

I-10 橋梁の耐風性と降雪に関する基礎的考察

北海道開発コンサルタント(株) 橋梁部 正員 勝俣征也
北海道開発コンサルタント(株) 橋梁部 正員 東 泰宏

1. はじめに

耐風性の検証が必要となるような大規模な橋梁にとって、橋面(路面、地覆、高欄)に雪が積ることは、一般的には断面高さが増加することになるので耐風安定性が劣化するものと予想されている。現在本四公団を中心に確立されている耐風設計手法には「雪の問題」は全く触れられていない。積雪寒冷地域で降雪・積雪などを全く考慮せずに耐風設計を行うことは安全性に問題を残すものと考えられる。基礎的な調査の一部として、北海道内の2、3の特定地域における風速～降雪の関連を調べたので、これを中心に橋梁の耐風設計について考察するものとした。参考までに全国における積雪と風速の分布図を図1・1、³⁾1・2に示した。

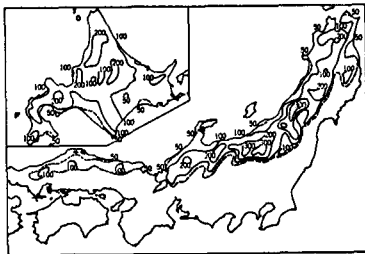


図1・1 最深積雪の平均値
(昭和44～53年)の分布(単位:cm)

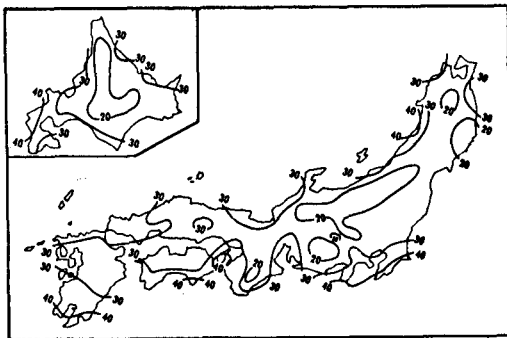


図1・2 100年再現期間風速の分布
(単位:m/sec)

2. 橋梁の耐風設計の概要

2・1 耐風設計の流れ図³⁾

耐風設計の手順を示す流れ図は図2・1のようなものであり、風洞模型による試験が實際上必要となる。この動的試験結果を判断する条件を図2・2、2・3に示す。図2・1の空気力学的対策及び構造力学的対策の内容は具体的には抑流添加物を付加するとか、あるいはTMD (Tuned Mass Damper)などを設置することである。

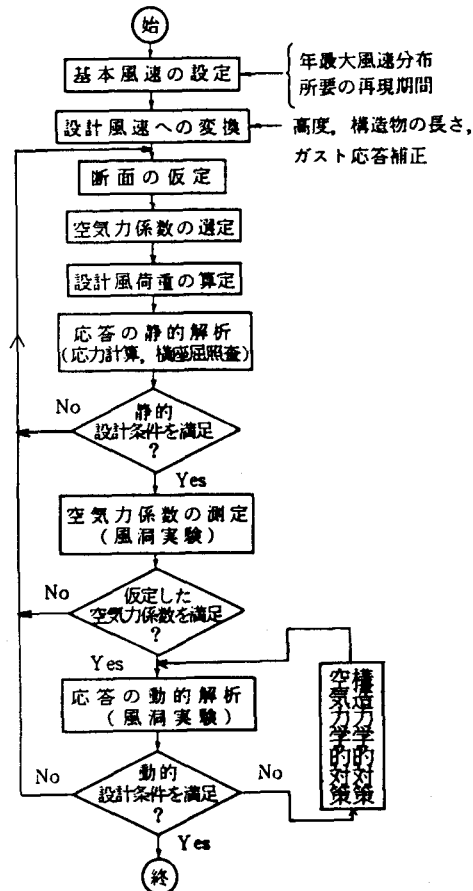


図2・1 耐風設計流れ図³⁾

- ※ 限定振動<許容振幅(恕限度, 疲労限度)
- ※ 発散振動<1.2×設計風速 (V_D)

