

野島地震断層に形成された鏡肌と 条線の姿勢と組織

Attitudes and textures of slickensides and slickenlines formed on the surface of the Nojima Earthquake Fault

高木秀雄*・小林健太*・坂 幸恭*・
加藤 潔*・松田達生*・江原宏幸*

Hideo Takagi*, Kenta Kobayashi*, Yukiyasu Saka*
Kiyoshi Katoh*, Tatsuo Matsuda*, Hiroyuki Ehara*

Abstract: Most remarkable slickensides and slickenlines along the Nojima Earthquake Fault (right-lateral fault with thrusting component) appeared by 1995 Southern Hyogo Prefecture Earthquake can be observed along the NW facing exposures of Ogura, Awaji Island, Southwest Japan. The fault exposure of Ogura can be divided into segment A (strike: N58E) and segment B (strike: N60E) by a right-stepping dilational jog. The strikes of slickensides are inclined 2° counter-clockwise to the strikes of the fault. The slickenlines can be divided into two types on the basis of the difference in plunging angles: horizontal type ($15^\circ \pm$) and oblique type ($30^\circ \pm$). The oblique type slickenlines are developed on the slickensides showing more transpressional attitude. Oblique type slickenlines on the upper part of the exposure often curved downward convexly to transit horizontal type slickenlines on the lower part, however, the latter sometimes crosscut the former. On some slickensides, however, the oblique slickenlines crosscut the horizontal one, suggesting that the fault slip direction was not simple.

Based on the classification of slickenlines by Means (1987), most of the slickenlines with 0.1 ~ several mm in width are probably scratches and tails formed by asperity ploughing and erosional sheltering, respectively. Some of them may be streaks formed by debris streaking. Some irregular-shaped and/or branching-off slickenlines can be formed by scratches of rolling of stripped piece of debris and/or by scratches of split piece of debris, respectively.

Key words: *Nojima Earthquake Fault, Awaji Island, slickenside, slickenline*

1996年1月19日受付. 1996年2月20日受理.

*早稲田大学教育学部地学教室.

Institute of Earth Science, School of Education, Waseda University, Shinjuku, Tokyo 169-50, Japan.

はじめに

1995年1月17日の兵庫県南部地震から、ほぼ1年が経過した。その間に数多くの地質学的、地球物理学的調査・研究が公表されてきた(日本学術会議地質学研究連絡委員会, 1995)。それらのうち淡路島北西端に形成された野島地震断層に関するものを見てみると、地震発生直後においては、断層の位置や有無、変位量などについて、野外調査の速報的なものが目立ち、引き続きそれら地質・地形・測地学的データを、重力・地震学的に解釈しようとする試みなどがなされた(例えば; 林・宇田, 1995)。一方、地震断層の形態・表面構造などの小~中構造、すなわち構造地質学的データとして扱えるものについて、解析を試みた例もある(林ほか, 1995a, b; 皆川ほか, 1995a, b; 岡崎, 1995)。

皆川ほか(1995b)は、野島平林や小倉における野島地震断層の条線は、高角ないしほぼ垂直な部分と、上方もしくは下方に凸ではほぼ水平な部分からなるとし、前者は対の平均応力集中によって助長された垂直成分のより卓越した第1のフェーズに、後者はそれに引き続く横ずれ成分が卓越した第2のフェーズに相当すると解釈した。なお、条線の強さはこの順で低下させている。また、岡崎(1995)は、断層表面の組織(おもに条線)を観察し、分類と成因の考察を行った。

筆者らのグループは、1995年3月9日から12日まで、淡路島での現地調査を行った。その中でも小倉(Fig.1)において観察された野島地震断層の表面構造、特に条線(および鏡肌)の姿勢やそれらの間の相互切断関係について、上記の報告を補充しながら、一部異なる結果を得た。小論ではそれらの記載を中心に、各々の条線の姿勢が変化するメカニズムや条線の成因について論ずる。

小倉露頭の概略

淡路島北西端に出現した野島地震断層は、従来より知られていた活断層である野島断層とは

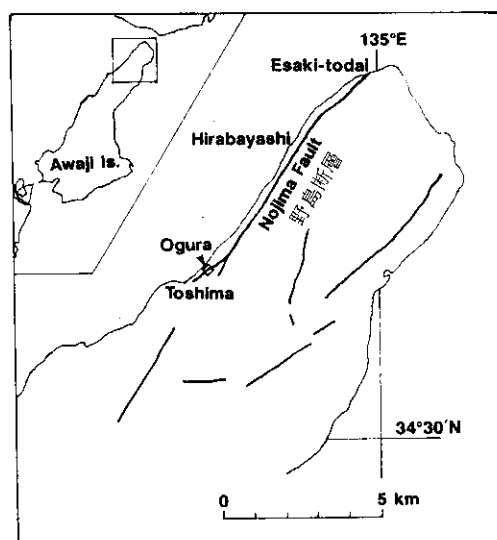


Fig.1 Index map along the Nojima (Earthquake) Fault in the northwestern marginal area of the Awaji Island.

ほぼ一致した位置にあり、断層面の走向は $N30^{\circ}E \sim N60^{\circ}E$ である。野島断層の北西側は中新統および更新統(一部、完新統)であり、南東側は白亜紀花崗岩類である。このうち小倉付近での走向はおおよそ $N60^{\circ}E$ であり、野島地震断層全体の中で最も東西走向に近い部分である。林・宇田(1995)は小倉付近のこの部分を小倉セグメントとして区分した。今回見事な条線を記録した小倉における野島地震断層付近の地質は、大阪層群小倉礫層の砂岩、シルト岩であるが、今回現れた断層面は、すでに断層ガウジ化した部分を切断している。

小倉露頭において、野島地震断層は全長150m以上で連続して露出し、断層面は南東に約 85° で傾斜する。途中右ステップをなす展張性ジョグ(dilational jog; Fig.3a)を境界として、南西側のセグメントA(走向 $N58^{\circ}E$)と、北東側のセグメントB(走向 $N60^{\circ}E$)に分断される(Fig.2)。また、セグメントBをより細かく見ると、いくつかのサブセグメントに分けることも可能である。たとえばセグメントBの南西端から約30mの地点18付近までは明瞭な断層面

