

平成 30 年度原子力規制庁委託成果報告書

確率論的地震ハザード解析に係る
不確かさ要因の検討

産業技術総合研究所

平成 31 年 3 月

本報告書は、原子力規制委員会原子力規制庁からの委託により実施した業務の成果をとりまとめたものです。

本報告書に関する問い合わせは、原子力規制庁までお願いします。

目次

事業目的	1
1. 熊本地震を対象とした内陸活断層の連動性に関する検討	3
1. (1) シミュレーションに用いるモデルの設定	3
1 (1) 1 断層モデル	3
1 (1) 2 応力場	5
1 (1) 3 摩擦構成則	8
1 (1) 4 数値計算手法	8
1 (1) 5 各区間にはたらく応力場と摩擦係数	9
1 (1) 6 各区間にはたらく応力場	10
1 (2) 破壊開始点が破壊の進展に与える影響の検討	18
1 (3) 破壊開始点以外の断層パラメータが破壊の進展に与える影響の検討	87
2 総合検討	154
2 (1) 熊本地震の破壊進展との比較	154
2 (2) 破壊の進展に影響を与えるパラメータの影響度の整理	161
2 (2) 1 破壊開始点の位置	161
2 (2) 2 主応力軸の向き	161
2 (2) 3 主応力の深さに対する比例係数	161
2 (2) 4 破壊が始まる区間の応力降下量の深さに対する比例係数	162
2 (2) 5 臨界変位量(Dc)	162
2 (2) 6 破壊が始まる区間の強度と応力降下量の比(S 値)	162
2 (2) 7 破壊の進展に対する各パラメータの影響度のまとめ	163
2 (3) 破壊の進展に関する知見の整理	164
3 むすび	165
参考文献	167

事業目的

原子力規制委員会の「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」において、確率論的地震ハザード評価は基準地震動の超過確率の参照に用いられることになっている。このうち、震源モデルに関するパラメータの選定においては、地震発生確率の算出に必要なパラメータ、並びにそれらのパラメータに関する不確実さ要因（断層の位置、長さ、幅、走向、傾斜角、すべり量、すべり角、すべり分布、破壊開始点、破壊伝播速度等）が適切に分析されていることが求められている。

上記の不確実さ要因のうち、隣接する活断層の連動性については、地震動評価に与える影響が大きいため地震動の超過確率の算出への影響が大きく、その不確かさを適切に評価するために、様々な視点から検討することが重要である。

以上に鑑み、本研究では、確率論的地震ハザードの評価精度の高度化に資するため、断層破壊に関する動学的シミュレーション（以下、「シミュレーション」という）による断層の連動性に関する検討を行い、これらの結果を確率論的地震ハザード評価に反映させることを前提として整理を行う。

1 熊本地震を対象とした内陸活断層の連動性に関する検討

1 (1) シミュレーションに用いるモデルの設定

1 (1) 1 断層モデル

「平成 28 年度 確率論的地震ハザード評価における不確かさの影響及び扱いに関する調査 技術資料」「平成 29 年度 断層モデルを考慮した確率論的地震ハザード評価に関する調査 技術資料」と同様、断層形状は、地震調査研究推進本部(2013)の活断層位置を基に、布田川断層帯の布田川区間と、日奈久断層帯の高野-白旗区間および日奈久区間が連続しているとしたモデルを用いる(図 1)。地震調査研究推進本部(2013)の評価結果から、傾斜角は高角北西傾斜である可能性があること、および、地震発生層の下端が約 13~14 km 程度と推定されることから、幅 15 km の鉛直な断層モデルを想定する。地表に断層トレースが現れていることから、断層面は地表を切るものとする。

媒質は、半無限弾性体と仮定し、この地域の地殻の平均的な速度構造を用いる(表1)。

表 1 : 数値計算に用いた速度構造モデル.

P 波速度: V_p	6.0 km/s
S 波速度: V_s	3.4 km/s
密度: ρ	2.75 g/cm ³

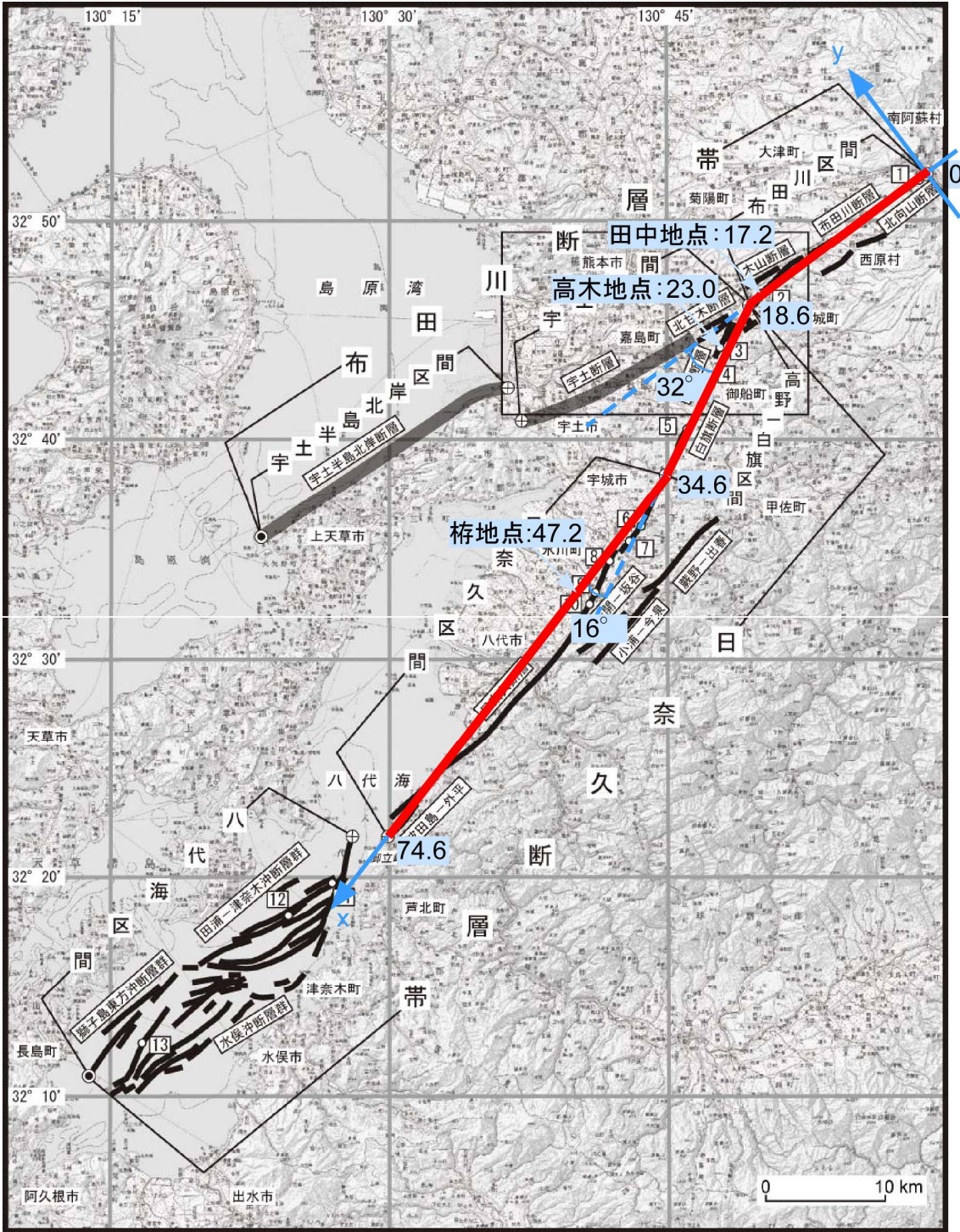


図1：断層モデルのmapview. 座標値の単位は，km. 地震調査研究推進本部(2013)に加筆.

1 (1) 2 応力場

布田川断層帯・日奈久断層帯周辺の広域応力場は、Matsumoto et al. (2015)による応力インバージョン結果(図 2)を基に想定する。

この地域では、別府-島原地溝帯にあたる断層帯北側では、最小主応力は概ね水平面内にあり、最大主応力が鉛直方向で中間主応力が水平面内、もしくは、最大主応力と中間主応力はほぼ同じ大きさであると推定されている。また、最小主応力の向きは、ほぼ南北方向と推定されている。一方、断層帯南側では、最大主応力、最小主応力ともに概ね水平面内、中間主応力が鉛直方向で、最小主応力の向きは北北西-南南東と推定されている。ここでは、主応力の推定誤差(図 3)を考慮して、最小主応力の向きとして、布田川断層帯布田川区間では $N2^{\circ} W, N3^{\circ} E, N7^{\circ} W$ 、日奈久断層帯高野-白旗区間では $N8^{\circ} W, N3^{\circ} W, N13^{\circ} W$ 、日奈久断層帯日奈久区間では $N18^{\circ} W, N13^{\circ} W, N23^{\circ} W$ の、それぞれ 3 通りを検討対象とする。また、応力比 $\phi' = (\sigma_{Hmax} - \sigma_{Hmin}) / (\sigma_v - \sigma_{Hmin})$ は、布田川断層帯布田川区間では 0.9、日奈久断層帯高野-白旗区間では 1.0、日奈久断層帯日奈久区間では 1.1 とする。

周辺では、応力の絶対値を拘束できるような調査結果は得られていない。そこで、最大水平圧縮応力、最小水平圧縮応力ともに深さに比例し、深さを z [km]として、最小水平圧縮応力を

$$\sigma_{Hmin} = b z \text{ [MPa]}$$

と表し、 b の値をいくつか変えて、シミュレーションをおこなう。

σ_v の大きさはかぶり圧に等しいとすると、

$$\sigma_v = 26.95 z \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{Hmax} = (1 - \phi') \sigma_{Hmin} + \sigma_v \phi'$$

と表すことができる。

破壊開始点を仮定し、破壊の始まる区間の応力降下量を

$$\Delta\tau = a z \text{ [MPa]}$$

として、1回の活動によるすべり量を概ね再現できるような比例係数 a および b と、 σ_{Hmin} の向きを試行錯誤的に求める。

1回の活動によるすべり量について、地震調査研究推進本部(2013)では、布田川断層帯布田川区間(田中地点)および日奈久断層帯高野-白旗区間(高木地点)の1回の活動による右横ずれ量は、それぞれ 2 m 程度、日奈久断層帯日奈久区間(梶地点)の1回の活動によるずれの量は、3 m 程度の上下方向のずれとそれ以上の量の右横ずれ、としている。

田中地点では、少なくとも2回の活動によるずれの量が約 5.2 m である(熊本県, 1996a, b)が、それらが共に固有規模であったかどうかは不明であること、その間に更に活動があった可能性も否定できないことから、田中地点のすべり量が 5.2 m 未満となるモデルを採用する。

また、高木地点では、最新活動に伴って約 2.2 m のずれが認められている(下川・衣笠,

1999)ことから、すべり量が 2.0～2.4 m となるモデルを採用する。

樽地点については、南東側隆起 3 m 程度(下川・衣笠, 1999)を上回る右横ずれ量が推定されているものの、その具体的な変位量は得られていない。そのため、樽地点のすべり量が 3 m 以上となるモデルを採用する。

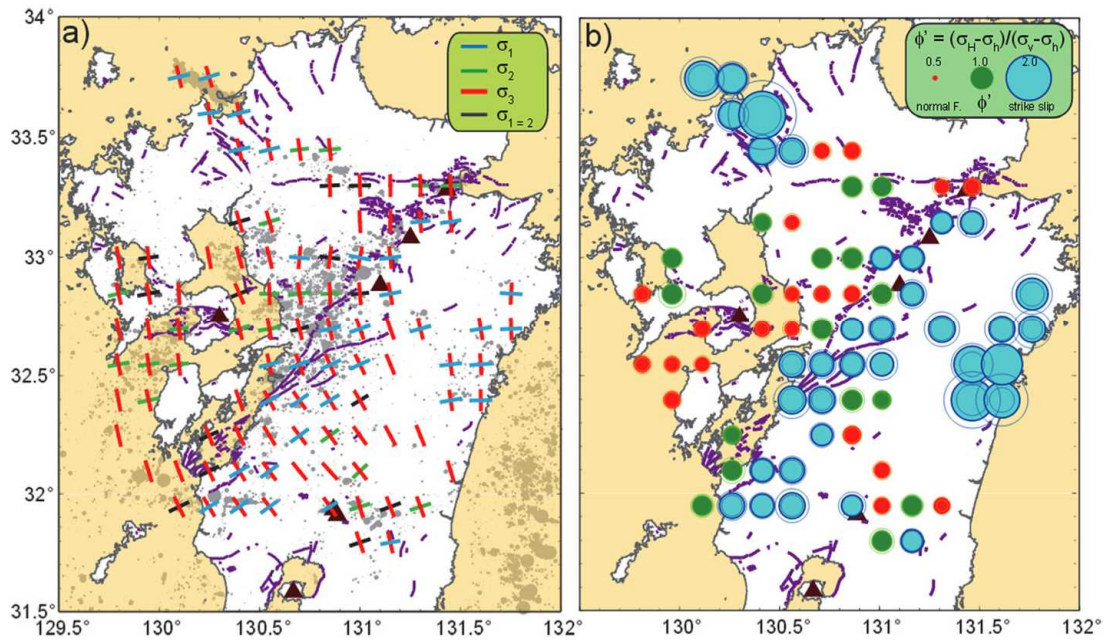


図 2 : (a) 各グリッドにおける主応力の方向. (b) 各グリッドにおける応力比.

Matsumoto et al. (2015)に加筆.

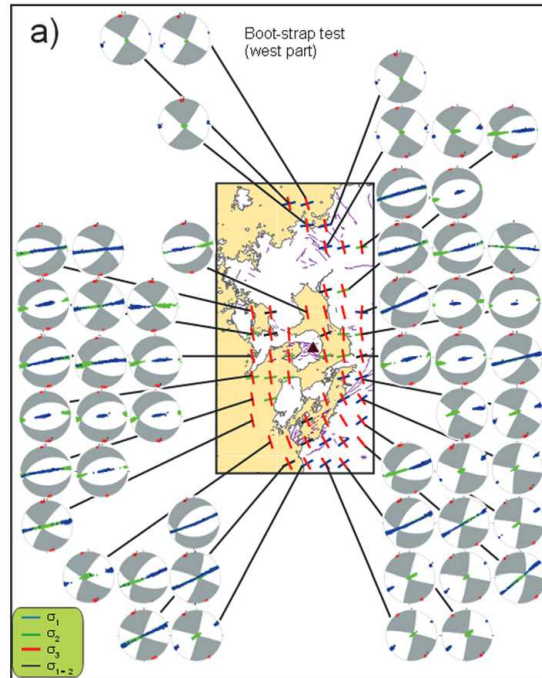


図 3 : 各グリッドにおける 95%信頼区間に含まれる主応力の方向. Matsumoto et al.

(2015)に加筆.

1 (1) 3 摩擦構成則

断層面の境界条件には, Coulomb の破壊基準とすべり弱化的摩擦構成則(図 4:Andrews, 1976)を仮定し, 弾性体の運動方程式を数値的に解くことによって, 断層面上の破壊伝播過程を求めることができる. 臨界変位量 (D_c) は, 全断層面共通とした.

3 km 四方の初期クラックには, 静摩擦応力を 1% 越える剪断応力が働いているとすると, 時刻 $t = 0$ に初期クラック上で応力降下が起こり, 破壊は自発的に広がっていく. 剪断応力が静摩擦応力に達するとすべりが始まり, その後は, 摩擦構成則に従って, 剪断応力は動摩擦応力まで降下する. 静摩擦応力と動摩擦応力を摩擦係数と法線応力の積として定義することにより, 法線応力を考慮した破壊過程を求めることができる.

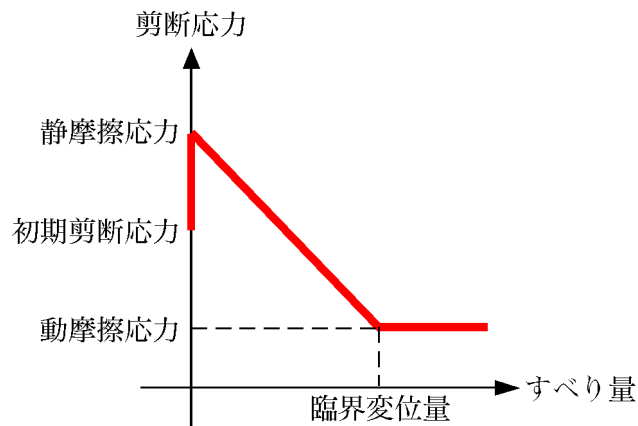


図 4:すべり弱化的摩擦構成則(Andrews, 1976).

1 (1) 4 数値計算手法

数値計算には, Kase and Day (2006) の差分法を用いた. 空間グリッド間隔は, 断層面内方向 ($\Delta x, \Delta z$) に 0.2 km, 断層面外方向 (Δy) に 0.2 km, 時間刻み (Δt) は 0.01 秒とした.

1 (1) 5 各区分にはたらく応力場と摩擦係数

はじめに、各パラメータの変化に対し、各区分にはたらく応力と摩擦係数がどのような値をとるのかを確認する。

b および破壊の始まる区間の σ_{Hmin} の向きについて、それぞれ3通りの値を仮定して、破壊の始まる区分にはたらく剪断応力と法線応力の初期値を求めると、応力降下量が上記の式を満たす動摩擦係数(μ_d)を決めることができる。更に、破壊の始まる区分での強度と応力降下量の比(S値; Andrews, 1976; Das and Aki, 1977)を仮定すると、 σ_{Hmin} の向きそれぞれの場合の静摩擦係数(μ_s)が決まる。このときの摩擦係数は、主にbの値によって大きく異なる。ここでは、「平成28年度 確率論的地震ハザード評価における不確かさの影響及び扱いに関する調査 技術資料」「平成29年度 断層モデルを考慮した確率論的地震ハザード評価に関する調査 技術資料」と同様、 $b=15$ とするが、この場合の静摩擦係数は0.35~0.49程度、動摩擦係数は0.19~0.29程度である。

1 (1) 6 各区分にはたらく応力場

布田川断層帯布田川区間、日奈久断層帯高野-白旗区間、および、日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向き、および、応力降下量の比例係数 a の値を変えて摩擦係数を求め、それぞれの区分にはたらく剪断応力、動摩擦応力、静摩擦応力を、各区分の σ_{Hmin} の向きそれぞれについて求めたものを図 5~10 に示す。

布田川断層帯布田川区間から破壊が始まる場合、布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが西に振れているほど、日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量が正になりやすく、応力降下量も大きくなる(図 5)。また、日奈久断層帯高野-白旗区間の σ_{Hmin} の向きが西に振れているほど、応力降下量は大きくなる。ただし、いずれの場合も強度と応力降下量の比は大きく、連動しにくい傾向が見られる。

日奈久断層帯日奈久区間は、布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きによらず、応力降下量の比例係数 a の値が小さい場合には、剪断応力が静摩擦応力を上回り、強度が負となっている(図 6)。このような場合には、破壊は既に終了している、つまり、剪断応力が動摩擦応力まで低下しているとしているため、応力降下量はゼロとなり、すべりは生じにくく、連動しにくいと考えられる。一方、応力降下量の比例係数 a の値がある程度大きい場合には、応力降下量が正となり、かつ、強度もそれほど大きくないため、連動しやすいと考えられる。また、日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きが北に振れているほど、応力降下量は大きくなる。

日奈久断層帯高野-白旗区間から破壊が始まる場合、日奈久断層帯高野-白旗区間の σ_{Hmin} の向きが北に振れていると、日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量の比例係数 a の値が小さい場合には、布田川断層帯布田川区間の剪断応力が静摩擦応力を上回っているため、連動しにくいと考えられる(図 7)。日奈久断層帯高野-白旗区間の σ_{Hmin} の向きがN13° W のときは、布田川断層帯布田川区間の応力降下量は正となり、かつ、強度もそれほど大きくないため、連動しやすいと考えられる。また、布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが東に振れているほど、応力降下量は大きくなる。

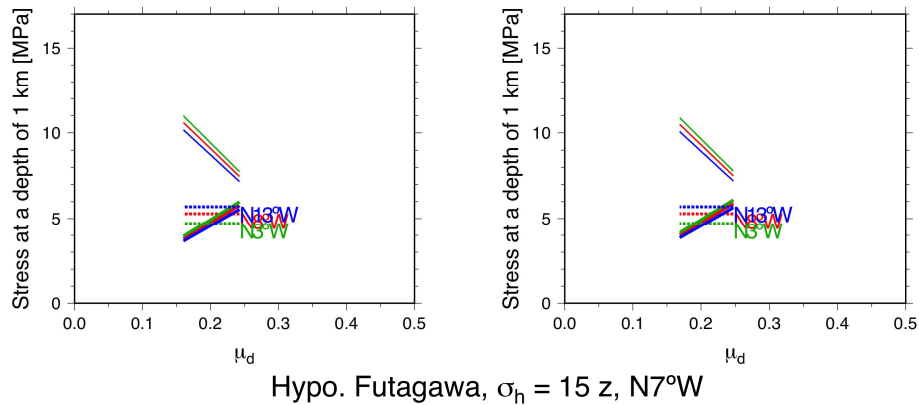
日奈久断層帯日奈久区間では、日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量の比例係数 a の値が小さい場合には、剪断応力が静摩擦応力を上回っているため、連動しにくいと考えられる(図 8)。一方、応力降下量の比例係数 a の値がある程度大きい場合には、応力降下量が正となり、かつ、強度もそれほど大きくないため、連動しやすいと考えられる。また、日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きが北に振れているほど、応力降下量は大きくなる。

