

1984年長野県西部地震による地変

地震研究所 { 山科健一郎
松田時彦
有山智雄*

(昭和60年5月20日受理)

要 旨

1984年長野県西部地震(M6.8)の震央域において、地震断層が地表に現われたかどうかを調査した。その結果、1mないしそれ以上の規模のずれを持つとみられる震源断層は、ほとんど確実に地表までは達していないことが判った。しかし、震央域を縦断する導水トンネル内で、右ずれのせん断変形帯が観察された。変位量は十数cm以下と思われるが、N70°E方向に4km以上続く可能性がある。また、滝越地区では、最大余震(M6.2)に関連するかもしれない小さいプレッシャーリッジが、コンクリート舗装された路面に見られた。変位量はやはり小さく、たかだか数cm程度と思われる。

1. はじめに

1984年9月14日、長野県西部の王滝村でマグニチュード M が 6.8 (気象庁による; 以下同様)の地震が発生した。震源の位置は、例えば気象庁(1985)によれば、東経 137°33.6', 北緯 35°49.3', 深さ 2 km, 発震時は8時48分49.4秒である。名古屋大学(1985)の定常観測により求められた震源の位置もほとんど同じ場所で、東経 137.5522° (約 137°33.4'), 北緯 35.8218° (約 35°49.3'), 深さは少し深く 3.8 km, 発震時は 49.51 秒であった。余震の震央分布は、Fig. 1 に示されている (名古屋大学, 1985)。地震動により建物や構造物、道路等に被害が生じたが (例えば信州大学, 1985; 伯野ほか, 1985), 特に御岳山 8 合目や王滝村の中心部に近い松越地区などで発生した斜面崩壊は、多くの犠牲者を生む原因となった。

筆者らは、今回の地震が内陸で起きた浅い地震であることを考え、地震断層を地表で追跡することを計画した。地震の大きさから推定して、平均数十 cm~1 m 数十 cm 程度のくいちがいをもち断層運動が期待された (例えば、松田, 1975; YAMASHINA, 1976)。しかし、結局このような規模の地震断層は見られなかった。断層運動の少なくとも主要部は、地表までは到達しなかったと結論される。しかしながら、関西電力株式会社の導水トンネル内の破損の状態は、系統的な右ずれの小変位を示唆していた。また地表でも、注意をひいた小地変が何か所か観察されている。

ここでは、まず調査の経緯を第2節に述べ、続いて第3~4節には、観察された地変の主なものについて記載する。ただし、表層の現象と考えられる斜面崩壊については、ここ

* 現在 東京学芸大学附属高校

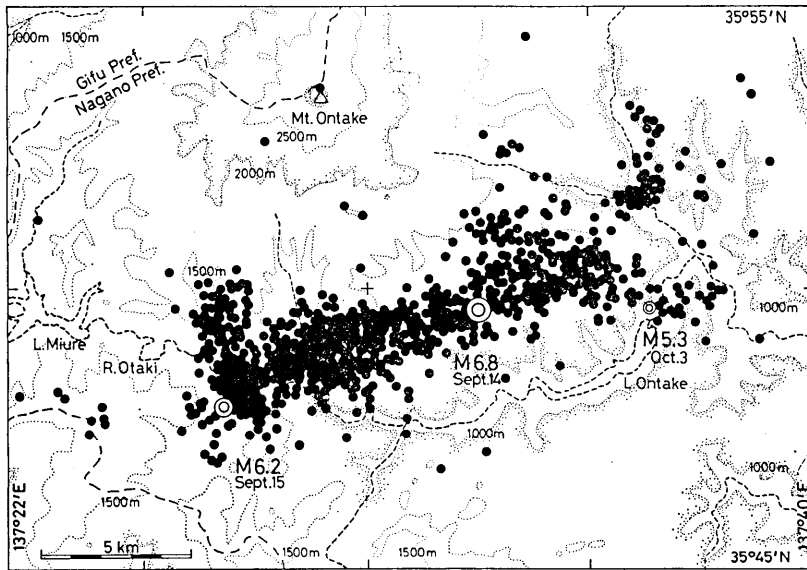


Fig. 1. Epicentral distribution of aftershocks of the 1984 western Nagano prefecture earthquake during the period of Sept. 9-Oct. 31 (NAGOYA UNIVERSITY, 1985). Double circles represent the epicenters of the main shock ($M=6.8$) and two major aftershocks ($M=6.2$ and 5.3).

ではふれない。さらに第5～6節では、地震断層がはっきりした形では地表に現われなかったことについて議論する。なお、震源域やその周辺地域の地形や地質の特徴についてある程度知っておくことも、今回の地震に対する理解を深める上で役に立つものと思われる。そこで、地形・地質および活断層分布について、付記1～3に示す。一方、地表調査に付随して簡単な余震観測も行なったが、本震翌日の9月15日から17日にかけての観測結果の一部を、付記4に示す。

2. 調査の経過と概要

地震後の地変調査は、あとのからの改変が加わらないなるべく新鮮なうちに行なわれることが望ましいが、直後には道路事情が悪く、なかなか自由に移動できないという制約がある。現地調査は、まず本震翌日の9月15日から17日までの3日間、王滝村東半部とその東隣りの三岳村を中心に概査した。この時には、地表調査と同時に各地点で短時間の地震観測を行ない、どのように調査域を広げるか、また、どの地域を重点的に調査するかなどの計画を立てる参考とした。このあと、地震から3週間後の10月6～8日に、王滝村東半部の見残した部分や、御岳スカイラインを6合目(田の原)まで調査した。10月下旬になると王滝村のほぼ全域にわたり道路が通行できるようになったので、10月27～29日、滝越など奥地を中心に調査した。踏査ルートは Fig. 2 に示されている。震源域を囲み、また、震央域をいくつかのルートで横切っている。

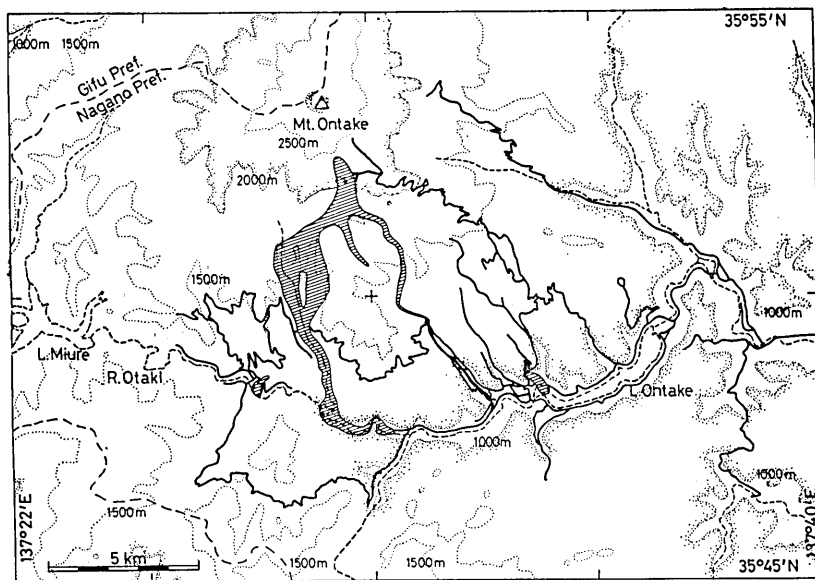


Fig. 2. Routes surveyed in the present study (solid lines). Hatched areas indicate the major landslides.

その後、震央域を縦断する発電用導水トンネル内にかなりの被害が生じたことが明らかにされ、断層運動を示すかもしれない系統的な破損が示唆された（例えば、小林ほか、1985）。筆者らは、1985年3月2日にその一部を観察する機会をもつことができた。

これらの調査を通じて、今回の長野県西部地震の本震 ($M 6.8$) や最大余震 ($M 6.2$) などに直接対応するような地震断層は発見されなかった。ただ、導水トンネル壁の破損の状況は、 $N70^{\circ}E$ 方向に、数 km にわたり右ずれのせん断変形帯が生じたことを示唆していた。これらは、明瞭な断層変位を示しているわけではないし、また、推定されるくい違い量もせいぜい数 cm～十数 cm 程度にすぎない。しかし、その位置や空間的な広がりを考えると、本震の主断層に密接に関係している可能性は大きい。

一方地表では、震央域内やその周辺の広い範囲で、道路路肩や急斜面のずり落ちを示す地割れ、擁壁の亀裂、崖の崩落などが各所に見られた。しかしそのほとんどすべてが、地震動のために生じた表層部の現象と理解される。1974年伊豆半島沖地震 ($M 6.9$) や1978年伊豆大島近海地震 ($M 7.0$) では、地下の断層運動が、堆積層の表面でさまざまな現われ方をすることが詳しく観察された（松田・山科、1974；村井・金子、1974；村井ほか、1978a, b；TSUNEISHI *et al.*, 1978）。そのような例と比べ、今回の長野県西部地震の場合、明瞭な地震断層面が発見されなかったのはもちろんのこと、地下での断層運動を示唆する系統的な地変は、地表では見い出せなかった。重力性と思われる地割れや崖の崩落なども、特に密集した線状配列をしているわけではなく、局所的な条件に支配され、かなり広い範囲に散在している。そうした中で、注意をひいた地点がいくつかないわけではない。例えば、滝越地区の道路面に見られた小さなブレッシャー・リッジは、土地の東西短縮を示してい

た。それらの詳細は以下に記載するが、いずれにしても、それぞれごく狭い範囲に見られた現象であり、その隣接地点に異常をたどることはできなかった。従って、これらのほとんどまたはすべて、地震動によって生じた表層だけの現象なのかもしれない。

3. 導水トンネルの破損

(a) トンネルの概要

関西電力の導水トンネル王滝川線は、滝越の王滝川ダムから牧尾ダムの下流約 2 km (王滝川・西野川合流点近く) にある御岳発電所に水を送る水路である (Fig. 3)。関西電力の資料によれば、トンネルの総延長は約 17.3 km (直線距離で約 15 km)、王滝川の北岸沿いの岩盤中に掘られていて、震央域をほぼ縦断するような位置にある。途中の各沢にも取水口が設けられているが、氷ヶ瀬の上流約 1 km 地点では、支流のうぐい川から取水した水を、王滝川の谷をサイフォン管で越えて合流している。

トンネルは、1940 年代初期に建設された。床面の幅約 2.7 m、天井 (天端: てんば) の高さ約 3.3 m の馬蹄形をしており (Fig. 4)、表面は、厚さ約 20 cm のコンクリートでライニングされている。ごく一部の区間は鉄筋コンクリートで内巻きされ、内径がさらに狭くなっている (王滝川ダム～下黒沢間の 240 m と 7.5 m の区間)。内巻部を除けば鉄筋による補強はされていないが、一部には丸太による支えが埋め込まれている。また、天井の崩

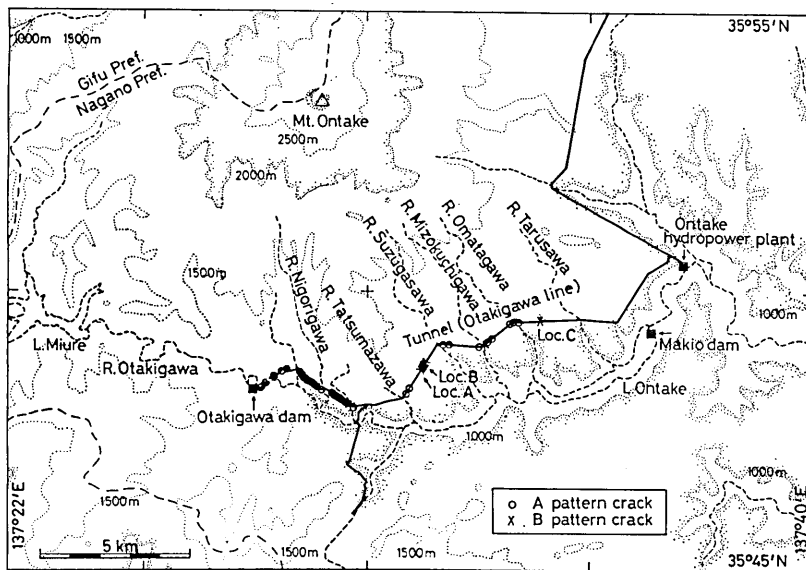


Fig. 3. Channels of the water tunnels (solid lines). Circles and crosses (A and B patterns, respectively) along the Otakigawa-line indicate the locations where the concrete lining of the tunnel was damaged (KANSAI ELECTRIC POWER CO., LTD.). The crack pattern A: rise and/or fall of the roof; B: breakage through the wall and roof, suggesting a possible crustal deformation.

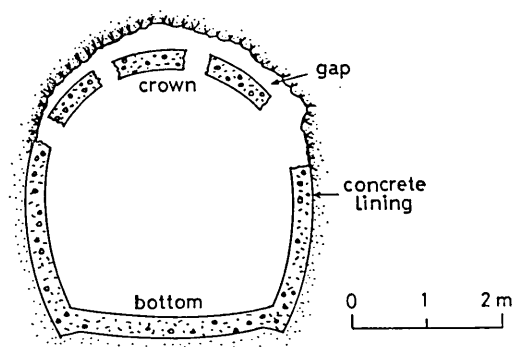


Fig. 4. A typical cross section of the water tunnel (KANSAI ELECTRIC POWER CO., LTD.). As shown in this figure, the roof of the tunnel was frequently broken down because of a gap above the concrete lining at the crown.

