

(99) 斜面崩壊と断層に関する一考察

京都大学工学部	正会員	○ 谷本 親伯
同志社大学工学部		中川要之助
東京大学生産技術研究所	正会員	村井 俊治
	正会員	橋本 俊昭
	正会員	越智 士郎

Relationship Between Faults and Joints Observed in the Rock Slope Failure

Chikaosa TANIMOTO -Kyoto University
Yonosuke NAKAGAWA -Doshisha University
Shunji MURAI, Toshiaki HASHIMOTO & Shiro OCHI
-Tokyo University

15 lives were lost by the rock slope failure which happened along the Echizen Coast on July 15, 1989. The journalism asked some specialists in rock mechanics whether it could be predicted or not. The authors considered the underground water flow along regular joints associated with faults from the point of the formation of underground reservoir. Two major sets of joints coincide with the orientations of faults. The repeated upheaval of the coast yielded coastal terrace, and one set of joints is parallel and another is normal to the coastal line. It is concluded that faults and associated joints convey underground water from farther background and the increase of pore water pressure in rock induces a sort of toppling failure.

1. 序

1989年7月越前海岸で発生した斜面崩壊現象について、局所的な岩盤崩壊と広域的な断層分布状態との関係を考察した。局所的に観察される不連続面系の方向にも規則性が認められ、この卓越した方向は広域の断層系とはほぼ一致しているものと考えられる。今後、この地域での斜面崩壊の予知にあたっては、該当地点の置かれている環境を局地的な安定性だけでなく広域地質状況についても考察する必要があることを示唆している。

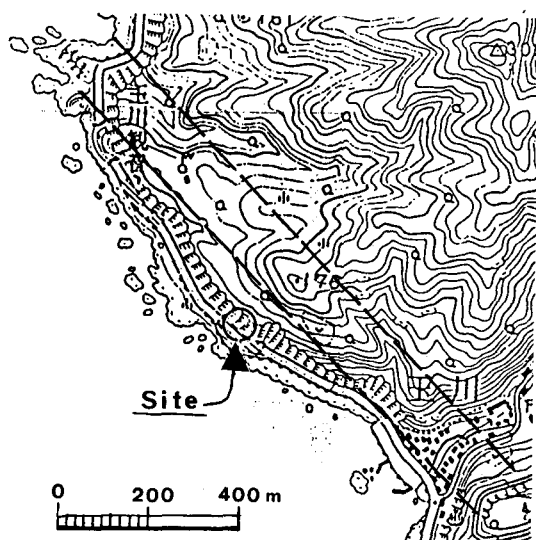


図-1 斜面崩壊地点

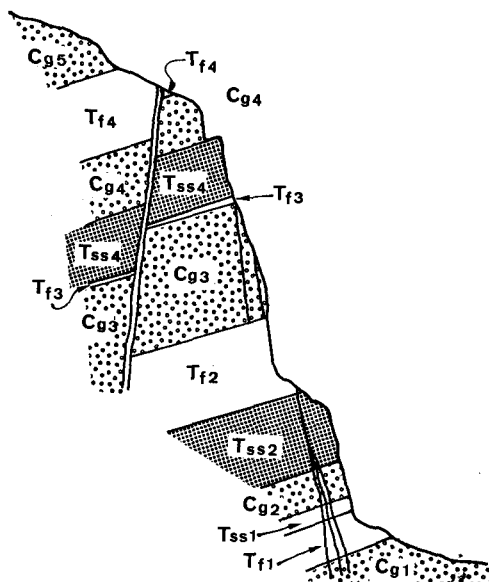


図-2 崩壊斜面地質断面

ここに述べる考察では、斜面崩壊部分の写真およびビデオ映像から不連続面系の分布を抽出し、不連続面の卓越する方向と頻度を求めた。次に、航空写真から周辺部の地形を解析し、断層系と継続的な地すべりの発生地点を確認した。今回調査の対象とした地点での斜面崩壊の主な原因は、異なる地層の境界面（層理）と節理などの不連続面に沿った風化作用によるものであり、誘発の直接的原因は、降雨による地下水位の上昇から岩盤内部の不連続面における間隙水圧の増加と推定される。この見地から、崩壊斜面の上部にて地下水の涵養状態について、現場調査を実施した。

