

### 第三章 雪荷重及風荷重

#### 5. 雪 荷 重

鋼橋の時折の荷重に雪荷重及風荷重がある。これらの兩作用の大きさは第一に氣候に依つてゐる。Schaller<sup>1)</sup>によればドイツ國に於ける最大雪荷重は殆ど場所の地理的位置によらず絶對的海拔の高さに直線的に比例して増加する。Schaller はドイツを次に相當する三つの雪帯に分けた。

1 a 海拔 200 m 以下の範圍の低地帯	雪荷重 70 kg/m <sup>2</sup>
1 b 海拔 200 乃至 500 m の範圍の平地帯	” 120 ”
2 海拔 500 乃至 2000 m の範圍の高地帯	” 340 ”

こゝに與へられた雪荷重は平均値とみるべきである。

この3帯に分つ事は1帯から次帯に變る時に荷重も急に變化する不利益がある。それ故にこれも亦 Schaller によつて與へられた式

$$p_s = \left(1 + \frac{H}{500}\right) \cdot 70 \text{ kg/m}^2 \dots \dots \dots (1)$$

に基いて雪荷重を求める事が合理的であらう。こゝに  $p_s$  kg/m<sup>2</sup> は雪荷重、 $H$  は海拔高度を示す。

橋梁工學に於ては雪荷重を他の荷重の外に考慮する事は一般にしない。低地に於ける橋梁に對しては重い活荷重に比べて雪荷重は僅少なる故にこの雪荷重は無視して差支へない。然し山地の橋梁はそうはいかない。こゝに主として普通雪が片付けられない地方道路橋に於ては雪荷重は活荷重と同じ値に達する。

1908年2月1日のBayern州の規定では道路橋に對してこの事實を認め次の様に規定した。

死荷重は凡ての構造材を集めた構桁の重さから成つてゐる。構桁はそれを支へ、さらに車道に 100 kg/m<sup>2</sup>、歩道に 50 kg/m<sup>2</sup> の雪荷重をも支へる。

スエーデンでは同様に雪荷重の計算に於てそれに相應しただけ群衆荷重を増す様な方法を考慮する事に決定してゐる。(30頁をみよ)

鐵道橋に於ては深い降雪の際は列車の通過前に交通の見地から車道を掃除すると考へられるから雪荷重は顧慮に入れないでよい。

#### 6. 風 荷 重

數多の實驗にも拘らず平面や曲面上に於ける風壓の問題、風速及風の當る面の大きさ及形狀と風壓との關係、風壓とその面の傾斜角の關係などは尙未だ満足の出來る程明かでない。

1) Schaller, Ludwig; Die Belastung der Baukonstruktionen durch Schnee. Versuche und Studien über das spez. Gewicht von Schnee und über Schneelasten, Berlin 1909.

完全な彈性衝擊の時に衝擊物體が固定壁面に及ぼす壓力は衝突物體の運動エネルギーに比例する。それ故に壁面に對する空氣分子の衝擊を彈性衝擊と考へ、旋回運動により運動エネルギーの減する事を無視すれば、風壓は當る風の運動エネルギーに比例する。それ故に風に垂直な平面  $F$  上の壓力は式

$$W = \zeta F m \frac{v^2}{2}$$

によつて與へられる。こゝに  $W$  は 0<sup>0</sup>、で氣壓 760 mm に於ける空氣 1m<sup>3</sup> の質量、 $v$  は風速、 $\zeta$  は比例常数を示す。即ち

$$m = \frac{\gamma}{g} = \frac{1,293 \text{ kg/m}^3}{9,81 \text{ m/秒}^2} \text{ 及 } \zeta = 1.86 \text{ (Grashof による)}$$