落部分の観察から判断して、天井のコンクリートと岩盤の間には、空洞が生じている所が少なくない。なお床面の標高は、王滝川ダム付近で 1038 m、御岳発電所上の水槽入口で 1012 m である。支流の谷の下をくぐる部分ではごく浅くなっている所もあるが、尾根の下では 200~300 m の深さに位置している。

(b) トンネル被害のあらまし

導水トンネルは、地震のためかなりの被害を受け、大がかりな補修工事が必要となった。被害は、天井の崩落や持ち上がり、壁や天井を横断する象裂とに分けられる。関西電力の資料では、これをそれぞれ A パターン、B パターンと呼んでいる。

天井の崩落 (A パターン、Fig. 25 参照) が特に著しかったのは、下黒沢~濁川 (濁沢) ~小谷沢 (本谷川) 間の約 2 km の区間であった。本震直後、濁川取入口から土石がトンネル内に流入し、上流 131 m、下流 148 m の間をふさいだ。この付近の天井の破損が著しいのは、土石の流入によってトンネル内の圧力が一時的に上昇したことなどが原因として考えられている。

壁や天井を横断する亀裂 (B パターン) は、立間沢~鈴ヶ沢間など、トンネル経路のいくつかの限られた地点に集中していた。特に目立つ 3 カ所を、関西電力の資料では、上流側から A、B、C 地点と呼んでいる。その資料によれば、亀裂群が生じたのは、王滝川ダムからの距離で 6769~6778 m 付近 (A 地点)、6800~6821 m 付近、6890~6901 m 付近 (B 地点)、6943~6971 m 付近 (以上立間沢~鈴ヶ沢間)、それに 11615~11633 m 付近 (C 地点、大又川~樽沢間) などである (Figs. 26~28 参照)。

B 地点の筆者からの観察については次節に示すが、立間沢~鈴ヶ沢間の亀裂群 (小林ほか、1985 a, b, は、これらをまとめて B 地点と呼んでいる) は、いずれも側壁や天井部の開口割れ目で特徴づけられる。関西電力の資料によれば、それぞれの割れ目の開口量は数 mm から 1~2 cm 程度で、部分的には、数 cm 開いている所もあった。特に、施工時のコンクリートの継ぎ目の部分が開口している場合が多かった。系統的な横ずれ変位は確認

されていない。確かに部分的には数 cm, 大きい場合には 10~20 cm の段差が壁面に生じている所もあるが, あくまで局所的なもので, 面全体にわたっていたわけではない。なお小林 (1985 a, b) によれば, 6650 m 地点付近にも 1~2 cm の右横ずれを持つ亀裂が観察されたとのことである。

C 地点の被害は少し性質が異なっていて, 関西電力の資料によれば, 壁面の亀裂に沿ってコンクリートの表面がはがれ落ちるように崩落していた。はがれ落ちた部分の幅と長さは, およそ 0.7 m×1 m, 0.3 m×1.5 m, 0.3 m×1.5 m など, あたかもトンネルの軸方向に圧縮力を受けたような破損の状態であったとのことである。

なお, 小林ほか (1985 a, b) は, 濁川取入口の下流 100~300 m 付近 (小林ほかの定義で A 地点) で, コンクリートが崩落して露出した天井の露岩 (主として流紋岩) 中に, いくつもの既存の小断層 (小林ほかの表現ではクラック) を観察した。ただし, これらは今回の地震で変位したわけではない。

(c) トンネル内 B 地点の観察

王滝川ダムから 6890~6903 m 地点付近において, トンネル内にかなり目立つ被害が生じた。鈴ヶ沢取入口からは, 南西におよそ 0.8 km ほどさかのぼった所である。壁面に生

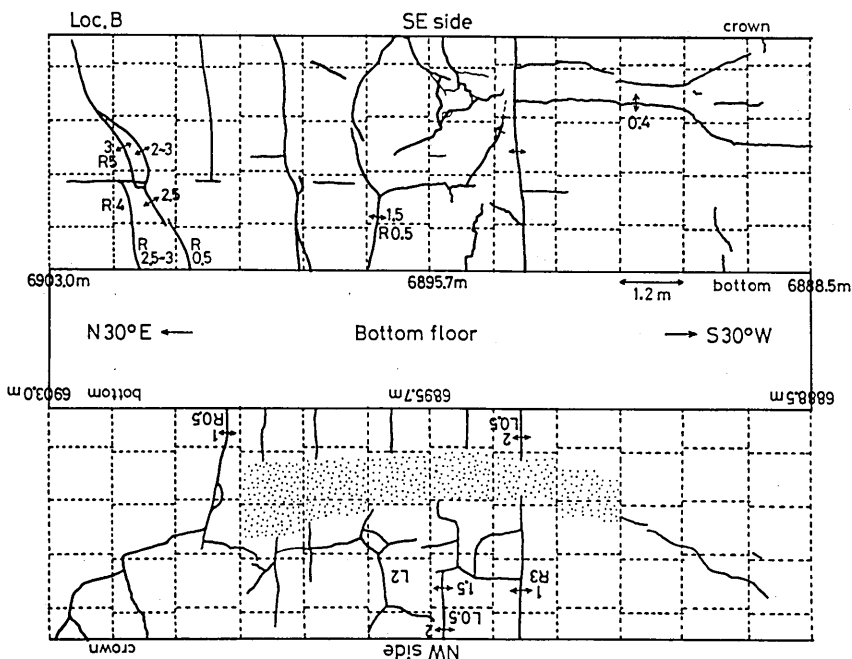


Fig. 5. Cracks (solid lines) on the concrete lining at Loc. B in Fig. 6 (with the assistance of the KANSAI ELECTRIC POWER Co., LTD.). Numerals represent the magnitude of opening (arrows), right (R) and left (L) lateral offsets in cm. The distance from the Otakigawa-dam is shown in m (6903.0-6888.5m). The dotted lattice is the iron frames supporting the damaged lining. The dotted area on the NW side of the wall had already been repaired before the authors' observation.

じた不規則な亀裂の分布を、Fig. 5 に示す。床面については、水がたまっていたり、工事のためにレールが敷かれたりしていて観察がむずかしいが、少なくとも、それほど大きな破損は見られない。北西側壁面（下流に向かって左側の壁）では、一部補修のために原状が失われている。亀裂には、1) 施工時のコンクリートの継ぎ目の開口、2) ほぼ水平の微小なひび割れ、3) 屈曲に富む斜めの割れ目などがある。

1) の開口割れ目の中では、6894.0 m 地点付近のものが顕著で、トンネルの天井から左右の側壁に続いていた。ただし、開口量はそれほど大きいわけではなく、最大でも 2 cm 程度である。また、北西側壁面では、上部で最大 3 cm の右ずれが見られたが、床面近くでは 0.5 cm ほどの左ずれになっていて、系統的ではない。コンクリートの継ぎ目の開口割れ目は、このほかに 6886.6 m, 6898.3 m, 6899.5 m 地点付近にも見られた。

2) の水平なひび割れは、6886~6894 m 地点付近の南東側壁面の上部ないし天井部などに現われ、コンクリート継ぎ目の開口割れ目から分岐していた。開口量は、大きい所でも数 mm にすぎない。

3) の斜めの割れ目は、6894~6903 m 地点の間にいくすじも分岐しながら発達していた。全体としては開口成分が目立つが、その量はたかだか 2~3 cm である。横ずれ成分は、場所によってその向きが異なり、右ずれの所と左ずれの所があった。この種の割れ目としては 6900~6903 m 地点の間の南東側壁面に現われたものが最も著しく、全体として、上流側（南西側）へ 60° ほどの傾斜で傾き下がっていた。ここでは 2~3 cm の開口成分のほかに、右ずれ成分が見られる所が多かった。局所的には 5 cm 右ずれしている所もあるが、床面近くでは 2~3 cm である。

4. 地表での観察

(a) 滝越

滝越発電所の東方約 0.6 km の所 (Figs. 6-7 の a 地点) で、プレッシャーリッジ的な路面の破損が見られた。道路の幅は 3.5 m、路面は、砂利を敷いた上にコンクリートの簡易舗装がなされている。道は東から西へ緩い登り坂（傾斜 2~3°）となっているが、坂をほとんど登りきった所（民宿湯川への分岐点付近）で、コンクリート舗装面の継ぎ目が、例えば Figs. 8, 29 (left) のようにいたんでいた。継ぎ目の両側のコンクリートスラブは一部碎けて重なりあい、継ぎ目の東側が、最大 3~4 cm ほど持ち上がっている。継ぎ目を埋めた厚さ数 mm~1 cm のアスファルトのパッキングも、一部絞り出されていた。同様の変形は 20 m ほど西の継ぎ目にも現われ (Fig. 29, right)、スラブどうしの最大 1~2 cm の重なりや、アスファルトのパッキングのわずかな絞り出しが見られた。このあたりの道路の方向は N70~75°W である。他の継ぎ目の部分でも、わずかなコンクリートの欠けやパッキングの圧縮が認められた。これらはいずれも圧縮性の変形である。道路は傾斜も緩いし、平坦な河成段丘の上にある。地震動に伴う地すべりや、コンクリート舗装面だけのずり落ちということは、あまり考えられない。土地そのものの、東西短縮を示しているものと思われる。なお、道路両側の平地に変形がたどれないか捜したが、確認はできなかった。

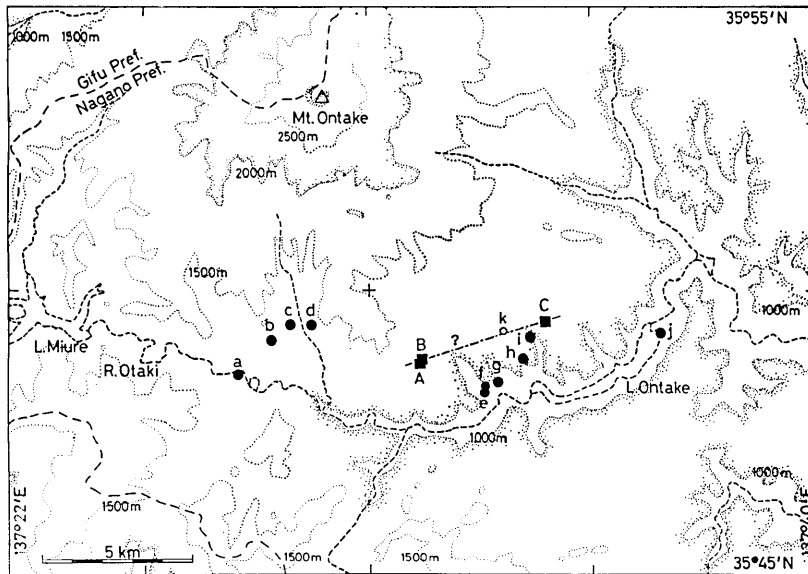


Fig. 6. Inferred right-lateral shear zone (chain line) based on cracks at Locs. A-C (squares) in the water tunnel. Ground breaks were observed at Locs. a-j (circles) as explained in Section 4. Loc. k shows a small outcrop of a geological fault reported by S. MIZUTANI (personal comm.).

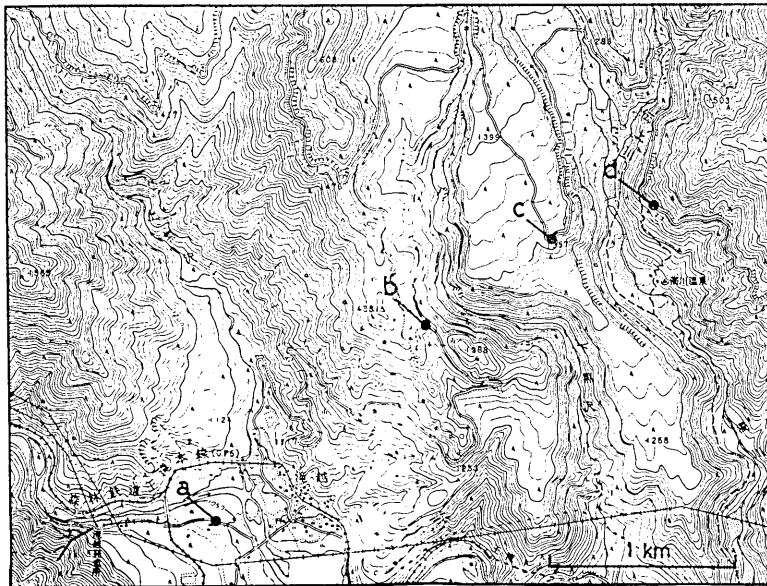


Fig. 7. Locations of ground breaks a-d. For discription, refer to Section 4a-d.

