

自然斜面崩壊の特徴

長岡技術科学大学 環境・建設系 地盤工学研究室

豊田浩史*

1. はじめに

2007年7月16日10時13分頃に新潟県上中越沖の深さ約10kmでマグニチュード(M)6.8の地震が発生した。発表当初の震源の深さは約17kmであったが、柏崎平野に厚く堆積している軟弱な沖積層を考慮して、約10kmとなった。新潟県柏崎市、長岡市、刈羽村及び長野県飯綱町で最大震度6強を観測した。新潟県中越地方周辺は、北西-南東方向に圧縮されており、褶曲地形が発達している。そのため、本震の発震機構は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であった。ただし、この逆断層は、本震直後は海に沈み込む北西傾斜が活発であったが、M5.8の最大余震後は南西傾斜の面が活発になり、断層傾斜面に対して結論は出ていない。北西傾斜の場合は、長岡平野西縁断層帯と関係している可能性や、南東傾斜の場合は、海底断層が柏崎刈羽原子力発電所まで伸びている可能性も示唆されている。この地震による死者は11名、被害見込額は1.5兆円と見積もられている。2004年10月23日に発生した中越地震も、北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型(北西傾斜)、震源の深さ約13km、M6.8、最大震度7、死者67名、推計被害額3兆円であり、同じ地域で起こった同等な地震であることがわかる。大きな違いは、中越地震では余震活動が活発であったのに対し、中越沖地震の余震活動は著しく不活発であった。震源が内陸直下ではなく海であり、不活発な余震活動により、壊滅的被害を受けた道路等の社会基盤施設が少なく、避難生活による犠牲者(エコノミー症候群等)も少なくすんだと考えられる。ここでは、中

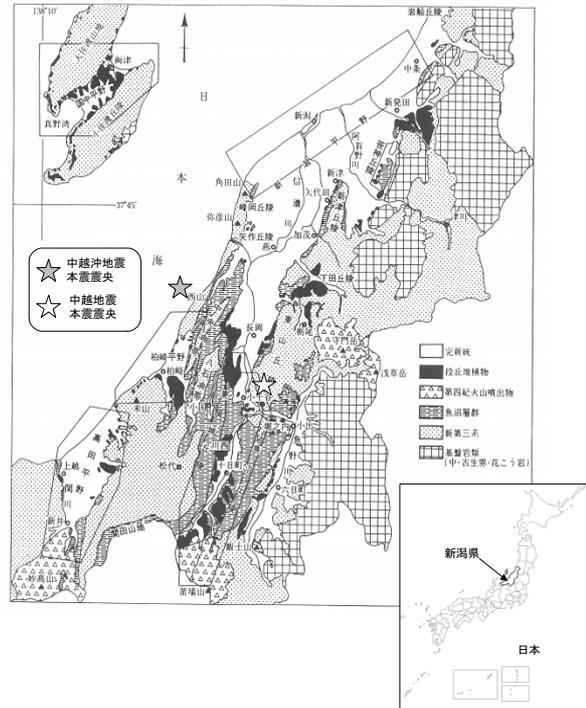


図-1 新潟県の地質図¹⁾に加筆

越地震とも比較しながら、中越沖地震による自然斜面崩壊についてその特徴をまとめてみる。

2. 地形地質的特徴

中越地震時には、震源直上の中山間地における斜面災害が大きくクローズアップされた。中越沖地震も、中越地震と同様な地形地質周辺で起こった地震であると位置付けられよう。図-1に新潟県の地質図を示す。図には、2004年中越地震と2007年中越沖地震の本震の震央を示してある。新潟県中越地方は、北西-南東方向の圧縮変形により、北北東-南南西に延びる褶曲構造と逆断層が多数分布している。中越地震は、新第三紀層から成る東山丘陵の直下で起こり、この丘陵地帯を中心に、3000を越える

*長岡技術科学大学准教授 調査団団員

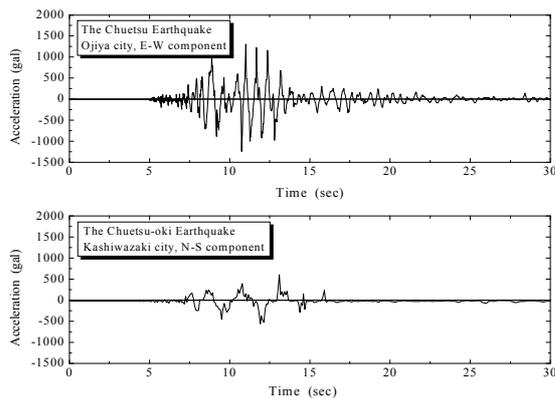


図-2 加速度の時刻歴
(データは K-NET を使用)

斜面崩壊が起こった。この崩壊で道路が完全に寸断され、孤立集落が多数発生し、また、崩壊土砂が河道を閉塞することにより、集落の水没および下流集落が土石流の危険性にさらされるなど、大きな社会問題となった。

