



土 木 研 究 所 資 料

第 7 5 9 号

人工なだれ施工指針 (素案)

昭和 4 7 年 3 月

建 設 省 土 木 研 究 所

土木研究所資料
第七五九号
昭和四十七年三月
人工なだれ施工指針 (素案)

人工なだれ施工指針 (素案)

土研資料第759号
昭47年3月(1972)

著者名 新潟試験所

キーワード

要 旨 これは、積雪斜面のなだれ対策の一環として、自然なだれ発生以前に人力により危険地点に爆薬を装填し爆破される直接爆破法と、この危険地点に近よることなく遠方の安全地帯から爆薬(ロケット弾)を投射し爆破させる遠隔爆破法について過去の経験を基にその手法、作業方法等についての指針(素案)をまとめたものである。

はじめに

この資料は、建設省土木研究所、北陸地方建設局が、積雪地方のなだれ対策の一環として、昭和37年度から昭和46年度にわたって実施してきた人工なだれ実験結果を基に直接爆破法およびロケット弾による遠隔爆破法のなだれを発生させる手法について現場的、かつ、経験的な要素が多分にあるが、人工なだれ施工指針を素案としてとりまとめたものである。

なお、この素案をまとめるに当り、北陸地方建設局の協力を得たことを附記し、併せてここに感謝の意を表するものである。

昭和47年3月

新潟試験所

人工なだれ施工指針（案）

1. 総 則	2
1-1 目 的	2
1-2 なだれの定義	2
1-3 なだれの分類	2
2. 危険地点の調査	2
2-1 既存資料による調査	2
2-2 危険地点の確認	3
2-3 空中写真による調査	3
2-4 現地踏査による調査	4
3. 人工なだれ実施のための計画	7
3-1 なだれの起動方法	7
3-1-1 载荷法	7
3-1-2 起耕法	8
3-1-3 融雪法	8
3-1-4 振動法	8
3-2 発生の手法	8
3-2-1 直接爆破法	9
3-2-2 遠隔爆破法	9
3-3 諸施設に対する影響	13
3-3-1 管理、運用	13
3-4 実施時期の判断	14
3-4-1 積雪深、雪質、気象	14
3-4-2 他の斜面への影響の有無	15
3-5 事前、事後の留意事項	15
3-5-1 協議及び手続	15
3-5-2 除雪車の配置	16
3-5-3 交通止	16
4. 爆 破 作 業	17
4-1 一 般	17
4-1-1 雪積、積雪深	17
4-1-2 気 象	19
4-1-3 地 形	19
4-1-4 なだれの規模の想定	20

4-1-4-1	なだれ量	21
4-1-4-2	なだれ荷重	21
4-1-4-3	なだれの影響範囲	22
4-2	直接爆破法	22
4-2-1	装薬の基本方針	22
4-2-1-1	装薬位置の選定	22
4-2-1-2	面積、間隔、深さ	23
4-2-1-3	火薬の種類	24
4-2-2	装薬の作業	24
4-2-2-1	踏かため	25
4-2-2-2	削孔	27
4-2-2-3	火薬の組立て及び装薬	27
4-2-2-4	結線	28
4-2-3	爆破	29
4-2-3-1	安全の確認	29
4-2-3-2	爆破	30
4-2-3-3	なだれの確認	30
4-2-3-4	不発火薬の処理	31
4-3	遠隔爆破法	31
4-3-1	着弾位置の選定	31
4-3-2	発射位置の選定	31
4-3-3	距離測定	31
4-3-4	発射台の組立て及び据付	32
4-3-5	発車角度及び方向の決定	32
4-3-6	なだれ弾の組立て	34
4-3-7	安全確認	34
4-3-8	結線	34
4-3-9	発射	35
4-3-10	着弾位置と爆破の確認	36
4-3-11	不発弾の処理	36
4-3-12	なだれ発生の有無の確認	36
4-3-13	事後処理	36
5.	実施例	37
5-1	直接爆破法	37
5-2	遠隔爆破法	47

1. 総 則

人工なだれは、危険な斜面に積った雪を、安全、かつ経済的な方法で自然なだれが発生する以前に、人工的に取り除くものである。

1-1 目 的

積雪地域で、積雪斜面の下方に、道路やスキー場等の諸施設があり（なだれ発生斜面に完全な防雪施設がない場合）自然なだれの発生が予想される場合、人命及び財産を守るために、なだれ発生以前に人工なだれを発生させて危険を取り除くことと、なだれの危険を予知することを目的とする。

1-2 なだれの定義

斜面上に積った雪が重力の作用により、肉眼で識別し得るほどの速さで位置エネルギーを変更する自然現象を「なだれ」と定義している。

1-3 なだれの分類

1965年1月に公表した日本雪氷学会の新分類法によると表1-1-1の通りである。

表1-1-1 なだれの分類名称

		なだれ発生 の 形		
		点 発 生	面 発 生	
なだれ層の 雪 質	乾 雪	①点発生 乾雪表層なだれ	②面発生 乾雪表層なだれ	③面発生 乾雪全層なだれ
	湿 雪	④点発生 湿雪表層なだれ	⑤面発生 湿雪表層なだれ	⑥面発生 湿雪全層なだれ
		表 層		全 層
す べ り 面 の 位 置				

なだれの分類は、発生型式、運動型式、走路地形の3部分から構成されており、走路地形を除外して発生形式を雪の乾、湿、軟、硬に4分類し、運動形式を「煙り型」と「流れ型」とに2分類して公表している。

2 危険地点の調査

人工なだれの実施に先だって危険地点の調査をしなければならない。この調査方法としては、次のようなものがある。

- A 既存資料による調査
- B 危険地点の確認
- C 空中写真による調査
- D 現地踏査による調査

2-1 既存資料による調査

長年土地に住みついている年寄りに、昔からいい伝えられている「なだれ」の発生個所や、面

積、積雪深等の規模を聞き調査する。

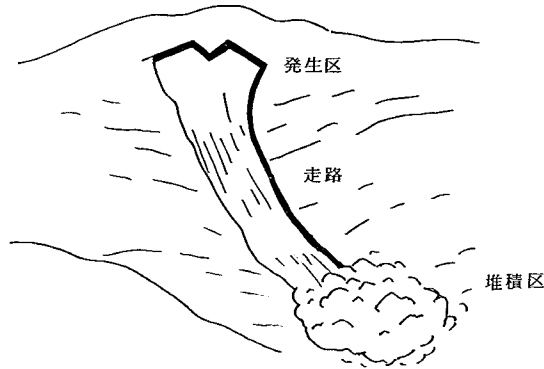
また、直接「なだれ」に遭遇した人の体験を聞き、資料の一部とする。

土地の人達から資料が取れにくい場合、近くのお寺の過去帳より資料が得られることもある。

既存空中写真（各省庁、又は地方自治体で撮影したもの）地形図などから基礎資料の整理を行なう。

2-2 危険地点の確認

道路やスキー場、建造物等の施設が直接なだれに逢った場合、現地へ赴き、斜面の「なだれ」発生区、走路推積区等の調査確認をする。



図一 2-1 典型的ななだれ跡

留意事項

気象、積雪状況、地形、植生、斜面勾配、堆積区の規模（長さ・巾・高さ）履歴簿の記録を写真及び図面として残して後日の資料とする。

2-3 空中写真による調査

A 平面写真による調査

固定翼機（飛行機）またはヘリコプターにより空中写真（ $S=1/5,000\sim 1/20,000$ ）を広範囲にわたり撮影し、積雪深、なだれ、融雪状況、災害現象等を調査する。現在、この方法は比較的高い精度で記録することが可能で空中写真と地形図による解析が容易に出来るようになった。

B 斜め写真による調査

ヘリコプターにより、斜面へ接近し、スチールカメラでなだれ発生箇所や峰の雪庇を撮影し、資料を集める調査で平面写真で撮れない部分を補足するものである。

空中写真による調査は撮影時点で地表面の全容を短時間で記録することが出来、広範囲を調査することに適している。

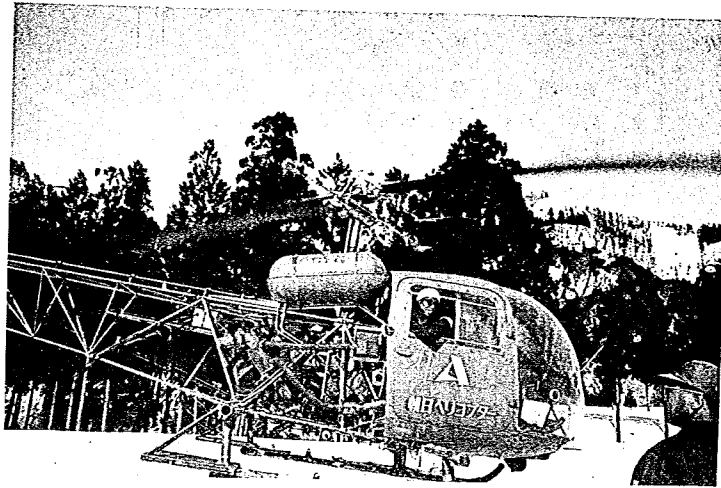


写真-1-1 ヘリコプターによるなだれパトロール



写真-1-2 ヘリコプターより撮影した斜め写真

しかも「なだれ」発生時には、時点を変えて撮影することにより状況の変化を詳細に記録することが出来るので、なだれ調査には最も適した方法である。

2-4 現地踏査による調査

なだれ発生個所に直接接近して調査する方法で、精度が一番高いが、その反面調査員及び作業員の危険度も伴ってくる。

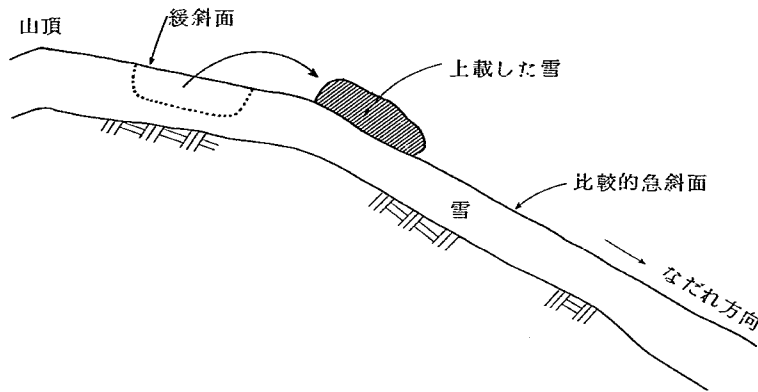
表-2-1 調査項目の内容

項 目	内 容 お よ び 説 明																								
① 気 象 気象一般	1. 天 候 (晴、曇、雨の日別) 2. 降雪、降雨 (日 時間) 3. 風向、風速 4. 気温、湿度 5. 気圧 1～5の過去の資料をできるだけとりまとめる。																								
② 積雪状況 Ⅰ) 表面状況 Ⅱ) 内部状況	1. 積雪深 2. 雪 質……積雪表面の雪質 ぬれ、かわきの別 新雪、こしまり、ざらめの別 (小ざらめ：f、中ざらめ：m、大ざらめ：c) 3. 表面の状況……雪庇、吹溜り、割れ目、雪しわ 1. 積雪深の測定……積雪断面をボールまたは折尺で測定する。また雪層ごと に粒径の大小、乾湿の具合、しまり具合、氷層の有無など 2. 密度測定……断面を降雪層ごとにはかりにかけ比重測定を行なう。 3. 硬度測定……雪層ごとに測定する。 硬度の表示																								
	<table border="1" data-bbox="425 852 1214 1119"> <thead> <tr> <th>表示数</th> <th>硬さの表示</th> <th></th> <th>抗せん力(kg/m^2)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>非常にやわらかい</td> <td>手袋をはめたこぶしを容易に雪の中に押し込むことができ横に動かすことができる。</td> <td>0～10</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>やわらかい</td> <td>手をひろげ、指をのばして軽く突込むことができる。</td> <td>5～100</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>ややかたい</td> <td>1本指なら突込める。</td> <td>50～150</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>硬 い</td> <td>とがった鉛筆なら突きさせる。</td> <td>100～300</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>非常に硬い</td> <td>ナイフの刃でなければ突きさせない。</td> <td>300～500</td> </tr> </tbody> </table>	表示数	硬さの表示		抗せん力(kg/m^2)	1	非常にやわらかい	手袋をはめたこぶしを容易に雪の中に押し込むことができ横に動かすことができる。	0～10	2	やわらかい	手をひろげ、指をのばして軽く突込むことができる。	5～100	3	ややかたい	1本指なら突込める。	50～150	4	硬 い	とがった鉛筆なら突きさせる。	100～300	5	非常に硬い	ナイフの刃でなければ突きさせない。	300～500
表示数	硬さの表示		抗せん力(kg/m^2)																						
1	非常にやわらかい	手袋をはめたこぶしを容易に雪の中に押し込むことができ横に動かすことができる。	0～10																						
2	やわらかい	手をひろげ、指をのばして軽く突込むことができる。	5～100																						
3	ややかたい	1本指なら突込める。	50～150																						
4	硬 い	とがった鉛筆なら突きさせる。	100～300																						
5	非常に硬い	ナイフの刃でなければ突きさせない。	300～500																						
③ 地 形	4. 抗せん力測定……雪層ごとに測定する。 1. 斜面および走路状況……斜面の平面および断面図、無雪時および積雪時の写真 2. 斜面の成因分類……氷蝕、雪蝕、水蝕、崩蝕、地亡、崖錐、法面について 3. 斜面の方位 4. 斜面の傾斜 5. 斜面の長さ 6. 斜面の面積 7. 稜線の断面形……断面図 (主として雪庇の形成の特性を把握し設備計画に利用する) 8. 斜面形態……(1)等高線の形 (2)縦断面の形……凹形、凸形、平坦およびその複合形 (3)流域展開図 (矩形・扇形・逆扇形) 9. 斜面の凹凸……同上の凹凸程度 (大、中、小) 10. その他……発生区域、走路、堆積区																								
④ 地 表	1. 地質分類……岩盤、岩塊、礫、砂、粘土 2. 岩質の分類……砂岩、頁岩、安山岩、かこう岩、雲母片岩など 3. 岩 相……色、硬度、風化状態など 4. 構造、割れ目……断層、破砕帯、節理、剝理、層理、片理などの発達状況、 方向、規模																								

