

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第2571号

土木研究所資料

雪崩減勢工に関する実験報告書(II)

昭和63年3月

建設省土木研究所
砂防部急傾斜地崩壊研究室
新潟試験所

Copyright © (1988) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

雪崩減勢工に関する実験報告書(II)

急傾斜地崩壊研究室 室長 吉松弘行
主任研究員 寺本和子
工藤賢二
大浦二郎
部外研究員 嶋 丈示
新潟試験所 所長 是沢一樹
研究員 酒井洋一

要 旨

雪崩防護施設の一つである雪崩減勢工について、部材の形状、大きさ、配置による雪崩衝撃力の減勢効果を測定、観察するための模型実験を行った。実験用の雪崩材料として、天然雪、パーライト及びアイススライサーによって氷から作った人工雪を用いた。この実験によって、減勢効果は鉛直部材より水平部材の方が雪崩に対する作用面積が大きいため高いが、衝撃力のピーク低減には鉛直部材が有効であること、また減勢工は1基よりも2基の方が減勢効果が高く、2基目の位置を雪崩流が飛び越えない位置に設置すれば効果が期待できる等のことがわかった。

キーワード：雪崩、雪崩減勢工、雪崩衝撃力

ま え が き

背後に雪崩発生危険性のある斜面を有する厳しい立地条件にもかかわらず、土砂害防止の観点から砂防ダム等の砂防施設を建設せざるを得ない場合がある。このため近年いくつかの砂防ダムの雪崩による被害、すなわち流下してきた雪崩の衝撃力によると思われる砂防ダムの袖部の流出等が報告されている。このような被害は、今後砂防施設の建設が雪深い上流域にも進むだろうことを考えれば、増加の傾向にあると予想される。

雪崩による砂防施設の被害を防止するため、一つには砂防施設本体の補強、砂防ダム袖部前面への緩衝材の設置が考えられる。またもう一つには、雪崩防止施設の設置が考えられる。雪崩防止施設は砂防施設を守るという意味だけでなく、下流の保全対象に対しても雪崩による被害から守るという意味を持たせることができる可能性がある。

雪崩防止施設により雪崩による災害を防止するには、一般に雪崩の発生そのものを防止する雪崩予防施設の設置が最も有効であると言われている。しかし、雪崩の発生が予想される斜面が広大で保全対象に比して斜面上での対策が不経済と判断される場合、地形・地質条件から予防施設の設置が困難な場合、また溪流型の雪崩等で雪崩の走路が明確に予想できる場合などでは、発生した雪崩を阻止したり、減勢したり、誘導するための雪崩防護施設が計画されることが多い。

この報告書は雪崩防護施設の一つである減勢工に焦点をあて、雪崩が減勢工に及ぼす衝撃力及び減勢工による雪崩の減勢効果を把握し、合理的な設計手法の確立に資するため模型実験を行った結果を取りまとめたものである。

目 次

ま え が き

第1編 雪崩減勢工に関する模型実験 その1	1
第1章 実験の目的	3
第2章 実験の概要	5
2.1 パーライトを用いた雪崩減勢工衝撃力実験	5
2.2 人工雪を用いた雪崩減勢工に関する実験	6
第3章 パーライトを用いた雪崩減勢工衝撃力実験	7
3.1 実験方法	7
3.2 実験結果及び考察	17
第4章 人工雪を用いた雪崩減勢工に関する実験	26
4.1 実験方法	26
4.2 実験結果及び考察	32
第5章 ま と め	48
5.1 パーライト実験	48
5.2 人工雪実験	48
5.3 今後の課題	48
第2編 雪崩減勢工に関する模型実験 その2	51
第1章 概 要	53
1.1 実験目的	53
1.2 実験装置	53
1.3 実験方法	60
第2章 実験結果	64
2.1 擁 壁	64
2.2 単 杭	68
2.3 複 杭	70
2.4 横 棒	73
2.5 減 勢 工	73
第3章 ま と め お よ び 今 後 の 問 題 点	79
付 録	81

第1編 雪崩減勢工に関する模型実験 その1



第1章 実験の目的

雪崩防止施設は大きく、雪崩の発生を防止するための予防施設と、雪崩を無害な方向へ誘導したり、減勢したり、保全対象を防護したりするための防護施設とに分けられる。予防施設の設計基準は、古くからスイスの「連邦立雪と雪崩研究所」で研究され、我国においても多数の雪崩予防施設が設置され、その妥当性も検討されている。しかしながら、予防施設は全層雪崩に対しては有効であるが、表層雪崩に対してはその効果を十分には期待できない。そこで、保全施設に関する研究が重要性を帯びてくる訳であるが、雪崩の運動機構の複雑さのために、内外においても防護施設に関する既往の研究事例は数少なく、その合理的な設計法についても今後の研究が待たれている。

それら防護施設の中で、特に雪崩の速度を低減させ保全対象物の手前で、雪崩を停止させる雪崩減勢工については、その効果が明確にされておらず、設計法も確立されていない。

そこで本実験は、雪崩減勢工に及ぼす雪崩の衝撃力及び雪崩減勢工が雪崩に及ぼす減勢効果を明らかにし、雪崩減勢工の合理的な設計法の確立に資するためのデータを得ることを目的に行ったものである。

尚、本実験は、雪崩材料としてパーライトを用いた実験とアイススライサーで製造した人工雪を用いた実験に大別され、その各々について、雪崩の衝撃力及び減勢効果について検討した。

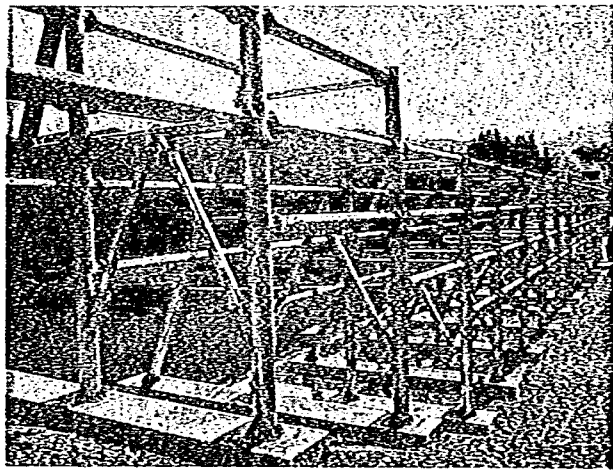
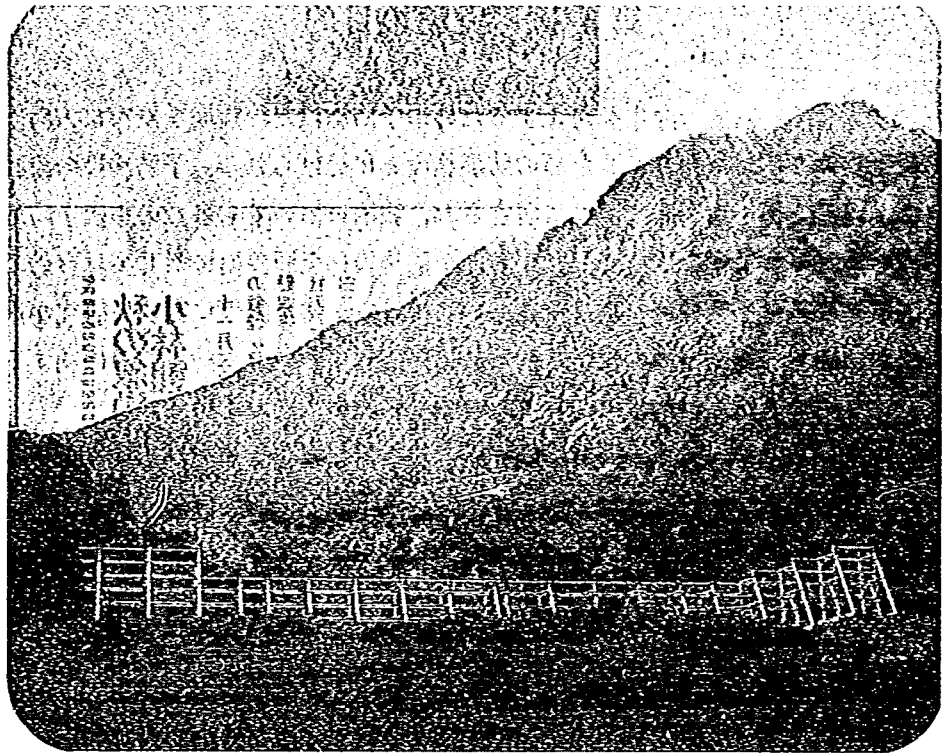


写真 1 - 1

第2章 実験の概要

2.1 パーライトを用いた雪崩減勢工衝撃力実験

2.1.1 概要

本実験は、前年度のパーライトを雪崩材料に用いた雪崩減勢工衝撃力実験（以下「パーライト実験1」と言う。）をサポートする目的で行う。

パーライト実験1は、雪崩材料にパーライトを用い、雪崩減勢工部材（水平部材、鉛直部材）単体及び両者を組み合わせた複合部材それぞれに対する雪崩の衝撃力及び、雪崩減勢工部材通過後の雪崩の衝撃力に基づいた、減勢効果の評価手法について検討したものである。ただし、パーライト実験1で用いた雪崩減勢工部材は13～38mmと、実物の雪崩減勢工部材（柵口の場合355.6～457.2mm）から比べて非常に小さい。そこで本実験では、そのギャップを埋めるため50～200mmの部材径を使い、雪崩減勢工部材に対する雪崩の衝撃力及び、雪崩減勢工が雪崩に及ぼす減勢効果の検討を行った。

尚、パーライトを雪崩材料として用いる理由は、実験を同一条件の下で計測するためである。天然雪を雪崩材料として用いる場合、雪の経時変化を極力押えるための環境作り（例：低温室内実験、冬期現地実験）が必要であり、時間的・空間的制約を受ける。そのため、雪に似た雪崩運動の挙動を示すような雪に換わる他の雪崩材料が必要となる。本実験で用いたパーライトの比重は約0.3であり、雪崩の発生しやすい雪質であるしもざらめ雪が約0.3とほぼ同じ値であることから、雪崩材料の第一候補にパーライトをあげた。

2.1.2 測定項目及び測定方法

本実験における測定項目を以下に記す。

1. 雪崩減勢工部材に衝突する前の流下中のパーライトの速度及び、パーライトが雪崩減勢工部材に衝突した後の流下速度。
2. パーライトが雪崩減勢工部材に衝突したときの雪崩減勢工部材にかかる荷重及び、雪崩減勢工部材を通過したパーライトが擁壁に衝突したときの擁壁にかかる荷重。
3. 雪崩減勢工部材に衝突する前の流下中のパーライトの層厚。
4. パーライトが雪崩減勢工部材に衝突しているときの状況。

各々の項目の測定方法は、

1. 流速は、表面流速計を用い、流下中のパーライトの表面中心周波数を検知し、MEM解析（maximum entropy method）により算出する。
2. 雪崩減勢工部材及び擁壁にかかる荷重は、それぞれの背面に取り付けたロードセルによって計測する。
3. 層厚は、てこ式の層厚計（図3-11参照）を用い、ダイヤルゲージの読みから算出する。
4. 衝突状況はビデオカメラにより、雪崩減勢工部材付近を撮影する。

2.2 人工雪を用いた雪崩減勢工に関する実験

2.2.1 概要

雪崩が雪崩減勢工に衝突すると、通過した雪崩は速度を減じる。その結果、雪崩の到達距離が短縮され雪崩から保全対象を守ることになる。これは減勢効果によるものであるが、雪崩の運動機構そのものが明らかにされておらず、当然ながら雪崩の減勢時の運動機構も解明されていない。しかし雪崩減勢工の設計法を明確にするためには、雪崩が雪崩減勢工に衝突し、通過するとき、どのような挙動を示すか知る必要がある。

そこで本実験は、その手掛かりをつかむために人工雪（アイススライサーにて製造）を雪崩材料として用い、以下の実験を行った。

1. 流下中の人工雪の密度と雪崩減勢工衝突後に飛散した雪崩の密度との対比。
2. 水平部材2本の配置の違いによる飛散状況の変化と減勢効果との関係。
3. 水平板材を配置したときの飛散状況と減勢効果との関係。
4. 雪崩が減勢工を通過した後の雪崩堆積状況。

尚、減勢効果に関する各々の実験ケースの比較は、雪崩減勢工通過後の雪崩が擁壁に及ぼす衝撃力に基づいた検討を中心に行った。

また、雪崩は湿雪と乾雪によりその性質を異にする。そこで本実験では人工雪の温度を二種類変えて実験を行いその違いも観察した。尚、天然雪と人工雪の比較のため、密度変化及び衝撃力について天然雪を用いた実験も行った。

2.2.2 測定項目及び測定方法

以上の事項を検討するために、本実験では次のことを測定した。

1. 雪崩減勢工部材に衝突する前の流下中の人工雪の速度及び減勢工部材衝突後の飛散中の人工雪の速度。
2. そのときの各々の密度。
3. 雪崩減勢工部材衝突後の人工雪の飛散状況。
4. 雪崩減勢工部材衝突後の人工雪が擁壁におよぼす衝撃力。
5. 雪崩減勢工部材衝突後の人工雪の堆積状況。

各々の項目の測定方法は、

1. 流速は表面流速計を用い、流れの中心周波数を検知しMEM解析により算出する。
2. 密度は電気容量法を用い、雪崩減勢工部材前方と後方に電極を取り付け、電圧の変化を計測し、それを密度に換算する。
3. 雪崩の飛散状況は流路側方に設置したビデオで撮影し判読する。
4. 雪崩の衝撃力は流路下端に設置した擁壁背面に取り付けたロードセルにより荷重を計測する。
5. 雪崩の堆積状況は人工雪に着色し、それを流下させ堆積した人工雪の色分布を写真に撮る。

第3章 パーライトを用いた雪崩減勢工衝撃力実験

3.1 実験方法

パーライトを雪崩材料に用いる実験は土木研究所の地すべり模型実験棟内で新たに製作した実験用斜面により行なわれた。

雪崩を発生させる装置は、雪崩材料を詰める崩壊箱、それを設置するための崩壊箱設置タワー、雪崩をすみやかに流下させる流下斜面、雪崩の広がりを防ぐための導流壁及び雪崩を受け止める擁壁から構成される。図3-1に装置の概略及び雪崩の動きを示す。

①～⑤ 雪崩材料の動向

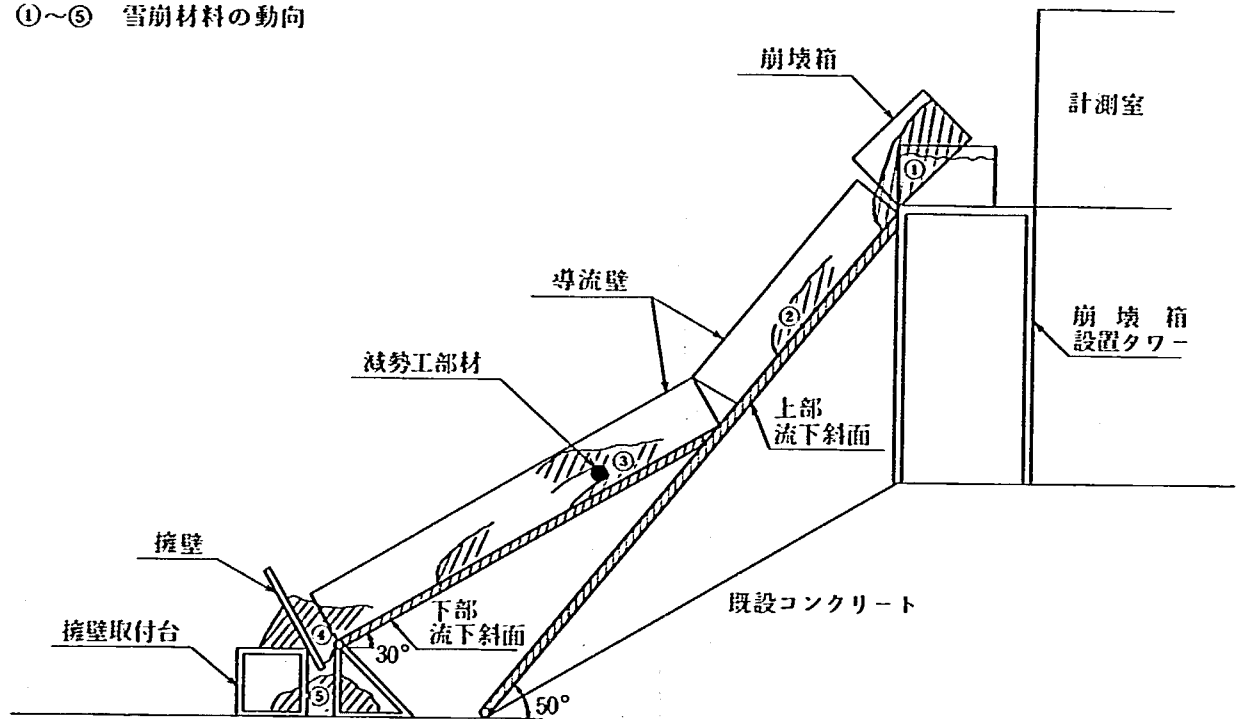


図3-1 実験装置概略

実験はまず、崩壊箱に含水比50%に調合したパーライト約 1m^3 (200 kg) を詰め込み、崩壊箱をタワー上部(斜面上端)に設置する。雪崩減勢工部材は所定の位置に取り付け、各計測器の調整を終え実験準備を完了する。実験の開始は、①崩壊箱を油圧により斜面と同程度に傾けた後、合図と共に崩壊箱前面の扉を開き雪崩材料を自然流下させる。②雪崩材料は上部流下斜面(傾斜角 50°)を加速しながら流下し、下部流下斜面(傾斜角 30°)に導かれる。③雪崩材料は下部流下斜面に取り付けた雪崩減勢工部材に衝突しながら部材の後方へ流下する。④その後、斜面下端に設置した擁壁に衝突し、⑤擁壁下方へ順次落ちていき堆積する。

計測は下部斜面を流下している雪崩について行う。

3.1.1 実験装置

(1) 崩壊箱及び崩壊箱設置タワー

崩壊箱は、雪崩材料を最大 1m^3 まで詰め込み可能で、機械的操作で前面の扉が開く仕掛けになっている。材質は鋼製で、寸法は図3-2に示す。これを崩壊箱設置タワーの所定の位置にクレーンで輸送し固定する。

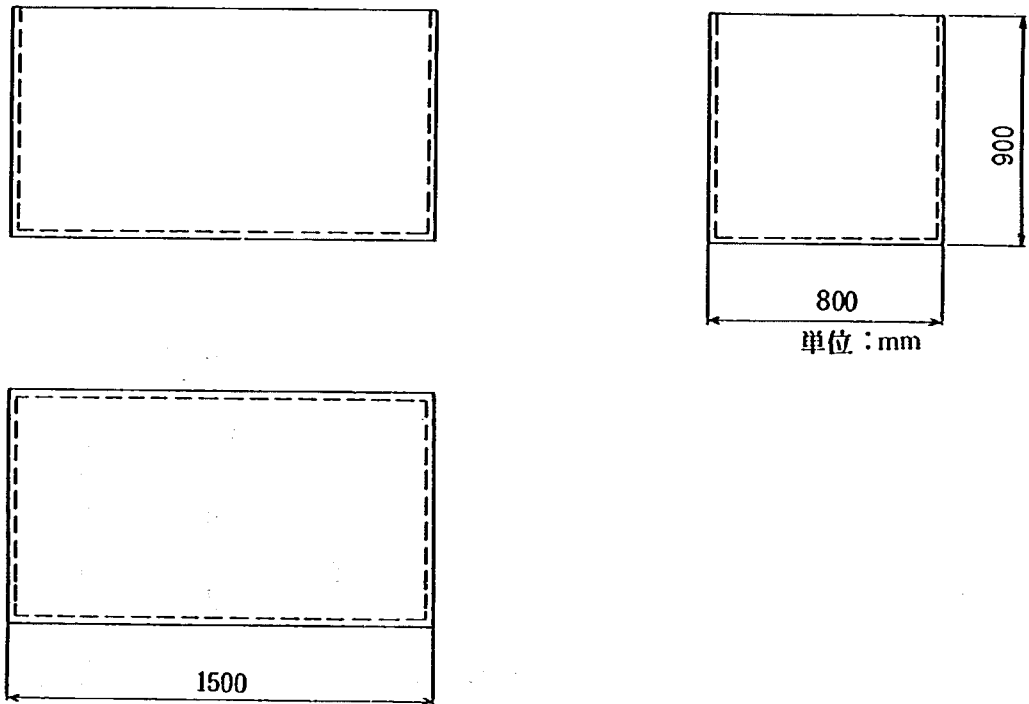


図3-2 崩壊箱寸法

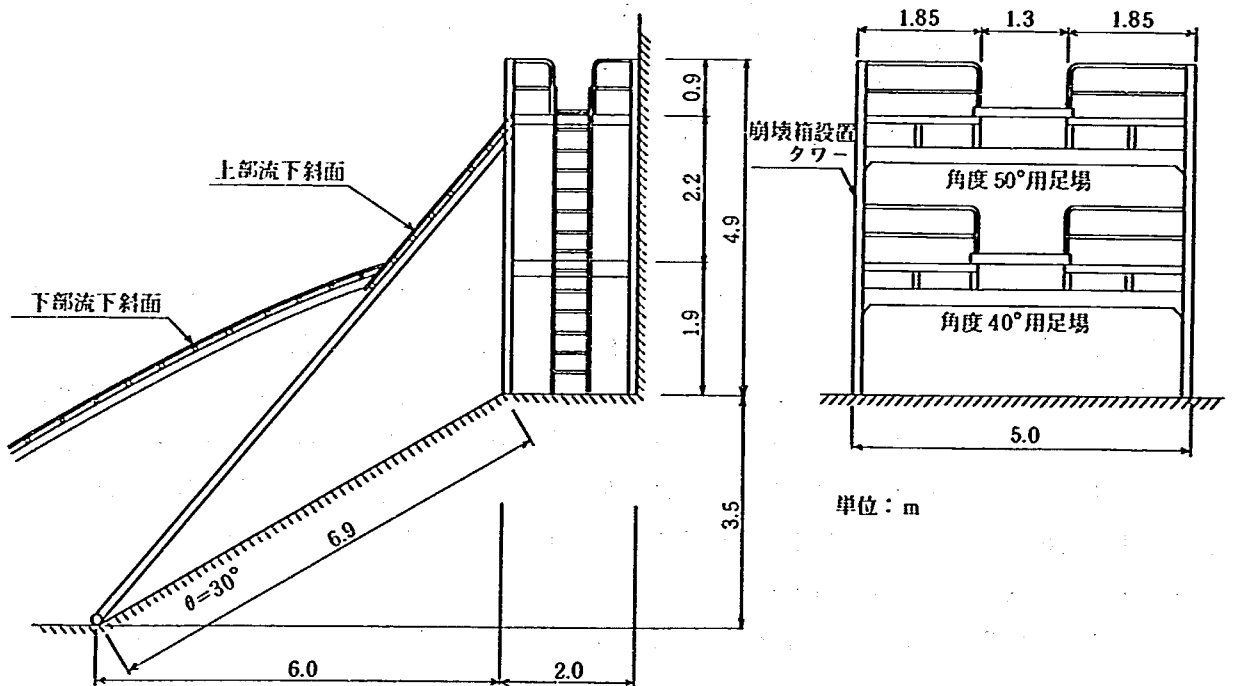


図3-3 崩壊箱設置タワー

崩壊箱設置タワーは勾配30°の既設コンクリート上端の平坦部（高さ3.5 m）に設置されている。タワー上部には油圧装置が取り付けられており、崩壊箱を傾けることができる。これにより崩壊箱内の雪崩材料は扉が開くと同時に、すみやかに斜面上に流下させることができる。図3-3に設置タワーの構造及び寸法を示す。

(2) 流下斜面及び導流壁

流下斜面は、上部流下斜面と下部流下斜面に分けられる。上部流下斜面は崩壊箱設置タワーに取り付けられている。（図3-3参照）傾斜角度は40°と50°に選択できるが、今回は雪崩の流下速度を大きくしたいため50°を採用した。形状は幅4.0 m・長さ9.5 m（50°の場合）で、鋼製骨組上に角材（50×50 mm）を固定し、15mm厚の合板を敷き、更にカラー鉄板で表面処理したものである。尚、流下斜面の下端はヒンジ構造となっており、回転及び取りはずしが可能な構造となっている。

上部流下斜面に取り付ける導流壁は、雪崩の広がりを防ぎ層厚を確保すると共に、すみやかに雪崩を下部流下斜面へ導くためのものである。形状は高さ50cm・長さ100cmの木製枠で作られており側面は透明アクリル板を取り付けてある。これを斜面両側に取り付け、そのときの取付個数で斜面長に対応する。（図3-4参照）

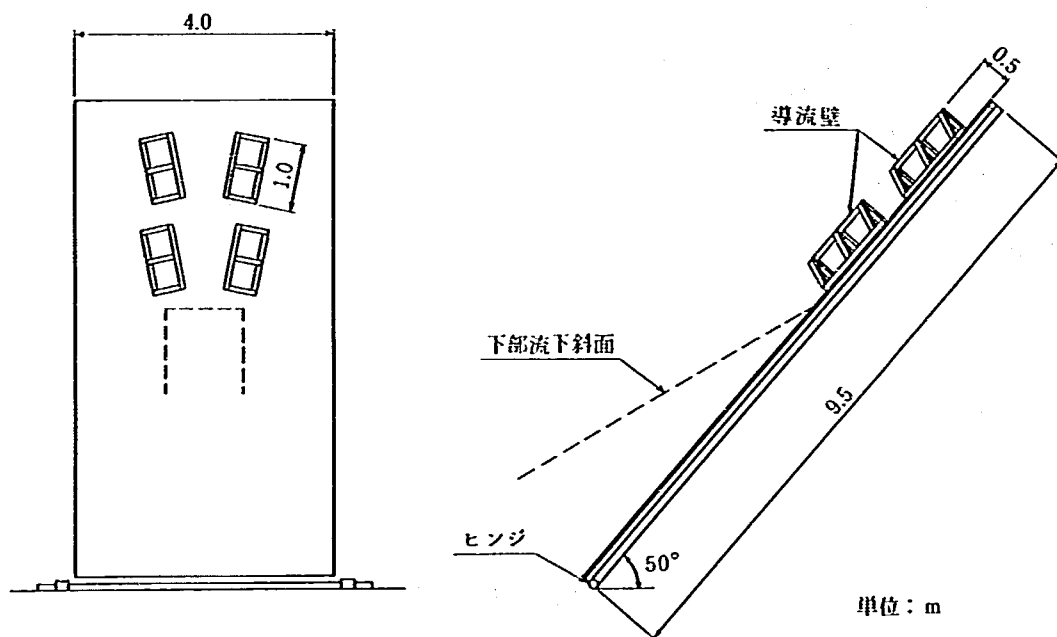


図3-4 上部流下斜面及び導流壁

下部流下斜面の構造及び寸法を図3-5に示す。下部流下斜面は、斜面下端を床に設置した鋼製台に取り付け、上端は上部流下斜面の途中に置く。尚、下端はヒンジ構造となっており、傾斜角度を25°～35°に変化させることができ、雪崩が等速で流下するように角度を33°に調整した。形状は幅120 cm・長さ600 cmで鋼製骨組上に角材（55×50 mm）を固定し、15 mm厚の合板を敷き、更にカラー鉄板で表面処理したものである。カラー鉄板は下部流下斜面の上端より1 mはみ出しており、上部流下斜面にすりつけ雪崩をスムーズに上部から下部に導く。

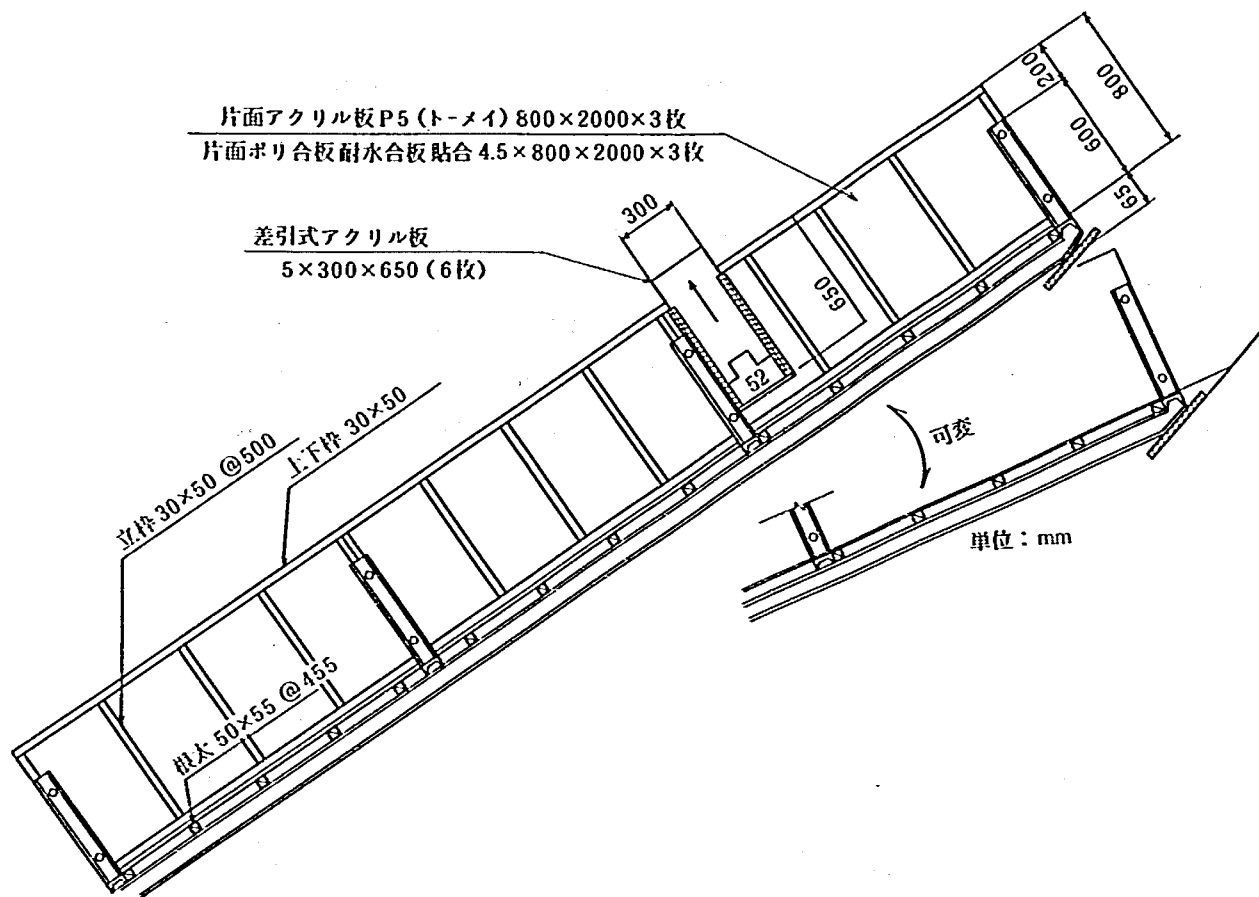


図3-5 下部流下斜面及び導流壁

鋼製台は位置を斜面方向に前後させることができ、下部流下斜面の傾斜角度変化に対応させる。(図3-6参照)台の高さは床から80cmであり、雪崩が後に(3)で説明する擁壁に衝突したとき擁壁前面に堆積しないで下方へ落下するよう工夫したものである。

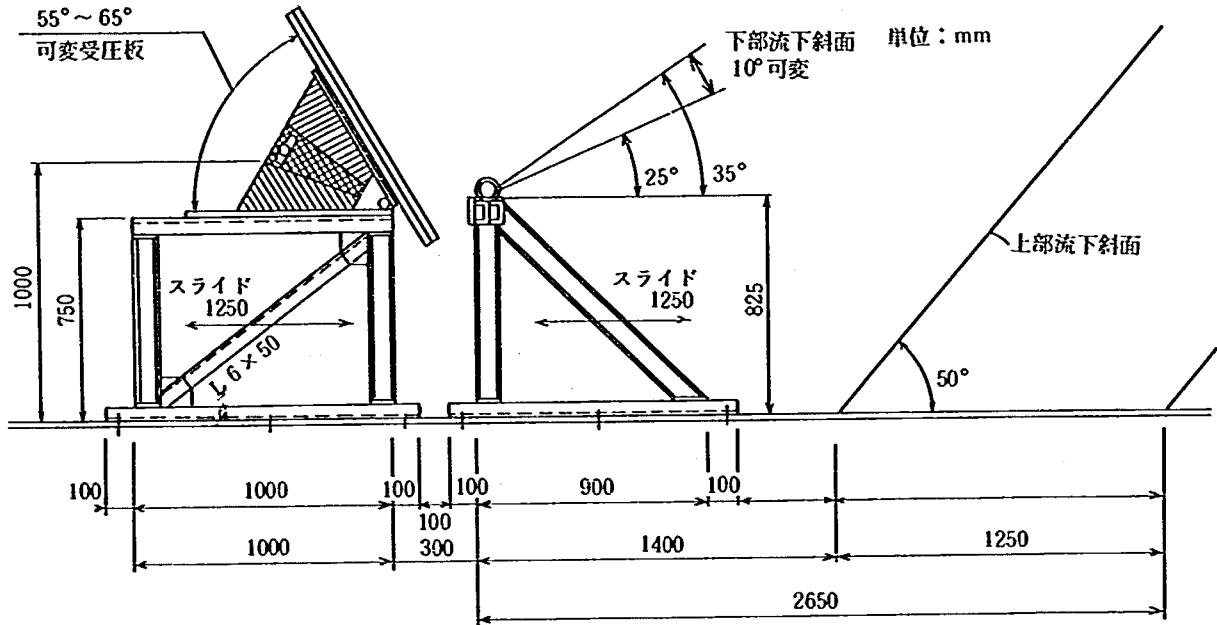


図3-6 鋼製台及び擁壁

下部流下斜面に取り付ける導流壁は、部材衝突前の雪崩の層厚を確保するため及び部材衝突後の雪崩を擁壁に導くためのものである。形状は80×200cmの木製枠で作られており、下流側から向って右側は透明アクリル板で、雪崩の流下状況を観察することができる。左側はアクリル板の代わりにカラーのベニア板を取り付けており、雪崩の飛散状況を目視しやすくしている。これらは下部流下斜面全長にわたり取り付ける。尚、導流壁を左右に動かし、流路幅を50～100cmに変化させることができる。流路幅50cmの場合、雪崩の層厚は30cm(流下量1m³の場合)得られた。

(3) 擁壁

擁壁は、鋼製台の前面にローラ支持されている。取付台と擁壁の間にはロードセルを取り付けられるようにしており、ロードセルに擁壁が適度に当たるように取付台と擁壁をボルトで締めつける。擁壁の寸法は幅120cm、高さ100cmで、床との距離は65cmである。(図3-6参照)

3.1.2 計測

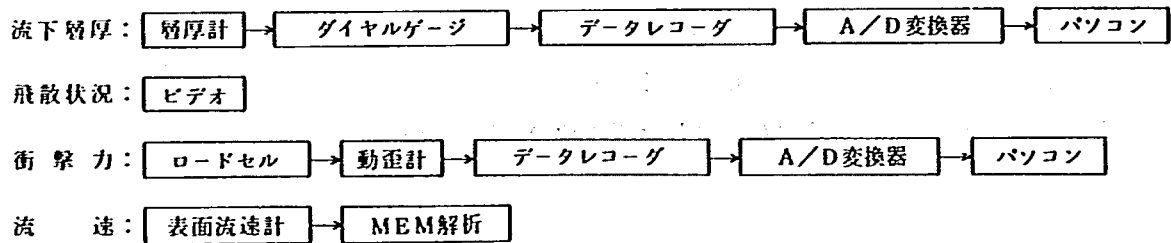


図3-7 計測フロー

計測フローを図3-7に示す。また、計測器機の設置位置は図3-8の通りである。表面流速計は減勢工部材の前後に取り付け、部材衝突前後の雪崩の流速変化を調べる。層厚計は雪崩減勢工部材の前方に取り付け、雪崩減勢工部材に衝突する前の流下中の雪崩の層厚を測定した。ビデオは雪崩減勢工部材の真横に設置した。

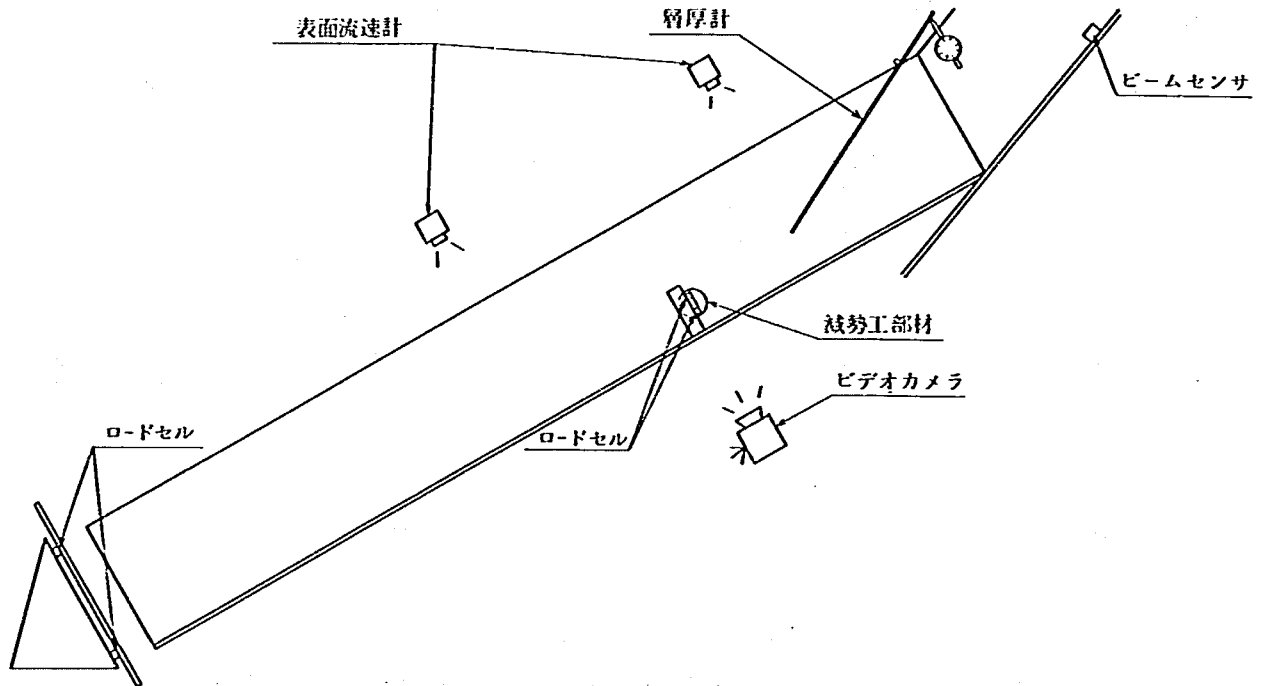


図3-8 計測器機の設置位置

(1) 雪崩流速の計測

流下中の雪崩材料の速度測定には、表面流速計を用いた。

表面流速計は、流れを直下に見おろすように設置して、光学的に結像された流れ表面の像が平行スリットと呼ばれる空間フィルタ上を動くときの像面光強度の変動を電気信号として検知する。流速は、電気信号の中心周波数からMEM法により、ある時間間隔の卓越周波数を求め、次式により計算される。

$$V = \frac{f \times B}{416.7 \times A}$$

但し

V : 流速 (m/s)

A : ディテクタとレンズ主点位置との距離

B : レンズ主点位置と被測定面との距離

f : 表面流速計により検知した卓越周波数 (Hz)

図3-9に、表面流速計により検知された周波数の一例を示す。

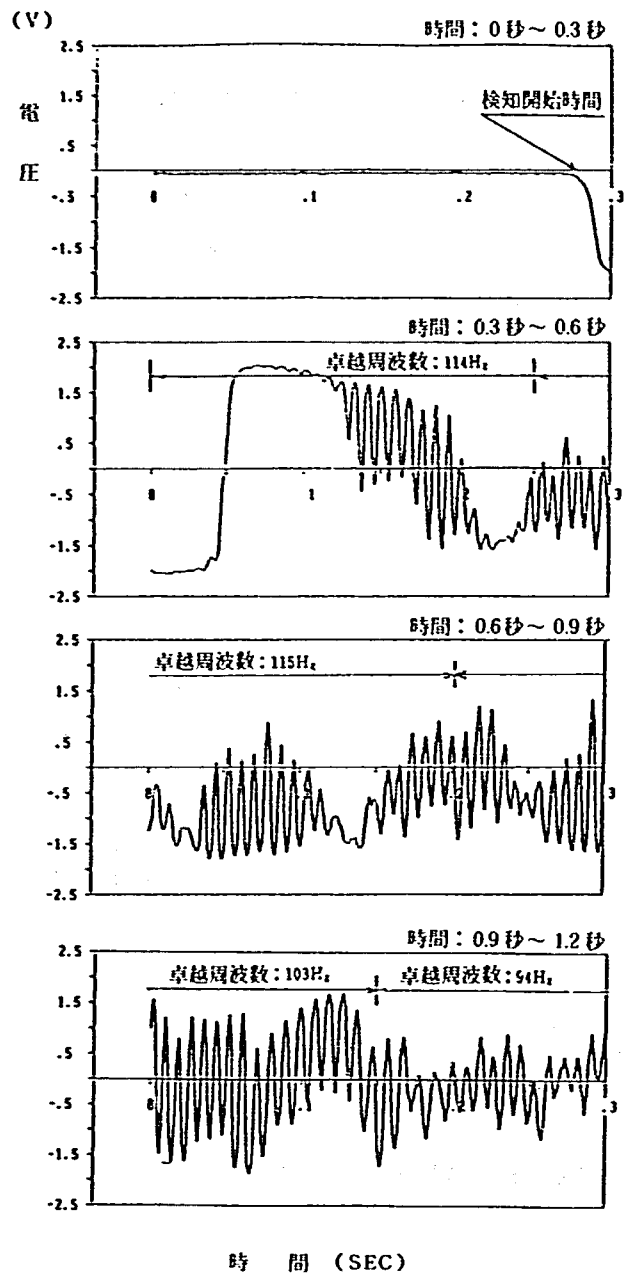


図3-9(1) 表面流速計検知データ

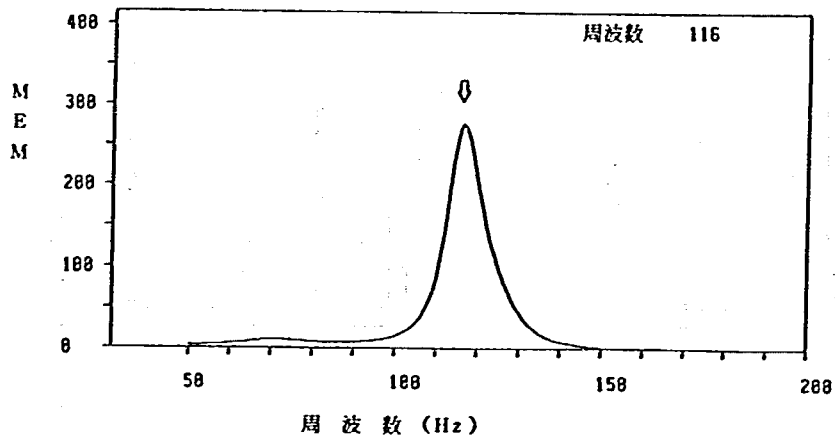


図3-9(2) MEMによる卓越周波数

(2) 雪崩衝撃力の計測

流下した雪崩材料が雪崩減勢工部材及び擁壁に及ぼす衝撃力は、擁壁及び雪崩減勢工部材に設置したロードセルにより計測する。

図3-10に鉛直部材の設置方法を示す。ロードセルは鉛直部材の上端に1個、下端に2個取り付け、角形鋼管及び山形鋼により支えられている。鉛直部材は流下斜面との摩擦を防ぐため、ワイヤーにより吊り下げられている。

