

SCG061-01

会場:302

時間:5月25日 16:30-16:45

2007年能登半島地震の震源域における応力場の深さ変化：地殻流体の関与 Anomalous depth dependency of the stress field in the 2007 Noto Hanto, Japan, earthquake: Potential involvement of a dee

加藤 愛太郎^{1*}, 酒井 慎一¹, 飯高 隆¹, 岩崎 貴哉¹, 蔵下 英司¹, 五十嵐 俊博¹, 平田 直¹, 金沢 敏彦¹, 2007年能登半島地震合同余震観測グループ¹

Aitaro Kato^{1*}, Shin'ichi Sakai¹, Takashi Iidaka¹, Takaya Iwasaki¹, Eiji Kurashimo¹, Toshihiro Igarashi¹, Naoshi Hirata¹, Toshihiko Kanazawa¹, The group for the joint aftershock observation of the 2007 Noto Hanto Earthquake¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ ERI University of Tokyo

We have elucidated depth variations in the stress field associated with the 2007 Noto Hanto, Japan, earthquake by stress tensor inversion using high-quality aftershock data obtained by a dense seismic network. Aftershocks that occurred above 4 km in depth indicated a strike-slip stress regime. By contrast, aftershocks in deeper parts indicated a thrust faulting stress regime. This depth variation in the stress regime correlates well with that in the slip direction derived from a finite source model using geodetic data. Furthermore, the maximum principal stress (S1) axis was stably oriented approximately W20N down to the depth of the mainshock hypocenter, largely in agreement with the regional stress field, but, below that depth, the S1 axis had no definite orientation, indicating horizontally isotropic stress. One likely cause of these drastic changes in the stress regime with depth is the buoyant force of a fluid reservoir localized beneath the seismogenic zone.

SCG061-02

会場:302

時間:5月25日 16:45-17:00

地震学的に推定される地殻応力と活断層の運動方向の比較：阿寺断層の例 Comparison between the seismologically determined stress and the geologically determined slip direction along an active

藤内 智士^{1*}, 重松 紀生¹, 今西 和俊¹, 吾妻 崇¹, 溝口 一生², 大谷 具幸³, 沓名 亮輔³

Satoshi Tonai^{1*}, Norio Shigematsu¹, Kazutoshi Imanishi¹, Takashi Azuma¹, Kazuo Mizoguchi², Tomoyuki Ohtani³, Ryosuke Kutsuna³

¹ 産業技術総合研究所, ² 財団法人 電力中央研究所, ³ 岐阜大学工学部

¹ Geological Survey of Japan, AIST, ² CRIEPI, ³ Gifu University

阿寺断層において、地震学的に推定した地殻応力と露頭で観察した活断層の運動方向との関係を検討した。その結果、活断層の主断層面が示す運動方向は地殻応力に対して調和的であり、一方で、主断層面から0.3-100m離れた地点の断層群の運動方向は地殻応力に対して調和的なものと不調和なものが混在していることがわかったので報告する。阿寺断層は、岐阜県東部に位置する北西-南東走向の左横ずれの活断層であり、平均変位速度が2-4 m / 千年で国内では活動的な活断層の一つとして知られる。また、先行研究や断層露頭に関する記載が多いことから研究対象断層とした。

地殻応力は、阿寺断層南部の周囲で2003年10月から2010年10月までに発生した微小地震の中から22個の発震機構解を決定し、応力逆解析 (Michael, 1984) を行うことで推定した。発震機構解は北東-南西走向の逆断層を主体とし、応力逆解析により北西-南東から西北西-東南東方向で水平に近い最大圧縮主応力軸を持つ応力を最適応力解として検出した。解析に用いた全ての発震機構解について最適応力解から計算される理論的な滑り方向と実際の滑り方向との角度差 (ミスフィット角) が30度以下であることから、最適応力解を阿寺断層南部の広域的な地殻応力と判断した。

活断層の運動方向は、阿寺断層で先行研究による詳細な記載が行われている断層露頭5地点で断層スリップデータを観察することで推定した。断層露頭のうち、4地点 (川上, 田瀬, および舞台峠の2地点) は主断層面から5m以内の範囲で、1地点 (付知) は主断層面から約100m離れている。全部で100個を超える断層面で条線を観察し、そのうち58条について断層方位・滑り方向以外に滑りセンスを特定した。観察した断層面群は、北西-南東走向で北東傾斜の左右両センスの横ずれ断層を主体とし、逆断層も含まれる。切断関係など断層活動の前後関係を示す構造は認められなかった。