項 目	内 容 お よ び 説 明
⑤ 植 生	5. その他……その他上記以外の項目 1. 植生の分類 1) 裸 地……岩石地、崩壊地の別 2) 草 地……カヤ、ササ、雑草の別 3) 灌 木 4) 幼令林……樹高4m以下 5) 森 林……樹高4m以上 2. 植生の疎密度 疎(40%以下) 中(40~70%) 密(70%以上)
⑥ なだれの履歴	1. 発生ひん度(回/年) 2. 最近の発生状況 (1) 年月日 (2)、気 象 (3) 積 雪 (4) 誘 因……雪庇崩落、冠雪落下、降雨、気温上昇および下降、列車振動、地震、暴風など (5) 型……表層なだれ、全層なだれの別 (6) 規 模……発生区の面積、走路状況、堆積状況、堆積区の状況(長さ・幅高さ・量・写真) (7) 被害状況……写真
⑦ 吹 溜 り	1. 発生位置 2. 発生延長、高、幅、量 3. 原 因……渦流、減速、障害物など 4. 障害の状況……交通障害、除雪障害状況など 5. その他
⑧ 雪 庇	1. 発生位置 2. 発生延長 3. 崩落によるなだれ発生の可否 4. 規模 5. その他
⑨ 防 雪 施 設	1. 種 類……柵、杭、階段、擁壁、スノーシェッド 2. 数 量……上記の延長、数量 3. 施工年月日 4. 効果状況……安定、埋没、延長不足、高さ不足、やや破損等の状況 5. その他……隣接斜面設備との関連、その他

また、作業範囲が小さくなって広範囲のなだれの調査にはパーティ数を多く編成しなければならないため費用の面でもコスト高となり、不経済である。

図一 3-2



3-1-2 起耕法

これは、斜面積雪の内部摩擦角、および粘着力を減少させるため積雪を起耕し弛める方法である。このためには、弱装薬爆破を広範囲に行なうとともに段発式も考慮し下段を最初に爆破させ100分の2秒程度の時間差で上段を爆破させる方法も一つの手段である。

3-1-3 融雪

この方法は、斜面積雪の下層を加熱融解させることによって、積雪底面のせん断強度を低下させるものであるがまだ実施例がない

3-1-4 振動法

斜面の積雪に比較的大きな加速度を与える方法で、地震によって自然なだれが発生することからも可能性があり、人工的には爆破の振動が利用できる。

3-2 発生の手法

人工的なだれを発生させる手段としては、人力によるもの、地震等の震動、あるいは爆薬を使用するもの等がある。これらの中でも比較的発生させる確率が高く安全度の高いものとしては爆薬を使用する方法で、これ以外の方法としては、不意に発生するものとか、発生する確率が少ないものが多い。

この爆薬を使用するものには、人力により危険な積雪斜面の山頂(雪庇部分)付近に火薬を装填し処理する直接爆破法と、この危険な斜面に近づくことなく遠方の安全な場所からなだれの発生地点に爆薬を投射し処理する遠隔爆破法とがある。

前者は、広範囲にわたる雪質に適し火薬の増減によりなだれを落とす確率は非常に高い。

一方、後者は、同じ爆薬を使用するが、薬量が少ないことと、その目的からして、なだれ斜面の安全か否かの確認あるいは、非常に危険な斜面で人が近づきたくないような場所に使用される。この方法は、わが国では、初の試みで、昭和41年に始められ昭和46年に完成したものであるが、すでに、諸外国(スイス、カナダ等)では、この遠隔爆破法が主体で、軍隊、民間人等により実際のハイウェイ等で実用化されている。

3-2-1 直接爆破法

(1) 一般

③ 適用範囲

この方法は、比較的安定した斜面の発生方法として、爆破方式によって行なうものが、現在多く用いられている。しかも爆破法による作業は、比較的広範囲の雪質状態に適し、確実性に富むが、経済性、装填作業などともなう危険性などから今後十分に検討する必要がある。

直接爆破法により人工なだれを発生させるには、次の二通りの方法がある。

- ① 雪庇背面に装薬し、爆破によって雪庇を崩落せしめ、なだれを誘起する。
- ② 斜面積雪に多量の爆薬を装填し、爆破によって積雪層を浮上げ、なだれを誘起する。

④ 直接爆破法の得失

遠隔爆破法に比較し、直接爆破法の得失は次の通りである。

長 所

- ① 積雪深があればある程、その効果は大きく確実になだれを発生させることが出来る。
- ② 斜面が長く、しかも標高が山裾と格差がある尾根の雪庇を少数の作業員で確実に爆破することが出来る。
- ③ 狭い部分での作業（斜面カット部分の道路法面の雪壁）でも確実になだれを発生させることが出来る。
- ④ 遠隔爆破法では、斜面の目標に向かって弾立発射しても、確実に命中することがむずかしいが、直接爆破法ではその点心配がない。

短 所

- ① 天候（ガス、吹雪、雨等）が悪い時、または雪質が不安定な場合には、危険がともなうので斜面に入って作業が出来ない。
- ② 作業時間が、かゝり過ぎるので、作業中に天候が急変すると、作業を中止しなければならない。
- ③ 遠隔爆破法に比較して、一回に使用する火薬量が多いので高価である。

3-2-2 遠隔爆破法

(1) 一般

③ 適用範囲

この方法は前節で述べた通り、危険ななだれ斜面に近づくことなく、遠方の安全な場所から少量の爆薬を投射し、当該積雪斜面のなだれ発生危険の有無を判定するためのものである。したがって、直接爆破法のように多量の爆薬を使用し100%近く落とすことを目的としたものではない。

- ① 雪質が急変、あるいは、積雪深が増大し、このなだれ斜面に人が近寄ることが非常に危険である場合。

② 道路の沿線に多数のなだれ斜面を有し、早急にこれを処理する必要がある場合。
等のような場合にはこの遠隔爆破法が適用される。

① 遠隔爆破法の得失

直接爆破法に比較し、遠隔爆破法の得失は次の通りである。

長 所

- ① 非常に危険な斜面、あるいは雪庇でも近づくことなく爆破作業が行なえる。
- ② 作業は、平地で行なうため 安全、かつ容易にできる。
- ③ 短時間で、なだれ発生危険の有無を調べることができる。
- ④ 一回当りの爆薬量は少量ですむ。
- ⑤ 天候に関係なく、周囲の安全が確認できれば爆破作業が行なえる。

短 所

- ① 遠隔爆破法の目的からして発生させる確率は少ない。
- ② なだれ弾は少薬量の割に高価である。

(2) なだれ弾の概要

ここで紹介するロケット方式によるなだれ弾は、昭和41年度から建設省土木研究所が遠隔爆破によるなだれ管理の一手法として開発したものである。

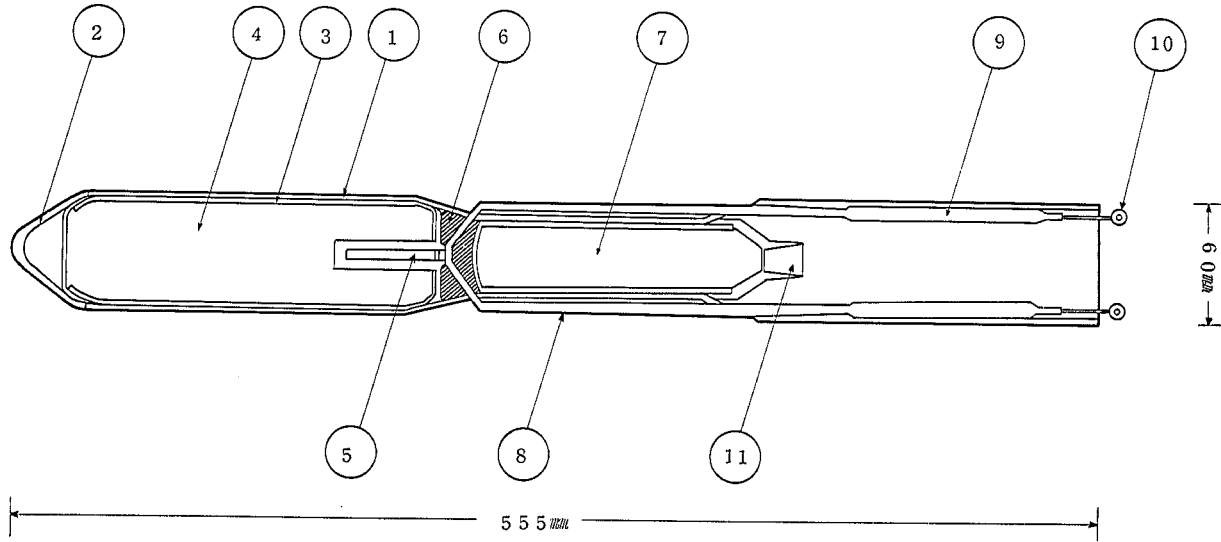
① 構 造

〔なだれ弾〕



写真—3—1 なだれ弾

図-3-3 なだれ弾



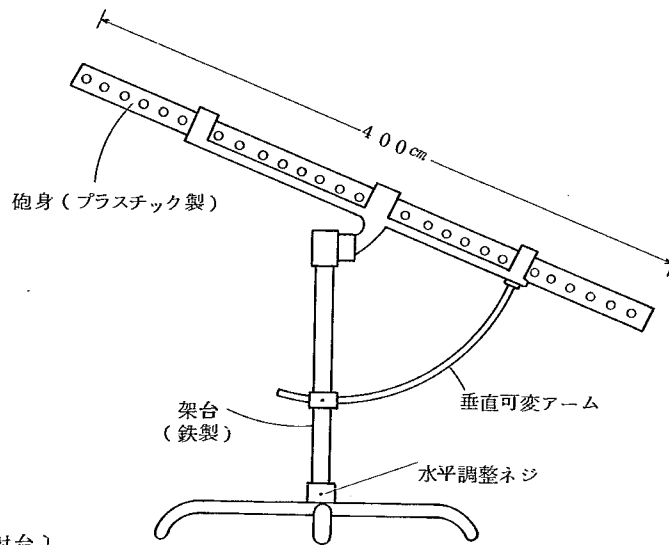
品番	品名	材質規格	品番	品名	材質規格
1	外被	ポリプロピレン	7	エンジン	
2	キャップ	"	8	導火線	
3	爆薬容器	"	9	着火器	
4	爆薬	カーリット	10	引抜線	
5	雷管	8管	11	イグナイター	
6		樹脂			

図-3-3および写真-3-1に示すように、これを大きく分類すると、なだれ弾本体（ポリプロピレン）、爆薬（カーリット系）、エンジン（イグナイター・推進薬）、着火装置（着火器・導火線・雷管）からなっており、それぞれの仕様は表-3-1の通りである。

表-3-1 なだれ弾の主要諸元

品名		材質	備考
なだれ弾外被		ポリプロピレン	
爆薬		カーリット系	500g
エンジン	イグナイター	点火玉（DDND）	6g
	推進薬	過塩素酸アンモン（主成分）	60g
着火装置	着火器		使用数量 2ヶ
	導火線	第二種 燃速70sec/m	" 2本
	雷管	工業8号雷管	" 2ヶ

図-3-4 発射台



発射台は、なだれ弾の方向性を良くするもので、図-3-4に示すように4mの砲身（FRP材）からなっており、これを支える架台も持運びが簡単に組立て、かつ容易にできるよう分解できる構造とし、その個々の重量も25kg以内と定められている。

なお、今後集中的ななだれ管理を行なう場合、常時固定されたものから、トラックあるいは、トレーラー等に固定し単発でなく、連発で投射するような発射台の製作は現在の応用で十分可能である。

⑨ 発射機構

発射台の砲身に納められたなだれ弾は、発破器によって、イグナイター⑩に点火しエンジン⑦に着火され発射する。この際、砲身に固定された引抜線で着火器⑨が発火し導火線⑧に点火され飛んで行く。この導火線は発射後、約20秒でセットされているため、だいたい目標地点の積雪あるいは雪庇に貫入してから雷管⑤が破裂し、爆薬④が爆破する構造である。なお、外被①の飛散する範囲は過去の実験データから積雪表面においた場合、半径約20m以内とされ、雪中深く(2m以上)貫入した場合は、ほとんど表面にでることはない。

④ 性能

このなだれ弾の主要性能は次の通りである。

なお、これについては、数回の実験結果(実施例参考のこと)からその性能は実証されている。

飛翔距離 (初速100m/s の場合)	1,000m±10m(水平距離) ✳エンジンの推進薬を増減することにより飛距離も300m～1,500m の範囲に調整可能
命中精度	1,000mに対し半径±20m以内(無風状態とする)
貫入深	積雪表面より1～2m(密度0.3の場合)
飛翔性	良
延時々間 (導火線の燃焼時間)	20秒±1秒

3-3 諸施設に対する影響

なだれを発生させようとする斜面の近く(なだれの影響範囲)には、家屋、送電線、橋等の構造物が存在する場合は往々にしてある。

これらは、なだれの規模により破壊、転倒等の事故が発生する場合も考えられる。このため、これらの施設が安全か否かを十分に検討するとともに、できるだけ諸施設になだれの直撃が受けないようにすることが必要である。

3-3-1 管理・運用

A 管理

なだれ発生が予測できる危険斜面の下にある諸施設に対しては、斜面の植生、斜面勾配等無雪時に調査して、防雪施設を設置し、有雪時の安全をはかる。また、異状に積雪が多くなった場合は、パトロール(現地踏査およびヘリコプター等)によって、雪質調査をし危険度を調べる。

B 運用

Aの管理において、調査した斜面の危険度によって、人工なだれを発生させても、なだれが直接に被害を及ぼさないことが判明すれば、自然なだれが発生する前に実施すべきである。もし、人工なだれを発生させた場合、なだれが施設を直撃すると思われる時には、誘導雪堤を作り、なだれの方向を変えろとか、小規模なだれを発生させて危険を取り除く