一方、2007年中越沖地震は、震央が海であったためか、それほど多くの斜面崩壊は発生しなかった。中越地震で甚大な被害を受けた長岡市山古志においても、目立った被害はほとんど見られなかった。地質を見てみると、海岸沿いには、海食崖が発達しており、高さ 50m 以上、傾き 40 度以上の急崖も多数存在する。以前より、豪雨時に表層風化部が崩落する事例が報告されており²⁾、中越沖地震時にも海食崖では多数の崩壊（表層風化部の崩落）が起こった³⁾。

震源の東には、西山丘陵（中央油帯）と東頸城丘陵が広がっている。これらは主に第四紀の魚沼層群および第三紀の砂岩・泥岩層であり、北北東から南南西に延びる褶曲構造で特徴付けられる。過去の地すべり地形が多数分布する脆弱な地質といえる。今回の地震においても、大規模で甚大な被害をもたらしたものは少ないものの、小規模な崩壊は多数発生している。

震源の南には柏崎平野が広がり、北東を西山丘陵、南西を米山山地に囲まれた沖積低地であり、軟弱な層が厚く堆積している。図-2 に中越地震時の小千谷と中越沖地震時に柏崎で観

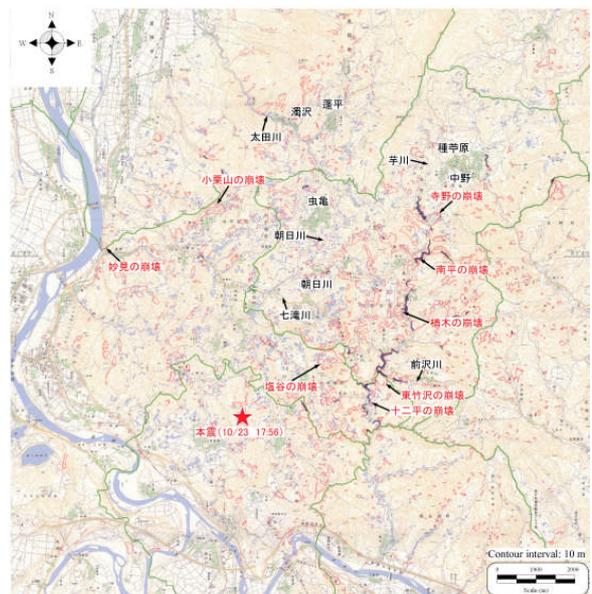


図-3 中越地震斜面崩壊箇所（国土地理院作成地図に加筆）

測された加速度時刻歴を示す。小千谷においては、1000 gal を超え、また、柏崎においても 600 gal を超える大きな揺れが測定されているが、大きく揺れている時間は、10 秒程度と短く、直下型地震の特徴でもある。両者の違いは、柏崎では非常に長周期、つまりゆっくりした揺れが起こっていることである。震動の後半には、加速度ゼロを一定時間保った後、加速度が急激に立ち上がる、サイクリックモビリティ現象が現れており、地盤の液状化を示唆している。液状化したため長周期となったことも考えられるが、震動の初期から長周期化現象が現れているため、これは、元来の軟弱な地盤特性にあると考えられる。実際、中越地震時に柏崎で観測された波形も今回と同様長周期であった⁴⁾。柏崎市中心部では、家屋の倒壊が多く報告されているが、砂丘の末端部や旧河道沿いにおいて、液状化による地盤変形による家屋の被害が多く報告されている⁵⁾。

柏崎平野の南西にある米山山地は、新第三期の主に火山岩や火山砕屑岩から成っており、目立った地すべり地形は見られない（数は少ない）。中越沖地震時にこの地質で発生した斜面

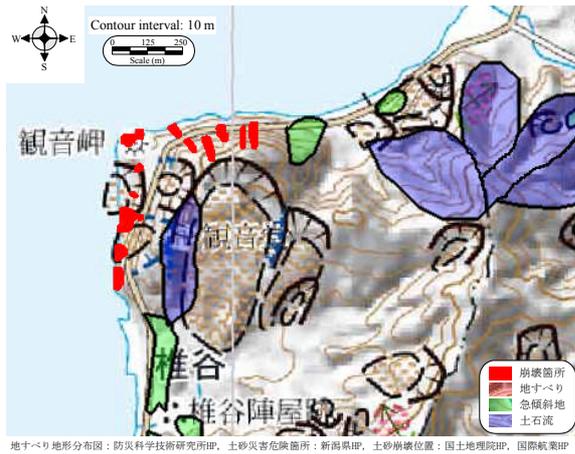


図-5 椎谷の崩壊地形

である。これは、断層が震源から南方向にずれたため、震源より南部に被害が広がったようである。

震源の南、椎谷から米山までのかなりの距離の海岸沿い斜面を中心として崩壊が発生している。柏崎平野の北部の丘陵地においては、表層崩壊的なものがほとんどであるが、長嶺や大積という内陸部（東方向）でも大型の崩壊が発生している。一方、柏崎平野の南西部では、内陸方向にはほとんど崩壊が見られなくなる。中越地震では、震源直上の東山丘陵で斜面崩壊が多発したが、中越沖地震では、震源に比較的近い西山丘陵でも中越地震と比較すると、それほど目立った被害はない。このように、直下型地震では、震源の場所が少し変化するだけで、または、近くであっても動いた断層が変わるだけで被害の様子がかなり違ってくることがわかる。

