【研究論文】

UDC : 550.34 : 624.042.7

日本建築学会論文報告集
第314号・昭和57年4月

強震地動スペクトル特性の評価に関する一考察

正会員 石 田 勝 彦¹⁾

§1 序 論

長周期地震動 ($T \geq 1 \sim 2$ 秒) 特性の検討や平均的な断層運動特性の解明に成功した、単純な断層モデル (Haskell モデル) に基づく理論地動スペクトルは、短周期地震動 ($T \leq 1 \sim 2$ 秒) のスペクトル振幅を過小に評価するために、この短周期領域でのスペクトル振幅特性を、Haskell モデルを基本として正当に評価しようとする場合には、或る種のスペクトル振幅の補正が必要である (石田, 1981, Ishida, 1979 b)。

建造物の耐震工学上重要な周波数領域の、振動特性に大きな影響を与える地震動に寄与する、断層運動のメカニズムは、破壊速度や dislocation, D_0 , の断層面上での非一様性や、Source time function が時間の経過に対して滑らかに変化しない事による影響等、確率現象によって支配されていると考えられる (Haskell, 1966; Ishi-

da and Osawa 1977; Boore and Joyner, 1978; etc.)。しかし、これらの諸現象を、定量的・現実的・合理的な物理モデル・数学モデルとして構築し、建造物の耐震設計用地震入力策定に供するためには、現時点では情報が少なく困難である。従って本論文では、第一近似として、このような上記の各種の現象を総合的に評価して、断層運動に基づいた、基盤レベルにおける加速度フーリエスペクトルを予測する方法について考察を行った。

§2 加速度フーリエスペクトルの予測過程

Haskell モデルに基づく、Far-Field での S 波部分の理論加速度フーリエスペクトルは、(1) 式で与えられる。

$$F_A(\omega) = 2 \left[\frac{R_s(\theta, \phi, r) \cdot M_0 \cdot F_2(\omega, \tau_0, \tau_\pi)}{(1 + \omega^2 T_0^2)^{1/2}} \right] \cdot \exp \left[-\frac{\omega r}{2 Q_s V_s} \right] \cdot \omega^2 \dots \dots \dots (1)$$

(Savage, 1972)

但し、 T_0 は Rise Time, R_s は S 波の Radiation Pattern, M_0 は Seismic Moment, F_2 は破壊が 2 方向に伝播する有限長断層による波動の干渉効果, $\exp[-\omega r / 2 Q_s V_s]$ は地震波動伝播経路での減衰項, V_s は S 波速度である。 Q_s については、Vassilév et al. (1962) によって

Fig. 1a Schematic explanation of basic assumption. The synthetic ground motion calculated from Haskell model is assumed to be nearly equal to a low-pass filtered ground motion.

Fig. 1b The overall relationship between $O(\omega)$, $B(\omega)$ and $F_A(\omega)$. $\tilde{F}_A(\omega)$ and $\tilde{B}(\omega)$ show the envelope spectra of $F_A(\omega)$ and $B(\omega)$, respectively.

1) 電力中央研究所・工博
(昭和55年3月26日原稿受理日・討論期限昭和57年7月末日)

得られた, “ V_S - Q_s ” 関係の実験データに最小自乗直線をあてはめて得られた, $V_s(\text{km/sec}) = 0.49 + 0.01 Q_s$ (Ishida, 1979 a) から求める。又 $\tau_0 = (L_0/V_S) \{ (V_S/V_R) - \cos \theta \}$, $\tau_\pi = (L_\pi/V_S) \{ (V_S/V_R) \{ (V_S/V_R) + \cos \theta \}$ (Savage, 1972), V_R は破壊伝播速度, L_0, L_π は断層長さ, ω は円振動数である。(1) 式で表わされるモデルは, 断層面上のランダムな破壊現象の影響を無視し得る, 長周期領域での地震動特性を, よく説明することが出来る (Aki, 1968; Kanamori, 1971; etc)。従って, 今 (1) 式によって表わされる

