3.4 動的破壊シミュレーションによる運動性評価

(1)業務の内容

(a) 業務題目 動的破壊シミュレーションによる連動性評価

(b) 担当者

所属機関		役職	氏名
国立研究開発法人	産業技術総合研究所	主任研究員	加瀬 祐子
国立研究開発法人	産業技術総合研究所	主任研究員	浦田 優美

(c) 業務の目的

地震時変位量や断層形状、速度構造等を考慮した動的破壊シミュレーションを実施し、そ れぞれの活動時の地震後経過時間に応じた震源モデルを推定する。その結果から、連動可能 性とその条件を検討する。

- (d) 年度毎の実施業務の要約
- 1) 令和2年度:

動力学的破壊シミュレーションのためのコード整備をおこなうとともに、既存情報 を基にしたプロトタイプの震源モデルを用いた試計算をおこなった。

2) 令和3年度:

前年度の調査結果等を基に、プロトタイプの震源モデルを用いた試計算をおこなった。

3) 令和4年度:

本課題で得られた成果等を反映した動力学的震源モデルを構築し、連動可能性とその条件を検討する。

(2) 令和3年度の成果

(a) 業務の要約

動的破壊シミュレーションを基に、連動可能性とその条件を議論するためには、断層帯 の置かれた条件を反映した動力学的震源モデルを構築する必要がある。今年度は、中央構 造線断層帯讃岐山脈南縁東部区間、同西部区間、石鎚山脈北縁区間、同西部区間を対象と して、既存情報と本事業の昨年度の成果を基に震源モデルを構築し、連動可能性について 調べた結果、σ1の向きと応力降下量の深さ依存性で決まる各区間の応力状態に応じて、複 数の連動パターンが得られた。また、断層面上のすべり速度時刻歴についても、モデルご との特徴を調べた。地震シナリオ、すべり時刻歴ともに、応力場の設定に強く依存してお り、次年度、調査結果等を基に速度構造モデル、応力場モデルの設定を再検討し、震源モ デルを改良していく必要がある。 (b) 業務の成果

本業務では、主に、地形・地質学的データに基づいて断層形状と応力場を想定し、その 条件下で物理的に起こりうる破壊過程を数値計算で求めるという手順で、動力学的震源モ デルを構築する。これにより、対象とする断層の置かれた条件を反映し、実現性の高い地 震シナリオを求める。ここでは、本業務が対象とする中央構造線断層帯讃岐山脈南縁東部 区間、同西部区間、石鎚山脈北縁区間、同西部区間をモデル化する。今年度は、既存情報 や、本事業の昨年度の成果を追加して、昨年度に構築したモデルを改良した。

1) 既存情報を基にした震源モデルの構築

a)断層モデル

断層モデル各区間の走向と長さは、都市圏活断層図(後藤・他,1998;中田・他,1998; 岡田・他,1998;堤・他,1998;後藤・他,1999;中田・他,1999;岡田・他,1999;堤・ 他,1999;中田・他,2009;岡田・他,2009;岡田・他,2014)を基に決定した(図1)。 讃岐山脈南縁東部区間、同西部区間、石鎚山脈北縁区間については昨年度のモデルと同じ だが、石鎚山脈北縁西部区間の断層トレースを見直した。また、傾斜角と地震発生層の深 さは、地震調査研究推進本部(2017)を参考にした。地震調査研究推進本部(2017)では、 断層深部の傾斜角について、中角度と高角度を併記しているが、今年度は、計算負荷も考 慮して、高角度(鉛直)の場合のみを扱うこととした。以上のように決定した断層モデル の各パラメータを、表1にまとめる。

