# 四国東部における中央構造線活断層系の断層帯の性状

(㈱四国総合研究所 土木技術部 内田 嗣人(㈱四国総合研究所 土木技術部 池田 倫治

キーワード: 中央構造線
 中央構造線活断層系
 断層帯
 応力解析
 地震災害

Key Words : Median Tectonic Line Median Tectonic Line active fault system Fault zone Stress inversion Earthquake disasters

## Characteristics of the fault zone of the Median Tectonic Line active fault system in eastern Shikoku

Shikoku Research Institute, Inc., Civil Engineering Department Hideto Uchida, Michiharu Ikeda

#### Abstract

The Median Tectonic Line active fault system (MTLAFS) is one of the longest dextral active faults in Japan. It is related to the Median Tectonic Line (MTL), which divides southwest Japan into the Inner and Outer zone. The characteristics of the fault zone of the MTLAFS are important to understand the fault behavior. Additionally, the detailed location of the MTLAFS will contribute to the mitigation of earthquake disasters in the local area. We found two outcrops of the exhumed fault zones of the MTLAFS and report characteristics of the fault zones in this study. We also discuss the structures and kinematics of the MTLAFS in eastern Shikoku based on the information obtained from these outcrops.

The fault zone is composed of fault core and fault damage zone. The fault core consists of fault gouge originated from Saita Formation, Izumi Group and Sanbagawa metamorphic rocks in the Hashikura outcrop. The fault damage zone is composed of fault breccia, catacasite and weakly deformed rock originated from Izumi Group are also observed in the Hashikura outcrop. On the other hand, fault gouge and fault breccia originated from the Izumi Group and Sanbagawa metamorphic rocks are observed in the fault zone of the MTLAFS in the Kamo outcrop. The orientations of shear planes (Y-P-R<sub>1</sub>) in the fault zones in both outcrops indicate the dextral slip sense. Furthermore, stress fields estimated using stress inversion from slip data of shear planes in the Kamo outcrop show reverse and strike-slip to reverse faulting stress regime. These stress fields reflect the fault activities of the MTLAFS in the Quaternary. Moreover, these stress regimes inferred from the geological data are concordant with the present regional stress estimated from the earthquake data in eastern Shikoku.

## 1. はじめに

中央構造線は西南日本を内帯と外帯に分ける長 大な地質境界断層である。その起源は,前期白亜 紀頃の鹿塩時階<sup>1),2</sup>とされ,それ以降活動時期の 異なる複数の運動時階(市ノ川時階,先砥部時階, 砥部時階,石鎚時階など)が報告されている<sup>3)</sup>。 これらの断層活動は,中央構造線周辺の岩石に記 録されており,その詳細を明らかにすることは, 中央構造線の活動史の解明に大きく貢献する。な お,本稿では,地質境界としての中央構造線を「中 央構造線」,活断層としての中央構造線を「中央構 造線活断層系」と記述する。

四国地域では、中央構造線は領家帯の和泉層群 と三波川変成岩類の境界として認定され、四国地 域を東西に横断している (Fig. 1a)。また中央構造 線活断層系が、その中央構造線と並走するように 分布している<sup>4)</sup>。四国西部では、中央構造線活断 層系は、湾曲して分布する中央構造線の北側を通 過するが、四国東部では、両断層は直線性がよく、 かつほとんど一致して分布する (Fig. 1a)。中央構 造線活断層系の断層露頭から、最近の断層活動に 関する情報を検出することは、断層の活動性を評 価する上で重要であり、活断層露頭の報告は、そ の地域の地震防災にも貢献すると考えられる。今 回、我々は四国東部の2か所で中央構造線活断層 系の断層露頭を発見し、その性状を観察したので、 報告する。

#### 2. 調査地域の地質

調査地域周辺には、吉野川を挟んで北側に和泉 層群が分布し、南側には三波川変成岩類が分布し ている。また吉野川に沿って、両地層をおおって 第四系が分布している(Fig.1b)。

和泉層群は、四国西部から近畿地方まで、中央 構造線の北側に沿って分布する後期白亜紀の海成 層であり、主に砂岩泥岩互層で構成され、礫岩、 凝灰岩層を少量伴う。和泉層群の堆積年代は、西 部から東部に向かって若くなり、後期白亜紀の中 央構造線の左横ずれ運動に伴って生じた、プルア パート堆積盆の堆積物であると解釈されている<sup>50</sup>。

