

橋梁の雪荷重について (第2報)

A Statistical Study on Snow Load Estimation for Bridge Design (Part 2)

井藤 昭夫* 北野 初雄**

この調査研究は、除雪されない道路の区間に架設される橋梁を対象として、雪荷重の算定を試みるとともに、設計の基礎資料を得ることを目的としたものである。

このため、まず確率最大積雪深を求めるとともに、最大積雪水量のときの密度を推定した。

次に、これらの積雪深と密度の推定結果を基に、積雪深の再現期待値を算定し、再現期間10, 30, 50年の雪荷重分布図を作成したものである。

〈雪荷重；道路；除雪；橋梁〉

目 次

まえがき

- 1 雪荷重の算定
- 2 積雪深の再現期待値
- 3 積雪の密度
- 4 積雪荷重の分布図

あとがき

参考文献

付表

ま え が き

現行「道路橋示方書」の雪荷重は、主荷重に相当する特殊荷重として取扱われているものの、その大きさは定められていない。このため、北海道開発局では具体的な運用を示し、これを設計の指針としてきた。

ところが、前報（土木試験所月報1980年12月第331号）において測定雪荷重による部材断面を検討した結果、必ずしも十分満足するものでなかったことを報告した。とくに多雪地の山地部橋梁では、雪荷重と死荷重の組合わせて部材算定がなされる場合が多い。

したがって、橋梁の設計に用いる雪荷重は、より合理的、客観的に評価できる基礎資料が必要である。

本文は、未除雪区間および自動車通行不能区間の橋梁を対象に、確率的判断を導入して雪荷重の算定を試みたものである。

1. 雪 荷 重 の 算 定

雪荷重の大きさは積雪深と密度に関係し、積雪期間中は持続的な変動荷重である。ここでは、最大値を念頭において定めることにした。

雪荷重の算定手順と図-1に示す。

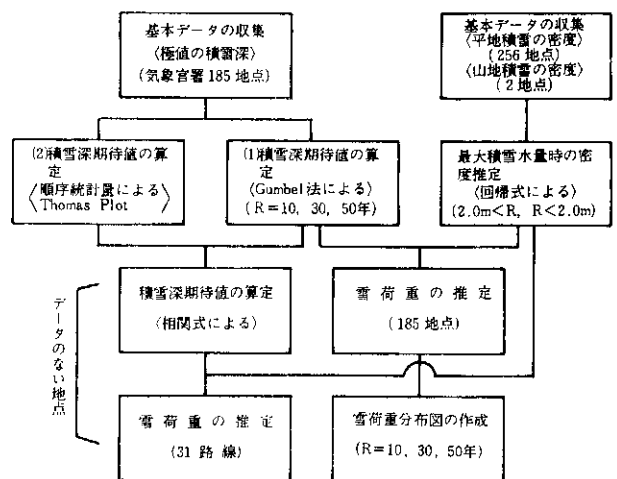


図-1 雪荷重算定の流れ図

2 積雪深の再現期待値

積雪深のデータは、北海道の各気象官署と地域気象観測所の観測結果を「道路除雪の基礎資料」から収集した。積雪深の再現期待値は累年、の極値などある期間の最大値だけを対象とする極値分布を適用して推算した。

Gumbel 法による確率計算は 185 地点について行い、雪荷重分布図の作成資料とした。そのうち、未除雪区間および自動車通行不能区間の路線（表-1 参照）を抽出

*構造研究室長 **同室主任研究員

し、表一2に積雪深の再現期待値を示した。参考のため各地点の再現期待値を付表一1～3に示す（13～15ページ参照）。

一方、順序統計学的方法のうち Thomas Plot⁴⁾を試みる。

この方法は、確率計算によらずに対数確率紙にそれぞれの点をPlotして図上で近似的に推定するものであり、その結果を図一2に示した。これらの図表に示す再現期待値は、超過確率で何年に一度は生起するという積雪深である。

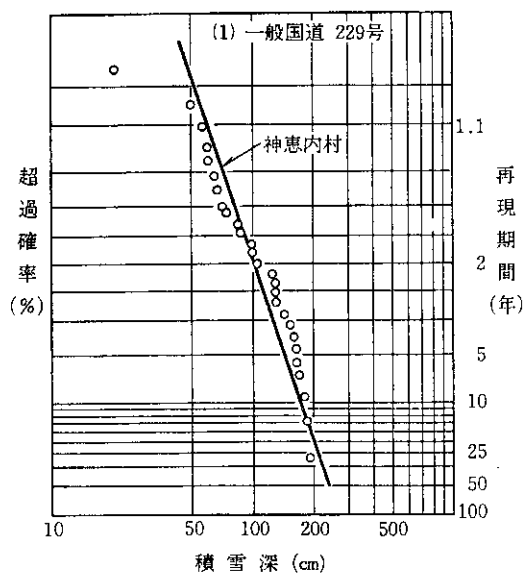
表一1 未除雪区間および自動車通行不能区間の路線と観測所

番号	道 路 種 別 路 線 名	観 測 所			
		地 名	緯 度	経 度	標 高 m
未 除 雪 区 間					
1	一般国道 2 2 9号	神 恵 内 村	43 09	140 26	50
2	一般国道 2 3 1号	増 毛 町	43 51	141 32	36
3	一般国道 2 7 3号	糠 平	43 22	143 12	540
4	一般国道 2 7 5号	朱 鞠 内	44 17	142 10	255
5	一般国道 3 3 3号	遠 軽 町	44 02	143 31	90
6	一般国道 3 3 4号	羅 臼 町	44 01	145 12	20
7	一般国道 3 3 6号	豊 頃 町	42 49	143 31	7
8	主要道道 白 糠 本 別 線	縫 別	43 4	143 58	60
自 動 車 通 行 不 能 区 間					
9	一般国道 2 7 4号	占 冠 町	42 59	142 24	332
10	主要道道 夕 張 芦 別 線	鹿 島	43 4	142 7	298
11	主要道道 古平神恵内線	神 恵 内 村	43 09	140 26	50
12	主要道道 浦 河 大 橋 線	大 樹 町	42 30	143 17	87
13	主要道道 稚 内 天 塩 線	稚 内 市	45 25	141 41	3
14	一般道道 奥 尻 島 線	奥 尻 町	42 10	139 31	9
15	一般道道 名 寄 遠 別 線	母 子 里	44 22	142 16	287
16	一般道道 忠 別 清 水 線	美 瑛 町	43 27	142 28	210
17	一般道道 北 松 山 大 成 線	大 成 町	42 14	139 49	40
18	一般道道 上 遠 別 霧 立 線	羽 幌 町	44 22	141 92	8
19	一般道道 高 見 西 舎 線	上 杵 臼	42 14	142 58	120
20	一般道道 初 田 牛 浜 中 線	厚 床	43 14	145 15	30
21	一般道道 豊 富 中 頓 別 線	中 頓 別 町	44 58	142 16	25
22	一般道道 中 立 牛 滝 の 上 線	滝 の 上 町	44 11	143 04	165
23	一般道道 丸 瀬 布 芽 登 線	勝 山	43 38	143 30	280
24	一般道道 館 町 福 島 線	湯 の 岱	41 45	140 15	80
25	一般道道 阿 歴 内 奥 行 白 線	茶 内	43 8	145 1	45
26	一般道道 標 茶 上 茶 路 線	飽 別	43 17	144 6	200
27	一般道道 島 牧 美 利 河 線	黒 松 内 町	42 40	140 19	27
28	一般道道 白 川 美 唄 線	美 唄 市	43 29	141 51	25
29	一般道道 上 猿 払 清 浜 線	沼 川	45 15	141 52	15
30	一般道道 北 進 平 取 線	早 来 町	42 49	141 51	39
31	一般道道 板 谷 蔭 之 台 線	母 子 里	44 22	142 16	287