露頭で取得した断層スリップデータのうち、前述の最適応力解に対してミスフィット角が30度以下になるものは約2割である。個別のデータでみた場合、主断層面から取得した断層スリップデータ (5条) はいずれもミスフィット角が30度以下である。一方で、主断層面から離れた位置 (0.3-100m) で取得した断層スリップデータは、データごとにミスフィット角が異なる。これは、調査地域では主断層面から少なくとも数十cm離れた地点で最適応力解とは異なる応力で滑った小断層が存在することを示す。断層破碎帯は複雑な構造を持ち、それにより内部の応力場は不均一となる可能性がある。今回の主断層面から離れた場所での結果は、そのような断層破碎帯内の応力の小スケールな空間変化を反映しているかもしれない。主断層面からの距離と断層スリップデータの関係をもっと詳細にみた調査や、応力の空間変化を計算した数値シミュレーションとの比較などが、今後必要である。一方で、現在とは異なる広域応力 (古広域応力) の時代の運動方向が断層スリップデータとして観察された可能性もある。

本研究で行った応力逆解析の結果の一部は、原子力安全・保安院「平成22年度地層処分に係る地質評価手法等の整備」として実施した成果を含む。微小地震の解析には気象庁・文部科学省が協力して処理した気象庁一元化データ (使用データ提供機関: 防災科学技術研究所 Hi-net, 気象庁, 東京大学, 名古屋大学, 京都大学) を使用させていただきました。

キーワード: 阿寺断層, 活断層, 微小地震, 発震機構解, 応力逆解析, 小断層

Keywords: Atera fault, active fault, microearthquake, focal mechanism solution, stress tensor inversion, minor fault

SCG061-03

会場:302

時間:5月25日 17:00-17:15

台湾車籠埔(チェルンブ)断層のマルチ異方性の観測 Multi anisotropy observations in the vicinity Chelungpu fault near Dakeng, Taiwan

呉泓^{1*}, 伊藤 久男¹, 馬 国鳳²
HungYu Wu^{1*}, Ito Hisao¹, Ma Kuo-Fong²

¹ 海洋研究開発機構, ² 台湾中央大学
¹JAMSTEC, ²National Central University

The 1999 Chi-Chi earthquake (Mw=7.6) take place in Taichung, Central Taiwan. The high rupture velocity and displacement record in northern part of Chelungpu fault. The total rupture length over 100 km and width large 35 km, the rupture propagated from south to north and the bending in the north end extend to East-West direction. The mainshock is pure thrust fault in the south and thrust with strike-slip type in the north. After the contentious drilling to 2 km depth, TCDP Hole-A collected various geophysical downhole measurements to determine the physical properties near the active fault. The Dipole Sonic logs (DSI) and Formation micro imagers (FMI) data are discussed, the velocity anisotropy amount and fast shear azimuth can be analyzed in DSI and the stress azimuth variation was displayed in image logs. The DSI result indicated the apparently anisotropy decreasing with the depth, the significant low anisotropy is occurred near the fault zone. Comparison with both stress indicating logs, shows that the most dislocation of azimuth in each log is close to the depth 1110 meters and consistence with the borehole breakout rotation. The rotation patterns are in agreement with each other caused by stress-induced anisotropy.

Keywords: DSI, Anisotropy, Stress roatation, Breakout, Chelungpu fault, FMI

SCG061-04

会場:302

時間:5月25日 17:15-17:30

応力状態の推定、南海トラフ地震発生帯掘削掘削サイト C0009 Stress state estimate by geophysical logs in NanTroSEIZE drilling project site C0009

伊藤 久男^{1*}, 呉 泓¹
Hisao Ito^{1*}, Hung Yu Wu¹

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

To determine the fault mechanism and seismogenic zone in NanKai Trough, NanTroSEIZE investigated 1.6 km (mbsf) riser drilling in the central Kumano forearc basin to characterize the geophysical properties for future drilling through the megathrusts. There were several downhole measurements run in this pilot drilling including image logs, caliper and comprehensive geophysical logs sets. The borehole breakout and lack of the drilling induced tensile fractures in this reprocessing image logging indicated the direction of the minimum horizontal compressive stress (S_{\min}), which show the consistent with the far-field stress direction. If the borehole breakout observation in the possible accretionary prism are representative the relationship with the rock strength and horizontal principal stresses, the different behaviors of borehole rock failure emphasize the variation of horizontal principal stress ratio. In this paper, we constrain the possible magnitude and orientation of horizontal principal stress. The stress induced shear wave anisotropy in Unit III and breakout azimuth in Unit IV are suggested that the direction of SHMAX in this well parallel to the direction of Philippine sea plate to Japan motion. Despite there is uncertainty of rock strength, the P-wave velocity profile shows the less variation with the depth represent the change of rock strength in the small level. The lack of breakout and tensile fractures in Unit III are attributed to the effective hoop stress acting on the borehole wall are less than the rock strength, which implied there are lower difference of horizontal principal stress. The higher differential horizontal principal stress in Unit IV caused the presence of breakout as we observed in the resistivity image logs.