媒質は和泉層群と三波川変成岩の水平2層構造とし、伊藤・他(1996)、Nakajima and Hasegawa (2007)の紀伊半島・中国四国地方のモデル、日本列島基盤岩類物性データベース(大熊・金谷, 2007)を参考に、表2のように仮定した。

b)応力場モデル

最大主圧縮応力(σ_1)および最小主圧縮応力(σ_3)の向きは、以下に述べる2通りのモ デルを仮定した。ひとつは、昨年度と同様、佐々連鉱山における応力解放法による応力測 定データ(Tanaka, 1986;斎藤・他, 1988)より、 σ_1 は東西方向、 σ_3 は南北方向とする モデルである。もうひとつは、昨年度の本事業サブテーマ3(文部科学省・産業技術総合 研究所, 2021)において、有限要素法による静的解析で変位が最大になると推定された σ_1 の向き(N60°W)を用い、それに直交する方位を σ_3 の向きとするモデルである。

最大主圧縮応力(σ₁)および最小主圧縮応力(σ₃)の向きは、両モデルとも応力測定デ ータ(Tanaka, 1986;斎藤・他, 1988)より、

 $\sigma_1 = 34.0 \text{ z [MPa]}$

 $\sigma_3 = 11.0 \text{ z [MPa]}$

とした。ただし、z [km]は深さである。この地域では横ずれ応力場となっていることから、 中間主応力(σ₂)は鉛直でかぶり圧に等しいとすると、

σ₂ = 26.166 z [MPa]

となった。

破壊開始領域を仮定し、破壊の始まる領域の応力降下量を

 $\Delta \tau = a z [MPa]$

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 を試行錯誤的に求める。

破壊の始まる領域の応力降下量の比例係数 a を仮定し、静水圧条件が成り立つとすると、 動摩擦係数 (μ_d)を決めることができる。更に、破壊の始まる区間での強度と応力降下量 の比 (S値; Andrews, 1976; Das and Aki, 1977)を 1.6と仮定すると、静摩擦係数 (μ_s)が決まる。このときの摩擦係数は、破壊の始まる領域の走向によって異なるが、応力降 下量の比例係数 a が 0.8~1.2 で、間隙水圧を考慮しない場合、動摩擦係数は概ね 0.1~ 0.6程度となった。

断層面の境界条件には、Coulomb の破壊基準とすべり弱化の摩擦構成則(図2; Ida, 1972; 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た。臨界すべり量(Dc)は、全区間共通で、浅部で長く、深部 では 0.50mで一定となるよう仮定した(表3)。また、断層面上で一様な cohesion を考慮 し、内田・他(2002)、古谷(2015)を参考に、0.02MPa と仮定した。

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(2017)では、讃岐山脈南 縁東部区間で2~7m程度の右横ずれ、讃岐山脈南縁西部区間で2~7m程度の右横ずれ、 石鎚山脈北縁区間で6~8m程度の右横ずれ、石鎚山脈北縁西部区間で2~5m程度の右 横ずれ、としている。また、最新活動に伴うすべり量分布については、堤・後藤(2006) にまとめられている。これらの値を満たすようなパラメータを探索することになるが、今 年度は、応力降下量の比例係数 a を 0.8、1.0、1.2の3通りに仮定して計算し、すべり量 がどの程度になるかを把握した。

2) 数值計算手法

数値計算には、差分法(Kase and Day, 2006)を用いた。空間グリッド間隔は、断層面 内方向に 200m、断層面外方向に 200m、時間刻みは、0.02 秒とした。

上記の条件で、破壊開始領域を変えて数値計算をおこない、得られたすべり量分布と、 実際の1回の活動によるすべり量を比較した。

3) シミュレーション結果

1回の活動によるすべり量分布を満たす地震シナリオとして、以下の8通りのシナリオ が得られた。

活動区間単独で活動して、すべり量分布を満たすことができたのは、讃岐山脈南縁東部 区間が単独で活動した場合(図3)のみであった。隣接する讃岐山脈南縁西部区間東側の 応力降下量(第4段における緑線と黒点線の差)が小さく、破壊が乗り移ることができな いことがわかる。

