

堆積層の影響を考慮した震源断層の動的破壊シミュレーション

京都大学 学生会員 ○中辻 綾香
京都大学 正会員 後藤 浩之

1. はじめに

震源断層の近傍における地震観測点では、長周期のパルス性地震動が観測されることがある。このような地震動は大規模な土木構造物や高層建築に大きな被害をもたらす可能性がある。そのため、長周期のパルス性地震動の生成メカニズムを解明することは地震工学における重要な課題である。長周期のパルス性地震動の観測事例の中で、2016年熊本地震や2022年台湾東部の地震のように、地表地震断層が現れた地震において断層平行方向に観測された事例に着目する。図1に熊本地震での観測波形と断層との位置関係を示す。2016年熊本地震の事例では、Kaneko and Goto¹⁾により、地震波動場が地表の存在と堆積層の存在により影響を受け、この地震波動場と断層破壊とが相互作用することで長周期のパルス性地震動が生じた可能性が指摘されている。本研究では地表地震断層が現れるような横ずれ断層型の地震を対象として断層破壊シミュレーションを行い、堆積層の有無による断層破壊過程の違いやそのメカニズムを考察した。

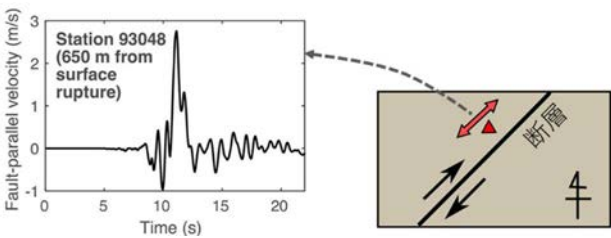


図1 熊本地震での観測波形と断層との位置関係

2. 解析手法

震源断層の破壊を表現する手法は大きく運動学モデルと動力学モデルの2つに分類することができる。運動学モデルでは、断層すべりの時刻歴を既知として与えて断層破壊を表現する一方で、動力学モデルでは摩擦則と応力状態によって時々刻々と変化する断層破壊を表現する。断層の破壊過程が堆積層の存在により影響を受けた地震波動場と相互作用することを考察するためには、断層浅部を動力学モデルで表し、数値解析を行う必要がある。動力学モデルによる数値解析として様々な手法が提案されているが、本研究では堆積層の影響を考慮するため、媒質の不均質性を考慮しやすい有限要素法により実装し、断層破壊の数値シミュレーションを実施した。

3. モデルと解析条件

断層の破壊が地表に達するような鉛直横ずれ断層を想定し、堆積層を考慮しない場合と堆積層を考慮する場合のそれぞれで解析を行った。表1に数値解析に用いる物性をまとめて示す。図2に堆積層を考慮しない場合と堆積層を考慮する場合それぞれの解析モデルの概形を示す。堆積層を考慮する場合は堆積層と基盤からなる2層の水平成層構造とした。

表1 数値解析に用いる物性

堆積層	厚さ [m]	500
	S波速度 [m/s]	1500
	P波速度 [m/s]	2598
	密度 [kg/m ³]	2300
岩盤	S波速度 [m/s]	3464
	P波速度 [m/s]	6000
	密度 [kg/m ³]	2670

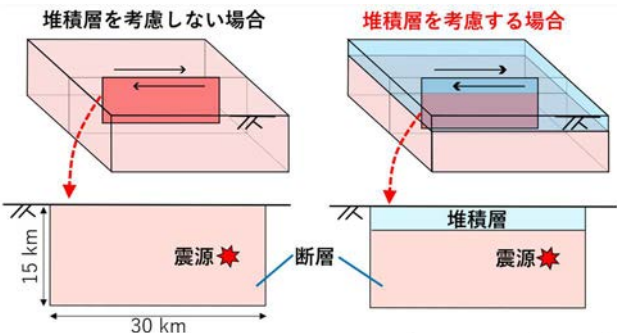


図2 解析モデルの概形

4. 解析結果

堆積層を考慮しない場合と堆積層を考慮する場合における破壊進展の様子と最終的なすべり量の分布をそれぞれ図3、図4に示す。黒線は破壊が到達した時刻歴の等高線を0.5 s間隔で示し、断層面の色は最終的なすべり量の大きさを示している。それぞれ断層の深い部分の動きに引きずられるように地表付近へと破壊が伝播している様子が解析されており、断層の全体的な破壊性状は堆積層の有無によりほぼ変化しない。

断層極近傍における断層平行方向の速度波形は、地表付近の断層の滑り速度に対応することから、本研究では、その滑り速度の形状を比較して考察する。図5は、堆積層を考慮しない場合と堆積層を考慮する場合それぞれの解析で得られた滑り速度の時間変化

を破壊開始時刻を合わせて重ねて示したものである。これらは、図3、図4に三角形で示した $y=0$ [km], $z=0$ [km]の地点における滑り速度である。堆積層の有無によらず地表付近の滑り速度はパルス状であるが、堆積層を考慮する場合には堆積層を考慮しない場合比べてパルスの幅が長い傾向にある。また、滑り速度が0となるまでの時間を継続時間と定義すると、堆積層を考慮する場合には継続時間が短い傾向にある。