図3-11に水平部材の設置方法を示す。ロードセルは水平部材の両端に2個ずつ取り付け、角形鋼により支えられている。水平部材は、ワイヤーにより吊り下げられている。

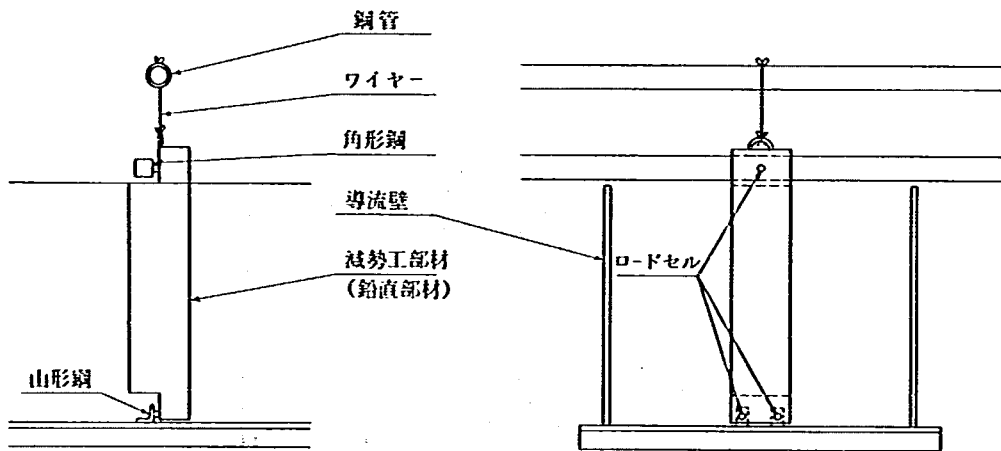


図3-10 減勢工部材設置方法（鉛直部材）

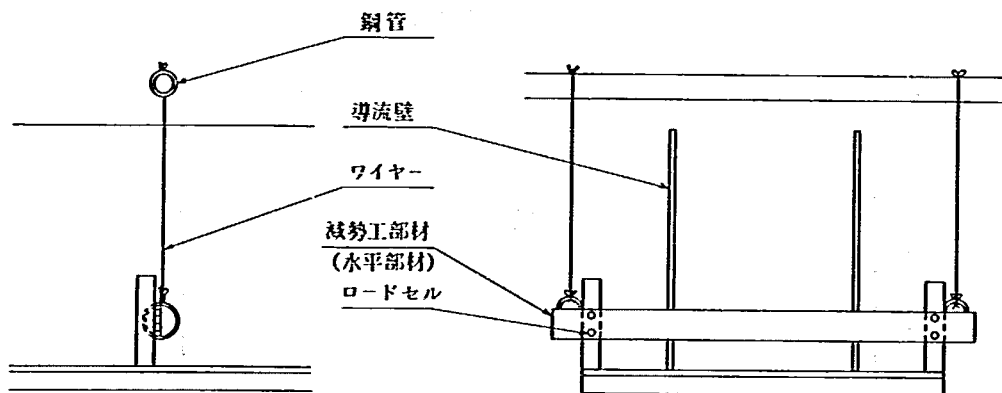


図3-11 減勢工部材設置方法（水平部材）

(3) 雪崩層厚の計測

雪崩層厚は、てこ式の層厚計を使用し、ダイヤルゲージの読みから計算する。

図3-12に層厚計の設置方法を示す。ダイヤルゲージのバネの強さ並びにAとBの長さの比による調整で、雪崩表面の凹凸に対応するように層厚計を設置する。

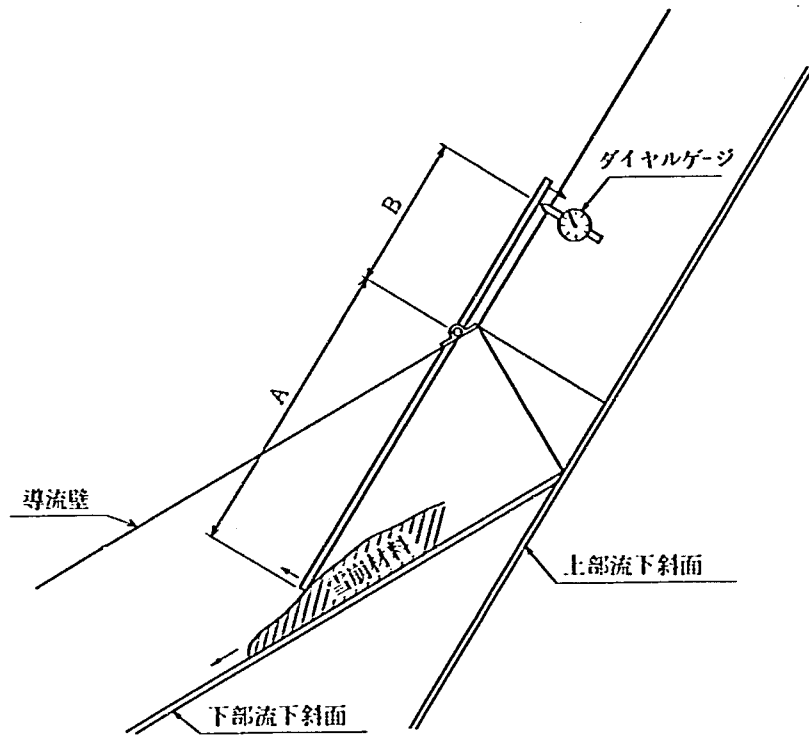
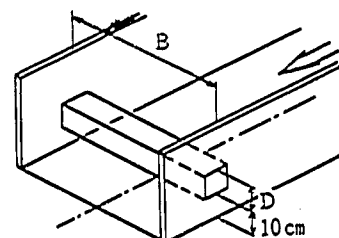
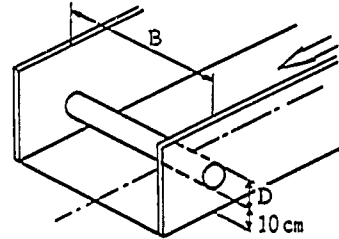
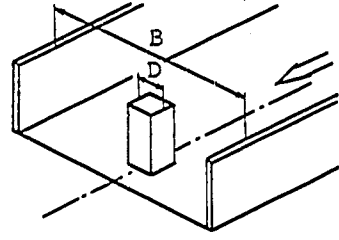
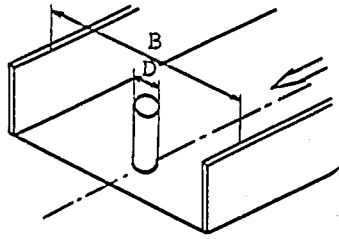


図3-12 層厚計設置方法

3.1.3 実験ケース

実験に使用した雪崩減勢工部材は鉛直部材と水平部材に大別される。また、形状は、丸形状と角形状に大別される。表3-1に実験ケースを示す。

表3-1 実験ケース

実験ケース名	部材径 D (cm)	種類	配置	流路幅 B (cm)	配置
H 5 K	5	角材	水平	60	水平部材(角材) 流路幅 B : 60cm 部材径 : D { 5 cm, 10 cm, 15 cm } 
H 10 K	10	"	"	"	
H 15 K	15	"	"	"	
H 5 M	5	丸材	水平	60	水平部材(丸材) 流路幅 B : 60cm 部材径 : { 5 cm, 10 cm, 15 cm } 
H 10 M	10	"	"	"	
H 15 M	15	"	"	"	
V 10 K	10	角材	鉛直	100	鉛直部材(角材) 流路幅 B : 100cm 部材径 : D { 10 cm, 15 cm, 20 cm } 
V 15 K	15	"	"	"	
V 20 K	20	"	"	"	
V 10 M	10	丸材	鉛直	100	鉛直部材(丸材) 流路幅 B : 100cm 部材径 : { 10 cm, 15 cm, 20 cm } 
V 15 M	15	"	"	"	
V 20 M	20	"	"	"	
A	—	—	—	60	部材なし
B	—	—	—	100	"

3.2 実験結果及び考察

3.2.1 鉛直部材

図3-13, 14に、鉛直部材に作用した雪崩の衝撃力の経時変化を示す。部材に雪崩が衝突した時刻並びに衝撃が減衰していく時刻は、部材径や形状に関係なく一定である。つまり衝撃力方向に対して、

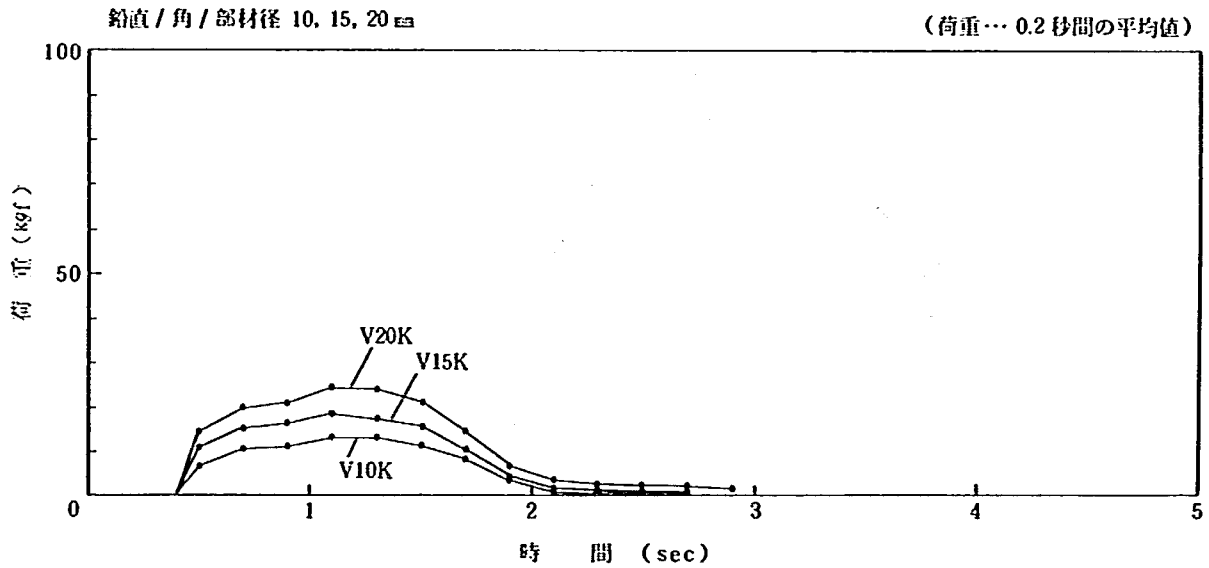


図3-13 部材に作用する衝撃力の経時変化(角形状)

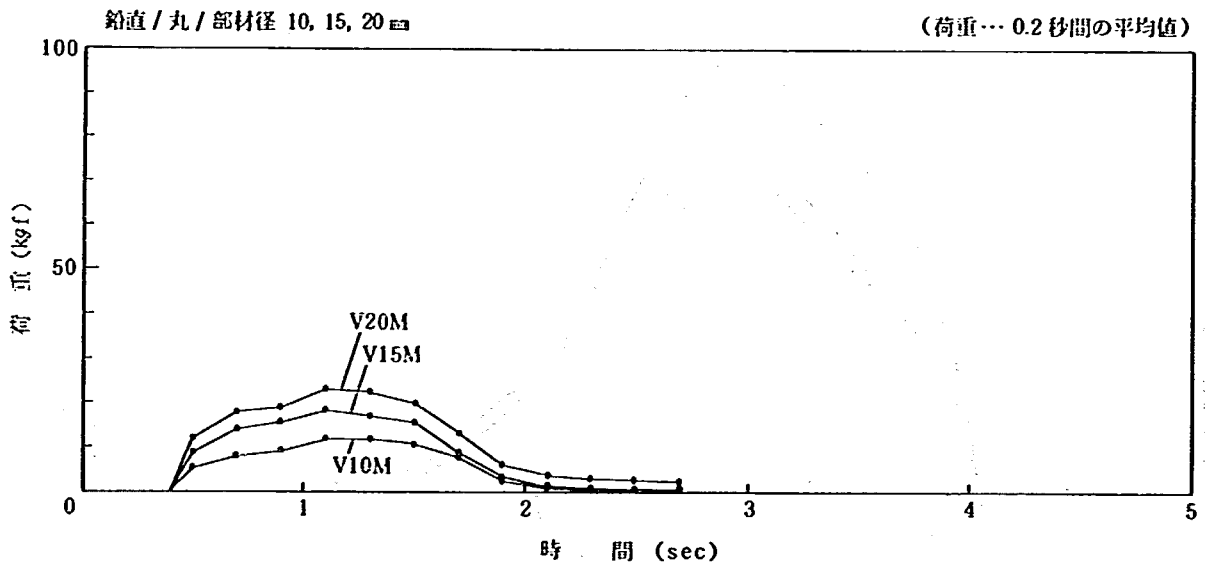


図3-14 部材に作用する衝撃力の経時変化(丸形状)

波形は相似になっている。衝撃力のピークの表われる時刻も、部材径や形状による差はない。このことから、部材径とそれに作用する衝撃力は、比例関係にあると言える。

図3-15, 16に、擁壁に作用した雪崩の衝撃力の経時変化を示す。衝撃力が表われる時間は、部材の有無に関係なく同じである。ピーク値の表われる時刻は、部材が無いときより若干遅くなる。これは、雪崩材料が部材に到達したとき、流路の中央では部材により押し止められるが、側方部では、そのまますり抜けるため速度減衰せず擁壁に到達するからである。

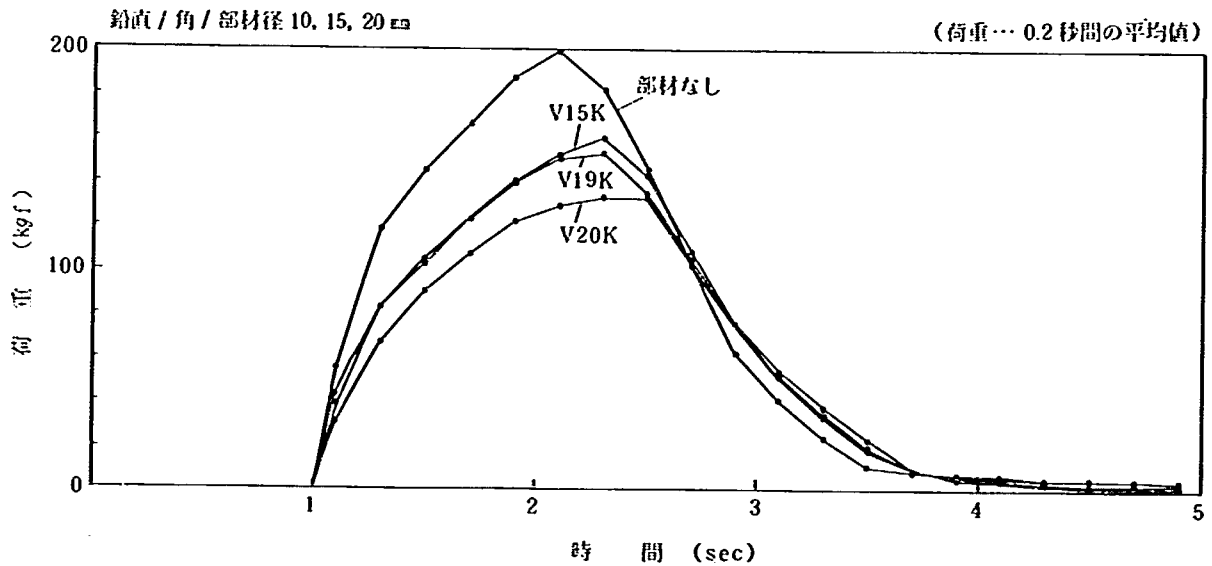


図3-15 擁壁に作用する衝撃力の経時変化(角形状)

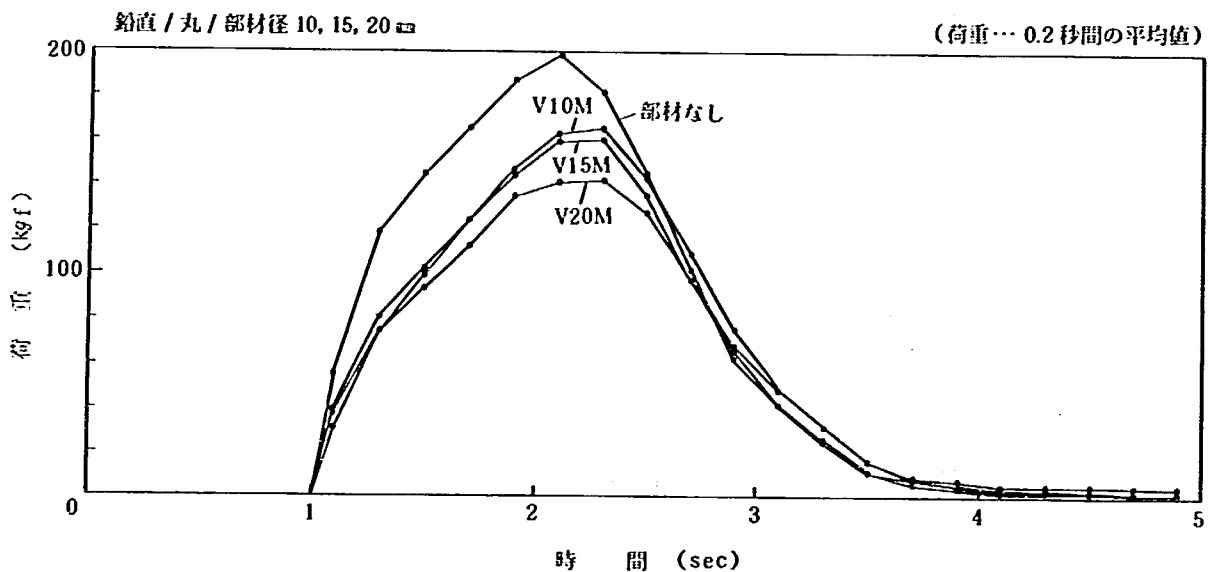


図3-16 擁壁に作用する衝撃力の経時変化(丸形状)

図3-17, 18は、部材に作用した衝撃力と部材を通過した雪崩衝撃力を、作用開始時刻を基準に加算したものである。これを見ると両者の合計値は、部材無しの際の衝撃力よりも小さな値となっている。この差は、部材に雪崩が衝突したことにより、雪崩が部材の両側へ分割され、粒子間摩擦及び導流壁と粒子間の摩擦により減勢したものと思われる。また、合計値は部材径10cmと15cmでは、あまり差がないのに対し、径20cmでは小さくなっている。これは、径20cmでは雪崩が部材により分割されたとき、導流壁に衝突する割合が多くなり、そのため部材径の小さなものより多く減勢された

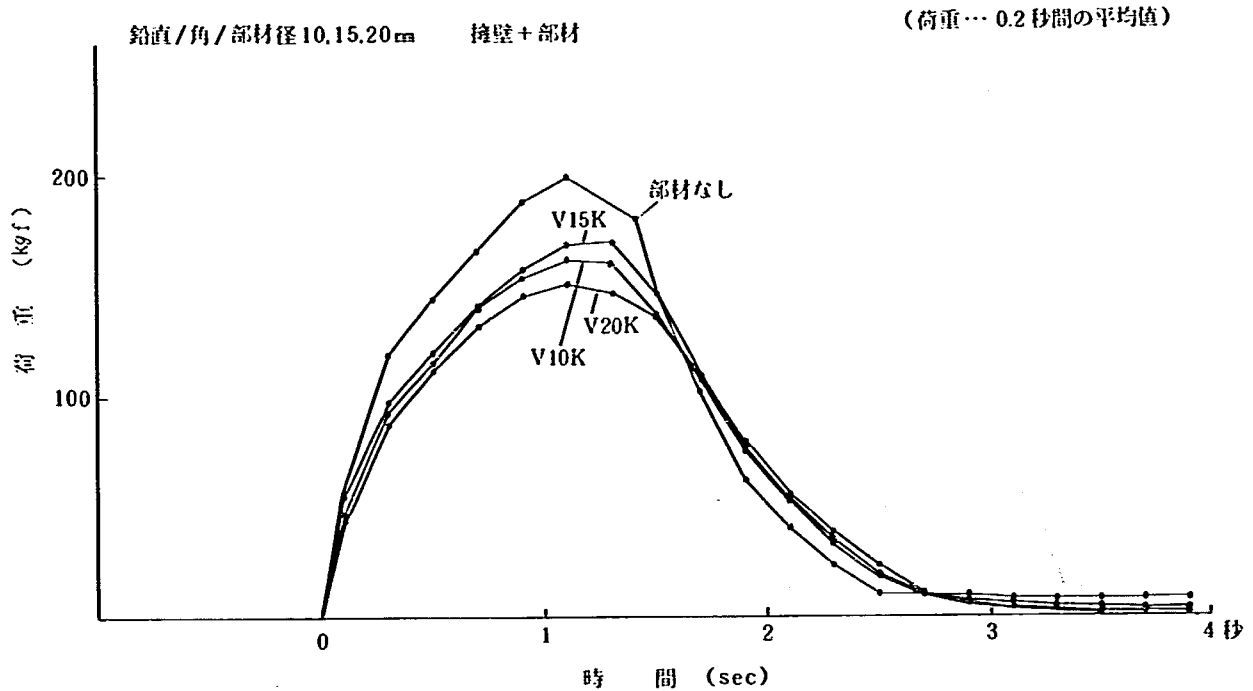


図3-17 (部材+撞壁)に作用する衝撃力(角形状)

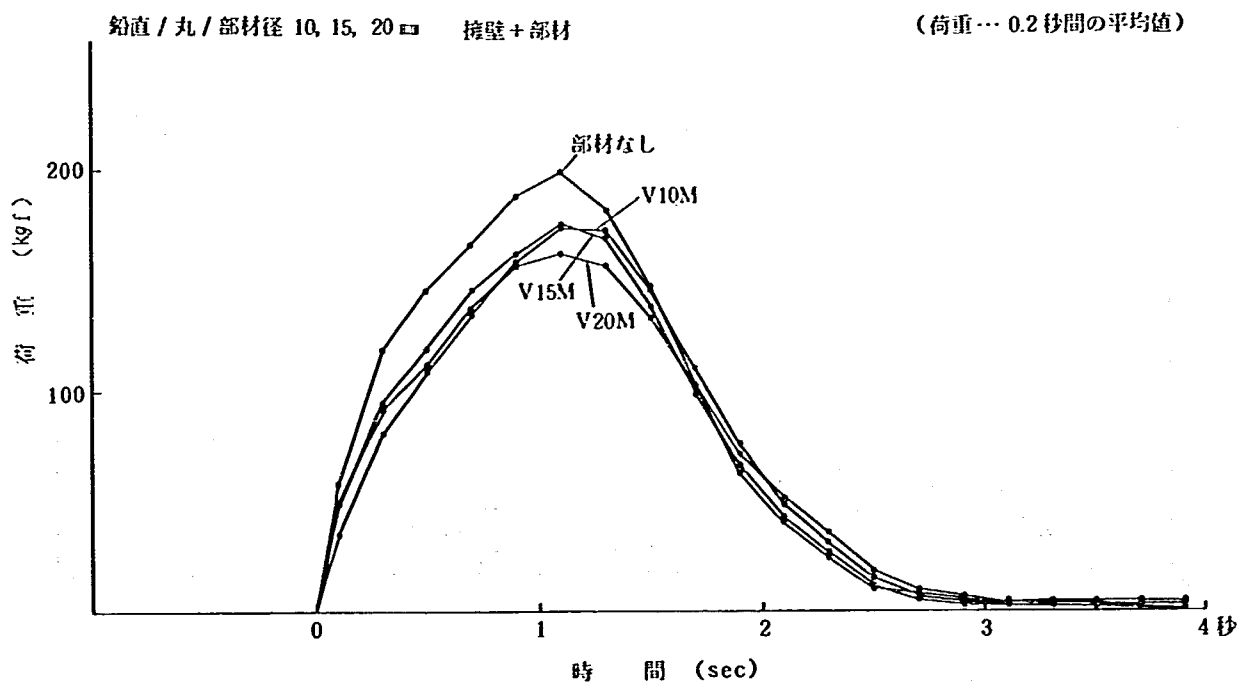


図3-18 (部材+撞壁)に作用する衝撃力(丸形状)

と思われる。

3.2.2 水平部材

図3-19, 20に、水平部材に作用した衝撃力の経時変化を示す。これも鉛直部材と同様に、部材径と衝撃力とは比例関係にあると言える。鉛直部材のときと比べてピークの表われる時刻が早いのは、流路幅がこちらの方が狭くしたため、雪崩流の先端部に層厚のピークが生じたためである。また、部

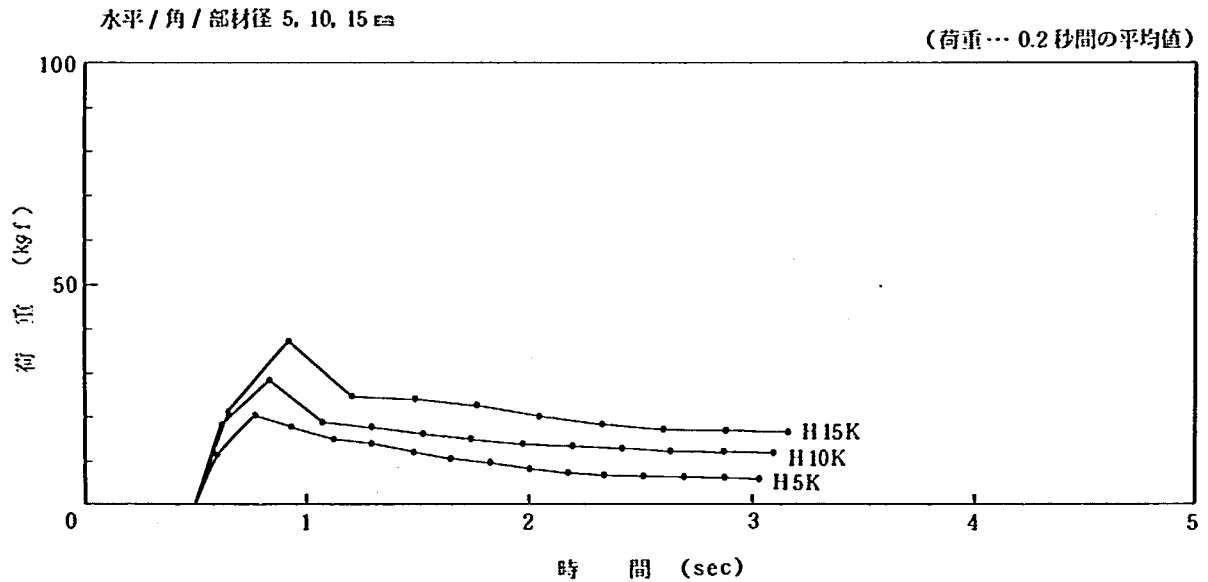


図3-19 部材に作用する衝撃力の経時変化(角形状)

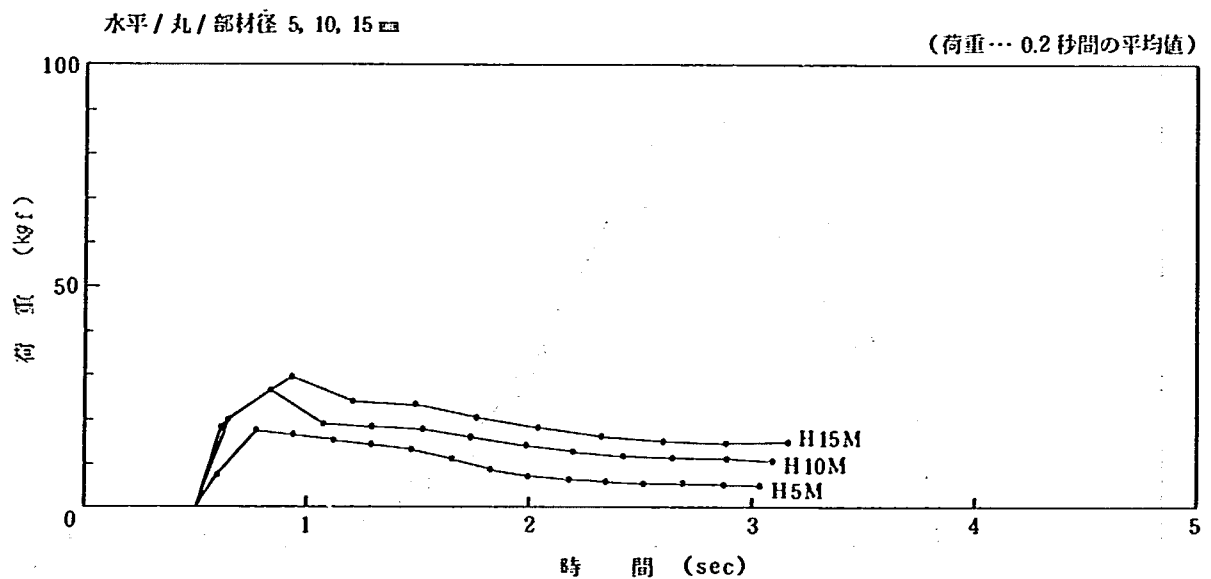


図3-20 部材に作用する衝撃力の経時変化(丸形状)

材径が大きいほど、先端部のピークが表われている部分と、後方の衝撃力の経時変化とは不連続になっている。これは、部材に雪崩が到達し、部材前面に雪崩が堆積してゆき、それに伴って荷重は増加していく。しかし、部材径に応じた堆積量になると、後続の雪崩は、その堆積部分をジャンプ台として部材を越流していくようになる。こうなると、もはや雪崩衝撃力は部材に伝わりにくくなり、部材前方に堆積した雪崩の圧力の方が卓越することになる。これは、丸形状と角形状の両者に言えることであるが、丸形状の方が最初の内は、雪崩流を後方へ流しやすいのでピーク値は角形状より小さくでている。

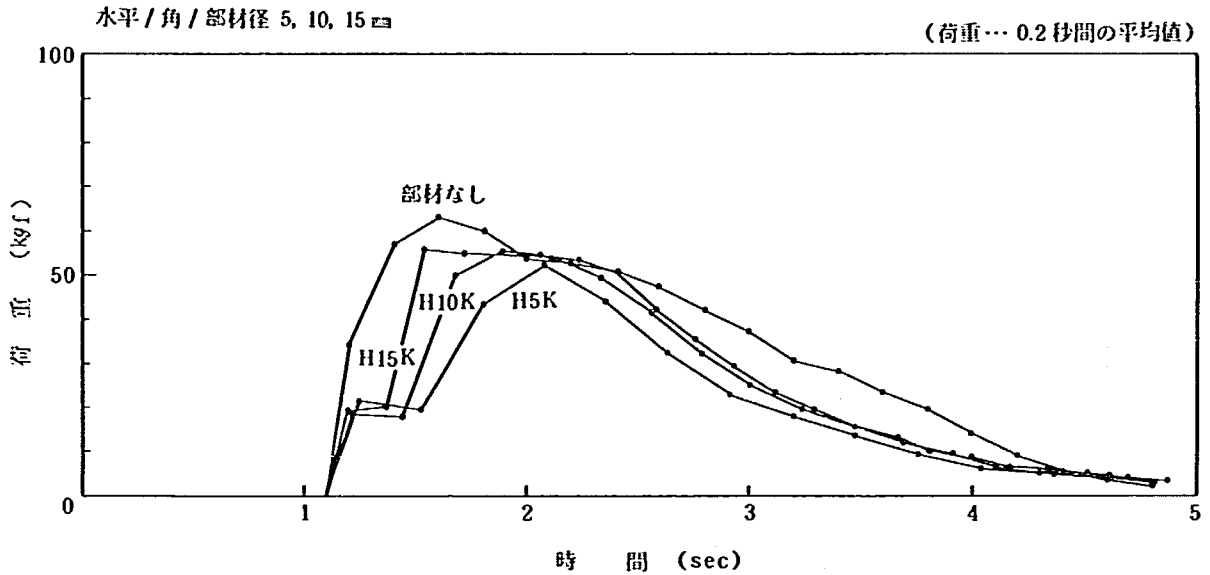


図3-21 擁壁に作用する衝撃力の経時変化

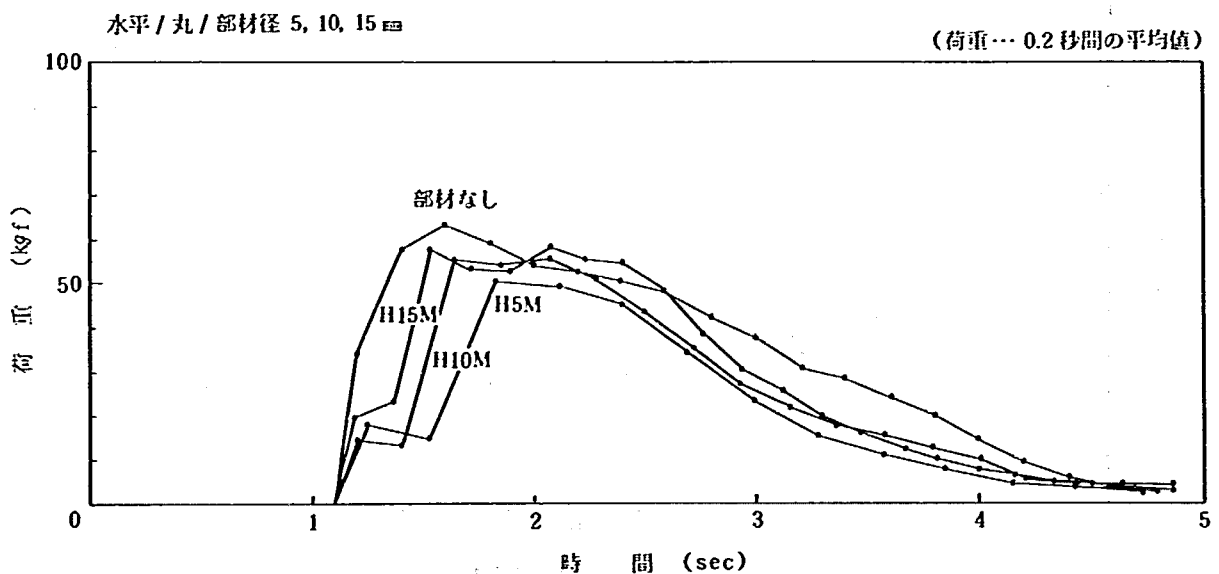


図3-22 擁壁に作用する衝撃力の経時変化

図3-21, 22に、擁壁に作用した衝撃力の経時変化を示す。はじめの内、擁壁に衝撃力がいくらか加わり、その後ピークが表われている。はじめに表われた衝撃力波形は、水平部材の下方を雪崩がすり抜けた分であり、これが擁壁に到達したとき、波形が表われる。その後出現するピークは、雪崩が水平部材に衝突し上方へ飛散し、それが擁壁に衝突したものである。ピークの出現する時刻は、部材径が大きくなるほど遅くなる。これは、雪崩が部材前面に堆積し、越流するのに部材径が大きいほど時間がかかるからである。

3.2.3 抵抗係数

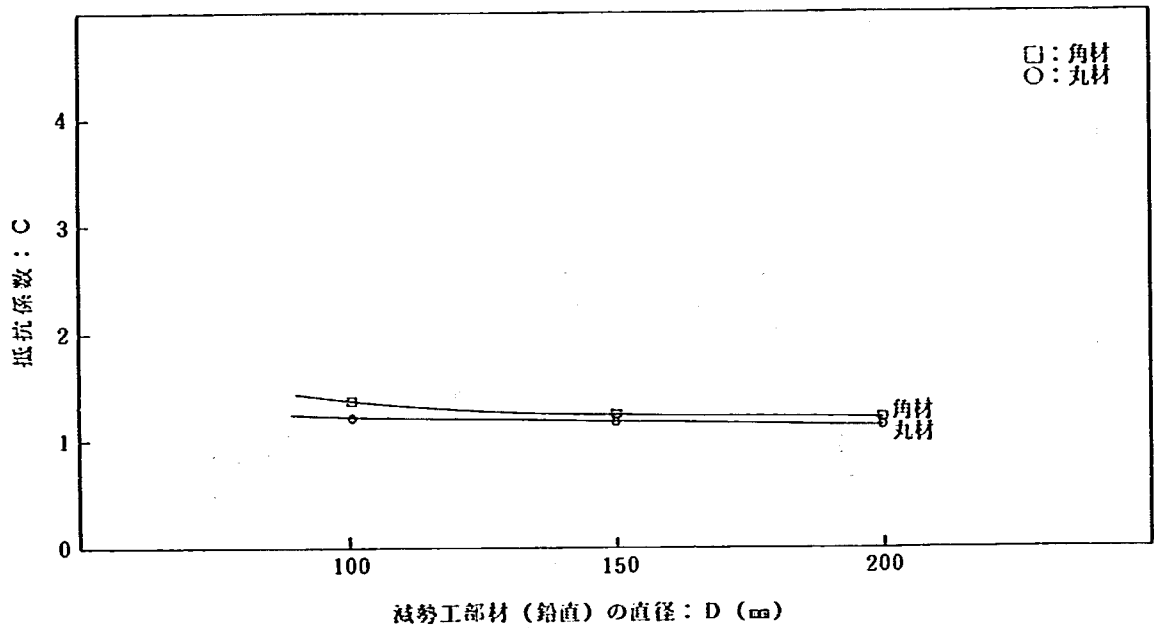


図3-23 部材形状による抵抗係数（鉛直部材）

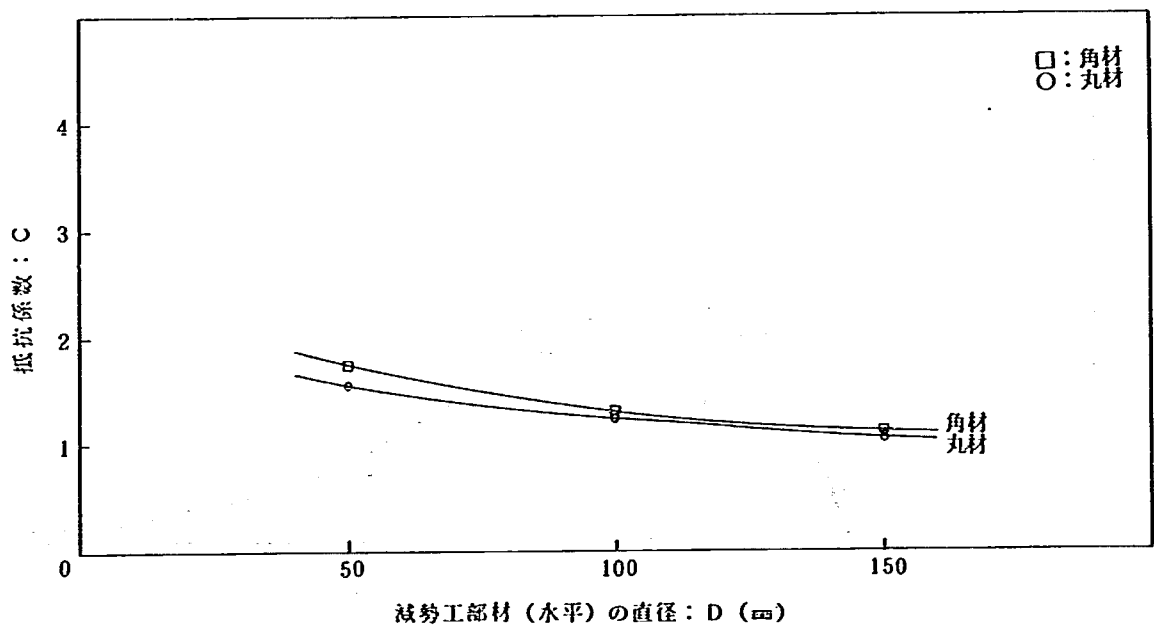


図3-24 部材形状による抵抗係数（水平部材）

図3-23, 24に, 部材形状による抵抗係数を示す。抵抗係数は, 以下の雪崩衝撃力の式から算定した。算定に用いた衝撃力 P は, 各々の荷重の最大値を使用した。(水平部材 310kg/m^3 , 鉛直部材 290kg/m^3) 尚, 密度は層厚計から求めた雪崩材料の体積から算定した。

$$P = \frac{r}{2g} v^2 AC$$

但し, P : 雪崩衝撃力(t)

r : なだれて来た雪崩材料の密度 (t/m^3)

g : 重力加速度 (9.8m/sec^2)

v : 衝突時の雪崩流速 (m/sec)

A : 雪崩方向に直角な作用断面積 (m^2)

C : 抵抗係数

鉛直部材と水平部材とも抵抗係数は, 形状による差があまりみられなかった。部材径が大きくなるほど, その傾向が強い。水平部材と鉛直部材とも, 角形状の方が丸形状より若干大きい程度であった。これは, 部材前面に堆積する雪崩のため, 部材形状による差が表われにくかったためと考えられる。これは, 部材径が大きくなるほど, その傾向が強くなることから推察される。

3.2.4 衝撃力最大値

図3-25, 26は, 鉛直部材のときの擁壁に作用する衝撃力の最大値を示したものである。部材無し
のときの擁壁に作用する衝撃力最大値は, 200kgf である。形状による比較をすると, 角形状の方が

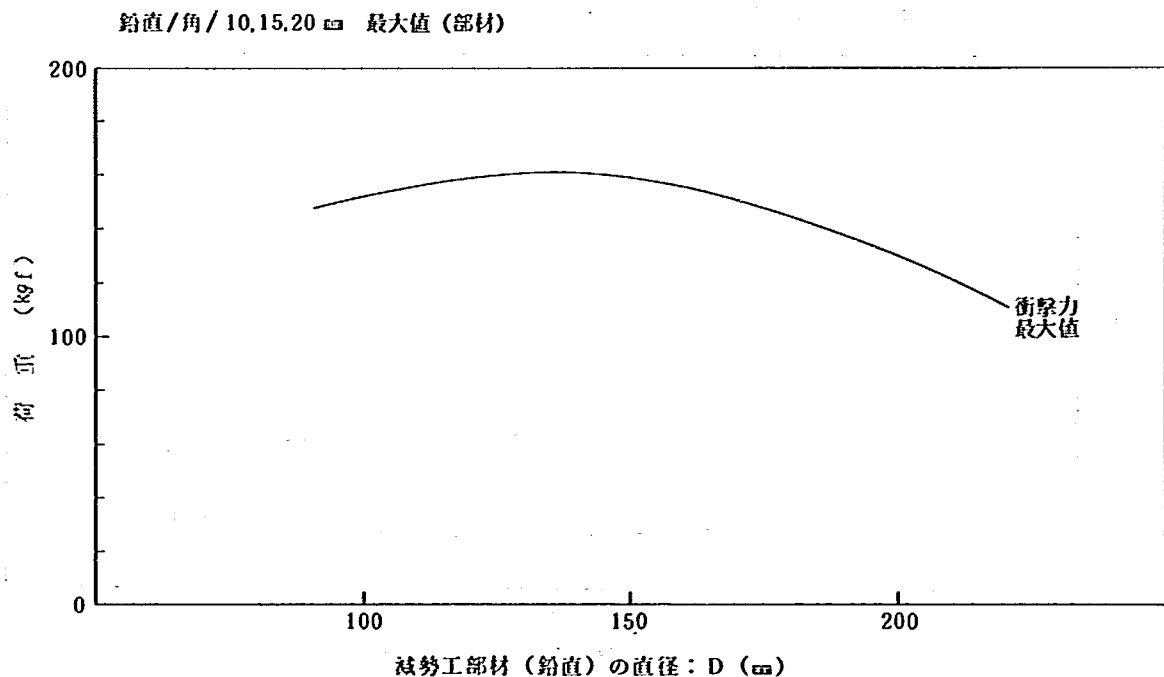


図3-25 部材径による衝撃力maxの比較(角形状)

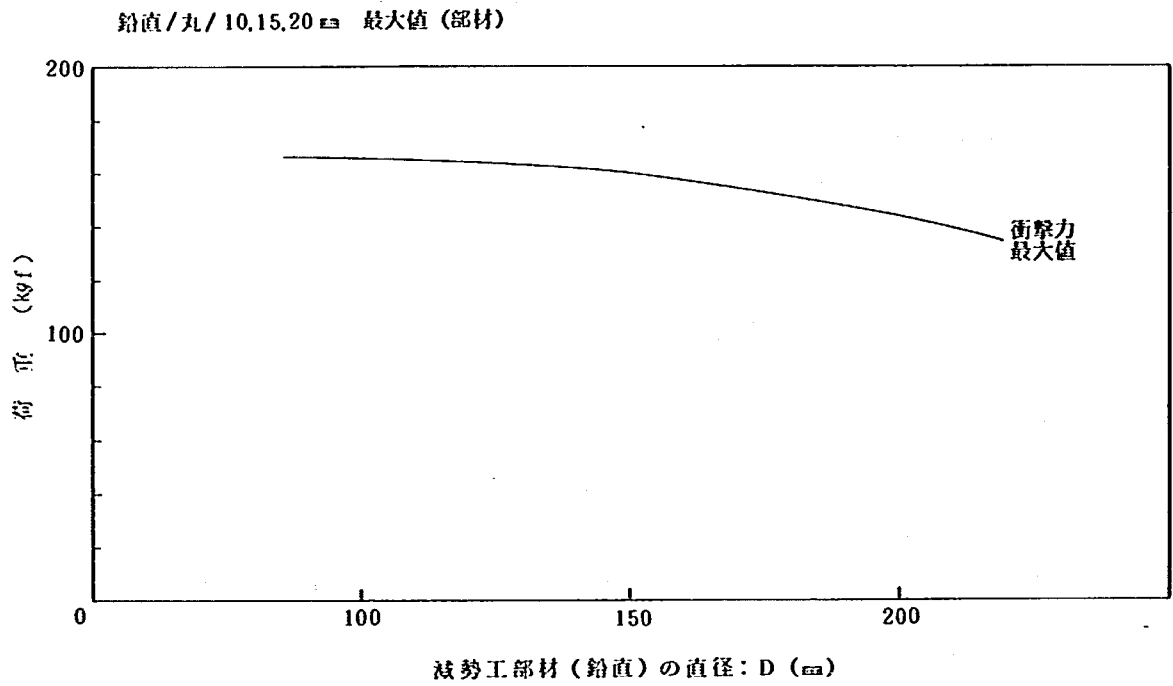


図3-26 部材径状による衝撃力maxの比較(丸形状)