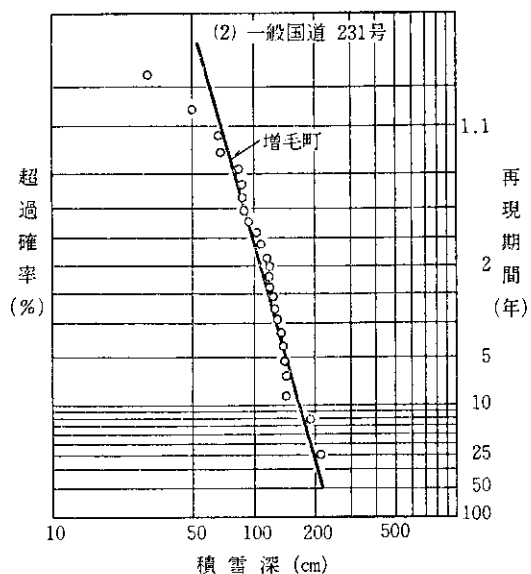
表-2 積 雪 深 の 再 現 期 待 値

地 点	観 測 年 次	標 本 数	平 均 値 (cm)	標準偏差 (cm)	再 現 期 間			
					2 年	10年	30年	50年
神 恵 内 村	1938 ~ 1975	28 (10)	112.9	49.0	105	177	220	240
増 毛 町	1951 ~ 1976	25 (1)	114.2	40.4	108	167	203	219
糠 平	1963 ~ 1976	13 (1)	102.8	45.1	96	162	202	220
朱 鞠 内	1951 ~ 1976	24 (2)	238.5	40.9	232	292	328	345
遠 軽 町	1940 ~ 1976	33 (4)	93.4	39.0	87	152	179	194
羅 白 町	1938 ~ 1976	35 (4)	104.3	63.5	94	187	243	268
豊 頃 町	1953 ~ 1975	22 (1)	78.1	43.2	71	134	173	190
縫 別	1951 ~ 1970	19 (1)	67.0	30.8	62	107	134	146
占 冠 町	1962 ~ 1976	14 (1)	119.9	61.9	110	201	255	280
鹿 島	1964 ~ 1976	12 (1)	151.7	29.3	147	190	216	228
大 樹 町	1962 ~ 1976	14 (1)	101.5	58.6	92	178	230	253
稚 内 市	1939 ~ 1976	38	102.1	26.9	98	137	161	172
奥 尻 町	1950 ~ 1976	25 (2)	88.2	33.1	83	131	161	174
母 子 里	1960 ~ 1976	16 (1)	211.4	43.7	204	268	307	325
美 瑛 町	1930 ~ 1970	40 (1)	82.7	19.9	79	108	126	134
大 成 町	1938 ~ 1976	29 (10)	56.4	25.8	52	90	113	123
羽 幌 町	1921 ~ 1976	55 (1)	91.5	31.0	87	132	159	172
上 杵 白	1959 ~ 1975	15 (2)	61.0	16.6	58	83	97	104
厚 床	1940 ~ 1975	32 (4)	70.8	28.4	66	108	133	144
中 頓 別 町	1946 ~ 1976	29 (2)	153.1	35.0	147	199	230	244
滝 の 上 町	1924 ~ 1976	51 (2)	106.8	44.9	100	165	205	223
勝 山	1937 ~ 1976	40	88.7	32.3	83	131	159	172
湯 の 岱	1959 ~ 1968	10	154.4	25.9	150	188	211	222
茶 内	1950 ~ 1976	25 (2)	68.7	32.1	63	111	139	152
飽 別	1940 ~ 1970	30 (1)	72.3	31.8	67	114	142	155
黒 松 内 町	1937 ~ 1976	39 (1)	153.2	46.8	146	214	256	275
美 唄 市	1926 ~ 1976	51	119.2	29.6	114	158	184	196
沼 川	1945 ~ 1976	30 (2)	137.2	27.4	133	173	197	208
早 来 町	1931 ~ 1976	43 (3)	58.4	19.9	55	84	102	110
母 子 里	1960 ~ 1976	16 (1)	211.4	43.7	204	268	307	325