三波川変成岩類は、低温高圧型変成作用を被っ た変成岩であり、調査地域周辺における三波川変 成岩類の変成作用の時期は後期白亜紀であると推 定されている<sup>66</sup>。調査地域の三波川変成岩類は、 主に泥質片岩,塩基性片岩,および珪質片岩で構成され,その原岩は主に海溝に沈み込んだ海洋性地殻表層物質であると考えられる<sup>7)</sup>。

第四系は,上部鮮新統~中部更新統の三豊層群, 中部更新統~完新統の段丘堆積物,および上部更 新統~完新統の沖積層に大別される<sup>7)</sup>。また,三 豊層群は,和泉層群起源の堆積岩の礫と結晶片岩, 花崗岩,安山岩,および珪質岩の礫を含む砂礫層 から成る財田層,アルコーズ質の砂層,およびシ ルト層から成る神田層,高瀬層,和泉層群起源の 堆積岩の礫から成る焼尾層に区分される<sup>7)</sup>。段丘 堆積物は,中部~上部更新統の高位および中位段 丘堆積物と上部更新統~完新統の低位段丘堆積物 に分けられ,いずれも河成層である。沖積層は, 崖錐堆積物や現河床堆積物などである。



Fig.1 (a) Geological map in Shikoku area. MTL : Median Tectonic Line, MTLAFS : Median Tectonic Line active fault system. (b) Simplified geological map and locations of the study areas. Modified after Matsuura et al (2002) <sup>8)</sup>. Site1 is Hashikura outcrop (34°02'12.1"N, 133°50'15.6"E) and Site2 is Kamo outcrop (34°02'58.2"N, 133°55'43.0"E) on the map.

## 3. 中央構造線活断層系の産状

## 3.1 Site1 箸蔵露頭

箸蔵露頭は、2018-2019年の箸蔵橋の工事に伴って、鮎苦谷川に沿って露出した断層帯の露頭である。約150 m以上にわたり、断層コア(Fault core)および断層破砕帯(Fault damage zone)から成る断層帯がほぼ連続的に観察される(Fig.2)。

## (1) 断層帯の産状

ここでは、和泉層群の堆積岩と三豊層群の財田 層相当の礫層が、中央構造線活断層系で接してい る産状が観察される(Fig. 3)。断層コアは、幅約 4 m もの断層ガウジ(Fault gouge)であり、周辺 の断層破砕帯は、断層角礫(Fault breccia)、カ タクレーサイト(Cataclasite)、割れ目が発達す る弱破砕岩(Weakly deformed rocks)から成る (Figs. 2 and 3)。

断層コアは、主に和泉層群起源の泥岩、三波川 変成岩類起源の泥質片岩、塩基性片岩および財田 層起源の礫層から成る断層ガウジによって構成さ れる(Fig.3a)。黒色を呈する和泉層群の泥岩起源 の断層ガウジは塊状で、明瞭な剪断面の発達が認 められない(Fig.3b)。一方で、三波川変成岩類起 源の断層ガウジは、青灰色~黄白色を呈し、和泉 層群起源の断層ガウジ内に、幅1-20 cm程度でレ ンズ状に挟在される。礫層起源の断層ガウジは、 幅約 20 cm であり、黄褐色~灰緑色を呈する (Fig.3a)。内部の礫径は、長軸1-15 cm であり、 その長軸は剪断面と同方向に配列している (Fig.3a)。

断層角礫は,主に灰白色~白色を呈する和泉層 群起源の砂岩から成り,泥岩起源の断層角礫は少 量である。断層角礫は主に約10 cm 未満の破砕岩 片から成り,手でボロボロに崩れる。しばしば主 断層面と同方向の剪断面が確認される(Fig.3c)。

カタクレーサイトは,砂岩の場合,ブーディン 状になっているものの,一部に原岩の組織を残し ている (Fig. 3d)。泥岩は破砕されて,細粒で固結 している。カタクレーサイト帯に発達する剪断面 には,砂岩の層理面を延性変形させる産状も観察 される。