ようにする。

3-4 実施時期の判断

前にも述べたように、なだれの発生時期は、気象条件等により時間とともに変わる。このためなだれの発生時間を正確に知ることは不可能であり、過去数十回の実験を実施してきた経験からしても明確な解答が得られていない。このため、実施時期を決定することは非常に難しく、実際に実施しても失敗することもある。思わぬ大きななだれを発生させることもある。

しかしながら、なだれの発生しそうな時期は、なだれ斜面の雪庇、クラックの発達状況（写真一3-2参照）、あるいは、降雪量の増大、外気温が急上昇するような場合などから、だいたい予測できるものである。

もし、どうしても実施時期の判断に戸惑う場合には、導火線による爆薬（300g程度）を危険な斜面に投げ込むとか、なだれ制御弾を使用して安定しているか、否かを調べるのも一つの方法である。



写真一3-2 クラックの発達状況

（なだれが発生した数時間前の状況）

3-4-1 降雪深・雪質・気象

一般になだれが発生する場合は、斜面の積雪量が増大するとともに、外気温の上昇に伴い雪質が急変し、積雪層と地盤あるいは、積雪層内部の摩擦力が減少し滑落する。これらの表われとして、表層なだれの場合は、前日の気温上昇に伴い積雪表面が融解し、これが夕方、外気温の低下に伴い、この積雪面は凍結し、この上に新雪がある程度積った場合、多く発生している。

また、全層なだれの場合は、主に、積雪層と地面との間を滑べる場合が特徴である。この時期は、地区によって多少異なるが気温の上昇状態が続く3月～4月にかけて多く発生している。

このように、すべてのなだれは、多くの条件によって左右されており、一概に、降雪量雪質、気象のみで実施時期を判断することは難しいが、次のような場合には特に留意される必要がある。

- ① 斜面勾配、植生、外気温等によって異なるが、なだれが発生するであろう斜面の積雪深が増大した場合
- ② 外気温が連続して上昇している場合
- ③ 降雪量（時間当りの降雪量）が長時間続き、新積雪量が多く見込まれる場合
- ④ 斜面観測によって斜面の積雪が異状を見た場合（たとえば、割れ目の開口部が大きくなり、時間当りの開き具合が速くなってきている場合等）

3-4-2 他の斜面への影響の有無

なだれが発生させようとする斜面以外の斜面でも、外面的には同じような斜面状況の場合があるが、内面的、つまり、雪質状態等により発生時期が異なり、発生させようとする斜面よりも落ちやすい場合がある。従って、爆破の振動によって他の斜面、あるいは、数キロ離れた斜面でも発生する場合がある。このため、十分な他斜面の積雪量、あるいは、開口部があるかどうか等の調査を行ない気が付かない斜面でなだれが発生しても、人、民家等の安全を考慮される必要がある。

3-5 事前・事後の留意事項

人工なだれが発生させるにあたっては、下記事項を参照の上実施されたい。

3-5-1 協議及び手続き

A 発注者より施工者への火薬購入依頼

- イ 爆薬の数量
- ロ 雷管の数量
- ハ 脚線の長さ（普通 1.2 m がマーケットサイズ、色は白）
 - ❖ 遠隔爆破法のロケット弾は、弾体の個数（数量の増は可能）

留意事項

- 1) 積雪深により装薬位置から雪面までの長さによって決定するため、脚線の長さが 1.2 m 以上必要の場合は特注品となる。
- 2) 脚線の色は雪面上での作業を行なうために、識別しやすいように、赤、緑、黒等の白以外の原色がよい。

B 書類の手続き

- イ 県知事への申請書（各 3 部提出）
 - a 火薬類譲受、消費許可書（施工者が記入）
 - b 火薬類の使用方法（その 1）（ # ）
 - c # （その 2）（ # ）
 - d 火薬類消費計画書（その 1）（ # ）
 - e # （その 2）（ # ）
 - f 火薬類取扱届書 （ # ）
 - g 火薬類取扱従事者名簿 （ # ）

- n 火薬類取扱(副)保安責任者(代理者)選任届(施工者が記入)
- i 火薬類取扱保安責任者経歴書 (#)
- j 火薬類取扱保安責任者免許書の写し (#)
- k 火薬類取扱従事者名簿・
受払帳簿の様式 (#)
- l 火薬庫使用承諾書(火薬店よりの証明が必要)(#)
- m 火薬使用個所の位置図 (#)

上記 a ~ m 迄の用紙(様式)は、所轄土木事務所にある。(有償)

- ロ 所轄警察署への申請書
 - a 火薬類運搬許可書(各3部提出)

ハ 火薬類の運搬

火薬類の運搬にあたっては、火薬類取締法第3章の第15・16条を参照のこと。

C 官公庁への協議

道路管理者(国、県、市、町、村、公園)が維持、管理上の道路に突然なだれが発生して通行中の人や車を押し潰したり、道路を埋めて、交通を止めてしまう前に、人工的に危険斜面の雪を取除くためには、人工なだれを実施する年、月、日、時間を所轄警察署長、所轄土木事務所長と協議しなければならない。

3-5-2 除雪車の配置

人工なだれを発生させるためには、次のようななだれ規模を想定した除雪計画をたてなければならない。

A 大規模なだれが発生しそうな場合

不安定な雪質の危険斜面を爆破することによって、道路沿い数kmにわたって、誘発なだれが発生しそうな場合。

B 中規模なだれが発生しそうな場合

やゝ不安定な雪質の危険斜面を爆破することによって、道路沿い数100mにわたって誘発なだれが発生しそうな場合。

C 小規模なだれが発生しそうな場合

安定した雪質の危険斜面を爆破することによって、道路沿い数10m程度のなだれが発生しそうな場合。

上記A、B、Cの場合に除雪車を上下線の安全地帯2個所以上に配置しなければならない。除雪車の除雪能力によって、台数を決定するが、この場合、山腹の斜度や、積雪深、植生斜面の凹凸などによって異なる。したがって毎年きまって春季になだれが道路迄到達する面積などの実績を考慮して、計画をたてること。

3-5-3 交通止

人工なだれの爆破作業を開始する秒読みの10分前には、完全に道路を閉鎖しなければ

ならない。3—5—2 除雪車の配置の項でも書いたが、上、下線道路上の安全地帯に各々 1 個所に関門を設け、関門間の連絡（無線機等を使用）をとる。なお、関門間の距離が遠く、途中で高い山などがある場合は、出力の高い無線機を使うか、中継機を中間において連絡が完全にとれるようにする。

無線機はサイクルの異なる 2 種類を用意した方がよく、一台は爆破作業班の作業中の進行状況と秒読みを受信するだけのもの。もう一台は上、下関門間だけの連絡に使用する無線機である。

留意事項

人工なだれ実験を数回行なった結果、爆破作業班で使用する無線機は、指揮者 1 台、装填班 1 台、積雪及び気象調査班 1 台、監視班 1 台（規模の大きな場合 2 台）の計 4～5 台が必要であり、時々刻々連絡しあっているので、同一サイクルの無線機では混線して作業に支障をきたす恐れがある。

秒読み 10 分前には、一般車両及び一般人の通行を完全に止め、たとえ作業のための車でも、通行を許可してはならない。

また、爆破作業が完了してもデブリが道路上に堆雪しているならば、速やかに除雪車で排除するまでは、交通開放をしてはならない。

4. 爆 破 作 業

人工的なだれを発生させるには、直接爆破法と遠隔爆破法の二種類がある。一般には爆破によって人工なだれを 100% 発生させることができると思われるかも知れぬが、爆破作業は斜面上の雪が安定しているか、不安定（自然なだれが起こりそうな状態）なのかを試すために行なうもので、自然なだれ発生の危険度を少しでも軽減させようとする目的で使用される。

4—1 一 般

斜面上の雪を安定させるための爆破法は、日本を始め欧米諸国で用いられている。爆破はなだれをコントロールする上で、最も適した方法で、斜面の雪がなだれを起こすか否かの疑問に、明確な答えを求めるためのものである。

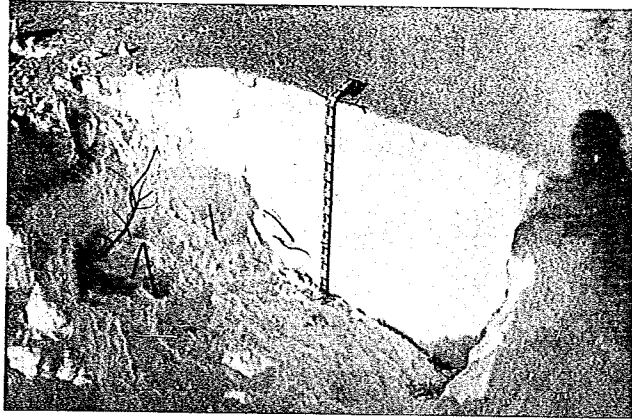
直接爆破法は斜面の積雪の中に火薬を仕掛けるものであり、安定した雪質の場合に使用される。

遠隔爆破法は自然なだれの発生しそうな、危険斜面に立入ることなく安全地帯よりなだれ弾を投射し、爆破させることによって人工なだれ発生の有無を確認するために使用する。

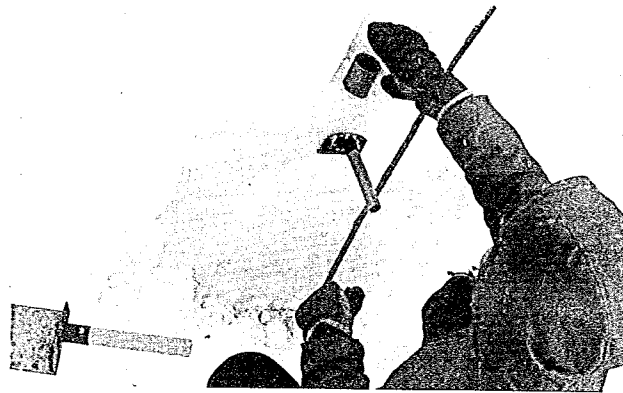
4—1—1 雪 質

雪は粘性弾性体である。粘性の高い液体と弾性体の両者の性質をもっている。積雪は外力により変形し、その変形は外力を除いてもほとんど復元しない。積雪の諸性質は温度に関係が深く、積雪の放熱、あるいは吸熱の仕組みはその雪全体に影響がある。春先に雪が消えるのも熱が供給されたからだし、雪の変態とか、なだれの危険といった点でも、熱源となる気象要素がいかに関係深いものであるかをたく知る必要がある。

爆破作業に先立ち積雪調査を行ない、雪層の構成をつかみ、止り面を知らなければならぬ。なだれが発生し勢力を失わずに流下するためには、斜面の雪質がなだれの流下に適していなければならない。雪質は時間的に序々に変化するものであるから、人工なだれを起こそうとする場合には、実施に先立ち雪質の調査は欠かすことはできない。



写真一四一 積雪深及び雪質調査



写真一四二 積雪層の雪質調査



写真一四三 積雪層の密度測定

なだれの走路ぎわで積雪断面を切り、各雪層の厚さ、比重及び濡れあるいは乾燥の具合等雪層の構成を調べる。

4-1-2 気 象

人工なだれを発生させる上で、特に注意しなければならないのは気象であり、標高のある山岳地帯ほど気象の変化は激しい。地方気象台の天気予報（テレビ、ラジオ、新聞等）では、一つの県を2～3等分にした大きなパターンで予報している関係から、地図の上で点となるような斜面では、予報がはずれる場合が往々にしてある。従って人工なだれを実施するためには、その地点の気象を研究し、ガス、吹雪（風）の起らない日を選ばなければならない。

気温が低く強風が吹く時には、時間に関係なく乾雪の表層なだれが発生し易いので、この場合は斜面に近寄ってはならない。湿雪の全層なだれが発生する日の天候を調べると、快晴の日は稀で、曇天の生暖かな風の吹く日に多い。3～4月の南風の吹く頃には、ガスが斜面にかかり、山を見ることが不可能な時期（1日に積雪が30～50cmも消える頃）に全層なだれが発生する。

指揮者は上記のような気象の時には、斜面に立入ることは危険なので、作業を中止し作業員の安全を計らなければならない。

「留意事項」

斜面に割目や開口、グライド（雪の底と地面との境いはずれること）が起った場合には雪が支持力を失っているので十分注意しなければならない。

4-1-3 地 形

なだれの発生条件は、雪と滑り落ちる山腹があるからで峻しい崖や急斜面には雪が積らず、自然なだれが上から落ちて来た場合には走路となるだけである。

尾根は、二斜面から形成されており、この両側斜面に堆雪される雪の量は風の影響に大きく左右される。このため、風上側（北または北西方向）斜面の場合は雪が吹払われて比較的積雪深は少ないが、日照時間が短いため、冬期間は常に雪面が氷のような状態を維持して、雪が溶けるのは一番遅く、雪質は不安定で表層なだれが発生しやすい。又尾根には雪庇が出来て、春先には雪庇が斜面に落ちて全層なだれを起す基となる。



写真-4-4 新潟県南魚沼郡湯沢町 火打峠に出来た雪庇

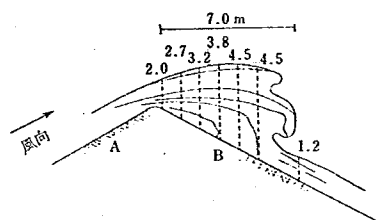


図 雪庇断面



写真-4-5 同上同じ

風下側（南又は南東の間）の斜面は雪が吹溜って積雪深は深い、日照時間が長く、又暖かい風によって雪が溶けるため、雪質が安定している、表層なだれよりは、上記の雪庇の崩落や雪そのものの動力と支持力との均衡がやぶれて、全層なだれが起りやすい。

A 発生斜面（発生区）

なだれの発生斜面は、例外は別として大体 2° 以上、特に 3° 以上の急斜面に多く発生する。 6° 以上の急斜面では雪は積らない。表層なだれ、全層なだれとも、発生頻度の高い傾斜度は 33° 以上である。

