

山口大学工学部 正会員 三浦 房紀
永楽開発 正会員 坪井 利弘

1. まえがき

筆者らは、断層直上あるいはごく近傍の地震動を評価するために、2次元非線形FEMを用いて断層の破壊過程をシミュレートする手法の開発を進めている。そして、断層運動を想定した岩石すべり破壊実験の結果が本手法で良く再現できることを確認している¹⁾。本手法では、断層はジョイント要素で、地殻はソリッド要素でモデル化している。断層を表すジョイント要素には岩石すべり破壊実験から得られている非線形の構成関係²⁾を与えることになるが、この構成関係を決定するパラメータの与え方によっては断層の破壊過程が異なる。そこで、本研究では、このパラメータの値によって破壊の様子がどの様に異なるかを、断層パラメータの決まっている断層を対象に検討した。

2. 解析モデルと解析条件

(1) 解析モデル 解析の対象としたモデルを図-1に示す。断層は図-1に太線で示した場所に存在し、破壊開始点は深さ13km、地表面の2kmは破壊しないものとしている。地殻は全部で5層からなりその材料定数を図中に示す。断層のほとんどは第IV、V層の中に存在している。その平均S波速度、P波速度はそれぞれ3550m/s、6000m/sである。なお、モデルの側方、底面の境界は粘性境界、地表面は自由境界としている。

(2) 解析条件 断層面(ジョイント要素)に与える構成関係を図-2に示す。ここで、 τ_p はせん断強度、 τ_i 、 τ_d はそれぞれ初期せん断応力、残留強度である。この図から分かるように、断層面上の応力が初期せん断応力から徐々に増大して、せん断強度に達すると破壊が生じ、滑り始める。その際、応力は指数関数的に低下しながら残留強度に至る。 $\tau_i - \tau_d$ を応力降下量 $\Delta\tau$ 、 $\tau_p - \tau_d$ を破損応力降下量 $\Delta\tau_b$ と呼ぶ。解析に用いた $\Delta\tau$ 、 $\Delta\tau_b$ の深さ方向の分布の一例を図-3に示す。これらはこの図のように深さと共に増大し、十数kmで最大になり、それ以後は一定か、もしくは減少することが地球物理学的に知られている³⁾。本研究では応力降下量 $\Delta\tau$ を30、62、90、120barとし、それぞれに対して破損応力降下量 $\Delta\tau_b$ も変えて、平均食い違い量および破壊伝播速度に及ぼす応力降下量や破損応力降下量の影響を調べた。

3. 破壊伝播に及ぼす応力降下量、破損応力降下量の影響

(1) 平均食い違い量に及ぼす影響 平均食い違い量と応力降下量の関係を図-4に示す。これより、平均食い違い量と応力降下量との間には比例関係があることがわかる。このことより初期応力のレベル、あるいは破損応力降下量は平均食い違い量には関係しないことがわかる。ところで、この断層に対して求められている断層パラメータは、 $\Delta\tau = 62\text{bar}$ 、平均食い違い量160cmである。しかしながら、図-4では $\Delta\tau = 62\text{bar}$ に対して約250cmとなっており、約2.5倍にもなっている。これは実際の断層は面的な広がりを持つているのに対して、本解析手法では線としてモデル化していることに起因しているものと考えられる。この点に関しては現在検討を進めているところである。

(2) 破壊伝播速度に及ぼす影響 あるジョイント要素が破壊すると、その影響は波動となって運動エネルギーの形で、あるいは準静的な変形となってひずみエネルギーの形で隣のジョイント要素に伝達される。その際、隣のジョイント要素の破壊強度 τ_p と初期応力状態 τ_i の差が大きければ、応力が破壊強度に到達するのに時間が長くなり、その結果破壊伝播速度は遅くなることが予想される。そこで、平均破壊伝播速度 V_{rup} と破壊強度 τ_p と初期応力状態 τ_i の差、 $\tau_p - \tau_i$ の関係を表したのが図-5である。この図より $\tau_p - \tau_i$ が大きくなると V_{rup} が遅くなることがわかる。