野島地震断層に形成された鏡肌と条線の姿勢と組織

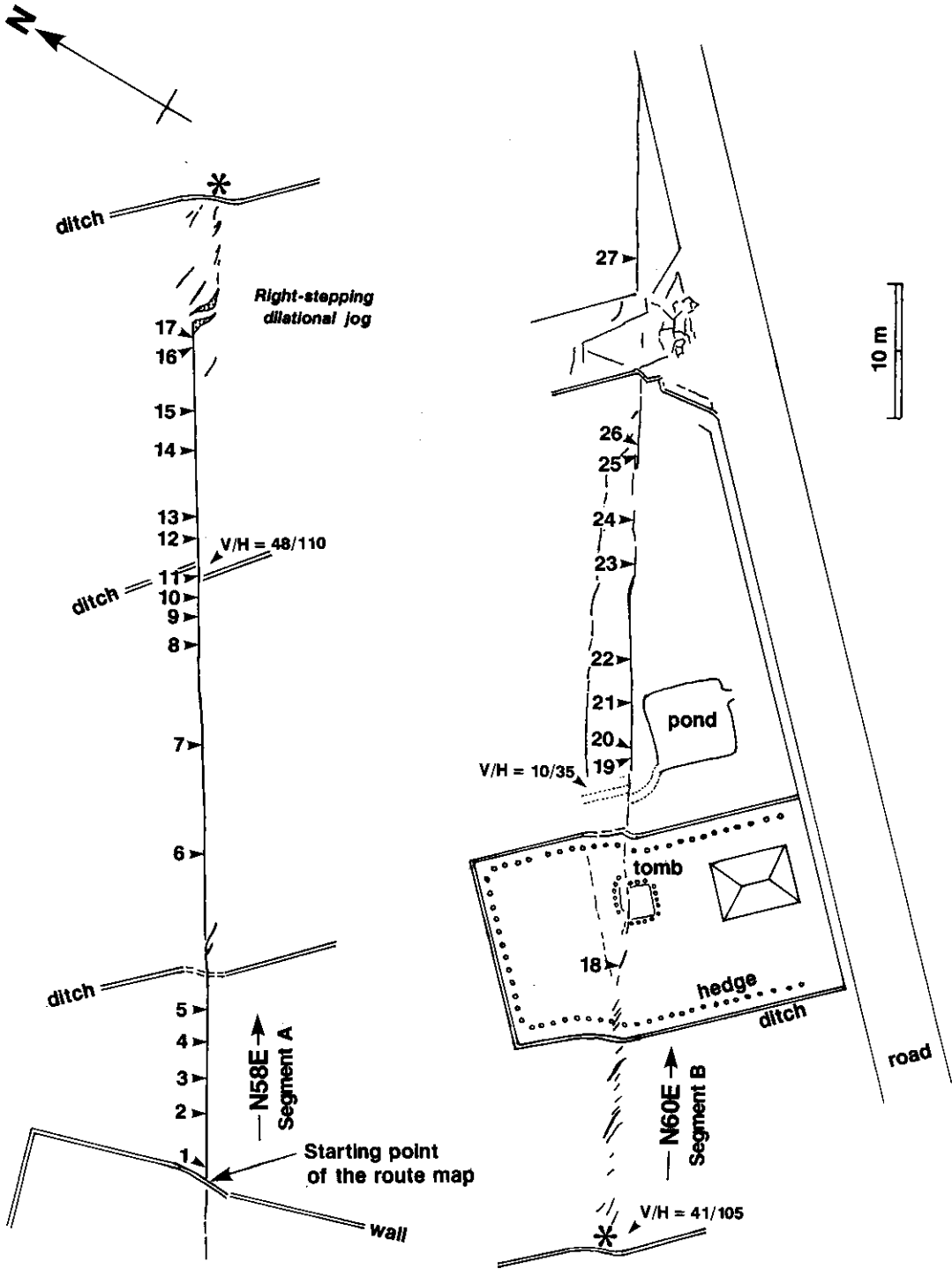


Fig.2 Route map along the Nojima Earthquake Fault at the exposures of Ogura. V/H means the vertical and horizontal components of the net slip in centimeter, respectively, measured directly by the displacement of ditches.

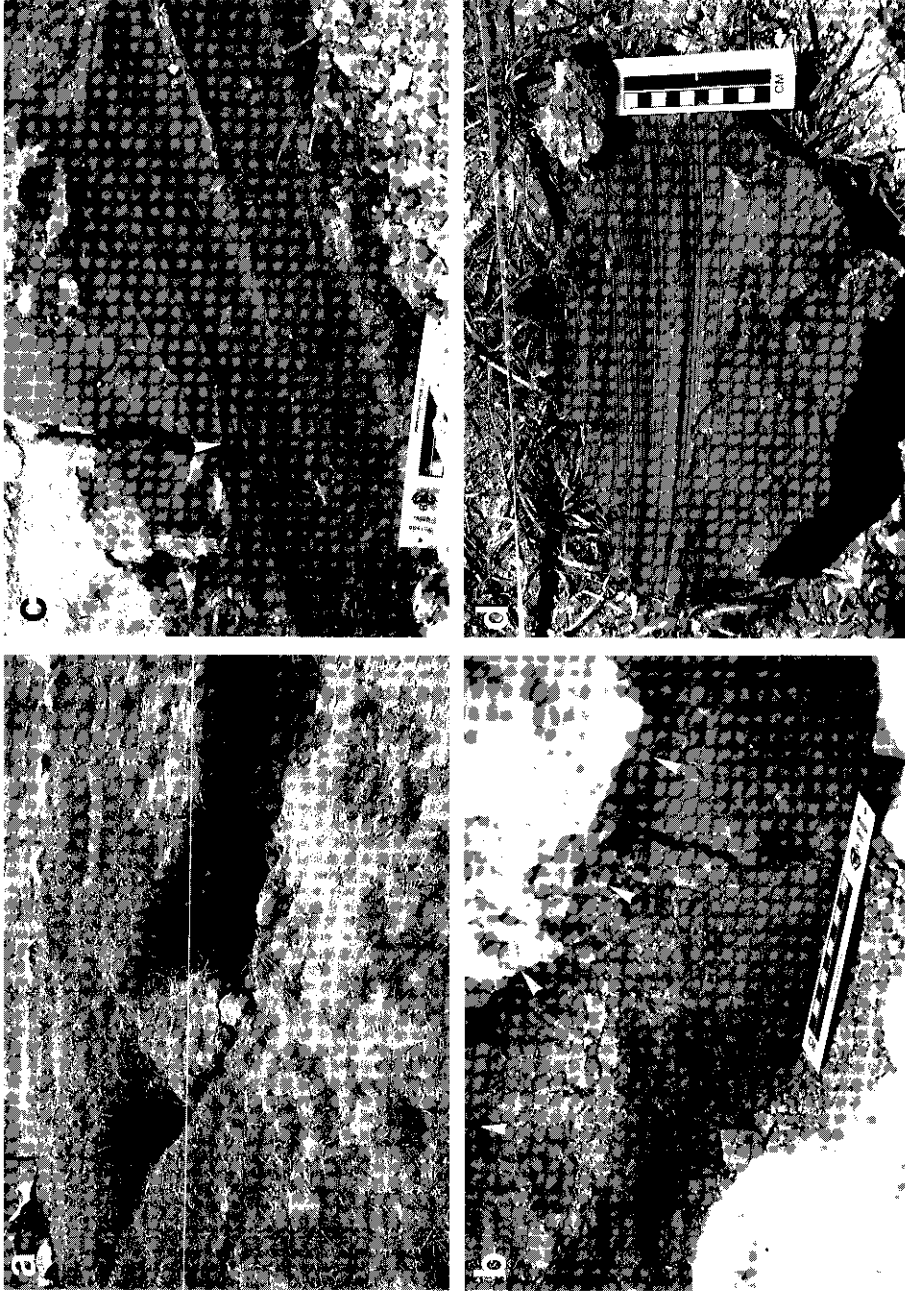


Fig.3 Photographs of fault exposures of Ogura.