3.2 主な斜面崩壊

ここでは、中越沖地震で発生した主な斜面崩壊として、図-4の赤字で示した崩壊について現地踏査を行ったので報告する。

(a) 椎谷の崩壊

柏崎市椎谷の観音岬で斜面崩壊が発生し、崩落土砂が国道352号を閉塞した。図-5に地すべり地形分布図に土砂災害危険箇所（茶色：地す

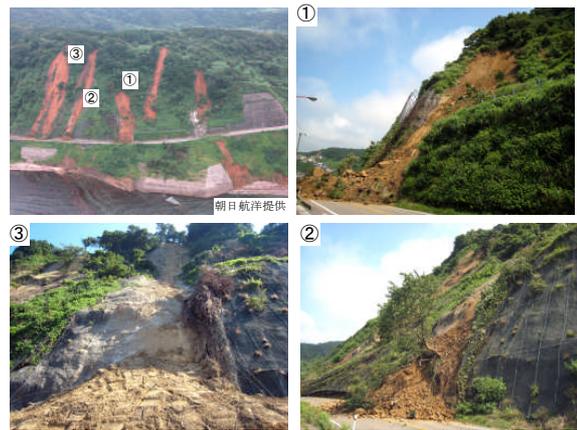


図-6 椎谷の崩壊写真

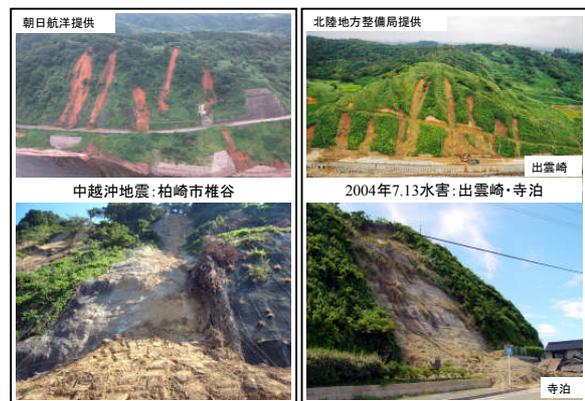


図-7 椎谷の崩壊と類似の崩壊

べり、緑色：急傾斜地、紫色：土石流）と中越沖地震の崩壊位置（赤色）を示した。岬で凸型の地形となっており、西側と北側で崩壊が起こっているが、西側の崩壊は、道路下の斜面が表層崩壊を起こした。問題となったのは、北側の崩壊で、道路を崩壊土砂が塞いだ。傾き約45度の急崖で、幅10m程度の崩壊が5箇所見られる。長さは最大のもので70m（すべり落ち土塊も含む）程度、厚さは3m程度である。地質は椎谷層の砂岩泥岩互層で、受け盤構造である。風化した表層が剥がれ落ちたような崩壊である。西側には地すべり地形が見られるものの、北側には崩壊したような跡は見られない。北側の崩壊地のすぐ東側は、民家があるためか、急傾斜地危険箇所指定されている。

図-6に椎谷の崩壊写真を示す。斜面の上部、特に遷急線の上の土砂が崩れ落ちているよう

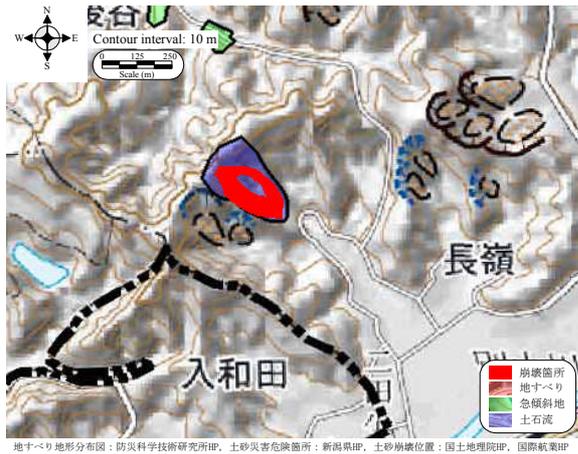


図-8 長嶺の崩壊地形

である。斜面下部はモルタル吹付で保護されており、この部分はほとんど崩れていない。モルタル吹付が地震に有効であることには疑問が残るが、表層の風化を抑制するという意味では有効であろう。

