



A=曲線始點 (Beginning of curve or Point of curve)	.....=R.C. or P.C.
B=曲線終點 (End of curve or Point of tangent).....	.....=E. C. or P.T.
V=交點 (Intersection point).....	.....=I.P.
S=曲線中點 (Secant point).....	.....=S.P.
$\angle I$ =交角 (Intersection angle).....	.....= $I$
$\angle AOB$ =中心角 (Central angle).....	.....= $I$
$\angle VAP$ =偏角 (Deflection angle).....	.....= $\delta$
$\angle VAB = \angle VBA$ =總偏角 (Total deflection angle).....	.....= $D$
$\overline{OA} = \overline{OB}$ =半徑 (Radius of curve).....	.....= $R$
$\overline{AV} = \overline{BV}$ =切線長 (Tangent length).....	.....=T.L. or T
$\overline{SV}$ =外線長, 外割又は正矢 (External secant or distance)	.....=S.L. or E
$\overline{SM}$ =中央縦距 (Middle ordinate).....	.....= $M$
$\overline{AB}$ =長弦 (Long chord).....	.....= $C$
$\widehat{ASB}$ =曲線長 (Curve length).....	.....=C.L. or L

(2) 一般性質. 單曲線の緩急は日本, 歐洲では半徑, 米國では度數によつて表す(前章 2. (2) 参照). 次に單曲線の性質を示す公式の内, 特に大切なものを列擧すると次の様である.

$$T = R \tan \frac{1}{2} I \dots (12.1) \quad C = 2R \sin \frac{1}{2} I \dots (12.2)$$

$$M = R \left( 1 - \cos \frac{1}{2} I \right) = R \operatorname{vers} \frac{1}{2} I \dots (12.3)$$

$$E = R \left( \sec \frac{1}{2} I - 1 \right) = R \operatorname{exsec} \frac{1}{2} I \dots (12.4)$$

$$L = RI \quad (I: \text{radian}) = R \frac{\pi}{180} I^\circ = 0.01746 RI^\circ \left. \vphantom{L = RI} \right\} (12.5)$$

$$(I^\circ: \text{度}) = R \frac{\pi}{180 \cdot 60} I' = 0.000291 RI' \quad (I': \text{分}) \left. \vphantom{L = RI} \right\}$$

一般に單曲線では  $I, R, T, C, M, E, L$  の値が重要であるが, 此の内任意の 2 つを與へると, 他は全部算定出来るから, 單曲

線が確定することになる。實際の曲線設置では, 豫測にて定められた路線の通りに先づ現地に I.P. を移して中心線の位置を定め, I.P. 間の距離及び交角  $I$  を測定する。次に現地に應じて適當に半徑  $R$  を定めるが, 其の爲には S.P. の位置を豫定して  $E$  を概測し,  $R = E / \operatorname{exsec} \frac{1}{2} I$  から  $R$  を計算し, 其の端數を省略し所要の  $R$  とすると好都合である<sup>1)</sup>。斯くして  $I, R$  が定まると曲線が確定し, それに應ずる  $T, E, L$  等を求めるのである。尤も山腹, 市街地等にて路線の通る位置が制限される時には,  $I$  の他に  $R$  以外の他の 1 つを與へ, それに應ずる  $R$  を逆に算定することもある。附表-1 及び次の曲線表は何れも以上の計算に都合よく用ひられるが, 多くは種々の  $I, R$  に対する  $T, E, L$  等の値を表示したものである。

木下武之助: 曲線測量表附布設法(野外編), 第 17 版 1935.

坂元左馬太: 鐵道軌道曲線表及布設法 1932.

// : 道路水路曲線表附布設法 1933.

平石利太郎: 道路曲線布設表 1934.

隈塚康公: をんづか式曲線表と設計資料 1937.

他に濱口龜三郎, 五十嵐正道, 西垣晋作等各氏の曲線表がある。

### 3. 單曲線の設置法 (Setting out the Simple Curve)

前節(2)に述べた如くして曲線の諸寸法を定め, 役杭 I.P., B.C., E.C., S.P. を打つてから(第 11 章 7. 参照), 1 chain 毎に中心杭を打つてゆくが, 之に次の諸方法がある。此の場合嚴格に云へば弧長を 1 ch. にとるべきであるが, 弧長と弦長との差は僅小であるから<sup>2)</sup>, 普通は弦長を 1 ch. にとつて差支へない。尤も巻尺の引張り方を少しゆるめると幾分撓むことになるから, 其

1) 國有鐵道では圖上測設の際に  $R$  を定めて置き, 之を現地にその僅用ひる様にし, それで具合の悪い時のみ數で説明した方法で新に  $R$  を選定する。但し何れも表 11.2 の標準曲線表に示すものを用ひる。

2) (弧長/半徑) =  $1/10 \sim 1/20$  以下では弧長=弦長と看做して差支へない。詳細は W. Weibrecht u. M. Knoblich: Knoll's Taschenbuch zum Abstecken der Kurven, I.Bd., 1924, S. 46-50. 林猛雄: 下巻 1933, 頁 216 参照。

の誤差を愈々少くすることが出来る。

(1) 偏角設置法 (Setting by deflection angles)

半徑  $R$  の曲線にて、弧長  $l$  に対する偏角を  $\delta$ 、中心角を  $\beta$  とすれば、

$$\left. \begin{aligned} \delta &= \frac{1}{2}\beta = \frac{1}{2}l/R, & (\delta : \text{radian}) \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{180 \times 60}{\pi} l/R = 1718.87 l/R, & (\delta : \text{分}) \end{aligned} \right\} \dots\dots(12.6)$$

今圖-12.2 の如く、 $\overline{ab}=\overline{bc}=\overline{cd}=l_0=1 \text{ chain}$ ,  $\overline{ab}=\overline{bc}=\overline{cd}=c_0$ ;  $\widehat{Aa}=l_1$ ,  $\widehat{Aa}=c_1$ ;  $\widehat{Bb}=l_2$ ,  $\widehat{Bb}=c_2$  とすれば、之等に対する偏角は、

$$\delta_0 = 1718.87/R, (\delta_0 : \text{分}, R : \text{ch.}) \dots\dots(12.7)$$

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= 1718.87 l_1/R = l_1 \delta_0, & (\delta_1, \delta_2 : \text{分}) \\ \delta_2 &= 1718.87 l_2/R = l_2 \delta_0, & (l_1, l_2, R : \text{ch.}) \end{aligned} \right\} \dots\dots(12.8)$$

上の各式は何れも弧長に対するものであるが、 $l/R \leq 1/10$  の際は 弧長=弦長 と見てよいから、弦長  $c_0, c_1, c_2$  に対しても其の儘適用される(以下同様)。

附表-2 は偏角表であるが、表にない値を求めるには次式によればよい。即ち

$$\delta_{R'} = \delta_{RR}/R' \dots\dots(12.9)$$

$$\text{半徑一定にして弧長 } l', l'' \text{ の和が } l \text{ なる場合の偏角の關係は,} \\ \delta_l = \delta_{l'} + \delta_{l''} \dots\dots(12.10)$$

米國式<sup>1)</sup>では 1 ch. 弦に対する偏角は曲線度数の半分に等しく、而も一般に度数は整数を用ひるから、偏角も小さい端数は作はず都合である。併し 1 ch.=100 ft. と云ふのが少し長すぎる憾がある。尙短弦に対しては、

$$\sin \delta_1 = c_1 \sin \frac{D^{\circ}}{2}, \therefore \delta_1 = c_1 D^{\circ}/2 = c_1 \delta, (c_1 : \text{ch.}; D^{\circ}, \delta : \text{度}) \dots\dots(12.11)$$

曲線設置に際しては、先づ B.C. なる A 點にトランシットを据え、切線 AV の方向から最初の短弦  $c_1$  に対する偏角  $\delta_1$  だけ偏倚した視線中に  $\overline{Aa}=c_1$  として曲線上の點 a を定める。次に 1 ch. 弦に対する偏角  $\delta_0$  だけ更に偏倚せしめた視線中に、 $\overline{ab}=1 \text{ ch.}$  として b 點を定め、以下同様にして  $\delta_0$  宛偏倚せしめて

1) H. Rubey: Route Survey 1938, p. 61, 265 and Table V.

$c, d$  を定め、最後に最後の短弦  $c_2$  に対する偏角  $\delta_2$  だけ偏倚せしめ  $\overline{dB}=c_2$  として B 點を求める。此の B 點が前に定めてある E.C. と一致するか否かによつて測量の精粗を検することが出来る。若し其の差が約 20 cm 以下ならば、距離に比例して各點を平行に移動調整して曲線設置を終るが、それ以上の差のある際は全部やり直すべきである。

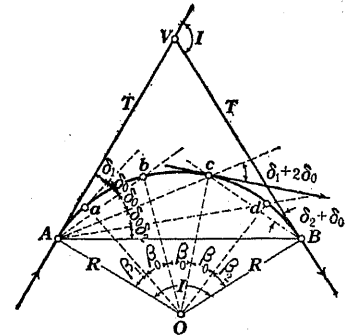


圖-12.2

此の方法は(2)以下の方法に比し正確であつて、一般に殊に鐵道にて廣く用ひられる。併し弧長を 1 ch. にとる代りに弦長を 1 ch. として設置した爲、半徑 10 ch. 以下の際は相當の誤差を作ふ。之を避けるには、弦長=弧長と看做し得る様な短弦に分けて設置するか、又は一定弧長  $l$  に対する弦長  $c$  を求め置き<sup>1)</sup>、此の  $c$  を用ひて設置する必要がある。

尙缺點としては、此の方法では曲線の 1 部のみを調整し難く、障礙物の多い際に面倒であり、而も人員・器械時間を多く要すること等が擧げられる。

見透しがきかない時、例へば Ad が見えないと c 點にトランシットを移し、A を後視してから轉鏡し、それより  $\delta_1+2\delta_0$  だけ偏倚せしめると c に於ける切線が定まり、之に準據して以後の設置を續けることが出来る。

若し 2 個のトランシットを A, B 2 點に据ゑると、圖-12.2 の如く A にて  $\delta_1+2\delta_0$ 、B にて  $\delta_2+\delta_0$  を偏倚せしめ、之等兩視線の交點として曲線上の點 c が求められる。此の方法は距離測定が必要がなく、半徑の小さな際にも誤差を作はないから好都合である。

(2) 支距設置法 (Setting by offsets)

圖-12.3 に於て、 $\overline{Aa}=\overline{ab}=c$ ,  $aa' \perp AV$  且  $Aa$  を延長して  $\overline{ab'}=c$  とする時、 $\overline{aa'}=d$ ,  $\overline{bb'}=d$  を夫々弦長  $c$  に対する切線偏距

$$\begin{aligned} 1) \quad c &= 2R \sin \delta = 2R \sin(1718.87 l/R), \text{ 但し } \delta(\text{分}) \text{ は偏角, } R \text{ は半徑,} \\ &= 2R \left\{ \left( \frac{l}{2R} \right) / 1 - \left( \frac{l}{2R} \right)^3 / 3! + \left( \frac{l}{2R} \right)^5 / 5! - \dots \right\} \approx l \left( 1 - \frac{l^2}{24R^2} \right). \end{aligned}$$



$t_2 = c_2^2 / (2R)$  を立て、B 點を求む。此の B 點が前に定めてある E.C. 點と一致するか否かにより測量の精粗を検し得べく、其の差の大小に従ひ、全部やり直すか又は適當に調整することは(1)の時と同様である。

此の方法は簡単に巻尺の類のみで行はれ、道路方面に用ひられるが、勿論精度は(1)の方法に劣つてゐる。尙茲長を 1 ch. として設置して来たから、半径が小になると 1 ch. 弧長に對する弦長を求め、それに應ずる切線偏距及び弦偏距を求める必要がある。併し之は道路の場合の如くあまり精度を要しない曲線設置に用ひられる方法であるから、半径の特別に小さい時以外は弦長を 1 ch. として差支へない。

(3) 切線よりの支距による設置法 (Setting by offsets from tangent)

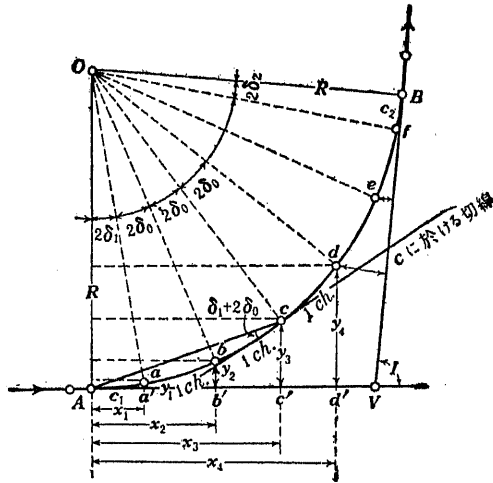


圖-12.6

圖-12.6 に於て、 $\delta_1, \delta_0$  を夫々短弦  $c_1, 1 \text{ ch.}$  弦に對する偏角とすれば、  
 $x_1 = R \sin 2\delta_1, x_2 = R \sin 2(\delta_1 + \delta_0), x_3 = R \sin 2(\delta_1 + 2\delta_0), \dots$   
 $y_1 = R \text{ vers } 2\delta_1, y_2 = R \text{ vers } 2(\delta_1 + \delta_0), y_3 = R \text{ vers } 2(\delta_1 + 2\delta_0), \dots$  (12.16)<sup>1)</sup>

1) W. H. Searles and H. C. Ives: Field Engineering 1929, pp. 64-67.

故に切線上に  $x_1, x_2, \dots$  とつて  $a', b', \dots$  を定め、それより夫々支距  $y_1, y_2, \dots$  を立てると曲線が設置される<sup>1), 2)</sup>。y が餘り長くなるか又は隧道等で廣い面積のとれない場合には、x が餘り大とならない範圍で新しい切線(例へば c 點に於ける切線の如し)を作り、幾回にも區切つて設置をすればよい。

(4) 長弦よりの縦距による設置法 (Setting by ordinates from long chord)

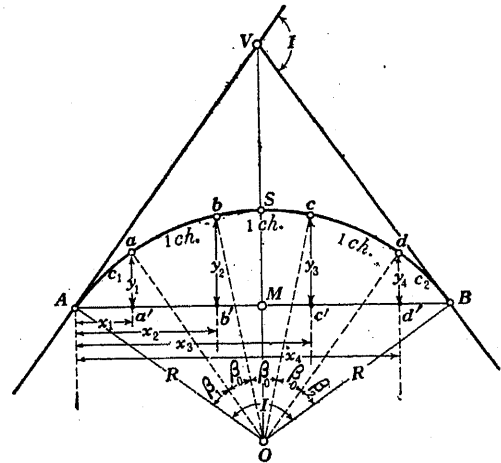


圖-12.7

圖 13.7 に於て、 $\beta_1, \beta_0$  を夫々短弦  $c_1, 1 \text{ ch.}$  弦に對する中心角とすれば、  
 $x_1 = R \left\{ \sin \frac{1}{2} I - \sin \frac{1}{2} (I - 2\beta_1) \right\}$   
 $x_2 = R \left\{ \sin \frac{1}{2} I - \sin \frac{1}{2} (I - 2\beta_1 - 2\beta_0) \right\}$   
 $x_3 = R \left\{ \sin \frac{1}{2} I - \sin \frac{1}{2} (I - 2\beta_1 - 4\beta_0) \right\}$   
 $\dots \dots \dots (12.17)$

1) x, y を式-12.16 とは異なる形で表すことも出来る。例へば  
 W. Weitbrecht u. M. Knoblich: I Bd., 1924, S. 34-38.  
 森田虎起: 測量學講義 1936, 頁 222-224.  
 2) 此の方法に對する曲線表としては、坂元左馬太: 道路水路曲線表 1933, 第 5 6, 9 表。

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= R \left\{ \text{vers } \frac{1}{2} I - \text{vers } \frac{1}{2} (I - 2\beta_1) \right\} \\ y_2 &= R \left\{ \text{vers } \frac{1}{2} I - \text{vers } \frac{1}{2} (I - 2\beta_1 - 2\beta_0) \right\} \\ y_3 &= R \left\{ \text{vers } \frac{1}{2} I - \text{vers } \frac{1}{2} (I - 2\beta_1 - 4\beta_0) \right\} \end{aligned} \right\}$$

故に長弦上に  $x_1, x_2, \dots$  をとつて  $a', b', \dots$  を定め、それより夫々縦距  $y_1, y_2, \dots$  を立てると曲線が設置される。

尚  $x, y$  を式-12.17 とは異なつた形の式で表すことが出来る<sup>1)</sup>。又起點よりの追加距離を追はない場合は、長弦 AB を等分した點より縦距を立て容易に曲線を設置することが出来る<sup>2)</sup>。

