

Moment–Area Scaling Assuming Constant Stress Drop from Small to Great Crustal Earthquakes

*Kazuhito Hikima¹, Akihiro Shimmura¹

1. Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.

【はじめに】 断層面積(S)と地震規模(地震モーメント(M_0), マグニチュード(M))とのスケーリングは地震活動の理解や, 想定地震の地震動予測等に不可欠である. 内陸地殻内地震のスケーリングについては, 地震発生層の厚さの制限のために, 地震規模によりスケーリングが変化し, $M < 7$ 程度の小～中規模地震では応力降下量($\Delta\sigma$)=一定を仮定し, 大地震ではすべり量(D)が断層長さ(L)に比例するL-modelを前提とした式(2-stage, bilinear scaling)や, さらに長大な断層では D =一定(W-Model)となる3-stageのスケーリングも提案されている(Murotani *et al.*, 2015). しかし, これらでは各ステージでの物理条件が異なるため, 中小地震と大地震で地震規模との関係や $\Delta\sigma$ の値が変化する. 一方で, 物性値としての観点からは $\Delta\sigma$ は地震規模によらずほぼ一定となるのが適当なように思われる. 引間・新村(2018)では既存の応力降下量の計算式をもとに, 中小～大地震まで $\Delta\sigma$ が一定となるような $M_0 \sim S$ のスケーリングについて検討を行った. 本報告ではそれを元に既存データとの関係を整理し直した結果を紹介する.

【スケーリングの定式化】 Chinnery (1964) による地表垂直横ずれ矩形断層に対する応力降下量の計算式をもとに検討を行う. Anderson *et al.* (2017) は, 既にこの式を使い $M_w \sim L$ のスケーリングを検討している. それらを発展させ, $M_0 \sim S$ の関係を導出した. これらの関係は地表断層が生じるような規模の地震に適応可能である. 一方, 地中断層については, Chinnery (1969)による地中横ずれ矩形断層に対する応力降下量の計算式を元に, 同様に $M_0 \sim S$ の関係を導出した. なお, これらの応力降下量計算式では, 一般的なクラックモデルのような断層面上で応力降下量が一樣となるモデルと異なり, すべり量が一樣な場合の断層中心での応力降下量が計算される. そのため, その補正として, Chinneryの式により求まる応力降下量の値を2倍したものが, クラックモデルでの応力降下量に相当するとしてスケーリング式を導出した. 導出した式の概要は図に示す. また, 仮定した補正係数が妥当かどうかをチェックするため, 定式化したスケーリング式により設定される平均すべり量を仮定した断層モデルにより, 実際に仮定した応力降下量が計算されることを, Okada (1992)を用いた静的ひずみのモデル計算を行って確認した.

【実地震データとの比較】 過去の実地震のパラメータのデータベースとしては, 長大地震の震源パラメータを含み, また信頼性の観点から既に整理がされているものを既往文献を参照して使用した. 具体的には, Somerville *et al.* (1999), Murotani *et al.* (2015), 及び, Stirling *et al.* (2002)の断層パラメータのうち信頼性の高いデータを整理したHashimoto (2007)からパラメータを収集し, 重複する地震を除外して使用した. これらの地震のうち, $M_0 = 7.5 \times 10^{18}$ Nm以上の地震を対象に適切なパラメータを設定した. はじめに, 断層長さと断層幅の関係について整理し, 長大断層では断層幅が概ね飽和していることを確認した. その平均値は17.8 kmであった. 次に, その値をもとに, 飽和断層幅 $W_{\max} = 18$ kmと設定した上で, 各地震との残差が最小となる応力降下量の値をグリッドサーチにより求めた. その結果, $\Delta\sigma = 3.0$ MPaが得られた. これらの値により, 地表地震断層に対するスケーリング式が設定される. なお, 横ずれ断層と縦ずれ断層との間に有意な差は見られなかったため, 両者を一括して検討した.

【おわりに】 飽和断層幅 $W_{\max}$ を18 km程度, 応力降下量 $\Delta\sigma = 3.0$ MPaと設定した場合に, 提案式と既存データとは良い対応を示した. 今後は, これらの式に対して, 国内外の地震を含む, より新しいデータベースを精査した上で追加し検討していく必要がある. また, 地中断層となる規模が小さな地震についても, 合わせて検討を進めていきたい.

