

橋梁の雪荷重について (第1報)

北野初雄* 井藤昭夫** 竹田俊明***

表-1 最深積雪の比較
(観測開始～1970年)

順位	地名	積雪の深さ (cm)	起日
1	中川 (上川)	396	1957. 3. 14
2	添牛内 (空知)	350	1970. 3. 24
3	厚沢部 (松山)	337	1957. 3. 5
4	京極 (後志)	330	1970. 3. 26
5	幌加内西 (空知)	327	1970. 3. 24
6	南幌加 (空知)	323	1970. 3. 24
7	浅野 (空知)	314	1970. 3. 24
8	羅臼 (根室)	314	1958. 3. 20
9	朱鞠内 (空知)	313	1970. 3. 24
10	倶知安 (後志)	312	1970. 3. 25

(参考) 日本記録 1,182cm 伊吹山 1927. 2. 14

まえがき

冬期間交通が途絶する未除雪路線の橋梁は、厳しい自然の制約を受けながら積雪中に埋没し、雪荷重だけが載荷される。このような橋梁の設計に用いる雪荷重は、架橋地点の実状に応じ最大積雪深、積雪の密度、雪の性質を考慮して決定しなければならない。しかしながら、一般には除雪路線の橋梁と同じように、規定の活荷重だけあるいは規定の活荷重に雪荷重として100kg/m²を加算して設計されてきた。

本報告は、橋梁設計の基礎資料を得ることを目的として、昭和53年度から橋梁に載荷する雪荷重の実態調査と、上部工における設計計算上の応力検討を行ったので、その概要を第1報として報告するものである。

1. 調査橋梁と地形概況

「北海道の気象」によれば、最大積雪の分布を図-1に、最大積雪の比較を表-1に示すとおりである。

これらの図および表に基づき、北海道開発局所管の2505橋(立体横断施設を除く)のうちから未除雪橋梁約

120橋を対象に、図-2に示すような多雪地の4橋を選定して、調査、検討を行うことにした。

その周辺の地形概況は次のとおりである。

- ① 白楊橋(旭川開発建設部管内)
大雪山系旭岳西側斜面の標高819m地点
(一般国道39号分岐点から士幌にいたる約6km地点)
 - ② 桂清橋(札幌開発建設部管内)
夕張山地主屋根の芦別岳東南斜面の標高202m地点
 - ③ 溪樹橋(室蘭開発建設部管内)
日高山脈の太平洋に面した山麓の標高420m地点
 - ④ 母子里橋(札幌開発建設部管内)
朱鞠内湖に注ぐプトカマベツ川を跨ぐ標高289m地点
- なお、調査橋梁の概要は表-2に示すとおりである。

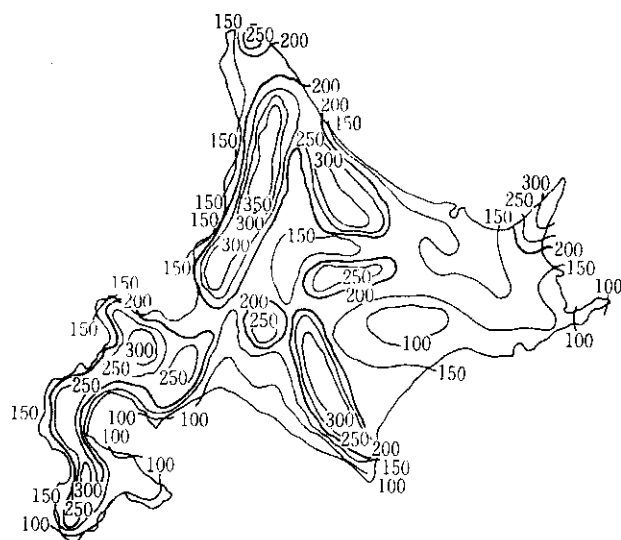


図-1 最深積雪の分布図
(1930～1960年の平均、単位 cm)