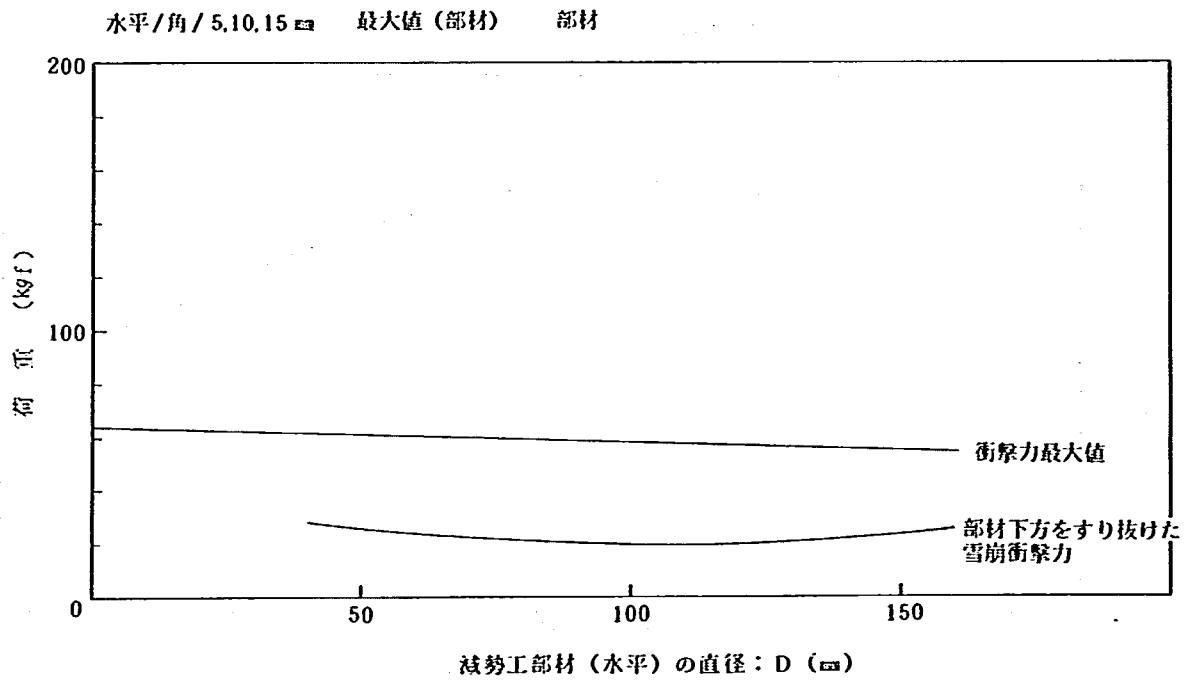


図3-27 部材径による衝撃力maxの比較(角形状)

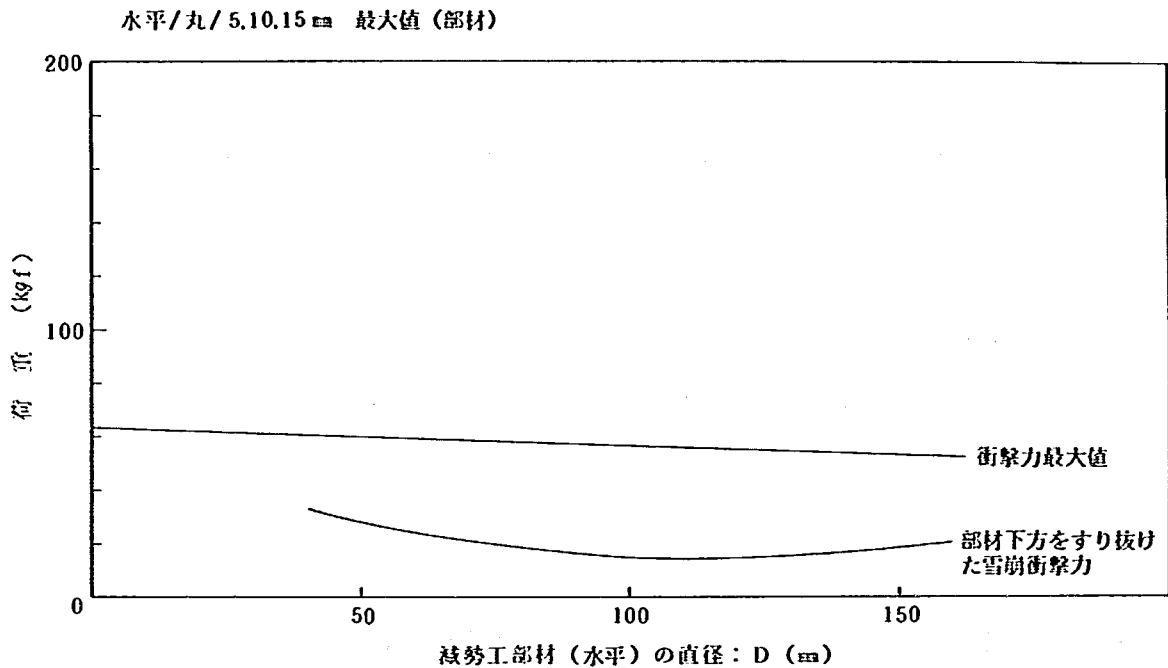


図3-28 部材径による衝撃力maxの比較(丸形状)

若干小さな値を示している。また、部材径による比較では、100mmと150mmはあまり最大値の差は表われず、角形状ではむしろ150mmの方が大きいくらいである。

図3-27, 28は、水平部材のときの擁壁に作用する衝撃力の最大値を示したものである。部材無しの際の擁壁に作用する衝撃力最大値は、64kgfである。形状による差はほとんどない。これは部材前面に堆積した雪崩をジャンプ台にして飛散するため、形状による違いが表われないためである。部材径による比較をすると、径が大きくなるにつれ最大値は若干小さくなる。しかし、以上のことから部材前面に堆積した雪崩をジャンプ台にした後続流は、あまり減勢されず、衝撃力のピーク低減には寄与していない。

以上得られた結果から推察すると、パーライトは粒子間及び斜面との摩擦が大きく、閉そく効果等の検討は難しいと考える。

この実験から考えられる雪崩減勢工の設計法の考え方として、雪崩減勢工の前面に雪崩が堆積する場合と雪崩減勢工を雪崩が通過してしまう場合では、各々の減勢効果が異なるため、衝撃力のみでなく、雪崩減勢工の前面に堆積する雪崩減勢工に作用する圧力を考慮する必要がある。

第4章 人工雪を用いた雪崩減勢工に関する実験

4.1 実験方法

人工雪を雪崩材料に用いる実験は土木研究所新潟試験所の低温実験室で既存の実験用斜面を用いて行った。

人工雪は氷をアイススライサーで粉碎し製造した。

低温実験室は室温を -20°C まで下げることが可能である。本実験では室温を -10°C と -2°C の二種類に設定し、他は同一条件で実験を行い、湿雪と乾雪の挙動の違いを観察した。

一回の実験に使用する人工雪の重量は8kgであり、全実験ケースにわたり同じである。

4.1.1 実験装置

実験装置は、流下斜面、導流壁、崩壊箱及び擁壁から成る。

(1) 流下斜面と導流壁

図4-1に流下斜面と導流壁を示す。流下斜面はラワン合板の上にFRP合板を張り付け、人工雪が流下しやすいようにした。導流壁は透明なアクリル板で作られている。

崩壊箱はプラスチックで作られており、前面には仕切板が取り付けられている。さらに、その前面には人工雪を細かく流すために、5cmピッチの網が取り付けられている。(写真4-1参照)

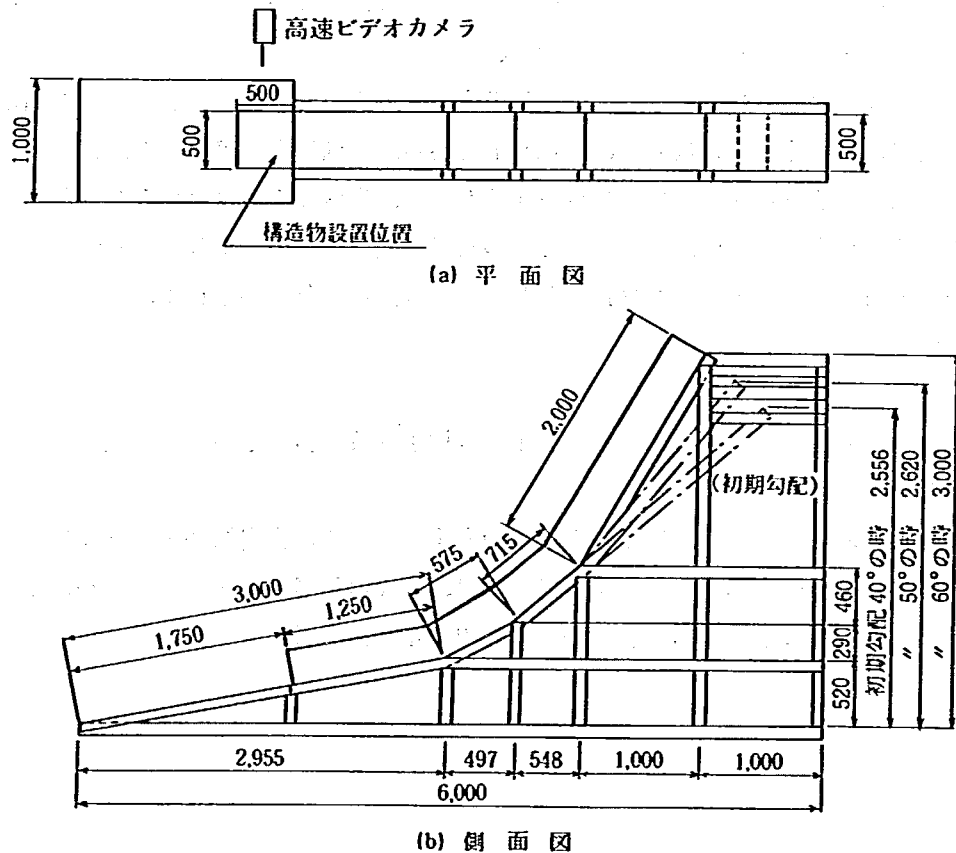


図4-1 模型実験斜面 寸法図

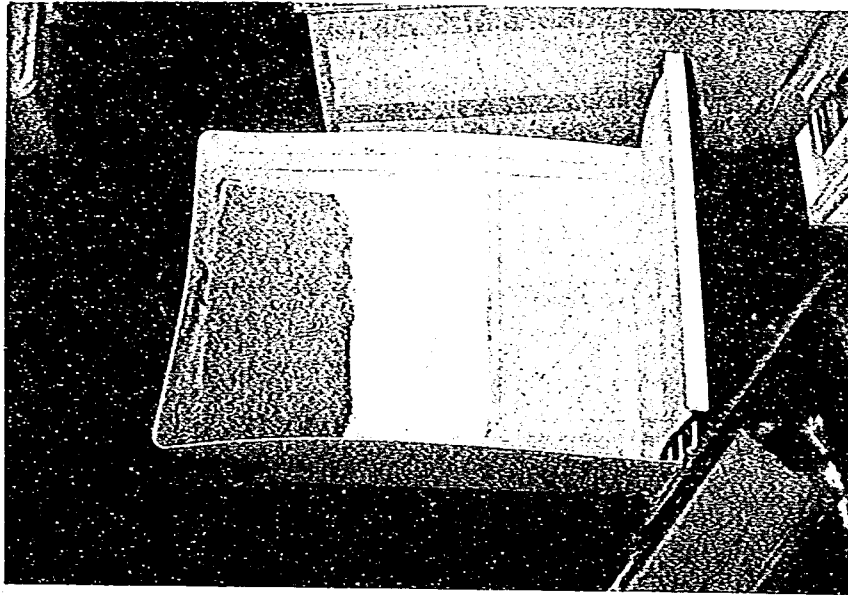


写真4-1 崩壊箱

(2) 擁壁

図4-2に擁壁を示す。擁壁本体は、ラワン合板で作られている。擁壁本体の前面には、アクリル製の受圧板(440×400×10mm)がワイヤーにより釣り下げられている。擁壁本体と受圧板の間には、ロードセルが取り付けられており、受圧板に作用する衝撃力を測定できる。

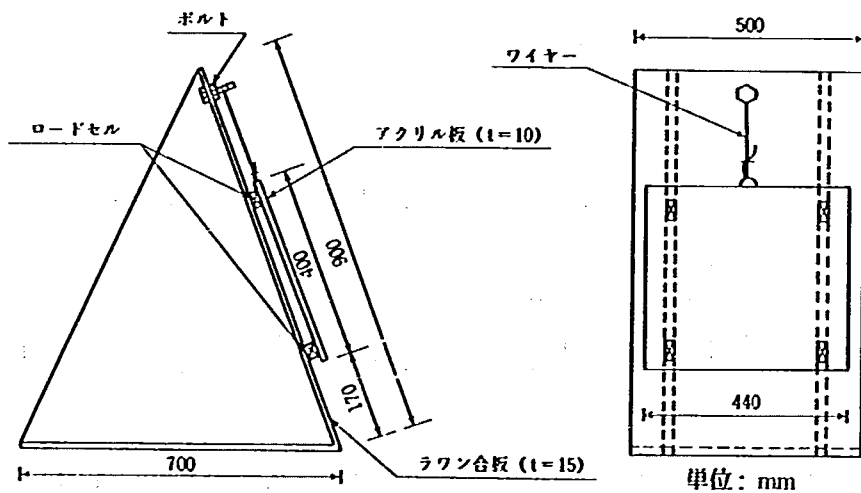


図4-2 擁壁寸法図

(3) 減勢工部材

図4-3に減勢工部材を示す。減勢工取付板と底板はアクリルで作られており、流下斜面の所定の位置に取り付けられるようになっている。減勢工取付板には穴が数個あいており、そこに鋼製の丸棒(径9mm)又は板(幅30mm)を通すことにより水平部材として取り扱う。差し込む穴の位置と本数で数種類の減勢工に対応させる。

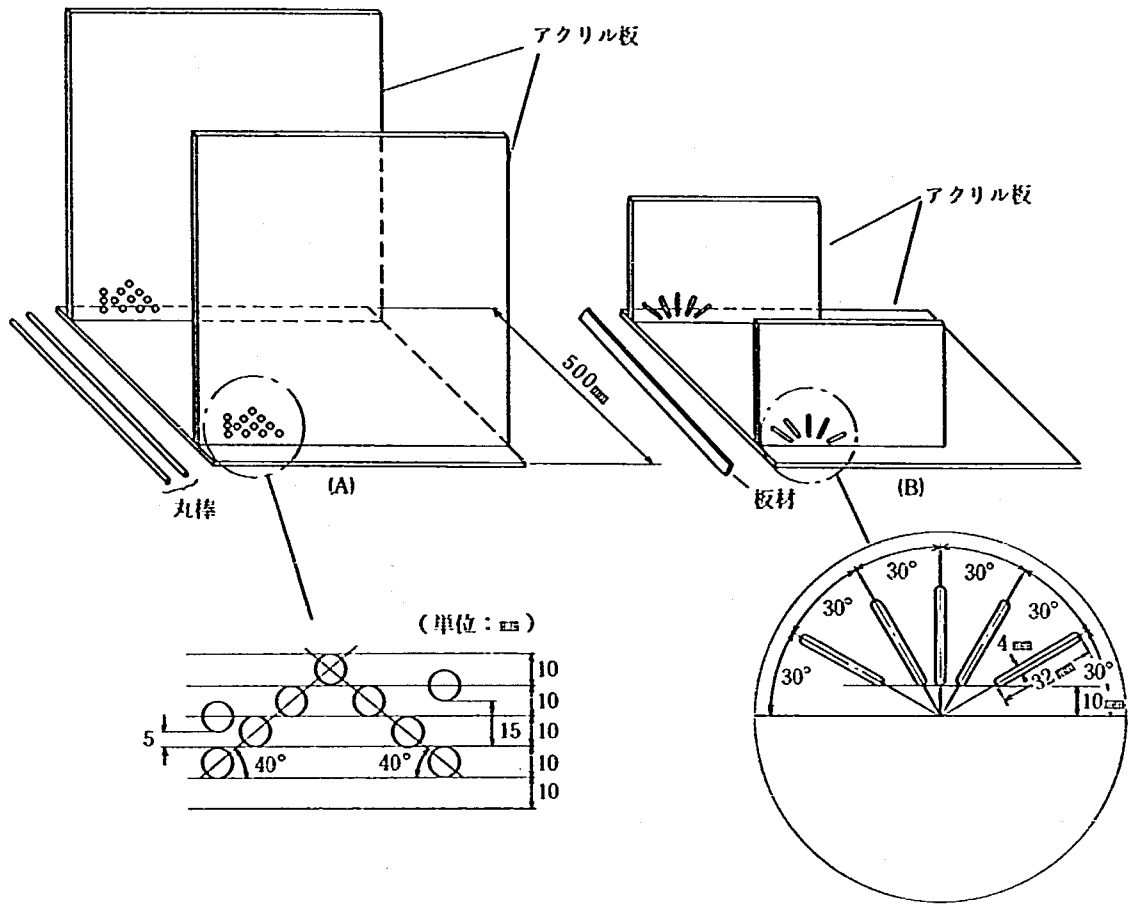


図4-3 雪崩減勢工模型

4.1.2 計測

計測フローを図4-4に示す。また、計測器機の設置位置は図4-5の通りである。

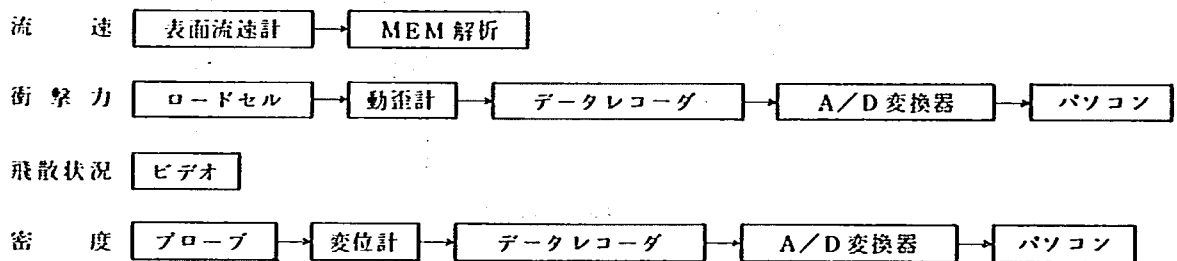


図4-4 計測フロー

(1) 雪崩流速の計測

3.1.2(1)を参照。

(2) 雪崩密度の計測

雪崩材料の流下中の密度及び飛散中の密度は電気容量法を用いて計測した。原理的には雪崩材料のキャパシタンスすなわち誘電率の測定である。すなわち雪崩材料が、平行に置かれた2枚の平板電極の間を流れているときの電極間のキャパシタンスの変化量を測定する。電極間に存在する物質のもつ

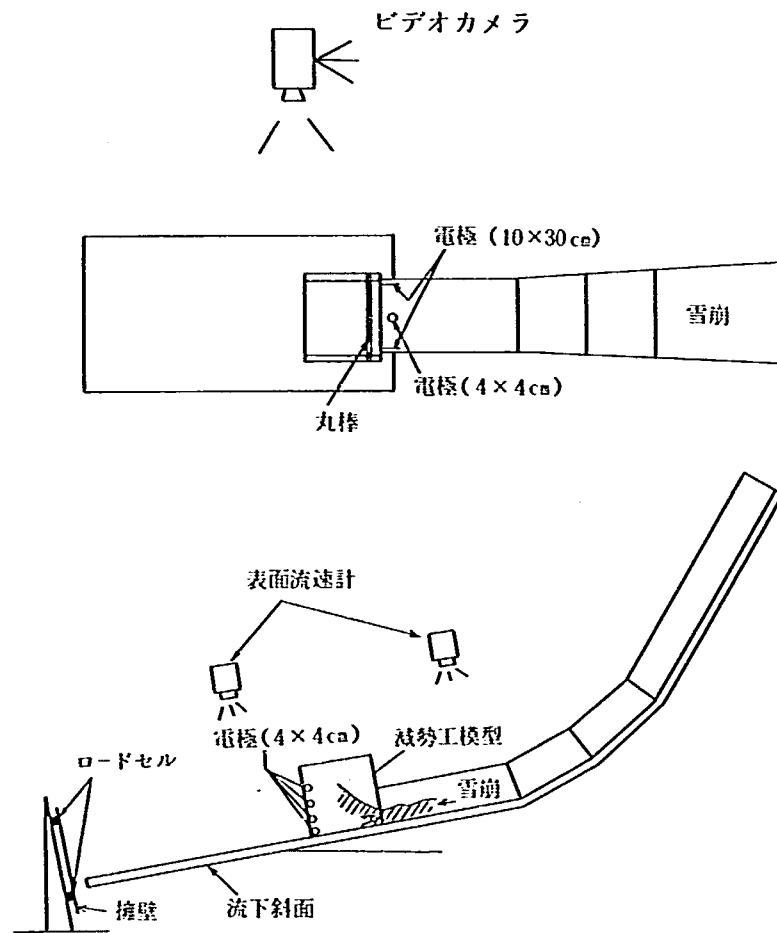


図4-5 計測器機設置位置

誘電率及び電極の大きさによって実効値が異なる。そこで、各々の電極について実効値を求める必要がある。電極は2種類使用した。一つは10×30cmの電極を導流壁に取り付け雪崩減勢工部材衝突前

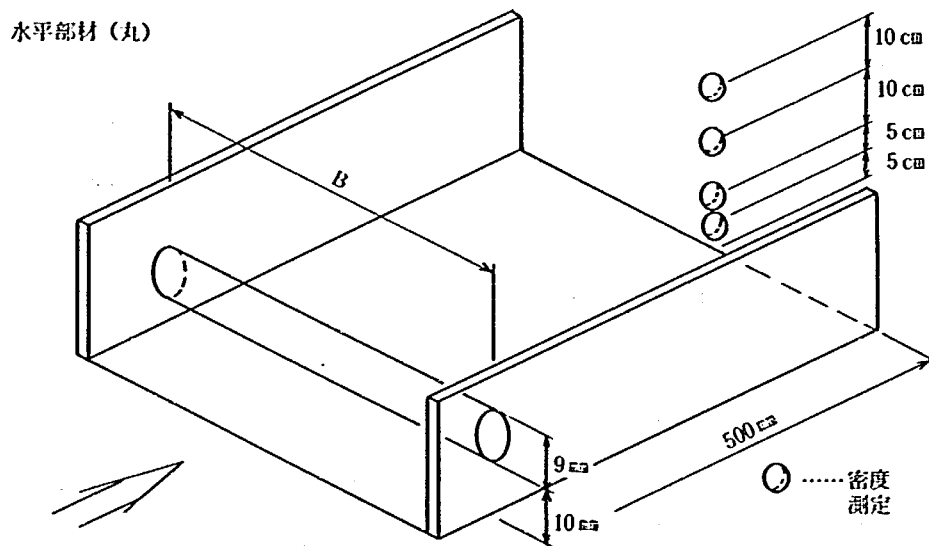


図4-6 電極設置位置

の流下中の雪崩の密度を測定した。もう一つは4×4 cmの電極を雪崩減勢工部材前方の流下斜面上に設置したものと雪崩減勢工部材後方に設置したもので、流下中の密度と飛散中の密度を比較した。図4-6に電極と、その設置位置を示す。

(3) 雪崩衝撃力の計測

流下した雪崩材料は、擁壁に衝突し運動を停止する。そのときの衝撃力を擁壁に取り付けたロードセルにより計測する。

4.1.3 実験ケース

表4-1に実験ケースを示す。

表4-1 実験ケース

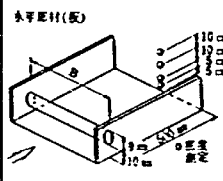
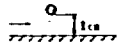
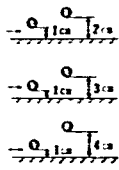
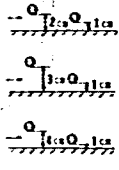
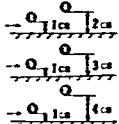
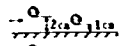
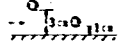
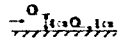
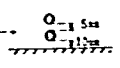
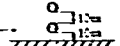
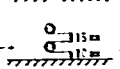
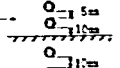
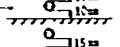
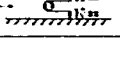
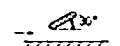
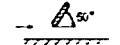
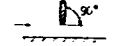
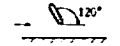
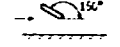
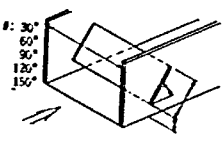
実験 ケース名	室温 (°C)	含水比 (%)	流下前 密度	測定内容				部 材		備 考
				速度	密 度	衝撃力	飛散状況	種類	配 置	
A E U	- 9.1	0.0	5 25	○	4 × 4	×	×	丸1		U:電極 底面から 5.20 cm D:電極 底面から 10.30cm
A E D	-11.4	"	5 25	○	"	×	×	"		
B E U	- 0.9	32.0	5 08	○	"	×	×	"		
B E D	- 1.1	"	5 08	○	"	×	×	"		
A W	-10.0	0.0	5 25	○	10 × 30	○	×	なし		擁壁のみ
B W	- 1.0	32.0	5 58	○	"	○	×	"		
A 1	- 9.5	0.0	5 25	○	"	○	○	丸1		
B 1	- 0.9	34.0	5 58	○	"	○	○	"		
A 1 2	-10.1	0.0	5 58	○	"	○	○	丸2		前方丸棒 位置固定
A 1 3	- 9.4	"	5 58	○	"	○	○	"		
A 1 4	- 7.8	"	5 42	○	"	○	○	"		
A 2 1	- 9.5	"	5 58	○	"	○	○	"		後方丸棒 位置固定
A 3 1	- 9.7	"	5 50	○	"	○	○	"		
A 4 1	- 8.9	"	5 50	○	"	○	○	"		
B 1 2	- 0.4	30.0	5 00	○	"	○	○	"		前方丸棒 位置固定
B 1 3	- 0.4	"	5 00	○	"	○	○	"		
B 1 4	- 1.7	"	4 83	○	"	○	○	"		

表4-1つづき

実験 ケース名	室温 (°C)	含水比 (%)	流下前 密度	測定内容				部材		備考
				速度	密度	衝撃力	飛散状況	種類	配置	
B 2 1	- 0.8	35.0	483	○	10×30	○	○	丸2		
B 3 1	- 1.0	"	483	○	"	○	○	"		
B 4 1	- 1.5	"	525	○	"	○	○	"		
A a	- 9.9	0.0	525	○	"	○	○	"		閉そく効果
A b	- 9.7	"	525	○	"	○	○	"		
A c	-10.1	"	525	○	"	○	○	"		
B a	- 0.9	31.0	525	○	"	○	○	"		閉そく効果
B b	- 0.9	"	525	○	"	○	○	"		
B c	- 0.7	"	525	○	"	○	○	"		
SEU	- 0.9	30.0	350	○	4×4	×	×	丸1		天然雪を使用
SED	- 1.8	"	350	○	"	×	×	"		
SW	- 1.3	30.0	350	○	10×30	○	○	なし		天然雪を使用
S 1	- 2.7	"	350	○	"	○	○	丸1		
P	- 1.3	31.0	—	○	"	×	×	"		パーライトを含む
A 3 0	-11.2	0.0	525	○	"	○	○	板		飛散効果
A 6 0	-10.6	"	525	○	"	○	○	"		
A 9 0	-10.2	"	525	○	"	○	○	"		
A 1 2 0	-10.8	"	525	○	"	○	○	"		
A 1 5 0	- 9.9	"	525	○	"	○	○	"		
B 3 0	- 2.2	32.0	500	○	"	○	○	"		
B 6 0	- 1.7	"	500	○	"	○	○	"		
B 9 0	- 1.6	"	500	○	"	○	○	"		
B 1 2 0	- 1.6	"	500	○	"	○	○	"		
B 1 5 0	- 1.8	"	500	○	"	○	○	"		

尚、実験に用いる鋼製丸棒の部材径を9mmとしたのは、実験用斜面での雪崩流速と実際の雪崩（楯口を対象にした）の流速から、速度相似率を計算し部材径を決めた。

$$L_M = L_R \cdot \frac{V_M^2}{V_R^2} = 40 \text{ cm} \times \frac{(4 \text{ m/sec})^2}{(30 \text{ m/sec})^2} \doteq 0.7 \text{ cm} \rightarrow 9 \text{ mm}$$

4.2 実験結果及び考察

4.2.1 -10℃における実験

(1) 板 材

板材は、水平部材を側面から見て、30°、60°、90°、120°、150°に傾け、それに雪崩が衝突したとき、板材がそれぞれどのように雪崩に影響をおよぼすかを擁壁に作用する衝撃力と飛散状況から考察するものである。

(1.1) 衝撃力

図4-7に、傾斜角度による衝撃力の経時変化を示す。衝撃力のピークは、部材の傾斜角度が大きくなるにつれ、減少の傾向にある。又、ピークの表われる時刻も傾斜角度が大きくなるほど遅くなっている。しかしながら、傾斜角度が大きくなると、最大値が表われる前にもう一つピークが表われる。特に傾斜角度150°では前と後のピークは、ほぼ同じ値になっている。この2つのピークが表われる理由として、先に表われるピークは、部材の下方をすり抜けた雪崩が擁壁に作用したものである。傾斜角度30°の場合、部材に衝突した雪崩は上方へ飛散し、部材下方を通過した雪崩が先に擁壁に作用

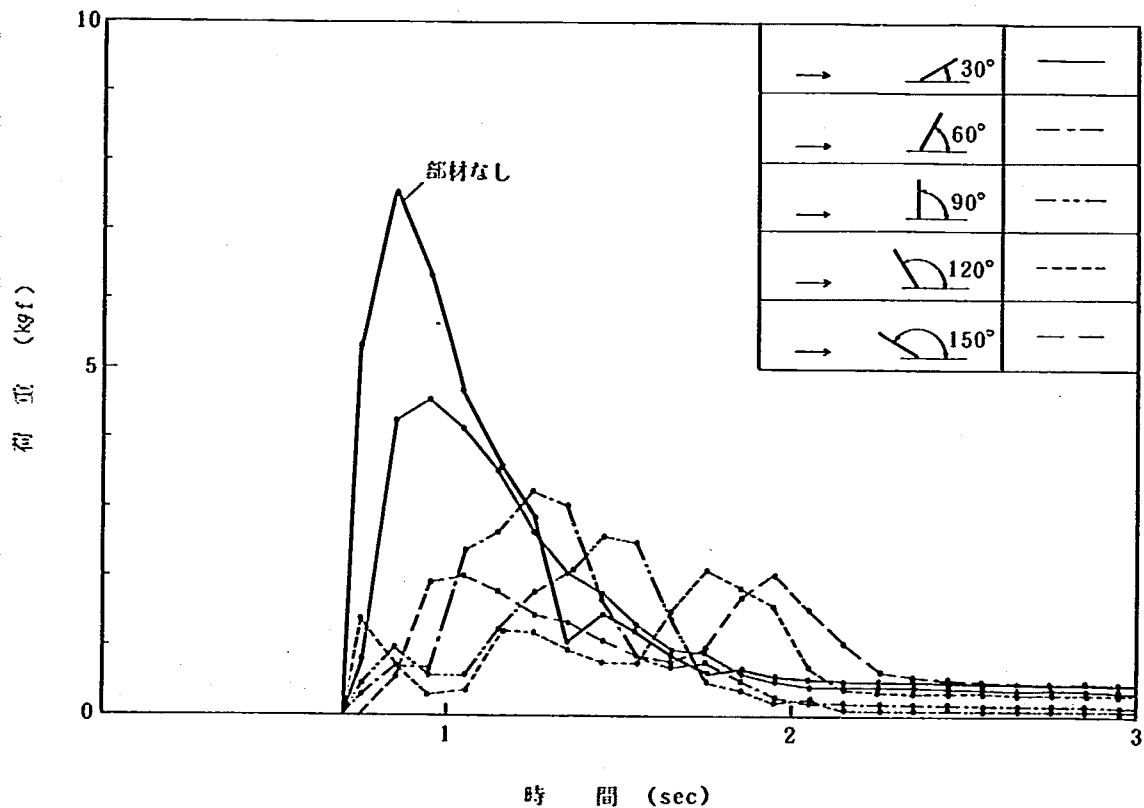


図4-7 傾斜角度による衝撃力の経時変化(-10℃)

する。これは傾斜角度 60° の場合も同様であるが、傾斜角度が 120° になると、部材に衝突した雪崩は斜面に押えつけられることになり、密度の濃い雪崩が擁壁に作用したものと考えられる。これは傾斜角度 150° になるとさらに顕著に表われる。後に表われるピークは、部材に衝突した雪崩が上方に飛散し、それが遅れて擁壁に作用したものである。

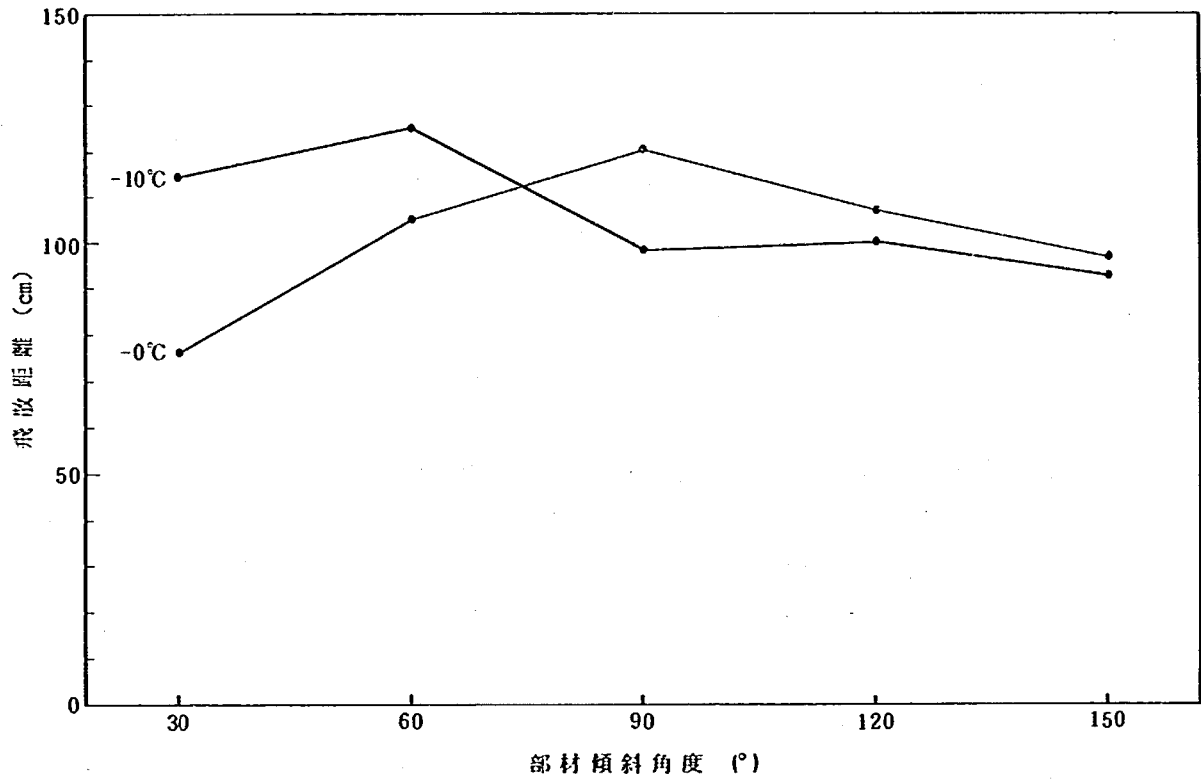


図4-8 飛散距離(板材)

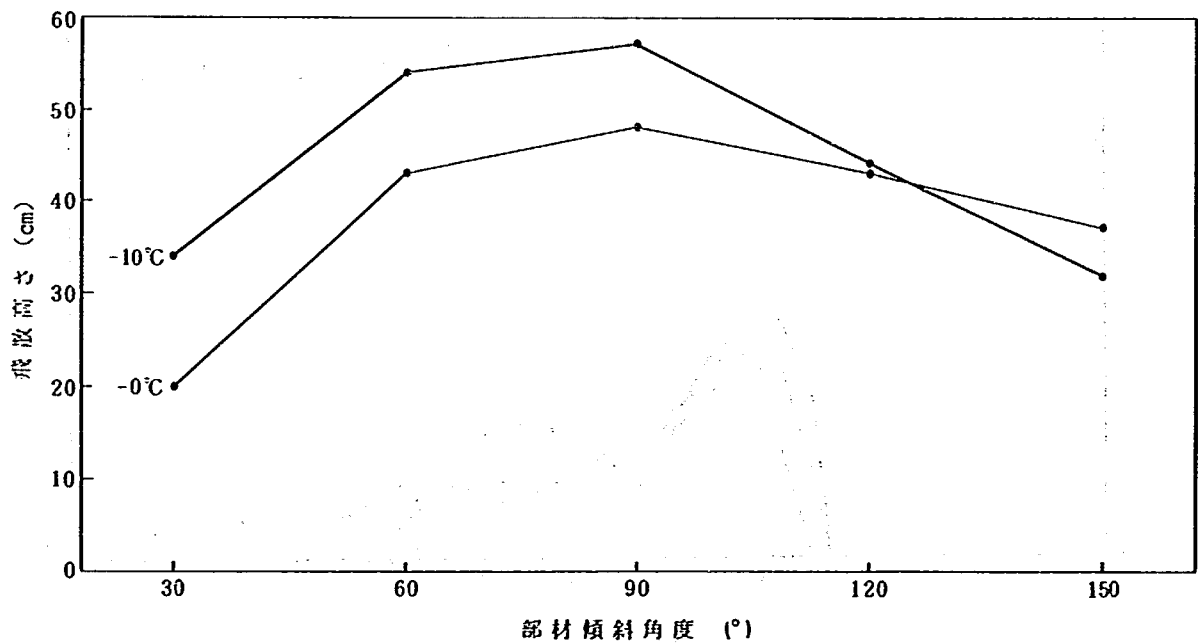


図4-9 飛散高さ(板材)

(1.2) 飛散状況

図4-8, 9に, 雪崩が部材に衝突したとき, その後の挙動を飛散高さや飛散距離により示したものである。飛散高さは, 部材が斜面に対して立ち上がるほど高く飛散する。傾斜角度 30° と 60° は, 部材に衝突した雪崩がそのまま板にそって後方へ飛散する。傾斜角度 120° と 150° は, 部材に衝突した雪崩が板にそって移動しようとするが, 斜面と部材の閉そく効果によって, 部材に雪崩が留まり, 部材下方へすり抜けられない後続流が部材上方に飛散する。これは, 傾斜角度 120° と 150° とを比べると, 120° の方が部材前面に雪崩が停留しやすいことから分かる。

飛散距離は, 傾斜角度 60° が最も遠く飛散した。傾斜角度 30° は, 飛散高さが 60° のそれと比べ低いため飛散の距離が短くなったと思われる。傾斜角度 $90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ は, 板材にそって飛散するのではなく, 部材に雪崩が衝突し上方へ飛散することからあまり差が表われなかった。

(2) 丸棒2本

丸棒は水平部材とし, 部材2本の組み合わせにより, それに衝突した雪崩がどのような挙動を示すか, 擁壁に作用する雪崩の衝撃力と飛散状況から考察するものである。

(2.1) 衝撃力

図4-10は, 斜面から1 cmの高さに部材を1本配置し, 2本目を斜面から3 cmの高さに配置し, その位置を1本目の前後に移動したとき, 部材に衝突した雪崩が擁壁に作用したときの衝撃力の経時変化を示したものである。2本目の部材を1本目の部材の前方と後方に配置する場合, 雪崩に与える影響が若干異なる。前方に2本目を配置した場合, 雪崩は最初の部材に衝突し, 上方に飛散するものと下方にたたきつけられるものとに分けられる。下方へたたきつけられた雪崩に対して, 後方の部材

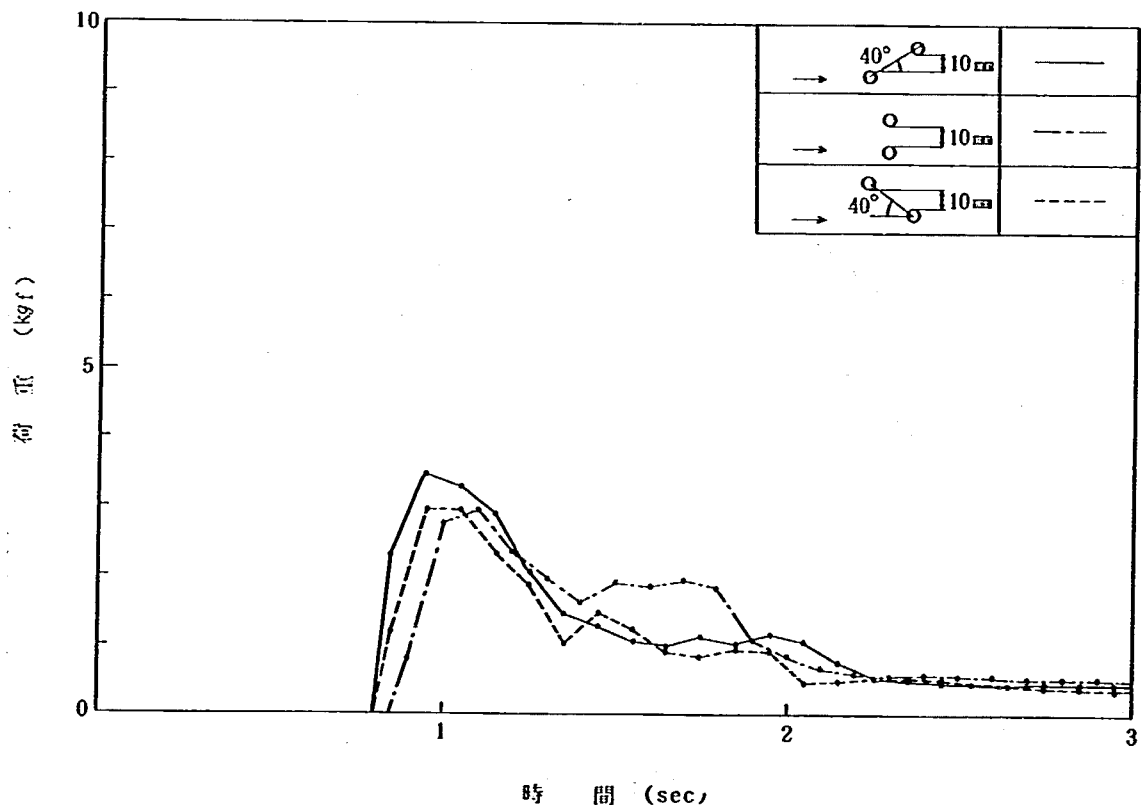


図4-10 部材位置による衝撃力の経時変化 (-10°C)

は作用する。それに対し、後方へ2本目を配置した場合、後方の部材は飛散した雪崩に対して作用する。2本目を前方へ配置したときの方が、後方へ配置したときより衝撃力のピークは若干小さい。

図4-11に、2本目の部材を後方に配置したとき、部材に衝突した雪崩が擁壁に作用したときの衝撃力の経時変化を示したものである。3ケースとも、波形の傾向は同じである。これは、底面から1cmの高さに配置した一本目の部材の影響が大きいためである。部材下方を通過し擁壁に作用する雪崩は3ケースとも同じであり、2本目の部材は1本目の部材によって飛散した雪崩の方に作用しているからである。

図4-12は、2本目の部材を前方に配置したとき、部材に衝突した雪崩が擁壁に作用したときの衝撃力の経時変化を示したものである。図4-11のときと同様に、3ケースとも同様の傾向を示しているが、若干波形が不ぞろいである。これは、2本目の部材が最初に雪崩と衝突する訳であるが、作用高さの違いにより、飛散状況が若干異なる。又、底面に押えつけられる雪崩も3ケースとも異なるため、1本目の部材（底面から1cmの高さに配置）に作用する雪崩流も異なり、波形が図4-11よりはケースによる違いが現われているものと考えられる。

(2.2) 飛散状況

図4-13, 14に、部材を2本配置したときの、雪崩の飛散距離を示したものである。部材2本目の配置を前方(A)と後方(B)に置いたものは、両者にあまり差は見られない。部材間隔20mmが最も遠くへ飛ぶ。このときより部材間隔が広くても狭くても飛散距離は減少する。

図4-15, 16に、そのときの飛散高さを示したものである。これは飛散距離の場合と違って、2本目の部材を前方に配置した場合(A)、部材間隔が狭いほど、雪崩は上方へ飛散する。その理由として、部材間隔が狭いと閉そく効果を生じ部材前面に雪崩が停留し、それが擁壁となって、後続の雪崩は上方へ高く舞い上げられるものと思われる。2本目の部材を後方に配置した場合(B)は、部材間隔が広いほど、雪崩上方へ飛散する。

