

## 北陸地方の気象特性：風と雪について

著者	栂場 重正, 長久 太郎, 小泉 轍
雑誌名	金沢大学工学部紀要 = Memoirs of the Faculty of Technology Kanazawa University
巻	8
号	1
ページ	11-24
発行年	1974-03-25
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/25230">http://hdl.handle.net/2297/25230</a>

# 北陸地方の気象の特性

— 風 と 雪 に つ い て —

柳 場 重 正\* 長 久 太 郎\*\* 小 泉 徹\*\*\*

**Special Characteristics of Weather Conditions in Hokuriku District.**

— On the Wind and the Snow —

by

Shigemasa HASABA, Taro NAGAHISA, and Toru KOIZUMI

## Abstract

Rapid completion of traffic network is recently required for the development of the Japan Sea area.

However, many bad weather conditions in winter, such as strong wind and much snowfall, occur in this area, which can not be observed in the Pacific Ocean area.

Their characteristics have to be completely understood in order to conquer these bad conditions. Therefore, we have investigated on the following matters for several years.

1. Characteristics of wind.
2. Characteristics of snow.

The investigation in the field shows that the following characteristics of wind and snow in the Japan Sea area are greatly different from those in the Pacific Ocean area.

- ( i ) Wind velocity and direction.
- ( ii ) Duration time and time band to blow.
- ( iii ) Gust factor.
- ( iv ) Types of snowfall and accumulated snow.
- ( v ) Quality of snow.

## 1. ま え が き

日本列島の太平洋側と日本海側とでは、とくに冬季において気象条件が著しく異なり、日本海側のそれはきわめてきびしく、それが産業、経済、文化などの発展を阻害する一因でもあった。最近「日本海時代」とうたわれ、太平洋側との格差や後進性を埋めようとする気運が満ちてきているが、こうしたいわば日本海側浮上の基盤となるものは、何んといっても自動車道、新幹線など交通ネットワー

\*土木工学科 \*\*機械工学科 \*\*\*大学院工学研究科 (土木工学専攻)

クの整備であろう。

しかし、ここに立ちこだかるのが冬季における気象条件、とくに季節風と雪であり、まずこれを克服する必要がある。そのためには何よりその特性をよくとらえ、理解することが必要である。

筆者らは北陸自動車道建設計画にともない、高速道路交通の確保とその安全性の保持のため、石川県内のごく海岸に接近した場所において、季節風、飛砂、しぶき、積雪などの調査を中心に、防風柵に関する実験や、自然風下における自動車の走行安定に関する実験<sup>1)</sup>、さらには横風送風装置(人工風)による自動車の挙動について実験研究<sup>2)</sup>を進めてきた。また市街地域の道路交通の確保のため、積雪、雪質などについての調査研究も行なってきた。

ここではその成果の一部、風と雪の特性について報告する。

## 2. 風 の 特 性

北陸自動車道建設計画にともない、石川県内では海岸線に沿って道路が建設されることから飛砂の問題が取りあげられ、飛砂と風の調査が開始されたのが1966年12月で、以後調査の進行につれ、横風・突風が大きく問題化されてきた。

風の調査は道路建設予定地の、いずれも汀線より10m前後の地点で、基準点として地上より5mの高さに風車型自記風速計を設置して行なった。調査の途中で高さ1.2m、3mにおける風向、風速あるいは地形の相違による風向、風速の調査も行なったが、ここでは主として基準点における測定結果について、7ヶ年にわたる資料にもとづき述べる。

資料の整理については、一般に平均風速、瞬間最大風速は10分間平均風速および10分間の間に生ずる最大風速を示すが、本調査では1時間を単位として整理した。

### 2.1 風 向 と 風 速

平均風速10m/s以上の風について、その風向の頻度の1位から3位までのものについて四季別にみると図1から図4に示すとおりである。春はその頻度の高いものがSSW~NNE方向にある場合が多いようである。夏はN~E~S方向にあり、春とは反対の方向に頻度の高いものがある。秋は春とほぼ似た傾向を示しており、SSW~W~NNE方向の頻度が高い。冬は従来から北陸地方特有の季節風といわれるように、頻度の高いものはWSW~NW~N方向にあり、そのゾーンの中は他の季節に比べて狭くなっているところに特長がある。

