

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/m² 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/m² 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。

風上にある桁板はその全面が風に曝されてみると考察する。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² 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	0,0638	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

遠心力 F は G に比例するから、その水平作用即ち彎曲率、剪力等は活荷重の垂直作用に乘數 c を單に乘ずる事に依つて得られる。

遠心荷重に關して各國の橋梁規定は次の如し。

a) ドイツ國有鐵道規定

線路の曲つた橋梁では無視出来る程小でない限り、遠心力の影響を考慮すべきである。遠心力は軌條頂上 2 m の高さにある車輛の重心に働くものとする。

問題の水平綫構及他の主桁の計算は一般に、1904 年 11 月 4 日の鐵道構造及運輸規定に従つて、異つた半徑に對して相當する最大許容速度即ち第 3 表の大字に基くべきである。内側の主桁は一般に靜止狀態と最大許容速度との間に求めた速度に對して計算せねばならぬ。

靜止狀態は衝擊作用なき爲めこれを考慮しないで良い。

b) オーストリアの規定

線路の曲つた橋梁には外側の軌條を高める事、線路の位置、及遠心力の影響を考慮せねばならぬ。遠心力の作用點は廣軌では 1,5 m、狹軌では 0,8 m 軌條頂よりの高さにとる。

遠心力の計算は次の速度を基礎とする。

a) 荷重規格 I による廣軌鐵道に對して

半徑	200 m	以下	...	15 m/秒
〃	350	〃	...	20 〃
〃	500	〃	...	25 〃
〃	700	〃	以上	30 〃

停車場に於ける及線路勾配 20 ‰ 以上の橋梁では 20 m/秒 より大きくない速度が假定される。

b) 荷重規格 II による廣軌鐵道に對して

半徑	100 m	...	10 m/秒	
〃	200	〃	15 〃	
〃	300	〃	以上	18 〃

c) 荷重規格 III による 760 mm 軌間をもつ鐵道に對して

半徑	50 m	...	7 m/秒
〃	100 m	以上	10 〃

中間値は直線補間法による。

各々の機關車々軸の重量を高める事はこの際行はなくて良い。

c) スイスの規定

曲つた線路の鐵道橋の際凡ての部分の計算は、遠心力を次の列車速度の假定の下に考慮せねばならぬ。

幹線の際	...	25 m/秒
標準軌間の側線の際	...	15 〃

狭軌鐵道の際 12,5 m/秒

こゝに車輛の重心の軌條頂上よりの高さは標準軌間鐵道では 1,80 m, 狭軌鐵道では 1,40 m と假定する. 若し個々の部分が靜止せる活荷重によつて最惡の應力が起つたならば, かゝる部分の計算に對しては 2(15-L)% の追加を省略して良い.

8. 制 動 荷 重

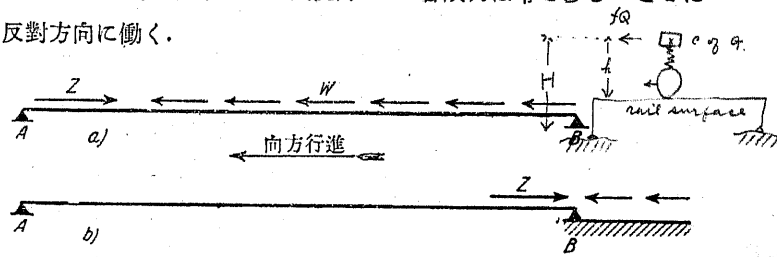
列車を軌條上を一定速度で進行せしむる機關車の牽引力 Z は列車の凡ての進行抵抗の總和に等しい. Z は機關車の働輪と軌條の間に働く摩擦程は大きくならない軌條の高さに於て働く橋梁の縦方向の力とみる事が出来る. Q を働輪軸壓の總和, f を軌條と車輪間の摩擦係數とすれば

$$Z \leq Qf.$$

f は平均 $1/6$, 最大値を $1/5$ とおく事が出来る. 各 20 t 荷重の 6 働輪軸の際には $Z=6 \cdot 20 \cdot 0,20=24$ t の最大値を各機關車に對して與へる.

橋梁上に全列車が乗つてゐるとすると, 牽引力 Z と抵抗力 W の合成力は零である. こゝに Z は構桁上に進行の方向と反對方向に働く.

抵抗力 W は第 59 圖 a) の進行方向に向つてゐる. 附隨車が尙構桁の外にあつて, 機關車だけが橋梁の上にあれば, その構桁には可成り惡い應力



第 59 圖

が起つてゐる事は容易に知られる. この場合には全牽引力 Z は構桁に働き, 構桁は支承 B に向つて壓迫される. (進行抵抗) (第 59 圖 b).