$$V_D = \nu_1 \cdot \nu_2 \cdot V_{10}$$

V_{10} ; 基本風速

ν_1 ; 高度補正係数

ν_2 ; 水平長補正係数

図2・2 動的設計条件⁶⁾

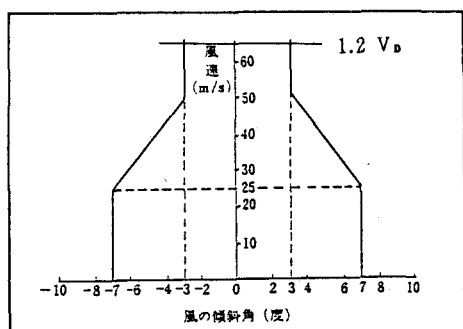


図2・3 風速と傾斜角⁶⁾

2・2 抑流添加物と積雪

静力学的な断面力のみを考慮した構造設計から決定される断面形状のなかには、時として、風洞試験を行うと空力的な安定性に乏しく恕限度、材料疲労限度をこえたり、設計風速以下で発散振動を発生するようなものもある。

この対策として、図2・1に示したような段階で空気力学的制振対策または構造力学的制振対策を行うことになるが、橋梁の桁などのように規模が大きく、半永久的なものでは空気力学的制振対策を行うことが多く、架設時の吊橋主塔の自立時などのように部分的で短期間の対応では構造力学的制振対策を行うことが多い。空気力学的対策の例としては図2・4に示したようなものがありこれらは橋梁断面の周囲の空気の流れをコントロールすることによって有害な振動から構造物を守るためのものである。

今問題とするのは、この上に積雪などがあると空気の流れが再度かわり、厳密な対策を施した意味が失われるのではないかとということであり、特にフラップやデフレクターでは影響が大きいと予想されることである。

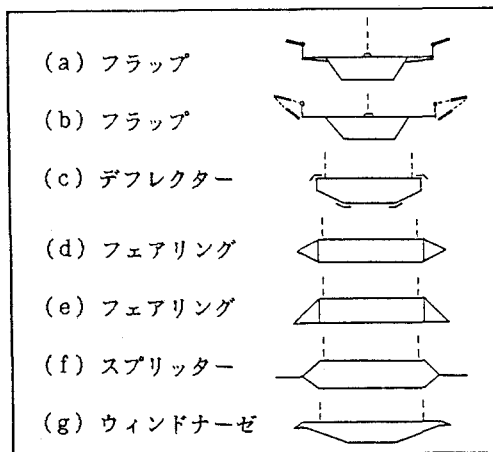


図2・4 抑流添加物⁸⁾

3. 風速と積雪の形状

3・1 設計風速

設計風速 (V_D) は再現期間100年における期待値として推定された基本風速より求められる。基本風速は地域によって異なるが、一般的に台風通過時の風速が支配的であることが多い。積雪が路面上にあるときの設計風速は、降雪期の間におこる季節風などの卓越する風速から求められるより低い風速を考慮してもよいのではないかと考えられる。また、降雪中の風速はさらに低い風速であると予想できる。

3・2 路面積雪状態の要素

路面に積雪・堆雪がある状態・形状は勿論様でなく経験的に種々の場合が考えられる。風洞試験模型に積雪形状を取り入れるという問題を念頭に考察すると積雪形状が決まる要素として自然の要素と人工の要素に分類されるが、次のようなものがある。

a. 自然の要素

- (1) 降雪量 (ひとゆきで積る雪の深さ、または一日に降る量)
- (2) 積雪量 (自然に降り積った量、根雪の深さなど)
- (3) 風速・風向
- (4) 雪の変態 (気温、日照などによる焼結、圧密融解)

b. 人工の要素

- (1) 堆雪量 (人工的に除排雪された堆積量)
- (2) 路面形状 (車歩道幅員、地覆・高欄、分離帯・堆雪スペース、etc.)
- (3) 除排雪作業のサービス・レベル