(5) 中央縦距による設置法 (Setting by middle ordinates)

圖 12.8 の如く、中心角を 2 等分してゆき、起點からの追加距離を追はない場合は、

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= R \text{vers } \frac{1}{2} I = c^2 / (8R) \\ M_2 &= R \text{vers } \frac{1}{4} I = M_1 / 4 \\ M_3 &= R \text{vers } \frac{1}{8} I = M_2 / 4 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (12.18)^3$$

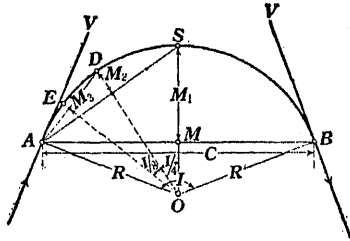


圖-12.8

縦距を用ひることが必要である<sup>4)</sup>。

故に中心角に相當する長弦の中點で、夫々上記の縦距を立て、ゆくと曲線が設置される。

此の方法は既設曲線の修正に便利で、特に鐵道にて保線員が曲度 (1/R) を求める場合に有効である。若し追加距離を追うて中心杭を打つ際には、上法の代りに 2c/11、毎の中心杭を結ぶ線に對する中央

4. 單曲線設置に於ける障害 (Obstacles on Simple Curve Setting)

- 1) 若島八郎：大測量學，上卷 1937，頁 135—136。  
Searles and Ives：1929，頁 71—73。
- 2) 林 猛雄：下卷 1933，頁 229—230。坂元左馬太：1933，頁 16，第 11 表。  
Searles and Ives：1929，pp. 68—71。
- 3) 林 猛雄：下卷，1933，頁 227—229。坂元左馬太：1933，頁 12—14，第 8 表。  
W. Weitbrecht u. M. Knoblich：I Bd., 1924，S. 52—53。
- 4) 伊藤敬二郎：1935，頁 385—385，Searles and Ives：1929，頁 67—68。

曲線設置に際し、森林、建物等の爲に見透しを妨げられ、或は河川、湖沼が介在して距離測定、器械の据付けに困難を來たすことが少くない。之等の場合は幾何學的關係の應用等により、前節の設置法を適宜修正して目的を達するのであつて、以下 2, 3 の實例に就いて説明しよう。

(1) 交點 (I.P.) に近接し難い場合

圖-12.9 の如く各切線上に互に見透しのきく様に任意點 P, Q をとり、 $\angle p, \angle q$  及び  $\overline{PQ} = l$  を測定する。然らば交角は  $I = p + q$  となるから、適當に半径 R を假定して、

$$\overline{PA} = l \frac{\sin q}{\sin I} - R \tan \frac{1}{2} I, \quad \overline{QB} = l \frac{\sin p}{\sin I} - R \tan \frac{1}{2} I \dots\dots\dots (12.19)$$

を計算する。この結果が正值となると A の如く PV 線上に  $\overline{PA}$  をとつて始點 A を定め、負値となると B の如く VQ の延長上に  $\overline{QB}$  をとつて終點 B を定める。以後の曲線設置の方法は普通の場合と同様である。

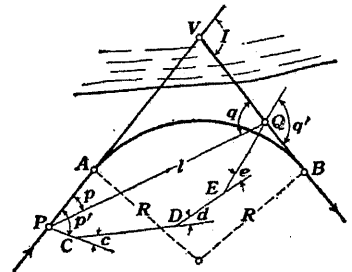


圖-12.9

若し P, Q が相互に見えない際は、圖の如く 2 點 P, Q をトラスパス PCDEQ で連絡し、切線 PA の如きを假設子午線と假定して縦横距を算定し、之によつて前同様の計算を行へばよい。

(2) 始點 (B.C) に近接し難い場合

此の場合は次の何れかの方法によればよい、即ち (a) E.C. なる B 點から曲線を設置する、(b) I.P. より S.P. を定めて S.P.

1) 林 猛雄：下卷 1933，頁 231—232。







(2a) 中心角  $\theta_1, \theta_2$  の和は交角  $I$  に等しく、P 點の位置に應じて  $\theta_1$  が増減すれば、それと同じだけ  $\theta_2$  が減増する。

(2b)  $\theta_1, \theta_2, R_1, R_2$  の内任意の 1 つを選ぶと、他の 3 つが決定する。

(2) 複曲線の一般方程式と其の應用 (General equations of compound curves and their application)

圖-12.11 の記號を用ひ、次の一般方程式が導かれる 1)。

$$\theta_1 + \theta_2 = I \dots\dots\dots(12.21)$$

$$A+B=I, A-B=\gamma; A=\frac{1}{2}(I+\gamma), B=\frac{1}{2}(I-\gamma)\dots\dots\dots(12.22)$$

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \frac{1}{2}(T_2 - T_1)(\cot \frac{1}{2}\gamma - \cot \frac{1}{2}\theta_1) \\ &= R_2 - (R_2 \text{ vers } I - T_2 \sin I) / \text{vers } \theta_1 \\ R_2 &= \frac{1}{2}(T_2 - T_1)(\cot \frac{1}{2}\gamma + \cot \frac{1}{2}\theta_2) \\ &= R_1 + (T_1 \sin I - R_1 \text{ vers } I) / \text{vers } \theta_2 \\ R_2 - R_1 &= \frac{1}{2}(T_2 - T_1)(\cot \frac{1}{2}\theta_2 + \cot \frac{1}{2}\theta_1) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(12.23)$$

$$\left. \begin{aligned} \cot \frac{1}{2}\theta_1 &= \cot \frac{1}{2}\gamma - R_1 / \frac{1}{2}(T_2 - T_1) \\ \cot \frac{1}{2}\theta_2 &= R_2 / \frac{1}{2}(T_2 - T_1) - \cot \frac{1}{2}\gamma \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(12.24)$$

$$\left. \begin{aligned} \tan \frac{1}{2}\theta_1 &= \frac{R_2 \text{ vers } I - T_2 \sin I}{R_2 \sin I - T_2 \cos I - T_1} \\ \tan \frac{1}{2}\theta_2 &= \frac{T_1 \sin I - R_1 \text{ vers } I}{T_2 + T_1 \cos I - R_1 \sin I} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(12.25)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{vers } \theta_1 &= (R_2 \text{ vers } I - T_2 \sin I) / (R_2 - R_1) \\ \text{vers } \theta_2 &= (T_1 \sin I - R_1 \text{ vers } I) / (R_2 - R_1) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(12.26)$$

$$\left. \begin{aligned} \cot \frac{1}{2}\gamma &= \{(T_2 + T_1) / (T_2 - T_1)\} \cot \frac{1}{2}I \\ &= R_1 / \frac{1}{2}(T_2 - T_1) + \cot \frac{1}{2}\theta_1 = R_2 / \frac{1}{2}(T_2 - T_1) - \cot \frac{1}{2}\theta_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(12.27)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{2}(T_2 - T_1) &= \frac{1}{2} \overline{AB} \sin \frac{1}{2}\gamma / \sin \frac{1}{2}I \\ &= (R_2 - R_1) / (\cot \frac{1}{2}\theta_1 + \cot \frac{1}{2}\theta_2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(12.28)$$

$$\frac{1}{2}(T_2 + T_1) = \frac{1}{2}(T_2 - T_1) \cot \frac{1}{2}\gamma / \cot \frac{1}{2}I$$

1) Dr. Hammer: Zeitschr. f. Vermessungswesen, 1900, S. 236 ff.  
Searles and Ives: 1929, pp. 109—110.  
林 猛雄: 下巻 1933, 頁 238—245.

$$\left. \begin{aligned} T_1 &= \{(R_2 - R_1) \text{ vers } \theta_2 + R_1 \text{ vers } I\} / \sin I \\ T_2 &= \{R_2 \text{ vers } I - (R_2 - R_1) \text{ vers } \theta_1\} / \sin I \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(12.29)$$

一般に複曲線にて任意に獨立に與へ得る値は 4 個であり、他は上の各式を適當に用ひて算出しなければならない。我々が複曲線設置上度々遭遇する場合を列擧すれば、次の様である 1)。

場合	與 値	求 値
(1)	$T_1, T_2, I, R_1$ (又は $R_2$ )	$\theta_1, \theta_2, R_2$ (又は $R_1$ )
(2)	$R_1, R_2, \theta_1, \theta_2$	$T_1, T_2, A, B$
(3)	$\overline{AB}, A, B, R_1$ (又は $R_2$ )	$\theta_1, \theta_2, R_2$ (又は $R_1$ )
(4)	$R_1, R_2, I, T_1$ (又は $T_2$ )	$\theta_1, \theta_2, T_2$ (又は $T_1$ )
(5)	$I, T_1$ (又は $T_2$ ), $R_1$ (又は $R_2$ ), $\theta_1$ (又は $\theta_2$ )	$T_2$ (又は $T_1$ ), $R_2$ (又は $R_1$ ), $\theta_2$ (又は $\theta_1$ )
(6)	$T_1, T_2, \theta_1, \theta_2$	$I, R_1, R_2$

今 (1) の場合に就いて解法を示すと、(12.27) の第 1 式より  $\cot \frac{1}{2}\gamma$  を、(12.25) より  $\theta_2$  を、(12.21) より  $\theta_1$  を、最後に (12.23) より  $R_2$  を求めればよい。

(3) 複曲線の設置 (Setting out the compound curve)

先づ現地に I.P. を定めて交角  $I$  を測り、次に現地の状況に應じて B.C. 及び E.C. の位置、從つて  $T_1, T_2$  を與へ、更に何れか一方の半徑例へば  $R_1$  を適當に假定する。然る時は、 $I, T_1, T_2, R_1$  の 4 つの値を與へたことになり、複曲線の線形が決定されるから、前項 (I) の場合に相當し  $\theta_1, \theta_2, R_2$  が算定され、複曲線としての必要値が全部わかることになる。之等の値を用ひると、先づ弧長  $\overline{AP}, \overline{PB}$  が算定され、B.C., E.C., P.C.C. の追加距離がわかるから、P.C.C. の位置を現地に決定さへすれば必要な役杭が全部揃ふことになり、それ以後は 3. と同様にして曲線設置を終了することが出来る。

1) A. Ljano: E. N. R., Vol. 82, 1919, pp. 1070—1072.  
W. F. Shunk: E. N. R., Vol. 84, 1920, pp. 378—379.  
W. Weitbrecht u. M. Knoblich: I. Bd., 1924, S. 86—94.  
Searles and Ives: 1929, pp. 103—106, 110—114.

此の P.C.C. を定めるには、圖-12.12 に示す如く、切線 VA 上に  $\overline{AV_1} = R_1 \tan \frac{1}{2} \theta_1$ 、VB 上に  $\overline{BV_2} = R_2 \tan \frac{1}{2} \theta_2$  をとつて  $V_1, V_2$  を求めると、直線  $V_1V_2$  によつて共通切線の位置が定まり、次に其の上に  $\overline{V_1P} = \overline{V_1A}$  或は  $\overline{V_2P} = \overline{V_2B}$  として P 点を求めると、所要の P.C.C. となる。

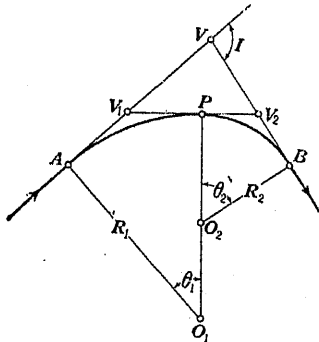


圖-12.12

尙複曲線設置上の障害物に對する對策、又は路線の變更、改修に伴ふ特殊設置問題もあるが、脚註に文献を擧げて置く1)。

## 7. 反(向)曲線 (Reverse Curve or S-Curve)

半徑異なる 2 つの單曲線が其の接續點にて共通切線を有し、而も其等の中心が共通切線の兩側にある時、之を反曲線と稱し、接續點を反曲線接續點 (Point of reverse curve; P.R.C.) と云ふ。

鐵道の曲線部では、遠心力の作用に對し安全を期する爲、外側軌條を内側軌條より高くする、即ちカント (Cant) を附ける必要がある。従つて反曲線を設置すると、P.R.C. の所で左右兩軌條

1) Searles and Ives: 1929, pp. 114—123.  
Pickels and Wiley: 1930, pp. 75—77.  
林 經雄: 下巻 1937, 頁 245—248.

の高さを急變する必要があるが、之は實際上不可能であるから、P.R.C. の所に相當の長さの直線部 (先づ 50 m 以上) を挿入し、軌條高の變化を圓滑にしなければならない。この意味から停車場以外は純粹な反曲線を用ひないことになつてゐる1)。

道路方面でも近時自動車交通の發達と共に、P.R.C. の所に相當の直線部を入れる必要がある2)。

要するに反曲線が車輛の危險、輸送量の減少等を惹起する程度は、複曲線の場合よりも遙かに著しいから、反曲線を用ひない方がよく、已むを得ない時は成るべく直線部を挿入する様にすべきである3)。

### (1) 反曲線の性質と方程式 (Properties and equations of reverse curve)

反曲線の幾何學的性質は複曲線と同一で、前記複曲線の諸公式に於て  $R_2, \theta_2$  の符號を逆にすれば其の儘反曲線の方程式となる。唯複曲線に比べ注目すべき點を擧げると次の様である。

- (1)  $R_1 = R_2$  の場合が存在し得ること。
- (2) 兩切線の交點 V は共通切線の何れの側にも存在し得るし、又始點 A、終點 B の何れの側にも存在し得ること。
- (3)  $R_2$  を大なる半徑とするも、 $R_2$  に隣れる切線長  $T_2$  は必ずしも  $T_1$  より大とは限らない。若し交點 V が A 又は B と一致すれば、1 方の切線長は消失すること。
- (4) 平行切線間に引かれた反曲線の兩切點を結ぶ直線は必ず P.R.C. を通ること4)。

1) 國有鐵道建設規程第 14 條、地方鐵道建設規程第 14 條。  
2) 道路構造令並同細則改正案要項第 14 には、半徑 300 m 未満の際長さ 30m 以上の直線部を挿入し、之が不可能ならば單曲線又は複曲線を用ひることに定められてゐる。  
3) 直線部を挿入した時の計算に就いては、W. Weitbrecht u. M. Knoblich: I Bd., 1924, S. 106—115.  
4) 複曲線の場合は 1 方の圓弧を反對側に延長することにより平行切線を引き得べく、其の兩切點を結ぶ直線は P.C.C. を通る。伊藤政二郎: 1935, 頁 390—391 參照。

圖-12.13 は以上の諸關係を示したものである。

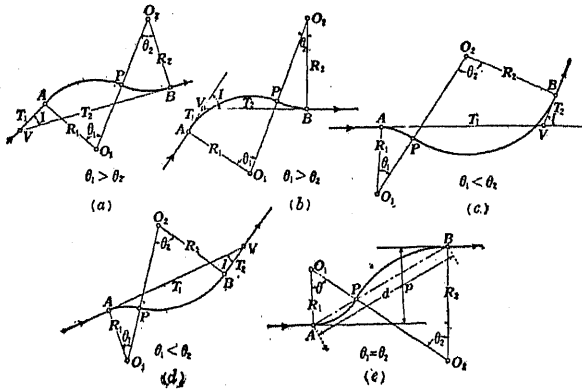


圖-12.13

尙反曲線にても、任意に獨立に與へ得る値は4つであり、其等によつて反曲線の線形が決定されることは、複曲線の場合と同様である。

特に平行切線間の反曲線(圖-12.13(e))に對しては、次の諸公式が成立するが、何れも頁62-63の一般方程式にて  $I=0, \theta_1=\theta_2=0$  とすれば容易に誘導出来るものである。

$$R_1 + R_2 = p / \text{vers } \theta = d^2 / (2p), \quad d = \sqrt{2(R_1 + R_2)p} \dots\dots(12.30)$$

$R_1 = R_2 = R$  なる場合は、

$$R = \frac{1}{2} p / \text{vers } \theta = d^2 / (4p), \quad d = 2\sqrt{Rp} \dots\dots(12.31)$$

(2) 反曲線の設置 (Setting out the reverse curve)

複曲線の場合と同様である、即ち現地の狀況に應じ適宜4つの値を與へて反曲線を決定し、それより必要な他の値を算定し、交點V、切點A、B及びP.R.C.を現地に設け、以後は單曲線の場合と同様に設置してゆけばよい。脚註文献は反曲線設置上の諸問題

に對するものである<sup>1)</sup>。

8. 鐵道及び軌道に於ける緩和曲線(Transition Curves in Railway and Tramway)

(1) カント(又は高度)(Cant)

列車又は電車が線路の曲線部を通る際は、遠心力の作用によつて曲線の外方に投出されようとする傾向がある。従つて曲線部に於ては、外側軌條を内側軌條より高め、即ちカントをつけて車輛を曲線内方に傾け、以て運轉の安全を期さねばならない。

