

発震機構を考慮した地震危険度解析に関する研究

京都大学工学部 正会員 山田 善一
 京都大学工学部 正会員 野田 茂
 阪神高速道路公団 正会員 ○袴田 文雄

1. まえがき Cornell以来の不確定なM-Δ距離減衰式を用いた地震危険度解析の認識より、本研究では発震機構とシミュレーション手法を導入した危険度予測の方法を提案する。具体的にはHaskellの発震機構を考慮した定式化と断層震源のモデル化を試み、当該地点において確率的な応答スペクトルを作製した。地震発生には非定常ポアソン過程を考え、各種震源パラメータと破断特性に変動を導入している。その結果、強震動の継続時間とM-Δ式に物理的な裏付けを与え、危険度の等高線を決定できた。

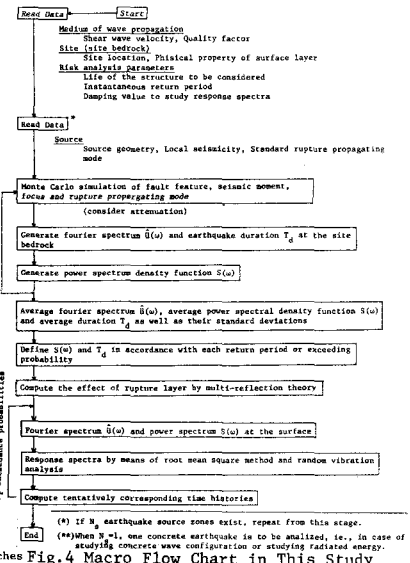
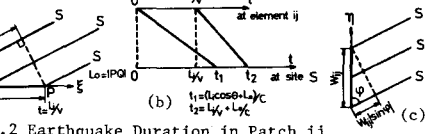
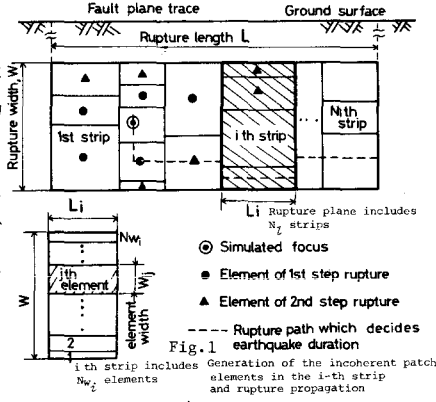
2. 解析手法 (I)発震機構とフリスパトル 非ポアソン過程による活断層の確率モデルの検討より、本研究では平面的な断層(Fig.1)内に移動震源を考えた。破断の伝播はランダムとする。Fig.1の破線は継続時間決定経路であり、強震動の継続時間はこの経路に当る破断要素につきFig.2を参照に求める。Fig.3は要素*j*と地点*S*の関係である。要素*j*がすべり破壊を生じるとき、地点*S*の基盤におけるフリスパトルは、

$$\hat{U}_{ij}(w) = \left(\frac{M_0 R(\theta, \psi, r_0)}{\mu} (c w)^3 \right) \cdot \left(\frac{\sin w t_1 / 2}{w t_1 / 2} e^{-i w t_1 / 2} \right) \cdot \left(\frac{\sin w t_2 / 2}{w t_2 / 2} e^{-i w t_2 / 2} \right) \cdot \left(\frac{\sin w t / 2}{w t / 2} \right) \cdot \left(e^{-i w (t_1 + t_2)} \right) \cdot \left(e^{-\frac{w r_0}{2 Q c}} \right) \quad (1)$$

各項は、Fig.3の位置関係、立ち上り時間、移動震源、地震波伝播の時間遅延、距離減衰に関係している。全破断要素について式(1)を重ね合せ、基盤の地震波を得る。くい違いの成長はRamp Functionとした。