降雪量が大量であっても、気温がマイナス数度以下であると雪の密度は小さく風速数 m/s では路面に定着せず砂ぼこりのような挙動を示す。気温がプラスとなり雪粒子の含水率が大きくなり比重、粘着性が高まると、橋面の積雪残留量が増大する。

電線着雪が起る場合は特殊な例で送電鉄塔などに事故が発生する。着雪現象は北陸と北海道では形態が大きく異なり、北海道型では気温 $\pm 2^{\circ}C$ 最大風速 $6m \sim 27m/s$ （10分間平均風速）で発生している。長支間の電線に含水率の高い雪が筒状に巻きつき、ギャロッピングやスリット・ジャンプなどにより電流の短絡、線の切断、鉄塔の倒壊などを起こし電力施設に被害を及ぼすことがある。但し最近では電線着雪については非常に研究が進み有効な対策が立てられている。橋梁における吊橋、斜張橋などのケーブルでは太さ剛性などが全く異なるので問題ないと考えられるが、高欄などの閉塞がありうるのではないかという推測がなされる。

除雪・排雪を完全に行なう場合は降雪・積雪量が相当量に達しても断面形状の変化はおこらないことになるので、路面の管理レベルは非常に重要な因子となる。除雪作業は一般的には、車道部のみを除雪を行い、地覆・高欄部分に雪を盛り上げたような状態とすることが多い。こうした状態は長時間放置されると気温・日照の影響によって焼結・圧密・融解、などが起こり、氷塊へと変態するので高風速の圧力を受けても耐える硬さとなる。

3・3 積雪形状の想定

以上から路面積雪形状の基本的なパターンは次の三種類程度となるものと考えられる。

- (a) 一般の除雪によって出来る堆雪の状態では堆雪の硬度も高い。雪の高さ h は降積雪の量、除排雪の作業レベルによって異なる。
- (b) やや高風速で降雪量が多い場合、除雪作業が出来ない状態が想定される。雪の高さ h は除雪の不能時間帯に降る量で、(a)の状態からの移行も考えられる。実際には、風上側風下側による積雪の偏りがある。

- (c) 電線着雪などが起る気象で想定される最悪の場合として高欄が閉塞された状態。

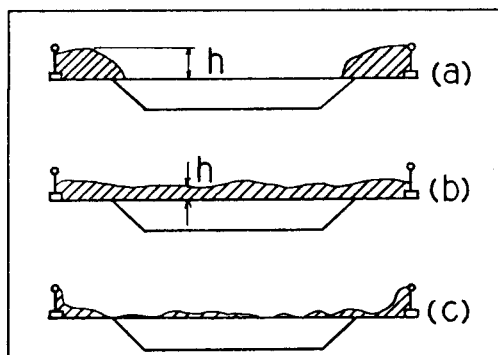


図3・1 路面の積雪状態

風洞試験に用いるべき形状はもっと具体であることが必要であるので、今後の調査・研究をまたねばならないことは勿論である。

4. 風速と日降雪量

以上3.迄の考察で現状では路面積雪形状の決定は難しいことが解るが、図3・3(b)のような積雪状態が想定される場合の風速と日降雪量を試算する。

4・1 風速

気象データは札幌、帯広、室蘭、各地の気象台のデータを用い、統計年は1953(昭和28)年～1983(昭和58)年である。

風速は2種類の値を求めた。(1)年最大値による場合—全年風速と以後記す—、(2)降雪期(12月～3月)の最大値による場合、—降雪期風速と以後記す—。図4・1にこれらの非超過確率分布を示した。

4・2 日降雪量

24時間に降る雪の量の期待値を求める。気象の専門用語としては「新積雪の深さ」という表現を用いているが、ここでは表題のように記した。測定法、日界などが変遷し、真に正確な量とは言いがたい面もあるが、札幌気象台の日原簿より収録した値を用いて非超過確率分布を求めると図4・2となる。

