

SSS025-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 10:30-13:00

2008年岩手・宮城内陸地震の初期余効すべりの検出と解析

Detection and analysis of early afterslip following the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku, Japan, earthquake

横田 裕輔^{1*}, 纈纈 一起¹, 加藤 照之¹

Yusuke Yokota^{1*}, Kazuki Koketsu¹, Teruyuki Kato¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ ERI, University of Tokyo

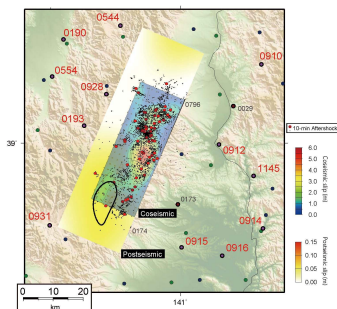
余効すべりは一連のゆっくり地震現象の中では長い時定数を持った現象であるが、その初期発達過程の解析はあまり事例がなく、その進展過程がどのようなメカニズムに支配されるかも明らかになっていない。本発表では、まず 1-Hz GPS 波形データと余効すべりから予想されるトレンドとの相関係数の時系列変化から、このデータに余効すべりが原因と考えられるトレンドが観測されていることを確認した。データには本震と余効すべりの影響が含まれているため、初期余効すべりの正しい描像を得るには、これらの影響を分離する必要がある。本研究ではこのデータを用いて初期余効すべりを本震のすべり分布と同時に解析できるよう、波形インバージョン手法を拡張し、その手法を 2008 年岩手・宮城内陸地震 ($M_w \sim 6.9$) の 10 分後までのデータに適用した結果を報告する。

1-Hz GPS 波形データは、Larson et al. [2003] による手法を用いた解析によって取得した。このデータは既に本震の震源過程推定に応用されている [Yokota et al., 2009]。本研究ではまず、50 km 以内の 12 観測点の地震前後 2 時間の 1-Hz GPS 波形データと本震近傍で直後に余効すべりが発生した場合に予想されるトレンドとの相関係数を連続的に計算した。この結果、本震直後 10 分程度の間余効すべりと相関の高いトレンドが観測されていることがわかった。

次に、このデータを用いて本震の震源過程と初期余効すべりを同時に解析するために、Yoshida et al. [1996] の波形インバージョン手法を本震と余効すべりのモデルを同時に設定できるように拡張した。解析には、1 時間後までの余震分布におおむね沿うように、走向: 228°, 傾斜: 37°, すべり角: 90°, 長さ 42 km, 幅 18 km の本震の断層面の周囲に、より広い余効すべりの断層面を設定した。震央からおよそ 50 km 以内の観測点の地震後 10 分間のデータを使用した (図)。本震に対するグリーン関数は FK 法 [Zhu and Rivera, 2002] によって計算し、余効すべりに対するグリーン関数は、FK 法によって求めた変位に B-spline 関数をかけて表現した。

推定された本震、初期余効すべりのすべり分布を図に示す。10 分後までの余効すべりの総モーメント量は 3.0×10^{17} Nm ($M_w \sim 5.5$) と求めた。本震の大きなアスペリティの南西側の余震活動の少ない領域に初期余効すべりが推定された。このすべり分布を linuma et al. [2009] によって求められた余効すべり分布と比較すると、29 日後までの余効すべり分布に見られるアスペリティの北側や東側の余効すべりは地震発生直後には発生していなかったことが示唆される。Enescu et al. [2010] によって求められた本震直後の余震分布と比較しても、余効すべりは相補的な領域で発生したことが示唆される。また総モーメント量から、初期余効すべりは他のゆっくり地震に対して考えられているスケーリング則 [Ide et al., 2007] に沿っては発達しないことも示唆される。今後は、2007 年中越沖地震などに対しても同様の解析を検討する。

謝辞: 解析には国土地理院 GEONET の観測データを使用しました。記して感謝致します。



キーワード: 初期余効すべり, ハイレート GPS, 2008 年岩手・宮城内陸地震
Keywords: early afterslip, high-rate GPS, the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku, Japan, earthquake

Japan Geoscience Union Meeting 2011

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

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS025-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 10:30-13:00

Slow rupture velocity of two Indonesia earthquakes Slow rupture velocity of two Indonesia earthquakes

王 ?^{1*}, Mori James¹

Dun Wang^{1*}, James Mori¹

¹DPRI, Kyoto University

¹DPRI, Kyoto University

The 17 July 2006 Mw 7.8 Java earthquake and the 25 October Mw 7.8 Sumatra earthquake are the two typical tsunami earthquakes. We used modified back projection method to trace the rupture velocities of the two earthquakes. Weighting based on smoothed envelopes of a small earthquake recordings, is introduced when the waveforms are summated. The used small earthquakes have the same locations and focal mechanisms with the two tsunami earthquakes.

The result shows a clear and unusual slow rupture velocity (1-1.5 km/s) for these two earthquakes. The reason for this extraordinary slow rupture velocity is not well known now. But the two earthquakes occurred at the shallow portions of the subduction zone, somehow suggesting a very close relation with the unique hydrologic properties.