日奈久断層帯日奈久区間から破壊が始まる場合、布田川断層帯布田川区間(図 9)と日奈久断層帯高野-白旗区間(図 10)ともに、日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きが西に振れているほど、応力降下量が正になりやすく、応力降下量も大きくなる。また、布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが東に振れているほど、日奈久断層帯高野-白旗区間の σ_{Hmin} の向き

が西に振れているほど、応力降下量は大きくなる。ただし、いずれの場合も強度と応力降下量の比は大きく、連動しにくい傾向が見られる。特に、日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量が負となる場合が多いため、全体的に連動しにくいと考えられる。

Hypo. Futagawa, $\sigma_h = 15$ z, N2°W

Hypo. Futagawa, $\sigma_h = 15$ z, N3°E



Hypo. Futagawa, $\sigma_h = 15$ z, N7°W

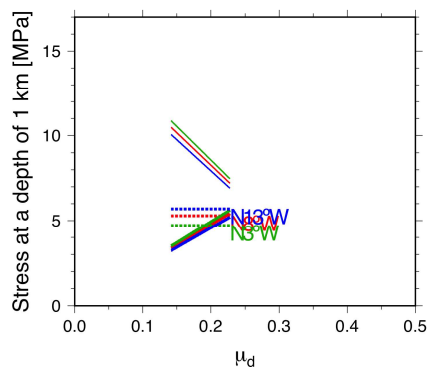
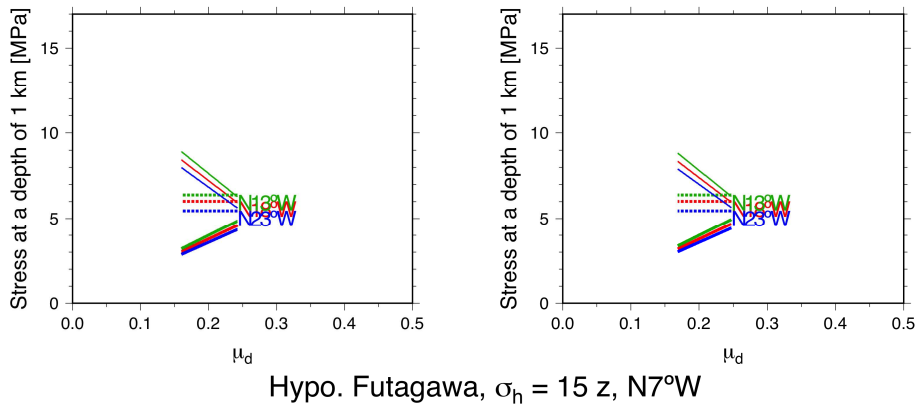


図 5: 布田川断層帯布田川区間から破壊が始まる場合の、日奈久断層帯高野-白旗区間の初期剪断応力(点線), 初期静摩擦応力(細線), 初期動摩擦応力(太線)の動摩擦係数(μ_d)の値に対する変化. 応力降下量の比例係数 a の値が 0.5~2.0 の範囲での結果を示す. 赤線は、日奈久断層帯高野-白旗区間の σ_{Hmin} の向きが N8° W の場合, 緑線は N3° W の場合, 青線は N13° W の場合の結果を示す. (左上) 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが N2° W の場合. (右上) 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが N3° E の場合. (下) 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが N7° W の場合.

Hypo. Futagawa, $\sigma_h = 15$ z, N2°W

Hypo. Futagawa, $\sigma_h = 15$ z, N3°E



Hypo. Futagawa, $\sigma_h = 15$ z, N7°W

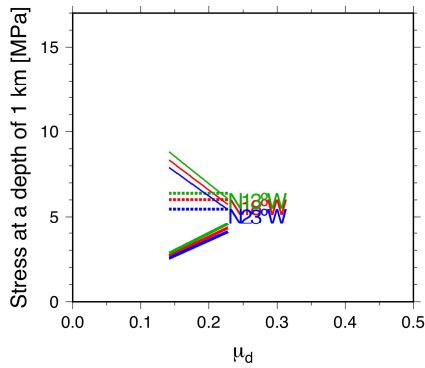


図 6: 布田川断層帯布田川区間から破壊が始まる場合の、日奈久断層帯日奈久区間の初期剪断応力(点線), 初期静摩擦応力(細線), 初期動摩擦応力(太線)の動摩擦係数(μ_d)の値に対する変化. 応力降下量の比例係数 a の値が 0.5~2.0 の範囲での結果を示す. 赤線は、日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きが N18° W の場合, 緑線は N13° W の場合, 青線は N23° W の場合の結果を示す. (左上) 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが N2° W の場合. (右上) 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが N3° E の場合. (下) 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが N7° W の場合.

Hypo. Takano–Shirahata, $\sigma_h = 15$ z, N8°W Hypo. Takano–Shirahata, $\sigma_h = 15$ z, N3°W

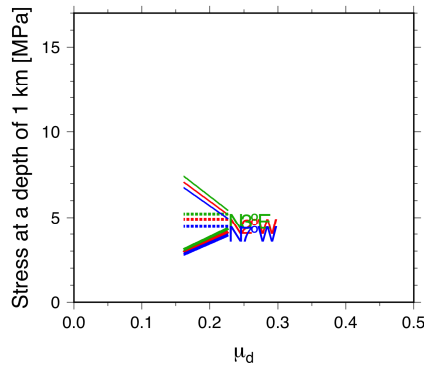
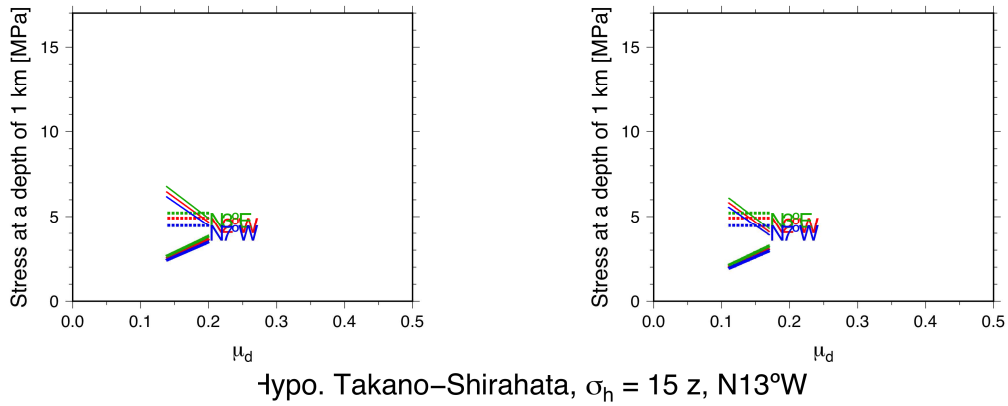
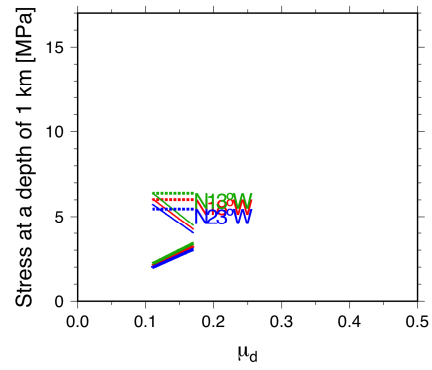
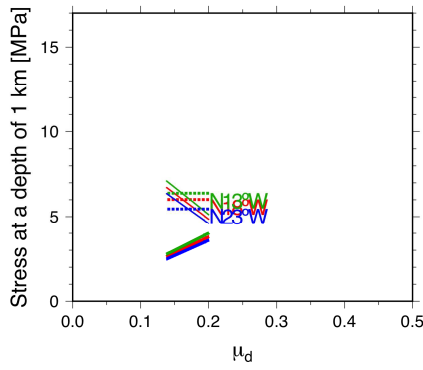


図 7: 日奈久断層帯高野–白旗区間から破壊が始まる場合の、布田川断層帯布田川区間の初期剪断応力(点線), 初期静摩擦応力(細線), 初期動摩擦応力(太線)の動摩擦係数(μ_d)の値に対する変化. 応力降下量の比例係数 a の値が 0.5~2.0 の範囲での結果を示す. 赤線は、布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが N2° W の場合, 緑線は N3° E の場合, 青線は N7° W の場合の結果を示す. (上) 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きが N8° W の場合. (中) 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きが N3° W の場合. (下) 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きが N13° W の場合.

Hypo. Takano–Shirahata, $\sigma_h = 15$ z, N8°W

Hypo. Takano–Shirahata, $\sigma_h = 15$ z, N3°W



Hypo. Takano–Shirahata, $\sigma_h = 15$ z, N13°W

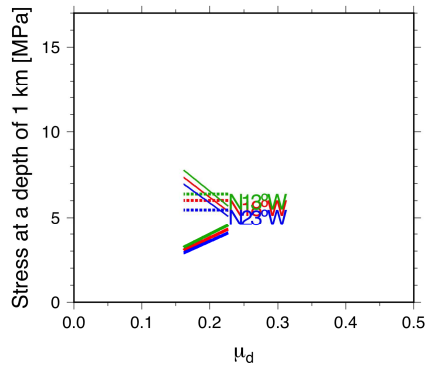


図 8: 日奈久断層帯高野–白旗区間から破壊が始まる場合の、日奈久断層帯日奈久区間の初期剪断応力(点線), 初期静摩擦応力(細線), 初期動摩擦応力(太線)の動摩擦係数(μ_d)の値に対する変化. 応力降下量の比例係数 a の値が 0.5~2.0 の範囲での結果を示す. 赤線は、日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きが N18° W の場合, 緑線は N13° W の場合, 青線は N23° W の場合の結果を示す. (左上) 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きが N8° W の場合. (右上) 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きが N3° W の場合. (下) 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きが N13° W の場合.

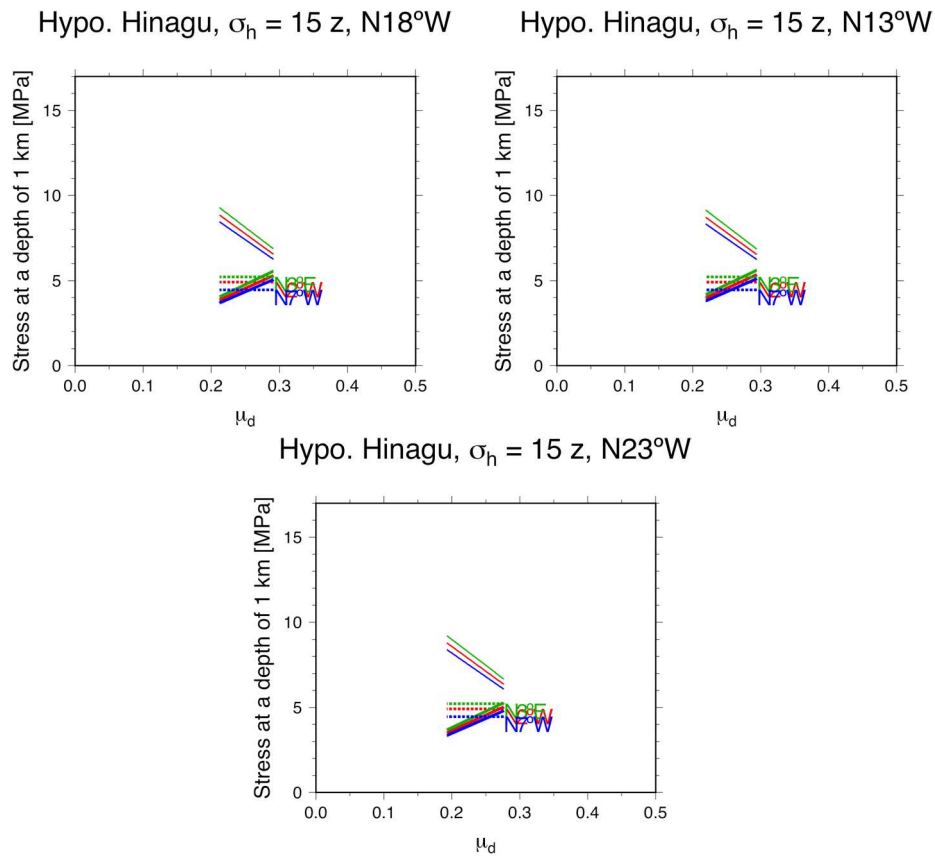


図 9: 日奈久断層帯日奈久区間から破壊が始まる場合の、布田川断層帯布田川区間の初期剪断応力(点線), 初期静摩擦応力(細線), 初期動摩擦応力(太線)の動摩擦係数(μ_d)の値に対する変化. 応力降下量の比例係数 a の値が 0.5~2.0 の範囲での結果を示す. 赤線は、布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが N2° W の場合, 緑線は N3° E の場合, 青線は N7° W の場合の結果を示す. (左上) 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きが N18° W の場合. (右上) 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きが N13° W の場合. (下) 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きが N23° W の場合.

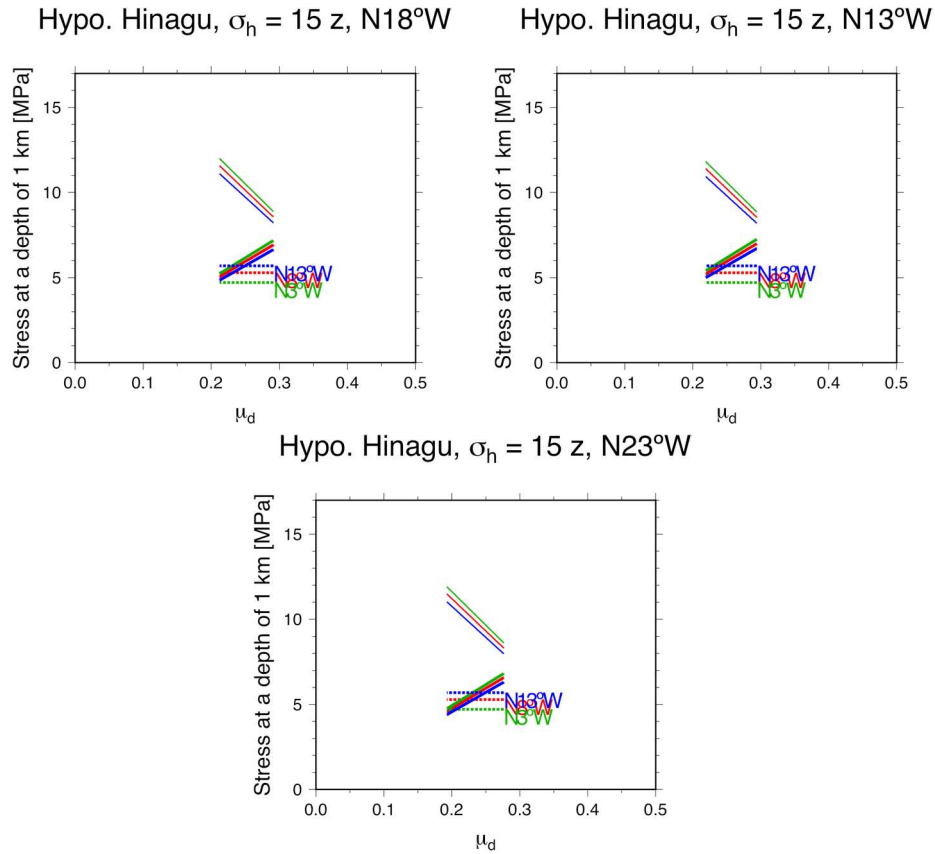


図 10: 日奈久断層帯日奈久区間から破壊が始まる場合の、日奈久断層帯高野-白旗区間の初期剪断応力(点線), 初期静摩擦応力(細線), 初期動摩擦応力(太線)の動摩擦係数(μ_d)の値に対する変化. 応力降下量の比例係数 a の値が 0.5~2.0 の範囲での結果を示す. 赤線は、日奈久断層帯高野-白旗区間の σ_{Hmin} の向きが N8° W の場合, 緑線は N3° W の場合, 青線は N13° W の場合の結果を示す. (左上) 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きが N18° W の場合. (右上) 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きが N13° W の場合. (下) 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きが N23° W の場合.

1 (2) 破壊開始点が破壊の進展に与える影響の検討

布田川断層帯布田川区間南西端および日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合の破壊の進展について、シミュレーションをおこなった。ここでは、最小水平圧縮応力 (σ_{Hmin}) の深さに対する比例係数 b を-15, 臨界変位量 (D_c) を 0.5 m, 破壊の始まる区間の強度と応力降下量の比 (S) を 1.6 とする。

布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合、その後の破壊過程は、大きく分けて、布田川区間のみ破壊、もしくは、3区間が連動、の2通りとなった(表 2, 3)。このうち、破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となったのは、布田川区間のみ破壊した場合だけであった。これは、布田川区間の σ_{Hmin} が $N2^\circ W$ もしくは $N3^\circ E$ の場合と、布田川区間の σ_{Hmin} が $N7^\circ W$ かつ日奈久断層帯高野-白旗区間の σ_{Hmin} が $N3^\circ W$ もしくは $N8^\circ W$ の場合である。

布田川区間の σ_{Hmin} が $N2^\circ W$ もしくは $N3^\circ E$, かつ、日奈久断層帯高野-白旗区間の σ_{Hmin} が $N8^\circ W$ もしくは $N13^\circ W$ の場合、布田川区間の応力降下量が小さいときは、布田川区間のみが破壊し、布田川区間田中地点の右横ずれ量が観測値と調和的となる(図 11a)。布田川区間の応力降下量が大きくなると、高野-白旗区間の 3分の1ほどまで破壊が広がるようになり(図 11b), 更に大きいと、破壊は高野-白旗区間全体に広がり、さらに日奈久区間へ広がるようになる(図 11c)。一方、高野-白旗区間の σ_{Hmin} が $N3^\circ W$ の場合は、布田川区間の応力降下量が大きくても、高野-白旗区間へは破壊が広がりにくい(図 11d)。

布田川区間の σ_{Hmin} が $N7^\circ W$ の場合、高野-白旗区間の σ_{Hmin} が $N3^\circ W$ でも、布田川区間の応力降下量が大きくなると、破壊は高野-白旗区間と日奈久区間へ広がるようになる(図 11e)。その一方、高野-白旗区間の σ_{Hmin} が $N13^\circ W$ の場合には、布田川区間の応力降下量が小さいときにも、破壊は高野-白旗区間と日奈久区間へ広がるようになる(図 11f)。

日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合、その後の破壊過程は、高野-白旗区間のみ破壊、高野-白旗区間と布田川断層帯布田川区間が連動、3区間が連動、の3通りとなった(表 4, 5)。このうち、破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となったのは、高野-白旗区間と布田川区間が連動した場合だけであった。これは、日奈久断層帯高野-白旗区間の σ_{Hmin} が $N8^\circ W$ の場合と、布田川区間の σ_{Hmin} が $N2^\circ W$ もしくは $N3^\circ E$ かつ日奈久断層帯高野-白旗区間の σ_{Hmin} が $N13^\circ W$ かつ日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} が $N13^\circ W$ の場合である。

布田川区間の σ_{Hmin} が $N2^\circ W$ もしくは $N3^\circ E$, かつ、日奈久断層帯高野-白旗区間の σ_{Hmin} が $N8^\circ W$ もしくは $N3^\circ$ の場合、高野-白旗区間の応力降下量が小さいときは、高野-白旗区間のみが破壊するが、高野-白旗区間高木地点の右横ずれ量を説明できない(図 12a)。高野-白旗区間の応力降下量が大きくなると、布田川区間まで破壊が広がるようになり、高野-白旗

区間高木地点の右横ずれ量が観測値と調和的となる(図 12b), 更に大きいと, 高野-白旗区間高木地点の右横ずれ量が観測値よりも大きくなり(図 12c), やがて, 破壊は日奈久区間へも広がるようになる(図 12d). 高野-白旗区間の σ_{Hmin} が $3^\circ W$ の場合には, 布田川区間まで破壊が広がると, 高野-白旗区間高木地点の右横ずれ量を説明できない(図 12e).

高野-白旗区間の σ_{Hmin} が $N13^\circ W$ の場合や, 布田川区間の σ_{Hmin} が $N2^\circ W$ かつ高野-白旗区間の σ_{Hmin} が $N8^\circ W$ の場合は, 高野-白旗区間の応力降下量が小さくても, 高野-白旗区間のみが破壊することはない.

産業技術総合研究所(2017)では, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合, 破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となったのは, 布田川区間のみ破壊した場合だけ, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合, 破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となったのは, 高野-白旗区間と布田川区間が連動した場合だけであった. これらの結果は, それぞれの区間南西端から破壊が始まる場合の結果と調和的であり, 布田川断層帯布田川区間と日奈久断層帯高野-白旗区間においては, 破壊がどちらの端から始まるかは, 連動の傾向に影響を与えていない. 一方, 産業技術総合研究所(2018)では, 日奈久断層帯日奈久区間から破壊が始まる場合においては, 北東端から破壊が始まる場合よりも, 南西端から破壊が始まる場合の方が, 高野-白旗区間へ破壊が広がりやすいという結果が得られている. この違いは, 区間の長さによって説明できる. 布田川区間の長さは18.6 km, 高野-白旗区間は16.0 kmと比較的短いのに対し, 日奈久区間は40.0 kmと長い. そのため, 破壊の伝播の効果で連動しやすい南西端からの破壊と, そうではない北東端からの破壊の差が明瞭になっていると考えられる.

