

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月20日現在

機関番号：82113
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21540443
 研究課題名（和文） 島弧地殻における変形と応力蓄積過程のモデル化-内陸地震発生過程解明に向けて-
 研究課題名（英文） Modeling of deformation and tectonic loading processes in the island arc crust: toward understanding the mechanisms of large inland earthquakes
 研究代表者
 芝崎 文一郎（SHIBAZAKI BUNICHIRO）
 独立行政法人建築研究所・国際地震工学センター・上席研究員
 研究者番号：20344012

研究成果の概要（和文）：内陸大地震の発生過程を理解するために、島弧地殻・最上部マントルにおける内的な非弾性変形と断層運動を調べる。内的な非弾性変形や断層運動は、島弧地殻の不均質なレオロジー構造に支配されると考えられる。本研究では、熱構造による不均質レオロジー構造を考慮して、東北日本脊梁山脈周辺における変形と断層運動の有限要素法による3次元数値シミュレーションモデルを構築した。

研究成果の概要（英文）：For understanding generation processes of large inland earthquakes, we investigate the tectonic loading processes due to internal inelastic deformation and faulting processes in the island arc crust and uppermost mantle. The internal deformation and faulting processes are controlled by the non-uniform rheological structures in the island arc crust and uppermost mantle. The present study developed 3D numerical models by a finite element method for the deformation and faulting processes in the crust along the Ou Backbone range, NE Japan, and some other regions, by considering the non-uniform rheological structures due to thermal structure.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：固体地球物理学、モデル化、内陸地震、島弧地殻、応力蓄積

1. 研究開始当初の背景

最近の測地学的研究により、島弧地殻内に歪み集中帯が存在し、その周辺で内陸大地震が発生することが明らかになってきた。新潟-神戸歪み集中帯や東北日本脊梁山脈周辺の歪み集中帯が典型的な例である。このような歪み集中帯や内陸地震の発生過程の解明

に向けて、島弧地殻の変形過程の定量的なモデル化が進められているが、殆どが線形粘弾性を仮定する。岩石の実験的研究から地殻深部、上部マントルではべき乗型の流動則が働くことが明らかにされており、変形の局在化が起こると考えられるので、線形粘弾性のモデル化では不十分である。海外では、非線形

粘弾性や塑性を考慮したリソスフィアの変形や断層形成に関する研究が多数行われているが、島弧地殻を対象にした内陸大地震発生機構の解明に向けたモデル化は数少ない。

Shibazaki et al., (2007,2008)は、国内で初めて、地殻深部・最上部マントルにおける非線形流動と地殻上部における弾塑性を考慮した有限要素法により、島弧地殻における変形と応力集中過程のモデル化を行った。これまでに東北日本を対象に、現実的な地殻構造と温度構造を考慮して、2次元の変形と断層形成過程のモデル化を行い、地温勾配の高い領域の地殻深部・最上部マントルで非線形流動による短縮変形が生じ、それにより上部地殻に応力集中が生じ、断層が形成されることを明らかにした。これまでの成果から、この手法が、島弧地殻の変形過程や内陸大地震の応力蓄積過程を解明する上で、非常に重要であることが示された。

2. 研究の目的

本研究では、これまでに開発した非線形有限要素法により、熱構造や岩石学的構造による不均質なレオロジー構造を考慮した島弧地殻・最上部マントル内の変形過程と応力集中過程のモデル化を行う。

具体的には以下のモデル化を実施する。

(1) 不均質レオロジー構造を考慮した島弧地殻における変形と応力蓄積過程の3次元モデル構築（東北日本脊梁山脈、中部地方、中部日本、上町断層周辺）

(2) 沈み込むプレートを考慮した島弧地殻への応力蓄積過程の2次元モデル構築

上記のモデル化を通じて、島弧地殻内の内的非弾性変形や内陸地震の応力蓄積過程を解明する。

3. 研究の方法

モデルにおいては、シミュレーションに必要となるレオロジー構造を規定するパラメータの設定を行う。そのために、地震波速度構造や地温勾配等の観測情報を基に、岩石構造、温度の空間分布を推定する。

次に、著者らが開発を行ってきた非線形有限要素法を用いたモデル化を行う。本モデルでは、弾性、べき乗型クリープ則、モール・クーロンの基準に従う塑性変形を考慮する。地殻・最上部マントルは、応力テンソルの関数である降伏関数を用いて、降伏条件を満足していない場合、非線形粘弾性に従い、降伏条件に達すると塑性変形が生じるとする。べき乗型クリープ則のパラメータは温度や岩石種に依存する。

