

## 第四編 線 路

### 第十三章 線路の勾配

#### 49 勾配の影響

線路の勾配はその線路に於ける機関車の牽引重量及び列車の速度に大なる影響を與へるのみならず、運轉費及び保守費にも少からざる影響を與へるものである。

勾配の影響は上り勾配と下り勾配とによつて異なる。機関車の牽引重量及び列車の速度と上り勾配との関係は前に述べた通りである(第66圖参照)。即ち一定の速度に對する牽引重量は勾配が急となるに従つて著しく減少し、又牽引重量を一定とすれば勾配が急となるほど速度が減少する。又下り勾配に於ける列車運轉の安全を期するためにも列車の重量又は速度が制限を受けることは前に述べた通りである(41式参照)。

次に上り勾配に於ける勾配抵抗及び急なる下り勾配に於ける制動抵抗のために運轉費の増加を來すことはいふまでもない。又勾配が線路の保守上有害なことに就ては後に述べる。

#### 50 制限勾配

上述の如く勾配は機関車の牽引重量を制限するものであるから、與へられた線路の列車重量は普通(後述の惰力勾配、後推勾配の如き特別の場合を除く)その線路の最急勾配によつて制限される。

今或る線路に於て、その線路の豫定列車重量と速度とを與へ、且つ機関車

の牽引力が與へらるれば、之に對して許容し得べき最急勾配を定むることが出来る。故に若しかくの如く定めたる勾配を與へられたる線路に於ける最急勾配とし、それ以上に急なる勾配を許さないこととすれば、機關車はその線路に於て常に豫定の列車重量を牽引することが出来る。與へられたる線路に對しかくの如き意味に於て定められたる最急勾配を、その線路の制限勾配といふ。

線路の勾配を緩かにすることは、列車重量及び運轉速度を増加せしむるのみならず、運轉費及び保守費に於ても大なる節約をなさしむるものである。故に制限勾配を成るべく緩かにすることは望ましいことであるが、地形の關係上甚しく建設費の増加を來し、交通量の小なる線路では却つて不經濟となる場合がある。故に制限勾配の決定は主として地形と交通量の多少とによるものである。即ち平地では一般に交通量大であるから緩勾配を有利とし、地形も亦之を許す場合が多い。之に反し、山地では緩勾配とするために多くの費用を費すは不得策で、又一般に交通量が少いから急勾配を用ひても輸送力の不足を來すことは少い。故に一般に制限勾配は平地では緩かに、山地では比較的急に定められる。但し主要な幹線に於ては山地でも平地と同様制限勾配を緩かにして輸送力の低下を防ぐことはいふまでもない。

一般に用ひられて居る制限勾配は蒸汽鐵道では

平	地	5%
起	伏	10%
山	地	25%
山	地	40%
主	要	35%

又電氣鐵道を用ふる山地では

主	要	35%
---	---	-----

主要ならざる線 70%

である。

我國有鐵道に於ける制限勾配は第21表に示す通りである。

第 2 1 表

線 路	制 限 勾 配	牽引重量
甲 線	25%(特別の場合10%)	300~330t
乙 線	25%(特別の場合30%)	200~225t
丙 線	35%	120~140t
簡 易 線	35%	75~95t

又朝鮮國有鐵道に於ては第22表に示す制限勾配が用ひられる。

第 2 2 表

線 路	制 限 勾 配
甲 種	10%
乙 種	15%(特別の場合25%)
丙 種	25%(特別の場合40%)

### 51 惰力勾配

一般に制限勾配より急なる勾配が許されないことはいふまでもないことであるが、若し急勾配が餘り長くなく、且つ停車場より相當の距離にあつて列車が十分大なる速度を以て之に差しかゝり得る場合には、別に機關車の牽引力を増さなくとも單にその速度が自然に減少することから起る惰力を利用してこの急勾配を上ることが出来る。かやうな場合にはその急勾配が假令制限勾配より急であつても牽引力を低下せしむることはないから、之を許容することがある。かやうな急勾配を惰力勾配といふ。

今

$s_a$  = 惰力勾配(%)

$s_0$  = 制限勾配(%)

$l_a$  = 惰力勾配の長さ(m)

$h_a$  = 惰力勾配両端の高さの差(m)

$V_1$  = 惰力勾配の麓の速度(km/h)

$V_0$  = 惰力勾配の頂上に於ける許容最小速度(km/h)

$W$  = 列車の重量(t)

とすれば、利用し得る惰力  $A$  は

$$A = 4W(V_1^2 - V_0^2)$$

然るに惰力勾配上に於て必要なる餘分のエネルギー  $E$  は

$$E = W(s_a - s_0)l_a$$

但し列車の走行抵抗は惰力勾配上に於ても制限勾配上に於ても同一と見做す(厳密にいへば、この二勾配上では速度が異なるから走行抵抗は多少異なる筈である)。

故に  $E=A$  から

$$l_a = 4 \frac{V_1^2 - V_0^2}{s_a - s_0}$$

$$s_a = 4 \frac{V_1^2 - V_0^2}{l_a} + s_0$$

.....(42)

従つて又

$$h_a = \frac{l_a s_a}{1000}$$

例へば

$s_a = 20\%$

$s_0 = 10\%$

$V_1 = 40\text{km/h}$

$V_0 = 20\text{km/h}$

の場合には

$$l_a = 4 \times \frac{40^2 - 20^2}{20 - 10} = 480\text{m}$$

$$h_a = \frac{480 \times 20}{1000} = 9.6\text{m}$$

即ち長さ480m以内ならば惰力勾配を用ひることが出来る。

惰力勾配上の運轉に於ては、同じ高さを制限勾配で上る場合に比し殆んど運轉費の差異はない。故に惰力勾配は決して不利益ではない。その長さが餘り大でなく、之を下る場合の運轉上の安全が保たるゝ範圍に於ては全く顧慮する必要はない。

惰力勾配が最も有利に用ひられるのは、停車場の前後に於て之に向つて上り勾配となつて居る場合である。この場合、惰力勾配は停車場に到着する列車の制動を助け、又之から出發する列車の發車加速度を大ならしむるに役立つ。併し機關車が過走する場合には甚だ危険であるから普通は之を避けた方がよい。線路が道路や他の鐵道の上を跨いで横斷する場合等に於て惰力勾配を利用することが多い。

### 52 後推勾配

線路の一部に制限勾配より急な勾配があつても、その部分に後推機關車を用ふれば、別に線路の輸送力を減少せしめないで済む譯である。故に地形の關係上どうしても所定の制限勾配が得られない場合には、已むを得ずそれより急な勾配を用ひ、この部分に後推機關車を用ふることがある。かやうな急勾配を後推勾配といふ。

後推勾配は後推機關車及び牽引機關車が、何れもその最大牽引力を以て列車を牽引するやうに定むるのが有利であるといふまでもない。

今

$T$  = 牽引機關車の牽引力(kg)

$W_1$  = 牽引機關車の重量(t)

$R_1$  = 牽引機關車の走行抵抗(kg/t)

$W_2$  = 貨車の總重量(t)

$R_2$  = 貨車の走行抵抗(kg/t)

$s_0$  = その線路の制限勾配(%)

とすれば

$$T = (W_1 + W_2)s_0 + W_1R_1 + W_2R_2$$

故にこの線に於て牽引し得る貨車の重量は

$$W_2 = \frac{T - W_1(s_0 + R_1)}{s_0 + R_2}$$

この場合若し牽引機關車と同型の機關車を後推機關車として用ひ、後推勾配を  $s_p$  % とすれば

$$2T = (2W_1 + W_2)s_p + 2W_1R_1 + W_2R_2$$

故に

$$s_p = \frac{2T - 2W_1R_1 - W_2R_2}{2W_1 + W_2}$$

之に上の  $W_2$  の式を用ひ、且つ實際には牽引後推兩機關車の全牽引力が常に同時に作用することの困難なことを考慮して、 $c$  なる係數( $c=0.90\sim0.95$ )を用ふれば、後推勾配  $s_p$  % は

$$s_p = \frac{2(cT - W_1R_1) - \frac{T - W_1(R_1 + s_0)}{R_2 + s_0} R_2}{2W_1 + \frac{T - W_1(R_1 + s_0)}{R_2 + s_0}} \dots\dots\dots(43)$$

から定めることが出来る。

〔計算例〕

$$T = 4800\text{kg}$$

$$W_1 = 50\text{t}, \quad c = 0.95$$

$$R_1 = 5\text{kg/t}, \quad R_2 = 3\text{kg/t}$$

$$s_0 = 25\%$$

● 場合には、後推勾配は

$$s_p = \frac{2 \times (0.95 \times 4800 - 50 \times 5) - \frac{4800 - 50(5 + 25)}{3 + 25} \times 3}{2 \times 50 + \frac{4800 - 50(5 + 25)}{3 + 25}} = \frac{8620 - 354}{100 + 118} = 37.9\%$$

後推勾配を用ふれば線路の建設費を節約することは出来るが、後推機關車及び之に附屬する設備及び従事員の費用を増し、且つ後推機關車が歸る場合は無駄な運轉をなすこととなり、機關車の走行距離及び線路の保守費に於ても損失を來し、營業費の増加が相當の率に達する。故に建設費と營業費とを十分比較研究して慎重にその採否を決定すべきである。

〔註〕 以上の外急勾配線に於ては

- (1) 一列車を2又は3列車に分割して運轉すること。
- (2) 特に牽引力の大なる強力機關車を用ふること。

等によることも出来る。

何れも全線の列車の重量を制限することはないが、(1)の場合には、兩端の停車場に於て入換の設備を必要とし、且つ餘分の機關車及び之に附屬する設備が必要となる。又(2)の場合には急勾配線の兩端の停車場で機關車を強力なものに取りかへるための設備を要するのみならず、一般にかやうな特殊の機關車は經濟上不利である。

故に之等の方法は極めて短距離に用ひる場合の外は、一般に推賞すべきではない。

### 53 勾配の補正

勾配の上に若し曲線がある場合には勾配抵抗の外に曲線抵抗が加はる。こ

の場合その勾配が極めて緩かなものであれば、餘り顧慮するに及ばないが、若し勾配が制限勾配であるか、又は之に近い場合には、勾配抵抗と曲線抵抗との和が制限勾配の勾配抵抗を超過することがある。かやうな場合には、勾配は制限勾配を超過しなくとも、實際には制限勾配以上の勾配が存在すると同様の結果となり、豫定の牽引力が得られないこととなる。

故にかやうな場合には、勾配を緩かにして勾配抵抗と曲線抵抗との和が制限勾配の抵抗を超過しないやうにする必要がある。之を曲線に対する勾配の補正といふ。

今曲線抵抗を $R_r$ (kg/t)とすれば、この曲線は $R_r\%$ の勾配と同様の抵抗を與へる。即ち $R_r$ なる抵抗を與へる曲線は $R_r\%$ の勾配と見做すことが出来る。故に $s_r\%$ なる勾配上に $R_r$ なる抵抗の曲線があれば、この部分は $(s_r + R_r)\%$ なる勾配の直線と假想することが出来る。

〔註〕 かやうに曲線抵抗、加速度抵抗等を勾配に換算したものを假想勾配又は換算勾配といふ。

故に若し $(s_r + R_r)\%$ なる換算勾配が、その線路の制限勾配 $s_0\%$ を超過する場合には $(s_r + R_r - s_0)\%$ だけその勾配を緩かならしめなければならない。即ち曲線に於ける勾配 $s_r$ は

$$s_r = s_0 - R_r$$

を超過してはならない。

今曲線抵抗を

$$R_r = \frac{610}{r}$$

とすれば、補正量は

$$\frac{610}{r} \% \dots\dots\dots (44)$$

である。若し曲線半径 $r$ (m)の代りに角度 $D^\circ$ を用ふれば

$$r = \frac{1746}{D}$$

であるから

$$R_r = \frac{610}{1746} D = 0.35 D$$

即ち曲線に対する勾配の補正量は

$$\left. \begin{array}{l} 0.35 D \% \\ \text{或は } 0.35 \frac{1746}{r} \% \end{array} \right\} \dots\dots\dots (45)$$

となる。我國有鐵道ではこの式を用ひて居る。

尙實際に於ては、曲線に対する勾配補正量を、地形や列車運轉の状況等を斟酌して加減することがある。例へば朝鮮國有鐵道では次の様な補正量を用ひて居る。

- $0.35 \frac{1746}{r} \% \dots\dots$  普通の線路
- $0.40 \frac{1746}{r} \% \dots\dots$  長い上り勾配又は連続せる上り勾配で低速度の貨物列車等の登攀を支障する虞ある場合
- $0.50 \frac{1746}{r} \% \dots\dots$  停車位置に接近せる上り勾配、其の他特殊の場合

又 American Railway Engineering Association でも曲線に対する勾配の補正量を、曲線の長さ及び位置、列車の速度、勾配の緩急等に應じて $0.3D^\circ$ 、 $0.35D^\circ$ 、 $0.4D^\circ$ 、 $0.45D^\circ$ の4種として居る。

今 $0.35 \frac{1746}{r} \%$ の補正量を用ひて種々の勾配及び半径に対する補正勾配を算出すれば第23表の通りである。

第 23 表

原勾配 (%)	補 正 勾 配 (%)						
	r=200m	250m	300m	350m	400m	500m	600m
40	37	37.5	38	38.5	38.5	39	39
36	32	32.5	33	33.5	33.5	34	34
30	27	27.5	28	28.5	28.5	29	29
25	22	22.5	23	23.5	23.5	24	24
20	17	17.5	18	18.5	18.5	19	19
10	12	12.5	13	13.5	13.5	14	14

Y16000  
3.82  
31

曲線に対する勾配の補正が必要であることは上述した通りであるが、之と同様のことが隧道内に於ても起る。何となれば隧道内では濕氣のために軌條と機關車の働輪との間の粘着力が減少して牽引力の不足を來すことがあるからである。

今

- $\mu$  = 隧道外の粘着係數
- $\mu_t$  = 隧道内の粘着係數
- $W$  = 列車の總重量(t)
- $R$  = 列車の走行抵抗(kg/t)
- $s_0$  = 制限勾配(%)
- $R_r$  = 曲線抵抗(kg/t)
- $s_{rt}$  = 隧道内の補正勾配(%)
- $L$  = 機關車の働輪上の重量(t)

