



ISSN 0386-5878

土木研究所資料 第2463号

土木研究所資料

積雪寒冷地における防護柵に関する 研究報告書(その4、最終編)

昭和62年2月

建設省土木研究所
道路部交通安全研究室
新潟試験所

Copyright © (1987) by P.W.R.I.

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

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

積雪寒冷地における防護柵に関する 研究報告書(その4、最終編)

道路部部長 榎本 実
交通安全研究室 室長 霜上 民生
研究員 安藤 和彦
新潟試験所 所長 吉松 弘行
主任研究員 下村 忠一
研究員 石平 貞夫
山本 益人

(現北陸地方建設局
長岡国道工事事務所)

国立長岡工業高等専門学校

教授 満田 喬

要 旨

建設省土木研究所においては、積雪地域に適した防護柵の設計、設置方法の基準化を図ることを目的として、昭和54年度より防護柵にかかる積雪の沈降力および積雪が斜面を移動する時に防護柵に作用する水平力の調査、支柱およびブラケット等の耐荷力実験を行ってきた。本稿はこれらの研究成果を総括してとりまとめたものである。

キーワード：防護柵の破損実態、積雪荷重、沈降力、水平力、防護柵の構造諸元、防護柵の基礎設計、防護柵の経済比較、防護柵の選定手法

はじめに

日本の国土は雪寒地域に指定されている面積が全体の約60%を占めているにもかかわらず、道路の安全施設の設計にあたっては積雪に対する配慮が具体的には規定されていないため、従来から雪荷重を考慮しない、いわゆる一般地域での設計基準に準じて行っているのが実情である。防護柵は積雪による沈降力の作用によって破損変形することが多く、部材取替、支柱建直し等の補修に毎年多くの経費が費やされている。この現状をふまえて建設省土木研究所は、昭和54年度より東北地建、北陸地建、(財)土木研究センター、耐雪防護柵研究会(民間6社[※])と共同で、沈降力に耐える積雪地用防護柵の基準化に関する資料を得るための研究を行ってきた。その調査過程は土木研究所資料「積雪寒冷地における防護柵に関する研究報告書(その1~3)」において逐次報告してきた。また、この成果は防護柵設置要綱・資料集¹⁾に、耐雪型防護柵の構造諸元や防護柵選定手法等として活用されている。

本稿は、耐雪用防護柵の研究開発に関する現状把握と今後の研究開発の資料とするため、これまでの成果を総合的にまとめて報告するものである。

[※]民間6社：川鉄建材工業株式会社，神鋼建材工業株式会社，住金鋼材工業株式会社，東京製鋼株式会社，日鐵建材工業株式会社，日本鋼管ライトスチール株式会社

目 次

はじめに

第1章 序 論	1
第2章 59豪雪における破損事例	3
第3章 雪圧特性	10
3.1 積雪の一般的性質	10
3.1.1 日本の積雪深分布	10
3.1.2 積雪内部の状況	10
3.1.3 積雪深と平均密度	11
3.1.4 最大積雪深と最大積雪重量時積雪深	12
3.1.5 積雪重量の推定の検討	12
3.1.6 積雪沈降力の作用形状	13
3.1.7 積雪の斜面流動	14
3.1.8 自然積雪と堆雪の沈降力の一例	15
3.2 沈降力に関する実験	16
3.2.1 標準尺に作用する沈降力	16
3.2.2 桁間隔と作用する沈降力との関係	17
3.2.3 設置高さとの関係	18
3.2.4 受圧面形状と沈降力	19
3.2.5 支柱（ポール）に作用する雪圧（水平力）	20
第4章 防護柵に作用する雪圧	23
4.1 雪圧測定実験の概要	23
4.2 防護柵に作用する沈降力	23
4.3 標準尺と防護柵に作用する沈降力の関係	25
4.4 防護柵に作用する水平力	26
4.5 防護柵に作用する力の方向	27
4.6 除雪時に作用する動的水平力	27
4.6.1 実験概要	27
4.6.2 支柱に作用する水平力	28

第5章 耐雪型防護柵の強度	29
5.1 防護柵部材の強度実験	29
5.1.1 実験概要	29
5.1.2 実験方法	29
5.1.3 実験結果および考察	37
5.1.4 まとめおよび部材形状の提案	43
5.2 支柱支持力実験および支持力計算方法の検討	45
5.2.1 支柱支持力の考え方	45
5.2.2 支柱支持力実験	45
5.2.3 支柱支持力計算方法の検討	49
5.2.4 ま と め	55
5.3 耐雪型防護柵の検証	57
5.3.1 供試体設置概要	57
5.3.2 結果の概要	60
第6章 耐雪型防護柵の選定	63
6.1 基本的な考え方	63
6.2 構造に関する検討	63
6.2.1 積雪荷重	63
6.2.2 部材の許容荷重	67
6.2.3 支柱の許容支持力	67
6.2.4 限界積雪深	68
6.3 破損確率と経済性	74
6.3.1 防護柵部材の破損確率	74
6.3.2 経済性について	79
6.4 加速度に関する検討	84
6.4.1 加速度の設計条件	85
6.4.2 計算に使用した基礎式	85
6.4.3 車両が受ける加速度	87
6.4.4 ま と め	87
6.5 耐雪型防護柵の構造諸元	87
6.5.1 耐雪型路側用ガードレール	88
6.5.2 耐雪型路側用ガードケーブル	89
6.5.3 耐雪型歩道用ガードパイプ	90
6.6 その他の防護柵設計方法	91

6.6.1	歩行者・自転車用防護柵	91
6.6.2	中央分離帯用防護柵	92
	あ と が き	94
	参 考 文 献	95
資料-1	グライド力が作用する防護柵の検討	96
資料-2	沈降力を求める簡易手法	102
資料-3	耐雪型防護柵の標準図例	104
資料-4	雪圧に関する相関図	108
資料-5	防護柵に作用する合力の作用方向	116
資料-6	年度別沈降力, 水平力の変化	117

第 1 章 序 論

土木研究所は昭和54年度から、積雪地域に適した防護柵の設計設置の基準化を図るため、東北、北陸両地方建設局、(財)土木研究センターおよび耐雪防護柵研究会と図1-1に示す研究計画に従って、表1-1に示す項目について各機関で分担して共同研究を進め、その成果を「積雪寒冷地における防護柵に関する研究報告書(その1~3)」^{2), 3), 4)}として公にしてきたが、これまでの経過を要約して示すと以下ようになる。

(1) 積雪寒冷地における防護柵の破損実態調査⁵⁾

積雪寒冷地における防護柵の破損実態を

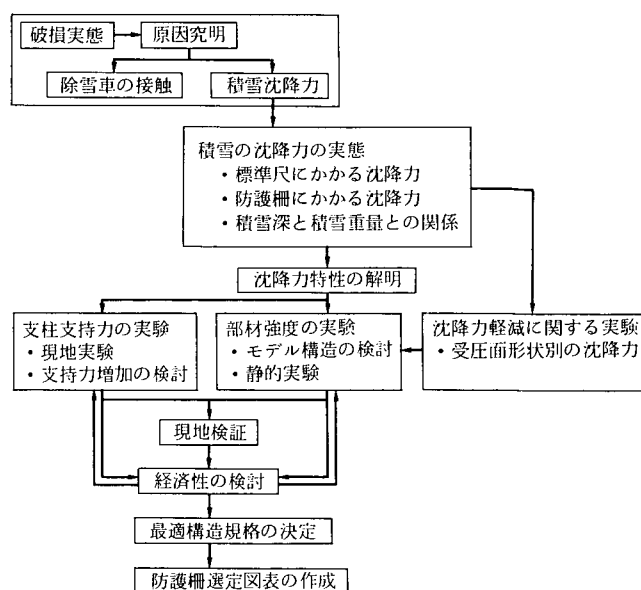


図1-1 調査手順

表1-1 研究項目分担表

機 関 実 験 年 度			土 木 研 究 所 耐 雪 防 護 柵 研 究 会						東 北 地 建					北 陸 地 建												
			54	55	56	57	58	59	60	54	55	56	57	58	59	54	55	56	57	58	59					
静 的 実 験	防護柵の 型 式	ガードレール	○	○	○	○	○	○																		
		ガードケーブル	○	○	○	○	○	○																		
		ガードパイプ		○																						
		ボックスビーム			○	○	○																			
	試験場所	現 道																								
		試 験 地	○	○	○	○	○	○																		
	盛土高さ	2.0 m																								
		5.0 m	○	○	○	○	○	○																		
	防護柵の 設置位置 (法肩から)	0.3 m	○	○	○	○	○	○																		
		1.0 m	○	○	○	○	○	○																		
		2.0 m	○	○	○	○	○	○																		
	積雪条件	3.0 m			○	○	○	○																		
5.0 m																										
標準尺による静的実験			○	○	○	○	○	○																		
				○	○	○	○																			
						○		○																		
動的雪圧実験																										
検 証 実 験																										
防護柵の部材耐力に関する実験				○	○	○																				

把握するため、土木研究所は道路局道路防災対策室と共同で、積雪寒冷地域の道路を管理する国、道、県、道路公団の各道路管理者に依頼し、路線別、積雪深別に152路線（調査対象路線長約3,250km）を選定して、昭和54年12月から昭和55年4月の冬期間における防護柵の破損実態を調査した。その結果、防護柵の破損原因は積雪沈降力によるものが全体数の50%以上を占め、さらに沈降力による破損延長は除雪機等による他の破損原因に比べると著しく大きいことが判明した。この調査結果により耐雪型防護柵の必要性が提起された。

(2) 標準尺および防護柵等に作用する沈降力³⁾

防護柵等に作用する沈降力を測定するため、実物大の供試体を用い、5年間にわたって調査した結果、沈降力特性が解明された。これをもとに耐雪型防護柵の構造諸元を検討し、設計された防護柵を現道で2年間試験設置して検証した結果、耐雪性に適していることが確認された。

(3) 防護柵の部材耐力に関する実験³⁾

防護柵設置要綱に規定されている防護柵の標準部材、および静的載荷実験等から沈降力を考慮して設計した部材の最大耐力を求め、沈降力に対する防護柵部材の許容荷重とした。

(4) 防護柵の支柱支持力に関する実験³⁾

この実験では盛土上の法肩に設置した防護柵支柱に載荷し、鉛直・水平方向支持力を求め、耐雪型防護柵支柱の基礎形状等を決定するため、支持力に関する実験式としてまとめた。

(5) 防護柵の積雪限界図の作成⁵⁾

積雪地用防護柵の選定作業の簡素化・合理化をはかるために、防護柵と支柱基礎の荷重限界を積雪深に換算し、積雪地用防護柵の耐え得る積雪限界図を作成した。

(6) 経済性からみた防護柵の選定手法⁴⁾

防護柵の破損確率を小さくとればとるほど防護柵部材と基礎の構造はより剛性の高いものとせざるを得なくなる。そこで破損被害を軽減するという観点から、耐雪型防護柵の形状そのものは標準型と同一のものとするが、沈降力に対しては部材の強度向上、基礎構造の変更、支柱間隔の短縮、あるいは上級種別の防護柵の採用等により対処する方法をとった。すなわち、昭和58年度に作成した防護柵の積雪限界図作成の考え方をもとにして、これに最大積雪深の出現確率および59豪雪における防護柵の破損実態調査結果から求めた破損確率を加味することにより、積雪荷重による毎年の破損率が2%以下で、経済的であり、かつ衝突時に防護柵の剛性が乗員の安全性を損なわない構造ということを考慮したものである。

なお、以下の本文中において「積雪寒冷地における防護柵に関する研究報告書（その1～3）」を引用する場合には研究報告書（その1,2,3）と略称する。

第2章 59豪雪における破損事例

本章で述べる破損実態は、(社)日本道路協会ガードフェンス分科会が、表2-1に示す道路管理機関に依頼して昭和58年度冬期(59豪雪)において調査したものである。

対象地点は表2-2に示すとおりである。この調査資料をもとに防護柵の破損率の解析を行なった。

表2-1 調査機関名

直 轄	道	府	県
北陸地建	北海道、 石川県、	青森県、 富山県、	山形県、 福井県、 秋田県、 京都府、 新潟県、 兵庫県
調査件数：71件			

表2-2 調査総延長距離(m)

積雪ランク*	1	2	3	4	5	合計
積雪深 型式	0.5m~1.0m	1.0m~1.5m	1.5m~2.5m	2.5m~3.5m	3.5m以上	
ガードレール	2,994	5,633.4	12,196.8	9,026.2	2,428.8	32,279.2
ガードケーブル	610	2,850	4,509	5,291.5	3,385.5	16,646
ガードパイプ		157	450	2,885	1,118	4,610
合計	3,604	8,640.4	17,155.8	17,202.7	6,932.3	53,535.2

*積雪ランク：アンケート調査時に積雪深による防護柵の設置箇所分類の必要性からランク分けしたものである。

破防護柵の破損については、積雪深と破損状態から維持管理上許容されると思われる点を考慮して求めたもので、概要は次のとおりである。その算出方法については研究報告書(その3)を参照されたい。

(1) ガードレール

雪による破損・変形については、支柱の沈下と倒れ、およびビームのたわみ変形が全体の約半分を占める。また破損・変形に伴い、ブラケットおよび取付ボルトの取り替えは必要であるが、支柱の場合は建て直しのみで済んでおり、取り替えはほとんどなかった。

(2) ガードケーブル

雪による代表的な被害は、ケーブルのゆるみ、支柱の倒れである。全体破損率をもとめた場合、このケーブルのゆるみと支柱の倒れの占める割合が非常に大きい。端末支柱の移動はまれである。

また、ブラケット、索端金具の取り替えは必要ではあるが、ケーブル、支柱の取り替えはまれである。

(3) ガードパイプ

調査量が少ないため明確でないが、ブラケットとビームの破損が多く、支柱の取り替えは少ないものの、据え直しが必要となったケースがある。

次に、防護柵の破損の原因は大きく分けると、沈降力によるもの、斜面雪圧によるもの、およびこれら

2つの雪圧が複合されたもの、さらに除雪車の押し出しによる破損等がある。その事例を写真2-1~14に示す。この写真事例にある防護柵はすべて防護柵設置要綱で定められた構造のものである。現行の防護柵設置においては、道路の規格によって防護柵の種別が定まるため、たとえ豪雪地であっても道路が低規格であれば、積雪に対しては部材的に弱い種別を設置することとなり、より強度のある上級種別の防護柵の設置は通常行われない。このような基準に基づいて設置されている防護柵の破損実態は部材強度からみると、ブラケットとボルトの破断または変形(写真2-1~3)、およびケーブルロッドが破断してケーブルが緩む例、あるいはケーブルの取付金具の破損例がある(写真2-4)。次に設置位置の地盤状況からみると、写真2-5~8に示すように、支柱の沈下により規定のビーム中心高を維持できない例が多くみられる。これは路肩の整備や歩道等の改築による新しい地盤上の路肩部に特に多くみられるため、路肩の施工にあたっては支持力が大きくなるよう十分注意しなければならない。次にグライドと沈降力の複合現象とみられる破損は、写真2-9, 10に示すように、ビームの脱落と支柱の傾斜から判断できる。また、除雪時の破損例は写真2-11, 12に示す形態が多い。この破損は除雪する雪の排雪地がないため、雪を路外に押し出す結果、ブレードで防護柵も同時に押ししてしまうケースである。雪が融けた後の外見からみると、このケースは写真2-13, 14のような斜面グライド力による引張り変形と似た破損形態を示すことから判断できる。



写真2-1 山形県47号(国) B種 積雪深1.5 m以上 沈降力

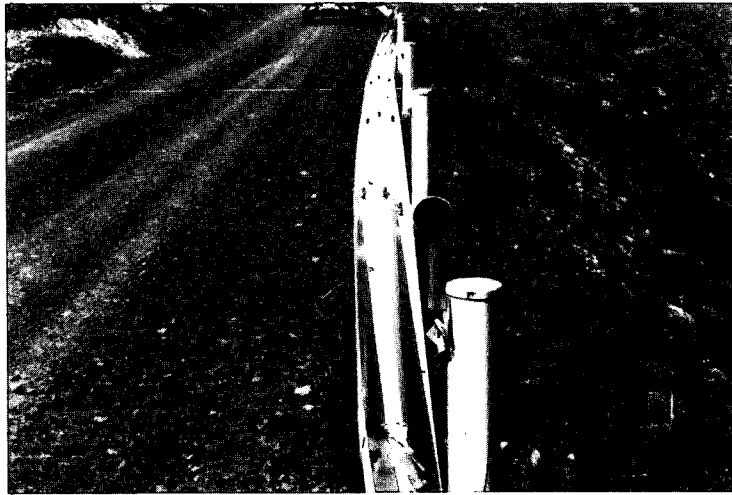


写真2-2 青森県338号(国) C種 積雪深1.0 m以上 沈降力



写真2-3 富山県304号(国) P種 積雪深2.5 m以上 沈降力

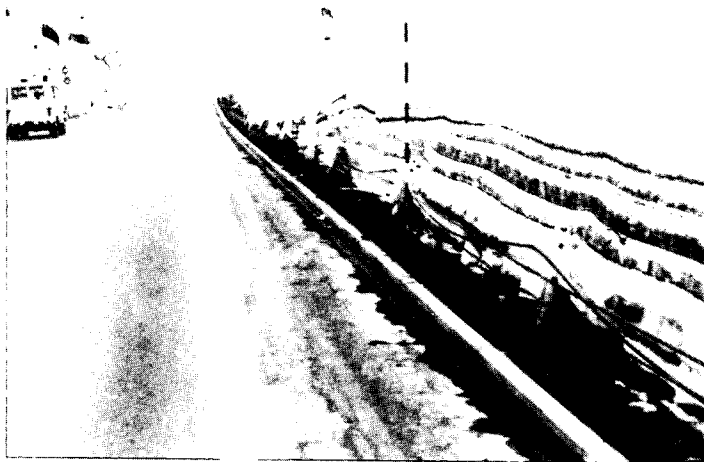


写真2-4 新潟県253号(国) C種 積雪深3.5 m以上 沈降力

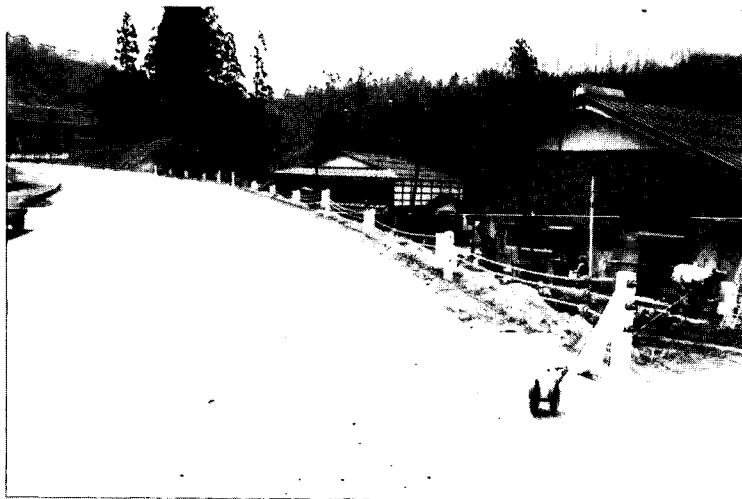


写真2-5 新潟県270号(国) C種 積雪深2.5 m以上 沈降力

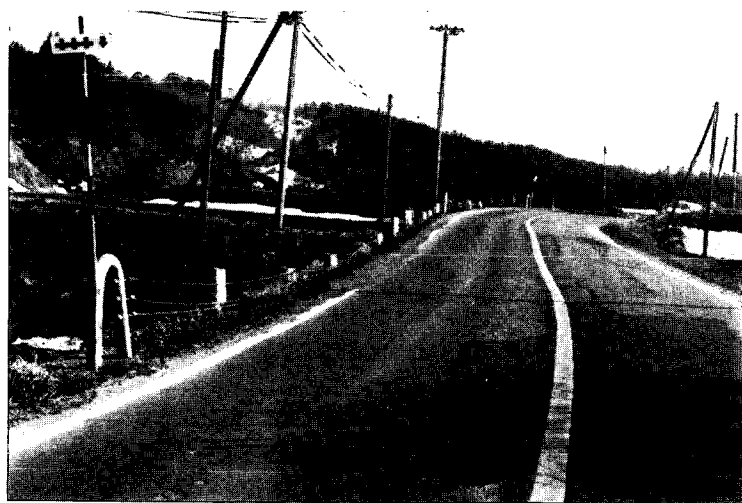


写真2-6 新潟県290号(国) C種 積雪深1.0 m以上 沈降力



写真2-7 秋田県105号(国) B種
積雪深1.5 m以上 沈降力



写真2-8 兵庫県178号(国) C種 積雪深1.0 m以上
沈降力



写真2-9 石川県157号(国) B種 積雪深2.5 m以上
沈降力とグライド力



写真2-10 新潟県117号(国) 転落防止柵
積雪深3.5 m以上 沈降力とグライド力
(上方にパイプが脱落している)

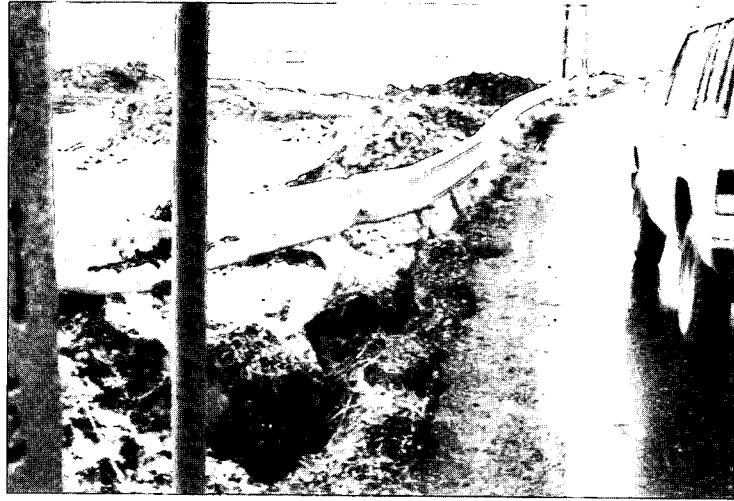


写真2-11 福井県303号(国)B種 積雪深2.5m以上 除雪

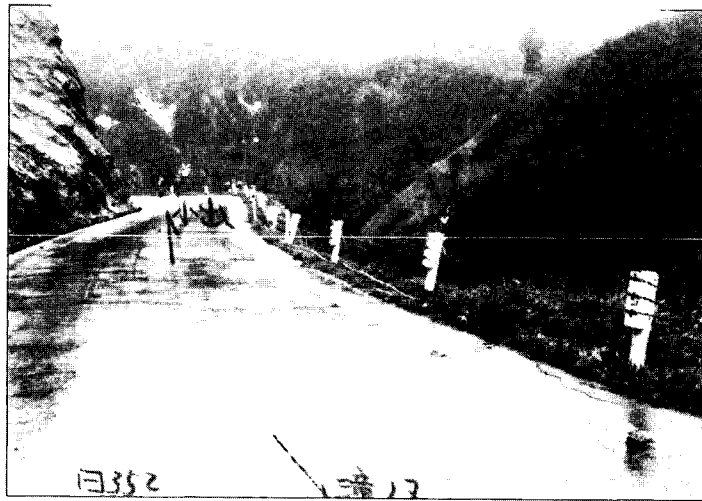


写真2-12 新潟県352号(国)B種 積雪深3.5m以上 除雪

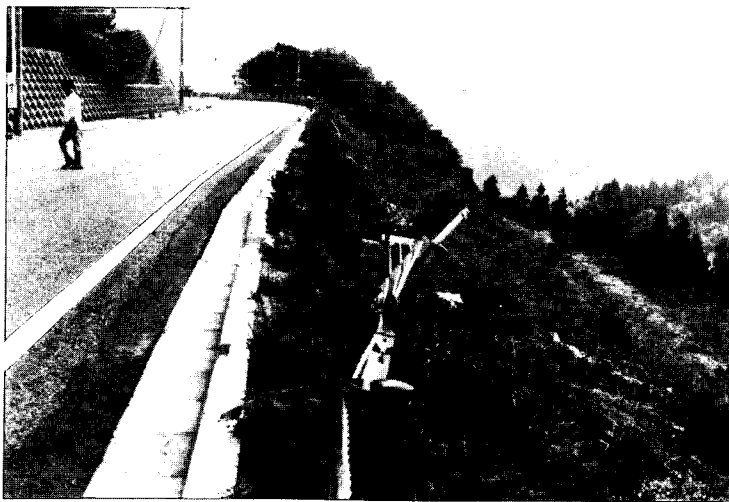


写真2-13 山形県347号(国)C種 積雪深1.5m以上 除雪

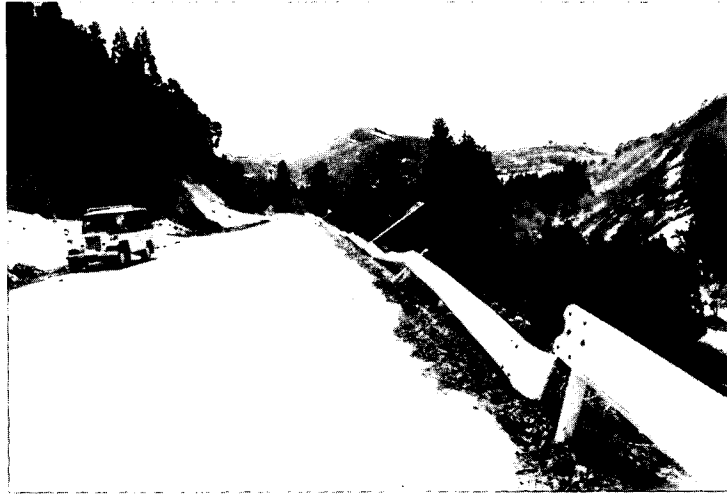


写真 2-14 福井県 157号(国) B種 積雪深 2.5 m以上 除雪

第3章 雪 圧 特 性

本章では、一般的な積雪の特徴と水平桁に作用する積雪沈降力について述べる。

3.1 積雪の一般的性質

3.1.1 日本の積雪深分布

気象庁の気候図⁶⁾によれば、日本国内における積雪の分布は等深線であらわされる。この図に基づいて防護柵の設置高さ(75cm)以上の積雪深の分布範囲(最大積雪75cm以上)を示すと、図3-1に示す日本海側の黒塗りの地域になる。この範囲の地域では防護柵上を雪が覆うことを示し、防護柵の設置に際しては雪圧を考慮しなければならない地域がきわめて広域であることがわかる。



図3-1 積雪深分布 (■は積雪75cm以上)

3.1.2 積雪内部の状況

積雪は1回ごとの降雪が積み重ねられて深さを増すが、下層にある雪の層は日射、降雨等の気象の影響を受けるとともに、雪質も新雪からしまり雪、あるいはざらめ雪に変化してくる。図3-2には積雪の断面観測から判明した層構成と防護柵の位置関係を示したものである。この図例の場合、防護柵上には2m以上もの積雪があり、作用する積雪重量が非常に大きいことが想像できる。この時の積雪重量は瞬間的でなく、長期的に持続して作用することもわかる。

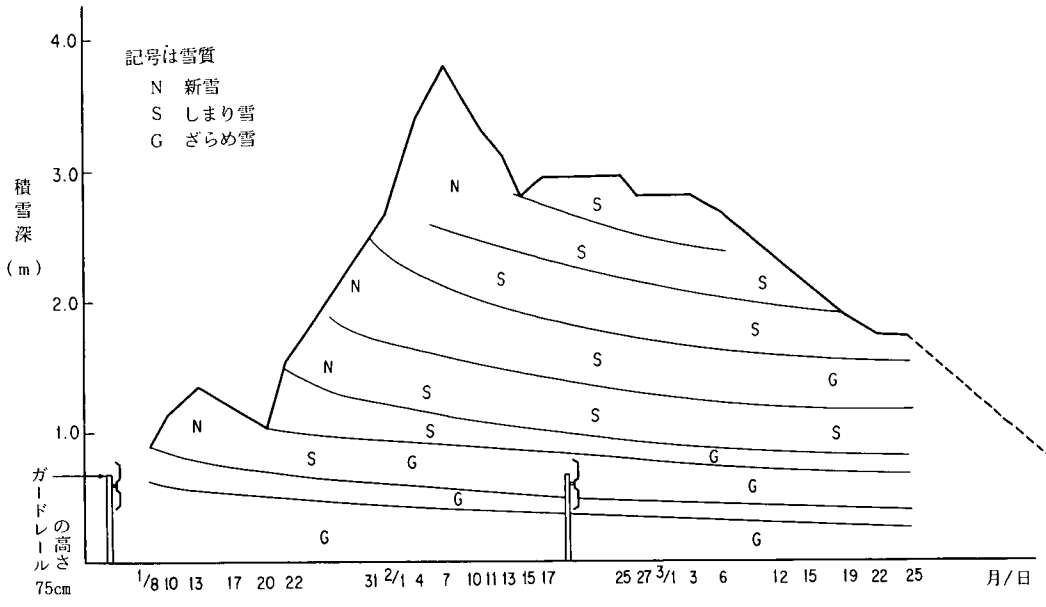


図3-2 積雪層の経時変化

3.1.3 積雪深と平均密度

積雪の密度は、その温度や湿潤度によって異なる。そこで寒冷乾雪地として札幌を、また温暖湿雪地として上越市を代表にとりあげ、そこでの積雪の密度について検討した。

図3-3は最大積雪深に至った時点の平均密度をプロットしたものである。降雪状況が違って両地域とも同程度の平均密度の分布となり、地域的な特徴はみられない。図3-4は最大積雪時と最大積雪重量時の平均密度の分布をプロットしたものである。

一般に最大積雪時の平均密度は、新雪等があるため収縮沈降し、安定した最大

積雪重量時の平均密度より小さい値となる。このためこの例では、最大積雪重量時の平均密度は最大積雪時の平均密度に比べ、札幌市で約1.38倍、上越市で1.49倍となっている。これを単純平均でみると、札幌市約0.36g/cm³、上越市約0.40g/cm³となり、差異があるように見えるが、測定値の分布状況から判断すると、降雪状況、気象条件に大きく左右されるため、これだけでは特性値とはいきれない。

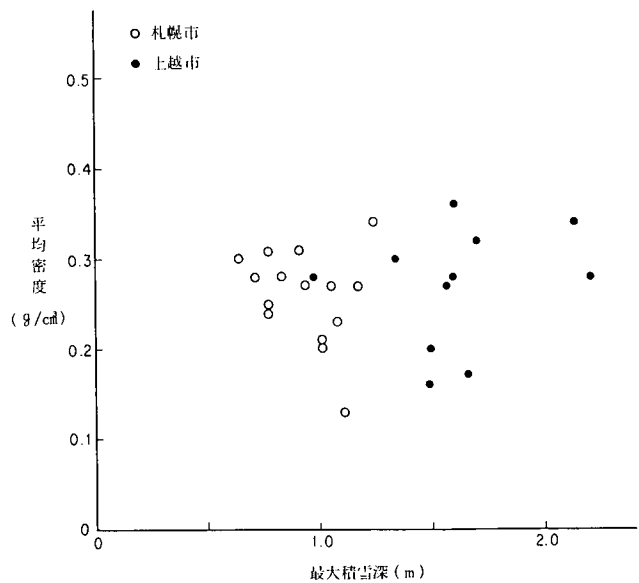


図3-3 最大積雪深時の平均密度

3.1.4 最大積雪深と最大積雪重量時積雪深

最大積雪深と最大積雪重量時の積雪深との関係を示すと図3-5となる。

この図から、両者の分布は直線的な比例関係にあるといえる。この関係を回帰式で求めると

$$Y = 7.1 + 0.765X \quad r = 0.936 \quad (3-1)$$

但し、 X ：最大積雪深 (cm)

Y ：最大積雪重量時積雪深 (cm)

となり、最大積雪深における平均的な収縮率から、最大積雪重量時の積雪深を推察することができる。

3.1.5 積雪重量の推定の検討

積雪重量を把握することは雪圧実験における各項目と対比する上で非常に重要なことである。積雪重量を知るには、積雪を直接スノーサンプラーで採取して計測する方法と、過去の実験データから統計的に推定する方法とがある。前者の場合、短期間の測定値では、毎冬期特有の気象変動等、不確定な要素が多いため、その地域の確定した特性値として扱うには信頼性に欠けることが懸念される。後者の統計的に推定する方法としては、積算暖度と密度の関係による推定と実測値をもとにした積雪

深と積雪重量との関係による推定とがあるが、これまでの測定の結果、情報の入手しやすい最大積雪深からの推定方法の方が信頼性が高く、かつ簡易であることがわかっている。図3-6は、これまでの最大積雪深と最大積雪重量の測定結果を示したものであり、その関係はよい相関を示しているといえる。

図3-6に示した最大積雪深と最大積雪重量の関係を回帰式で求めると

$$Y = -0.73 + 3.68X \quad r = 0.968 \quad (3-2)$$

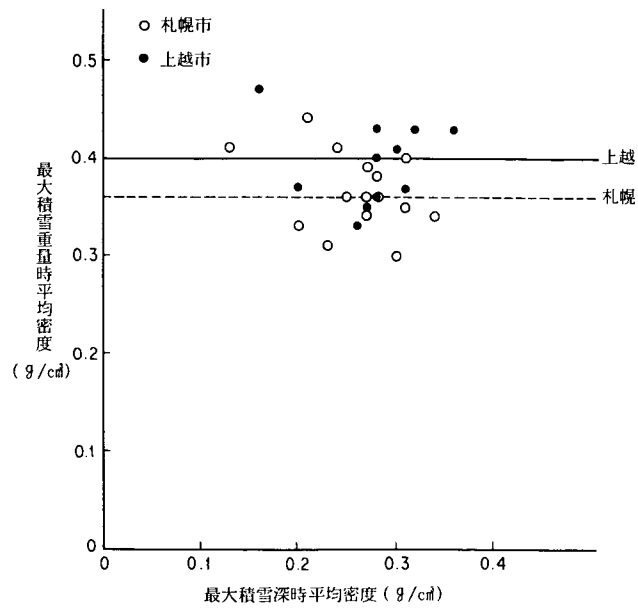


図3-4 最大積雪深時と最大積雪重量時の密度変化

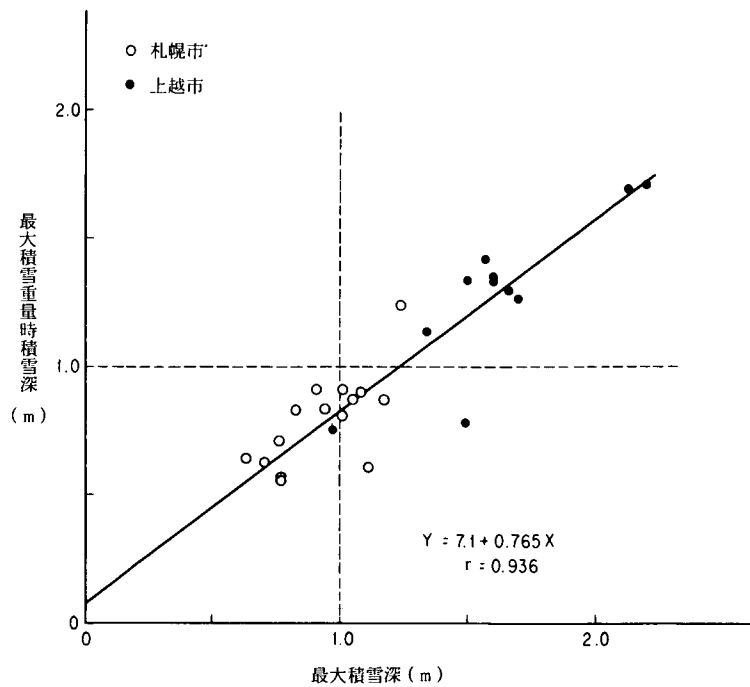


図3-5 最大積雪深と最大積雪重量時積雪深の関係

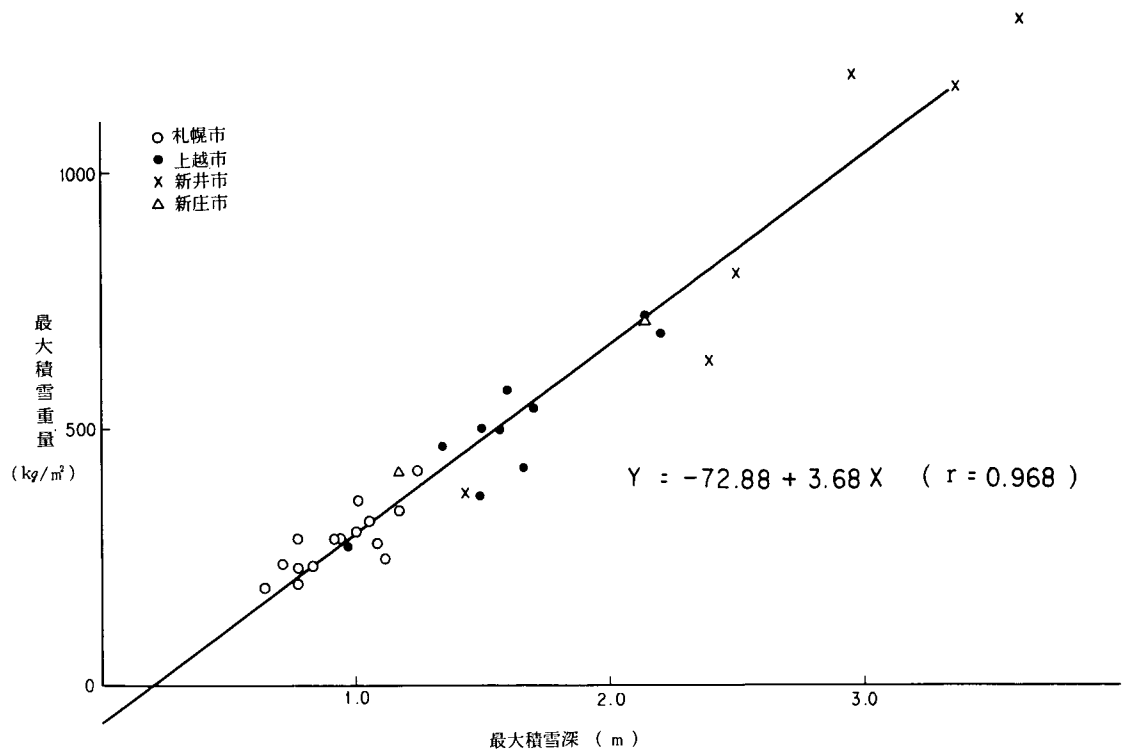


図3-6 最大積雪深と最大積雪重量との関係

但し、 X : 最大積雪深 (m) Y : 最大積雪重量推定値 (kg/m²)

となる。一般に積雪深は一冬ごとに異なるため、気象官庁およびその他の官公庁、小学校等の積雪観測資料をもとに、何ヶ年かの再現確率積雪深(6章参照)を求め、上記式に代入した平均的積雪重量の推定値は、比較的信頼できるといってよいであろう。この積雪重量から沈降力を求めれば、必要な強度を有する構造物を比較検討することができる。

3.1.6 積雪沈降力の作用形状

積雪層構成の断面観測によると、雪中の桁等に作用する沈降力の範囲は写真3-1,2に示す形状のものが多く、それも降雪パターン等の影響により毎冬期ごとに形状が異なる。

写真3-1は、作用する沈降力が大きい場合の一般的な褶曲層の形状を示したものであり、写真3-2は桁より下の積雪層が硬いため褶曲層が地面まで下がらず、このため作用する沈降力が小さい例である。これらの例について作用した沈降力を示すと図3-7となり、実線の上部の沈降力の大きい場合と下部の小さい場合に分布し、上述の説明を裏付けていることがわかる。



写真3-1 沈降力の大きい褶曲層の例

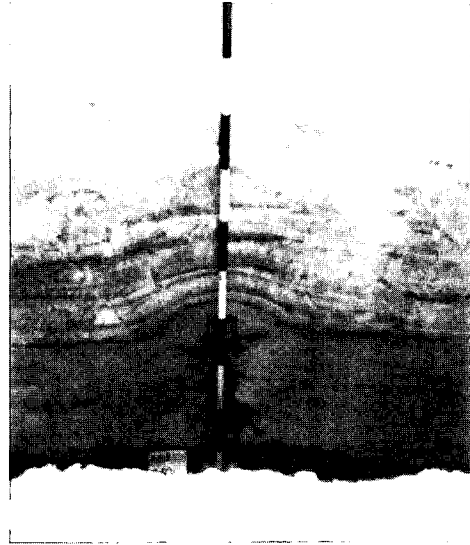


写真3-2 沈降力の小さい褶曲層の例

3.1.7 積雪の斜面流動

防護柵の破損事例（2章参照）でも述べたように、斜面上に積った雪は重力によって下方へ移動する。この積雪全体が斜面上を移動することをグライドといい、その移動量をグライド量という。その場合、堆雪中に存在する防護柵のような雪中構造物に作用する力をグライド力という。また積雪内部で生じる移動変位をクリープという（資料-1参照）。雪崩の場合、この移動現象を抑止するために、防御工として斜面に杭等を設置し、グライドに対する抵抗を与えて積雪の移動を抑止しているが、防護柵が設置されている程度の比較的低い盛土の斜面には、通常

このような対策はとられていないのでグライドが発生しやすい。グライド量と作用する力（グライド力）との関係については、現在のところ実態が把握されていないが、経験的には斜面勾配が急なほど、また斜面長が長くなればなるほど、グライド力も大きくなると考えられる。図3-8は路肩に設置した支柱（高さ3m）に作用したグライド力とその時のグライド量との関係を示したものである。この例をみると、グライド量は時系列的にみれば連日にわたって平均的に移動しているといえるが、作用した水平力の変動量と時間経過との関係はつかめない。この変動は、支柱が路肩という路面と盛土の勾配変曲点に設置されているため、積雪内部のクラック発生によって作用力が一時的に解放され、鋸歯状になるものと思われる。また作用位置からみると、図3-8の説明図に示す下部の水平力 P_2 は相当大きい値が計測されている。この支柱の設置位置は路肩と法面の境界点であり、グライド力が一番大きく発生する位置と考えられる。

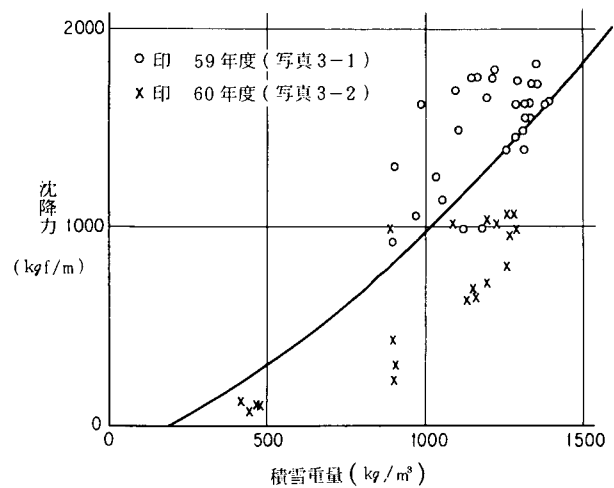


図3-7 降雪パターンによる沈降力のかかり方

境界点より離れた路面内に柱を設置することにすれば、防護柵支柱にはグライドの影響が小さくなるものと思われる。このグライドの量と作用力の定量的評価については斜面勾配、斜面長、植生等の関係を含め、今後の調査研究が必要である。

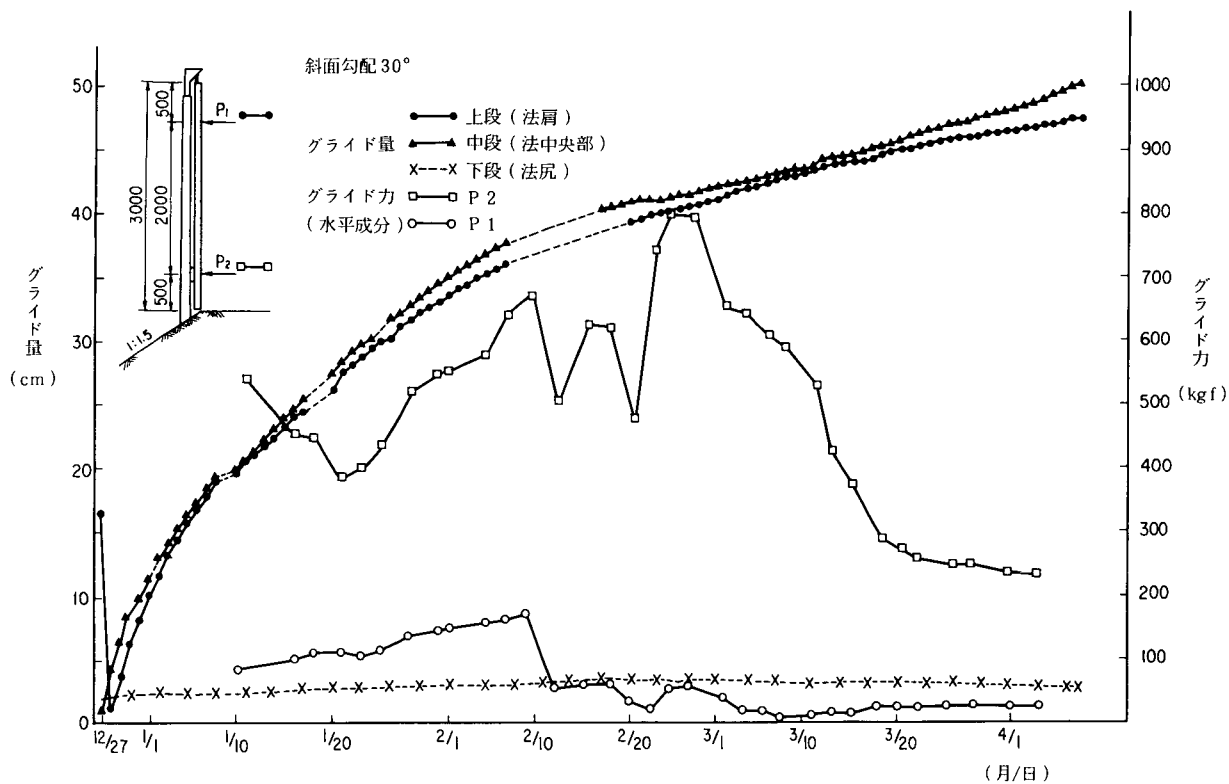


図3-8 グライド力の測定例

3.1.8 自然積雪と堆雪の沈降力の一例

道路除雪が行なわれない山岳道路や冬期間閉鎖される道路では積雪による雪圧が、また、除雪が行なわれる道路では除雪車によって路側に積み上げられた堆雪による雪圧が防護柵に作用する。この積雪と堆雪による沈降力の経時変化の一例を示すと図3-9のようになる。(堆雪は除雪方法によって形状、深さ等が異なるので例を示すにとどめた。)この図に示すように、深さの上では自然積雪と堆雪はさほど差はないが、一般に路側の堆雪は舗装等による熱吸収が良く、自然積雪より早く融雪することが多い。次に積雪沈降力をみると自然積雪の方が一般的に大きい。この原因としては、路側堆積の場合、積雪後の除雪、表面が汚れているための日射による融雪、自動車通過時に起こる風等による融雪が降雪のたびに繰り返えられるため、雪の自重による圧密がされにくいと考えられる。

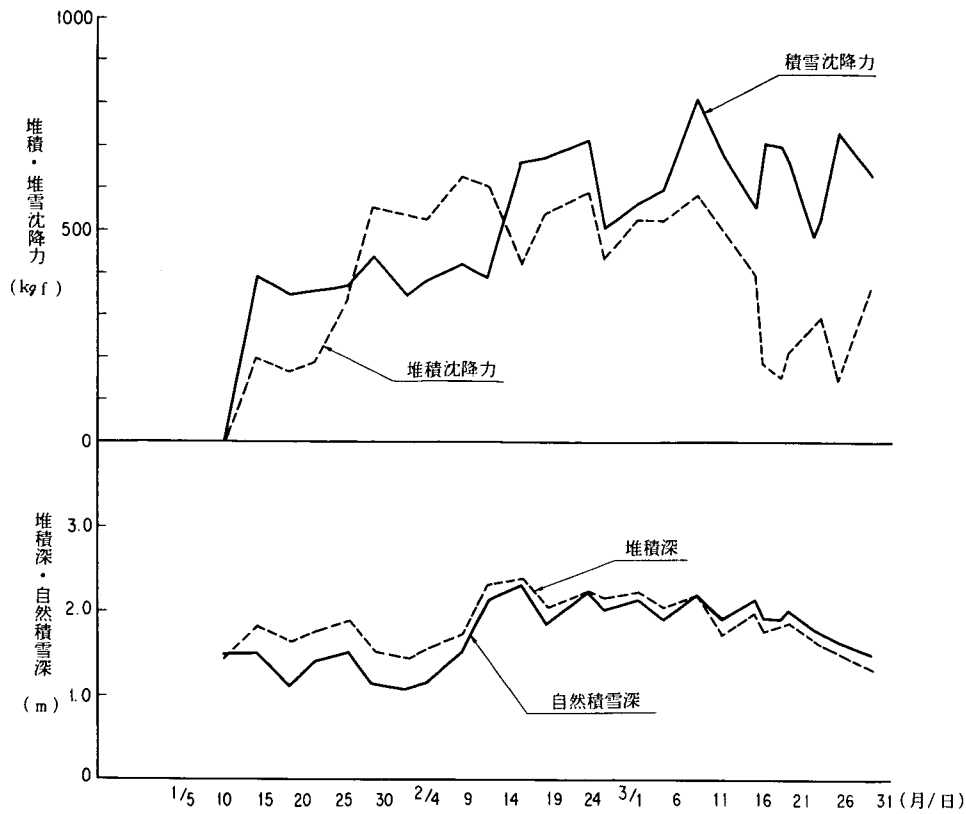


図3-9 自然積雪と堆雪が標準尺に作用した沈降力の変化

3.2 沈降力に関する実験

防護柵の積雪による破損・変形の形態としては、除雪機械による点的な破損と沈降力による連続的な破損とがある。防護柵は通常、路側に連続して設置されるものであるため、積雪による破損の場合には線としての破損となってしまう。この原因が積雪沈降力であることは経験的に知られていたが、その大きさと特徴は把握されていなかった。耐雪型防護柵を開発するに際しては、基礎資料として、まず構造物に作用する沈降力の実態を把握することが必要であるので、この調査を行なった。以下に、この調査結果について述べる。

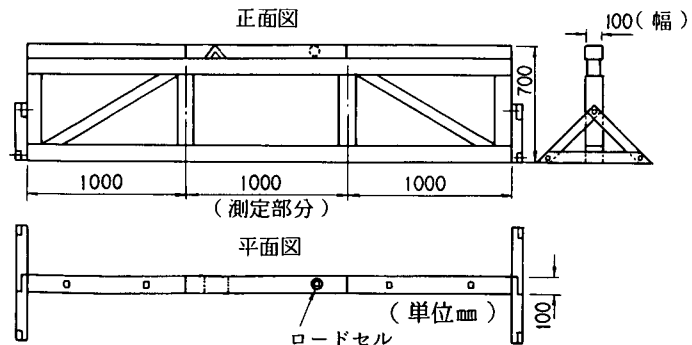


図3-10 標準尺構造図

3.2.1 標準尺に作用する沈降力

標準尺(図3-10)に作用する沈降力と積雪重量との関係については、東北・北陸両地建の実測値を含め、

昭和55年度～58年度までの測定結果（図3-11）から特性を相関式で表し（3-3式），研究報告書（その3）の防護柵選定方法の計算根拠とした。

さらに59年度の沈降力データを加えると，図中に示す式のようになる。

図3-11からもわかるように，59年度データは以前のデータよりも沈降力が大きく作用している。また，60年度の豪雪時には根雪時の降雪が集中降雪として1.2 mとなったが，その後約20日間は天候がおだや

かであったため根雪の積雪深が約60cmに収縮し，密度を増して安定した。このため，設置高70cmの標準尺に対しては下層が安定して収縮せず，以後の積雪深の増加でも沈降力があまり増加しないという特異な降雪パターンとなったため，図にはプロットしていない。

これらの調査結果から，高さ70cm，受圧幅10cmの標準尺に作用する沈降力は積雪重量と高い相関関係がみられ，その相関式は次式で示されるとみてよいであろう。

$$Y = -103.7 + 0.699X + 0.000396 X^2 \quad (3-3)$$

但し， X ：積雪重量 (kg/m^2) Y ：標準尺に作用する沈降力 (kgf/m)

3.2.2 桁間隔と作用する沈降力との関係

車両用防護柵は路側と中央分離帯とに設置されるが，ここでは中央分離帯に設置する場合の両面ブロックアウトタイプの防護柵を想定し，平行に置かれた2本の桁に作用する沈降力の特性から最適な防護柵のビーム間隔を検討するために，測定を行なったものである。この調査は昭和58，59年度の2冬期にわたって，図3-12に示すようなモデル桁を用いて観測を行なった。この結果をまとめると図3-13，表3-1のようになる。これによると1.5 mの間隔で設置した桁の一本当りに作用する沈降力は，単独で設置した標準尺の沈降力とほとんど変わらないことがわかる。この結果から桁を1.5 m以上も離れた場合には，それぞれの桁は単独の場合と同じ沈降力を受け，隣接桁との分担の影響がなくなることがわかる。逆に設置間隔を狭くとした場合，たとえば0.5 mの場合には標準尺と比較すると，1本の桁にかかる力は約30%ほど減少している。また，最小桁間隔10cm（受圧巾10cmの桁を2本密着して並べた時）の場合には，単独の場合に比べ約43%の減少となっている。これらの実験結果から，標準尺に対する設置間隔別の沈降力比を推定するための式（3-4）を求めた。

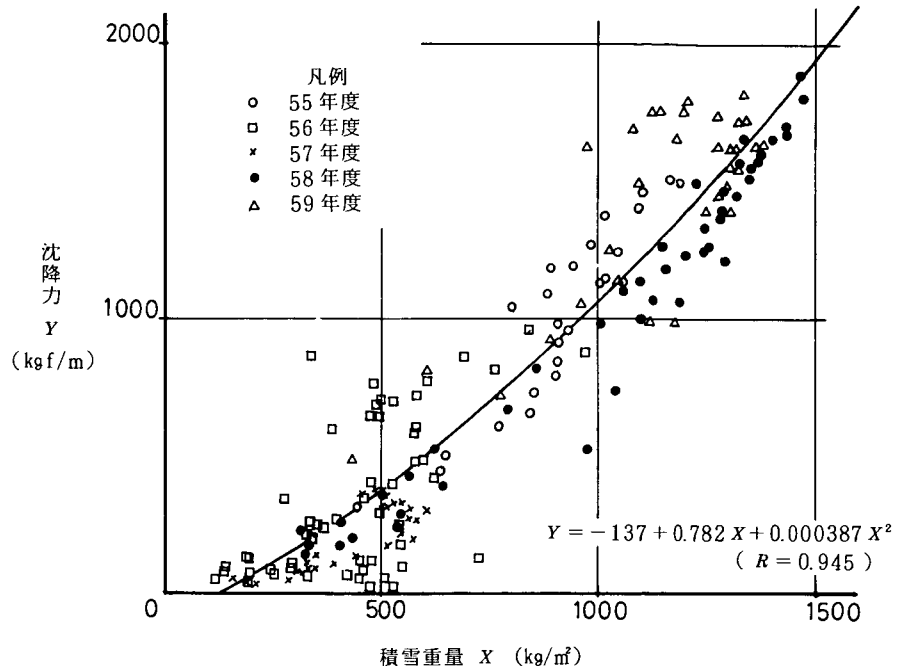


図3-11 積雪重量と沈降力の相関（東北，北陸地建も含む）

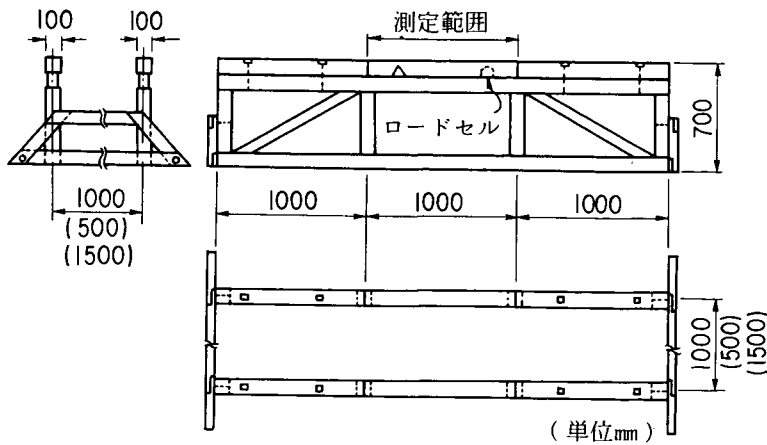


図 3 - 12 設置間隔別の実験装置

表 3 - 1 設置間隔と沈降力比

	設 置 間 隔			
	0.1 m	0.5	1.0	1.5
沈降力比	0.574	0.708	0.860	1.009
σ	0.026	0.066	0.116	0.103

(58~60年度)

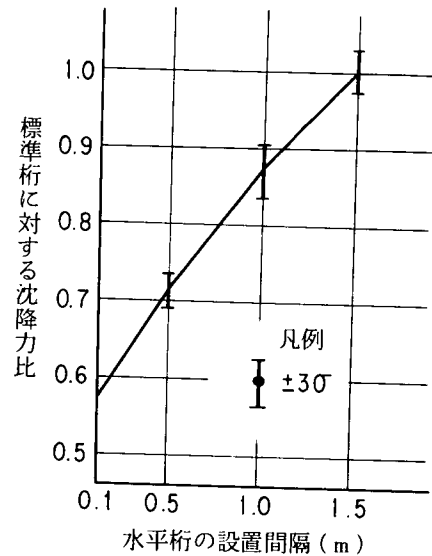


図 3 - 13 水平桁の設置間隔と沈降力特性

$$P = 0.536 + 0.373 L - 0.0336 L^2 \quad (0.1 < L < 1.5 \text{ の範囲}) \quad (3-4)$$

