

## プレート間滑りの動的解析における意外性

東北工業大学 正会員 ○ 秋田 宏、フェロー会員 小出 英夫  
 非会員 沢田 康次、名誉会員 神山 眞、正会員 千葉 則行

### 1. まえがき

大陸プレートと海洋プレートとの滑りによる地震発生のシミュレーションを2次元の有限要素モデルを用いた動的解析により実行した。主要な着眼点は海洋プレートが剛体ではなく弾性体であること、両プレートが相互作用し相互に変形すること、海洋プレートを固定支点ではなくマントルからの浮力で支えたこと、解析の時間きざみを一定ではなく常に次に滑る時点を算出したことであり、形状は長方形とし境界面には一様一定な摩擦係数と、アスペリティを想定した部分的に摩擦係数の大きい分布を用いた。一連の解析から、時間きざみを一定にしたシミュレーションは不適当であることなどが明らかになり文献1)に詳しく報告した。ここでは得られた結果のうち意外性のある項目を取り上げる。

### 2. シミュレーションの時間きざみ

図1が採用した有限要素モデル分割であり、大陸プレート、海洋プレートともに厚さ100km、長さ400kmの長方形で、紙面に垂直な断面から見た2次元平面ひずみ解析とし、節点数1212、要素数1000である。海洋プレートを固定した支点ではなくマントルからの浮力で支えるため、両プレートはプレートと同一密度の液体中に浮かんでいると仮定する。したがって鉛直方向支点197および1016が働かない（支点反力がゼロになる）ような支点位置を求め、浮力のみで支えた状態を実現するのである。水平方向には、大陸プレート左端（節点1～506）で支え、海洋プレートの変位指定境界（左端節点607～1112および右端節点707～1212）で、右から左に年間8cmの変位を与える。

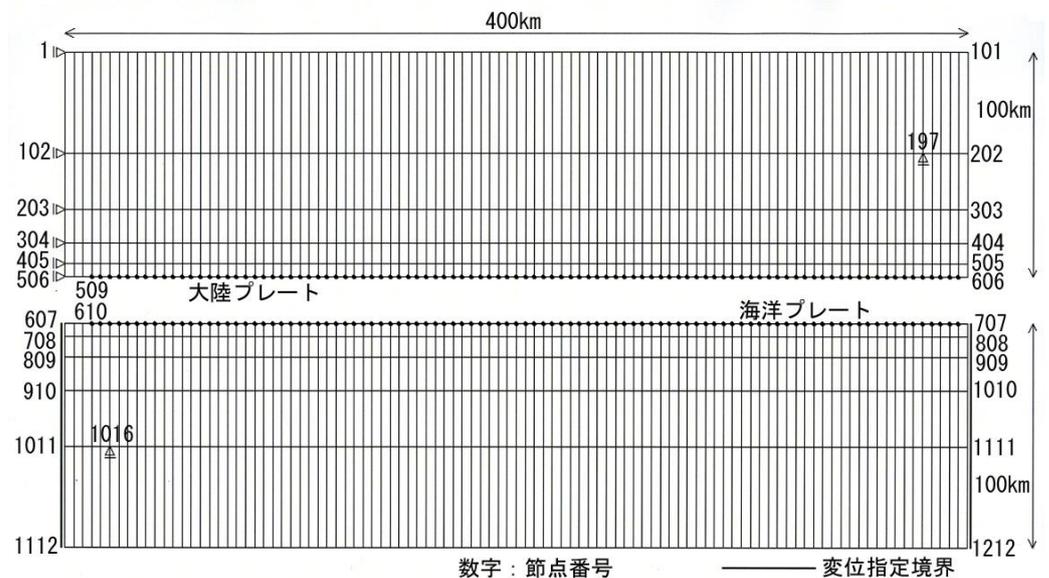


図1 両プレートが弾性体の場合の分割モデル

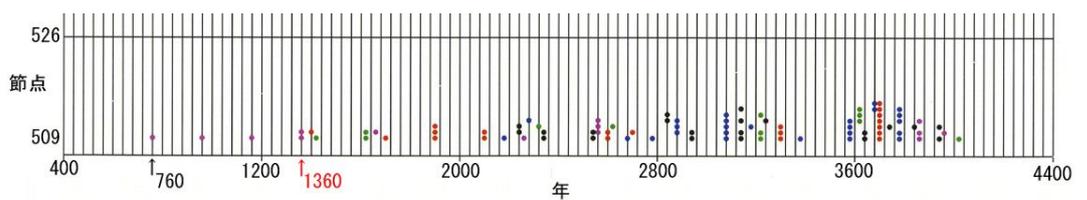


図2 滑り点の変遷 (20年きざみ)

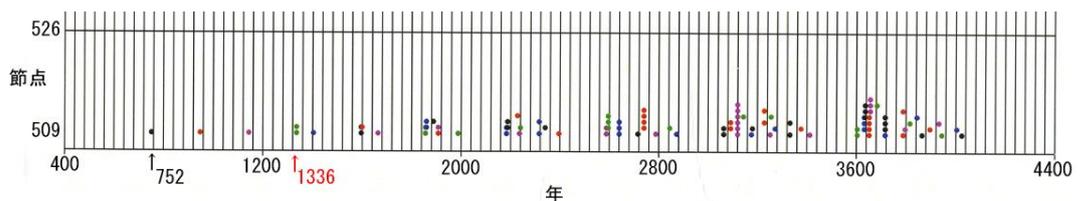


図3 滑り点の変遷 (滑り時点算出)

