

距離減衰式のばらつき打ち切りが地震ハザード評価に与える影響に関する基礎的検討

(財) 電力中央研究所 正会員 中島正人
非会員 東 貞成

1 はじめに

確率論的地震ハザード解析(以下,地震ハザード解析)では,地震動強度の不確定性(ばらつき)を確率モデルで考慮する。一般的には,このばらつきは対数正規分布に従うと仮定して取り扱うが,確率分布の裾を打ち切らないと無限大の大きさの地震動強度まで考慮するため現実的ではない。一方,地震動距離減衰式による予測値からのばらつきを狭い範囲で打ち切った場合,対数正規分布の確率分布としての成立性が問題となる。本報告では,距離減衰式のばらつき打ち切りが地震ハザード解析に与える影響について,基礎的な検討を行った結果を示す。

2 地震動距離減衰式のばらつき打ち切り

地震動距離減衰式による予測値を \bar{Y} , そのばらつきを表現する確率変数を U とおくと, マグニチュード m , 対象地点からの距離 r の地震で, 対象地点における地震動強度 Y が y を超える確率 $P(Y > y|m, r)$ は以下の式から計算される。

$$P(Y > y|m, r) = 1 - F_U\left(\frac{y}{\bar{Y}(m, r)}\right) \quad (1)$$

ここで $F_U(\cdot)$ は U の累積分布関数である。通常地震ハザード解析では, 確率変数 U は対数正規変量として扱う。但し上述したとおり, 地震動強度のばらつきを対数正規分布に従うと仮定した場合, 無限大の強度の地震動まで考慮することになり, 強震記録や強震動評価結果と比較すると適切ではないと考えられている。このため, 地震調査研究推進本部(以下, 推本)が作成した確率論的地震動予測地図¹⁾では, 地震ハザード評価においてばらつきを平均値からある距離(標準偏差の3倍)を上限値として打ち切っている。

3 解析手法・解析モデル

(1) 地震ハザード解析手法・地震発生源モデル

過去の活動履歴情報がある地震発生源については地震の発生時系列を更新過程でモデル化した, 非ポアソン型の地震ハザード解析手法を用いる。地震ハザード曲線 $p_0(Y \geq y; t)$ は, 対象地点において現在から t 年間に於いて地震動強度 Y が少なくとも1回, ある値 y を超える確率であり次式から計算される。

$$p_0(Y \geq y; t) = 1 - \prod_k \{1 - P_k(Y \geq y; t)\} \quad (2)$$

ここで $P_k(Y \geq y; t)$ は地震発生源 k で発生する地震により期間 t において地震動強度 Y がある値 y を超える確率を表す。地震発生源モデルは推本の成果を基に当所独自の成果を反映したモデルを用いる。解析対象地点(SHK)および設定した主な地震発生源モデルの位置を図1に示す。

(2) 地震動距離減衰式

松本らにより提案された, ダムサイトを対象とした応答加速度 $S_A(T)$ を地震動指標とする距離減衰式²⁾を用いる。

$$\log S_A(T) = C_m(T)M + C_h(T)H_c + C_d(T) \log(R + 0.334 \exp(0.653M)) + C_0(T) \quad (3)$$

上式中, T は周期, M は気象庁マグニチュード, H_c は断層面の中心深さ, R は断層面までの最短距離を表す。解析では二つの周期(0.02sと0.5s)を対象とする。

(3) 距離減衰式のばらつき U の打ち切り

距離減衰式のばらつき U は対数正規分布に従うと仮定し, 周期毎のばらつきは文献²⁾で示されている数値を用いた。振幅依存性^{3),4)}は考慮していない。打ち切り方法としては以下の4つのケース((a)平均値 $\mu \pm$ 標準偏差 $\sigma \times 2$ で打ち切り, (b) $\mu \pm \sigma \times 3$ で打ち切り, (c) $\mu \pm \sigma \times 6$ で打ち切り, (d) 打ち切り無し)を想定する。

Key Words: 距離減衰式, ばらつき打ち切り, 確率分布, 地震ハザード

〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646, TEL.04-7182-1181, FAX 04-7184-2941, E-mail: masato@criepi.denken.or.jp