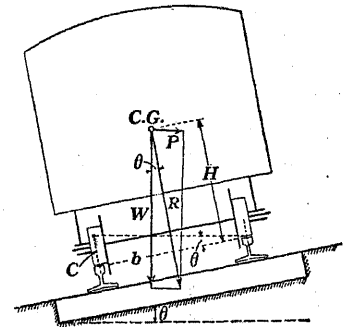


圖-12.14

圖-12.14 に於て、

$W = Mg$ : 車輛重量、但し  $M$ : 車輛質量、 $g$ : 重力加速度。

$P = Mv^2/R$ : 遠心力、但し  $v$ : 車輛速度、 $R$ : 曲線半径。

$b$ : 兩側軌條中心間の距離にして、簡單に軌間(Gauge)  $G$  とすることがある。

$\theta = \tan^{-1} C/b$ : 軌條頭部を結ぶ線の傾斜角、但し  $C$ : カント。とする時、 $P, W$  の合力  $R$  が線路中央に向ふと兩側軌條に傳へる力が等しくなり、運轉の安全上非常に好都合である。此の爲には  $R$  は鉛直方向と角  $\theta$  をなすべきであり、カントは斯かる條件を満足する様に定められるから、

$$\tan \theta = \frac{C}{b} = \frac{P}{W} = \frac{Mv^2/R}{Mg} = \frac{v^2}{gR}$$

1) Searles and Ives: 1929, pp. 136-143.  
平野武文: 測量要覽 1934, 頁 169-177.

$$\therefore C = \frac{bv^2}{gR}, \quad (\text{m-sec 單位}) \dots\dots\dots(12.32)$$

車輛速度  $v(\text{m/sec})$  と  $V(\text{km/時})$  との間には  $v = \frac{1000}{60 \times 60} V$  なる関係があるから、 $g=9.80 \text{ m/sec}^2$  として式-12.32 を書換へると、

$$\left. \begin{aligned} C &= bV^2/(127 R), \quad (C, b, R: \text{m}) \\ &= bV^2/(0.127 R), \quad (C: \text{mm}; b, R: \text{m}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(12.33)$$

従つてカントは曲線半径小なる程、又車輛速度大なる程大としなければならない。併し實際問題として曲線部を通る車輛速度を等しくすることは困難であるから、今日では或區間毎に豫め平均速度を假定し、之に對應するカントを附する様にしてゐる。例へば、

(1) 國有鐵道<sup>1)</sup>では次式によつて求めた表-12.1 の如きカントを用ひてゐる。

$$C = \frac{GV^2}{0.127R} \leq 115 \text{ mm}, \quad \text{故に } V = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2}{2}} \dots\dots\dots(12.34)$$

但し  $V_1, V_2$  を豫定するには次の條件を必要とする。

$$\left. \begin{aligned} \frac{V_1^2 - V_2^2}{127R} \cdot \frac{H}{G} = \frac{V^2 - V_2^2}{127R} \cdot \frac{H}{G} \leq \frac{1}{8}, \\ \text{又は } \frac{V_1^2 - V_2^2}{127R} \cdot \frac{H}{G} \leq \frac{1}{4} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(12.35)$$

上式中、 $C$ : カント(mm),  $G=1.067 \text{ m}$ : 軌間(m),  $R$ : 曲線半径(m),  $V$ : 平均速度(km/時),  $V_1$ : 豫定最大速度(km/時),  $V_2$ : 豫定最小速度(km/時),  $H$ : 車輛重心より軌條面迄の距離(m)。

表-12.1 軌條カント表 (mm) (1部省略)

半徑 (m) \ 平均速度 (km/時)	150	200	300	400	500	600	800	1000	1200	1400	1600	2000
20	22	17	11	8	7	6	4	3	3	2	2	2
25	35	26	17	13	11	9	7	5	4	4	3	3
30	50	38	25	19	15	13	9	8	6	5	5	4
35	69	51	34	26	21	17	13	10	9	7	6	5
40	90	67	45	34	27	22	17	13	11	10	9	7

1) 國有鐵道建設規程第 25 條; 軌道整備心得(昭和 7 年 10 月 14 日, 達第 798 號)第 7, 8, 9 條; 曲線に於ける軌間の擴度及軌條の高度整備並緩和曲線敷設方法(大正 12 年 4 月 24 日, 研甲第 217 號)第 4~7, 10 條, (以下曲線整備法と略する)。

EGG										1400			
45	113	85	57	43	34	28	21	17	14	12	11	9	
50		105	70	53	42	35	26	21	17	15	13	11	
55			85	64	51	42	32	25	21	18	16	13	
60			101	76	60	50	38	30	25	22	19	15	
65				89	71	59	44	35	30	25	22	18	
70				103	82	69	51	41	34	29	26	21	
75					95	79	59	47	39	34	30	24	
80					108	90	67	54	45	38	34	27	
85						101	76	61	51	43	38	30	
90							113	85	68	57	49	43	
100								105	84	70	60	53	

(2) 滿鐵<sup>1)</sup>では、次式を用ひ、本線に對しては標準カントを表示し、側線に對しては運轉速度に應じ適當に減速することになつてゐる。

$$C = 8 V^2/R \leq 150 \text{ mm}$$

但し  $C, R$  は同前,  $V$  は當該曲線を通過する運轉速度(km/時) } ... (12.36)

併し乍ら上のカント決定法は主として線路建設の際に用ひるものであり、保線に於ては最近の列車速度の著しい昂上に順應する爲に、軌道の狂ひを最小とし且高速列車の乗心地を最良ならしめると云ふ見地から、現地の列車運轉の状況に應じ更に合理的な平均速度を求めてカントの整備をする様になつてゐる<sup>2)</sup>。

軌道に於ては、併用軌道以外の所のみ鐵道と同様カントを附けるが、併用軌道の所は一般道路交通に支障を生じない様に、カントを附けずに護輪軌條又は特殊の曲線用溝形軌條を用ひてゐる<sup>3)</sup>。尤も近代道路では自動車の安全の爲、半径 300 m 以下の所は道路自らに片勾配を附けるから<sup>4)</sup>、此の際は併用軌道にも道路の片勾配に相當したカントを附けるがよい。

1) 軌道整備心得(昭和 9 年 4 月 25 日)第 10 條; 新線建設内規(昭和 9 年 4 月)第 25, 27 條。  
 2) H.Deyl: Bulletin of I.R.C.A., 1932, pp. 2359-2368.  
 D.E.Protopapadakis: Bulletin of I.R.C.A., 1933, pp. 1118-1121.  
 G.L.Mercer: Civil Engineering, 1936, pp. 589-593.  
 C.Lemaire: Bulletin of I.R.C.A., 1937, pp. 408-423.  
 南野紫夫: 鐵道省工務局第 19 回保線講習會記錄, 1934 年 12 月, 土木工學ポケットブック 1936, 頁 2914-2919。  
 3) 軌道建設規程第 7, 11 條。  
 4) 道路構造令並同規則改正案要項 第 12。

(2) スラック(撓度) (Slack)

機関車や車輛では、一般に其の車輛軸が2又は2.以上互に剛結され(此の剛結された車輛軸の間隔を固定輪軸距 (Rigid wheel base) と云ふ)、別々の行動が出来ないことになつてゐる。故に半徑小なる曲線部を通る際は、軌條と車輪の突縁との接觸點が車軸の直下より幾分外れる様になり、直線部と同じ軌間では車輪と軌條が軌り合ひ、其等の損傷を大きくするのみならず、脱線の危険さへ生ずる惧がある<sup>1)</sup>。此の意味から外側軌條はその儘とし内側軌條を動かして、曲線部に於ける軌間を擴げる必要があり、此の擴げる大きさをスラックと云ふ。

スラックは固定輪軸距、軌條と輪鐵との遊間の許容限度及び曲線半徑によつて異なるべく、總べての場合に適合する公式を與へることは不可能で、普通は種々の假定に基いて作つた實驗式によつてゐる<sup>2)</sup>。尙スラックが大に過ぎると危険であるから、我國有鐵道では固定輪軸距を 4.6 m 以下、曲線半徑を 80 m 以上と規定し、スラックが 30 mm 以上とならない様にしてゐる。

(1) 國有鐵道<sup>3)</sup>では、半徑 800 m 以下の曲線部に、次式によつて求めた表-12.2 の如きスラックを附してゐる。  
 $S = 6000/R - 5 \leq 30 \text{mm}$ , 但し  $S$ : スラック(mm),  $R$ : 曲線半徑(m) (12.37)

表-12.2 軌間スラック表

曲線半徑(m)	以上	175	185	200	215	230	250	275	300	335	375	430	500	600	700
スラック(mm)	未滿	175	185	200	215	230	250	275	300	335	375	430	500	600	700
		30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4

1) Heumann: Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens (以下 O.F.E. と略記する) 1933, S. 325-333, u. 363-374; 1936, S. 165-181 u. 331-346.  
 伊藤健雄: 土木工學, 1936年1月及び1937年2月。  
 2) T. Yamada and Y. Hashiguchi: Bulletin of I.R.C.A., 1937, pp. 530-543.  
 3) 國有鐵道建設規程 第 9, 64 條, 軌道整備心得 第 3, 4, 5 條, 尙曲線整備法 (大正12年) 第 1, 2, 3 條の規程は近く改正される筈。  
 地方鐵道及び軌道に關しては、夫々の建設規程 第 5 條, 第 6 條参照。

但し半徑 800 m を超ゆる曲線と雖も、必要ありと認むるときは 2 mm 以内のスラックを附することを得。

(2) 滿鐵<sup>1)</sup>では、半徑 500 m 以下の曲線部に、次式を應用し別に表示した標準スラックを附してゐる。

$$S = \frac{(l-l_n)^2}{2R} \times 1000 - 8, \text{ 但し } S, R: \text{同前}$$

$$l: \text{固定輪軸距(m)}, n = \begin{cases} 4, (R > 300 \text{ m}) \\ 3 \sim 4, (R < 300 \text{ m}) \end{cases} \quad (12.38)$$

(3) 緩和曲線の目的と其の必要條件 (Purposes of transition curve and its requirements)

鐵道、軌道に於て高速運轉を行ふ際、直線部と圓弧部とを直結すると、次の不都合を生ずる。

(1) 曲率半徑が無限大から一定値  $R$  に急變するから、遠心力が急激に作用し始めて、車輛は著しく動搖する。従つて軌條に衝撃を與へ、車輪、軌條其の他に著しい損傷を與へると共に、乗客の乗心地を非常に悪くする。

(2) 曲線部では一定のカント及びスラックを附すべきことは前述の通りであるから、直線と圓弧とを直結すれば、其の接續點にて急に外側軌條を高め、内側軌條を内側によせなければならないが、此のことは實際上不可能である。

以上の缺點を避ける爲に、直線部と圓弧部との連絡部分に特殊の曲線を挿入するが、之を緩和曲線 (Transition curve) と云ふ。之と同じ意味にて複曲線、反曲線の接續點にも適當な緩和曲線を入れることが必要である。

次に緩和曲線は上述の挿入目的より考へて、當然次の如き線形を有しなければならない。即ち直線又は圓弧との接續點にて共に共通の切線をもつ必要があるから、緩和曲線の曲率半徑  $\rho$  は其の始點 (Beginning of transition curve: B.T.C.) にて  $\infty$ 、終點 (End of transition curve: E.T.C.) にて圓の半徑  $R$  に等しく、其等の中間にては  $\infty$  より  $R$  へと漸減すべきである。

1) 新線建設内規 第 3 條, 軌道整備心得 第 5 條。

處が一般に計算に際しては曲線上にて速度  $V$  を一定と假定するから、曲率半径  $\rho$  とカント  $C$  とは 式-12.32 の関係より互に逆比例して變化すべきものである。従つて結局カントを挿入する方法が問題になるが、現在は一般に B.T.C. にて 0, E.T.C. にて圓の半径に相當するカント  $C$  を付け、其の間を圖-12.15 (a) の如く直線的に増加してゆくから、任意點のカントは B.T.C. よりの曲線長に比例する。従つて任意點の曲率半径  $\rho$  が B.T.C. よりの曲線長に逆比例し、B.T.C. にて  $\rho = \infty$ , E.T.C. にて  $\rho = R$  なる如きものが、理想的緩和曲線の線形であると云ふことが出来る。次節以下に於て改めて詳述する積りである。

#### (4) 緩和曲線に関する最近の諸問題

(a) 上述の如くカントを直線的に遞増する挿入法は、最近の列車速度の昂上に鑑み、列車運轉の圓滑を期する上に最良であるかは相當疑問の存する所である。従つて近來新しいカント挿入法(例へば圖 12.15(b)) に應じた新緩和曲線が提唱され<sup>1)</sup>、順

- 1) G. Schramm: Der vollkommene Gleisbogen 1931. O.F.E., 1934, S. 427-434. Bulletin of I.R.C.A., 1935, S. 222-255. Verkehrstechnische Woche, 1936, S. 487-493.
- A. E. Bloss: O.F.E., 1931, S. 94-97; 1933, S. 359-360; 1936, S. 319-320.
- R. Hanker: O.F.E., 1933, S. 343-347.
- H. Zangl: O.F.E., 1933, S. 360-362.
- Wentzel: O.F.E., 1934, S. 115-119. Verkehrstechnische Woche, 1937, S. 17-21.
- Leisner: O.F.E., 1935, S. 89-93.
- P. Thellier: Génie Civil, Tome 108, 1936, p. 509-512 et 532-537.
- A. Lange: O.F.E., 1937, S. 417-418.
- R. Pindeis: O.F.E., 1937, S. 439-443.
- 山崎 健二: 土木工學, 1939, 頁 325-335.

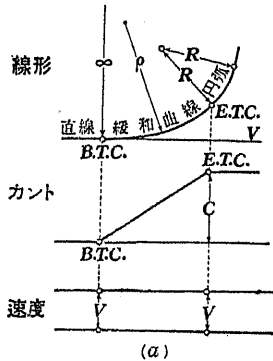


圖-12.15

次實用化されて來てゐる。

(b) 實際上の列車運轉を見ると、圖 12.15(c) の如く曲線部に入るにつれて速度を漸減するのが普通である<sup>2)</sup>。従つて此の事實を考慮すれば、たとへカントを直線的に遞増するとしても、(3) に述べた緩和曲線とは異なる線形を得る筈であつて、種々の注目すべき研究が行はれてゐる<sup>3)</sup>。

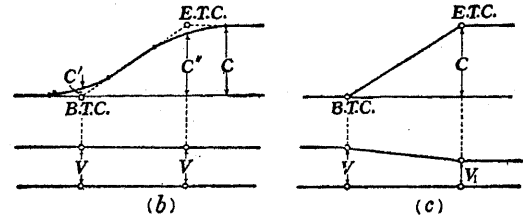


圖-12.15

(c) 最近の新傾向によると、圓曲線を用ひない屈曲の優秀性が次第に注目されて來た<sup>4)</sup>。それは圖 12.15(d) の如く先づ半径  $\infty$  に始まり、次第に曲率半径  $\rho$  を減じて一定値  $R$  に達し、直に曲率半径を漸増して再び  $\infty$  となつて、直線部に接続すると云ふ方法である。此の際前半と後半は全く同曲線を用ひ、中點にて兩者が同一の切線を有する様にするので、全緩和屈曲とも云ふべきである。斯くすれば半径の變化が緩慢となり、遠心力による衝撃を減じて運轉の安全上好都合であるが、唯在來の如き單純な曲線では間に合はず計算が面倒になると云ふ缺點とカント挿入上の困難がある様で

- 1) T. Yamada and Y. Hashiguchi: Bulletin of I.R.C.A., 1937, pp. 504-513.
- 2) 田中 豊: 土木工學, 1932年 10月。  
江藤 禮: 土木學會誌, 1938, 頁 243-246.
- 3) F.G. Royal-Dawson: Elements of Curve Design 1932, pp. 124-144.  
J. Lamoën: Annales des Travaux Publics de Belgique, 1936, p. 676.  
江藤 禮: 土木學會誌, 1938, 頁 243.  
坂元常樹: 鐵道營業務研究資料, 第25卷第10號, 1937.