(a) Right stepping dilational jog forming a segment boundary (point 17). The whole length of the measure in the photograph is about 5m. b) Slickenlines with slickenlines under the left-stepping echelon cracks (point 18). The strike of the slickenside (N49° E) is oblique to that of the crack surface (above the photograph) forming a kind of decollement (trace of arrows). (c) Curved (convex to the bottom) and continuous slickenlines at point 15. Some horizontal slickenlines (arrow) crosscut the oblique ones. (d) Fault gouge with curved and continuous slickenlines peeled off from the fault surface. The magnification of the same sample is shown in Figs.6a, b.

は露出せず、杉型雁行配列した展張クラックが発達している。ただし、地点18での観察では、そのような展張クラックは地表より30cm付近までしか延びておらず、その下には鏡肌を有する連続的な断層面が現れている(Fig.3b)。この地点18をサブセグメント境界とし、その北東側では、垂直変位10cm、水平変位35cmほどの副断層が北西側に枝分かれして主断層と並走しながら約40m連続している。この区間の主断層には、たとえば露頭地点23の南西側に右ステップを示す小規模な releasing bend が認められる。以上のように、野島断層のセグメンテーションは、km スケール(林・宇田, 1995)から数10mスケールまで、認めることができる。

人工物のずれによって求めた小倉露頭の主断層の変位は垂直成分：40～55cm、水平成分：95～125cmとなり、そのネットスリップの変位量は1.1～1.4mとなる。今回記載する断層面は、地震断層の南東側が逆断層成分を伴う右横ずれにより隆起・露出した北西に面する部分である。その表面には、様々な方向の条線が形成されており、粗滑法則に適合するステップ構造も部分的には認められるが、その発達は弱い。

この小倉露頭において、鏡肌とその上の条線の組の姿勢を、27地点において合計37組測定した。各々の地点において明瞭に発達し、露頭で姿勢が決定できる程度のスケールのものを、測定対象とした(Fig.2, Table 1)。解析の際には、後述するように姿勢の数度程度の変化が問題になるが、誤差がこれを超えないように慎重に測定を行った。また、鏡肌・条線を室内で詳細に観察する目的で、断層の表面試料を合計3つ採取した(地点7, 12, 27)。これらの定方位試料は調査当時すでに露頭表面から剥落していたが、剥落以前の位置に戻して姿勢を復元した後、定方位で採取したものである。

鏡肌・条線の姿勢

測定した鏡肌・条線の姿勢を、シュミットネット下半球に投影した(Fig.4)。条線については、ほぼ水平ないし北東方に低角度(約15°)

で沈下するもの(以下、水平条線)と、北東方に低角ないし中角度(約30°)で沈下するもの(以下、傾斜条線)の2つに分離した集中を認めることができる。なお、上述したネットスリップ方向は、2つの集中の間にある。

鏡肌と条線の姿勢が、露頭内の地点によってどのように変化しているかを検討した。南西端の基準点(明瞭に変位している河野道伸氏宅の堀：Fig.2)から北東方向に測定した距離と、(a)鏡肌の走向(strike)、(b)鏡肌の傾斜角(dip)、(c)条線の方向(trend)、(d)条線の沈下角(plunge)との関係を、散布図上に各々プロットした(Fig.5)。また、それらのデータをTable 1に示す。各散布図の左半部(1～63m)がセグメントAからのデータ、右半部(95～148m)がセグメントBからのデータである。

鏡肌の走向は、ばらつきながらもセグメントAではN56°E付近に、またセグメントBではN58°E付近に集中している。これらの集中は、上述した各セグメント全体としての走向に対して約2°反時計回りに回転している(Fig.5a)。今回の地震時における変位は右横ずれ成分が卓越することから、条線と鏡肌は各セグメントの剪断方向に対して transpression の部分に選択的に形成されていると言える。また、鏡肌の傾斜角は、セグメントBの方がAよりも高角をなすが、両者ともばらつきが大きく、20°前後の幅がある(Fig.5b)。一方、条線の方向および沈下角は、水平条線に限ると、セグメントA、Bの間で集中の位置に明瞭な差は認められず、N60°E前後の方向に10～20°前後で沈下する。ただし、方向については、セグメントAの方が多少ばらつきが大きい(Figs.5c, d)。また、傾斜条線はセグメントAに限って認められる。以上をまとめると、今回形成された断層面の姿勢は全体として、剪断方向を軸として緩やかに波曲するようなものであった。

鏡肌・条線の組織

1. 観察法

断層の表面試料は柔らかい刷毛を用いて表面

Table 1 Attitudes of slickensides and slickenlines on the surface of the Nojima Earthquake Fault at the exposures of Ogura. The location means the distance from the starting point as shown in Fig.2. L1 means the attitude of the oblique or horizontal slickenlines measured on the slickenside S1, and L2 means that of the horizontal slickenlines measured on the same part (S2=S1) of the slickenside on which the L1 measured or on the different part (S2) of the slickenside.

No	Loc(m)	S1		L1		S2		L2	
		Strike	Dip	Trend	Plunge	Strike	Dip	Trend	Plunge
1	1.3	N56E	79S	N60E	20				
2	5.4	N58E	83S	N62E	27				
3	8.0	N56E	76S	N62E	26				
4	10.7	N56E	73S	N68E	33	S1		S52W	12
5	13.2	N54E	69S	N68E	31				
6	24.8	N50E	65S	N68E	33				
7	33.0	N53E	76S	N59E	20				
8	40.6	N55E	77S	N63E	32	S1		N57E	8
9	42.5	N57E	76S	N67E	36	S1		N61E	17
10	43.9	N56E	78S	N64E	34				
11	45.5	N55E	79S	N62E	31				
12	48.3	N54E	76S	N64E	34	S1		N58E	17
13	50.5	N56E	78S	N64E	30	S1		N58E	10
14	55.0	N56E	74S	N64-66E	28-32	S1		N62E	20
15	57.8	N53E	66S	N68E	31	N58E	72S	N64E	18
16	62.8	N55E	64S	N72E	31				
17	63.2	N56E	84S	N58E	20	S1		N58E	10
18	94.9	N49E	90	N49E	22				
19	110.4	N58E	85S	N60E	14				
20	110.8	N57E	83S	N59E	14				
21	116.0	N59E	76S	N61E	8				
22	117.7	N61E	80S	N61E	0				
23	124.6	N59E	88N	N59E	12				
24	128.1	N45E	76S	N47E	9				
25	132.6	N58E	87S	N59E	17				
26	133.7	N59E	86S	N61E	20				
27	147.8	N52E	74S	N58E	22	N59E	87N	N59E	10

