

## 第三編 牽 引

### 第九章 機關車の牽引力

#### 30 牽引力と粘着力

機關車の機關によつて起され、種々の機構を経て働輪に傳達せられ、之を廻轉せしめんとする力を機關車の牽引力といふ。働輪を廻轉せしめようとする力が働輪と軌條との間の摩擦によつて反抗せらるれば、働輪は摩擦に等しい力を以て軌條を後に押さうとし、その反動として同じ力で働輪が前進せしめられるのである。但し之は牽引力が働輪と軌條との間の摩擦よりも小なる場合であつて、若し牽引力が摩擦より大となれば働輪は軌條の上に空轉して最早前進することは出来ない。

働輪と軌條との間の摩擦力は又之を粘着力ともいひ、摩擦係数は之を粘着係数ともいふ。而して働輪上の重量を粘着重量と呼ぶ。今粘着重量を $G$ とし粘着係数を $\mu$ とすれば、粘着力は $\mu G$ である。而して牽引力を $T$ とすれば働輪が空轉しないためには常に

$$T \leq \mu G \dots \dots \dots (5)$$

でなければならぬ。即ち如何なる機關車の牽引力も粘着力 $\mu G$ 以上には大となり得ない。

故に機關車の牽引力 $T$ を増すには $G$ 及び $\mu$ を大としなければならぬ。大なる牽引力を必要とする貨物機關車が、一般にD型又はE型で、働輪の数が多く且つ重量が大であるのは之がためである。又急勾配等にて砂を撒くのは粘着係数 $\mu$ を大ならしめて牽引力の不足を補はんがためである。

粘着係数 $\mu$ は軌條と働輪との濕潤状態(水氣及び油氣)、温度、線路の状態、機關車の種類、速度等によつて異なるものである。普通の状態に於ては0.15~0.25であるが、砂を撒けば約0.33となり、又雨天には約0.10に下る。

#### 31 蒸汽機關車の牽引力

蒸汽機關車の牽引力は汽筒内の蒸汽の壓力によつて定まるものであつて、之を汽筒牽引力ともいふ。今

$p$  = 汽筒内の平均有効壓力

$d$  = ピストンの直徑

$l$  = ピストンのストローク

$n$  = 汽筒の數

$D$  = 働輪の直徑

$T$  = 機關車の牽引力

とすれば、働輪1廻轉に於ける仕事の關係は

$$\frac{\pi}{4} d^2 p \times 2l \times n = \pi D T$$

故に

$$T = \frac{nd^2 pl}{2D} \dots \dots \dots (6)$$

但し之は汽筒に於ける力が途中何等の損失なく働輪の周圍に傳へられた場合で、實際にはその間に種々の損失がある。故にその効率を $\eta$ にて表せば機關車の牽引力 $T$ は

$$T = \eta \frac{nd^2 pl}{2D} \dots \dots \dots (7)$$

となる。 $\eta$ の値は普通0.90~0.93の間にある。若し平均有効壓力 $p$ の代りに

汽罐壓力  $P$  を用ひ、その比を  $p/P=k$  とすれば

$$T=k\eta\frac{nd^2Pl}{2D} \dots\dots\dots(8)$$

若し發車の際カットオフを行はず、汽罐壓力をそのまま汽筒に用ひる場合には  $k=1$  となり、之以上に大なる牽引力を出すことは出来ない。

かやうに蒸氣機關車の牽引力は汽筒内の平均有効壓力によつて定められるのであるが、多車の速度が増すに従ひピストンの往復数は多くなり、蒸氣の消費量が益々大となる。然るに汽罐の蒸氣發生量には一定の限度があつて無制限に多くはなり得ない。故に列車の速度が或る一定限度を超越るに至れば蒸氣のカットオフを早めて蒸氣發生量と蒸氣消費量とを平均せしめなければならぬ。蒸氣のカットオフを早める結果は汽筒内の平均有効壓力の低下となり、従つて牽引力の低下を來すことは免れない。故に高速度に於ける蒸氣機關車の牽引力は汽罐の蒸氣發生力によつて制限さるゝこととなる。

汽罐の蒸氣發生力即ち蒸發力は火床面積、傳熱面積、石炭燃焼の良否等に關係がある。之に關する Strahl の研究結果は一般に廣く用ひられて居るが、之によれば

$$Q=\frac{aR}{1+7\frac{R}{H}}$$

但し  $Q$ =蒸氣發生量(kg/h)

$R$ =火床面積(m<sup>2</sup>)

$H$ =傳熱面積(m<sup>2</sup>)

$a$ =常數(kg/m<sup>2</sup>/h)

$$\left. \begin{array}{l} Q=\frac{aR}{1+7\frac{R}{H}} \\ Q=\text{蒸氣發生量(kg/h)} \\ R=\text{火床面積(m}^2\text{)} \\ H=\text{傳熱面積(m}^2\text{)} \\ a=\text{常數(kg/m}^2\text{/h)} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

今適當なるカットオフにより蒸氣の消費量を最小ならしめ最も經濟的運轉をなす場合を考へ、その最小蒸氣消費量を 1 馬力當り  $S$ (kg/h) とすれば、汽

罐の蒸氣發生力より見たる機關車の最大馬力  $L_m$  は

$$L_m=\frac{Q}{S}=\frac{a}{S}\frac{R}{1+7\frac{R}{H}}=C\frac{R}{1+7\frac{R}{H}} \dots\dots\dots(10)$$

この式中  $C$  は  $a$  及び  $S$  から自ら定まる常數である。

Strahl の研究結果によれば  $a$  及び  $S$  の値並にそれを用ひて算出した  $C$  の値は第 5 表の通りである。

第 5 表

	飽和蒸氣機關車			過熱蒸氣機關車	
	單式	二汽筒複式	四汽筒複式	單式	複式
$a$	4250	4000	—	3800	3800
$S$	11.5	9.75	9.50	6.75	6.20
$C$	370	410	440	565	613

又(10)式によつて與へらるゝ最大馬力  $L_m$  の場合に於ける牽引力を  $T_m$ (kg) とし、その時の速度を  $V_m$ (Km/h) とすれば

$$V_m=\eta\frac{270L_m}{T_m} \dots\dots\dots(11)$$

而してこの時の汽筒内の平均有効壓力を  $p_m$  とすれば(7)式より

$$T_m=\eta\frac{nd^2p_ml}{2D}$$

故に

$$V_m=540\frac{DL_m}{nd^2p_ml} \dots\dots\dots(12)$$

この  $V_m$  が蒸氣の消費量の最も少い場合の速度であつて、之より大又は小なる速度にて運轉する場合は、何れの場合も蒸氣の消費量が増し従つて發生馬力數も減るのであるが、 $V_m$  より大なる速度の場合は之より小なる速度の場合よりも通風が良く従つて石炭の燃焼が良好となる等の關係上、馬力の低

減する割合が少い。この間の関係は Strahl によれば次のやうに表はされる。即ち  $V_m$  より大又は小なる速度  $V$  (km/h) に對する馬力數を  $L$  とすれば

$$\left. \begin{aligned} \frac{V}{V_m} < 1 \text{ の場合は } \frac{L}{L_m} &= 0.6 \left( 2 - \frac{V}{V_m} \right) \frac{V}{V_m} + 0.4 \\ \frac{V}{V_m} > 1 \text{ の場合は } \frac{L}{L_n} &= 0.5 \left( 3 - \frac{V}{V_m} \right) \sqrt{\frac{V}{V_m}} \end{aligned} \right\} \dots\dots (13)$$

又  $T, V, L$  と  $T_m, V_m, L_m$  との間には

$$\frac{T}{T_m} = \frac{270 \frac{L}{V}}{270 \frac{L_m}{V_m}} = \frac{L}{L_m} \frac{V_m}{V}$$

の関係があるから

$$\left. \begin{aligned} \frac{V}{V_m} < 1 \text{ の場合 } \quad \frac{T}{T_m} &= 0.6 \left( 2 - \frac{V}{V_m} \right) + 0.4 \frac{V_m}{V} \\ \frac{V}{V_m} > 1 \text{ の場合 } \quad \frac{T}{T_m} &= 0.5 \left( 3 - \frac{V}{V_m} \right) \sqrt{\frac{V_m}{V}} \end{aligned} \right\} \dots\dots (14)$$

が得られ、之から任意の速度  $V$  に於ける  $L$  と  $T$  とを知ることが出来る。第6表はこの目的に作られたものである。

第 6 表

$V/V_m$	$L/L_m$	$T/T_m$	$V/V_m$	$L/L_m$	$T/T_m$	$V/V_m$	$L/L_m$	$T/T_m$
0.1	0.51	5.14	0.6	0.91	1.51	1.1	0.999	0.902
0.2	0.62	3.08	0.7	0.95	1.35	1.2	0.985	0.825
0.3	0.71	2.35	0.8	0.98	1.22	1.3	0.969	0.746
0.4	0.78	1.96	0.9	0.99	1.11	1.4	0.948	0.675
0.5	0.85	1.70	1.0	1.0	1.0	1.5	0.919	0.612

又(12)式中の平均有効壓力  $p_m$  は Strahl によれば汽罐壓力  $12 \text{ kg/cm}^2$  に對し單式機關車の場合  $p_m = 3.6 \text{ kg/cm}^2$ 、複式機關車の場合  $p_m = 3.4 \text{ kg/cm}^2$  で、罐壓力  $1 \text{ kg/cm}^2$  の増減に從ひ 3% を増減する。即ち第7表の通りである。

第 7 表

汽罐壓力 kg/cm <sup>2</sup>	平均有効壓力(kg/cm <sup>2</sup> )		汽罐壓力 kg/cm <sup>2</sup>	平均有効壓力(kg/cm <sup>2</sup> )		汽罐壓力 kg/cm <sup>2</sup>	平均有効壓力(kg/cm <sup>2</sup> )	
	單式	複式		單式	複式		單式	複式
12	3.6	3.4	17	4.15	3.92	22	4.69	4.43
13	3.7	3.5	18	4.25	4.03	23	4.80	4.52
14	3.82	3.60	19	4.35	4.13	24	4.90	4.63
15	3.92	3.71	20	4.48	4.23	25	4.95	4.75
16	4.03	3.81	21	4.58	4.35			

〔計算例〕 我國鐵道省の C51 型過熱單式機關車を例にとれば、第5表から  $C=565$  である。又この機關車に於ては

$$R=2.53m^2, H=163m^2, n=2, d=53cm, l=66cm, D=175cm$$

であるから(10)式から次の値が得られる。

$$L_m = \frac{565 \times 2.53}{1 + 7 \times \frac{2.53}{163}} = \frac{1429.45}{1 + 0.10865} = 1290 \text{ HP}$$

又汽罐壓力は  $12 \text{ kg/cm}^2$  であるから出發の際の最大牽引力は  $\gamma=0.9$  として

$$T = 0.9 \times \frac{2 \times 53^2 \times 12 \times 66}{2 \times 175} = 11440 \text{ kg}$$