加速度フーリエスペクトル $F_A(\omega)$ は, Fig. 1 a に示すように, 観測地動加速度記録を, Low-pass Filter に通した結果であると考えることが出来る。即ち,

$$F_A(\omega) = B(\omega) \cdot W(\omega) \quad (2)$$

$W(\omega)$ は, Low-pass Filter を表わし, $B(\omega)$ は, 基盤レベル ($V_S \approx 3.0 \text{ km/sec}$) における観測地動加速度のフーリエスペクトルで, 自由表面での観測地動加速度フーリエスペクトル $O(\omega)$ と, 伝達特性 $H(\omega)$ とによって, 次式で関係づけられる。

$$B(\omega) = O(\omega)/H(\omega) \quad (3)$$

Fig. 1 b に, $F_A(\omega), B(\omega), O(\omega)$ の関係を模式的に示す。今議論を簡単にするために, $F_A(\omega)$ と $B(\omega)$ の包絡線を $\tilde{F}_A(\omega), \tilde{B}(\omega)$ として, (4) 式で定義される $R(\omega)$ を考える。

Table 1 Earthquake data and fault parameters.

EVENTS	$M_0 (\times 10^{27})$ dyne-cm	L km	W km	T_0 sec	V_r km/sec	$\Delta\sigma$ bars
1) Kanto, 1923.	7.6	130	70	5.0	3.0	18
2) Tokachi-Oki, 1968	0.37 ^{*1}	20 ^{*2}	10 ^{*3}	6-8	3.0	37
3) Saitama, 1968	0.019	10	6	1.0	3.4	100
4) Izu-Oshima Kinkai, 1978	0.11	17	10	2.0	2.8	65
5) Parkfield, 1966	0.032	26	7	0.7	2.7	32

REFERENCES:

- 1) Kanamori (1971a, 1973), Geller (1976)
- 2) Kanamori (1971b, 1973), Geller (1976)
- 3) Abe (1975), Geller (1976)
- 4) Shimazaki and Somerville (1978)
- 5) Geller (1976) (Anderson (1974), Trifunac and Udawadia (1974))

*1, *2, *3 : Modified Parameters (Ref. Ishida, 1979 a)

$$R(\omega) = \tilde{F}_A(\omega)/\tilde{B}(\omega) \quad (4)$$

(4) 式は, 又 (5) 式のように表わすことが出来る。

$$\tilde{F}_A(\omega) = \tilde{B}(\omega) \cdot R(\omega) \quad (5)$$

従って, (5) 式から $R(\omega)$ は, $\tilde{F}_A(\omega), \tilde{B}(\omega)$ を考えた時の Low-pass Filter とみなすことが出来る。

本論文では, 各地震ごとに求められる $R(\omega)$ 特性の検討と, その $R(\omega)$ の関数化を行い, この関数化された $R(\omega)$ をもとにした, 基盤レベルにおける $\tilde{B}(\omega)$ の予測について考察する。なお, 以下の議論においては, ω のかわりに, 周期 T について検討する。従って, 例えば $R(\omega)$ は $R(T) (T = 2\pi/\omega)$ のように表わされる。

§3 $R(T)$ の特性の検討とその関数化

Table 1 に, 解析した地震データと断層パラメータを

Fig. 2 The transfer functions of the surface layer at each site.

Fig. 3 The results of estimating the coefficients " n " and " a " of the low-pass filter $A(T)$ (T : period) for each earthquake event by using the least squared method.

Fig. 4 The comparison of observed and estimated sacceleration Fourier spectrum of each earthquake event. The observed acceleration Fourier spectrum of Kanto earthquake was evaluated by T. Morioka (1980).

示し、Fig. 2 に、各観測点での伝達特性 $H(T)$ を示す。断層パラメータは、Table 1 に示した文献を参考にしたものであるが、十勝沖地震の Seismic Moment M_0 、断層長さ L 、断層幅 W については、金森 (1971, 1973) によって求められた断層パラメータを、修正したものである (Ishida, 1979 a)。それは、八戸港湾で観測された強震加速度記録 (SMAC) の主要動部分は、十勝沖地震の震源 (JMA) の西方約 100 km の位置で発生し (長宗, 1969)、一倍強震計記録上 (JMA) に記録されたパルス的な S 波の幅の中におさまり (村松, 1972)、又金森によって求められた断層パラメータでは、このパルスの出現する直前までの波形は説明可能であるが、それ以後の波を説明出来ないことによる (石田・大沢, 1975)。この修正された断層の位置は、パルス的な S 波の発生位置 (長宗, 1969) に設定した。