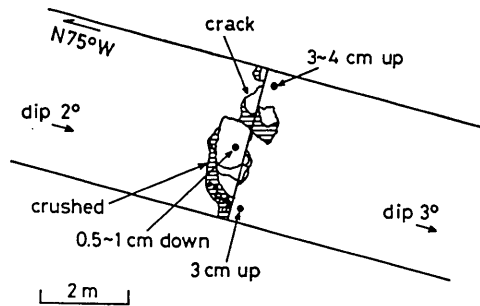


Fig. 8. One of the two small pressure ridges appearing on a concrete pavement southwest of Takigoshi (Loc. a; see Fig. 28).

一方、道路から 10 m ほど南に、東北東～西南西方向の下水路がある。コンクリート製の U 字溝を並べて置いただけの簡単な作りであるが、U 字溝どうしが、1 cm ほど左ずれしている所が数カ所目についた。ただし右ずれの所もあり、必ずしも系統的ではない。

また、これらの地点から百数十 m ほど東の川岸に近い所では、平坦な路面に幾条かの亀裂が、道路を斜めに、あるいは道路に平行して走っていた。それぞれ変位量はごく小さいが、そのうちのひとつ、走向 $N90^\circ E$ 方向のものには、0.5~1 cm ほどの右ずれが認められた。

(b) 滝越から北東へ 1 km 地点

滝越から北東へ登る林道で、鞍部のやせ尾根から、ふたたび斜面を登り始める所 (Fig. 7 の b 地点)。ちょうどこの付近は白巢峠断層の北東延長上にあたり、恒石 (1984) により、雁行亀裂の存在が報告された。林道は鞍部で大きくカーブするが、そのカーブする所の道幅は広げられ、広い駐車スペースとなっている。路面には砂利が敷いてあり、地形から見て、かなりの範囲にわたって土盛りがされている。筆者らの観察は地震から 6 週間後であるが、ちょうどこのカーブの所に、長さ 1 m ほどの開口割れ目が数条、ほぼ南北方向に雁行しているのが認められた (Figs. 9, 30)。しかし付近には、Fig. 9 にも示すように路肩のずり落ちを表わす三日月型の亀裂が顕著に発達していて、今述べた雁行性の亀裂は、そうした重力性の地割れから派生したようにも見られる。その状況から見て、地下の横ずれ変位を反映したものと断定することはできない。

(c) 滝越の北東 2 km 地点

滝越から濁川方面に向かう林道をさらに東に進んだ所 (Fig. 7 の c 地点) で、砂利を敷いた路面に、雁行する亀裂群が見られた。亀裂の走向は、 $N5^\circ \sim 45^\circ E$ と幅がある (Fig. 10)。右ずれ的な雁行が目立つが、左ずれ的に並んでいる所もあるから、必ずしも系統的ではない。その並び方から見て、路肩のずり落ちが起こる、ごく初期の段階とみなせるかもしれない。付近には、(平坦な地形のせいもあるかもしれないが) 重力性と判るものも含めて亀裂を生じている所はなく、ここだけが目についた。

(d) 濁川温泉の北 0.5 km 地点

御岳林道から濁川温泉へ下る道の分岐点付近 (Fig. 7 の d 地点) で、林道を北東方向に

横切る開口割れ目が、4条ほど左ずれ的に雁行し、山側のつけねまで延びていた。亀裂の長さは0.5~1m、開口量は2~3cmほどである。亀裂が山側斜面まで続いているかどうかは、植生のために確認できなかった。また、この雁行亀裂の3mほど北側にも、南北方向に、道路を斜めに横切る亀裂が見られた。この付近の道路谷側には、路肩のずり落ちを示す三日月型に配列する亀裂群が発達していたが、上記の亀裂は、これから派生したものではないように見えた。しかし、亀裂の全体の配置の状況や、このあたりが地すべり地

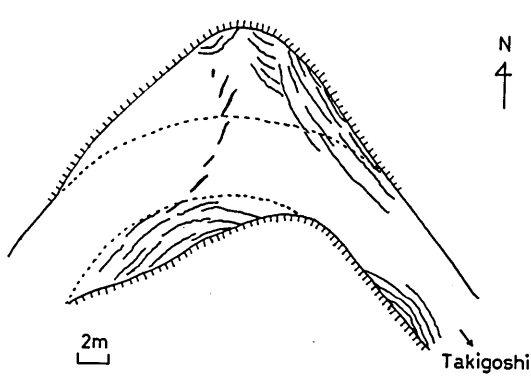


Fig. 9. Sketch map of cracks on a road across the saddle point 1 km northeast of Takigoshi (Loc. b).

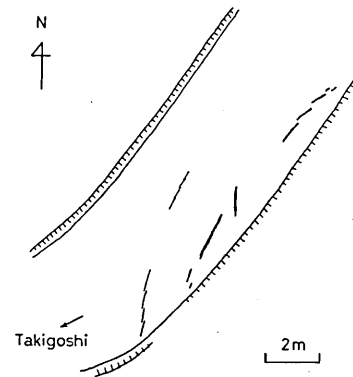


Fig. 10. Distribution of cracks on a road 2 km northeast of Takigoshi (Loc. c; see Fig. 29).

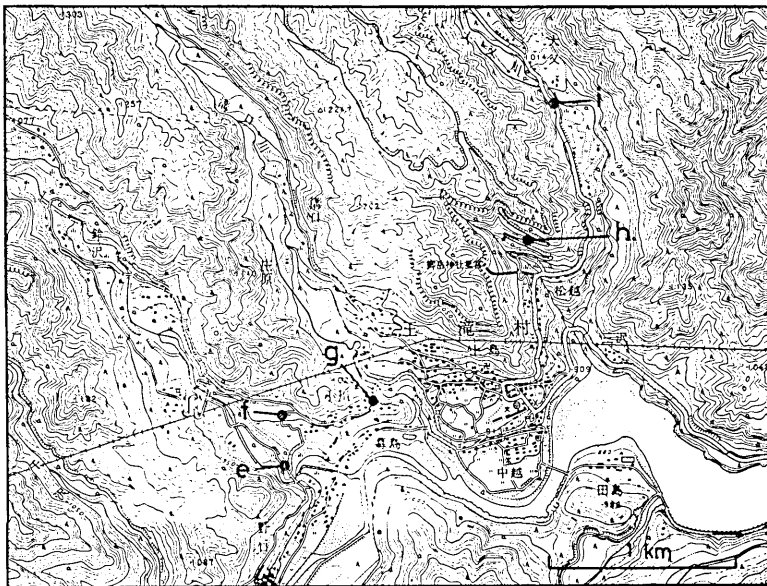


Fig. 11. Locations of ground breaks e-i.

形を示していること、今回の地震の断層運動の方向とは調和しないことを考えると、比較的大きな地すべりブロックの南側の縁を見ている可能性が大きい。

(e) 野口の北

道路脇の擁壁に亀裂がはいり、側溝のいたみやアスファルト路面のずれが見られた (Fig. 11 の e 地点). 擁壁は、コンクリート・ブロックを積んだものであるが、2カ所ほど、数 cm の開口を伴う顕著な亀裂が生じていた。ただし、擁壁のつけねの変位はほとんどない。そのうちのひとつに対応するように、道路面にも一条の亀裂が $N60^{\circ}E$ 方向に走っている (Figs. 12, 31). 壁のつけねにあるコンクリート製 U 字溝は、亀裂の北側ではほとんど変形していないが、すぐ南側のは側壁が押し潰され、あたかも、道路表層部が崖に向かって押し出したように見える。アスファルト路面は 20 cm ほど左ずれし、亀裂の北側では、U 字溝との間に路床の砂利が露出していた。また、この路面の亀裂から分岐して、 $N30^{\circ}E$ 方向に軸を持つ、路面の顕著な陥没が見られた。なお、この崖のすぐ裏側 (東側) にも道路が回りこんでいるが、亀裂はそちらへは続いていない。

(f) 小川の西

Fig. 11 の f 地点において、ゆるい傾斜の道路に、路面を横断する一条の亀裂と、右ずれを示す側溝のくいちがいが見られた (Figs. 13, 32). 側溝は、長さ 1 m のコンクリート製 U 字溝を $N12^{\circ}E$ 方向に並べたものであるが、その継ぎめの 1カ所が、右ずれに 2.5 cm くいちがっていた。ただし、同じ U 字溝の他端で、反対に 1 cm 左ずれを起こしているから、これをさしひいて、合計の右ずれ量は 1.5 cm かもしれない。この U 字溝に隣接したアスファルトの路面は、かなり塑性的に変形を解消したようで、明瞭な亀裂を

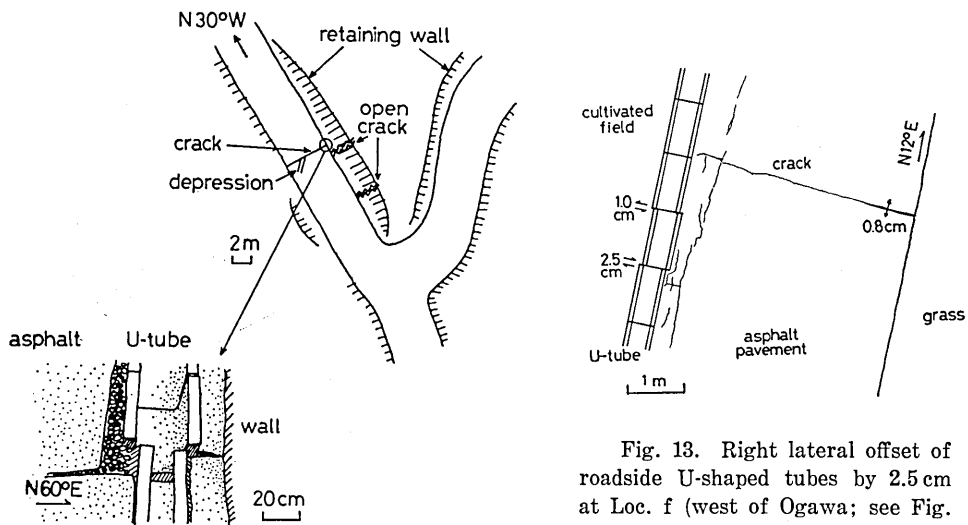


Fig. 12. Sketch of a crack across an asphalt pavement at Loc. e (north of Noguchi; see Fig. 30).

Fig. 13. Right lateral offset of roadside U-shaped tubes by 2.5 cm at Loc. f (west of Ogawa; see Fig. 31).

作ってはいない。しかし、2.5 cm のずれを起こしている所から 2 m 離れ (1 cm ずれた所からは 1 m)、道路を横切る亀裂ができています。変位量は小さく、道路の東端で、0.8 cm ほどの開口が認められる。亀裂の走向は、およそ $N70^{\circ}W$ である。道路の東側はススキの生えた草原で、小さな亀裂を捜すことは困難であった。西側は畑で土壌が露出しているが、亀裂は続いている。

(g) 小川の東

Fig. 11 の g 地点は、溝口川にかかる橋から平坦な段丘面上に登る急な坂で、山側(西側)は、石垣やコンクリート・ブロック積みの崖になっている。この急坂の途中、ならびに坂を登りきって小さな切り通しになっている所の数カ所で、崖および道路を横切る開口割れ目が見られた (Fig. 14)。擁壁の割れ目は、上部で数 cm またはそれ以上開いている所もあるが、基部での開口量は、大きいものでも 2 cm である。道路部分の割れ目は道路にほぼ垂直(等高線にほぼ平行)で、開口量は、それぞれせいぜい数 mm であった。なお、坂の下の橋に近い所には、路肩のずり落ちを示す三日月型の亀裂群ができています。急坂の途中やその隣接部であることを考えれば、重力性の現象である可能性が大きい。

(h) 里宮の北

御岳神社里宮の北から、急斜面をつづらおりで登る林道がある。その途中、Fig. 11 の h 地点において、平行する亀裂群が路面に観察された (Figs. 15, 33)。ただし、個々の亀

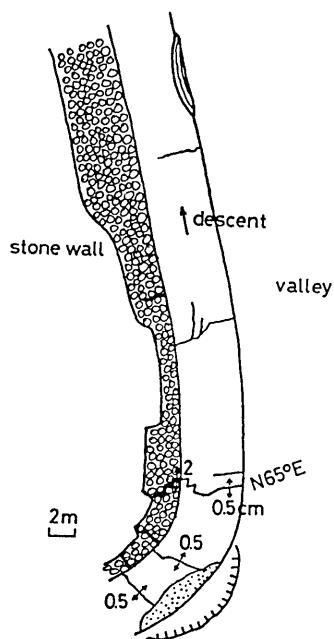


Fig. 14. Cracks across an asphalt pavement and retaining wall at Loc. g (east of Ogawa).

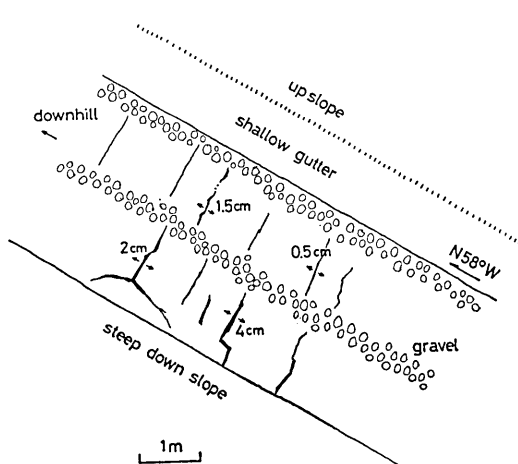


Fig. 15. En echelon cracks on a road at Loc. h (north of Satomiya; see Fig. 32).