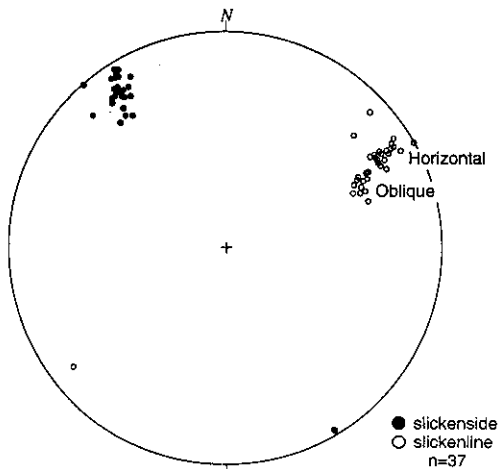


Fig.4 Attitudes of slickensides and slickenlines on the surface of the Nojima Earthquake Fault at the exposures of Ogura. Equal-area lower-hemisphere projections.

野島地震断層に形成された鏡肌と条線の姿勢と組織

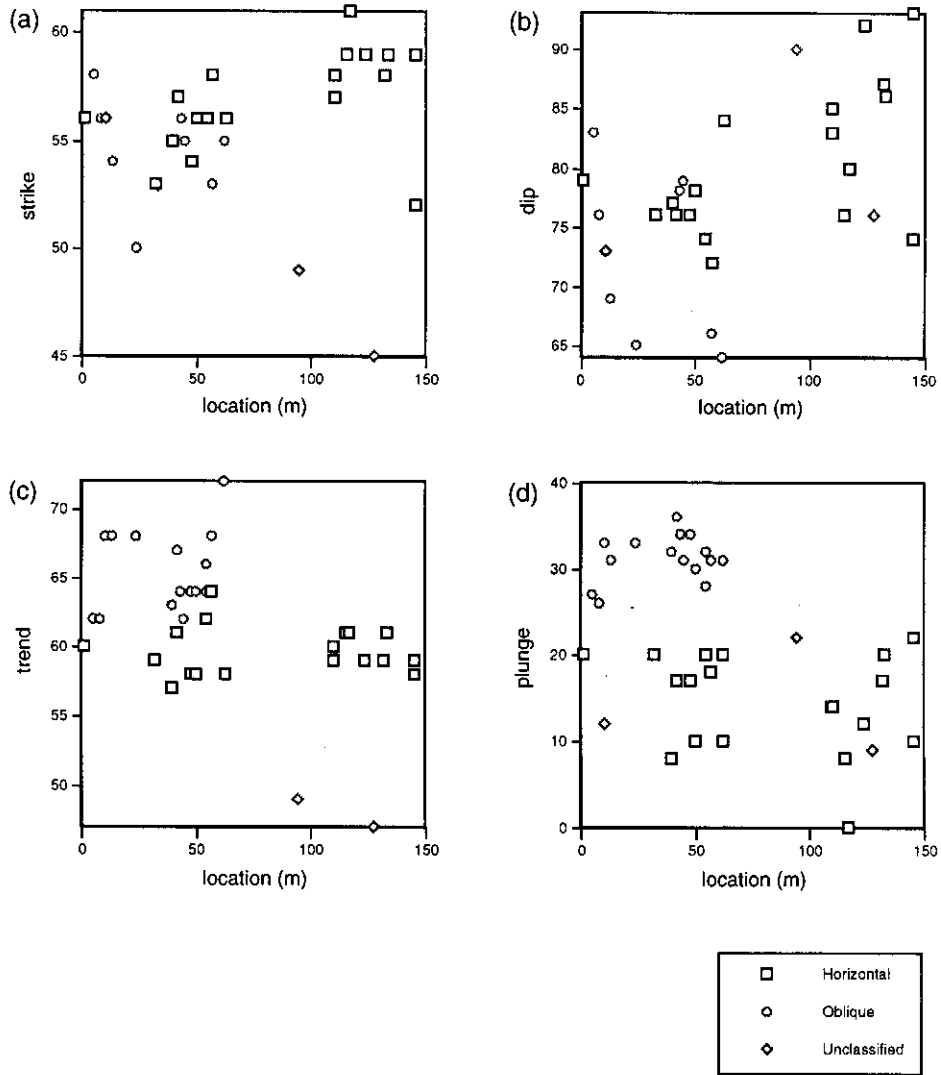
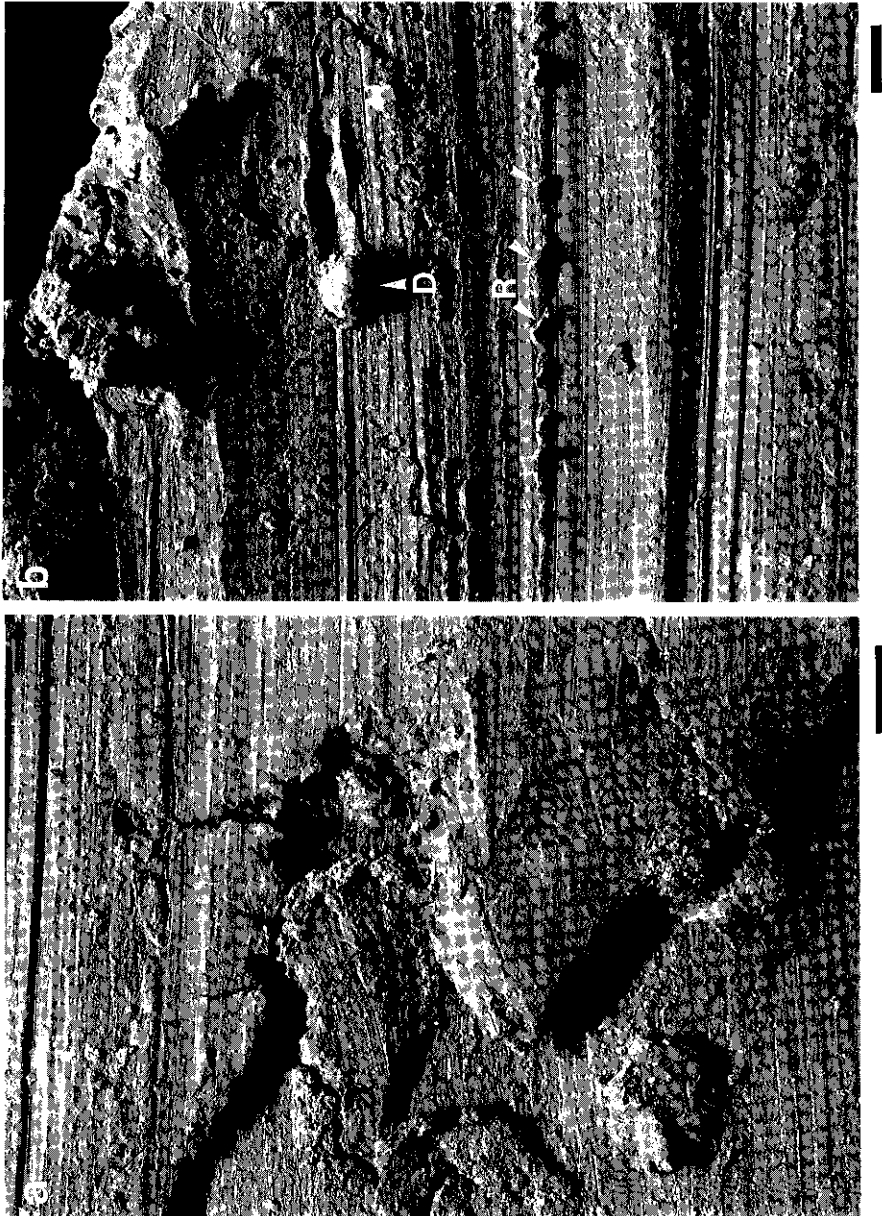