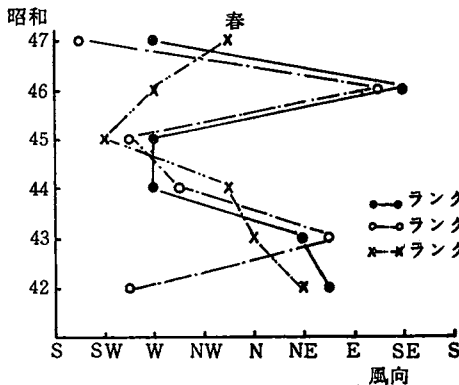


図1 四季別にみた風向 —春—

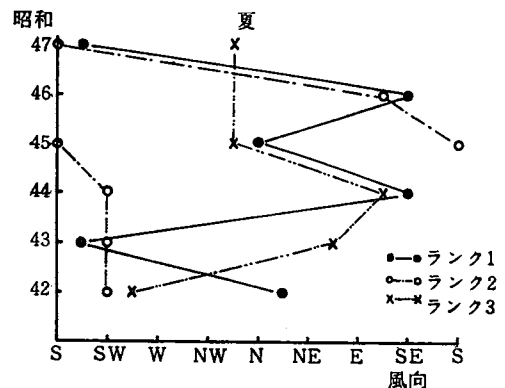


図2 四季別にみた風向 —夏—

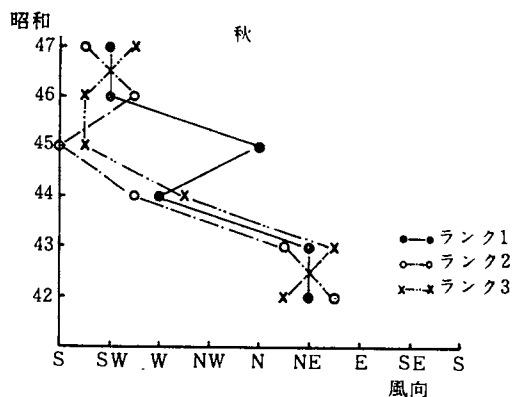


図3 四季別にみた風向 —秋—

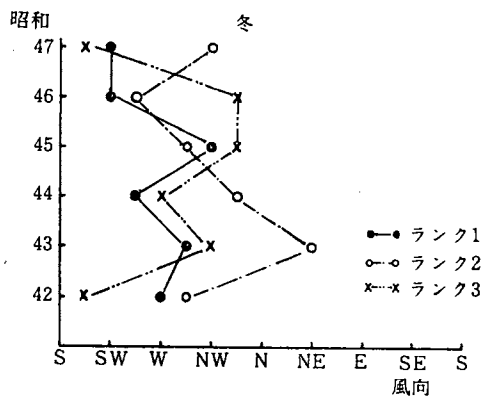


図4 四季別にみた風向 —冬—

2.2 風の吹く継続時間と時間帯

冬季のいわゆる季節風の性質の解明の一手段として、10月から翌年3月までの6ヶ月間において平

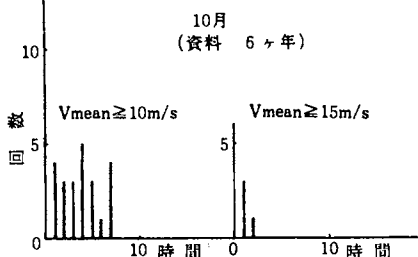


図5 強風の吹く継続時間 (1)

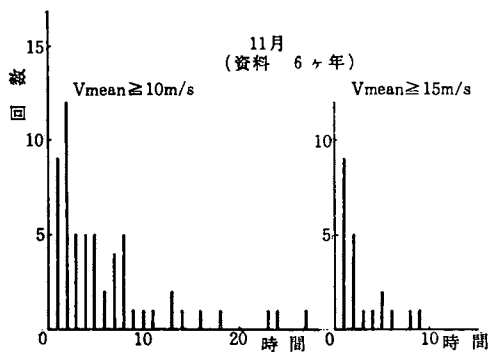


図6 強風の吹く継続時間 (2)

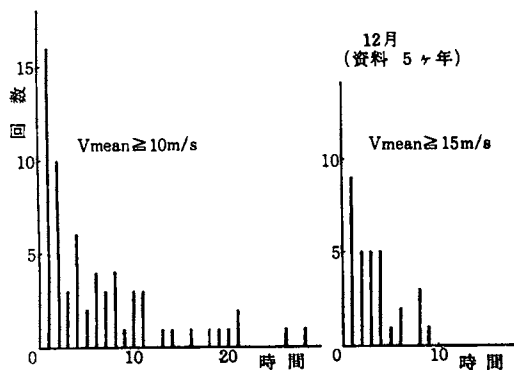


図7 強風の吹く継続時間 (3)

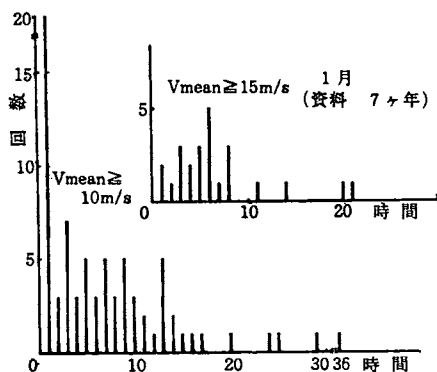


図8 強風の吹く継続時間 (4)

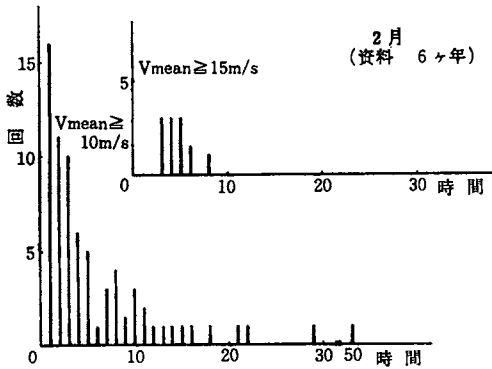


図9 強風の吹く継続時間 (5)

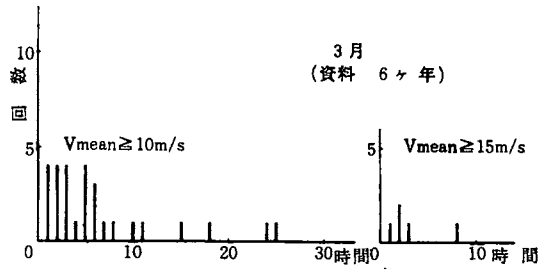


図10 強風の吹く継続時間 (6)

均風速 10 m/s 以上の風と 15 m/s 以上の風について、その風が風向にかかわらず吹き続ける時間を各年についてしらべ、横軸に継続時間、縦軸に7ヶ年の間の各月についてそのような継続時間の発生した全回数を示したのが図5から図10である。平均風速 10 m/s 以上の場合で、11月になると継続時間が10時間以上になる場合が生じ、1月、2月では36時間、52時間という非常に長い継続時間をもつものがあらわれていて、北陸地方の冬の季節風の大きな特長といえる。

つぎに、同じ期間について、これらの強風の吹く時間帯を過去7ヶ年を通じて各月の総和、およびその平均したものを縦軸に、1日の時間を横軸に図示すると図11から図16になり、10月では大体10時から16時にピークのある分布を示し、11月は総じて頻度が高くなりはじめ、ピークが11時から16時になる分布をしている。12月になるとピークが二つあられ、一つは4時～8時、いま一つは12時～16時にあらわれる。1月、2月もピークが二つという傾向があらわれており、1月は3時～6時と14時～18時、2月は0～6時と13時～17時とであり、長時間にわたり強風が吹き荒れる状況を示している。しかし3月になると全体的に強風が少なくなり、時間帯も12時～22時となる。

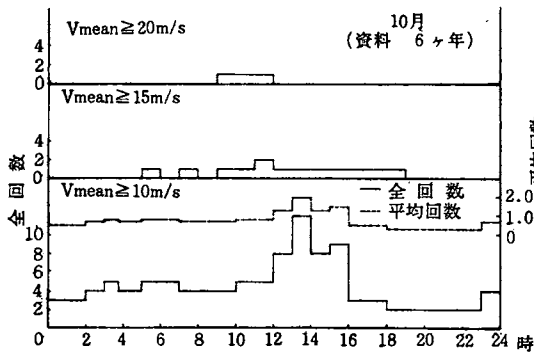


図11 強風の吹く時間帯 (1)