とすれば

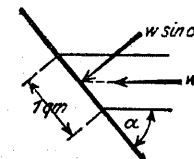
$$W = 0,1225 F v^2$$

となり、分數にて表せば次の如し、

$$W = \frac{1}{8} F v^2 \dots \dots \dots (2)$$

實驗によれば式(2)によつて與へられる關係はたゞ近似的で、實際は  $\zeta$  は面  $F$  の形、大きさ及其の彈性によるのである。然しながら與へられたる面には正確に風壓は風速の2乗に正比例してゐる。

Firth of Forth に架つた橋梁製作の際にその製作者 Baker は色々の大きさの橋を彈性的に支持し風壓を測定し得る實驗を行つた。<sup>1)</sup> 實驗配置としては 300/l<sup>2</sup> の大きな方形板の中央及縁に於ける部分的風壓を定める様にした。實驗は大小の板への風壓の大きさの不變的關係を、各々の觀測の際に確定は出来なかつたけれど、明かに小面への風壓は大きな面への風壓よりも常に大きい事が認められた。觀測は5年の年月に及んだ。實驗では或る定まつた法則は現れなかつたが大きな面への風壓は不等である事が證明された。近年比較的大きな面に對してはよく決定された式  $W = 0,1 F v^2$  にて計算される。



第 57 圖

風壓と風の方向に對する風のあたる面の傾斜角間の關係(第 57 圖)は

v. Loessl によつて與へられた實驗式<sup>2)</sup>

$$w_a = w \sin \alpha$$

で表はされる。然し簡単な理論的熟慮によつて以前から又尙今でも多く用ふる式

$$w_a = w \sin^2 \alpha,$$

が與へられてゐる。然し乍らどうしても實驗と一致しない。橋梁工に於てはこゝに風力  $w$  は水平に働くものとする。

こゝに吾々に興味ある重要な問題は風壓の最大値に關する問題である。Kohlfahl は上にのべ

1) Kohlfahl, R.; Winddruck. Z. d. V. d. I. 1900, S. 1021.  
2) v. Loessl; Studie über aerodynamische Grundformeln. Z. österr. Ing.-u. Arch.-Ver. 1881, S. 103.

た彼の論文に於て Hamburg 及 Wüstrow に於けるドイツの海洋氣象臺の風速測定結果に就て詳細に報告した。

Kohlfahl の爲した観測は 1878 年から 1898 年に亘る 20 年の年月に及んだ。そして彼は次の結果に達した、即ち Hamburg 及 Wüstrow に於ては 25 m/秒の 風速は屢々現れ、35 m/秒の風は極く稀な場合現れると考へ得る。式 (2) によつてそれに相當する風壓は 75 kg/m<sup>2</sup> 及 150 kg/m<sup>2</sup> となる (Kohlfahl は常數 1/3 を用ひた)。最初の數字は普通の様であるが最後は最大風壓と認められる。然しそこで通常構造物の風下に空氣の稀薄が認められる場合、風壓  $w$  と同方向の吸收作用が起れば、構造物に對する全風壓作用は  $w+w_1$  で計算される。Kohlfahl は吸收作用の大きさを風上の風壓の 1/3 と見積つたが、その假定は全くよく A. Smith 教授 Ind.<sup>1)</sup> の實驗結果と一致し、それに相當した風壓は

普通 100 kg/m<sup>2</sup>,

最大 200 "

である。こゝに尙認めなければならぬのは、この著しい風壓はたゞ南西から吹く風にのみ現れ、又特に不利な常數 1/3 を以てその風速から計算された事である。

非常に高い構造物に對しては Kohlfahl によつて確立された風壓係數は不充分だと考へられる。何故なれば、地上約 300 m の高さの Eiffel 塔の尖頂での観測では、パリに於ける中央氣象臺の高さ 21 m の塔で測定されたより 2 乃至 5 倍の風壓がある事が解つたからである。併し非常に高さは橋梁工に於ては極く稀な例外を除いては殆んど起らないから、北ドイツ海岸地方の観測により、即ち可成り不利な状態から導かれた Kohlfahl の風壓數は、橋梁工に用ひられる風壓數に對する適當な比較基礎として用ひられ得る<sup>2)</sup>。さてこの數字を橋梁に普通な風壓 150 kg/m<sup>2</sup> 又は 250 kg/m<sup>2</sup> と比較すれば、この規定は尙充分な安全率の餘裕のある事を知る。かゝる餘裕が必ずしも不當でない事は、各々の場合に特に風に曝される場所に尙強い風壓があると云ふ事情から明らかである。そこで Schottland の Dundee に於ける Tay 橋が非常な暴風の猛威のために墜落した夜に、Glasgow では 204 kg/m<sup>2</sup> と測定され、不幸な場所では暴風壓は一時 340 kg/m<sup>2</sup> に及んだと観測される。