表 2 : 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合の破壊過程. 赤文字のモデルでは, 布田川区間田中地点, 高野-白旗区間高木地点, および, 日奈久区間田柵地点の右横ずれ量が観測値と調和的となる.

布田川区間の σ_h	高野-白旗区間の σ_h	日奈久区間の σ_h		
		N23° W	N18° W	N13° W
	N3° W	F	F	F
N3° E	N8° W	F, HTF	F, HTF	F, HTF
	N13° W	F, HTF	F, HTF	F, HTF
	N3° W	F	F	F
N2° W	N8° W	F, HTF	F, HTF	F, HTF
	N13° W	F, HTF	F, HTF	F, HTF
	N3° W	F, HTF	F, HTF	F, HTF
N7° W	N8° W	F, HTF	F, HTF	F, HTF
	N13° W	HTF	HTF	HTF

表 3a : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が N3° E, 高野-白旗区間の σ_h が N3° W, 日奈久区間の σ_h が N13° W で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 破壊した区間を塗りつぶしている. 赤で塗りつぶされたモデルでは, 布田川区間田中地点, 高野-白旗区間高木地点, および, 日奈久区間田柵地点の右横ずれ量が観測値と調和的となっており, 灰色で塗りつぶされたモデルでは, 観測値を満たさない.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3b : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が N3° E, 高野-白旗区間の σ_h が N3° W, 日奈久区間の σ_h が N18° W で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3c : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が N3° E, 高野-白旗区間の σ_h が N3° W, 日奈久区間の σ_h が N23° W で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3d : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が N3° E, 高野-白旗区間の σ_h が N8° W, 日奈久区間の σ_h が N13° W で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3e : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が N3° E, 高野-白旗区間の σ_h が N8° W, 日奈久区間の σ_h が N18° W で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3f : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が N3° E, 高野-白旗区間の σ_h が N8° W, 日奈久区間の σ_h が N23° W で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3g : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N3^\circ E$, 高野-白旗区間の σ_h が $N13^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N13^\circ W$ で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3h : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N3^\circ E$, 高野-白旗区間の σ_h が $N13^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N18^\circ W$ で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3i : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が N3° E, 高野-白旗区間の σ_h が N13° W, 日奈久区間の σ_h が N23° W で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3j : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N2^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N3^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N13^\circ W$ で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3k : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N2^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N3^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N18^\circ W$ で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 31 : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N2^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N3^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N23^\circ W$ で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3m : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N2^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N8^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N13^\circ W$ で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3n : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N2^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N8^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N18^\circ W$ で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3o : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N2^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N8^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N23^\circ W$ で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3p : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N2^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N13^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N13^\circ W$ で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3q : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N2^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N13^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N18^\circ W$ で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3r : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N2^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N13^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N23^\circ W$ で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3s : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N7^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N3^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N13^\circ W$ で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3t : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N7^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N3^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N18^\circ W$ で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3u : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N7^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N3^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N23^\circ W$ で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3v : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N7^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N8^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N13^\circ W$ で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3w : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N7^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N8^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N18^\circ W$ で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3x : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N7^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N8^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N23^\circ W$ で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3y : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N7^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N13^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N13^\circ W$ で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3z : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N7^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N13^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N18^\circ W$ で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 3A : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N7^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N13^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N23^\circ W$ で, 布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

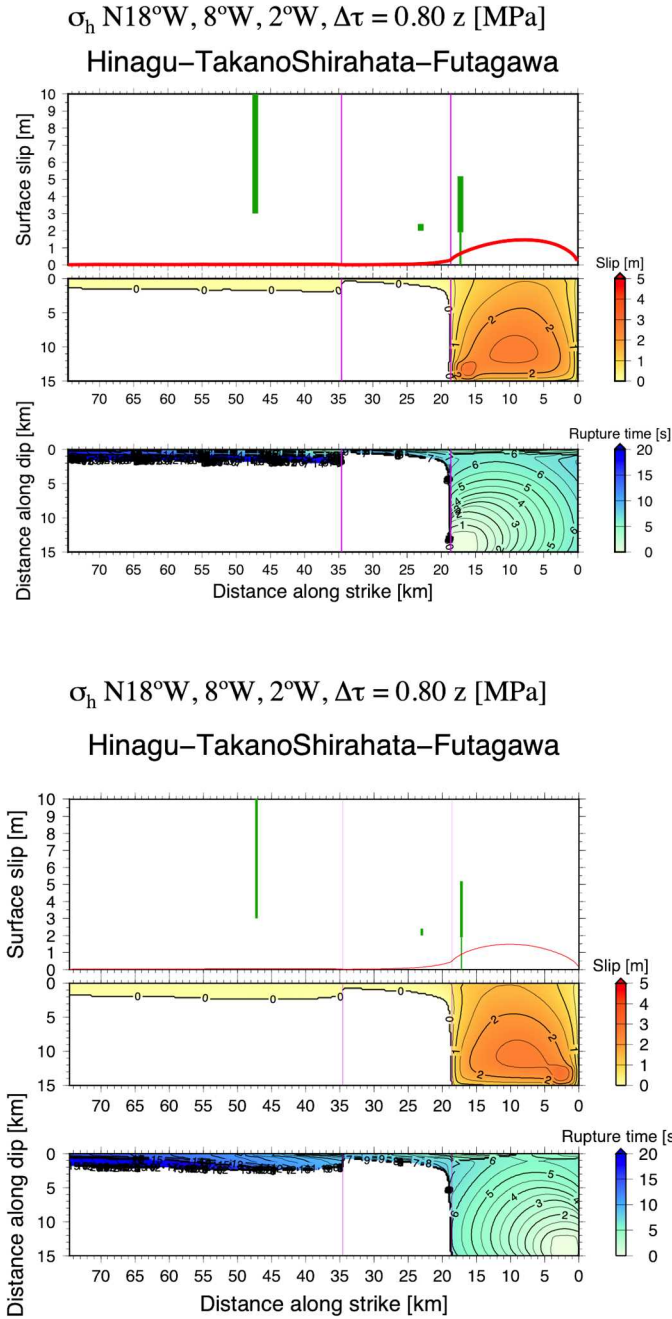


図 11: (a) 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きがN2°W, 応力降下量の比例係数が0.80, 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きがN8°W, 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きがN18°Wの場合。(上)布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合の破壊過程。(下)布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合の破壊過程(産業技術総合研究所, 2017)。

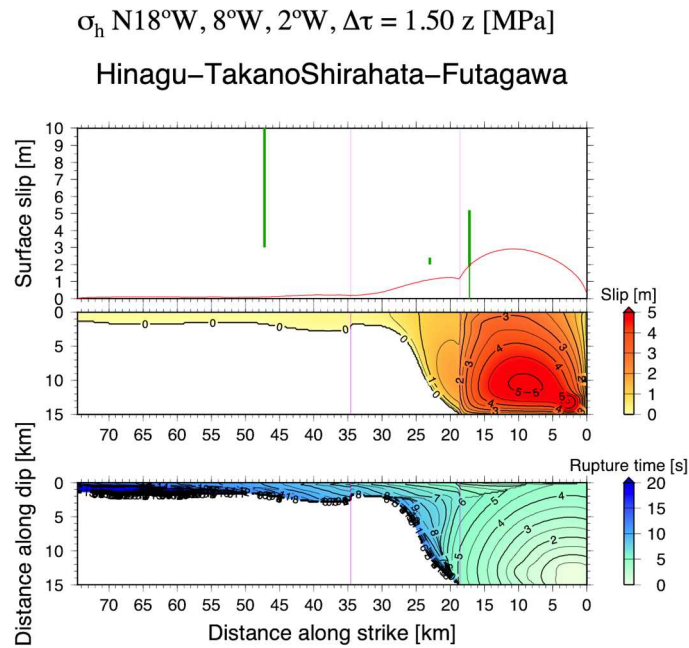
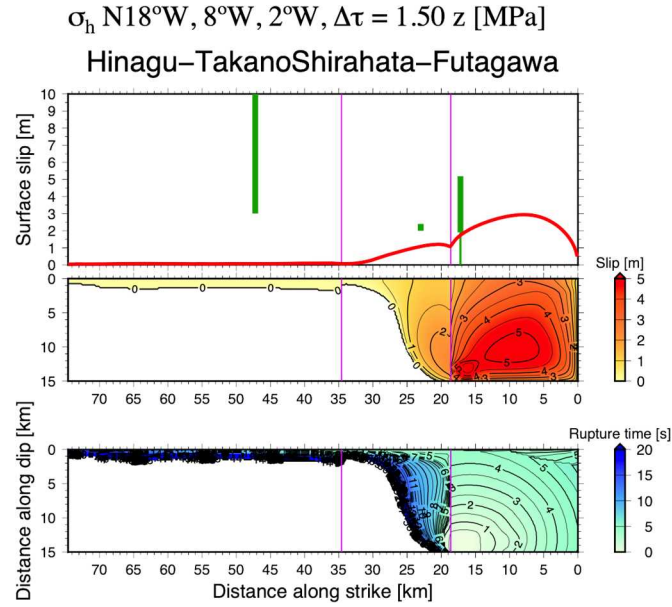


図 11: (b) 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが N2° W, 応力降下量の比例係数が 1.50, 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きが N8° W, 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きが N18° W の場合. (上)布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合の破壊過程. (下)布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合の破壊過程 (産業技術総合研究所, 2017) .

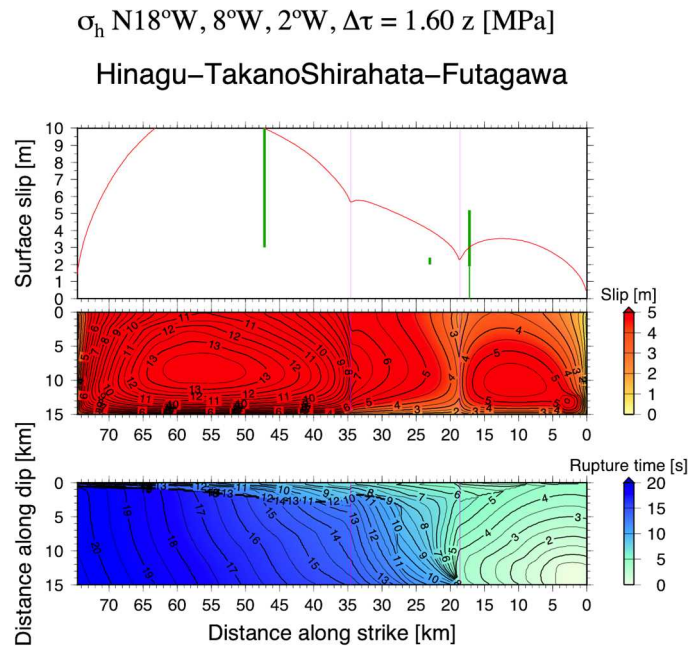
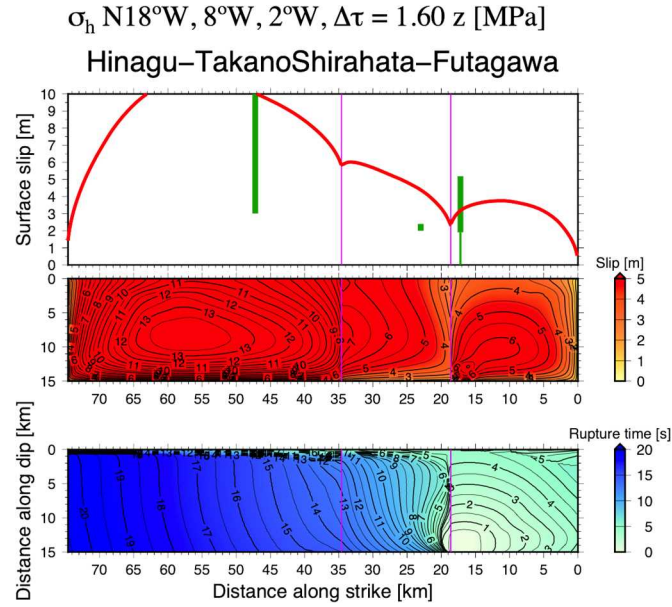


図 11: (c) 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きがN2°W, 応力降下量の比例係数が1.60, 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きがN8°W, 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きがN18°Wの場合。(上)布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合の破壊過程。(下)布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合の破壊過程(産業技術総合研究所, 2017)。

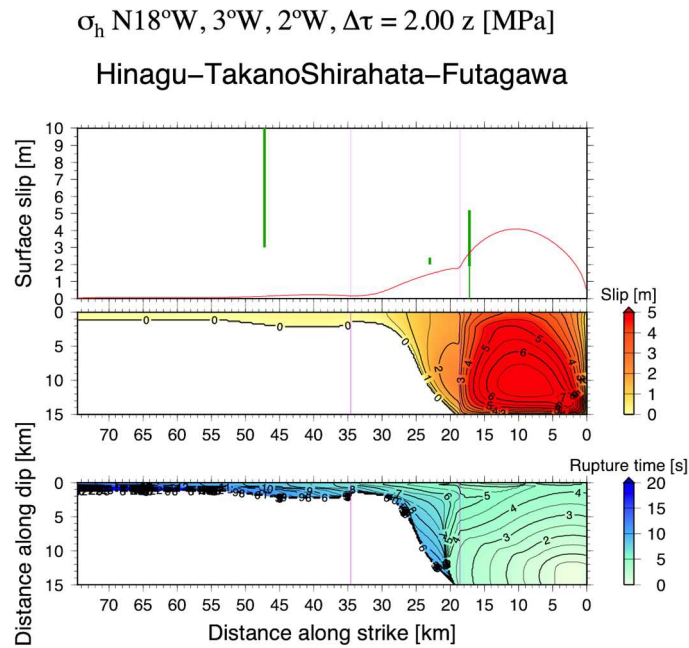
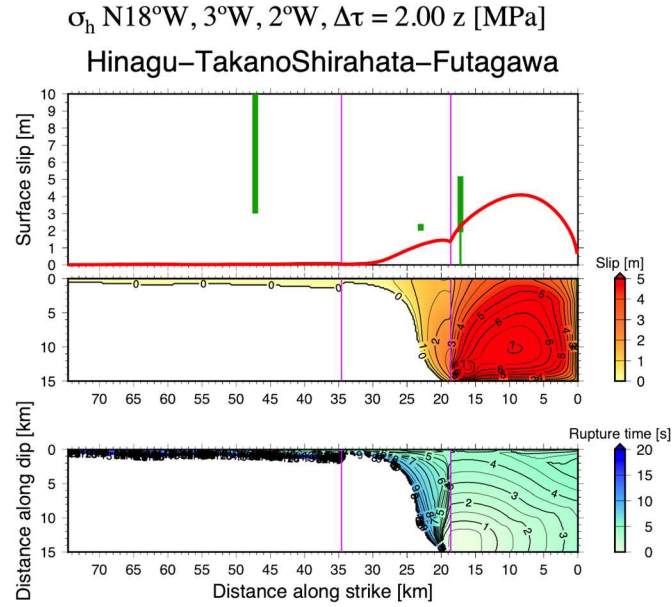
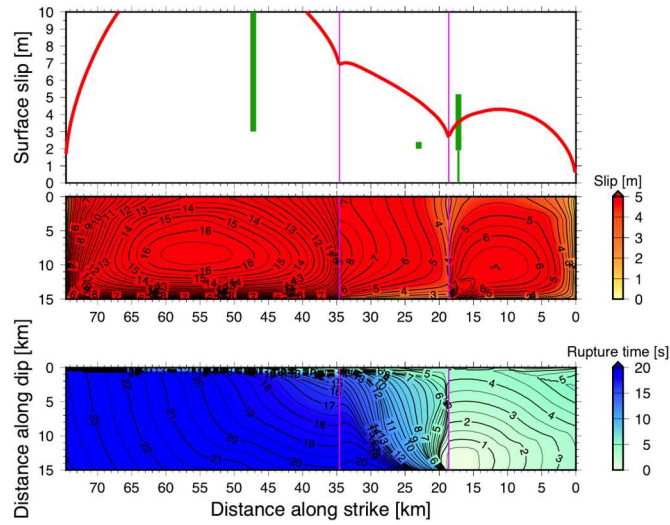


図 11: (d) 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きがN2°W, 応力降下量の比例係数が2.00, 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きがN3°W, 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きがN18°Wの場合。(上)布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合の破壊過程。(下)布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合の破壊過程(産業技術総合研究所, 2017)。

σ_h N18°W, 3°W, 7°W, $\Delta\tau = 1.80 z$ [MPa]
Hinagu–TakanoShirahata–Futagawa



σ_h N18°W, 3°W, 7°W, $\Delta\tau = 1.80 z$ [MPa]
Hinagu–TakanoShirahata–Futagawa

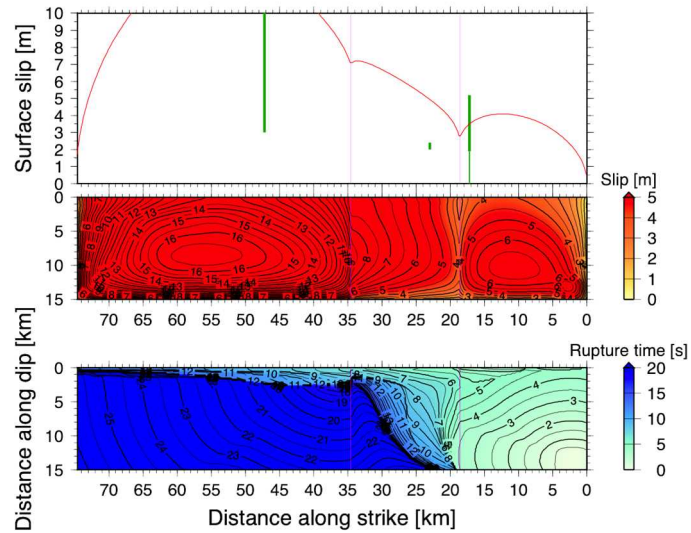


図 11: (e) 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きがN7°W, 応力降下量の比例係数が1.80, 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きがN3°W, 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きがN18°Wの場合。(上)布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合の破壊過程。(下)布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合の破壊過程(産業技術総合研究所, 2017)。

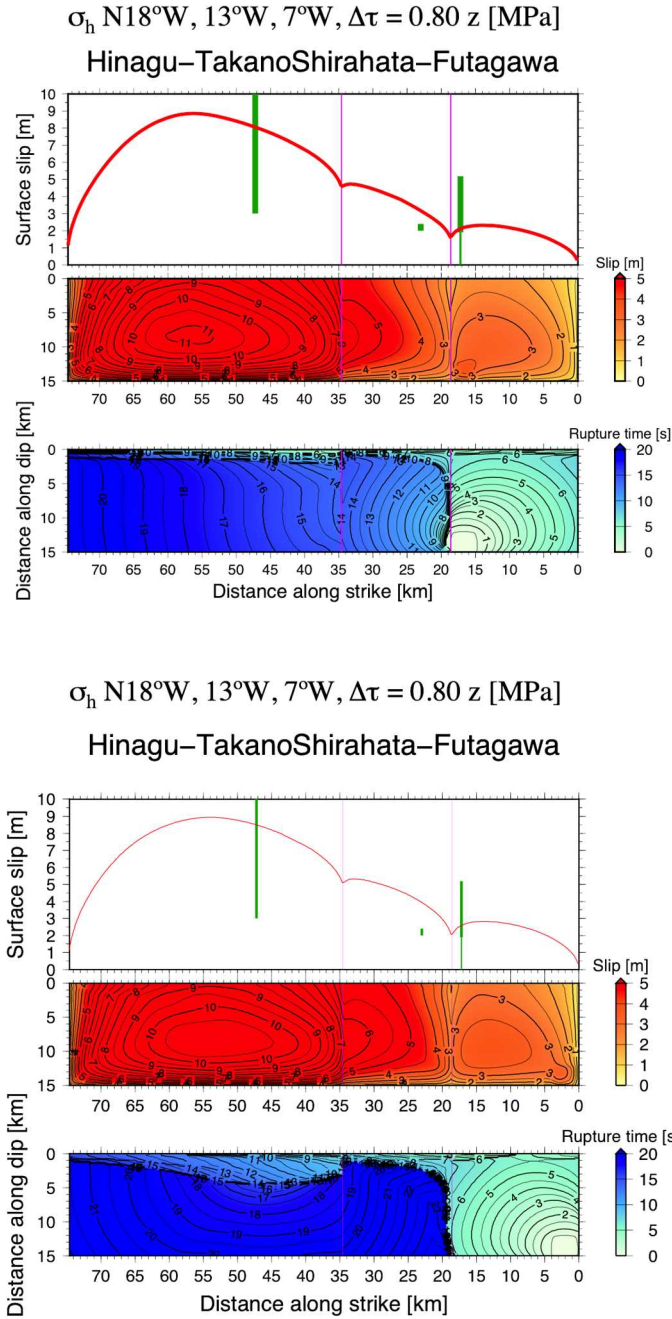


図 11: (f) 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きがN7° W, 応力降下量の比例係数が0.80, 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きがN13° W, 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きがN18° Wの場合. (上)布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合の破壊過程. (下)布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合の破壊過程 (産業技術総合研究所, 2017) .

表 4：日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合の破壊過程. 赤文字のモデルでは, 布田川区間田中地点, 高野-白旗区間高木地点, および, 日奈久区間田柵地点の右横ずれ量が観測値と調和的となる.