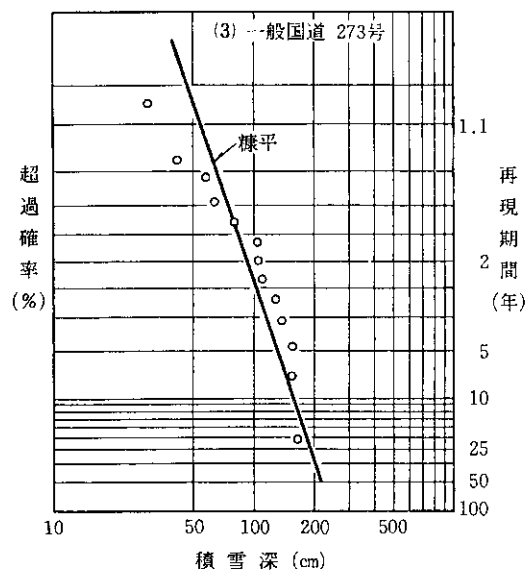
標本数欄の () は欠測数を示す。



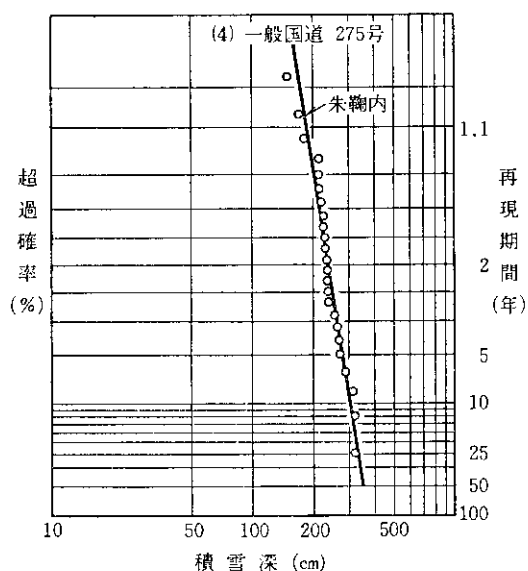
図一 2 (1) 積雪深の確率図



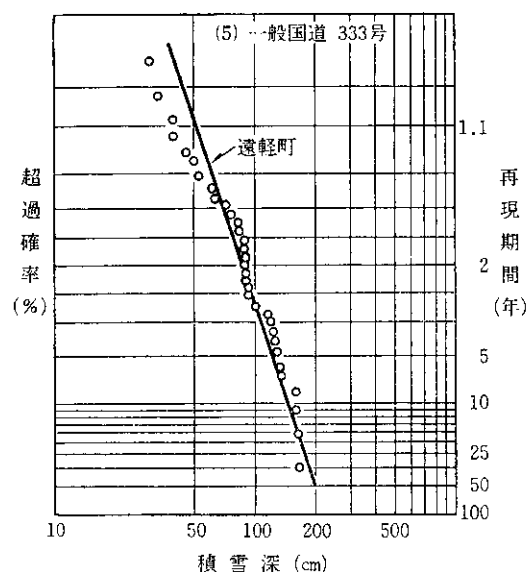
図一 2 (2) 積雪深の確率図



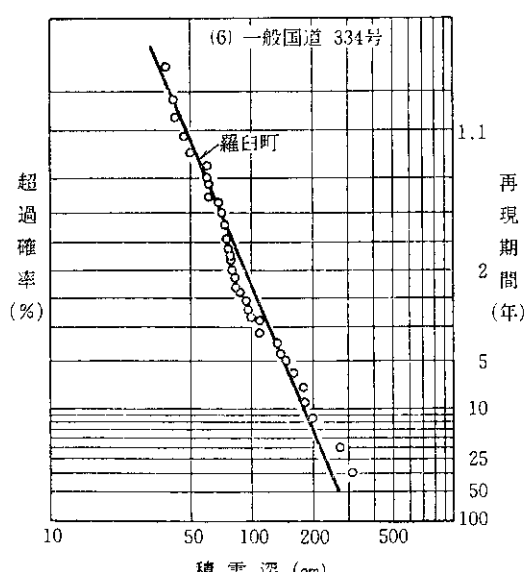
図一 2 (3) 積雪深の確率図



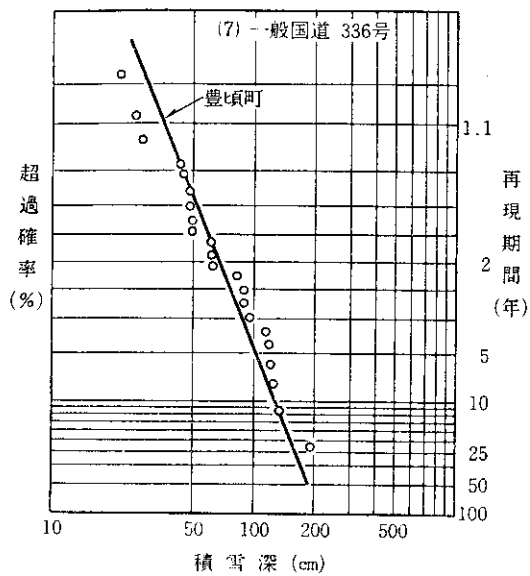
図一 2 (4) 積雪深の確率図



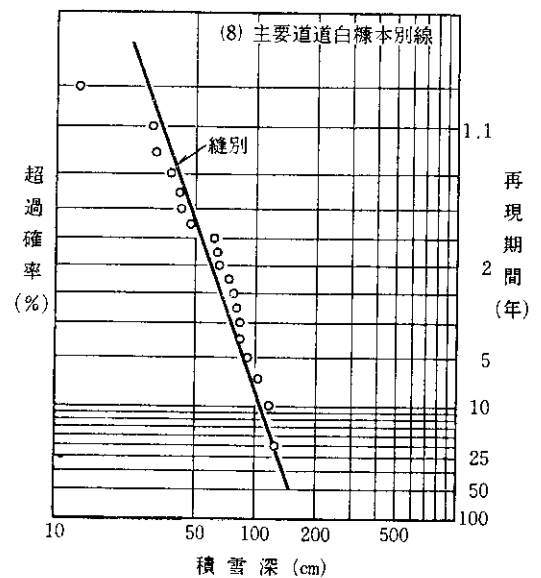
図一 2 (5) 積雪深の確率図



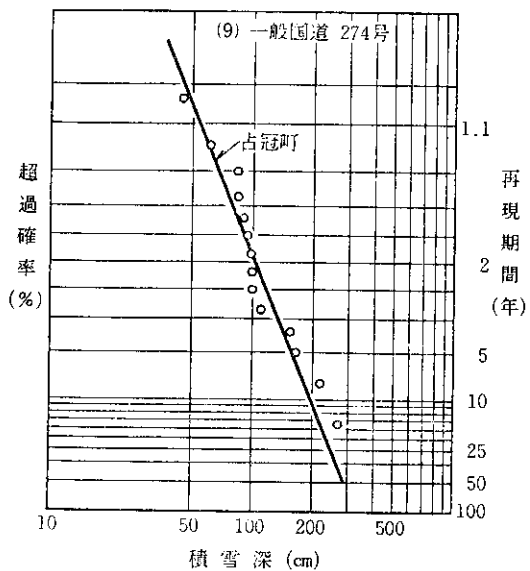
図一 2 (6) 積雪深の確率図



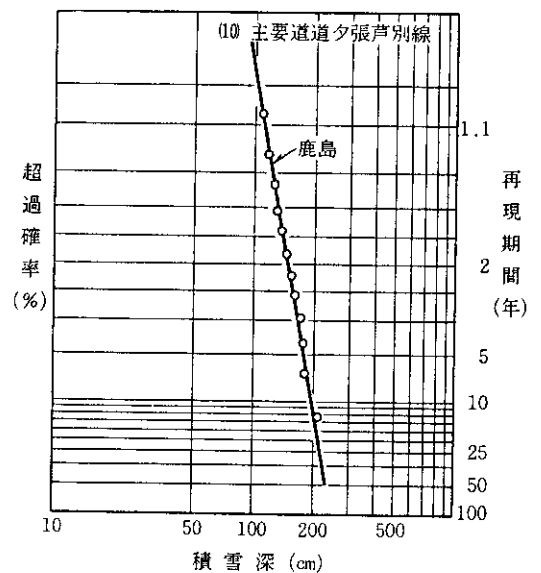
図一2 (7) 積雪深の確率図



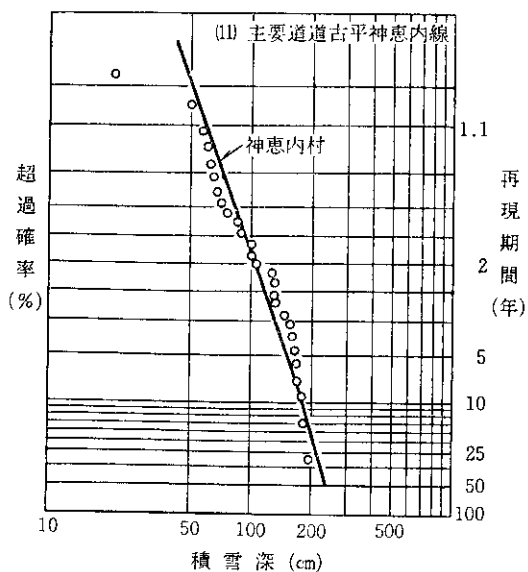
図一2 (8) 積雪深の確率図