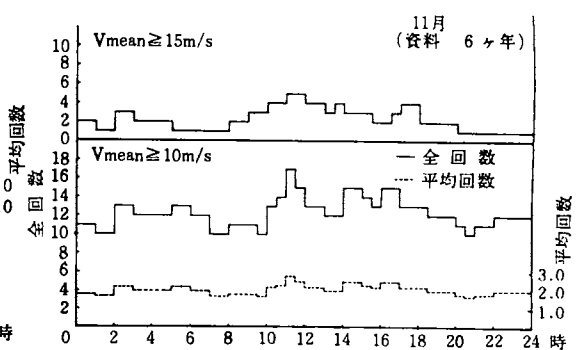


図12 強風の吹く時間帯 (2)

### 2.3 風の変動特性 ——突風率——

高速自動車の走行安定に影響を与えるものは、いわゆる風の乱れである。図17は風車型風速計および超音波風速計を用いて測定した風速の記録を示したものである。両者の記録では評価時間が異なるが、いずれの風速記録も風速は常に一定の値を示すことなく上下に変動している。つまりゆっくり変動する一つの風の上にその時その時の状況により細かな風の変動成分がのっているもので、 $\bar{U}$  : 平均風

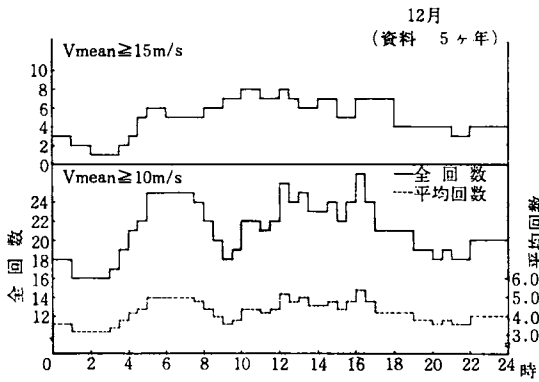


図13 強風の吹く時間帯 (3)

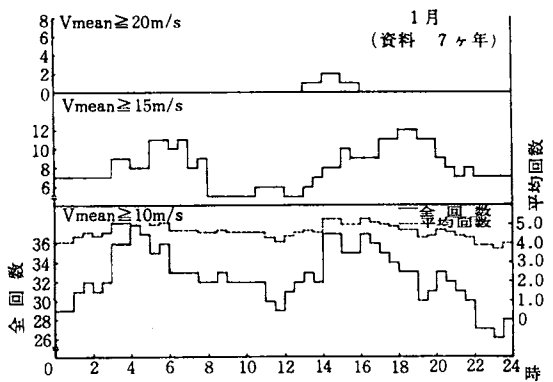


図14 強風の吹く時間帯 (4)

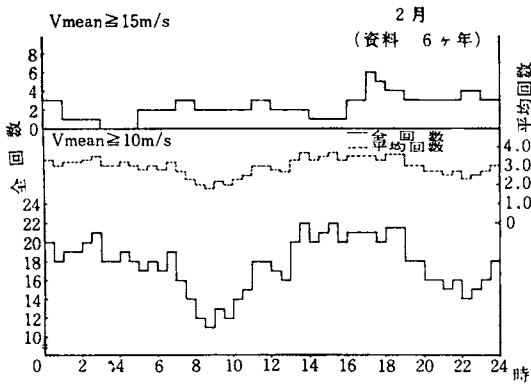


図15 強風の吹く時間帯 (5)

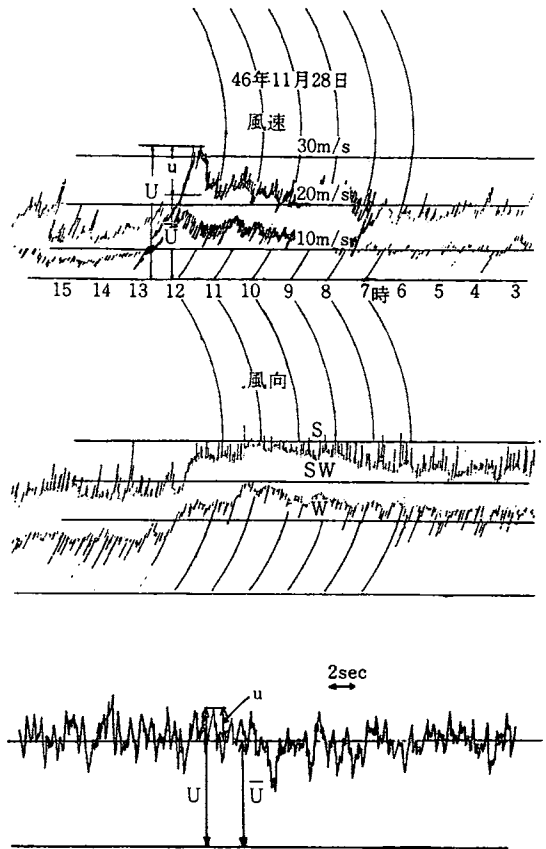


図17 風速の記録  
上：風車型風速計  
下：超音波風速計

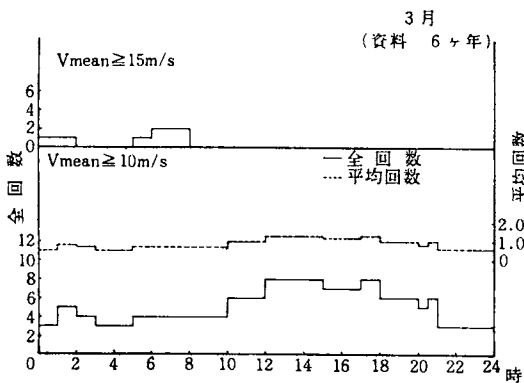


図16 強風の吹く時間帯 (6)