それ故橋梁上に轉動する列車は軌條の高さに於て水平の縦方向に働く力を傳達すると一般に言ひ得る. そしてこの力の一部は機關車の働輪軸に集中し, 進行方向と反對方向で, 全列車の抵抗に等しく, 最大で摩擦係數 f に等しく, 又一部は進行方向と同方向で, 橋梁上に存在する車輛の進行抵抗が與へる大きさをもつてゐる. 進行抵抗は列車の全長に等分布される. そしてその抵抗は軌條と車輛間の轉動摩擦, 車輪の軸頸の摩擦, 特に曲線部に於てであるが, 軌條頭の摩滅, 傾斜せる橋梁に於て列車重量の列車面への分力, 運動する車輛の空氣抵抗及軌道の不規則な事から起る其の他の抵抗から成つてゐる.

これ迄は橋梁を均一な速度で走る列車のみを觀察して來た. 然し橋梁上を急行する列車が制動されるならば構桁への作用は大變惡いものである. 走行列車の運動エネルギーは先づ制動機をかけた時摩擦作用で制動機の中へ消され, 尙残つてゐるものは制動された車輪の廻轉が止つた時, 軌條及車輪間の滑動摩擦によつて費される. 構造物に著るしい力を與へるこの滑動摩擦

は構造物及橋臺によつてとらねばならぬ. L をタンダー機關車の重量, G を車輛の重量, n_1 及 n_2 を夫々機關車及車輛の數, f を摩擦係數とすれば, 進行方向に働く制動荷重は車輛軸の約 $1/3$ が制動されると假定すれば,

$$B = f \left(n_1 L + \frac{n_2}{3} G \right) \dots \dots \dots (2)$$

例へばドイツ國有鐵道規定即ち上述の荷重列車 E を基礎とすれば, 支間 75 m の橋梁に對する最大荷重は機關車 2 臺と貨車 5 臺となる. それ故 $L=120$ t, $G=80$ t である.

$f = \frac{1}{7}$ とすれば

$$B = \frac{1}{7} \left(2 \cdot 120 + \frac{5}{3} \cdot 80 \right) = 53,3 \text{ t.}$$

制動荷重に關しては各鐵道管理者は次の様に規定してゐる.

a) ドイツ國有鐵道規定

進行方向に軌條頂上に於て働く制動荷重は上部構造に乗るすべての機關車々軸及タンダー車軸及上部構造に乗つたすべての車輛車軸の半分の重量の $1/7$ と假定する.

進行方向と反對に軌條頂上の高さに於て働く進行抵抗は, 上部構造に乗るすべての機關車々軸の重量の $1/7$ を計算にとる.

b) オーストリアの規定

10‰ 以上の傾斜をもつ線路中の橋梁並に停車場, 停留場又は接續せる制動線路にある橋梁に於ては制動荷重の作用は列車重量の 0,10 を計算におく.

c) スエーデンの規定

鐵道橋は軌條頂上の高さにて橋梁の縦方向に作用する制動荷重は橋梁に存在する列車重量の 10% に等しいとして計算すべきである.

d) スイスの規定

制動荷重は橋梁のみならず又橋脚, 橋臺にも計算を行ふ. 摩擦のある軌道に對して制動荷重は橋梁上に存在する凡ての軸荷重の $1/7$ をとる.

橋脚及橋臺の計算の際には可動支承の摩擦の影響をその荷重の 3% を以て考慮する.

橋脚の計算に於ては制動荷重及摩擦抵抗の影響は, 温度變化又は風壓の兩影響のうち大なる方へ附加するのである.

9. 機關車の側壓力

軌道の維持が最も宜しきを得ても完全には除かれぬ軌道の僅かの不規則は急行機關車の横揺れを起し, その横揺れに依つて軌條に側壓を生じ, そして側壓は必然的に鋼上部構造に齎らされる. 理論的方法にては主として求められない, この力の實際の大きさに就ては, 残念な事

に夫々信するに足る調査を缺いてゐる。こゝには全く概算に就て示さう。

a) ドイツ國有鐵道規定

車道の横構及横振構の計算の際は機關車によつて軌條に生ずる側衝擊を各軌道に對して水平にして軌道軸に直角に働く最惡の排列をとる最大機關車々軸荷重の 1/5 の力として考慮すべきである。これらの構の弦が車道桁又は主桁から成つてゐるとすれば、其等への側衝擊の作用は通常無視する。曲つてゐる橋梁の際は側衝擊及遠心力を同時に考慮しないで、只大きい應力を與へる力の作用のみを計算におく。

b) オーストリアの規定

直線又は曲線軌道の橋梁へ車軸の横振れ、又は側壓によつて起る水平力の影響は一つの軌道に對して荷重規格に於ける列車の機關車々軸の垂直作用の 0.05 倍を以て考慮する。この水平力の作用點は軌條の高さにあるとし、その計算の際に各機關車々軸の重量を高める事は不必要である。

c) スエーデンの規定

進行機關車の及ぼす側壓力は列車速度 100 km/時 の場合橋梁に直角に軌條の高さで働いてゐる。最大機關車軸壓の 30% をとる。これより小さい列車速度の際はこの側壓力は列車速度に比例して減ずる。

