2004新潟県中越地震後の土砂崩壊に係る防雪施設の被害状況

Damage due to 2004 Niigata-ken Chuetsu Earthquake Focused on Snow Fence and Snow Melting Pipe-line from Slope Failure

福田 誠^{*1}・木村 智博^{*2}
Makoto Fukuda Tomohiro Kimura

新関 敦生^{*3}・猪爪 高見^{*4}
Atsuo Niizeki Takami Inotsume

青山 清道^{*5}・バッタライ・パンカジ^{*6}
Kiyomichi Aoyama Pankaj Bhattarai

SYNOPSIS

Snow melting, snowfalls or precipitation will be concerned with geotechnical subjects such as foundation engineering or road management from the point of view of urban planning or Sabo. 2004 Niigata-ken Chuetsu Earthquake rendered relatives scrutinize slope stability, but disclosed lack in evaluation of extent damage considering snow period. In this paper, the authors analyzed disaster circumstances on snow prevention facilities clue to earthquake and winter weather based on field survey or soil testing.

This paper clarified and segmented as follows, 1) Results of damaged fence for avalanche control near epicenter where are involved Yamakoshi Village, considering geo-morphological properties, and 2) Assessment of road management including disaster mitigation from acquired extent of fracture for snow melting pipe-line and delayed snow removal operation due to earthquake damage. Ultimately, we peered measures for rehabilitation from national or municipal governments in order to promote collaboration between interdisciplinary experts. These methods are suitable level of mitigation under shrinkage budget through real-time trends in Niigata Prefecture.

Keywords : Earthquake Disaster, Snow Hazards, Fence for Avalanche Control, Snow Melting Equipment, Road Management

1. はじめに

2004.10.23新潟県中越地震の被災地では、2005年1～3月期に19年ぶりの大雪となり、降積雪量は例年と比較して軒並み2～4倍となった¹⁾。新潟県を初めとする各自治体では自衛隊派遣要請を行い、予算面でも特例措置が講じられた。本学会では降積雪現象の解明を手がかりに、防雪対策に係る技術的提案を行っているが、本論において被害の実態を俯瞰することで、防雪施設の設計に生かすことを目的に

展開する。

社会インフラ機能維持のための雪処理に関し、杉森(1998)は福井県を対象とした除排雪システムを扱い²⁾、地盤工学分野では凍上被害等の土の低温特性を詳細に分析するのが大勢であり、積雪期地震に焦点を絞ったものは殆どない。ただ、地震後の被害増大や地盤の変状箇所の同定困難に伴う復旧の遅延等が火急の課題となっている^{3,4)}。この案件の根拠として、融雪後の地盤災害多発が挙げられる。長岡

* 1 長岡工業高等専門学校環境都市工学科 教授・工学博士

* 3 榊村尾技建 執行役員・技術士

* 5 新潟大学災害復興科学センター 教授・工学博士

[本稿受理：2005年8月5日，修正原稿受理：2005年12月8日，討論期限：2007年3月31日]

* 2 元 東京大学大学院生・博士（環境学）

* 4 長岡工業高等専門学校環境都市工学科 技術職員

* 6 新潟大学自然科学研究科 大学院生

市濁沢地区、旧山古志村では2005年5月10日過ぎにも約20cmの雪に覆われている場所もあり、その大量の融雪水により、河道閉塞を呈している旧山古志村では専ら、交通手段は舟が使用されている（口絵写真－1）。

本論では、2004新潟県中越地震後の防雪施設（雪崩予防柵・消雪パイプ）の被害状況と復興に向けた取り組みを整理し、避難勧告で立ち入りが制限されている旧山古志村での被害実態にも触れる。

2. 防雪施設の被害調査結果

2.1. 雪崩予防柵被害のメカニズム

今回の中越地震では小千谷、十日町を中心に、雪崩予防柵の被害が目立った。1998年2月21日の新潟県中部地震後に問題（小千谷市桜町トンネル付近で雪崩が発生し、通行止め措置）となった雪崩誘発⁵⁾と異なり、2004新潟県中越地震では予防柵が落下等により、防雪機能を喪失した。被害要因は泥岩の細粒化・泥寧化等が挙げられ、雪崩予防柵内には崩落土砂や枝類が堆積しているケースが長岡市濁沢、十日町市樽沢で確認された。被害に関連し、载荷した雪に抗力として作用する雪崩予防柵が斜面に設置されている点に着眼する。既往研究として、松下ら（1963）は構造物側圧を評価し、以下の式を示している⁶⁾。