とすれば

隧道外では  $\mu L = W(R + s_0)$

隧道内では  $\mu_t L = W(R + R_r + s_{rt})$

故に

$$\frac{\mu_t}{\mu} = \frac{R + R_r + s_{rt}}{R + s_0}$$

従つて

$$s_{rt} = \frac{\mu_t}{\mu} (R + s_0) - (R + R_r) \dots\dots\dots (46)$$

〔計算例〕  $\mu_t = 0.8\mu$

$R = 3\text{kg t}, \quad s_0 = 25\%$

$r = 500\text{m}, \quad R_r = \frac{600}{r} = 1.2\text{kg/t}$

の場合には

$s_{rt} = 0.8(3 + 25) - (3 + 1.2) = 18.2\%$

尙長い單線の隧道に於ては空氣の抵抗が甚しく増加するために牽引力が減少する。その影響は隧道の長さ及び斷面形、列車の速度等によつて異なるが一般に3~6%の勾配抵抗に相當するものと考へられて居る。故に之を考慮に入れて、空氣抵抗の影響を3%の勾配抵抗に等しいものと見做せば、補正勾配は

$18.2 - 3 = 15.2\%$

となる。

この計算例から分るやうに隧道に於ける勾配の補正量は可なり大である。而して實際にはかやうに大なる補正をなすことは困難である。又或る程度までは砂を撒いて粘着力の不足を補ふことが出来るから普通は勾配の約15%を補正する。例へば20%の勾配に於ては3%を補正して17%とする。但し之は電氣運轉の場合であつて、蒸汽運轉の場合には一般に煤煙の苦痛を軽減せしむるために10%以上に急な勾配を用ふることがないから、従つて勾配を補正する必要がない。

隧道に対する勾配の補正は隧道の入口より相當手前の所から始めて、機關車の牽引力に多少でも餘裕を存して隧道に入らしめるを可とする。

### 54 平均勾配

上述の如く曲線や隧道に對して勾配を補正する結果、全線の平均勾配はその制限勾配より遙かに緩かなものとなる。而して線路の計畫に當つて、先づその平均勾配を推定することが出来れば甚だ便利である。之がためには曲線に對する勾配の補正によつて失はるゝ高さを推定しなければならないが、この高さは曲線の長短及び緩急即ち地形によつて定まるものである。今この高さの總和を $\Sigma h_r$ とし、又この線路の兩端の高さの差を $H$ とすれば、一般に

$$\text{平地にては } \Sigma h_r/H = 0.02 \sim 0.05$$

$$\text{起伏地にては } \Sigma h_r/H = 0.08 \sim 0.10$$

$$\text{山地にては } \Sigma h_r/H = 0.10 \sim 0.15$$

隧道に對する勾配の補正は曲線に對するもの程大なる影響を與へないから之から起る高さの損失は之を無視しても差支ないが、若し必要があれば箇々の場合に就て推定することが出来る。今之を $h_t$ で表はす。

尙この外に停車場を設くる場合は更に高さの損失を生ずる。即ち停車場では列車を安全に停止せしむるため、その区域内の勾配を極めて緩か (3.3%以下) にする必要があり、又停車場前後に於ても勾配を緩かにする必要があるのである。今

$$l_s = \text{停車場區域の長さ}$$

$$s_s = \text{停車場内の勾配}(\%)$$

$$s_0 = \text{制限勾配}(\%)$$

とすれば、一つの停車場のために失はるゝ高さの損失 $h_s$ は

$$h_s = \frac{s_0 - s_s}{1000} l_s$$

故に全體の高さの損失は

$$\Sigma h_r + \Sigma h_t + \Sigma h_s$$

となる。従つて $H$ なる高さの差を有する二點を結ぶ線路の最短距離 $l$ は

$$l = \frac{1000}{s_0} (H + \Sigma h_r + \Sigma h_t + \Sigma h_s) \dots\dots\dots (47)$$

となる。

〔計算例〕  $H = 120\text{m}$ ,  $s_0 = 25\%$

$$\Sigma h_r/H = 0.1 \text{ (起伏地)}$$

$$\therefore \Sigma h_r = 0.1 \times 120 = 12\text{m}$$

隧道の長さ  $l_t = 300\text{m}$  (一箇所)

隧道に對する勾配の補正量は4%とする

$$\therefore h_t = \frac{4}{1000} \times 300 = 1.2\text{m}$$

停車場の長さ  $l_s = 400\text{m}$  (二箇所)

停車場内の勾配  $s_s = 0\%$

停車場前後各150mの勾配  $s_s = 3\%$

$$\therefore \Sigma h_s = \frac{25-0}{1000} \times 400 \times 2 + \frac{25-3}{1000} \times 150 \times 4 = 33.2\text{m}$$

$$\Sigma h_r + \Sigma h_t + \Sigma h_s = 12 + 1.2 + 33.2 = 46.4\text{m}$$

故にこの線路の最短距離 $l$ は

$$l = \frac{1000}{25} (120 + 46.4) = 6656\text{m}$$

従つて平均勾配 $s_m$ は

$$s_m = \frac{H}{l} = \frac{120}{6656} \times 1000 = 18\%$$

### 55 勾配と運轉費、無害勾配及び有害勾配

線路の勾配が常に制限勾配より緩かに選ばれて居るならば、その線路は豫定の輸送力を有することは確實である。併し勾配の選定に當つては、豫定の輸送力を得ると同時に、その運轉費を出来るだけ少からしむることに留意しなければならない。故に勾配と運轉費との關係を吟味する必要がある。而してこの關係には、その線路の上下各方向に於ける輸送量の均衡不均衡が大な

る影響を與へる。従つて上下の輸送量が平均して居る場合と、然らざる場合とに分けて考慮する必要がある。

(a) 上下の輸送量が平均せる場合

今

$T$  = 必要なる牽引力

$W$  = 列車の重量

$R$  = 列車の走行抵抗

$R_r$  = 曲線抵抗

$s_r$  = 曲線上の勾配抵抗

$s$  = 直線上の勾配抵抗

とすれば、列車が勾配を下る場合の牽引力  $T_D$  は

$$\left. \begin{array}{l} \text{直線上では } T_D = W(R-s) \\ \text{曲線上では } T_D = W(R+R_r-s_r) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (48)$$

故に若し

$$\left. \begin{array}{l} s < R \\ s_r < R+R_r \end{array} \right\} \dots\dots\dots (49)$$

なる場合を考ふれば

$$T_D > 0$$

即ち勾配を下る場合にも牽引力が必要である。

又勾配を上る場合の牽引力  $T_U$  は

$$\left. \begin{array}{l} \text{直線上では } T_U = W(R+s) \\ \text{曲線上では } T_U = W(R+R_r+s_r) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (50)$$

であるから、上下各の場合の牽引力の平均値  $T_m$  は(48)及び(50)式から

$$\left. \begin{array}{l} \text{直線上では } T_m = \frac{1}{2}(T_L+T_U) = WR \\ \text{曲線上では } T_m = \frac{1}{2}(T_D+T_U) = W(R+R_r) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (51)$$

即ち(51)式は、勾配が(49)式の関係にある場合には、勾配線を上下する牽引力の平均値と水平線を往復する場合の牽引力とが全く等しいことを示して居る。故にこの場合には運轉費は勾配線も水平線も全く同一で、勾配線を上るために費した多くの運轉費は之を下る場合に節約し得るのである。

かやうな勾配を無害勾配といひ

$$\left. \begin{array}{l} \text{直線上では } s \leq R \\ \text{曲線上では } s_r \leq R+R_r \end{array} \right\} \dots\dots\dots (52)$$

である。而して無害勾配に於ては、之を上る場合にも下る場合にも牽引力を要するから、成るべく曲線を避くるを可とする。

次に(48)式に於て、若し

$$\left. \begin{array}{l} s > R \\ s_r > R+R_r \end{array} \right\} \dots\dots\dots (53)$$

である場合には

$$T_D < 0$$

となる。即ち勾配を下る場合に制動機を用ひなければならない。故にこの時の牽引力  $T_D$  は

$$\left. \begin{array}{l} \text{直線上では } T_D = -W(R-s) \\ \text{曲線上では } T_D = -W(R+R_r-s_r) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (54)$$

而して勾配を上る場合の牽引力  $T_U$  は(50)式と同様であるから、勾配線を上下する平均の牽引力  $T_m$  は(50)及び(54)から

$$\text{直線上では } T_m = \frac{1}{2}(T_D+T_U) = Ws$$



$$\text{曲線上では } T_m = \frac{1}{2}(T_D + T_U) = Ws_r$$

然るに(53)式から  $s > R$ ,  $s_r > R + R_r$  であるから

$$\left. \begin{array}{l} \text{直線上では } T_m = Ws > WR \\ \text{曲線上では } T_m = Ws_r > W(R + R_r) \end{array} \right\} \dots\dots\dots(55)$$

故に勾配が(53)式の関係にある場合には、勾配線を上下する場合の牽引力が水平線を往復する場合の牽引力より大である。即ち上り勾配に於て多くの牽引力を要するのみならず、下り勾配に於ては制動機を用ふるために仕事をしなければならないこととなり、従つて勾配線の運轉費が水平線の運轉費より大となるのである。

かやうな勾配を有害勾配といひ

$$\left. \begin{array}{l} s > R \\ s_r > R + R_r \end{array} \right\} \dots\dots\dots(56)$$

で表はされる。

有害勾配中にある曲線の抵抗は列車が勾配を下る場合に必要とする制動を助け、之がために費さるゝ仕事の量を減少せしめるから却つて有利である。このことは上述の無害勾配の場合に、曲線が上下共に多くの牽引力（従つて多くの運轉費）を要するものと異るところである。故に有害勾配の場合には、曲線は上り勾配に於てのみ害となり、無害勾配に於けるが如く上下共に害となることはない。従つて山地の鐵道に於ては平地の鐵道に於ける程曲線を恐れる必要はない。

勾配の有害及び無害を決定するものは  $R$  及び  $R_r$  である。列車の走行抵抗  $R$  は列車の速度に關係があるが、普通  $R = 3 \sim 8 \text{ kg/t}$  であるから、有害勾配と無害勾配との境界は  $3 \sim 8 \%$  の範囲内にある。

(b) 上下の輸送量が不平均なる場合——今勾配を上る方向の輸送量を  $W$

とし、勾配を下る方向の輸送量を  $W' = nW$  とすれば、先づ  $s < R$  即ち勾配を下るに際して制動を必要としない範囲に於ては

$$\begin{array}{l} T_U = W(R + s) \\ T_D = nW(R - s) \end{array}$$

故に二方向の平均の牽引力  $T_m$  は

$$T_m = \frac{1}{2}(T_U + T_D) = \frac{1+n}{2}WR + \frac{1-n}{2}Ws$$

この式の右邊第一項は水平線に於ける往復の平均牽引力に等しい。故に有害無害の區別は第二項の正負によつて決定される。即ち  $n < 1$  の場合には第二項が正となり常に有害であるに反し、 $n > 1$  の場合には第二項が負となるから勾配線は却つて水平線より有利である。換言すれば輸送量の異なる方向に於ける上り勾配は有害であり、反對に輸送量の異なる方向に於ける上り勾配は  $s < R$  の範囲に於ては却つて水平線よりも有利である。

次に  $s > R$  の場合には

$$\begin{array}{l} T_U = W(R + s) \\ T_D = -nW(R - s) \end{array}$$

$$\therefore T_m = \frac{1}{2}(T_U + T_D) = \frac{1-n}{2}WR + \frac{1+n}{2}Ws$$

$$\text{或は } T_m = \frac{1+n}{2}WR - \frac{W}{2} \{ 2nR - (1+n)s \}$$

故にこの式の右邊第二項の正負によつて有害無害の別が定まる。然るに  $n < 1$  即ち輸送量の異なる方向に上り勾配がある場合には上式の右邊第二項は正となるから有害である。之に反し、 $n > 1$  の場合（即ち輸送量の異なる方向に上り勾配がある場合）に、上り勾配が有害となるには、上式より

$$2nR - (1+n)s < 0 \quad \text{或は} \quad \frac{s}{R} > \frac{2n}{n+1} \dots\dots\dots(57)$$

即ち

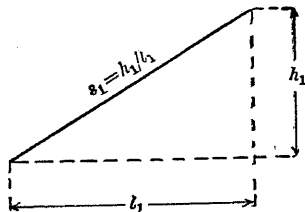
$n$	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0
$\frac{s}{R}$	1.0	1.09	1.17	1.23	1.29	1.33	1.43	1.50	1.60

故に上下の輸送量が不均等なる場合には、輸送量の異なる方向の上り勾配は常に有害であり、又輸送量の異なる方向に於ける上り勾配は上下の輸送量が平均して居る場合よりも、急なるものを許し得ることとなる。

〔註〕 厳密にいへば、勾配の緩急により速度が異なり、従つて  $R$  は一定ではない。故に之を考慮にとれば問題は更に複雑となる。

56 損失勾配

今上下の輸送量が平均して居る線路に於て、 $h_1$  なる高さの差ある二點間を  $l_1$  なる長さの線路にて結ぶ場合、その勾配が  $s_1 = h_1/l_1$  なる単一勾配ならば運



第 67 圖

轉費は最小となる(第67圖)。併し實際の場合に単一勾配を得ることは困難であるのみならず、時としては之がために建設費を大ならしめ、却つて不利となることがある。又運轉費を最小ならしむるものは必ずしも単一勾配のみに限らない。故

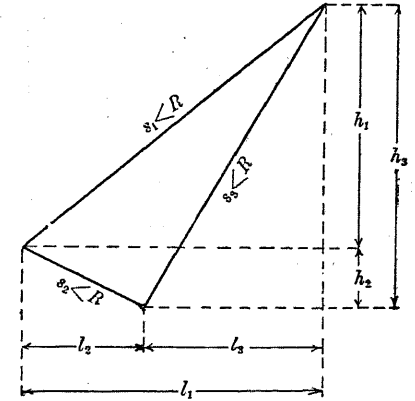
に単一勾配の代りに種々なる勾配を組合せた場合、運轉に如何なる影響を與ふるかを吟味する必要がある。而して若し単一勾配に比して多少でも運轉費(仕事量)の増加を來す場合には、その組合せ勾配を損失勾配といふ。

