

土木研究所資料

雪崩減勢工に関する実験報告書(I)

昭和62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 © (1987) 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、複写は、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(I)

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。実験は模擬雪としての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、今回の実験に用いた部材に作用した衝撃力は流体の衝撃力の式を用いて表わせること、三種類の減勢工模型を用いた実験ではジャングルジム三角型の減勢効果が高いこと等がわかった。

キーワード：雪崩，雪崩減勢工，雪崩減勢抗，雪崩衝撃力

まえがき

背後に雪崩発生危険区域を控え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。このため近年次のようないくつかの砂防ダムの雪崩による被害が報告されている。

① 崩沢下流第1号砂防ダム（直轄）

昭和56年、姫川水系松川流域崩沢において砂防ダム袖部が雪崩流により被災した。

雪崩の発生状況等についての記録は残っていない。

修復に当たっては袖部を鉄筋で補強し、袖裏には土盛りによるサンドクッションを設けている。

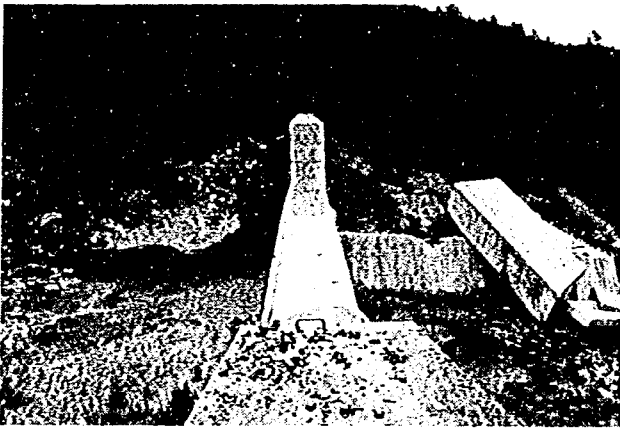


写真1 被災状況

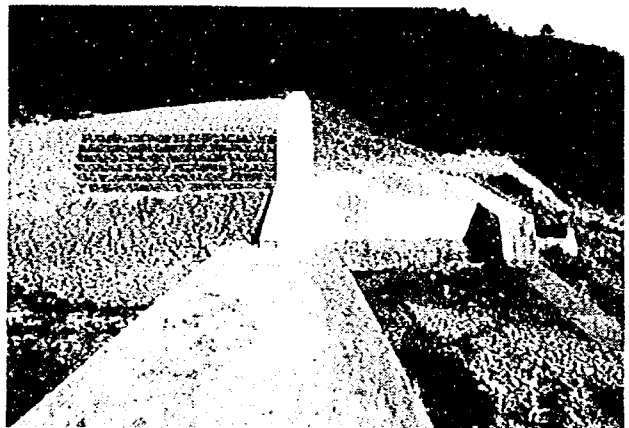


写真2 復旧状況

② 籠川第4号砂防ダム（直轄）

昭和58年、高瀬川水系籠川において、やはり砂防ダム袖部が雪崩流により被災した。

雪崩の発生状況等についての記録は残っていない。また、修復に当たっては①の例と同じく、鉄筋による袖部の補強及びサンドクッションによる袖裏の保護がなされた。

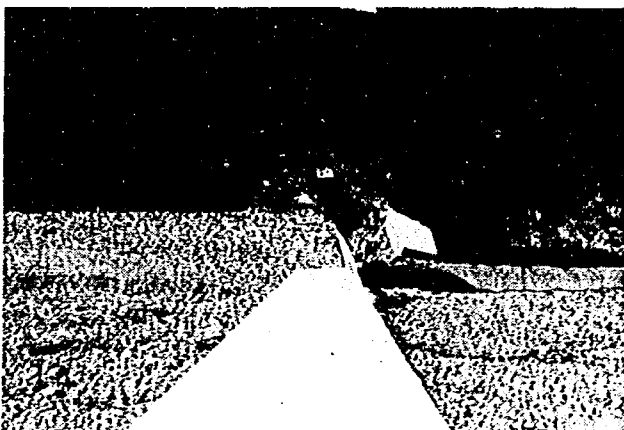


写真3 被災状況

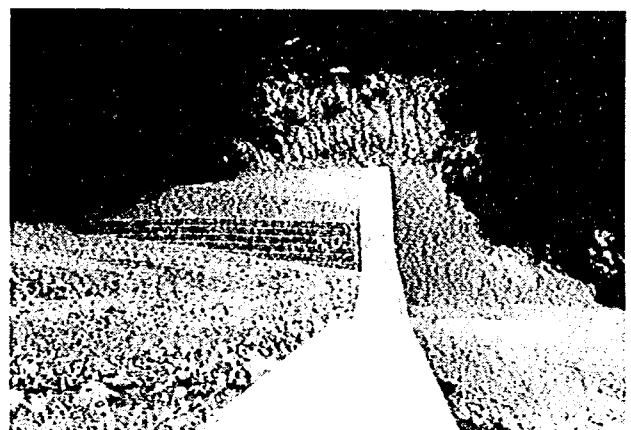


写真4 復旧状況

③ 黒又沢砂防ダム（直轄）

昭和56年2月10日、魚野川流域三国川上流黒又沢において面発生乾雪表層雪崩が発生し、黒又沢砂防ダム左岸袖部が破壊された。

復旧については、鉄筋による補強を行っている。

この雪崩の発生状況、砂防ダムの復旧工法等については、砂防学会誌新砂防149(Vol.39, No.6, 昭和62年3月)「黒又沢砂防ダムの雪崩災害について」(江口等)に詳しいので参照されたい。



写真5

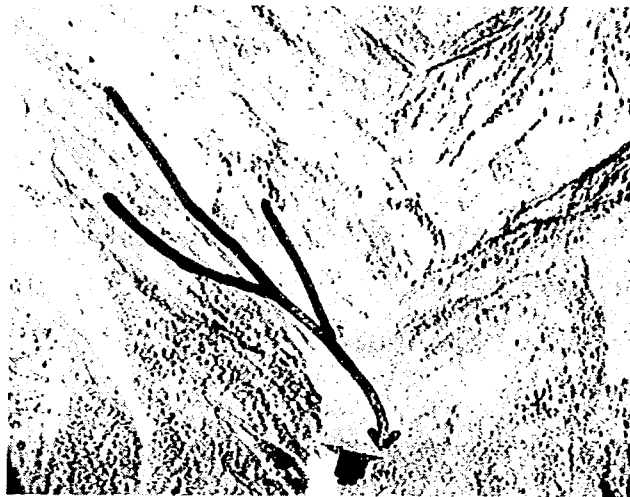


写真6

④ 土倉川筋の砂防ダム（補助）

昭和61年1月26日深夜に発生した乾雪表層雪崩により、新潟県糸魚川市南東部の早川流域土倉川に建築中の砂防ダム左岸部が被災した。時あたかも山の裏側に当たる能生町柵口地区では雪崩により13名の死者を出した悲劇の日であった。

復旧に当たっては、H型鋼及び鉄筋による補強が行われた。（「土倉川筋通常砂防工事雪崩解析業務委託報告書」昭和61年3月新潟県糸魚川土木事務所より。）

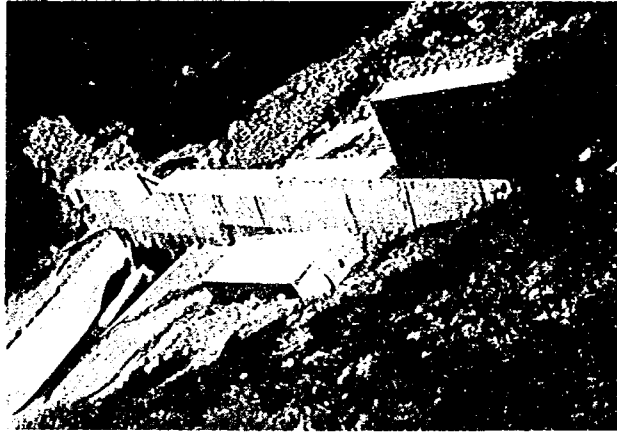


写真7

以上挙げたような砂防施設の被災は、今後砂防施設が雪深い上流域にも建設が進むだろうことを考えれば、増加の傾向にあることが予想される。

雪崩による砂防施設の被害を防止するため一つには被災例にも示したように砂防施設の補強、援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、また渓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、そ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。なお、第1編には、主に疑似雪としてのパーライトを用いた急傾斜地崩壊研究室担当による実験、第2編にはアイスライザーにより作られた人工雪を用いた新潟試験所担当による実験を取りまとめた。

昭和62年10月

建設省土木研究所砂防部

急傾斜地崩壊研究室

所 長 浅井涌太郎
主任研究員 寺本 和子
部外研究員 竹渕 仁一
工藤 賢二

建設省土木研究所新潟試験所

所 長 吉松 弘行
主任研究員 下村 忠一
研 究 員 酒井 洋一

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

第1章 実験の目的	1
第2章 実験の概要	2
2.1 パーライト実験	2
2.2 人工雪実験	4
第3章 実験装置と減勢工部材	7
3.1 パーライト実験	7
3.1.1 実験装置	7
3.1.2 減勢工部材	8
3.2 人工雪実験	9
3.2.1 実験装置	9
3.2.2 減勢工部材	9
第4章 計 測	10
4.1 計測フローと計測器機の設置位置	10
4.2 雪崩衝撃力の計測	11
4.3 雪崩流速の計測	12
4.4 流速計の検定及び斜面下流端での等速性の検定	14
第5章 実験ケース	16
5.1 パーライト実験	16
5.2 人工雪実験	18
第6章 実験結果及び考察	20
6.1 パーライト実験	20
6.1.1 擁 壁	20
6.1.2 鉛直部材	23
6.1.3 水平部材	30
6.1.4 複 合 部 材	35
6.2 人工雪実験	37
6.2.1 擁 壁	37
6.2.2 鉛直部材	38
6.2.3 水平部材	43
6.2.4 複 合 部 材	46
第7章 ま と め	47

あとがき	49
参考文献	50
第2編 雪崩減勢工に関する模型実験 その2	
第1章 概要	51
1.1 実験目的	51
1.2 実験装置	51
1.2.1 実験斜面	51
1.2.2 衝撃力測定用模型	53
1.2.3 実験用試料	60
1.3 実験方法	61
1.3.1 実験項目および組合せ	61
1.3.2 測定項目	62
1.3.3 測定方法	63
1.3.4 実験手順	65
第2章 実験結果	67
2.1 予備実験結果	67
2.1.1 雪崩の流下速度	67
2.1.2 雪崩流の層厚	67
2.2 本実験結果	68
2.2.1 擁壁	68
2.2.2 単杭	69
2.2.3 複杭	72
2.2.4 減勢工	76
第3章 まとめ	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

雪崩防止施設には雪崩発生区に設置して雪崩を未然に防止する雪崩予防施設と発生した雪崩を停止あるいは進路変更あるいは減勢させる雪崩防護施設とに大別される。

雪崩予防施設の設計法については古くからスイスの「国立雪と雪崩研究所」で研究され、すでにその設計示方書が作成されている。わが国においてもその示方書を基に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、雪崩防護施設に関する研究は、その重要性にもかかわらず、雪崩運動機構の複雑さのために内外においても数少なく、雪崩防護施設の設計法については今後の研究が待まれている。

それら雪崩防護施設の中で、特に雪崩の速度を低減させ防護対象の手前で雪崩を停止させる雪崩減勢工においては、その効果や設計法が明らかにされていない。

そこで、本実験は雪崩減勢工として鋼製の構造物を対象とし、雪崩がその雪崩減勢工に衝突する時の雪崩衝撃力を知るとともに、雪崩減勢工が雪崩に及ぼす減勢効果を明らかにする。

尚、本実験では雪崩材料としてパーライトを用いた実験（以後、パーライト実験と記す）とアイススライサーで製造した人工雪を用いた実験（以後、人工雪実験と記す）を行い、雪崩衝撃力及び減勢効果に関して双方の比較も行っている。

第2章 実験の概要

2.1 パーライト実験

パーライト実験は土木研究所の地すべり実験棟内で模型斜面を作成し行われた。実験の概要を図2-1に、また崩壊実験状況を写真2-1に示す。

実験装置は大別すると、流下斜面、流導壁、崩壊箱及び擁壁から成る。崩壊箱及び擁壁を写真2-2及び写真2-3に示す。流下斜面はパーライトが流下する斜面であり、その両側にはアクリル製の流導壁が設けられている。これは流下時のパーライトの広がりを防ぎ、速やかに流下斜面下端にパーライトを導くものである。崩壊箱は前面の扉が両開きできる構造となっており、パーライトがその中に詰め込まれる。崩壊箱は流下斜面上端に設置され、その前面の扉を開くことによって、崩壊箱に詰め込まれたパーライトは斜面に流下する。斜面の下方には各種の減勢工部材が設置される。また、流下斜面下端には擁壁が設置される。

実験はまず、崩壊箱に含水比50%に調合した25kgのパーライト(約 0.1m^3)を詰め込み、崩壊箱を斜面上端に設置する。また、図2-1に示す減勢工部材設置位置に各種の部材を取り付ける。一方、ロードセルやビデオなどの計測器機を所定の場所に設置し、実験準備を完了する(写真2-1 a参照)。実験の開始は準備完了の合図により崩壊箱の前面の扉を開きパーライトを自然流下させる(写真2-1 b参照)。流下したパーライトは流下斜面に沿って流れ(写真2-1 c参照)、斜面下流側に設置した部材に衝突する(写真2-1 d参照)。衝突時の流速は 4m/s 前後であり、減勢工部材に加わる衝撃力は部材に取り付けられたロードセルにより測定される。減勢工部材に衝突したパーライトは飛散や方向を変え、斜面下流端に設置した擁壁に順次衝突する。衝突したパーライトは停止し、下方に堆積する。パーライトが擁壁に衝突する時の衝撃力は、擁壁に取り付けたロードセルにより測定される。一方、設置した部材の前後には表面流速計が取り付けられ、流下中のパーライトの流速が測定されている。パーライトの層厚や衝突時の飛散状況は、ビデオカメラにより撮影され判読される。

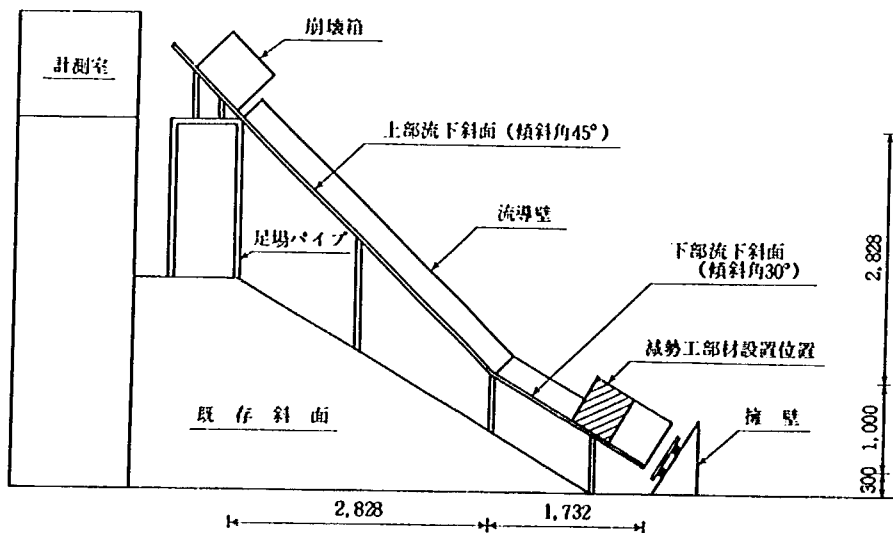
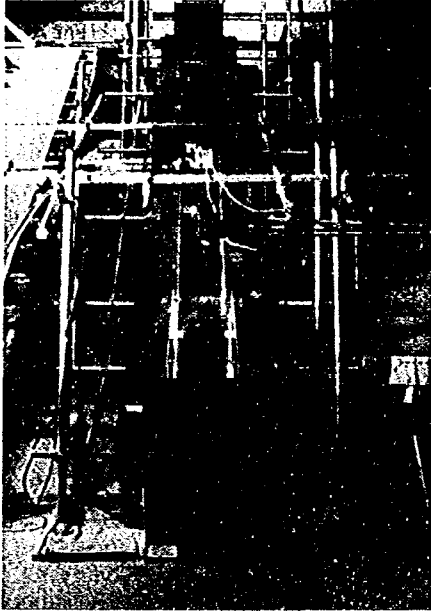
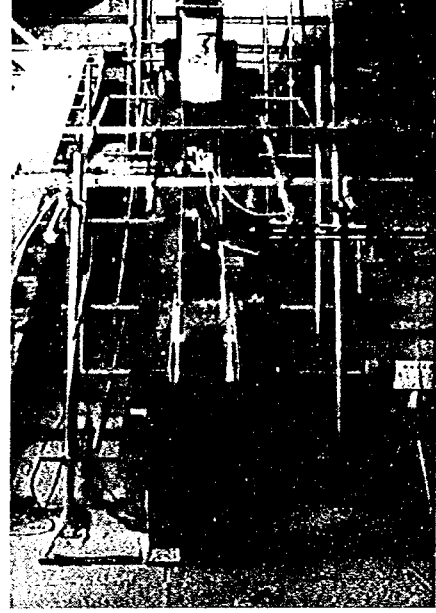


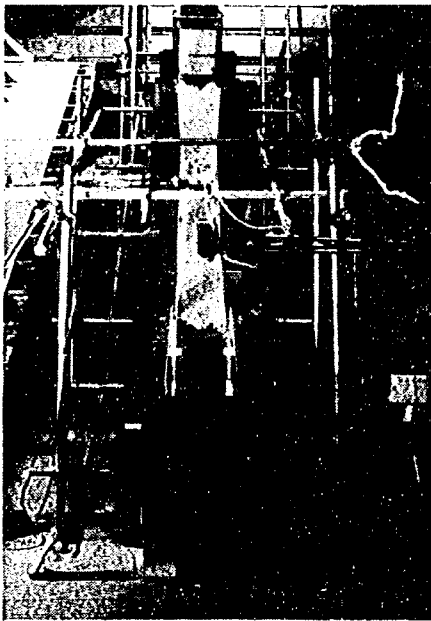
図2-1 パーライト実験の概要



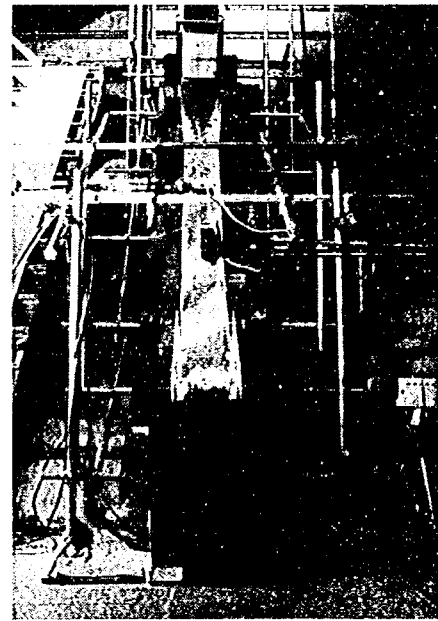
a) 実験準備完了状況



b) 実験開始状況



c) 流下状況



d) 減勢工部材衝突状況

写真2-2 崩壊箱 (パーライト実験)

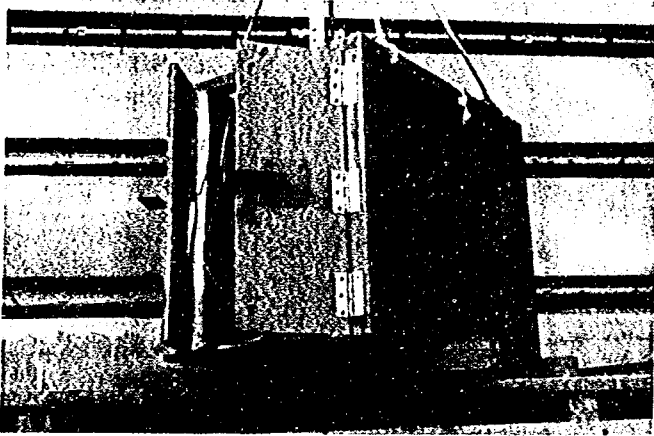


写真2-3 擁壁 (パーライト実験)



写真2-4 崩壊実験状況 (人工雪実験)

2.2 人工雪実験

人工雪実験は新潟試験所の低温実験施設内に模型斜面を作成し行われた。実験の概要を図2-2及び写真2-4に示す。

実験装置は、パーライト実験と同様に流下斜面、流導壁、崩壊箱及び擁壁から成る。崩壊箱を写真2-5に、擁壁を写真2-6に示す。

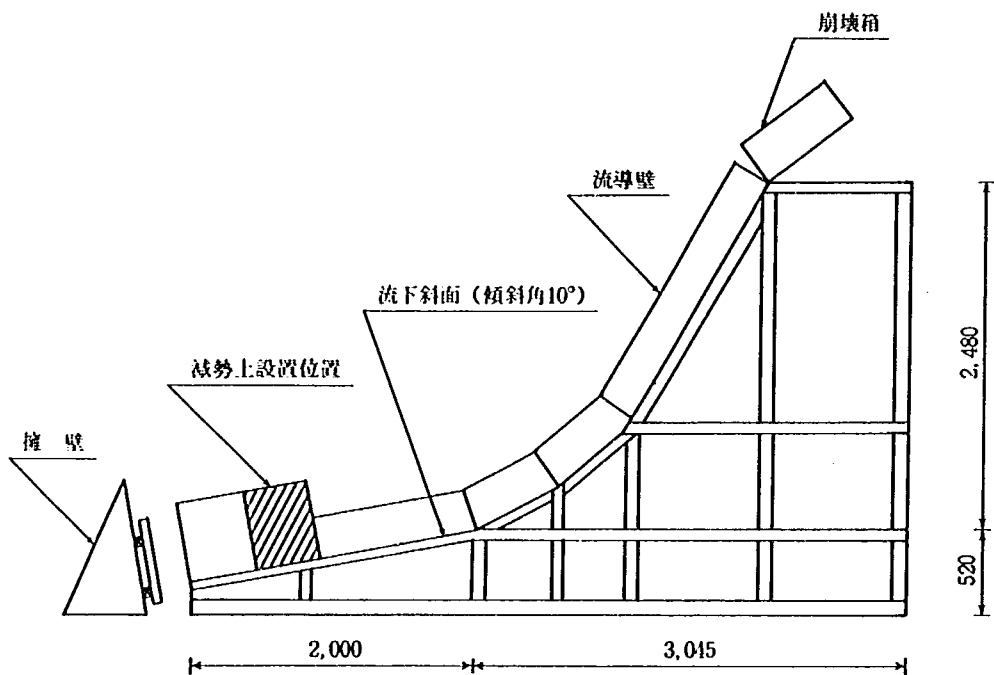


図2-2 人工雪実験の概要



a) 実験開始状況



b) 上方から見た流下斜面



c) 下流部の飛散状況

写真2-1 崩壊実験状況 (パーライト実験)

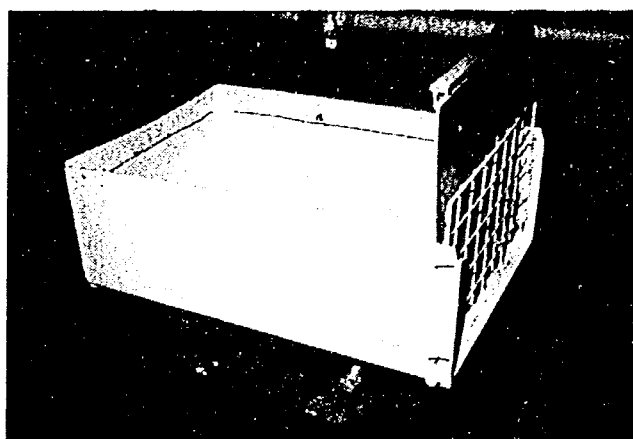


写真2-5 崩壊箱

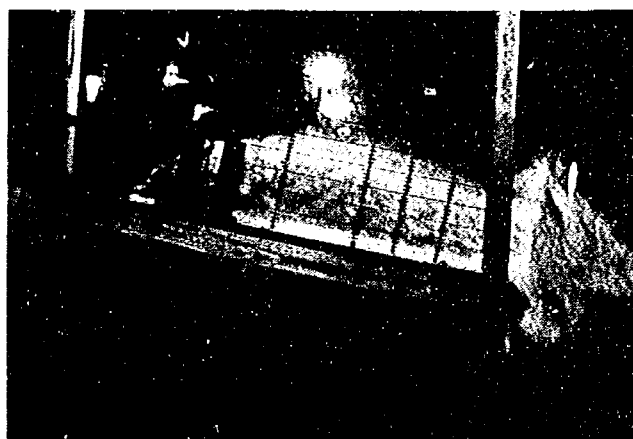


写真2-6 擁壁

実験は、まず崩壊箱にアイススライサー（かき氷機）で製造した人工雪 8 kg (0.02 m³) を詰め込み、崩壊箱を斜面上端に設置する。また、斜面下端にはパーライト実験と同一の減勢工部材を取り付ける。ロードセル及び流速計などの計測器機は、パーライト実験と同様に設置される。実験の開始は、準備完了の合図により崩壊箱前面の仕切板を人力で取りはずし、人工雪を斜面に自然流下させる(写真2-4 a)参照)。流下した人工雪は流下斜面に沿って流れ、斜面下流側に設置した部材に衝突する(写真2-4 c)参照)。減勢工部材に加わる衝撃力は部材に取り付けられたロードセルにより測定させる。写真2-4 c)に示すように衝突後の人工雪は飛散や方向を変え、擁壁に衝突する。衝突した人工雪は停止し、下方に堆積する。人工雪が擁壁に衝突する時の雪崩衝撃力は、パーライト実験と同様に擁壁に取り付けられたロードセルにより測定される。

第3章 実験装置と減勢工部材

3.1 パーライト実験

3.1.1 実験装置

実験装置は大別すると、流下斜面、流導壁、崩壊箱及び擁壁から成る。

図3-1に流下斜面と流導壁を示す。流下斜面は6cmの杉角で補強された厚さ15mmのラワン合板で作られ、さらにその上部にはパーライトが均一にしかも流れやすいように亜鉛鉄板が張り付けられている。流下斜面は傾斜角45°と30°に傾斜して据え付けられており、傾斜角45°部分の長さは4m、傾斜角30°部分の長さは2mである。流下斜面の上部には流下したパーライトの広がりを防ぎ速やかに流下斜面下端に導くために、流導壁が設けられている。流導壁は透明なアクリル板で作られており、その高さは30cmである。なお、斜面下端において減勢工部材によりパーライトは飛散するが、その部分の流導壁の高さは60cmとしている。

図3-2に崩壊箱を示す。崩壊箱の内寸法は700mm×400mm×650mmであり、内容積は0.18m³である。崩壊箱は杉角で補強されたラワン合板で作られており、全面には塗装がなされている。また、パーライトが流下しやすいように、底板には15°の傾斜をつけたFRP合板が取り付けられている。崩壊箱の前面の扉にはちょうつがいを取り付け、扉が自由に開閉可能な構造になっている。崩壊箱の扉は実験準備完了までピンにより固定されている。実験の開始時にはワイヤーを引き、その先に付けられたピンを引き抜くことによって、崩壊箱前面の扉を開く。

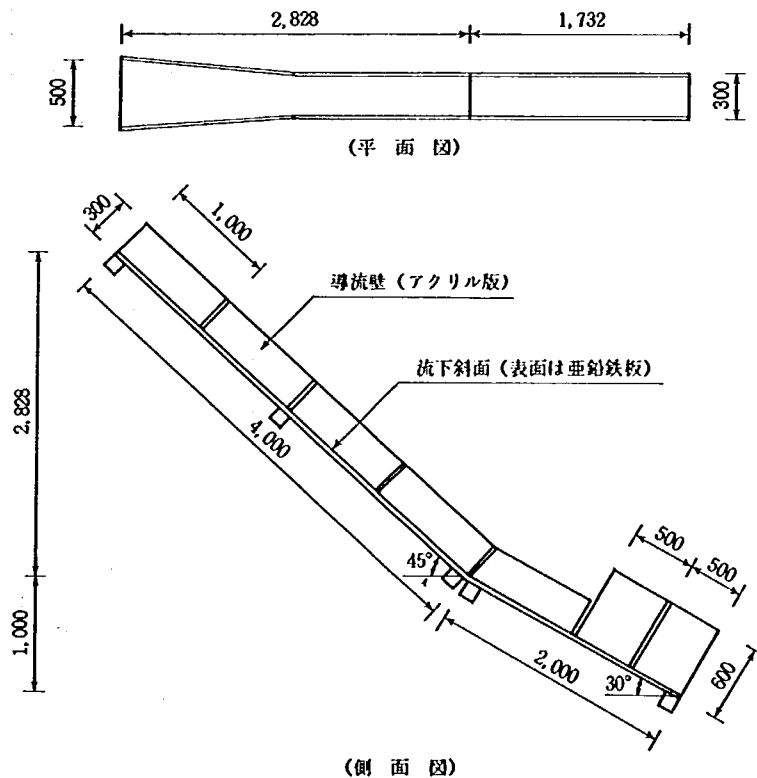


図3-1 流下斜面および流導壁

図3-3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(440×400×10 mm)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。また、擁壁本体にはブロックを置き、受圧板に作用する雪崩衝撃力により擁壁が移動しないようにしている。

3.1.2 減勢工部材

実験に使用した減勢工部材は用途別に、鉛直部材と水平部材に大別される。また、形状では、丸形状及び角形状に大別される。鉛直部材の径は13 mm、28 mm及び38 mmであり、水平部材の径は、13 mm、19 mm及び28 mmである。写真3-1及び写真3-2に鉛直部材及び水平部材を示す。なお、減勢工部材は鉄で作られており、腐食を防ぐために塗装がほどこされている。

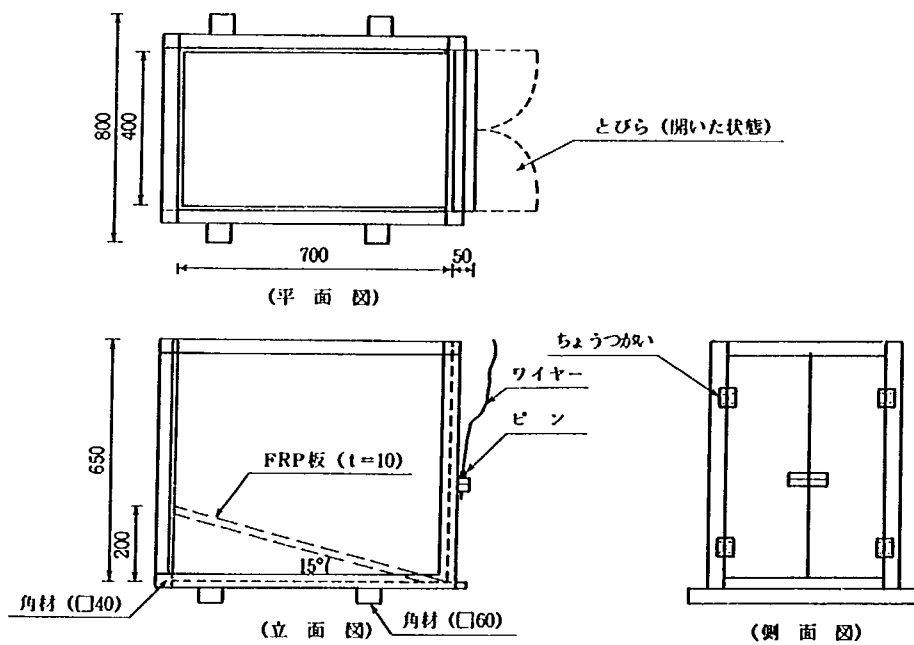


図3-2 崩壊箱

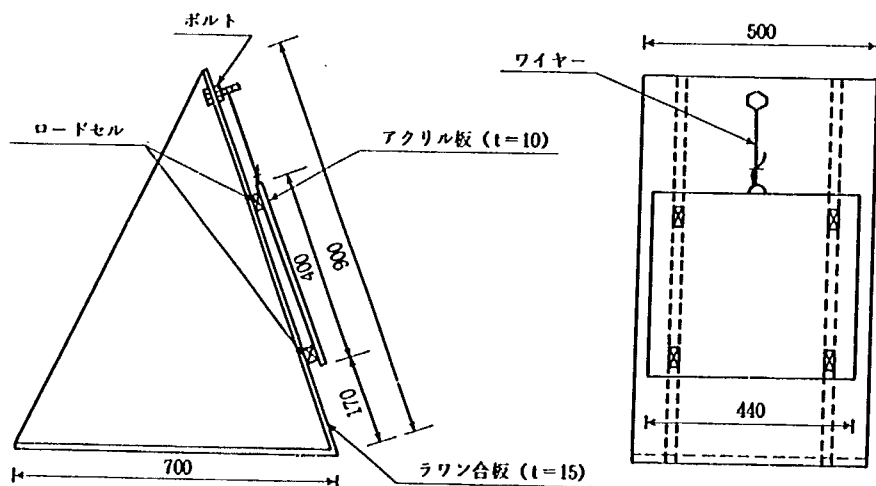


図3-3 擁壁

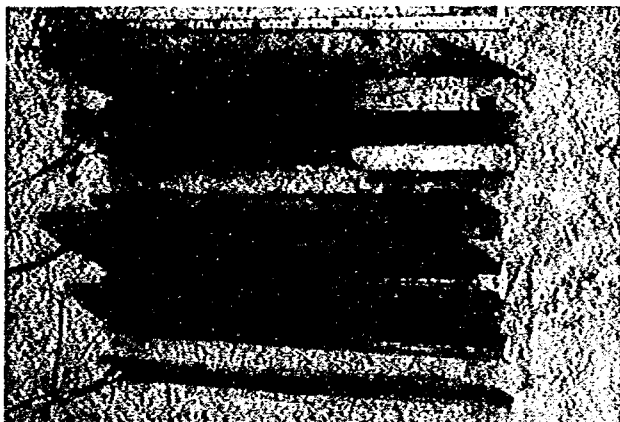


写真3-1 鉛直部材

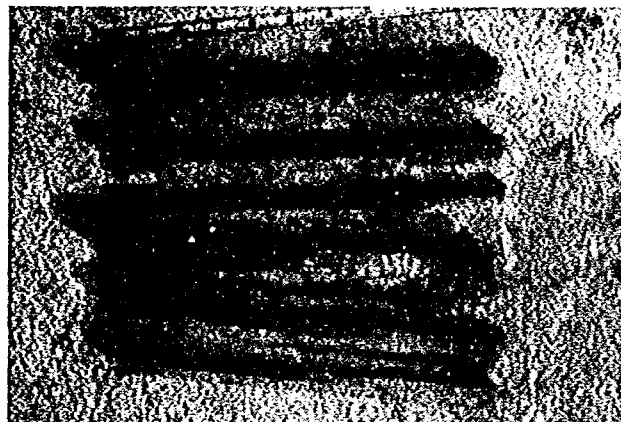


写真3-2 水平部材

3.2 人工雪実験

3.2.1 実験装置

実験装置はパーライト実験と同一で、流下斜面、流導壁、崩壊箱及び擁壁から成る。

図3-4に流下斜面と流導壁を示す。流下斜面はラワン合板の上にFRP合板を張り付け、人工雪が均一にしかも流下しやすいように工夫した。また、流導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できるだけ細かく流すために、5 cm ピッチの網が取り付けられている（写真2-5参照）。

擁壁はパーライト実験と同一である（写真2-6参照）。

3.2.2 減勢工部材

人工雪実験で使用した減勢工部材は、パーライト実験で用いた部材と同一である。ただし、使用した鉛直部材の径は13 mm及び28 mmであり、水平部材の径は13 mmである。