Fig. 3 に $R(T)$ (黒丸・印) を示す。 $\tilde{B}(T)$ を求めるにあたり、自由表面での観測地動加速度記録の主要動部分が、主に S 波によって構成されているものとする。 $\tilde{B}(T)$ は、この主要動部分の加速度フーリエスペクトル $O(T)$ から、観測点の伝達関数 $H(T)$ によって、(3) 式の関係から求められる $B(T)$ の包絡線として規定される。図から、 $R(T)$ の傾向は、(1) 周期が長くなるに従って 1.0 に漸近し、周期が短くなるに従って $R(T)$ の値が小さくなる。又 (2) 地震によって $R(T)$ の値にバラツキがみられるが、この解析結果からは、周期の短い領域から長い領域での $R(T)$ の変化は、比較的滑らかであることがわかる。

$R(T)$ を関数化するためのあてはめ曲線として、この $R(T)$ の特性を満足する簡単な関数を考える。このような関数として、ここでは次式を与える。

$$\left. \begin{aligned} A(T) &= aT^n / (1 + aT^n) \\ \text{又は } \omega \text{ の関数として,} \\ A(\omega) &= (2\pi)^n a / \{ (2\pi)^n a + \omega^n \} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

(6) 式を $R(T)$ のあてはめ曲線として、最小自乗法によって、係数 a と n を地震ごとに決定する。この $A(T)$ を (5) 式の $R(T)$ とおきかえることによって、基盤レベルの $\tilde{B}(T)$ を近似的に推定することが出来る。即ち、

$$\tilde{B}(T) \approx \tilde{F}_A(T)/A(T) \\ = \tilde{F}_A(T) + \tilde{B}_A(T) \left(\frac{1}{aT^n} \right) \dots\dots\dots (7)$$

(7) 式から、フィルター $R(T)$ を $A(T)$ で関数化することによって、観測されるフーリエスペクトル $\tilde{B}(T)$ は、(1) 式から決定論的に得られるスペクトル $F_A(T)$ (又は $F_A(\omega)$) の包絡スペクトル $\tilde{F}_A(T)$ と、断層面上のランダムな現象と考えられる断層運動によって、確率論的に支配されると考えられる部分、 $\tilde{F}_A(T)(1/aT^n)$ の重ね合わせによって表現されることになる。このことを時間領域でみると、 $\tilde{F}_A(T)$ に対応する長周期地震動と、 $\tilde{F}_A(T)(1/aT^n)$ に対応する短周期地震動の重ね合わせによって観測地動を表わすことを示していることになる。又 (6) 式の $A(T)$ は、長周期領域では 1.0 に漸近する性質を持っているため、長周期地震動によって規定される断層運動の諸物理量、例えば Seismic Moment 等には影響を与えず、これらの物理量を保存した上で、長周期から短周期までの地動特性（スペクトル特性）を連続的に扱う事が可能である。

Fig. 3 に、各々の地震における $A(T)$ の係数 a と n を最小自乗法によって決定した結果を、実線で示す。係数 n と a の値は、関東地震で $n=1.2$, $a=1.3$, 十勝沖地震で $n=1.0$, $a=0.6$, 埼玉地震で $n=0.95$, $a=2.9$, 伊豆大島近海地震で $n=0.9$, $a=1.2$, Parkfield 地震で $n=1.1$, $a=3.6$ となった。 n の値については、地震によらずほぼ 1.0 と一定値を示しているが、 a の値は地

震によって 0.6~3.6 と、異なった値を示している。又参考として、Fig. 4 に、各地震ごとに求められた n と a の値を、(6) 式に代入して $A(T)$ を求め、それを (7) 式に代入して求められた予測地動スペクトル $\tilde{B}(T)$ と、観測地動加速度フーリエスペクトルとの比較を示す。又 Fig. 5 は、十勝沖地震と Parkfield 地震における n と a の結果を、他の観測点での記録に適用した結果である。但し、Parkfield (No. 2) については、観測点が断層の極く近傍にあるため、(1) 式のかわりに Haskell の移動震源モデルによるスペクトルを求め (石田・大沢, 1975), 又断層モデルは安芸 (1968) モデルを採用した。

§4 係数 a と応力降下量 $\Delta\sigma$ の関係

Low-pass Filter $A(T)$ の基本特性を規定する係数のうち、 n は解析した 5 つの地震については、地震によらずほぼ $n \approx 1$ となり、 a は地震によって異なった値を示した。そこで、この係数 a を断層運動の或る物理量と関係づけて考えることを試みる。