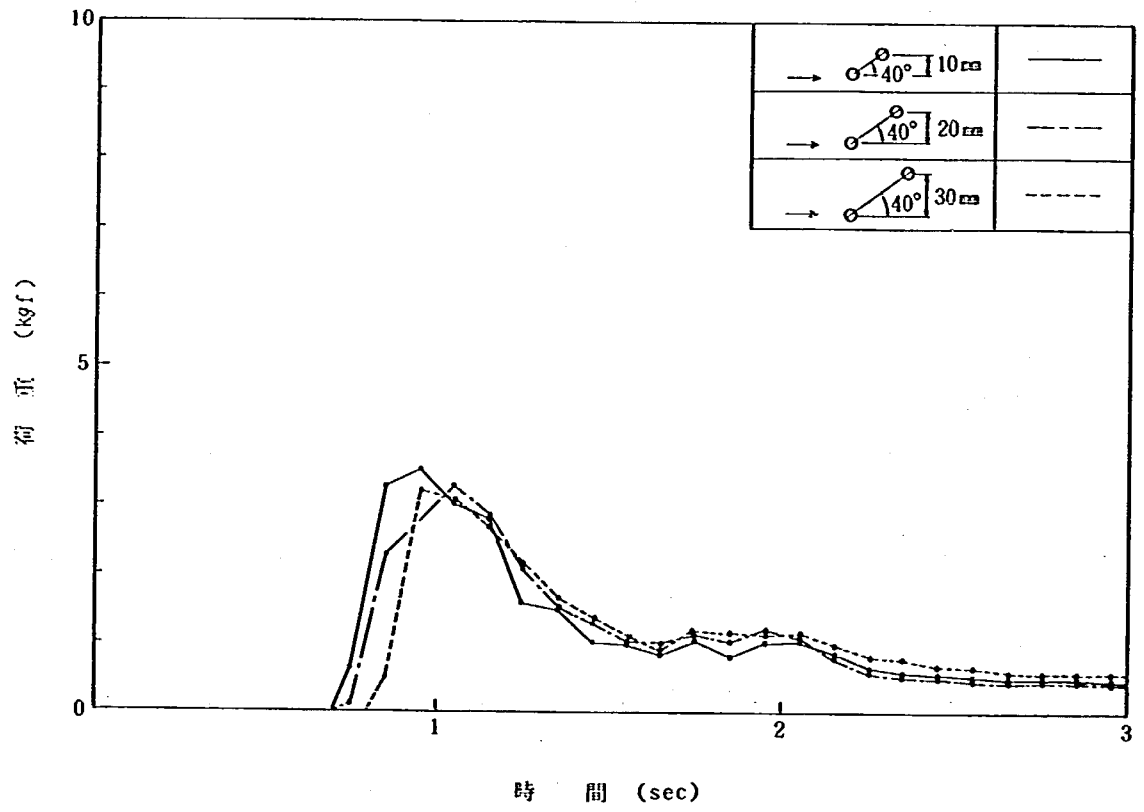


図 4 - 11 部材間隔による衝撃力の経時変化 (-10°C)

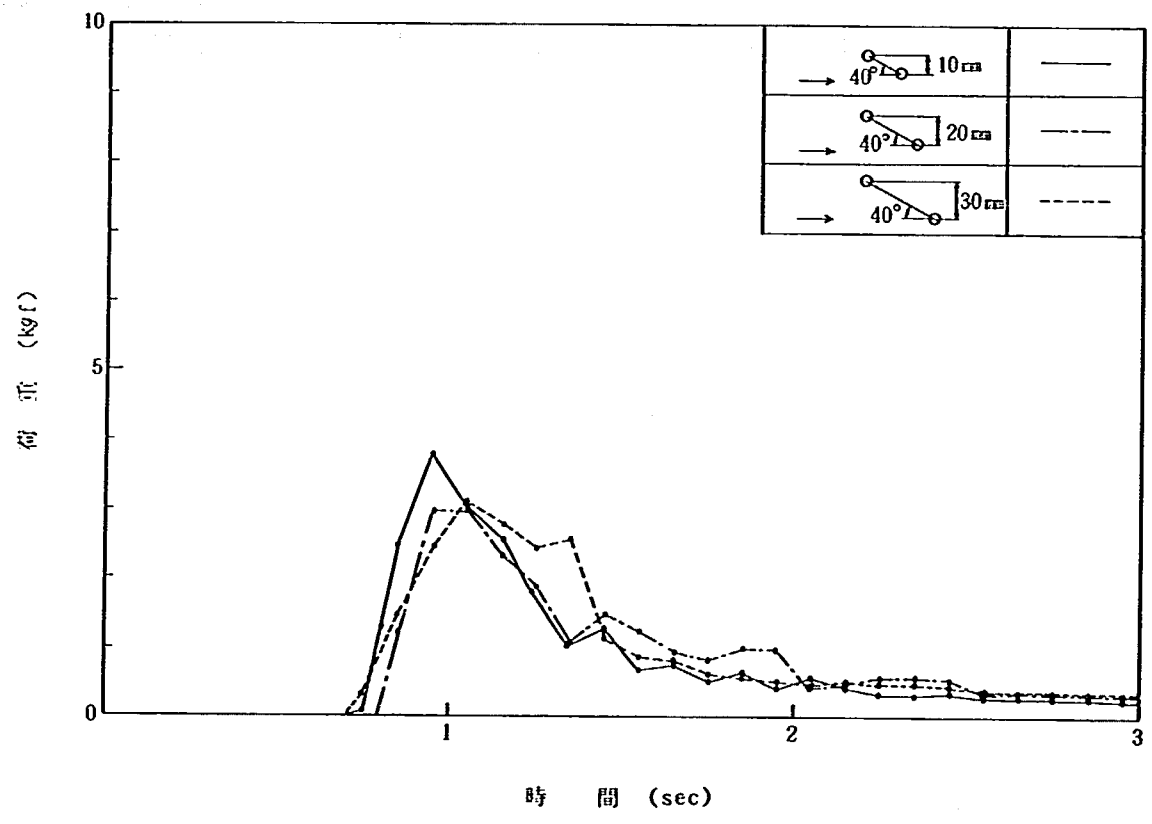


図 4 - 12 部材間隔による衝撃力の経時変化 (-10°C)

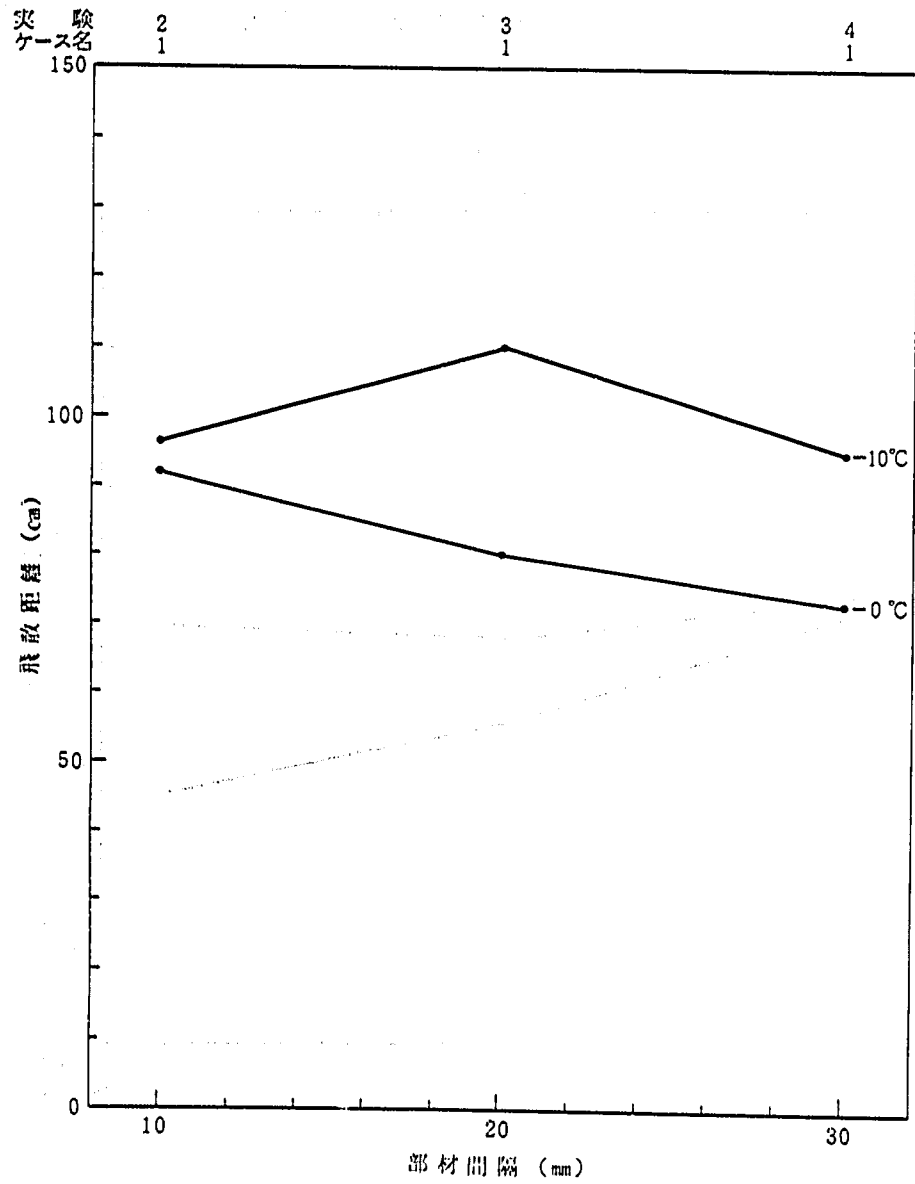


図 4 - 13 飛散距離 (A)

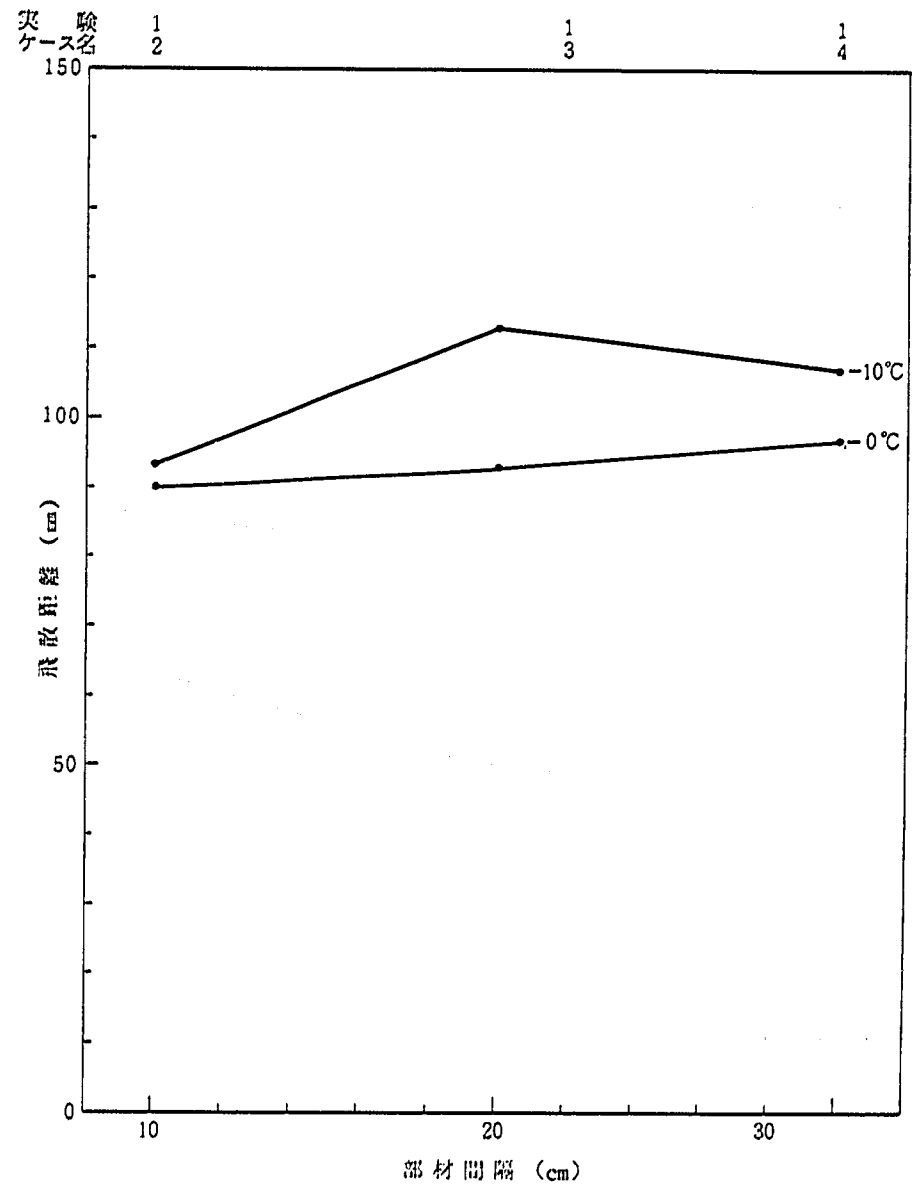


図 4 - 14 飛散距離 (B)

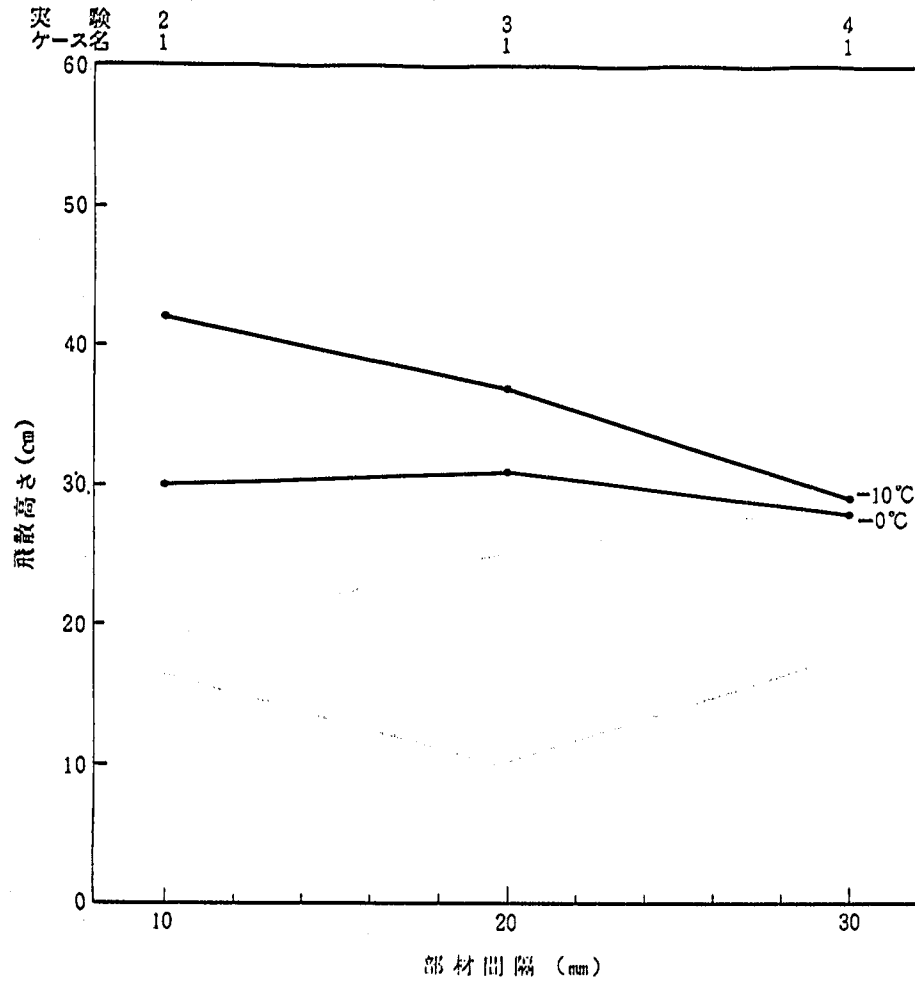


図 4 - 15 飛散高さ (A)

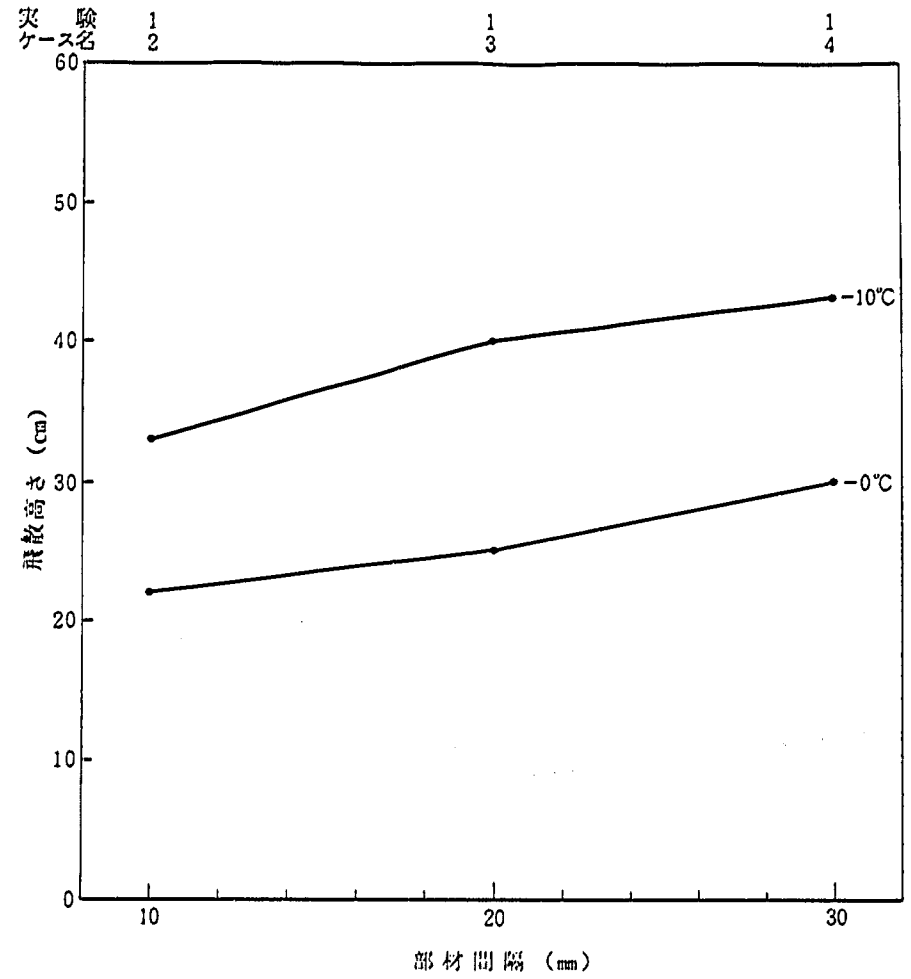


図 4 - 16 飛散高さ (B)

4.2.2 -0℃における実験

前述の-10℃における実験は、人工雪を乾雪に想定したものである。これに対し、実験室内を0℃近くまで温度を上げ、人工雪を湿雪に想定した。乾雪との比較を飛散状況及び衝撃力から検討するものである。尚、人工雪の含水率は約30%である。(表4-1参照)

(1) 板 材

(1.1) 衝撃力

図4-17に、傾斜角度による衝撃力の経時変化を示す。-10℃と比較して、全ケースとも、衝撃力は小さな値を示している。又、傾斜角度が大きくなるにつれ、卓越したピークが現われにくくなる。傾斜角度120°と150°では、-10℃のとき現われていた後方のピークは見られない。この理由として、人工雪が水分を含んでいるため、粒子間が吸着しやすくなっており、-10℃のときのように部材衝突後の雪崩の挙動が、部材下方をすり抜ける流れ型と、上方に飛散し舞い上がる煙り型とにその性質を異にせず、舞い上がる雪崩もある程度のかたまりとなり飛散するため、流下の速度との違いがはっきり現われず、一連の雪崩流として擁壁に到達するものと考えられる。衝撃力減勢率はピーク値で比較すると、湿雪と乾雪の差はあまり見られない。(衝撃力減勢率：30°…40%、60°…60%、90°…60%、120°…80%、150°…75%)

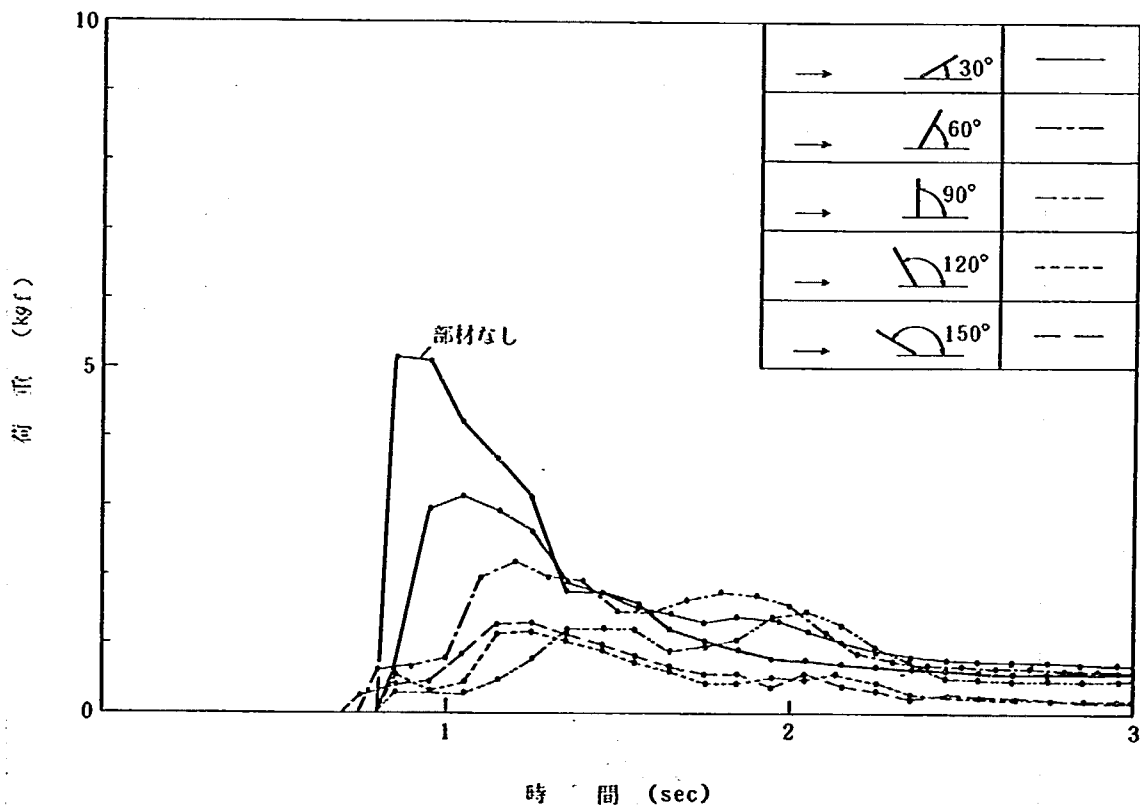


図4-17 傾斜角度による衝撃力の経時変化(-0℃)

(1.2) 飛散状況

図4-8, 9を参照。飛散距離は、傾斜角度90°が最も遠くへ飛ぶ。つまり板を立てたときが最大値を示し、寝かせるにつれ、値は減少する。-10℃と比較すると、傾斜角度30°と60°では、乾雪の方が飛散距離は大きい。傾斜角度90°から、湿雪と乾雪では値の大小関係は逆転する。

飛散高さは、 -10°C と比較して、傾斜角度に関しては同様の傾向であるが、 30° 、 60° と 90° では、 -10°C の方が高く舞い上がり、傾斜角度を大きくしていくと両者は接近し、ついに逆転するに至る。

飛散高さと同様に飛散距離を考慮すれば、傾斜角度 30° と 60° では、湿雪と乾雪とも飛散方向は同じで、乾雪の方が、舞い上がりやすく見かけの比重が軽いと考えられる。しかしながら、傾斜角度 90° を境いに、乾雪は上方へ舞い上がるのに対し、湿雪では、 30° と 60° と同じ方向へ飛散する。これは、傾斜角度 30° と 60° では、乾雪と湿雪とも、板にそってジャンプするため、飛散の方向としては両者に差は現われなかったのに対し、傾斜角度 90° 以上では、部材前面に停留した雪崩の堆積の形状により、乾雪は粉体として上方へ舞い上がりやすく、湿雪は粒子間の粘着力により見かけの比重が大きく、そのため慣性力が大きくなり、後方へ飛散すると考えられる。

(2) 丸棒 2本

(2.1) 衝撃力

図4-18は、斜面から1cmの高さに部材を1本配置し、2本目を斜面から3cmの高さに配置し、その位置を1本目の前後に移動したとき、部材に衝突した雪崩が擁壁にどのように作用するか、衝撃力の経時変化で示したものである。両者を比較すると前方へ配置した方が若干ピークが小さい。そして、2本目の部材を1本目の部材の真上に配置したものは、前方及び後方へ配置したものと比べて波形が異なる。これは真上に置いたものは、閉そく効果により、部材2本で擁壁と同じ働きをするため、部材前面に雪崩が押し止められる。そのため、先端の雪崩は体積を増し固まりとなって飛散し擁壁に作用するものと考えられる。故に、衝撃力のピークが大きく、到達時間も遅い。 -10°C のとき、このような傾向が見られなかったのは、乾雪が湿雪に比べて閉そく効果を生じにくいいためと思われる。

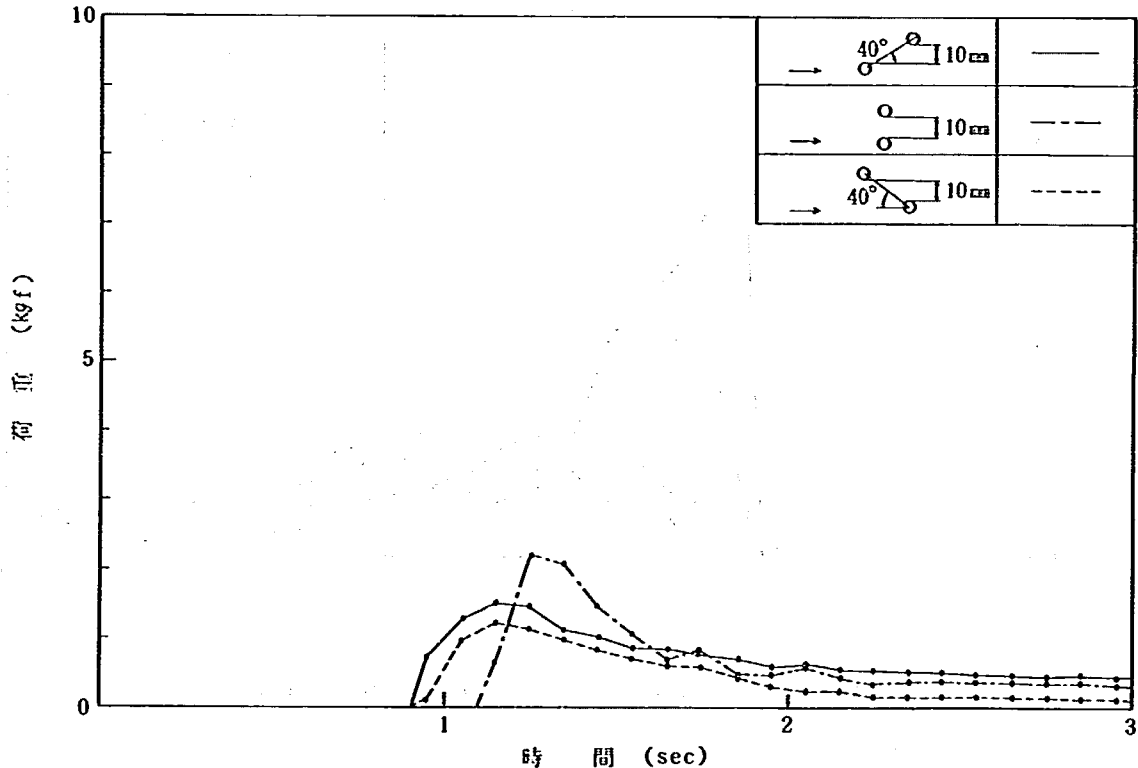


図4-18 部材配置による衝撃力の経時変化

図4-19に、2本目の部材を後方に配置したとき、部材に衝突した雪崩が擁壁に作用したときの衝撃力の経時変化を示したものである。部材間隔20mmと30mmではピークの差は小さく、部材間隔10

mm では大きいのは、閉そく効果が現われているためと思われる。

図4-20に、2本目の部材を前方に配置したとき、部材に衝突した雪崩が擁壁に作用したときの衝撃力の経時変化を示したものである。部材間隔10mmと20mmではピークの差は小さく、部材間隔30mmでは大きい。これも閉そく効果によるもので、図4-19と比較すれば2本目の部材を前方に配置した方が閉そく効果が生じやすいことが分かる。

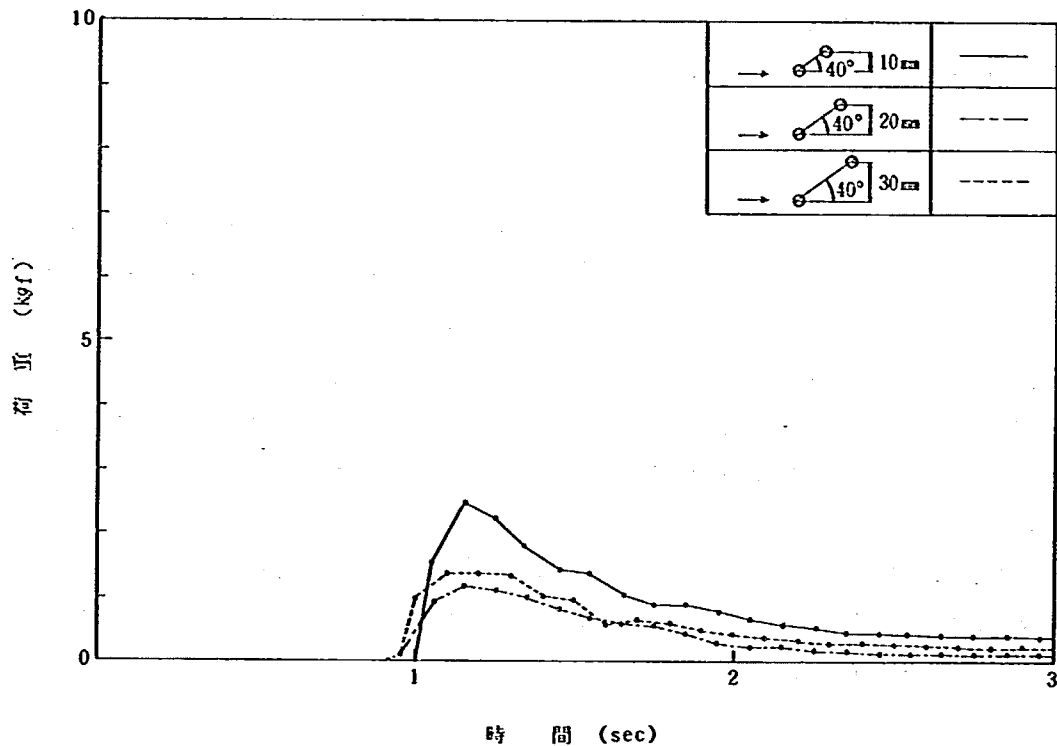


図4-19 部材間隔による衝撃力の経時変化(-0°C)

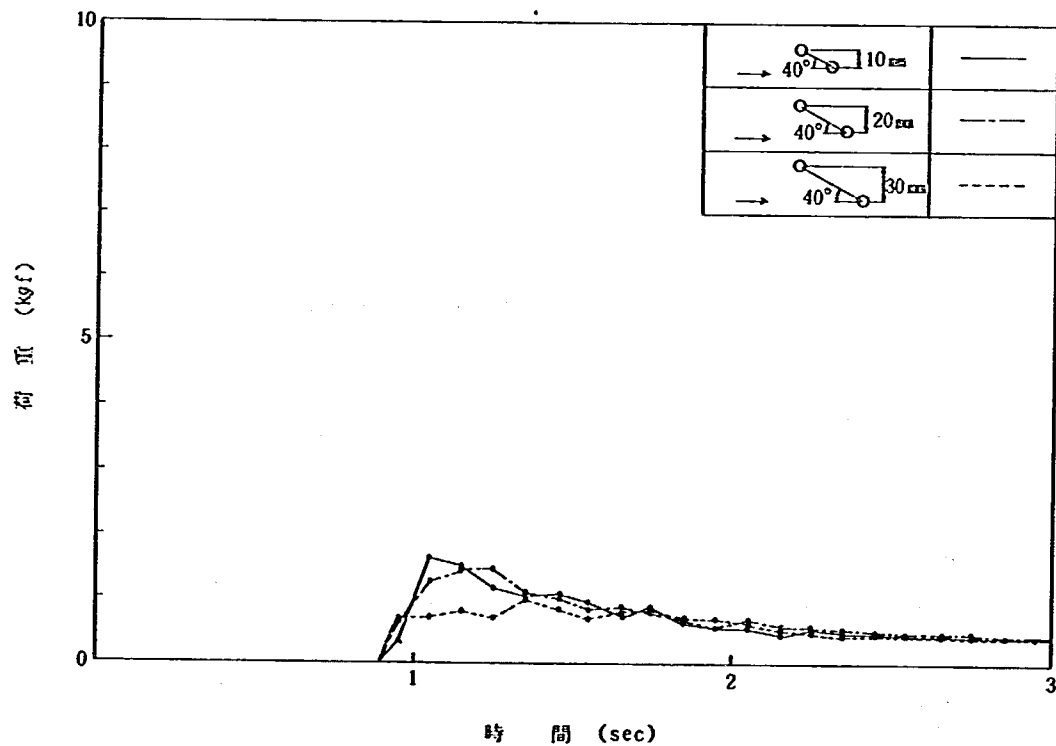


図4-20 部材間隔による衝撃力の経時変化(-0°C)

(2.2) 飛散状況

(図4-13, 14, 15, 16を参照。) 飛散距離は、2本目の部材を前方に配置したとき、部材間隔が広くなるにつれ飛散距離は短くなる。逆に、2本目の部材も後方に配置したとき、部材間隔が広くなるにつれ飛散距離は遠くなる傾向にある。飛散高さは、2本目の部材を前方に配置したとき、部材間隔による違いはほとんど現われない。2本目の部材を後方に配置したとき、部材間隔が広くなるにつれ、高く舞い上がる傾向にある。飛散高さと飛散距離の両者を比べると、2本目の部材は、前方に配置すると飛散距離に影響を与え、後方に配置すると飛散高さに影響を与える。

4.2.3 雪崩密度

雪崩の衝撃力計算には、雪崩の流下速度、雪崩の流下中密度、雪崩の作用面積を知る必要がある。特に、流下速度及び流下中密度は、実際の雪崩を測定することが難しい。しかしながら、速度は、各種の解析や実験から得られる手がかりがあるのに対し、密度は、特でない。

そこで、雪崩の流下密度及び飛散中の密度を求めるため、電気容量法を用いて実験を行なった。減勢工部材は、底面から1 cmの高さに水平丸棒を1本配置し、これに衝突した雪崩の飛散中の密度及び、衝突前の流下中の密度を、人工雪(湿雪及び乾雪)と天然雪について実施した。

(1) 流下中密度

図4-21に、乾雪の流下中密度を、図4-22に、湿雪の流下中密度を示す。流下前の密度は、崩壊箱に詰めたとときの密度とする。流下前と流下中の密度を比較すると、乾雪の場合約60%、湿雪の場合約80%小さくなり流下する。

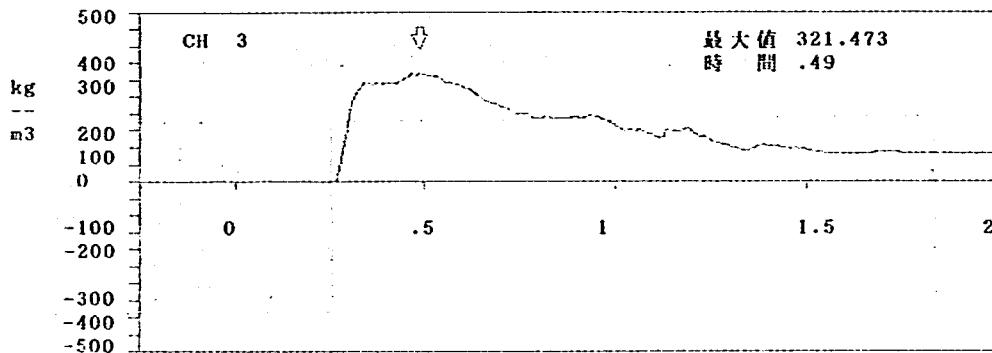


図4-21 雪崩の流下中の密度(-10°C)

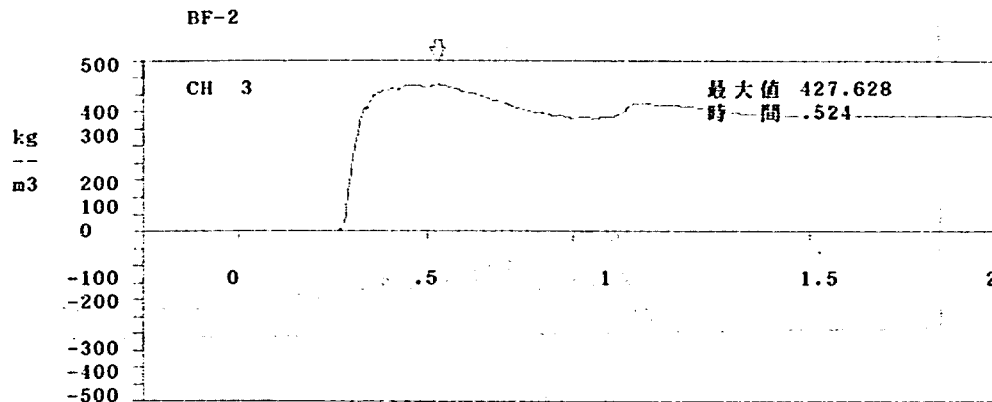


図4-22 雪崩の流下中の密度(-0°C)

(2) 飛散中密度

図4-23に乾雪の飛散中密度を、図4-24に湿雪の飛散中の密度を示す。又、図4-25に、天然雪の飛散中の密度を示す。流下前と飛散中の密度を比較すると、乾雪の場合約50%、湿雪及び天然雪の場合約75%小さくなる。天然雪と湿雪(人工雪)とは、含水比が同程度である。流下前の密度は、湿雪は天然雪の約70%であるが、飛散中の密度の変化の割合は同程度であった。

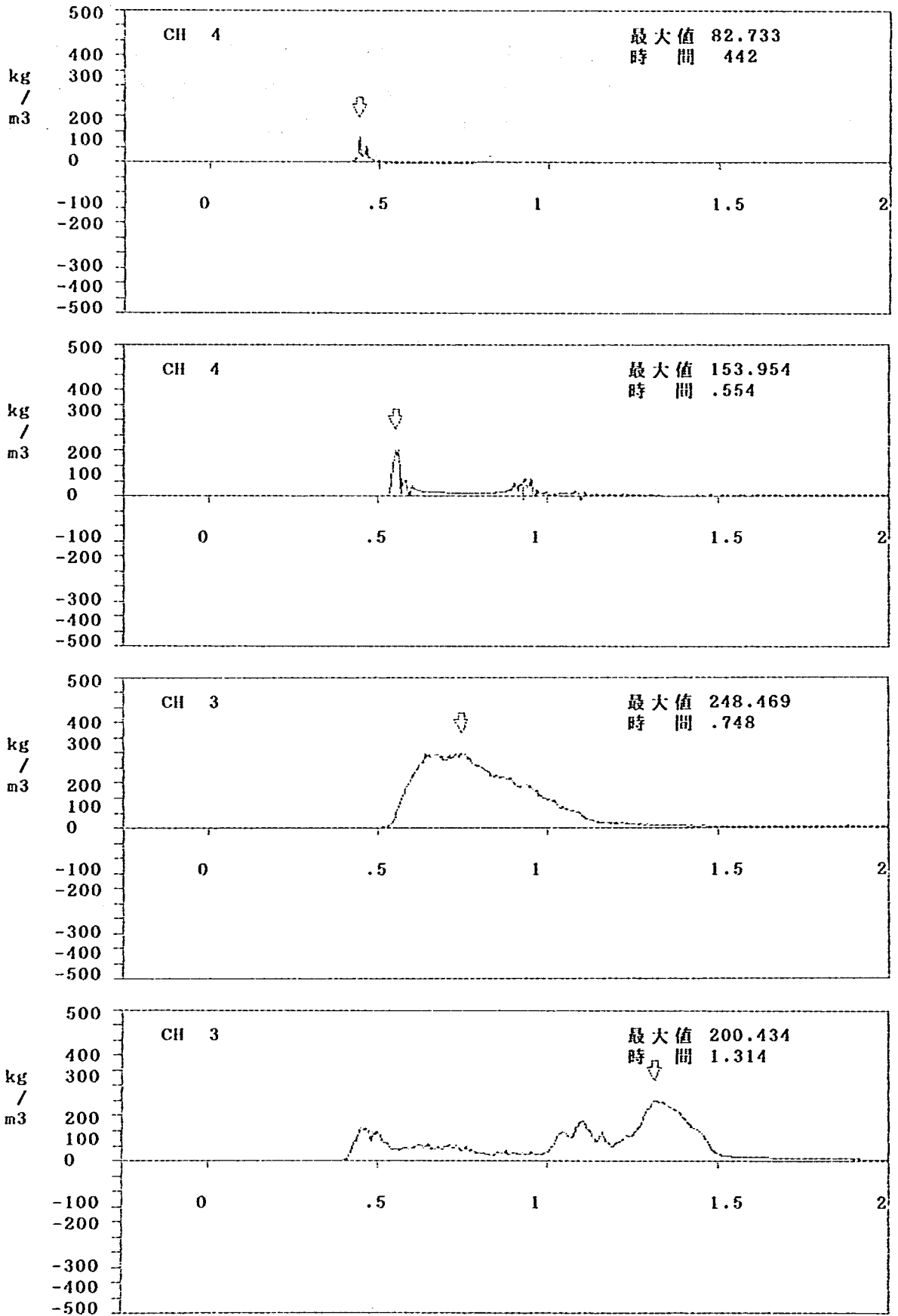


図4-23 雪崩の飛散中の密度 (-10°C)

