

地震活動域の設定が地震危険度解析に及ぼす影響に関する検討

中尾吉宏¹・日下部毅明²

¹国土交通省国土技術政策総合研究所地震防災研究室 研究官
(〒305-0804 茨城県つくば市大字旭1)

E-mail: nakao-y92rr@nilim.go.jp

²国土交通省国土技術政策総合研究所 地震防災研究室長 (〒305-0804 茨城県つくば市大字旭1)

E-mail: kusakabe-t88d8@nilim.go.jp

確率論的な地震危険度解析には種々のものが提案されているが、地域ごとの地震の発生特性の評価が解析に及ぼす影響については十分な検討がなされておらず、また、地震危険度の解析結果についての検証も十分にはなされていない。本報告は、地震活動域としてバックグラウンドゾーンとメッシュ状の地震活動域を用いた場合について地震危険度の解析結果を比較し、地震の発生特性の評価が解析に及ぼす影響について検討するとともに、旧気象庁震度を指標とした解析結果と、気象庁により実測された震度の蓄積情報とを比較することにより、地震危険度の解析結果について検証した結果を示すものである。

Key Words : Probabilistic seismic analysis, JMA seismic intensity, Backgroundzone, Source grid cell

1. はじめに

確率論的な地震危険度解析には種々のものが提案されているが、地域ごとの地震の発生特性の評価が地震危険度解析に及ぼす影響については十分な整理がなされていない。また、解析の結果得られる地震危険度の評価についても十分な検証がなされていない。地震危険度の評価では、過去の地震記録、活断層及びプレート境界地震を考慮した解析^{例えば^{1), 2)}}がなされるが、本報告では、過去の地震記録を考慮した解析に着目し、地域ごとの地震の発生特性の評価が解析に及ぼす影響について検討した。過去の地震記録を考慮した地震危険度解析においては、我が国周辺の地震地体構造³⁾に基づくバックグラウンドゾーン^{例えば^{1), 2)}}やメッシュ状の地震活動域⁴⁾を設定し、過去の地震記録に基づいて地域ごとの地震の発生特性を評価することが提案されている。本報告では、地震活動域としてバックグラウンドゾーンとメッシュ状の地震活動域を用いる場合の地震の発生特性の評価に着目し、それぞれの地震活動域を用いて全国を網羅する地点を対象に地震危険度解析を施すことにより、地震の発生特性の評価が解析に及ぼす影響について検討した。地震危険度解析では地震動特性値として平成8年まで用いられてきた旧気象庁震度(以下、旧気象庁震度とする)を採用し、解析対象地点を気象庁観測地点とすることによって、地震危

険度の解析結果と、過去の実測震度との大略的な整合についても検証した。

2. 解析に用いた地震記録

過去の地震記録としては、以下の() ~ ()の資料を考慮した。

() 461年~1884年: 宇佐美(1996)による地震カタログ⁵⁾

() 1885年~1925年: 宇津(1987)による地震カタログ⁶⁾

() 1926年~2000年: 気象庁による地震記録⁷⁾

一般に、古い年代の地震についてはマグニチュード等の情報の信頼性が低く、また、記録が欠如していることも考えられる。このため、地震記録の年代ごとの精粗や信頼性に留意して、危険度解析には以下の、の地震記録を用いることとした。

マグニチュード $M < 6.0$ の地震: ()

マグニチュード $M \geq 6.0$ の地震: (), ()

地震危険度解析では、及びの地震記録のうち、震源深さ100km以浅の地震記録を用いることとした。また、地震危険度解析²⁾において別途考慮される活断層及びプレート境界で繰り返し発生する地震に対応する地震記録については、及びの地震記録から取り除いた。更に、及びの地震記録から余震を除去⁸⁾した。地震危険度解析では、各解析対象地点の半径300km以内に発生する地震を考慮

