

地震動加速度応答スペクトルの 統計的予測モデルについて

村口英之¹・泉谷恭男²

¹学生会員 信州大学大学院 (〒380 長野県長野市若里500)

²正会員 理博 信州大学教授 工学部社会開発工学科 (〒380 長野県長野市若里500)

地震規模、震央距離、地盤条件の3つのパラメータによって地震動加速度応答スペクトルを予測するモデルがいくつか提案されている。しかし、これらのモデルは主に海洋型地震によって観測されたデータを使用して構築されたものであり、直下地震によって観測されたデータはほとんど含まれていない。

本研究では、いくつかのモデルによる加速度応答スペクトルの予測値と、1995年に発生した兵庫県南部地震によって観測された強震記録から得られる加速度応答スペクトル値の比較、検討を行った。その結果、震央距離が小さい地点では兵庫県南部地震の加速度応答スペクトルの方が大きく、震央距離が大きい地点ではその逆の傾向が見られた。強震動予測の予測に際しては、震源断層の広がりやを考慮することが重要である。

Key Words : *acceleration response spectra, magnitude, epicentral distance, ground condition, hypocentral fault*

1. はじめに

地震規模、震央距離、地盤条件の3つのパラメータによって絶対加速度応答スペクトルを予測するモデルが現在までにいくつか提案されている。これらのモデルは、主に、海洋型地震によって観測されたデータを使用して構築されており、直下地震によって観測されたデータはほとんど含まれていない。また、これらのモデル構築時においては、地震規模(M)が大きく、震央距離(Δ)が小さいデータをあまり含んでいない。

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震の強震記録は非常に多く得られている。本研究においては、いくつかの予測モデルによる予測値と、兵庫県南部地震によって観測された強震記録から得られる加速度応答スペクトル値を比較する。本研究では、主として距離のパラメータに注目し、兵庫県南部地震の地震動の特徴、予測モデルの有効性について考察する。

2. 統計的予測モデルの概要

本研究では、以下に示す2つの統計的予測モデルと観測値との比較を行った。

(1) 片山他による統計的予測モデル¹⁾

1956年から1974年の間に発生した67個の地震によって日本各地で観測された277成分の地震動水平加速度記録をデータとし、数量化I類を用いて絶対加速度応答スペクトル値 \overline{SA} を式(1)のように重み係数の積によって表現している。

$$\overline{SA}(T, h) = f_M(T, h) \times f_\Delta(T, h) \times f_{GC}(T, h) \quad (1)$$

ここに、 T : 1自由度系の非減衰固有周期

h : 1自由度系の減衰定数(=0.05)

$f_M(T, h)$: magnitudeの各範疇に対する重み係数

$f_\Delta(T, h)$: epicentral distanceの各範疇に対する重み係数

$f_{GC}(T, h)$: ground conditionの各範疇に対する重み係数

(2) 川島他による統計的予測モデル²⁾

1965年から1980年の間に観測された394成分の水平成分強震記録を用いて、重回帰分析によって得られた式(2)により絶対加速度応答スペクトル値 \overline{SA} を表現している。

$$\begin{aligned} \overline{SA}(T_k, M, \Delta, GC_i) \\ = a(T_k, GC_i) \times 10^{b(T_k, GC_i)M} \times (\Delta + 30)^{c(T_k, GC_i)} \quad (2) \end{aligned}$$

表-1 データの分類

地盤条件	震央距離 (km)					計
	19以下	20~59	60~119	120~199	200以上	
I		9	14	2		25
II	2(4)	6	2	2	14(16)	26(30)
III		16	2	4	6	30
IV		2		2		4
計	4(6)	33	18	10	20(22)	85(89)