Keywords: 断層運動、断層パラメータ、非線形FEM、破壊伝播速度、食い違い量

〒755 山口県宇部市常盤台 山口大学工学部 TEL 0836-35-9483, FAX 0836-35-9483

$\Delta \tau$ が30barの場合を除いて、 $\tau_p - \tau_i$ が小さいときには平均S波速度3550m/sよりも破壊伝播速度はやや速くなっている。しかし、P波の伝播速度を超えるものではない。伝播速度が3000m/s以下になると $\tau_p - \tau_i$ の影響はあまり小さくなく、 $\tau_p - \tau_i$ の増大に対して、徐々に破壊伝播速度は減少している。そして最終的には破壊は伝播しなくなる。ちなみに、断層パラメータの V_{rup} は2500/sである。

参考文献 1) 坪井、三浦：断層運動を模擬する岩石滑り破壊実験の有限要素解析、土木学会論文集、No.537/I-35、pp.61-76、1996。 2) 大中：実験室で見る断層運動、島崎・松田編、地震と断層、東大出版会、第7章、1994。

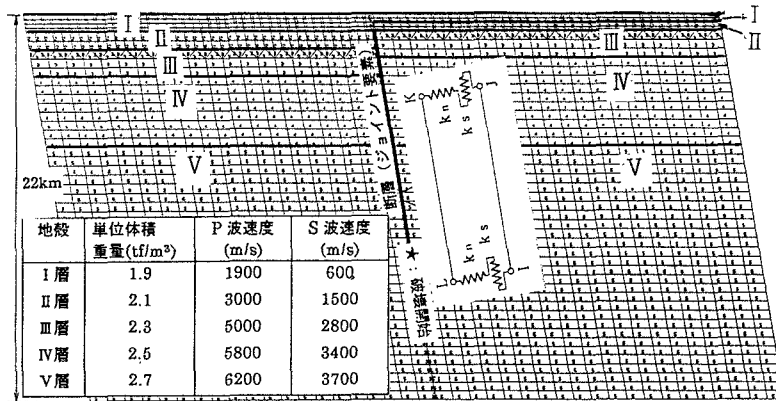


図-1 解析対象断層モデル

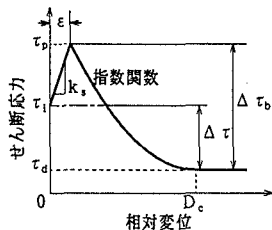


図-2 断層の構成関係

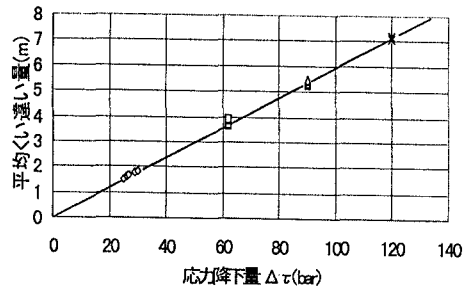


図-4 応力降下量と平均食い違い量の関係

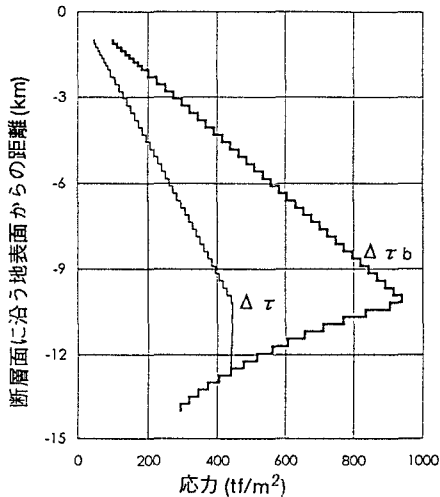


図-3 $\Delta \tau$ 、 $\Delta \tau_b$ の深さ方向の分布

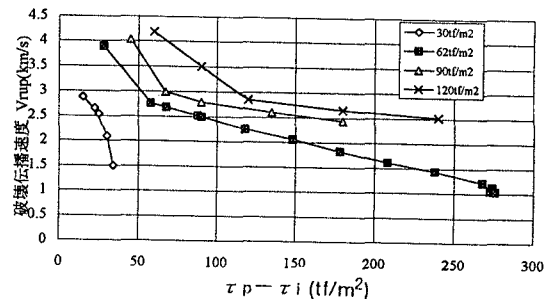


図-5 $\tau_p - \tau_i$ と破壊伝播速度の関係