図-7に類似の崩壊として、2004年7.13水害で発生した斜面崩壊取り上げて比較してみる。場所は違うが、海岸沿いであり、また地質的にもほぼ同じである。豪雨時においても、地震時と同様、風化した表層及び遷急線上部の堆積層が崩れ落ちていることがわかる。これらより、誘因は違っても、地形・地質によっては、同様の斜面崩壊を起こすことがわかる。

(b) 長嶺の崩壊

長岡市西山町長嶺において、中越地震の中では大規模な斜面崩壊が発生した。図-8に地すべり地形分布図に土砂災害危険箇所と中越沖地震の崩壊位置を示す。今回取り上げる中では唯一、凹型地形での斜面崩壊である。傾き約20度の斜面で起こった、幅約100m、長さ約210m、厚さ10m程度の崩壊である。地質は西山層の砂岩泥岩互層で、流れ盤構造である。崩壊地中央に土塊が残っているのが特徴である。崩壊が起こった箇所はちょうど土石流危険箇所にも指定されている。

図-9に長嶺の崩壊写真を示す。図に示すように白っぽい灰色の泥岩のすべり面が現れて



図-9 長嶺の崩壊写真



図-10 長嶺の崩壊と類似の崩壊

いる。この滑らかな泥岩の傾きは約32度であり、簡単に薄層で剥離し、図でもわかるように、異なる深さですべり面が現れている。中央部に残った土塊は、すべり落ちてきた可能性はあるものの、明確に動いたという兆候を見つけることはできなかった。

図-10に類似の崩壊として、2004年7.13水害で発生した斜面崩壊取り上げる。場所は出雲崎町中山であり、豪雨時においても、地震時と同様、泥岩の滑らかなすべり面が現れている。また、中越地震時にも、東竹沢で、滑らかな泥岩面に沿って、上部の砂岩がすべり落ちており⁹⁾、誘因とは関係なく、流れ盤の泥岩面に沿っ

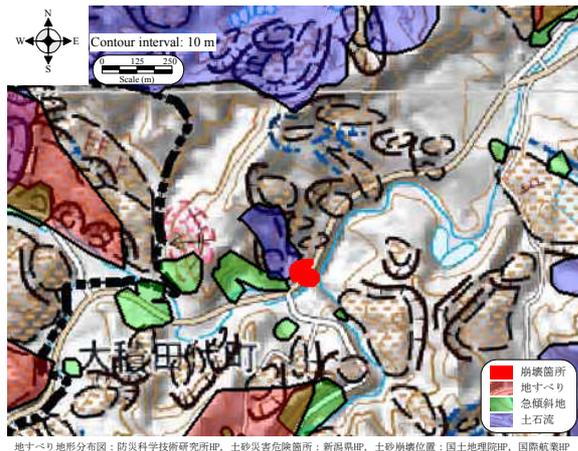


図-11 大積の崩壊地形



図-12 大積の崩壊写真

ての斜面崩壊は発生しやすいことがわかる。

(c) 大積の崩壊

長岡市大積千本町において、地すべり型の斜面崩壊が発生し、国道8号を巻き込んで土塊がすべった。震源よりかなり内陸（東側）に入り込んだところ（図-4 参照）での社会基盤に被害を与えた崩壊であった。図-11 に地すべり地形分布図に土砂災害危険箇所と中越沖地震の崩壊位置を示す。国道8号のカーブにあたり、凸型地形であることがわかる。傾き約25度の斜面で、幅約100m、長さ約100m、厚さ10m程度の土塊の移動をとまなう地すべり型崩壊である。地質は魚沼層の砂シルト細互層で、斜面方向と傾斜しているものの、ほぼ流れ盤の構造である。背後には地すべり地形が存在しているが、今回は黒川に接する末端部ですべりが発生した。崩壊地の周辺には、急傾斜地や土石流危険箇所があるのがわかる。

図-12 に大積の崩壊写真を示す。地すべり土塊が国道8号とともにすべり、黒川を一時閉塞した。黒川には、泥岩面が現れており（②の地点）、この滑らかな泥岩に沿ってすべったことも考えられる。崩壊斜面上部（③の地点の背面）は谷地形で落ち込んでいることがわかる。これは、浸食により形成された可能性もあるが、以前、地すべりですべった土塊の跡とも考えられる。震源よりかなり東側に離れた箇所の崩壊であ