一般に凹凸部や木が雪に埋まり、斜面が緩やかになるので、表層なだれの発生する危険が多くなる。主ななだれの発生地点は崖の最下端より崩れ出すか、山の稜線に近いけわしい斜面の上部地域から崩れ出す。

B 走路斜面（走路）

発生斜面（発生区）より流れたなだれが、斜面を上り降りる通路のことを通常、走路又は走路斜面という。なだれ通路の大部分は流れによって山腹に刻みこまれた浅い沢に限られているが、大雪の場合は、この浅い沢を越し樹木の間を通り抜けて広範囲に流れ落ちることもある。

C 堆雪斜面（堆雪区）

発生区より流れたなだれが走路を上り、斜面下の山裾にデブリ（なだれ落ちて堆雪した雪）が堆積する斜面又は平地のことをいうが、堆雪区は普通傾度 2° 以下に多い。しかし稀に大きな凹凸斜面がある場合は 2° 以上でも堆雪することがある。

4-1-4 なだれ規模の想定

なだれの規模を想定することは大変むずかしいが、爆破する危険斜面の面積は全部デブリとして流れることを考えなければならない。ただし斜面の下にある道路に到達する堆雪が何の積度（ton又は m^3 ）かとなると、答は出しにくい。

4-1-4-1 なだれ量

3-5-2 除雪車の配置の頃でも述べたが、なだれは未知数のものであるため、雪質のいかんによっては、一回の爆破によって次から次へと他の斜面の積雪を誘起して、大なだれが発生する場合もあれば、爆破した斜面だけで終る小なだれの場合もあるので、なだれ量は経験的にしか出せない。

4-1-4-2 なだれ荷重

なだれ荷重は、積雪深となだれ落ちる斜面距離、雪の密度によって異なるが、過去の人工なだれ実験の結果によると、なだれの発生地点より下方へ約200m地点の圧痕計によると三俣地区ではだいたい $9.7 t/m^2$ 程度で、妙高人工なだれ実験斜面では $10 t/0.75 m^2 \sim 40 t/0.75 m^2$ という非常に大きな値を記録している。なお、この時のなだれの形式は、湿雪全層なだれ、速度は $20 m/sec$ であった。

4-1-4-3 なだれの影響範囲

4-1-4 なだれ規模の想定、4-1-4-1 なだれ量に於ても述べたが、発生させる時期及び雪質によって異なるので、既存の資料や現地調査によって想定し、影響範囲を決定しなければならない。

4-2 直接爆破法

直接爆破法とは、斜面の雪の中に爆速の遅い火薬を直接装填し、爆破によって人工なだれを発生させる方法である。

4-2-1 装薬の基本方針

直接爆破法では、気象の推移や斜面の雪質等を十分調査することにより、使用する火薬量を増減したり、安全な時期に火薬装填作業を完了して、経済的かつ確実になだれを発生させることが出来る。斜面上部（尾根）に雪庇が出来ておれば、雪庇を爆破することによって人工なだれを発生させることも出来る。雪庇がない場合には、発生斜面上の積雪内部に爆薬を仕掛けて、瞬間的に爆破させ人工なだれを起す。

留意事項 火薬の量が多過ぎると、斜面及び植生を傷めたり、爆風が積雪表面上に抜け、火薬の威力がなくなることもありうるので注意する必要がある。

4-2-1-1 装薬位置の選定

人工なだれを発生させるためには、下記のような装薬方法がある。

A 雪庇を落す場合には、雪庇の大きさにもよるが、背中側に1~2例に並べて装薬する。



写真-4-6 雪庇の装薬作業（土樽）

B 傾斜度が 35° 以上の急斜面に対しては、起耕し弛めるような弱装薬爆破を広範囲に行なう。

C 傾斜度が 25° 以下の緩斜面に対しては、段発により雪を前面の急斜面へ押し積み上げるような爆破を行なう。

D 緩斜面で大量爆破を行ない、その振動で急斜面の積雪をなだれとして落す方法は、雪の安定度を十分検討した上で行なう必要がある。

4-2-1-2 装薬する面積、間隔、深さ

装薬地点の地形により異なるが、新潟県南魚沼郡湯沢町大字土樽、三俣地先、同県中頸城郡妙高村大字黒布地先の各人工なだれ実験場の記録によれば

A 面積

人工なだれを発生させるために装薬する面積は、なだれによって落そうとする想定面積や、斜面角度、積雪深、植生によって異なりケースバイ、ケースで処理されなければならないが、これを大きく分類すると次の2つの場合がある。なお施工(実験)した実例を別項で説明するので参照にされたい。

イ) 積雪を斜面の危険地点から、部分的に落し危険度を下げる場合

ロ) 積雪を危険斜面から全面的に排除する場合

雪庇、クラック、開口部等の場合にイ)を適用する。

留意事項

①クラック及び開口部の場合は、割目の下側に爆薬を装薬して落す。

②特例として、道路の除雪により堆雪部の脚部がカットされて斜面の途中でクラックを生じた場合は、クラックの上の部分に爆薬を装薬して落す。

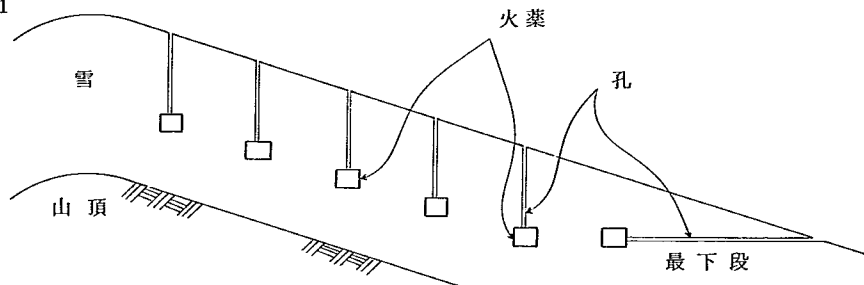
B 間隔

爆薬の装填間隔は、斜面に対し横方向に1.3～2.0m、縦方向に2.0～3.0mで、各段は千鳥型に装薬した方がよい。又山頂より斜面の下方へ行くにつれて、装薬間隔を小さく取った方がよい。その比率は60～80%程度が最も適している。これはなだれの発生を容易にするために、段発の型式をとるものである。いわゆる斜面の下側に装薬した火薬が爆破により積雪を緩ませ、上側の火薬の爆破によって、斜面上の多量の雪を人工なだれとして流すことを目的として行なうものである。

C 深さ

窄孔角度は、斜面の最下段に装薬する一段目のみ水平に近い角度で窄孔し、二段目からは斜面に対し垂直方向に窄孔した方がよい。

図-4-1



最下段はなだれの流れをよくするために装薬するものである。雪庇あるいは積雪の深さの2/3下まで(雪面より2/3下) 窄孔を行ない装薬する。

留意事項 雪質調査の資料をもとに、旧雪と新雪の境目のしまり雪(S₂)に装薬するのがよい。積雪の最も下層のざらめ雪(G)層に装薬した場合は爆破が下方(地面)に抜けて、上層の積雪に影響を及ぼさず、従って人工なだれは成功しないことがある。

4-2-1-3 火薬の種類

人工なだれを発生させるための爆破作業は、通常の火薬類を取扱う危険性に加え自然なだれの発生の危険をも考え、その安全性を確保するためにも、次のような性質をもった火薬が望ましい。

- A 安全性が大で、低温(-10°C以下)においても効果、感度の変らぬもの。
- B 装薬中、又は装薬後、自然なだれが発生し流出しても融雪水で分解して効力を失なうもの。
- C ガスの発生量が多く、爆速の遅いもの。

留意事項 上記のような性質をほぼ満足する火薬として、従来から、カーリット黒が多く用いられている。又他の方法として、ダイナマイトを竹筒や塩化ビニールパイプ等の筒に入れて、爆速を遅くしガス量を大きくして実施しているところもある。

4-2-2 装填の作業

装填作業は、自然なだれが発生する危険な斜面へ大勢の作業員が出て作業するため、雪面上を歩く振動で、自然なだれを誘起し作業員を事故に巻き込み死傷させることがありうるので、指揮者は次の安全原則を蓄積した経験の持主でなければならない。

(1) 安全管理

- A 装填作業を行なう斜面を一望のもとに見渡せる安全な位置に指揮所及監視所を設けなければならない。
- B 指揮所及び監視所には1~2名の監視員を置き常に作業員や斜面の雪面を監視し、自然なだれが発生しそうな場合は携帯無線やマイク又は赤旗等により連絡し、作業員を安全な場所に退避させなければならない。
- C 斜面へ出る作業員は作業別に班を作り、1班は5~7名以内とし各班に班長を1名おき班長は常に隊員を監督し、又他の監視員と連絡を密にし作業員の安全を確保しなければならない。
- D 作業員は胸と背中に30cm以上の白地布で作った番号札(ゼッケン)を作業服の上に着衣し、番号は黒又は赤字で太く大きく書き、監視員が見易いようにしておくとか作業服は白地以外の原色のものを着衣させ、万一事故の場合に雪中より容易に発見出来るようにしておかなければならない。

E 作業員の資格として雪山の経験があること、又は雪に対する特殊訓練を受けている者が望ましい。

留意事項 老人及び身体障害者、高血圧症、心臓病、てんかん症の者を作業員として採用してはならない。

F 作業開始前、又は作業中であっても、斜面が濃霧や吹雪でおおわれ長時間続くと思われる場合は、指揮者はためらうことなく速やかに作業員の安全を考慮して、作業を中止すべきである。

(2) 処 置

A 若し不幸にして作業中に自然なだれに捲込まれた場合、作業員は独力でなだれの流れを泳がねばならぬが、この場合水泳と同様出来るだけ身体を動かし、雪の上に出るように努力し、主流から外側の緩やかな流れに垂る方法をとらなければならない。

B なだれに作業員が流されても、ごく小規模ななだれでは致命傷になることは少ないが、なだれに流されながら岩や木に衝突し事故をおこす例が多い。

C 普通なだれに遭遇すると、波のように後から押して来る雪のために遭難者はデブリ(なだれによっておきた堆雪)に埋没する。ここで自からはい出せるように、腕を自由にし顔を守り、首の廻りにすき間を多くとり窒息しない工夫をし、救援が来る迄待たねばならない。

D 遭難者が出た場合は、速かに所轄の警察署及び消防署に連絡すると同時に残存作業員を斜面へ投入して捜索活動をしなければならない。なお、この時に注意しなければならないことは、他方あるいは二次的ななだれが発生する場合がありますので、これに捲込まれぬよう斜面監視を十分にしなければならない。

4-2-2-1 踏固め

装填作業の第1段階は、斜面雪質の安定している時期に作業員を一行横隊にして各人に「かんじき」をはかせ斜面踏固め作業にかかる。この場合、斜面勾配により多少踏固め巾が異なるが、装填個所の斜度が $30 \sim 35^\circ$ 程度では $50 \sim 100$ cmが適している。斜面を階段上踏固める作業では、上段より水平方向に踏固める。

留意事項 階段状の踏固め作業は、下段より上段に向っての逆作業をしてはならない。これは踏固めによって落ちた雪が作業員に当たり、転倒又は小さななだれを捲込むからである。又同時に3段以上の平行作業をしてはならない。これは踏固めの振動で自然なだれを誘起し、作業員を捲込むからである。

表-4-1 測定器具一覧表

	携帯基地用	摘 要			携帯基地用	摘 要
気圧計	高度計	一週間巻自記気圧計 水銀気圧計	密 度	秤	小型スノー サンプラー 100cc~400cc 上皿天秤 1kg精度1g 書状台秤 200g 500g	便利なサンプラーは切口断面 20cm ² 長さ20cm ナイフエッジのみステンレス。 エッジ角度30°以下。筒は透明プラスチック 目盛は1cm ナイフエッジ以外は内径を1mm程度大きくし摩擦による雪の収縮をさける。
気温・湿度	棒状温度計 (アルコール)	一週間巻自記温湿度計				
風向・風速	アネモメーター	エロベーン自記 (プロベラ式)				
積雪深	測深棒 (サンプラー)	雪 尺 (4~5m) 自記雪深計 (スノーカメラ)				
降雪深	測深棒	降雪板(1m)	含水率	吉田式(熱量計) アンパツハ式	低温科学	
積雪重量 (平均密度)	スノーサンプラー (神室式) スプリングパランス ダイヤル式 プラスチック袋	秤式積雪重量計 スノーピロー式 積雪重量計 放射線式積雪重量計	粒 径 (粒子の大きさ)	方眼紙目による 目測 ポケット顕微鏡	雪の国際分類 (雪氷7巻2号)	
			硬 度	木下式硬度計 黒田式硬度計 四手井式硬度計 ラムゾン式硬度計		
雪 温	棒状寒暖計 水銀・アルコール -20°, -50° 目盛は0.20°C	サーミスター式 温度計 ダイヤル式温度計	せん断			

(注) 取扱については、毛利茂男著「気象観測の手引」、気象庁編「地上気象観測法」などを参照されたい。

4-2-2-2 窄 孔

装薬作業の第2段階は、踏固め作業が終了した上段より窄孔にかかることだが、先ず装薬位置の測量を3名以上の作業員により、テープを張り斜面の雪面へ一定間隔に小枝を刺しながら、孔の位置を明示し明示された小枝の処の窄孔をする。窄孔作業は2名1組で窄孔棒を使用して行なう。間隔については(4-2-1-2)B間隔で、窄孔深さについては(4-2-1-2)C深度で述べたので省略する。

4-2-2-3 火薬の組立及装填

火薬の組立及び装填作業にあたっては、次のような方法で作業をした方がよい。



写真-4-7 斜面での装薬作業

A 火薬の組立

火薬類は一回に使用する量だけを、火薬庫より運搬しなければならない。運搬する時間帯は、一般交通の多いラッシュ時をさけ、早朝か昼頃がよい。使用する個所は大部分斜面なので車両運搬がきかなくなる。山麓より上の運搬は人力に頼らざるを得ないが雪の斜面を登る時は、自然なだれが発生しそうな安全なルートを選ぶべきである。火薬の組立場所は、使用する爆破斜面に近い安全地帯(凹地などがよい)を選び、テントなどで屋根を作り雪や雨が降っても、火薬が湿気をもたないようにする。火薬の組立には、火薬取扱い免許を持っている者以外の作業員に手伝わさせてはならない。