することとした。

3. 地震の発生特性の評価

(1) バックグラウンドゾーン

我が国周辺の地震地体構造に基づいて図-1に示すバックグラウンドゾーンを設定した。図-1のバックグラウンドゾーンのうち、日本海側に位置するゾーンについては多くの地震が25km程度以浅の浅い位置で発生していることから、異なる位置で発生する地震の発生特性と地震動強度とを考慮するため、ここでは、図-1のバックグラウンドゾーンを深さ h が $0 \leq h < 25\text{km}$ のゾーンと、 $25\text{km} < h < 100\text{km}$ のゾーンに分割した。バックグラウンドゾーンの地震の年平均発生回数及びマグニチュード別の地震発生頻度は、それぞれのゾーンに含まれる地震記録に基づいて最尤法によりGutenberg-Richter式を設定することにより評価した。 $25\text{km} < h < 100\text{km}$ のバックグラウンドゾーンについて、ゾーン内に含まれる地震記録が少ないためにマグニチュード別の地震発生頻度（ b 値）を算定することが困難な場合（ゾーン番号124,132,133）には、 $0 \leq h < 25\text{km}$ のゾーンで評価された b 値を用いることとした。また、 $25\text{km} < h < 100\text{km}$ のゾーンに加えて、 $0 \leq h < 25\text{km}$ のゾーンについても含まれる地震記録が少なく、 b 値を算定することが困難な場合（ゾーン番号108,121,122）については、 $0 \leq h < 100\text{km}$ のバックグラウンドゾーンに含まれる地震記録を用いて評価される b 値を $0 \leq h < 25\text{km}$ と $25\text{km} < h < 100\text{km}$ のゾーンの双方に適用することとした。地震の発生には定常ポアソン過程を仮定し、ゾーン内に含まれる地震記録の平均的な震源深さをゾーン内で発生する地震の発生深さとした。表-1にバックグラウンドゾーンごとに評価された年地震発生回数、 b 値及び平均的な震源深さを示す。同表において網掛けの無いものが $0 \leq h < 25\text{km}$ のゾーンを、網掛けの有るものが $25\text{km} < h < 100\text{km}$ のゾーンを示している。また、バックグラウンドゾーン内で発生する地震の最大マグニチュード M_U は、基本的には、萩原（1991）の地震地体構造³⁾に基づいて設定した。ただし、地震地帯構造の M_U が地震危険度解析²⁾で別途考慮される活断層やプレート境界地震に対応する地震のマグニチュードによって決定されている場合には、バックグラウンドゾーンに含まれる地震記録のうち、活断層やプレート境界地震との対応が明らかにされていない地震記録のマグニチュードの最大値を M_U として用いることとした。また、明瞭な地表地震断層を出現させない地震が古い時代に発生していれば、地震記録が欠如している可能性もある。このような地震は、活断層を考慮した地震危険度解析では考慮されず、また、マグニチュードがバックグラウンドゾーンに対して設定した M_U よりも大きければ、過去の地震記録を考慮した地震危険度解析においても考慮されない。そこで、明瞭な地表地震断層を出現させなかった地震のマグニチュードとして、平成12年鳥取県西部地震のマグニチュード $M7.3$ を M_U の下限値として用い

