

インバージョン法を用いた震源域内での地盤変動の推定

京都大学工学部 正員 山田善一 野田茂

京都大学大学院 学生員 ○山脇 司

1. まえがき 震央距離の短い巨大地震の良好な記録は現在多く得られているとは言えず、さまざまな手法を用いてその再現が試みられている。断層震源モデルは有効な手法の一つであるが、大地震の断層の震源過程は複雑である。したがって、断層面の破壊過程は地震動の再現にあたって多大な影響を及ぼす。本研究は、インバージョン法により、断層面上での地震モーメントの分布、すなわち破壊の大きさを示すパラメーターの空間分布を検討するものである。この方法を1980年伊豆半島東方沖地震に適用し、地震モーメントの分布を合理的に推定し地震動の再現を試みた。

2. 地震動の合成 断層面は複数の点震源の集まりとみなす。各点震源によって励起された要素波を、破壊伝播の時間遅れを考慮して観測点の波形を合成する。一般に、変位は次式で表される。

$$U_k(x, t) = [G_{ki,j'}(x', t; x, 0) \otimes f_s(t)] \cdot M_{ij} \quad \cdots (1)$$

ここで、 $U_k(x, t)$: 地表の観測点の変位場の第 k 成分、 $G_{ki,j'}$: 地盤内の (x', t) において i 方向の単位インパルス力を与えたときの、 (x, t) における変位場の第 k 成分を、空間座標 X_j で微分したグリーン関数、 $f_s(t)$: 震源の食い違い時間関数、 M_{ij} : モーメントテンソルであり、地震モーメント M_0 に比例する項、 $\otimes$: たたみ込み積分である。本研究では $G_{ki,j'}$ を算定するために、Johnson の解を修正したものを用いた。 $f_s(t)$ には $f_s''(t)$ が図1になるような時間関数を採用した。ここに τ はライズタイムを示す。

3. インバージョン法 インバージョンの基本は行列 A とベクトル b が既知のとき、変数 x のある制約条件下で、連立方程式 $Ax = b$ より安定な解を求めることである。本研究では最小二乗法²⁾を経て、やや長周期の実測波形 (b) と単位

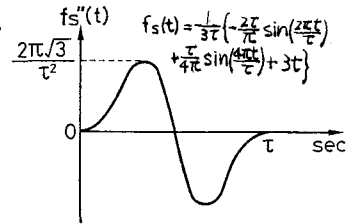


図1. 震源の食い違い時間関数

地震モーメントにより計算した断層上の各点震源からの要素波 (A) より、断層面上の地震モーメント (x) の分布を決定するという手順をとった。したがって本研究で実施したインバージョンは Waveform matching method に相当している。求めた地震モーメントの分布を用いて、式 (2) により観測点での波形を合成した。

$$U_k(x', t) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (M_0)_{ij} \cdot [E_{ij}^k(t) * f_{ij}(t)] \quad \cdots (2)$$

ここで、 m, n : 断層面の strike, dip 方向の分割数、 $U_k(x', t)$: 観測点での変位、 $(M_0)_{ij}$: 断層の面要素 ij の地震モーメント、 $[E_{ij}^k(t) * f_{ij}(t)]$: 面要素 ij で単位の大きさのダブルカップルの力が作用したときの観測点での k 方向の変位を示す。