この問題は  $s_1$  が無害勾配である場合と、有害勾配である場合とに區別して吟味する方が便利である。

(a)  $s_1$  が無害勾配、即ち  $s_1 < R$  の場合——この場合  $s_1$  なる単一勾配を上下

するに要する仕事の量を夫々  $A_U$ ,  $A_D$  とし、列車の重量を  $W$  とすれば

$$\begin{aligned}
 A_U &= W(R + s_1)l_1 \\
 &= W(Rl_1 + h_1) \\
 A_D &= W(R - s_1)l_1 \\
 &= W(Rl_1 - h_1) \\
 &\dots\dots\dots(58)
 \end{aligned}$$



第 68 圖

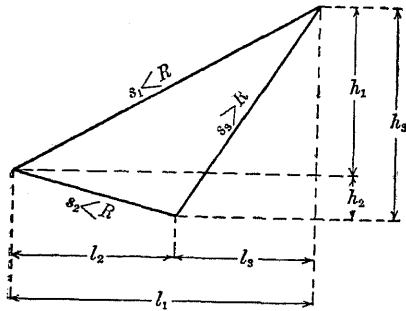
而して単一勾配  $s_1$  の代りに採られた組合せ勾配  $s_2, s_3$  が何れも無害勾配である場合即ち  $s_2 < R, s_3 < R$  (第68圖) の場合には

$$\begin{aligned}
 A_U &= W\{R - s_2\}l_2 + (R + s_3)l_3\} \\
 &= W\{R(l_2 + l_3) + (h_3 - h_2)\} \\
 &= W(Rl_1 + h_1) \\
 A_D &= W\{R - s_3\}l_3 + (R + s_2)l_2\} \\
 &= W\{R(l_3 + l_2) + (h_2 - h_3)\} \\
 &= W(Rl_1 - h_1)
 \end{aligned}$$

即ち  $A_U, A_D$  何れも (58) 式と同一であるから、この場合には損失勾配とはならない。

若し  $s_2, s_3$  の内何れか一方が有害勾配である場合、例へば  $s_2 < R, s_3 > R$  の場合には(第69圖)、 $s_3$  を下る時に制動の必要が起る。而してこの場合の仕事量は

$$\begin{aligned}
 A_U &= W\{R - s_2\}l_2 + (R + s_3)l_3\} \\
 &= W\{R(l_2 + l_3) + (h_3 - h_2)\}
 \end{aligned}$$



第 69 圖

$$\begin{aligned}
 &= W(Rl_1 + h_1) \\
 A_D &= W \{ -(R - s_3)l_3 \\
 &\quad + (R + s_2)l_2 \} \\
 &= W \{ R(l_1 - l_2 + l_3 - l_3) \\
 &\quad + (h_3 + h_2) \} \\
 &= W(Rl_1 - 2Rl_2 + h_3 + h_2)
 \end{aligned}$$

然るに  $s_1 > R$  であるから

$$2Rl_2 < 2s_1l_2 = 2h_2$$

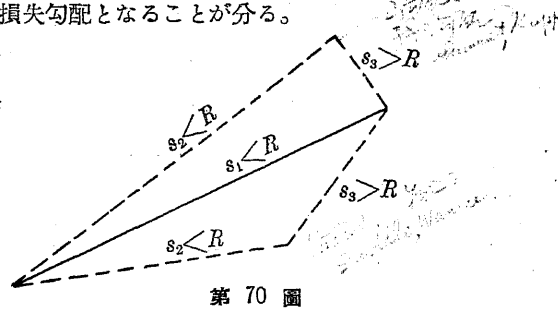
之を上式に用ひて

$$\begin{aligned}
 A_D &> W(Rl_1 - 2h_2 + h_3 + h_2) \\
 &> W(Rl_1 - h_1)
 \end{aligned}$$

即ちこの場合には  $A_D$  だけが (58) 式の値より大である。之を前の場合と比較

すれば、 $s_1$  なる有害勾配を下る際に損失勾配となることが分る。

このことは勾配  $s_2, s_3$  が第 69 圖の如く落込み勾配である代りに第 70 圖點線の如き場合にも同様であつて、有害勾配を下る場合に常に損失勾配となる。



第 70 圖

故に  $s_1$  が無害勾配の場合には  $s_2, s_3$

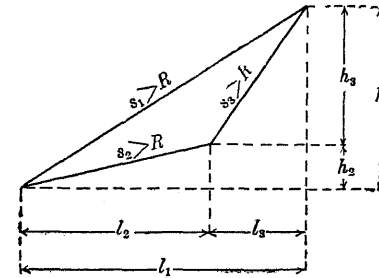
の何れかが有害勾配なる時損失勾配となる。

(b)  $s_1$  が有害勾配即ち  $s_1 > R$  の場合——この場合  $s_1$  なる單一勾配に於ける仕事の量は

$$\left. \begin{aligned}
 A_U &= W(R + s_1)l_1 = W(Rl_1 + h_1) \\
 A_D &= -W(R - s_1)l_1 = W(h_1 - Rl_1)
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (59)$$

而してこの場合は  $s_2, s_3$  の内少くとも何れか一方は必ず有害勾配となり、又  $s_2, s_3$  共に有害勾配となることもある。

先づ  $s_2, s_3$  何れも有害勾配なれども同方向に傾いて居る場合には (第 71 圖)



第 71 圖

$$\begin{aligned}
 A_U &= W \{ (R + s_2)l_2 + (R + s_3)l_3 \} \\
 &= W \{ R(l_2 + l_3) + h_2 + h_3 \} \\
 &= W(Rl_1 + h_1) \\
 A_D &= W \{ -(R - s_3)l_3 - (R - s_2)l_2 \} \\
 &= W \{ h_3 + h_2 - R(l_3 + l_2) \} \\
 &= W(h_1 - Rl_1)
 \end{aligned}$$

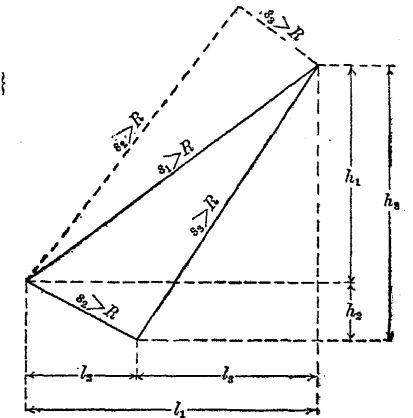
即ち  $A_U, A_D$  何れも (59) 式と同一で

ある。故にこの場合には損失勾配とはならない。

然るに若し第 72 圖實線の如く  $s_2, s_3$  が落込み勾配となる場合には

$$\begin{aligned}
 A_U &= W \{ -(R - s_2)l_2 + (R + s_3)l_3 \} \\
 &= W \{ R(l_3 - l_2) + h_2 + h_3 \} \\
 &= W \{ Rl_1 - R(l_1 + l_2 - l_3) + h_2 + h_3 \} \\
 &= W(Rl_1 - 2Rl_2 + h_2 + h_3) \\
 &> W(Rl_1 - 2s_2l_2 + h_2 + h_3) \\
 &> W(Rl_1 + h_1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_D &= W \{ -(R - s_3)l_3 + (R + s_2)l_2 \} \\
 &= W \{ h_3 + h_2 - Rl_1 \\
 &\quad + R(l_1 + l_2 - l_3) \} \\
 &= W(h_3 + h_2 - Rl_1 + 2Rl_2) \\
 &> W(h_3 + h_2 - Rl_1 - 2h_2) \\
 &> W(h_1 - Rl_1)
 \end{aligned}$$



第 72 圖

となるから、上下とも損失勾配となる。このことは第70圖中點線で示す如き所謂拜み勾配の場合にも全く同様で、上下共損失勾配となる。故に $s_1$ が有害勾配で且つ $s_2, s_3$ も有害勾配である場合には、 $s_2, s_3$ の傾きが同方向であれば少しも差支ないが、異方向に傾くこと即ち落込み勾配及び拜み勾配は出来るだけ避けなければならない。

次に $s_2$ は無害勾配で、 $s_3$ のみが有害である場合には(第73圖参照、圖中の點線に対しては複符號中下の符號を用ふ)

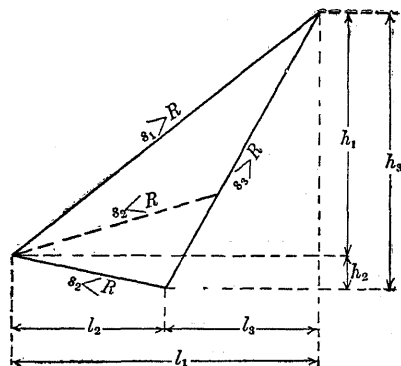
$$\begin{aligned} A_U &= W \{ (R \mp s_2) l_2 + (R + s_3) l_3 \} \\ &= W \{ R(l_2 + l_3) \mp h_2 + h_3 \} \\ &= W(Rl_1 + h_1) \end{aligned}$$

となり、又

$$\begin{aligned} A_D &= W \{ -(R - s_3) l_3 + (R \pm s_2) l_2 \} \\ &= W \{ h_3 \pm h_2 - R(l_3 - l_2) \} \\ &= W \{ h_3 \pm h_2 - Rl_1 + R(l_1 + l_2 - l_3) \} \\ &= W \{ h_3 \pm h_2 - Rl_1 + 2Rl_2 \} \\ &> W \{ h_3 \pm h_2 - Rl_1 \mp 2s_2 l_2 \} \\ &> W \{ h_1 - Rl_1 \} \end{aligned}$$

となるから、 $s_3$ なる有害勾配を下る場合に損失勾配となる。

以上を總括すれば



第 73 圖

(a)  $s_1$ が無害勾配の場合

$s_2, s_3$ が共に無害勾配なれば損失勾配とならず。

$s_2, s_3$ の内何れかが有害勾配なれば、その有害勾配を下る場合に損失勾配となる。

(b)  $s_1$ が有害勾配の場合

$s_2, s_3$ が共に有害勾配であつても同方向に傾いて居る場合には損失勾配とならない。

$s_2, s_3$ が共に有害勾配で而も落込み勾配又は拜み勾配であれば、上下共に損失勾配となる。

$s_2, s_3$ の内何れか一方のみが有害勾配であれば、その有害勾配を下る場合に損失勾配となる。

故に次の結論が得られる。

- (1) 平地の鐵道に於ては  $s_2, s_3$ が無害勾配である範圍に於ては如何なる勾配の變化も差支ない。何となれば平地では一般に  $s_1$ が無害勾配であつて  $s_2, s_3$ が損失勾配とならないからである。
- (2) 山地の鐵道に於ても  $s_2, s_3$ が落込み勾配又は拜み勾配でない範圍に於ては  $s_2, s_3$ が共に有害勾配であつても差支ない。何となれば山地では  $s_1$ は一般に有害勾配であつて、この場合には上下共損失勾配となることがないからである。
- (3) 以上(1),(2)の場合には輸送量が上下の方向に平均して居るか否かは問題とならない。
- (4) 山地の鐵道に於ては落込み勾配及び拜み勾配を避けなければならない。何となれば山地では一般に  $s_1, s_2$ 及び  $s_3$ 何れも有害勾配となることが多く、かゝる場合には上下共に損失勾配となるからである。

## 第十四章 曲 線

## 57 曲線の影響

直線の線路が最も望ましいことはいふまでもないことであるが、相当長い線路を悉く一直線とすることは實際上不可能である。故に線路の方向の變化は已むを得ないものであり、その變化を圓滑ならしむるために曲線の必要が起る。従つて曲線は勾配と同様避く可からざるものであるが、その影響に於ては勾配とは自ら異なるものがある。

今曲線の影響を擧ぐれば

- (1) 曲線に於ては車輛の通過が困難であるから、車輛の固定軸距が制限を受ける。故に長大なる機關車に於ては關節を用ふる等特別の設計を必要とする。
- (2) 列車が曲線を通過する際には列車は常に接線の方向に直進しようとし、且つ遠心力のために曲線の外方に向ふ力を受ける。之がため列車の脱線顛覆の危険があるのみならず、乗心地を悪くし、列車の速度を著しく制限することとなる。
- (3) 曲線は列車の抵抗を増し、運轉費、保線費、車輛修繕費等を増加せしめる。
- (4) 曲線は線路の見透を悪くし運轉上危険である。

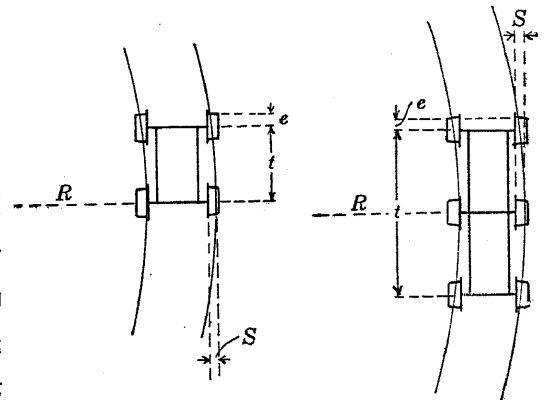
等である。曲線抵抗は勾配抵抗に比すれば比較的小であるから、曲線は運轉經濟上には勾配ほど大なる影響を及ぼすことはないが、保線上には種々の困難と費用の増大とを來す。而して近來列車速度の昂上に伴ひ益々重大な問題となつて來た。併し曲線の影響の最も大なるものは、列車速度の制限と乗心

地を悪くすることである。即ち曲線の影響は、勾配が機關車の牽引力を減殺し、又運轉費に相當の影響を與ふる等、主として運轉經濟上の不利を來すこと大なるに反し、寧ろ運轉の安全及び乗客の快適に關することが多い。故に曲線半径の選定は主としてこの觀點からなされる。

## 58 曲線に於けるスラック

鐵道車輛に於ては2又は3個の車軸が平行に剛結せられて居るため、曲線通過の際總ての車軸が圓曲線の中心に向ふことはあり得ない。又車輪には輪縁があるから、若し曲線に於ても直線に於けると同様の軌間が與へらるゝ場合には、軌條と輪縁とは甚しく軋り合ひ圓滑に通過することが出來ない。故に曲線に於ては直線に於けるよりも軌間を擴大せしめる必要がある。而して曲線に於ける軌間の擴大をスラック(Slack)といふ。

スラックの量は曲線半径及び固定軸距の大小並に曲線通過の際に於ける車軸の位置によつて定まる。固定軸距  $t$  が比較的小なる場合には車軸は第74圖の如き位置をとり、 $t$  が比較的大なる場合には第75圖の位置をとる。

