



雪崩予防施設の設計・設置法に 関する共同研究報告書(その1)

平成元年3月

建設省土木研究所

社団法人鋼材倶楽部

Copyright © (1989) by P.W.R.I.

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

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

雪崩予防施設の設計・設置法に 関する共同研究報告書(その1)

建設省土木研究所

道路部	部長	足立	義雄
	道路交通総括研究官	柴田	正雄
	道路研究室長	高田	邦彦
	道路研究室研究員	岡	邦彦
新潟試験所	所長	下村	忠一
	主任研究員	石平	貞夫

(社)鋼材倶楽部

土木専門委員長(新日本製鐵(株))	新見	吉和
新日本製鐵(株)	瀧口	洋一
NKK	廣瀬	鉄蔵
川崎製鐵(株)	西澤	信二
住友金属工業(株)	飯村	修
(株)神戸製鋼所	前花	忠夫
(株)中山製鋼所	蓮尾	泰三
トピー工業(株)	斉藤	浩
日鐵建材工業(株)	末成	健夫
日本鋼管ライトスチール(株)	木寺	謙爾
川鉄建材工業(株)	安田	誠宏
住金鋼材工業(株)	田中	幹夫
神鋼建材工業(株)	川口	芳之
東京製鋼(株)	小山	博基

要 旨：雪崩予防施設の設計設置法に関する共同研究報告書(その1)

本報告は、建設省土木研究所と(株)鋼材倶楽部との共同研究として昭和63年度から平成2年度までの予定で研究を進めている「雪崩予防施設の設計設置法に関する研究」について、昭和63年度実施分の成果をとりまとめたものである。

本共同研究は、現地における雪圧観測を通して雪崩予防施設に作用する雪圧特性を解明し、有効かつ経済的な雪崩予防施設の設計、設置基準作成のための基礎資料を得ることを目的とするものである。そこで本報告書は、昭和63年度実施分の研究成果として、雪崩予防施設の設計の現状と破損の実態に関する実態調査、雪崩予防施設に作用する雪圧及びグライド・クリープ量の現地観測調査、さらにこれらの成果を踏まえた雪崩予防施設の設計に関する考え方あるいは、斜面積雪の挙動を数値解析することによって雪崩予防施設に作用する雪圧を算定しようとする雪圧シミュレーションの基礎的な考え方などについて、これらの研究成果を1冊にまとめたものである。

キーワード：雪崩予防施設、雪圧、グライド、クリープ、積雪、設計法

目 次

1. はじめに	1
1.1 共同研究の目的	1
1.2 共同研究の研究項目と分担	1
2. 雪の特性と雪崩予防施設について	3
2.1 日本の降雪	3
2.2 雪の特性	7
2.3 雪崩対策施設の概要	10
2.4 雪崩予防柵の設計の現状	14
3. 雪崩予防施設の実態調査	19
3.1 実態調査の目的	19
3.2 実態調査の内容	19
3.3 実態調査の方法	19
3.4 実態調査の対象地域と機関	19
3.5 実態調査結果	20
3.6 まとめ	40
4. 雪圧特性に関する実験	42
4.1 実験目的	42
4.2 実験斜面の概要	42
4.3 測定項目および方法	45
4.4 実験結果	48
4.5 今後の課題	54
5. 予防柵の雪圧算定方法に関する検討	55
5.1 雪圧計算式の概要	55

5.2	雪圧に関する基礎調査	55
5.3	設計に用いる項目の検討	56
5.4	今後の方針	61
6.	雪圧シミュレーションの開発について	62
6.1	雪圧シミュレーションの概要	62
6.2	基本的考え方	64
6.3	インプットとアウトプット	67
7.	基礎構造載荷実験計画概要(コンクリート実大基礎載荷実験)	69
7.1	実験目的	69
7.2	実験概要	69

— 付 録 —

1.	共同研究全体計画(スケジュール)	77
2.	共同研究の組織と参加会社	80
3.	勉強会講演概要	82
3.1	「雪の物理的性質と雪崩発生機構」	82
	講師 北海道大学低温科学研究所 秋田谷 英次氏	
3.2	「構造物に作用する雪圧と雪圧シミュレーション」	82
	講師 気象庁気象大学校 大泉 三津夫氏	
3.3	「雪崩予防施設の施工の現状と問題点」	83
	講師 関越ロードメンテナンス㈱ 阿部 勉氏	
	[(元)建設省長岡国道工事事務所建設専門官]	
4.	会議開催状況	84
5.	雪崩予防施設の実態調査アンケート調査票	85
6.	雪崩予防施設実態調査一覧表	97

1. はじめに

1.1 共同研究の目的

現在、雪崩予防施設に作用する雪圧荷重の算定は、スイスの示方書に準拠して行われているが、毎年春先になると数多くの施設において破損が見受けられ（59年豪雪時には特に多かった）、効率的な設計が行われているとは言い難いのが現状である。これは日本のような比較的密度の大きい雪質に対して、スイスのような比較的密度の小さい雪を対象として設定された雪圧特性（荷重計算の基礎となる斜面積雪のグライド係数・クリープ係数等）を用いており、実現象と必ずしも適応していないためと考えられている。このようなことから建設省土木研究所道路研究室および新潟試験所では、数年前から多積雪地における雪崩予防施設に作用する雪圧特性について調査を実施してきた。また、民間企業においても雪崩予防施設の上部および下部構造に関して新製品を開発するための検討を行っている。

以上のことから、雪崩予防施設に作用する雪圧特性を解明し、有効かつ経済的な雪崩予防施設の設計・設置基準を作成するための基礎資料を得ることを目的として共同研究を開始した。

1.2 共同研究の研究項目と分担

本共同研究は、現地における雪圧観測を通して雪崩予防施設に作用する雪圧特性を解明し、有効かつ経済的な雪崩予防施設の設計、設置基準作成のための基礎資料を得ることを目的とするものであり、昭和63年度～平成2年度の3年間にわたり、表-1.1に示す項目について研究を行うものである。また、本研究を進めるにあたり、土木研究所および鋼材倶楽部は、それぞれ表-1.2に示す研究細目についてそれぞれ分担することとした。

表-1.1 研究項目および実施年度

研 究 項 目	実 施 年 度		
	63年度	元年度	2年度
1) 既存施設の破損実態に関する研究	—		
2) 雪崩予防施設の雪圧特性に関する研究			
3) 雪崩予防施設の設計設置法に関する研究			
4) 雪崩予防施設の設計設置基準（案）の検討			

表-1.2 研究の分担

研 究 項 目	研 究 細 目	研 究 分 担	
		土木研究所	鋼材倶楽部
1. 既存施設の破損実態に関する研究	・ 既存資料による破損実態調査	○	○
	・ 設計等の現状と問題点の整理	○	○
2. 雪崩予防施設の雪圧特性に関する研究	・ 雪崩予防施設に作用する雪圧およびグライド・クリープ量の測定	○	
	・ 雪圧実験の解析および雪圧シミュレーションの検討	○	○
3. 雪崩予防施設の設計設置法に関する研究	・ 雪崩予防施設の上部構造に関する検討		○
	・ 雪崩予防施設の基礎構造に関する検討		○
	・ 経済性および地域性等を考慮した施設の最適構造に関する検討	○	
	・ 上記検討を基にして設計された施設による検証実験	○	○
4. 雪崩予防施設の設計設置基準（案）の検討	・ 雪崩予防施設の設計設置基準（案）に関する検討	○	○

共同研究を進めるにあたり、委員会を設置して研究を行う。なお、本共同研究の具体的な全体計画・研究内容および委員会の構成については、付表-1.1 (1) ～1.1 (3) および付表-1.2 (1) ～1.2 (4) を参照願いたい。

2. 雪の特性と雪崩予防施設について

2.1 日本の降雪

日本の国土は、アジア大陸東端の沿岸に位置し、日本海を隔てて弧状に連なっている。冬期には、日本付近は西高東低の気圧配置が基本となり、北西の季節風が卓越することが多い。このような気候条件のなかで、シベリア方面から南下する冷たい空気は、日本海を渡るとき多量の水分を補給し、また下層を暖められることによって上昇気流が生じ雪雲を発生させる。この雪雲は季節風に流されて、日本列島を貫くせきりょう山脈にぶつかり日本海側の山沿い地方を中心に降雪をもたらせる。また、強い寒気が日本付近に南下して停滞するときは、日本海側の海岸地方や平地でも大雪となることが多い。

こうした豪雪地域は我が国の52%にもおよぶ面積を占め、総人口の約18%が居住し、世界でも有数の豪雪地帯を形成している。図-2.1および表-2.1に、「豪雪地帯対策特別措置法（昭和37年）」に基づいて指定された豪雪地帯を示した。豪雪地帯は、現在、道府県単位で全域指定されているものが10道県、市町村単位で指定されている府県が14府県、両者を合わせた対象市町村数の総数は967で、全国市町村数の約3割を占めている。さらに、豪雪地帯のうち積雪量が特に多く、積雪により長期間、自動車交通が途絶する等により住民の生活に著しい障害を生ずる280の市町村が特別豪雪地帯として指定されている。

表-2.2には各地域における積雪深の最大記録を示した。また、表-2.3に新潟県長岡市周辺における近年の年最大積雪深を示したが、表中*印は一般に豪雪年と呼ばれているものである。図-2.2には、近年記録的な豪雪となった59豪雪における各地の最大積雪深の状況を示した。

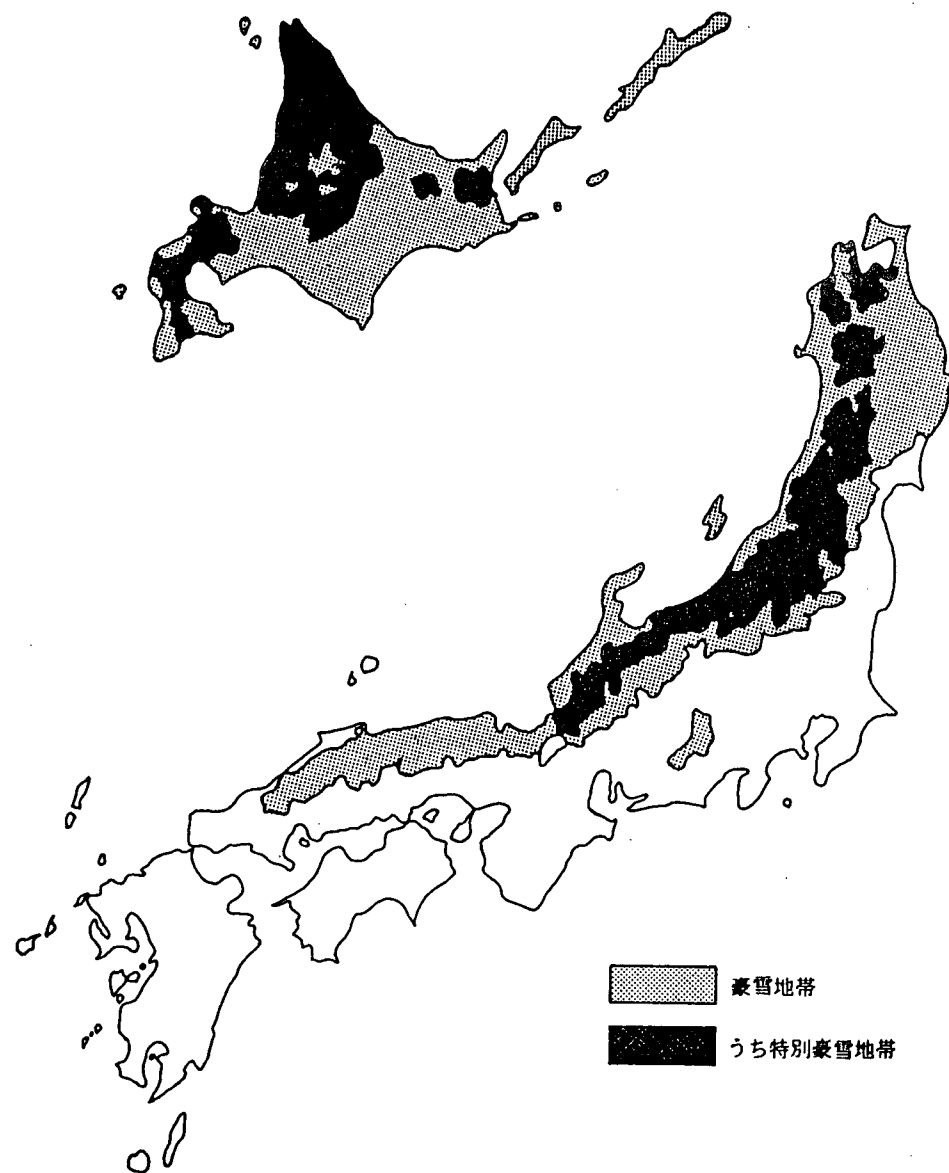


図-2.1 豪雪地帯・特別豪雪地帯指定地域図 ¹⁾

表-2.1 豪雪地帯道府県別市町村数 ¹⁾

道府県名	全市町村数	豪雪地帯				うち特別豪雪地帯			
		計	市	町	村	計	市	町	村
北海道	212※	212	32	155	25	94	13	65	16
青森県	67※	67	8	34	25	15	3	8	4
岩手県	62※	62	13	31	18	3	—	1	2
宮城県	74	20	2	16	2	1	—	1	—
秋田県	69※	69	9	49	11	24	2	16	6
山形県	44※	44	13	27	4	28	7	17	4
福島県	90	31	4	15	12	18	—	10	8
栃木県	49	6	2	3	1	—	—	—	—
群馬県	70	24	2	9	13	1	—	—	1
新潟県	112※	112	20	55	37	53	9	25	19
富山県	35※	35	9	18	8	13	—	8	5
石川県	41※	41	8	27	6	6	—	1	5
福井県	35※	35	7	22	6	5	2	2	1
山梨県	64	2	—	1	1	—	—	—	—
長野県	122	31	6	6	19	11	1	2	8
岐阜県	100	33	1	9	23	7	—	1	6
静岡県	75	2	1	1	—	—	—	—	—
滋賀県	50	11	2	8	1	1	—	1	—
京都府	44	17	4	13	—	—	—	—	—
兵庫県	91	22	1	21	—	—	—	—	—
鳥取県	39※	39	4	31	4	—	—	—	—
島根県	59	15	—	12	3	—	—	—	—
岡山県	78	21	2	9	10	—	—	—	—
広島県	87	16	—	12	4	—	—	—	—
計	1,769	967	150	584	233	280	37	158	85

(注) ※は、全域豪雪地帯の道県である。

- (注) 1. 豪雪地帯：年間の日積雪深累計の平均が 5,000cm以上の地方
 2. 特別豪雪地帯：年間の日積雪深累計の平均が15,000cm以上の地方
 3. 昭和60年度現在

表-2.2 積雪深の最大値²⁾
(統計期間：統計開始年－1986年)

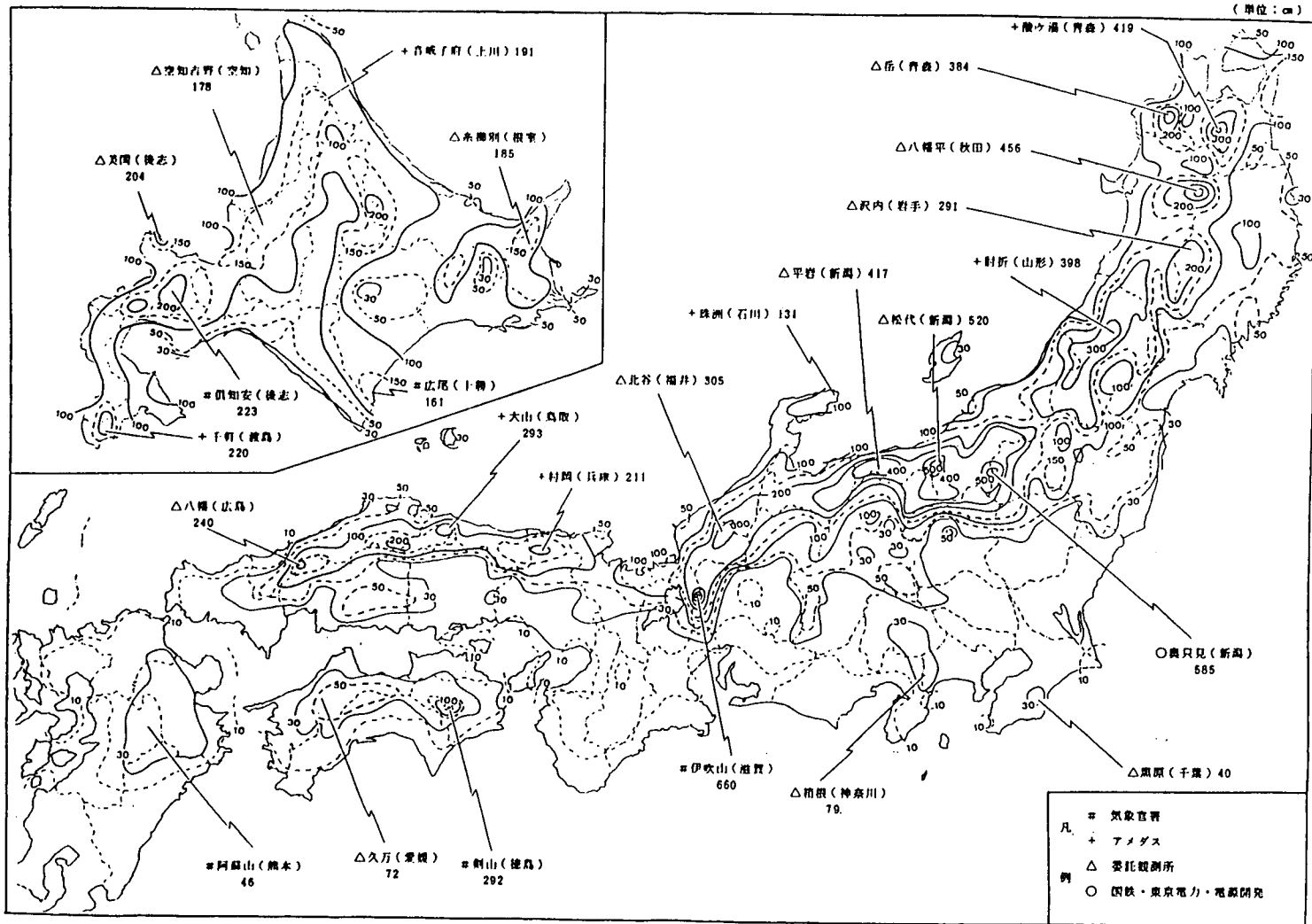
地 点	最 大 統 計				地 点	最 大 統 計			
	cm	年 月 日	開始			cm	年 月 日	開始	
稚内	199	1970 2 9	1938		銚子	17	1936 3 2	1887	
留萌	204	1946 3 17	1943		津松	26	1951 2 14	1889	
旭川	134	1938 2 18	1893		浜松	27	1907 2 11	1906	
網走	121	1917 3 27	1892		静岡	10	1945 2 25	1940	
札幌	169	1939 2 13	1890		東京	46	1883 2 8	1876	
帯広	177	1970 3 17	1893		尾鷲	4	1982 1 29	1939	
釧路	123	1939 3 9	1910		横浜	45	1945 2 26	1924	
根室	92	1933 3 29	1888		大島	32	1945 2 22	1939	
弁都	189	1945 3 17	1888		八丈島	3	1946 3 8	1907	
浦河	52	1928 1 7	1927		西郷	107	1962 1 27	1939	
函館	91	1985 2 10	1940		松江	100	1971 2 4	1940	
青森	209	1945 2 21	1894		鳥取	129	1947 2 22	1943	
秋田	117	1974 2 10	1890		浜田	53	1982 1 17	1893	
盛岡	81	1938 2 19	1924		京都	41	1954 1 26	1886	
宮古	101	1944 3 12	1884		彦根	93	1918 1 9	1894	
酒田	100	1940 2 3	1938		下関	39	1900 1 26	1883	
山形	113	1981 1 8	1893		広島	31	1893 1 5	1883	
仙台	41	1936 2 9	1926		岡山	26	1945 2 25	1891	
福島	80	1936 2 9	1901		神戸	17	1945 2 25	1914	
小名浜	28	1945 2 26	1916		大阪	18	1907 2 11	1901	
輪島	110	1945 1 18	1929		和歌山	40	1883 2 8	1880	
相模	65	1936 2 5	1912		潮岬	5	1948 1 16	1916	
新潟	120	1961 1 18	1890		奈良	19	1963 3 13	1953	
金沢	181	1963 1 27	1891		岐阜	9	1901 2 21	1888	
富山	208	1940 1 30	1939		福岡	30	1917 12 30	1894	
長野	80	1946 12 11	1892		佐賀	21	1959 1 17	1893	
高田	377	1945 2 26	1923		大分	15	1945 2 22	1916	
宇都宮	30	1945 2 26	1890		長崎	15	1967 1 17	1906	
都井	213	1963 1 31	1897		熊本	13	1945 2 7	1891	
福井	128	1981 1 8	1899		鹿児島	29	1959 1 17	1892	
松本	78	1946 3 3	1898		宮崎	3	1945 1 24	1886	
軽井	71	1931 2 22	1925		福岡	43	1963 1 26	1962	
前橋	37	1945 2 26	1897		松山	34	1907 2 11	1890	
熊谷	45	1936 2 23	1897		高松	19	1984 1 31	1941	
水戸	32	1945 2 26	1897		高知	9	1963 2 27	1912	
敦賀	196	1981 1 15	1898		徳島	42	1907 2 11	1891	
岐阜	58	1936 2 1	1891		足摺	4	1968 1 15	1941	
名古屋	49	1945 12 19	1891		室戸岬	4	1986 2 11	1920	
飯田	56	1928 2 14	1898		名瀬	—	—	1896	
甲府	46	1986 2 19	1895		那覇	—	—	1891	

表-2.3 新潟県長岡市周辺年最大積雪深

新潟県長岡市周辺年最大積雪深 (cm)									合 計
暦 年	柏 崎	長 岡	小千谷	川 口	小 出	湯 沢	三 俣		
34	100	105	110	135	120	185	180	935	
35	65	85	160	235	270	325	320	1460	
* 36	218	217	260	305	327	330	300	1957	
* 37	57	110	190	235	247	295	280	1414	
* 38	168	318	345	395	299	186	210	1921	
39	20	64	70	—	131	212	—	497	
40	42	111	172	—	260	175	—	760	
41	50	107	190	—	290	193	240	1070	
42	106	118	210	266	290	240	365	1595	
43	117	250	360	410	355	245	320	2057	
44	152	180	200	250	225	168	194	1369	
45	65	170	312	315	295	215	360	1732	
46	60	130	264	270	280	260	370	1634	
47	38	40	81	100	80	65	185	589	
48	33	72	90	110	120	165	210	800	
* 49	87	204	329	335	318	275	400	1948	
50	88	126	255	290	260	250	370	1639	
* 51	95	168	332	257	245	258	310	1665	
* 52	173	212	326	304	271	272	385	1943	
53	46	95	310	288	270	299	425	1733	
54	14	33	80	121	109	80	169	606	
55	118	191	299	310	324	232	336	1810	
* 56	133	223	382	380	375	324	398	2215	
57	36	91	173	186	185	215	322	1208	
58	87	141	225	222	205	200	262	1342	
* 59	163	213	353	360	335	331	470	2225	
* 60	140	188	285	250	275	232	247	1617	
* 61	168	225	367	360	355	246	300	2021	
62	47	81	165	190	185	190	280	1138	
63	70	116	201	222	222	207	283	1321	
地点計	2756	4384	7096	7101	7523	6870	8491	44221	
年平均	92	146	237	263	251	229	303	216	

(注) *印は一般に豪雪年と呼ばれているものであるが、地域によって多少異なる。

図-2.2 最大積雪深分布図(昭和58年12月11日~59年 3月31日) ¹⁾



雪質の分類法の解説

(1) 新雪 (N)

降り積もった直後の雪はやわらかく、きわめて軽く、密度は $0.05 \sim 0.10 \text{ gf/cm}^3$ 程度である。やがて雪の結晶は昇華蒸発（固体が液体を経ずに気体となること）によってとがった角が次第に丸みをおびるようになり、雪質は徐々にしまつて密度を増してくるが、積もってから数日間は大なり小なり降雪時の結晶形を残しており、この段階の積雪を新雪という。

(2) こしまり雪 (S_1)

新雪がしまり雪に変態する時の中間的な過程で、密度範囲は $0.15 \sim 0.25 \text{ gf/cm}^3$ 程度である。

(3) しまり雪 (S_2)

積もってから何日かたつと、気温が低くて雪が融けなくても本来の結晶形は全く消失し、粒状や柱状の小さな氷の粒が縦横につながり合った網目組織ができあがり、機械的にも強くなる。この段階の積雪をしまり雪といい、密度は $0.25 \sim 0.50 \text{ gf/cm}^3$ 程度である。本州山岳部、北海道の真冬の厚い積雪層は大部分がしまり雪である。

(4) ざらめ雪 (G)

雪がぬれて変態を起したり、融水が雪粒をおおったまま再凍結することによって雪粒が次第に大きくなったものはざらめ雪と呼んでいる。密度は $0.3 \sim 0.5 \text{ gf/cm}^3$ 程度である。冬期間にも地面付近にはざらめ雪層が存在することがあり、春になると全層がざらめ雪になる。

(5) こしもざらめ雪 (H_1) としもざらめ雪 (H_2)

平均雪温が比較的高く、表面温度が低くなった時（例えば、日中よく晴れて気温が上がり、夜間非常に冷え込んだ時など）積雪内に上低下高の温度勾配が生じ蒸気の移動が起る。つまり、下部の雪粒表面から昇華した水蒸気が、すぐ上にある温度の低い雪粒に凝結し新しい結晶が成長する。条件によって、コップ状のがい晶（骸晶）と、中がつまったものことがあるが、いずれもその粒径にくらべてつけ根が極めて細く、空洞部が多く、積雪層としては全体に非常にもろい。こしもざらめ雪の成長初期段階のものは、外観も機械的性質も、しまり雪と区別しにくい場合もあるが、一般的には、こわれやすい組織構造をもつため、密度測定も難しい。大体の密度は 0.3 gf/cm^3 ぐらいである。特に、しもざらめ雪と呼ばれるコップ状の結晶は、非常に大きく成長し、指先がふれただけでサラサラとくずれおちるほどもろく、寒冷地における雪崩発生 of 主要な原因の1つである。

2.2.3 積雪層の形成

各積雪層の厚さは、一回の降雪が始まってから終了するまでの降雪量によって決まり、多雪地では一回に1m以上積もることもしばしばある。各積雪層の厚さは、積雪層が形成された当初は降雪量とほぼ同じであるが、積雪の変態により容積を縮小し沈降する。(図-2.4) さらに、次の降雪開始までの時間が長かったり、雨とか日射などの影響を多く受けると、その表面あるいは全体がざらめ化され非常に脆い積雪層が形成される。脆い層が安定した積雪層との間に形成された場合、表層雪崩の発生原因になることが多い。また、積雪層は沈降する過程で締まった硬い層が形成される場合が多い。これは、気象条件などによって異なるが、北陸地方では気温の低い1月上旬から2月下旬に多く見られ、積雪の下層ほど締まった硬い層が形成される。(図-2.5) 逆に、春先になると融雪水、雨水の浸透などにより積雪層全体がざらめ化され非常に脆くなり、斜面の積雪に亀裂が多く見られるようになる。

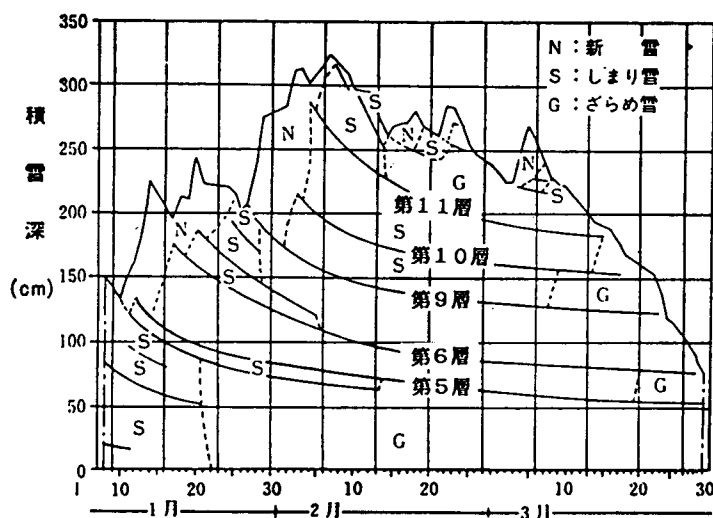


図-2.4 積雪層の変化状況

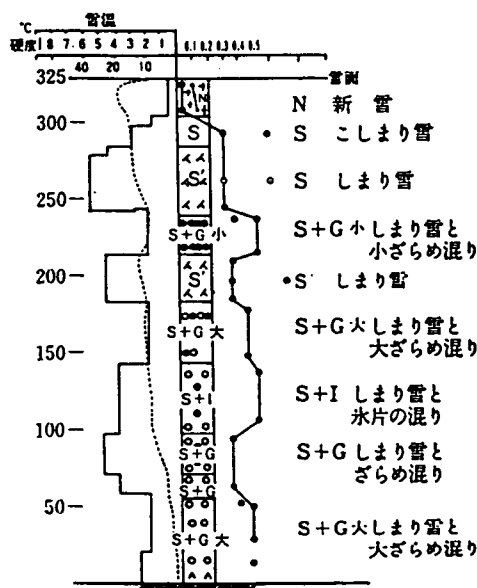


図-2.5 たて穴による積雪観測図⁴⁾

2.2.4 斜面積雪の移動

斜面上に積もった雪は、積雪の沈降と重力の作用により斜面下方に移動しようとする。この場合、地表面で積雪が移動する現象をグライドといい、積雪内部で移動するものをクリープと呼んでいる。

クリープ・グライド量の大きさは斜面の勾配・地表状態・気象条件などによって異なるが、一般には気温が高く地表面の凹凸が少なくすべりやすい状態の斜面ではグライド・クリープ量は大きく、気温が低く大きな樹木が密集しているような斜面では小さい。

斜面に階段工、雪崩予防柵などが設置されている場合は、積雪がそこで抑えられグライド量は小さくなる反面、構造物には大きな雪圧が作用する。逆に、斜面積雪の移動量が大きくなると雪崩が発生しやすくなる。

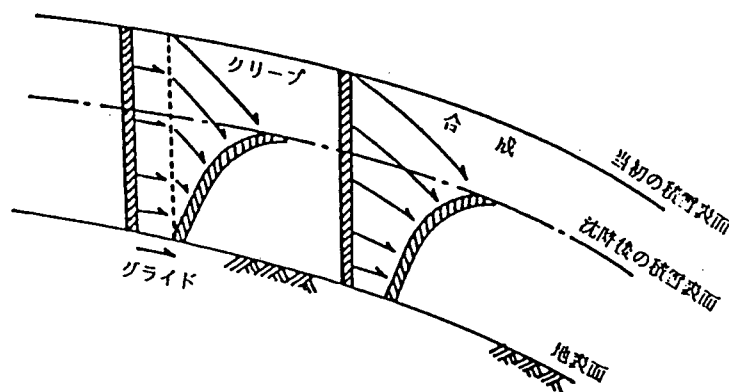


図-2.6 積雪の移動形態

2.3 雪崩対策施設の概要

2.3.1 雪崩の分類

我が国では、日本雪氷学会の“雪崩の分類名称”(1965)が広く用いられており、この分類方法は一般の人が、雪崩や雪崩跡を見てかなり直感的に区分できることを目的としたもので、次の3つの要素から分類している。

- ①雪崩発生の形
- ②雪崩層の雪質
- ③すべり面の位置

ここに、雪崩発生形の形、すべり面の位置は図-2.7および図-2.8のように定義されている。

次に、上記の3つの要素の各々を2つに区分し、表-2.5のように定義し、さらに雪崩分類の要素の組み合わせから、分類名称を表-2.6のように定めている。

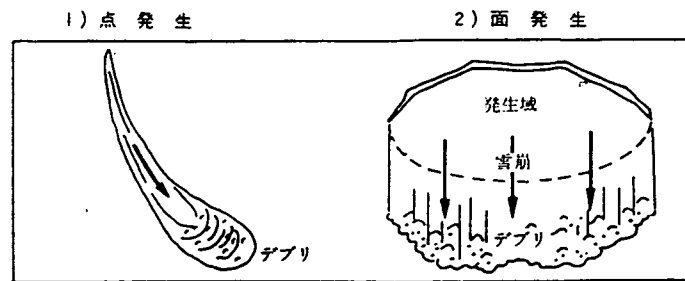


図-2.7 雪崩発生の形 ⁵⁾

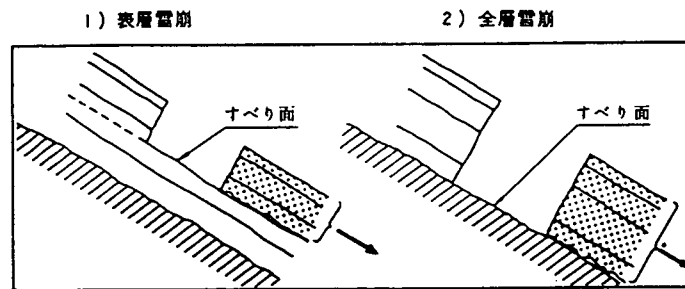


図-2.8 すべり面の位置 ⁵⁾

表-2.5 雪崩の分類要素（日本雪氷学会）³⁾

雪崩分類の要素	区分名	定 義
雪 崩 発 生 の 形	点発生	一点からくさび状に動き出す。一般に小規模。
	面発生	かなり広い面積にわたりいっせいに動き出す。一般に大規模。
雪 崩 層 の 雪 質	乾 雪	雪崩層が水気を含まない。
	湿 雪	雪崩層が水気を含む。
すべり面の位置	表 層	すべり面が積雪内部
	全 層	すべり面が地表面

表-2.6 雪崩の分類名称（日本雪氷学会）³⁾

		雪 崩 発 生 の 形		
		点 発 生	面 発 生	
雪崩層の雪質	乾 雪	点 発 生 乾雪表層雪崩	面 発 生 乾雪表層雪崩	面 発 生 乾雪全層雪崩
	湿 雪	点 発 生 湿雪表層雪崩	面 発 生 湿雪表層雪崩	面 発 生 湿雪全層雪崩
		表 層		全 層
		す べ り 面 の 位 置		

2.3.2 雪崩対策施設の種類と機能

雪崩対策施設は、表-2.7に示すように、発生を未然に予防するための予防施設と、発生した雪崩から施設等を防護するための防護施設に大別される。

①予防施設

雪崩は一般に発生区、走路、堆積区の3つに区分されるが(図-2.9)、予防施設は発生区に設置するものである。予防施設の大多数は発生予防工と呼ばれるもので積雪の個々の雪粒や層の間で起こるクリープと、雪と地面の境界面で起こるグライドを防ぎ、斜面の積雪が移動(クリープ、グライド)するのを直接防止するものである。もう一つの予防工法は、雪崩発生の主要な誘因の一つである雪庇形成を防止する雪庇予防工である。

発生予防工と雪庇予防工には表-2.7に示すように各種の工法があり、施設の選択に当っては、施設の機能を十分に発揮できるように、現地の積雪条件・勾配・地形・地質等について調査し、最適な工法を選定しなければならない。

②防護施設

防護施設とは、雪崩の走路や堆積区に設置するもので、図-2.10 および表-2.7に示すように流れ出してきた雪崩をくい止める阻止工、雪崩の流れの方向を変える誘導工、雪崩の勢力を分割したりその力を軽減する減勢工、路線上に屋根を設けて雪崩を通過させる防護工(スノーシェッド)などの構造物がある。

防護施設の設置に当っては、その機能を十分に果たすことができるようにするために、走路および堆積区近傍の地形等を十分に調査して工種を決定する必要がある。



図-2.9 典型的な雪崩跡

表-2.7 雪崩対策施設の種類

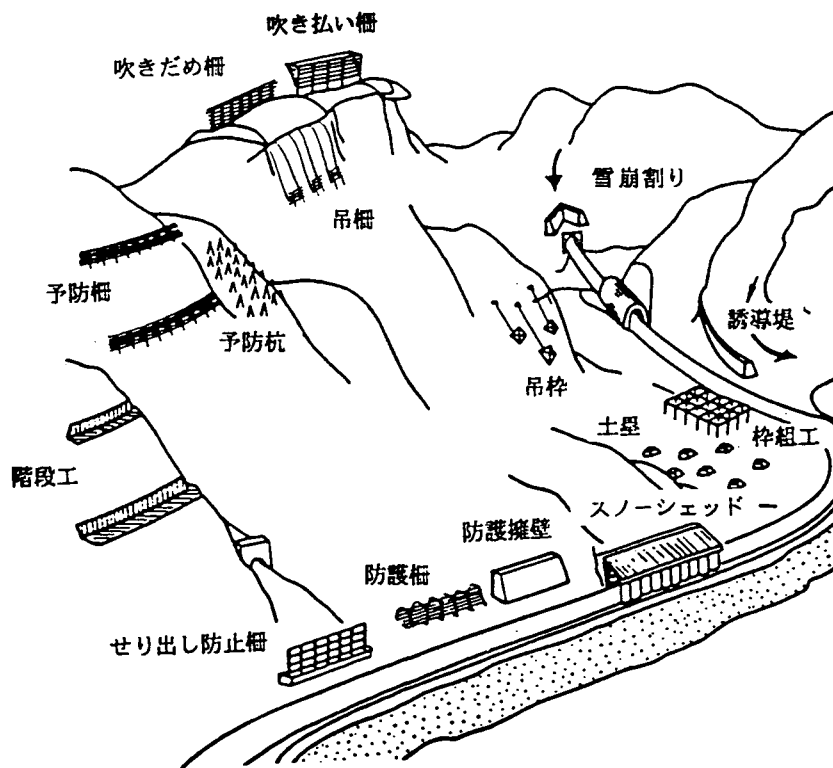
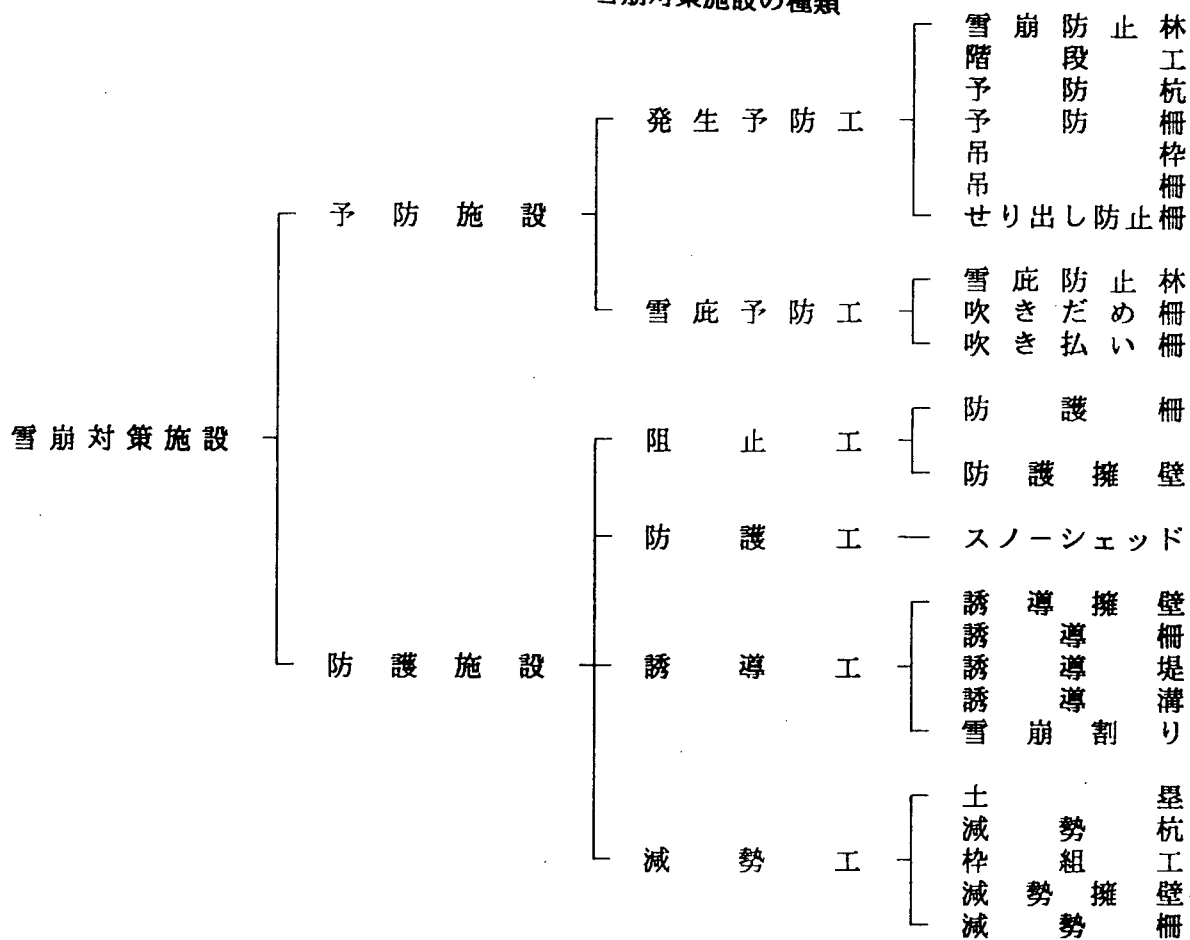


図-2.10 主な雪崩対策施設

2.3.3 雪崩予防施設の特徴

雪崩予防施設は、雪崩を発生区において未然に防止するものであり、次のような特徴を持っている。

- ① 柵面で直接斜面積雪のクリープ、グライドを阻止する確実な方法である。
- ② 設計積雪深6m程度まで比較的容易に施工が可能である。
- ③ 斜面勾配が40～50度の急斜面・凹凸のある斜面あるいは斜面長200m以上の斜面などにおいても施工が可能である。
- ④ 地すべり地など基礎の設置できない箇所でも、吊柵として施工することができる。

このようなことから我が国では、雪崩予防柵は他の予防施設に比べ表層雪崩・全層雪崩の両方に対してより効果的な施設として用いられている。また諸外国でも有効な雪崩対策施設として使用されており、特にスイスでは雪崩対策の最も重要な施設として研究と実用の両面から多くの実績と研究が行われてきている。

2.4 雪崩予防柵の設計の現状

現在我が国では、1955年にスイスで策定された雪崩予防柵に関する設計および設置に関する示方書⁶⁾ 7) 8) に準拠^{9) 10)} して設計が行われており、その設計方法の概要は以下に示す通りである。一方、構造物に作用する雪圧について有限要素法等を用いた研究^{11) 12) 13)} も実施されている。

