

(13) 強震観測記録による入力地震動特性に関する研究  
 - 周波数特性の類似性について -

神奈川県 栗山利男 神奈川県 荻本孝久  
 都立大学都市研究センター 望月利男

1. はじめに

耐震設計においてより合理的な入力地震動を推定することは重要である。地震時における構造物への入力地震動は、地震の震源特性伝搬経路、および地下構造によって大きく左右されることは、従来から指摘されて

表-1 各観測地点の地盤

	栗松山 (HMY)	修善寺 (SZJ)	銚子 (CHS)	館山 (TTY)	小川 (OGW)	大洗 (OAR)
地形	なだらかな丘陵	山地	平坦地	なだらかな丘陵	川岸段丘	台地の下
標高	40~50m	140m	25m	約150m	約90m	約30m
地質	第三紀中新世 郡枝川層 泥岩	第三紀中新世 湖川層群 凝灰岩	中世代白亜紀 銚子層群 砂岩	第三紀中新世 千倉層群 砂岩・泥岩	古生代~中世代 長形系結晶片岩 緑泥~黒色片岩	中世代白亜紀 ~古第三紀 大洗層 凝灰岩
未固結層・層厚	3.2~7.4m	22m	5m	7m	2m	2m
S波速度(km/sec)	0.7~0.8	0.65~0.7	1.4	0.6~0.64	2.1	1.0
P波速度(km/sec)	2.1~2.4	2.1~2.5	3.1	1.9	4.4	2.5
密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.5~2.0	1.4~2.0	2.4~2.5	1.8	2.7	1.7

ている。岩盤での地震動特性を検討するために、関東地方の4地点において、アレー観測による地震動の同時記録が実施されている。筆者らは、上記観測記録にもとづいて、岩盤での地震動特性に関する研究を行ってきた。本研究は、観測記録に対しバクトル解析を実施し、各観測地点における岩盤での地震動特性（周波数特性）についての検討を行なったものである。

2. 岩盤アレー観測と観測記録の概要

アレー観測は図-1に示すように、栗松山(HMY) 修善寺(SZJ) 銚子(CHS) 館山(TTY) の岩盤上で1979年6月より実施されており、一辺約100km程度の大アレーと、各観測地における一辺約500m程度の水平アレー、および鉛直アレー観測網で構成されている。また、補助観測地として1982年10月より小川(OGW) 大洗(OAR)でも観測が実施されている。表-1に各観測地の概要を示す。観測された地震は、主にマグニチュード4.0~6.0クラスの142地震(1773成分)である。本研究で

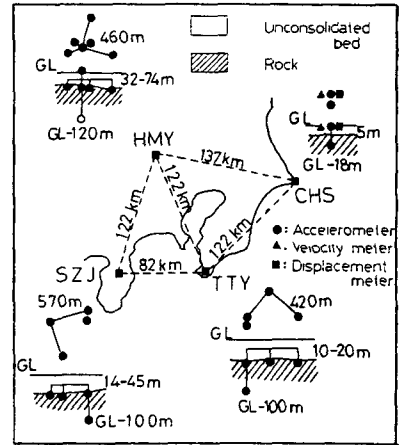


図-1 アレー観測網

主に用いた観測記録は、1982年1月~1984年6月までに観測された81地震の加速度記録である。図-2にこれらの地震の震央分布を示す。観測された地震記録は、時間きざみ0.01秒でデジタル化されている。これらの記録から出力した地震波形の代表例を震源距離の近い順に並べて、図-3に示す。

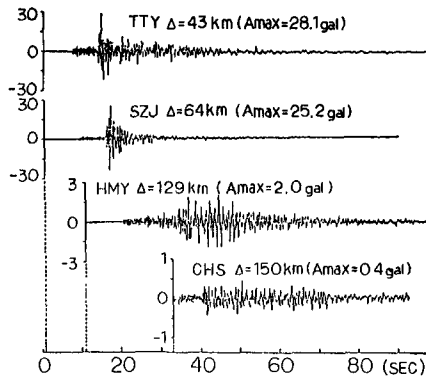


図-3 地震波形 (EQ. NO 703 NS成分)

