

山口大学工学部 正会員 三浦房紀
 京都大学防災研究所 正会員 土岐憲三
 清水建設 正会員 吉村 隆

1. まえがき 筆者らは既にジョイント要素を断層面に配することによって、有限要素法を用いた断層運動のシミュレーション手法を提案し、解析を試みている¹⁾。その際に断層の強度は一樣と仮定していたので、破壊は順次伝播していくものであった。しかしながら、実際の断層面は一樣な強度ではなく、いわゆるバリエーの存在が考えられている。そこで本報告は簡単のために均一地殻内の断層モデルを想定し、ジョイント要素の降伏応力を高くすることによってバリエーのモデル化を行いその解析可能性を検討したものである。

2. 解析モデルおよび初期応力状態 解析モデルの概要を図1(a)に、その有限要素網を図(b)に示す。断層は傾斜角45度の逆断層であり、これに沿ってジョイント要素を20要素配列してある。地殻の物理定数は図中に示す通りである。バリエーのない場合をモデル1、地表面下6~7 km (1要素) にバリエーが存在する場合をモデル2と以下呼ぶ。断層面の強度パラメータはモデル1では粘着力が70 bar、摩擦角が1°の均質な断層であるのに対して、モデル2においてはバリエーより浅い部分は粘着力が70 bar、バリエーでは110 bar、バリエーより深い部分では82 bar とし、摩擦角は一樣に1°とした。また応力降下量は粘着力の大きさにかかわらず20 bar とした。図2にモデルの側方から一樣に造構力を作用させた際の断層面上での破壊発生直前のせん断応力の分布状態を実線で示す。図からも明らかのように、その分布はほとんど一樣である。また図中の破線はモデル1の降伏応力であり、点線はモデル2のバリエー部分の降伏応力である。

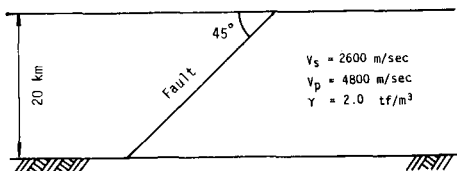


図1(a) 解析モデル

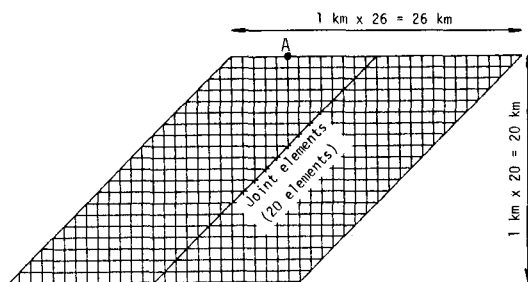


図1(b) 有限要素網

3. 解析結果および考察 (1) 破壊の伝播

モデル1, 2についてくい違い量の分布と破壊の伝播の様子を示したものがそれぞれ図3および4である。いずれの場合も破壊は地表面から発生し、順次深い方へと伝播しており、モデル1では破壊の伝播は深さ12kmまで、バリエーの存在するモデル2では14kmまで達している。モデル1では破壊の伝播は順次伝わっていくが、モデル2では破壊は地表面からバリエーまで達して、破壊開始後1.50秒に一旦停止している。そして破壊はバリエーを飛び越えて次の要素に及んだ(4.34秒)後、バリエーの部分も破壊する(5.00秒)という過程を経ている。その影響でくい違い量の分布もモデル1では深さ方向に滑らかになっているが、モデル2ではバリエーでくい違い量が少なくなっている。

図5はバリエーの存在するモデル2について、バリエー(図(b))とその上下(図(a)および(c))のジョイント要素のせん断応力の時刻歴を示したものである。図中の矢印は当該番号の要素が破壊した時刻を示している。破壊は図(a)⇒(c)⇒(b)の順で生じている。要素574では要素575が破壊

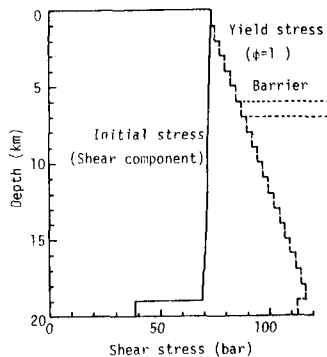


図2 初期せん断応力と降伏応力

した際にそのせん断応力は急激に増加し、やや遅れて要素573にその応力が伝えられている。その結果、バリヤーである要素574に比較して降伏応力が小さい要素573が先に破壊を生じている。そしてこれによって、バリヤーである要素574のせん断応力は再び急増し、降伏せん断応力に達して破壊を生じていることがわかる。