4・3 風速と降雪量及び積雪量の対比

全年風速と降雪期風速の関係及び日降雪量、積雪量の比較を表4・1に示した。これより、降雪期風速は全年風速の85～90%程度となることがわかる。

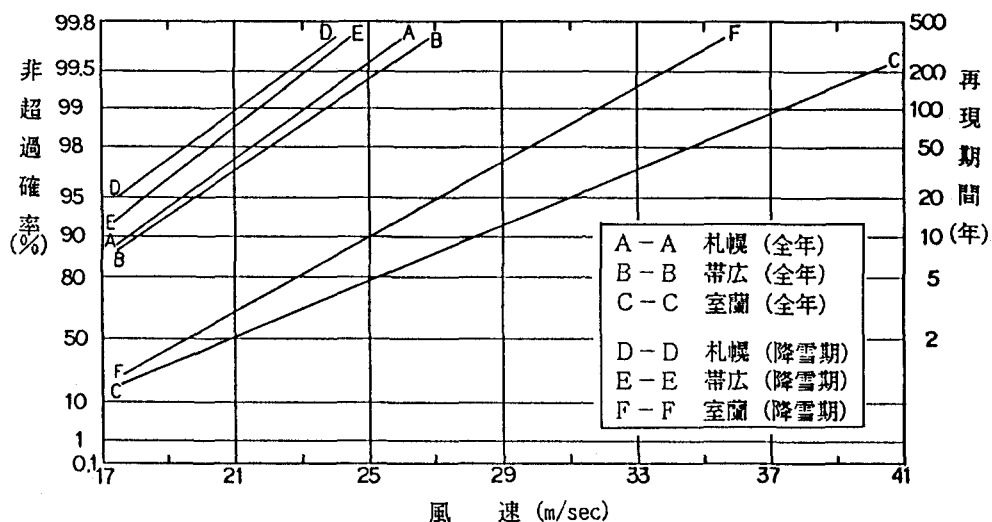


図4・1 年最大風速の非超過確率分布 (HAZENの超過確率による場合)

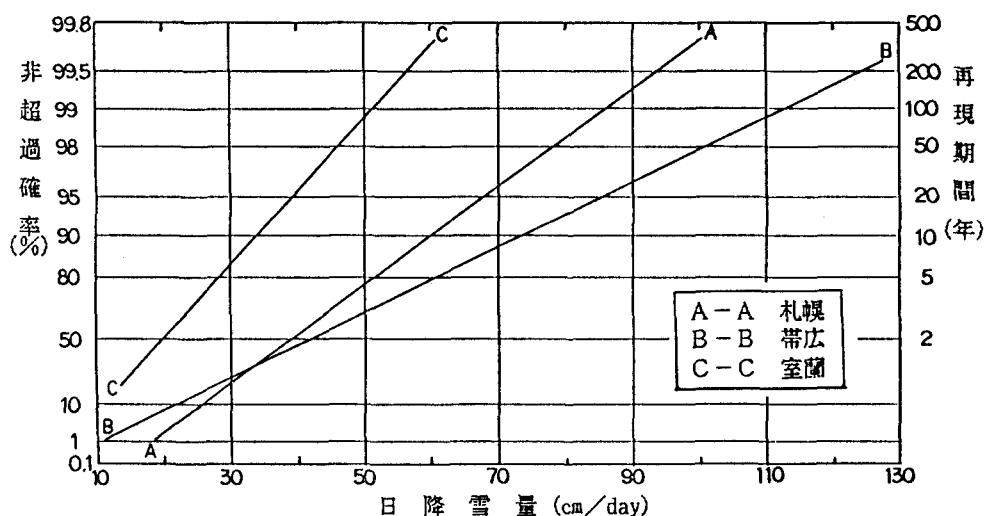


図4・2 年最大日降雪量の非超過確率分布 (HAZENの超過確率による場合)