1) 設計荷重

(a) 積雪荷重

積雪荷重は、設計積雪深 H (m)と平均密度 γ (tf/m³)の積とする。

ここで、設計積雪深は、30年確率最大積雪深をとるものとする。一方、30年確率時の積雪深を測定することは不可能に近く、その積雪状態における平均密度もまた実測が不可能に近いため、平均密度は0.35(tf/m³)を標準値として用いることとする。なお、各地における最大積雪深時の平均密度の実測値は、ほぼ0.3～0.35(tf/m³)の範囲にあり、0.35(tf/m³)を標準値として使用してもよいと思われる。

(b) 設計荷重

$$i) \text{ 斜面雪圧 } S_N = \gamma \frac{H^2}{2} K N \quad (\text{tf/m})$$

$$S_Q = \frac{a}{N \tan \phi} S_N \quad (\text{tf/m})$$

S_N : 雪圧の斜面に平行な成分(tf/m)

S_Q : 雪圧の斜面に直角な成分(tf/m)

γ : 積雪の平均密度(tf/m³)

H : 設計積雪深(m)

表-2.8 クリープ係数(K)の値⁶⁾

雪密度 γ (tf/m ³)	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60
$K/\sin 2\phi$	0.70	0.76	0.83	0.92	1.05

K : クリープ係数

N : グライド係数

ϕ : 斜面の傾斜角 (度)

$$a = \frac{1-2\nu_c}{2(1-\nu_c)} \quad \nu_c = 0.4\gamma$$

ν_c : 積雪の粘性ポアソン比 (圧縮)

ii) スノープリズム

$$G = \gamma \frac{D_s^2}{2} \tan \rho$$

$$D_s = H \cos \phi$$

G : スノープリズム荷重 (tf/m)

ρ : 柵前面の傾き (度)

D_s : 斜面に垂直に測った積雪深 (m)

斜面雪圧とスノープリズムによる荷重の合力を R (tf/m) とすると

$$R = (R_N + R_Q)^{1/2}$$

ここで、 $R_N = S_N + G \sin \phi$ $R_Q = S_Q + G \cos \phi$ である。

また、合力 R の作用方向 ξ は次式で与えられる。

$$\xi = \tan^{-1} \frac{R_Q}{R_N}$$

斜面雪圧とスノープリズムによる荷重の合力 R を柵の支持面に直角な成分 P と支持面に平行な成分 Q とに分けて考え、構造計算には P および Q を支持面の高さ B_K で除した値 p (tf/m²) および q (tf/m²) が等分布荷重として支持面に作用するものとして取り扱うとすると、 p および q は次式により求められる。

$$p = \frac{P}{B_K} = \frac{R \cos(\xi - \rho)}{B_K} \quad q = \frac{Q}{B_K} = \frac{R \sin(\xi - \rho)}{B_K}$$

最大積雪深 H_1 から圧密沈下して積雪深が H_2 になったときのそれぞれの斜面雪圧 S_1 、 S_2 は、積雪の密度を γ_1 、 γ_2 、クリープ係数を K_1 、 K_2 とすれば次のようになる。

$$S_1 = \gamma_1 \frac{H_1^2}{2} K_1 N \quad S_2 = \gamma_2 \frac{H_2^2}{2} K_2 N$$

この場合、雪は圧密沈下しただけであるから、それぞれの場合の斜面雪圧 S_1 、 S_2 は近似的に等しいことになる。したがって、 $S_1 = S_2$ とおくと、

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{\gamma_1 K_1}{\gamma_2 K_2} \right)^{1/2}$$

ここで雪密度の代表値として、 $\gamma_1 = 0.30 \text{ tf/m}^3$ 、 $\gamma_2 = 0.45 \text{ tf/m}^3$ を考えると $H_2/H_1 = 0.76$ となる。

表-2.9 グライド係数 (N) の値 ⁶⁾

地 表 の 状 態	グライド係数 N の値	
		
I. 玉石 (30cm 以上) の斜面、大岩の凹凸面	1.2	1.3
II. 礫 (30cm 以下) の斜面、丈 1m 以上のかん木地、50cm 以上の凹凸地面	1.6	1.8
III. 小さいかん木、50cm 以下の凹凸地面、草地	2.0	2.4
IV. 平滑岩盤、葉の長い草地、湿地	2.6	3.2

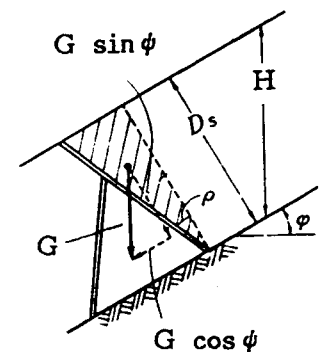


図-2.11 スノープリズム

また図-2.12から

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{B_K}{B_{K'}}$$

これより柵に作用する雪圧の分布が B_K および $B_{K'}$ の場合の等分布荷重 p 、 q および p' 、 q' には次の関係が求められる。

$$\frac{p'}{p} = \frac{q'}{q} = \frac{H_1}{H_2} = 1.3$$

すなわち、バーの設計に用いる分布荷重 p' 、 q' は支柱および支柱の設計に用いる分布荷重 p 、 q の30%増しとなる。

iii) 付加荷重

バーの設計にあたっては、斜面雪圧25%の値を地面から柵高の1/4 までの間に作用させる。

iv) 辺縁効果

柵の端部には辺縁効果による荷重を考慮する。

$$S_R = f_R S_N$$

S_R : 辺縁効果荷重(tf/m)

S_N : 雪圧の斜面に平行な成分(tf/m)

f_R : 辺縁効果係数

$$\text{ここで } f_R = (0.92 + 0.65N) \frac{A}{2} \leq 1.00 + 1.25N$$

N : グライド係数

A : 柵と柵の水平間隔(m)

辺縁効果の作用範囲 Δl は次式による。

$$\Delta l = 0.60 \frac{A}{2} \leq \frac{D_s}{3}$$

D_s : 斜面に垂直に測った積雪深(m)

l : バーの横幅(m)

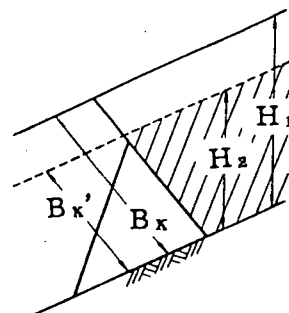


図-2.12 積雪の圧密沈下の状況

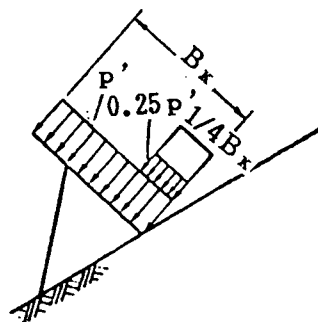


図-2.13 付加荷重

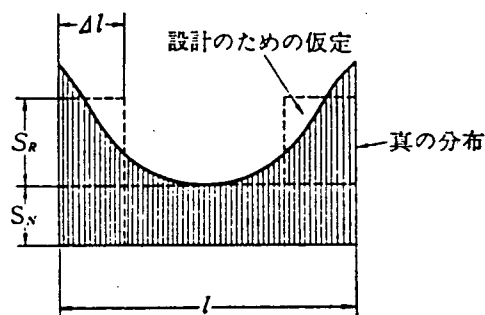


図-2.14 辺縁効果荷重

骨組（支柱、支柱）および基礎の設計に考慮すべき荷重は、斜面雪圧（ S_N 、 S_Q ）、スノープリズム荷重（ G ）および辺縁効果荷重（ S_R ）とする。

2) 配置

斜面上に柵を設けると、積雪層のクリープやグライドに対し、ダムのような作用をし、その背圧領域は柵の高さの数倍にも及ぶ。ある区域に柵の配置を計画する際、最上列は、予想される発生区最上端の破断線がこの背圧領域に入るようにしなければならない。最下列の柵は、原則として斜面勾配が30度以下になるところまで考える必要がある。

- ①連続配置
- ②断続配置
- ③千鳥配置
- ④組合せ配置

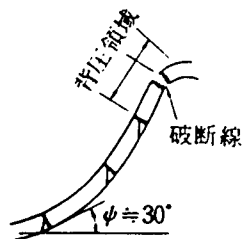


図-2.15 予防柵の配置

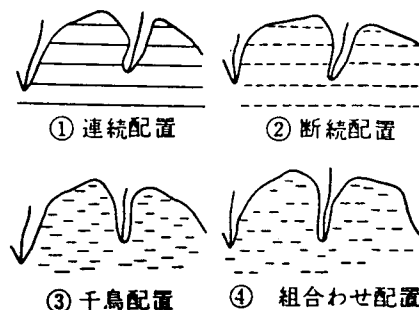


図-2.16 各種の配置図

各配置には、それぞれ一長一短があり、地形条件・雪質あるいは経済上から十分検討して決めなければならない。一般的に、自然斜面は千鳥配置が、人工斜面は連続配置が用いられる。

3) 柵間隔

予防柵の列間隔は次式によって決める。

$$L = f_L H$$

$$f_L = \frac{2 \tan \phi}{\tan \phi - \tan \phi}$$

L : 列間斜距離(m)

f_L : 距離係数

H : 設計積雪深(m)

ϕ : 斜面角度(度)

ϕ : 雪と地面の摩擦角 ($\tan \phi = 0.5 \sim 0.6$)

4) 構造および材料

標準的な構造を以下に示す。また使用材料としては、通常鋼材が用いられる。主柱・支柱にはH形鋼または軽量形鋼・構造用鋼管・角形鋼管などが用いられ、バーには広幅の鋼材か、あるいは溝形鋼・H形鋼・角形鋼管などが用いられる。部材の接合部は施工上ボルト接合が用いられることが多い。

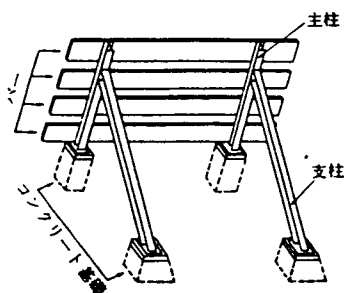


図-2.17 予防柵の標準タイプ (1)

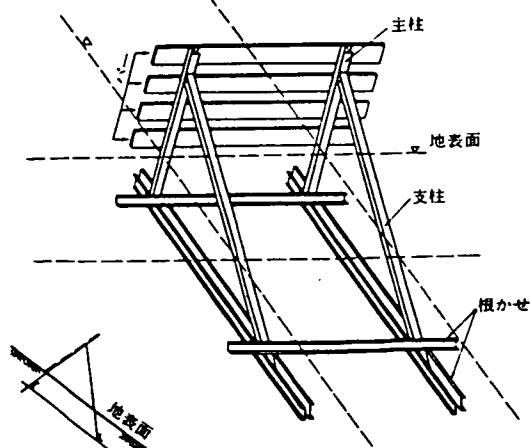


図-2.18 予防柵の標準タイプ (2)

参考文献

- 1) 国土庁地方振興局, 「豪雪地帯の現状と対策」, 1985
- 2) 理科年表(昭和63年度版), 丸善株式会社, 1988
- 3) 日本雪氷学会, 「雪氷の研究No. 4」, 1970
- 4) 建設省北陸地方建設局上越国道工事事務所, 「雪と道路の調査報告(第2編)」, 1976
- 5) 雪崩対策研究会, 「雪崩とその対策」, 1986
- 6) Avalanche Control in the Starting Zone, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, 1962
- 7) (社)日本道路協会, 「なだれ防御構造物の設計指針(その1)」, 道路, 3号, 1966
- 8) (社)日本道路協会, 「なだれ防御構造物の設計指針(その2)」, 道路, 4号, 1966
- 9) (社)日本建設機械化協会, 「新防雪工学ハンドブック」, 1977
- 10) (社)日本建設機械化協会, 「新編防雪工学ハンドブック」, 1988
- 11) Oh'izumi, M. "Determination of Stresses in the Snow Cover on a Mountain Slope by Snow Pressure Gauge", Contribution No.2963 from the Institute of Low Temperature Science, 1986
- 12) T. E. Lang & Nakamura T. "Finite Element Computer Analysis of Snow Settlement", Report prepared for Shinjo Branch National Research Center for Disaster Prevention, 1983
- 13) Nakamura H. "Studies on the Settlement Force of Snow as a Generation Mechanism", Report of the National Research Center for Disaster Prevention No.41, 1988

3. 雪崩予防施設の実態調査

3.1 実態調査の目的

現在、雪崩予防施設の基本設計は主として、新編防雪工学ハンドブック（社団法人 日本建設機械化協会編、以下ハンドブックという）に準拠し行われている。しかし、諸条件は気象・地理的条件により異なりその選択方法は設計者に委ねられている。また、独自に仕様書を作成している地域もあるが、現状ではその仕様書の内容を十分に把握できていない。そこで、本研究（雪崩予防施設共同研究）の第一歩として、雪崩予防施設の設計ならびに破損の実態調査を実施した。

3.2 実態調査の内容

今回の実態調査の目的は雪崩予防施設の有効かつ経済的な設計や設置基準を作成するために必要な基礎資料を収集することであり、下記の項目について実施した。

I. 破損実態の調査 破損事例の収集

II. 設計等の実態と問題点の整理 . . . 設計・設置・管理に関する要領書および事例の収集

3.3 実態調査の方法

調査の方法は、研究目的に合った諸データが得られるようあらかじめ調査項目を設定した調査票（巻末に添付 付録5参照）によるアンケート記述式とした。なお、調査票の回収に当たっては本研究会会員が調査機関に出向いてヒヤリングを行いかつ現場視察や関係資料の提供も受けることとした。

3.4 実態調査の対象地域と機関

日本の雪害地域は、北海道・東北・北陸・中部・山陰と広範囲にわたっている。これらの全域について情報を得ることが最も好ましいが、調査に長期間かかることから代表的な機関（当施設を管理している建設省地方建設局や日本道路公団または都道府県土木事務所等）として表-3.1に示す4機関13事務所を選び調査を進める事とした。

表-3.1 雪崩予防施設の実態調査先一覧

No	機 関	調 査 先
1	建 設 省	東 北 地 方 建 設 局 A 事務所
2		B 事務所
3		北 陸 地 方 建 設 局 C 事務所
4		中 部 地 方 建 設 局 D 事務所
5	地 方 自 治 体	秋 田 県 E 事務所
6		山 形 県 F 事務所
7		新 潟 県 G 事務所
8		H 事務所
9		石 川 県 I 事務所
10		岐 阜 県 J 事務所
11	日 本 道 路 公 団	金 沢 管 理 局 K 事務所
12		L 事務所
13	北 海 道 開 発 局	函 館 開 発 建 設 部 M 事務所

3.5 実態調査結果

3.5.1 まえがき

本章では、4機関13事務所に行った実態調査の結果を記す。まず、3.5.2には、概要と調査結果の一覧を記し、3.5.3に設計の考え方について、3.5.4は上部構造、3.5.5には下部（基礎）構造について記している。

3.5.2 調査結果概要

今回の実態調査の結果をとりまとめたものを表-3.2に示す。雪崩予防施設の設置総数（管理数）は7,631基で、予防柵4,369基(57%)、予防杭2,556基(33%)、吊柵568基(7%)、その他138基(2%)であった。斜面数別にみると、総設置斜面数444（C事務所の斜面数については、内訳が不明なため除外した）、予防柵380(85%)、予防杭39(9%)、吊柵23(5%)、その他2である。最も多く雪崩予防施設を設置している事務所は建設省B事務所の1,703基で、最も少ないのは岐阜県J事務所の6基となっている。また、北海道開発局は、吊柵のみを設置しており、建設省D事務所では、洞門やスノーシェッドで雪崩に対応しているため、予防施設の設置数は極端に少ない。破損の実態としては、表-3.3に示す10件が報告された。上部工・下部工の両破損は4件、上部工のみの破損は4件、下部工（基礎）のみの破損は2件報告された。雪崩予防施設について、標準化し要領書を作成しているのは、建設省北陸地建、新潟県および日本道路公団であった。

3.5.3 設計の考え方

1) 設計の現状一覧

今回、雪崩予防施設の設計について、4機関13事務所に対してアンケート調査を実施した設計の現状調査として抽出したのは、予防柵29件、予防杭3件、吊柵1件である。

表-3.3と表-3.4は、今回の調査結果を取りまとめたものである。

2) 計算式

設計荷重は、調査対象機関全てについてハンドブックと同様に以下の式より算出している。

$$S_N = \gamma \cdot \frac{H^2}{2} \cdot K \cdot N \quad (\text{tf/m})$$

$$S_Q = \frac{a}{N \cdot \tan \phi} \cdot S_N \quad (\text{tf/m})$$

S_N : 雪圧の斜面に平行な成分 (tf/m) γ : 積雪の平均密度 (tf/m³) K : クリープ係数

S_Q : 雪圧の斜面に直角な成分 (tf/m) H : 設計積雪深 (m) N : グライド係数

ϕ : 斜面の角度 (度)

表-3.2 雪崩予防施設実態調査一覧

機 関 名		事務所名	事 務 所 管 理 数					設 置 斜 面 数					設計現状調査抽出数					破損実態調査抽出数				
			予 防 柵	吊 柵	予 防 杭	そ の 他	小 計	予 防 柵	吊 柵	予 防 杭	そ の 他	小 計	予 防 柵	吊 柵	予 防 杭	そ の 他	小 計	予 防 柵	吊 柵	予 防 杭	そ の 他	小 計
建 設 局	東北地方建設局	A事務所	68	0	934	0	1,002	6	0	24	0	30	1	0	1	0	2	1	0	1	0	2
		B事務所	220	98	1,385	0	1,703	10	5	12	0	27	2	0	0	0	2	0	0	1	0	1
	北陸地方建設局	C事務所	353	16	172	124	665					100	3	1	2	0	6	3	0	1	0	4
	中部地方建設局	D事務所	18	0	0	0	18	2	0	0	0	2	2	0	0	0	2	1	0	0	0	1
地方自治体	秋 田 県	E事務所	15	0	0	0	15	2	2	3	1	8	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0
	山 形 県	F事務所	370	44	65	13	492	19	0	0	0	19	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0
	新 潟 県	G事務所	1,017	0	0	0	1,017	100	0	0	0	100	3	0	0	0	3	0	1	0	0	1
		H事務所	1,572	0	0	0	1,572	150	0	0	0	150	2	0	0	0	2	1	0	0	0	1
	石 川 県	I事務所	478	0	0	0	478	31	0	0	1	32	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0
	岐 阜 県	J事務所	5	0	0	1	6	1	0	0	0	1	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0
日本道路公団	金 沢 管 理 局	K事務所	253	0	0	0	253	16	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		L事務所	2,169 (m)	0 (m)	0 (m)	0 (m)	2,167 (m)	43	0	0	0	43	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0
北海道開発局	函館開発建設部	M事務所	0	410	0	0	410	0	16	0	0	16	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0
実 態 調 査 の 合 計			4,369	568	2,556	138	7,631	380	23	39	2	544	25	5	3	0	33	6	1	3	0	10

1. C事務所の設置傾斜数の内訳は不明

2. G事務所の吊柵管理は不明のため予防柵管理数で計上している。

3. L事務所では長さで管理されているため、前後合計からは削除している。

表-3.3 破 損 実 態 の 概 要

調査先	施設名	上 部 構 造		下 部 構 造	
		破 損 内 容	破 損 原 因	破 損 内 容	破 損 原 因
A 事 務 所	予防柵	最上段パイプ取り付けボルトの切れ(両端)	設計積雪深を越えた積雪ではなかったか 設置場所が沢地であるのが原因ではないか	基礎沈下1.0 cm	設計積雪深を越えた積雪ではなかったか 設置場所が沢地であるのが原因ではないか
A 事 務 所	予防杭	下部の折れ	上述の予防柵と同地点	なし	——
B 事 務 所	予防杭	なし	——	基礎の転倒	個別の基礎設計書がなく設計条件は不明
C 事 務 所	予防柵	最上段のバーの変形および破壊	雪底によりバーと主柱の接合部が破損	なし	——
C 事 務 所	予防柵	最上段のバーの変形	雪崩等により流木が衝突しバーが破損	基礎構造が沈下	不明
C 事 務 所	予防柵	最下段(4段目)のバーの変形	不明	なし	——
C 事 務 所	予防柵	なし	——	基礎移動および沈下	基礎前面部の洗掘およびコンクリート基礎 の岩着不良
D 事 務 所	予防柵	上部構造バーがかなり変形	落石か雪崩か不明	基礎の転落	落石か雪崩か不明
G 事 務 所	吊り柵	柵の転倒および変形	最大積雪深4 mによるケーブルの切断	なし	——
H 事 務 所	予防柵	1. 支柱頭部の破断 2. 最上段のバーの曲げ座屈 3. 支柱頭部のねじれ変形	1および3は基礎の移動および転倒 2は雪底による付加的な荷重	基礎の移動、転倒、沈下	支柱および主柱が各々独立基礎のため、移 動および転倒の抵抗力が小さい

表-3.4 設計の考え方

No.	機関	調査先	設計計算式	雪密度 (tf/m^3)	設計積雪深	グライド係数	クリープ係数	スノー ブリズム	付加荷重	辺縁効果荷重	配置	要領書 集	備考
1	建設省	東北地方建設局 A 事務所	ハンドブックと同じ	$\gamma = 0.40$	30年確率	ハンドブックと同じ (割増無)	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	考慮しない	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	無	
2		東北地方建設局 B 事務所	ハンドブックと同じ	$\gamma = 0.35$ (0.4の γ も有)	30年確率	ハンドブックと同じ (割増無)	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	考慮しない	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	無	
3		北陸地方建設局 C 事務所	ハンドブックと同じ	$\gamma = 0.35$	30年確率	ハンドブックと同じ 割増有、勾配 50° の時 2.0	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	斜面雪圧の25% を欄高全面に付け加える	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	有 有	
4		中部地方建設局 D 事務所	ハンドブックと同じ	$\gamma = 0.30$	30年確率	ハンドブックと同じ (割増無)	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	考慮しない	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	無	
5	地方自治体	秋田県 E 事務所	ハンドブックと同じ	$\gamma = 0.35$	既往 最大積雪深	ハンドブックと同じ (割増無)	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	考慮しない	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	無	
6		山形県 F 事務所	ハンドブックと同じ	$\gamma = 0.35$	既往 最大積雪深	ハンドブックと同じ (割増無)	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	考慮しない	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	無	
7		新潟県 G 事務所	ハンドブックと同じ	$\gamma = 0.35$	30年確率	ハンドブックと同じ 割増有、勾配 50° の時 2.0	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ (欄水平間隔 $\geq 1\text{m}$ or 2m に規定)	無 有	
8		新潟県 H 事務所	ハンドブックと同じ	$\gamma = 0.35$	30年確率	ハンドブックと同じ 割増有、勾配 50° の時 2.0	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ (欄水平間隔 $\geq 1\text{m}$ or 2m に規定)	無 有	
9		石川県 I 事務所	ハンドブックと同じ	$\gamma = 0.35$	30年確率	ハンドブックと同じ 割増有、勾配 50° の時 2.0	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	考慮しない	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	無	
10		岐阜県 J 事務所	ハンドブックと同じ	$\gamma = 0.35$	既往 最大積雪深	ハンドブックと同じ (割増無)	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	無	
11	道路	金沢管理局 K 事務所	ハンドブックと同じ	$\gamma = 0.35$	30年確率	ハンドブックと同じ 割増有、勾配 無関係に1.5倍	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	斜面上端はハ ンドブックと同じ 斜面下端は道 路路面との勾 配が20°以下 になった地点	有 有	
12	公団	金沢管理局 L 事務所	ハンドブックと同じ	$\gamma = 0.35$	30年確率	ハンドブックと同じ 割増有、勾配 50° の時 1.5	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	同上	有 有	
13	北開	函館開発建設部 M 事務所	ハンドブックと同じ	$\gamma = 0.35$	30年確率	ハンドブックと同じ (割増無)	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	斜面雪圧の25% を欄高全面に付け加える	ハンドブックと同じ	ハンドブックと同じ	無	
備考	付加荷重*: パーの設計に用いる雪荷重は、斜面雪圧を1.3倍している。また、付加荷重とは、さらに雪荷重の25%を欄高の1/4まで付加するものをいう。 C・M事務所においては、パーの設計における付加荷重を欄高全面に付加する。												

表-3.5 設計条件比較一覧

No.	機関	調査先	設計の現状							破損施設の設計								
			雪密度 r [tf/m ³]	設計 積雪深 H [m]	グライド 係数 N	クリープ 係数 K	設計斜 面角度 φ [°]	棚高さ Bk [m]	棚面 角度 ρ [°]	対象 施設	雪密度 r [tf/m ³]	設計 積雪深 H [m]	グライド 係数 N	クリープ 係数 K	設計斜 面角度 φ [°]	棚高さ Bk [m]	棚面 角度 ρ [°]	対象 施設
1	建設省	東北地建 A事務所	0.40	4.5	2.4	0.780	35	3.00	0	予防棚	0.40	4.0	不明	不明	不明	4.30	0	予防棚
2		東北地建 A事務所	0.40	4.0	2.4	0.820	40	1.80	0	予防杭	0.40	4.0	不明	不明	40	1.80	0	予防杭
3		東北地建 B事務所	0.40	4.5	2.4	0.780	35	3.00	0	予防棚	不明	不明	不明	不明	不明	1.80	0	予防杭
4		東北地建 B事務所	0.35	4.0	2.0	0.750	35	3.30	10	予防棚								
5		北陸地建 C事務所	0.35	4.5	1.5	0.800	45	2.85	0	予防棚	0.35	3.0	1.5	0.800	45	3.05	0	予防棚
6		北陸地建 C事務所	0.35	4.5	2.4	0.795	51	2.83	0	予防棚	0.35	2.5	1.5	0.800	45	1.77	0	予防棚
7		北陸地建 C事務所	0.35	4.0	2.6	0.830	45	2.60	0	吊り棚	0.35	4.0	1.5	0.800	45	3.05	0	予防棚
8		北陸地建 C事務所	0.35	5.0	2.4	0.795	45	1.98	0	予防杭	0.35	5.0	2.4	0.795	45	1.98	0	予防杭
9		北陸地建 C事務所	0.35	5.0	2.4	0.795	45	1.98	0	予防杭								
10		北陸地建 C事務所	0.15	3.5	2.2	0.047	30	5.98	10	防護棚								
11		中部地建 D事務所	0.30	3.0	2.4	0.760	45	2.15	10	予防棚	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	予防棚
12	地方自治体	秋田県 E事務所	0.35	4.0	不明	不明	不明	1.85	0	予防棚								
13		秋田県 E事務所	0.35	3.0	2.4	0.783	40	2.40	15	予防棚								
14		山形県 F事務所	0.30	4.0	2.4	0.760	40 45	3.87 3.63	15	予防棚								
15		山形県 F事務所	0.35	3.5	3.2	0.795	55 45	2.51 1.78	10	予防棚								
16		新潟県 G事務所	0.35	4.0	2.6	0.783	40	2.58 3.11	10	予防棚	不明	不明	不明	不明	45	2.25	0	吊棚
17		新潟県 G事務所	0.35	4.0	2.6	0.795	45	2.84	15	予防棚								
18		新潟県 G事務所	0.35	4.0	2.4	0.783	50	2.58 3.39	5	予防棚								
19		新潟県 H事務所	0.35	4.0	2.6	0.783	40	2.60	10	予防棚	0.35	4.0	2.4	0.780	40	2.60	5	予防棚
20		新潟県 H事務所	0.35	4.0	2.6	0.785	45	2.60	5	予防棚								
21		石川県 I事務所	0.35	3.5	3.0	0.795	45	2.50	15	予防棚								
22		石川県 I事務所	0.35	5.0	3.0	0.783	40	3.88	9	予防棚								
23		石川県 I事務所	0.35	3.5	3.9	0.783	40	2.50	5	予防棚								
24		岐阜県 J事務所	0.35	3.2	2.4	0.783	40	2.50	10	予防棚								
25		岐阜県 J事務所	0.35	3.45	1.6	0.790	45	3.00	-45	落石 防護棚								
26	北海道開発局	金沢管理局 K事務所	0.35	2.5	2.4	0.795	45	1.46	15	予防棚								
27		金沢管理局 L事務所	0.35	5.0	2.0	0.688	30	4.48	15	予防棚								
28		金沢管理局 L事務所	0.35	5.0	2.3	0.747	35	4.24	15	予防棚								
29		金沢管理局 L事務所	0.35	5.0	2.5	0.783	40	3.97	15	予防棚								
30	北海道開発局	函館開建 M事務所	0.35	2.0	2.4	0.795	45	1.50	0	吊棚								
31		函館開建 M事務所	0.35	2.0	2.4	0.795	45	1.50	0	吊棚								
32		函館開建 M事務所	0.35	1.5	3.2	0.795	45	1.20	0	吊棚								
33		函館開建 M事務所	0.35	1.5	2.4	0.795	45	1.20	0	吊棚								

$$a = \frac{1 - 2\nu_c}{2(1 - \nu_c)} \quad \nu_c = 0.4\gamma$$

ν_c : 積雪の粘性ポアソン比 (圧縮)

この雪圧算定式は、Haefeliの雪圧論に基づくスイスの示方書によるもので、雪圧に関する研究はいくつかなされているが、現段階の実用式としては、この算定式が使用されている。

3) 積雪密度

積雪密度は、ハンドブックに記載されている $\gamma = 0.35 \text{ tf/m}^3$ の値を標準として使用しており、全体的に $0.3 \sim 0.4 \text{ tf/m}^3$ の範囲にある。しかし、実際雪の単位体積重量は雪の変態に伴い変化しており、どの時期での値を採用するかにより大きく異なる。一般的に、施設の破損が最も多く発生する融雪時においては、積雪深は減少するものの積雪密度は 0.6 前後まで増加することが報告されている。

4) 設計積雪深

全体として、設計積雪深は設置場所近辺で観測したデータから設定している。しかし、その値の選定方法については、ハンドブックにも統一した規定が無いこともあり、30年再現確率・50年再現確率・既往最大積雪深等の値を用いている。そのため、統一した規定が必要であろう。また、設計値以上に積雪するケースも報告されており、設計積雪深と設置場所での積雪深が異なることは予想される。したがって、設置場所の積雪に関するデータから、設計積雪深を設定するのが望ましいが、現実的に各設置場所毎のデータの収集が困難なため、気象条件や地形条件及び風速等考慮して、最寄りの観測地点の積雪深に補正を加える必要があるのではないだろうか。今回の調査でも気象条件や地形条件および風速等考慮している機関もあるが、その補正方法については明確にされておらず不明な点も多い。

5) グライド係数

グライド係数は、斜面積雪の地表上での移動を示す係数であり、今回の調査では、調査対象機関のすべてがハンドブックの値 (表-2.9 参照) を基本としていた。ハンドブックによれば多雪地でしかも雪質が湿り気の多い地方 (北陸や東北等) において、勾配40度程度の斜面では、表-2.9のグライド係数値の 5割増し程度の値とし、勾配40度以下の斜面ではグライド係数増加率を漸次少なくし勾配30度程度では表-2.9を摘要するのが望ましいとしている。このように、勾配40度まではグライド係数の割増しが記載されているが、40度を越えるケースについての割増率は明確でなく、図-3.1の①②に示す様に 2通りの考えがある。しかし、今回の調査の結果、実際にこの割増しを行っているのは北陸地方の機関に限られ東北地方の機関では現在行われていない。また、特殊な例としては、割増し率をハンドブックの半分にしたり (日本道路公団金

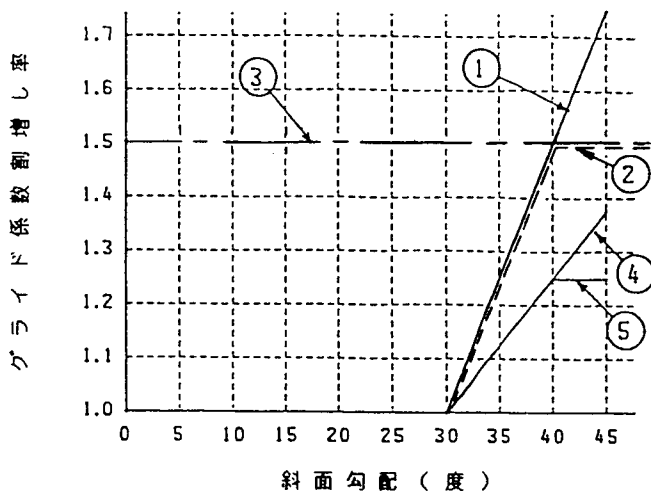


図-3.1 斜面勾配とグライド係数割増率

沢管理局 図-3.1の④⑤)、勾配に関係なくすべて1.5倍にしている(1事務所 図-3.1の③) ケースもある。しかし、ハンドブックに記載されているグライド係数は、SLF(スイス国立雪および雪崩研究所)の長年にわたる測定値に基づいて定められたものである。そのため、各気象、地理的条件との関係は明確でなく、日本の気候条件にいかに関係させるかについては今後の検討課題となろう。更に、詳細な設計を行うに当り、斜面区分と方

位による8通りの分け方についても検討の余地があると思われる。

6) クリープ係数

クリープ係数(K)については、各機関ともハンドブックと同様な方法で算定している(表

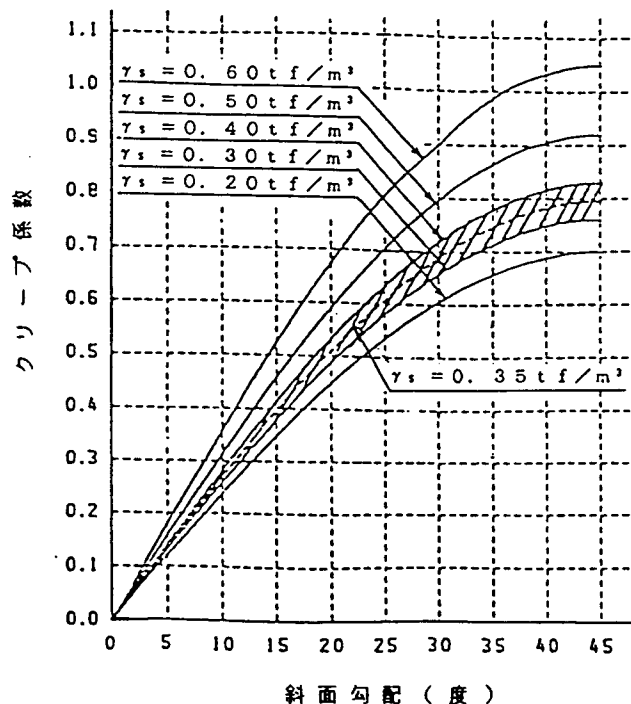


図-3.2 斜面勾配とクリープ係数

-2.8参照)。図-3.2は、それぞれ横軸に斜面勾配、縦軸にクリープ係数を取り、雪密度毎に斜面勾配とクリープ係数の関係を表している。この図よりわかるように、斜面勾配が大きい程、雪密度の影響がクリープ係数に現れる。今回の調査結果では、雪密度が $0.3 \sim 0.4 \text{ tf/m}^3$ の範囲に推移しており、この場合クリープ係数は図中の////部分の値をとる。また、ハンドブックの値(表-2.8)を用いた場合、斜面勾配が45度を越えるとクリープ係数が漸次減少する。急斜面では雪が積もりにくくなると思われるが、今回の調査でも斜面勾配が45度を越える斜面に設置した例も数ヶ所あった。

7) スノープリズム

ハンドブックによれば、柵面を斜面法線より15度程度谷側に傾け雪圧の合力の作用方向を柵面に対して直角になるよう指導している。この場合、設計上、図-3.3に示す斜線の部分の雪荷重、即ちスノープリズム荷重を考慮しなければならない。しかし、今回の調査では、柵面に傾

斜を設けない設計も多く機関内の統一がなされていない。これは、ハンドブックに明確な規定がないため、設計者の判断に委ねられているものと推測され、また、柵面を傾けることによる効果が把握できていないためと考えられる。

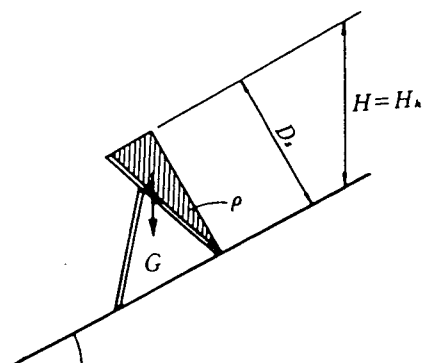


図-3.3

8) 付加荷重

ハンドブックでは、バーの設計において、沈降力による付加荷重を考慮することとなっている。しかし、今回の調査では、北陸地方の機関と北海道開発局で考慮されているが、他の機関ではハンドブックに記載されているにもかかわらず考慮していない。考慮している機関でも付加荷重の考え方には統一性が無く、例えば、日本道路公団では、ハンドブックと同様に地面から柵高 $1/4$ までの範囲に斜面雪圧の25%を作用させている（図-3.4）。また、建設省北陸地建では、沈降力と柵上部の小規模雪崩荷重の配慮から斜面雪圧の25%を柵高全面に作用させている（図-3.5参照）。この様に、付加荷重の作用方法（範囲）について各機関によって異なっているのが現状である。これは、地域性や雪質を考慮して付加荷重を決定しているようだが、その根拠は明確でなく、また、バーの設計時のみ付加荷重を考慮している点など、付加荷重の考え方を明確にする必要があると考えられる。

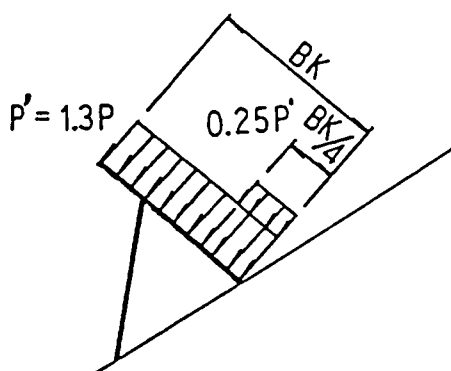


図-3.4

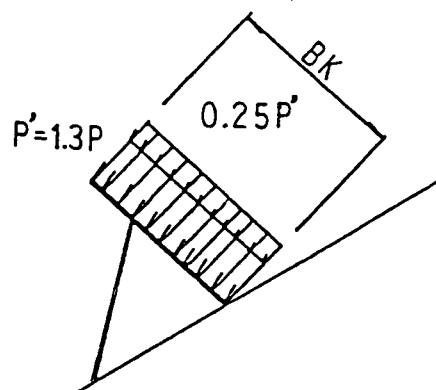


図-3.5

9) 辺縁効果

調査対象機関全てについて、ハンドブックと同様に柵の端部に辺端効果による荷重（以下辺端効果荷重）を考慮しており、その算出式もハンドブックと同様である。

10) 配 置

(1) 配 置

配置は基本的にハンドブックと同じで、最上列の柵は予想される発生区最上端の破断線が背圧領域に入るようにし、最下列の柵は原則として斜面勾配が30度以下になるところまで設置することとなっていた。しかし、道路公団（K,L事務所）では、最下列の柵は道路路面との勾配が20度以下になった地点まで配置することになっており、ハンドブックとの違いがみられた。また、柵の配置方法として、連続配置・断続配置・千鳥配置および組合せ配置の四種類が考えられるが、地形条件・雪質、あるいは経済性から決めるものであるため、配置方法の取り方は様々であった。

(2) 柵の列間隔

柵の列間隔は、ハンドブックと同じ算出式に基づいて決定されていた。

(3) 柵の水平間隔

ハンドブックによる標準的な柵の水平間隔は、斜面角度が40度程度の斜面の場合、

- ① 表層雪崩を対象とした場合2m
- ② 全層雪崩を対象とした場合6m

と記載されているが、斜面勾配ごとには特に記載されていない。従って、各事務所により値の取り方に違いはみられたが、全体として水平間隔を1mもしくは2mとしていた。水平間隔の取り方に特徴が見られたのは、建設省（D事務所）、新潟県（G, H事務所）、石川県（I事務所）および岐阜県（J事務所）で、斜面勾配とグライド係数の関係により水平間隔が決められていた点である。

11) グライド・クリープ係数と荷重の関係

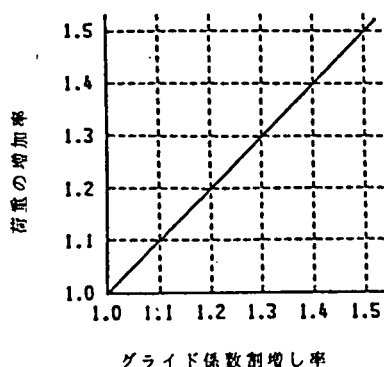


図-3.6 グライド係数割増し率と荷重の増加率

雪圧荷重の算定において斜面雪圧の算定式（3.5.3の2参照）に示される様に積雪深と雪の単位体積重量を一定とした場合、荷重はクリープ係数とグライド係数の値により変化する。このことより、グライド係数の割増しを行った場合（他の条件は一定）、図-3.6に示される様に柵面に直角な荷重は同じ割増しを受けることになる。

図-3.7は、勾配30度での荷重を基準とし、勾配を変化させグライド係数の割増しによる荷重の影響を表したものである（ $\gamma \cdot H \cdot N$ は一定）。割増しを行わない場合、グライド係数が勾配の影響を受けないため、図-3.7の③に示す

様にクリープ係数の変化率が荷重の増加となる。図-3.7の①, ②は、更に勾配によるグライド

係数の割増率（図-3.1）を乗じたものである。勾配30度での荷重を基準とした場合、勾配40度での荷重は 1.136倍、更に、グライドの勾配による割増しを行うと 1.704倍となる。

- ①グライド係数の割増し有
（斜面勾配40度以上割増し有）
- ②グライド係数の割増し有
（斜面勾配40度以上割増し無）
- ③グライド係数の割増し無

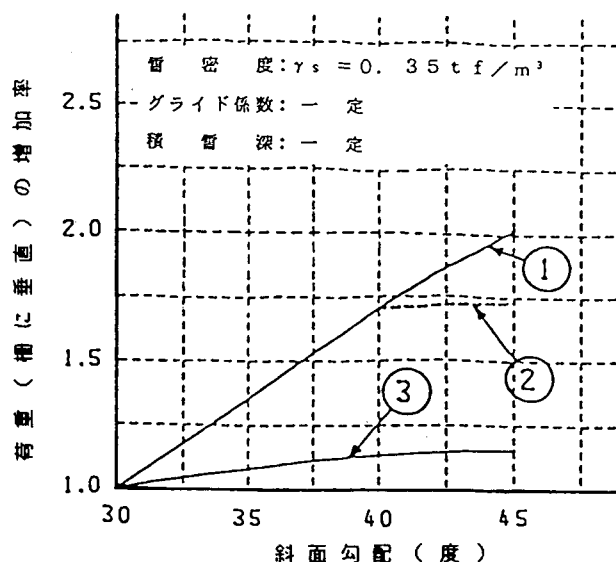


図-3.7 斜面勾配と荷重の増加率
（斜面勾配30度を基準とする）

12) まとめ

設計の考え方は、基本的にハンドブックに準拠している。しかし、グライド係数の割増しや付加荷重の設定等にみられるように機関によって考え方が異なる点もあった。特に、グライド係数については、地域性に大きく左右される事を経験的に感じ取り変更したものと考えられる。いずれにしても、これらの値の設定には明確さを欠く面も見られ、今後の研究により明確にする必要がある。