Fig.5 Diagrams of location (see the caption of Table 1) vs. strike of slickenside (a), dip of slickenside (b), trend of slickenline (c), plunge of slickenline (d). The figures of strike and trend follow the right-hand rule.

の汚れを除去したが、この際に破碎岩片などの初生的な構造を破壊しないように注意を払った。研究室において条線に直交する方向から低角度で照明をあてて接写し、肉眼観察とともにその拡大写真によって表面構造を観察した (Fig.6)。地点12の試料は、その表面(鏡肌)がほぼ完全な平面であるので、鏡肌(N59°E、

76°SE)上に記入された走向線となす角度(ピッチ)を測定して、各々の条線の姿勢を求めた。また、地点27の試料から、条線に直交する方向の断層ガウジの薄片(YZ薄片)を作製し、鏡下で観察した(Fig.7)。断層ガウジの採取・固定・石工法については、高木・小林(1996)を参照されたい。



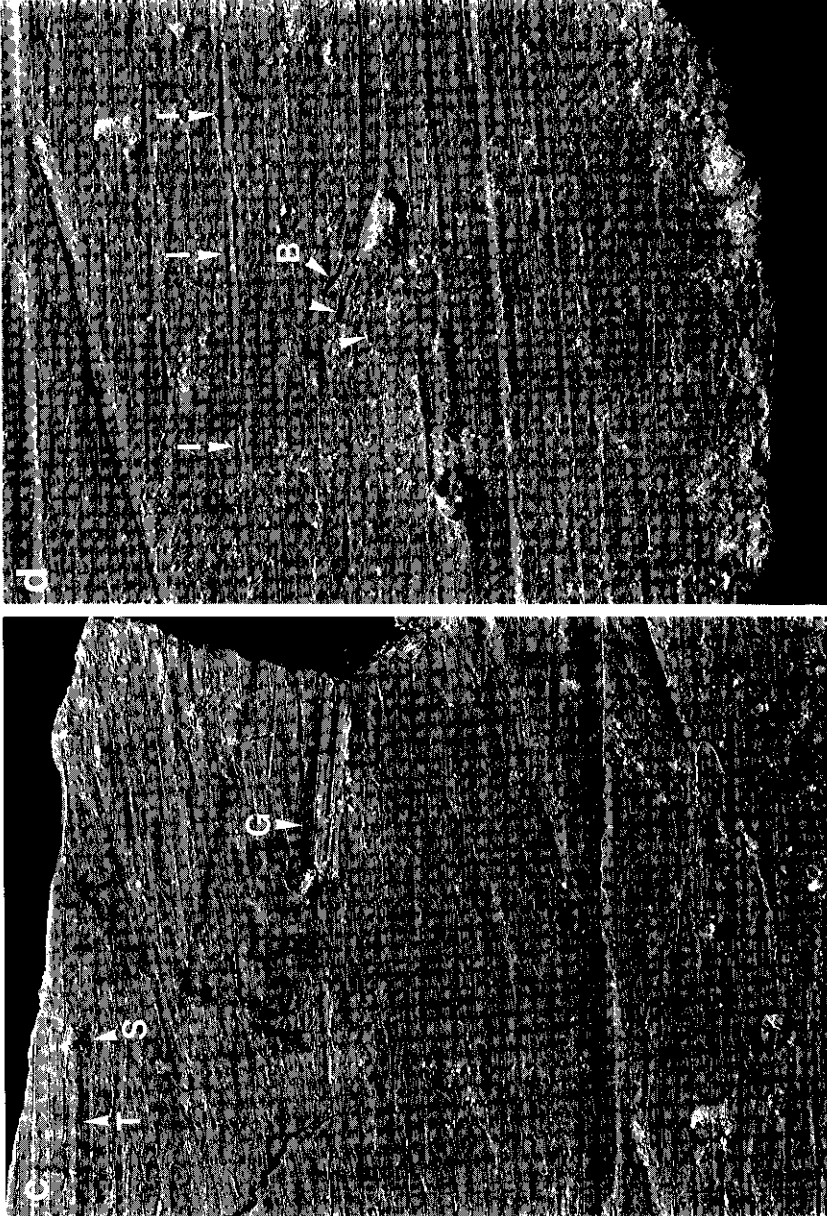


Fig.6 Photographs of slickensides and slickenlines on the surface of the Nojima Earthquake Fault. All slickensides moved relatively to the left (southwest). (a) Double-(or triple-) decked slickenside with slickenlines. (b) Deep and irregular grooves with rounded debris (D) rolled on the interface of fault surfaces. Small and elongated ridges (R) arranging obliquely with left-stepping manner to the slickenlines can be observed. (c) Straight groove (G) with debris and straight tail (T) with debris surrounded by streaks (S). Grooves and tails (ridges) are imprinted on the opposite side of the debris, clearly indicating the sense of slip. (d) Branched and curved grooves (B) connected with thick grooves. Some scratched grooves (I) are imprinted intermittently. Crosscutting relationship between the horizontal and oblique slickenlines is not always clear (c & d). (a), (b); Sample from point 7; (c), (d); sample from point 12. Scale bars: 1 cm.