キーワード: rupture velocity, back projection, tsunami earthquake

Keywords: rupture velocity, back projection, tsunami earthquake

アウターライズ地震の震源特性 Source Characteristics of Outer Rise Earthquakes

野本 理裕^{1*}, 三宅 弘恵², 瀧 一起²

Masahiro Nomoto^{1*}, Hiroe Miyake², Kazuki Koketsu²

¹ 東大理学部, ² 東大・地震研

¹Fac. Sci., Univ. Tokyo, ²Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo

アウターライズ地震とは、海溝軸よりも沖合の海洋性プレート内で発生する地震である。正断層や逆断層のものが多く、海洋性プレートの曲げ応力や海溝で大陸プレートから受ける応力と関係があると考えられている (Lay et al., 1987)。また、震源は深さ 30km より浅いものが多く、2009 年サモア地震 (Mw 8.1) のようにたびたび津波を引き起こしている。日本付近の顕著な例として、1933 年三陸沖地震 (Mj 8.1) では津波の波高が最大 28.7m に達し、死者行方不明者 3064 人という大きな被害が報告されている。最近では 2010 年父島近海の地震 (Mj 7.4) で最大高さ 0.5m の津波が観測された。

本研究では、1990 年以降に日本付近で起きた Mw 7.0 以上のアウターライズ地震について、遠地実体波の震源インバージョンにより震源過程を求め、そこから抽出される震源特性のうち断層面積や平均すべり量について、他の種類の地震と比較した。アウターライズ地震は沖合で発生するため、震源近傍の観測記録に乏しく、グローバルなデータを用いた解析が有効である。対象とした 7 つの地震は、太平洋プレートで発生したものとフィリピン海プレートで発生したものとに大別される。太平洋プレートでは 2005 年三陸沖の地震 (Mw 7.0, 深さ 18.0km, 正断層)・2007 年千島列島東方の地震 (Mw 8.1, 深さ 12.0km, 正断層)・2009 年千島列島東方の地震 (Mw 7.4, 深さ 45.2km, 逆断層)・2010 年父島近海の地震 (Mw 7.4, 深さ 18.6km, 正断層)、フィリピン海プレートでは 1998 年石垣島南方沖の地震 (Mw 7.4, 深さ 22.9km, 横ずれ断層)・2004 年紀伊半島沖の地震 (Mw 7.2, 深さ 16.0km, 逆断層)・2004 年東海道沖の地震 (Mw 7.4, 深さ 12.0km, 逆断層) を解析した (数値は Global CMT Project による)。

遠地実体波の波形データは IRIS DMC から得られるグローバルな地震観測網によるものを用いた。速度構造モデルは Jeffreys-Bullen モデルを基に、震源付近では最上層の一部を CRUST 2.0 の水の層に置換した。インバージョンは点震源を仮定して得られた断層面に対し、Kikuchi et al. (2003) の手法を適用して面的すべり分布を求めた。断層面の選択には、余震分布の精度が低いこともあり、2 つの共役な断層面に対してインバージョンを行い残差の小さい面を採用した。得られた結果を見ると、震源より浅い領域で大きなすべりをもつものが多かったが、震源メカニズムやプレートによる系統的な違いは見られなかった。

解析結果のすべり分布から Somerville et al. (1999) の方法で断層面積と平均すべり量を抽出し、その結果を内陸地震 (Somerville et al., 1999)・プレート境界地震 (Murotani et al., 2008)・スラブ内地震 (Iwata and Asano, 2011) の既往のスケールリングと比較した。アウターライズ地震は、断層面積に関しては内陸地震とスラブ内地震の間の性質を示しており、平均すべり量に関しては内陸地震に近い性質を示していた。したがって、アウターライズ地震はプレート境界地震に対してのみならず (Ammon et al., 2008)、同じプレート内地震の範疇にあるスラブ内地震ともやや異なる震源特性を持っていると考えられる。さらには、2007 年千島列島東方の地震のように、スラブ内地震と顕著に異なる震源特性を持つケースも見つかった。今後は、より小さな規模のアウターライズ地震についても検討する必要がある。

キーワード: アウターライズ地震, 震源特性, 震源インバージョン, すべり分布

Keywords: outer rise earthquakes, source characteristics, source inversion, slip distributions

SSS025-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 10:30-13:00

2010年カンタベリー（ニュージーランド）地震の震源過程 The Source Process of the 2010 Canterbury, New Zealand, Earthquake

尹 淳恵^{1*}, 青木陽介¹, 横田裕輔¹, 川添安之¹, 大木聖子¹, 纈纈一起¹
Sunhe Yun^{1*}, Yosuke Aoki¹, Yusuke Yokota¹, Yasuyuki Kawazoe¹, Satoko Oki¹, Kazuki Koketsu¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ERI, Univ. of Tokyo

2010年9月6日4時35分（現地時間）、ニュージーランド南島のカンタベリー地域で Mw7.1 の地震が起こった。現地研究機関 GNS によれば、震源は 43.55S, 172.18E, 深さ 10km に位置する。震央の 40km 西には、人口約 40 万人のクライストチャーチがあるが、今回の地震による被害は死者 0 名・負傷者 2 名と、地震の規模の割には少なく、幸いであった。また震源の数 km 南で、ほぼ東西方向に 20km を越す地表地震断層が見つかり、現地の機関等により詳細な調査がされた。ずれは最大 4m 以上に達した。