ある<sup>1)</sup>。此の際の曲線としては、先づレムニスケート<sup>2)</sup>とクロトイド<sup>3)</sup>とが考へられるが、前者の方が實用的である(9.(3)(e)参照)。

## 9. 緩和曲線の線形 (Alignments of Transition Curves)

### (1) 緩和曲線の長さ (Length of transition curves)

カントの挿入法によつて緩和曲線長  $L$  が決定されるが、従來の一般方法によつて圖-12.15(a) の如く B.T.C より E.T.C.迄カントを直線的に遞増するものとすれば、

$$\left. \begin{aligned} \text{遞増勾配} &= 1/n = C/L \\ \therefore \text{緩和曲線長} &= L = nC \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (12.39)$$

となり、之等を次の方針に基いて定めてゐる<sup>4)</sup>。

(1) 従來の經驗に基き線路の重要程度に應じて適當に  $n$  を定めて曲線長  $L$  を求める方法。

(2) 列車が曲線上を通る際、1秒間に登るカントが 3~6 cm となる様に、曲線長  $L$  を定める方法<sup>5)</sup>。

(3) 曲線上に於ける列車の向心加速度の變化率を適當に定めて (Shortt によれば毎秒 1 ft/sec<sup>2</sup> 以下)、それに應ずる曲線長  $L$  を求める方法<sup>6)</sup>。

以上の各方法の内、現在は (1) によつて  $n=300\sim 600$  の範圍で適當に緩和曲線長を定めるのが普通である。尙 (2) 又は (3) に

- 1) E. W. W. Richards: The Surveyor, Vol 90, 1936, pp. 239-242.
- 2) 久野重一郎: 九州帝國大學工學叢報, 1936, 頁 152-153.
- 3) T. H. Hickerson: Highway Curve and Earthwork 1926, pp. 100-108.
- 4) F. G. Royal-Dawson: 1932, pp. 65-84. Clark: Vol. I, 1932, pp. 347-348.
- 5) G. W. Pickels and C. C. Wiley: 1930, pp. 92-94. P. H. Jackson: Bulletin of I.R.C.A., 1934, pp. 1211-1217. G. L. Mercer: Civ. Engineering, 1936, p. 591. G. Schramm: Verkehrstechnische Woche, 1936, S. 487-493. H. Rubey: 1933, pp. 135-136.
- 6) W. H. Shortt: Min. Proc. Inst. C. E., Vol. 176., 1908-1909, p. 97. C. L. Martinez: Bulletin of I.R.C.A., 1934, 117-122.

よれば、 $L$  の  $V^3$  となり、列車運轉の安全、乗心地、線路保守等より考へて合理的な有効な方法とされてゐるが、近時の著しい速度昂上に應ずるためには、緩和曲線長が極めて長くなる。従つて線路改良の場合には移程を頗る大きくして改良費を激増する關係上、カントの直線的遞増法をやめ新しい別途の挿入法が考案されて來てゐる<sup>1)</sup>。

- (1) 國有鐵道<sup>2)</sup>では、本線路に於て分岐の場合を除き直線と曲線の接續個所に緩和曲線を入れるが、(1)の方法により  $n$  の値を次の如く定めてゐる。  
甲線: 600 以上、乙線: 450 以上、丙線及び側線: 300 以上。
- (2) 滿鐵<sup>3)</sup>では、挿入箇所は國有鐵道と同様であるが、唯  $n=600$  を標準とすることになつてゐる。

次に緩和曲線を用ひない際は、B.C. 及び E.C. に接續する直線上でカントの遞増を行ひ、其の遞増距離は上の緩和曲線長と等しくするのが普通である<sup>2)</sup>。併し乍ら最近の研究によれば、寧ろ B.C. 及び E.C. にてカントの 1/2 をつけ、其の前後の曲線及び直線部分で半分宛遞増させた方が、軌道變形の實狀から見て合理的な様に思はれる<sup>4)</sup>。尙複曲線では、半徑大なる曲線中に於てカントの差の 300 倍以上を遞増距離としてゐるものが多い(國有鐵道、滿鐵)。

最後にスラックは緩和曲線の全長にて遞増するのを原則とし、緩和曲線のない場合はカントの遞増距離と同一とする、併しカントのない場合は國有鐵道では圓曲線端より直線部分上 5 m、滿鐵では同じく 6 m の長さにて遞減させてゐる<sup>5)</sup>。

### (2) 理想的緩和曲線の方程式 (Equation of ideal transition curve)

- 1) G. Schramm: Verkehrstechnische Woche, 1936, S. 487-493. O. F. E., 1937, S. 175-184.
- 2) 國有鐵道建設規程 第 13 條及び軌道整備心得 第 9 條。
- 3) 新線建設規程 第 6 條及び軌道整備心得 第 12 條。
- 4) 山縣軌一: 鐵道省工務局第 19 回保線講習會記錄, 1934 年 12 月。
- 5) 鐵道省軌道整備心得 第 5 條及び國有鐵道建設規程 第 9 條。滿鐵軌道整備心得 第 6 條及び新線建設規程 第 3 條。

カントを B.T.C. より E.T.C. へ直線的に遷増する場合、理想的緩和曲線はクロトイド (Clothoid) 曲線<sup>1)</sup> であつて、次の如くして導かれる。

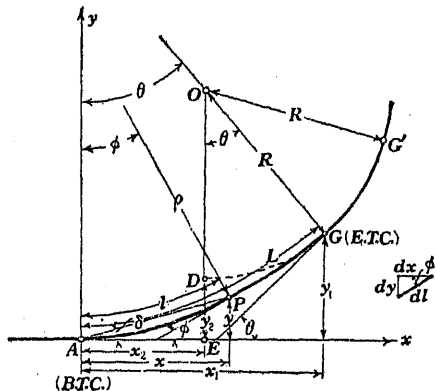


図-12.16

今圖-12.16 に於て、

AG: 緩和曲線, GG': 半径 R の圆弧, (x, y): 任意點 P の座標,  
 A: B.T.C., G: E.T.C., rho: 點 P に於ける曲率半径,  
 l: 點 P に至る曲線長, L: 緩和曲線の全長, phi: 點 P に対する中心角,  
 theta: E.T.C. に対する中心角, 即ち緩和曲線中心角,

とすれば、前節 (3) より rho = l/L であるべきであるから、rho = RL, 所が rho = dl/dl, 故に dphi/dl = 1/(RL) となる。之を積分すれば、B.T.C. に於て l=0, phi=0 なることより、

$$\phi = \frac{l^2}{2RL} = kl^2, \text{ 茲に } k = \frac{1}{2RL} = \text{定数} \dots\dots(12.40)$$

となり、理想的緩和曲線の基本方程式が得られる。

次に  $dx = dl \cos \phi = dl \cos(kl^2)$ ,  $dy = dl \sin \phi = dl \sin(kl^2) \dots\dots(12.41)$

であるから、之等は三角函数を無限級數に展開することによつて積分し得べく、<sup>1)</sup> 點

1) E. Holbrook によつて初めて導かれたもので Holbrook 螺旋とも云ふ。  
 E. Holbrook: Railroad Gazette, Dec. 3, 1890.  
 伊藤敬二郎: 1935, 頁 402-411.

の座標 (x, y) は次の如く與へられる。

$$\left. \begin{aligned} x &= l - lE, \quad y = lC, \\ \text{茲に } E &= \left\{ \frac{1}{10}(0.017453)^2 \phi^2 - \frac{1}{216}(0.017453)^4 \phi^4 \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{9350}(0.017453)^6 \phi^6 - \dots \right\} \\ C &= \left\{ \frac{1}{3}(0.017453) \phi - \frac{1}{42}(0.017453)^3 \phi^3 \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{1320}(0.017453)^5 \phi^5 - \dots \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots(12.42)$$

$$\phi = \phi^{\circ} \frac{\pi}{180} = 0.017453 \phi^{\circ}, \quad (\phi: \text{radian}, \phi^{\circ}: \text{度})$$

今 G, D 點の座標を各々 (x1, y1), (x2, y2) とすれば、  
 $x_2 = x_1 - R \sin \theta, \quad y_2 = y_1 - R(1 - \cos \theta) \dots\dots(12.43)$

次に P 點の偏角を delta とすれば、tan delta = y/x. 之に式-12.42 の關係を入れ、更に  $\delta = \tan \delta - \frac{1}{3} \tan^3 \delta + \frac{1}{5} \tan^5 \delta - \dots\dots$  なる關係を用ひて改善めると、

$$\delta^{\circ} = \frac{1}{3} \theta^{\circ} A - B, \text{ 茲に } A = (l/L)^2 = \phi^{\circ}/\theta^{\circ} = \pi^2, \quad (\phi^{\circ}, \theta^{\circ}: \text{度}) \dots\dots(12.44)$$

$$B = 0.00002322(\theta^{\circ}/3)^2 \pi^6 + 0.00000000153(\theta^{\circ}/3)^5 \pi^9$$

### (3) 實用的緩和曲線 (Practical transition curves)

上述のクロトイド曲線を設置するには、相當面倒な計算によつて必要な數値を求めねばならない<sup>1)</sup>。此の面倒を避ける爲に、實際上はクロトイドを多少修正した曲線、又は性質のよく似た他種類の曲線を採用してゐるのであつて、其の主なるものは次の様である。

(a) 3次螺旋 (Cubic spiral). 式-12.41 にて sin phi = phi とすれば、 $dy = dl \cdot \phi = l^2 dl / (2RL)$ ; 之を積分して得られるものが3次螺旋であり、

$$y = l^3 / (6RL) \dots\dots(12.45)$$

となる。曲線設置を行ふには、弦長 = 曲線長 (l) と B.T.C. に於ける切線からの支距 y を用ひても差支へないが、偏角 delta が次の如く簡単に求められるから、弦長と delta を用ひる偏角法の方が便利である。

1) T. F. Hickerson: Highway Curves and Earthwork 1926, pp. 83-100.



$$\delta = \phi/3 = l^2/(6RL) \dots\dots\dots(12.46)$$

(b) 3次拋物線 (Cubic parabola). 式-12.45 に於て  $l=x$  と置いて得られるもので、

$$y = x^3/(6RL) \dots\dots\dots(12.47)$$

尙簡単に上式の  $L$  の代りに  $x_1$  即ち E.T.C. の  $x$  座標を用ひると、

$$y = x^3/(6Rx_1) \dots\dots\dots(12.48)$$

となる。之はカントが  $l$  の代りに  $x$  に比例して遞増するものとして獨立に誘導することも出来る<sup>1)</sup>。勿論クロトイド曲線との近似性に於て、3次螺旋より幾分劣つてゐるが、公式簡單にして曲線設置が容易なる爲、我國及び歐洲にては殆ど之を用ひて居り、次節以下にて改めて詳述する。

(c) A.R.E.A 螺旋 (American Railway Engineering Association ten-chord spiral)<sup>2)</sup>。之は A.R.E.A の螺旋小委員會に於て、成るべくクロトイド曲線に近く而も公式簡明で實用上充分の正確さで容易に設置出来るると云ふ條件の下に、考案決定されたもので、現在米國では殆ど之を用ひてゐる。曲線の形は、式-12.45, 12.47 の曲線に極めて近似し、曲線全長を隣接分點間の弦長が等しくなる様に 10 分割した際、各弦が B.T.C. を通る切線となす角を夫々  $\theta$ , 300 の 1, 7, 19, 37, 61, 91, 127, 169, 217, 271 倍とする如きものである。茲に  $\theta$  は E.T.C. に對する中心角にして各弦長の和の 2 乗に比例するものとしてゐる。

(d) Searles 螺旋 (Searles spiral)<sup>3)</sup>。之は多心複曲線であるが、それを構成する各弦長が相等しく、且隣接圓弧の度數の差

- 1) C. D. Jameson and E.W. Crellin: Railroad and Engineering Journal, 1889. 林 益雄: 下巻 1933, 頁 264-265.
- 2) Proceedings of A.R.E.A., 1911, pp. 417-446.  
Searles and Ives: 1929, pp. 203-213.  
A.R.E.A., Mannal 1937, pp. 5.23 to 5.44.  
H. Rubey: 1938, pp. 106-128.
- 3) Searles and Ives: 1929, pp. 182-203. 伊藤政二郎, 1935, 頁 410-412.

が一定にして第 1 圓弧の度數に等しいことを要する。形狀が頗る 3 次拋物線に似て居り、而も B.T.C. 附近で非常に緩なるに拘らず速に所定の圓弧に接続し得ると云ふ利點があるので、米國にて時々用ひられる。

(e) レムニスケート (Lemniscate)<sup>1)</sup>。之は曲率半徑が B.T.C よりの弦長に反比例して變化する曲線であり、上記クロトイド系の曲線と趣を異にしてゐる。併し曲率半徑が  $\infty$  より  $R$  へと漸減する割合が一層緩慢である爲、列車の安全運轉に優れてゐることが前から知られてゐた<sup>2)</sup>。唯實用化に對し大きい障害となつたのは、完全な曲線表を作り難い點であつたが<sup>3)</sup>、久野博士は楕圓積分を用ひて精密計算を行ひ、注目すべき曲線表を發表して居られる<sup>4)</sup>。

### 10. 3 次拋物緩和曲線 (Cubic Parabola as Transition Curve)

(1) 3次拋物線の一般性質 (General properties of cubic parabola). 圖-12.17 に於て、 $AV, A'V$  なる 2 直線間に 3 次拋物緩和曲線  $\widehat{AG}, G'A'$  と半徑  $R$  なる圓曲線  $\widehat{GG'}$  を挿入したものとす。然らば圖の如く座標軸  $x, y$  をとると、 $\widehat{AG}$  の方程式は式-12.48 によつて、 $y = x^3/(6Rx_1)$  として與へられ、次の關係が導かれる<sup>5)</sup>。

1) F. G. Royal-Dawson: 1932, pp. 34-144.

2) " : " : " p. 36.

3) " : " : " Table III-X.

M. Bize: Annales des Ponts et Chaussées, 1932, p. 300-323.

J. Lamoën: Annales des Travaux Publics de Belgique, 1933, p. 349-381, 676-710.

4) 久野重一郎: 九州帝國大學工學彙報, 1936 年 10 月, 頁 152-169.

5) 詳細な説明に就いては、

R. Peterson: Die Gestaltung der Bogen im Eisenbahngleise 1920, S. 34-51.

W. Weitbrecht u. M. Knoblich: I.Bd., 1924, S. 118-134.



(b) 偏角による方法 (By deflection angles). 任意點 P の偏角を  $\delta$ , P に於ける切線と AH との角を  $\phi$  とすれば,

$$\left. \begin{aligned} \tan \delta &= y/x = x^2/(6Rx_1), \\ \tan \phi &= \frac{dy}{dx} = x^2/(2Rx_1) = 3 \tan \delta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (12.54)$$

従つて  $\tan \delta$ ,  $\tan \phi$  は共に  $x^2$  に比例し, G 點に對しては,  $\tan \delta_n = \frac{1}{3} \tan \theta$  となる。曲線長があまり長くない際は,  $\delta$ ,  $\phi$ ,  $\theta$  は共に微小であるから,  $\delta \approx \phi/3 \approx \theta/3$  となし得べく,  $\overline{AH} = x_1$  を  $n$  等分した各分點に對しては次の關係が成立する。  
 $\delta_1 = \delta_n/n^2 = \theta/(3n^2)$ ,  $\delta_2 = 4\delta_1$ ,  $\dots$ ,  $\delta_n = n^2\delta_1 = \theta/3 \dots$  (13.55)  
 故にトランシットを A 點に据ゑ, 夫々  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$  だけ偏倚させた視線と  $\overline{AH}$  の各分點より立てた垂線の交りとして曲線を設置すればよい。

起點よりの追加距離を遡うて中間點を設置する際は, 普通曲線に沿ふ距離を  $x$  軸に沿ふ距離に等しいと假定してやればよい。しかし曲線長が長くなると相當の誤差を生じ, 1 chain 毎に杭を打つにも其の影響を考へる必要がある。今曲線長  $l$  と横距  $x$  との關係を求めると,

$$\begin{aligned} y &= x^2/(6Rx_1) = x^2/(6g), \quad \frac{dy}{dx} = x^2/(2g), \\ l &= \int_0^x \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \approx \int_0^x \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \right\} dx \text{ より,} \\ l &= x + x^3/(40g^2), \quad L = x_1 + x_1^3/(40g^2) \dots\dots\dots (12.56) \end{aligned}$$

従つて曲線に沿ふ距離  $l$  に對する  $x$  を上式より求め, 其の  $x$  を用ひて(a)又は(b)の方法によつて設置する。此の場合計算を簡單にする方法として, 微小項  $x^3/(40g^2)$  を  $l^3/(40g^2)$  と考へ,  $x = l - l^3/(40g^2)$  とするのが普通である。

### (3) 綏和曲線設置上の特殊問題 (Special problems in transition curve setting)

圖-12.17 に於て, 圓曲線の兩切線 DV', D'V' は, 夫々原切線 AV, A'V より共に内側に移程だけ移動してゐる。従つて線路改良等の場合, 2 切線 AV, A'V 間の既設圓曲線に綏和曲線を接續せんとすれば, 原圓曲線を内方に移動してから, 之に綏和曲線を