<参考文献> 引間和人・新村明広: 地震規模によらず応力降下量が一定となる内陸地殻内地震のスケーリング

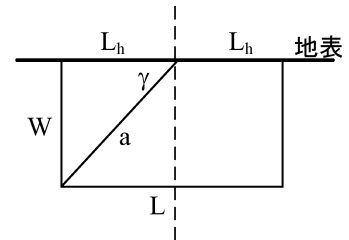
に関する検討, 第15回日本地震工学シンポジウム, PS1-01-01, PP.2656-2665, 2018.

○地表垂直横ずれ矩形断層を仮定した M_0 - S の関係式

$$M_0 = \frac{\pi}{\sqrt{C_{LW}C(\gamma)}} \Delta\sigma S^{3/2}, \quad L/C_{LW} < W_{max} \quad (1a)$$

$$M_0 = \frac{\pi}{C(\gamma)} \Delta\sigma W_{max} S, \quad L/C_{LW} \geq W_{max} \quad (1b)$$

(1a)は飽和断層幅 W_{max} 以下の幅の場合, (1b)は断層幅が飽和した場合



両辺の対数をとると以下で表される.

$$\log M_0 = \frac{3}{2} \log S + \log \Delta\sigma + \log \left\{ \frac{\pi}{\sqrt{C_{LW}C(\gamma)}} \right\}, \quad L/C_{LW} < W_{max} \quad (2a)$$

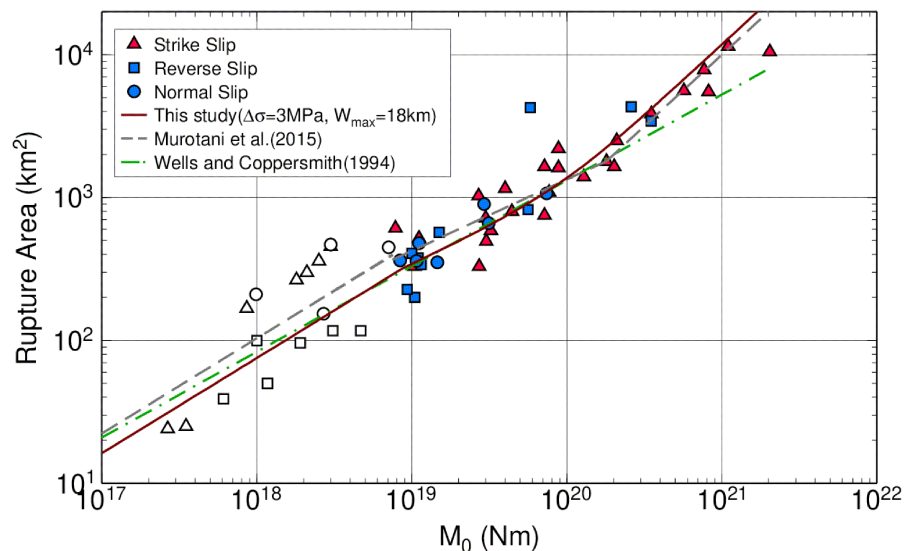
$$\log M_0 = \log S + \log \Delta\sigma + \log \left\{ \frac{\pi}{C(\gamma)} W_{max} \right\}, \quad L/C_{LW} \geq W_{max} \quad (2b)$$

$$L_h = L/2, \\ a = (L_h^2 + W^2)^{1/2}, \\ C_{LW} = L/W$$

ここで, $C(\gamma)$ は形状を表す係数で, 以下の式で計算される.

$$C(\gamma) = 2 \cos \gamma + 3 \tan \gamma - \frac{\cos \gamma \sin \gamma (3 + 4 \sin \gamma)}{(1 + \sin \gamma)^2} \quad (3)$$

○既存データとの比較



$\Delta\sigma=3.0$ MPa, $W_{max}=18$ km としたときの (2) 式の関係 (実線) と断層パラメータとの比較.

Murotani *et al.* (2015), Wells and Coppersmith (1994) も比較のためにプロットした. 白抜き点は規模が小さいためパラメータ設定に用いなかった地震.