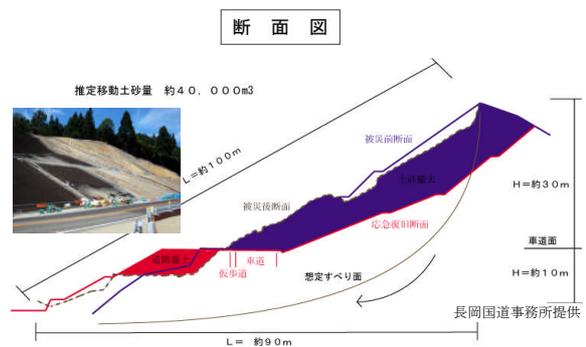


図-13 大積の応急復旧

るが、地すべりを起こしやすい地形・地質であるといえよう。中越地震でもかなり揺れたはずであるが、中越地震ですべり面の形成が進み、固結による強度回復が十分でないまま、中越沖地震の発生により、完全に崩壊したというメカニズムも考えられる。余震の多発した中越地震では、余震で崩壊した斜面も多数あったという事実からも、地震による地盤劣化の可能性は否定できない。

図-13 に応急復旧のための切土断面を示す。崩壊土砂の表層を切土し、また、斜面下には押さえ盛土を施工し、安定性を高めた。同図には切土面の写真も示してある。応急復旧は迅速であり、地震1週間後の7月23日より二車線供用をはじめた。

(d) 山本の崩壊

柏崎市山本のクリーンセンターの東ですべりと思われる、道路に大きな段差が発生した。

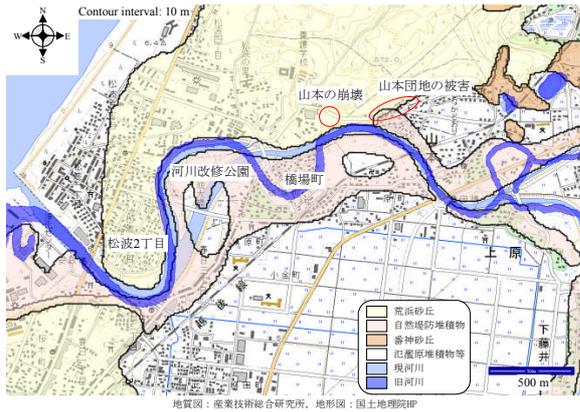


図-14 鯖石川周辺の地形・地質



図-15 山本での被害写真



図-16 鵜川周辺の地形・地質図



図-17 西本町の崩壊写真

図-14 に鯖石川周辺の地形・地質図を示す。同時に、鯖石川の旧河道も示してある。山本の崩壊地は、荒浜砂丘内にあり、砂丘がちょうど鯖石川に接するところである。地下水位も高く、液状化による流動が発生して、上端部にこのような段差が発生したと考えられる。図に示してある山本団地の砂丘末端部にあたる場所でも、液状化による地盤変動で民家に被害が見られた。その他、この図にある範囲の鯖石川沿いでは、松波 2 丁目、鯖石川改修記念公園、橋場町などで液状化の被害が確認されている⁷⁾。

図-15 に山本の崩壊写真を示す。同時に山本団地の被害写真も示してある。砂丘であるため、きれいな砂地盤であり、固結度はほとんどない。2m ほどの段差が生じていおり、液状化による側方流動が原因と考えられる。山本団地でも、地盤変形による民家の被害が多く見られた。砂

で側溝が埋まっているところもあり、液状化の痕跡がうかがえる。

(e) 西本町の崩壊

柏崎市西本町 2 丁目にある西永寺の裏で、幅 100m 以上に及ぶ範囲で 50cm 以上の段差が発生した。図-16 に鵜川周辺の地形・地質図を示す。場所的には、鵜川と海に挟まれた荒浜砂丘の中である。周辺には、液状化の被害があった柏崎港、旧河道沿いで段差の発生した水道橋公園、家屋倒壊の多かった東本町などがある。しかし鵜川沿いでは、鯖石川沿いと比べ、目立った液状化の被害は少なかった。