我々はまず Kanamori and Rivera[2008] と Kikuchi and Kanamori[1991] の手法で、W-phase と P 波を使って点震源を仮定した震源メカニズムを求めた。得られた断層パラメータ（走向、傾斜、すべり角）はそれぞれ (85,68,169), (268,70,-175) と、どちらも右横ずれ断層だったが、傾斜方向が、W-phase による解では南、P 波による解では北と異なった。他機関が求めたメカニズム解においても、南北両方の傾斜が推定されている。また、本震発生後 24 時間の余震分布からも、傾斜の方向に関して明瞭な違いが得られなかった。そこで両断層面について、走向に垂直な面を取り、観測されている地表断層と断層面の最浅部との位置関係を見たところ、P 波から求められたメカニズム解を用いた断層面が整合的であることがわかった。そこで、本研究では北傾斜を示した P 波震源メカニズムを解とする。

一方、地震による地殻変動が InSAR から求められる。それによると、震源の南側ではほぼ東西方向に右横ずれの変位が見られ、震源の約 10km 西ではこの変位の方向が北西-南東方向に変化している。変位方向の変化する領域においては、約 3km² 区画にわたって変位がほとんどみられない。さらに、逆断層成分を示す南方向の変位は、震源の西側のみで卓越している。

以上を踏まえ、2 面ある断層モデルを設定し震源過程インバージョンを実行した。遠地波形のみのインバージョン、遠地波形・近地波形両方を使ったインバージョンを、Yoshida et al.[1996] の手法で行った。余震分布と地表断層、InSAR の結果をもとに、断層面は震源を含む地域（断層面 1）と、その西部に位置する大きな地殻変動を示した地域（断層面 2）との 2 枚設定した。走向および傾斜は、断層面 1 に関しては P 波のインバージョンによって求められたもの、断層面 2 に関しては地震発生から一週間の余震分布により得られたものを用いた。速度構造は CRUST2.0 モデルを採用し、このモデルに基づく剛性率を適用した。解を安定させるために時空間的に離散的な Laplacian を用いて、すべり分布の滑らかさの拘束条件を導入した。拘束条件の重みは、赤池の Bayesian 情報量基準 (ABIC) を最小にすることによって、決定した (Akaike [1980])。

得られたすべり分布は、地表断層・InSAR の結果とよく一致したものとなった。断層面 1 および 2 の最浅部はちょうど地表断層の直下に位置するが、この領域はすべりが大きくなっており、地表断層の出現と整合的である。これは表層破壊が見えた領域に一致する。さらに断層面 1 の西側および断層面 2 の南東側では、すべり分布は南方向の成分を含むこと、断層面 1 の東側ではすべりはほぼ東方向であることは、InSAR による観測と一致する。

今回我々は、まず地震波形から震源メカニズムを求めた。その結果と、地表断層・InSAR の結果をもとに、断層面を 2 枚設定した断層モデルを用いて、地震波形からすべり分布をもとめた。得られたすべり分布では、大きなすべりが地表まで達していて、その範囲とすべり方向は地表断層・InSAR の結果と整合的であった。今回の解析により、地震波形だけでは決定の難しかった断層面の形状等を、地表断層・InSAR と合わせ、精度よく決定することができた。

キーワード: 震源過程, インバージョン, InSAR, 震源メカニズム, すべり分布, 地表断層

Keywords: source process, inversion, InSAR, focal mechanism, slip distribution, surface fault traces

SSS025-P05

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 10:30-13:00

遠地実体波を用いた波形インヴァージョンで推定される震源過程に影響する要因の評価

Effect of various factors on the estimation of source process by the waveform inversion of teleseismic body waves

久保 久彦^{1*}, 笥 楽磨¹

Hisahiko Kubo^{1*}, Yasumaro Kakehi¹

¹ 神戸大学

¹ Kobe University

本研究では、遠地実体波を用いた波形インヴァージョンによる震源過程の推定に関して、得られる解に影響する要因を調べるために次のようなテストを行った。まず真の解として、あるすべり分布を考え、それに基づいて仮想観測点での理論波形を計算する。計算された理論波形をその観測点での観測波形として、各観測点での観測波形を用いた波形インヴァージョンを行う。解析の条件を様々に変え、そこで得られたすべり量の分布と真のすべり量の分布を比較することで、どのような要因が結果にどのように影響を与えるかを評価する。

仮想観測点は、各観測点の azimuth 間隔が 15 度になるようにして、震央距離 90 度の位置に計 24 点の観測点を想定した。観測波形には P 波到着の 10 秒前から 85 秒間の上下成分の変位波形を用いた。

震源断層面は 36km × 24km の大きさと仮定し、それを 4km × 4km のセグメントに分割した。すべり分布は 2 つの large slip area で構成した。1 つ目の large slip area はすべり量が 2.5m で、震源付近に 12km × 8km の大きさで分布させ、2 つ目の large slip area はすべり量が 2.5m で、震源から南西に約 20km の場所を中心として 12km × 12km の大きさで分布させた。この 2 つの領域以外のバックグラウンド領域のすべり量はゼロとしている。