布田川区間 の σ_h	高野-白旗区間 の σ_h	日奈久区間の σ_h		
		N23° W	N18° W	N13° W
	N3° W	T, TF, HTF	T, TF, HTF	T, TF, HTF
N3° E	N8° W	T, TF , HTF	T, TF , HTF	T, TF , HTF
	N13° W	TF, HTF	TF, HTF	TF , HTF
	N3° W	T, TF, HTF	T, TF, HTF	T, TF, HTF
N2° W	N8° W	T, TF , HTF	T, TF , HTF	T, TF , HTF
	N13° W	TF, HTF	TF, HTF	TF , HTF
	N3° W	T, TF, HTF	T, TF, HTF	T, TF, HTF
N7° W	N8° W	TF , HTF	TF , HTF	TF , HTF
	N13° W	TF, HTF	TF, HTF	TF, HTF

表 5a : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N3^\circ E$, 高野-白旗区間の σ_h が $N3^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N13^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5b : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N3^\circ E$, 高野-白旗区間の σ_h が $N3^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N18^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5c : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N3^\circ E$, 高野-白旗区間の σ_h が $N3^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N23^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5d : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N3^\circ E$, 高野-白旗区間の σ_h が $N8^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N13^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5e : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N3^\circ E$, 高野-白旗区間の σ_h が $N8^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N18^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5f : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N3^\circ E$, 高野-白旗区間の σ_h が $N8^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N23^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5g : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N3^\circ E$, 高野-白旗区間の σ_h が $N13^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N13^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5h : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N3^\circ E$, 高野-白旗区間の σ_h が $N13^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N18^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5i : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N3^\circ E$, 高野-白旗区間の σ_h が $N13^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N23^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5j : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N2^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N3^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N13^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5k : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N2^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N3^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N18^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 51 : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N2^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N3^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N23^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5m : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N2^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N8^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N13^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5n : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N2^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N8^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N18^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5o : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が N2° W, 高野-白旗区間の σ_h が N8° W, 日奈久区間の σ_h が N23° W で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5p : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N2^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N13^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N13^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5q : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N2^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N13^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N18^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5r : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N2^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N13^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N23^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5s : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が N7° W, 高野-白旗区間の σ_h が N3° W, 日奈久区間の σ_h が N13° W で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5t : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N7^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N3^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N18^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5u : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N7^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N3^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N23^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5v : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N7^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N8^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N13^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5w : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N7^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N8^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N18^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5x : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N7^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N8^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N23^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5y : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N7^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N13^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N13^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5z : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N7^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N13^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N18^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 5A : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 布田川区間の σ_h が $N7^\circ W$, 高野-白旗区間の σ_h が $N13^\circ W$, 日奈久区間の σ_h が $N23^\circ W$ で, 日奈久断層帯高野-白旗区間南西端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

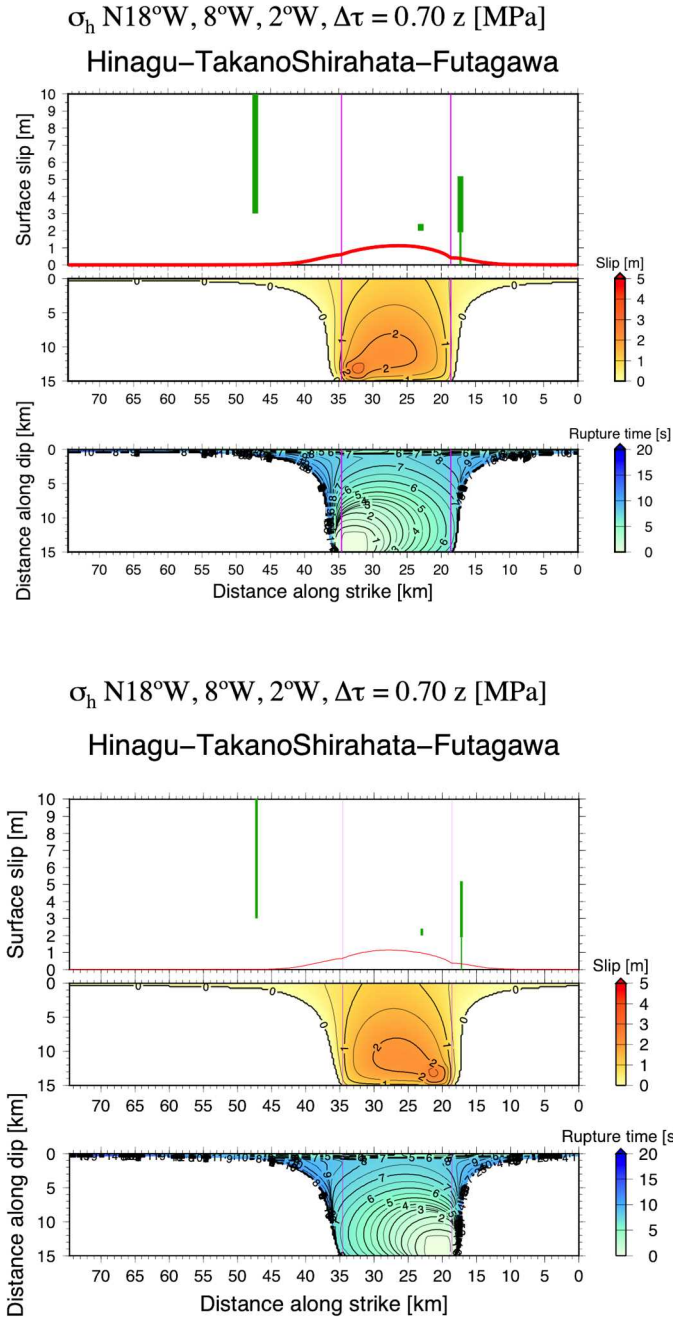


図 12: (a) 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが N2° W, 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きが N8° W, 応力降下量の比例係数が 0.70, 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きが N18° W の場合. (上) 日奈久断層帯高野–白旗区間南西端から破壊が始まる場合の破壊過程. (下) 日奈久断層帯高野–白旗区間北東端から破壊が始まる場合の破壊過程 (産業技術総合研究所, 2017) .

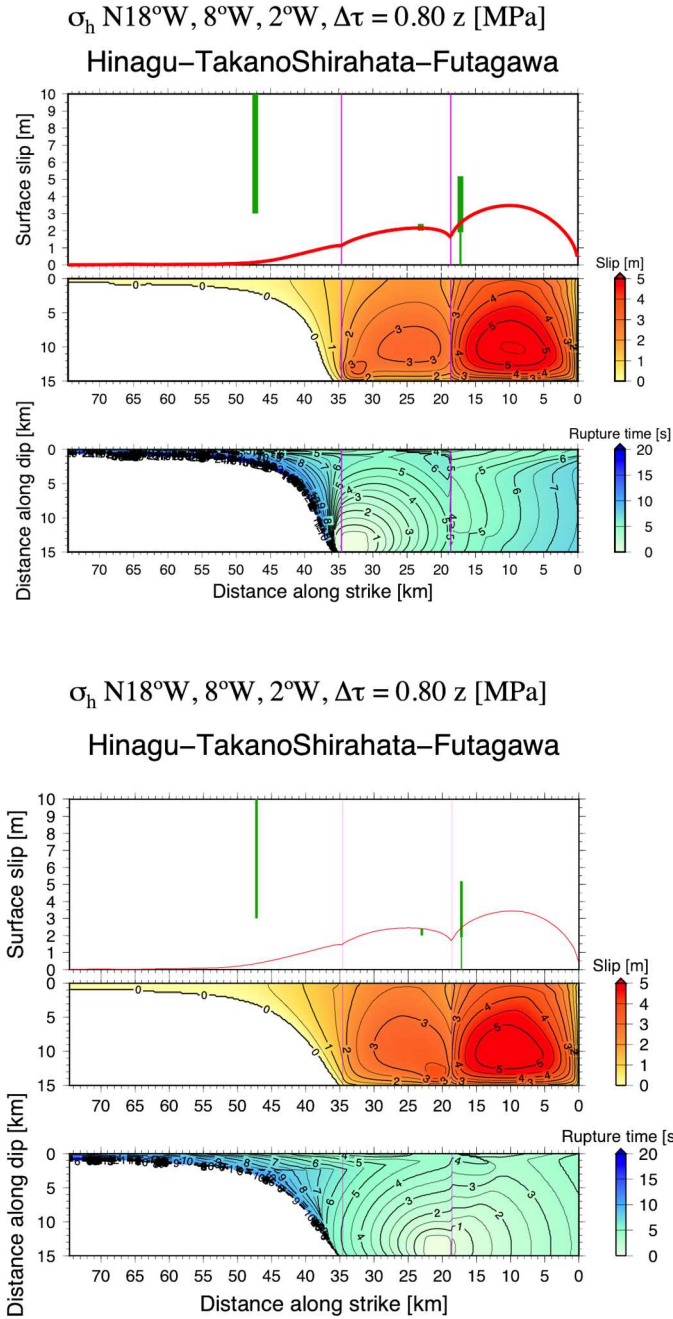


図 12: (b) 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが N2° W, 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きが N8° W, 応力降下量の比例係数が 0.80, 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きが N18° W の場合. (上) 日奈久断層帯高野–白旗区間南西端から破壊が始まる場合の破壊過程. (下) 日奈久断層帯高野–白旗区間北東端から破壊が始まる場合の破壊過程 (産業技術総合研究所, 2017) .

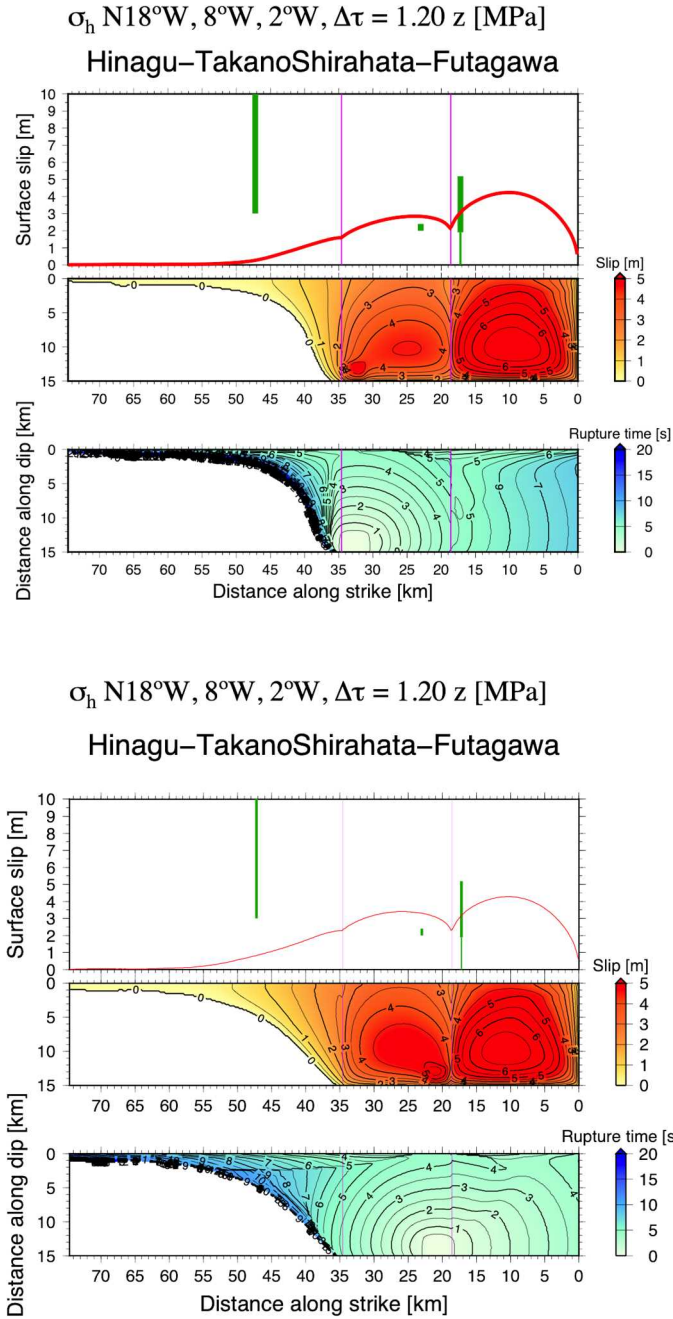


図 12: (c) 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが N2° W, 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きが N8° W, 応力降下量の比例係数が 1.20, 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きが N18° W の場合. (上) 日奈久断層帯高野–白旗区間南西端から破壊が始まる場合の破壊過程. (下) 日奈久断層帯高野–白旗区間北東端から破壊が始まる場合の破壊過程 (産業技術総合研究所, 2017) .

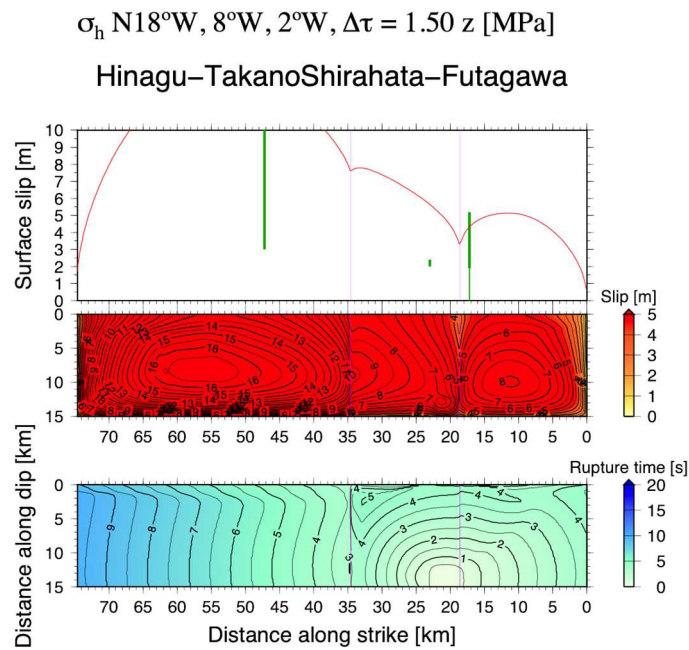
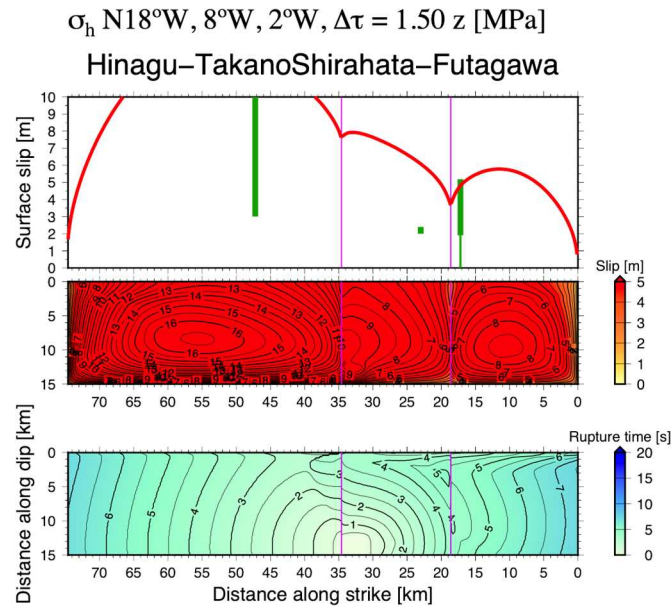


図 12: (d) 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きがN2°W, 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きがN8°W, 応力降下量の比例係数が1.50, 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きがN18°Wの場合。(上)日奈久断層帯高野–白旗区間南西端から破壊が始まる場合の破壊過程。(下)日奈久断層帯高野–白旗区間北東端から破壊が始まる場合の破壊過程(産業技術総合研究所, 2017)。

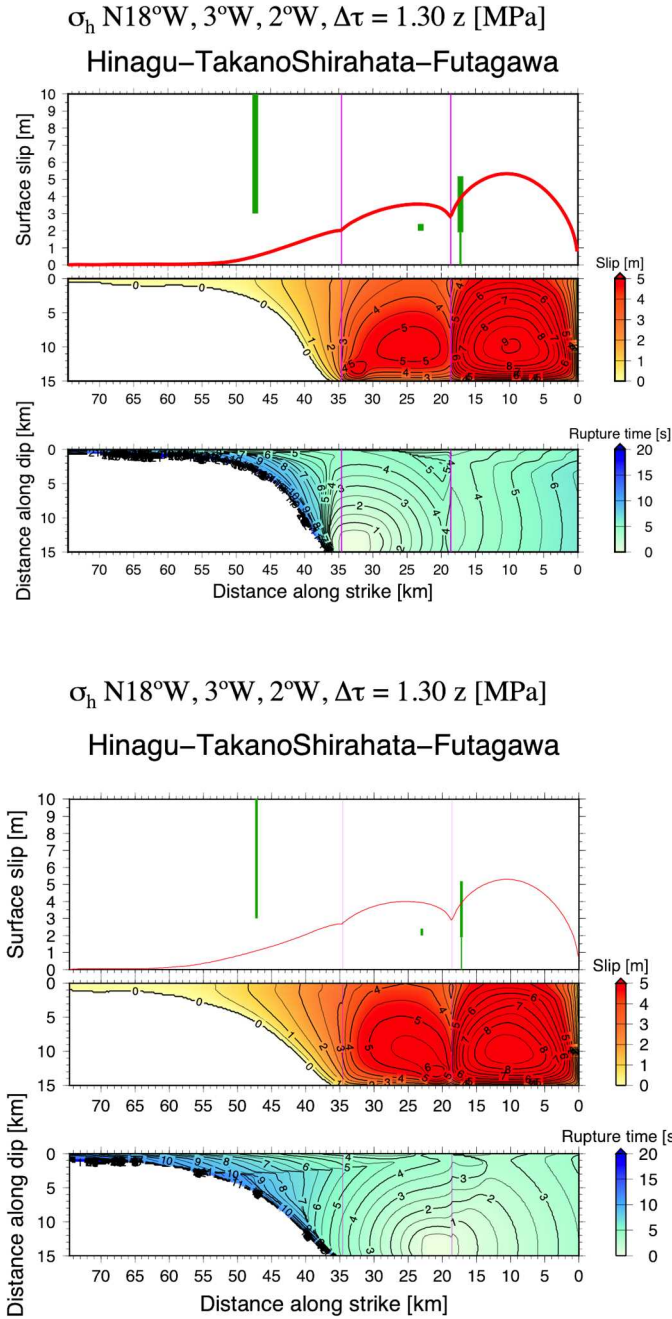


図 12: (e) 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが N2° W, 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きが N3° W, 応力降下量の比例係数が 1.30, 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きが N18° W の場合. (上) 日奈久断層帯高野–白旗区間南西端から破壊が始まる場合の破壊過程. (下) 日奈久断層帯高野–白旗区間北東端から破壊が始まる場合の破壊過程 (産業技術総合研究所, 2017) .

