

簡易津波伝播解析を取り入れた津波波源同定法の開発

栗原工業株式会社（元和歌山高専学生） 辻田 徳雄
和歌山工業高等専門学校 正会員 辻原 治
徳島大学工学部 正会員 沢田 勉

1. はじめに

地震発生後、津波の波源域を早期に把握することは、津波による被害の軽減や被害規模の推定に役立つのみならず、地震断層位置の特定とその後の余震活動について重要な情報を提供すると考えられる。著者らは、津波波源の同定問題を、任意点への津波初動到達時間および周辺の海底地形を既知とする最適化問題に置き換え、これに数理計画法を適用する方法を提案した¹⁾。しかしこの方法では、津波の波線が直線でしか扱えなかったため、波の屈折や回折の現象を適切に表現できなかった。

本研究では、津波の伝播軌跡に最短経路探索法を導入し、津波波を推定する方法を提示した。

2. 簡易津波伝播解析法

津波の伝播時間を求める領域において、図-1に示すようにノードを設定し、各ノードに水深を与える。ここで、ノード間に限り津波が直線的に伝播するものと仮定することで、各リンク(ノード間を結ぶ線分)での津波伝播時間は次式で表される。

$$t_{jk} = \frac{D_{jk}}{\sqrt{gh_{jk}}} \quad (1)$$

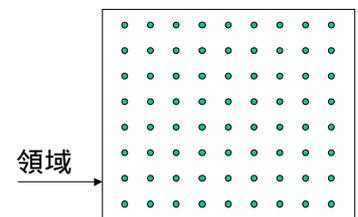


図-1 ノードの設定

ここに、 t_{jk} 、 D_{jk} 、 h_{jk} は、それぞれノード jk 間の津波伝播時間、距離および平均水深を表す。また、 g は重力加速度を表す。上式によって、すべてのリンクの津波伝播時間を計算することができる。そして、最短経路探索法の一つである Dijkstra 法²⁾を適用することにより、任意の2点間の津波の最短伝播時間および最短時間経路を求めることができる。しかし、図-2のように、一つのノードから8つのリンクを設けるだけでは誤差が大きくなると考えられるため、図-3に示すようにリンクの数の多い解析モデルを用いることもできる。

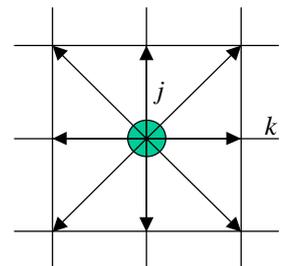


図-2 ノード j からの波の伝播方向 (8リンク)

図-4に示すような線波源を仮定すると、線上の等間隔な分割点から任意点までの津波伝播時間を計算し、それらのうち最短のものを最短伝播時間とみなすことができる。

3. 津波波源の同定法

津波の波源は普通楕円形状とされている³⁾。本研究では、波源を点、線あるいは楕円として同定問題を定式化した。ここでは、線波源の同定法について述べる。

いま、 n 個の観測点で津波の初動到達時間 $\bar{t}_1, \bar{t}_2, \dots, \bar{t}_n$ が得られているものとする。一方、波源は当然未知であるが、これを線分と仮定して、両端点の経緯度に適当な初期値を与えてやると、観測点までの津波伝播時間は前述の方法で計算できる。したがって、波源の同定問題は次式を最小化する最適化問題として定式化することができる。

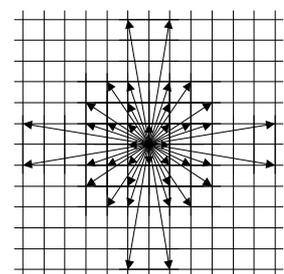


図-3 ノード j からの波の伝播方向 (8リンク)

キーワード：津波，波源，同定，最短経路探索

連絡先： 〒644-0023 和歌山県御坊市名田町野島 77 TEL 0738(29)8455 FAX 0738(29)8469

$$S(\mathbf{X}) = \sum_{i=1}^n \{t_i(\mathbf{X}) - \bar{t}_i\}^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