メカニズム解は、東北日本弧の二重深発地震面の上面の down-dip compression 型のスラブ内地震を想定し、低角逆断層型と高角逆断層型の 2 つのタイプを考えた。前者のメカニズム解は走向 0 度・傾斜 20 度・すべり角 90 度とし、後者は走向 180 度・傾斜 70 度・すべり角 90 度とした。震源の深さは両方とも 70km とした。

波形インヴァージョンには multiple time window analysis を用いた。その際、非負の拘束条件を用いてすべり角を ±45 度の範囲で可変とした。また、すべりの時空間分布を滑らかにするために smoothing constraint を与えた。smoothing constraint の重みはそれぞれの場合で同じ値を与えた。first time window velocity など震源パラメータは理論波形を計算する際に用いた値と同じものを用いた。

まず、depth phase を使わずに直達波のみを用いた場合と、depth phase と直達波を両方とも用いた場合を比較することによって、depth phase が波形インヴァージョンによるすべり分布推定にどのような影響を与えるかを調べた。

その結果、depth phase を用いた場合、得られたすべり分布と真のすべり分布の差が、depth phase を用いなかった場合に比べ、小さくなった。この傾向は両方のメカニズム解のタイプの場合で見られた。このことから、波形インヴァージョンでのすべり分布推定における depth phase の寄与は大きいことが推測される。これは観測点での depth phase の到着時刻が各 subfault の深さによって異なることから、depth phase を用いることで深さ方向の分解能が上がるためであると考えられる。また、傾斜方向に隣り合う subfault 間の深さの差が小さくなり、depth phase による空間分解能が悪くなると考えられる低角逆断層の場合、高角逆断層の場合と比べて、得られたすべり分布と真のすべり分布の差が大きくなった。

次に、観測点分布が波形インヴァージョンの結果に与える影響を、破壊の directivity 効果との関係に基づいて調べた。観測点を北の方角から時計回りに azimuth で 45-135 度・135-225 度・225-315 度・315-45 度の範囲ごとに 4 つのグループに分け、グループごとに波形インヴァージョンを行い、求められたすべり分布と真のすべり分布を比較した。このとき、135-225 度の範囲が forward directivity 側に、315-45 度の範囲が backward directivity 側にあたる。

その結果、forward directivity 側の観測点グループのみを用いた結果は真のすべり分布をうまく再現できなかったのに対し、他のグループは真のすべり分布を比較的よく再現できた。この傾向は両方のメカニズム解のタイプの場合で見られた。forward directivity 側では隣り合う subfault の走時差が小さくなり、隣り合う subfault からの波を区別することが難しくなり、空間分解能が悪くなるためであると考えられる。

謝辞 遠地実体波の Green 関数の計算には Kikuchi and Kanamori (1982) のプログラムを使用しました。記してお礼申し上げます。

キーワード: 波形インヴァージョン, 遠地実体波, depth phase, directivity

Keywords: waveform inversion, teleseismic body wave, depth phase, directivity

SSS025-P06

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 10:30-13:00

3次元地球モデルに対して計算したグリーン関数を用いた多重CMT解析 Multiple centroid moment tensor analyses using Green's functions computed for a 3-D earth model

原辰彦^{1*}

Tatsuhiko Hara^{1*}

¹ 建築研究所 国際地震工学センター

¹ IISEE, BRI

We performed multiple centroid moment tensor (CMT) inversion for 25 large earthquakes that occurred since 1995. Following the algorithm of Hara (2002, A42, 2002 Fall Meeting, SSJ), the inversion was carried out by two steps. In the first step, we performed ordinary CMT inversion. In the second step, we divided an event into two subevents and performed simultaneous inversion for CMTs of two subevents. In each step, we used the iterative linearized inversion technique of Hara (1997, GJI, 130, 251-256). In this technique, Green's functions are calculated using the Direct Solution Method (Hara et al., 1991, GJI, 104, 523-540), in which effects of three dimensional earth structure can be accurately considered. For a three dimensional earth model, we construct our model based on SAW24B16 (Megnin and Romanowicz, 2000, GJI, 143,709-728) in this study. The data for inversion were spectra in the frequency band 2 and 4 mHz, which we calculated from VHZ channel waveform data retrieved from the IRIS DMC. As initial guesses for the first step, we used solutions of the Global CMT catalog (<http://www.globalcmt.org/>).

For 12 events, CMTs of two subevents were determined stably, and the results are consistent with previous studies in terms of direction of rupture propagation and source duration. This result suggests that it is possible to construct a set of multiple CMT solutions by the data analysis procedure of the present study. We plan to investigate whether modification of the way to set initial guesses for the second step may improve results for the other events.