となる。又  $V_m$  の場合の平均有効壓力は第7表より  $p_m = 3.6 \text{ kg/cm}^2$  である。故に(12)式から

$$V_m = 540 \times \frac{175 \times 1290}{2 \times 3.6 \times 53^2 \times 66} = \frac{348300}{3813.8} = 91 \text{ km/h}$$

この  $V_m$  に對する牽引力  $T_m$  は(11)式から次の値となる。

$$T_m = 0.9 \times \frac{270 \times 1290}{91} = 3330 \text{ kg}$$

次に  $V_m$  以外の種々の速度  $V$  に對する  $L$  及び  $T$  を求めれば、第6表を用ひて次の値が得られる。

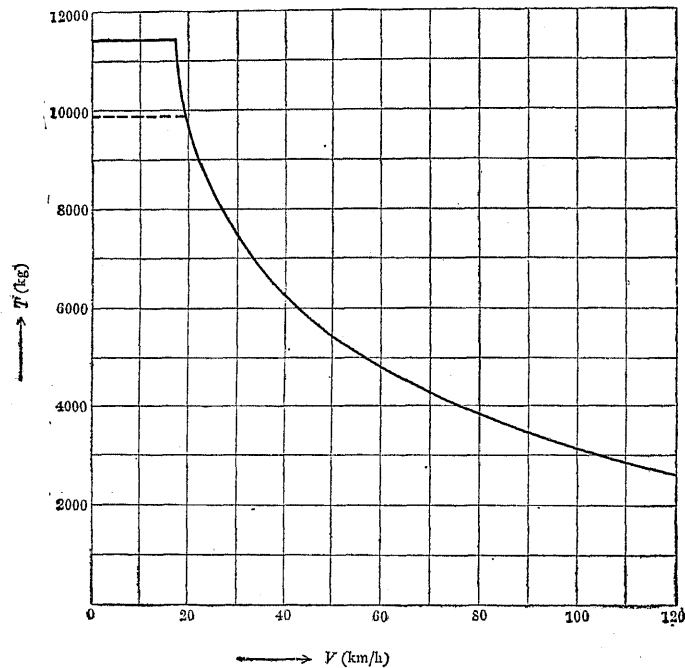
$V$ (km/h)	$L$ (HP)	$T$ (kg)
0	—	11440
18.8	800	10300
28.2	920	7800
37.6	1010	6500
56.4	1170	5000

75.2	1260	4050
94.0	1290	3330
112.8	1270	2750
131.6	1220	2250

尚粘着係数を  $\frac{1}{4.5} = 0.222$  にとれば、粘着による最大牽引力は、働輪上の重量が 45.58t であるから

$$T = 45580 \times 0.222 = 9900 \text{ kg}$$

第60圖は以上の計算結果を圖示したもので、圖中點線は粘着力による牽引力を示す。之から低速度に於ける牽引力が粘着力によつて制限されること及び速度の増加に伴ひ牽引力が著しく減少することが容易に判る。



第 60 圖

### 32 電氣機關車の牽引力

電氣機關車の牽引力は電動機のトルク(廻轉力)によつて決定せられる。今

$M$  = 電動機のトルク(kgm)

$D$  = 働輪の直径(m)

$\gamma$  = 齒車比(普通  $\gamma > 1$ )

$\eta$  = 齒車の効率(普通  $\eta = 0.97 \sim 0.98$ )

$T$  = 機關車の牽引力(kg)

とすれば

$$T = \eta \frac{2\gamma M}{D} \dots \dots \dots (15)$$

齒車を用ひない直結傳達法の場合にはこの式に於て  $\gamma = 1$ ,  $\eta = 1$  とおけばよい。

又速度を  $V$  (km/h), 働輪の廻轉數を 1 分間  $n_1$  とすれば

$$V = \frac{60}{1000} \pi n_1 D = 0.1885 n_1 D$$

又電動子の廻轉數を 1 分間  $N$  とすれば,  $n_1 = N/\gamma$  であるから

$$V = 0.1885 \frac{DN}{\gamma} \quad \text{或は} \quad D = \frac{V\gamma}{0.1885N}$$

故に(15)式の牽引力  $T$  は又次の如く表はすことが出来る。

$$T = \eta \frac{0.377NM}{V} \dots \dots \dots (16)$$

電氣機關車に最も多く用ひらるゝ電動機は直流直捲電動機であるが、この電動機に於ては次の關係がある。即ち

$I$  = 電動子電流

$E$  = 端子電壓

$\phi$ —磁極から出る磁力線数

$r$ —電動子抵抗

とすれば

$$\left. \begin{aligned} M &= k_1 \phi I = k_2 m I^2 \\ N &= \frac{E - Ir}{k_2 \phi} = \frac{E}{k_2 m I} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (17)$$

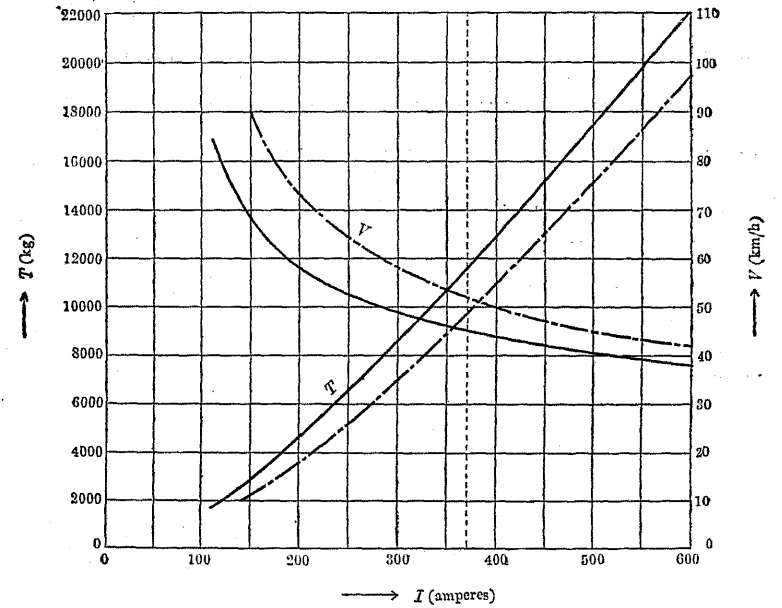
但し  $k_1, k_2, m$  は 常 数

故にトルク  $M$  は電流  $I$  と 拋物線的關係にあつて電壓  $E$  には關係なく、又廻轉數  $N$  は電流  $I$  と 双曲線的關係にあり且つ電壓  $E$  に正比例する。

牽引力  $T$  はトルク  $M$  に比例するから大なる牽引力の場合にはトルク  $M$  も大である。従つて (17) 式から明かな通り  $I$  も亦  $M$  の平方根に比例して大となる。 $I$  が大となれば電壓  $E$  が一定の場合には廻轉數  $N$  が小となること (17) 式から容易に知ることが出来る。

一定電壓の下に於けるこれ等の關係を圖示したものを電動機の特性曲線と稱へ、同様の特性曲線が普通同一型の電動機數個を裝備する電氣機關車に就ても得られる。但し機關車の場合には電動機の廻轉數の代りに列車の速度が用ひられ、又トルクの代りに牽引力が用ひられる。

第 61 圖は我國鐵道省に於て用ひて居る國產電氣機關車 E 52 型の一定電壓 1350 ヴォルト (1500 ヴォルトの一割減) に對する特性曲線である。直流直捲電動機の廻轉數は電壓に比例して變化すること上述の通りであるが、若し電壓を一定に保ち得る場合には磁力線數  $\phi$  の變化に逆比例して廻轉數が變化すること (17) 式の示す通りである。故に電氣機關車に於ては磁力線數  $\phi$  を變化せむしる事によつて電動機の廻轉數を制御する所謂界磁制御法が用ひられる。第 61 圖に於て實線は全界磁に、鎖線は全界磁の 70% に相當するものである。



第 61 圖

又電流  $I$  が増大すれば電動機各部の溫度が漸次上昇して、絶緣材料の燒損短絡等のために故障を生ずるに至るから  $I$  には一定の許容限度がある。この限度は運轉の連續時間によつて異なるが、普通 1 時間を以てその標準とする。即ち 1 時間連續運轉した場合、電動機各部の最高溫度が許容溫度を超えない様に電流の許容限度を定め、この場合の電動機の容量を 1 時間定格容量と稱し、之を以て電動機の容量を表はすのが普通である。第 61 圖に於ては 1 時間定格容量を發生する場合の電流の大きさが 370 アムペアである。かやうに電動機の容量は連續運轉時間の長短によつて異なるのであるが、實際の列車 1 轉の状態を見るに最大電流を用ふるのは出發の際の如く極めて短時間に止まるのであるから、1 時間定格電流よりも大なる電流を用ふるも實際には差支なく、寧ろ

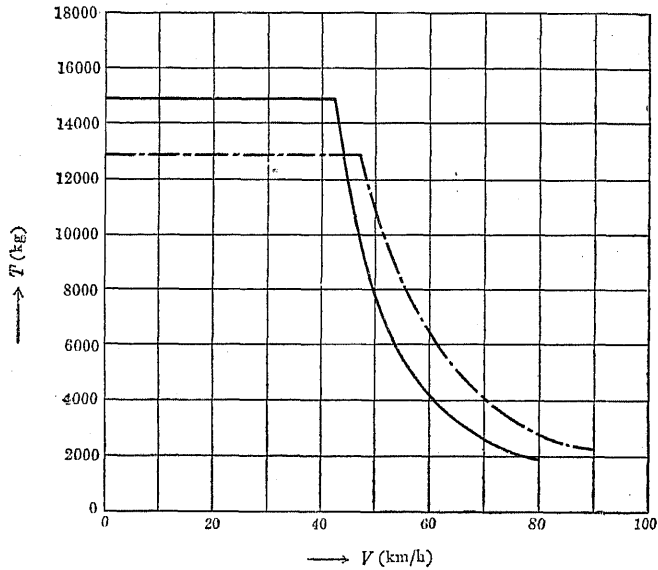
その方が列車の加速度を大ならしめ得て運転上甚だ有利である。故に普通1時間定格電流の20~30%増を最大許容電流として電気機関車の牽引力を求むる場合が多い。第62圖は上述のE52型電気機関車の特性曲線から求めた牽引力と速度との関係を示すもので、電流は1時間定格電流370アムペアの20%増即ち444アムペアとして求めたものである。

尙電動機の馬力数をLとすれば

$$L = \frac{EI}{735} = 0.00136EI$$

故に  $\frac{TV}{270} = \eta L$  から ( $\eta$  は効率を示す) } .....(18)

$$T = 0.3671\eta \frac{EI}{V}$$



第 62 圖

### 33 内燃機関車の牽引力

内燃機関車の牽引力は内燃機関に於けるクランクシャフトの廻轉力によつて定まることいふ迄もないが、その廻轉力の傳達方法は普通電気式及び變速齒車式である。電気式に於ては電動機の性能が直接牽引力に關係する故電気機関車と全く同一に考へることが出来る。變速齒車式に於ては電気機関車の場合の電動機の廻轉力の代りに内燃機関の廻轉力を用ひればよい。故に前節(15)式に於けるMを内燃機関の廻轉力と見、又(16)式に於けるNを内燃機関のクランクシャフトの1分間の廻轉數と見れば、(15)及び(16)式はそのまゝ内燃機関車の牽引力を示す式となる。

