

メッシュ状の活動域に基づく 地震危険度解析手法の検討

松本 俊輔¹・田村 敬一²・中尾 吉宏³

¹正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 地震防災研究室(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

²正会員 工博 独立行政法人 土木研究所 耐震研究グループ(〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地-6)

³正会員 工修 国土交通省 国土技術政策総合研究所 地震防災研究室(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

過去の地震記録を対象とした一般的な地震危険度解析手法では、地震の発生状況を同一と見なすことが可能なゾーンごとに地震発生頻度を評価する方法がとられている。それに対し、米国地質調査所の地震危険度解析では、機械的に設定したメッシュごとに地震発生頻度を評価することを基本とするが、過去の地震記録が少なく、地震発生頻度が低く評価されるメッシュについては潜在的な地震危険度への配慮から、別途設定した大きなバックグラウンドゾーンで評価した地震発生頻度によりメッシュの地震発生頻度を調整する方法がとられている。本研究では、米国地質調査所の手法と、一般的な手法に基づいて地震ハザードマップを試算し、それらを比較することにより、地震の発生特性の評価方法が試算される地震危険度に及ぼす影響について検討した。

Key Words : active fault, seismic hazard analysis, seismic design

1. はじめに

本研究では、過去の地震記録を考慮した地震危険度解析手法として、米国地質調査所 (USGS) が開発したメッシュ状の活動域に基づく地震ハザードマップの作成手法¹⁾に着目した。当該手法には次のような特徴がある。

- (a) 過去の地震記録を考慮した地震危険度解析において、小さなメッシュ状の地震活動域を設定して地震発生頻度を評価することにより、地震発生頻度の局所的な変動を考慮する。
- (b) 過去の地震記録が少なく、地震発生頻度が低く評価されるメッシュ状の地震活動域については、潜在的な地震危険度への配慮から、別途設定した大きな地震活動地域 (バックグラウンドゾーン) で評価した地震発生頻度により地震発生頻度を調整する。

本検討では、当該手法と一般的な手法に基づいて地震危険度解析の試算を行い、それらを比較することにより、地震の発生特性の評価方法が試算される地震危険度に及ぼす影響について検討した。

2. 試算方法

(1) 考慮した地震記録

USGSの過去の地震記録を用いる解析手法では、地震記録の年代ごとの精粗が考慮されるとともに、

余震を除去した地震記録が用いられている。本試算では、震源深さ100km以浅の地震を考慮することとし^{2), 3), 4)}、我が国における地震記録の年代ごとの精粗を考慮して、次のI、IIの記録を用いた。

I : マグニチュード $M < 6.0$ の地震
気象庁カタログ (1926~1996年7月)

II : マグニチュード $M \geq 6.0$ の地震
宇津カタログ (1885~1925年)
気象庁カタログ (1926~1996年7月)

また、マグニチュード $M(\geq 6)$ の地震 j に後続して発生する地震の中で、次の3条件をいずれも満足する地震を余震とみなし⁵⁾、上記I、IIの記録から除去した。

- ①地震 j の発生後90日以内に発生する地震
- ②地震 j の震央を中心とする半径 r に震央が位置する地震

ここに、半径 $r = \sqrt{2 \times 10^{M+6.8}}$ [km]

③マグニチュードが M 未満の地震
地震記録I、IIの総数は6719記録であるが、余震記録を除去することにより、記録の総数は5011記録となった。

地震危険度の試算においては、解析対象地点の半径300km以内に発生した地震を考慮することとした。

(2) メッシュ内の地震記録を用いた地震発生頻度の評価

最初に、緯度・経度0.1度間隔に機械的に設定したメッシュ内の年平均地震発生回数を、メッシュ内の地震記録を用いて評価した。

次に、メッシュ内の年平均地震発生回数をガウス型自己相関関数を用い空間的に平滑化した。相関距離については、25km、50km及び100kmとした結果を比較し、メッシュ内の年平均地震発生回数の地域的な変動特性を比較的保っている25kmを採用した。結果を図-1に示す。同図から、茨城県南西部、茨城県北部沖等でメッシュ内の年平均地震発生回数が大きくなっていることがわかる。

(3) バックグラウンドゾーンを用いた年平均地震発生回数及び地震規模の分布特性の評価

メッシュごとの年平均地震発生回数は、基本的にメッシュ内の地震記録に基づいて評価するが、メッシュ状の地震活動域は小さく、メッシュ内に地震記録が少ない場合があるため、メッシュ状の地震活動域で評価される年平均地震発生回数は著しく低くなることがある。そのようなメッシュ状の地震活動域の年平均地震発生回数については、潜在的な地震危険度への配慮から、バックグラウンドゾーンを用いて評価した年平均地震発生回数を用いて補正した。

