

(95) 歴史地震データによる加速度期待値の地域特性

西松建設株式会社 正員 ○ 戸松 征夫  
 東京大学生産技術研究所 正員 片山 恒雄

1. まえがき

日本全国の地震動強さの分布の研究について、従来からの研究成果の一部は服部<sup>1)</sup>や北川<sup>2)</sup>によりまとめられている。筆者らもいくつか報告をまとめており<sup>3)-5)</sup>、文献(5)では地震動強さの評価指標として種々のものがあることを指摘し、それらの関係を分布図を基にして解析した。もちろん、解析に用いる地震動の距離減衰式はいくつもの中から選択の余地があり、それらの性質が異なることから導かれる加速度の値も異なる。この点の比較検討を十分行っていないが、加速度期待値の高いところと低いところの分布は、地震発生データに1885年以降のほぼ100年間のデータを用いる限り、共通して現れる傾向としてとらえることができる。

そこで、本報告は次の点を検討している。

- (1)古い地震データは精度が劣るが、これを取り込んだ解析を行い取り込むことの効果を調べる。
- (2)地震動強さの評価指標の間にどういう関係があるか定量的な分析をする。
- (3)地震危険度の地域的な特徴を数量的に表現することを試みる。

なお、地震動強さのランク分けには従来よりも合理的な表現方法を工夫をしている。

2. 解析方法

地震危険度の評価指標に次の9種を選ぶ。

- a)再現期間100年の加速度期待値
  - b)過去100年間の既往最大加速度
  - c)過去100年間の加速度80gal以上の来襲回数
  - d)過去100年間の加速度100gal以上の来襲回数
  - e)~h)再現期間100年の加速度応答スペクトル期待値  
 (周期0.2秒,0.7秒,1.0秒,4.0秒)
  - i)有史以来の既往最大加速度
- a)~h)は文献(5)と同じであり、i)は古い地震データを考慮するために新たに追加したものである。解析条件も一部を除いて文献(5)と同じである。

- ①地震発生データ：宇津カタログ<sup>6)</sup>(1885年以降,  $M \geq 6.0$ )
- ②距離減衰式：道路橋示方書<sup>7)</sup>
- ③地盤条件：標準的な沖積地盤(道路橋示方書の3種地盤)
- ④計算方法：<ERISA-G>システム<sup>8)</sup>

一部の指標を計算する上で解析条件を変えているので記す。

- [例外1] 指標i)の解析には、地震発生データに宇佐美カタログ<sup>9)</sup>(1885年以前)も併用する。
- [例外2] 指標e)~h)の解析には、地震発生データに気象庁カタログ(1926年以降,  $5 \leq M < 6$ )も併用する。
- [例外3] 指標e)~h)の解析には、距離減衰式に片山ら<sup>10)</sup>の解析結果を用いる。

計算地点は日本列島を緯度・経度とも20分ごとに分割した合計516点であり、主な島や諸島も含まれている。ここで、海の地域を地震動強さの統計処理から除くのが妥当であると考え、解析に含まないように配慮してある。計算地点のブロック範囲を図1に示す。

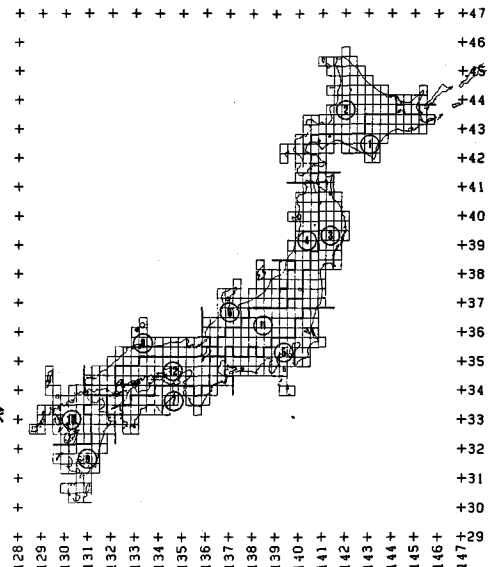


図1 計算地点のブロック範囲  
 (番号は後に述べる地域区分を示す)

### 3. 古い地震データを取り込んだ解析

古い地震データはその精度が最近のものより劣るとはいえ<sup>11)</sup>、地震があったという事実は貴重であり、これをできるだけ解析に反映させることが好ましい。期待値を求めるために精度の異なるデータを利用するには詳しい検討を必要とするが、単に既往最大加速度を計算するだけなら古い地震データを利用することは比較的容易である。そこで、古い地震データを取り込むことによって解析結果がどう変わるかを調べる。この目的に適した地震データとして「工学的地震動策定のための日本被害地震一覧表」<sup>9)</sup>を用いる。