キーワード: 多重 CMT, 3次元地球モデル

Keywords: multiple CMT, 3-D earth model

SSS025-P07

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 10:30-13:00

2.5次元差分法を用いた震源過程解析の数値実験

Numerical experiments of rupture process inversion using the 2.5 dimension finite difference method

原辰彦^{1*}, 西村直樹², 岡元太郎³, 八木勇治², 竹中博士⁴

Tatsuhiko Hara^{1*}, Naoki Nishimura², Taro Okamoto³, Yuji Yagi², Hiroshi Takenaka⁴

¹ 建築研究所 国際地震工学センター, ² 筑波大学大学院生命環境科学研究科, ³ 東京工業大学, ⁴ 九州大学

¹ IISSE, BRI, ² Life & Env. Sci., Univ. Tsukuba, ³ Tokyo Institute of Technology, ⁴ Kyushu University

We performed a numerical experiment to investigate accuracy and reliability of rupture process inversion using synthetic seismograms computed for a realistic structure model by the 2.5-D finite difference method (Takenaka and Okamoto, Proc. Int. Workshop on Scientific Use of Submarine Cables, 23-26, 1997; Okamoto and Takenaka, Advances in Geosciences, Vol.13, 215-229, 2009). The target event of this experiment is the 1994 far east off Sanriku earthquake (Mw 7.7 after Global CMT Catalog). Okamoto et al. (2010, P3-29, 2010 Fall Meeting, SSJ) constructed a structure model of crust and mantle surrounding the source region of this event, and showed that the observed waveforms of middle size (Mw 5.9-6.4) events that occurred near the source region were well reproduced by using the model. We constructed an earthquake source process model in this numerical experiment, which we call "input source process model", as follows. We placed three, localized asperities (small areas with large slips) in the shallow, middle and deep parts of the assumed fault plane, respectively. The rupture velocity was set to 2.5 km/s. The rupture starts from the shallowest asperity and propagates toward the deeper part of the fault. For this input source process model, we computed synthetic seismograms for teleseismic P waves using the 2.5-D finite difference method (Takenaka and Okamoto, 1997; Okamoto and Takenaka, 2009). Then, we performed rupture process inversion of these synthetic seismograms using inversion algorithm by Yagi and Fukahata (2008, Geophys. J. Int., 175, 215-221). Green's functions were computed using the method of Kikuchi and Kanamori (1991, BSSA, 81, 2335-2350).

The obtained rupture process model showed three areas with large slips corresponding to three small asperities in the input source process model. This result suggests that it is possible to obtain overall feature of rupture process by applying inversion algorithm of Yagi and Fukahata (2008) to teleseismic P waves. We also note that the areas of asperities in the inversion result are much larger than those in the input source process model. Such "smearing" effect has also been pointed out by Okamoto and Takenaka (EPS, 61, e17-e20, 2009) in the results of the synthetic experiments of the inversion for the slip distribution of tsunami earthquake. Because of the smearing effect, it might be difficult to reveal fine features in the "true" slip distribution.

キーワード: 震源過程, 数値実験, 2.5次元差分法

Keywords: Rupture process inversion, Numerical experiment, 2.5 dimension finite difference method

2.5次元差分法を用いた1994年三陸はるか沖地震の震源過程解析 Rupture process analysis of the 1994 far east off Sanriku earthquake using the 2.5 dimension finite difference method

岡元 太郎^{1*}, 原 辰彦², 竹中 博士³

Taro Okamoto^{1*}, Tatsuhiko Hara², Hiroshi Takenaka³

¹ 東京工業大学, ² 建築研究所 国際地震工学センター, ³ 九州大学

¹Tokyo Institute of Technology, ²IISEE, BRI, ³Kyushu University

The effect of the near-source heterogeneous structure on the teleseismic body waveforms can become large for shallow subduction zone earthquakes: large amplitude later phases are generated as a result of the distortions in the ray paths due to the heterogeneous structure. Such structural effect must be carefully considered in evaluating the results of the source process inversion.

As an example of the source process analysis by considering the effect of the near-source structure, we perform inversion of teleseismic P waveforms for space-time slip distribution of the 1994 far east off Sanriku earthquake (the origin time: 12:19:23.60 UTC, December, 28; location: 40.45 degree N, 143.49 degree E; depth 33.0 km after USGS. Mw: 7.7 after Global CMT Catalog). The broadband waveform data were retrieved from the IRIS DMC. We integrate the velocity records to obtain displacement records, and applied band-pass filter with the pass-band between 0.007 Hz and 0.2 Hz to obtain displacement record for inversion. In order to consider the effects of crust and mantle structure around the source region, we constructed the structure model referring to the studies by Ito et al. (2004, EPSL, 223, 163-175), Ito et al. (2002, Zisin2, 54, 507-520), Amante and Eakins (2009, NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 pp.), Bassin et al. (2000, EOS Trans AGU, 81, F897). We presented the results of comparison between observed waveforms of middle size (Mw: 5.9-6.4) earthquakes that occurred in the source region and synthetic waveforms computed for this model using the 2.5 dimension finite difference method (REF) and showed that this model well explained the observed waveform data (Okamoto et al., 2010, P3-29, 2010 Fall Meeting, SSJ).

Using the Green's functions computed for the model, we invert the data for the slip distribution following the inversion procedure developed by Okamoto and Takenaka (EPS, 61, e17-e20, 2009). The preliminary inversion resulted in a small (weak) moment release near the rupture starting point, and a large (strong) moment release around the middle of the fault after about 30 s from the onset. In the companion paper (Hara et al., this meeting), we will present results of the synthetic experiments of this inversion.