速,  $U$ : 瞬間風速,  $u$ : 変動風速, とすれば

$$U = \bar{U} + u$$

とおくことができる。

風の変動特性をあらわす方法としては, 突風率, 乱れの強さ, 変動率などがあるが, いま突風率についてみると, 突風率はある評価時間内での瞬間最大風速と平均風速の比であらわされる。すなわち

$$\text{突風率 (ガストファクター)} G = U/\bar{U}$$

表1 強風の発生回数

10 月

Vmean	Vmax	全回数	平均回数
10m/s	20m/s	4	0.7
	25	0	0
15m/s	20	139	23.2
	25	9	1.5
	30	0	0
	35	0	0
20m/s	20	20	3.3
	25	40	6.7
	30	7	1.2
25m/s	25	5	0.8
	30	72	12.0
	35	13	2.2

資料 6ヶ年

11 月

Vmean	Vmax	全回数	平均回数
10m/s	20m/s	15	2.5
	25	0	0
15m/s	20	611	101.8
	25	57	9.5
	30	0	0
	35	0	0
20m/s	20	25	4.2
	25	140	23.3
	30	31	5.2
25m/s	25	0	0
	30	0	0
	35	0	0

資料 6ヶ年

12 月

Vmean	Vmax	全回数	平均回数
10m/s	20m/s	196	39.2
	25	19	3.8
15m/s	20	2,445	489.0
	25	606	121.2
	30	24	4.8
	35	0	0
20m/s	20	230	46.0
	25	518	103.6
	30	79	15.8
25m/s	25	0	0
	30	0	0
	35	0	0

資料 5ヶ年

1 月

Vmean	Vmax	全回数	平均回数
10m/s	20m/s	67	9.6
	25	3	0.4
15m/s	20	2,958	422.6
	25	498	71.1
	30	11	1.6
	35	1	0.1
20m/s	20	367	52.4
	25	550	78.6
	30	33	4.7
25m/s	25	3	0.4
	30	10	1.4
	35	0	0

資料 7ヶ年

2 月

Vmean	Vmax	全回数	平均回数
10m/s	20m/s	46	9.2
	25	1	0.2
15m/s	20	1,299	259.8
	25	159	31.8
	30	5	1.0
	35	0	0
20m/s	20	231	46.2
	25	203	40.6
	30	14	2.8
25m/s	25	0	0
	30	0	0
	35	0	0

資料 5ヶ年

3 月

Vmean	Vmax	全回数	平均回数
10m/s	20m/s	36	6.0
	25	1	0.2
15m/s	20	378	63.0
	25	17	2.8
	30	0	0
	35	0	0
20m/s	20	38	6.3
	25	52	8.7
	30	6	1.0
25m/s	25	1	0.2
	30	12	2.0
	35	4	0.7

資料 6ヶ年

まず風車型風速計の記録から, 平均風速 10 m/s, 15 m/s, 20 m/s, 25 m/s において, おのおの瞬間最大風速が 20 m/s, 25 m/s, 30 m/s, 35 m/s が発生する回数を過去 7 ヶ年の 10 月から翌年 3 月までについて整理すると表 1 に示すとおりになる。ただし平均, 瞬間最大風速をとわず, 各風速はつぎの範囲のものである。

表1より北陸地方の海岸部では平均風速15 m/s で瞬間最大風速が 20 m/s から 25 m/s という場合が一番多く発生し、ついで平均風速 20 m/s で瞬間最大風速が 25 m/s 前後という場合が第2位を示し、いずれも11月から急に多くなり12月に最大となり、1月、2月もかなり多くの値を示している。

風速表示	風速範囲	風速表示	風速範囲
10 m/s	10 m/s~13 m/s	25 m/s	24 m/s~28 m/s
15 m/s	14 m/s~18 m/s	30 m/s	29 m/s~33 m/s
20 m/s	19 m/s~23 m/s	35 m/s	34 m/s 以上

つぎに平均風速が 10 m/s 以下、10 m/s から 15 m/s、15 m/s 以上の三区間について瞬間最大風速が、20 m/s 以上の発生したものについて突風率を求めてみると表2に示すとおりで、各年を通じて資料数は異なるがほぼ等しい値を示した。また突風率は評価時間により異なるといわれているが<sup>9)</sup>、表2は別として、超音波風速計の記録から求めた突風率を縦軸に、評価時間を横軸に図示すると図18に示すとおりで、従来の結果<sup>3)4)5)</sup>とあまり変わらない。

表2 突風率

年	10 m/s 以下	10 m/s } 15 m/s	15 m/s 以上
1972	2.65	1.77	1.50
1971	2.81	1.76	1.52
1970	2.42	1.78	1.48
1969	3.67	1.64	1.38
1968	3.06	1.67	1.54
1967	3.08	1.97	1.76

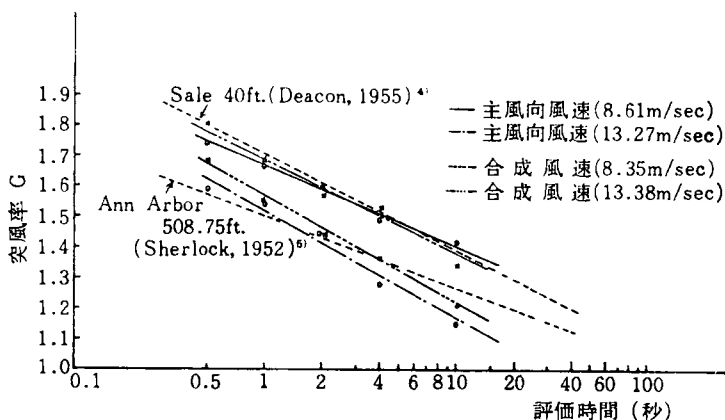


図18 突風率と評価時間

### 3. 雪の特性

北陸地方における冬季(11月~3月)の降水量は他地方に比べて特に多く、12月~2月の合計降水量は東京の4倍強、年間降水量に対する割合は東京で12%であるのに対して30%強と大きく、年間降水量の約1/2が雪として降っていることになる。さらに北陸地方は冬季でも比較的気温が高く、他地方の雪質とはかなり異なるものと考えられ、除排雪の計画を立てるにあたって雪質をよく知っておくことは機械力を効果的に使用するためにも必要である。