2. 崩壊状況と地形・地質

7月16日午後3時20分、越前海岸玉川にて海岸に沿う国道305号山側斜面の岩盤が突然崩壊し、ロックシェッドを押しつぶした（図1）。崩壊規模は延長30m、高さ30mにわたり、崩落した岩石量は1400 m^3 である。この付近は、高さ100m程度の急峻な崖面を呈し、その上部は、海岸段丘である平坦地が、階段状に広がっている。長期的に隆起傾向にあり、周辺の海蝕崖は高さ60～100mに及ぶ。

当該地を構成する岩盤は、新第三紀中新世に堆積したもので、図2に示すように、凝灰質礫岩、凝灰岩および凝灰質砂岩の互層からなる。図中にはそれぞれ記号にて、 C_g 、 T_f および T_{ss} と表示した。凝灰岩層（ T_f 層）は、緑色もしくは青緑色を呈し、層理面は明瞭で連続性がよく、鍵層と見なされる。

層理面は全般に、走向が $N30\sim60^\circ W$ 、傾斜は北東側に 20° 前後傾斜し、斜面としてはいわゆる受け盤である。したがって、斜面の傾斜角は約 70° である。南方より見た写真1によれば、上部の階段状の平坦地の連なりと急斜面の状況がわかる。

写真2および3は、当該崖面をほぼ西方および北方から見たもので、いずれも右方下半部に今回崩壊した部分がみられる。特筆すべきことは、これらの写真の左半分に認められるオーバーハング部は、昭和52年の既設トンネル（玉川第二トンネル）拡幅工事時に発生した斜面崩壊の結果生じたものである。中央部には何条かの断層が認められる。そして、これらの断層に沿って露出した岩盤からなる急斜面であるにもかかわらず、灌木を含むかなりの植生が認められることが本考察を進めていく上で重要な事実となっている。崩壊した箇所の岩石ブロックを観察していくと、とくに凝灰岩において崩壊時の衝撃によって新たに発生したと考えられる新鮮な破断面が見られ、その色は緑色もしくは青緑色であるが、崩壊後の斜面は全般に褐色を呈し、鋭利な刃物で切ったように滑らかなある一定の方向性をもった断面を見せている。この方向すなわち、 $NW-SE$ 系は、周辺の既存の斜面のものと共通している。本考察は、崖面に認められる断層や節理の方向にある一定の共通した方向性が確認されるならば、この斜面が形成