裂についての横ずれ成分は確認できない。全体として、横ずれ的に雁行しているかどうかとも判らない。林道の道幅は約 3 m, 南東方向へ緩い登り坂になっていて、路面に敷かれた砂利は、よく踏み固められている。亀裂は、道路をほぼ垂直に横切り、数十 cm ないし 1 m ほどの間隔で、数条が平行していた。亀裂の方向は $N40^{\circ}E$ 前後である。それぞれの亀裂は開口成分を持っているが、その量は少なく、たかだか数 cm にすぎない。谷側の方が、開口量が大きい。こうした亀裂の見られるのは、Fig. 15 に示した範囲内だけで、谷側、山側へたどることはできなかった。付近には、路肩や道路中央の、一見して重力性と判る地割れなら各所に見られる。

(i) 大又の南

Fig. 11 の i 地点では、道路脇の崖の一部が小崩壊し、また、路面のいたみが目立った。路面はアスファルト舗装されているが、細かい亀裂が生じている。道路の中央（ないし少し谷側）には、道路に沿って（走向 $N50^{\circ}W$ ）長く伸びた亀裂群がある。その南東延長部は明瞭な開口割れ目となり、谷側へのずり落ちを示していた。興味を持たれたのは、これを斜めに横切る 2 群の亀裂群である。そのうちの一つの一般走向は $N80^{\circ}W$ で、亀裂と関係するかどうかは判らないが、その山側延長方向には崩壊した崖がある (Figs. 16, 34 参照)。もう一つの亀裂群は南隣りにあり、一般走向は $N10^{\circ}E$ である。これは、山側ではモルタルを吹きつけた崖（この部分での崖の高さは 2 m ほど）の基部まで続き、さらにモルタルと石垣の境界付近にはほぼ鉛直の割れ目として続いていた。この割れ目が、地山を切断しているかどうかまでは判らない。いずれにしてもそれぞれの亀裂の変位量は小さく、横ずれの有無は不明である。また、どちらも谷側の延長は確認できない。

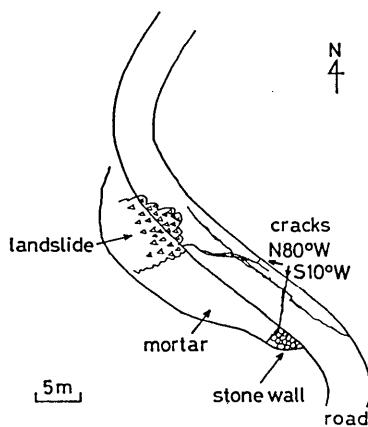


Fig. 16. Cracks on an asphalt pavement at Loc. i (south of Omata; see Fig. 33).

(j) 牧尾ダムの南

牧尾ダム南側ダムサイドの急傾斜地に作られた湖岸道路 (Fig. 11 の i 地点) に、わずかな左ずれを示す亀裂が見られた。ここでは、道路の湖側（北側）のコンクリートブロック製の擁壁に亀裂がはいり、左ずれを伴いながら開口していた。また、道路を狭んだ山側

つけねに設けられたコンクリート製の側溝も、ひびがはいりわずかにずれていた。変位量は小さく、数 mm~2 cm 程度である。道路には砂利が敷かれていることもあり、路面上で変位をたどることはできない。道路両端の状況からみて、道路を東西に横切る亀裂が存在しているものと思われる。しかしここは、盛土したダムサイトの縁辺付近である。亀裂は、地震動により盛土部がせりだして生じた可能性が大きい。

5. 地変と震源断層

関西電力の導水トンネル王滝川線 A・B 地点およびその近く（立間沢~鈴ヶ沢間；小林ほか、1985 a, b, の B 地点）には、N30°E 方向のトンネルに、開口性の割れ目が発達していた。一方その東北東 4~4.5 km 付近の C 地点（大又川~樽沢間）では、東西方向のトンネルを、短縮させる変形が見られた、このあたりは、N70°E 方向に延びる震源域の上にあたっている。それぞれ、この方向にトンネルを横切る変形帯の、右ずれの変位を反映している可能性が大きい。各地点の左右の壁や天井における亀裂の分布状態も、東ないし東北東方向の変形帯の存在を示唆していた。

A・B 地点と C 地点は互いに 4 km 以上も離れているから、連続したせん断変形帯を形成しているのかどうかは確かでない。しかし両者を結ぶ線は、地震のメカニズムから推定される断層面の方向や余震分布の方向（N70°E 前後）とも一致しており、ひと続きの変形帯である可能性が少なくない。もしそうなら、A・B~C を結ぶ線は、両地点の中間の溝口川付近でふたたびトンネルを横切る可能性がある。溝口川（沢）取入口の少し東で、多少の亀裂（B パターンクラック）が生じた所があるが（関西電力資料）、もしかするとその地点が、上記のせん断変形帯の上にあたるのかもしれない。この場合、溝口川の少し西側でさらにもう一度変形を横切ることになるが、そこでは、特にめだつ地変は確認されていない。

さて、これらがひと続きのせん断変形帯であるとしても、それが、今回の地震をひき起こした断層（震源断層）そのものであるかどうかについては、議論の余地がある。地震波のデータ（例えば、武尾・三上、1985；三雲ほか 1985）や地殻変動のデータ（例えば、山科・多田、1985）からは、平均して 1 m ないしもう少し大きい右横ずれの断層運動が推定されている。しかし A~C の各点とも、明瞭な右横ずれを生じたわけではなかった。B 地点で確認できた総変位量は、局所的な変形を除けば数 cm に満たない。関西電力の資料からは、A・C 地点でも、変位量は同程度かそれ以下ではないかと思われる。地山とコンクリート壁が密着していないで、地山の変動がトンネル内に現われなかった可能性もないわけではないが、少なくとも、数十 cm に達するような横ずれがあったとは考えにくい。結局この地変線は、震源断層の本質的な部分とは言いがたいが、その地表近くの末端部、またはそれから派生した副断層と理解してよいのではないかと思われる。しかしながら、次のような解釈も不可能ではない。

B 地点付近の岩盤は砂岩・頁岩などの中生層（松本盆地団研木曾谷サブグループ、1985）であるが、関西電力の調査では、一部破碎されていたとのことである。このあたりのすぐ西（または直上付近）の地表では、中生層と濃飛硫紋岩類の分布の境をずらせる、東西走

向の地質断層が報告されている(山田ほか, 1976; 松本盆地団研, 1985). その延長上に, A または B 地点が位置しているのかもしれない. また, B 地点もそうであったが, C 地点でもコンクリート内に支柱が埋めこまれていたとのことなので, やはり岩盤が弱かったらしい. A・B~C 地点を結ぶせん断変形帯は, こうした既存の弱線の上に位置していた可能性が大きい. ところで, かつて例えば1976年山梨県東部地震($M5.5$)の際, 震央から北東へ15~20 kmほど離れた鶴川断層など, 既存の地質断層の破碎帯に沿って, 被害の集中が見られた(例えば, 村井, 1976; 恒石・高橋, 1976). A・B~C 地点を結ぶ地変線は, もしかすると, 強い地震動のために既存の弱線がわずかに動いたものなのかもしれない.

なお水谷ほか(私信)は, 溝口川~大又川間の尾根上(倉越)で生じた地すべりの滑落崖に, 御岳火山噴出物(火山灰や軽石の層)を切断する既存の地質断層を観察している. 断層の走向はほぼ東西で, 南へ急傾斜する. 基盤との関係は確かめられていないし, 今回の地震で変位したわけではないが, 位置としては, 上記のA・B~C 地点を結ぶ線に近い. 一方, 小林ほか(1985 a, b)は, A・B~C 地点を結ぶ線の南西側延長上のトンネル内で, 既存の小断層(おおむね北東走向)を岩盤中にいくつも観察している(小林ほかによるA地点). 今回の地震による地変線として結ぶことはできないし, 大きな断層帯というわけではないようだが, 既存の弱線を示唆しているのかもしれない.

滝越(a地点)で観察されたプレッシャーリッジ的な変形は, $N70\sim75^\circ W$ 方向の道路の, 短縮を示していた. この地点は, 最大余震($M6.2$)の震源域の上に位置している. 2次余震の並びやメカニズム解(気象庁, 1985; 名古屋大学, 1985; 溝上ほか, 1985)から判断して, 最大余震の断層面は $N20^\circ W$ 方向に数 km 延び, 本震とは共役な左ずれ断層である. 観察された道路の短縮はわずか数 cm 以下であるし, 空間的に追跡できたわけでもないが, 最大余震の, 断層運動の方向と調和している. ただしこのような変形は, 本震の動きに近い東~北東走向の右ずれ断層を想定しても説明できる. 実際, 百数十 m ほど東の道路面には, $0.5\sim1$ cm ほどの右ずれを持つ, ほぼ東西の亀裂が見られた.

その他の地表の地変は, 断層運動という観点からは, どれほどの意味を持つか不明である. ただ, e~i 地点(Figs. 6, 11)などは, 本震の震源域にほぼ沿って分布している. 震動が強かったことはまちがいない.

6. 震源断層の深さ

今回の地震は, 地震断層の調査という点では, 恵まれた条件にあったと言える. 震源域には, それを横ぎるいくつもの道路があったし, 交通網の復旧も速やかであった. その上, 地下には, ちょうど震央域をジグザグに縦断する導水トンネルが通っていた. このあたりは, 御岳火山にすぐ隣接した地域ではあるが, 濃飛流紋岩や, 砂岩・頁岩・チャートなどの中生層(ないし古生層)が広く分布し, 露頭も多い. また, 野外調査を進めるにあたっては, 震源の位置や余震域の広がりなどの情報が, 有力な助けになる. 今回の場合, 名古屋大学ほかの努力により, 本震発生当日にすでにかなり適確な情報を知ることができた. そればかりでなく, 実際に現地でも地震の観測を行ない, それに応じて調査計画を立

ることができた。

こうした条件にもかかわらず、明確な地震断層は発見されなかった。確かに、自然の地表面や砂利道などでは、わずかなずれがあっても判らない場合が多い。また断層の場所が、地震動により引き起こされた重力性の亀裂や崖の崩壊などとたまたま場所が一致している時には、ずれの量がある程度大きくないと見落とす可能性がある。このような事情を考慮しても、地表面を数 cm 以上ずらせるような断層は、恐らく調査ルート上には出現していない。調査ルート網にかからないごく短い断層ならやむをえないが、余震域の広がりや調査ルートの密度から考えて、長さ 3~4 km 以上、ずれの大きき数 cm 以上の地震断層は、地表へはまず到達していないものと思われる。導水トンネル内に見られた破損の状況は、かろうじてこの程度の断層運動を示唆している。

長野県西部地震の場合、震源断層のずれは、1 m ないしもう少し大きい程度とみつもられている。一方、本震震源の深さの推定値は気象庁 (1985) で 2 km、名古屋大学 (1985) で 3.8 km である。求め方によって少し差がでるとしても、いずれにしてもごく浅い地震である。余震域の深さの広がり、それぞれ 4~14 km、0~12 km 前後である。特に後者 (名古屋大学, 1985) では、2~5 km の深さに密集している (Fig. 17)。これらの観測結果は、1 m 規模のずれの断層運動が、地表近くで急速にずれの量を減らしたことを示唆している。

地下での断層変位が、地表や地表近くで見えなくなる理由として、1) 震源断層の上端が実際にある深さに埋もれている、ということのほかに、2) 何枚もの平行する断層にずれが分散したり、幅を持った変形帯の中で、ずれが連続的に起きた可能性もある。このような時、それぞれの部分ごとの変形量は小さくなるから、地表では、地変としては認識できないかもしれない。ただし今回の地震の場合には、後者の可能性は、少なくとも震央域の東半部にはないようである。それは、国土地理院による三角点の測量データが示してい

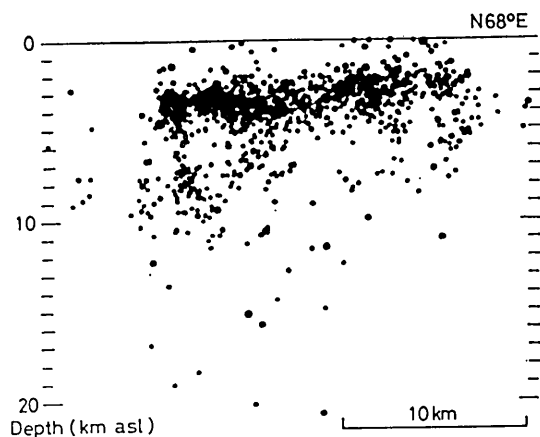


Fig. 17. Cross section of hypocentral distribution of aftershocks during the period of Sept. 14-Oct. 31, 1984 (after NAGOYA UNIVERSITY, 1985).