接續しなければならない。所が現地の狀況等によつては改良費の激増其の他の關係から, 原圓曲線の移動を許さない場合が少なくない。斯かる場合には, 原圓曲線の中央1部分を残し, 其の兩側に原圓曲線の半徑  $R$  より小さい半徑  $R'$  を有する圓弧を接續し(従つてこの部分は複曲線となる), 此等と原切線の間に所定の綏和曲線を挿入するのが普通である<sup>1)</sup>。此の時  $R'/R$  の値は 0.95 内外がよいと云はれてゐるが,

$$\left. \begin{aligned} \text{國有鐵道では}^2) \quad R' &= R - \frac{1}{20}(R-100), \\ (R, R' : m, R' \text{ は } 5m \text{ の整數倍). \\ \text{滿鐵では}^3) \quad R' &= R - R/20, \\ (R, R' : m, R' \text{ は } 10 \text{ 位止りとする}). \end{aligned} \right\} \dots (12.57)$$

を採用してゐる ((4) 参照)。尙圓曲線と綏和曲線の接續に就いては, 上の場合以外に種々の特殊の問題があるが<sup>4)</sup>, 説明を略する。

次に複曲線及び反曲線に對しても, 其の直線部との接續點及び P.C.C. 又は P.R.C. に綏和曲線を挿入することが望ましい。現今は成るべく複曲線及び反曲線を用ひない様にし, 已むを得ない時は P.C.C. 又は P.R.C. の所に所定の直線部分を挿入する程度であるが, 今後列車速度の昂上と共に此の場合にも綏和曲線挿入の必要に迫られるものと思ふ。脚註に少しく參考文獻を擧げて置く<sup>5)</sup>。

- 1) この方法の詳細に就ては, W. Weitbrecht u. M. Knoblich: I.Bd., 1924, S. 139—145. G. W. Pickels and C. C. Wiley: 1930, pp. 106—108.
- 2) 曲線整備法 (大正 12 年).
- 3) 綏和曲線設計心得附屬設計法第二法 2, (昭和 5 年 9 月 18 日, 鐵工甲第 7 號).
- 4) Searles and Ives: 1929, pp. 189—196. N. Höfer: O.F.E., 1934, S. 149—153; 1935, S. 379—385. Leisner: O.F.E., 1935, S. 79—85.
- 5) R. Peterson: Die Gestaltung der Bogen im Eisenbahngleise 1920, S. 58—62. W. Weitbrecht u. M. Knoblich: I. Bd., 1924, S. 135—139, u. 145—148. T. F. Hickerson: 1926, pp. 121—129. Searles and Ives: 1929, pp. 196—202. G. W. Pickels and C. C. Wiley: 1930, p. 100—103, 108—109. N. Höfer: O.F.E., 1930, S. 199—203. B. Feyl: Bulletin of I.R.C.A., 1936, pp. 1264—1283. 自島三平: 土木工學, 1933 年 5 月, 頁 38—41.

(4) 鐵道省に於ける緩和曲線設置法<sup>1)</sup>

鐵道省に於ては、緩和曲線を  $Y=aX^3$  と假定し、逆に E.T.C. に於ける曲率半徑が圓弧の半徑  $R$  となる様に係數  $a$  を定めたから、方程式は圖-12.18 の記號を用ひて次の如く表される。

$$Y = X^3 / (6.R.X_1 \cos^3 \theta) \dots \dots \dots (12.58)$$

從つて前項迄に述べた 3 次拋物線  $y=x^3/(6Rx_1)$  とは少しく異なり、嚴密な計算によると圖の E 點が  $\overline{AH}$  の中點より少し左に偏することになる (80 頁脚註 1) 参照)。

以下に述べる鐵道省の設置法は、式-12.58 の緩和曲線を用ひ、其の設置に必要な諸量を嚴密に求めて數表として與へて置いたもので、圖の  $X_{1/4}$ ,  $X_{3/4}$  は夫々曲線長  $\overline{AM}$ ,  $\overline{MG}$  の中央に相當する點の横距である。此の内第 1 法は原圓曲線を移動する場合、第 2 法は移動しない場合である。

第 1 法 (圖-12.18 参照)。

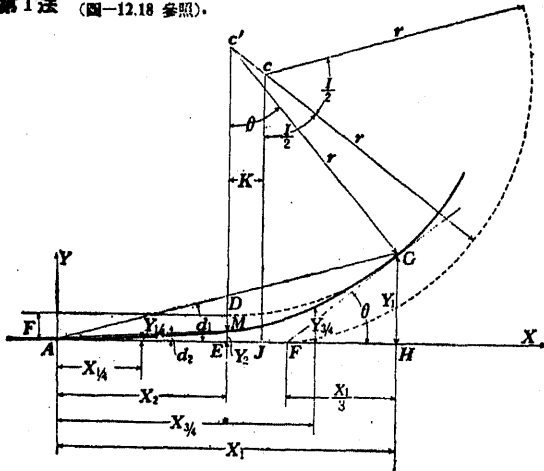


圖-12.18

1) 曲線整備法 (大正 12 年)。

本方法によりて緩和曲線を敷設せんとする時は、豫め圓曲線の兩切線を曲線の内方に  $F$  だけ移動せしめ、之に切する圓曲線と原切線との間に緩和曲線を敷設するものとす。

曲線半徑  $r$  (m), 軌條高度  $C$  (mm) なる時は先づ、

$$k = \frac{Cn}{1,000r}, \text{ 但し } n \begin{cases} \text{本線: 甲線 600 以上, 乙線 450 以上, 丙線 300 以上} \\ \text{側線: 300 以上} \end{cases}$$

によりて  $k$  を算出し、次に表-12.3 に於て  $k$  に近き  $l$  を撰出すべし。

然る時は之に相當する  $\theta, f, x_1, y_1, x_2, y_2$  等の値を得らるるにより、次式に依りて各所要の寸法を求むることを得、但し  $r$  = 曲線半徑 (m)。

$$L = lr \text{ (m)}, X_1 = x_1 r \text{ (m)}, X_2 = x_2 r \text{ (m)}, X_{1/4} = x_{1/4} r \text{ (m)}, X_{3/4} = x_{3/4} r \text{ (m)},$$

$$F = fr \text{ (m)}, Y_1 = y_1 r \text{ (m)}, Y_2 = y_2 r \text{ (m)}, Y_{1/4} = y_{1/4} r \text{ (m)}, Y_{3/4} = y_{3/4} r \text{ (m)},$$

一般に  $\overline{AH}$  を  $n$  等分して  $n$  番目の點の位置を求めんとせば、

$$X_{m/n} = \frac{m}{n} X_1 \text{ (m)}, Y_{m/n} = \left(\frac{m}{n}\right)^3 Y_1 \text{ (m)}, \tan d_{m/n} = \left(\frac{m}{n}\right)^2 \frac{Y_1}{X_1},$$

$$\text{尚 } \overline{FH} = \frac{1}{3} X_1 \text{ (m)}, K = F \tan \frac{l}{2} \text{ (m)}.$$

又  $G$  點及  $M$  點の偏角  $d_1$  及  $d_2$  は表-12.3 に示す如し。

第 2 法 (圖-12.19 参照)。

既設曲線軌道に於て其の頂部を移動すること困難なる場合には、本方法に示す如く既設曲線より半徑の小なる圓曲線を探入して緩和曲線を敷設するものとす。

この際使用すべき小半徑は次式によりて算定するものとす。

$$r = R - \frac{1}{20}(R - 100), \text{ 但し } r \text{ は } 5 \text{ m の整数倍とす, (表-12.4 参照)}.$$

之によりて  $r$  を定め得るにより、夫れより第 1 法の場合と同様に、

$$k = \frac{Cn}{1,000r}$$

によりて  $k$  を算出し、表-12.3 に於て  $k$  に近き  $l$  を撰定し、之に相當する  $\theta, f, x_1, y_1, x_2, y_2$  等の値を求め、之に  $r$  を乘じて  $\overline{AG}$  間の所要寸法を算出することを得。

$\alpha$  角を求むるには、表-12.5 により  $(R-r)$  に相當する値を撰み、之に  $r$  を乘すれば  $\text{vers } \alpha$  即ち  $1 - \cos \alpha$  を得、從て  $\alpha$  を定むることを得。

$$\text{尚 } Y_2 = R \text{vers } \alpha \text{ (m)}, X_2 = X_1 + r \sin \alpha \text{ (m)}, K' = (R-r) \sin \alpha \text{ (m)},$$

$$\overline{AV'} = X_2 - (R-r) \sin \alpha \text{ (m)}, \overline{GG'} = \frac{r(\alpha - \theta)}{180} \text{ (m)} \text{ を得。}$$

例 1. 曲線半徑 300 m, 軌條高度 115 mm,  $n=800$  なる場合に於ける緩和曲線の主要寸法を求む。この場合に在りては  $r=300, C=115, n=800,$

$$\text{故に } k = \frac{115 \times 800}{1,000 \times 300} = 0.30667,$$

1) 國有鐵道敷設規程及び軌道整備心得と矛盾せざる様、著者に於て曲線整備法の例を改めて置いた。

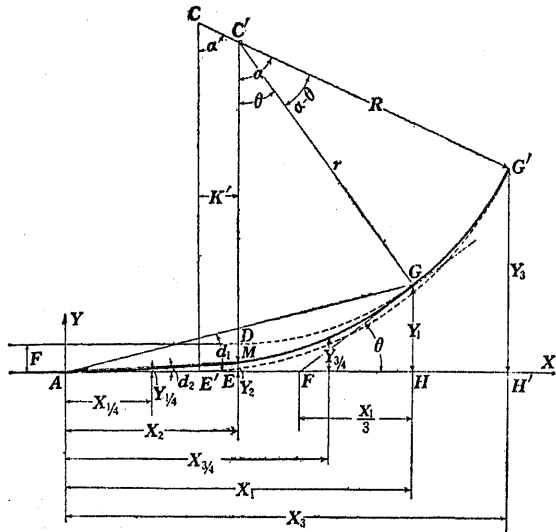


圖-12.19

故に表-12.3 により  $l=0.305978$  を撰み  $\theta=9^{\circ}-0'-0''$  たるを知り、次の如く主要寸法を求むることを得。

$$\begin{aligned}
 L &= 0.305978 \times 300 = 91.793 \text{ (m)}, & F &= 0.0038019 \times 300 = 1.141 \text{ (m)}, \\
 X_1 &= 0.305212 \times // = 91.564 //, & Y_1 &= 0.0161136 \times // = 4.834 //, \\
 X_2 &= 0.148777 \times // = 44.633 //, & Y_2 &= 0.0018564 \times // = 0.560 //, \\
 X_{1/4} &= 0.076303 \times // = 22.891 //, & Y_{1/4} &= 0.0002518 \times // = 0.076 //, \\
 X_{3/4} &= 0.228909 \times // = 68.673 //, & Y_{3/4} &= 0.0067979 \times // = 2.039 //, \\
 FH &= \frac{1}{3} \times 91.564 = 30.521 // .
 \end{aligned}$$

例 2. 曲線半径 1,200 m, 軌條高度 35 mm なるとき、圖 12.18 に示す  $F, X_1, Y_1, X_2, Y_2$  及緩和曲線長  $L$  を求む。但し  $n=800$  とす。

この場合に在りては  $r=1,200, C=35, n=800,$

$$\text{故に } k = \frac{35 \times 800}{1,000 \times 1,200} = 0.02333,$$

故に表-12.3 により  $l=0.023268$  を撰み  $\theta=0^{\circ}-40'$  たるを知り、所要の寸法を算出すること次の如し。

$$L = 0.023268 \times 1,200 = 27.922 \text{ (m)}, \quad F = 0.0000225 \times 1,200 = 0.027 \text{ (m)},$$

$$\begin{aligned}
 X_1 &= 0.023267 \times // = 27.920 //, & Y_1 &= 0.0000902 \times // = 0.108 //, \\
 X_2 &= 0.011632 \times // = 13.958 //, & Y_2 &= 0.0000112 \times // = 0.013 // .
 \end{aligned}$$

例 3. 緩和曲線を用ひざる曲線軌道あり、其の半径 300 m, 軌條の高度 115 mm, 今此處に  $n=800$  とせる緩和曲線を敷設せんとすれば、圖 12.19 に示す  $L, F, X_1, Y_1, X_2, Y_2, GG',$  の値如何。

先づ表-12.4 によりて  $R=300$  に対する  $r=290$  を知り、例 1 に示したると同様に、

$$k = \frac{115 \times 800}{1,000 \times 290} = 0.31724$$

故に表-12.3 によりて  $l=0.322002$  を撰み  $\theta=9^{\circ}-30'$  たるを知り、

$$\begin{aligned}
 L &= 0.322002 \times 290 = 93.381 \text{ (m)}, & F &= 0.0041970 \times 290 = 1.217 \text{ (m)}, \\
 X_1 &= 0.321103 \times // = 93.120 //, & Y_1 &= 0.0179114 \times // = 5.194 //,
 \end{aligned}$$

を得。次に表-12.5 により  $R-r=10$  (m),  $\theta=9^{\circ}-30'$  に対する値 0.0004197 を得。之を 290 倍して、

$$\begin{aligned}
 \text{vers } \alpha &= 0.1217130, & \text{從て } \alpha &= 28^{\circ}-33'-49'', \\
 \sin \alpha &= 0.4781342, & Y_3 &= 300 \text{ vers } \alpha = 36.514 \text{ (m)},
 \end{aligned}$$

故に  $X_2 = X_1 + r \sin \alpha = (0.156055 + 0.478134) \times 290 = 183.915$  (m),

$$GG' = 290 \times 0.3327228 = 96.490 \text{ (m)},$$

$$R' = (R-r) \sin \alpha = 10 \times 0.4781342 = 4.781 \text{ (m)}.$$

尙現に建設局で暫定的に使用してゐる緩和曲線敷設法(新法)に就いて一言する。之は曲線長の決定、原圖曲線を移動しない場合の大小兩半径の關係は上述の方法と同じであるが、曲線形を  $y = x^3 / (6 R x_1)$  とし (2)(a) に述べた切線よりの交差による設置法を用ひるのであつて、上述の如き面倒な數表、計算を要しない。

### 11. 曲線の設置及び歪修正に関する新方法 (New Methods about the Curve Setting and the Adjustment of Distorted Curves)

最近の列車速度の昂上は極めて著しいので、之に順應して軌道、車輛の損傷を少くし乗客の乗心地を良好ならしめるには、在來の緩和曲線を合理的に改良し且曲線軌條の通りを正確にしなければならぬ。従つてカントの挿入法、緩和曲線の長さその他に就いて、新見地から順次研究が進められ、在來の 3 次拋物線の類と異なつた新緩和曲線を用ひんとする傾向にあることは 8.(4) に略述

表-12.3 綫和曲線設法附表

$\theta$	$l$	$f$	$x_1$	$y_1$	$x_2$	$y_2$	$x_{1/4}$	$y_{1/4}$	$x_{3/4}$	$y_{3/4}$	$d_1$	$d_2$
0°30'	0.17452	.0000127	0.17452	.0000568	.008725	.0000013	.004363	.0000008	.013098	.0000214	0°10'00"	0°02'30"
0°40'	0.23268	.0000225	0.23267	.0000902	.011632	.0000112	.005887	.0000014	.017451	.0000381	0°13'20"	0°03'20"
0°50'	0.29082	.0000358	0.29082	.0001410	.014538	.0000176	.007270	.0000022	.021811	.0000595	0°16'40"	0°04'10"
1°00'	0.34895	.0000507	0.34894	.0002030	.017442	.0000254	.008724	.0000032	.026171	.0000856	0°20'00"	0°04'59"
1°15'	0.43630	.0000792	0.43629	.0003172	.021794	.0000396	.010902	.0000050	.032707	.0001338	0°25'00"	0°06'15"
1°30'	0.55232	.0001140	0.552318	.0004537	.026141	.0000569	.013080	.0000071	.039239	.0001927	0°30'00"	0°07'30"
1°45'	0.61077	.0001550	0.610720	.0006214	.030482	.0000775	.015265	.0000097	.045769	.0002622	0°35'00"	0°08'44"
2°00'	0.69723	.0002023	0.69714	.0008115	.034813	.0001012	.017429	.0000127	.052285	.0003424	0°40'01"	0°09'59"
2°30'	0.80789	.0003154	.087073	.0012672	.043453	.0001575	.021768	.0000198	.065305	.0005346	0°50'02"	0°12'28"
3°00'	1.04414	.0004531	.104396	.0020376	.052050	.0002261	.026097	.0000285	.078260	.0007693	1°00'05"	0°14'56"
3°30'	1.21687	.0006148	.121642	.0024800	.059593	.0003065	.030411	.0000388	.091232	.0010463	1°10'05"	0°17'23"
4°00'	1.38902	.0008002	.138854	.0030961	.069177	.0003987	.034709	.0000506	.104136	.0013652	1°20'07"	0°19'50"
4°30'	1.56049	.0010065	.155952	.0042312	.077493	.0005020	.038988	.0000639	.116964	.0017260	1°30'10"	0°22'16"
5°00'	1.73119	.0012395	.172987	.0055948	.088531	.0006162	.043247	.0000788	.129740	.0021283	1°40'14"	0°24'41"
5°30'	1.90106	.0014923	.189931	.0070691	.094084	.0007410	.047483	.0000953	.142448	.0025718	1°50'16"	0°27'20"
6°00'	2.07002	.0017651	.205773	.0087242	.102244	.0008758	.051693	.0001132	.155080	.0030561	2°00'23"	0°29'27"
6°30'	2.23995	.0020603	.223505	.0010484	.110302	.0010203	.055876	.0001326	.167629	.0035810	2°10'30"	0°31'48"
7°00'	2.40481	.0023738	.240119	.0012876	.118250	.0011739	.060130	.0001536	.180090	.0041460	2°20'37"	0°34'07"
7°30'	2.57050	.0027058	.255915	.0015609	.126079	.0013358	.064451	.0001760	.192454	.0047507	2°30'46"	0°36'25"
8°00'	2.73494	.0030552	.272955	.0018781	.133782	.0015056	.068829	.0001998	.204716	.0053946	2°40'56"	0°38'55"
8°30'	2.89306	.0034210	.289160	.0022151	.141351	.0016827	.073290	.0002251	.216970	.0060772	2°51'07"	0°40'55"
9°00'	3.05978	.0038019	.305212	.0025116	.148777	.0018664	.077630	.0002518	.228909	.0067979	3°01'20"	0°43'07"
9°30'	3.22002	.0041970	.321103	.0027914	.156055	.0020560	.082076	.0002799	.240827	.0075564	3°11'34"	0°45'17"
10°00'	3.37871	.0046049	.335324	.0031979	.163176	.0022509	.084205	.0003093	.252613	.0083319	3°21'49"	0°47'27"