ここで、 P : 沈降力比 L : 設置間隔 (m)

以上の結果から、桁を並列に設置するような構造物、例えば分離帯用防護柵や公園内の遊歩道等に設ける歩行者用柵などは、この沈降力の減少特性を参考に計画を進めることができる。

3.2.3 設置高さとの関係

設置高さの異なる水平桁に作用する沈降力は、各々に作用する最大値の発生起日および沈降力とともに異なることが考えられる。これを調べるため、水平桁として $\phi 50$ mmの鋼管を用い、高さ40, 70, 100, 130 cmの4ケースについて沈降力を測定した³⁾。その結果、毎年各々に作用した沈降力の最大値は表3-

2に示すとおりである。これをみると、58年度のように沈降力があまり変わらない場合もあるが、設置高70 cmの場合が他の高さに比べ大きく作用しているといえる。

表3-2 作用した最大沈降力(kgf)と発生日

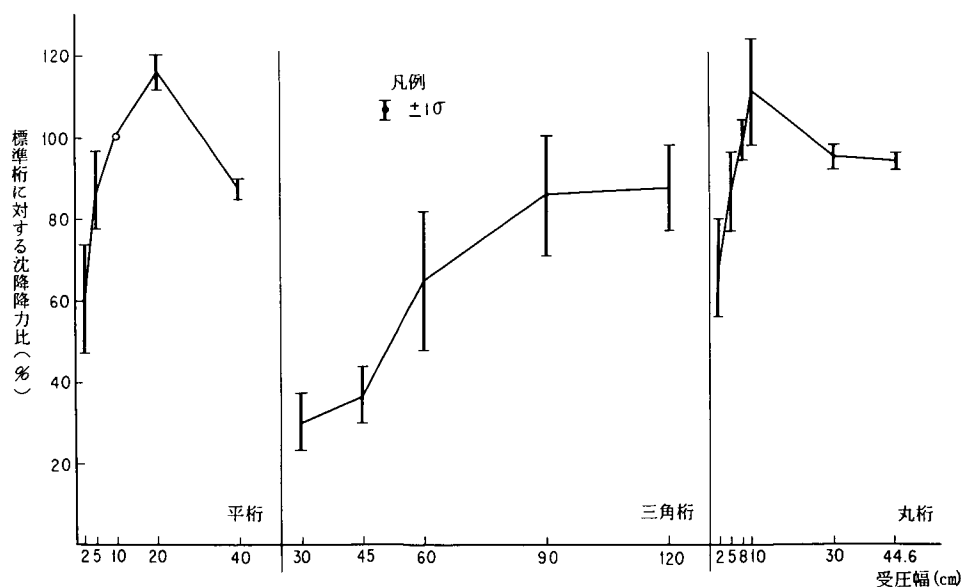
年 度	40		70		100		130	
	月・日	沈降力	月・日	沈降力	月・日	沈降力	月・日	沈降力
57	3.13	877.4	3.11	1089.9	3.10	757.7	3.9	950.5
58	3.8	401.3	3.10	292.6	2.28	176.7	2.16	134.6
59	2.27	972.4	3.31	1620.3	3.24	1174.2	3.24	1224.0

また、沈降力は設置高さ別に均等に分布するものでなく、桁より上の積雪深、降雪回数等の影響が大きく左右するものと思われる。このように設置高さ別の沈降力は、冬期の積雪および気象状況によっても異なるが、最大値が発生する位置は地表より約70cm前後の高さといえそうである。

これより、現行防護柵の設置高さは正に沈降力が最も大きく作用する位置にあるといえよう。

3.2.4 受圧面形状と沈降力

標準尺と各種の天端形状をもつ水平桁に作用する沈降力との関係を図3-14、表3-3に示す。この結果より、標準尺より大きな沈降力が作用する水平桁の形状寸法は、平桁で受圧巾200 mm、丸桁では100 mmである。逆に最も値の小さい形状は三角桁で、頂角が30°の場合であるが、三角桁はいずれの頂角でも標準尺に比べ



水平桁の条件	受圧幅 (cm)	25	10	20	40	10	25	10	30	44.6	
	高さ (cm)	70				70			70		
	頂部角度 (三角形, 度)					30	45	60	90	120	
	桁形状	平桁				三角桁			丸桁		

図3-14 各種水平桁と沈降力特性

表 3 - 3 各種水平桁と沈降力比 (昭和 57 ~ 60 年度)

桁形状 寸法	平 桁					三 角 桁					丸 桁					
	20 cm	50	100	200	300	30°	45°	60°	70°	120°	20 cm φ	50	80	100	300	446
沈降力比	0.599	0.882	1.000	1.132	1.057	0.307	0.334	0.645	0.860	0.870	0.671	0.822	0.713		1.100	0.945
σ	0.143	0.085	0	0.011	0.200	0.077	0.080	0.173	0.132	0.110	0.121	0.085	0.072	0.195	0.102	0.015

値が小さく、120°でも13%の減少となっている。また標準偏差 σ をみると、毎年の降雪の状況によって沈降力が一様に作用するものでないためか、何れの形状についてもバラツキが大きい。

3.2.5 支柱 (ポール) に作用する雪圧 (水平力)

盛土斜面の法肩・法尻、あるいは切土斜面の法尻等に設置された標識柱や立入防止柵等の構造物は、斜面上に積った雪のグライドにより大きな水平力を受け、その被害は毎年数多い。本調査はこれらの点を考慮し、積雪深、設置位置 (法面の長さ、勾配、高さ) および施設の種類等による雪圧特性を解明し、安全施設の設計基準作成のための基礎資料を得ることを目的として実施した。

この調査は図 3 - 15 に示すように、盛土斜面の法肩および法尻部分 (法肩、法尻より $L = 0\text{ cm}, 75\text{ cm}, 150\text{ cm}$ の地点に設置) および盛土高さ別 (高さ $H = 1.0\text{ m}, 2.0\text{ m}, 3.5\text{ m}$) に測定用杭 (受圧幅 10 cm , 高さ 3 m) を設置し、それに作用する雪圧の測定を行った。

雪圧測定は杭前面の受圧板 (材質 鉄板、幅 10 cm , 高さ 3 m) の下に取り付けた荷重計 (1 ケース当たり 3 から 6 個取り付けている) により行なった。その結果の一例として、支柱に作用した水平力の経時変化を図 3 - 16, 17 に示した。この例から水平力の特徴として、法肩部では積雪の移動によって雪が剪断される時に水平力が解放されるため、鋸歯状の作用形状を示すことがわかる。逆に、法尻部では積雪が移動することによって水平力が除々に増加する傾向にあることがわかる。

この測定結果から、59年度、60年度の 2 ケ年の各々の水平力の最大値を盛土高さ別にまとめると図 3 - 18 のようになる。これによると、 10 cm 幅の杭に作用する水平力は盛土高さが大きくなるほど増大し、 3.5 m の場合には 1 m の盛土斜面に比べ 2 倍以上の水平力が作用していることがわかる。法肩と法尻に設置した場合の水平力についてはあまり顕著な差は見られない。支柱に作用する水平力については、今後データ収集によって更にその特性を把握する必要がある。

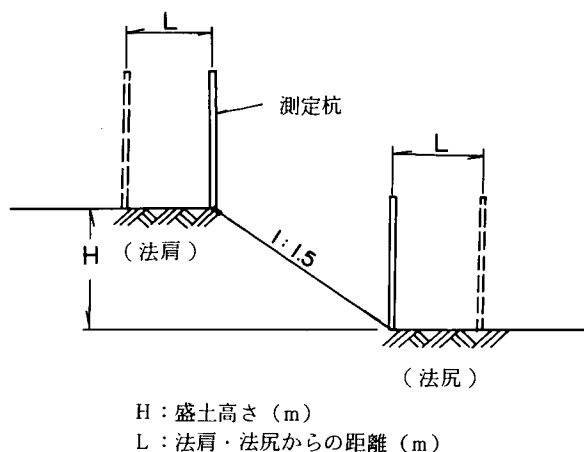


図 3 - 15 雪圧測定柱の設置概要

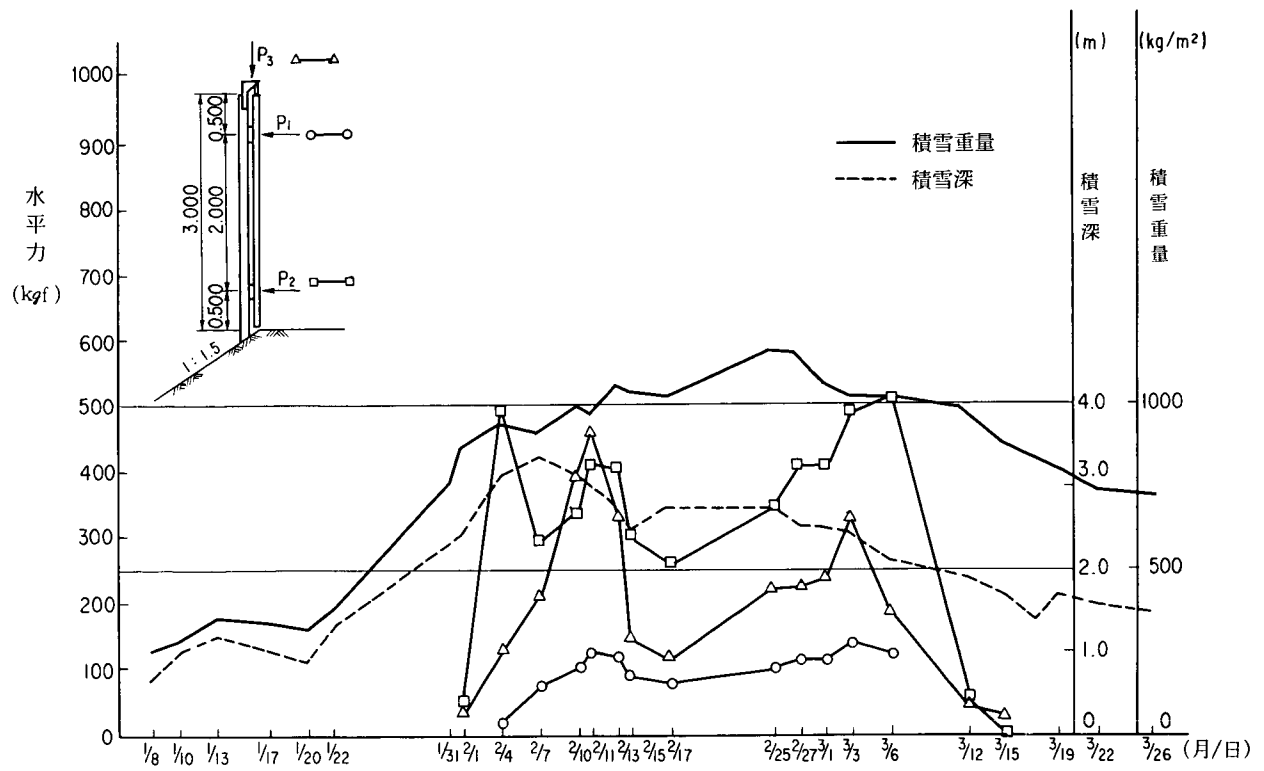


図3-16 法肩部に作用する水平力の変化

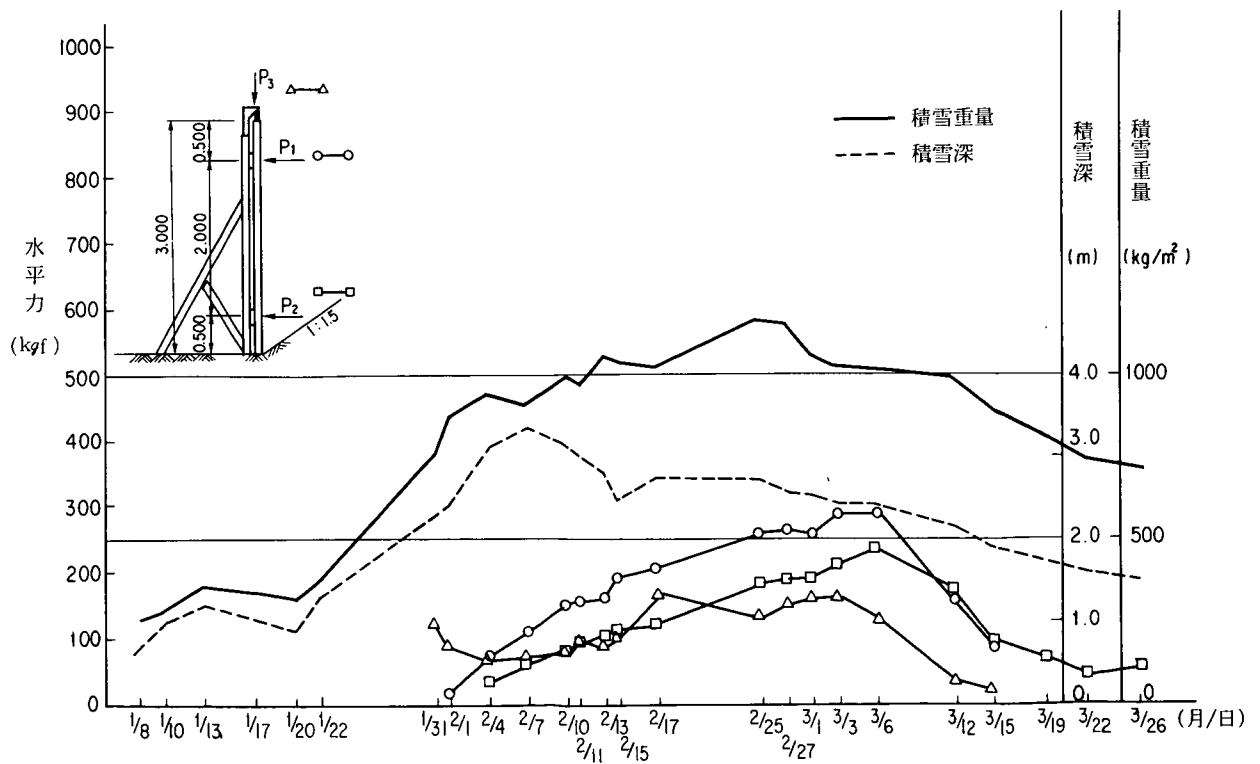


図3-17 法尻部に作用する水平力の変化

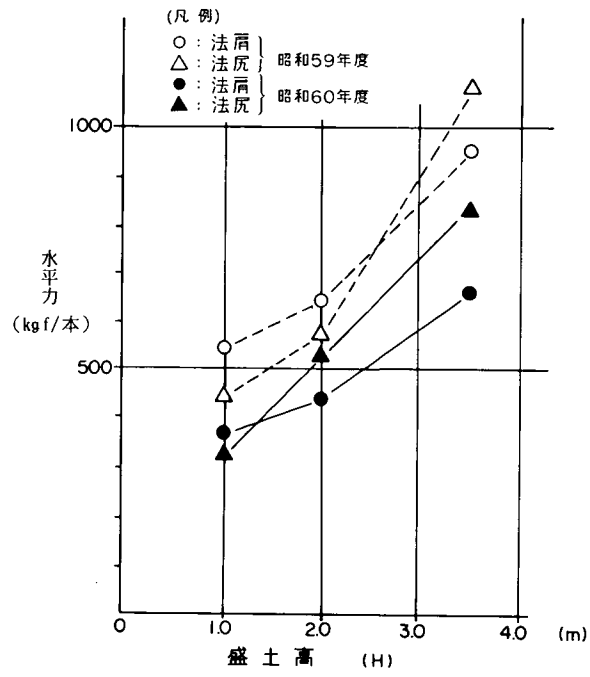


図3-18 盛土高さ別の水平力

第4章 防護柵に作用する雪圧

4.1 雪圧測定実験の概要

雪圧測定に用いたガードレール、ガードケーブルは市販されているA種（「防護柵設置要綱」参照）とし、雪圧による破損を防止するためにブラケットをつけない構造で、かつ基礎はコンクリート根巻にした。これら供試体の各機関の設置状況を表4-1に示す。また各供試体（各機関とも同じものを使用）の寸法等は図4-1(a)~(c)に示した。なお、設置位置は盛土上の法肩より0.3, 1.0, 2.0 mとした。測定項目は雪圧測定と積雪深観測を定期的実施し、沈降力と積雪重量等の特性を調査した。

表4-1 各機関における供試体の種類と設置基数

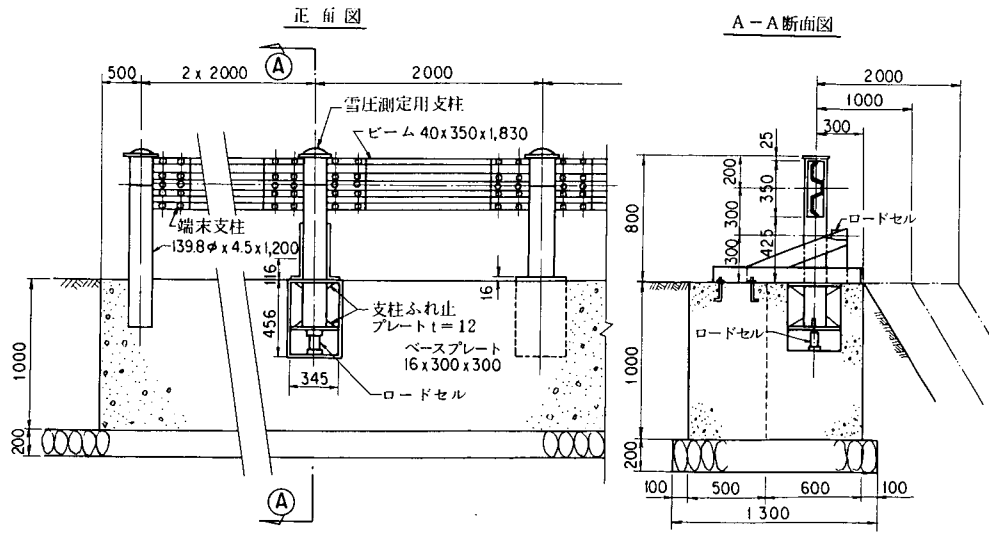
実験施設の 種類 機関	ガードレール	ガードケーブル	ガードパイプ	標準尺	ボックスビーム
土研（民間も含む）	3	3	※1) 1	※1) 1	※2) 1
東北地建	※1) 2	※1) 2	※1) 1	※2) 1	
北陸地建	2	2	※1) 1	※2) 1	

※1)は55年度のみ実施

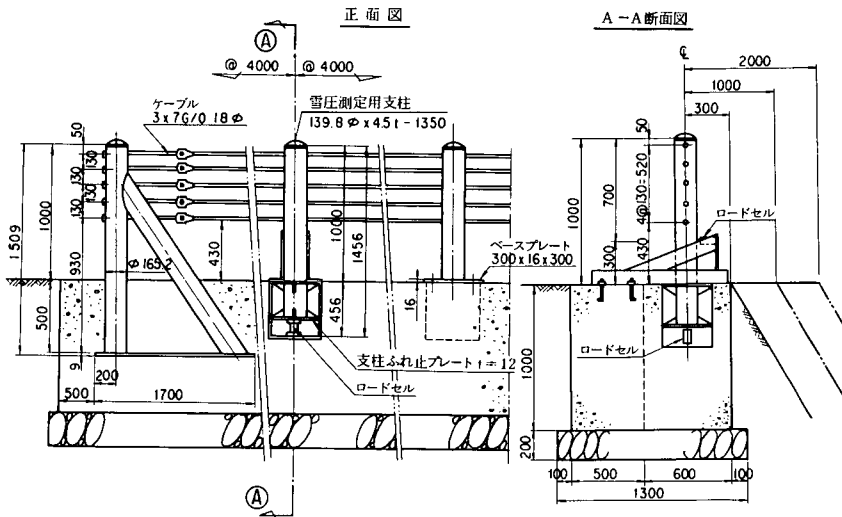
※2)は56年度のみ実施

4.2 防護柵に作用する沈降力

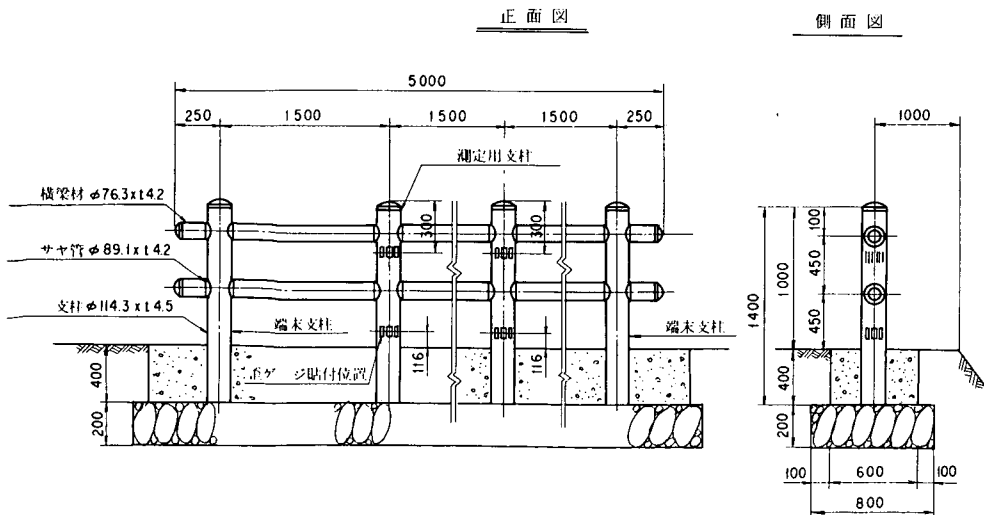
ガードレール（以下GRと記す）、ガードケーブル（以下GCと記す）に作用する沈降力と積雪重量との関係を図4-2に示した。これによればGR、GCにかかる沈降力は積雪重量が増すことによって、ともに放物線状の傾向で上昇し、両者にあまり差がないことがわかる。受圧面の幅についてのみ考えると、GRが31mmであるのに対しGCは18mmであるから、GRに作用する沈降力は当然大きくなるものと考えられるが、GCの場合は最上段のケーブルの他に下段のケーブルにも作用するため沈降力は増大し、結果的にはGRと同程度になったものと考えられる。



(a) ガードレール



(b) ガードケーブル



(c) ガードパイプ

図4-1 防護柵の供試体

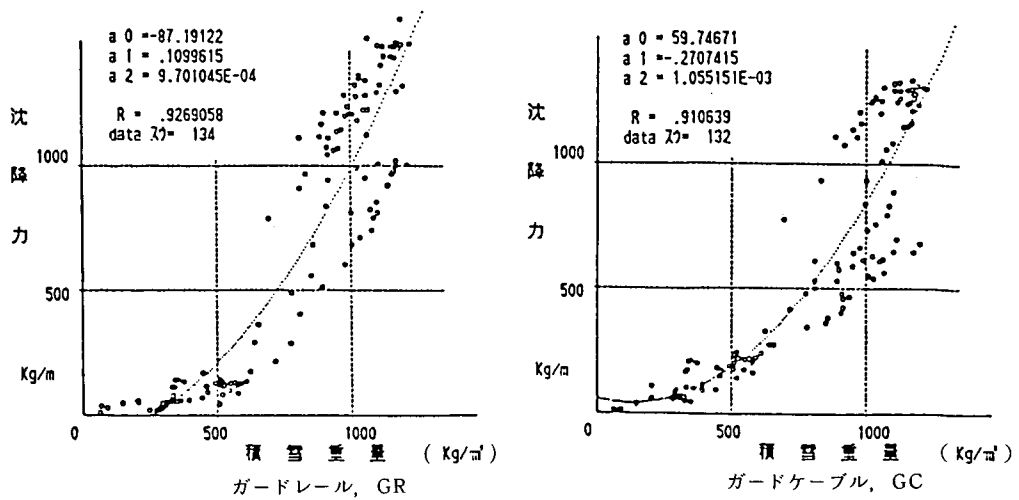


図4-2 積雪重量と沈降力

4.3 標準尺と防護柵に作用する沈降力の関係

防護柵に作用する沈降力と標準尺に作用する沈降力との関係をまとめると図4-3のようになる。この防護柵は法肩より2m離れた位置に設置したもので、法の影響を受けずに沈降力が最大になることを期待した位置である。この結果より、鉛直方向に対する受圧面形状の点でGC、GRは標準尺の10cm巾より小さいものの、沈降力はGRでは15%の減少、GCでは28%減少にとどまっている。これはGRではビームのコルゲーション、GCではケーブル本数等の影響によるものと考えられる。この傾向を最小二乗法で求めると図4-3に示す一次式(相関係数 $R = 0.94$)で表わされ、標準尺の沈降力を求めることによって、防護柵に作用している沈降力を推定することができる。また、回帰式が原点を通過していないのは、設置高さの違いによる初期測定値のズレ等が影響しているものと考えられる。

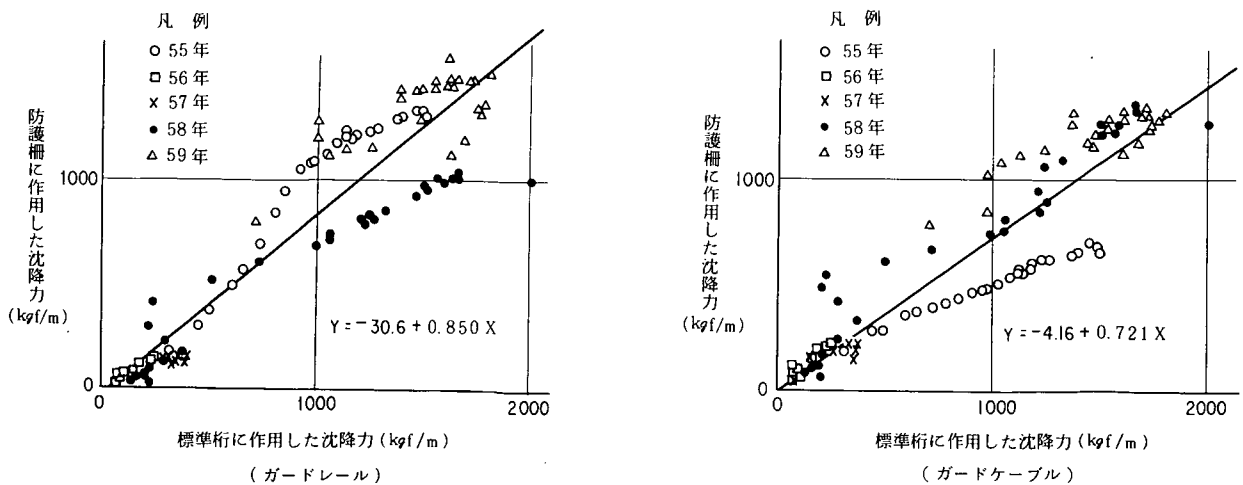
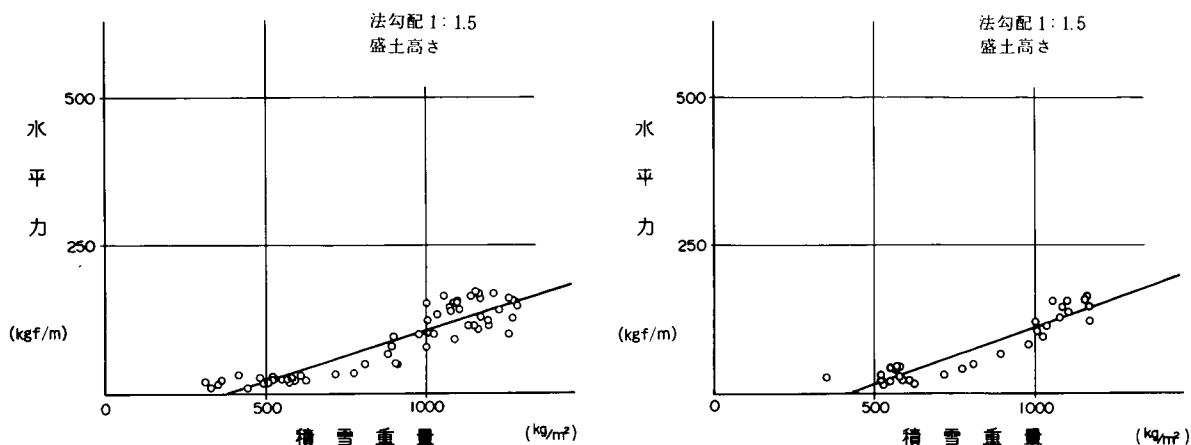


図4-3 標準尺と防護柵の沈降力

4.4 防護柵に作用する水平力

防護柵には鉛直方向の沈降力のみでなく、法肩に設置される場合には第3章3.1.7で述べたように、雪のグライドによって水平力（グライド力）が作用する。この水平力を積雪重量との関係で示すと図4-4となる。図に示した防護柵の設置位置はグライドの影響を受けやすい法肩より30cmの位置で、実際の道路に設置される状況に近く、最大の水平力がかかると思われる位置である。



ガードレールの水平力（法肩より 0.3 m）

ガードケーブルの水平力（法肩より 0.3 m）

図4-4 防護柵に作用する水平力

この図よりGRとGCに作用する水平力を比較すると、防護柵の種類による水平力の大きさには大差ないものと考えられるが、各々の支柱間隔が設置基準により異なっており、一般的にGCの方が支間が長いいため、GRより大きな水平力が支柱には作用していることになる。この防護柵の支柱に作用する水平力の近似式を(4-1)、(4-2)式の形で求めた。

GRの場合

$$P \approx 0.17 l \cdot W - 63 \quad (4-1)$$

GCの場合

$$P \approx 0.19 l \cdot W - 81 \quad (4-2)$$

但し、 P ：支柱一本に作用する水平力(kgf)

W ：積雪重量(kg/m²)

l ：防護柵の支間(m)

この式によれば、耐雪型防護柵の基礎構造を検討するに際し、積雪重量が1,000 kg/m²の地域では支間4 mのGRの場合、支柱1本に作用する水平力は約620 kgfとして基礎工の設計を検討することができる。

4.5 防護柵に作用する力の方向

図4-5に防護柵に作用する水平力と沈降力の合力の作用方向の一例を示した。この図より、合力の作用方向はGRでは約89°,GCでは約73°であり、沈降力の方が水平力より大きくなっていることが推測される。

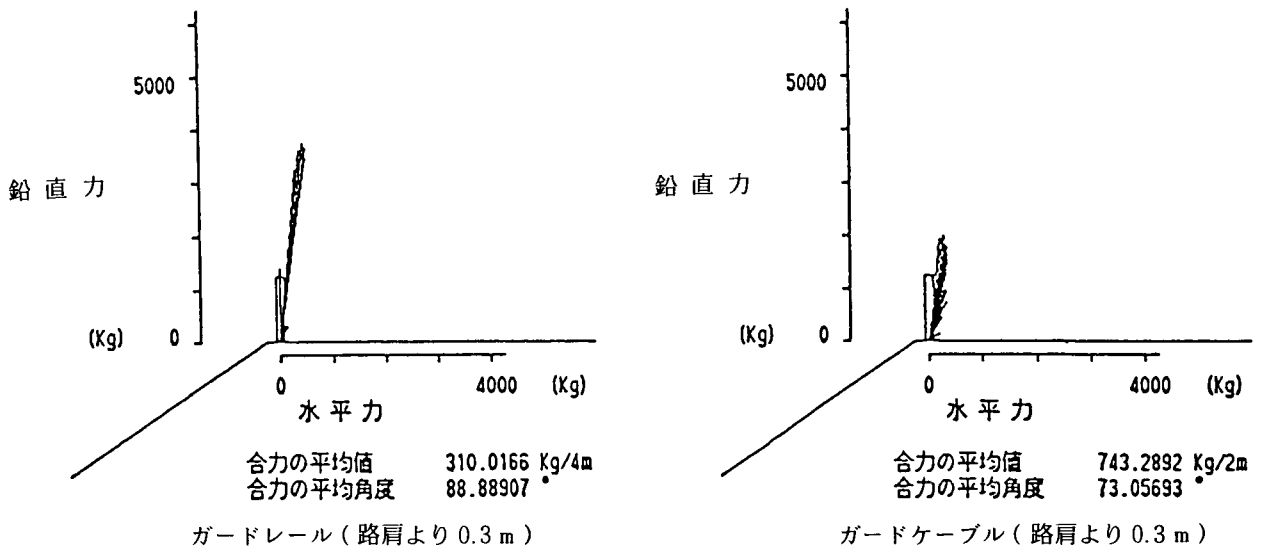


図4-5 防護柵に作用する力の作用方向例

4.6 除雪時に作用する動的水平力

4.6.1 実験概要

本実験は、積雪が10~15cmになった状態で、除雪作業によって防護柵の支柱に作用する水平力を測定するもので、その測定方法および状況を図4-6、写真4-1に示す。

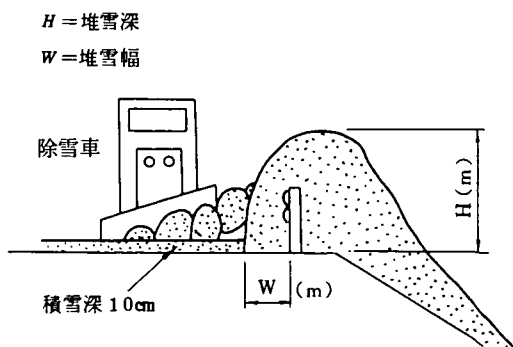


図4-6 実験方法



写真4-1 除雪トラックによる実験風景

4.6.2 支柱に作用する水平力

ガードレールとガードケーブルの支柱に作用する動的水平力を測定するために、除雪グレーダと除雪トラックの2機種を用い、堆雪深(H)および堆雪幅(W)等の諸条件に基づいて、防護柵の支柱にかかる水平力を測定した。その結果を表4-2に示す。また、実験中、最も堆雪深の大きい(H=1.4m)場合における堆雪幅と水平力との関係を図4-7に示す。この動的実験の結果から次のことがいえよう。

表4-2 支柱にかかる水平力測定結果

除雪車種	防護柵種別	H		0(m)	1.3(m)	1.4(m)
		W	ザラメ雪	しまり雪	新雪	
除雪 グレーダ (10km/H)	ガードレール	0(m)	253(kg)	207(kg)	282(kg)	
		0.5	-	130	48	
		1.0	-	※130	0	
	ガードケーブル	0	109	67	209	
		0.5	-	79	43	
		1.0	-	53	0	
除雪 トラック (20km/H)	ガードケール	0	327	130	260	
		0.5	-	96	144	
		1.0	-	0	0	
	ガードケーブル	0	364	71	410	
		0.5	-	71	55	
		1.0	-	0	0	

※の値は除雪グレーダが雪堤に直接接した場合の値である。

注) H=0mとは、支柱の法肩側の雪を完全に取り除き、支柱が堆雪による静的荷重を受けない状態をいう。

(1) 堆雪幅(W)が広くなればなるほど水平力は何れのケースでも減少する傾向がみられる。

(2) 堆雪幅(W)が1.0m程度になると除雪車の影響は全くみられない。

(3) 堆雪深(H)と水平力の関係は、データ数が少ないため(H=1.3mと1.4mのみ)あまり明瞭に現われていないが、Hの増大に伴って水平力も増加する傾向がみられる。(表4-2)

(4) 動的水平力は沈降力に較べ小さな値である。したがって、幅員が広い幹線道路における除雪では、除雪車による水平力はあまり問題とはならないと考えられる。しかし、幅員の狭い道路の除雪作業では、除雪ドーザやVプラウ付除雪トラック等が使用されるケースも多い。この場合の除雪は、堆雪幅(W)=0mの状態に近いものであり、さらに路面上に降り積った多量の雪を一度に押し出すような除雪作業の場合には、大きな水平力がかかるものと思われる。

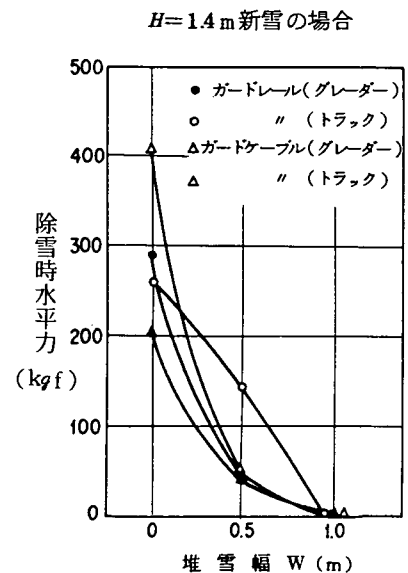


図4-7 堆雪幅と水平力との関係

第5章 耐雪型防護柵の強度

5.1 防護柵部材の強度実験

5.1.1 実験概要

雪による防護柵の被害を軽減させるには、作用する雪荷重を少なくすることや部材の強度を上げることが必要である。そこで、ガードレール、ガードケーブル、ガードパイプ、ボックスビームの標準部材、それらの補強等を行なった改良部材に関し、その部材強度や防護柵としての強度を確認するため静的載荷実験を実施した。

防護柵の強度を大きくする場合、まず配慮すべきことは防護柵本来の機能を損ってはならないということである。従って、検討に当たっては、できるだけ基本構造は変更せず、必要最小限の補強・改良で対処することにした。一方、防護柵の雪害実態からブラケット類が強度上の弱点になっていることが明らかなので、部材の検討は防護柵の機能に与える影響が少ないと思われるブラケットの改良に主眼を置き、ビーム材（レール・パイプ）とケーブルおよび支柱は標準構造のままとした。

部材の強度や機能の他に、加工性・施工性・経済性等から最終的に耐雪防護柵の部材として実用化を考えながら、載荷実験は下記の通り段階を経て3回行なった。各実験の詳細報告は、研究報告書（その1）（その2）に述べてあるので、ここでは、その概要と結果について以下に示す。

実験期間	場所
昭和56年9月1日～11日	建設省土木研究所内
昭和57年11月27日～12月1日	
昭和58年11月5日～11日	

5.1.2 実験方法

この実験は、実際の設置状況とできるだけ同じ状態に設置された供試体に、万能試験機により水平・鉛直方向から載荷し、その荷重と変位を測定したものである。

(1) 供試体

1) 標準部材

標準部材の供試体および載荷力の方向を表5-1に、部材の形状寸法を図5-1～5-6に示す。

表 5 - 1 供試体および載荷種類

形式	供 試 体		載荷力の方向			備 考
	名 称	種別	鉛直	水平圧縮	水平引張	
ガードレール	ビーム	A	○	○		A・C種ビームの載荷スパンは2 m B種ビームの載荷スパンは2 mと4 m
		B	○	○		
		C	○	○		
	ブラケット	共通	○	○	○	
ガードケーブル	ブラケット	A	○	○		A種は上段ブラケットのみ
		B				
		C	○	○		
	ケーブル取付金具	共通	○		○	
ガードパイプ	ブラケット	A	○	○	○	継手ブラケットのみ
		B	○	○	○	
		C				
ボックスビーム	パドル	A	○			板厚6 mmも実施
		B	○			

表中 ○ は実験実施項目を示す。

(2) 改良部材

試作した改良型のブラケット類を以下に示す。

① ガードレール

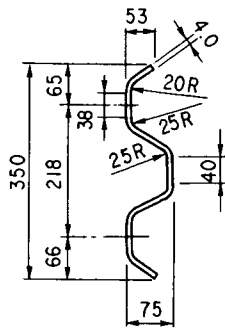
供試体および載荷力の方向を表 5 - 2 に示し、図 5 - 7 に概要図を示す。

表 5 - 2 ガードレール改良型ブラケット供試体および載荷力の方向

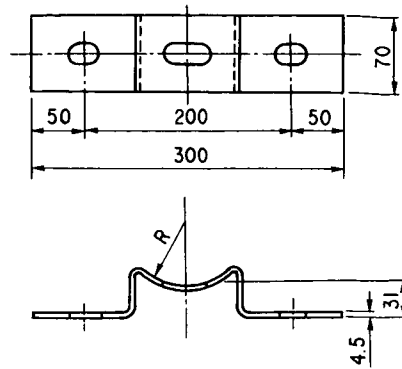
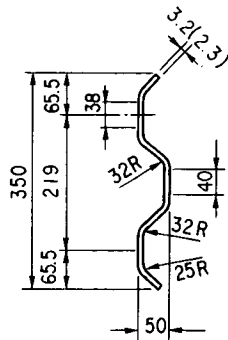
供試体 記号	載荷力の方向				特 徴
	鉛直	水平圧縮		水平 引張	
		中心	偏心		
I - 1	○	○	○		I 体物ブラケットで、張出し部を増やし、ビームとの取付箇所を多くした。 ビーム回転防止機能 I - 1, 2 は $t=6.0$, I - 3 は $t=4.5, 6.0$ mm
I - 2	○	○	○		
I - 3	○	○	○	○	
II - 1	○	○	○		上部補強材と III 型ブラケットの 2 部材で構成 ビーム回転防止・上部補強機能 II 型は $t=6.0$ mm
II - 2	○	○	○		
II - 3	○	○	○		
III - 1	○	○	○	○	標準型の板厚と幅を大きくした。 $t=6.0$ mm

表中 ○ は実験を実施したものを示す。

A種用ビーム



B種用 (C種用) ビーム

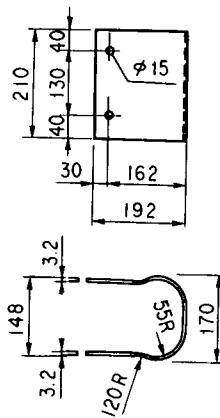


Rは支柱外径

図5-1 ガードレールビーム

図5-2 ガードレールブラケット

A種用 (上段)



C種用

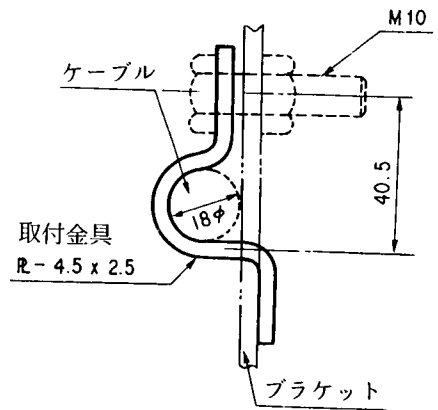
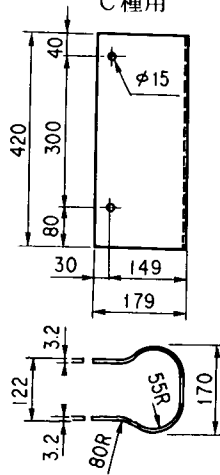


図5-3 ガードケーブルブラケット

図5-4 ケーブル取付金具

A種 $t = 4.5, 6.0$

B種 $t = 4.5, 6.0$

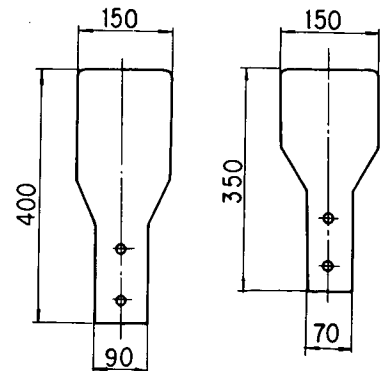
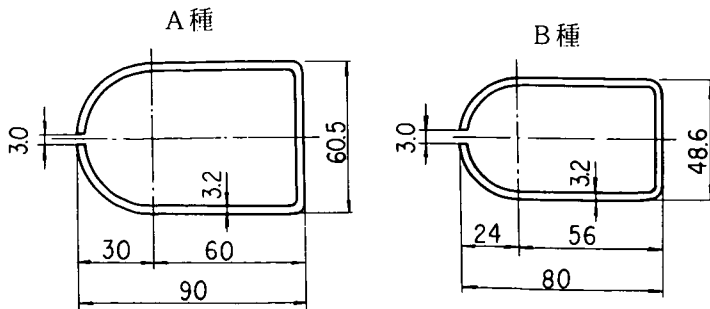


図5-5 ガードパイプ継手用ブラケット

図5-6 ボックスビームパドル

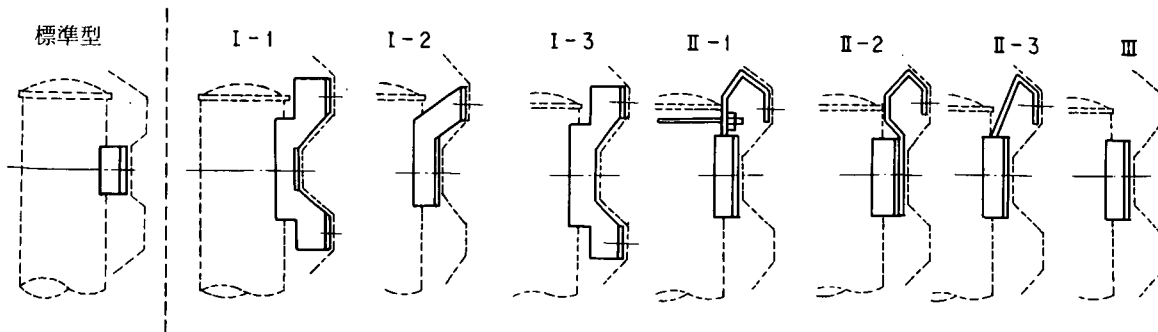


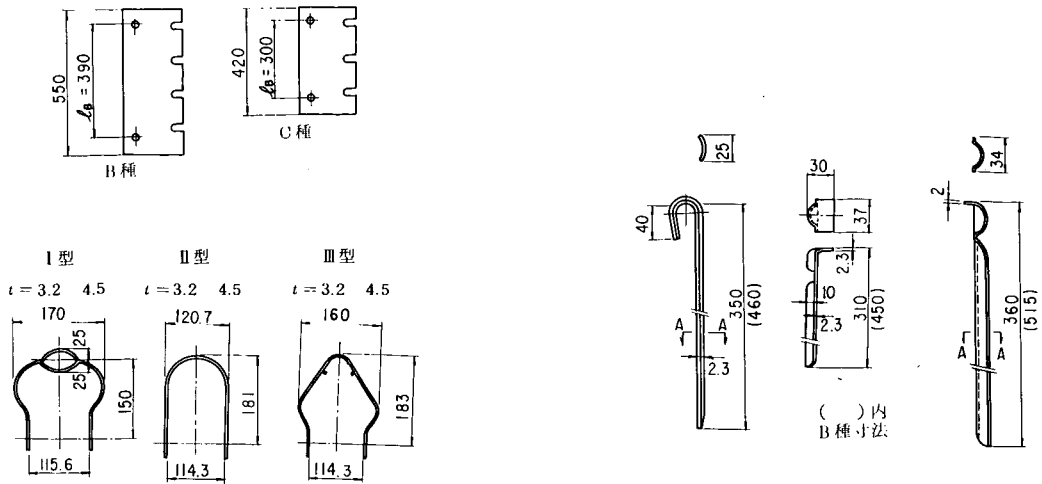
図5-7 ガードレール改良型ブラケット概要図

② ガードケーブル

供試体および載荷力の方向を表5-3に、形状を図5-8~5-9に示す。

表5-3 ガードケーブル改良型ブラケット供試体および載荷力の方向

供試体記号	種別	載荷力の方向			特 徴	備 考
		鉛直 圧縮	水 平			
			圧縮	引張		
C 特	C	○	○		標準型の板厚 t を上げた	$t = 4.5 \text{ mm}$
I	B	○	○		取付金具を使わず、ケーブルをブラケット中に納めるピン式 A・B・S種でも一体化構造	$t = 3.2 \text{ mm}$
	C	○	○			
	ケーブル係止ピン	共通		○		
II	B	○	○		一部板厚及びボルト強度を上げた。 I・II・III・IVとも断面が異なる。	$t = 3.2 \text{ mm}$ $t = 3.2, 4.5 \text{ mm}$
	C	○	○			
	ケーブル係止ピン	共通		○		
III	B	○	○			$t = 3.2 \text{ mm}$ $t = 4.5 \text{ mm}$
	C	○	○			
	ケーブル係止ピン	共通		○		
IV	A	○	○			$t = 4.5 \text{ mm}$ B・C種ボルト 6 T
	B	○	○			
	C	○	○			
	S	○	○			



ピン式ブラケット

ケーブル係止ピン

図5-8 ガードケーブルピン式ブラケットI・II・III型及びケーブル係止ピン

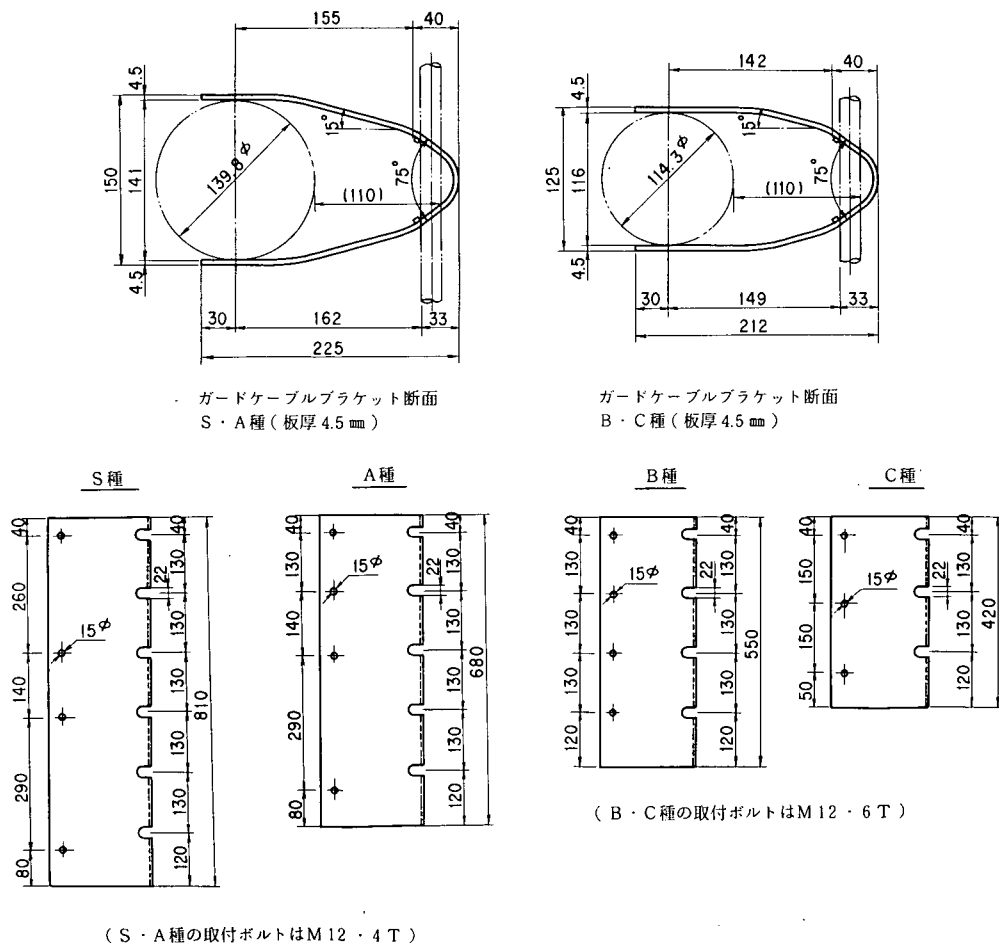


図5-9 ガードケーブルピン式ブラケットIV型

③ ガードパイプ

供試体および載荷力の方向を表5-4に、概要図を図5-10に示す。

表5-4 ガードパイプ改良型ブラケット供試体および載荷力の方向

供試体 記号	種別	載荷力の方向			特 徴	備 考
		鉛直 圧縮	水 圧縮	平 引張		
I	A	○	○	○	継手用ブラケットの内側に補強材（スペーサー）を挿入， I型，II型の違いは，インナー スリーブ側の形状差（アール カットの有無）である。	
	B	○	○			
	A特	A'	○	○		
II	A	○	○	○		
III	A	○	○	○	ブラケットの外側下部に補強材（支持金具）を取付けた。 補強材の形状の違いによりIII， IV，V型とした。	
	B	○	○			
	A特	A'	○	○		
IV	A	○	○	○		
V	B	○	○	○		検証実験に用いた。

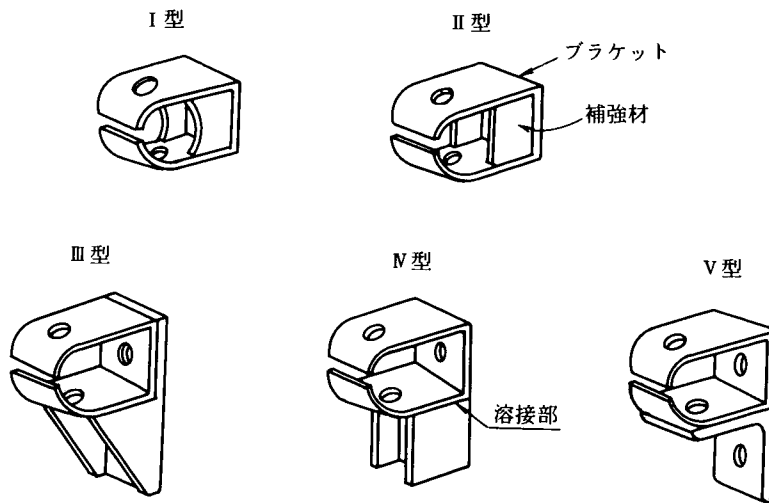


図5-10 ガードパイプ改良型ブラケット概要図

(2) 載荷方法

実験は供試体を治具に取付け、実際の設置状態に近似させ、圧縮型万能材料試験機により載荷し、供試体の変位を測定した。載荷範囲は原則として破断荷重までとし、載荷方向は鉛直と水平とした。供試体は原則として一条件3体とし、図5-11～図5-18に載荷方法の一般図を示す。

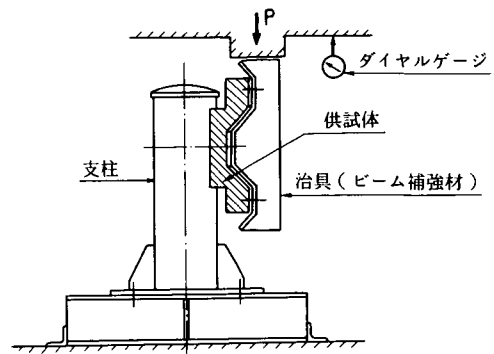
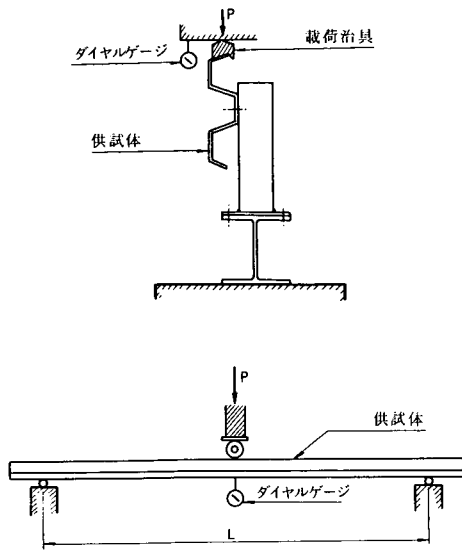