4. 研究成果

(1) 不均質レオロジー構造を考慮した島弧地殻における変形と応力蓄積過程の3次元

モデル構築

①東北脊梁山脈、岩手宮城内陸大地震周辺域の変形過程のモデル化

東北日本脊梁山脈周辺の、横手盆地東縁断層帯及び北上低地西縁断層帯を想定し、非線形有限要素法による3次元の変形と断層形成過程のモデル化を行った。地温勾配の情報から温度構造を推定するが、地震の下限を説明できるように流動則のパラメータの調整を行った。観測事実に基づき、奥羽脊梁山脈、出羽山地沿いで地温勾配を高く設定し、第四紀火山を考慮して、地温勾配が局所的に高い円形の領域を設定した。シミュレーションの結果、奥羽脊梁山脈を挟んで二つの塑性歪み集中域（逆断層帯）の形成が確認できた。この断層は地殻深部の非線形流動による短縮変形により形成される。火山地帯では、断層は火山の近傍に形成されているが、非火山地帯では、奥羽脊梁山脈の中心からやや離れたところに形成されることが確認できた。また、岩手・宮城内陸地震の断層に対応する逆断層の形成も確認できた。次に、地震サイクル間における応力集中過程のモデル化も行い、脆性-延性遷移領域の深さが変化する場所で応力が集中することが確認できた。さらに、GPS 観測により得られた観測結果と調和的な歪み集中帯の分布が得られた。本研究により、東北日本脊梁山脈周辺の3次元応力蓄積過程が初めてモデル化され、この地域における内陸大地震の発生過程が熱構造や火山の分布に支配されていることが示された。

②東北脊梁山脈全域の変形過程のモデル化

東北日本全域における地形と断層形成のモデル化を実施した。本モデルでは、温度はある深さまで線形に増大すると仮定する。地温勾配は、防災科研の観測井の地温勾配のデータを基に、図1のように設定する。さらに、上部地殻、下部地殻、最上部マントルの三層構造のモデル領域（図2）を設定して、0.2cm/year で東西方向に短縮させることでモデル化を行なった。これにより、東北日本全域に及ぶ脊梁山脈形成、断層及び延性せん断帯の形成、さらには絶対応力場の再現を行った。図3に75万年後の隆起量を示すが脊梁山脈に相当する山脈が形成されている様子が理解できる。また、脊梁山脈の両側には断層が形成されることがわかった。図4に深さ15kmでの相当応力の分布を示す。この結果から、ホットフィンガー（マントルウェッジ内の指状の高温領域）に対応している領域では脆性-塑性遷移領域が浅く、フィンガー間の領域では脆性-塑性遷移領域が深くなる様子が再現できた。また、地殻深部ではフィンガーの間の領域で絶対応力が高くなっていること、大地震の多くは絶対応力が高い場所で発生していることが示された。

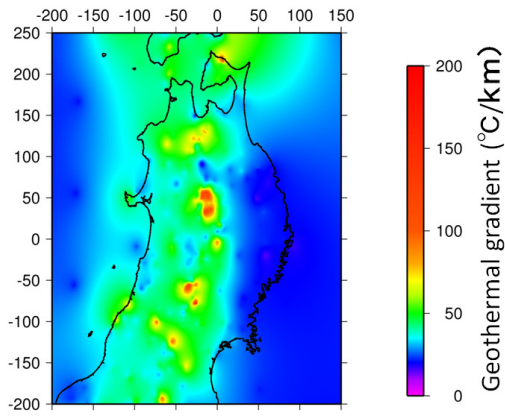


図 1. モデル領域の水平方向の拡がりとしミュレーションで仮定した地温勾配の分布。脊梁山脈周辺の火山地帯で地温勾配が大きくなっている。

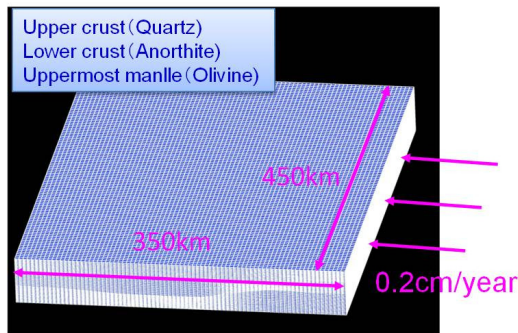


図 2. シミュレーションに用いたモデル領域。上部地殻 (quartz)、下部地殻 (anorthite)、最上部マントル (olivine) を考慮して、流動則を設定する。0.2cm/year で短縮変形を与える。

