

地震時の地表断層変位への地殻応力場の影響-動的破壊伝播の数値実験による考察-

Effect of crustal stress on surface slip of dynamic rupture on an earthquake fault by means of numerical simulations

桑原 保人^{1*}, 加瀬祐子¹

Yasuto Kuwahara^{1*}, Kase Yuko¹

¹産総研

¹AIST, GSJ

1.はじめに: 活断層のトレンチ調査では、地震による地表でのすべり量は地震毎に大きく変わっていることがしばしば報告されている。たとえば、2004年中越地震の時には、小平尾断層近傍で約10cmのすべりをもつ地表地震断層が出現した。この断層のトレンチ調査では、少なくとも1.5mのすべり量をもつ地震が、過去少なくとも2回あったことが確認されている(Maruyama et al. 2007)。2008年岩手・宮城内陸地震でも、出現した地表地震断層のすべりは高々10cmであったが、過去には2m程度のすべりを伴う地震があったことが分かっている(丸山・他, 2010)。さらに同一の断層上の地震ではないが、地表まで比較的硬い岩盤が露出している地域の地震として、1995年兵庫県南部地震では野島断層で約2mのすべりが現れたが、2000年鳥取県西部地震の地表でのすべりは高々10 cm程度の小さなものしか確認されていない。一方、これら2つの地震は、マグニチュードはほぼ同じで、地震波形解析の結果でも地下1 km程度で比較的大きなすべりが見られ、地下深部のすべりに特に大きな違いはないように見える。

上記のような地表でのすべりに大きな違いが生じる原因として、浅部堆積層の物性の影響や、比較的浅部の地殻応力場のわずかな違いが地表のすべりの差を大きくする可能性が考えられる。特に今回は、浅部地殻応力が地表のすべりに与える影響を数値シミュレーションで系統的に調べ、浅部の地殻応力場の違いが、地表でのすべりにどのような差を生じさせるかを検討した。

2.モデルの設定と結果

2-1.単純なモデル: 地震時の地表断層のすべり量を小さくする要因として、地殻にはたらく差応力が地表付近で小さいモデルを考える。最初に最も単純なモデルとして、断層面にかかる法線応力 σ_n は深さによらず120MPaで一定とし、剪断応力 τ はある深さ D_s よりも浅部ではゼロ、 D_s 以深では70MPaになるモデルを考える。Kase and Kuge(2001)の差分法により、動的破壊の進展を計算し、 D_s の値を様々に変化させながら地表付近のすべりの様子を調べた。震源断層は幅12 km、長さ12kmの正方形で、鉛直のものを考え、断層面は地表を切れるとする。破壊は断層最深部に置いた幅2km、長さ6kmの初期クラックから開始し、すべり弱化的摩擦構成則に従い、左横ずれの破壊が進展する。静摩擦係数、動摩擦係数、臨界変位量は断層面上で一様で、それぞれ、0.677, 0.435, 0.4 mとした。

その結果によると、 D_s が3kmより大きい場合は、すべりは地表まで到達しない。また D_s が3kmからさらに小さくなるに従い、地表すべりは徐々に大きくなる。例えば、 D_s が2kmでは地表でのすべり量は地下深部の平均的なその約1/5、 D_s が1kmでは約1/2となり、 D_s の違いが地表のすべり量に影響していることがわかる。

2-2より現実的なモデル: より現実的な浅部地殻応力モデルとして、最大主応力と最小主応力の

深さ分布をTanaka(1986)による西南日本の標準的な応力勾配モデルとほぼ同様なものを適用した。このモデルでは τ/σ_n は深さに関してほぼ一定で、約0.2である。また2-1のモデルと同様に、ある深さ D_s を定義し、 D_s 以浅ではTanaka (1986)のモデルとし、 D_s 以深では2-1と同様の応力場とした。他の断層パラメーターも2-1と同様である。

結果で最も注目すべきこととして、 D_s を4km程度に設置した場合に、深部からの連続したすべりが深さ4km程度で停止するのも関わらず、地表から副次的なすべりが誘発されるという現象が起こる。このときの地表でのすべり量は10-30cmである。深部のすべり域と浅部のすべり域の間には、すべりの生じない領域が存在する。これは次のように説明される。一般に深さに比例する応力場では、地表付近の強度は非常に小さい。そのため、深部の破壊によって生じる波動により、ごく表層で副次的な破壊が励起される。地震発生層全体にわたって深さに比例する応力場においては、地表付近で励起された破壊もやがて、深部から伝播する破壊と合体し、地表のすべり量も大きくなる。本研究の結果は、ごく小さな地表のすべり量の成因として、ある深さより浅部では破壊が伝播しにくい応力場となっており、すべり残りの領域が生じている可能性を示唆している。

キーワード: 地表断層, 地殻応力, すべりの多様性, 動的破壊伝播, 差分法

Keywords: surface rupture, crustal stress, multitude of surface slip, dynamic rupture propagation, finite difference simulation