評価指標のb)過去100年間の既往最大加速度とi)有史以来の既往最大加速度とを比較する。各計算地点について両者の大小関係を調べると、当然のことながら $b \leq i$ の関係にある。その内、 $b=i$ の地点が51%、 $b < i$ の地点が49%あり、約半分の点が1884年以前の大きな地震の影響を受けている。b)およびi)の累積頻度確率をプロットしたものが図2のb線とi線である。上の関係はi線がb線の右側に寄ることで示されている。

なお、図2中のa線は再現期間100年の加速度期待値の累積頻度確率であり、b線とi線のほぼ間に位置する。このことから、再現期間100年の加速度期待値は地震危険度を表す指標として重要であることがうかがえる。

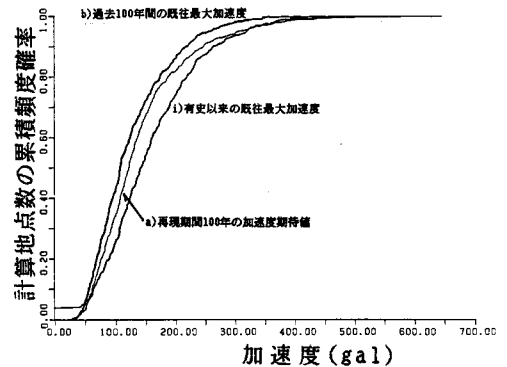


図2 加速度に対する計算地点数の累積頻度確率

### 4. 種々の指標間の相関係数

地震危険度の評価指標の意味を検討するため、9種の指標間の相互の相関係数を求めて表1に示す。表の中で係数が0.80を上回る部分と0.5を下回る部分を強調してある。隣合う周期の応答スペクトル(e~h)および2種の来襲回数(c,d)の間で相関が高くなっている点は常識と矛盾しない。また、加速度期待値(a)は2種の来襲回数(c,d)や応答スペクトルの短周期成分(e,f)と相関が高く、文献(5)で分布の形状図を基にして指摘した類似性が相関係数の大きいことから導かれる。一方、相関係数の小さいところは、加速度応答(周期4.0秒)(h)および有史以来の既往最大加速度(i)の欄に集中しており、この2つの指標は他の指標と性質を異にしていることが分かる。

次に、過去100年

表1 指標間の相関係数

100年間 加速度期待値	過去100年 既往加速度	加速度80gal 来襲回数	加速度100gal 来襲回数	加速度応答 (周期0.2秒)	加速度応答 (周期0.7秒)	加速度応答 (周期1.0秒)	加速度応答 (周期4.0秒)	有史以来 既往加速度	評価指標
a	b	c	d	e	f	g	h	i	
1.0	0.68	0.53	0.54	0.80	0.54	0.72	0.43	0.53	a
	1.0	0.66	0.69	0.69	0.69	0.64	0.42	0.74	b
		1.0	0.55	0.70	0.72	0.64	0.56	0.53	c
			1.0	0.72	0.75	0.68	0.60	0.60	d
				1.0	0.92	0.79	0.42	0.53	e
					1.0	0.80	0.57	0.49	f
						1.0	0.80	0.46	g
							1.0	0.27	h
								1.0	i

間の既往最大加速度(b)に注目するとほとんどの欄で加速度期待値に比べ相関係数が低くなっている。有史以来の既往最大加速度(i)の欄ではさらに係数が低くなっている。従って、既往最大加速度を考える場合は100年間でであろうと有史以来であろうと地震危険度の指標の代表にはなりにくく、加速度期待値などでは現れない情報を読み取るために補助的に利用するのが妥当と判断される。また、応答スペクトル(周期4.0秒)も既往最大加速度の場合と同じ理由で補助的

に利用するのが妥当であろう。

### 5. 加速度期待値の分布図

分布図を表示する時に、等高線をいくら値で引くかによって分布形状が大きく変わる。この場合に意味のある値で等高線を引くのが好ましい。そこで、全国での計算地点の数を4等分する加速度値を求め、これにより計算地点をⅠ,Ⅱ,Ⅲ,Ⅳにランク分けして表現する。この表現は統計処理上の四分位数を求めることに相当する。四分位数も分布図と同じく意味のある結果である。

