

動力学的モデルを用いた断層上の破壊過程の推定法に関する研究

埼玉大学 正会員 谷山 尚

1. はじめに

断層の近傍の地震動に対しては断層面上の破壊過程が大きな影響を与えるため、地震動予測の観点からも断層上の破壊過程を詳細に知ることは重要である。断層上でどのような破壊が起きたかを調べるためにこれまでに数多くのインバージョン解析がなされてきている¹⁾。近年では、断層上のすべりの時間変化を求め、その結果に基づいて断層上の破壊を動的に再現する方法などによって断層上の動的な破壊過程が調べられている²⁾。これらのインバージョン解析のほとんどは運動学的モデルに基づいて断層上のすべりを求めるものであるが、動力学的モデルに基づいて観測波形から直接断層上の応力変化を推定する手法が提案されている³⁾⁴⁾。それらの手法では断層上の各点で応力はある時刻にせん断強度から残留強度に一気に低下する関係が仮定されている。本研究では複数の時刻に渡って応力が低下する場合に、それぞれの時刻における応力の変化量を観測波形から推定する手法について検討した。

2. 解析手法

断層をいくつかの小断層に分割し、それぞれの小断層における応力変化を観測波形から推定する。分割したそれぞれの小断層における応力変化に関しては図-1 中左に示すように、最初に破壊が起きてせん断強度からある応力レベルまで応力が降下した後、何ステップかに渡って応力降下を起こして残留強度に達する関係を仮定した。そのような関係を図-1 の右のようにそれぞれの破壊ステップごとの応力降下に分割してそれらを足しあわせることで表現し、それぞれの破壊ステップにおける応力の変化量を観測波形から推定する。この際、各破壊ステップの時刻については予め小断層ごとに与えた。小断層に分割してそれぞれの小断層で応力降下が発生した際に生じる波形を計算する上で、対象とする小断層の外部を非破壊領域とすると、小断層の端部ですべりは0、その外側で応力集中が起きて応力が大きくなるため、これらのすべり分布や応力分布を足しあわせても断層全体が破壊した場合の分布とは必ずしも一致しない。そのため、各々の小断層が破壊した際のすべり・応力を足しあわせた結果と断層全体を破壊させた場合の結果が一致するように、断層上のある点における応力は、その点が対象としている小断層内の点であれば破壊時刻に応力降下を起こすとする一方、対象としている小断層の外部で震源断層内の点の場合、その点での最初の破壊時刻以後は応力増分は0とした。

応力変化量を推定する際には、観測波形との誤差が小さくなる条件に加えて、各破壊ステップにおいて隣接する小断層間で応力変化量の差が小さくなる条件、各小断層において前後する破壊ステップで応力変化量の差が小さくなる条件を付加し、それぞれの条件の重み付けはABICを用いて決めることとした。

3. 解析モデル

上で述べた手法によって破壊過程の推定が可能であるかを調べるために図-2 に示したモデルによって解析を行った。解析は格子間隔250mの差分法によって行い、予め断層上の各点で破壊時刻と応力降下量を与えて図-2 中s1からs5の5点において波形を

計算し、その波形から上記手法を用いて破壊過程の推定を試みた。その際、計算された波形に1.2Hzのローパスフィルターをかけた。媒質はP波速度、S波速度、密度がそれぞれ6.0km/s、3.5km/s、2.6g/cm³の一樣均質な線形弾性体

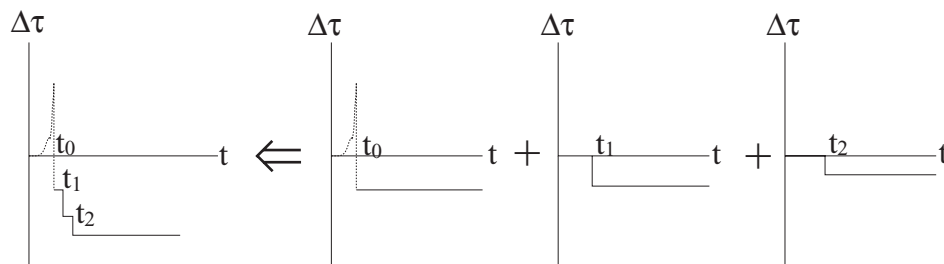


図-1 応力増分と時刻の関係

キーワード：震源断層、地震動、破壊過程、インバージョン

連絡先：338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 Tel 048-852-2111 Fax. 048-858-7374

とし、震源断層は長さ 8km、幅 6km の鉛直な断層面を持つ横ずれ断層とした。予め s1 から s5 の各点での波形を計算する際には、震源断層を 2km × 2km の 12 個に分割し、分割されたそれぞれの領域内で一様な破壊過程（破壊時刻とそれぞれの破壊時刻における応力降下量）を仮定した。それぞれの領域内での応力降下量と時刻の関係を図 -3 の実線で示す。

破壊過程を推定する際には、震源断層を同様に 2km × 2km に分割し、各小断層において最初に破壊を起こしてから 0.33 秒後と 0.67 秒後の 3 段階に渡って応力が変化す