10. 温度變化の影響

可動支承點の變位が妨げられない様に支承が作られてゐる限りは靜定主桁系はどの様な温度變化に對しても影響がない。支承の適當な作成によつて摩擦抵抗を最小限度にする事が出来るから通常温度變化に依つて靜定系における應力を考慮する事は不必要である。

拱橋、吊橋等の様な不靜定主桁系のある種類にあつては、均等に熱せられた場合にも凡ての部材に全く著しい値に達し、それ故かゝる桁系では考慮されねばならない熱應力を生ずる。此の場合架設時温度に等しい時は(普通年平均温度即ち約 10°C をとる)不載荷桁系は應力がないと云ふ假定から出發する。この架設時温度に對し空氣温度が變化する時は、架設時温度に對して

± だけ加熱又は冷却が起るに従つて熱應力 $\pm \sigma_t$ が生ずる。 $\pm 35^\circ\text{C}$ の温度變化が行はれる時は、此の熱應力は $\pm 30\text{MPa}$ となる。

温度變化の限界として次の様に規定してゐる。

- ドイツ國有鐵道 -25°C 及 $+45^\circ\text{C}$;
- Bayern -20°C // $+40^\circ\text{C}$;
- Baden 平均地方温度に對して $\pm 35^\circ\text{C}$;
- Württemberg -20°C 及 $+45^\circ\text{C}$;
- オーストリア -25°C // $+45^\circ\text{C}$;
- ス イ ス 平均地方温度に對して $\pm 30^\circ\text{C}$;
- スエーデン -40°C 及 $+40^\circ\text{C}$.

40°C の温度上限を確定する事によつて直接の太陽光線による鋼の強い加熱を計算する。

全不靜定系はその部材の不均等な加熱の際に事情に依つては全く著しい値に達し得る内部應力を生ずる、他の凡ての部材が直接に太陽光線をうけてゐるのに、一の部材例へば或る弦材が車道の蔭にあるために不均等な加熱が橋梁に於て起り得る。その温度差違は 15°C 迄昇り得る。1886 年及 1887 年 Lyon に於て、二つの鋼拱橋の築造の際温度差違が測定され、これが 140°C 迄昇りうる事を確定した。大抵の橋梁の規定には不均等の加熱を考慮する事に關した箇條を含まない。

ドイツ國有鐵道の新规定では各部分の不均等な加熱の温度差違を 15°C とす。

第五章 活荷重の動力學的作用

11. 序 論

橋梁上に及ぼす移動荷重の作用は根本に於て動力學的作用とみられる、何となれば平衡状態の變化が一時的の速度に伴ふからである。橋梁工の彈性問題を簡單ならしめる多くの概念によつてのみ靜力學の意義に於て現はれる材料強弱の問題の取扱ひが可能である。それにも拘らず往々或る方法で動力學の現象を考慮する様強ひられてゐる。何となれば大抵計算に適する靜力學的應力を増す事によつてそれを果してゐるからである。この事實は靜止せる活荷重の假定のもとに計算した應力値に乗ずる増加係數、所謂衝擊係數を導き、又はこの基礎觀念に廣く従ふ事により、適當の方法で許容應力を減じ、又は安全度を相當に高める様な方法で橋梁工の實際に考慮されてゐる。それ故にもし橋梁工に於て普通の衝擊係數を批判的に吟味せんとすれば、實際に現はれる變形及材料應力の大きさに就き要點をうる爲めに鋼構桁に於ける動力學的經過に就て明らかにする事が先づ第一に必要である。この意味に於て、この章の詳論は安全度及許容應力に就て論じてゐる次々の章の説明への過程をなしてゐる。然し尙他の基礎から鋼橋の振動問題の詳細な議論が必要である。例へば行軍中の軍隊の同一歩調によつて危険な振動がおこる事實は、事情によつては周期的に作用する荷重によつて著しい共振現象がおこり得、その研究には鋼橋の固有振動數を知る必要のある事を認識せしめる。もし固有振動の周期が判つてゐれば、その橋梁に對して問題の律動的に作用する荷重によつて危険な共振を起す事が出来るかどうかを確定する事は容易な事である。萬一の場合には質量分布の修正、又は構桁の剛度の改正によつて改良に務め、最後には問題の活荷重の危険な速度を避けしめる。

橋梁への移動荷重の動力學的作用は全く違つた性質のものであり種々の原因から起る、即ち

1. 荷重は橋梁上を無限に緩やかではなく、屢々かなりの速度で走る。これによつて生じた荷重及構桁の運動エネルギーは振動を起し、それによつて部分的に撓度及應力の増加を起す。
2. 活荷重の作用によつて線路が一部下向きに曲るから、荷重と同方向に作用する遠心力が起り、その遠心力は列車速度の増加と共に急激に増加し、小支間の桁に於ては著しく大きい値に増加する。