

歴史地震及び活断層の情報に基づいた 地震危険度評価の試み

本田 利器¹・田村 敬一²・千葉 光³

¹正会員 研究員 建設省土木研究所振動研究室 (〒305 茨城県つくば市大字旭1番地)

²正会員 室長 工博 建設省土木研究所振動研究室 (〒305 茨城県つくば市大字旭1番地)

³正会員 技官 建設省土木研究所振動研究室 (〒305 茨城県つくば市大字旭1番地)

兵庫県南部地震以来、耐震安全性に関する種々の局面において、活断層の考慮が求められている。また、我が国では活断層に関する情報もかなり蓄積されてきていることを考慮すると、我が国における地震危険度評価において活断層から生じる地震を考慮する必要があると考えられる。そこで、従来の歴史地震による地震危険度解析に加え、活断層の位置や活動度などの情報を反映させた地震危険度解析を試みた。歴史地震に基づく地震危険度については、Gutenberg-Richter 式により評価される地震発生確率に基づく方法により考慮するものとした。また、活断層の情報に基づく地震危険度については、過去の活動履歴に関する情報があるものについては地震発生の確率分布形を仮定して地震発生確率を用いた評価を試みた。

Key Words : active fault, earthquake, seismic hazard assessment,

1. はじめに

我が国においては、過去に生じた地震の記録が整理されていることもあり、一般的な構造物の耐震設計においては、それらの歴史地震の情報に基づいて地震危険度の評価をすることが広く行われてきた。しかし、兵庫県南部地震において内陸の活断層から生じるいわゆる直下型地震のもたらす被害の甚大さが認識されたことを契機に、また、我が国においては活断層を体系的に調査した成果があることもあり、耐震設計においてこれらの活断層の存在を考慮することが求められるようになってきている。

これは、耐震設計において重要な要素である地震環境の地域性の評価においても同様であるため、地震環境を考慮するための基礎資料となる地震危険度評価においても活断層を考慮することが求められてきている。

以上のような背景に鑑み、本研究では、歴史地震及び活断層の情報を考慮した地震危険度評価を行う。最終的には全国を対象とした評価を行うことを目的としているが、ここでは、選出した地点を対象とした試算により得られた危険度評価の結果を示した。

2. 地震危険度の評価方法

地震危険度評価においては、まず歴史地震と活断層の情報のそれぞれから評価し、その結果に基づき両者を考慮した地震危険度の評価を行うこととした。なお、地震危険度の評価の指標とする地震動特性値は、最大加速度及び加速度応答スペクトル (減衰 $h=5\%$) の値とした。

(1) 歴史地震の情報に基づく評価

歴史地震の情報に基づき、ある地点の地震危険度を評価する方法は、基本的に荒川ら¹⁾による方法と同様とした。

- a) 全国を、地震の発生特性が類似していると考えられる範囲別にサブゾーンとして区切り、各サブゾーン内での地震の発生特性は一樣であるとする。
- b) 地震の発生は、マグニチュード M が m を超える地震の発生する回数 $N(M>m)$ が Gutenberg-Richter 式:

$$\log N(M>m) = a - bm \quad (1)$$

に従うポアソン過程であると仮定する。ここで、 b 値は当該サブゾーン内における歴史地震のデータに

に基づき算出する。

- c) 地震の発生は各サブゾーン内で一様であるから、地震の発生場所は特定しない。
- d) 地震が発生したときの着目地点の地震動特性値は距離減衰式で評価する。

このとき、期間 T_D [yr]における地震動強度 x が X を上回る確率（超過確率） $P_h[x > X, T_D]$ は、

$$P_h[x > X, T_D] = 1 - (1 - \lambda)^{T_D} \quad (2)$$

$$\lambda = \int_A \nu \left[1 - \frac{1 - \exp\{-b(g(x, r) - m_0)\}}{1 - \exp\{-b(m_u - m_0)\}} \right] dS \quad (3)$$

