \geq y; t) = 1 - \prod_k \{1 - P_k(Y \geq y; t)\} = 1 - \prod_k \left[ \sum_{n=0}^{\infty} P(E_k^{[n]}; t) \cdot \{1 - P(Y \geq y | E_k)\}^n \right] \quad (1)$$

ただし、 $P(E_k^{[n]}; t)$ は地震 $E_k$ が今後 $t$ 年間に $n$ 回発生する確率、 $P(Y \geq y | E_k)$ は地震 $E_k$ が発生した場合に地震動強さ $Y$ が $y$ を上回る確率（毎回同じと仮定）である。 $t$ 年間に2回以上地震が発生する確率が無視できる場合には次式のようになる。

$$P(Y \geq y; t) = 1 - \prod_k \{1 - P(E_k; t) \cdot P(Y \geq y | E_k)\} \quad (2)$$

ただし、 $P(E_k; t)$ は地震 $E_k$ の今後 $t$ 年間における発生確率である。この確率の算定において、最近では活動履歴が明らかな地震に対してはそれを踏まえた非正常な地震発生時系列モデルを用いることが標準<sup>2)</sup>となっている。

なお、地震の発生がポアソン過程に従う場合には、式(1)中の $[ ]$ は $\exp\{-v_k t \cdot P(Y \geq y | E_k)\}$ となる。ここで、 $v_k$ は地震の年当たり発生数である。

## 3. 対象期間内に地震が2回以上発生する確率

以下では、地震の発生間隔がBrownian Passage Time分布（BPT分布）に基づく更新過程として地震の発生確率を求める<sup>2)</sup>。BPT分布の確率密度関数は平均値 $\mu$ 、変動係数 $\alpha$ に対して次式のようになる<sup>2)</sup>。また、地震が2回以上発生する確率は分布関数のたたみこみを用いて計算できる。

$$f(t; \mu, \alpha) = \sqrt{\frac{\mu}{2\pi\alpha^2 t^3}} \cdot \exp\left\{-\frac{(t-\mu)^2}{2\mu\alpha^2 t}\right\} \quad (3)$$

ここでは、宮城県沖地震、東南海地震、南海地震を対象として、次の条件下<sup>1)</sup>、西暦2002年1月を時間原点とした場合の地震発生確率を求めた。

- ・宮城県沖地震： $\mu=37.1$ 年、 $\alpha=0.177$ 、前回=23.6年前
- ・東南海地震： $\mu=86.4$ 年、 $\alpha=0.18$ 、前回=57.1年前
- ・南海地震： $\mu=90.1$ 年、 $\alpha=0.20$ 、前回=55.0年前

結果を図1に示す。図の縦軸はその時点までに $n$ 回目の地震が発生する確率である。同図より、宮城県沖地震に関しては、将来の30年程度以上の期間を対象とする場合には2回、60年程度以上の期間を対象とする場合には3回の地震発生を考慮する必要があることがわかる。また、東南海地震および南海地震に関しては、将来の70年程度以上の期間を対象とする場合には2回の地震発生を考慮する必要がある。ただし、東南海地震および南海地震の発生確率の算定に用いた平均発生間隔は時間予測モデルに基づく次の地震までの標準的な間隔であり、この値をそのまま2回目以降の地震までの発生間隔として用いることの妥当性については吟味が必要である。