又Lを内燃機関の馬力數とし、 $\eta$ をその廻轉力傳達装置の効率とすれば

$$\frac{VT}{270} = \eta L$$

であり、又輓輪直徑D(m)、齒車比 $\gamma$ を用ふれば前述の如く

$$V = 0.1885 \frac{nD}{\gamma}$$

であるから、次の式が得られる。

$$T = \eta \frac{70L}{V}$$

或は  $T = \eta \frac{1432\gamma L}{nD}$  } .....(19)

即ち牽引力と速度とが双曲線的關係にあることは電気機関車の場合と全く同様である。

## 第十章 列車抵抗

*Train resistance Zugwiderstand*

### 34 列車抵抗の意義及びその分類

列車抵抗とは列車を牽引したる機関車が運動を起し、又は運動を繼續する際、その機関車の牽引力に逆つて働く一切の抵抗である。之を大別して次の5とすることが出来る。

- (1) 走行抵抗 *running R.*
- (2) 發車抵抗 *starting*
- (3) 曲線抵抗 *curve*
- (4) 勾配抵抗
- (5) 加速度抵抗 *inertia R.*

これ等の内、5は理論的に正確に決定することが出来るけれども、其の他の抵抗は主として實驗的に決定される。

### 35 走行抵抗

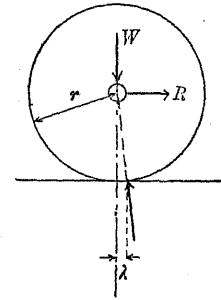
走行抵抗とは列車が水平直線の線路上を走行しつつある間に機関車の牽引力に逆つて作用するものであつて、次の3から成る。

- (1) 車輪と軌條との間の轉動摩擦抵抗 *Rolling R.*
- (2) 車軸其の他の機構に於ける摩擦抵抗 *Journal friction*
- (3) 空氣の抵抗

これ等の抵抗値を理論的に正確に決定することは困難であるから、實際には多くの實驗を行つてその結果から實驗公式を導くのである。之がためには先づ、上記の抵抗の各に就て大體の性質を明かにして實驗公式の基本形を定

め、次にその公式が實驗の結果と最もよく一致するやうに公式中の實驗係數を實結果から數學的に算定するのである。今各抵抗の性質を吟味すれば次の通りである。

先づ轉動摩擦抵抗は車輪が軌條の上を轉動する際に起るもので、第63圖に



示す如く車輪と軌條との接觸面に於て彈性變形が現はれる結果、車輪を廻轉せしむるために  $R$  なる力が必要となり、この  $R$  を轉動摩擦による抵抗であると考へるのである。車軸に加はる重量を  $W$ 、車輪の半径を  $r$  とし、車輪が轉動する場合の廻轉中心と車軸を通る垂直線との間の距離を  $\lambda$  とすれば

$$R = W \frac{\lambda}{r}$$

第 63 圖

である。 $\lambda$  の値は鐵道車輪と軌條との場合には大約  $0.5\text{mm}$  と考へられて居るが、軌條接目に於ては特に大となり、又線路や車輪の外輪に凹凸等がある場合にも大となる。而してこの抵抗は速度には殆んど無關係な常數と考へられ普通  $1.75 \sim 2.5\text{kg/t}$  と推定されて居る。

次に滑り摩擦抵抗は車軸と軸承との間、バネ装置其の他に於て起るのみならず、速度が大となり車輛の動搖が増すに従ひ車輪の輪縁と軌條との間に起る輪縁摩擦等によつても起る。その抵抗  $(\text{kg/t})$  は普通速度に關係あるものと考へられ  $bV$  ( $V$  は  $\text{km/h}$ ) を以て表はされ、 $b$  の値は  $0.010 \sim 0.025$  の間にあるものと見られて居る。

次に空氣の抵抗は一般に速度の二乗に比例するものと見做され  $cV^2$  の形で表はされるが、 $c$  は車輛の形に關係がある。空氣抵抗は前にも述べた通り前面抵抗、側面抵抗、後面抵抗に分たれる。この内前面抵抗が最も大なるもので、空氣に直角に當る面の單位面積に對する空氣抵抗は次のやうに求めるこ

とが出来る。即ち

$R$  = 空気の壓力即ち空氣抵抗(kg/m<sup>2</sup>)

$\gamma$  = 空氣の重さ( $\gamma = 1.21$ kg/m<sup>3</sup>)

$v$  = 無風の場合の列車の速度(m/sec)

$g$  = 重力の加速度( $g = 9.8$ m/sec<sup>2</sup>)

とすれば

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{R}{\gamma}$$

故に

$$R = \frac{\gamma}{2g} v^2 = 0.0617 v^2$$

此式中の  $v$  を  $V$ (km/h)にかきかへ、且つ機關車前面の面積を  $A$ (m<sup>2</sup>)とすれば

$$R = 0.00476 AV^2$$

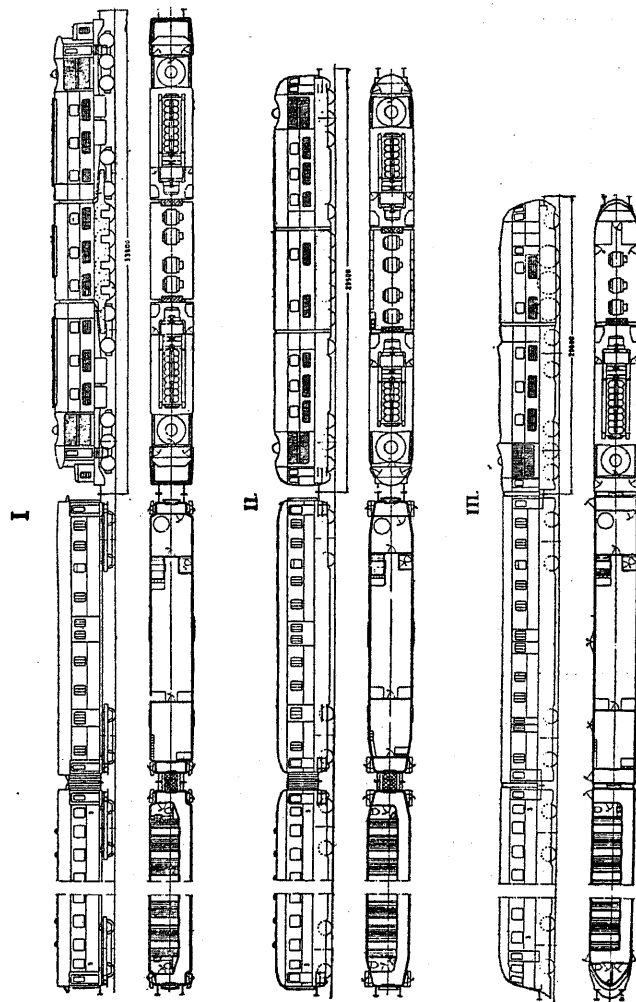
之は機關車の前頭表面に空氣が直角に衝突する場合の空氣抵抗であるが、若し流線形機關車でその前頭が楕圓又は拋物線形の曲面をなす場合には著しく低減されるものである。

側面抵抗は列車の側面と空氣との摩擦によつて起るもので、列車の長さ、車輛の性質等に関係がある。又後面抵抗は列車の後面に生ずる不完全真空のために列車が後に吸引さるゝために起るものであるが、これ等の抵抗を正確に算定することは困難である。併し何れも速度の二乗に比例するものと推定されるから普通は全空氣抵抗を一括して

$$R = 0.00476kAV^2 \dots\dots\dots(20)$$

とおく。係數  $k$  の値は實驗から定めることが出来る。

〔註〕 瑞西國Sulzer 會社の發表によれば第64圖の様な3種の列車の空氣抵抗を示すべき  $k$  の値は連結車輛數を  $n$  として



第 64 圖



- I (普通列車)に對しては  $k=0.8+0.39n$
- II (半流線形列車)に對しては  $k=0.48+0.23n$
- III (流線形列車)に對しては  $k=0.4+0.14(n-1)$

である。而して流線形によつて得らるゝ所要馬力數及び機關車重量の低減は第8表の通りに示されて居る。これより明かなやうに流線形とすることによつて所要馬力數を減ずることが出來、従つて列車總重量1t當りの馬力數が小となる。但し之がため、列車に與へ得る加速度が小となることに注意しなければならない。

第 8 表

最大速度	110km/h			130km/h			150km/h		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
客車重量(t)	360	360	360	360	360	360	360	360	360
機關車重量(t)	177	153	129	240	200	150	310	250	190
全重量(t)	537	513	489	600	560	510	670	610	550
ディーゼル機關馬力數	2600	2100	1700	3900	3000	2300	5600	4100	3100
同 上 百 分 比	100	81	66	100	77	59	100	73	56
全重量1t當り馬力數	4.83	4.10	3.54	6.50	5.35	4.50	8.35	6.72	5.64

上述のやうに走行抵抗は轉動摩擦抵抗、滑り摩擦抵抗、空氣抵抗から成る。

故に次の形で表はすことが出来る。

$$R=a+bV+Cv^2 \dots \dots \dots (21)$$

走行抵抗Rは普通列車重量1tに對しkgを以て表はされる。

36 標準軌間鐵道に於ける走行抵抗

標準軌間鐵道の走行抵抗に對しては、從來極めて多くの實驗が行はれ多くの實驗公式が導かれて居る。その形は(21)式の外

$$\left. \begin{aligned} R &= a + bV \\ R &= a + bV^2 \\ R &= a + bV^{\frac{5}{3}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (22)$$

等がある。併し走行抵抗は車輛及び線路の種類状態等によつて差異あるのみならず、氣温湿度等によつても變化するものであるから、多くの實驗公式中

には時として甚しい差異を示すものもある。又車輛や線路の構造の改良進歩及びそれ等の保守技術の發達に伴つて、漸次走行抵抗が低減すべきことも首肯せらるゝことであるから、走行抵抗公式を用ふる場合には豫めこれ等の點に留意することが肝要である。

こゝには多くの實驗公式中現今も猶多く用ひられて居るもの二三を擧ぐることにする。以下次の符號を用ひる。

$R_1$  = 機關車(炭水車を含む)の走行抵抗(kg/t)

$[R_1]$  = 機關車(炭水車を含む)の全走行抵抗(kg)

$R_2$  = 客貨車の走行抵抗(kg/t)

$V$  = 速度(km/h)