キーワード: 震源過程解析, 2.5次元差分法, 1994年三陸はるか沖地震

Keywords: Rupture process analysis, 2.5 dimension finite difference method, 1994 far east off Sanriku earthquake

SSS025-P09

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 10:30-13:00

中規模繰り返し地震の破壊の再現性について

On the repeatability of the rupturing processes of the moderate-sized repeating earthquakes

島村 浩平^{1*}, 松澤 暢¹, 岡田 知己¹, 内田 直希¹

Kouhei Shimamura^{1*}, Toru Matsuzawa¹, Tomomi Okada¹, Naoki Uchida¹

¹ 東北大学・理・予知セ

¹ RCPEV, Science, Tohoku University

釜石沖の繰り返し地震のように規則的な地震でも、震源過程が地震毎にわずかに異なり、それによって高周波成分の波形に違いが生じることを我々は示してきた (Shimamura et al., 2011)。今回、中規模繰り返し地震として同定されている、いわき沖の二つの地震 (1997年5月12日 M5.7 と 2005年10月22日の M5.6; 長谷川・他, 2005; 山田・他, 2009) の震源過程について詳細に調べた。予備的な解析によれば、二つの地震の震源過程はかなり異なっており、1997年の地震のほうが複数の小さなパッチの複合破壊となっているのに対して、2005年の地震は大きなパッチの単独破壊となっている。スペクトル比法によって両者の振幅スペクトルを詳細に調べた結果、1 Hz より低周波側では両者のスペクトルは振幅・形状ともによく似ているのに対して、1997年の地震は高周波側の 3 Hz 付近でもう一つのピークを示すことが分かった。これは 1997年の地震が小規模のパッチの複合破壊で生じたと考えれば説明ができるため、予備的な解析の結果とは整合する。今回の結果は、同じ地震性領域 (アスペリティ) が破壊する場合でも、時期によって震源過程が大きく異なる場合があることを示しており、Seno (2003) が提案したような、間隙圧の時間変化にともなう破壊過程の変化が実際に生じていることを示唆している。

SSS025-P10

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 10:30-13:00

寒天断層の動的破壊に伴う副断層生成

Subsidiary multiple crack generation during unstable fast rupture in Agarose-gel fault

藤田 哲史^{1*}, 桑野 修¹, 日下部哲也¹, 小寺 祐貴¹, 亀 伸樹¹, 中谷正生¹

Satoshi Fujita^{1*}, Osamu Kuwano¹, Tetsuya Kusakabe¹, Yuuki Kodera¹, Nobuki Kame¹, Masao Nakatani¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ERI, The University of Tokyo.

It is well known that earthquake faulting is followed by shear rupture propagation. It is very hard to see dynamic faulting under the ground. In order to observe such a shear rupture many attempts are done in experiments that samples with photo-elasticity are broken under a uni-axial loading and dynamic rupture nucleation is triggered by a explosion. It is, however, far from the actual earthquake nucleation that starts spontaneously. Here we try to nucleate dynamic rupture spontaneously.

We made gel plates (250 × 400 × 10mm) including a weak plane, and set it under an uni-axial compression. The gel has two advantages over rock samples. One is that the stress field of sample can be observed by photoelasticity. Another is that dynamic rupture is easy to be observed because of the significant low s-wave velocity, 7m/s. We change strength of the weak-plane so that we can control generation of subsidiary cracking off the main rupture.

We successfully generated subsidiary off-fault cracks when the weak-plane strength is relatively high. We observe significant deceleration of rupture velocity of the main fault during growth of subsidiary cracks. This can be attributed to the energy consumption due to increase of surface energy.

We also discuss geometry of off-fault comparing to theoretical prediction.

キーワード: 動的破壊

SSS025-P11

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 10:30-13:00

分岐断層の周辺のダメージ集中と動的破壊伝播への影響 Effects of off-fault damage on the tendency of fault branching

田村 慎太郎^{1*}, 井出 哲¹
Shintaro Tamura^{1*}, Satoshi Ide¹

¹ 東大・理・地惑
¹EPS, Univ. of Tokyo

多くの地震断層において断層コアの周囲にダメージゾーンと呼ばれるマイクロクラックの発達した領域が観察されている。地震の断層面の周囲は完全な弾性体ではなく面外にある程度のダメージが分布した媒質の中で起こると考えられる。媒質の非弾的な効果が破壊進展に与える影響を考えることは巨視的破壊過程の物理を理解する上で重要である。本研究の目的は面外ダメージの成長が媒質境界上の主断層と分岐断層上のモードIIの破壊伝播に対して及ぼす影響を調べることである。

我々は三角形有限要素を用いた有限要素法陽解法の計算コードを用いて分岐断層をモデル化し、主断層上から自発的に進展する動的破壊問題を解く。同時に、Lyakhovsky et al., 1997 で示された式を用いてダメージ変数の時間発展を解く。断層上のすべりはすべり弱体化に従うものとし、スプリットノード法で表現する。媒質の端は吸収境界とし、初期応力として一様応力場を仮定する。