屈曲のある讃岐山脈南縁西部区間と石鎚山脈北縁西部区間では、屈曲を挟んだ片側のみ 活動する例が得られた。この場合にすべり量分布を満たすことができたのは、讃岐山脈南 縁西部区間東側(図4)、石鎚山脈北縁西部区間東側(図5)、石鎚山脈北縁西部区間西側 (図6)の3通りであった。屈曲を挟んで断層の走向が異なり、屈曲の先での剪断応力が

小さく、応力降下量が小さい、もしくは、負であるため、屈曲を越えて破壊が広がることができない。

複数区間が連動して、すべり量分布を満たすことができたのは、讃岐山脈南縁東部区間 と同西部区間が連動した場合(図7)のみであった。後述するように、連動するためには ある程度の応力降下量が必要であること、連動することによりすべり量が増えることから、 複数区間が連動するとすべり量が大きくなりがちで、1回の活動によるすべり量分布を満 たすことができるモデルは限られる。

活動区間の一部と隣接する活動区間が連動して、すべり量分布を満たすことができたの は、讃岐山脈南縁東部区間と同西部区間東側が連動した場合(図8)、讃岐山脈南縁西部区 間西側と石鎚山脈北縁区間が連動した場合(図9)、讃岐山脈南縁西部区間西側と石鎚山脈 北縁区間、同西部区間西側が連動した場合(図10)の3通りであった。隣接する区間へ破 壊が乗り移ったものの、屈曲の先での応力降下量が小さいため、屈曲の先に破壊が広がら ない場合(図8)と、屈曲の先での応力降下量が小さいため、屈曲の先に破壊が広がらな い一方で、隣接する区間の応力降下量が大きく、強度が小さいため、破壊が乗り移ること ができる場合(図9、10)とがある。

1回の活動によるすべり量分布を満たさない地震シナリオとして、以下の6通りのシナ リオが得られた。

活動区間単独で活動する例では、石鎚山脈北縁区間が単独で活動した場合である(図 11)。 石鎚山脈北縁区間が単独で活動した場合は、すべり量が最新活動によるすべり量よりもか なり小さいが、松田(1980)から推定されるすべり量程度ではある。また、石鎚山脈北縁 区間のすべり量が最新活動によるすべり量を満たすシナリオは、すべて他区間と連動して いる。これらのことから、少なくとも最新活動は、石鎚山脈北縁区間が単独で活動したの ではなく、隣接する区間と連動した活動であった可能性がある。

活動区間の一部と隣接する活動区間が連動する例では、讃岐山脈南縁西部区間西側と石 鎚山脈北縁区間、同西部区間が連動した場合(図 12)、複数区間が連動する例では、讃岐 山脈南縁西部区間と石鎚山脈北縁区間が連動した場合(図 13)、石鎚山脈北縁区間と同西 部区間が連動した場合(図 14)、讃岐山脈南縁東部区間と同西部区間、石鎚山脈北縁区間 の3区間が連動した場合(図 15)、4区間すべてが連動した場合(図 16)の5通りのシナ リオが得られた。これらのシナリオでは、複数区間が連動するため、応力降下量が大きく、 すべり量が大きくなっており、すべり量分布を満たすことが難しいことがわかる。その一 方で、初期応力状態で応力降下量がゼロもしくは負になっている領域では、特に深部で壊 れ残りの領域が生じることもある(図 16 の讃岐平野南縁西部区間東側と石鎚山脈北縁西 部区間東側)。

以上のように、σ₁の向きと応力降下量の深さ依存性で決まる各区間の応力状態に応じ て、様々な活動パターンが得られた。σ₁の向きと応力降下量の深さ依存性から、各区間の 初期応力分布が求められれば、連動のしやすさがある程度わかると期待される。しかし、 連動することによってすべり量が増えること(Kase, 2010)から、区間同士の相互作用を 考慮する必要がある。また、図9と図10からわかるように、初期応力状態が同じでも、破 壊開始点の位置が異なることで破壊領域が異なる場合もあり、破壊の directivity も考慮 する必要がある。そのため、各区間の初期応力分布のみで連動性を評価することは困難と 考えられる。