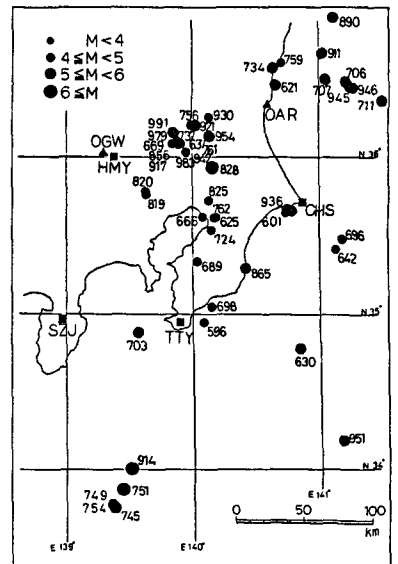


図-2 震央分布

### 3. 震源区域の分布とスペクトル特性

観測された地震記録に対し、FFTによりフーリエスペクトル解析を実施し、そのスペクトル特性がほぼ共通した特性として分類可能な震源区域を区分した。関東地方の地震を対象とした場合、震源区域は図-4に示すように10グループに区分された。その震源区域の分布は、ほぼ図-2に示された地震の震央分布の地域性に対応していることが認められる。図-5に1979年6月～1981年12月までに観

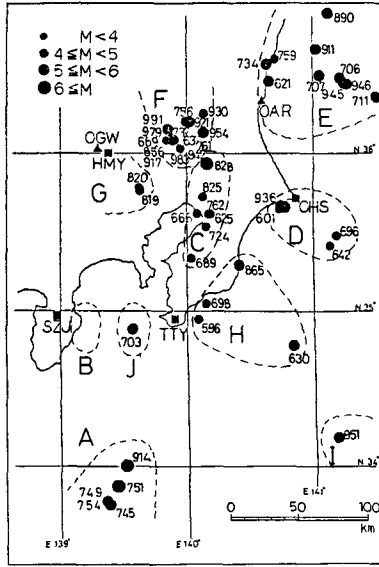


図-4 震源区域 ('82.1 ~ '84.6)

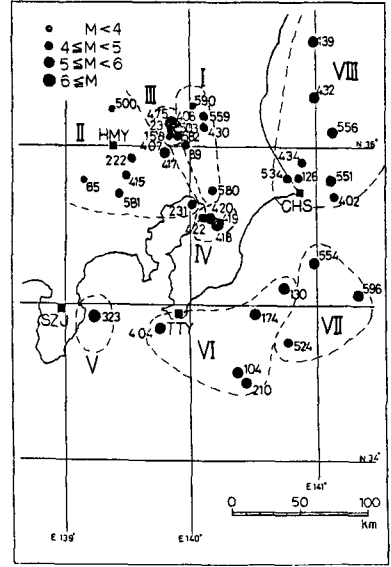


図-5 震源区域 ('79.6 ~ '81.12)

測された地震についての震源区域を示す。この図と前者の図-4とを合わせて、地震動のスペクトル特性にもとづき、ややマクロな観点から震源区域を区分した。この結果を図-6に示す。これらの図からも、地域性を持った震源区域の分布が認められる。各グループごとのスペクトル特性は、観測地点ごとにそれぞれの特徴を示しており、微小観測や高密度地震観測の結果から近年明らかにされつつある関東地方の地殻構造に起因する地震動のメカニズムに対応していると考えられ、すでに公表されたFault-plane Solutionによる特徴的な地震活動域の分布結果<sup>1)</sup>とも、ほぼ調和的な傾向を示している。このことは、関東地方の地震活動が、関東平野のグローバルなプレート運動により証明されつつあることと合わせて、工学的地震動特性をも評価することの必要性を示しているものと考えられる。

### 4. 岩盤のスペクトル特性

地震動のスペクトルの振幅の最大値を1に規準化したノーマライズスペクトルを各観測地ごと、各グループごとに重ね合わせて書いた。これらの数例を図-7に示す。この図からもわかるように、各観測地ごと、各グループごとにスペクトルはそれぞれの特性を示していることが認められる。

