

円錐型断層モデルによる 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の再現

東北大学大学院	学生会員	○久松明史
東北大学災害科学国際研究所	正会員	今村文彦
地震予知総合研究振興会	非会員	松浦律子

1. 序論

近年、地表変位、強震動、遠地地震波および津波各現象の観測網の発達により、断層すべり分布の非一様性や破壊成長過程が明らかになっている。例えば、2011年東北地方太平洋沖地震は、5分間にわたって破壊が進行し、最大で69mのすべりが発生したと推定されている (Satake et al., 2013)。しかし、非一様なすべり分布を再現するために多数の矩形小断層に区切ると、未知のパラメータを多く推定しなければならず、豊富な観測データが必要となる。

本研究では、断層すべり分布の非一様性を考慮しつつ、従来の矩形一様すべり断層モデルとパラメータ数が変わらない円錐型断層モデルを開発した。円錐型断層モデルと矩形一様すべり断層モデルの再現性を比較するために、それぞれ単一の断層モデルによって2011年東北地方太平洋沖地震における観測津波波形を再現した。

2. 円錐型断層モデル

円錐型断層モデルでは、半径を変えた円柱一様すべり断層による地表変位を計算し、重ね合わせることで円錐型のすべり分布を表現する (図-1)。本研究では、任意形状および任意すべり分布の断層による地表変位を計算するため、点震源に対する解析解としてモーメントテンソルと親和性のある Yabuki and Matsu'ura, (1992) および松浦 (1996) の地表変位表現を用いた。すべての円の中心を同じ位置にして重ね合わせると直円錐型となり、頂点の位置をずらしながら重ね合わせることで斜円錐型とすることが可能である。

3. 数値計算

まず、円錐型断層モデルと矩形一様すべり断層モデル

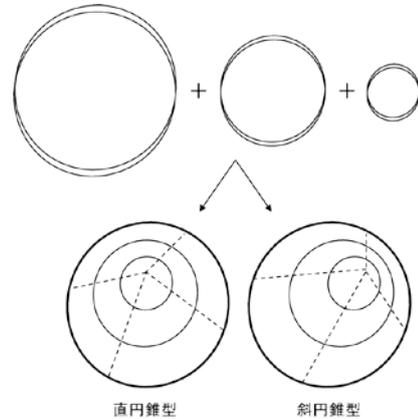


図-1 円錐型断層モデルの構造。

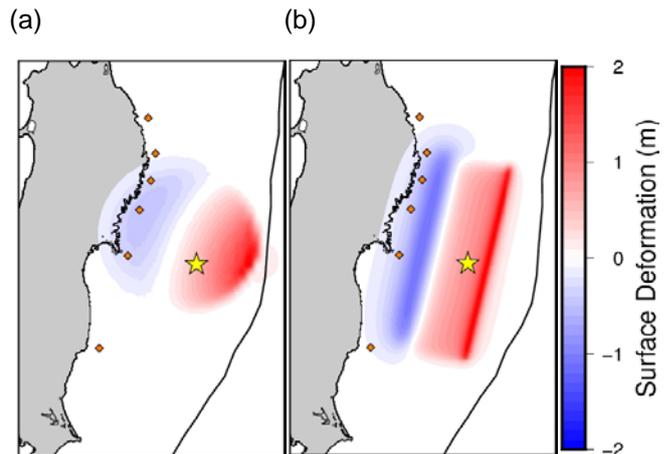


図-1 (a) 円錐型断層モデルおよび (b) 矩形一様すべり断層モデルに単位すべりを与えたときの地表変位。四角点が津波観測地点。

ルにそれぞれ単位すべりを与えて沖合 GPS 波浪計の津波波形を計算し、これをグリーン関数とした。単位すべりは各モデルで異なり、円錐型断層モデルでは頂点の位置でのすべり量が10m (平均すべり量は3.33m) であり、矩形一様すべり断層モデルでは平均すべり量が5mである。破壊は瞬時に発生すると仮定した。

次に、一次関数を用いた最小二乗法により、宮城中 GPS 波浪計で観測された津波波形を最もよく再現するすべり倍率 (a) と破壊遅れ (T_r) を求めた。再現の

表-1 矩形小断層を細かく区切ったモデル (Satake et al., 2013), 円錐型断層モデルおよび矩形一様すべり断層モデルのパラメータ数と6か所の津波観測値の再現性.