一様応力場中における分岐断層の破壊伝播問題は破壊伝播速度、分岐角度、媒質コントラスト、ダメージの成長係数をパラメータとして変化させながら解き、ダメージの発達と破壊挙動との関係について調べる。破壊伝播速度が速い場合には断層端周辺にダメージが発達しやすい。分岐点の周辺でダメージが集中することによって主断層を伝播する破壊の分岐しやすさにも影響を与える。

キーワード: 動的破壊問題, 分岐断層, 面外ダメージ

Keywords: dynamic rupture propagation, branching fault, off-fault damage

三軸伸張試験時における AE の発生様式 AE characteristics in a triaxial extension test

川方 裕則^{1*}, 高橋 直樹², 高橋 学³, 吉光 奈奈¹

Hironori Kawakata^{1*}, Naoki Takahashi², Manabu Takahashi³, Nana Yoshimitsu¹

¹立命館大学理工学部, ²三井住友建設株式会社, ³産業技術総合研究所

¹Ritsumeikan University, ²Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd., ³AIST

岩石は互いに凝着した粒状体の集合であるため、大きな偏差応力が加えられた場合、凝着のはがれや粒子の破碎といった微小破壊が発生し、これに伴ったアコースティック・エミッション (AE) とよばれる超音波が観測される。これは地震発生に伴う地震波と同じように、破壊時の変形過程で生じた弾性波である。AE には開口モードの破壊とせん断モードの破壊に対応するものがあり、岩石試料内部で発生する鉱物粒子レベルにおける変形過程をモニターする手法として圧縮破壊試験時に盛んに計測が行われてきた (例えば、Scholz, 1968 ; Lockner et al., 1992)。三軸伸張破壊試験においても最終破断面形成に先行して応力除荷に伴って AE が発生することが期待されるが、その活動様式や頻度についてはよく分かっていない。AE の波形を集録して解析し、その震源分布とその破壊モードを求めることで、三軸伸張破壊時の試料の変形過程が明らかになる。そこで、来待砂岩を用いておこなった三軸伸張試験時に弾性波速度計測と AE 計測を実施し、その変形過程を調べることを本研究の目的とした。ただし、来待砂岩のような空隙率が高い堆積岩の場合、短周期の弾性波が通りづらく、ノイズも高くなることが予想される。そのため、計測システムと解析には後述のような工夫を凝らした。

AE 計測は、圧電素子による電圧信号が設定した閾値を超えたときに記録が保存されるトリガー集録がもたら行われてきた。ノイズが高く生波形で AE の同定が困難な場合、この方法では集録に失敗する。トリガーレベルをノイズレベルよりも高く設定すると、ほとんどトリガーがかからず、イベント波形が集録されない。逆にノイズレベルよりも低く設定すると、トリガーが常時かかりっぱなしになり、システムが適正に作動しなくなる。そこで、本システムでは、100MSPs という高速サンプリングを維持しつつ、6チャンネル同時、1時間程度の連続集録を実現した。

試料は、直径約 50mm、高さ約 100mm の来待砂岩である。圧力容器の蓋を閉じて封圧流体を注入し、封圧を 80 MPa まで昇圧した。静岩圧状態にした後、軸圧が封圧よりも小さくなるよう、0.05 kN/sec の載荷速度で除荷した。除荷時を通じて AE の連続計測を実施した。供試体には伸張による破壊面とともにせん断面も形成されていた。計測された波形記録には大きなノイズが存在し、生波形の状態ではそれほど多くの AE を同定することはできなかったが、フィルターを施すことにより、より多くの AE 波形を同定することができた。連続集録をおこなったことにより、このように事後に適切なフィルターを選択して施し、イベント波形を同定することが可能となる。計測システムの不具合により、2チャンネル分ずつで時計が異なってしまった。共通に含まれているノイズ成分を用いて 4チャンネルまでの同期には成功した。これにより、これら 4チャンネルに含まれる AE については、同一イベントか否かの判別が可能となり、同一イベントの波形については、初動付近は極性を除いて形状は互いに似ていた。また、有意に早く到達した波形は、遅れて到達したものより振幅が大きく、AE の波形の特徴を満たしている。

さらに、AE の初動の極性を利用することにより、破壊モードについての知見を得ることができる。引っ張りによる開口型破壊に伴う AE の場合、すべての素子において初動の極性は押しになるが、せん断破壊に伴う AE では、初動の極性は押しと引きが 4象限に分かれて現れる。今回、すべて押しの AE と押しと引きが混在する AE の 3種類を検出することに成功した。このことは、三軸伸張破壊においてもその破断面から推定されるとおり、開口型の破壊とせん断型の破壊の両者が発生していることを示している。

キーワード: 三軸伸張試験, 来待砂岩, アコースティック・エミッション, 震源メカニズム

Keywords: Triaxial extension test, Kimachi sandstone, Acoustic emission, Focal mechanism

応力依存項を含むRSF則による地震破壊核形成シミュレーション The simulation of seismic nucleation by modified RSF law added stress dependent term.

藤田 哲史^{1*}, 亀 伸樹¹
Satoshi Fujita^{1*}, Nobuki Kame¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ERI, The University of Tokyo.