$$F_l = 9.8 \times 10^{-3} \cdot (15 \sim 20) \cdot d^2 \cdots \cdots (1)$$

F_l ：雪による側圧（kN/m²） d ：積雪深（m）

松下らは実験を通じ、1mの積雪深で雪による側圧0.2kN/m²、2mは0.8kN/m²、3mで1.5kN/m²、4mでは2.5kN/m²としている。十日町の2005年1月1～15日の平均積雪深1.4mを(1)式に代入すると、0.38kN/m²（係数は20を使用）となる。ところが、(1)式は斜面での積雪には対応していない。そこで、傾斜角 θ を考慮した簡便な式を提唱する。すなわち、斜面への荷重：

$$F_{slope} = S_0 \cdot 9.8 \times 10^{-2} \cdot \cos \theta \cdot 2 \cdots \cdots (2)$$

予防柵全体への荷重：

$$F_{fence} = S_0 \cdot 9.8 \times 10^{-2} \cdot \sin \theta \cdot 2 \cdots \cdots (3)$$

$$\ast S_0 = k_{env} \cdot d \cdot p_0 \cdots \cdots (4)$$

k_{env} ：環境係数（気温や風速等で通常は1.0とし、多雪時には1.5前後を乗じる）

$$p_0 (p_0 = 0.72 \cdot \sqrt{d} + 2.32) : \text{等価単位積雪重量 (kN/m}^3\text{)}$$

(4)式に関連⁷⁾する(3)式に、 $\theta = 30^\circ$ 、積雪深1.4mを代入して予防柵全体への荷重を求めると0.43kN/m²となり、先に(1)式で同じ積雪深を代入した結果よりわずかに大きな値となった。ただし、今後、実測値との比較検討が必要となる。今回調査した斜面の傾斜角 θ は概ね、 $50^\circ \sim 60^\circ$ であるが、予防柵の敷設される角度が、場所によって異なるので、角度の相違による荷重の平均変化率も関心事項となる。ここで図－1から、雪崩予防柵基礎への先端荷重の可能性も示唆される。ただ、現実には予防柵が基礎ごと落下している状況から、(3)式が実用的となる。

図－1 雪崩防止柵に作用する雪荷重の概念図

2.2. 雪崩予防柵の被害発生箇所の地質・地形的な特徴

地震発生後、直ちに現地入りし、2004年12月に至るまでに二十数回以上の実地調査を行った。中でも被害が集中した小千谷市と十日町市を例に、被害形態と当地の地質・地形的要因との関連性を考察する。

◆小千谷市山本（小千谷発電所周辺、写真－1～3）

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。その上載している礫を主体とした比較的新しい地層（2.0～1.0Ma、中

位段丘堆積物)が分布する。当地は信濃川に侵食され、高い急峻な崖を形成している。

崩落した岩塊が雪崩予防柵のポケット内に堆積し、このため雪崩を受け止める機能が殆ど喪失している。この現象を生じた主な原因は、「層理面に沿った地層の剥離現象」である。魚沼層は形成時代が新しく、地盤内部の固結度が低い(空隙率の増大による地盤内の表面積が大きく、例えば一軸圧縮強さは6.5 kN/m²前後)。このため、急崖の自由面に向かって

剥離しやすくなっている。当該地周辺では降水現象と地震動等に起因する剥離現象が今後も発生し得る部分が認められた。予防柵に堆積している岩塊は、その形成過程から扁平な形状を呈しているものが多く、泥岩の細粒化、若しくは泥寧化による小崩落が目視された。

◆十日町市中条

(国道252号沿い、至堀之内町、写真-4)

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。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、信濃川本流に注ぐ一支流である。崩落した岩塊が雪崩予防柵に堆積し、このため雪崩を受け止める機能が殆ど喪失している。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。

当該崖は2004年12月10日時点でも亀裂の発達が認められた。亀裂は垂直・水平方向に広がり、岩盤が切断されている。四角い形状を呈し、巨岩塊が自由面に向かって抜け出す形態である。

◆十日町市焼野

(十日町市中条より堀之内町寄り、写真-5～7)

