

震源分割モデルによる地震の発生機構とその地震危険度解析への応用

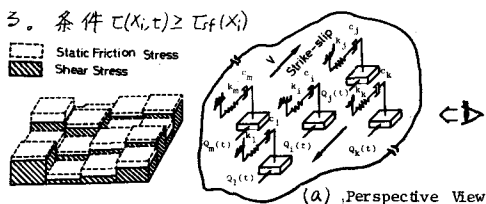
京都大学工学部 正員 山田 善一 京都大学工学部 正員 野田 茂

大阪市役所 正員 井下 泰具

1. まえがき 本研究では、地震学、地球物理学の知見を取り入れた力学モデルを作成し、シミュレーション手法を適用することにより、地震発生の時間、空間とエネルギー間の相関関係を考慮した非ポアソン型モデルを提案し、モデル化した実断層に応用することにより、地震活動度と地震危険度を比較的良好に予測できる可能性のあることを示した。

2. 地震発生のモデル化 地震断層域を図1のように分割する。その分割セグメントに働く平均応力(せん断応力 τ 、静摩擦応力 τ_f)を考へる。条件 $\tau(X_i, t) \geq \tau_f(X_i)$

が成立するとき、そのセグメントが破壊すると仮定する。図2(a)は、図1を力学モデルに置換したものである。図中の(b)は(a)を矢印の方向から眺めた平面的な概念図である。



2.1. 静穏期における応力状態 本モデルでは、プレート運動とクリープの

挙動をマクスウェルエレメントで表示した。これらの力に加えて、断層面に沿って働く応力の再分配を考慮した。応力の釣合いから得られる微分方程式を複素固有値解析を利用して、時刻上でステップ・バイ・ステップに解いている。

2.2. 地震生起によるエネルギー解放時における応力の変化と破壊伝播機構 あるセグメントの破壊によって、応力降下が生じる。さらに、そのセグメント全体がずべることにより、隣接セグメントにおける応力集中の誘因となる。漸次、破壊の発達現象を生む。本研究では、このような破壊の伝播機構を考慮している。

3. 実断層のシミュレーション 前述のモデル化と理論を用いて、地震が起こるであろう地域の地震活動度と破壊現象のシミュレーションを試みた。対象地域としては、サンフランシスコの東にある Hayward 断層と Calaveras 断層と考へた。この地域

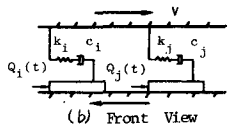


図2 力学モデル

図3 想定断層面

表1 使用データ

表2 シミュレーションによる結果

り、大規模地震の起こる可能性は低い。地表の断層面は図3のように仮定した。数値計算に用いたデータを表1に、シミュレーションにより得られた結果を表2に示す。図4は地震発生のサンプルの一例である。工学的にあまり興味のない $M < 5$ の地震は含まれていない。a) 規模別頻度分

Fault	
Length of fault (km)	89.25
Width of fault (km)	15.0
Segment	
Average length of segment (km)	4.00
upper bound, lower bound (km)	8.00, 3.00
Width/length ratio	0.5
Initial Stress (bar)	
Average	0.285×10^9
upper bound, lower bound	$0.3 \times 10^9, 0.27 \times 10^9$
Static friction Stress (bar)	
Average, Var.	$0.3 \times 10^9, 0.2 \times 10^8$
Stress Drop (bar)	
Average	0.6×10^8
upper bound, lower bound	$0.1 \times 10^9, 0.1 \times 10^8$
Fault movement (cm/year)	
Average	1.3
r (parameter of rupture propagation)	
Average	0.4
upper bound, lower bound	1.5×10^{-10}
Time Intervals (year)	
Average	5
Simulation number	
Average	8

Total number of Earthquakes	
Total number of Earthquakes	213
Number of Earthquakes greater than M6	
Number of Earthquakes greater than M6	25
Max Seismic moment (dyn cm)	
Max Seismic moment (dyn cm)	0.244×10^{27}
(Magnitude)	(7.25)
Mean Seismic moment (dyn cm)	
Mean Seismic moment (dyn cm)	0.853×10^{25}
(Magnitude)	(6.04)
COV. of Seismic moment	
COV. of Seismic moment	3.479
Long-run mean rate of Seismic moment (dyn cm/year)	
Long-run mean rate of Seismic moment (dyn cm/year)	1.387×10^{24}
Magnitude > 4.3	
Max recurrence time (year)	45.0
Mean recurrence time (year)	6.293
COV. of recurrence time	
COV. of recurrence time	1.135
Magnitude > 6.0	
Max recurrence time (year)	69.989
Mean recurrence time (year)	46.5
COV. of recurrence time	
COV. of recurrence time	0.363

