

2007年新潟県中越沖地震による柏崎市及び周辺地域の斜面災害

Landslides induced by the 2007 Niigataken Chuetsu-oki earthquake in the Kashiwazaki City and its surrounding area

釜井俊孝（京都大学防災研究所）*・村尾英彦（株式会社村尾地研）

Toshitaka KAMAI (DPRI, Kyoto Univ.), Hidehiko MURAO (Murao Chiken Co.Ltd.)

キーワード：2007年新潟県中越沖地震、斜面災害、柏崎市、都市域

Keywords: the 2007 Niigataken Chuetsu-oki earthquake, Landslides, Kashiwazaki City, Urban region

1. はじめに

2007年新潟県中越沖地震では、様々な種類、規模の災害が発生した。刈羽原発の被害が注目を集めたが、斜面災害も、柏崎市とその郊外の比較的狭い地域にまとまって発生し、重要な事例が多く得られた。同様の都市型の斜面災害は、過去の震災においても発生しているが、今回は、斜面災害の形態と空間分布が、都市「柏崎」の発展の過程に深く関連している点が特徴的である。柏崎という町の形成過程そのものが、地質条件と密接に関連し、それらが斜面災害を強く規定するからだと思う。したがって、これら斜面災害の全体像を明らかにすることは、都市形成史と斜面災害、

地震動のマイクロゾーニング、地すべり変動論等、地震による都市域の斜面災害に関するケーススタディとして重要であり、大都市圏における将来の災害を予測し、対策を立案する上でも有益であると考えられる。

2. 都市「柏崎」の地盤

被害の多くは、柏崎平野と海岸地域で発生した。柏崎平野は、周囲を新第三系の褶曲山地に囲まれた、幅（海岸からの奥行き）約8km、海岸線での長さ約13kmの平野で、鵜川、鯖石川、別山川の氾濫源と海岸部の砂丘、及び内陸に分布する段丘からなる。段丘としては、安田層（9-12万年前の

- 腹付け盛土の変動（擁壁の崩壊を含む）
- 谷埋め盛土の変動（沈下を含む）
○ 非変動だった谷埋め盛土
- 新砂丘の浅い地すべり（側方流動）
- 古砂丘の斜面崩壊・地すべり
- 高位段丘の斜面崩壊
- 基盤岩類の斜面崩壊

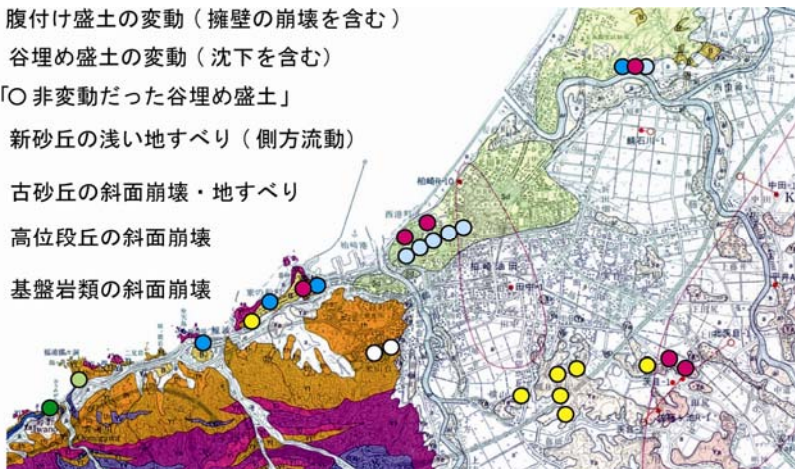


図-1 柏崎市及び周辺地域における斜面災害の分布

海成層：シルト、砂）の堆積面である中位段丘面（標高20-30m）の分布が最も広い。中位段丘面は、平野内部においては著しく侵食され、開析谷の発達によって平坦面の分布は狭く、限定されているが、米山周辺では、中位段丘面、高位段丘面とも良く保存されている。砂丘は、固結度の良い砂からなる古砂丘と