(II)シミュレーションによる震源モデルの決定 破断運動は*x*₁方向のみ考え、①断層の空間的形狀、②地震モーメント(破断域の決定)、③震源位置と破断領域の位置、④破断速度と立ち上り時間には一様分布を仮定した。Fig.1に示す破断要素ごとにランダムなすべりを生じるとし、⑤要素長は指数分布より決定した。

(III)地震発生モデル化と一様な危険度をもつPSDの作製 地震発生は経年的な地殻の運動より非定常ポアソン過程とする。(I)と(II)より求めたPSDの統計量を用い、各周波数において、震源*j*番目の地震発生による対象地域でレベル*z*を超過する条件の確率を*P_{ijk}*とする。 $P_{ijk} = 1 - \Phi \left(\frac{z_i(u_{jk}) - \bar{y}(u_{jk})}{\sigma(u_{jk})} \right)$ (2) PSDに正規分布の変動を考えている。複数震源*m*を想定し、次式の補間によって



YOSHIKAZU YAMADA, SHIGERU NODA, FUMIO HAKAMATA

一様なスペクトルレベルを決定した。同様な手続で継続時間も変動を考慮して求めた。

$$P[Y \geq y_k | t_k] = \sum_{j=1}^{n_j} P_{j,k} (1 - e^{-\mu_j t_k}), \quad a_j(t_k) = \int_0^{t_k} \mu_j a_j t^{j-1} dt, \quad \mu_j \text{は地震発生パラメーター} \quad (3)$$

t_k は震源 j での最終発生からの継続時間 (iv)以上によつて、当該地点基盤での入射波スペクトルを求め、多重反射理論によつて地表面地動を得る。一定の信頼度をもつ応答スペクトルはVanmarckeの最大応答の分布式によつた。Fig.4は本研究の解析の流れを示している。

3. 数値計算例 Fig.5に示す左横断層(東に60°傾斜)と観測地点を想定し、スペクトル形状について考察する。Table 1は震源、破断要素、地震発生、地震波の伝播、構造物、シミュレーション回数に関する値である。各地点は同一の地盤構造(Fig.5の特性)を有する。Table 2のように破断領域を設定し、単一の地震(マグニチュード7.37)を発生させて応答を得た。Fig.7のようにスペクトル値は破断方向前面と東の位置ほど短時間にエネルギーを放散するから大きい。震源に近い地点ほど高周波数域で大きな値を示すが、断層左面になると減衰している。ある固有のCorner Frequency 以上では距離減衰項、地盤特性の影響で震源から遠ざかると、ピークは漸次低周波数に移動する。任意の周波数におけるIsoseismal Mapを得た結果、スペクトルの強度レベルは発震機構によつて方向性を示し、この観点からもHaskeモデルの不十分さを指摘できた。シミュレーションによつて一様な危険度をもつ平均的な加速度応答スペクトルを求めたのがFig.8である。図中 $P_{j,k} = 0.3$ は再現期間68.5年に対応する。各表層地点の応答スペクトルは基盤のそれによらずほぼ相似な形状をもち、この例では軟弱な地表地盤を規準化する効果をもつ地震動の定常的性質を示している。逆に同一の硬い地盤地点を想定すると、震源と伝播機構が地震動スペクトルの決定に支配的であった。本研究の提案により、震源パラメーター、地盤特性を含む適確な定量分析が可能である。

Table 2 Properties of the Rupture

total fault length (m)	11367.
the patch ij which contains focus	(1,4)
centre of the patch	(-39744., 5845.)
simulated focus	(-39923., 4524.)
length and width of the patch	(358., 1397.)
rupture area (m)	46761. x 9352.
released seismic moment (erg)	1.12 x 10 ²⁷
number of the stripes	16
number of all patches	109
earthquake magnitude	7.37