主断層面から約80m地点,約110m地点で観察 される弱破砕岩には、母岩の砂泥互層の構造が観 察されるものの、多数の割れ目の発達も認められ る。このことは中央構造線の断層活動の影響がこ の周辺にまで及んでいることを意味する。 (Figs.3e and f)

#### (2) 断層帯の内部構造

主断層の姿勢は、N77°E67°N である(Fig.3a)。 断層帯には明瞭な複合面構造が発達しており、観 察された Y 面, P 面, R<sub>1</sub> 面の情報をそれぞれステ レオネット上に示した(Fig.4)。Y 面は, N79°E71°N に集中し, P 面は, N58°E64°N に卓越, また R<sub>1</sub> 面 は N67°W88°N に卓越している(Fig.4)。これらの 卓越方向は, Rutter et al. (1986)による断層帯 の複合面構造と断層運動センスの関係<sup>90</sup>に基づく と, 右横ずれ運動センスを反映していることがわ かる(Fig.5)。



Fig.2 Geological route map of the fault core and fault damage zone in the Hashikura outcrop. The base map is from Google map.



Fig.3 Occurrences of the fault core and fault damage zone of the MTLAFS in the Hashikura outcrop. (a) The main fault plane and fault gouge originated from the Saita Formation, Izumi Group and Sanbagawa metamorphic rocks (Sm). (b) The fault gouge from mudstone of the Izumi Group and the fault breccia from mudstone and sandstone (2.5 m distance from the main fault plane). (c) Fault breccia from sandstone (5 m distance from the main fault plane). (d) Cataclasite from mudstone and sandstone (25 m distance from the main fault plane). (e) Weakly deformed rocks from sandstone (80 m distance from the main fault plane). (f) Weakly deformed rocks from mudstone and sandstone (110 m distance from the main fault plane). FG : fault gouge, FB : fault breccia, Cat : cataclasite.



Fig.4 The predominant directions of each shear plane in the Hashikura outcrop. (a) Orientation of Yplane. (b) Orientation of P-plane. (c) Orientation of  $R_1$ -plane. The different colors represent the difference at contour interval of  $2\sigma$ .



Fig.5 Schematic illustration of a structural relation of shear planes in the fault zone. Modified from Rutter et al. (1986) <sup>9)</sup>.

## 3.2 Site2 加茂露頭

加茂露頭は、平成30年7月豪雨で、吉野川河床 に露出した約30 m×約20 mの断層帯の露頭であ る (Fig.6)。

### (1) 断層帯の産状

ここでは、和泉層群の堆積岩と三波川変成岩類 が接している産状が観察される(Figs. 6 and 7a)。 本露頭は、変動地形学的に判読された中央構造線 活断層系のリニアメントの延長上に位置する。す なわち、本露頭では中央構造線と中央構造線活断 層系が地表で一致して分布していると考えられる。

断層帯は,主に和泉層群の泥岩起源の断層ガウ ジ,和泉層群の砂岩および泥岩起源の断層角礫, 三波川変成岩類の塩基性片岩,および泥質片岩起 源の断層ガウジから成る。和泉層群起源の断層ガ ウジは,主断層に沿って幅約10 cmで観察され, 青黒色を呈する(Fig.7b)。また,三波川変成岩類 起源の断層ガウジは,原岩によって様々な色を呈 しており,泥質片岩起源だと青灰色,塩基性片岩 起源だと明緑灰色であると考えられる。その中に は,破砕岩片の P 面に沿った配列や  $R_1$  面が明瞭に 発達しており,岩片の回転を伴う  $\sigma$  組織も観察さ れる (Figs. 7b and c)。一方,和泉層群の断層角 礫帯で観察される 0.3-20 cm 程度の黒色の一部 の破砕岩片は,よく円磨されている。また断層角 礫帯には明瞭な剪断面は発達していない (Fig. 7d)。

