

SSS029-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

真実接触点を考慮した固着滑りの有限要素モデリング Finite element modeling of stick-slips on a solid surface with many asperities

兵藤 守^{1*}, 阪口 秀¹, 堀 高峰¹

Mamoru Hyodo^{1*}, Hide Sakaguchi¹, Takane Hori¹

¹ 海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域

¹JAMSTEC/IFREE

Friction is the tangential force resisting the relative motion of solid surfaces or material elements sliding against each other. Since all real surfaces have topography (or roughness) in the microscopic view, they touch at a few points or asperities, when they are brought together. Hence, macroscopic friction is regarded to be the sum of interacting forces at such microscopic asperities. For an contacting asperity, we consider the additional deformation at the area surrounding the asperity. In such a case, depending on the deformation amount, the real area of contact at the asperity will largely increase or decrease. Such a change in contact state at the asperity affects not only the interacting force at the asperity but also the macroscopic friction. Furthermore, it is expected that friction between solid surfaces has a possible dependence on materials, since the deformation of the solid material is strongly depend on their properties (rigidity, viscosity, etc.). The effects of the deformation and property of materials on friction, however, have not been explicitly included in many existing friction laws.

Therefore, in this study, we examine these effects on macroscopic friction through a finite element modeling of stick-slips on a solid surface with many asperities. As a tentative result, the calculation with 50 asperities repeats stick-slips with various sizes, though the maximum number of asperities which break in an event is much smaller than 50. Hence, the macroscopic friction is almost constant, and steady slip motion of two blocks is generated.

In the presentation, we will show the detail of our finite element modeling and calculation results with various material property or asperity distributions.

キーワード: friction, asperity, FEM, material property

ピンオンディスク摩擦実験による石英の非晶質化：ラマン分光分析 Quartz amorphization due to friction and wear : Raman spectroscopic analysis

中村 悠^{1*}, 武藤 潤¹, 長濱裕幸¹, 三浦 崇², 荒川 一郎²
Yu Nakamura^{1*}, Jun Muto¹, Hiroyuki Nagahama¹, Takashi Miura², Ichiro Arakawa²

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻, ² 学習院大学理学部物理学科
¹Graduate School of Science, Tohoku Univ., ²Dept. Phys. Gakushuin Univ.

これまでにナノインデンテーションやボールミル粉砕、ダイヤモンドアンビルによる高圧実験から、鉱物の非晶質化が生じることが知られており、実験により生じた花崗岩および珪岩の断層上においても鉱物の非晶質物質の存在が TEM 分析によって確認されている [1]。石英岩を用いた摩擦実験は、高速すべりにおいて断層上ですべり弱化が起きることを示唆し [2]、生成したガウジは石英とアモルファスシリカから構成されていた [3]。さらに断層表面上に水和したアモルファスシリカの生成が認められ、非晶質化に加え、この水和物のチキソトロピックな挙動が摩擦係数の低下を生じさせたと報告されている [3]。従って、石英岩断層上でのすべり弱化を理解するためには非晶質化の物理過程の把握が重要である。そこで本研究では石英の非晶質化の詳細を調べるために、ピンオンディスク摩擦実験 [4] を行い、摩擦トラックのラマン分析を行った。ディスクは人工および天然ブラジル産の単結晶石英を用い、ピンには天然ダイヤモンドおよび水晶 (曲率半径 0.5~1.5mm) を用いた。荷重は 0.01N ~ 1N、すべり速度は 0.01 m/s ~ 0.25m/s の範囲内で制御可能であり、大気圧下で、摩擦実験を行った。ラマン分光測定法により原子や分子の振動モードが得られるため、摩擦による試料の非晶質化の程度をラマン分光法を用いて解析した。石英ディスクの摩擦トラック上においてラマン分光測定 (励起波長 532.1 nm) を行ったところ、波数 126 cm⁻¹(E(LO+TO)), 204 cm⁻¹(A1), 356 cm⁻¹(A1), 394 cm⁻¹ (E(TO)), 464 cm⁻¹ (A1) に顕著なピークが認められた。これらは石英の代表的な格子振動モードに帰属されるが、464 cm⁻¹ および 204 cm⁻¹ において高波数側へのピークシフトが見られた。また、垂直応力 20 MPa およびトラック回転数 660 回 (すべり変位約 80μm) の実験においては、464 cm⁻¹ 以外の上述したラマンスペクトルの完全な欠如、すなわち石英結晶の固有振動モードの欠如が認められた。これは、摩擦に伴い石英中の中距離構造が失われたことを示唆している。本発表では応力、すべり変位およびすべり速度の各パラメータがどの程度石英の非晶質化に寄与しているのか報告する予定である。

[1] Yund, R. A., M. L. Blanpied, T. E. Tullis, and J. D. Weeks, 1990, Amorphous material in high strain experimental fault gouges, *J. Geophys. Res.*, 95, 15589-15602.

[2] Di Toro, G., D. L. Goldsby, and T. E. Tullis, 2004, Friction falls towards zero in quartz rock as slip velocity approaches seismic rates, *Nature*, 427, 436-439.

[3] Hayashi, N., and A. Tsutsumi, 2010, Deformation textures and mechanical behavior of a hydrated amorphous silica formed along an experimentally produced fault in chert, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L12305, doi:10.1029/2010GL042943

[4] Muto, J., H. Nagahama, T. Miura, and I. Arakawa, 2007, Frictional discharge at fault asperities: Origin of fractal seismo-electromagnetic radiation. *Tectonophysics*, 431, 113-122.