Keywords: NanTroSEIZE, FMI, Borehole breakout, Rock strength, Effective stress

SCG061-05

会場:302

時間:5月25日 17:30-17:45

数値シミュレーションによる付加体先端域における断層形成と応力の動的変化の関連性評価

Fault formation and stress change in the frontal zone of an accretionary wedge: Insight from numerical simulation

宮川 歩夢^{1*}, 辻 健¹, 山田 泰広¹, 松岡 俊文¹

Ayumu Miyakawa^{1*}, Takeshi Tsuji¹, Yasuhiro Yamada¹, Toshifumi Matsuoka¹

¹ 京都大学工学研究科

¹ Kyoto University

付加体先端域における断層活動と応力状態の動的変化の関連性について、数値シミュレーションにより検討した。本研究では、個別要素法により付加体先端域の付加体形成過程をモデル化し、作成されたモデルにおいて付加体形成時の断層活動と応力状態を計測した。

付加体の前縁部において新たなスラスト（フロントルスラスト）が形成され、そのフロントルスラストは断層変位の大きい活動的な断層であった。一方、付加体内では断層の活動度は低く間欠的にわずかな断層変位を生じる再活動のみが観察された。

計測された応力状態は、付加体から十分遠方の堆積層内では鉛直方向に最大圧縮応力の働く比較的等方的な応力状態であったが、プレートの沈み込みに伴い海溝に近づくにつれて、水平方向の圧縮応力が卓越し、異方的な応力状態に変化した。付加体に取り込まれると、最大圧縮主応力軸は海溝側に傾斜し、等方的な応力状態に移行した。付加体内部では再び水平圧縮応力が卓越するが、主応力比の増加量はわずかであった。

以上の結果から付加体先端域における断層活動と応力状態の動的変化の関連性が明らかになった。付加体前縁部ではプレートの沈み込みに伴う水平圧縮応力の卓越により、フロントルスラストが形成される。フロントルスラストの活動により、応力が開放され等方的な応力状態に移行する。このように応力が等方的になることでフロントルスラストは活動を停止し、さらに前方の異方的な応力場で新たなフロントルスラストを形成する。一方、付加体内では断層活動の停止により再び応力が蓄積され水平方向の圧縮応力が卓越するが、新規の断層が形成するよりも先に、既存断層の再活動により応力が開放されてしまい応力比の増加量は小さい。そのため付加体内部では断層の再活動は観察されるものの、新規の断層は形成されない。このことから、付加体内部で新規の断層（序列外スラスト）が形成されるためには、既存断層が再活動せず、応力比を上昇させるメカニズムが必要であるといえる。

SCG061-06

会場:302

時間:5月25日 17:45-18:00

不連続性岩盤の初期地圧測定における円錐孔底ひずみ法の適用 Application of Compact Conical-Ended Borehole Overcoring Technique for Initial Stress Measurement of Discontinuous Rocks

坪田 裕至^{1*}, 家島 大輔¹, 野原 秀彰¹, 山口 浩司²
Yuji Tsubota^{1*}, Daisuke Kashima¹, Hideaki Nohara¹, Koji Yamaguchi²

¹ 中国電力株式会社, ² 中電技術コンサルタント株式会社

¹The Chugoku Electric Power Co., Inc., ²Chuden Engineering Consultants Co., Ltd.