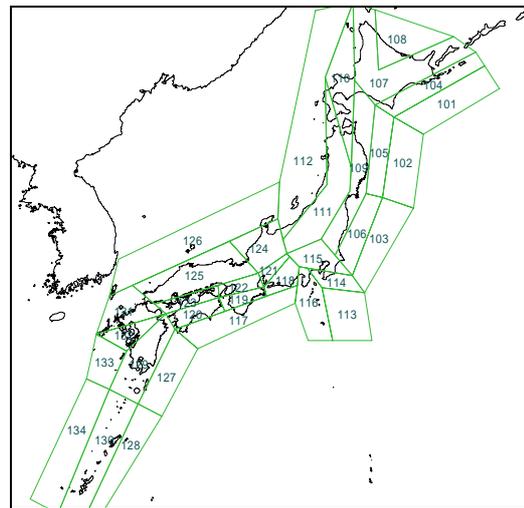


図-1 バックグラウンドゾーン

表-1 地震の発生特性

バックグラウンドゾーン番号	最小マグニチュード	最大マグニチュード	b値	年平均地震発生回数(回/年)	平均的な震源深さ(km)
101	5	8.2	0.89	9.34E-01	6.68
102	5	8.5	0.80	2.48E+00	6.04
103	5	8.0	1.02	7.50E-01	9.17
104	5	7.8	0.74	5.11E-01	5.22
105	5	8.5	1.04	1.37E+00	11.10
106	5	8.0	0.86	1.74E+00	9.10
107	5	7.3	0.96	3.49E-01	8.96
108	5	7.3	0.48	4.11E-02	6.67
109	5	7.5	0.86	5.12E-01	8.22
110	5	7.3	1.08	2.40E-01	6.05
111	5	7.6	0.93	9.08E-01	5.67
112	5	7.8	0.78	7.98E-01	9.72
113	5	7.4	1.23	4.26E-01	7.34
114	5	7.5	1.05	2.50E-01	11.94
115	5	7.3	0.82	3.21E-01	8.44
116	5	7.3	0.96	1.62E+00	9.94
117	5	7.8	0.64	2.43E-01	10.40
118	5	8.0	0.92	2.86E-01	8.80
119	5	8.0	1.06	2.21E-01	8.31
120	5	8.0	1.55	2.96E-01	5.89
121	5	7.5	1.25	3.47E-02	5.00
122	5	7.8	1.01	1.52E-01	10.47
123	5	7.8	0.96	1.04E-01	10.00
124	5	7.3	0.91	4.88E-01	4.69
125	5	7.4	0.96	1.02E+00	8.94
126	5	7.3	0.59	1.16E-01	17.41
127	5	7.8	0.99	1.11E+00	8.35
128	5	8.0	0.71	4.01E-01	8.53
129	5	8.0	0.89	5.01E-01	5.54
130	5	8.0	1.18	5.59E-01	5.99
131	5	7.3	0.80	1.23E-01	5.37
132	5	7.3	0.93	4.16E-01	6.42
133	5	7.3	1.08	1.28E-01	8.45
134	5	7.3	0.61	1.92E-01	6.03
101	5	8.2	0.75	1.83E+00	50.30
102	5	8.5	0.67	1.55E+00	48.23
103	5	8.0	0.84	1.41E+00	46.63
104	5	7.8	0.93	3.47E+00	55.25
105	5	8.5	0.83	2.75E+00	48.71
106	5	8.0	0.79	3.30E+00	47.34
107	5	7.3	1.00	6.68E-01	62.98
108	5	7.3	0.48	1.39E-02	40.00
109	5	7.5	1.05	3.17E+00	61.80
110	5	7.3	1.32	7.97E-02	43.75
111	5	7.6	0.61	5.45E-02	40.67
112	5	7.8	0.90	5.23E-01	42.74
113	5	7.4	0.90	1.25E+00	55.93
114	5	7.5	0.77	4.63E-01	61.75
115	5	7.3	1.06	2.26E+00	57.50
116	5	7.3	0.97	4.35E-01	44.19
117	5	7.8	0.76	2.56E-01	48.00
118	5	8.0	1.18	1.82E-01	36.08
119	5	8.0	0.71	2.41E-01	54.04
120	5	8.0	1.06	2.59E-01	46.36
121	5	7.5	1.25	6.14E-02	40.66
122	5	7.8	1.01	2.74E-02	52.70
123	5	7.8	0.59	1.35E-01	58.74
124	5	7.3	0.91	3.64E-02	33.85
125	5	7.4	1.67	9.95E-02	39.68
126	5	7.3	1.61	7.90E-02	37.60
127	5	7.8	0.86	2.05E+00	46.33
128	5	8.0	0.87	1.21E+00	59.52
129	5	8.0	1.20	4.58E-01	55.97
130	5	8.0	0.87	5.60E-01	53.47
131	5	7.3	0.93	0.00E+00	0.00
132	5	7.3	1.08	1.86E-02	30.00
133	5	7.3	0.88	7.64E-02	46.80
134	5	7.3	0.57	8.12E-02	69.19