る。国土地理院 (1985) は、地震後、震央域東部で測量を行ない、1978 年との差を明らかにした。各三角点間の距離や変形の分布を考えると、地表での最大のずれ (くい違い) の量は、30 cm 程度である。断層運動が地表まで達していれば、何枚もの断層に分かれるにしても、幅のある変形帯を形成するにしても、そのずれの合計量は 30 cm 内外までしか許されず、とても 1 m の規模にはならない。実際にこの三角点網の測量結果を解析すると (山科・多田, 1985), 震源断層の上端の深さを 0.5 km (ただし地表からの深さ; 海拔高度で表わせば +0.6 km くらい) にすると、データを最も良く説明できた。

震源断層が地下に埋もれていることの力学的意味について、ここで少し考えておきたい。地下の深い所にある断層と浅い所にある断層を比べて考える。断層の大きさ (長さ) と幅は同じとし、同じ応力降下を与えた時の断層面上の変位量を求める。Fig. 18 は、無限に長い鉛直な横ずれ断層が、いろいろ異なる深さにある時の相違を示している。よく知られているように、断層の上端が地表へ達すると、それはあたかも幅が 2 倍の断層のようにふるまい、くい違いの大きさの最大値は、十分深い所にある断層のほぼ 2 倍となる。地表へ達していない断層の場合は、浅くなるほど上端近くの変位が大きくなる。また、平均的な変位も大きくなる。これは、断層上端付近の応力の集中の割合が増すことを意味していて、断層は、地表へ向かっていっそう延びやすくなる。断層が地表へ突き抜けないためには、上端付近の岩盤が、このような力学的環境をしっかりと支えるだけの強度を持っていないといけない。

以上は、一様な岩盤が一様に歪んでいる状態を考えた。実際の地面の下では、強度の異

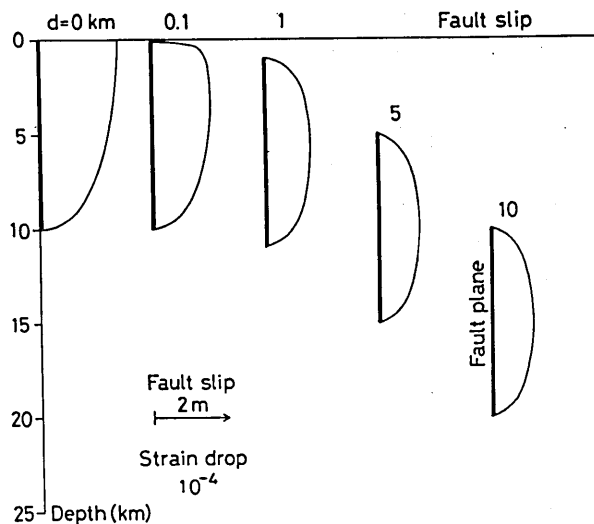


Fig. 18. Theoretical fault slips on a vertical strike-slip fault plane at various depths. The depth d indicates the location of the upper margin of the fault plane. The fault is assumed to be 10 km in width with an infinite length. A uniform strain drop by 10^{-4} is also assumed on the fault plane.

なる岩石が複雑に分布し、複雑な応力分布の下に置かれているわけであるから、そう単純ではないであろう。しかしそれにしても、浅い所の物質の方が概して強度は低いと思われるのに、断層の上端が浅い所で止まってしまったように見えるのは、地下での応力の状態や破壊の条件について、いろいろ考えるべき課題を示唆しているように思われる。

ところで、マグニチュード 6~7 クラスの内陸の地震で、断層が地表へ現われなかったことは、必ずしも異例なことではない(松田ほか, 1985)。明治以後(1885~1984)に内陸で起きた $M \geq 6.5$ 以上の浅い地震を選びだすと 23 回ある (Fig. 19)。ただしここでのマグニチュードは宇津(1982)の表による。そのうちの例えば $7.0 > M \geq 6.5$ の範囲を見ると、地震断層が出現した例は、11 回のうちの 4 回にすぎなかった (Fig. 19)。しかも、1918 年大町、1925 年但馬地震の場合は、必ずしも明瞭な地震断層が現われたわけではなく、地すべりなどに伴う、表層中の現象である可能性が残る。古い地震の場合には、小さな規模の断層なら見落した可能性があるかもしれないが、それにしても、 $M 6 \sim 7$ クラスの地震では、地震断層が発見されなかった例が少なくない。

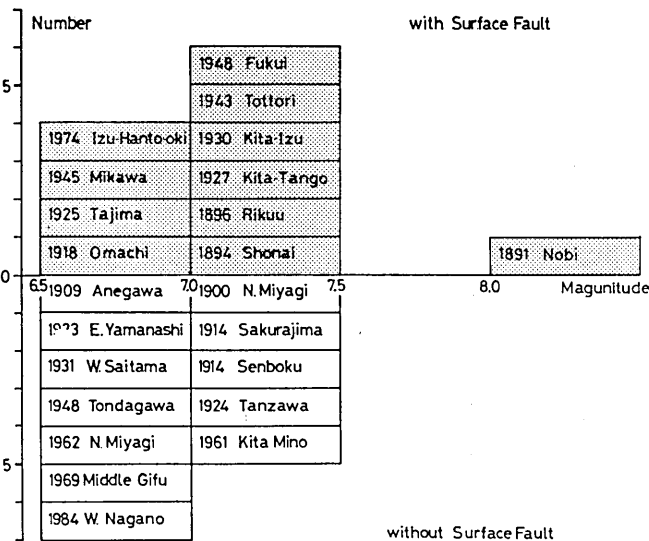


Fig. 19. Numbers of inland shallow earthquakes with and without surface faults during the period of 1885-1984. Magnitudes are referred to the catalog compiled by UTSU (1982).

7. 結 論

1) 1984年長野県西部地震に関連して、地震断層が出現したかどうかを調査した。このような地震断層は、本震 ($M 6.8$) に対しても、また他の主な余震に対しても発見されなかった。今回の地震の場合、1 m ないしそれ以上のずれを持つ本震の震源断層は、ほとんど確実に地表までは達しなかった。

2) 震央域を縦断する導水トンネル (深さは地表から 0~300 m) に、東北東~西南西 (お

よそ N70°E) 方向の右ずれ性せん断変形帯が生じた。筆者らが直接観察できたのは鈴ヶ沢取入口の南西約 0.8 km 付近 (B 地点) であるが、ここでは数 cm またはそれ以下の右ずれに由来すると考えられる開口性の亀裂群が、トンネル壁面や天井に見られた。周辺の亀裂群 (A 地点など) と合わせても、横ずれ変位の合計は十数 cm 以下ではないかと思われる。A・B および C 地点の亀裂群が一連のものであるなら、右ずれ変形帯の長さは 4 km 以上続くことになる。

3) 滝越の南西 (a 地点) では、道路のコンクリート舗装面に小規模なプレッシャーリッジが生じ、地盤の東西短縮を示していた。最大余震 (M6.2) の断層運動に由来するものかもしれないが、その短縮量は小さく、数 cm 以下と思われる。

謝 辞

現地調査に際しては、多くの方々から助力を受けた。特に、名古屋大学水谷伸治郎教授には断層露頭などについて、東京大学恒石幸正博士には地変の位置について御教示いただいた。関西電力株式会社 (大長昭雄氏・玉置春夫氏ほか) には導水トンネル内を案内していただき、また被害の資料を御教示いただいた。朝日新聞社 (多喜実氏)・朝日航洋株式会社 (荒木春視氏) には、空中視察の機会を与えていただいた。また、東京大学の植村大輔氏には調査の一部に同行していただいた。厚く感謝したい。

文 献

- ADACHI, M., 1976, Paleogeographic Aspects of the Japanese Paleozoic-Mesozoic Geosyncline, *J. Earth Sci., Nagoya Univ.*, **23-24**, 13-55.
- 地質調査所, 1961, 飯田 (20 万分の 1 地質図).
- 恵那団研, 1967, 恵那盆地の土岐礫層と上野玄武岩流, 第四紀, **10**, 34-42.
- 岐阜県 (地質調査所名古屋出張所編), 1970, 岐阜県地質産図 (15 万分の 1 地質図 2 葉, 概説 109 pp).
- 伯野元彦・飯田昌弘・岩下和義・植村大輔, 1985, 1984 年長野県西部地震被害調査報告, 地震研究所彙報, **60**, 317-334.
- 河田清雄・山田直利・磯見 博・村山正郎・片田正人, 1961, 中央アルプスとその西域の地質 その 2・濃飛流紋岩類, 地球科学, **54** 号, 20-31.
- 気象庁地震予知情報課・地震津波監視課, 1985, 昭和 59 年 (1984 年) 長野県西部地震, 地震予知連絡会会報, **33**, 116-122.
- 木曾谷第四紀研究グループ, 1967, 木曾川上流部の第四紀地質 I, 地球科学, **21**, 1-10.
- 小林啓美・大町達夫・翠川三郎, 1985a, 長野県西部地震 1984 について, 第 13 回工学地震学・地震工学談話会 (東京工業大学工学地震学・地震工学研究グループ発行, **30** pp), 17-30.
- 小林啓美・大町達夫・翠川三郎, 1985b, 長野県西部地震 1984 の断層について, 地震学会講演予稿集, 1985 春季, 15.
- 小林国夫・小林武彦・清水英樹, 1971, 御岳火山噴出物による Tephrochronology, 竹原平一教授記念論文集・中部地方の鮮新統および最新統, 191-218.
- 小林武彦, 1980, 御岳山 1979 年火山活動, 御岳山 1979 年火山活動および災害の調査研究報告 (青木治三編; 科研費報告書), 4-12.
- 小林武彦, 1985, 長野県西部地震による崩壊と御嶽火山の地質, 昭和 60 年度災害科学総合研究河川分科会シンポジウム (昭和 60 年 2 月 5 日), 1-10.
- 小林武彦・大森江い・大森貞子, 1975, 御岳噴出物の化学的性質, 地質調査所月報, **26**, 497-512.
- 国土地理院, 1985, 第 70 回地震予知連絡会報提出資料.

- 国立防災科学技術センター, 1985, 長野県西部地震 (198年9月14日) について, 地震予知連絡会会報, **33**, 106-110.
- KOIKE, T., H. IGO, S. TAKIZAWA and T. KINOSHITA, 1971, Contribution to the Geological History of the Japanese Islands by the Conodont Biostratigraphy, Part II, *J. Geol. Soc. Japan*, **77**, 165-168.
- 町田 洋・鈴木正男, 1971, 火山灰の絶対年代と第四紀後期の編年—フィッシュトラック法による試み, 科学, **41**, 263-270.
- 松田時彦, 1975, 活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震, **28**, 269-283.
- 松田時彦・山科健一郎, 1974, 1974年伊豆半島沖地震の地震断層, 地震研究所研究速報, **14**, 135-158.
- 松田時彦・山科健一郎・有山智雄, 1985, 長野西部地震の震源断層に対する地表調査, 科研費報告書, 67-72.
- 松本盆地研木曾谷サブグループ, 1985, 昭和59年長野県西部地震による地盤災害と御岳山南麓の第四系 (その1), 地球科学, **39**, 89-104.
- 三雲 健・今川一彦・加藤正明, 1985, 1984年長野県西部地震の断層モデル, 地震学会講演予稿集, 昭和60年度春季, **13**.
- 溝上 恵・中村正夫・瀬戸憲彦・酒井 要・小林 勝・羽田敏夫・橋本信一, 1985, 1984年長野県西部地震 (M6.8) の余震活動から推定される潜在断層系について, 地震研究所彙報, **60**, 199-220.
- 村井 勇, 1976, 1976年山梨県東部地震の被害分布の特徴, 第13回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, 99-100.
- 村井 勇・金子史朗, 1974, 1974年伊豆半島沖地震の地震断層, とくに活断層および小構造との関係, 地震研究所研究速報, **14**, 159-203.
- 村井 勇・松田時彦・中村一明, 1978, 1978年伊豆大島近海地震に伴う稲取付近の地震断層, 地震研究所彙報, **53**, 995-1024.
- 名古屋大学理学部, 1985, 1984年長野県西部地震について, 地震予知連絡会会報, **33**, 123-134.
- NAKASEKO, K. and A. NISHIMURA, 1979, Upper Triassic Radiolaria from Southwest Japan, *Sci. Rep., Coll. General Educ., Osaka Univ.*, **28**, 61-109.
- 濃飛流紋岩団体研究グループ, 1973, 濃飛岩体東縁部における流紋岩類の層序と形成史, 地球科学, **27**, 161-179.
- 濃飛流紋岩団体研究グループ, 1976, 濃飛岩体西部地域の流紋岩類, 地球科学, **30**, 193-205.
- QUATERNARY RESEARCH GROUP OF THE KISO VALLEY and K. KIGOSHI, 1964, Radiocarbon Data of the Kisogawa Volcanic Mudflows and its Significance on the Würmian Chronology of Japan, *Earth Sci., (Chikyu Kagaku)*, No. 71, 1-7.
- 酒井潤一・熊井久雄・小坂共栄・公文富士夫, 1985, 御岳山南麓の地形と地質, 昭和59年長野県西部地震による災害 (信州大学発行, 148 pp), 9-33.
- 信州大学自然災害研究会, 1985, 昭和59年長野県西部地震による災害, 信州大学, 148 pp.
- SUGIMURA, A. and T. MATSUDA, 1965, Atera Fault and its Displacement Vectors, *Geol. Soc. Am. Bull.*, **76**, 509-522.
- 武尾 実・三上直也, 1985, 長野県西部地震の震源過程, 地震学会講演予稿集, 昭和60年度春季, **14**.
- 恒石幸正, 1984, 御岳山の下を通過すると推定される断層, 地震予知連絡会特定部会提出資料 (1984年9月20日), 2 pp.
- TSUNEISHI, Y., T. ITO and K. KANO, 1974, Surface Faulting Associated with the 1978 Izu-Oshima-kinkai Earthquake, *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **53**, 649-674.
- 恒石幸正・高橋春男, 1976, 1976年6月16日山梨県東部地震に際して鶴川断層の破碎帯上に見られた被害の集中, 第13回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, 95-96.
- 宇津徳治, 1982, 日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表: 1885-1980年, 地震研究所彙報, **57**, 401-463.
- 脇田浩三, 1985, 美濃帯中・古生界における研究史と最近の研究動向, 地球科学, **39**, 18-30.
- 山田直利・河田清雄・諸橋 毅, 1971, 火砕流堆積物としての濃飛流紋岩, 地球科学, **25**, 52-88.
- 山田直利・須藤定久・垣見俊弘, 1976, 阿寺断層周辺地域の地質構造図, (5万分の1特殊地質図19), 地質調査所.
- YAMASHINA, K., 1976, Focal Mechanisms of Earthquakes in Japan and Their Possible Con-

tributions to the Following Seismic and Volcanic Activities, PhD Thesis submitted to Geophys. Inst., Fac. Sci., Univ. Tokyo.