2. 調査の概要

(1) 雪荷重の実態調査

橋面上の積雪がどのような堆積分布で載荷されているかを把握することは、雪荷重を調査する上で非常に重要

*構造研究室主任研究員 **同室長 ***前同室副室長 現環境庁大気保全局特殊公害課騒音専門官

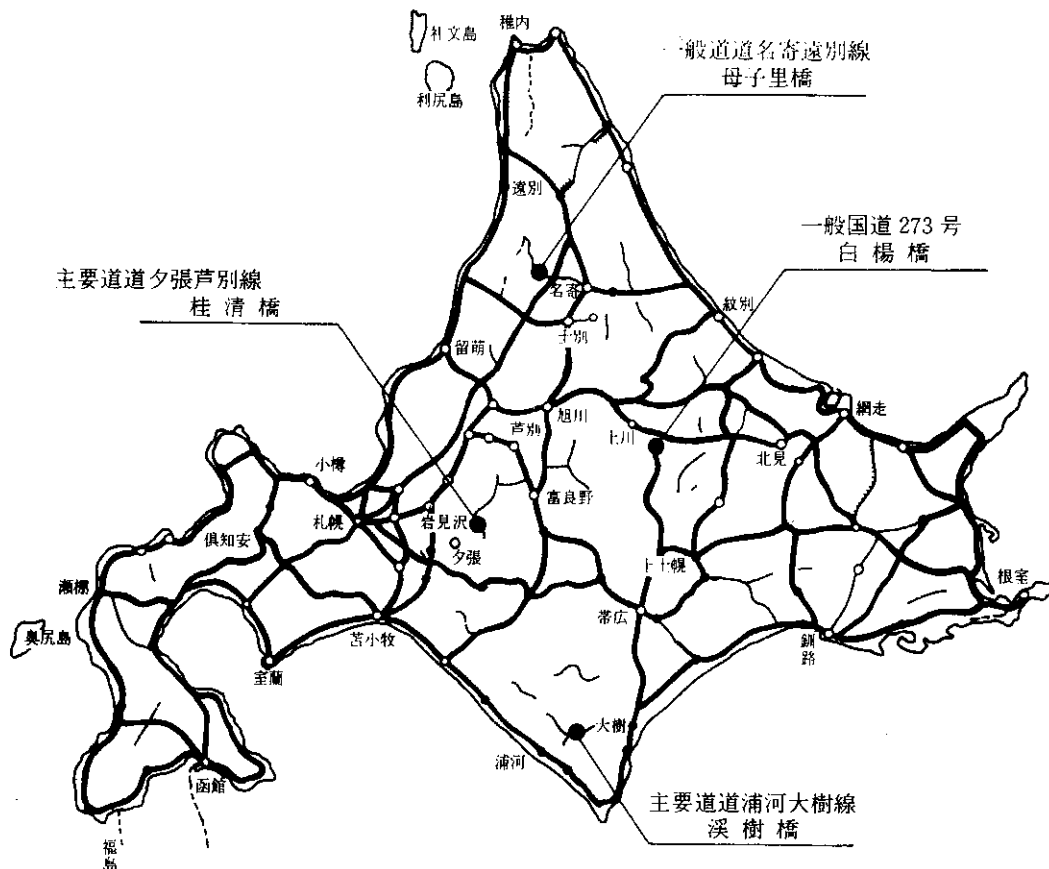


図-2 調査橋梁の位置図

表-2 調査橋梁の概要

橋 梁 名	上部構造型式 支 間 割 り (m)	橋 格	橋 (m) 長	幅 (m) 員	設計雪荷重 (kg/m ²)
白 楊 橋	鋼合成板げた 1 ② 31.000	1 等 橋 (TL-20)	31.800	8.500	—
桂 清 橋	鋼板げた 2 ② 20.000	1 等 橋 (TL-20)	41.500	8.000	100
溪 樹 橋	鋼合成板げた 1 ② 24.400	1 等 橋 (TL-20)	25.000	8.000	100
母 子 里 橋	鋼合成板げた 1 ② 26.000	2 等 橋 (TL-14)	26.800	7.500	100

なことであり、次の3橋梁について調査した。

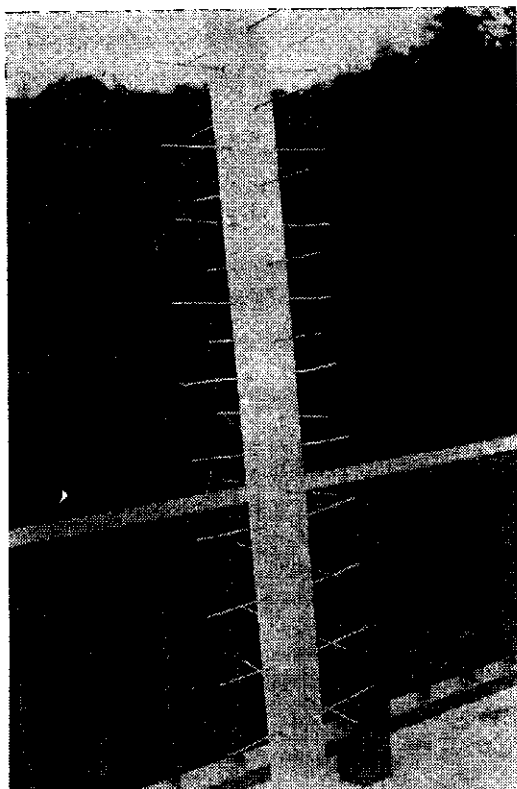
まず、一般国道273号の白楊橋と高原大橋（旭川開発建設部管内、鋼合成板げた、 $L=124.5\text{m}$ 、 $4\text{②}30.4\text{m}$ 、 $W=7.5\text{m}$ ）は、わずかに100mの道路を挟んで架設されている。調査時期は積雪が昇華、焼結の進行による沈降と自重による圧縮変形によって、積雪重量が最大となる3月中旬～下旬にかけて積雪深の実測を行った。次に主要道道夕張芦別線の桂清橋は、遠隔地のため実測が困難であり、これに代わる方法として積雪の沈降荷重を利

用した最深積雪指示計³⁾を用いた。その設置状況を写真1、2に示す。

(2) 雪 荷 重 の 測 定

積雪量計は、積雪の重量もしくは積雪水量を計測するもので、重量式自記雪量計、宇宙線雪量計、Pressure Pillowなど種々の自記記録装置が考案され実用化もされている。山間部の調査橋梁にこれら計測器を用いることは、使用条件や設置条件の制約などがあり、本調査では下記に示す①～③の方法で雪荷重を求めることにした。