1 (3) 破壊開始点以外の断層パラメータが破壊の進展に与える影響の検討

検討対象のパラメータは、破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) と臨界変位量 (Dc) の 2 つとし、Urata et al. (2017) を参考に、それぞれ 4 通り (既検討の値を含めて 5 通り) の値を設定する (表 6a)。また、その他のパラメータについては、代表的な値として、表 6b に示すものを用いる。

表 6a : 破壊開始点以外に検討するパラメータとその値

パラメータ	2016, 2017 年度業務その他で 検討した値	今回, 検討する値
破壊の始まる区間の S	1.6	0.4, 0.8, 1.2, 2.0
臨界変位量 (Dc)	0.5 [m]	0.2, 0.4, 1.0, 1.5

表 6b : 破壊の始まる区間の S と臨界変位量 (Dc) 以外のパラメータ

パラメータ	値
破壊開始点の位置	・布田川区間北東端 ・高野-白旗区間北東端
最小主応力軸の向き	・布田川区間: N2° W, 高野-白旗区間: N8° W, 日奈久区間: N18° W
最小主応力の深さ依存性	・15 z [MPa]
破壊の始まる区間の応力降下量	・0.5 z - 2.0 z [MPa]

布田川断層帯布田川区間と日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量の比例係数 a の値、および、強度と応力降下量の比(S 値)を変えて摩擦係数を求め、それぞれの区間にはたらく剪断応力、動摩擦応力、静摩擦応力を、各区間について求めたものを図 13~16 に示す。

布田川断層帯布田川区間から破壊が始まる場合(図 13)、布田川区間の応力降下量の比例係数 a の値および S 値に関わらず、日奈久断層帯高野-白旗区間の強度は正、かつ、強度と応力降下量の比は大きいため、連動しにくいと考えられる。それに対して、布田川断層帯布田川区間から破壊が始まる場合の日奈久断層帯日奈久区間(図 14)、および、日奈久断層帯高野-白旗区間から破壊が始まる場合(図 15, 16)については、破壊が始まる区間の応力降下量の比例係数 a の値および S 値が小さい場合には、剪断応力が静摩擦応力を上回り、強度が負となっている。このような場合には、破壊は既に終了している、つまり、剪断応力が動摩擦応力まで低下しているとしているため、応力降下量はゼロとなり、すべりは生じにくい。このため、破壊が始まる区間の S 値がある程度大きい方が連動しやすい応力条件となっている。

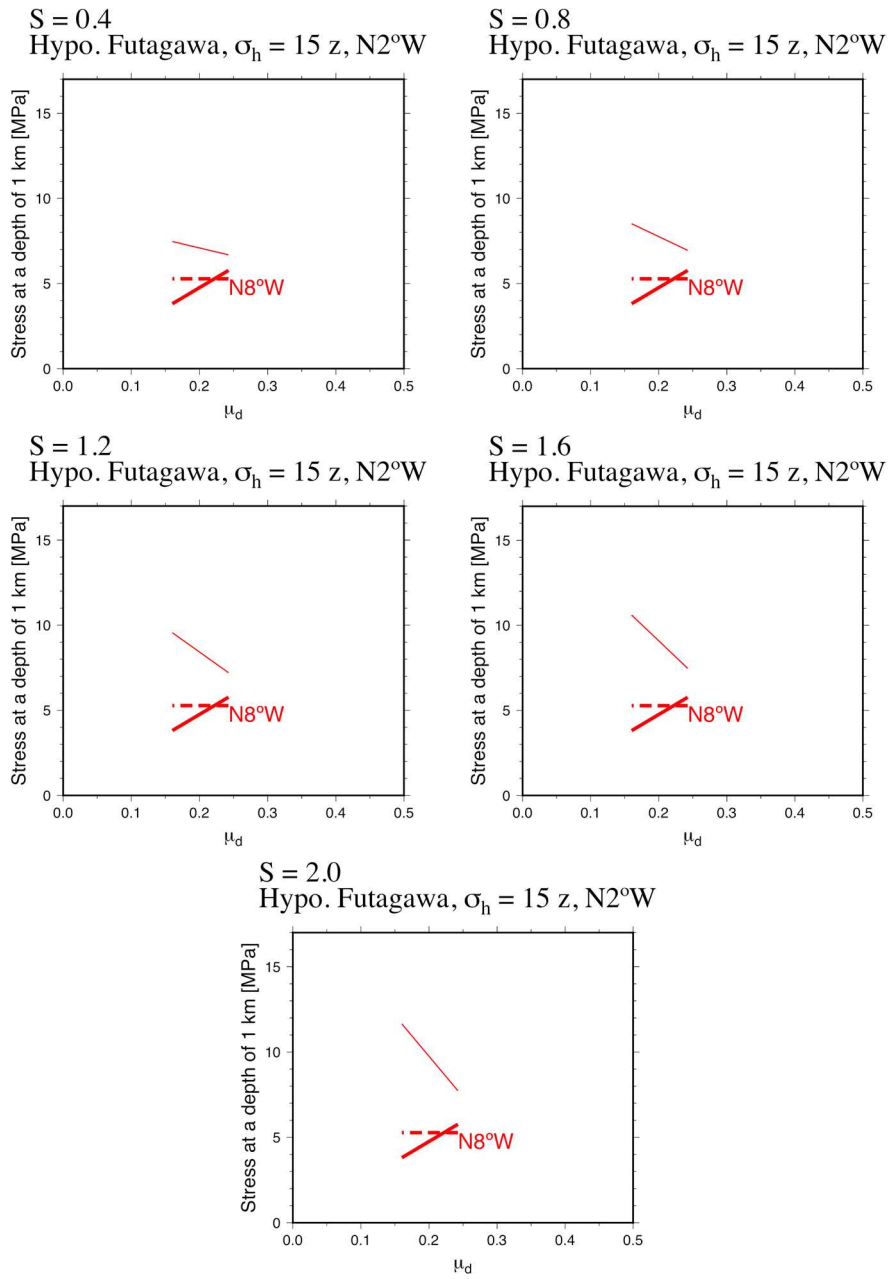


図 13: 布田川断層帯布田川区間から破壊が始まる場合の、日奈久断層帯高野-白旗区間の初期剪断応力(点線), 初期静摩擦応力(細線), 初期動摩擦応力(太線)の動摩擦係数 (μ_d) の値に対する変化. 応力降下量の比例係数 a の値が 0.5~2.0 の範囲での結果を示す. 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが $N2^\circ W$, 日奈久断層帯高野-白旗区間の σ_{Hmin} の向きが $N8^\circ W$ の場合の結果を示す. (左上) 布田川断層帯布田川区間の $S = 0.4$ の場合. (右上) 布田川断層帯布田川区間の $S = 0.8$ の場合. (左中) 布田川断層帯布田川区間の $S = 1.2$ の場合. (右中) 布田川断層帯布田川区間の $S = 1.6$ の場合. (下) 布田川断層帯布田川区間の $S = 2.0$ の場合.

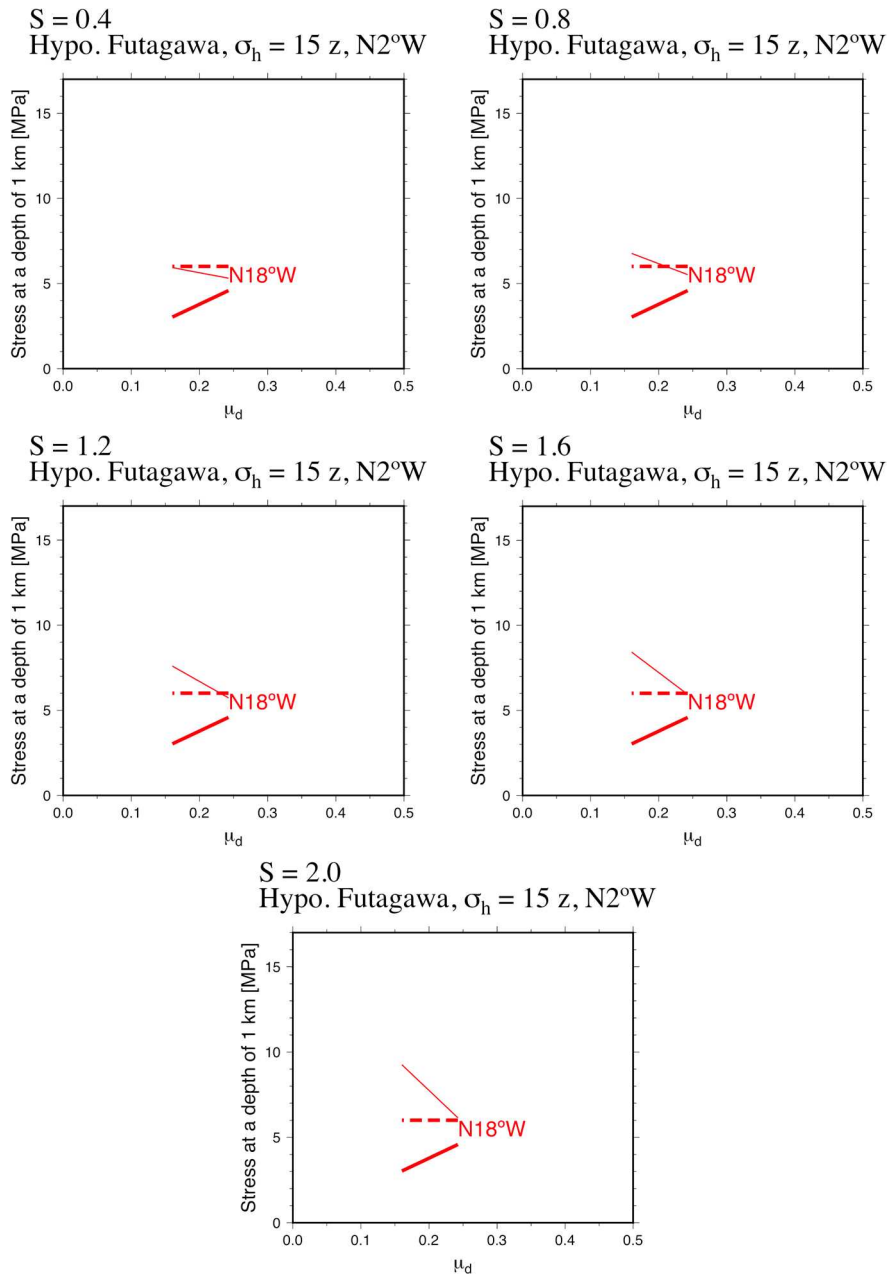


図 14: 布田川断層帯布田川区間から破壊が始まる場合の、日奈久断層帯日奈久区間の初期剪断応力(点線), 初期静摩擦応力(細線), 初期動摩擦応力(太線)の動摩擦係数(μ_d)の値に対する変化. 応力降下量の比例係数 a の値が 0.5~2.0 の範囲での結果を示す. 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが $N2^\circ W$, 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きが $N18^\circ W$ の場合の結果を示す. (左上)布田川断層帯布田川区間の $S = 0.4$ の場合. (右上)布田川断層帯布田川区間の $S = 0.8$ の場合. (左中)布田川断層帯布田川区間の $S = 1.2$ の場合. (右中)布田川断層帯布田川区間の $S = 1.6$ の場合. (下)布田川断層帯布田川区間の $S = 2.0$ の場合.

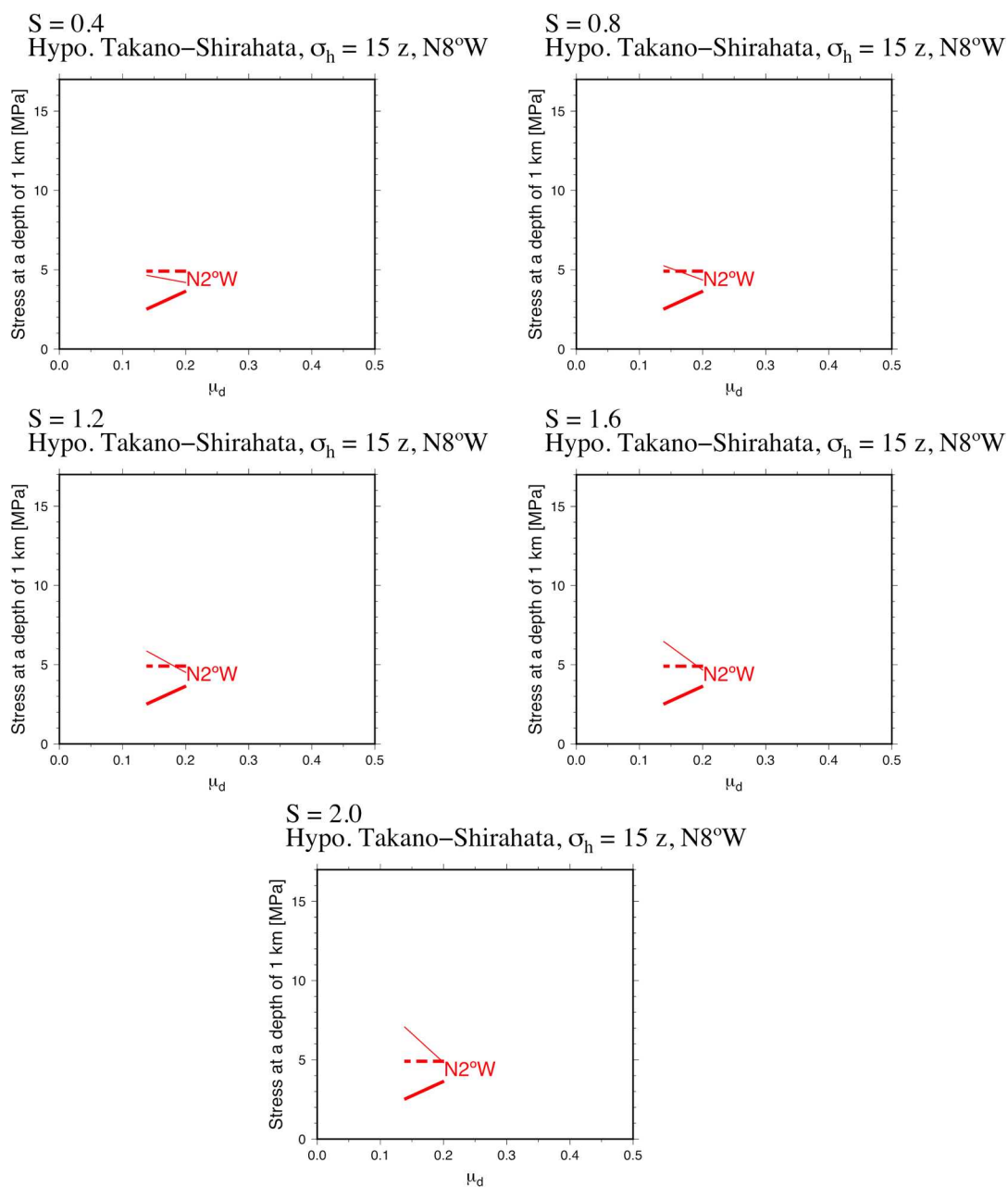


図 15: 日奈久断層帯高野-白旗区間から破壊が始まる場合の、布田川断層帯布田川区間の初期剪断応力(点線), 初期静摩擦応力(細線), 初期動摩擦応力(太線)の動摩擦係数(μ_d)の値に対する変化. 応力降下量の比例係数 a の値が 0.5~2.0 の範囲での結果を示す. 日奈久断層帯高野-白旗区間の σ_{Hmin} の向きが $N8^\circ W$, 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが $N2^\circ W$ の場合の結果を示す. (左上)日奈久断層帯高野-白旗区間の $S = 0.4$ の場合. (右上)日奈久断層帯高野-白旗区間の $S = 0.8$ の場合. (左中)日奈久断層帯高野-白旗区間の $S = 1.2$ の場合. (右中)日奈久断層帯高野-白旗区間の $S = 1.6$ の場合. (下)日奈久断層帯高野-白旗区間の $S = 2.0$ の場合.

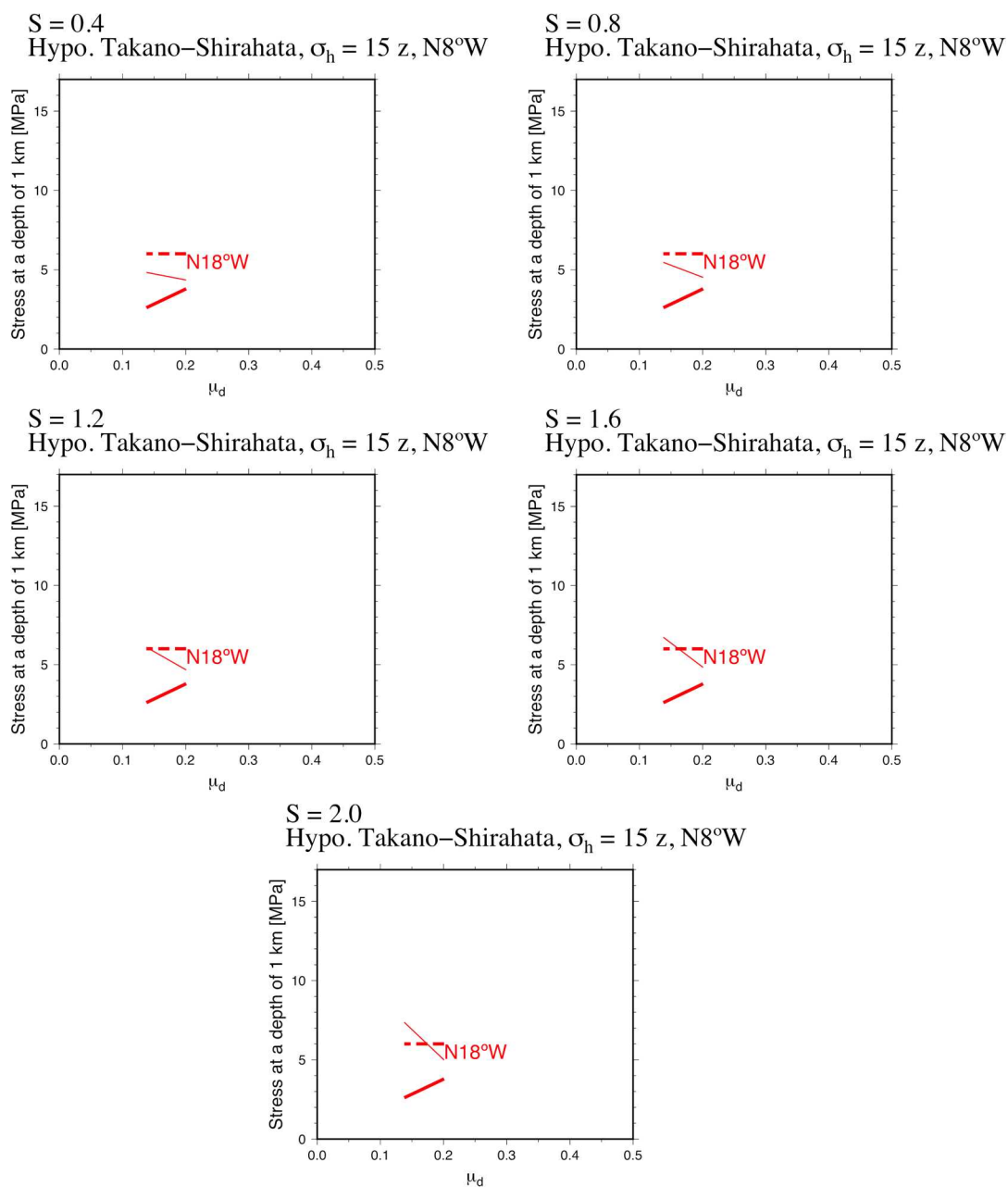


図 16: 日奈久断層帯高野–白旗区間から破壊が始まる場合の、日奈久断層帯日奈久区間の初期剪断応力(点線), 初期静摩擦応力(細線), 初期動摩擦応力(太線)の動摩擦係数(μ_d)の値に対する変化. 応力降下量の比例係数 a の値が 0.5~2.0 の範囲での結果を示す. 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きが $N8^\circ W$, 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きが $N18^\circ W$ の場合の結果を示す. (左上)日奈久断層帯高野–白旗区間の $S = 0.4$ の場合. (右上)日奈久断層帯高野–白旗区間の $S = 0.8$ の場合. (左中)日奈久断層帯高野–白旗区間の $S = 1.2$ の場合. (右中)日奈久断層帯高野–白旗区間の $S = 1.6$ の場合. (下)日奈久断層帯高野–白旗区間の $S = 2.0$ の場合.

布田川断層帯布田川区間北東端および日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合の破壊の進展について、破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) と臨界変位量 (D_c) の値を変えて、シミュレーションをおこなった。ただし、cohesive zone の大きさとシミュレーションの空間グリッド間隔を考慮すると、 D_c が 0.5 m 未満では十分な解像度を持っていないと考えられる (Andrews, 2004) ため、シミュレーション結果は参考にとどめるべきである。

布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合、その後の破壊過程は、大きく分けて、布田川区間のみ破壊、布田川断層帯布田川区間および日奈久断層帯高野-白旗区間が連動、3 区間が連動、の 3 通りとなった (表 7, 8)。いずれも、破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となるモデルが得られた。全体的な傾向としては、 D_c が長いほど、また、 S 値が大きいほど、連動しにくいという結果となった。

布田川断層帯布田川区間の S 値が 0.4、 D_c が 0.5 m の場合、破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となるモデルでも、布田川区間の破壊速度が S 波速度を越えてしまう (図 17a, b)。 D_c が 1.5 m の場合は、破壊開始直後の破壊速度は S 波速度以下であるが、布田川区間南西端付近では S 波速度を越えてしまう (図 17c)。布田川断層帯布田川区間の S 値が 0.8 以上の場合には、布田川区間では S 波速度以下で破壊が伝播するようになる (図 17d)。そのうち、破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となったのは、布田川区間のみ破壊した場合がほとんどであった (図 17d, e)。布田川断層帯布田川区間の S 値が 1.2、 D_c が 0.5 m の場合、3 区間が連動して右横ずれ量が観測値と調和的となるモデルが得られたが、日奈久断層帯日奈久区間の破壊速度が S 波速度を越えていること、日奈久区間から高野-白旗区間へ破壊が伝播していることなど、非現実的な破壊過程となっている (図 17f)。また、布田川断層帯布田川区間の S 値が 0.8 以上、かつ、 D_c が 1.5 m の場合は、布田川区間の応力降下量が大きくても、破壊は広がらない (図 17g)。

日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合、その後の破壊過程は、大きく分けて、高野-白旗区間のみ破壊、高野-白旗区間と布田川断層帯布田川区間が連動、3 区間が連動、の 3 通りとなった (表 9, 10)。このうち、破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となったのは、高野-白旗区間のみ破壊した場合と、高野-白旗区間と布田川区間が連動した場合であった。全体的な傾向としては、 D_c が長いほど連動しにくく、また、 S 値が大きいほど、連動しやすいという結果となった。

日奈久断層帯高野-白旗区間の S 値が 0.8 以下の場合、破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となるモデルは、高野-白旗区間のみ破壊した場合のみである。このとき、高野-白旗区間の破壊速度が S 波速度を越えてしまう (図 18a)。高野-白旗区間の S 値が 1.2 以上の場合、破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となるモデ

ルは、高野-白旗区間と布田川断層帯布田川区間が連動した場合のみである(図 18b-e). 高野-白旗区間の S 値および D_c の値に応じて、高野-白旗区間の破壊の広がりやすさは異なるが、いずれも布田川区間の方に破壊は広がりやすく、布田川区間の破壊速度は S 波速度を越えてしまう。

日奈久断層帯高野-白旗区間から破壊が始まる場合については、破壊が始まる区間の応力降下量の比例係数 a の値および S 値が小さい場合には、布田川区間(図 15)および日奈久区間(図 16)の剪断応力が静摩擦応力を上回り、強度が負となっている。このような場合、剪断応力が動摩擦応力まで低下しているとしているため、応力降下量はゼロとなり、すべりは生じにくい。このため、破壊が始まる区間の S 値が 1.2 以上の場合のほうが、0.8 以下の場合よりも連動しやすくなっている。

ここでの議論は、破壊開始点を布田川断層帯布田川区間および日奈久断層帯高野-白旗区間の北東端に置いた場合の結果を基にしている。破壊開始点を各区間の南西端に置いた場合については、改めてパラメータ・スタディが必要だが、1 (2) で述べたように、布田川断層帯布田川区間および日奈久断層帯高野-白旗区間では、破壊開始点を区間の北東端に置くか、南西端に置くかは、連動性にほとんど影響しない。そのため、少なくとも布田川区間については、南西端から破壊が始まる場合でも、上記の議論は成立すると考えられる。日奈久断層帯高野-白旗区間については、布田川区間よりも日奈久断層帯日奈久区間が破壊しやすい条件であれば、連動性の傾向が異なる可能性もあり、検討が必要である。

表 7 : 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合の破壊過程. 赤文字のモデルでは, 布田川区間田中地点, 高野-白旗区間高木地点, および, 日奈久区間田柵地点の右横ずれ量が観測値と調和的となる.