写真-1 南方より見る斜面全景

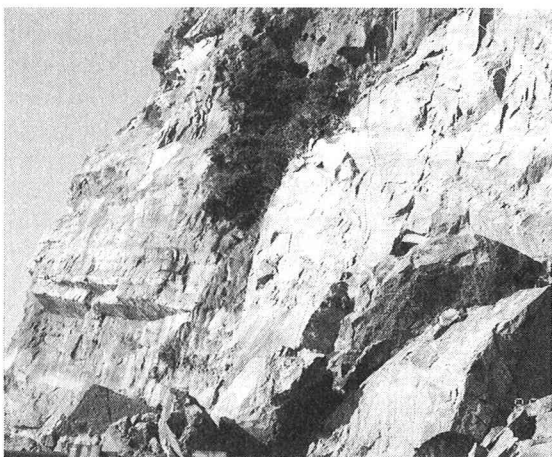


写真-2 南西より見る崩壊斜面

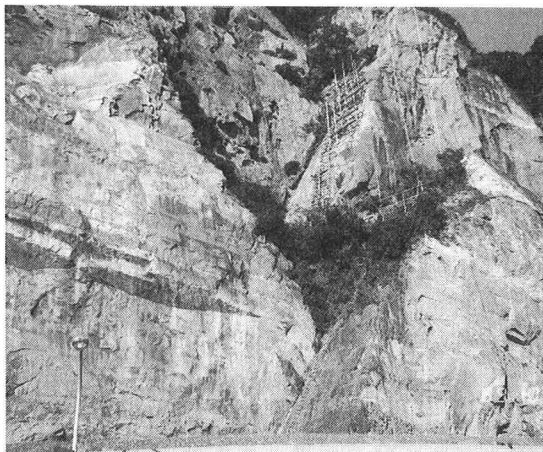


写真-3 西方より見る崩壊斜面
(断層に添った植生に注意)

されるに至った周辺の地質構造と関係があるはずであり、かなり広域の降雨をこの崖面まで伝え得る可能性が挙げられるとの見地に立つものである。

3. 断層・節理の方向性と植生

当該地は、越前岬の200～300m南方にあり、周辺の海岸線をたどると、この付近で折れ曲がり、ほぼNE-SW方向とNW-SE方向とが交わって岬を形成している。越前海岸には、数段の海岸段丘が明瞭に認められ、越前岬付近で最大の起伏量を示している。[1] 当該地付近を観察してみると、昭和52年および今回の崩壊斜面の背面にこれらの斜面と平行してNW-SE系の断層が走り（図1に示す点線）、その断層にさらに平行して構造的な節理が発達していることが確認された。平野らも同様な指摘をしている。[2]

そこで、赤外線フィルムを用いて越前岬周辺をヘリコプターから撮影した。その結果の一部が写真4～6である。写真4および5は、ほぼ西方上部から南方上部にかけて撮ったものであり、写真6は南方より、もう少し接近して撮影したものである。この左方下部に押しつぶされたロックシェッドがみられ、その上部に崩壊斜面が認められる。さらにその上部には、海岸段丘の平坦地が明瞭にわかるであろう。

さらにこれらの写真に注目すると、該当する崩壊斜面を核とする円弧状の筋が幾つか重なっていることが読み取れる。たとえば、写真5に記入したように、実線で示した第一に卓越した群とこれに共役するような点線で示した群である。方向性は、前者が $N60^{\circ}W$ で後者が $N30\sim45^{\circ}E$ の走向を示す。写真では、ちょうど玉ネギの皮状に左方海側からの長期的な隆起により発生した断層が卓越していることを明瞭に示している。

このような上空からの写真判読結果を確認するため、周辺の地表踏査を行った。その範囲は、玉川の集落から北へ呼鳥門までの3kmの海岸線と海岸線から1km山側に入った地点から崖面上部に至る南北に2km、東西に1kmの地域である。同時に、露頭で確認される層理面・節理面の走向・傾斜および植生と水理状態を観察した。

まず、上記範囲内の20地点を中心にできるだけ多くの露頭にて観察を行った結果、次のような結果を得た。

(1) 斜面崩壊地点を中心とする調査範囲の南西部4分の1では、走向・傾斜が $N60\sim85^{\circ}W$ 、 $20\sim30^{\circ}N$ が卓越する。

(2) 調査範囲の北部、呼鳥門付近で流れ盤が受け盤状に変化しているのが認められ、調査範囲の東部にて走向・傾斜が $N60\sim90^{\circ}W$ 、 $20\sim30^{\circ}N$ の系列のものと $N50\sim65^{\circ}E$ 、 $24\sim60^{\circ}N$ の系のものが認められる。

(3) 節理については、 $N60\sim85^{\circ}W$ 、 $60\sim90^{\circ}S$ なる系が卓越し、層理面に直交して5～10m間隔で発

