新潟県中越地震による雪崩予防柵の被災状況に関する検討

青山清道[*1]・福田　誠[*2]・新関敦生[*3]・村尾治祐[*3]・
木村智博[*4]・猪爪高見[*2]

A few Considerations of Foundation Failure on Snow Avalanche Defensive Structure due to the Mid Niigata Prefecture Earthquake in 2004

Kiyomichi AOYAMA[*1], Makoto FUKUDA[*2], Atsuo NIIZEKI[*3], Harumasa MURAO[*3], Tomohiro KIMURA[*4] and Takami INOTSUME[*2]

[*1]新潟大学積雪地域災害研究センター　[*2]長岡工業高等専門学校　[*3]㈱村尾技建　[*4]元 東京大学大学院生

Keywords：Snow avalanche defensive structure , fissure , fissility , weather , failure
キーワード：雪崩予防柵 , 亀裂 , 剥離 , 風化 , 崩壊

はじめに

２００４年１０月２３日（土）１７時５６分頃，川口町を震源とするＭ６．８の新潟県中越地震が発生した．県内では斜面災害が１，０００ヶ所以上確認されており，その深刻な状況は報道や各学会の速報会（地盤工学会　関東支部編，２００５）で報告されている．筆者らは，かねてより積雪寒冷期地震の対策の在り方について提言し（青山清道編，２００３），被災地の斜面災害や雪氷災害の調査を現在も継続している．

本地震による雪崩防止施設の被害は甚大で，予防柵の流出，破損や機能喪失そして裸地化した斜面において全層雪崩等の緒災害が続発した．

ここでは，雪崩予防柵基礎の被害状況に着目し（Aoyama, K.et al., 2002；Bhattarai, P. et al., 2002；木村・青山，１９９９；中俣・青山編，１９８６），実態調査を行なった．道路管理の面でも一刻も早い復旧が課題となっている．

新潟県道路管理課，治山課，砂防課による雪崩予防柵の被害状況を，表１に示す．この他に，旧山古志村で治山課担当の雪崩予防柵４１基（２００４年１１月末日現在）の被害が，確認されている．

被害箇所の状況と原因

地震発生後，直ちに現地入りし，これまでに十数回の現地調査を行なった．図１は，小千谷市，十日町市における調査地点である．特に被害が甚大であった長岡市，小千谷市，十日町市の雪崩予防柵の被害形態と，当地の地質・地形的要因との関連性について考察する．

長岡市濁沢町

当該地は，大田川中流域の右岸側に位置している．この周辺では，大田川の左右両岸は，河川による侵食によって，急崖を形成している場所が多く，地すべりや，斜面崩壊等の斜面災害が多発している．また，その地形的特長から，上記の地盤災害だけに限らず，雪崩災害も当然多発している．当該地周辺では，大田川は略北西流しているが，蛇行箇所が多く見られ，その攻撃斜面に位置する部分では，特に斜面災害が多発する地形を呈している．

当該地の東側には，略南北方向の背斜軸があり軸の周辺には，中新世，寺泊層と中新世から鮮新世，椎谷層等が分布している．当該地は，その背斜軸の左翼に位置しており，上記の椎谷層と，鮮新世，西山層との境界部周辺に位置している．主として当該地に分布する西山層の走向傾斜は，略南北方向，30°西落ちである．岩質は，泥岩と砂岩との互層から形成されている．雪崩予防柵が設置されている長大斜面（写真１，２）は，ほぼ南向きの斜面であるから，層理面との相互関係は，交差盤である．

当該地域は，前述した如く，泥岩と粗粒から細粒にいたる砂岩の互層から成っている．粗粒砂岩と泥岩との関係は，粗粒砂岩の基底部には礫岩質の部分があり，かつ，部分的に不整合面の様相をも呈しているのが特徴である．次に構成岩石の貫入力の問題であるが，巨視的には，中粒砂岩は貫

入力が低く 8.5kN/m^2 であった．泥岩は，その中粒砂岩よりも強く，10kN/m2 程度である．粗粒砂岩は，泥岩よりも更に強く，11kN/m^2 以上であった．

当該地の急崖斜面の高さは，大田川から尾根までの間で約 250m である．この急崖斜面は裸地の区域が多く，かつ，斜面崩壊も多発している．斜面底周辺の地形がゆるく変化する区間には，地す