図-17 に、西本町の崩壊写真を示す。段差は、図-17(a)の西永寺からその西側の駐車場（図-17(b)）まで続いている。この駐車場の下は図

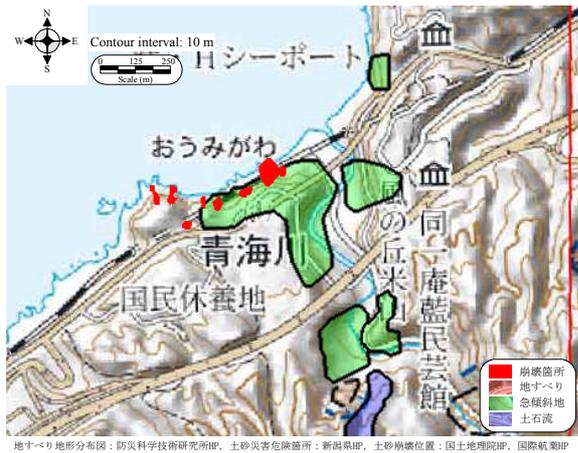


図-18 青海川の崩壊地形



図-19 青海川の崩壊写真

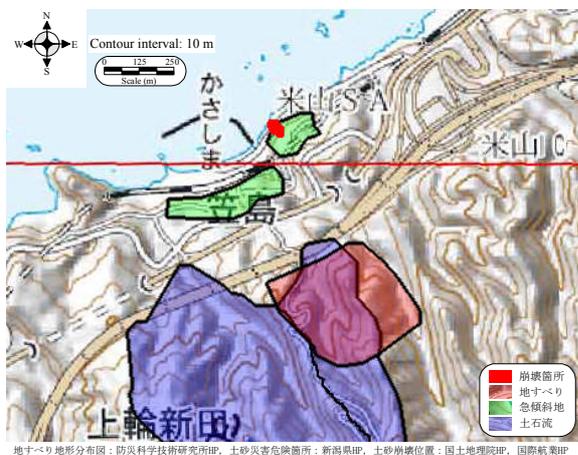


図-20 笠島の崩壊地形



図-21 笠島の崩壊写真

-17(c)のような擁壁となっており、擁壁自体には大きな変形は見られない。この斜面下には図-17(d)に見られるように、コンクリート床盤が道路方向に移動している。これらから、かなり大きな範囲ですべり（変形）が発生しているようである。この斜面下には、新潟県による西港地区急傾斜地危険区域の看板が設置してあり、宅地造成等を行う場合は、知事の許可が必要となっている危険地域でもある。今回のすべりのメカニズムとして、斜面下の地盤が液状化して、強度が小さくなり、斜面上からすべりが発生したとみることもできる。確かに、斜面下では流動的な地盤変形が見られるが、明確な液状化跡は発見できなかった。

(f) 青海川の崩壊

柏崎市青海川の JR 信越本線青海川駅のすぐ隣で斜面崩壊が発生し、崩壊土砂が線路を埋めた。この崩壊により、斜面上部にはクラックが発生し、斜面上にある家屋を危険にさらしている。図-18 に地すべり地形分布図に土砂災害危険箇所と中越沖地震の崩壊位置を示す。海と谷根（たんね）川に挟まれた凸型地形を呈しており、その海側（北西）斜面が崩れた。傾き約 45 度の海食崖で、幅約 40m、長さ約 50m（す

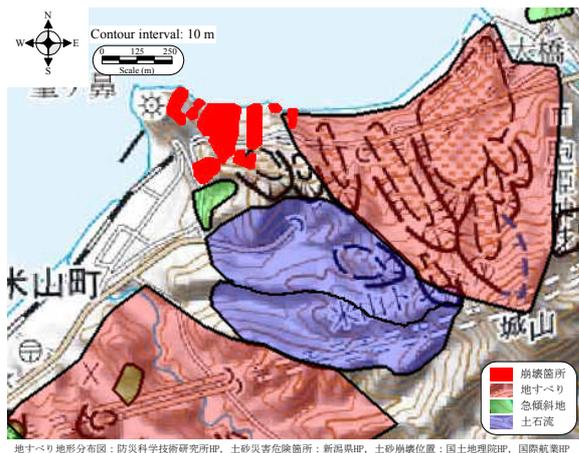


図-22 聖ヶ鼻の崩壊地形

べり落ち土塊含めず), 厚さ 5m 程度の規模の崩壊が起こった. 図からわかるように, 急傾斜地危険箇所指定されている. 急崖であり, 斜面上部には平野が広がっているため, 地すべり地形は見られない. 地質は米山層(西山層相当)の泥岩(シルト岩)で, 段丘砂礫が泥岩を覆っている.

図-19に青海川の崩壊写真を示す. 写真からわかるように崩壊土砂が線路を埋めている. 遷急線で堆積構造が違って見える. 遷急線の層境とその下にも地下水にしみ出し(湧水)が見られる. このような湧水(地下水)は, 間隙水圧の増加や強度の低下など, 崩壊に何らかの影響を与えたと考えられる. 遷急線の上および表層は円礫を含んだ段丘堆積物で覆われている. 崩壊土砂には, 大きな岩がほとんど見られないので, 固結度の低い部分が崩壊したと考えられる. 斜面下部に現れていた灰色の泥岩も, 水にぬれていればかなり軟らかいものであった.

(g) 笠島の崩壊

柏崎市笠島において, 海岸と接した斜面で崩壊が起こり, 道路には崩壊土砂が堆積し, また斜面上の民家を危険にさらした. 図-20に地すべり地形分布図に土砂災害危険箇所と中越沖地震の崩壊位置を示す. 海に突き出た凸型地形をしている. 斜面上に民家もあるため, 急傾斜