ここに、 $t_i(\mathbf{X})$ は仮定した線波源から観測点 i までの津波伝播時間の計算値である。また、 \mathbf{X} は同定問題における未知変数ベクトルを表し、線波源の場合は両端点の経緯度 $\{E_{01}, N_{01}, E_{02}, N_{02}\}^T$ である。上式の最小化には改良 SLP 法⁴⁾を適用する。

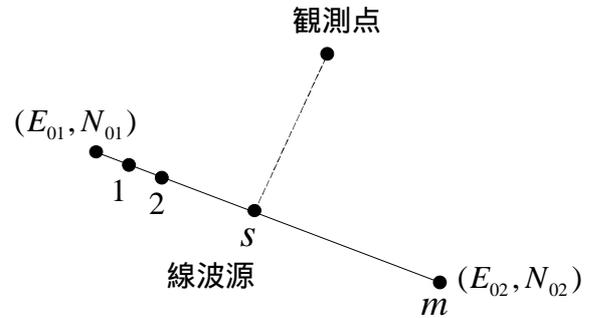


図-4 線波源のパラメータと分割点

4. 数値計算結果

紀伊半島・四国沖の海底地形を用い、線波源同定のシミュレーションを行った。波源の真値は東経、北緯がそれぞれ(135.3,33.0)度、(134.0,32.8)度を結ぶ線分とし、潮岬、蒲生田岬、室戸岬および足摺岬の4点を観測点とした。観測点までの津波初動到達時間はあらかじめ計算しておき、これを観測値として用いる。図-5には、観測点を黒丸で表し初動到達時間(単位:分)を括弧内に示す。また、波源の真値および初期値も示す。図-6は反復過程における波源の収束状況であり、最終的にほぼ真値に収束している。表-1に波源の真値、初期値と収束値を示す。また、図-7は反復過程における津波到達時間の誤差(絶対値)の総和を表したものである。10回程度の繰り返しの後、誤差が0に近づいていることがわかる。

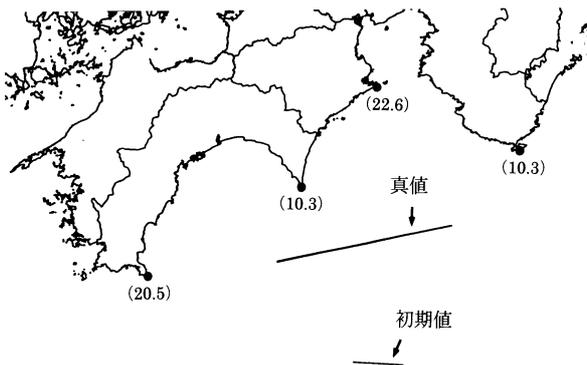


図-5 線波源の真値と初期値および観測点



図-6 線波源の収束状況

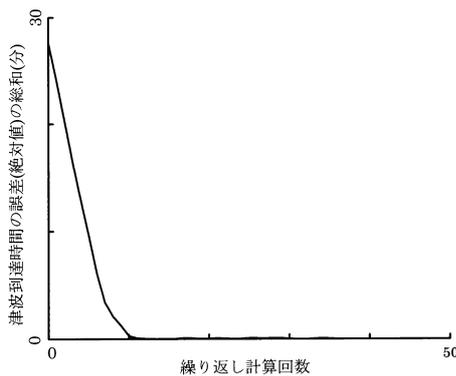


図-7 津波到達時間の誤差

表-1 線波源の端点の経緯度の真値、初期値および収束値

	E_{01} (度)	N_{01} (度)	E_{02} (度)	N_{02} (度)
真 値	135.300	33.000	134.000	32.800
初期値	134.930	32.180	134.560	32.200
収束値	135.301	33.0001	133.999	32.799

参考文献

- 1) 辻原治・沢田勉；津波波源域推定への非線形最適化手法の適用，応用力学論文集，Vol.1，pp.577-584，1998.
- 2) 山下清明；土木情報処理の基礎～FORTRAN 77 に即して～，技報堂，pp.231-236，1988.
- 3) 宇津徳治；地震の辞典，p.283，朝倉書店，1985.
- 4) 沢田勉・辻原治・平尾潔；地盤のS波速度とQ値の同定問題におけるMSLP法の改良とその適用，土木学会論文集，No.446 I-19，pp.205-213，1992.