プレート間の相互作用を、大陸プレートの節点 509~605（黒丸で示した）と対応する海洋プレートの節点 610~706 で（これらの節点は同一境界面上にあるが図では離して示した）考慮する。

図2と3は、海洋プレートの移動開始からの年数と滑った節点の分布を、解析の時間きざみを20年に固定した場合と、常に次に滑る時点を算出して解析した場合を対比させたものである。両者は類似している一見問題ないようであるが、詳しく調べると差が明らかになる。↑でしめした最初の滑りは、760年と752年である。本来752年に滑るはずが、20年きざみでは760年まで解析しないためこのような結果になったわけである。↑で示した4番めの滑りでは24年の差が出ており、20年きざみだからといって差が20年以内に納まるわけではなく、正解とかけ離れた現象を作り出してしまいうため、解析方法として不適當であることがわかる。

### 3. 粘性減衰率の影響

図3に示した最初の滑りに関して、3種の粘性減衰率（単位は $10^8 \text{Gg/s}$ ）に対し節点509の変位と速度の経時変化を示したものが図4である。滑りによる最終変位は粘性減衰率が小さいほど大きくなっており、最大速度は粘性減衰率が小さいほど大きく、振動の収束は粘性減衰率が大きいほど遅くなっている。ただしこれは動摩擦のある境界面上の節点の振動であり、プレート内部に伝わった振動はさらに継続する。振動の収束を速度が $10 \mu \text{m/s}$ 以下と定め、全節点を対象に収束までのステップ数、速度最大の節点の交代数を示したのが表1である。注目した範囲では、粘性減衰率が大きいほど振動の収束が早くなる（ステップ数が小さくなる）わけではないこと、プレート内に伝わった振動による速度最大の節点の交代数が粘性減衰率の増加により低下することがわかる。すなわち、粘性減衰率が大きいほど振動の収束が早くなるという一般的な傾向と、最大速度節点の交代数が大きい（振動がプレート内部に広く伝わっている）ほど収束が早くなるという傾向の兼ね合いで、中間に収束の早い範囲が出てくると推量される。

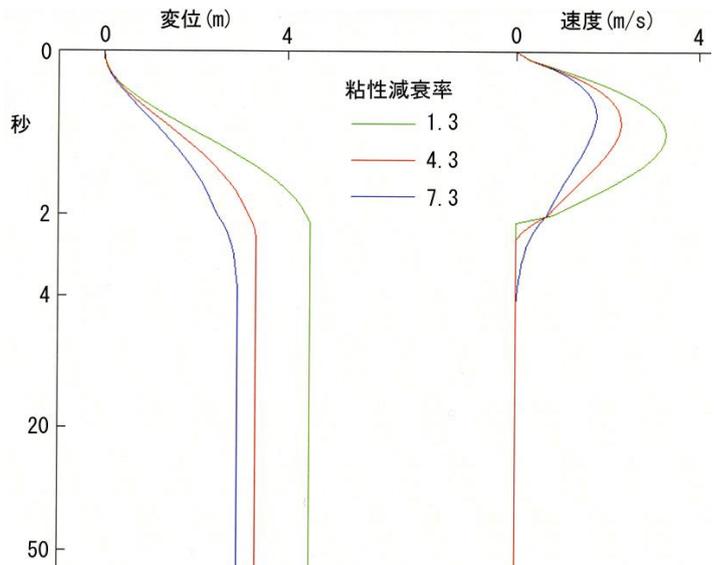


図4 粘性減衰の影響（動摩擦あり）

表1 粘性減衰の影響に関する計算値

	動摩擦なし			動摩擦あり		
粘性減衰率 ( $\times 10^8 \text{Gg/s}$ )	1.3	4.3	7.3	1.3	4.3	7.3
振動収束までのステップ数	3229	1743	2586	2708	1209	1679
速度最大節点の交代数	921	326	287	505	191	27

### 4. 動的解析の時間きざみ

滑り開始後の運動を時刻暦で調べるには、一定の時間きざみを用いるのが普通で、収束条件と安定条件から最大の時間きざみが制約される。本解析の場合1秒程度が限界であるが、それよりも小さい0.2秒と0.5秒を候補とした。一般的には時間きざみの大きい方が滑りにより運動が減衰するまでのステップ数が減って有利であるが、ニューマークの $\beta$ 法を用いた場合、次のステップの加速度推定に要する繰り返し計算回数が、0.2秒の2、3回に対し0.5秒では10回程度に増えるため、結局0.2秒が有利であるとの結論になった。

### 5. あとがき

プレート間滑りのシミュレーションにおいて、一定時間きざみの解析が不適當であることを始め、粘性減衰の影響、動的解析の時間きざみについて、意外性のある興味深い結果を明らかにすることができた。

### 参考文献

1) 秋田宏・他: プレート間滑りの地震発生シミュレーションにおける新手法、東北工業大学紀要・理工学編, pp. 31-42, 2019.