それにも拘らず、内地の橋梁に對して、これによつて得る材料節約は大したものではないが、普通の風壓度を全く著しく輕減せんとする事が提案された。スイス及スエーデンの様な新しい橋梁規定は昔の規定よりも著しく少ない風壓に止まつてゐる。載荷橋梁に問題となる普通の強さの風に相當する小風壓と、不載荷橋梁がどうしても抵抗せねばならぬ特殊の風壓と、この 2

1) Müllenhoff: Versuche über Winddruck. Eisenbau 1916, S. 109.  
2) ドイツ内地に於ける風壓測定に就て Dr.-Ing. H. Saller は Winddruck bei Brücken, Zentralbl. Bauv 1915, S. 6. に次の報告をしてゐる: München の中央氣象臺測定最大風速は約 30 m/秒 (90 kg/m<sup>2</sup>). Nürnberg 測候所では 1905 年以來 18 m/秒 (32 kg/m<sup>2</sup>) 以上の風速は観測されなかつた。Wien に於ける最大測定風速は 30 m/秒 (130 kg/m<sup>2</sup>)。ベルリンにては 31 m/秒 (96 kg/m<sup>2</sup>) の最大風速が記録されてゐる。S. Saller は係數 0,08 により計算したから彼の論文にはより小さい風壓が報告されてゐる。然し此處には今一般に用ひられる係數 0,1 を用ひて換算を行つた。

風壓數を考へるのが橋梁工に於て普通である。載荷橋梁への風壓の最大値は、この風壓が普通の交通車輛が倒れるよりも大きくはない事を顧慮すれば求められる。プロシヤ州有鐵道の輕裝荷重の貨車は 145 kg/m<sup>2</sup> の風壓迄安定に荷重され、最重 4 軸客車は 190 kg/m<sup>2</sup> の風壓に抵抗した。之を以て見ればは約 150 kg/m<sup>2</sup> の風壓の際に列車の安全な交通は最早不可能で、夫れ故この數は載荷橋梁に對して許される最大風荷重である。

此處に更に精しく論じ様と思ふ次の問題は風壓に對して考へるべき構桁及活荷重の面積の大きさの問題である。出来る限り不利益に計算するため、風の方向は 橋梁の長さの方向に垂直に働くものとする。風は構桁及活荷重の側面へ残らず當るものである。大きな面への風壓の分布法則は解らないから等分布してゐるものと簡單に假定する外はない。

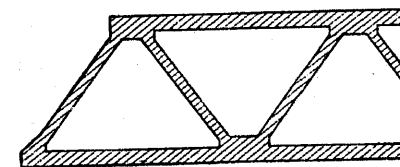
同じ形狀の次々の主桁は完全に第一の桁の風下にあるから、鈹桁主桁にあつては風上の主桁の面のみが問題となるのは明らかである。然し乍ら結構主桁に於てはそうではない。第一の主構の結構空間がその全輪廓面に比較して大きい程、その後の構面の部分はより容易に風を受ける。此の際構の距離が關係する事は確かであるが、風にあたる面を決定する際、構距離の作用を計算に入れんとする理論的又は實驗的の考へは皆失敗した。