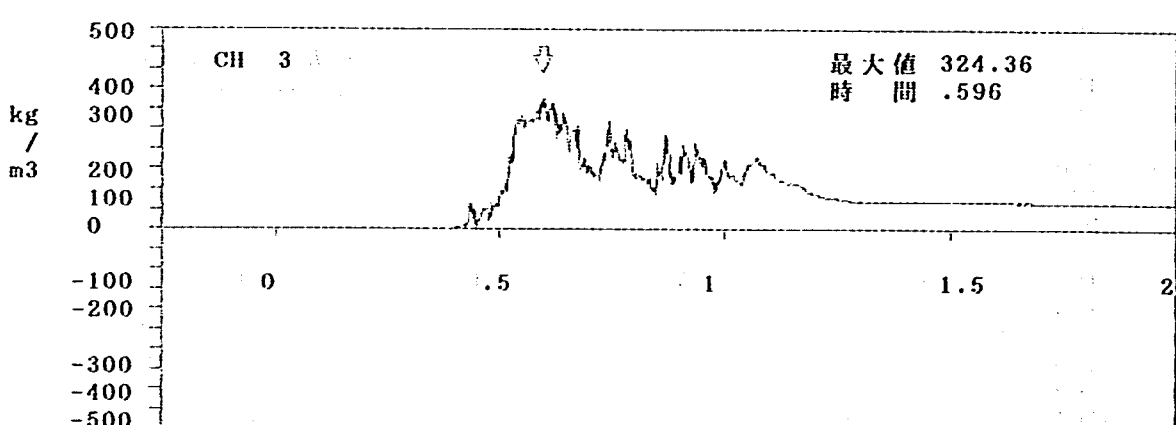
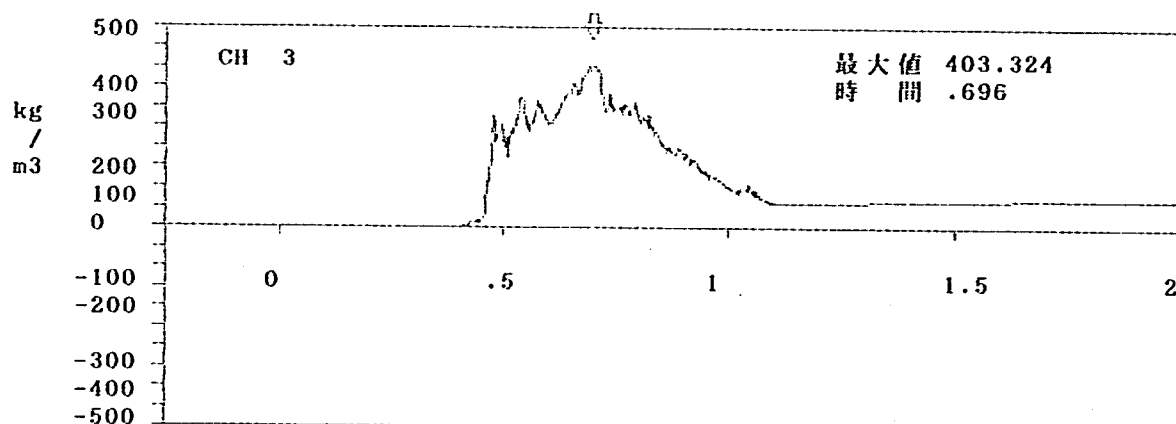
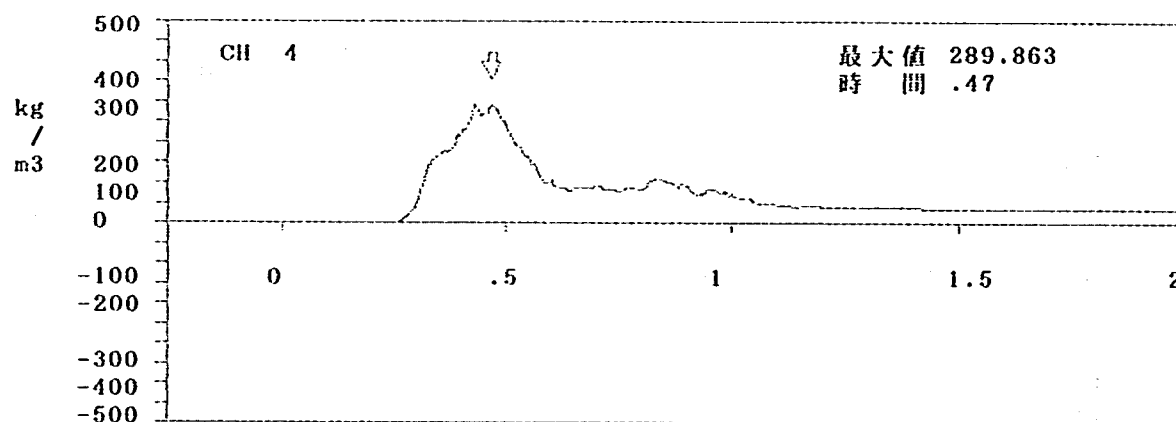
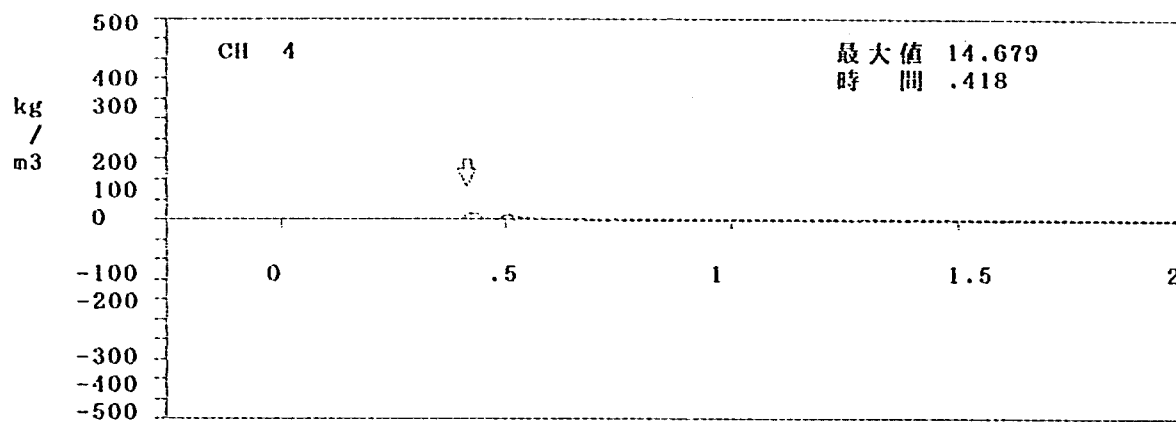


図4-24 雪崩の飛散中の密度(-0℃)

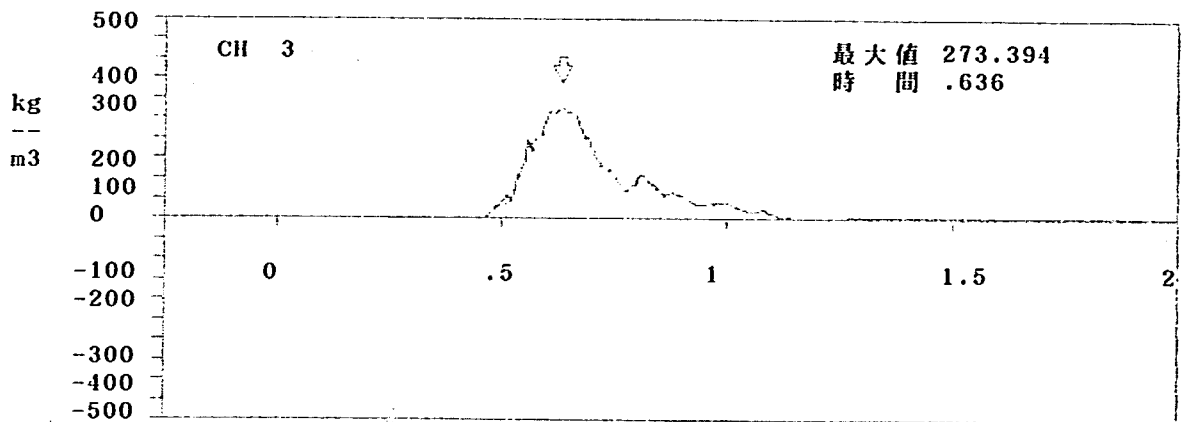
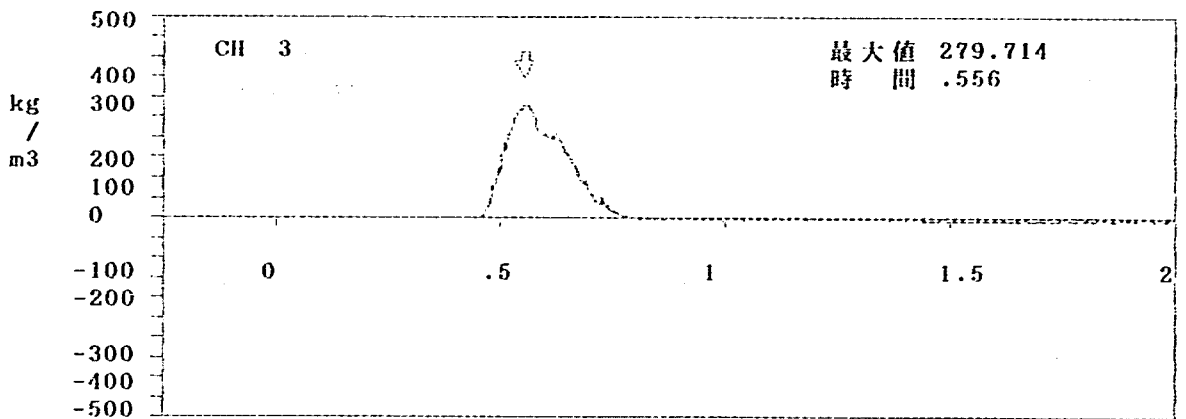
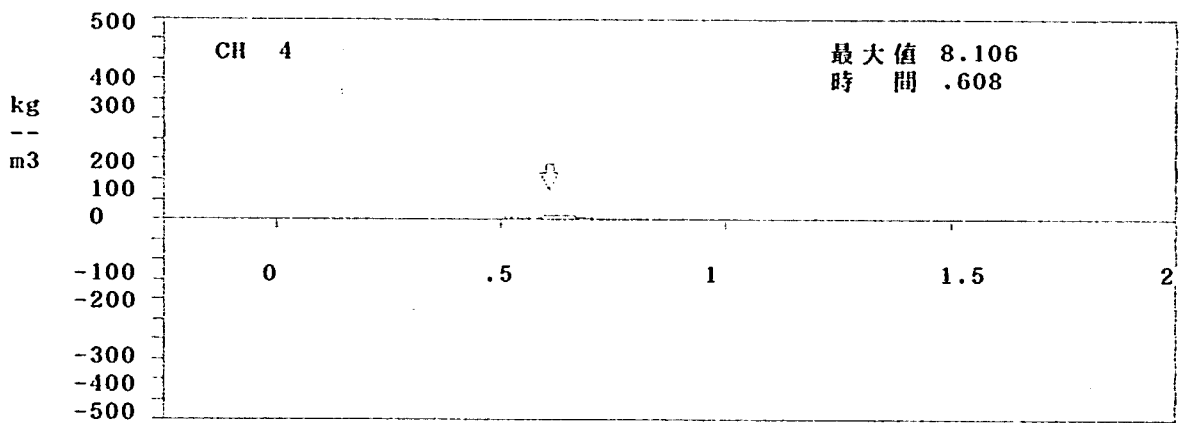
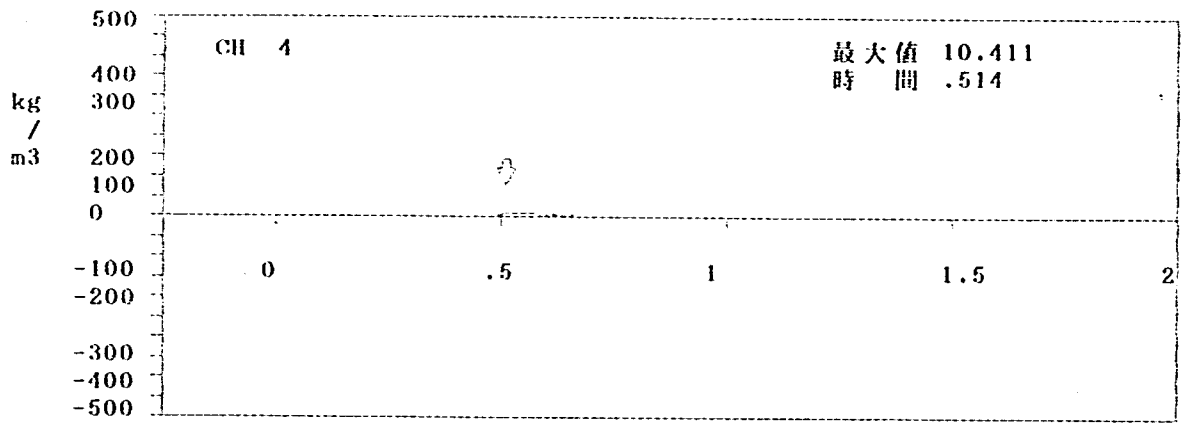


図4-25 雪崩の飛散中の密度(天然雪)

4.2.4 人工雪の堆積状況

本実験において、崩壊箱に詰めた人工雪が模型斜面流下中に、どの程度攪乱するか調べるため、崩壊箱中の人工雪を前・中・後と色分けし、流下後堆積した人工雪がどのような色分布になったか写真に収めた。着色方法は、パーライトを着色し、それを人工色に混ぜ合わせた。前方は赤、中間は白、後方は黒である。

写真4-2は、崩壊箱に詰めた着色された人工雪である。

写真4-3に、流下後堆積した人工雪を真上から撮影したものである。擁壁に到達している雪崩は、崩壊箱に詰めた人工雪の先端部分であることが分かる。その後、順次中間部分、後方部分と流下している。また、擁壁付近では、白色・黒色の各々が縞状になっていることから、流下中に、厚層が波状になり徐々に攪乱しはじめ、後続流になるにつれ、攪乱が増大しているものと考えられる。

また、色分布から、流路の中央が最も流速が速いことが確認できる。これは、流路の摩擦抵抗が大きいことを示している。

これから、雪崩流は、後続流ほど粒子間の乱流損失が大きい。又、斜面と雪崩流との摩擦及び雪崩流中の粘性の影響が大きいと思われる。

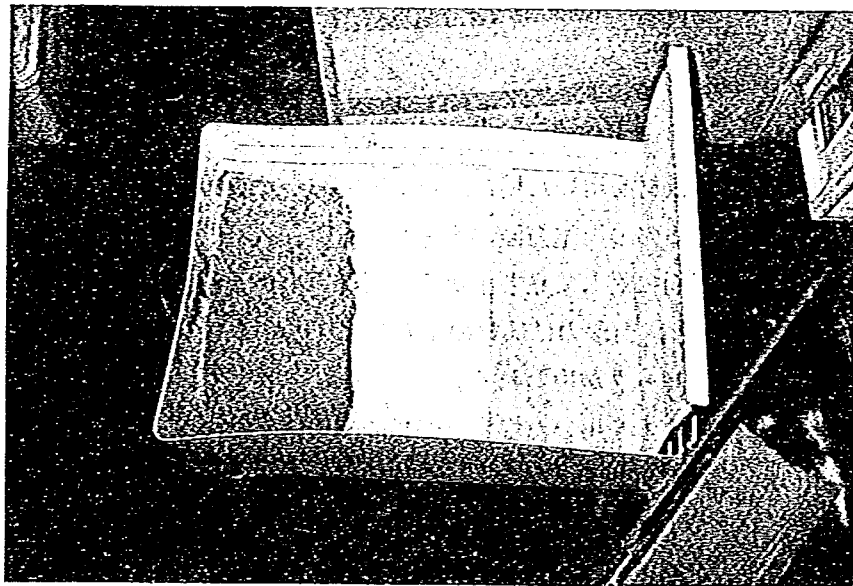


写真4-2 着色した人工雪(流下前)

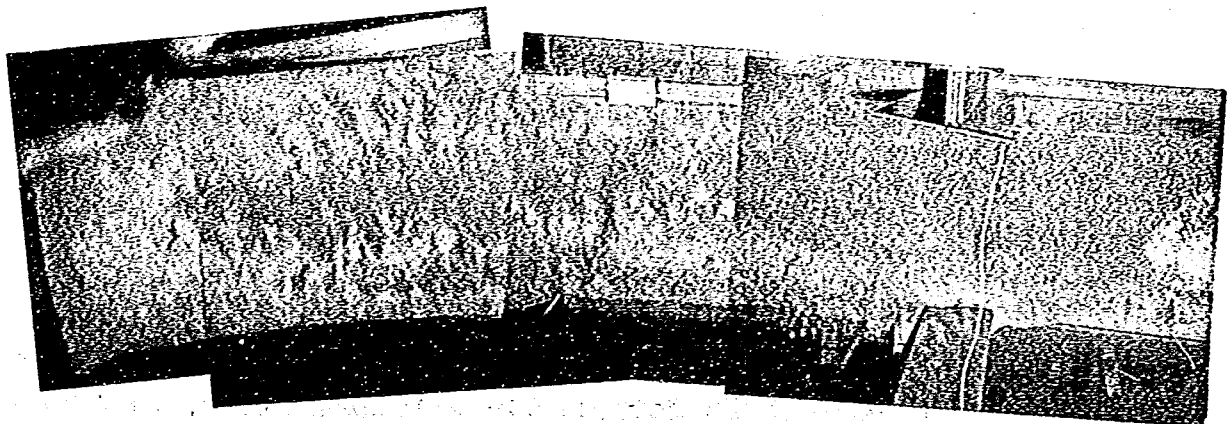


写真4-3 堆積状況

第5章 ま と め

パーライト及び人工雪を雪崩材料に用いた雪崩減勢工に関する実験により、以下の知見を得た。

5.1 パーライト実験

鉛直部材は、雪崩を分割させることにより、減勢効果をもたせ、水平部材は、斜面に押えつけるものと、飛散させるもので減勢効果をもたせる。

- (1) 鉛直部材は、衝撃力のピークを下げる効果がある。
- (2) 水平部材は、衝撃力を減衰させる効果大きい。しかし、部材前面に雪崩が堆積すると、ジャンプ台となり、減勢効果は失われる。
- (3) 水平部材の場合、部材にかかる荷重は雪崩が部材前面に堆積するまでは、衝撃力の式で適用できるが、堆積後は、部材に衝撃力は伝わりにくく、堆積した雪崩の圧力が卓越する。
- (4) 抗力係数は、雪崩材料が部材前面に停留するような場合、あまり差が出ず、部材径が大きくなるほど、その傾向は強い。
- (5) 減勢効果は、雪崩が部材に衝突したものと、衝突後、雪崩の粒子間及び斜面と粒子の摩擦により損失したのものがある。

5.2 人工雪実験

- (1) 雪崩減勢工部材に水平板材を用いた場合、傾斜角度 30° で約40%、 60° で約60%、 90° で約70%、 120° 及び 150° で約75%の衝撃力減勢率となった。
- (2) 板材の場合、部材が斜面に対して立ち上がるほど舞い上がる。
- (3) 板材を 90° 以上傾けると、衝撃力は部材の下方をすり抜けるものと、上方に飛散するものの2つに時間差が現われ2回ピークが現われる。
- (4) 雪崩減勢工部材に丸棒2本を用いた場合、部材間隔を狭くし、閉そく効果を生じると、部材前面に雪崩が堆積し、それをジャンプ台として、後続流が流下する。そのため、衝撃力減衰は閉そく効果を生じると効果が小さくなる。
- (5) 人工雪の密度は、流下前と流下中(部材衝突前)の密度を比較すると、乾雪の場合約40%、湿雪の場合約20%小さくなり流下する。さらに飛散中の密度は、部材衝突前と比べて、乾雪の場合約20%、湿雪の場合10%小さくなる。
- (6) 天然雪の密度は、含水比が同じ人工雪では、流下前と飛散中の密度変化の割合は同じである。
- (7) 人工雪の流下状況は、後続流ほど粒子間の攪乱が大きい。又、斜面との摩擦により速度勾配を生じる。

5.3 今後の課題

雪崩減勢工部材が、雪崩に及ぼす影響は同一部材であっても、配置方法により異なることが分かった。雪崩を観察することにより、減勢効果の定性的な評価は可能である。今後の課題として、表層雪崩を定量的に取り扱うには実際の表層雪崩の運動に関するデータの蓄積が必要であり、それらのデー

タから表層雪崩を表現できる実験及び解析を考察する必要がある。



第2編 雪崩減勢工に関する模型実験 その2



第1章 概 要

1.1 実験目的

日本海側を中心とした積雪地域においては、冬期間に豪雪等による災害が数多く発生している。その中でも雪崩は大きな被害をもたらす可能性が高く、多くの人命を奪った雪崩（新潟県中魚沼郡中里村清津峡温泉，新潟県西頸城郡能生町柵口等）もある。これらの災害を防止するために雪崩対策工に関する研究が、各機関で実施されている。雪崩対策工は、大きく分けて全層雪崩対策工と表層雪崩対策工がある。このうち全層雪崩対策工については、予防柵等が現地に設置され効果をあげている。一方、表層雪崩の対策に関しては、雪崩発生境界面が積雪内部にあることや厳冬期の降雪・吹雪中に発生するなど、発生形態等についても明らかにされていないことから、対策工法に関する研究も十分にされていないのが現状である。当研究所では、各種構造物（杭等）に対する表層雪崩の衝撃力特性および構造物による減勢効果を解明することを目的として、低温実験施設内に雪崩模型実験斜面を設置して実験を行った。

昨年度までの実験で部材の形状による特性や減勢工の形状別減勢効果等について把握することができた。（雪崩減勢工に関する実験報告書(1)参照）そこで、本年度は温度別や雪崩量別等による特性を明らかにすることを主な目的として行った。

1.2 実験装置

1.2.1 実験斜面

雪崩模型実験斜面（写真1-1）は、新潟試験所の低温実験施設内の低温室(A)と低温室(B)にかけて

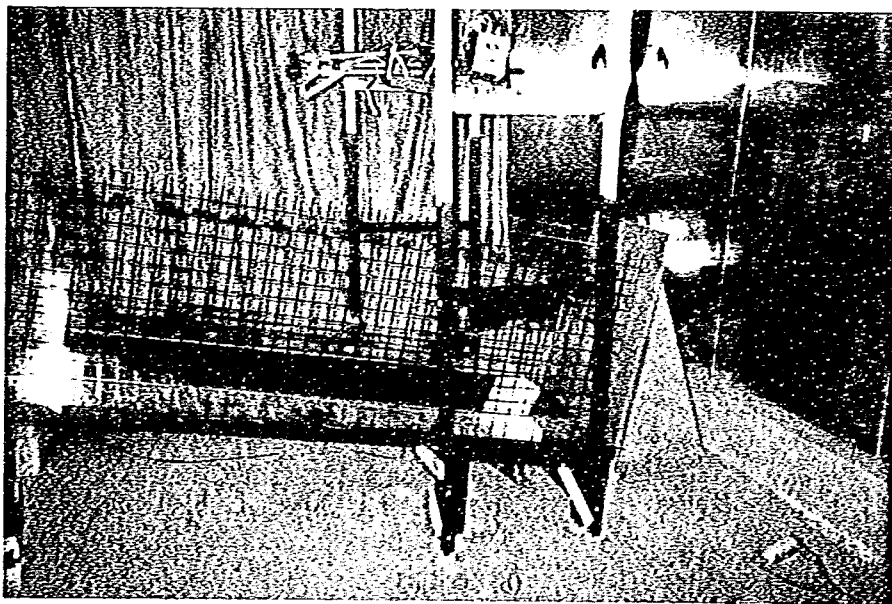


写真1-1 実験斜面

設置した(図1-1)。実験斜面の形状は低温室内の寸法から図1-2に示すようなものとした。斜面長は約7(m), 落下高さは3(m)で, 勾配が上部から70°・40°・30°・10°と徐々に緩やかになっている。斜面の上部は可変式になっており, 40°・50°・60°・70°の4段階にすることが可能である。なお, 今回の実験では70°を基本として実験を行った。斜面板の素材には, 雪との底面抵抗を少なくするためにFRP樹脂板を使用した。また, 構造物を設置する下流斜面には, 上方からのビデオ撮影用に5×5(cm)のメッシュを入れ, 側壁にも同様のメッシュをいれた。

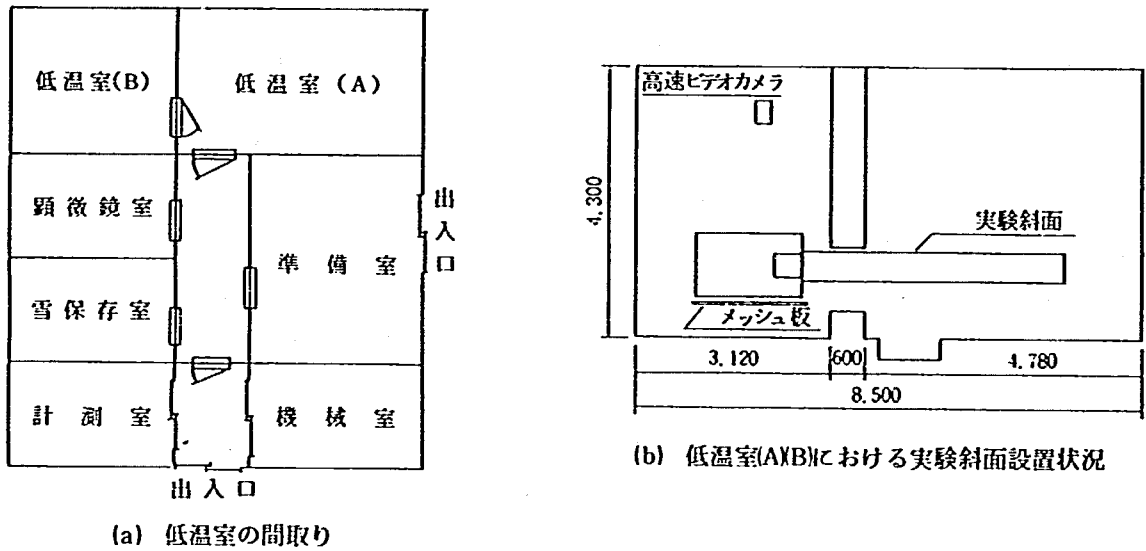


図1-1 低温実験施設 概略図

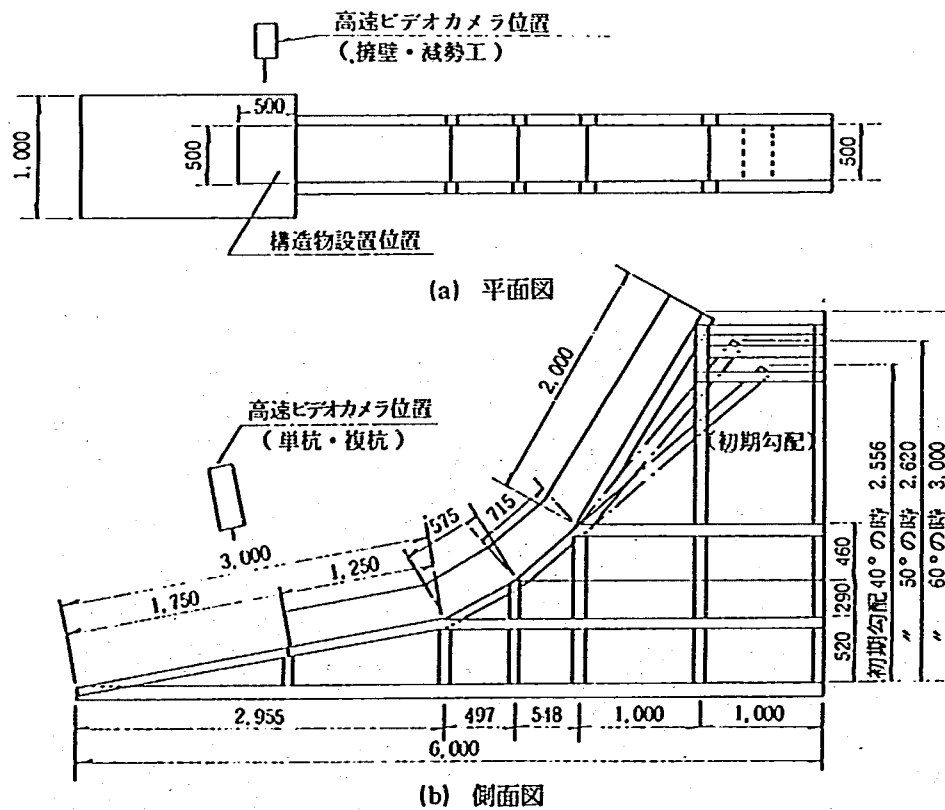


図1-2 模型実験斜面 寸法図

1.2.2 衝撃力測定用模型

衝撃力測定に使用した模型は、擁壁、杭、減勢工である。模型の概要は以下に示すとおりである。

(1) 擁壁

高さ10 (cm)、幅30 (cm)の擁壁に10×10 (cm)の受圧板を3枚セットした小型擁壁 (図1-3)と、高さ44 (cm)、幅60 (cm)の大型擁壁 (図1-4、写真1-2)の2種類の模型を使用した。

(2) 杭

高さ10 (cm)、幅2 (cm)の杭で、受圧形状は4種類である。(図1-5)

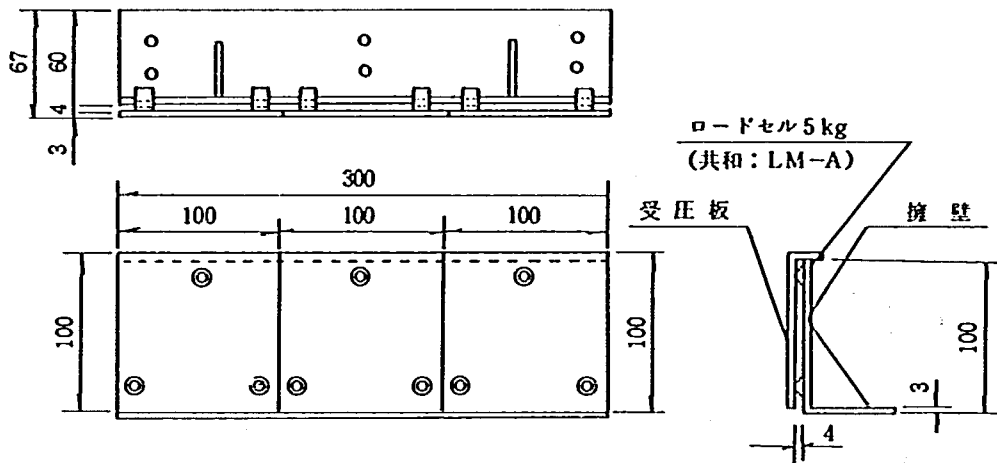


図1-3 擁壁模型 (小型) 寸法図

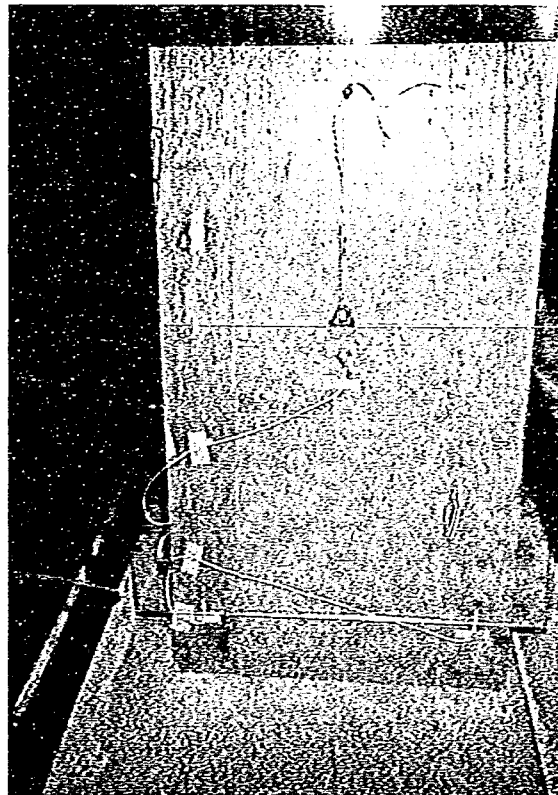


写真1-2 擁壁模型 (擁壁大)

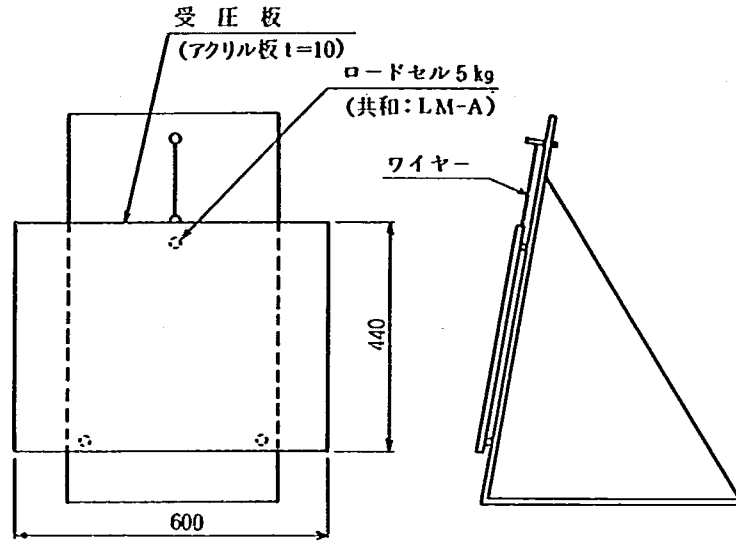


図1-4 擁壁模型(大型)寸法図

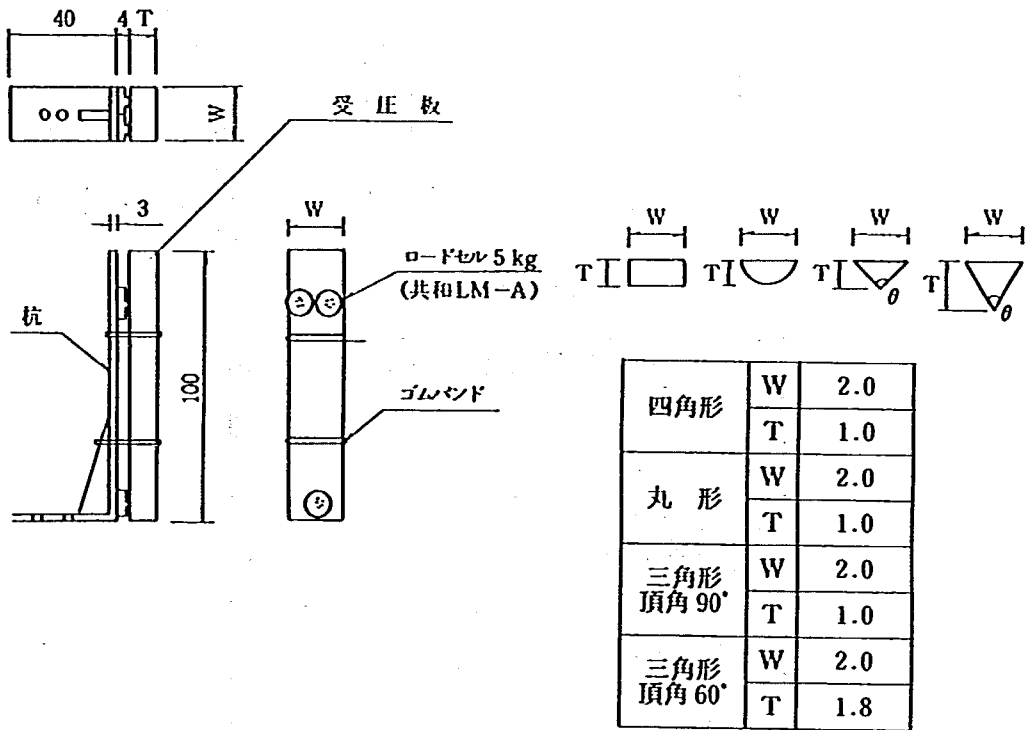


図1-5 杭模型寸法図

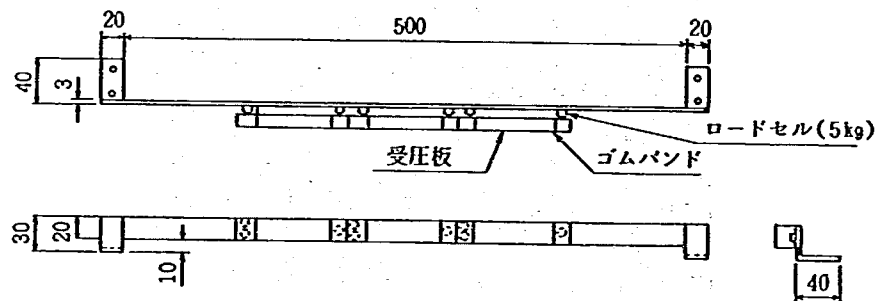


図1-6 横棒模型寸法図

(3) 横 棒

杭模型を横に3本並べたものである。(図1-6)

(4) 減勢工

高さ約10〔cm〕、幅50〔cm〕で各種減勢工の模型を作成した。形状は、ハードル型、ジャングルジム四角型とし列数は3列とした。(図1-7・8, 写真1-3・4)

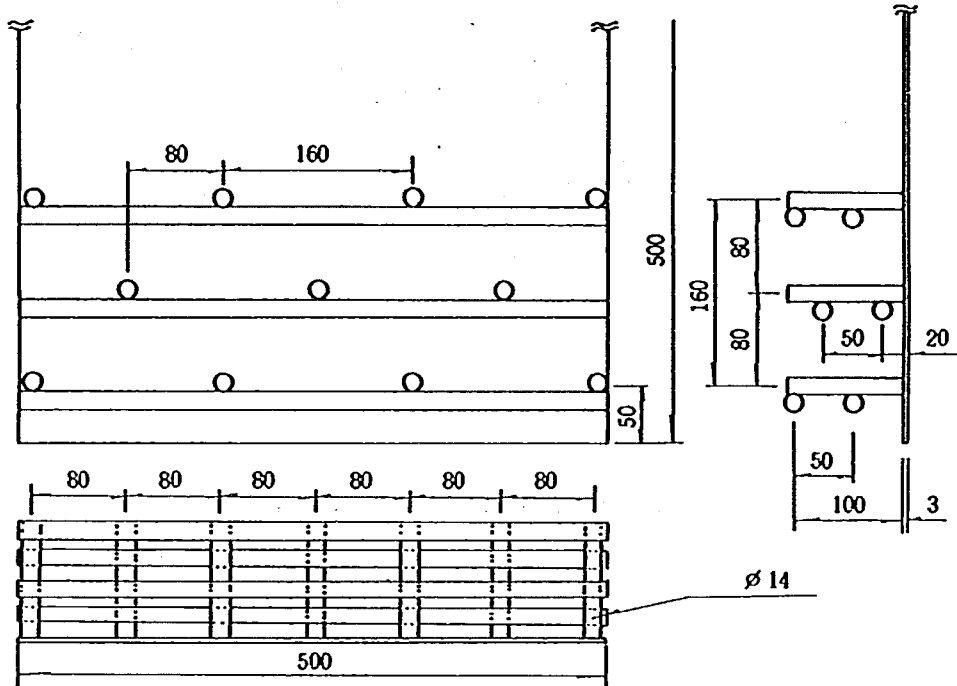


図1-7 減勢工模型(ハードル型)寸法図

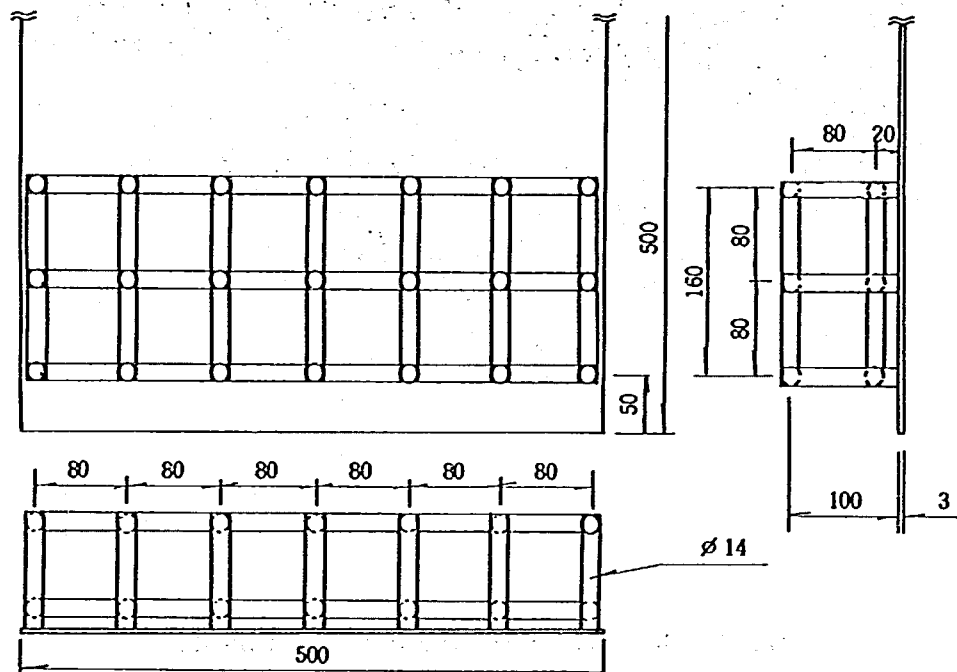


図1-8 減勢工模型(ジャングルジム四角型)寸法図

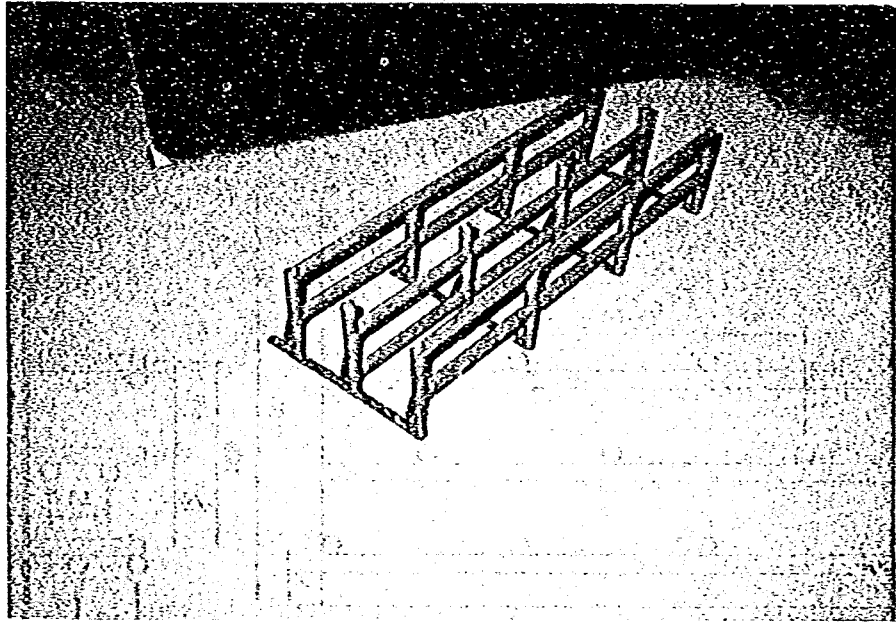


写真1-3 減勢工模型(ハードル型)

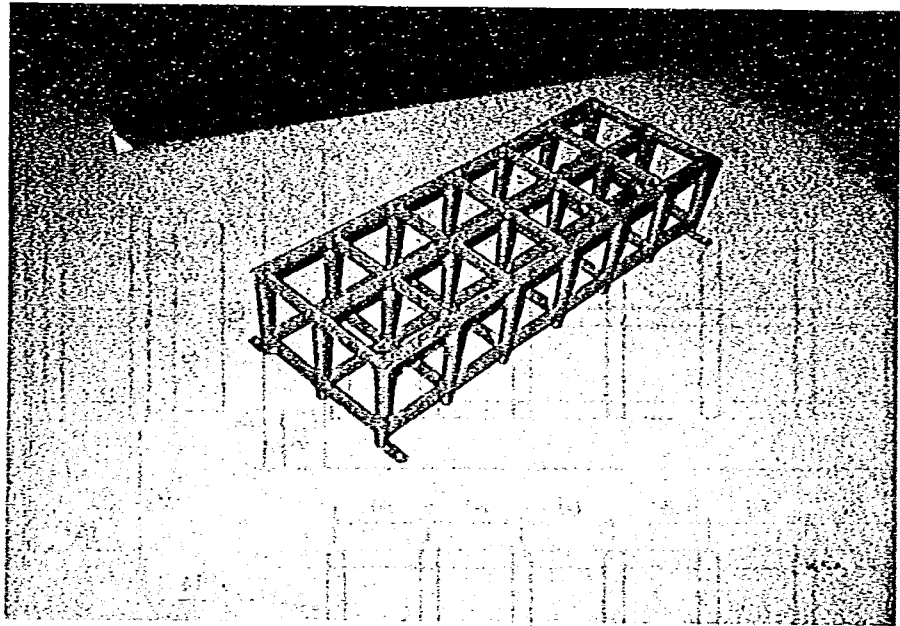


写真1-4 減勢工模型(ジャングルジム四角型)

1.2.3 実験用試料

実験に使用した試料雪は、 -10°C で作成した氷をアイス・スライサー（掻き氷機）によって粉状にしたものである。なお、作成した試料雪の密度は $0.4 \sim 0.5 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ 程度で、粒径は 1 (mm) 以下、安息角は 35° 程度である。

写真1-5・6は人工雪と自然雪を接写したものである。自然雪は粒径が一様で細かいが人工雪は細かい粒の中に大きな粒径のものが混在している。したがって、自然雪に比べて人工雪による実験では最大衝撃力が若干高い値を示すものと推定される。

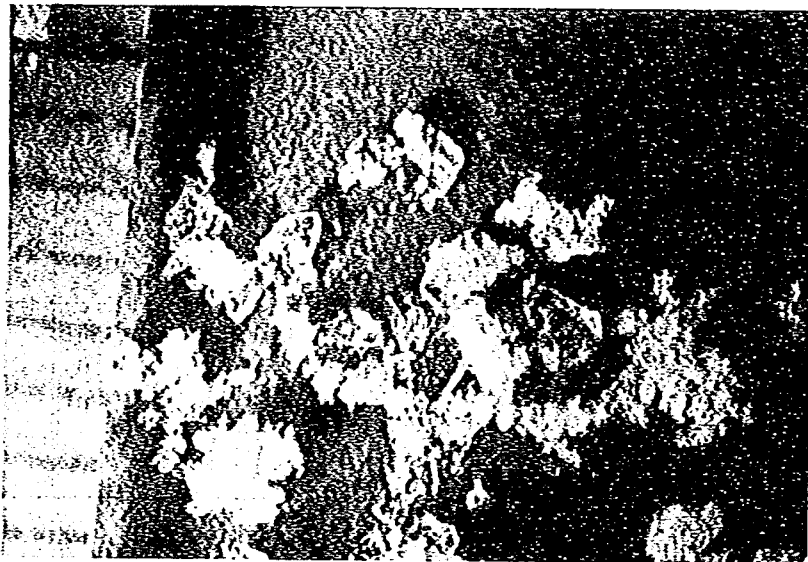


写真1-5 人工雪

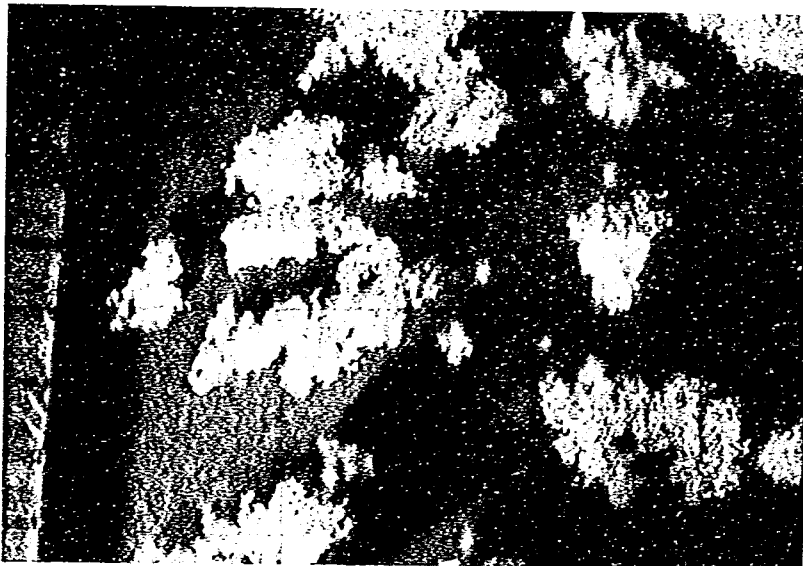


写真1-6 自然雪

1.3 実験方法

1.3.1 実験項目および組合せ

実験項目は、模型の種類別に5項目とし、下記にその概略を示した。

実験組合せについては、表1-1に実験項目別に示した。

表1-1 実験条件(組合せ)

