

徳島大学大学院 学生員 〇永江正広
 徳島大学工学部 正員 沢田 勉
 名古屋大学大学院 学生員 多田隆司

1. はじめに エ学的に関心の高い地震動の短周期成分は、断層面上のアスぺリティ、伝播経路中の不均一地殻構造、観測サイトの地形や地層などが原因となって生ずる。特に、震源における各種のランダム性は短周期地震動の強度特性に影響を与える主要原因であると考えられる。実際に断層モデルを用いて短周期成分を再現させる試みとしては、震源時間関数の形状を考慮したもの¹⁾や、断層面上における破壊伝播速度、断層変位、²⁾より速度等のランダム性を考慮したもの³⁾がある。しかし、短周期地震動の発生に關係するパラメータを定量化するには至っていないのが現状である。本研究では、このための基礎的な資料を得ることを目的として、断層面をメッシュに等分割した場合の要素波のスペクトルおよび強度が断層パラメータ(ここでは震源時間関数の立上り時間⁴⁾および要素断層における破壊伝播速度 V_R を用いた)のランダム性にどのように影響されるかを検討し、若干の考察を加えた。

2. 断層震源モデル 断層震源モデルとしてはHaskell モデルを用いる。断層面をメッシュに等分割した場合、要素断層から射出される変位波のS波成分 $U(X, t)$ は式(1)で与えられる。ここで、 X =観測点の位置座標、 B =断層面と観測点との位置関係による定数、 D_0 =平均ずれ量、 L =要素断層の長さ、 w =要素断層の幅、 β =S波速度、 $G(t)$ =震源時間関数である。また、 t' は $G(t)$ の初期時間点であり、 t_p は要素の長さ方向の走時差で式(2)で与えられる。ここで、 V_R =破壊伝播速度、 γ_i =方向余弦である。震源時間関数 $G(t)$ として式(3)に示すランプ関数を用い、式(1)の定数部分 $B D_0 L w / 4 \pi \beta$ を除いてフーリエ変換すると、式(4)の変位スペクトル $I(w)$ が得られる。ここで、 $\phi(w)$ 、 $\psi(w)$ 、 $\theta(w)$ はそれぞれ、 τ 、 t_p 、 τ によって定まる位相差である。次に、要素断層のパラメータにランダム性を導入する。ここでは、断層パラメータのうちランダム性を有するものとして震源時間関数の立上り時間⁴⁾と要素断層における破壊伝播速度 V_R を考える。いま、パラメータで V_R が一様分布するランダム性があり、それらが統計的に独立であると仮定し、それらの平均値を τ_m 、 V_{Rm} 、変動係数を CV_τ 、 CV_R とする。このとき、式(4)の平均的な位相を保持したままフーリエ振幅について期待値 $E[I(w)]$ をとると、式(5)および(6)が得られる。ただし、式(4)の位相角は、 τ および V_R の平均値 τ_m 、 V_{Rm} に対する位相角として与えられる。

$$U(X, t) = B \frac{D_0 L w}{4 \pi \beta t_p} \{G(t-t') - G(t-t'-t_p)\} \quad (1)$$

$$t_p = L \left(1 - \frac{V_R}{\beta} \gamma_i\right) V_R \quad (2)$$

$$G(t) = \begin{cases} 0 & t < \tau \\ t/\tau & \tau \leq t \leq \tau + t_p \\ 1 & t > \tau + t_p \end{cases} \quad (3)$$

$$I(w) = \frac{e^{-i w \tau} - 1}{w \tau} \frac{1 - e^{-i w t_p}}{w t_p} e^{-i w \tau} \\ = \left| \frac{e^{-i w \tau} - 1}{w \tau} \right| \left| \frac{1 - e^{-i w t_p}}{w t_p} \right| \exp \{i(\phi(w) + \psi(w) + \theta(w))\} \quad (4)$$

$$\begin{cases} E[I(w)] = E[r_1] E[r_2] \exp \{i(\phi(w) + \psi(w) + \theta(w))\} \\ r_1(w, \tau) = \left| \frac{e^{-i w \tau} - 1}{w \tau} \right|, \quad r_2(w, V_R) = \left| \frac{1 - e^{-i w t_p}}{w t_p} \right| \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} E[r_1] = \frac{1}{\tau_u - \tau_L} \int_{\tau_L}^{\tau_u} r_1(w, \tau) d\tau \\ E[r_2] = \frac{1}{V_{Ru} - V_{RL}} \int_{V_{RL}}^{V_{Ru}} r_2(w, V_R) dV_R \\ \tau_u = \tau_m (1 + \sqrt{3} CV_\tau), \quad \tau_L = \tau_m (1 - \sqrt{3} CV_\tau) \\ V_{Ru} = V_{Rm} (1 + \sqrt{3} CV_R), \quad V_{RL} = V_{Rm} (1 - \sqrt{3} CV_R) \end{cases} \quad (6)$$

3. 数値計算例および考察 この方法を1978年宮城県沖地震の宮古サイトに適用した。 τ および V_R の平均値としては、 $\tau_m = 2.7 \text{ sec}$ 、 $V_{Rm} = 2.5 \text{ km/s}$ を用い、断層面を遠方端の条件を満足するように分割したときの1つの要素断層を対象とした。Fig. 1は、式(5)の期待値を式(6)を数値積分することによって求め、これを2回積分して得る

