

Evaluation of permanent displacement near surface rupture based on characterized source model with LMGA –case study of reverse fault type -

*Yasuhiro Matsumoto¹, Ken Miyakoshi², Kojiro Irikura³

1. Kozo Keikaku Engineering Inc., 2. Geo-Research Institute, 3. Aichi Institute of Technology

地表地震断層近傍の地震動記録には、2016年熊本地震 (M_w 7.0) のような断層運動に伴い永久変位が現れる (岩田, 2016)。このような永久変位は、地震発生層以浅の浅部断層にLMGA (Long-period Motion Generation Area) や大すべり域のような領域を考慮した特性化震源モデルを用いることで評価可能であることが多くの先行研究 (例えば、松元・他 (2018)) で示されている。地震動記録から評価される変位波形の永久変位や地殻変動は直下の断層面上のすべりの影響が強く反映されるため、これらの観測量からLMGAのすべり量 (D_{LMGA}) を推定できると考えられる。

本検討では、1999年集集地震 (M_w 7.6) や2014年長野県北部の地震 (M_w 6.2) のような逆断層地震を対象に観測量から D_{LMGA} を推定することを最終的な目的として、はじめに一樣すべりの震源モデル、次にLMGAを考慮した特性化震源モデルを対象に、数値シミュレーションに基づいて地表地震断層近傍の永久変位量を評価し、観測点直下の断層面上のすべり量との関係性を検討する。次に、これらの関係を用いて実地震の地表地震断層近傍の永久変位量から D_{LMGA} を推定し、さらに M_0 - D_{LMGA} の関係式の検討を行う。本検討で用いる数値シミュレーション手法はOkada (1992)の地殻変動プログラムを用いる。永久変位を含む地震動評価手法にHisada and Bielak (2004)の波数積分法があるが、均質地下構造モデルを仮定した場合、永久変位量は両手法で同じ結果が得られることを確認している。

(1) 一樣すべりの震源モデルに対する地表地震断層近傍の永久変位量

一樣すべりで設定した震源モデルは、断層上端深さは地表、傾斜角は30から60°の複数ケース、すべり角は90°を基本とした (図1左)。数値シミュレーションで得られた主な特徴は次の通りである。なお、以降では評価点の永久変位量の水平成分を D_{site_hor} 、上下成分を D_{site_ud} 、3成分合成を D_{site_3comp} 、断層面上の平均すべり量を D_{fault_ave} と呼ぶことにする。

地表トレース近傍の評価点の $D_{site_3comp}/D_{fault_ave}$ は、傾斜角によって異なるが、上盤側は0.7から0.6程度、一方、下盤側は0.3から0.5程度と上盤側に比べて小さい (図1中央)。また、ある一定の傾斜角ですべり角を変化させた場合、 $D_{site_hor}/D_{fault_ave}$ や $D_{site_ud}/D_{fault_ave}$ は変化する一方、 $D_{site_3comp}/D_{fault_ave}$ に顕著な変化は見られず、その値はロバストであることが分かった (図1右)。すなわち、観測記録のある特定の成分に着目するのではなく、3成分合成 (D_{site_3comp}) からその評価点直下のすべり量を精度良く推定できることが示唆される。

(2) LMGAを含む特性化震源モデルに対する地表地震断層近傍の永久変位量

従来の特性化震源モデル (SMGAと背景領域で構成) にLMGAを加えて設定した。SMGAの上端深さは2 kmとし、強震動予測レシピに従ってSMGAのすべり量 (D_{SMGA}) は D_{fault_ave} の約2倍、また、宮腰・他 (2020) に従って D_{LMGA} は D_{SMGA} と同じと仮定した。永久変位量の評価点は断層中央の断層直交方向に配置した (図2左)。数値シミュレーションで得られた主な特徴は以下の通りである。

地表トレース近傍の上盤側の $D_{site_3comp}/D_{fault_ave}$ は地表トレース近傍で1よりも大きい (図2中央)。これは地表トレース近傍の評価地点の永久変位量 (D_{site_3comp}) は断層面上の平均すべり量 (D_{fault_ave}) ではなく、評価地点直下のすべりの大きなLMGA ($D_{LMGA} \cong 2 \times D_{fault_ave}$) の影響を強く受けるためである。 D_{fault_ave} の代わりに D_{LMGA} で正規化すると、地表トレース近傍の D_{site_3comp}/D_{LMGA} は一樣すべりのモデルと同様の値が得られた (図2右)。