表4・1 風速と降雪量、積雪量の比較

観測地点	再現期間	①全年風速 (m/s)	②降雪期風速 (m/s)	②/①	日降雪量 (cm/d)	積雪量 ¹⁾ (cm/y)
札幌気象台	20年	19.4	17.5	0.90	67.9	139.6
	50年	21.5	19.6	0.91	78.3	152.8
	100年	23.1	21.1	0.91	85.9	162.8
帯広地台	20年	19.8	18.3	0.92	85.3	119.3
	50年	22.0	20.3	0.92	100.3	137.5
	100年	23.7	21.7	0.92	112.5	150.7
室蘭地台	20年	31.0	27.1	0.87	39.2	57.3
	50年	34.6	29.8	0.86	46.1	67.3
	100年	37.3	31.8	0.85	51.3	74.9

5. 降雪量と風速の関係

5・1 降雪量と風速の記録

北海道内の前述3地点(札幌, 帯広, 室蘭)に対して次の2点について日原簿より調べた値をプロットする。

- 1) 年最大となる日降雪量とその日の日最大風速
- 2) 降雪期間(12月～3月)での最大風速とその日の日降雪量

これらを示すと図5・1, 2, 3となり, 大量の雪が降るときは風速はそれ程小さくなく, また風速が大きくなると降雪量は少なくなってくる傾向が解る。

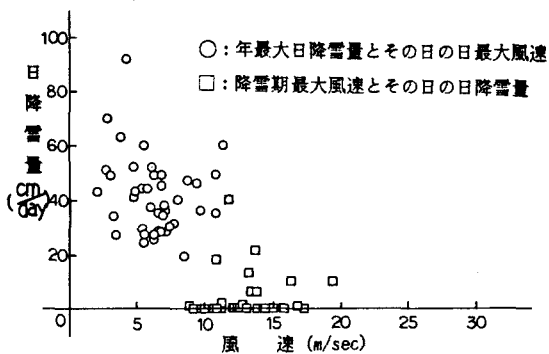


図5・1 降雪量と風速の関係(札幌)

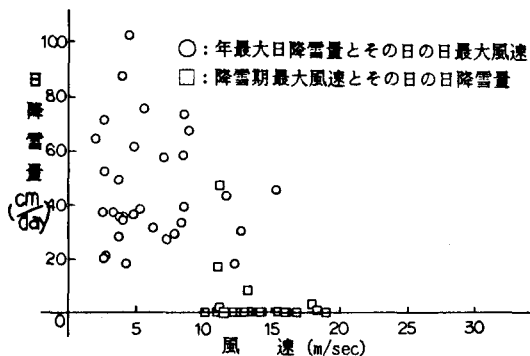


図5・2 降雪量と風速の関係(帯広)

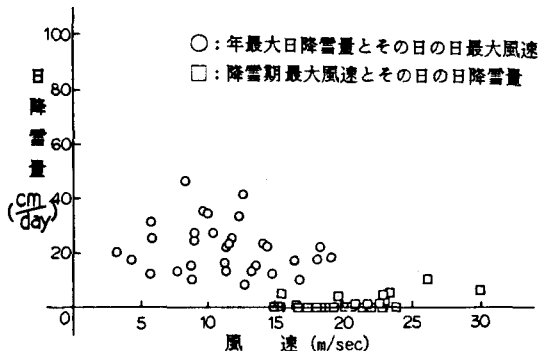


図5・3 降雪量と風速の関係(室蘭)

5・2 年最大日降雪量と風速の同時発生期待値

風と雪の関係がより厳しくなる状態はどのようなのか二元同時確率を用いて推定したのが図5・4, 5, 6である。降雪量と風速は互いに独立の自然現象であるので相関係数は非常に低いが最大値を推定する目的で作図を行った。これらは, 年最大日降雪量とその日の日最大風速の値を計算したものである。これらの図から各地の傾向を見ると, 図5・5の帯広では日降雪量が多いが風速は小さめであり, 図5・6の室蘭では日降雪量が少ないが風速が大きい。以上のように, これらの図は, その地域での風と雪に関する気象上の特性を良く表現すると思われるが, まだ, 計算及び理論上の検討を充分行う必要性を残している。