ることとしている²⁾。地震危険度解析に考慮する地震の最小マグニチュード M_L としては $M5$ を用いることとした。表-1にバックグラウンドゾーンごとに設定した M_U と M_L を示す。

(2) メッシュ状の地震活動域

緯度・経度 0.5° 刻みで深さ方向に 25km の厚みを有するメッシュ状の地震活動域を設定した。本報告では $0 \sim 100\text{km}$ で発生する地震を考慮するため、深さ方向には4つのメッシュ状の地震活動域が配置されることになる。ここでは、メッシュに含まれる地震記録の年代による精粗を考慮して、メッシュ毎の年地震発生回数を算定した上で、ガウス分布を用いて水平面内のメッシュの年平均地震発生回数を平滑化した。緯度・経度 0.5° の大きさのメッシュで評価される年平均地震発生回数の地域的な分布特性が維持されるよう、ガウス分布の相関距離としては 50km を用いることとしている。地表に位置するメッシュについて、平滑化した年平均地震発生回数を図-2に示す。メッシュ内で発生する地震の最大マグニチュード、最小マグニチュード、 b 値については、メッシュが含まれるバックグラウンドゾーンに準じて設定することとした。また、メッシュ内で発生する地震は、メッシュの中心部で発生するものとした。

4. 地震動強度の推定

地震動強度としては、平成8年まで用いられてきた旧気象庁震度⁹⁾を用いることとし、山崎ら¹⁰⁾によって導出された計測震度の距離減衰式を用いて地震動強度を推定した上で、旧気象庁震度に置き換えた。山崎らの距離減衰式では、気象庁87型強震計記録から算定された計測震度を用いて地点毎の地点補正係数が算定されているが、本報告では、解析対象地点において観測された旧気象庁震度に距離減衰式が最も適合する地点補正係数を算定し、地震危険度解析に用いることとした。

5. 地震危険度解析の対象地点

地震危険度解析は、表-2に示した気象庁観測地点を対象とすることとし、1年間に生じる地震動 x が、 x 旧気象庁震度となる確率 p を算定した。また、表-2に示した地点では50年以上の期間にわたって震度観測がなされているため、実測の震度情報に基づいた確率 p も算定し、地震危険度解析の結果と比較した。ここで考慮することとした震度情報は、地震危険度解析で考慮した最小マグニチュード $M5$ 以上の地震による観測情報である。表-1の観測期間に観測された震度は、そのほとんどが震度4程度までのものであり、確率 p を比較的長い期間で算定した場合には、小さい旧気象庁震度に対する確率 p が1に漸近し解析結果との比較が困難になる。このため、本報告では確率 p は期間1年で算定し、震度4程度までの情報を有効に活用して地震危険度解析の結果と観測震度とを比較することとした。気象庁の震度については、過去に変遷があり、現在では計測震度が採