(a) **Barbier 氏公式** 之は1891~1897年に亘る佛國北部鐵道に於ける實驗から Barbier が導いたものである。

$$R_1 = 3.8 + 0.027V + 0.0009V^2$$

$$R_2 = 1.6 + 0.00456V + 0.000456V^2 \dots \dots \text{ボギー車}$$

$$R_2 = 1.5 + 0.023V + 0.00046V^2 \dots \dots \text{四輪車}$$

(b) **Sanzin 氏公式** 之は1902年から數年間奧國鐵道に於て行はれた實驗から導かれたもので、機關車の抵抗公式は實驗に供した10種(内5種は複式)の機關車の何れにも適用し得るやう作られて居る。即ち、

$$[R_1] = W_0(1.8 + 0.015V) + W_1 \left( a + b \frac{V}{D} \right) + 0.006AV^2$$

但し  $W_0$  = 働軸上の粘着重量(t)

$W_1$  = 導軸及び従軸上の重量並に炭水車の重量(t)

$D$  = 働輪の直徑(m)

$A$  = 機關車の最大横斷面積(m<sup>2</sup>)

$a, b$  = 働軸數に關係ある係數でその値は第9表の通りである

第 9 表

働軸數	a	b
2	5.5	0.08
3	7.0	0.10
4	8.0	0.28
5	8.8	0.36

上式の第 3 項は空氣の抵抗であるが、機關車の前面のみならず側面の抵抗をも考慮したもので、(20)式中  $k=1.28$  と置いたものに相當して居る。次に客貨車に對しては次の公式が導かれて居る。この内ボギー車に對するものは Barbier 氏公式と同様である。即ち

$$R_2 = 1.6 + 0.000456V(10 + V) \dots\dots\dots \text{ボギー車}$$

$$R_2 = 1.6 + 0.0184V + 0.00046V^2 \dots\dots\dots \text{四輪客車}$$

$$R_2 = 1.8 + 0.001V^2 \dots\dots\dots \text{貨 車}$$

(c) Strahl 氏公式 Sanzin 氏公式と同じ符號を用ひて

$$[R_1] = 2.5W_0 + cWa + 0.006A(V + 4V)^2$$

$$R_2 = 2.5 + \frac{1}{k}(V + 4V)^2$$

式中  $4V$  は風力に應じて適當に加減さるゝもの、即ち風ある場合その影響によつて抵抗の増加すべきことを考慮したもので、普通第 10 表の様にとられる。

第 10 表

$\Delta V$	風 の 状 態
0	無風の場合
12	普通の風の場合
20	強い横風の場合
30	暴風の湯合

$c$  の値は働軸數及び汽筒數に關係あるもので第 11 表の如くとられる。

$k$  の値は列車を組成する客貨車の種類によつて次の値をとる。

第 11 表

c の値	働軸數	汽筒數	c の値	働軸數	汽筒數
5.8	2	2	8.6	4	4
5.9	2	3	9.3	5	2
6.0	2	4	9.4	5	3
7.3	3	2	9.5	5	4
7.4	3	3	10.0	6	2
7.5	3	4	10.15	6	3
8.4	4	2	10.3	6	4
8.5	4	3			

- $k=4000 \dots$  急行列車及び一様の車輛より成る重い貨物列車の場合
- $=3000 \dots$  普通旅客列車の場合
- $=2500 \dots$  急行貨物列車の場合
- $=2000 \dots$  有蓋、無蓋、積車、空車等を混合した普通貨物列車の場合
- $=1000 \dots$  空車の四輪貨車から成る貨物列車の場合

蒸汽機關車は動力發生裝置及び動力傳達裝置其の他の構造が略一定して居るが、之に反して電氣機關車に於ては電動機の種類、その取付位置及び方法、並に動力傳達方法等に甚しき變化があるのみならず、車體の外廓も必ずしも一定して居ない。従つて電氣機關車の走行抵抗はその型式により相當の差異あるべきであつて、各型式毎に各別に定めるのが適當であらう。又蒸汽機關車は常に列車の前端にあるを普通とするけれども、電氣機關車に於ては時としては列車の後部に連結して運轉することがあるから、この二つの場合を區別する必要もある。

一般に電氣機關車の走行抵抗は蒸汽機關車のそれよりも大なるものと推定されて居る。その理由の主なるものは機關車の重心が低く且つスプリングを経ずして直接軌條に加はる重量が大であるために激衝が甚しく、従つて抵抗を増すこと、及び働輪の直徑が小さいために轉動摩擦抵抗が大となる (95 頁参照) こと等である。又電氣機關車に於ては惰行と力行との場合に於ける走行抵抗の差が甚だ大である。之は電動機其の他に於ける摩擦の大であることに因るものである。故に電氣機關車に於ては惰行抵抗と力行抵抗とを區別することが多い。

かやうに電氣機關車の走行抵抗は蒸汽機關車のそれとは異なるものであるけれども、その抵抗公式が明かでない場合には便宜上蒸汽機關車の抵抗公式を用ふることがある。

次に内燃機関車の走行抵抗に就ては未だ十分研究されて居ないけれども、  
獨逸に於て用ひらるゝ内燃動車の走行抵抗公式は次の通りである。但し $[R_1]$ 、 $W_1$ 、 $A_1$ は内燃動車に、又 $[R_2]$ 、 $W_2$ 、 $A_2$ はその附隨車に関するものである。

$$[R_1] = 2.5c_1 W_1 + 0.005c_2 A_1 V^2$$

$$[R_2] = n(1.5c_1 W_2 + 0.005c_3 A_2 V^2)$$

この式中 $n$ は附隨車の數を表はし、 $c_1$ は軌間に關する係數で標準軌間の場合1である。又 $c_2$ 、 $c_3$ は次の値をとる。

$$c_2 = 0.85 \dots \text{四軸を有する普通形内燃動車の場合}$$

$$= 0.75 \dots \text{二軸を有する普通形内燃動車の場合}$$

$$= 0.5 \dots \text{四軸を有する流線形内燃動車の場合}$$

$$= 0.45 \dots \text{二軸を有する流線形内燃動車の場合}$$

$$c_3 = 0.26 \sim 0.3 \dots \text{普通形附隨車の場合}$$

$$= 0.2 \sim 0.25 \dots \text{流線形附隨車の場合}$$

### 37 狭軌鐵道に於ける走行抵抗

狭軌鐵道に於ても走行抵抗公式は標準軌間鐵道に於けると同様  $R = a + bV + cV^2$  の形に於て與へられる。而して軌間が狭小となる程車輛の走行が困難となり、摩擦抵抗の増加が豫想されるから、一般に $a$ 及び $b$ は軌間の狭小に伴つて増加し、之に反して空氣抵抗は軌間が小となるに従つて減少するものと考へられて居る。併し次に掲ぐる公式中 Hütte 公式は之に一致して居るけれども、Haarmann 氏及び Blum 氏公式は之と一致しない。

#### (a) Haarmann 氏公式及び Blum 氏公式

軌間(m)	$R_1(\text{kg/t})$	$R_2(\text{kg/t})$
1.0	$4\sqrt{a} + 0.0025V^2$	$1.7 + 0.0018V^2$

$$0.75 \quad 4\sqrt{a} + 0.0030V^2 \quad 2.0 + 0.0015V^2$$

$$0.60 \quad 4\sqrt{a} + 0.0035V^2 \quad 2.2 + 0.0017V^2$$

この公式中 $a$ は働軸數を示す。之は Haarmann 氏公式であるが機關車に對しては過大の抵抗を與へるといふので、Blum 氏の提案した修正公式は次の通りである。

軌間(m)	$R_1(\text{kg/t})$
1.0	$3\sqrt{a} + 0.0015V^2$
0.75	$3\sqrt{a} + 0.0020V^2$
0.60	$3\sqrt{a} + 0.0025V^2$

#### (b) Hütte 公式

軌間(m)	$R_1(\text{kg/t})$	$R_2(\text{kg/t})$
1.0	$2.7\sqrt{b} + 0.0015V^2$	$2.6 + 0.0003V^2$
0.75	$2.8\sqrt{b} + 0.0010V^2$	$2.7 + 0.0002V^2$
0.60	$2.9\sqrt{b} + 0.0008V^2$	$2.8 + 0.0002V^2$

$$b = 3 \dots \text{重き貨物列車用機關車の場合}$$

$$= 2 \dots \text{旅客列車用機關車の場合}$$

#### (c) 我國鐵道省の實驗式

$$[R_1] = 19.8 + 0.047(a-1)V + \{W_a + (1.8 + 0.015V)W_0 + 0.057V^2\}$$

但し  $a$  = 働軸數、 $W_a$ 、 $W_0$  は Sanzin 氏公式と同様

$$R_2 = 1.72 + 0.00061V^2 \dots \text{ボギー客車の場合}$$

$$R_2 = 2.07 + 0.00066V^2 \dots \text{四輪客車又は貨車の場合}$$

この $R_2$ は積車75%、空車25%を以て編成されて居る列車を基準としたものであるが、實驗の結果によれば積車を車の別は走行抵抗に大なる差を生ずるものである。之に關する鐵道省研究所の發表によれば

走行抵抗  $R_2$  (kg/t)

	空車の時	積車の時
15 t 積無蓋貨車	$1.48+0.001053V^2$	$0.095+0.0005V^2$
15 t 積有蓋貨車	$2.08+0.000855V^2$	$1.13+0.00051V^2$
30 t 積石炭車	$1.41+0.00136V^2$	$0.76+0.000594V^2$

次に電気機関車に對し鐵道省研究所の發表するところによればEF52型, ED16型, ED51型の3種に對し次の結果が得られて居る。

前頭力行の場合

EF52型(2C+C2)  $R_1=1.62+0.0162V+0.000416V^2$

ED16型(1B+B1)  $R_1=2.10+0.0165V+0.000583V^2$

ED51型(B+B)  $R_1=1.95+0.0195V+0.00084V^2$

後続惰行の場合

EF52型  $R_1=3.72+0.0156V+0.000174V^2$

ED16型  $R_1=3.50+0.0082V+0.000174V^2$

ED51型  $R_1=4.04+0.0186V+0.000174V^2$

尙これ等の結果から前頭及び後続各の場合の力行及び惰行抵抗の式として次の一般式が導かれて居る。

前頭力行の場合  $R_1=2.39+0.0164V+k\frac{A}{W_1}V^2$

前頭惰行の場合  $R_1=3.61+0.0119V+k\frac{A}{W_1}V^2$

後続力行の場合  $R_1=2.39+0.0164V+0.000174V^2$

後続惰行の場合  $R_1=3.61+0.0119V+0.000174V^2$

但し  $W_1$ =電気機関車の重量(t)

$A$ =電気機関車の有効断面積(m<sup>2</sup>)

$k$ =機関車前頭面の形状による係数

平面の場合  $k=0.0063$

突出曲面の場合  $k=0.00524$

又電動車に對しては次の走行抵抗式が與へられて居る。

前頭力行の場合  $R_1=4.75+0.023V+0.00104V^2$

後続力行の場合  $R_1=4.75+0.023V+0.00019V^2$

前頭惰行の場合  $R_1=5.40+0.003V+0.001125V^2$

後続惰行の場合  $R_1=5.40+0.006V+0.000275V^2$

尙附隨車の走行抵抗としては次の式が導かれて居る。

$R_2=1.8+0.00047V^2$

電動車及び附隨車を以て一列車を編成した電車の走行抵抗は、之等の走行抵抗の式を組合せることによつて得られる譯である。併し次に示すものは他の調査資料から作られた極めて便利な式であるから、こゝに掲げることとした。即ち一列車の全體の走行抵抗を  $R$ (kg/t) で表せば

