活断層の活動履歴・連動性情報が地震ハザード評価に与える影響検討

電力中央研究所　正会員　○中島正人
電力中央研究所　正会員　　大鳥靖樹

1 はじめに

確率論的地震ハザード解析[1]では，地震発生および地震動に関する各種の不確定性を考慮するが，このうち地震発生源の位置・形状や地震規模に関する不確定性は，ロジックツリーを用いた解析（例えば文献[2]）に基づきフラクタイルハザードとして評価される。本稿では，活断層近傍に位置する地点において，活断層の過去の活動履歴情報および連動性情報が地震ハザードに与える影響について明らかにするとともに，評価される地震ハザードの違いが構造物の耐震裕度（構造耐力）～リスクダイアグラム[3]に与える影響について検討した結果について報告する。

2 確率論的地震ハザード解析

(1) 解析手法・解析モデル

2011 年 1 月を時間起点とする，更新過程に基づく非ポアソン型の地震ハザード解析を行う。地震動強度 Y の年超過確率 $p_0(Y \geq y; t)$ は, 対象地点において現在から t 年間に地震動強度 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。

$$p_0(Y \geq y; t) = 1 - \prod_{k=1}^{L} \{1 - P_k(Y \geq y; t)\} \tag{1}$$

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。解析では，二つのセグメントから構成される活断層近傍に位置する地点を対象として，直近の活断層の連動性ケースを表 1，地震発生に関する過去の履歴情報を表 2 のように設定した。対象地点周辺の各地震発生源モデルの形状や活動度に関する諸元は，地震調査研究推進本部による調査結果に基づき設定し，過去の発生履歴情報を考慮する場合の発生時間間隔は BPT （Brownian Passage Time）分布でモデル化した。地震動距離減衰式は硬質地盤を対象とした応答スペクトルを指標とする Nishimura et al. による式[4]（距離指標は等価震源距離）を用い，周期によるばらつきの違いを考慮すると共に，ばらつきを表現する確率分布の上下限値を平均値から標準偏差の 3.5 倍の位置で打ち切った。

表–1　対象地点近傍の活断層モデルの諸元

	断層長さ	地震規模
連動する場合	69km	M7.8
連動しない場合	44km,25km	M7.6,M7.1

表–2　対象地点近傍の活断層における地震発生履歴情報のモデル化

	セグメント A	セグメント B
ケース 1	発生履歴考慮せず	前回のイベントからの経過時間：150 年
ケース 2	発生履歴考慮せず	前回のイベントからの経過時間：2200 年

(2) 計算結果および考察

注目する活断層が連動するケースおよび連動しないケースについて，図 1 に計算された地震ハザード曲線（周期 0.02s の応答加速度を指標とする），図 2 および図 3 に年超過確率 10^{-3} と 10^{-4} における一様ハザードスペクトル（Uniform Hazard Spectrum: UHS）を示す。直近活断層において前回の地震発生からの経過時間が短い場合（図 2），連動しないケースの UHS が，連動するケースの UHS より大きい結果となった。対象地点はセグメント A に近く短周期帯域での優位な差があるが，これは発生履歴情報を考慮しないセグメント A に近く，連動する場合の地震規模（M7.8）と連動しない場合の地震規模（M7.6）の差が小さいため，発生頻度がより大きい連動しないケースの地震ハザードが大きいことが影響している。直近活断層において前回の地震発生からの経過時間が長い場合（図 3）は，連動するケースの UHS が全ての周期において連動しないケースの UHS よりも大きく，図 2 とは異なる結果となった。

3 構造耐力～リスクダイアグラム[3]への影響評価

著者らは，地震動強度で定義した耐震裕度（構造耐力）と地震リスク（年損傷確率）を以下の式に基づき関連付けた,

Key Words: 不確実さ，地震ハザード，連動性，リスクダイアグラム
〒 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