臨界変位量 (Dc) [m]	破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比)				
	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
0.2	F, TF, HTF	F, HTF	F, HTF	F, HTF	HTF
0.4	F, TF	F, HTF	F, HTF	F, HTF	F, HTF
0.5	F, TF	F, HTF	F, HTF	F, HTF	F, HTF
1.0	F, TF	HTF	F, HTF	F	F
1.5	F, TF	F	F	none	none

表 8a : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 0.4, 臨界変位量 (Dc) = 0.2 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			Red
0.6z			Red
0.7z			Red
0.8z			Red
0.9z			Red
1.0z		Grey	Grey
1.1z		Grey	Grey
1.2z		Grey	Grey
1.3z		Grey	Grey
1.4z		Red	Red
1.5z		Red	Red
1.6z	Grey	Grey	Grey
1.7z	Grey	Grey	Grey
1.8z	Grey	Grey	Grey
1.9z	Grey	Grey	Grey
2.0z	Grey	Grey	Grey

表 8b : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 0.4, 臨界変位量 (D_c) = 0.4 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			Red
0.6z			Red
0.7z			Red
0.8z			Red
0.9z			Red
1.0z			Red
1.1z			Red
1.2z		Gray	Gray
1.3z		Gray	Gray
1.4z		Gray	Gray
1.5z		Red	Red
1.6z		Gray	Gray
1.7z		Gray	Gray
1.8z		Gray	Gray
1.9z		Gray	Gray
2.0z		Gray	Gray

表 8c : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 0.4, 臨界変位量 (D_c) = 0.5 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			Red
0.6z			Red
0.7z			Red
0.8z			Red
0.9z			Red
1.0z			Red
1.1z			Red
1.2z			Red
1.3z		Gray	Gray
1.4z		Gray	Gray
1.5z		Red	Red
1.6z		Gray	Gray
1.7z		Gray	Gray
1.8z		Gray	Gray
1.9z		Gray	Gray
2.0z		Gray	Gray

表 8d : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 0.4, 臨界変位量 (D_c) = 1.0 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 8e : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 0.4, 臨界変位量 (Dc) = 1.5 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 8f : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 0.8, 臨界変位量 (D_c) = 0.2 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 8g : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 0.8, 臨界変位量 (D_c) = 0.4 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 8h : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 0.8, 臨界変位量 (D_c) = 0.5 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 8i : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 0.8, 臨界変位量 (D_c) = 1.0 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 8j : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 0.8, 臨界変位量 (Dc) = 1.5 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 8k : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 1.2, 臨界変位量 (Dc) = 0.2 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 81 : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 1.2, 臨界変位量 (D_c) = 0.4 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 8m : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 1.2, 臨界変位量 (Dc) = 0.5 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 8n : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 1.2, 臨界変位量 (D_c) = 1.0 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 8o : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 1.2, 臨界変位量 (Dc) = 1.5 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 8p : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 1.6, 臨界変位量 (D_c) = 0.2 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 8q : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 1.6, 臨界変位量 (D_c) = 0.4 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 8r : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 1.6, 臨界変位量 (Dc) = 0.5 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 8s : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 1.6, 臨界変位量 (Dc) = 1.0 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 8t : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 1.6, 臨界変位量 (D_c) = 1.5 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 8u : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 2.0, 臨界変位量 (D_c) = 0.2 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 8v : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 2.0, 臨界変位量 (D_c) = 0.4 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 8w : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 2.0, 臨界変位量 (Dc) = 0.5 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 8x : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 2.0, 臨界変位量 (Dc) = 1.0 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 8y : 布田川断層帯布田川区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 2.0, 臨界変位量 (D_c) = 1.5 m で, 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

$D_c = 0.5$ [m], $S = 0.4$

σ_h N18°W, 8°W, 2°W, $\Delta\tau = 1.00 z$ [MPa]

Hinagu-TakanoShirahata-Futagawa

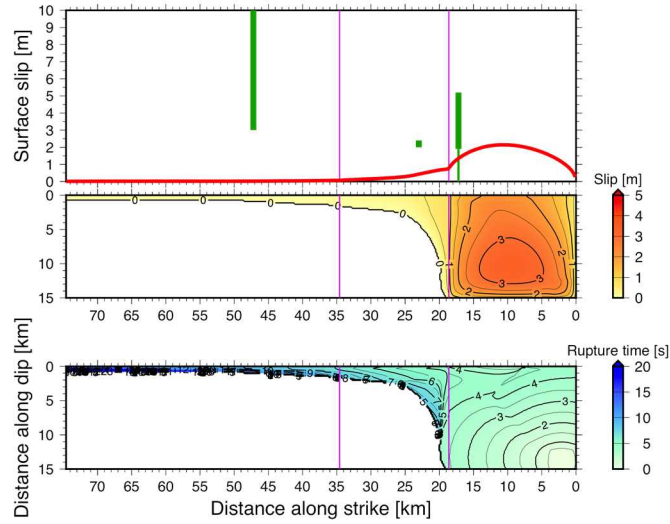


図 17: 布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まる場合の破壊過程の例。布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きはN2°W, 日奈久断層帯高野-白旗区間の σ_{Hmin} の向きはN8°W, 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きはN18°W. (a) 布田川断層帯布田川区間のS値が0.4, D_c が0.5 m, 応力降下量の比例係数が1.00の場合.

$D_c = 0.5$ [m], $S = 0.4$

σ_h N18°W, 8°W, 2°W, $\Delta\tau = 1.50 z$ [MPa]

Hinagu-TakanoShirahata-Futagawa

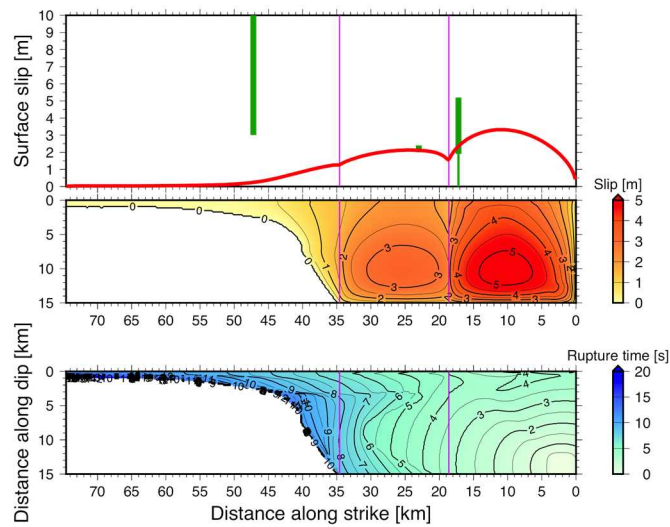


図 17: (b) 布田川断層帯布田川区間のS値が0.4, D_c が0.5 m, 応力降下量の比例係数が1.50の場合.

$D_c = 1.5$ [m], $S = 0.4$

σ_h N18°W, 8°W, 2°W, $\Delta\tau = 1.60 z$ [MPa]

Hinagu–TakanoShirahata–Futagawa

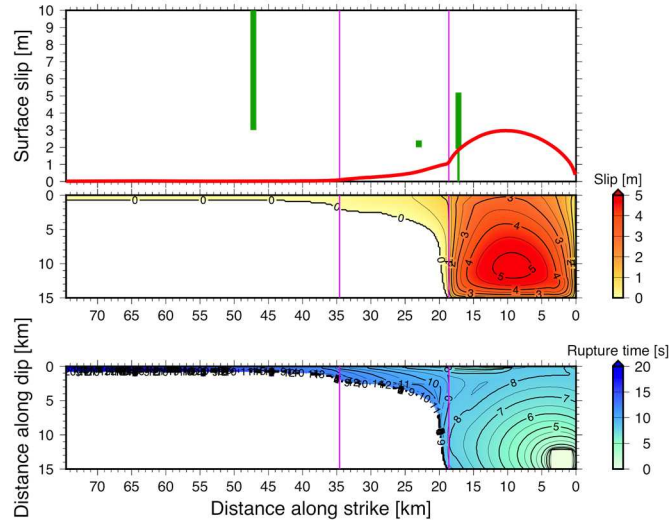


図 17: (c) 布田川断層帯布田川区間の S 値が 0.4, D_c が 1.5 m, 応力降下量の比例係数が 1.60 の場合.

$D_c = 0.5$ [m], $S = 0.8$

σ_h N18°W, 8°W, 2°W, $\Delta\tau = 1.00 z$ [MPa]

Hinagu–TakanoShirahata–Futagawa

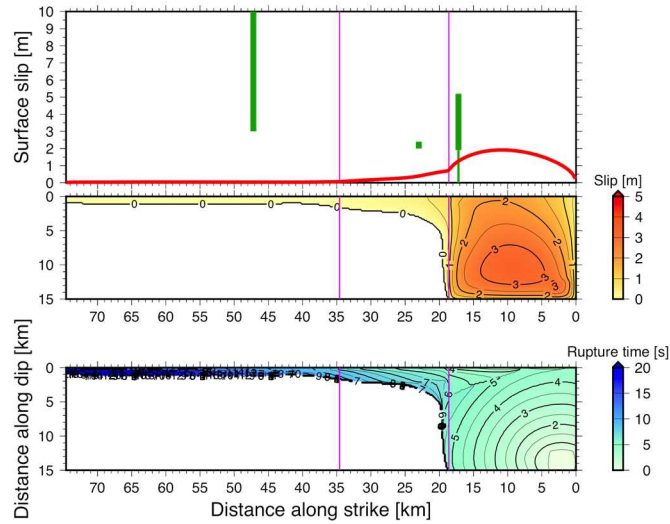


図 17: (d) 布田川断層帯布田川区間の S 値が 0.8, D_c が 0.5 m, 応力降下量の比例係数が 1.00 の場合.

$D_c = 0.5$ [m], $S = 1.6$

σ_h N18°W, 8°W, 2°W, $\Delta\tau = 1.00 z$ [MPa]

Hinagu–TakanoShirahata–Futagawa

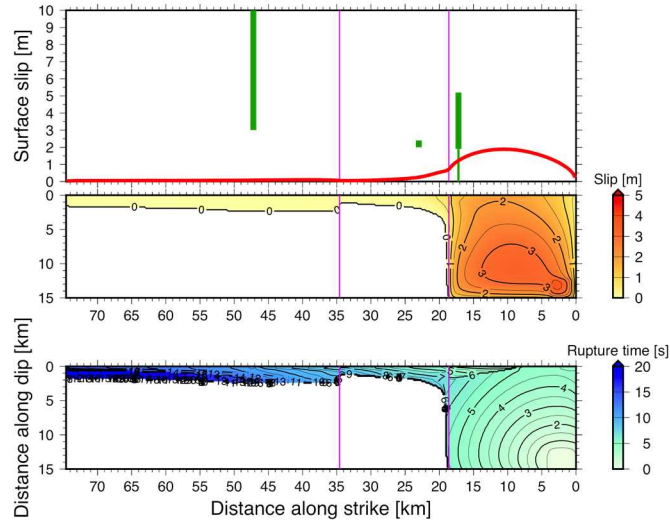


図 17: (e) 布田川断層帯布田川区間の S 値が 1.6, D_c が 0.5 m, 応力降下量の比例係数が 1.00 の場合.

$D_c = 0.5$ [m], $S = 1.2$

σ_h N18°W, 8°W, 2°W, $\Delta\tau = 0.90 z$ [MPa]

Hinagu–TakanoShirahata–Futagawa

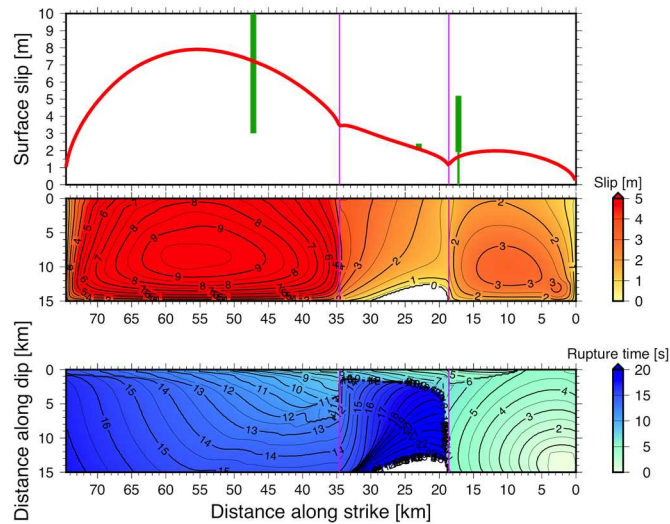


図 17: (f) 布田川断層帯布田川区間の S 値が 1.2, D_c が 1.5 m, 応力降下量の比例係数が 0.90 の場合.

$D_c = 1.5$ [m], $S = 2.0$

σ_h N18°W, 8°W, 2°W, $\Delta\tau = 2.00 z$ [MPa]

Hinagu–TakanoShirahata–Futagawa

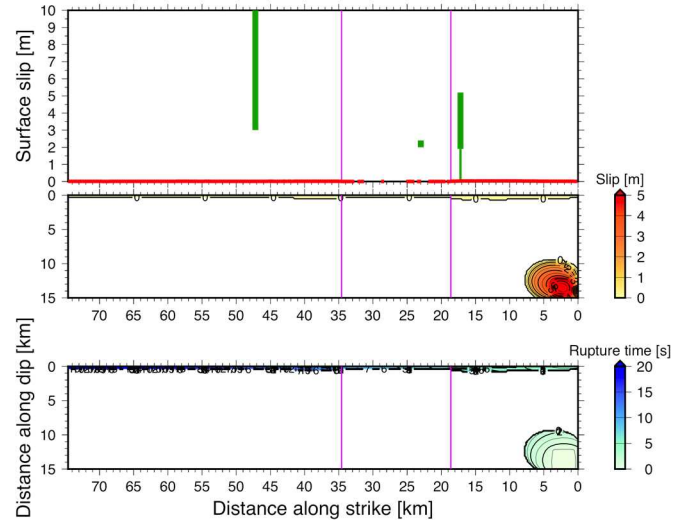


図 17: (g) 布田川断層帯布田川区間の S 値が 2.0, D_c が 1.5 m, 応力降下量の比例係数が 2.00 の場合.

表 9：日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合の破壊過程。赤文字のモデルでは，布田川区間田中地点，高野-白旗区間高木地点，および，日奈久区間田柁地点の右横ずれ量が観測値と調和的となる。

臨界変位量 (Dc)	破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比)				
	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
0.2	T, HTF	T, HTF	T, TF, HTF	T, TF, HTF	T, TF, HTF
0.4	T	T, TF	T, TF, HTF	T, TF, HTF	TF, HTF
0.5	T	T, TF	T, TF, HTF	T, TF, HTF	TF, HTF
1.0	T	T, TF	TF, HTF	TF, HTF	TF, HTF
1.5	T	TF	TF, HTF	TF, HTF	HTF

表 10a : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 0.4, 臨界変位量 (D_c) = 0.2 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10b : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 0.4, 臨界変位量 (D_c) = 0.4 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10c : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 0.4, 臨界変位量 (D_c) = 0.5 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10d : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 0.4, 臨界変位量 (D_c) = 1.0 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10e : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 0.4, 臨界変位量 (D_c) = 1.5 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10f : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 0.8, 臨界変位量 (D_c) = 0.2 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10g : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 0.8, 臨界変位量 (D_c) = 0.4 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10h : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 0.8, 臨界変位量 (D_c) = 0.5 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10i : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 0.8, 臨界変位量 (D_c) = 1.0 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10j : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 0.8, 臨界変位量 (D_c) = 1.5 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10k : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 1.2, 臨界変位量 (D_c) = 0.2 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 101 : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 1.2, 臨界変位量 (D_c) = 0.4 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10m : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 1.2, 臨界変位量 (D_c) = 0.5 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10n : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 1.2, 臨界変位量 (D_c) = 1.0 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10o : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 1.2, 臨界変位量 (D_c) = 1.5 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10p : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 1.6, 臨界変位量 (D_c) = 0.2 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10q : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 1.6, 臨界変位量 (D_c) = 0.4 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10r : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 1.6, 臨界変位量 (D_c) = 0.5 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10s : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 1.6, 臨界変位量 (Dc) = 1.0 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10t : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 1.6, 臨界変位量 (D_c) = 1.5 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10u : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 2.0, 臨界変位量 (D_c) = 0.2 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10v : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 2.0, 臨界変位量 (Dc) = 0.4 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10w : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 2.0, 臨界変位量 (D_c) = 0.5 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10x : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 2.0, 臨界変位量 (D_c) = 1.0 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

表 10y : 日奈久断層帯高野-白旗区間の応力降下量を変化させたときの破壊領域の変化. 破壊の始まる区間の S (強度と応力降下量の比) = 2.0, 臨界変位量 (D_c) = 1.5 m で, 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合. 表の詳細は, 表 3a と同じ.

日奈久区間の 応力降下量	日奈久区間	高野-白旗区間	布田川区間
0.5z			
0.6z			
0.7z			
0.8z			
0.9z			
1.0z			
1.1z			
1.2z			
1.3z			
1.4z			
1.5z			
1.6z			
1.7z			
1.8z			
1.9z			
2.0z			

$D_c = 0.5$ [m], $S = 0.8$

σ_h N18°W, 8°W, 2°W, $\Delta\tau = 1.30 z$ [MPa]

Hinagu-TakanoShirahata-Futagawa

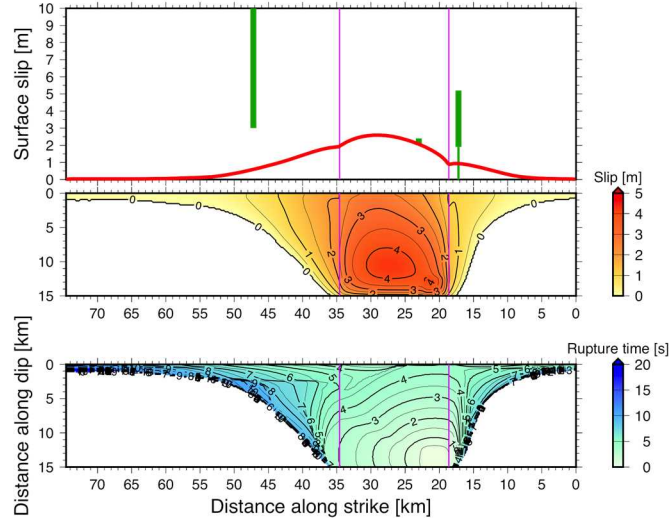


図 18: 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合の破壊過程の例. 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きは N2° W, 日奈久断層帯高野-白旗区間の σ_{Hmin} の向きは N8° W, 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きは N18° W. (a) 日奈久断層帯高野-白旗区間の S 値が 0.8, D_c が 0.5 m, 応力降下量の比例係数が 1.30 の場合.

$D_c = 1.5$ [m], $S = 1.2$

σ_h N18°W, 8°W, 2°W, $\Delta\tau = 1.10 z$ [MPa]

Hinagu-TakanoShirahata-Futagawa

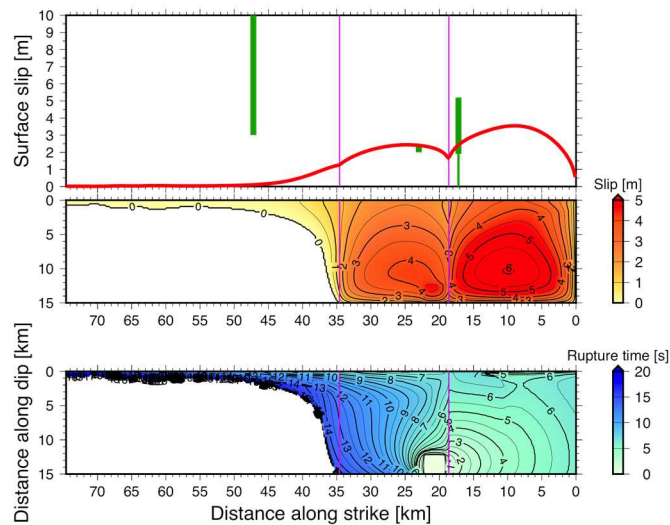


図 18: (b) 日奈久断層帯高野-白旗区間の S 値が 1.2, D_c が 0.5 m, 応力降下量の比例係数が 1.10 の場合.

