

数値シミュレーションによる地殻の強度分布の考察

Study on the crustal strength by means of numerical simulation

村上 裕[1]

Yutaka Murakami[1]

[1] 地質調査所

[1] Geological Survey of Japan

<http://www.gsj.go.jp/~murakami>

地殻の隆起・沈降現象を定量的に解明するため、重力の作用下における弾粘塑性体および流体の変形・変動を総合的に扱うことにより、アイソスタシーなどの現象を総合的に説明する数値モデルの開発をすすめている。地殻は、深度とともに強度をまず脆性領域と、温度の増大とともに強度が弱くなる延性領域からなる。脆性領域の強度にバイヤリーの式に示される摩擦係数を用いて、東北日本の断面の強度分布を予測すると、数百 MPa を越える強度の領域が発生する。しかし、巨大断層の摩擦発熱量から予測される摩擦強度はせいぜい 20MPa 前後の値である。このため内部摩擦係数を変数としたパラメータスタディにより、地殻内の応力分布について考察した。

地殻の隆起・沈降現象を定量的に解明するため、重力の作用下における弾粘塑性体および流体の変形・変動を総合的に扱うことにより、アイソスタシーなどの現象を総合的に説明する数値モデルの開発をすすめている。数値シミュレーションにおいては、地殻を Drucker-Prager 型の弾粘塑性モデルと、線型ないしべき乗則の粘性モデルを直列につないだ物質モデルとして扱うことができるので、重力の作用下における地殻とマンツルの相互作用を解析することが可能である。

東北日本を典型例とする短縮テクトニクスにおける地殻の変形モードを考察するときに、重要な意味合いをもつのは地殻の強度分布である。地殻は、深度とともに強度をまず脆性領域と、温度の増大とともに強度が弱くなる延性領域からなることが知られている。

脆性領域の岩石の強度として、バイヤリー(Byerlee)の式がよく知られており、深度が増すにつれ封圧が増し、強度が増大する。数値解析においては、降伏強度に至るまでは弾性変形し、降伏強度を超えると流動変形するモデルを塑性モデルと呼んでおり、Mohr-Coulomb 型と Drucker-Prager 型のモデルが用いられている。

このような強度分布の地殻が水平方向に圧縮されていくと、水平方向の差応力が発達するが、強度の強い脆性領域下部は弾性的に頑張るが、強度の弱い脆性領域上部では逆断層が活動して応力が緩和する。このため、脆性領域の差応力分布も、強度分布に似たものとなる。

従来しばしば用いられている上部地殻を弾性体とおいたモデルにおいては、強度はヤング率により決まり、上部地殻において強度は一定となるため、このような強度分布は得られない。このような強度分布は、降伏強度が封圧依存するという Mohr-Coulomb または Drucker-Prager 塑性モデルにより初めて記述できる。

延性領域において、地殻の応力は、温度だけでなく、ひずみ速度にも依存し、岩石の室内実験においては、べき乗則がなりたつことが知られている。

地殻の強度は、脆性-延性境界で最も強くなるが、温度によって延性領域が変化するため、地殻内の温度分布は、地殻の強度を大きく左右することがわかる。

数値解析においても、このべき乗則を用いた解析ができることが望ましいが、多くの解析ソフトにおいては、粘性体に対し応力がひずみ速度に比例する線形粘性モデルが用いられている。この場合は、ひずみ速度を予測して、べき乗則により応力を求め、その値をひずみ速度で割って、等価の粘性係数を求めることができる。

さて、このような強度モデルを用いて、東北日本の断面の強度分布を予測すると、数百 MPa を越える強度が発生する。しかし、サンアンドレアス断層における摩擦発熱量の予測からみつめられる摩擦強度はせいぜい 20MPa 前後の小さい値である。このため地殻内の流体の存在による有効応力の減少などにより、より小さい摩擦係数もちいることが妥当と考えられる。

我々は、FLAC と呼ばれる汎用数値シミュレータにより、地殻とマンツルからなるシステムのモデル化を行い、短縮テクトニクス下の地殻の隆起現象に関してパラメータスタディを実施したので、その結果に基づく地殻内の応力分布の考察を報告する。

しかし、降伏という非線形の現象を扱っているため、演算のステップ幅や繰り返し計算の収束度などに依存する数値解析結果の信頼性の問題からのがれることができない。比較検証を行うことのできる、全く異なる数値解析手法によるモデル化の方法を確立することが必要であり、試行錯誤の検討をすすめている段階である。

地殻内部の物性やその物理的状態に関して、得られる情報は限られたものでしかない。我々の入手できる最も確実で詳細なデータは、地表面の変動データである。長期的な地殻の変動を説明することのできる数理モデルを

構築し、各種のパラメータスタディを行って、地殻変動データと検証することにより、地殻内部の状態に関する我々の知見を深めていくことが大切である。