$F$  : 主桁の全面積,

$F'$  : 結構内の空間 (第 58 圖に斜線を引いてない部分),

$$\mu = \frac{F'}{F}$$

とすれば第 1 の主桁の風に當る面は  $(F-F')$  であり、第一次的近似値に於て第 2 の主桁には  $a(F-F')$ 、こゝに  $a$  は  $\mu$  の函數を示し、1 より小で  $\mu$  に従つて増加する事の外は述べられない。



第 58 圖

$\mu=0$  (鈹桁) に對しては  $a=0$ 、 $\mu=1$  (極く細長い結構部材) では  $a=1$  である。上に述べた兩極限値を顧慮して  $a$  があらゆる場合充分であるために

$$a = \mu^\beta$$

と置く、こゝに  $\beta$  は實驗にて定むべき係數であると

すると、第 2 の桁の風に當る面は

$$\mu^\beta (F-F') = \left(\frac{F'}{F}\right)^\beta (F-F') \dots \dots \dots (3)$$

之よりも多くの主桁が次々とある場合は第 3 の主桁に對して同じ輕減法則が前同様成り立つとすれば、風の當る面は

$$\mu^{2\beta} (F-F')$$

$n$  番目の主桁には一般に

$$\mu^{n-1)\beta} (F-F') \dots \dots \dots (4)$$

残念な事に  $\beta$  の本當の値に就ては何も知られてゐない。實際は全く暗中摸索の態である。何故なればこの問題に於て種々の風壓力の際種々なる孔のあけられた面の比較研究を實行する事

は餘り困難ではないにも拘らず、 $\beta$  を求める價值ある實驗結果が存在しないからである。それ故例へば Baden 國及スイスの規定では  $\beta=1$  と採つてある。又例へばオーストリア國規定の數字を近似的に適合した解析法則にまとめれば

$$a=1.75 \mu^{0.5},$$

となり、この式は前の式と一致し  $\mu=0.8$  の時  $a=1$  となる。

主桁面積の他に又床の凡ての側表面も主桁壁に蔽はれてゐない限りは、風壓のかゝる面として計算すべきは勿論である。

橋梁の活荷重への風壓に伴ふ作用の計算の際に之を高さ 2 乃至 3.5 m の帯として考へ、問題の構造部分に對してその都度最悪の排列をなすべきである。風荷重は等分布荷重とみられる。車道が主桁間にある時には風壓面は構桁と活荷重とに分れる。そして構桁への風の他に尙構桁に蔽はれない活荷重の面への風を考へねばならぬ。従つて相當して減らされた荷重の風壓面を以て計算をする。

以上述べた詳論の結末として、風壓に就ての橋梁の計算に關する重要な諸規定を次に報告する事とする。

#### a) 1922 年 5 月 12 日ドイツ國有鐵道規定

風壓は水平とする。載荷橋梁には風壓  $150 \text{ kg/m}^2$ 、無載荷橋梁には  $250 \text{ kg/m}^2$  を計算に採る。

風に當る橋梁面は部材の實際寸法によつて見積り決定すべきである。風の全部當る面としては

##### 1. 無載荷橋梁

- α) 鈹桁上部構造の際は前面の主桁及それから突き出てゐる車道。
- β) 結構桁上部構造の際は前面の主桁及その後にある主桁の側面及車道側面。

##### 2. 載荷橋梁

- α) 鈹桁上部構造の際は前面の主桁及それから出てゐる車道及交通物。
- β) 結構主桁のある上路橋の際は前面、その後にある主桁の側面、車道側面及交通物側面。
- γ) 結構主桁のある下路橋の際は  $1 \cdot \beta$  の面の  $\frac{3}{4}$  及交通物。

交通帯は軌條面上 3.5 m の高さにあるつながつた面とする。上路鈹桁は風壓に關しては結構桁と同じに取扱ふ。車道桁又は鈹桁が横構の弦材となる時は通常風壓による應力は證明しなくてよい。