短周期領域の地震動特性は、断層面上の応力状態に強く影響される (Hays, 1979). Fig. 6 a に、最大加速度と震源距離の関係を示し、Fig. 6 b, Fig. 6 c に、最大加速度/応力降下量と震源距離の関係を示す。Fig. 6 a と Fig. 6 b は全く同一のデータの結果であり、Fig. 6 c は、Fig. 6 b のデータのうち、硬質地盤又は岩盤上での記録のみを抽出したものである。Fig. 6 a と Figs. 6 b, 6 c との比較から、応力降下量によって規準化された最大加速度は、マグニチュードに無関係に、データのバラツキが小さく、狭いバンド幅の中におさまっている事がわかり、加速度のような短周期地動と応力状態を表わす一つの指標である応力降下量とは強い相関があること

Fig. 5 The investigation of the results obtained in Fig. 4 to other stations during the Tokachi-Oki earthquake and the Parkfield earthquake. As the source parameters of the Parkfield earthquake, the Aki's model (1968) was used here.

を示している。

短周期地震動特性に影響を与える断層運動は、断層面上の応力状態のみで規定されるわけではないと考えられるが、ここでは (7) 式の第 2 項で示される、確率的な意味を持つ、スペクトルの補正項を規定する a を、第一近似として応力降下量の関数として表わしてみる。

Fig. 7 に、係数 a と応力降下量 $\Delta\sigma$ の関係を示す。Parkfield 地震は、他の 4 つの日本の地震とは異なった様子を示しているが、日本の地震 4 例については、 a と $\Delta\sigma$ は比例的な関係を示している。従って、係数 a と応力降下量 $\Delta\sigma$ の間に、近似的に線形関係を仮定して得ら

Fig. 6 a The relationship between the maximum acceleration (A_{max}) and the distance (R).

Fig. 6 b The relationship between the normalized maximum acceleration by the stress drop ($A_{max}/\Delta\sigma$) and the distance (R).

Fig. 6 c The relationship between normalized maximum acceleration by the stress drop ($A_{max}/\Delta\sigma$) and distance (R). The data used here were obtained on hard soil and rock.

Fig. 7 The relationship between the coefficient "a" and stress drop $\Delta\sigma$. The number indicates the earthquake number shown in Table 1.

れた最小自乗直線は、日本の 4 つの地震については、

$$a = 0.023 \Delta\sigma + 0.22 \quad \dots\dots\dots (8)$$

Parkfield 地震を含めた 5 つの地震については、

$$a = 0.053 \Delta\sigma - 0.78 \quad \dots\dots\dots (9)$$

となった。従って、応力降下量 $\Delta\sigma$ を与えることによって、(8) 又は (9) 式から係数 a が得られ、それによって Low-pass Filter $A(T)$ が規定される。

Fig. 8 は、Low-pass Filter $A(T)$ の特性を示したものであり、Fig. 9 は、Haskell モデルによるスペクトルと、 $A(T)$ の逆フィルター作用によって予測されたスペクトル ((7) 式) を、変位スペクトルについて比較したものである。但し、 $A(T)$ の係数 n は 1.0 とし、 a は日本の地震について得られた (8) 式による。いずれも $\Delta\sigma = 10$ bars と 100 bars の場合について示したが、地震学上、本震の応力降下量 $\Delta\sigma$ の上限は、およそ 100 bars で、下限はおよそ 10 bars とされているため、 $\Delta\sigma = 10$ bars と 100 bars は、 $A(T)$ の下限と上限を与え

ることになる。係数 a と $\Delta\sigma$ の間に、(8) 式 (又は (9) 式) のように比例関係を仮定し、(6) 式のような $R(T)$ の関数化 $A(T)$ を考えると、Figs. 8-9 に示すように、応力降下量 $\Delta\sigma$ が小さい程、長周期でのスペクトル振幅との相対的關係において、短周期成分が卓越しやすくなることになる。

ところで、Das and Aki (1977 b) は、断層面上にいくつかの障害物を並べ、この障害物の破壊強度と初期応力の関連で、破壊の伝播の問題を研究しているが、その結果として、(1) 初期応力が弱いと、障害物は破壊されないままで、破壊面はそれを超えて進む。破壊の完了したあと、断層面上の障害物は依然健在で、そこではずれは起っていない。障害物がたくさんあれば、断層は一つの大きな割れ目にならず、多数の割れ目が障害物を境にしてつながったものになる。(2) 初期応力が十分強いときには、最初のプロントの通過で障害物が破壊されて大

Fig. 8 The characteristics of $A(T)$ for $\Delta\sigma=10$ bars and 100 bars.