キーワード: 摩擦摩擦実験, 非晶質化, ラマン分光, すべり弱化

Keywords: friction experiment, amorphization, raman spectroscopic analysis, weakening

SSS029-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

ラマン顕微鏡による断層強度回復プロセスの予察的観察 Raman spectroscopic characterization of fault gouge rapidly healed after dynamic weakening

廣瀬 丈洋^{1*}, 向吉 秀樹², 溝口 一生³
Takehiro Hirose^{1*}, Mukoyoshi Hideki², Kazuo Mizoguchi³

¹ 海洋研究開発機構 高知コア研究所, ² (株) マリン・ワーク・ジャパン, ³ 財団法人 電力中央研究所
¹JAMSTEC/Kochi, ²Marine Works Japan, ³Central Research Institute of Electric P

How rapidly fault strength recovers after an earthquake is an important question for understanding the earthquake generation mechanism in seismic cycles. Recent friction experiments at coseismic velocities revealed that the fault can completely regain its strength to pre-slip level within few days (Mizoguchi et al. 2009, BSSA). However the factor causing such rapid fault healing after dynamic weakening is still not understood. We expected that the reformation of a certain type of chemical bond is responsible for fault healing. Thus, we performed high-velocity friction experiments on quartz gouge at a slip velocity of 1.3 m/s, normal stress of 1.0 MPa and displacement of >10 m. At this condition, the simulated fault weakened markedly with displacement to friction coefficient of ~0.2. In order to identify the chemical bonds that play a key role in fault healing after dynamic weakening, the slip surface of gouge zone was analyzed immediately after the experiments using a laser Raman microscope. We found a characteristic peak at ~1600 cm⁻¹ in a Raman spectrum detected only from the dynamically weakened gouge at high velocities. This peak corresponds to bending vibrations of a H₂O molecule. The peak appeared just after the experiment and its intensity decreased with time. After two days, the peak totally disappeared. Interestingly the time scale of existence of the peak is almost same as that of gouge healing. We propose a hypothesis that the excitation of bending vibrations of a H₂O molecule by shear and/or frictional heat during rapid sliding and the degradation of the vibrations after the termination of the sliding results in the dynamic fault weakening and the rapid fault healing, respectively.

Keywords: fault, healing, H₂O

電気抵抗を通してみる模擬断層の接触状態 Contact state of simulated fault via electrical resistance

山下太^{1*}, 福山英一¹, 溝口一生², 柳谷俊³

Futoshi Yamashita^{1*}, Eiichi Fukuyama¹, Kazuo Mizoguchi², Takashi Yanagidani³

¹ 防災科学技術研究所, ² 電力中央研究所, ³ 所属なし

¹NIED, ²CRIEPI, ³None

地震は断層面の摩擦すべりであり、そのすべりを制御する要因の一つである摩擦強度を接触状態を保持したまま非破壊にモニターできれば、岩石の摩擦特性および断層の摩擦すべりメカニズムの解明に向けた重要な情報を得られるであろう。そのようなモニタリングを可能とする物理量として、筆者らは断層面の電気抵抗に着目し、岩石試料間の模擬断層面の電気抵抗を連続的にモニターするための測定システムを開発した(山下他, 2010)。このシステムを用いたこれまでの実験で、高速せん断摩擦試験機(Shimamoto and Tsutsumi, 1994; Mizoguchi and Fukuyama, 2010)に設置した岩石試料の模擬断層面の電気抵抗が、断層面に加わる垂直応力の増加や摩擦溶融層の発生にともなって減少したことを確認している。ただしこれまでは、試験機の構造的な制限により高速せん断摩擦試験中の測定をおこなえなかったため、摩擦すべり時の断層面の接触状態は不明なままであった。しかし2010年12月に試験機に改良を加え、高速せん断摩擦試験中であってもスリッピングを通して回転側の試料からも信号を取り出すことが可能となった。さらに、岩石試料の電気抵抗測定においてエレクトロメータの高抵抗測定機能を使用した測定の有効性を確認できたので、これを用いて摩擦すべり時の断層面の電気抵抗モニタリングを実施した。

使用したエレクトロメータ(Keithley 6514)は、最大250Vの電圧を印加し、210Gまでの抵抗値を測定可能である。2端子測定のため、測定結果には接触抵抗および岩石試料そのものの抵抗値が含まれるが、接触面の持つ抵抗値が非常に高いためそれらの影響は低いと考えた。まず、垂直応力変化にともなう模擬断層面の抵抗変化をモニターした。用いた試料は円柱形のGabbro試料(インド産)で、直径は25mm、長さはおよそ30mmである。それぞれの試料の断層面ではない側の端面に導電性テープを用いて電極を設置した。垂直応力は一定圧力で300s保持した後、0MPaから8MPaの間で0.5MPaずつ変化させた。0MPaでの抵抗値はエレクトロメータでは測定不能であったことから、このときの断層面が持つ抵抗値は210G以上であると考えられる。0.5MPaでの抵抗値は約90Gであったが、垂直応力の増加にともない抵抗は減少し、8MPaでは約30Gまで減少した。これは垂直応力の増加によって断層面の真の接触面積が増加し、断層面の抵抗値が減少したことを示していると考えられる。次に、低速の摩擦すべり時の電気抵抗モニタリングを実施した。試料は加圧試験と同一の試料を用い、垂直応力は3MPa、すべり速度は 5.3×10^{-3} m/sで一定に保った。摩擦強度(垂直応力に対するせん断応力の比)は摩擦すべり開始直後に0.8まで上昇した後、すべり弱を示し、その後0.2から0.6の間で変動した。電気抵抗は摩擦すべり開始後に130Gから8Gまで減少した後、10Gから30Gの間で変動した。摩擦強度と電気抵抗の変化を比較すると、摩擦強度の増加に対して電気抵抗の減少(あるいはその逆)が観察された。これは断層の真の接触面積が増加することで摩擦強度の増加および電気抵抗の減少が引き起こされたためと考えられる。次に、摩擦溶融層の発生をともなう高速の摩擦すべり試験をおこなった。垂直応力は3MPa、すべり速度は1.3m/sとし、最終的なすべり量は52mであった。摩擦すべり開始後の約1秒間に断層は最初のすべり弱を示し、その後、Hirose and Shimamoto (2005)によって示されたような摩擦溶融層の発生に関連する2度目のすべり強化と2度目のすべり弱を示した。電気抵抗は、摩擦すべり開始直後に約70Gから3Gまで減少し、最終的に1Gまで減少し続けた。すべり初期の電気抵抗変化について詳細に調査すると、最初のすべり弱から2度目のすべり強化への遷移にともない、電気抵抗の減少率が上昇していることが明らかになった。これはアスペリティ等に局所的に発生した溶融が互いにつながり始めた段階を示していると考えられる。その後、断層の強度が2度目のピークに達するとともに電気抵抗の減少が一時的に止まっており、断層全体に溶融が行き渡った状況を示していると解釈できる。その後も摩擦溶融層の成長に関連する変化と考えられる段階的な電気抵抗の減少を確認できた。今後さらに詳細な解析をおこなうとともに、透過弾性波によるモニタリング結果(福山他, 本連合大会)とも比較し、定量的な議論をおこないたい。