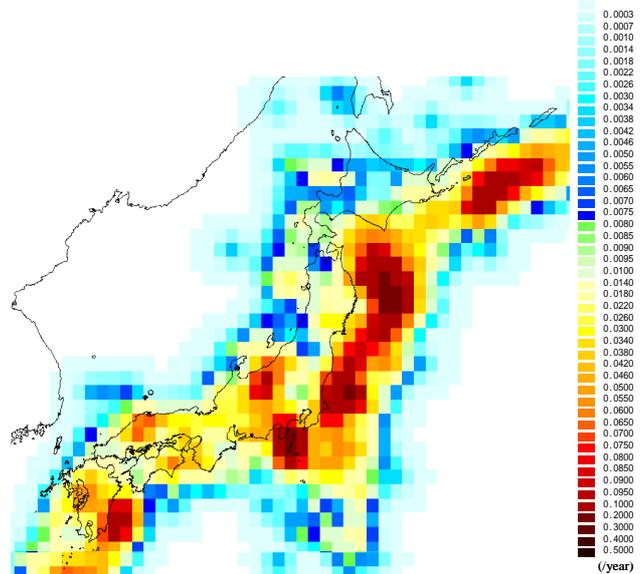


図-2 平滑化された年平均地震発生回数

表-2 解析対象地点

No.	解析対象地点
1	稚内市開運
2	札幌中央北2条
3	浦賀町潮見
4	仙台宮城野区五輪
5	いわき市小名浜
6	東京千代田区大手町
7	長野市松代
8	松本市沢村
9	御前崎町御前崎
10	名古屋千種区日和町
11	串本町潮岬
12	岡山市桑田町
13	米子市博労町
14	松江市西津田
15	下関市竹崎
16	宮崎市和知川原
17	鹿児島市東郡元

用されているが、本報告では、昭和24年から平成8年までの期間に適用されてきた旧気象庁震度と、それ以外の期間に採用された震度について連続性があるものと仮定した。旧気象庁震度の観測情報には、地震危険度解析に考慮する地震記録から取り除いた活断層等に起因する地震や余震が含まれているため、これらの地震に起因する震度情報を取り除いた上で、確率 p を算定した。表-2に示した気象庁観測点は、同表に示した観測期間において、観測所を近隣に移設しているケースが含まれていることも考えられるが、移設に伴う観測震度の大きさの変化については、ここでは無視している。

6. 地震危険度の解析結果

3. で設定したバックグラウンドゾーンとメッシュ状の地震活動域を用いて地震危険度解析を行った結果の例を図-3に示す。同図には、地震動 x が x 旧気象庁震度となる1年当たりの確率 p を、実測の震度情報に基づいて算定した結果も合わせて示している。