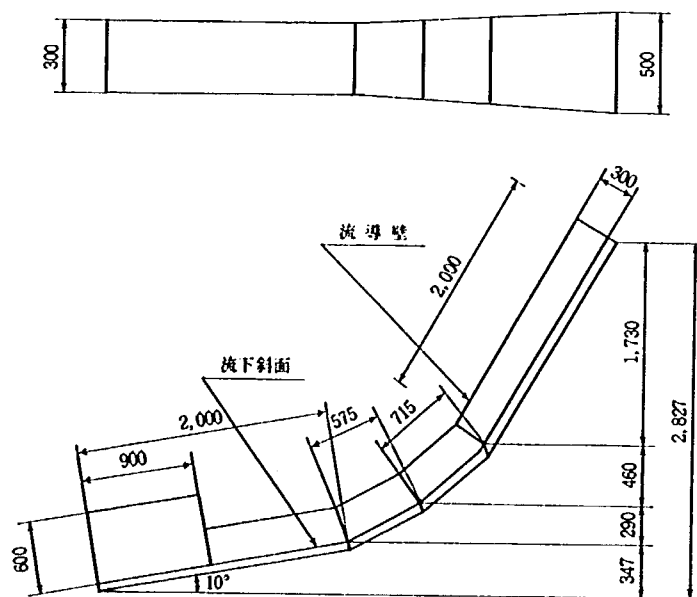


図3-4 流下斜面及び流導壁

第4章 計 測

4.1 計測フロー及び計測器機の設置位置

計測は衝撃力、流速及び流れ層厚に大別される。それらの計測フローを図4-1に示す。また、計測器機を写真4-1に示す。

流れ層厚及び飛散状況は、1秒間に60コマの映像を記録するビデオカメラにより計測及び観察された。減勢工部材及び擁壁に作用する雪崩衝撃力はロードセルにより計測され、動歪計、データレコーダー、AD変換器等を介して、パーソナルコンピュータにより図形処理を行った。流速は表面流速計により流れの中心周波数を検知し、MEM解析により算出した。

図4-2に計測器機の設置位置を示す。図に示すように、表面流速計及びビデオは減勢工部材の前後に取り付けられた。これは減勢工部材の前後の流速及び挙動を把握するためである。また、ビームセンサーは投光器と受光器からなり、斜面上部に取り付けられている。雪崩流がビームセンサーを通過すると、投光器から受光器に発せられていた赤外線ビームが遮断される。ロードセル及び表面流速計は、この赤外線ビームが遮断されると計測を開始する。以後に示す荷重-時間関係のグラフで時間0秒は、雪崩流がビームセンサーを通過した時点を示す。

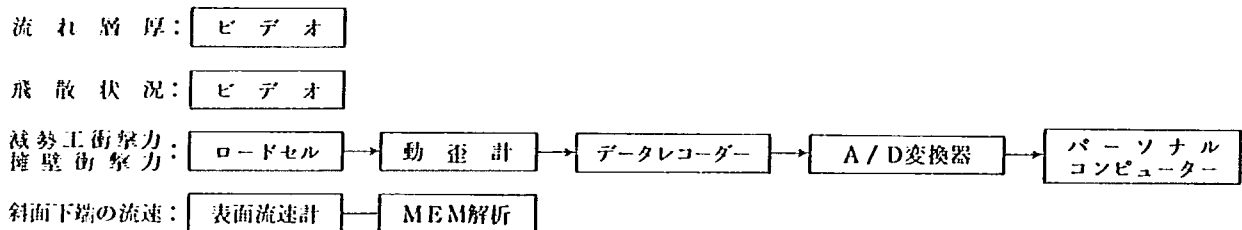
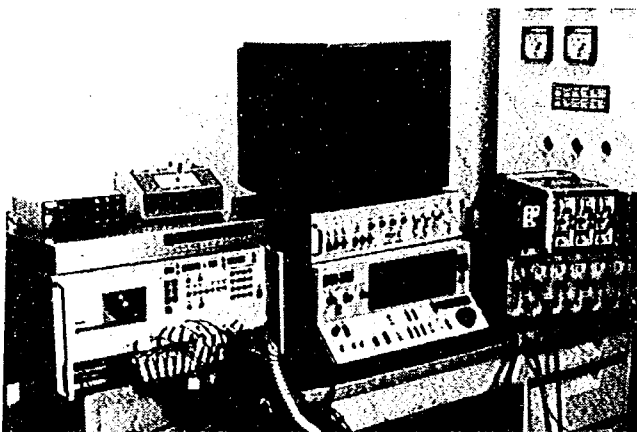


図4-1 計測フロー



左からデータレコーダ、ビデオ、動ひずみ計



パーソナルコンピューター

写真4-1 計測器機

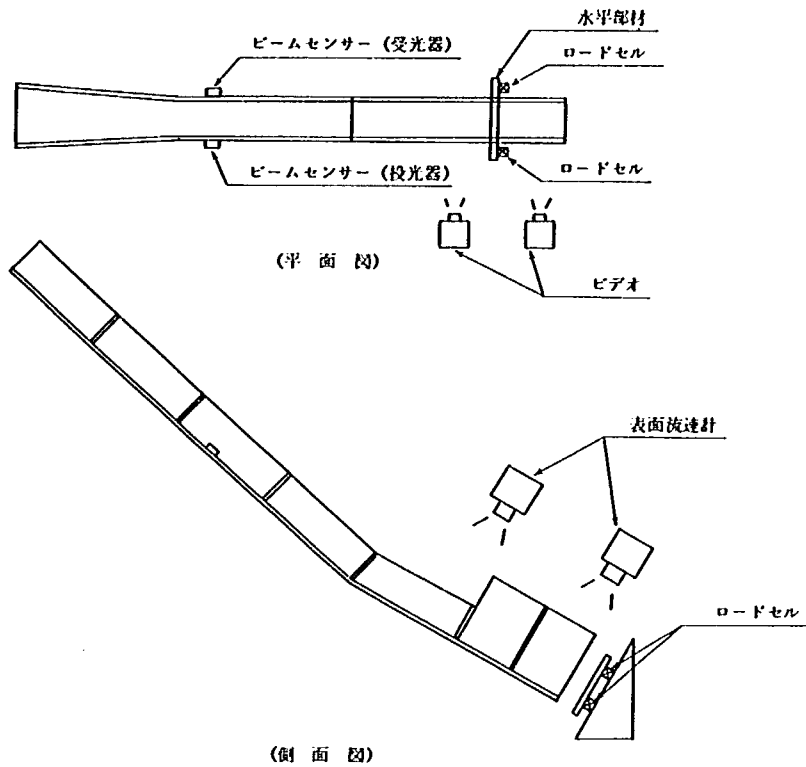


図4-2 計測器機の設置位置

4.2 雪崩衝撃力の計測

流下したパーライト及び人工雪の衝撃力は、擁壁及び減勢工部材に設置したロードセルにより計測される。表4-1に使用したロードセルの定格荷重及び校正係数を示す。

図4-3に鉛直部材に関する衝撃力の計測法を示す。ロードセルは鉛直部材の上下端に取り付けられ、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。横振れ防止ピンは部材に差し込まれ、部材の横振れを防止している。なお、横振れ防止ピンと部材間の摩擦を防止するため、そのすき間にグリースを塗布している。

図4-4に水平部材に関する衝撃力の計測法を示す。ロードセルは水平部材の両端に取り付けられ、角形鋼により支えられている。水平部材は任意の位置に設置できるように、ワイヤーにより吊り下げられている。

擁壁に作用する雪崩衝撃力は、「第3章、図3-3」に示したように、受圧板と擁壁との間に取り付けたロー

表4-1 ロードセルの定格荷重及び校正係数

設置場所	定格荷重	校正係数
擁壁	20kg	0.01015
減勢工部材	5kg	0.00254
	2kg	0.001
	0.5kg	0.00031

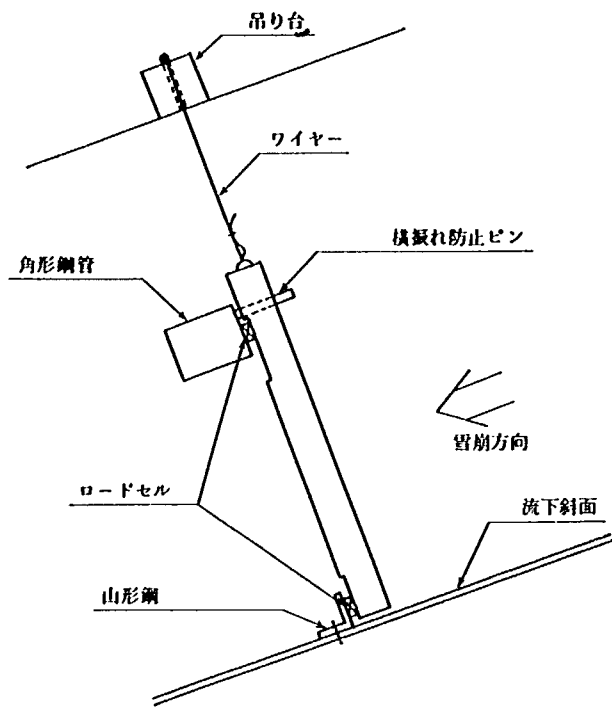


図4-3 衝撃力の計測法 (鉛直部材)

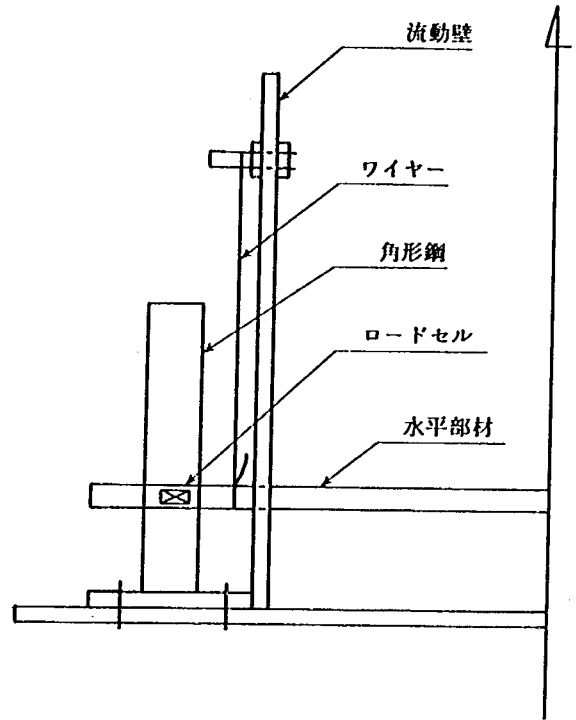


図4-4 衝撃力の計測法 (水平部材)

ドセルにより計測される。また、受圧板は摩擦が生じないように、ワイヤーにより吊り下げられている。

4.3 雪崩流速の計測

流下中の雪崩材料の流速は、滋賀大学工学部板倉教授により考察された表面流速計¹⁾により測定された。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²⁾³⁾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。

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

ただし、

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)

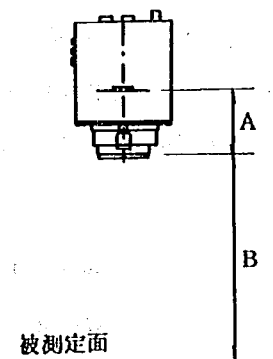


図4-5には、表面流速計により検知された周波数の一例を示す。また、図4-6に MEM 法により解析した卓越周波数を示す。なお、この卓越周波数は、図4-5に示した周波数波形の内、時間が0.55秒から0.8秒間の波形を解析したものである。

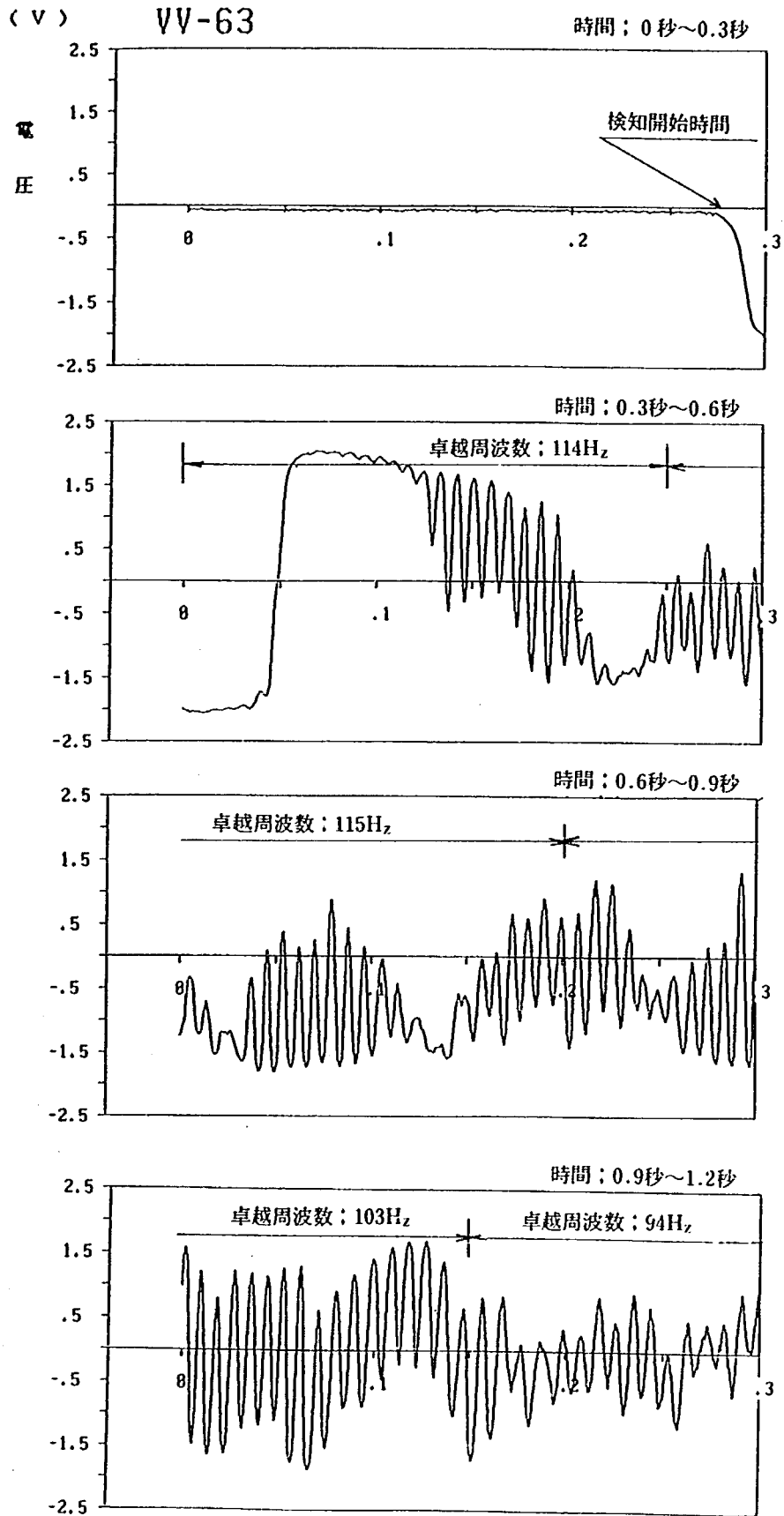


図4-5 周波数の一例

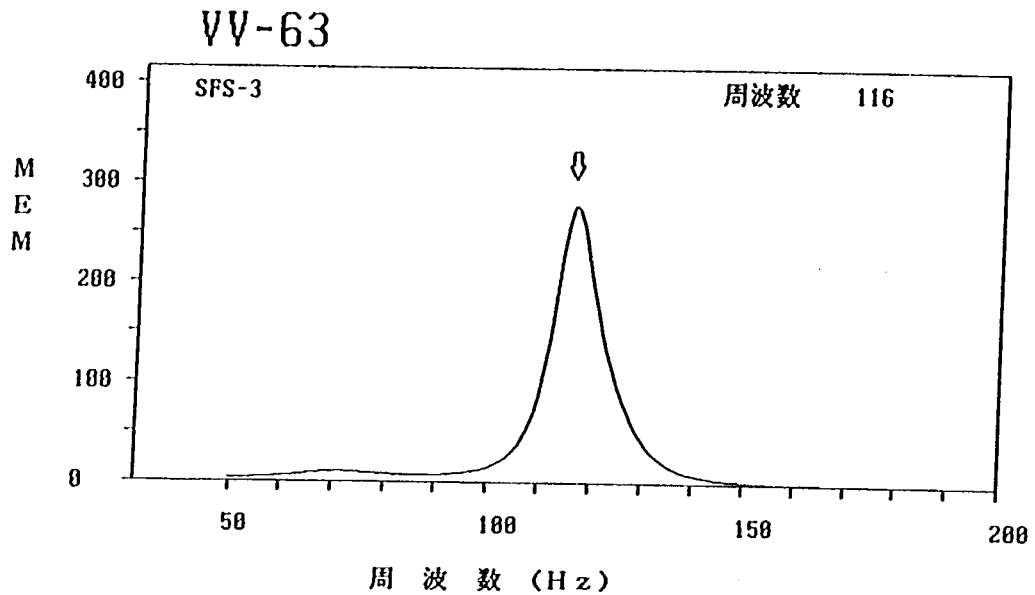


図4-6 卓越周波数の一例

4.4 流速計の検定及び斜面下流端での等速性の検定

滋賀大学工学部板倉教授により考案された表面流速計は、土石流の測定に用いられている⁹⁾。本実験では、この表面流速計を雪崩の流速の測定に用いた。

流速はビデオを用いても測定され、表面流速計の検定のために、ビデオにより計測された流速と表面流速計により計算された流速の比較を行った。両者の比較を図4-7に示す。図4-7で横軸に示す時間0は雪崩流がビームセンサーを横切った時点を示す。尚、両者の速度は0.25秒間毎に比較している。図より表面流速計により計測された流速とビデオにより計測された流速は一致し、表面流速計が流下した雪崩材料の流速を測定できることが判明した。よって、以後の流速は表面流速計により計測された流速を用いる。

減勢工部材設置位置と擁壁の間は、雪崩材料が等速で通過するように流下斜面角を設定している。これは流速の測定を簡便化するためである。設定した流下斜面角はパーライト実験では30°であり、人工雪実験では10°である。等速性の検定は減勢工部材設置位置上部(上部流速計)と減勢工部材設置位置下部(下部流速計)にそれぞれ表面流速計を設置し、両者の流速を比較した。その結果を図4-8に示す。図よりパーライト実験及び人工雪実験の両者とも上部流速計と下部流速計の流速が一致し、この区間では雪崩材料が等速で流下することがわかる。また、パーライト実験時の流速と人工雪実験時の流速は両者とも4.0 m/s～5.0 m/sである。

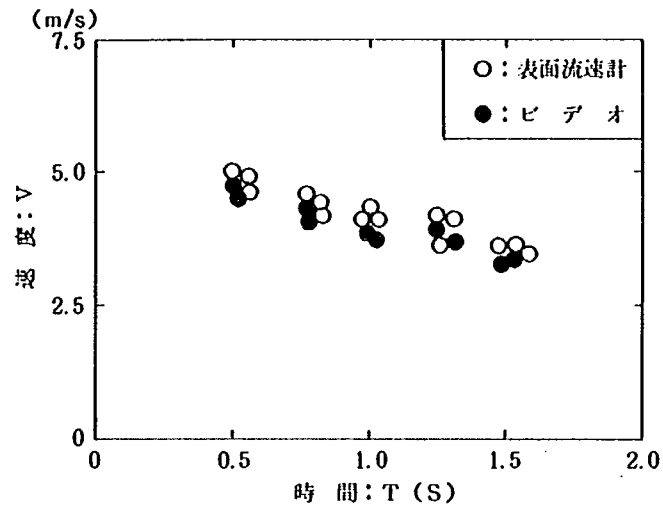
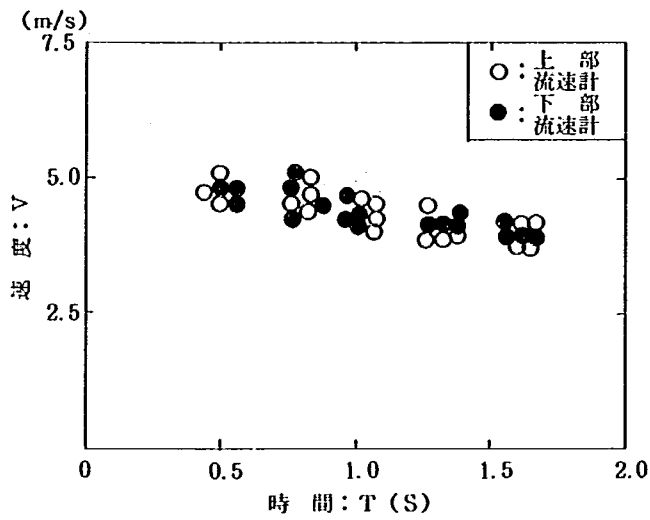
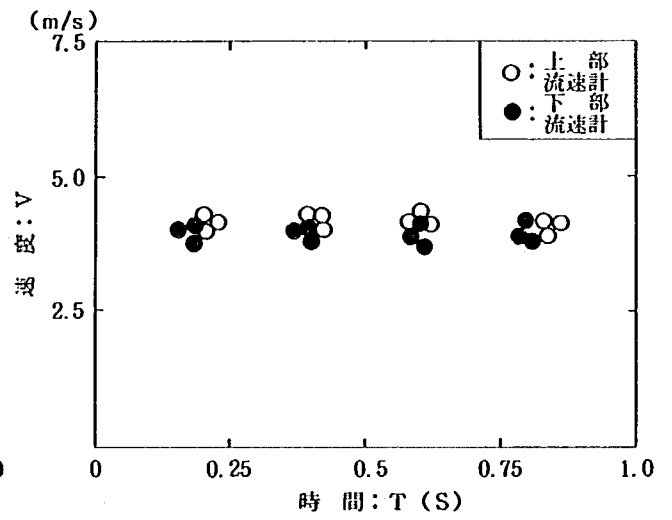


図4-7 表面流速計の検定



a) パーライト実験



b) 人工雪実験

図4-8 斜面の等速性の検定

第5章 実験ケース

5.1 パーライト実験

実験は減勢工部材の数及び配置を種々に変えて行われた。表5-1に実験ケースを示す。表5-1の部材種類の項目に示す擁壁とは、減勢工部材を設置せずに行った実験である。擁壁は雪崩進行方向と壁面とのなす角度をそれぞれ0度(雪崩進行方向に対して直角)、30°及び45°に設置して、実験が行われた。擁壁の設置状況を写真5-1に示す。部材種類の鉛直部材1本とは、流下斜面の中央に鉛直部材1本を設置する実験である。崩壊箱から流下したパーライトは、まずこの鉛直部材を通過し、その後擁壁に衝突する。鉛直部材1本の設置状況を写真5-2に示す。部材種類の鉛直部材2本は、流下斜面に同じ径の鉛直部材を2本設置する実験である。これは雪崩材料が鉛直部材1本に及ぼす衝撃力と鉛直部材2本に及ぼす衝撃力を比較するためである。鉛直部材2本の部材設置状況を写真5-3に示す。また、水平部材1本は部材を水平に設置し、その高さを変化させた実験である。水平部材1本の設置状況を写真5-4に示す。水平部材2本とは上部に高さ30mmの水平部材を設置し、その下部に2列目の水平部材を設置し、2列目の水平部材高さを変化させた実験である。水平部材2本の設置状況を写真5-5に示す。複合部材1列は鉛直部材1本と水平部材1本を同時に設置した実験である。複合部材1列の設置状況を写真5-6に示す。複合部材2列は複合部材1列の後部にもう1つの複合部材を設けた実験である。複合部材の2列の設置状況を写真5-7に示す。

1回の実験に使用するパーライト重量は25kg、含水比は50%とし、全実験にわたり一定とした。また、流下斜面の傾斜角も一定である。

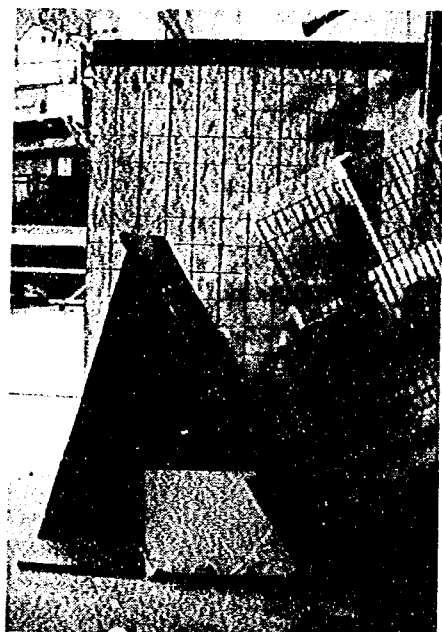


写真5-1 擁壁 (0°) の設置状況

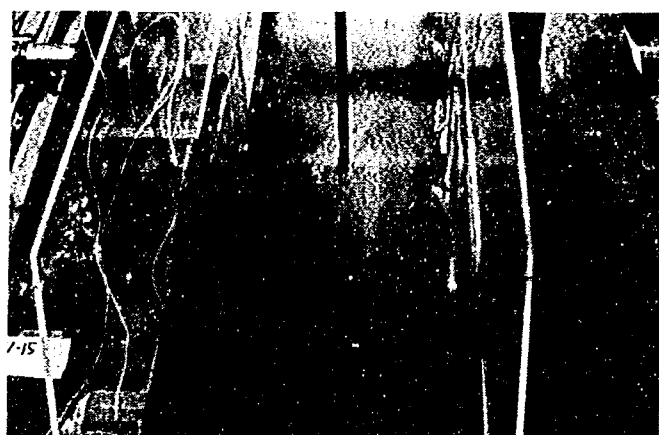


写真5-2 鉛直部材1本の設置状況

表5-1 パーライト実験の実験ケース

項目 部材種類	部材形状	部材径 (mm)	部材設置位置 (mm)	部材設置 状況
擁壁	-	-	-	写真5-1
鉛直部材 (1本)	丸/角	13 28 38		写真5-2
鉛直部材 (2本)	丸/角	13 28 38		写真5-3
水平部材 (1本)	丸/角	13 19 28	<p>$h = 15, 20, 30, 40, 50$</p>	写真5-4
水平部材 (2本)	丸/角	13 19 28	<p>$h = 30, 70, 90, 110, 130, 150$</p>	写真5-5
複合部材 (1列)	丸/角	13 28	<p>$h = 30, 90$</p>	写真5-6
複合部材 (2列)	丸/角	13 28	<p>$h = 30, 90$</p>	写真5-7

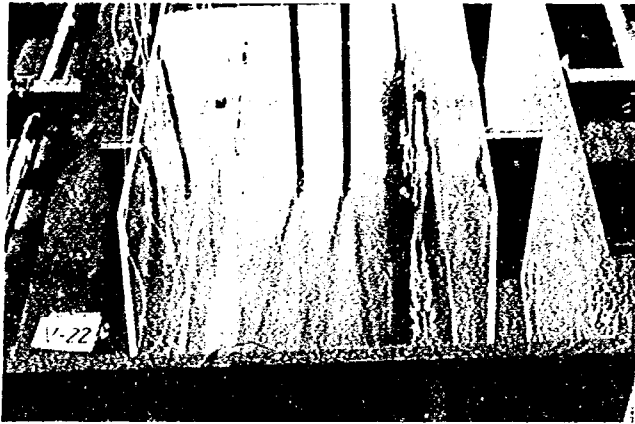


写真5-3 鉛直部材2本の設置状況

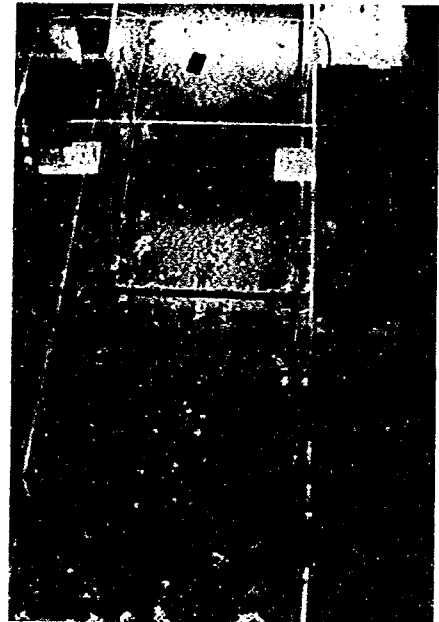


写真5-4 水平部材1本の設置状況

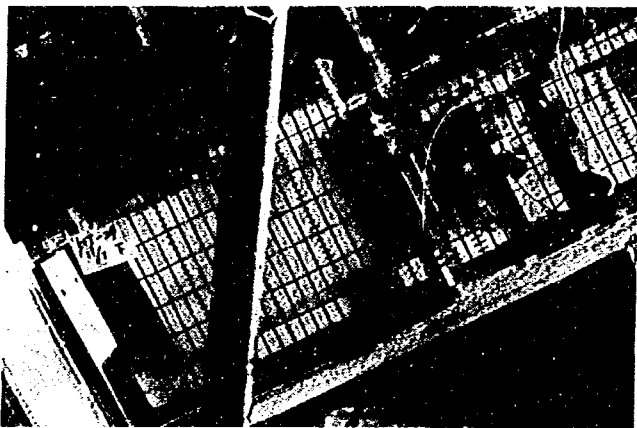


写真5-5 水平部材2本の設置状況

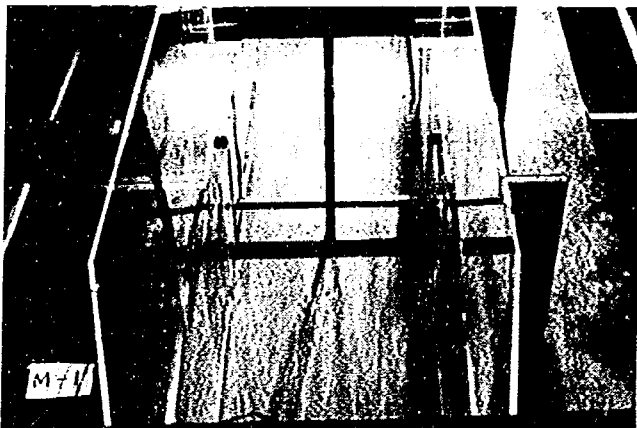


写真5-6 複合部材1列の設置状況

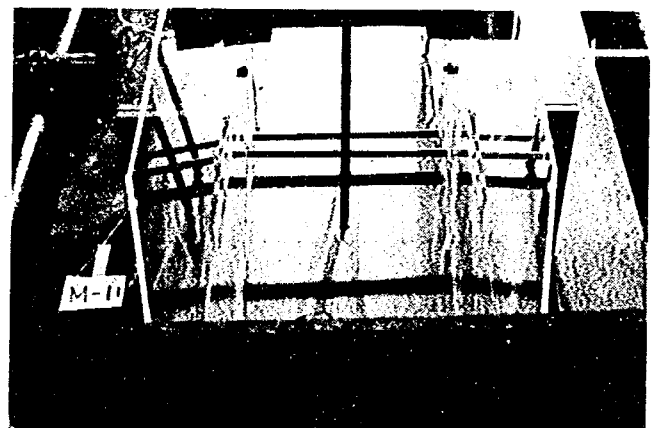


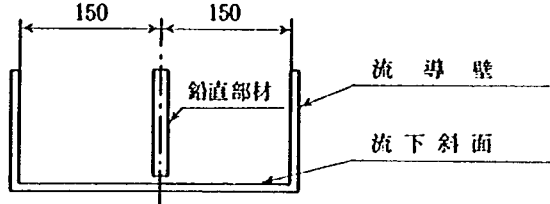
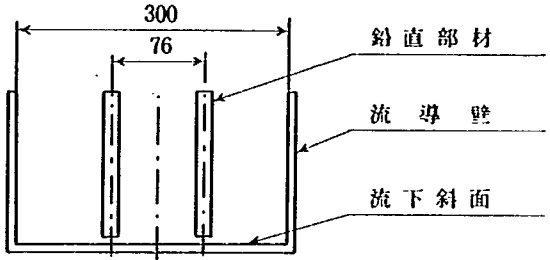
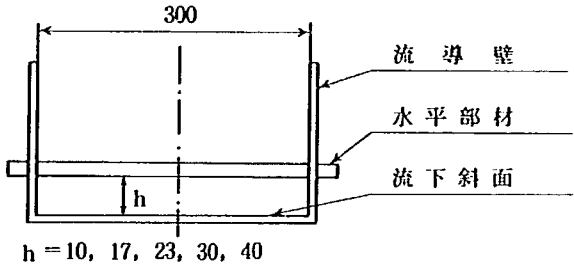
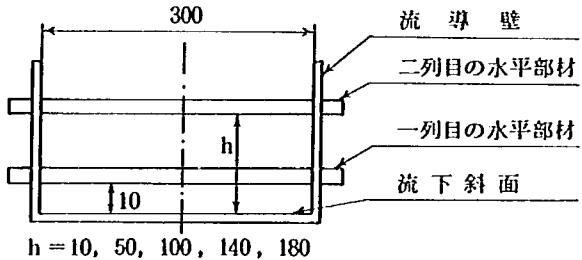
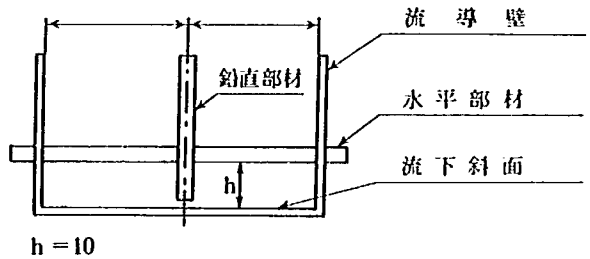
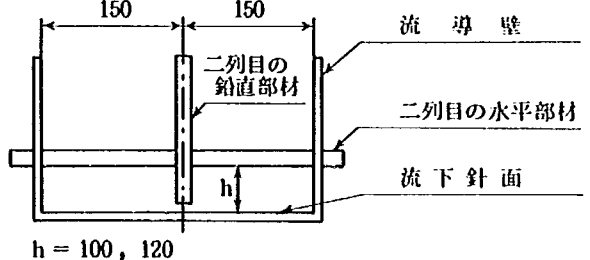
写真5-7 複合部材2列の設置状況

5.2 人工雪実験

人工雪実験の実験ケースを表5-2に示す。人工雪実験の実験ケースはパーライト実験のそれと同一である。ただし、人工雪実験に使用した部材径はパーライト実験の部材径の一部を省略している。

1回の実験に使用する人工雪の重量は8kgであり、全実験にわたり一定である。また、流下斜面の傾斜角も一定である。

表5-2 人工雪実験の実験ケース

項目 部材種類	部材形状	部材径 (mm)	部材設置位置 (mm)
擁壁	-	-	-
鉛直部材 (1本)	丸/角	13 28	
鉛直部材 (2本)	丸/角	13 28	
水平部材 (1本)	丸/角	13	 <p>$h = 10, 17, 23, 30, 40$</p>
水平部材 (2本)	丸/角	13	 <p>$h = 10, 50, 100, 140, 180$</p>
複合部材 (1列)	丸/角	13	 <p>$h = 10$</p>
複合部材 (2列)	丸/角	13	 <p>$h = 100, 120$</p>

第6章 実験結果及び考察

6.1 パーライト実験

6.1.1 擁壁

流下したパーライトは擁壁に衝突し飛散する。写真6-1にパーライトが擁壁に衝突した時のパーライトの飛散状況を示す。

流下したパーライトは擁壁に衝突し衝撃力を与える。擁壁に作用する雪崩衝撃力は擁壁前面の受圧板を介して4個のロードセルにより計測される。図6-1に各ロードセルの雪崩衝撃力の1例を示す。CH 5, CH 6のロードセルは受圧板の下部に設置され, CH 3, CH 4のロードセルは受圧板の上部に設置されている。パーライトは受圧板の下部に衝突し, そのため受圧板の下部に取り付けたロードセル(CH 5, CH 6)は, 上部のもの(CH 3, CH 4)よりその荷重が大きくなっている。

擁壁に作用する雪崩衝撃力はCH 3~CH 6の荷重の合計値として評価される。図6-2に4個の荷重の合計値を示す。なお, 図中に示す棒グラフは受圧板に雪崩衝撃力が発生した時刻から0.25秒間毎の雪崩衝撃力の平均値を示す。パーライト実験ではこの平均値を用いて, 0.25秒間の雪崩衝撃力を評価した。