#### 3.1 降雪・積雪の型式

北陸地方における降雪の特長としては、1日あたりの降雪量が多いことがあげられている。過去14年間の冬季(1957年12月~1971年2月)の金沢気象台による資料にもとづき、1日あたりの新雪量の階級別頻度(%)を示したのが図19である。また総積雪量を、昭和38年豪雪の年(1962年12月~1963年3月)を1として示せば図20の右側のグラフとなり、各年の降雪期間を通じての1日あたりの平均積雪深は同図の左側のグラフのようになる。



表3 降雪・積雪の型式 (1)

年	根雪の月・日	最大積雪の月・日	最積雪大深	積雪ブロック数
1957-58	1.16	1.18 1.24	32cm 63	2
		3.28	17	
58-59	1.5	1.7 1.17	69 82	1
59-60	1.23	1.30	37	1
60-61	12.28	1.2 1.12 1.18 2.2	92 78 104 107	1
		2.16	79	
		1.20	58	
		2.13	63	
61-62	2.13	2.15	19	2
62-63	12.31	1.3 1.15 1.28	17 86 177	1
63-64	2.1	2.5 2.14	26 13	2
64-65	2.2	1.9 2.6 2.24	64 17 27	3
65-66	12.24	12.25 1.2 2.22 2.28	35 26 42 39	3
		2.18	18	
		2.5	21	
		2.7	18	
66-67	12.11	12.12 12.29 1.3 1.5 1.10 1.18	30 27 48 59	5
		1.31	19	
		2.2	19	
		2.13	35	
67-68	12.8	12.11 12.25 12.31 1.16 1.28	29 23 70 15 30	4
		2.12	71	
		2.18	66	
		2.22	94	
68-69	12.30	1.8 1.15 2.24 2.28	42 47 10 15	3
		3.12	13	
69-70	12.27	12.29 1.5 1.7 1.11 1.14 1.18	17 21 10 55	5
		3.5	18	
		3.19	19	
70-71	1.4	1.6 1.23 2.1 2.11	17 16 90 74	3
		3.6	28	
		3.10	19	
		3.14	19	

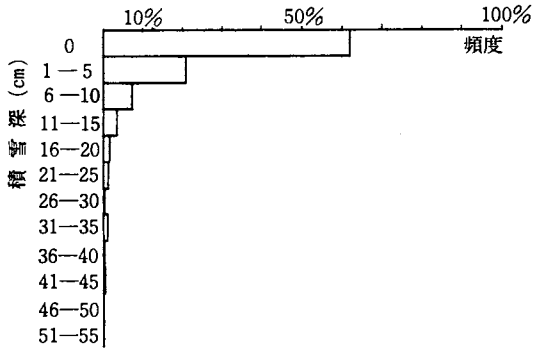


図19 過去14年間の冬期(1957.12~1971.2)における1日あたり新雪量の階級別頻度分布(%) (金沢気象台資料による)

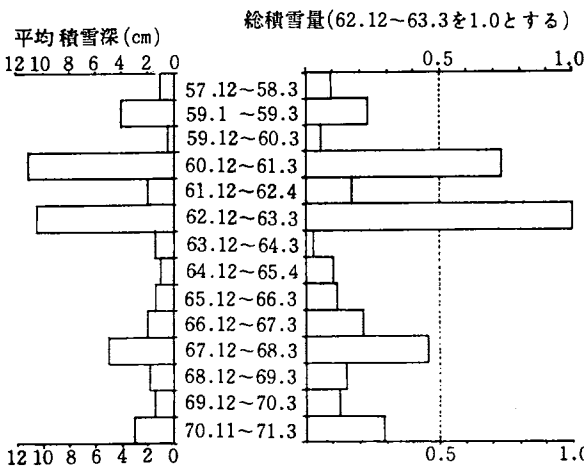


図20 三八豪雪(1962.12~1963.3)を1とした各年の総積雪量(右側)と各年の平均積雪深(左側) (金沢気象台資料による)

つぎに同じ資料より、各年において根雪となった月日、積雪最大となった月日とその積雪深、および積雪深10cm以上の積雪ブロック数(積雪と消雪がくり返される回数、すなわち積雪のピークの数)をまとめてみると表3のようになる。また最大積雪深の階級別回数、根雪になった月の回数、積雪ブロック数の回数、各積雪ブロックにおける最大積雪深を示す月の回数をまとめてみると、表4のように

なる。

以上の結果から降雪・積雪についていくつかの特長をおげることができる。

1. 過去14年間を通じての最大積雪深は110cm～120cmであるが、最大積雪深の階級別頻度(%)は、10～20cm(27%),20～30cm(18%),30～40cm(9%),40～50cm(7%),60～70cm(10%)70～80cm(7%)となる。

2. 最大雪積深の時期は、1965年～1966年、1967年～1968年が2月下旬であるのを別とすれば、大部分が1月中旬(15日)から2月上旬(5日)までの間にある。

3. 各年について積雪ブロック数を調べてみると、ブロック数3個の年が4回、2個の年が3回、4個の年が1回、5個以上の年が2回となる。ブロック数が1個のときの最大積雪深は他に比べて大きく、平均して101cm、2～5個の場合は90～94cmのこともあるが、平均すると30～52cmとなり、とくに30～40cmの場合が多い。

4. いわゆる根雪になる月は、最大積雪の多くあらわれる1月、2月に多く(12～13回)、12月の場合は1月、2月に比べて約1/2、しかも12月下旬に根雪になる率が多いようである。

5. 海岸部と山間部での積雪深の違いは、海岸部では山間部の約1/2～1/3であり(図21, 24参照)、消雪も山間部、平野部よりはるかに早い。

### 3.2 雪 質<sup>6)</sup>

北陸地方における雪質は他の地方、とくに北海道、東北地方などに比べてシメリ雪が多く、これまでの測定結果をみても新雪密度で北海道では0.05～0.06g/cm<sup>3</sup>なのに対して北陸では0.083～0.094g/cm<sup>3</sup>とかなり大きい。

このような雪質の差異は、北陸地方では降雪量の割に気温が高く、降雪後短時日でザラメ化し、他地方であまりみられないシメリ雪とザラメ雪の互層を生ずるためと考えられる。

1971年の雪に対し、金沢大学工学部構内の地面上と模型路面上において雪質調査を行なった。また平地路面上と比較するため北陸自動車道根上試験路上(海岸部)および湯涌(金沢市の山間部)でも調査を行なった。