再現期間100年の加速度期待値の分布図を図3に示す。ランクを分ける加速度は85gal,123gal,167galとなっており、第3四分位数は第1四分位数の約2倍になっている。分布形状は文献(5)に等高線で示してあるものとほとんど同じであり、加速度期待値の高い地域は太平洋岸の大部分と若狭湾を中心とする北陸から山陰にかけての広い地域、それと秋田付近にみられる。

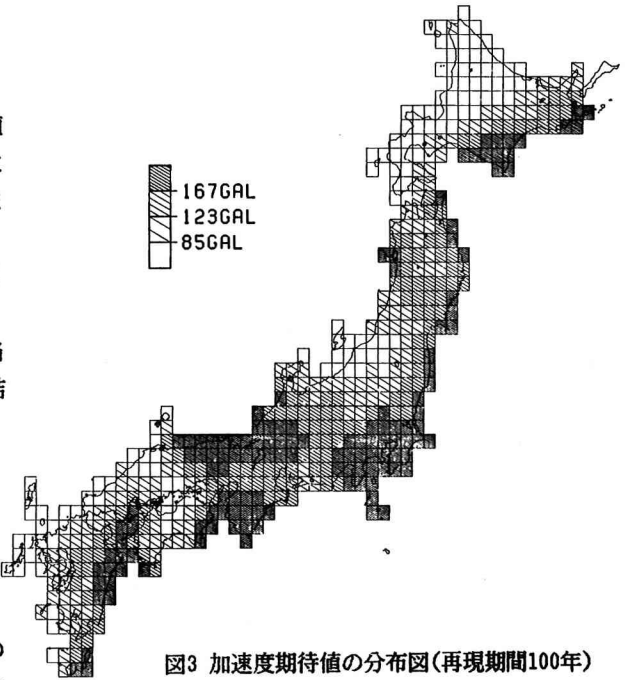


図3 加速度期待値の分布図(再現期間100年)

### 6. 地域分けによる各地域ブロックの特徴

各地域の地震危険度の特徴を定量的に表現するための解析を行う。このために、道路橋示方書を初めとして各種基準に採用されている地域区分や震源位置の分布を参考にして日本列島を12の地域に分類する(図1に地域区分の境界線と番号が示してある)。解析に用いる指標には、先の表1の結果からa)加速度期待値、h)応答スペクトル(周期4.0秒)、およびi)有史以来の既往最大加速度を選んでいる。

表2は、各地域ごとに指標ごとにⅠ～Ⅳの各ランクに属する地点数の割合(%)を示している。各地域内の計算地点数は北海道の日本海側を除き35～46点にそろえてある。地域ごと指標ごとに割合の最も多いランクのところに印を付けてあり、それが第2位ランクと3%以内の差の場合には2ヶ所に印を付けてある。表の下欄には全国の地点を4つのランクに等分する加速度値を示してある。表2から各地域の特徴をよみると、

例えば、④東北地方の日本海側は加速度期待値はランクⅡでやや低い、応答スペクトル(周期4.0秒)は高く、また古い時代から地震記録が多いことが分かる。⑥関西四国地方の日本海側も似た傾向にあり、これ

表2 地域別の地震危険度のランク

地域区分	計地点数	100年間加速度期待値				応答スペクトル(4.0秒)				有史以来の既往加速度			
		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
①北海道太平洋側	44	9	30	27	3.4	2	2	5.0	46	4.1	3.2	1.4	1.4
②北海道日本海側	76	8.2	1.6	3	0	6.2	9	2.5	4	3.1	8	0	1
③東北地方太平洋側	46	0	20	5.6	24	0	0	9	3.1	11	4.3	30	11
④東北地方日本海側	35	11	5.1	2.9	9	0	0	20	8.0	0	2.9	2.9	4.3
⑤関東地方東海地方	46	0	7	2.4	7.0	0	7	4.3	5.0	0	4	4.1	5.4
⑥北陸地方日本海側	40	3.5	3.3	1.8	1.5	1.5	3.8	3.5	1.3	0	2.3	3.8	4.0
⑦関西四国太平洋側	38	3	2.6	2.6	4.5	3	8.8	2.9	0	0	3.2	2.9	3.8
⑧関西中国日本海側	40	3.5	2.0	8	3.8	6.5	2.8	8	0	1.3	2.3	3.8	2.8
⑨九州地方太平洋側	39	8	3.3	2.8	3.1	2.1	6.4	1.3	3	2.3	3.8	2.1	1.8
⑩九州地方日本海側	35	5.4	3.1	1.4	0	7.1	2.3	0	0	4.0	3.1	2.0	9
⑪中部地方内陸部	36	0	2.2	5.0	2.8	0	2.8	5.0	2.2	6	1.7	3.9	3.9
⑫関西中国瀬戸内海	41	1.7	2.7	3.4	2.2	2.9	5.6	1.5	0	1.5	3.2	2.4	2.9
合計	516	85	123	167		24	29	37		101	144	203	
		gal	gal	gal		gal	gal	gal		gal	gal	gal	