$R=1.8+0.015V+cV^2$

$c$  は連結輛數に關する係数にして第12表の如き値をとる。

第 12 表

$c$	連結車輛數
0.00059	4
0.00053	5~6
0.00046	7~9
0.00041	10~以上

〔計算例〕 我國有鐵道のC51型機關車の走行抵抗を求む。但し機關車重量69.6t, 炭水車重量44.2t, 働輪上重量44.58t, 働軸數3である。

上述の抵抗式

$[R_1]=\{9.3+0.047(a-1)V\}W_d + (1.8+0.01cV)W_0+0.057V^2$

に於て

$a=3, W_d=44.58, W_0=69.6+44.2-44.58=69.22$

とおけば

$[R_1]=539.19+5.23V+0.057V^2$

之から各速度の抵抗を求むれば

V (km/h)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
【 $R_t$ 】(kg)	590	670	750	840	940	1060	1180	1320	1470	1630

### 38 出 發 抵 抗

車輛が静止の状態から運動を起さんとする際に起る抵抗を出發抵抗と稱へる。すべて車輛が出發する場合には可なり大なる抵抗が起るものであるが、その理由は主として車軸の軸頸と軸承との間に起る軸頸摩擦が發車の際特に大となるからである。軸頸摩擦は潤滑の良否によつて差異があるが、普通潤滑劑として用ひらるゝ油はその溫度によつて粘性を異にし低温に於て硬く高温に於て軟かである。故に車軸の廻轉により摩擦熱が昇るに從つて油が軟かとなり、且つ能く車軸の周圍にまはるから摩擦が小となるのであるが、一旦長時間停車した後は油の溫度が低くなつて居るのみならず、車軸の周圍によく油がまはつて居ないため摩擦が大である。從つてかやうな状態からの出發には大なる抵抗がある譯で發車抵抗の大なるは主として之がためである。

之に關する Glinski の實驗結果は第13表に示す通りであつて、發車抵抗は發車前の静止時間の大小に關係がある。

第 13 表 Glinski の實驗結果

	出發前の 静止時間	發車抵抗 (kg t)		出發前の 静止時間	發車抵抗 (kg t)
機關車	1分	12.6	三軸客車	3分	6.2
	3分	17.1		5分	8.2
	10分	19.8		10分	11.5
	數時間	21.7		15分	11.6

この實驗結果から明かなやうに、發車抵抗は發車前の静止時間が10分以上となれば最大値に達し、それ以上となることはない。而して静止10分間後の最大發生抵抗は凡そ次のやうな値である。

### 第十章 列車抵抗

蒸汽機關車	20 kg/t
電氣機關車	30 kg/t
客貨車	7~15 kg/t

かやうに大なる發車抵抗は發車の瞬間に於て起るもので、車輛の進むに従ひ急激に略直線的に減少し、列車速度8~11km/hに達すれば最小となり、それから再び増加して前述の走行抵抗となるのである。

我國有鐵道に於ては客貨車の出發抵抗は7~8kg/tと評價されて居る。

### 39 曲 線 抵 抗

曲線に於ては直線に於けるよりも多くの牽引力を必要とするものである。これは曲線に於て特に抵抗が増すからであつて、これを曲線抵抗といふ。

曲線抵抗の原因には種々あるがその主なるものは

- (1) 軌條上に於て車輪が滑るために起る摩擦抵抗
- (2) 車輪の輪縁が軌條頭内面に押しつけらるゝために起る輪縁摩擦抵抗

この内(2)は軌條頭に及ぼす車輪の横壓が明かでない限り算定困難であるが、(1)の方は概略計算することが出来る。

前にも述べた通り、軌條の上に於ける車輪の滑りには縦滑り及び横滑りがある。縦滑りは曲線に於ける内外軌條の長さの差によつて起るもので、今軌間 $G$ 、半径 $r$ なる圓曲線を一周する場合を考ふれば、外側軌條と内側軌條との長さの差即ち縦滑りの量は

$$2\pi\left(r + \frac{G}{2}\right) - 2\pi\left(r - \frac{G}{2}\right) = 2\pi G$$

次に横滑りは車輛の固定軸距から起るもので、今計算を簡単にするために後輪は少しも滑らず前輪のみが滑るものとすれば、半径 $r$ なる圓曲線を車輛

が一周する間に前輪は固定軸距  $t$  を半径とする圓の周に等しいだけ滑る譯である。故に横滑りの量は  $2\pi t$  である。

而して縦滑りに於て、内外何れか一方の車輪が全滑りをなせば他方の車輪は少しも滑らず、又内外双方の車輪が同様に滑る場合には各の車輪の滑り量は全滑り量の半分づゝとなる。横滑りの場合も前後の車輪について同様に考へることが出来る。即ち滑る重さ又は長さの何れかが半分となる。

故に摩擦係数を  $f$  とし、車輛の重量を  $W$  とし、車輛の單位重量當りの抵抗を  $R$  とすれば、半径  $r$  の圓曲線を一周する間の仕事の量の關係は

$$f \frac{W}{2} (2\pi G + 2\pi t) = 2\pi r W R$$

となる。故にこれから

$$R = \frac{f(G+t)}{2r}$$

[註] 若し  $f=0.2$ ,  $G=1.07m$ ,  $t=4.4m$  とし、 $R$  を  $kg/t$ ,  $W$  を  $t$ ,  $r$  を  $m$  で表はせば、上の式から次の値が得られる。

$$R = \frac{100 \times 0.2 \times (1.07 + 4.4)}{2r} = \frac{547}{r} = \frac{550}{r}$$

かやうに軌條上に於ける車輪の滑り摩擦に基因する曲線抵抗は、略曲線半径  $r$  に反比例するものである。輪縁摩擦による曲線抵抗も亦凡そ同様に考へられる。故に一般に曲線抵抗の公式は

$$R = \frac{C}{r} \dots\dots\dots (23)$$

の形、又は之に類似の形で表はされる。

今獨逸に於て用ひらるゝ公式を擧ぐれば

$$R = \frac{650}{r-55} \dots\dots\dots \text{幹線鐵道(Röckl氏公式といふ) } \frac{650}{r-55}$$

$$R = \frac{500}{r-30} \dots\dots\dots \text{支線鐵道 } \frac{500}{r-30}$$

又固定軸距  $t$  (m)及び軌間  $G$  (m)を用ひる公式では

$$R = \frac{140t + 66G}{r} \dots\dots\dots \text{幹線鐵道}$$

$$R = \frac{110t + 50G}{r} \dots\dots\dots \text{支線鐵道}$$

又 Frank 氏公式に於ては次のやうに客車及び貨車を區別して居る。

$$R = \frac{t}{r} \left( 180 - 1000 \frac{t}{r} \right) \dots\dots\dots \text{客 車}$$

$$R = \frac{t}{r} \left( 180 - 2000 \frac{t}{r} \right) \dots\dots\dots \text{貨 車}$$

英尺に於ては曲線を表はすに角度を用ひる。即ち100呎の弦長がその中心に於て夾む角度で表はす。此の角度を  $D^\circ$  とすれば  $D$  と  $r$  との關係は

$$r = \frac{1746}{D} \text{ (m)} \quad \text{or} \quad r = \frac{5730}{D} \text{ (ft)}$$

而してアメリカに於ては次のやうな曲線抵抗公式が多く用ひられる。

$$\text{客貨車の曲線抵抗} \quad R = 0.6D$$

$$\text{機關車の曲線抵抗} \quad R = 1.2D$$

$$\text{全列車の曲線抵抗} \quad R = 0.7D$$

これ等の公式に於て  $R$  の單位は  $lbs/t$  である。之を米突式に換算すれば

$$\left. \begin{aligned} \text{客貨車の曲線抵抗} \quad R &= \frac{525}{r} \\ \text{機關車の曲線抵抗} \quad R &= \frac{1050}{r} \\ \text{全列車の曲線抵抗} \quad R &= \frac{610}{r} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (23')$$

以上は標準軌間の場合であるが、狹軌鐵道に對する曲線抵抗公式には Goering 氏の公式がある。即ち

1m軌間に對して  $R = \frac{400}{r-20}$

0.75m軌間に對して  $R = \frac{300}{r-10}$

0.65m軌間に對して  $R = \frac{200}{r-5}$

我國有鐵道では(23')式又は次の式が多く用ひられて居る。

客貨車に對して  $R = \frac{600}{r}$

機關車に對して  $R = \frac{1220}{r}$

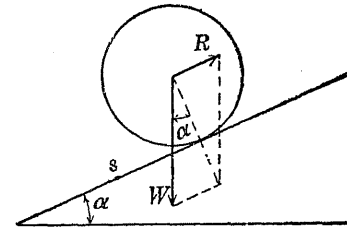
全列車に對して  $R = \frac{610}{r}$

40 勾配抵抗

列車抵抗の内でも多く機關車の動力を消費するものは勾配抵抗と、次に述べる加速度抵抗とであるが、この二者は何れも正確に計算することが出来る。

勾配抵抗は勾配に沿うて列車の重量を引上げるために起る。従つて上り勾配に於ては之がために機關車の牽引力は減殺されるけれども、下り勾配に於ては却つて機關車の牽引力を助け、時としては之がために列車の速度が許容限度を超える虞があるので、制動機を用ふる必要さへ起ることがある。

勾配を表はすには水平距離に對する垂直の高さを以てし、普通この二者の比を小數或は百分率又は千分率を以て表はす。今勾配を小數で表はしたものを  $s$  とすれば、同じ勾配を百分率で表はせば  $100s\%$  であり、又千分率で表はせば  $1000s\%$  である。又逆に、千分率で表はした勾配を  $s\%$  とし、之を小數で表はせば  $0.001s$  となり又百分率で表はせば  $0.1s\%$  となる。以下單に  $s$  を以



第 65 圖

$R = W \sin \alpha$

一般に  $\alpha$  は比較的小で  $\sin \alpha \approx \tan \alpha$  とおくことが出来、又  $\tan \alpha = s$  であるから重量  $W$  の勾配抵抗は

$R = W \tan \alpha = Ws$

となる。

今  $R$  を車輛の重量  $1t$  に對する勾配抵抗とし  $kg$  を以て表はせば

$R = \pm 1000s$   
 $= \pm s\%$   
 $= \pm 10s\%$  } .....(24)

但し  $+$  は上り勾配の場合、 $-$  は下り勾配の場合である。

41 加速度抵抗

加速度抵抗とは列車の速度を増すために必要な力で、之がために機關車の牽引力を消費するものであるから、機關車の牽引力から見れば一種の抵抗である。

今一定の速度で走行しつつある列車の速度を更に高めるためには、機關車の牽引力を増さなければならぬ。この牽引力の増加量は高むべき速度の大小及びその速度に達する間に走行すべき距離の大小に關係がある。而してそ