中国電力は、現在、山口県の南東部に位置する上関町に、出力 137.3 万 kW の改良型沸騰水型原子力発電所 2 基の建設を計画している。

原子力発電所の耐震設計において、地盤の安定性を評価する際には、通常、発電所敷地内の地山応力状態を把握するため、初期地圧測定が実施される。

初期地圧測定に当たっては、測定箇所付近に存在する不連続面が測定結果に与える影響が大きいことから、不連続面の影響を受けない位置で測定することが重要になる。

初期地圧測定法には種々の方法があるが、これまでは、「埋設ひずみ法」が主に採用されており、豊富な実績を有している。

しかし、上関地点において初期地圧測定実施に先立ち、ボーリング調査結果から敷地地盤の不連続面の性状を分析した結果、当地点の岩盤は片理面沿いの不連続面が卓越しており、これまで採用されてきた埋設ひずみ法では、試験機器の制約上、不連続面の影響を受け、適切な測定が困難なことが予想された。

そこで、これに代わる測定法として、埋設ひずみ法に比べ、

(1) ひずみ測定機器のサイズが小さく、不連続面の間隔が密な区間での測定に適している。

(2) 1 箇所当たりの測定に要する工期が短く、安価であることから、多数のデータ取得が期待できる。

といった特徴を有する円錐孔底ひずみ法を原子力発電所の調査において初めて採用した。

測定に当たっては、視覚的に捉えることが困難な不連続面の影響を除去するため、CT スキャンによりコア内部の不連続面の有無をチェックし、異常値としてデータを棄却する等、信頼性の高いデータ取得に向けた種々の工夫を加えた。

測定の結果、水平面内については概ね等方な応力状態であること、最大主応力方向は概ね鉛直方向であり、概ね土被り深さに相当することから、妥当な結果であると考えられ、今回採用した円錐孔底ひずみ法が、不連続性岩盤に対して有効であることが明らかになった。

キーワード: 不連続性岩盤, 円錐孔底ひずみ法, 初期地圧測定

Keywords: Discontinuous Rocks, The Compact Conical-Ended Borehole Overcoring Technique, Initial Stress Measurement

SCG061-07

会場:302

時間:5月25日 18:00-18:15

四国周辺域の不均質応力場解析と水平最大圧縮軸トラジェクトリ作成 Heterogeneous stress analysis and Shmax trajectories around Shikoku

久保 篤規^{1*}, 小池 将実²
Atsuki Kubo^{1*}, Masami Koike²

¹ 高知大学理学部附属高知地震観測所, ² 高知大学理学部応用理学科

¹Earthq. Obs. Fac. Sci. Kochi Univ., ²Fac. of Sci. Kochi Univ.

四国は、南海トラフでのフィリピン海プレートの斜め沈みこみの影響を受けている。一方九州や琉球弧などの伸長場と考えている地域とも隣接している。そのため、この地域の応力場を理解することは、これら沈み込みや背弧拡大のダイナミクスを理解する上で重要であろうと考えられる。我々は高知大学やデータ交換により受信している高感度地震観測網のデータを検出して、1995年以降のP波初動極性をを用いたメカニズム解の決定を微小地震に対して行っている。これを精度によってクラス分けを行い、精度の高い解(深さ20km以浅の1950個)を用いて、不均質な応力場の解析が可能な多重逆解析(山路, 2010)を行った。解析は四国周辺域を29の領域に分けた領域で行い、領域内で抽出する解の数は結果を参照しながら2または3に調整する作業を行った。得られた結果は南海トラフに直交する方向には、1) MTLよりも南の四国、2) MTL付近、3) 山陽地方、4) 山陰地方にわけられるということが確認される。一方島弧に沿った変化としては、伊予灘、高縄半島、四国西部、豊後水道では伸長応力場が見られ別府などと同様に南北の伸長の特徴をもつ。最近出版された Terakawa and Matsuura (2010) によるこの付近の応力場は伸長場であるという特徴は同じだが東西伸長の特徴を示しており、本研究とは一致しない。応力解析を行うと軸方位だけではなく応力比が得られる。水平最大圧縮軸方位は応力主軸が同じでも応力比によってかなり大きく変化することが Lund and Townend (2007) によって示された。本研究で得られた応力解をこの手法で水平最大圧縮軸方位を求めた。比較的なめらかなトラジェクトリが得られ、佃(1992)によって地質学的な考察から描かれているものとよく似たパターンとなる。

キーワード: 応力場, メカニズム解, 水平最大圧縮, 四国

Keywords: Stress field, focal mechanism, Maximum horizontal compression, Shikoku

SCG061-08

会場:302

時間:5月25日 18:15-18:30

応力場に支配された断層深部塑性流動パターン Kinematics of the mylonite controlled by the stress regime

重松 紀生^{1*}, 藤本 光一郎², 田中 伸明²
Norio Shigematsu^{1*}, Koichiro Fujimoto², Nobuaki Tanaka²