#### (2) 断層帯の内部構造

主断層の姿勢は、N63°E40°N である(Fig. 6)。 露頭で観察された Y 面, P 面, R<sub>1</sub> 面の情報をステ レオネット上に示した(Fig. 8)。Y 面の卓越方向 は、N60°E62°N(Fig. 8a), P 面の卓越方向は、 N43°E54°N(Fig. 8b), R<sub>1</sub>面の卓越方向は、N74°W90° (Fig. 8c)である。これらの卓越方向からも、右 横ずれ運動を反映していると考えられる(Fig. 5)。

#### (3) 断層帯の応力場

加茂露頭では,剪断方向,剪断センスが分かる データが複数得られた。その断層スリップデータ を Fig. 9a に示している。この図では,断層面の 極がステレオネット上で示され,矢印は下盤の滑 り方向を表している。剪断センスが不明なデータ は,矢印ではなく,線分で示されている<sup>10)</sup>。本研 究で得られた 14 個のデータを元に,Hough法<sup>11)</sup>に よる応力逆解析プログラムを用いて,応力場を推 定した。その結果,検出された応力場は 2 種類で あり,A:東西方向に  $\sigma_1$ ,鉛直に近い  $\sigma_3$ を持つ 逆断層型応力場,B:北西-南東方向の  $\sigma_1$ ,鉛直 ~南西方向の  $\sigma_3$ を持つ横ずれ~逆断層型応力場 であることが分かった(Fig. 9b)。



Fig.6 Overall picture of the fault damage zone of the MTLAFS in the Kamo outcrop.



Fig.7 Occurrences of the fault zone of the MTLAFS in the Kamo outcrop. (a) Photograph of the main fault plane of the MTL. (b) Closed up photograph around the main fault plane. Y : main fault plane, P : P-foliation, R<sub>1</sub> : Riedel shear. (c) Photograph of fault gouge from the Sanbagawa metamorphic rocks.
(d) Photograph of fault breccia from the Izumi Group. FG : fault gouge, FB : fault breccia.



Fig.8 The predominant directions of each shear plane in the Kamo outcrop. (a) Orientation of Y-plane. (b) Orientation of P-plane. (c) Orientation of  $R_1$ -plane. The different colors represent the difference at contour interval of  $2\sigma$ .



Fig.9 Stress fields estimated using slip data from the faults of the fault zone in the Kamo outcrop. (a) Tangent lineation diagram (Twiss and Gefell, 1990)<sup>12)</sup> of the full (n =12) and line-only (N = 2) fault-slip data obtained from the minor faults. (b) Results of Hough transform inverse method (Yamaji et al. 2006), with estimated stresses being shown in lower-hemisphere stereograms. The color of the symbols indicates the value of the stress ratio,  $\Phi = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ .

## 4. 考察

## 4.1 中央構造線活断層系の断層露頭発見の意義

我々は2か所の中央構造線活断層系の断層露頭 を報告した。Sitel 箸蔵露頭では,財田層相当の礫 層と,和泉層群とが接しており,断層コアは和泉 層群および財田層起源の断層ガウジで構成されて いる(Fig.3)。その内部には,三波川変成岩類起 源の断層ガウジも挟在する(Fig.3)。一方で,Site2 加茂露頭では,和泉層群と三波川変成岩類が直接 接する(Figs.6 and 7)。

四国地域では,一般に,中央構造線および中央 構造線活断層系に沿って高速道路が建設されてお り,その建設工事に伴い一時的に断層露頭が露出 したが,現在は観察できない<sup>13)</sup>。そのため,中央 構造線および中央構造線活断層系の断層露頭の保 存は限定的であり,新規の露頭報告も少ない。さ らに,四国中部~西部では,中央構造線に沿って 石鎚層群が分布しており<sup>14)</sup>,和泉層群と三波川変 成岩類の境界は不明瞭であることが多い。今回, 我々が報告した箸蔵露頭および加茂露頭は,活断 層トレースと一致し,断層帯中の構造や接する礫 層の様相からも,第四紀以降,ごく最近まで活動 している痕跡を残している活断層露頭である。今 回報告した記載に基づいて,今後,断層帯から得 られた断層岩の分析を行うことで、中央構造線の 活動性評価に資する情報が得られることが期待さ れる。

また,徳島県では,条例で「特定活断層調査区 域」が指定されており,中央構造線活断層系の直 上に,多数の人が利用する建築物や危険物を貯蔵 する施設などの特定施設を建設しないよう定めら れている。そのため,中央構造線活断層系の正確 な位置情報は,地域における地震防災に大きく貢 献する。