の牽引力の増加量が即ち加速度抵抗である。

今

$v_1$  = 列車の初速度

$v_2$  = 加速せられた後の速度

$l$  =  $v_1$  から  $v_2$  まで加速する間に走る距離

$P$  = 加速に必要な力即ち加速度抵抗

$W$  = 列車の重量

$g$  = 重力による速度

とすれば、速度を増加するために列車に加へられたエネルギーは  $Pl$  で、このエネルギーによつて列車に與へらるゝ運動のエネルギーは  $W(v_2^2 - v_1^2)/2g$  である。故に

$$Pl = \frac{W}{2g} (v_2^2 - v_1^2)$$

或は

$$P = \frac{W}{2gl} (v_2^2 - v_1^2)$$

この式に於て單位を  $P$  は kg,  $W$  は t,  $l$  は m,  $v_1$  及び  $v_2$  は m/sec とし、且つ  $g = 9.8$  m/sec<sup>2</sup> とし、 $W = 1t$  に對する  $P$  を求むれば

$$P = 51.02 \frac{v_2^2 - v_1^2}{l}$$

又  $v_1, v_2$  の代りに  $V_1, V_2$  (何れも km/h で示す) を用ふれば

$$P = \frac{7.9369}{4} \frac{V_2^2 - V_1^2}{l} \dots \dots \dots (25)$$

この式は列車が直進運動のみをなすものとして導いたものであるが、實際には、車輛のうち車輪及び車軸は直進運動と同時に廻轉運動をもなすのであるから、この廻轉運動のエネルギーをも與へるために、(25)式の  $P$  よりも稍大

なる  $P$  が必要である。

今一例として一つのボギー貨車を考へ

自重 = 16.5t

荷重 = 30t

車輪の直径 = 0.9m

車輪の重量 = 350kg

環動半径 = 0.3m

車輪の數 = 8

列車の速度 = 9m/sec (= 32.4km/h)

とすれば、環動半径に於ける廻轉速度は

$$9 \times \frac{0.3}{0.45} = 6 \text{ m/sec}$$

故に 8 個の車輪の廻轉運動のエネルギーは

$$\frac{1}{2} \frac{350}{9.8} \times 6^2 \times 8 = 5143 \text{ kgm}$$

尙車軸の廻轉運動のエネルギーも加算すべきであるが、之は車軸のその約 1/200 に過ぎないから之を省略することとする。

次に直進運動のエネルギーを積車の場合と空車の場合とに就て計算すれば

$$\text{積車の場合} \quad \frac{1}{2} \frac{46500}{9.8} \times 9^2 = 192000 \text{ kgm}$$

$$\text{空車の場合} \quad \frac{1}{2} \frac{16500}{9.8} \times 9^2 = 68120 \text{ kgm}$$

故に直進運動に對する廻轉運動のエネルギーの比は

$$\text{積車の場合} \quad \frac{5143}{192000} = 2.7\%$$

$$\text{空車の場合} \quad \frac{5143}{68120} = 7.5\%$$



即ち貨車の場合には平均5~6%と見ることが出来る。機関車の場合も同様に算定することが出来るが、機関車に於ては働輪が大で且つクランク、クランクピン及びバランスウエイト等、又電気機関車に於ては歯車やジャックシャフト等があるから、上記の比は約8~10%に達するものと見做されて居る。

今一列車全體に對し平均6%として、それに相當して加速度抵抗の割増をなせば

$$\begin{aligned}
 P &= 3.9369 \times 0.06 \frac{V_2^2 - V_1^2}{l} \\
 &= 4.17 \frac{V_2^2 - V_1^2}{l} \\
 &\div 4 \frac{V_2^2 - V_1^2}{l} \quad \text{或は} \quad 4.2 \frac{V_2^2 - V_1^2}{l}
 \end{aligned}
 \quad \dots\dots(25)$$

之が一般に用ひらるゝ加速度抵抗の公式である。

若し又機関車及び電動車に對する割増を10%とし、又客貨車に對する割増を5%として區別すれば

$$\begin{aligned}
 \text{機関車及び電動車に對しては} \quad & P = 4.33 \frac{V_2^2 - V_1^2}{l} \\
 \text{客貨車に對しては} \quad & P = 4.13 \frac{V_2^2 - V_1^2}{l}
 \end{aligned}
 \quad \dots\dots(27)$$

加速度は普通、發車の際が最も大であつて、之が發車抵抗を大ならしむる一因ともなつて居る。近來高速運轉が行はるゝに伴ひ加速度は漸次大となつて來た。現今普通に必要とせらるゝ加速度を示せば第14表の通りである。

第 14 表

種 類	加速度(m/sec <sup>2</sup> )	種 類	加速度(m/sec <sup>2</sup> )
蒸 汽 機 關 車	0.04~0.07	電 氣 機 關 車	0.10~0.20
同 上(高速鐵道)	0.15~0.30	電 動 車(高速鐵道)	0.40~0.60
同 上(入換用)	0.10~0.20	内 燃 動 車( 同 )	1.0

## 第十一章 牽 引 重 量

### 42 機関車の牽引重量

機関車の牽引し得べき重量は機関車の牽引力と列車抵抗とから定まる。この兩者は、前に述べた通り、何れも列車の速度に關係があるから、牽引重量も亦速度によつて増減すべきである。今一定速度  $V$  km/h で走行しつゝある列車を考へ

$T = V$ なる速度に於ける機関車の牽引力

$W_1 =$ 機関車の重量

$R_1 =$ 機関車の走行抵抗

$W_2 =$ 牽引し得べき客貨車の重量

$R_2 =$ 客貨車の走行抵抗

とすれば

$$W_2 = \frac{T - W_1 R_1}{R_2} \dots\dots(28)$$

この式は水平直線上に於ける牽引重量であるが、 $s$ %なる上り勾配線に於ては、勾配抵抗を増すから、次の式となる。

$$W_2 = \frac{T - W_1(R_1 + s)}{R_2 + s} \dots\dots(29)$$

【計算例】 我國鐵道省のC51型過熱單式機關車の牽引貨車重量を求む。但し牽引力は87頁の計算例に於て示した第58圖を用ひ、走行抵抗に就ては105頁の計算例を用ふ。而して出發抵抗は7 kg/tとし、速度が10km/hに達する迄は略直線的に減少し、それ以後は走行抵抗公式によるものとする。又貨車の走行抵抗は次式によるものとする。

$$R_2 = 2.07 + 0.00066V^2$$

先づV=0の場合を考ふれば前の計算例から

$$T=9900\text{kg}, \quad W_1=113.8\text{t}$$

$$R_1=R_2=7\text{kg/t}$$

$$W_1R_1=113.8 \times 7=800\text{kg}$$

故にV=0に於けるW<sub>2</sub>は

$$W_2 = \frac{9100 - 113.8 \times 7}{7 + s\%}$$

今種々の勾配に対する出発の際の牽引重量W<sub>2</sub>を求めれば次の通りである。

s(%)	5	10	15	20	25	30	35	40
W <sub>2</sub> (t)	710	470	335	250	195	150	120	95

次に種々の速度に対するR<sub>2</sub>を計算して前の計算例で得たT及びW<sub>1</sub>R<sub>1</sub>と共に表示すれば第15表となる。

第 15 表

V(km/h)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
T(kg)	9900	9800	7500	6250	5400	4800	4250	3800	3450	3100
W <sub>1</sub> R <sub>1</sub> (kg)	590	670	750	840	940	1060	1180	1320	1470	1630
T - W <sub>1</sub> R <sub>1</sub> (kg)	9310	9130	6750	5410	4460	3740	3070	2480	1980	1470
R <sub>2</sub> (kg/t)	2.136	2.334	2.664	3.126	3.720	4.446	5.304	6.294	7.416	8.670

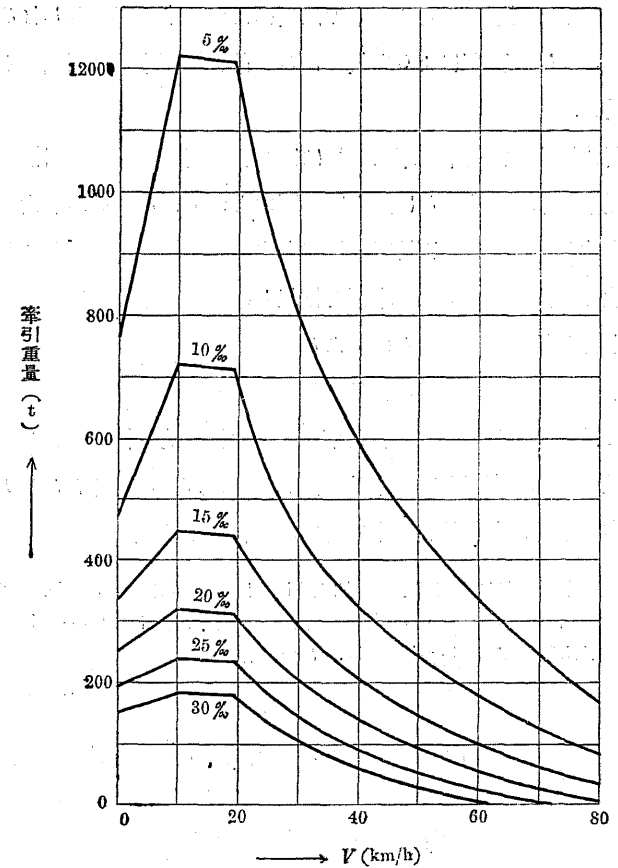
これ等の値を(2)式に用ひて種々の速度及び種々の勾配に対する牽引重量(t)を求めれば第16表の通りである。

第 16 表

V(km/h)	10	20	30	40	50	60	70	80	
s%	0	4350	3900	2530	1730	1200	483	579	394
	5	1220	1170	805	595	415	335	242	169
	10	670	647	443	326	242	180	126	82
	15	443	428	291	204	147	104	67	36
	20	318	307	203	135	92	59	31	7
	25	238	230	144	91	56	30	7	0
	30	183	176	105	60	31	9	0	0

以上の計算結果を圖示すれば第66圖の通りである。

第66圖から明かであるやうに、機關車の牽引し得る重量は速度と勾配とに支配せらるゝものである。殊に勾配の影響の著しく大なることは大いに注目



第 66 圖

すべきであつて、このことは他の機關車に於ても同様である。

### 43 機關車の牽引定數

列車の速度が與へらるれば、機關車の牽引重量は線路の勾配に応じて自ら

定まる。而して列車の速度は列車の種類によつて略一定たらしむるを普通とするが、勾配は各區間により差異がある。故に機關車の牽引重量も亦區間により差異がある。

各區間に於ける機關車の牽引重量は即ち各區間に於ける牽引輛數を示すもので、實際列車を編成するに際して必要なものである。その最大値を機關車の牽引定數と稱へ、我國に於ては便宜上之を換算輛數を以て表はして居る。換算輛數とは總重量 10t なる車輛を假想し、實際の車輛の自重及び荷重をこの假想車輛の數に換算したものである。