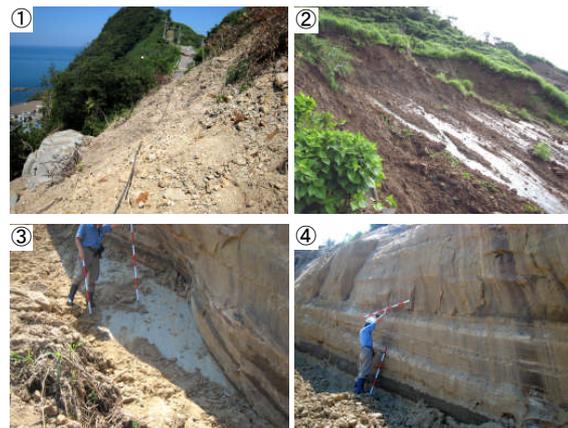


図-23 聖ヶ鼻の崩壊写真

地危険箇所指定されている. 青海川と同じく, 地すべり地形は見られない. 傾き約 35 度の海食崖で, 幅約 30m, 長さ約 30m, 厚さ 3m 程度の規模の崩壊が起こった. 地質は米山層(西山層相当)の泥岩(シルト岩)であり, 青海川と同じ地質である.

図-21に笠島の崩壊写真を示す. 写真からわかるように崩壊土砂が道路を埋めている. 遷急線上部で深く崩れており, 強風化部が崩落したと思われる. 斜面下部には基盤岩の存在が認められる.

(h) 聖ヶ鼻の崩壊

柏崎市米山町の聖ヶ鼻において, 多数の斜面崩壊が発生した. 震源からかなり南方に離れたところでの崩壊である. 図-22に地すべり地形分布図に土砂災害危険箇所と中越沖地震の崩壊位置を示した. 岬で凸型の地形となっていることがわかる. 海に面した北東斜面(流れ盤)で多くの崩壊が発生し, 南西方向の斜面(受け



図-24 中越地震前の聖ヶ鼻

盤)でも1箇所崩壊が発生している。北東斜面で最も大きかった崩壊は、傾き約25度で、幅約90m、長さ約200m、厚さは上部で約10mであるが、下部は薄い。当該区間で信越線が現ルートに移設されたのは1968年9月であり、それまでは地すべり(崩壊)区間海岸線を複数のトンネルで通過していた。今回大規模な岩盤崩壊が発生した北東斜面は、この数十年で斜面下部の崩壊が少しずつ進んでいるようであり、斜面下部の崩壊厚さが薄いことも頷ける。このように安定度の余裕が少しずつ減ってきている斜面であったといえる。地質は聖ヶ鼻層(西山層相当)の砂岩、砂岩泥岩互層である。北東斜面の東側には、地すべり地形が広がっており、大きな範囲で地すべり危険箇所にも指定されている。崩壊した南西方向の斜面のすぐ隣は、急傾斜地危険箇所となっている。

図-23に聖ヶ鼻の崩壊写真を示す。①の斜面は受け盤斜面で発生したが、下の民家に崩壊土砂が崩落する危険性が高く、注意が必要である。②の崩壊は、滑らかなすべり面が現れているが、薄く表土が崩落している。③、④は堆積岩の層理面に沿って斜面上端から大規模な岩盤崩壊

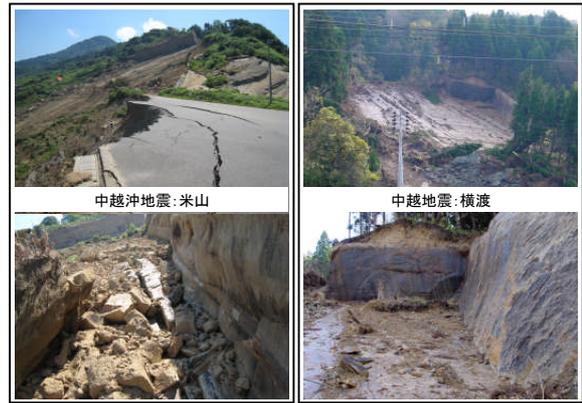


図-25 聖ヶ鼻の崩壊と類似の崩壊

が発生している。滑らかな灰色の泥岩面(約28度)が現れているところもあり、そこにはすべりの跡である条線が刻まれていた。斜面側面にも、土砂の堆積がわかる堆積岩が現れており、この堆積構造(流れ盤)の弱層ですべりが発生したと考えられる。この最大崩壊の隣(西側)には、滑らかなすべり面の現れていない地すべり性の崩壊も認められる。

図-24に中越沖地震前(2005年8月16日)の聖ヶ鼻の写真を示す。図-23の②の崩壊の箇所はすでに崩れているのがわかる。このように、この場所では以前から崩壊が発生していたようである。柏崎市によると、2004年7月16日に柏崎を襲った豪雨により、②の崩壊箇所は道路半分が落ちてしまい、2004年10月23日(中越地震)で道路全体が落ちてしまったということである。また、2005年6月28日の豪雨でも被害を受けたが、重要性のない道路ということで、復旧は行っていないようである。今回の地震でも、崩壊箇所の拡大や滑落崖が少し後退したように見受けられる。また、①の南西斜面の崩壊も、豪雨・地震のイベントごとに、道路の半分ほどを崩壊土砂が埋めたようであるが、その都度、土砂を取り除くのみでの復旧を行っている。このように、以前より崩壊しやすい場所であり、今回の地震では、崩壊箇所の拡大や新たな崩壊が発生した。