一般的に, 流れの中の擁壁あるいは静止流体中を動く擁壁に作用する流体力は, 流れ幅がその擁壁に対して非常に狭い時, 次式により評価される。

$$P_c = \frac{\gamma}{g} \cdot A \cdot V^2 \dots\dots\dots (式 6.1)$$

ここに,

γ : なだれて来た雪の密度 (t/m³)

g : 重力の加速度, 9.8 (m/sec²)

A : 雪崩方向に直角な作用断面積 (m²)

V : 衝突時の雪崩速度 (m/sec)

図6-3に雪崩衝撃力の計測値(0.25秒間の平均値)と式(6.1)による計算値を示す。図より擁壁に作用



写真6-1 パーライトの飛散状況(擁壁, 30°)

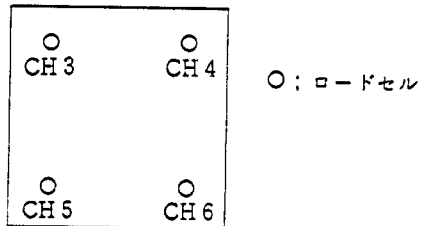
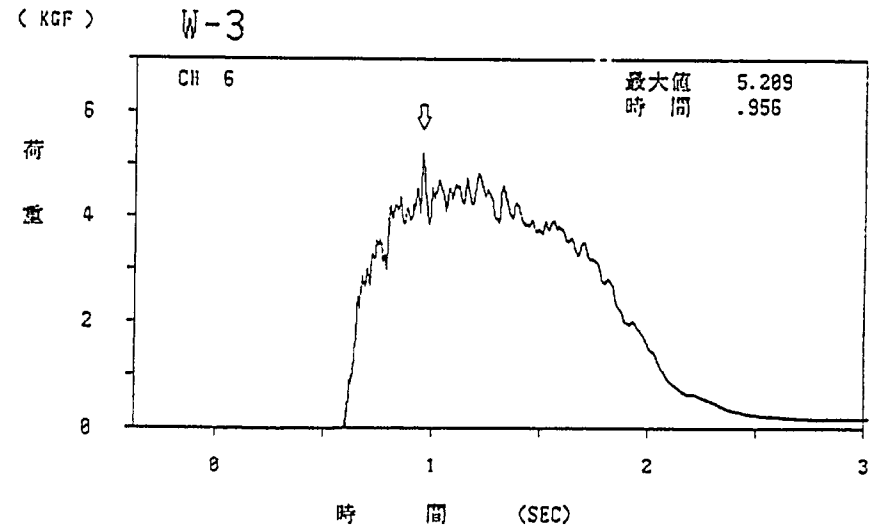
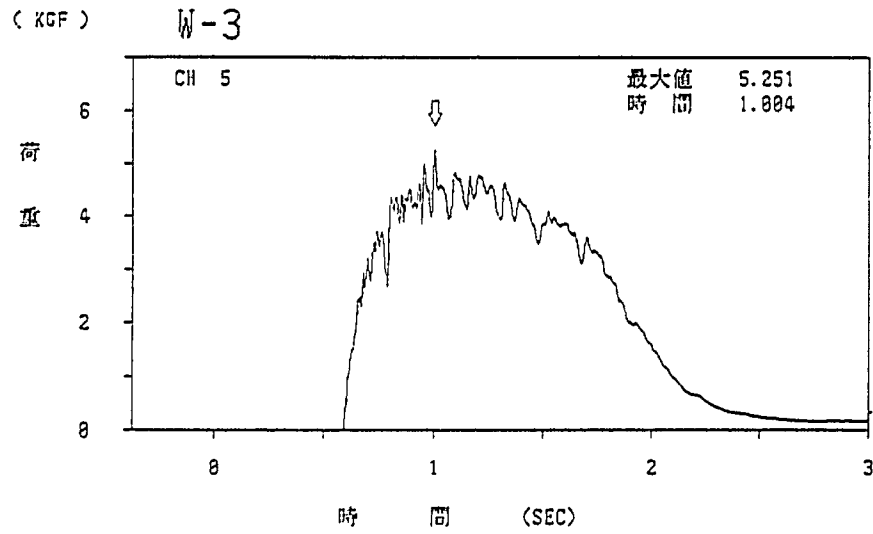
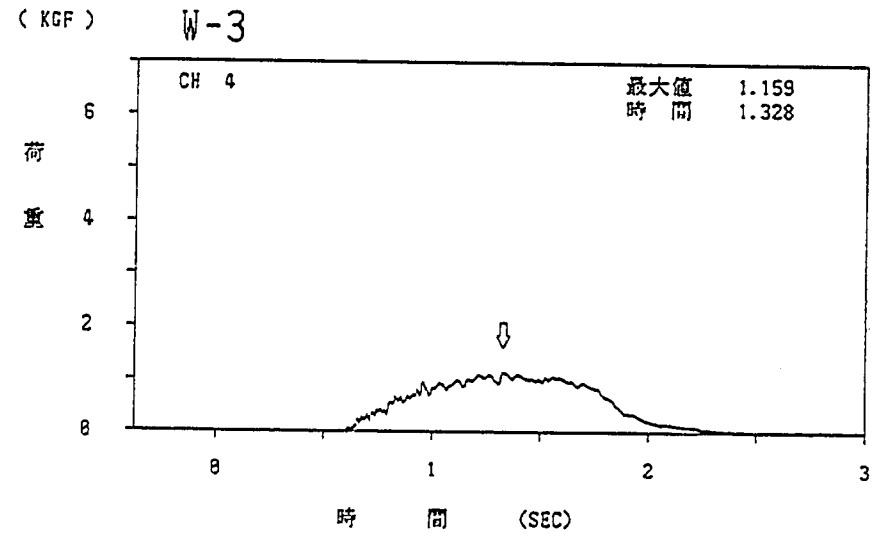
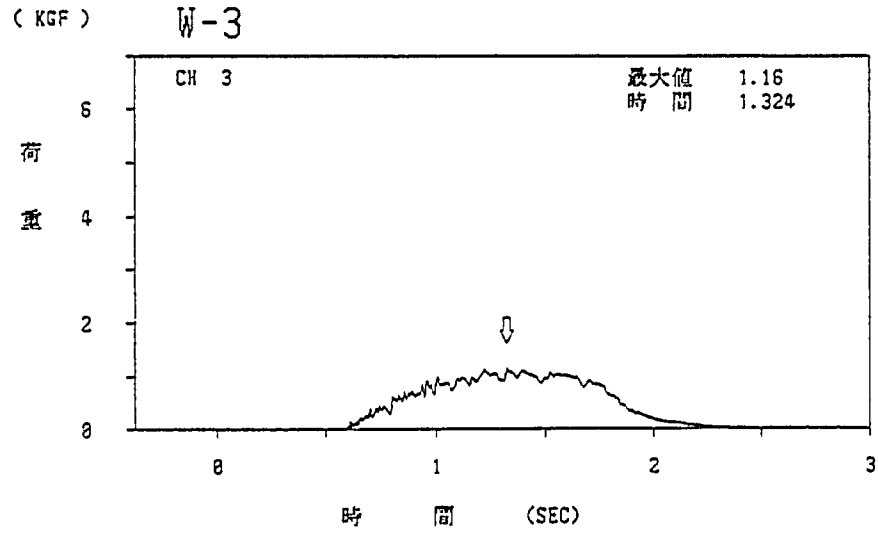


図 6-1 各ロードセルにより計測された雪崩衝撃力の 1 例 (擁壁)

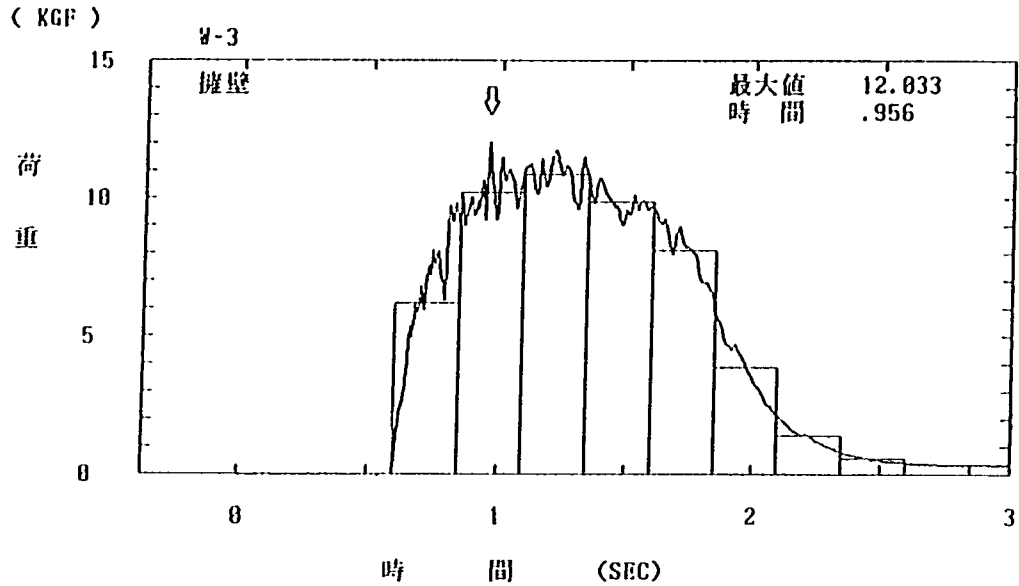


図6-2 擁壁に作用する雪崩衝撃力及び、0.25秒間毎の平均値

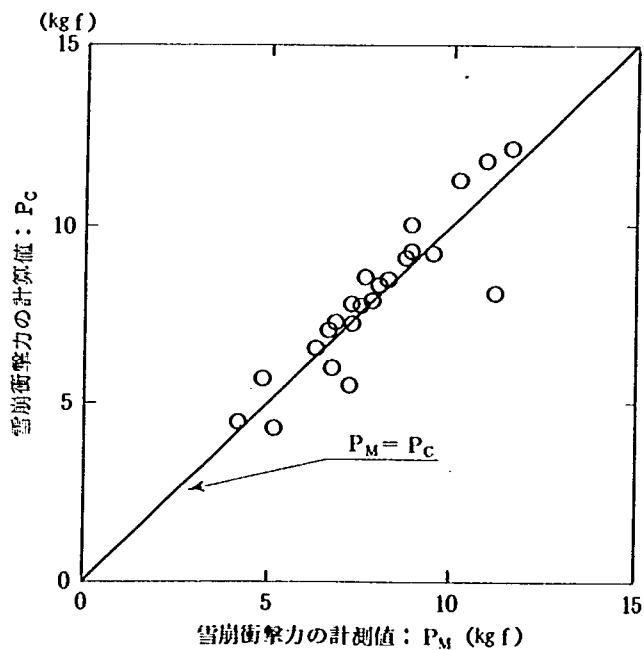


図6-3 擁壁 (0°) に作用する雪崩衝撃力の計測値と計算値

する雪崩衝撃力は式 (6.1) を用いて計算した値と一致する。よって雪崩をパーライトで模擬した時のパーライトの衝撃力は式 (6.1) に示す流体力により評価される。

また、擁壁面が雪崩進行方向とある角度をなす時、壁面に作用する衝撃力に関して、次式が提案されている。

$$P_c = \frac{\gamma}{g} \cdot A \cdot V^2 \cdot \sin^2 d \dots\dots\dots \text{式 (6.2)}$$

又は,

$$P_c = \frac{\gamma}{g} \cdot A \cdot V^2 \cdot \sin d \dots \dots \dots \text{式 (6.3)}$$

ここで、 α は雪崩進行方向と壁面とのなす角度である。式 (6.2) は速度に $\sin d$ を乗じて雪崩衝撃力を評価している。同式はスイス論文で示され、新防雪工学ハンドブック⁵⁾に掲載されている。一方、式 (6.3) は雪崩衝撃力に $\sin d$ を乗じた式であり、日本道路協会⁶⁾が提案している。図 6-4 は雪崩衝撃力の計測値と式 (6.2) 及び式 (6.3) により計算された雪崩衝撃力を示す。同図より擁壁面が雪崩進行方向とある角度をなす時の雪崩衝撃力は、式 (6.2) よりも式 (6.3) により評価した衝撃力と良い相関性を示す。

6.1.2 鉛直部材

(1) 鉛直部材 1 本

流下したパーライトは鉛直部材に衝突し、鉛直部材を巻き込むように下方に流下する。鉛直部材への衝突状況を写真 6-2 に示す。

流下したパーライトは鉛直部材に衝撃力を与えるが、鉛直部材に作用する雪崩衝撃力は、鉛直部材の上下に取り付けたロードセルにより計測される。各ロードセルにより計測された雪崩衝撃力の 1 例を図 6-5 に示す。図に示す雪崩衝撃力の内、CH 1の方が CH 2より大きい。これは、CH 1は鉛直部材の下端に設置され、雪崩衝撃力の影響をより大きく受けるためである。鉛直部材に作用する雪崩衝撃力は、両者の衝撃力の合計値として評価し、図-6.6 に示す。なお、図中の棒グラフは、鉛直部材に雪崩衝撃力が作用し始めた時刻から 0.25 秒間毎の雪崩衝撃力の平均値を示す。また、パーライトが鉛直部材を通過し、その後、擁壁に衝突するが、その時の雪崩衝撃力を図 6-7 に示す。

一般に、一様な流れの中に比較的簡単な物体が置かれた時の物体に作用する流体力は、次式で評価される。

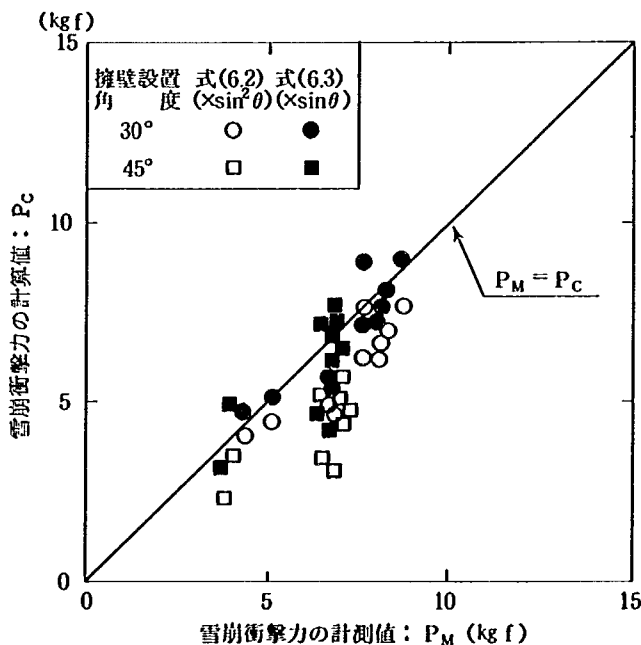


写真 6-2 パーライトの飛散状況 (鉛直部材 1 本)

図 6-4 擁壁 (30° 及び 45°) に作用する雪崩衝撃力の計測値と計算値

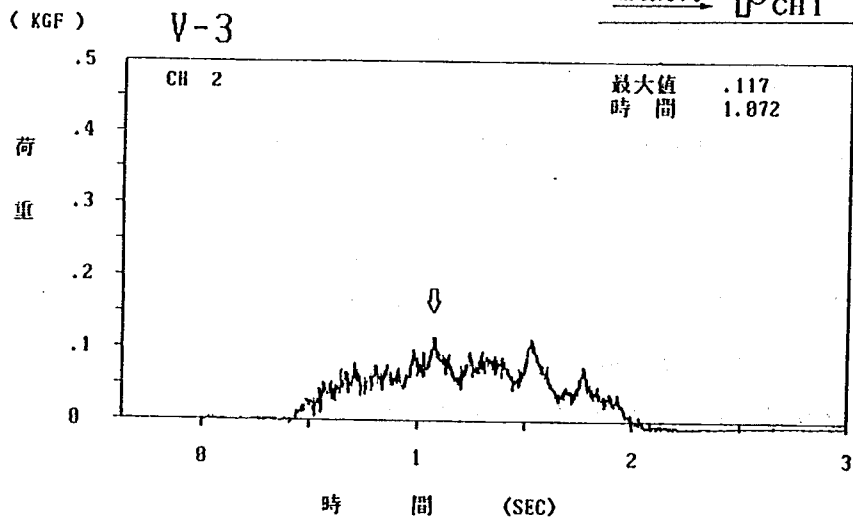
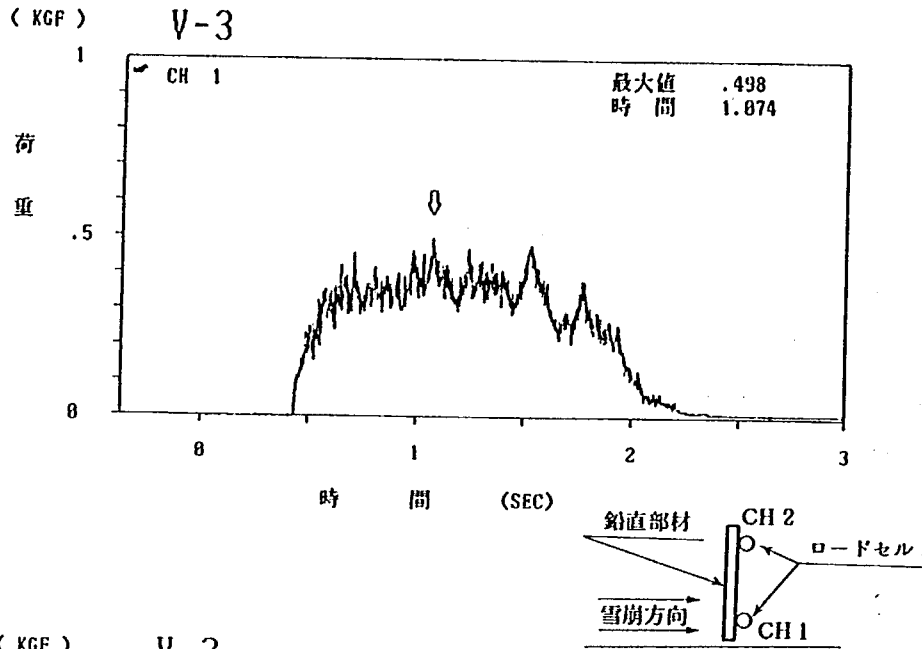


図6-5 各ロードセルにより計測された雪崩衝撃力の1例 (鉛直部材1本)

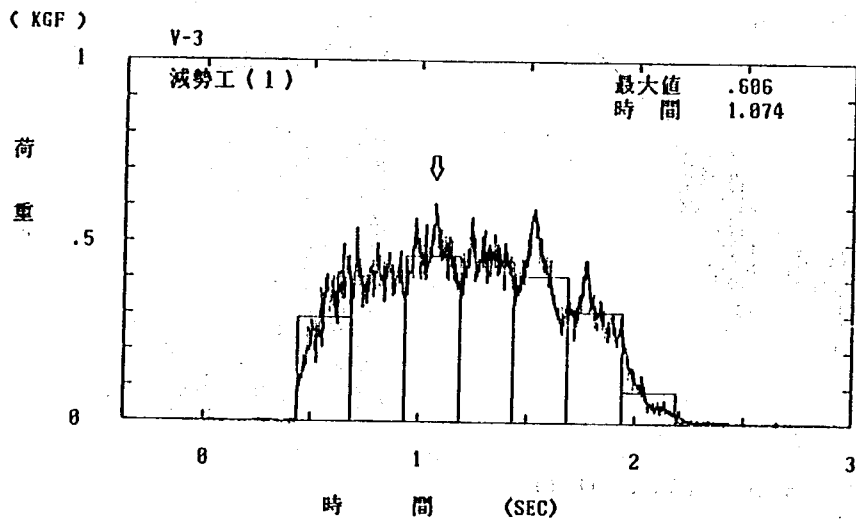


図6-6 鉛直部材に作用する雪崩衝撃力及び、0.25秒間毎の平均値

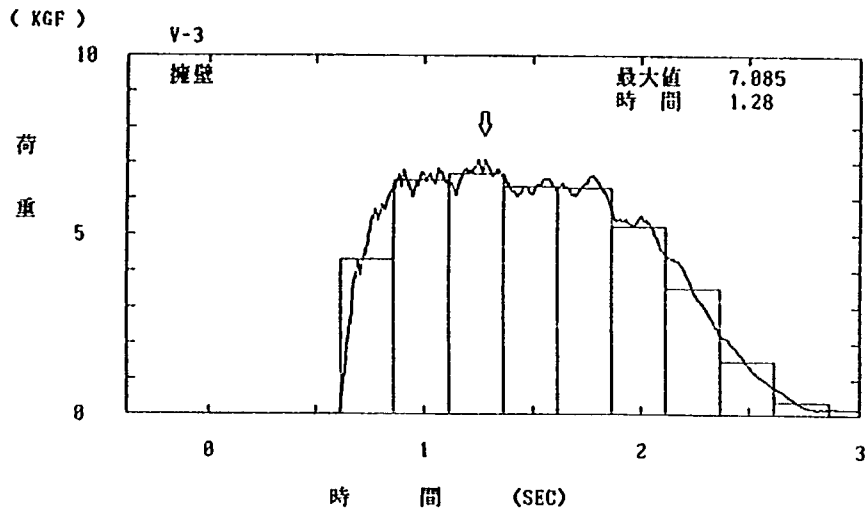


図6-7 鉛直部材通過後の擁壁に作用する雪崩衝撃力

$$P_c = \frac{\gamma}{2g} \cdot A \cdot V^2 \cdot C \dots\dots\dots \text{式 (6.4)}$$

ここに、 C は抵抗係数を示す。

抵抗係数 C は、受け面形状、受け面の径、流速、受け面の粗度、流れ材料の物性などにより異なる。本実験では受け面形状を角形状及び丸形状とし、受け面の径を変え実験を行った。また、流速は約 4 m/s であり、受け面は鋼材で、塗装がなされている。

図6-8 に本実験により求められた抵抗係数を示す。なお、抵抗係数は次式により求められた。

$$C = \frac{2g \cdot P_M}{\gamma \cdot A \cdot V^2} \dots\dots\dots \text{式 (6.5)}$$

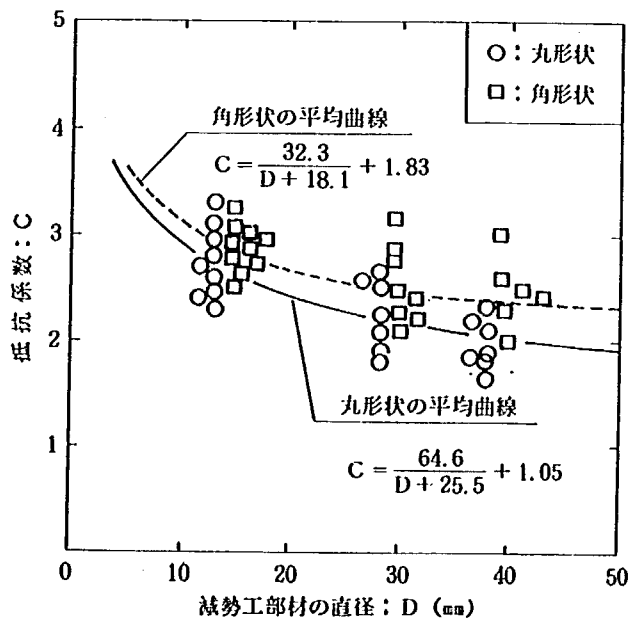


図6-8 部材形状による抵抗係数

ここに、 P_M は、ロードセルにより計測された鉛直部材の雪崩衝撃力である。

図より、角形状の抵抗係数は、丸形状の抵抗係数よりも大きく、形状による衝撃力の特性が表われている。また、両者とも部材の直径が大きくなるほど抵抗係数は減少している。両者の抵抗係数の平均値を双曲線により表わしその漸近線を求めると、角形状及び丸形状の抵抗係数は、

$$\text{角形状： } D = \infty \rightarrow C = 1.83$$

$$\text{丸形状： } D = \infty \rightarrow 1.05$$

となる。

角形状の場合、その径が無限に大きくなるとその抵抗係数はほぼ擁壁の抵抗係数 ($C=2.0$) と一致する。この事から上記 $C=1.83$ はほぼ妥当な値と思われる。また、丸形状の場合、その抵抗係数は海洋構造物の諸規準によりその推奨値が提案されている。「海洋鋼構造物設計指針(案) 7)」では $C=1.0$ 、または API⁸⁾ では $0.6 \sim 0.8$ などである。しかしながら、海洋構造物の諸規準は杭構造物に作用する波力から求められた抵抗係数である。このことから一概には言えないが、本実験で得られた丸形状の抵抗係数は $D=700\text{mm}$ で $C=1.1$ であり、海洋構造物の推奨値とほぼ一致している。なお、海洋構造物では $D=700\text{mm}$ の杭が一般的に使用されており、両者の C の比較として $D=700\text{mm}$ を採用した。

流下したパーライトが鉛直部材に衝突すると部材は衝撃力を受け、その衝撃力は約 1.5 秒間継続する。その間の衝撃力は一定ではなく、流下したパーライトの層厚の増減や速度の減少により変化する。しかしながら、流下した雪崩材料が部材に及ぼす全影響力、逆に言うと部材が流下した雪崩材料に及ぼす全影響力は物理量の 1 つである力積 $\int_0^{t_1} F(t) dt$ により評価されるものと思われる。図 6-9 に流下したパーライトが減勢工部材及び擁壁に及ぼす力積を示す。同図より減勢工部材が受ける力積は、減勢工部材の径が大きくなるにつれて増加している。一方、擁壁が受ける力積は減勢工部材の径が大きくなるにつれて減少する。また、両者の力積の合計値は減勢工部材の径によらず一定である。

以上より、減勢工衝突前の雪崩の力積は減勢工に及ぼす雪崩の力積と減勢工通過後の雪崩の力積の和であり、次式すなわち運動量保存則が成立する。

$$\int_0^{t_1} F_1(t) dt = \int_0^{t_2} F_2(t) dt + \int_0^{t_3} F_3(t) dt \dots\dots\dots \text{式 (6.6)}$$

ここに、

- F_1 : 減勢工衝突前の雪崩衝撃力
- t_1 : " の継続時間
- F_2 : 減勢工に及ぼす雪崩衝撃力
- t_2 : " の継続時間
- F_3 : 減勢工通過後の雪崩衝撃力
- t_3 : " の継続時間

なお、図 6-9 に示す正味の擁壁の力積とは、「6.1.1 擁壁」で行った擁壁の力積である。ここで、部材と擁壁の力積の合計値は正味の擁壁の力積よりもわずかながら小さい。これは鉛直部材の設置によりわずかながら他の場所 (たとえば流導壁) で、力積が失われたためと思われる。

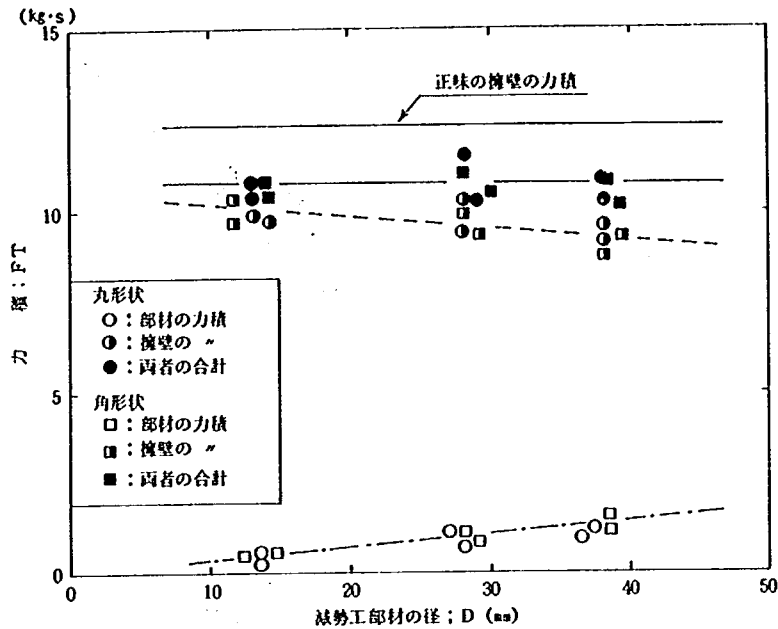


図6-9 減勢工部材及び擁壁の力積 (鉛直部材1本の場合)

式 (6.6) は雪崩が減勢工を通過した後の力積として、以下のように書き直される。

$$\int_0^{t_3} F_3(t) dt = \int_0^{t_1} F_1(t) dt - \int_0^{t_2} F_2(t) dt \dots \dots \dots \text{式 (6.7)}$$

式 (6.7) より $\int_0^{t_2} F_2(t) dt$ が大きいほど $\int_0^{t_3} F_3(t) dt$ が小さくなる。すなわち、減勢工部材の雪崩衝撃力が大きい程、またその時間が長いほど減勢工を通過した後の力積は小さくなる。以上より、鉛直部材の減勢効果は $\int_0^{t_2} F_2(t) dt$ で評価される。

また、減勢工通過後の流速は、式 (6.7) を書き直すと次式が得られる。

$$v = \frac{\left(\int_0^{t_1} F_1(t) dt - \int_0^{t_2} F_2(t) dt \right) \cdot g}{m} \dots \dots \dots \text{式 (6.8)}$$

ここに、 m は減勢工を通過した雪崩重量である。図6-10に式(6.8)により計算された流速と表面流速計により計測された流速を示す。同図より多少のばらつきがあるものの両者はほぼ一致している。

(2) 鉛直部材2本

複数の部材が隣接している場合、部材が受ける衝撃力は単独のそれより大きくなる。一般に、この現象は、閉そく効果と言われ次式により表わされる。

$$\varphi = \frac{P_p}{P_s} \dots \dots \dots \text{式 (6.9)}$$

ここに、

φ : 閉そく効果率

P_p : 複数の部材が隣接している時の1部材の衝撃力

P_s : 単独の部材の衝撃力

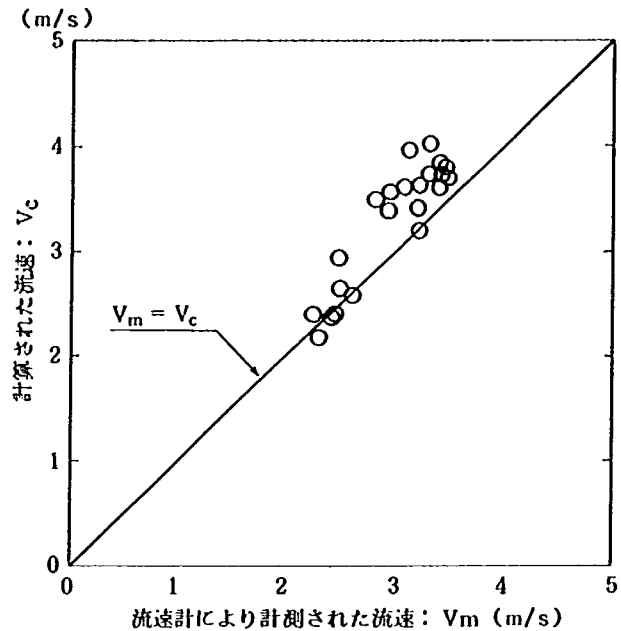


図6-10 計測値 V_m と計算値 V_c の関係 (鉛直部材)

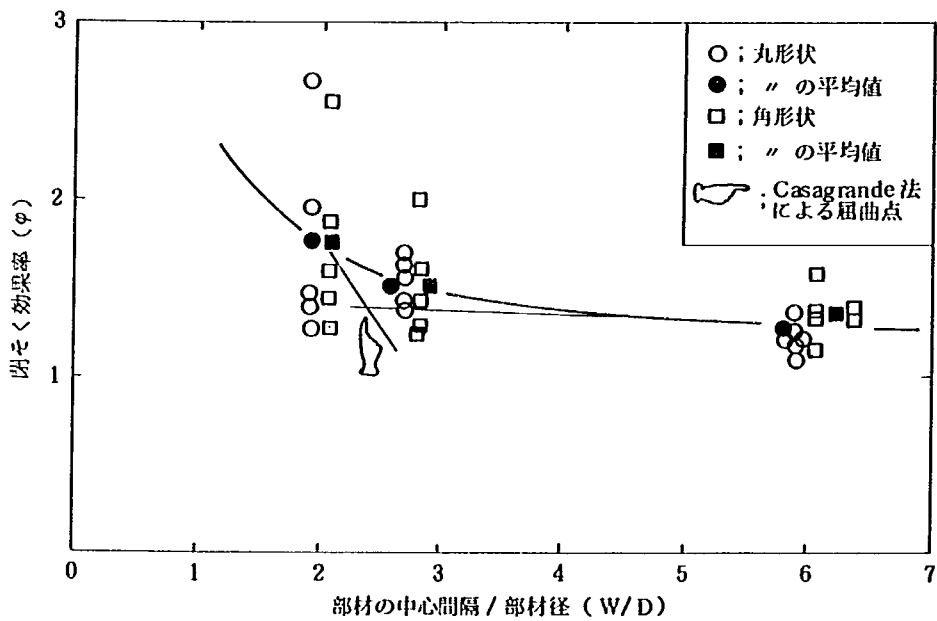


図6-11 閉そく効果率

図6-11 に鉛直部材2本を設置した時の閉そく効果率を示す。同図より丸形状及び角形状とも閉そく効果率に大差はない。また、閉そく効果率は W/D が小さい時には大きく、 W/D が大きくなるにつれて減少し一定値となる。この屈曲点を Casagrande 法により求めると、図中に示すように屈曲点は $W/D=2.5$ となる。一般に、杭基礎では中心間隔が2.50以下の時、群杭とみなされ、閉そく効果が考慮されている⁹⁾。また、杭に及ぼす波の衝撃力は杭間の中心間隔で $2.5D$ (D : 径)以上離れていれば、閉そく効果はほとんど無視される¹⁰⁾。これらの事から考えて、雪崩の場合もその中心間隔が $2.5D$ 以上離れていれば閉そく効果の影響はほとんど

無視されるものと思われる。

図6-12に鉛直部材2本の場合の力積の関係を示す。同図より部材径が大きくなるにつれて部材の力積が増加する。一方、擁壁の力積は減少する。この傾向は鉛直部材1本の場合と同一である。しかしながら、両者の合計値は一定にならず部材径の増加につれて減少している。鉛直部材2本の場合には前述したように部材間に閉そく効果が生じ ($D=28\text{mm}$ の時 $W/D=2.5$ となり閉そく効果が生じ始める。)、パーライトが部材間につまり堆積する。そのためパーライト自身为一个の壁を造り、このパーライトの壁が後続のパーライトの衝撃力を受けるためと思われる。当然の事ながら、この衝撃力(力積)は計測されていない。写真6-3に鉛直部材2本 ($D=38\text{mm}$) の場合の堆積状況を示す。

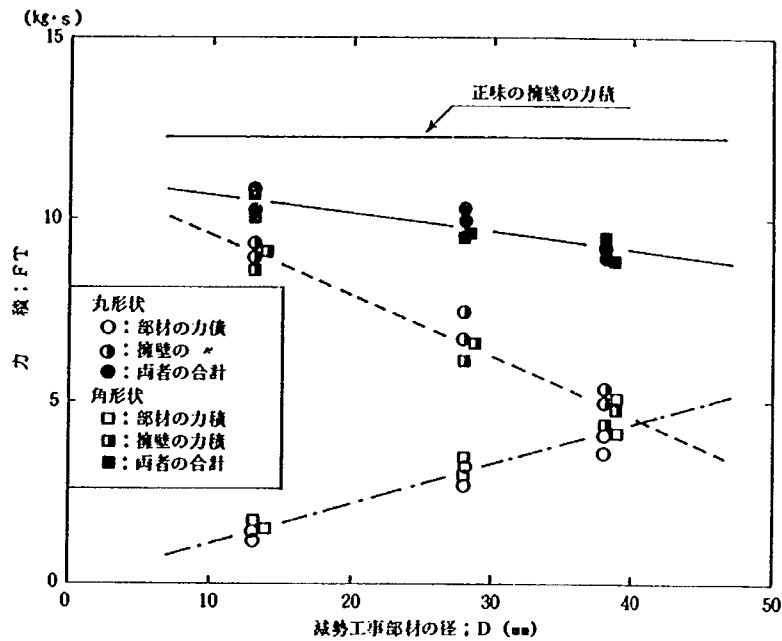


図6-12 減勢工及び擁壁の力積 (鉛直部材2本)