¹ 産業技術総合研究所, ² 東京学芸大学

¹ Geological Survey of Japan, AIST, ² Tokyo Gakugei University

構造地質学においてマイロナイト中の線構造, 面構造, および内部の非対称構造はしばしば運動像の解析に用いられる。しかし, こうした運動像と応力場の関係についてはこれまで定量的な評価が行われてこなかった。本研究では中央構造線に沿うマイロナイトについて検討した。

産業技術総合研究所は最近, 三重県松阪市飯高町に東南海・南海地震予測を目的とした地下水等観測施設, 飯高赤桶観測点を整備し, その過程で中央構造線を貫通したボーリングコアが得られた。解析にはこのボーリングコアを用いた。

マイロナイトの面構造と線構造の方向は, 中央構造線に向かい徐々に変化する。中央構造線から離れた場所では, 面構造は北北東から北東に傾斜し, 線構造は東にゆるく沈下する。一方, 中央構造線近傍では面構造は北北西に傾斜し, 線構造は東北東から北東に沈下し, 沈下角の大きなものがみられる。これらから中央構造線に向かい, 面構造が収斂し, 剪断歪が中央構造線に向かい徐々に大きくなることが示唆される。

マイロナイトの面構造, 線構造による応力逆解析から, 最大主応力が西北西を向き, 応力比 $(= (S_2 - S_3) / (S_1 - S_3))$ がおよそ 0.2 の応力が算出された。これに基づき収斂するマイロナイトの面構造について分解剪断応力の方向を計算すると, 観察されるマイロナイトの線構造の方向とほぼ平行である。すなわち, マイロナイトの塑性流動パターンは応力場に支配されている。

従来, 中央構造線のマイロナイトは左横ずれが卓越すると考えられてきた。このことは変形の弱いマイロナイトでは正しい。しかし, マイロナイト形成時の応力場から, 中央構造線近傍の線構造は大きな沈下角を持つ。つまり, 中央構造線のマイロナイト形成時には相当量の逆断層成分を伴っていたと考えられる。さらにこうした断層深部での応力場に支配された流動パターンは地震発生に向けた応力蓄積にも影響を与える可能性があり, 今後の検討課題と考えられる。

キーワード: 運動像, 応力場, マイロナイト, 分解剪断応力, 中央構造線

Keywords: Kinematics, Stress regime, mylonite, resolved shear stress, the Median Tectonic Line

SCG061-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 14:00-16:30

計算グリッドの見直しによる応力インバージョンの改良 Improvement of stress tensor inversion by the revision of computational grid

山路 敦^{1*}, 佐藤 活志¹

Atsushi Yamaji^{1*}, Katsushi Sato¹

¹ 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

¹Div. Earth Planet. Sci., Kyoto Univ.

応力インバージョンに使う計算グリッドを、球コードを利用することで改良し、応力の分解能を向上させることができた。球コードというのは、この場合、5次元空間の単位球面上にほぼ等間隔に分布する、6万個の点の集合である。この配置をつくるために、まず、この球面上にランダムに6万個の点をばらまいて初期配置とし、数値的最適化を行った。具体的には、それらの点が同一電荷を持つ粒子の位置を表すとして、全静電ポテンシャルを最小化する配置を、パソコンで3ヶ月かけて計算した。

応力インバージョンでは、それらの点ひとつひとつが異なる応力状態を表す。本研究により、6万通りの応力状態がほぼ「等間隔」に定義されたことになる。

それら応力状態の集合を計算グリッドとして、多重逆解法に組み込んだ。応力をいくつか仮定し、100条ほどの断層がそれらのいずれかで動いたとして人工データを生成し、同法で処理して仮定した応力たちが検出できるか検討した。その結果、従来の計算グリッドを使う場合より、応力の分解能をあげることができた。

キーワード: 応力インバージョン, テクトニクス, 球コード, 発震機構, 断層

Keywords: stress tensor inversion, tectonics, spherical code, focal mechanism, fault

SCG061-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 14:00-16:30

地震波振幅データを用いた応力場と個々のメカニズム解の同時決定 Simultaneous determination of tectonic stress field and individual focal mechanisms from seismic amplitude data