断層面上のすべり速度時刻歴の例を図 17~19 に示す。讃岐山脈南縁東部区間単独で活

動した場合(図3)は、概ね Kostrov 型のすべり速度関数となるが、深さ 2.0km より浅い ところでは、すべり速度の立ち上がりがやや緩やかになり、また、その最大値は破壊時刻 よりかなり遅れて現れることがある(図 17)。応力場の仮定から、地表近くの強度はかな り小さいため、深部での破壊による P 波で破壊が励起されるものの、主要なすべりは破壊 フロントの到着を待って発生していることを反映していると考えられる。

讃岐山脈南縁東部区間と同西部区間が連動した場合(図7)、破壊開始点のある東部区間 では、破壊進行方向が逆であることを考慮すれば、単独で活動した場合のすべり速度関数 (図17)と概ね同じである(図18a)。一方、破壊が乗り移る先の西部区間のすべり速度関 数は、主要なピークが複数現れ、またそれらの形状もKostrov型というよりは、逆三角形 型に近いなど、複雑な形状となっている。西部区間東側では、東部区間深部からの応力変 化で励起される破壊と、浅部で励起される破壊とが2方向から進展することを反映してい ると考えられる。また、西部区間西側では、応力降下量が小さいため、すべり速度は全体 に小さい。また、破壊が広がりにくく、破壊フロントが複雑な形状となるため、複数のピ ークがみられる。

4区間すべてが連動した場合(図 16)も、破壊開始点のある東部区間では、破壊進行方 向が逆であることを考慮すれば、単独で活動した場合のすべり速度関数(図 17)と概ね同 じである(図 19a)。ただし、応力降下量の深さ係数が大きいため、すべり速度の最大値も 大きくなっている。このモデルでは、讃岐山脈南縁西部区間東側と石鎚山脈北縁西部区間 東側で応力降下量が負であり、深部で壊れ残りの領域が生じている一方、讃岐山脈南縁西 部区間西側と石鎚山脈北縁区間、石鎚山脈北縁西部区間西側の応力降下量が強度に比して 大きく、S波速度以上での破壊伝播が生じている。このような応力状態を反映して、讃岐 山脈南縁西部区間東側と石鎚山脈北縁西部区間東側でのすべり速度は小さく、讃岐山脈南 縁西部区間西側と石鎚山脈北縁区間、石鎚山脈北縁西部区間西側でのすべり速度は大きく、 鋭いピークを有する形状となっている。

全体に、すべり速度時刻歴の形状は、各点の応力状態や破壊フロントの広がり方に強く 依存しており、応力場や摩擦構成則の仮定により相当に変化しうると考えられることに注 意が必要である。

115

表1 本研究で用いた断層モデルのパラメータ。讃岐山脈南縁東部区間と同西部区間 の間は、幅0.4kmの左ステップで長さ0.6kmのギャップで、讃岐山脈南縁西部区間と 石鎚山脈北縁区間の間は、幅1.6kmの右ステップで長さ6.4kmのオーバーラップで、 石鎚山脈北縁区間と同西部区間の間は、幅2.0kmの右ステップで長さ1.4kmのオーバ ーラップで区切られている

区間名	讃岐山脈南縁西部		讃岐山脈南縁東部	
	(Sanuki W.) (Sanuki E.)			(Sanuki E.)
走向	N71.2°E	N75.0 $^{\circ}$ E	N80.8°E	N77.4°E
長さ [km]	6.4	50.2	24.6	52.7
傾斜角		$90\degree$		90 °
地震発生層の深さ[km]	15		15	
幅 [km]		15		15

区間名	石鎚山脈北縁西部 石鎚山脈北			石鎚山脈北縁
	(Ishizuchi W.) (I			(Ishizuchi)
走向	N74.3°E	N60.3°E	N71.2°E	N71.2°E
長さ [km]	15.6	14.8	1.4	17.0
傾斜角		90°		90 °
地震発生層の深さ [km]		15		15
幅 [km]		15		15