バックグラウンドゾーンは我が国及びその周辺の地震地体構造⁶⁾等に基づき地震の発生特性、マグニチュードの分布特性、最大マグニチュードなど、地震の発生特性が同様であると考えられる地域として設定した。バックグラウンドゾーンを図-2に示す。バックグラウンドゾーン i において、マグニチュード M が m を超える地震の発生頻度 $N_i[M > m]$ [回/yr]は、(1)式に示すGutenberg-Richter式に従うものとした。

$$\log N_i[M > m] = a_i - b_i m \quad (1)$$

ここで、 a_i 値及び b_i 値は当該バックグラウンドゾーン i 内の過去の地震記録に基づき算出されるものであり、本試算ではI、IIの地震記録を用いて算出した。バックグラウンドゾーンごとに算出した a_i 値 b_i 値、及び、地震地体構造に基づき設定した最大マグニチュードを表-1に示す。バックグラウンドゾーン i 内の1メッシュ面積あたりの年平均地震発生回数 v_{sub} は、(2)式により算出される。図-3に結果を示す。

$$v_{sub} = 10^{a_i - b_i M_{iL}} \frac{A_{mesh}}{A_{background-i}} \quad (2)$$

ここに、

- $A_{background-i}$: バックグラウンドゾーン i の面積
- A_{mesh} : メッシュの面積
- M_{iL} : バックグラウンドゾーン i において解析上考慮する最小のマグニチュードであり、全てのバックグラウンドゾーンで $M_{iL} = 5$ とした。

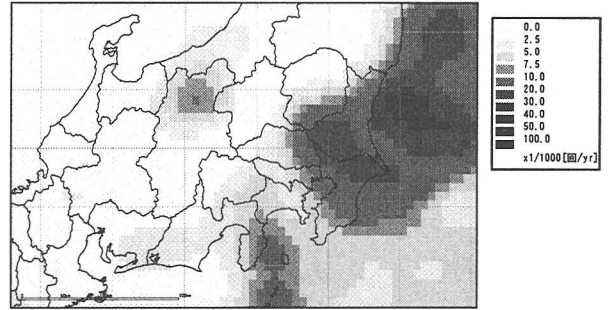


図-1 平滑化後年平均地震発生回数 (v_{mesh-i})

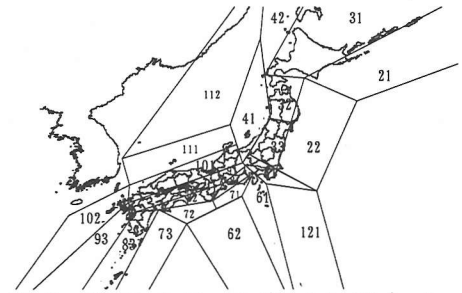


図-2 設定したバックグラウンドゾーン

表-1 各バックグラウンドゾーンの地震発生特性

バックグラウンドゾーン番号	地震数	最大マグニチュード	平均震源深さ(km)	a値	b値
21	1067	8.20	42.35	4.66	0.76
22	1577	8.55	34.27	4.77	0.75
31	117	7.10	47.58	4.57	0.88
32	145	7.50	45.56	5.21	0.95
33	182	7.50	45.08	5.51	1.01
41	108	7.75	10.86	6.14	1.10
42	7	7.75	10.00	1.16	0.42
51	212	8.20	37.80	4.80	0.85
61	166	7.30	23.69	4.96	0.93
62	9	7.30	39.33	3.45	0.86
71	24	8.40	16.67	3.25	0.66
72	19	8.40	12.74	2.15	0.48
73	337	7.75	36.21	5.10	0.88
81	31	8.00	16.97	6.19	1.25
82	71	8.00	28.18	4.27	0.83
83	183	8.00	30.75	4.57	0.87
91	22	7.75	14.23	4.29	0.90
92	102	7.75	20.31	4.79	0.87
93	148	7.25	32.39	3.19	0.58
101	126	8.00	6.98	4.82	0.87
102	1	7.00	-	-	-
111	17	7.00	24.12	2.91	0.70
112	3	7.75	34.33	2.03	0.66
121	243	7.30	46.62	4.77	0.88