※雪粒子が融点以下の温度で、互いに付着、融合していく現象で、顕微鏡写真などで知られている。



写真一1 最深積雪指示計の設置状況



写真二 計測器の設置状況

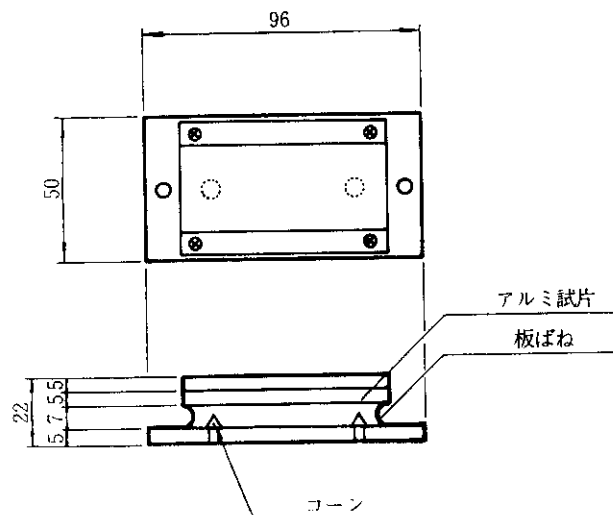
- ① 圧痕式雪圧計を用いて求める方法
- ② 最大積雪深と平均積雪密度の積から求める方法
- ③ スノーサンプラーを用いて求める方法

なお、①の方法で求めた雪荷重の妥当性を②あるいは③で求めた推定値で検証し、橋梁に載荷する雪荷重とした。

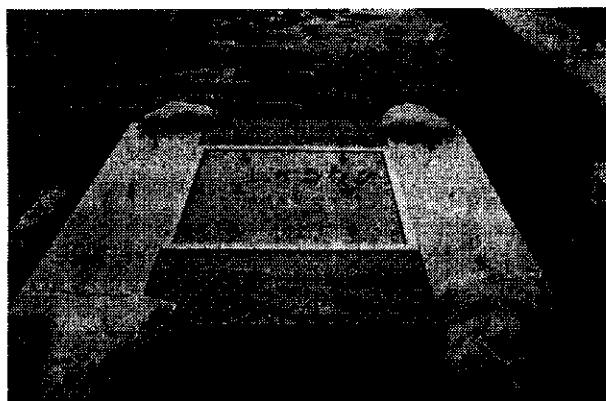
① 圧痕式雪圧計を用いて求める方法

圧痕式雪圧計は、図一3に示すようにきわめて単純な構造で取扱いも容易なものである。この計測器は、雪圧を受けると板ばねで支えられたアルミ試片がコーンによって円錐形の痕跡を残し、その直径をパラメーターとして最大積雪重量を求める。

なお、調査橋梁の設置には、雪圧の均等を図るため、



図一3 圧痕式雪圧計構造図



写真三 圧痕式雪圧計の設置状況

受圧板を4個の圧痕式雪圧計で支持する構造とした。橋面上の設置状況を写真一3に示す。

② 最深積雪深と平均積雪密度の積から求める方法

一般に積雪水量の最大は、積雪深が最深となる時期よりやや遅れて現われるが、ここでは、便宜的に最深積雪深と平均積雪密度の積から求めることにした。

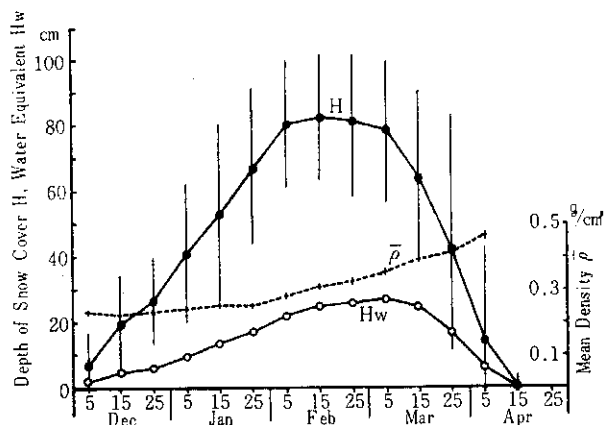
最深積雪指示計は、前述2の(1)のとおりである。次に平均積雪密度の算出には、「低温科学」から引用することにした。すなわち、成瀬、油川、石川によれば、図一4に示す積雪深、全層平均密度、全積雪水量の時間変化を観測している。一般に平均の積雪水量 H_w の最大を示す時期は、全層平均密度 $\bar{\rho}$ が2月から3月にかけての増加を反映して、最深積雪深よりやや遅れ3月上旬である。さらに、秋田谷、遠藤によると、主要道路沿いの道路除雪の影響を受けない256カ所の積雪調査（帯広、釧路を中心とした太平洋に面した比較的雪の少ない地域を除く）では、図一5に示す積雪深と積雪水量の関係を表わしている。

以上のことから、山地においても平均積雪密度はあま

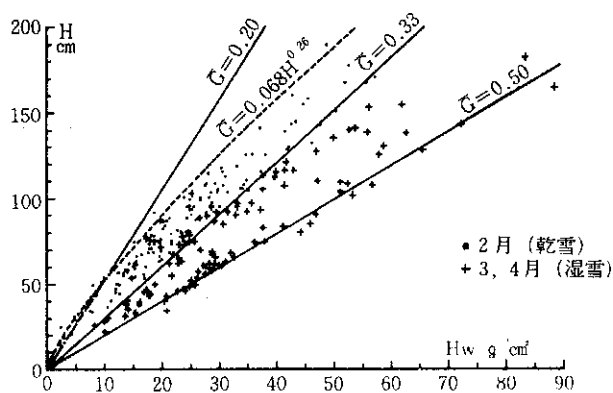
り変わらないものとして、積雪水量が最大となる3月上旬の平均積雪密度を $\bar{G}=0.33 \text{ g/cm}^3$ とした。