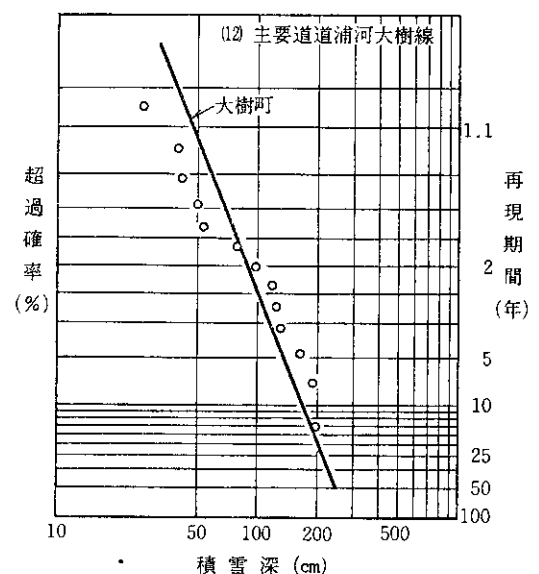
図一2 (9) 積雪深の確率図



図一2 (10) 積雪深の確率図



図一2 (11) 積雪深の確率図



図一2 (12) 積雪深の確率図

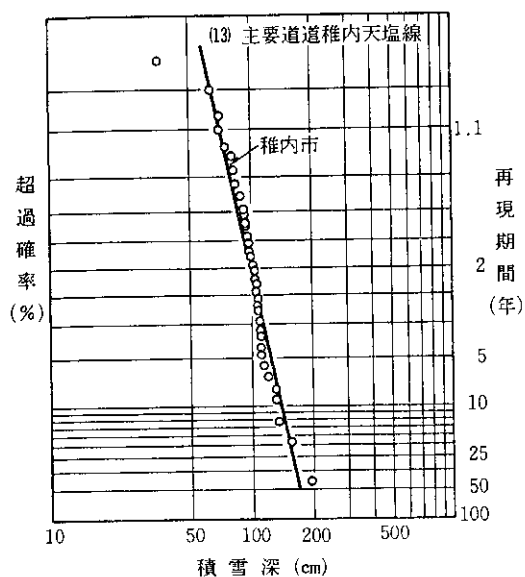


図-2 (13) 積雪深の確率図

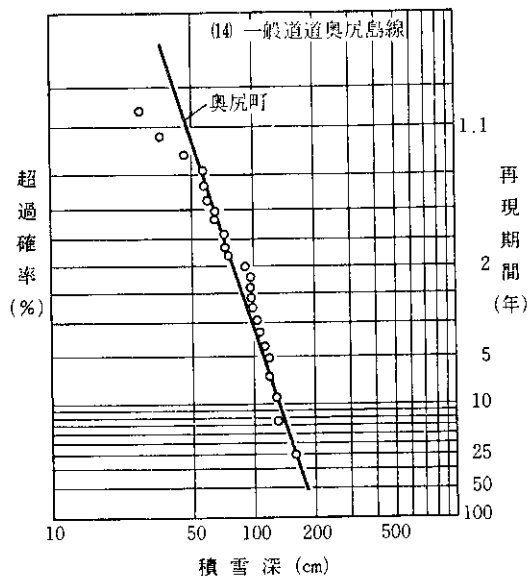


図-2 (14) 積雪深の確率図

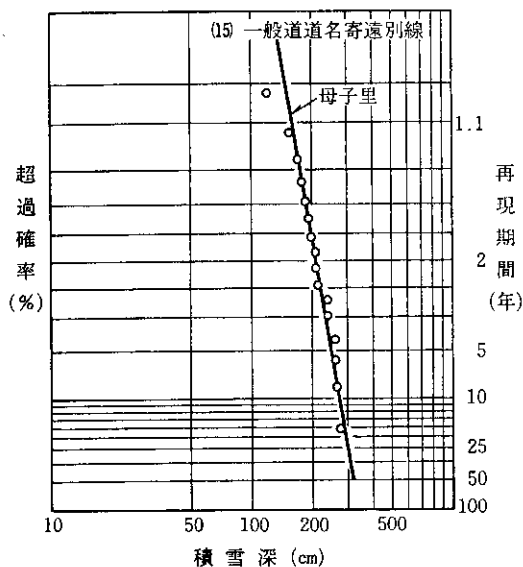


図-2 (15) 積雪深の確率図

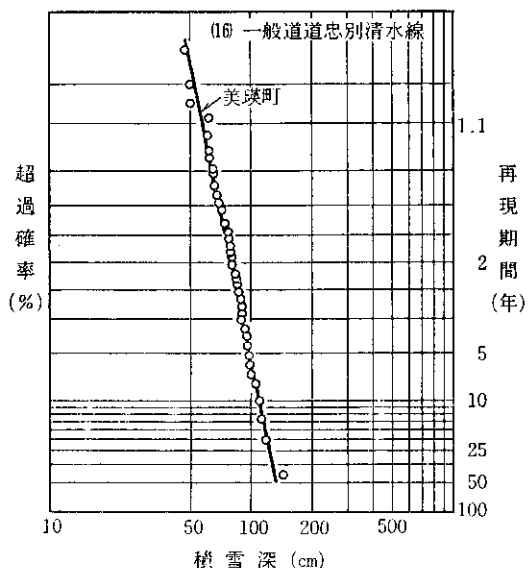


図-2 (16) 積雪深の確率図

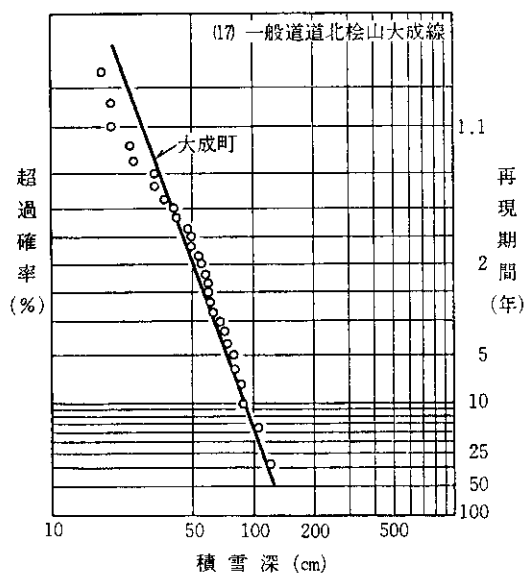


図-2 (17) 積雪深の確率図

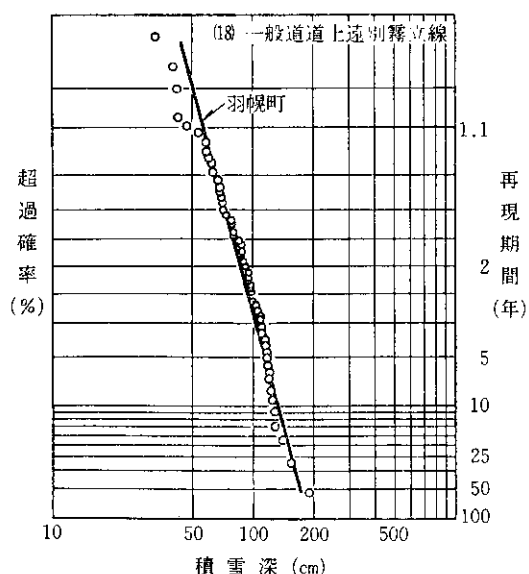
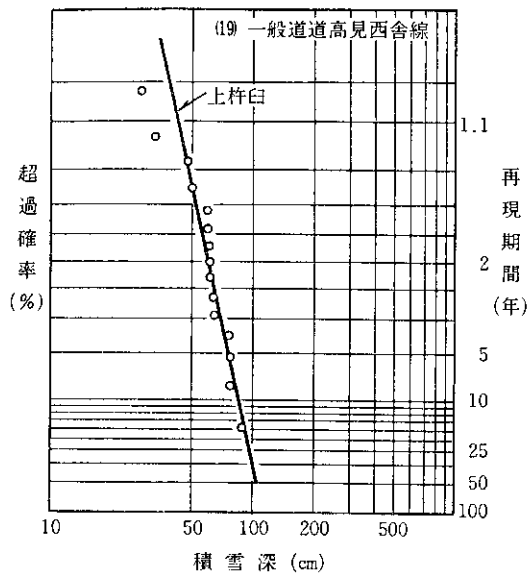
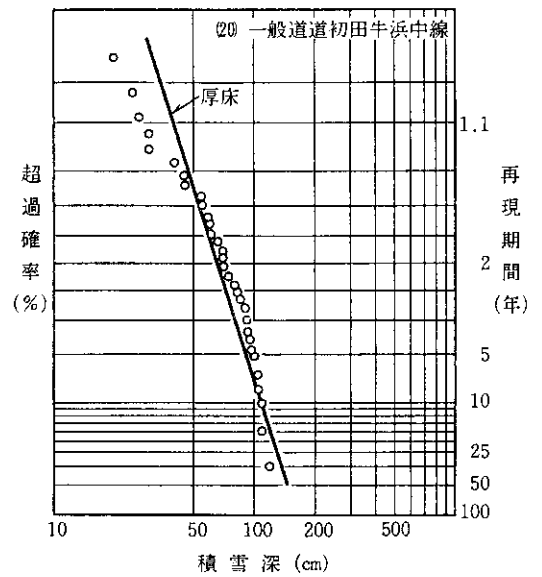