表2 本研究で用いた速度構造モデル。

上端の深さ [m]	P波速度 [m/s]	S波速度 [m/s]	密度 [kg/m ³]
0	3000	1700	2500
1000	6200	3600	2680

表3 本研究で用いた臨界変位量(Dc)モデル。z [km]は深さ。

上端の深さ	[m]	臨界変位量[m]
0		5.0 - 4.5 z
1000		0.5



図1 本研究で用いた断層モデル。地理院地図(国土地理院)に加筆。



図2 本研究で用いたすべり弱化の摩擦構成則。



図3 讃岐山脈南縁東部区間単独で活動した例。 σ₁は東西方向、応力降下量の深さ係 数は1.0、μ_s = 0.53714、μ_d = 0.32217 で、地震モーメントは9.5×10¹⁹Nm、Mw7.3。 それぞれ、第1段の赤線が地表でのすべりの分布、灰色帯が1回の活動によるすべり 量の範囲(地震調査研究推進本部,2017)、黒線が堤・後藤(2006)による最新活動に 伴うすべり量の分布、第2段が断層面上のすべり量、第3段が断層面上の破壊時刻 で、星印は破壊開始点の位置、第4段の緑線が深さ10km での初期剪断応力、黒実線が 深さ10km での初期静摩擦応力、黒点線が深さ10km での初期動摩擦応力を示す。灰色 点線は、断層の折れ曲がり地点を示す。



係数は 1.0、 μ_s = 0.63728、 μ_d = 0.50849 で、地震モーメントは 3.6×10¹⁹Nm、 Mw7.0。図の詳細は、図 3 と同じ。



係数は 1.0、 $\mu_s = 0.41282$ 、 $\mu_d = 0.32044$ で、地震モーメントは 2.0×10¹⁹Nm、

Mw6.8。図の詳細は、図3と同じ。



係数は 1.0、 μ_s = 0.57489、 μ_d = 0.46076 で、地震モーメントは 1.5×10¹⁹Nm、

Mw6.7。図の詳細は、図3と同じ。



深さ係数は 1.0、 μ_s = 0.60636、 μ_d = 0.48564 で、地震モーメントは 2.5×10²⁰Nm、 Mw7.5。図の詳細は、図 3 と同じ。



量の深さ係数は0.8、μ_s = 0.59151、μ_d = 0.49493で、地震モーメントは1.6× 10²⁰Nm、Mw7.4。図の詳細は、図3と同じ。



降下量の深さ係数は 1.0、 $\mu_s = 0.58609$ 、 $\mu_d = 0.37877$ で、地震モーメントは 1.8× 10^{20} Nm、Mw7.4。図の詳細は、図 3 と同じ。



 例。σ₁は東西、応力降下量の深さ係数は1.0、μ_s = 0.58609、μ_d = 0.37877 で、地 震モーメントは1.7×10²⁰Nm、Mw7.4。図の詳細は、図3と同じ。



1.0、 μ_s = 0.64358、 μ_d = 0.44939 で、地震モーメントは 1.7×10¹⁹Nm、Mw6.8。図の 詳細は、図3と同じ。



は東西、応力降下量の深さ係数は 1.0、μ_s = 0.59851、μ_d = 0.39353 で、地震モーメ ントは 2.3×10²⁰Nm、Mw7.5。図の詳細は、図 3 と同じ。



下量の深さ係数は 0.8、 μ_s = 0.52783、 μ_d = 0.4124 で、地震モーメントは 2.2× 10^{20} Nm、Mw7.5。図の詳細は、図 3 と同じ。