また、ここで設定したモデルの場合、地表トレースから1から3km程度以内の評価地点の永久変位量は、上端深さ2kmに設定したSMGAよりもそれ以浅のLMGAの寄与が大きいことも確認できた。以上から、地表地震断

層に近い評価地点の観測量 ($D_{\text{site_3comp}}$) から、LMGAのすべり量を推定できることが示唆される。

(3) 本検討で得られた関係式に基づく D_{LMGA} の推定

本検討で得られた $D_{\text{site_3comp}}/D_{\text{LMGA}}$ と地震動観測点の $D_{\text{site_3comp}}$ から、直下の D_{LMGA} を推定し、さらに D_{LMGA} と地震モーメント (M_0) の関係 (M_0-D_{LMGA}) を検討した。なお、対象観測点は地表地震断層から約2 km以内とした。宮腰・他 (2020) は地表地震断層が現れた国内外の8個の内陸地殻内地震 ($M_w 6.3 \sim 7.9$) を対象に M_0-D_{LMGA} のスケーリング則を提案しているが、本検討で得られたように傾斜角を考慮した $D_{\text{site_3comp}}/D_{\text{LMGA}}$ を適用した場合、特に下盤側に位置する観測点の永久変位から推定されるLMGAのすべり量が M_0-D_{LMGA} のスケーリング則とよく一致することがわかった。

謝辞：本研究の一部は原子力規制庁による令和2年度原子力施設等防災対策等委託費（内陸型地震の特性化震源モデルに係る検討）事業として実施されました。また、Okada (1992) に基づく地殻変動プログラムは防災科学技術研究所のホームページより公開されているプログラムを使用させていただきました。記して感謝いたします。