Yoshikazu YAMADA, Shigeru NODA, Yasutomo INOSHITA

布 シミュレートされた結果と期間70年に相等する発生数に換算した。それと過去の地震記録の結果と比較したのが図5である。

本研究によって規模別頻度分布が上に凸な様相を示すことは特徴的なことである。その傾向を除けば、シュレジンによる結果と、地震記録を利用した回帰は、良くあっている。

b)再帰時間の確率分布 図6には、 $M > 4.3$ の地震の再帰時間の確率分布を指数確率紙上で示した。地震発生がポアソン過程に従うならば、同図に原点を通る単一の直線Oで表わされるはずである。このように点線で示されるポアソン過程よりも、A, B, Cの3本の直線で表わすとデータとの一致は良くなる。再帰時間5年までは地震発生数が多い。5年間地震が起こらないと時間経緯により発生率が増すことを示す。図7は、同様に $M > 6$ の地震に起因する。

同図から、2本の直線A, Bで比較のスーズに表示できる。40年間地震生起がないと、発生率が増す様相を呈す。c)地震規模の依存性 図8は、10年ごとの地震発生数、サイズシフトと、シュレジンの総期間におけるそれらの平均値との比を示したものである。同図から地震規模と発生とみると、ほぼ30年~40年の周期で活発期と静

図6 再帰時間の確率分布, $M > 4.3$ 図7 再帰時間の確率分布, $M > 6$
 --- Seismic Moment; Mo Ratio; $\overline{Mo}(T_d=10)/\overline{Mo}(T_d=1310)$
 --- Number of Earthquake Occurrences; N Ratio; $\overline{N}(T_d=10)/\overline{N}(T_d=1310)$

の特性を反映した方法も考えられることを示している。d) 断層面上での破壊領域の移動 図9は、断層面上での破壊領域の時間的変化の一例である。70年、100年、130年と破壊領域の移動していく様相がわかる。同図から、断層面上における空間的な地震発生率も、非ポアソン型の特性を有することを認めることができる。

4. あとがき 地震発生の再帰時間の確率分布は、大規模地震によると2本の直線で表示可能である。小規模地震を含む場合、トリポアソン過程となる。将来の地震危険度は変化するのが常であり、時間の原点を考慮した絶対時間軸の導入が必要である。また活発な地震発生の時空分布を無視できないことがわかった。以上の結果によって、地震断層パラメータで表示したアテニエーション特性と本モデルの組み合わせにより、より明確な地震危険度解析に進むことができる。

参考文献

- 1) Burridge, R. and L. Knopoff; Model and Theoretical Seismicity, BSSA, Vol. 57, No. 3, pp. 341-371, June 1967.
- 2) Veneziano, D. and C. A. Cornell; Earthquake Models with Spatial and Temporal Memory for Engineering Seismic Risk Analysis; Research Report R74-18, Dept. of Civil Engineering, MIT, May 1974.

Hayward-Calaveras

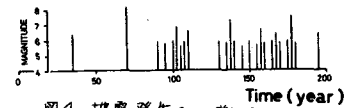


図4 地震発生の一サマワレ

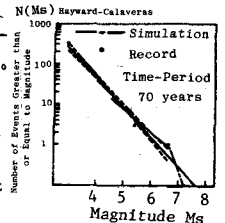


図5 規模別頻度分布

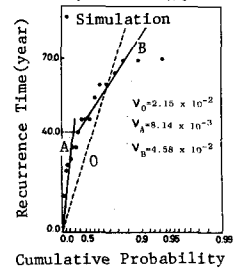
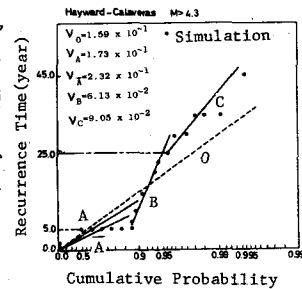


図6 再帰時間の確率分布, $M > 4.3$ 図7 再帰時間の確率分布, $M > 6$
 --- Seismic Moment; Mo Ratio; $\overline{Mo}(T_d=10)/\overline{Mo}(T_d=1310)$
 --- Number of Earthquake Occurrences; N Ratio; $\overline{N}(T_d=10)/\overline{N}(T_d=1310)$

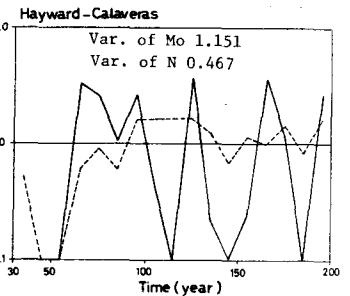


図8 地震規模の依存性

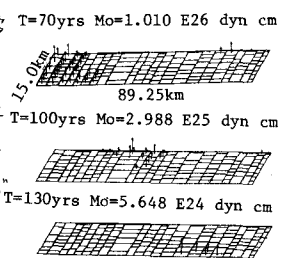


図9 破壊領域の移動