#### 4.2 四国東部の中央構造線活断層系の活動

中央構造線は,第四紀以降も中央構造線活断層 系として,継続して活動しているが,その活動は 四国内で一様ではない。例えば,四国西部では, 中央構造線の北側に中央構造線活断層系が分布し ている。一方で,四国東部では,中央構造線と中 央構造線活断層系はほとんど一致している。これ ら分布形態の違いは,第四紀以降の応力場と断層 の活動環境の違いを反映していると考えられてい る<sup>4</sup>。

本調査地域周辺での中央構造線の活動は,三豊 層群財田層の結晶片岩礫の分布などから,前期鮮 新世~中期更新世に逆断層運動が優勢であったと 考えられている<sup>15)</sup>。また,岡田(1968)<sup>16)</sup>によれ ば,約3万年前以降の池田断層の右横ずれ変位速 度は約7 m/千年,南低下の上下変位速度は約1.7 m/千年と求められており,右横ずれ運動がおおよ そ4:1の割合で優勢であるとしている。

ここで、箸蔵露頭および加茂露頭で計測した剪 断面に着目すると、その複合面構造(Y-P-R<sub>1</sub>)の 関係は、右横ずれ運動センスを示しており、剪断 面の配列は、第四紀以降の右横ずれ卓越の運動方 向を反映していることが分かる(Figs. 4 and 8)。 一方で、箸蔵露頭で観察された礫層起源の断層ガ ウジは、後期鮮新統~前期更新統の財田層堆積後 に、主断層面に沿って継続的に断層活動が繰り返 されていたことを示唆する。さらに、断層ガウジ 中の礫の長軸が断層面に沿って、縦方向に配列し ていることから、縦ずれ変位の影響を受けている と考えられる(Fig. 3)。さらに、中央構造線活断 層系の断層帯中の剪断面より推定された応力場は A:東西圧縮の逆断層型応力場、B:北西-南東圧 縮の逆断層~横ずれ断層型応力場である(Fig. 9)。 得られた2種類の応力場の順序関係は不明である が、これらの応力場は前期鮮新世~中期更新世の 逆断層運動が優勢であった時期の応力場、もしく は第四紀後期の逆断層運動を伴う右横ずれ断層運 動を引き起こした応力場を反映している可能性が ある。

M  $\leq$  5.0 の地震データからインバージョン解析 によって、求められた日本列島の深度10 km 付近 の応力場のうち、四国東部の広域的な応力場は、 東西圧縮および北西-南東圧縮の横ずれ断層型応 力場であるが、本調査地域周辺では、部分的に逆 断層型応力場が混在している<sup>17)</sup>。このように、地 震インバージョン解析から推定された地下の応力 場と、今回地表の断層露頭より取得した情報から 推定された応力場は調和的である。このことは、 本露頭で観察された断層帯は、最近の中央構造線 活断層系が活動した記録をよく保存していること を示している。

### 5. まとめ

今回,我々は中央構造線活断層系の2か所の断 層露頭(箸蔵露頭および加茂露頭)を報告した。 箸蔵露頭では,和泉層群と第四紀礫層が中央構造 線活断層系で接しており,断層帯の連続的な変化 を観察できる。加茂露頭では,和泉層群と三波川 変成岩類が中央構造線活断層系で境される。

箸蔵露頭および加茂露頭の,断層帯中の剪断面 の卓越方向からは,おおよそ右横ずれ運動センス が読み取れる。しかし,加茂露頭では,横ずれ断 層型に加えて逆断層型応力場も示しており,第四 紀の中央構造線活断層系の運動方向と調和的であ る。また本調査結果は,地震インバージョン解析 により推定された広域応力場とも一致している。

四国地域では、中央構造線活断層系の性状を観 察できる露頭が限られ、その性状は不明な点が多 い。そのため中央構造線活断層系の新たな断層露 頭の情報は、中央構造線活断層系の断層活動を考 える上で、極めて重要である。また、徳島県では、 条例で「特定活断層調査区域」が指定されており、 中央構造線活断層系の詳細な位置情報は、地震防 災上重要であると考えられる。