写真6-3 閉そく効果によるパーライトの堆積状況 (鉛直部材2本, 角38mm)

6.1.3 水平部材

1) 水平部材 1 本

流下したパーライトは水平部材に衝突し、衝突したパーライトの一部は上方に飛散する。水平部材への衝突状況を写真 6-4 に示す。

水平部材に作用する雪崩衝撃力は、水平部材の両端に取り付けたロードセルにより計測される。各ロードセルにより計測された衝撃力の一例を図 6-13 に示す。計測された CH 1 の衝撃力と CH 2 の衝撃力は同一であり、雪崩衝撃力は水平部材に均等に作用していることがうかがえる。水平部材に作用する雪崩衝撃力は、両者の衝撃力の合計値として評価し、図 6-14 に示す。なお、図中の棒グラフは水平部材に雪崩衝撃力が作用し始めた時刻から 0.25 秒間毎の雪崩衝撃力の平均値を示す。同図より、雪崩衝撃力は時間の経過とともに減少している。これは時間の経過とともに流速が低下しているためである。また、パーライトが鉛直部材を通過し、その後擁壁に衝突するが、その時の雪崩衝撃力を図 6-15 に示す。擁壁に作用する雪崩衝撃力は、水平部材の下を通り貫けたパーライトの衝撃力がまず擁壁に作用し、その後、水平部材により飛散したパーライトの衝撃力が擁壁に作用する。

図 6-16 に部材径 13mm に関する深度方向の衝撃力分布を示す。同図より水平部材に及ぼす雪崩衝撃力は形状による変化がない。また、部材設置高さによらず一定である。ここで、ビデオにより観察した水平部材の衝突状況を模写すると図 6-17 のようである (写真 6-4 参照)。同図に示すように流下したパーライトは水平部材を乗り越えるように通過する。また、この乗り越え時の層厚 H_2 は部材の設置高さに関係なくほぼ一定である。そのため、図 6-16 に示したように、水平部材に及ぼす雪崩衝撃力は部材設置高さにかかわらず一定となる。このように水平部材を設置することによって層厚が増し、水平部材衝突時の密度が低下する。そこで、パーライトが水平部材に作用する衝撃力は次式により評価される。

$$P_c = \frac{\gamma}{2g} \cdot A \cdot V^2 \cdot C \cdot L \dots\dots\dots \text{式 (6.10)}$$

ここに、 L 値は、次式により計算される。

$$L = P_M / \left(\frac{\gamma \cdot A \cdot V^2 \cdot C}{2g} \right) \dots\dots\dots \text{式 (6.11)}$$

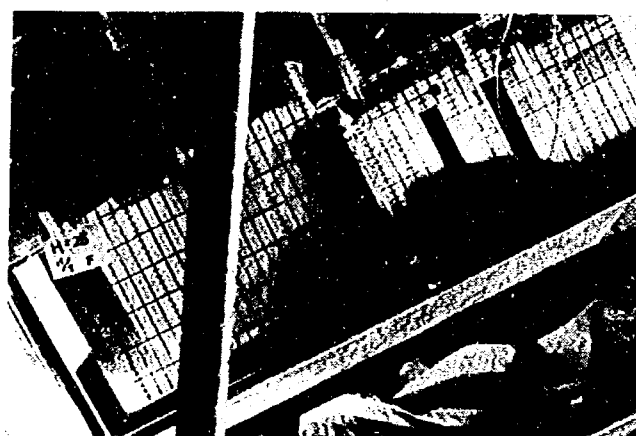


写真 6-4 パーライトの衝突状況 (水平部材 1 本, 丸 13 mm)

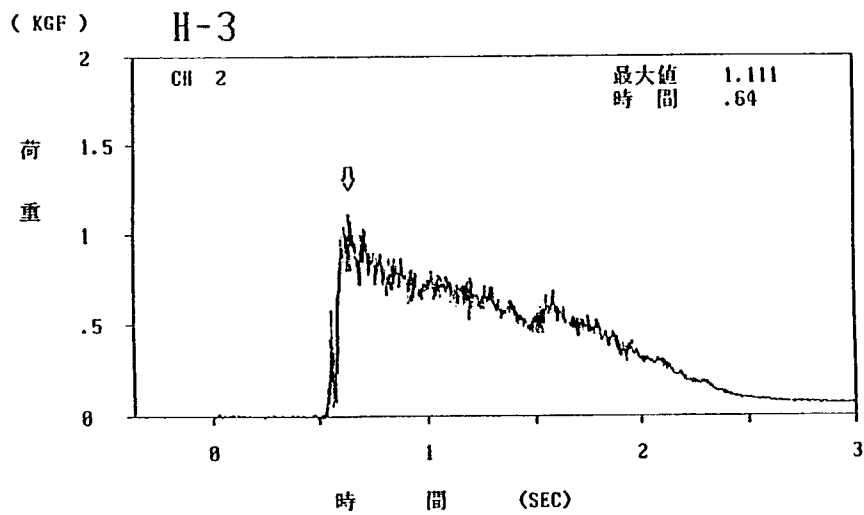
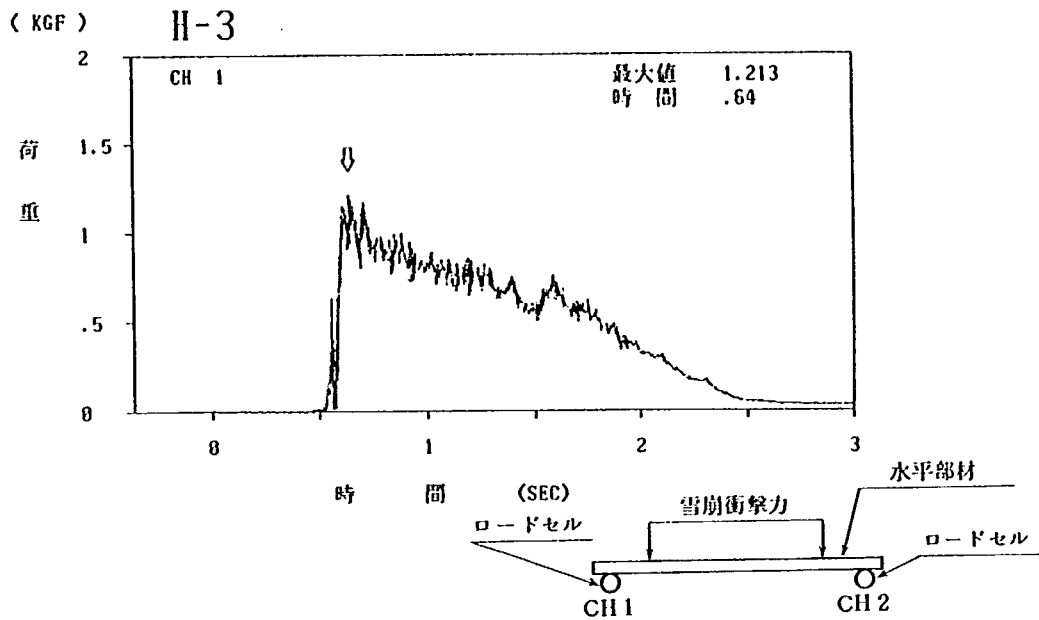


図6-13 各ロードセルにより計測された雪崩衝撃力の1例 (水平部材1本)

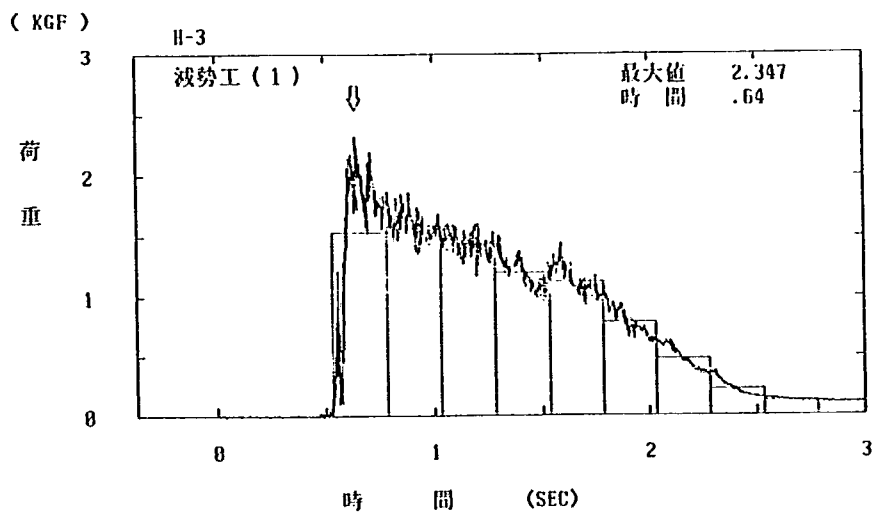


図6-14 水平部材に作用する雪崩衝撃力及び0.25秒毎の平均値

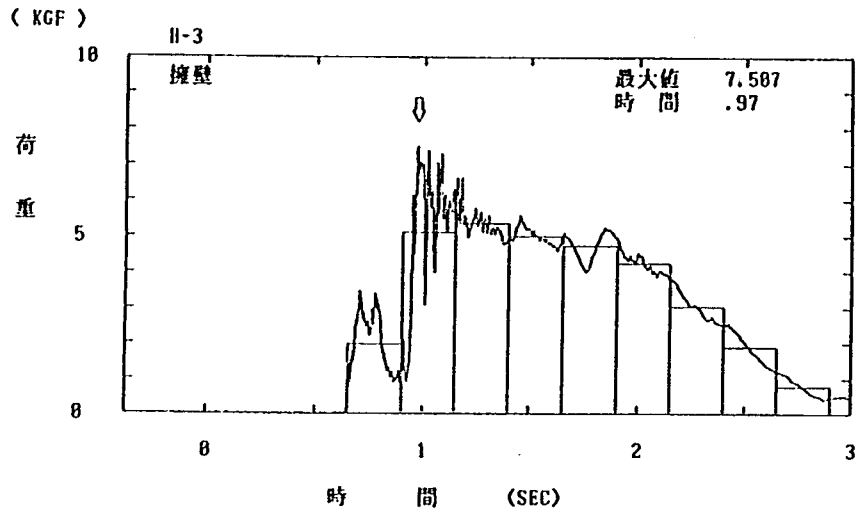


図6-15 水平部材通過後の擁壁に作用する雪崩衝撃力

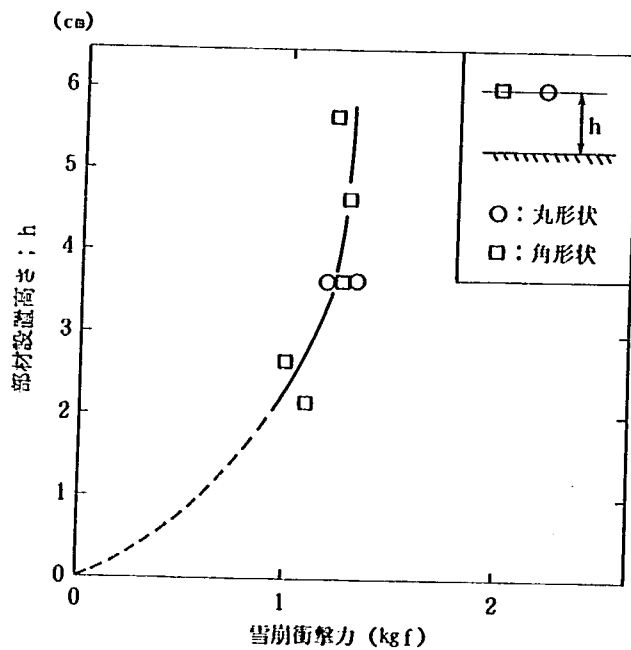


図6-16 深度方向の衝撃力分布 (水平部材 13 mm)

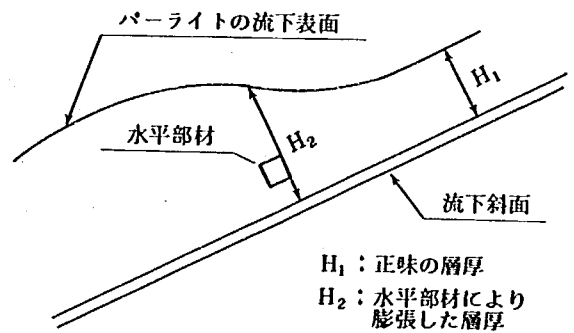


図6-17 水平部材設置によるパーライトの密度変化

ここに、 P_M は水平部材に作用する雪崩衝撃力の計測値である。図6-18に本実験で得られた L 値を示す。図中には図6-17に示した層厚の比 (H_1/H_2) も併せて示す。同図より L 値は形状による差異はなく、部材径が大きくなるにつれて L 値は減少している。また、層厚の比 (H_1/H_2) と L 値は一致する。このことから水平部材に与える衝撃力は水平部材設置によるパーライトの層厚変化 (密度低下) により低減される。

図6-19に、雪崩衝撃力が水平部材1本及び擁壁に作用する力積を示す。同図より丸形状および角形状の力積は同じであり、両部材の力積は部材径にはほぼ比例している。一方、擁壁の力積は部材径にほぼ反比例している。また、両者の合計値は部材径によらず一定であり、式(6.6)に示した運動量保存則が成立する。

2) 水平部材2本

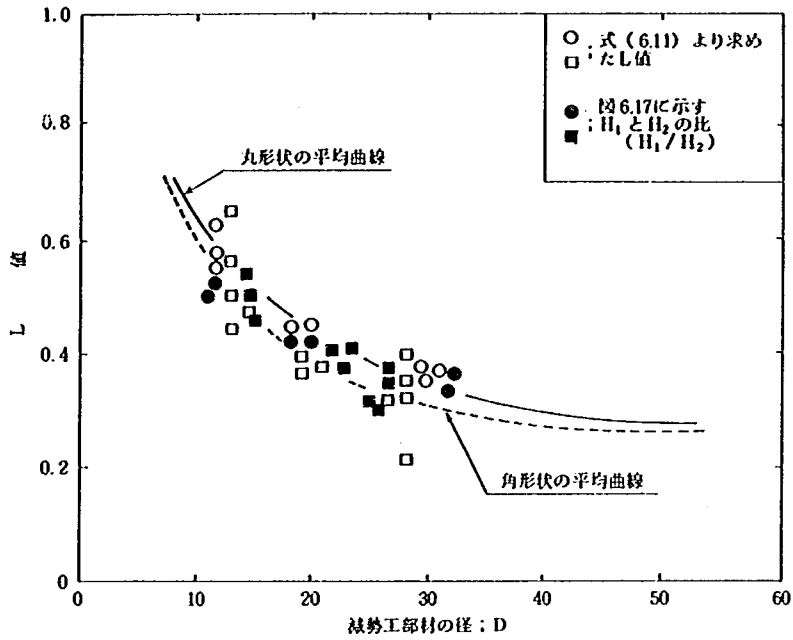


図6-18 L 値 (水平部材 1 本)

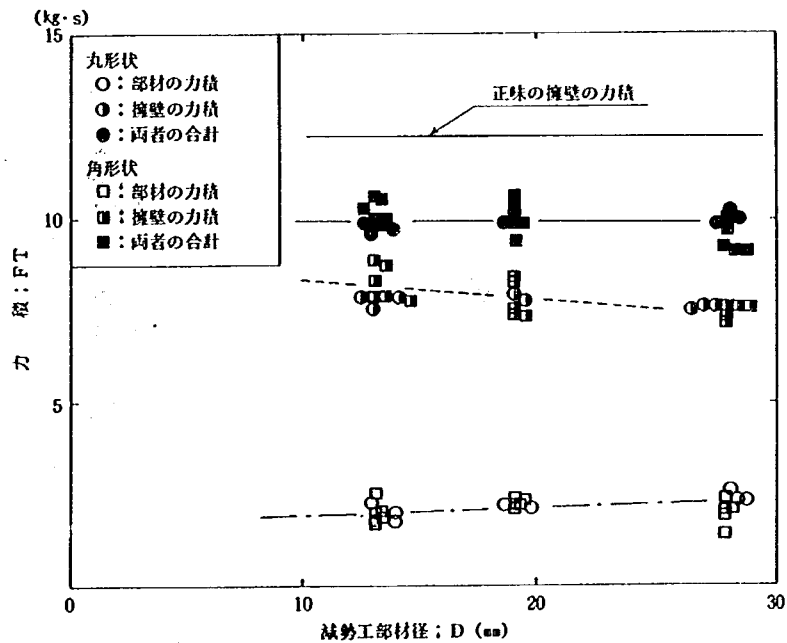


図6-19 減勢工部材及び擁壁の力積 (水平部材 1 本の力積)

水平部材 1 本 (設置高さ 3 cm) の後部にもう一本の水平部材を設置し、後部の水平部材が受ける衝撃力及び減勢効果について検討した。図 6-20 に後列に置かれた水平部材の衝撃力分布を示す。同図に示すように前列と同じ設置高さに部材を設置すると、後部水平部材はほとんど衝撃力を受けない。後部水平部材をしだいに高くすると、後部水平部材は大きな衝撃力を受ける。さらに高くすると、後部水平部材の衝撃力は減少する。後列の部材が受ける最大衝撃力は $h=8.0\text{cm}$ の地点であり、パーライトが 1 列目の水平部材により飛散

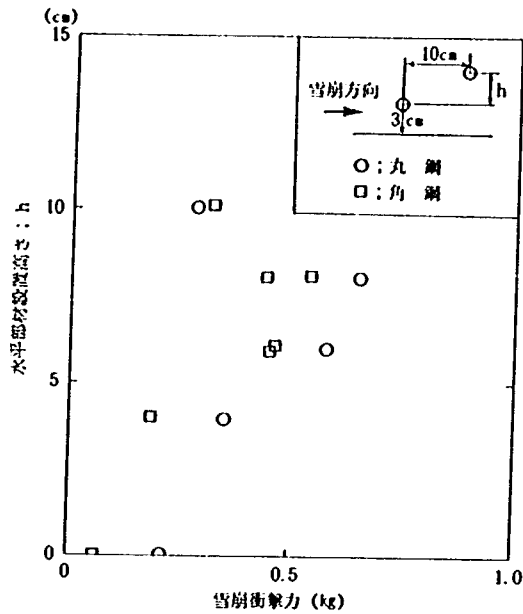


図 6-20 深度方向の衝撃力分布 (後列水平部材 13 mm)

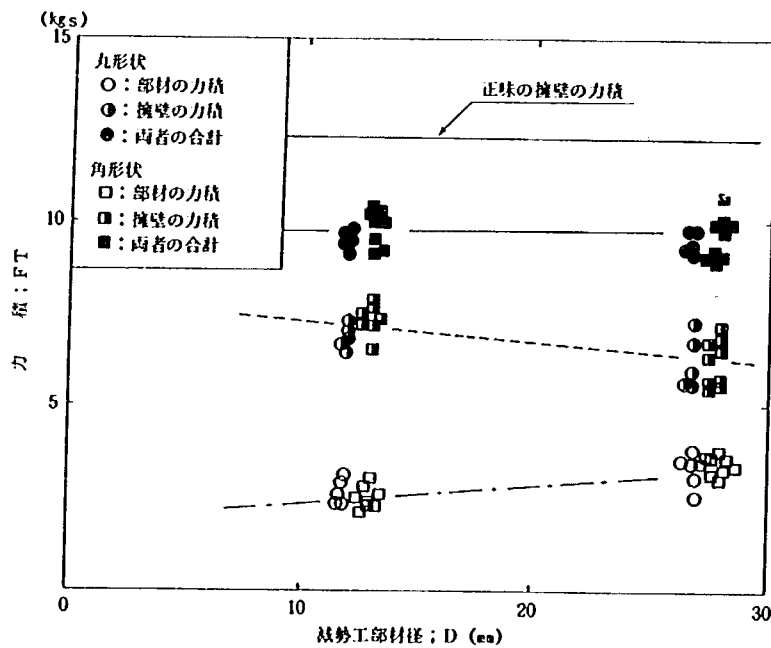


図 6-21 減勢工及び擁壁の力積 (水平部材 2 本の場合)

する主方向 (飛び出し角) は約 40° である。

図 6-21 に水平部材 2 本の場合の減勢工及び擁壁の力積を示す。ここに示す部材の力積とは前列および後列の部材が受ける力積の合計値である。同図より水平部材 2 本の場合も式(6.6)が成立する。また、図 6-22 に 1 列目の部材の力積、2 列目の部材 (後部に設置した部材) の力積及び両者の合計値を示す。1 列目の部材の力積及び 2 列目の部材の力積は部材径が大きくなるに従って増加する。また、1 列目の部材の力積と 2 列目の部材の力積を比較すると、後者は前者よりも小さく、前者の $1/4 \sim 1/5$ 程度である。減勢効果は部材が受け

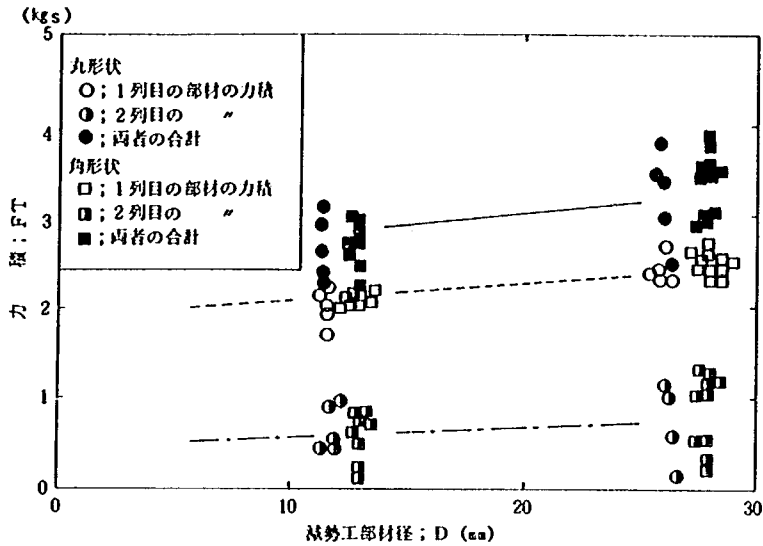


図 6-22 1 列目の水平部材と 2 列目の水平部材の力積

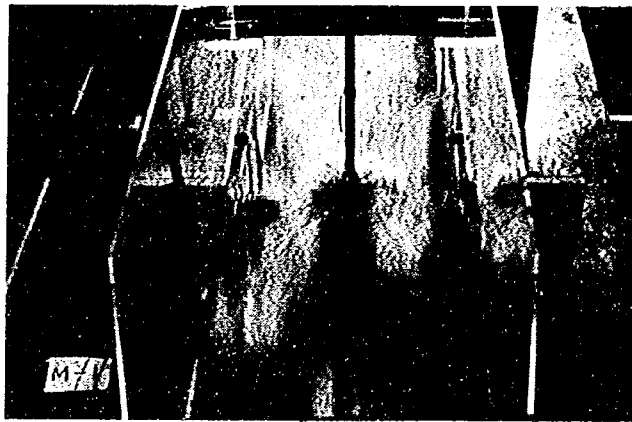


写真 6-5 パーライトの衝突状況 (複合部材 1 列, 角 13 mm)

る力積に比例するため、2 列目の部材はその設置高さにかかわらず、雪崩の減勢にあまり効果がない。

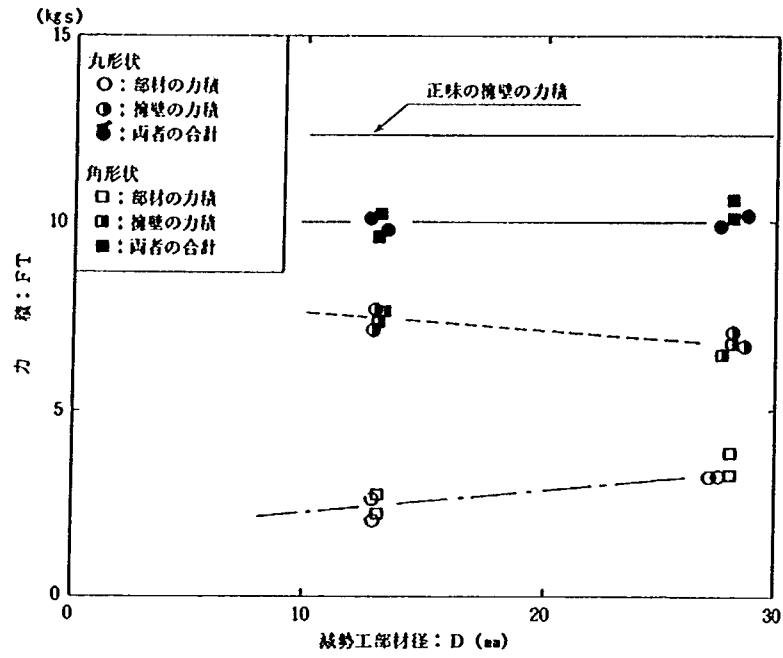
6.1.4 複合部材

複合部材は、水平部材と鉛直部材を同時に設置した実験であり、実際の減勢工を模擬している。

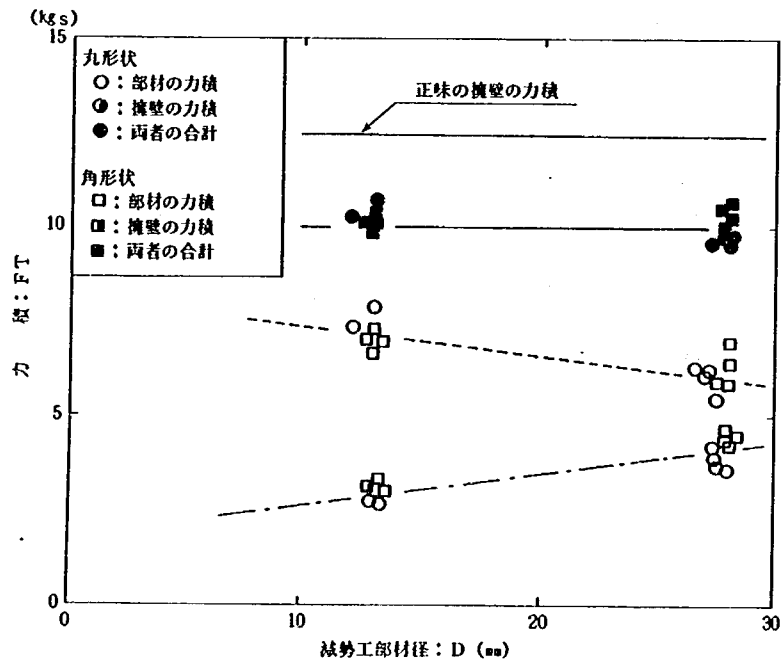
流下したパーライトが複合部材 1 列に衝突した時の飛散状況を写真 6-5 に示す。

図 6-23 に複合部材の力積および擁壁の力積を示す。同図より減勢工部材の径が大きくなるにつれて減勢工が受ける力積は増加し、擁壁の力積は減少する。しかしながら、両者の力積は一定である。これより部材配置が複雑になったモデルに対しても、式 (6.6) が成立する。

また、1 列目の部材の力積と 2 列目の部材の力積を図 6-24 に示す。同図より 2 列目の部材の力積は 1 列目の部材の力積よりも小さく、前者は後者の 1/7 程度である。このことから、2 列目の部材は雪崩の減勢にあまり効果がない。



a) 複合部材 1 列



b) 複合部材 2 列

図 6-23 減勢工及び擁壁の力積

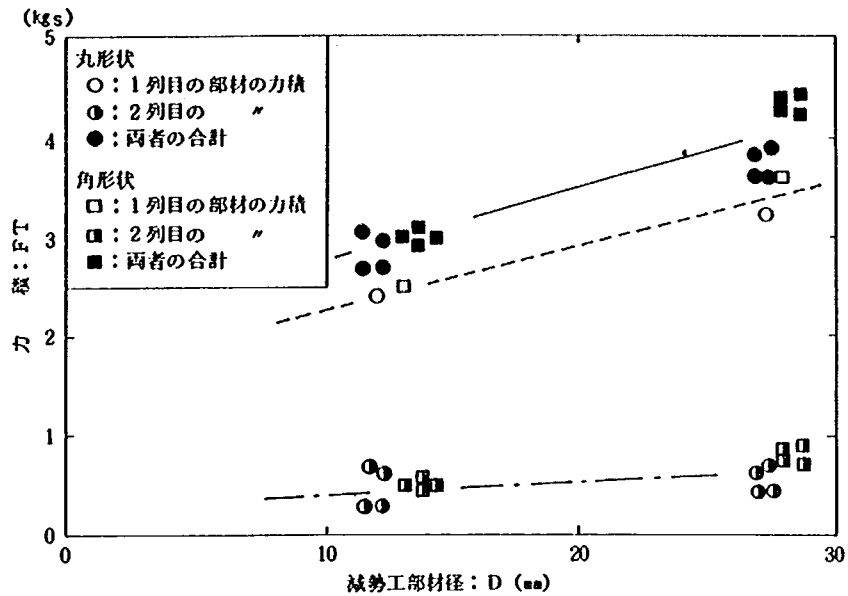


図6-24 1列目の部材と2列目の部材の力積（複合部材）

6.2 人工雪実験

6.2.1 擁壁

流下した人工雪は擁壁に衝突し飛散する。飛散状況を写真6-6に示す。

擁壁に作用する雪崩衝撃力はパーライト実験と同様に4個のロードセルによって計測させる。擁壁に作用する雪崩衝撃力は4個の荷重の合計値により評価し図6-25にその値を示す。図中に示す棒グラフは受圧板に雪崩衝撃力が発生した時刻から0.2秒間の雪崩衝撃力の平均値を示す。人工雪実験ではこの平均値を用いて、0.2秒間の雪崩衝撃力を評価した。

図6-26に雪崩衝撃力の計測値と式(6.1)による計算値を示す。同図により擁壁に作用する雪崩衝撃力は式(6.1)により評価される。



写真6-6 人工雪の飛散状況（擁壁）

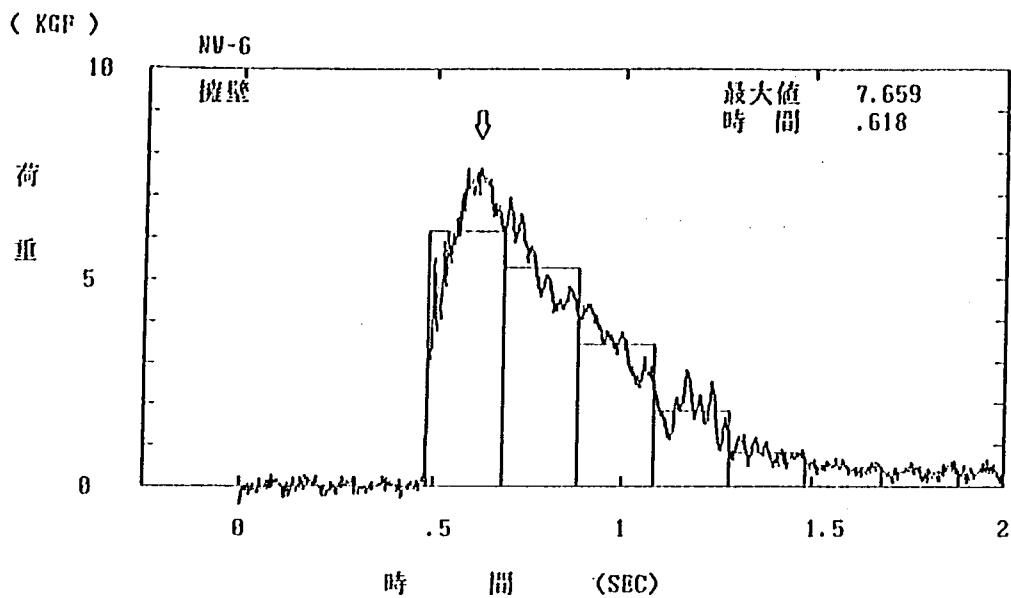


図 6-25 擁壁に作用する雪崩衝撃力及び 0.2 秒間の平均値

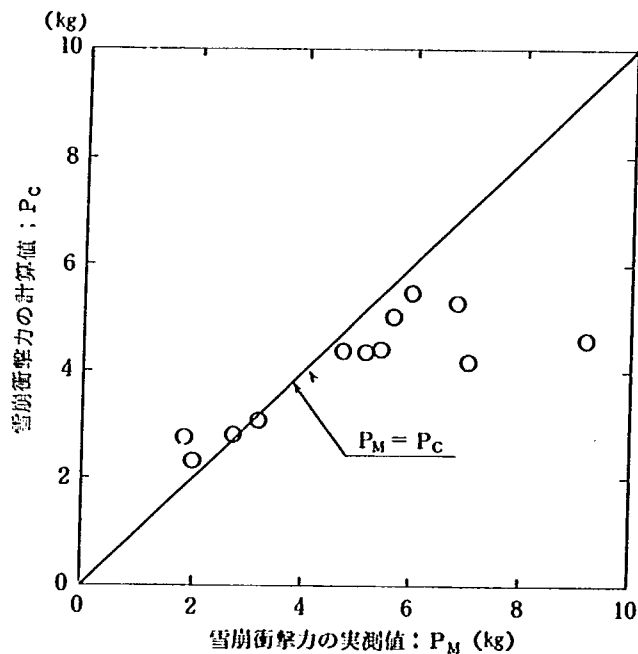


図 6-26 擁壁に作用する雪崩衝撃力の計測値と計算値

6.2.2 鉛直部材

流下したパーライトは鉛直部材に衝突し、鉛直部材を巻き込むように下方に流下する。鉛直部材への衝突状況を写真 6-7 に示す。

鉛直部材に作用する雪崩衝撃力は鉛直部材に取り付けた 2 個のロードセルの荷重の合計値により評価される。図 6-27 に 2 個の荷重の合計値を示す。なお、図中の棒グラフは鉛直部に雪崩衝撃力が作用し始めた時刻から 0.2 秒間毎の衝撃力の平均値を示す。また、人工雪が鉛直部材を通過し、その後に擁壁に衝突するが、

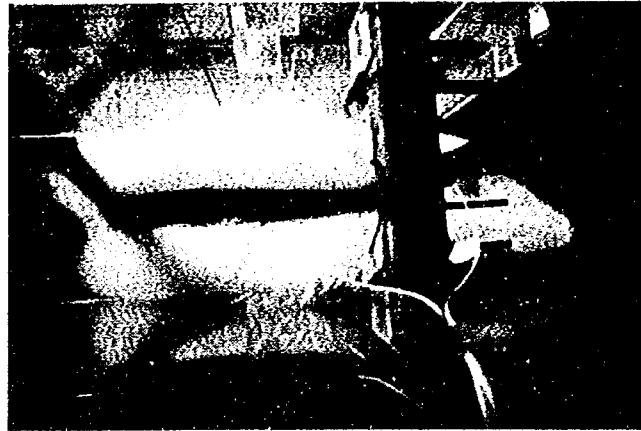


写真6-7 人工雪の衝突状況 (鉛直部材1本, 角28mm)