写真-4-8 火薬の組立作業

留意事項 火薬の運搬中に煙草を吸わせてはならない。しかし、斜面が長く積雪量が相当にあつて運搬が困難で相当時間がかかるような場合には、途中休み時間を設ける。この場合は、火薬より数十メートル離れた風下の位置に穴を掘り、この近くには見張員をかならず1～2名置く等の安全対策を取る。

B 装 填

装填方法としては、窄孔棒で開けた穴に爆薬を装填するが、窄孔の深さは雪質調査で調べた積雪層の一番下のしまり雪に装填するのが効果的である。爆薬は1孔あたり普通200～300g使用するのがよく、雪質によっては400～500g使用する場合もあるが、500g以上は使用しない方がよい。火薬の重量は、100g/本であるが1孔当りの量の多少にかかわらず雷管は1ヶでよい。火薬の取扱いは、保安責任者甲又は乙の免許を有する人の指示に従わなければならない。又残火薬が出た場合には、火薬類取締法に基づいて処置すること。

4-2-2-4 結 線

装填作業が終了した上段より順序よく結線するが、最も安全な電気発破を使用した方がよい。結線は必ず直列方式で行なった方がよく、並列方式で行なうと不発火薬が出た場合の処理や、テスターで抵抗を調べる時に、断線の判断が非常にむずかしい。結線が確実に済んだら、抵抗テスターで抵抗の増減を確認の上、指揮者に結線作業完了の報告をして秒読迄待機しなければならない。

留意事項 電気雷管を確実に爆発させるには、1ヶ当り1アンペア以上の電流を通す必要がある。しかし多数斉発を行なう場合は、起爆を確実にするために2アンペア程度の電流を通じなければならない。一般に電気雷管の抵抗は脚線1.5mのもので1.0～1.1オームである。又起爆にあたっては、点火器（発破器）を用いるのが最も確実、かつ安全である。

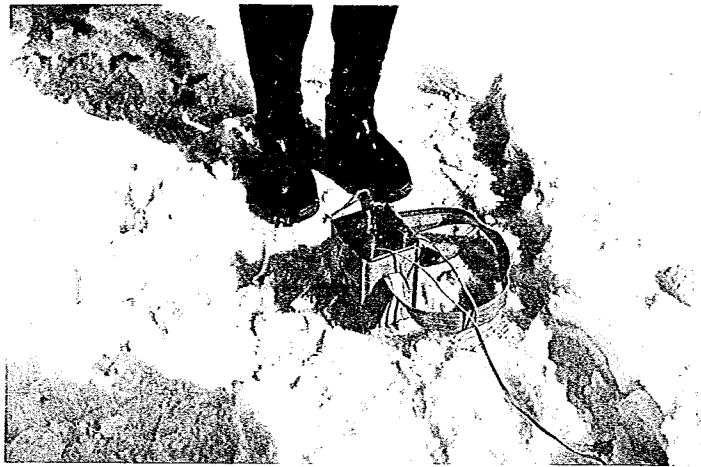


写真-4-9 発破器

4-2-3 爆 破

なだれは人間が了知している以上に危険で、やっかいなものである。時には予想も出来ぬ自然の力で、人家、施設等を襲い大きな被害をあたえる。従ってなだれを人為的に起すことは危険をとまなうので、安全を確保した上でなければ、爆破作業をしてはならない。

4-2-3-1 安全の確認

人工なだれを発生させるには、一般の協力と認容がなくては、この作業はうまく実行できない。従って作業は公開し、作業員は下記の事項を遵守の上実行しなければならない。

- A なだれ影響範囲の確認。一次なだれの外、二次なだれをも予想しなければならない。
- B 天候。爆破作業前に発生斜面の視界が悪くなった場合は（ガス、吹雪、雨等）一時中止するか、取りやめなければならない。
- C 作業員や協力者の生命の安全確保。爆破を実施する場合、斜面の作業場所から作業員を安全な所へ待避させ、その状態を確認した上でなければ、爆破してはならない。
- D 交通上の確認。人工なだれを実施するにあたっては、1カ月以上前より爆破の年月日、時間を公示する。なだれの到達区域に道路やスキー場がある場合は、監視員をおき、爆破作業開始10分前には交通止をし、その報告を指揮者にしなければならない。
- E 若し爆破の秒読みの最中といえども、斜面及なだれの到達区域に人影をみとめた場合は、監視員は速やかに指揮者に連絡し、一時作業を中止し排除しなければならない。

4-2-3-2 爆 破

安全が確認されたことを各監視員より報告があり次第、指揮者は秒読みにかかるが、発破スイッチが、指揮者のところにある時と発生斜面の爆破班の手元にある場合があるが、マイクと無線電話で参加者全員に知れわたるような方法を取り、秒読みは発破器の充電時間を十分考慮して行なった方がよい。人工なだけ実験に於ては2秒かけるようにした。そして秒読みは「十九八七六五四三二一 爆破」という読み方で、2秒間隔で一数字をいった方が、スイッチの担当者はやりやすいようである。

4-2-3-3 なだれの確認

なだれの運動を高速カメラに写したのを見ると、岸に押寄せる波の運動と類似している。後から押して来るデブリは次々と前に出て、なだれの先端は斜面をほうのように走る。なだれは発生区より走路を走り、堆積区でデブリはとどまる。(写真-4-10参照) 爆破後数十秒のうちにこの運動は完了するが、上空に舞上った粉雪(新雪)が消えるまでに、

数分又は数十分を要する。
この場合作業員を斜面へ直接入れるのは、危険である。
というのは、なだれが発生しなかった他の斜面よりの二次的なだれの落ちることが考えられるからで、指揮者はこのタイミングを考慮して、安全が確認された上で作業員を斜面へ立入らせなければならない



写真-4-10 なだれ後の状況

4-2-3-4 不発火薬の処理

二次的なだれの発生による危険がなければ、指揮者は作業員を斜面及びデブリ堆積区へ入れ、不発火薬の発見につとめなければならない。もし発見できなかったといえども、安全とはいえないので、立札等で一般者の立入を禁止し、春先の融雪後にもう一度パトロールをして、不発火薬のないのを確認した上で一般者の立入許可をしなければならない。

爆破後なだれの中より不発火薬が発見されたり、融雪後パトロールで不発火薬を発見した場合は、人家のない川原や山中で、処理班の手によって解体又は爆破処理を指揮者立会の上で行なわなければならない。

留意事項 4-2-2-4 結線の項で書いているが、不発火薬を出さないためにも直列方式を採用すべきである。

4-3 遠隔爆破法

4-3-1 着弾位置の選定

着弾位置は、次の事項を留意し選定することが望ましい。

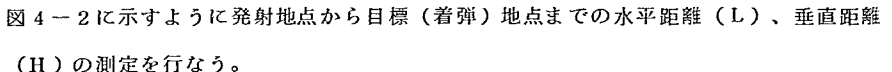
- ① 積雪斜面に雪割れ目が開口し、その山麓側の部分の雪面が底面すべりによる雪褶や隆起が認められた場合には、その下縁を狙う。
- ② 雪底が発達している場合には、その部分、あるいはその直下を狙う。なおこの際、なだれ弾の命中精度（3-2-3 遠隔爆破法参照）も考慮し、山越等により不慮の事故が発生することを防ぐ。
- ③ 霧等による視界不良が生じる場合には、着弾地点の選定の際、山頂ぎりぎりの位置は避け、幾分下目を狙う。

4-3-2 発射位置の選定

発射位置の選定に関して留意すべき事項は、次の通りである。

- ① 当該斜面のなだれ、あるいは他斜面の誘発しそうななだれに対し、十分安全な場所であること。
- ② 着弾地点、あるいは斜面全景はできるだけ見通せる場所を選ぶ。
- ③ 発射地点から着弾地点までの間に人家、構造物、電線等の障害物のない場所を選ぶ。
- ④ 発射位置の周囲（半径50m以内）には、人家がない場所を選ぶ。
- ⑤ 発射薬に電流点火を行なうから送電線等による漏電のない箇所を選定する。

4-3-3 距離測定

発射台（砲身）の角度を決定し、着弾地点の命中精度を上げるための準備段階として、 図4-2に示すように発射地点から目標（着弾）地点までの水平距離（L）、垂直距離（H）の測定を行なう。

距離測定には、いろいろな機器、あるいは方法が用いられるが、なだれ弾の性能上、高性能の機器、あるいは測定方法は必要としない。

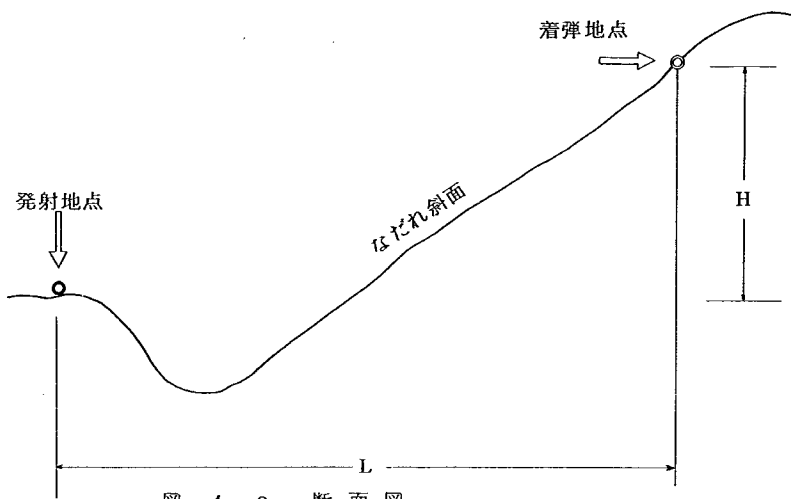


図-4-2 断面図

4-3-4 発射台の組立及び据付

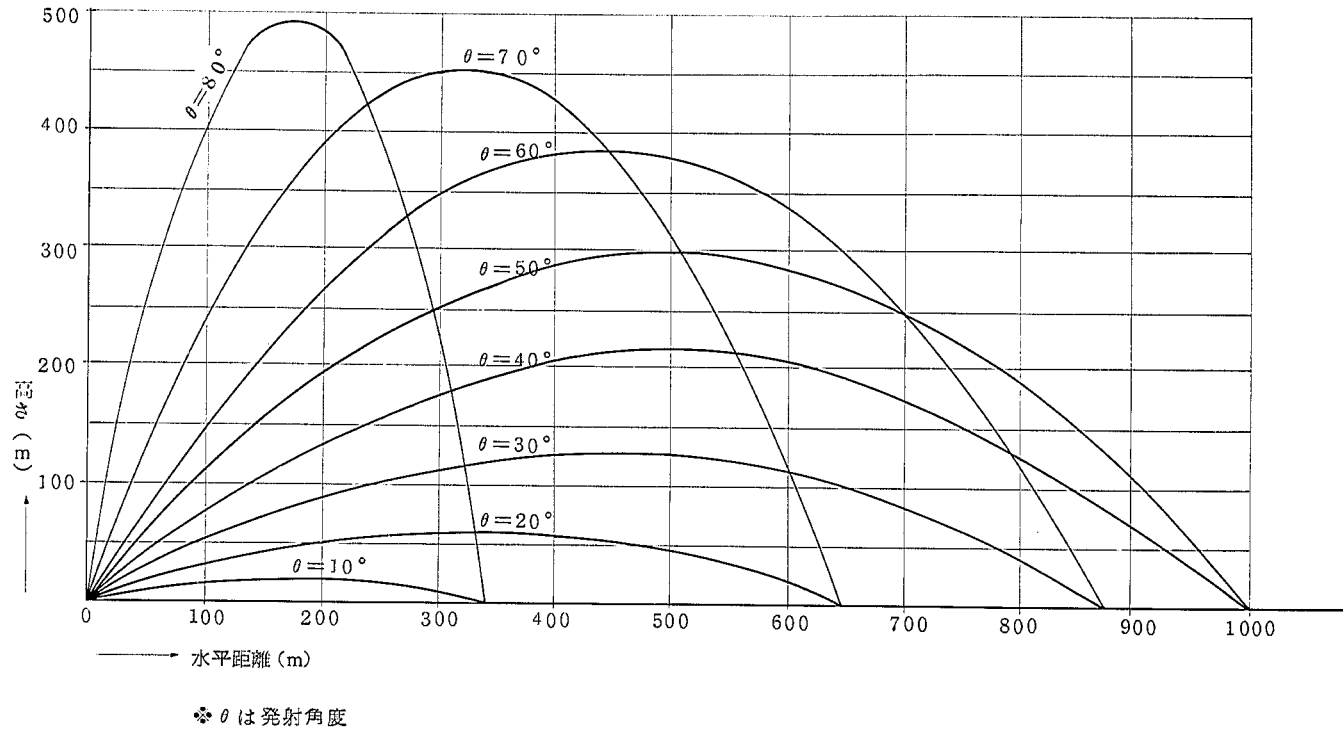
発射台を大きく分類すると、砲身とこれを固定する架台からなっている。この架台は持運びを容易にするために分解できる構造となっているため、現地においてこの部分をボルト締めし、砲身を固定すれば組立が完了する。次の発射台を固定するための専用架台もしくは、自動車等の既に設けられた堅固なものに据付ける場合は別とし、積雪上に据付ける場合には、積雪面をよく踏み固め発射台のぐらつきがないようにする。

4-3-5 発射角度および方向の決定

① 発射角の決定

4-3-3の距離測定の結果から図4-3に示すような弾道計算図に基づき発射角を決める。

図-4-3 弾道曲線（真空計算による）
 （初速 100m/S）



しかし、この弾道図は空気抵抗や風の影響を無視したもので、実際より飛距離が大き
く求められるから決定された角度より数度落とし、目標地点より下を狙う。

なお、着弾地点の命中精度を向上させるために、できるだけ放物線の最高垂直到達地
点前で、着弾地点の積雪になだれ弾が達するような角度を選ぶ。

② 発射方向の決定

発射方向は、砲身が着弾地点と発射地点との直線上にくるように水平移動調整ネジで
調整する。

この時に注意しなければならないのは、発射台が水平に据付けられていない場合、砲
身の向きを変えることによって発射角が狂う場合があるので、再度、発射角を調べる必
要がある。