表 1．新潟県中越大震災による雪崩予防柵の被害状況

1-1　新潟県道路管理課担当箇所（平成 16 年 12 月 22 日現在）

地域機関名		道路種別	雪崩予防柵 設置基数（基） a	雪崩予防柵 被害基数（基） c	被災予防柵 割合（%） d=c/a	被災項目内訳 全壊	基礎のみ	崩土堆積	計
長岡地域整備部		補助国道	611	41	6.7%	36	1	4	41
		主要地方道	590	129	21.9%	45	27	57	129
		一般県道	279	29	10.4%	16	12	1	29
		小計	1480	199	13.4%	97	40	62	199
	与板維持管理事務所	補助国道	24	0	0.0%	0	0	0	0
		主要地方道	-	-	-	-	-	-	-
		一般県道	15	0	0.0%	0	0	0	0
		小計	39	0	0.0%	0	0	0	0
	小千谷維持管理事務所	補助国道	97	17	17.5%	4	3	10	17
		主要地方道	497	27	5.4%	10	5	12	27
		一般県道	411	6	1.5%	1	5	0	6
		小計	1005	50	5.0%	15	13	22	50
小出地域整備部		補助国道	655	14	2.1%	3	1	10	14
		主要地方道	296	0	0.0%	0	0	0	0
		一般県道	968	15	1.5%	0	0	15	15
		小計	1919	29	1.5%	3	1	25	29
十日町地域整備部		補助国道	1417	26	1.8%	7	0	19	26
		主要地方道	249	18	7.2%	0	1	17	18
		一般県道	659	47	7.1%	1	0	46	47
		小計	2325	91	3.9%	8	1	82	91
柏崎地域整備部		補助国道	288	1	0.3%	0	0	1	1
		主要地方道	366	7	1.9%	0	2	5	7
		一般県道	408	7	1.7%	0	0	7	7
		小計	1062	15	1.4%	0	2	13	15
合計		補助国道	3092	99	3.2%	50	5	44	99
		主要地方道	1998	181	9.1%	55	35	91	181
		一般県道	2740	104	3.8%	18	17	69	104
		小計	7830	384	4.9%	123	57	204	384

1-2．新潟県治山課担当箇所（2004 年 12 月 14 日現在）

H16.12.14

地域機関	地区名	市町村名	被災状況 施設破損	被災状況 土砂堆積
長岡	大野	栃尾市		予防柵７基
	天下島	栃尾市		予防柵５基
	間内平	山古志村		予防柵３基
小出	日影	旧堀之内町		予防柵２基
十日町	樽沢１	十日町市	予防柵２基	
	津池	十日町市		予防柵５基
柏崎	小国沢	小国町		予防柵３基
合計	７地区		予防柵２基	予防柵２５基

旧山古志村において，地震による雪崩予防柵被害は，41 基であった．（調査 2004 年 11 月末日現在）

1-3．新潟県砂防課担当箇所（2005 年 5 月 31 日現在）

発生日	箇所名 郡・市	町・村	大字	災害種別	災害形態	被害状況
1月4日	長岡市	小国	法末	融雪	新生山腹崩壊	柵１
4月3日	十日町市		六箇	雪崩	全層雪崩	柵２
4月20日	柏崎市	高柳	荻ノ島	融雪	新生山腹崩壊	柵工６
5月7日	中魚沼郡	津南町	中深見	融雪	新生山腹崩壊	柵工１

写真１　流出した雪崩予防柵
（長岡市濁沢町　2005 年 4 月 9 日撮影）

写真３，４　信濃川左岸に分布している
堆積層が予防柵ポケットや歩道に落下
（小千谷市山本）

写真２　破損した雪崩予防柵
（長岡市濁沢町　2005 年 5 月 26 日撮影）

写真５　落石により雪崩予防機能低下
（十日町市中条）

写真６～８　泥岩等の風化により雪崩予防基礎部分の
支持地盤が崩落した（十日町市焼野）

写真９～11　支持地盤の崩落と雪崩防止柵の宙吊りと落下箇所の確認
（十日町市樽沢）

べりも確認されている．斜面崩壊に対して，谷止工が設置されており，満砂と成っていた（平成８年 新潟県長岡林業事務所設置）．
この長大斜面に設置されている雪崩予防柵が，地震動によって破壊されて，落下した状態が確認されている．現地調査の結果から，その原因は，交差盤を呈して露出している岩盤が，風化作用を受けた結果，剥離から抜け出しの過程が発生したと考えられる．