更新世魚沼層で、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、他所と比較すると風化が進んでいる。急崖の中央部に斜面崩壊の痕跡が認められ、その周辺の雪崩予防柵が基礎の浮き上がりにより破壊された。当該地の南側には地すべり地形が発達し、南向きの急崖が形成されてい

図-2 被災予防柵の調査地点とその位置関係

写真-1～3

左3枚は小千谷市山本(信濃川左岸に位置する堆積層が落下で予防柵ポケットや歩道に落下)

写真-1～9: 2005.12.10撮影

写真-4 落石により雪崩防止機能低下(十日町市中条)

写真-5～7 泥岩等の風化により雪崩予防柵基礎部分の支持地盤が崩落した事例も（十日町市焼野）

写真-8～9 支持地盤の崩落と雪崩予防柵の宙吊り箇所の確認
（右の2枚は十日町市樽沢）

写真-10：濁沢地区で崩土堆積による機能不全
（2005.5.3撮影）

写真-11：濁沢地区で軟岩の強度測定の様子
（2005.5.3撮影）

る。7基の予防柵が破壊され、使用不能になったため、2004年11月下旬に撤去された。

◆十日町市樽沢（国道253号至近、写真-8～9）

当該地域も新生代第四紀更新世魚沼層で構成され、礫・砂・シルトの互層を成し、南北方向の背斜軸の東翼に位置し、上部に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の土砂が崩落し、基礎の一部が宙吊り状態となっている。急崖の上方に分布する中位段丘堆積物中の安山岩礫が落下し、予防柵の山側に堆積している。応急処置として、段丘堆積物にロックネットを敷設している。被害形態を詳細に調査した結果、急崖部分に浅く根入れした予防柵の基礎部は風化した魚沼層で形成され、地震動で剥落、根入れ下部が三角形に落下していた。

多雪による水分浸透の常在化とスレーキング（泥岩に代表される軟岩において掘削による応力解放や吸水膨張、地下水位の変動等の要素による乾燥・湿

潤の繰返しで急激に岩石の固結度を失う現象）から冬期間の雪荷重に耐えられない状況と判断された。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。

樽沢地区では十日町市内で唯一、地震から1年に及ぶ避難指示下にあったが、2005年10月25日正午に解除され、30世帯・112人は安堵する拠り所を得たことになる。斜面と雪崩予防柵の工事が終了したことによるが、アンカーボルトで補強する等、大掛かりなものとなった。

ここで被害地域で見られる乾湿の繰返しによる土砂の細粒化を勘案し、表-1に集中豪雨の影響を受けていない2005年6月末時点（6月28日の豪雨以前のサンプル使用）の土質試験結果を示した。なお、液性限界に着目した背景として、土砂崩壊を伴わない降水現象でも斜面表層土の小崩落が観察されたことにある。

写真-11は長岡市濁沢地区での強度試験を施行しているものであるが、予想以上の崩落から、多地点

でのサンプル試験が必要となり、本論執筆の2005年8月をもって現在進行形で進めている。概要として含水比は後述するように、長岡市内各点では10～20％で、明らかに十日町・小千谷と比較して小さい。これは表－2に示す降積雪深・積雪期間との関係が考えられ、長岡市営のスキー場では1月末から2月上旬以降の営業に対し、塩沢や十日町では年末にはオープン可能となる点とも重なり合う。表－2の基本統計量でも、長岡市よりも雪の量が1.5～2倍に達する小千谷市・十日町市は、常に融雪水が地盤に浸透している状況と矛盾しない。

さらに雪崩予防柵への土砂崩落に関連し、密度(ρ)が関心事項となる。土の密度は2.0g/cm³前後であるのに対し、凝灰岩では1.4～2.6前後で⁸⁾、破碎帯地すべり地帯と異なり、新潟県に広く分布する第三紀層では降雨と地下水位上昇により、自然含水比が高い傾向にある。この点から、地層中に一部含まれる凝灰岩を考慮した測定も行い、長岡市濁沢では密度 ρ (g/cm³) の実測値は2.55～2.71であった。