図-25に類似の崩壊として、中越地震で発生

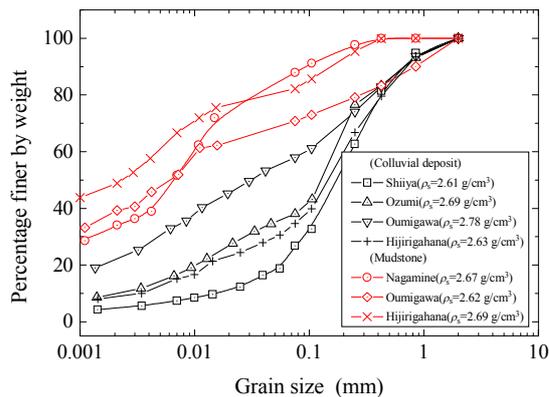


図-26 斜面崩壊場所で採取した試料の粒度

した横渡の岩盤すべりを取り上げて比較してみる。どちらも岩盤すべりであり、滑らかな泥岩面が現れている。横渡では、聖ヶ鼻ほど岩盤の堆積構造は明確でないが、滑らかなすべり面の上には固結度の低い凝灰質砂岩の薄層の存在が確認されており⁸⁾、この砂層の強度低下で岩盤崩落が起こったといわれている。一方、聖ヶ鼻では明確な砂層の存在は確認できなかったが、弱層で崩壊しているようである。このように、地震時には層理面（または節理面）に沿ったすべりが発生しやすいので注意が必要である。

3.3 土質試験結果

現地踏査を行ったものの中で、いくつかは原位置試料の採取を行った。主に崩壊した土砂である崩積土 (Colluvial deposit) と泥岩層が現れていたものについては、泥岩 (Mudstone) を採取した。いずれも攪乱試料である。

図-26 に採取試料の粒度を示す。崩積土 (黒線) に関しては、椎谷が最も砂っぽく、細粒分が 20%程度である。また、青海川が最も細粒分を含んでいる (60%)。泥岩 (赤線) は、崩積土より細粒分が多くなっていることがわかる。泥岩の上に堆積しているある程度砂分を含んだ層で崩壊が発生しているようである。

4. まとめ

以上、中越沖地震により発生した自然斜面崩壊について中越地震と比較しながら考察してきたが、以下のような特徴があった。

1. 中越地震と比べると、崩壊箇所は少なかった。震源が中山間地直下ではなかったのも理由の一つと考えられる。
2. 海食崖 (北西方向の斜面、急崖) の薄い層がすべり落ちる例が多かった。この斜面は、地震同様、雨にも弱い。
3. 遷急線の上部が崩れる例が多かった。これは、震動が増幅されること、風化が進みやすいこと、植生の問題 (大きな木の荷重で崩壊が起こる) などが関係している。
4. 凸地形を形成する斜面に被害が多かった。
5. 海岸に突き出た岬の震源方向の斜面が崩れる例が多かった。

これらのまとめより、地震の影響を組み込んだ危険度予測のためには特に次のことを考慮する必要がある。

1. 地震の地形的な震動 (増幅) 特性を考慮する。
2. 層理や節理などの地質構造を考慮する。
3. さらに精度を高めるためには、地盤強度特性の把握と解析を実施する必要がある。

謝辞 明治コンサルタント (株) の島内哲哉氏・佐藤博文氏と現地調査を行う機会があり、様々な情報を得ることができた。また、土質試験等の結果整理では、長岡技術科学大学環境・建設系地盤工学研究室の学生の協力により実施された。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 新潟県: 新潟県地質図説明書, 1989.
- 2) Toyota, H., Nakamura, K. and Sakai, N.:

Evaluation of dike and natural slope failure induced by heavy rainfall in Niigata on 13 July 2004, *Soils and Foundations*, Vol. 46, No. 1, pp. 83-98, 2006.

- 3) http://www.jsce.or.jp/report/43/report/3_2.pdf
- 4) 土木学会他: 2007年新潟県中越沖地震災害調査報告会資料集, 2007.
- 5) <http://shear.nagaokaut.ac.jp/~chuetsuoki/report4.pdf>
- 6) Toyota, H., Wang, J., Nakamura, K. and Sakai, N.: Evaluation of natural slope failures induced by the 2004 Niigata-ken Chuetsu Earthquake, *Soils and Foundations*, Vol. 46, No. 6, pp. 727-738, 2006.
- 7) <http://shear.nagaokaut.ac.jp/~chuetsuoki/report4.pdf>
- 8) 土木学会: 活褶曲地帯における地震被害データアーカイブスの構築と社会基盤施設の防災対策への活用法の提案, pp. 181-185, 2007.