3.5.4 上部構造

1) 上部構造の現状一覧

雪崩予防施設の設置総数は7,631基で、予防柵4,369基、予防杭2,556基、吊柵568基、その他138基であった。表-3.6は上部構造に関する実態調査を取りまとめたものである。特記すべきは、北海道開発局では、吊柵のみを使用していることである。

2) 許容応力度

主要部材のほとんどがSS41相当品を使用しており、 $1,600\text{kgf/cm}^2$ の値で設計されている。建設省北陸地建では要領書作成時に $1,400\text{kgf/cm}^2$ に変更している。

3) 構造部材

上部構造の主要部材は、支柱・主柱・バーに大別される。主柱については、すべてH形鋼を使用しており、また、支柱についてはH形鋼を使用している場合が多いが、新潟県に見られるように角パイプを使用している例もある。また、吊柵の場合はC形鋼を使用している。バーは、角パイプ・鋼管・折板を使用する場合が多く、例外的にE事務所では、H形鋼を使用している。

表-3.6 上部構造

No.	機関	調査先	支柱間隔 (m) [スパン数]	棚の長さ (m)	棚の高さ (m)	H _k / H	支柱の形状	主柱の形状	バーの形状	バーピッチ(隙間)	バーの 取付方法	備考
1	建設省	東北地方建設局 A 事務所	2.80 [1]	4.00	3.00	3.46/4.50=0.77	H-150x150x7x10	H-200x200x8x12	SGP125φ (139.8x4.5)	400	Uボルト	
2		東北地方建設局 B 事務所	2.80 [1] 2.80 [1]	4.00 4.00	3.30 3.00	4.3/4.0=1.08 3.7/4.5=0.82	H-150x150x7/10 H-150x150x7/10	H-175x175x7.5/10 H-200x200x8/12	H-125x125x6.9/9 SGP125φ (139.8x4.5)	350 (225) 400 (260)	ボルト Uボルト	
3		北陸地方建設局 C 事務所	2.75 [2] 2.50 [4] 2.00 [3]	6.00 11.00 6.40	2.85 2.83 5.98	4.0/4.5=0.90 3.64/4.5=0.81 6.85/3.5=1.96	H-125x125x9/14 H-150x150x7/10 H-150x150x7/10	H-125x125x9/14 H-175x175x7.5/11 H-175x175x7.5/11	折板 折板 □-75x75x6.4	715 (145) 710 (140) 300 (225)	糸ト(フック)	要領書 (S62) 設定前
4		中部地方建設局 D 事務所	2.00 [1]	2.30	2.15	2.994/3.0=1.00	H-100x100x6/8	H-125x125x6.5/9	□-125x125x3.2 □-100x100x3.2	300 (200)	糸ト(フック)	
5	地方自治体	秋田県 E 事務所	3.40 [1] 4.20 [1]	5.00 6.00	2.40 1.85	3.0/3.0=1.00 2.62/3.0=0.87	H-150x100x6/9 H-150x100x6/9	H-150x150x7/10 H-150x150x7/10	φ-139.8x4.5 φ-139.8x4.5	400 (260) 350 (210)	Uボルト Uボルト	
6		山形県 F 事務所	2.00 [2] 2.00 [2]	5.00 5.00	2.93 2.51	4.0/4.0=1.00 3.5/3.5=1.00	H-125x125x6.5/9 H-125x125x6.5/9	H-150x150x7/10 H-150x150x7/10	H-100x100x6/8	350 (250) 300 (200)	ボルト ボルト	
7		新潟県 G 事務所	2.40 [3] 2.40 [3]	8.00 8.00 8.00	3.11 2.84 2.58~3.39	3.998/4.0=1.00 4.001/4.0=1.00 (3.36~4.41/4.0 =0.84~1.10	□-150x150x6.0 □-150x150x4.5 □-150x150x6.0	H-250x250x9/14 H-250x250x9/14 H-250x250x9/14	□-125x125x4.5 □-125x125x4.5 □-125x125x3.2	300~400 (175~275) 300~400 (175~275) 300~400 (175~275)	Uボルト	
8		新潟県 H 事務所	2.40 [3]	8.00	3.10 2.60	5.98/4.0=1.50 3.66/4.0=0.92	□-150x150x4.5 □-150x150x4.5	H-250x250x9/14 H-250x250x9/14	□-150x150x4.5 □-125x125x4.5	300~400 (150~250) 300~400 (175~275)	Uボルト	
9	団体	石川県 I 事務所	2.60 [1] 2.40 [2] 2.40 [2]	4.00 6.00 6.00	2.57 3.88 2.50	3.522/3.5=1.01 5.000/5.0=1.00 3.515/3.5=1.00	□-100x100x3.2 H-150x150x7/10 H-125x125x6/9	H-150x150x7/10 H-250x250x9/14 H-175x175x7.5/11	□-100x100x3.2 折板 9 mm 折板 4.5mm	350 (250) 285 (80) 220 (0)	糸ト(フック) ボルト ボルト	
10		岐阜県 J 事務所	2.60 [1] 2.00 [連続]	4.00 ?	2.50 3.00	3.213/3.2=1.00	H-150x150x7x10 -	H-200x150x7x10 H-200x200x8x12	C-150x75x6.3 H-125x125x6.5x9 H-150x150x7x10	320 (170) 350 (200)	ボルト ボルト	
11	道路	金沢管理局 K 事務所	3.70 [1]	5.00	1.46	2.0/2.0=1.00	□-60x60x3.2	H-100x100x6x8	□-100x100x3.2	300 (200)	糸ト(フック)	
12	公共	金沢管理局 L 事務所	3.00 [連続] 3.00 [連続] 3.00 [連続]	228.8 80.2 23.0	4.48 4.24 3.97	5.0/5.0=1.00 5.0/5.0=1.00 5.0/5.0=1.00	H形鋼 H形鋼 H形鋼	H形鋼 H形鋼 H形鋼	角パイプ 角パイプ 角パイプ	315 (190) 300 (175) 300 (175)	糸ト(フック) 糸ト(フック) 糸ト(フック)	
13	北開	函館開発建設部 M 事務所	1.95 1.95 2.25 2.25	2.75 2.75 3.25 3.25	1.50 1.50 1.20 1.20	2.12/2.0=1.06 2.12/2.0=1.06 1.70/1.5=1.13 1.70/1.5=1.13	C-75x40x5 C-75x40x5 C-75x40x5 C-75x40x5	H-100x100x6x8 H-100x100x6x8 H-100x100x6x8 H-100x100x6x8	φ89.1x2.8 φ89.1x2.8 φ89.1x2.8 φ89.1x2.8	240 (150) 240 (150) 240 (150) 240 (150)	U糸ト(フック) U糸ト(フック) U糸ト(フック) U糸ト(フック)	
備考			H _k : 棚の換算高さ、 H: 設計積雪深									

また、北陸地建は、要領書の作成以前に、折板等を使用していたが、要領書作成後は角パイプをバーの標準とした。バーの取り付け方法は、角パイプや折板の場合、ボルトによる固定を行っており、鋼管の場合はUボルトで固定を行っている。バーの取り付け間隔（隙間）は、150～240mmの等間隔で設計されている。新潟県では柵の下側の間隔を狭くしている。これは、付加荷重の影響を考慮したものと考えられる。部材の形状選定については、要領書がある場合を除き、設計者に一任されているため、市場性や経済性・設計者の主観によって選定されていると思われる。

4) 表面処理

鋼材の表面処理としては、塗装と溶融亜鉛めっきによる処理があげられる。今回の調査でも、この2種の方法が使用されていたが、表面処理について規定している事務所は少なく、建設省北陸地建及び日本道路公団が溶融亜鉛めっき（JIS H-8641）を標準としていた。なお、新潟県のみ亜鉛めっきの付着量について、500g/m²（HDZ50）の規定を設けており、他の事務所については、今回の調査では塗膜厚や付着量は解らなかった。

5) 上部構造と破損状況の関連

実態調査では、柵の上部構造の破損は7件報告され（表-3.3参照）、破損箇所としては

- ① バーの変形・破壊
- ② 支柱頭部の変形
- ③ 取り付けボルトの破壊

であった。その原因としては

- ① 落石や雪崩による流木の衝突
- ② 雪庇による付加的荷重
- ③ 基礎の移動・転倒

等が考えられる。このように上部構造の破損原因として、雪圧荷重によるものは少なく、雪圧以外によるものが多く見られた。

6) まとめ

構造設計の考え方や許容応力度については、各機関とも同じであるが、部材形状の選定についての統一性は薄い。これは、市場性や経済性に大きく影響されるためであるが、各部位（支柱・主柱・バー）に最も適した部材形状や取り付け方法、また、雪庇や吹き溜り等の地形条件（設計条件）の影響を考慮した設計方法についての検討がなされていないためであろう。



落石や流木の衝突が
原因と思われるバー
および支柱の変形

写真 -3.1



雪庇または、落石や流
木の衝突が原因と思わ
れるバーの変形

写真 -3.2



基礎の移動によって
破損したと思われる
支柱と主柱の接合部

写真 -3.3

3.5.5 下部（基礎）構造

1) 基礎構造の現状一覧

基礎構造は、ハンドブックによればコンクリートフーチングタイプの独立基礎もしくは支柱と主柱をコンクリートフーチングで連結した連結基礎、コンクリート打設が困難な場所で土のせん断抵抗が十分期待できる場合には、根かせ式の基礎を雪崩予防柵の標準タイプとしている。しかし一般的に基礎構造は、良質な堅い地盤に支持させることができ、かつ、施工可能であれば良いため、現状は各機関において様々な形状の物が使用されている。表-3.7に基礎構造の現状一覧を示す。

2) 設計の考え方

(1) 安定計算の考え方

① 独立基礎の場合

- ・引抜きに対する照査
- ・地耐力に対する照査（支柱基礎の地耐力に対して照査）

$$\frac{V}{A} \leq q_a$$

V : 基礎に作用する鉛直荷重 (tf) A : 基礎底面積 (m²)

q_a : 許容地耐力 (tf/m²)

② 連続基礎の場合

- ・転倒に対する照査

$$\frac{\sum (V \cdot X) - \sum (H \cdot Y)}{\sum V} \leq \frac{B}{6}$$

V : 基礎に作用する鉛直荷重 (tf) H : 基礎に作用する水平荷重 (tf)

X : 基礎の底面中心から鉛直荷重作用位置までの距離 (m)

Y : 基礎の底面中心から水平荷重作用位置までの距離 (m)

B : 基礎の底面幅 (m)

- ・地耐力に対する照査

$$\sigma_{\max} = \frac{V}{A} + \frac{M}{Z} \leq q_a$$

V : 基礎に作用する鉛直荷重 (tf) A : 基礎底面積 (m²)

M : モーメント (tf・m)

Z : 基礎底面の偏心側の断面係数 (m³)

q_a : 許容地耐力 (tf/m²)

表-3.7 基礎形状比較一覧

No	機関	調査先	設計基礎の現状						破損基礎の現状							
			設計年度	基礎形状	配筋の有無	柱と基礎の固定方法	地盤状況	地耐力tf/m ²	備考	設計年度	基礎形状	配筋の有無	柱と基礎の固定方法	地盤状況	地耐力tf/m ²	備考
1	建設省	東北地建A事務所	63	D	無	アンカーボルト	礫	30.0		54	E	無	埋め込み	不明	不明	
2		東北地建A事務所	53	D	無	埋め込み	礫	不明		54	D	無	埋め込み	不明	不明	
3		東北地建B事務所	63	F	無	埋め込み	礫	30.0		不明	D	無	埋め込み	礫	不明	
4		東北地建B事務所	61	D	無	埋め込み	普通土	30.0								
5		北陸地建C事務所	49	A	無	アンカーボルト	粘土	不明		41	A	無	アンカーボルト	粘土	不明	
6		北陸地建C事務所	55	B	無	埋め込み	粘土	不明		51	B or D or F	不明	埋め込み	粘土	不明	
7		北陸地建C事務所	53	D	無	アンカーボルト	粘土	不明		40	B or D or F	不明	アンカーボルト	不明	不明	
8		北陸地建C事務所	52	B	不明	アンカーボルト	不明	不明		52	B	不明	不明	不明	不明	
9		北陸地建C事務所	54	B	不明	アンカーボルト	不明	不明								
10		北陸地建C事務所	不明	D	不明	埋め込み	不明	不明								
11	地方自治体	中部地建D事務所	60	E	無	アンカーボルト	砂質	18.4		不明	不明	不明	不明	不明	不明	設計図書なし
12		秋田県E事務所	61	E	無	アンカーボルト	普通土	不明								
13		秋田県E事務所	62	E	無	アンカーボルト	普通土	20.0								
14		山形県F事務所	53	D	無	埋め込み	岩	20.0								
15		山形県F事務所	62	A	無	アンカーボルト	岩	50.0								
16		新潟県G事務所	62	C	無	埋め込み	岩	30.0		50年以前	A	不明	ケーブル	普通土	不明	
17		新潟県G事務所	62	C	無	埋め込み	岩	30.0								
18		新潟県G事務所	62	C	無	埋め込み	岩	30.0								
19		新潟県H事務所	62	F	有	埋め込み	普通土	30.0		不明	A	無	埋め込み	普通土	18	
20		新潟県H事務所	62	F	有	埋め込み	普通土	30.0								
21	道路公団	石川県I事務所	53	B	有	埋め込み	岩	30.0		基礎形状タイプ タイプA タイプB タイプC タイプD タイプE タイプF						
22		石川県I事務所	59	D	有	埋め込み	岩	30.0								
23		石川県I事務所	62	B	無	埋め込み	礫	30.0								
24		岐阜県J事務所	56	A	無	埋め込み	普通土	20.0								
25		岐阜県J事務所							防護欄							
26		金沢管理局K事務所	52	F	有	埋め込み	普通土	不明								
27		金沢管理局L事務所	56	F	有	アンカーボルト	礫	18.5								
28		金沢管理局L事務所	57	F	有	アンカーボルト	礫	16.5								
29		金沢管理局L事務所	58	F	有	アンカーボルト	礫	15.0								
30		北海道開発局	函館開建M事務所	62	—	—	—	普通土	不明							
31	函館開建M事務所		60	—	—	—	岩・礫	不明								
32	函館開建M事務所		60	—	—	—	岩・礫	不明								
33	函館開建M事務所		61	—	—	—	岩・礫	不明								

・滑動に対する照査

$$\frac{C \cdot A + V \cdot \tan \phi B}{\Sigma S} \geq \alpha$$

C : 基礎底面と地盤との間の粘着力 (tf/m²)

A : 基礎底面積 (m²)

V : 基礎に作用する鉛直荷重 (tf)

ϕB : 基礎底面と地盤との間の摩擦角 (度)

S : 基礎底面におけるせん断力 (tf)

α : 安全率

(2) 基礎の許容変位量に対する考え方

基礎の許容変位量に対する考え方は特になかった。

(3) 設計のための地盤常数

① 粘着力 $C = 0 \sim 1.0 \text{ tf/m}^2$

② 土の内部摩擦角 $\phi = 30^\circ \sim 35^\circ$

③ 基礎底面と地盤との間の摩擦角 ϕB (摩擦係数 $\tan 2/3 \phi$)

土とコンクリート : $\phi B = 2/3 \phi$

岩とコンクリート : $\tan \phi B = 0.6$

④ 地耐力 $q_a = 15 \sim 50 \text{ tf/m}^2$

(4) コンクリート基礎の鉄筋の有無

独立基礎の場合は無筋である。また、連続基礎の場合、ほとんど無筋であるが、日本道路公団と新潟県では配筋を行っている。

(5) 支柱と主柱の固定方法

支柱と主柱の基礎への固定方法には、アンカールによる方法と埋め込みによる方法がある。選択は、設置場所での施工条件に左右されるため基礎形状との間に特に関連性にみいだせなかった。

3) 地盤状況及び地耐力と基礎形状の関連

図-3.8は今回の実態調査結果を基礎形状タイプ(表-3.7参照)別に整理した図である。表-3.8から表-3.11は今回のアンケート調査を地盤状況および地耐力と基礎形状についてまとめたものである。地盤状況及び地耐力に対する評価が各事務所で異なるため基礎形状との関連性は特になかった。しかし、地耐力が大きい場所では独立基礎を、地耐力が小さい場所では連続基礎を使う傾向がみられた。

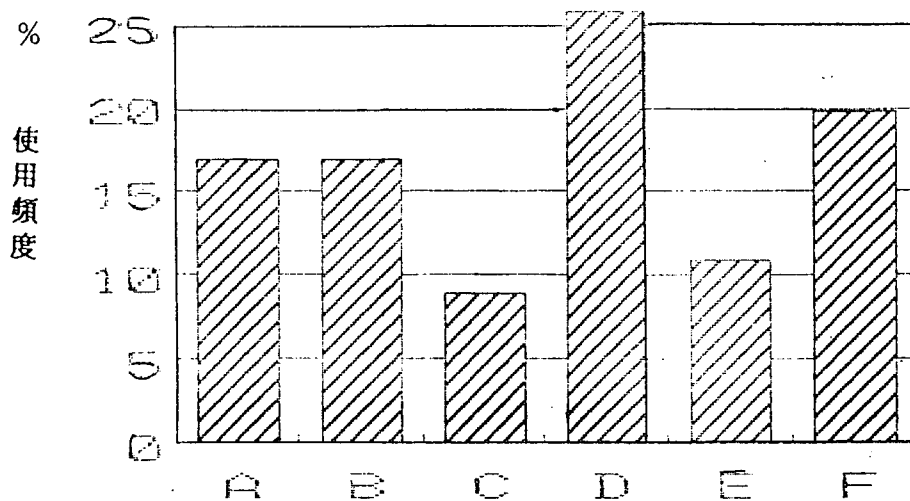


図-3.8 基礎形状別使用頻度

表-3.8 地盤と基礎形状の関連

地盤	A	B	C	D	E	F	計
岩	1	1	3	2			7
礫		1		2	1	4	8
普通土	1			1	2	3	7
粘土	1	1		1			3
計	3	3	3	6	3	7	25

表-3.9 地耐力と基礎形状の関連

地耐力 (tf/m ²)	A	B	C	D	E	F	計
15～20	1			1	2	3	7
30		2	3	3		3	11
50	1						1
不明	1	1		2	1	1	6
計	3	3	3	6	3	7	25

表-3.10 地耐力および地盤と基礎形状の関連

地耐力 (tf/m ²)	地盤	A	B	C	D	E	F	小計	計
15～20	岩				1			1	7
	礫						3	3	
	普通土	1				2		3	
30	岩		1	3	1			5	11
	礫		1		1		1	3	
	普通土				1		2	3	
50	岩	1						1	1

表-3.11 地耐力および地盤と基礎形状の関連

地盤	地耐力 (tf/m ²)	A	B	C	D	E	F	小計	計
岩	15 ~ 20				1			1	7
	30		1	3	1			5	
	50	1						1	
礫	15 ~ 20	1				2		3	6
	30				1		2	3	
	50							0	
普通土	15 ~ 20						3	3	6
	30		1		1		1	3	
	50							0	

4) 基礎形状の年度別推移

表-3.12は設計年度と基礎形状の関連を表したものである。これをみると、昭和50年代前半頃までは独立基礎もしくは上下連続型基礎が用いられていたようである。しかし、昭和50年代後半からベタ基礎もしくは櫛形基礎といった連続型基礎が多く用いられるようになってきている。これは、基礎部に対する安全性の配慮からとも考えられ、不同沈下等に弱い独立基礎を避けて、岩着が難しいと思われる場所でもある程度の信頼が得られるベタ基礎もしくは櫛形基礎といった連続基礎が多く用いられるようになったと推察される。

表-3.12 設計年度と基礎形状の関連

年度	A	B	C	D	E	F	計
S 4 9	1						1
5 2		1				1	2
5 3		1		3			4
5 4		1					1
5 5		1					1
5 6	1					1	2
5 7						1	1
5 8						1	1
5 9				1			1
6 0					1		1
6 1				1	1		2
6 2	1	1	3		1	2	8
6 3				1		1	2
不明				1			1
計	3	5	3	7	3	7	28

5) 基礎形状と破損状況の関係

基礎部の破損原因としては、

- (1) 地盤反力不足による基礎の沈下・転倒
- (2) 洗掘による基礎の移動・沈下

等と考えられるが、今回のアンケート調査結果では、地耐力や地盤状況が不明な場合が多く、破損原因の究明にはいたらなかった。写真-3.4～3.7に破損状況を示す。

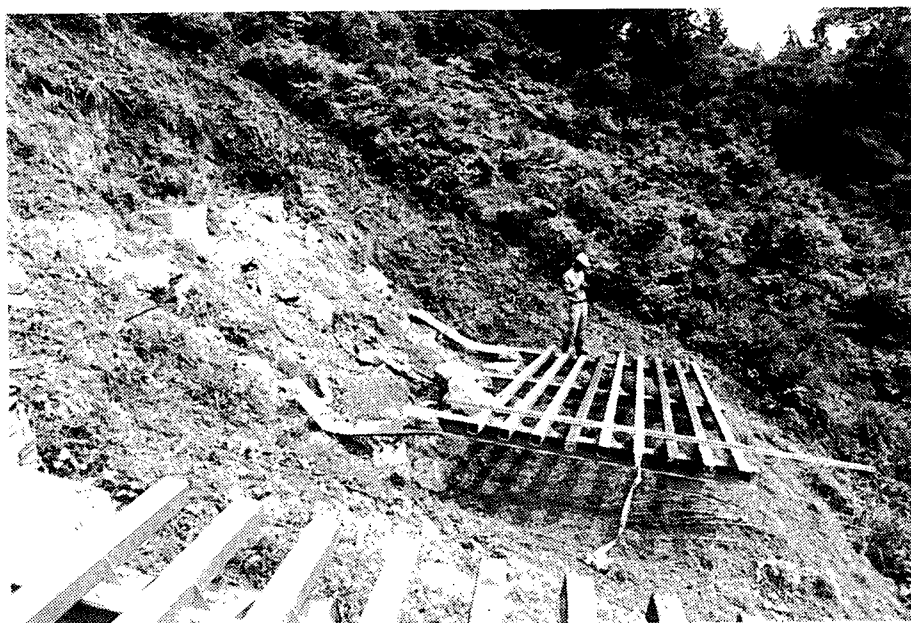


写真-3.4 基礎の破壊例



写真-3.5 基礎の破壊例



写真-3.6 基礎の移動および転倒



写真-3.7 基礎の転倒

6) まとめ

基礎形状に関しては特に要領書等で定められていないために様々な形状の物が使用されていた。しかしハンドブックに掲載されていた根かせ式の基礎はみられなかった。また、全体的に楕形基礎やベタ基礎の様な連続基礎が多用される傾向にあり、不同沈下等の支点移動に対して弱い独立基礎は減っていくものと考えられる。今回の調査の結果、破損原因の究明にはいかなかったが、支点移動による予防施設の崩壊が多くみられたことから基礎構造の見直しを行なうことが重要と思われる。

3.6 まとめ

3.6.1 設計の現状について

- 1) 設計は、調査対象機関すべてについてハンドブックに記載されている算出式を用いている。
- 2) 積雪密度は、 $\gamma = 0.35 \text{ tf/m}^3$ の値を使用している。地域によっては $\gamma = 0.30 \text{ tf/m}^3$, 0.40 tf/m^3 の値を使用している機関もみられた。
- 3) 設計積雪深は、30年再現確率の年最大積雪深が用いられているが、機関によってばらつきがある。データとしては、設置場所に最も近い観測地の値が用いられている。
- 4) グライド係数は、ハンドブックの値を基本としているが、割増し率およびその方法は各機関によって差がある。地域性や雪質等を考慮した設定規準や補正方法について、今後更に検討する必要がある。
- 5) ハンドブックでは、柵面を斜面法線より15度程度谷側に傾けるように指導しているが、その考え方は統一されておらずその必要性についても検討を加える必要があると考える。
- 6) 付加荷重については、考慮する機関と考慮しない機関があり、考慮する場合でも考え方が異なっている。地域性や雪質等によるものと考えられるが、その根拠は明確でなく、付加荷重の考え方について明確にする必要がある。

3.6.2 上部構造について

- 1) 北海道地区は吊柵、それ以外の地区は固定柵式が主流である。
- 2) 建設省北陸地建・新潟県および道路公団では、図集を作成し、上部構造について標準化している。
- 3) 構造体一個の長さは各機関毎を比較すると統一性は見られなかった。
- 4) 上部構造の主要部材は柱とバーであるが、柱にはH形鋼、バーには角・丸鋼管の使用が圧倒的に多かった。
- 5) 主要部材の材質はSS41相当品であり、許容応力は $1,600 \text{ kgf/cm}^2$ の値を採用している。
- 6) 鋼材の表面処理は、塗装と溶融亜鉛めっきを用いていた。しかし、表面処理を規定している機関は少ない。

3.6.2 基礎構造について

- 1) 設計の考え方は、各機関でほとんど違いはみられず、基礎形状は、表-3.7に記載した6タイプが使用されていた。また、ハンドブックに記載されている根かせ基礎の実例はなかった。
- 2) 基礎の設計における照査方法はハンドブックに準拠しており、独立基礎の場合は滑動の照査をみていない。
- 3) 地耐力や地盤状況との関連は、今回の調査では明確にできなかった。
- 4) 独立基礎は減る傾向がある。
- 5) 基礎の破損原因としては、地盤反力の不足や洗掘等が考えられるが、原因の究明には至らなかった。

4. 雪圧特性に関する実験

4.1 実験目的

積雪地域において、雪崩から道路等を護るための施設としては、雪崩の発生を未然に予防する雪崩予防施設（予防柵・予防杭等）と発生した雪崩から施設等を防護する防護施設（防護柵・スノーシェッド等）がある。雪崩予防柵あるいは予防杭は、積雪の斜面移動を抑制して雪崩の発生自体を阻止するものであり、特に柵は雪崩の発生に対して最も効果的な予防施設として用いられている。これらの施設は、雪崩発生の危険性のある斜面に多く設置されているが、雪解け時期（特に豪雪年の）になると多くの施設に破損が見られる。これは、設計等に必要なグライド・クリープ係数等が、低温乾雪を対象としたスイスの示方書を参考にして

いるためであり、我が国のような高温多雪で湿った雪質に対しては十分に適合していないためと考えられる。本調査では、我が国の雪質に適したグライド・クリープ係数あるいは雪圧の作用形態等を把握するための基礎データを収集することを目的として昭和57年度から表-4.1のような項目について実験を行っている。

なお、63年度からは実験条件等（地域）を拡大して行ったが、異常気象（詳細については後述）により期待した成果が得られなかったため、本章では57年度から62年度までの成果についてのまとめを行った。

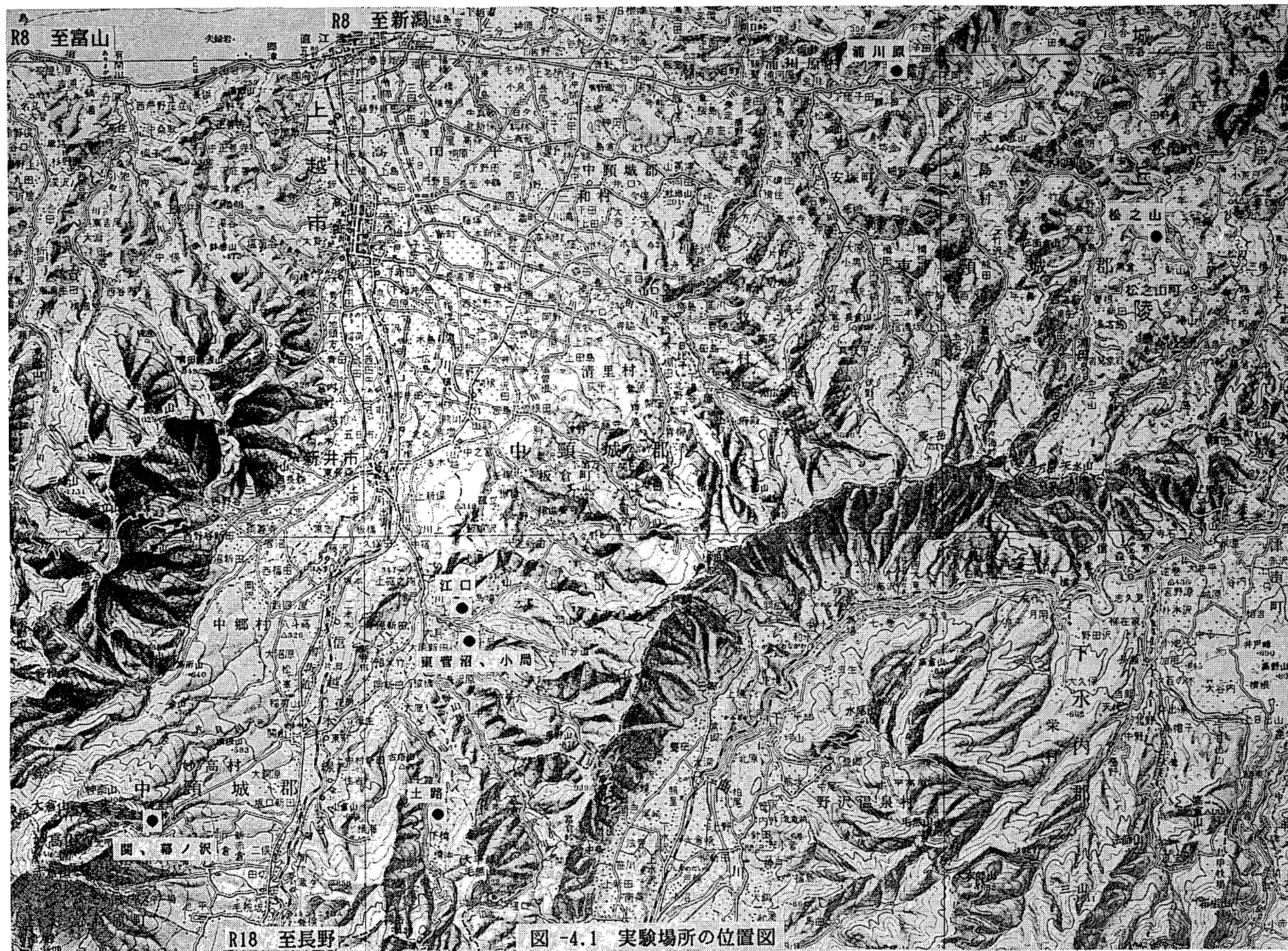
表-4.1 実験項目の一覧表

実 験 項 目	実 験 年 度						
	57	58	59	60	61	62	63
積雪状況と雪圧の関係 ・ 積雪（重量）等と雪圧の関係	○	→					
構造物に作用する雪圧分布 ・ 積雪状況（断面観測）と雪圧分布の関係 ・ 施設の高さ方向雪圧分布 ・ 施設の横方向雪圧分布 ・ 雪圧の作用方向	○	○	→	→	→	○	→
構造物の斜面条件（設置位置）と雪圧の関係 ・ 施設の設置横間隔と雪圧の関係 ・ 施設の設置縦間隔と雪圧の関係 ・ 施設の設置位置と雪圧の関係 ・ 斜面条件と雪圧の関係	○	→			○	→	○
斜面上における積雪の挙動（グライド・クリープ） ・ 斜面位置とグライド・クリープの関係 ・ 斜面条件とグライド・クリープの関係		○	→			○	→

4.2 実験斜面の概要

4.2.1 実験場所の概要

実験は日本で有数の豪雪地帯である新潟県新井市周辺の斜面を中心に行うこととした。実験場所は図-4.1に示すとおりである。なお、構造物に作用する雪圧は地形条件や構造物近傍の小段（切り土）の有無等に左右されることが予想されるため、小段のある斜面（東菅沼）と小段のない自然斜面（江口・土路・浦川原・松之山・小局・関・幕ノ沢）の両者を対象に実験を行った。



(1) 東菅沼（小段斜面）に

おける斜面条件

東菅沼の小段斜面についての斜面形状（斜面勾配：45度、中腹に1mと3mの小段を設け、7mの斜面が3連になっている）を図-4.2に示す。この斜面は北東向きで、植生はカヤ地である。

(2) 自然斜面における斜面条件

自然斜面については、表-4.2（雪圧測定斜面）、表-4.3（グライド・クリープ測定斜面）に示す地域において斜面条件を設定した。

4.2.2 施設等の設置状況

東菅沼の小段斜面における施設は図-4.3に示すような位置に斜面直角に設置している。予防杭は、3m小段周辺（小段法尻・肩・斜面）に間隔をあけて設置した。杭の形状は、高さ1.6m、幅0.17mで、基準雪圧測定杭（A杭）・雪圧測定杭（B杭）・ダミー杭（C杭）の3タイプを用いた。また、予防柵もそれぞれ間隔をあけて、上段の1m小段に設置した。柵の形状は、高さ2.12mのA柵（長さ10m柵）・B柵（ダミー柵）・高さ2.83mのC柵がある。一方、自然斜面における施設は、条件に合う既存の予防柵を選定して実験を行った。柵の高さは2～3mの範囲である。

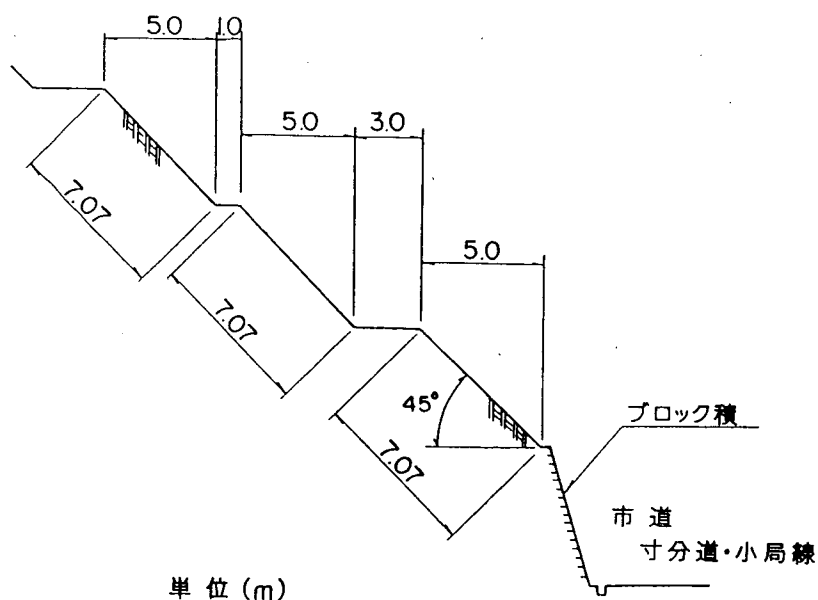


図-4.2 東菅沼の斜面形状

表-4.2 自然斜面の斜面状況（雪圧測定斜面）

測定場所	方位	地表状況	勾配 φ	柵間隔 L	測定開始年度	受圧形状
江口	南	カヤ地	3 0	1 8	6 3	板
			3 0	1 8	6 3	板
			3 5	1 3	6 1	板
			3 5	1 8	6 1	板
			3 5	3 2	6 1	板
			4 5	1 8	6 1	板
土路	北西	草地・ 低灌木 一部 高い灌木	2 7	2 0	6 2	バー
			3 0	1 0	6 2	バー
			3 2	2 4	6 3	板
			3 2	2 4	6 3	板
			3 2	2 4	6 2	バー
			3 5	1 1	6 2	バー
			4 0	1 3	6 2	バー
浦川原	南	カヤ地	4 0	約 1 5 0	6 3	板
松之山	北東	カヤ地	2 8	2 0	6 3	板

・ は柵端部の測定（他は中央部）

表-4.3 自然斜面の斜面状況（グライド・クリープ測定斜面）

観測場所	方位	植生	勾配 φ	測定年度	測定地点
江口	南	畑地	1 6	6 1	斜面の 上中下
	南	畑地	2 0		
	南西	カヤ地	2 8		
小局	北東	畑地	1 9	6 2	斜面の 上中下
		草・カヤ	2 3		
		草・カヤ	3 0		
松之山	北東	草・カヤ	2 8	6 3	斜面の中
土路	北西	草・カヤ	2 6	6 3	斜面の中
関	北西	草・カヤ	2 4	6 3	斜面の中
	南東	草・カヤ	1 5		
幕ノ沢	北西	低灌木	3 0	6 3	斜面の 中
		低灌木	3 8		
	南東	低灌木	4 0		

・ 斜面の長さは約20m

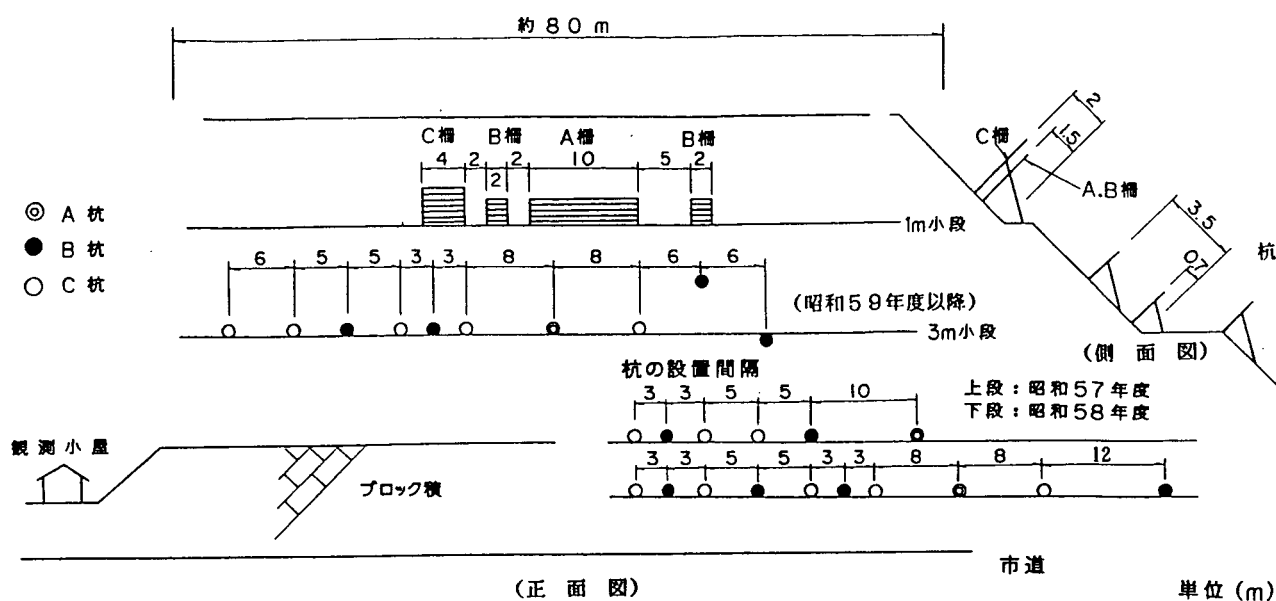


図-4.3 東菅沼の施設設置状況

4.3 測定項目および方法

4.3.1 物理測定（積雪深・雪密度等）

雪の物理的性質および気象に関しては、各場所で以下の項目について測定を行った。

(1) 積雪深

各実験場所の平地および柵（施設）周辺にポールを設置し、目視により測定を行った。

(2) 降雪深（東菅沼のみ）

積雪の測定と合わせて、降雪板により降雪量の測定を行った。

(3) 雪密度（積雪重量）

各実験場所の雪密度については、積雪深の測定地点近傍においてスノーサンプラー（円筒状の筒）を用いて測定を行った。方法は、積雪表面から地表面までの雪をスノーサンプラーによって抜き取り、各層ごとの重さを量り雪密度を算出した。また、測定された雪密度と積雪深の積により、単位面積当りの積雪重量を算出した。

(4) 温度

気温は、主要な実験場所の東菅沼・土路・松之山において自記録装置等を用いて自動測定（1冬期間）した。また東菅沼においては、気温と合わせて地表温および地中温度（地下30cm）についても測定を行った。

4.3.2 雪圧測定

雪圧については、以下2種類の受圧形式によって測定を行った。

(1) 受圧板による雪圧測定

施設に作用する雪圧は、施設と受圧板（図-4.4）の間にロードセル（図-4.5に示すひずみゲージ式の

61年度からは東菅沼・土路において、雪圧の作用方向を求めるために、バーの両端にロードセル、圧痕計を設置して雪圧の測定を行った（図-4.7）。

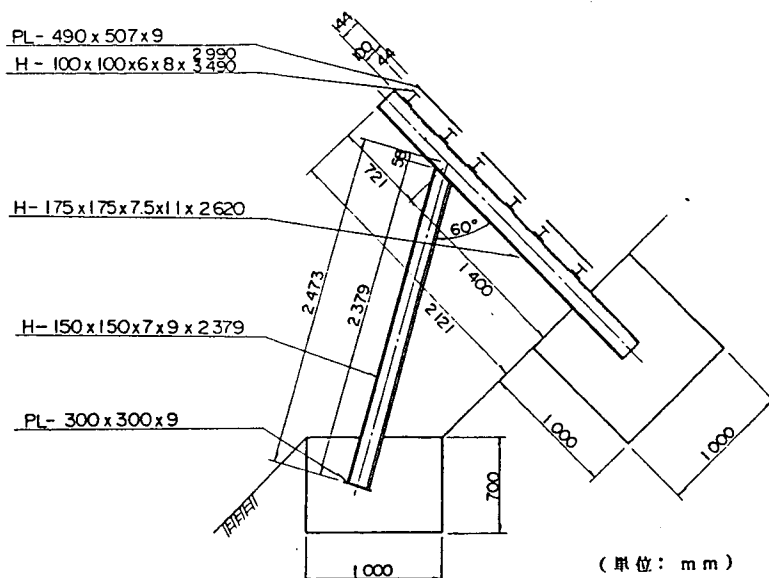


図-4.4 10m柵の形状（受圧板による）

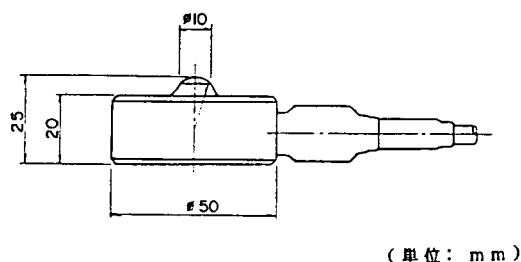


図-4.5 ロードセルの形状

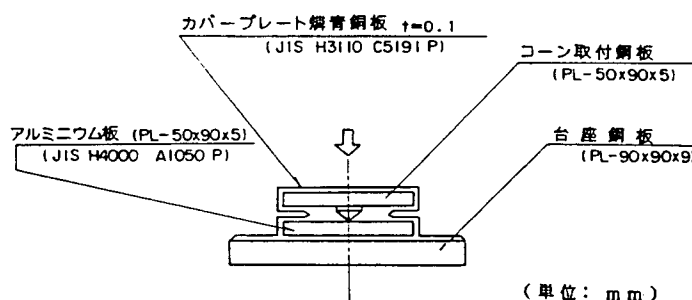


図-4.6 圧痕計の形状

4.3.3 グライド・クリープ測定

斜面積雪のグライド・クリープ量については、以下に述べる2種類の方法によって測定を行った。

(1) 移動式グライド計による測定

東菅沼において、移動式グライド計の先にスキー板状の鉄板を取り付けて、降雪が始まる以前に1 m小段斜面の左端（観測小屋寄り）に設置し、積雪後の移動量を観測することにより、グライド量を算出するものである（図-4.8）。この方法は、測定位置がグライドとともに徐々に移動するという欠点があるため、昭和