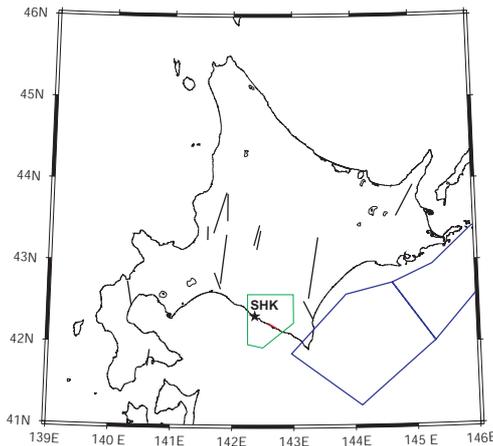


図1 解析に用いた主な地震発生源モデル

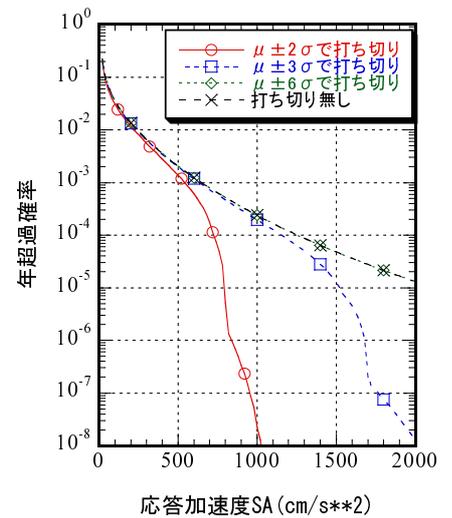
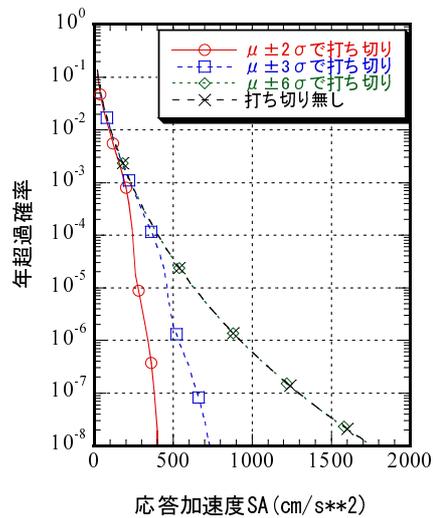


図2 地震ハザード解析結果-1(周期0.02s) 図3 地震ハザード解析結果-2(周期0.5s)

4 計算例

(1) 地震ハザード解析結果

SHK 地点に対して計算した地震ハザード曲線を図2(周期0.02s), 図3(周期0.5s)に示す。周期0.02sでは $\mu \pm 6\sigma$ で打ち切ったケースは打ち切り無しとほぼ同じ結果となったが, $\mu \pm 2\sigma$, $\mu \pm 3\sigma$ で打ち切ったケースは $300(\text{cm}/\text{s}^2)$ より大きい応答加速度領域でケース(c)(d)と年超過確率が大きく異なっていることがわかる。周期0.5sでも周期0.02sと同様の傾向が見られるが, 平均値 $\mu \pm 3\sigma$ で打ち切ったケースでも応答加速度が $1000(\text{cm}/\text{s}^2)$ より大きい範囲でケース(c)(d)との差が小さくなるのに対し, $\mu \pm 2\sigma$ で打ち切ったケースはそれ以外のケースとの差が大きいことがわかる。つまり対象とする周期によりばらつきの打ち切りの影響は異なる。

(2) 打ち切り限界について

距離減衰式のばらつきを表す確率分布を打ち切った場合, 解析結果(本報告では地震ハザード曲線で示す)は打ち切り範囲により異なると共に, 応答加速度を地震動指標とする場合, 対象周期によっても異なることがわかる。今回設定した解析条件では, 平均値から標準偏差の2倍で打ち切る場合と3倍で打ち切る場合は, 年超過確率が 10^{-3} の範囲でも対応する地震動強度に差が見られた。ただし, 今回ケース(a)とした平均値 $\mu \pm$ 標準偏差 $\sigma \times 2$ のように狭い範囲で打ち切る場合は, 確率分布の妥当性については別途検討が必要と考えられる。

5 まとめ

本報告では, 距離減衰式のばらつき打ち切りが地震ハザード解析に与える影響について, 北海道内の地点を対象に基礎的な検討を行った結果を示した。地震ハザード解析において, 超過確率が小さい地震動の強さは地震動強度のばらつきの大きさに影響される。特定の地震による地震動の強さのばらつきの大きさ自体を再評価すると同時に, ばらつきを表現する確率分布およびその打ち切り方法を検討することにより, 地震ハザード評価の信頼度向上が期待できる。

謝辞 本報告の地図は描画ソフトウェア GMT⁵⁾ を用いて作成した。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会: 確率論的地震動予測地図の説明, 2005.
- 2) 松本徳久, 吉田 等, 佐々木 隆, 安中正: ダムサイトでの地震動の応答スペクトル, 大ダム No.186, Vol.1, 2004.
- 3) Donovan, N.C. and A.E. Bornstein: Uncertainties in Seismic Risk Procedures, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 104, pp.869-887, 1978.
- 4) 翠川三郎, 大竹 雄: 地震動強さの距離減衰式にみられるバラツキに関する基礎的分析, 日本地震工学論文集 第3巻, 第1号, pp.59-70, 2003.
- 5) Wessel, P. and W.H.F. Smith: New improved version of the Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. AGU*, 79, 579, 1998.