機關車の牽引定數を定むるに必要な列車の速度を如何にとるかは、主として列車の性質に依る。即ち貨物列車に於ては經濟的運轉を主とするため成るべく多數の貨車を牽引して列車數を減じ、その速度を低くとることが出来るが、旅客列車殊に急行旅客列車に於ては事情が全く逆である。

〔註〕我國有鐵道に於ては貨物列車に對しては 17km/h を採り、混合及び旅客列車に對しては勾配に應じて 17~22km/h、又急行列車に對しては 27~33km/h、特別急行列車に對しては 27~33km/h をとつて居る。

## 第十二章 列車制動

### 44 制 動 力

ブレーキブロックによつて車輪に加へらるゝ壓力を制動力と稱へる。制動の原動力は手動制動に於ては人の手力、空氣制動及び真空制動に於ては制動筒内のピストンに働く空氣の壓力であつて、これ等は何れもブレーキリッキングによつて幾倍かに擴大されてブレーキブロックに加はる。その擴大率を制動挺率といふ。今

$P$  = ブレーキブロックに傳達せられた制動力

$f$  = ブレーキブロックと車輪との間の摩擦係數

とすれば制動の作用をなす力は  $fP$  である。而して制動挺率を適當に定むれば  $P$  は如何程でも大とすることが出来る譯であるけれども、 $P$  には自ら一定の限度がある。

即ち若し車輪の廻轉を止めんとする力  $fP$  が餘りに大となり、車輪と軌條との間の粘着力を超過するに至れば、車輪は遂にその廻轉を止めなければならない。今

$\mu$  = 車輪と軌條との間の粘着係數

$W$  = 車輪の上に加はる重量

とすれば

$fP \leq \mu W$  の間は車輪は廻轉を持續するが

$fP > \mu W$  となれば車輪は最早廻轉し得ない。

車輪が廻轉し得なくなつても尙車輪が進行する場合には車輪は軌條の上を滑走することとなり、このために車輪及び軌條は甚しく損傷されることとなる。また車輪の廻轉が止れば、制動作用の状態は全く異りたるものとなる。即ちブレーキブロックは最早制動の作用をなさないで、之に代つて制動の作用をなすものは車輪と軌條との間の滑走によつて生ずる摩擦である。然るにこの滑り摩擦の係數は、車輪とブレーキブロックとの間の場合と、車輪と軌條との間の場合とによつて異なる値をとる。何となれば、車輪と軌條とは何れも鋼であるが、ブレーキブロックは鑄鐵であるからである。

今

$\mu$  = 車輪と軌條との間の滑り摩擦係數

とすれば、一般に

$$\mu' < \mu$$

であつて、車輪の廻轉が止つた後の制動作用をなす力は $\mu'W$ である。然るに車輪の廻轉が止るのは

$$fP > \mu W$$

の場合であるから、この式と上式とを組合せて

$$fP > \mu W > \mu' W$$

となる。即ち車輪が廻轉を持続して居る場合よりも、車輪の廻轉の止つた場合の方が制動の作用をなす力は小となる。

故に車輪の廻轉の止ることは、車輪と軌條とを傷めるのみならず制動の効果も減らすこととなり、二重の損失である。従つてブレーキブロックに加ふべき制動力 $P$ は車輪の廻轉を止めない範圍に制限されなければならない。即ち

$$fP \leq \mu W$$

故に $P$ の最大値は

$$P = \frac{\mu}{f} W = k W$$

で表はされる。この式中、 $f$ の値は列車の速度及び車輪とブレーキブロックとの濕潤状態によつて變化し、又 $\mu$ の値も天候其他に關係あること前にも述べた通りである。故に車輪の廻轉を止めない範圍の $P$ の最大値も亦それ等の條件によつて差異あること勿論である。

而して制動機設計上からいへば、如何なる場合にも車輪の滑走を起さないやうにするために $f$ はその最大値を、 $\mu$ はその最小値をとるべきであつて、この場合には

$$k \leq 0.25$$

となる。之は最も安全な方法には相違ないが、實際上には餘りに制動の効力

を減少せしむることとなり、却つて制動本來の目的に副ばない結果となるものである。故に實際設計に當つては、それよりも大なる $P$ を出し得るやうにして置き、實際の運轉に於て制動を働かしむるに際し、その時の條件に應じて $P$ の値を加減するのが普通である。

かやうに $P$ の値には一定の限度があるものであるが、その限度以内ならば成るべく大なる方が制動の効果は大である。又 $f$ の値は速度によつて増減し速度の大なる程小である。故に一定の $P$ を以て制動を作用せしめた場合、高速度の場合には滑走することがある。故に制動を最も有効ならしむるには速度に應じて $P$ の値を加減しなければならない。

#### 45 ブレーキブロックと車輪との間の摩擦係數

普通の滑り摩擦の法則に於ては二つの相接觸して居る物體間の壓力と摩擦力との關係は常に一定で、壓力の大小及び滑る速さには無關係である。然るにブレーキブロックと車輪との間の摩擦は、實驗の結果、この法則に従はな

第 17 表

速 度 M/h(km/h)	摩 擦 係 數			摩 擦 係 數 と 接 觸 時 間			
	最 大	最 小	平 均	最初の 3 秒	5~7 秒	12~16 秒	24~25 秒
60(96.6)	0.123	0.058	0.074	0.062	0.054	0.048	0.043
50(80.5)	0.153	0.050	0.116	0.100	0.070	0.056	—
40(64.4)	0.194	0.088	0.140	0.134	0.100	0.080	—
30(48.3)	0.196	0.098	0.164	0.184	0.111	0.098	—
20(32.2)	0.240	0.133	0.192	0.205	0.175	0.128	0.070
10(16.1)	0.281	0.161	0.242	0.320	0.209	—	—
5(8.0)	0.340	0.156	0.278	0.360	—	—	—
始 動 時	—	—	0.330	—	—	—	—

いことが明かとなつて居る。例へば有名な Galton 及び Westinghouse の實驗の結果は第17表に示す通りで、この摩擦係数が列車の速度と共に變化すること、及び車輪とブレーキブロックとの接觸時間の大小によつて變化することを示して居る。

かやうにブレーキブロックと車輪との間の摩擦が普通の摩擦の法則に従はない理由は、速度が極めて大なるためにこの二物體の間に甚しい熱が生じ、その結果兩者の金屬が軟くなり、同時にその間に甚しい磨耗が起るためであるとされて居る。兎に角この摩擦は列車の速度と密接な關係があるものであつて、Wichert は實驗の結果から次の公式を導いて居る。

$$f = e \frac{1 + 0.0112V}{1 + 0.06V} \dots\dots\dots (30)$$

$f$  = ブレーキブロックと車輪との間の摩擦係數

$V$  = 列車の速度(km/h)

$e$  = ブレーキブロックと車輪との濕潤状態に關係ある常數

= 0.25... 濕潤して居る場合

= 0.45... 乾燥して居る場合

今質量  $m$  なる列車が  $V$  なる速度で走行しつゝある場合を考へ、ブレーキブロックと車輪との間に  $1$  なる制動力が作用して  $dx$  だけの滑りを起し、その間に列車の速度は  $dV$  だけの變化をなしたとすれば、その仕事量の關係は

$$f dx = m V dV$$

である。従つて

$$dx = \frac{m}{f} V dV$$

次に列車の速度がこの制動力のために  $V_2$  より  $V_1$  に低下する間のブレーキブロックと車輪との間の滑り  $x$  は次の如くなる。

$$x = \int_{V_1}^{V_2} dx = \int_{V_1}^{V_2} \frac{m}{f} V dV$$

而して實際にはこの間に  $f$  の値は時々刻々變化し來つたのであるが、今近似的にその平均値  $f_m$  といふ不變の値であつたと假定すれば、上式は

$$x = \int_{V_1}^{V_2} \frac{m}{f} V dV = \frac{m}{f_m} \int_{V_1}^{V_2} V dV = \frac{m}{f_m} \frac{1}{2} (V_2^2 - V_1^2)$$

となり、従つて近似的に

$$\begin{aligned} f_m &= \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \int_{V_1}^{V_2} \frac{V}{f} dV} \\ &= \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \int_{V_1}^{V_2} \frac{V dV}{e \frac{1 + 0.0112V}{1 + 0.06V}}} \\ &= \frac{0.5e(V_2^2 - V_1^2)}{2.69(V_2^2 - V_1^2) - 389(V_2 - V_1) + 34735 \log_e \frac{1 + 0.0112V_2}{1 + 0.0112V_1}} \dots\dots\dots (31) \end{aligned}$$

若し  $V$  なる速度の列車に制動を加へ、それが停車するまでの平均摩擦係數を求むるには、上式に於て  $V_1 = 0$ 、 $V_2 = V$  とおけばよい。即ち

$$f_m = \frac{0.5eV^2}{2.67857V^2 - 389V + 34735 \log_e(1 + 0.0112V)} \dots\dots\dots (32)$$

$e = 0.25$  としてこの式から計算した  $f_m$  の値は第18表に示す通りである。

我國の鐵道省では實驗の結果(30)式の代りに次の式を用ひて居る。

$$f = e \frac{1 + 0.01V}{1 + 0.05V} \dots\dots\dots (33)$$

ここに  $e$  は車輪とブレーキブロックとの濕潤状態に關係ある係數で次の値をとる。

- c=0.42 晴天好条件のとき
- c=0.30 雨天不良条件のとき
- c=0.32 普通の場合

(33)式を用ふれば平均摩擦係数  $f_m$  は次の通りとなる。

$$f_m = \frac{0.5cV}{2.5V^2 - 400V + 40000 \log(1 + 0.01V)} \dots\dots\dots(34)$$

今 c=0.32 を用ふれば第18表の値が得られる。

第 18 表 平均摩擦係数  $f_m$  の値

V(km/h)		20	30	40	50	60	70	80	90
Wic- hert	c=0.25	0.164	0.142	0.128	0.117	0.109	0.103	0.098	0.095
	c=0.30	0.205	0.181	0.165	0.151	0.142	0.134	0.128	0.122
鐵道省	c=0.32	0.219	0.193	0.176	0.162	0.152	0.143	0.136	0.131
	c=0.42	0.287	0.254	0.230	0.213	0.199	0.188	0.179	0.171

### 46 制 動 距 離

制動距離とは制動機を使用して列車に制動力を加へる手段をとつてから、列車が実際に停車するに至るまでの間に進行する距離である。併し実際には制動手段をとつてから制動力がその實効を開始するまでの間には相當の時間が空費さるゝものであつて、之を空走時間と稱し、この間に列車が走る距離を空走距離といふ。

又長い列車に於ては、實際の制動作用は先づ制動機に最も近い車輛に働き漸次之に遠い車輛に及ぶもので、全車輛が同時に制動力を受けるとは考へられない。之等の關係を考慮に入れば、空走時間を如何にとるかは極めて困難なことであるが、空氣制動機を用ひた場合大略次の如きものと考へて差支ないであらう。