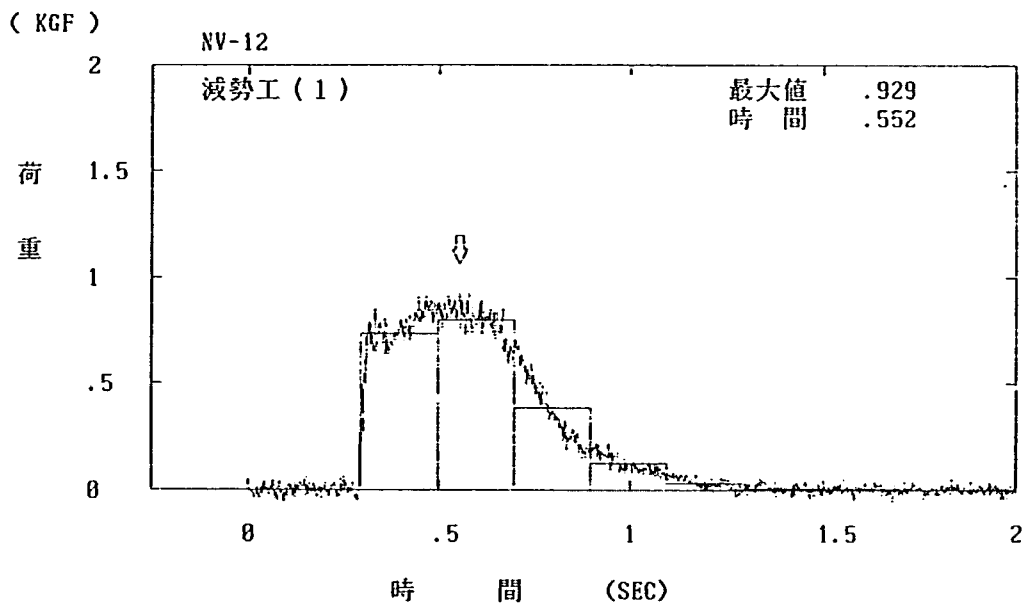


図6-27 鉛直部材に作用する雪崩衝撃力及び0.2秒毎の平均値

その時の雪崩衝撃力を図6-28に示す。

人工雪に関する部材の抵抗係数を図6-29に示す。また、図中にはパーライト実験で求めた抵抗係数も併せて示す。同図より人工雪実験で求めた抵抗係数はパーライト実験で求めた抵抗係数とほぼ一致する。なお、抵抗係数は式(6.5)により算出された。

図6-30に流下した人工雪が鉛直部材及び擁壁に及ぼす力積を示す。同図より丸形状及び角形状の部材の力積は部材径と共に増加し、擁壁の力積は減少する。しかしながら両者の合計は一定であり、運動量保存則が成立する。これはパーライト実験と同様である。図6-31に式(6.8)により計算された流速と表面流速計により計測された流速を示す。同図より計算された流速 V_c は計測された流速 V_m よりも若干大きくなっている。これは、人工雪が鉛直部材を通過した後飛散してしまい、飛散した人工雪の流速を表面流速計により計測しているため、その精度に若干の問題が有るものと思われる。また、同図はプロット数が少なく、流速

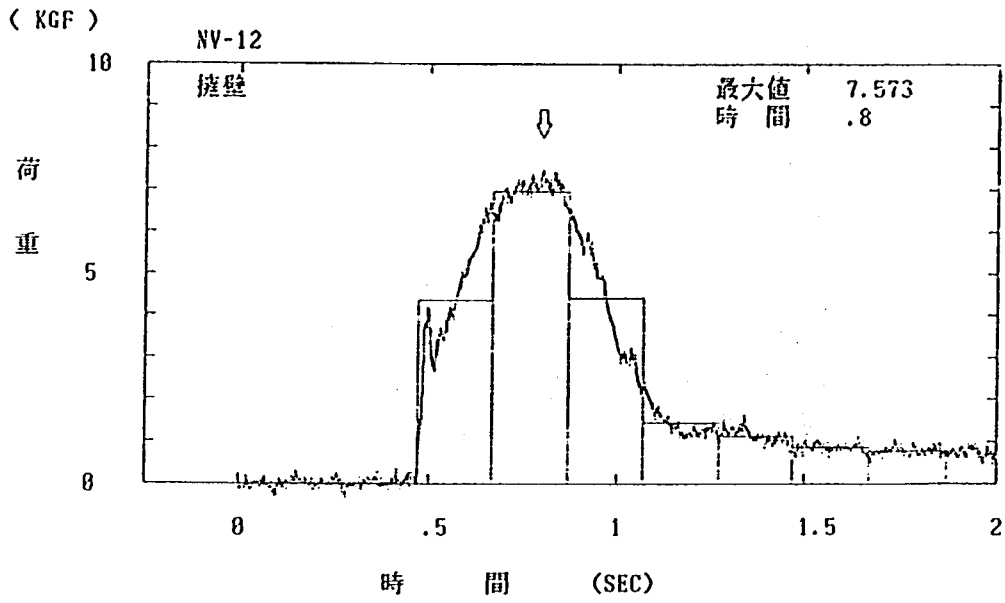


図 6-28 鉛直部材通過後の撻壁に作用する雪崩衝撃力

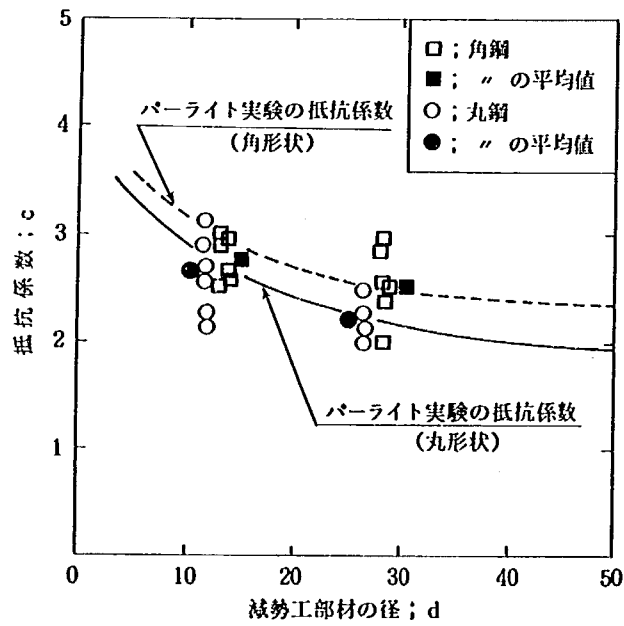


図 6-29 部材の形状係数

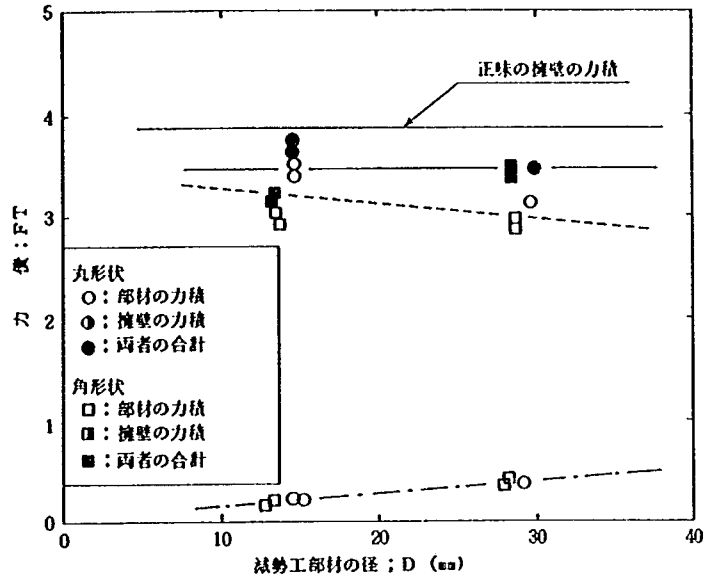


図6-30 減勢工及び擁壁の力積 (鉛直部材1本)

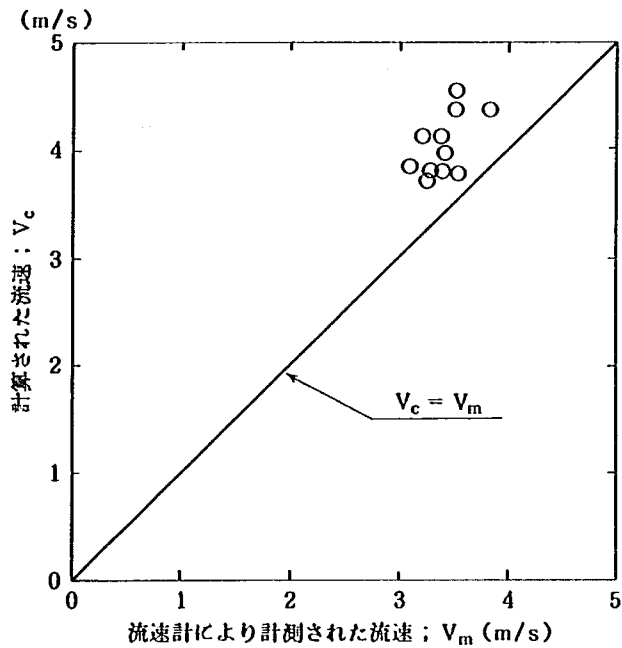


図6-31 実際値 V_m と計算値 V_c の関係 (鉛直部材)

が1か所に集中しており、さらに多くの実験が必要とされるが、式(6.8)は減勢工通過後の流速を表わしているものと思われる。

2) 鉛直部材2本

パーライト実験と同様に人工雪についても式(6.9)を用いて閉そく効果率を算出した。図6-32に人工雪の閉そく効果率を示す。同図にはパーライト実験により求めた閉そく効果率も併せて示す。同図より $W/D=6$ ではパーライト実験及び人工雪実験の閉そく効果率は一致するが、 $W/D=2.75$ では人工雪実験の閉そく効

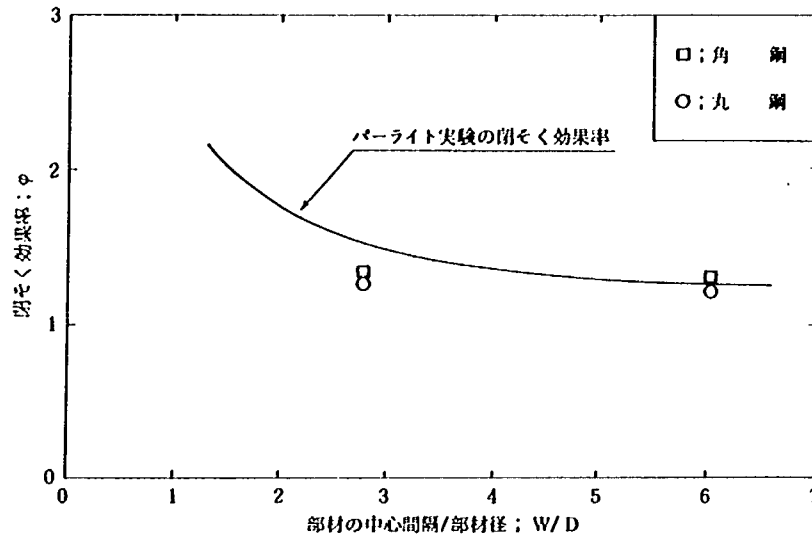


図 6-32 閉そく効果率

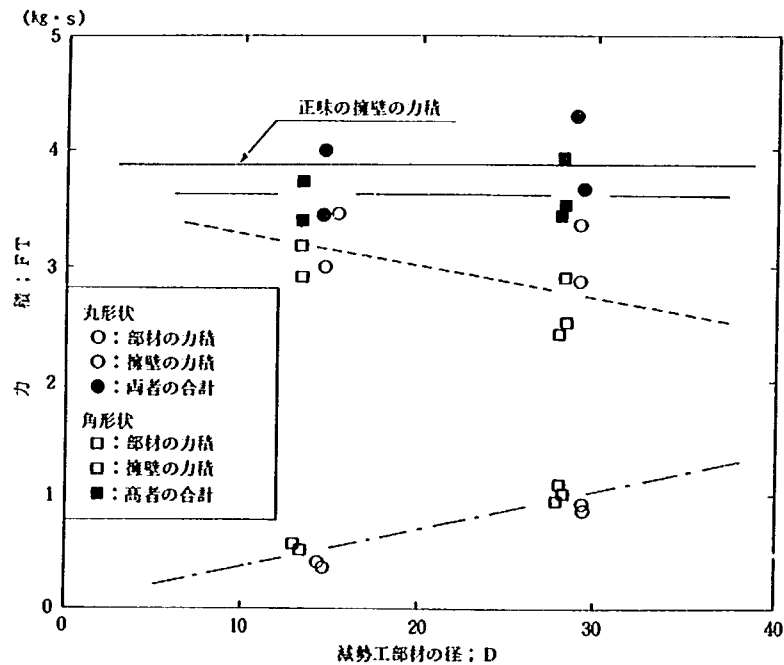


図 6-33 減勢工及び擁壁の力積 (鉛直部材 2 本)

果率はパーライト実験のそれよりも小さい。人工雪はパーライトよりも部材が隣接している間を通り抜け易い。このため閉そく効果率が小さくなるものと思われる。人工雪実験では $W/D=2.5$ 以下の実験を行っておらず屈曲点が現われていない。しかしながら、以上の事から考えると、人工雪の屈曲点は $W/D=2.5$ よりも若干小さくなるものと推測される。

図 6-33 に流下した人工雪が鉛直部材 2 本及び擁壁に及ぼす力積を示す。同図より鉛直部材 2 本を設置した場合も運動量保存則は成立する。

6.2.3 水平部材

1) 水平部材1本

流下した人工雪は水平部材に衝突し、衝突した人工雪の一部は上方に飛散する。水平部材への衝突状況を写真6-8に示す。

水平部材に作用する雪崩衝撃力は水平部材に取り付けた2個のロードセルの荷重の合計値として評価する。図6-34に水平部に作用する雪崩衝撃力を示す。また、人工雪が水平部材を通過し、その後に擁壁に衝突するが、その時の雪崩衝撃力を図6-35に示す。

パーライト実験では水平部材に作用する雪崩衝撃力は式(6.10)により評価された。これは図6-17に示したように、水平部材の設置により流下したパーライトが膨れ上がり、密度が低下したためである。しかしながら、人工雪ではこの膨れ上がりは見られず、密度低下は生じない。よって人工雪が水平部材に作用する衝撃力は式(6.4)により評価する。図6-36に式(6.4)により計算された値(P_c)と計測値(P_H)の比

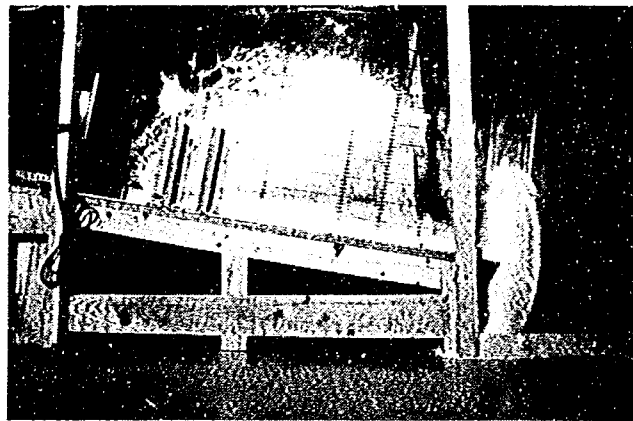


写真6-8 人工雪の衝突状況(水平部材1本, 角13mm)

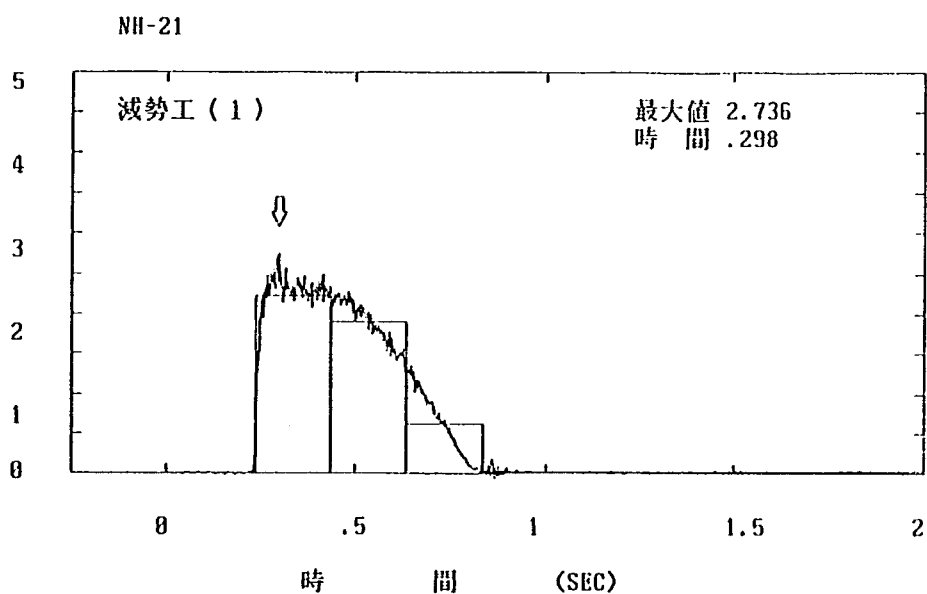


図6-34 水平部材に作用する雪崩衝撃力及び0.2秒間毎の平均値

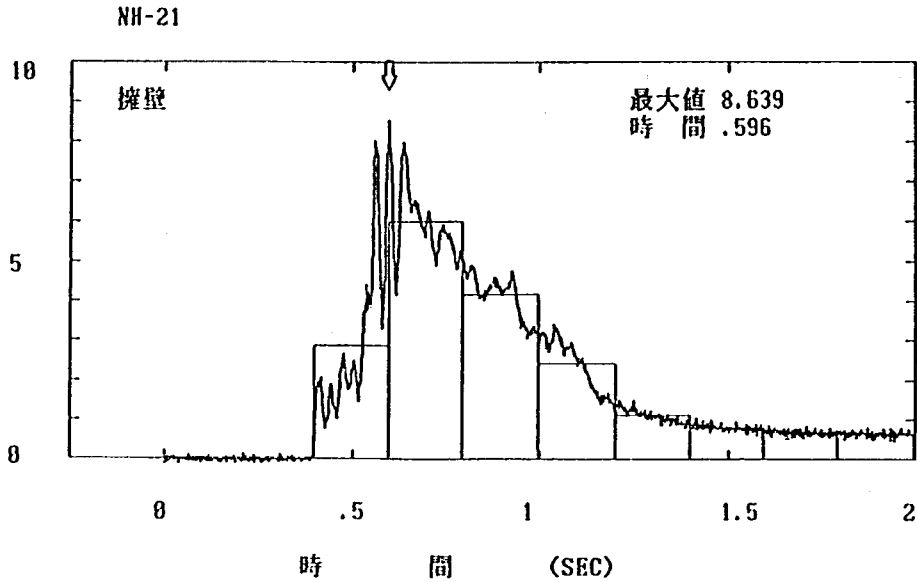


図 6-35 水平部材通過後の擁壁に作用する雪崩衝撃力

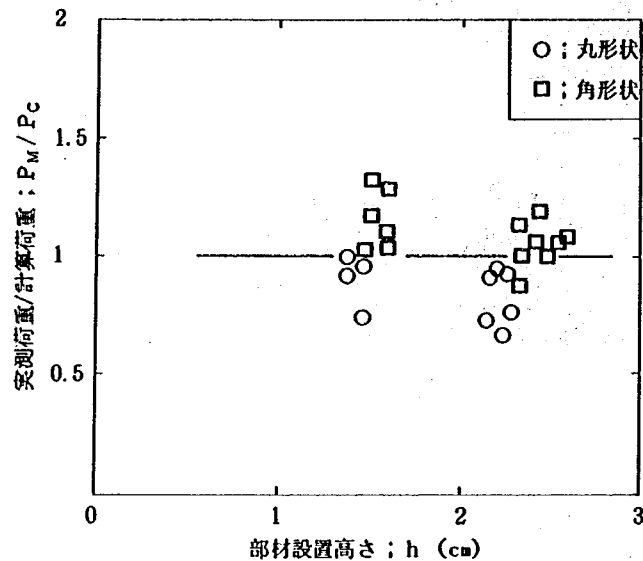


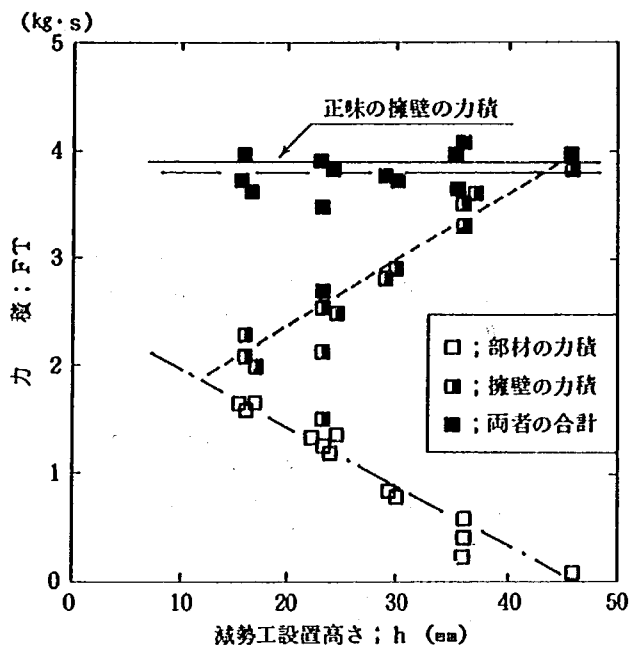
図 6-36 衝撃力の計算値と実測値の比 (水平部材 1 本)

を示す。水平部材の設置高さによらず P_C と P_M の比はほぼ 1 である。このことから人工雪のような雪崩材料の衝撃力は式 (6.4) により評価される。

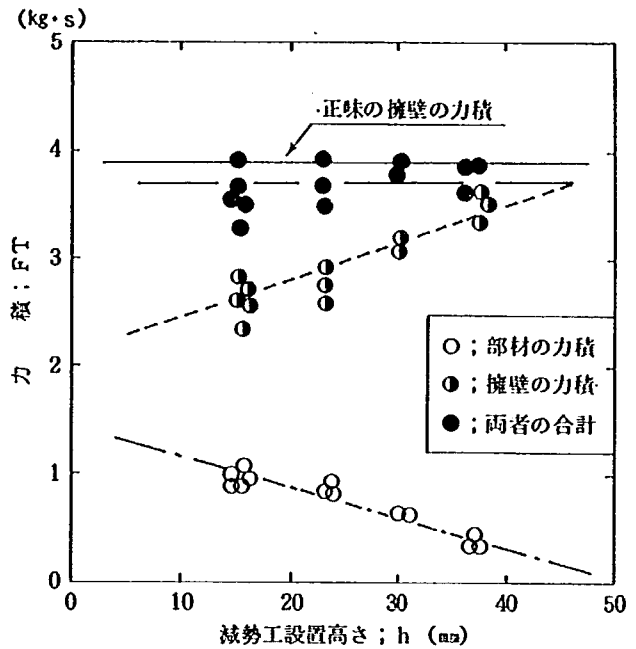
図 6-37 に流下した人工雪が水平部材及び擁壁に及ぼす力積を示す。同図より丸形状及び角形状の水平部材の力積は部材設置高さが高くなるにつれて減少し、逆に擁壁の力積は増加する。しかしながら両者の合計の力積は一定であり、運動量保存則が成立する。これはパーライト実験と同様である。

2) 水平部材 2 本

パーライト実験と同様に水平部材の後部にもう 1 本の水平部材を設置し、後部の水平部材が受ける衝撃力及び減勢効果について検討を行った。図 3-38 に水平部材の力積を示す。同図により 2 列目の水平部材の力

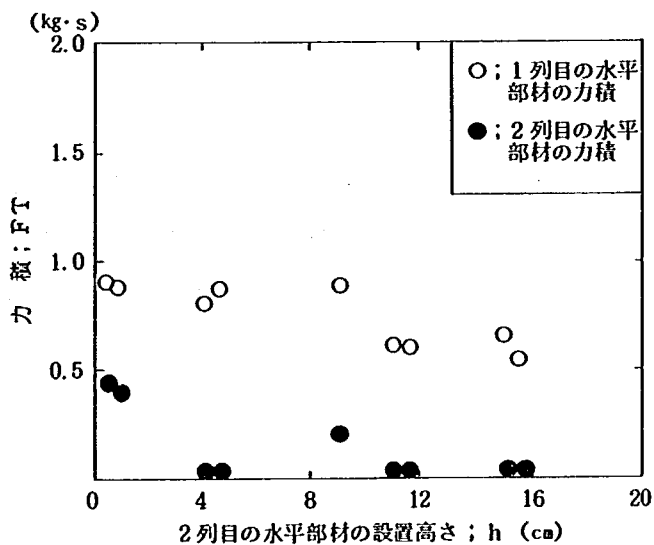


a) 角形状

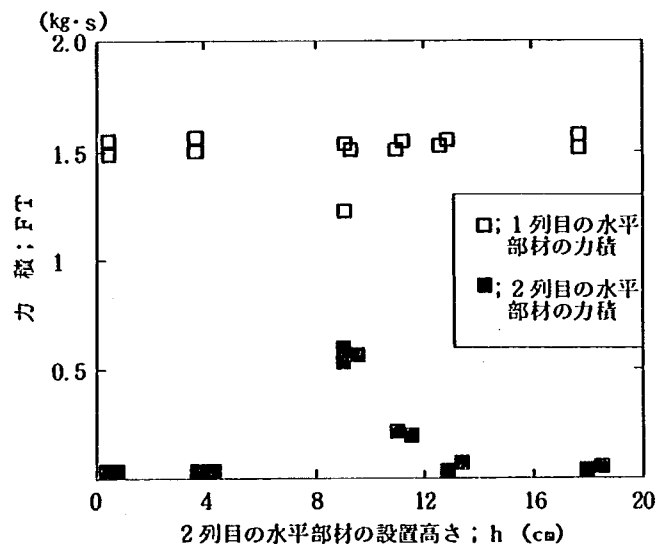


b) 丸形状

図6-37 減勢工及び擁壁の力積 (水平部材1本)



a) 丸形状



b) 角形状

図6-38 減勢工部材の力積 (水平部材2本)

積は部材設置高さにより変化するが、その力積は $h=9\text{cm}$ で最大を示す。このことから人工雪の飛び出し角は 42° 前後である。パーライトの飛び出し角が約 40° であったので、人工雪とパーライトの飛び出し角はほぼ同じである。また、2列目の水平部材の力積は1列目のそれよりも非常に小さく、2列目の水平部材は雪崩の減勢にあまり効果がない。なお、図中に示す部材設置高さ 0 cm は1列目の部材と同じ設置高さであることを示す。

図6-39に減勢工及び擁壁の力積を示す。部材の力積及び擁壁の力積は設置高さによって変化するが、両者の力積の合計は一定であり、運動量保存則が成立する。

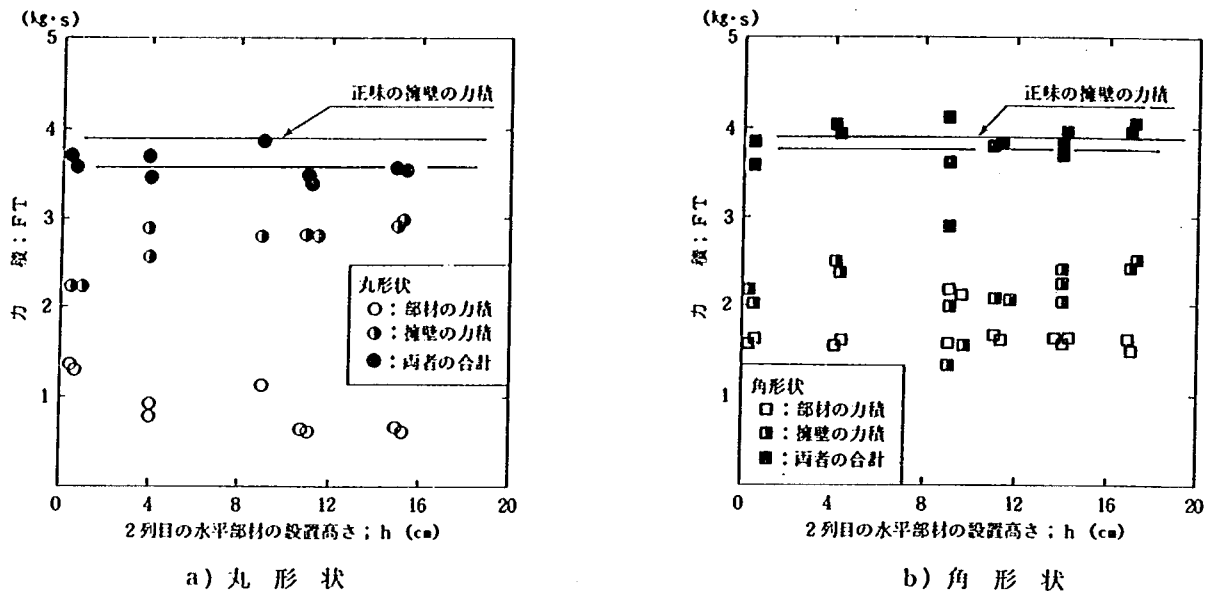


図6-39 減勢工及び擁壁の力積（水平部材2本）

6.2.4 複合部材

流下した人工雪が複合部材1列に衝突した時の飛散状況を写真6-9に示す。

図6-40に複合部材の力積および擁壁の力積を示す。複合部材1列と複役部材2列の部材の力積及び擁壁の力積はかなりばらついているが、両者の力積の合計は一定であり、複合部材に関しても運動量保存則が成立する。また、複合部材1列の部材の力積は複合部材2列の部材の力積とほとんど差異はない。このことは2列目の複合部材が雪崩の減勢にあまり効果がないことを示す。



写真6-9 人工雪の衝突状況（複合部材1列，丸13mm）

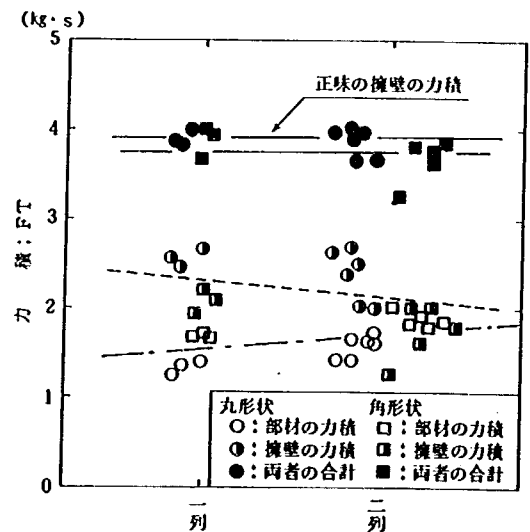


図6-40 減勢工及び擁壁の力積（複合部材）

第7章 ま と め

本実験は、雪崩減勢工の設計手法を解明するために行われたものである。一般的に、雪崩減勢工は鉛直部材及び水平部材により構成されており、本実験は鉛直部材、水平部材及び両者を組み合わせた複合部材それぞれについて雪崩模型実験を行った。また、雪崩材料は物性の異なるパーライト及び人工雪を用いた。本実験の目的は、両者の雪崩材料が各種の部材に衝突する時の雪崩の挙動を知るとともに、各部材が受ける雪崩衝撃力の評価方法及び各部材の減勢効果の評価方法を明らかにするものであり、以下に示す知見を得た。

- 1) パーライト及び人工雪が雪崩方向に対して直角に置かれた擁壁に作用する雪崩衝撃力は、次式により評価される。

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

ここで、

γ : なだれて来た雪崩材料の密度 (t/m³)

g : 重力の加速度 9.8 (m/sec²)

A : 雪崩方向に直角な作用断面積 (m²)

V : 衝突時の雪崩材料の速度 (m/sec)

- 2) 擁壁面が雪崩進行方向に対して角度 α をなす時、壁面に作用する雪崩衝撃力は次式により評価される。

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

ここに、 α は擁壁面が雪崩進行方向となる角である。

- 3) パーライト及び人工雪が鉛直部材を通過する時、双方の雪崩材料は鉛直部材を巻き込むように通過する。

- 4) パーライト及び人工雪が鉛直部材 1 本に作用する雪崩衝撃力は次式により評価される。

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

ここに、 C は抵抗係数であり、本文中の図 6-8 及び図 6-29 に示す。

- 5) 部材が隣接している場合、部材が受ける衝撃力は単独のそれよりも大きくなり(閉さく効果)、次式により評価される。

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

ここに、 ϕ は閉さく効果率であり、本文中の図 6-11 及び図 6-32 に示す。

- 6) 閉さく効果が生じる部材間距離は、雪崩材料がパーライトの場合、 W/B (部材の中心間隔/部材径) = 2.5 以下であり、人工雪の場合はさらに小さくなる。

- 7) パーライト及び人工雪が水平部材に衝突すると、パーライト及び人工雪の一部は激しく上方に飛散する。

- 8) パーライトが水平部材に作用する雪崩衝撃力は次式により評価される。

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

ここに、 L 値は水平部材の設置による流れ層厚の変化量を示す。

9) 人工雪が水平部材に作用する雪崩衝撃力はパーライトのそれと異なり次式により評価される。

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

なお、上式はパーライト及び人工雪が鉛直部材に作用する雪崩衝撃力と同じである。

10) 鉛直部材、水平部材及び複合部材のすべてに対して雪崩崩壊実験を行った結果、減勢工部材に衝突する前の雪崩の力積は、減勢工部材が受ける力積と減勢工通過後の雪崩の力積の和であり、次式が成立する。

$$\int_0^{t_1} F_1(t) dt = \int_0^{t_2} F_2(t) dt + \int_0^{t_3} F_3(t) dt$$

ここに、

F_1 : 減勢工衝突前の雪崩衝撃力

t_1 : // の継続時間

F_2 : 減勢工に及ぼす雪崩衝撃力

t_2 : // の継続時間

F_3 : 減勢工通過後の雪崩衝撃力

t_3 : // の継続時間

よって減勢工部材が雪崩に与える減勢効果は $\int_0^{t_2} F_2(t) dt$ により評価される。

あ と が き

本実験は、斜面模型を用いた雪崩崩壊実験を行い、雪崩が減勢工部材に衝突するときの雪崩の挙動を知るとともに、その設計法を明らかにすることを目的とした。その結果、「第7章 まとめ」に示したような成果が得られた。しかしながら、本実験では小型の斜面模型を用いたため、実験に用いた部材径が実物のそれよりも非常に小さく、また雪崩速度も5 m/sと小さい。また、本実験では雪崩材料としてパーライトと人工雪の双方を用いたが、自然雪を用いた実験も行う必要があるものと思われる。

以上のような事をふまえ、今後実験を行う所存である。

参 考 文 献

- 1) 板倉安正, 堤 捨男: 液晶並進柵状レティクルによる流速ベクトル測定, (社) 電気学会
- 2) 日野幹雄: スペクトル解析, 朝倉書店
- 3) 大崎順彦: 地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会
- 4) 小川恒一, 板倉安正他 3 名: 空間フィルタを用いる土石流流速測定, (社) 電気学会
- 5) (社) 日本建設機械化協会: 新防雪工学ハンドブック, 森北出版
- 6) 日本道路協会: 雪崩防災対策調査報告書(1), 昭和 56 年 3 月
- 7) 土木学会: 海洋鋼構造物設計指針 (案), 1973
- 8) American Petroleum Institute: Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platform, API RP 2A, 1981
- 9) 建築学会: 建築基礎構造設計基準・同解説
- 10) 土質工学会: 杭基礎の設計法とその解説

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。この中でも雪崩は、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。雪崩対策工法は、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法については、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なされていないのが現状である。そこで当研究所では、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斜面を設置し実験を行った。なお、実験項目別の目的については、1.3.1 実験項目に示した。

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)にかけて設置した(図1-1)。また、表層雪崩を想定して行っていることから、低温室内の温度を -10 [°C] 以下にして実験を行った。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 $60^{\circ} \cdot 40^{\circ} \cdot 30^{\circ} \cdot 10^{\circ}$ と徐々に緩やかになっている。斜面の上部は可変

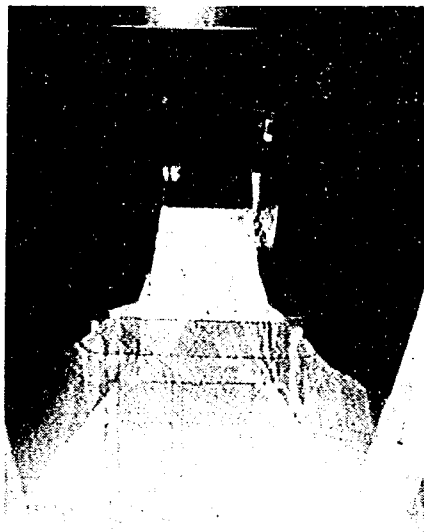


写真1-1 雪崩模型実験斜面(上流から)