③ スノーサンプラーを用いて求める方法

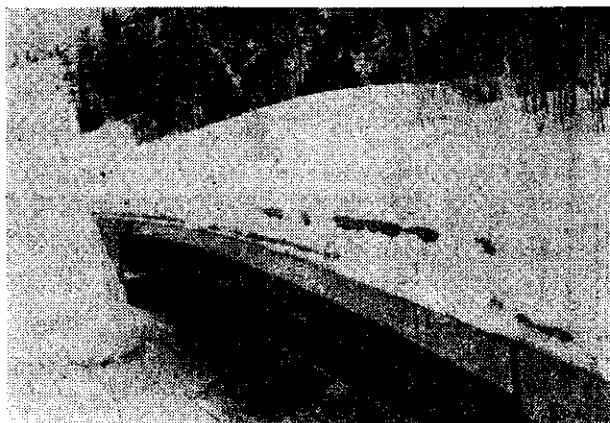
積雪水量は、堆積期、融雪期を通して高度とともに直線的に増加し、直線の傾きも時間とともに増大するといわれている。このことにより、高度の最も高い白楊橋についてのスノーサンプラーを用いて積雪重量を求め照査することにした。



図—4 北海道大学構内における15カ年平均(1963～1978年)の積雪深 H (cm), 全層平均密度 $\bar{p}$ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), 全積雪水量 H_w (cm)の時間変化



図—5 積雪深 H と積雪水量 H_w の関係
3冬期間に調査した全測定値、●印は2月の積雪、+印は3、4月の積雪



写真—4 白楊橋 昭和53年3月6日の堆積分布状況

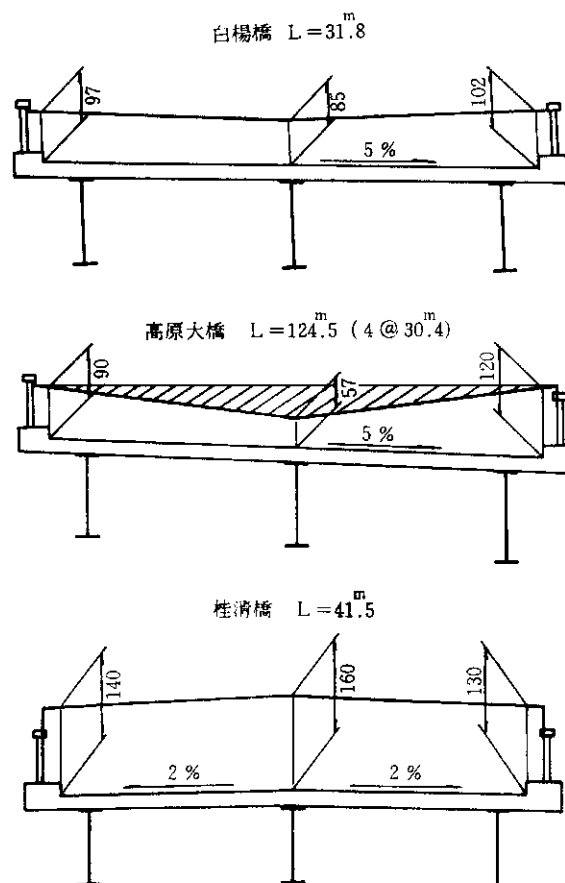
3. 調査結果

(1) 雪荷重の実態

写真—4、5は、白楊橋と高原大橋の堆積分布であり、この堆積断面と桂清橋の堆積断面を合わせて図—6に示す。4径間からなる高原大橋の積雪は、幅員中央部で減少していることが確かめられた。これは地形的条件によって、風速が強められ雪移動を起し凹状を形成するものと考えられる。斜線部分をその軽減量とすれば支間当たり約20tonとなる。