小千谷市山本（小千谷発電所周辺）

新生代第四紀更新世魚沼層で構成され，泥・砂・砂礫の互層が主となっている．その上部に，礫を主体とする比較的新しい地層（中位段丘堆積物）が分布している（新潟県，２０００）．この周辺の魚沼層は，信濃川に侵食され，高い急峻な崖を形成している．当該箇所は，信濃川の攻撃斜面に位置している関係上その様な地形を呈している．

被害状況は，雪崩予防柵に岩塊が崩壊して堆積し，雪崩を受け止める機能を殆ど喪失している．（写真３，４参照）．

この現象を生じた主な原因は，「剥離現象」である．魚沼層は堆積時代が新しいので，続成作用が少なく地盤内部の固結度が低く（表面積が大），従って垂直に近く切り立った急崖の自由面に向かって剥離しやすい性質を有している．剥離を規制するのは，風化作用と継続して発生する崩壊現象とであり，それに伴う応力開放が不安定度を更に増大するものと推定される．さらに加えて当該地周辺では，降水現象と余震をも含んだ地震動に起因する剥離現象が今後も発生し得る危険な部分が認められる．雪崩予防柵に堆積している岩塊は，その形成過程から扁平な岩塊が多く見られる．

十日町市中条（国道２５２号沿い，至堀之内町）

前述と同じく第四紀更新世魚沼層で構成され，泥・砂・砂礫の互層が主であるが，部分的に浮石質角礫凝灰岩を夾在する場所もある．この周辺は，飛渡川によって侵食され，急峻な崖を形成している．飛渡川は西流して，信濃川本流に注ぐ一支流である．

被害状況は，雪崩予防柵に巨岩塊が崩壊して堆積し，雪崩を受け止める機能が殆ど失われている．当該地は南北方向の軸を有する背斜構造の西翼に位置しているので，層理面は緩く西傾斜している．走向は，略，南～北であり，傾斜は，１３～１５°西内外である．

当該崖には，現時点でも亀裂の発達が認められる．その意味では不安定な崖である．その亀裂の方向性は縦横高の３方向を示している．３方向の亀裂によって，岩盤が切断され，四角い形状を成し，巨岩塊が自由面に向かって抜け出す現象である．抜け出す時点で最も有効に作用した力が，今回の場合は，地震動である．当該崖の自由面と地層の層理面との関係は，交差盤を成している．（注．流れ盤・受け盤・交差盤）流れ盤等と比して，交差盤は，巨岩塊抜け出しという視点からは有利な条件である．この周辺の雪崩予防柵に堆積している巨岩塊はその形成過程から，四角い岩塊が多い．（写真５参照）．

十日町市焼野（十日町市中条より堀之内町寄り）

前述で指摘した事項と同様，地質的には新生代魚沼層であり，泥・砂・砂礫の互層が主である．南北方向の背斜構造軸の近辺に位置している関係上，地層中に発生する亀裂の数が増加しているので，当該地は，他所と比較すると風化作用が進んでいる．そういう関係で当該地の南側には地すべり地形が発達している．また，当該斜面は南向きの急崖である．地層の傾斜は南北方向の背斜軸を中心にして，西落ちと東落ちとを呈しているが，共に，１０°内外のゆるい値である．しかし，こ