キーワード: 電気抵抗, 断層, 摩擦, 摩擦溶融, 高速せん断摩擦試験

Keywords: Electrical resistance, Fault, Friction, Frictional melting, High-velocity rotary-shear frictional test

SSS029-P05

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

高速摩擦試験時のテフロン混入による滑り挙動への影響 Influence by teflon contamination on the fault slip behavior during high-speed friction experiments

平井 望¹, 本多 剛^{1*}, 谷川 亘², 廣野 哲朗¹
Nozomu Hirai¹, Go Honda^{1*}, Wataru Tanikawa², Tetsuro Hirono¹

¹ 大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻, ² 海洋研究開発機構高知コア研究所
¹Osaka University, ²Kochi Institute for Core Sample Research

粘土質の断層ガウジを含む断層帯は天然において数多く存在している。そのため、高速滑り時における断層ガウジの滑り挙動を解明することは、地震時の断層強度に影響を及ぼす断層ガウジの役割を理解する上で極めて重要である。

一般的にガウジ試料を用いた高速摩擦実験を行う際、試料ホルダーとして円柱形のテフロンが用いられる。本研究の予備実験としてイライト/白雲母ガウジ試料を使った高速摩擦実験（垂直荷重 2.0Mpa, 滑り速度 1.3 m/s）を行い、実験後のガウジ試料に関して顕微鏡観察、示差熱・熱重量測定を行った所、重量比 10wt%ものテフロンが実験時に混入していることが明らかになった。また、剪断速度が大きい、剪断変位量が大きいほど、この混入量が相対的に多いという系統的な傾向も出た。テフロンの摩擦係数は岩石と比べ小さいため、テフロンの試料への混入は試料全体の摩擦強度に影響を及ぼす可能性がある。そのためテフロンホルダーを用いたガウジの高速摩擦実験を行う際には、この影響を検討する必要がある。

そこで、本研究ではあらかじめイライト/白雲母試料にテフロンパウダーを全試料の重量比、0wt%, 5wt%, 10wt%, 20wt%, 30wt%, 40wt%, 50wt% 混ぜた試料を作成し、これを用いた高速摩擦実験を行い、実験後の試料に対して熱分析を行った。これらの結果から各試料の滑り挙動の違いと最終的なテフロンの混入を定量することで、テフロン混入による断層滑り挙動の影響を考察した。発表ではこれらの実験の最新の結果を報告する。

キーワード: 滑り挙動, 高速摩擦実験, テフロン, 示差走査熱量測定, 熱重量測定

Keywords: slip behavior, high-velocity friction experiments, teflon, differential scanning calorimetry, thermogravimetry

SSS029-P06

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

活断層沿いに発達するダメージゾーンの微小割れ目解析 Microfracture analysis of damage zone along active faults

溝口 一生^{1*}, 上田 圭一¹

Kazuo Mizoguchi^{1*}, Keiichi Ueta¹

¹ 電力中央研究所

¹ Central Research Institute of Electric P

Brittle faulting along faults in the crust often results in the fault zone structure characterized by a fault core surrounded by a damage zone. The fault core is narrow localized shear deformation zone consisting of fault gouge, fault breccia and cataclasite. Previous studies showed a clear relationship that the width of the damage zone becomes thick with the net displacement occurred along faults (e.g., Mitchell & Faulkner, 2009). The damage zone width is important for understanding the degree of maturity of a previously unknown fault and its associated seismic hazard. In the damage zone, fractures develop at various scales, from ~?m to ~ m, and their density typically increases with proximity to the fault core. We examined the spatial distribution of the microfracture density around a newly-found active fault in Takiyama area, east of Tottori plain (Sasaki et al., this 2011 JGU meeting).

The studied fault zone consists of the 1 m thick fault core of the purple-colored clayey fault gouge and the fault breccia with cataclastic foliation, and the surrounding damage zone developed in Cretaceous Kyushozan granite. The boundary plane between the fault gouge and the fault breccia has a strike of N79W and a dip of 87N, corresponding to a fault plane. We collected ten orientated samples 19.4 m to 329 m from the fault core. The samples were coated with epoxy and then thin sections were cut perpendicular to the fault plane and parallel to a horizontal plane because the slip direction is unknown. More than 10 quartz grains per sample were analyzed for the microfracture density measurements. Quartz is suitable to estimate the damage that the rock sample has sustained because quartz without cleavage acts as an isotropic medium for fracturing. We counted the number of microfractures that intersected a line which was drawn from the edge of each quartz grain, through the center point, to the other edge of the grain. The linear microfracture density for each sample is calculated to be the total number of microfractures intersecting the lines divided by the total counting line length. The microfractures we counted are divided into (1) healed fracture (fluid inclusion planes), (2) sealed fracture filled with clay minerals and (3) open fracture. The linear density of open fractures increases as the fault core is approached. The other fractures do not show a clear relationship between the microfracture density and the perpendicular distance from the fault core. In this presentation we will discuss whether such a spatial distribution of microfractures is structural characteristics of damage zone along active faults.