図5-11 ガードレールビームの鉛直載荷方法 図5-12 ガードレールブラケットの鉛直載荷方法

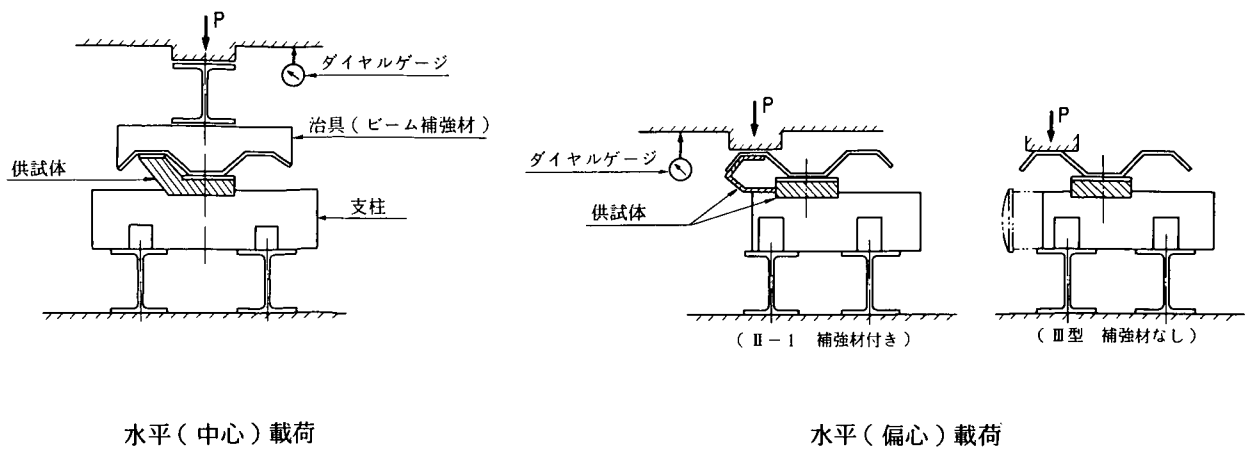


図5-13 ガードレールブラケットの水平載荷方法

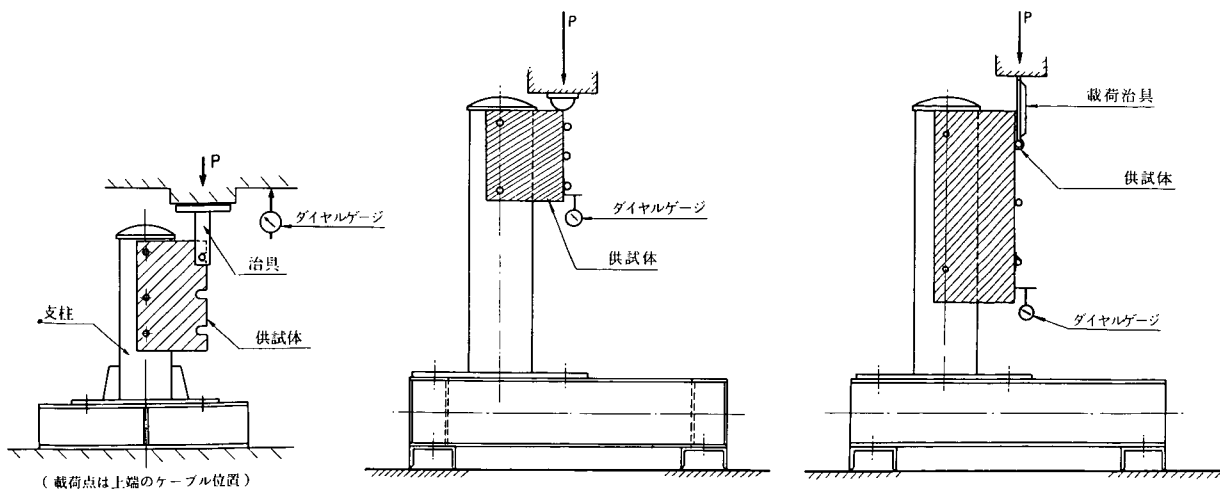


図5-14 ガードケーブルブラケットの鉛直載荷方法

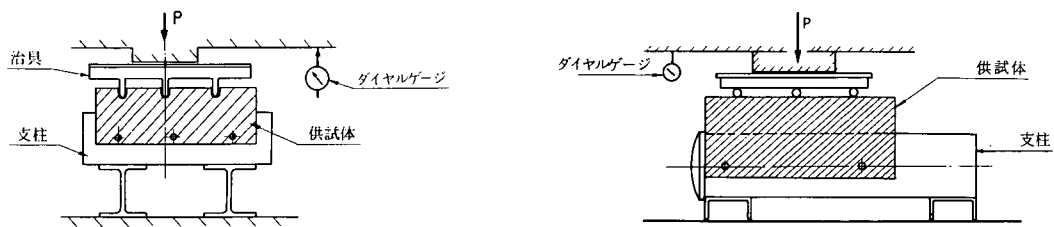


図5-15 ガードケーブルブラケットの水平圧縮載荷方法 (載荷位置はケーブル位置
載荷点数はケーブル本数と同じ)

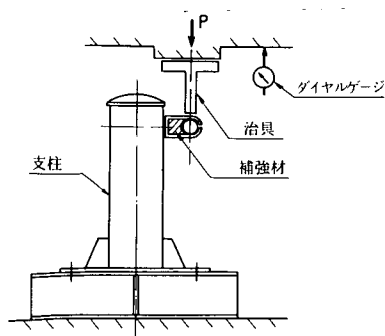


図5-16 ガードパイプ
ブラケットの鉛直載荷方法

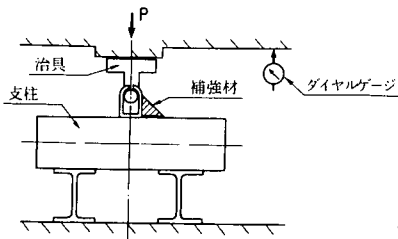


図5-17 ガードパイプ
ブラケットの水平載荷方法

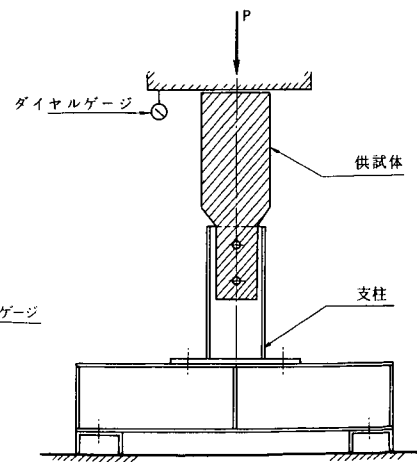


図5-18 ボックスビーム
パドルの鉛直載荷方法

5.1.3 実験結果および考察

すでに示したとおり、供試体ならびに載荷方法とも種類は多いが、ここでは、雪圧の方向から特に重要である鉛直および水平圧縮に対する実験結果について述べる。ここでいう許容荷重とは、実験結果から求めた降伏荷重か、ボルト等の破断荷重の50%のいずれか小さい方の値としている。

(1) ガードレール

ビームおよびブラケットの実験から得られた解析結果を表5-5, 6に示す。

表5-5 ガードレールビーム実験結果

供試体名称および板厚 (mm)			許容荷重		備 考
			鉛直 (tf/m)	水平 (tf)	
ビーム	A	4.0	2.5	2.3	実験は2mスパンで実施 鉛直荷重に対する許容荷 重は変形状態から求めた。
	B	3.2	1.9	1.1	
	C	2.3	1.3	0.7	

表5-6 ガードレールブラケット実験結果

供試体名称および板厚 (mm)			許容荷重 (tf)			備 考		
			鉛 直	水平・中心圧縮	水平・偏心圧縮			
ブラケット (種別は 共通)	標準型	4.5	1.0(1)	2.3 (1)	*1 0.2(1)	*1 III型の値と同様と推定		
	I	1	6.0	5.0(5)	10以上(4.3)	2.5(12.5)		
		2	6.0	5.0(5)	10以上(4.3)	2.0(10)		
		3	4.5	*2 1.1(1.1)	5.0 (2.2)	- -		*2 第1回目の実験値
			6.0	*2 2.5(2.5)	10以上(4.3)	2.0(10)		
	II	1	6.0	2.2(2.2)	8.5 (3.7)	- -		
		2	6.0	7.0(7)	10以上(4.3)	3.5(17.5)		
		3	6.0	5.0(5)	10以上(4.3)	4.0(20)		
	III			7.0(7)	10以上(4.3)	3.0(15)		
				6.0(6)	10以上(4.3)	0.2(1)		

水平偏心圧縮にB種ビームを用いた。

()内は標準型との比率を示す。

ビームの鉛直許容荷重については、載荷時のビーム上部の変形状態からm当りの荷重を求めた。

支柱間隔を2mとすると、ビームの鉛直許容荷重は1.3~2.5tf/mであり、ビームを支えるブラケットの強度は、ビームの鉛直許容荷重に見合うことが経済的であると思われる。

図5-19に2回実施したブラケット鉛直載荷の荷重変位を示す。この変位曲線によると、標準型ブラケットの板厚を4.5mmから6.0mmに厚くし、幅も大きくすることは非常に効果があり、特に鉛直許容荷重は標準型の5倍以上が期待できる。また、ビームとの取付けボルトを増やすことも効果的であるが、ブラケットの腕(ビーム取付け部をいう)部分の幅を大きくする必要があるので、必ずしも経済的であるとはいえない。

(第1回目)

(第2回目)

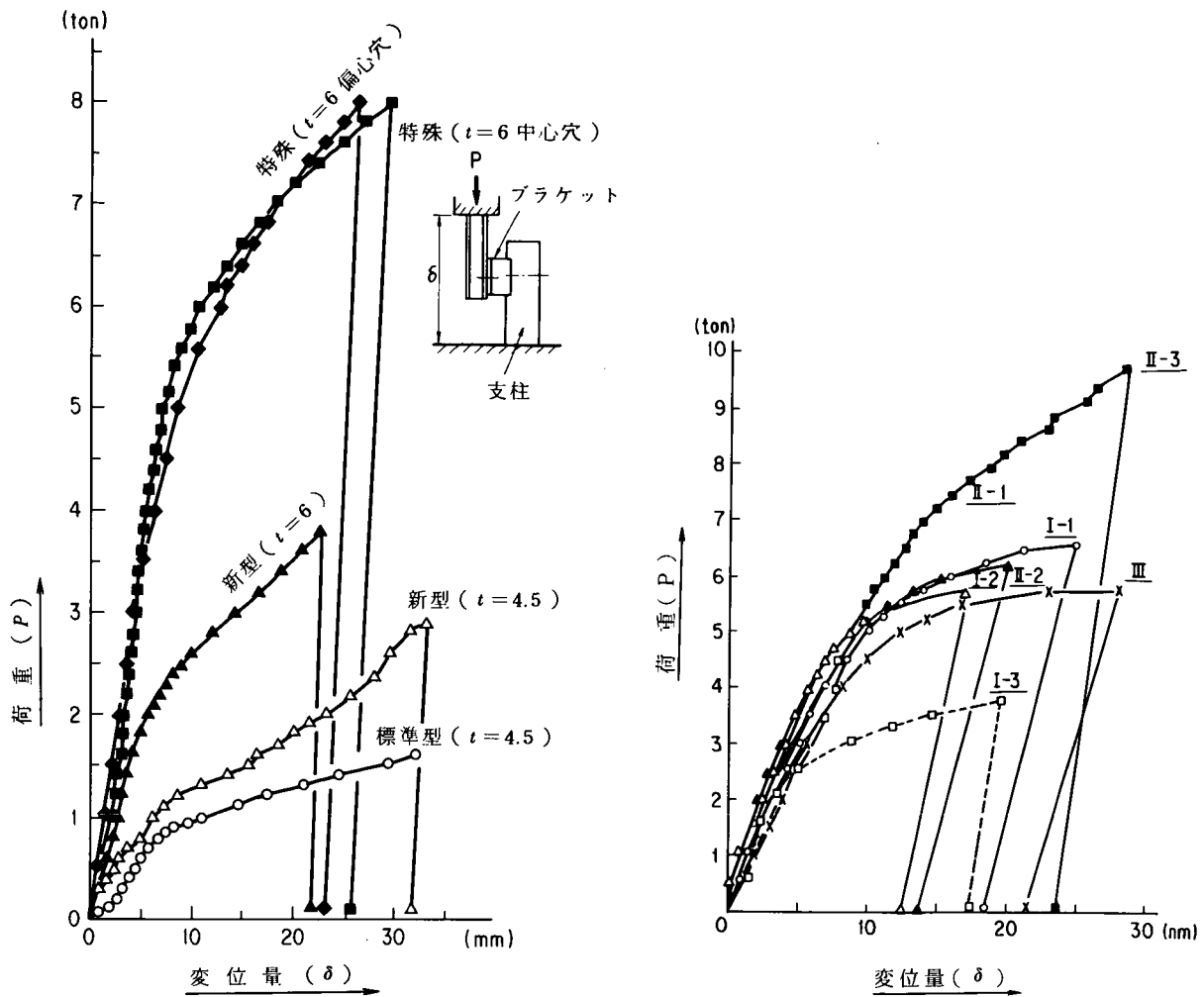


図5-19 ガードレールブラケット鉛直載荷荷重変位曲線図

また、水平方向のグライド力等を考慮し、水平偏心圧縮荷重を行なっているが、上部を押えないⅢ型ではビームだけの抵抗になるため、許容荷重は非常に小さい。ビームに大きなねじれが加わると予想される所では、Ⅰ・Ⅱ型のように、ビーム上部も補強することが必要と思われる。

改良型Ⅰ・Ⅱ・Ⅲに関しては、Ⅱ型形状が比較的効果的である。Ⅱ型ではⅡ-1、3の方がⅡ-2より鉛直許容荷重が大きく現われている。Ⅱ-1、3の場合、鉛直荷重が支柱方向へ有効に分散した結果と考えられる。

ブラケットの鉛直許容荷重はビームの耐力からみて、5~6 tf あれば良いと考えられる。Ⅲ型と上部補強材で構成されるⅡ型ブラケットは、雪圧の大きさや方向を考慮して使い分けができるので、経済的であると思われる。

取付けボルトM16およびM20は、最大8 tf の鉛直載荷荷重に対しても変形は認められなかった。支柱とブラケットのボルト穴部には支圧による変形が見られたが、特に問題はないと考えられる。

改良型ブラケットの水平許容荷重は、標準型より4倍以上大きくなっているが、ブラケットの剛性が

ガードレール全体へ及ぼす影響は少ないと思われる。

(2) ガードケーブル

ブラケット類の載荷実験から得られた解析結果の総括を表5-7に示す。

表5-7 ガードケーブルブラケット実験結果

供試体名称及寸法(mm) 板厚×長さ		取付ボ ルト体	許容荷重(tf)		備 考		
			鉛直	水平圧縮			
ケーブル取付金具	4.5	—	1.9	—	下側取付けボルト破断		
標準型 ブラケット	A	3.2×210	2	3.0	1.4	AはA種上段ブラケットを用いた。	
	C	3.2×420	2	3.3	2.8		
	C特	4.5×420	2	3.3	4.5		
改良型 ピン式 ブラケット	I	B	3.2×550	2	4.7	3.6	()内は標準型C種と同等と推定 ※ ボルトは強度6T, (外は4T) IV型のボルト間隔は, 標準型の間隔 と同一である。 注) 許容荷重は, ボルト等の破断荷重の 50%あるいは降伏荷重のいずれか小さ い値とした。 ブラケット取付けボルトは全てM12 供試体名称のA・B・C・Sは設置要綱の種 別と対応している。
		C	3.2×420	2	(3.3)	3.0	
	II	B	3.2×550	2	5.0	6.5	
		C	3.2×420	2	(3.3)	7.0	
			4.5×420	2	(3.3)	5.8	
	III	B	3.2×550	2	5.5	3.0	
		C	4.5×420	2	(3.3)	5.3	
	IV	A	4.5×680	4	5.9	8.8	
		B	4.5×550	※ 4	7.0	15.4	
		C	4.5×420	※ 2	6.4	7.7	
S		4.5×810	4	6.2	8.8		

図5-20はブラケット鉛直載荷の荷重変位線図である。

標準型ブラケットも鉛直荷重に対しては有利な構造と思われるが、実験結果においては、それほど高い耐力は現われていない。この理由としては、ブラケット取付けボルト(M12)のせん断破壊によってブラケット耐力が決まることが多いため、A種上段ブラケットが最も低い鉛直許容荷重となるためである。ブラケットに鉛直荷重が作用すると、取付けボルトには図5-21に示す反力Rがボルトせん断力として作用するため、ボルト間隔 l_B が狭いほど、また偏心量 e が大きいほど、せん断力は大きくなる。標準型ブラケットの場合、A種、B種は上下に分割されたブラケットであるため、ボルト間隔が狭くなり、鉛直荷重に対しては不利な構造となる。また、標準型は取付金具を用いてブラケット前面にケーブルを係止しているが、鉛直荷重に対しては標準型ブラケットより耐力がさらに低く、改良が必要であろう。取付金具の板厚・幅・ボルトを大きくすることは可能であるが、構造上、大幅に耐力を向上させることは難しく、また施工性や前面突出量などの問題がある。

ピン式ブラケットI、II、IIIの鉛直許容荷重は、B種で約5tf、C種で3.3tfと考えられる。I、II、III型はいずれも2本のボルトで取付けられているため、ボルト間隔の差が許容荷重の違いに現われたと考えられる。B種の場合、標準型と比較すると、分割タイプから1体物にした効果は認められるが、取付けボルト

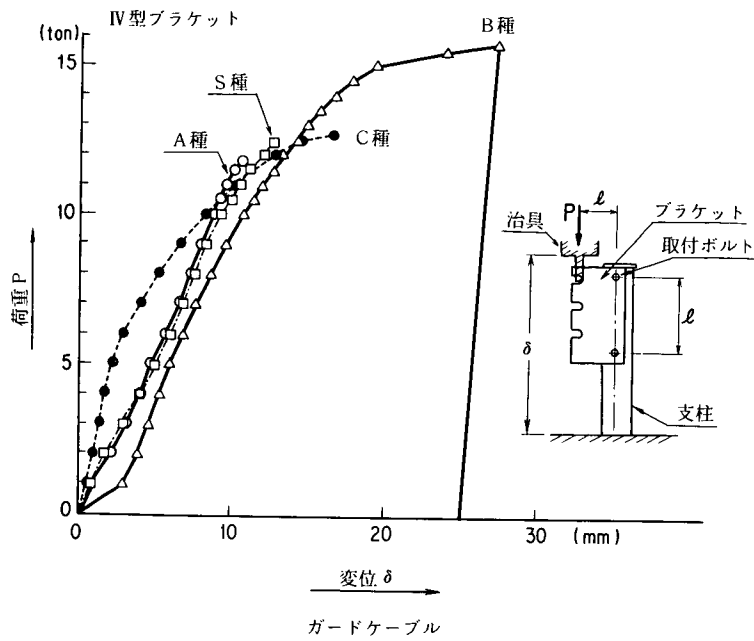


図5-20 ブラケット鉛直載荷荷重変位曲線

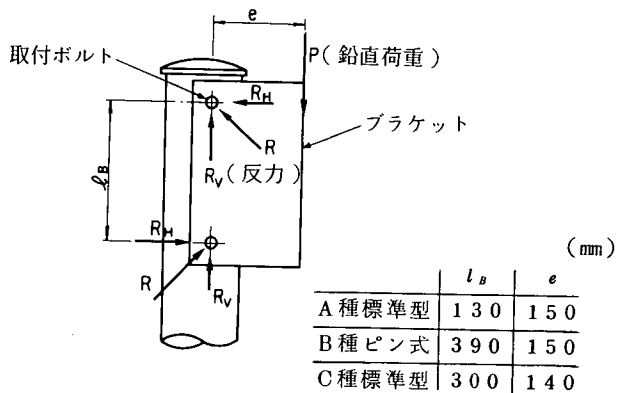
の強度がブラケット許容荷重の下限値になっていると考えられる。

ピン式IV型ブラケットはI, II, III型と同じく一体構造であるが、板厚は4.5mmである。これは、板厚が3.2mmであるとボルト穴部の支圧変形が比較的大きくなること、および前面にケーブルを納めるスリットにより、ブラケット前面が座屈しやすくなるため、板厚を4.5mmとした。取付けボルトに関しては、標準型とその間隔および総数を合せ、B・C種はボルト強度を6Tとした。B・C種の取付けボルトを6Tとしたのは、表5-8に示すように、ボルトせん断力が大きくなる

表5-8 改良型ガードケーブルのボルト間隔と最大せん断力

名 称	ボルト間隔 総幅 (mm)	最大せん断力 (tf)	
IV	A	560	0.2016 P
	B	390	0.2210 P
	C	300	0.3631 P
	S	690	0.1743 P

P : 鉛直荷重(t)



e 寸法は実験に合わせた。

$$R = \sqrt{R_v^2 + R_h^2} = \sqrt{(P/4)^2 + (P \cdot e / 2 \cdot l_b)^2}$$

$$\therefore R_A = 0.629 \cdot P$$

$$R_B = 0.315 \cdot P$$

$$R_C = 0.342 \cdot P$$

M12 ボルトの有効断面積 $A = 0.843 \text{ cm}^2$

$$R = A \cdot Z_u \quad Z_u: \text{許容せん断応力度 (kg/cm}^2\text{)}$$

$$= 0.843 \times 1,300 = 1,096 \text{ kg}$$

$$R_A = 0.629 \cdot P_A = 1,096 \therefore P_A = 1,742 \text{ kg}$$

同様に $P_B = 3,479 \text{ kgf}$, $P_C = 3,205 \text{ kgf}$

図5-21 取付けボルトの反力

と考えたためである。

IV型の鉛直許容荷重はおおむね6 tf 以上であり、標準型の約2倍の強さといえる。

特にB種はボルト間隔が均等であるため、ボルトの破断もなく、耐力が最も大きく現われている。支柱基礎部の支持力を考慮すると、6 tf 程度の耐力があれば耐雪型構造として実用化できると思われる。

C種ブラケットの水平載荷から判断すると、板厚を3.2 mmから4.5 mmにすると水平許容荷重は2倍以上大きくなり、車両衝突時ブロックアウト効果が大きくなる反面、衝撃力が大きくなる可能性がある。しかし、ガードケーブル全体に与える影響は少ないと思われ、特に問題はないであろう。

(3) ガードパイプ

ブラケットの載荷実験の解析結果を表5-9に示す。

表5-9 ガードパイプブラケット実験結果

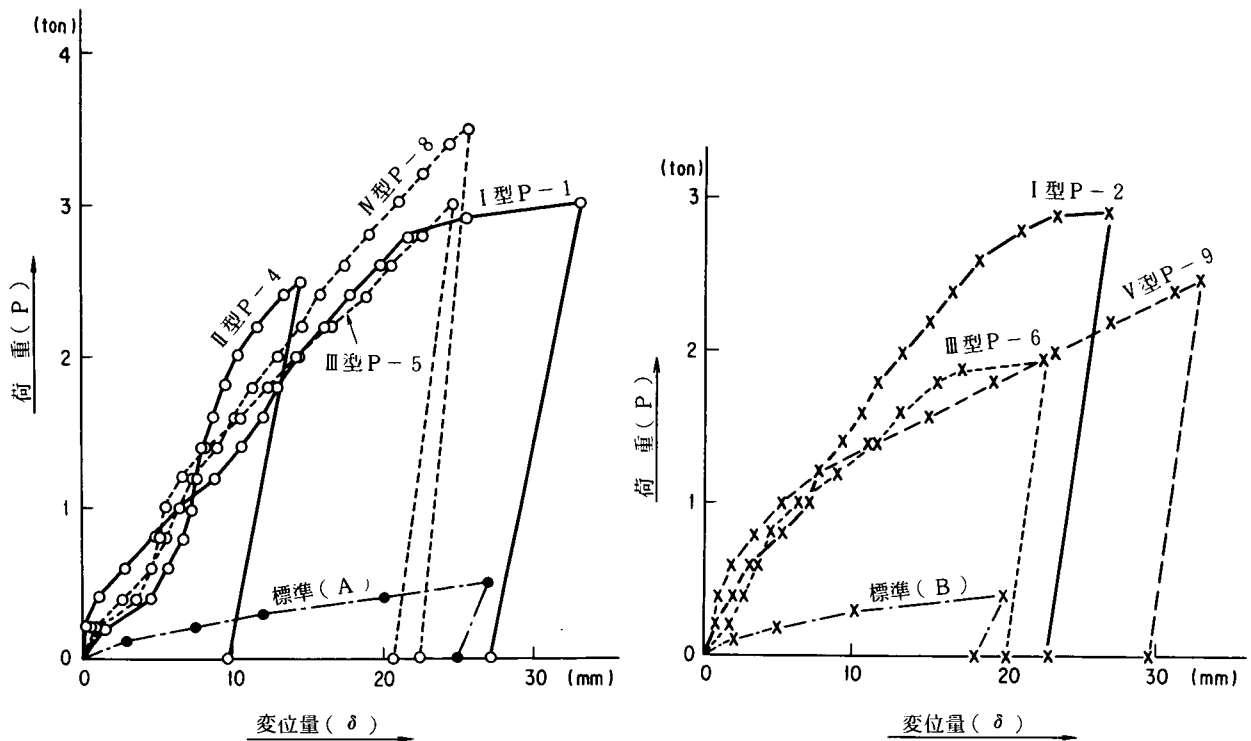
供試体名称		補強材 板厚(mm)	許容荷重(tf)		備 考	
			鉛 直	水平圧縮		
標 準 型	A	—	0.3	3.8		
	B	—	0.3	3.5		
改良型 (標準型 と 補強材)	I	A		2.0	II・IV型はA種、V型はB種 A特はビームをφ76.3×3.2と 仮定したもの 注) ブラケットは全て板厚3.2mm 継手用である。 ブラケットにインナースリー ブを取付け載荷した。 名称のA,Bは種別を意味する。	
		B	4.5	1.8		8.0
		A特		2.2		10.5
	II		4.5	1.6		8.0
	III	A	4.5	1.5		4.0
		B	3.2	1.3		3.5
		A特	6.0	1.5		3.0
	IV		4.5	1.5		4.0
	V		6.0	0.6		3.0

図5-22にブラケット鉛直荷重載荷の荷重変位線図を示すが、標準型ブラケットの場合、鉛直荷重に対しては2枚の板の抵抗となるため、許容荷重は非常に低い(実験ではインナースリーブを取付けているため、ない場合に比べ強度は高い)。標準構造のまま板厚等を大きくするだけでは限界があり、不経済である。改良型V型は、ブラケット下部にアングルを取付け補強したものであるが、板厚の増強を図っただけの構造であるため効果が少ないと思われる。

ビーム許容荷重からブラケットの必要鉛直強度を推定すると、表5-10に示す値となる。なお供試体のA特は、この実験で仮定したサイズである。

改良型I・II・III・IVの鉛直許容荷重は標準型の5倍以上の強度が期待できる。表5-10からブラケットの鉛直許容荷重はA種で1.7 tf 程度あればほぼ満足できると考えられるため、改良型I・II・III・IVの構造で対応できると思われる。

個別に見ると、ブラケット内部にスペーサーを挿入するI・II型の場合、I型の鉛直許容荷重の方が高い(I-AとIIとの比較)。I型の補強材は、インナースリーブの接触側を面接触するような形に曲面加工し



A種に担当する各供試体の鉛直載荷荷重変位曲線

B種に担当する各供試体の鉛直載荷荷重変位曲線

図5-22 ガードパイプブラケット鉛直載荷荷重変位曲線

表5-10 ブラケットの鉛直必要強度

種別	ビーム寸法(mm) 外径 × 板厚	断面係数 Z (cm ³)	ビーム許容荷重 (tf/m)		ブラケット必要許容荷重 (tf)	
			スパン		スパン	
			2 m	1 m	2 m	1 m
A	φ 60.5 × 3.8	9.03	0.433	1.73	0.866	1.73
B	φ 48.6 × 3.2	4.86	0.233	0.933	0.466	0.933
A特	φ 76.3 × 3.2	11.5	0.552	2.21	1.10	2.21

注) 単純梁にかかる等分布荷重とし、許容応力度 2400kgf/cm²で計算した。

である。従って、スリーブと補強材との接触により、ビームを確実に支持できること、および曲線タイプの方が張り出し長さが大きくなる結果、I型の方が鉛直許容荷重が高くなると思われる。III型はI型よりやや鉛直許容荷重は低い、3角リブ形状の向上が図られると考えられる。また、B種補強材は板厚 3.2 mm であるが、リブの板厚は 4.5 mm 程度必要と思われる。

IV型はブラケット下側だけに溶接しているため、ぶら下る形になり、すべりを起したと思われ、上下を継げれば効果はもっと上ったと考えられる。

以上から、鉛直荷重に対する強化としてはI、II、III型構造が望ましいと思われ、さらに許容荷重や外観からI型が最もすぐれていると判断できる。

A特型は、車両衝突時の挙動が不明確であること、経済性の点から不利になることの原因から、実用には不適と判断した。

(4) ボックスビーム

パドルの鉛直載荷の解析結果を表5-11に示す。

表5-11 ボックスビームパドル実験結果

供試体名称		板厚 (mm)	鉛直許容荷重 (tf)	備考
標準型	A	4.5	(5.2)	降伏荷重 6.0 tf
	B		(5.2)	
	A特	6.0	(5.2)	" 8.2 tf
	B特		× 5.2	

注) ()内の許容荷重はB種特殊型の値である。

×印はボルトが破断したケースを示す。

鉛直載荷のみ実施, ボルトは全てM16, 6T(2本)である。

実験においては、パドルの座屈による破壊あるいはボルトのせん断破壊によって許容荷重が決まってくるが、全体的に大きな強度を示している。供試体はほぼ同形状であるため、表5-11の許容荷重の値はボルトが破断する低い方の耐力値を示した。ボルトの強度を上げ、パネルの座屈強度で許容荷重が決まるようにすると、標準型の許容荷重は1tf程度大きくなると思われる。ボックスビームの支柱構造は単純であるため改良も比較的容易であるが、標準型のままでも鉛直許容荷重はほぼ満足できる値であると考えられる。

図5-23にパドルの鉛直載荷の荷重変位曲線を示す。

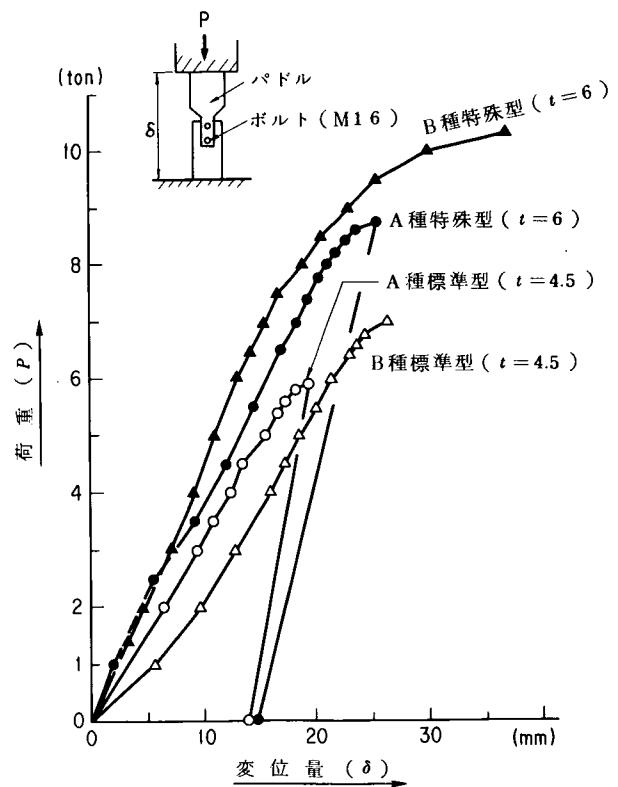


図5-23 ボックスビームパドル鉛直載荷・荷重変位曲線

5.1.4 まとめおよび部材形状の提案

標準型や改良型部材強度実験の結果、雪

圧がかかる方向の部材強度が弱いことがわ

かったので、部材の改良が必要と考えられる。特に鉛直荷重の沈降力は大きく、ガードレール・ガードケーブル・ガードパイプの部材強化や支柱間隔の変更が不可欠と考えられる。

改良の検討においては、許容応力度で部材をきびしく制約するよりも、実験に示すように機能上影響の少ない微少変形は考えず、主部材の変形で強度をとらえることが望ましいであろう。ただし、防護柵本来の機能を優先して考える必要があり、単に強度を上げることだけでは危険であり、また不経済でもある。

載荷実験にもとづき、経済性・施工性・管理面などから総合的に検討した結果、選定した実用的な耐雪型

防護柵の構造を以下に提案する。

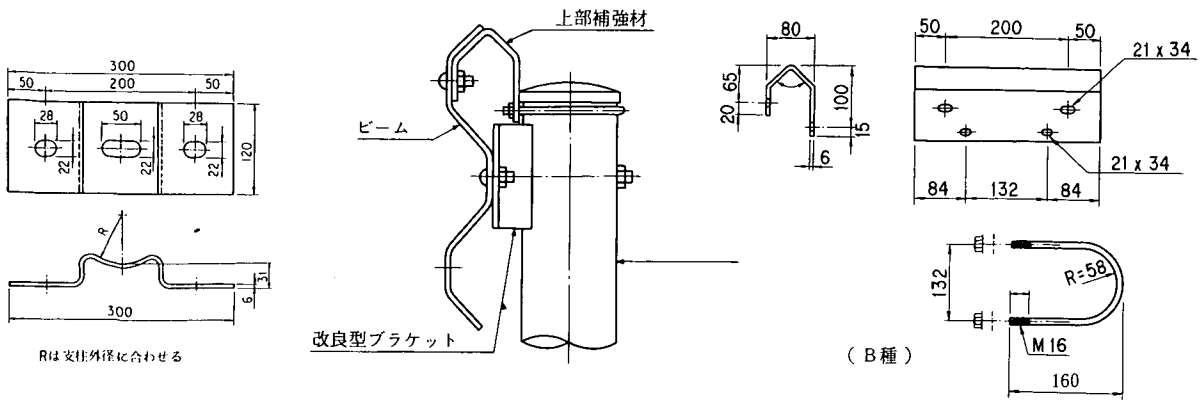


図5-24 ガードレール改良型ブラケットおよび上部補強材

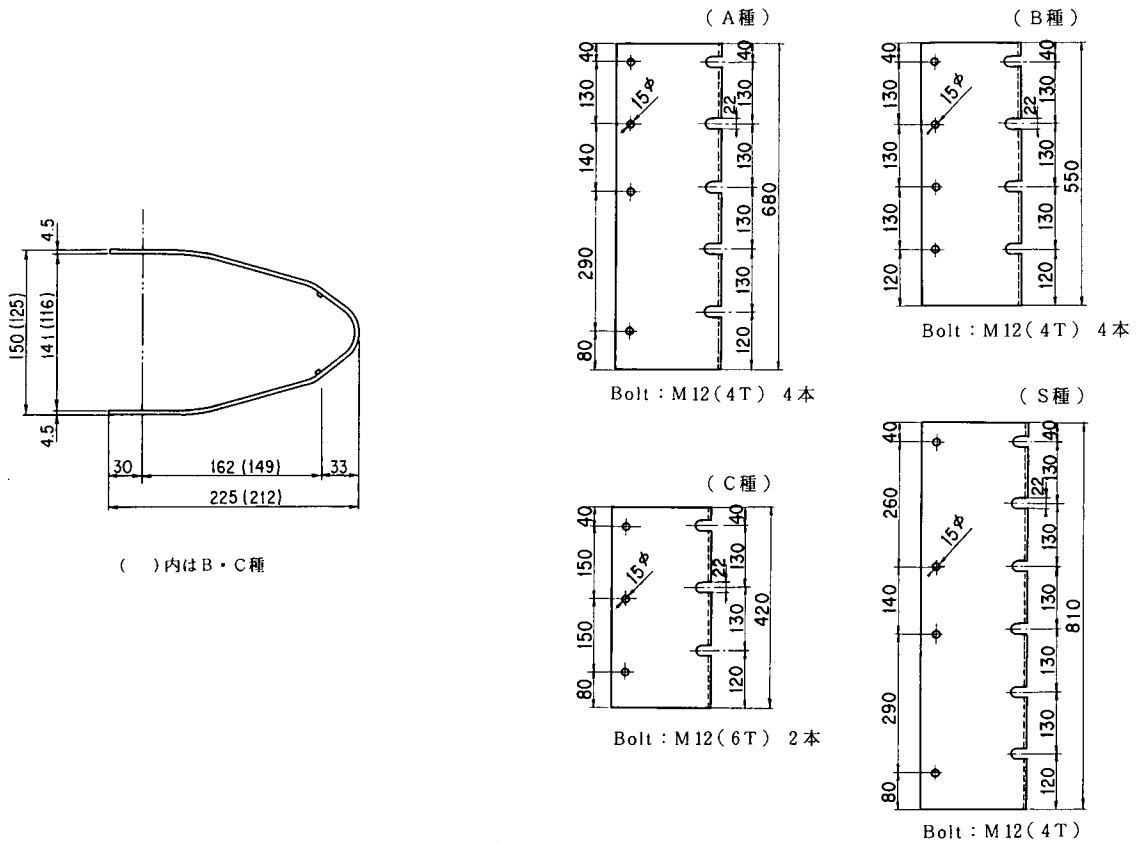


図5-25 ガードケーブル改良型ブラケット

5.2 支柱支持力実験および支持力計算方法の検討

5.2.1 支柱支持力の考え方

車両用防護柵は水平方向荷重に対して設計されており、積雪荷重のように鉛直方向荷重の方が水平方向荷重よりも大きく、また時間的にも長く作用する場合の構造的な検討はこれまでなされていない。そこで耐雪型防護柵の基礎の設計方法を明らかにするため、支柱支持力の実験およびその結果を用い、既に明らかにされている一般的な基礎設計法適用の妥当性を検討した。以下にその概要を示す。なお、東北地建についても同様の実験を行っているが、その詳細については研究報告書(その2)を参照されたい。

5.2.2 支柱支持力実験

土質・設置方法・根巻形式等、条件の違いによる鉛直、水平各方向の支持力を求めるため、現場における静的荷重実験を行った。

(1) 実験場所と地盤条件

実験場所は新潟県新井市土田の上新バイパス予定地の先行盛土を利用した粘性地盤上(N 値が3及び7)の2ヶ所。

(2) 供試体

各実験地盤における鉛直、水平各荷重実験に用いた供試体の形状、設置条件を図5-27に示し、その構成と寸法を表5-12に示す。

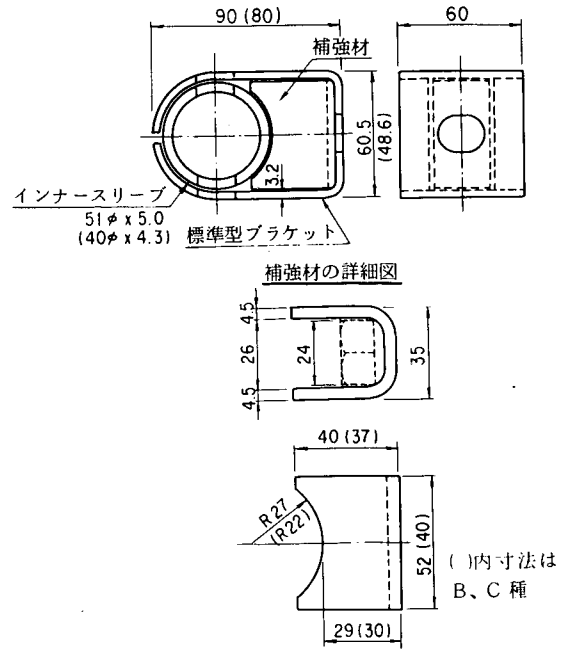


図5-26 ガードパイプ改良型ブラケット

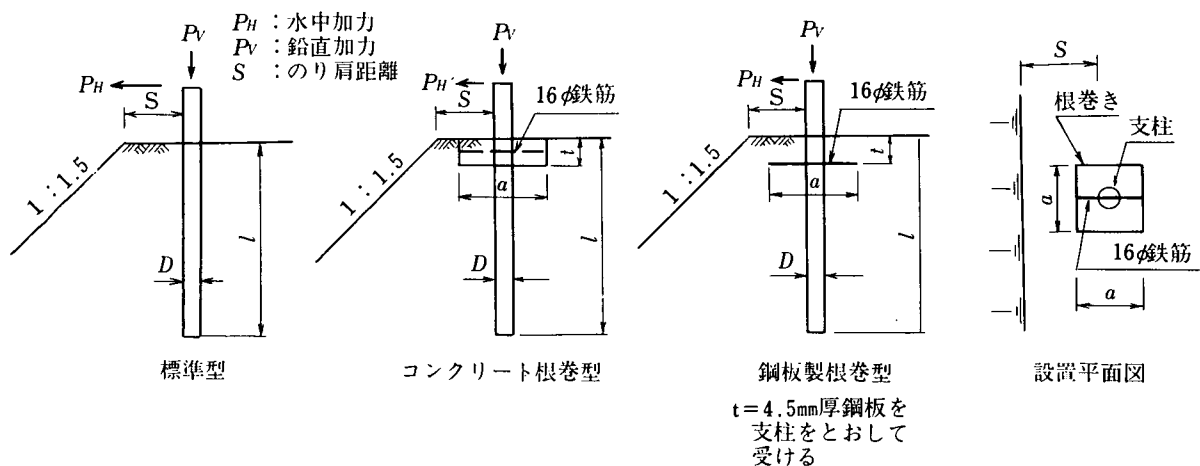


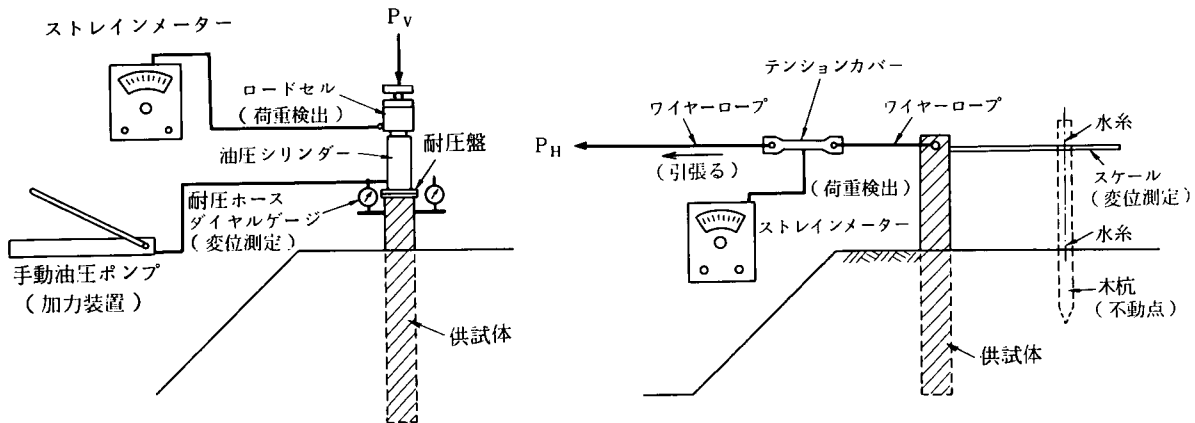
図5-27 鉛直・水平各荷重実験用供試体

表 5 - 12 供試体の構成と寸法

のり肩 距離 S (m)	基礎部 根 卷 形 式	供 試 体 寸 法					土 質 条 件			
		支 柱			根 卷		鉛直荷重 実験		水平荷重 実験	
		種別	径(D)	埋込長(l)	t	a	粘 性		粘 性	
							N=3	7	3	7
1.0	標 準	A	139.8	1650	—	—	○	○	○	○
1.0	標 準	B	114.3	1500	—	—	○	○	○	○
1.0	鋼 板	A	139.8	1650	200	400□×9				
1.0	コンクリート	A	139.8	1650	200	400□	○		○	
1.0	コンクリート	A	139.8	1650	300	500□				
0.3	標 準	A	139.8	1650	—	—	○	○	○	○
0.3	標 準	B	114.3	1500	—	—	○	○	○	○
0.3	鋼 板	A	139.8	1650	200	400□×4.5	○		○	
0.3	鋼 板	A	139.8	1650	200	400□×9				
0.3	コンクリート	A	139.8	1650	200	400□	○	○	○	○
0.3	コンクリート	A	139.8	1650	300	500□			○	

(3) 実験方法

鉛直・水平各荷重実験における载荷と計測の方法を図5-28 (a), (b) にそれぞれ示し、使用した実験機器を表5-13に一覧する。



(a) 鉛直荷重実験

(b) 水平荷重実験

図5-28 載荷方法

表5-13 使用実験機器

	鉛 直 荷 重	水 平 荷 重
反 力	重 量 車	—
載 荷	油 圧 ジ ャ ッ キ	重 量 車 微 速 運 転
荷 重 検 出	ロ ー ド セ ル (10t)	テ ン シ ョ ン カ ー (5t)
荷 重 検 出	ス ト レ イ ン メ ー タ ー	ス ト レ イ ン メ ー タ ー
変 形 測 定	ダ イ ヤ ル ゲ ー ジ	ス ケ ー ル (1mm目盛)

(4) 実験結果

1) 土質調査

現地盤における土質調査結果を表5-14に示す。

表5-14 土質調査結果

調査方法	大型動的貫入試験 (ドライビング)	
地盤の種類(評価)	粘性土	
N 値	7	3
単位体積重量 r_a (t/m ³)	2.051	1.556
粘着力 c (t/m ²)	42	2.4
内部摩擦角 ϕ (°)	7°30'	8°00'

2) 鉛直荷重実験

鉛直荷重実験により得られた各供試体の荷重と変位の関係から、降伏荷重(許容支持力)の解析結果を表5-15に示す。

表5-15 鉛直荷重実験解析結果一覧表

のり肩 距離 S (m)	基礎部 根巻形式	種別	根巻形状 ($t \times a$)	鉛直方向許容支持力 $P_V(t)$	
				N = 7 (粘性)	3 (粘性)
1.0	標準	A	—	2.10	1.00
	標準	B	—	1.80	0.90
	鋼板	A	200×400□×9	—	—
	コンクリート	A	200×400□	—	2.80
	コンクリート	A	300×500□	—	—
0.3	標準	A	—	1.20	0.90
	標準	B	—	1.00	0.60
	鋼板	A	200×400□×4.5	—	1.00
	鋼板	A	200×400□×9	—	—
	コンクリート	A	200×400□	2.40	1.60
	コンクリート	A	300×500□	—	—

3) 水平荷重実験

水平荷重実験により得られた各供試体の荷重と変位の関係から、降伏荷重(許容支持力)の解析結果を表5-16に示す。

表 5 - 16 水平荷重実験解析結果一覧表

のり肩 距離 S (m)	基 部 根巻形式	種別	根 巻 形 状 (t × a)	水平方向許容支持力 $P_H(t)$	
				N = 7 (粘性)	3 (粘性)
1.0	標 準	A	—	0.98	0.66
	標 準	B	—	0.77	0.79
	鋼 板	A	200×400□×9	—	—
	コンクリート	A	200×400□	—	0.97
	コンクリート	A	300×500□	—	—
0.3	標 準	A	—	0.54	0.32
	標 準	B	—	0.34	0.38
	鋼 板	A	200×400□×4.5	—	—
	鋼 板	A	200×400□×9	—	—
	コンクリート	A	200×400□	0.58	0.48
	コンクリート	A	300×500□	—	0.48

(5) 実験結果の考察

1) 土質調査

供試体設置場所の盛土地盤は、破碎された泥岩の混入状態、転圧状況によって、N値にかなりのバラツキがあり、0～0.7 mの深さまでは比較的良好に締り、0.7～1.3の深さではやや緩く、1.3 m以深で再び締る傾向にある。また、地盤は全体として粘性土で構成されていた。

2) 鉛直荷重実験

- ① 地盤支持力はのり肩と支柱までの距離、のり面と支柱までの距離がいずれも短いほど低下する。すなわち、鉛直支持力はのり肩距離の影響を受ける。
- ② 支持力は地盤強度（N値）による影響を受けるので、地盤強度が高いほど鉛直支持力は高くなる。
- ③ 支持力に関係する先端支持面積、周長面積はそれぞれA種標準型の方がB種標準型よりも大きく、その結果としてB種よりA種の方に高い支持力が得られたことで、鉛直支持力は支柱径、根入れ長の影響を受けていることがわかる。
- ④ コンクリート、鋼製等の根巻施工は地盤からの反力を大きく受けるため、支持力向上に与える効果が大きい。

3) 水平荷重実験

- ① 防護柵支柱のように根入れ長が比較的浅く、のり肩距離が小さい場合、外力に抵抗する支柱前面の土のせん断抵抗と抵抗土圧が支持力に顕著に影響する。すなわち、のり肩距離が少ないほど支持力が小さくなるから、支持力向上のためにはのり肩距離を大きくするのが効果的である。
- ② 地盤強度（N値）が高い程、一般的に水平抵抗力は高いとされているが、本実験においてもその効果が確認された。
- ③ 水平方向支持力の大きさはN値にもよるが、土圧を受ける支柱面積の大きさ、すなわち支柱径、根入れ長に関係する。

④ 根巻の効果を上げるには水平変位の比較的大きな地表面近くで、水平抵抗を受ける受圧面積を大きくすること、また支柱回転時の地盤の反力を大きくすること等により、支持力を増加させることにある。本実験では根巻を設置することにより、水平支持力を高くすることができた。

(6) 実験結果のまとめ

鉛直支持力(P_V)、水平支持力(P_H)に影響を与える要因は、のり肩距離・地盤 N 値・支柱径・根入れ長・根巻の有無によることが明らかとなった。そこで、積雪荷重を考慮した支柱の強化方法を以下に示す。

- 1) 支柱間隔を短かくして、支柱一本当りの分担する荷重を軽減させる。
- 2) 支柱にかかる荷重条件に適した根巻を施す。
- 3) 設置条件により、上記1), 2)の2つの方法を組み合わせることで、支柱間隔と根巻形状を選択する。

以上3つの方法が考えられ、剛性増による緩衝効果の低減や経済性を考慮して、それぞれを選択し、実施する必要がある。

5.2.3 支柱支持力計算方法の検討

(1) 基本的な考え方

1) 設計条件

耐雪型防護柵の支柱基礎設計においては①地盤の状態、②設置条件、③構造形式・寸法、④荷重方向を考慮する。また、荷重は一時的(短期的)に作用するものとする。一方、各荷重方向の許容支持力の算定に用いる補正係数は各分野の基礎設計で採用されているものを参考にして、1.5, 2.0 の2ケースについて近似式を求めるため、実験結果を検討した。

2) 鉛直許容支持力

近似式の検討にあたっては基本的に「建築基礎構造設計基準・同解説」⁷⁾を参考にした。

a. 支柱の許容支持力

土中に打ち込まれた杭状の支柱の許容支持力(P_{Vd})は、支柱先端支持力(R_b)および支柱と地盤とが接する周長摩擦力(R_f)の和となる。そこで、各地盤における安全率、地盤の性質による諸数値の組み合わせから2ケース(①, ②)の式について検討する。

①の場合(安全率2/3)

$$\text{粘性土: } P_{Vd} = R_b + R_f = \frac{2}{3} \left(30N \times \frac{\pi D^2}{4} + \frac{C}{10} \times \pi D l \right) \quad (5-1)$$

$$\text{砂質土: } P_{Vd} = \frac{2}{3} \left(30N \times \frac{\pi D^2}{4} + \frac{N}{5} \times \pi D l \right) \quad (5-2)$$

②の場合(安全率1/2)

$$\text{粘性土: } P_{Vd} = \frac{1}{2} \left(30N \times \frac{\pi D^2}{4} + \frac{C}{2} \times \pi D l \right) \quad (5-3)$$

$$\text{砂質土: } P_{Vd} = \frac{1}{2} \left(30N \times \frac{\pi D^2}{4} + \frac{N}{4} \times \pi D l \right) \quad (5-4)$$

ここで、 C : 粘着力 (tf/m²)
 N : 支持地盤の N 値
 D : 支柱径 (m)
 l : 支柱根入れ長 (m)

b. 根巻スラブの許容支持力

耐雪型防護柵基礎形状は正方形とし、基礎をとりまく周辺地盤は均一 ($r_a = r_b$) とする。また、粘性地盤においては $\phi = 0$ 、砂質地盤では $C = 0$ と仮定すると、基本許容支持力式 $q_a = \frac{1}{f} (1.3CN_c + 0.4r_aN_r a + r_b N_q t)$ はスラブ部分の許容支持力、支柱先端支持力および周長摩擦力の和となる。そこで、各地盤における安全率、地盤の性質による諸数値の組み合わせで2ケースについて検討する。

㊶の場合

$$\text{粘性土} : P_{vd} = \frac{2}{3} \left\{ 7.5N\pi D^2 + 0.1C\pi D l + (6.89C + 3r_a t) \cdot \left(a^2 - \frac{\pi D^2}{4} \right) \right\} \quad (5-5)$$

$$\text{砂質土} : P_{vd} = \frac{2}{3} \left\{ 7.5N\pi D^2 + 0.2C\pi D l + r_a (0.4N_r a + N_q t) \cdot \left(a^2 - \frac{\pi D^2}{4} \right) \right\} \quad (5-6)$$

㊷の場合

$$\text{粘性土} : P_{vd} = \frac{1}{2} (7.5N\pi D^2 + 0.5C\pi D l) + \frac{2}{3} (6.89C + 3r_a t) \cdot \left(a^2 - \frac{\pi D^2}{4} \right) \quad (5-7)$$

$$\text{砂質土} : P_{vd} = \frac{1}{2} (7.5N\pi D^2 + 0.25N\pi D l) + \frac{2}{3} r_a (0.4N_r a + N_q t) \cdot \left(a^2 - \frac{\pi D^2}{4} \right) \quad (5-8)$$

ここで、

N_c, N_r, N_q : ϕ により決まる支持力係数 (表5-17参照)

a : 根巻スラブの一辺の長さ (m)

t : 根巻底面の地面からの深さ (m)

r_a : 基礎底面より下の土の単位体積重量 (t/m³)

r_b : 基礎底面より上の土の単位体積重量 (t/m³)

$r_a = r_b$ とする。

N, C, D, l : 前述のとおり

表5-17 支持力係数

ϕ	N_c	N_r	N_q
0°	5.3	0	1.0
10°	5.3	0	1.9
20°	7.9	2.0	3.9
28°	11.4	4.4	7.1
32°	20.9	10.6	14.1
40°	95.7	114.0	81.2
45°	172.3	325.8	173.3

注) 「建築基礎構造設計基準・同解説」より

3) 水平許容支持力

ブロムスの短杭式と土木研究所における防護柵支柱の実験式の2式について検討する。

a. ブロムスによる短杭式

① 砂質地盤

(i) 支柱単体の許容水平支持力

$$P_{Hd} = \frac{2}{3} Q_u = \frac{\gamma_a K_P D l^3}{3(l+h)} \quad (5-9)$$

(ii) 根巻を有する支柱の許容水平支持力

$$P_{Hd} = \frac{\gamma_a K_P}{(h+l)} \left\{ \frac{1}{3} D l^3 + t^2 (a-D) \cdot \left(l - \frac{2}{3} t \right) \right\} \quad (5-10)$$

ここで, Q_u : 地盤の極限水平支持力(tf) $Q_u = \frac{\gamma_a K_P D l^3}{2(l+h)}$

γ_a : 土の単位体積重量(t/m³)

K_P : 地盤の受働土圧係数(ランキン)

h : 水平力の地盤からの作用高さ(m)

D, l, a, t : 前述のとおり

② 粘性土地盤

(i) 支柱単体の許容水平支持力

$$P_{Hd} = \frac{2}{3} Q_u = 6CD^2 \left[\left\{ 4 \left(\frac{h}{D} \right)^2 + 2 \left(\frac{l}{D} \right)^2 + 4 \left(\frac{h}{D} \right) \cdot \left(\frac{l}{D} \right) + 6 \left(\frac{h}{D} \right) + 4.5 \right\}^{1/2} - \left\{ 2 \left(\frac{h}{D} \right) + \left(\frac{l}{D} \right) + 1.5 \right\} \right] \quad (5-11)$$

(ii) 根巻を有する支柱の許容水平支持力

$$P_{Hd} = 6CD \left[2 \left\{ \left(h^2 + \frac{1}{2} l^2 + lh \right)^{1/2} - h \right\} - l \right] \quad (5-12)$$

ここで, C : 支持地盤の粘着力(tf/m²)

D, h, l : 前述のとおり

b. 土木研究所における支柱実験式(柴田・鬼丸式)

① 砂質地盤

(i) 支柱単体の許容水平支持力

$$P_{Hd} = \frac{1}{2} Q_u = \frac{1}{2} C_P \gamma_a D \left(x^2 - \frac{1}{2} l^2 \right) \quad (5-13)$$

$$C_P = 24.5$$

(ii) 根巻を有する支柱の許容水平支持力

$$P_{Hd} = \frac{1}{2} C_P \gamma_a \left\{ D \left(x^2 - \frac{1}{2} l^2 \right) + \frac{1}{2} t^2 (a-D) \right\} \quad (5-14)$$

$$C_p = 24.5$$

ここで、 Q_u : 地盤の極限水平支持力(tf) $Q_u = C_p \gamma_a D \left(x^2 - \frac{1}{2} l^2 \right)$
 x : 回転中心距離(m)で $4x^3 + 6hx^2 - (3l^2h + 2l^3) = 0$ より求める。
 C_p : 修正土圧係数
 γ_a, D, l, h, a, t : 前述のとおり

㊦ 粘性土地盤

(i) 支柱単体の許容水平支持力

$$P_{Ha} = \frac{1}{2} C_p \gamma_a D \left(x^2 - \frac{1}{2} l^2 \right) \quad (5-15)$$

$$C_p = 25.6$$

(ii) 根巻を有する支柱の許容水平力

$$P_{Ha} = \frac{1}{2} C_p \gamma_a \left\{ D \left(x^2 - \frac{1}{2} l^2 \right) + \frac{1}{2} t^2 (a - D) \right\} \quad (5-16)$$

4) のり肩距離の影響

鉛直支持力についても支柱実験式によるのり肩距離と水平支持力との関係の適用を検討する。

のり肩距離(S)における許容支持力は、前述した項目で求められる半無限地盤上での各方向の許容支持力に、のり肩影響係数(k_s :砂質土, k_c :粘性土)を乗じたものとなる。

$$\text{ここで、 } k_s (\text{砂質土}) = 0.68 S + 0.55 \leq 1.0 \quad (5-17)$$

$$k_c (\text{粘性土}) = 0.47 S + 0.49 \leq 1.0 \quad (5-18)$$

S : のり肩距離(m)

5) 支柱材の曲げ降伏

防護柵支柱が設置される地盤では、通常、支柱の断面耐力の方が支持地盤の耐力よりも一般に高いことから、支柱の曲げ降伏が発生することはまれなケースとみられるので、検討の対象外とした。

(2) 計算値と実験値の比較検討

のり肩距離の影響を考慮して、計算により求めた許容支持力と実験値との対比を表5-18に一括して示す。なお、計算に用いた地盤の性質による諸数値は、表5-14に示す土質調査結果によった。

1) 鉛直許容支持力

支柱実験より得られた許容支持力を基準にして、表5-18の欄外に示す<V-A式>と<V-B式>で求めた計算結果を比較すると、<V-B式>による方が実験値に近く、バラツキも小さい。一方、のり肩距離の影響を考慮する場合の影響係数の適用については、鉛直支持力算出についても可能であることが確認された。