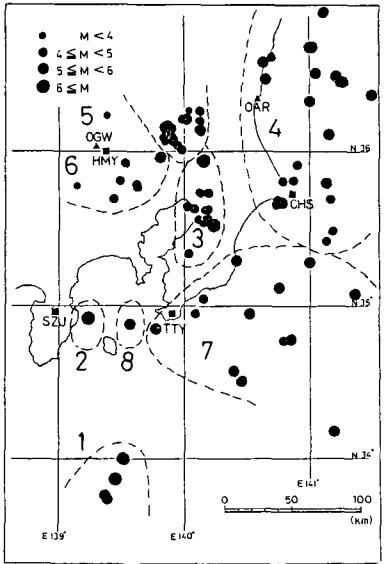


図-6 震源区域 ('79.6 ~ '84.6)

東松山においては、2 Hzにピークが生じ、6 Hzで卓越し、高周波数側においてもピークが生じている。修善寺では、伊豆半島沖(グループB)を震源とする群発地震を除いて、1 Hzで卓越している。グループBを震源とする地震では、4 Hz、7~8 Hz付近にもピークが生じている。銚子、館山では、比較的低周波数(1~2 Hz)で卓越しており、高周波数側では減衰している。特に銚子では減衰が著しい。ややマクロな観点から見ると、各観測地において、共通してピークの生じる周波数が認められる。このことから観測された地震動のスペクトル特性は、震源の影響とともに観測点下の地下構造による影響をも反映しているものと考えられる。

### 5. 観測点の地下構造モデル

アレー観測の実施されている南関東地方には、多数の地下構造探査の側線および深層ボーリングの調査地

点が存在し、各々その地下構造が推定されている。これらの推定結果ならびに、別途ブーク異常図を参考とし、地震基盤( $V_p=6\text{km/s}$ ,  $V_s=3\text{km/s}$ 程度)の基盤構造の等深度線をマクロに整理した。その結果を図-8に示す。また上層の地盤構造については、図-9に示される既往の第4紀層基底等深度線図を参考とした。上記の基盤構造ならびに各観測地点近傍の地下構造探査の結果にもとづいて、各観測地点の地下構造モデルを設定し、地震波の走時解析によりモデルの妥当性を検証した。設定した地下構造モデルを表-2に示す。

**6. 震源断層モデルによる地震動特性**

地震動特性が震源特性・伝搬経路および地下構造によって説明されることは一般に次式で示される。

$$S(\omega) = Q(\omega) \cdot T(\omega) \cdot H(\omega) \quad \text{--- (1)}$$

- S( $\omega$ ) : 地震動のスペクトル
- O( $\omega$ ) : 震源スペクトル
- T( $\omega$ ) : 伝搬経路による伝達特性
- H( $\omega$ ) : 地下構造による伝達特性

(1)式での震源スペクトルに関しては Haskell の断層震源スペクトルにより

$$\ddot{u}_b(\omega) = R(\theta, \phi, \gamma) \cdot M_0 \cdot \{G(\omega) \omega^2\} \cdot \{F(\omega, \xi) \omega\} \quad \text{--- (2)}$$

で示される。ここで震源スペクトルに(2)式を用い、距離減衰および地下構造を考慮して(1)式により各観測地点での地震動のスペクトル特性を算定し、各震源区域ごとに観測結果と比較した。結果を図-10に示す。図より計算結果は、観測結果の周波数特性と比較的よく一致している。また、スペクトルの振幅の最大値について、計算結果と観測記録による解析結果を比較した。その結果を図-11に示す。観測地点ごとにバラツキが認められるが、 $K=U_m/U_c=0.5\sim 3.0$ 程度にまとまっている。なお、上記のスペクトル特性の算定にあたっては最適化手法を用いて、震源特性(断層の走向、破壊伝搬方向)をパラメトリックに変化させて解析を実施し、各観測地点において共通してスペクトル特性(周波数特性、振幅特性)が最も近似する