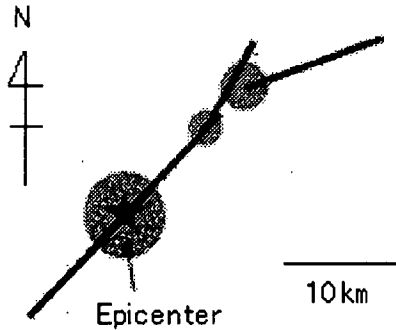


図-1 本解析に使用した震源断層

ここに,

$\overline{SA}(T_k, M, \Delta, GC_i)$: 減衰定数0.05の絶対加速度
応答スペクトル値

M : magnitude

Δ : epicentral distance

GC_i : ground condition

T_k : natural period

$a(T_k, GC_i)$

$b(T_k, GC_i)$: T_k 及び GC_i によって定まる定数

$c(T_k, GC_i)$

3. 使用データ

(1) 強震記録

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震に伴って観測された強震記録^{3) 4) 5) 6)}を解析した。この地震は、 $M=7.2$ 、震源位置は、緯度 $34.607^{\circ}N$ 、経度 $135.004^{\circ}E$ 、深さ $17.73^{\circ}km$ である。片山他のモデルとの比較には85成分、川島他のモデルとの比較には89成分の水平強震記録を使用している。それぞれのモデルとの比較において使用したデータ数が異なるのは、片山のモデルでは震央距離が $6\sim 405^{\circ}km$ の間でしかモデルが適用できず、兵庫県南部地震の強震記録には $6^{\circ}km$ 未満、 $405^{\circ}km$ 以上のデータが4成分含まれていたためである。この85(89)成分の分類を表-1に示す。また、気象庁の観測点の地盤条件は文献7)より得た。

(2) 震源断層

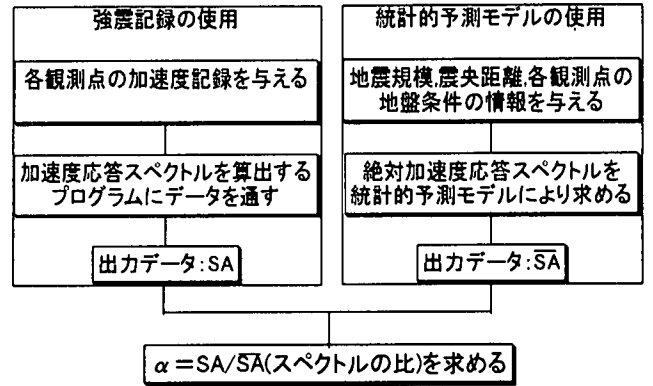


図-2 解析手順のフローチャート

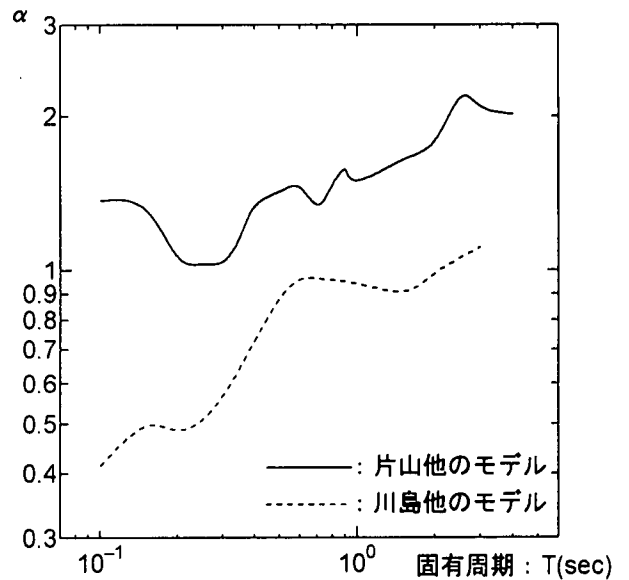


図-3 α の全体の平均値

統計的予測モデルで使用されている距離の取り方は震央距離であるが、本研究では、距離の測り方を震源断層からの最短距離としたときについての検討や、震源断層の走向が、地震動に与える影響等について考察するため、震源断層の情報が必要となる。本研究で使用した震源断層モデル⁸⁾を図-1に示す。

4. 解析手法

図-2に解析の流れを示す。まず兵庫県南部地震の際に各観測点で観測された強震記録を用いて、絶対加速度応答スペクトル値 SA を計算する。次に統計的予測モデルを用いて各観測点の震央距離、地盤条件、(マグニチュードは $M=7.2$ である。) に応じた絶対加速度応答スペクトルの縦距値 \overline{SA} を各統計的予測モデルにより求める。そして、

$$\alpha = SA / \overline{SA} \quad (3)$$

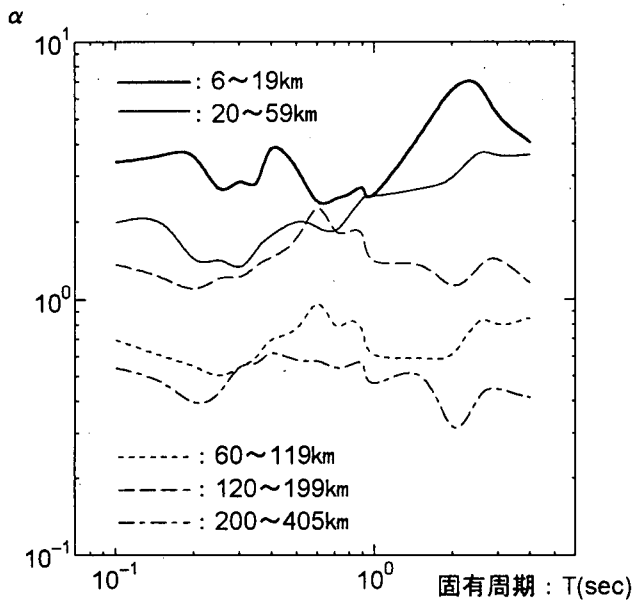


図-4 距離毎の α の平均値(片山他のモデル)