キーワード: 活断層, ダメージゾーン, 微小割れ目

Keywords: active fault, Damage zone, microfracture

SSS029-P07

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

境峠断層沿いに発達する剪断帯の構造解析 Structural analysis of shear zone developed in Sakaitoge Fault

土橋 悟^{1*}, 林 愛明²

Satoru Tsuchihashi^{1*}, Aiming Lin²

¹ 静岡大学大学院, ² 静岡大学大学院

¹Graduate school, Shizuoka University, ²Graduate school, Shizuoka University

カタクラスティック岩石が脆性剪断帯で形成されることがよく知られている (Higgins, 1971; Engelder, 1974; Lin, 2008). このような脆性剪断帯は地震断層運動の影響を強く受けている部分であり, 震源断層運動像や構造発達史を明らかにする上で重要な情報を提供してくれる. また剪断帯の内部には多数のクラックや小断層, リーデル剪断面や非対称複合面構造などの面構造が発達している. これらの面構造は断層運動センスを決定する上で極めて重要な指標となる. 本研究では木曾山脈を横切る境峠 - 神谷断層の断層剪断帯構造について報告する.

境峠 - 神谷断層は長野県に位置する北北西 - 南南東方向の全長 50km の断層であり, 境峠断層は境峠 - 神谷断層の北部セグメントを構成している. 本断層は第四紀後期における断層活動性についての研究は行われている (狩野・佐藤, 1988; 林・狩野, 2000; 狩野ほか, 2001) が, 境峠断層は侵食作用が活発で, 第四紀層を切断する機会が少ない山岳地を横断しているため最近の活動度を示す情報を得ることは難しい. そこで断層岩の組織構造の解析や, 剪断帯の構造から断層の構造発達について研究する必要がある.

野外調査は先行研究で行われている露頭のほかに, 空中写真を用いて断層地形判読を行い, 断層の分布位置を明らかにした上で現地調査を行った. 調査地域である境峠 - 神谷断層の北西側約 30km の部分の断層中央部付近の基盤岩は主に三畳紀のチャートとジュラ紀の砕屑岩からなる美濃帯の中生層と, 南部で貫入する白亜紀末期の黒雲母花崗岩によって構成されている. この中央部では 4 km の断層変位が推定されており (林・狩野, 2000; 狩野ほか, 2001), この部分の断層がもっとも成熟していると考えられるので, 断層破砕帯がもっとも発達していると予想される. 現地調査の結果,

主断層周辺には断層ガウジ, 断層角礫岩, カタクレーサイトといった断層岩が発達しており, 全体的には断層帯の幅は数十メートル以上に及ぶ. また, 組織構造の解析により, これらの断層岩にはリーデル剪断面や非対称複合面構造などの面構造が発達していることが明らかにされた.

カタクレーサイト, 断層ガウジの研磨面から非対称複合面構造から, 一致した左横ずれの変位センスが示される. これは狩野ほか (2001) で求められた結果と一致している. またカタクレーサイト中の面構造と断層ガウジ中の面構造に示される断層剪断センスは同じ方向を示していることから境峠断層はカタクレーサイトが形成してから一貫して同じ変位センスで活動していると考えられる.

キーワード: 境峠断層, 剪断帯, 面構造

Keywords: Sakaitoge fault, shear zone, foliation

粉々になった地震断層岩：有馬 - 高槻構造線沿いに産出する脈状断層岩 Earthquake fossil: ultracataclastic veins occurred along the Arima-Takatsuki Tectonic Line

田中 誠^{1*}, 林 愛明¹, 山下 和彦¹
Makoto Tanaka^{1*}, Aiming Lin¹, Kazuhiko Yamashita¹

¹ 静岡大学

¹ Shizuoka university

断層岩は地震断層運動や構造発達史などに密接に関係している。したがって、地震発生領域をはじめとする地殻浅部～深部における断層運動で形成される断層岩の組織構造は、直接地震断層の変形像を反映しているため、断層のレオロジー的性質や地震発生メカニズムを理解する上での重要な情報をもたらしてくれる。最近、地震断層運動と関連した脈状断層岩は『地震の化石』として広く重要視されてきている (Lin, 2008)。本研究では、西南日本の有馬 - 高槻構造線六甲断層における断層破碎帯に産出した脈状断層岩の形態の産状を報告するとともにその形成メカニズムを考察する。

有馬 - 高槻構造線は京都盆地南西から六甲山地北部に至る全長約 60km の急傾斜な断層面をもつ東北東 - 西南西走向の右横ずれ活断層である。本構造線の断層は、中新世中期後に活動を開始し、一貫して右横ずれ成分が卓越する断層運動を完新世まで繰り返していることが報告されている (Maruyama and Lin, 2002)。本研究で調査した六甲断層は有馬 - 高槻構造線の主要なセグメントの一部で、北側の流紋岩質凝灰岩からなる有馬層群と南側の六甲花崗岩と境をなしている。断層沿いには、断層ガウジや断層角礫岩、カタクレーサイトなどの断層岩が発達している。

野外調査において断層周辺で見られる脈状断層岩の産状の記載を行い、サンプルを採集して研磨片スケールや薄片スケールでの組織構造の観察を行った。その結果、断層破碎帯内部では黒褐色や赤色、緑色などの様々な色を呈したネットワーク状・脈状断層岩が発達していることが明らかになった。これらの脈状断層岩は大きく断層脈と注入脈に区別することができる。断層脈は主に断層面上に平行して単一脈状構造を呈しており、一部の脈内に面構造が観察できる。注入脈は、明瞭な変位の無い割れ目などに注入する構造をもち、断層面に沿う親断層脈から複雑なネットワーク状やレンズ状に産出することが多い。脈状断層岩の中には、黒褐色で緻密なシュードタキライト脈や緻密では無いが緑色、赤色で細粒なものが見られる。薄片下では、角ばった細粒な破片と細粒基質により構成されている。これらの脈状断層岩について粉末 X 線回析による母岩との構成鉱物の比較を行った結果、六甲花崗岩中に産出するシュードタキライト脈を含む脈状断層岩の構成鉱物は母岩とほとんど同じく石英と長石で構成されており、有馬層群のものは母岩には見られない緑泥石を多く含むことが分かった、また脈状断層岩には非晶質がほとんど認められないことがわかった。このシュードタキライト脈は粉碎起源のものであることを示されている。