山科健一郎・多田 堯, 1985, 1984年長野県西部地震地震の断層モデル (三角点測量データの解析), 地震研究所集報, 60, 221-230.

山崎晴雄・西田幸司・岡田篤正, 1980, 日本の活断層・飯田図幅, 日本の活断層 (東京大学出版会発行, 363 pp), 186-191.

付 記

(1) 地 形

1984年長野県西部地震が発生したのは、御岳山の火山体そのものではないが、その南麓、標高 1000~1500 m 付近の地下であった。西から東へ流れる王滝川の左岸 (北岸) にほぼ沿っている。御岳火山は標高 3063 m (剣ヶ峰) の成層火山で、山頂部には一ノ池~四ノ池などの火口とそれを囲む峰が、全体として東北東~西南西に並ぶ。北東の乗鞍火山とは 25 km ほど離れており、孤立した山体を形成する。酒井ほか (1985) は「御岳山東麓では、御岳火山噴出物の下位にある基盤岩の分布高度は、海拔 1200 m~1300 m であり、地蔵嶺面の高度とほぼ等しい」、「北西麓では、基盤岩の分布高度は 1500~1600 m である

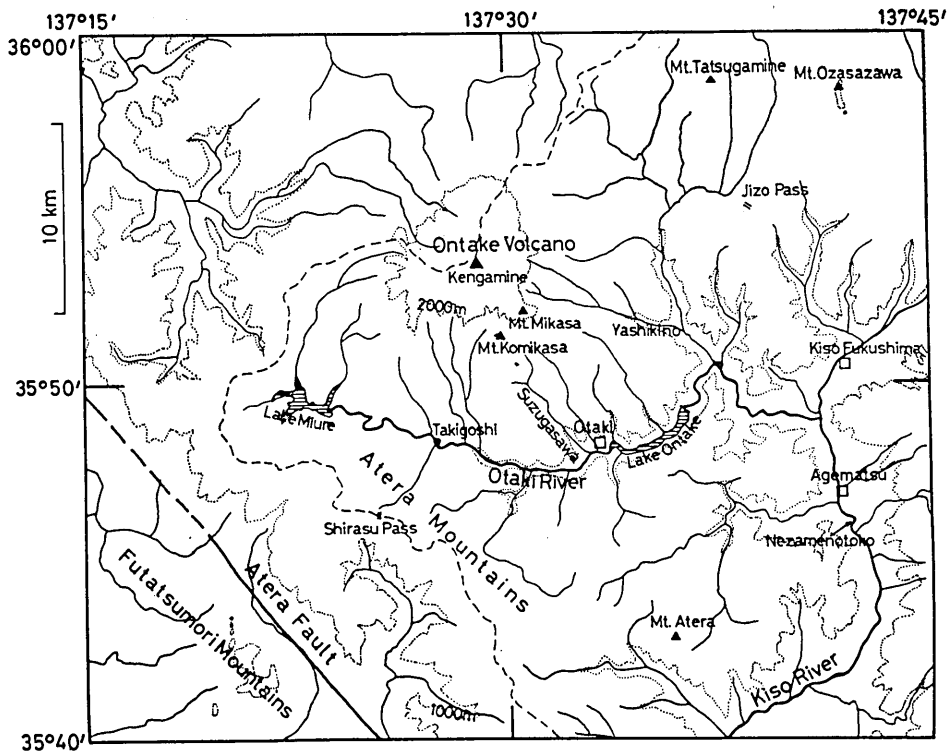


Fig. 20. Rivers and place names around the epicentral region of the 1984 western Nagano prefecture earthquake.

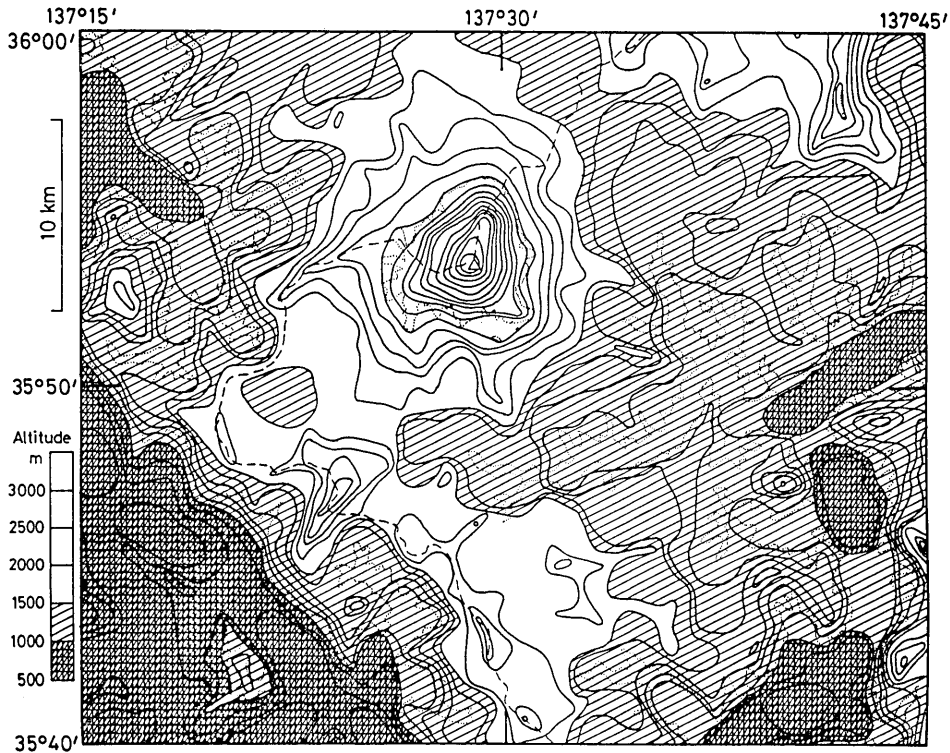


Fig. 21. Summit levels with contours of 100 m interval, omitting valleys with a width of less than 2 km.

が……」と述べ、御岳火山が、地藏嶺面（木曾谷第四紀研究グループ，1967）の上ののっているものと解釈した。東麓と北西麓の基盤の高度差は、御岳火山の下を走る北西～南東方向の断層の運動によるものと考えている。

御岳火山の南側には、阿寺山地が広がる。阿寺山地には、標高 1800～1900 m 前後の平坦な嶺が点在する。酒井ほか（1985）はこれを大笹沢山面（木曾谷第四紀研究グループ，1967）に対比したが、さらにもう一段、標高 1500～1600 m 付近にも平坦面を考え、阿寺面と呼んだ。この阿寺山地は阿寺断層（Fig. 20）に沿って急な斜面をつくり、その高さを 700 m ほど減じる。Fig. 21 は幅が 2 km 以下の谷を埋めて作成した接峰面図であるが、阿寺断層を挟む地形の急変が、図の左端中ほどから中央下端へかけて顕著に現われている。阿寺断層の南西側の低い山地はニツ森山地と呼ばれる。

Figs. 20-21 の東端に北から南へ続く谷は、木曾川である。図には示されていないが、木曾川の東側には、木曾駒ヶ岳（2956 m）など 2500 m を越える高い木曾山脈（中央アルプス）の山々が連なり、南の恵那山（2190 m）に続く。

(2) 地 質

1984 年長野県西部地震の震央域の地質は、西半部は濃飛流紋岩類、東半部はこれよりも

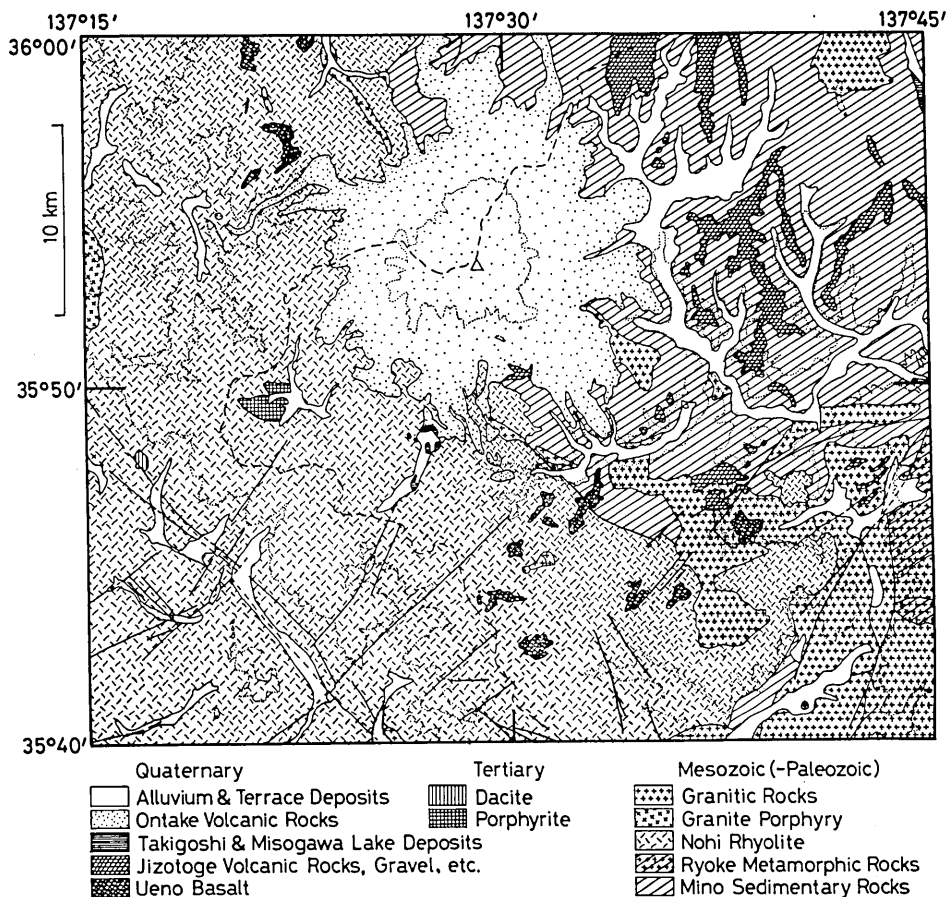


Fig. 22. Geological map compiled after GEOLOGICAL SURVEY INSTITUTE (1961), QUATERNARY RESEARCH GROUP OF KISO VALLEY (1967), GIFU PREFECTURE (1970), YAMADA *et al.* (1971, 1976), KISODANI SUBGROUP (1985), etc. The legend shows the approximate ages of the rocks.