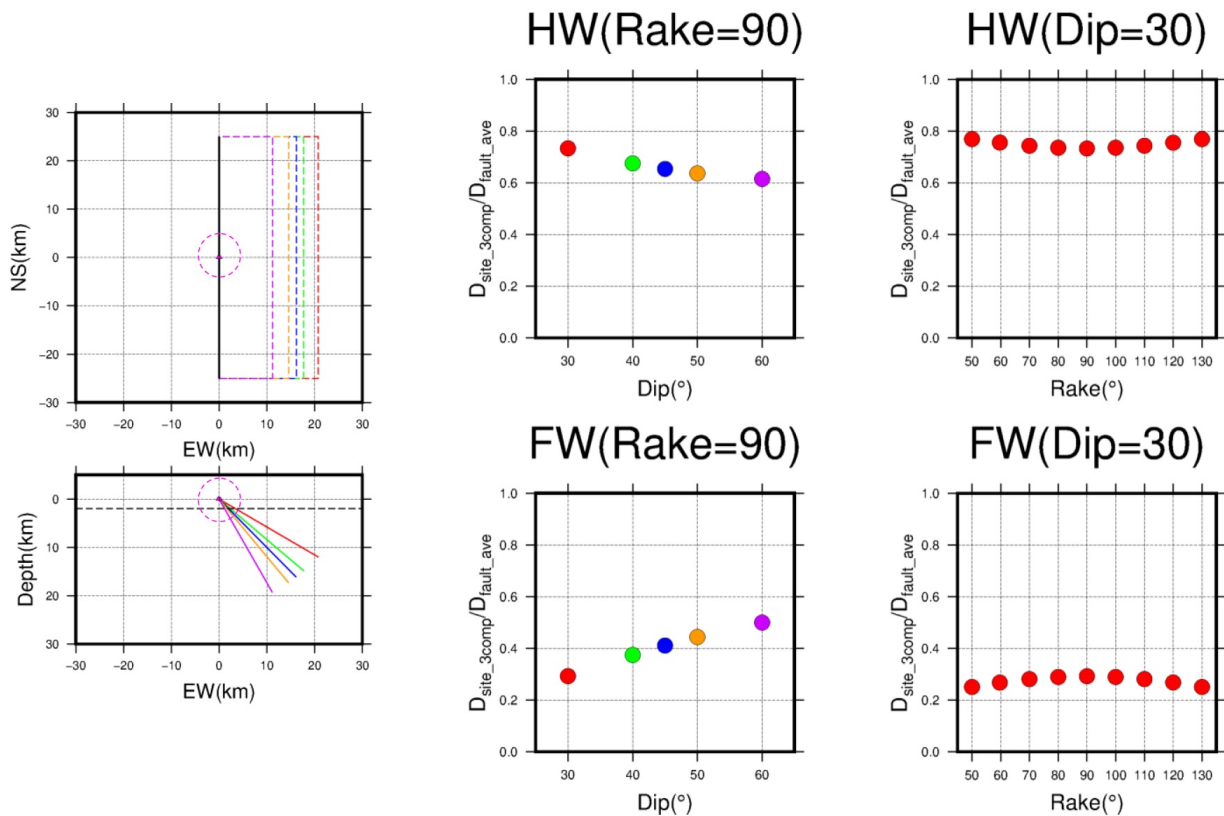


図1 (左) 一様すべりの震源モデルと中央図と右図で示した評価地点 (ピンク点線内のピンク三角印: 地表トレースから上盤側 (HW), 下盤側 (FW) にそれぞれ 0.2 km 地点). (中央) 傾斜角の違いによる $D_{site_3comp}/D_{fault_ave}$. 評価地点は地表トレースから 0.2 km 地点. (右) 傾斜角 30°の時のすべり角の違いによる $D_{site_3comp}/D_{fault_ave}$. 評価地点は地表トレースから 0.2km 地点.

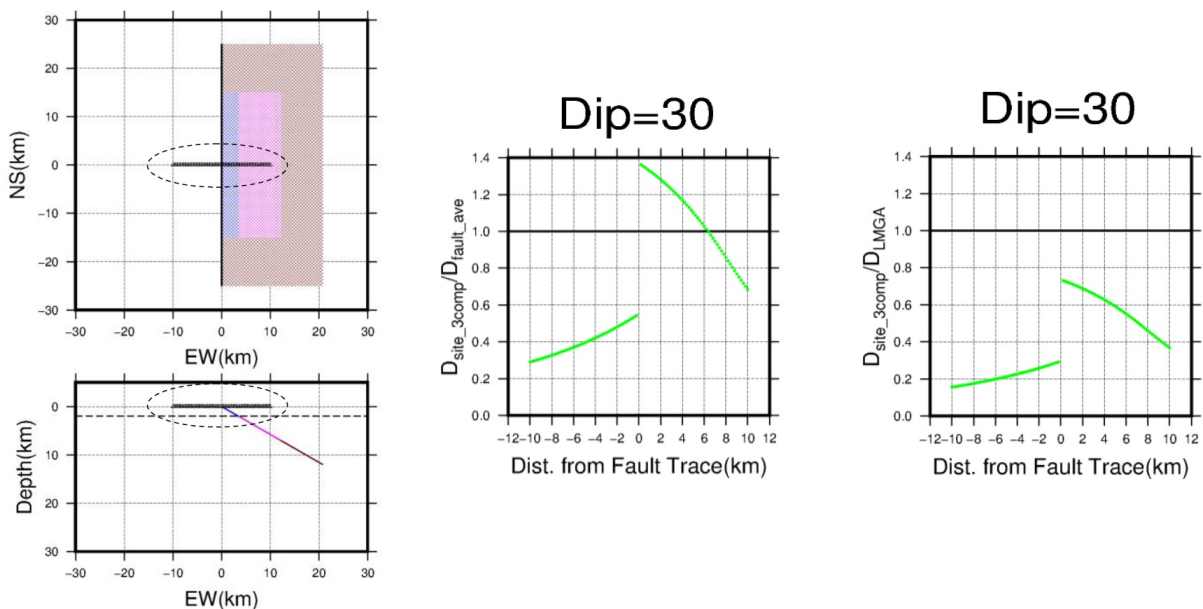


図2 (左) LMGAs を考慮した特性化震源モデル (傾斜角 30°の場合. ピンク: SMGA, 青: LMGAs, 茶: 背景領域) と評価地点 (黒点線の楕円内の黒三角印: 地表トレースから 10km の範囲内で 0.2 km 間隔に配置). (中央) 傾斜角 30°の時の $D_{site_3comp}/D_{fault_ave}$ で横軸の正値は上盤側, 負値は下盤側. (右) 傾斜角 30°の時の D_{site_3comp}/D_{LMGA} .