2) 水平許容支持力

支柱実験より得られた許容支持力を基準にして、表5-18の欄外に示す<H-A式>と<H-B式>で

表5-18 許容支持力に関する実験値と計算値との比較

N 値	のり肩 距離 S (m)	種 別	根巻き形状 a × t	鉛直許容支持力 (ton)					水平許容支持力 (ton)						
				実験値	計 算 値				実験値	計 算 値					
					*5 P_{Va}	*1 P_{Vd}	$\frac{P_{Vd}}{P_{Va}}$	*2 P_{Vd}		$\frac{P_{Vd}}{P_{Va}}$	*5 P_{Ha}	*3 P_{Hd}	$\frac{P_{Hd}}{P_{Ha}}$	*4 P_{Hd}	$\frac{P_{Hd}}{P_{Ha}}$
7	1.0 (k_c 0.96)	A	標 準	2.10	2.258	1.08	2.278	0.98	0.98	1.088	1.11	0.886	0.90		
		B	"	1.80	1.524	0.85	1.557	0.88	0.77	0.808	1.05	0.569	0.74		
	0.3 (k_c 0.631)	A	標 準	1.20	1.484	1.24	1.497	1.25	0.54	0.715	1.32	0.583	1.08		
		B	"	1.00	1.002	1.00	1.037	1.04	0.34	0.531	1.56	0.374	1.10		
		A	コンクリート 400□×200	2.40	3.320	1.38	3.333	1.39	0.58	0.985	1.69	0.613	1.06		
		A	鋼 板 400×4.5	2.00	1.718	0.86	1.773	0.89	0.57	0.562	0.99	0.463	0.81		
3	1.0 (k_c 0.96)	A	標 準	1.00	0.996	1.00	1.081	1.08	0.66	0.622	0.94	0.673	1.02		
		B	"	0.90	0.673	0.75	0.753	0.84	0.79	0.461	0.58	0.432	0.55		
		A	コンクリート 400□×200	2.80	2.613	0.93	2.698	0.96	0.97	0.856	0.88	0.704	0.73		
	0.3 (k_c 0.631)	A	標 準	0.90	0.655	0.73	0.711	0.79	0.32	0.408	1.28	0.442	1.38		
		B	"	0.60	0.443	0.74	0.495	0.83	0.38	0.303	0.80	0.284	0.75		
		A	コンクリート 400□×200	1.60	1.718	1.07	1.773	1.11	0.48	0.562	1.17	0.463	0.96		
		A	コンクリート 500□×300	-	-	-	-	-	0.48	0.562	1.17	0.601	1.25		
		A	鋼 板 400×4.5	2.00	1.718	0.86	1.773	0.89	0.57	0.562	0.99	0.463	0.81		
		平均値 (\bar{X})						0.97		1.01			1.12		0.95
		標準偏差値 σ						0.20		0.18			0.30		0.23

※1 (V-A式) 標 準 (5-1) × k_c
根 巻 (5-5) × k_c

※2 (V-B式) 標 準 (5-1) × k_c
根 巻 (5-5) × k_c

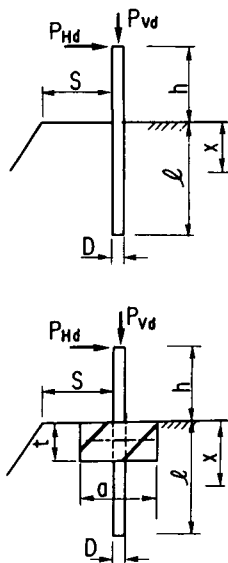
※3 (H-A式) 標 準 (5-11) × k_c
根 巻 (5-12) × k_c

※4 (H-B式) 標 準 (5-13) × k_c
根 巻 (5-15) × k_c

※5 実験解析による許容支持力(表5-15, 表5-16参照)

表 5-19 耐雪型防護柵支柱許容支持力の提案設計式一覧表

		根巻の有無	粘性地盤	砂質地盤
鉛直許容支持力 (P_{vd})	無		$P_{rd} = \frac{1}{2} \left(30N \times \frac{\pi D^2}{4} + \frac{C}{2} \times \pi D l \right) k_c$	$P_{rd} = \frac{1}{2} \left(30N \times \frac{\pi D^2}{4} + \frac{N}{4} \times \pi D l \right) k_s$
	有		$P_{rd} = \left\{ \frac{1}{2} \left(30N \times \frac{\pi D^2}{4} + \frac{C}{2} \times \pi D l \right) + \frac{2}{3} \times (6.89C + 3\gamma_a t) \cdot \left(a^2 - \frac{\pi D^2}{4} \right) \right\} k_c$	$P_{rd} = \left(\frac{1}{2} \left(30N \times \frac{\pi D^2}{4} + \frac{N}{4} \times \pi D l \right) + \frac{2}{3} \gamma_a \times (0.4 N_{ra} + N_{qt}) \cdot \left(a^2 - \frac{\pi D^2}{4} \right) \right) k_s$
水平許容支持力 (P_{Hd})	$N < 10$	無	$P_{Hd} = \frac{1}{2} \times 25.6 \gamma_a D \left(x^2 - \frac{1}{2} l^2 \right) k_c$	$P_{Hd} = \frac{1}{2} \times 24.5 \gamma_a D \left(x^2 - \frac{1}{2} l^2 \right) k_s$
		有	$P_{Hd} = \frac{1}{2} \times 25.6 \gamma_a \left\{ D \left(x^2 - \frac{1}{2} l^2 \right) + \frac{1}{2} t^2 \times (a - D) \right\} k_c$	$P_{Hd} = \frac{1}{2} \times 24.5 \gamma_a \left\{ D \left(x^2 - \frac{1}{2} l^2 \right) + \frac{1}{2} t^2 \times (a - D) \right\} k_s$
	$N \geq 10$	無	$P_{Hd} = 6CD^2 \left[\left\{ 4 \left(\frac{h}{D} \right)^2 + \left(\frac{l}{D} \right)^2 + 4 \left(\frac{h}{D} \right) \left(\frac{l}{D} \right) + 6 \left(\frac{h}{D} \right) + 4.5 \right\}^{1/2} - \left\{ 2 \left(\frac{h}{D} \right) + \left(\frac{l}{D} \right) + 1.5 \right\} \right] k_c$	$P_{Hd} = \frac{\gamma_a K_P D l^3}{3(l+h)} \times k_s$
		有	$P_{Hd} = 6CD \left[2 \left\{ \left(h^2 + \frac{1}{2} l^2 + lh \right)^{1/2} - h \right\} - l \right] k_c$	$P_{Hd} = \frac{\gamma_a K_P}{(l+h)} \left\{ \frac{1}{3} D l^3 + t^2 (a - D) \times \left(l - \frac{2}{3} t \right) \right\} k_s$
法肩影響係数			$k_c = 0.47 S + 0.49 \leq 1.0$	$k_s = 0.68 S + 0.55 \leq 1.0$



- l : 支柱埋込み長 (m)
 - h : 水平荷重の作用位置 (m)
 - D : 支柱径 (m)
 - a : 根巻底面巾 (等角とする) (m)
 - t : 根巻厚さ (m)
 - S : 法肩距離 (m)
 - C : 粘着力 (t/m²)
 - γ_a : 土の単位体積重量 (tf/m³)
 - N_r : 内部摩擦角 (ϕ) で決まる支持力係数
 - N_q : 内部摩擦角 (ϕ) で決まる支持力係数
 - K_P : 受働土圧係数 (ランキン)
 - x : 回転中心 (m) 根巻無: $4x^3 + 6hx^2 - (3l^2h + 2l^3) = 0$
 - 根巻有: $\frac{2}{3}Px^3 + Dhx^2 + \frac{1}{2}h(a^2 - Dt^2 - Dl^2) = 0$
- をそれぞれ解析する。

求められた計算結果とを比較すると、〈H-B式〉による方が実験値に近くバラツキも小さい。

(3) 支持力設計式の提案

粘性地盤における鉛直許容支持力式は〈V-B式〉、また水平許容支持力式では、 N 値が10以下には〈H-B式〉を、 N 値が10以上の場合には〈H-A式〉を用いる。一方、砂質地盤においては、粘性地盤と同系列にある設計式を適用する。表5-19に地盤・根巻・荷重方向のそれぞれの条件に対する設計式を提案する。

(4) 耐雪型支柱基礎の設計

通常、防護柵が設置される地盤は多くの場合、粘性地盤の範疇にある。そこで表5-20に示すモデル地盤を設定し、その諸数値を用いて表5-19に示す粘性地盤の設計式から、設置条件に対する許容支持力と基礎形状の関係を図5-29にまとめた。この図から、設定された概略の地盤条件において、支柱一本当りに作用する積雪荷重が明らかにされれば、必要な基礎寸法（設置条件と関係する）を容易に得ることができる。

表5-20 モデル地盤条件

地盤の状態	概略 N 値	単位体積 重量 r_s (t/m ³)	粘着力 c (t/m ²)	のり肩影響係数 k_s			
				のり肩距離 S (m)			
				0.3	0.5	1.0	2.0
軟らかい	≤ 4	1.6	3.0	0.631	0.725	0.960	1.000
普通	4~10	1.7	5.0	0.631	0.725	0.960	1.000
硬い	≥ 10	1.8	7.0	0.631	0.725	0.960	1.000

注) 地盤分類とその数値は軽量鋼矢板設計施工マニュアルによる。

5.2.4 ま と め

(1) 耐雪型防護柵支柱基礎設計手法

実験結果と計算結果には若干の相違があるが、支柱を設置する地盤条件を知ることにより、実用的な範囲内の耐雪型防護柵支柱基礎設計に適用可能な一手法が求められた。

(2) 支柱基礎強化による問題点

積雪荷重による支柱基礎設計結果によれば、一般に防護柵の地盤への根入れ部による剛性が増すため、防護柵が本来有するたわみ変形による緩衝機能に対して障害が発生するおそれや、また強化することによる費用増の問題もあり、総合的な判断に基づいた基礎強化方法の検討が必要である。

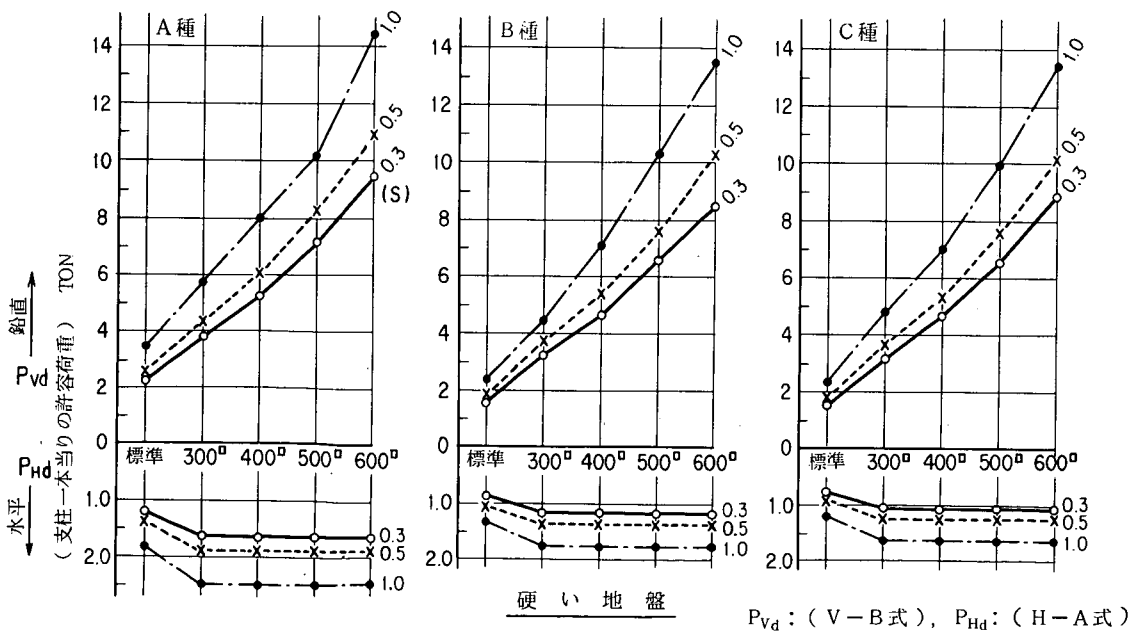
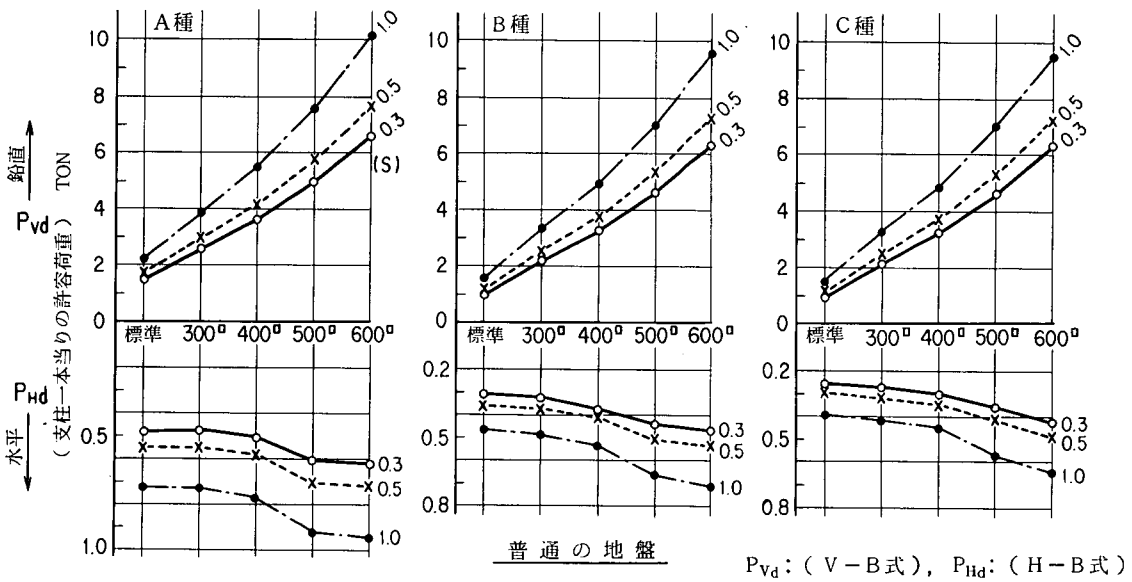
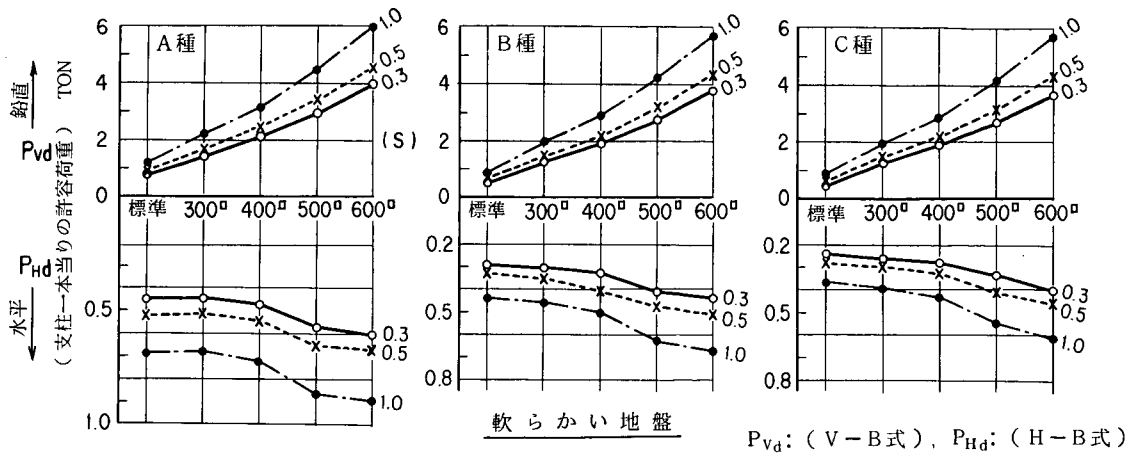


図5-29 支柱設置条件と許容支持力
 (根巻厚 300[□], 400[□]; t=200)
 500[□], 600[□]; t=300)

5.3 耐雪型防護柵の検証

5.3.1 供試体設置概要

昭和54, 55年度における雪圧測定や部材強度実験などの結果から、防護柵の適応積雪深（耐雪限界）について一応の結果が得られた。その結果をもとに、昭和56年度～59年度にわたり予想される積雪深・雪圧に対し、防護柵の破損の有無・強度の適否等を調査する目的で、供用中の道路において数種類の防護柵を試験設置した。調査としては、積雪後の変位、破損量の測定、標準尺による沈降力の測定、積雪深・積雪重量の現場測定である。

昭和56年度と57～59年度の供試体防護柵は若干異なっており、後者のブラケットは耐雪型として新たに試作したものである。また、供試体が破損した場合は原則として取り替えることとし、支柱基礎は（調査の目的から）変位しない様にコンクリート根巻とした。詳細は報告書（その1,2）を参照されたい。

(1) 設置場所および供試体種類

積雪深を2・3・4mと仮定し、設置場所として北陸地建・東北地建管内の8ヶ所を選んだ。供試体は標準型、ブラケットのみ強化した改良1型およびこの支間を1/2にした改良2型の3種で、表5-21、図5-30に示すように設置した。

表5-21 供試体設置場所及び種別

設置場所		計画積雪深	ガードレール			ガードケーブル			ガードパイプ		
			標準	改良1	改良2	標準	改良1	改良2	標準	改良1	改良2
北陸地方建設局管内	一般国道18号 ①新潟県新井市栗原	2.0m	B	B	B	B	B	B	B	—	B
	一般国道18号 ②新潟県中頸城郡妙高村坂口新田	3.0	B	B	B	B	B	B	B	—	B
	一般国道289号 ③新潟県南蒲原郡下田村永島	2.0	C	C	C	C	C	C	C	—	C
	主要地方道324号 ④新潟県古志郡山古志村竹沢	4.0	A・B	A・B	A・B	A・B	A・B	A・B	—	—	—
東北地方建設局管内	一般国道113号 ⑤山形県西置賜郡小国区小坂	2.0m	B	B	B	B	B	B	B	—	B
	一般国道113号 ⑥山形県西置賜郡小国町沼沢	4.0	A・B	A・B	A・B	A・B	A・B	A・B	—	—	—
	一般国道113号 ⑦山形県西置賜郡飯豊町手の子	3.0	A・B	A・B	A・B	A・B	A・B	A・B	B	—	B
	県道 ⑧山形県西置賜郡飯豊町橋本	2.0	C	C	C	C	C	C	C	—	C

注) 表中A, B, Cは防護柵設置要綱の種別を示す。

設置場所 ④山古志村 ⑥小国沼沢には上表以外の特殊ブラケットを取付けた改良型ガードレールを設置している。

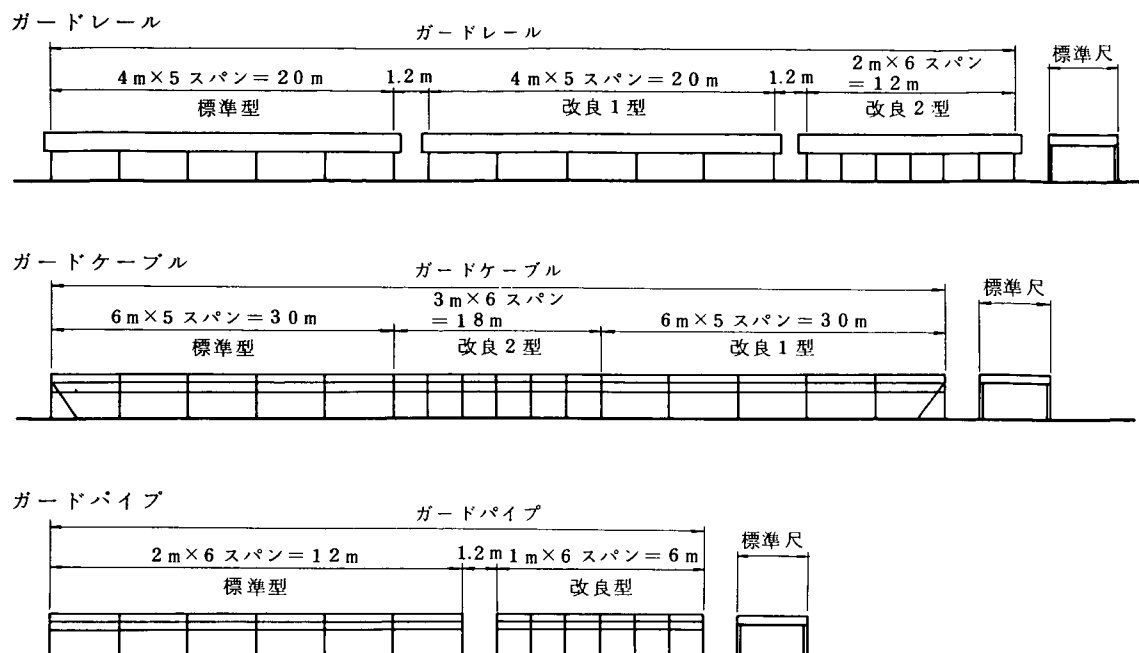


図 5-30 試験設置における各種防護柵の標準的な配列

(2) 目標積雪深と供試体強度の関係

防護柵に加わる沈降力と部材強度の関係を表 5-22, 23に示すが、このうち標準型は破損を前提に設置したものである。検討に用いた沈降力は報告書(その1)の昭和55年度までの測定値である。

表 5-22 積雪深と沈降力

積雪深 (m)	積雪重量 (t/m ²)	沈 降 力 (tf/m)		
		標準尺	ガードレール	ガードケーブル
2.0	0.8	0.8	0.8	0.4
3.0	1.2	1.5	1.4	0.7
4.0	1.6	2.2	2.0	1.1

表 5-23 供試体の許容荷重

(tf/m)

型 式	標 準 型	改 良 1 型	改 良 2 型
ガードレール	A		2.5 (ビーム)
	B	0.25 (ブラケット)	1.5 (ブラケット)
	C		1.3 (ビーム)
ガードケーブル	A	0.95 (ボルト)	1.9 (ボルト)
	B	0.32 (ケーブル取付金具)	1.1 (ボルト)
	C		2.1 (ボルト)
ガードパイプ	B		
	C	0.15 (ブラケット)	0.6 (ブラケット)

注1) ガードレールA種ビームの許容荷重は報告書(その3), ガードパイプ改良ブラケットは報告書(その2)の値である。

2) ()内部材は許容荷重の最小値部材を示す。

(3) 測定結果

1) 積雪条件

各地区における目標とした積雪深と最大積雪深の関係を表5-24, 25に, また積雪深と沈降力との関係を図5-31に示す。

表5-24 各設置場所の最大積雪深

設置場所	目標積雪深 (m)	最大積雪深 (堆雪含む) m				備考
		56年度	57年度	58年度	59年度	
① 新井市	2.0	1.95	1.74	1.67	3.49	一連の中で若干の積雪深(堆積深)の差はあるが最大値を記した。 58年度は, 59豪雪年である。
② 妙高村	3.0	2.56	2.82	4.50	3.79	
③ 下田村	2.0	1.20	1.52	1.60	2.07	
④ 山古志村	4.0	2.75	2.30	2.56	4.00	
⑤ 小国町小坂	2.0	1.74	1.33	2.93	2.26	
⑥ 小国町沼沢	4.0	2.68	1.60	3.58	2.35	
⑦ 飯豊町手の子	3.0	2.00	1.60	2.70	2.04	
⑧ 飯豊町橋本	2.0	1.70	1.40	2.70	2.04	

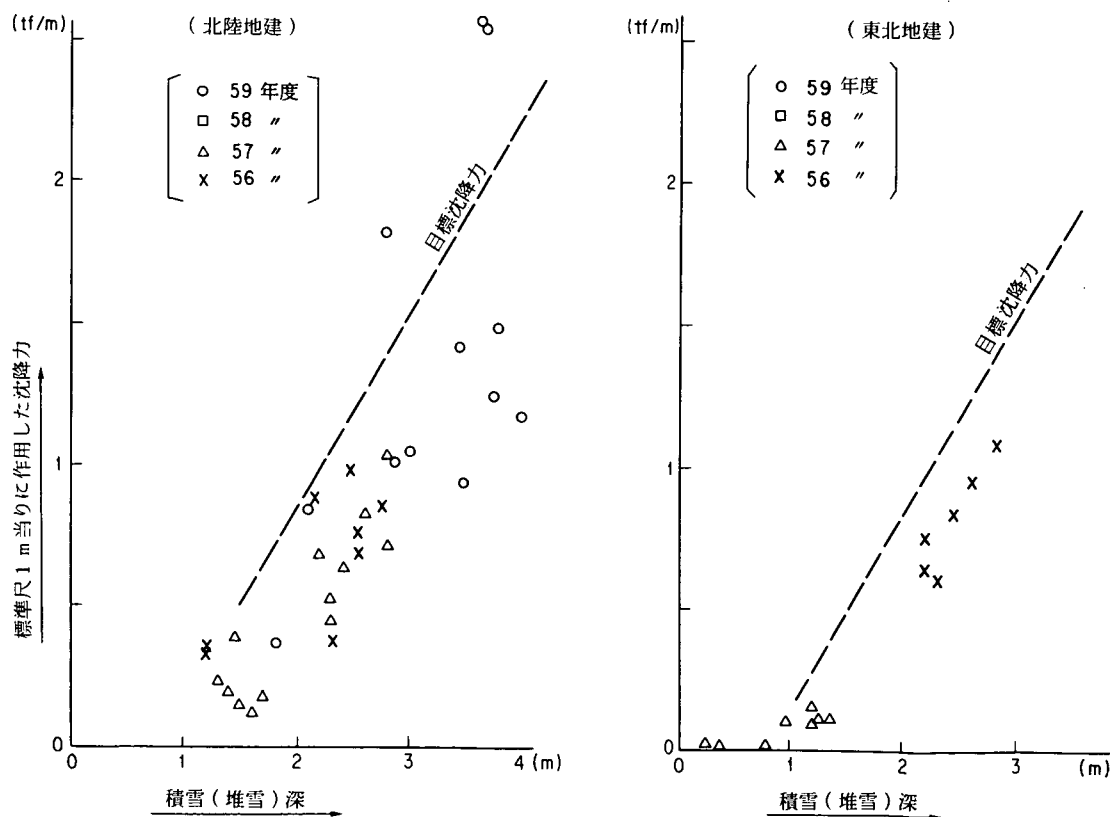


図5-31 設置場所別の積雪(堆雪)深と沈降力との関係

表 5 - 25 各設置場所の最大沈降力

設置場所	標準尺にかかる推定沈降力 (tf/m)	標準尺による最大沈降力測定値 (tf/m)				備考
		56年度	57年度	58年度	59年度	
① 新 井 市	0.83	—	0.24	1.05	0.93	
② 妙 高 村	1.52	0.96	1.03	1.96	1.47	
③ 下 田 村	0.83	0.31	0.40	0.65	0.84	
④ 山 古 志 村	2.21	0.93	0.73	0.99	1.81	
⑤ 小国町小坂	0.83	0.75	0.15			
⑥ 小国町沼沢	2.21	0.87	0.33			
⑦ 飯豊町手の子	1.52	0.62	0.30			
⑧ 飯豊町橋本	0.83	0.51	0.33			

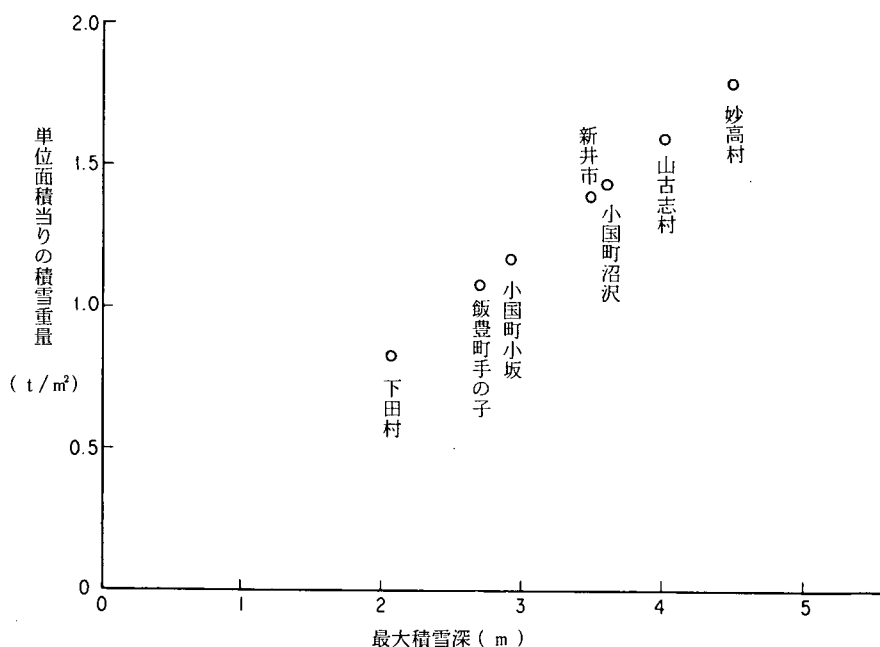


図 5 - 32 各設置場所別の観測期間中の最大積雪深と積雪重量 (積雪密度 0.4 t/m³)

以上の測定結果の中より図 5 - 31に示す沈降力の作用状況を見ると、部材耐力を決めるための推定沈降力は実測値より上側となり、推定沈降力より設計した部材強度は適正であると考えられる。

5.3.2 結果の概要

写真 5 - 1 は供試体上の堆雪断面の一例を示している。図 5 - 31には東北、北陸両地建の技術事務所で観測した標準尺の沈降力を示した。これによれば両地建の沈降力データは比較的近似した値であり、地域性がほとんどない結果となっている。このような沈降力が作用する状況下において、各地で設置した防護柵の変形状況の概要をまとめると、次のようなことがいえる。写真 5 - 2, 3のガードケーブルの例からわかるように、標準タイプ (B種) が転倒しているにもかかわらず、耐雪型構造の防護柵はその機能を維持している。このように耐雪型構造の防護柵は両地建の調査でも施工時の原形を保っており、基礎を含めても支柱の据直しにまでは至らなかった。逆に標準タイプでは、ブラケットの破断、支柱の沈下、傾斜等の変形

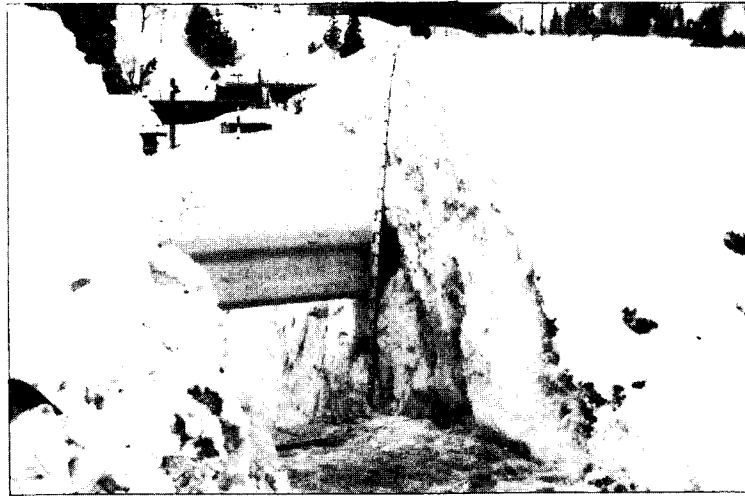


写真 5 - 1 ガードレール上の堆雪形状



写真 5 - 2 雪圧により転倒したガードケーブル (B 種)

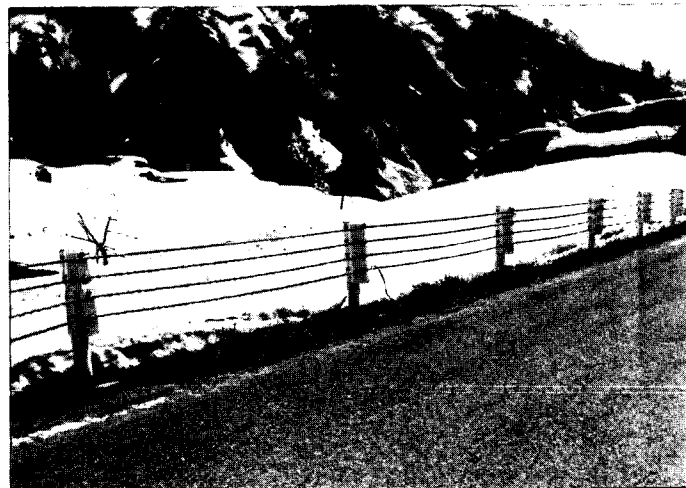


写真 5 - 3 機能を維持している耐雪型ガードケーブル (B 種)

が多くみられた。なお、耐雪型の根巻き基礎でも、道路舗装境界の間に数ミリメートルの隙間が生じている供試体もある。この場合、支柱は少し傾斜しているが、防護柵の機能維持には問題は生じていない。このように、耐雪型防護柵の現地実験から、沈降力による破損に基づく部材変換はなく、改善効果が大きいことが認められた。また基礎の傾斜変形が生じた原因としては、防護柵施工時に根巻部の型枠を入れるため余掘をするが、この余掘りにより土が乱され、不安定になることが考えられる。また、支柱の傾斜を防ぐために必要な土重量による支持力増の効果が期待できないような施工例が、検証用の供試体にもみられたように、路肩余裕巾に注意しなければならないことがわかる。

第6章 耐雪型防護柵の選定

6.1 基本的な考え方

耐雪型防護柵の構造検討にあたって考慮すべき積雪荷重は、超過確率を大きく取れば当然大きくなり、これに対応する防護柵の剛性も高めざるをえないことになる。また防護柵の破損確率を小さくすればするほど、防護柵と基礎の構造はより剛性の高いものにせざるを得ない。このことは反面、車両や乗員に与える被害が大きくなることを意味しており、防護柵が本来果たさなければならない機能の一つである乗員の安全性確保にも悪い影響を及ぼし、かつ、設置費用も一般の型式に比べてかなり増加することにもなる。

構造検討を進めるに際し、過去の積雪データや破損実態の調査結果から、確率降雪深と防護柵の破損確率を推定の上、つぎの各事項を前提とした。

- (1) 防護柵設置要綱で規定されている設計条件を満たす。
- (2) 構造上の強化は荷重による破損を軽減させ、かつ、維持管理・経済性等も満足するものとする。
 - (イ) 通常の防護柵の基本構造は変更しないで、部材の補強・基礎構造の変更・上級種別への変更によって積雪荷重に対処する。
 - (ロ) 10年再現最大積雪深の場合の破損率がおおむね1割を越えない。
 - (ハ) 経済性については、初期の設置費用と平均供用年数(15年)における最大積雪荷重の期待値による被害額の総和を試算して検討する。

検討作業のフローを図6-1に示す。

6.2 構造に関する検討

6.2.1 積雪荷重

防護柵の積雪荷重に対する挙動は、雪そのものの性質の他、設置場所の地形等、種々のパラメータが複雑にからみ合い、それらを解明するのは非常に困難である。従って、ここでは、昭和55年度から実施してきた雪圧調査の中で、計測データが比較的豊富でかつ安定し、積雪重量との相関性が良好な沈降力を設計荷重として用いた。沈降力以外の荷重としては、防護柵を盛土の法肩に設置したときに生じると予測される水平力があるが、沈降力は防護柵が雪中にあれば盛土の法肩等の設置位置に関係なく発生し得る一般的な雪圧であり、かつ、水平力に比べると荷重そのものが卓越していること、さらに、防護柵前面付近まで除雪が施されれば水平力の影響はほとんど無くなることから、沈降力で検討しておけば、ある程度の雪圧レベルまで対応できるであろうと判断した。しかしながら、水平力が存在し得る状況も当然考えられることから、現段階での水平力に対する配慮は、後述する部材の破損率の設定で行っておくことにした。

図6-2に標準尺にかかる沈降力と積雪重量との関係を、図6-3および図6-4に標準尺と法肩から2m

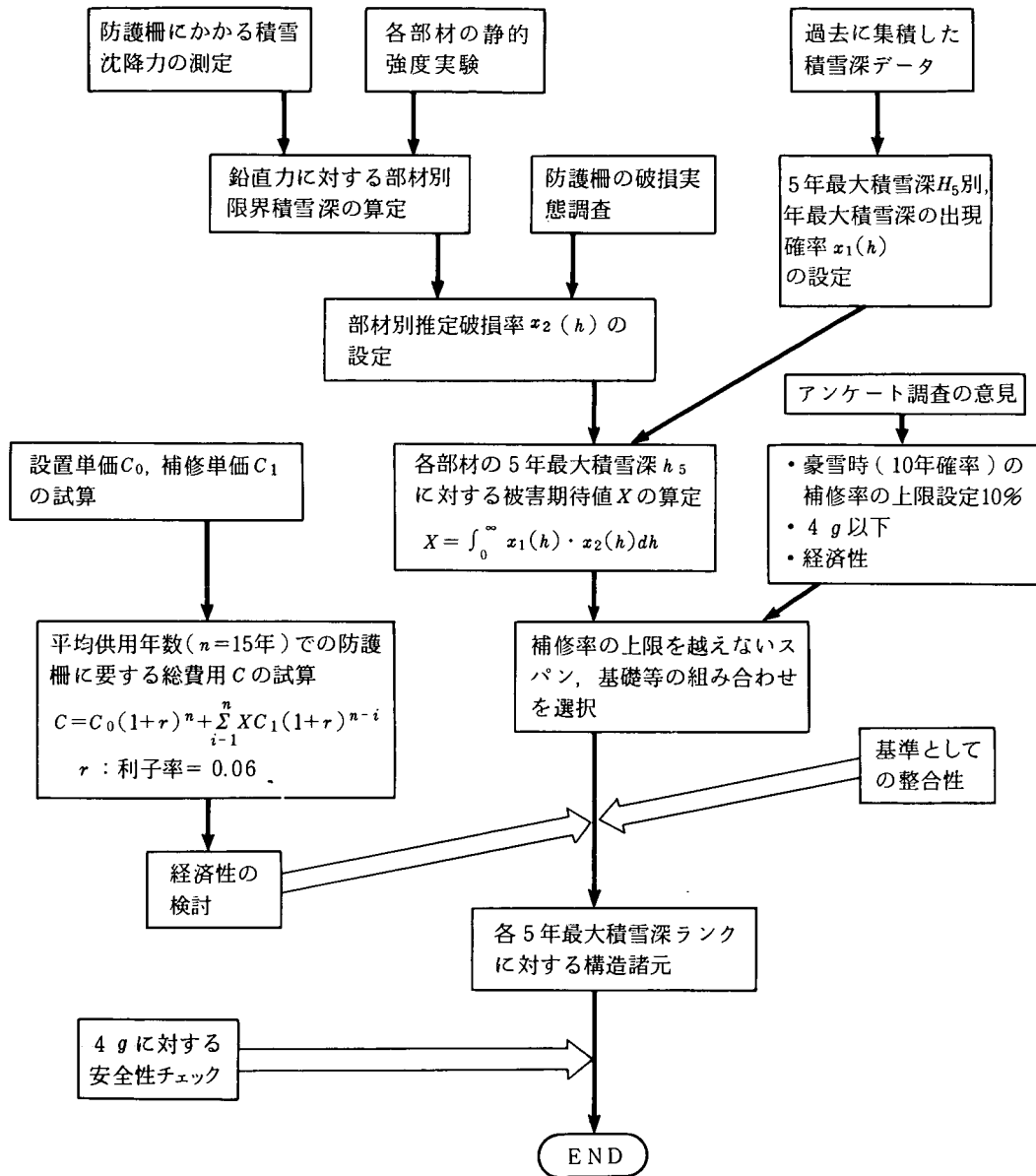


図6-1 耐雪型防護柵構造諸元設定のフロー

の位置におけるガードレール、ガードケーブルの沈降力との関係を示す。ここで法肩から 2.0 m の位置における計測結果を採用したのは、法肩から 0.3 m、1.0 m、2.0 m での計測値の中で最大値を示して、構造諸元の標準化をはかるための設計荷重としては、これを採用しておけば安全側になると考えられたためである。

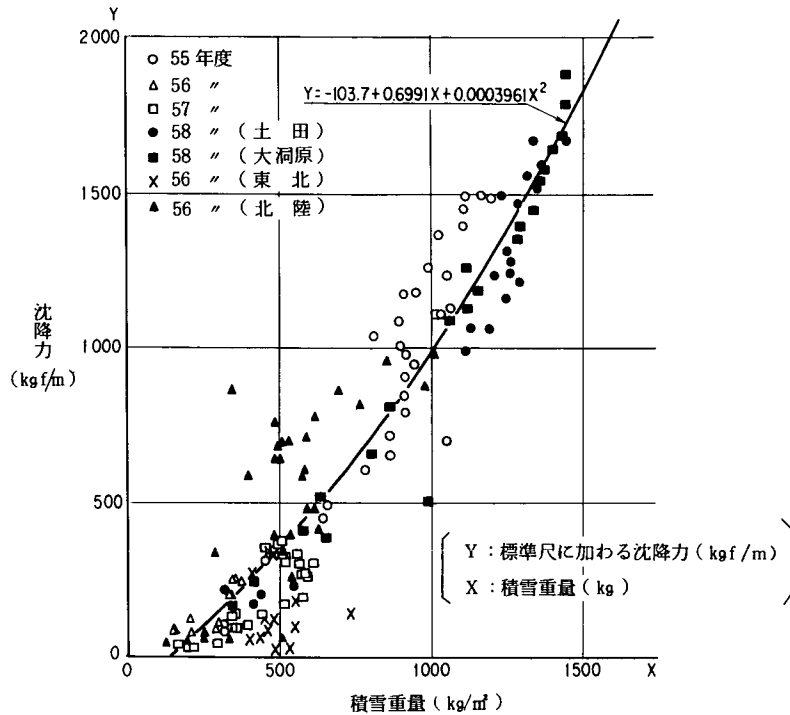


図 6-2 標準尺に加わる沈降力と積雪重量との関係

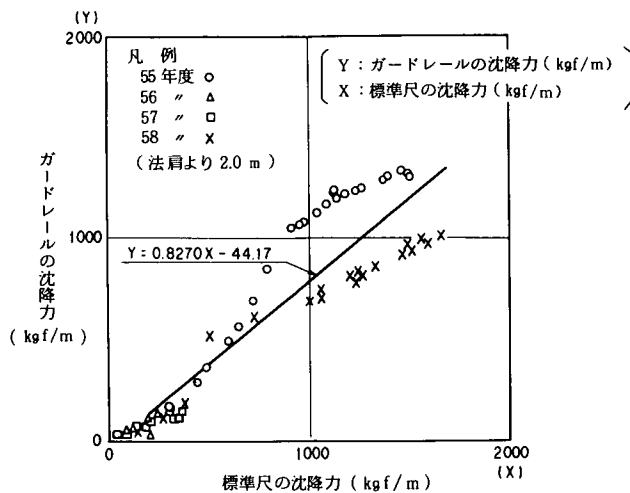


図 6-3 標準尺とガードレールに加わる沈降力の関係

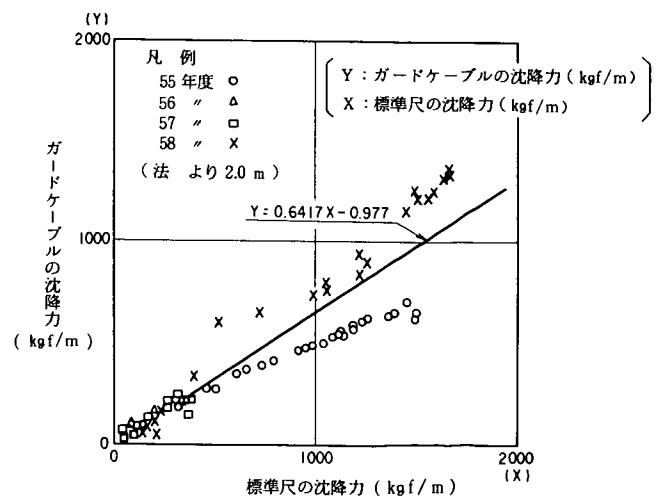


図 6-4 標準尺とガードケーブルに加わる沈降力の関係

ガードパイプやボックスビーム（中央分離帯用）および歩行者、自転車用防護柵に作用する沈降力は、図6-5に示す水平桁の断面形状別の沈降力測定結果から推定した。

中央分離帯用ガードレールやガードケーブルのように、2本の横材が並列している場合の沈降力は、図6-6に示す設置間隔別の水平桁に作用する沈降力のデータから推定した。

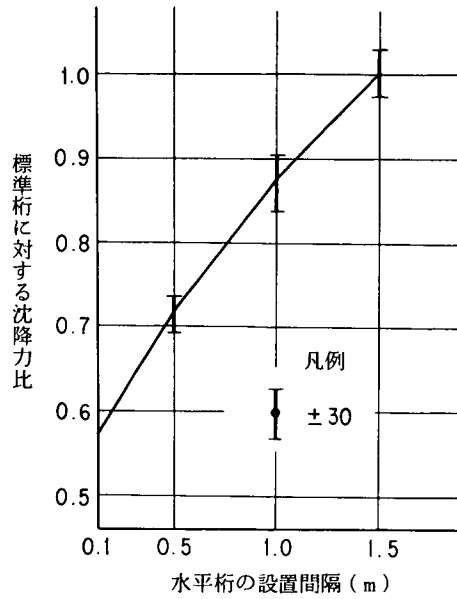
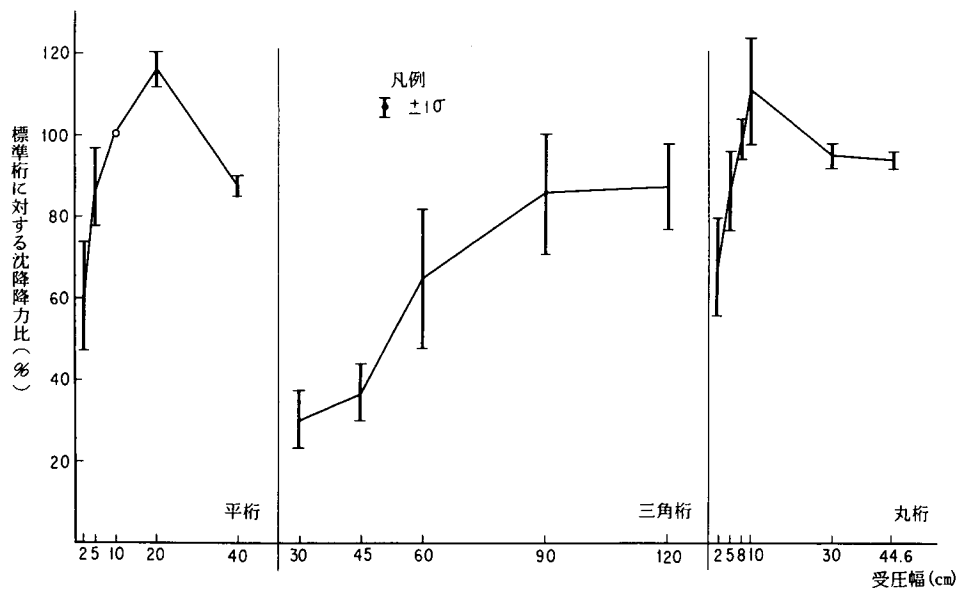


図6-6 設置間隔別の沈降力比



水平桁の条件	受圧幅 (cm)	2.5	10	20	40	10					2.5	8	10	30	44.6
	高さ (cm)	70				70					70				
	頂部角度(三角形, 度)					30	45	60	90	120					
	桁形状	平桁				三角桁					丸桁				

図6-5 各種水平桁と沈降力特性

6.2.2 部材の許容荷重

積雪荷重に耐える耐雪型防護柵の部材構造を見出すに先だって、まず標準型防護柵のビーム、ブラケット類といった部材について、静的載荷実験（研究報告書（その1，2））を実施した。

その結果、ガードレール・ガードケーブル・ガードパイプの3種類とも共通して、ブラケットの鉛直耐力が他部材に比べ弱いという結果を得たので、構造を強化した耐雪型ブラケットの開発実験を進め、防護柵全体の耐力向上を図ることとした。この実験開発の経緯については第5章に細述されているので、ここでは標準型と耐雪型のブラケット許容荷重について、求められた結果の比較を表6-1に示す。

なお、各種類別の改良ブラケットの概略を以下に示す。

ガードレール：ブラケットの板厚と板幅の変更

ビームねじれ防止補強金具の考案

ガードケーブル：ブラケットの板厚変更、ケーブル取付金具の変更、上下段分割タイプの1本化、取付ボルトの強化。

ガードパイプ：中間ブラケットを使用せず、継手タイプを全区間使用、補強金具を考案。

また、ガードケーブルの索端金具は雪圧により破断する場合もあるため、端末部に補助支柱を設けることとした。改良ブラケット部材の詳細については第5章を参照されたい。

表6-1 ブラケットの許容荷重

型式	種別	許容鉛直荷重 (tf)		許容水平荷重 (tf)	
		標準型	耐雪型	標準型	耐雪型
ガレ ール ドル	A	1.00	6.00	0.20	3.50
	B				
	C				
ガケ ー ブル ドル	A	1.90	5.88	1.40	8.80
	B		7.00		15.40
	C		6.35	2.80	7.70
	S		6.20		8.80
ガバ ー イ ド ブ	Ap	0.30	2.00	3.8	9.00
	Bp		1.80	3.5	8.00
	Cp				

注) ガードケーブル標準型ブラケットの許容荷重はケーブル取付金具部分の許容荷重である。

6.2.3 支柱の許容支持力

防護柵にかかる支柱の支持力は鉛直方向・水平方向ともに、道路の路肩からの設置距離や設置部の土質条件により、大きく影響を受ける。これらの諸条件を充分加味し、最適な基礎形状を選定する方法を見出すために、支柱載荷実験を実施し、支柱支持力の設計式を求め提案した（研究報告書（その2））。支柱実験お

よび設計方法の具体的内容については、第5章に記載されているので、ここでは、この設計式に基づき一般的な粘性土の中位の地盤 ($N=5$, $C=4 \text{ t/m}^2$, $r=1.6$) と法肩距離 1.0 m の条件における支柱基礎部の許容支持力を算出し、その一例を表 6-2 に示す。

また、コンクリート根巻形状を図 6-7 に示す。図中の鉄筋は支柱とコンクリートの付着強度を高めるためのものである。

表 6-2 支柱の許容支持力

種別	支柱径 (mm)	支柱埋込長 (mm)	根巻寸法 幅×長さ×厚さ (cm)	鉛直許容荷重 (tf/本)	水平許容荷重 (tf/本)
S ・ A	139.8	1650	なし	1.88	0.71
			40×40×25	4.65	0.81
			45×45×30	5.49	0.86
			50×50×35	6.45	0.95
B	114.3	1500	なし	1.31	0.46
			40×40×25	4.18	0.53
			45×45×30	5.02	0.60
			50×50×35	5.98	0.68
C	114.3	1400	なし	1.27	0.39
			40×40×25	4.14	0.46
			45×45×30	4.99	0.54
			50×50×35	5.95	0.63

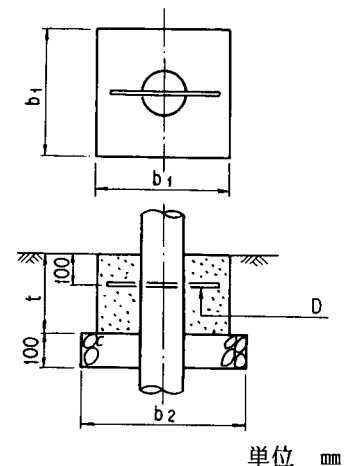


図 6-7 コンクリート根巻形状

6.2.4 限界積雪深

積雪に充分耐える防護柵を選定するには積雪深・雪密度から求めた沈降力と防護柵の型式や許容荷重、支柱の基礎構造や許容支持力等の諸条件から算出した限界積雪深とを基準に、耐雪型防護柵を選定するのが実情に適した方法と考えられる。

限界積雪深の各型式や部材に作用する数値については、研究報告書(その1~3)に計算結果が報告されているので、ここではガードレール、ガードケーブル、ガードパイプの各防護柵本体、および支柱基礎部に関する限界積雪深を抜粋し、表 6-3~表 6-9 に示す。

表6-3 ガードレールの積雪限界値 (本体)

種別	支柱間隔(m)	型式	Weak Point	許容荷重 Y (t/m)	標準荷重の標準尺への換算値 (tf/m) $X = (Y + 0.04417) / 0.8270$	許容積雪重量 (tf/m ²) $HW = -0.8824 + \frac{1.5844X + 0.6530}{0.7922}$	雪密度による積雪深(m)		
							(t/m ²) W=0.4	W=0.45	W=0.5
A	2	標準	ブラケット	0.50	0.658	0.761	1.903	1.691	1.52
		耐雪型	ビーム	2.50	3.076	2.085	5.212	4.633	4.17
	3	標準	ブラケット	0.33	0.452	0.595	1.487	1.322	1.19
		耐雪型	ビーム	1.39	1.734	1.445	3.612	3.211	2.89
	4	標準	ブラケット	0.25	0.356	0.510	1.275	1.133	1.02
		耐雪型	ブラケット	1.50	1.867	1.516	3.790	3.369	3.03
B	2	標準	ブラケット	0.50	0.658	0.761	1.903	1.691	1.52
		耐雪型	ビーム	1.90	2.351	1.758	4.395	3.906	3.51
	3	標準	ブラケット	0.33	0.452	0.595	1.487	1.322	1.19
		耐雪型	ビーム	0.94	1.190	1.129	2.822	2.508	2.25
	4	標準	ブラケット	0.25	0.356	0.510	1.275	1.133	1.02
		耐雪型	ブラケット	1.50	1.867	1.516	3.790	3.369	3.03
C	2	標準	ブラケット	0.50	0.658	0.761	1.903	1.691	1.52
		耐雪型	ビーム	1.30	1.625	1.385	3.463	3.079	2.77
	3	標準	ブラケット	0.33	0.452	0.595	1.487	1.322	1.19
		耐雪型	ビーム	0.56	0.731	0.816	2.040	1.813	1.63
	4	標準	ブラケット	0.25	0.356	0.510	1.275	1.133	1.02
		耐雪型	ビーム	0.29	0.404	0.553	1.382	1.223	1.10

表 6-4 ガードレール支柱基礎と対応する限界積雪深

種別	支柱		根 卷 寸 法 幅×長さ×厚さ (cm)	支 間 (m)	許容荷重Y		許 容 荷 重 の 標準尺への換算値 X (tf/m)	許容積雪 重 量 HW(t/m ²)	雪密度による積雪深(m)		
	径 (mm)	埋込長 (mm)			(tf)	(tf/m)			(t/m ²) W=0.4	W=0.45	W=0.5
S ・ A	139.8	1650	なし(標準)	4		0.47	0.62	0.73	1.83	1.62	1.46
				3	1.88	0.63	0.81	0.87	2.18	1.93	1.74
				2		0.94	1.19	1.13	2.82	2.51	2.26
			40×40×25	4		1.16	1.46	1.29	3.23	2.87	2.58
				3	4.65	1.55	1.93	1.55	3.87	3.44	3.10
				2		2.32	2.86	1.99	4.98	4.42	3.98
			45×45×30	4		1.37	1.71	1.43	3.59	3.18	2.86
				3	5.49	1.83	2.27	1.72	4.30	3.82	3.44
				2		2.75	3.38	2.21	5.52	4.91	4.42
			50×50×35	4		1.61	2.00	1.59	3.97	3.53	3.18
				3	6.45	2.15	2.65	1.90	4.75	4.22	3.80
				2		3.23	3.95	2.44	6.09	5.42	4.88
B	114.3	1500	なし(標準)	4		0.33	0.45	0.59	1.48	1.31	1.18
				3	1.31	0.44	0.58	0.70	1.75	1.56	1.40
				2		0.65	0.84	0.90	2.25	2.00	1.80
			40×40×25	4		1.04	1.32	1.21	3.02	2.69	2.42
				3	4.18	1.39	1.74	1.45	3.62	3.22	2.90
				2		2.09	2.58	1.87	4.66	4.16	3.74
			45×45×30	4		1.26	1.57	1.36	3.39	3.02	2.72
				3	5.02	1.67	2.08	1.63	4.06	3.62	3.26
				2		2.51	3.09	2.09	5.23	4.64	4.18
			50×50×35	4		1.50	1.86	1.51	3.78	3.36	3.02
				3	5.98	1.99	2.46	1.81	4.53	4.02	3.62
				2		2.99	3.67	2.33	5.82	5.18	4.66
C	114.3	1400	なし(標準)	4		0.32	0.44	0.58	1.46	1.29	1.16
				3	1.27	0.42	0.57	0.69	1.72	1.53	1.38
				2		0.64	0.82	0.88	2.21	1.96	1.76
			40×40×25	4		1.04	1.31	1.20	3.00	2.67	2.40
				3	4.14	1.38	1.72	1.44	3.60	3.20	2.88
				2		2.07	2.56	1.86	4.64	4.13	3.72
			45×45×30	4		1.25	1.56	1.35	3.37	3.00	2.70
				3	4.99	1.66	2.06	1.62	4.04	3.60	3.24
				2		2.49	3.07	2.08	5.21	4.62	4.16
			50×50×35	4		1.49	1.85	1.51	3.77	3.36	3.02
				3	5.95	1.98	2.45	1.81	4.51	4.02	3.62
				2		2.97	3.55	2.32	5.80	5.16	4.64

表 6-5 ガードケーブルの積雪限界値 (本体)