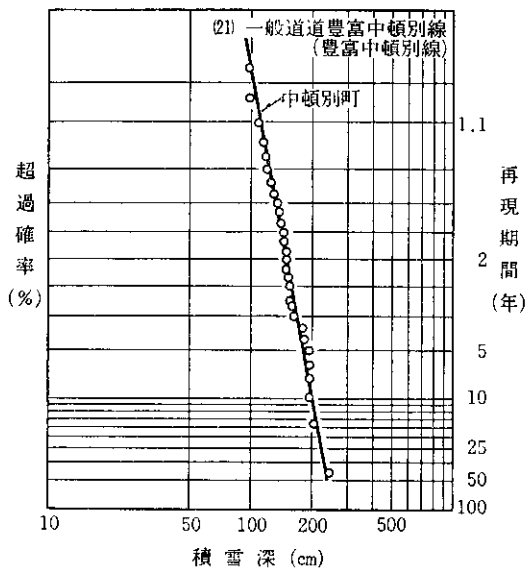
図-2 (18) 積雪深の確率図



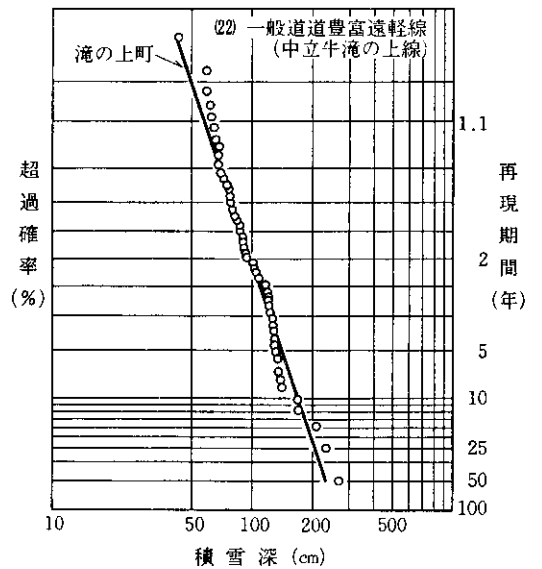
図一 2 (19) 積雪深の確率図



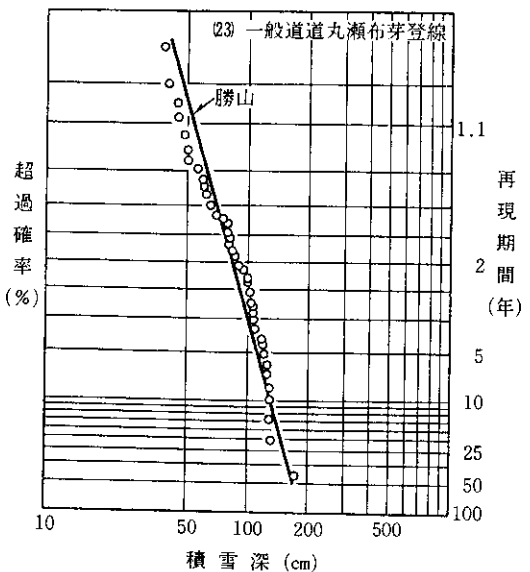
図一 2 (20) 積雪深の確率図



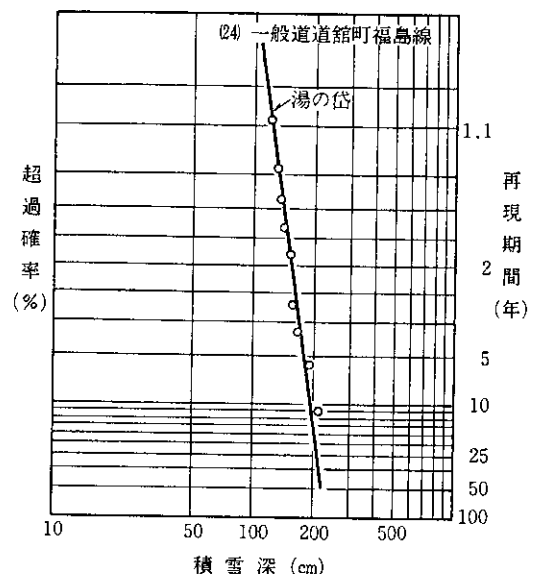
図一 2 (21) 積雪深の確率図



図一 2 (22) 積雪深の確率図



図一 2 (23) 積雪深の確率図



図一 2 (24) 積雪深の確率図

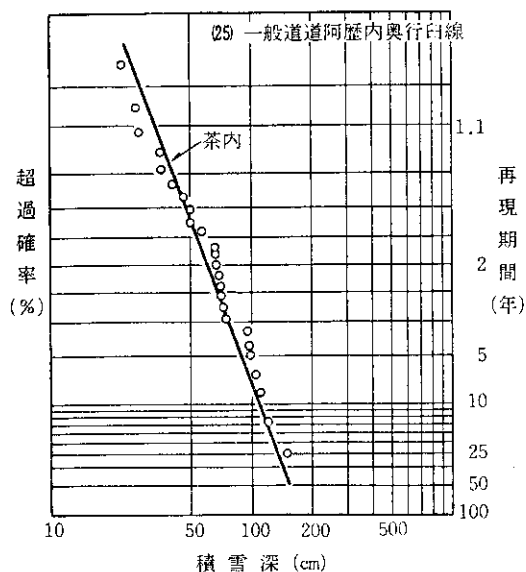


図-2 (25) 積雪深の確率図

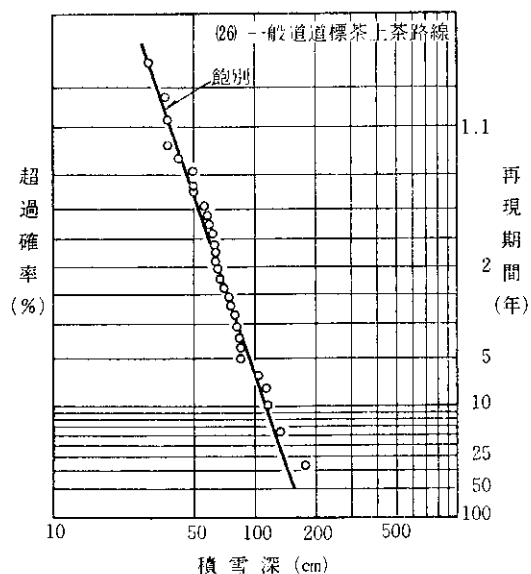


図-2 (26) 積雪深の確率図

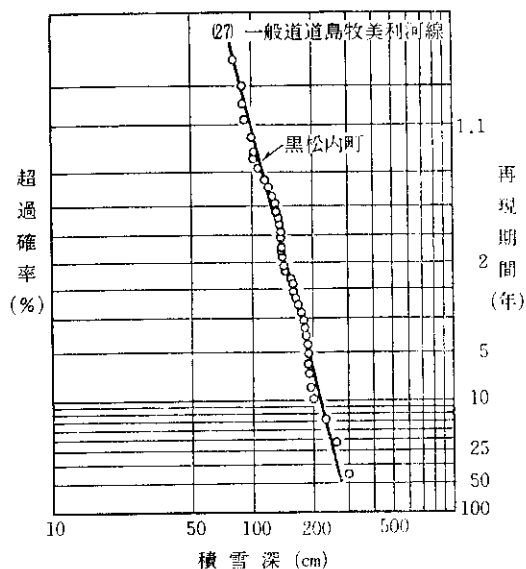


図-2 (27) 積雪深の確率図

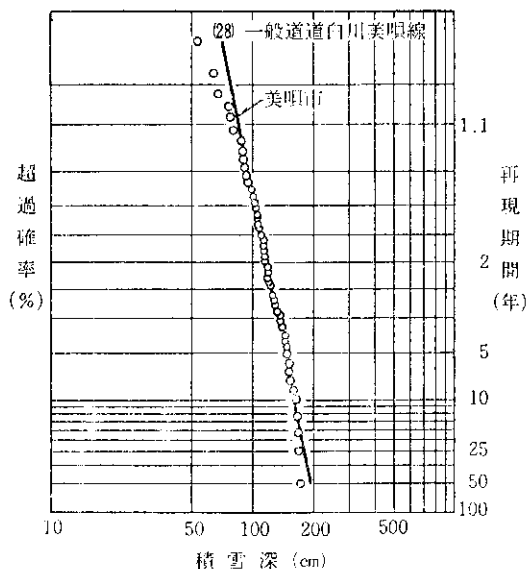