表-12.4

$R(r)$	$r$ (m)
300	290
320	310
340	330
360	345
380	365
400	385
420	405
440	425
460	440
480	460
500	480
520	500
540	520
560	540
580	555
600	575
700	670
800	765

表-12.5

$R-r$	$\theta$	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	35 m
0°30'	.00000127	.00000150	.00000185	.00000244	.00000351	.00000442	.00000536
0°40'	.00000225	.00000225	.00000250	.00000313	.00000459	.00000675	.00000964
0°50'	.00000352	.00000352	.00000358	.00000414	.00000541	.00000717	.00000910
1°00'	.00000597	.00000597	.00000638	.00000754	.00000903	.00001160	.00001445
1°15'	.00000792	.00000792	.00000828	.00000936	.00001037	.00001264	.00001526
1°30'	.00001140	.00001140	.00001160	.00001250	.00001335	.00001537	.00001786
1°45'	.00001550	.00001550	.00001533	.00001612	.00001699	.00001917	.00002176
2°00'	.00002023	.00002023	.00002003	.00002077	.00002162	.00002369	.00002618
2°30'	.00003154	.00003154	.00003020	.00003092	.00003182	.00003399	.00003654
3°00'	.00004530	.00004530	.00004299	.00004374	.00004459	.00004759	.00005086
3°30'	.00006148	.00006148	.00005835	.00005910	.00006001	.00006267	.00006586
4°00'	.00008085	.00008085	.00007623	.00007703	.00007801	.00008131	.00008501
4°30'	.00010085	.00010085	.00009423	.00009518	.00009621	.00009957	.00010331
5°00'	.00012395	.00012395	.00011598	.00011698	.00011803	.00012234	.00012604
5°30'	.00014923	.00014923	.00013994	.00014062	.00014136	.00014604	.00015016
6°00'	.00017661	.00017661	.00016537	.00016583	.00016634	.00017144	.00017546
6°30'	.00020643	.00020643	.00019325	.00019302	.00019282	.00019838	.00020182
7°00'	.00023738	.00023738	.00022157	.00022132	.00022102	.00022709	.00023004
7°30'	.00027058	.00027058	.00025169	.00025136	.00025102	.00025739	.00026029
8°00'	.00030552	.00030552	.00028286	.00028240	.00028198	.00028864	.00029146
8°30'	.00034210	.00034210	.00031919	.00031870	.00031821	.00032519	.00032792
9°00'	.00038019	.00038019	.00035146	.00035088	.00035031	.00035764	.00036023
9°30'	.0041970	.0041970	.00403970	.00403910	.00403851	.00404624	.00404883
10°00'	.0046049	.0046049	.00436699	.00436625	.00436552	.00437360	.00437617

備考 本表以外の (R-r) に関する値は (R-r) を以て (R-r)-10 なる割合の値を乗しそれに 10 を乗じて求むることを得。

した通りである。所が斯かる新緩和曲線は自然に高次曲線となり、在來の設置法では間に合はなくなつて來たし、又至んだ既設曲線の整正法に就いては殆ど知る所がなかつた状態である。

之等に對し 1927 年に **Naleng-Höfer 法** が提唱され、Chappellet, 伏島氏等は解析的に, Schramm, 立花氏等は圖解的に此の方法を發展せしめ、近年になつて殆ど完成を見るに至つたのである。此の方法によると高次曲線が總べての場合に便利に設置され、又至んだ曲線の整正も容易に行ひ得るのであつて、脚註に主な文獻を擧げる<sup>1)</sup>。

在來の方法では切線上に横距をとるのを常としたが、此の新法にては任意の基準曲線上に横距をとる。即ち圖-12.20 に於て、基準曲線 B 上に等間隔  $\Delta l$  を隔て、點 1, 2, 3, …… をとり、之等各點にて基準線に立てた垂線上に夫々縦距  $e_1, e_2, e_3, ……$  をとつ

1) N. Höfer: Die Absteckung von Gleisbogen aus Evolventenunterschieden 1927. O.F.E., 1932, S. 426-428; 1937, S. 144-146. Zeitschr. f. Vermessungswesen, 1933, S. 498-507.

C. Chappellet: Bulletin of I.R.C.A., 1930, pp. 2005-2042; 1931, pp. 911-919; 1934, pp. 105-106.

J. Demandt: O.F.E., 1930, S. 297-304.

G. Schramm: Der vollkommene Gleisbogen 1931. O.F.E., 1931, S. 337-346; 1932, S. 422-426; 1933, S. 356-359; 1935, S. 460-463; 1936, S. 598-608. Verkehrstechnische Woche, 1933, Heft 50-52; 1936, S. 487-493. Zeitschr. f. Vermessungswesen, 1934, S. 49-64, u. 97-109. Bulletin of I.R.C.A., 1935, pp. 222-253; 1938, pp. 291-307.

L. Weiss: O.F.E., 1932, S. 126-129.

R. Peterson: O.F.E., 1932, S. 409-422.

E. Féyl: O.F.E., 1932, S. 428-434.

Leisner: O.F.E., 1933, S. 349-353.

B. Mieczyslaw: O.F.E., 1935, S. 225-228;

K. Szmodits: O.F.E., 1935, S. 331-350; 1936, S. 369-377.

A. Warnick: O.F.E., 1936, S. 401-404.

Chr. B. Christensen: O.F.E., 1937, S. 358-360.

A. J. Hartman: Civil Eng., 1937, pp. 709-711.

T. C. McCoy: Civil Eng., 1938, pp. 347-349.

伏島信九郎: 糸張式曲線整齊法 1931.

立花次郎: 土木學會誌, 1932, 頁 247-253.

山崎漢二: 土木工學, 1939, 頁 325-335.

て所要の曲線(B)上の點(1),(2),(3),……を定め、以て曲線(B)を設置するのである。此の場合基準線Bとしては如何なる曲線又は直線を選んでよいが、既設圓曲線に緩和曲線を挿入する際は原切線及び原圓曲線をとれば都合よく、又曲線の歪を整正する際は其の歪んだ曲線自身をとれば便利である。尚縦距を求めるのに、Chappellet, 伏島氏等はB及び(B)線の弦中央縦距(Versine)

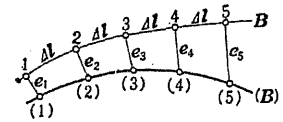


圖-12.20

を測つて計算的に算出する方法

をとり、Schramm, 立花氏等は別に B, (B) 線の中心角の變化を圖示する角圖(Angle diagram)を使用してゐる。

## 12. 道路に於ける片勾配, 擴幅及び安全視距 (Superelevation, Widening and Safe Sight Distance in Highway)

### (1) 片勾配 (Superelevation)

道路直線部では路面排水の必要から一般に蒲鉾形横断面を用ひるが、曲線部では鐵道のカントと同じ意味で路面外側を幾分高くして片勾配を附し、高速車輛も減速せず安全に曲線部を通過出来る様にしなければならない。所が道路では車輛が鐵道の如く制限軌道を通らないから、轉倒作用の外に横圧作用も合せ考へる必要があり、又車輛の種類、寸法、構

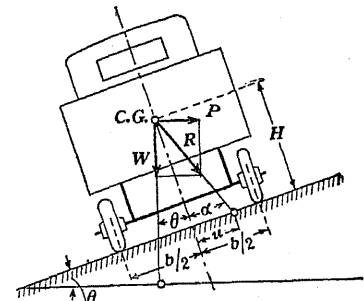


圖-12.21 道路の片勾配

造及び速度等は非常に種々雑多である。従つて道路の片勾配を合理的に定めることは極めて困難であるが、先づ理論上の片勾配に就いて略述しよう。圖-12.21 に於て、

$W = Mg$  : 車輛重量, 但し  $M$  : 車輛質量,  $g$  : 重力加速度。

$P = Mv^2/R$  : 遠心力, 但し  $v$  : 車輛速度,  $R$  : 曲線半径。

$\tan \theta = i$  : 路面片勾配の傾斜,  $f$  : 車輛と路面間の摩擦係數, とすれば、

(a) 横入り (Skidding) を起さない爲の必要條件として、

$$P \cos \theta - W \sin \theta \leq (W \cos \theta + P \sin \theta) f,$$

$$\therefore v^2 \leq gR \frac{f+i}{1-fi}, \text{ 又は } R \geq \frac{v^2}{g} \frac{1-fi}{f+i} \dots \dots \dots (12.58)$$

尙  $fi$  は 1 に比べて相当小であるから、之を省略すれば、

$$v^2 \leq gR(f+i), \text{ 又は } i \geq v^2/(gR) - f, \text{ (m-sec 単位)} \dots \dots \dots (12.59)$$

摩擦係數  $f$  に就いて、Agg<sup>1)</sup> が Iowa 州實驗所報告として示した數字の平均は  $0.33=1/3$  にして、 $1/4$  以下となることはない。又 Royal & Dawson<sup>2)</sup> は推算の基礎としては  $1/4$  を提唱して居り、我内務省規定<sup>3)</sup> では  $0.2$  としてゐる。

(b) 轉倒 (Overturning) の限界に於ては  $u=b/2$  であるから、轉倒を起さない爲の條件としては、 $\tan(\theta+\alpha)=P/W$ ,  $\tan \theta=i$ ,  $\tan \alpha=u/H$  を用ひて求めた關係式にて  $u \leq b/2$  と置くことによつて、

$$v^2 \leq \frac{gR(Hi+b/2)}{H-1/2bi}, \text{ 又は } R \geq \frac{v^2}{g} \frac{H-1/2bi}{Hi+b/2} \dots \dots \dots (12.60)$$

遠心力と重力の合力が路面に直角に働く場合、即ち遠心力と平衡を保つ片勾配に對しては、初めの關係式にて  $u=0$  と置けばよく、鐵道の場合の式-12.32 に相當して、

$$i = v^2/(gR) = V^2/(127R), \text{ (} v: \text{m/sec, } V: \text{km/時, } R: \text{m)} \dots \dots \dots (12.61)$$

實際上の片勾配決定に際し、最も重要なものは自動車速度であるが、車輛の構造多岐に亘り之を一定にすることは困難である。しかし速度の不同は路線輸送量に影響すること極めて多く、且交通混雜の原因にもなるから、少くも最高、最低速度と平均速度(普通  $V_{\text{mean}} = \sqrt{(V_{\text{max}}^2 + V_{\text{min}}^2)/2}$  とする)を決定して置く必要がある<sup>1)</sup>。而して片勾配は此の  $V_{\text{mean}}$  を用ひて式-12.61 より算定し、それが  $V_{\text{max}}$  に對し式-12.59 を充たす様にするのがよいとされてゐる<sup>1)2)</sup>。尙式-12.59 の  $i$  は横入りの安全率 1 なる場合に相當するから<sup>3)</sup>、久野博士は少くも安全率が 2 以上となる様に此の式を改めるべしと提唱されてゐる<sup>4)</sup>。

各國の工法に就いては、Wiley<sup>5)</sup>, Tucker<sup>6)</sup>, Reiner<sup>7)</sup> 其の他の公式<sup>8)</sup>を参照すればよいが、我國では緩急兩車輛を考慮して次の規定を與へ、別に附圖 2 葉を添へて式-12.59 による安全速度の算定を容易ならしめてゐる<sup>9)</sup>。

原曲部に於ける横断勾配は特殊の箇所を除くの外中心線の半径 300 m. 未満の箇所に限り次の標準に依る片勾配と爲すべし、但し片勾配は第 20 の標準に依る

- 1) R. A. Moyer : Civil Eng., 1937, p. 116.  
藤井真澄 : 土木工學, 1933 年 4 月, 頁 70-73.
- 2) 一般に  $b/H=0.5-0.7$  であるから、式-12.59 を充たす際は當然式-12.60 を充たすことになり、轉倒の心配はない。
- 3) F. Knipping, K. Götz u. H. Mittmeyer : Der Strassenbau in U. S. A., 1934, S. 76.
- 4) 久野重一郎 : 土木學會誌, 1934, 頁 87-94.
- 5) C. C. Wiley : Principles of Highway Engineering, 1928, pp. 341-345.
- 6) H. Tucker : E. N. R., Vol. 108, 1932, p. 323.
- 7) W. Reiner : Handbuch der neuen Strassenbauwesen, 1929, S. 11-12.
- 8) A. G. Bruce : Public Roads, March, 1929, p. 16, 18.  
E. Neumann : Neuzeitlicher Strassenbau, 1932, S. 51-55.  
E. L. Leeming : Road Engineering, 1933, pp. 51-76.  
R. H. Baldock : E. N. R., Vol. 114, 1934, pp. 732-733; Civil Eng. 1936, pp. 644-645.  
C. M. Noble : Proc. of A. S. C. E., 1936, p. 1017.  
J. H. Bateman : Highway Engineering, 1939, pp. 76-79.
- 9) 道路構造令並同細則改正案要項, 第 12.

1) T. R. Agg : The Construction of roads and pavements, 1924, p. 78  
2) F. G. Royal-Dawson : 1932; p. 22.  
3) 道路構造令並同細則改正案要項, 第 12, 附圖.  
4) 藤井真澄 : 土木工學, 1933 年 4 月, 頁 69.



横断勾配より緩なることを得ず。

前項の場合に於て屈曲部と直線部との横断勾配の覆付は道路の外側に沿ふ長10 mに付 0.1m の割合を以て標準と爲すべし。

半 徑	片 勾 配
110 m 未満	6 %
110 m 以上 150 m 未満	3 % 乃至 6 %
150 m 以上 200 m 未満	2 % 乃至 3 %
200 m 以上 300 m 未満	1.5% 乃至 2 %

(2) 擴幅 (Widening)

高速度運転の安全を期する爲、曲線部に片勾配をつけると共に、道路幅を或程度擴げる必要があるが、其の理由は次の様である。

- (1) 道路曲線部にては車の前後輪は一般に鐵道と異なり、同一の圓弧を描かない。片勾配に相當した速度より又又は小なるに應じ、後輪は夫々前輪の外側又は内側に偏し、特に前者の場合は兩輪の方向を圓弧方向より或程度内側に向けて横にりに耐へしめる必要がある<sup>1)</sup>。
- (2) 曲線部を急角度で廻る際、操縦者は遠心力に対する安全の爲に余裕をとつて、曲線内側を廻らうとする傾向がある。
- (3) 曲線部を直線部と同速度で走するには、車輪間の間隔を直線部に於けるよりも大きくとる必要がある。

而して此の擴幅の程度は、曲線半徑、車輛の構造、速度等によつて異なるべく、一概に定め難く各國にて區々であるが<sup>2)</sup>、屢々用ひられる 2, 3 の公式を列擧する。

1 車線の場合：

Leeming 公式<sup>3)</sup>,  $w = R - \sqrt{R^2 - L^2}$  .....(12.62)

Wiley 公式<sup>4)</sup>,  $w = l^2 / (2R)$  .....(12.63)

茲に  $w$  : 擴幅 (2車線では  $2w$  とする);  $R$  : 曲線半徑,  $L$  : 車輛の軌距,  $l$  : 車輛の長さ。

2 車線の場合：

- 1) R. A. Moyer: Civil Eng., 1937, pp. 113—114.
- 2) T. F. Hickerson: 1926, pp. 142—143.  
F. Knipping, K. Götz u. H. Mittmeyer: 1934, S. 77—79.
- 3) E. L. Leeming: 1933, pp. 47—48.
- 4) C. C. Wiley: 1928, pp. 346—347.