種別	支柱間隔(m)	型式	Weak Point	許容荷重 Y (tf/m)	許容荷重の 標準尺への換算値 (tf/m) $X=(Y+0.04417)/0.8270$	許容積雪重量 (t/m ²) $HW=-0.8824 + \frac{1.5844X+0.6530}{0.7922}$	雪密度による積雪深(m)				
							(t/m ²) W=0.4	W=0.45	W=0.5		
A	3	標準	ケーブル 取付金具 (改I) ブラケット	0.63	0.990	1.000	2.490	2.222	2.000		
		耐雪型		1.96	3.060	2.080	5.190	4.622	4.160		
	4	標準		0.48	0.750	0.830	2.075	1.844	1.660		
		耐雪型		1.47	2.292	1.730	4.326	3.845	3.461		
	5	標準		0.38	0.594	0.711	1.778	1.580	1.422		
		耐雪型		1.18	1.840	1.502	3.755	3.338	3.004		
	6	標準		0.32	0.500	0.635	1.588	1.411	1.270		
		耐雪型		0.98	1.529	1.331	3.327	2.958	2.662		
	B	3		標準	同 上	0.63	0.990	1.000	2.490	2.222	2.000
				耐雪型		2.33	3.640	2.310	5.790	5.133	4.620
		4		標準		0.48	0.750	0.830	2.075	1.844	1.660
				耐雪型		1.75	2.729	1.933	4.833	4.296	3.866
5		標準	0.38	0.594		0.711	1.778	1.580	1.422		
		耐雪型	1.40	2.183		1.677	4.193	3.727	3.354		
6		標準	0.32	0.500		0.635	1.588	1.411	1.270		
		耐雪型	1.17	1.825		1.494	3.734	3.320	2.988		
C		3	標準	同 上		0.63	0.990	1.000	2.490	2.222	2.000
			耐雪型			2.12	3.300	2.180	5.450	4.844	4.360
		4	標準			0.48	0.750	0.830	2.075	1.844	1.660
			耐雪型			1.59	2.479	1.819	4.548	4.043	3.638
	5	標準	0.38		0.594	0.711	1.778	1.580	1.422		
		耐雪型	1.27		1.981	1.575	3.938	3.500	3.150		
	6	標準	0.32		0.500	0.635	1.588	1.411	1.270		
		耐雪型	1.06		1.653	1.401	3.502	3.113	2.802		
	S	3	標準		同 上	0.63	0.990	1.000	2.490	2.222	2.000
			耐雪型			2.07	3.220	2.150	5.370	4.778	4.300
		4	標準			0.48	0.740	0.830	2.060	5.844	1.660
			耐雪型			1.55	2.420	1.740	4.470	3.978	3.580

表6-6 ガードケーブル支柱基礎と対応する限界積雪深

種別	支柱		根巻寸法 (幅×長さ×厚さ) (mm)	支柱間隔 (m)	許容荷重Y		許容荷重の 標準尺 への換算値 X (tf/m ²)	許容 積雪重量 HW (t/m ²)	雪密度による積雪深(m)		
	径 (mm)	埋込長 (mm)			(tf)	(tf/m)			(t/m ²)	W=0.4	W=0.45
S ・ A	139.8	1650	なし	6	1.88	0.31	0.49	0.63	1.56	1.40	1.26
				5		0.38	0.59	0.71	1.76	1.58	1.42
				4		0.41	0.73	0.82	2.04	1.82	1.64
				3		0.63	0.98	0.99	2.67	2.20	1.98
			400×400×250	6	4.65	0.77	1.21	1.14	2.85	2.53	2.28
				5		0.93	1.45	1.29	3.21	2.87	2.58
				4		1.16	1.81	1.49	3.72	3.31	2.98
				3		1.55	2.42	1.79	4.47	3.98	3.58
			450×450×300	6	5.47	0.92	1.43	1.27	3.18	2.82	2.54
				5		1.10	1.71	1.43	3.59	3.18	2.86
				4		1.37	2.14	1.66	4.14	3.69	3.32
				3		1.83	2.86	1.99	4.97	4.42	3.98
500×500×350	6	6.45	1.08	1.68	1.41	3.53	3.13	2.82			
	5		1.29	2.01	1.59	3.98	3.53	3.18			
	4		1.61	2.51	1.84	4.59	4.09	3.68			
	3		2.15	3.35	2.20	5.50	4.89	4.40			
B	114.3	1500	なし	6	1.31	0.22	0.34	0.50	1.24	1.11	1.00
				5		0.26	0.41	0.56	1.39	1.24	1.12
				4		0.33	0.51	0.64	1.61	1.42	1.28
				3		0.44	0.68	0.78	1.95	1.73	1.56
			400×400×250	6	4.18	0.70	1.09	1.06	2.66	2.36	2.12
				5		0.84	1.30	1.20	3.00	2.67	2.40
				4		1.04	1.63	1.39	3.47	3.09	2.78
				3		1.39	2.17	1.67	4.18	3.71	3.34
			450×450×300	6	5.02	0.84	1.31	1.20	3.00	2.67	2.40
				5		1.00	1.57	1.35	3.38	3.00	2.70
				4		1.26	1.96	1.56	3.91	3.47	3.12
				3		1.67	2.61	1.88	4.70	4.18	3.76
500×500×350	6	5.98	1.00	1.56	1.35	3.36	3.00	2.70			
	5		1.20	1.87	1.52	3.79	3.38	3.04			
	4		1.50	2.33	1.75	4.37	3.89	3.50			
	3		1.99	3.11	2.10	5.25	4.67	4.20			
C	114.3	1400	なし	6	1.27	0.21	0.33	0.49	1.22	1.09	0.98
				5		0.25	0.40	0.55	1.37	1.22	1.10
				4		0.32	0.50	0.63	1.58	1.40	1.26
				3		0.42	0.66	0.76	1.91	1.69	1.52
			400×400×250	6	4.14	0.67	1.08	1.06	2.64	2.36	2.12
				5		0.83	1.29	1.19	2.78	2.64	2.38
				4		1.04	1.62	1.38	3.45	3.07	2.76
				3		1.38	2.15	1.66	4.16	3.69	3.32
			450×450×300	6	4.97	0.83	1.30	1.19	2.99	2.64	2.12
				5		1.00	1.56	1.35	3.37	3.00	2.70
				4		1.25	1.95	1.56	3.89	3.47	3.12
				3		1.66	2.59	1.87	4.68	4.16	3.74
500×500×350	6	5.95	0.99	1.55	1.34	3.35	2.98	2.68			
	5		1.19	1.85	1.51	3.77	3.36	3.02			
	4		1.49	2.32	1.74	4.36	3.87	3.48			
	3		1.98	3.09	2.09	5.23	4.64	4.18			

表 6-7 ガードパイプ限界積雪深 (本体)

種別	支柱間隔 (m)	型式	Weak Point	許容荷重 Y (tf/m)	許容荷重の標準尺への換算値 (tf/m) X=1.11Y	許容積雪重量 (t/m ²) $HW = -0.8824 + \frac{15844 + 0.6530}{0.7922}$	雪密度による積雪深 (m)		
							(t/m ²) W=0.4	W=0.45	W=0.5
A	2	標準	ブラケット	0.15	0.167	0.327	0.82	0.72	0.65
B	1			0.43	0.477	0.616	1.54	1.36	1.23
C	1			1.72	1.909	1.538	3.84	3.41	3.07
B	2	耐雪型	ビーム	0.23	0.255	0.415	1.03	0.92	0.83
A	1			0.92	1.021	1.019	2.54	2.26	2.03
C	1			0.18	0.200	0.361	0.90	0.80	0.72
	1			0.72	0.799	0.866	2.16	1.92	1.73

表 6-7 のビームの許容荷重に関しては、実験を行っていないため、とりあえず許容曲げ応力度を 2400 kg/cm² とし、等分布荷重単純支持梁の条件で求めたものである。そして、ブラケットは実験から、また支柱基礎は計算から許容荷重を設定した。

表 6-8 ガードパイプ支柱基礎と対応する限界積雪深

種別	支柱 (mm)		根巻寸法 (mm) 幅×長さ×厚さ	支間 (m)	許容荷重 Y		許容荷重の標準尺への換算値 X (tf/m)	許容積雪重量 HW (t/m ²)	雪密度による積雪深 (m)		
	径	埋込長			(tf)	(tf/m)			(t/m ²) W=0.4	W=0.45	W=0.5
A	139.8	1650	なし (標準)	2	1.88	0.94	1.04	1.08	2.58	2.28	2.06
				1		1.88	2.09	1.68	4.08	3.62	3.26
				2	4.65	2.32	2.58	1.88	4.68	4.16	3.74
				1		4.65	5.16	2.86	7.16	6.38	5.74
B	114.3	1500	なし (標準)	2	1.31	0.65	0.72	0.83	2.03	1.80	1.62
				1		1.31	1.45	1.23	3.23	2.87	2.58
				2	4.18	2.09	2.32	1.75	4.35	3.87	3.48
				1		4.18	4.64	2.63	6.73	5.98	5.38
C	114.3	1400	なし (標準)	2	1.27	0.64	0.71	0.80	2.00	1.78	1.60
				1		1.27	1.41	1.25	3.15	2.80	2.52
				2	4.14	2.07	2.30	1.73	4.33	3.84	3.46
				1		4.14	4.60	2.68	6.68	5.93	5.34

表 6-8 の支柱基礎の検討においては、ビームおよびブラケットの耐力より支柱基礎の許容荷重 (Y) の方が明らかに大きいため、根巻形状は □40×40×25cm のものだけ計算した。

6.3 破損確率と経済性

6.3.1 防護柵部材の破損確率

ある場所での防護柵部材の破損確率 X は(6-1)式で求められる。

$$X = \int_0^{\infty} x_1(h) \cdot x_2(h) \cdot dh \quad (6-1)$$

ただし、 $x_1(h)$: 設置場所における最大積雪深の確率密度関数

$x_2(h)$: 最大積雪深が h のときの防護柵部材の想定破損率

(1) 最大積雪深の出現確率

最大積雪深は毎年変化し、その変動幅は地域によっても大きな差があると考えられるが、ここでは最大積雪深の分布を正規分布と仮定した。従って、最大積雪深の平均値(μ)と標準偏差(σ)がわかれば、その確率密度関数は(6-2)式で示される。

$$x_1(h) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{h-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (6-2)$$

また、 μ と σ については新潟、富山、石川3県の74地域における最大積雪深の度数分布から求めると図6-8のような相関関係になる。さらに、 μ と σ の関係は最小二乗法により(6-3)式に近似した。

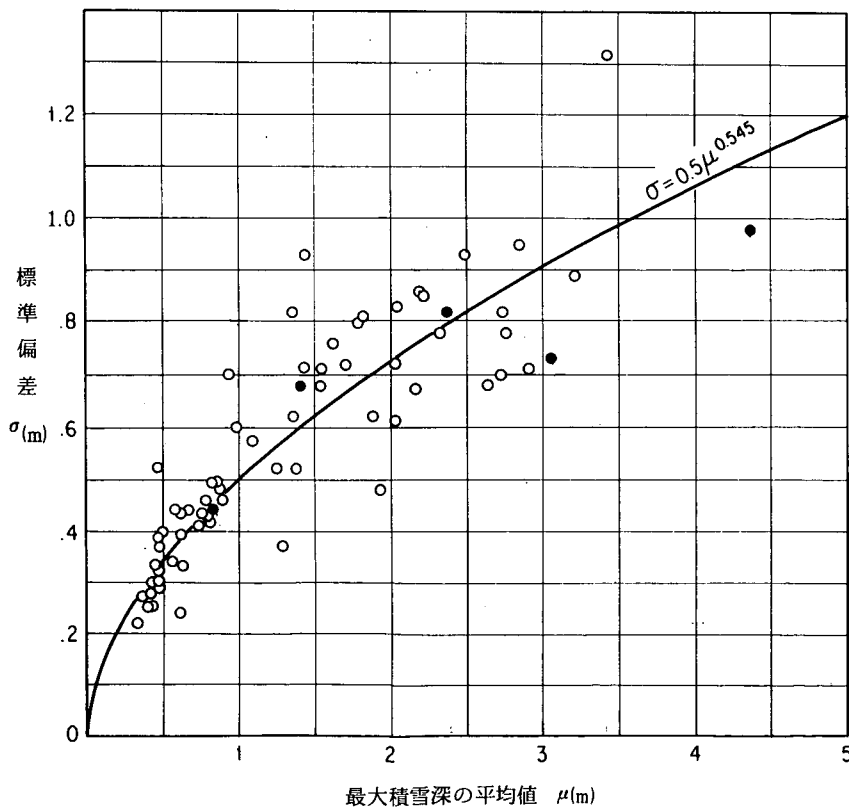


図6-8 最大積雪深の平均値と標準偏差

$$\sigma = 0.5 \mu^{0.545}$$

(6-3)

このように最大積雪深の平均値(μ)によって、その場所での最大積雪深の確率密度関数の近似値を得るようにしたが、破損確率と経済性の検討にあたっては、道路管理者が実際に入手し易い気象データである5年再現最大積雪深を基準として行った。

5年再現値の超過確率を0.2として

$$\int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \cdot dx = 0.2 \text{ のときの } x \text{ を正規分布表から求めれば } x = 0.84162$$

となる。従って5年再現積雪深(H_5)は(6-4)式となる。

$$H_5 = \mu + 0.84162 \sigma$$

(6-4)

また μ と σ の関係は(6-3)式で表わされるから、(6-3)、(6-4)式より μ を消去すれば、 H_5 と σ の関係が求められる。また5年再現積雪深 H_5 がわかれば、その場所での確率密度関数がわかることになる。

図6-9に5年再現最大積雪深(H_5)が1.0~5.0 mの場合の $x_1(h)$ を示す。

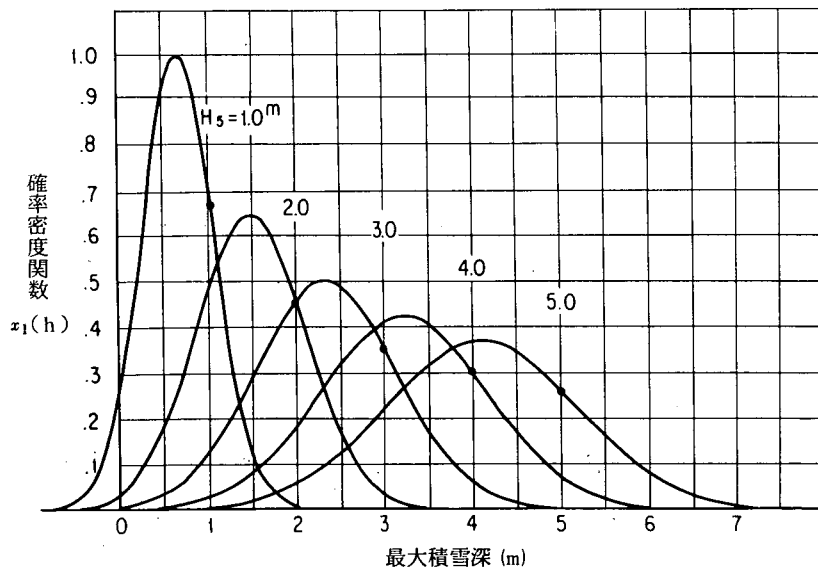


図6-9 最大積雪深の分布

(2) 防護柵部材の破損率

防護柵各部材が耐え得る限界積雪深については前項で述べているが、実際の積雪深がこれを越えた場合、どの程度の割合で破損するかについては不確定な要素が多く、まだ明らかになっていない。そこで、防護柵部材の破損率は限界積雪深と第2章で述べている破損実態調査から得られた破損率を勘案し、推定した。ここで求めた破損率は沈降力によるもの、水平力によるものといった要因ごとの区分ができなかったため、双方の要因を含め、破損率として採用した。従って、設計上の雪圧は沈降力を対象としているが、破損率におい

ては、沈降力、水平力、双方を考慮したことになっている。積雪深とガードレール、ガードケーブルの基礎、ガードレールビームの破損率をそれぞれ図6-10, 11, 12に示す。

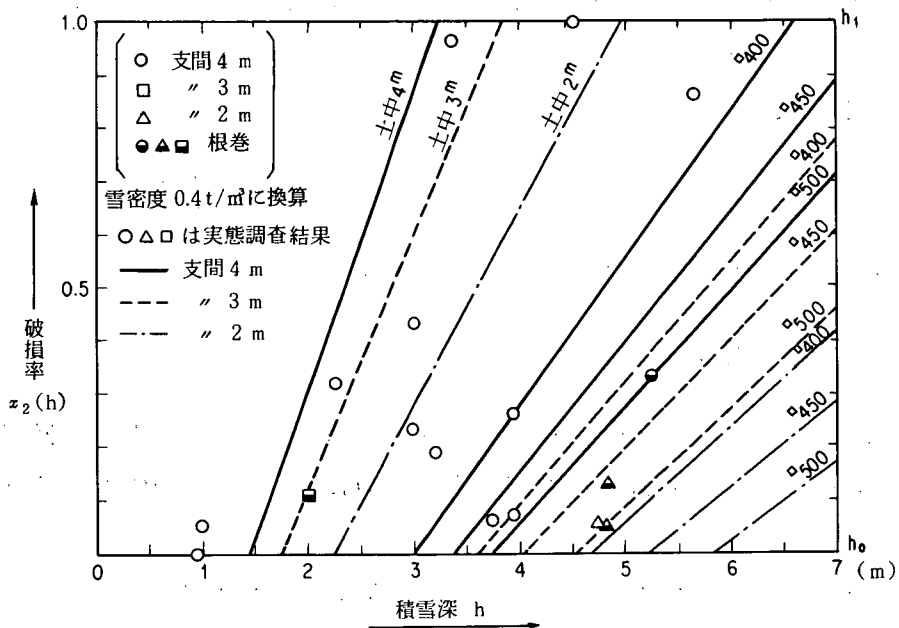


図6-10 ガードレールB種支柱基礎想定破損率

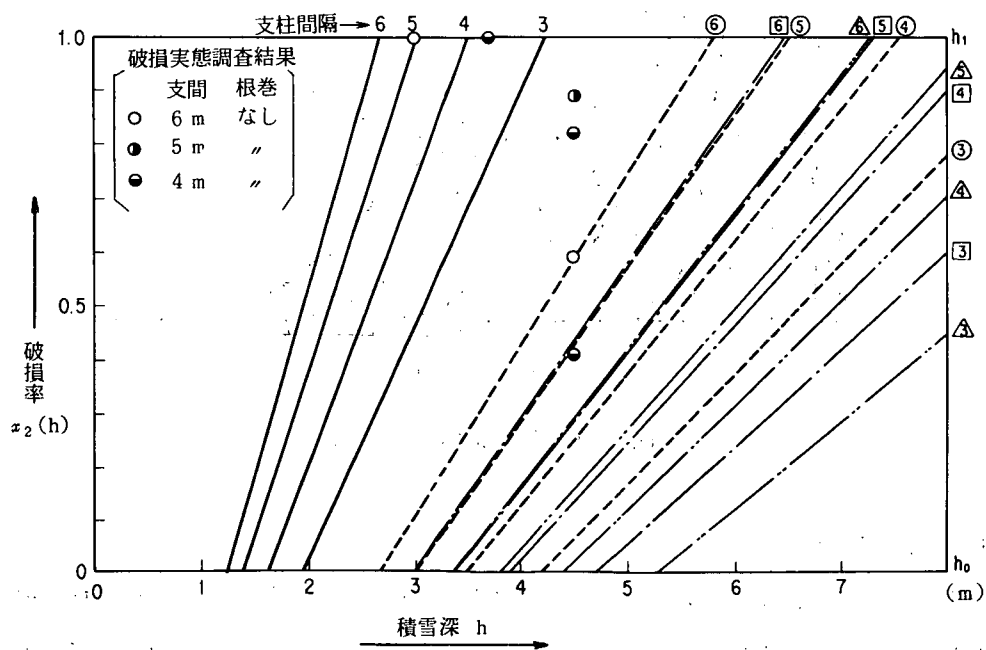
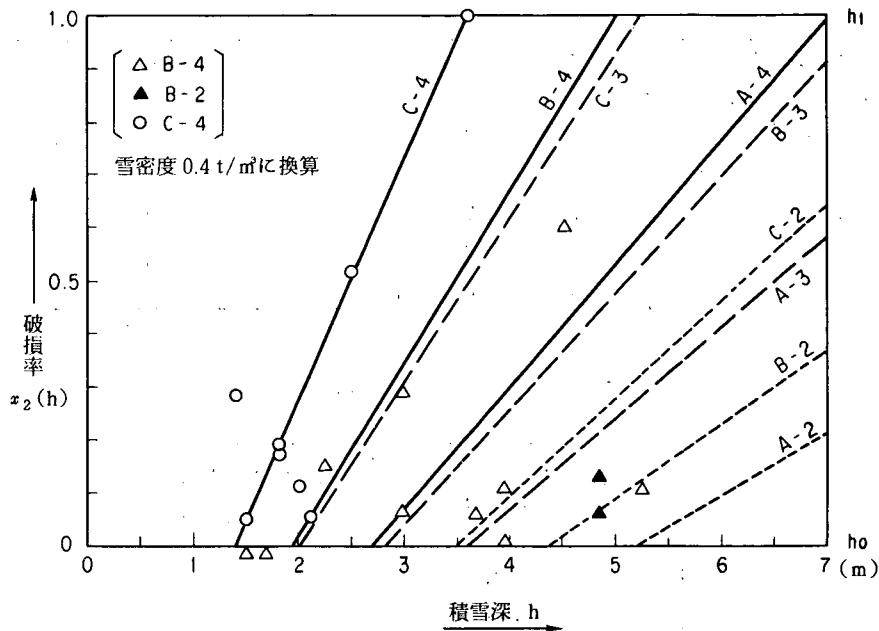


図6-11 ガードケーブルB種支柱基礎想定破損率



注) 図中 A . B . C は種別, 2 . 3 . 4 は支間(m)を示す。
 ○△は実態調査結果

図 6 - 12 ガードレールビーム想定破損率

(3) 毎年の破損確率の上限值

防護柵の毎年の破損確率をどの程度に定めるかについては道路、交通の状況、道路管理者の補修能力等によって種々の考え方があるが、道路管理者にアンケート調査を行った結果、56豪雪でも10%を越えないものとする意見が大多数であった。このため豪雪年の補修に要する期間等を考慮して、10年再現最大積雪深における破損率が、おおむね1割を越えないことを一応の目安とした。

一方、5年再現最大積雪深 H_5 の場所における10年再現最大積雪深 H_{10} を正規分布表から求め、破損率が10年再現最大積雪深に対し10%となる部材を仮定し、毎年の破損確率を算出すると表6-9, 10のようになった。従って、毎年の破損確率の上限値を2%とすれば、10年再現の豪雪があった場合でも、その破損率は10%以下におさまるものと考えられる。

表6-9 ガードレールの毎年の破損確率の上限値

H_5 (m)	支柱基礎(A, B種)		支柱基礎(C種)		ビーム(A, B, C種)		ブラケット(A, B, C種)	
	h_0 (m)	X (%)	h_0	X	h_0	X	h_0	X
1.00	1.051	2.8	1.084	3.3	1.015	2.6	1.012	2.6
2.00	2.031	2.6	2.095	2.9	1.961	2.5	1.954	1.9
3.00	2.993	2.5	3.087	2.8	2.890	2.5	2.881	2.5
4.00	3.945	2.5	4.070	2.7	3.810	2.5	3.798	2.4
5.00	4.892	2.5	5.046	2.6	4.724	2.5	4.708	2.5

表6-10 ガードケーブルの毎年の破損確率の上限値

H_5 (m)	支柱基礎, ブラケット(A, B, C, S種)	
	h_0 (m)	X (%)
1.00	1.055	2.8
2.00	2.038	2.6
3.00	3.004	2.5
4.00	3.960	2.5
5.00	4.909	2.5

(4) 毎年の破損確率

5年再現最大積雪深(H_5)が0.5~5.0mにおける毎年の破損確率を(6-1)式から求め、その結果の一例を図6-13, 14に示す。

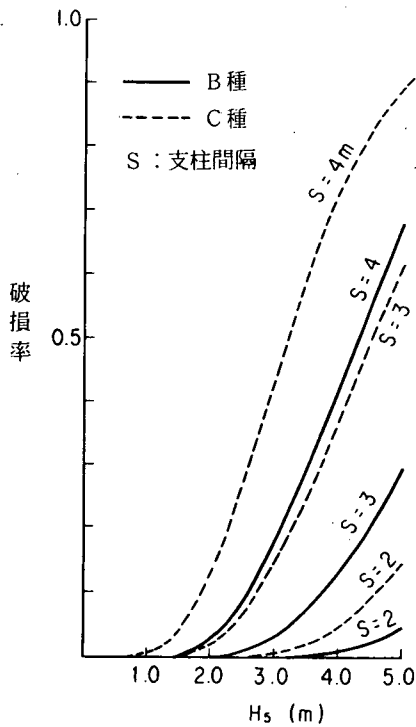


図6-13 ガードレールビームの破損率

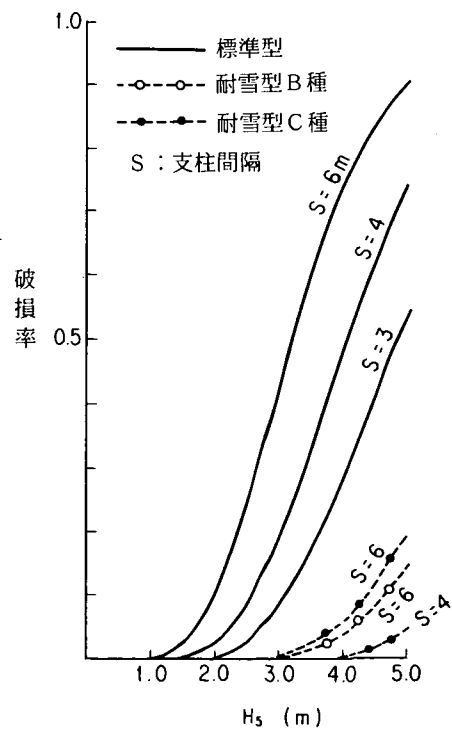


図6-14 ガードケーブルブラケットの破損率

6.3.2 経済性について

各防護柵形式については第5章において種々の補強方法を提案しているが、実際に設置するにあたっては、平均供用年数に対する総費用、即ち、設置費と維持費とを合計した総費用が原則として最小となるような方法を選定しなくてはならない。そこで、各防護柵形式ごとに、総費用への影響度が高い支柱間隔と根巻寸法の組合せについて、初期設置費（ C_0 ）と平均供用年数における予想補修費（ C_1 ）を合計した総費用（ C ）を算出して比較検討を行った。

総費用は（6-5）式に示す一般式を用いて算出した。

$$C = C_0 \cdot (1+r)^n + \sum_{i=1}^n C_1 \cdot X \cdot (1+r)^{n-i} \quad (6-5)$$

C : 総費用

C_0 : 防護柵の設置単価

C_1 : 防護柵の補修単価

r : 利子率（0.06）

n : 防護柵の供用年数（15年）

X : 防護柵の毎年の破損確率

ただし、

$$X = \int_0^{\infty} x_1(h) \cdot x_2(h) \cdot dh$$

ここで $x_1(h)$: 設置場所における最大積雪深の確率密度関数

$x_2(h)$: 最大積雪深が h の時、防護柵の破損する確率

最適な形式を決めるにあたっては、（6-5）式で算出した C が最小となるものを選定するようにしたが、次のような理由から、最小値にこだわらずに形式選定したものもある。

例えば、ガードレールのB・C種については、ビームのみをランクアップした方が経済的な場合もあるが、種々のランクアップと比べて総費用に著しい差はなく、また車両衝突に対する機能、維持管理等も考慮し、ビームのみのランクアップではなく、種別の変更を行うものとした。

また、ガードケーブルの経済性については、部材・基礎の破損確率が約2%以下を満足する構造のうち、総費用が少ない2～3種を選び、その中で総費用が多少高くなっても、次に示す理由から根巻が小さく、支柱間隔の短い構造を選択することにした。

a) 根巻を大きくすると、大きな路肩余裕幅が必要となり、適用できる場所が限定されてくる。

b) 今回の耐雪型の構造の破損率の設定は鉛直許容荷重をもとにして設定しているが、設置場所によっては水平力のかかる場合も考えられる。この場合、支柱間隔を短縮することは両方向の荷重に対して同じ比率で効果があるが、根巻きの場合、水平力に対する効果はそれほど期待できない。

この点を考慮すれば、支間の短縮をする方が安全である。

(1) 施工費算出方法

施工費は次に示す条件で算出した。

1) 設置延長

各種防護柵の耐雪型を土中に設置することを想定し、一連の設置延長を 200 m として初期設置費を算出した。

2) 工事歩掛り

初期工事費を積算するための工事歩掛り、および施工量は建設省土木工事積算基準（建設物価調査会、昭和59年版）に準拠した。また、補修工事費については、ビーム取付工事および支柱施工費を基礎の補修費用（ C_1 ）の中に入れているが、基準工数については取りはずし・取り付け工事となるので、1.5 倍の割増しを行っている。

(2) 材料費積算方法

材料費は各防護柵形式の耐雪型の土中建込用について、建設物価（昭和59年5月版）に準じて、一連の長さを 200 m として積算した。

(3) 各防護柵形式の総費用比較

1) ガードレール

柱間隔、根巻、ビームのランクアップおよびそれらの組合せである。そこで、(6-6) 式によって総費用を求め、各積雪ランクごとに、C 種の標準設置での総費用 C_{Cl} を 1.0 としたときの他形式の総費用の比率を図 6-15 に示す。昭和59年度現在で算出した場合、 $C_{Cl} = 14,588$ 円/m である。

$$C = C_0 \cdot (1+r)^n + \sum_{i=1}^n (C_1 \cdot X + C_1' \cdot X' + C_1'' \cdot X'') \cdot (1+r)^{n-i} \quad (6-6)$$

ここで C : 総費用

C_0 : ガードレールの設置費

C_1 : ガードレールの基礎補修費

C_1' : ガードレールのビームの補修費

C_1'' : ガードレールの耐雪型ブラケットの補修費

r : 利子率 0.06

n : ガードレールの平均供用年数 15年

X : ガードレール基礎の 1 冬での破損率

X' : ガードレールビームの 1 冬での破損率

X'' : ガードレール耐雪型ブラケットの破損率

である。ただし、

$$X = \int_0^{\infty} x_1(h) \cdot x_2(h) \cdot dh$$

$$X' = \int_0^{\infty} x_1(h) \cdot x_2'(h) \cdot dh$$

$$X'' = \int_0^{\infty} x_1(h) \cdot x_2''(h) \cdot dh$$

- $x_1(h)$: 設置場所における最大積雪深の確率密度関数
- $x_2(h)$: 積雪深が h のときガードレール基礎の破損率
- $x_2'(h)$: 積雪深が h のときガードレールビームの破損率
- $x_2''(h)$: 積雪深が h のときガードレール耐雪型ブラケットの破損率

なお、図6-15～図6-17の中で基礎の種類は表6-11に示す形式とする。

表6-11 対象とした基礎の種類

基礎の種類	仕 様			
I	標準型土中建込支柱			
II	コンクリート根巻 (□ 400 × 400 × 250) 付き支柱			
III	コンクリート根巻 (□ 450 × 450 × 300) 付き支柱			
IV	コンクリート根巻 (□ 500 × 500 × 350) 付き支柱			
種類	I	II	III	IV
基礎部略図				

2) ガードケーブル

ガードケーブルの場合、経済性の面から検討を要するのは支柱間隔と根巻との組合せである。そこで、(6-7)式によって総費用を求め、各種積雪ランクごとに、C種の標準設置での総費用 C_{CI} を1.0としたときの他形式の総費用の比率を図6-16に示す。昭和59年度現在で算出した場合、 $C_{CI} = 13,211$ 円/mである。

$$C = C_0 \cdot (1+r)^n + \sum_{i=1}^n C_1 \cdot X \cdot (1+r)^{n-i} \quad (6-7)$$

ここで C : 総費用

C_0 : ガードケーブルの設置費

C_1 : ガードケーブルの基礎補修費

r : 利子率 0.06

n : ガードケーブルの平均供用年数 15年

X : ガードケーブル基礎の一冬での破損率

●: 各形式での $\frac{C}{C_{CI}}$ の値 ×: 毎年の破損確率が2%を超えるもの □: 耐積標準型として採用したもの

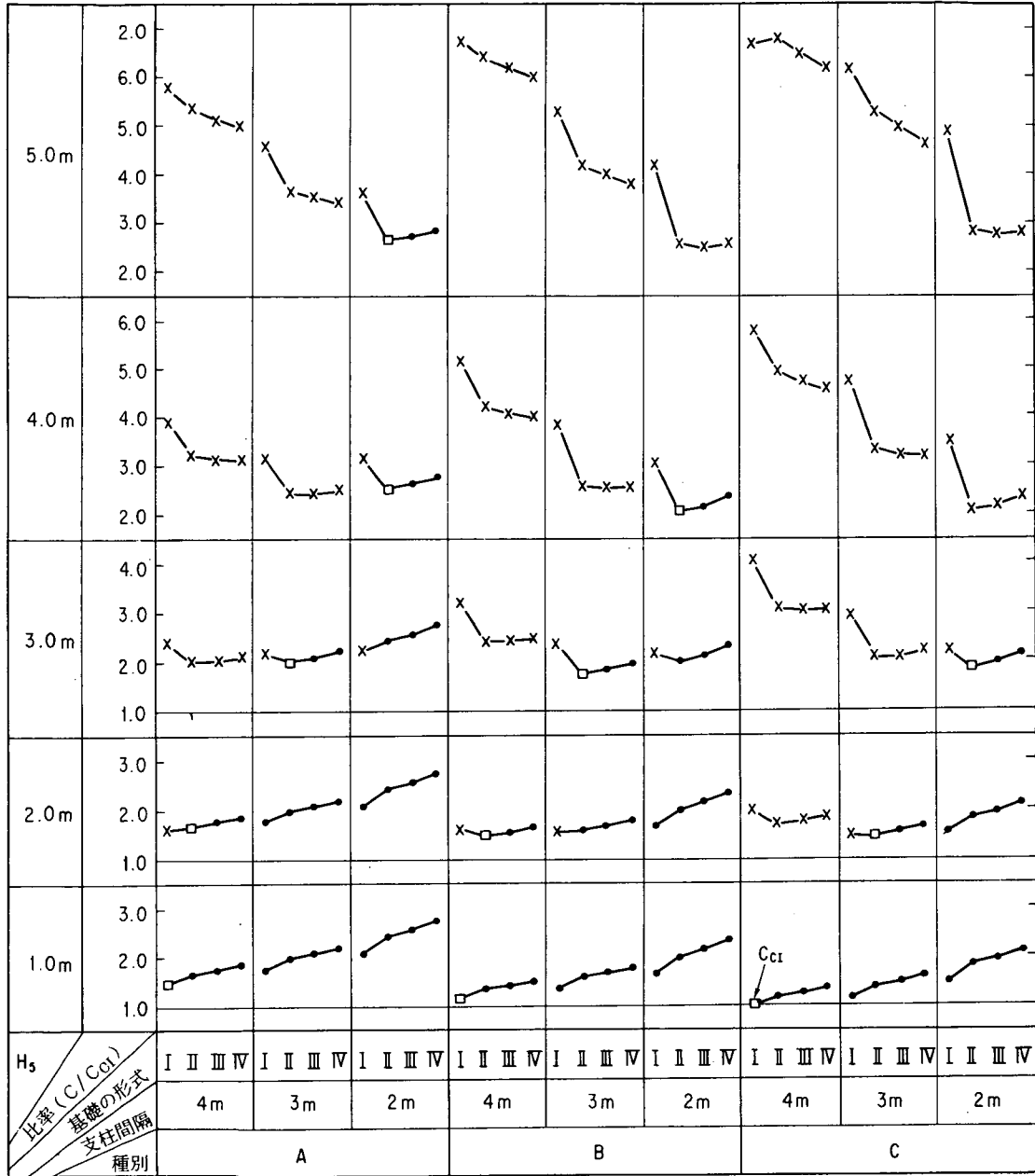


図6-15 各形式ごとの総費用比率（ガードレール）

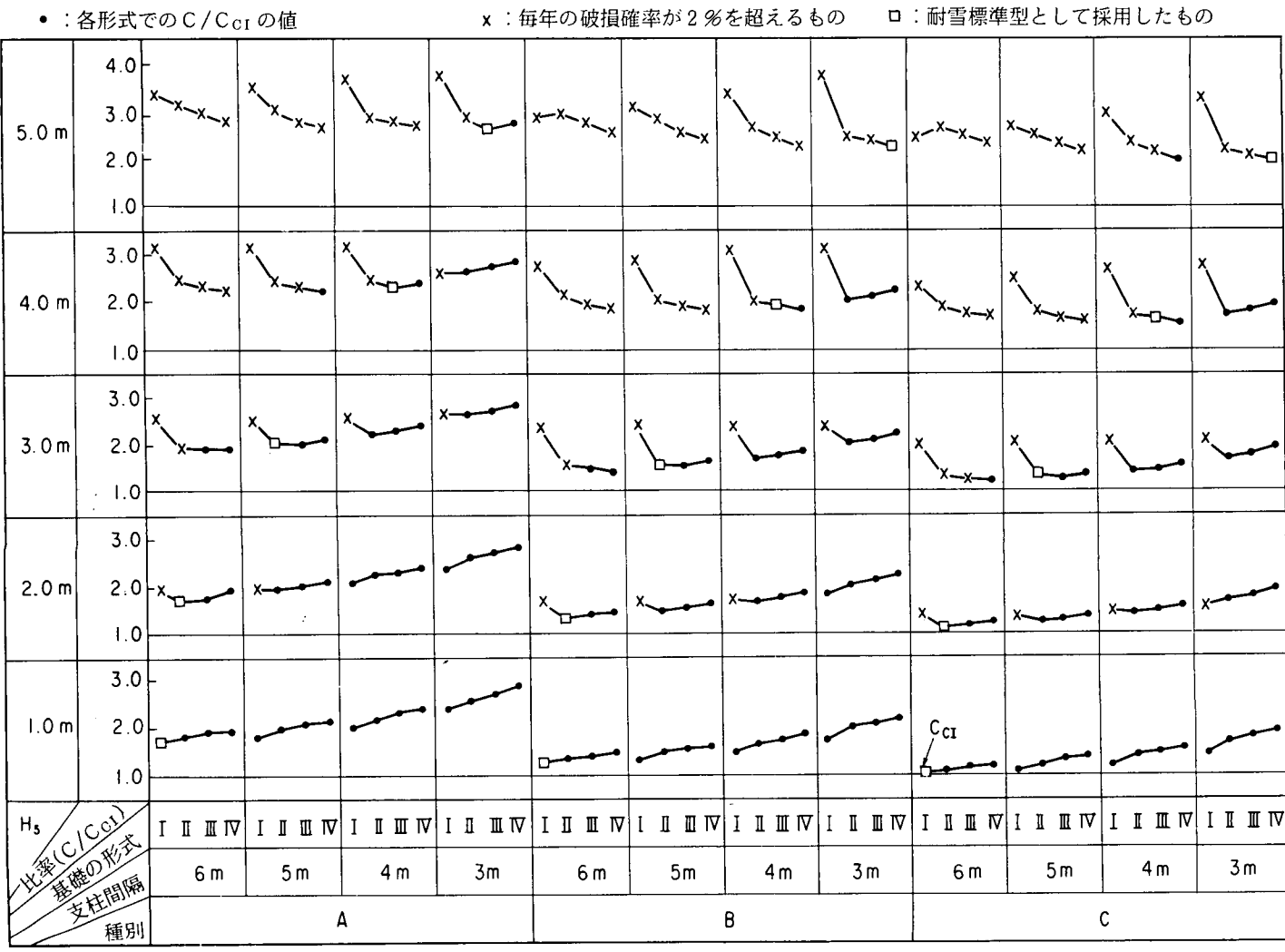


図 6-16 各形式ごとの総費用比率 (ガードケーブル)

である。ただし、

$$X = \int_0^{\infty} x_1(h) \cdot x_2(h) \cdot dh$$

$x_1(h)$: 設置場所における最大積雪深の確率密度関数

$x_2(h)$: 積雪深が h のときガードケーブル基礎の破損率

3) ガードパイプ

ガードパイプについては1)のガードレールと同様に考え、総費用は(6-6)式によって求める。標準設置でのC種の総費用 C_{C1} を1.0としたとき、他形式の総費用を図6-17に示す。

なお、ガードパイプは破損率をみると基礎よりも上部構造の方が弱いので、コンクリート根巻は考えず、土中のみとした。昭和59年度現在で算出した場合、 $C_{C1} = 33,898$ 円/mである。

● : 各形式での C/C_{C1} の値 x : 毎年の破損確率が2%を超えるもの

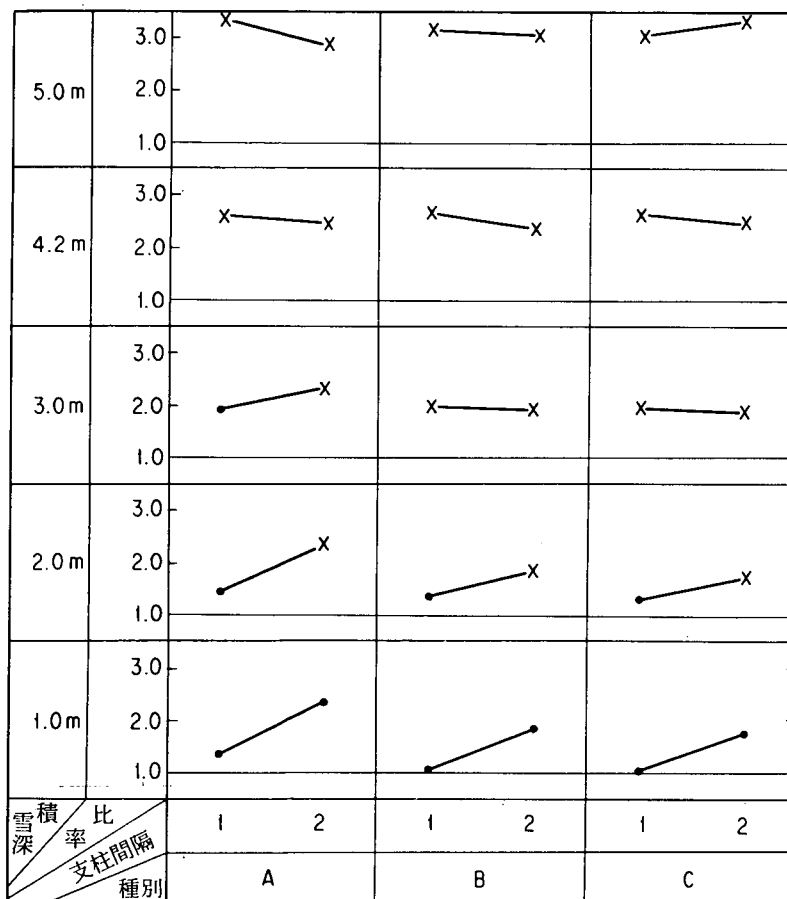


図6-17 各形式ごとの総費用比率 (ガードパイプ)

6.4 加速度に関する検討

「防護柵設置要綱」に示されている標準型防護柵は、車両衝突時の水平方向の荷重のみを考慮して設計されている。それに対し、本研究で検討を行ってきた耐雪型防護柵は、積雪沈降力のような沈降荷重に耐えられるよう支柱間隔の短縮、根巻きコンクリートの実施、部材の補強等で全体に剛性を高めているため、衝

突、車両の加速度が標準型防護柵に比して大きくなる点が懸念された。

ここでは「防護柵設置要綱」（以下「要綱」と記す）の計算式（防護柵の構造設計）を用いて車両加速度の計算を行ない、「要綱」に示す設計条件の加速度の値が満足できることを確認した。

また、ガードパイプについては「要綱」に構造計算例がないため、ガードレールに準じて計算を行なった。

6.4.1 加速度の設計条件

車両の受ける加速度が最も大きくなる場合を想定し、下記の条件で計算を行なった。

1) 設置条件………橋梁・擁壁・函渠等のコンクリート中に設置
支柱の設置条件としては、土中設置よりコンクリート設置の方が支柱の支持力も高く、車両の受ける加速度も大きくなる。

2) 車両の重量……… $W_1 = 3.5 \text{ t}$ （低負荷）
車両の重量としては、「要綱」の設計条件中の2種の車両重量から加速度の大きくなる低負荷 $W_1 = 3.5 \text{ ton}$ の方を選んだ。

3) 防護柵の種別………耐雪型A種
防護柵の種別としては、「要綱」の設計条件が 4 g 以下となるよう規定されているA, B, C種の内から剛性の最も高いA種を選んだ。

- 4) 支柱間隔 ガードレール……… 2 m
 ガードパイプ……… 1 m
 ガードケーブル……… 3 m

支柱間隔は「6.2 構造に関する検討」に示されている各品種の値から、各々の品種のコンクリート設置の場合の最狭支柱間隔を選んだ。

6.4.2 計算に使用した基礎式

(1) 基礎式

計算には、「要綱」付録-1に示す防護柵の構造設計から、ガードレールの基礎式、ガードケーブルの基礎式を使用した。基礎式の記号および数値はすべて「要綱」に依った。基礎式を表6-12に示す。

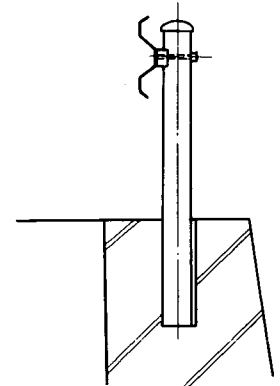


図6-18 支柱のコンクリート中への設置例

表6-12 計算に使用した基礎式

諸元	品種別	ガードレール	ガードパイプ	ガードケーブル
2n (最大進入行程時に衝撃負荷を受ける支柱の本数)	※ $2n \frac{4}{5} T [l (\sqrt{1+\tan^2\theta} - 1) - \delta] (1+r) + 2n \eta_p \frac{i}{1+i} E_t$ $-(E_t - E_{out}) = 0$ ……………(6-1) (但し、 $r = 0$)			$200NC \frac{l^2}{L} (\sqrt{1+\tan^2\theta} - 1)^2 n^2$ $+ 2nl (\sqrt{1+\tan^2\theta} - 1) T_0 n$ $+ 2n \eta_p \frac{i}{1+i} E_t - (E_t - E_{out}) = 0$ ……………(6-2) (但し $l = 3 \text{ m}$)
(車両bの加速度)	$F_r = 2nf$ (ton), $F = F_r \psi_1$ (ton) $bb = F/W_1$ (g)			……………(6-3)
判定式		$b < 4.0$ (g)		……………(6-4)

注) ① $W = 3.5 \text{ ton}$ での T (最大進入行程時の水平材に加わる張力) は

$$T = W_1 \cdot T_A / W_{1H} = 3.5 \times 32 / 14 = 8 \text{ ton}$$

とする。ただし、 W_{1H} : 車両の重量の内、大型車重量 (= 14 ton)

T_A : コンクリートに設置する場合のビームの張力で大型車の場合 32 ton となる。

② ガードレール、ガードパイプについては、耐雪型防護柵の場合、剛性が高くなることを考慮して、コルゲーションによる緩和係数を $r = 0$ とする。

③ ガードパイプの支柱間隔。これが 1 m の場合、上記計算式の中で

$$2n \frac{4}{5} T \{ l (\sqrt{1 + \tan^2 \theta} - 1) - \delta \} (1 + r) \text{ の値は負となるため、この場合、この項は } 0 \text{ とした。}$$

(2) 計算式に使用した記号および数値

① 各品種に共通に使用した記号

W_1 :	車両の重量 (t)	(= 3.5 t)
W_2 :	支柱 1 本当たりの、衝突に関与する土等の重量 (t)	(= 2.5 t)
E_t :	車両が防護柵に持ち込む直角方向の運動エネルギー (t・m)	(= 3.3 t・m)
E_{aut} :	最大進入行程における車両等の吸収エネルギー (t・m)	(= 0.9 t・m)
f :	最大進入行程時に支柱 1 本当たりに加わる力 (tf)	(= 2.5 tf)
l :	支柱の中心間隔 (m)	
$2n$:	最大進入行程時に衝撃負荷を受ける支柱の本数	
F_r :	防護柵の直角方向の衝撃力 (tf)	
F :	車両の防護柵直角方向の衝撃力 (tf)	
b :	車両の 1 加速度 (g)	
ψ_1 :	テコ比 $\psi_1 = (h_1 + h_2) / (h_2 + h_3)$	
	$h_1 =$ 地表面から衝突初期に力が加わる点までの高さ (= 0.6 m)	
	$h_2 =$ 地表面から最大進入行程時に力が加わる点までの高さ (= 0.3 m)	
	$h_3 =$ 地表面から最大進入行程時に最大曲げモーメントを受ける点までの深さ (= 0.2 m)	
i :	W_1 / W_2 軽量車の場合は 0.71	
η_p :	$W_1 / (W_1 + W_2)$ 軽量車の場合は 0.58	

② ガードレール・ガードパイプの計算に使用した記号

T :	最大進入行程時の水平材に加わる張力(t)	(表 6-13, 上記注①参照)
δ :	ビームの継手穴による伸び	(= 0.005 m)
r :	ビームのコルゲーションによる緩和係数	(表 6-13, 上記注②参照)
θ :	最大進入行程時の水平材の屈折角(°)	($\tan \theta = 1/11$)

③ ガードケーブルの計算に使用した記号

C :	ロープ 1 本当たりのバネ定数	(= 18 ton / %)
T :	ロープの本数	(= 2 ton)

L : ロープの張長 (= 200 m)
 θ : 最大進入行程時の水平材の屈折角(°) ($\tan\theta = 1/9$)

6.4.3 車両が受ける加速度

6.4.2の基礎式を使用して求めた車両加速度の計算結果を表6-14に示す。

表6-13 車両の加速度 (g)

諸元	品種別		
	ガードレール	ガードパイプ	ガードケーブル
車両の重量 (W_1)	3.5 ton (低負荷)		
防護柵種別	耐雪型 A 種		
コルゲーションによる緩和係数 (r)	0	0	—
支柱間隔 (l)	2 m	1 m	3 m
加速度 (g)	3.36	3.45	2.74
「要綱」の設計条件	4.0 g 以下		

6.4.4 まとめ

表6-13の計算結果より、耐雪型のガードレール、ガードケーブル、ガードパイプはすべて車両の受ける加速度の設計条件 (4.0 g 以下) を満足する。

従って、今回の報告書でまとめた構造案に関しては、積雪荷重に対して支柱間隔の短縮、部材の補強等の構造強化を行い、防護柵の剛性を高めた結果、車両の加速度は標準型防護柵より大きくなっているものの、「要綱」の設計条件内に納っており安全といえるものである。

6.5 耐雪型防護柵の構造諸元

防護柵の構造諸元設定にあたっては、5年再現最大積雪深を運用上から1mごとにランク分けし、そのランクごとに最適な構造を選択した。このことは前述したそれぞれの破損確率を満足する構造の中から、平均供用年数で総費用が小さくなる構造としたことを意味する。設定された構造諸元をそれぞれ表6-14、6-16、6-17に示す。なお、構造諸元の検討において用いた最大積雪深の確率密度関数や各部材の破損率等については、今後各データを更に充実させ信頼性の向上をはかっていく必要がある。

6.5.1 耐雪型路側用ガードレール

表6-14に耐雪型路側用ガードレールの構造諸元を示す。

表6-14 耐雪型路側用ガードレール構造諸元

種別	積雪ランク	5年再現最大積雪深 (m)	支			柱		ビーム種別	ブラケット				
			支柱間隔 (m)	外径 (mm)	厚さ (mm)	埋込み深さ (cm)	根巻寸法 幅×長さ×厚さ (cm)		幅 (mm)	コルゲーション (mm)	厚さ (mm)		
A	1	0~1	標準型ガードレール										
	2	1~2	4(2)	139.8	4.5	165(40)	40×40×25	A	120	31	6		
	3	2~3	3(2)				40×40×25						
	4	3~4	2				40×40×25						
	5	4~5	2				40×40×25						
1	0~1	標準型ガードレール											
B	2	1~2	4(2)	114.3	4.5	150(40)	40×40×25	B	120	31	6		
	3	2~3	3(2)				40×40×25						
	4	3~4	2				40×40×25						
	5	4~5	-				-					-	-
	1	0~1	標準型ガードレール										
C	2	1~2	3(2)	114.3	4.5	140(40)	40×40×25	C	120	31	6		
	3	2~3	2				40×40×25						
	4	3~4	-				-					-	-
	5	4~5	-				-					-	-
	1	0~1	標準型ガードレール										
S	2	1~2	2(1)	139.8	4.5	165(40)	なし	上段ビームA 下段ビームC	120	31	6		
	3	2~3	2(1)				40×40×25						
	4	3~4	2(1)				40×40×25						
	5	4~5	2(1)				40×40×25						

注) 1. 5年再現最大積雪深に対する構造諸元は平均密度0.4t/m³の場合の値であり、0.4t/m³以外の場合は平均密度の比で5年再現最大積雪深を補正するものとする。
積雪ランク区分は以下の通りである。

積雪ランク	5年再現最大積雪深
1	1m以下(無対策)
2	1mを越え2m以下
3	2mを越え3m以下
4	3mを越え4m以下
5	4mを越え5m以下

3. 根巻は図6-19に示す形状および表6-15に示す寸法を標準とする。
4. カッコ内の数値は、橋梁、擁壁、函渠等のコンクリート幅に設置する場合を示す。

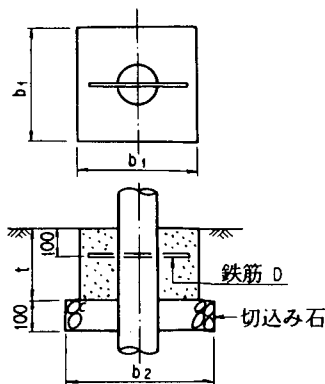


表6-15 根巻寸法

b ₁ (cm)	t (cm)	b ₂ (cm)	鉄筋 径×長さ (mm)
40	25	50	D16×300
45	30	55	D16×350
50	35	60	D19×400

図6-19 根巻形状

6.5.2 耐雪型路側用ガードケーブル

表6-16に耐雪型路側用ガードケーブルの構造諸元を示す。

表6-16 耐雪型路側用ガードケーブル構造諸元

種別	積雪ランク	5年再現最大積雪深 (m)	支柱間隔 (m)	中間支柱				ブラケット			端末部補助支柱		
				外径 (mm)	厚さ (mm)	埋込み深さ (cm)	根巻寸法 幅×長さ×厚さ (cm)	高さ (mm)	厚さ (mm)	取付ボケット	外径 (mm)	厚さ (mm)	埋込深さ (cm)
A	1	0~1	標準型ガードケーブル										
	2	1~2	6(4)	139.8	4.5	165 (40)	40×40×25	680	4.5	M12 4T	139.8	4.5	40
	3	2~3	5(4)				40×40×25						
	4	3~4	4				45×45×30						
	5	4~5	3				45×45×30						
B	1	0~1	標準型ガードケーブル										
	2	1~2	6(4)	114.3	4.5	150 (40)	40×40×25	550	4.5	M12 6T	114.3	4.5	40
	3	2~3	5(4)				40×40×25						
	4	3~4	4				45×45×30						
	5	4~5	3				50×50×35						
C	1	0~1	標準型ガードケーブル										
	2	1~2	6(4)	114.3	4.5	140 (40)	40×40×25	420	4.5	M12 6T	114.3	4.5	40
	3	2~3	5(4)				40×40×25						
	4	3~4	4				45×45×30						
	5	4~5	3				50×50×35						
S	1	0~1	標準型ガードケーブル										
	2	1~2	4(2)	139.8	4.5	165 (40)	なし	810	4.5	M12 4T	139.8	4.5	40
	3	2~3	4(2)				40×40×25						
	4	3~4	4(2)				45×45×30						
	5	4~5	3(2)				50×50×35						

注) 1. 5年再現最大積雪深に対する構造諸元は平均密度0.4 t/m³の場合の値であり、0.4 t/m³以外の場合は平均密度の比で5年再現最大積雪深を補正するものとする。
積雪ランク区分は以下の通りである。

積雪ランク	5年再現最大積雪深
1	1 m以下(無対策)
2	1 mを越え2 m以下
3	2 mを越え3 m以下
4	3 mを越え4 m以下
5	4 mを越え5 m以下

- 根巻は図6-19に示す形状および表6-15に示す寸法を標準とする。
- 積雪ランク2以上の場所においては、索端金具の破損を防止するため図3-20に示す端末部補助支柱を設置する。
- カッコ内の数値は、橋梁、擁壁、函渠等のコンクリート中に設置する場合を示す。

6.5.3 耐雪型歩道用ガードパイプ

表6-17に耐雪型歩道用ガードパイプの構造諸元を示す。

表6-17 耐雪型歩道用ガードパイプ構造諸元

種別	積雪ランク	5年再現最大積雪深 (m)	支 柱				埋込み深さ (cm)	根 寸 法	ビームパイプ種別	耐雪型ブラケット		
			支柱間隔 (m)	外 径 (mm)	厚 さ (mm)	厚 さ (mm)				厚 さ (mm)	長 さ (mm)	補 強 材 (mm)
A	1	0~1	2	139.8	4.5	165 (40)	なし	A	3.2	60	4.5×35×52	
	2	1~2	1									
	3	2~3	1									
	4	3~4	—	—	—	—	—	—	—	—		
	5	4~5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
B	1	0~1	2	114.3	4.5	150 (40)	なし	B	3.2	60	4.5×35×40	
	2	1~2	1									
	3	2~3	—									
	4	3~4	—	—	—	—	—	—	—	—		
	5	4~5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
C	1	0~1	1	114.3	4.5	140 (40)	なし	C	3.2	60	4.5×35×40	
	2	1~2	1									
	3	2~3	—									
	4	3~4	—	—	—	—	—	—	—	—		
	5	4~5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