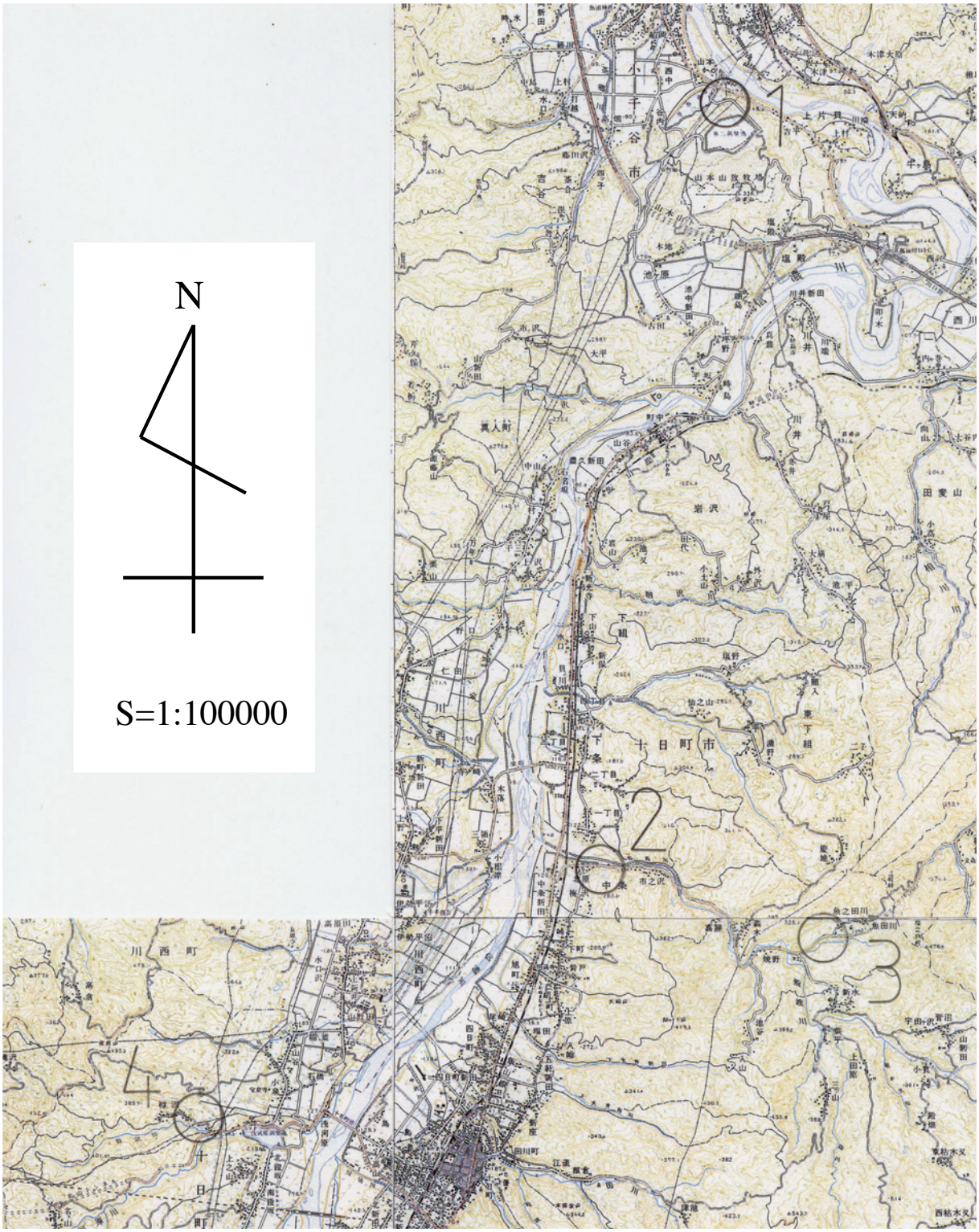


図１．調査位置図
○１～４：調査位置．１：小千谷市山本，２：十日町市中条，
３：十日町市焼野，４：十日町市樺沢

の周辺は，地すべり多発地帯なので，走向傾斜を考える場合には，慎重にすべきである．

被害状況は，７基の雪崩予防柵が破壊され，使用不能なため撤去されている（写真６～８参照）．その急崖は前述の理由により比較的風化が進んでいる．急崖の中央部に，斜面崩壊の痕跡が認められ，その周辺の予防柵が基礎の浮き上がりにより破壊されたと思われる．斜面崩壊そのものは，表層崩壊の形態に近いと考えられる．つまり雪崩予防柵破壊の原因は，風化作用の進行に伴って発生した，斜面崩壊によるものである．

写真 12，13　全層雪崩が発生した
（十日町市中条 2005 年 2 月 19 日撮影）

十日町市樽沢（国道２５３号至近）

いずれの被害箇所とも新生代第四紀更新世魚沼層で，礫・砂・シルトの互層で成っている．南北方向の背斜軸の東翼に位置している．地形的な上部に，更新世の中位段丘堆積物が載っている．当該地は樽沢川によって侵食された，南向きの急峻な崖である．