Voshell 公式<sup>1)</sup>,  $w = 2(R - \sqrt{R^2 - L^2}) + 35/\sqrt{R}$  .....(12.64)

茲に  $w, R, L$  (ft.) は同前なるも、 $L$  は平均 20 ft., 速度は約 35 miles/時の時に最も適合する。

以上は何れも半徑 50 m (時として 300 m) 以下の場合に適用され、Neumann 等<sup>2)</sup>は種々の場合に就き割合合理的な算式を導いてゐる。我國では次の規定<sup>3)</sup>を與へ、附圖を添へて算定の基礎を示してゐるが、大體式-12.62 に従ひ 2車線としての値である。

屈曲部中心線の半徑 300 m 未満の箇所に於ては、其の屈曲部の内側に於て次の標準に依り其の有効幅員を擴大すべし、但し有効幅員 9 m 以上の道路に在りては此の限に在らず。

半 徑	擴大すべき幅員
15 m 未満	2.7 m
15 m 以上 20 m 未満	2.2 m
20 m 以上 30 m 未満	1.7 m
30 m 以上 50 m 未満	1.2 m
50 m 以上 75 m 未満	0.8 m
75 m 以上 100 m 未満	0.5 m
100 m 以上 150 m 未満	0.4 m
150 m 以上 300 m 未満	0.3 m

(3) 安全視距 (Safe sight distance)

曲線部に於ては、前方より進行し來る他の車輛を認めた際、衝突を避ける爲に進路を變更するか又は急停車をするに充分な見透し距離が必要であつて、之を安全視距と云ふ。此の安全視距  $S$  と半徑  $R$ , 視幅  $m$  との関係は、圖-12.22 より、

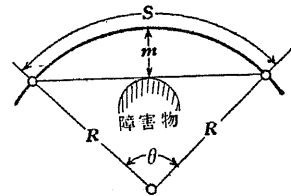


圖-12.22 安全視距、半徑及び視幅の関係

- 1) J. S. Voshell: Public Roads, Apr., 1927, p. 35.  
J. H. Bateman: 1939, p. 80.
- 2) E. Neumann: 1932, S. 44—48; Die Bautechnik, 1937, S. 615—618.  
H. C. Platts: The Surveyor, Vol. 85, 1934, p. 483.
- 3) 道路構造令並同細則改正案要領, 第 10

$$\theta = S/R, \quad m = R(1 - \cos \frac{1}{2}\theta),$$

$$\therefore m = R[1 - \cos(\frac{1}{2}S/R)] \dots\dots\dots(12.65)$$

従つて  $S, R$  を與へると必要な視距  $m$  が定まり、又  $m, S$  を與へると必要な半径  $R$  が定まる。

我國では次の規定<sup>1)</sup>を與へ、別に附圖 2 葉を添へて自動車速度に應じた  $S$  の値は避走距離と制動距離との平均値をとればよいことを示してゐる<sup>2)</sup>。尙  $m$  の値は道路中心線上 1.4 m の高さに於て中心線より之と直角の方向に於ける屈曲部内側の法面又は障害物に至る最短距離をとることになつてゐる。

安全視距は道路の中心線上 1.4 m の高に於て次の標準に依るべし、但し中心線の半径 30 m 未満の箇所に在りては 30 m 迄、反向曲線に在りては 20 m 迄之を縮小することを得。

道路の種類	安全視距		
	平坦部	丘陵部	山岳部
商道	100 m 以上	100 m 以上	60 m 以上
指定府縣道	100 m 以上	90 m 以上	55 m 以上
其の他の府縣道	100 m 以上	80 m 以上	50 m 以上

段切を爲す場合に在りては道路の中心線上 1.0 m の高に於て之を爲すべし。

### 13. 道路に於ける緩和區間 (Transition Section in Highway)

#### (1) 概説

道路に於ても車輛運轉の安全を期する爲に、次の理由から直線

- 1) 道路構造令並同細則改正案要項, 第 9.
- 2) 最近の高速交通には充分の安全視距を與へるの必要があり、參考文献として、  
A. G. Bruce : Public Roads, March, 1929, pp. 15—17.  
E. Neumann : 1932, S. 56—60.  
R. H. Baldock : E. N. R., Vol. 114, 1935, p. 734.  
I. Gutmann : E. N. R., Vol. 116, 1936, p. 292.  
C. M. Noble : Proc. of A. S. C. E., 1936, pp. 1019—1020.  
M. Buré : Annales des ponts et chaussées, 1937, Tome 2, p. 232—243.  
W. V. Buck : Civil Eng., 1937, p. 3.  
藤井真澄 : 土木工学, 1933 年 3 月, 頁 62—63.

部と曲線部との接續點に緩和區間を挿入する。

- (1) 接續點に於ける車輛進路の方向變換を圓滑ならしめる。
- (2) 緩和區間に於て、直線部の横斷形狀及び道路幅を漸變せしめ、曲線部の所要の片勾配及び幅幅に到達せしめる。

此の場合に緩和區間に於ける道路中心線自らの線形を、曲率半徑が片勾配に逆比例する如き所謂緩和曲線とらしめ、且幅幅を B.T.C. より速増して E.T.C. にて所定の全幅幅を與へる如き、鐵道に於けると全く同様の方法を用ひてよく、極最近の高速自動車道路は次第にこの方法を採用する傾向がある<sup>1)</sup>。而してこの緩和曲線長に就いても、曲線上の自動車の運行を研究して合理的な決定をなすべく、種々の方法が提唱されてゐる<sup>2)</sup> (9. (1)參照)。

併し乍ら自動車は鐵道の如く一定軌道を辿らないから、上述の如き嚴密な緩和曲線の必要性に關しては幾分の疑問がある。又適當な幅幅をした曲線上に於ける實際の自動車の運行状態を見るに、寧ろ路面内側曲線の取付を適當な線形とすることが肝要であると推斷される。従つて特殊な高速自動車道路を除いては、中心線自らには緩和曲線を挿入せず、曲線内側に施した幅幅部と直線部内側の線とを適當な曲線にて連結し、此の區間即ち緩和區間に於て横斷形狀を漸變し、圓弧に移る所にて所定の片勾配に到達せしめることが多い。次に此の從來の方法に就いて説明しよう。

- 1) T. F. Hickerson : 1926, pp. 148—156.  
G. W. Pickels and C. C. Wiley : 1930, pp. 109—112, 117—119.  
H. J. E. Hone : The Surveyor, Vol. 87, 1935, pp. 671—673.  
F. G. Royal-Dawson : Road Curves for Safe Modern Traffic, 1936.  
L. Orley : Übergangsbogen bei Strassenkrümmungen, 1937.  
E. Neumann : Die Bautechnik, 1937, S. 615—618.  
Eng. News Record, Vol. 121, 1938, pp. 293—294.  
E. Gerlach : Jahrbuch für den gesamten Strassen- und Wegebau, 1939, S. 10, 18—19.
- 2) R. H. Baldock : E. N. R., Vol. 114, 1935, pp. 732—734 ; Civil Eng., 1935, p. 646.  
F. G. Royal-Dawson : 1936, pp. 9—10, 26—46, etc.  
Lohmann : Der Strassenbau, 1938, S. 241—244.  
T. E. Schunk : Die Strasse, 1941, S. 134—136.  
R. Findeis : Die Bautechnik, 1941, S. 236—240.

(2) 緩和區間の線形 (Alignments in transition section)<sup>1)</sup>

(a) 圖-12.23 の如く擴幅した屈曲部内側の圓弧に取付として直線を切せしめる方法で、 $l$  を緩和區間長、 $I'$  を緩和切線長と云ふ。此の場合  $R, W, w, l$  (又は  $I'$ ) を與へると、他の諸量は次の關係より算定され<sup>2)</sup>、曲線設置を行ふことが出来る。

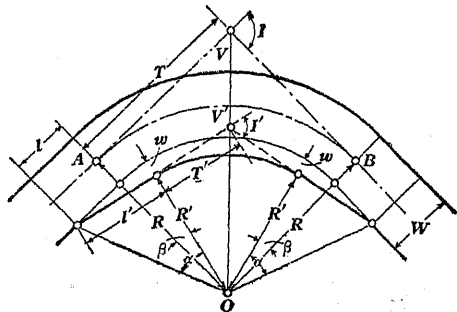


圖-12.23

$$\left. \begin{aligned} R' &= R - W/2 - w, \quad T' = R' \tan \frac{1}{2} I' = R' \tan (\frac{1}{2} I - \beta), \\ \alpha &= \tan^{-1} (I'/R'), \quad \beta = \tan^{-1} (I'/R') - \tan^{-1} (I/(R - W/2)), \\ l &= \sqrt{I'^2 + R'^2} - (R - W/2) = \sqrt{I'^2 - w(2R - W - w)} \end{aligned} \right\} (12.66)$$

此の方法は最も簡單で廣く用ひられ、我國にても従來は専らこの方法によつたが、現在の規定<sup>3)</sup>では次の如く緩和區間長を定めるのみで、線形は技術者の選擇に委ねてゐる。

第10の場合に於ては屈曲部の兩端に次の標準に依る長の緩和區間を設くべし。

半	徑	緩和區間長
20 m 未満		30 m
20 m 以上	50 m 未満	25 m
50 m 以上	100 m 未満	20 m
100 m 以上	300 m 未満	10 m

1) E. Neumann : 1932, S. 48-49. E. L. Leeming : 1933, pp. 36-46.

眞井耕彥 : 道路工學, 1933, 頁 120-124.

2) 岩澤忠恭 : 道路の構造と鋪裝, 1934, 頁 87-89.

3) 道路構造令並同細則改正案要項, 第 11.

(b) 圖-12.24 の如く内側曲線を半徑大なる圓弧とし、中央にて所定の擴幅  $w$  を與へる方法にして、

$$\left. \begin{aligned} l &= \overline{A'A_1} = w \cot \frac{1}{2} I, \\ R' &= \overline{OA_1} + l \cot \frac{1}{2} I = R - W/2 + w \cot \frac{1}{2} I \cot \frac{1}{2} I \end{aligned} \right\} \dots (12.67)$$

となる。故に  $w, l$  の内 1 方を與へると他方が定まり、之を用ひて内側の半徑  $R'$  が算定される。計算及び設置法の簡単な點が便利である。

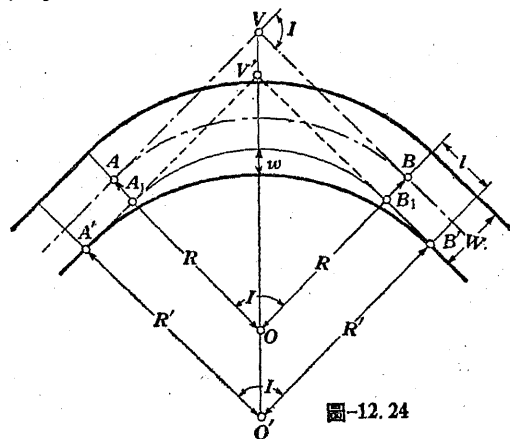


圖-12.24

(c) 圖-12.24 にて圓弧  $R'$  の代りに複曲線を用ひる方法で、獨逸等で用ひられることがある<sup>2)</sup>。

(d) 圖-12.24 にて圓弧  $R'$  の代りに拋物線を用ひる方法で、時には  $l=0$  即ち  $A', A_1$  の 2 點を合致せしめることもあり、計算、設置が容易である<sup>3)</sup>。

(e) 擴幅部内側の圓弧に取付として 3 次拋物線其の他の所謂緩

1) T. F. Hickerson : 1926, pp. 145-146.

2) Lohmann : Der Strassenbau, 1938, S. 243.

E. Neumann : Die Bautechnik, 1937, S. 617.

3) T. F. Hickerson : 1926, p. 144, 147.

和曲線(9.參照)を接續せしめる方法で、近代道路に廣く用ひられる<sup>1)</sup>。尙近來の2車線道路では外側取付にも斯かる方法を用ひることがある。此の場合獨逸では外側車線の擴幅を外側にとるのを普通とするが<sup>2)</sup>、日本、米國等では道路兩側を共に内方に側せしめ、内側の偏倚を外側より大きくして所定の2車線分の擴幅を保つ様にしてゐる<sup>3)</sup>。圖-12.25 は交角 90° の場合に3次螺旋を挿入した米國の實例である<sup>4)</sup>。

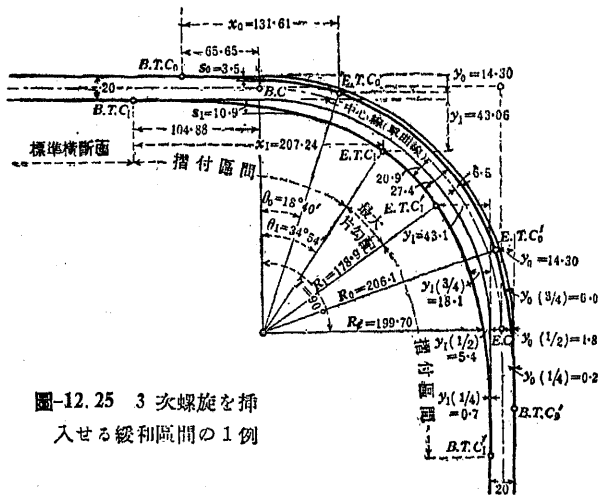


圖-12.25 3次螺旋を挿入せる緩利區間の1例

(3) 摺付 (Runoff)

直線部の蒲針形横断面から曲線部の片勾配に變移せしめることを摺付と云ひ、普通緩利區間の全長に於て終始する様にしてゐる。

- 1) G. W. Pickels and C. C. Wiley : 1930, pp. 116—117  
F. G. Royal-Dawson : 1932, pp. 157—159.  
F. Knipping, K. Götz u. H. Mittmeyer : 1934, S. 78—80.
- 2) E. Neumann : 1932, S. 49—51; Die Bautechnik, 1937, S. 617—618.
- 3) Bateman : 1934, p. 102.  
道路構造令並同細則改正案要項, 第 10.
- 4) O. Rourke : General Engineering Handbook, 1932, pp. 359—360.

我國では道路外側に沿ふ長さ 10 m に付き 0.1 m の割合で圓滑に摺付することになつてゐるから<sup>1)</sup>、前記緩利區間長は此の摺付の點からも制限を受けるわけである。摺付の工法に就いては各種の新工夫が提唱されてゐるが<sup>2)</sup>、圖-12.26 に其の 1 例を示して置く。

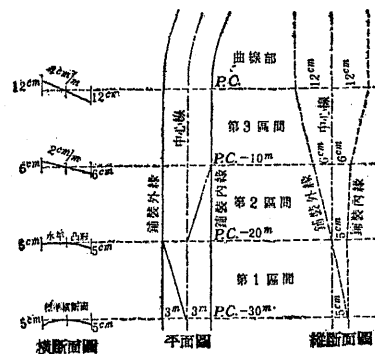


圖-12.26 摺付の1例

14. 縦曲線に関する概説 (Vertical Curves in General)

(1) 縦曲線の目的と其の形狀 (Purposes of vertical curve and its forms).

路線にて相交る2つの勾配線の交角が或限度を越すと、車輛の受ける衝撃を増大し乗心地を悪くすると共に車輛、路面の損傷が著しくなる。従つて之等を輕減する爲に、2つの勾配線を適當な曲線にて圓滑に結び付ける必要がある。尙道路では斯くすることにより山形地點の頂部を切りとることになるから、安全視距を増大し交通の安全を期することが出来る。以上の目的に用ひられる曲線を縦曲線と云ひ、普通採用される曲線形狀は次の様である。

- 1) 道路構造令並同細則改正案要項, 第 12.
- 2) W. Reiner : 1929, S. 63—76.  
J. J. Leeming : The Surveyor, Vol. 80, 1931, pp. 195—196.  
H. Criswell : The Surveyor, Vol. 80, 1931, pp. 619—621.  
E. Neumann : 1932, S. 55—56. E. L. Leeming : 1933, pp. 63—67.  
R. D. Jennings : The surveyor, Vol. 93, 1938, pp. 687—688.  
Lohmann : Der Strassenbau, 1933, S. 321—322.  
淺山甚久男 : 土木學會誌, 1937, 頁 845—856.