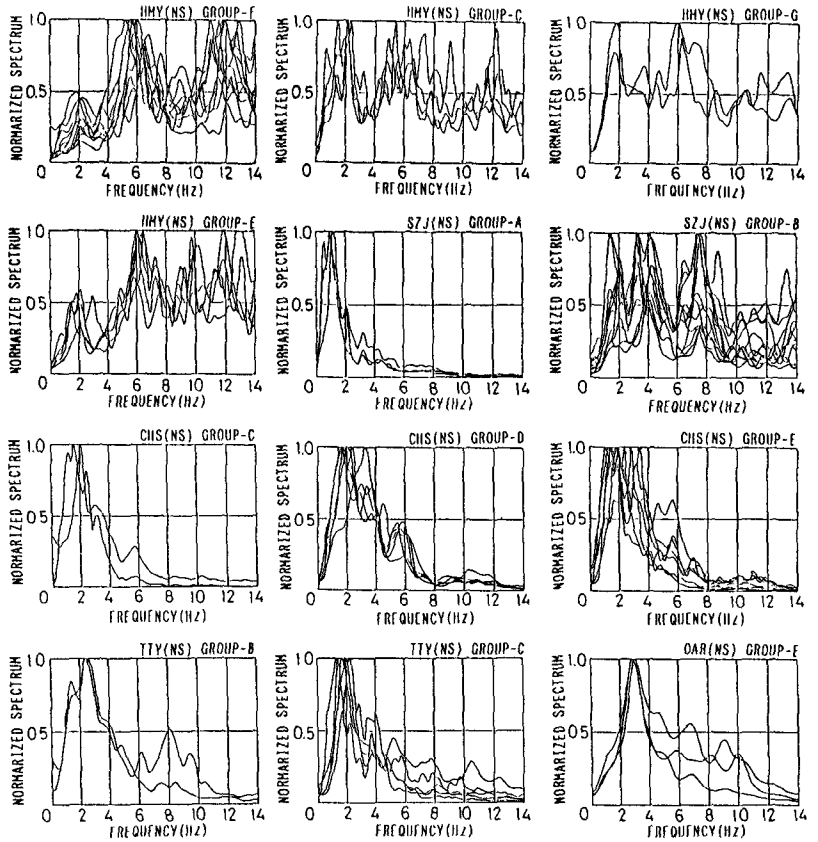


図-7 スペクトル解析結果

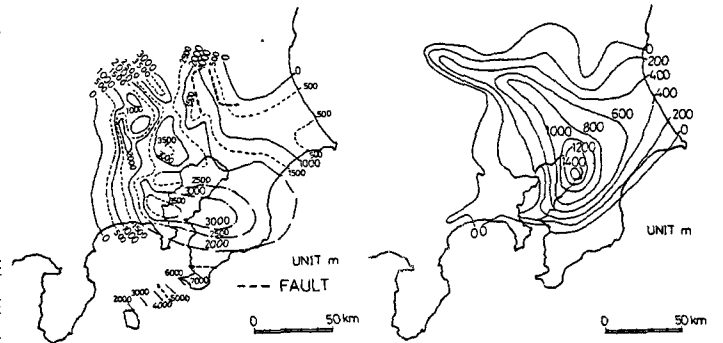


図-8 基盤構造の等深度線図 図-9 第4紀層基底等深度線図 (垣見による)

場合の震源特性を設定した。その結果を図-12に示す。図より震源特性は、震源区域ごとにほぼ同様の傾向を示しており、その傾向は既に調査されている活断層の走向と調和的である。

表-2 観測地点の地下構造

-HMY-			-SZJ-		
Vp(km/s)	Vs(km/s)	H(km)	Vp(km/s)	Vs(km/s)	H(km)
2.10	0.75	0.5	2.50	0.70	0.3
2.90	1.50	1.0	2.80	1.45	0.7
5.60	3.00	4.5	5.40	2.30	1.0
6.15	3.40	10.6	5.50	2.50	2.0
6.70	3.70	16.9	6.00	3.70	15.0
8.00	4.50	-	6.80	3.90	17.0
			8.00	4.50	-

-CHS-			-TTY-		
Vp(km/s)	Vs(km/s)	H(km)	Vp(km/s)	Vs(km/s)	H(km)
3.10	1.40	0.5	1.90	0.78	0.8
4.88	2.50	0.1	2.50	1.50	2.0
5.60	3.10	4.5	4.46	2.50	5.0
6.15	3.40	10.6	5.60	3.10	6.2
6.70	3.70	16.9	6.90	3.90	14.0
8.00	4.50	-	8.00	4.50	-