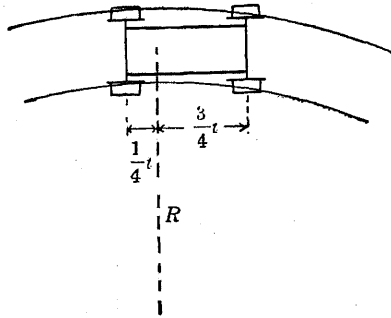


第 74 圖

第 75 圖

第74圖の場合には次の關係がある。

$$(t+e)^2=2RS$$



第 76 圖

但し  $S$  はスラック,  $e$  は輪縁と軌條との接觸する長さである。故に

$$S = \frac{(t+e)^2}{2R} \dots\dots (60)$$

同様に第75圖の場合には

$$S = \frac{(t+2e)^2}{8R} \dots\dots (61)$$

若し第75圖の場合に中央の車軸が左右に  $\epsilon$  だけ移動の自由を有すれば

$$S = \frac{(t+\epsilon)^2}{8R} - \epsilon \dots\dots (62)$$

となる。例へば  $t=7\text{m}$ ,  $e=0.193\text{m}$ ,  $\epsilon=12\text{mm}$  とすれば

$$S = \frac{(7+0.193 \times 2)^2}{8R} \times 1000 - 12$$

$$= \frac{6820}{R} - 12 \quad (\text{但し } S \text{ の単位は mm})$$

実際には  $e$  は  $t$  に比し極めて小であるから、之を無視すれば(60), (61), (62)式は夫々次の通りとなる。

$$S = \frac{t^2}{2R}, \quad S = \frac{t^2}{8R}, \quad S = \frac{t^2}{8R} - \epsilon$$

若し曲線通過の際に於ける車輛の位置が第76圖の如くであるものとすれば

$$S = \frac{\left(\frac{3}{4}t\right)^2}{2R} = \frac{9t^2}{32R} \dots\dots (63)$$

この式に於て  $t=4600\text{mm}$  とし,  $S$  を  $\text{mm}$  で表はせば

$$S = \frac{6000}{R}$$

我國の鐵道省では次の式を用ひて居る。

$$S = \frac{5620}{R} - 5$$

この式に於ては軌條と車輪との間の遊間  $5\text{mm}$  を考慮して居る。

スラックが餘り大となれば車輪の輪縁が甚しく磨耗した場合に車輪が軌條から外れる虞がある。故にスラックの量には最大限がある。その最大限度は普通  $30 \sim 35\text{mm}$  で, 狹軌には  $30\text{mm}$ , 廣軌には  $35\text{mm}$  が用ひられて居る。

スラックは曲線の内側の軌條を内方に移動せしむることによつて與へられる。蓋し外側軌條は列車を曲線に沿ふて導くものであるから、之を移動せしむるは宜敷くないからである。而してスラックは曲線の全長に亘つて之を附け、曲線前後の直線部に於て漸次遞減せしめる。その遞減距離は  $5 \sim 10\text{m}$  を普通とし、若し緩和曲線を用ふる場合には緩和曲線の全長に亘つて遞減せしめる。

### 59 曲線に於けるカント *Cant Superelevation*

(a) カントの必要——列車が曲線を走行する場合には遠心力が作用する結果

- (1) 外側の軌條は大なる重量及び横壓を受け軌條及び車輪の磨耗が甚しくなる。
- (2) 従つて列車抵抗を増加する。
- (3) 内側の軌條に加はる重量が減少して僅かの支障によつても脱線を起し易くなる。

之等の不利を軽減せしむるために、曲線に於ては外側の軌條を内側の軌條よりも高く敷設し、故意に車輛を曲線の内方に傾かしめ、遠心力が車輛を外方に傾斜せしめんとする傾向と相殺せしめる。かやうに曲線に於て特に與へられる内外軌條の高さの差をカント(Cant)といふ。

(b) カントの決定——列車の速度が與へらるればカントの量は容易に計算することが出来る。今

- $m$  = 列車の質量
- $V$  = 列車の速度
- $R$  = 曲線の半径

とすれば、遠心力  $F$  及び遠心加速度  $\alpha$  は

$$\left. \begin{aligned} F &= \frac{mV^2}{R} \\ \alpha &= \frac{V^2}{R} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (64)$$

故に遠心力と列車の重量との合成力が軌道の中心にあるためには、遠心加速度  $\alpha$  と重力加速度  $g$  との比が軌間  $G$  とカント  $H$  との比に等しくなければならない。即ち(第77圖参照)

$$\frac{\alpha}{g} = \frac{V^2}{Rg} = \frac{H}{G}$$

故に

$$H = \frac{GV^2}{gR} \dots\dots\dots (65)$$

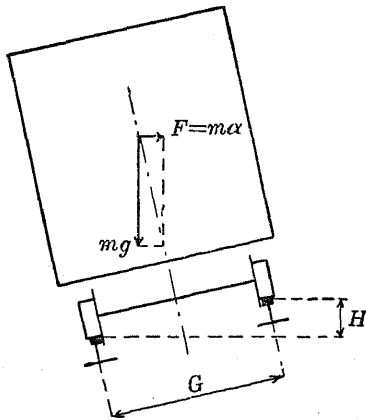
今  $H$  及び  $G$  を  $m$ ,  $V$  を  $\text{km/h}$ ,  $R$  を  $m$  で表はせば  $g = 9.8 \text{m/sec/sec}$  を用ひて

$$H = \frac{GV^2}{127R} \dots\dots\dots (66)$$

となる。

故に  $1.067 \text{m}$  の軌間に對しては

$$H = 8.4 \frac{V^2}{R} \dots\dots\dots (67)$$



第 77 圖

又  $1.485 \text{m}$  軌間に對して  $G = 1.5 \text{m}$  とおけば

$$H = 11.8 \frac{V^2}{R} \dots\dots\dots (68)$$

之等の理論公式に於ては車輛は自由に走行するものと假定して居るけれども、實際の列車に於ては各車輛は互に相連結され又異種類の車輛を以て一列車を成すこともあるから、各車輛が夫々自由に走行して居るとは考へられない。故に理論的公式の實際的價値は著しく減ぜられることとなり、従つて之に代ふるに簡單なる實用公式が用ひられることもある。

列車の速度  $V$  が與へらるれば、之等の公式から容易にカントを決定することが出来る。併し列車速度は都市の高速鐵道の如き同種類の旅客のみを輸送する場合には略一定して居るけれども、普通の鐵道の如く列車の種類のものに於ては一定し難い。殊に近來旅客の高速輸送に伴ひ、同一線路に於ける列車速度の差は一層甚しくなりつゝある。故に列車速度の一定しない普通の鐵道に於て、如何なる速度を用ひてカントを決定すべきかは重要な問題である。而して曲線に關する種々の困難がこゝに潜むこととなる。

カント決定に必要な列車速度のとり方に就ては二つの考察點がある。その一は保線費を出来るだけ小ならしめようとする經濟的考察である。即ち曲線に於ける内外の軌條の磨耗を均等ならしむるが如きカントをとるのである。この目的に對しては一般に

$$\left. \begin{aligned} V &= \frac{a_1 V_1 + a_2 V_2 + \dots + a_n V_n}{a_1 + a_2 + \dots + a_n} \\ \text{又は } V &= \sqrt{\frac{a_1 V_1^2 + a_2 V_2^2 + \dots + a_n V_n^2}{a_1 + a_2 + \dots + a_n}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (69)$$

の如き平均速度が用ひられて居る。こゝに  $V_1, V_2, \dots, V_n$  はその線路を通過する列車の速度、 $a_1, a_2, \dots, a_n$  等は夫々  $V_1, V_2, \dots, V_n$  なる速度の列車の回数

である。前式は單なる平均速度であるが、後式は各列車及び各速度に對するカントの平均値を與ふるが如き速度である。

我國の鐵道省で用ひて居る公式は

$$V_m = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2}{2}} \dots \dots \dots (70)$$

こゝに

- $V_m$  = 平均速度
- $V_1$  = 豫定最大速度
- $V_2$  = 豫定最小速度

を示し、且つ  $V_1, V_2$  を豫定するには

$$\frac{V_1^2 - V_m^2}{127R} = \frac{V_m^2 - V_2^2}{127R} \leq \frac{1}{8} \frac{G}{H_0} \dots \dots \dots (71)$$

なる條件を必要とする。こゝに  $H_0$  は車輛の重心の高さを示す。この條件は最大及び最小速度に於ける車輛の顛覆に對する安全率が 4 であることを條件づけたものである。

又平均速度の代りに最大速度を用ひ、その代りに上記の理論公式に於ける係数を小ならしむるものもある。例へば 1.435m 軌間に對して

$$H = 8 \frac{V^2}{R} \dots \dots \dots (72)$$

の如きで、之は一般に多く用ひられて居る。朝鮮國有鐵道では係數 8 の代りに 8.7 が用ひられて居る。

次にカントの決定に關する第二の考察點は運轉の快適即ち乗心地の問題である。若しこの問題を重要視すれば、カントは寧ろ高速旅客列車の速度を基準として定むるを可とするのであるが、從來この問題は餘り重要視されて居ない。従つてカントは大に失するよりも寧ろ小に過ぐるを可とするの傾向が

あつた。併し列車のスピードアップの結果は、この乗心地の問題を等閑に附する譯に行かなくなつて來た。

今軌間  $G$  に對し  $H$  なるカントを與へたとすれば (第 78 圖参照)、内外軌條面の傾斜  $\gamma$  は

$$\tan \gamma = \frac{H}{G} \dots \dots (73)$$

で、この傾斜に相當する遠心加速度  $\alpha$  は

$$\alpha = \frac{H}{G} g$$

である。こゝに  $g$  は重力の加速度を示す。

而してこの線路を運轉する最大速度を  $V_1$  とすれば、之から起る遠心力  $mV_1^2/R$  と重さ  $mg$  との合成力の傾斜  $\varphi$  は

$$\tan \varphi = \frac{mV_1^2}{R} \frac{1}{mg} = \frac{V_1^2}{gR} \dots \dots \dots (74)$$

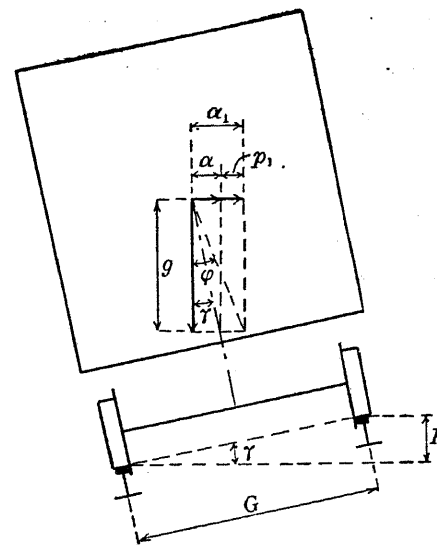
又  $V_1$  によつて起る遠心加速度  $\alpha_1$  は

$$\alpha_1 = \frac{V_1^2}{R}$$

故に最大速度  $V_1$  に對し  $H$  なるカントを與へることによつても猶平均されな  
い遠心加速度  $p_1$  は

$$p_1 = \alpha_1 - \alpha = \frac{V_1^2}{R} - \frac{H}{G} g \dots \dots \dots (75)$$

若し  $p_1 > 0$  ならば、列車の乗客は曲線の外方に向つて  $p_1$  なる加速度を感ず



第 78 圖



ることとなり、 $p_1$ が大なる程乗心地が悪くなる。

同様の推論を列車の最小速度 $V_2$ に就て行へば、乗客が曲線の内方に向つて感ずる加速度 $p_2$ は

$$p_2 = \frac{H}{G}g - \frac{V_2^2}{R} \dots\dots\dots (76)$$

となり、 $p_2$ が大なる程乗心地が悪くなる。故に乗心地の問題は $p_1, p_2$ の大小の問題に歸する。

乗客に餘り不快の念を起さしめない程度の $p_1, p_2$ の値に就ては種々の意見があるけれども、普通の場合には次の如き値が採られて居る。

- $p_1 \leq 0.3 \sim 0.4 \text{ m/sec/sec}$ .....カントを附けた線路
- $p_1 \leq 0.45 \sim 0.6 \text{ m/sec/sec}$ .....分岐等の如くカントを附けない線路
- $p_2 \leq 0.45 \sim 0.6 \text{ m/sec/sec}$

かやうに乗心地を考慮して $p_1, p_2$ の許容値を定め得たとすれば、(75)式から

$$\left. \begin{aligned} H &= \frac{G}{g} \left( \frac{V_1^2}{R} - p_1 \right) \\ H &= \frac{G}{g} \left( p_2 + \frac{V_2^2}{R} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (77)$$

なるカントの兩極限を求むることが出来る。この式に於て $V_1, V_2$ を km/h,  $p_1, p_2$ を m/sec/sec,  $R$ を m,  $H$ を mm にて表はせば

$$\left. \begin{aligned} 1.067\text{m 軌間に對しては} & \left\{ \begin{aligned} H &= 109 \left( \frac{V_1^2}{12.96} \frac{1}{R} - p_1 \right) \\ H &= 109 \left( p_2 + \frac{V_2^2}{12.96} \frac{1}{R} \right) \end{aligned} \right. \\ 1.435\text{m 軌間に對しては} & \left\{ \begin{aligned} H &= 153 \left( \frac{V_1^2}{12.96} \frac{1}{R} - p_1 \right) \\ H &= 153 \left( p_2 + \frac{V_2^2}{12.96} \frac{1}{R} \right) \end{aligned} \right. \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (78)$$

例へば  $V_1=70\text{km/h}, V_2=30\text{km/h}, R=400\text{m}$  の場合に  $p_1=0.4\text{m/sec/sec}, p_2=0.6\text{m/sec/sec}$  とすれば

$$\left. \begin{aligned} 1.067\text{m 軌間に對しては} & \left\{ \begin{aligned} H &= 109 \left( \frac{70 \times 70}{12.96} \frac{1}{400} - 0.4 \right) = 109 \times 0.5452 = 60\text{mm} \\ H &= 109 \left( 0.6 + \frac{30 \times 30}{12.96} \frac{1}{400} \right) = 109 \times 0.7736 = 85\text{mm} \end{aligned} \right. \\ 1.435\text{m 軌間に對しては} & \left\{ \begin{aligned} H &= 153 \times 0.5452 = 84\text{mm} \\ H &= 153 \times 0.7736 = 119\text{mm} \end{aligned} \right.$$