風壓に依る主桁の垂直の追加荷重は一般に上路橋の場合及下弦面に横構の備へのある場合にのみ注意を必要とする。

車輛に當る風力をとる綫構の腹材に於ける最大部材應力の決定には、車輛は勿論最も危険な排列におく、横構部材の車輛への風壓によつて起された例へば普通の車道横構の弦に於ける如くそれに垂直な荷重により應力を受ける。應力の計算の際はこの兩場合に於て車輛の位置は同一である事に注意せねばならぬ。

#### b) 1908 年 2 月 1 日の Bayern 州有鐵道規定

鐵道橋 風壓は無載荷上部構造の垂直面平方米當り  $300 \text{ kg}$ 、載荷上部構造は同じく  $150 \text{ kg}$  をとる。列車

の有効側面としては軌條上の高さ 3.5 m の前進しつゝある完全な矩形を計算に用ふ。結構橋に於ては車輛及上部構造の面と重ならない範圍に於て兩桁の面を計算の基礎とする。車軸にかゝる風壓は集中荷重として働き最大値  $2t$  として考慮する。

道路橋 風壓の計算には風の強さとして鐵道橋と同じ假定をなすが、車輛を表はす前進しつゝある矩形の高さは 2.5 m とす。歩道には活荷重と同時に作用する際の風壓は單に  $75 \text{ kg/m}^2$  を採る、且高さ 1.8 m の群衆を計算に考へる。

#### c) 1903 年 6 月 24 日の Baden 道路橋規定

風壓は無載荷上部構造の有効側面平方米當り  $250 \text{ kg}$ 、載荷上部構造には  $150 \text{ kg}$  を採る。

上部構造の有効側面の大き  $F$  は次式にて計算される。

$$F=(F'_0 - F'_m) + (F'_0 - F'_m) \frac{F'_m}{F'_0} + (F''_0 - F''_m) \frac{F'_m}{F'_0} \frac{F''_m}{F''_0} + \dots,$$

こゝに

$F'_0, F'_m, F''_0, \dots$  は全輪廓面

$F'_m, F''_m, F'''_m, \dots$  順次にならぶ桁の結構空間

活荷重の有効側面としては車道上高さ 2 m、市街電車の場合は高さ 2.7 m の前進しつゝある矩形を計算に用ふ。

#### d) 1904 年 8 月 28 日のオーストリアの規定

風の作用は無載荷橋梁に  $270 \text{ kg/m}^2$ 、載荷橋梁に  $170 \text{ kg/m}^2$  の水平側壓の假定の下に求め、兩影響の内悪い影響を計算に使用する。

風に曝された面の測定は次の規定に従はねばならない。

a) 無載荷橋梁にては構桁及車道の風に當る面及次の横構の面の一部を計算にとる。その一部と云ふのは最初の構桁の空間面と全輪廓面の比が 0.4, 0.6, 0.8 であれば、次の面を 0.2, 0.4, 1.0 と定めるべきである。その間の値は直線補間法を用ひて定める。

b) 載荷橋梁にては、前節 a) の規定によつて生じた構桁の面のうちで、只だ活荷重に蔽はれない部分を考慮し、風に曝された活荷重の面としては、鐵道橋にありては軌條上 0.5 m に前進しつゝある完全な矩形を假定する。その矩形は廣軌では 3.0 m、狹軌では 2.0 m の高さがあるとする。道路橋及一方歩道に對しては前進しつゝある高さ 2.0 m の矩形が床上直接あるものとみる。

#### e) 1913 年 6 月 7 日のスイス聯邦會議の規定

風壓は載荷橋梁には  $100 \text{ kg/m}^2$ 、無載荷橋梁には  $150 \text{ kg/m}^2$  を假定する。有効側面の大ききは上路橋の場合 c) (Baden の規定) に於けると同様の式に従つて求める。