Fig. 9 The comparison of Haskell model and estimated displacement Fourier spectra for $a=0.45$ ($\Delta\sigma=10$ bars) and $a=2.52$ ($\Delta\sigma=100$ bars).

きな割れ目になる。又 (2) の場合は (1) の場合よりも地震モーメントが大きく、平均応力降下量も大きいけれど、短周期成分はむしろ平均応力降下量の小さい (1) の方が比較的大きい、という報告をしている (Das and Aki, 1977 a, Das and Aki, 1977 b)。

この平均応力降下量と短周期成分の卓越との関係は、本論文の結果と定性的に一致している。このことから、ここに述べた、スペクトルの予測モデルは、Das and Aki の、いわゆるバリエーモデルを別の視点から表現したものと思われるが、この点については更に検討する必要がある。

§5 スペクトル予測モデルの検証

McGuire and Hanks (1980) は、(1) 式と同等の単純な理論地動スペクトルを与える Brune モデルに基づいて、加速度フーリエスペクトル振幅を (10) 式で与えている。

$$\tilde{a}(f) = (0.85) \frac{\Delta\sigma r}{\rho R \beta} \exp\left(-\frac{\pi f R}{Q\beta}\right) \left\{ \frac{1 + (f_0/f)^2}{1} \right\} \quad \dots\dots\dots (10)$$

但し f は周波数である。Fig. 10 に、San Fernando 地

Fig. 10 Comparison of $a(f)$ of McGuire and Hanks (1980) model and proposed one obtained from eq. (7).

Fig. 11 The flow on estimating the 5%-damped velocity response spectrum.

Fig. 12 The location of the stations.

震の解析結果に適用した (10) 式と、筆者の予測モデル (7) 式の比較を示す。筆者のモデルと McGuire and Hanks のモデルの差は、Low-pass Filter $A(T)$ の補正分だけ筆者のモデルの方が、スペクトル振幅が大きくなる。又 $A(T)$ の性質から、周期が長くなるに従って、両者のスペクトル振幅の差は小さくなる。図中 $a=1.65$ の曲線は、(8) 式に San Fernando 地震の応力降下量、

Table 2 Empirical formula on estimating the fault parameters.

1. $\log L = 0.6M - 2.9$ *1
2. $W = L/2$ *2
3. $V_R = 0.72 \cdot V_S$ *2
4. $T = 16 \cdot S^{1/2} / (7 \cdot \pi^{3/2} \cdot V_S)^{1/2}$ *2
5. $M_0 = (1.45 \cdot 10^{20}) \cdot L^{3/2} \cdot \Delta\sigma$ *2
6. $\Delta\sigma = \mu D / V_S \cdot T$ *2
7. $\log D = 0.6M - 4.0$ *1
8. $V_S = 0.49 + 0.01 \cdot Q_S$ *3

*1 T.Matsuda, 1976

*2 R.Geller, 1976

*3 K.Ishida, 1979

$\Delta\sigma=62$ bars を与えた場合であり、 $a=2.51$ は (9) 式において $\Delta\sigma=62$ bars を与えた場合である。データのバラツキが大きい、この 2 本の曲線 ($a=1.65, 2.51$) は、データの平均的な値を示している。

次に、Hisada, Ohsaki, Watabe and Ohta (1978) によって提案された、露頭岩盤 ($V_S \geq 700$ m/sec) での設計用速度応答スペクトル ($h=5\%$) との比較を行う。この設計用スペクトルは、岩盤上で記録されたデータの解析結果を整理して得られたものであるため、本論文で考察したスペクトル予測モデルの検証用データの一つと考えてよいであろう。

Fig. 11 に、速度応答スペクトル ($h=5\%$) 予測の流れ図を示す。(7) 式による加速度フーリエスペクトルは、減衰ゼロの速度応答スペクトルに近似的に等しいことから、 $h=5\%$ の予測速度応答スペクトルは、Hisada, Ohsaki et al. (1978) によって提案された、減衰 $h=5\%$ の速度応答スペクトルと任意の減衰を持つ速度応答スペクトルの変換率 (η) によって補正することによって得られる。スペクトルの比較地点は、Fig. 12 に示すように、 $\theta=0^\circ$ と 90° の方位での距離 X の点とし、又断層パラメータは Geller (1976), Matsuda (1976) 等による実験式に基づいている (Table 2)。なお、断層形式は、横ズレ断層を想定し、破壊は一方向に伝播するものとした。

Fig. 13 に両者の比較を示す。図中点線で示した予測スペクトルは、方位 (θ) の依存性を示している。マグニチュード $M=8$ 、距離 $X=350$ km の場合を除いて、最大のスペクトル振幅を示す $\theta=0^\circ$ での予測速度応答スペクトルと設計用速度応答スペクトルは、比較的良好一致を示している。 $M=8$, $X=350$ km の場合、両者の

Fig. 13 The comparison of design response spectra and estimated one obtained according to flow in Fig. 12.