2. 鏡肌の発達様式

地点27の試料では、表面から少なくとも数cmまでは固結した断層ガウジになっている。この断層ガウジの薄片観察によると、極細粒粘土質基質のなかに、石英、カリ長石、斜長石、粘土鉱物化した雲母類などの鉱物片と、酸性火山岩、泥岩などの岩片が認められる。基質部の面積比は大きい。

一部では試料表面から数mmの深度まで数枚の鏡肌が繰り返し発達しているのが観察される(Figs.3d, 6a)。このような鏡肌は、YZ薄片においては、幅数 μm ～数 $10\mu\text{m}$ ほどの空隙を伴う割れ目の面として認定できる(Fig.7)。その連続性は、試料表面(すなわち露頭表面)の鏡肌に比べると小さく、個々の鏡肌の間隔は、表面から離れるに従い大きくなり、1mmより深部ではほとんど消滅する。これらの複数の鏡肌は、互いに並走するものや網目状に発達(anastomose)するものがある。各々の鏡肌上にも条線が形成されていることが露頭で確認でき、YZ薄片においても、凹凸として示されている(Fig.7)。皆川ほか(1995)は、表面が鉄分の皮膜で覆われた条線は古い断層活動で生じたものであるとした。今回観察した試料表面の条線は、方向を問わず新鮮であり、沈着物質は見られない。一方、試料内部に認められる鏡肌のうちいくつかの面に沿っては鉄分(褐鉄鉱)が沈着しており、それらが波曲する試料表面(鏡肌)によって切断されている(Fig.7)ことから、このような面は古い断層活動に伴う鏡肌と考えられる。したがって、少なくとも試料表面および鉄分が沈着していない鏡肌上の条線は、今回の断層変位に伴って形成されたと判断できる。ただし、鉄分が沈着した古い鏡肌を利用して、今回の断層活動による変位が重複する可能性もあるので、単純ではない。

3. 条線の組織

組織からみて、試料表面の条線は次の2つのタイプに分類できる。

(1) **太い条線**：地点12では幅1～数mm、地点7では幅6mmであり、比較的少数が深い溝状

に形成されている(Fig.6)。また、太い峰も存在するが(Figs.3c, d)、溝に比べると少ない(Fig.6)。鏡下での観察によると、上述したような古い鏡肌をシャープに切断している溝(条線)は、いずれも幅数mm以上であり(Fig.7)、このタイプのものである。対面側の移動方向、すなわち各々の条線の北東端が観察される場合、破碎岩片が停止した状態で残存していたり(Figs.6c, d)、条線が先端部で不規則に枝分かれた後に消滅したり(Fig.6d)している。このような太い条線は同じ鏡肌上で、水平条線と傾斜条線の2方向ともに形成されている(Figs.6c, d)。また、溝をなす部分では、その両側に押し退けられたガウジが峰として現れた部分もしばしば認められる(Fig.6)。

(2) **細い条線**：幅0.1～1mm以下であり、浅い溝状もしくは峰状に均一で密に形成されている(Fig.6)。ただし、地点7での幅はより広く数mmのものまであり、連続性がよく、下方に凸で緩やかに湾曲している(Figs.3d, 6b)。条線の先端部ではそのままの姿勢で消滅するものが多い。ほとんどは水平な方向に形成されている。鏡下で観察される溝や峰(条線)のうち、比較的幅の狭い(1mm以下)ものはこのタイプであると思われるが、既存の断層ガウジの破碎岩片(数 $10\mu\text{m}$ ～数mm)粒界、もしくはそれを取り巻いて配列している雲母粘土鉱物の粒界で剝離することにより形成されている(Fig.7)。ただし、それらの配列とは無関係な部分も多い。

露頭観察によると、傾斜条線がゆるやかに下に凸の曲線を描いて水平条線に移化する場合(Figs.3c, d)と、傾斜条線が水平条線によって切断されている場合がある(Fig.3c)。また、表面試料による観察によると、逆に傾斜条線が水平条線を切断する場合もある(Figs. 6c, d)。

議論

1. 鏡肌・条線の姿勢が変化するメカニズム

皆川ほか(1995b)は、小倉における条線は、ずれの初期に形成された高角な部分と、それに

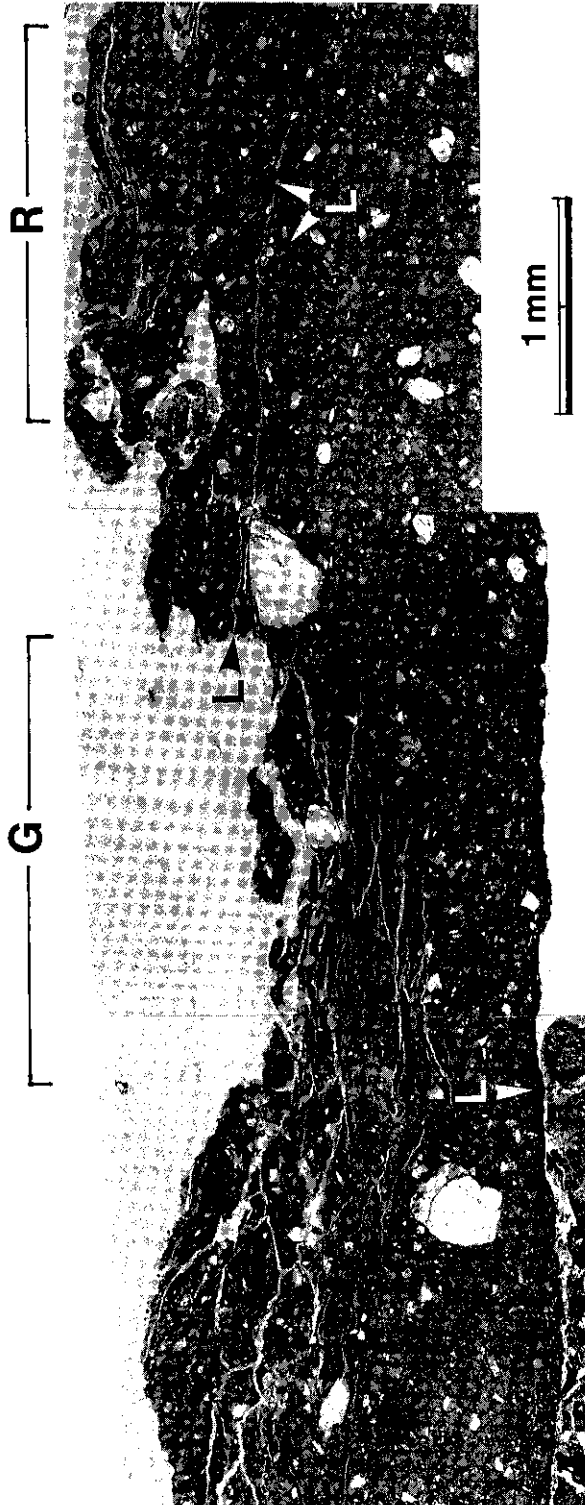


Fig.7 Photomicrograph of YZ thin section of fault gouge from point 27 showing the cross section of slickenside with slickensides. Slickensides appeared at the Southern Hyogo Prefecture Earthquake are developed as parallel or anastomosing cracks just below the fault surface (top) with grooves (G) and ridges (R). Some surfaces percolated with limonite (L) have already formed before the Southern Hyogo Prefecture Earthquake.