次に、表1の解析パラメータの内、堆積層のS波速度を1500 m/sから2000 m/s, 2500 m/sに変更して解析を行った。この3つの解析結果を図6に並べて示す。S波速度が大きい程パルスの幅が短いことがわかる。このため、堆積層のS波速度がパルスの幅に関係している可能性が示された。

また、表1の解析パラメータの内、堆積層の厚さを500 mから1000 m, 1500 mに変更して解析を行った。この3つの解析結果を図7に並べて示す。堆積層を厚くすると継続時間が長くなる傾向が見られる。このことから、堆積層の厚さが継続時間の幅に関係している可能性が示された。

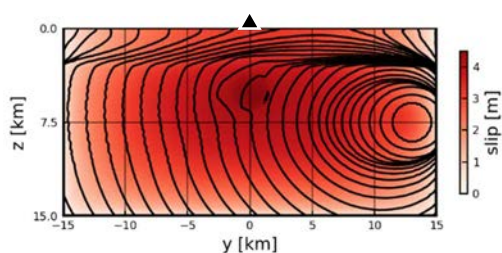


図3 堆積層を考慮しない場合の破壊進展の様子と最終的な

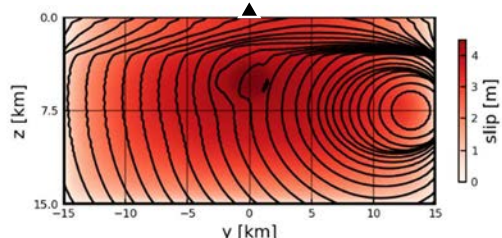


図4 堆積層を考慮する場合の破壊進展の様子と最終的な

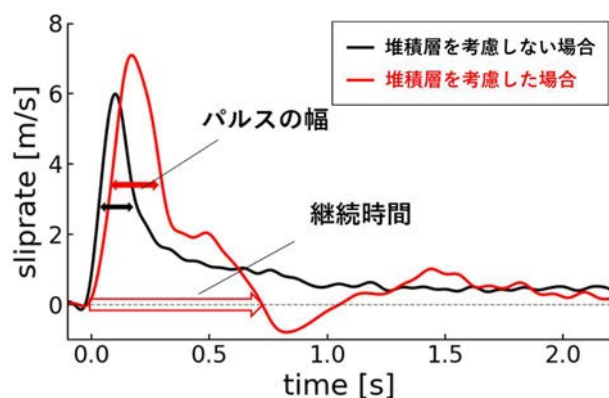


図5 堆積層の有無による滑り速度の形状の比較

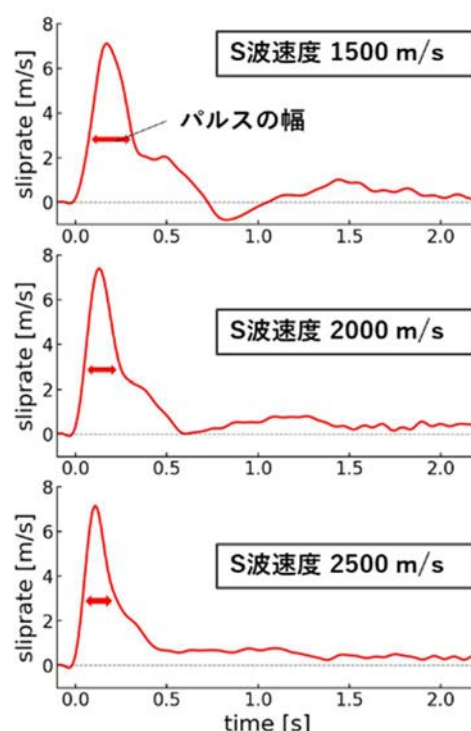


図6 堆積層のS波速度による滑り速度の形状の比較

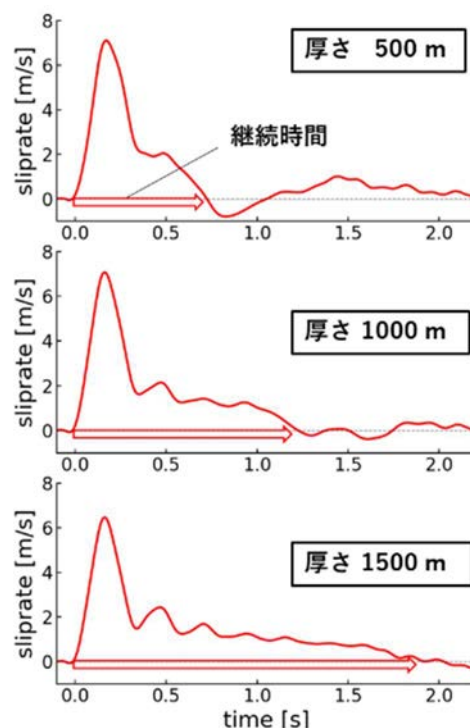


図7 堆積層の厚さによる滑り速度の形状の比較

謝辞

本研究は日本学術振興会科研費（19H02224, 21K18791）の助成を受けて実施しました。

参考文献

1) Yoshihiro Kaneko and Hiroyuki Goto. The origin of large, long-period near-fault ground velocities during surface-breaking strike-slip earthquakes. Geophysical Research Letters, 49, e2022GL098029, 2022.