4. 数値計算結果および考察 1980年6月29日伊豆半島東方沖地震時の断層とインバージョンに使用した実測記録の観測位置を

Yoshikazu YAMADA, Shigeru NODA, Tsukasa YAMAWAKI

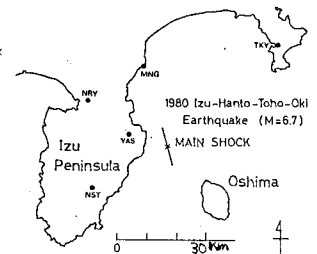


図2. 断層と観測点の位置

図2に示す。観測波形には電力中央研究所によって数値化されたものに、等リップル通過帯域型のチェビシェフフィルタを施した。グリーン関数は断層面のstrike方向に5点、dip方向に3点計15点について計算し、さらに求めたグリーン関数を補完し、断層面内の45の点震源について得た。なお、時間間隔は0.06sec、継続時間は30secとした。断層パラメーターは井元らの結果を勘案し、断層の深さ14~20km、傾斜角 65° 、走向 $N15^\circ W$ 、長さ14km、幅10km、震源深さ17.9kmとし、左横ずれ断層を想定した。動的パラメーターは岡田の結果より、ライズタイム1sec、破壊伝播速度3km/s、地震モーメント $0.72 \times 10^{26} \text{ dyn} \cdot \text{cm}$ とした。破壊フロントは破壊開始点より同心円状に拡がるものとした。地下構造には半無限媒質の制約を与えた。伊神の結果により、P波速度6.0km/s、S波速度3.7km/s、密度 2.8 g/cm^3 とした。

図3に、インバージョンの結果得られた断層上の地震モーメントの分布を、各点震源について示す。図の左側がほぼ南を向いている。破壊開始点は図中の32に位置する。同図からわかるように、断層の南側に地震モーメントの大きな箇所が集中している。すなわち本計算によれば、破壊は断層上で一様に生起しておらず、バリアの存在を示唆している。

図4は、観測点YAS, MNZについてインバージョンの前後で合成した理論変位波形(EWおよびNS成分)を観測波形と比較したものである。ここで理論波形の時間軸の原点は破壊開始時刻に対応している。総じてインバージョンを施した変位波の振幅は大きい。しかし波の形状については、インバージョンにより求めた波が、断層上で地震モーメントの様なモデルの結果に比べて改善されている。

5. あとがき 本研究では半無限地盤におけるグリーン関数を算定しており、インバージョンにより求めた波形は実測波形を精度よく再現していない。この点を改良するため、水平成層地盤についてグリーン関数を求め、インバージョンを実施しており、その結果については当日発表の予定である。

参考文献 1) Johnson L.R.: Geophys. J. R. astr. Soc., Vol. 37, pp. 99-131, 1974. 2) C.L. Lawson and R.J. Hanson: Solving Least Squares Problems, Prentice-Hall, Inc., 1974.

その他は紙面の都合上割愛させていただきます。

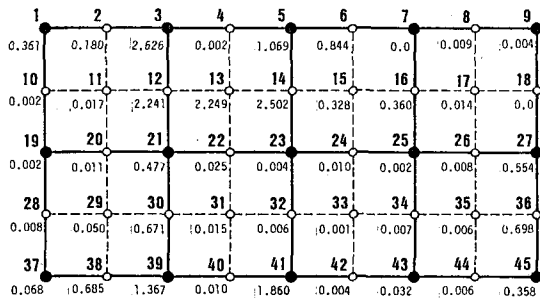


図3. 地震モーメントの空間分布 ($\times 10^{26} \text{ dyn} \cdot \text{cm}$)

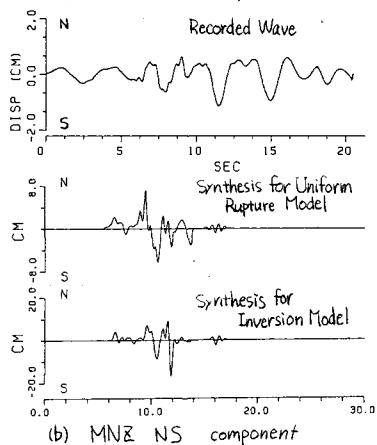
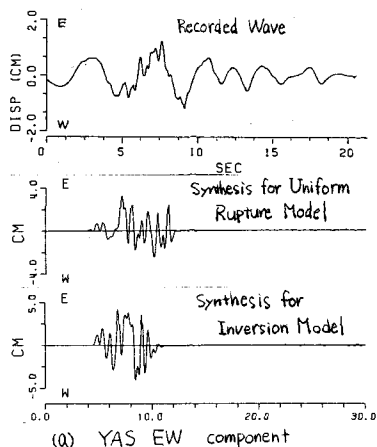


図4. 実測および理論による観測点での波形