引き続いて形成されたほぼ水平な部分からなるとした。我々が観察した条線はいずれも後者に相当し、これをさらに細かいスケールで見ていることになる。すでに述べたように小倉露頭では、連続性の良好な条線がしばしば下に凸の形態をなし、運動後期に水平になっていくことが明らかな部分があり、またそのような露頭には、水平条線が傾斜条線を切断していると考えられる部分もある。しかし、一方においては、両者が互いに切断し合う部分も認められることから、場所によっては傾斜方向の動きと水平方向の動きが繰り返して生じた可能性もある。また、水平条線は小倉の露頭全体で普遍的に観察され、第2フェーズの運動(皆川ほか, 1995b)を代表すると思われるが、人工物の変位から実測された露頭全体のネットスリップと比較して、より水平条線の水平移動成分の割合の方が大きい。不足する垂直移動成分は、それが卓越する第1フェーズの運動で賄われた可能性があるが、小倉露頭では第1フェーズの運動は露頭最上部でわずかに認められる程度である(皆川ほか, 1995b)。したがって、第2フェーズの運動の間にも、傾斜条線を形成した時の運動が存在したことにより、露頭全体のネットスリップに整合する可能性が高い。

ここで、われわれの傾斜条線がセグメントAに限って認められることを重視したい。その中でも、特にセグメントA全体としての走向(N58°E)や鏡肌の平均的な走向(N56°E)と比較して、やや反時計まわりに回転した姿勢にある鏡肌の上に、この傾斜条線が選択的に形成されている傾向が認められる(Fig.5aの○印)。一方、鏡肌の傾斜角を見ると、傾斜条線が形成されている部分ではより低角度になっている(Fig.5b)。すなわち、セグメントBの断層面の平均的姿勢、セグメントAの断層面の平均的姿勢、セグメントAの中でも傾斜条線が形成されている鏡肌の順で、剪断方向に対してはよりtranspressionの場となり、逆断層成分がやや大きくなったものと考えられる。そのような北西側に乗り上げる運動が先行したため、同じセグメントAの中でも、transpressionが作用

しない部分(たとえば断層の走向がやや北にふれ、傾斜が高角な部分; Fig.4)でも、その運動に連動して受動的に傾斜条線を刻印したものと考えられる。

江崎灯台から富島までの変位が明瞭な野島地震断層全体をみると、その走向がN30°E~N60°Eの範囲でS字状に折れ曲がっており、小倉のセグメントではほぼN60°Eであることから、野島地震断層全体で一連の右横ずれ変位をもたらす東西圧縮応力場が作用したと考えられると、小倉セグメントはもともと相対的には断層面に直交する圧縮成分が最も小さかったものと想定される。

2. 組織からみた条線の成因

小倉の露頭における断層表面の組織については、既に岡崎(1995)によってa, b, cの3タイプ(条線については、a, bの2タイプ)に分類されている。また、一般的な鏡肌・条線については、Means(1987)による分類が広く用いられている。ここで、それらの研究をふまえながら、小倉露頭で認められた条線の形成過程による分類を再検討してみたい。

基本的に、条線の形態と方向性は、断層面のアスペリティ(凹凸)と、地震時における面に平行なスリップベクトルとその履歴(path)、および面に直交する振動に依存するものと考えられる。

断層面のアスペリティは、条線を形成させる突起物としては周囲よりも固いもの、すなわち破碎岩片もしくは鉱物片であると考えられる。今回条線を付けた突起物は、このような鉱物片や破碎岩片およびそれらの集合体である可能性が大きい。

このような突起物により引っかかれたことにより形成した条線は、Means(1987)によりscratch(引っかき)と呼ばれ、その過程はasperity ploughing(ploughingとは鋤くこと)と呼ばれている。このscratchは、最も一般的な条線の成因と考えられており、今回引っかかれたガウジが溝の外側にはき寄せられた組織もしばしば観察された(Figs.6c, d)。岡崎(1995)に

よる a タイプは、このタイプに属する。ここで注意しなければならないのは、突起物は引っかく面に残存する場合と、引っかかる面に残存する場合があることである。また、引っかかれた面の条線は溝を作るが、引っかいた方の面は対面側の断層面の溝を充填するような細長い峰を作る場合がある。そのような峰が突起物と連結している場合、それは固い物体の“風下”側にできた浸食され残りの部分に相当することから、その峰を Means(1987)は tail(尾)と呼び、その形成機構を erosional sheltering と呼んだ。このタイプは岡崎(1995)による b タイプに相当する。ただし、この tail が実際に浸食のされ残りというものだけではなく、粉砕物が溝の内側に向かってはき寄せられたものの可能性もある。このような突起物の後方に峰をなす形態は、例えば Fig.6c の T に認められる。

以上のように、Means(1987)による scratch と tail、あるいは岡崎(1995)の a タイプと b タイプの違いは、引っかかれた溝に突起物が付着している方を scratch、引っかく側が突起物の後方に峰を形成している場合を tail と呼んでいるものと解釈できる。このような対になっている可能性については、岡崎(1995)も指摘している。

ところで、scratch には、さらに 3 つの過程が考えられる。すなわち、(1)突起物が、ずれの過程を通じて固定されたまま条線(scratch)を刻印した場合、(2)突起物が、ずれの過程で条線(scratch)を刻印しながら剥離して、自ら引きずられた場合、(3)突起物が、ずれの過程で表面から剥離し、条線(scratch)を刻印しながらコロのように回転した場合、である。

(1)の場合は、刻印された条線(scratch)が、断層運動の過程で刻印し続けたとすれば、スリップベクトルをそのまま示すだけではなく、突起物を含む側の面には、scratch は形成されないであろう。ただし、突起物が小さい場合は、対面側の断層面のアスペリティに規制されて、scratch の連続性が絶たれたり、Fig.6d に示されるように断続的に出現したりするであろう。したがって、(1)の場合は、たとえば Fig.3c