第 19 表

	非常制動	常用制動
旅客列車	3秒	6秒
貨物列車	7〃	13〃
電車列車	2〃	4〃

〔註〕 我國の鐵道省に於ける空氣制動機の實驗の結果によれば空走時間は次の如くなつて居る。

第 20 表

	列車の編成	非常制動(4.5kg/cm <sup>2</sup> )	常用制動
ボギー客車	5輛	2.1秒	6.0秒
	10〃	3.2〃	7.9〃
	15〃	4.1〃	11.3〃
貨 車	10輛	2.5秒	4.4秒
	20〃	3.4〃	5.6〃
	30〃	4.4〃	7.0〃
	40〃	5.5〃	8.6〃
	50〃	6.8〃	10.4〃
	60〃	8.0〃	12.3〃
	70〃	9.4〃	14.4〃

次に制動力が完全に作用してから列車が停車するまでの間に走る距離の計算は、加速度抵抗の公式を用ひて容易に行ふことが出来る。即ち加速度抵抗の公式(27)に於て、Pを加速度抵抗の代りに減速度抵抗と見れば、之によつてV<sub>2</sub>なる速度がV<sub>1</sub>に低下するまでの間に走る距離lは次の式によつて與へられる。

$$l = 4 \frac{V_2^2 - V_1^2}{P} \dots\dots\dots(34)$$

而してこの場合の減速度抵抗Pは、列車の走行抵抗と制動力による制動抵抗とから成る。これ等の抵抗は何れも速度と共に變化するものであるから、V<sub>2</sub>なる速度から停止するに至るまでの平均値を、夫々前者はR<sub>0</sub>、後者はR<sub>m</sub>

を以て表はせば

$$P = R_m + R_m' \dots \dots \dots (35)$$

$P, R, R'$ は何れも全列車の重量 1t 當りの抵抗を kg にて示すものとし、

且つ

$$R_1 = \text{機關車の平均走行抵抗 (kg/t)}$$

$$R_2 = \text{客貨車の平均走行抵抗 (kg/t)}$$

$$W_1 = \text{機關車の重量 (t)}$$

$$W_2 = \text{客貨車の重量 (t)}$$

とすれば

$$R_m = \frac{R_1 W_1 + R_2 W_2}{W_1 + W_2} \dots \dots \dots (36)$$

又  $P_1 = \text{機關車のブレーキブロックに於ける壓力の總和 (kg)}$

$P_2 = \text{客貨車のブレーキブロックに於ける壓力の總和 (kg)}$

とし、ブレーキブロックと車輪との間の平均摩擦係数を  $f_m$  とすれば

$$R_m' = \frac{f_m (P_1 + P_2)}{W_1 + W_2} \dots \dots \dots (37)$$

〔計算例〕 次の急行列車の制動距離を求め、但し線路は水平直線とす。

機關車及び炭水車の重量  $W_1 = 110\text{t}$

ホギ-客車13量の重量  $W_2 = 430\text{t}$

機關車の制動力  $P_1 = 60\text{t}$

客車の制動力  $P_2 = 160\text{t}$

速度  $V = 60\text{km/h}$

機關車の走行抵抗  $R_1 = 11.42 + 0.00089V^2$

客車の走行抵抗  $R_2 = 1.6 + 0.00056V^2$

ブレーキブロックと車輪との間の摩擦係数は Wichert によるものとし

$c = 0.25$  を採用する。

走行抵抗の平均値を概略  $V = 60\text{km/h}$  と  $V = 0$  とに對するもの平均に等しいものと假定すれば

	$R_1$	$R_2$
$V = 60\text{km/h}$	14.62kg/t	3.62kg/t
$V = 0$	11.42	1.60
平均	13.02	2.61

故に

$$R_m = \frac{13.02 \times 110 + 2.61 \times 430}{110 + 430} = 4.73\text{kg/t}$$

次にブレーキブロックと車輪との間の平均摩擦係数は第18表ら  $f_m = 0.109$  である。故に

$$R_m' = \frac{0.109 \times (60000 + 160000)}{110 + 430} = 44.41\text{kg/t}$$

故に制動距離  $l$  は(34)式により

$$l = 4 \times \frac{60 \times 60}{4.73 + 44.41} = 293\text{m}$$

尚空走時間を 3 秒とすれば

$$\text{空走距離} = 60 \times \frac{1}{3.6} \times 3 = 50\text{m}$$

故に

$$\text{全制動距離} = 293 + 50 = 343\text{m}$$

尙正確なる結果を得るためには、 $V = 60\text{km/h}$  より停止するに至るまでの間を多くの階段に分ち、例へば 60~55, 55~50, 50~45, ... 等に分ち、各階段毎に平均走行抵抗及び平均制動抵抗を求めて、速度變化の各階段毎の走行距離を算出し、之を合計すればよい。

## 47 制動時間

制動時間とは或る速度を以て進行中の列車に制動手段をとつてから、之が停止するに至るまでの間に経過する時間であつて、制動機がその作用を開始するに至るまでの空走時間と、之が作用を開始した後停車に至るまでの時間との和である。

制動機がその作用を開始してから列車が停止するに至るまでの時間を算出する方法は、次の通りである。

今

$W$  = 列車の總重量(t)

$R$  = 列車の走行抵抗及び制動抵抗の和(kg/t)

$v$  = 列車の速度(m/sec)

$m$  = 列車の質量

とし、列車に  $R$  なる抵抗が作用してその速度が  $dv$  なる變化をなす間に、列車は  $dx$  なる距離を走つたとすれば、列車の廻轉部の廻轉エネルギーを無視して次の關係がある。

$$WRdx = mvdv$$

然るに  $v = \frac{dx}{dt}$  であるから

$$WRdx = m \frac{dx}{dt} dv$$

これから

$$dt = \frac{m dv}{WR}$$

今列車が  $v_1$  (m/sec) の速度から停車するに至るまでの時間を  $T$  (sec) とすれば

$$T = \int dt = \int_0^{v_1} \frac{m dv}{WR}$$

この式中  $R$  は速度と共に變化するものであるが、今その平均値を用ひて之を常數と見做し、 $R_m$  を以て表はせば

$$T = \frac{m}{WR_m} \int_0^{v_1} dv = \frac{m}{WR_m} v_1$$

然るに列車の質量  $m$  は

$$m = \frac{W \times 1000}{9.8} = 102W$$

であるから

$$T = 102 \frac{v_1}{R_m}$$

而して無視された列車の廻轉部の廻轉運動のエネルギーを考慮に入れるため、今得た結果を 0.5~0.6% 割増することゝすれば、結局列車の制動機がその作用を開始してから列車が停止するに至る迄の時間は次の式で表はされる。

$$T = 108 \frac{v_1}{R_m} \dots \dots \dots (38)$$

〔計算例〕 前節の計算例を用ふれば  $T = 108 \times \frac{16.667}{49.41} = 36 \text{sec}$

### 48 制 動 軸 數

列車運轉の安全を期するために十分なる制動装置の必要なことはいふまでもないが、經濟上の關係から總べての車輛に制動設備を施すことの困難な場合がある。かやうな場合には列車の組成に當り、その列車の運轉の安全を保つために制動装置を具備すべき車輛數の最小限度を知る必要がある。而して一般に制動装置を有する車輛數の代りに、之を有する軸數即ち制動軸數が用ひられ、一列車の連結總軸數に對する制動軸數の比率が運轉の安全を保ち得る程度に定められるのが普通である。

連結軸數は車輛によつて軸重が異なるから、之を換算軸數で表はす。之と同様に、制動軸數も亦車軸によつて制動力の差があるから、換算制動軸數で表はすのが便利で、普通之を用ひて居る。例へば我國鐵道省の例によれば

	連結軸數	制動軸數
機關車の1働軸	2	2
炭水車の1軸	1.5	1.5



電氣機關車の1働軸	2	5
空貨車の1軸	0.5	1
積貨車及び客車の1軸	1	1
車側制動機ある貨車の1軸	1	0.2

次に必要なる制動軸数は、列車の有するエネルギーを殺して終ふ間に進行する距離、即ち制動距離を幾何まで許すかによつて決定される。この許容制動距離を出来るだけ小にとることは、列車運轉の安全を期する上に望ましいことであるけれども、そのためには十分なる制動装置を設備することが必要であり、従つて經濟上の問題を伴ふこととなる。故に實際には、それ等の點を考慮して許容制動距離を決めるのであるが、普通には400~800mにとつて居る。かやうに許容制動距離が與へらるれば、必要なる制動軸数は次の様に算定することが出来る。

今

$W$  = 列車の總重量(t)

$V$  = 列車の速度(km/h)

$R$  = 平均走行抵抗(kg/t)

$R_g$  = 勾配抵抗(kg/t) =  $\pm s\%$  (+は上り勾配, -は下り勾配)

$P$  = 平均制動抵抗(kg/t)

$l$  = 制動距離(m)

とすれば、列車の有する直進運動のエネルギーは

$$\frac{1}{2} \frac{W \times 1000}{9.8} \left( \frac{V}{3.6} \right)^2 = 3.937 W V^2 \text{ kgm}$$

之に廻轉部の廻轉運動のエネルギーを直進運動のエネルギーの約6%と見做

して割増すれば、列車の有する全エネルギーは

$$3.937 W V^2 (1 + 0.06) = 4.17 W V^2$$

この全エネルギーを殺して列車を停止するに至らしむるものは列車の抵抗及び制動力で、その値は  $s\%$  なる勾配上では

$$W(R + P \pm s) l \text{ kgm}$$

である。故に

$$W(R + P \pm s) l = 4.17 W V^2$$

この式から次の関係が得られる。

$$P l = 4.17 V^2 - (R \pm s) l \dots \dots \dots (39)$$

次に

$f$  = 車輪とブレーキブロックとの間の平均摩擦係數

$w$  = 1 連結軸上の平均重量(t)

$p$  = 1 制動軸に於ける平均制動力(t)

$$k = \frac{p}{w}$$

$m$  = 列車の全連結軸數

$n$  = 列車の全制動軸數

とすれば

$$P = \frac{f n p \times 1000}{W} = \frac{1000 n f k w}{m w} = 1000 f k \frac{n}{m}$$

故に

$$P l = 1000 f k l \frac{n}{m}$$

之を(39)式に用ふれば次の式が得られる。

$$\frac{n}{m} = \frac{1}{f k l} \left\{ 0.00417 V^2 - \frac{R \pm s}{1000} l \right\} \dots \dots \dots (40)$$

この式から與へられた  $V, R, s, l$  に對する必要な制動軸の比率  $n/m$  が決定せられる。

若し制動軸の比率 $n/m$ と勾配 $s$ とが與へられて居る場合には、列車の速度 $V$ を制限しなければならない。即ち(40)式から

$$V = \sqrt{\frac{\frac{n}{m} f k l + \frac{R+s}{1000} l}{0.00417}} \dots\dots\dots (41)$$

この式から明かなる如く、下り勾配に於ては列車運轉の安全を期するために速度が著しく制限されることが分る。