図-2 (28) 積雪深の確率図

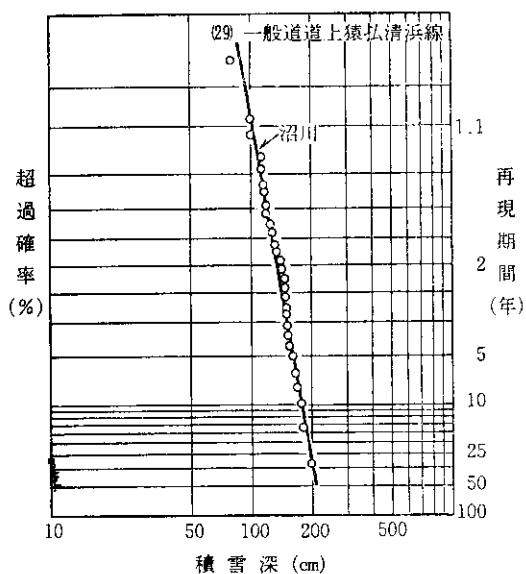


図-2 (29) 積雪深の確率図

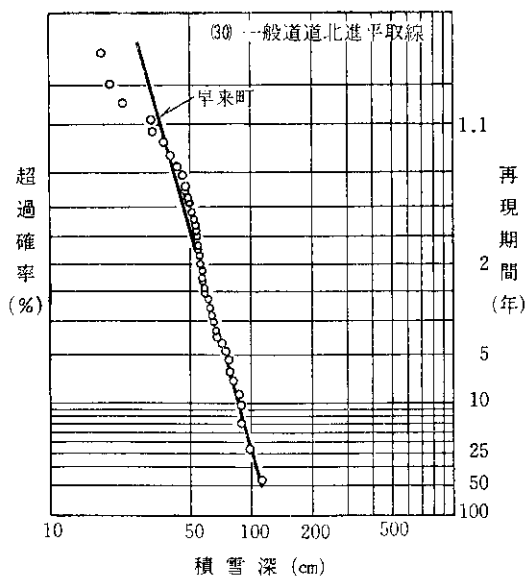


図-2 (30) 積雪深の確率図

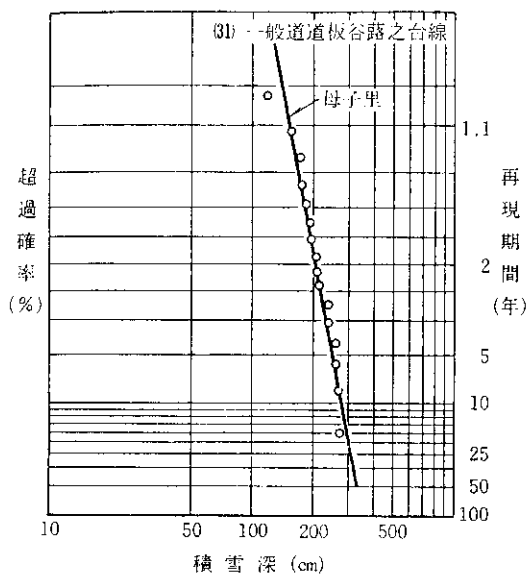


図-2 (31) 積雪深の確率図

なお、山地部では観測データが極端に少なく、これを補完する意味でデータの整った近傍地点との相関関係から推定することが望ましい。

架橋地点の積雪深は次式で与えられる。

$$H = K_p \cdot \bar{H}$$

ここに

$$K_p = \frac{H_m}{\bar{H}_m} : \text{地点係数}$$

H_m : 架橋地点の1シーズンを通しての最大積雪深

$\bar{H}_m$: 最大積雪が起こった時点での与えられた区域内での平均積雪深

H : 架橋地点の再現期間に期待される最大積雪深

$\bar{H}$: (30年にたった一度しか起こらないような)絶対最大積雪深が起こった時点で与えられた区域内における平均積雪深(表-2あるいは図-2から求める)