それを覆う数列の新砂丘からなる。古砂丘は、安田層を整合に覆い、ほ

ば同時期の陸成層と考えられる。

柏崎市は、江戸期までは海岸砂丘の上に発達していたが、鉄道駅の開設によって、砂丘背後の低湿地の開発が進んだ。その後、列島改造ブーム、北陸自動車道の開通等に伴って 1970-1980 年代には、中位段丘面と高位段丘面での宅地開発が行われ、市街地が大幅に拡大した。

3. 斜面災害の種類

今回の地震によって発生した斜面災害は、主に、「中心市街地における新砂丘の斜面変動」、「古砂丘の斜面崩壊・地すべり」「郊外の住宅団地における盛土の変動」、「第三系斜面における大規模崩壊・地すべり」の四種類である（図-1）。

①中心市街地における新砂丘の斜面変動

新砂丘では、比較的急傾斜の海側斜面に対して、内陸側にはルーズな砂による緩斜面が形成され、砂丘列間や砂丘から続く低地は湿地となっている。こうした砂丘の構造を反映し、海側の急斜面と陸側の緩斜面では、異なるタイプの斜面変動が発生した。すなわち、海側斜面では、しばしば擁壁を巻き込むがけ崩れ、内陸側斜面では、液状化

を伴う緩斜面のすべり・変形が発生した。さらに、両者の境界となる砂丘の頂部では、顕著な開口割れ目（テンションクラック）が形成された。被害が集中した西本町一帯は、柏崎で最も早く開けた地域で、古い神社や寺が立地する旧市街である。この地域には、古い石積み擁壁や盛土等の高リスクの都市構成要素が多く、これらが被害を拡大させた可能性が考えられる。

②古砂丘の斜面崩壊・地すべり

古砂丘の堆積物（番神砂層）は、固結度が良いため、砂丘の海側では海食、内陸側では完新世の河川侵食により、高く急な崖が形成されている。番神、東の輪、鯨波では、こうした崖で、擁壁の倒壊を伴う大規模な崩壊が発生した。これとは別に、番神地区ではやや広域で深い地すべりが発生した可能性がある（これについてはⅡで詳しく述べる）。

③郊外の住宅団地における盛土の変動

鵜川と鯖石川の間分布する中位段丘面の縁辺部では、低地からの比高が 10m 以下になるため、谷埋め盛土や腹付け盛土方式の開発が広く行わ

れ、その多くで被害が発生した。また、海岸部でも同様に、砂丘の内陸側斜面における腹付け盛土や谷埋め盛土で顕著な被害が発生した。これらの開発地域では、沖積層が厚く、盛土底面の安定化処理は事実上困難である。また、擁壁の基礎に問題のあったケースも見られた。

これら高リスクの

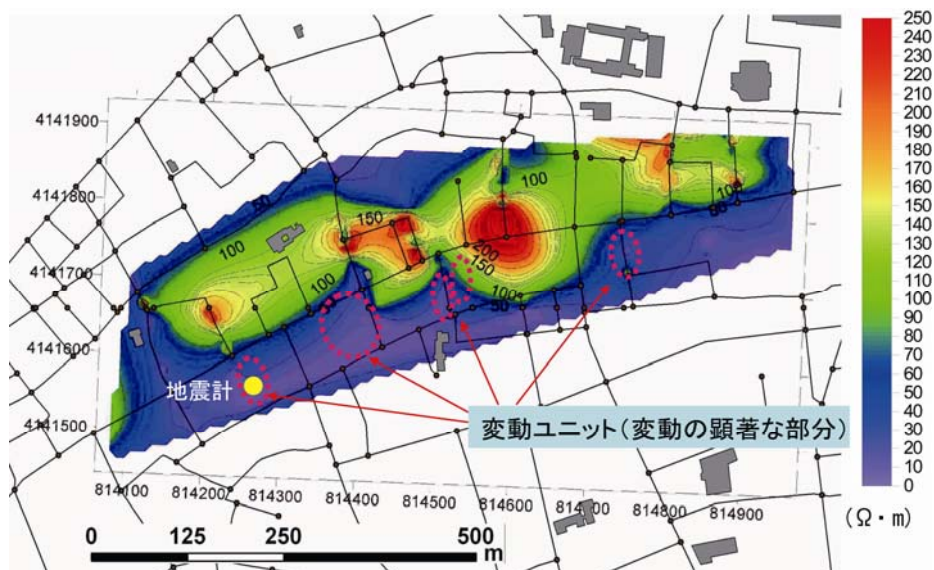


図-2 柏崎市中心市街における 3.5m 深比抵抗分布図

宅地盛土は、1970年代以降の宅地開発ブームの中で造成されていった。全国の都市も同様な事情であったが、全国的規模の宅地開発ブームが1974年の第二次石油ショックで一旦沈静化した後も、柏崎では、北陸自動車道の開通、原発の誘致など、地域経済を潤す要因があったため、宅地開発の勢いは衰えなかった。このことは、今回の地震被害を拡大させた要因の一つであると考えられる。