ここまで、現地踏査による十日町市・小千谷市の事例を網羅したが、新潟県土木部がまとめた被害状況の概要を表－3に示す。

表－3から、2005年2月末時点で長岡市では予想以上に被害率が高く、これは2.3節で詳述する濁沢地区(蓬平温泉への観光ルート)が対象となっていることによる。濁沢では融雪が進む4月中旬以降に自宅に戻る住民が始始める一方、家屋の損傷が激しく、裏手の雪崩予防柵の機能不全のため、仮設住宅暮らしを余儀なくされている人が半数を超えている(2005年6月10日時点)。また、地方道に沿って雪崩予防柵が被害を受け、景観的には軒が連なる様相を呈している。

2.3. 長岡市濁沢・旧山古志村での雪崩予防柵の被害状況

濁沢は大田川中流域に位置し、左右両岸ともに河川の浸食による急峻な崖を形成している。地質構成は2.2節で既述したものと類似しているが、集落内

表－1：雪崩予防柵被害箇所の土質試験結果

	小千谷市山本	十日町市樽沢
W _n (%, 自然含水比)	52.7	38.4
q _s (kN/m ²) (一軸圧縮強さ)	6.5	未測定
PL (%, 塑性限界)	45.8	37.3
LL (%, 液性限界)	95.2	54.4

表－2：北陸地方建設局データによる地域別の降積雪状況の基本統計量(括弧内は降雪日数の最大値)

	年最大積雪深平均	年降雪深平均	降雪日数平均	観測期間	備考
小千谷	215 cm	880 cm	57 (86)	1930～1969年	1998年2月に被害地震
長岡	129 cm	501 cm	44 (85)	1930～1998年	1961年2月に被害地震
十日町	247 cm	910 cm	52 (91)	1944～1998年	活断層の存在

表－3：各地・道路種別に見た雪崩予防柵の被害形態(新潟県道路部資料を用いて再集計)

	設置数	被害率	被害数	うち全壊数	うち基礎のみの被害数	うち崩土堆積による被害数
長岡市*	1,480	13.4%	199	97	40	62
小千谷	1,005	5.0%	50	15	13	22
十日町	2,325	3.9%	91	8	1	82
補助国道	2,125	4.0%	84	47	4	33
主要地方道	1,336	13.0%	174	55	33	86
一般県道	1,349	6.1%	82	18	17	47
総計	4,810	7.1%	340	120	54	166

※旧山古志村は除く

では地盤中に亀裂が発達している箇所が多く、2004新潟県中越地震に限らず、雪崩・地すべり・斜面崩壊等の地盤災害が多発している。泥岩と砂岩の互層で形成され、粗粒砂岩の凹部には基底礫岩や不整合面が見られる等、複雑な構成である。このことから一軸圧縮強さが問題となるが、中粒砂岩では値が低く、8.5 kN/m²で、泥岩は10 kN/m²であり、力学的に不安定である。小出町に帰る親子が巻き込まれた土砂崩壊の現場（長岡市妙見町）でも泥岩や細粒砂岩が大きな塊となっており、事故現場と同様に濁沢で確認された雪崩予防柵の崩壊堆積被害では、泥岩の滞留が認められた（写真－10）。地形・地質的に捉えると、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、椎谷層等が分布している。当地は、その背斜軸の西翼に位置しており、上記の椎谷層と鮮新世、西山層との境界部分周辺に位置している。濁沢で主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。雪崩予防柵が設置されている長大斜面は、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。濁沢での急崖の高さは平均して250m前後であり、風化作用からくる斜面の小崩落が常習的に観察されている。

一方、旧山古志村では河道閉塞状態が続き、雪崩予防柵が10～20基単位で全壊した形跡も見られた。さらに、条件的に基礎を深く出来ず、アンカー等での補強でも効果が発揮されなかった（口絵写真－4）。この被害例では基礎が盛り上がり、対策として斜面監視のモニタリングが不可欠となる。

旧山古志村では雪崩予防柵が家屋の裏手に位置する例もある（口絵写真－5）。ただ、現実的には多くの家屋が浸水した状態が続き（口絵写真－6）、排水工での対応の進捗状況を見据える必要がある。こうした状況から、帰村出来ない状態が続いており、2005年10月20日時点で古志地区（長岡市編入後の呼称）に戻っているのは27世帯・49人で、地震から1年以上経ても依然、6集落が避難指示下にある。避難勧告よりも効力が強い指示の対象は2005年10月25日現在で162世帯・485人に上っている。