積雪の性質は、まず観察によって断面の各層を新雪(N)、シマリ雪(S)、ザラメ雪(G)、氷(I)などに分類し、各部分の積雪深、密度および抗せん力を測定し、さらに積雪深の変化なども測定した。

#### 3.2.1 雪 質 と 密 度

図21に雪質と密度の変化を示した。この試験結果より、新雪では密度0.06g/cm<sup>3</sup>であるが、短時日で0.3～0.4g/cm<sup>3</sup>という密度に変化し、とくに海岸部ではその傾向がはげしいことがうかがえる。図22は路面上の雪質の変化の概要を示したものである。

表4 降雪・積雪の型式(2)

最大積雪深			根雪になった月	
	< 10cm	2回	12月	6回
10<	≤ 20	16	1月	13
20<	≤ 30	11	2月	12
30<	≤ 40	5	3月	4
40<	≤ 50	4		
50<	≤ 60	3		
60<	≤ 70	6		
70<	≤ 80	4		
80<	≤ 90	3		
90<	≤ 100	2		
100<	≤ 110	2		
110<	≤ 120	1		
積雪ブロック数			各積雪ブロックにおける最大積雪深をもつ回数(月毎)	
1個	4回		12月	3回
2個	3		1月	27
3個	4		2月	23
4個	1		3月	6
5個	2			59
	14			

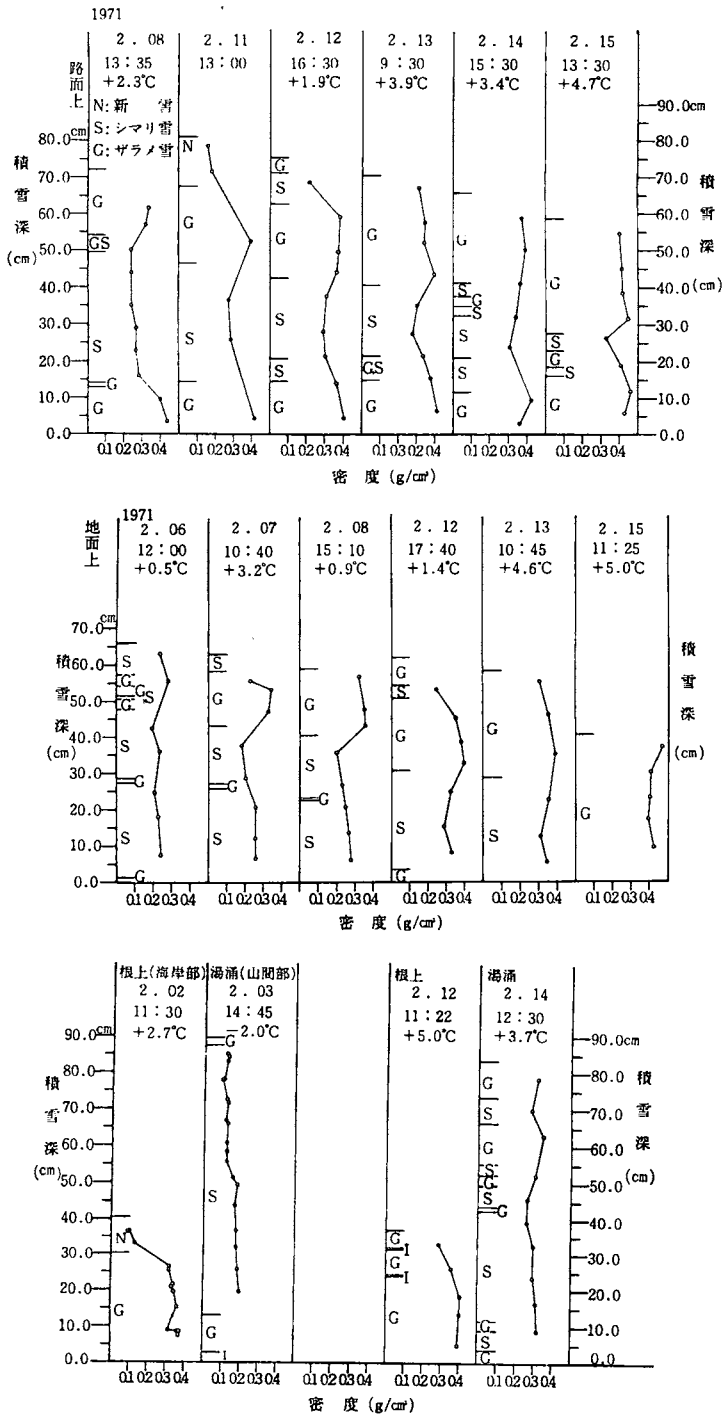


図21 雪質と密度

3.2.2 雪質と抗せん力

雪の力学的性質の抗せん力については図23に示すように他地方と異なり、密度に対する抗せん力はやや大きい値を示した。海岸部と山間部では降る雪に相違があり、海岸部は海に近いため温かく、雪質はしめった重い雪となりやすく、山間部は水分を含みにくく大部分がシマリ雪として存在する。この様子を図24に示した。