(2) 地震波形に関する考察 図6(a),(b)はそれぞれモデル1、モデル2の断層から8km離れた上盤側の地表面(図1のA点)における鉛直方向の加速度波形である。この地点ではモデル2のバリヤーの部分から発生した波動のうち、P波は1.32秒後、S波は2.49秒後に到達する。両モデルによる波形は2.8秒以降に差が生じている。すなわち、バリヤーの存在するモデル2の場合には破壊がバリヤーに到達した時刻(1.50秒)とそこからP波が伝播するのに要する時間(1.32秒)を加えた時間(2.82秒)後に振幅が小さくなっている。また、振幅は5.5秒前後から再び増幅されているが、この時刻はバリヤー直下の断層破壊によって生じたP波が到達する時刻、5.81(4.34+1.47)秒にほぼ対応している。この時刻は図中に矢印で示してある(P)。またS波の到達する時刻も併せて示してある(S)。

以上みてきたように、本解析手法によれば断層面上の『応力の流れ』のメカニズムをうまく説明できるようであり、また地震波形に関してもバリヤーによる地震波動の消長とその重ね合せも説明できそうである。しかしながら、その対象は低振動数域に限られており、さらに高い振動数の領域において議論する場合には、要素の大きさをもっと小さくしなければならず、これは計算機の容量との関係で今後に残された問題である。

参考文献 土岐・三浦・吉村;有限要素法による断層運動のシミュレーション、第17回地震工学研究発表会、1983、7。

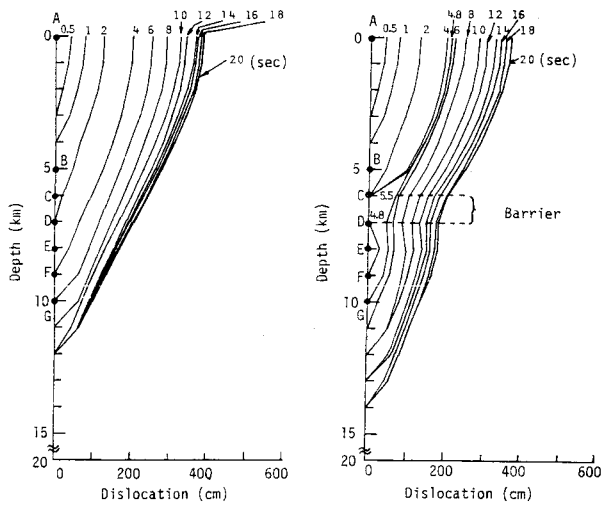


図3 くい違い量の時間的変化 モデル1

図4 くい違い量の時間的変化 モデル2

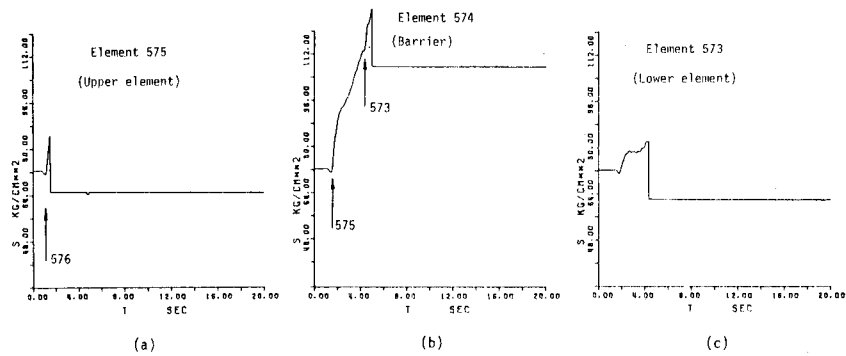


図5 バリヤー周辺のジョイント要素のせん断応力の時刻歴

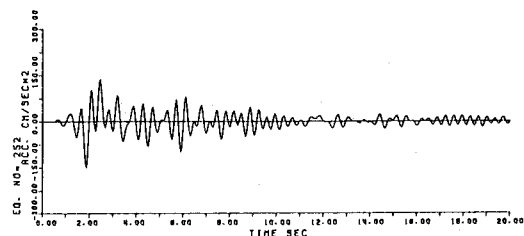


図6(a) 加速度の時刻歴-モデル1

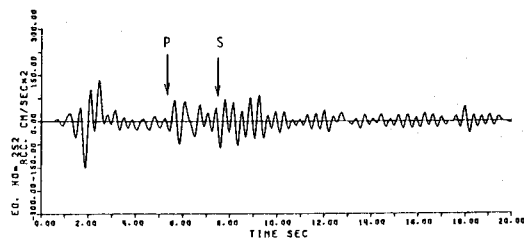


図6(b) 加速度の時刻歴-モデル2