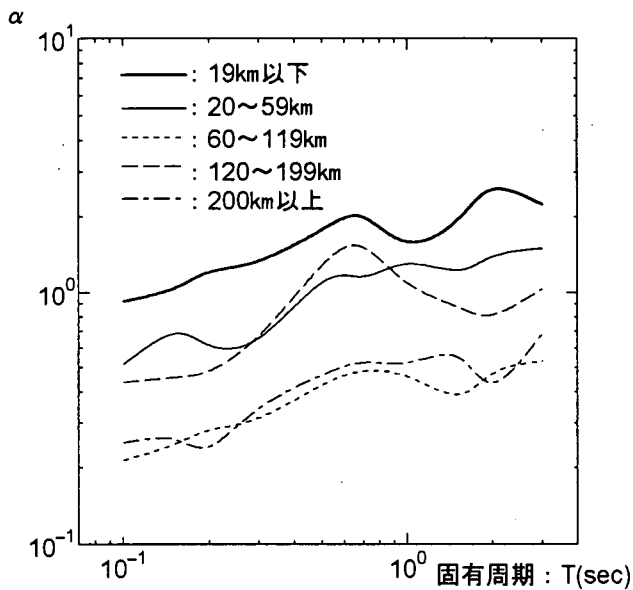


図-5 距離毎の α の平均値(川島他のモデル)

により α を算出し、 α について様々な検討を行った。

5. 解析結果及び考察

(1) 全観測点についての α の平均値

全観測点について算出した α の値を平均した結果を図-3に示す。2つのモデルについての結果は大きな差があることが分かる。片山他のモデルでは、 α の値が全固有周期において1以上を示しており、また、固有周期が長くなるにつれて α が大きくなる。川島他のモデルでは、全体的に α が1以下を示している。しかし、固有周期が大きくなると α が増加する傾向は片山他のモデルと同じである。

これらのことより、長周期成分において、2つのモデルが地震動加速度応答スペクトルを相対的に小さめに予測しており、短周期成分においては、その逆

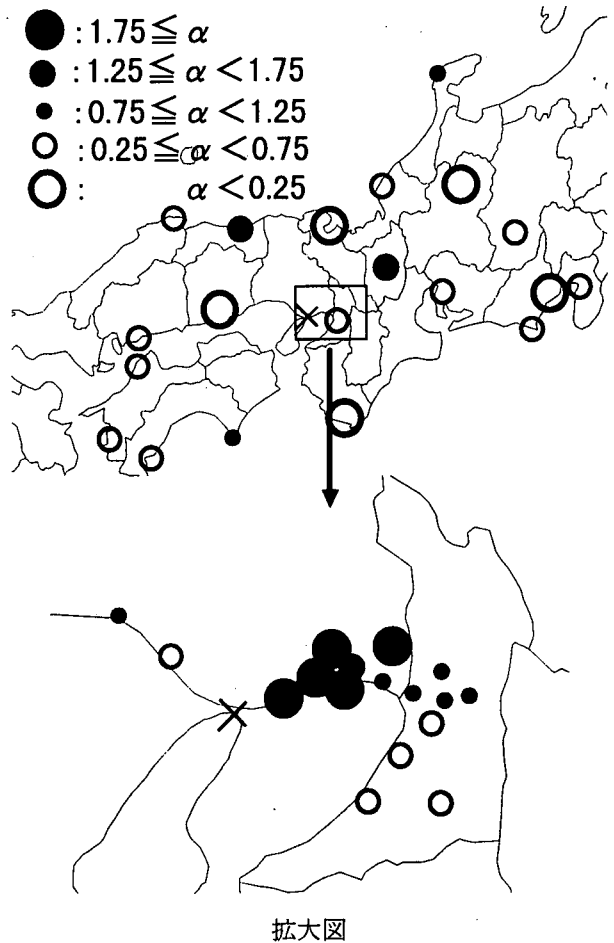


図-6 各観測点の α の値(川島他のモデルによる)