古い美濃帯の堆積岩で特徴づけられる。Fig. 22 は、地質調査所 (1961)、岐阜県 (1970)、木曾谷第四紀研究グループ (1967)、濃飛流紋岩団体研究グループ (1973)、小林ほか (1975)、山田ほか (1976)、松本盆地研木曾谷サブグループ (1985)、酒井ほか (1985) などを参考にして描いた、この地域の地質の概略である。細かい点については各著者による解釈の相違も見られるし、必ずしも同一の基準で図の全域を表現しているわけではないが、概略を知るには参考となるであろう。

[美濃帯]

Fig. 22 の中央から北東にかけて分布するのは、美濃帯の堆積岩である。頁岩や砂岩、チャートなどから成り、図の範囲外には石灰岩 (伊吹山など) や緑色岩類も見られる (例えば、ADACHI, 1976; 脇田, 1985)。美濃帯の岩石は、かつて一括して秩父古生層と呼ば

れてきた。実際、石灰岩中からは古生代の紡錘虫の化石が多数発見されている。しかし、1970年代にはチャートや石灰岩中から中生代三畳紀のコノドントの化石が次々に見つかった(例えば, KOIKE *et al.*, 1971)。さらに、海生のプランクトンである放散虫の化石の研究が進むと、各地の泥岩やチャートに、三畳紀よりも新しい中生代ジュラ紀(1億数千年前)の放散虫化石が含まれることが判ってきた(例えば, NAKASEKO and NISHIMURA, 1979)。これらの経緯は脇田(1985)に紹介されているが、脇田(1985)ほかは、美濃帯の岩石は基本的にはジュラ紀の堆積岩で、より古いフズリナやコノドントの化石(やそれを含む岩体)は、外来のものと解釈している。

[濃飛流紋岩類]

Fig. 22の西半分から南部にかけて広く分布するのは、濃飛流紋岩類(河田ほか, 1961)である。これは、中生代末、白亜紀後期頃(1億~6千万年前)の火山岩類で、主として溶結した凝灰岩からなるが、一部に砂岩や泥岩、成層した凝灰岩なども挟む。山田ほか(1971)や濃飛流紋岩団体研究グループ(1973, 1976)はこれらは火砕流堆積物と理解し、5つのステージに大区分した。それぞれの溶結凝灰岩層は比較的均質で、しばしば数百mに達する厚い層厚を持つ。濃飛流紋岩類の分布は、岐阜県東部を中心に実に5000km²の範囲に広がる。山田ほか(1971)は平均の層厚を2000mほどとみなし、その体積が1万立方キロに達すると考えている。

[花崗斑岩]

濃飛流紋岩類の岩体の一部または全部を貫いて、花崗斑岩(花崗閃緑斑岩やアダメロ斑岩)が、岩株状または岩脈として点在する(山田ほか, 1971; 濃飛流紋岩団体研究グループ, 1973, 1976)。貫入時期は濃飛流紋岩類の形成時期と一部重なり(花崗閃緑斑岩)、またその直後(アダメロ斑岩)と考えられている。

[花崗岩類]

Fig. 22の東端および南東端には、領家帯として一括される花崗岩類、ないし変成岩が露出する。木曾駒ヶ岳を初めとする中央アルプスの高い山々や、木曾川河床の寝覚ノ床を作っているのが、これらの岩石である。少なくともその一部は濃飛流紋岩類を貫き、これに熱変成を与えている。Fig. 22の範囲内の花崗岩体のかなりの部分は、濃飛流紋岩類形成以後の、中生代白亜紀末頃に貫入したのと考えられている(山田ほか, 1971; 濃飛流紋岩団体研究グループ, 1973)。

[上野玄武岩]

王滝川より南の阿寺山地や二ツ森山地には、玄武岩質溶岩や凝灰角レキ岩層が点在し、上野玄武岩と呼ばれる(恵那団研, 1967)。阿寺山地では、標高約1500~1600mの平坦面(阿寺面)に分布し、層厚はおよそ100~200m、美濃帯や濃飛流紋岩類の基盤を不整合におおう(酒井ほか, 1985)。坂下町上野における試料が逆帯磁していることや、恵那盆地において土岐レキ層上部と同時代とみなされることから(恵那団地, 1967)、酒井ほか(1985)は第四紀更新世前期(約69万~170万年前)の活動によるものと考えられた。年代を示す資料が十分でないため、例えば山田ほか(1976)は、第四紀更新世または第三紀鮮新世と、広く考えている。

[地蔵峠火山岩類ほか]

御岳山の北東～東方の山地の頂部および尾根すじには、美濃帯の基盤をおおい、地蔵峠火山岩類が分布する（地質調査所、1961；木曾谷第四紀研究グループ、1967）。主に火山泥流の堆積物から成り、層厚は最大 150 m ほどである。しばしば基底部にレキ層（地蔵嶺レキ層）を伴う。表面の高度は、御岳北東の辰ヶ峰（1817 m）付近では 1500 m を越えるが、南へ向かって低くなる。王滝川流域では標高 1000～1100 m ほどで、高さ約 1200 m 以上の峰はおおい残している（以上、木曾谷第四紀研究グループ、1967）。松本盆地団研木曾谷サブグループ（1985）や酒井ほか（1985）は、御岳山南麓の鈴ヶ沢上流を模式地とする地層などと合わせ、鈴ヶ沢累層と呼んだ。彼らは、上野玄武岩よりも新しい第四紀更新世中期のものと考え、火山泥流の起源は、北東の乗鞍岳方面に求めている。

[御岳火山]

御岳火山の火山体は、山頂からほぼ 6～10 km の距離の広がりを持つ。主に安山岩質の溶岩、火砕堆積物、降下碎屑物などからなる。主要な活動は更新世中期（鈴ヶ沢累層よりはあと）～後期に見られ、更新世中期末には明瞭な休止期があったと考えられている。小林ほか（1971）や小林ほか（1975）、小林（1985）は、この休止期より前を古期、以後を新期と呼び、新期の活動をさらに 3 回の活動期に区分した。松本盆地団研木曾谷サブグループ（1985）や酒井ほか（1985）は、古期および新期の火山噴出物の地層を、一部に見られる同時代の砂レキ層や湖成層などと合わせて、それぞれ樽沢累層、王滝累層と呼んでいる。

御岳火山は、更新世中期（古期）の活動により山体の原型が形成された。山麓の倉越高原、御岳高原、鞍越高原などのなだらかな地形面は、この時期の安山岩質の溶岩流によって作られたものである。中腹の三笠山（2256 m）や小三笠山（2029 m）も、この古い山体のなごりである。古期に対応する火山層の一つからは、約 39 万年というフィッシュントラック年代が測定されているとのことである（鈴木正男による；酒井ほか、1985）。

更新世後期（約 13 万年以後）になると、古い山体のほぼ中央部に三笠山や小三笠山などを外輪山とする大きなカルデラが形成された。カルデラは、例えば 1 辺が 10 km 内外の三角形をしていたと理解され（小林ほか、1975；小林、1985）、以後の活動はこのカルデラ内に限定される。さらにその後、王滝頂上、継母岳、摩利支天山などを外輪山とする直径 2 km ほどの小さなカルデラが生じた。新しい火山活動は、この小カルデラ内（一ノ池～二ノ池火口など）およびその北隣り（三ノ池～四ノ池火口など）で起きている。最高点の剣ヶ峰（3063 m）は、一ノ池火口の火口縁にあたっている。これら新期の噴出物は、主として古いカルデラ内および北～北東山麓に分布するが、同時に多量の火山灰や軽石も放出し、周辺地域に広く堆積している。これらの噴出物などからは、2 万数千年 8 万年などの ^{14}C 年代やフィッシュントラック年代が報告されている（例えば、QUATERNARY RESEARCH GROUP OF THE KISO VALLEY and KIGOSHI, 1964；町田・鈴木、1971）。

御岳火山の顕著な活動は、第四紀完新世（最近約 1 万年）には知られていない。有史以来の活動記録もなかったが、1979 年 10 月 23 日に、剣ヶ峰の南西山麓で小規模な割れめ水蒸気爆発を行った。噴火はその日の内には収まったが、周辺に少量の火山灰を降らせている（例えば、小林、1980）。

(3) 活断層

この地域の活断層の分布を Fig. 23 に示す (山崎ほか, 1980). 1984 長野県西部地震の本震や最大余震は, 既存の活断層が知られていない所で発生した. わずかに, 余震の震央域東端付近の御岳湖の北岸に, 弱い地形的ニアメントが認められる (Fig. 23 に点線で表示). しかし, これが活断層であるという証拠は確認されていない.

図の左下を北西～南東に走るのが, 阿寺断層である. 日本の内陸部としては第一級の左横ずれの活断層で, 全体の長さは (萩原断層を含め) 80 km ほど, 平均変位速度は (主要部で) 1000 年あたり数 m と推定されている (SUGIMURA and MATSUDA, 1965). この断層運動により, 木曾川や付知川の谷は数 km ずれている. また, 横ずれの量ほど大きくはないが, 断層の北東側が相対的に隆起していて, 阿寺山地とニツ森山地との間で地形面の高度差が数百 m ついている.

滝越とその南西の白巣峠を結んで, 白巣峠断層がある (山田ほか, 1976; 山崎ほか, 1980). その長さは (不明瞭な部分も含み) 12 km ほど, 阿寺断層系にほぼ直交し, これに共役な右ずれ断層である. 河成段丘崖や稜線の屈曲から 50~100 m 以上の右ずれが推定され,

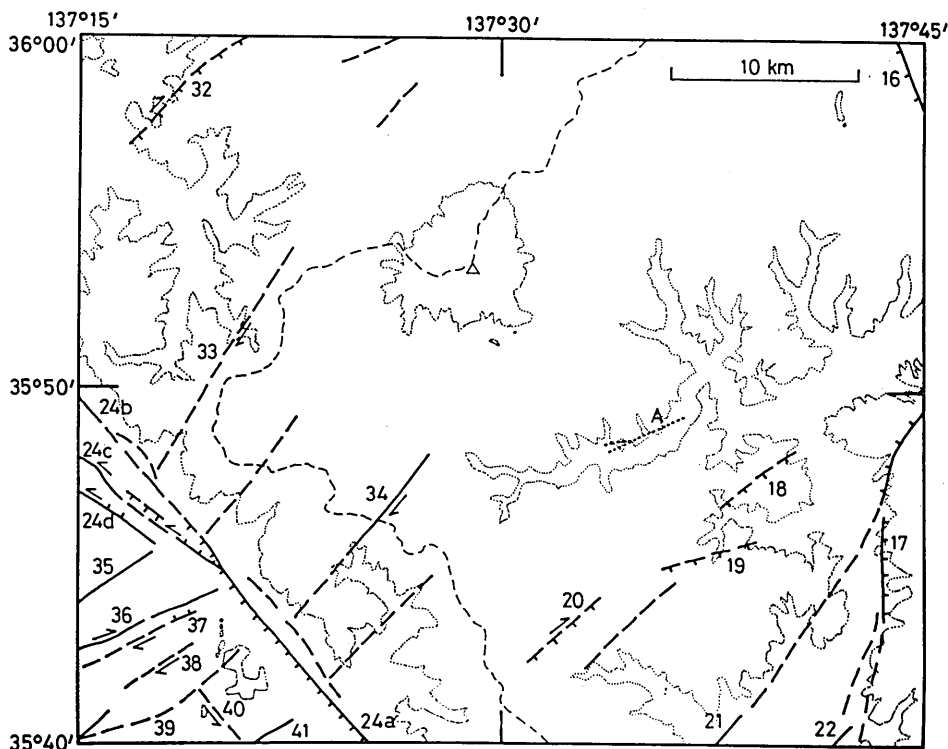


Fig. 23. Distribution of reliable (solid line) and inferred (broken line) active faults after YAMAZAKI *et al.* (1980). The numbers besides fault lines correspond to the indexes on the Table by YAMAZAKI *et al.* (1980). The dotted line A indicates the lineation added in this study.

活動度 A~B 級 (平均変位速度が 1000 年あたり数 m~数十 m) とみなされている. 今回の地震の余震域は白巣峠付近まで広がっているが, この断層が活動した証拠は得られていない.

1984 年長野県西部地震は既知の活断層のない所で発生した. 今回の震源断層は, 第四紀になって初めて動いた, あるいは初めてではないにしても活動度 C 級 (平均変位速度が 1000 あたり数 cm) に達するかどうかというごくまれにしか動かないものであった. などの可能性を示唆している. 今回の地震の震源断層の走向 (本震 $N70^{\circ}E$, 最大余震 $N10^{\circ}W$) は, 阿寺断層や白巣峠断層など周辺の既存の活断層系の走向 (NE および NW) とは, $20\sim30^{\circ}$ ほどずれていた. 既存の顕著な活断層と関係なく起きたことは, もしかすると最近のこの地方の応力場の変化を反映しているのかもしれない.