項目	実験項目			
	1) 擁壁	2) 単杭	3) 複杭	4) 減勢工
受圧巾	高さ 10 cm 巾 30 cm	高さ 10 cm 巾 2 cm	高さ 10 cm 巾 2 cm	衝撃力は擁壁により測定 模型鉄筋 $\phi=14$
受圧形状	受圧板 10 cm × 10 cm 3枚	四角形 丸形 三角形(90°) 三角形(60°)	2) 単杭に 同じ	1) 擁壁に 同じ
配置	一定	一定	横間隔 (cm) a=6.0, 10.0, 12.0 縦間隔 (cm) b=6.0, 8.7, 12.0 表1-2参照	一定

(1) 擁壁にかかる衝撃力特性

雪崩流に対して直角に設置した擁壁にかかる雪崩の全荷重の衝撃力特性を明らかにすることと、減勢工の無対策時の衝撃力を測定するための実験である。

(2) 単杭にかかる衝撃力特性

受圧形状や衝突速度を変化させた場合の1本の杭にかかる衝撃力特性を明らかにするための実験である。

(3) 複杭にかかる衝撃力特性

杭の配置(表1-2)や受圧形状を変化させた場合の衝撃力特性を明らかにするための実験である。

表1-2 複杭の配置

杭の間隔		横間隔 a (cm)					
		4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0
縦 間 隔 b (cm)	0.0				●		
	2.0				●		
	6.0		○		●	○	
	8.7	●	●	●	●○*	●	●
	12.0		○		●		○
	14.0				●		

●昨年度 ○今年度 *基本形(正三角形配置)

(4) 横棒にかかる衝撃力特性

受圧形状を変化させた場合の横に置かれた棒にかかる衝撃力特性を明らかにするための実験である。

(5) 減勢工による減勢効果

減勢工の配置別や温度別等による減勢効果を明らかにするための実験である。

1.3.2 測定項目

測定項目は、原則として下記に示す項目とした。

- ① 雪崩の衝撃力
- ② 雪崩流の流下速度
- ③ 衝突時の分散状況
- ④ 室温・雪密度等

1.3.3 測定方法

各測定項目の測定方法について下記に示した。なお、測定に使用した機器の規格は表1-3に示し、計測機器の構成は図1-9に示した。

表1-3 計測機器

測定項目	使用機器	規格
衝撃力	ロードセル 動歪計 A-D コンバータ パソコン	5 (kg)用 φ12 (超小型) 16 (ch)用 容量64 (kword) PC-9801VX2
速度	表面流速計 ビームセンサー A-D コンバータ パソコン	空間フィルター式 赤外線透過型 衝撃力と同じ "
飛雪状況 ・ 分散角度	高速ビデオカメラ ビデオデッキ 分度器	1/600 (sec) ロータリーシャッター Uマチック方式
室温	デジタル温度計 C-C熱電対	熱電対用
密度	秤 スノーサンプラー	

(1) 雪崩の衝撃力

衝撃力は、受圧板にセットした5 (kg)用の超小型ロードセル(直径φ12 (mm), 厚さ4 (mm))から動歪計, A-Dコンバーターを介し, 500 (Hz)のサンプリング・クロックでパーソナルコンピューターに入力した。

衝撃力は下記に示す式により, 算出した。(出力結果の一例を図1-10に示す)

$$P = \frac{(M-S)}{C} \times Ca \times K \text{ (kg)}$$

- P : 衝撃力 (kg)
- M : 電圧値
- S : 初期電圧値
- C : キャリー幅
- Ca : キャリー設定値
- K : ロードセル更正係数

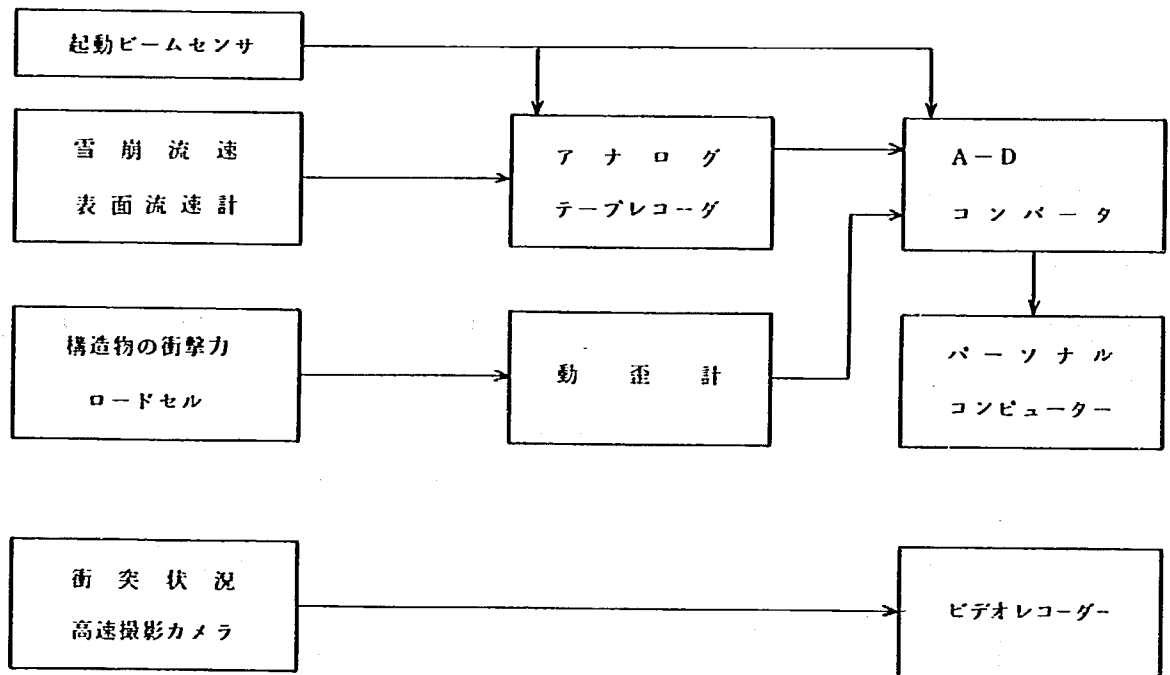


図1-9 計測機器構成図

(2) 雪崩の流下速度

流下速度は、空間フィルク式表面流速計を使用し、アナログテープレコーダに記録した後に、A-Dコンバータを介し、2,000 (Hz) のサンプリング・クロックでパーソナルコンピュータに入力した。

表面流速計は、流れの上方から垂直に見おろす形で設置して測定する。流速は、測定された電圧値を時間で区切ってMEM法(最大エントロピー法)により、卓越周波数を求めて下記の式により計算する。

$$V = \frac{f \times B}{416.7 \times A}$$

V : 表面流速 (m/s)

A : ディテクタとレンズ主点位置との距離

B : レンズ主点位置と被測定面との距離

f : 卓越周波数 (Hz)

(3) 衝突時の分散状況

衝突時の分散状況は、ビデオの画像によって測定した。なお、ビデオカメラは、1/60 (秒) 間隔で1/600 (秒) のシャッタースピードで撮影するロータリーシャッターカメラである。

減勢工模型の衝撃力実験結果（低温実験施設内）

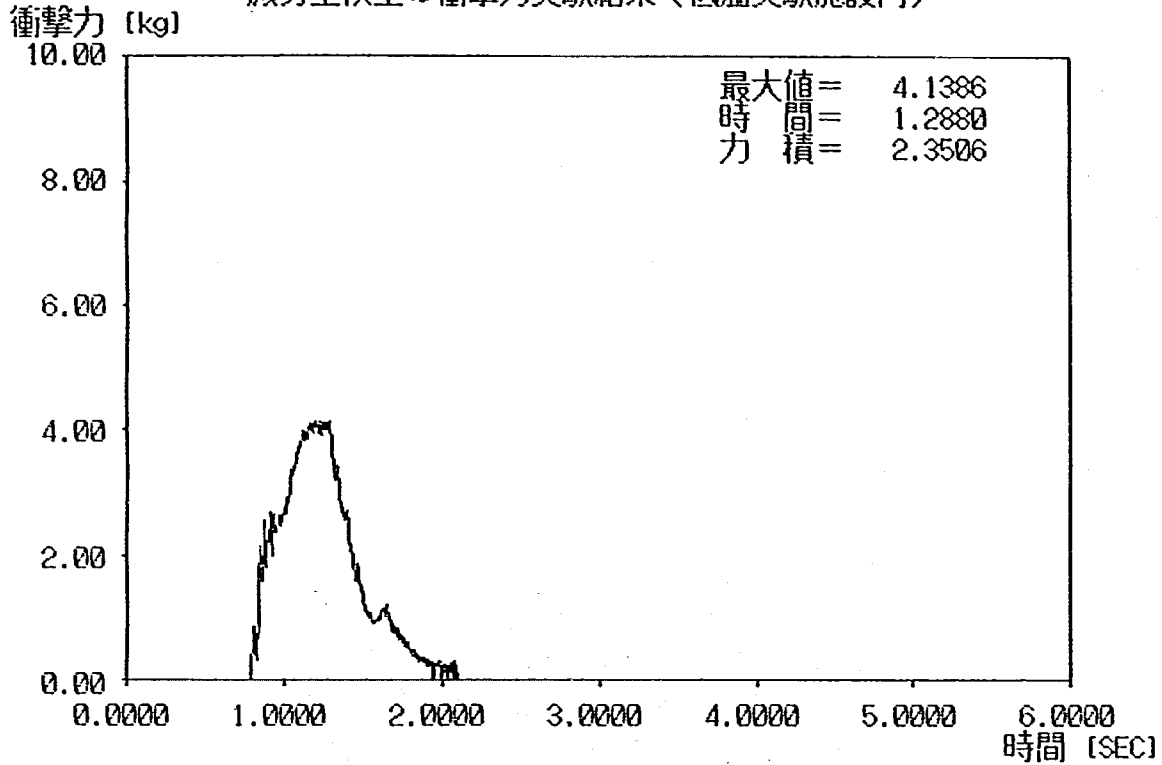


図1-10 出力結果例（ハードル型減勢工実験結果）

(4) 室温・雪密度

室温は、C-C熱電対を用いて、床上1.8 (m)、壁から0.3 (m) の位置の温度を測定した。
雪密度は、スノーサンプラーを用いて流下直前に測定した。

1.3.4 実験手順

実験の手順を以下に示す。

- ① 構造物のセット
模型を実験斜面に設置する。
- ② ビデオ、コンピューター、レコーダーのスイッチON
ビデオ録画、コンピューターの入力準備等を行う。
- ③ 雪崩流下
雪を積めた箱を傾け、仕切り板をすばやく上げ雪を流下する。
- ④ 計測
雪崩の流下とともに計測開始。（トリガにより自動的に作動）
衝撃力測定後流速計のデータをレコーダーから入力し、フロッピーディスクに記録する。
- ⑤ ビデオ、コンピューター、レコーダーのスイッチOFF
計測終了

なお、実験回数は1条件当り3回とした。

第2章 実験結果

2.1 擁壁

側壁の有無およびサイズの大きさ別による擁壁の衝撃力実験結果を示したものが図2-1である。これによると、側壁がある場合の衝撃力は、ない場合に比べてサイズの大小に拘らず1割程度大きい傾向を示した。また、大型擁壁と小型擁壁の比較をすると大型擁壁の衝撃力は小型擁壁の約1.6倍を示した。これは、受圧幅が広がったことや、高さが高くなって雪崩流が乗り越えられなくなったことや、設置方法の違い等によるものと考えられる。過去における実験では側壁無しの小擁壁を用いて実験を行っているため、今回の実験結果と比較する場合、一概に比較することはできないが約1.6倍の補正が必要であると考えられる。

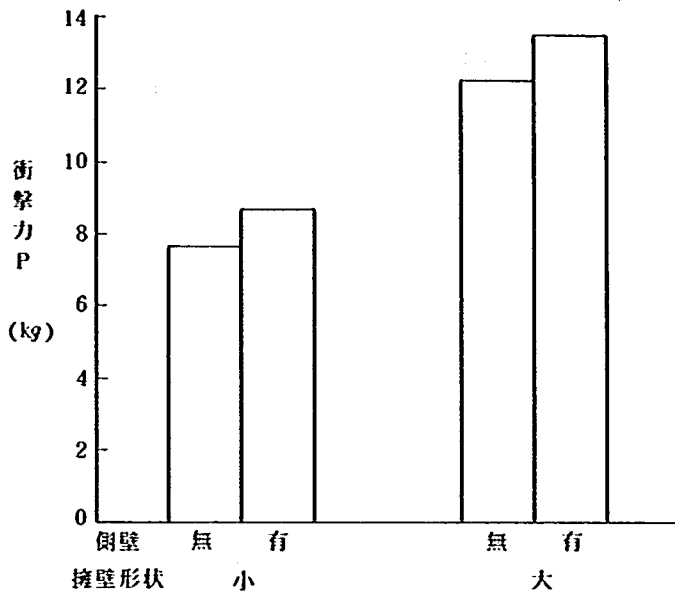


写真2-1 擁壁への衝突状況

図2-2・3は、雪崩量（初期雪崩厚）別による衝撃特性を示したものである。これによると、雪崩量が増加するにしたがって力積・最大衝撃力ともに増加している。しかし、雪崩量が8 cm 以上になると、力積は比例して増加しているが、最大衝撃力は余り増加していない傾向を示している。これは、雪崩量を8 cm 以上にした場合、雪崩長は増加するが雪崩厚には差がないため、瞬間的な衝撃力はあまり増加しないものと考えられる。

図2-4・5は、室温別にみた衝撃特性を示したものである。これによると、室温が低くなるに伴って衝撃力が増加している。これは、室温が0〔℃〕付近になると雪質が湿り気を帯びて粘ってこくなっ

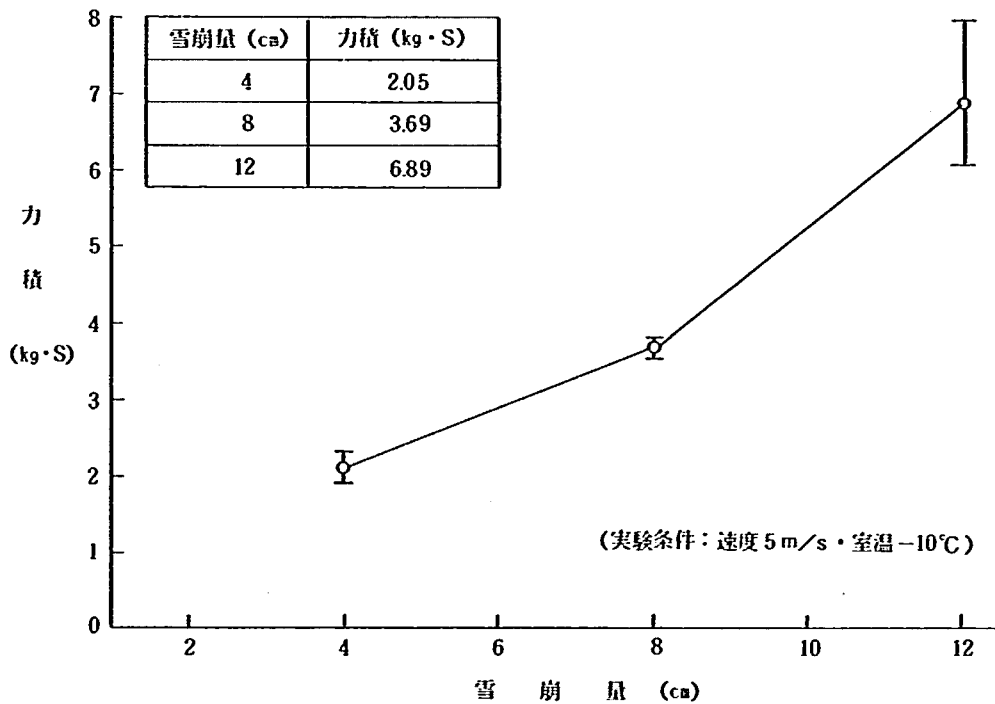
(実験条件: 初速度 5 m/S・雪量 8cm・室温 -10℃)



側壁	衝撃力 P (kg)		衝撃力比率
	形状		
	小	大	
無	7.71	12.25	1.589
有	8.68	13.54	1.560
衝撃力比率	1.126	1.105	

衝撃比率は、形状小および側壁無の値を基準とした。

図2-1 擁壁の衝撃力



(実験条件: 速度 5 m/s・室温 -10℃)

図2-2 雪崩量別による擁壁の力積

てくるため流れの速度が低下し、衝撃力が低くなったものと考えられる。しかし、力積については室温別による明確な傾向はみられなかった。

雪崩流が壁面に対して作用する力は次式によって表される。

$$P_c = \frac{\gamma}{g} \cdot A \cdot V^2$$

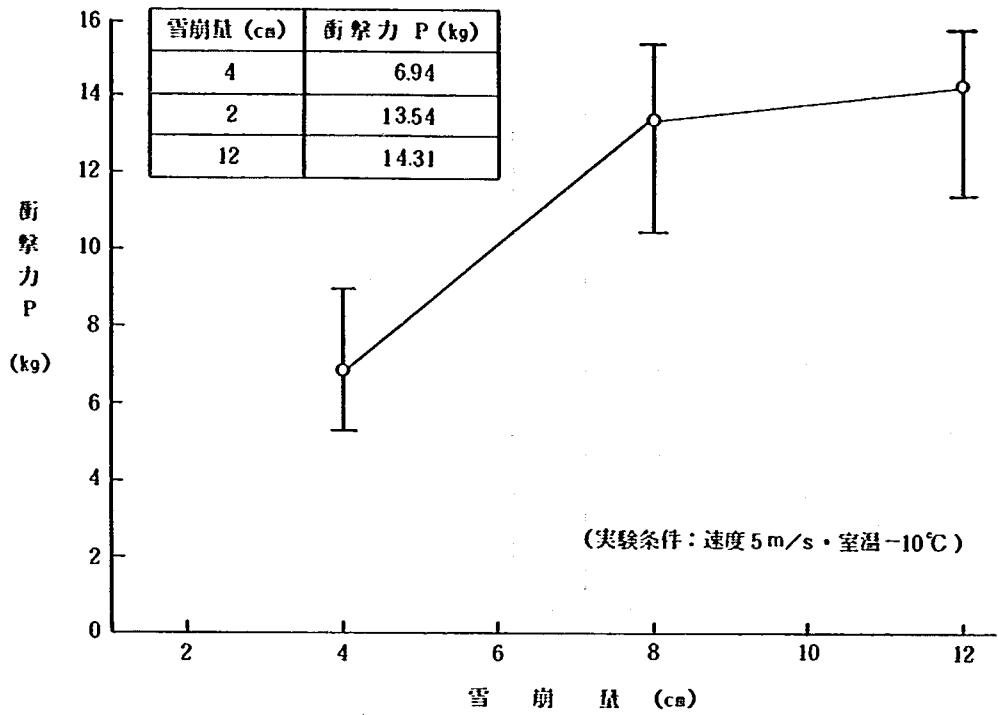


図 2 - 3 雪崩量別による擁壁の衝撃力

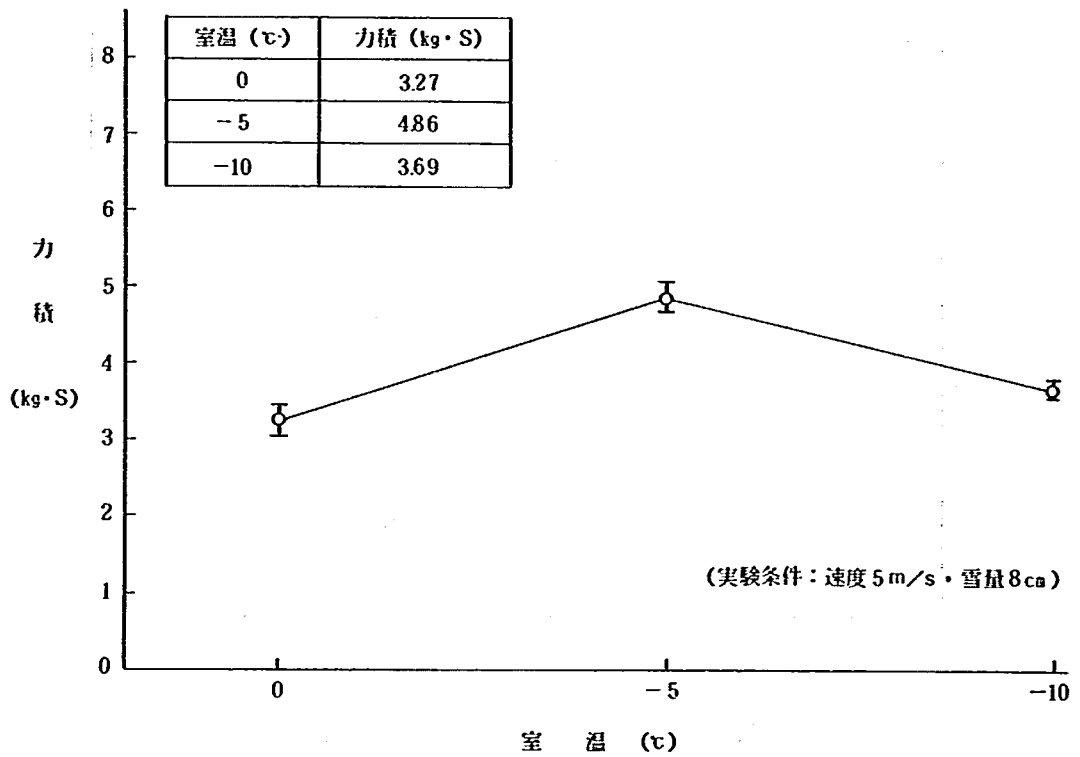


図 2 - 4 室温別による擁壁の力積

P_c : 雪崩による衝撃力 (理論値)

r : 雪崩の密度

A : 作用面の断面積 (直角面)

V : 雪崩の速度

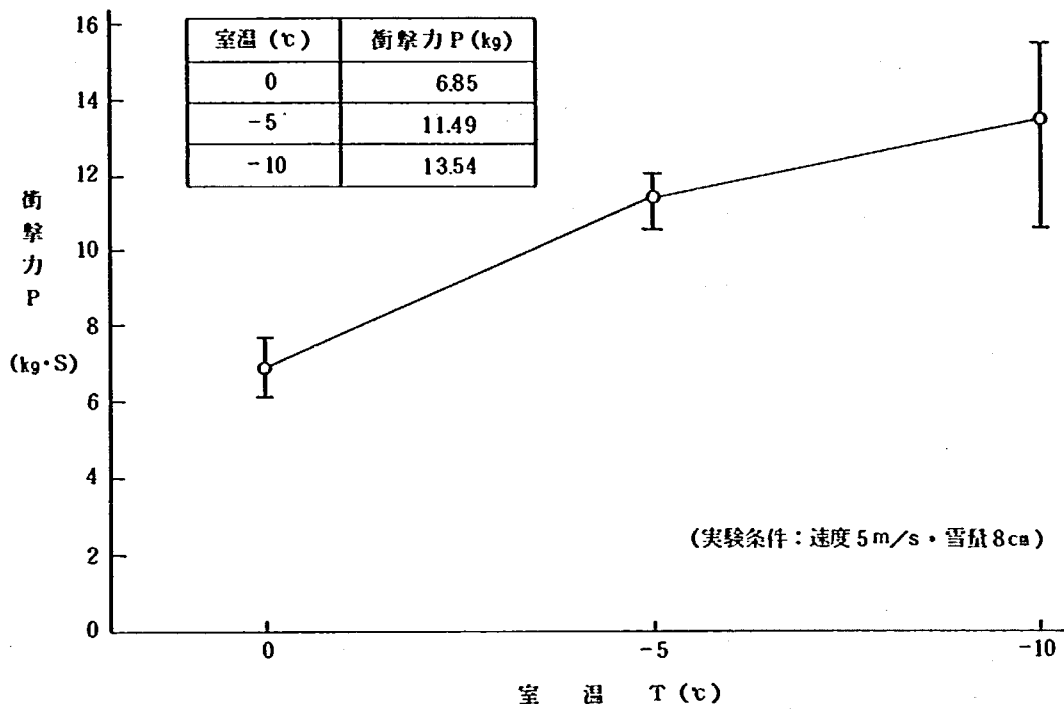


図 2 - 5 室温別による擁壁の衝撃力

g : 重力加速度

そこで、室温別に上式による理論値 (P_c) と実測値 (P_m) の比較を行った。図 2 - 6 は P_m / P_c を示したものである。これによると、0・-5 (°C) の場合には 1 前後の値を示しているが、-10 (°C) では 1 以上の値を示している。これは、-10 (°C) 付近になると雪がさらさら (粘性が低くなる) になり、流体とは異なった性質を示すためと推定される。

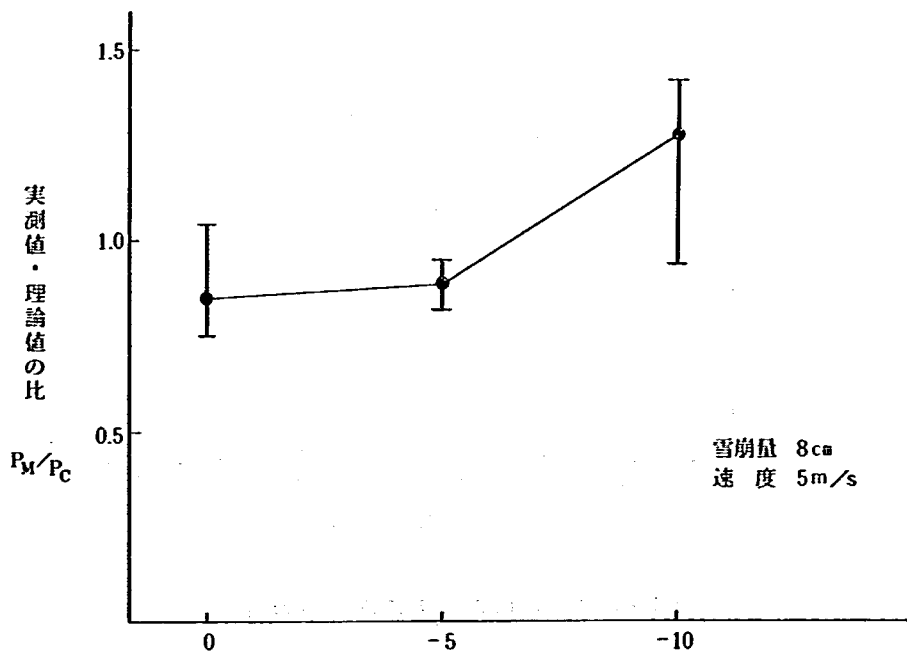


図 2 - 6 擁壁の衝撃力特性 (理論値と実測値の比較)

2.2 単杭

図2-7は速度別の単杭にかかる力積を、図2-8は雪崩量別による単杭にかかる力積を示したものである。これによると、当然ながら速度および雪崩量が増加するとともに力積が増加する傾向を示した。

流体が杭に対して作用する力は次式によって表される。

$$P_c = \frac{\gamma}{2g} \cdot A \cdot V^2 \cdot C$$

P_c : 雪崩による衝撃力(理論値)

γ : 雪崩の密度

A : 作用面の断面積(直角面)

V : 雪崩の速度

C : 形状係数

g : 重力加速度

そこで、室温別に実測値から形状係数 C を求めた結果が図2-9である。これによると、室温の低下とともに四角型の形状係数と三角60型の形状係数の差が増加する傾向を示した。これは、衝撃力を受け易い形状(四角型)のものが受けにくい形状(三角型60型)のものに比べて、雪の物性変化によって形状係数に影響を受ける可能性の高いことを示すものと考えられる。

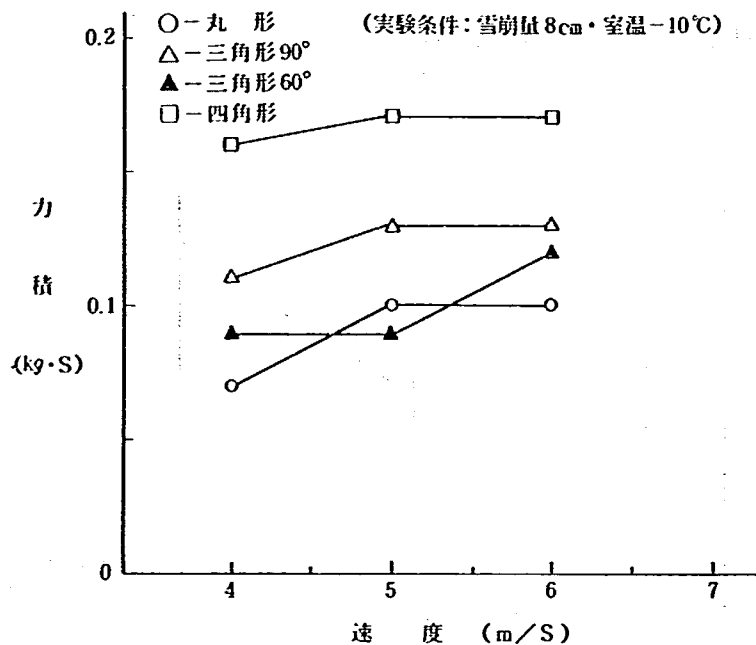


図2-7 速度別による単杭の力積

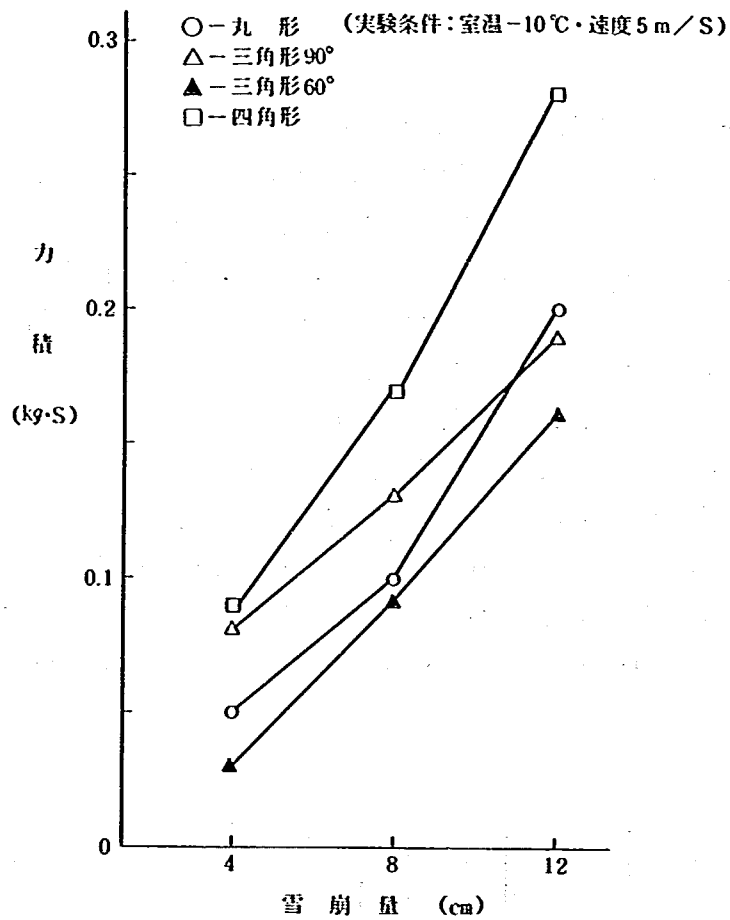


図2-8 雪崩量別による単杭の力積

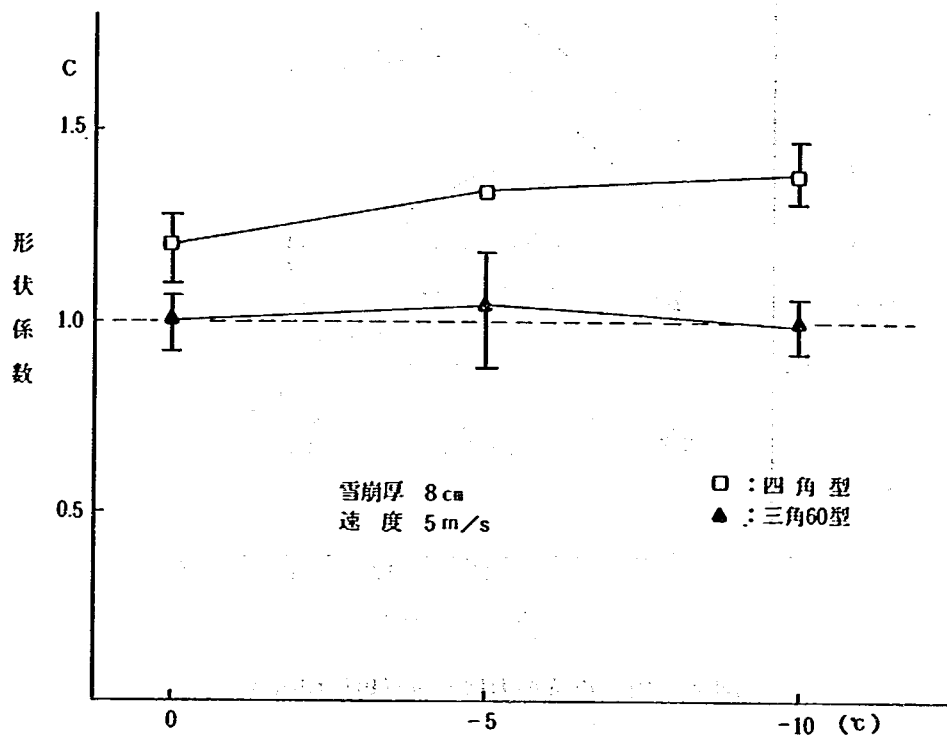


図2-9 単杭の形状係数の温度別変化

2.3 複杭

図2-10・11は、複杭の正三角形配置の間隔別の衝撃特性を示したものである。これによると、各形状とも間隔10(cm)（杭径の5倍）の配置の場合に中央杭が最も衝撃力および力積を受けている。また、間隔6(cm)（杭径の3倍）では中央杭と左右杭に余り差がみられず、間隔14(cm)（杭径の7倍）についても中央杭と左右杭の値が近くなる傾向を示した。これは、間隔6(cm)の場合左右杭の衝撃力が10・14(cm)のものに比べて大きな値を示していることから、左右杭に閉塞効果が表れ、後方の中央杭に雪崩流が作用しにくくなったものと考えられる。また、間隔14(cm)以上になると杭が独立した状態に近くなるため中央杭の値が左右杭に近くなったものと考えられる。

縦間隔を6(cm)と12(cm)とした場合の横間隔別の衝撃力特性を示したのが図2-12・13である。これによると、双方ともに横間隔10(cm)で中央杭が最大の衝撃力を受けている。これらの傾向は過去における実験結果（雪崩減勢工に関する実験報告書(1)）で縦間隔を8.7(cm)にした場合でも同様の結果が得られている。したがって、今回の実験条件（速度5(m/s)）では左右杭と中央杭の縦方向の間隔が変化しても、前方の左右杭の間隔が10(cm)（杭径の5倍）の時に最も大きな衝撃力を受けることがわかった。

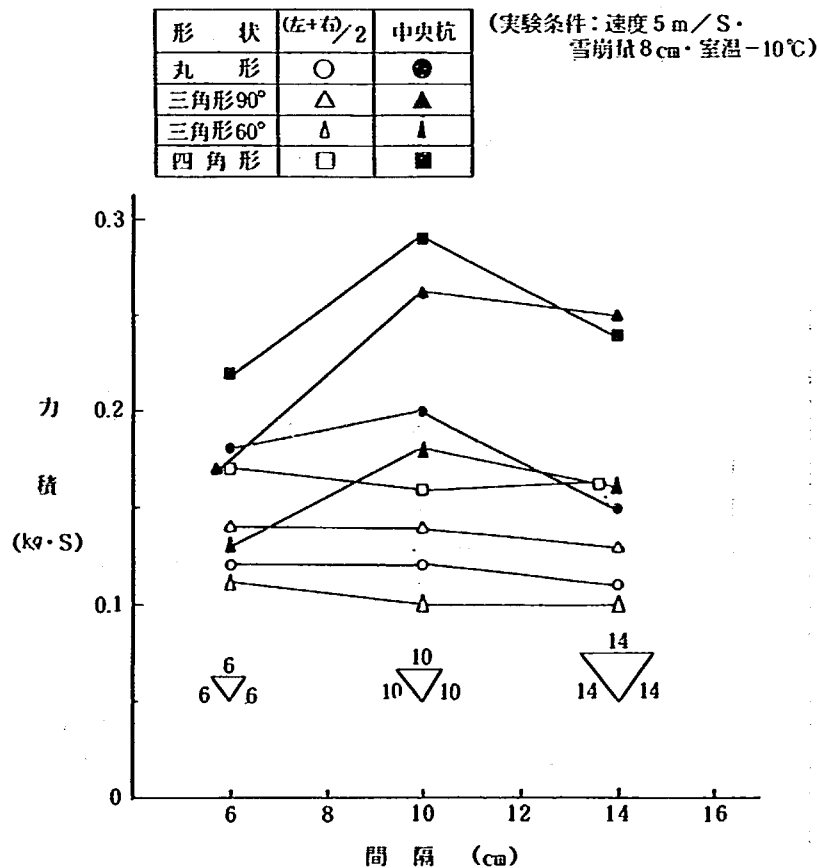


図2-10 複杭の力積（正三角形配置）

(実験条件: 速度 5 m/S・雪崩量 8 cm・室温 -10°C)

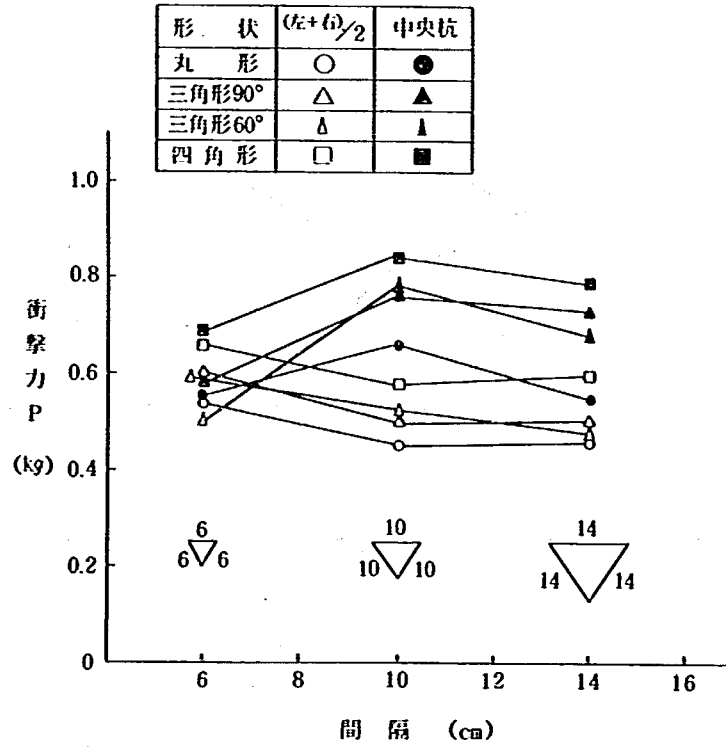


図2-11 複杭の衝撃力(正三角形配置)

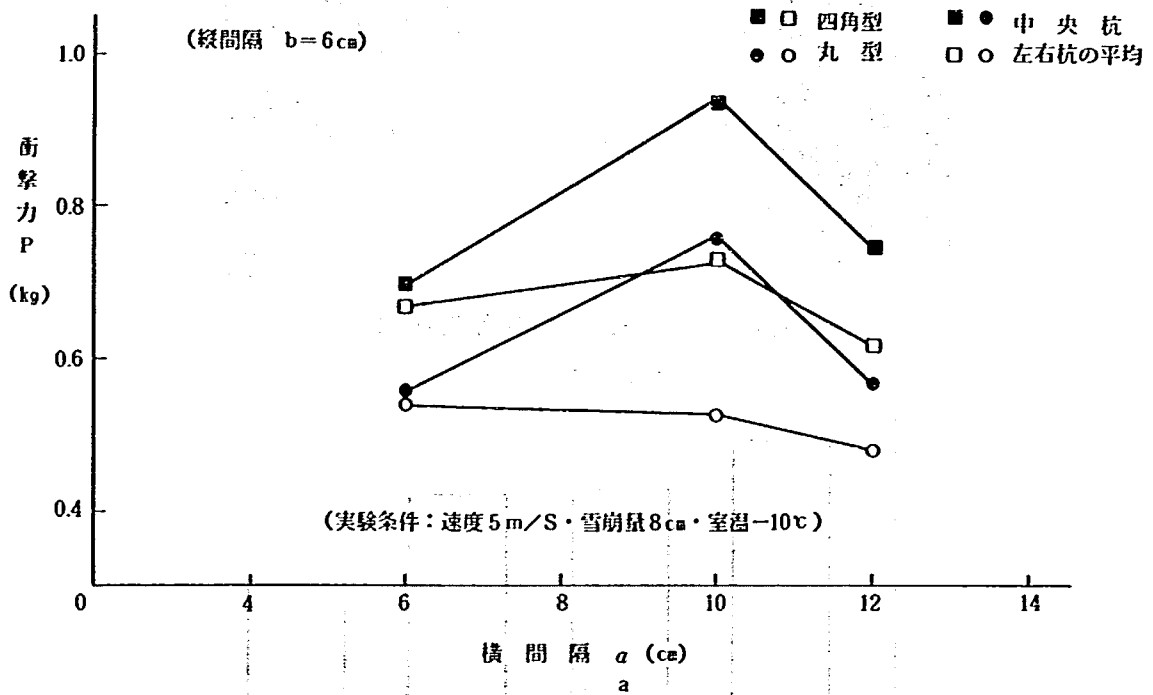


図2-12 複杭の配置特性

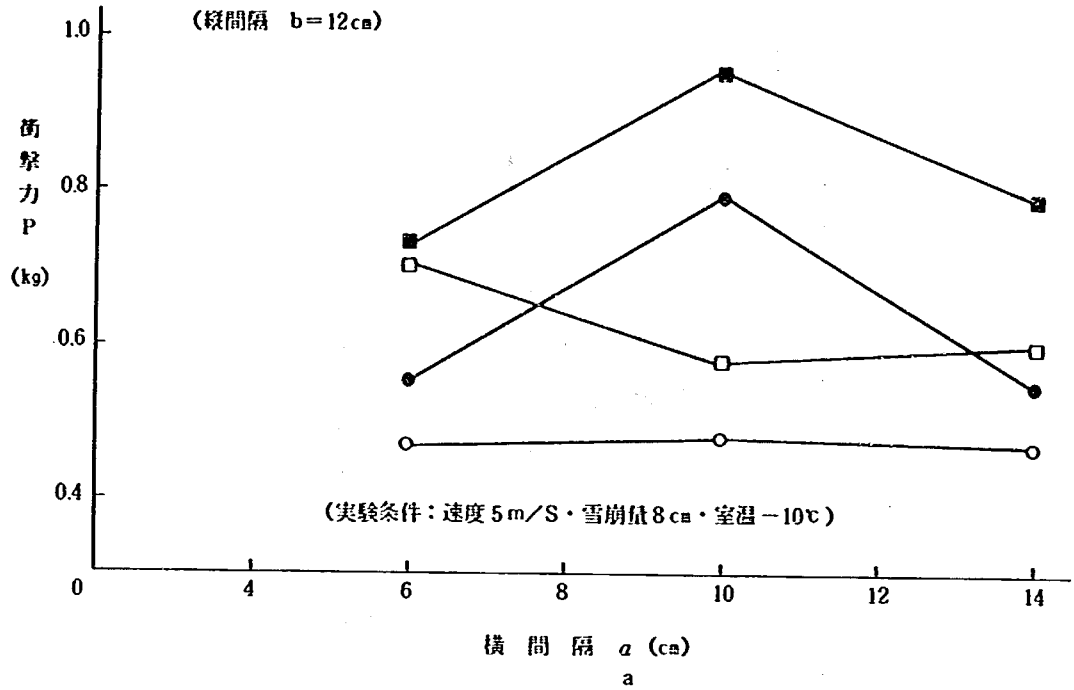


図2-13 複杭の配置特性

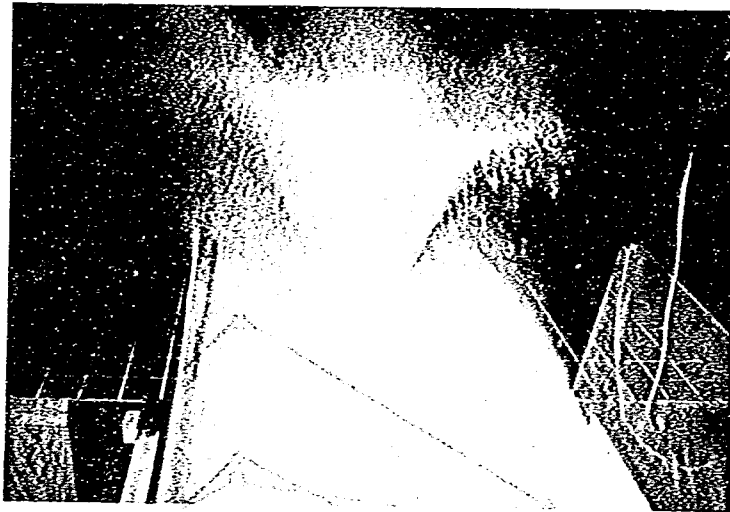


写真2-2 複杭への衝突状況

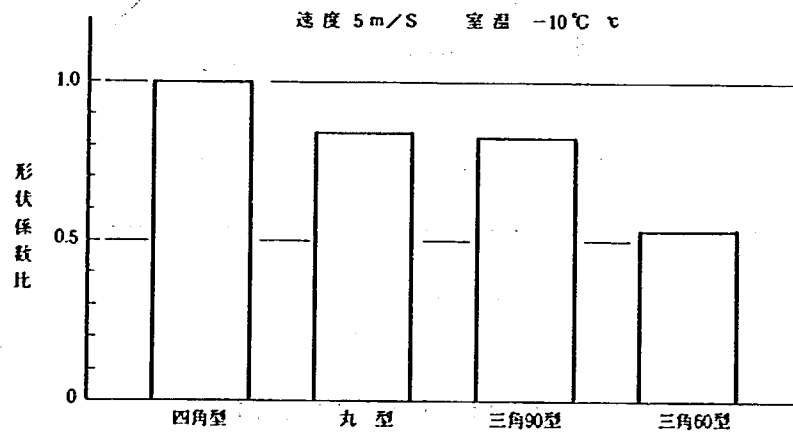


図2-14 横棒の形状係数比(四角型を1.0とした場合)