- 注) 1. 5年再現最大積雪深は平均密度0.4 t/m³の場合の値であり、0.4 t/m³以外の場合は平均密度の比で補正し、5年再現最大積雪深を換算するものとする。
 2. 積雪ランク区分は以下の通りである。

積雪ランク	5年再現最大積雪深
1	1 m以下
2	1 mを越え 2 m以下
3	2 mを越え 3 m以下
4	3 mを越え 4 m以下
5	4 mを越え 5 m以下

3. カッコ内数値は、橋梁、擁壁、函渠等のコンクリート中に設置する場合を示す。

6.6 その他の防護柵設計方法

6.6.1 歩行者・自転車用防護柵

歩行者・自転車用防護柵には多種類の形状があり、個々のケースについて、標準構造を示すのは困難である。従って、ここでは積雪荷重を考慮した設計の方法についてのみ述べることにする。まず最初に、設計荷重として最上段の水平桁材に作用する沈降力を求めるのであるが、沈降力は水平桁材の受圧面の形状によって大きく変動する性質がある。¹²⁾これまでの研究成果を解析して得られた水平桁材の断面形状と沈降力との関係を(6-8)式～(6-10)式および図-20, 21に示す。なお、これらの詳細については「巻末資料2」を参照されたい。

$$P_1 = 0.617 + 0.0457 B_1 - 0.000922 B_1^2 \quad (2 \leq B_1 \leq 40) \quad (6-8)$$

$$P_2 = 0.666 + 0.0421 B_2 - 0.000818 B_2^2 \quad (2 \leq B_2 \leq 44.6) \quad (6-9)$$

$$P_3 = -0.07463 + 0.01347 A - 0.00004208 A^2 \quad (30 \leq A \leq 180) \quad (6-10)$$

ここで、
$$Y = -132 + 0.782 W + 0.000387 W^2 \quad (6-11)$$

P_1 : 平桁の受圧幅別の沈降力比 (Y/X_1)

P_2 : 丸桁の受圧幅別の沈降力比 (Y/X_2)

P_3 : 先端角度別の沈降力比 (Y/X_3)

A : 先端角度 (度)

B_1 : 平桁の受圧幅 (cm)

B_2 : 丸桁の受圧幅 (cm)

X_1 : 平桁に作用する沈降力 (kgf/m)

X_2 : 丸桁に作用する沈降力 (kgf/m)

X_3 : 三角桁に作用する沈降力 (kgf/m)

Y : 標準尺に作用する沈降力 (kgf/m)

W : 積雪重量 (kg/m²)

図6-20から、ある地域の水平桁(平桁, 丸桁)に作用する沈降力を求める場合、その地域の積雪重量を1.2 t/m²(積雪深を3 m, 積雪の密度を0.4 t/m²), 受圧幅を5 cmとすれば、これに作用する沈降力は図6-20に示した実線(平桁), 点線(丸桁)のように、積雪重量と受圧幅とを結び、その延長線と沈降力線が交わった点を読み取ることによって求められる。この例の場合、求めようとする沈降力は平桁が1.16 tf

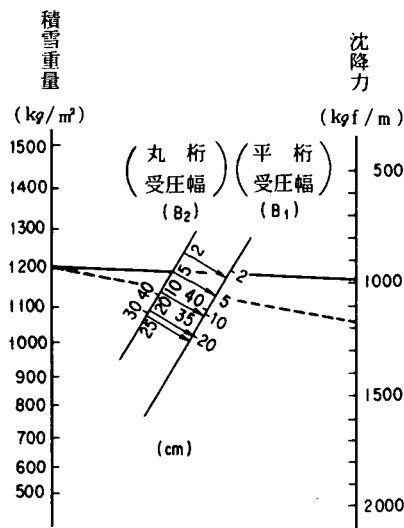


図 6-20 水平桁の受圧幅と沈降力との関係

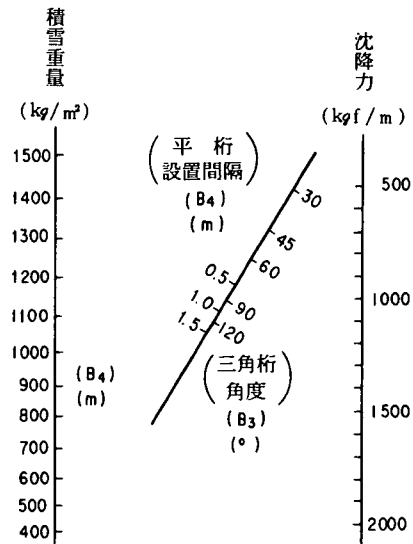


図 6-21 水平桁の形状・設置間隔と沈降力との関係

/m, 丸桁が0.98 tf/mとなる。

なお、設計にあたっては、防護柵の最上段にかかる積雪荷重が最も大きいことから、沈降力に対しては水平桁材が分離したビーム方式よりも、上・下桁材を一体化させたパネル方式の方が一般に有利と考えられる。また、支柱基礎はガードレールと同様の検討を行えば良い。

6.6.2 中央分離帯用防護柵

並列設置した水平桁に作用する沈降力と標準尺に作用する沈降力との比は、水平桁の設置間隔に応じ、(6-12)式のように表すことができる。

$$P_4 = 0.536 + 0.373L - 0.0336L^2 \quad (0.1 \leq L \leq 1.5) \quad (6-12)$$

ここで、 P_4 ：設置間隔別の沈降力比 (Y/X_4)

X_4 ：並列設置した水平桁に作用する沈降力 (kgf/m)

防護柵と標準尺の沈降力の相関は(6-13)式、(6-14)式のようにあらわされる。ここで示した防護柵の沈降力は試験用道路ののり肩より2.0mの地点に設置したものである。

$$G_R = -30.603 + 0.8496Y \quad (6-13)$$

$$G_C = -4.162 + 0.7206Y \quad (6-14)$$

ここで、 G_R ：ガードレールの沈降力 (kgf/m)

G_C ：ガードケーブルの沈降力 (kgf/m)

ボックスビームに作用する沈降力は(6-8)式と(6-11)式または図6-20から求められる。

中央分離帯の防護柵に作用する沈降力は(6-13)式と(6-12)式または図6-21から求め、さらにこの数値を、ガードレールの場合は(6-13)式に、ガードケーブルの場合は(6-14)式に代入することによ

て、それぞれの防護柵に作用する沈降力を得ることができる。

つぎに得られた沈降力をもとに構造設計を行うことになるが、その詳細については研究報告書（その2）を参考されたい。また支柱基礎については、路側用のガードレールあるいはガードケーブルと同様の方法で検討することができる。

あ と が き

昭和54年度より実施してきた積雪地に設置する耐雪型防護柵の開発研究は、昭和60年度のデータ収集をもって一応所期の目的を達成した。ここに至るまでの過程において、本研究が自然を対象とした調査のため、一冬ごとに積雪のデータが異なり、雪圧などの特性を把握するのに必要なデータを得るのに7ケ年をも要することとなった。このような長期にわたる調査の結果、雪の特性に関する各種のデータが相当量得られ、それらに基づく調査解析の信頼性は高いものといえよう。今後は、この解析結果をもとにして改良、開発された耐雪型防護柵の設置の推移と効果について見守って行く予定である。

最後に、厳しい冬期の積雪現場で、調査環境の悪さにもかかわらずこの調査研究に多大の御協力をいただいたことに対して参加された方々の氏名を下表に掲げ、改めて謝意を表わすものである。

参加研究員（役職は当時）

土 木 研 究 所	東 北 地 方 建 設 局	北 陸 地 方 建 設 局
道 路 部 長 金 安 公 造	東 北 技 術 事 務 所	北 陸 技 術 事 務 所
道 路 部 長 田 中 敬 一	機 械 課 長 高 橋 馨	工 務 課 長 小 橋 賢 二
道 路 部 長 藤 田 大 二	機 械 課 長 岩 本 忠 和	工 務 課 長 滝 沢 俊 次
交 通 安 全 研 究 室	機 械 課 長 鶴 水 邦 夫	工 務 課 長 関 信 夫
室 長 満 田 喬	機 械 課 長 板 橋 新 一	工 務 課 長 富 田 叔 昌
研 究 員 高 木 正 幸	機 械 主 任 鈴 木 只 夫	工 務 係 長 山 口 良 一
技 官 金 子 英 雄		工 務 係 長 武 田 繁
新 潟 試 験 所		工 務 係 長 櫟 彦 二 郎
所 長 五 十 嵐 武		
所 長 江 口 正 紀		
所 長 山 内 修		
技 官 松 野 敏 行		

参 考 文 献

- 1) 「防護柵設置要綱・資料集」, 昭和61年9月, 日本道路協会
- 2) 「積雪寒冷地における防護柵に関する研究報告書(その1)」土木研究所資料第1885号, 昭和57年12月, 建設省土木研究所
- 3) 「積雪寒冷地における防護柵に関する研究報告書(その2)」土木研究所資料第2134号, 昭和59年8月, 建設省土木研究所
- 4) 「積雪寒冷地における防護柵に関する研究報告書(その3)」土木研究所資料第2247号, 昭和60年7月, 土木研究センター
- 5) 「積雪寒冷地における道路の安全施設に関する破損実態調査」土木研究所資料第1703号, 昭和56年6月, 建設省土木研究所
- 6) 「日本気候図(第Ⅱ集)」, 1972年, 気象庁
- 7) 「建築基礎構造設計規準・同解説」, 昭和56年3月, 日本建築学会
- 8) 「防護柵支柱の力学特性に関する研究」土木研究所資料第657号, 昭和46年9月, 建設省土木研究所
- 9) 「軽量鋼矢板設計施工マニュアル」, 昭和59年10月, 鋼材倶楽部
- 10) 「防護柵設置要綱(昭和47年版)」, 昭和47年10月, (社)日本道路協会
- 11) 「北陸の雪」昭和53年11月, 建設省北陸地方建設局
- 12) 「水平桁に作用する雪圧特性」, 土木技術資料Vol.28 No.2 (1986), 土木研究センター

資料－1 グライド力が作用する防護柵の検討

防護柵にかかる積雪荷重は、設置場所の地形に応じて、図1-1(a)に示す沈降力、あるいは図1-1(b)に示すようなグライド力を発生させる。

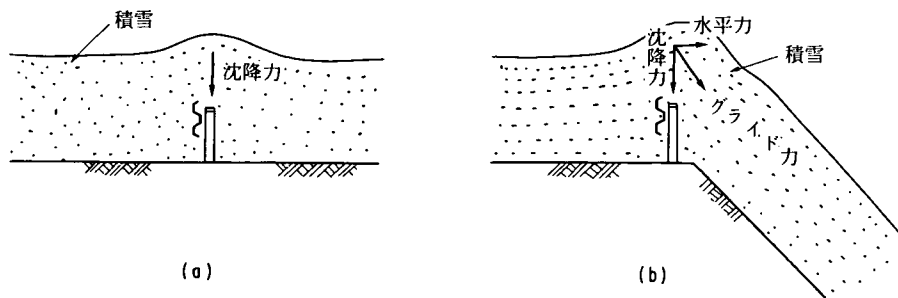


図1-1 防護柵にかかる雪荷重概念図

沈降力については本文で述べているように、雪圧調査のデータに多少のバラツキが見られるものの、積雪重量との相関は良好であり、設計荷重の一元化がはかられたといえよう。グライド力については、斜面の形態、高さ、勾配、長さ等、地形上による設置場所の諸要因や積雪の積層状態、積雪断面に生じるクレツの発生具合、あるいは道路除雪の状態に大きく左右されるため、蓄積された実験データをもとに、沈降力を求めるのと同じ手法によって、設計荷重の一元化をはかるのは現時点では無理がある。しかしながら、毎冬の積雪による被害を考慮すると、沈降力、水平力それぞれの雪圧に対応できる耐雪型防護柵の諸元を設定しておくことは必要である。このため第5章において、現時点の調査結果から比較的安定している沈降力を基本に、かつ破損率の設定過程で水平力にも多少の配慮をしながら構造諸元の提案を試みた。

斜面上の積雪は防護柵のみではなく、雪崩予防柵等、他の構造物においても同様の挙動を受けるものである。グライド力については今後の調査研究結果と第5章で設定した諸元の構造物の破損状況の調査結果などを蓄積しながら、更に検討を加えていく必要がある。ここでは、グライド力について、これまでの防護柵の雪圧調査で得られたグライド力の水平成分（水平力）と鉛直成分（沈降力）および支柱基礎の許容支持力について述べる。

1.1 水平力について

雪圧実験の結果から求めた水平力と積雪重量の回帰式を(1)式から(4)式に示す。図1-2はこの回帰式を積雪重量 2,000 kg/m² の領域まで拡大して整理したものである。

$$\text{法肩距離 } 0.3 \text{ m } \quad \text{ガードレール} \quad P_H = 0.1701466 \cdot X - 63.36929 \quad (1)$$

$$\text{法肩距離 } 0.3 \text{ m } \quad \text{ガードケーブル} \quad P_H = 0.2036707 \cdot X - 91.46848 \quad (2)$$

$$\text{法肩距離 } 2.0 \text{ m } \quad \text{ガードレール} \quad P_H = 9.403442 \times 10^{-2} \cdot X - 16.36653 \quad (3)$$

$$\text{法肩距離 } 2.0 \text{ m } \quad \text{ガードケーブル} \quad P_H = 0.179964 \cdot X - 83.70628 \quad (4)$$

ここに、 P_H : 水平力 (kgf/m) X : 積雪重量 (kg/m²)

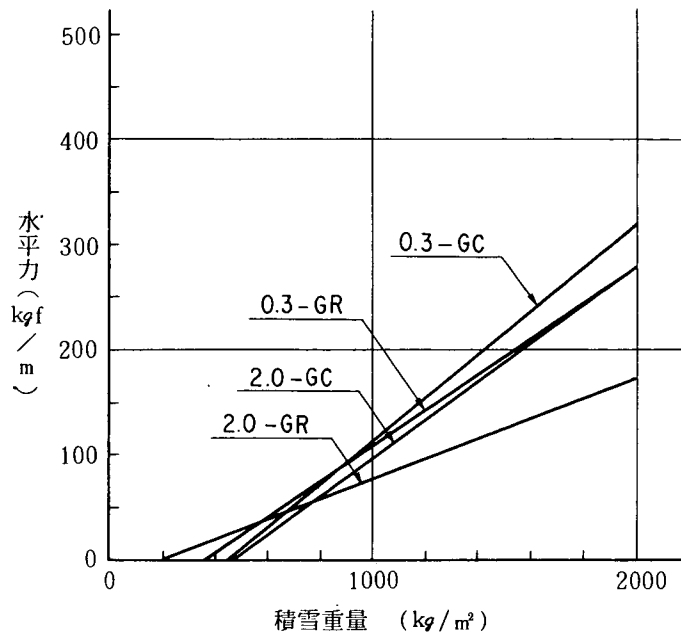


図1-2 積雪重量と水平力

1.2 沈降力について

防護柵に作用する沈降力は第5章の構造諸元設定に用いたものであるが、整理して示すと次のようになる。

(1) 標準尺の沈降力と積雪重量の関係

$$Y = -103.7 + 0.6991X + 0.0003961X^2 \quad (5)$$

ここに Y : 標準尺の沈降力 (kgf/m)

X : 積雪重量 (kg/m²)

(2) 防護柵の沈降力と標準尺の沈降力との関係 (法肩距離が2.0 mの場合)

$$\text{ガードレール} \quad P_V = 0.8270Y - 44.17 \quad (6)$$

$$\text{ガードケーブル} \quad P_V = 0.6417Y - 0.9770 \quad (7)$$

ここに P_V : 防護柵 (ガードレール, ガードケーブル) の沈降力 (kgf/m)

(3) 防護柵の沈降力と積雪重量の関係

ガードレール・ガードケーブルの沈降力と積雪重量との関係は上記(5)~(7)式をもとに、次に示す(8), (9)式のようにも表わすことができる。また、この回帰式を積雪重量2,000 kg/m²の領域まで拡大して示すと図1-3のようになる。

$$\text{ガードレール} \quad P_V = -129.9299 + 0.5781X + 0.0003275X^2 \quad (8)$$

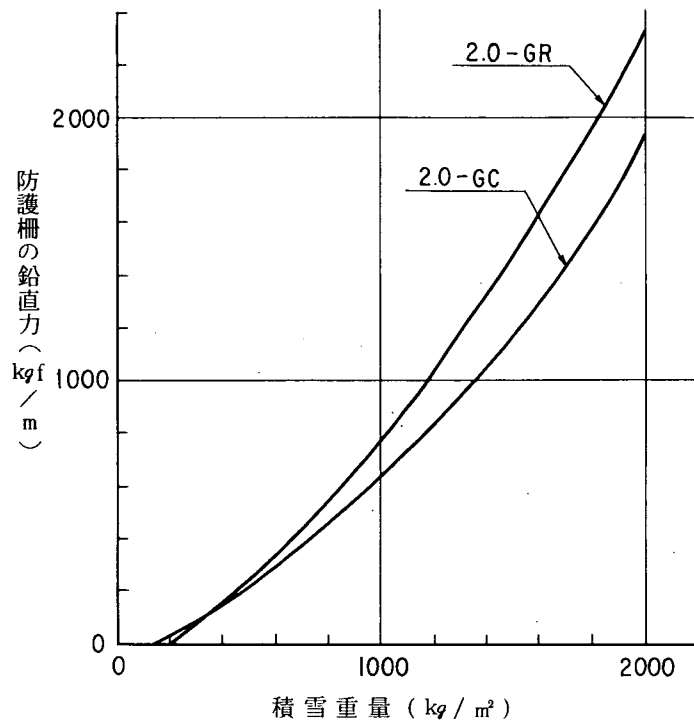


図1-3 防護柵に働く沈降力と積雪重量

1.3 基礎の許容支持力

ガードレールやガードケーブルの基礎の許容水平支持力と許容鉛直支持力とを報告書(その2)の提案式から求めるとつぎのようになる。なお、提案式の誘導等、詳細な内容については報告書(その2)を参照されたい。

1.3.1 許容水平支持力

許容水平支持力の算定は(10)式、(11)式を用いた。

$$\text{標準支柱} \quad P_{Hd} = \frac{1}{2} \times 25.6 \gamma_a \cdot D \left(x^2 - \frac{1}{2} l^2 \right) \cdot k_c \quad (10)$$

$$\text{根巻きを有する支柱} \quad P_{Hd} = \frac{1}{2} \times 25.6 \gamma_a \cdot \left\{ D \left(x^2 - \frac{1}{2} l^2 \right) + \frac{1}{2} t^2 (a - D) \right\} \cdot k_c \quad (11)$$

ここに、 P_{Hd} : 許容水平支持力 (tf/本)

D : 支柱径 (m)

x : 土中部の回転中心位置 (m)

l : 支柱の土中部の長さ (m)

k_c : 法肩影響係数 $k_c = 0.47S + 0.49 \leq 1.0$

S : 法肩距離 (m)

t : 根巻きの厚さ (m)

a : 根巻きの幅 (m)

計算に用いた土質定数は、第5章の構造諸元算定の際に想定したものと同一であり、それを表1-1に示す。

表1-1 土質定数

N 値	5
土の粘着力 (c)	$4 \text{ tf} / \text{m}^2 = 0.4 \text{ kg} / \text{cm}^2$
土の単位体積重量 (γ_a)	$1.6 \text{ t} / \text{m}^3$

つぎに、防護柵の種別と基礎構造別の許容水平支持力の計算結果を表1-2に示す。

表 1 - 2 許容水平支持力 (P_{Hd})

$\gamma = 1.6 \text{ t/m}^3$ 粘性土

防護柵	種別	支柱径 (mm)	埋込長 (mm)	根巻寸法 (cm)	H (m)	α (m)	許容水平支持力 (t/本)	
							$S = 0.3 \text{ m}$ ($k_c = 0.63$)	$S = 2.0 \text{ m}$ ($k_c = 1$)
ガイドレール	A・S	139.8 ϕ	1650	—	0.6	1.2659	0.435	0.691
		139.8	1650	40×40×25	0.6	1.2564	0.497	0.789
	B	114.3	1500	—	0.6	1.1482	0.285	0.452
		114.3	1500	40×40×25	0.6	1.1331	0.350	0.555
	C	114.3	1400	—	0.6	1.0697	0.243	0.385
		114.3	1400	40×40×25	0.6	1.0527	0.304	0.483
ガイドケーブル	A	139.8 ϕ	1650	—	0.69	1.2615	0.415	0.659
		139.8	1650	40×40×25	0.69	1.2514	0.474	0.752
		139.8	1650	45×45×30	0.69	1.2433	0.513	0.814
	B	114.3	1500	—	0.625	1.1470	0.281	0.446
		114.3	1500	40×40×25	0.625	1.1316	0.345	0.547
		114.3	1500	45×45×30	0.625	1.1196	0.384	0.610
		114.3	1500	50×50×35	0.625	1.1019	0.436	0.692
	C	114.3	1400	—	0.56	1.0716	0.248	0.394
		114.3	1400	40×40×25	0.56	1.0552	0.312	0.495
		114.3	1400	45×45×30	0.56	1.0422	0.352	0.558
		114.3	1400	50×50×35	0.56	1.0229	0.403	0.639
	S	139.8	1650	—	0.755	1.2586	0.402	0.638
		139.8	1650	40×40×25	0.755	1.2480	0.459	0.728
		139.8	1650	45×45×30	0.755	1.2396	0.496	0.788
		139.8	1650	50×50×35	0.755	1.2272	0.546	0.866

1.3.2 許容鉛直支持力

許容鉛直支持力は(12)式、(13)式を用いて算定した。なお、土質定数は許容水平支持力の場合と同一である。計算の結果は表1-3に示すとおりである。

$$\text{標準支柱} \quad P_{vd} = \frac{1}{2} \left(30N \times \frac{\pi D^2}{4} + \frac{C}{2} \times \pi D l \right) \cdot k_c \quad (12)$$

$$\text{根巻を有する支柱} \quad P_{vd} = \left\{ \frac{1}{2} \left(30N \times \frac{\pi D^2}{4} + \frac{C}{2} \times \pi D l \right) + \frac{2}{3} (6.89C + 3\gamma_a t) \cdot \left(a^2 - \frac{\pi D^2}{4} \right) \right\} \cdot k_c \quad (13)$$

ただし、 P_{vd} ：鉛直力、

N ： N 値、

D ：支柱径、

C ：粘着力、

l ：支柱埋込深、

γ_a ：土の単位体積重量、

k_c ：法肩影響係数 $k_c = 0.47S + 0.49 \leq 1.0$

t ：根巻の厚、

a ：根巻き幅、

S ：法肩距離

表1-3 許容鉛直支持力(P_{vd})

種別	支柱径 (mm)	支柱埋込長 (mm)	根巻寸法 幅×長さ×厚さ (cm)	許容鉛直支持力(tf/本)	
				$S = 0.3 \text{ m}$	$S = 2.0 \text{ m}$
A・S	139.8	1650	なし	1.18	1.88
			40 × 40 × 25	3.35	4.65
			45 × 45 × 30	4.01	5.49
			50 × 50 × 35	4.75	6.45
B	114.3	1500	なし	0.83	1.31
			40 × 40 × 25	3.07	4.18
			45 × 45 × 30	3.73	5.02
			50 × 50 × 35	4.47	5.98
C	114.3	1400	なし	0.80	1.27
			40 × 40 × 25	3.05	4.14
			45 × 45 × 30	3.70	4.99
			50 × 50 × 35	4.44	5.95

資料-2 沈降力を求める簡易手法

本文で述べた標準尺と積雪重量の関係式、形状別沈降力比および設置間隔別の沈降力比等から各々の沈降力を簡易に求める方法を以下に示す。基本となる式は、

① 標準桁の沈降力と積雪重量の式

$$Y = -137 + 0.782W + 0.000378W^2 \quad (1)$$

ここで、 Y : 沈降力, W : 積雪重量

② 標準桁と形状別沈降力比

$$P_1 = 0.617 + 0.0457B_1 - 0.000922B_1^2 \quad (2 \leq B_1 \leq 40) \quad (2)$$

$$P_2 = 0.666 + 0.0421B_2 - 0.000818B_2^2 \quad (2 \leq B_2 \leq 44.6) \quad (3)$$

$$P_3 = -0.07463 + 0.01347A - 0.00004208A^2 \quad (30 \leq A \leq 180) \quad (4)$$

ここで、 P_1 : 平桁の受圧幅別の沈降力比 (Y/X_1)

B_1 : 平桁の受圧幅 (cm)

P_2 : 丸桁の受圧幅別の沈降力比 (Y/X_2)

B_2 : 丸桁の受圧幅 (cm)

P_3 : 先端角度別の沈降力比 (Y/X_2)

A : 先端角度(度) 但し、受圧巾10cm

③ 標準桁と設置間隔別沈降力比

$$P_4 = 0.536 + 0.373L - 0.0336L^2 \quad (0.1 \leq L \leq 1.5) \quad (5)$$

ここで、 P_4 : 設置間隔等別の沈降力比 (Y/X_4)

L : 設置間隔 (m)

である。これらの5式を用いて積雪中に設置された水平桁の受圧幅、先端形状、設置間隔別による沈降力 $X_1 \cdot X_2 \cdot X_2 \cdot X_4$ の推定方法について検討した。その方法としては標準桁に作用した沈降力(Y)を基準とし、次式によった。なお、この式は水平桁の設置高さは地上より70cm地点のものである。

$$X_1 = Y \times P_1$$

$$X_2 = Y \times P_2$$

$$X_3 = Y \times P_3$$

$$X_4 = Y \times P_4 \quad (6)$$

これらの式から各種形状別の水平桁に作用する沈降力を求めることができるが、複雑なため、ここではこの関係をノモグラフ(図2-1,2)で示した。この図を用い、一例としてある地域の水平桁(平桁、丸桁)に

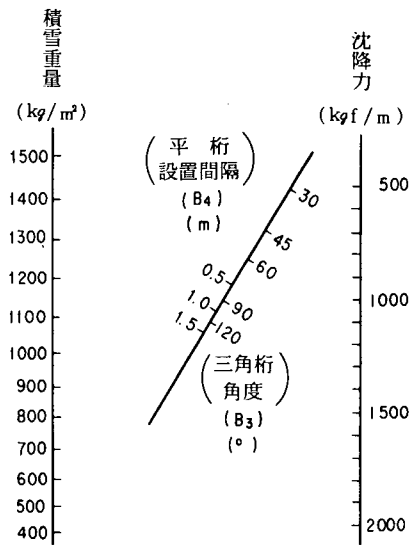
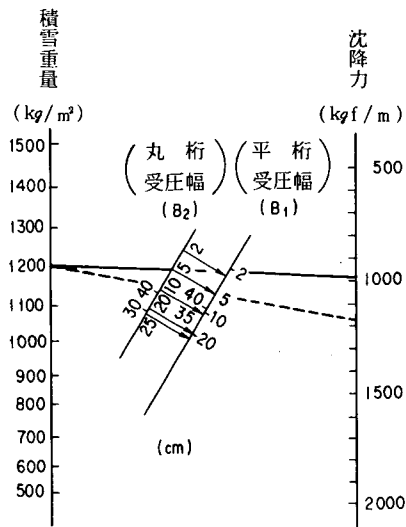


図 2 - 1 水平桁の受圧幅と沈降力との関係

図 2 - 2 水平桁の形状・設置間隔と沈降力との関係

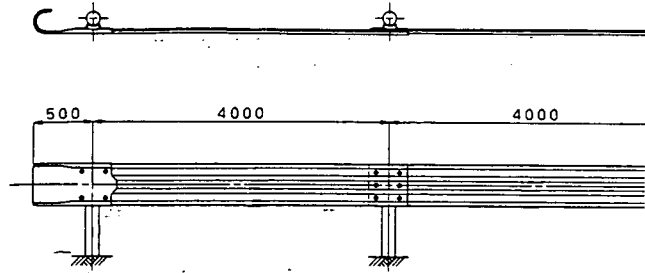
作用する沈降力を求める場合、その地域の積雪重量を 1.2 t/m^2 (積雪深を 3 m 、積雪の密度を 0.4 t/m^3 とした)、受圧幅を 5 cm とした場合、これに作用する沈降力は図 2 - 1 に示した実線 (丸桁)、点線 (平桁) に示すように、積雪重量と受圧幅とを結んで交った点から沈降力の値を読み取ることにより求められる。この例では求めようとする沈降力は平桁が 1.16 tf/m 、丸桁が 0.98 tf/m となる。

資料－3 耐雪型防護柵の標準図例

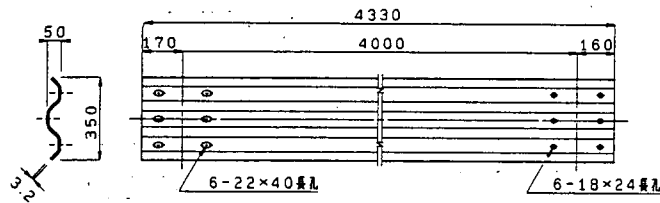
1. ガードレール B種(土中用)
2. ガードケーブル B種(土中用)
3. ガードパイプ B種(歩道用)

ガードレール標準構造例

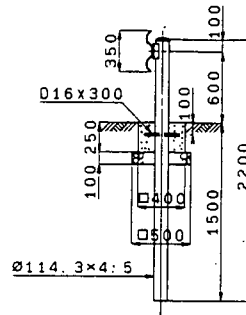
組立図



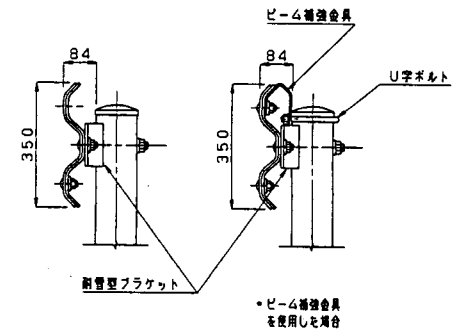
ビーム



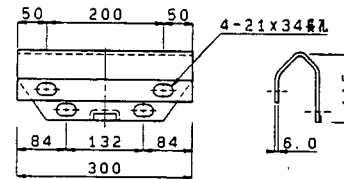
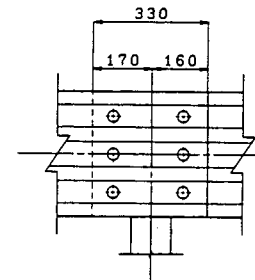
支柱



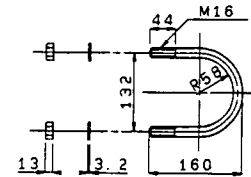
取付詳細図



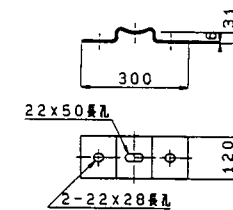
ビーム補強金具



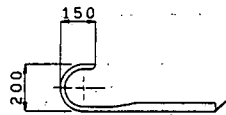
ビーム補強金具用U字ボルト



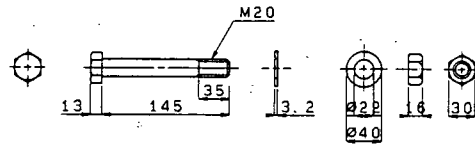
耐雪型ブラケット



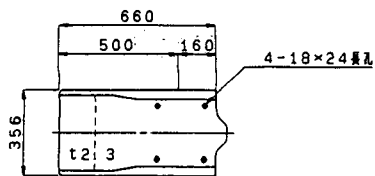
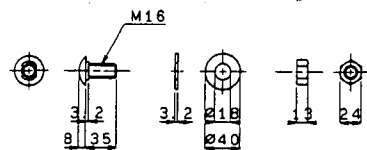
巻袖ビーム



ブラケット取付用ボルト



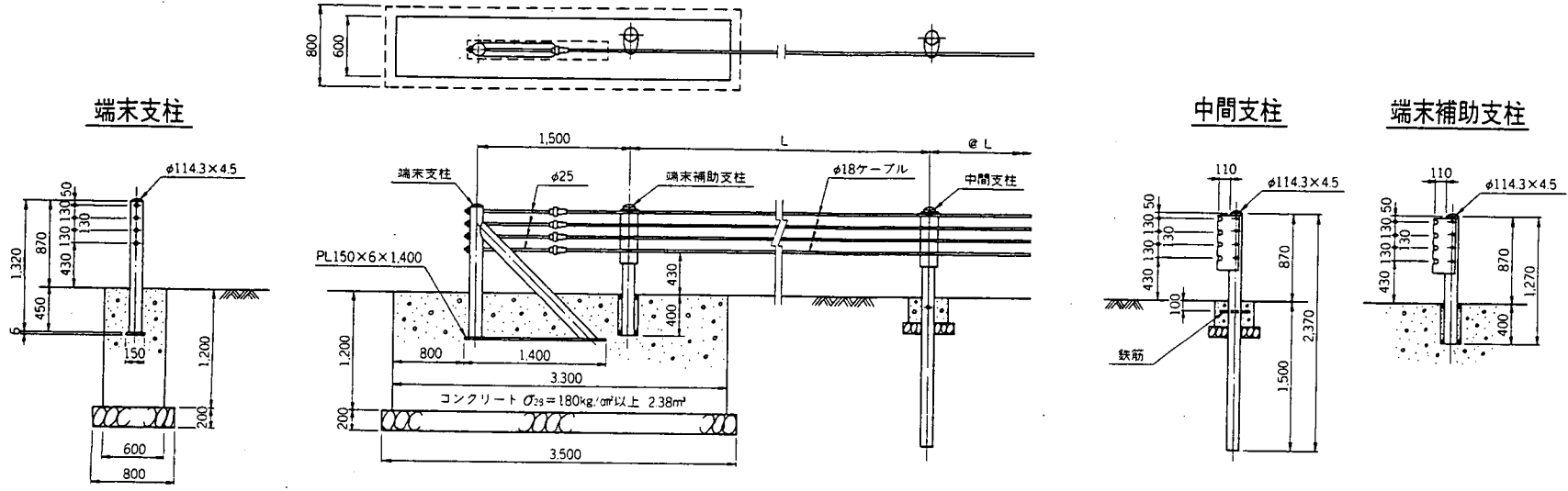
ビーム取付用ボルト



(注) ビーム補強金具は、現土前面等でビームに作用する耐雪荷重(ブライド力)が大きくなり、ビームがねじられる可能性が高い場合に使用します。

ガードケーブル標準構造例

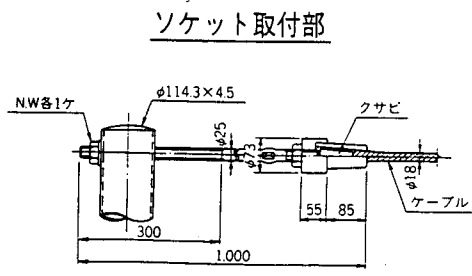
組立図



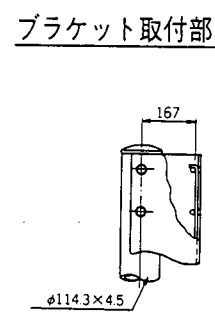
末端支柱

中間支柱

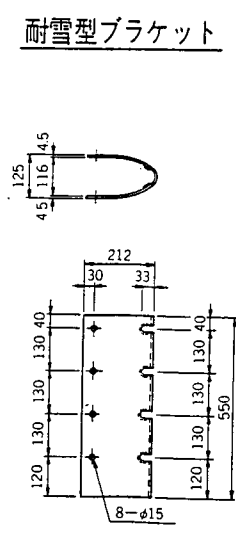
端末補助支柱



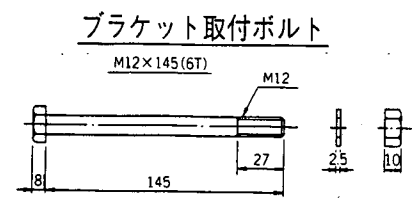
ソケット取付部



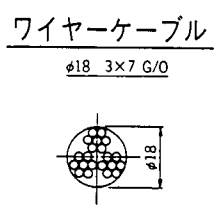
ブラケット取付部



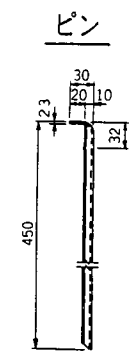
耐雪型ブラケット



ブラケット取付ボルト



ワイヤーケーブル



ピン

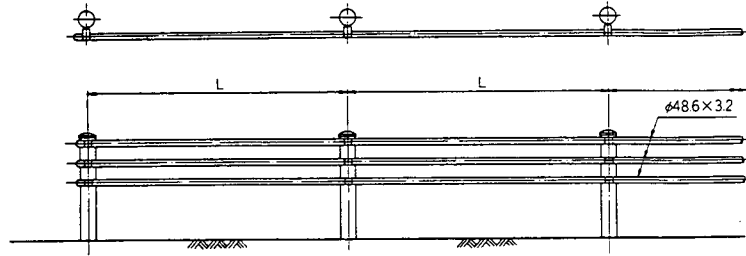
耐雪型路側用ガードケーブル

記号	支柱間隔 (m)	積層コンクリート (幅×高さ×長さ (cm))	鉄筋 (径×長さ (mm))	積層ランク	5年再現最大積雪深
Gc-B ₂ -6E	6	40×40×25	D16×300	2	1mを超え2m以下
Gc-B ₃ -5E	5	40×40×25	D16×300	3	2mを超え3m以下
Gc-B ₄ -4E	4	45×45×30	D16×350	4	3mを超え4m以下
Gc-B ₅ -3E	3	50×50×35	D19×400	5	4mを超え5m以下

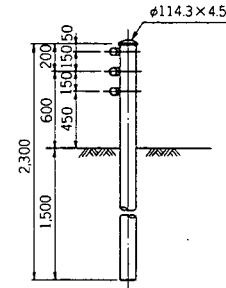
注：5年再現最大積雪深は、積雪の平均密度0.4t/m³のときの値です。

ガードパイプ標準構造例

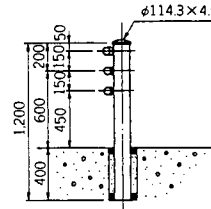
組立図



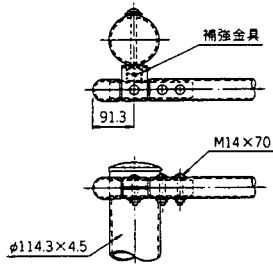
土中建込用



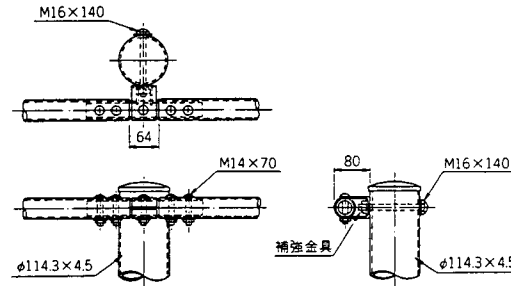
コンクリート建込用



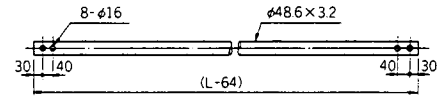
ビームパイプ端部取付部



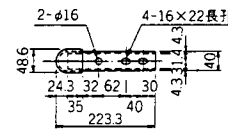
ビームパイプ接合部取付部



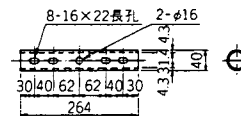
ビームパイプ



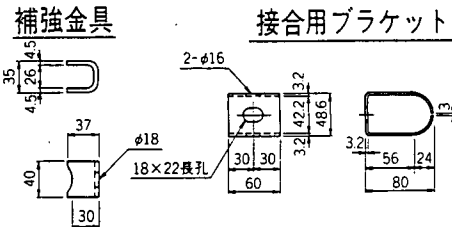
袖パイプ



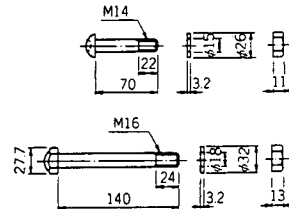
インナースリーブ



耐雪型ブラケット



ボルト・ナット



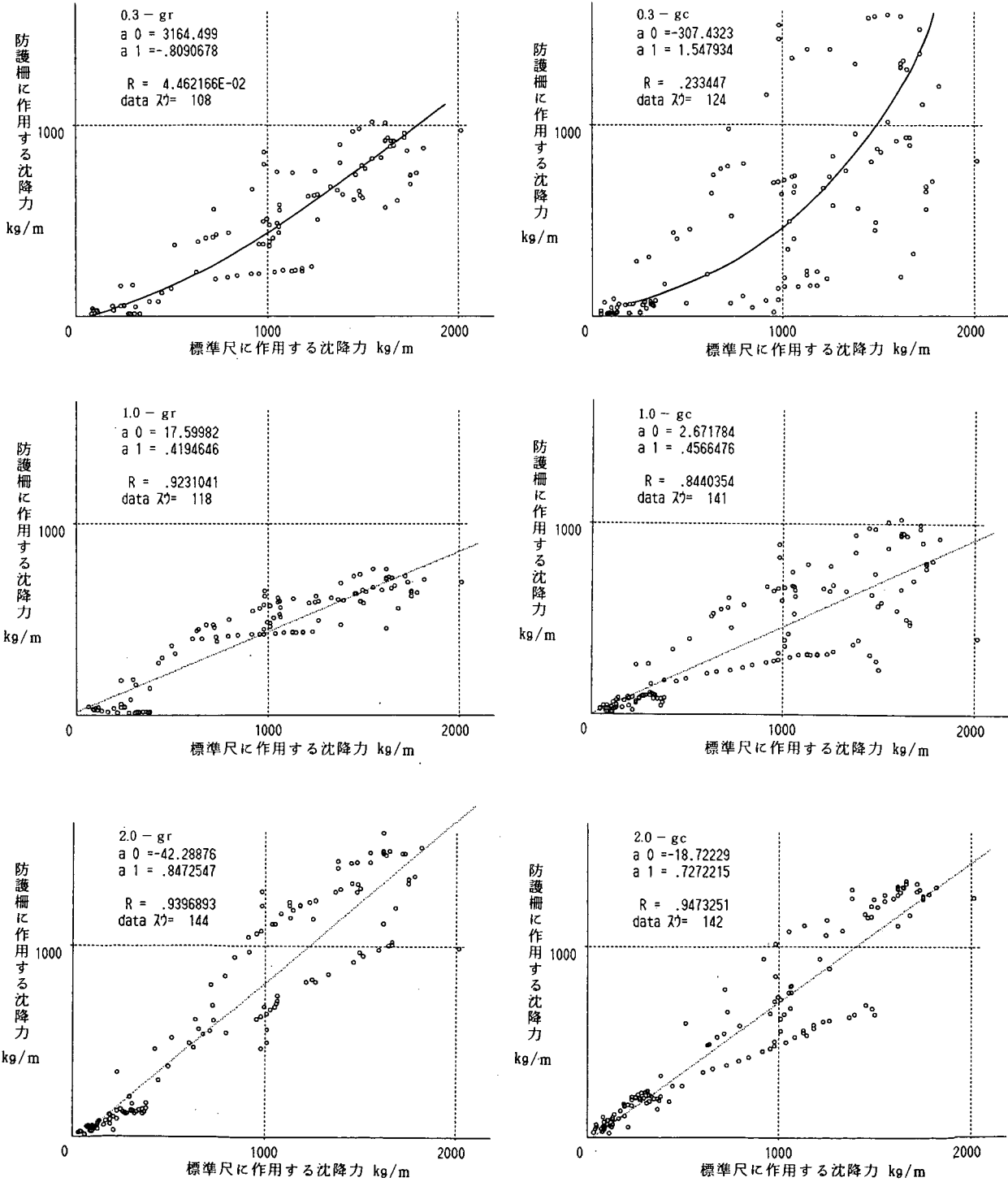
耐雪型歩道用ガードパイプ

記号	支柱間隔	積雪ランク	5年再現最大積雪深
種別	積雪ランク、支柱間隔 L(m)		
Ge-B ₁ -2E	2	1	1m以下
Ge-B ₁ -2B			
Ge-B ₁ -1E	1	2	1mを超えて2m以下
Ge-B ₁ -1B			

注：5年再現最大積雪深は、積雪の平均密度0.4t/m³のときの値です。

資料-4 雪圧に関する相関図

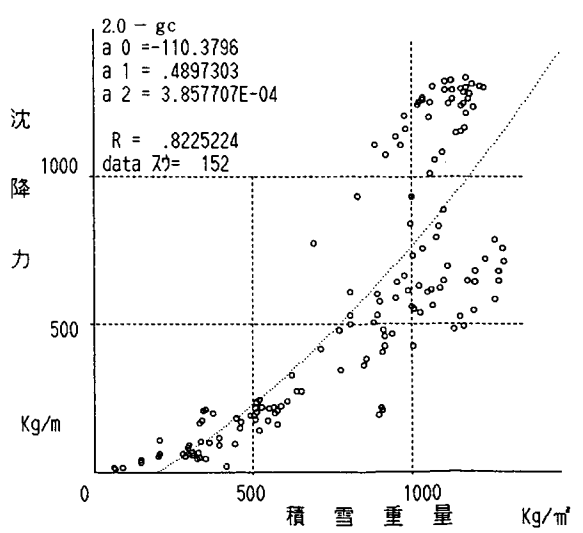
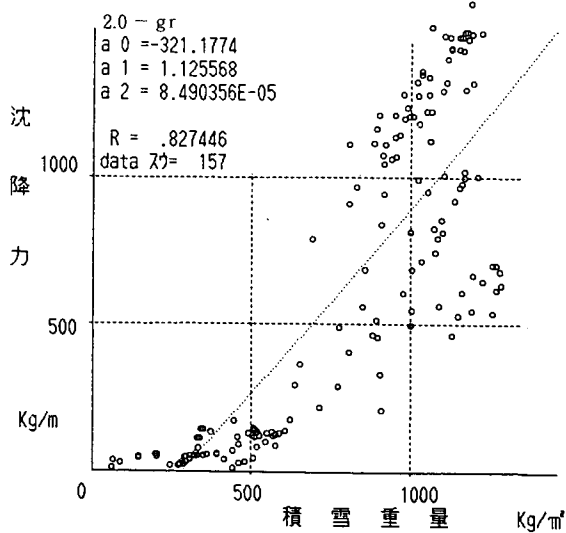
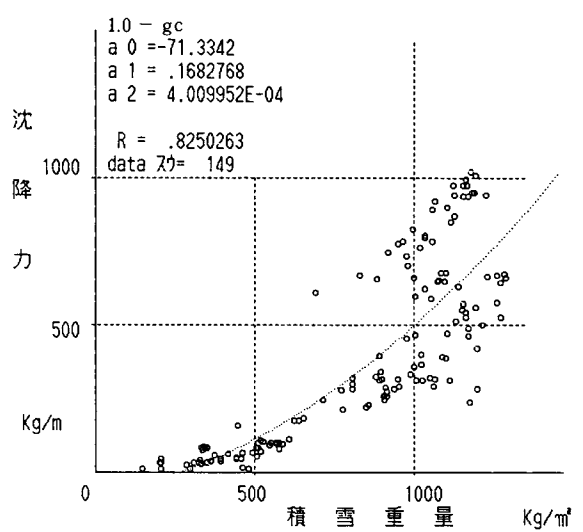
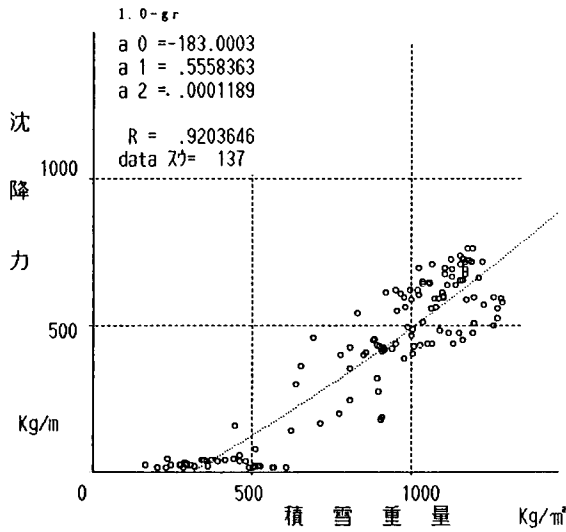
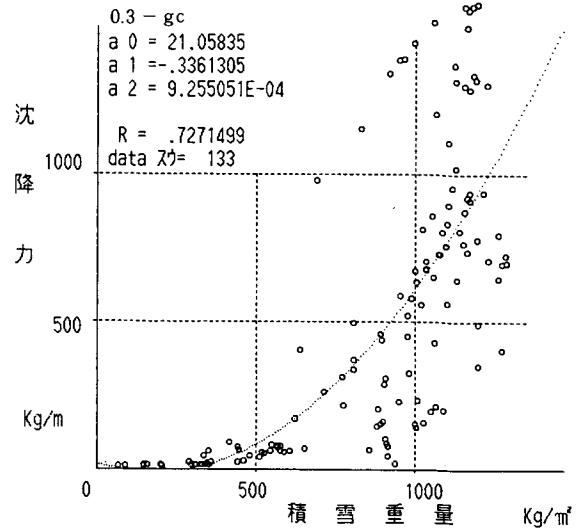
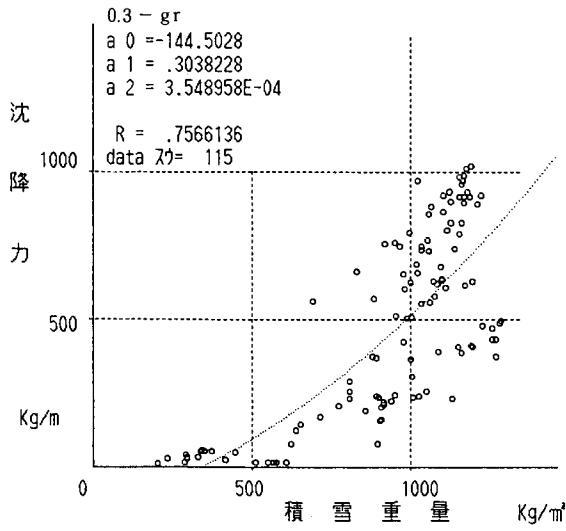
以下、参考のためにこれまでに測定されたデータの相関図を示す。



ガードレールと標準尺

ガードケーブルと標準尺

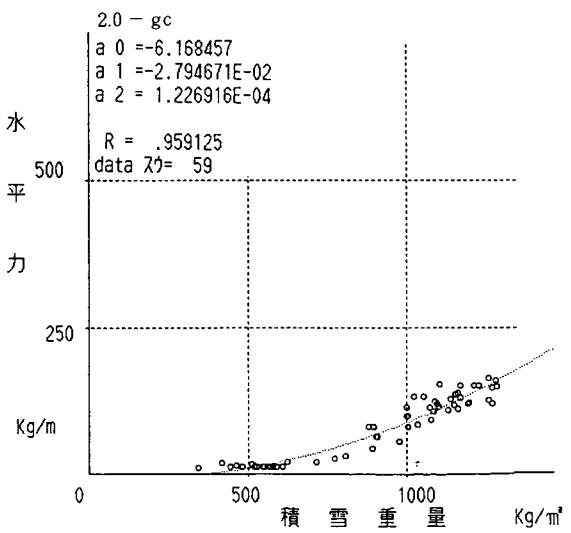
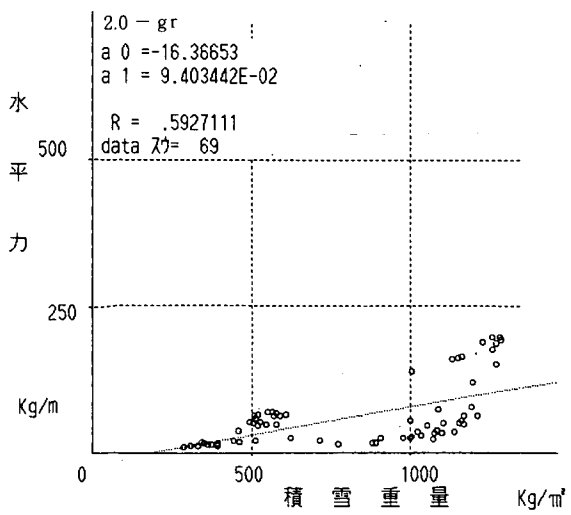
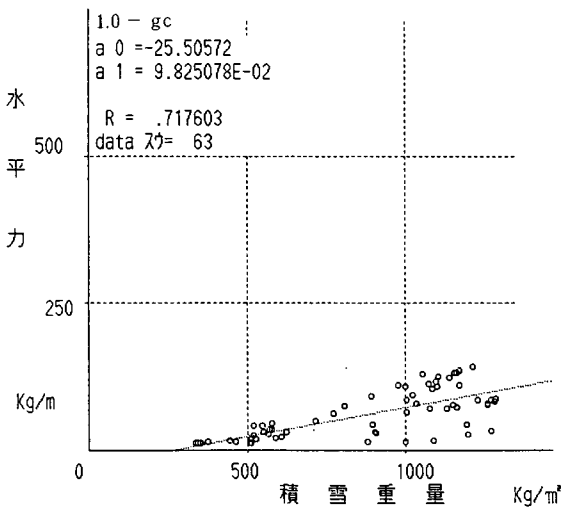
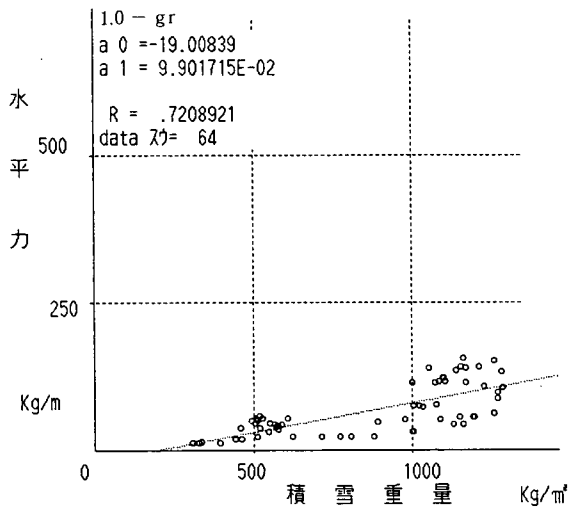
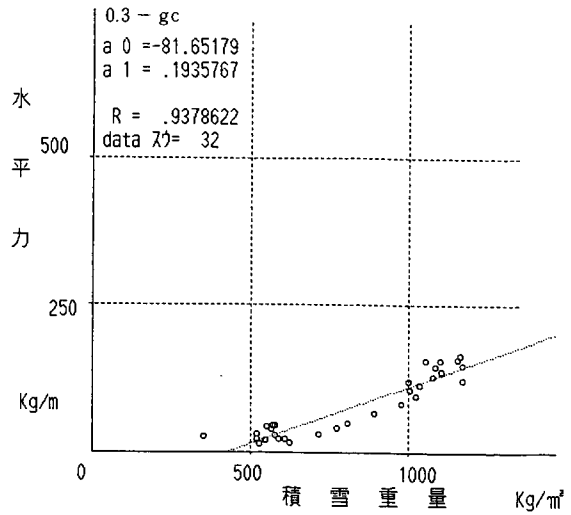
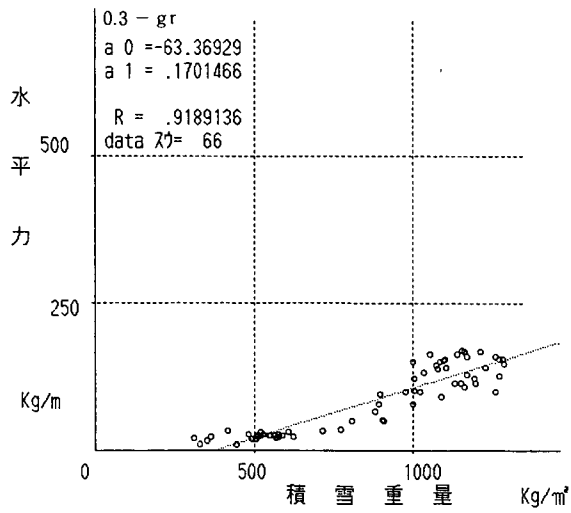
図-1 標準尺と防護柵の沈降力の関係