2.4. 消雪パイプの被害と道路除雪への影響

震源域では災害がなくても雪が、冬期の日常生活に支障となっている。豪雪禍を軽減させるため、道路除雪が行われるが、道路被害に相まって消雪パイプも損傷した。栃尾市、柏崎市、十日町市、長岡市、松代町の領域の中で、新潟県土木部管理の消雪パイプ、3,077箇所、施設総延長1,025kmの内、被害箇所376、被災延長12.9kmで、旧堀之内町と長岡市で被害が集中した。道路の盛り上がりや陥没等で降積雪期まで復旧が間に合わない箇所（小千谷市との近接地域）が存在し、除雪車による対応となった。また、道路盛土部分での消融雪施設の被害も目立ち、2004年11月中旬時点で急ピッチで補修・点検が長岡市内の至る箇所で実施された（口絵写真－9～11）。

散水式消雪パイプの過剰利用は地盤沈下の危険性（近年、新潟県に寄せられる公害苦情では年間数件）から、並行して除雪車による道路除雪が実施された。但し、地震後の影響で道路の機械除雪が出来ない箇所があること、従来行われていた歩行帯の除雪が迅速に手が回り難い事情から、2004年12月下旬に除雪ボランティアの呼びかけが新潟県のホームページを通じて行われた（ボランティア受入人数は1月1,961人、月2,803人、3月1,700人）。一方で被災者の心情に配慮し、旧山古志村で使われている除雪車が仮設住宅地（長岡市青葉台・同市陽光台地区）で活用された。2004/2005冬期に除雪が不可能な区間距離は旧山古志村の20.1kmを初め、長岡市（小千谷－長岡線）、川口町と旧堀之内町等の8.5kmである。全体の除雪実施距離で見るとわずかな印象を与えるが、国道403号（実施不可能な地域は小千谷市水口と松代町）といった主要幹線道路が含まれ、通行規制や激しい渋滞に見舞われたため、現地での被害調査に難渋した。

ここで消雪パイプの維持管理に関連し、近年、各自治体で注目している郵便局員による報告は被害箇所の早期発見につながり、経済的にも理に適っている。道路の性状、埋設管の異状を通報するシステムで、この導入により、迅速な対応が可能となる。地震とは関係せずとも、夏期にはアスファルトの軟化による漏水があることから、組織的に動く郵便局職

員を活用することで、例えば斜面監視や雪崩予防柵の点検作業の補足にもなる。ただ、消雪パイプは交通振動でも漏水の可能性が否定出来ないだけに、地中熱利用の無散水式装置の導入、地下水の滲み出し方式の検討も急がれることが、被害調査を通じて痛感された。

3. 被災地における緊急的な雪害対策の現況

以下では各自治体での取り組みについて、考察する。まず、2節で言及した地点では2005年4月1日時点で通行止めの措置が取られていた。震源域は概して粘土質であり、排水工が必要となるが、例年の3倍前後の雪であったので、2005年4月6、7日に現地調査した時も融雪水が小河川の様相を呈し道路に流れ込んでいた（雪崩予防柵被害箇所・高町団地・長岡ニュータウン・長岡高専寄宿舎裏手等）。県の担当者や現場技術者の談を総合すると、通行止めに伴い監視員を配置し、車両に注意喚起して対応していた。

消雪パイプの対策では、2004年12月中旬までに補修を終えることが求められたが、実際には高町団地では盛土被害による道路の陥没・埋設管の断裂が甚大で、2005年4月6日に調査した時点でも、道路寸断箇所が露出していた。一方、被害が大きかった長岡高専では正門から本部棟に至る道路の消雪パイプの補修は完了し、コンクリート被りによる補強措置がなされた。こうした被災地の現状に配慮し、小泉純一郎（首相）は豪雪対策強化を指示し（2005.3.7付共同通信）、2005年3月15日には市町村道の除雪経費として41億円余の補助を決定した。復旧事業への国庫補助等の資金援助に加え、芋川対策委が2005年3月1日に示した仮排水路補強の妥当性が認められ、長岡ニュータウン内の高盛土崩壊予防のための排水路を緊急に設置している。さらに、被災箇所の危険性認知のため、宅地被害に関連して、立ち入り禁止の標識や家屋の被害査定では上部構造・宅地地盤別を実施され、その結果が併記されている。