数は 1.2、 μ_s = 0.66748、 μ_d = 0.43445 で、地震モーメントは 9.8×10¹⁹Nm、Mw7.3。 図の詳細は、図 3 と同じ。



例。σ₁はN60°W、応力降下量の深さ係数は1.0、μ_s = 0.54115、μ_d = 0.43291で、
地震モーメントは4.7×10²⁰Nm、Mw7.7。図の詳細は、図3と同じ。



と同じ。



図 17 讃岐山脈南縁東部区間単独で活動した例(図3)での断層面上のすべり速度時 刻歴。表示した点の深さは、浅い方から順に、0、0.4、2.0、5.0、10.0kmである。横 軸は、各点の破壊時刻の1秒前から30秒後までを表示している。讃岐山脈南縁東部区 間上のもののみ示す。



図 18 讃岐山脈南縁東部区間と同西部区間が連動した例(図7)での断層面上のすべり速度時刻歴。図の詳細は、図17と同じ。(a) 讃岐山脈南縁東部区間。



図 18(続き)

(b) 讃岐山脈南縁西部区間。



図 19 4区間すべてが連動した例(図 16)での断層面上のすべり速度時刻歴。図の詳 細は、図 17と同じ。(a) 讃岐山脈南縁東部区間。



図 19(続き) (b) 讃岐山脈南縁西部区間。





図 19(続き) (d) 石鎚山脈北縁西部区間。

(c) 結論ならびに今後の課題

中央構造線断層帯讃岐山脈南縁東部区間、同西部区間、石鎚山脈北縁区間、同西部区間 を対象として、既存情報と本事業の昨年度の成果を基に震源モデルを構築し、連動可能性 について調べた。

σ1の向きと応力降下量の深さ依存性で決まる各区間の応力状態に応じて、単独破壊も 含め、複数の連動パターンが得られ、その一部は1回の活動によるすべり量分布を満たす 地震シナリオであった。また、断層面上のすべり速度時刻歴についても、モデルごとの特 徴を調べた。地震シナリオ、すべり時刻歴ともに、応力場の設定に強く依存しており、よ り現実を反映したモデルを構築する必要があることを示している。

来年度は、サブテーマ1~3の結果を反映させて断層モデルを改良していくことになる が、速度構造モデル、応力場モデルの設定を再検討し、各区間、各地点でのすべり量を説 明しうるパラメータの範囲を調べた上で、連動可能性とその条件を検討する必要がある。

謝辞:図はGeneric Mapping Tool version 5.4.5 (Wessel et al., 2013) で作成しました。

(d) 引用文献

Andrews, D.J., Rupture velocity of plane strain shear cracks, J. Geophys. Res., 81, 5679-5687, 1976.

- Das, S. and K. Aki, A numerical study of two-dimensional spontaneous rupture propagation, Geophys. J. R. Astro., 50, 643-668, 1977.
- 古谷綱崇,四国西南日本外帯地すべりにおけるすべり面決定法に関する研究,徳島大学博 士論文,110p,2015.
- 後藤秀昭・丹羽俊二・中田 高・岡田篤正・堤 浩之,1:25,000都市圏活断層図「松山」, 国土地理院,1998.
- 後藤秀昭・中田 高・岡田篤正・堤 浩之・丹羽俊二・小田切聡子, 1:25,000都市圏活断 層図「池田」,国土地理院, 1999.
- Ida, Y., Cohesive force across the tip of a longitudinal-shear crack and Griffith's specific surface energy, J. Geophys. Res., 77, 3796-3805, 1972.
- 伊藤谷生・井川 猛・足立幾久・伊勢崎修弘・平田 直・浅沼俊夫・宮内崇裕・松本みど り・高橋通浩・松澤進一・鈴木雅也・石田啓祐・奥池司郎・木村 学・國友孝洋・後藤 忠徳・澤田臣啓・竹下 徹・仲谷英夫・長谷川修一・前田卓哉・村田明広・山北 聡・ 山口和雄・山口 覚,四国中央構造線地下構造の総合物理探査,地質学雑誌,102,346-460,1996.
- 地震調査研究推進本部,中央構造線断層帯(金剛山地東縁-由布院)の長期評価(第二版), 162p, 2017.
- Kase, Y. and and S.M. Day, Spontaneous rupture processes on a bending fault, Geophys. Res. Let., 33, L10302, doi:10.1029/2006GL025870, 2006.
- Kase, Y., Slip-length scaling law for strike-slip multiple segment earthquakes based on dynamic rupture simulations, Bull. Seism. Soc. Am., 100, 473-481, 2010.