④第三系斜面における大規模崩壊・地すべり

青海川、聖ヶ鼻等の海岸部や長岡市の大積では、大規模な崩壊や地すべりが発生し、鉄道や道路に被害を与えた。特に、青海川の崩壊は、信越線を約2ヶ月間も途絶させる被害を及ぼした。この崩壊は、中位段丘の段丘構成層（安田層？）と米山層（新第三系）の風化部、斜面下部の崖錐を巻き込んでいる。段丘構成層の下底からは、地下水の湧出が認められた。周辺には、同様の崩壊跡が散在し、過去にも同様の崩壊によって海岸線の後退が起きていることを示している。

4. 発生メカニズム

①新砂丘の緩緩斜面

図-2は、柏崎市西本町周辺の3.5m深比抵抗平面図である。砂丘であるので、比抵抗の変化は、ほとんど含水比の違いを表すと考えられる。したがって、砂丘の頂上付近に高比抵抗帯が認められる。しかし、詳しく見ると新砂丘の内部には、複

雑な比抵抗構造（古砂丘上面の起伏を反映？）が存在し、谷構造（地下水位の高い部分）と顕著な変動ユニットの分布はほぼ対応する。これらの変動ユニットの内部では噴砂が認められている。

さらに、このうちの一箇所（丸印の地点）で簡易地震計（加速度計）による余震を観測した（図-3）。7月25日の余震（震度IV）では、東西方向に加速度（力）の強軸を持つ地震が観測されたが、速度と変位の強軸は、これとは直交する南北方向であり、斜面の最大傾斜方向と調和的であった。すなわち、地震によってゆすられた緩い砂（一部は谷埋め？）の斜面が、液状化をともなって、最大傾斜方向にずり落ちていくというメカニズムが考えられる。

②盛土

被害を受けた盛土のうち、谷埋め盛土（向陽台）と腹付け盛土（池の峯）から、それぞれ1例を選んで、それらのS波速度断面を図-4に示した。いずれのケースも、地山は安田層であり、中位段丘面のレベルまで盛土を行い、平坦地を造成している。前者では、谷幅はほぼこの断面と等しく、約100m、盛土の深さは最大で、約9mである。谷の長軸方向（断面と直交する方向）に数十cm移動した。後者では、高さ約5mのコンクリート擁壁が破壊され、住宅に被害が発生した。一部は、地震後も動き続けていた（これについてはIIで詳しく述べる）。

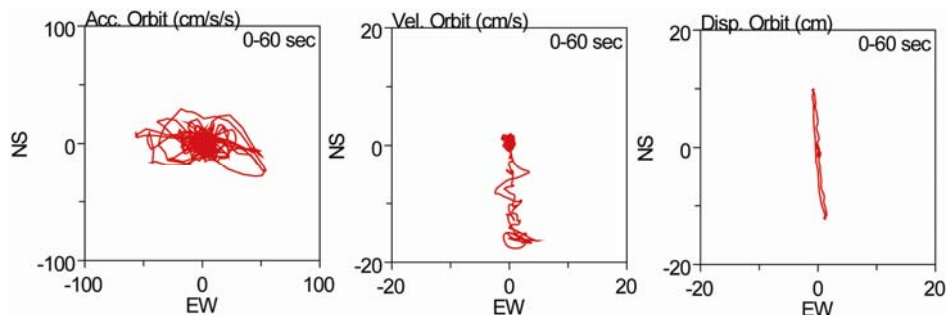


図-3 7月25日の余震の加速度、速度、変位の粒子軌跡

これら中位段丘や砂丘の周辺で見られた宅地盛土の被害は、米山台（米山層の丘陵）では、ほとんど発生しなかった。米山台では、谷埋め盛土の底面傾斜や地下水の状況は、被害盛土と同様かそれ以上に不利（動きやす