ただし H_m , $\bar{H}_m$ の積雪深には実測が必要であり、前報の最深積雪指示計で簡便に求めることができる。

3 積雪の密度

雪質は積雪内の温度勾配によって、新雪からしまり雪、こしもざらめ雪、しもざらめ雪へと次第に変化し、さらに、積雪が濡れるとざらめ雪に変態するといわれている。⁽⁶⁾

このように雪は、降雪中から融雪時まで絶え間ない変化を続ける。これに伴い積雪密度は、 $0.05 \sim 0.50 \text{ g/cm}^3$ の範囲で大幅に変動するものであるが、ここでは、積雪深2m未満はすでに前報で採用した $\bar{G} = 0.33 \text{ g/cm}^3$ とし、^{(6), (7)} 2m以上については、「低温科学」の観測記録を用い図

—3に示す積雪深と最大積雪水量の関係から $\bar{G} = 0.44 \text{ g/cm}^3$ を算出した。

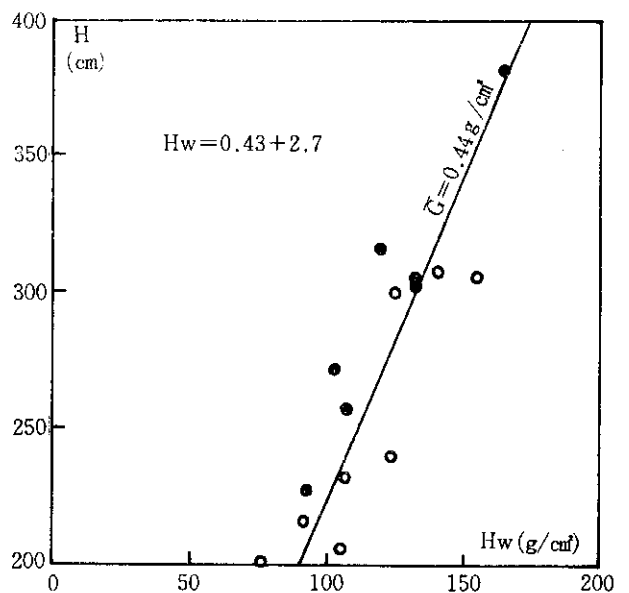


図-3 積雪深Hと最大積雪水量Hwの関係

標高 ○印：手稲山495—990m，●印：大雪山旭岳970～1560m

4 積雪荷重の分布図

以上H, Gの算定結果を基に、再現期間10, 30, 50年の雪荷重分布図を作成したものが図-5～7である。

ところで、設計に際してどの程度の再現期間を考慮すれば安全性と経済性の調和が確保されるか、判断がむずかしいところである。図-4は雪荷重と再現期間の一例であり、雪荷重の増加率は30年以後、時間とともに次第に減少することがうかがえる。

いずれにせよ、雪荷重の再現期間は安全性と経済性の兼合、路線の性格、交通量、開通年度などを考慮して決定しなければならないと考える。

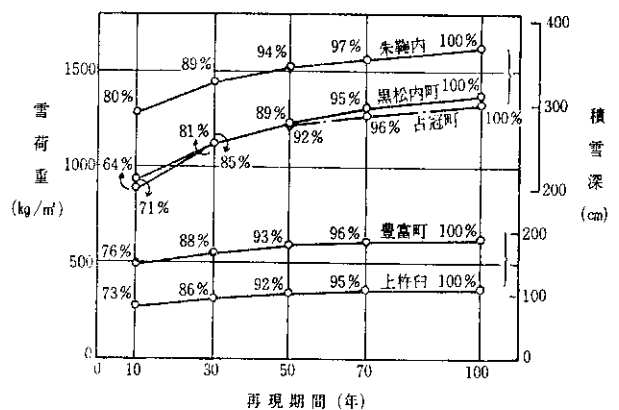


図-4 雪荷重と再現期間



図一 5 再現期間10年の雪荷重分希図 (単位 kg/m^2)



図—7 再現期間50年の雪荷重分布図 (単位 kg/m^2)

あとがき

今回、本文の目的である雪荷重の再現期待値を推算し、大略の雪荷重分布図を作成することができた。

しかし、密度の推定では必ずしも十分なデータから算定したわけではなく、今後はデータを蓄積したうえで、気象条件や地形条件を考慮し地域ごとの細分化を行って、適切な雪荷重に修正していかなければならない。

このように若干の検討余地があるにせよ、橋梁設計の雪荷重を選定する資料のほか、除雪、防雪施設などの設計にも役立てることができれば幸いである。

参考文献

- 1) 北海道開発局建設部； 橋梁関係実施要領設計編，昭和56年4月
- 2) 北海道開発局； 北海道における道路除雪の基礎資料，昭和44年12月
- 3) 北海道開発協会； 北海道における道路除雪の基礎資料，昭和53年3月
- 4) 岩井重久，石黒政儀； 応用水文統計学，森北出版
- 5) 遠藤八十一，秋田谷英次，高橋 徹，和泉 薫； 石狩・勇払平野における積雪の特性，低温科学，物理編第34輯，昭和51年
- 6) 水津重雄，山田知充，若浜五郎； 手稲山の積雪調査，低温科学，物理編第38輯資料集，昭和54年
- 7) 西村 寛，水津重雄，山田知充，若浜五郎； 大雪山旭岳の積雪調査，低温科学，物理編第36編—37輯資料集，昭和53年

付表一1

積雪深 10 年 再 現 期 待 値

積雪深 (cm)	99 以下	100~149	150~199	200~249	250~299	300~349
支庁名						
宗 谷		稚 内, 豊 富 浜 頓 別, 猿 弘	北 見 枝 幸, 沓 形 香 深, 沼 川, 中 頓 別	歌 登		
上 川	西 神 楽	旭 川, 上 土 別 名 寄, 美 英, 麓 郷, ト マ ム, 富 良 野, 上 川, 西 達 布, 愛 別, 山 山 達 部, 永 山	美 深, 和 寒, 層 雲 峽, 一 ノ 橋, 土 別, 中 越	上 音 威 音 府, 中 川, 占 冠, 北 落 合		
留 萌		羽 幌, 天 塩	焼 尻, 遠 別, 増 毛, 留 萌, 小 平, 初 山 別	幌 糠, 間 寒 別		
石 狩		浜 益, 札 幌 島 松	厚 田, 小 金 湯, 支 笏 湖 畔, 新 篠 津	青 山 中 央		
空 知		滝 川, 深 川, 長 沼, 芦 別, 栗 沢, 南 幌	岩 見 沢, 夕 張, 鹿 島, 沼 ノ 沢, 美 唄, 万 字 炭 山, 砂 川 吉 野	石 狩 沼 田, 空 知 吉 野, 南 幌 加, 常 盤 台, 月 形	幌 加 内 西, 朱 鞠 内, 添 牛 内, 浅 野, 母 子 里	
後 志	積 丹 岬	寿 都, 岩 内, 島 牧	小 樽, 余 市, 神 恵 内	俱 知 安, 真 狩, 留 寿 都, 蘭 越, ニ セ コ, 赤 井 川, 黒 松 内	京 極	
網 走	網 走, 北 見, 白 滝	紋 別, 雄 武, 興 部, 斜 里, 小 清 水, 遠 軽, 緑 訓 子 府, 勝 山 津 別, 美 幌	佐 呂 間, 滝 ノ 上, 宇 登 呂			
根 室	根 室, 落 石	中 標 津, 西 別, 西 春 別	羅 白, 厚 床			
釧 路	釧 路, 虹 別, 上 尾 幌	白 糠, 川 湯, 茶 内, 塘 路, 縫 別, 標 茶, 飽 別, 弟 子 屈, 上 御 卒 別	阿 寒 湖 畔			
十 勝	帯 広, 足 寄, 上 土 幌, 本 別	池 田, 芽 室, 糠 平, 浦 幌, 豊 頃, 清 水	広 尾, 中 札 内, 新 得, 上 美 生, 上 更 別, 大 樹 十 勝 三 股	上 札 内		
胆 振	室 蘭, 早 来, 苦 小 牧, 穂 別, 伊 達 岸, 鷗 川, 大 岸		登 別, 洞 爺, 丸 山 13 哩	大 滝		
日 高	日 新 振 豊	高 静, 内 白, 和 上 杵 満, 内 幌, 襦 裳 岬	目 黒			
渡 島	熊 石, 函 館, 森 恵 山 岬, 大 野 白 神	八 江 雲, 大 沼, 木 差, 中 須 田, 古 内, 長 万 部, 松 前 中 央, 南 茅 部	鹿 部	鉛 川		
桧 山	青 苗, 大 成	奥 尻	湯 の 岱, 今 金			