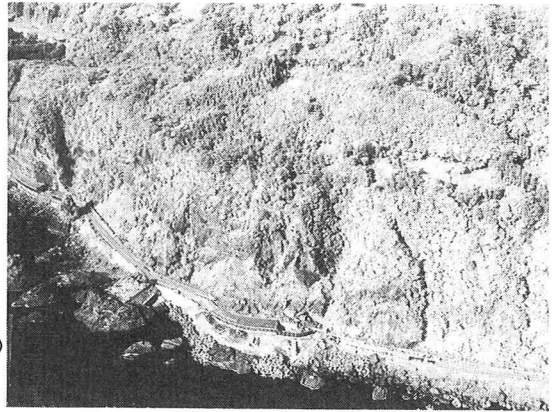


写真-4 赤外線による航空写真
(玉ネギ状に断層が認められる)

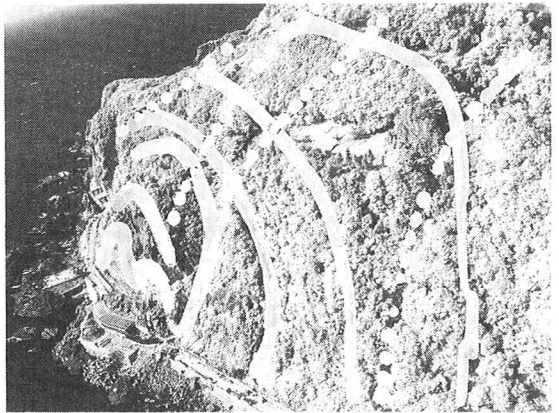


写真-5 赤外線による航空写真
(実線・点線は断層位置を示す)

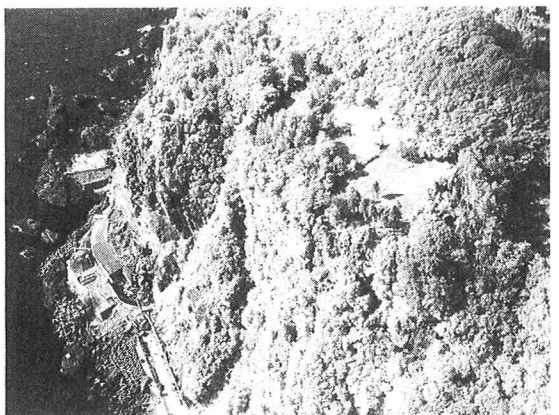


写真-6 赤外線による航空写真
(斜面背後の断層と段丘平坦地)

達している。

(4) 崖面上部の海岸段丘は、 $N 65^{\circ} W$ 方向に分布し、平坦面の幅は30~40mである。その面は海側へ約 $5 \sim 10^{\circ}$ 傾斜し、崖面から急勾配となる。平坦面では、水仙の栽培が行われ、全般にきわめてやわらかい（踏査時に、靴が数cmないしは10数cm沈み込む程度）表土で覆われている。また、表土層が薄いと思われるのに、植生が非常に豊かである。

(5) 段丘のステップは、数mから10mの高低差を示し、その多くに断層が認められた。

(6) 滝または沢が多く認められ、水系の方向性はSWが卓越している。流量は10~500[l/min]で地点により差があるが、観察した12点中4箇所にて200[l/min]以上の流量を認めた。また、滝部に認められる岩質は、大部分が礫岩を主体としている。

4. 不連続面の方向と透水性

以上の調査から、NW-SE系およびNE-SW系の断層が存在すること、また、節理系もそれらの方向と平行していて構造的なものであることが判明した。さらに、この事柄を崩壊斜面に現れた節理を対象に画像処理により確認してみた。通常の写真やビデオ撮影された映像から必要な画面をAD変換し、濃淡の程度によりエッジ部分を強調する手法を採用して得たものが図3(a)である。これは記述のオーバーハングの部分を映したもので、層理と断層が抽出されている。図3(b)は、崩壊部分に接近（ズーム）して得られた映像を同様の処理を行ったもので約20倍に拡大されている。節理の状態が詳細に把握でき、卓越する2方向が容易にわかる。崖面5箇所について同様の解析を行った。この結果、節理は層理に直交して発達し、崖面に認められる断層の方向と平行していることが結論づけられる。