今後,今回報告した断層露頭において,詳細な 観察と分析を行い,さらに詳細な中央構造線活断 層系の活動性評価に資する情報を取得したい。

## [謝辞]

本研究を実施するにあたり,徳島大学の村田明 広名誉教授には,加茂露頭と周辺の中央構造線に ついて現地でご教授頂いた。三好市役所観光戦略 課の殿谷梓氏,東みよし町文化財保護審議会の藤 枝主市氏,島尾明良氏には,現地調査にご同行頂 き,有益な議論をして頂いた。また,本研究は, 四国電力㈱土木建築部殿より委託を受け実施した ものである。ここに,記して感謝申し上げます。

## [参考文献]

- Kobayashi T (1941) : [The Sakawa orogenic cycle and its bearing on the Japanese Island], Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. 2, 5, 219-578.
- 高木秀雄(1997):「中部地方領家帯のマイロ ナイト化の時期」,月刊地球,19,111-116.
- 3) Kubota Y and Takeshita T (2008) :

   F Paleocene large scale normal faulting along the Median Tectonic Line, western Shikoku, Japan. J, Island Arc, 17, 129–151.
- 2017):「四国 西部の中央構造線断層帯の地形と地質」,地質 学雑誌,123,7,445-470.
- 5) Noda A and Toshimitsu (2009) : [Backward stacking of submarine channel-fan successions controlled by strike-slip faulting: The Izumi Group (Cretaceous), southwest Japan.],Lithosphere, 1, 41-59.
- Wallis, S. R., Anczkiewicz, R., Endo, S., Aoya, M., Platt, J. P., Thirlwall, M., and Hirata, T. (2009) : 「Plate movements, ductile deformation and geochronology of the Sanbagawa belt, SW Japan: tectonic significance of 89 – 88 Ma Lu- Hf eclogite ages. J.Journal of Metamorphic Geology, 27, p. 93 – 105.
- 野田篤,植木岳雪,川畑博,松浦浩久,青矢 睦月(2017):「観音寺の地質.地域地質研究 報告(5万分の1地質図幅)」,産総研地質調 査総合センター,96p.
- 松浦浩久,栗本史雄,吉田史郎,斎藤文紀, 牧本博,利光誠一,巖谷敏光,駒澤正夫,広 島俊男(2002):「岡山及丸亀の地質.地域地

質研究報告(20万分の1地質図幅)」,産総研 地質調査総合センター.

- 9) Rutter, EH., Maddock, R. H., Hall, S. H., White, S. H. (1986) : 「 Comparative microstructures of natural and experimentally produced clay-bearing fault gouges.」,Pure Appl Geophys 124, 3–30.
- Sato K (2006) : 「 Incorporation of incomplete fault-slip data into stress tensor inversion.」, Tectonophysics, 421, 319-330.
- 11) Yamaji A, Otsubo, M, Sato, K (2006) : Paleostress analysis using the Hough transform for separating stresses from heterogeneous fault-slip data J,J. Struct. Geol., 28, 980-990.
- 12) Twiss R. J. and Gefell, M. J. (1990) : 「Curved slickenfibers: a new brittle shear sense indicator with application to a sheared serpentinite」,J. Struct. Geol., 12, 471-481.
- 13) 高橋治郎(1992):「中央構造線の破砕帯」,破 砕帯の工学的性質に関するシンポジウム 発 表論文集,社団法人土質工学会,5-8.
- 14)田村栄治・長谷川修一・渡辺弘樹・宮田和幸・ 谷田部龍一・内田純二(2007):「中央構造線 沿いの熱水変質に起因する地すべり」,地すべ り,44,222-236.
- 15) 植木岳雪・満塩大洸 (1998):「阿讃山地の隆 起過程:鮮新~更新統三豊層群を指標にして」, 地質学雑誌, 104, 247-267.
- 岡田篤正(1968):「阿波池田付近の中央構造 線の新期断層運動」,第四紀研究, 7, 15-26.
- 17) Terakawa T and Matsu'ura M (2010): The
  3-D tectonic stress fields in and around
  Japan inverted from centroid moment
  tensor data of seismic events, Tectonics, 29,
  TC6008.