写真—5 高原大橋 昭和53年3月6日の堆積分布状況



図—6 積雪の堆積断面図

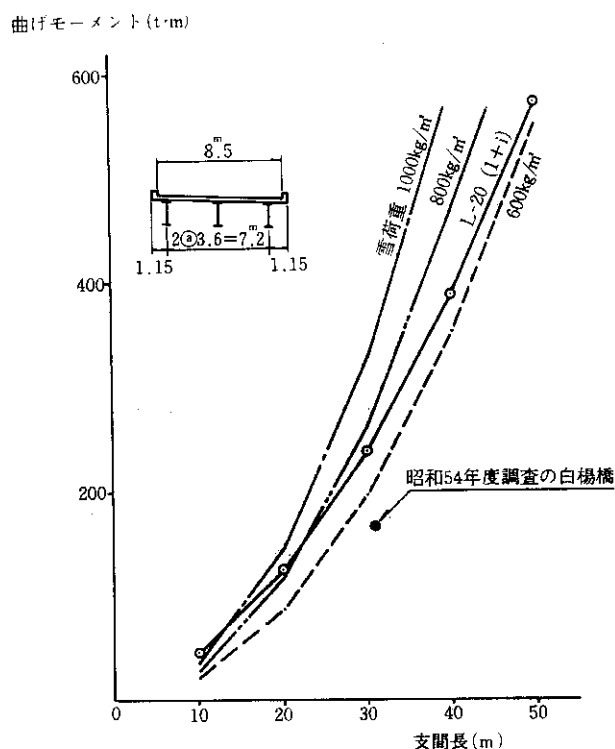


図-7 支間長と曲げモーメント

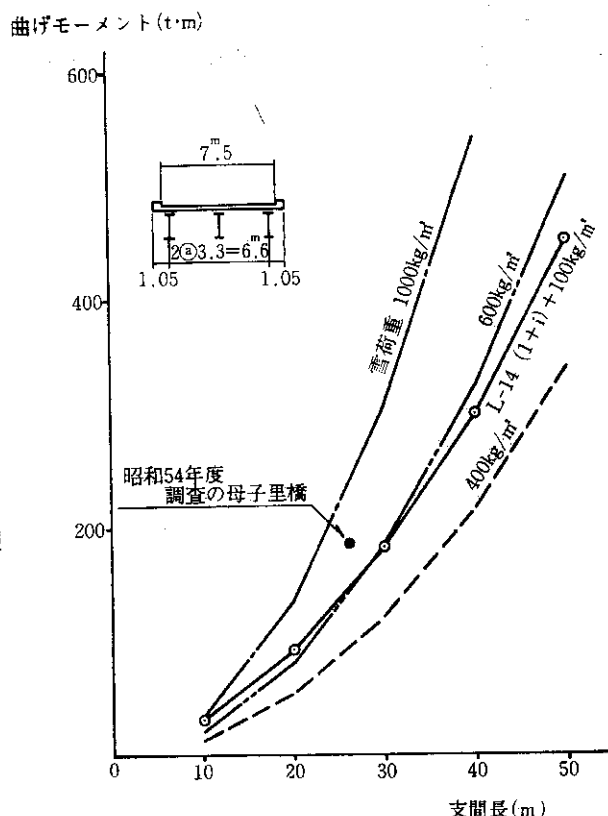


図-8 支間長と曲げモーメント

表-3 昭和54年度雪荷重の測定値

橋 梁 名	① 圧痕式雪圧計		② 最深積雪深× 平均積雪密度		③ スノーサンプラー		
	積雪重量 (kg/m²)	痕跡直径 (mm)	積雪重量 (kg/m²)	積雪深×密度 (cm)×(g/cm³)	積雪重量 (kg/m²)	積雪深×密度 (cm)×(g/cm³)	測定月日
白 楊 橋	470	1.46			440	122×0.36	3.28
桂 清 橋	530	1.50	530	160×0.33			
溪 樹 橋	380	1.30	400	120×0.33			
母 子 里 橋	820	1.70	790	240×0.33			

これらのことから、支間長が同じ橋梁の場合には単径間に比較し多径間ほど雪荷重が軽減される。

ちなみに、図-7, 8は、L荷重とそれぞれの雪荷重について、種々の支間長と曲げモーメントの関係を示す。この図から、単径間の橋梁を支間長の長短で比較すると、長支間ほど雪荷重に対して厳しいものとなる。なお、橋格2等橋の場合1等橋に比べ、この傾向がより顕著であることはいうまでもない。

(2) 雪荷重の測定値

積雪重量の測定結果を一括して表-3に示す。

①の圧痕式雪圧計で求めた雪荷重は、②、③の方法による推定値で照査するとその差は10%以内の精度であり、おおむね妥当と考えられる。昭和54年度冬期におけ

るおよそその雪荷重は、白楊橋 470kg/m²、桂清橋 530kg/m²、溪樹橋 380kg/m²、母子里橋 820kg/m²となる。

4. 設計計算上の検討

上部工における設計計算上の応力検討は、下記に示す項目について行うことにした。これらの検討は、積雪の堆積実態を考慮しすべて中げたで行った。

- (1) 主げたフランジ
- (2) ずれ止め
- (3) 補剛材

ただし、(2)、(3)の検討は母子里橋についてのみ行うことにした。

- (1) 主げたフランジ

ここでは、下フランジの応力度で検討する。合成げたにおいては、合成前主荷重応力度+合成後主荷重（死荷重+測定雪荷重）応力度の重ね合わせるによる照査が最も厳しいものとなっており、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮と、コンクリートと鋼の温度差については省略する。

合成げたの主げた下フランジ応力度は、次式で与えられる。

$$\sigma_{SI} = \frac{M_d}{I_d} \cdot y_d + \frac{M_S}{I_S} \cdot y_S$$

ここに、

σ_{SI} : 下フランジの引張応力度 (kg/cm²)

M_d : 合成前主荷重曲げモーメント (kg・cm)

M_S : 合成後主荷重（死荷重+雪荷重）曲げモーメント (kg・cm)

I_d : 鋼断面二次モーメント (cm⁴)

I_S : 鋼断面合成断面二次モーメント (cm⁴)

y_d : 鋼断面中立軸より下フランジまでの距離 (cm)

y_S : 合成断面中立軸より下フランジまでの距離 (cm)

図一9～12は、あらかじめ計算で雪荷重と応力度の関係を求めたものであり、図中の斜線部分は、許容応力度超過範囲である。その結果は表一4に示すとおりであり、母子里橋における主げた下フランジの引張応力度は、規定の許容応力度を18%超過する。