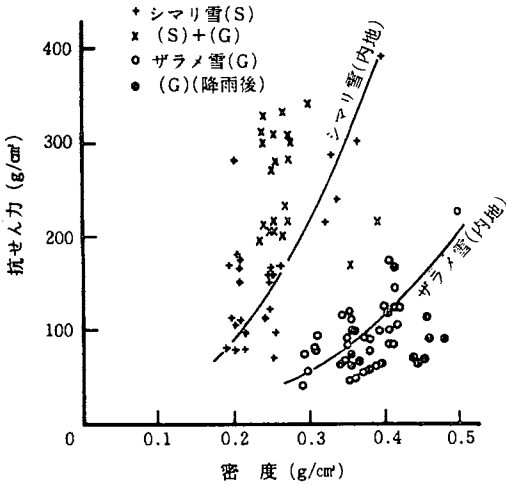


図23 雪質と抗せん力

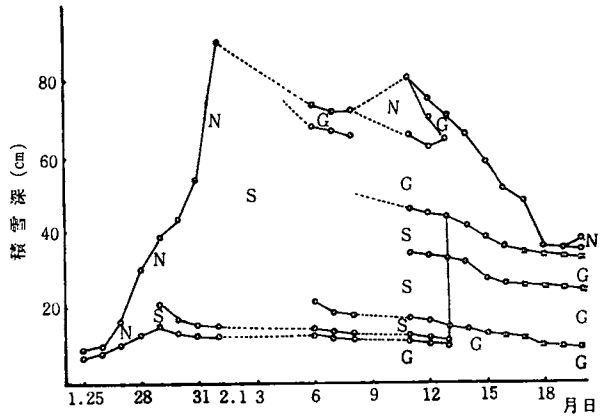


図22 積雪状況と雪質の変化

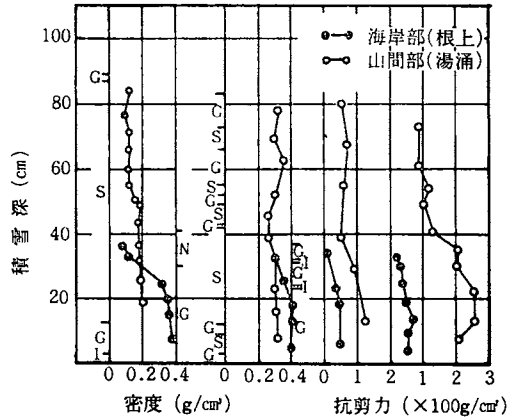


図24 山間部と海岸部の雪質

3.2.3 積雪深の変化

積雪深は雪が降りやんだあと常に変化している。その原因として、第1に圧縮によるもの、つまり新雪がコシマリ雪に、またコシマリ雪がシマリ雪にと次第に密度を大にしていく過程により変化する。

いま積雪深を  $y$ 、時間を  $t$  とし、積雪の微小部分について考え、 $\Delta t$  時間後に雪が圧縮して  $\Delta y$  だけ沈下したとすれば、その変化の割合は積雪深  $y$  に比例し、経過時間  $t$  に反比例すると考えられるから

$$\frac{dy}{dt} = -k \frac{y}{t} \text{ したがって } \log y = -k \log t + c \text{ (} k, c \text{ は常数)}$$

となり、積雪深と経過時間は両対数上では直線関係となる。図25は測定結果でこの関係をよくあらわしている。

原因の第2として、融水となることによるもの、つまり日照または大気の伝導熱により融雪がおこり、それにより生ずる融水は表面から下へ流れ、雪質を変化させ積雪深を変えることが考えられる。図26は積雪温度と積雪深の関係を示す。

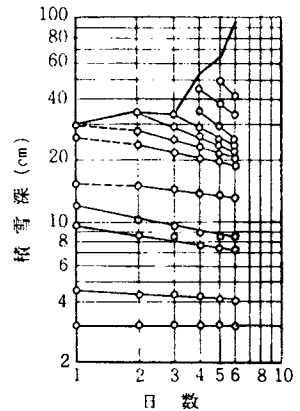


図25 積雪深の変化

3.2.4 積雪基盤の違いによる雪質の変化

同じような条件下にある雪質は積雪基盤の排水状態によって異なり、舗装上では融雪水が地表面から吸水されず、下層の雪に貯留されて上下からザラメ化するが、基盤が土の場合は融雪水が自然排水する間はザラメ化せず、シマリ雪のままであるが、融雪期に入って基盤が飽和状態になると、短時間にザラメ化する傾向にある。この様子を図27に示した。

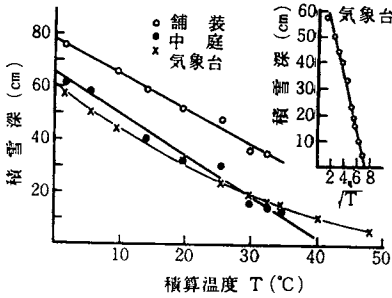


図26 積算温度と積雪深

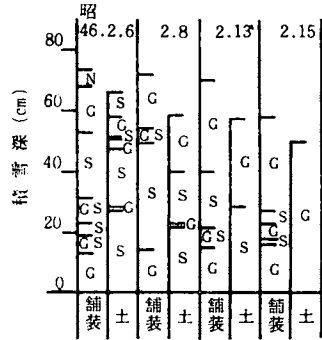


図27 積雪基盤の違いによる雪質変化

4. む す び

以上、筆者らが調査研究を行なった資料にもとづき、風と雪の特長についてまとめて報告した。

その結果、北陸地方の海岸部において、特に冬季11月から翌年3月にかけて

1. 平均風速 10 m/s 以上の風について、WSW~NW~N の風向のものが頻度高くあらわれ、そのゾーンの中は他の季節に比べて狭い
2. 平均風速 15 m/s から 20 m/s の風が 1.6 程度の突風率で、しかも非常に長い継続時間をもって吹き荒れ、また吹く時間帯も一日の中でピークが二つという傾向がある

など太平洋側にはみられない特長をもっていることがわかった。

このような特性をもつ風を真横からうける自動車が、その操縦性・安定性にいかなる影響をうけるかは高速自動車道における安全性の保持のうえで重要な問題である。この点に関しても同時に実験を行ない、すでにその成果の一部は報告したが<sup>1)</sup>、機会を見てくわしく報告したいと考えている。

また、積雪、雪質についても

1. 1日当りの降雪量が多い
2. シメリ雪が多く、しかも短時日で雪質が大きく変化する
3. 海岸部、平野部、山間部で積雪深も違い、また雪質の変化の様子も異なる

など他地方と差違のあることも明らかにしたが、除排雪の時期はもちろんのこと、その除雪限界にも自ら影響するものである。さらに年間降水量、平均温度、湿度、日照時間など、冬季以外の気象条件との関連において解析し、北陸地方における降雪・積雪の型式をさらに検討し、降雪の予報に結びつけるように研究を深めることも必要であろう。

最後に、今回の調査研究のため終始ご協力、ご激励いただいた日本道路公団高速道路金沢建設局の各位、また直接調査に協力された多数の工学部学生、大学院学生諸君に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 榎場重正・長久太郎ほか3名；土木学会第27回年次学術講演会講演概要集，第4部，142，（昭47-10）347
- 2) 長久太郎・榎場重正・森光明；金大工紀要，7-1（1973-2），59
- 3) 石崎澄雅・光田寧；京大防災研年報，第5号A（昭37-3），1
- 4) E.L. Deacon；Quart. J. S. Met. Roc.，81-350（1955），562
- 5) R.H. Sherlock；Proc. A. S. C. E.，78-126（1952-4），1
- 6) 榎場重正・大深伸尚；土木学会中部支部，土質学会北陸支部研究発表講演概要集，II-1（昭46-11），47

（昭和48年10月8日受理）

# 地盤応力からみた単杭の水平抵抗

西田 義親\* 北 哲郎\*\* 八木 則男\*

## Lateral Resistance of A Single Pile

—from the condition of ground stress—

by

Yoshichika NISHIDA, Tetsuro KITA and Norio YAGI

### Abstract

This paper presents how to predict the lateral resistance of a single pile subjected to the horizontal force, without application of  $K$ -value (Modulus of subgrade reaction) in the current existing theories.