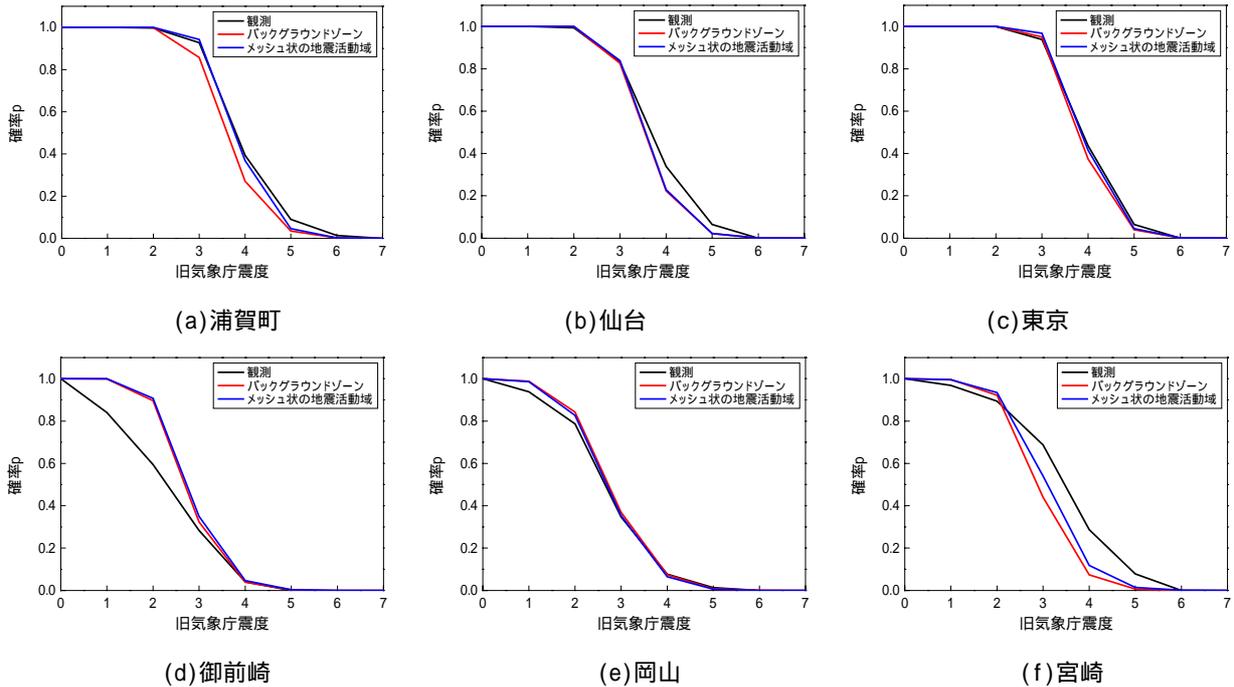


図-3 地震危険度解析と観測震度

(1) 地震活動域の設定の影響

図-3から、バックグラウンドゾーンとメッシュ状の地震活動域を用いた場合の解析結果を比較すると、浦賀町及び宮崎において評価された確率に多少の差異が認められるが、それ以外の地点では大きな差異は認められない。図-3に示した地点以外の解析対象地点では、いわきにおける多少の差異を除いて、それ以外の地点では大きな差異が認められなかった。メッシュ状の地震活動域は、バックグラウンドゾーンに比べ、地震の年平均発生回数の地域的な変動や25km以深の地震発生の震源深さが実際の地震に近い状態で評価される。2つの地震活動域を用いた解析に大きな差異が認められなかったのは、本報告の解析に与える影響という観点では、地震の年平均発生回数の地域的な変動や地震発生の震源深さがバックグラウンドゾーンによっても適切に捉えられていたためと考えられる。また、本報告では、地震動 x が x 旧気象庁震度となる確率 p を1年間という短い期間で評価したために、比較的大きな旧気象庁震度において算定される確率 p に地震活動域の違いによる差異が生じにくかった面もあると考えられる。

(2) 解析結果と観測震度との比較

ここでは、地震危険度解析の結果と実測された震度情報とを比較する。図-3から、御前崎においては震度2以下で、また、宮崎においては震度3以上で解析結果と観測震度に乖離が認められるが、それ以外については、両者に大局的な一致が認められる。また、図-3以外の地点についても、一部の地点、一部の震度を除き、解析結果と観測震度に大局的な一致が認められた。地震危険度解析で考慮する地震の発

生位置や地震の最大マグニチュード等は震度観測がなされた地震とは異なること、また、距離減衰式では実際とは異なる地震動が予測されることがあることから、解析結果と震度観測は一致するものではないが、バックグラウンドゾーンとメッシュ状の地震活動域を用いたいずれの解析も大局的に観測震度と整合することが認められた。

参考文献

- 1) 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
- 2) 中尾吉宏、日下部毅明、村越潤、田村敬一：確率論的な地震ハザードマップの作成手法、国土技術政策総合研究所研究報告、2003
- 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) Arthur Frankel, et al.: *Open-file report 96-532*, U.S. Geological Survey, 1996
- 5) 宇佐美龍夫：新編日本被害地震総覧、東京大学出版会、1996
- 6) 宇津徳治：地震の事典、朝倉出版、1987
- 7) 気象庁編集：地震年報平成12年、気象業務支援センター発行CD、2000
- 8) 荒川直士、川島一彦：前・余震の頻度及び規模に関する調査、土木研究所資料第1995号、1983
- 9) 気象庁監修：震度を知る 基礎知識とその活用、ぎょうせい、1996
- 10) Khosrow T. Shabestari and Fumio Yamazaki: *Attenuation of JMA Intensity Based on JMA-87-type Accelerometer Records*, 第2回年直下地震災害総合シンポジウム, 1997

(2003.10.10 受付)