(c) カントの最大量と速度の許容超過率——カントが餘り大となれば列車が曲線上に停車した場合に顛覆の危険があるからカントには自ら最大限があること勿論であるが、カントの最大量は又速度の許容超過率にも関係がある。

今半徑  $R(\text{m})$  なる曲線に  $H(\text{m})$  なるカントを附けた場合を考ふれば

$$\frac{H}{G} = \tan \gamma = \frac{V^2}{127R}$$

故にこのカントに相當する列車の速度  $V(\text{km/h})$  は

$$V = \sqrt{127R \tan \gamma}$$

而して乗心地を考慮して許容さるべき遠心加速度を曲線の外方及び内方に對して夫々  $p_1, p_2$  とし、又許容さるべき最大及び最小速度を夫々  $V_1, V_2$  とすれば(第78圖参照)

$$\left. \begin{aligned} \frac{V_1^2}{127R} &= \tan \varphi_1 = \tan \gamma + \frac{p_1}{g} \\ \frac{V_2^2}{127R} &= \tan \varphi_2 = \tan \gamma - \frac{p_2}{g} \end{aligned} \right.$$

之から許容最大及び最小速度を求むれば

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \sqrt{127R \left( \tan \gamma + \frac{p_1}{g} \right)} \\ V_2 &= \sqrt{127R \left( \tan \gamma - \frac{p_2}{g} \right)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (79)$$

今之等の式に於て

$$p_1=0.4\text{m/sec/sec}$$

$$p_2=0.6\text{m/sec/sec}$$

を採り、 $g=9.8\text{m/sec/sec}$  を用ふれば

$$\frac{p_1}{g} \doteq 0.04, \quad \frac{p_2}{g} \doteq 0.06$$

故に

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \sqrt{127R(\tan \gamma + 0.04)} \\ V_2 &= \sqrt{127R(\tan \gamma - 0.06)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (80)$$

従つて

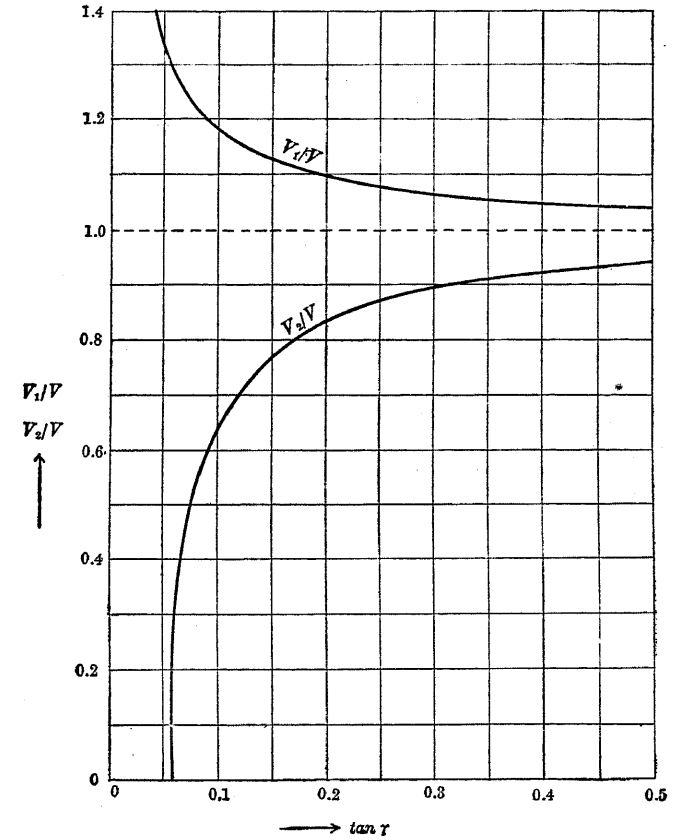
$$\left. \begin{aligned} \frac{V_1}{V} &= \sqrt{\frac{\tan \gamma + 0.04}{\tan \gamma}} \\ \frac{V_2}{V} &= \sqrt{\frac{\tan \gamma - 0.06}{\tan \gamma}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (81)$$

故に(81)式から與へられたる  $\tan \gamma$  (即ちカントを意味す) に適合する速度  $V$  と之に對する許容最大速度  $V_1$  及び許容最小速度  $V_2$  との關係を明かにすることが出来る。即ち第24表の通りである。

第 24 表

$\tan \gamma$	$V_1/V$	$V_2/V$	$\tan \gamma$	$V_1/V$	$V_2/V$
0.04	1.41	0	0.25	1.08	0.87
0.06	1.29	0	0.30	1.06	0.89
0.10	1.18	0.63	0.40	1.05	0.92
0.15	1.13	0.77	0.50	1.04	0.94
0.20	1.10	0.84			

この表を圖示すれば第79圖が得られる。この圖より明かなる如く  $\tan \gamma$  が大



第 79 圖

なる程、換言すればカントが大なるほど許容最大及び最小速度の範圍が縮小せられる。故にカントを餘り大ならしむることは望ましくない。従つてこの事から自然カントの最大量が制限されることとなる。今速度の超過許容量を少くとも20%(即ち  $V_1/V=1.20$ ) たらしむるには、第79圖より明かなる如く、カントは  $\tan \gamma=0.10$  を超えないことを必要とする。多くの實例に就て調べ

て見ると第25表に示す如く  $\tan \gamma = 0.1$  に近いものが多い。

第 25 表

國 名	カントの最大量	$\tan \gamma$
日 本 内 地	115mm	0.11
朝 鮮 及 び 滿 洲	150	0.11
獨 逸	125~150	0.09~0.10
佛 蘭 西	150~200	0.10~0.14
英 國	127~152	0.09~0.10
米 國	200	0.14

60 曲線に於ける許容速度

曲線に於ける許容速度を決定するものは次の2である。

- (1) 乗心地を悪くしないこと
- (2) 運轉の危険即ち脱線顛覆の虞のないこと

乗心地を悪くしないことを基準とすれば、許容最大速度  $V_1$  は(79)式から

$$V_1 = \sqrt{127 \left( \tan \gamma + \frac{p_1}{g} \right) \sqrt{R}}$$

故に

$$p_1 = 0.4 \text{m/sec/sec の場合は } V_1 = \sqrt{127(\tan \gamma + 0.04)} \sqrt{R}$$

$$p_1 = 0.6 \text{m/sec/sec の場合は } V_1 = \sqrt{127(\tan \gamma + 0.06)} \sqrt{R}$$

之等の式から次の式が得られる。

$\tan \gamma$	$p_1 = 0.4 \text{m/sec/sec}$	$p_1 = 0.6 \text{m/sec/sec}$
0.05	$V_1 = 3.38 \sqrt{R}$	$V_1 = 3.74 \sqrt{R}$
0.08	$= 3.90 \sqrt{R}$	$= 4.21 \sqrt{R}$
0.10	$= 4.21 \sqrt{R}$	$= 4.51 \sqrt{R}$

之より明かなる如く  $\tan \gamma$  が大なる程許容最大速度  $V_1$  は大となる。故に大なるカントを用ふることは、前述の如く豫定速度の許容超過率を縮小するの不利はあるけれども、許容最大速度を大ならしむるには必要なことである。

次に脱線の危険を防止するには、遠心力の影響による内側軌條上の車輛の重量の減少率が安全の程度を超えないことが必要である。その程度に就ては種々の意見があるけれども、普通内側軌條上の重量の減少率を25%~38%まで許す。即ち車輛が遠心力の作用により外側軌條の周圍に顛覆せんとすることに對する安全率を4~3とする。

今軌條に加はる重量の許容減少率を25%(顛覆に對する安全率4)にとり、車輛の重心の高さを  $d$  (普通  $d = 1.5 \sim 1.6 \text{m}$ ) とすれば

$$V_1 = \sqrt{127 \left( \tan \gamma + \frac{1}{8} \frac{G}{d} \right) \sqrt{R}}$$

又之を33%(顛覆に對する安全率3)にとれば

$$V_1 = \sqrt{127 \left( \tan \gamma + \frac{1}{6} \frac{G}{d} \right) \sqrt{R}}$$

故に

$$\frac{1}{8} \frac{G}{d} = 0.08 \text{ の場合は } V_1 = \sqrt{127(\tan \gamma + 0.08)} \sqrt{R}$$

$$\frac{1}{6} \frac{G}{d} = 0.11 \text{ の場合は } V_1 = \sqrt{127(\tan \gamma + 0.11)} \sqrt{R}$$

之等の式から次の結果が得られる。

$\tan \gamma$	$V_1 = \sqrt{127(\tan \gamma + 0.08)} \sqrt{R}$	$V_1 = \sqrt{127(\tan \gamma + 0.11)} \sqrt{R}$
0.05	$V_1 = 4.06 \sqrt{R}$	$V_1 = 4.51 \sqrt{R}$
0.08	$= 4.51 \sqrt{R}$	$= 4.91 \sqrt{R}$
0.10	$= 4.78 \sqrt{R}$	$= 5.17 \sqrt{R}$

以上の結果から考察すれば、乗心地を主とする場合の最大許容速度はカントの大小（即ち  $\tan r$  の大小）によつて異なるが、大略

$$V_1 = 3\sqrt{R} \sim 4\sqrt{R}$$

の間にあり、若し又乗心地を多少犠牲とすれば

$$V_1 = 4\sqrt{R} \sim 4.5\sqrt{R}$$

まで許しても差支ないであらう。

一般に多く用ひられて居る公式は

$$R \geq 250\text{m} \text{ に対しては } V_1 = 4\sqrt{R}$$

$$R < 250\text{m} \text{ に対しては } V_1 = 3.9\sqrt{R} \sim 2.5\sqrt{R}$$

我國に於ては  $V_1 = 3.5\sqrt{R}$  が多く用ひられて居る。

$V_1 = 4.5$  railway  
 $V_1 = 4.25$  steam-tracks

## 61 曲線半径の選定

前述の通り曲線は勾配の如く機関車の牽引力を減殺し且つ運轉費に大なる影響を及ぼすことなく、寧ろ運轉の安全と乗心地とに重大なる関係がある。又保線費にも相當の影響を與へる。故に之等の點よりいへば曲線半径は成るべく大なるを可とすること勿論であるが、翻つて建設費の經濟を考慮するに一般に平地以外に於ては曲線半径を大ならしむるため相當の費用を要し、殊に地形の複雑な山地の線路に於ては、之がために建設費に極めて大なる影響を與へるものである。

故に曲線半径の選定に當つては、輸送の状態と共に地形の狀況を考慮しなければならない。一般に輸送量の異なる平地では速度の関係上成るべく大なる半径を可とし地形も亦之を許すけれども、山地に近づくに従ひ大なる半径は建設費の増大を來し、而も運輸収入は建設費の増大を補償するに足らないことが多い。故に山地では主として建設費の經濟から曲線半径が選定せられ

る。

歐米諸國の幹線鐵道で用ひられて居る半径は、凡そ

平 地	1000m以上
起 伏 地	500m以上
山 地	300m以上

我國有鐵道建設規程では

特 別 線	400m以上
甲 線	300m以上
乙 線	250m以上
丙 線	200m以上
簡 易 線	160m以上

朝鮮國有鐵道建設規程では

甲 線	400m以上
乙 線	300m以上
丙 線	200m以上

## 第十五章 線路の選定、比較及び改良

### 62 線路選定と經濟的考察

鐵道が營利的企業である場合は勿論であるが、たとへ軍事上其の他國家的見地から營利を離れて敷設さるゝ場合に於ても、その線路選定に當り經濟的考察を無視することは許されない。

而して鐵道經濟の原則は建設費及び營業費を出来るだけ小ならしむること、運輸収入を大ならしむることにある。

運輸収入を大ならしむるには、客貨の吸収を良好ならしめなければならぬ。之がために、線路選定に當つて特に注意すべきことは

- (1) 成るべく多くの客貨の源泉を連絡せしむること
- (2) 線路の配置及び延長を適當に按配すること
- (3) 本線と支線又は他の交通機關との連絡を適當ならしむること

等である。

次に建設費及び營業費の經濟であるが、營業費の内こゝに問題となるのはその大部分を占むる運轉費及び保守費である。而して建設費を小ならしむることゝ、運轉費及び保守費を小ならしむることゝは一般に兩立し難く、建設費の節約は運轉費及び保守費の増加を來すことが多い。故に線路の選定は結局之等の關係を比較研究して、その最も有利なるものを選定することに歸する。而して之をなすには、工事の難易、工事費の推定等現地の地勢及び地質に應じて適確なる判斷を下すを要し、又勾配曲線等の運轉費及び保守費に及ぼす影響に就ても十分なる認識を有することが必要である。

### 63 客貨の推定

客貨の數量は鐵道の収入を決定するもので、鐵道計畫の樹立及び線路選定に際し重要なる基礎となるものである。併し之に對し正しい推定を得ることは極めて困難である。

(a) 旅客數の推定——旅客の數を推定するに當つては

- (1) その地方の人口及びその密度
- (2) その地方の産業及び經濟狀態
- (3) その地方の住民の習慣及び職業
- (4) 自動車、軌道等鐵道の榮養線となり又は競争線となる交通機

#### 關の發達程度

(5) 其の他特殊の事情

等につき、その現在の狀況及び將來の變遷を調査考究しなければならない。而して若し之等の條件の相似する既設の鐵道線路がある場合には、その鐵道の統計が有力な參考資料となる。かやうな好參考資料が得られない場合には人口一人當りの乗車回數を停車場からの距離の遠近及びその地方の交通狀態から推定する。今一例を舉ぐれば人口一人當りの一年間の乗車回數を

	乗車回數
交通閑散なる地方	2~5
交通中位の地方	5~10
交通多き地方	10~15
交通特に多き地方	15~22

とし、又停車場よりの距離に應じて第26表の係數を乗ずるが如きである。

第 26 表

停車場からの距離 (km)	係 數	停車場からの距離 (km)	係 數
1	0.90	6	0.09
2	0.45	7	0.06
3	0.31	8	0.03
4	0.21	9	0.01
5	0.14		