式になっており、 $40^{\circ} \cdot 50^{\circ} \cdot 60^{\circ}$ の3段階にすることが可能である。なお、今回の実験では、雪崩の流速を高くするために60度に設定して行った。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、横方向からの撮影用には、同様のメッシュを入れた衝立を設置した(写真1-2)。

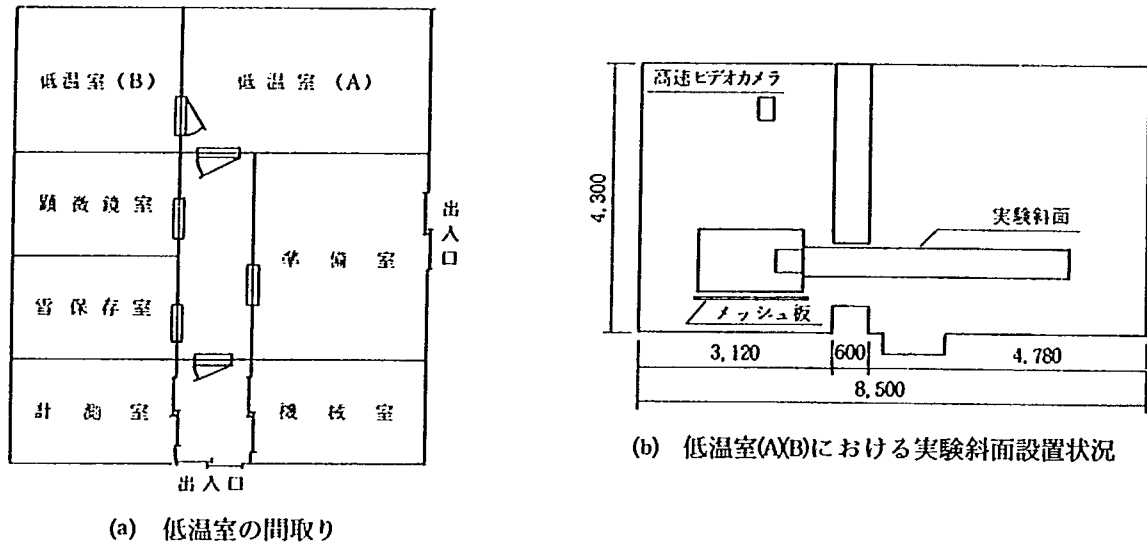


図1-1 低温実験施設 概略図

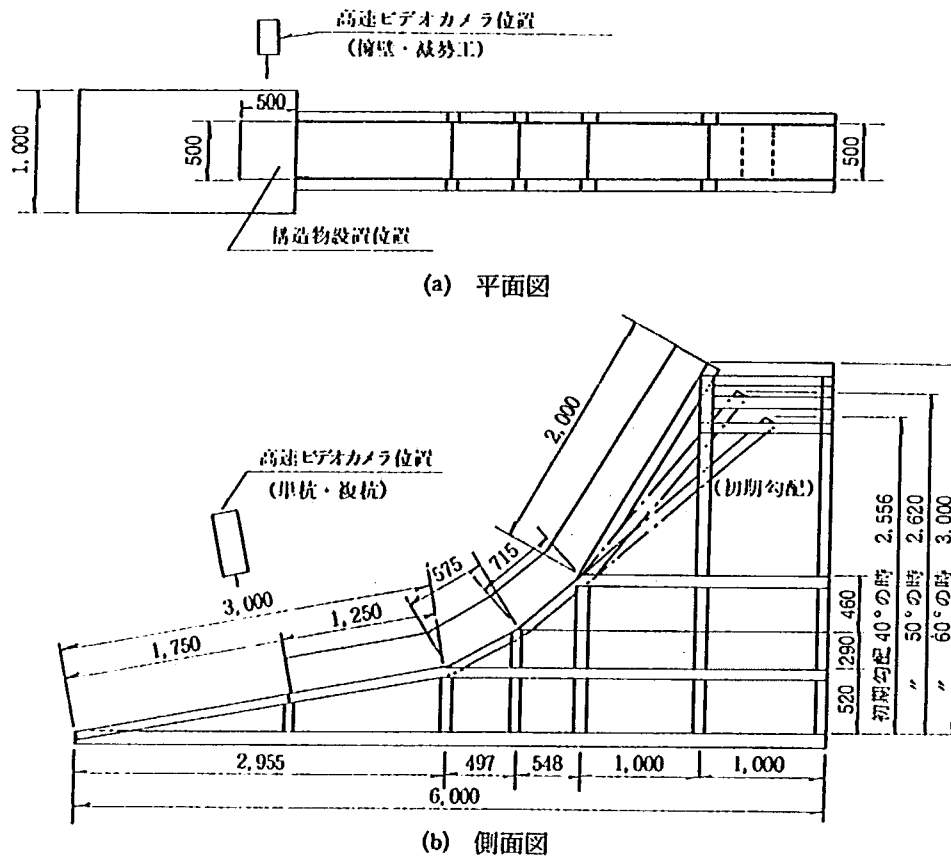


図1-2 模型実験斜面 寸法図

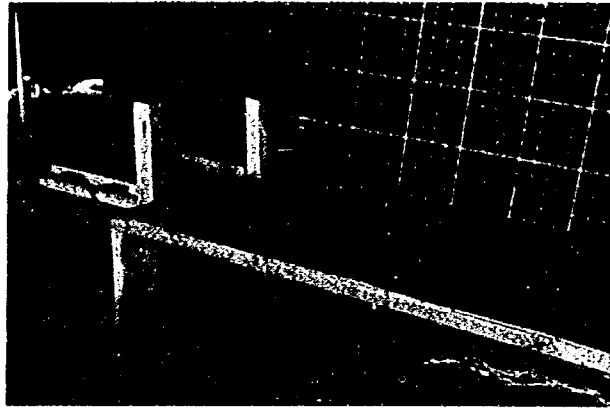


写真1-2 雪崩模型実験斜面（下流側面から）

1.2.2 衝撃力測定用模型

衝撃力測定に用いた模型は、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]、巾 30 [cm] の擁壁に 10×10 [cm] の受圧板を 3 枚セットしたものである。

(図 1-3・写真 1-3)

2) 杭

高さ 10 [cm]、巾 2・4・6 [cm] の 3 種類の杭に 4 種類の形状の受圧板をセットしたものである。受圧板の形状は、四角形（平型）・丸形（半円型）・三角形（頂角 90°）・三角形（頂角 60°）とした。

(図 1-4・表 1-1・写真 1-4・5)

3) 減勢工

高さ 10 [cm]、巾 50 [cm] の大きさに、径 14 [mm] の鉄筋を列数別や形状別に配置したものである。列数は、1・3・5 列とし、形状は、柵型、ジャングルジム四角型、ジャングルジム三角型の 3 種類とした。

(図 1-5~11・表 1-2・写真 1-6~14)

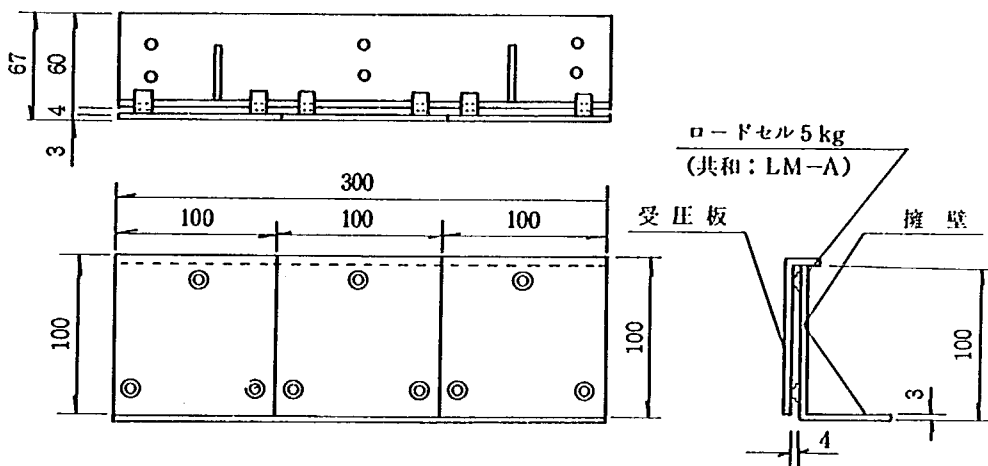


図 1-3 模型寸法（擁壁）

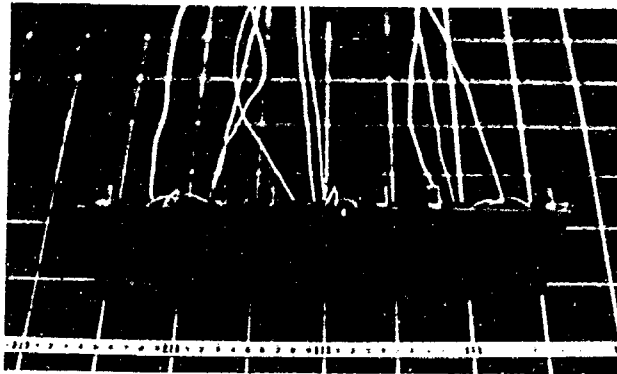


写真1-3 擁壁模型

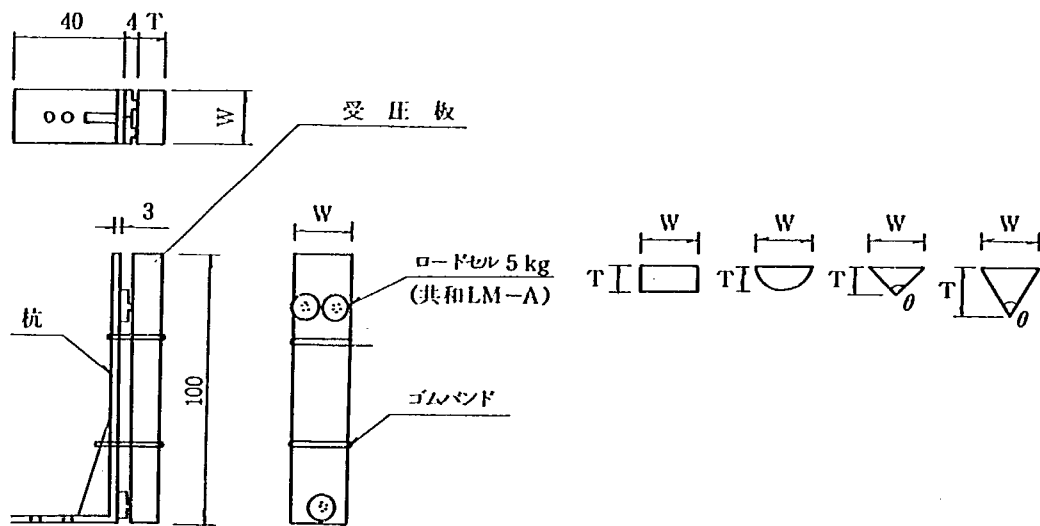


図1-4 模型寸法 (杭)

表1-1 杭の受圧板形状

形状		受圧巾		
		2 [cm]	4 [cm]	6 [cm]
四角形	W	2.0	4.2	6.1
	T	1.0	0.6	0.6
丸形	W	2.0	3.8	6.1
	T	1.0	2.3	3.7
三角形 頂角 90°	W	2.0	4.1	6.0
	T	1.0	2.2	3.0
三角形 頂角 60°	W	2.0	3.6	6.1
	T	1.8	3.3	5.4

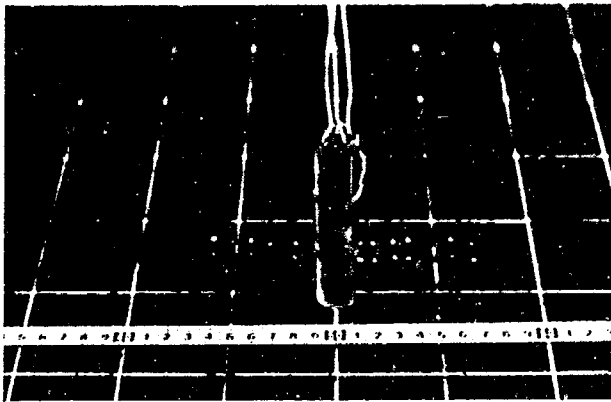


写真1-4 杭模型 (正面)

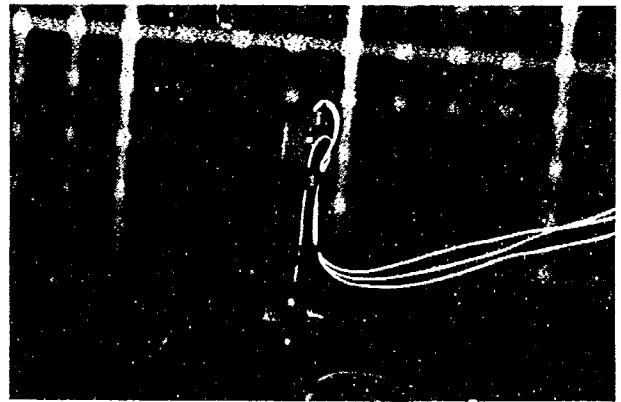


写真1-5 杭模型 (側面)

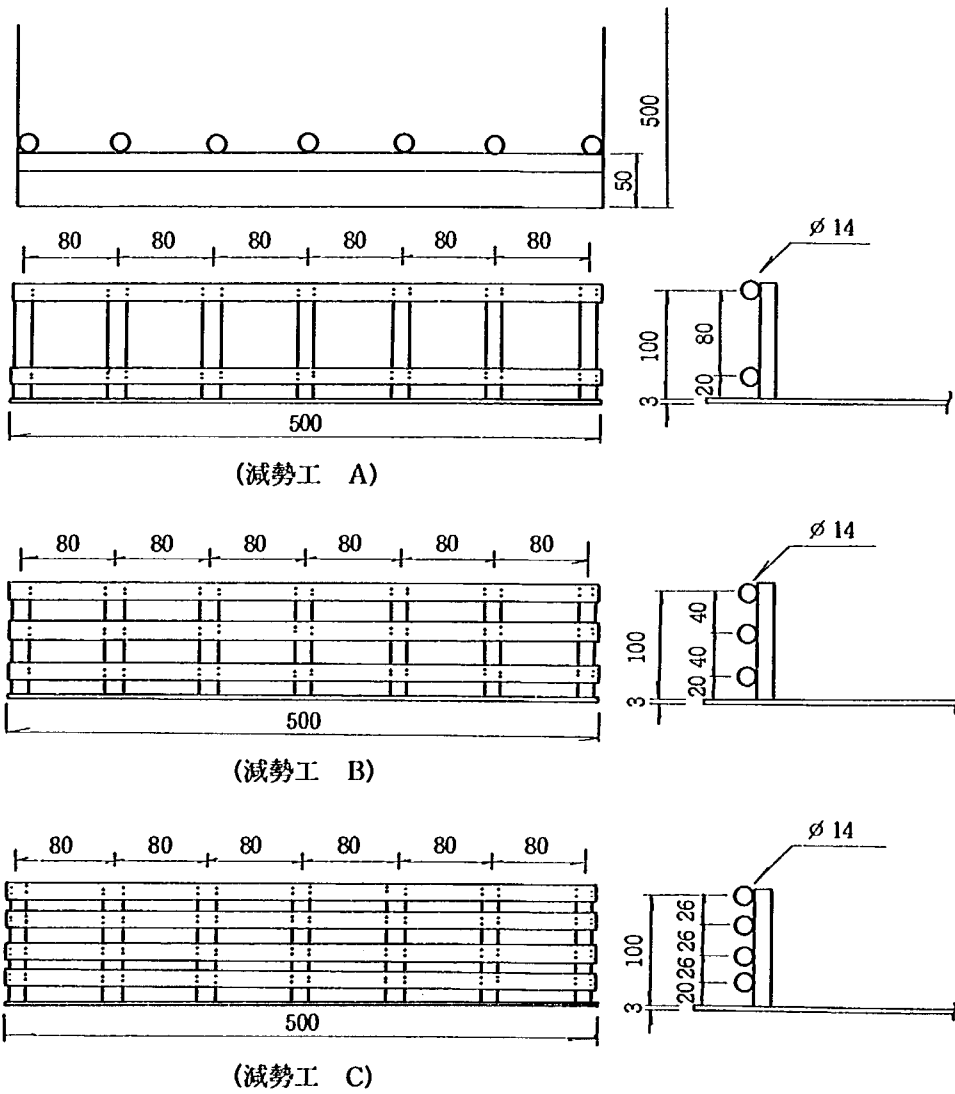


図1-5 模型寸法 (減勢工1列, 柵型, 模型記号 A・B・C)

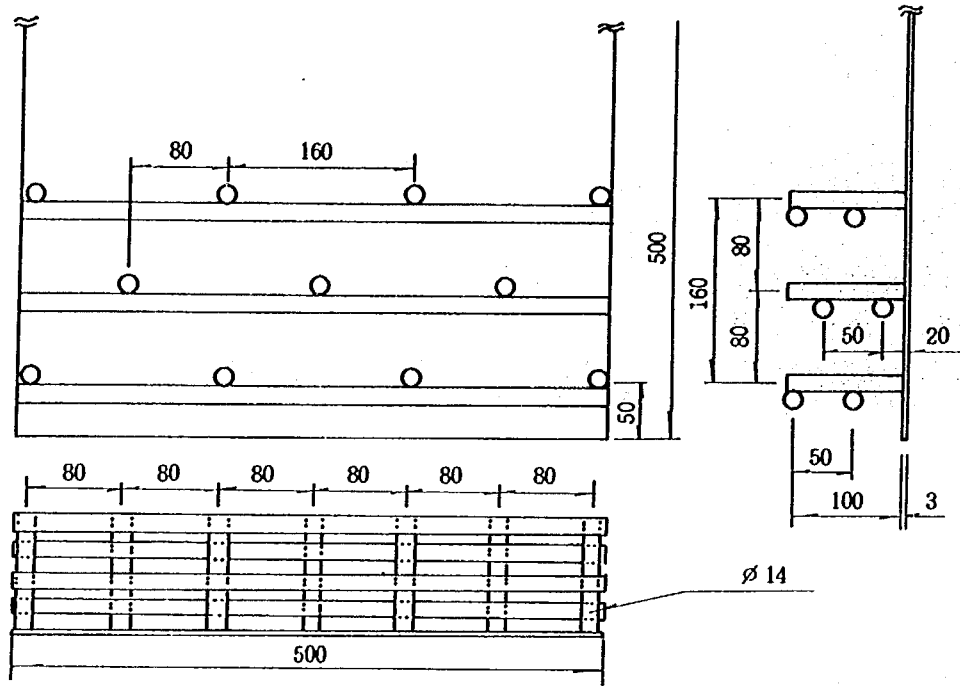


図1-6 模型寸法 (減勢工3列, ハードル型, 模型記号D)

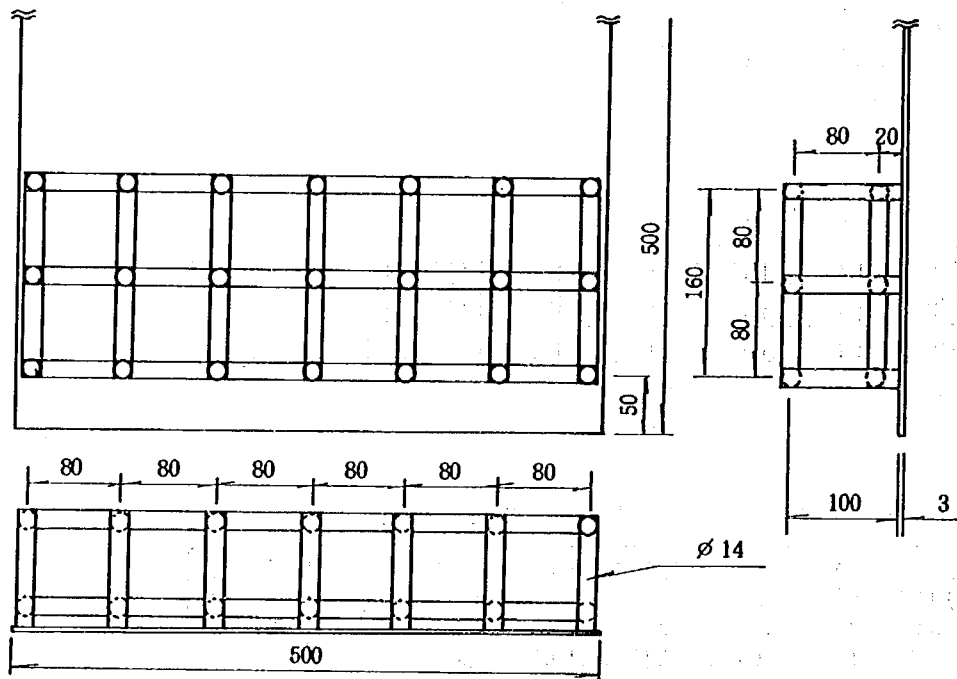


図1-7 模型寸法 (減勢工3列, ジャングルジム四角型, 模型記号E)

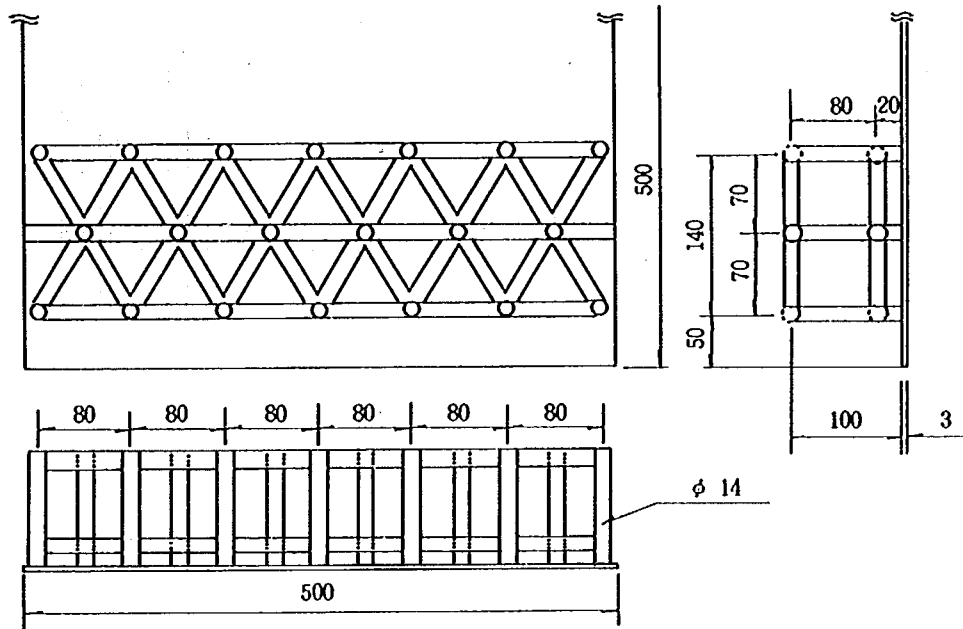


図1-8 模型寸法 (減勢工3列, ジャングルジム三角型, 模型記号 F)

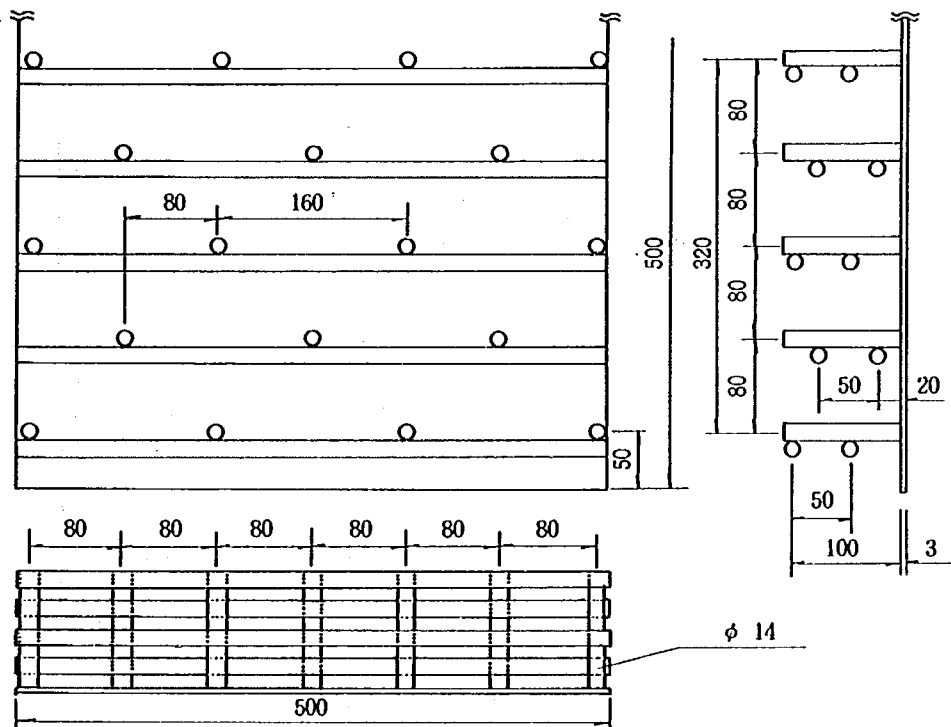


図1-9 模型寸法 (減勢工5列, ハードル型, 模型記号 G)

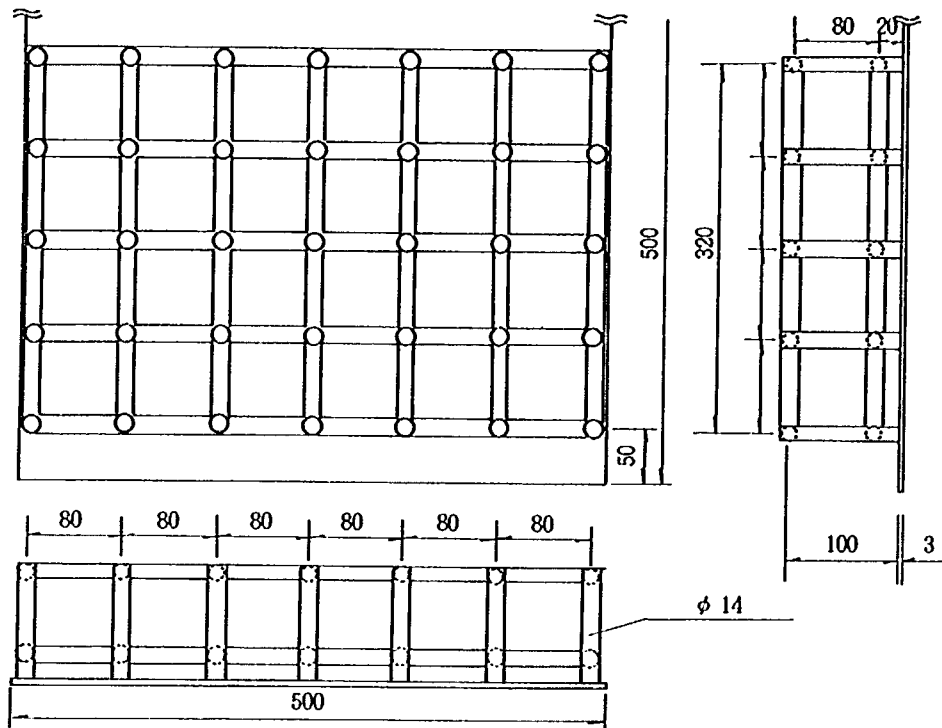


図1-10 模型寸法 (減勢工5列, ジャングルジム四角型, 模型記号H)

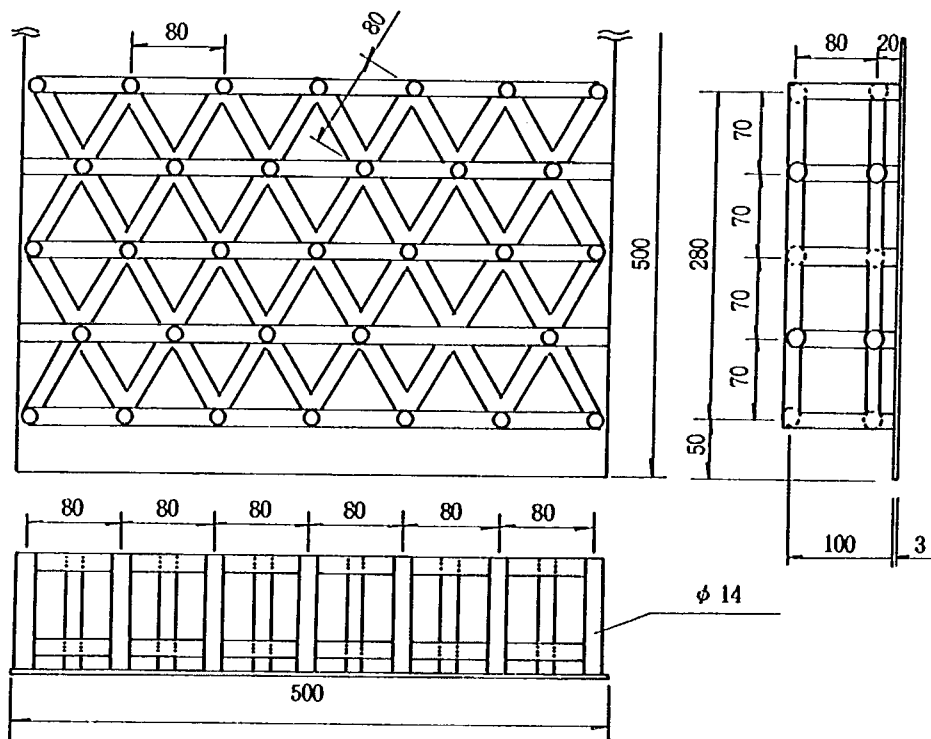


図1-11 模型寸法 (減勢工5列, ジャングルジム三角型, 模型記号I)

表 1-2 減勢工の模型 (高さ 10 cm・巾 50 cm・鉄筋径 $\phi=14$)

減勢工記号	減勢工名称	列数	空隙率 [%]	図番号	備考
A	柵型	1	59.2	1-5	EFHI の一列
B	柵型	1	48.7		
C	柵型	1	38.2	1-5	
D	ハードル型	3		1-6	
E	ジャングルジム四角型	3		1-7	
F	ジャングルジム三角型	3		1-8	
G	ハードル型	5		1-9	
H	ジャングルジム四角型	5		1-10	
I	ジャングルジム三角型	5		1-11	

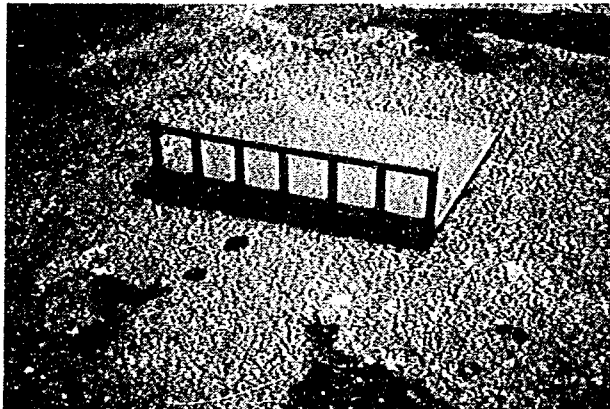


写真 1-6 減勢工模型 A (1列柵型)

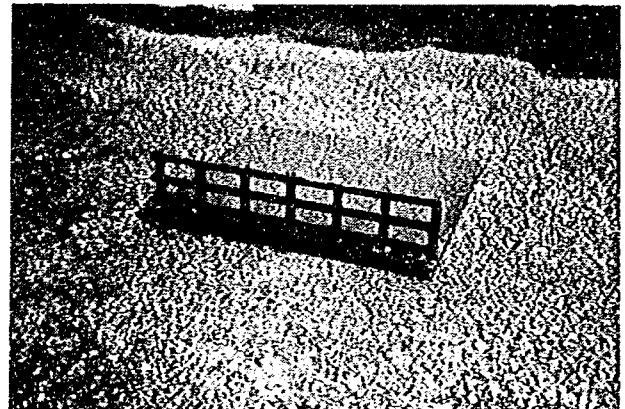


写真 1-7 減勢工模型 B (1列柵型)

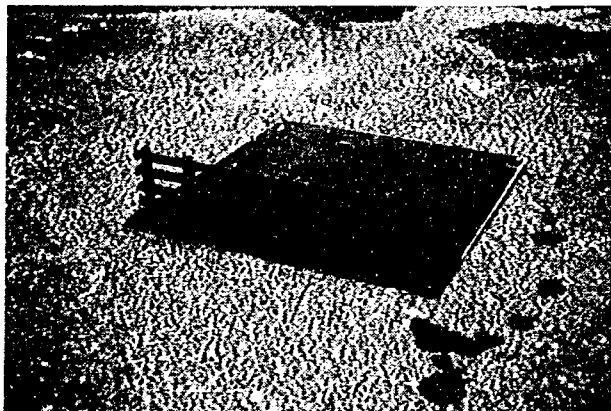


写真 1-8 減勢工模型 C (1列柵型)

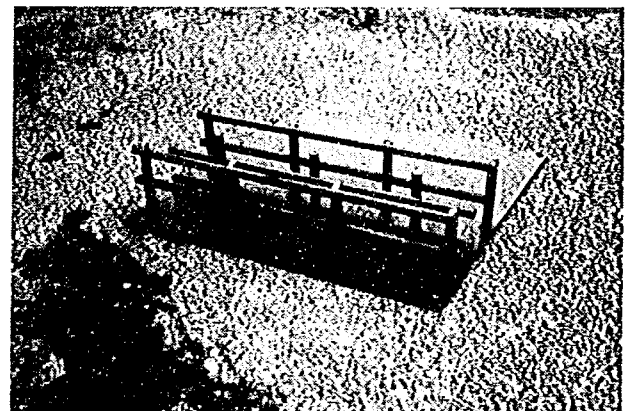


写真 1-9 減勢工模型 D (3列ハードル型)

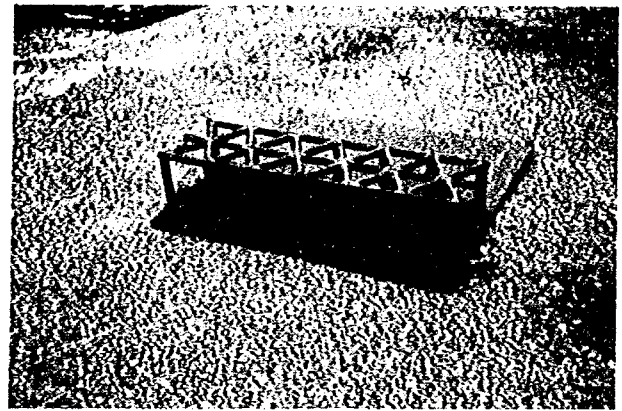
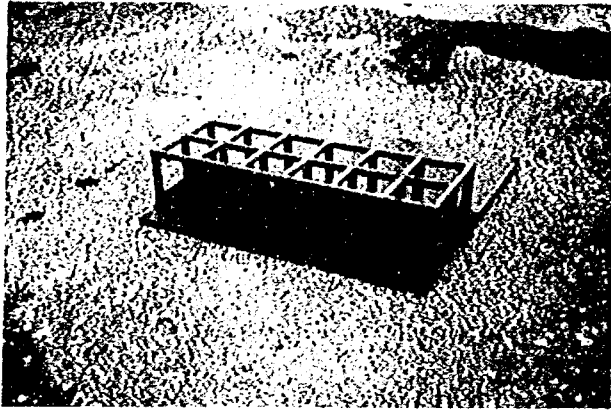


写真 1-10 減勢工模型 E (3 列ジャングルジム四角型) 写真 1-11 減勢工模型 F (3 列ジャングルジム三角型)