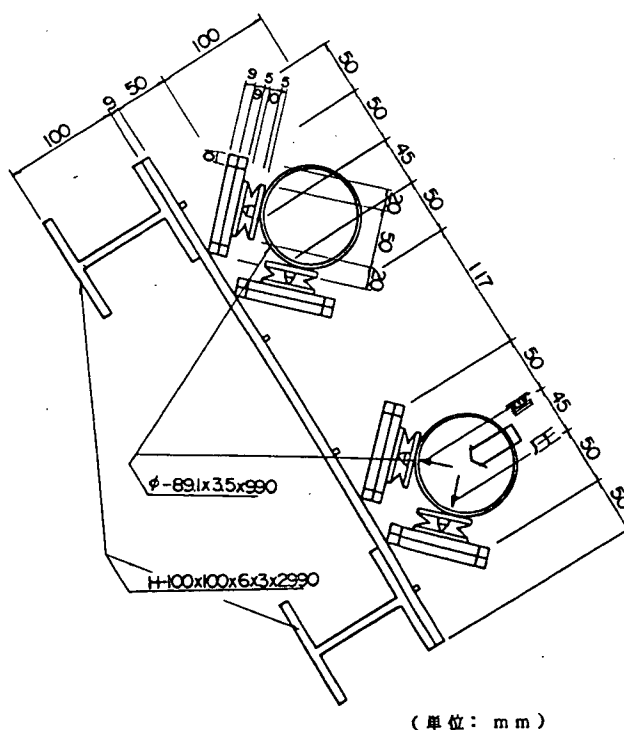


図-4.7 バー形式による柵の雪圧測定

61年度より次の方法に切り替えて測定した。

(2) 断面観測によるグライド・クリープ測定

この方法は、断面観測（積雪断面をカットして、その雪密度、雪質を測定する）をした後に、その断面にピンをセットして、各ピンの水平および鉛直方向の移動量（図-4.9）からグライド量およびクリープ量を算出するものである。なお、測定は一冬期に数回断面カットを行い、一つの断面カットに対して10日程度継続して測定するものとした。

東菅沼（小段斜面）における測定地点は、図-4.10に示す小段上のA～F地点である。一方、自然斜面については、表-4.3における各場所の斜面で図-4.11のように上・中・下部地点について断面観測をした後、グライド・クリープを測定した。場所によっては中部だけの場合もある。

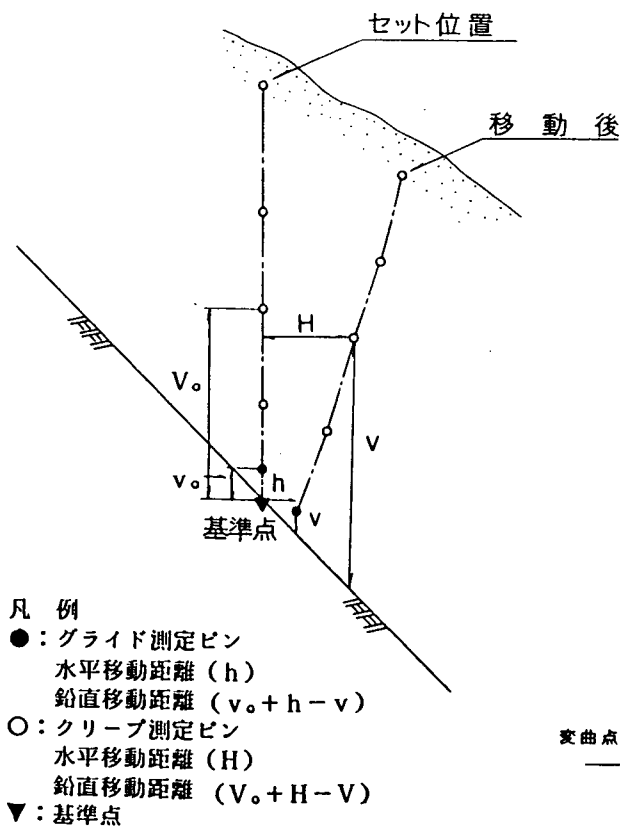


図-4.9 断面観測による

グライド・クリープ測定の状況

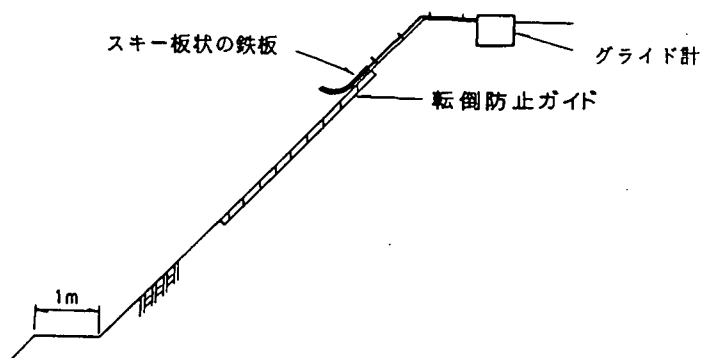


図-4.8 移動式グライド計の設置状況

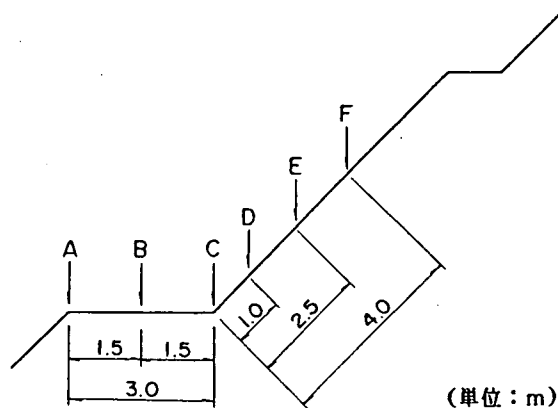


図-4.10 東菅沼における
測定地点の位置（例）

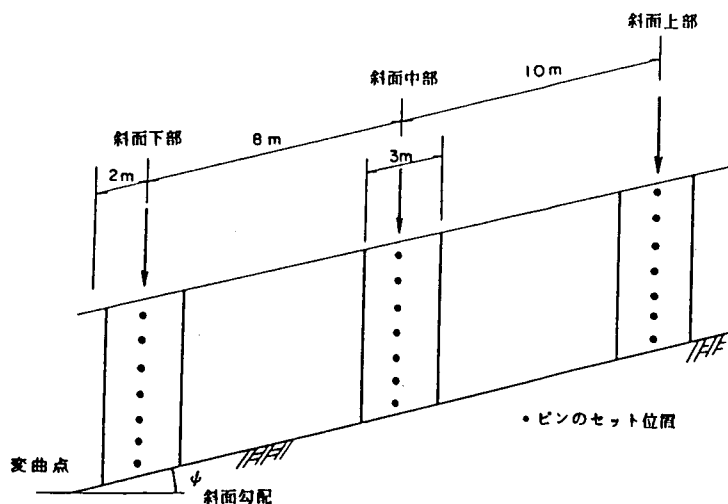


図-4.11 自然斜面におけるグライド

・クリープ測定の位置

4.4 実験結果

4.4.1 積雪状況と雪圧の関係

(1) 年度別の最大積雪深等と最大雪圧

表-4.4 年度別の最大値一覧表

年 度	5 7	5 8	5 9	6 0	6 1	6 2	6 3
最大積雪深 (m)	3.00 2月14日	4.35 2月18日	4.15 1月30日	4.40 2月6日	2.40 3月2日	2.35 2月22日	0.65 1月5日
最大積雪重量 (tf/m ²)	0.991 2月28日	1.533 2月22日	1.317 2月18日	1.198 3月12日	0.883 3月12日	0.851 3月10日	0.149 1月5日
横間隔5m杭の最大 雪圧(tf/本)	1.799 3月8日	6.167 3月25日	5.666 2月9日	4.971 3月10日	2.290 3月12日	2.422 3月10日	0.122 3月10日
10m欄中央最大 雪圧(tf/m)		4.532	4.836	2.852	1.066	1.506	0.230
備 考		5 9 豪雪	6 0 豪雪	6 1 豪雪			異常少雪

・豪雪、少雪は新潟県上越地方について

表-4.4に昭和57年度からの東菅沼における7年間の積雪深等の最大値を示した。これをみると最大積雪深(斜面)が、実験前半の58~60年度は4mを越える豪雪となったが、その後61・62年度は約2.4mと豪雪時の半分程度となった。さらに、63年度については1月5日の0.6mが最大積雪深となり、降雪量が多いといわれる1月・2月に降雪がほとんどなかった。

また、雪圧も豪雪時には横間隔5m杭に最大約6.0tf/本もの雪圧が作用したが、積雪深と同じ様に63年度は最大で0.1tf/本と少なく他年度と比較して小さい値であった。また、他の各実験場所においても積雪深・雪圧が63年度は同様の結果となった。

(2) 積雪(重量)・雪圧等の経日変化

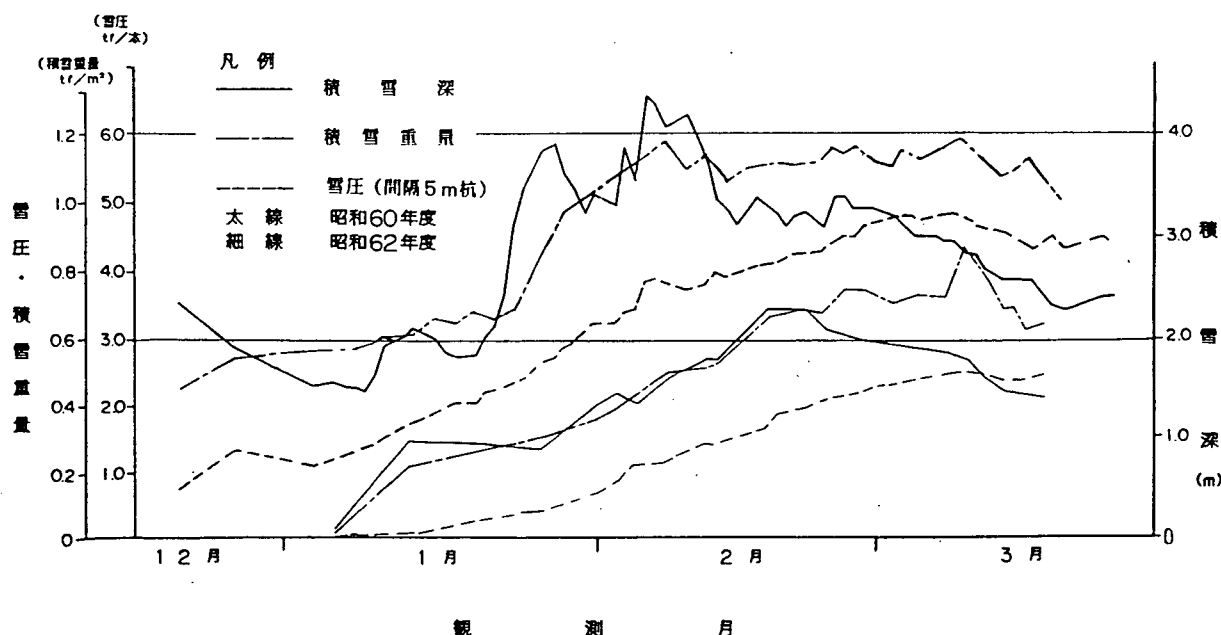


図-4.12 積雪(重量)と雪圧の経日変化

図-4.12に東菅沼における60年度(豪雪)と62年度の積雪深・横間隔5m杭の雪圧等の経日変化図を示した。これをみると、積雪深はかなり違いがあるものの、両年度とも増減の経日変化は同じような傾

向となった。まず積雪深については、1月下旬～2月にかけて積雪が増えて最大値となり、それ以降の2月下旬からは徐々に減少し始めた。また、積雪重量は積雪深と同じように増大していき、その最大値は3月上旬まで続いた。理由としては、積雪深は沈降等により減少するが、雪密度（ $0.35 \sim 0.45 \text{ tf/m}^3$ 程度まで）は増えて、さらに降雨により積雪重量は増大したためと思われる。一方、雪圧（横間隔5 m杭）は、3月上旬まで徐々に増えていく傾向にある。

(3) 積雪（重量）と雪圧の関係

図-4.13に、東菅沼における横間隔8 m杭1本の雪圧と積雪重量の相関図を示した。これをみると、両者の相関性が高い（相関係数が0.9程度）ことから、雪圧は積雪重量が重要な要因であることがいえる。一方、積雪深と雪圧の関係を示したのが図-4.14である。これをみるとバラツキが大きく相関性がかなり悪いことがわかる。

4.4.2 構造物に作用する雪圧分布

(1) 柵周辺の積雪状況

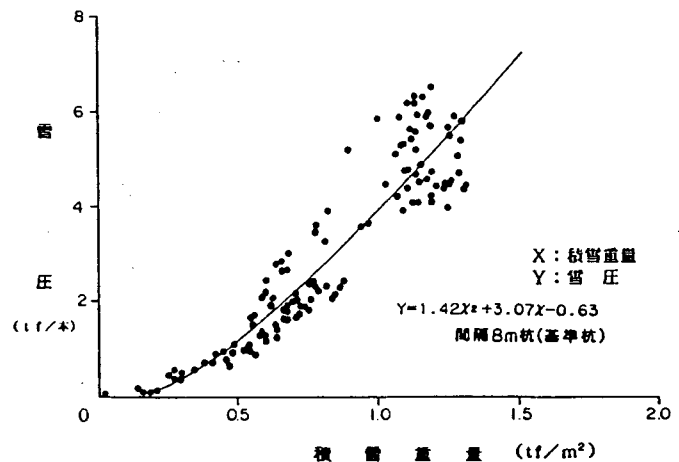


図-4.13 積雪重量と雪圧の関係

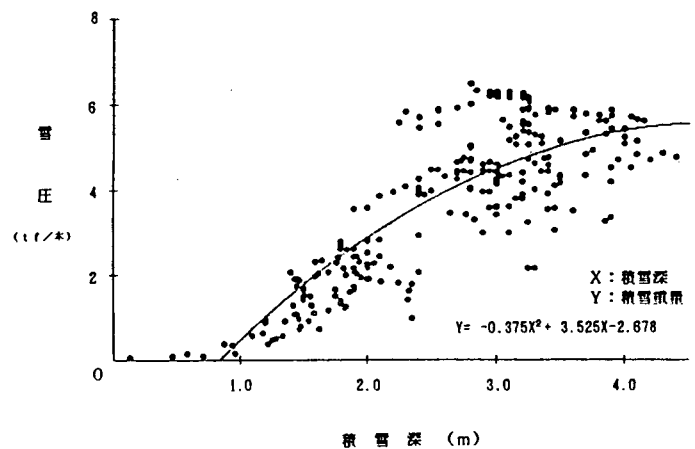


図-4.14 積雪深と雪圧の関係

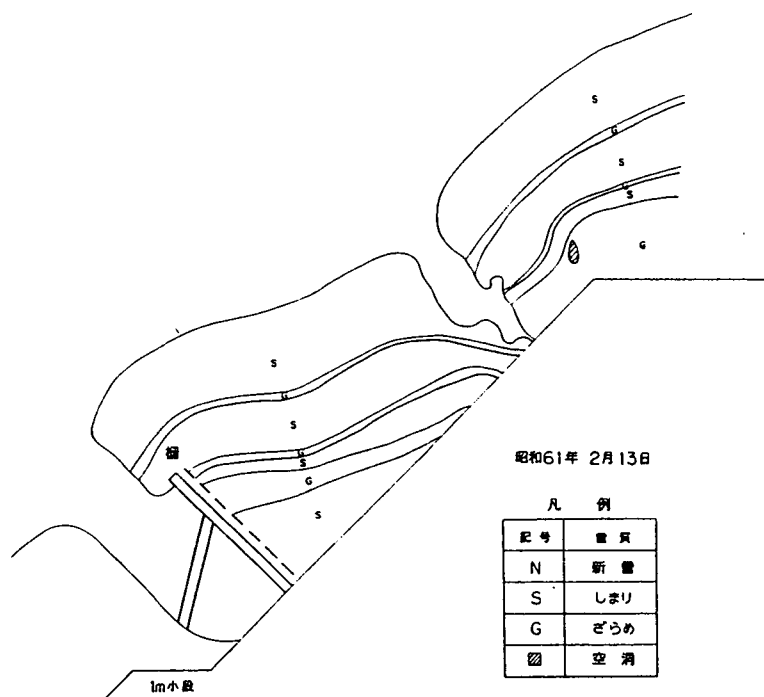


図-4.15 柵周辺の積雪状況

東菅沼における柵周辺の積雪状況を、図- 4.15に示した（昭和61年 2月13日に行った柵周辺の断面観測図）。また、写真-4.1に杭周辺の積雪状況（58年度）を示した。図および写真から、しまり雪の間にザラメ雪の層がきれいに入っていることがわかる。これは降雪後、気温の上昇等によってザラメ化されたものである。また、斜面積雪が柵まで移動して完全に柵で動きが抑制されるため、積雪層の一番下のしまり雪が三角形状となっている。



写真-4.1 杭周辺の積雪状況

(2) 施設の高さ方向の雪圧分布

図- 4.16に東菅沼における柵の高さ方向による雪圧分布（10m柵の最大雪圧）を示した。図から、柵には61・62年度は下部に最も雪圧が作用していて上部ほど少ない。しかし、58～60年度は上部に大きな雪圧が作用している。これは、図- 4.15のように柵の上部に雪底ができ、集中的に上部に雪圧が作用したためである。したがって、あまり積雪に対して低い構造物だと柵上部に雪圧が大きく作用して破損しやすくなるので、設計積雪深の適合性が重要になる。

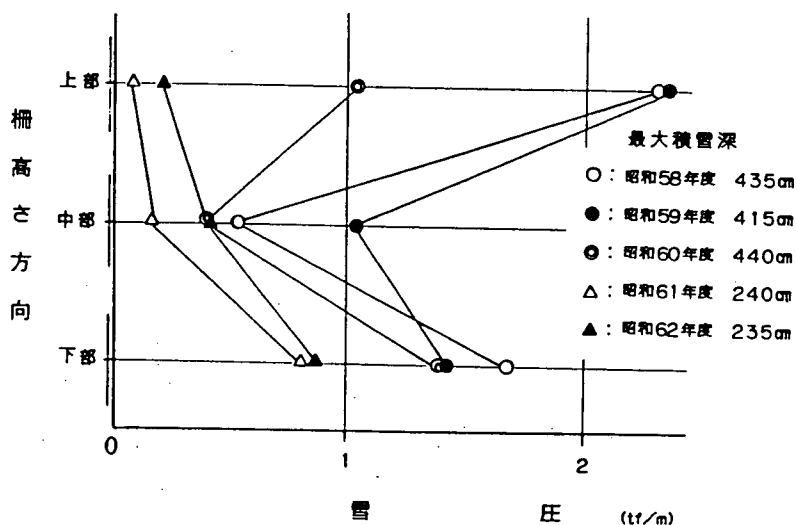


図-4.16 10m柵における高さ方向の雪圧分布

また杭については、図- 4.17のように豪雪年度は中部の雪圧が最大になり、少雪年度では柵と同じように上部ほど減少した。

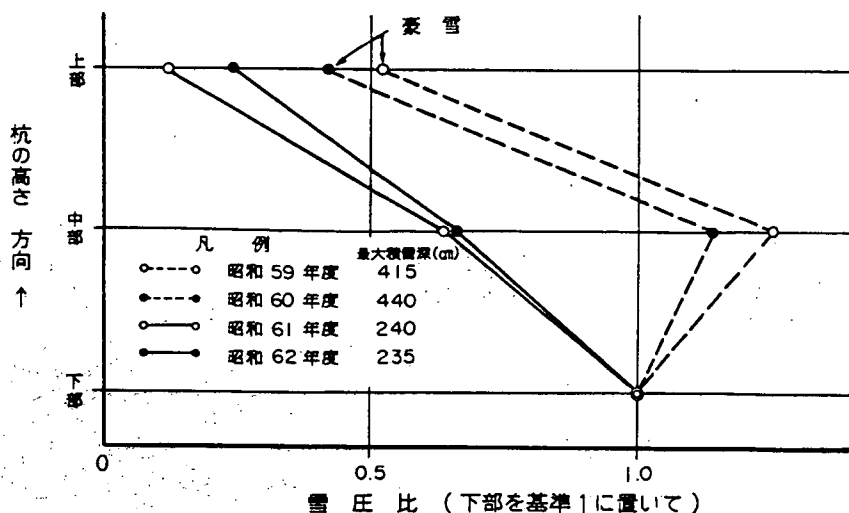


図-4.17 基準杭における高さ方向の雪圧分布

(3) 施設の横方向の雪圧分布

東菅沼における柵の横方向の雪

圧分布（10m柵の最大雪圧）を図-4.18に示した。図から、柵端部に大きな雪圧が集中的に作用している。それに比べて、中央部全体は同じくらいの雪圧が作用している。このことから、柵端部には辺縁力が作用するが、その範囲は1m以内（受圧板は幅50cm）とハンドブックの式で求めたもの（0.7m程度）とほぼ同じ結果となった。

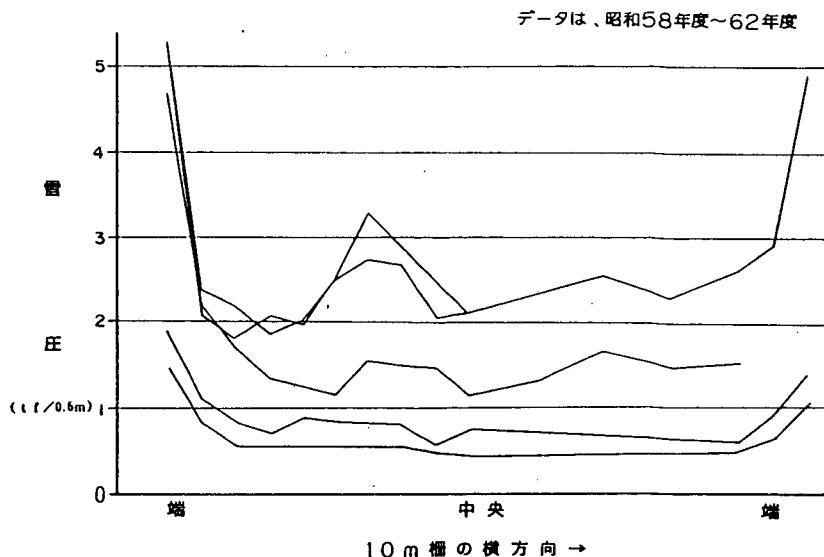


図-4.18 横方向の雪圧分布

(4) 雪圧の作用方向

東菅沼では、61年度から予防柵の雪圧作用方向についてバーによって実験を行った。その結果を図-4.19に示した。図から柵の上・中・下部において、雪圧はほとんどが斜面平行よりおよそ30度下方を向く結果となった。また、自然斜面の土路においても同様の実験を行ったが、斜面ごとの勾配（27～40度）が異なるため斜面平行を基準にすると問題があるので図-4.20のように水平を基準にすると、柵上部から下部までの平均の雪圧作用方向は、水平から60～75度程度下方向きとなった。

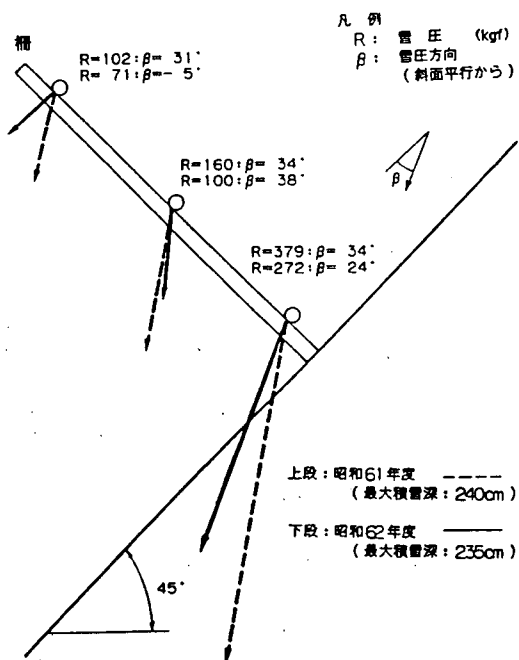


図-4.19 10m柵における雪圧の作用方向

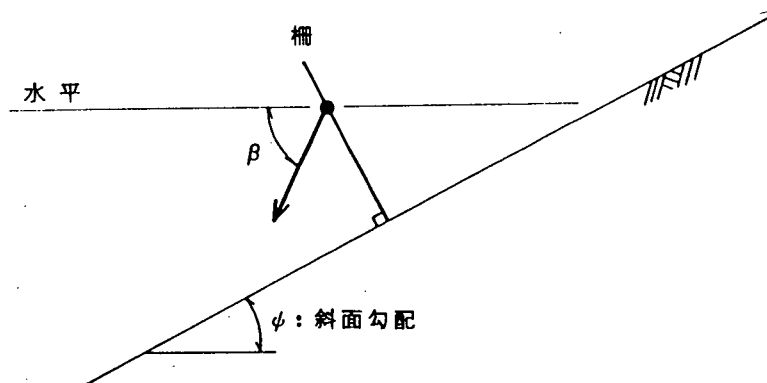


図-4.20 作用方向（ β ）に対する角度の基準

4.4.3 施設の設置間隔

(1) 施設の横間隔と雪圧の関係

図-4.21には、前述した東菅沼における柵端部の辺縁力（最大雪圧）と設置横間隔の関係を示した。横軸に柵の横間隔、縦軸に雪圧比（柵中央部の雪圧を基準とした場合における柵端部の雪圧比）として、横間隔は2m・5m・横に柵がない（無限大）3ケースについてプロットした。これをみると、2m間

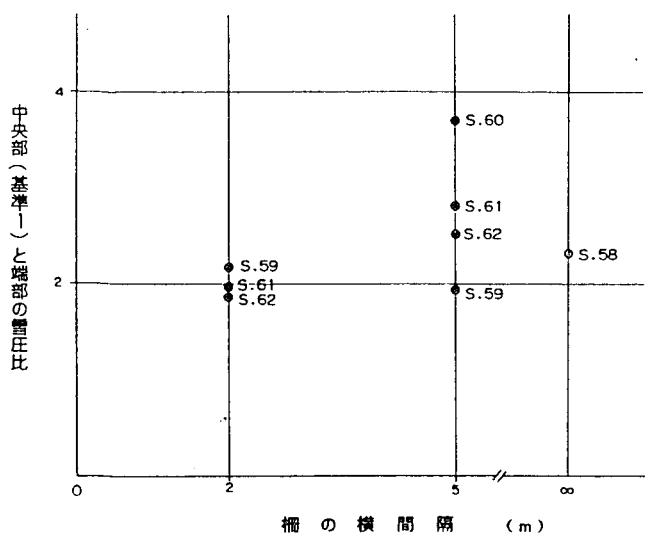


図-4.21 柵の設置位置横間隔と雪圧

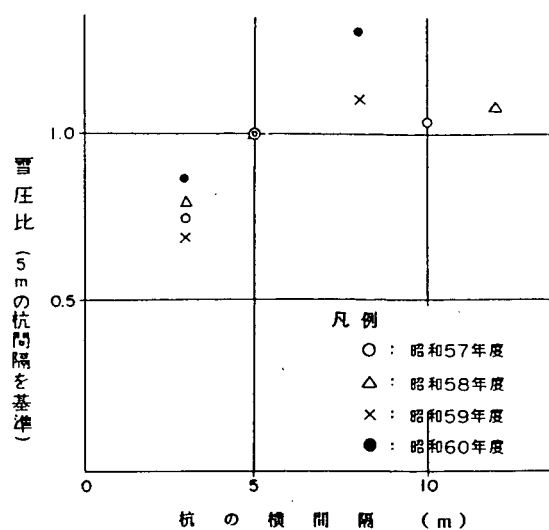


図-4.22 杭の設置横間隔

隔は中央に比べ2倍程度大きく雪圧が作用した。また、5 m間隔については2倍～4倍と積雪状況による違いからバラツキがあったものの、かなり大きな雪圧が作用することがわかった。

また、杭については5 m間隔杭の雪圧(最大)を基準にしてプロットしたのが図- 4.22である。これを見ると5 m間隔と8 m以上の横間隔ではあまり差がなく、杭横間隔の限界はハンドブックと同じように7 m程度が妥当であると考えられる。

(2) 施設の設置縦間隔と雪圧の関係

柵の設置縦間隔については、江口・土路の自然斜面における測定結果を図- 4.23に示した。図は、横軸に縦間隔、縦軸を雪圧比(縦間隔13m柵の最大雪圧を基準にした)とした。この結果、年度によってバラツキが見られるが間隔が長くなれば雪圧が増加する傾向を示している。しかし、柵間隔が32m以上になった場合および積雪状態が変化した場合(積雪量が多い場合)は今後の検討課題として一考したい。

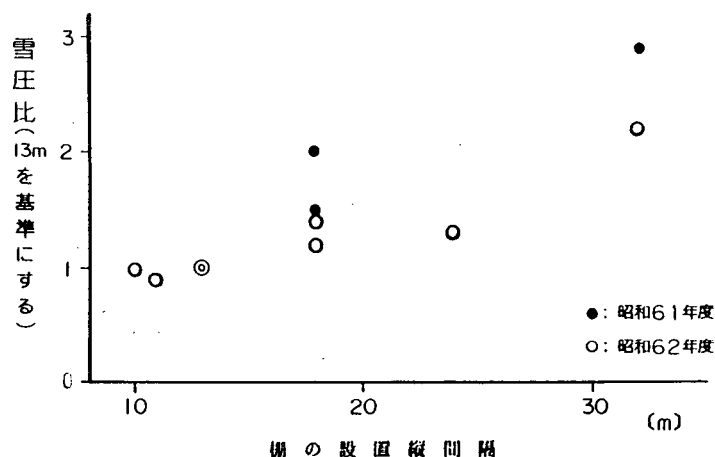


図-4.23 柵の設置縦間隔

(3) 施設の設置位置と雪圧の関係

図- 4.24は東菅沼の小段斜面における杭の設置位置についての雪圧特性を示した。ここでは、59・60年度(豪雪)における最大積雪深時の雪圧比(小段肩Aを基準にした)を縦軸に、また横軸には設置位置として雪圧を比較すると、小段法尻B・斜面Cに比べ小段肩Aは3～4倍程度少なかった。このことから、階段工等の小段が設置されている所では杭の雪圧の軽減だけを考えた場合、小段肩に杭を設置するのも一つの方法である。また、積雪が少なかった61年度以降の斜面、小段肩では雪圧がほとんど作用していない。

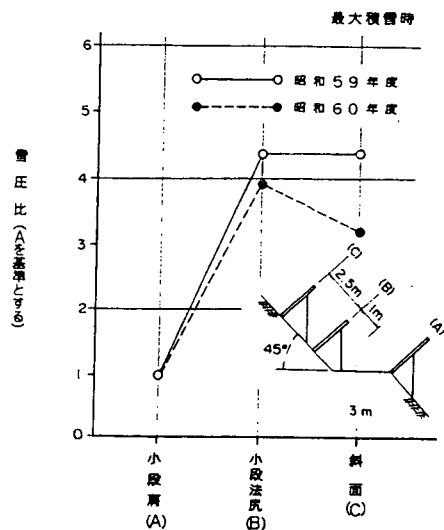


図-4.24 小段斜面の設置位置と雪圧 (杭)

(4) 斜面勾配と雪圧

江口・土路における斜面勾配別の雪圧 (最大) を図- 4.25に示した。図は横軸に勾配をとり、縦軸に斜面勾配30度に設置されている柵の雪圧を基準としてプロットした。これを見ると勾配による雪圧変化はなかった。ただし、柵の縦間隔と同様に積雪状況が変化する場合については今後の検討により説明する必要がある。

4.4.4 斜面上における積雪の挙動

(1) 斜面位置と雪の挙動 (グライド)

東菅沼における小段周辺のグライド状況について図-4.26 に示した。これを見ると、雪圧があまり作用しなかった小段上 (A・B・C) ではグライド量は少なく、雪圧が大きく作用した斜面上方 (E・F) ではグライドは活発であった。また、小局 (自然斜面) における斜面位置別のグライド状況を図- 4.27に示した。これを見ると勾配が最も緩やかな19度を除く23・30度の斜面では、上部 (斜面の下方端より20m上方) が、

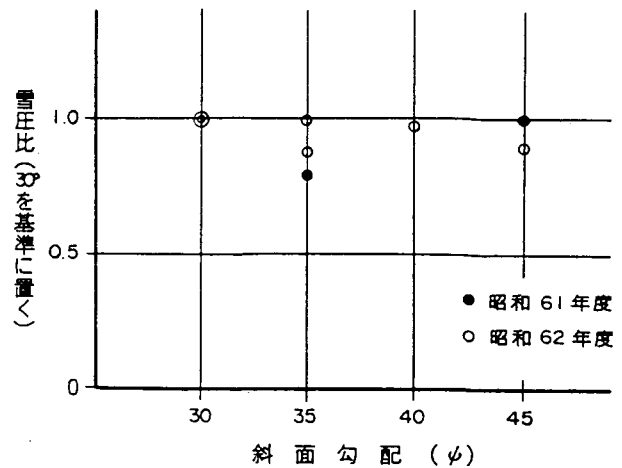


図-4.25 斜面勾配と雪圧

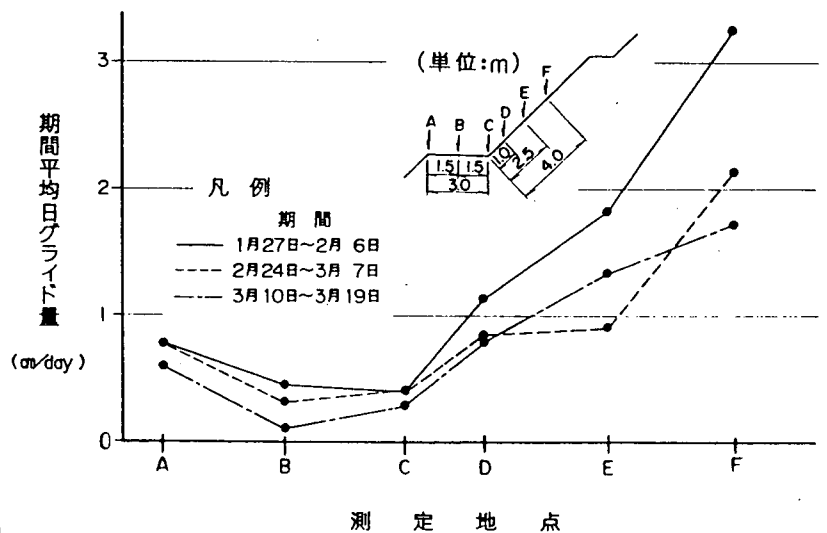


図-4.26 小段周辺のグライド状況

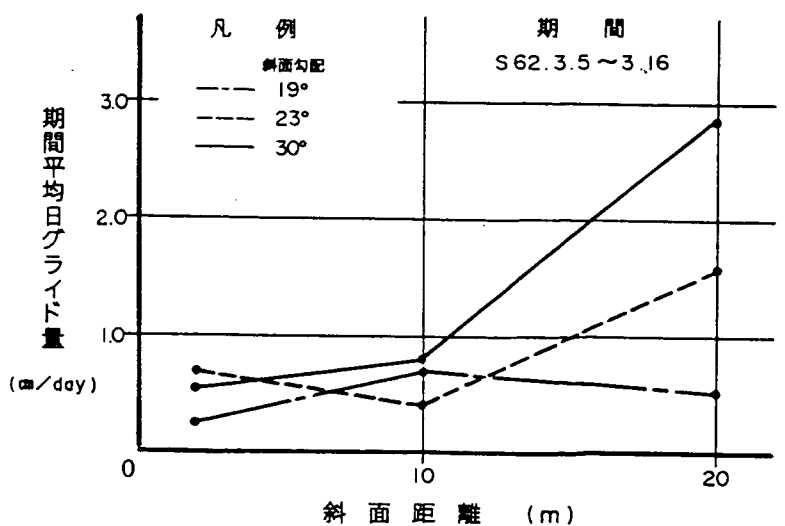


図-4.27 自然斜面の位置別グライド量

中部（斜面の下方端より10m上方）
 ・下部（斜面の下方端より約 2m上方）に比べて2～3 倍程度グライドが活発であった。

(2) グライドの時期的変化

東菅沼におけるグライドの時期的変化について、図- 4.28（61年度）に示した。これをみると、斜面上部（D・F）では降雪の多い2月上旬が最大雪圧時期の3月中旬より 1.5 倍強多かった。これは、降雪期の雪密度が小さかったことと、比較的気温が高かったためグライド等が活発化したものと思われる。小段上（B

・C）ではあまり時期による差はなかった。

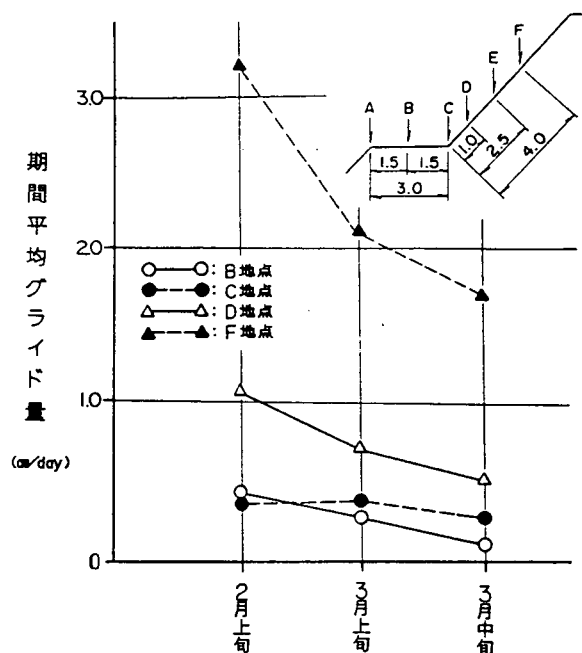


図-4.28 グライド量（小段斜面）の時期的変化

4.5 今後の課題

今後は、東菅沼等における斜面条件別（斜面勾配・施設間隔・方位・植生等）の検証実験および雪圧式に用いるグライド係数・割増し率等について検討する。

5. 予防柵の雪圧算定方法に関する検討

本章では、現在我が国における予防柵設計手法の基本となっているスイスの「雪崩予防柵の設計および設置に関する示方書」に述べられている雪圧計算式の各項目について検討し、我が国に適した諸係数を設定するために現状と問題点および係数設定に関する考え方を述べた。

5.1 雪圧計算式の概要

1) 導入経緯

現在、新編防雪工学ハンドブックにまとめられている雪崩に関する雪圧論、および予防施設の設計方法が、日本に紹介されたのは1965年4月にスイスのダボスで開催された「雪と雪崩に関する国際シンポジウム」に出席した荘田¹⁾らが入手したスイスの報告書「発生地における雪崩制御」をもとに、荘田らによって翻訳され、「雪崩防御構造物の設計指針(その1, 2)」²⁾として発表されたのが最初である。これを、建設省を中心とした委員会構成で1968年に防雪工学ハンドブック³⁾としてまとめられ、我が国における唯一の設計参考図書として、発刊されている。

これを機会に予防柵は、雪崩を防止する施設とし整備されてきた。中でも40年後半の高度成長期は、山間地域の多雪地で多く整備されるようになった。しかし、その反面多雪年には予防柵の転倒・部材破損などが生じ始め、昭和50年代前半に破損問題が提起されてきた。

このような事態に対処するため、構造強度および経済的な要素を考慮した施設の設計方法が要求されてきた。

2) 雪圧計算式の現状

予防柵に作用する斜面に平行な雪圧の基本式を次に示す。

$$S_N = \frac{\gamma H^2}{2} \cdot K \cdot N$$

ここでは、 S_N を求めるための γ (雪密度)・ H (設計積雪深)・ K (クリープ係数)・ N (グライド係数)を主に検討するものである。

5.2 雪圧に関する基礎調査

1) 柵に作用する積雪形状

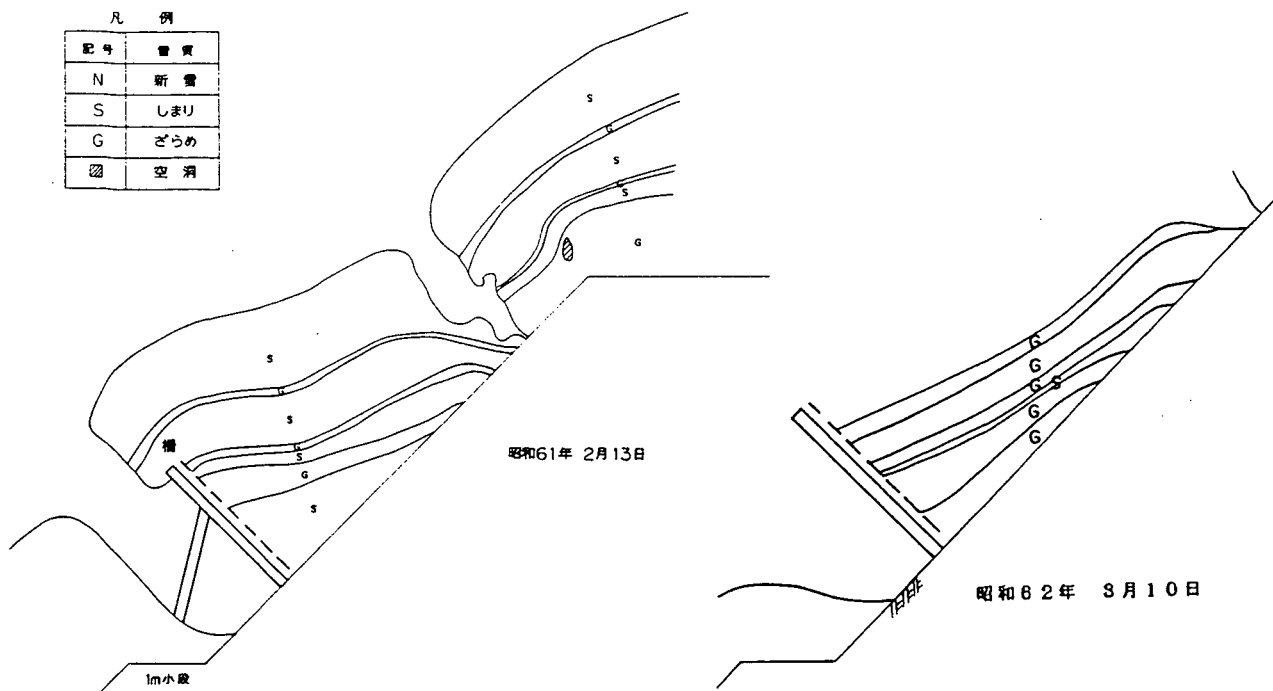
スイスの雪圧式の基本的な考え方は、積雪が斜面と平行に柵の高さ全面に等分布作用することとしているが、これまでの断面観測による調査から積雪の形態を見ると図-5.1のような形状で作用することが多い。このようなことから、設計積雪深あるいは柵高については斜面積雪深特性を考慮し、再現確率積雪深とあわせて検討する必要がある。