この外尙地方によつては通勤者の多寡、遊覽旅客、神社佛閣の參詣客、他の線路より接續する旅客等を考慮しなければならない。

(b) 貨物の數量の推定——貨物の數量は旅客のやうに人口に比例する部分と、それ以外特に原料の生産、天然産物の集散、生産工業の發達、消費の

状態等経済的關係によつて定まるものがある。故に之等に関する統計につき十分調査研究しなければならない。

人口に関する部分に就ては旅客數と同様人口一人當り一年間の貨物數量を推定する。例へば

	一人當り貨物數量(t)
交通閑散なる地方	1~2
交通中位の地方	4~5
交通多き地方	6~8
交通特に多き地方	10~20

之等の推定量に停車場からの距離に関する係数を乘ずることは旅客の場合と同様である。

尙貨物の場合には貨物の數量と共に、その種類をも調査しなければならない。

鐵道の開通は地理的距離は勿論経済的距離をも短縮せしめ、運搬費の低下は物資の販路を擴大することとなり、その結果消費及び生産の増加を來し、交通量を一層大ならしむるものであるから、之等も亦將來の客貨の數量の推定に當つて十分考慮しなければならない。

## 64 線路と地質

地形及び地質は線路の建設費及び保守費に大なる影響を與へるもので、地質に對し十分なる調査を怠り又は判断を誤りたるために思はざる損害を招いた實例は決して尠くない。故に線路選定に當つては豫め十分なる地質調査を行ひ、線路建設中は勿論その築造後に於ても地盤の移動、沈下、崩壊、地沈等を來すことのない線路を選ばなければならない。以下注意すべき事項二三

に就いて述べることにする。

(a) 地盤の移動地沈等を起し易い地質——地層が急傾斜をなし、且つその下層に粘土層又は含水層があつて水が滲出して居るやうな所は、僅かの變動によつても地沈崩壊を起し易い。故にかやうな場所に切取を行ひ又は隧道を築造することは成るべく之を避けなければならない。

又土砂が風化作用により自然に崩壊して山腹の斜面に沿ひ圓錐形の堆積をなしたるもの、或は山崩地沈等によつて崩壊した土砂岩石が堆積したるもの等は之を崖錐と稱し、何れも崩壊面又は地沈面に沿ふて移動し易いものである。かやうな場所に作られた切取又は盛土は、その安定を保つことが困難であるから、成るべく之を避けなければならない。又かやうな所に隧道を築造する場合、その位置を崖錐の内部又は地山と堆積土砂との中間に選ばば、偏壓のために隧道の崩壊を見ることがある。故に隧道はその位置を必ず地山の中に定めなければならない。

崖錐は又斷層に沿ふて形成されることがある。この場合には隧道の位置を地山中に選定しても、却つて斷層に沿ふて隧道を掘鑿することとなり崩壊の危険がある。故に斷層の場合には特に注意を要する。

(b) 崩壊し易い地質——河底に沈澱した砂礫の層が、地殼の變動のために隆起し、川の兩岸に於て臺地を形成して居る河段丘や、海底の沈澱層が隆起して形成せられたる海岸段丘に於て、切取又は隧道を築造する場合には大いに注意を要する。即ち切取が深くして沈澱層の下の地山に達する場合にはその境界面に沿ふて崩壊し易く、又隧道を地山と沈澱層との境界面に沿ふて掘鑿する場合は、地山と砂礫層との土壓が異なるのみならず、その境界面から地下水が滲出し、湧水甚しき場合には砂を流出し、上層の沈澱層を弛緩せしめて土留工や支保工を困難ならしめ崩壊の原因となる。故にかやうな場合に

は沈澱層の厚さを豫め確かめ、之等の危険を避けることに注意しなければならない。海岸砂丘に対しても同様の注意が必要である。

(c) 沈下し易い軟弱地盤——海潮沼潟河川等の沿岸に於て、極めて微位の泥地が沈澱堆積して層を成して居るものは、一般に含水量多く壓縮され易い。故にその上に築堤をなし又は種々の建造物を築造すれば、絶えず地盤の沈下を來し、その維持に年々多額の費用を要するのみならず、列車運轉の危険を感ぜしめることがある。之と同様のことは泥炭地に於ても見られるから注意を要する。

(d) 斷層——斷層は地殻中の弱所である。故に斷層線に沿ふては斷層崖錐が発達し、或は侵蝕作用を受けて斷層谷を形成する。又斷層が起つた際にその滑り面に沿ふて岩層が破碎された結果、崩壊し易い地帯を生じ、所謂斷層角礫が出来る。斷層崖錐中に隧道を置くことは崩壊の虞があるから宜しくないが、之を避けて地山の中深く隧道の位置を定むれば、斷層角礫中に之を置くことゝなり却つて宜しくない。かやうな場合には斷層線より側方に十分離れた位置に隧道の中心線を定めなければならない。

斷層は又地下水の通路となるが故に、隧道掘鑿中斷層に出會すれば多量の湧水のために工事に支障を來し、甚しい困難に遭遇することがある。

要するに斷層は隧道工事に大なる障碍を與へ、之がために豫想外の建設費の増加を來すことが多いから、地質調査の際十分注意してその存在を確かめ、線路選定に當つては之を避けるか、或は之に対する十分なる対策を豫め考究して置かなければならない。併し斷層は一般に相當の表土を以て覆はれ、且つその上には草木が繁茂して居ることが多く、その存在を發見し難い場合が多いから、特に慎重なる調査を必要とする。

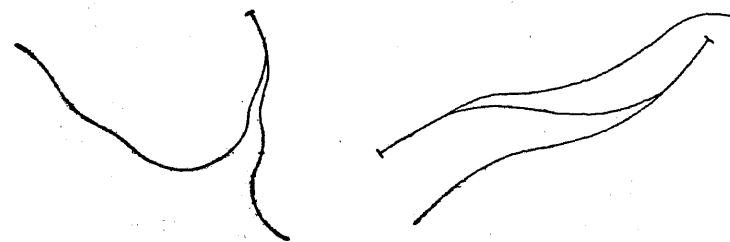
## 65 分水嶺横斷

分水嶺を横斷する場合には、線路は一般に急勾配となる。殊に高い分水嶺の横斷に於ては、頂上に隧道を用ひてもなほその前後相當の距離に亘り急勾配となることが多い。かやうな場合、所定の制限勾配を得るために特に線路を迂迴延長せしむることが必要となる。而して線路の長さを特に人為的に大ならしむる方法には次の如き方法がある。

- (1) スイッチバック線 (Switchback)
- (2) ジグザグ線 (Zigzag)
- (3) 側溪迂迴線
- (4) ループ線 (Loop)

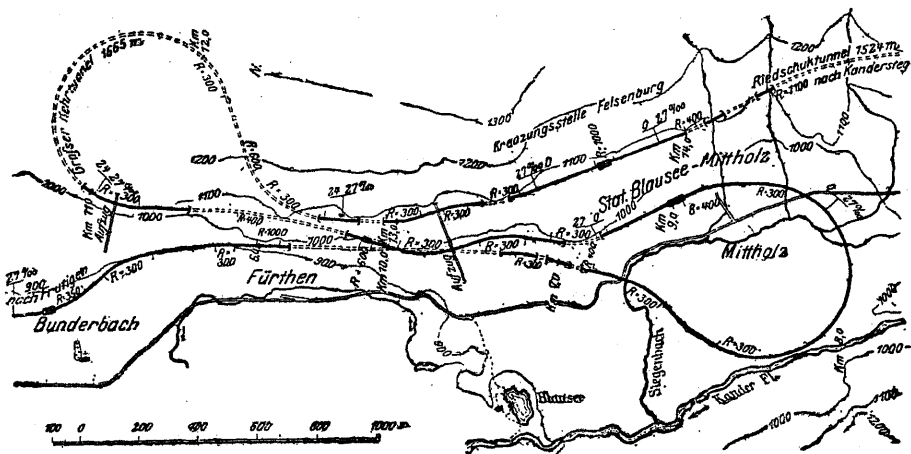
スイッチバック線(第80圖参照)は地形に最もよく順應し得るものであるから、建設費は最も低廉である。又曲線半径の小となることを防ぎ得るの利益があるけれども、列車の折返し運轉のために多くの時間を空費し、運轉速度を低下せしむるのみならず、折返しの度毎に停車場を必要とするの不利がある。

ジグザグ線はスイッチバック線の如く折返し運轉の不利はないが、曲線



第 80 圖

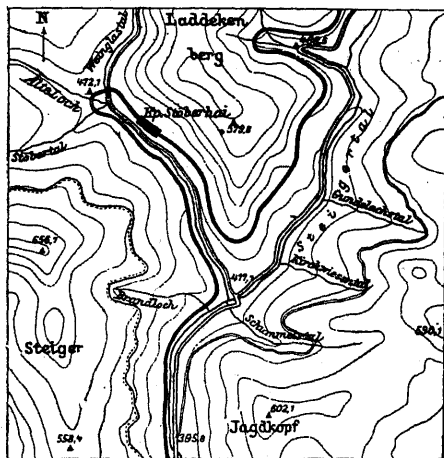
半径が小となるの缺點がある。第81圖はスイス國 Lötschberg 線のジグザグを示す。我國では北海道の石狩十勝兩國間の分水嶺たる狩勝峠を越ゆる際



第 81 圖

に用ひられて居る。

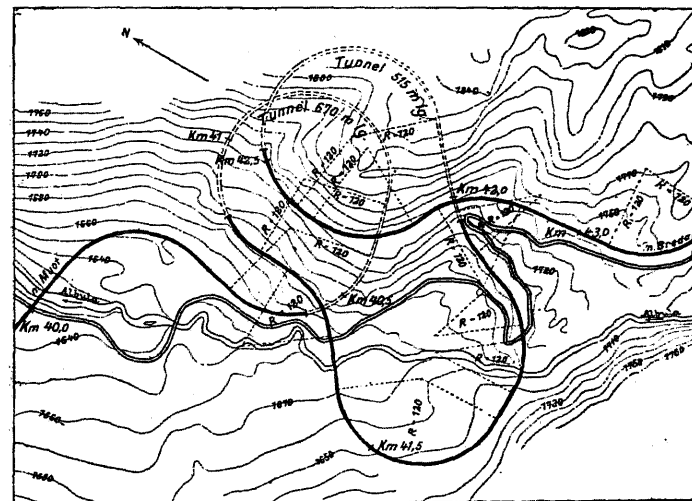
側溪迂廻線はジグザグ線の一つとも見ることが出来るが、第82圖の如く谷川に沿ふて上る線路を側方の小溪に迂廻せしめて再び本流に復り來らしむるものである。之によれば、支流をその本流との合流點附近に於て横斷するためが必要となる長い橋梁を節約し得るの利益もあるが、時と



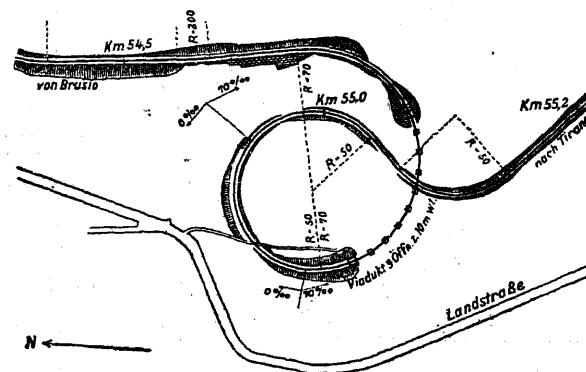
第 82 圖

しては側溪の入口に於て隧道を必要とすることがある

ループ線は一般に隧道によつて起るのが普通であるが、時としては橋梁に



第 83 圖



第 84 圖





(5) 横斷位置の地質に應じて橋臺橋脚の位置を適當に決定すること。

尙平地に於ては河川横斷の前後に相當に長い築堤が出来る。この築堤は洪水時に氾濫した水を湛へて洪水の被害を大ならしむるのみならず、築堤自身も水壓のために崩壞の危険がある。かやうな場合には避溢橋の必要があるから、豫めその位置を考究決定して置かなければならない。

### 67 停車場の位置及び間隔

停車は鐵道營業上の必要及び運轉上の必要から設けらるゝもので、その位置の決定は線路選定中の重要な問題の一である。

營業上の必要からいふと、停車場の位置は貨客の吸収に最も便利な位置を選ぶべきであるが、停車場設置は之によつて受くる利害が直接且つ深刻であるため、屢々政治的問題として紛糾を來すことがあるから注意を要する。

比較的短距離交通を目的とする地方鐵道に於ては、自動車に對する競争上成るべく停車場の間隔を小にし且つ之を貨客に接近せしめて、その便利を計ることが必要である。之は地方鐵道のみならず、幹線鐵道に於ても近來自動車交通の著しい發達に伴ひ漸次必要となつて來た。

次に運轉上の必要から見れば、停車場は貨客の有無に拘はらず、或る間隔毎に必要なものである。即ち列車の行違追越又は給炭給水のために自ら必要な間隔が定まるのである。

列車の行違追越等のために必要な停車場の間隔は、列車の速度及び回数から容易に算定することが出来る。又給炭給水のために必要な停車場の間隔は、機關車の石炭及び水の消費量と機關車又は炭水車の石炭及び水の積載量とが與へらるれば、容易に決定することが出来る。一般に給水のために必要な間隔が給炭のために必要な間隔よりも小である。實例によれば給水に必要な停

車場の間隔は凡そ次の通りである。

平 地	30km
起 伏 地	20km
山 地	5~15km

停車場は列車又は車輛を停止せしめて種々の作業を行ふ場所であるから、その地形も亦自然之に適當でなければならぬ。故に停車場の位置決定に當つては、豫めその地形に就て考慮を拂ふ必要がある。

地形上から見た停車場の必要條件は

(1) 成るべく直線なること。曲線は見透しが悪く、信號合圖等の認識に不便であるのみならず、入換作業を困難ならしめる。又乗降場に沿ふ急曲線は旅客の乗降を危険ならしめる虞がある。我國有鐵道建設規程では乗降場に沿ふ線路の半徑を次の様に制限して居る。

甲 線	500m以上	乙 線	400m以上
丙 線	300m以上	簡易線	200m以上

(2) 成るべく水平なること。之は車輛を安全に停止せしめ且つ入換作業を容易ならしむるために必要であつて、3.5%より急なる勾配は危険を伴ふ虞がある。我國有鐵道では3.5%、朝鮮鐵道では3%に制限されて居る。

尙停車場外に於てもその前後相當の距離は10%以下の勾配であることが望ましい。何となれば停車場前後では時々列車を停止せしむることが必要で、10%以上の急勾配は停車に困難なるのみならず、一旦停車したものを出發せしむるにも亦困難であるからである。