松田時彦・山崎晴雄・中田 高・今泉俊文, 1896 年陸羽地震の地震断層, 地震研究所彙報,

55, 795-855, 1980.

- 文部科学省研究開発局・産業技術総合研究所,連動型地震の発生予測のための活断層調査 研究 令和2年度成果報告書,91p,2021.
- Nakajima, J. and A. Hasegawa, Tomographic evidence for the mantle upwelling beneath southwestern Japan and its implications for arc magmatism, Earth Planet. Sci. Let., 254, 90-105, 2007.
- 中田 高・後藤秀昭・岡田篤正・堤 浩之・丹羽俊二,1:25,000都市圏活断層図「西条」, 国土地理院,1998.
- 中田 高・後藤秀昭・岡田篤正・堤 浩之・丹羽俊二・小田切聡子,1:25,000都市圏活断 層図「高松南部」,国土地理院,1999.
- 中田 高・後藤秀昭・岡田篤正・堤 浩之・丹羽俊二・小田切聡子,1:25,000都市圏活断 層図「脇町(第2版)」,国土地理院,2009.
- 大熊茂雄・金谷 弘,近畿地方西部地域,中国地方東部地域および北海道地方南部地域, PB-Rock 21 (日本列島基盤岩類データベース), RIO-DB (研究情報公開データベース), 87,産業技術総合研究所,2007.
- 岡田篤正・堤 浩之・中田 高・後藤秀昭・丹羽俊二,1:25,000都市圏活断層図「郡中」, 国土地理院,1998.
- 岡田篤正・堤 浩之・中田 高・後藤秀昭・丹羽俊二・小田切聡子, 1:25,000都市圏活断

層図「徳島」,国土地理院,1999.

- 岡田篤正・堤 浩之・中田 高・後藤秀昭・丹羽俊二・小田切聡子,1:25,000都市圏活断 層図「川島(第2版)」,国土地理院,2009.
- 岡田篤正・楮原京子・熊原康博・澤 祥・廣内大助,1:25,000都市圏活断層図「鳴門海峡」, 国土地理院,2014.
- 斎藤敏明・石田 毅・寺田 孚・田中 豊,実測結果に基づくわが国の地下岩盤内の初期 地圧状態の検討,土木学会論文集,394,Ⅲ-9,71-78,1988.
- Tanaka, Y., State of crustal stress inferred from in situ stress measurements, J. Phys. Earth, 34, S57-S70, 1986.
- 堤 浩之・後藤秀昭,四国の中央構造線断層帯の最新活動に伴う横ずれ変位量分布,地震 第2輯, 59, 117-132, 2006.
- 堤 浩之・岡田篤正・中田 高・後藤秀昭・丹羽俊二,1:25,000都市圏活断層図「新居浜」, 国土地理院,1998.
- 堤 浩之・岡田篤正・中田 高・後藤秀昭・丹羽俊二・小田切聡子,1:25,000都市圏活断 層図「伊予三島」,国土地理院,1999.
- 内田純二・矢田部龍一・横田公忠・高田修三,和泉層群における切戸のり面の崩壊特性と 土質力学的検討,土木学会論文集,715,Ⅲ-60,179-186,2002.
- Wessel, P., W.H.F. Smith, R. Scharroo, J. Luis, and F. Wobbe, Generic Mapping Tools: Improved version released, EOS Trans. AGU, 94(45), 409-410, 2013. doi:10.1002/2013E0450001.