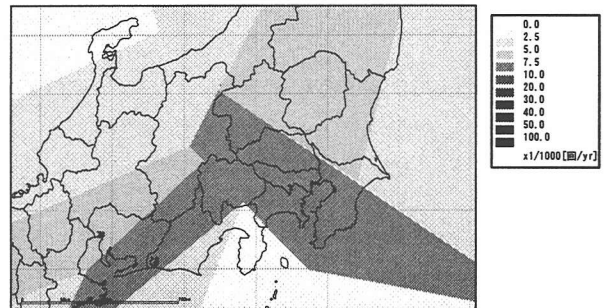


図-3 バックグラウンドゾーンの年平均地震発生回数

(v_{sub})

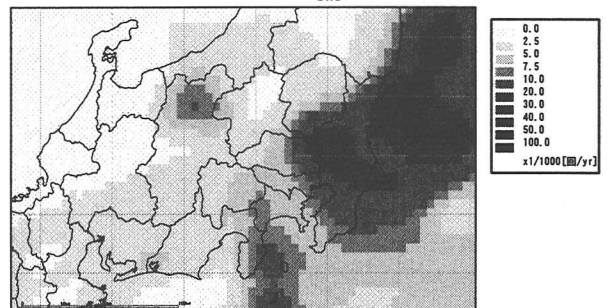


図-4 メッシュ状の地震活動域の年平均地震発生回数

(v_i)

(4) 危険度解析に用いる年平均地震発生回数及び地震規模の分布特性

危険度解析に用いるメッシュ内の年平均地震発生回数 v_i は、平滑化されたメッシュ内の年平均地震発生回数 v_{mesh-i} と、そのメッシュを含むバックグラウンドゾーンの1メッシュ面積あたりの年平均地震発生回数 v_{sub} を比較して設定する。すなわち、 v_{mesh-i} が v_{sub} よりも大きい場合には v_{mesh-i} を危険度解析に用いるメッシュ内の年平均地震発生回数 v_i とし、 v_{mesh-i} が v_{sub} よりも小さい場合には、(3)式の加重平均で算出される年平均地震発生回数 v'_{mesh-i} を v_i とした。これは、そのメッシュ内の地震記録がたまたま少なく、メッシュ内の年平均地震発生回数 v_{mesh-i} が小さく評価された場合に、その地域の潜在的な地震危険度を反映するための処置である。

$$v'_{mesh-i} = 0.67v_{mesh-i} + 0.33v_{sub} \quad (3)$$

図-4に危険度解析に用いるメッシュ内の年平均地震発生回数 v_i の算出結果を示す。

また、メッシュ内で発生するの地震規模の分布特性を表す b 値としては、メッシュ i を含むバックグラウンドゾーン内の地震記録を用いて評価される b 値を用いることとした。メッシュ i における地震のマグニチュード M の確率密度関数は、Gutenberg-Richter式に基づき(4)式のように表される。

$$f_M^{mesh-i}(m) = \frac{b \exp[-b(m - M_{iL})]}{1 - \exp[-b(M_{iU} - M_{iL})]} \quad (4)$$

ここに、

M_{iU} : メッシュ i を含むバックグラウンドゾーンの最大マグニチュード

M_{iL} : 解析上考慮する最小のマグニチュードであり、全てのメッシュで $M_{iL} = 5$ とした。

(5) 地震動特性値の推定

試算地点に生じる地震動の地震動特性値として最大加速度を用いた。試算地点に生じる最大加速度は安中らの距離減衰式⁷⁾で推定することとした。

$$\log x = 0.627M + 0.00671H - 2.212 \log(R + 0.35e^{0.65M}) + 1.711 \quad (5)$$

ここに、

x : 最大加速度[gal]

M : マグニチュード

H : 震源深さ[km]

R : 断層面との最短距離[km]

メッシュ i 内で発生する地震により試算地点に生じる地震動特性値を推定する場合には、断層面との最短距離としては震源距離を、震源深さとしてはメッシュ i を含むバックグラウンドゾーン内の地震記録の平均的な震源深さを用いた。

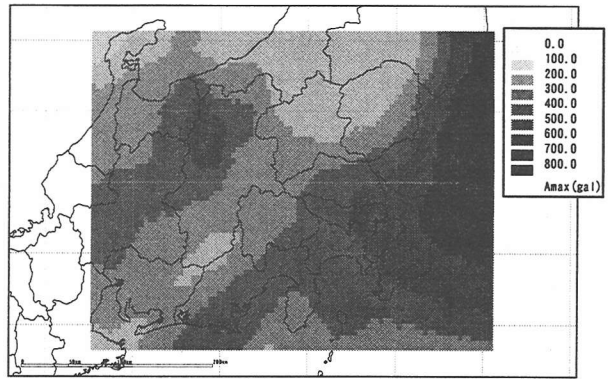


図-5 USGSの手法による地震危険度の試算 (再現期間1000年)