差が大きい、これはこのように距離が大きい場合、予測スペクトルはS波のみを扱っているが、実測と合わせるには、表面波の影響等も考慮する必要があると考えられる。

§ 6 結 論

構造物の耐震設計用地震入力策定上、重要な物理量である強震地動スペクトルの評価について、断層運動に基づいて考察を行ってきた。本論文で検討を行ったスペクトル予測モデルの基本となる考えは、Haskell モデルに基づいた、単純な理論地動スペクトルは、或る Lowpass Filter によって観測地動を口過したスペクトルと近似的に等しいという点であり、実測記録から、この Low-pass Filter を求め、その関数化について検討を行った。

検討の結果は次のようである。

- (1) $R(T)$ の関数化曲線 $A(T)$ の特性係数 n と a の値について、 n は地震によらずほぼ一定値、 $n \approx 1$ を示し、 a は地震によって異なった値を示した。
- (2) 係数 a と応力降下量 $\Delta\sigma$ の間には、近似的に比例関係がみられ、 $a = 0.023 \Delta\sigma + 0.22$ ((8) 式) 又は、 $a = 0.053 \Delta\sigma - 0.78$ ((9) 式) の近似式が得られた。
- (3) 観測地動加速度フーリエスペクトル $\tilde{B}(T)$ は、関数化された Low-pass Filter $A(T)$ をもちいて次式から予測される。

$$\tilde{B}(T) \approx \tilde{F}_A(T) + \tilde{F}_A(T) (1/aT)$$

但し、係数 a は (8) 式

又は (9) 式から得られる。

(4) このようにして予測されるスペクトルは、応力降下量 $\Delta\sigma$ が小さい方が、短周期成分が卓越する傾向にあり、この点に関して、Das and Aki のバリエーションモデルの結果と定性的に一致する。

(5) この予測モデルに基づいて得られた予測速度応答スペクトルは、設計用速度応答スペクトルと比較的良く一致する。

以上、強震地動スペクトル特性の評価法についての検討結果を報告したが、ここで検討したスペクトル予測モデルは、短周期地震動特性に影響を与えると考えられる、断層運動のメカニズムを、定量的に議論するには十分なデータが存在しない現時点での、一つの簡便な手法であり、将来、モデルの更新・改良を念頭においたものである。又基盤レベルまでの層構造の伝達特性、 $H(T)$ は、S波の物理探査や地震観測から得られたものであるが、減衰特性 Q の精度とともに、更に詳細な検討が必要であろう。その意味からも、ここで述べた予測モデルは第一近似的なものである。

又予測手法の基本となる $A(T)$ は、実測記録から得られた $R(T)$ を関数化するために与えたもので、物理的な観点から規定されたものではない。しかしながら、前述したように、スペクトル特性に関する結果は、Das and Aki のバリエーションモデルの結果と定性的に一致し、本論文の予測モデルはバリエーションモデルを別の視点から評価していると思われるが、この点を含んだ $A(T)$ の物理的な意味については、今後の研究課題である。

§7 謝 辞

本論文の研究において、Stanford 大学 H.C. Shah 教授、U.S. G.S. の T.C. Hanks 博士、京都大学防災研究所入倉孝次郎助教授、M.I.T. 安芸敬一教授には有益な助言をいただいた。ここに深謝いたします。又東京大学地震研究所大沢胖教授・島崎邦彦助教授には、論文を通読していただき、工学及び地震学の立場から有益な意見をいただいた。あわせて深謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Abe, K. (1975), "Static and Dynamic Fault Parameters of the Saitama Earthquake of July 1, 1968", *Tectonophysics*, Vol. 27, 223-238.
- 2) Aki, (1998), "Seismic Displacement Near Fault", *J. Geophys. Res.*, Vol. 72, 5359-5376.
- 3) Anderson, J., (1874), "A Dislocation Model for the Parkfield Earthquake", *Bull. Seism. Soc. Amer.*, Vol. 64, 671-686.
- 4) Boore, D.M., and W.B. Joyner, (1878), "The Influence of Rupture Incoherence on Seismic Directivity", *Bull. Seism. Soc. Amer.*, Vol. 68, 283-300.
- 5) Das S., and K. Aki, (1977 a), "A Numerical Study of Two-Dimensional Spontaneous Rupture Propagation", *Geophys. J.R.* Vol. 50, 643-668
- 6) Das, S., and K. Aki, (1977 b), "Fault Plane with Barrier: A Vesatile Earthquake Model", *J. Geophys.*

Vol. 82, 5658-5670.