に示されているように突起物の大きな太い条線ほど、scratch の連続性が良好であり、逆に突起物の小さな細い条線ほど短く、scratch の連続性が悪くなると予想される。ただし、大きな突起物の表面にもアスペリティが存在するので、太い条線の内部に比較的連続性の良好な細い条線ができる場合もある(Fig.6)。それに対し、(2)の場合は、突起物を含む側の面にも、scratch による溝が様々な長さで形成されるはずである。したがって、条線の長さは(1)よりも短い。scratch の軌跡は運動方向とほとんど平行であろう。(3)の場合は、剥離した物体の形態や、断層表面のアスペリティにより、scratch の軌跡が直線ではなく、不規則に揺らいだり、周囲の条線とは異なる方向に刻印したりすることがある。断層運動の最初の段階で物体が剥離した場合、scratch の長さが、刻印している面と刻印されている面とで理想的にはほぼ同じになることが予想される。一方、剥離が断層運動の途中もしくは最終段階で生じた場合は、このような揺らいだ条線の長さは短いであろう。今回われわれが観察した小倉露頭の断層面には、太い条線の中で、この揺らいだ条線(scratch)が観察された。たとえば Fig.6b には、完全な球形をなさない大きな破碎岩片が回転して刻印した溝がみごとに現れている。さらに、このタイプには、1本の溝が、不規則に細く枝分かれして消滅した熊手のような形態をなすことがある(Fig.6d)。このような溝が枝分かれしたものは、おそらく枝分かれした部分で物体が粉砕され、回転を伴いながら分離して分かれたものと推察される。このような揺らいだあるいは枝分かれした条線は一般に太くて目立つが、スリップ方向の指示物としては使用できないことを留意すべきであろう。

次に、突起物が条線を刻印する過程で、細粒粉砕物(ガウジ)が筋状に伸びる場合がある。このようなタイプを Means(1987)は streak と呼び、その形成機構を debris streaking と呼んだ。突起物が柔らかい場合は、突起物自身が粉砕され、細粒化して筋状に配列する場合と、細粒化したものがさらに突起物として機能し、

scratchによる細い条線を作ることが考えられる。小倉露頭の細い条線の一部はこのタイプと思われる。一方、突起物が固い場合は、その風上側や風下側に粉砕物が集積し、氷河地形のドラムリンのような形態をなす場合が指摘されている。ただし、Means(1987)によるFig.1の説明では、streakとして固い突起の後方に尾を引く粉砕物の筋が記載されているが、その場合、表面構造の観察のみからでは上記のerosional shelteringのtailとの識別が困難であると思われる。このようなタイプのうち、ブルドーザーのように、突起物の風上側にのみガウジが集積し、断面で観察すると非対称な形態をなす突起状組織が岡崎(1995)によりcタイプとして記載されている。筆者らも、このcタイプとtailが連結したカプトガニ様の形をなす組織を見出すことができた(Fig.6cのS)。

Means(1987)は上記の3つのタイプの他にも、よく知られた繊維状脈鉱物のタイプやridge-in-grooveタイプ(cf. Will and Wilson, 1989)を含む3種類の条線を記載している。われわれが観察した小倉露頭の試料では、対面側の断層面は観察しておらず、それらは明瞭ではなかったので、ここでは触れないことにする。

今回、地震断層が地表に現れただけではなく、見事な鏡肌と条線が小倉露頭で出現した。われわれが採取できた試料は少数であるが、その中には構造地質学的に貴重な情報が内在している。現在筆者らは断層表面のみならず断層ガウジの3次元的な微小構造についても観察しつつあり、それらの結果は稿を改めて報告したい。また、条線(特に、細い条線)についての成因は、必ずしも充分解明されてはいない。今後、剪断実験に関するデータを参照しつつ、地表に出現した断層面と可能であれば反対側の面を掘り出して鏡肌の組織を対比することができれば、その成因がより明解になるに違いない。

まとめ

1. 野島地震断層の小倉露頭は、約150mにわ

たって鮮新統～下部更新統大阪層群を切って発達する古い断層ガウジ帯沿いに右横ずれ南東上がりの面として現れており、鏡肌と条線が最も明瞭である。この露頭は南西側から大きくセグメントA(走向N58°E)とセグメントB(走向N60°E)に区分され、セグメント境界は右ステップの展張性ジョグからなる。また、各セグメントの鏡肌は、セグメント内の断層面の走向に対して2°ほど反時計まわりに斜交する。

2. 条線は北東に15°前後で沈下する水平条線と、30°前後で沈下する傾斜条線に分けられ、水平条線が断層運動のより後期に形成されて傾斜条線から連続的に変化するものと、傾斜条線を水平条線が切断するものがあるが、逆の切断関係も見られることから、断層運動は単純なものではないことが推定される。

3. 傾斜条線は、セグメントAの中でも特に鏡肌の走向がやや北にふれ、かつ傾斜角が比較的緩やかな逆断層部分に選択的に発達することから、小倉露頭のなかで最もtranspressionが作用した部分に発達したものと考えられる。

4. 小倉露頭に記録された条線は、その太さが0.1～数mmと様々であるが、その成因はMeans(1987)の分類によるscratchとtail(岡崎, 1995によるaタイプとbタイプ)が各々溝と峰をなして発達するものが多いと考えられる。そのほか、Means(1987)によるstreakも一部に認められる(岡崎, 1995のcタイプ)。scratchの中でも剝離した突起物が断層運動の過程で回転あるいは分裂し、スリップ方向と一致しない不規則な形態をなす太い条線が今回確認された。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、早稲田大学阪神淡路大震災調査・研究費の一部を使用した。関係当局に感謝の意を表する。

文 献

林 愛明・井宮 裕・宇田進一・飯沼 清・三沢隆治・吉田智治・精松保貴・和田卓也・

野島地震断層に形成された鏡肌と条線の姿勢と組織

- 川合功一, 1995a, 兵庫県南部地震により淡路島に生じた野島地震断層の調査. 地学雑誌, **104**, 113-126.
- 林 愛明・井宮 裕・宇田進一・三沢隆治, 1995b, 野島地震断層の性状. 応用地質, **36**, 41-46.
- 林 愛明・宇田進一, 1995, 野島地震断層のセグメンテーションと断層破壊プロセス. 地震, **48**, 375-386.
- Means, W. D., 1987, A newly recognized type of slickenside striation. *Jour. Struct. Geol.*, **9**, 585-590.
- 皆川 潤・大槻憲四郎・青野正夫・大友淳一・中村教博, 1995a, 野島地震断層の性状. 応用地質, **36**, 154-166.
- 皆川 潤・大槻憲四郎・大竹政和・青野正夫, 1995b, 野島地震断層における断層条線の特徴—石廊崎地震断層と比較して—. 第5回環境地質学シンポジウム論文集, 日本地質学会, 81-86.
- 日本学術会議地質学研究連絡委員会, 1995, 1995年兵庫県南部地震ならびに阪神・淡路大震災に関する地学的調査・研究報告の一覧(作業用速報版). 日本学術会議, 34p.
- 岡崎和彦, 1995, 野島地震断層の断層面の組織と移動方向. 応用地質, **36**, 376-379.
- 高木秀雄・小林健太, 1996, 断層ガウジとマイロナイトの複合面構造—その比較組織学. 地質雑誌, **102**, 印刷中.
- Will, T. M. and Wilson, C. J. L., 1989, Experimentally produced slickenside lineations in pyrophyllitic clay. *Jour. Struct. Geol.*, **11**, 657-667.