今回の地震では断層運動は地表へは現われなかったが, これは, 活断層地形が認められないこととあるいは調和しているのかもしれない (松田ほか, 1985). 仮にマグニチュード 6~7 級の地震が繰り返し起きていても, もし何らかの理由で毎回地震断層が地表へ (地震時にも余効変動としても) 現われないのであれば, 変位が地形として残ることはないであろう. 地下の岩盤だけが断層変位を起こし, 表層 (の堆積物や岩盤) はその上をおおうか

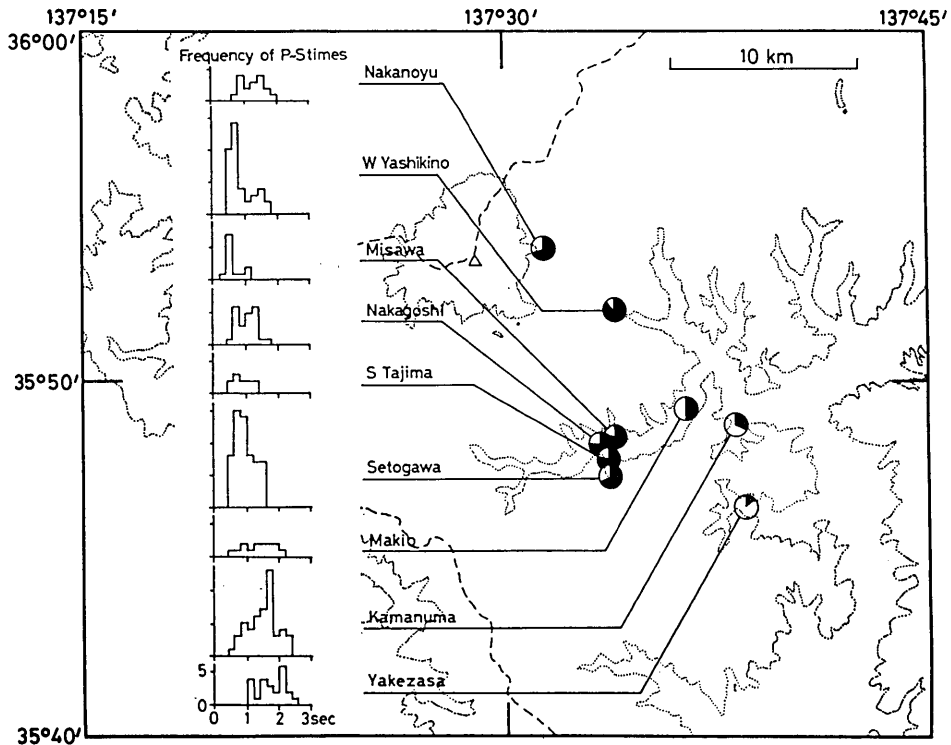


Fig. 24. The bar and circle graphs represent the frequency of P S times and the ratio of the upward (black) and downward (white) first motions of P waves, respectively, at temporary stations during the period of Sept. 15-17, 1984.

ーベットのようにとり残されるようなことがあるかどうか、今後の検討課題である。

(4) 余震観測

1984年長野県西部地震本地震翌日の9月15日から17日まで、携帯型地震観測装置(MEQ-800)による余震観測を王滝、屋敷野、その他で行なった。地震断層の調査においては、震源域の正確な位置が判れば能率のよい調査が計画できる。今回の余震観測は、そのために地表調査と平行して行なわれたものである。実際に余震を観測できた9地点について、P~S時間の分布と、上下動初動方向の割合をFig. 24に示す。王滝(中越)と尾根を越えた北側の屋敷野では、P~S時間が1秒以下の余震が多数観測された。両者のP~S時間の分布に明瞭な差はなく、主要な余震活動域は、この両地点の間を通るものと推定された。

ここでは特に記さないが、各地点の観測期間や倍率、地震計を置いた場所の状態などは、それぞれまちまちである。1時間以内の短時間の観測点も多い。時計の補正值はJJYの短波放送を受信して確認しており、(これもここでは記さないが)P時刻については0.03秒程度の精度は保たれているものと思われる。

今回の場合、本震から数時間後には、かなり詳しい余震分布図が名古屋大学から伝えられ、大いに参考になった。観測体制が整備されてきた今日であるが、しかしそれでもなお、1~2kmないしそれ以上の震央の絶対位置のずれがあり得る(複数の地震相互の相対的位置なら、もっと高い精度も期待できるのだが)。その意味で、今回のような余震観測は有意義であった。

Ground Breaks Associated with the 1984 Western Nagano Prefecture Earthquake

Ken'ichiro YAMASHINA, Tokihiko MATSUDA

and

Tomoo ARIYAMA

Earthquake Research Institute

No evidence of surface faulting of the 1984 western Nagano prefecture earthquake ($M=6.8$) was found by the present field survey in the epicentral region. Consequently it is evident that the upper margin of the seismic fault, on which a fault slip of 1 m or more is expected, did not extend to the ground surface. Many cracks were found, however, in the water tunnel which passes through the epicentral region, suggesting a right-lateral shear zone possibly extending more than 4 km in the $N70^{\circ}E$ direction. The fault slip was expected to be less than ten and several centimeters. In Takigoshi, small pressure ridges were observed on a concrete pavement. They indicate an east-west shortening of the ground by about several centimeters or less, possibly associated with the $M=6.2$ largest aftershock.

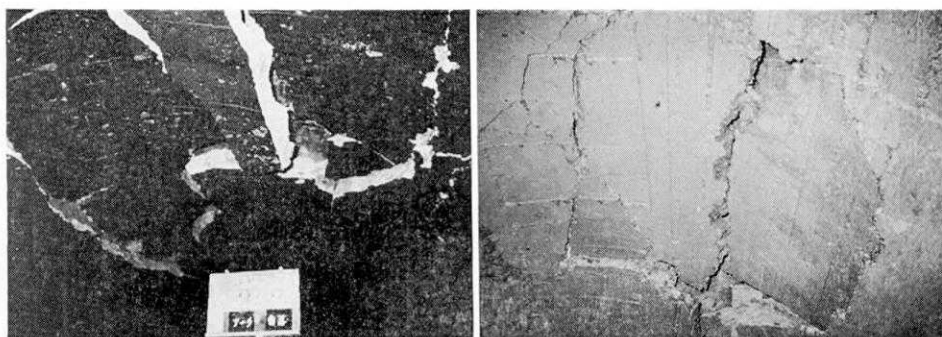


Fig. 25*. Breakages on the roof (A pattern cracks) of the water tunnel (Otakigawa line) at 2205 m (left) and 3083 m (right) from the Otakigawa dam.

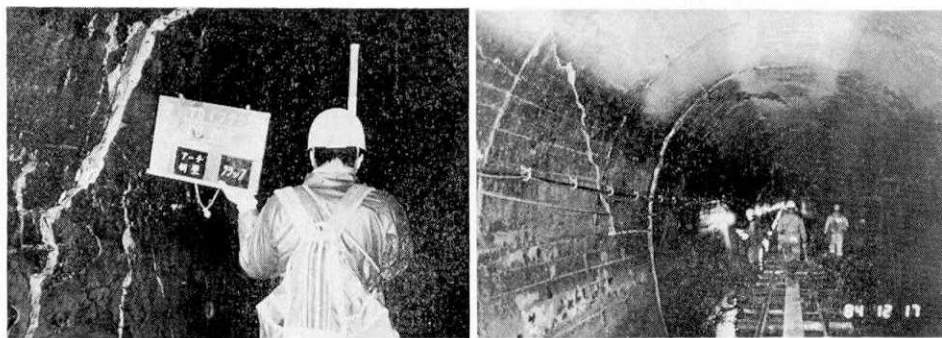


Fig. 26*. Cracks at Loc. A (6775 m from Otakigawa dam).

Fig. 27*. Cracks at Loc. B (6895 m from the Otakigawa dam).

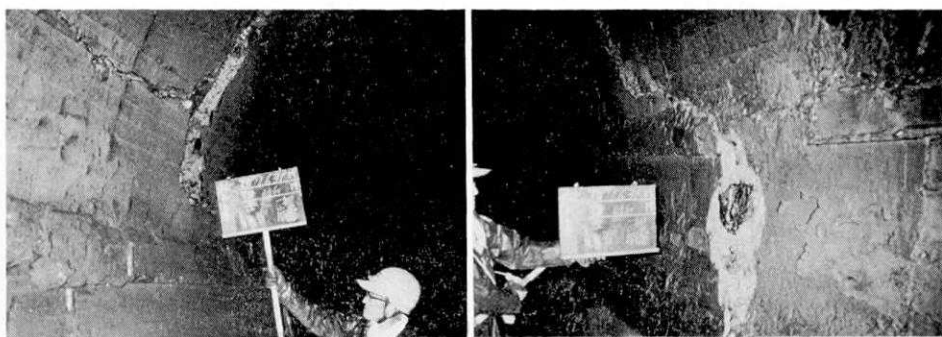


Fig. 28*. Cracks at Loc. C (11631 m from the Otakigawa dam).

* Photographs in this page were taken by the KANSAI ELECTRIC POWER CO., LTD., looking downstream-ward (generally eastward) except Fig. 26 and the right of Fig. 28, which were taken in the opposite direction.

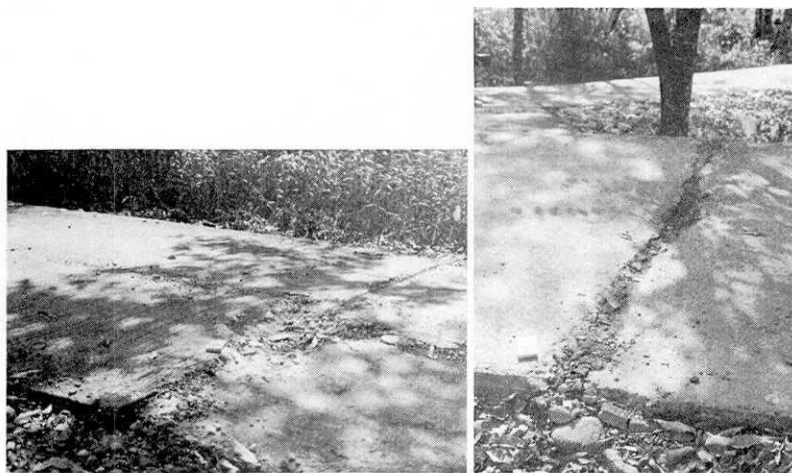


Fig. 29. Small pressure ridges on a concrete pavement at Loc. a (west of Takigoshi).



Fig. 30. En echelon cracks at Loc. b (1 km northeast of Takigoshi).

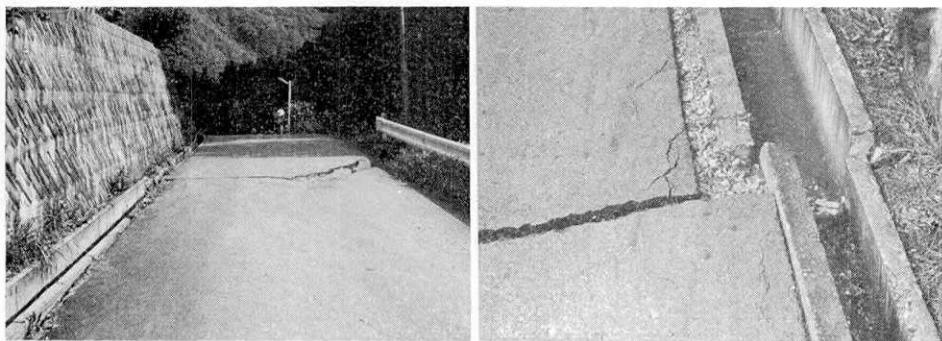


Fig. 31. Cracks at Loc. e (north of Noguchi), looking southeast (left) and northwest (right), respectively.

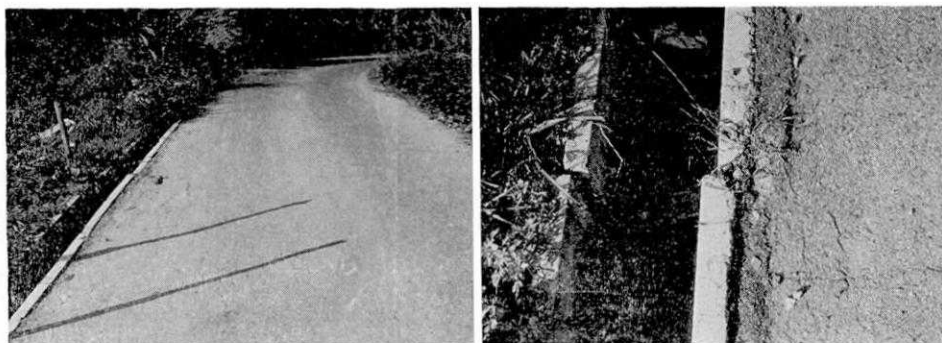


Fig. 32. Right-lateral offset of U-shaped tube at Loc. f (west of Ogawa), looking north.



Fig. 33. En echelon cracks on a road at Loc. h (north of Satomiya), looking southeast.

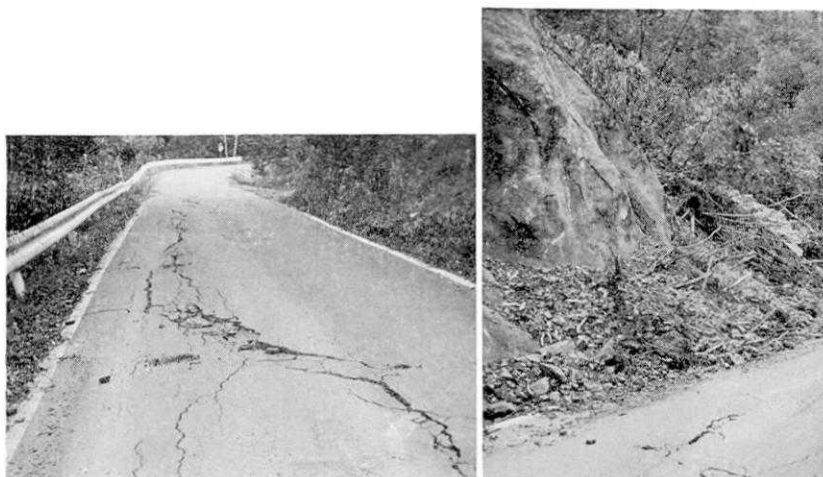


Fig. 34. Cracks and minor landslide at Loc. i, looking southeast (left) and northwest (right).