今西 和俊^{1*}

Kazutoshi Imanishi^{1*}

¹ 産業技術総合研究所

¹ Geological Survey of Japan, AIST

対象とする領域内で複数の断層すべりデータが得られていれば、3つの主応力の方向とその応力比の情報を推定することができる。これは応力テンソルインバージョン法と呼ばれている手法であり、地質学と地震学の両分野において広く活用されている。応力テンソルインバージョン法を地震学で適用する際、発震機構解を入力データとするのが一般的である(例えば、Gephart and Forsyth, 1984; Michael, 1984)。一方、1990年代に入ると発震機構解推定の元となるP波初動極性をデータとし、応力場を直接的に推定するという優れた方法が提案されてきた(例えば、Horiuchi et al., 1995; Loohuis and van Eck, 1996; Abers and Gephart, 2001)。本研究ではこの方法をさらに発展させるため、振幅データも同時に利用する方法に拡張することを試みた。

解析手順はP波初動極性を利用する方法と基本的に同じであり、2つのループの入れ子になっている。外部ループは応力場に関するもので、主応力の方向、応力比を適当な間隔に区切ってサーチする。内部ループは個々の地震の発震機構解推定に関するもので、外部ループで与えられた応力場で説明できる発震機構解(SFM; Stress-consistent Focal Mechanisms)の中で残差が最も小さい解を探索する(P波初動極性をデータとする方法では極性不一致の個数が最小となる解を探索する)。この際、SFMは走向と傾斜角を適当な間隔で区切って与え、それぞれの走向&傾斜角の組み合わせに対してすべり角をWallace-Bott 仮説(断層すべりは断層面に作用するせん断応力の方向におこる)に基づき求める。解析対象の地震全てについて同様の探索を行い、残差の総和Sを求める。以上の2つのループの結果、Sが最小になる応力場が推定されると同時に、個々の地震の発震機構解も決定されることになる。以下では便宜上、振幅データを用いた推定法をASTI法(Amplitude-based Stress Tensor Inversion)、極性データを用いた推定法をPOSTI法(Polarity-based Stress Tensor Inversion)と呼ぶことにする。

手法の有効性を確認するため、人工的に作成した20個の発震機構解データを用いた数値実験を行った。断層の走向と傾斜はランダムに与え、すべり角はWallace-Bott 仮説で期待される角度に10度の誤差を与えた。応力テンソルインバージョン解析の入力データとなるP波振幅値(P波極性)は、それぞれの解に対して20個作成した。その際、観測点は震源球状にランダムに分布していると仮定した。この人工データを用いた数値実験の結果では、どちらの方法でも正しい応力場を推定することができた。しかし、発震機構解については、POSTI法では入力データと異なる解になる地震がいくつかあった。各地震の入力データを10個に減らした場合、ASTI法では依然として正しい応力場が推定されたが、POSTI法では異なる結果が推定されるようになった。観測データが少ない地震が大多数のデータセットの場合、ASTI法の適用が有効であると同時にPOSTI法による結果には注意が必要であろう。

参考文献

Abers, G., and J. Gephart (2001), *J. Geophys. Res.*, 106(B11), 26523-26540.

Gephart, J., and D. Forsyth (1984), *J. Geophys. Res.*, 89(B11), 9305-9320.

Horiuchi, S. et al. (1995), *J. Geophys. Res.*, 100(B5), 8327-8338.

Loohuis, J. and T. van Eck (1996), *Phys. Chem. Earth*, 21, 267-271, doi:10.1016/S0079-1946(97)00047-5

Michael, A. (1984), *J. Geophys. Res.*, 89(B13), 11517-11526.

キーワード: 応力場, メカニズム解, 地震波振幅データ, 応力テンソルインバージョン

Keywords: stress field, focal mechanism, seismic amplitude data, stress tensor inversion

応力逆解析における応力距離の重要性とその物理的意味 Importance of stress distance in stress inversion analysis and its physical meaning

佐藤 活志^{1*}

Katsushi Sato^{1*}

¹ 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

¹ Div. Earth Planet. Sci., Kyoto Univ.

断層スリップデータから地殻応力を推定する手法として、応力逆解析法が広く普及している。応力状態が時間的・空間的に変化する場合、異なる応力に起因する断層が混在したデータセットが得られ、複数の応力を区別して検出することが求められる。応力テンソルを客観的に区別するためには、違いを測る尺度が必要である。また、最適解の精度を記述するなどの統計的な扱いや、異なる手法による解析結果の比較においても、応力の違いの尺度は有用であろう。しかし、応力テンソルどうしの違いを定義するのは容易ではない。応力逆解析が決定しようとするのは、規格化された応力テンソルであり、3つの主応力軸方位と応力比の計4つのパラメータで記述される。これらは、応力楕円体の方位と形を表す。2つの楕円体を比較するとき、方位の違いと形の違いをどのように総合するかが問題となる。