地表踏査、航空写真判読、崖面に現れた節理の画像処理による結果を総合すると、当該地点の節理は断層系と共役関係にあり、広範囲にわたって一定の方向性をもって発達しているとみなされる。

一方、斜面崩壊と雨量との関係に着目すると、7月9日から13日まで連続して降雨があり、その合計雨量は167mm、14日は降雨なく、7月15日午後9時から16日の午前11時までの連続雨量は73mmである。

（観測地点：丹生郡越廻村）その間の最大時間雨量は16日午前7時から8時までの28mmで、一般的には斜面崩壊と直接結びつく程の雨量ではなく、また最大時間雨量を記録した時間から7時間を経過している。しかしながら、こういった解釈は土質地盤で認められてきたもので、今回のような岩盤斜面の崩壊では、岩盤内部の透水性を考慮すると、降雨よりかなり遅れて発生するのが特徴と言える。すなわち、本地点付近の地形や地質構造では、数平方kmにわたる地域の降雨が地下に涵養され、断層や節理を伝わって海岸側に移動し、海岸付近では受け皿になっているため一種の盆状の受け皿を形成したのではなか

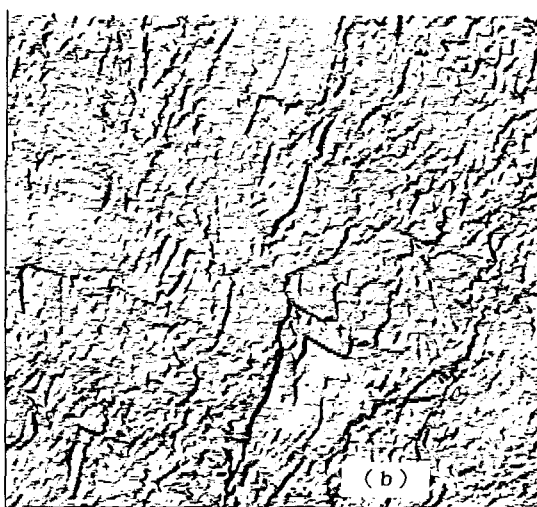
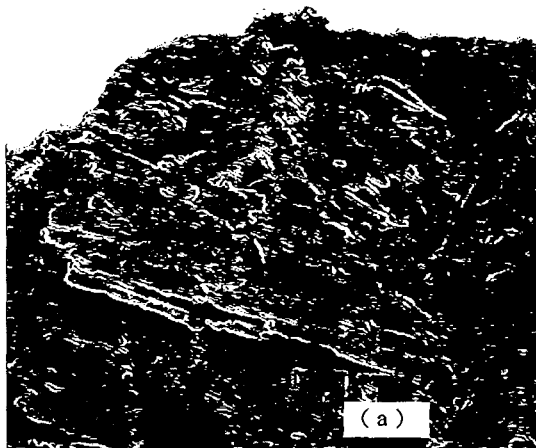