中路橋及下路橋の際は列車に蔽はれない部分面を輪廓面と結構空間とから控除せねばならぬ。

列車の有効側面としては、軌條頂上から 2.0 m の距離に重心のある高さ 3.0 m の前進しつゝある矩形を假定する。

f) スエーデン標準規定

一般に橋梁及活荷重に風の働く面に 125 kg/m<sup>2</sup> の風壓を假定する。水平面上 35 m 以上にある橋梁部分には 135 kg/m<sup>2</sup> の風壓を以て計算する。活荷重は鐵道橋の際、閉られた軌條頂上 3 m の高さに前進する矩形とみる。道路橋の際には 2 m の高さの交通帯をとる。

風上にある桁鈹はその全面が風に曝されてゐると考察する。その後にある桁は  $a/A$  の比に減ぜられた風壓を受ける、こゝに  $A$  は最初の桁の全輪廓面、 $a$  はその空間面を表はす。

第四章 其他の荷重

7. 遠心荷重

車輛が運動する時生ずる遠心荷重は只線路の曲つた鐵道橋で、重要な役目をしてゐる。荷重を  $G$ 、圓の半径を  $R$  m、速度を  $v$  m/秒とすれば、圓の中心を通る遠心力  $F$

$$F = \frac{G v^2}{g R} \dots \dots \dots (1)$$

が働く。  $g=9.81$  m/秒<sup>2</sup> は重力の加速度を示す。  $F$  は荷重の重心に作用する水平力で線路曲率に正比例し、列車速度の二乗に比例して増加する。遠心荷重は全く重大な値に達し得、そしてかゝる場合にはその作用は決して無視出来ない。上式に於て

$$\frac{v^2}{gR} = c,$$

とすれば

$$F = c G.$$

と簡単な形になる。次の第3表は種々の曲率半径  $R$  m と列車速度  $v$  km/時 に對して不定數を示す係數  $c$  を一所に集めた。

第3表 遠心係數  $c$

半径 $R$ (m)	速度 km/時																
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
2000	0,0063	0,0080	0,0098	0,0119	0,0142	0,0166	0,0193	0,0221	0,0252	0,0284	0,0319	0,0365	0,0393	0,0433	0,0476	0,0520	0,0567
1500	0,0080	0,0106	0,0131	0,0159	0,0189	0,0222	0,0257	0,0295	0,0336	0,0379	0,0425	0,0473	0,0524	0,0577	0,0634	0,0694	0,0756
1200	0,0105	0,0133	0,0164	0,0200	0,0236	0,0277	0,0322	0,0369	0,0420	0,0474	0,0532	0,0592	0,0656	0,0723	0,0794	0,0868	
1000	0,0126	0,0160	0,0197	0,0238	0,0284	0,0333	0,0386	0,0443	0,0504	0,0570	0,0638	0,0711	0,0787	0,0868			
900	0,0140	0,0177	0,0219	0,0265	0,0315	0,0370	0,0429	0,0492	0,0560	0,0632	0,0709	0,0790	0,0875				
800	0,0158	0,0200	0,0246	0,0298	0,0354	0,0416	0,0482	0,0554	0,0630	0,0711	0,0797	0,0888					
700	0,0180	0,0228	0,0281	0,0340	0,0405	0,0475	0,0551	0,0633	0,0720	0,0813	0,0911						
600	0,0210	0,0266	0,0328	0,0397	0,0472	0,0554	0,0643	0,0738	0,0840	0,0948							
500	0,0252	0,0320	0,0394	0,0476	0,0567	0,0665	0,0772	0,0886	0,1008								
400	0,0315	0,0400	0,0492	0,0600	0,0709	0,0832	0,0965	0,1107									
300	0,0420	0,0532	0,0656	0,0794	0,0945	0,1109											
250	0,0504	0,0633	0,0787	0,0953	0,1134												
200	0,0630	0,0797	0,0984														
180	0,0700	0,0886															
$v$ m/秒	11,1	12,5	13,9	15,3	16,7	18,1	19,4	20,8	22,2	23,6	25,0	26,4	27,8	29,2	30,5	31,9	33,3

靜力學計算には通常最高許容速度に相當する  $c$  の大字を用ひねばならぬ