2) 柵の高さ別雪圧分布の実態

1) で実施した断面観測による積雪形状に対し、その状態ではどのような雪圧として、柵に作用しているかについて示した結果が図-5.2の例である。

この図からは、61・62年度のように設計積雪深を大幅に下まわる少雪年では下部を底辺とした三角分

凡 例	
記号	雪質
N	新雪
S	しまり
G	ざらめ
☐	空洞

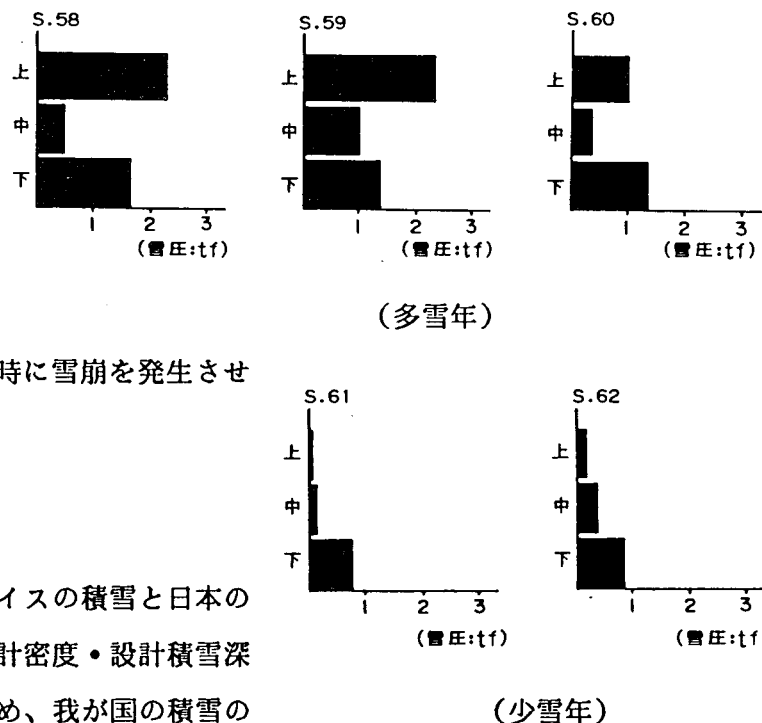


(1)多雪時

(2)少雪時

図-5.1 柵に作用する積雪形状

布になり、設計積雪深と同じかそれ以上の場合には柵上端に大きな荷重が作用する分布形態であることがわかる。このような柵上端に作用する荷重形態については、今後の構造設計において検討する必要がある（柵上端に雪圧が作用する雪底形態でも柵自体の破損はなかったが、雪底が破断し、落下した時に雪崩を発生させる原因になることもある）。



(多雪年)

(少雪年)

図-5.2 柵に作用する雪圧分布

5.3 設計に用いる項目の検討

現在の基本式として用いられているスイスの積雪と日本の積雪では冬の気候が異なることから、設計密度・設計積雪深・グライド係数等が異なると考えられるため、我が国の積雪の特徴を生かした設計係数として決める必要がある。ここでは設計に必要な項目について現状とその考え方について述べる。

1) 設計雪密度 (γ)

雪崩構造物の設計荷重を算定するための雪密度は、スイスにおける統計的手法によりもとめられた $\gamma = 0.35 \text{ tf/m}^3$ を用いることとしている。しかしながら、日本の積雪地域は寒冷多雪地から、温暖多雪

地まで幅広く分布して γ を $0.35 \text{ t f} / \text{m}^3$ 一定として設計することは問題がありこの平均密度を地域的な値としてあらわす方法が必要である。ここでは、これまでに入手した積雪観測および気温等の資料をもとにして密度を求める方法について検討した。冬期間種々の気象要素を含んでいるので一概にはいえないが、一例として、積算寒度と密度の実測からの推定方法、積雪深と積雪重量の実測から推定する方法を示す。この2ケースにおける相関係数を比べると前者は0.84に対し、後者（図-5.3）が0.95と非常に高い相関係数となっていることから、積雪深と積雪重量の関係から平均密度を求める方法は信頼性が高いと考えられる。図-5.3は年最大積雪深（m）と年最大積雪重量（ $\text{t f} / \text{m}^2$ ）の関係をプロットした結果である。この時の基本となるデータは、札幌⁴⁾、長岡⁵⁾、十日町⁶⁾、高田⁷⁾、新庄⁸⁾他2ヶ所の7ヶ所の10～20年の観測データである。この関係式を基にして、年最大積雪深から平均密度を求めると、年最大積雪深1 mでは $0.31 \text{ t f} / \text{m}^3$ 、3 mでは $0.34 \text{ t f} / \text{m}^3$ となり、平均密度は積雪深によって多少異なることがわかる。このことから、地域別の設計密度をどのようにするか、またこの密度設定の考え方でよいかについては今後の検討課題である。

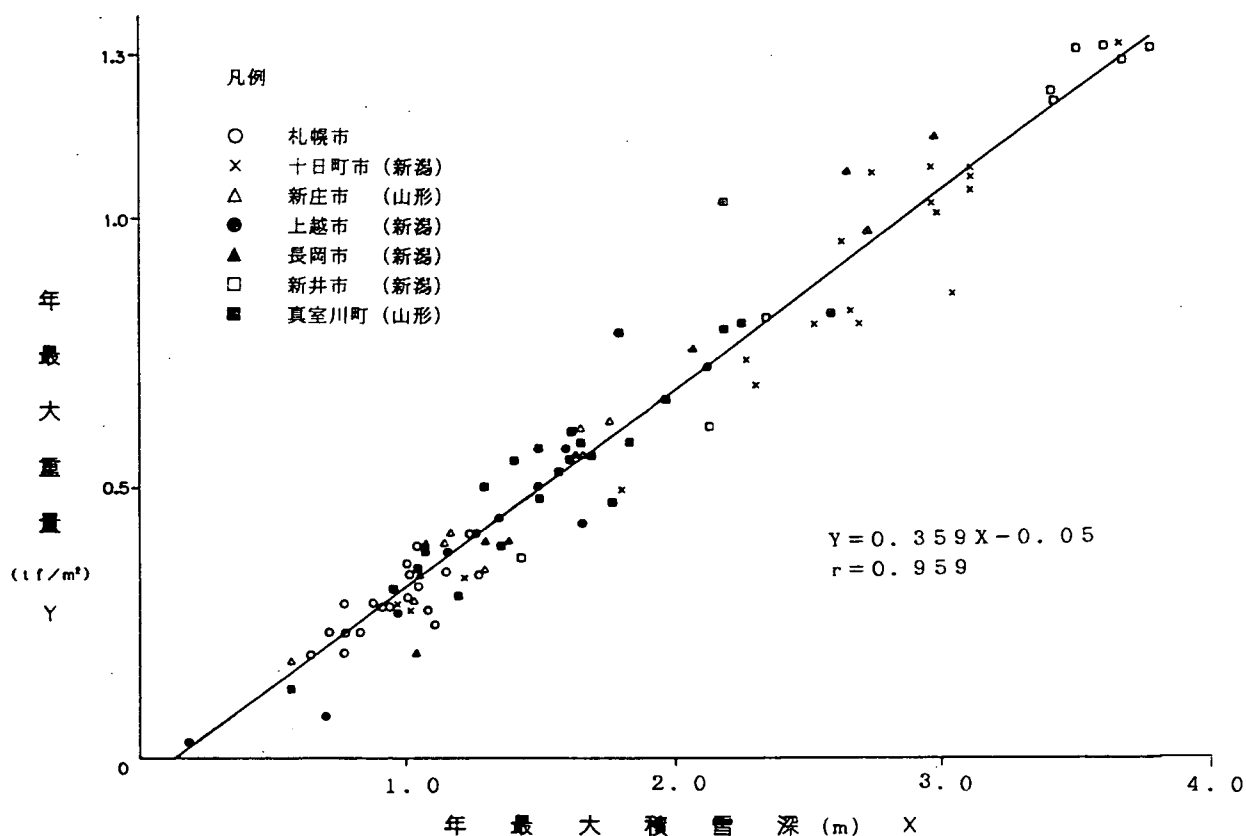


図-5.3 年最大積雪深（X）と最大積雪重量（Y）の関係

2) 設計積雪深（H）

雪崩対策等の施設設計に用いられている設計積雪深は、道路管理関係では30年再現確率積雪深、砂防の集落保全対象関係では50年再現確率積雪深である。スイスの設計積雪深も統計的処理によって年最大積雪深を採用し、雪圧算定式では、予防柵に作用する積雪荷重は、図-5.4のように斜面と平行な形で作用することとしている。しかし、実際には図-5.1の断面観測結果からもわかるように作用する積雪状況が平行でないことから、気象・標高・勾配などを考慮した積雪形状の推定が必要である。

また、ある小地域の再現積雪深については各県単位（新潟県では小学校、市町村役場、その他を合わせると約 500ヶ所の観測網がある）観測網のデータを入手することにより、ある程度推定可能になる。

3) クリープ係数 (K)

クリープ係数に関しては、スイスの示方書に示されているクリープ係数（表-5.1）をもとに、密度と $K/\sin 2\phi$ の値を比例配分し設計に使用している。ただし、この時の雪密度が一冬期の何れの時期のものかについては不明である。したがって、今後、実験あるいは現地調査の結果等をもとに何れの時期の雪密度を用いるか比較検討する必要がある。

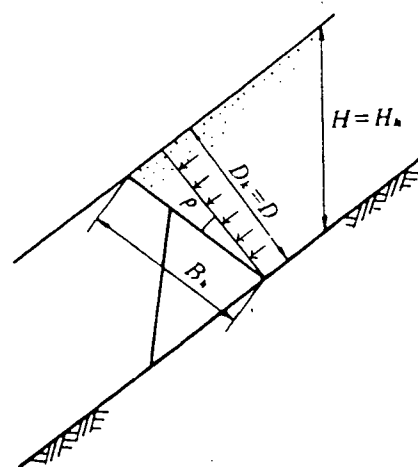


図-5.4 設計積雪深と柵高の関係

表-5.1 クリープ係数 (K) の値

あろう。

4) グライド係数 (N)

グライド係数は計算に

雪密度: γ (tf/m ³)	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
$K/\sin 2\phi$	0.70	0.76	0.83	0.92	1.05

よって求める方法と表-5.2に示すような8ケースの分類から該当する斜面状況によりグライド係数を決定する方法があるが、計算より表の方が簡便であることから大いに利用されている。しかしながら、グライド係数の設定については国内の研究者において昭和42年度頃より調査が

表-5.2 グライド係数 (N) の値

(スイス示方書による)

始められた。これはスイスのアルプス山系の積雪と日本の積雪を比べ湿り雪でかつ多雪であることに着目してのことである。これらの調査結果では同一斜面でも、その冬期の気象によってグライド速度が変化し、その結果の一例としてグライド係数2.7~5.8が報告³⁾されている。この結果と表-5.2に示すスイス示方書のグライド係数表と比較するとスイスの

地表の状態	グライド係数(N)の値	
	北向斜面 	南向斜面
I・玉石(30cmφ以上)の斜面. ・大岩の凹凸面	1.2	1.3
II・れき(30cmφ以下)の斜面. ・丈1m以上のかん木地. ・50cm以上の凹凸地面	1.6	1.8
III・小さいかん木地. ・50cm以下の凹凸地面. ・草地	2.0	2.4
IV・平滑岩盤 ・葉の長い草地 ・湿地	2.6	3.2

グライド係数は日本より低い値を用いていることになる。このようなことから、対象とする地域の気象特性（主として気温）とグライド速度の関係を把握して係数を設定する必要があるであろう（北海道、東北の一部の寒冷地においては、スイスの係数が対応できるところもあるといわれている）。このように湿雪地域におけるグライド係数は大きく変化することから、グライド係数の設定は斜面に平行な雪圧 S_N ・斜面に垂直な雪圧 S_ϕ に直接影響するので慎重を期する必要がある。現在各種斜面条件を設定して調査を実施しているので、その結果をもとにして検討を進めている。

5) スノーブリズム

スイスの示方書では柵面に作用する雪圧の受圧方向を一定にするために図-5.5に示すように柵面を

15度傾けた形式とし、さらに三角形の面積（斜線部）を付加荷重として設計するようにしているが、実際の現地設置に際しては斜面に対し直角の場合と15度傾けて設置している場合がある。何れが多雪地に適する形式であるかを今後の調査と、柵高増による経済性等の面から検討を進める必要がある。

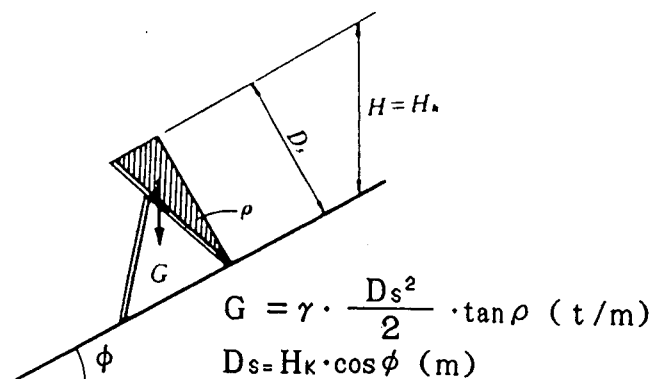


図-5.5 スノープリズム

6) 付加荷重の設定

バーの設計に際しては、図-5.6の例に示す

ように地面から柵高の1/4の高さに斜面の計算雪圧の25%を付加させて設計するようにしている。図-5.1, 5.2の断面観測および雪圧の柵高分布からもわかるように、柵上端に多く作用する雪底という現象が多雪地では多くみられるので付加荷重の設定方法については、斜面積雪形態を考慮した柵高設定方法の見直し等とあわせての検討が必要と考えられる。

7) バー設計における補正係数の考え方

スイス示方書での設計積雪深は前述のとおり日本での確率積雪深と同様な考え方である。このときの密度は小さく柵前面の均等分布するため雪圧は小さいことになる。しかし、積雪の特性として、積雪が安定するために雪粒子の自重による沈降収縮が作用し、ある時間を経過すると安定した積雪深となる。その安定した深さに、圧密されると当然密度が増すことから柵に作用する雪圧は作用する位置と大きさが異なるので補正係数をもって安定設計する方法を用いている（図-5.7）。

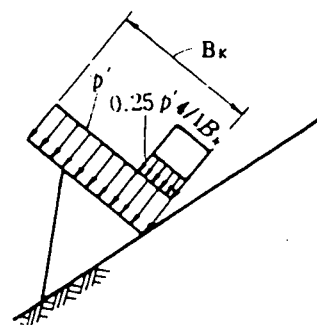


図-5.6 付加荷重

この積雪の収縮率は年最大積雪深（ H_1 ）と年最大重量時積雪深（ H_2 ）の比で得られる。この考え方で係数を求めるとスイスの場合³⁾ $H_2/H_1=0.76$ と一定にしているのに対し、設計密度の項での観測データをもとにして求めると図-5.8に示すように年最大積雪深は約17%収縮することがわかる。ここで用いる補正係数は概略、収縮率の逆数で得られることからスイスでは $1/0.76 \approx 1.3$ を補正係数としている。日本の収縮率からみると $1/0.83 \approx 1.20$ と少なくなる。この数値の妥当性については今後の雪圧計算および構造設計における経済性からも検討を加えてみる必要がある。一方、この補正係数の考え方について設計密度を最大重量時の密度を用いることによって、この補正係数を加味した設計に近くなる方法もあるので何れにするかについては、安全面および経済面からみて総合的に検討する必要がある。

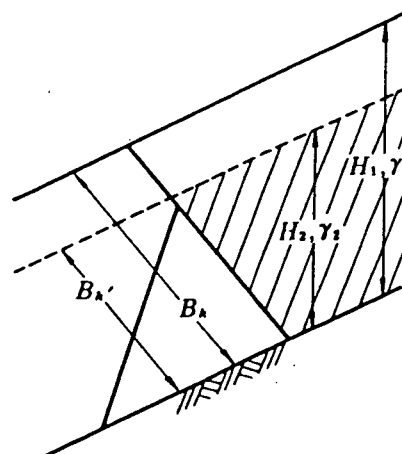


図-5.7 スイスの補正の求め方

8) 柵の縦、横間隔について

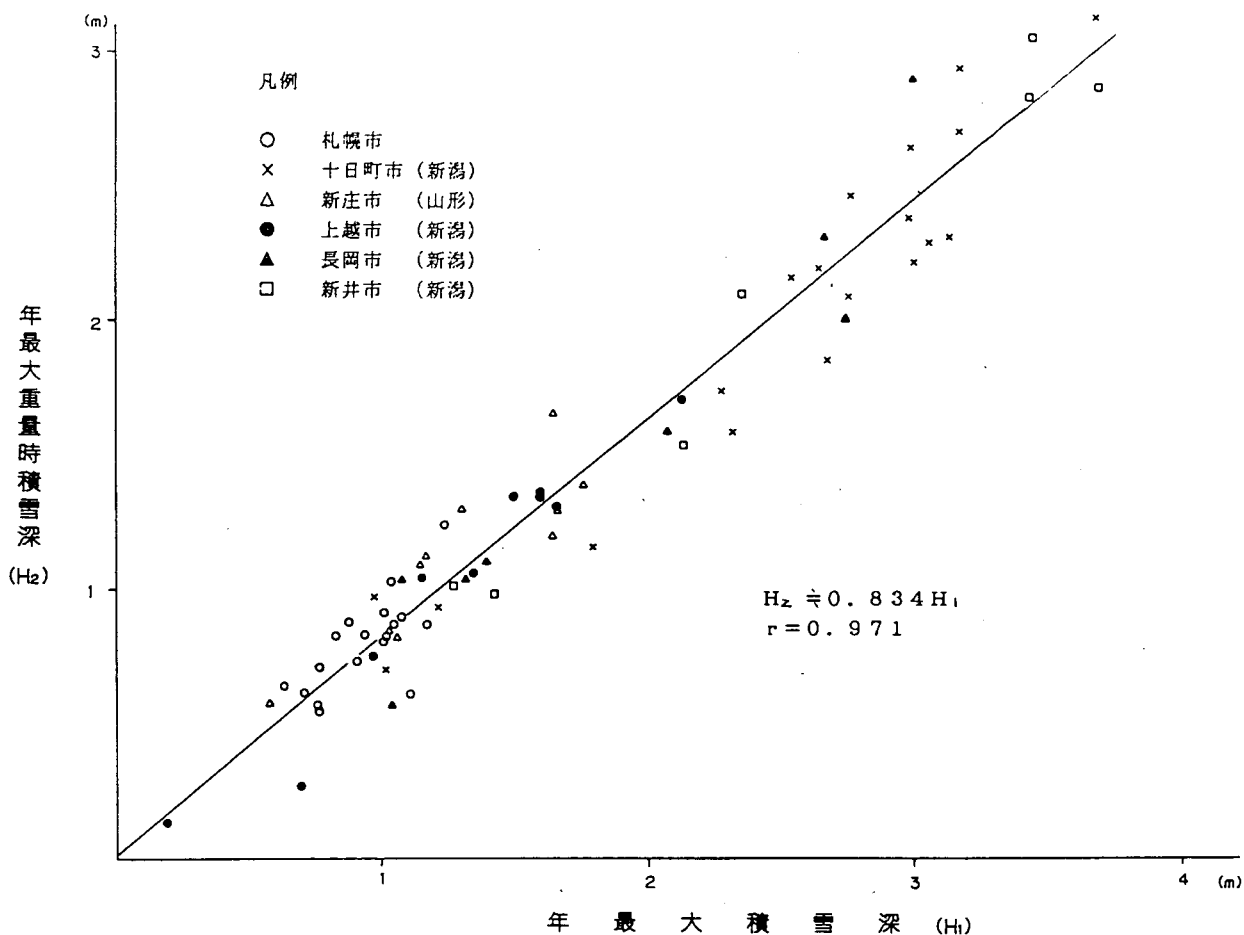


図-5.8 年最大積雪深 (H₁) と年最大重量時積雪深 (H₂) の相関

柵を設置する場合の斜面上の配置としては、連続・断続・千鳥等の形式があるが、それらの選定については、斜面の勾配、起伏等を考慮して決定しなければならない。スイスの示方書では柵の上・下間隔を決める式として次式を提案している。

$$L = f_L \cdot H$$

$$f_L = \frac{2 \tan \phi}{\tan \phi - \tan \phi'}$$

但し、L=列間斜距離 (m)、H=設計積雪深 (m)、

f_L =距離係数、 ϕ =斜面角度 (度)、

ϕ' =雪と地面の摩擦角 ($\tan \phi'$: 0.5から0.6)

さらに、この式を元にしてグライド係数の関係より距離係数を、簡易的に求めようとしてまとめられた結果が図-5.9であるが、これについては、予防柵に作用する雪圧の影響範囲等の各条件を設定した調査を実施しているので今後において上式との整合性を検討する。

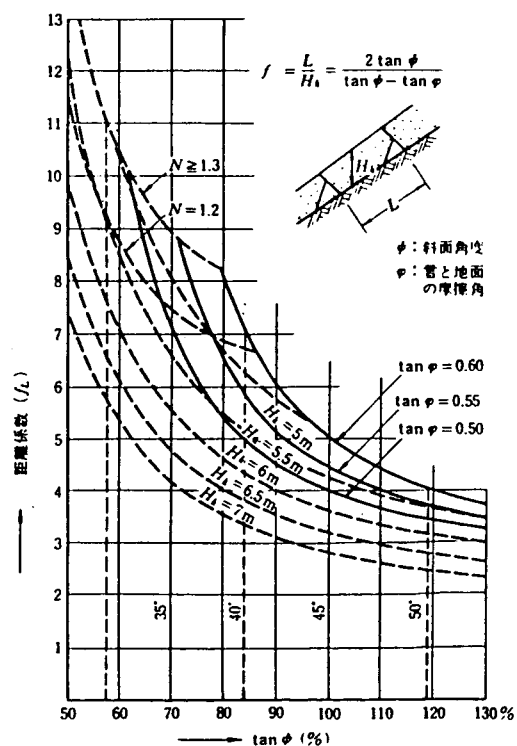


図-5.9 距離係数算定図

また、柵の横間隔についても斜面勾配40度程度の場合、表層雪崩では2 m、全層雪崩では6 mといわれているが、これまでの実験結果からは例え2 mであっても低温の細かい雪の場合は柵の間を抜けるようなことが多いので柵間隔については、辺縁荷重などの調査結果をふまえて今後検討する。

9) 辺縁効果

柵の端部に作用する辺縁荷重は雪圧と辺縁効果係数を乗じて求めるようになっているが、辺縁効果係数はグライド係数と柵の水平間隔によって決まる。したがって、8) の項でも挙げているように柵の水平間隔と辺縁荷重の関係などを調査し、わが国に適した柵間隔の算定方法を検討する必要があると考えられている。

5.4 今後の方針

雪圧計算に用いる項目について、積雪調査データをもとに検討した。今後はデータの収集整理を行い、係数設定根拠を明確にするとともにグライド係数については構成する因子としての植生・勾配・方位等に関する解析を加え日本の積雪に適した係数としての基本方針をまとめる予定である。

※) 参考文献

- 1) 莊田幹夫：当時国鉄技術研究所塩沢雪害実験所
- 2) (社)日本道路協会道路、「雪崩防御構造物の設計指針(その1、その2)」、道路、3号、4号1966
- 3) (社)日本建設機械化協会、「防雪工学ハンドブック」、1968
- 4) 北海道大学低温科学研究所、「低温科学物理編資料集」、1969～1987
- 5) 国立防災科学技術センター長岡雪害実験研究所、「長岡における積雪の断面観測資料：防災科学技術資料」、1964～1988
- 6) 農林水産省森林総合研究所十日町試験地防災第一研究室、「雪質調査資料林業試験所研究報告」、1965～1988
- 7) 農林水産省北陸農業試験場、「上越市における積雪断面観測資料：北陸農業研究資料」、1968～1978
- 8) 国立防災科学技術センター新庄支所、「新庄の平地における積雪断面観測結果：防災科学技術資料」、1980～1988

6. 雪圧シミュレーションの開発について

6.1 シミュレーションの概要

斜面積雪の雪圧の数値予想は多くの研究者等によって行われており、一般的に予防施設の設計に使用されているHaefeliの雪圧論は、斜面積雪をニュートン流体で、その流動の大きさが地上高に比例する即ちクリーププロファイル (creep profile) が三角形と仮定し、中立領域 (neutral zone) での斜面に垂直な面に作用する静雪圧 (static pressure) と斜面上の構造物によって流動が妨げられることによって生じる斜面積雪移動圧 (creep pressure) の2つのメカニズムから雪圧の算定式を求めている。この雪圧論から求めた雪圧は、最終的に積雪層に垂直な方向に積分した値であるため、斜面方向にしか変化しない一次元モデルといえる¹⁾。

Bucherは斜面積雪層の平面歪を考慮し、さらに、クリーププロファイルを放物線と仮定して雪圧を算定している²⁾。積雪方向の雪圧分布は、Haefeliの雪圧論の結果が直線に対して放物線を描く。

また、McClung は斜面と積雪層の間に薄い水膜を想定し、その上を積雪層が斜面起伏に沿って動く local creep over roughness と斜面の起伏に関係なく剛体的に動く sliding like a rigid body の2つのメカニズムでグライドを説明している。McClung は、このグライド理論を本格的導入した一次元雪圧モデルから斜面雪圧を算定し、それ以前に行った線形粘弾性の2次元FEM解析結果や、Haefeliの雪圧論の結果と比較している。McClungによれば、グライド理論を本格的導入した一次元雪圧モデルと2次元FEM解析結果はほぼ一致するが、Haefeliの雪圧論の結果は斜面角度が30度近傍ではほぼ一致するものの、斜面角度が小さい場合は小さい値を示し、逆に斜面角度が大きい場合は大きい値を示すと報告している^{3) 4) 5)}。

Lang & Sommerfeld は積雪の平面歪および直行異方性のせん断粘性係数を考慮して自然積雪の流動速度を2次元FEM解析で算定し実測値と比較している⁶⁾。

一方、ポアソン塑性率やひずみ率の現場計測の研究も進み、特に北海道大学低温科学研究所の大泉 (現気象大学校) らは精度の良い実測結果を得ている。さらに、大泉らは雪を線形粘弾性と仮定した2次元FEM解析を行っており、その結果は実測値とほぼ一致している⁷⁾。

他にも斜面積雪圧の研究は行われているが、現実には予防施設の設計において、雪圧はHaefeliの雪圧論に基づくスイスの示方書をもとに算定されている。しかし、Haefeliの雪圧論はヨーロッパ山岳地帯の雪の性質に基づいたものであり我国の雪に当てはまらない面も多く、また、雪圧が斜面方向にしか変化しない一次元モデルである。斜面積雪の挙動は気象条件等や雪の持つ物理的性質等により複雑であり、雪崩予防施設のより有効かつ経済的設置計画および設計を行うためには、斜面積雪の挙動を3次元でとらえ、理論的に把握する必要がある。

そこで、本研究では斜面積雪の各層に作用する応力と変位を3次元FEMを用いて算定し予防施設に働く雪圧をシミュレートすることにより斜面積雪の挙動を把握することにした。シミュレーションプログラムの開発にあたって、斜面積雪特性について不明な点も多いため、第一ステップとして2次元FEM解析による雪圧シミュレーションプログラムを建設省土木研究所新潟試験所の実測値と比較検討しながら作成する。次に、この2次元のシミュレーションを3次元に拡張し雪圧分布の平面的広がりを

算定し予防施設の配置について検討する。最後に算出した雪圧をもとに最適な予防施設の設計を行うプログラムを開発する。図-6.1に本研究で作成するシミュレーションの概要フローチャートを記す。

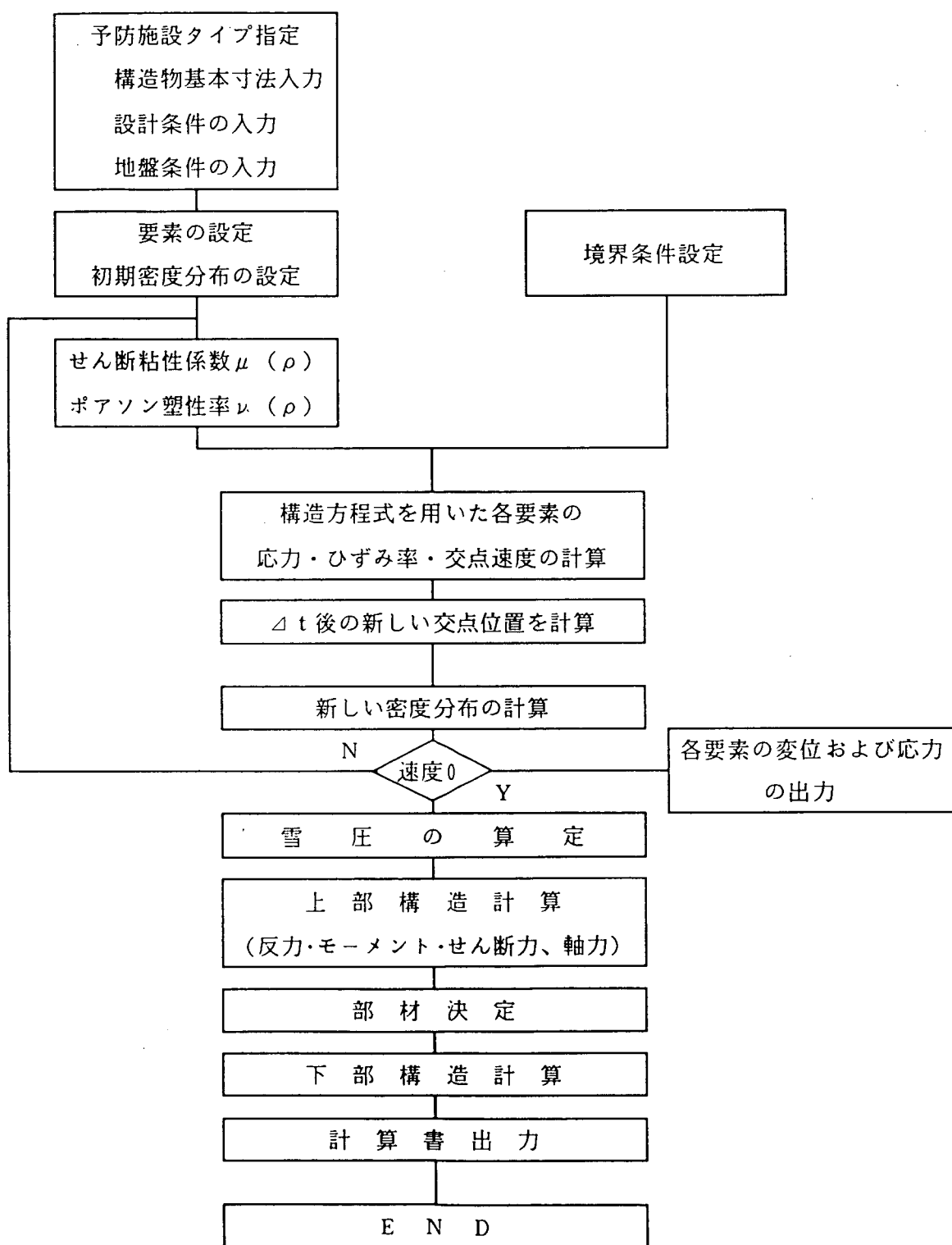


図-6.1 雪圧シミュレーションの概要フローチャート

6.2 基本的考え方

6.2.1 雪の構造方程式

定常一軸応力下での積雪の挙動は、マクスウェル単位 (κ_1, η_1) とボイド単位 (κ_2, η_2) から構成された、図-6.2に示す Burger's model によって説明される。

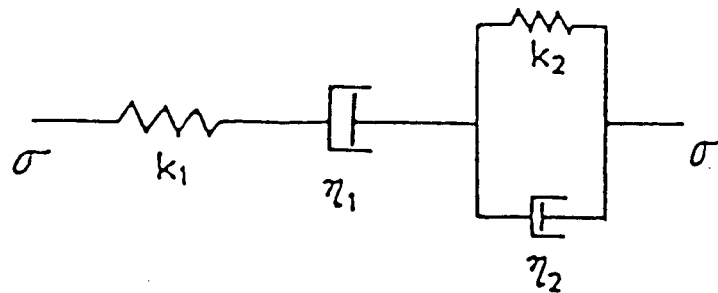


図-6.2 Burger's model

このモデルの構造方程式は

$$\varepsilon = \sigma \left[\frac{t}{\eta_1} + \frac{1}{\kappa_1} + \frac{1}{\kappa_2} \{ 1 - \exp [(-\kappa_2/\eta_2) t] \} \right] \quad (6.1)$$

となる。これは弾性論での記述であるので、応力 (σ) が一定で、力の作用時間 (t) が十分に長い ($t = \infty$) と仮定した場合、弾性論でのこの式を、表-6.1に示す対応を行うことで粘弾性として取り扱うことができる。

表-6.1 弾性論と粘弾性論との対応

弾 性 論	粘 弾 性 論
ε (ひ ず み)	ε' (ひ ず み 速 度)
G (せん断弾性率)	μ (せん断粘性率)
κ (体積弾性率)	η (体積粘性度)
ν (ポアソン比)	ν (ポアソン塑性率)

$$t = 0 \quad \varepsilon_0 = \frac{\sigma_0}{\kappa_1} \quad (\text{弾性}) \quad t = \infty \quad \varepsilon'_0 = \frac{\sigma_0}{\eta_1} \quad (\text{粘弾性})$$

前記の式は1次元での記述であり、下記に示す3次元での積雪の構造方程式(6.1)を有限要素法で解くことにより、応力が一定の場合の定常的積雪の流動を算定する。

$$\begin{aligned}
 \varepsilon'_x &= \{ \sigma_x - \nu (\sigma_y + \sigma_z) \} / 2 (1 + \nu) \mu \\
 \varepsilon'_y &= \{ \sigma_y - \nu (\sigma_z + \sigma_x) \} / 2 (1 + \nu) \mu \\
 \varepsilon'_z &= \{ \sigma_z - \nu (\sigma_x + \sigma_y) \} / 2 (1 + \nu) \mu \\
 \gamma'_{xy} &= \frac{1}{\mu} \tau_{xy} \quad \gamma'_{yz} = \frac{1}{\mu} \tau_{yz} \quad \gamma'_{zx} = \frac{1}{\mu} \tau_{zx}
 \end{aligned} \tag{6.2}$$

ここで、McClungはせん断粘性係数(μ)を応力不変量(静水圧)の非線形関数とした場合と定数にした場合について算定しているが、雪圧の差異は小さい。また、大泉らはポアソン塑性率(ν)とせん断粘性係数(μ)を下記に示す図-6.3のデータ⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾から雪密度(ρ)の関数として取り扱い良好な結果を得ている。本研究では大泉らと同様にポアソン塑性率(ν)とせん断粘性係数(μ)を雪密度(ρ)の関数として取り扱うことにする。しかし、雪の性質は積雪地域によって大きく左右されるため、新潟試験所の実測値と検証する場合や実際の設計に反映する場合、図-6.3の値をそのまま使用する事には疑問があるため、何等かの対応が必要であろう。

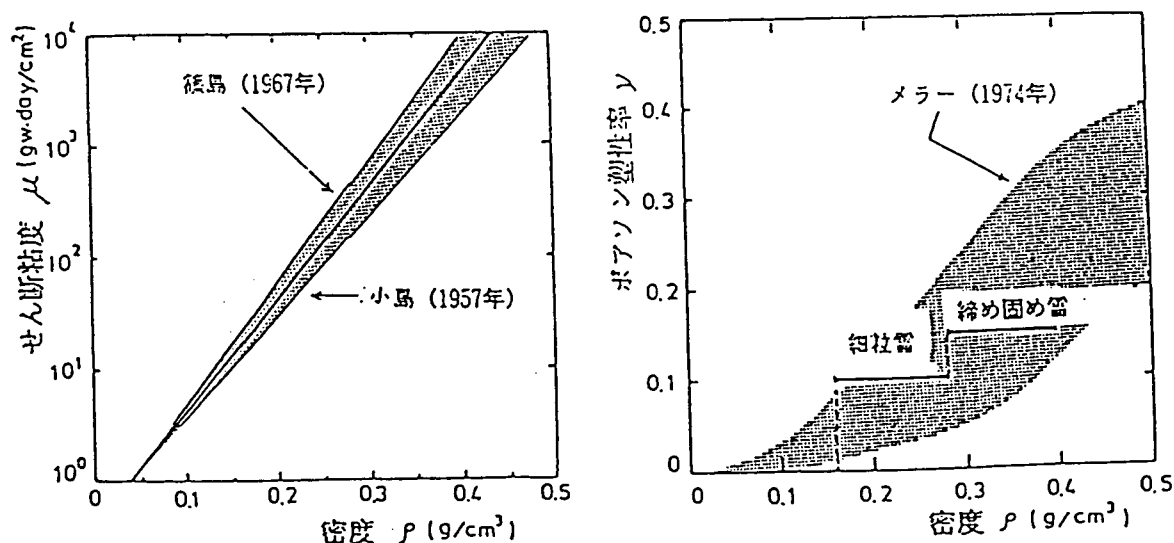


図-6.3 大泉らがFEMに使用したせん断粘性係数(μ)とポアソン塑性率(ν)の密度依存状態
せん断粘性係数は篠島(1967年)および小島(1957年)による予想平均として取った。
密度が0.28gf/cm³の場合の雪のポアソン塑性率は平均0.10であった。

6.2.2 境界条件

大泉らは図-4.6に示す3種の境界条件を設定し斜面積雪の有限要素解析を行っており、図-6.4(A)の場合は実測したクリープとグライドを境界条件とし、図-6.4(B)の場合はグライドのみを境界条件としている。また、図-6.4(C)の場合は多量の融雪水が発生した場合を想定して、斜面と積雪層の下面の間を自由滑りとしている。図-6.4(A)、(B)の境界条件での解析結果を見ると、応力分布や要素の変位はほぼ同様なパターンを示しており、境界条件としてのクリープの影響は小さいと考えられる。図-6.4(C)の境界条件での解析結果は当然ながら図-6.4(A)、(B)の境界条件での解析結果と比べると斜面方向の主応力は大きい。さらに、背圧領域 (Back-pressure zone : 斜面上の構造物が斜面積雪に影響を及ぼす範囲) についても斜面方向上部まで広がっている。なお、グライドについては、大泉らは直線的に減少すると仮定して解析を行っている。有限要素法で雪圧を算定する上で実際の挙動にあった境界条件を設定する事は重要であり、例えば、斜面積雪下面と地表面の滑り、あるいは雪内のクリープ、融雪期の挙動など考慮できるシミュレーションが望まれる。現段階では大泉らと同様にグライド・クリープおよび自由滑りの3種を考慮すれば現実的問題はないと考えられる。

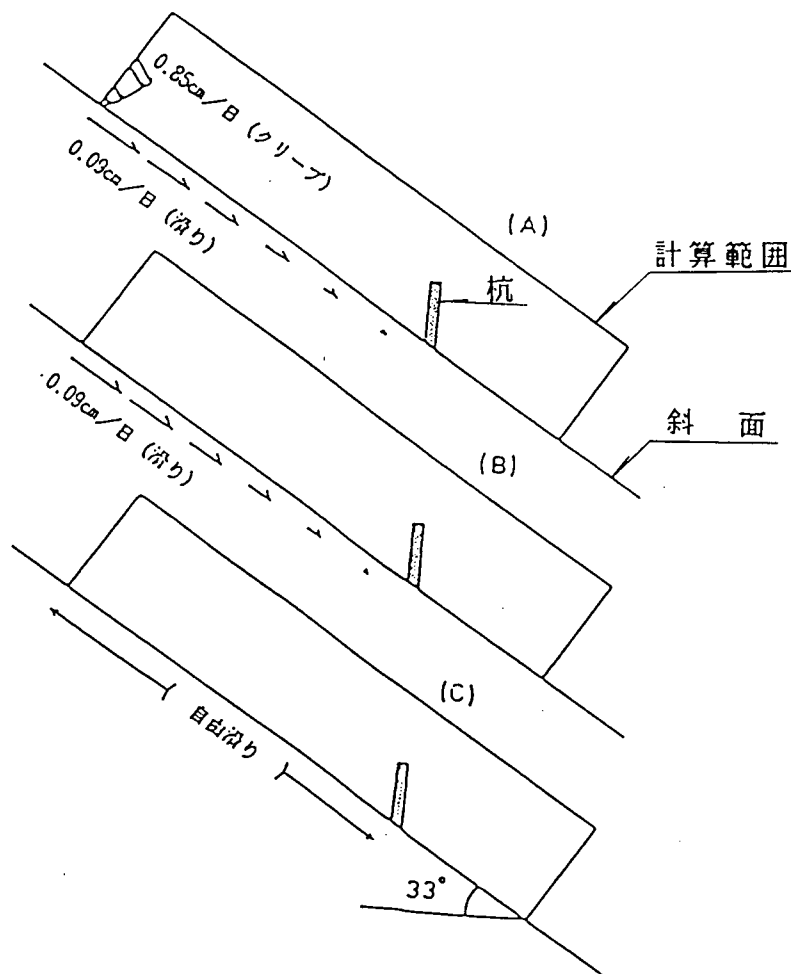


図-6.4 大泉らが解析に用いた境界条件

6.3 インプットとアウトプット

図-6.5は雪圧算定部のフローチャートである。せん断粘性係数(μ)とポアソン塑性率(ν)は雪密度(ρ)の関数として扱うため、インプットは各要素の雪密度(ρ)および境界条件の2項目となる。雪密度(ρ)については、積雪条件等により異なるため各要素毎に入力する必要がある。