4-3-6 なだれ弾の組立

なだれ弾の購入時には、安全性を考慮し、爆薬、エンジン、本体（外筒、雷管、引抜火
管、導火線）の3つに分けられている。したがって、現地においてエンジン、爆薬の順で
本体に組み込めば、なだれ弾は完成される。（完成図は図-3-3に示す。）このように
組立は、非常に簡単で作業量も縮少されるが、あくまでも爆薬であり、組立には次の事項
を十分注意して行なう必要がある。

- ① 引抜火管は、購入時において本体に組み込まれており、運搬、組立中に引抜線が引か
れることもありうるので取扱いには十分注意を要する。
- ② 組立時には、関係者以外の人、あるいは、人家等を十分な安全距離を保ち、作業を行
なう。
- ③ このなだれ弾には、吸湿防止用テープが張られているが、不発弾防止のため、雨天、
降雪時には、テント等で直接雨、雪がかかるのをできるだけ避ける。
- ④ 部品等の不良品の有無を十分調査し、組立作業を行なう。

4-3-7 安全確認

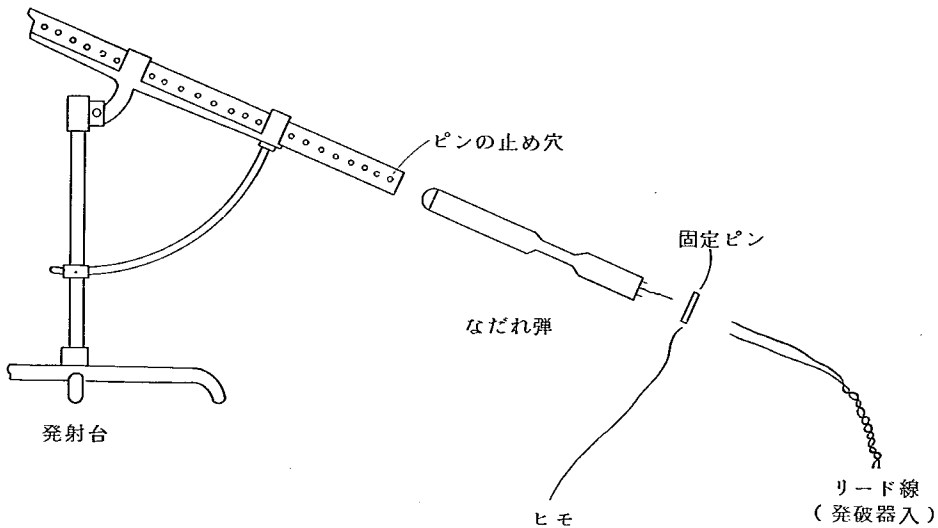
なだれ弾を砲身に納める前には、次の事項を留意する。

- ① 発射台近くに人がいるかどうかを確認し、もし関係者以外の人が出た場合、直ちに半
径50m以外に退去させる。
- ② なだれの影響範囲、いわゆる、なだれ弾を打ち込もうとする斜面と他のなだれ誘発斜
面を考慮し、スキーヤー、猟師等の有無を確認し、必要があれば退去させる。
- ③ 発射中においてスキーヤー等がなだれの影響範囲内に入るおそれがあるので、見張人
を所々に配置する。
- ④ 交通止の確認（直接爆破法参考のこと）

4-3-8 結 線

すべての安全が確認されたあと図-4-4に示すように、砲身内になだれ弾を挿入し、
固定ピンを引抜線端環と砲身のとめ穴にさし通す。次に、なだれ弾のイグナイターから出

図-4-4 発射台への組立



ているリード線と発破器からのリード線とを結線して、発射準備が完了する。この結線時において、特に留意しなければならないことは次の通りである。

- ① 砲身の直前、直後での作業は、必ず避けること。
- ② なだれ弾の引抜線は、5 ㌔程度の力で引かれると着火器が作動し導火線に引火され、約 20 秒後には爆薬が炸裂することがあるから、取扱いには十分注意すること。もし、万一このようなことが生じたら、砲身の止めピン（このピンに細いロープを縛りつけ、遠方から引抜けるようにしておく。）を引抜き、なだれ弾を雪穴（あらかじめ設けておく。）に落とし、安全圏内に待避し、爆破するのを待つ。
- ③ 結線時には発破器から出ているリード線を必ず短縮させておく。

4-3-9 発射

以上の準備ができたなら、全員発射台から側方（後方は避けること）に 30 m 程度離れ、周囲の安全を再度確認する。そして安全であれば発破器（電気発破器）による導通試験をし、秒読みで発射する。発射時はできるだけ着弾地点、あるいは、周囲の斜面の視界がきくことが必要である。



写真-4-11 発射

4-3-10 着弾位置と爆破の確認

次の発射のための参考資料を得ることと安全対策上、着弾地点と爆破の有無の確認を行なう。爆破時間は、発射してから20秒程度にセットされているため、斜面の雪質によっては相当深く貫入し、爆破音が不明確な場合もありうるので、視界の悪い場合などは特に注意を要する。

4-3-11 不発弾の処理

なだれ弾の不発の原因としては、

- ① 着火器に吸湿し発火しなかった場合
 - ② 着火器と導火線、雷管と導火線の接続不良の場合
 - ③ 爆薬が不良の場合
- 等が上げられる。

しかし、このなだれ弾には、着火装置が2ヶ取付けられているのを始め、なだれ弾の運搬、組立時には爆薬、着火器等に水分が入らぬようにビニール袋で保護され、かつ、重要部分の組立は工場で行なわれているため、不発になる確率は極めて少ない。したがって、万一不発弾が生じた場合、なだれ弾は

- ① 外被に「危険」の標示を赤地に白で明記されている。
- ② 爆薬は、硝安等のものを使用しているため、吸湿すると爆力を失なう。
- ③ 爆薬捜入ケースには、吸湿するための穴が設けられている。

等が考慮されているが、早急に地元の警察署、あるいは、市町村役場に連絡をとるとともに雪解け直後には捜査隊を出動させて、不発弾の処理を行なう。

4-3-12 なだれ発生危険の有無の確認

これは、交通止、あるいはなだれ危険解除等の表示をするための重要な確認事項の一つである。したがって、なだれ発生危険の有無はもちろんのこと、発生した斜面の残存積雪部あるいは他斜面のなだれ発生の危険性についての確認も行なう必要がある。また、数発打ち込んでなだれの発生しなかった場合でも、斜面積雪状態を十分に把握し安全か否かを判定する。

4-3-13 事後処理

直接爆破法を参考のこと。

5. 実施例

この実施例は、直接爆破法については、火薬を斜面に装填し爆破する方法で、昭和38年度から昭和43年度に実施した人工なだれ実験結果のうち、主なものについて述べ、遠隔爆破法については、昭和41年度から短斜面を主体として開発研究を開始し、昭和46年には中距離用のロケット弾を完成した。この間、実際に実施されたのは少なく、主に開発実験を行なったものであるため、ここでは開発過程とそれによる数少ない実験であるが、その結果を述べる。

5-1 直接爆破法

A 概要

人工なだれ実験を建設省土木研究所及び建設省北陸地方建設局上越国道工事々務所が道路交通を対象として、昭和37年度より新潟県南魚沼郡湯沢町土樽地内（国鉄、上越線土樽駅北東側）の高平山の南西斜面で行なわれた。翌昭和38年度より全県全郡全町三俣地内（国道17号線）東谷山南西斜面および、全県中頸城郡妙高村幕の沢地先にそれぞれ観測施設を移動して人工なだれ実験を続け、昭和44年度に完了した。その間、8年（9回）に及ぶ実験によって雪質調査、人工爆破、なだれの速度測定、試験体、なだれ層厚測定、衝撃力（杭、スノーシェッド、擁壁）速度等の観測を実施した。

B 目的

人工的になだれを発生させ、なだれの走行速度、衝撃力等実際のなだれの運動状態を観測しスノーシェッド、その他、なだれ防護施設の構造設計資料を得、以って道路建設に於ける、なだれ防止工を効果的に行なうことを目的とした。

C 実験地の選定

実験地の選定は、できるだけ勾配の急斜面で各種観測に便利な地点を選考、昭和36年度、37年度撮影の空中写真及び雪中踏査を行ない、2～3個所の候補地を選定し、立地条件等の検討を行ない、17号線沿いでは三俣の東谷山地区に、18号線では妙高地区をそれぞれ決定した。なお、これらの斜面の諸元は表-5-1の通りである。

表-5-1 実験斜面の諸元

場 所	斜 面 の 諸 元		
	標 高 (m)	斜 面 長 (m)	平均勾配(度)
土 樽		500	34°
三 俣		400	32°
妙 高	1,040	450	34°

D 実験方法

実験項目については、前項で書いたが、以下に記すことは、人工なだれ施工指針（素案）にもとづいて書くため、雪質調査、人工爆破の年度別実験資料を添付する。

5-1-1 雪質調査

人工なだれ実験にあたり、なだれを安全、確実、経済的に発生させるには、斜面の雪質がなだれの流下に適していること、雪質は時間に変化するものであるから、実験に先立ち雪質の調査は欠かせない。雪質を調査し、理解することにより、爆破に使用する火薬量を増減したり、火薬装填時期を推定することができる。なだれの発生斜面側で積雪断面を切り、各雪層の厚さによって比重、雪層の構成等により判断する。以下に各年度毎の爆破時の雪層、雪質状況を示す。

図-5-1

昭和37年度 (流れ型・底なだれ)

PM 0.45
天候 晴
気温 +5℃

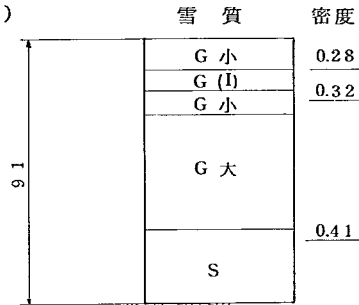
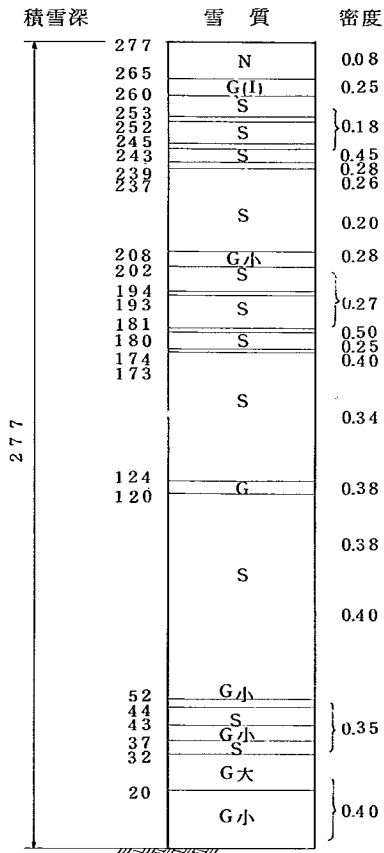


図-5-2



昭和38年度 (流れ型なだれ発生)

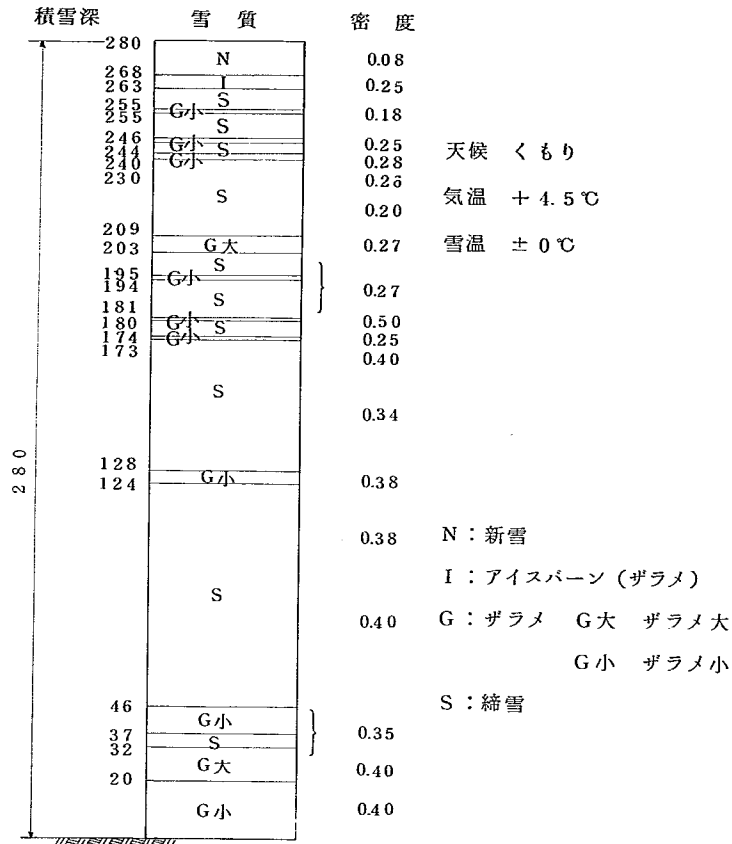
S 39. 3.17 PM 1:00
天候 晴
気温 +1.6℃
雪温 ±0℃
風向 -
風速 -

N:新雪
S:締雪
G: G大 ザラメ雪大
G小 " 小
(I) " アイスバーン

昭和39年度 (流れ型なだれ発生)