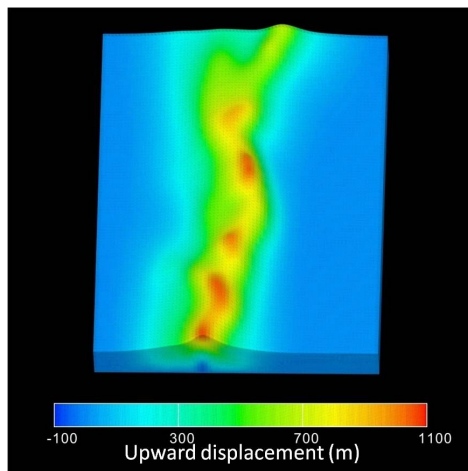


図 3. 75 万年後の隆起量。

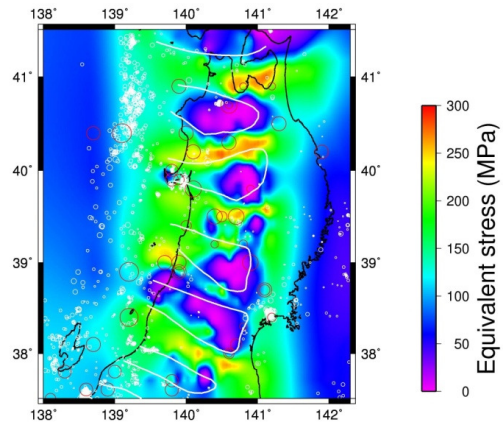


図 4. 深さ 15km における相当応力の分布。白線はホットフィンガーを示す。白丸は震源 (気象庁カタログより)。赤丸は M6.5 以上の地震。

③ 中部日本における変形過程のモデル化

中部日本における地形形成のモデル化を実施した。中部日本では、特に飛騨山脈において、地温勾配が高い領域が存在する。飛騨山脈周辺では泉温も高いことが知られている。この地域においても、防災科研の観測井の地温勾配のデータを用いて温度構造を設定し、短縮変形を与えることで、地形形成のモデル化を行った。これにより、飛騨山脈に対応する地温勾配が高い領域で顕著な隆起が生じることが示された。

④ 上町断層周辺域の変形過程のモデル化

大阪周辺に位置する上町断層周辺域のモデル化を行った。防災科研の観測井のデータでは、上町断層の東側で地温勾配が高くなっている。この地温勾配のデータを用いて温度構造を設定し、短縮変形を与えることで、地形形成のモデル化を行った。その結果、上町断層が存在する場所の周辺で、応力が集中し断層が形成されることが示された。

(2) 沈み込むプレートを考慮した島弧地殻への応力蓄積過程の 2 次元モデル構築

定常的に沈み込むプレートの効果を考慮して島弧地殻内に蓄積する応力のモデル化を行った。プレート境界では定常摩擦が働くように設定して、プレートの沈み込みに伴い、島弧地殻でどのような応力が形成されるかを調べた。シミュレーションの結果、地温勾配の高い脊梁山脈の深部に応力が集中する様子が再現できた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

①芝崎文一郎, 奥羽脊梁山脈周辺及び中越地域における地殻の変形と断層形成過程のモデル化ー内陸大地震発生過程解明に向けてー, 地質学雑誌, 査読有, 印刷中

〔学会発表〕(計7件)

①芝崎文一郎, 加藤愛太郎, 地溝帯構造を考慮した中越地域における断層形成過程のモデル化, 日本地球惑星科学連合大会, 2009年5月20日, 幕張メッセ国際会議場(千葉市).

②芝崎文一郎, 3D modeling of faulting around the Ou Backbone Range: implication for tectonic loading in the 2008 Iwate-Miyagi inland earthquake, 日本地球惑星科学連合大会, 2009年5月17日, 幕張メッセ国際会議場(千葉市).

③芝崎文一郎, 重松紀生, 地殻のレオロジー構造と内陸大地震の発生過程-モデル化における問題点-, 日本地震学会2009秋季大会, 2009年10月22日, 京都大学(京都市).

④Shibazaki, B., A. Kato, Numerical Model for the Development of Complex Fault Configuration in the Mid-Niigata Region by Considering an Ancient Rift Structure, AGU 2009 Fall meeting, 2009年12月18日, San Francisco, USA.

⑤ Shibazaki, B., Modeling of fault development and tectonic loading processes for large inland earthquakes around the Backbone Range, NE Japan and in the mid-Niigata region, China-Japan Joint Workshop on Inland Earthquakes toward understanding on occurrence mechanism of inland earthquakes, 2010年11月25日, 東京大学地震研究所(東京都).

⑥芝崎文一郎, 岡田知己, 吉田武義, 松本拓己, 武藤潤, 東北日本脊梁山脈周辺における断層形成と山地形成のモデル化, 日本地球惑星科学連合大会, 2011年5月20日, 幕張メッセ国際会議場(千葉市).

⑦Shibazaki, B., Okada, T., Yoshida, T., Matsumoto, M., Muto, J., Modeling of Fault Development and Tectonic Loading Processes Considering the Non-uniform Thermal Structure in Northeastern Japan, AOGS 8th Annual General Meeting, 2011年8月20日, 台北国際会議センター(台北).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

芝崎 文一郎 (BUNICHIRO SHIBAZAKI)

独立行政法人建築研究所・国際地震工学センター・上席研究員

研究者番号: 20344012

(2) 研究分担者

なし
(3) 連携研究者
なし