Table 1 Data used in the Example

Source					
strike angle (degree)	045 (north)				
dip angle (degree)	6045 (east)				
rate angle (degree)	0				
range of focal depth (m)	4000,10000				
total fault dimension (km)	125x25				
width/length ratio	0.2				
Patch					
average length (m)	3000				
width/length ratio	0.3				
maximum propagating velocity (m/sec)	3150				
minimum propagating velocity (m/sec)	2275				
Occurrence					
annual increase of seismic moment	2.6x10 ¹⁸				
minimum value of seismic moment	1.0x10 ¹⁶				
range of focal depth (m)	1.25x10 ³				
maximum value of seismic moment	5.0x10 ¹¹				
Propagation					
secondary wave velocity (m/sec)	3500				
primary wave velocity (m/sec)	5500				
medium density (kg/m ³)	2800				
quality factor	200				
Structure					
life of the structure (years)	100				
damping ratio for response spectrum	0.05				
conditional Exceedance Probability	0.5, 0.3, 0.1, 0.05				
Program operating factor					
simulation number	15				
simulation frequency (Hz)	0.05				
maximum frequency (Hz)	12.0				

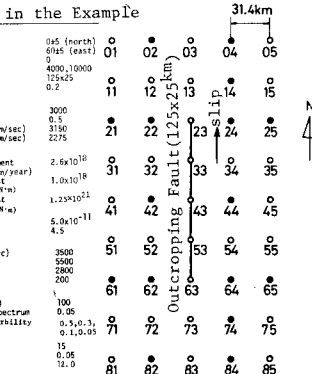


Fig.5 Location of Sites and Fault

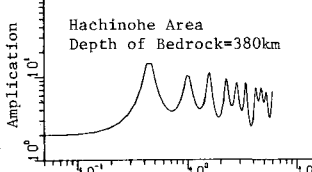


Fig.6 Transfer Function

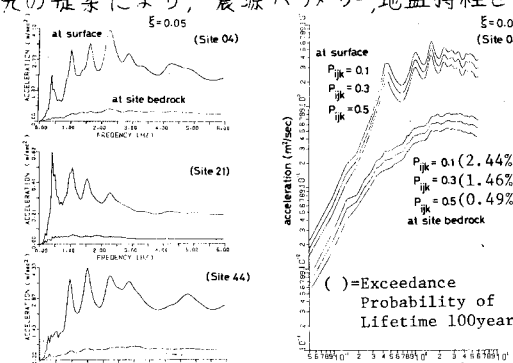


Fig.7 RMS Response Spectra

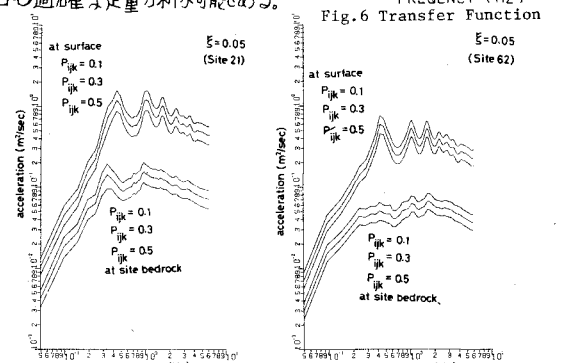


Fig.8 Uniform Risk Response Spectra

(参考文献) (1) "Methods for Prediction of Strong Earthquake Ground Motion," Final Report, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Southern California, NUREG/CR-0689, May 1979. (2) Veneziano, D. and Cornell, C.A., "Earthquake Models with Spatial and Temporal Memory for Engineering Seismic Risk Analysis," Dept. of Civil Engineering, M.I.T., Research Report R78-18, May 1974. (3) Haske, N.A., "Total Energy and Energy Spectral Density of Elastic Wave Radiation from Propagating Faults," BSSA, Vol.54, No.6, pp.1811-1841, December 1964. (4) Kiureghian, A.D. and Ang, A.H.S., "A Fault-Rupture Model for Seismic Risk Analysis," BSSA, Vol.67, No.4, pp.1173-1194, August 1977.