7. まとめ

アレー観測された各々の地震は、そのスペクトル特性から地域性を持った震源区域に区分され、岩盤での地震動特性(周波数特性)は、各観測地、各グループごとに各々類似した特性を示していることが認められた。また、各観測地ごとに、共通してピークの生じる周波数が認められる。この結果、岩盤でのスペクトル特性は、地震の震源特性および、観測点下の地盤構造の影響を強く反映していると考えられる。また、これらの結果は前述したように、関東地方の地殻構造に起因する地震動のメカニズムに対応していると考えられる。関東地方を対象として、マクロな観点から平均的な地下構造を設定し、断層震源モデルにより解析的な検討をした結果、アレー観測にもとづくスペクトル解析結果と、比較的良好な対応性が認められた。

このことから、震源特性である断層の破壊過程や地下構造による波動伝達特性を的確、かつ工学的に評価し得れば、任意の地点における地震動特性(周波数特性、振幅特性)の平均的な傾向は、ある程度理論的な手法により推定できると思われる。

8. あとがき

今後、さらに集積された比較的大きな規模の地震記録に対しても上記のように断層震源モデルを設定し、解析を行いたいと考える。なお、本研究で使用した地震動データは、『電力共通『地震動特性に関する研究』の岩盤アレー観測によって得られたものである。

<文献>

1) 牧 正: Mechanisms of Subcrustal Earthquakes in Clusters beneath Kanto

東京大学 地震研究所彙報 第59号 第2冊 (昭和59年)

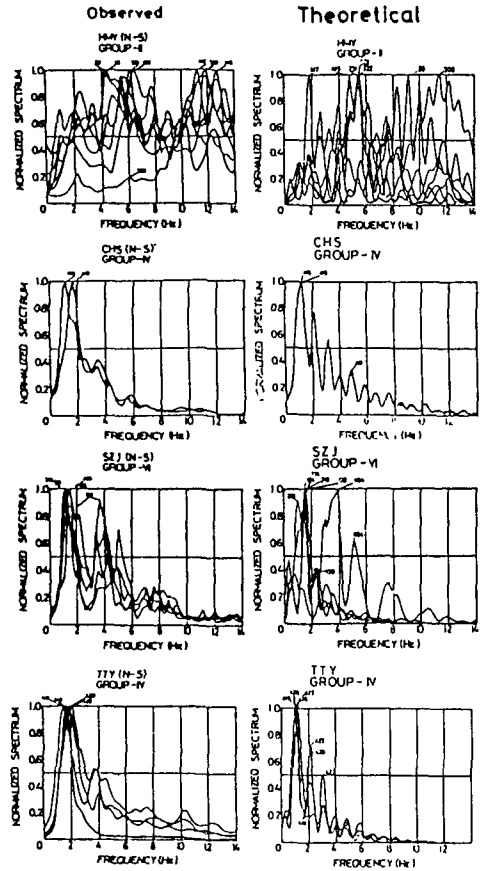


図-10 スペクトル特性

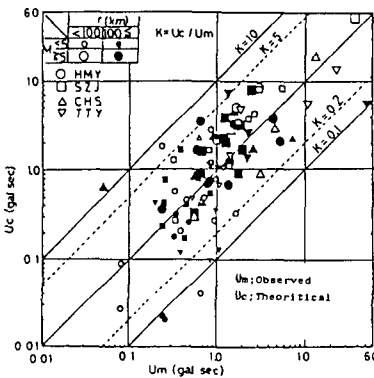


図-11 スペクトルの最大値の比較

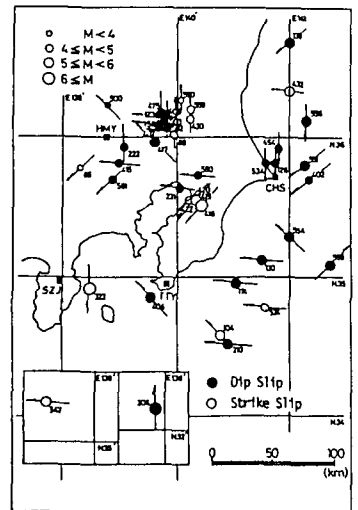


図-12 震源特性