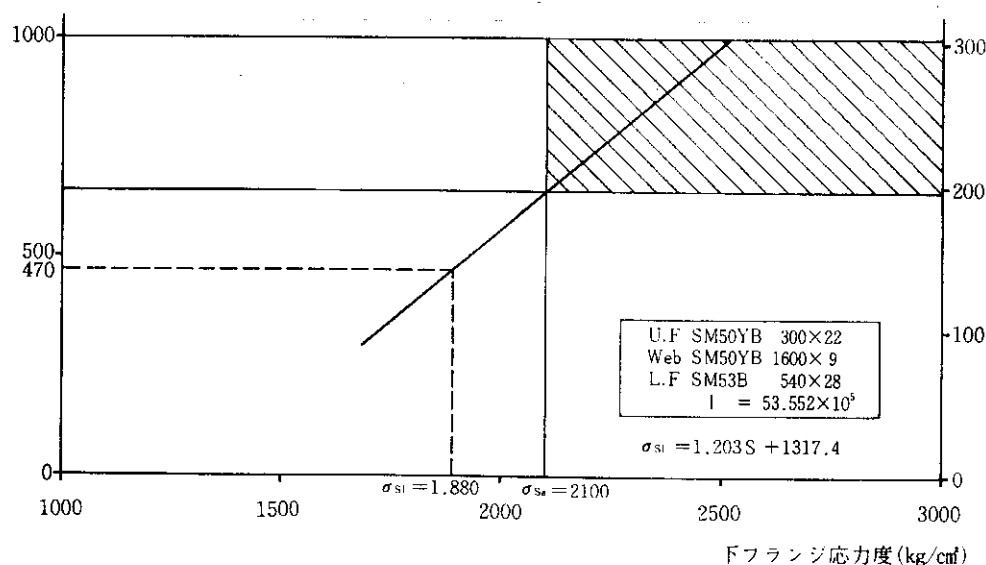
(2) ずれ止め

コンクリート床版と鋼げたの接触面を連結するずれ止めの水平せん断力（支間中央部からけた端に向かう）は、次式で与えられる。

$$H = S \cdot \frac{A'_C \cdot S_C}{I_V} + \frac{2 \cdot N_t}{a}$$

S: 雪荷重 (kg/m²)

H: 積雪深 (cm)



図一9 白楊橋の雪荷重と下フランジ応力度

表一4 下フランジ応力度

橋 梁 名	雪 荷 重 (kg/m ²)	フランジ応力度 (kg/cm ²)	
		主 荷 重	許 容 応 力 度
白 楊 橋	470	1,880	2,100
桂 清 橋	530	1,420	2,100
溪 樹 橋	380	1,480	2,100
母 子 里 橋	820	2,470	2,100

ここに、

H : 単位長さに働く水平せん断力 (kg/cm)

A'_C : コンクリート断面積の鋼換算値 (cm²)

S_C : 合成断面中立軸よりコンクリート重心までの距離 (cm)

I_V : 合成断面二次モーメント (cm⁴)

N_t : 温度差による軸力 (kg)

a : 主げた間隔 (cm)

S : 合成断面に作用するせん断力 (kg/cm)