- 7) Eaton, J.P., M.E. O'Neil and J.N. Murdoc, (1970), "Aftershock of the 1966 Parkfield-Cholame Earthquake: A Detailed Study", *Bull. Seism. Soc. Amer.*, Vol. 60, 1151-1197.
- 8) Geller, R.J., (1976), "Scaling Relations for Earthquake Source Parameters and Magnitude", *Bull. Seism. Soc. Amer.* Vol. 66, 1501-1523.
- 9) Hanks, T.C. (1977), "Earthquake Stress Drops, Ambient Tectonic Stresses and Stresses that Drive plate Motions", *Pure and Applied Geophys.*, Vol. 115, 441-458.
- 10) Haskell, N.A., (1966), "Total Energy Spectral of Elastic Wave Radiation from Propagating Fault-2; A Statistical Source Model", *Bull. Seism. Soc. Amer.*, Vol. 56, 125-140.
- 11) Haskell, N.A., (1966), "Elastic Displacement in the Near-field of a Propagating Fault", *Seism. Soc. Amer.*, Vol. 59, 865-908.
- 12) Hays, W.W., (1979), "Uncertainties in Seismic Input and Site Response", *Civil Engineering and Nuclear*, A.S.C.E., Convention and Exposition, pp. 1-30.
- 13) Hisada, T., Y. Ohsaki, M. Watabe and T. Ohta (1978), "Design Spectra for Stiff Structures on Rock", *Proc. 2nd. International Conference on Microzonation for Safer Construction Research and Application*, Sanfrancisco, 1187-1198.
- 14) 石田勝彦・大沢 胖 (1975), "震源特性を考慮した強震地動—1966 年 Parkfield 地震と 1968 年十勝沖地震—, 第 4 回日本地震工学シンポジウム講演集, 15-22.
- 15) Ishida, K., and Y. Osawa, (1977), "Strong Earthquake Ground Motions Due to Propagating Fault Model Considering the Change of Dislocation Velocity-Parkfield Earthquake of 1966", *Proc. 6th. W.C.E.E. India*, 197-202.
- 16) Ishida, K., (1979 a), "An Approximate Method for Estimating the Strong Motion Earthquake Spectra on Bedrock", *Proc. 2nd. U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, pp 273-282.
- 17) Ishida, K., (1969 b), "Study of the Characteristics of Strong Motion Fourier Spectra on Bedrock", *Bull. Seism. Soc. Amer.*, Vol. 69, pp. 2101-2115.
- 18) 石田勝彦 (1981), "基盤レベルにおける強震地動スペクトル特性(実記録との対比による Smoothed Rupture Model の特性の検討)", *日本建築学会論文報告集*, 第 301 号, 109-117.
- 19) Kanai, K., (1957), "Semi-empirical Formula for the Seismic Characteristics of the Ground", *Bull. Earth. Res. Inst. Tokyo Univ.* Vol. 35, pp. 309-325.
- 20) Kanamori, H., (1971 a), "Faulting of the Great Kanto Earthquake of 1923 as Revealed by Seismological Data", *Bull. Earth. Res. Inst.*, Vol. 49, 13-18.
- 21) Kanamori, H., (1919), "Focal Mechanism of Tokachi-Oki Earthquake of May 16, 1968, Contribution of the Lithosphere at a Junction of Two Trenches", *Tectonophysics*, Vol. 12, 1-13.
- 22) 金森博雄 (1973), "発震機構と基盤振動の理論的解析", 昭和 47 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 (建設省建築研究所)。
- 23) 工藤一嘉 (1976), "地震波の生成・伝播に関する実験", *地震探鉱グループ*, 第 7 章, 第 2 節, 179.
- 24) 松田時彦 (1976), "活断層と地震—その地質学的研究", *地質学論集*, 第 12 号, 15-32.
- 25) McGuire, R.T., and T.C. Hanks (1980), "RMS Accelerations and Spectral Amplitudes of Strong Ground