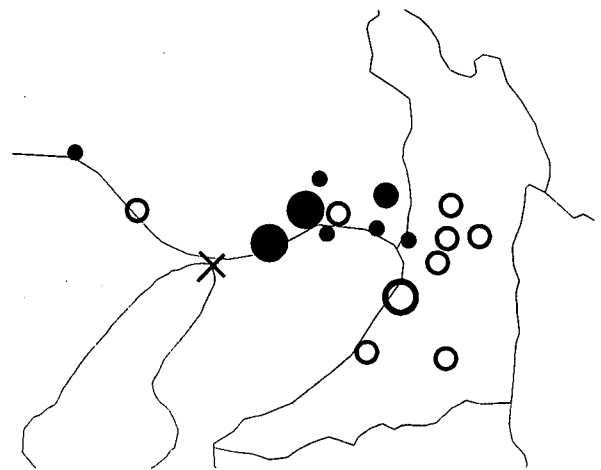


図-7 震央距離を震源断層からの最短距離にしたときの各観測点の α の値(川島他のモデルによる)

の傾向を示していることが分かる。これは、モデルの性質を表す一方で、兵庫県南部地震の記録が2つのモデルを構築する際に用いられたデータに比べて長周期成分が富んでいたことも意味するものとも考えられる。

(2) 震央距離による α の変化

震央距離を片山他¹⁾ に習って5つの範疇に分け、それぞれの範疇に含まれるデータ毎に α の値を平均

した。結果を図-4, 図-5に示す。どちらのモデルにおいても比較的震央距離が小さい範疇においては α の値が大きく、震央距離が大きくなるとその逆の傾向を示している。全観測点について平均した場合に α が1より小さかった川島のモデルにおいても6~19 kmの範疇では α が1よりもかなり大きくなっている。

図-6に観測点毎の α ($T=1.0$ sec)の値を地図上に示した。震央距離の小さい点においては α が1以上を示し、震央距離の大きい地点においてはその逆の傾向を示していることが図-6からも読みとれる。また、震源断層に沿って α が大きい観測点が並んでいることが分かる。

次に、距離の測り方を震央距離ではなく、震源断層からの最短距離にしたときの近距離における各観測点の α ($T=1.0$ sec)について図-7に示す。震源断層近傍の各観測点(距離の測り方を変更したことによって距離が短くなった観測点)の α の値が小さくなってきているのが図-7から分かる。片山他のモデルにおいては α の平均値が全ての固有周期に対して1以上を示しているため、川島他のモデルよりは全体的に各観測点の α の値が大きいが、図-6, 図-7と同じような傾向が見られた。

これらのことから、震源断層の位置が直下地震における地震動を予測する際には非常に重要であると考えられる。

6. おわりに

本研究によって、以下のような結果が得られた。

- ①加速度応答スペクトルの統計的予測モデルは、兵庫県南部地震と比べた場合、長周期成分においては、地震動を小さめに予測し、短周期成分では逆の傾向を示していた。逆に考えると、兵庫県南部地震の地震動がそれらのモデルの構築に用いられた地震動に比べて長周期成分が富んでいたとも考えられる。
- ②統計的予測モデルは、震央距離の小さい地点では地震動を過小評価しており、震央距離が大きくな

るとその逆の傾向を示した。距離の測り方を震源断層からの最短距離にした場合には、この傾向は近距離においてかなり柔らげられる。

- ③強震動予測を行う際には、地震動の発生源である断層位置の想定が非常に重要である。

謝辞：貴重なデータを提供していただいた機関(気象庁, 関西地震観測研究協議会, 財団法人鉄道総合研究所ユレダス推進部, 兵庫県, 大阪府, 奈良県, 関西電力, 水資源開発公団)の方々及び、資料収集にご援助いただいた宮崎大学の原田先生等に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 片山恒雄, 岩崎敏夫, 佐伯光昭: 地震動加速度応答スペクトルの統計解析, 土木学会論文報告集, pp. 29-40, 1978
- 2) 川島一彦, 相沢興, 高橋一之: 強震記録の重回帰分析による上下方向成分の最大地震動および加速度応答スペクトルの距離減衰, 土木学会論文集, 第362号, 昭和60年10月
- 3) 強震観測報告1995年版, 気象庁, 1996年
- 4) 関西地震観測研究協議会: 平成7年兵庫県南部地震強震記録送付状, 1995年
- 5) 中村豊, 上半文昭, 井上英司: 1995年兵庫県南部地震の地震動記録波形と分析(II), JR地震情報No. 23d, 財団法人鉄道総合技術研究所ユレダス開発推進部, 1996年3月
- 6) 原田よりの私信, 1996年
- 7) Gilbert L.Molas and Fumio Yamazaki: Attenuation of Earthquake Ground Motion in Japan Including DeepFocus Event, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.85, No.5, pp.1343-1358, October 1995
- 8) 菊池正幸: 兵庫県南部地震の詳細な震源過程, 東京大学地震研究所のホームページ (<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/~http/HYOGO-1995/Hyogo-Nanbu/data/kikuchi.gif>)