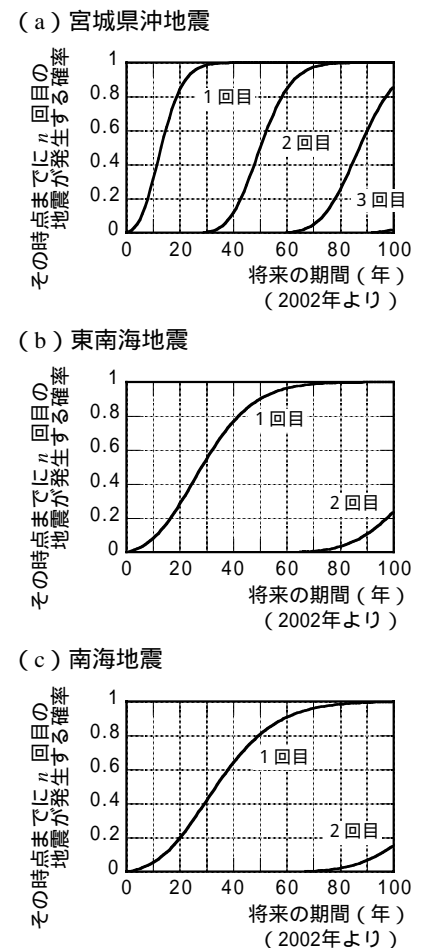


図1 地震発生確率の経時変化

キーワード：地震ハザード、地震発生確率、BPT分布、宮城県沖地震、東南海地震、南海地震

連絡先：〒100-0011 千代田区内幸町2-2-2 富国生命ビル、Tel：03-3508-8101、Fax：03-3508-2196

#### 4. 仙台における地震ハザードの試算例

複数回の地震発生を考慮した地震ハザードの試算例として、仙台におけるハザード評価を行った。対象期間は西暦 2002 年より 50 年間とし、宮城県沖地震はその間に 2 回発生する確率も考慮した。また、同地震の断層位置は 1978 年宮城県沖地震の断層モデルを参考とし、マグニチュードは  $M7.5$  と  $M8.0$  の地震がそれぞれ  $5/6$  と  $1/6$  の確率で発生するとした。なお、比較のためにすべて  $M7.5$  の場合についても検討した。また、長町 - 利府線断層帯に関しては、長期評価の結果<sup>3)</sup>に基づき、平均発生間隔 3000 年のポアソン過程に従うと仮定した。この場合 50 年発生確率は 1.7%となる。マグニチュードは  $M7.25$  と仮定した。その他の条件については著者らが最近標準的に用いているモデル<sup>4)</sup>に拠った。地震動強さの指標は工学的基盤における最大速度とし、その評価モデルは安中他による距離減衰式<sup>5)</sup>を用いた。式のばらつきは対数標準偏差 0.5 の対数正規分布でモデル化した。

図 2 に仙台におけるハザードカーブを示す。図の縦軸は 2002 年より 50 年間の超過確率である。図には地震の発生を 1 回のみと仮定した場合の結果（式(2)による）も点線で併記しているが、50 年超過確率が 10%のレベルと比較すると、最大速度で約 10%の違いが生じている。確率レベルが低い領域で差が小さくなるのは、後述するように宮城県沖地震の貢献度が相対的に小さくなるためである。図 3 には宮城県沖地震のマグニチュードの条件を変えた場合のハザードカーブを比較して示した。50 年超過確率が 10%のレベルと比較すると、最大速度で約 15%の違いが現れている。

図 4 には仙台における確率論的想定地震の貢献度<sup>6)</sup>を示す。50 年超過確率が 10%以上では宮城県沖地震の貢献度が突出しているが、確率レベルが 10%以下になると、長町 - 利府線断層帯の貢献度が顕著に大きくなっていく特徴が理解できる。

図 5 にはこの両地震を除いた場合のハザードカーブ、ならびに両地震が発生した場合の最大速度の中央値と中央値 + 標準偏差（対数軸上）の範囲を水平の太線で示している（宮城県沖地震は  $M7.5$  と  $M8.0$  を考慮）。太線の縦位置はその地震の 50 年発生確率を縦軸の確率値に対応させている。このように特定の地震の影響をハザードカーブと併せて示すことにより、当該地点での地震ハザードの状況をより具体的に把握することができる。

#### 5. むすび

本稿では、複数回の地震発生を考慮した場合の地震ハザード評価の方法について示した。その結果として、宮城県沖地震に関しては、将来の 30 年程度あるいは 60 年程度以上の期間を対象とする場合には 2 回あるいは 3 回、また、東南海地震および南海地震に関しては、将来の 70 年程度以上の期間を対象とする場合には 2 回の地震発生を考慮する必要があることを指摘した。

#### 参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：宮城県沖地震の長期評価，平成 12 年 11 月 27 日，および南海トラフの地震の長期評価について，平成 13 年 9 月 27 日。
- 2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：長期的な地震発生確率の評価手法について，平成 13 年 6 月 8 日。
- 3) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：長町 - 利府線断層帯の評価，平成 14 年 2 月 13 日。
- 4) 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。
- 5) 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，土木学会第 24 回地震工学研究発表会講演論文集，pp.161-164, 1997。
- 6) 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。

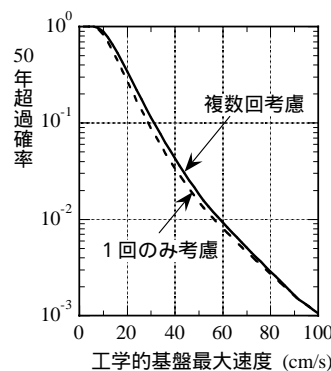


図 2 仙台におけるハザードカーブ

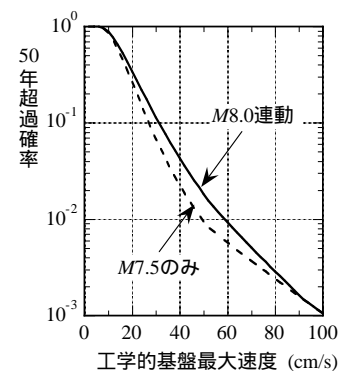


図 3 宮城県沖地震の M の違いによる比較

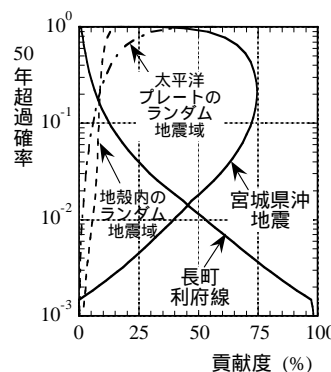


図 4 主な地震の貢献度

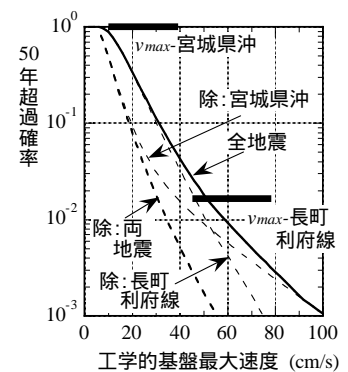


図 5 分解したハザードカーブ