又停車場の前後には將來の擴張の餘地を残すを可とする。故にその前後に大土工、大橋梁等あるは宜しくない。之等は將來擴張の際に多くの費用を要

するのみならず、之がために停車場の設計に制肘を加へ、多くの費用を要する割合に不便な停車場となることがある。

### 68 線路の比較

線路の選定に當つては上述の如き地形、地質等土地の状況、並に勾配曲線等の利害を考慮して、最も有利なりと思はるゝ線を選ぶのであるが、それでも尙數個の異りたる線路が得らるゝ場合には、それ等の優劣を比較する必要が起る。而して比較すべき主なる事項は建設費及び營業費である。

建設費の比較は、各の線路につき必要なる工事の種類、數量、及び單價を求め、建設費概算を算出して行ふことが出来る。

次に營業費に於て直接線路に關係あるものは運轉費及び保守費である（一般に運轉費は營業費の約80~85%を占め、又保守費は營業費の約30%を占むるものである）。而して之等は何れも線路に於ける抵抗又は仕事量に關係があるから、營業費に對する線路の比較は、結局各線路に於ける抵抗又は仕事量の比較に歸するものと考へても差支ない。

抵抗又は仕事の量の比較の基準として一般に選ばれるものは、之等の最も少い水平直線線路に於けるものである。即ち勾配や曲線のある實際の線路の長さを、水平直線の假想的線路の長さに換算するのであつて、之を線路の換算長といふ。

今

$R_m$  = 實際の線路に於ける平均抵抗

$L$  = 實際の線路の長さ

$R_0$  = 水平直線なる假想線路に於ける抵抗

$L_0$  = 水平直線なる假想線路の長さ

とし

$$R_m L = R_0 L_0$$

とおけば

$$L_0 = \frac{R_m}{R_0} L = \varphi L \dots\dots\dots (82)$$

即ち  $L_0$  は實長  $L$  なる線路の換算長である。而して  $\varphi$  を換算長係數といふ。

### 69 線路の換算長

線路の換算長を求むるには(82)式中の平均抵抗  $R_m$  を知らなければならぬ。實際の線路に於ては勾配、曲線等による抵抗の相違があるのみならず、停車場前後に於て加速又は減速するための抵抗の變化がある。之等は平均抵抗の算出に當つて考慮されなければならない。

今  $L$  なる長さの線路の兩端並に中間に停車場ある場合の換算長の求め方を説明すれば、次の通りである。

先づ次の如き假定をなす。

(1) 列車の走行抵抗。全列車の平均走行抵抗  $R(\text{kg/t})$  は、之を

$$R = a + bV^2$$

とする。こゝに  $V$  は速度(km/h)、 $a$  及び  $b$  は常數である。

(2) 出發抵抗。列車が發車する瞬間 ( $V=0$ ) に於ける抵抗は  $c \text{ kg/t}$  とし、之から漸次速度が大となり  $V=V_0$  に達するまでの間の抵抗は、その間の走行距離に比例して漸減し  $V=V_0$  にて  $a + bV_0^2$  の値となるものとする。而して速度が  $V_0$  以上に達した後は上記の抵抗  $R = a + bV^2$  が起るものとする。

(3) 制動抵抗。列車が停車場に近づけば動力の供給を斷ち、それ以後は惰力によつて走行するものとする。尙實際にはこの場合制動を加へ

ることがあり、従つてエネルギーの損失を來すことがあるけれども、之は無視することとする。

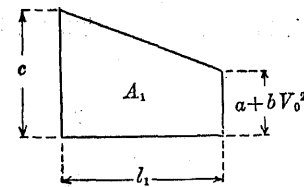
- (4) 加速度及び減速度。列車が停車場を出發して一定の速度  $V$  に達する迄の加速度を  $\alpha_1$  (km/h/sec) とする。又停車場に近づいて減速する割合は發車の際の加速度より大であるが、之を  $\alpha_2$  (km/h/sec) とする。
- (5) 列車の標準速度。列車の速度はその發車及び停車の場合を除いては一定の速度  $V$  km/h であるとする。
- (6) 下り急勾配。  $(a+bV^2)\%$  なる勾配を下る際には走行抵抗と勾配抵抗とが相殺して無抵抗となる。之より急なる勾配を下る際には制動を加へることがあり、従つてエネルギーの損失を來すこともあるけれども簡單のために之を無視する。又反対にかやうな急勾配を下るために發生する惰力は之を利用し得る場合もあるが、之も無視するものとする。即ち  $(a+bV^2)\%$  より急なる勾配を下る際は全く無抵抗と見做す。
- (7) 曲線抵抗。曲線抵抗  $R_r$  (kg/t) は、之を

$$R = \frac{C}{r}$$

とする。但し  $r$  は曲線の半径(m),  $C$  は常數である。この曲線抵抗は他の抵抗に比し遙かに小であつて、急勾配を下る際には惰力によつて打消さるゝ程度のものである。故に急勾配を下る際には之を無視することが出来る。尙計算を簡略にするために曲線は總てかやうな急勾配中にあるものと假定する。このために勿論誤差を生ずる譯であるけれども、その割合は極めて小であるから實際上大差はない。

以上の假定の下に列車が一停車場を出發して次の停車場に到着するまでの仕事の量を計算すれば次の通りである。便宜上之を發車期、加速期、定速期、減速期の四階段に分つ。

(a) 發車期——之は列車が出發して  $V_0$  なる速度となるまでの期間である。



る。假定により、發車の瞬間の抵抗は  $c$  で、それ以後の抵抗は列車の走行距離に比例して漸減し、 $V_0$  の速度に於て  $a+bV_0^2$  となる。故にこの間の走行距離を  $l_1$  とすれば、仕事の量  $A_1$  は(第86圖参照)

第 86 圖

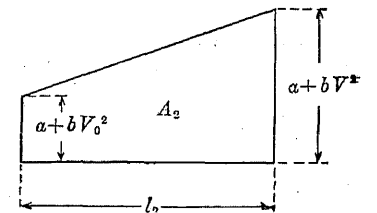
$$A_1 = \frac{1}{2}(c+a+bV_0^2)l_1$$

然るにこの間の加速度は  $\alpha_1$  km/h/sec であるから、 $l_1$  は (但し m で表はす)

$$l_1 = \frac{\left(\frac{V_0}{3.6}\right)^2}{2 \times \frac{\alpha_1}{3.6}} = 0.139 \frac{V_0^2}{\alpha_1} \dots\dots\dots (83)$$

$$\therefore A_1 = \frac{0.139}{\alpha_1} \frac{1}{2}(c+a+bV_0^2)V_0^2 \dots\dots\dots (84)$$

(b) 加速期——列車が  $V_0$  なる速度から尙加速して標準速度  $V$  に達する迄の間、抵抗は走行距離に比例して漸増するものと假定すれば、加速期に於ける抵抗と走行距離との關係は第87圖の如くなる。



第 87 圖

而してこの間の走行距離  $l_2$  (m) は

$$l_2 = \frac{(V^2 - V_0^2) \left(\frac{1}{3.6}\right)^2}{2 \times \frac{\alpha_1}{3.6}} = 0.139 \frac{V^2 - V_0^2}{\alpha_1} \dots\dots\dots (85)$$

故にこの間の仕事の量  $A_2$  は

$$A_2 = \frac{1}{2}(a+bV_0^2+a+bV^2)l_2$$

$$= \left(a+b\frac{V_0^2+V^2}{2}\right) \times 0.139 \frac{V^2 - V_0^2}{\alpha_1}$$

$$= \frac{0.139}{\alpha_1} \left\{ a(V^2 - V_0^2) + \frac{b}{2}(V^4 - V_0^4) \right\} \dots\dots\dots (86)$$

(c) 定速期——次に定速期に於ては走行抵抗は一定である。故にこの間の走行距離を  $l_3$ (m) とすれば、仕事の量  $A_3$  は

$$A_3 = (a + bV^2)l_3 \dots\dots\dots (87)$$

(d) 減速期——この期間に於ては機関車の動力の供給を断ち惰力によつて停車場に入り、その間  $\alpha_2$  km/h/sec なる減速度を以て速度を減じつゝ停車するのである。故にこの間の走行距離  $l_4$ (m) は

$$l_4 = \frac{\left(\frac{V}{3.6}\right)^2}{2 \times \frac{\alpha_2}{3.6}} = 0.139 \frac{V^2}{\alpha_2} \dots\dots\dots (88)$$

而してこの期間には機関車は動力を用ふることがないから、この間の仕事の量  $A_4$  は  $A_4 = 0$  である。

以上四段階の仕事の量の總和(單位はkgm)は

$$\begin{aligned} \Sigma A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 &= \frac{0.139}{\alpha_1} \left\{ \frac{1}{2}(c + a + bV_0^2)V_0^2 + a(V^2 - V_0^2) \right. \\ &\quad \left. + \frac{b}{2}(V^4 - V_0^4) \right\} + (a + bV^2)l_3 \end{aligned}$$

然るに、今この2停車場間の間隔を  $L$ (m) とすれば

$$\begin{aligned} l_3 &= L - (l_1 + l_2 + l_4) \\ &= L - \frac{0.139}{\alpha_1}(V_0^2 + V^2 - V_0^2) + \frac{\alpha_1}{\alpha_2}V^2 \\ &= L - \frac{0.139}{\alpha_1} \left( 1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right) V^2 \dots\dots\dots (89) \end{aligned}$$

$$\therefore \Sigma A = \frac{0.139}{\alpha_1} \left\{ \frac{1}{2}(c - a)V_0^2 + V^2 \left( a + \frac{b}{2}V^2 \right) \right\}$$

$$\begin{aligned} &+ (a + bV^2) \left\{ L - \frac{0.139}{\alpha_1} \left( 1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right) V^2 \right\} \\ &= (a + bV^2)L + \frac{0.139}{\alpha_1} \left\{ \frac{1}{2}(c - a)V_0^2 - \frac{\alpha_1}{\alpha_2}V^2(a + bV^2) - \frac{b}{2}V^4 \right\} \\ &\dots\dots\dots (90) \end{aligned}$$

(90)式によつて表はされる仕事の量は、2停車場間が水平直線の場合であつて、往復とも同一である。

然るにこの2停車場間に勾配及び曲線があれば、それ等に對する抵抗を増し、従つて仕事の量も増加する。

今  $s$  % なる上り勾配を考へ、その長さを  $d$ (km) とすれば、勾配抵抗に打勝つための仕事の量は (kgm にて表はす) 列車重量  $1t$  に對し  $1000sd$  である。こゝに  $sd$  は  $s$  % なる勾配の兩端の高さの差 (m にて示す) に相當する。今之を  $h_u$  で表はせば、勾配を上るための仕事の量の増加は  $1000h_u$  である。若しこの方向にかやうな上り勾配があれば、それ等を加算して

$$1000 \Sigma h_u$$

が得られる。

同様のことが反對の方向に列車が走行する場合にも起る。但しこの場合は、前の場合の下り勾配が上り勾配となる。故に前の場合の下り勾配に就て考へ、その兩端の高さの差を  $h_d$ (m) とすれば、前と反對方向の列車が勾配のためになす仕事の量の増加は

$$1000 \Sigma h_d$$

故に2停車場間の往復についてその平均を採れば

$$\frac{1}{2} \times 1000(\Sigma h_u + \Sigma h_d) = 500(\Sigma h_u + \Sigma h_d) \dots\dots\dots (91)$$

次に下り勾配に於ては抵抗は負となるから、仕事の量は減少する。但し假

定(6)により  $(a+bV^2)\%$  よりも急なる勾配を下る場合は走行抵抗を打消して全く無抵抗と見做すから、下り勾配による仕事の量の減少は  $(a+bV^2)\%$  よりも緩かなる勾配に対するものと、之より急なる勾配に対するものとに區別して考へなければならない。

先づ  $(a+bV^2)\%$  より緩かなる下り勾配の両端に於ける高さの差を往復兩方向に對し夫々  $h_d'$ ,  $h_u'$  (何れも m) とすれば、この下り勾配による仕事量の減少は、往復を平均して

$$-500(\Sigma h_d' + \Sigma h_u') \dots \dots \dots (92)$$

である。次に  $(a+bV^2)\%$  より急なる下り勾配の長さを往復兩方向に對して夫々  $l_d$ ,  $l_u$  (何れも m) とすれば、之による仕事量の減少は、往復を平均して

$$-\frac{1}{2}(a+bV^2)(\Sigma l_d + \Sigma l_u) \dots \dots \dots (93)$$

次に曲線に於ける抵抗から生ずる仕事量の増加を考ふるに、假定により曲線抵抗は  $C/r$  であるから、半径  $r$  なる全圓周を走行する間の仕事量は

$$\frac{C}{r} \times 2\pi r = 2\pi C$$

故に曲線の中心角即ち交角  $1^\circ$  に對する仕事の量は

$$\frac{2\pi C}{360} = 0.01745C$$

然るに假定(7)により曲線は總て急勾配中にあつて、下り勾配に於てはその抵抗は惰力で打消さるゝものと見做すから、曲線による仕事の量の増加は、往復を平均して

$$\frac{0.01745}{2} C = 0.00873C$$

故に今曲線の交角の總和を  $\Sigma \theta$  とすれば、全曲線による仕事の量の増加は

$$0.00873C \Sigma \theta \dots \dots \dots (94)$$

最後に加速度抵抗による仕事の量を加算しなければならない。今の場合には停車せる列車が  $l_1+l_2$  なる距離を進む間に  $V$  なる速度となるのであるから、加速度抵抗を  $P$  とすれば(26)式(114頁参照)より

$$P = 4.17 \frac{V^2}{l_1+l_2}$$

故に加速度抵抗による仕事の量の増加は

$$P(l_1+l_2) = 4.17V^2 \dots \dots \dots (95)$$

(90), (91), (92), (93), (94)及び(95)式を加算すれば、2 停車場間を往復する列車の片道平均の總仕事量が得られる。

若し2 停車場間に更に中間停車場がある場合には、各の停車場の前後に於て加速及び減速せられるために仕事の量の増加を來す。この影響は(90)式の第二項及び(95)式に及ぶのみで(90)式の第一項並に(91), (92), (93), (94)式等には何等の影響はない。故に今