入力された雪密度(ρ)と境界条件から構造方程式を解き、各要素の応力・ひずみ率及び交点速度を算出し、 Δt 後の交点の位置が導かれる。交点移動に伴って各要素の雪密度が変化するため、せん断粘性係数(μ)とポアソン比(ν)を算出し構造方程式を解く。この計算を交点速度が収斂するまで行う。構造物に作用する雪圧は各要素の応力分布から算定する。

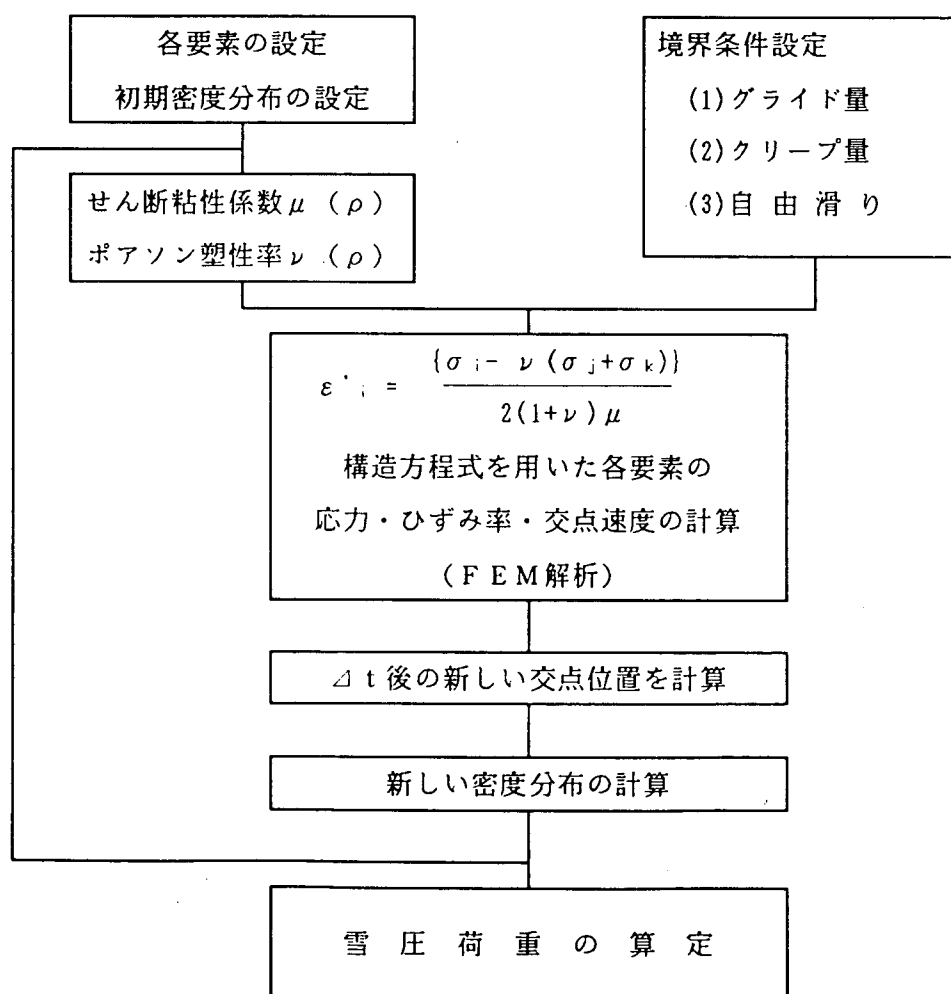


図-6.5 雪圧算定部のフローチャート

参考文献

- 1) R. Haefeli 他 “Der Schnee und seine Metamorphose.” Beitr. z. d. Schweiz. Geotechn. Ser., Hydrologie, Lief. 3; Bern (1939)
- 2) E. Bucher “Beitrag zu den theoretischen Grundlagen des Lawinenverbaus.” Beitr. d. Schweiz. Geotechn. Ser., Hydrologie, Lief. 6, (1948)
- 3) D. McClung “A one-dimensional analytical model for snow creep pressures on rigid structures” Can. Geotech. J., 19, pp. 401-412; (1982)
- 4) D. McClung “Empirical corrections to snow creep pressure equations”, Can. Geotech. J., 21, pp. 191-193; (1984)
- 5) D. McClung “Comparison of snow pressure measurements and theoretical predictions”, Can. Geotech. J., 21, pp. 250-258 (1984)
- 6) T. Lang and R. Sommerfeld “The modeling and measurement of the deformation of a sloping snow-pack” J. Glacio., 19, No. 81, pp. 153-163; (1975)
- 7) Oh'izumi, M “Determination of Stresses in the Snow Cover on a Mountain Slope by Snow Pressure Gauge” Contribution No. 2936 from the Institute of Low Temperature Science., Series A. No. 35, pp. 55-97, (1986)
- 8) Shinojima, K. “Study on the visco-elastic deformation of deposited snow”, In Physics of Snow and Ice (H. Oura ed.) Inst. of Low Temp. Sci., Part 1, pp. 875-907; (1967)
- 9) Kojima, K. “Viscous compression of natural snow layers III.” Low Temp., Sci., Ser., A. 16, pp. 167-196; (1957)
- 10) Mellor, M. “A review of basic snow mechanics. Snow Mechanics”, Proceedings of the Grindelwald Symposium, 1974, IAHS-AISH Publ. No. 114, pp. 251-191, (1974)

7. 基礎構造載荷実験計画概要（コンクリート実大基礎載荷実験）

7.1 実験目的

雪崩予防施設設計設置法に関する一連の調査研究の中で基礎構造の検討は、以下の内容のものを計画している。

①現地の実態調査を行い、設計データを収集する。

②調査を行った既存施設の問題点等の検討。

③簡便な施工法で効果の高い基礎工法を検討する。

①の項目については、第3章 雪崩予防施設の実態調査の中で詳細を記述した。

②の項目については、今回①の目的で実施した雪崩予防施設の設計・破損の実態調査からは、基礎の破損について地耐力や地盤状況が不明な場合が多く、原因究明にはいたらなかったが、種々の形状のコンクリート基礎が設置されていることが分かった。それらの基礎について、力学挙動および経済性等の諸点での形状優劣の比較検討、さらに上下独立基礎では滑動に対する検討が行われていないことなど設計手法が明確に定められていない部分の整理の二点を主目的として、設置実態からの基礎構造を力学的に分類・計算した代表的なモデルによる供試体で静的載荷実験を行う。

さらに今後の課題として、①の実態調査、②の載荷実験を基にして、③の新しい基礎工法の検討へと発展させてゆくものである。

7.2 実験概要

7.2.1 供試体

1) 供試体の設計条件

設計条件の諸数値は、各地の調査結果に基づいた平均的な値を用いる。但し、積雪深は 2m とした。これは、実態調査で得たデータによると、各地域、機関によって積雪深が 1.5m から 5m まで様々であったが、実験設備と実験実施上の制約を考慮し、積雪深がさらに大きくなっても挙動が推定できる範囲内にあると考えられるため、積雪深は 2m とした。

積雪深 ; 2.0m	雪密度 ; 0.35 tf/m^3	斜面勾配 ; 45°	グライド係数 ; 3.60
クレーン係数 ; 0.795			

2) 上部構造

実用的な部材を採用しているため強度的には余裕のある部材構成となっている。さらに、載荷受け横バーについては治具として考え、実験実施時に変形を起こさないように十分な曲げ剛性をもつ部材を使用する。図-7.1 に計算用モデル図を、図-7.2 に実験用上部構造を示す。

3) 基礎形状モデルの選定

実態調査の結果によると、断面形状が上下独立した基礎、上下連続の基礎の 2 タイプに大別できる。従って、これらの 2 タイプの基礎からそれぞれ代表的なものを選んで実験を行う。さ

らに、独立・連続基礎の比較検討モデルとして、上下独立基礎において上部構造につなぎ材を入れたタイプも実験を実施する。

4) 基礎コンクリート

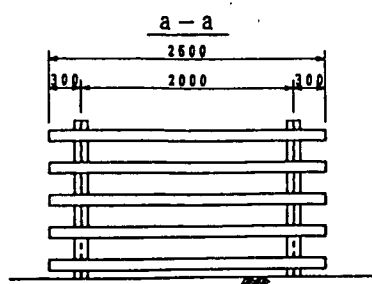
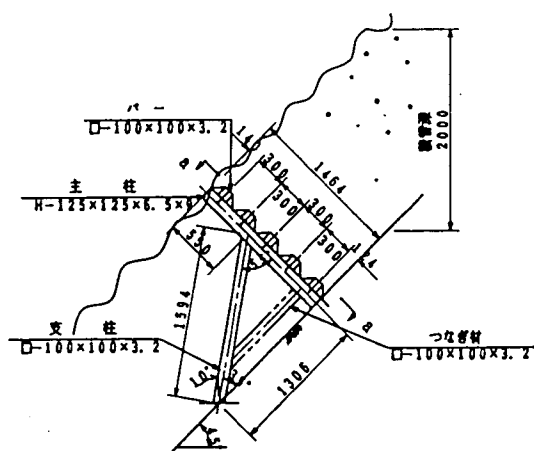
設計条件より得られた外力から、転倒・滑動および地盤応力度の検討を行い、それぞれの基礎形状モデルの寸法を決定した。上下独立基礎において、下部基礎は現状の施工性を考慮して上部基礎に断面寸法を合わせた。各基礎タイプの寸法を図-7.3.a，図-7.3.b に示す。安全率に関しては表-7.1，表-7.2 に示す。

今回行う実験は、

①供試体の設計は45度斜面で設置された状態で行ったが、斜面を水平面に置き換えて載荷する。(図-7.2 参照)

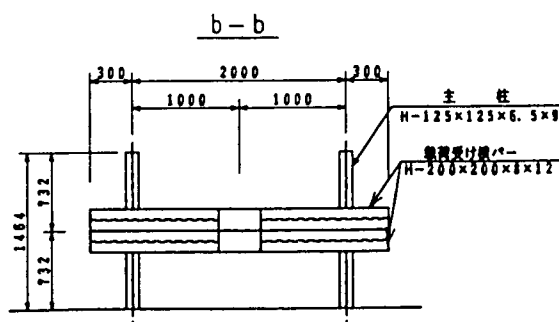
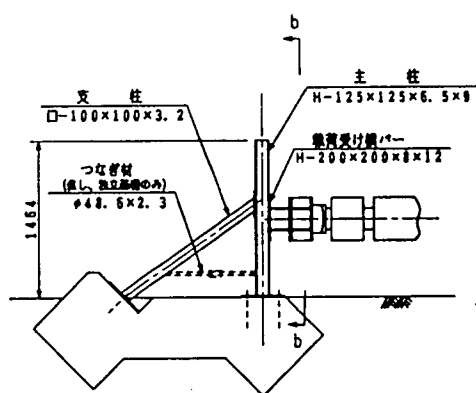
②A,B,A' (A タイプのつなぎ材あり) の 3タイプで実施する。

なお、水平面で載荷した時の45度斜面への換算・様々な積雪状態・設置条件での作用合力の変化による基礎の挙動、および分類した他の形状の基礎(C,D,E,F,C',E') の力学的挙動については、①，②によって得られた実験結果を基に推定する。



(単位: mm)

図-7.1 計算用モデル図



(単位: mm)

図-7.2 実験用上部構造

実験基礎の種類

タイプ	A	B	C	D	E	F
つなぎ材 (有)	○	—	○	—	○	—
つなぎ材 (無)	○	○	○	○	○	○

◎: 実験によって挙動を確認するタイプ
○: 挙動推定タイプ

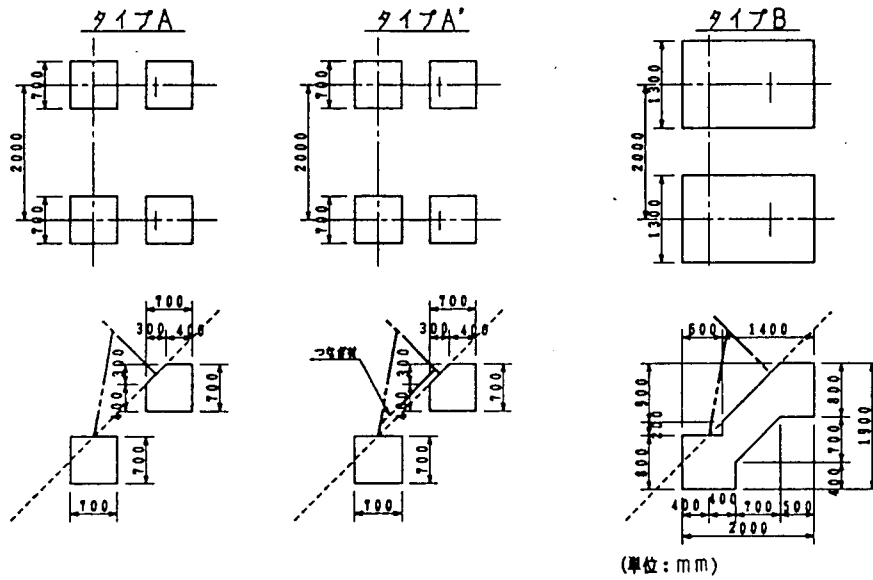


図-7.3.a 実験実施基礎

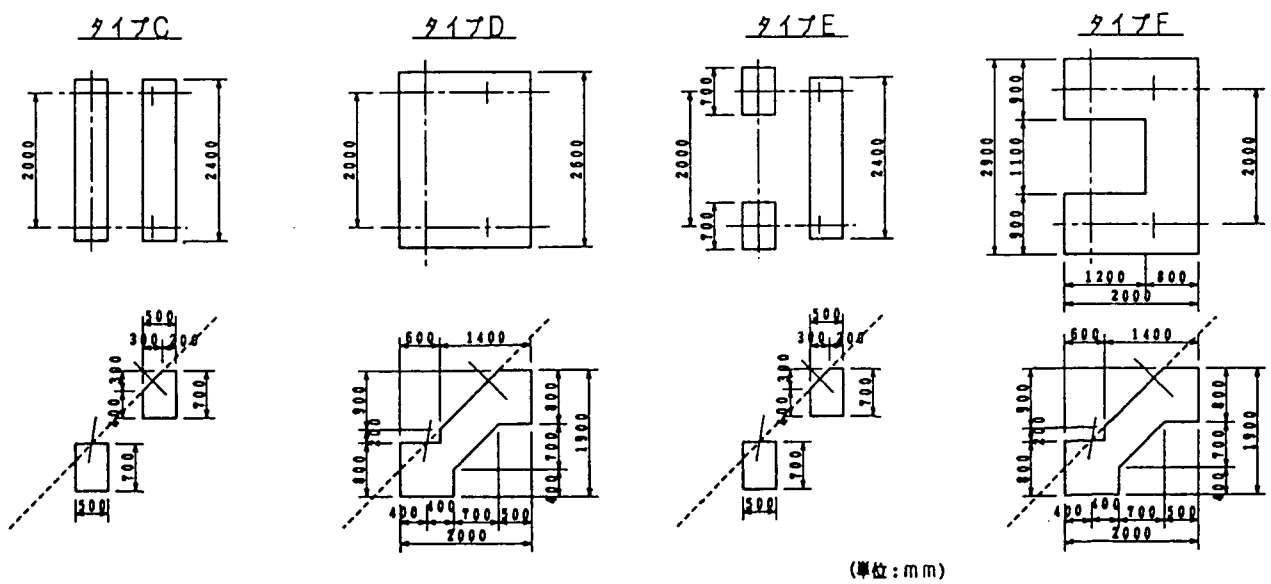


図-7.3.b 挙動推定基礎

表-7.1 上下独立基礎の安全率

タイプ	上部基礎の安全率 >1.5	下部基礎の 地盤応力度の 安全率	参考; 滑動に対する安全率 (上下基礎の抵抗)
A	1.54	2.33	0.61
C	1.55	2.74	0.68
E	1.55	1.77	0.57
A'	1.52	2.26	0.61
C'	1.53	2.66	0.68
E'	1.53	1.72	0.57

設計地耐力; 20tf/m²

表-7.2 上下連続基礎の安全率

タイプ	転 倒		滑 動 >1.5	地盤応力度
	$e < (B/6)$	安全率 $W \cdot x / H \cdot y$		
B	0.127 < 0.133	1.62	1.96	1.36
D	0.127 < 0.133	1.62	1.96	1.36
F	0.130 < 0.133	1.55	1.77	1.03

e; 偏心距離 B; 基礎の受圧底面幅

$W \cdot x$; 自重・外力による抵抗モーメントの総和

$H \cdot y$; 外力による転倒モーメントの総和

設計地耐力; 20tf/m²

7.2.2 実験方法

1) 計測項目

- a. 荷重 (ロードセルより検出する載荷重)
- b. 変位 (変位計より検出する基礎各部の変位)
- c. 土圧 (土圧計より検出する基礎最大反力近傍の土圧)
- d. 歪 (ワイヤ・ストレイン・ゲージより検出するつなぎ材に発生する歪)
- e. 土質試験 (基礎設置地盤の平板載荷による地盤耐力, 土砂サンプリングによる含水比・内部摩擦角・単位重量)
- f. 供試体の各部挙動の目視観察

2) 使用計測機器

- a. ロードセル (圧縮・センターホール型; 容量; 50t)
- b. 手動ジャッキ, 耐圧ホースセット10m程度
- c. 油圧シリンダー (センターホール型 ストローク200~300mm, 50t)
- d. 摺動抵抗型変位計 (ストローク100mm)
- e. 土圧計 ($2 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$)
- f. デジタル多点歪測定器
- g. 動歪測定器
- h. X-Yレコーダー

3) 計測模式図

図-7.4 に計測模式図を示す。

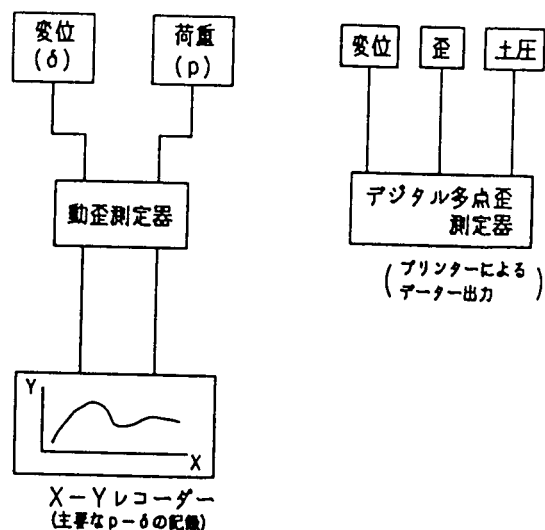


図-7.4 計測模式図



— 付 録 —

1. 共同研究全体計画(スケジュール)	77
2. 共同研究の組織と参加会社	80
3. 勉強会講演概要	82
3.1 「雪の物理的性質と雪崩発生機構」	82
講師 北海道大学低温科学研究所 秋田谷 英次氏	
3.2 「構造物に作用する雪圧と雪圧シミュレーション」	82
講師 気象庁気象大学校 大泉 三津夫氏	
3.3 「雪崩予防施設の施工の現状と問題点」	83
講師 関越ロードメンテナンス㈱ 阿部 勉氏	
[(元)建設省長岡国道工事事務所建設専門官]	
4. 会議開催状況	84
5. 雪崩予防施設の実態調査アンケート調査票	85
6. 雪崩予防施設実態調査一覧表	97



付表-1.1 (1) 共同研究全体計画 (その1)

研 究 項 目	実 施 年 度			作 業 分 担		研 究 内 容
	63年度	元 年 度	2 年 度	土木研究所	鋼材倶楽部	
1-1 破損実態の調査	—			○	④	1. 既存資料による破損実態調査等の解析 県や道路公団、地建等の機関別及び支柱、横梁等の部位別に調査し、設計条件の妥当性を見る。
1-2 設計等の現状と問題点の整理	—			○	④	1. 各機関（県、公団、地建等）別の設計、施工要領の調査 2. 各機関別の材料仕様の調査 3. 設計条件の設定や設置法について問題点の整理 4. 維持管理の実態やその方法について調査
2-1 雪圧特性に関する実験 (1) 雪圧実験 小段斜面、自然斜面 水平、垂直力、地域別 (2) グライド、クリープ測定 小段斜面、自然斜面 地域別	—			④		斜面雪圧について下記の調査を行なう。 1. グライド係数、クリープ係数、地域係数 2. 部材（柵面材）の形状係数 3. 辺縁効果 4. 柵配置、柵間隔 新潟県新井のデータを基にして、他地域への補正を試みる。 また、他期間のデータ利用を図り、データが不足する場合は新たに実験をする。
2-2 雪圧特性に関する検討 (1) グライド特性等のまとめ (2) 設計荷重算定式の推定 (3) シミュレーションの開発 * 各種手法の検討 * モデルによる検討 * 総合的な手法の検討	—			○	④	1. 基礎式の補正、修正 新防雪工学ハンドブックの雪圧式に、実験解析によって得られたデータを用い、条件（気象や地域差等）を考慮した雪圧実験式を推定する。また、年次ごとに得られるデータで補正を加える。 2. 雪圧シミュレーションから設計荷重算定式を見出す。 3. 斜面状態（勾配、植生）や気象（方位、積雪深、密度）部材強度などのデータを入力すれば予防柵の構造設計から

付表-1.1 (2) 共同研究全体計画 (その2)

研 究 項 目	実 施 年 度			作 業 分 担		研 究 内 容
	63年度	元 年 度	2 年 度	土木研究所	鋼材倶楽部	
						合理的な配置計画までできる総合プログラムソフトを開発する。
3-1 上部構造に関する検討 (1) 現有施設の検討 (2) 雪圧荷重を考慮した構造 検討 (3) 部材強度の検討 (静的試験等) (4) 地域、積雪別を考慮した 検討					㊦	1. 実態調査から妥当性のある基本構造モデルを検討する。 …モデル設定の要件… 積雪データ (積雪深、密度) 気象データ (方位、植生) 地形 (斜面角) 設置間隔 (水平、奥行) 構造 基礎
3-2 基礎構造に関する検討 (1) 現有施設の検討 (2) 雪圧荷重を考慮した基礎 構造の検討 (3) 雪圧別による基礎構造の 検討 (耐荷力試験等) (4) 地域、積雪別を考慮した 検討					㊦	1. 簡便な施工法で効果の高い基礎工法を検討する。 2. 既存施設の問題点等の検討 3. 現地での力学実験や土質調査を行ない設計データを収集する。
3-3 最適構造に関する検討 (1) 構造別耐久性と費用の検討 (2) 設計積雪深の検討				㊦		1. 経済性に大きく影響するのは設計積雪深であり各機関の実態調査を踏まえ、適応する確率設計積雪深を検討する。

付表-1.1 (3) 共同研究全体計画 (その3)

研 究 項 目	実 施 年 度			作 業 分 担		研 究 内 容
	63年度	元 年 度	2 年 度	土木研究所	鋼材倶楽部	
3-4 検証実験 (1) 積雪別基礎的検証 (2) 地域、積雪別実用検証				○	○	1. 予防柵を用いて現地検証実験を行なう。 ケース1: 新井の試験場 ケース2: 東北および北海道地区
4-1 設計設置基準(案)の 検討				○	●	
5-1 研究報告書の作成等 (1) 単年度ごと及び終了報告 (2) その他				○	○	
5-2 その他 (研究会、会議等)					●	

雪崩予防施設技術開発幹事会

幹事長	高田	邦彦	建設省土木研究所	道路部道路研究室長
幹事	岡	邦彦	建設省土木研究所	道路部道路研究室研究員
"	下村	忠一	建設省土木研究所	新潟試験所長
"	石平	貞夫	建設省土木研究所	新潟試験所主任研究員
"	中島	久男	建設省土木研究所	新潟試験所
"	末成	健夫	日鐵建材料工業(株)	製品開発部開発第三室課長
"	石川	秀也	日鐵建材料工業(株)	製品開発部開発第三室課長
"	平尾	章司	日本鋼管パイプ(株)	技術部商品開発プロジェクトチーム係長
"	安田	誠宏	川鉄建材料工業(株)	土木技術部課長
"	波多江	俊一	住金鋼材工業(株)	営業技術部土木仮設チーム副長
"	柴田	忠志	神鋼建材料工業(株)	技術開発部担当課長
"	山藤	紀彦	東京製綱(株)	機工部技術課長

雪崩予防施設技術開発ワーキンググループ

WG長	岡	邦彦	建設省土木研究所	道路部道路研究室研究員
委員	石平	貞夫	建設省土木研究所	新潟試験所主任研究員
"	中島	久男	建設省土木研究所	新潟試験所
"	畑田	佳則	(株)中山製鋼所	製品開発事業部第一技術開発室
"	斉藤	浩	トピー工業(株)	鉄構事業部技術総括部設計部
"	石川	秀也	日鐵建材料工業(株)	製品開発部開発第三室課長
"	平尾	章司	日本鋼管パイプ(株)	技術部商品開発プロジェクトチーム係長
"	青木	幹人	川鉄建材料工業(株)	土木技術部
"	平山	智良	住金鋼材工業(株)	営業技術部土木仮設チーム
"	松田	博	神鋼建材料工業(株)	技術開発部開発グループ係長
"	田代	元司	東京製綱(株)	機工部技術課

2. 共同研究の組織と参加会社

本研究は、建設省土木研究所と民間各社の参加で実施されている。組織的には雪崩予防施設技術開発委員会の下に幹事会、ワーキンググループが設けられ、その円滑な推進が図られている。

各組織の構成は以下の通りである。

雪崩予防施設技術開発委員会

委員長	足立	義雄	建設省土木研究所	道路部長
委員	柴田	正雄	建設省土木研究所	道路交通総括研究官
"	高田	邦彦	建設省土木研究所	道路部道路研究室長
"	岡	邦彦	建設省土木研究所	道路部道路研究室研究員
"	下村	忠一	建設省土木研究所	新潟試験所長
"	石平	貞夫	建設省土木研究所	新潟試験所主任研究員
"	新見	吉和	(株)鋼材倶楽部	土木専門委員長
			(新日本製鐵(株))	建材開発技術部長
"	瀧口	洋一	新日本製鐵(株)	建材開発技術部建材市場開発室部長代理
"	廣瀬	鉄蔵	N K K	商品技術センター建築・土木商品開発
				プロジェクトチーム主査
"	西澤	信二	川崎製鐵(株)	エンジニアリング事業部建材技術部
"	飯村	修	住友金属工業(株)	建設技術部土木技術開発室長
"	前花	忠夫	(株)神戸製鋼所	鉄鋼生産本部スラグ・建材部技術室技
				担当課長
"	蓮尾	泰三	(株)中山製鋼所	製品開発事業部営業第二室係長
"	斉藤	浩	トピー工業(株)	鉄構事業部技術総括部設計部
"	末成	健夫	日鐵建材工業(株)	製品開発部開発第三室課長
"	木寺	謙爾	日本鋼管ライトスチール(株)	開発プロジェクトチーム
				ジェネラルマネージャー
"	安田	誠宏	川鉄建材工業(株)	土木技術部課長
"	田中	幹夫	住金鋼材工業(株)	営業技術部長
"	川口	芳之	神鋼建材工業(株)	技術開発部部長
"	小山	博基	東京製鋼(株)	取締役機工部長

3 勉強会講演概要

講演は雪の物性・測定法、雪圧理論・雪圧シミュレーション、現場サイドからの予防柵設計設置に関し、計3回行われた。以下に、講演の主な項目を示す。

3.1 雪の物理的性質と雪崩発生機構

1) 講師 北海道大学 低温科学研究所 雪害科学部門 助教授 秋田谷英次

2) 日時 昭和63年10月27日 2時 (鉄鋼会館)

3) 出席者人数 21名

4) 内容

(1) 積雪の物理的性質

積雪の変態、変形特性、密度・硬度・分類

(2) 積雪調査方法

(3) 斜面積雪の挙動

積雪のクラック・こぶ、グライド量と斜面条件・全層雪崩、グライド量の測定

(4) 雪崩防止工

斜面の安定性、予防柵の被害

3.2 構造物に作用する雪圧と雪圧シミュレーション

1) 講師 気象庁 気象大学校 大泉三津夫

2) 日時 昭和63年11月25日 2時 (鉄鋼会館)

3) 出席者人数 22名

4) 内容

(1) 雪圧論の概要

(2) Haefli (1939) の雪圧論

(3) McClung のグライド理論(1981)と一次元雪圧モデル(1982)

(4) 有限要素法(FEM) による雪圧や流動の解析～計算値と実測値の比較

① McClung 剛体直角面に作用する雪圧

Haefliとの比較、ポアソン比・境界条件・斜面角度など要素解析

② Lang および Sommerfeld

自然積雪の流動速度

③ 大泉 剛体壁がある斜面積雪の応力分布

北海道での実測値との比較、雪圧シミュレーション

参考文献 大泉三津夫 低温科学研究所欧文報告 1986年

雪圧圧力計による山岳傾斜面の積雪応力の測定

“Determination of Stresses in Snow Cover on

a Mountain Slope by Snow Pressure Gauge”

④ 中村 水平桁に作用する沈降圧

3.3 雪崩予防施設の施工の現状と問題点

1) 講 師 関越ロードメンテナンス株式会社 専務取締役 阿部勉
(元 長岡国道工事事務所 建設専門官)

2) 日 時 昭和63年12月10日 10時 (土木研究所新潟試験所)

3)出席者人数 21名

4) 内 容

(1)予防施設などの現状と問題点

事前調査方法, 被害の想定, 斜面調査

(2)防雪工の設計設置計画

ハンドブックの適用性, 効果と経済性, 設置位置

(3)スライドによる実例紹介

雪崩の分類, 雪崩による被害, 防雪工の設置例

4. 会議開催状況

開催月日	会議名	場所
昭和63年7月22日	第1回雪崩予防施設技術開発委員会	土木研究所
8月8～9日	第1回雪崩予防施設技術開発幹事会	新潟試験所
9月13日	第1回雪崩予防施設技術開発WG	土木研究所
9月27日	第2回雪崩予防施設技術開発幹事会	鉄鋼会館
	第1回雪崩予防施設技術開発勉強会 演題：雪の物理的性質と雪崩発生機構 講師：北海道大学 秋田谷 英次氏	鉄鋼会館
10月5日	第2回雪崩予防施設技術開発WG	鉄鋼会館
10月17～18日	雪崩予防施設の実態調査(WG) 建設省北陸地方建設局長岡国道工事事務所	新潟県長岡市
11月10日	第3回雪崩予防施設技術開発WG	鉄鋼会館
11月25日	第3回雪崩予防施設技術開発幹事会 第4回雪崩予防施設技術開発WG合同打合会	鉄鋼会館
	第2回雪崩予防施設技術開発勉強会 演題：構造物に作用する雪圧と雪圧シミュレーション 講師：気象大学校 大泉 三津夫氏	
12月2日	第5回雪崩予防施設技術開発WG	鉄鋼会館
12月9日	第4回雪崩予防施設技術開発幹事会	新潟試験所
12月10日	第3回雪崩予防施設技術開発勉強会 演題：雪崩予防施設の施工の現状と問題点 講師：関越ロードメンテナンス㈱ 阿部 勉氏 〔(元)建設省長岡国道工事事務所建設専門官〕	新潟試験所
平成元年2月1～2日	第6回雪崩予防施設技術開発WG	土木研究所
2月15～16日	第5回雪崩予防施設技術開発幹事会	新潟試験所
3月30日	第7回雪崩予防施設技術開発WG	鉄鋼会館

5. 雪崩予防施設の実態調査アンケート調査票

- ① 調査要領
- ② 鋼製雪崩予防施設の設計・管理調査票
- ③ 鋼製雪崩予防施設の設計・設置法の現状調査票
- ④ 破損した鋼製雪崩予防施設の設計・設置法の状況調査票

< 調査要領 >

1. 調査目的 : 建設省工事事務所、県土木事務所および日本道路公団管理事務所における鋼製雪崩予防施設について、現状および過去10年以内における設計・設置方法に関する事例ならびに要領等の収集を行う。

建設省工事事務所、県土木事務所および日本道路公団管理事務所において設置されている鋼製雪崩予防施設の破損実態把握を行う。

2. 調査項目 : (1) 雪崩予防施設の設計・管理方法に関する要領等の収集

現在、雪崩予防施設の設計・設置あるいは管理を行うときに使用している要領・指針等。

過去10年以内に上記要領・指針等の改訂が行われた場合は、それら改訂要領・指針等。

- (2) 雪崩予防施設の設計・設置事例の収集

現在使用されている要領等を用いて雪崩予防施設の設計・設置を行った場合の設計事例に関する設計計算書、配置図、構造図等。

なお、収集する設計事例は今回の調査対象としている①雪崩予防柵、②雪崩予防吊り柵、③雪崩予防杭についてそれぞれ3事例。

- (3) 雪崩予防施設の破損事例の収集

過去10年以内に雪崩予防施設が破損したことにより、維持補修工事を実施した施設がある場合、当該施設の破損状況および当該施設に関する設計計算書、配置図、構造図等。

また、現在設置されている雪崩予防施設について破損実態調査を行い、破損が確認された施設の破損状況および当該施設に関する設計計算書、配置図、構造図等。

なお、破損実態の調査に関しては、可能な限り全ての施設について調査を行う。

3. 調査対象 : 下記の雪崩予防施設。

- ① 鋼製雪崩予防柵
- ② 鋼製雪崩予防吊り柵
- ③ 鋼製雪崩予防杭

4. 調査方法 : 調査票によるアンケート調査

(ただし、調査担当者が各事務所へ参上致しますので、予め必要事項を調査票にご記入下さい。)

なお、調査担当者が各事務所へ参上した際、下記資料の写しをいただければ幸いです。

(1)雪崩予防施設の設計・設置・管理の指針・要領書

(過去に改訂が行われたことがある場合は、過去の指針・要領書も併せてご用意下さい。)

(2)現在設置されている雪崩予防施設の設計・設置図書

(近年施工された雪崩予防施設の設計例を各々3事例ご用意下さい。)

(3)破損した雪崩予防施設の設計・設置図書および維持補修の記録

(過去において破損した雪崩予防施設の設計例を全てご用意下さい。)

5. 調査用紙 : 以下の3種類の調査用紙を同封してございます。

雪崩予防施設実態調査(1)「鋼製雪崩予防施設の設計・管理調査票」

雪崩予防施設実態調査(2)「鋼製雪崩予防施設の設計・設置法の現状調査票」

雪崩予防施設実態調査(3)「破損した鋼製雪崩予防施設の設計・設置法の状況調査票」

4. 調査時期 : 10月～11月を予定しておりますので、それまでに前記資料をご準備下さい。

後日担当者よりご一報致しますので、貴事務所担当者・対象施設管理出張所をご紹介いただき、聞取り日時を決定し、貴事務所・出張所に参上致したいと思います。

5. お問い合わせ : 建設省土木研究所 道路部道路研究室

わけ先

担当者 : 岡 邦彦

住 所 : 〒305 茨城県つくば市大字旭一番地

電 話 : 0298-64-2211 (内542)

建設省土木研究所 新潟試験所

担当者 : 石平 貞夫

住 所 : 〒944 新潟県新井市錦町2-6-3

電 話 : 0255-72-4131

6. その他 : 調査票は内部資料とする他は、公開致しません。

鋼製雪崩予防施設の設計・管理調査票

I. 一般項目

1. 機関名 ()
2. 事業所名 ()
3. 所在地 (〒 () 市 () 区 () 町 () 丁目 () 番 () 号 ())
4. 担当者名 ()
5. 雪崩予防施設管理総数 () 内 予防柵 ()
 吊り柵 ()
 予防杭 ()
 その他 ()

II. 雪崩予防施設の設計・設置および管理状況(各要領・指針等があればご提出をお願い致します。)

1. 設計・設置は定められた要領・指針等による ((a)はい、(b)特にない) ()
2. 管理は定められた要領・指針等による ((a)はい、(b)特にない) ()
3. 過去10年間(昭和53年～63年)に設計・設置・管理の要領・指針等の改訂がございましたか。
 ((a)はい(昭和 年 月)、(b)ない)
 (過去の要領・指針等があればご提出をお願い致します。)

調査年月日	昭和 年 月 日	調査員氏名	
-------	----------	-------	--

鋼製雪崩予防施設の設計・設置法の現状調査票

I. 調査対象

1. 抽出方法 (①無作為 ②その他 ())
2. 路線名 ()
3. 地区名 ()

II. 雪崩予防施設の設計状況(構造設計図書を添付して下さい。)

<一般項目>

1. 名称 ((a)予防柵、(b)吊り柵、(c)予防杭)
2. 設計年度 (昭和 年)
3. 施工年月日(工期) (昭和 年 月 日 ~ 昭和 年 月 日)

<設計条件>

4. 設計積雪深 ($H_s =$ _____ m)
5. 雪密度 ($\gamma =$ _____ t/m³)
6. グライド係数 ($K =$ _____)
7. クリープ係数 ($N =$ _____)
8. 設計斜面勾配 ($\phi 1$ _____ °)
9. 地盤の許容設計支持力 (_____ t/m²)

<現場状況>

10. 設置斜面勾配 ($\phi 2 = \underline{\hspace{1cm}}^\circ \sim \underline{\hspace{1cm}}^\circ$)
11. 斜面縦断面の形状 ((1)凹、(2)平、(3)凸)
12. 斜面の種類 ((1)自然、(2)切土)
13. のり長さ(斜面長) ($SD = \underline{\hspace{1cm}}m$)
14. 標高 (海拔 $\underline{\hspace{1cm}}m \sim \underline{\hspace{1cm}}m$)
15. 土質 ((a)岩、(b)礫、(c)普通土、(d)腐食土、(e)粘土、(f)その他 ($\underline{\hspace{1cm}}$))
16. 施設の設置方位 ((a)N、(b)S、(c)W、(d)E、(e)NE、(f)NW、(g)SE、(h)SW)
17. 地表状況 ((a)裸地、(b)草地、(c)低木 (①疎、②中、③密)、(d)高木 (①疎、②中、③密))
18. 施設配置

対象施設を含む区域の配置図(現場地形がわかるように等高線、方位等もお書き込み下さい。)

<平面図>

<縦断面図>

<施設状況> (ご参考に次頁の名称ずをご覧下さい。)

設問19~28は棚のみご記入下さい。

19. 配置の種類 ((a)連続、(b)断続、(c)千鳥、(d)組合せ)
20. 列間斜距離 ($LF = \underline{\hspace{1cm}}m \sim \underline{\hspace{1cm}}m$)
21. 水平間隔 ($AF = \underline{\hspace{1cm}}m$)
22. 棚の高さ ($BkF = \underline{\hspace{1cm}}m$)
23. 棚の長さ ($TL = \underline{\hspace{1cm}}m$)
24. 棚面角度 ($\theta = \underline{\hspace{1cm}}^\circ$)
25. 棚の支柱間隔 ($PL = \underline{\hspace{1cm}}m$)
26. 上部構造 ((a)設計 (①不静定、②静定)、(b)施工 (①剛接合、②ピン接合))
27. 基礎構造 ((a)コンクリート (①分離、②一体)、(b)アンカー基礎、(c)その他 ($\underline{\hspace{1cm}}$))
28. 上部構造と基礎構造との接合 ((a)アンカーボルト、(b)埋め込み、(c)その他 ($\underline{\hspace{1cm}}$))

設問29~33は杭のみご記入下さい。

29. 列間斜距離 ($LP = \underline{\hspace{1cm}}m \sim \underline{\hspace{1cm}}m$)
30. 水平間隔 ($AP = \underline{\hspace{1cm}}m$)
31. 杭の高さ ($BkP = \underline{\hspace{1cm}}m$)
32. 杭径 ($DD = \underline{\hspace{1cm}}m$)
33. 杭埋め込み長さ ($DL = \underline{\hspace{1cm}}m$)

<構造部材状況>

34. 上部工構造部材仕様

部材名称	材 質	許容応力度	形 状	寸 法	表面処理
主 柱 (杭)					
支 柱 (ケール)					
ビーム (段)					
ビーム (段)					
ビーム (段)					
つなぎ材					
ボルト類					

35. 下部工構造部材仕様

部材名称		材 質	許容応力度	形 状	寸 法	表面処理
鋼 製	ねかせ (縦)					
	ねかせ (横)					

部材名称		設計強度	形 状	寸 法
コン クリ ート 製	前			
	後			
	中 前			
	中 後			

上部工構造図 (寸法をご記入下さい。)

正 面

側 面

下部構造図 (寸法をご記入下さい。)

正 面

側 面

36. 部材選定設計計算式（設計図書をご提出の場合は記入不要です。）

設計図書がない場合は、①設計プロセス、②防雷工学ハンドブック以外の設計時のファクターをご記入下さい。

[illegible]

ご協力有り難うございました。

整理番号

破損した鋼製雪崩予防施設の
設計・設置法の状況調査票

I. 調査対象

1. 抽出方法 (①維持・補修の記録があった。 ②今回の調査の結果発見された。
③その他 (_____))
2. 路線名 (_____)
3. 地区名 (_____)
4. 破損発生年月 ((a)昭和____年____月、 (b)不明)
5. 破損発生積雪状況 ((a)最大積雪深 (_____ m)、 (b)雪密度 (_____ t/m³))

II. 破損した雪崩予防施設の設計および管理状況 (構造設計図書を添付して下さい。)

<一般項目>

1. 名称 ((a)予防棚、 (b)吊り棚、 (c)予防杭)
2. 設計年度 (昭和____年)
3. 施工年月日(工期) (昭和____年____月 ~ 昭和____年____月)
4. 設計・設置は定められた要領・指針等により行われた。 [(a)はい、 (b)特にない] (_____)
5. 管理は定められた要領・指針等により行われていた。 [(a)はい、 (b)特にない] (_____)

(破損した時の各規準・仕様書があればご提出をお願い致します。)

<設計条件>

6. 設計積雪深 ($H_s =$ _____ m)
7. 雪密度 ($\gamma =$ _____ t/m³)
8. グライド係数 ($K =$ _____)
9. クリープ係数 ($N =$ _____)
10. 設計斜面勾配 ($\phi 1 =$ _____ °)
11. 地盤の許容設計支持力 (_____ t/m²)

<現場状況>

12. 設置斜面勾配 ($\phi 2 =$ _____ ° ~ _____ °)
13. 斜面縦断面の形状 ((1)凹、 (2)平、 (3)凸)
14. 斜面の種類 ((1)自然、 (2)切土)
15. のり長さ(斜面長) ($SD =$ _____ m)
16. 標高 (海拔 _____ m ~ _____ m)
17. 土質 ((a)岩、 (b)礫、 (c)普通土、 (d)腐食土、 (e)粘土、 (f)その他 (_____))
18. 施設の設置方位 ((a)N、 (b)S、 (c)W、 (d)E、 (e)NE、 (f)NW、 (g)SE、 (h)SW)
19. 地表状況 ((a)裸地、 (b)草地、 (c)低木 (①疎、②中、③密)、 (d)高木 (①疎、②中、③密))