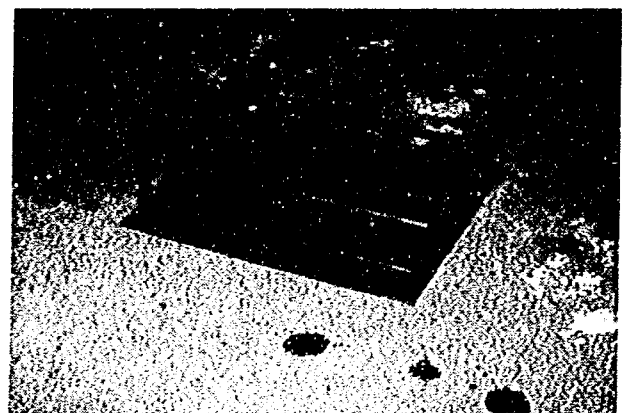
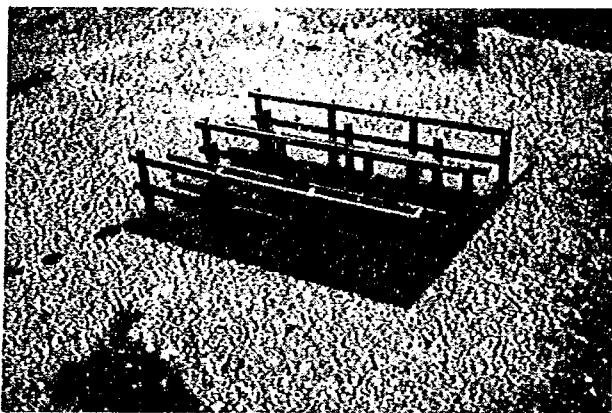


写真 1-12 減勢工模型 G (5 列ハードル型)

写真 1-13 減勢工模型 H (5 列ジャングルジム四角型)

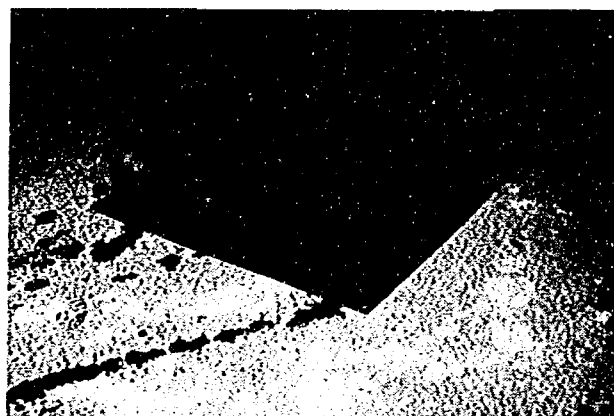


写真 1-14 減勢工模型 I (5 列ジャングルジム三角型)

1.2.3 実験用試料

実験用の試料雪は、 -10 [°C] で作成した氷をアイス・スライサー (掻き氷機) (写真 1-15) 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 [g/cm³] 程度で、粒径は 1 [mm] 以下、安息角は 35° 程度である。

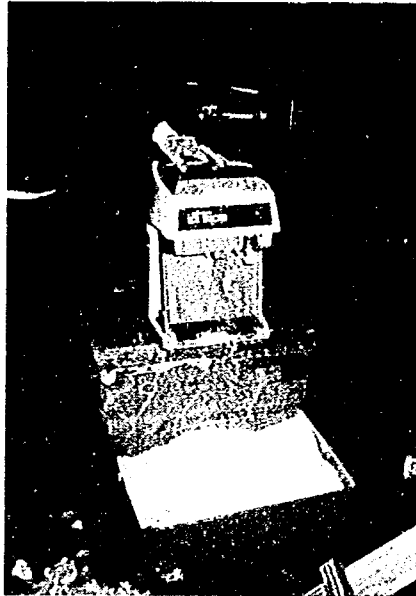


写真1-15 アイス・スライサー

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4項目とし、下記にその概略を示した。

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全荷重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

受圧形状や受圧巾を変化させた場合の1本の杭にかかる衝撃力の特性および杭による雪崩流の分散効果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

杭の配置や受圧形状を変化させた場合の衝撃力特性および杭の分散効果を明らかにするための実験である。

4) 減勢工の減勢効果

減勢工の構造や列数を変化させた場合の雪崩流の衝撃力や速度に対する減勢効果を明らかにするための実験である。

実験組合せについては、表1-3に実験項目別に示した。また、複杭の配置については、表1-4に示した。

表1-3 実験条件 (組合せ)

項目	実験項目			
	1) 擁壁	2) 単杭	3) 複杭	4) 減勞工
受圧巾	高さ 10cm 巾 30cm (1種類)	高さ 10cm 巾 2cm 4cm 6cm (3種類)	高さ 10cm 巾 2cm (1種類)	衝撃力は擁壁により測定 模型鉄筋 φ=14 (1種類)
受圧形状	受圧板 10cm×10cm 3枚 (1種類)	四角形 丸形 三角形(90°) 三角形(60°) (4種類)	2) 単杭に 同じ (4種類)	1) 擁壁に 同じ (1種類)
配置	一定 (1種類)	一定 (1種類)	横間隔 [cm] a=4.0, 6.0 8.0, 10.0 12.0, 14.0 縦間隔 [cm] b=0.0, 2.0 6.0, 8.7 10.0, 12.0 14.0 表1-2 参照 (11種類)	一定 (1種類)
模型の型	一定 (1種類)	一定 (1種類)	一定 (1種類)	1列 (3種) 3列 (3種) 5列 (3種) (9種類)
組合せ数	1	12	44	9

表1-4 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				○		

* 基本形 (正三角形配置)

1.3.2 測定項目

測定項目を以下に示したが、実験項目別に異なるため表1-5に詳細を示した。

- 1) 雪崩の衝撃力
- 2) 雪崩流の流下速度
- 3) 衝突時の分散角あるいは飛雪角・飛雪高・飛雪距離
- 4) 室温・雪密度 (流下直前)

表1-5 測定項目

実験項目	測定点数		分散 角度	飛雪状況			ビデオ撮影	
	衝撃力	速度		角度	高さ	距離	水平	垂直
擁壁	9	4					○	
単杭	3	4	○					○
複杭	9	4	○					○
減勢工	9	4		○	○	○	○	

1.3.3 測定方法

各測定項目の測定方法を以下に示す。なお、測定に使用した機器の規格は、表1-6に示すとおりである。(計測状況：写真1-16)

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コンバータを介し、500 [Hz] のサンプリングクロックでパソコンに入力した。

衝撃力の算出式を下記に示す。

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

P : 衝撃力 [kg]

M : 最大電圧値

S : 初期電圧値

C : キャリー読み巾 (電圧値の差)

Ca : キャリー設定値 (=1,000 μ)

K : ロードセル較正係数 (=0.00264)

表1-6 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-9801VM2
速度	ビームセンサー A-Dコンバータ パソコン	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	1/600sec]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	

2) 雪崩の流下速度

流下速度は、透過型赤外線ビームセンサーを斜面の側面に配置し(図 1-12)、構造物に衝突する直前(ビームセンサー No. 1, 2 の間)と衝突した直後 (No. 5, 6 の間) の速度を測定した。なお、ビームセンサーは投光器と受光器からなり、その間を雪崩流が通過して光を遮断していると電圧が発生するようになっている。この電圧を衝撃力と同様に A-D コンバーターにより、パソコンに入力した。

速度の算出式を下記に示す。

$$V = \frac{L}{(T/S)} = \frac{L}{T} \times S \quad [\text{m/s}]$$

V : 速度 [m/s]

L : ビームセンサー間距離 [m]

T : 雪崩通過時のカウント数の差

S : サンプルクロック (=500 [Hz])

3) 衝突時の分散角・飛雪状況 (飛雪角・飛雪高・飛雪距離)

分散角および飛雪状況は、ビデオ撮影 (設置位置=図 1-2) により画像から読みとり測定した。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。

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の雪密度を測定した。



写真 1-16 計測状況

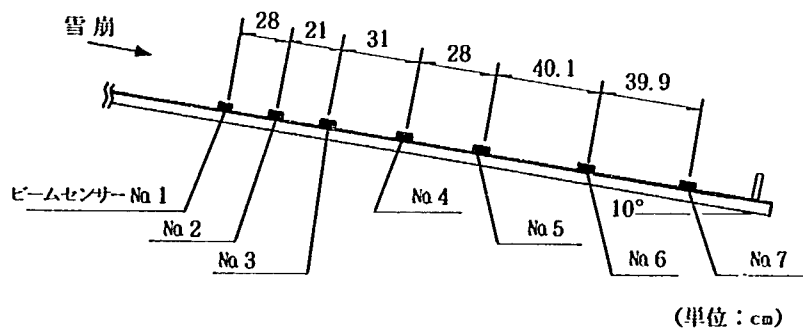
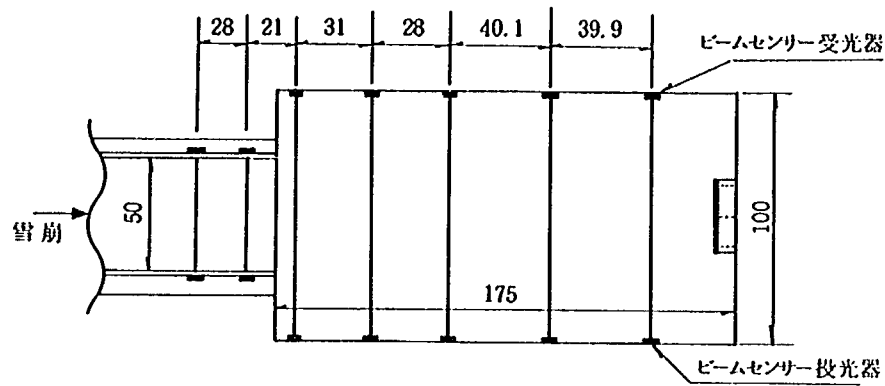


図1-12 ビームセンサー配置図

1.3.4 実験手順

実験の手順を以下に示す。

1) 構造物セット

構造物の模型を実験斜面に設置する (写真1-17)。

2) ビデオ・コンピュータのスイッチ ON

ビデオの録画およびコンピュータの入力準備を行う。

3) 雪崩の流下

雪を積めた箱 (写真1-18) を傾け、仕切板をすばやく上げ雪を流下させる (写真1-19)。(実験開始)

なお、1回の実験に使用する雪の量は、 $0.0192 \text{ [m}^3\text{]}$ (縦 60 [cm] ・横 40 [cm] の箱に深さ 8 [cm] まで雪を入れた) で、重量は約 8.5 [kg] である。容器の前面には、一斉に流下させるための仕切板と雪ができるだけ細かく流すための網が取り付けられている。

4) 計 測

雪崩流の流下とともに計測を開始してパソコンにより、フロッピーに記録する。

5) ビデオ・コンピュータのスイッチ OFF

なお、実験回数は、1条件当たり3回とした。

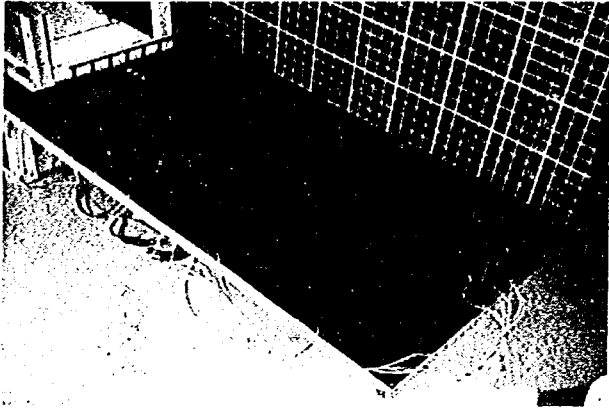


写真 1-17 模型設置状況

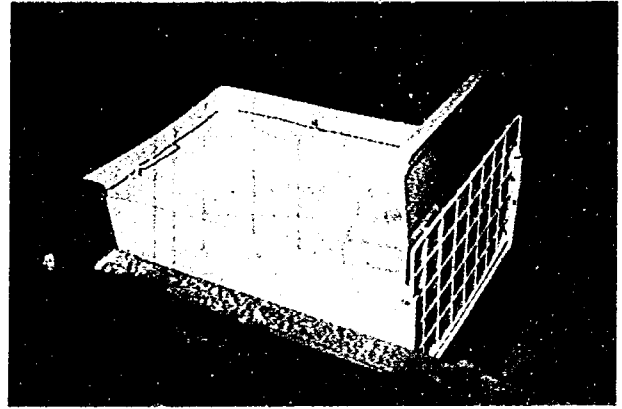


写真 1-18 雪試料

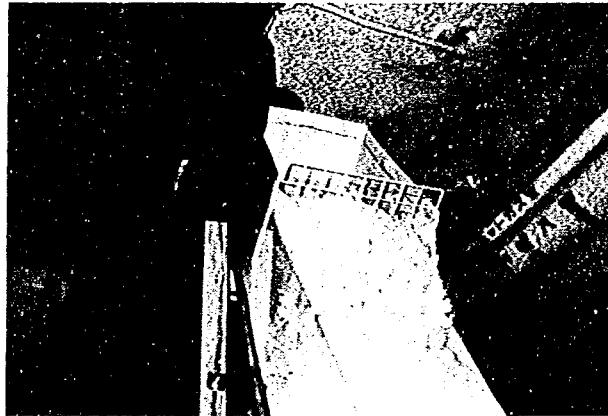


写真 1-19 雪崩流の流下直後

第2章 実験結果

2.1 予備実験結果

今回の実験に使用した模型斜面・試料の特性を把握するための予備実験を行った。実験項目は、下記に示す2項目とした。

- 1) 雪崩の流下速度
- 2) 雪崩流の層厚

2.1.1 雪崩の流下速度

斜面の初期勾配別の流下速度を示したものが、図2-1である。これによると、斜面初期勾配が60°の場合、構造物設置位置の手前（ビームセンサーNo. 1-2間）の流下速度は、平均で4.86 [m/s]であった。また、初期勾配を50°・40°にすると、流下速度は当然であるが減少する傾向を示した。しかしながら、模型斜面が小型であるため大きな速度の減少はみられなかった。

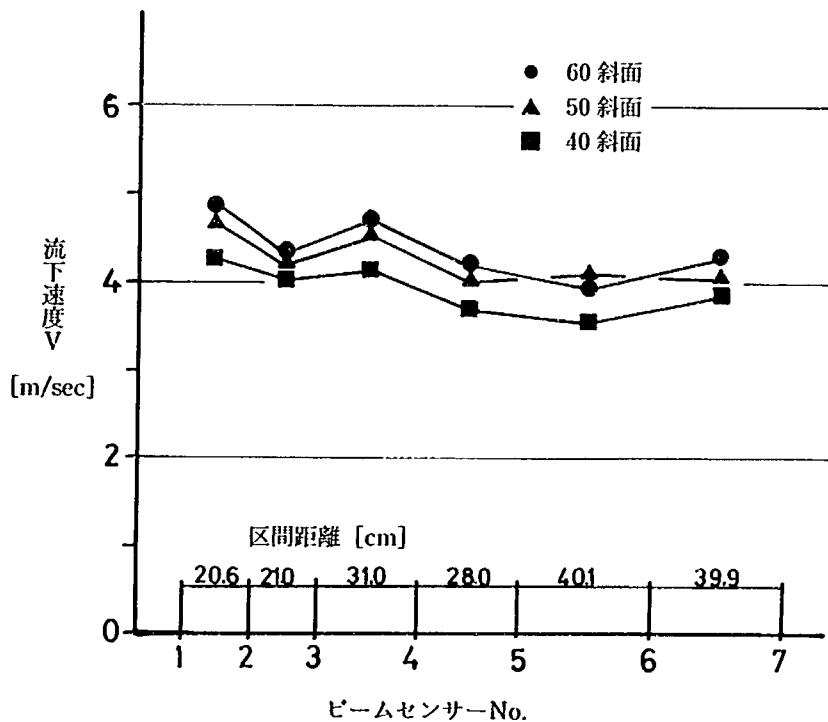


図2-1 雪崩流の流下速度

2.1.2 雪崩流の層厚

模型斜面の構造物設置位置での層厚を横方向のビデオから読みとった結果が図2-2である。これによると、初期勾配にあまり関係なく層厚は3~4 [cm]程度であった。これは、流下速度と同様に模型斜面が小型であるために大きな差が表われなかったものと考えられる。

以上の結果を考慮して、今回の実験では、斜面の初期勾配を60°とした。

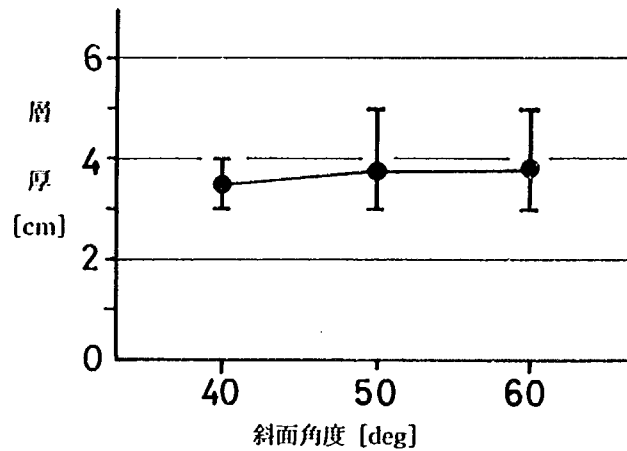


図2-2 雪崩流の層厚

2.2 本実験結果

2.2.1 擁壁

擁壁に対する衝撃力は、衝突直前の流下速度が4.72 [m/s]で、11.89 [kg] (擁壁の巾1 [cm]あたり0.40 [kg])であった。衝突した雪は、斜面垂直方向に約30 [cm]飛び上がり(写真2-1)擁壁の前面に落下し堆雪した。一方、擁壁を斜面最後方に設置した場合(減勢工の無対策時で減勢効果の評価基準となるもの)では、衝突直前の流下速度が4.30 [m/s]で衝撃力が8.37 [kg] (単位巾あたりで0.28 [kg])となった。ここで、衝突速度の比率に対する衝撃力の比率をみると、速度が約0.9であるのに対して衝撃力は約0.7となり、衝撃力の低下率が高くなる傾向を示している。これは、流下する際に雪崩流が分散したり、空気抵抗等によるためと考えられる。

受圧板ごとの衝撃力は、堆積状況(写真2-2)に左右され凸の対称形となる傾向が一般的に多い(図2-4)。一方、擁壁を斜面の上方に設置した場合は、図2-3のように対称形にならない。これは、雪崩が流路内でローリングするためと考えられる。

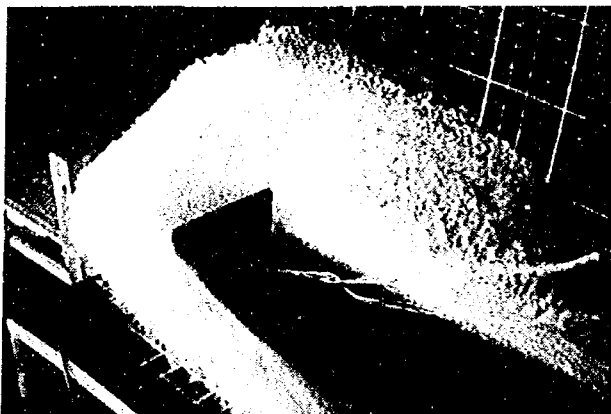


写真2-1 擁壁への衝突状況

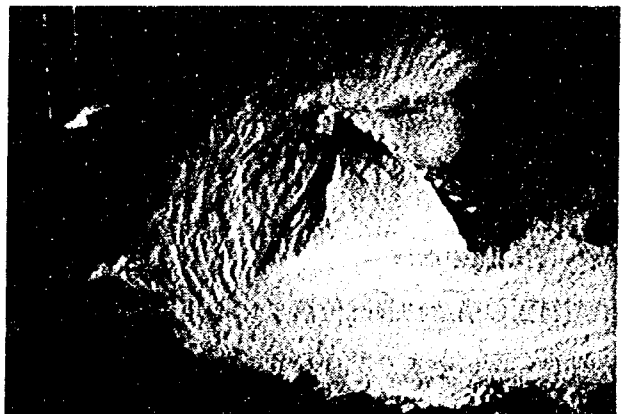


写真2-2 堆雪状況

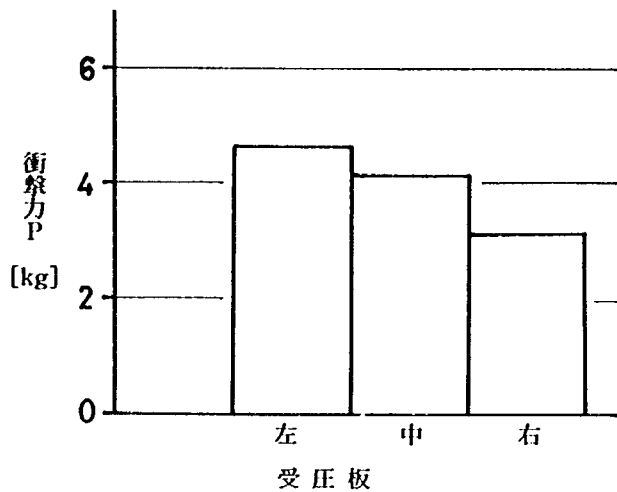


図2-3 擁壁の衝撃力 (流路下)

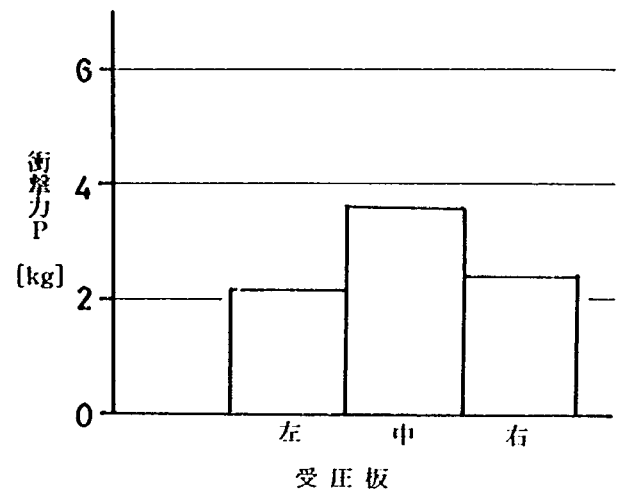


図2-4 擁壁の衝撃力 (斜面下方, 減勢工比較衝撃力)

2.2.2 単杭

単杭の衝撃力を受圧巾別および形状別にみたものが、表2-1・図2-5である(衝突状況:写真2-3・4)。これによると、各形状とも受圧巾に比例していることがわかる。そこで、各形状別の実験式を求めてみると以下のようなになる。

受圧板形状	1次回帰式	相関係数	データ数
四角形	$P=0.178D+0.103$	$R=0.958$	$N=12$
丸形	$P=0.124D+0.134$	$R=0.965$	$N=12$
三角形(頂角90°)	$P=0.134D+0.129$	$R=0.909$	$N=11$
三角形(頂角60°)	$P=0.081D+0.173$	$R=0.946$	$N=11$

P : 衝撃力 [kg] D : 受圧巾 [cm] ($2 \leq D \leq 6$)

以上の結果から、各形状とも衝撃力と受圧巾の相関関係が非常に高いことがわかった。また、以上の式から係数項を無視して四角形に対する各形状の衝撃力比を求めると、丸形が約0.70、三角形(頂角90°)が約0.75、三角形(頂角60°)が約0.45となった。したがって、三角形(頂角60°)の衝撃力は四角形に対して半分程度であることがわかった。

つぎに受圧巾別の衝撃力比をみたものが、図2-6である。これによると、丸形と三角形(頂角90°)はほぼ同様の値を示していることがわかる。一方、三角形(頂角60°)では、受圧巾が大きくなるほど衝撃力比は小さくなる傾向を示した。また、図から衝撃力比をみると、丸形が0.75~0.85、三角形(頂角90°)が0.75~0.90、三角形(頂角60°)が0.55~0.75となり、式から計算した結果と値は異なるがほぼ同様の傾向を示した。

単杭の形状別の分散(写真2-5~8)をみると、三角形(頂角90°・60°)は雪崩流を割って明確な分散を示しているが、四角形や丸形では三角形ほど明確な分散を示さなかった。これを分散角でみると、三角形の場合は10°~30°程度の範囲で、丸形・四角形の場合は8°~15°程度の範囲であった。また、受圧巾別の分散角をみると、四角形以外は受圧巾が大きくなるにしたがって分散角が小さくなる傾向を示した。

表2-1 単杭の衝撃力

受圧巾 [cm]	受 圧 板 形 状											
	四 角 形			丸 形			三 角 形 (頂角 90°)			三 角 形 (頂角 60°)		
	速 度 [m/s]	衝 撃 力 [kg]	分 散 角 [deg.]	速 度 [m/s]	衝 撃 力 [kg]	分 散 角 [deg.]	速 度 [m/s]	衝 撃 力 [kg]	分 散 角 [deg.]	速 度 [m/s]	衝 撃 力 [kg]	分 散 角 [deg.]
2	4.78	0.45	11	4.78	0.38	15	4.74	0.41	29	4.89	0.33	18
4	4.90	0.84	10	4.72	0.64	10	4.95	0.63	15	5.00	0.51	14
6	4.94	1.16	10	4.89	0.87	8	4.89	0.95	14	4.83	0.65	11

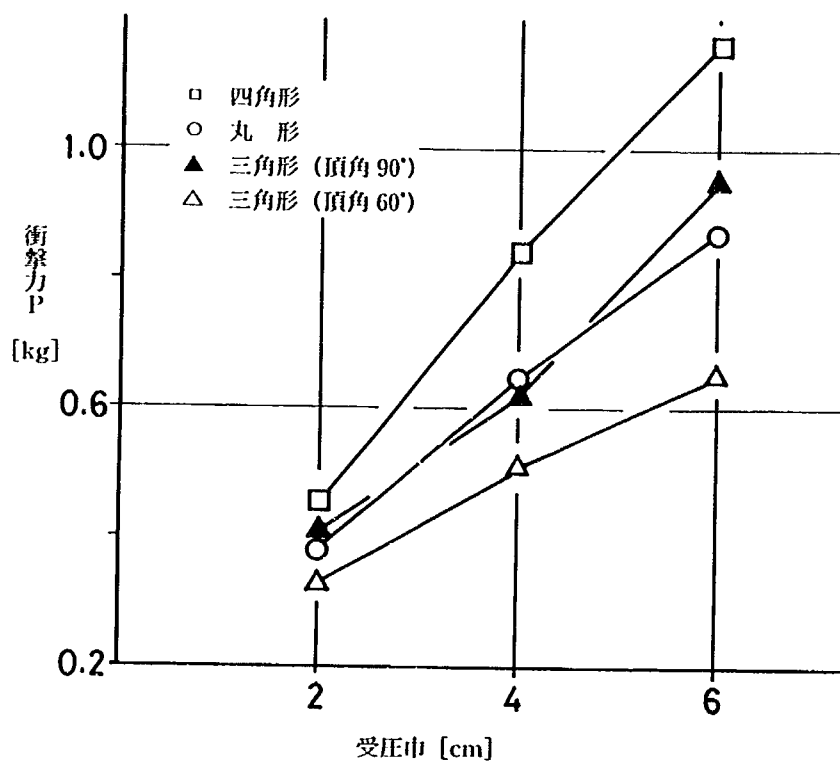


図2-5 単杭の受圧巾別衝撃力

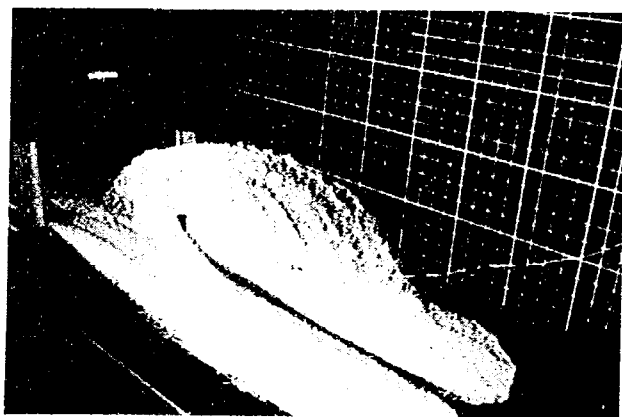


写真2-3 杭への衝突状況 (斜上から)

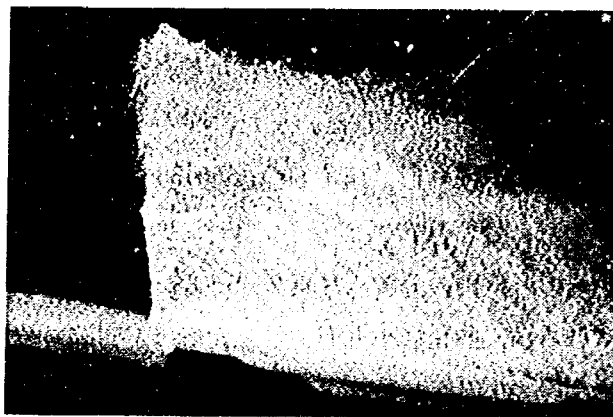


写真2-4 杭への衝突状況 (横から)

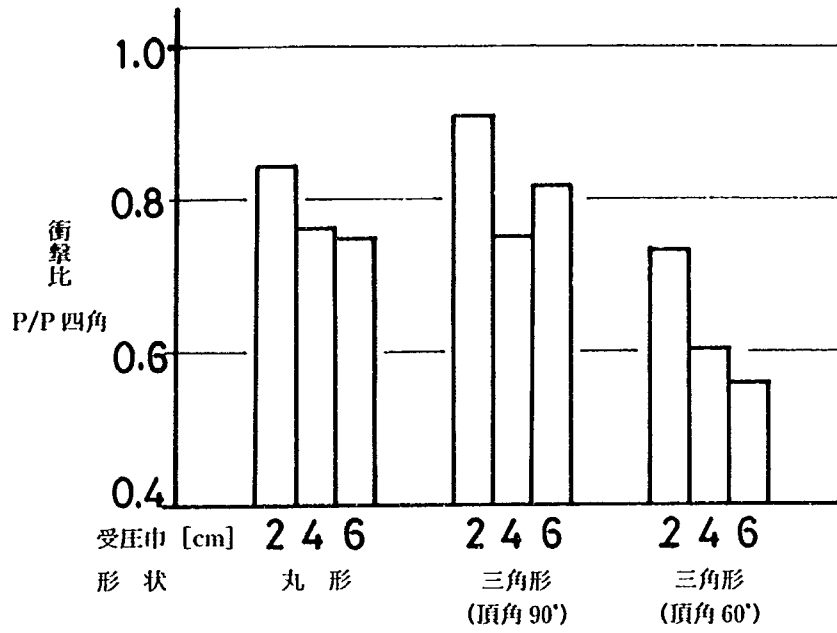


図 2-6 単杭の衝撃力比

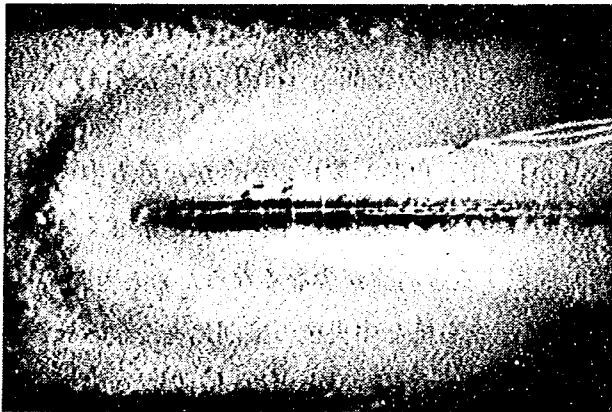


写真 2-5 杭による分散 (形状: 四角形)

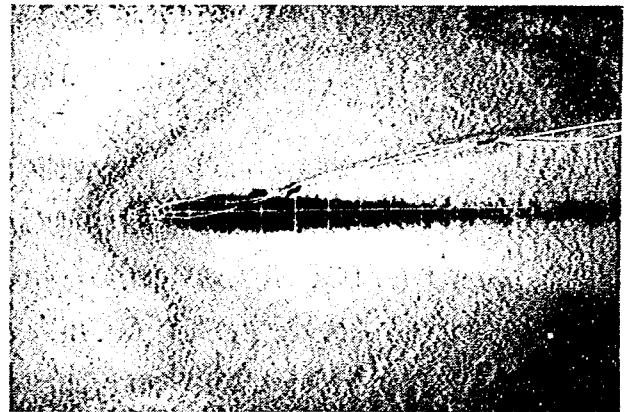


写真 2-6 杭による分散 (形状: 丸形)

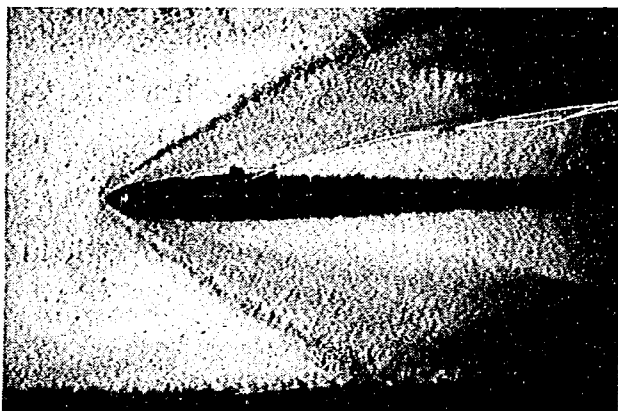


写真 2-7 杭による分散 (形状: 三角形 (頂角 90°))

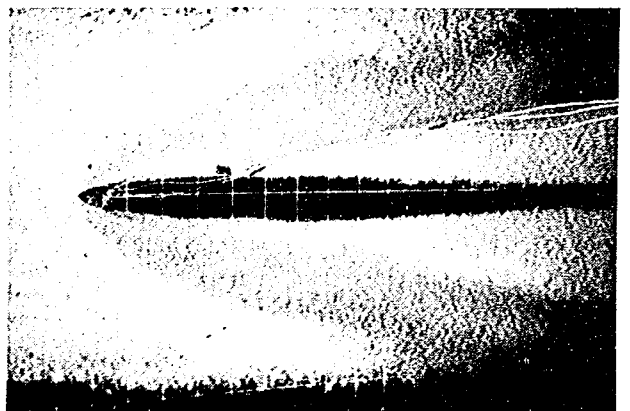


写真 2-8 杭による分散 (形状: 三角形 (頂角 60°))

2.2.3 複 杭

複杭の衝撃力特性を把握するために、上流側の2本の杭（以下左右杭という）にかかる衝撃力の平均値と下流側の1本の杭（以下中央杭という）にかかる衝撃力に着目して比較した。なお、配置条件等については1.4 実験条件を参照されたい。（写真2-9・10）

まず、左右杭と中央杭の縦間隔を一定 ($b=8.7$ [cm]) にした場合に左右杭の横間隔の変化にともなう衝撃力特性をみたのが、図2-7~10である。図中には参考のためにそれぞれの形状の単杭の実験結果を右端に書き入れてある。これによると、各形状とも左右杭の平均値は、単杭の実験結果と同様の値を示したが、横間隔を狭くしていくと増加する傾向を示した。これは、杭間隔を狭めた場合、杭の間に閉塞効果が表われるためと考えられる。つぎに中央杭についてみると、各形状とも横間隔が10 [cm] 付近を最大にした凸型の傾向を示した。そこで、この凸型の形状を2次式として実験式を求めてみると、以下のような結果になった。

受圧板形状	2次回帰式	相関係数	P 最大時 横間隔 [cm]
四角形	$P=(-1.11a^2+21.94a-39.51)/100$	$R=0.896$	$a_m=9.9$
丸形	$P=(-1.07a^2+20.70a-42.56)/100$	$R=0.942$	$a_m=9.7$
三角形（頂角90°）	$P=(-1.04a^2+22.11a-52.59)/100$	$R=0.980$	$a_m=10.6$
三角形（頂角60°）	$P=(-0.78a^2+16.53a-34.99)/100$	$R=0.955$	$a_m=10.6$

P : 衝撃力 [kg] a : 左右杭の横間隔 [cm] ($4 \leq a \leq 14$)

この結果から、今回の実験条件のもとでは横間隔が10 [cm]（正三角形配置）の場合が、最も中央杭にかかる衝撃力が大きいことがわかった。また、横間隔が4 [cm] になると極端に衝撃力の値が小さくなる傾向を示している。これは、前述の閉塞効果のため左右杭の間を通過する雪崩流が少なくなるためと考えられる。