$n$  = 中間停車場の數

$$\Sigma h_0 = \Sigma h_u - \Sigma h_u' + \Sigma h_d - \Sigma h_d'$$

=  $(a+bV^2)\%$  より急なる勾配に於ける高さの差(m)の總和

$$\Sigma l_0 = \Sigma l_d + \Sigma l_u$$

=  $(a+bV^2)\%$  より急なる勾配の長さ(m)の總和

とすれば、總仕事量は

$$(a+bV^2)L + (n+1) \left[ \frac{0.139}{\alpha_1} \left\{ \frac{1}{2}(c-a)V_0^2 - \frac{\alpha_1}{\alpha_2} V^2(a+bV^2) - \frac{b}{2} V^4 \right\} + 4.17V^2 \right] + 500 \Sigma h_0 - \frac{1}{2}(a+bV^2) \Sigma l_0 + 0.00873C \Sigma \theta$$

で、之を線路の長さ  $L$  で除したものが平均抵抗  $R_m$  である。即ち

$$R_m = a + bV^2 + \frac{n+1}{L} \left[ \frac{0.139}{\alpha_1} \left\{ \frac{1}{2}(c-a)V_0^2 - \frac{\alpha_1}{\alpha_2} V^2(a+bV^2) - \frac{b}{2} V^4 \right\} + 4.17V^2 \right] + \frac{500 \Sigma h_0}{L} - \frac{1}{2}(a+bV^2) \frac{\Sigma l_0}{L} + \frac{0.00873C \Sigma \theta}{L}$$

$$+4.17V^2 \left] + \frac{1}{L} \{500 \Sigma h_0 - \frac{1}{2}(a+bV^2) \Sigma l_0 + 0.00873C \Sigma \theta\} \dots \dots \dots (96)$$

而して換算長係数  $\varphi$  は

$$\varphi = \frac{R_n}{R} = \frac{R_m}{a+bV^2} \dots \dots \dots (97)$$

又換算長  $L_0$  は

$$L_0 = \varphi L \dots \dots \dots (98)$$

$R$  及び  $R_m$  の中に含まるゝ標準速度  $V$  は停車場前後の低速度を除きたる最高速度で、普通は多少の變化を免がれないものであるが、假定(5)により之を一定とする。この  $V$  の値は列車の平均速度から定むることが出来る。

今

$L_m$  = 停車場間の平均距離(km)

$V_m$  = 平均速度(km/h)

$V$  = 標準速度(km/h)

$L_1$  = 發車及び加速期に走行する距離(km)

$t_1$  = 發車及び加速期の時間(sec)

$L_2$  = 定速期に走行する距離(km)

$t_2$  = 定速期の時間(sec)

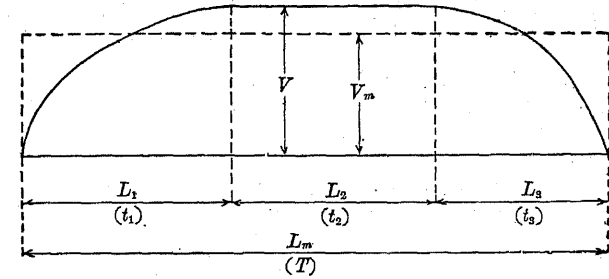
$L_3$  = 減速期に走行する距離(km)

$t_3$  = 減速期の時間(sec)

$T$  = 停車場間の運轉時間(sec)

とすれば(第88圖参照)

$$T = t_1 + t_2 + t_3 = 3600 \frac{L_m}{V_m}$$



第 88 圖

然るに

$$t_1 = \frac{V}{\alpha_1}, \quad t_3 = \frac{V}{\alpha_2}$$

$$L_1 = \frac{1}{3600} \frac{V^2}{2\alpha_1}, \quad L_3 = \frac{1}{3600} \frac{V^2}{2\alpha_2}$$

$$t_2 = 3600 \frac{L_2}{V} = 3600 \frac{L_m - L_1 - L_3}{V} = \frac{3600 L_m - \frac{V^2}{2\alpha_1} - \frac{V^2}{2\alpha_2}}{V}$$

故に

$$T = 3600 \frac{L_m}{V_m} = \frac{V}{\alpha_1} + \frac{V}{\alpha_2} + \frac{3600 L_m - \frac{V^2}{2} \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)}{V}$$

之をかきかへて

$$\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2\alpha_1\alpha_2} V^2 - \frac{3600 L_m}{V_m} V + 3600 L_m = 0$$

或は  $V^2 - 3600 \frac{2\alpha_1\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \frac{L_m}{V_m} V + 3600 \frac{2\alpha_1\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} L_m = 0$

之を解いて

$$V = 3600 \frac{\alpha_1\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \frac{L_m}{V_m} \sqrt{\left( 3600 \frac{\alpha_1\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \frac{L_m}{V_m} \right)^2 - 3600 \frac{2\alpha_1\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} L_m}$$

$$= 3600 \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \frac{L_m}{V_m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2(\alpha_1 + \alpha_2)}{3600 \alpha_1 \alpha_2} \frac{V_m^2}{L_m}} \right\} \dots\dots\dots (99)$$

但し  $\frac{L_m}{V_m} > \frac{2V_m}{3600} \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$

例へば今

$$\alpha_1 = 0.055 \text{m/sec/sec} = 0.198 \text{km/h/sec}$$

$$\alpha_2 = 0.077 \text{m/sec/sec} = 0.2772 \text{km/h/sec}$$

とすれば

$$3600 \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} = 415.8$$

$$\frac{2(\alpha_1 + \alpha_2)}{3600 \alpha_1 \alpha_2} = 0.00486$$

故に(99)式は

$$V = 415.8 \frac{L_m}{V_m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - 0.00486 \frac{V_m^2}{L_m}} \right\} \dots\dots\dots (100)$$

次に

$$R = 3.02 + 0.00054V^2, \quad a = 3.02, \quad b = 0.00054$$

$$c = 4.5 \text{kg/t}, \quad C = 490, \quad V_0 = 8 \text{km/h}$$

とすれば

$$\frac{1}{2}(c-a)V_0^2 = 47.36$$

$$0.00873C = 3.49$$

$$\frac{0.139}{\alpha_1} = \frac{0.139}{0.198} = 0.702$$

故に平均抵抗  $R_m$  は(96)式より次の式となる。

$$R_m = 3.02 + 0.00054V^2 + \frac{n+1}{L} \{ 33.25 + 2.66V^2 - 0.00046V^4 \} + \frac{1}{L} \{ 500\Sigma l_0 - (1.51 + 0.00027V^2)\Sigma l_0 + 3.49\Sigma 0 \} \dots\dots\dots (101)$$

但し此式に於ては  $L$  及び  $l_0$  は何れも  $m$  で表はされて居る。今之を  $km$  にて表はせば

$$R_m = 3.02 + 0.00054V^2 + \frac{1}{L} \{ (n+1)(0.03325 + 0.00266V^2 - 0.0000046V^4) + 0.5\Sigma l_0 - (1.51 + 0.00027V^2)\Sigma l_0 + 3.49\Sigma 0 \} \dots\dots\dots (102)$$

### 70 線路の改良

鐵道開設當時に於ては運轉及び保守上の經濟に就て考慮を拂ふよりも、寧ろ一日も早く且つ出来るだけ安價に建設せんとするのが自然の人情であつた。故に多くの鐵道は高價なる建造物を成るべく避けて建設せられた。その結果は迂廻線となり勾配線となり又急曲線となつて運轉經濟上不適當なる線路が少くなかつた。その最も著しい例はアメリカ合衆國の鐵道である。即ちアメリカ合衆國の鐵道の大陸横斷線は未だ住民なき地方を横ぎつて敷設せられたもので、その當時は正しき地圖さへなく地形も明かならず、加ふるに建設費も不十分で、而も一時も早く收益を得るために、建設工事期間を出来るだけ短縮せしめなければならぬといふ状態であつた。故に橋梁、隧道等高價なる建造物は極度に之を避けた結果、線路は甚しい迂廻線や勾配線となつた。然るに其の後數十年を経て交通が漸次増加するや、鐵道の收益は之等不適當なる線路のために著しく禍さるゝことが明かになり、又線路選定と運轉及び保守の經濟との關係も漸く明かにさるゝに至つたので、橋梁、隧道等の技術の進歩と相俟つて線路改良が問題となるに至つた。

アメリカ合衆國に於ける線路改良の著明なる一例を擧ぐれば Great Northern R. R. の Cascade 山脈横斷線（アメリカの太平洋岸の港 Seattle から東方約100哩にある）である。この横斷線は1893年に完成したのであるが、その當時は6個のスイッチバック線と1個の側溪迂廻線を用ひた。併しかゝる多くのスイッチバックが運轉上極めて不利なることが明かとなつたので、1900年に之を改良し、延長2.63哩の隧道を掘鑿してスイッチバックを除いたのであるが、年々積雪及び類雪の被害甚しく、除雪及び雪覆の増設修理等に多くの費用を要することを考慮研究した結果、延長7.78哩(12546m)に達する隧道を掘鑿することとなり、1925年末工を起し3個年を以て完成した。之が有名な New Cascade 隧道で現今世界第六位の長隧道である。



我國に於ける線路改良の例の主なるものは大津京都間及び國府津沼津間である。何れも我國有鐵道の大幹線にあつて最急勾配25%，最小半徑は前者300m，後者400mであつた。

大津京都間は、大正3~10年に亘り改良工事が行はれ、舊逢坂山隧道0.41哩を廢して新逢坂山隧道延長1.45哩，及び東山隧道延長1.16哩が開鑿された。新舊線の比較は第27表の通りである。

第 27 表

	舊 線	新 線
延 長	9.95哩	7.19哩
最 急 勾 配	25%	10%
曲線の最小半徑	300m	600m
換 算 長	30.3哩	12.4哩
牽 引 重 量 比	1	2.3~3
工 事 費	70萬圓	640萬圓
單線1哩當り工費	6.8萬圓	50萬圓

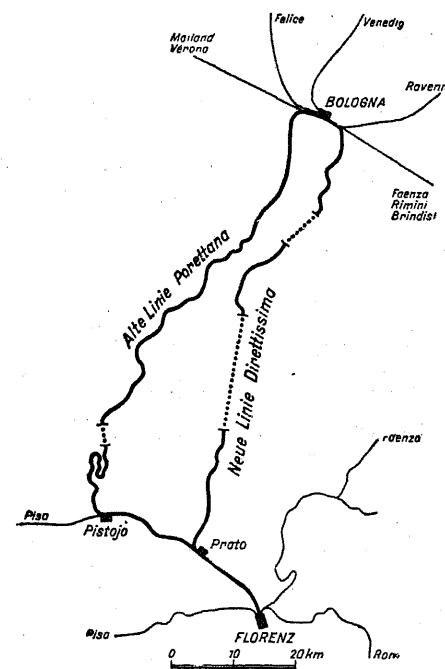
第 28 表

	御 殿 場 線	熱 海 線
延 長	60.35km	48.54km
最 急 勾 配	25%	10%
最 小 曲 線 半 徑	400m	400m
換 算 長	119.4km	63.09km
牽 引 重 量 の 比	1	2.5~3.0
工 事 費	—	6070萬圓
1km當り工事費	—	125萬圓
1年間運轉費	140.9萬圓	51.7萬圓 (差89.2萬圓)

國府津沼津間は從來の御殿場線の外に新に熱海線を設けたもので、大正5

年末に着工してから昭和9年末に全通するまで18年の歳月を費し、その間關東大震災伊豆地震及び丹那隧道の難工事に逢着した爲、最初の豫算2470萬圓に對し實額6070萬圓を要した。今この兩線を比較すれば第28表の通りである。尙丹那隧道は延長7807m，總工費2462.6萬圓(即ち3160圓/m)，大正7年から昭和9年まで16年を要した。

イタリーの Bologna~Florence 間線路改良も著明な例であるが(第89圖參照)，この線は最初1848年から1864年まで16年間に研究計畫建設せられたもの

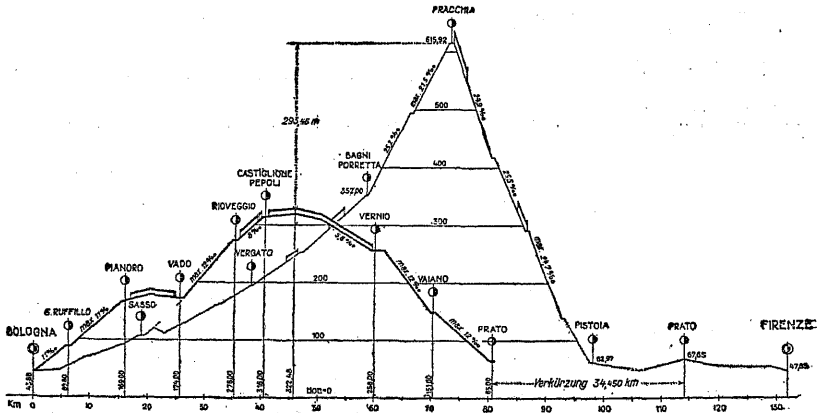


第 89 圖

で、全長131.8kmであつた。その當時はまだ隧道技術が幼稚であるのみならず、交通も稀薄で且つ經濟力も十分でなかつたので、Apennin山脈を横斷するのに最急勾配25.6%及び多くのジグザグ(最小曲線半徑250m)を用ひ、頂上に於て2725mの隧道を開鑿したのであつた。其の後交通量の増加に伴ひ複線の必要が感ぜらるゝに至つたのであるが、舊線が運轉上極めて不利なるのみならず、建設上にも困難多きことを知り、遂に新線を計畫するに至つたのは1904年であつた。それより地質調査に約9

年の長年月を費し、試掘をなすこと2268箇所及び、1913年漸く工事に着手

したのであるが、歐洲大戰中一時工事を中止するの已むなきに至り、着工後21年漸く1934年に全通したのである。舊線の最急勾配25.6%、最小半徑250mに對し、新線に於ては最急勾配12%、最小半徑600m、總延長の短縮さること84.45kmに及んだ(第90圖参照)。尙この新線に於ては頂上に延長18510m。



第 90 圖

の大 Apennin 隧道が開鑿された。この隧道は長さには於ては現今世界第一位の Simplon 隧道 (20043m) に及ばないが、複線隧道としては世界第一の長隧道である。この新線に費された總工費は12億リラで、その65%は隧道築造に費されたものである。