

衛星データを利用した列島応力分布の逆解析手法の開発

東京大学地震研究所 堀 宗朗

1. はじめに

GPS (global positioning system) を利用して列島内の約900点の位置を測定するGPSアレイは、地殻変動計測において画期的な計測手法である。データの応用に、地震予知を念頭においた高精度列島モデルの構築がある。その第一歩として、本研究は、GPSデータから求まるひずみ増分から応力増分を推定することを試みた。応力とひずみの関係から地域毎の構成則が評価され、より現実的な列島のモデル化が可能となる。本研究の成果は、1) 応力増分推定手法の確立と2) 衛星データとリンクするコードの開発である。以下、この2点の概要を説明する。

2. 応力増分・構成則推定手法

比較的短時間では、列島の変形は平面応力状態にあると近似される。応力増分は水平面内の3成分のみとなり、水平2方向の釣合式を満たす。一方、GPSで計測されるひずみ増分は弾性成分と非弾性成分に分解される。非弾性成分は断層のずれに起因することを仮定すると、応力増分の条件を1つ導くことができる。この結果、応力増分が次の境界値問題を満たすことが示される。

$$\begin{aligned} \text{G.E.} \quad & \overset{*}{\sigma}_{11,11} + \overset{*}{\sigma}_{11,12} = - \left(\overset{a}{\sigma}_{11,12} + \overset{a}{\sigma}_{22,12} \right) \\ \text{B.C.} \quad & \overset{*}{\sigma}_{11} = n_1 \quad t_1 - n_2 \quad t_2 - ((n_1)^2 \quad \overset{a}{\sigma}_{11} - (n_2)^2 \quad \overset{a}{\sigma}_{22}) \end{aligned}$$

ここ $\overset{a}{\sigma}_{ij}$ は計測されたひずみ増分に弾性係数をかけて計算される見かけの応力増分であり、 $\overset{*}{\sigma}_{ij}$ は応力増分 $\overset{*}{\sigma}_{ij}$ によって $\overset{*}{\sigma}_{ij} = \overset{a}{\sigma}_{ij} - \overset{e}{\sigma}_{ij}$ として定義された仮想的な応力である。または t_i トラクション増分、 n_i は法線ベクトルである。非弾性的な構成則が、非線形を含むいかなる形式であろうとも、平衡条件を満たす応力増分は上の線形の境界値問題を満たす。

3. 数値計算例

インターネットを介して転送されるGPSデータを用いて応力増分の境界値問題を設定し、有限要素法を用いて数値的に応力増分を計算するコードを開発した。解析の主な対象は線形の2次元偏微分方程式(ディクレ型境界条件を持つポアソン方程式)であり、十分な離散化をすれば、数値解析上、特に大きな問題点はない。

数値計算の例として、GPSから得られる体積ひずみ・最大せん断ひずみと、それに対応する体積応力・最大せん断応力の分布を図1と図2に示す。応力分布は上の境界値問題の数値解から計算されたものである。大まかな傾向は似ているものの、平衡条件を満たさなければならないため、応力分布がひずみ分布とは異なることが分かる。

逆解析される応力・ひずみ関係の例として、最大せん断応力と最大せん断ひずみに対し、せん断剛性に対応する両者の比と、異方性に対応する角度の差も図3に示す。この二つの指標は、地域毎の構成則を推定する第一歩となり、今後、地質構造との比較や、速度構造から推定される剛性との比較が必要である。

4. おわりに

解析手法の基本的な有効性は検証されたと考えている。現在、次の二つの方向で解析手法の改良を行っている。第一に解析手法の適用範囲をより広くすることである。応力関数を用いた、より簡便で効率的な解析手法を提案中である。第二に列島のより現実的なモデル化である。列島周辺のプレートの3次元的な沈み込みを逆解析し、その影響を考慮して平面的な変形を算定するモデル化を検討中である。このための新しい逆解析手法を提案中である。