20. 施設配置

対象施設を含む区域の配置図（現場地形がわかるように等高線、方位等もお書き込み下さい。）
（破指施設が判るように赤印でマークして下さい。）

平面图

縱断面図

＜施設状況＞ （ご参考に次頁の名称図をご覧ください。）

設問21～30は欄のみご記入下さい。

21. 配置の種類 ((a)連続、 (b)断続、 (c)千鳥、 (d)組合せ)
22. 列間斜距離 ($L F = \text{ } m \sim \text{ } m$)
23. 水平間隔 ($A F = \text{ } m$)
24. 棚の高さ ($B k F = \text{ } m$)
25. 棚の長さ ($T L = \text{ } m$)
26. 棚面角度 ($\theta = \text{ } ^\circ$)
27. 棚の主柱間隔 ($P L = \text{ } m$)
28. 上部構造 ((a)設計 (①不静定、②静定)、(b)施工 (①剛接合、②ピン接合)
29. 基礎構造 ((a)コンクリート (①分離、②一体)、(b)アンカー基礎、(c)その他 ())
30. 上部構造と基礎構造との接合 ((a)アンカーボルト、(b)埋め込み、(c)その他 ())

設問31～35は杭のみご記入下さい。

31. 列間斜距離 ($L P = \text{ } ______ \text{ m} \sim \text{ } ______ \text{ m}$)
32. 水平間隔 ($A P = \text{ } ______ \text{ m}$)
33. 杭の高さ ($B k P = \text{ } ______ \text{ m}$)
34. 杭径 ($D D = \text{ } ______ \text{ m}$)
35. 杭埋め込み長さ ($D L = \text{ } ______ \text{ m}$)

<構造部材状況>

36. 上部工構造部材仕様

部材名称	材 質	許容応力度	形 状	寸 法	表面処理
主 柱 (杭)					
支 柱 (ケ-ル)					
ビ-ム (段)					
ビ-ム (段)					
ビ-ム (段)					
つなぎ材					
ボルト類					

37. 下部工構造部材仕様

部材名称	材 質	許容応力度	形 状	寸 法	表面処理
鋼 ねかせ (縦)					
製 ねかせ (横)					

部材名称	設計強度	形 状	寸 法
コンクリート製 前			
後			
中 前			
中 後			

破損前の下部工構造図 (寸法をご記入下さい。破損部位が判るように赤印でマークしてください。)

正 面

側 面

Ⅲ. 雪前予防施設の破損状況（破損状況の写真を添付して下さい。）

1. 設置基数〔 1 群（ _____ 基）の中での破損基数（ _____ 基）〕

2. 破損部位（設問 1 7. 3 2. 3 3 の図に破損部位を赤印でマークして下さい。）

（1）上部構造

(a)主柱(杭)の変形〔 ①あり（（i）継続使用可能、（ii）継続使用不可能）、 ②なし 〕

(b)支柱(ケ-ル)の変形〔 ①あり（（i）継続使用可能、（ii）継続使用不可能）、 ②なし 〕

(c)ビ-ム（ 段）の変形〔 ①あり（（i）継続使用可能、（ii）継続使用不可能）、 ②なし 〕

ビ-ム（ 段）①変形〔 ①あり（（i）継続使用可能、（ii）継続使用不可能）、 ②なし 〕

ビ-ム（ 段）①変形〔 ①あり（（i）継続使用可能、（ii）継続使用不可能）、 ②なし 〕

(d)つなぎ材の変形〔 ①あり（（i）継続使用可能、（ii）継続使用不可能）、 ②なし 〕

(e)その他部材の変形（名称 _____）

〔 ①あり（（i）継続使用可能、（ii）継続使用不可能）、 ②なし 〕

(f)接合部（破損箇所に○印を付けて下さい。）

①主柱とビ-ム〔（i）ボルト、（ii）ブラケット類〕

②主柱と支柱〔（i）ボルト、（ii）ブラケット類〕

③主柱と基礎〔（i）引き抜き、（ii）破壊、（iii）クラック〕

(g)破損が顕著な部位に○印を付けて下さい。

①主柱(杭)

⑤その他部材（ _____ ）

②支柱(ケ-ル)

⑥接合部（i）主柱とビ-ム

③ビ-ム（ 段）

（ii）主柱と支柱

④つなぎ材

（iii）主柱と基礎

< 構造部材の選定 >

38. 部材選定設計計算式（設計図書をご提出の場合は記入不要です。）

設計図書がない場合は、①設計プロセス、②防雪工学ハンドブック以外の設計時のファクターをご記入下さい。

(2) 下部構造

(a)沈下 [(i)あり、(ii)なし]

(b)移動 [(i)あり、(ii)なし]

(c)引抜 [(i)あり、(ii)なし]

(d)転倒 [(i)あり、(ii)なし]

(e)使用状況 [(i)継続使用、(ii)補修要]

(f)破損が顕著な部位に○印を付けて下さい。

①沈下

③引抜

②移動

④転倒

5. 主なる破損原因

IV. その他（雪崩予防施設に関する現状の諸問題、要望等お気付きのことをお聞かせ下さい。）

以 上

ご協力有り難うございました。

6. 雪崩予防施設実態調査一覧表

付表-6.1 雪崩予防施設実態調査先一覧

No.	機 関	調 査 先
1	建 設 省	東北地方建設局 A 事 務 所
2		B 事 務 所
3		北陸地方建設局 C 事 務 所
4		中部地方建設局 D 事 務 所
5	地 方 自 治 体	秋 田 県 E 事 務 所
6		山 形 県 F 事 務 所
7		新 潟 県 G 事 務 所
8		
9		石 川 県 I 事 務 所
10		岐 阜 県 J 事 務 所
11	日 本 道 路 公 団	金 沢 管 理 局 K 事 務 所
12		L 事 務 所
13	北 海 道 開 発 局	函 館 開 発 建 設 部 M 事 務 所

1. 調査箇所 建設省東北地方建設局A事務所

2. 要領による設計施設 なだれ予防柵

3. 斜面雪圧荷重の基本式

斜面雪圧としては、次式を採用している。

$$S_N = \gamma \cdot \frac{H^2}{2} \cdot K \cdot N \text{ (t/m)} \quad S_0 = \frac{\alpha}{N \cdot \tan \phi} \cdot S_N \text{ (t/m)}$$

S_N : 雪圧の斜面に平行な成分 (t/m)

S_0 : 雪圧の斜面に直角な成分 (t/m)

γ : 積雪の平均密度 (t/m³)

H : 設計積雪深 (m)

K : クリープ係数

N : グライド係数

ϕ : 斜面の傾斜角

$$\alpha = \frac{1-2\nu_c}{2(1-\nu_c)} \quad \nu_c = 0.4\gamma$$

ν_c : 積雪の粘性ポアソン比 (圧縮)

4. 積雪単位体積重量 $\gamma = 0.4 \text{ t/m}^3$ を標準とする。

5. 設計積雪深 30年積率積雪深を参考として、経験的に定める。通常は $H = 5 \text{ m}$

6. グライド係数 新編 防雪工学ハンドブックによる

グライド係数(N)の値(スイス示方書による)

地 表 の 状 態	グライド係数(N_H)の値	
		
I 玉石(30cm ϕ 以上)の斜面, 大岩の凹凸面	1.2	1.3
II れき(30cm ϕ 以下)の斜面, 丈 1m 以上のかん木地, 50cm 以 上の凹凸地面	1.6	1.8
III 小さいかん木地, 50cm 以下の凹凸地面, 草 地	2.0	2.4
IV 平滑岩盤 葉の長い草地 湿 地	2.6	3.2

7. クリープ係数

クリープ係数は次表から算定する。

クリープ係数(K)の値

雪密度: γ (t/m ³)	0.2	0.3	0.35	0.4	0.5	0.6
$K/\sin 2\phi$	0.70	0.76	0.80	0.83	0.92	1.05

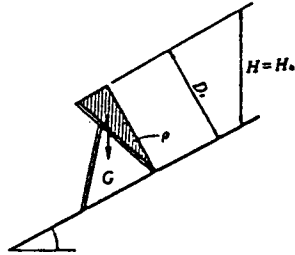
8. スノープリズム

通常は $\rho = 0$ 、ゆえに $G = 0$ とする。

$\rho \neq 0$ 場合は下記による（防雪工学ハンドブック）

$$G = \gamma \cdot \frac{D_s^2}{2} \cdot \tan \rho \quad (\text{t/m})$$

$$D_s = H_s \cdot \cos \phi \quad (\text{m})$$



9. 付加荷重

通常は考慮しない。

10. 辺縁効果荷重

橋の端部には辺縁効果による荷重を考慮する。

$$S_E = f_E \cdot S_N \quad (6.1.20)$$

S_E : 辺縁効果荷重 (t/m), f_E : 辺縁効果係数

S_N : 雪圧の斜面に平行な成分 (t/m) (式(6.1.2)参照)

ここで、

$$f_E = (0.92 + 0.65N) \frac{A}{2} \leq 1.00 + 1.25N$$

N : グライド係数, A : 柵と柵の水平間隔 (m)

辺縁効果の作用範囲 Δl は次式による。

$$\Delta l = 0.60 \frac{A}{2} \leq \frac{D}{3} \quad (6.1.21)$$

D : 斜面に垂直に測った積雪深

式(6.1.20)によって求めた辺縁効果荷重を式(6.1.21)で求めた幅に分布させるものとする。

11. 配置(縦間隔, 横間隔)

原則として連続配置

横間隔 (水平間隔) は 2 m 以下である。

縦間隔 (列間隔)

予防柵の列間隔は次式によって決める。

$$L = f_L \cdot H \quad (6.1.17)$$

$$f_L = \frac{2 \tan \phi}{\tan \phi - \tan \varphi} \quad (6.1.18)$$

L : 列間斜距離, H : 積雪深, ϕ : 斜面角度

f_L : 距離係数, φ : 雪と地面の摩擦角 ($\tan \varphi = 0.5 \sim 0.6$)

式(6.1.17)によって得られた値は許容最大列間隔と考えてよく、人工法面に設置する場合などでは、当然小段を利用して設置の方が好ましいので、列間隔は計算値まで広げられないこともある。

1. 調査箇所 建設省東北地方建設局B事務所

2. 要領による設計施設 なだれ予防柵

3. 斜面雪圧荷重の基本式

斜面雪圧としては、次式を採用している。

$$S_N = \gamma \cdot \frac{H^2}{2} \cdot K \cdot N \text{ (t/m)} \quad S_d = \frac{\alpha}{N \cdot \tan \phi} \cdot S_N \text{ (t/m)}$$

S_N : 雪圧の斜面に平行な成分 (t/m)

S_d : 雪圧の斜面に直角な成分 (t/m)

γ : 積雪の平均密度 (t/m³)

H : 設計積雪深 (m)

K : クリープ係数

N : グライド係数

ϕ : 斜面の傾斜角

$$\alpha = \frac{1-2\nu_c}{2(1-\nu_c)} \quad \nu_c = 0.4\gamma$$

ν_c : 積雪の粘性ポアソン比 (圧縮)

4. 積雪単位体積重量 $\gamma = 0.35 \text{ t/m}^3$ を標準 ($\gamma = 0.4$ の場合もある)

5. 設計積雪深 30年再現確率積雪深を用いて0.5^m単位で設定する。

6. グライド係数 新編 防雪工学ハンドブックによる

グライド係数(N)の値(スイス示方書による)

地 表 の 状 態	グライド係数(N_N)の値	
		
I 玉石(30cm ϕ 以上)の斜面, 大岩の凹凸面	1.2	1.3
II れき(30cm ϕ 以下)の斜面, 丈 1m 以上のかん木地, 50cm 以 上の凹凸地面	1.6	1.8
III 小さいかん木地, 50cm 以下の凹凸地面, 草 地	2.0	2.4
IV 平滑岩盤 葉の長い草地 湿 地	2.6	3.2

7. クリープ係数

クリープ係数は次表から算定する。

クリープ係数(K)の値

雪密度: γ (t/m ³)	0.2	0.3	0.35	0.4	0.5	0.6
$K/\sin 2\phi$	0.70	0.76	0.80	0.83	0.92	1.05

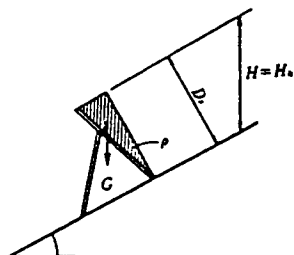
8. スノープリズム

通常は $\rho = 0$, ゆえに $G = 0$ とする。

$\rho \neq 0$ 場合は下記による (防雪工学ハントブック)

$$G = \gamma \cdot \frac{D_s^2}{2} \cdot \tan \rho \quad (\text{t/m})$$

$$D_s = H_s \cdot \cos \phi \quad (\text{m})$$



9. 付加荷重

通常は考慮しない。

10. 辺縁効果荷重

柵の端部には辺縁効果による荷重を考慮する。

$$S_E = f_E \cdot S_N \quad (6.1.20)$$

S_E : 辺縁効果荷重 (t/m), f_E : 辺縁効果係数

S_N : 雪圧の斜面に平行な成分 (t/m) (式(6.1.2)参照)

ここで,

$$f_E = (0.92 + 0.65N) \frac{A}{2} \leq 1.00 + 1.25N$$

N : グライド係数, A : 柵と柵の水平間隔 (m)

辺縁効果の作用範囲 Δl は次式による。

$$\Delta l = 0.60 \frac{A}{2} \leq \frac{D}{3} \quad (6.1.21)$$

D : 斜面に垂直に測った積雪深

式(6.1.20)によって求めた辺縁効果荷重を式(6.1.21)で求めた幅に分布させるものとする。

11. 配置 (縦間隔, 横間隔)

原則として連続配置

横間隔 (水平間隔) は 2 m 以下である。

縦間隔 (列間隔)

予防柵の列間隔は次式によって決める。

$$L = f_L \cdot H \quad (6.1.17)$$

$$f_L = \frac{2 \tan \phi}{\tan \phi - \tan \varphi} \quad (6.1.18)$$

L : 列間斜距離, H : 積雪深, ϕ : 斜面角度

f_L : 距離係数, φ : 雪と地面の摩擦角 ($\tan \varphi = 0.5 \sim 0.6$)

式(6.1.17)によって得られた値は許容最大列間隔と考えてよく, 人工法面に設置する場合などでは, 当然小段を利用して設置の方が好ましいので, 列間隔は計算値まで広げられないこともある。

1. 調査箇所 建設省北陸地方建設局C事務所

2. 要領による設計施設 なだれ予防柵

3. 斜面雪圧荷重の基本式

斜面雪圧としては、次式を採用している。

$$S_n = \alpha \cdot H_s^2 \dots\dots (t/m)$$

S_n : 雪圧の斜面に平行な成分 (t/m)

α : 表4-4による係数

H_s : 設計積雪深 (m)

$$S_q = \beta \cdot H_s^2 \dots\dots (t/m)$$

S_q : 雪圧の斜面に直角な成分 (t/m)

β : 表4-5による係数

表4-4 雪圧係数 α

斜面勾配(度) グライド係数	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
30	0.242	0.362	0.483	0.604	0.725
35	0.263	0.394	0.525	0.656	0.788
40	0.273	0.410	0.546	0.683	0.819
45	0.280	0.420	0.560	0.700	0.840

表4-5 雪圧係数 β

斜面勾配(度)	β
30	0.089
35	0.079
40	0.068
45	0.059

4. 積雪単位体積重量 $\gamma = 0.35 \text{ tf/m}^3$ を標準とする

5. 設計積雪深 最寄の観測地点の積雪に関する資料から、局地的な気象条件、地形条件及び風速等を考慮して、30年再現確率積雪深を用いて0.5m単位で設定する。

6. グライド係数

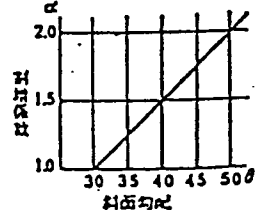
グライド係数は、雪の滑動に関する係数で、表4-2に示す値を標準とする。

表4-2 グライド係数の値

斜面方位 斜面勾配 θ (度)	北向き斜面				南向き斜面			
	30	35	40	45	30	35	40	45
地表状態 ・玉石 ($\phi 30\text{cm}$ 以上) の斜面 ・大岩の凹凸面					2.0			3.0
・礫 ($\phi 30\text{cm}$ 以下) の斜面 ・丈1m以上の沼木地 ・50cm以上の凹凸面	2.0		3.0		3.0		4.0	
・小さい沼木地 ・50cm以下の凹凸面 ・草地			4.0			4.0	5.0	
・平滑岩盤 ・苔の長い草地 ・湿地	3.0	4.0	5.0		4.0	5.0	6.0	

なお、表4-2はスイス示方書によるグライド係数を、北陸地方の雪質(多雪、湿り雪)を考慮して、表4-3による斜面勾配による割増し、設計の標準化を加味して、数値を丸めて示している。

表4-3 斜面勾配による割増し係数



7. クリープ係数

クリープ係数は次表から算定する。

K : クリープ係数

斜面勾配(度)	30	35	40	45
K	0.69	0.75	0.78	0.80

8. スノープリズム

スノープリズムとして次の荷重を考慮する。

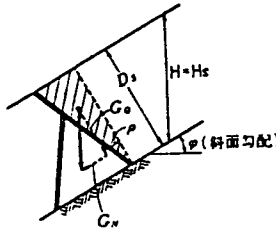
$$G_n = \alpha_s \cdot H_s^2 \cdots \cdots (t/m)$$

G_n : スノープリズムの斜面に平行な成分 (t/m)

α_s : 表4-6による係数

表4-6 スノープリズム係数 α_s

ρ (度)	10	15
斜面勾配 (度)		
30	0.012	0.018
35	0.012	0.018
40	0.012	0.018
45	0.011	0.017



注) ρ : 斜面の傾き

$$G_q = \beta_s \cdot H_s^2 \cdots \cdots (t/m)$$

G_q : スノープリズムの斜面に直角な成分 (t/m)

β_s : 表4-7による係数

表4-7 スノープリズム係数 β_s

ρ (度)	10	15
斜面勾配 (度)		
30	0.020	0.030
35	0.017	0.026
40	0.014	0.021
45	0.011	0.017

9. 付加荷重

バーの設計では、融雪時の雪の密度増加を考慮し、雪圧30%割増する。また、沈降力による付加荷重として、地面から柵高の1/4まで斜面雪圧の25%を付け加えることとなっているが、上部にも小規模なたれ荷重などの配慮が必要なため、柵高全面に付け加えることとする。

10. 辺縁効果荷重

辺縁効果荷重として次の荷重を考慮する。

$$S_r = f_r \cdot S_n \cdots \cdots (t/m)$$

S_r : 辺縁効果荷重 (t/m)

f_r : 表4-8による係数

表4-8 辺縁効果係数 f_r

グライド係数	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
f_r	1.11	1.44	1.76	2.09	2.41

辺縁効果係数 (f_r) 及び作用範囲 (Δl) は、次式によって算定した。

$$f_r = (0.92 + 0.65 N) \frac{A}{2} \quad (\text{ただし } A = 1 \text{ m})$$

$$\Delta l = 0.6 \frac{A}{2} \quad (\text{ただし } A = 1 \text{ m})$$

なお、作用範囲は柵端より30cm (柵間隔1.0 mに対応) の範囲とする。



11. 配置(縦間隔, 横間隔)

- 最上列の柵は、なだれ発生区域最上端の破断線が、柵の背圧領域に入るようにする。
- 最下列の柵は、斜面勾配が30度以下になるところまで配置する。
- 柵の配置形式は、断続配置、千鳥配置のいずれかとし、等高線に平行に配列する。
- 柵間隔 (A)、は1.0 mを標準とし、柵の列間隔 (L) は表4-1に示す値以下とする。

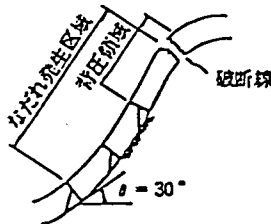


図4-1 背圧領域

表4-1 列間隔 (L) (m)

$H_s(m)$	30度	35度	40度	45度
3.0	45	21	15	12
3.5	52	24	17	14
4.0	60	28	20	16
4.5	67	31	22	18

注)
 θ : 斜面勾配
 H_s : 設計積雪深

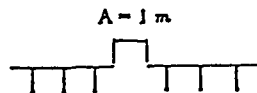
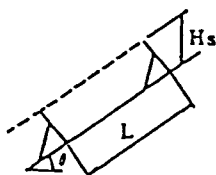
柵の配列形式には断続配置もあるが、地形との整合性、設計の標準化等を考慮し、断続配置、千鳥配置を原則とした。なお、断続、千鳥の組合せ配置は必要に応じ計画すればよい。

柵間隔 (A) は、一段に2 m以下とすることで表面なだれをも予防できると言われているが、柵間隔をあまり大きくすると、柵一基が受ける全雪圧のうち辺縁効果のしめる割合が大きくなるため、柵の部材及び基礎の断面が著しく大きくなり、経済的でなくなるので1 mを標準とした。

列間隔 (L) は、次式によって算定している。

$$L = \frac{2 \cdot \tan \theta}{\tan \theta - \tan \delta} \times H_s \cdots \cdots (m)$$

ここで、 δ は雪と地面の摩擦角で、 $\tan \delta$ は安全側をとって0.5とした。また、上式で示されるLは、概ね柵の背圧領域の最大値を与えるものと考えられる。



12. その他

柵幅は、6 mとし、4柱式とする。

斜面の傾き (ρ) は、斜面勾配が30~35度の場合は

15度、斜面勾配が40~45度野場合は10度とする。

設計設計要領書 1) 防雪工学ハンドブック

2) 道路防災・防雪施設設計実施要領

北陸地方建設局道路部 (昭和62年4月)

1. 調査箇所 建設省中部地方建設局D事務所

2. 要領による設計施設 なだれ予防柵

3. 斜面雪圧荷重の基本式

斜面雪圧としては、次式を採用している。

$$S_N = \gamma \cdot \frac{H^2}{2} \cdot K \cdot N \text{ (t/m)} \quad S_D = \frac{\alpha}{N \cdot \tan \phi} \cdot S_N \text{ (t/m)}$$

S_N : 雪圧の斜面に平行な成分 (t/m)

S_D : 雪圧の斜面に直角な成分 (t/m)

γ : 積雪の平均密度 (t/m³)

H : 設計積雪深 (m)

K : クリープ係数

N : グライド係数

ϕ : 斜面の傾斜角

$$\alpha = \frac{1-2\nu_c}{2(1-\nu_c)} \quad \nu_c = 0.4\gamma$$

ν_c : 積雪の粘性ポアソン比 (圧縮)

4. 積雪単位体積重量 $\gamma = 0.30 \text{ tf/m}^3$ を標準とする。

5. 設計積雪深 最寄の観測地点の積雪に関する資料から、局地的な気象条件、地形条件及び風速等を考慮して、30年再現確率積雪深を用いて0.5m単位で設定する

6. グライド係数

グライド係数(N)の値(スイス示方書による)

地 表 の 状 態	グライド係数(N _N)の値	
		
I 玉石(30cm φ 以上)の斜面, 大岩の凹凸面	1.2	1.3
II れき(30cm φ 以下)の斜面, 丈 1m 以上のかん木地, 50cm 以 上の凹凸地面	1.6	1.8
III 小さいかん木地, 50cm 以下の凹凸地面, 草 地	2.0	2.4
IV 平滑岩盤 葉の長い草地 湿 地	2.6	3.2

7. クリープ係数

クリープ係数は次表から算定する。

クリープ係数(K)の値

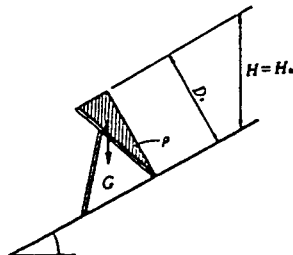
雪密度: γ (t/m ³)	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
$K/\sin 2\phi$	0.70	0.76	0.83	0.92	1.05

8. スノープリズム

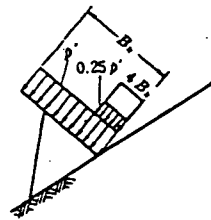
スノープリズムとして次の荷重を考慮する。

$$G = \gamma \cdot \frac{D_s^2}{2} \cdot \tan \rho \quad (\text{t/m})$$

$$D_s = H_s \cdot \cos \phi \quad (\text{m})$$



スノープリズム



付加荷重

9. 付加荷重

バーの設計では、融雪時の雪の密度増加を考慮し、雪圧30%割増する。また、沈降力による付加荷重として、地面から欄高の1/4まで斜面雪圧の25%を付け加える。

10. 辺縁効果荷重

辺縁効果荷重として次の荷重を考慮する。

$$S_r = f_r \cdot S_n \dots\dots (\text{l/m})$$

S_r : 辺縁効果荷重 (l/m)

f_r : 表4-8による係数

辺縁効果係数 (f_r) 及び作用範囲 ($\Delta \ell$) は、次式によって算定した。

$$f_r = (0.92 + 0.65 N) \frac{A}{2}$$

$$\Delta \ell = 0.5 \frac{A}{2}$$

表4-8 辺縁効果係数 f_r

グライド係数	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
f_r	1.11	1.44	1.76	2.09	2.41

11. 配置(縦間隔, 横間隔)

最上列の欄は、雪崩発生区域最上端の破断線が欄の背圧領域内に入るようにする。(下図)
最下列の欄は、原則として斜面勾配が30°以下になるところまで設置する。(下図)

等高線に平行に断続配置とし、列間隔 (L) は表6-4に示す値以下、欄間隔 (A) は表6-5に示す値以下とする。

表6-4 列間隔 (L)

$H_s(\text{m}) \backslash \theta^\circ$	30	35	40	45	50
3.0	45	21	15	12	10
3.5	52	24	17	14	12
4.0	60	28	20	16	14

$$L = f \cdot L \cdot H_s$$

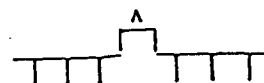
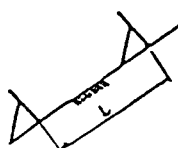
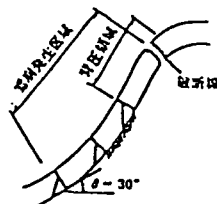
$$f \cdot L = \frac{2 \tan \theta}{\tan \theta - \tan \phi} \quad \phi : \text{雪と地面の摩擦角}$$

($\tan \phi = 0.5$ で算出してある。)

表6-5 欄間隔 (A)

$N \backslash A$	30	35	40	45	50
1.2	A=2m				
1.6					
2.0					
2.4					
2.8	A=1m				
3.2					

注) 境界線は $A : 2a$ に含まれる。



12. その他

欄幅は、6 mとし、4柱式とする。

欄面の傾き (ρ) は、斜面勾配が30~35度の場合は15度、斜面勾配が40~45度の場合は10度とする。

1. 調査箇所 地方自治体秋田県E事務所

2. 要領による設計施設 なだれ予防柵

3. 斜面雪圧荷重の基本式

斜面雪圧としては、次式を採用している。

$$S_N = \gamma \cdot \frac{H^2}{2} \cdot K \cdot N \text{ (t/m)} \quad S_D = \frac{\alpha}{N \cdot \tan \phi} \cdot S_N \text{ (t/m)}$$

S_N : 雪圧の斜面に平行な成分 (t/m)

S_D : 雪圧の斜面に直角な成分 (t/m)

γ : 積雪の平均密度 (t/m³)

H : 設計積雪深 (m)

K : クリープ係数

N : グライド係数

ϕ : 斜面の傾斜角

$$\alpha = \frac{1-2\nu_c}{2(1-\nu_c)} \quad \nu_c = 0.4\gamma$$

ν_c : 積雪の粘性ポアソン比 (圧縮)

4. 積雪単位体積重量 $\gamma = 0.35 \text{ t/m}^3$ を標準

5. 設計積雪深 過去の5～10年間の最大積雪深

6. グライド係数 新編 防雪工学ハンドブックによる

グライド係数(N)の値(スイス示方書による)

地 表 の 状 態	グライド係数(N)の値	
		
I 玉石(30cm ϕ 以上)の斜面, 大岩の凹凸面	1.2	1.3
II れき(30cm ϕ 以下)の斜面, 丈 1m 以上のかん木地, 50cm 以 上の凹凸地面	1.6	1.8
III 小さいかん木地, 50cm 以下の凹凸地面, 草 地	2.0	2.4
IV 平滑岩盤 葉の長い草地・ 湿 地	2.6	3.2

7. クリープ係数

クリープ係数は次表から算定する。

クリープ係数(K)の値

雪密度: γ (t/m ³)	0.2	0.3	0.35	0.4	0.5	0.6
$K/\sin 2\phi$	0.70	0.76	0.80	0.83	0.92	1.05

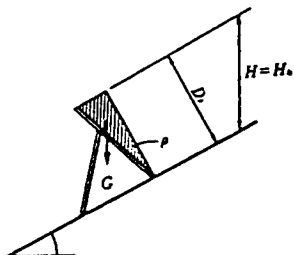
8. スノープリズム

通常は $\rho = 0$, ゆえに $G = 0$ とする。

$\rho \neq 0$ 場合は下記による (防雪工学ハントブック)

$$G = \gamma \cdot \frac{D_s^2}{2} \cdot \tan \rho \quad (\text{t/m})$$

$$D_s = H_s \cdot \cos \phi \quad (\text{m})$$



9. 付加荷重

通常は考慮しない。

10. 辺縁効果荷重

柵の端部には辺縁効果による荷重を考慮する。

$$S_R = f_R \cdot S_N \quad (6.1.20)$$

S_R : 辺縁効果荷重 (t/m), f_R : 辺縁効果係数

S_N : 雪圧の斜面に平行な成分 (t/m) (式(6.1.2)参照)

ここで,

$$f_R = (0.92 + 0.65N) \frac{A}{2} \leq 1.00 + 1.25N$$

N : グライド係数, A : 柵と柵の水平間隔 (m)

辺縁効果の作用範囲 Δl は次式による。

$$\Delta l = 0.60 \frac{A}{2} \leq \frac{D}{3} \quad (6.1.21)$$

D : 斜面に垂直に測った積雪深

式(6.1.20)によって求めた辺縁効果荷重を式(6.1.21)で求めた幅に分布させるものとする。

11. 配置(縦間隔, 横間隔)

原則として連続配置

横間隔 (水平間隔) は 2 m 以下である。

縦間隔 (列間隔)

予防柵の列間隔は次式によって決める。

$$L = f_L \cdot H \quad (6.1.17)$$

$$f_L = \frac{2 \tan \phi}{\tan \phi - \tan \varphi} \quad (6.1.18)$$

L : 列間斜距離, H : 積雪深, ϕ : 斜面角度

f_L : 距離係数, φ : 雪と地面の摩擦角 ($\tan \varphi = 0.5 \sim 0.6$)

式(6.1.17)によって得られた値は許容最大列間隔と考えてよく, 人工法面に設置する場合などでは, 当然小段を利用して設置の方が好ましいので, 列間隔は計算値まで広げられないこともある。

1. 調査箇所 地方自治体山形県F事務所

2. 要領による設計施設 なだれ予防柵

3. 斜面雪圧荷重の基本式

斜面雪圧としては、次式を採用している。

$$S_N = \gamma \cdot \frac{H^2}{2} \cdot K \cdot N \text{ (t/m)} \quad S_a = \frac{\alpha}{N \tan \phi} \cdot S_N \text{ (t/m)}$$

S_N : 雪圧の斜面に平行な成分 (t/m)

S_a : 雪圧の斜面に直角な成分 (t/m)

γ : 積雪の平均密度 (t/m³)

H : 設計積雪深 (m)

K : クリープ係数

N : グライド係数

ϕ : 斜面の傾斜角

$$\alpha = \frac{1-2\nu_c}{2(1-\nu_c)} \quad \nu_c = 0.4\gamma$$

ν_c : 積雪の粘性ポアソン比 (圧縮)

4. 積雪単位体積重量 $\gamma = 0.35 \text{ t/m}^3$ を標準

5. 設計積雪深 架設予定地付近の実際積雪深の最大値

6. グライド係数 新編 防雪工学ハンドブックによる

グライド係数(N)の値(スイス示方書による)

地 表 の 状 態	グライド係数(N_N)の値	
		
I 玉石(30cm ϕ 以上)の斜面, 大岩の凹凸面	1.2	1.3
II れき(30cm ϕ 以下)の斜面, 丈 1m 以上のかん木地, 50cm 以 上の凹凸地面	1.6	1.8
III 小さいかん木地, 50cm 以下の凹凸地面, 草 地	2.0	2.4
IV 平滑岩盤 葉の長い草地 湿 地	2.6	3.2

7. クリープ係数

クリープ係数は次表から算定する。

クリープ係数(K)の値

雪密度: γ (t/m ³)	0.2	0.3	0.35	0.4	0.5	0.6
$K/\sin 2\phi$	0.70	0.76	0.80	0.83	0.92	1.05

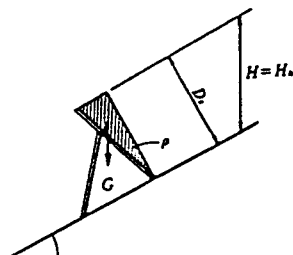
8. スノープリズム

通常は $\rho = 0$, ゆえに $G = 0$ とする。

$\rho \neq 0$ 場合は下記による (防雪工学ハンドブック)

$$G = \gamma \cdot \frac{D_s^2}{2} \cdot \tan \rho \quad (\text{t/m})$$

$$D_s = H_s \cdot \cos \phi \quad (\text{m})$$



9. 付加荷重

通常は考慮しない。

10. 辺縁効果荷重

柵の端部には辺縁効果による荷重を考慮する。

$$S_R = f_R \cdot S_N \quad (6.1.20)$$

S_R : 辺縁効果荷重 (t/m), f_R : 辺縁効果係数

S_N : 雪圧の斜面に平行な成分 (t/m) (式(6.1.2)参照)

ここで,

$$f_R = (0.92 + 0.65N) \frac{A}{2} \leq 1.00 + 1.25N$$

N : グライド係数, A : 柵と柵の水平間隔 (m)

辺縁効果の作用範囲 Δl は次式による。

$$\Delta l = 0.60 \frac{A}{2} \leq \frac{D}{3} \quad (6.1.21)$$

D : 斜面に垂直に測った積雪深

式(6.1.20)によって求めた辺縁効果荷重を式(6.1.21)で求めた幅に分布させるものとする。

11. 配置(縦間隔, 横間隔)

原則として連続配置

横間隔 (水平間隔) は 2 m 以下である。

縦間隔 (列間隔)

予防柵の列間隔は次式によって決める。

$$L = f_L \cdot H \quad (6.1.17)$$

$$f_L = \frac{2 \tan \phi}{\tan \phi - \tan \varphi} \quad (6.1.18)$$

L : 列間斜距離, H : 積雪深, ϕ : 斜面角度

f_L : 距離係数, φ : 雪と地面の摩擦角 ($\tan \varphi = 0.5 \sim 0.6$)

式(6.1.17)によって得られた値は許容最大列間隔と考えてよく, 人工法面に設置する場合などでは, 当然小段を利用して設置の方が好ましいので, 列間隔は計算値まで広げられないこともある。

1. 調査箇所 地方自治体新潟県G事務所

2. 要領による設計施設 なだれ予防柵

3. 斜面雪圧荷重の基本式

防雪工学ハンドブックに従う。ただし、図集には記載なし。

4. 積雪単位体積重量 $\gamma = 0.35 \text{ t f/m}^3$ を標準とする。

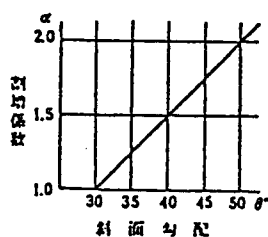
5. 設計積雪深 最寄の観測地点の積雪に関する資料から、局地的な気象条件、地形条件及び風速等を考慮して、30年再現確率積雪深を用いて、0.5m単位で設定する

6. グライド係数

表6-3 グライド係数(N)

斜面方位 地表状態	斜面方位	
	北向き斜面	南向き斜面
・玉石(φ30cm以上)の斜面 ・大岩の凹凸面	1.2	1.3
・砂(φ30cm以下)の斜面 ・丈1m以上のかん本地 ・50cm以上の凹凸面	1.6	1.8
・小さいかん本地 ・50cm以下の凹凸面 ・草地	2.0	2.4
・平滑岩盤 ・苔の生い草地 ・湿地	2.6	3.2

図6-1 斜面勾配による割増し係数



注) ①計算時にはグライド係数(表6-3)を斜面勾配によって割増(図6-1)して用いるが、本図集では割増前の値として表6-3からグライド係数を設定すればよい。

7. クリーブ係数等

図集では省略されている。

8. 配置(縦間隔, 横間隔)

柵 配 列

最上列の柵は、雪崩発生区域最上端の破断線が柵の背圧領域内に入るようにする。(下図)
最下列の柵は、原則として斜面勾配が30°以下になるところまで配置する。(下図)
各部分の長さは、一様な斜面を基準としているので、斜面状況又は基礎形状によって支柱長が伸びる時は、使用断面の検討が必要である。

等高線に平行に系統配置とし、列間隔(L)は表6-4に示す値以下、欄間隔(A)は表6-5に示す値以下とする。

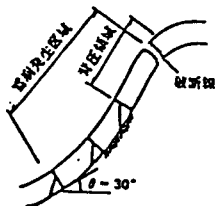
表6-4 列間隔(L)

Hs(m)	θ°				
	30	35	40	45	50
3.0	45	21	15	12	10
3.5	52	24	17	14	12
4.0	60	28	20	16	14

表6-5 欄間隔(A)

N	θ°				
	30	35	40	45	50
1.2					
1.6					
2.0					
2.4					
2.8					
3.2					

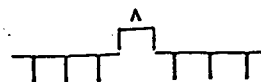
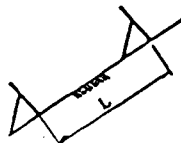
注) 境界線は A : 2m に含まれる。



$$L = fL \cdot H_s$$

$$fL = \frac{2 \tan \theta}{\tan \theta - \tan \phi} \quad \phi: \text{雪と地面の摩擦角}$$

($\tan \phi = 0.5$ で算出している。)



9. その他

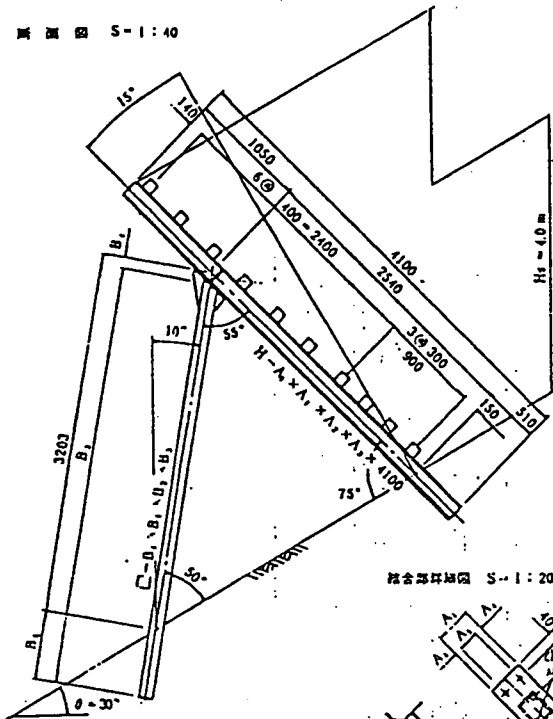
雪崩予防柵の設計は、新潟県土木部標準設計図集に基づき積雪深、斜面勾配、グライド係数の3項目により決定される。

設計設置要領書 1) 防雪工学ハンドブック

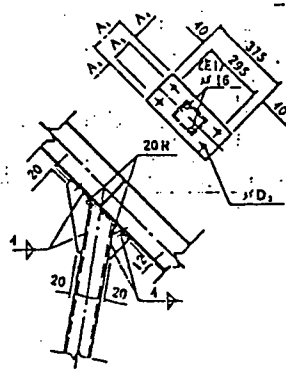
2) 新潟県土木部標準設計図集

昭和61年7月 新潟県土木部 -110-

5-1:40



综合部年组图 S-1:20

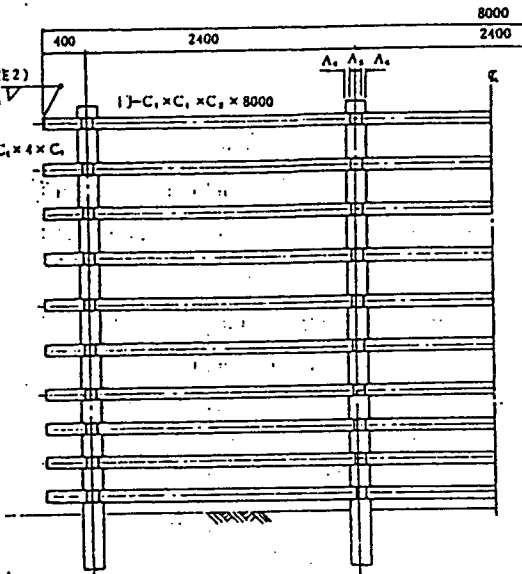


1 - R. A. / 12 / 375
1 - R. E. / 9 / E.
1 - R. E. / 9 / E.
4 - H. T. B. MD₁ / D₁ (F 8 T)

五 廟 子 防 堤

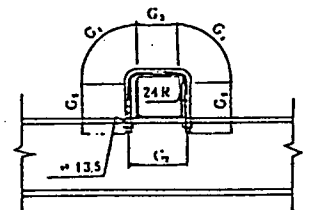
06-C-1 (11, 40 - 0 30-N ()) - S 62
根深 斜面勾配 グライド係数

正 西 圖 5-1:40



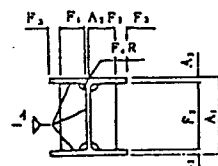
注1) 亜鉛めっきの場合に必要な加工。
注2) 塗装の場合に必要な加工
及び材料

バー取付環組図 S-1:10



U-13. N 12 x 67

荆州府城图 S-1:10


$$2 - H, F_1 \times 9 \times F_2$$

雷 府 予 防 提

06-C-1 (Hs 40-0 30-N ()) - S 62
比呂漆 斜面勾配 グライド係致

[illegible]

注1) 要船めっきの場合は、全ての部材にJIS H 8641 形は要船めっきHDZ 50を施す。

2) ※印の上は塗装の場合のみ計上

3) 添字は部材記号の添字である。
部材名称主注の場合
 $H = A_{(1)} \times A_{(2)} \times A_{(3)} \times A_{(4)} \times \textcircled{5}$
 $\times 3,600$

1. 調査箇所 地方自治体新潟県H事務所

2. 要領による設計施設 なだれ予防柵

3. 斜面雪圧荷重の基本式

防雪工学ハンドブックに従う。ただし、図集には記載なし。

4. 積雪単位体積重量 $\gamma = 0.35 \text{ t f/m}^3$ を標準とする。

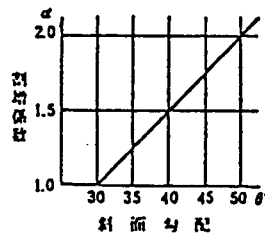
5. 設計積雪深 最寄の観測地点の積雪に関する資料から、局地的な気象条件、地形条件及び風速等を考慮して、30年再現確率積雪深を用いて、0.5m単位で設定する