本研究では、有馬 - 高槻構造線六甲断層の断層破碎帯内において、粉碎起源シュードタキライト脈や断層ガウジ脈などを含む様々な色を呈した脈状断層岩が 200m ~ 250m といった広範囲にまで発達しており、破碎帯内の断層運動によって形成されたと考えられる。またこれらの脈状断層岩は溶融起源のシュードタキライトのように、地震断層運動に伴い、細粒な粉碎物が熱圧・流動化作用 (thermal pressurization-fluidization) により瞬間的に割れ目沿いに注入したことで形成されたと考えられる。

キーワード: シュードタキライト, 脈状断層岩, 有馬-高槻構造線

Keywords: pseudotachylyte, veinlet fault rock, Arima-Takatsuki Tectonic Line

SSS029-P09

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

コディアック島に分布する Ghost Rocks 層泥岩中に発達する細粒黒色断層物質の高速すべり弱体化機構 High-velocity weakening of the black fine-grained fault rock from the Ghost Rocks Formation, Kodiak Island, Alaska

沖田 正明^{1*}, 堤 昭人¹
Masaaki Okita^{1*}, Akito Tsutsumi¹

¹ 京都大学大学院理学研究科
¹ Kyoto University

近年、コディアック島に露出している付加体中に、厚さが数十センチにも達する黒色の断層岩の発達することが報告された (Rowe et al., 2005)。コディアック島は、現在のアリューシャン海溝で進行するプレート沈み込み帯の背後に位置する島で、そこに分布する付加体物質はかつてのデコルマ帯で形成された岩石であると考えられている (Fisher and Byrne, 1987)。これまでの研究によって、この黒色岩中には熔融の痕跡であるシュードタキライトが含まれていること (Meneghini et al, 2009)、またその一方で高速の破碎流動 (液状化) で形成されたと考えられる延性的変形組織が発達すること (E.E.brodsky, et al, 2009) などの特徴が明らかになっている。

以上の背景を踏まえ、この研究ではコディアック島 Ghost Rocks 層中の、黒色断層岩近傍に産する細粒な泥質岩を用いて、その高速の断層すべりに至るまでの断層物質の摩擦性質を調べた。この断層岩の摩擦特性を明らかにすることは、なぜこのように分厚いすべり域が発達しているのかという疑問も含めた、沈み込み帯震源域における断層変形の過程を理解する上で重要であると考えられる。また、実験でできた組織構造や組成が、天然でできたそれと一致すれば、それは実験結果の信頼性を補強することになる。

ここでは先行研究である井上 (2010) の実験結果から、300mm/s のすべり速度の実験の再現性を調べると共に、同すべり速度での垂直応力を変えた実験を行った。試料はあらかじめ十分に細粒にしたものを用いた。併せて、X線回析による実験試料の内部組織の変化も観察した。

その結果、垂直応力 1 MPa, すべり速度 300mm/s の実験条件では、井上 (2010) の実験結果と異なり、摩擦係数の弱体化は起こらなかった。より高い垂直応力では、より大きい試料の体積増加が確認され、垂直応力を下げるにつれて試料の体積増加が減少していったことから、温度変化による何らかの機構が関係していると思われる。また摩擦係数の増減のタイミングと、試料の体積増加のタイミングが全ての実験でほぼ一致していることから、温度変化と摩擦係数変化が関連していることがうかがわれる。今後は、温度変化によって内部の組織が具体的にどう変化しているのかを調べるのが課題である。

X線回析の結果、試料の組成に有意な変化は見られなかった。これは実験器具の性質上、試料の組成が変化する部分が限定されており、そうでない部分と混合してX線回析を行ったことが原因と考えられる。今後は組成が変化していると思われる少量の試料を用いて、X線回析を行う必要がある。

キーワード: 岩石摩擦, 泥岩, コディアック島
Keywords: rock friction, pelitic rock, Kodiak Island

SSS029-P10

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

高知県南東部・四万十帯内部に発達する主要断層帯の内部構造と透水性 Internal and permeability structures of faults developed in the Shimanto accretionary prism in Kochi prefecture

北村 真奈美^{1*}, 向吉 秀樹², 廣瀬 丈洋³
Manami Kitamura^{1*}, Mukoyoshi Hideki², Takehiro Hirose³

¹ 広島大学理学研究科地球惑星システム学専攻, ²(株) マリン・ワーク・ジャパン, ³ 海洋研究開発機構高知コア研究所
¹Hiroshima University, ²Marine Works Japan, ³Kochi Institute for JAMSTEC

付加体内部に発達する断層帯の透水性構造は、多量の水が存在する沈み込み帯での地震発生過程に大きな影響を及ぼす。そこで本研究は、沈み込み帯地震の根源である低角断層帯の透水構造モデルを構築することを最終目的として、高知県南東部に位置する白亜紀四万十帯中に発達する断層帯の内部構造と透水性構造を調べた。調査地域では数多くの断層が認められたが、その中でも変位の大きな断層が付加体内部での断層運動を理解する上で重要であると考えた。そこで、ピトリナイト反射率から調査地域の温度構造を決定し、断層を境に大きな温度ギャップ、つまり大きな垂直変位を被ったと考えられる2つの断層帯に着目した。1つは、玄武岩と礫質泥岩との境界に認められるシーケンス境界断層であり、もう1つはメランジュ帯内部で認められた断層で、30℃以上の温度ギャップがこれらの断層を挟んで確認された。地熱温度勾配を30℃/km、断層の傾斜を15°とすると、断層の変位は2km以上になる。しかしどちらの断層においても、断層すべりは幅0~10cm程度の粘土質断層ガウジ内部に集中しており、変位の割に断層すべり帯の幅が非常に薄いことがわかった。この2つの断層帯の浸透率を広島大学に設置されている油圧式容器内試験機で測定した。間隙流体には窒素ガスもちいて、有効圧5~100MPaの条件で測定をおこなった。その結果、有効圧50MPa以上において、断層上盤の浸透率は $10^{-20} \sim 10^{-18} \text{ m}^2$ と非常に低く、一方断層ガウジおよび下盤の浸透率はそれより2桁以上高い浸透率がえられた。前弧域で活動していた時期の断層の傾斜は低角であったことを加味すると、このような浸透率構造によって断層帯内部に高間隙水圧が保持され、断層にかかる有効応力を低下させた可能性がある。断層変位に対して断層帯の幅が薄いのは、有効応力が小さいため大きな破壊をとまわずに地震断層すべりが付加体浅部に伝播したためであろう。