3. 試算結果と考察

メッシュ状の活動域に基づく地震危険度解析手法により再現期間100年、及び1000年の最大加速度の期待値を算出した。一例として、再現期間1000年の試算結果を図-5に示す。また、同じ地震記録を用いて、一般的な地震危険度解析手法^{8), 9)}により再現期間100年、及び1000年の最大加速度の期待値を算出した。再現期間1000年の試算結果を図-6に示す。ここで、一般的な手法とは、地震の発生特性が一樣であると考えられる地域をバックグラウンドゾーンとして区分けして地震危険度を算出する方法である。さらに、図-7、図-8には再現期間100年及び1000年について、一般的な手法により算出した期待値とUSGSの手法により算出した期待値の比を示した。

図-5、6、7及び図-8から、試算した期待値マップには以下の特徴がある。

①USGSの手法による期待値マップは、一般的な地震危険度解析手法に比べて、主に茨城県及び福島県沖で50%程度大きい期待値を与え、群馬県から愛知県にかけての地域では30%程度小さな期待値を与える。

②USGSの手法による期待値マップでは、一般的な地震危険度解析手法に比べて地域的な差異が大きい。

図-4から、USGSの手法では茨城県及び福島県沖で局所的に大きい年平均地震発生回数 v_i がメッシュ状の地震活動域に対して設定されている。これは、茨城県及び福島県沖では年平均地震発生回数 v_{mesh-i} が特に大きく、バックグラウンドゾーンを用いて評価した v_{sub} に比べて大きくなっているためである。一般的な手法に比べてUSGSの手法では、メッシュ内に多くの地震記録が集中する場合にはメッシュ状の地震活動域に大きな年平均地震発生回数 v_i が設定されるため、図-7、8に示したように期待値の比が茨城県及び福島県沖で局所的に大きくなったことがわかる。

また、群馬県から愛知県にかけての地域では $v_{mesh-i} < v_{sub}$ となっており、 v_{sub} より小さい v_i が設定されている。このような理由により、一般的な手法に比べてメッシュ状の活動域に基づく手法による期待値マップが群馬県から愛知県にかけての地域で

$$P[x > X, T_D] = 1 - (1 - P_f)(1 - P_h)(1 - P_p) \quad (14)$$

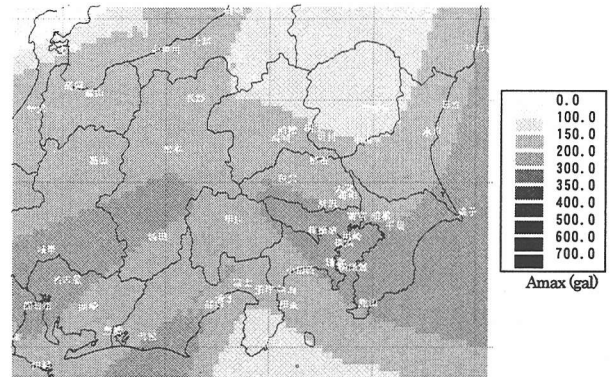
3. 試算結果

50年超過確率が39.5%及び500年超過確率が39.4%となる最大加速度の試算結果を、それぞれ、図-2及び図-3に示す。これらの図の(a)及び(b)には、過去の地震のみを考慮した場合と過去の地震、活断層及びプレート境界地震を同時に考慮した場合の試算結果を示した。図-2(a)及び(b)の比較から、過去の地震、活断層及びプレート境界地震を同時に考慮した50年超過確率39.5%の期待値マップでは、過去の地震を考慮した地震危険度が支配的となっているが、地震発生確率が比較的大きい富士川河口断層帯、糸魚川-静岡構造線活断層系などが位置する中西部においては活断層の影響が見られる。また、糸魚川-静岡構造線活断層系と伊那断層の中間領域のように、複数の活断層の中間領域で期待値が特に大きくなっている場合が見られる。これらの活断層は、50年間の地震発生確率が39.5%よりも小さいため、単独では試算結果に影響を及ぼさないが、複数の活断層、過去の地震記録、プレート境界地震の影響の相乗効果により、このような結果が得られたと考えられる。また、図-3(a)及び(b)の比較から、過去の地震、活断層及びプレート境界地震を同時に考慮した500年超過確率39.4%の期待値マップでは、地震発生確率が高い富士川河口断層帯や糸魚川-静岡構造線活断層系等の活断層の周辺で活断層の影響が支配的になっており、東京湾や駿河湾周辺においてはプレート境界地震が大きな影響を及ぼしている。また、それ以外の地域においては過去の地震を考慮した地震危険度が支配的となっている。