Orife and Lisle (2003) は、この問題の解決として stress difference という尺度を提案した。彼らは様々な応力テンソルの違いを計算してみせ、この尺度が良好な性質を持っていることを示した。例えば、 σ_2 と σ_3 の値がほぼ等しく応力楕円体が prolate 型に近い場合、 σ_1 軸の方位が共通の応力テンソルたちの間では stress difference は小さい値をとる。Stress difference は有用な尺度だったが、その性質が経験的にしか分かっていないことと、物理的意味が明らかでないことが問題であった。

Yamaji and Sato (2006) は stress difference に物理的意味を与えた。異なる応力は、断層面上に異なる方向の剪断応力を作らせるとする。Yamaji and Sato (2006) は、ランダムな方位の断層面における剪断応力方向の違いの期待値が、stress difference に「ほぼ」一対一対応することを発見した。言い換えれば、stress difference は断層面上の剪断応力方向の違いを基準に、応力テンソルの違いを測るのである。この性質は、Wallace-Bott 仮説（剪断応力方向が断層の滑り方向に一致するというモデル）に立脚する多くの応力逆解析法に親和的と言える。なぜなら、それらの手法は断層の滑り方向の違いが応力の違いを表すと考えているからである。

前述の物理的意味は、残念ながら、近似的かつ経験的なものであった。発表者は stress difference の定義式について考察を進め、Yamaji and Sato (2006) の意味づけが厳密には正しくないことを発見した。2種類の応力をランダムな方位の断層面に作用させるとき、stress difference は、2つの剪断応力方向のなす角の期待値ではなく、2つの剪断応力ベクトルの差ベクトルの長さの期待値に比例する。この比例関係は解析的に成り立つ。つまり、stress difference の値には、剪断応力の方向だけでなく大きさも関連しているのである。この発見は、応力逆解析法にとっては不都合である。Wallace-Bott 仮説は応力の大きさに言及しないが、断層の変位に必要な剪断応力の大きさを議論に加えるならば、摩擦係数や破壊強度などの物性を知らなければならない。通常、応力逆解析では主応力値は規格化されているが、断層面にはたらく応力の大きさは方位によって異なる。幸運なことに、stress difference を計算する際の規格化方法は、剪断応力の大きさの違いが大きいものではない。しかし、規格化の方法という意図しない効果が、stress difference の値に影響していることには注意が必要だろう。

引用文献

Orife, T. and Lisle, R.J., 2003. Jour. Struct. Geol. 25, 949-957.

Yamaji, A. and Sato, K., 2006. Geophys. Jour. Int. 167, 933-942.

キーワード: 応力逆解析, 応力距離, 応力角距離, 断層スリップデータ, 偏差応力空間

Keywords: stress tensor inversion, stress difference, angular stress distance, fault-slip data, deviatoric stress space

SCG061-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 14:00-16:30

異なる深度から得られる断層スリップデータから応力状態の不均一性を明らかにする手法と意義について

Method and significance to determine stresses from heterogeneous fault-slip data obtained in different depths

大坪 誠^{1*}

Makoto Otsubo^{1*}

¹産総研・地質情報

¹AIST/IGG

断層群から得られる断層スリップデータ(走行傾斜, すべり方向, 運動センス)において, 単一の応力のもとで動いていない断層群から得られる断層スリップデータを不均一 (heterogeneous) なデータとよぶ。対象とする地域において, 応力場は, 空間的にも時間的にも変化する場合があるだろう。不均一なデータは, 応力状態の不均一性を理解する手がかりになり, 応力状態が時間的・空間的に連続的に変化しているという描像を明らかにすることに繋がる。

深度方向の応力場の空間的な変化に注目すると, 異なる深度において断層スリップデータを得ることができる手段としては, 地表露頭, ボーリングコア, 地震の発震機構 (focal mechanism) があげられる。不均一なデータから, 断層を動かした複数の応力を検出する手法の一つとして, 多重逆解法 (Yamaji, 2000; Otsubo and Yamaji, 2006) があり, それらの不均一なデータから深度方向の応力状態の不均一性を明らかにすることが可能となってきた。

本発表では, ある対象地域において, それぞれ深度が異なる地点から得られる断層スリップデータから詳細な応力場を明らかにする意義を, 多重逆解法を適用した結果を例に示す。

引用文献:

Otsubo, M. and Yamaji, A. (2006) Improved resolution of the multiple inverse method by eliminating erroneous solutions. *Computers & Geosciences*, 32, 1221-1227.