キーワード: 断層, 付加体, 透水係数

Keywords: fault, accretional complex, permeability

SSS029-P11

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

中央構造線の断層ガウジにおける岩石-水相互作用：微量元素・同位体分析からのアプローチ

Fluid-rock interaction in the fault gouge of the Median Tectonic Line

松多 範子^{1*}, 石川 剛志², 廣野 哲朗¹, 本多 剛¹, 西尾 嘉朗², 河本 和朗³

Noriko Matsuta^{1*}, Tsuyoshi Ishikawa², Tetsuro Hirono¹, Go Honda¹, Yoshiro Nishio², Kazuro Kawamoto³

¹ 大阪大学理学研究科宇宙地球科学専攻, ² 海洋研究開発機構高知コア研究所, ³ 大鹿村中央構造線博物館

¹Earth and Space Science, Osaka Univ., ²JAMSTEC Kouchi, ³Oshika museum of Japan MTL

Frictional heating during coseismic slip induces transient fluid-rock interaction and fluid transfer. In order to understand these physicochemical process and mechanism, we performed geochemical analyses of major- and minor-element concentrations and Sr isotope. The fault gouge samples used were collected from the Anko outcrop, Nagano prefecture, of the Middle Tectonic Line. Using the fluid-mobile trace element spectrum, which is sensitive to fluid-rock interaction at high temperatures, we estimated that the black gouge experienced frictional heating of approximately 150 degree Celsius. This temperature signal probably indicates that frictional heating have occurred in the gouge together with high amount of coseismic fluid transfer.

Thermal pressurization を考慮した動的破壊過程と間隙水の相変化 Spontaneous dynamic rupture propagation with thermal pressurization: Phase transitions of pore fluid

浦田 優美^{1*}, 久家 慶子¹, 加瀬 祐子²
Yumi Urata^{1*}, Keiko Kuge¹, Yuko Kase²

¹ 京大・院・理, ² 文部科学省

¹Dept. Geophysics, Kyoto University, ²MEXT

We investigate whether or not an increase in pressure and temperature of pore fluid due to thermal pressurization (TP) can cause phase transition of pore water, on the basis of 3-D numerical simulations for spontaneous dynamic ruptures. Mizoguchi et al. (2007) conducted friction experiments and observed a decrease in friction owing to the phase transition of water from liquid to vapor. Although effect of TP has been investigated using numerical simulations (e.g., Urata et al., 2008), the phase transition of pore water controlling TP has never been considered. In this study, we discuss possibility of the phase transition and its effects on dynamic ruptures. Our numerical algorithm is based on the finite-difference method by Kase and Kuge (2001). Pore pressure and temperature are calculated by the formulations of Bizzarri and Cocco (2006), and simply compared to a water phase diagram. Any processes of the phase transitions are not included in our simulations. We put a vertical strike-slip square fault with the length of 6 km. The fault is subjected to external normal and shear stresses. We examine cases when the external stresses are either uniform or depth-dependent. Under the uniform stresses, initial values of stresses, pore pressure, and temperature are uniform and independent of depth, whereas the values increase with depth under the depth-dependent stresses. The values of the uniform stresses correspond to those at a depth of 3 km in the depth-dependent stresses.

Judging from the temperature and pressure of pore water, liquid pore water is likely to change to supercritical water in most part of the fault under the uniform stresses, whether TP works or not. On the other hand, under the depth-dependent stresses, liquid pore water is likely to change to supercritical water in deeper portions than about 2 km. In both cases, TP promotes the transition. The phase transition from liquid to vapor is not likely to occur. According to PROPATH¹⁾, the transition from liquid phase to supercritical one can cause changes in viscosity, compressibility, and thermal expansion of water, which can affect TP. The changes due to the transition would have two opposite effects on TP; suppressing a rise of pore pressure from temperature increase, and decreasing hydraulic diffusivity. We include the changes due to the transition in numerical simulations of dynamic ruptures and investigate whether or not the phase transition of pore water causes TP to be more effective.

¹⁾ PROPATH Group, PROPATH : A Program Package for Thermophysical Properties, version 13.1, 2008.

四国地域における微動分布とプレートの沈み込み形状を考慮したスロースリップイベントの数値モデリング

Numerical models of slow slip events in Shikoku based on observed distribution of tremor and plate configuration

松澤 孝紀^{1*}, 芝崎 文一郎², 廣瀬 仁¹, 小原 一成³

Takanori Matsuzawa^{1*}, Bunichiro Shibazaki², Hitoshi Hirose¹, Kazushige Obara³

¹ 防災科学技術研究所, ² 建築研究所, ³ 東京大学地震研究所

¹NIED, ²Building Research Institute, ³ERI, University of Tokyo

近年, 世界のいくつかの沈み込み帯において, スロースリップイベント (SSE) や低周波微動, 超低周波地震などのゆっくりすべり現象が発生していることが明らかになった。四国から九州にかけての南海トラフの沈み込み帯では, 海溝軸付近に浅部超低周波地震の活動がみられ, プレート間大地震発生域の深部延長上には, 短期的 SSE や, 低周波微動, 深部超低周波地震といった現象が発見されている。さらに豊後水道では, 低周波微動・短期的 SSE 領域 (以下, ETS 領域) よりも浅い側において, 長期的 SSE が繰り返し発生している。我々は, これまで短期的および長期的 SSE の発生を平板のプレートモデル中で再現することに成功し (Matsuzawa et al., 2010, JGR), 紀伊・東海地域の短期的 SSE については, プレート形状と微動の分布を考慮したモデルにおいて, その繰り返しとセグメント化を再現することができた (Matsuzawa et al., 2010, AGU)。本研究においては, 四国地域における長期的および短期的 SSE の発生を, 現実的なプレート形状および実際の微動分布を取り込んだ数値モデル中で再現することを目指した。