謝辞：本研究の実施に当たっては、土木研究所に設置された「レベル2地震動の設定手法に関する技術検討会(座長：大町達夫東京工業大学教授)」において、ご指導、ご助言を賜った。ここに記して、深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 1) 建築研究所：昭和51年度総合技術開発プロジェクト新耐震設計法の開発報告書「地盤種別地震入力の実験解析(日本付近の地震危険度に関する考察)」, 1977
- 2) 宇佐美：新編日本被害地震総覧, 東京大学出版会, 1997
- 3) 宇津：地震の事典, 朝倉出版, 1987
- 4) (財)日本気象協会, 日本付近の主要地震データ, 1995
- 5) 萩原：日本列島の地震-地震工学と地震地体構造-鹿島出版会, 1991
- 6) Annaka, et al : A Probabilistic Model for Seismic Hazard Estimation in the Kanto District, Proc. of 9th World Conference Earthquake Engineering Vol. II, 1988
- 7) 松田：最大地震規模による日本列島の地震分帯図, 地震研究所集報, 1990
- 8) 活断層研究会：新編日本の活断層, 東京大学出版会, 1991
- 9) 松田：陸上活断層の最新活動期の表, 活断層研究, 13, 1995
- 10) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：活断層の評価, <http://www.jishin.go.jp/main/chousa/chousa2.htm>
- 11) 科学技術庁：平成7~10年度・平成8年度地震調査研究校付近成果報告会, 1997~1999
- 12) 地質調査所：平成9~10年度活断層-古地震研究調査概要報告書
- 13) 松田：活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震, 28, 269-283, 1975
- 14) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：改訂試案「長期的な地震発生確率の評価手法について」, 1999年1月
- 15) 奥村ほか：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, 498-499, 1996

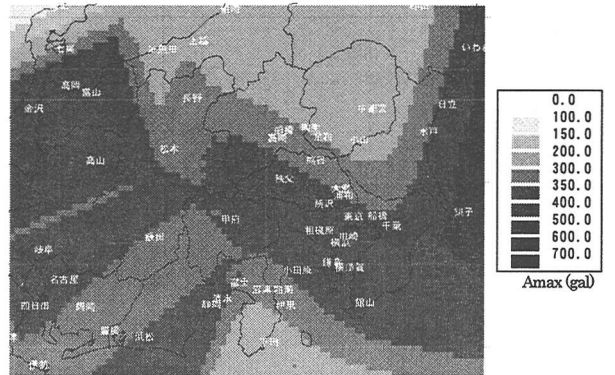


(a)過去の地震のみ考慮

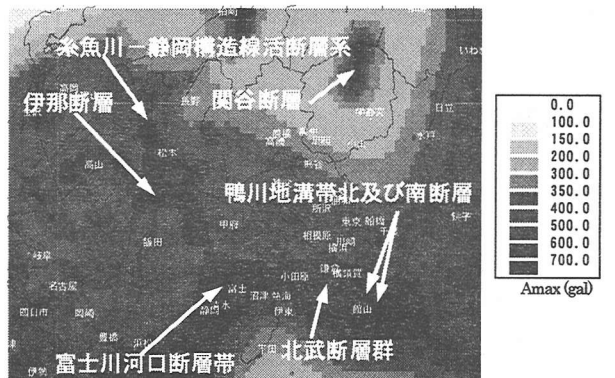


(b)過去の地震、活断層及びプレート境界地震を考慮

図-2 50年超過確率39.5%の最大加速度の期待値マップ



(a)過去の地震のみ考慮



(b)過去の地震、活断層及びプレート境界地震を考慮

図-3 500年超過確率39.4%の最大加速度の期待値マップ

- 16) 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の評価, 2000
- 17) 佐藤ほか：日本の地震断層パラメータ・ハンドブック, 鹿島出版会, 1989
- 18) Wald, D. J. and Somerville, P. G. : Variable Slip Rupture Model of the Great 1923 Kanto Earthquake, Bull. Seism. Soc. Am. Vol.85, 1995