Yamaji, A. (2000) The multiple inverse method: A new technique to separate stresses from heterogeneous fault-slip data. *Journal of Structural Geology*, 22, 441-452.

キーワード: 応力, 断層スリップデータ, 多重逆解法, テクトニクス, 地殻, 地震

Keywords: Stress, Fault-slip data, Multiple inverse method, Tectonics, Crust, Earthquake

SCG061-P05

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 14:00-16:30

断層スリップデータの適合度にもとづいた応力逆解析の段階褶曲テスト Incremental fold test for stress tensor inversion based on fitness evaluation to fault-slip data

藤内 智士^{1*}, 佐藤 活志², 芦 寿一郎³
Satoshi Tonai^{1*}, Katsushi Sato², Juichiro Ashi³

¹産総研, ²京都大学, ³東京大学大気海洋研究所

¹AIST, ²Kyoto University, ³AORI, the University of Tokyo

We present a method of incremental fold test for the paleostress inversion of fault-slip data obtained from folded sedimentary rock, which provides not only the orientations of the three principal stress axes and the stress ratio, but also the relative timing of folding and faulting. The method is based on the stepwise backtilting of strata that was tilted before, during, or after fault activity. At each step, the rotated fault-slip data are analyzed by a stress inversion technique, based on the Hough transform. The inversion technique calculates the degree of fitness of all possible stresses to the fault data and detects the optimal fitness. The peak values of fitness are compared among the various backtilting steps to find the maximum value. The stress and the backtilting step that yield the maximum fitness are selected as the optimal solution. To assess the validity of the method, we applied it to artificial fault-slip datasets generated with hypothetical histories of folding and faulting and with known paleostresses. The proposed method succeeded in determining the supposed stresses and the relative ages of folding and faulting.

キーワード: 小断層, 応力逆解析, 褶曲テスト

Keywords: minor fault, stress inversion, fold test

SCG061-P06

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 14:00-16:30

エシェロン構造の形成と応力場の関係の研究 - MPS 法による数値シミュレーション -

Relation between formation of echelon faults and stress fields in rock mass-Simulation using MPS method-

今井 優希^{1*}, 三ヶ田 均¹, 後藤 忠徳¹, 武川 順一¹
Yuki Imai^{1*}, Hitoshi Mikada¹, Tada-nori Goto¹, Junichi Takekawa¹

¹ 京大院工
¹ Kyoto Univ.

地震や地殻変動などによって形成される断層面周辺には、主せん断面といくらかの角度をなす方向に複数の破砕面が現れることがある。このき裂群をエシェロンと呼び、日本では伊豆半島沖合に典型的なエシェロン構造が確認できる。その発生メカニズムや発生形態、応力場との関連性については力学的に明確な解答が得られておらず、これを明らかにすることが重要な課題として残されている。

本研究では、岩体にエシェロン構造が発生するのに必要な条件を調べるため、MPS (Moving Particle Semi-implicit) 法 (Koshizuka and Oka, 1996) を用いて数値シミュレーションを行った。MPS 法は非圧縮性流れの数値計算手法として開発された粒子法の一つであり、連続体を有限個の粒子によって表現し、勾配や発散などの偏微分演算子に対する粒子間相互作用モデルを用いて、連続体の運動を離散粒子群の運動によって近似する。このため、従来固体の変形に関する計算法として用いられてきた差分法や有限要素法のように格子やメッシュを必要とせず、形状に合わせて計算点となる粒子を配置するだけでよい。そのため、差分法や有限要素法では解析が困難であった大変形や破壊現象も比較的容易に扱うことができる。

計算モデルとして、2次元長方形弾性体を考え、一軸圧縮、三軸圧縮状態それぞれについてエシェロン構造が発生するかを調べた。また、三軸圧縮状態において、岩体の破壊包絡線を定義する粘着力や側面に掛かる拘束圧を変化させることで、これらが共役なき裂の発達にどのような影響を与えるかを考察した。

数値計算の結果、粘着力や拘束圧が高いほど共役なき裂が密に発達し、拘束圧がき裂の傾きに影響を与えることが確認された。このことから、エシェロン構造の発達した岩体において、その分布や方向から、現在加えられている応力や過去に加えられた応力の方向、大きさを推定できる可能性が示された。

キーワード: エシェロン, 粒子法, MPS 法, 圧縮試験

Keywords: echelon, particle method, MPS method, compression test