れた要素波の加速度スペクトルである。図において、(a)は V_R とともに確定値とした場合、(b)(c)は V_R に、また(d)(e)(f)は τ にランダム性を与えた場合である。図より、式(5)の振幅 V_1 、 V_2 において、 τ および V_R によって生じる変動が、期待値をとることによってスムージングされることわかる。また、 τ にランダム性を与えた場合には、要素波の短周期成分が増大する傾向が見られるが、 V_R にランダム性を与えた場合には、その傾向は見られない。Fig. 2 は、 τ または V_R がランダムな場合の、要素波の変位、速度、加速度のRMS値 D_{rms} 、 V_{rms} 、 A_{rms} を τ および V_R が確定値である場合によって基準化したものを、 τ と V_R の変動係数 CV_τ 、 CV_R に対して示したものである。ただし、 CV_τ と CV_R の上限値はそれぞれ、 τ が非負であること、および V_R が5波速度以下であるという条件から決定した。図より、 τ の変動係数がある範囲を越えた場合には A_{rms} 、 V_{rms} が増大する傾向にあること、すなわち、要素波の短周期成分が増大することが読みとれる。これに対し、 V_R に関しては強度特性に変化は見られない。このことより、 τ のランダム性が短周期成分におよぼす影響は、 V_R のそれに比べて大きいことがわかる。しかし、従来の研究では、短周期成分におよぼす V_R のランダム性の影響もかなりあるとしており、本研究の結果とは異なっている²⁾。これは、従来の研究では要素波を重ね合わせることによって、パラメータのランダム性の影響を評価しているのに対し、本研究では要素波の期待値によってそれを評価したためと考えられる。これについては今後の検討が必要である。Fig. 3 は、Fig. 1 のスペクトルをフーリエ逆変換することによって、加速度、速度、変位の要素波形を求めた例であり、 τ 、 V_R を確定値とした場合(a)と、 τ にランダム性を与えた場合(b)を示している。図より、 τ にランダム性を与えた場合には、波形に乱れが生じることがわかる。これは、要素波の位相特性に起因して生じたものであり、今後の検討が必要である。

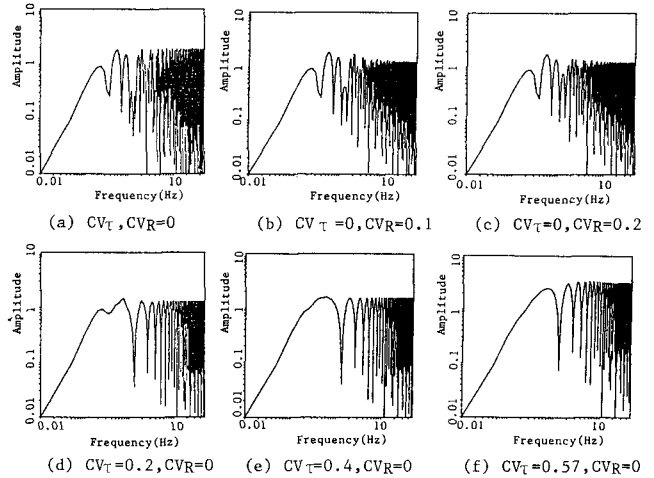


Fig.1 Example of Acceleration Spectra of Elementary Waves

あとがき 断層パラメータ τ および V_R のランダム性が地震動の短周期成分に与える影響を要素波の期待値を用いて検討し、 τ の影響が V_R のそれに比べて大きいことを示した。しかしながら、 V_R のランダム性の影響の評価や実地震動に対する適用性等について多くの問題点が残った。今後さらに検討したい。

参考文献
1)荏本：第40回土木学会年講義要集、I-399
2)佐藤：料研自然災害特別研究報告書、No. A-59-3

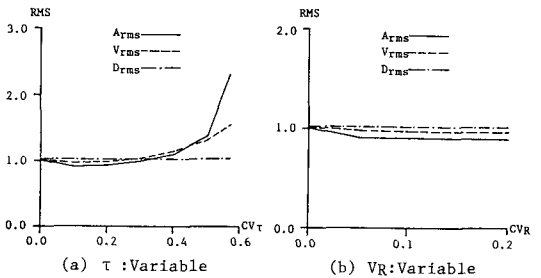


Fig.2 Relation of RMS Value versus Coefficient of Variation

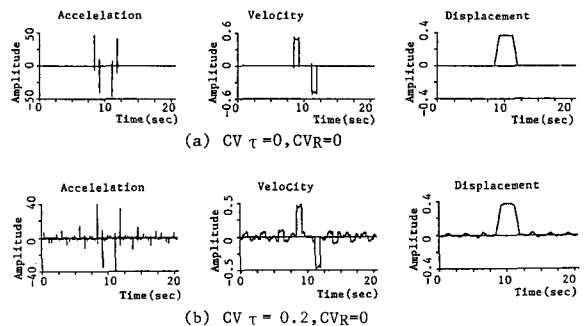


Fig.3 Example of Elementary Wave Forms