- Ground Motions during the San Fernando, California Earthquake", Bull. Soc. Amer., Vol. 70, 1907-1919.
- 26) 翠川三郎・小林啓美 (1978), "地震動の地震基盤からの入射波スペクトルの性質", 日本建築学会論文報告集, 第273号, 43-54.
 - 27) Morioka, T. (1980), "The Ground Motion of the Great Kwanto Earthquake of 1923", Trans. of A.I.J., Vol. 289, 79-91.
 - 28) 村松郁栄 (1972), "1968年十勝沖地震の地震動", 構造物災害に対する地震動特性の研究 (代表 大沢 胖) 報告書。
 - 29) 長宗留男 (1969), "大地震生成の過程—1968年十勝沖地震及び1963年エトロフ島沖の地震—", 地震第2輯, 第22巻。
 - 30) Savage, J.C., (1972), "Relation of Corner Frequency to Fault Dimensions", J. Geophys. Res., Vol. 77, 3788-3795.
 - 31) Shimazaki, K., and P. Somerville, (1978), "Summary of the Static and Dynamic Parameters of the Izu-Oshima-Kinkai Earthquake of January 14, 1978", Bull. Earth. Res. Inst., Vol. 53, 613-628.
 - 32) Tanaka, T., and S. Yoshizawa (1973) "Observation and Analysis of Underground Earthquake Motions", Proc. 5th. W.C.E.E., Italy.
 - 33) 田中貞二, 吉沢静代 (1975), 強震地動に含まれる地盤特性, 第4回日本地震工学シンポジウム講演集, 161-168.
 - 34) Trifunac, M.D., and F.E. Udawadia (1974) "Parkfield, California, Earthquake of June 27, 1966: A Three-Dimensional Moving Dislocation", Bull. Seism. Soc. Amer., Vol. 64, 511-533.
 - 35) Vassiliev, Yu. I., and G.I. Gurevich (1962), On the Ratio between Attenuation Decrements and Propagation Velocities of Longitudinal and Transverse Waves, Izu. Geophys. Ser. 1061-1716.

SYNOPSIS

UDC : 550.34 : 624.042.7

A STUDY ON THE ESTIMATING THE CHARACTERISTICS OF THE STRONG MOTION SPECTRA

By Dr. KATSUHIKO ISHIDA¹⁾, Member of A.I. J.

The methodology to estimate the strong motion spectra in a short period range ($T \leq 1-2$ sec.) on a bedrock level was discussed in this paper. The basic idea is that the synthetic strong motion Fourier spectrum calculated from Haskell model is approximately similar to that of low-pass filtered strong ground motion observed at a site in a period range $T \geq 1-2$ sec.

As a low-pass filter, the following function; $A(T) = aT^n / (1 + aT^n)$, $T = 2\pi/\omega$, was assumed. In order to estimate the characteristic coefficients " n " and " a ", the Kanto earthquake (1923), the Tokachi-Oki earthquake (1968), the Saitama earthquake (1968), the Izu-shima-Kinkai earthquake (1978) and the Parkfield earthquake (1966) were analyzed.

The results obtained are indicated that the coefficient " n " is nearly 1.0 for five earthquakes and " a " is nearly 1.3 for Kanto earthquake, 0.6 for Tokachi-Oki earthquake, 2.9 for Saitama earthquake, 1.2 for Izu-Oshima-Kinkai earthquake, 3.6 for Parkfield earthquake, respectively.

The coefficient " a " was related with stress drop $\Delta\sigma$ as ($a = 0.023 \Delta\sigma + 0.22$) for Japanese data only, and ($a = 0.053 \Delta\sigma - 0.78$) for all data including the Parkfield event.

The model on estimating the acceleration Fourier spectrum $\tilde{B}(T)$ on a bedrock level are proposed as follows by applying the inverse filtering method of $A(T) = a \cdot T / (1 + a \cdot T)$ to synthetic acceleration Fourier spectrum, $\tilde{F}_A(T)$, that is,

$$\tilde{B}(T) = \tilde{F}_A(T) + \tilde{F}_A(T)(1/aT)$$

The proposed model mentioned above is also applied to estimate the 5%-damped velocity response spectrum and compared it with design spectrum proposed by Hisada, Ohsaki, et al. Both of them are agree well to each other.

1) Central Research Institute of Electric Power Industry.