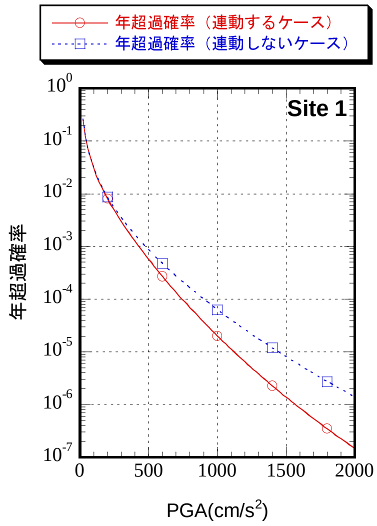

図1 地震ハザード曲線

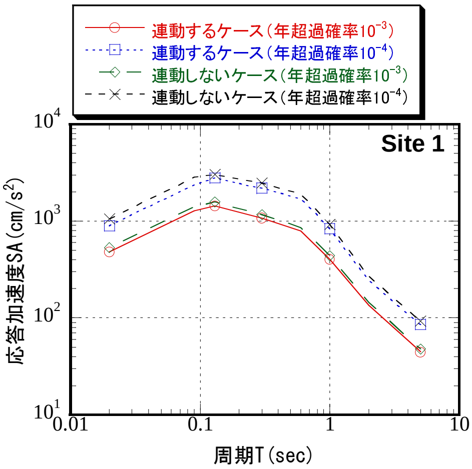

図2 一様ハザードスペクトル（ケース 1）

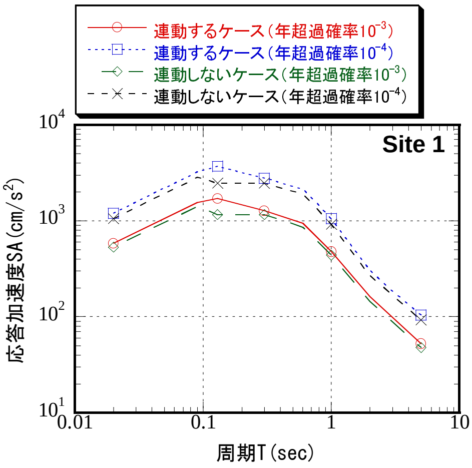

図3 一様ハザードスペクトル（ケース 2）

構造耐力～リスクダイアグラムを提案している[3]。

$$P_f = \int_{A_{min}}^{\infty} \frac{dF_C(X_m, \beta, a)}{da} \cdot H(a)da \tag{2}$$

上式中，$F_C(\cdot)$ はフラジリティー関数であり，対数正規分布の累積分布関数に従うと仮定すると，X_m（入力地震動強度 a で規定される構造耐力の中央値），β（不確実さ），a の 3 つの変数により規定される。一方，$H(a)$ は地震ハザード曲線であり，対象地点の地震ハザード解析より得られる。A_{min} は積分範囲の下限値を表し，通常はこの A_{min} を 0 を設定して得られる結果が地震リスクである。土木構造物モデルのフラジリティー曲線を，耐力中央値 X_m が 1100(cm/s^2)，不確実さ β が 0.22 の対数正規分布に従うと仮定し，式（2）に基づき計算した構造耐力～リスクダイアグラムを図 4 に示す。この例示計算結果からは，構造耐力が 500（cm/s^2）までは連動するケースと連動しないケースによる年損傷確率の差は小さいが，設定した構造物モデルの耐力中央値 では，二つのケースにおける年損傷確率の差は数倍あることがわかる。また，構造物モデルの耐力中央値 のばらつきが 10%程度の場合は推定される年損傷確率の差は数倍であるが，ばらつきが 20%程度になると推定される年損傷確率の差は 1 オーダーとなった。

4 まとめ

複数のセグメントから構成される活断層近傍の地点を想定して地震ハザード解析を実施し，活断層の連動性情報および過去の履歴情報が地震ハザード評価に与える影響を検討した。得られた地震ハザード情報に基づき，その地点に構造物が存在すると仮定して，構造耐力～リスクダイアグラムを計算した結果，設定した構造モデルの耐力中央値では近傍活断層が連動する場合と連動しない場合では推定される地震リスクが数倍異なることが明らかになった。今後，事例解析を追加すると共に連動に関する生起確率を考慮した地震ハザード評価手法を構築する。

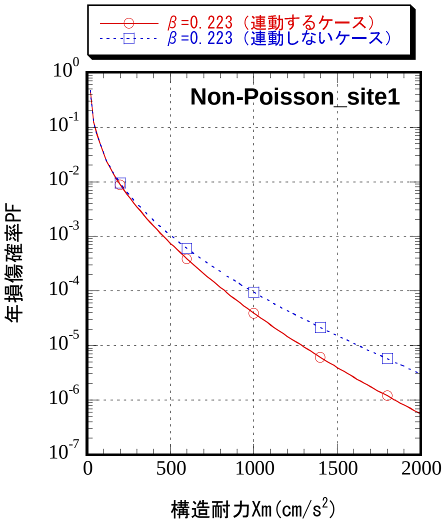

図4 構造耐力～リスクダイアグラム

参考文献

1) Cornell, C.A.: Engineering Seismic Risk Analysis, *Bull. Seis. Soc. Am.*, Vol.58, No.5, pp.1583-1606, 1968. 2) Bommer, J.J, et al. : On the Use of Logic Trees for Ground-Motion Prediction Equations in Seismic-Hazard Analysis, *Bull. Seis. Soc. Am.*, Vol.95, No.2, pp.377-389, 2005. 3) Nakajima, M., Y. Ohtori and K. Hirata: Development of seismic margin-risk diagram, *International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering*, pp.1513-1517, 2011. 4) Nishimura, I., et al.: Response Spectra for Design Purpose of Stiff Structures on Rock Sites, SMiRT 16, Washington DC, Paper#1133, 2001.