付表-2

積雪深 30 年 再 現 期 待 値

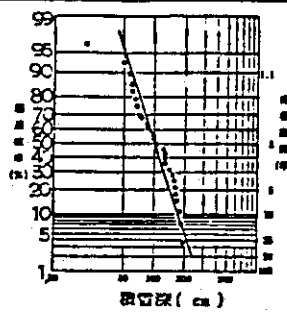
支庁名	積雪深 (cm)	99 以下	100~149	150~199	200~249	250~299	300~349
宗 谷				浜頓別, 稚内, 弘 豊富, 猿	北見, 枝幸, 沼川, 香深, 中頓谷	杓形, 歌登	
上 川			旭川, 西神楽, 上川, 上士幌, 瑛部, 達布, 寒名, 寄別, 永山, 富良野, 一の橋, トマム		美深, 層雲峡, 中越	上音威子府, 中川, 北落合, 占冠	
留 萌		天塩	羽幌		留萌, 焼尻, 遠小, 増毛, 平, 初山別	幌糠, 間寒別	
石 狩				札幌, 浜益, 厚田, 島松	小金湯, 新篠津, 支笏湖畔	青山中央	
空 知		長沼, 芦別, 南幌	岩見沢, 滝川, 美川, 深川, 吉野, 栗沢	夕張, 沼ノ沢, 万子炭山, 鹿島, 常盤台	石狩沼田, 浅野, 添牛内, 幌加, 月形, 南幌, 空知吉野	幌加内西, 母子里, 朱鞠内	
後 志		積丹岬	小岩内, 寿島	留寿都, 余市, 神恵内, 京極		倶知安, ニセコ, 真狩, 赤井川, 蘭越, 黒松内	
網 走	白 滝	網走, 紋別, 雄北, 武清水, 見緑	興訓子, 美津勝, 遠別	幌別, 山	斜里, 佐呂間, 宇登呂, 滝ノ上		
根 室	根 室, 落 石	厚 床	西 別, 西春別, 中標津			羅 白	
釧 路	釧 路	白 糠, 縫 別, 虹 別, 上尾幌	茶 内, 標 茶, 飽 別, 塘 路, 弟子屈, 川 湯, 上御卒別	阿寒湖畔			
十 勝	本 別	帯 広, 足 寄, 上士幌, 池 田, 芽室	浦 幌, 豊 頃	広 尾, 新 得, 糠 平, 中札内, 三勝三股, 清水	大 樹, 上美生, 上更別, 上札内		
胆 振	室 蘭, 苦 小牧, 伊 達, 鷗 川	穂 別, 大 岸, 早 来	丸山13哩		登 別, 洞 爺		大 滝
日 高	日 高, 静 内, 新 和, 豊 糠, 襟裳岬	上 杵, 白 幌, 満, 振 内			目 黒		
渡 島	函 館, 白 神, 恵 山岬	大 沼, 木古内, 熊 石, 長万部, 森, 大野	八 雲, 江 差, 中須田, 中央, 南茅部			鉛 川, 鹿 部	
桧 山		青 苗, 大 成	奥 尻		今 金, 湯の岱		

付表—3

積雪深 50 年 再 現 期 待 値

積雪深 (cm)	99 以下	100~149	150~199	200~249	250~299	399~349
支庁名						
宗 谷		浜頓別	北見枝幸, 香深, 沼川, 猿松	杓形, 歌登, 中頓別		
上 川		旭川, 西神楽, 美瑛, 釧路, 永良野, 山達布	上士別, 寒別, トマム, 層雲峡	中越, 深別, 橋川, 寄	上音威子府, 中川, 占冠, 北落合	
留 萌		天 塩	羽幌, 留萌	焼尻, 遠別, 増毛, 小平, 初山別	幌糠, 間寒別	
石 狩		島 松	浜益, 厚田, 札幌	小金湯, 支笏湖畔, 新篠津	青山中央	
空 知		長沼, 芦別, 南幌	岩見沢, 滝川, 夕張, 砂川, 美唄, 栗沢	石狩沼田, 夕張, 鹿島, 常盤台, 万字炭山	空知吉野, 月形, 浅野, 添牛内, 南幌加	幌加内西, 母子里, 朱鞠内
後 志		積丹岬	小樽, 寿都, 岩内, 島牧	留寿都, 余市, 蘭越, 神恵内	俱知安, ニセコ, 真狩, 赤井川, 黒松内	京 極
網 走	白 滝	網走, 紋別, 雄武, 小清水, 美幌, 北別, 緑津	興部, 斜里, 遠軽, 宇登呂, 訓子府, 佐呂間	滝ノ上		
根 室	根 室, 落石	厚床, 西別, 西春別, 中標津		羅 白		
釧 路	釧 路	白糠, 茶路, 上尾幌, 虹別, 弟子屈, 上御卒別	川 湯	阿寒湖畔		
十 勝	帯広, 足寄, 本別	上士幌, 田浦, 室芽	新得, 豊頃, 十勝三股, 清水	広尾, 大樹, 糠平, 上美生, 中札内	上更別, 上札内	
胆 振	室蘭, 伊達, 苫小牧, 川	大岸, 早来, 穂別	登別, 洞爺, 丸山13哩		大 滝	
日 高	日新, 高静内, 上杵白, 襟裳岬, 振内	幌 満	目 黒			
渡 島	函館, 森山, 恵白, 神長万部	大沼, 江石, 大森, 松前中央, 南茅部, 木古内	八雲, 中須田		鹿 部, 鉛 川	
松 山	青 苗	大 成	奥尻, 今 金	湯の岱		

橋梁の雪荷重について (第2報) の正誤表

頁	正誤箇所	誤	正
4~9	図2 (1) 図2 (31)	 図2 (1) 図2 (31) 雪深 (cm) 通過率 (%) 数値記入もれにつき追加	
14	付表 2	積雪深30年再現期待値	積雪深50年再現期待値
14	付表 2 200 ~ 249 積 雪	留寿都, 余 市 神恵内, 京 極	削 除
14	付表 2 300 ~ 349 積 雪	.	京 極
15	付表 3	積雪深50年再現期待値	積雪深30年再現期待値