らの地域では加速度期待値の指標だけでは地震危険度の評価を誤る恐れがある。

図4には表2で決められた地域の特徴をグラフ表示してある。縦軸に加速度期待値をとり、原点を中心にして右方に応答スペクトル(周期4.0秒)を、左方に既往最大加速度を表示してある。この図から、⑤、⑪、②、⑩の地域は

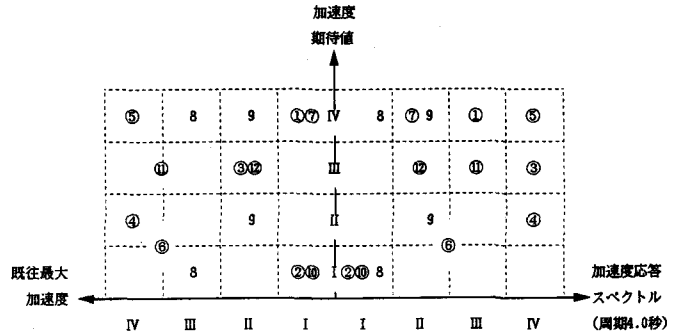


図4 地域別の地震危険度の特徴

でもほぼ同じランクにあるが、それ以外の地域は指標により偏りがあることが分かる。先に挙げた④や⑥の地域は横軸に近いが縦軸からはなれて表示される例である。③と⑧の地域は1つの点で表示できないため複数の点でプロットしてある。

## 7. あとがき

日本全国の地震動強さの分布についての検討を行い、新たに次の結論を得た。

(1) 地震危険度を表す9種の指標間の相関係数を求めて比較したところ、加速度期待値は他の指標との相関が高い。これを評価指標の代表にとるのは適切と判断される。

(2) 古い時代からの既往最大加速度や長周期の応答スペクトルの指標は、加速度期待値では表すことのできない情報を持っていることが相関係数の比較から分かる。これらを補助的に利用することが考えられる。

(3) 加速度期待値の区分値を陸上部分の地点数を4等分するように決めたと、その第3四分位数は第1四分位数の約2倍であった。

(4) 地震危険度の地域の特徴を上記の代表指標と補助指標によりランク分け表現して表2と図4を求めた。これらの図表は地震危険度分布の大ざっぱな傾向をながめる上で参考になろう。

本報告の検討結果は定性的な解析の範囲を大きく出していない。まえがきに述べたが、最大加速度の大きさそのものは、用いる距離減衰式の影響を大きく受けるため、予測される地震動強さと実際の建造物の被害を関連づけるための調査が重要となる。さらに、建造物の耐震計算に最大応答加速度の地域区分図を用いる場合、建造物の固有周期の影響をどのように取り込むのが合理的かなどの点について、今後さらに検討することが必要であろう。

<参考文献> 1)服部定育：建築研究所報告，No.81,1977.

2)北川良和：地盤振動シンポジウム，第8回，1-2,1980.

3)片山恒雄：地震工学研究発表会，第15回，93-96,1979.

4)戸松征夫・片山恒雄：地震工学研究発表会，第18回，481-484,1985.

5)戸松征夫：日本地震工学シンポジウム，第7回，73-78,1986.

6)宇津徳治：地震研究所彙報，Vol.57,401-463,1982.，Vol.60,639-642,1985.

7)道路協会：道路橋示方書・同解説V,104-125,1980.

8)戸松征夫・片山恒雄：東京大学生産技術研究所報告，VOL.32, No.1,1986.

9)宇佐美龍夫：地震学会予講集，No.1,156,1986.

10)片山恒雄・岩崎敏男・佐伯光昭：土木学会論文報告集，No.275,29-40,1978.

11)戸松征夫・片山恒雄：地震学会予講集，No.1,104,1985.