$D_c = 0.5$ [m], $S = 1.6$

σ_h N18°W, 8°W, 2°W, $\Delta\tau = 0.80 z$ [MPa]

Hinagu-TakanoShirahata-Futagawa

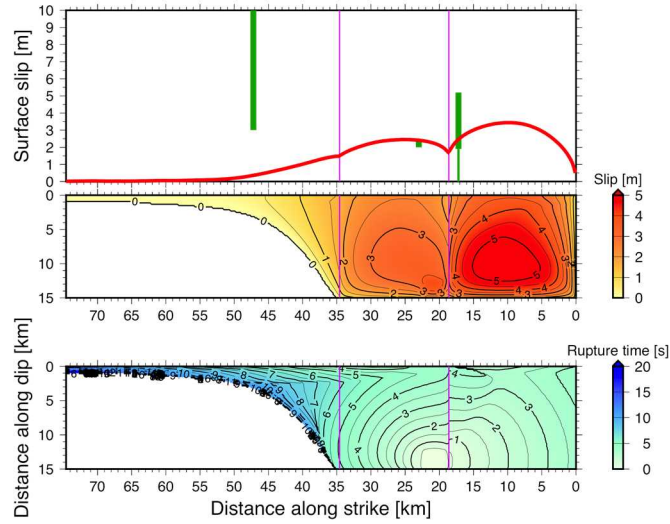


図 18: (c) 日奈久断層帯高野-白旗区間の S 値が 1.6, D_c が 0.5 m, 応力降下量の比例係数が 0.80 の場合.

$D_c = 1.5$ [m], $S = 1.6$

σ_h N18°W, 8°W, 2°W, $\Delta\tau = 1.10 z$ [MPa]

Hinagu-TakanoShirahata-Futagawa

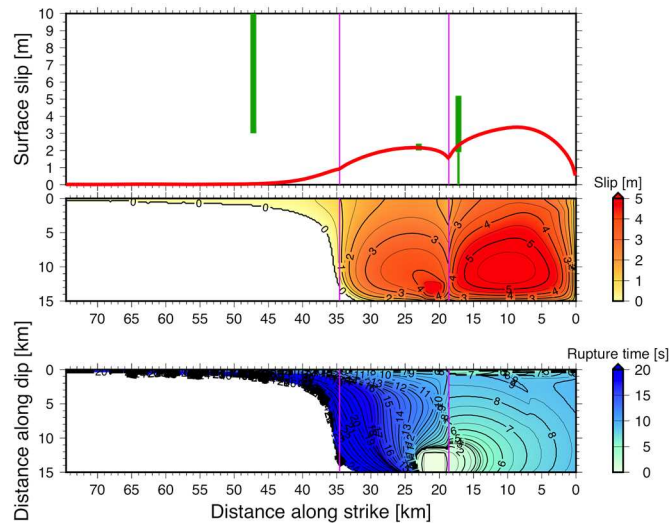


図 18: (d) 日奈久断層帯高野-白旗区間の S 値が 1.6, D_c が 1.5 m, 応力降下量の比例係数が 1.10 の場合.

$D_c = 0.5$ [m], $S = 2.0$

σ_h N18°W, 8°W, 2°W, $\Delta\tau = 0.80 z$ [MPa]

Hinagu-TakanoShirahata-Futagawa

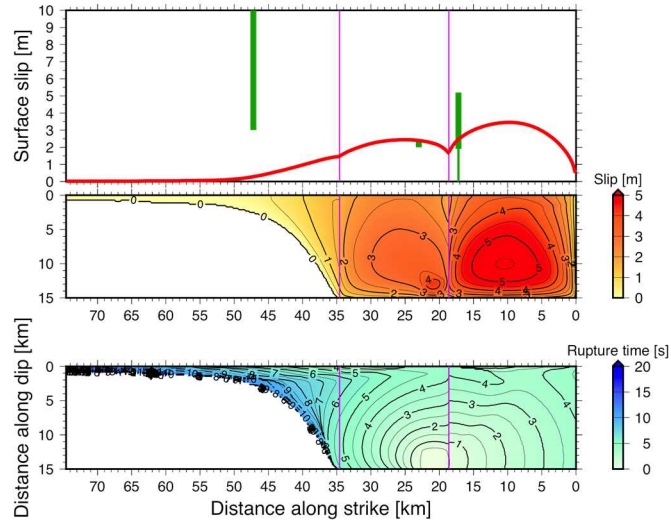


図 18: (e) 日奈久断層帯高野-白旗区間の S 値が 2.0, D_c が 0.5 m, 応力降下量の比例係数が 0.80 の場合.

2 総合検討

2 (1) 熊本地震の破壊進展との比較

2016 年熊本地震については、活断層調査や波形インバージョンにより、破壊領域の広がりやすべり分布、破壊伝播過程が調べられている（例えば、図 19a, Shirahama et al., 2016 ; 図 19b, Kubo et al., 2016 ; Asano and Iwata, 2016 ; Yoshida et al., 2016）。

この地震と比較対象となるのは、日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合のシミュレーション結果（産業技術総合研究所, 2017）である。破壊が始まる区間の σ_{Hmin} の深さに対する比例係数を 15 とした場合、1 (3) より、破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となるモデルは、高野-白旗区間の S 値が 0.8 以下の場合、高野-白旗区間のみ破壊した場合のみ、高野-白旗区間の S 値が 1.2 以上の場合、高野-白旗区間と布田川断層帯布田川区間が連動した場合のみである。高野-白旗区間の S 値が 0.8 以下の場合、高野-白旗区間の破壊速度が S 波速度を越える一方、高野-白旗区間の S 値が 1.2 以上の場合、高野-白旗区間の破壊速度は S 波速度以下で、布田川区間の破壊速度が S 波速度を越える。

高野-白旗区間の S 値が 1.6 の場合について検討した産業技術総合研究所（2017）によると、破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となったのは、高野-白旗区間と布田川区間が連動した場合だけであり、破壊領域の広がりについて、2016 年熊本地震と調和的な結果が得られている。このとき、破壊は、高野-白旗区間では S 波速度以下で、布田川区間では S 波速度以上で伝播する（図 20a）。このような破壊過程は一見現実的ではないようにも思えるが、2016 年 4 月 16 日熊本地震でも、布田川区間の破壊速度が S 波速度以上、もしくは、S 波速度に近いことが推定されており（Pulido, 2016）、無視することのできない結果である。

日奈久断層帯高野-白旗区間と布田川断層帯布田川区間が連動し、高野-白旗区間高木地点と布田川区間田中地点の右横ずれ量が観測値と調和的となる時、高野-白旗区間の応力降下量は、概ね 0.8 z [MPa]程度、かつ、高野-白旗区間の σ_{Hmin} が N8° W もしくは N13° W の場合であった。このとき、高野-白旗区間の地表変位量は、最大で約 2.4 m、布田川区間の地表変位量は、最大で約 3.5 m となっており、2016 年熊本地震で観測された地表変位量（高野-白旗区間で最大で約 0.8 m、布田川区間で最大で約 2.2 m ; Shirahama et al., 2016）よりも大きい。

高野-白旗区間の応力降下量が小さい場合には、破壊は高野-白旗区間のみにとどまる（図 20b）。これは、布田川断層帯布田川区間の強度が負となり、すでに破壊し、剪断応力は動摩擦応力に等しくなっているはずの応力条件となるためである。

一方、高野-白旗区間の応力降下量が多い場合は、高野-白旗区間の σ_{Hmin} によって、連

動の仕方が異なる。高野-白旗区間の σ_{Hmin} が $N8^{\circ}W$ のときは、高野-白旗区間と布田川断層帯布田川区間が連動するが、高野-白旗区間高木地点と布田川区間田中地点の右横ずれ量は過大となる(図 20c)。高野-白旗区間の σ_{Hmin} が $N13^{\circ}W$ のときは、3区間が連動する(図 20d)。日奈久区間では、強度と応力降下量の比が小さいため、日奈久区間まで到達した破壊は加速し、破壊速度はS波速度を超える。また、日奈久区間の応力降下量が大きいため、すべり量は10mを超え、その影響を受けて、布田川区間と高野-白旗区間のすべり量も大きくなる。その結果、田中地点、高木地点、梶地点ともに、右横ずれ量は過大となる。日奈久断層帯高野-白旗区間の σ_{Hmin} が $N3^{\circ}W$ の場合は、応力降下量が比較的大きくても、破壊は高野-白旗区間にとどまり、高木地点の右横ずれ量は過小となる(図 20e)。

波形インバージョン結果(Asano and Iwata, 2016; Kubo et al., 2016; Yoshida et al., 2016)とシミュレーション結果の地震モーメントと破壊面積を、入倉・三宅(2001), Somerville et al., (1999), および、武村(1998)と比較した結果を図 21 に示す。シミュレーション結果のうち、破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となるモデル(図 21 の赤丸)の地震モーメントは、波形インバージョン結果(図 21 の黒丸)と同程度となっている。

右横ずれ量が観測値と調和的とならないモデル(図 21 のピンク×印)も含めたシミュレーション結果は、地震モーメント、破壊面積ともに広い範囲に分布している。このうち、破壊面積が約 100 km^2 よりも小さいものは、破壊が初期クラックからほとんど広がっていないモデル、破壊面積が約 $300\sim 500\text{ km}^2$ のものは、高野-白旗区間のみが主に破壊しているモデル、破壊面積が約 $600\sim 800\text{ km}^2$ のものは、高野-白旗区間と布田川区間が主に破壊しているモデル、破壊面積が約 1100 km^2 のものは、3区間が連動しているモデルである。破壊面積に近いそれぞれのグループの中で、地震モーメントの値は、応力降下量の設定に応じてばらついている。

シミュレーション結果は、全体に、入倉・三宅(2001)と比べて、断層面積に比して地震モーメントが大きめとなっている。これは、モデルに短波長の不均質が考慮されておらず、1区間がひとつのアスペリティのようになっているため、広い範囲ですべりが大きくなりやすいことによる。

波形インバージョン結果に比べて、破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となるモデルの破壊面積は小さい。しかし、地表変位量が観測値よりも大きいことから、地震モーメントは調和的となっている。2016年熊本地震では、地震調査研究推進本部(2013)で認定された布田川断層帯布田川区間の東側延長部分も破壊しており、この地震の破壊過程を再現するためには、断層長をより長く設定する必要があることを示している。一方、シミュレーション結果のうち、破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となるモデルは、2016年熊本地震の地震モーメントと近い値となるモデルに限られており、トレンチ調査などによる1イベントあたりのすべり量でモデルを拘束する手法は、ある程度は有効であると考えられ

る。

上記は、破壊が始まる区間の σ_{Hmin} の深さに対する比例係数を15とした場合の結果であるが、加瀬ほか(2017)では、この比例係数を10または20とした場合についても検討している。この検討結果によると、比例係数が10の場合は、全体的に連動しにくい傾向があり、破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となるモデルは、高野-白旗区間のみが破壊するモデルのみであった。一方、比例係数が20の場合は、全体的に連動しやすい傾向があり、破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となるモデルは、布田川区間と高野-白旗区間が連動するモデルと、3区間が連動するモデルの2通りであった。比例係数が小さいほど、摩擦係数は大きく、比例係数が大きいほど、摩擦係数は小さいため、比例係数が大きくなるに従って、破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となるモデルは、高野-白旗区間のみが破壊するモデルのみ、布田川区間と高野-白旗区間が連動するモデルのみ、布田川区間と高野-白旗区間が連動するモデルと3区間が連動するモデルの2通り、と移り変わっていくことがわかる。

2016年熊本地震の破壊過程と比較すると、破壊が始まる区間の σ_{Hmin} の深さに対する比例係数は15、もしくは、20程度であると推測される。しかし、比例係数が20の場合、動摩擦係数は0.1程度より小さい値に相当し、岩石実験の結果などから得られている値よりもかなり小さい。そのため、比例係数は20よりは小さい、とも考えられる。いずれにせよ、破壊が始まる区間の σ_{Hmin} の深さに対する比例係数によって、破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となるモデルが異なることから、シミュレーションにより妥当な破壊過程を得るためには、水圧破碎実験などにより、破壊が始まる区間付近の σ_{Hmin} の深さに対する比例係数が得られていることが望ましい。

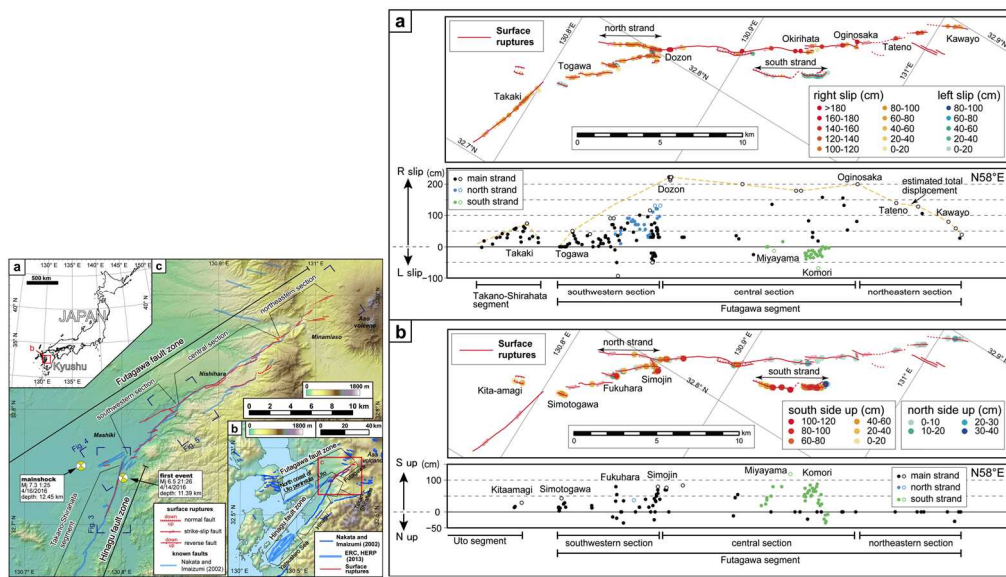


図 19:(a) 2016 年熊本地震の地表地震断層調査結果. (Shirahama et al., 2016)

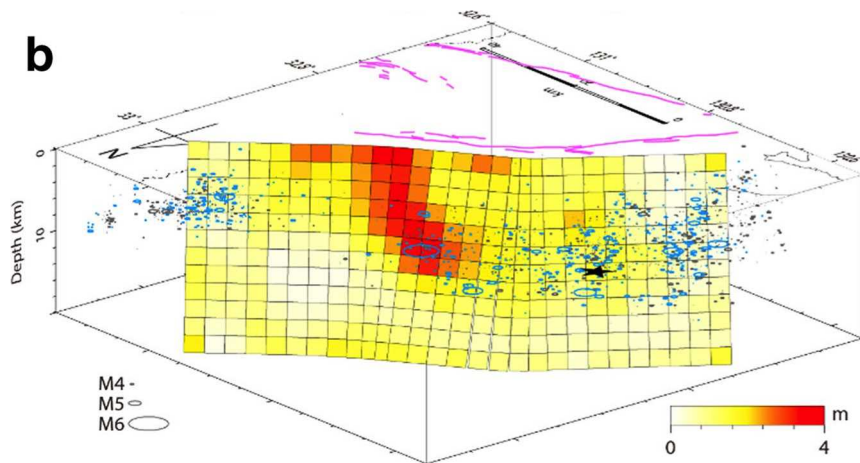


図 19:(b) 2016 年熊本地震の波形インバージョン結果. (Kubo et al., 2016)

$$\sigma_h \text{ N}18^\circ\text{W}, 8^\circ\text{W}, 2^\circ\text{W}, \Delta\tau = 0.80 z \text{ [MPa]}$$

Hinagu-TakanoShirahata-Futagawa

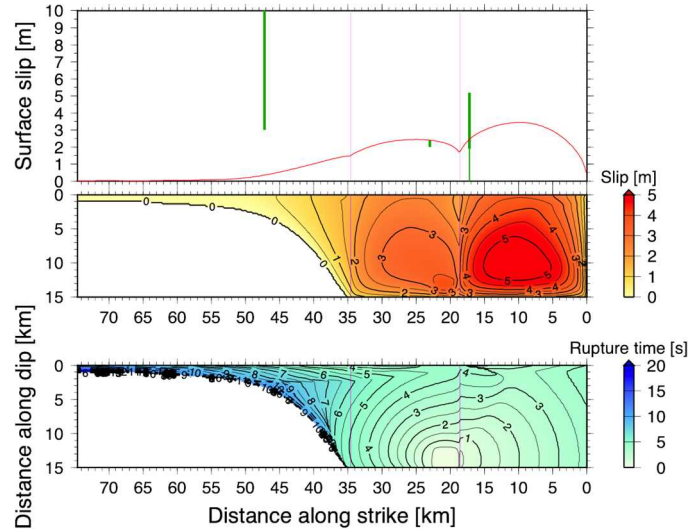


図 20: 日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まる場合の破壊過程の例 (産業技術総合研究所, 2017) . (a) 日奈久断層帯高野-白旗区間の σ_{Hmin} の向きが $\text{N}8^\circ \text{W}$, 応力降下量の比例係数が 0.80 , S 値が 1.6 , 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが $\text{N}2^\circ \text{W}$, 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きが $\text{N}18^\circ \text{W}$ の場合.

$$\sigma_h \text{ N}18^\circ\text{W}, 8^\circ\text{W}, 2^\circ\text{W}, \Delta\tau = 0.70 z \text{ [MPa]}$$

Hinagu-TakanoShirahata-Futagawa

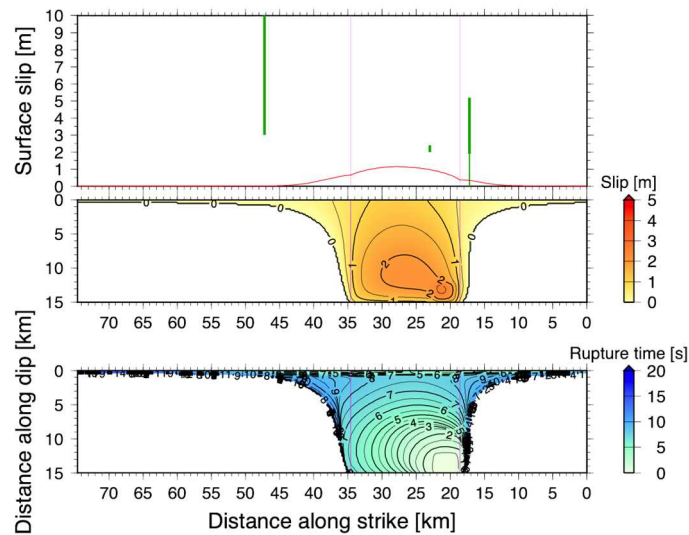


図 20: (b) 日奈久断層帯高野-白旗区間の σ_{Hmin} の向きが $\text{N}8^\circ \text{W}$, 応力降下量の比例係数が 0.70 , S 値が 1.6 , 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きが $\text{N}2^\circ \text{W}$, 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きが $\text{N}18^\circ \text{W}$ の場合.

σ_h N18°W, 8°W, 2°W, $\Delta\tau = 1.00 z$ [MPa]
 Hinagu–TakanoShirahata–Futagawa

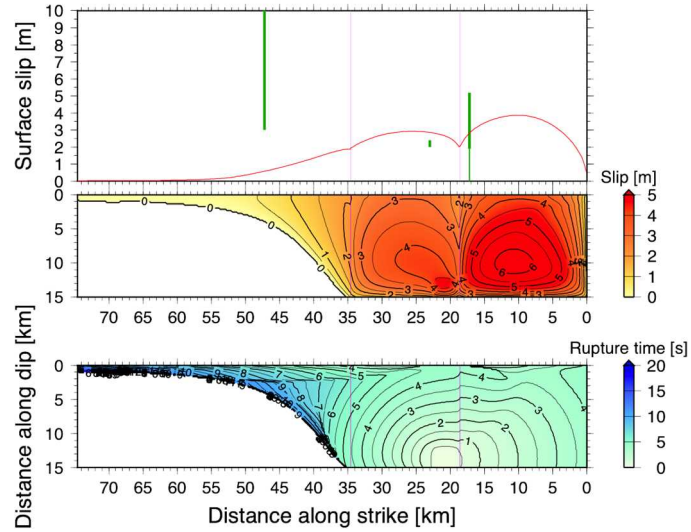


図 20: (c) 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きがN8° W, 応力降下量の比例係数が1.00, S値が1.6, 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きがN2° W, 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きがN18° Wの場合.

σ_h N18°W, 13°W, 2°W, $\Delta\tau = 1.00 z$ [MPa]
 Hinagu–TakanoShirahata–Futagawa

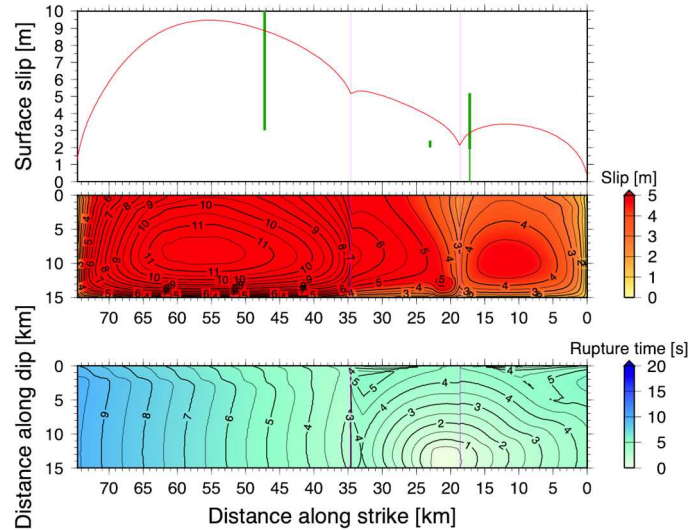


図 20: (d) 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きがN13° W, 応力降下量の比例係数が1.00, S値が1.6, 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きがN2° W, 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きがN18° Wの場合.