6. グライド係数

表6-3 グライド係数(N)

斜面方位	北向き斜面	南向き斜面
地表状態		
・玉石(φ30cm以上)の斜面 ・大岩の凹凸面	1.2	1.3
・石(φ30cm以下)の斜面 ・丈1m以上のかん木地 ・50cm以上の凹凸面	1.6	1.8
・小さいかん木地 ・50cm以下の凹凸面 ・草地	2.0	2.4
・平刈草地 ・谷の狭い草地 ・灌地	2.6	3.2

図6-1 斜面勾配による割増し係数



注) 雪圧算定時にはグライド係数(表6-3)を斜面勾配によって割増(図6-1)して用いるが、本図集では割増前の値として表6-3からグライド係数を設定すればよい。

7. クリープ係数等

図集では省略されている。

8. 配置(縦間隔, 横間隔)

柵 配 列

最上列の柵は、雪崩発生区域最上端の破断線が柵の背圧領域内に入るようにする。(下図)
最下列の柵は、原則として斜面勾配が30°以下になるところまで配置する。(下図)
各部材の長さは、一様な斜面を基準としているので、斜面状況又は基礎形状によって支柱長が伸びる時は、使用断面の検討が必要である。

等高線に平行に断続配置とし、列間隔(L)は表6-4に示す値以下、柵間隔(A)は表6-5に示す値以下とする。

表6-4 列間隔(L)

Hs(m)	30	35	40	45	50
3.0	45	21	15	12	10
3.5	52	24	17	14	12
4.0	60	28	20	16	14

$$L = fL \cdot H_s$$

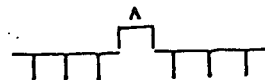
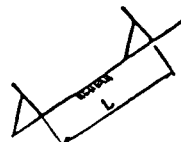
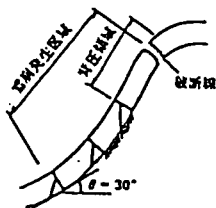
$$fL = \frac{2 \tan \phi}{\tan \theta - \tan \phi} \quad \phi: \text{雪と地面の摩擦角}$$

($\tan \phi = 0.5$ で算出している。)

表6-5 柵間隔(A)

N	30	35	40	45	50
1.2					
1.6					
2.0					
2.4					
2.8					

注) 境界線は A: 2m に含まれる。



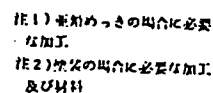
9. その他

雪崩予防柵の設計は、新潟県土木部標準設計図集に基づき積雪深、斜面勾配、グライド係数の3項目により決定される。

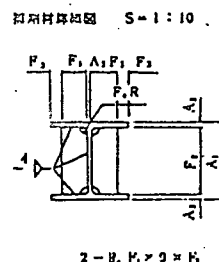
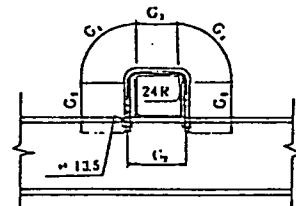
新 興 上 木 部 材 半 設 計 國 集

五 廟 子 防 堤

06-C-1 (11, 40 - 0 30 - N ()) - S 62
板厚 断面勾配 グライド係数



パー取付環組立 S-1:10


$$2 - \text{B. } F_1 \times 2 \neq F_2$$

$$U - B.N = 12 \times 6_4$$

新 瀋 縣 土 木 部 標 準 設 計 圖 集

雷 双 子 防 烟

06-C-1 (Hs 4.0-θ 30-N ()) -S 62
 表面均配 グライド係数

23. 1. 1954	H					H					H					H					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1.2	A	125	6.5	9	25	75	11	11-125 x 125 x 85 x 9	4,100	4	9,780	390.32	SS41								
	B	100	3.2	3,700	36	553	12	11-100 x 100 x 32	2,700	4	3,520	140.80	SS41								
	C	100	2.3	-	-	-	12	11-100 x 100 x 23	8,000	10	3,680	556.00	SS41								
	D	16	55	17.5	-	-	12	100 x 4	100	20	8,314	6.28	SS41								
							12	125 x 12	375	4	4,116	17.66	SS41								
							12	M 16	55	16	8,225	3.60	FAT								
1.4	E	104	150	104	293	-	12	104 x 9	150	4	1,102	4.41	SS41								
	F	55	107	4.3	15	-	12	104 x 9	293	4	2,153	8.61	SS41								
	G	55	107	4.3	15	-	12	55 x 9	107	8	8,416	3.33	SS41								
	G	409	139	91	38	121	12	M 12	409	80	8,411	32.88	SS41								
H																					
H																					
H																					
2.0	A	150	7	10	30	90	11	11-150 x 150 x 7 x 10	4,100	4	129,150	516.60	SS41								
	B	100	3.2	3,700	71	368	12	11-100 x 100 x 3.2	2,700	4	3,520	116.80	SS41								
	C	100	2.3	-	-	-	12	11-100 x 100 x 2.3	8,000	10	35,600	556.00	SS41								
	D	16	55	-	17.5	-	12	100 x 4	100	20	8,314	6.28	SS41								
							12	150 x 12	375	4	3,299	21.20	SS41								
							12	M 16	55	16	8,225	3.60	FAT								
2.4	E	104	150	104	293	-	12	104 x 9	150	4	1,102	4.41	SS41								
	F	55	130	18.5	15	-	12	104 x 9	293	4	2,153	8.61	SS41								
	G	55	130	18.5	15	-	12	55 x 9	130	8	8,505	4.04	SS41								
	G	409	139	91	38	121	12	M 12	409	80	8,411	32.88	SS41								
	H																				
	H																				
3.2	A	175	7.5	11	36	103	11	11-175 x 175 x 7.5 x 11	4,100	4	164,820	659.28	SS41								
	B	125	4.5	3,700	78	575	12	11-125 x 125 x 4.5	2,700	4	61,420	245.68	SS41								
	C	100	3.2	-	-	-	12	11-100 x 100 x 3.2	8,000	10	78,160	781.60	SS41								
	D	20	60	21.5	-	-	12	100 x 4	100	20	8,314	6.28	SS41								
							12	175 x 12	375	4	6,182	24.73	SS41								
							12	M 20	80	16	8,383	6.18	FAT								
3.2	E	91	150	89	301	-	12	91 x 9	150	4	9,964	3.86	SS41								
	F	60	153	23.8	20	-	12	89 x 9	301	4	1,893	7.57	SS41								
	G	60	153	23.8	20	-	12	60 x 9	153	8	8,949	5.19	SS41								
	G	403	135	87	38	121	12	M 12	403	80	8,407	32.58	SS41								
	H																				
	H																				
H																					
H																					

注1) 要約めっきの場合は、全ての部位にJIS H 8641 腐蝕要約めっきIPZ 50を施す。

2) ※印のものは塗装の場合のみ計上

3) 添字は部材記号の添字である。
部材名称主位の場合
 $H-A_{(1)} \times A_{(2)} \times A_{(3)} \times A_{(4)} \times \dots$
 $\times 3,600$

1. 調査箇所 地方自治体石川県I事務所

2. 要領による設計施設 なだれ予防柵

3. 斜面雪圧荷重の基本式

斜面雪圧としては、次式を採用している。

$$S_N = \gamma \cdot \frac{H^2}{2} \cdot K \cdot N \text{ (t/m)} \quad S_Q = \frac{\alpha}{N \cdot \tan \phi} \cdot S_N \text{ (t/m)}$$

S_N : 雪圧の斜面に平行な成分 (t/m)

S_Q : 雪圧の斜面に直角な成分 (t/m)

γ : 積雪の平均密度 (t/m³)

H : 設計積雪深 (m)

K : クリープ係数

N : グライド係数

ϕ : 斜面の傾斜角

$$\alpha = \frac{1-2\nu_c}{2(1-\nu_c)} \quad \nu_c = 0.4\gamma$$

ν_c : 積雪の粘性ポアソン比 (圧縮)

4. 積雪単位体積重量 $\gamma = 0.35 \text{ tf/m}^3$ を標準とする。

5. 設計積雪深 最寄の観測地点の積雪に関する資料から、局地的な気象条件、地形条件及び風速等を考慮して、30年再現確率積雪深を用いて0.5m単位で設定する

6. グライド係数

グライド係数(N)の値(スイス示方書による)

地 表 の 状 態	グライド係数(N _H)の値	
		
I 玉石(30cm φ 以上)の斜面, 大岩の凹凸面	1.2	1.3
II れき(30cm φ 以下)の斜面, 丈 1m 以上のかん木地, 50cm 以 上の凹凸地面	1.6	1.8
III 小さいかん木地, 50cm 以下の凹凸地面, 草 地	2.0	2.4
IV 平滑岩盤 葉の長い草地 湿 地	2.6	3.2

7. クリープ係数

クリープ係数は次表から算定する。

クリープ係数(K)の値

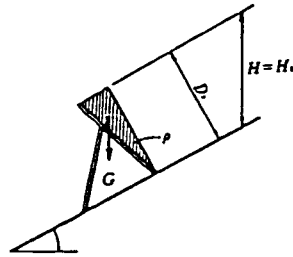
雪密度: γ (t/m ³)	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
$K/\sin 2\phi$	0.70	0.76	0.83	0.92	1.05

8. スノープリズム

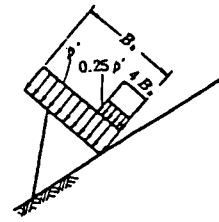
スノープリズムとして次の荷重を考慮する。

$$G = \gamma \cdot \frac{D_s^2}{2} \cdot \tan \rho \quad (\text{t/m})$$

$$D_s = H_s \cdot \cos \psi \quad (\text{m})$$



スノープリズム



付加荷重

9. 付加荷重

バーの設計では、融雪時の雪の密度増加を考慮し、雪圧30%割増する。また、沈降力による付加荷重として、地面から柵高の1/4まで斜面雪圧の25%を付け加える。

10. 辺縁効果荷重

辺縁効果荷重として次の荷重を考慮する。

$$S_r = f_r \cdot S_n \quad (\text{t/m})$$

S_r : 辺縁効果荷重 (t/m)

f_r : 表4-8による係数

辺縁効果係数 (f_r) 及び作用範囲 ($\Delta \ell$) は、次式によって算定した。

$$f_r = (0.92 + 0.65 N) \frac{A}{2}$$

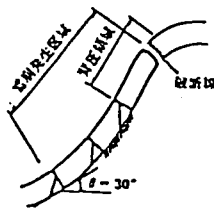
$$\Delta \ell = 0.5 \frac{A}{2}$$

表4-8 辺縁効果係数 f_r

グライド係数	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
f_r	1.11	1.44	1.76	2.09	2.41

11. 配置(縦間隔, 横間隔)

最上列の柵は、雪崩発生区域最上端の破断線が柵の背圧領域内に入るようにする。(下图)
最下列の柵は、原則として斜面勾配が30°以下になるところまで配置する。(下图)



等高線に平行に断続配置とし、列間隔 (L) は表6-4に示す値以下、柵間隔 (A) は表6-5に示す値以下とする。

表6-4 列間隔 (L)

$H_s(\text{m}) \backslash \theta^\circ$	30	35	40	45	50
3.0	45	21	15	12	10
3.5	52	24	17	14	12
4.0	60	28	20	16	14

$$L = f \cdot L \cdot H_s$$

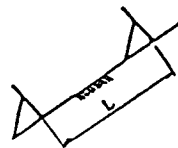
$$f \cdot L = \frac{2 \tan \theta}{\tan \theta - \tan \phi} \quad \phi : \text{雪と地面の摩擦角}$$

($\tan \phi = 0.5$ で算出してある。)

表6-5 柵間隔 (A)

$N \backslash \theta^\circ$	30	35	40	45	50
1.2	A = 2 m				
1.6					
2.0					
2.4					
2.8	A = 1 m				
3.2					

注) 境界線は $A = 2\text{m}$ に含まれる。



12. その他

柵幅は、6 m とし、4 柱式とする。

柵面の傾き (ρ) は、斜面勾配が30~35度の場合は15度、斜面勾配が40~45度の場合は10度とする。

1. 調査箇所 地方自治体岐阜県J事務所

2. 要領による設計施設 なだれ予防柵

3. 斜面雪圧荷重の基本式

斜面雪圧としては、次式を採用している。

$$S_N = \gamma \cdot \frac{H^2}{2} \cdot K \cdot N(t/m) \quad S_D = \frac{\alpha}{N \cdot \tan \phi} \cdot S_N(t/m)$$

S_N : 雪圧の斜面に平行な成分 (t/m)

S_D : 雪圧の斜面に直角な成分 (t/m)

γ : 積雪の平均密度 (t/m³)

H : 設計積雪深 (m)

K : クリープ係数

N : グライド係数

ϕ : 斜面の傾斜角

$$\alpha = \frac{1-2\nu_c}{2(1-\nu_c)} \quad \nu_c = 0.4\gamma$$

ν_c : 積雪の粘性ポアソン比 (圧縮)

4. 積雪単位体積重量 $\gamma = 0.35 \text{ tf/m}^3$ を標準とする。

5. 設計積雪深 最寄の観測地点の積雪に関する資料から、局地的な気象条件、地形条件及び風速等を考慮して、10年間の最大積雪深を用いて0.5m単位で設定する

6. グライド係数

グライド係数(N)の値(スイス示方書による)

地 表 の 状 態	グライド係数(N_N)の値	
		
I 玉石(30cm φ 以上)の斜面, 大岩の凹凸面	1.2	1.3
II れき(30cm φ 以下)の斜面, 丈 1m 以上のかん木地, 50cm 以 上の凹凸地面	1.6	1.8
III 小さいかん木地, 50cm 以下の凹凸地面, 草 地	2.0	2.4
IV 平滑岩盤 葉の長い草地 湿 地	2.6	3.2

7. クリープ係数

クリープ係数は次表から算定する。

クリープ係数(K)の値

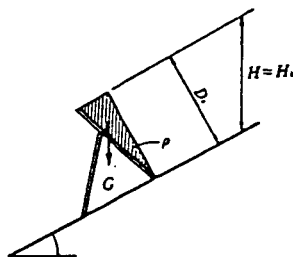
雪密度: γ (t/m ³)	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
$K/\sin 2\phi$	0.70	0.76	0.83	0.92	1.05

8. スノープリズム

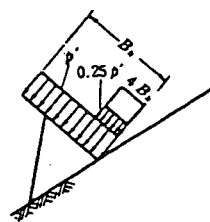
スノープリズムとして次の荷重を考慮する。

$$G = \gamma \cdot \frac{D_s^2}{2} \cdot \tan \rho \quad (\text{t/m})$$

$$D_s = H_s \cdot \cos \psi \quad (\text{m})$$



スノープリズム



付加荷重

9. 付加荷重

バーの設計では、融雪時の雪の密度増加を考慮し、雪圧30%割増する。また、沈降力による付加荷重として、地面から柵高の1/4まで斜面雪圧の25%を付け加える。

10. 辺縁効果荷重

辺縁効果荷重として次の荷重を考慮する。

$$S_r = f_r \cdot S_n \quad (\text{t/m})$$

S_r : 辺縁効果荷重 (t/m)

f_r : 表4-8による係数

辺縁効果係数 (f_r) 及び作用範囲 (Δl) は、次式によって算定した。

$$f_r = (0.92 + 0.65 N) \frac{A}{2}$$

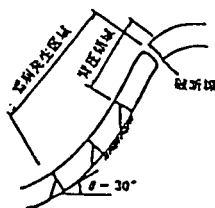
$$\Delta l = 0.6 \frac{A}{2}$$

表4-8 辺縁効果係数 f_r

グライド係数	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
f_r	1.11	1.44	1.76	2.09	2.41

11. 配置(縦間隔, 横間隔)

最上列の柵は、雪崩発生区域最上端の破断線が柵の背圧領域内に入るようにする。(下図)
最下列の柵は、原則として斜面勾配が30°以下になるところまで配置する。(下図)



等高線に平行に断続配置とし、列間隔 (L) は表6-4に示す値以下、柵間隔 (A) は表6-5に示す値以下とする。

表6-4 列間隔 (L)

$H_s(\text{m})$	30	35	40	45	50
3.0	45	21	15	12	10
3.5	52	24	17	14	12
4.0	60	28	20	16	14

$$L = f_r \cdot H_s$$

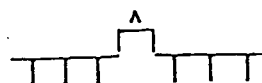
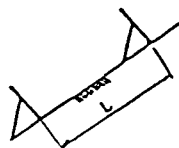
$$f_r = \frac{2 \tan \theta}{\tan \theta + \tan \phi} \quad \phi : \text{雪と地面の摩擦角}$$

($\tan \phi = 0.5$ で算出している。)

表6-5 柵間隔 (A)

N	30	35	40	45	50
1.2	A = 2 m				
1.6					
2.0					
2.4					
2.8	A = 1 m				
3.2					

注) 境界線は $A : 2a$ に含まれる。



12. その他

柵幅は、6 mとし、4柱式とする。

柵面の傾き (ρ) は、斜面勾配が30~35度の場合は15度、斜面勾配が40~45度の場合は10度とする。

1. 調査箇所 日本道路公団 金沢管理局K事務所
 2. 要領による設計施設 なだれ予防柵
 3. 斜面雪圧荷重の基本式

斜雪雪圧は次式により算定するものとする。

$$S_n = \gamma \cdot \frac{H^2}{2} \cdot K \cdot N \quad (4.3.1)$$

$$S_q = \frac{\alpha}{N \tan \phi} \cdot S_n \quad (4.3.2)$$

S_n : 雪圧の斜面に平行な成分(t/m)

K : クリープ係数(表-4.3.1参照)

S_q : 雪圧の斜面に直角な成分(t/m)

N : グライド係数(表-4.3.2参照)

γ : 積雪の平均密度 (t/m³)

ϕ : 斜面の傾斜角

H : 設計積雪深 (m)

ν_c : 積雪の粘性ポアソン比(圧縮)

$$\alpha = \frac{1-2\nu_c}{2(1-\nu_c)} \quad \nu_c = 0.4\gamma$$

4. 積雪単位体積重量

$\gamma = 0.35 \text{ tf/m}^3$ を標準とする。

5. 設計積雪深

最寄の観測地点の積雪に関する資料から、局地的な気象条件、地形条件及び風速等を考慮して、30年再現確率積雪深を用いて0.5m単位で設定する

6. グライド係数, 7. クリープ係数

表-4.3.1 クリープ係数(K)の値 ϕ : 斜面勾配(度)

雪の密度 γ (t/m ³)	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
$K / \sin 2\phi$	0.70	0.76	0.83	0.92	1.05

以上の条件より本設計については次のように係数を定めるものとする。

表-4.3.2 グライド係数(N)の値(スイス示方書による)

地表の状態	N	
	北向斜面	南向斜面
I 玉石(30cm以上)の斜面、大岩の凹凸斜面	1.2	1.3
II 砂(30cm以下)の斜面、丈1m以上のかん木地、50cm以上の凹凸地面	1.6	1.8
III 小さいかん木地、50cm以下の凹凸地面、草地	2.0	2.4
IV 平野草地、芝の長い草地、湿地	2.6	3.2

クリープ係数: K

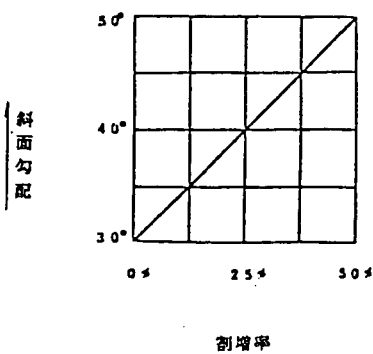
ϕ	γ_s	$K / \sin 2\phi$	K
30°	0.35	0.795	0.648
35°	0.35	"	0.747
40°	0.35	"	0.783
45°	0.35	"	0.795
50°	0.35	"	0.783

グライド係数: N

ϕ	N
30°	2.4
35°	2.7
40°	3.0
45°	3.3

但し、切土法面崩落雪予防柵では
N=2.4とする。

従来は上表の値を適宜採用してきたが、これはスイスの値であり、我が国独自にグライド係数について近年調査した(十日町)ところ、実験の数はまだ少ないが上表の値より最大で5割増しの値を得た。
旧標準設計では地表の状態Ⅲ、南向き斜面として前表の2.4を採用しているが、今回新たに設計するものについては前記調査結果を弾力的に採用して下図のとうり割増しを行った。



- 設計設置要領書
- 1) 防雪工学ハンドブック
 - 2) 積雪寒冷地における道路構造
 - ・ 附帯施設設計要領 (S57.7)
 - 3) 開越・北陸自動車道
 - 防雪施設標準設計
 - (その1): S52.3
 - (その2): S53.2

8. スノープリズム

スノープリズム部分の荷重 G (t/m)

$$G = \gamma_s \cdot \frac{D^2}{2} \cdot \tan \rho$$

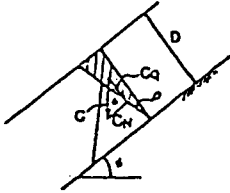
γ_s : 積雪 0.35 t/m³

D : 最大設計積雪深時積雪厚 (m)

ρ : 支持面と斜面法線とのなす角度 15°

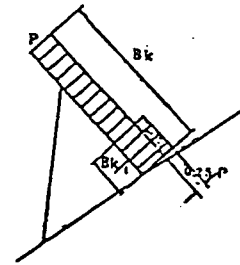
$GN : G \cdot \sin \phi$

$GQ : G \cdot \cos \phi$



9. 付加荷重

支持面（バー）の設計にのみ考慮する荷重で下図のような載荷条件となる。



10. 辺縁効果荷重

辺縁効果による力 SR (t/m)

$$SR = fR \cdot SN$$

SN : 斜面に平行な雪圧力 (t/m)

fR : 辺縁効果係数で雪の位置によって異なる。

欄間隔が2.0m以下の場合（断続配置）

$$fR = (0.92 + 0.65N) \cdot \frac{A}{2}$$

N : グライド係数

A : 欄間隔 ($A \leq 2.0$ m)

両端部又は単一構造物（千鳥配置）の場合

$$fR = 1.00 + 1.25 \cdot N$$

従って、本設計の場合は次のようになる。

千鳥配置及び断続配置の両端部の欄について

斜面勾配	辺縁効果係数 fR
30°	$fR = 1.00 + 1.25 \times 2.4 = 4.00$
35°	$fR = 1.00 + 1.25 \times 2.7 = 4.38$
40°	$fR = 1.00 + 1.25 \times 3.0 = 4.75$
45°	$fR = 1.00 + 1.25 \times 3.3 = 5.13$

断続配置の中間部の欄の場合

斜面勾配	辺縁効果係数 fR
30°	$fR = (0.92 + 0.65 \times 2.4) \times \frac{2.0}{2} = 2.48$
35°	$fR = (0.92 + 0.65 \times 2.7) \times \frac{2.0}{2} = 2.68$
40°	$fR = (0.92 + 0.65 \times 3.0) \times \frac{2.0}{2} = 2.87$
45°	$fR = (0.92 + 0.65 \times 3.3) \times \frac{2.0}{2} = 3.07$

但し、切土法面崩落雪予防制の場合の辺縁効果 fR は上記の斜面勾配30度の値を用いるものとする。

辺縁効果による力 SR の作用長 Δl

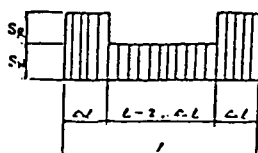
断続配置の中間部の欄

$$\Delta l = 0.6 \times \frac{A}{2} = 0.60 \times \frac{2.0}{2} = 0.60\text{m}$$

千鳥配置及び断続配置の両端部の欄

$$\Delta l = \frac{D}{3} \quad D: \text{斜面に垂直な設計深}$$

以上の仮定から支持面に働く雪圧分布は次図のように表すことができる。



よって、辺縁効果による雪圧力は

$$PR = SR \cdot \Delta l$$

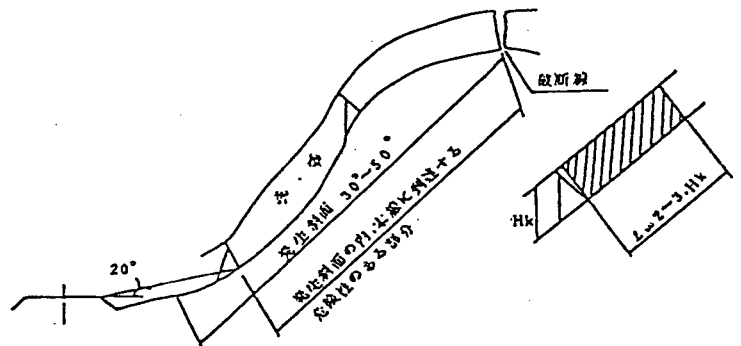
となる。

11. 配置(縦間隔、横間隔)

1) 上端及び下端の欄の位置

上端: なだれ発生斜面の尾根部に生じる積雪の破断線の最も高い位置が最上列の欄の背圧領域（支持面から山側へ欄の鉛直高さの2～3倍の範囲）に入るような位置とする。

下端: なだれ発生斜面の内、本線に到達する危険性のある部分と道路々面の勾配が20°以下になった地点とする。



2) 配置方法

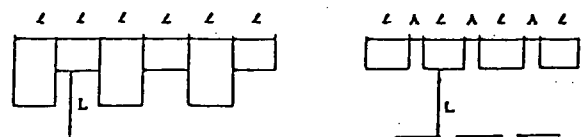
設置する斜面の地形状況を考慮して次の2つの方法を採用する。

千鳥配置: 地形状況が複雑な斜面に適用する。

断続配置: 地形状況が均一な斜面に適用する。

千鳥配置

断続配置



設計ケース	設計積雪深 H (m)	斜面勾配 ϕ (度)	断面係数 f_1	欄間距離 $L = f_1 \cdot H$ (m)
A (1)	2.0	30度	11.2	22.4
・ (2)	・	40	5.4	10.8
・ (3)	3.0	30	11.2	33.6
・ (4)	・	40	5.4	16.2
・ (5)	・	・	・	・
・ (6)	・	・	・	・
・ (7)	・	・	・	・
B (1)	2.5	35度	8.1	20.3
・ (2)	3.5	40	5.4	18.9
・ (3)	4.0	45	4.3	17.2
・ (4)	4.5	35	8.1	20.3
・ (5)	5.0	40	5.4	27.0

欄の水平間隔

千鳥配置: 欄長と等しくとる。

断続配置: $A = 2.0$ m

1. 調査箇所 日本道路公団 金沢管理局工務所

2. 要領による設計施設 なだれ予防柵

3. 斜面雪圧荷重の基本式

斜面雪圧は次式により算定するものとする。

$$S_n = \gamma \cdot \frac{H^2}{2} \cdot K \cdot N \quad (4.3.1)$$

$$S_q = \frac{\alpha}{N \tan \phi} \cdot S_n \quad (4.3.2)$$

S_n : 雪圧の斜面に平行な成分 (t/m)

S_q : 雪圧の斜面に直角な成分 (t/m)

γ : 積雪の平均密度 (t/m³)

H : 設計積雪深 (m)

K : クリープ係数 (表-4.3.1参照)

N : グライド係数 (表-4.3.2参照)

ϕ : 斜面の傾斜角

ν_c : 積雪の粘性ポアソン比 (圧縮)

$$\alpha = \frac{1-2\nu_c}{2(1-\nu_c)} \quad \nu_c = 0.47$$

4. 積雪単位体積重量

$\gamma = 0.35 \text{ tf/m}^3$ を標準とする。

5. 設計積雪深

最寄の観測地点の積雪に関する資料から、局地的な気象条件、地形条件及び風速等を考慮して、30年再現確率積雪深を用いて0.5m単位で設定する

6. グライド係数, 7. クリープ係数

表-4.3.1 クリープ係数 (K) の値 ϕ : 斜面勾配 (度)

平均密度 γ (t/m ³)	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
$K / \sin 2\phi$	0.70	0.76	0.83	0.92	1.05

以上の条件より本設計については次のように係数を定めるものとする。

表-4.3.2 グライド係数 (N) の値 (スイス示方書による)

地 表 の 状 態	N	
	北向斜面	南向斜面
I 走行 (30cm以上) の斜面、大岩の凹凸斜面	1.2	1.3
II 陸 (30cm以下) の斜面、支1-以上のかん木地、50cm以上の凹凸地面	1.6	1.8
III 小さいかん木地、50cm以下の凹凸地面、草地	2.0	2.4
IV 平野草地、芝の長い草地、畑地	2.6	3.2

クリープ係数 : K

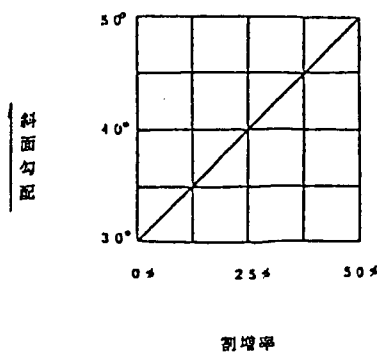
ϕ	γ_s	$K / \sin 2\phi$	K
30°	0.35	0.795	0.688
35°	0.35	•	0.747
40°	0.35	•	0.783
45°	0.35	•	0.795
50°	0.35	•	0.783

グライド係数 : N

ϕ	N
30°	2.4
35°	2.7
40°	3.0
45°	3.3

但し、切土法面崩落雪予防柵では $N=2.4$ とする。

従来は上表の値を適宜採用してきたが、これはスイスの値であり、我が国独自にグライド係数について近年調査した (十日町) と、実験の数はまだ少ないが上表の値より最大で5割増しの値を得た。旧標準設計では地表の状況Ⅲ、南向き斜面として前表の2.4を採用しているが、今回新たに設計するものについては前記調査結果を弾力的に採用して下図のとうり割増しを行った。



- 設計設置要領書
- 1) 防雪工学ハンドブック
 - 2) 積雪寒冷地における道路構造
 - ・ 附帯施設設計要領 (S57.7)
 - 3) 関越・北陸自動車道
 - 防雪施設標準設計
 - (その1) : S52.3
 - (その2) : S53.2

8. スノープリズム

スノープリズム部分の荷重 G (t/m)

$$G = \gamma_s \cdot \frac{D^2}{2} \cdot \tan \rho$$

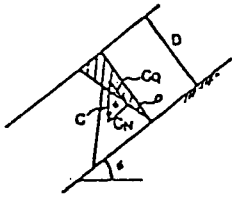
γ_s : 積雪 0.35 t/m²

D : 最大設計積雪深時積雪厚 (m)

ρ : 支持面と斜面法線とのなす角度 15°

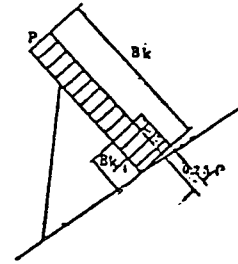
$GN : G \cdot \sin \phi$

$GQ : G \cdot \cos \phi$



9. 付加荷重

支持面 (バー) の設計にのみ考慮する荷重で下図の様な載荷条件となる。



10. 辺縁効果荷重

辺縁効果による力 SR (t/m)

$$SR = fR \cdot SN$$

SN : 斜面上に平行な雪圧力 (t/m)

fR : 辺縁効果係数で欄の位置によって異なる。

欄間隔が 2.0m 以下の場合 (断続配置)

$$fR = (0.92 + 0.65N) \cdot \frac{A}{2}$$

N : グライド係数

A : 欄間隔 ($A \leq 2.0$ m)

両端部又は単一構造物 (千鳥配置) の場合

$$fR = 1.00 + 1.25 \cdot N$$

従って、本設計の場合は次のようになる。

千鳥配置及び断続配置の両端部の欄について

斜面勾配	辺縁効果係数 fR
30°	$fR = 1.00 + 1.25 \times 2.4 = 4.00$
35°	$fR = 1.00 + 1.25 \times 2.7 = 4.38$
40°	$fR = 1.00 + 1.25 \times 3.0 = 4.75$
45°	$fR = 1.00 + 1.25 \times 3.3 = 5.13$

断続配置の中間部の欄の場合

斜面勾配	辺縁効果係数 fR
30°	$fR = (0.92 + 0.65 \times 2.4) \times \frac{2.0}{2} = 2.48$
35°	$fR = (0.92 + 0.65 \times 2.7) \times \frac{2.0}{2} = 2.68$
40°	$fR = (0.92 + 0.65 \times 3.0) \times \frac{2.0}{2} = 2.87$
45°	$fR = (0.92 + 0.65 \times 3.3) \times \frac{2.0}{2} = 3.07$

但し、切土法面崩落雪予防壁の場合の辺縁効果 fR は上記の斜面勾配 30度の値を用いるものとする。

辺縁効果による力 SR の作用長 Δl

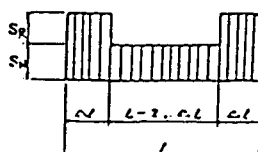
断続配置の中間部の欄

$$\Delta l = 0.6 \times \frac{A}{2} = 0.60 \times \frac{2.0}{2} = 0.60 \text{ m}$$

千鳥配置及び断続配置の両端部の欄

$$\Delta l = \frac{D}{3} \quad D: \text{斜面上に垂直な設計深}$$

以上の仮定から支持面に働く雪圧分布は次図のように表すことができる。



よって、辺縁効果による雪圧力は

$$PR = SR \cdot \Delta l$$

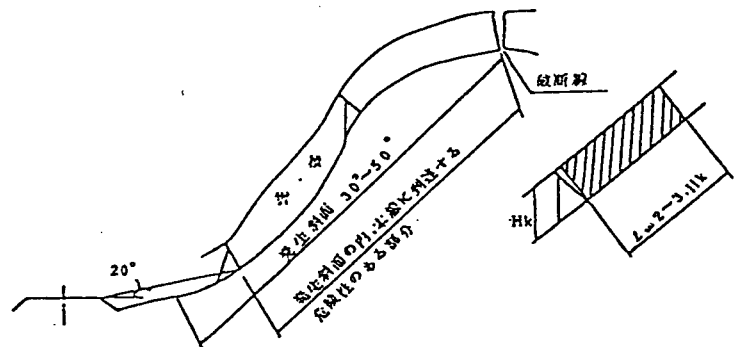
となる。

11. 配置 (縦間隔、横間隔)

1) 上端及び下端の欄の位置

上端: なだれ発生斜面の尾根部に生じる積雪の最断線の最も高い位置が最上列の欄の背圧領域 (支持面から山側へ欄の鉛直高さの 2~3 倍の範囲) に入るような位置とする。

下端: なだれ発生斜面の内、本線に到達する危険性のある部分と道路路面の勾配が 20° 以下になった地点とする。



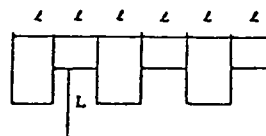
2) 配置方法

設置する斜面の地形状況を考慮して次の 2つの方法を採用する。

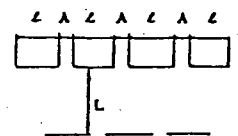
千鳥配置: 地形状況が複雑な斜面に適用する。

断続配置: 地形状況が均一な斜面に適用する。

千鳥配置



断続配置



設計ケース	設計積雪深 H (m)	斜面勾配 ϕ (度)	距係数 f_L	欄間距 $L = f_L \cdot H$ (m)
A (1)	2.0	30度	11.2	22.4
・ (2)	・	40	5.4	10.8
・ (3)	3.0	30	11.2	33.6
・ (4)	・	40	5.4	16.2
・ (5)	・	・	・	・
・ (6)	・	・	・	・
・ (7)	・	・	・	・
B (1)	2.5	35度	8.4	21.0
・ (2)	3.5	40	5.4	18.9
・ (3)	4.0	45	4.3	17.2
・ (4)	4.5	35	8.1	37.8
・ (5)	5.0	40	5.4	27.0

欄の水平間隔

千鳥配置: 欄長と等しくとる。

断続配置: $A = 2.0$ m

1. 調査箇所 北海道開発局函館開発建設部M事務所

2. 要領による設計施設 なだれ予防柵 (吊柵)

3. 斜面雪圧荷重の基本式

斜面雪圧としては、次式を採用している。

$$S_H = \gamma \cdot \frac{H^2}{2} \cdot K \cdot N \text{ (t/m)} \quad S_D = \frac{\alpha}{N \cdot \tan \phi} \cdot S_H \text{ (t/m)}$$

S_H : 雪圧の斜面に平行な成分 (t/m)

S_D : 雪圧の斜面に直角な成分 (t/m)

γ : 積雪の平均密度 (t/m³)

H : 設計積雪深 (m)

K : クリープ係数

N : グライド係数

ϕ : 斜面の傾斜角

$$\alpha = \frac{1-2\nu_c}{2(1-\nu_c)} \quad \nu_c = 0.4\gamma$$

ν_c : 積雪の粘性ポアソン比 (圧縮)

4. 積雪単位体積重量 $\gamma = 0.35 \text{ tf/m}^3$ を標準とする。

5. 設計積雪深 最寄の観測地点の積雪に関する資料から、局地的な気象条件、地形条件及び風速等を考慮して、30年再現確率積雪深を用いる。

6. グライド係数

表-1 グライド係数(N)の値(スイス示方書による)

地 表 の 状 態	グライド係数(N _H)の値	
		
I 玉石(30cm φ 以上)の斜面, 大岩の凹凸面	1.2	1.3
II れき(30cm φ 以下)の斜面, 丈 1m 以上のかん木地, 50cm 以 上の凹凸地面	1.6	1.8
III 小さいかん木地, 50cm 以下の凹凸地面, 草 地	2.0	2.4
IV 平滑岩盤 葉の長い草地 湿 地	2.6	3.2

7. クリープ係数

クリープ係数は次表から算定する。

表-2 クリープ係数(K)の値

雪密度: γ (t/m ³)	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
$K/\sin 2\phi$	0.70	0.76	0.83	0.92	1.05

8. スノープリズム

スノープリズムは斜面に直角な柵の為0である。

9. 付加荷重

バーの設計では、融雪時の雪の密度増加を考慮し、雪圧30%割増する。また、沈降力による付加荷重として、地面から柵高の1/4まで斜面雪圧の25%を付け加えることとなっているが、上部にも小規模なたれ荷重などの配慮が必要なため、柵高全面に付け加えることとする。

10. 辺縁効果荷重

辺縁効果荷重として次の荷重を考慮する。

$$S_r = f_r \cdot S_n \dots\dots (t/m)$$

S_r : 辺縁効果荷重 (t/m)

f_r : 表-3 による係数

辺縁効果係数 (f_r) 及び作用範囲 ($\Delta \ell$) は、次式によって算定した。

$$f_r = (0.92 + 0.65 N) \frac{A}{2}$$

$$\Delta \ell = 0.6 \frac{A}{2}$$

表-3 辺縁効果係数 f_r ($A=1m$)

グライド係数	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
f_r	1.11	1.44	1.76	2.09	2.41

11. 配置(縦間隔, 横間隔)

等高線に平行に断続配置とし、列間隔 (L) は表-4 に示す値以下、柵間隔 (A) は下記に示す値以下とする。

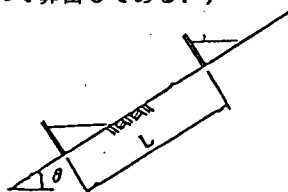
表-4 列間隔 (L) (m)

$H_s(m)$	30	35	40	45	50
2.0	29	14	10	8	7
2.5	37	17	12	10	9
3.0	45	21	15	12	10

$$L = f L \cdot H_s$$

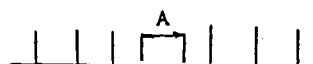
$$f L = \frac{2 \tan \theta}{\tan \theta - \tan \phi} \quad \phi : \text{雪と地面の摩擦角}$$

($\tan \phi = 0.5$ で算出してある。)



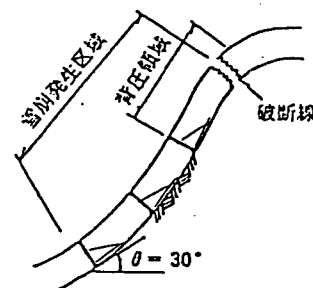
表層雪崩を対象とする場合 $A \leq 2m$

全層雪崩を対象とする場合 $A \leq 6m$



最上列の柵は、雪崩発生地域最上端の破断線が柵の背圧領域内に入るようにする。(下図)

最下列の柵は、原則として斜面勾配が30度以下になるところまで配置する。(下図)



現状では、経済性を考慮し、法尻から10m~15mぐらいは、柵は、設置していない。

12. アンカーについて

地盤が土砂の場合はH鋼アンカー、転石混りの土砂及び表土があり岩層がある場合は、スクリューアンカー又はパイプアンカーを使用、表土のない完全な岩盤の場合はケミカルアンカーを使用している。

アンカーの位置を決めるにあたり、基礎地盤の横高向反力を期待できることを条件に安定した地形を選ぶべきである。ワイヤーロープは細いものが施工性は良いが30度以下が一般的であり永久構造物として、メッキ製品が望ましい。

またワイヤーロープにはせん断力が作用しないような構造とする。(シンプル等を使う)

13 その他

柵の幅は、2.75mと5.5mとが標準であり2.75mは2本支柱、5.5mは3本支柱である。凹凸の多い自然斜面には2.75m幅を、人工法面で5.5m幅の柵を一般に設置されている。

雪崩予防施設の設計・設置法に
関する共同研究報告書(その1)

共同研究報告書第28号
平成元年3月(1989)

建設省土木研究所
(社)鋼材倶楽部

要 旨

本報告は、建設省土木研究所と(社)鋼材倶楽部との共同研究として昭和63年度から平成2年度までの
予定で研究を進めている「雪崩予防施設の設計設置法に関する研究」について、昭和63年度実施
分の成果をとりまとめたものである。

本共同研究は、現地における雪圧観測を通して雪崩予防施設に作用する雪圧特性を解明し、有効かつ
経済的な雪崩予防施設の設計、設置基準作成のための基礎資料を得ることを目的とするものである。
そこで本報告書は、昭和63年度実施分の研究成果として、雪崩予防施設の設計の現状と破損の実態
に関する実態調査、雪崩予防施設に作用する雪圧及びグライド・クリープ量の現地観測調査、さらに
これらの成果を踏まえた雪崩予防施設の設計に関する考え方あるいは、斜面積雪の挙動を数値解析す
ることによって雪崩予防施設に作用する雪圧を算定しようとする雪圧シミュレーションの基礎的な考
え方などについて、これらの研究成果を1冊にまとめたものである。

キーワード：雪崩予防施設、雪圧、グライド、クリープ、積雪、設計法

郵便はがき

305-□□

41円
をは
きつ
て
下
さ
い

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

道路研究室
御中

No. 236

No. 236

配布先氏名

配布先住所

土木研究所共同研究報告書第28号 部

上記のとおり受領しました。

所属（住所）

氏名

印

土木研究所共同研究報告書第28号