るものとして、それぞれの破壊ステップにおける応力の変化量を推定した。それぞれの小断層で最初に破壊を起こす時刻は、破壊伝播速度を変えて与え、与えた破壊時刻ごとに応力変化量を上記手法によって求めた。そして、破壊時刻ごとに得られた推定値の中から波形の誤差が最も小さくなるものを最終的な推定値として選んだ。

4. 解析結果

図 -3 の点線に推定された結果を示す。応力降下量が大きい小断層および浅いところに位置する小断層の応力については時刻変化を含めて良好に推定されている。一方、断層の最深端部で応力降下量が小さいところでは応力は増大していく推定結果となっており予め与えた応力とは異なったものとなっている。波形への影響が大きい領域については良好に推定されている一方波形への影響が小さい領域の推定結果はあまりよくない結果となっている。一部で不正確な推定結果となるものの、波形に誤差が無く観測点配置がよいなど好条件の下では提案した手法によって破壊過程を概して良好に推定することが可能であるといえる。

5. まとめ

動力学的モデルを用いて、断層上の破壊過程を観測波形から推定する方法について提案し、簡単なモデルを用いてその妥当性について検討した。その結果、地下構造が分かっている観測波形に誤差が含まれておらず、また観測点配置もよいなど限られた条件の下ではあるが、提案した手法によって比較的良好に破壊過程を推定可能であることを示した。

参考文献

- 1) 例 え ば Takeo M.: An inversion method to analyze the rupture processes of earthquakes using near-field seismograms, *B.S.S.A.*, 77, 2, 490-513, 1987.
- 2) 例 え ば Ide S. and M. Takeo: Determination of constitutive relation of fault slip based on seismic wave analysis, *J.G.R.*, 102, 27379-27391, 1997.
- 3) 澤 田 純男：断層の動的破壊過程と波動散乱特性に基づく強震動予測に関する研究，京都大学博士論文，1995.
- 4) 谷山尚，応用力学論文集，3, 541-546, 2000.

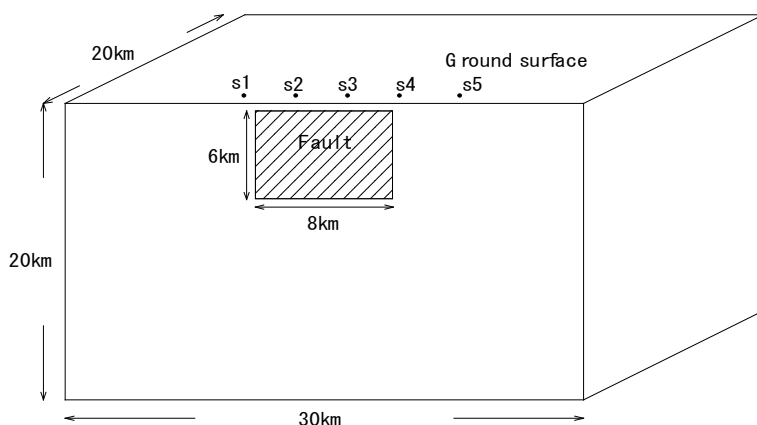


図 -2 解析モデル

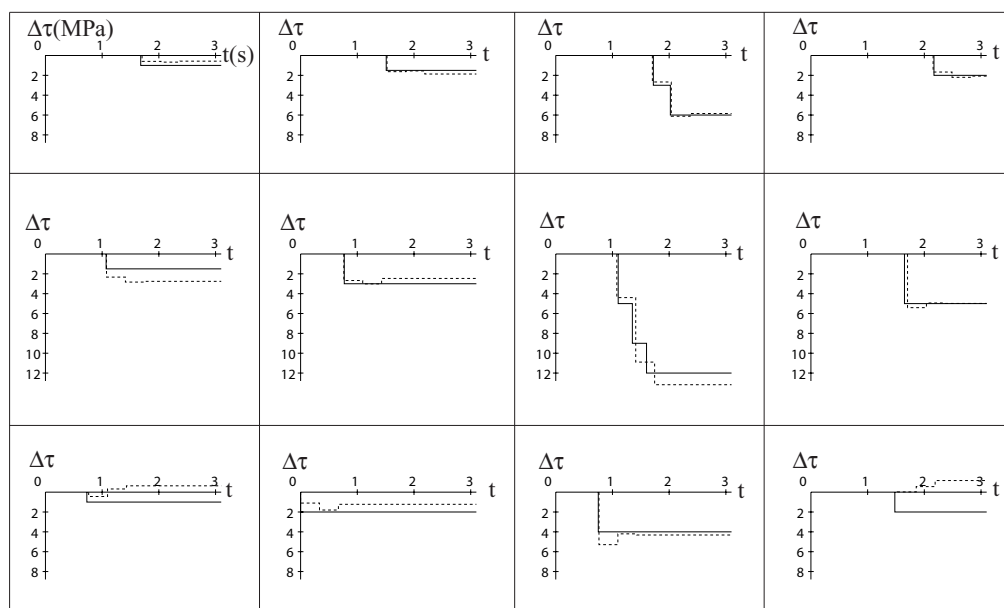


図 -3 想定した破壊過程（実線）と推定結果（点線）