被害状況は，雪崩予防柵の基礎部が崩落し，基礎の一部が宙吊り状態になり，極めて不安定な形態を示す場所もあるしまた、予防柵全体の落下も見られる．急崖の上方に分布している中位段丘堆積物中の安山岩礫が落下し，雪崩予防柵裏に堆積している箇所もある．その為段丘堆積物部分にロックネットの応急処置を施している．（写真９～１１参照）．

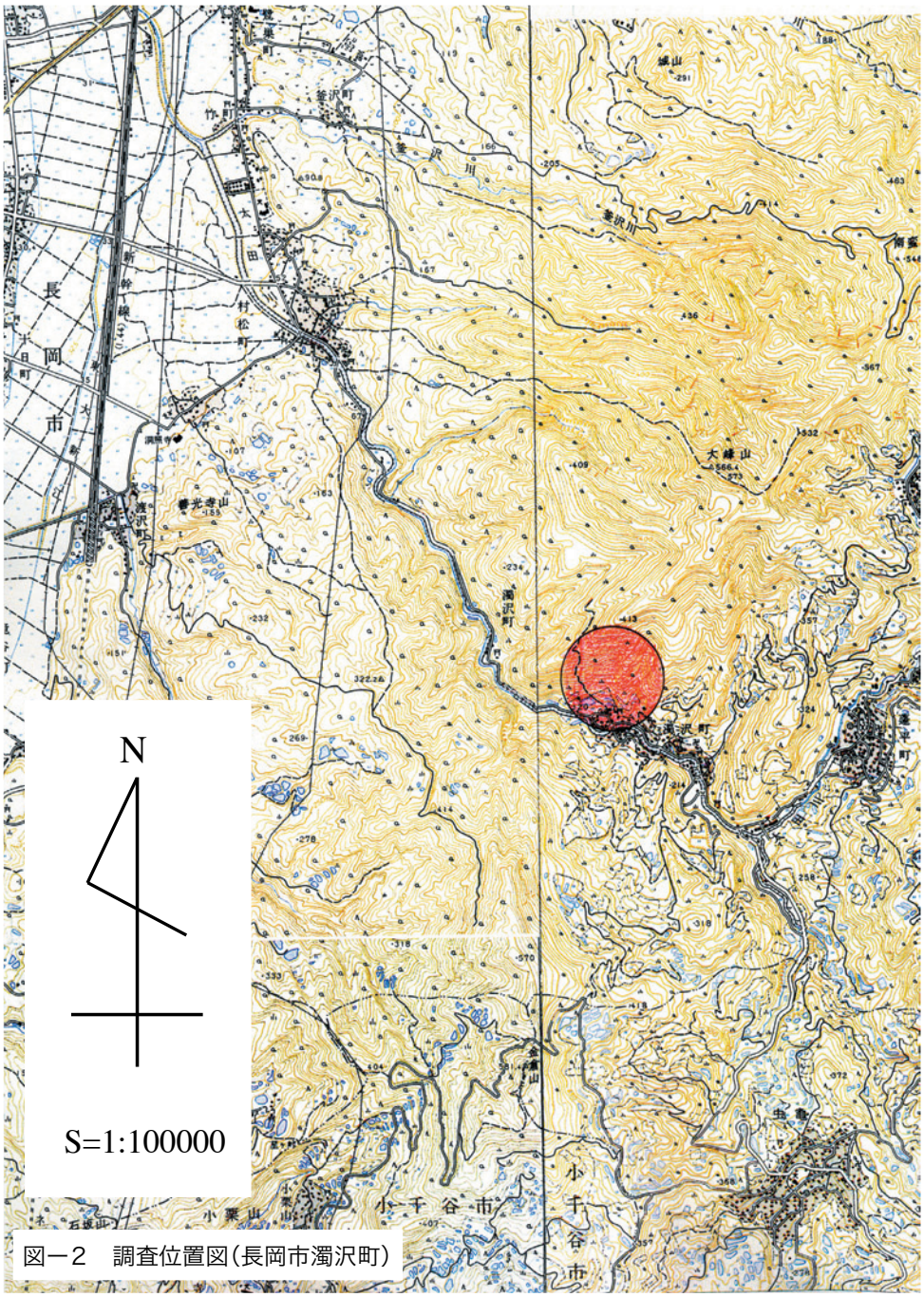
この周辺では原則として，急崖部分に浅く根入れをして雪崩予防柵を造っている．風化した魚沼層が地震動により剥落し，根入れ下部が三角形に落下したものである．宙吊りになった予防柵は多雪とスレーキングから冬季間の雪荷重に耐えられない状況と判断される．その事由として，雪崩予防柵基礎の三分の一から二分の一程度が宙吊りになっていることによる．雪崩予防柵基礎位置と基礎形式との選定に再考の余地がある．降雪を迎えて速やかな応急対策が望まれる所以であり，斜面植生の崩れも雪崩発生の危険性に拍車をかけることが予想される．