ただし、

$g(x, r)$: 距離減衰式をマグニチュード m について解き、震央距離 r 及び地震動特性値 x の関数 $m = g(x, r)$ としたもの。

m_0 : 危険度評価で考慮する最小マグニチュード。本検討では $m_0 = 6$ とした。

b : Gutenberg-Richter 式における b 値。サブゾーン毎に異なる。

ν : 単位面積あたりの年間地震発生回数。

A : 着目地点の地震危険度を評価する差異に考慮する範囲。本検討では着目地点を中心として半径 300km とする。

として与えられる²⁾。

なお、サブゾーンは、地震地体構造³⁾等に基づき、図-1に示されるように区分した。それぞれのサブゾーンにおいて発生しうる最大マグニチュードは、表-1に示

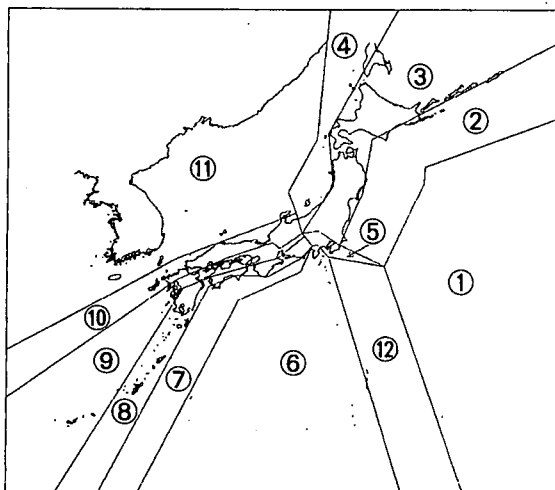


図-1 本検討で用いたサブゾーンの区分

すとおりである。距離減衰式は川島ら⁴⁾の式を用いた。歴史地震のデータとしては、461～1994年までの地震⁵⁾で震源深さ 60km 以浅の地震を対象とした。（震源深さ 60km 以浅としたのは距離減衰式の適用範囲を考慮したことによる。）

表-1 サブゾーンにおける発生最大マグニチュード

ゾーン No.	最大マグニチュード
1	-
2	8.55
3	7.50
4	7.80
5	8.20
6	7.30
7	8.40
8	8.00
9	7.75
10	8.00
11	7.00
12	7.30

(2) 活断層の情報に基づく評価

活断層の情報は「日本の活断層」⁶⁾に基づき設定した。ただし、個々の活断層が一つの地震に対応しているわけではなく、まとまって一つの地震を生じさせる複数の活断層（起震断層）を考慮する必要がある。ここでは、起震断層としては松田の示すもの⁷⁾を考慮した。

個々の活断層で地震が生じたときの着目地点における地震動特性値は、歴史地震と同様に川島らによる距離減衰式を用いて評価した。ここで距離減衰式に代入する震央距離としては断層からの最短距離を用いた。

活断層で生じる地震のマグニチュード及びその発生周期は各活断層に固有の値であるとし、前震や余震は考慮しないものとした。活断層 j のマグニチュード M_j は、活断層長さ L_j の関数として

$$M_j = (\log(L_j) + 2.9) / 0.6 \quad (4)$$

として求めた。（松田⁸⁾）また、地震発生周期は、年平均地震発生回数 N_j として次式で評価した。（松田⁸⁾）

$$N_j = V_j / D_j$$

$$D_j = 10^{-1.1} L_j \quad (5)$$

ただし、

V_j : 平均変位速度[m/yr]。活動度 A,B,C それぞれについて $V_j = 5, 0.5, 0.05 \times 10^3$ [m/yr] とした。

D_j : すべり量 [m]

L_j : 断層長さ [km]

対象とした活断層は、「日本の活断層」に示される断層で、活動度が定義されているものである。これらを次のように分類して扱った。

①活動履歴の情報がない活断層

起震断層に含まれない活断層については全てこの分類に含まれる。また、松田により起震断層と位置づけられているが、その最終活動時期が過去 1 万年程度以内では特定できていないものも含まれる。ただし、これらの活断層は起震断層としてではなく個々の断層として扱う。

これらの活断層では、地震の発生はポアソン過程にしたがうものとする。したがって、その超過確率 P_j は、想定している断層で生じる地震で、着目地点における発生する地震動特性値 x が X を超える場合、

$$P_j[x > X, T_D] = 1 - \exp(-N_j T_D) \quad (6)$$

で与えられ、それ以外の時は $P_j = 0$ となる。

②活動履歴の情報がある活断層

過去の活動履歴について情報がある活断層については、これを考慮して地震危険度を評価した。考慮する方法は、基本的に奥村ら⁹⁾の考え方にしたがった。また、過去の活動情報としては、松田⁷⁾により示されている起震断層の最新活動時期を与えた。