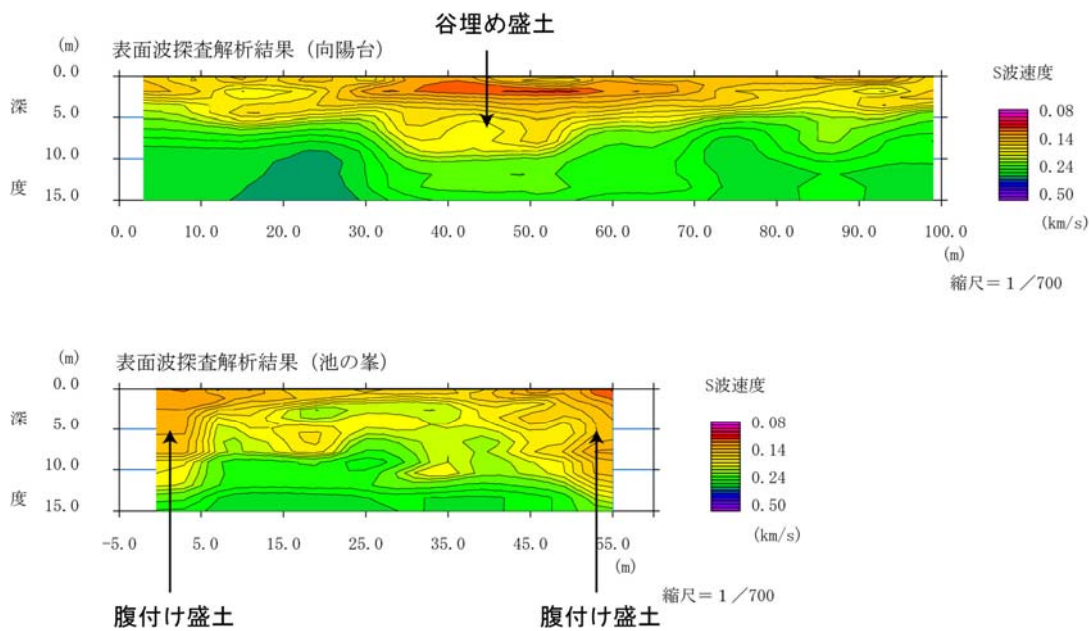


図-4 被害を受けた盛土のS波速度断面

い) であると考えられる。震央距離も被害盛土と同様である。一方、盛土材が異なる点を除くと、被害盛土にあつて米山台の盛土に見られない特徴は、盛土以前の谷底に軟弱層（沖積層）が存在した事と、谷幅が相当広かつた点である。これらは、過去の地震災害においても被害と無被害を分ける重要な要因であり、今回も同様のメカニズムが働いたものと考えられる。

③急斜面

急斜面の崩壊が多く見られた海岸線付近は、岩盤の上に中位段丘構成層や番神砂層（古砂丘）が堆積している。地下水は、崖の中腹に位置する不透水性岩盤上面に湧出する事が多いので、こうした構造は、崖際における地震動の増幅と共に、崩壊の発生に大きな影響を及ぼしたと考えられる。

5. 教訓

今回発生した柏崎都市域の斜面災害は、以下の3点において重要である。

- ①斜面災害の分布と形態は、柏崎の都市形成史、及びその背景である地盤条件に密接に関連している。したがって、同様の歴史と地盤条件を有している直江津、新潟、酒田、秋田等の日本海沿岸の商業・交易都市にも同様の災害リスクが存在すると考えられる。
- ②災害の背景として、高リスクな都市構成要素（盛土や古い擁壁）の中心市街での蓄積、及びそれらの郊外への拡散を指摘することができる。これらは、人口と経済活動のドーナツ化現象の結果であり、わが国の多くの都市に共通した問題である。
- ③谷埋め盛土の安定のためには、谷底の軟弱層を確実に処理すること、不利な形状を避けることが重要であることが再認識された。また、急斜面においては、増幅される強震動への対抗措置と地下水の処理が重要である事が示唆された。