ガードレール

ガードケーブル

図-2 防護柵に作用する沈降力



ガードレール

ガードケーブル

図 3 - 1 防護柵に作用する水平力

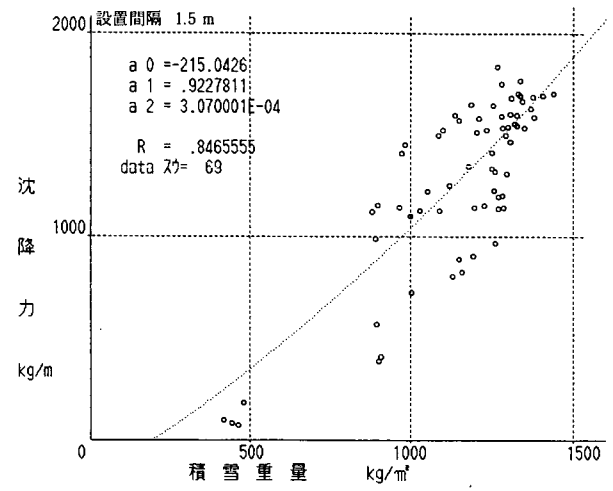
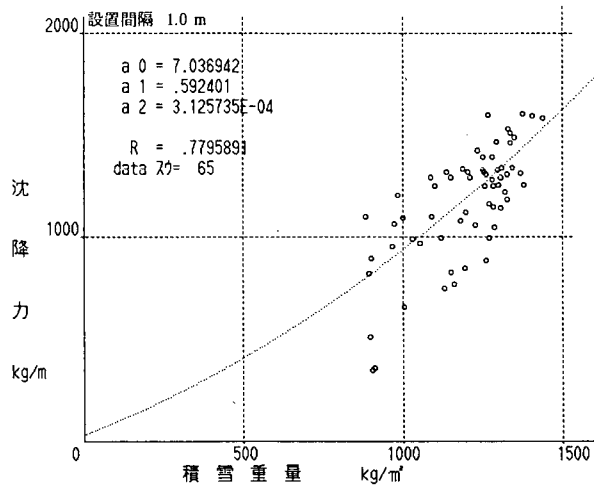
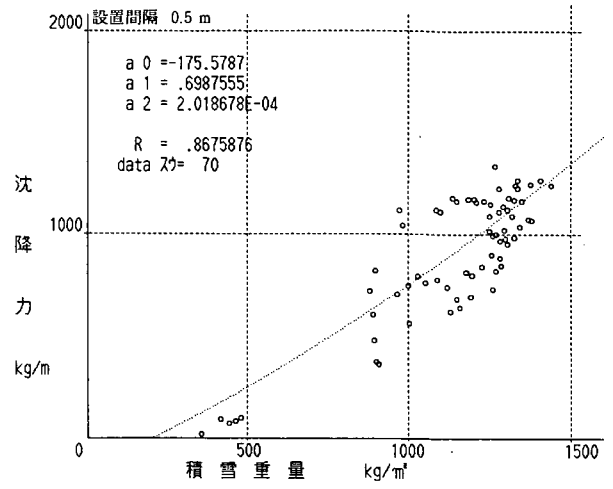
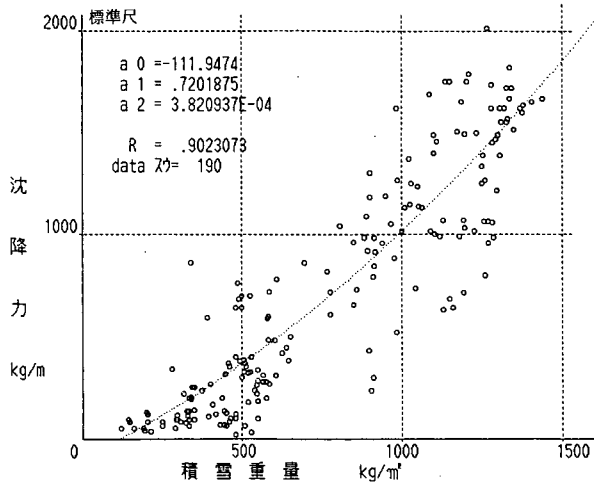


図 3 - 2 防護柵に作用する水平力

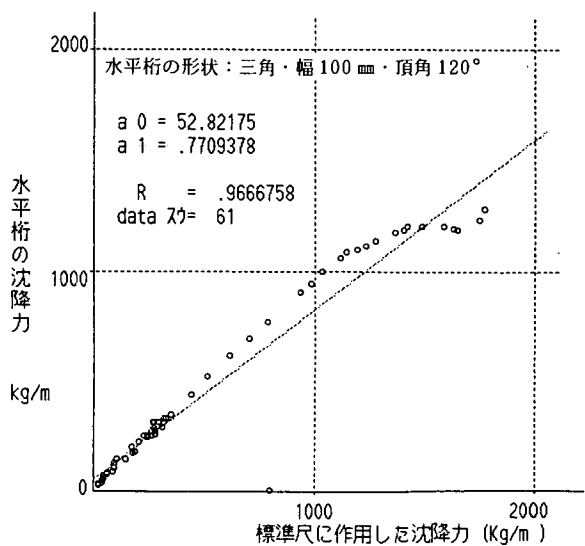
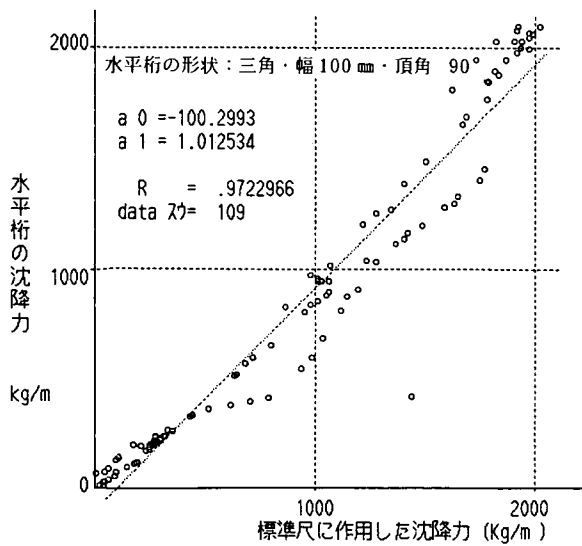
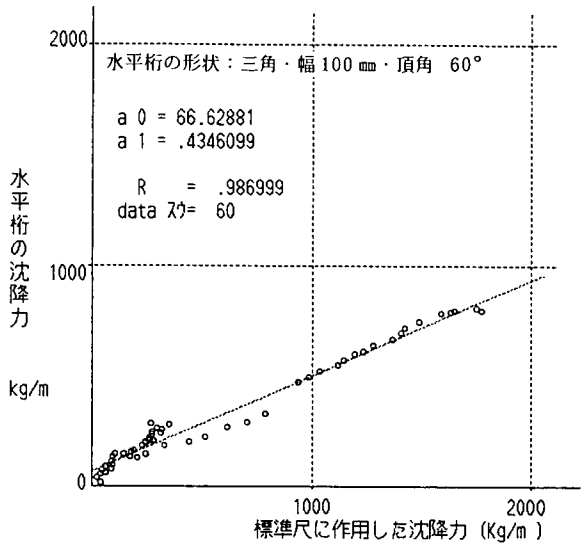
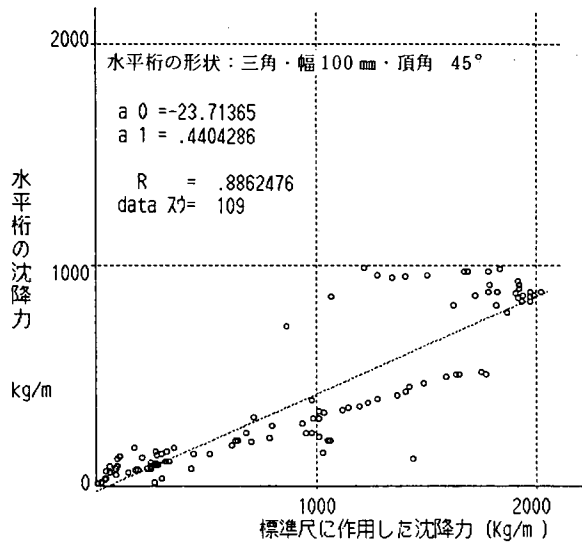
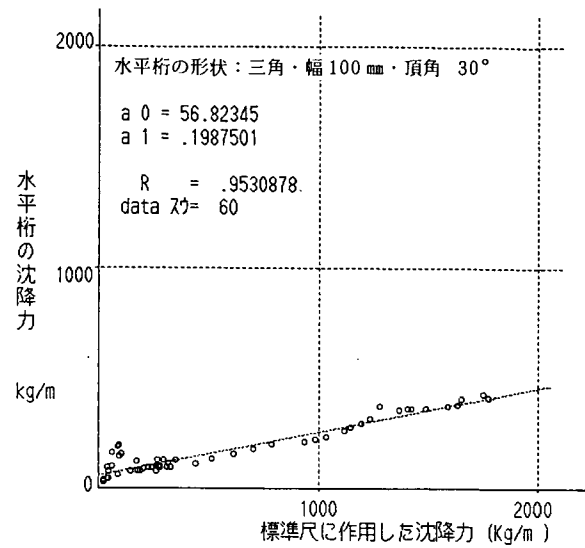
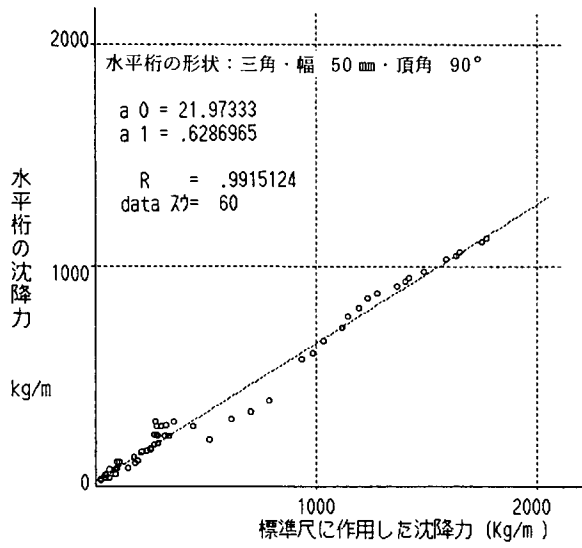


図-4 三角形の水平桁と標準尺の沈降力の関係

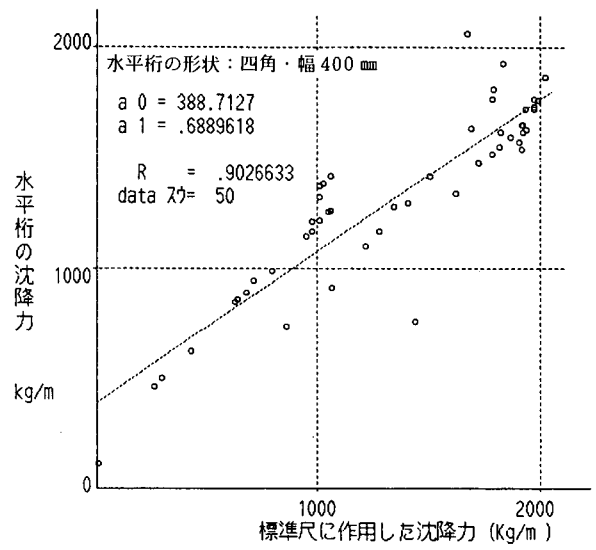
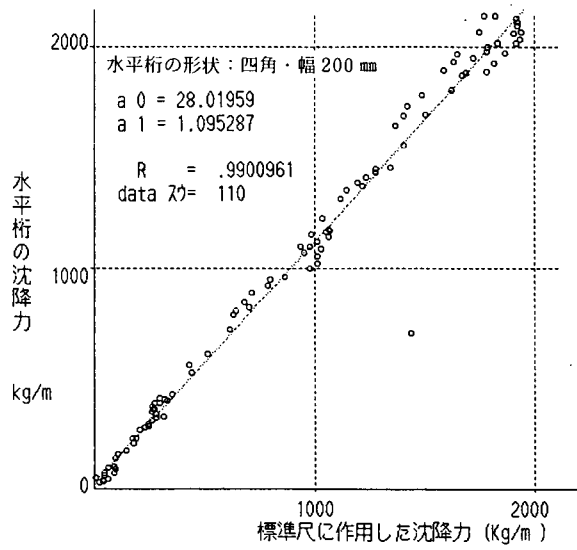
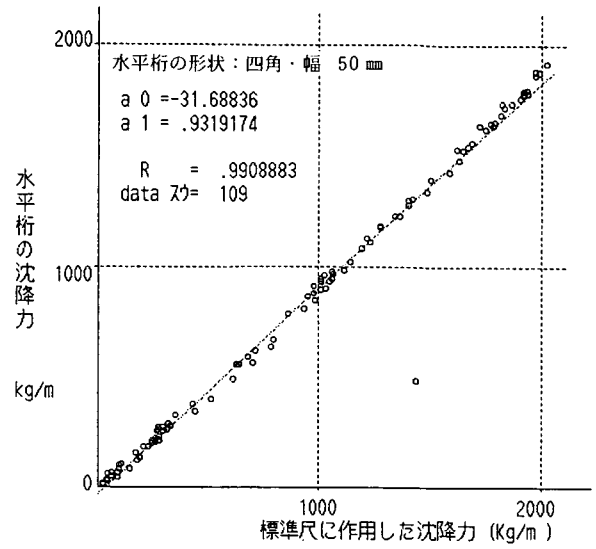
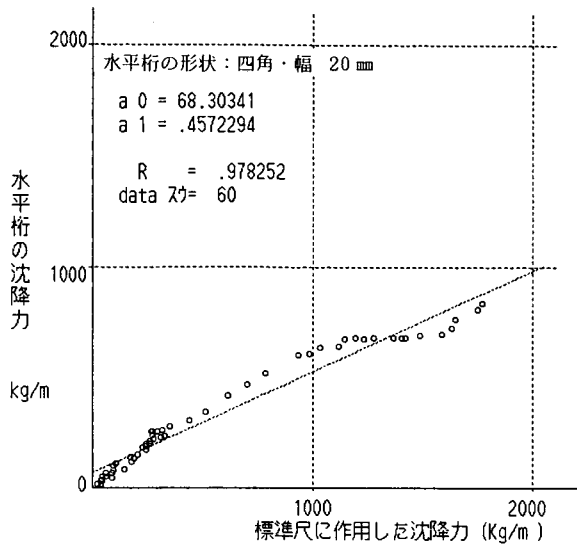


図-5 角形の水平桁と標準尺の沈降力の関係

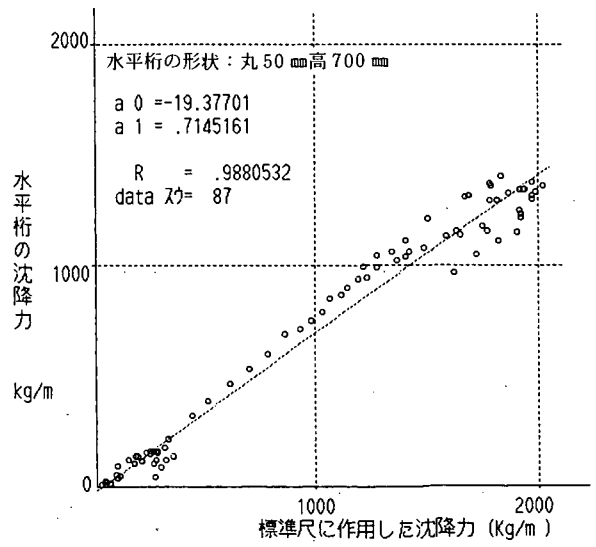
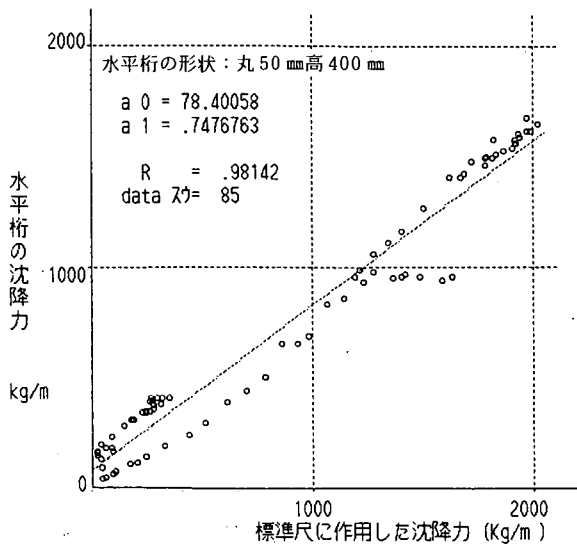


図6-1 丸形(φ50)水平桁と標準尺の沈降力の関係(設置高さ別)

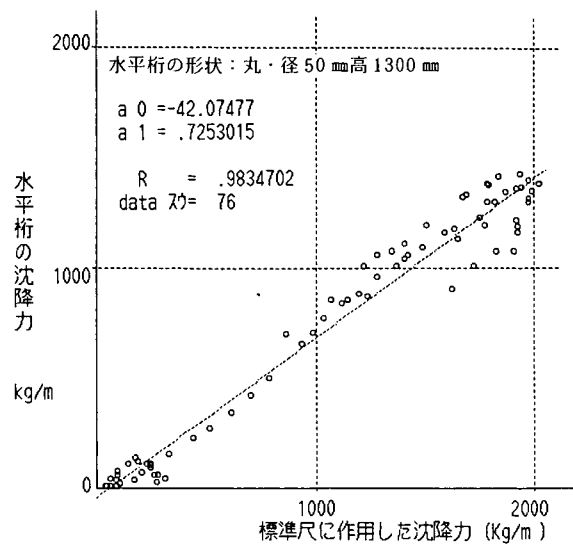
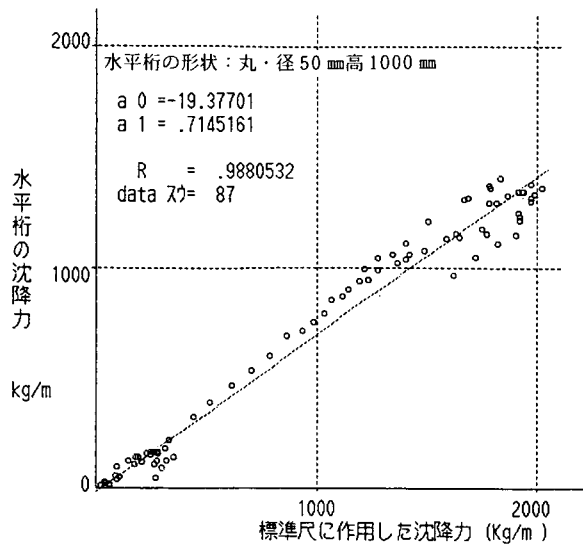


図 6 - 2 丸形 ($\phi 50$) 水平桁と標準尺の沈降力の関係 (設置高さ別)

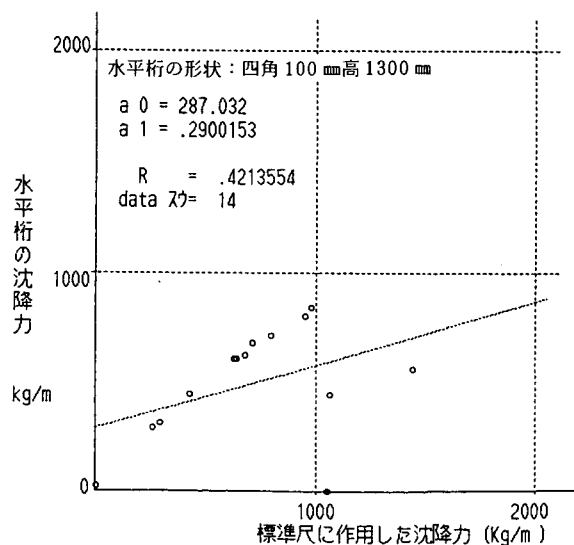
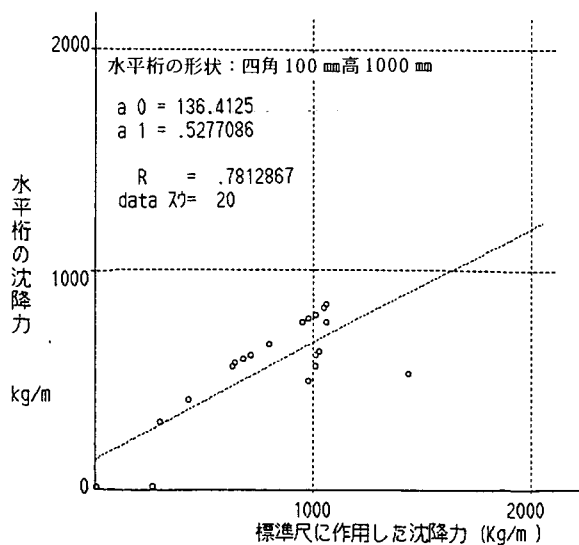
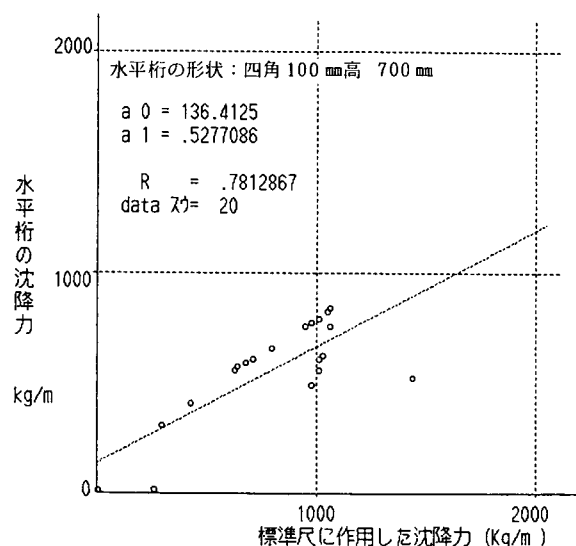
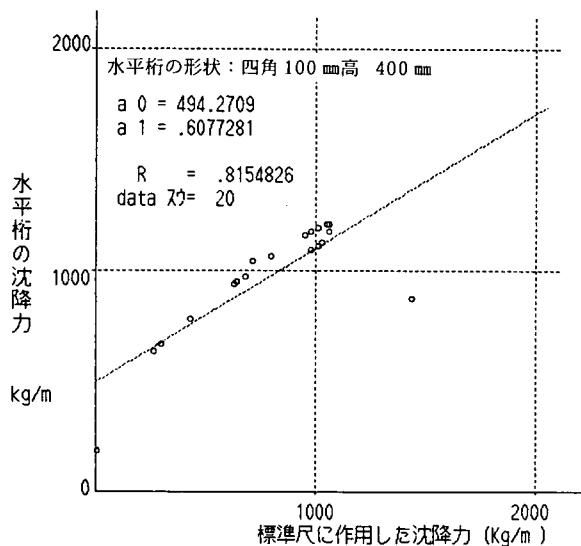


図 - 7 角形 (100^{\square}) 水平桁と標準尺の沈降力の関係 (設置高さ別)

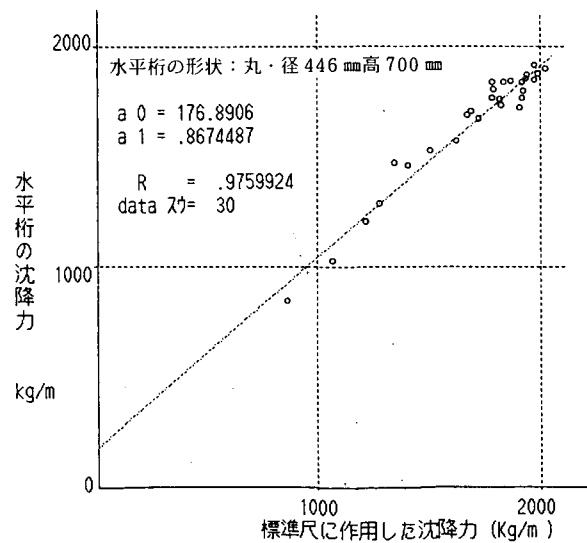
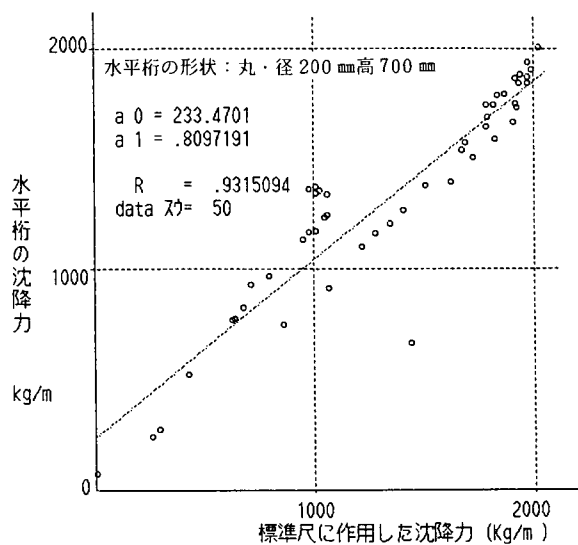
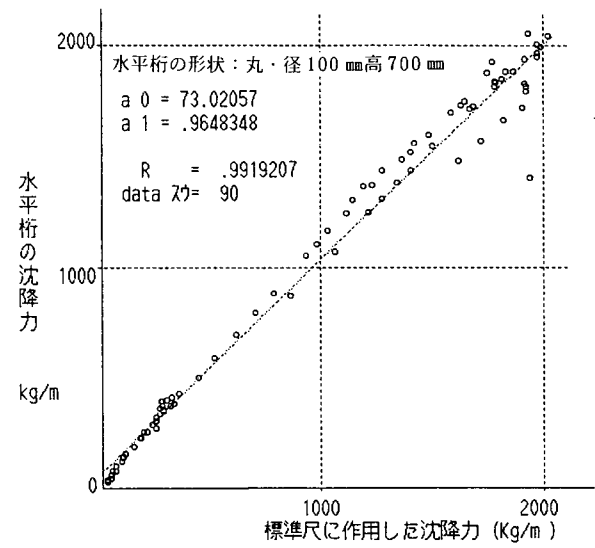
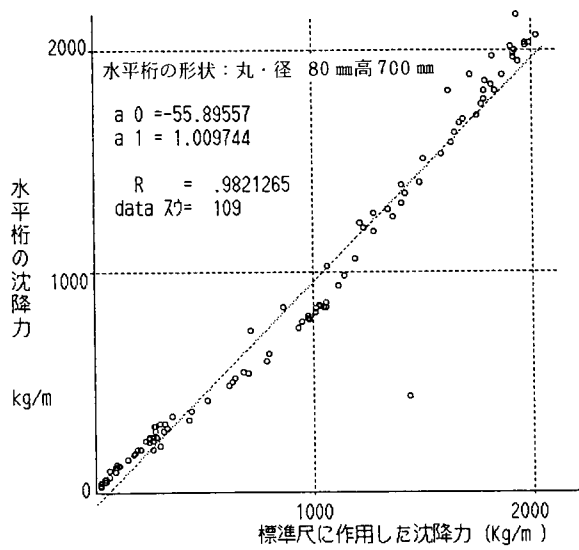
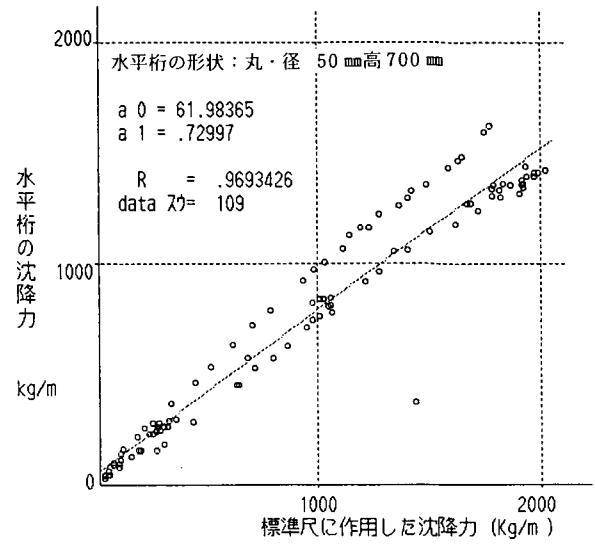
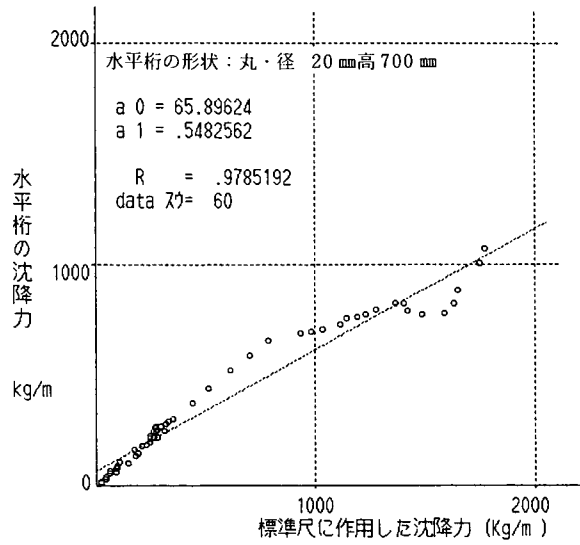
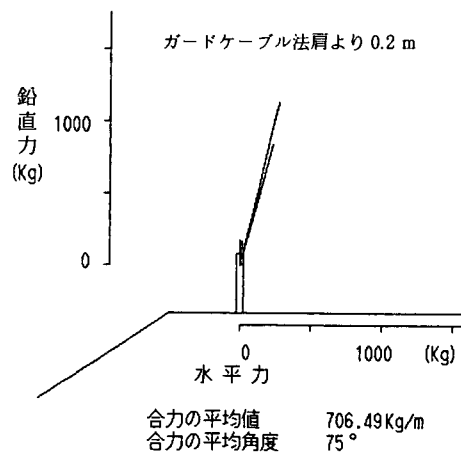
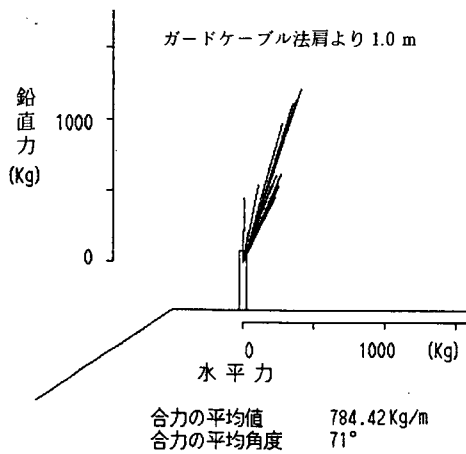
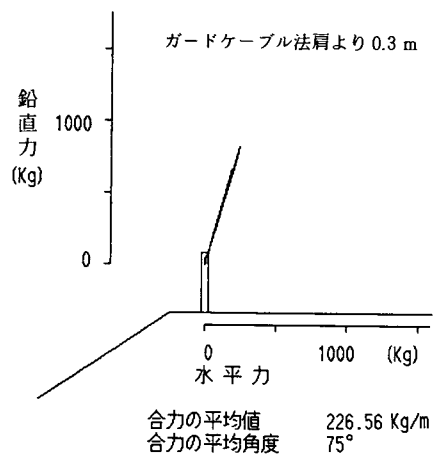
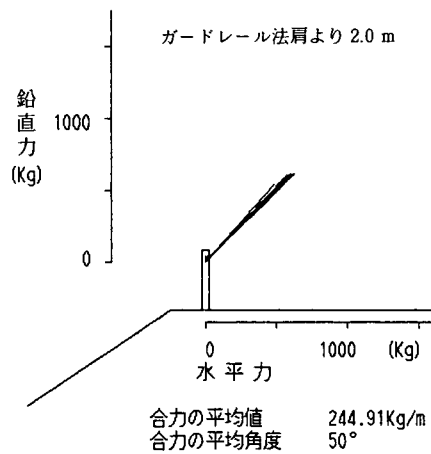
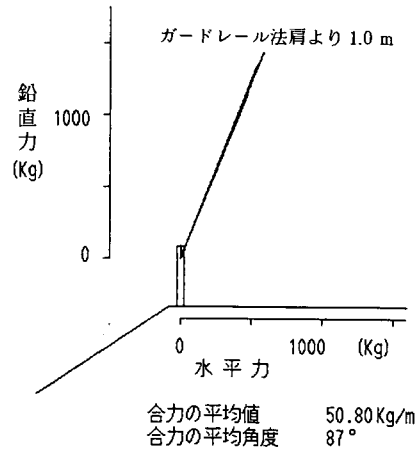
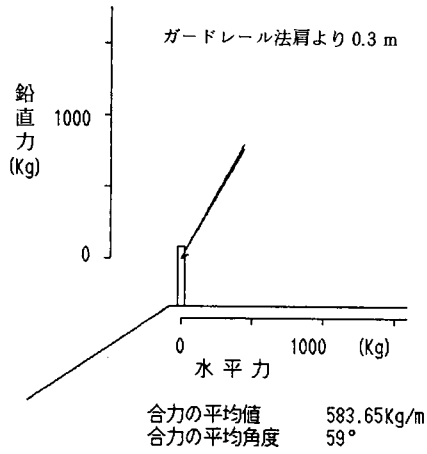


図-8 円形の水平桁と標準尺の沈降力の関係

資料-5 防護柵に作用する合力の作用方向



ガードレール

ガードケーブル

防護柵にかかる合力の作用方向 (作用点高さ60 cm)

資料 - 6 年度別沈降力, 水平力の変化

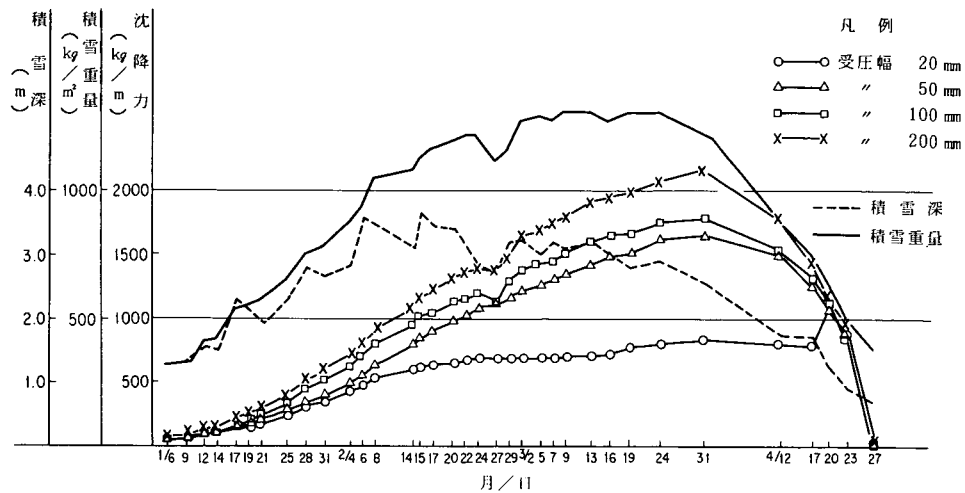
付表 - 1 積雪深等一覧表

新潟試験所構内

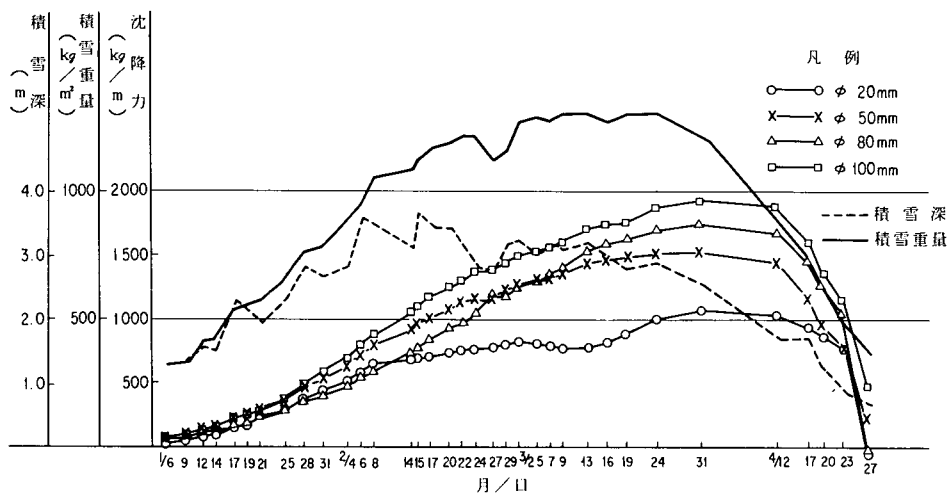
項目 \ 年度	56年度	57年度	58年度	59年度	60年度
最大積雪深 (cm) (年・月・日)	146 (57・2・10)	239 (58・2・14)	362 (59・2・15)	352 (60・1・31)	379 (61・2・7)
最大積雪重量 (kg/m ²) (年・月・日)	412 (57・2・17)	630 (58・2・28)	1305 (59・3・19)	1315 (60・2・27)	1306 (61・3・1)
標準桁に働いた (kg/m) 最大沈降力 (年・月・日)	203 (57・2・17)	353 (58・3・10)	1776 (59・3・31)	2025 (60・3・2)	1062 (61・3・6)

土田防護柵実験地

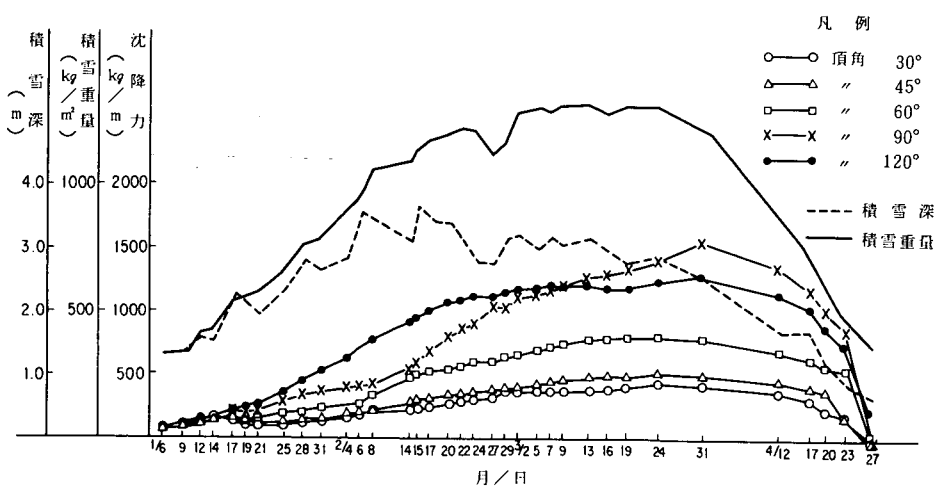
項目 \ 年度	55年度	56年度	57年度	58年度	59年度	60年度
最大積雪深 (cm) (年・月・日)	295 (56・1・28)	143 (57・2・10)	213 (58・2・14)	362 (59・2・15)	354 (60・1・31)	369 (61・2・7)
最大積雪重量 (kg/m ²) (年・月・日)	1198 (56・3・12)	374 (57・2・17)	609 (58・2・28)	1442 (59・3・16)	1382 (60・2・18)	1287 (61・2・27)
標準桁に働いた (kg/m) 最大沈降力 (年・月・日)	1500 (56・3・9)	252 (57・2・17)	382 (58・3・10)	1665 (59・3・16)	1818 (60・3・2)	1062 (61・3・6)



(a) 受圧面形状 角型

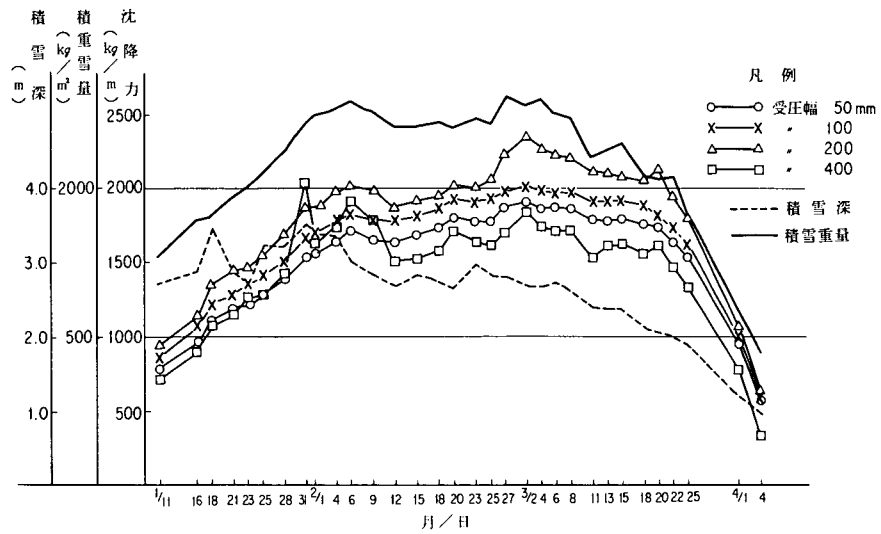


(b) 受圧面形状 円形

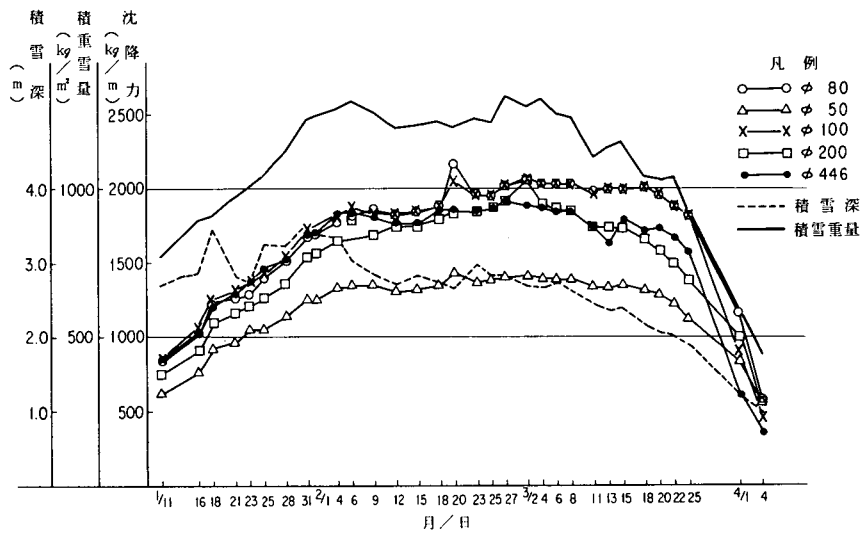


(c) 受圧面形状 三角

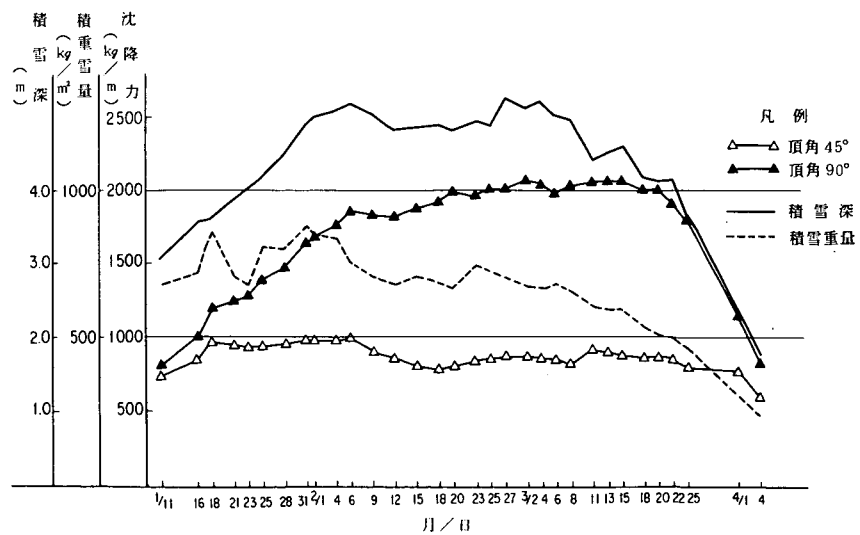
付図-1 昭和58年度水平桁に作用した沈降力(構内)



(a) 受圧面形状 角型

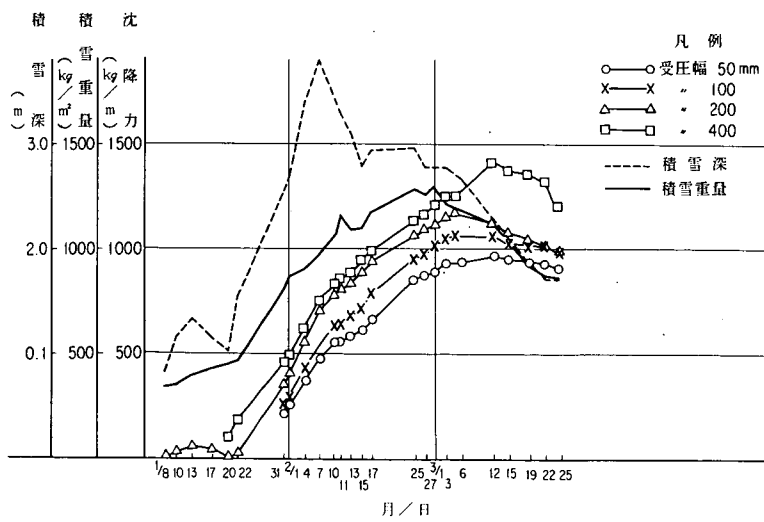


(b) 受圧面形状 円形

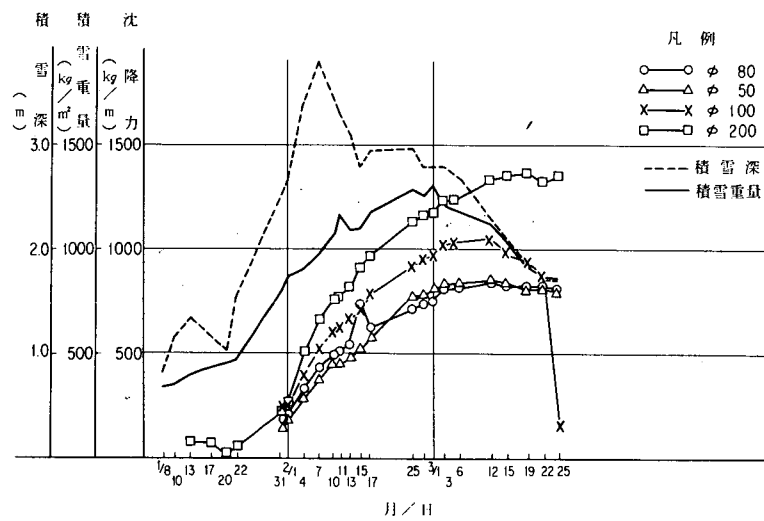


(c) 受圧面形状 三角

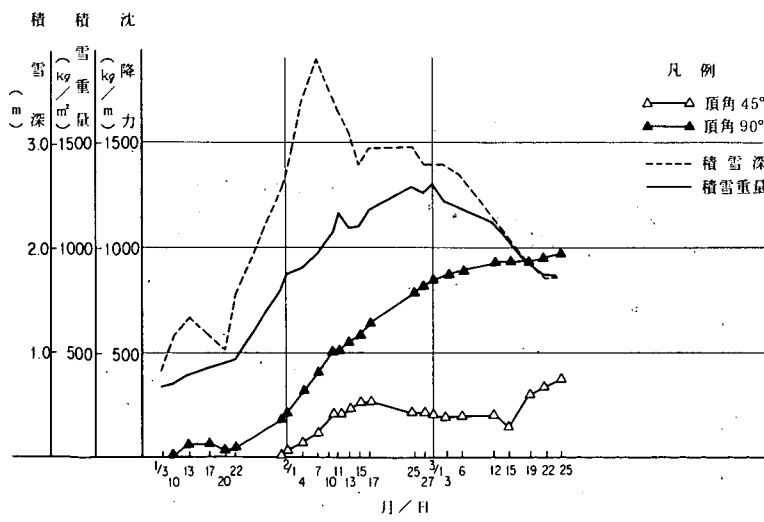
付図-2 昭和59年度水平桁に作用した沈降力(構内)



(a) 受圧面形状 角型

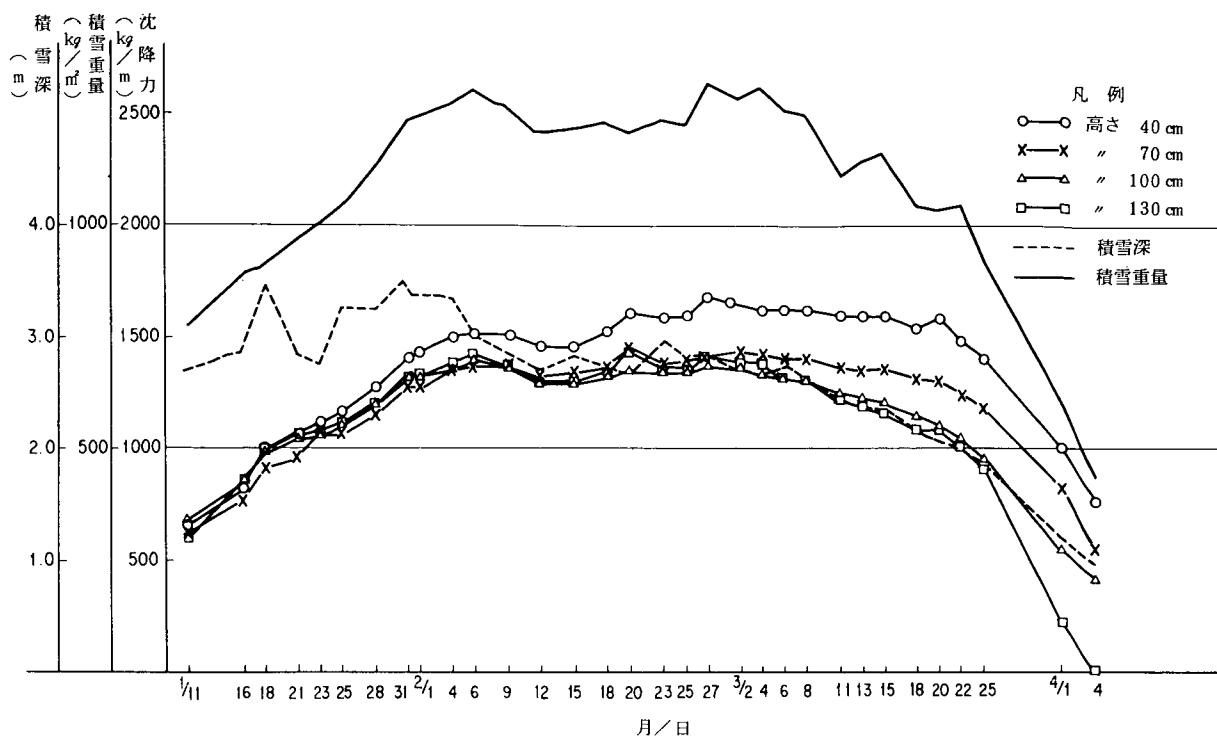


(b) 受圧面形状 円形

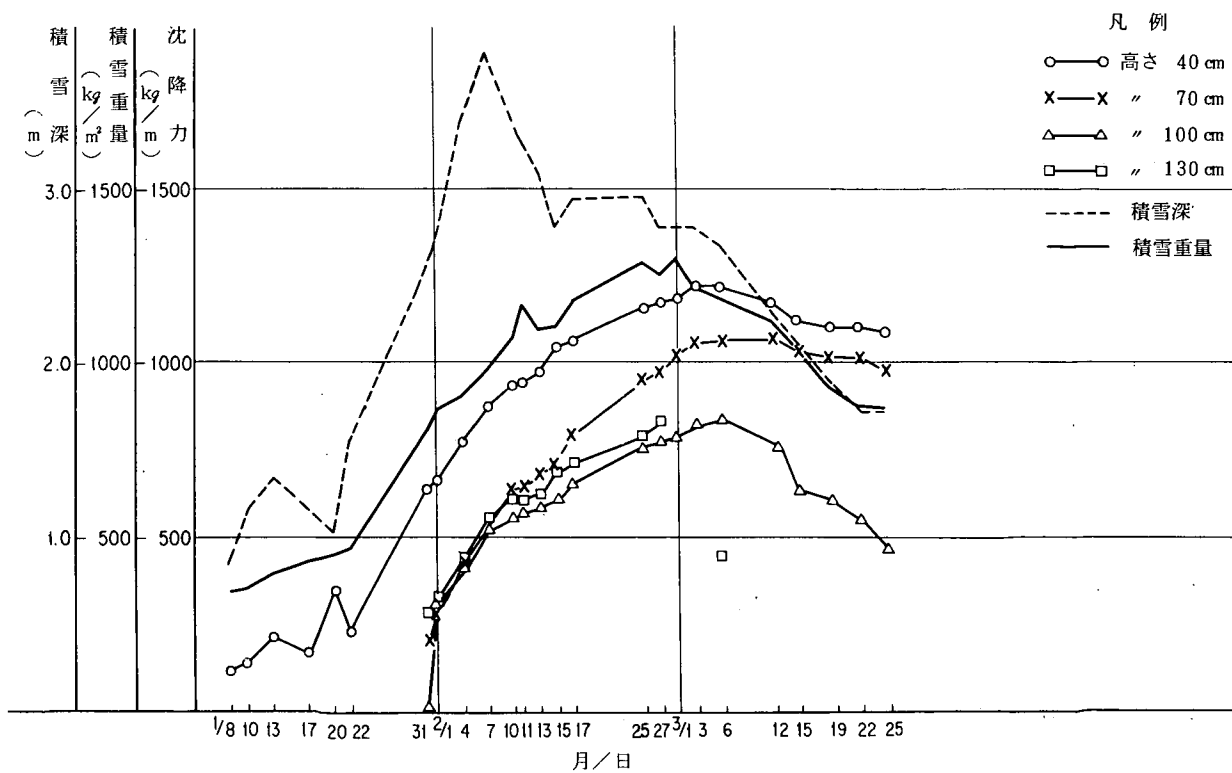


(c) 受圧面形状 三角

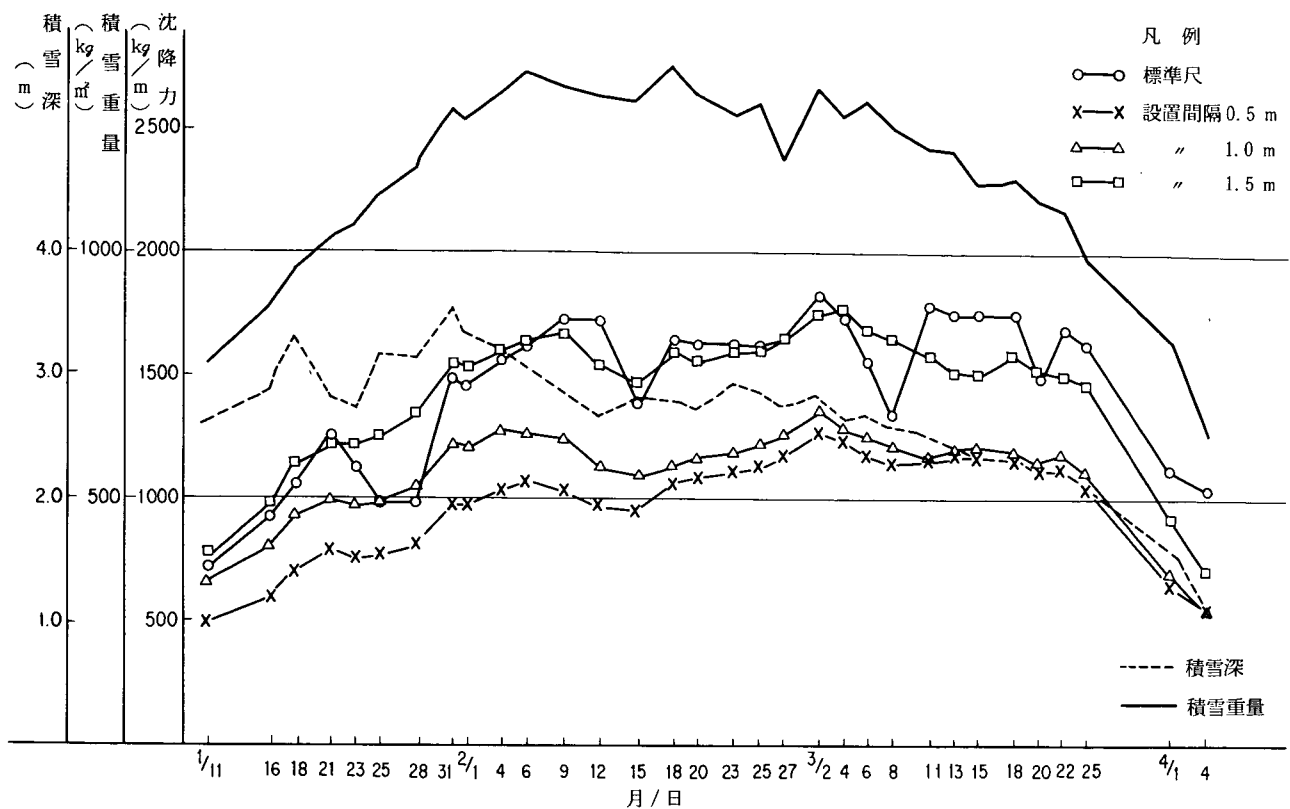
付図-3 昭和60年度水平桁に作用した沈降力(構内)