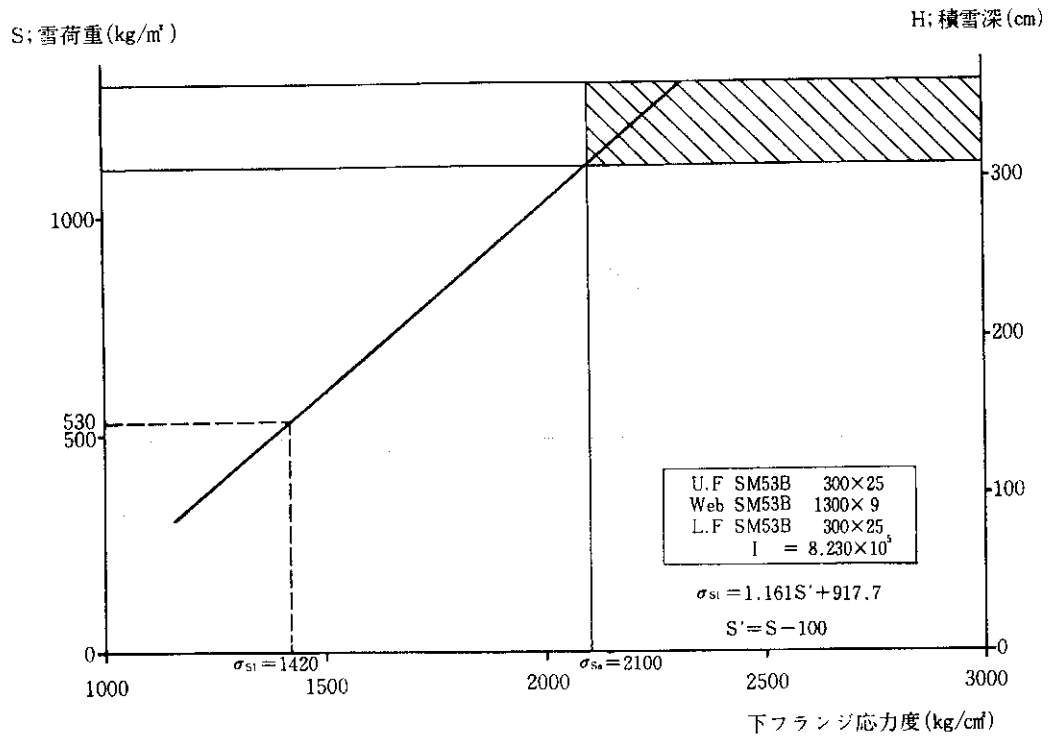
図一13はその計算結果であり、けた端部で抵抗せん断力を8 kg/cm上まわる。

(3) 補 剛 材

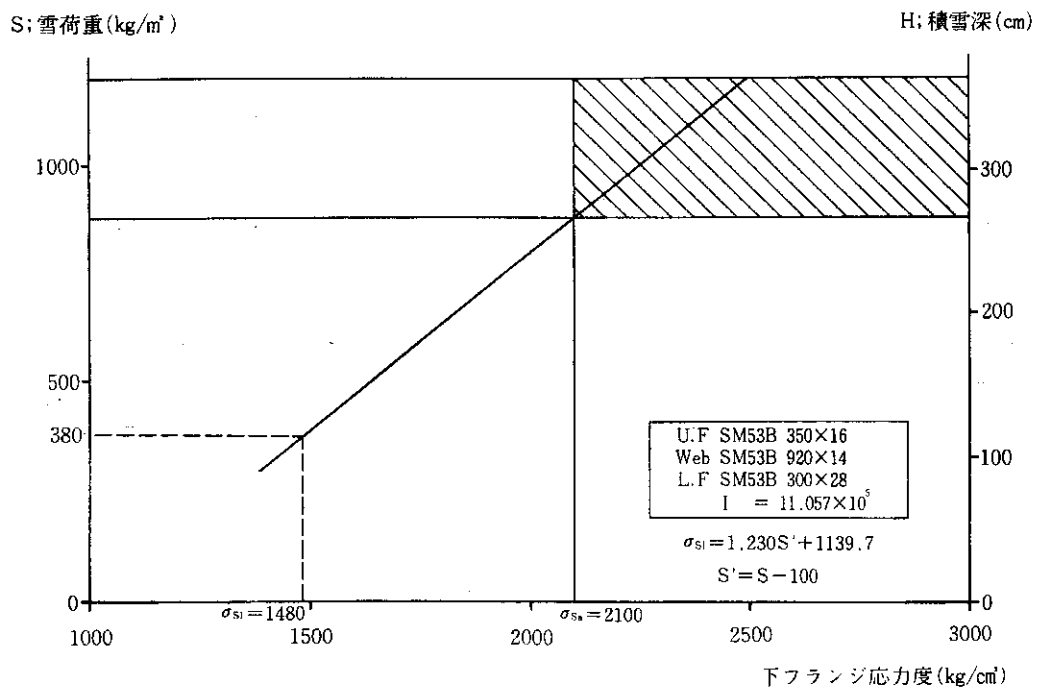
垂直補剛材および水平補剛材の間隔、剛度について検討する。

① 端 補 剛 材

$\frac{l}{r} = 14.8 < 20$ であるから、荷重集中を受ける補剛材



図—10 桂清橋の雪荷重と下フランジ応力度



図—11 溪樹橋の雪荷重と下フランジ応力度

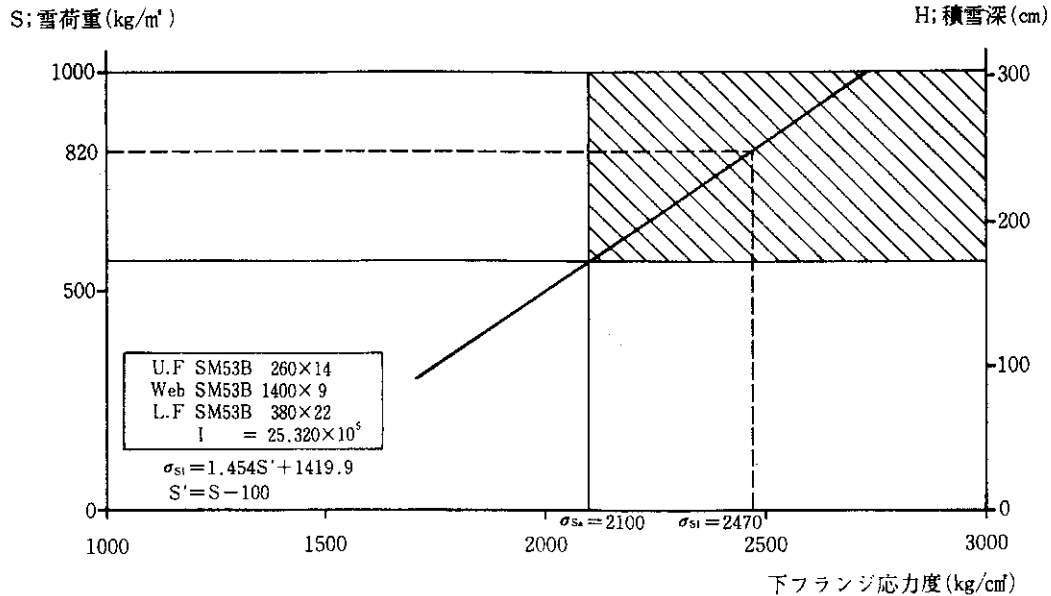


図-12 母里橋の雪荷重と下フランジ応力度

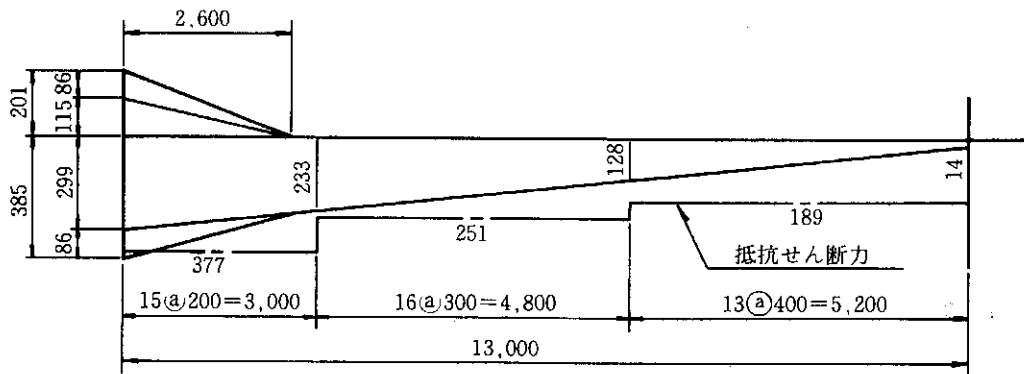


図-13 ずれ止めに働く水平せん断力 (kg/cm)