S 40. 3.17 AM 12:00

図-5-3

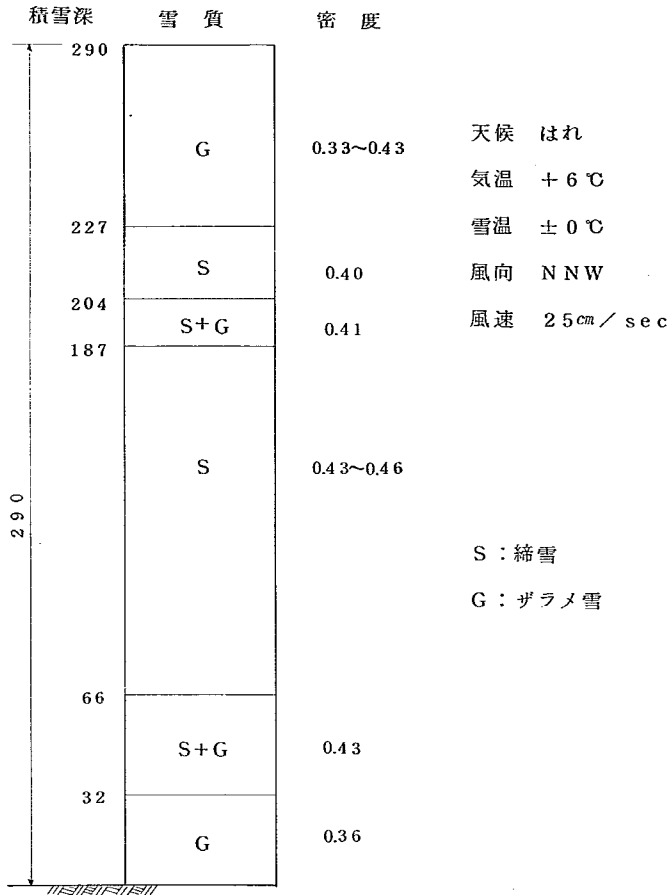


雪質状況図より判断できることは、積雪面下17cmまではザラメ化された積雪が多いことから流下するであろう。27cmまでの層は、水分を含めば流下するであろうと思われる。このようなことからできるだけ多くの量を流下させるため、天候をみきわめて積雪層の濡り具合から実験時を決める。この実験では少なくとも27cmの層迄は流下すると想定したが、斜面中腹では66cm迄をラッセルした衝撃測定擁壁より下の斜面でも66cmの層迄流下した。

昭和41年度 (流れ型なだれ発生)

S 42. 3.17 AM 12:00

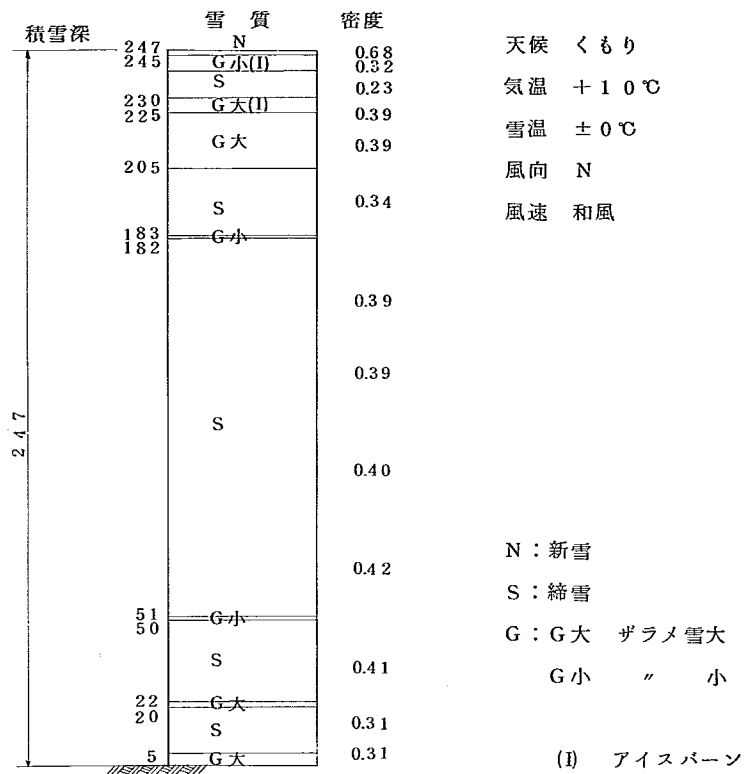
図-5-4



昭和42年度 (流れ型なだれ発生)

S 43. 3.14 AM 12:00

図-5-5



昭和43年度 (けむり型なだれ発生)

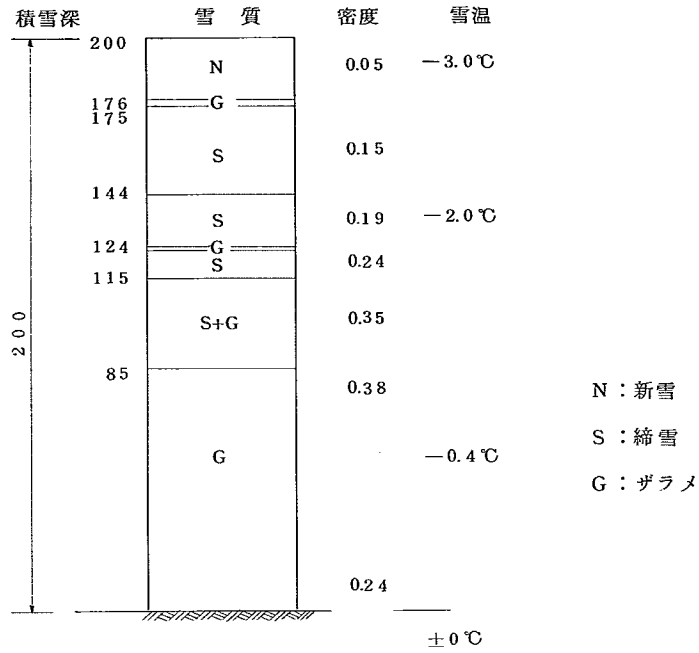
S 44. 3. 4

天候 雪

風向・風速 WHW 5 ~ 6 m / sec

気温 - 3.5 °C

図-5-6



昭和44年度 (流れ型なだれ発生)

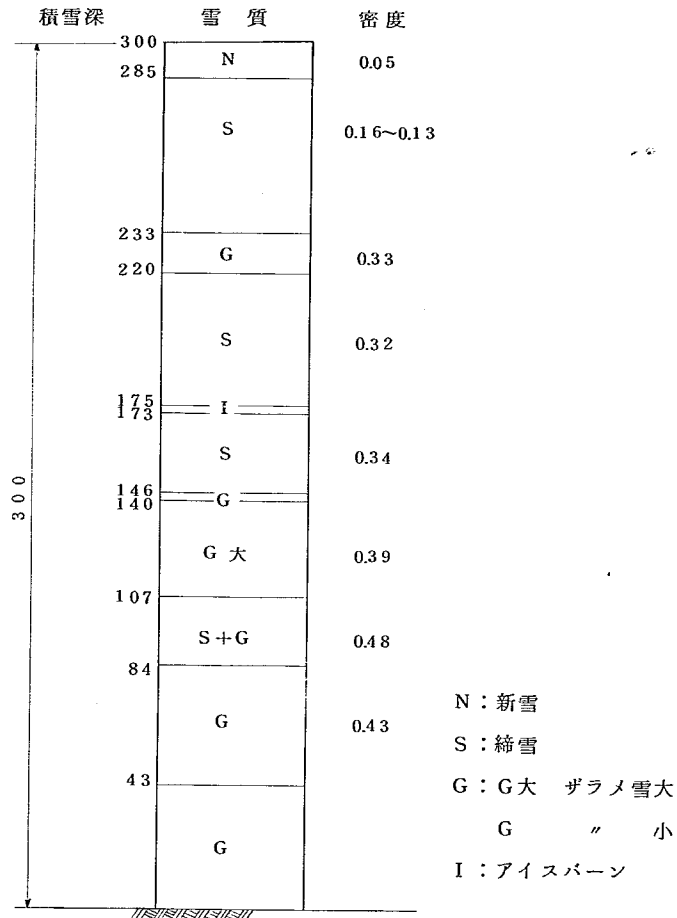
S 45. 3.20

天 候 くもり

風向・風速 NW 1.5~2.5 m/sec

気温 0℃~4℃

図-5-7



5-2-2 爆 破

爆破により人工的になだれを発生させるには次の二通りの方法がある。

- ① 雪庇背面に装薬し、爆破によって雪庇を崩落せしめ、なだれを誘起する。
- ② 斜面積雪に多量の火薬を装填し、爆破によって積雪層を浮上げ、なだれを誘起する。

実際の作業としては

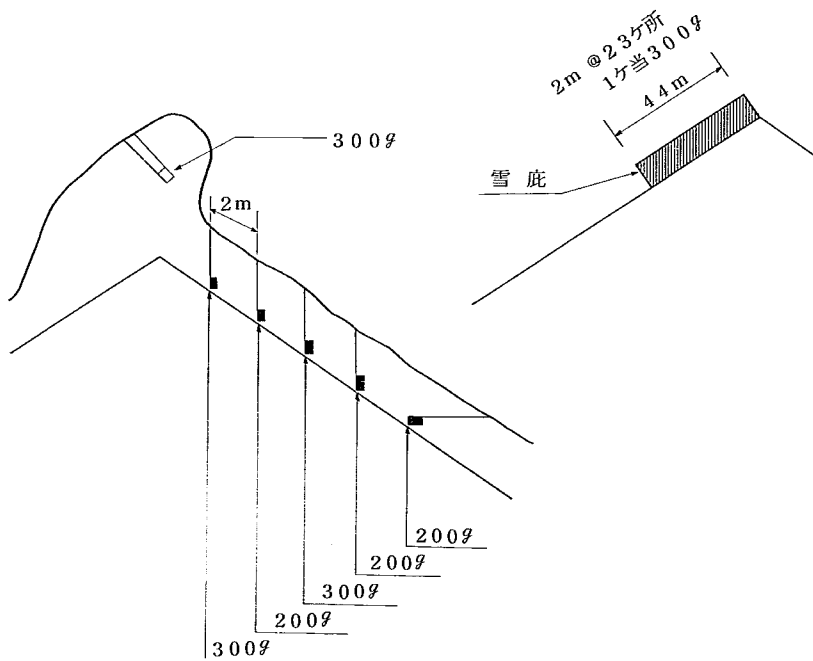
先ず火薬100g・300gを雷管1個に連結して、①の場合は積雪の2/3まで削孔し、装薬を行ない補助線を結び、回路テスターに依って結線が良く行なわれているか調べる。

斜面は削孔の位置決定のため、一定間隔に小枝を刺しながら、孔の位置を明示し、明示された小枝のケ所の削孔を行ない、削孔完了後に装薬を行ない回路のテストをする。

削孔角度は最下段を水平に近い角度で削孔し 二段目からは斜面に直角に削孔するものである。最下段はなだれの流れを良くするために装薬するもので、最下段より3~4m下に段切りを設けて積雪面の切り離しの役をさせる。

昭和37年度(雪庇の崩落と斜面積雪の崩落を併用)

図-5-8



昭和41年度

爆破はカーリット火薬を用い、その総使用量は112.5kgで、電気雷管は400発を使用した。火薬は1,00gが1本となっているが、200gずつ1束にしたカーリットを75孔に、300gずつ1束にしたカーリットを325孔にそれぞれ入れた。

横列は全部で18列とし、1列には23コの爆破孔をあげ、最下段には9コの爆破孔をあけた。また、爆破孔1コに対して雷管を1発とした。

雷管	23本×17列+9本=400本		
カーリット火薬	300g	325本	97.5kg
	200g	75本	15.0kg
<hr/>			
計	400本	112.5kg	

昭和42年度

本実験の爆破は、黒カーリット112.5kg用い、電気雷管は400発を使用した。火薬は100gが1本となっているが、200gずつ1束にしたカーリットを75孔に300gずつ1束にしたカーリットを325孔にそれぞれ入れた。横列は全部で24段とし、1列には約16~20の爆破孔をあけた。また横列間隔1.5m~2mとし、縦列間隔2.0m~2.5mとした。

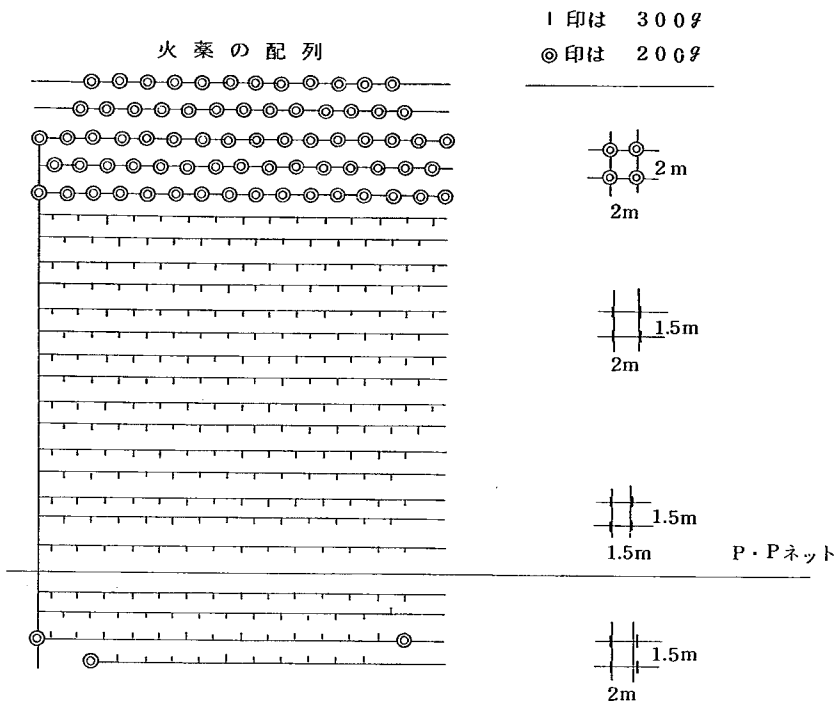
昭和43年度

種類	黒色カーリット	112.5kg	
	電気雷管	400本(脚線3m)	
分類	300g	325本	97.5g
	200g	75本	15.0g
<hr/>			
		400本	112.5g