一方、雪崩予防柵の維持管理の方向性として、被害箇所の点検・パトロールの強化を重点にしていることが分かる。今回の地震で見られた落下や基礎の

破壊等の被害から、対策にはボルト類での固定や連続式の基礎、予防柵のグライド防止擁壁の設置、テールアルメ工法が挙げられる。ただ、コスト縮減の昨今ではパトロールや斜面のビデオによる監視、通行止めの措置が現実的となる。しかしながら、広い地点を巡回するにも限度があることから、火山災害対策で施用される火砕流の走路（北海道有珠山噴火の被害地域等）に模倣させた雪崩路の確保、環境面の配慮から斜面緑化、富山県林業技術センターが試作している取り外し可能な木製の雪崩予防柵の導入実験等、臨機応変に対応することが期待されている。

このように、環境に配慮した社会インフラ施設が前提となり、地盤工学・雪氷工学の技術的役割を論述した。今後はGIS活用による被害箇所の早期把握⁹⁾とともに、気象情報の高度利用（気象業務法で認める予報の実施や、降雪予想に基づく計画的な道路管理）、斜面モニタリングの自動化、確率論的に捉えた降積雪状況に基づいた雪荷重評価を設計に生かす等、他分野との連携が不可欠と言える。

4. まとめ

本論では雪をキーワードに、2004新潟県中越地震後の被害事例から、防雪施設の安全性と復興に向けた対応の流れについて整理・検討した。その結果、以下の点が明白となった。

- ①雪崩予防柵被害は、新生代第四紀更新世魚沼層で構成されている十日町・小千谷周辺で集中した。基礎を深く出来なかったため、宙吊り状態の被害形態を始め、一方では土塊が柵内に堆積する事例も見られた。
- ②雪崩予防柵の被害形態は全壊と崩土堆積が顕著で、地方道沿いで多く見られた。一方、旧山古志村や長岡市濁沢での被害実態が明らかになるにつれ、崩土堆積と基礎の被害（盛り上がり、落下）が目立ち、斜面の監視体制の構築が望まれた。また、被害箇所の岩質・土質状況は、概して高含水比、 q_u が弱い傾向にあった。
- ③消雪パイプ被害（地震後の被害率：12.2%）や道路除雪への支障（小千谷―長岡線、国道403号等）に関連し、自治体の対策や除雪ボランティア募集

等の事例を取り上げた。この中では予算措置を軸に、復興対策を整理し、対策工の成否と現場の動向に触れた。

謝辞

旧山古志村の現地調査で便宜を図って戴いた国交省長岡国道事務所所長の杉村明氏、ならびに(株)アルゴス取締役役技術部長の上石勲博士を初めとする関係各位に誌面を借りて、お礼申し上げます。

参考文献

- 1) 青山清道, 木村智博, 猪爪高見, 福田誠, 坂井優美, 川原潮子: 積雪寒冷期地震としての2004新潟県中越地震の教訓, 日本雪工学会誌, Vol. 21, No.4. 2005.
- 2) 杉森正義: 『都市雪害の発生機構とその対策技術に関する解析的研究』, 新潟大学自然科学研究科提出博士論文, 全178頁, 1998.
- 3) 小長井一男: 地震から学ぶー過去・現在・未来ー, 土と基礎, Vol.53, No. 1, pp.18-20, 2005.
- 4) 木村智博, 青山清道, 福田誠, 猪爪高見, 神田順, 三橋博巳: 新潟県中越地域における積雪期地震の発生確率に関する試論, 土と基礎, Vol. 53, No.1, pp.34-36, 2005.
- 5) T. Kimura and K. Aoyama : Earthquake Induced Disaster during Snow Period (Questionnaire Survey on Earthquake Occurred in Niigata Prefecture during Snowfall Period), Proc. of The 8th International Conference on Applications of Statistics and Probability (ICASP), Vol.1, A.A Balkema Rotterdam, pp.535-543, 1999.
- 6) 松下清夫, 中島一安, 和泉正哲: 積雪による側圧の調査, 日本建築学会論文報告集, 第89号, p.82, 1963.
- 7) 日本建築学会 編: 『理科年表 第78冊』, 第5章; 雪荷重, 1993.
- 8) 国立天文台 編: 『建築物荷重指針・同回折』, 丸善, p.368, 2004.
- 9) Norwegian Public Roads Administration : “Snow Engineering for Roads”- About snow avalanches and drifting snow-. Handbook Serial No.174, pp.1-112, 2000.