の支点反力 $P = 63,000 \text{ kg}$ 、柱としての面積 $A = 45.44 \text{ cm}^2$ とすれば、柱の実応力は、 $\sigma = \frac{P}{A} = \frac{63,000}{45.44} = 1,386 \text{ kg/cm}^2 < 1,400 \text{ kg/cm}^2$ となり、許容軸方向圧縮応力度の規定を満足する。

② 中間補剛材

・補剛材の間隔

垂直補剛材の間隔は、水平補剛材が1段で $\frac{a}{b} > 0.80$ であるから、次式で与えられる。

$$\left(\frac{b}{100 \cdot t} \right)^4 \left[\left(\frac{\sigma}{9,500} \right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{970 + 810(b/a)} \right\}^2 \right] \leq 1$$

支点上付近

$$a = 105 \text{ cm}, b = 140 \text{ cm}, t = 0.9 \text{ cm}, \sigma = 0 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\tau = 500 \text{ kg/cm}^2$$

とすれば

$$\left(\frac{140}{100 \times 0.9} \right)^4 \times \left[\left(\frac{0}{9,500} \right)^2 + \left\{ \frac{500}{970 + 810 \times (140/105)} \right\}^2 \right] = 0.25 < 1.0$$

となり、 $a = 105 \text{ cm}$ は安全である。

支間中央付近

$$a = 110 \text{ cm}, b = 140 \text{ cm}, t = 0.9 \text{ cm}, \sigma = 2,470 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\tau = 32 \text{ kg/cm}^2$$

とすれば

$$\left(\frac{140}{100 \times 0.9} \right)^4 \times \left[\left(\frac{2,470}{9,500} \right)^2 + \left\{ \frac{32}{970 + 810 + (140/110)^2} \right\}^2 \right] = 0.40 < 1.0$$

となり、 $a = 110 \text{ cm}$ は安全である。

・垂直補剛材の剛度

垂直補剛材の必要剛度は、次式で求める値以上でなければならない。

$$\frac{b \cdot t^3}{11} \cdot \gamma$$

$$b = 140 \text{ cm}, t = 0.9 \text{ cm}, \gamma = 10.7 \text{ とすれば}$$

$$\frac{140 \times 0.9^3}{11} \times 10.7 = 99 \text{ cm}^4 < I_{\text{stiff}} = 267 \text{ cm}^4$$

となり、必要剛度を満足する。

・水平補剛材の剛度

水平補剛材の必要剛度は、次式で求める値以上でなければならない。

ればならない。

$$\frac{bt^3}{11} \cdot \gamma$$
$$b = 140\text{cm}, t = 0.9, \gamma = 22.5 \text{ とすれば}$$
$$\frac{140 \times 0.9^3}{11} \times 22.5 = 209\text{cm}^4 < I_{\text{stirr}} = 267\text{cm}^4$$

となり、必要剛度を満足する。

5. ま と め

以上の調査、検討結果をまとめると次のとおりである。

- (1) 実態調査から、支間長が同じ橋梁の場合には、単径間に比較して多径間ほど雪荷重が軽減される。
- (2) 単径間の橋梁を支間長の長短で比較すると、長支間ほど雪荷重に対して厳しいものとなり、橋格が2等橋の場合、1等橋に比べこの傾向はより顕著である。
- (3) 調査橋梁に載荷する雪荷重は、おおむね 380kg/m^2 ($H=120\text{cm}$) $\sim 820\text{kg/m}^2$ ($H=240\text{cm}$)であり、応力検討での下フランジ引張応力度は $1,470\text{kg/cm}^2 \sim 2,470\text{kg/cm}^2$ となる。
- (4) 雪荷重 820kg/m^2 ($H=240\text{cm}$)が載荷する母子里橋の応力検討では、補剛材の間隔、剛度に問題はなく、下フランジの引張応力度およびずれ止めの水平せん断力が、規定の許容応力度を超過する。

あ と が き

今回、橋梁に載荷する雪荷重の実態調査および雪荷重の測定を行い、その概要を把握することができた。

特に、母子里橋のように2等橋(TL-14)で設計さ

れた多雪地の橋梁では、設計計算上問題を残すことが明らかとなった。今後はこれらの調査、検討の継続に加え、積雪深の統計解析を行い設計雪荷重を求める予定である。

最後に、調査橋梁を所管する各開発建設部の関係各位ならびに計測器の製作や設置などの協力をいただいた構造研究室の各位に心から感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会；道路橋示方書・同解説，昭和55年2月
- 2) 日本気象協会；北海道の気象，1964年，1973年
- 3) 高橋喜平；最深積雪指示計について，雪氷Vol.30 1968年
- 4) 成瀬廉二，油川英明，石川信敬；札幌市における雪の堆積分布の特性，低温科学，物理編第37号，昭和53年
- 5) 秋田谷英次，遠藤八十一；北海道の平地積雪の特性，低温科学，物理編第38号，昭和54年度
- 6) 山田知充，西村 寛，水津重雄，若松五郎；大雪山の積雪水量分布，低温科学，物理編第38号，昭和54年
- 7) 建設省北陸地方建設局上越国道工事々事務所；雪と道路の調査報告，昭和46年2月
- 8) 日本建設機械化協会；新防雪工学ハンドブック
- 9) 島田静雄，熊沢周明；合成桁の理論と設計，山海堂