起爆順序 脚線3mを使用し直列にて結線一斉爆破を行なう方法とした。

起爆位置分布は図一5-9のとおりである。

図-5-9



昭和44年度

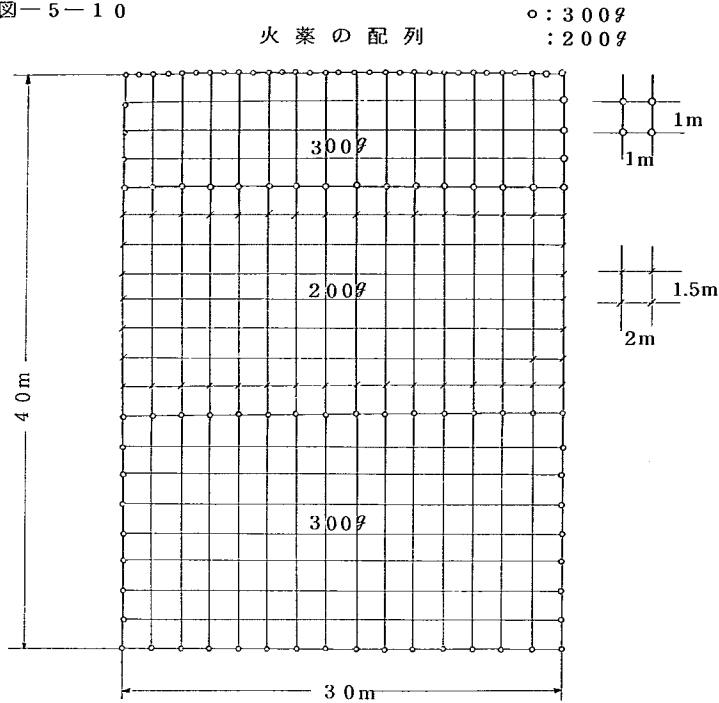
装薬数量

種類	黒色カーリット	NET	112.5kg
	電気雷管		400本(脚線3m)
分類	300g	325本	97.5kg
	200g	75本	15.0kg
		400本	112.5kg

起爆順序 脚線3mを使用し直列に結線爆破を行なう方法とした。

起爆位置分布は図-5-10のとおりである。

図-5-10



人工なだれ実験における爆破作業は危険が伴うので、使用する爆薬は安全性が高く、次のような性質がよいと思われる。

- 1) ガス量が多く低温においても起爆感度の変らぬもの。
- 2) 万一自然なだれが発生し流出しても分解し、不発処理を要しないもの。
- 3) 仮に自然なだれで流出しても、その回収を容易にするため導火線で点火できるもの。
- 4) 雷管を使用する場合は電気雷管とする。

5-2 遠隔爆破法

5-2-1 開発経過

現在なだれを防御構造物以外の方法でコントロールするものとして、人力により危険ななだれ斜面の山腹に多量の爆薬を運び上げ、細心の注意を払って、雪中に爆薬を装填・結線し爆破させ、処理する人工なだれ方式（直接爆破法）が採用されている。しかしながら、この方法は、莫大な人員と時間を必要とし、かつ、天候に左右される極めて危険な作業で交通管理のためのなだれ発生予知に常時使用するわけにいかない。それで、もっと手軽にある箇所の積雪が、現在自然なだれを起こす危険があるかどうかの判定に砲弾を使おうという構想が生まれた。この方法は、諸外国ではすでに実施されており、スイスでは、第2次大戦後、なだれをコントロールするのに、榴弾砲を使うことが試みられた。しかしながら、これは大仕掛けで軍隊でなくては行なえず、かつ、大重量の山砲を積雪地に搬入する

こと自体が困難であるため、特殊な場合以外は実用化できなかった。また、1960年代にはいて、米国やカナダで圧縮空気を使う投球機を改良したアバランチャー(Avalancher)と呼ばれる空気砲が開発され始めた。これは、1~4ポンド(0.45~1.8kg)の爆薬を納めた飛行体を投射する(最大射程約1.3km)装置で推進力には、非爆発性で発煙しない。CO₂ガスおよび窒素ガスの圧縮力(7~14kg/cm²)が利用されている。

この投射機本体の重量は約90kgで人工運搬は困難である。また、この他にガス容器とか圧縮用シリンダー等が付属し、部品もかなり多いようである。

わが国は地勢や人口集中度の点から、道路・鉄道等でのなだれ防御の対象斜面長は比較的短いのが普通である。また、見通しの得にくい所で、あまり大射程で射つことは危険とも考えられる。そこで、われわれの「なだれ制御弾」の開発の目標は小規模から中規模程度のなだれを対象として

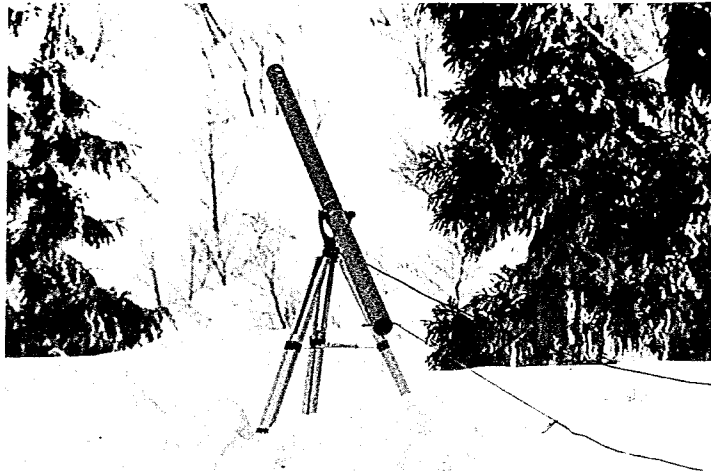
- ① 投射する有効爆薬量は0.5~1.0kg
- ② 最大射程距離は、水平350m~1,000m程度
- ③ 人力可搬型式とし、個々の搬送部品重量は25kg以下
- ④ 操作が容易、かつ安全
- ⑤ 採算性の見通しがあること

等を考慮し設定した。こうした観点から考慮対象として空気砲、無反動砲、ロケット、捕鯨砲、打上げ花火筒、ロープ発射器、無線誘導の模型飛行機等が検討された。その結果、昭和41年度において第1号機として、自衛隊等で使用しているロープ発射機を改良し、爆薬(500g)を弾体の先端に挿入し、積雪中に打ち込み、爆薬のみを残し、弾体を回収する。そして、多量の爆薬を打ち込んでから起爆薬を打ち込み、一斉に爆破させる方法のものを開発した。しかし、弾体の回収および起爆方法等の問題が多く、翌昭和42~43年度には、写真5-1に見るような弾体(これは、単発式で各弾体に起爆装置を付け雪中に打ち込まれたのち、数秒で爆破させる方法を取っている。)の全長:55cm、砲長



写真5-1 なだれ制御砲と弾体(発射直前)

：68cmの短距離（最大射程約350m）なだれ制御砲（第2号機）を開発し、さらに、昭和44～45年度にかけて比較的広範囲のなだれ管理が行なえるものとして、ロケット方式によるなだれ制御弾（最大射程約1,000m）を開発することに成功した。（写真一5-2参照、構造は3-2-2参照）



写真一5-2 ロケット方式によるなだれ弾と発射台

5-2-2 実施概要

実際は、開発段階であるため、実験場所として平地部（自衛隊、水戸射爆場、富士演習場、その他平塚の海岸）における性能試験と積雪地（新潟県中頸城郡妙高村妙高人工なだれ実験場、福井県大野市真名川流域沿線）による実射実験の二本立てで行なった。

(A) 第一号機

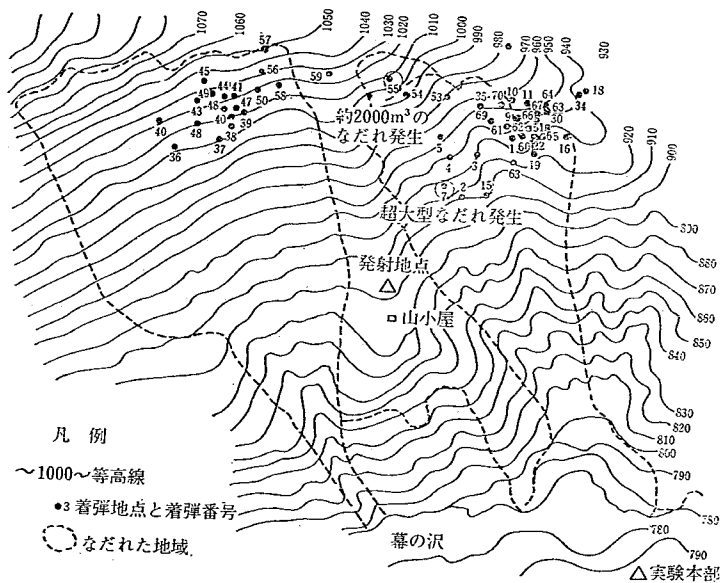
この機種による実験は、初めての試みであり実弾は使用せず、模擬弾（爆薬の代りに砂を使う）により遠隔爆破法の可能性、あるいは命中性能、飛翔性、安全性について数十発の実験を行なった。

(B) 第二号機

第一号機の開発経過を参考とし、前進のようななだれ制御砲と弾体を開発した。これによって40発程度の平地実験と積雪地では延べ140の実射実験を行なった。その結果、昭和43年3月の第1回実験は3月8、9、10日の3日間実施したが当時の積雪並びに気象状況は、同年2月末から実験前日の3月7日まで10日間以上晴天が続いたため、約3m深の積雪表面はザラ目状となっており、山頂付近には数条の亀裂が望見され、なだれ発生の危険が迫っていることが予想されたが、全斜面とも、大きななだれの発生した形跡はなかった。3月8日は気温-5℃位の曇天で雪空を呈していたが、昼近くからみぞれが降り出したので、6発投射ただけで実験を中止した。6発目は視界不良で弾着状況が確認できなかったが、5発目までは何れも20～30㎡程度の雪を40～50m落下させる状況が観測された。このみぞれは、すぐ雪にかわって翌9日の午前中までに降雪深50cmに達する吹雪となったが、それがやや

小康状態になった3月9日午前11時に実験を再開した。視界0の中で射角 30° で初弾(NC7)を発射した所、にぶい爆発音に続いて、なだれ発生音が聞こえ、それは直ちに、遠雷のような音から大轟音となり、立ちこめていたガスを吹払って投射した斜面だけでなく、発射基地の左側斜面にも大なだれを誘発し、奔流となって流下するのが目撃できた。幕の沢の谷間をへだてたなだれ斜面、正面の実験本部は一瞬疾風に吹き破られたガスに覆われ、猛裂な粉雪の雪煙中に閉じ込められた。本部付近に積ったこの粉雪の深さは1m以上に達した。なだれの推雪は、幕の沢の谷間に20m以上積み、一部はスキー場内に50m近く流入した。天候が回復した10日に図-5-11の地形図から、このなだれは、この図に示した約8万 m^2 の範囲で発生し、203 m^3 に達する流下量があったことが判明した。この超大型なだれの跡地や残雪地区に向け

図-5-11 実験斜面の地形と着弾点ならびになだれ発生区域



ての投射実験は、翌9日(晴天)も続けられ、延べ70発の投射を行なったが55発目に、山頂部付近の残雪約2,000 m^3 が極めてゆっくりと流下しただけであった。因みに、この付近は毎年3月中旬から4月中旬までの約1ヶ月間、1~2万 m^3 程度のなだれが数回発生する区域であるが、この年はその後全く自然なだれが発生しなかったことは、注目に値しよう。

第2回目の実験は本年2月13日に前回と同一箇所で行った。今年は、年始めに2m余りの降雪があっただけで、それ以後はほとんど大きな降雪はなく、実験斜面でも積雪深は1.5mに過ぎず、数十年来の異常過少雪深といわれ、スキー場の運営にすら支障をきたしていた。その上、既に10日間近くも晴天が続き、昼間は 10°C 近くまでの高温もあるため、午前中の低温時には積雪表面は氷板状態になっており、積雪

にはクラックは全く発生していなかった。実験当日は、気温0℃前後で、午後あまり上昇しなかったため、完全に氷板状態であった。従って延べ30発の投射でも、なだれは全く発生していなかった。その後若干の降雪があって、2月末には積雪深は3mに達したが、自然なだれは一度も発生しなかった。

㉑ 第三号機（ロケット弾）

昭和44年度においての実験は、ダミーを含め30発の実射を行なった。その結果実験斜面の積雪深は2m70cm程度であり、さらに表面には30cm程度の新雪があるため一見非常に落ちやすい積雪と思われたが、外気温が-5℃と寒く、したがって、雪層中のすべりやすいザラメ層が氷板状になって非常に締った雪質であったため、なだれを発生させることはできなかった。投射は、一定方向に発射させたものであるが目標地点（水平距離515m、垂直距離184m）から30～40m程度の誤差で着弾しているものが大半を占め、中でも50m以上も離れているものまであったため、今後の開発には前途多難と思われた。しかし、昭和45年度において、このなだれ弾をさらに改良（推進薬の燃焼時間が早すぎたため、強力な圧力が弾体に加わり変形したと思われるので、燃焼時間の長い推進薬に変えた）を加え、昭和46年2月10日（予備実験）に10発、同年3月3日（本実験）に20発の実射実験をそれぞれ実施した。その結果、予備実験では命中精度、安全性についての確認実験を行なったものであるが、積雪深が450cmで、新雪が200cm近くもあったにもかかわらず、雪温が-5℃で、外気温が-6℃と寒かったため雪が締っており、なだれが発生しなかったが、かなりの命中精度が得られた。

また、本実験においては、積雪深が325cm程度あり、積雪層内部の雪質はザラメ化しており、前日からの雨と外気の上昇に伴い非常に落ちやすい積雪で、この実験には最適の状態であった。しかし、実験当日の準備中（8時頃）に斜面の大部分は、なだれとなって流化してしまったため、以後の実験には、残雪部分を目標地点（写真一4参照）として投射したが、残雪部分は非常に安定しており、なだれは発生しなかった。しかし、なだれ制御弾の飛翔性、命中精度は非常に良く、水平500m、高さ150m程度の着弾地点であったが、半径約5m以内の誤差で命中した。このように今回の実験で、実用化への見通しが一層確認された。