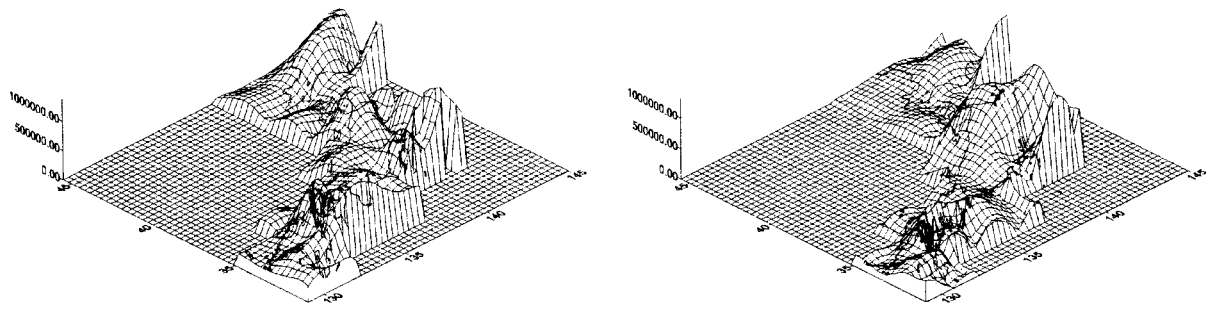


図1 体積ひずみと体積応力の比較

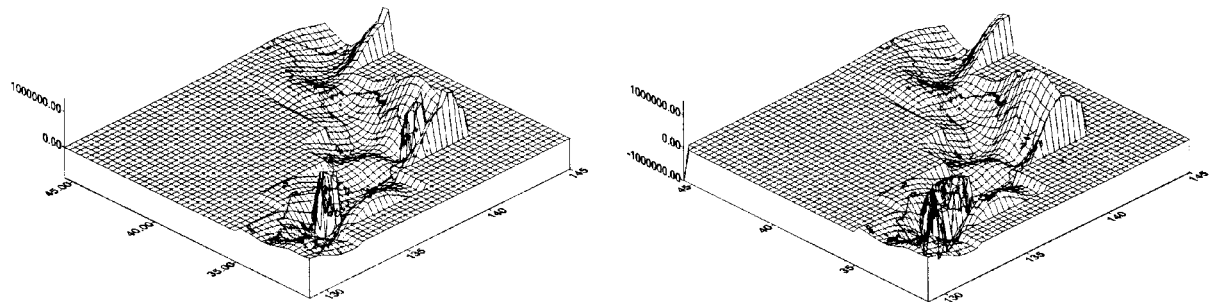


図2 最大せん断ひずみと最大せん断応力の比較

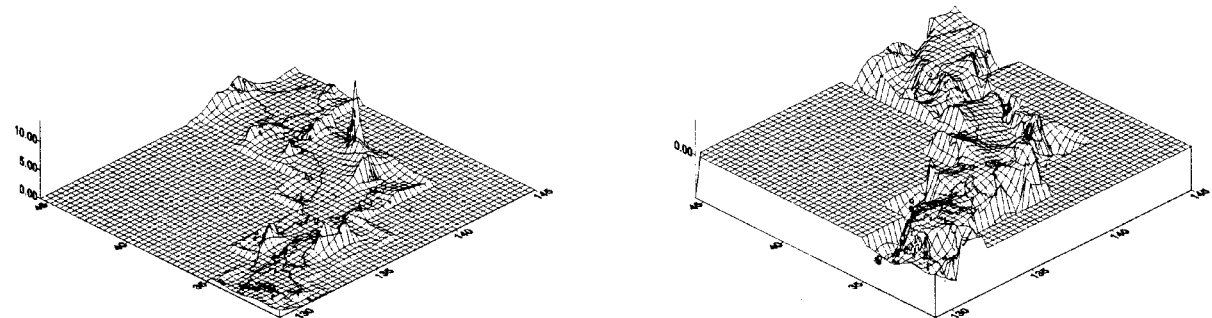


図3 地域毎の応力 - ひずみ増分関係：最大せん断応力と最大せん断ひずみの比と方向の差

5 . 参考文献

M. Hori, T. Kameda, and T. Kato: Inversion of stress distribution in Japan, in International Symposium on GPS, Tsukuba, 1999 (appear in Earth, Sea, and Planet).

その他：Geophysics International に 2 編、Journal of Mechanics and Physics に 1 編、投稿中