ETS 領域は大地震発生域の脆性的な挙動から, 安定沈み込み域の塑性的な変形へと遷移する領域にあたる。本研究では Shibazaki and Shimamoto (2007) と同様に, Shimamoto (1987) 等による halite の実験結果を参考に, カットオフ速度を考慮したすべり速度・状態依存の摩擦則を仮定し, この領域での摩擦挙動をモデル化した。また, ETS 領域および長期的 SSE 領域においては, 周囲よりも V_p/V_s が高くなっていることが報告されており (Shelly et al., 2006; Matsubara et al., 2009), 同領域で間隙水圧が高く (つまり, 有効法線応力が低く) なるようなパラメータの分布を考えた。沈み込むフィリピン海プレートの形状については, Shiomi et al. (2008) および Baba et al. (2006) を参考にモデルを作成した。なお, 微動分布から ETS 領域を設定することとし, Obara et al. (2010) によるクラスタリング処理された微動分布に基づき, プレート境界面の ETS 領域では上述した遷移領域の摩擦則を与えた。一方で, 微動の発生しない周辺領域については安定すべりとなるようにパラメータを与えた。長期的 SSE 領域については, Matsuzawa et al. (2010, JGR) と同様に, strike 方向に有効法線応力を変化させ, 周囲よりも有効法線応力が低い領域を豊後水道においた。実際の数値シミュレーションにおいては, プレート境界面を約 65,000 個の三角形の面要素に分割して表現した。この各要素上で, 上述の摩擦則・パラメータ分布を仮定し, 半無限弾性体の応答を与えてその時間発展を計算した。

数値シミュレーションの結果, 短期的 SSE の繰り返し再現され, 長期的 SSE のパッチでは, ゆっくりしたすべりが繰り返し発生した。また, 観測されているように四国西部では大きな活動が, 四国東部は比較的小規模な活動がみられた。Obara et al. (2011) が報告したような規模の大きな微動活動が深い側から開始する傾向も, 四国西部でみられた。しかしながら, 数値シミュレーションでは四国中部の ETS 領域と固着域の間でゆっくりすべりが間欠的に発生するなど, 実際の観測とは異なる挙動もみられる。このような観測事実と数値シミュレーション結果の差異を比較し, モデルの検討を引き続き行っていくことにより, プレート沈み込み過程のさらなる理解が期待される。

キーワード: スロースリップイベント, 数値シミュレーション, 四国, 地震サイクル

Keywords: slow slip event, numerical simulation, Shikoku, seismic cycle

SSS029-P14

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

高分子ゲル - アクリル樹脂のすべり摩擦におけるゆっくりすべりと高速すべり Slow and rapid slip in sliding friction between polymer gel and plexiglass

山口 哲生^{1*}, 堀 高峰², 阪口 秀²

Tetsuo Yamaguchi^{1*}, Takane Hori², Hide Sakaguchi²

¹ 東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻, ² 海洋研究開発機構

¹Dep. Appl. Phys, Univ. Tokyo, ²JAMSTEC

はじめに

高分子ゲルのようなやわらかくて粘着性をもった物質を硬い基板上で滑らせると、しばしば時空間的に不均一なスティック - スリップ運動が発生し、実験室レベルの小さなスケールにおいても GR 則に従うような複雑な振る舞いを再現することができる。本研究では、ゲルの粘弾性をコントロールすることにより、地震波を伴う高速すべりだけでなく、最近発見されたゆっくりすべりなど、多様なすべり現象を再現することができた。発表では、これらの実験結果や理論モデルを用いた解析について報告を行なう。

実験

試料：ガラス板上でシリコングエル (SILPOT184・SE1886 混合物, 東レダウコーニング) を作成し、下側のプレートとした。ゲルの物性としては、 G' (複素ずり弾性率における実部) を一定にしたまま G'' (虚部) の異なる 2 種類の試料を作成した。また、上側のプレートとしては、30mm (すべり方向) x 100mm (水平方向) x 20mm (厚み方向) のアクリル樹脂 (PMMA) ブロックを用いた。

摩擦実験：引張試験機 (MST-I, 島津製作所製) に、歯車を介して下部のゲルプレートを水平に移動させる機構を作成して装着した。固定されたロードセルにアクリル樹脂を支持する固定具を取り付け、ゲルプレートの移動速度 (すべり速度) や垂直荷重を変えて摩擦力を測定した。

可視化：ゲル表面の近傍に直径 100 μm のマーカー粒子を多数配置し、PIV (Particle Image Velocimetry) 法を用いてすべり量分布を動的に計測した。

結果

粘性の異なる 2 つのシリコングエルのうち、粘性の大きなゲルではゆっくりすべり、粘性の小さなゲルでは音波 (地震波) を伴う高速すべりを起こすことが分かった。PIV 法によってイベントサイズ (M_0 : 地震モーメント) と持続時間を解析したところ、粘性の大きなゲルでは、 $M_0 \sim T^{(1/2)}$ の関係を示すことが分かった。なお、解析の詳細については当日報告する。

キーワード: スロースリップ, モデル実験, 高分子ゲル, スケーリング則

Keywords: slow slip, laboratory experiment, polymer gel, scaling law

還元環境下におけるコサイスミックなグラファイト形成

Formation of graphite during high-velocity friction experiment under H₂ atmosphere