The conditions of stresses, deformations and plastic failures are studied for the clay ground by assuming that it consists of many layers of infinite plate and is pushed only in the horizontal direction by the pile. The lateral resistance of a pile is calculated for both the elastic limit and the ultimate failure of the clay ground in the general forms from the mechanical properties of the clay and the pile.

The numerical results are compared with the published data and this method of calculation can be concluded to be useful.

## 1. 緒 言

従来、杭の水平抵抗解析では、杭の挙動のみに注目し、杭の弾性方程式に実験から求めた水平地盤反力定数  $K$  値を適用して計算を行なう方法が多くとられて来たが、 $K$  値採用の根拠及び地盤の挙動についてはほとんど考察されていない。そこで本研究では、地盤に及ぼす杭の影響（地盤の応力や変位）を考慮に入れて、 $K$  値の理論的意味を明らかにし、かつ一様な粘土地盤を対象に杭の水平支持力を土の力学的性質から推定する一計算法を示した。

## 2. 地盤の弾性挙動

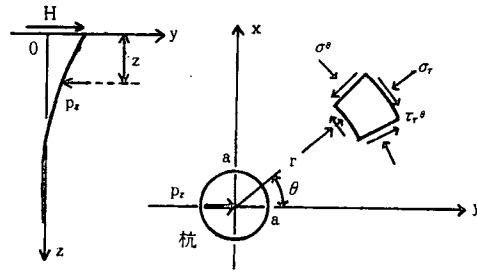
### 2.1 弾性応力・弾性変位

図一 1 (a) に示すように粘土地盤中に打込まれた杭頭自由杭が地表面  $z=0$  で水平力  $H$  を受けるとき、杭は深さ  $z$  で地盤反力  $p_z$  を受ける。次に杭と地盤とを  $z$  軸に垂直な無限個の微小平板に仮想分割したとき、各平板間のせん断力は無視できるものと仮定すれば円柱座標  $(r, \theta, z)$  に関して

\*土木工学科 \*\*旧大学院学生 (現: 藤田工業)

$$\tau_{rz} = \tau_{\theta z} = 0$$

(1)



(a)

(b)

図-1

である。したがって深さ  $z$  にある平板上では図-1(b) に示すような応力状態にある。問題を簡単にするため図-1(b) の応力状態は平面応力状態であるとすると、地盤反力  $p_z$  は杭周辺において地盤内応力の  $y$  方向成分を積分したものであることは明らかである。したがって逆に考えて、地盤反力  $p_z$  に相当する荷重を杭の中心に作用させたときの地盤内応力を求めれば地盤の挙動が理解できる。

地盤及び杭の弾性係数、せん断弾性係数、ポアソン比を  $E, G, \nu$  及び  $E_p, G_p, \nu_p$  杭半径を  $a$  とすれば図-1(b) の外力条件に対し、地盤応力及び変位は、S, I, Dokos<sup>1)</sup> 及び J, Dundurs<sup>2)</sup> らの求めた結果から次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= p_z \frac{(3+\nu)}{4\pi} \cdot \frac{\cos\theta}{r} + p_z \alpha_3 a^2 \frac{\cos\theta}{r^3} \\ \sigma_\theta &= -\frac{p_z(1-\nu)}{4\pi} \cdot \frac{\cos\theta}{r} - p_z \alpha_3 a^2 \frac{\cos\theta}{r^2} \\ \tau_{r\theta} &= \frac{p_z(1-\nu)}{4\pi} \cdot \frac{\sin\theta}{r} - p_z \alpha_3 a^2 \frac{\sin\theta}{r^3} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} u &= -\frac{p_z(3-\nu)}{8\pi G} \log \frac{r}{a} \cos\theta + \frac{p_z \alpha_3 a^2}{4G} \cdot \frac{\cos\theta}{r^2} + \frac{p_z(1+\nu)}{8\pi G} \cos\theta \\ v &= \frac{p_z(3-\nu)}{8\pi G} \log \frac{r}{a} \sin\theta + \frac{p_z \alpha_3 a^2}{4G} \cdot \frac{\sin\theta}{r^2} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここに

$$\alpha_3 = \frac{\nu_p - \nu}{4\pi} - \frac{(1+\nu_p)^2 \cdot (G_p - G)}{4\pi [(1+\nu_p)G_p + (3-\nu_p)G]} \quad (3)'$$

ただし、 $\sigma_r, \sigma_\theta$  は圧縮応力を正とし、 $u, v$  はそれぞれ  $r, \theta$  方向の変位成分である。

(2) 式は  $P_z$  により地盤に生じる応力をあらわしているが、実地盤では  $p_z$  が作用する以前に静止土圧として、 $\sigma_r = \sigma_\theta = K_0 r z$  が作用しているからその分をあとで(2)式に加えておけばよい。ただし、垂直応力は、 $p_z$  作用のいかんにかかわらず  $\sigma_z = r z$  であらわされるものと仮定する。ここに  $K_0$  は静止土圧係数、 $r$  は土の単位体積重量である。

一般に使用される鋼管杭の弾性係数は  $2100000 \text{ kg/cm}^2$ 、コンクリートパイプで  $200000 \text{ kg/cm}^2$  であり、相当固い粘土地盤の弾性係数が高々  $500 \text{ kg/cm}^2$  程であるから、 $E/E_p \approx 0, G/G_p \approx 0$  である。また対象とする粘土地盤を非圧縮性と仮定して、 $\nu = 0.5$  とすると、上述の静止土圧をも考えに入れて、(1)、(2)式より地盤応力は次式で与えられる。