このとき、現在から T_D [yr]の間における超過確率は、着目地点における発生する地震動特性値 x が X を超える地震について

$$P_j[x > X, T_D] = \frac{F_j(t_0 + T_D) - F_j(t_0)}{1 - F_j(t_0)} \quad (7)$$

ただし、

$F_j(t)$: 断層 j の地震発生間隔の分布関数

t_0 : 前回の活動時期から現在までの経過時間

で与えられる。なお、本検討では、 $F_j(t)$ としては対数正規分布を仮定した。

活断層の情報に基づく超過確率は、以上の方法で個々の活断層に対して算出された超過確率を用いて

$$P_f[x > X, T_D] = 1 - \prod_j \{1 - P_j[x > X, T_D]\} \quad (8)$$

と算出される。

(3) 地震危険度の評価

以上で算出された活断層及び歴史地震の情報に基づく地震危険度の両者を考慮した地震危険度の評価方法については、歴史地震と活断層の両者に含まれている地震の重複を排除する等の考慮が必要である。両者による地震動の発生は独立であると仮定すれば、

$$P[x > X, T_D] = 1 - (1 - P_f)(1 - P_h) \quad (9)$$

と算出される。

3. 試算例

以上の考え方に基ついて、行った試算例を示す。

検討の対象とした地点の位置を、周辺における活断層及び歴史地震の位置とともに、図-2 及び 3 に示す。

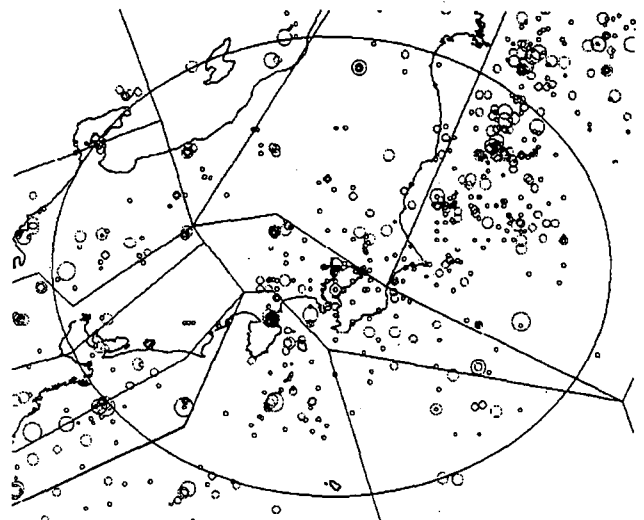


図-2 対象地点と周辺における過去の地震の震源の分布
(楕円は、地点 1 を中心とする半径 300km の範囲を示す)

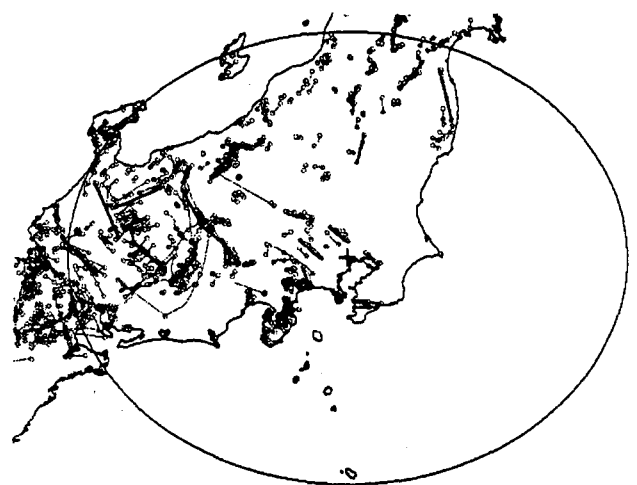


図-3 対象地点と周辺の活断層の分布
(楕円は、地点 1 を中心とする半径 300km の範囲を示す)

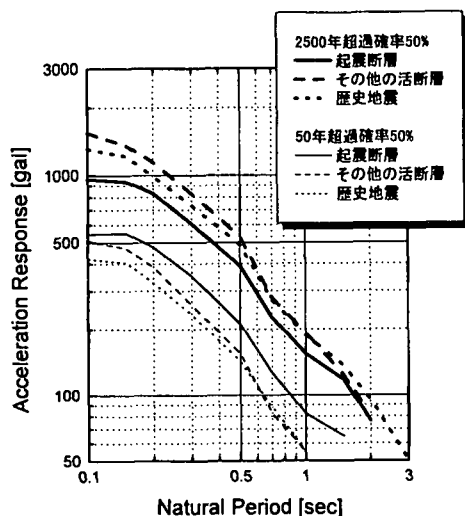


図-4 50 及び 2,500 年超過確率 50%の加速度応答スペクトル(I 種地盤)