まとめ

今回の地震では雪崩予防柵の基礎地盤である魚沼層の風化とスレーキング現象による被害箇所が目立ち，雪崩予防柵の上に落下した土砂・岩塊が堆積して雪崩予防機能が低下した事例も顕著に見られた．さらに地震で斜面の樹木が崩落し，裸地化した斜面に１９年ぶりの大雪が降ったため例年以上に雪崩発生の危険が高まっている．こうした状況について，典型的な被害例を写真で示すことにする（写真１２～１５参照）．

十日町市，小千谷市，長岡市における上記５例は，魚沼層中に発生した事例が４例であり，西山層の事例が１例である．魚沼層の堆積時期は，新生代第四紀更新世（Cenozoic Quaternary Pleistocene）と考えられ，西山層のそれは鮮新世と考えられている．魚沼層は，南北の方向性を持って，平行に延びている，東頚城丘陵と魚沼丘陵との両丘陵に渡って分布している．更には，越後平野の地下等にも分布している．魚沼層を２層から４層に区分する考え方もあり，整合～不整合～指交関係の議論もあるが，これらの成因論的な考え方について今回は言及しない．ただ，地層全体が低固結であることや，亀裂の発達状況や風化作用の進行状況等のいわゆる物性を重要視している．つまり物性

写真 14，15　全層雪崩が発生した
（十日町市焼野　2005 年 2 月 19 日撮影）



図－2　調査位置図（長岡市濁沢町）

が原因になって，前述の如き雪崩予防柵の破壊～機能低下の諸形式が発生するからである．
結論は以下の如くである．
①機能喪失形態
　基礎破壊から斜面崩壊等に起因した構造物自体の破壊．そして落下，さらに加えて土砂・岩石による柵の埋没．
②機能喪失原因
　剥離現象（応力解放に伴う剥離・風化による剥離）亀裂規制（縦横高さ３方向亀裂に規制された抜出）風化作用進行に伴う崩壊（背斜軸周辺等）支持力不足に伴う基礎破壊（基礎部落下）．
　ここに示した写真群から，道路面へ土砂が崩落する危険が高まっていることや，さらに雪崩予防柵のポケットに上部の土砂・岩塊が落下し，雪崩予防機能が低下していることも理解される．今後の余震と降積雪，降雨等により更なる支持地盤の脆弱化する危険性がある．

文　献

1．Aoyama，K.，Bhattarai，P.，Fukuda，M.，Oku，J.，and Sakai,T.(2002):Geo-environmental Problem of Snow Avalanche Defensive Structures in Mudstone Zones, Niigata Prefecture, Japan.Journal of Nepal Geological Society, Vol.27, 159-164.
2．青山清道編（2003）：積雪寒冷地域における地震防災対策の確立に向けた研究．(財) 日本積雪連合.
3．青山清道：雪崩予防柵にも被害，毎日新聞朝刊，2004 年 11 月 25 日 ,11 版 ,24 面.
4．Bhattarai,P., Aoyama，K., Fukuda,M.(2002)：Foundation Failure Consideration on Snow Avalanche Defensive Structures at Mudstone Zones in Niigata Prefecture. Journal of Snow Eng. of Japan, Vol.18 No3, 80-83.
5．木村智博，青山清道（1999）：豪雪地帯の地震防災マネージメントの方向性．土と基礎，Vol.47, No.1, pp.13-34.
6．中俣三郎，青山清道　編（１９８８）：積雪地方における雪崩防止施設の構造研究．(財) 日本積雪連合，資料 No.140, pp.105.
7．地盤工学会 関東支部：2005 年 2 月 10 日 , 新潟県中越地震報告会報告集.
8．新潟県編(2000)：新潟県地質図・説明書(2000 年版).