大橋 聖和^{1*}, 韓 來熹², 廣瀬 丈洋³, 小村 健太郎⁴, 松田 達生⁴, 嶋本 利彦⁵

Kiyokazu OOHASHI^{1*}, Raehee Han², Takehiro Hirose³, Kentaro Omura⁴, Tatsuo Matsuda⁴, Toshihiko Shimamoto⁵

¹ 広島大学大学院理学研究科, ² 韓国地質資源研究院, ³ (独) 海洋研究開発機構 高知コア研究所, ⁴ (独) 防災科学技術研究所, ⁵ 中国地震局地質研究所

¹Graduate School of Sci, Hiroshima Univ., ²KIGAM, Korea, ³KCC, JAMSTEC, ⁴NIED, ⁵China Earthquake Administration

グラファイトは一般的に有機物の熟成によって形成されることが知られているが、野島断層(新井ほか, 2002)や棚倉構造線、牛首断層の一部では、源岩が有機物や炭質物を含まない場合(例えば花崗岩や晶質石灰岩)であっても断層帯内部からグラファイトが見いだされている。熱水沈殿グラファイトの存在はスリランカや北米などから報告されており、下部地殻に相当する条件下でC-O-H混合流体から沈殿する(2H₂+CO₂->C+2H₂O)ことが広く受け入れられている(例えばLuque et al., 1998)。しかしながら、より低温・低圧の上部地殻での溶解・沈殿作用は一般的ではなく、特に断層に沿ったグラファイトの形成メカニズムは明らかにされていない。一方で、近年精力的に行われてきた高速摩擦試験は、秒速1 m以上の高速摩擦により短時間(数十秒)のうちに劇的な物質変化が起こることを明確に示した(例えばHan et al., 2007, Oohashi et al., 2011)。そこで、本研究では、炭質物を含まない源岩を用いてC-O-H混合雰囲気下で高速摩擦試験を行い、グラファイトが形成されるかどうかを検証した。実験は、回転剪断式低-高速摩擦試験機(広島大学)を用い、高速摩擦時に熱分解によってCO₂を放出することが明らかになっているカララ大理石(Han et al., 2007)を用いた。実験条件は垂直応力2.0 MPa、すべり速度1.3 m/sで、0.1 MPaで水素パージした圧力容器内で実験を行った。継続時間は100秒以内である。

実験後の回収試料のすべり面からは、方解石(CaCO₃)の熱分解生成物であるCaO(熱分解温度T>720℃)と黒色のパッチ状付着物が認められた。黒色付着物のレーザーラマン顕微分析からは、グラファイト(炭質物)のラマンスペクトルである1350 cm⁻¹と1590 cm⁻¹の二つのピークが検出された。実験に用いたカララ大理石はグラファイトを含まないこと、大気条件下やAr雰囲気下では黒色付着物が形成されないこと(Han et al., 2010)を考えると、すべり面でのグラファイトの形成は水素パージしたことによってC-O-H混合雰囲気が達成されたことに直接起因すると考えられる。Salotti et al. (1971)はC-O-H混合雰囲気の静的条件下における反応実験(温度500℃, 圧力13.8 MPa, 6時間)を行い、高結晶度グラファイトが方解石上に生成することを示した。これは本実験と比べるとより高い圧力条件および継続時間であるが、この反応は熱活性化過程であるため、我々の実験では摩擦発熱によって達成された高い到達温度(>720℃)が反応を促進したものと考えられる。これらの結果は、炭酸塩鉱物(CO₂流体の存在でも置き換えられる)を含む岩石がH₂やCH₄が存在するような地下深部の還元環境下で地震性断層すべりを起こすことにより、グラファイトが無機的に形成されることを示す。野島断層では花崗岩起源の主断層沿いに炭酸塩脈が濃集しており(新井ほか, 2003)、グラファイトは地震性断層すべりにもともなう炭酸塩脈の熱分解と還元反応によって形成されたと説明できる。

[引用文献]

新井ほか, 2002, 地球惑星科学関連学会 2002 年合同大会予稿集, G061-P011.

新井ほか, 2003, 地学雑誌, 112, 915-925.

Han et al., 2007, Science, 316, 878-881.

Han et al., 2010, Journal of Geophysical Research, 115, B03412, doi:10.1029/2008JB006136.

Oohashi et al., 2011, Journal of Structural Geology, doi:10.1016/j.jsg.2011.01.007

Salotti et al., 1971, Economic Geology, 66, 929-932.

Luque et al., 1998, American Journal of Science, 298, 471-498.

キーワード: 野島断層, グラファイト, 炭酸塩鉱物, 高速摩擦試験, メカノケミカル反応

Keywords: Nojima fault, Graphite, Carbonate minerals, High-velocity friction, Mechano-chemical reaction

Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS029-P16

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

地震時における粘土鉱物の脱 OH 反応と組織および摩擦滑り特性との関係 Relationship between dehydroxylation reaction of clay minerals and their inner structure and frictional property

廣野 哲朗^{1*}, 本多 剛¹, 谷川 亘²

Tetsuro Hirono^{1*}, Go Honda¹, Wataru Tanikawa²

¹ 大阪大学, ² 海洋研究開発機構 高知コア研究所

¹Osaka University, ²JAMSTEC Kochi

Transient frictional heating during earthquake slip induces dehydroxylation of phyllosilicate minerals. As this reaction is endothermic and releases H₂O, it may affect dynamic fault weakening and the energetics of earthquakes. To elucidate this question, we measured thermal property, chemical kinetic parameters, and frictional property of dehydrated clay minerals (montmorillonite, illite, and kaolinite), and observed the inner structure under scanning electron microscope. We then discuss the relationship among the reaction, structure (fabrics), and frictional property, and also argue their implications on dynamic fault weakening and energetics during an earthquake.

キーワード: 粘土鉱物, 脱 OH 反応

Keywords: clay mineral, dehydroxylation