2.4 横 棒

図2-14は、横棒の形状係数(2.2単杭を参照)の比を示したものである。これは、単杭の衝撃力比(報告書(1)参照)とほぼ同様の傾向を示した。したがって、縦置き・横置きともに杭の形状別衝撃力特性はほぼ同様であると考えられる。

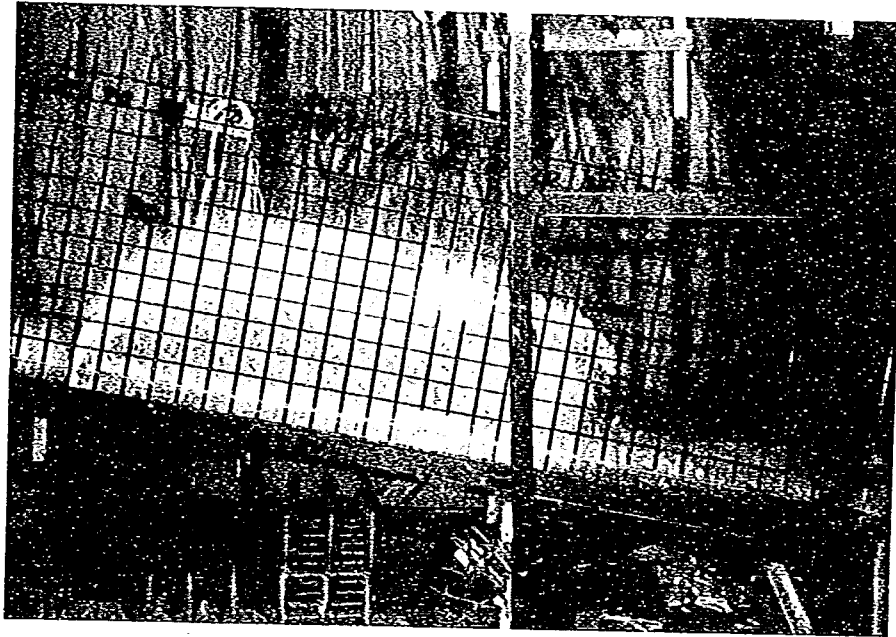


写真2-3 横棒への衝突状況

2.5 減勢工

図2-15は各種減勢工模型を設置したときの後方にある擁壁にかかる衝撃力を示したものである。

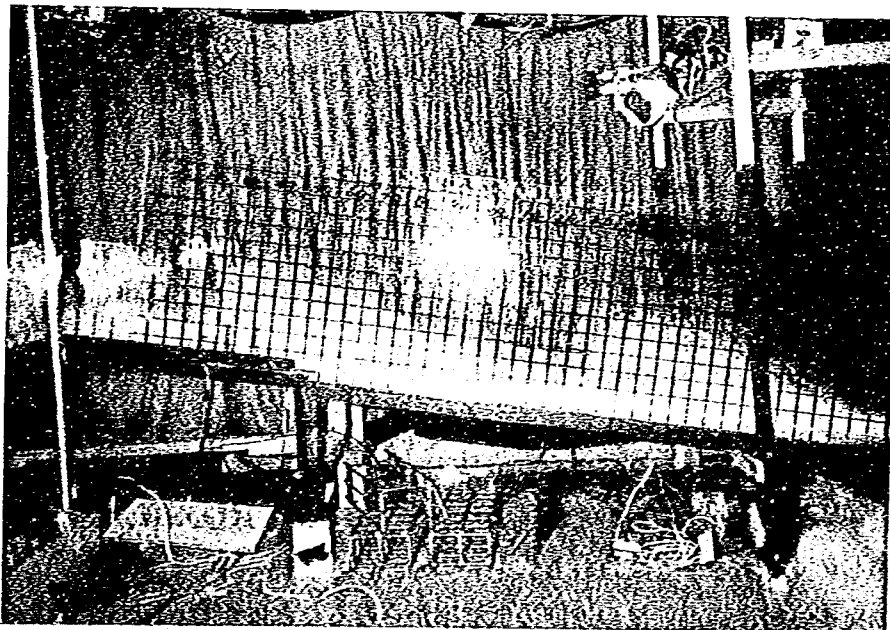


写真2-4 減勢工への衝突状況

これによると、ハードル型は側壁の有無によって衝撃力がかなり違っている。これは、側壁がある場合横方向への分散がなくなるために衝撃力が大きくなると考えられ、ジャングルジム四角型でも同様の傾向を示した。また、減勢工を2基設置した場合には、1基のものに比べて衝撃力をさらに低減できた。この場合に減勢工の設置間隔別による明確な違いはみられなかった。これは、2基の減勢工がある一定間隔以上で設置されている場合にはかなりの効果があるものと考えられる。

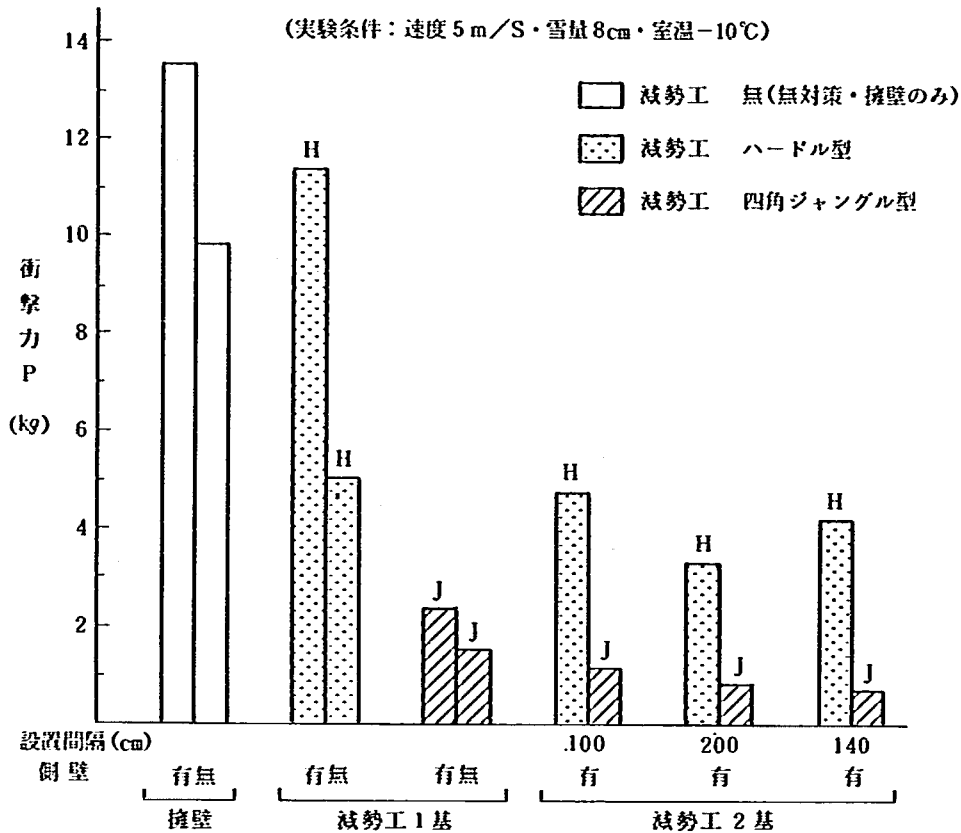


図2-15 減勢工通過後の衝撃力

減勢工の種類別による力積を示したものが図2-16である。これによると、ハードル型は衝撃力特性とは異なり、2基の場合の力積が1基のものに比べて大きく低減しなかった。これに対してジャングルジム四角型は衝撃力の場合よりも低減率が高い傾向を示した。これは、ハードル型の場合減勢工内の堆雪量が少ないため、衝撃力を低減する能力に比べて力積を低減させる能力が低いものと考えられる。また、ジャングルジム四角型は1基に比べて2基の場合の力積が大きく低減した。これは、ジャングルジム四角型の場合減勢工内の堆雪能力が高く、後方に流れる雪の量が少なくなるためと考えられる。

図2-17は室温別による減勢工別の力積を示したものである。これによると、各減勢工とも室温が低くなるとともに減勢効果が低くなっている。それに対して0℃付近では力積比が0.1以下で非常に減勢効果が高い傾向を示した。これは、室温が低い場合には乾雪でさらさらしていることから、減勢工の中を通過する率が高くなるものと考えられる。一方、0℃付近では雪粒子の付着力が高くなり減勢工を通過しにくくなると考えられる。

つぎに減勢効果を減勢工通過前後の速度の低減率からみることにする。図2-18は減勢工を1基置いた場合の通過前後の速度比を示したものである。これによると、無対策時(図中の擁壁)の速度比

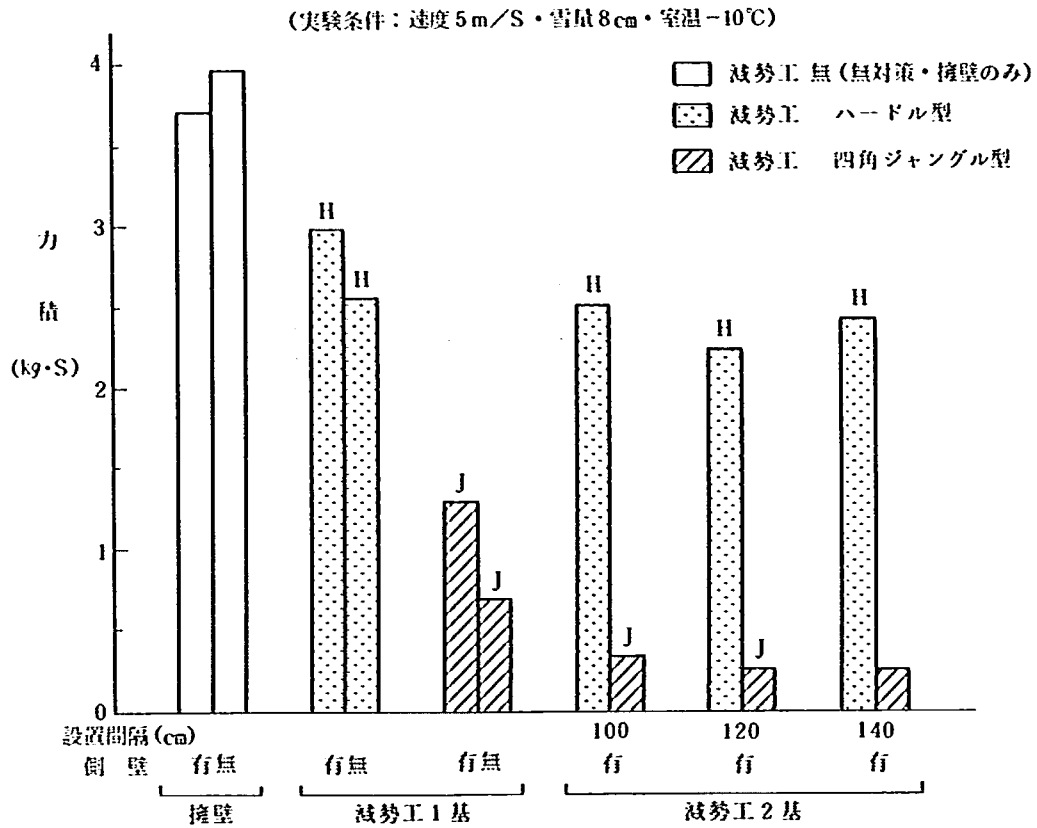


図 2-16 減勢工通過後の力積

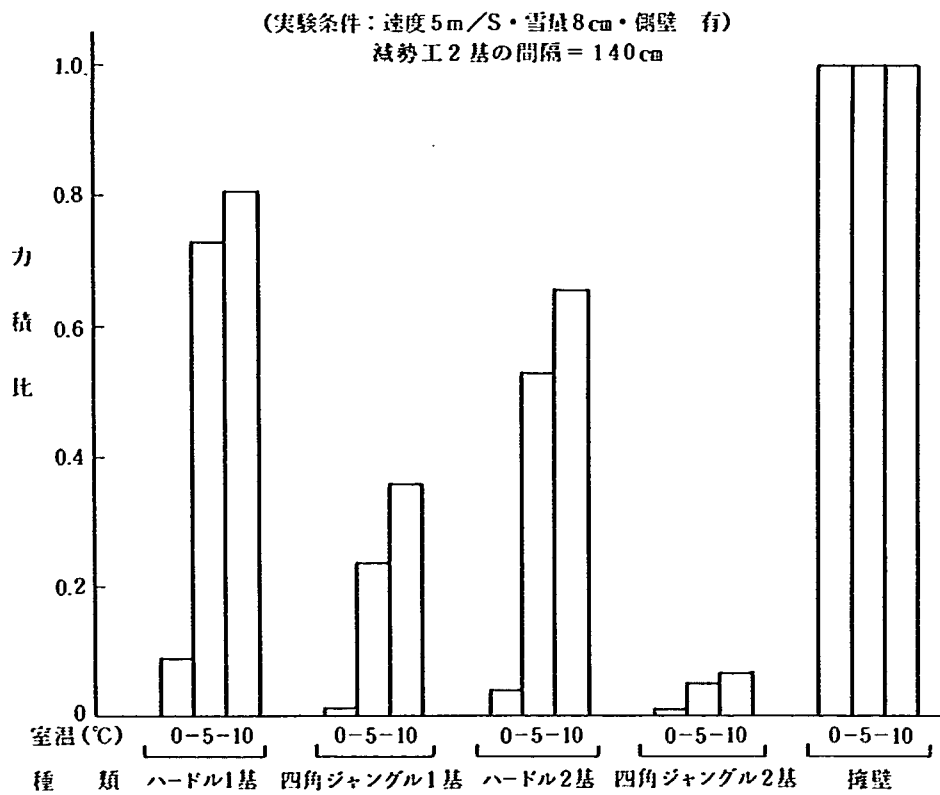


図 2-17 室温別による減勢工通過後の力積比

実験条件：速度 5 m/S・雪崩 8ca)
室温 -10℃・側壁 有)

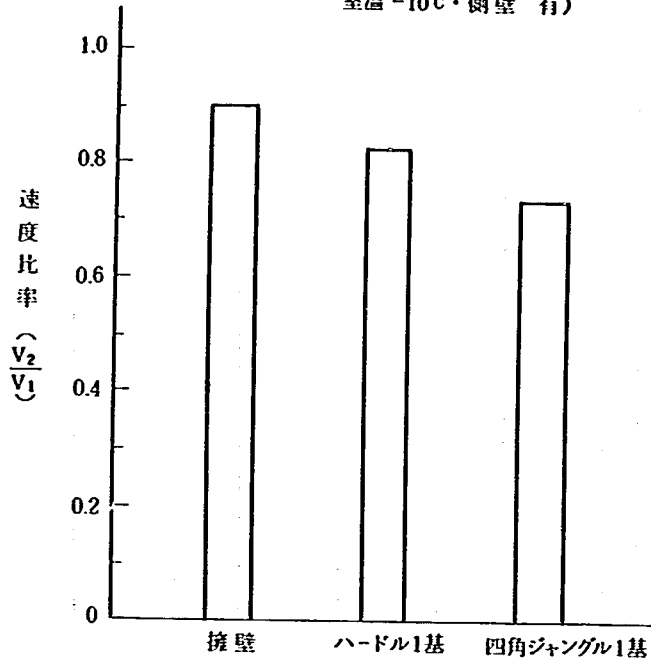


図2-18 減勢工の速度比率

に対して、ハードル型が約10〔%〕、ジャングルジム四角型が約20〔%〕低い値を示した。ここで、速度からみた衝撃力を推定すると衝撃力は速度に2次的に比例するので、無対策時に対してハードル型は約0.8倍、ジャングルジム四角型は約0.6倍となる。衝撃力比を実測値から求めるとハードル型が0.85、ジャングルジム四角型が0.17となり、ハードル型が同様の値を示したのに対しジャングルジム四角型は1/3程度であった。これは、ジャングルジム四角型の堆雪効果によるものと考えられる。したがって、減勢工設置の際には力積減勢効果、衝撃力減勢効果、堆雪効果等を考慮して組合せを決定する必要があると考えられる。

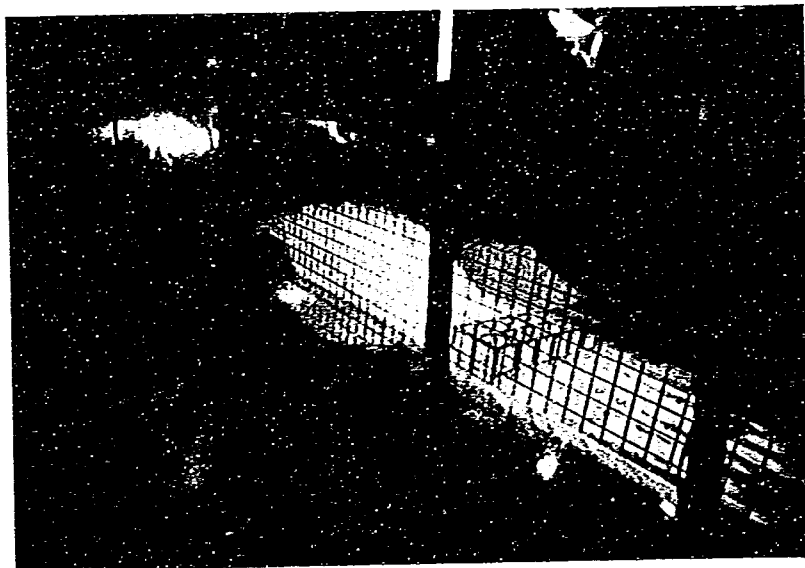
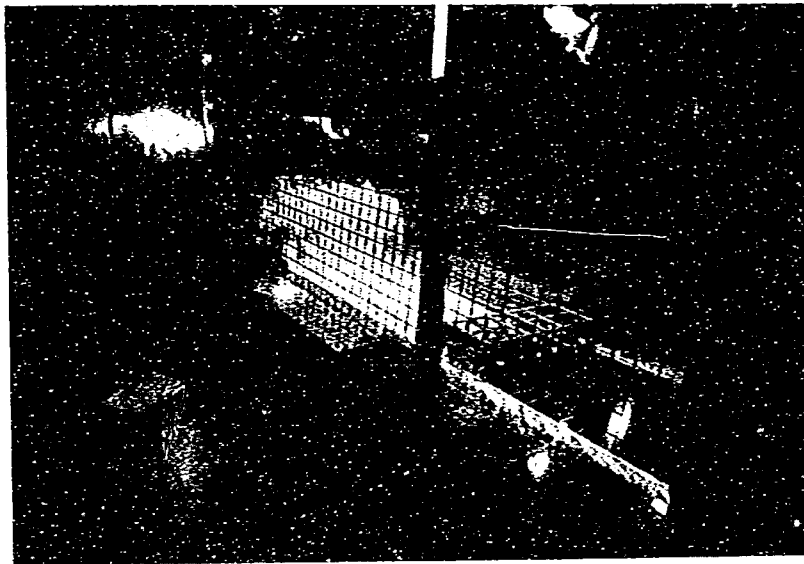
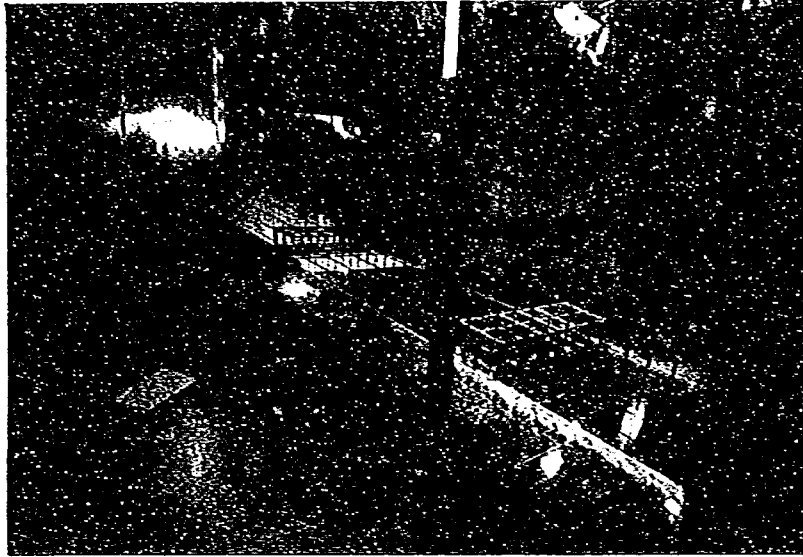


写真2-5(1) 減勢工への衝突状況(連写)



写真 2-5(2) 減勢工への衝突状況(連写)

第3章 まとめおよび今後の問題点

実験結果をまとめると以下のようなになる。

- ① 擁壁の衝撃力 大型擁壁にかかる衝撃力は衝突速度 5 (m/s) 程度で
 側壁有り → 13.54 (kg)
 側壁無し → 12.25 (kg)
 擁壁の有無による衝撃力比は
 有り / 無し → 約 1.1
 擁壁の大小による衝撃力比は
 大 / 小 → 約 1.6
- ② 単杭の衝撃力 形状係数 C が室温によって変化する傾向を示す。
- ③ 複杭の衝撃力 速度が 5 (m/s) 程度の場合、縦間隔の変化に関係なく横間隔 10 (cm) 付近で集中効果が起こる。
 正三角形配置の場合でも 10 (cm) のものが最も衝撃力を受ける。
- ④ 横棒の衝撃力 横棒の形状別衝撃力特性は垂直杭の場合とほぼ同様であった。
- ⑤ 減勢工の減勢効果 減勢工は 1 基よりも 2 基の方が減勢効果が高く、2 基目の位置を雪崩流が飛び越えない位置に設置すれば効果がある。
 ハードル型 → 衝撃力の低減効果に比べて、
 力積の低減効果が低い。
 ジャングルジム四角型 → 衝撃力・力積ともに低減が高い。
 減勢工内の堆雪効果が高い。
- ⑥ その他 室温を変化させた場合（雪質変化）、室温が高くなるほど速度が低下する傾向がみられる。

今後の問題点を下記に示す。

- 減勢工モデルの配置特性に関する検討
- 減勢工の飛雪形態に関する検討
- 杭による分散効果の検討
- 実物の雪崩との比較検討 etc.



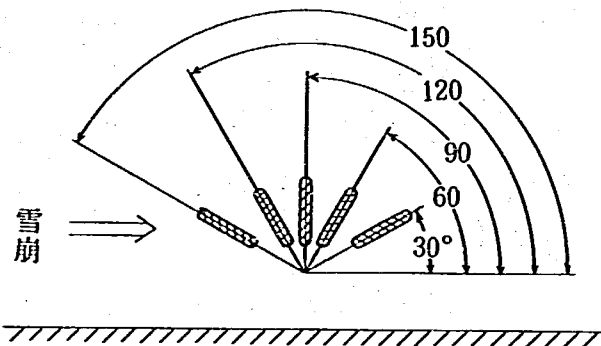
付 録

以下の写真は人工雪実験を行ったときの
各実験ケースでの飛散状況の連続写真である。

実験ケース

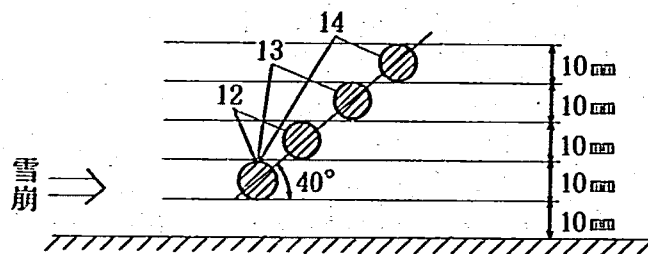
板 材

- A 30
- A 60
- A 90
- A 120
- A 150

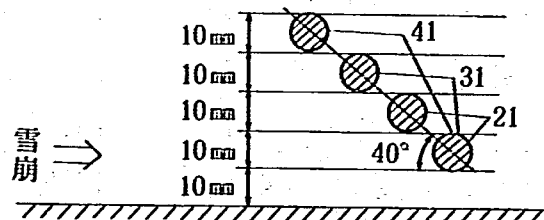


丸 棒

- A 12
- A 13
- A 14

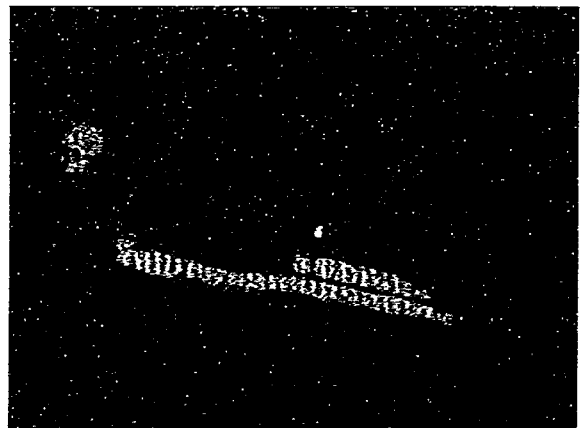
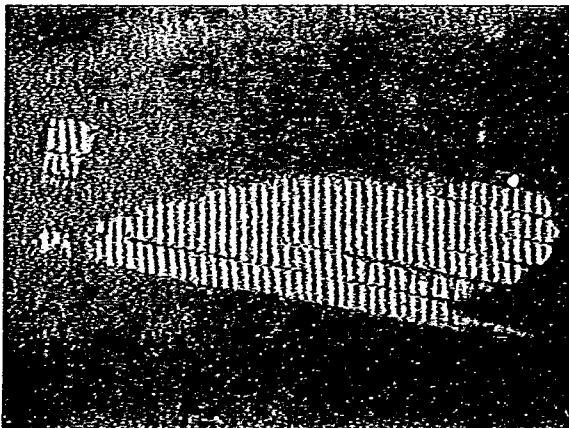
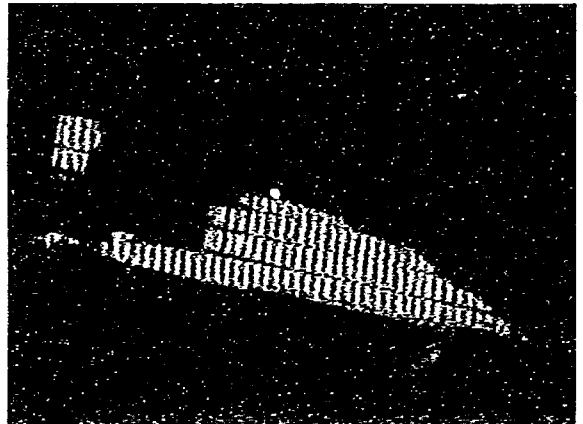
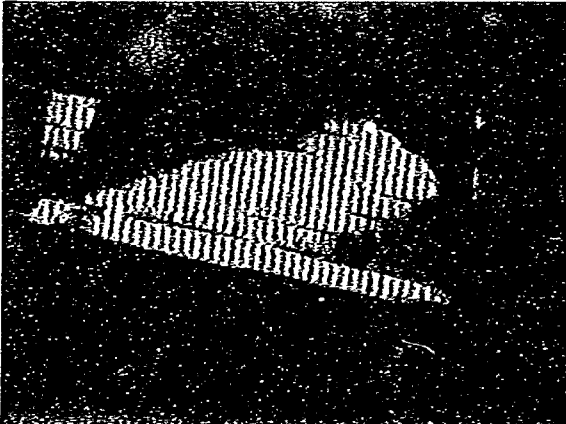
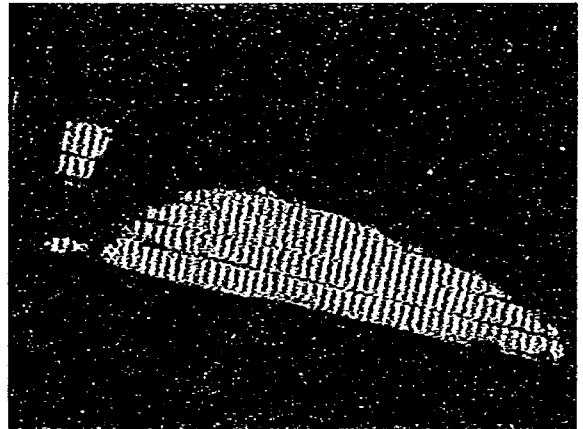
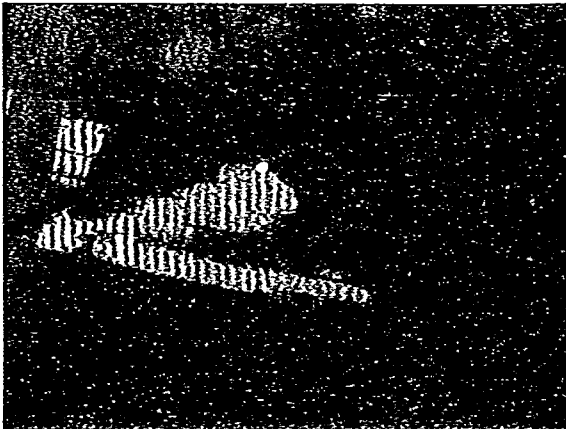
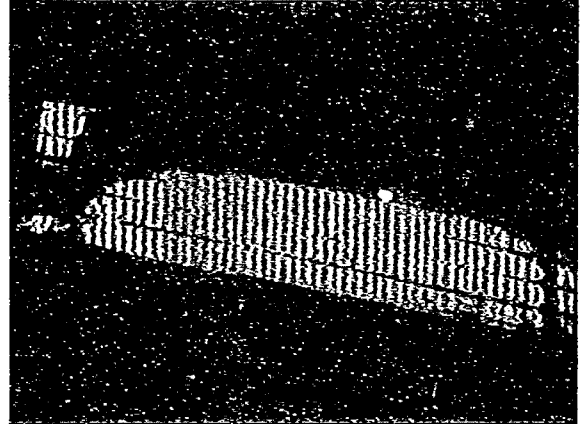
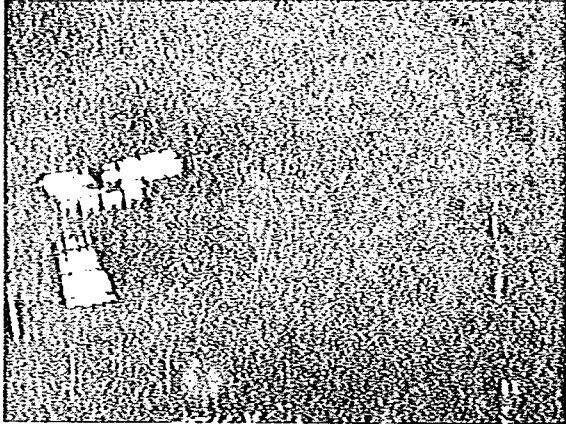


- A 41
- A 31
- A 21

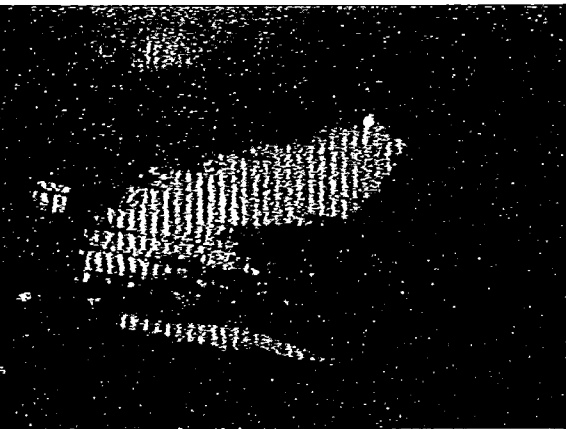
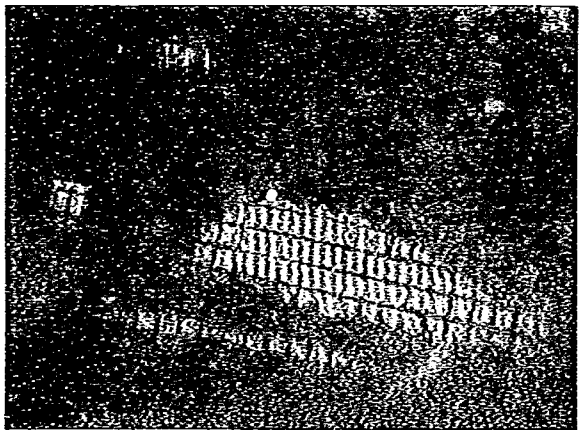
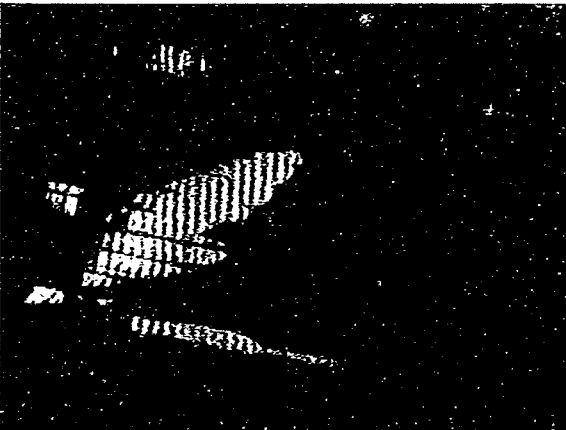
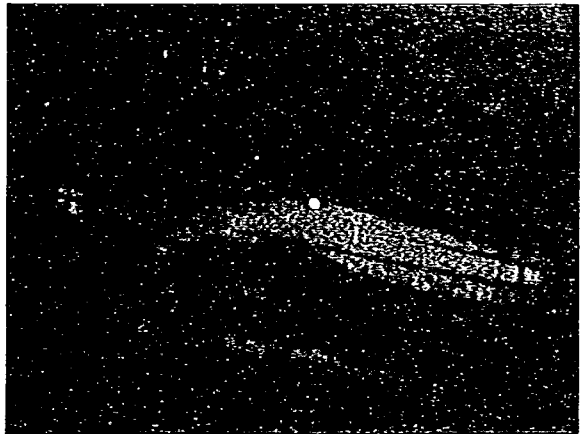
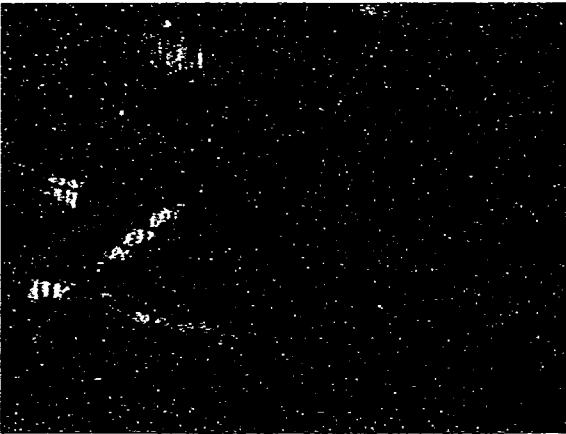
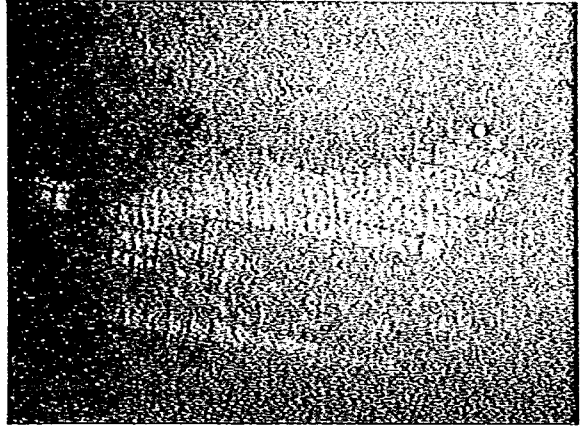
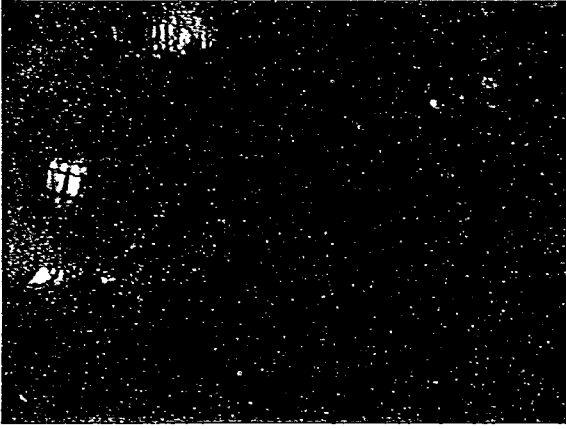


なお、室温は -10°C である。

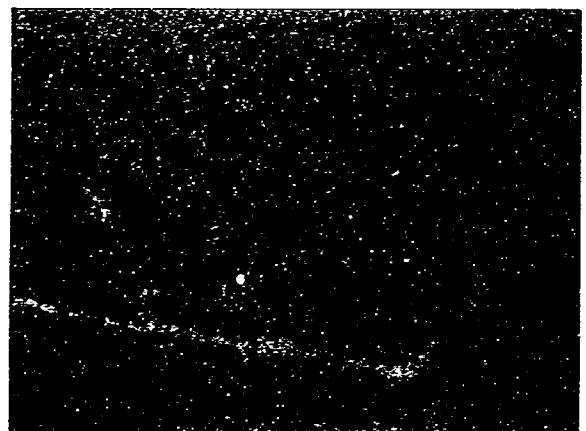
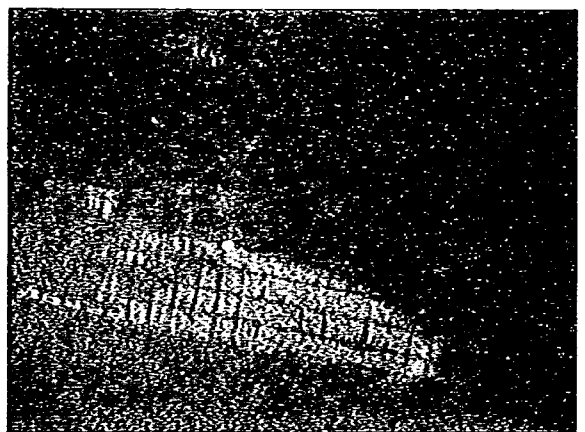
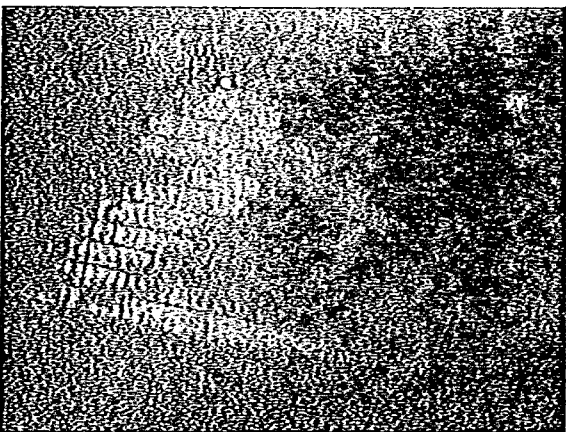
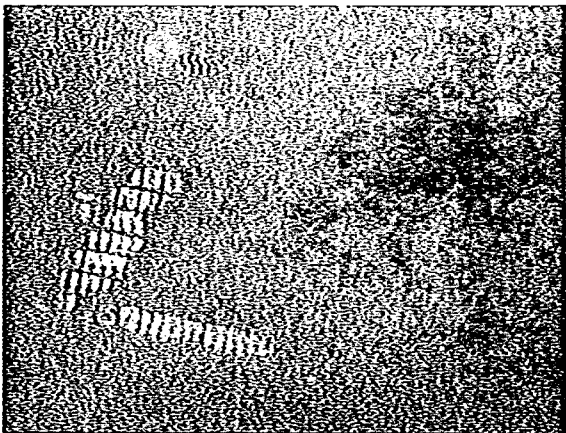
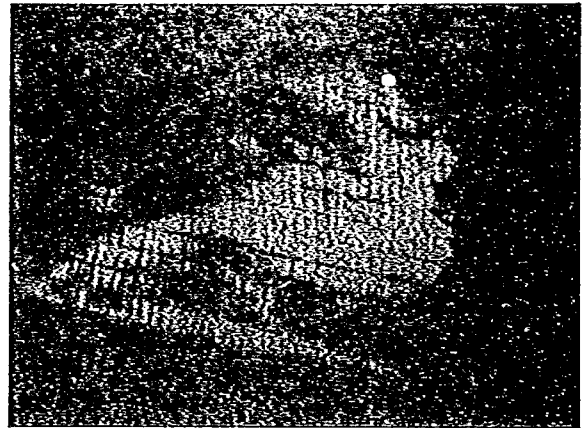
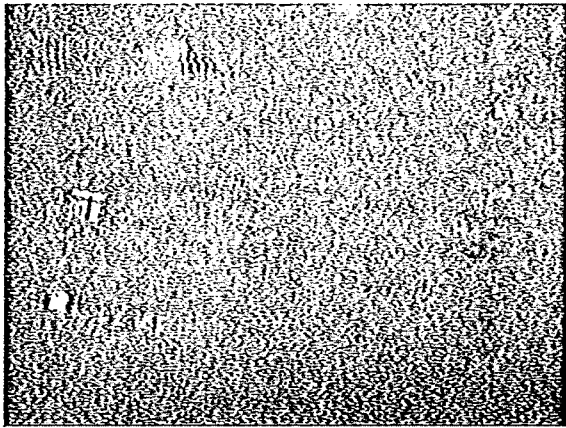
A 30