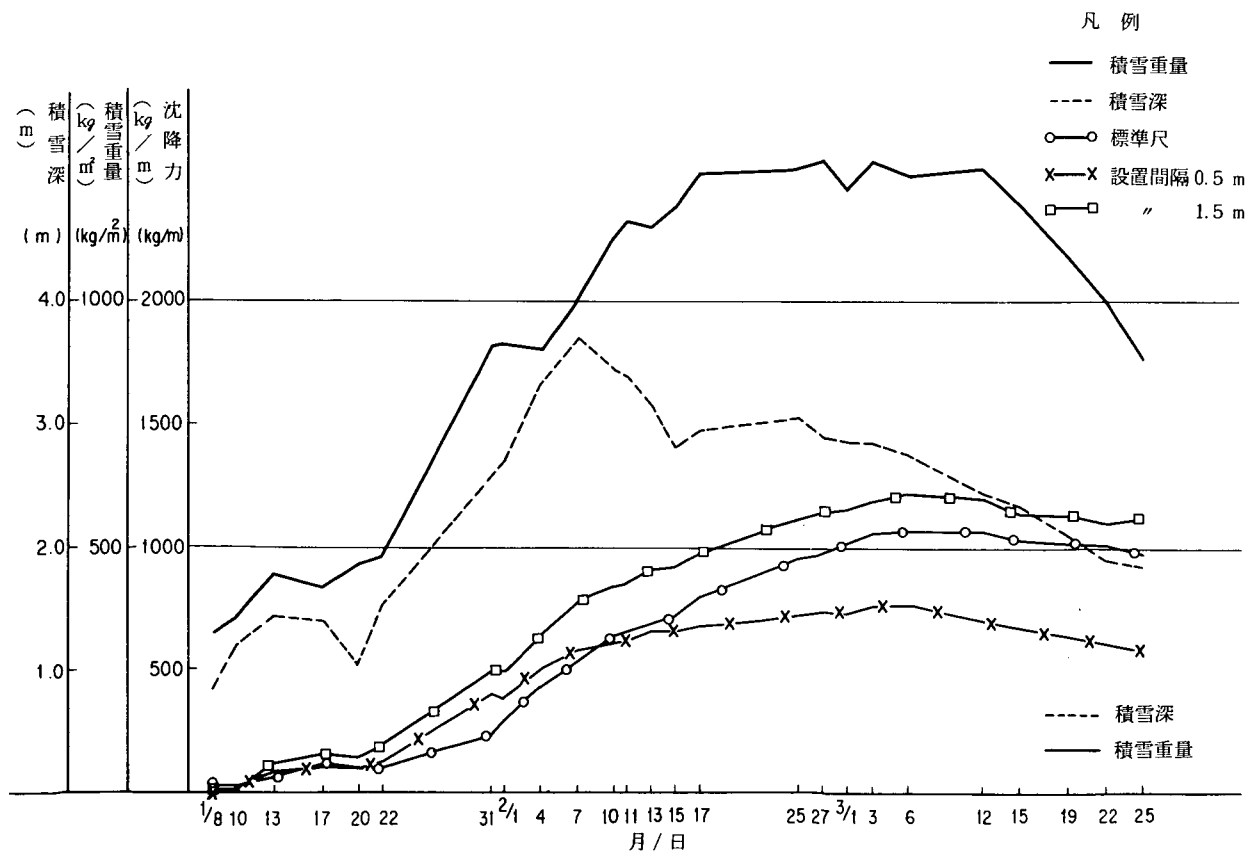
付図-4 昭和59年度水平桁の設置高さ別沈降力(構内)



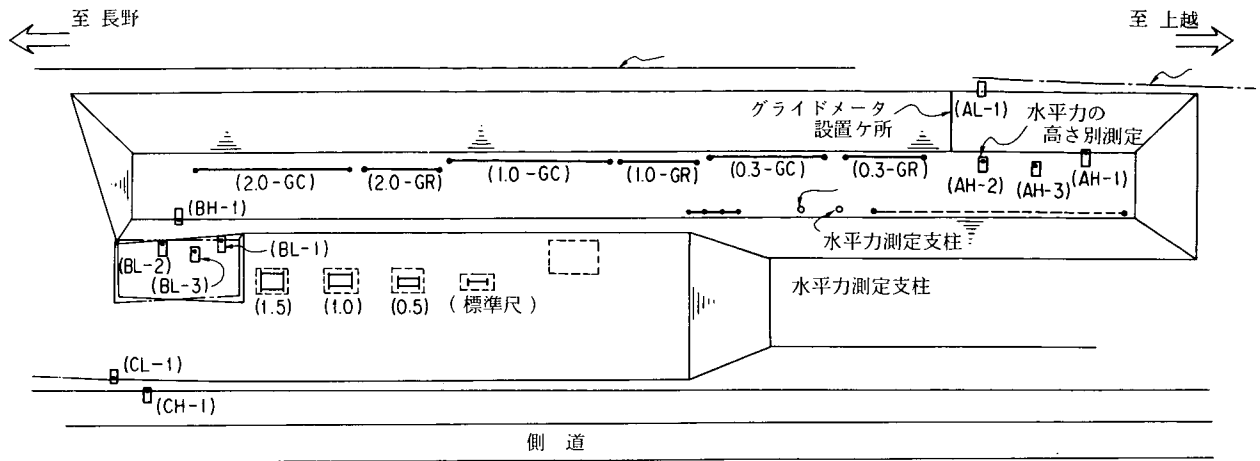
付図-5 昭和60年度水平桁の設置高さ別沈降力(構内)



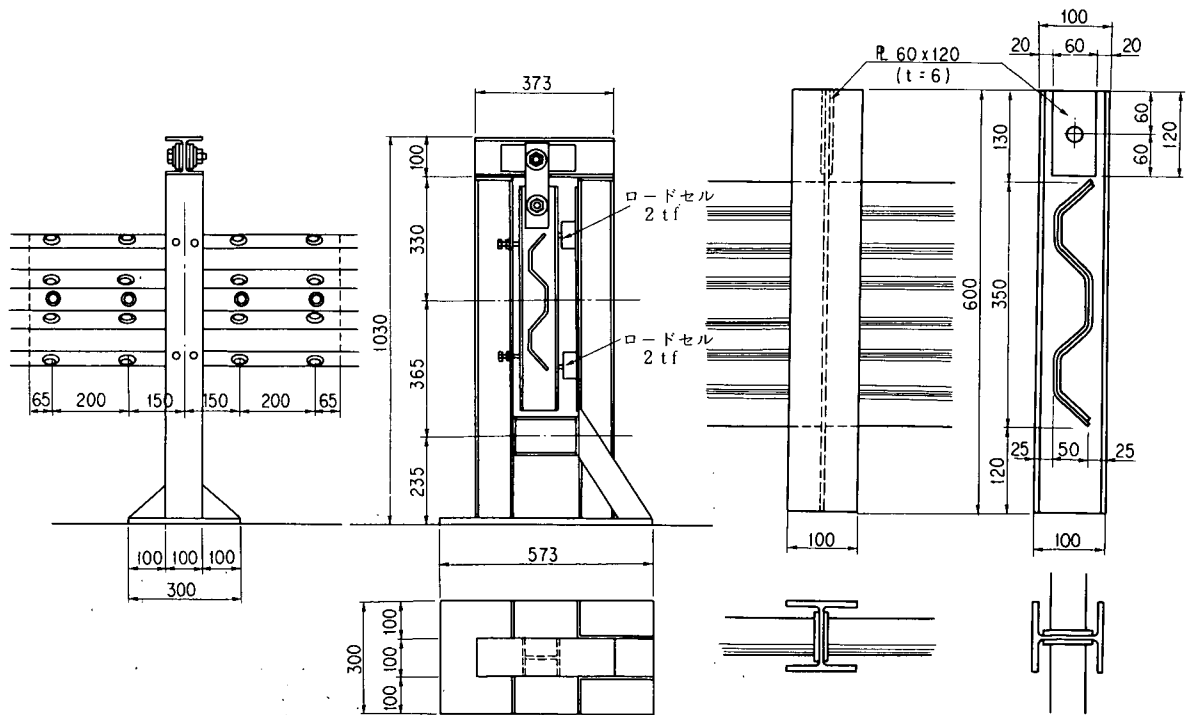
付図-6 昭和59年度水平桁の設置間隔別沈降力(土田)



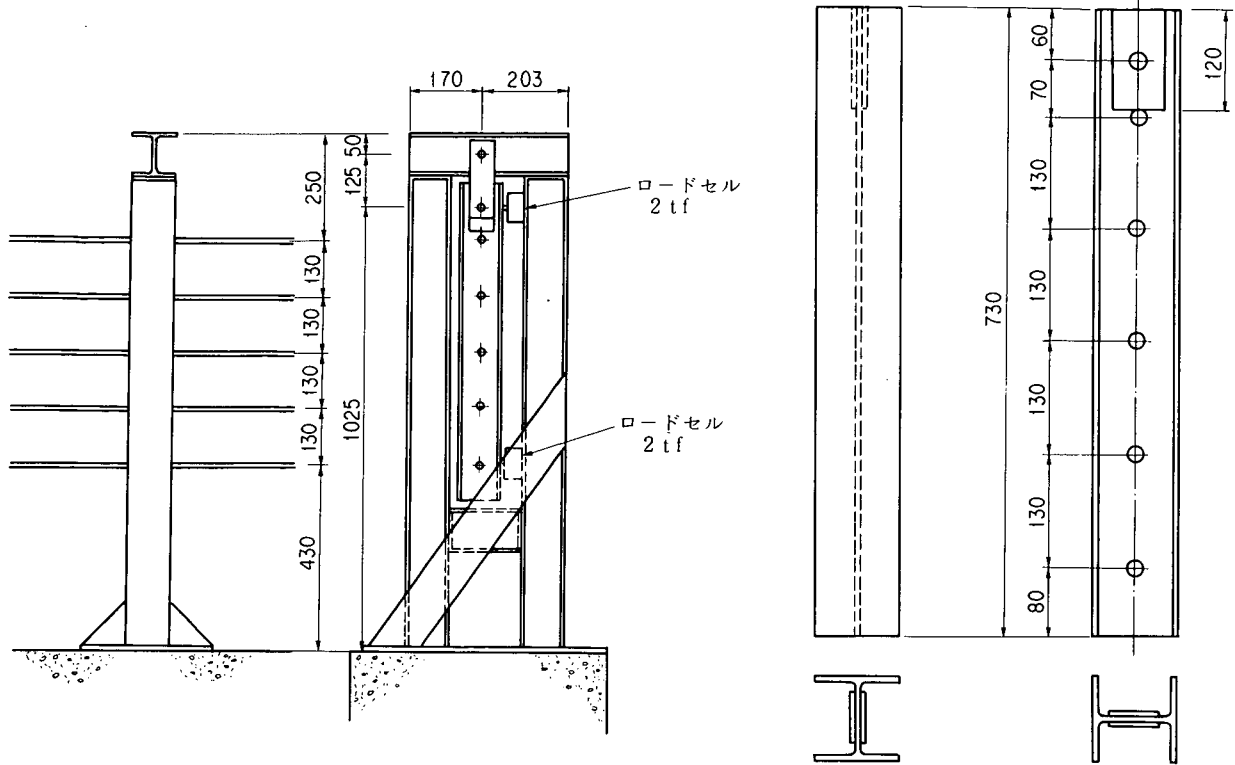
付図-7 昭和60年度水平桁の設置間隔別沈降力(土田)



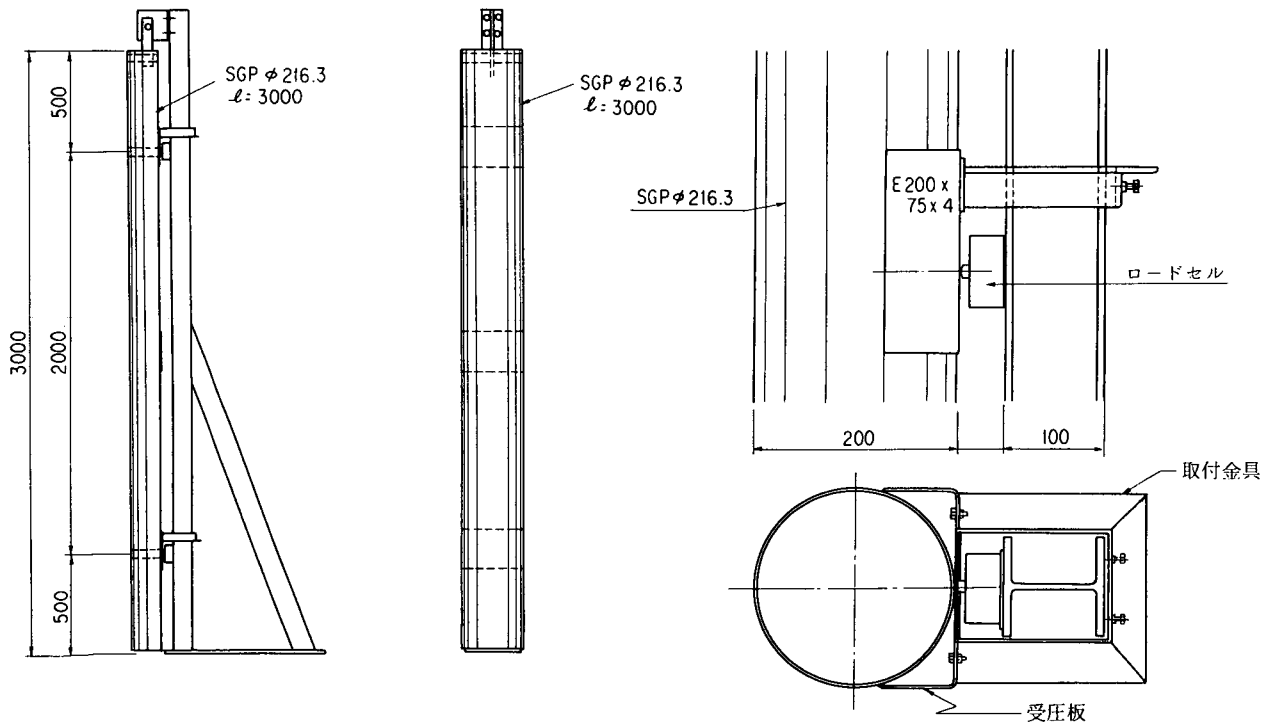
付図-8 土田実験地平面図 (S = 1/600)



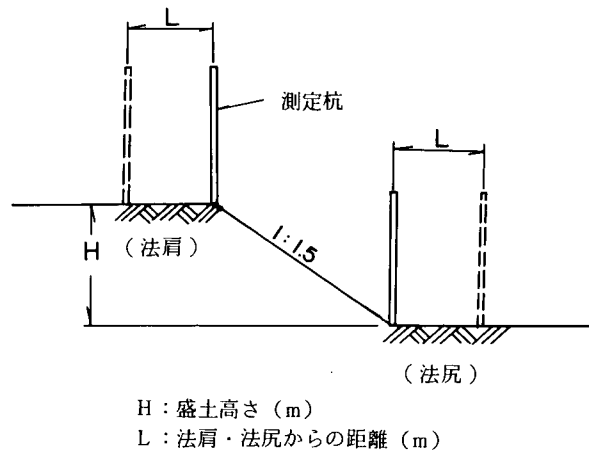
付図-9 水平力測定装置 (ガードレール)



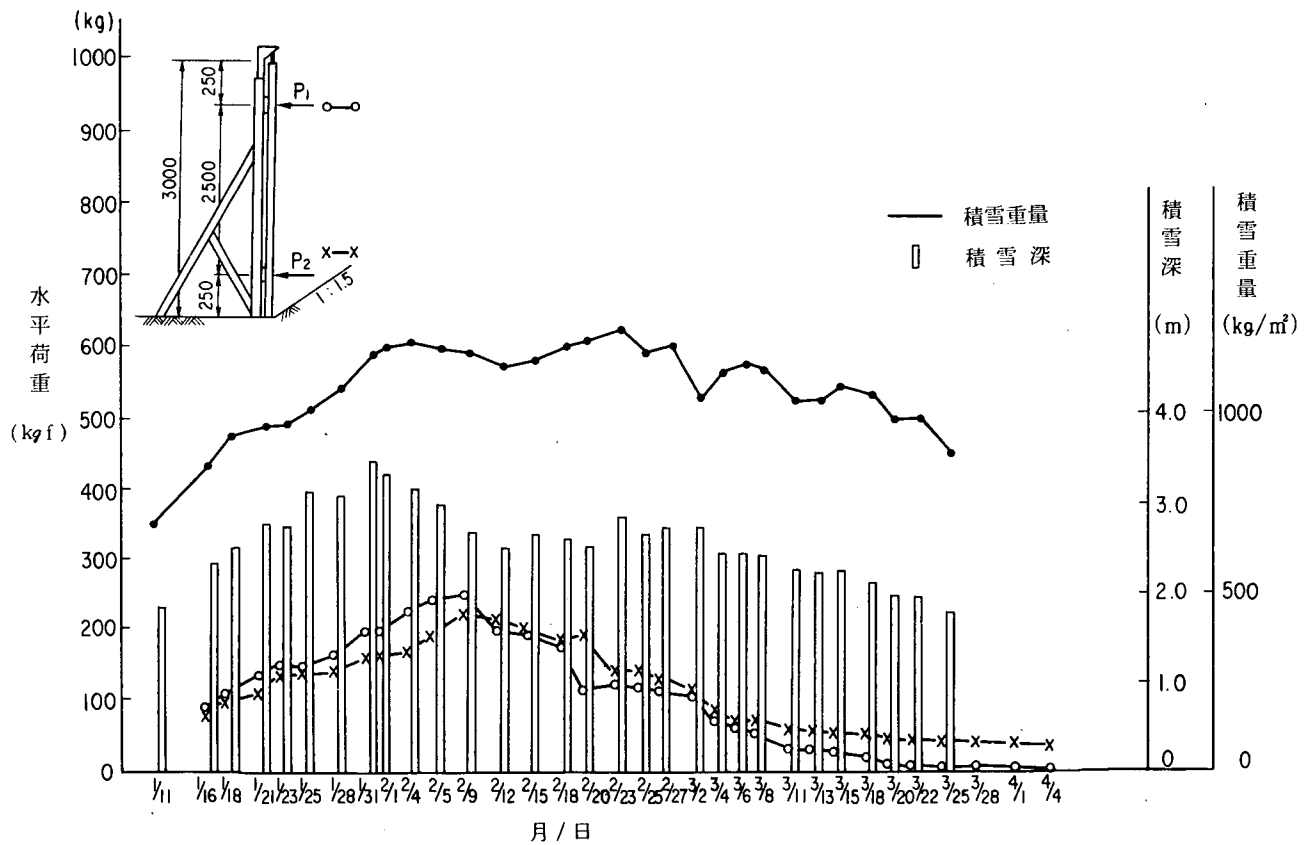
付図-10 水平力測定装置 (ガードケーブル)



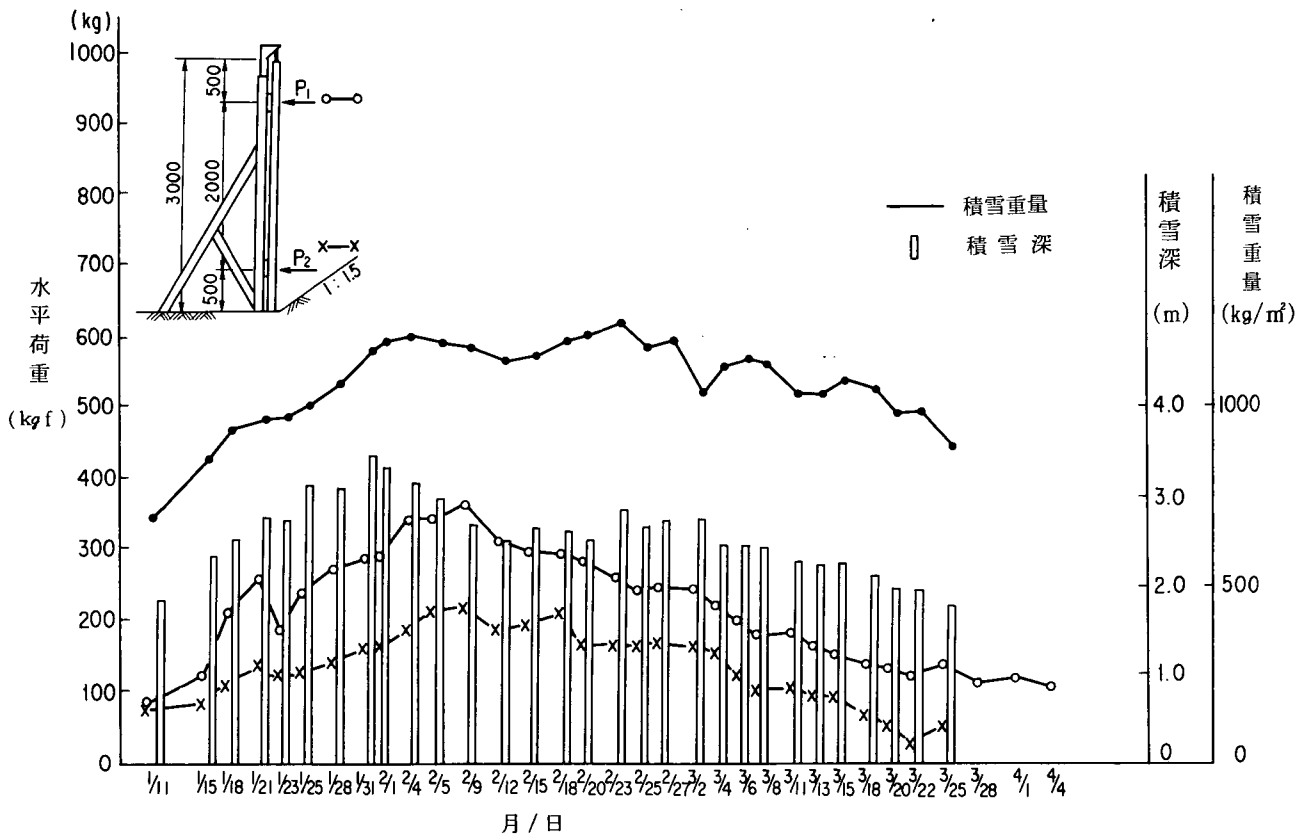
付図-11 水平力測定用支柱 (材質 SGP 鋼)



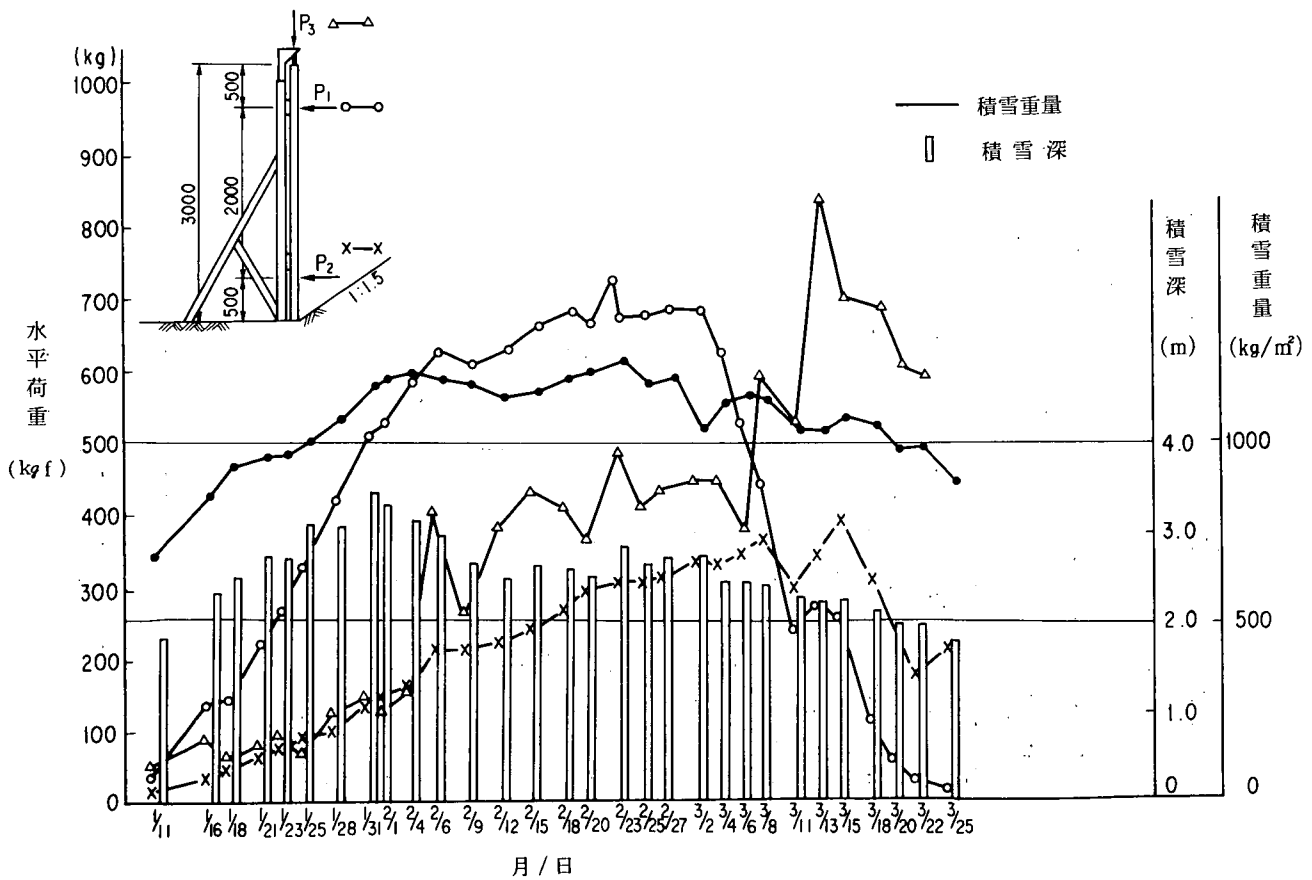
付図-12 雪圧測定杭の設置位置



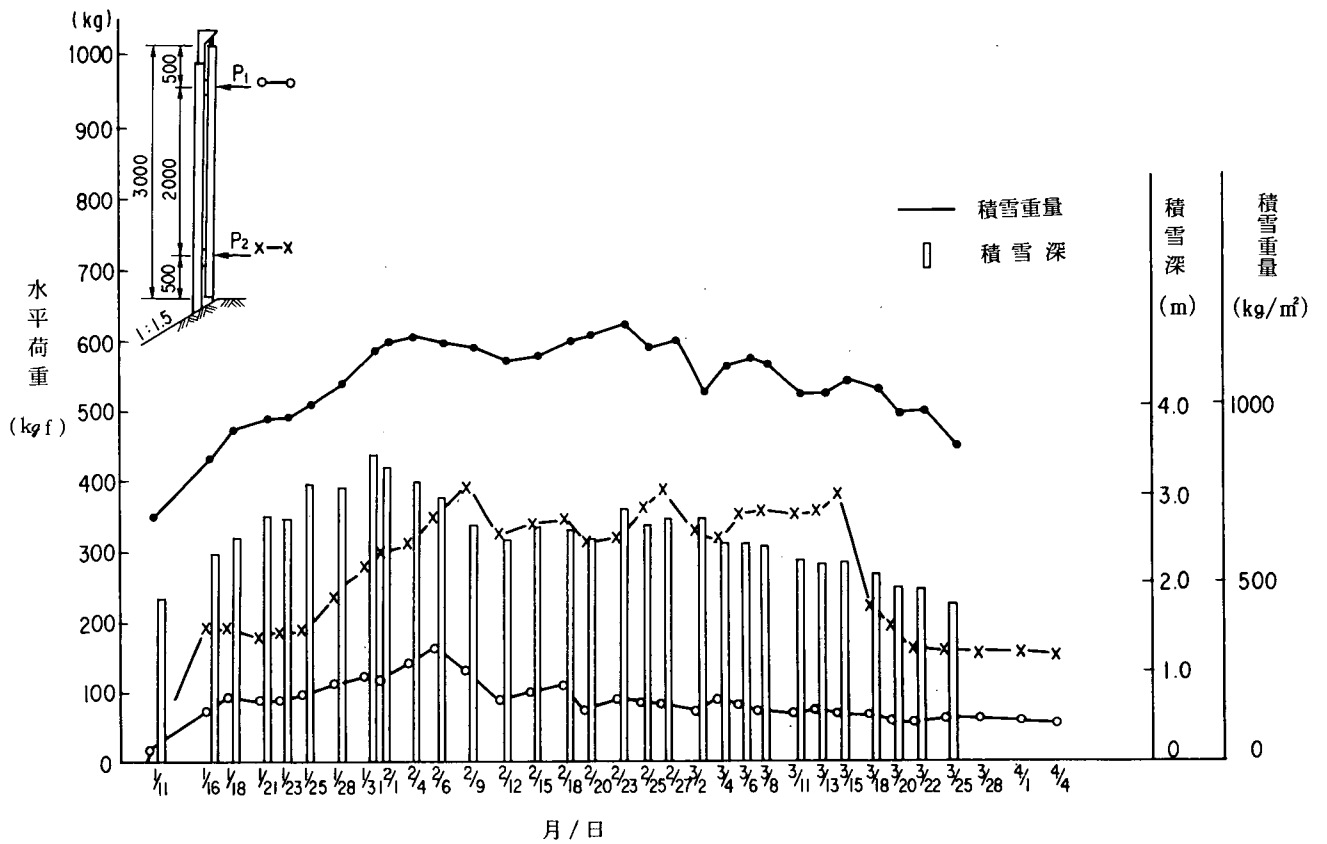
付図-13(a) 59年度支柱に作用した水平力 (設置位置 L = 1.0 m)



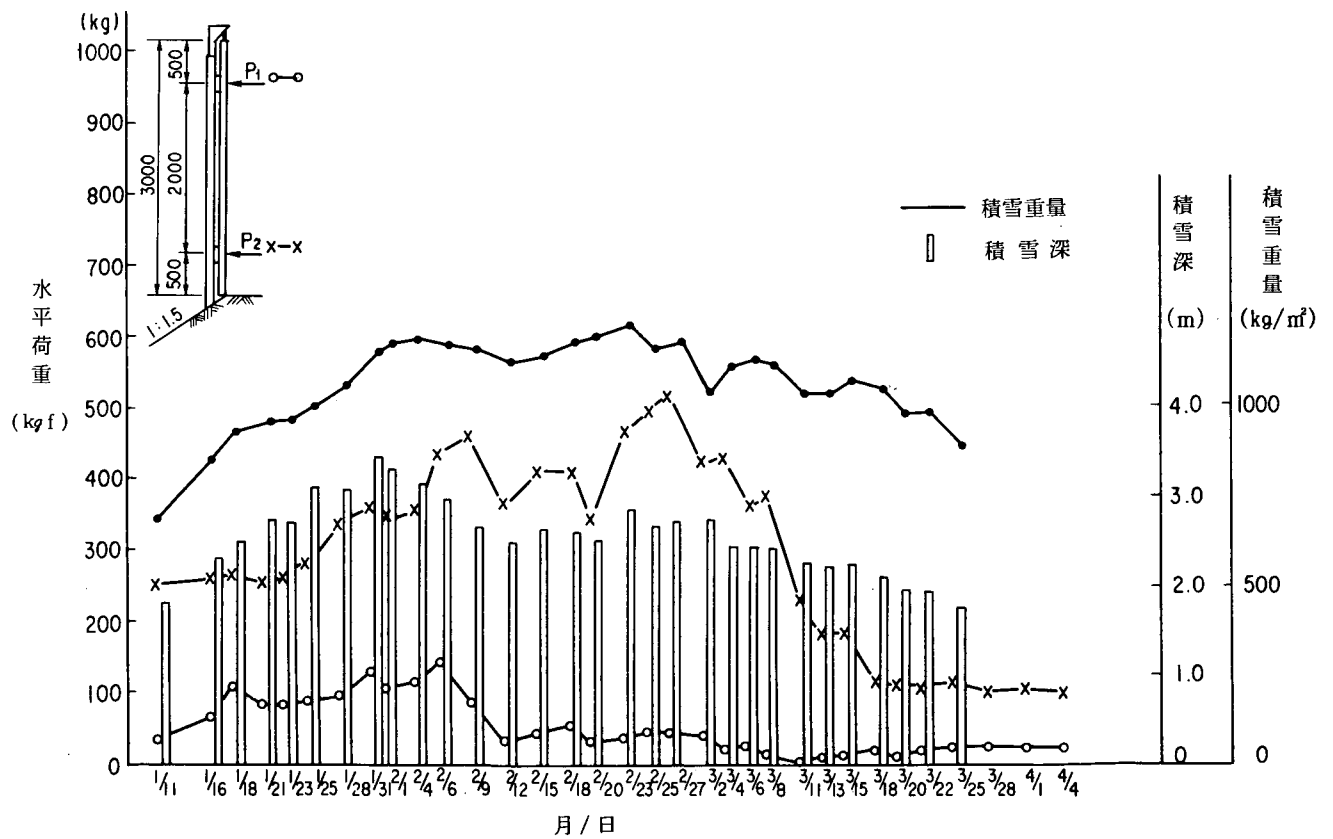
付図-13(b) 59年度支柱に作用した水平力(設置位置 $L = 2.0\text{ m}$)



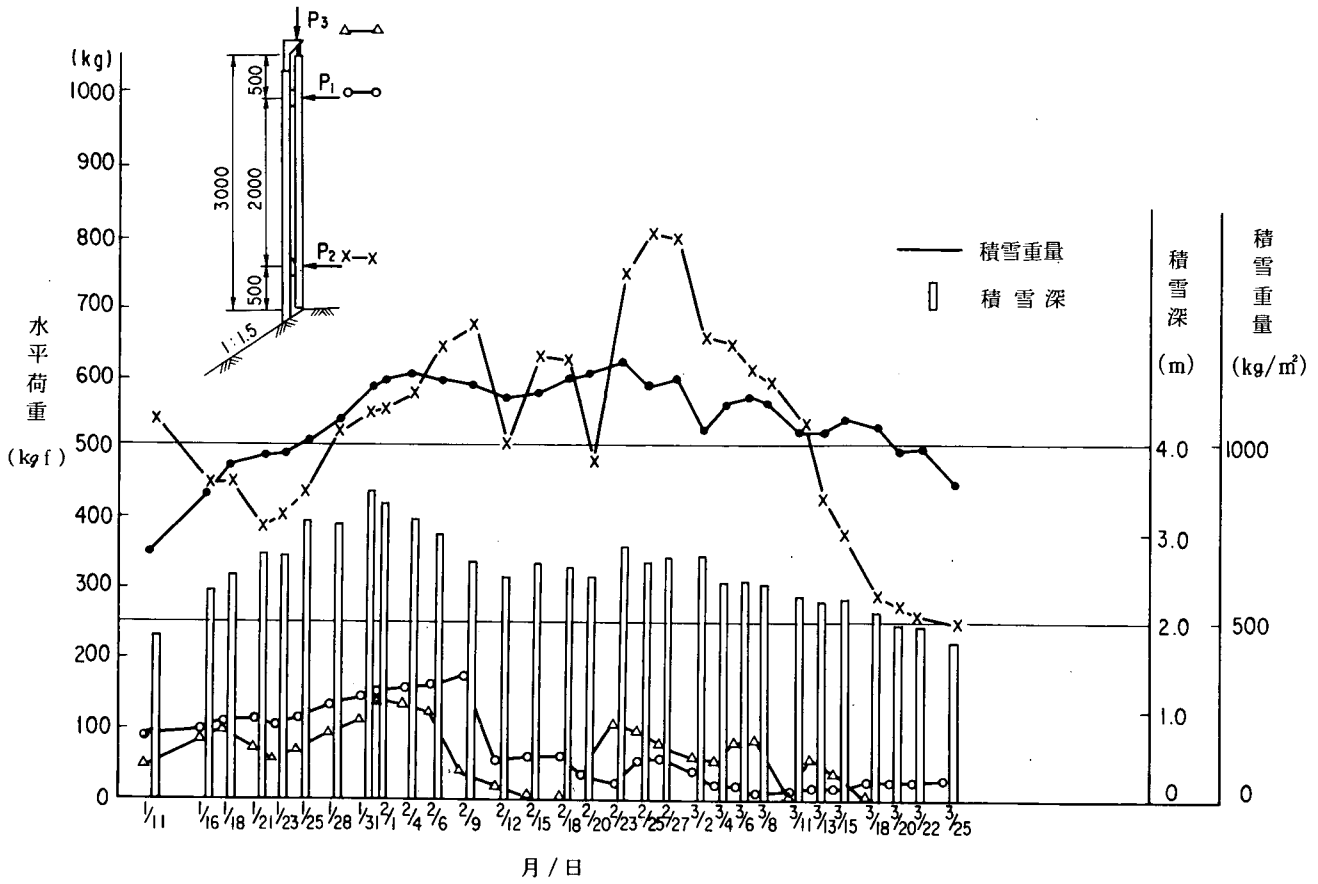
付図-13(c) 59年度支柱に作用した水平力(設置位置 $L = 3.5\text{ m}$)



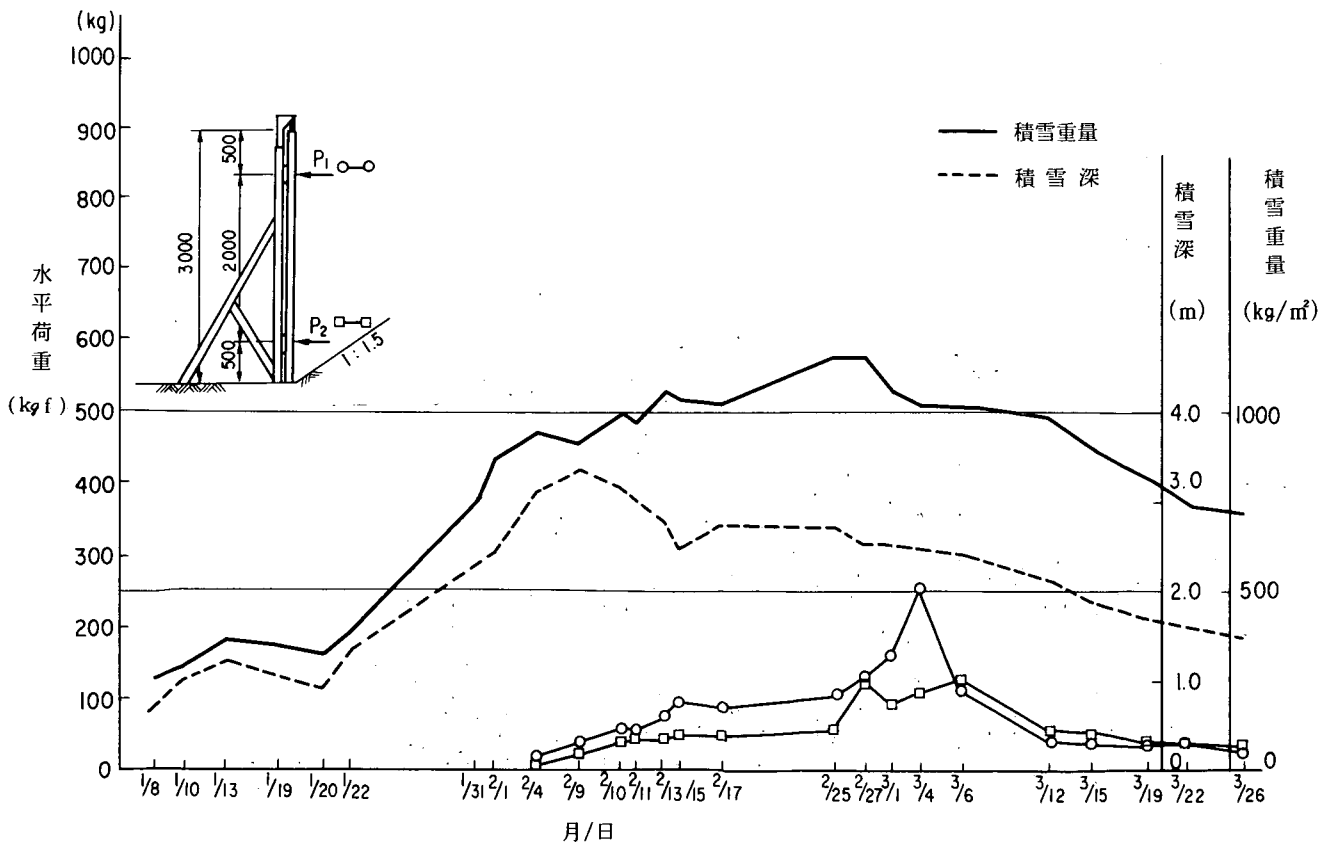
付図-14(a) 59年度支柱に作用した水平力(設置位置L=1.0m)



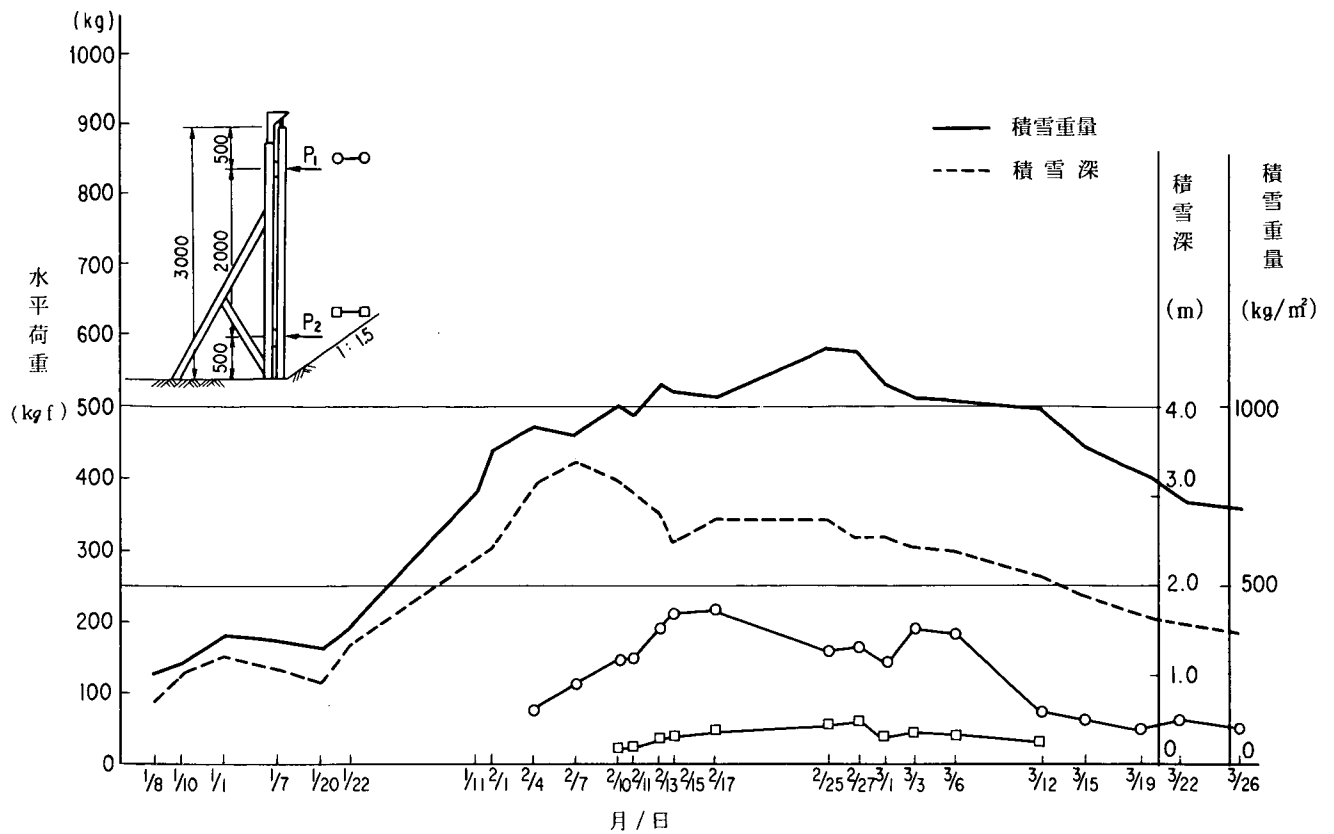
付図-14(b) 59年度支柱に作用した水平力(設置位置L=2.0m)



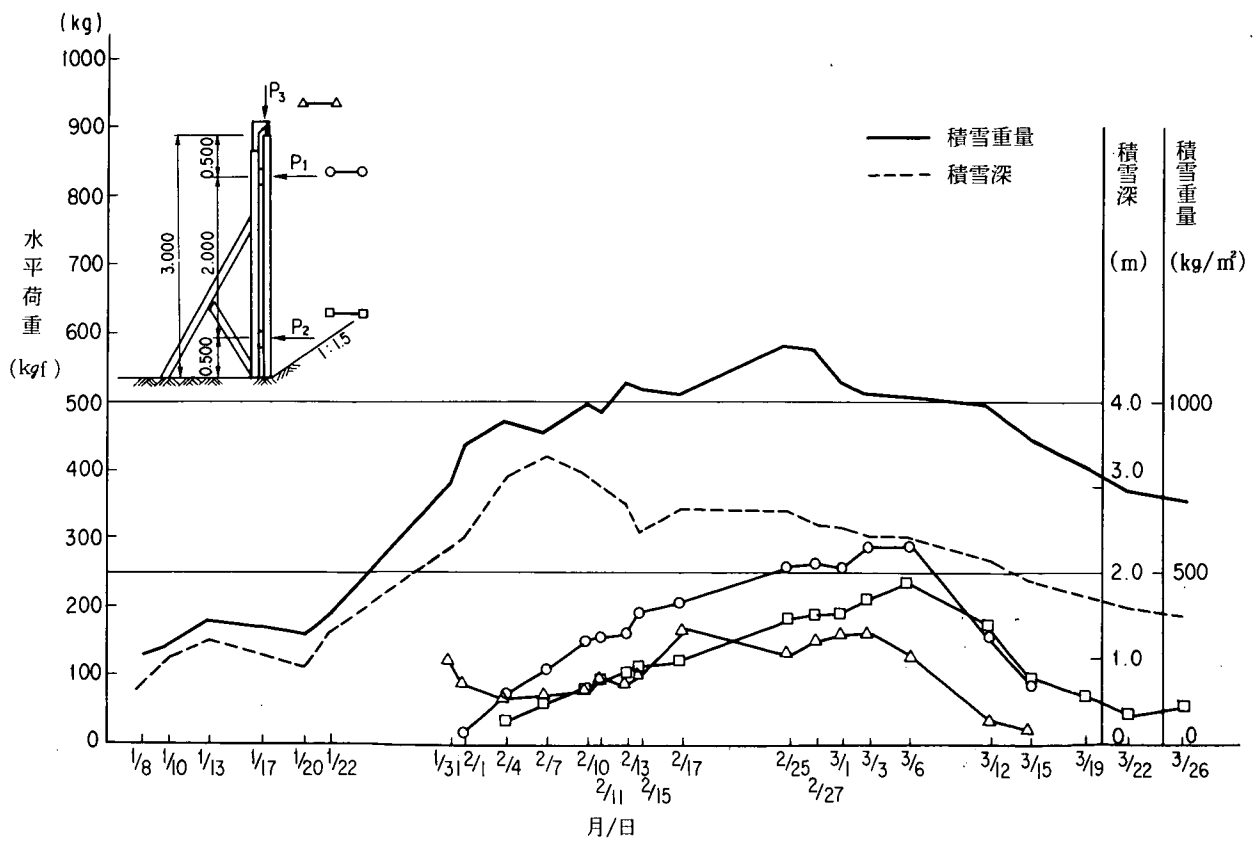
付図-14(c) 59年度支柱に作用した水平力(設置位置 $L=3.5\text{ m}$)



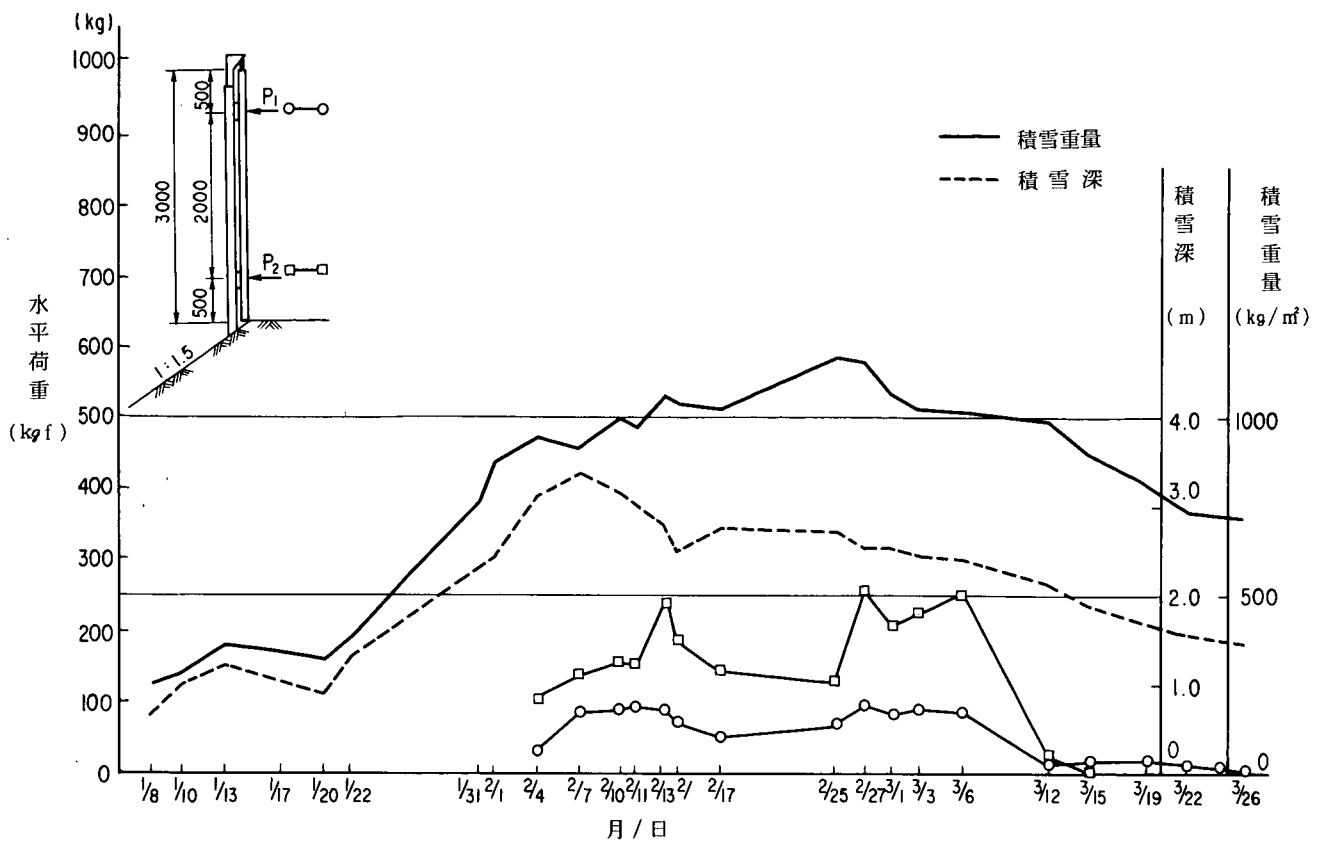
付図-15(a) 60年度支柱に作用した水平力(設置位置 $L=1.0\text{ m}$)



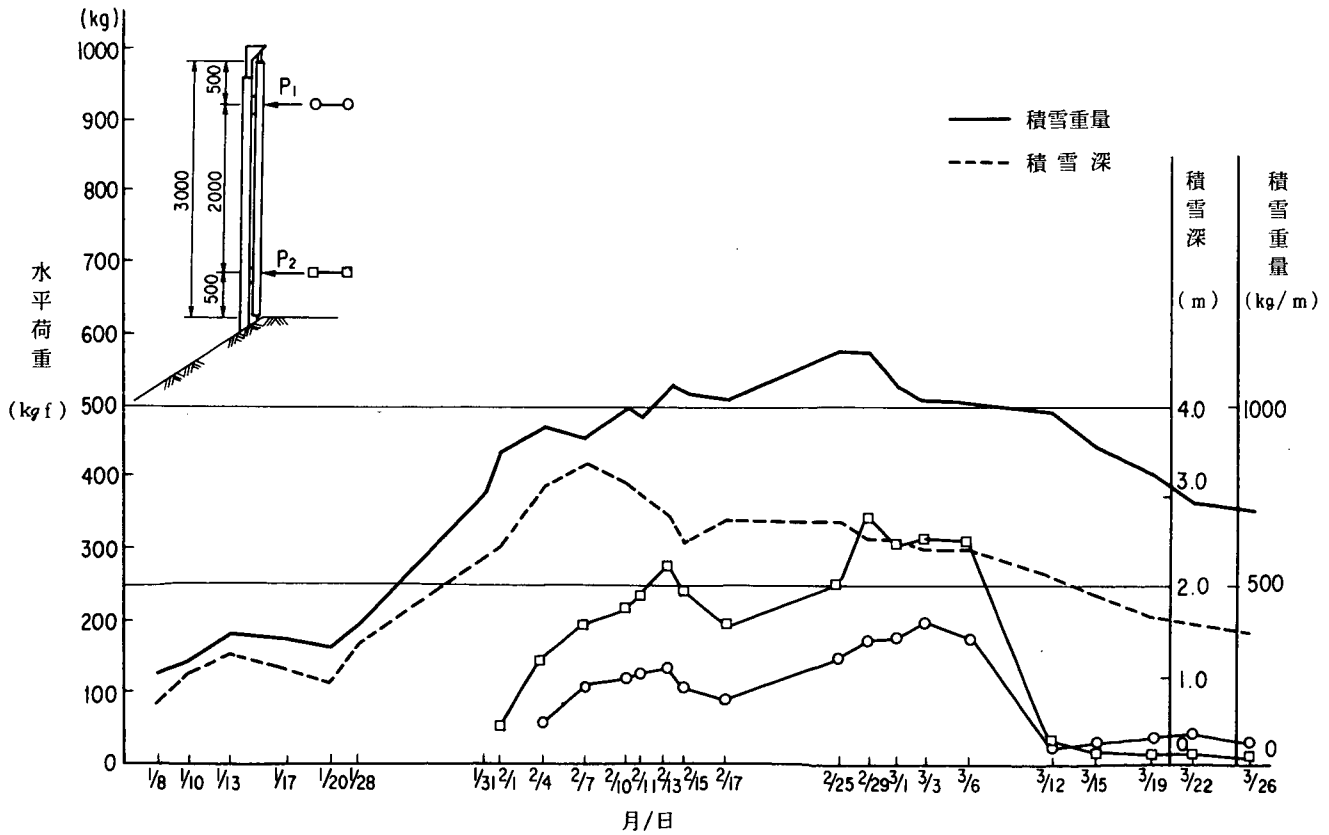
付図- 15(b) 60年度支柱に作用した水平力 (設置位置 $L = 2.0\text{ m}$)



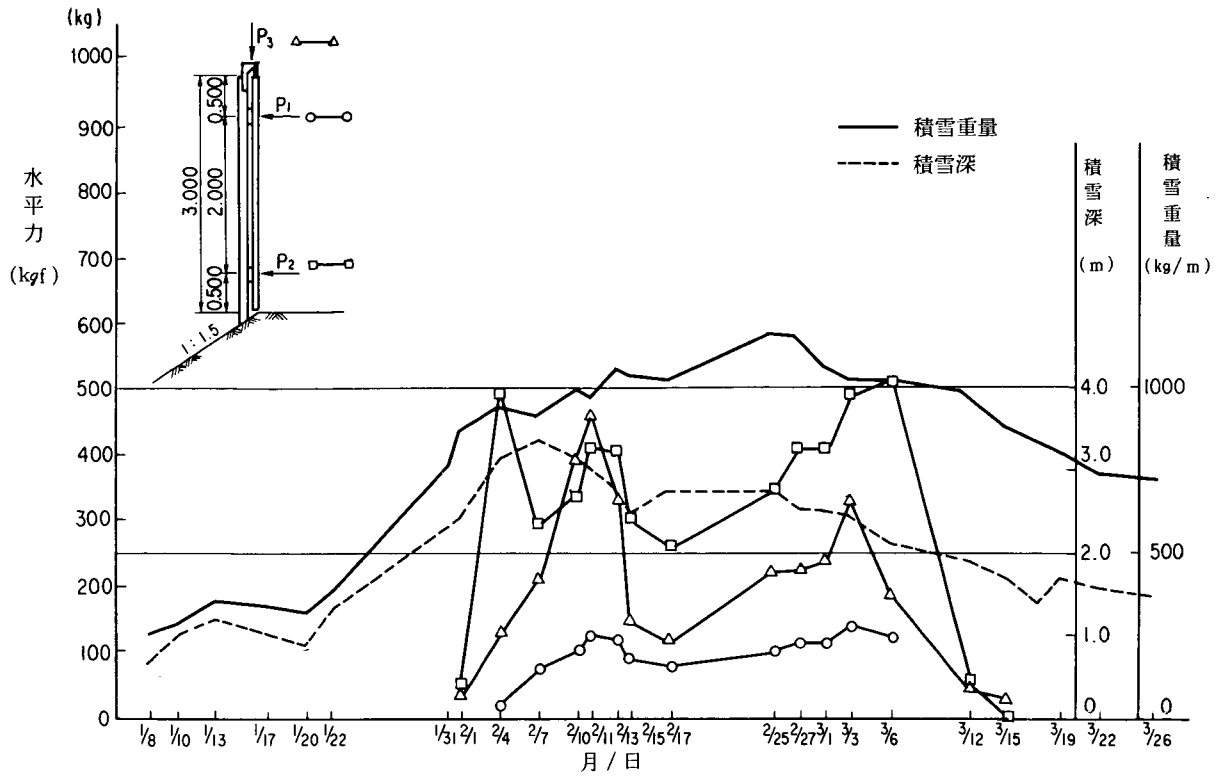
付図- 15(c) 60年度支柱に作用した水平力 (設置位置 $L = 3.5\text{ m}$)



付図-16(a) 60年度支柱に作用した水平力(設置位置 $L = 1\text{ m}$)



付図-16(b) 60年度支柱に作用した水平力(設置位置 $L = 2.0\text{ m}$)



付図- 16(c) 60年度支柱に作用した水平力(設置位置L = 3.5 m)

積雪寒冷地における防護柵に
関する研究報告書(その4、最終編)

ISSN0386-5878
土木研究所資料 第2463号
昭和62年2月(1987)
道路部交通安全研究室
新潟試験所

積雪地域に適した防護柵の設計、設置等の基準化を図る
ため、昭和54年度より実施してきた防護柵にかかる積雪の
沈降力や水平力の調査、および新たに開発した耐雪型防護
柵の耐荷力実験等について、これまでの研究成果を総括し
てとりまとめたものである。

キーワード：防護柵の破損実態，積雪荷重，沈降力，水平力，防護柵の構造
諸元，防護柵の基礎設計，防護柵の経済比較，防護
柵の選定手法

郵便はがき

944-□□

40円切手
をはいて
下さい

新潟県新井市錦町二の六の八番地

建設省土木研究所

新潟試験所 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第 2463 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属(住所)

氏 名 印

土木研究所資料第2463号