σ_h N18°W, 3°W, 2°W, $\Delta\tau = 1.00 z$ [MPa]
 Hinagu–TakanoShirahata–Futagawa

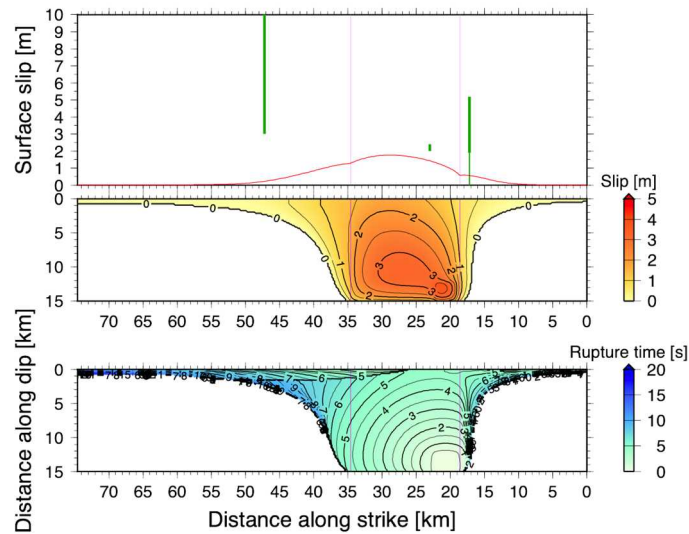


図 20: (e) 日奈久断層帯高野–白旗区間の σ_{Hmin} の向きがN3° W, 応力降下量の比例係数が1.00, S値が1.6, 布田川断層帯布田川区間の σ_{Hmin} の向きがN2° W, 日奈久断層帯日奈久区間の σ_{Hmin} の向きがN18° Wの場合.

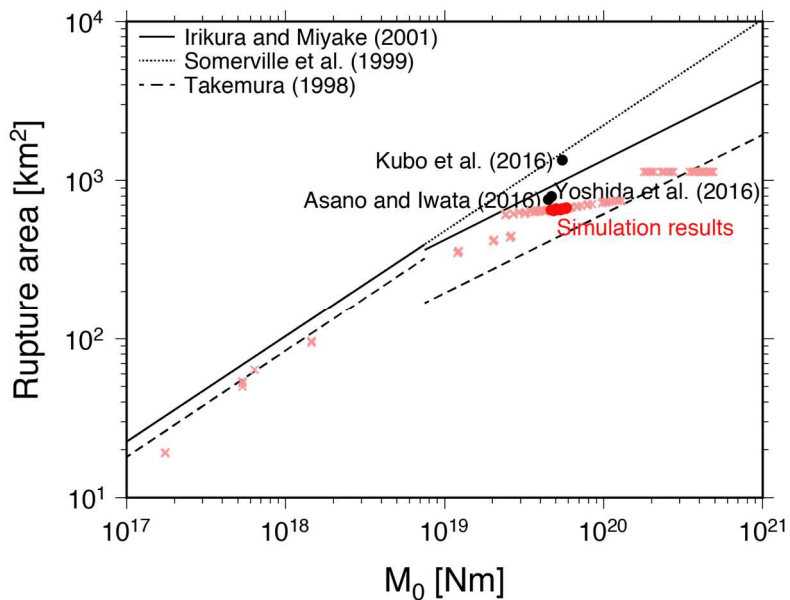


図 21: 2016 年熊本地震の波形インバージョン結果 (黒丸) と日奈久断層帯高野–白旗区間北東端から破壊が始まる場合のシミュレーション結果 (赤; 産業技術総合研究所, 2017) の比較. 赤丸は破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となるモデル, ピンクの×印は右横ずれ量が観測値と調和的とならないモデル.

2 (2) 破壊の進展に影響を与えるパラメータの影響度の整理

破壊の進展に対する各パラメータの影響度を整理するため、まず、産業技術総合研究所 (2017, 2018), 加瀬ほか (2017), および、本報告書 1 (2), (3)の結果に基づき、各パラメータを変えたときのシミュレーション結果のばらつきについて整理し、その後、結果に大きく影響するパラメータ、それほど影響を与えないパラメータを抽出する。

2 (2) 1 破壊開始点の位置

1 (2)で述べたように、布田川断層帯布田川区間と日奈久断層帯高野-白旗区間については、破壊開始点を区間の北東端に置くか、南西端に置くかは、運動性にほとんど影響しない。一方、区間の長い日奈久断層帯日奈久区間では、破壊の伝播の効果により、北東端から破壊が始まる場合よりも、南西端から破壊が始まる場合の方が、高野-白旗区間へ破壊が広がりやすい(産業技術総合研究所, 2018)。

破壊開始点の深さについては、極端に浅い場合を除いて、破壊の進展には大きな影響はないと考えられるが、詳細については、更なるパラメータ・スタディが必要である。

2 (2) 2 主応力軸の向き

活動区間ごとに $\pm 5^\circ$ の誤差を考慮し、最小主圧縮応力 σ_{Hmin} の向きについて、3通りずつの値を設定した場合、 σ_{Hmin} の向きをばらつかせても、すべり量が調和的になる連動のパターンは、概ね同じである。ただし、3つの区間共通の向きを設定する場合、活動区間ごとに設定する場合とは、連動性の傾向が異なる場合がある(加瀬ほか, 2017)。

布田川断層帯・日奈久断層帯については、2016年熊本地震以前の研究で、応力軸の向きは、精度よく決定されていた(Matsumoto et al., 2015)ため、結果的に、 σ_{Hmin} の向きをばらつかせても、シミュレーション結果に大きな影響はなかった。しかし、断層面にはたらく応力は、断層の走向、傾斜角と σ_{Hmin} の向きにより、大きく変化する。そのため、応力軸の向きの誤差が大きいと考えられる場合には、事前に十分な誤差を考慮した上で、断層面各区間ごとの応力場について検討し、パラメータをばらつかせる必要がある。

2 (2) 3 主応力の深さに対する比例係数

σ_{Hmin} の深さに対する比例係数が小さいほど連動しにくく、大きいほど連動しやすい(加瀬ほか, 2017)。これは、主応力の深さに対する比例係数が摩擦係数に対応していることによるもので、全体的な連動のしやすさに影響を与えるパラメータとなっている。

断層面の摩擦係数を事前に知ることは難しいが、主応力の深さに対する比例係数は、水圧破碎実験で測定可能な量である。深さ1 km程度での値が断層深部まで適用できるかどうか

ど、利用にあたっては留意すべき点は少なくないが、利用可能な測定値があれば、値の目安として、積極的に参照することが望ましい。

2 (2) 4 破壊が始まる区間の応力降下量の深さに対する比例係数

破壊が始まる区間の応力降下量の深さに対する比例係数が小さいと連動しにくく、大きいと連動しやすい。これは、応力降下量の深さに対する比例係数が、平均的な応力降下量の大きさを決定しており、破壊が始まる区間から、隣接する区間へ破壊が広がるためには、ある程度の大きさの応力降下量が必要なためである。また、この比例係数は、 σ_{Hmin} の深さに対する比例係数と同様に、摩擦係数に対応しており、全体的な連動のしやすさに影響を与えるパラメータとなっている。

応力降下量の大きさは、1 イベントあたりのすべり量で拘束することができる。布田川断層帯・日奈久断層帯では、各区間に1カ所ずつ、変位量の情報があるが、精度よい値が得られているのは、日奈久断層帯高野-白旗区間の高木地点のみであり、実質的には、この地点のすべり量でモデルを拘束している。他区間においても、1 イベントあたりのすべり量の精度よい値が得られれば、よりよくモデルを拘束することができる。

ただし、実際に発生した地震で観測される地表変位量分布と異なり、古地震学的調査で得られるすべり量は、必ずしも1 イベントでのすべり量ではない可能性があるため、複数回のイベントで生じたすべり量である可能性も考慮する必要がある。また、2016年熊本地震で、日奈久断層帯高野-白旗区間の地表変位量が最大で約0.8 mであったように、イベントごとにすべり量はばらつく。シミュレーションの際には、これらを考慮して、パラメータをばらつかせる必要がある。

2 (2) 5 臨界変位量 (Dc)

臨界変位量 (Dc) が短いほど連動しやすく、長いほど連動しにくい。これは、臨界変位量 (Dc) が長いほど、破壊が進展するために必要な破壊エネルギーが大きくなるためである。

臨界変位量 (Dc) の値を事前に知ることは難しいが、すべての区間に対して、同じように影響を与えるため、連動性を検討するシミュレーションの際には、モデルが要請する最短の値を設定しておき、必要に応じて、より長い値を検討することになる。

2 (2) 6 破壊が始まる区間の強度と応力降下量の比 (S 値)

破壊が始まる区間の強度と応力降下量の比 (S 値) が小さいほど連動しやすく、大きいほど連動しにくい。ただし、破壊が始まる区間の強度と応力降下量の比 (S 値) が小

さすぎると、破壊速度が S 波速度を越えてしまい、必ずしも現実的とは言えなくなる。一方、破壊が始まる区間の強度と応力降下量の比 (S 値) が大きすぎると、そもそも破壊が初期クラックから広がらなくなる。また、S 値が小さい場合、他区間では剪断応力が静摩擦応力を上回り、強度が負となることがあり、この場合は運動しにくくなる。

破壊が始まる区間の強度と応力降下量の比 (S 値) を事前に知ることは難しいが、シミュレーションの際には、まず、初期クラックからの破壊速度が S 波速度を越えない程度の値を設定しておき、必要に応じて、より長い値を検討することになる。

2 (2) 7 破壊の進展に対する各パラメータの影響度のまとめ

上記を総合すると、破壊の進展に大きく影響を与えるため、ばらつきを十分考慮すべきパラメータは、主応力軸の向き、主応力の深さに対する比例係数、破壊が始まる区間の応力降下量の深さに対する比例係数の 3 つと考えられる。このうち、主応力軸の向きと主応力の深さに対する比例係数は、事前の観測、実験により、値の目安を求めることが可能である。一方、破壊が始まる区間の応力降下量の深さに対する比例係数を事前に知ることは難しいが、古地震学的調査で得られる 1 イベントあたりのすべり量で、モデルを拘束することができる。このように、観測、実験、調査で得られた値の誤差や、イベントごとのばらつきを考慮し、ばらつきの幅を設定する必要がある。

一方、破壊開始点の位置、臨界変位量 (D_c)、破壊が始まる区間の強度と応力降下量の比 (S 値) の 3 つについては、破壊の進展に与える影響が限定的、もしくは、原理的に推測可能なことから、それほどばらつきの幅を広くとる必要はないと考えられる。ただし、20~40 km よりも長い区間を含む場合には、破壊伝播の影響が顕著になるため、破壊開始点の位置のばらつきを考慮する必要があることに注意が必要である。

2 (3) 破壊の進展に関する知見の整理

本報告書と同様に、動力学的破壊シミュレーションを地震ハザード評価への適用することを目指した研究に、布田川断層帯・日奈久断層帯と同様に横ずれ断層である、山崎断層主部北西部を対象とした産業技術総合研究所 (2016) と Kase et al. (2017) がある。手法的には、本報告書とほぼ同様であるが、山崎断層帯主部北西部においては、最大主応力の深さに対する比例係数と応力比が近くで得られていた (Yamashita et al., 2004; Townend and Zoback, 2006)。その一方で、破壊が始まる区間の最大水平圧縮応力軸の向きは、概ね東西圧縮ではあるものの、誤差が大きかった。布田川断層帯・日奈久断層帯では、最小主応力の深さに対する比例係数に関する情報はなかったが、破壊が始まる区間の最小水平主圧縮軸の向きが、区間ごとに精度よく求められており (Matsumoto et al., 2015)、既知の情報について対照的である。

山崎断層帯主部北西部のモデル化によって多少異なるが、大原断層西町地点で得られた1イベントあたりのすべり量と調和的になる破壊が始まる区間の最大水平圧縮応力軸の向きは、産業技術総合研究所 (2016) で $104\sim 107^\circ$ 、Kase et al. (2017) で $90\sim 95^\circ$ と極めて限られた。これは、布田川断層帯・日奈久断層帯における最小水平圧縮応力軸の向きの誤差に比べても小さく、布田川断層帯・日奈久断層帯では、 $\pm 5^\circ$ の誤差を考慮して σ_{Hmin} の向きをばらつかせても、すべり量が調和的になる連動のパターンは、概ね同じであったのとは、対照的である。そのため、観測で精度よく主応力軸の向きが求められている断層帯においても、その誤差の範囲内で、更に詳細な検討をおこなう必要がある場合があることがわかる。

一方、2 (2) 3 でも述べたように、主応力の深さに対する比例係数は摩擦係数に対応しており、全体的な連動のしやすさに影響を与えるパラメータとなっている。山崎断層帯主部北西部では、最大主応力の深さに対する比例係数と応力比は観測値を用いて、ばらつきを考慮していなかった。しかし、水圧破碎実験で得られた値は、深さ 1 km 程度での観測値である。観測値には誤差があること、深さ 1 km 程度での観測値を断層深部まで適用できるかどうかについては議論が必要であることから、主応力の深さに対する比例係数が既知である場合にも、ある程度のばらつきを考慮するべきと考えられる。

3 むすび

原子力規制委員会の「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」において、確率論的地震ハザード評価は基準地震動の超過確率の参照に用いられることになっている。ここで確率論的地震ハザード評価への影響が大きい隣接する活断層の連動性について、断層パラメータの不確実性を考慮した断層破壊に関する動力的シミュレーションによる検討を行い、地震動の超過確率の算出に有用な基礎情報及び不確実さの設定に関する留意点について整理した。

初めに、2016年熊本地震を対象とした内陸活断層の連動性に関する検討として、シミュレーションに用いるモデルを設定した後、破壊開始点が破壊の進展に与える影響を検討するため、布田川断層帯布田川区間南西端および日奈久断層帯高野-白旗区間南西端に破壊開始点を置いたシミュレーションをおこない、それぞれの区間の北東端に破壊開始点を置いたシミュレーション結果（産業技術総合研究所，2016）と比較した。その結果、破壊開始点を区間の北東端に置くか、南西端に置くかは、連動性にほとんど影響していなかった。一方、区間の長い日奈久断層帯日奈久区間では、破壊の伝播の効果により、北東端から破壊が始まる場合よりも、南西端から破壊が始まる場合の方が、高野-白旗区間へ破壊が広がりやすいという結果が得られており（産業技術総合研究所，2018）、注意が必要である。

次に、破壊開始点以外の断層パラメータが破壊の進展に与える影響の検討として、断層面の臨界変位量（ D_c ）と破壊が始まる区間の強度と応力降下量の比（ S 値）を対象としたパラメータ・スタディをおこなった。その結果、臨界変位量（ D_c ）が短いほど連動しやすく、長いほど連動しにくいこと、破壊が始まる区間の強度と応力降下量の比（ S 値）が小さいほど連動しやすく、大きいほど連動しにくいことを示した。ただし、 S 値が小さい場合、他区間では剪断応力が静摩擦応力を上回り、強度が負となることがあり、この場合は連動しにくくなることに注意が必要である。

続いて、総合検討として、シミュレーションで得られた破壊進展の結果を確率論的地震ハザード解析に用いることを考慮して、2016年熊本地震の破壊進展との比較、破壊の進展に影響を与えるパラメータの影響度の整理、破壊の進展に関する知見の整理をおこなった。破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となるモデルのシミュレーション結果を2016年熊本地震の破壊過程と比較すると、破壊領域の広がりについて調和的であり、地表変位量は観測値よりもやや過大ではあるが、地震モーメントの値は、波形インバージョン結果と同程度の値が得られている。

これまで検討してきたパラメータのうち、破壊の進展に大きく影響を与えるため、ばらつきを十分考慮するべきパラメータは、主応力軸の向き、主応力の深さに対する比例係

数, 破壊が始まる区間の応力降下量の深さに対する比例係数の3つであり, 破壊開始点の位置, 臨界変位量 (Dc), 破壊が始まる区間の強度と応力降下量の比 (S 値) の3つについては, 破壊の進展に与える影響が限定的, もしくは, 原理的に推測可能なことから, それほどばらつきの幅を広くとる必要はないと考えられる.

本報告書と同様の手法で, 山崎断層主部北西部を対象とした動力学的破壊シミュレーション (産業技術総合研究所, 2016 ; Kase et al., 2017) と比較した結果, 観測で精度よく主応力軸の向きが求められている断層帯においても, その誤差の範囲内で, 更に詳細な検討をおこなう必要がある場合があること, 主応力の深さに対する比例係数が既知である場合にも, ある程度のばらつきを考慮するべきであることが推測された.

参考文献

- Andrews, D. J. (1976): Rupture velocity of plane strain shear cracks. *J. Geophys. Res.*, **81**, 5679–5687.
- Andrews, D. J. (2004): Rupture models with dynamically determined breakdown displacement. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **94**, 769–775, doi:10.1785/0120030142.
- Asano, K. and Iwata, T. (2016): Source rupture processes of the foreshock and mainshock in the 2016 Kumamoto earthquake sequence estimated from the kinematic waveform inversion of strong motion data. *Earth, Planets and Space*, **68**:147, doi:10.1186/s40623-016-0519-9.
- Das, S. and Aki, K. (1977): A numerical study of two-dimensional spontaneous rupture propagation. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **50**, 643–668.
- 入倉孝次郎・三宅弘恵(2001):シナリオ地震の強震動予測, *地学雑誌*, **110**, 849–875.
- 地震調査研究推進本部(2013):布田川断層帯・日奈久断層帯の評価(一部改訂). 66p.
- Kase, Y. and Day, S. M. (2006): Spontaneous rupture processes on a bending fault. *Geophys. Res. Let.*, **33**, L10302, doi:10.1029/2006GL025870.
- Kase, Y., Abe, K., Miwa, A., and Kosaka, H. (2017): Dynamic rupture simulation for seismic hazard assessment: Application to the Yamazaki fault zone, central Japan. Abstract for the JpGU-AGU 2017 Joint Meeting.
- 加瀬祐子・阿部恒平・三輪敦志 (2017): 地震ハザード評価のための動力的震源モデル: 布田川断層帯・日奈久断層帯への応用. 日本地震学会 2017 年秋季大会予稿集.
- Kubo, H., Suzuki, W., Aoi, S., and Sekiguchi, H. (2016): Source rupture processes of the 2016 Kumamoto, Japan, earthquakes estimated from strong-motion waveforms. *Earth, Planets and Space*, **68**:161, doi:10.1186/s40623-016-0836-8.
- 熊本県 (1996a): 布田川断層帯調査報告書 (概要版). 14p.
- 熊本県 (1996b): 「布田川断層・立田山断層に関する調査」成果報告書. 293p.
- Matsumoto, S., Nakao, S., Ohkura, T., Miyazaki, M., Shimizu, H., Abe, Y., Inoue, H., Nakamoto, M., Yoshikawa, S. and Yamashita, Y. (2015): Spatial heterogeneities in tectonic stress in Kyushu, Japan and thier relation to a major shear zone. *Earth, Planets and Space*, **67**:172, doi:10.1186/s40623-015-0342-8.
- Pulido, N. (2016): バックプロジェクション法及び KNET/KiKnet 記録から推定された 2016 年 4 月 16 日熊本地震の Super-shear 破壊過程. 日本地震学会 2016 年秋季大

会予稿集.

- 産業技術総合研究所 (2016) : 「山崎断層主部北西部を対象とした動力学的破壊シミュレーション」報告書. 35p.
- 産業技術総合研究所 (2017) : 「布田川断層帯・日奈久断層帯を対象とした動力学的破壊シミュレーション」報告書. 27p.
- 産業技術総合研究所 (2018) : 「布田川断層帯・日奈久断層帯を対象とした動力学的破壊シミュレーション (その2)」報告書. 88p.
- 下川浩一・衣笠善博 (1999) : 日奈久断層系の活動履歴及び活動性調査. 平成 10 年度活断層・古地震研究調査概要報告書, *地質調査所速報*, no. EQ/99/3, 253-262.
- Shirahama, Y., Yoshimi, M., Awata, Y., Maruyama, T., Azuma, T., Miyashita, Y., Mori, H., Imanishi, K., Takeda, N., Ochi, T., Otsubo, M., Asahina, D., and Miyakawa, A. (2016): Characteristics of the surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake sequence, central Kyushu, Japan. *Earth, Planets and Space*, **68**:191, doi:10.1186/s40623-016-0559-1.
- Somerville, P.G., Irikura, K., Graves, R., Sawada, S., Wald, D., Abrahamson, N., Iwasaki, Y., Kagawa, T., Smith, N., and Kowada, A. (1999): Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion. *Seism. Res. Lett.*, **70**, 59-80.
- 武村雅之 (1998) : 日本列島における地殻内地震のスケーリング則-地震断層の影響および地震被害との関連-. *地震第2輯*, **51**, 211-228.
- Townend, J. and Zoback, M.D. (2006): Stress, strain, and mountain building in central Japan. *J. Geophys. Res.*, **111**, doi:10.1029/2005JB003759.
- Urata, Y., Yoshida, K., Fukuyama, E., and Kubo, H. (2017): 3-D dynamic rupture simulations of the 2016 Kumamoto, Japan, earthquake. *Earth, Planets and Space*, **69**:150, doi:10.1186/s40623-017-0733-0.
- Yamashita, F., Fukuyama, E., and Omura, K. (2004): Estimation of fault strength: Reconstruction of stress before the 1995 Kobe earthquake, *Science*, **306**, 261-263, doi:10.1126/science.1101771.
- Yoshida, K., Miyakoshi, K., Somei, K. and Irikura, K. (2016): Source process of the 2016 Kumamoto earthquake (Mj7.3) inferred from kinematic inversion of strong-motion records. *Earth, Planets and Space*, **69**:64, doi:10.1186/s40623-017-0649-8.