

T_{dp}とは何か？

山本 俊六（株式会社 ANET）

1. はじめに

早期地震警報の分野における M 推定手法として、これまで P 波初動部数秒間の卓越周期を利用する手法（例えば、Nakamura, 1988）、P 波振幅の距離減衰式を利用する手法（例えば、Odaka et al., 2003）などが提案、活用されてきた。これらの手法では原理的に断層面の破壊が十分に進行した段階で、最終値に近い M を推定することを可能とする。

一方、Noda and Ellsworth (2016) は、 $4.5 < M < 7.0$ の地震を対象とした T_{dp} と M とのスケールリング則を用いて、従来手法より早い段階で M を推定できる可能性があることを示した。T_{dp} とは、P 波極初動部における変位振幅成長の“M 非依存性”が、崩れ始める時間を表す指標である。T_{dp} は早期地震警報にとって効果的な指標になると考えられるが、物理的な意味は十分に議論されていない。本稿では、Haskell タイプの断層モデルを用いた変位波形のシミュレーションから T_{dp} の意味を考察する。

2. 計算手法

本稿で扱う断層モデルを図 1(a) に示す。破壊開始点は断層面中央とする。破壊が開始点より一定速度 (v_r) で伝播し、断層端部で停止すると仮定した場合、破壊開始時刻からの破壊フロント長さの時間変化は図 1(b) となる。ここで、 L 、 W 、 t は、それぞれ断層長さ、断層幅、破壊開始からの経過時間を表す。ここで破壊フロントにおける任意の点のくいちがいをライズタイム τ の傾斜関数で与えた場合、遠方変位解は幅 τ 、高さ A の矩形関数となる。ソースの放射特性と評価点までの距離の変化の影響を無視し、断層全域でくいちがい量が等しいと仮定した場合、断層面に対して垂直方向遠方の評価点における変位波形 (D) は、図 1(b) と上記矩形関数のコンボリューションにより、以下のように求めることができる。ここで t_0 は破壊開始点から評価点までの波形伝播時間である。

① $0 < t < \tau$

$$D(t_0+t) = A\pi(v_r t^2) \quad (1)$$

② $\tau < t < W/2v_r$

$$D(t_0+t) = A\pi(2v_r \tau t - v_r \tau^2) \quad (2)$$

③ $W/2v_r < t < W/2v_r + \tau$

$$D(t_0+t) = A\pi(-v_r t^2 + 2v_r \tau t + W\tau - v_r \tau^2 - W^2/4v_r) \quad (3)$$

④ $W/2v_r + \tau < t < L/2v_r$

$$D(t_0+t) = A\pi(W\tau) \quad (4)$$

⑤ $L/2v_r < t < L/2v_r + \tau$

$$D(t_0+t) = A\pi(-W\tau + W\tau + WL/2v_r) \quad (5)$$

3. モデル計算結果と考察

前章の手法を用いて、規模の異なる地震 ($M=5, 6, 7$)

について遠方変位波形を計算した結果を図 2(a) に示す。各震源パラメータは宇津 (1977) により与えた。

図 2(a) より、波形は形状の変化から 3 区間に分割できることが分かり、それぞれ①破壊開始地点のくいちがい完了するまでの区間、②～③破壊が断層短辺端で完了するまでの区間、④～⑤破壊が断層長辺端で完了するまでの区間に対応する。これらの破壊進行の変化がスペクトルのコーナー周期として現れることはよく知られているが、変位波形の成長の変化としても確認できる。図 2(b) に Noda and Ellsworth (2016) の Fig. 4 を並べて示した。両者を比較すると、T_{dp} は①あるいは②の終了点に対応するようになる。仮に①に対応する場合、T_{dp} が破壊開始点近傍のライズタイムに依存し、かつ実地震において破壊開始点近傍でのライズタイムとの M との間にスケールリング則が成立している可能性があることを示唆する。②に対応する場合、T_{dp} が断層幅に依存することを意味する。

4. まとめ

本稿では、簡単なモデル計算から Noda and Ellsworth (2016) における T_{dp} が破壊開始点近傍のライズタイムあるいは断層幅に対応する可能性があることを示した。T_{dp} の早期警報への適用性と限界に関する検討材料になると考える。

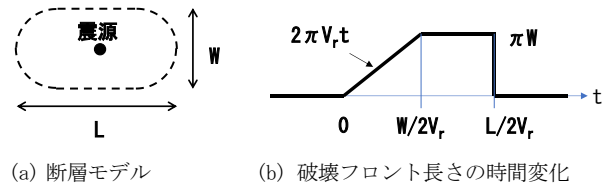
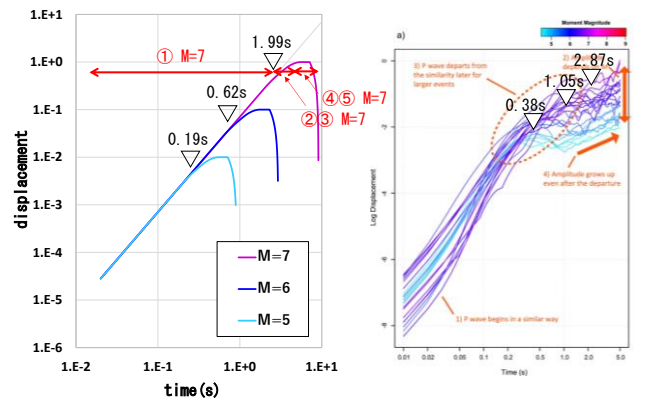


図 1 断層のモデル化



(a) 本稿での計算結果 (b) Noda and Ellsworth (一部加筆)

図 2 変位成長の状況