これまで実験室から経験的に得られたRSF則は、実験から得られる摩擦の挙動の精確な記述を理由にさまざまなかたちで数値計算に適用されてきた。しかし従来のRSF則は、その発展則において未解決の部分を残していた。たとえば代表的なRSF則の一つであるDieterich則では滑り弱化的記述が不完全であり、Ruina則では時間回復を再現できなかった。そして、それらの発展則における実験の再現性のわずかな欠陥が従来の地震破壊核シミュレーションにおいては、大きな違いをもたらしてきたことはよく知られている。Ampuero&Rubin(2008)では、Dieterich則とRuina則で地震破壊核成長のシミュレーションを行い比較検討がなされているが、特に摩擦パラメータ $a/b \sim 1$ の場合で定性的に異なる地震破壊核形成が導かれた。

そこで本研究では、Nagata(PhD thesis, 2008)で提唱された新しい修正RSF則(Nagata則)を用いて、地震破壊核形成シミュレーションを行った。このNagata則は室内実験の全ての局面を精確に記述するものであるが、Nagata(PhD thesis, 2008)では、従来のRSF則に大きな訂正点を2つ与えている。すなわち、(1)RSF則のパラメータ a , b 値が従来用いられてきたものの約3倍あること(Dieterich則: $a=0.017$, $b=0.0255$, $L=0.63 \mu\text{m}$, Nagata則: $a=0.05$, $b=0.56$, $L=0.33 \mu\text{m}$)と(2)状態発展則が新たなものでslowness則(Dieterich則)に剪断応力依存項($-c \dot{\gamma}/t$)を加えたことである。

われわれはこの摩擦則をシミュレーションにおいて無限等方等質媒質中の平面断層内での摩擦滑りに適用した。ここでは簡単に、奥行きが一様な滑りを行う二次元弾性体の平面断層を与えている。また本研究では比較のため、Dieterich則とNagata則をそれぞれ用いてシミュレーションを行っている。

まず、我々は室内実験レベルの载荷レート($1 \mu\text{m/s}$)を与え数値計算を行った。その結果、Dieterich則とNagata則でほぼ同じように全体に一様な滑りの分布から局所的な滑りへの移行が起こった。そして応力、滑り速度ともにほぼ同じ空間分布をもつことが示された。この結果はFujita et al. (JpGU 2010)の一自由度系での地震サイクルシミュレーションで示されたように、両則の違いが特に状態変化に現れ、滑り速度、応力変化においては違いが認められないことと調和的である。

次に我々はプレート運動速度レベルの低い载荷レート($0.001 \mu\text{m/s}$)を与え数値計算を試みた。この条件下では、状態の時間回復の効果が有意に働くことが予想される。目下の結果、Dieterich則とNagata則で滑りに関して異なる傾向が示されている。当日の発表では、この条件下での解析結果と、その原因について議論を行う。

キーワード: 地震, 震源過程

Keywords: earthquake, nucleation, RSF

SSS025-P14

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 10:30-13:00

XFEMを用いた非平面断層の動弾性解析 Elasto-dynamic analysis of non-planar fault based on XFEM

安藤 亮輔^{1*}, 中住昭吾²

Ryosuke Ando^{1*}, Shogo Nakasumi²

¹産総研 活断層・地震研究センター, ²産総研 先進製造プロセス研究部門

¹AIST/GSJ, ²AIST/AMRI

XFEM (拡張有限要素法) は、メッシュフリー解析手法の一つであり、解析領域を空間的に離散化するメッシュの設定に依存せずに、任意形状の亀裂を配置できるという長所がある。したがって、例えば、従来の有限要素法が不得意とする、亀裂進展解析において亀裂形状をあらかじめ設定できないような、自発的破壊経路選択の問題にも、リメッシング (メッシュの切り直し) 等の、複雑なアルゴリズムが必要で計算負荷も大きいプロセス無しで対応できる。このような特徴は、BIEM (境界積分方程式法) が有しているものであり、様々な応用がなされてきて (例えば、Kame and Yamashita, 1999; Ando and Yamashita, 2007)、大きな成果を上げてきた。しかし、BIEM は線形弾性の場合に解析的・数値的に得られる積分カーネル (グリーン関数) を用いる方法であるため、不均質媒質は不可能ではないが得意でなく、塑性変形等の非線形な媒質変形を扱うことができないという制限がある。その点において、XFEM は、その不均質、非線形の問題を取り扱うことができるため、地表付近のような非弾性が強く作用し、不均質の存在が大きく影響するような場での、自発的亀裂進展解析において有力な手法である。定式化上の特徴として、FEM では、要素内の変位を接点のみに自由度を持つ連続関数で補完し、弱形式により定式化するが、XFEM では補完関数を、その連続関数に、エンリッチ関数と呼ばれる適当な自由度を追加した関数を加え定義している。亀裂問題では、エンリッチ関数に、亀裂上での変位の食い違いを表現するステップ関数を用い、メッシュ内の任意の位置で食い違いを導入する。本発表では、手始めに XFEM に基づく、弾性媒質中での動的亀裂進展を扱う計算手法を開発したので、その結果ならびに BIEM を用いた解析結果との比較等を示す。

キーワード: 拡張有限要素法, XFEM, 非平面断層, 動弾性, 破壊, 数値計算

Keywords: Extended finite element method, XFEM, non-planar fault, elasto-dynamic, fracture, numerical analysis