断層モデル	パラメータ数	平均 RMS (m)
Satake et al. (2013)	275	0.41
円錐型	6	0.82
矩形一枚	6	1.11

対象は観測において、津波最大波が到達後、水位が低下し、再び水位が上昇する直前までとした。破壊遅れは0, 1, 2, 3, 4, 5分の6通りを想定した。

最後に、岩手沖3か所、宮城沖2か所および福島沖1か所の合計6か所において、観測値と計算値の二乗平均平方根 (RMS) によって再現性を評価した。

4. 計算結果

円錐型断層モデルでは、浅部に頂点を想定した断層の再現性が最も高くなった。宮城中および宮城北での津波波形をよく再現した (図-2a)。一方、岩手沖および福島沖では第一波の水位上昇量が過小である。

矩形一様すべり断層モデルでは、中間の深さの断層が最も小さかった (図-2b)。断層を浅部に想定した場合、第一波の周期が短く波形の特性が異なるため、再現性が低くなるという結果を得た。

5. 議論と結論

単一の矩形一様すべり断層モデルは、津波の波形、特に波形の谷の要素は再現しにくいことが明らかとなった (図-2b)。これは、浸水分布によって津波波源モデルの妥当性を評価した場合には判明しなかったことである。

単一の円錐型断層モデルは、頂点の位置を海溝側の断層縁に設定した斜円錐型とすることで、宮城県沖のGPS波浪計が観測した2011年東北沖津波の津波波形を単一の矩形一様すべり断層モデルよりも精度よく再現した (図-2a)。そのため、観測データが限られ、単一の断層によって津波を再現するときは、円錐型断層モデルが有用である。

矩形一様すべり断層モデルにおいては、大すべり域や超大すべり域を考慮した特性化波源断層モデルの

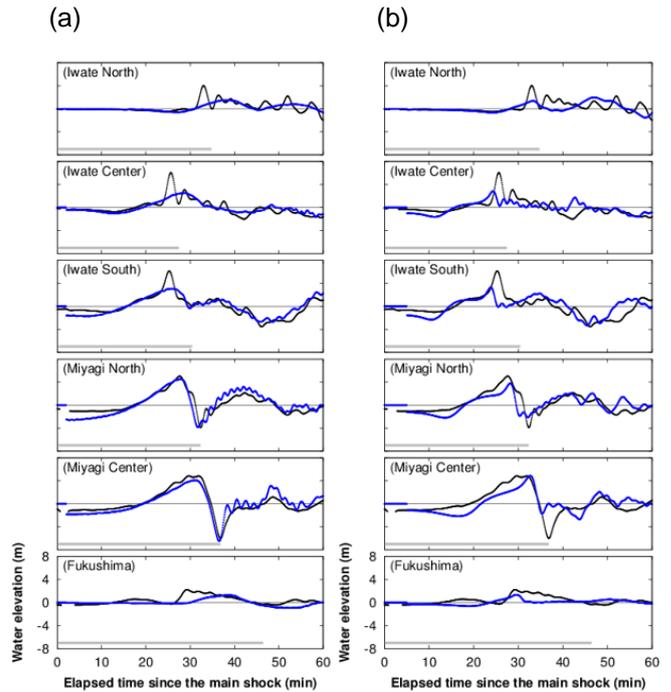


図-2 宮城中の観測津波波形を最もよく再現した (a) 円錐型断層モデルおよび (b) 矩形一様すべり断層モデルの全6か所における津波波形。黒が観測値および青が計算値である。灰色線はaおよびRMSの計算に用いたデータの範囲を示している。

規格が提案されている (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2017)。このとき、矩形一様すべり断層を2~3個程度重ねて想定することになる。今後は、円錐型断層モデルにおいても断層個数を増やしたときの再現性を検証することが重要である。

参考文献

- Satake K., Fujii Y., Harada T., and Namegaya Yuichi, 2013, Time and Space Distribution of Coseismic Slip of the 2011 Tohoku Earthquake as Inferred from Tsunami Waveform Data. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 103, No. 2B, pp. 1473-1492.
- Yabuki T. and Matsu'ura M., 1992, Geodetic Data Inversion Using a Bayesian Information Criterion for Spatial Distribution of Fault Slip. Geophysical Journal International, Vol. 109, pp. 363-375.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2017, 波源断層を特性化した津波の予測手法 (津波レシピ). http://www.jishin.go.jp/main/tsunami/17jan_tsunami-recipe.pdf (2017年1月13日アクセス).
- 松浦充宏, 1996, 第5章変形と破壊. 地球連続体力学 (松井孝典編), 岩波書店刊, pp. 175-237.