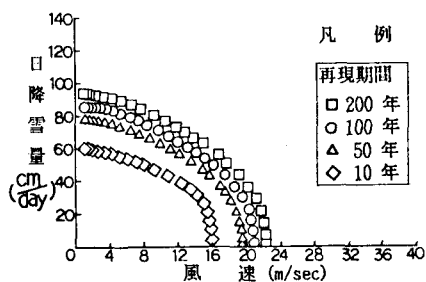


図5・4 年最大日降雪量と風速の二元同時生起確率(札幌)

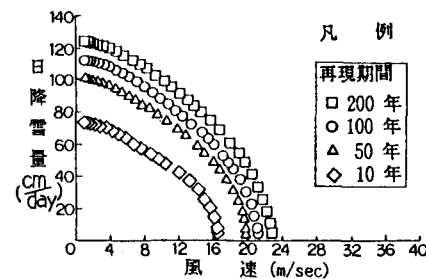


図5・5 年最大日降雪量と風速の二元同時生起確率(帯広)

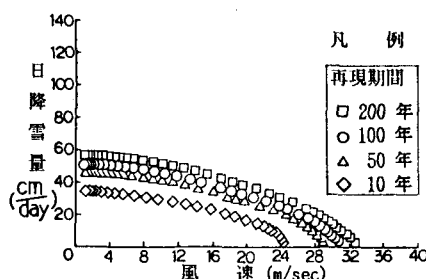


図5・6 年最大日降雪量と風速の二元同時生起確率(室蘭)

6. 積雪模型での風洞試験に関する疑問点

想像の域を出ない疑問であるが、今後調査されるべき点であると考えられるので以下に述べる。

- a) 積雪がある場合質量が増加すると同時に対数減衰率の増加が期待できないか。
- b) 路面積雪形状は橋軸方向にも一定でなく、三次元的な風の乱れによる効が期待されるのではないか。
- c) 降雪がある一定量（≒30cm）以上では交通不能となるので、振動の許容値として橋梁の破壊しない程度の振動までを許容すると考えてもよいのではないか。
- d) 路面に積雪があり、これが原因となって発散的な振動が起こって来る場合、ある程度まで振幅が大きくなると積雪形状は崩壊し飛散するのではないか。結局、発散的振動中に積雪モデルを取去った場合に原型模型が減衰を示すか否かを確かめれば問題は解決するのではないか。

7. おわりに

積雪寒冷地において耐風設計を必要とする橋梁構造物の風洞試験を行う場合、路面の積雪形状、高さ、そのときクリヤーすべき風速をどのように考えるべきかを問題として、部分的で基礎的な事項について行った調査について述べた。

筆者らは、積雪寒冷地に住む橋梁技術者としての責任を感じて、この問題にチャレンジしているが、問題の複雑さに、解決をはばまれている状態である。諸賢の有益な御示唆を戴ければ幸いである。

<参考文献>

- 1) 能町純雄；長大斜張橋における雪氷の耐風安定性に及ぼす影響について、昭和54年3月
- 2) 北海道開発局室蘭開発建設部；白鳥大橋上部構造に関する技術検討委員会報告書、昭和60年3月
- 3) 小野俊行；降雪とその予測、土木技術、1981.10
- 4) 塩谷正雄；強風の性質、開発社、1976. 6.15
- 5) 岡内功 他；耐風構造、丸善、1977. 5.20
- 6) 本州四国連絡橋公団；耐風設計基準（1976）
- 7) 辻 松雄；構造力学的耐風制振対策、日本風工学会誌、No.20、1984. 6
- 8) 伊藤 学；斜張橋の計画・設計に関する私論、橋梁、1981. 1
- 9) 若浜五郎 他；北海道における電線着雪気象と事故対策、第45回電力気象全国大会予稿集、1981. 6.10
- 10) 日本道路公団札幌建設局；北海道における設計積雪深に関する調査委託報告書、1980. 5.
- 11) 建設省河川局；多目的ダムの建設、全国建設研修センター、1980. 6.