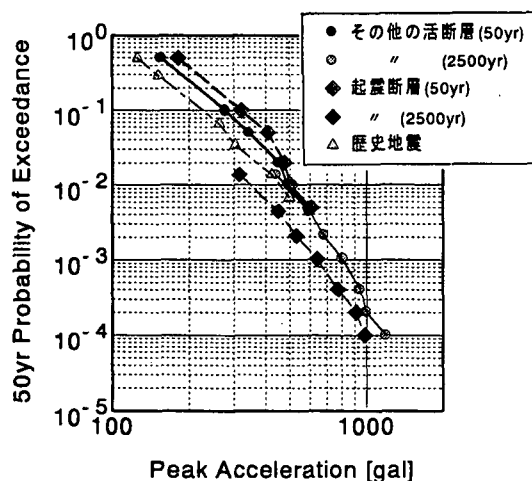


図-5 地震危険度曲線
(最大加速度及び 50 年超過確率の関係)

図-4 に、50 年及び 2,500 年間の超過確率が 50%に相当する加速度応答スペクトルを示す。また、図-5 に、縦軸に 50 年超過確率、横軸に最大加速度をとった地震危険度曲線を示す。同図には、起震断層及びその他の活断層について、2,500 年間で対象として算出した超過確率 P_{2500} と、同等の超過確率を与えるポアソン分布の 50 年超過確率 P'_{50} も示す。(これは、 $P'_{50}=1-(1-P_{2500})^{1/50}$ で与えられる。) その他の活断層については、ポアソン分布を仮定しているので評価対象とする期間によらず、50 年超過確率は同じ値を与える。しかし、起震断層の場合、その再現周期として対数正規分布を仮定しているため、対象とする期間によって 50 年超過確率が異なっており、ここで示した結果では 2,500 年を対象期間とした場合の方が小さい値を示している。

ここで想定した条件では、起震断層とした活断層は、近い将来に活動することが期待されるものとして示され

ており、多くの起震断層ではすでに活動周期に相当する期間またはそれを越える期間、活動していないという条件になっている。したがって、活断層による地震危険度と歴史地震による地震危険度を比較すると、試算例のように、短期間を考慮した場合には前者が上回り、長期間を考慮した場合には後者が大きい結果となることがある。これは、地震危険度の評価における活断層の情報は、長期間を考慮したときのみ重要になるわけではないことを示唆している。

4. まとめ

歴史地震の情報に加え、活断層に関する諸情報を考慮した地震危険度の評価を試みた。

活断層による地震は活動周期が長い、過去の活動履歴を反映して活断層を考慮することにより、比較的短い期間を検討対象とした場合でも、活断層が大きい影響を有する結果となりうることを示された。

今後は、活断層及びそこで生じる地震の評価方法、用いる距離減衰式の精度、等の検討をするとともに、種々の条件の下でケース数を重ね、評価精度を向上させていきたい。

謝辞：本研究においては、(株)日本技術開発地震防災部の協力を得た。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- 1) Cornell, C. A. : Engineering Seismic Risk Analysis, Bull. Seism. Soc. Am. Vol.58, 1968.
- 2) 荒川直士ほか：確率手法に基づく動的解析用入力地震動波形の設定法、土研資料第 1992 号、昭和 58 年 3 月
- 3) 萩原尊禮：日本列島の地震—地震工学と地震地体構造—鹿島出版会、1991
- 4) 川島一彦ほか：最大地震動及び地震応答スペクトルの距離減衰式、建設省土木研究所報告第 166 号、1985 年 9 月
- 5) 日本付近の主要地震データ、(財)日本気象協会、1995.
- 6) 活断層研究会：新編日本の活断層、東京大学出版会、1991 年 3 月
- 7) 松田時彦：陸上活断層の最新活動期の表、活断層研究、13、1995
- 8) 松田時彦：活断層から発生する地震の規模と周期について、地震、28, pp.269-283, 1975.
- 9) 奥村俊彦ほか：活動履歴に関する情報量に応じた活断層での地震発生確率の評価法、土木学会第 51 回年次学術講演会概要集 I-B, pp.498-499、平成 8 年 9 月