図-3 ビデオ画像処理による不連続面の分布

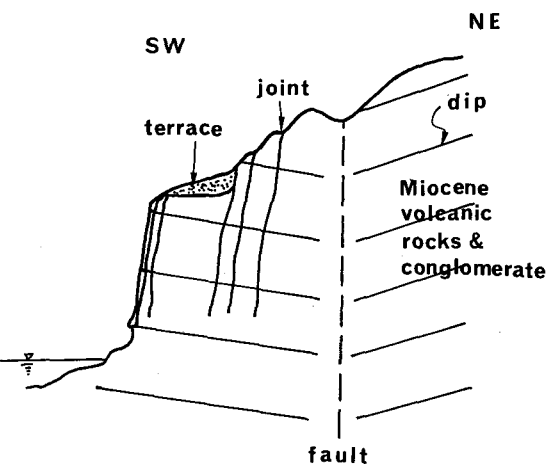


図-4 層理面と断層および構造的節理

ろうか。図4は、海岸側の隆起による当該地点の状態を示す。岩盤中の不連続面のみを通じて移動するため、土質地盤に比べ、透水性は低く、地下水位は上昇しやすい。

崖面の断層に沿って、著しい植生が認められること、崖面に現れた節理は過去に浸水を受け褐色に酸化していること、海岸段丘が海岸側に向かう断層と交差する地点にて露岩部に太さ10cm以上の木が成長していること、断層の交差部に滝が多く、降雨にそれほど影響されず200[l/min]以上の流量がかなりの地点で認められること、崖面上部の平坦地の含水量が非常に高いことなどからかなり広域にわたって岩盤内が水が移動していると考えられる。

したがって、当該地点の断層や節理などの不連続面は長期間にわたる風化作用下にあり崖面背後の不連続面における間隙水圧の上昇が崩壊の直接的要因（トリガー作用を誘発）とみなされる。

5. 電気探査による断層上部の含水量調査

急峻な崖面上部の薄い表土層しか存在しない地形にもかかわらず豊かな植生が認められる原因として断層を伝わる水の移動を指摘した。崩壊斜面直上の平坦地に断層が横断しているのを地表踏査で確認したので、この地点にて電気探査を行った。結果は図5のごとく、断層の直上にて高含水量の領域が存在することを示している。

6. 結言

崩壊崖面での詳細な調査は災害調査委員会にて実施されている。周辺の状況と映像から崩壊の要因を考察した。航空写真はNHK福井局の提供によるものである。

参考文献

- [1] 玉川第二トンネル落石調査報告書、橋梁コンサルタント・日本物理探鉱、昭52。
- [2] 平野・奥西・諏訪：1989年越前海岸落石災害にみられる地形地質特性と岩盤崩壊過程、自然災害学会、1989年発表会。

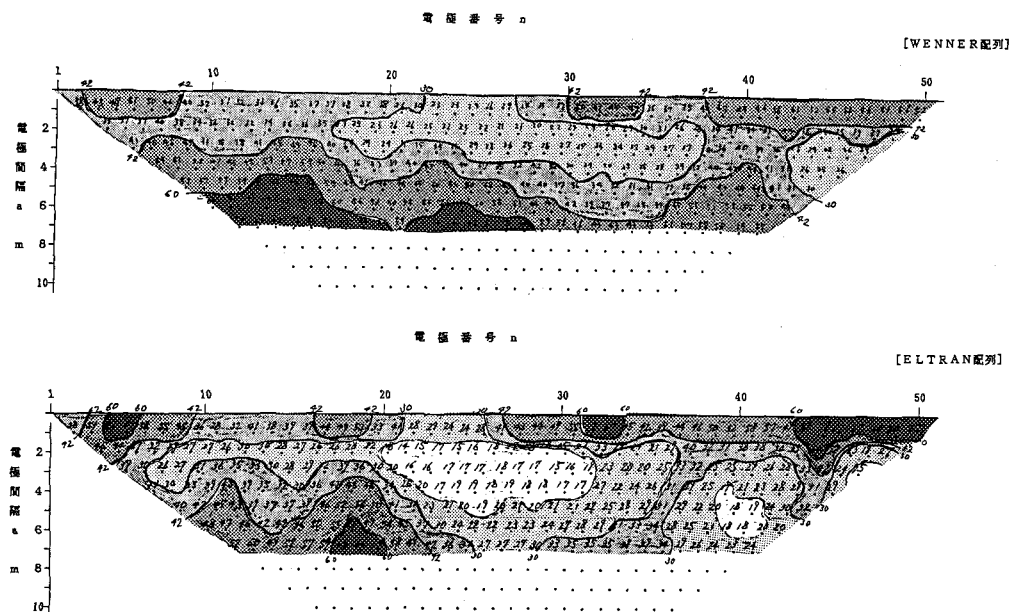


図-5 電気探査結果（中央部下部に断層が存在）