図2-11~14は、左右杭を一定の間隔 ($a=10$ [cm]) にして、左右杭と中央杭の縦間隔を変化させたときの衝撃力を示したものである。この図の中で、 $b=0$ [cm] の場合は、左右杭と中央杭が一行に並んでいることを示している。左右杭の縦間隔別の衝撃力をみると、各形状とも8.7 [cm] より間隔が広い場合には、単杭の結果とほぼ同様の値を示し、中央杭等の影響が及んでいないことがわかる。しかし、6 [cm] 以下になると衝撃力が増加する傾向を示した。これは、縦間隔が小さくなったことにより、中央杭が左右杭の間に入る形になって杭間に閉塞効果が表われたものと考えられる。中央杭の衝撃力をみると、全体的に左右杭に比べて大きな衝撃力を受けている。また、左右杭と逆に縦間隔が小さくなると衝撃力が減少する傾向を示した。これは、縦間隔が小さいときは左右杭と同様に衝撃力を受けるが、縦間隔が大きくなると左右杭によって狭められた雪崩流を一手に受けるためと考えられる。したがって、今回の実験条件では、中央杭を左右杭と横一行に並べた状態から徐々に下流側に動かした場合、中央杭にかかる衝撃力は大きくなり、ある一定以上になると変化しなくなる傾向を示した。

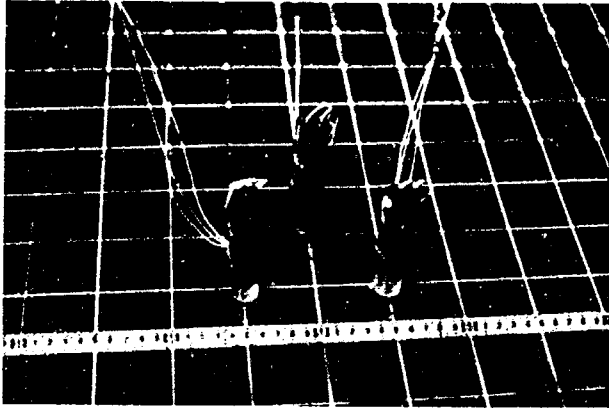


写真2-9 複杭の配置状況

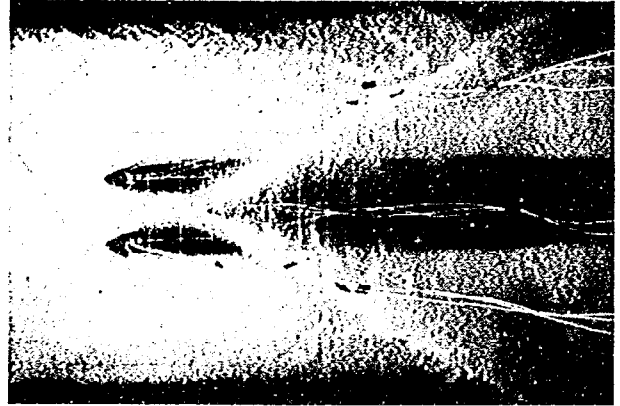


写真2-10 複杭への衝突状況(上から)

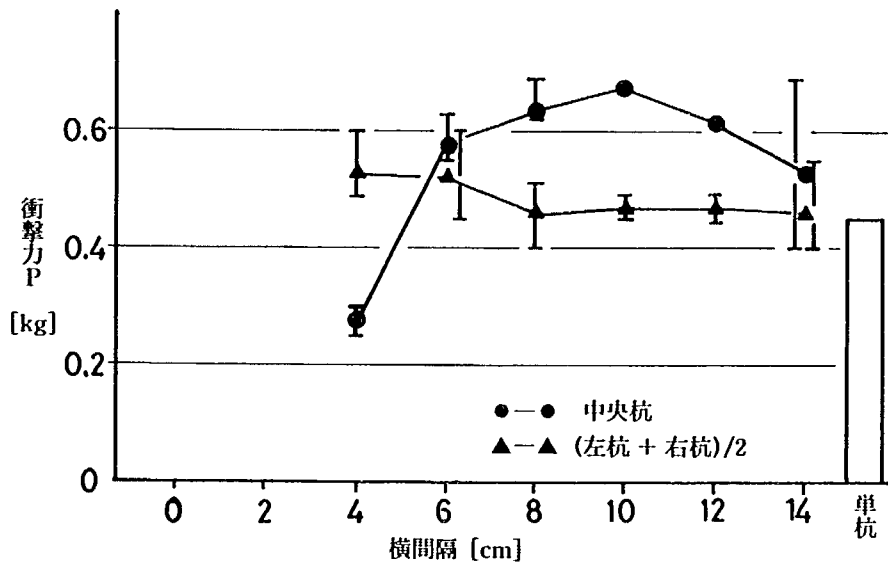


図2-7 複杭の横間隔別衝撃力(四角形)

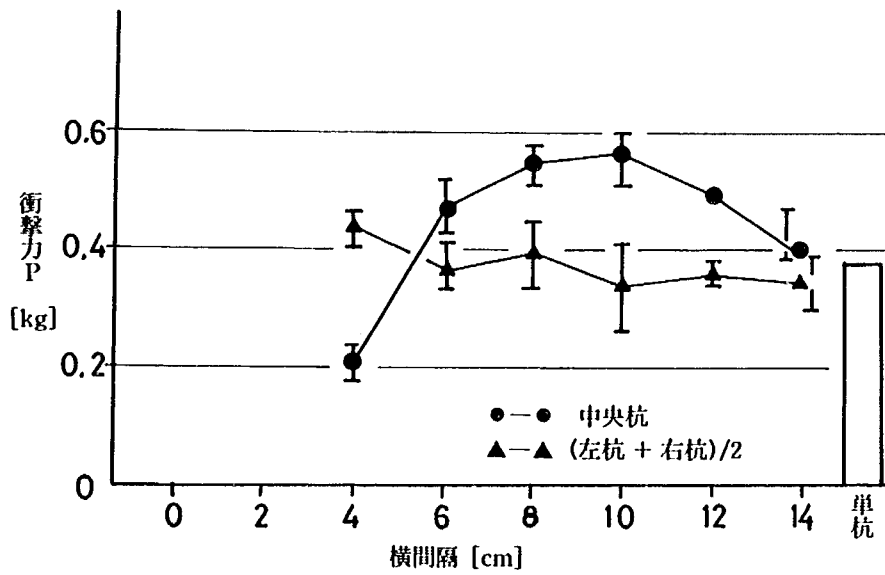


図2-8 複杭の横間隔別衝撃力(丸形)

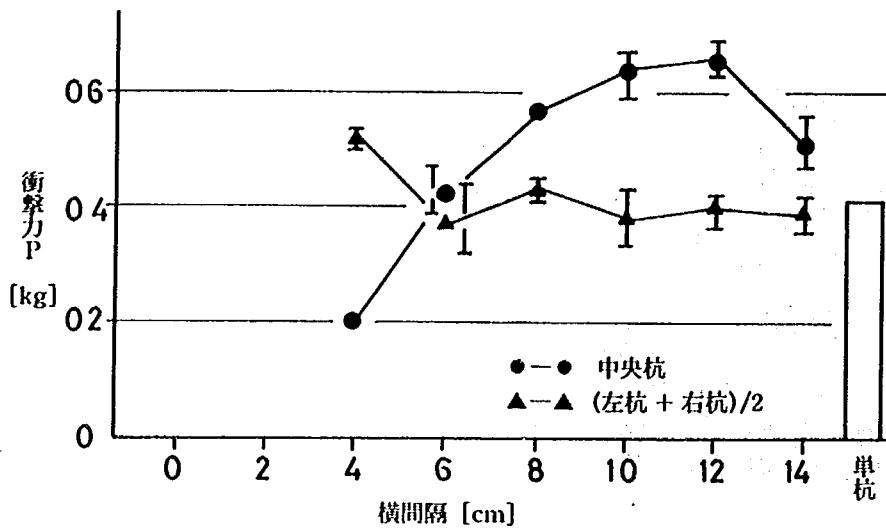


図 2-9 複杭の横間隔別衝撃力 (三角形 (頂角 90°))

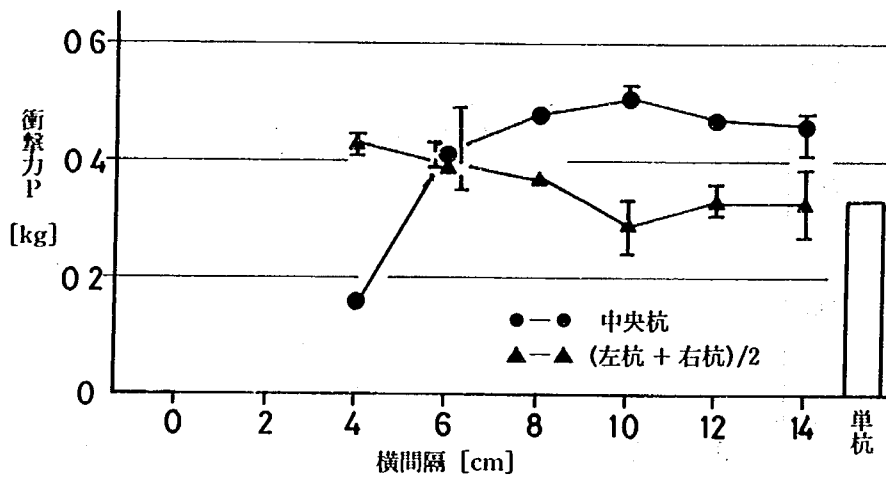


図 2-10 複杭の横間隔別衝撃力 (三角形 (頂角 60°))

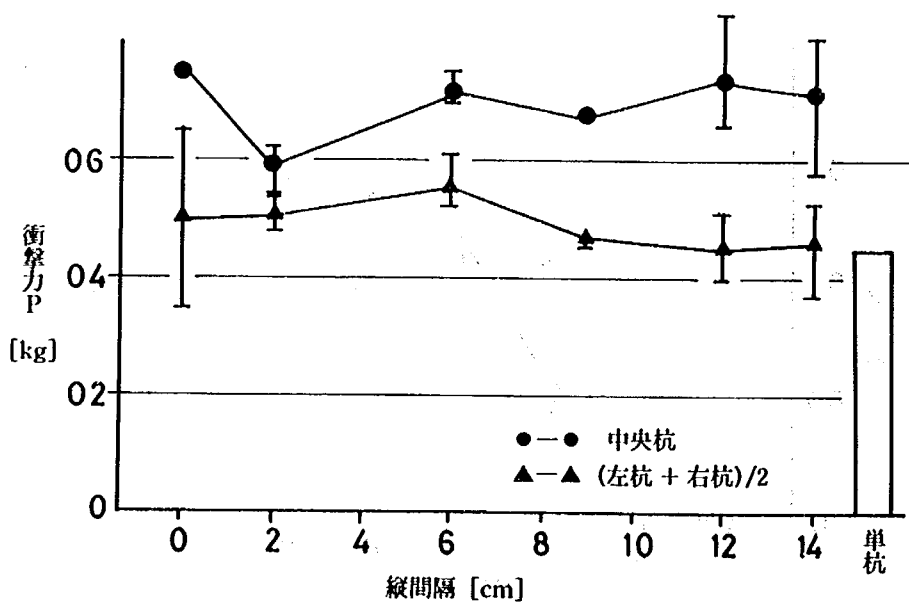


図 2-11 複杭の縦間隔別衝撃力 (四角形)

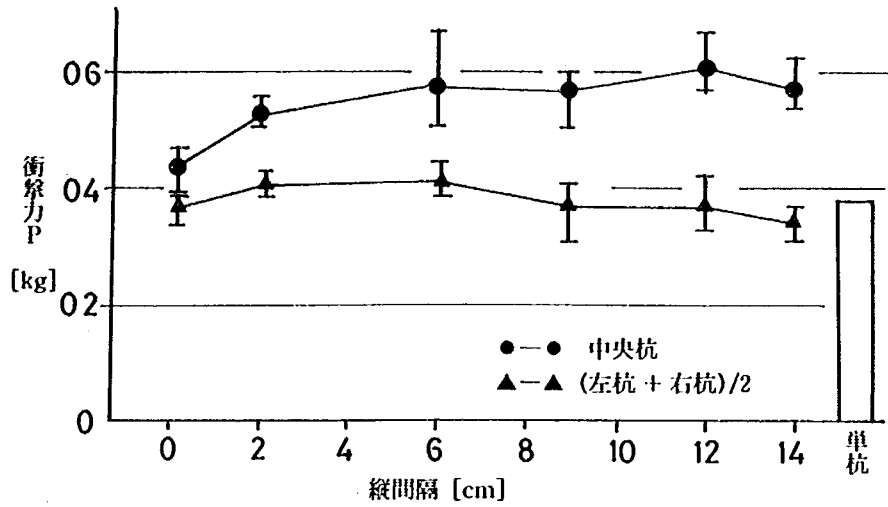


図 2-12 複杭の縦間隔別衝撃力 (丸形)

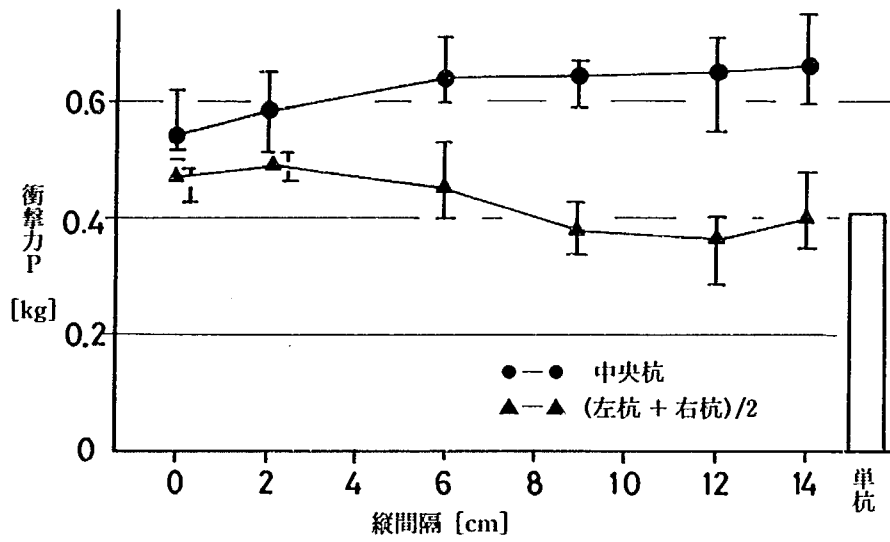


図 2-13 複杭の縦間隔別衝撃力 (三角形 (頂角 90°))

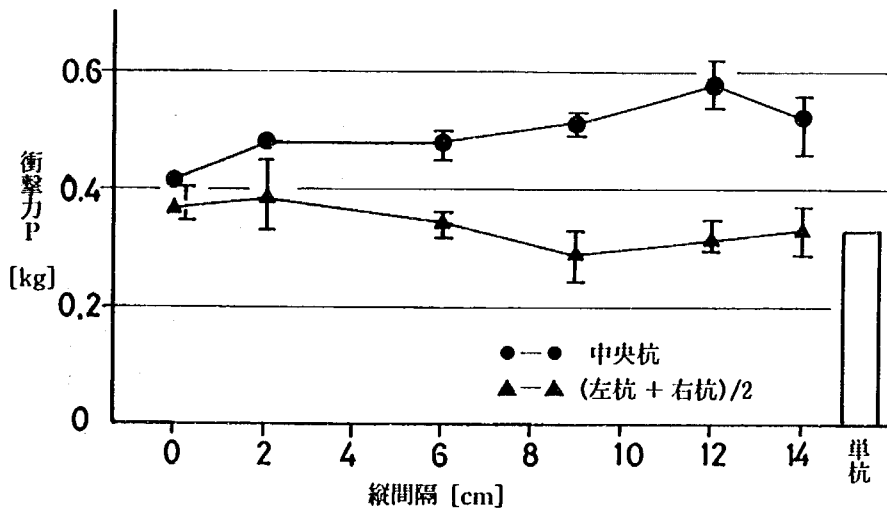


図 2-14 複杭の縦間隔別衝撃力 (三角形 (頂角 60°))

2.2.4 減勢工

減勢工（形状については1.2.2を参照）を設置した場合の衝撃力は、無対策時（平均8.37 [kg]・2.2.1参照）と比較すると極端に小さくなる傾向を示した（図2-15）。これは、減勢工を設置したことにより擁壁に衝突する際の雪の量が少なくなることや速度的なズレが生じるためと考えられる（衝突状況：写真2-11～19）。

1列の減勢工（防護柵と考えられる）の空隙率（雪崩流の透過面積率）と衝撃力について示したものが、図2-16である。これによると、空隙率の増加にともなって衝撃力が指数的に増加する傾向を示した。なお、今回の実験の模型では、縦杭の本数を同じにして横棒の本数を変えて空隙率を変化させている。したがって、横棒を多く配置すると減勢効果が高くなることを示していると考えられる。

3列・5列の減勢工についてみると（図2-15）、ハードル型とジャングルジム四角型がほぼ同様の値を示し、ジャングルジム三角型は極端に小さな値を示した。そこで雪崩流通過後の減勢工内の堆雪量をみたものが表2-2である。これによると、ジャングルジム三角型の堆雪量が多く、特に5列では流した量の半分以上が堆積している（写真2-20）。したがって、擁壁に衝突する雪の量が少なく、衝撃力も小さい値を示したものと考えられる。

図2-17は、減勢工の列数別の効果について示したものである。これによると、列数が増加すると擁壁の衝撃力は低くなる傾向を示したが、3列と5列では極端な差はみられなかった。これは、飛雪状況をみると雪崩流は3列までの間でほとんどが舞上がってしまうことから、4・5列目の効果が薄くなるためと考えられる。

減勢工による最大飛雪高についてみたものが、図2-18である。これによると、各減勢工とも50 [cm]程度となり、あまり差がみられなかった。つぎに、減勢工による最大飛雪距離についてみると（図2-19）、衝撃力（図2-15）と同様の傾向を示すことがわかった。そこで、最大飛雪距離と衝撃力についてみたものが、

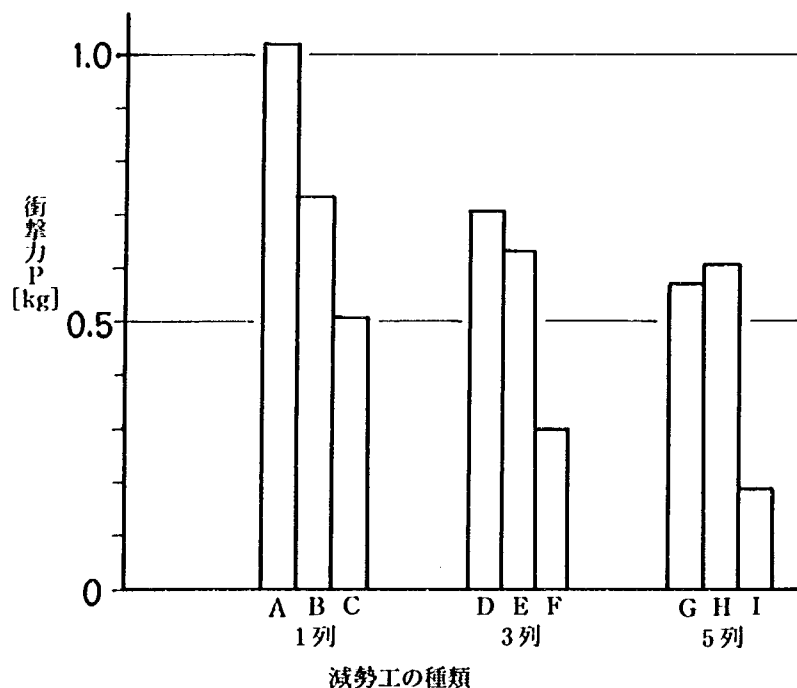


図2-15 減勢工の種類別衝撃力

図 2-20 である。これによると、今回の実験では飛雪高が同じであるため、飛雪距離と衝撃力はほぼ比例する傾向を示している。また、この図で左下の方になるほど減勢効果が高いことを示すが、ここではジャングルジム三角型の減勢効果が高いことがわかった。

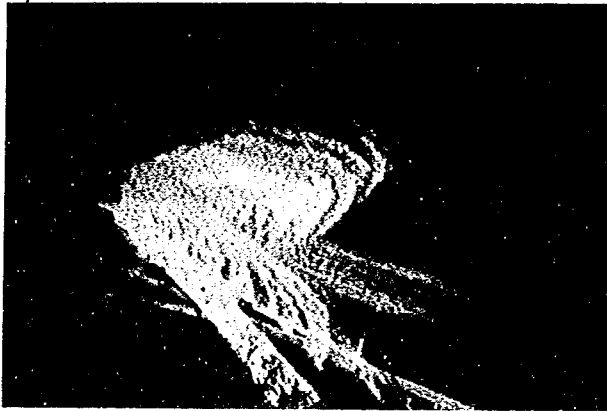


写真 2-11 減勢工 A への衝突状況 (1 列・柵型)

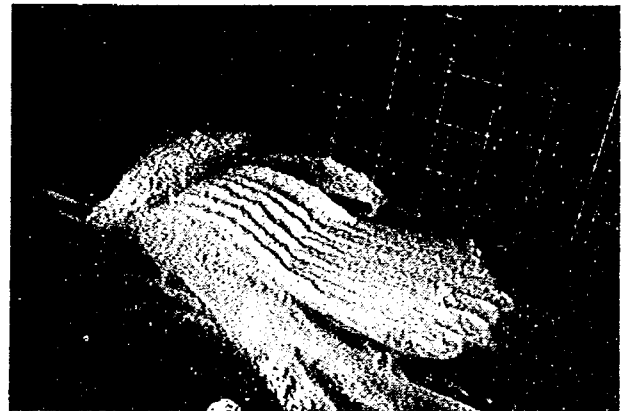


写真 2-12 減勢工 B への衝突状況 (1 列・柵型)



写真 2-13 減勢工 C への衝突状況 (1 列・柵型)



写真 2-14 減勢工 D への衝突状況 (3 列・ハードル型)

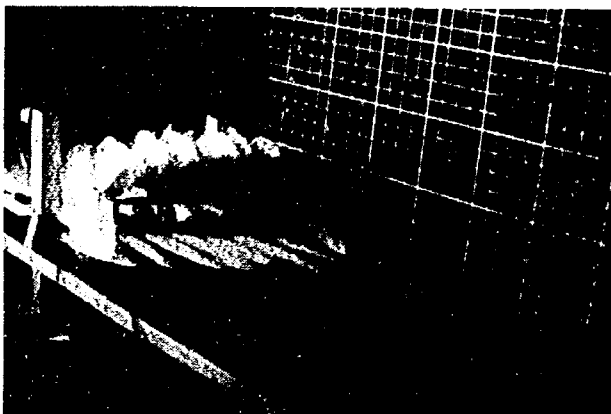


写真 2-15 減勢工 E への衝突状況 (3 列
・ジャングルジム四角型)

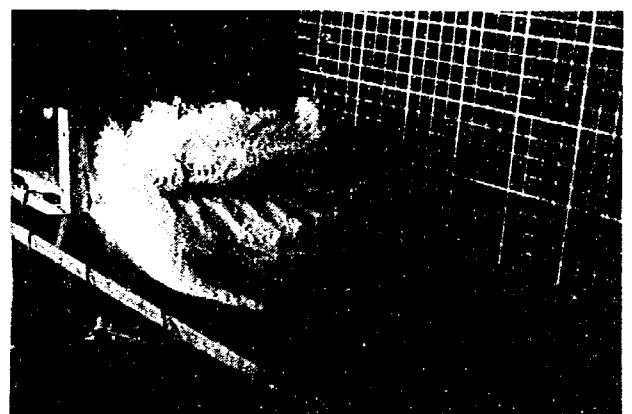


写真 2-16 減勢工 F への衝突状況 (3 列
・ジャングルジム三角型)

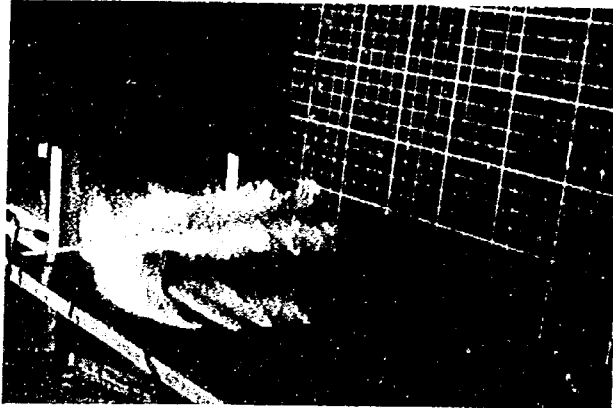


写真 2-17 減勢工 G への衝突状況
(5 列・ハードル型)

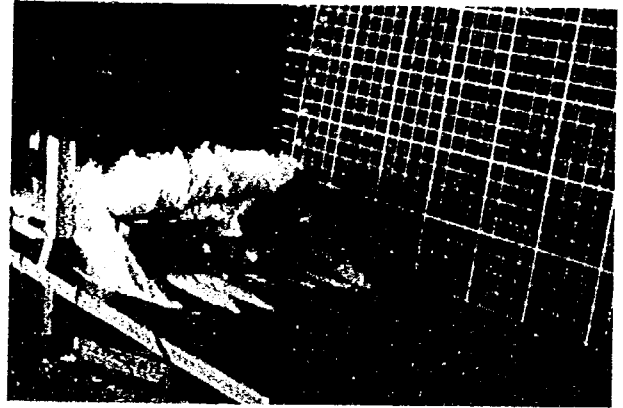


写真 2-18 減勢工 H への衝突状況 (5 列
・ジャングルジム四角型)

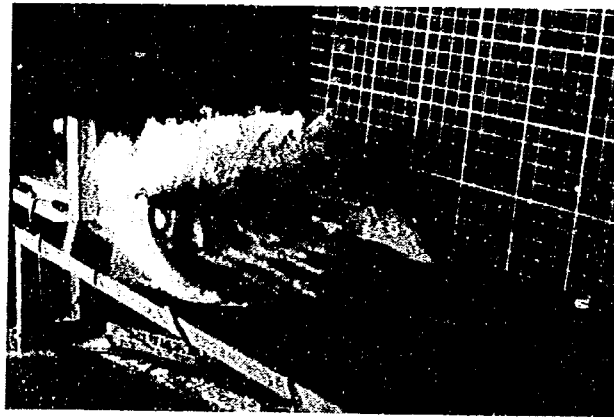


写真 2-19 減勢工 I への衝突状況 (5 列
・ジャングルジム三角型)

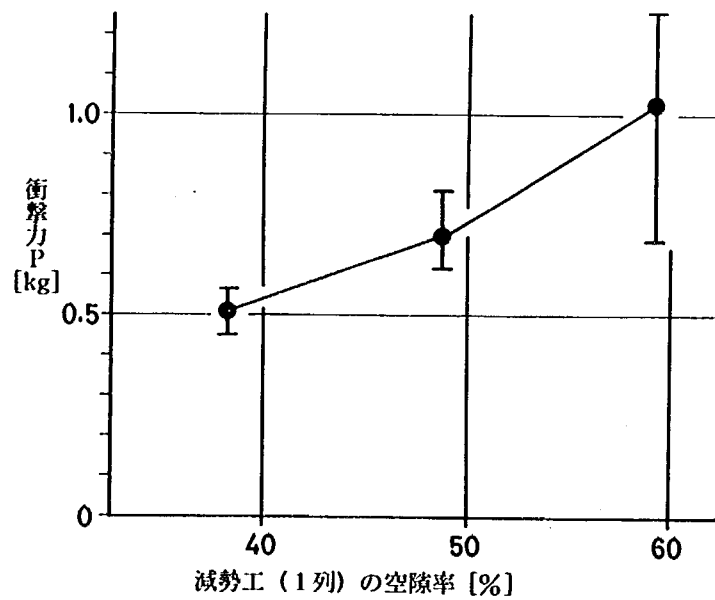


図 2-16 1 列減勢工 (柵) の空隙率と衝撃力

表2-2 減勢工内の堆雪量

減勢工記号		減勢工内堆雪量 [cm]	堆雪率 [%]
3 列	D	微量	0.0
	E	2,417	12.6
	F	3,389	17.7
5 列	G	2,016	10.5
	H	4,207	21.9
	I	11,467	59.7

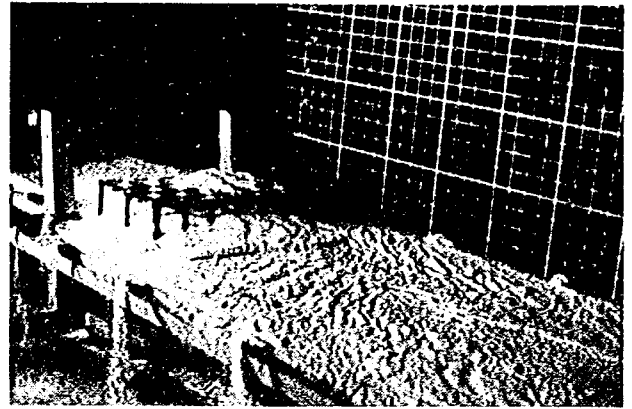


写真2-20 減勢工内の堆雪状況 (5列・ジャングルジム三角型)

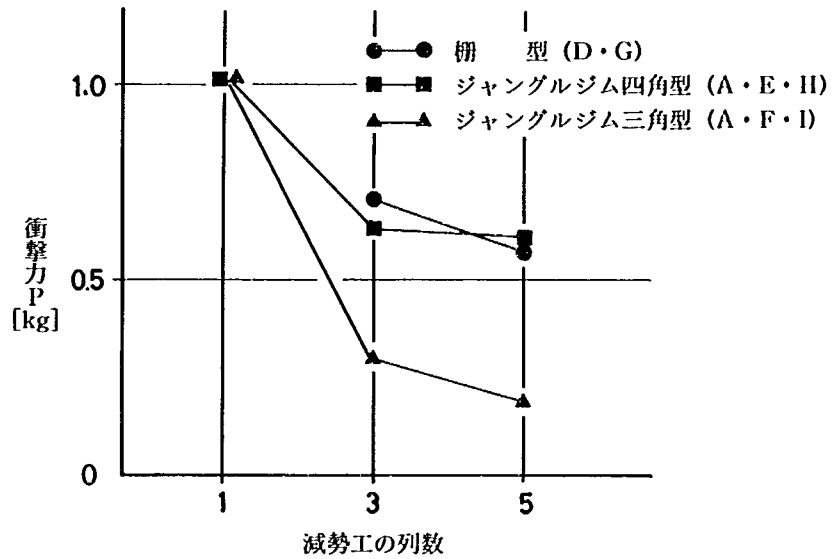


図2-17 減勢工の列数別効果

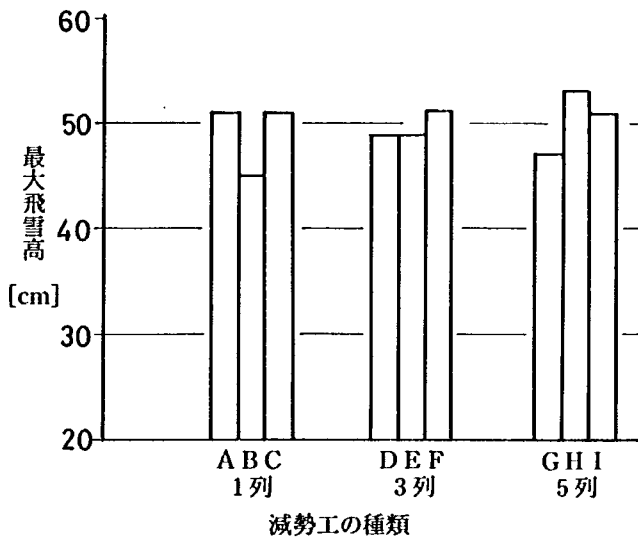


図2-18 減勢工による飛雪高

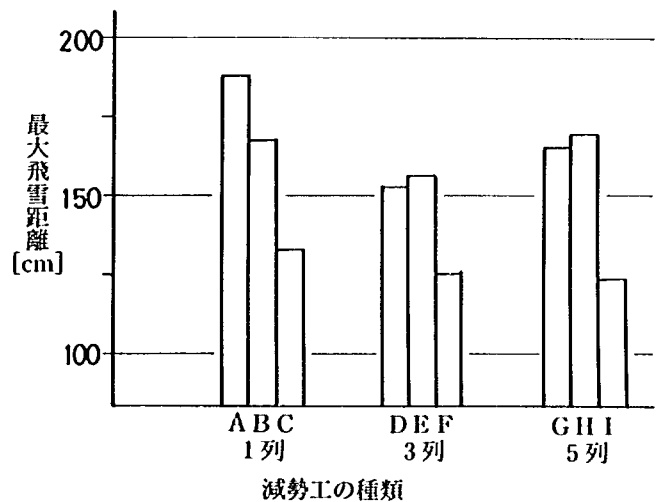


図2-19 減勢工による飛雪距離

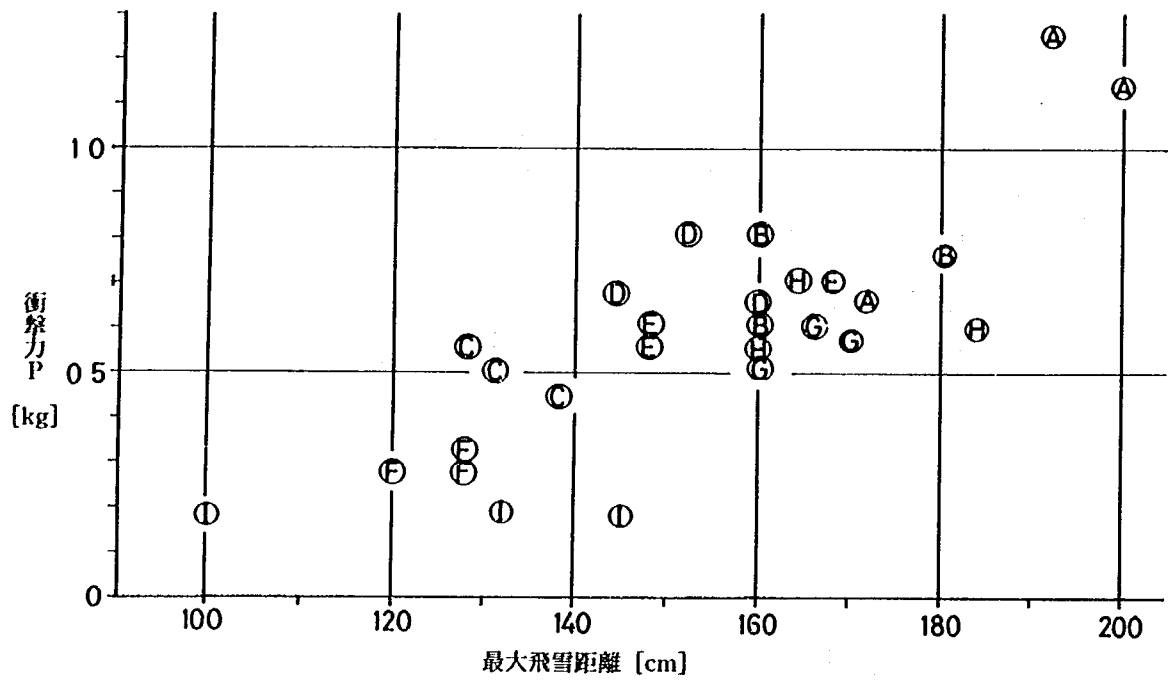


図 2-20 減勢工による飛雪距離と衝撃力

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。実験は模擬雪としての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、減勢工及び擁壁に作用した衝撃力は流体の衝撃力の式を用いて表わせること、三種類の減勢工模型を用いた実験ではジャングルジム三角型の減勢効果が高いこと等がわかった。

キーワード：雪崩、雪崩減勢工、雪崩減勢抗、雪崩衝撃力

郵便はがき

40円切手
をはいて
下さい

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

砂防部急傾斜地崩壊研究室
行

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第2468号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印