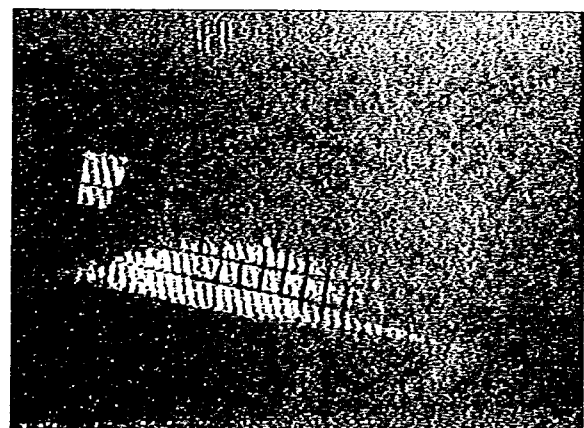
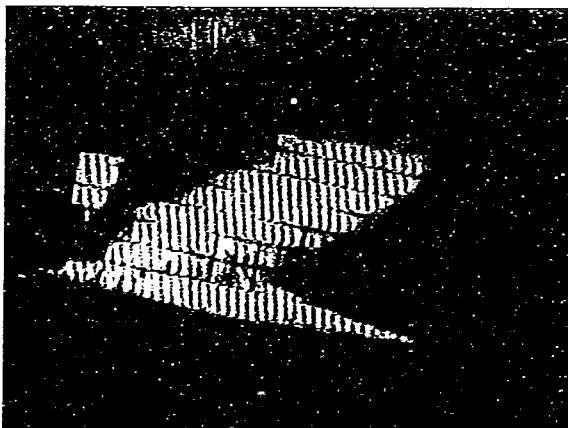
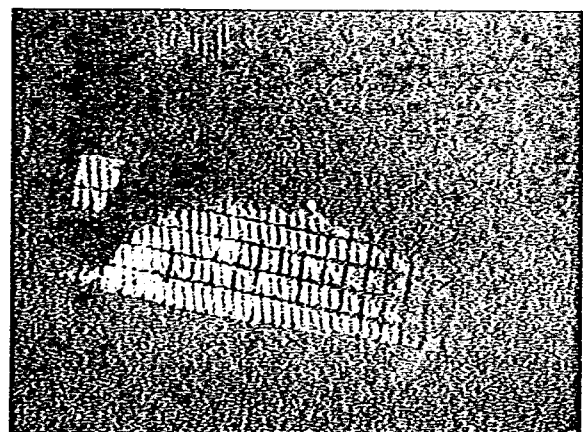
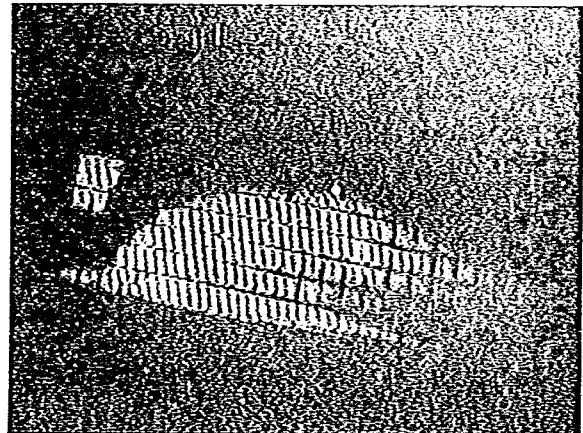
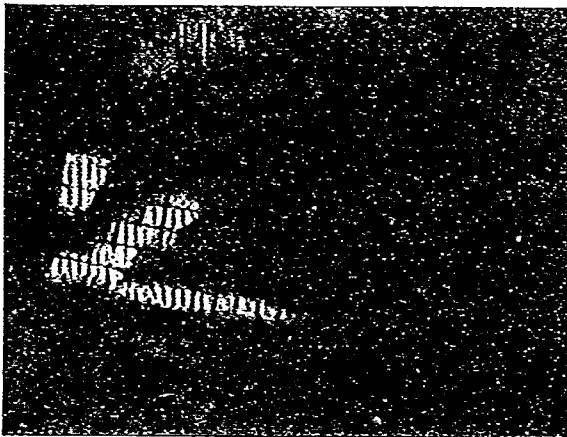
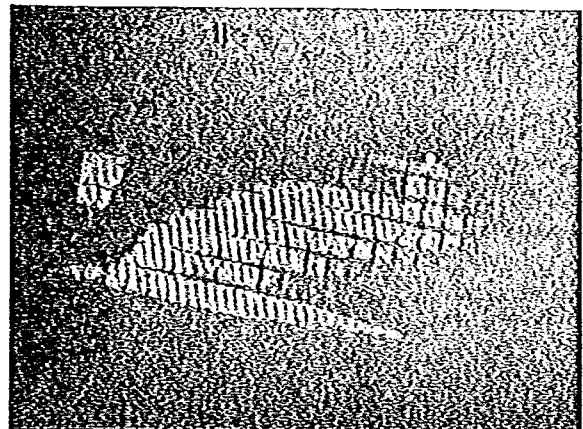
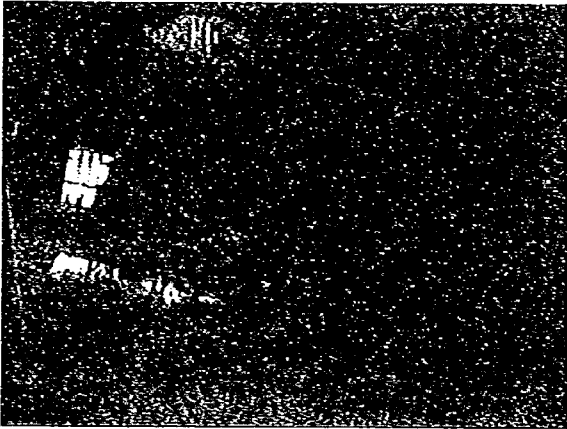
A 60



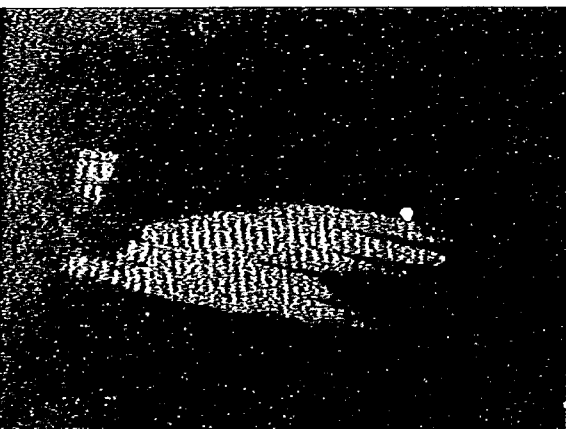
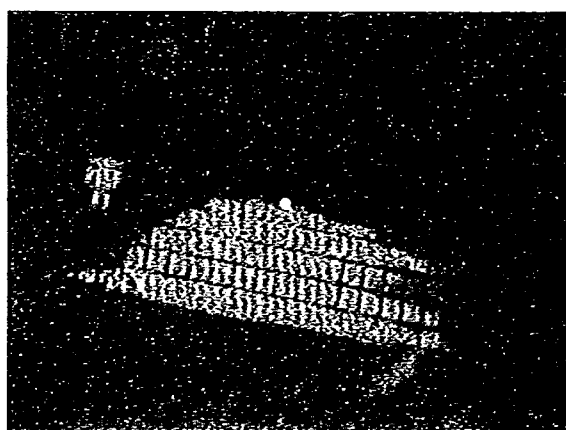
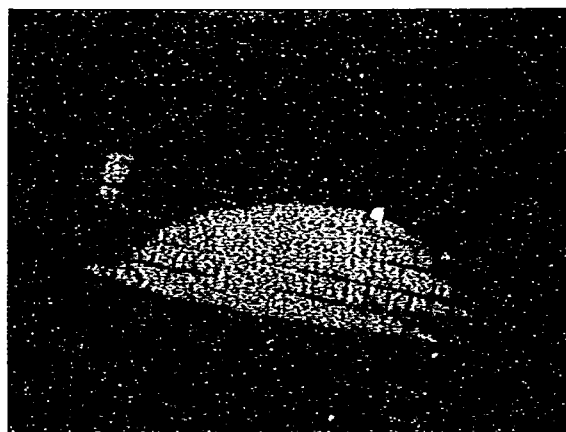
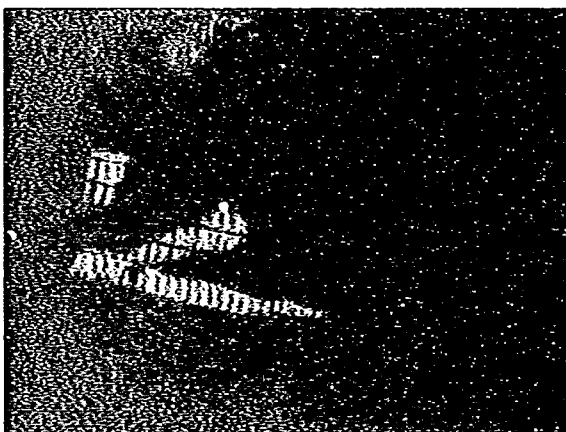
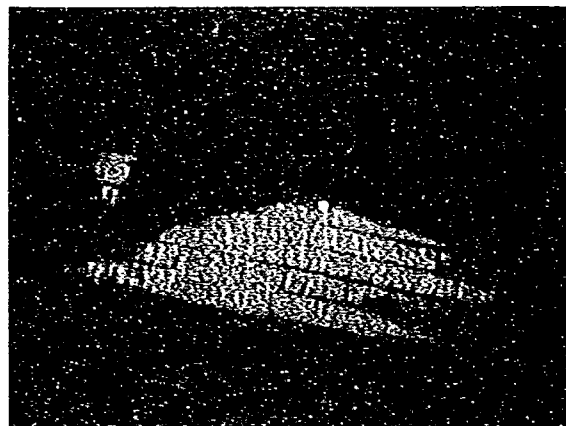
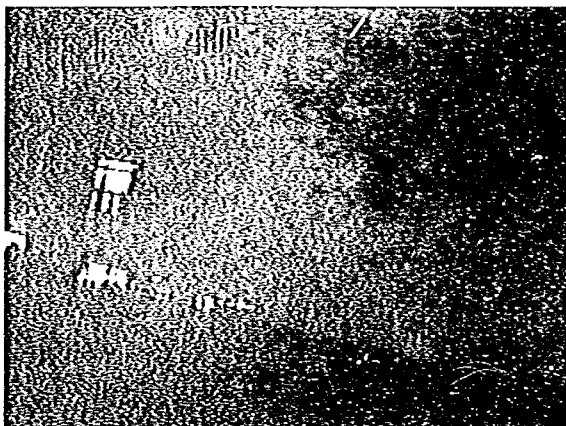
A 90



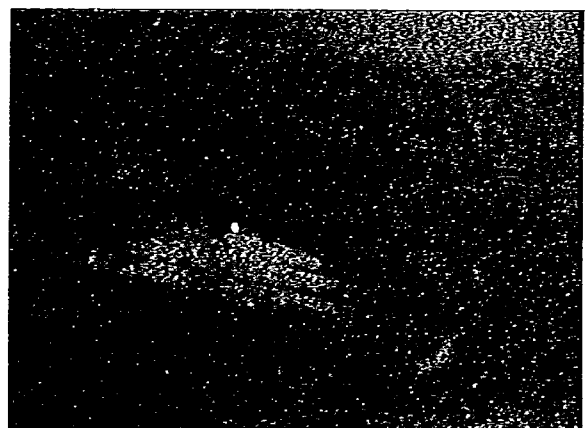
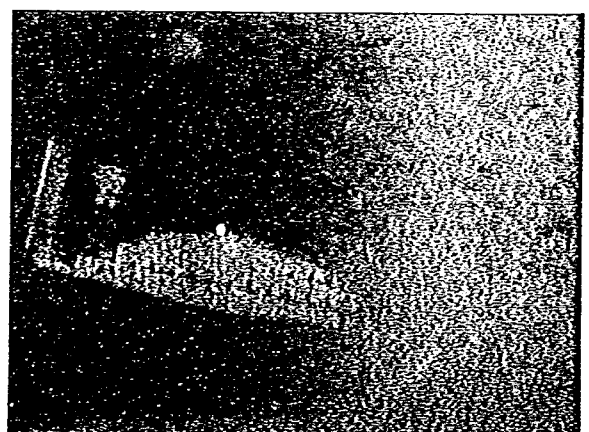
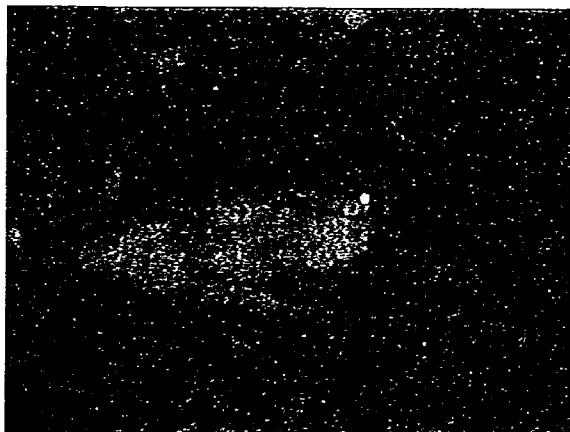
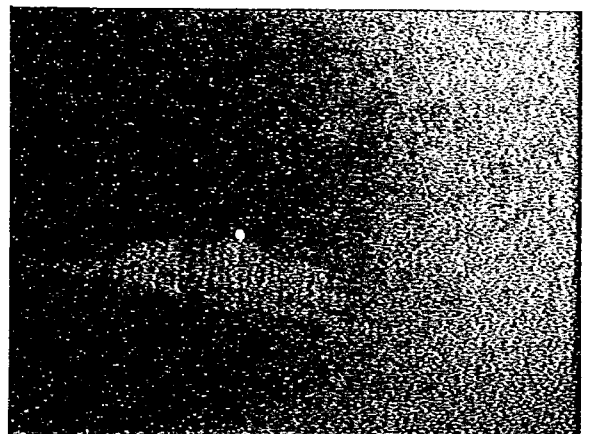
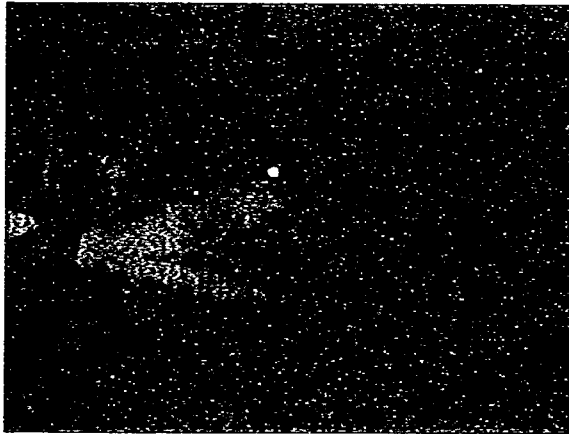
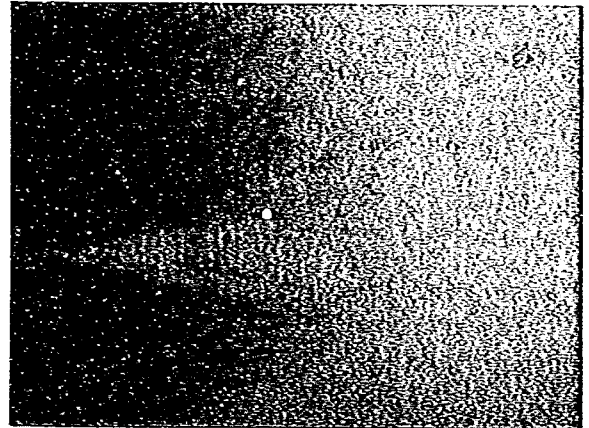
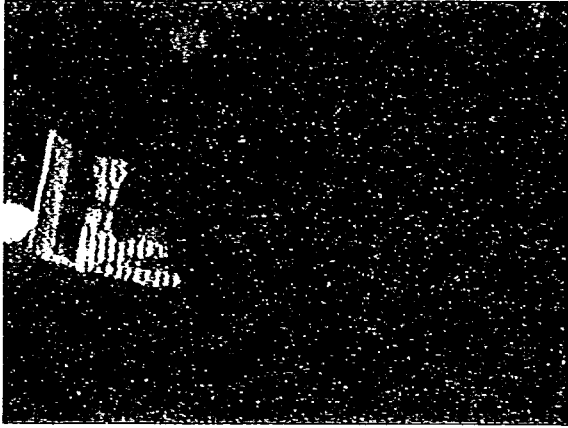
A 120



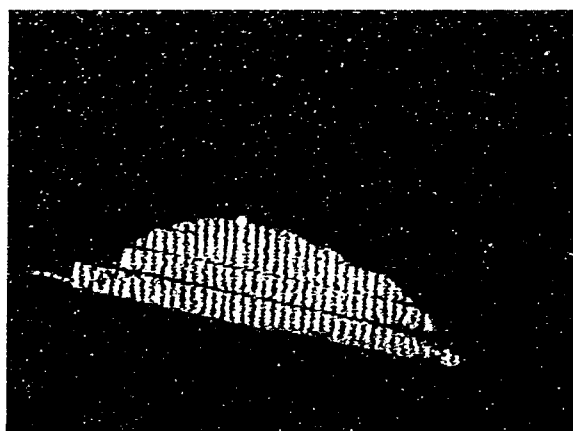
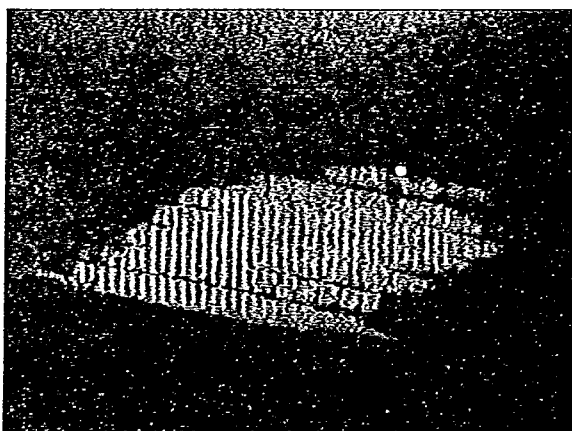
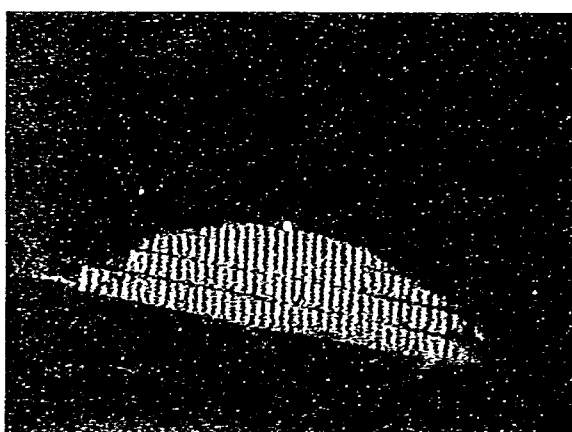
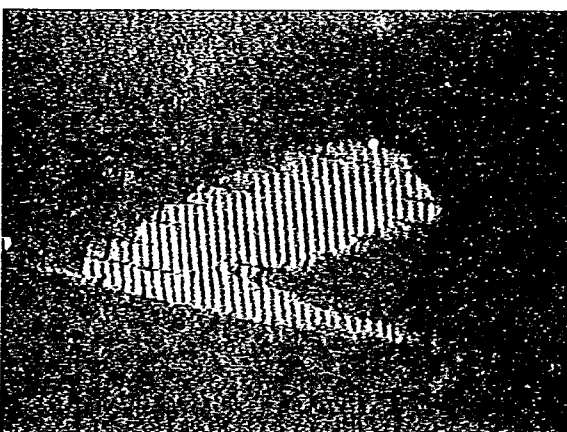
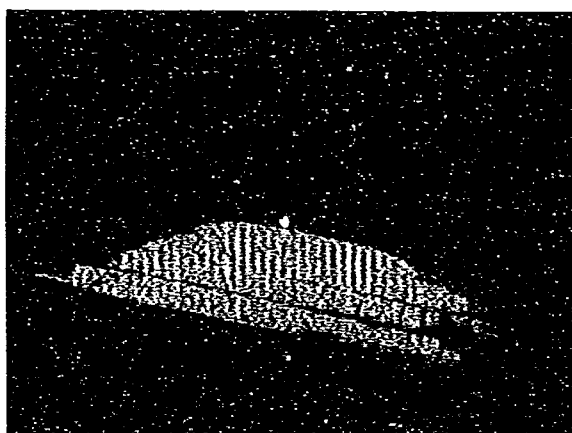
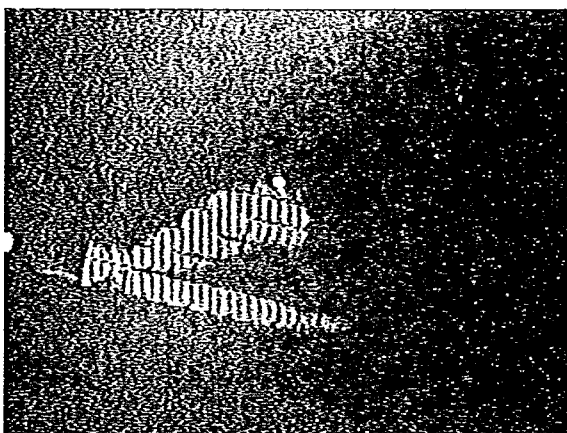
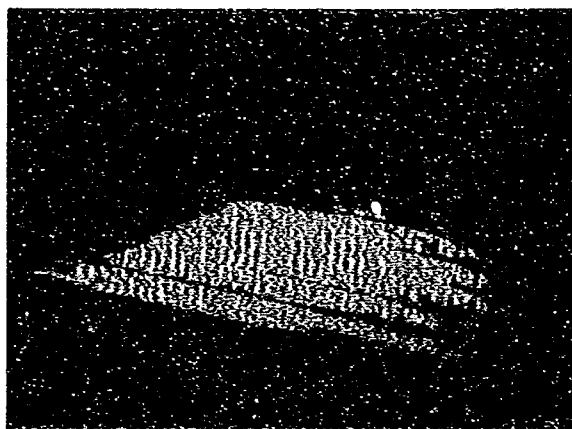
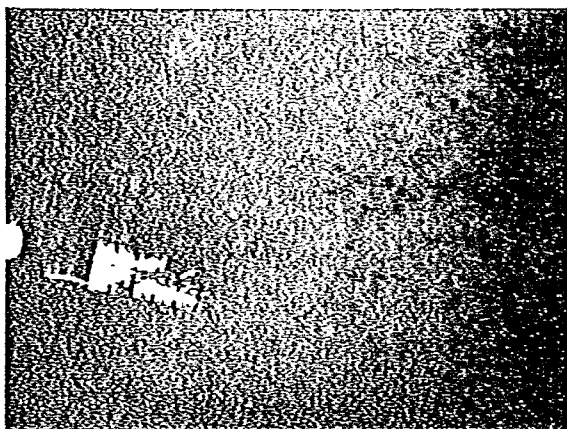
A 150



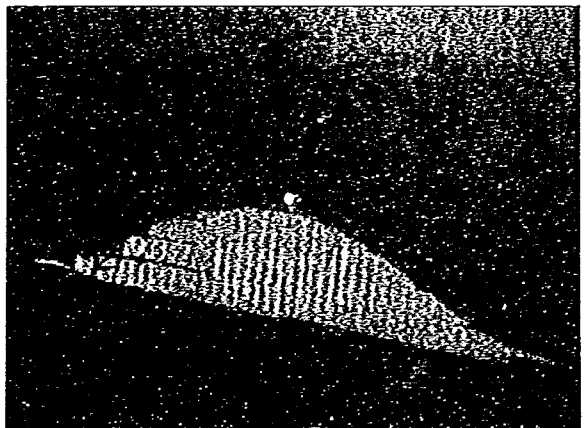
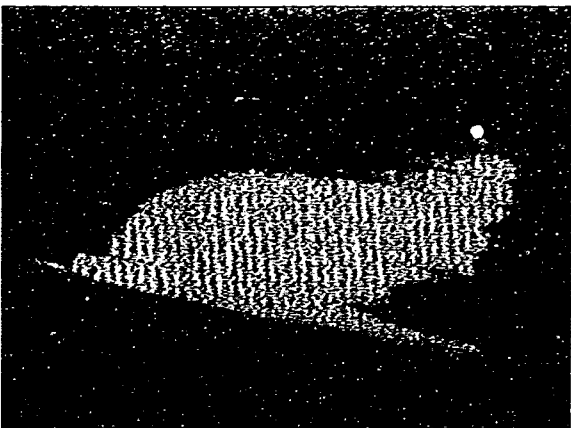
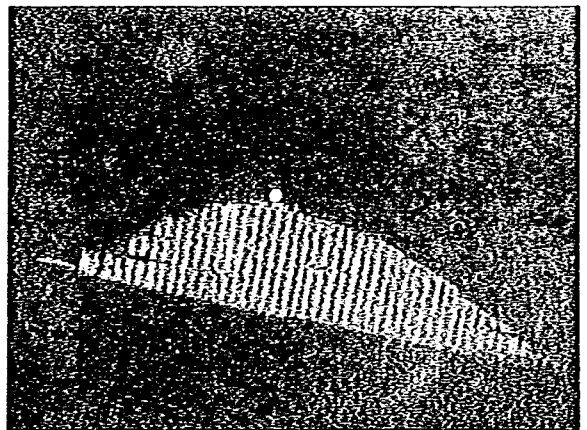
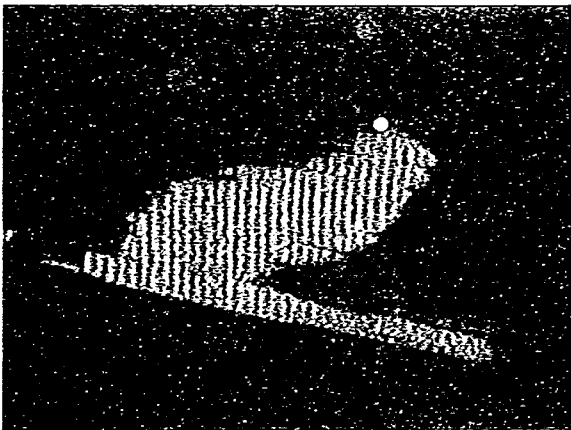
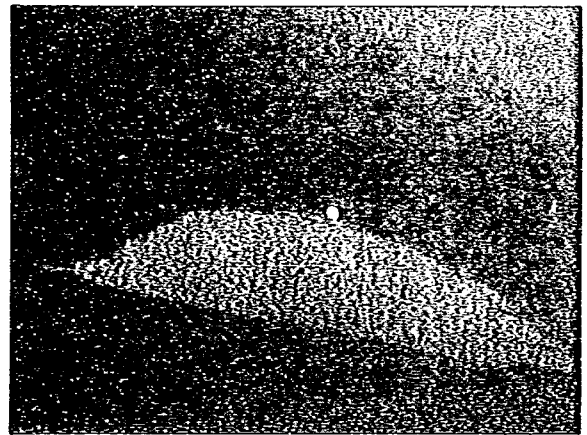
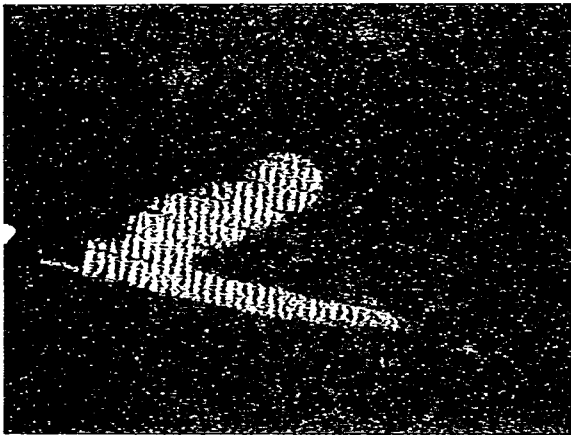
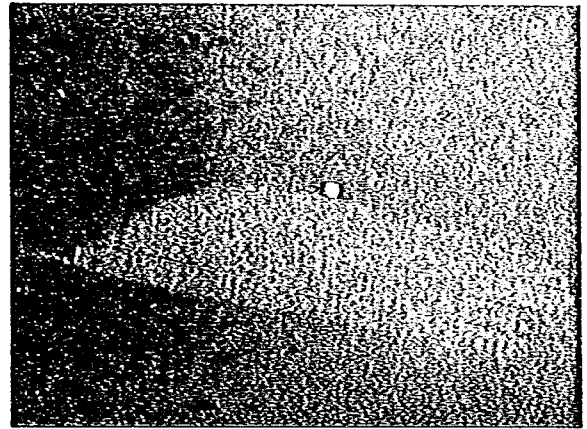
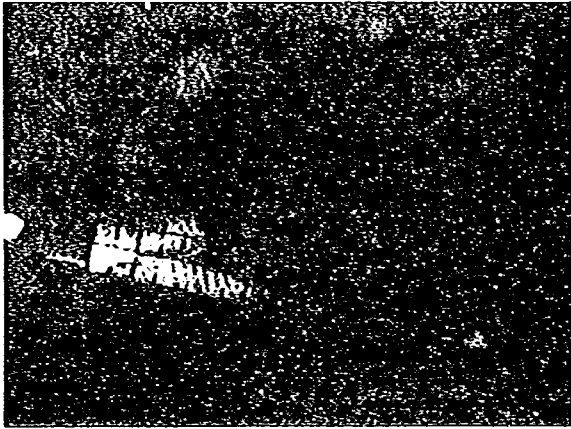
A 12



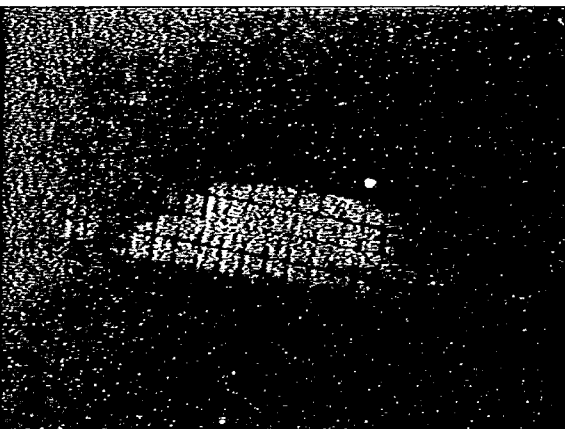
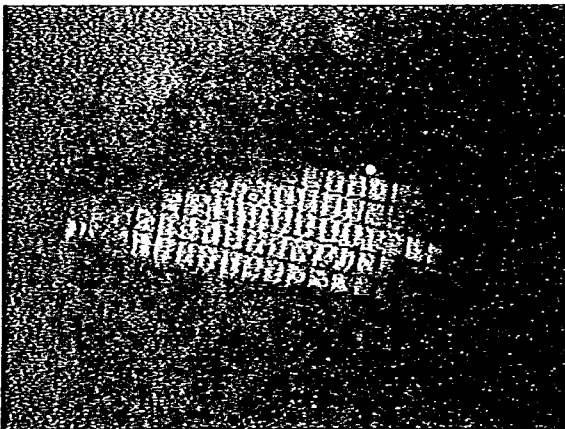
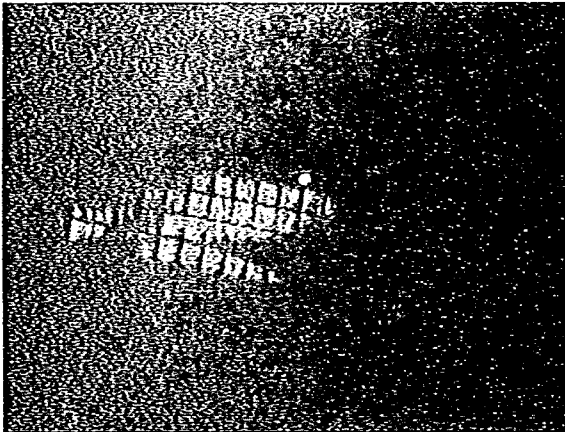
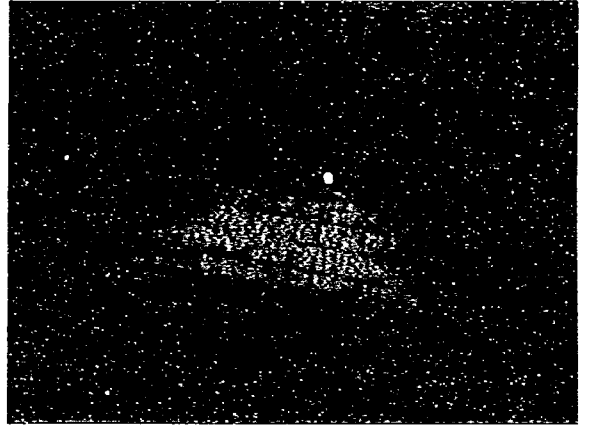
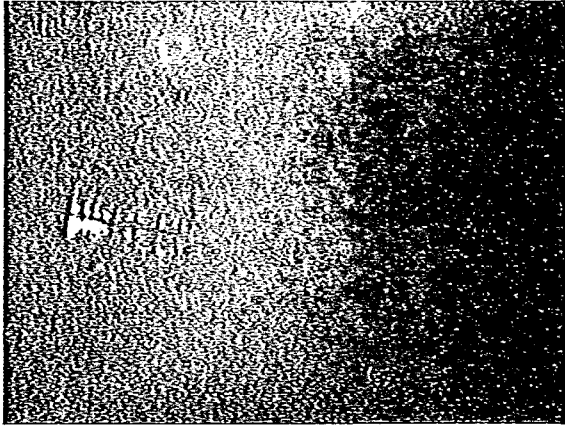
A 13



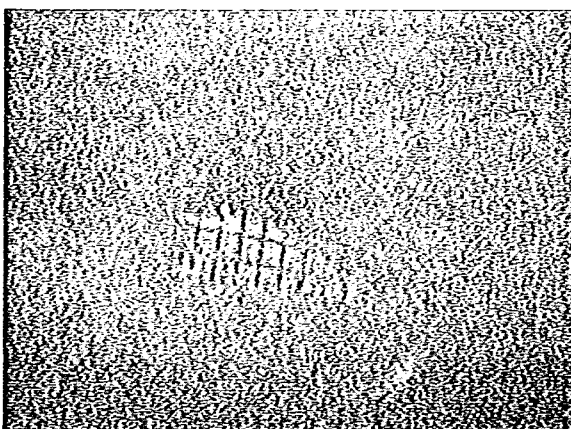
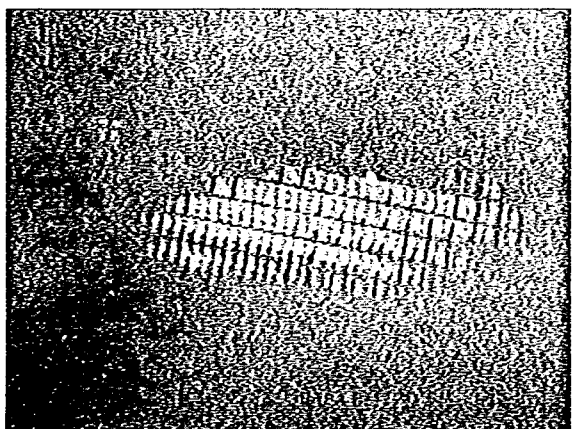
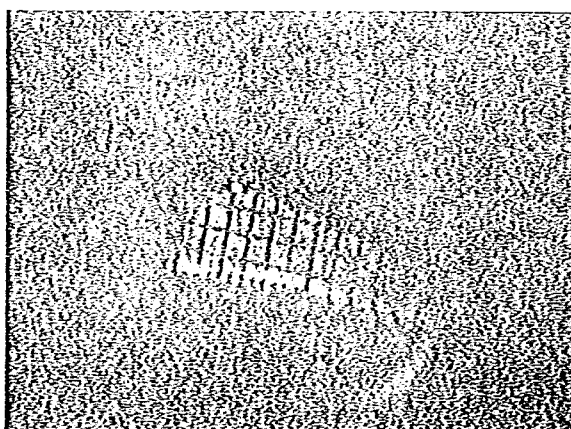
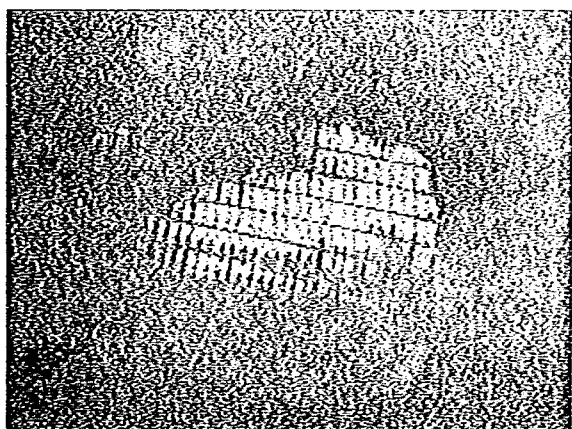
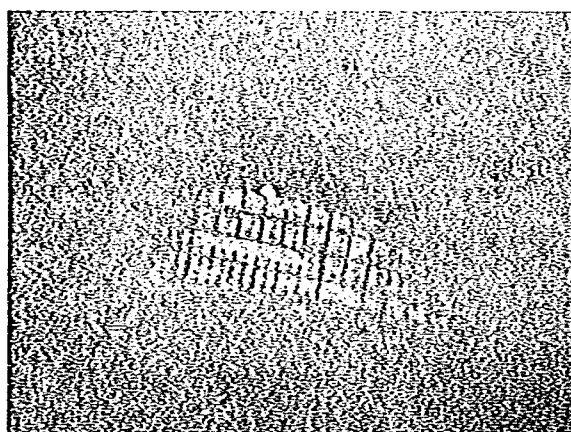
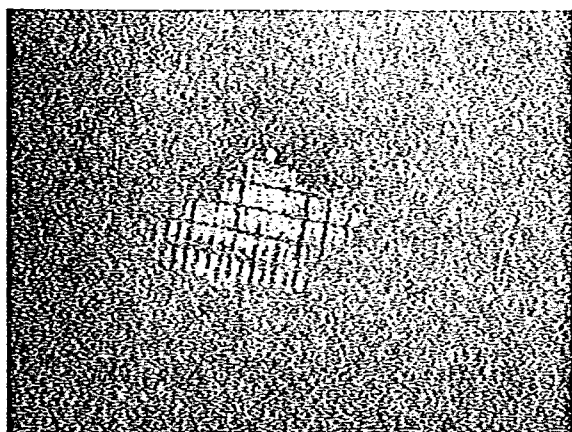
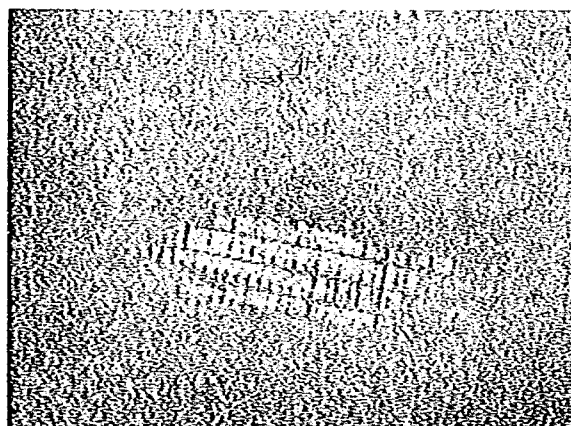
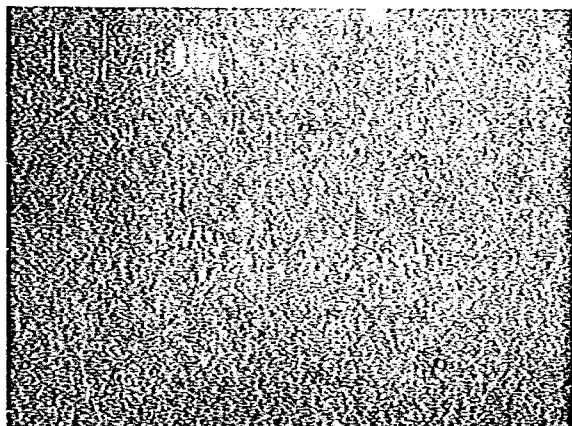
A 14



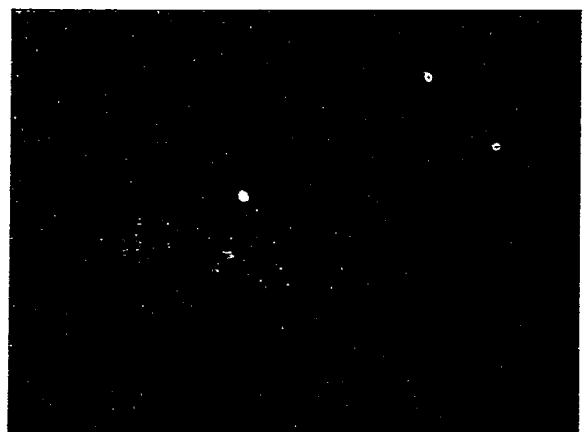
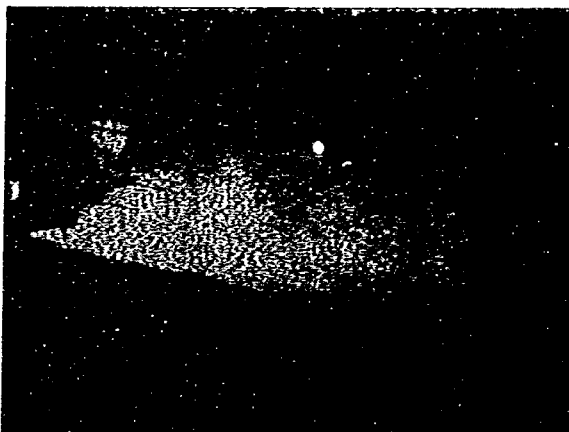
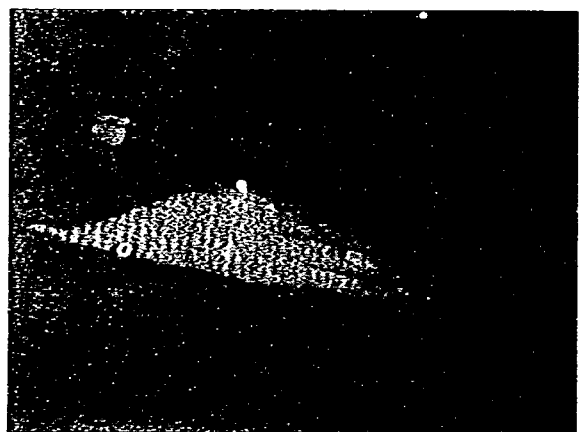
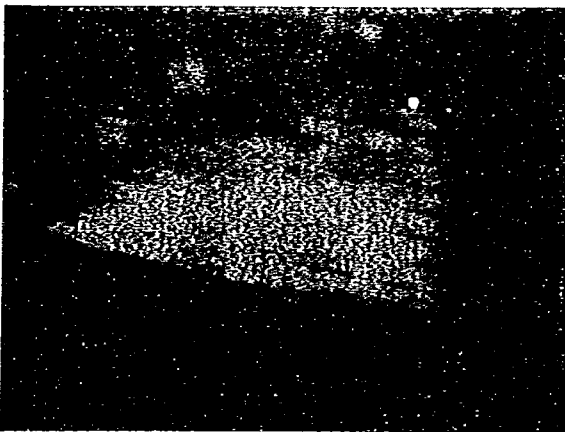
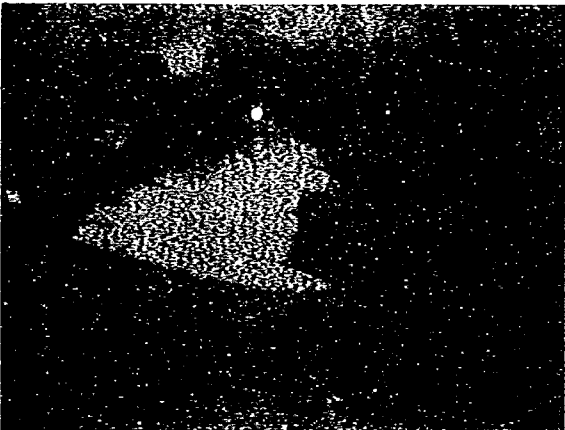
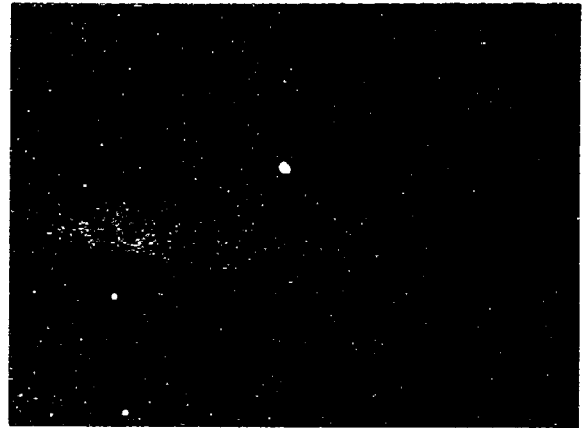
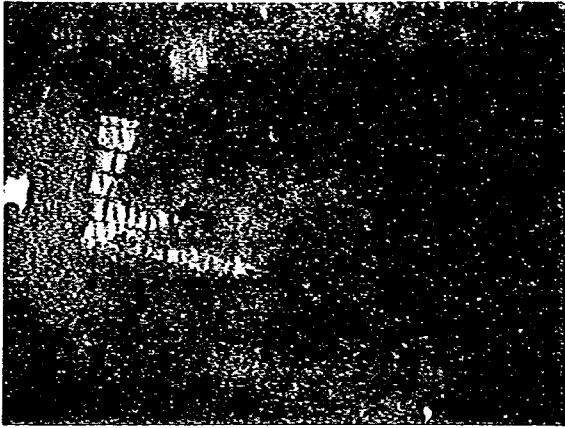
A 41



A 31



A 21



雪崩減勢工に関する
実験報告書(II)

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2571号
昭和63年3月(1988)

建設省土木研究所 急傾斜地崩壊研究室 吉松弘行
新潟試験所 是沢一樹

要旨 雪崩防護施設の一つである雪崩減勢工について、部材の形状、大きさ、配置による雪崩衝撃力の減勢効果を測定、観察するための模型実験を行った。実験用の雪崩材料として、天然雪、パーライト及びアイススライサーによって氷から作った人工雪を用いた。この実験によって、減勢効果は鉛直部材より水平部材の方が雪崩に対する作用面積が大きいため高いが、衝撃力のピーク低減には鉛直部材が有効であること、また減勢工は1基よりも2基の方が減勢効果が高く、2基目の位置を雪崩流が飛び越えない位置に設置すれば効果が期待できる等のことがわかった。

キーワード：雪崩、雪崩減勢工、雪崩衝撃力

郵便はがき

いは40
円切手
を下さ

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

急傾斜地崩壊研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2571号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印