(a) 拋物線 (Parabola). 之は計算及び設置法が簡單で而も一定距離毎の勾配の變化率が一定であるから<sup>1)</sup>, 縱曲線として最も適當なものとされ, 現今廣く用ひられてゐる。

(b) 圓曲線 (Circular curve). 之は獨逸にて用ひられ, 我國でも近年國有鐵道に採用されることになつた。併し正しい圓弧にて半徑大なる場合は拋物線との差異極めて少く, 特に圓曲線を用ひねばならぬ理由はない様である。

(c) 緩和曲線 (Transition curves). 水平曲線の場合と同様に 3 次拋物線, レムニスケート等を提唱されることもあるが<sup>2)</sup>, 勾配

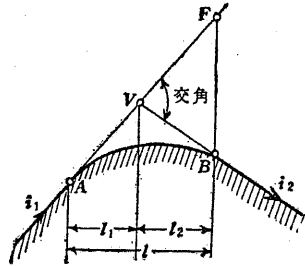


圖-12.27 縱曲線

の變化率一定ならず計算も面倒であるから, 之を用ひて利點があるかは疑問である<sup>3)</sup>。併し拋物線の兩端に緩和曲線を入れて此の部分の勾配變化率を徐々に増減することは, 確かに好結果を與へるものと考へられる<sup>3)</sup>。

(2) 縱曲線の長さ (Length of vertical curve)

2 つの勾配線の勾配を夫々  $i_1, i_2$  (分數にて表す) とすれば, 其の交角は 圖-12.27 より,

$$\angle BVF = i_1 - i_2, (\angle BVF : \text{radian}) \dots \dots \dots (12.68)$$

茲に  $i$  は上り勾配を正, 下り勾配を負と考へる。一般に  $(i_1 - i_2)$  が 0.01 即ち  $34' 20''$  以上の時は是非とも縱曲線を挿入する必要があると云はれるが, 我國の諸規定は次の如く縱曲線挿入の限界を定めてゐる。

1) 式-12.81 参照。  
 2) F. G. Royal-Dawson : 1936, pp. 182-195.  
 3) C. A. Hart : The Surveyor, Vol. 85., 1934, p. 423, 424,

(a) 國有鐵道 : 10/1000 以上, (國有鐵道建設規程 第 16 條)

滿 鐵 : 5/1000 以上, (新線建設內規 第 10 條)

(b) 道 路 : 5/1000 以上, (道路構造令並同規則改正案要項 第 18)。

次に縱曲線の水平長  $l$  は,  $1 \text{ch.} = 20 \text{m}$  毎の勾配變化率  $r$  を用ひると<sup>1)</sup>,

$$l = \angle BVF / r = (i_1 - i_2) / r, (l : \text{chain}) \dots \dots \dots (12.69)$$

として與へられるから,  $r$  を假定すれば  $l$  を算定し得べく, 其の方法は次の様である。

(a) 鐵道では一般に衝擊を軽減すると云ふ見地から  $r$  を定めるのを常とする。

國有鐵道<sup>2)</sup> : 半徑 800 m 以下の曲線の場合,  $r = 5/1000$   
 其の他の場合,  $= 6.67/1000$

滿 鐵<sup>3)</sup> :

種 別	山形地點	谷形地點
第 1 種 側線及び枝線	0.4%	0.2%
第 2 種 急行列車を運轉せざる本線	0.3%	0.15%
第 3 種 急行列車を運轉する本線	0.2%	0.1%

但し第 2 種, 第 3 種の適用に就いては區間毎に別に之を定む。

(b) 道路では衝擊を軽減し遠心力による投出を防ぐ見地から  $r$  又は  $l$  を定めると同時に, 充分な安全視距を與へる如き  $l$  を採用しなければならない。此の内後者に就いては次節以下に譲り, 茲では前者の方から求めた公式を列擧する。

Royal-Dawson 公式<sup>4)</sup> :  $l = 200 V (i_1 - i_2),$   
 $(l : \text{ft.}, V : \text{miles/時}) \dots \dots (12.70)$

C. A. Hart 公式<sup>5)</sup> :  $l = 10000 (i_1 - i_2), (l : \text{ft.}) \dots \dots (12.71)$

1) 拋物線では  $r$  が一定であるから, 式-12.69 が成立する。半徑大なる圓曲線でも近似的に成立すると考へてよい。  
 2) 従來の縱断面曲線定規(大正 12 年 4 月 24 日, 研甲第 217 號)では  $r = 5/1000$  なる拋物線を用ひてゐたが, 現在は新建設規程に應じた縱曲線挿入法が定められ, 圓曲線を用ひてゐる。其の半徑は半徑 800 m 以下の曲線部では 4,000 m, 其の他は 3,000 m となつてゐるから, 之を近似的に拋物線と看做し  $r$  の値を求めて置く。(式-12.69 及び式-12.86 参照)。  
 3) 新線建設內規, 第 10 條。  
 4) F. G. Royal-Dawson : 1932, p. 148.  
 5) C. A. Hart : The Surveyor, Vol. 85, 1934, p. 423

Blockman 公式<sup>1)</sup> :  $l = (i_1 - i_2) V^2 / 3.6,$   
 $(l : m, V : \text{km/時}) \dots \dots (12.72)$

R. A. Powell 公式<sup>2)</sup> :  $l = (i_1 - i_2) V^2,$   
 $(l : \text{ft.}, V : \text{miles/時}) \dots \dots (12.73)$

尙近來種々の研究が發表されてゐるが<sup>3)</sup>, 我國では式-12.72を用ひ, 平坦部, 丘陵部, 山岳部に對する  $V$  を夫々 60, 55, 50km/時として計算し, 次の如く  $l$  の値を定めてゐる<sup>4)</sup>.

勾配の變移する箇所に於ては次の標準に依る長の縦斷曲線を設くべし。

勾配の代数差	縦 斷 曲 線 長		
	平 坦 部	丘 陵 部	山 岳 部
0.5% 以上 3 % 未滿	20 m 以上	15 m 以上	10 m 以上
3 % 以上 5 % 未滿	40 m 以上	30 m 以上	20 m 以上
5 % 以上 7 % 未滿	60 m 以上	50 m 以上	20 m 以上
7 % 以上 10 % 未滿	90 m 以上	70 m 以上	30 m 以上
10 % 以上 13 % 未滿	100 m 以上	90 m 以上	40 m 以上
13 % 以上 16 % 未滿	—	—	50 m 以上
16 % 以上 20 % 以下	—	—	70 m 以上

15. 縦曲線としての拋物線 (Parabola as a Vertical Curve)

(1) 拋物線の性質及び方程式 (Properties of parabola and its equations).

(a) 最も一般的な場合として, 圖-12.28 の如く2つの勾配線 AV, BV に切する拋物線上の1點を P, AB の中點を M とすれば, VM は直徑となる。直線 RPQ, BD を直徑に平行とし, 鉛直線 PTS, BF を引くと, 拋物線の性質から次の關係式を得る<sup>5)</sup>。

1) 岩澤忠恭: 1934, 頁 54.  
 2) R. A. Powell: The Surveyor, Vol. 90, 1935, p. 164.  
 3) E. Neumann: 1932, S. 75. E. Gerlach: 1939, S. 21-22. 岩澤忠恭: 1934, 頁 54-57.  
 4) 道路構造令並同細則改正案要項, 第 18 及び附圖 3 案。  
 5) 岩澤忠恭: 1934, 頁 52. 此の場合の關係式は他の異なる形で表すことも出来る, 例へば D. Bregman: E. N. R., Vol. 121, 1938, p. 513.

$\overline{VC} = \overline{CM} = \overline{DB}/4, \overline{VM} = \overline{DB}/2 \dots \dots (12.74)$

$\overline{PT} = l_2(i_1 - i_2)x^2 / (2l_1)^2, z - x = (l_1 - l_2)x^2 / (2l_1)^2 \dots \dots (12.75)$

$y = -l_1 i_1 + x i_1 - l_2(i_1 - i_2)x^2 / (2l_1)^2 \dots \dots (12.76)$

O 點を原點とし圖の如く座標軸をとつた際の拋物線の方程式は,

$$\left. \begin{aligned} &(y + l_1 i_1 - x i_1)^2 - \frac{B^2}{4A l_1^2 l_2} \\ &+ (y + l_1 i_1 - x i_1) \left( \frac{Bx}{2l_1^2} - 1 \right) + \frac{A l_2}{4l_1^2} x^2 = 0, \dots \dots (12.77) \end{aligned} \right\}$$

但し  $A = -(i_1 - i_2), B = l_1 - l_2$

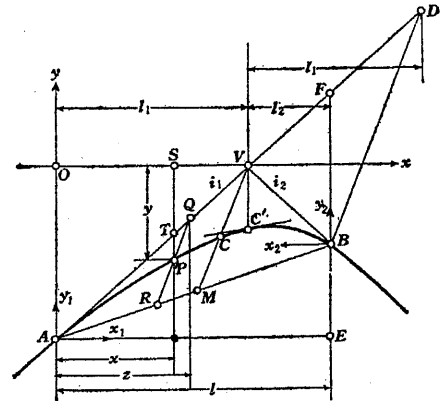


圖-12.28 任意の拋物線

尙時には鉛直直徑を有する2つの拋物線を用ひ, 夫々 AV, BV に切し且 V 點の直下 C' にて共通切線を有せしめる場合があるが, 此の際の方程式は夫々  $(A - x_1 y_1), (B - x_2 y_2)$  なる2つの座標軸を用ひ次の如く表される<sup>1)</sup>。

$$\left. \begin{aligned} AC' : y_1 = i_1 x_1 - \sqrt{C'} \cdot x_1^2 / l_1^2, \\ BC' : y_2 = -i_2 x_2 - \sqrt{C'} \cdot x_2^2 / l_2^2, \\ \text{但し } \sqrt{C'} = \frac{1}{2} l_1 l_2 (i_1 - i_2) / (l_1 + l_2) \end{aligned} \right\} \dots \dots (12.78)$$

1) E. L. Palvo: Civil Eng., 1935, pp. 175-176.

(b) 以上は山間の遺路等で  $l_1=l_2$  となし難い場合にのみ用ひられ、普通の場合は  $l_1=l_2$  とする。然らば 圖-12.29 の如く鉛直直径 VCM を有する抛物線となり、 $z=x$ ,  $B=l_1-l_2=0$  となつて (a) の場合の各式は次の如くなる。

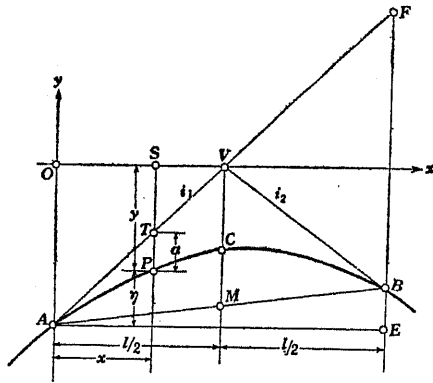


圖-12.29 鉛直直径を有する抛物線

$$\overline{VC} = \overline{CM} = \frac{1}{2}l(i_1 - i_2), \quad \overline{VM} = \frac{1}{2}l(i_1 - i_2), \quad \overline{FB} = \frac{1}{2}l(i_1 - i_2) \dots\dots\dots (12.74')$$

$$\overline{PT} = a = (i_1 - i_2)x^2 / (2l) \dots\dots\dots (12.75')$$

$$y = (x - l/2)i_1 - (i_1 - i_2)x^2 / (2l) \dots\dots\dots (12.77')$$

又 式-12.78 の2つの抛物線は単一なる抛物線となり、

$$y_1 = i_1x_1 - 4\overline{VC} \cdot x_1^2 / l^2, \quad y_2 = -i_2x_2 - 4\overline{VC} \cdot x_2^2 / l^2 \dots\dots (12.78')$$

但し  $\overline{VC} = \frac{1}{2}l(i_1 - i_2)$

(2) 抛物線の設置 (Setting out the parabola).

(a) 最も一般的な場合は 圖-12.28 の如く直径が鉛直でないから、先づ切線  $\overline{AV}$  を  $n$  等分した点の横距  $x$  に應ずる曲線上の点 P の横距  $x$  と  $\overline{PT}$  とを 式-12.75 より計算し、之等を用ひて切

線に準據して P を設置することが出来る。此の時 PT を切線更正又は切線偏距 (Tangent correction or deflection) と云ふ。

以上の計算を省く爲に、圖-12.30 の如く M, C, P, P', ..... を夫々  $\overline{AB}$ ,  $\overline{VM}$ ,  $\overline{NQ}$ ,  $\overline{N'Q'}$ , ..... の中點として、相當大縮尺で抛物線を畫き、物指で P の位置、從つて  $x, y$  を測つてもよい。

若し 式-12.78 の如く鉛直軸を有する抛物線2つを用ひ V の直下で接続せしめると、簡単に (b) の如くして縦曲線を設置することが出来る。

(b) 普通の場合は圖-12.29 の如く鉛直軸の抛物線を用ひるから、A, B の位置を定める

と  $\overline{BF}$  がわかり、式-12.74' より  $\overline{VC}$  が求められる。故に  $\overline{AV}$ ,  $\overline{BV}$  を  $n$  等分し、各分點間の水平距離を  $\frac{1}{2}l/n = d$  とすれば、各點の切線更正は 式-12.75' より次の如くなる。

$$a_1 = \frac{i_1 - i_2}{2l} d^2 = \frac{i_1 - i_2}{4n} d = \frac{i_1 - i_2}{8n^2} l = \frac{\overline{VC}}{n^2} \dots\dots (12.79)$$

$$a_2 = 2^2 a_1, \dots\dots, a_r = r^2 a_1, \dots\dots, a_n = \overline{VC} = n^2 a_1$$

次に始點 A より測つた各分點の高さは、一般式  $\eta = xi_1 - a$  より次の如く求められる。

$$\left. \begin{aligned} \eta_1 &= di_1 - a_1, \dots\dots\dots, \eta_r = rdi_1 - r^2 a_1, \dots\dots, \\ \eta_n &= \eta_C = ndi_1 - n^2 a_1, \dots\dots\dots, \\ \eta_{2n} &= \eta_B = 2ndi_1 - (2n)^2 a_1 = \overline{EF} - \overline{BF} = \overline{FB} \end{aligned} \right\} \dots\dots (12.80)$$

若し終點 B より測つた高さを求めるには、式-12.80 にて右邊の  $i_1$  の代りに  $-i_2$  とすればよい。

尙各弦の勾配は左より順次、

$$\frac{\eta_1 - 0}{d} = i_1 - \frac{a_1}{d}, \quad \frac{\eta_2 - \eta_1}{d} = i_1 - 3\frac{a_1}{d}, \quad \frac{\eta_3 - \eta_2}{d} = i_1 - 5\frac{a_1}{d}, \dots$$

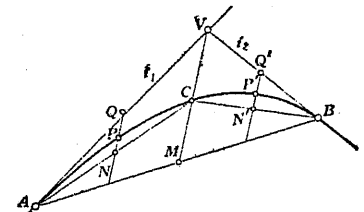


圖-12.30 抛物線の圖解

.....(12.81)

となるから、一定距離  $d$  毎の勾配變化率は  $2 \frac{d_1}{d}$  となり、一定であることが證明される。

以上に必要な數値が求められたから、之等を用ひて切線に準據し容易に設置することが出来る。尙此の場合の計算其の他を容易にする爲、種々の圖又は表が作製されてゐる<sup>1)</sup>。

我鐵道省の舊規程<sup>2)</sup>は上述の方法に従つて拋物縦曲線を設置することになつてゐるが、現在は圓曲線を用ひてゐる (16. 參照)。

(3) 安全視距 (Safe sight distance)

道路では交通の安全を期する爲に、山形地點に於ては充分の安全視距を保たねばならない。今所定の安全視距  $S$  を與へるに必要な縦曲線長  $l$  を求めると次の様であつて<sup>3)</sup>、14. (2) に於て衝擊輕減の立場より求めた  $l$  と比べ、何れか大なる方を以て所要の縦曲線長とするわけである。

(a)  $l < S$  の場合:  $l = (i_1 - i_2) S^2 / (8h)$ .....(12.82)

(b)  $l > S$  の場合:  $l = 2S - 8h / (i_1 - i_2)$ .....(12.83)

但し  $h$ : 路面上運轉手の目の高さ、(我國では 1.4m) <sup>4)</sup>。

而して  $S$  の値は制動距離及び避走距離より求められ、自動車の速度、構造並に路面状態にて異なるべきは水平曲線の時と同様であるが、縦曲線の際は更に勾配  $i_1, i_2$  の値及び勾配變化率によつても相當影響される筈である。之等に就いては近來種々の研究があるが<sup>5)</sup>、米國では從來 350 ft. 位としたのを近時速度昂上と

- 1) H. Criswell : The Surveyor, Vol. 80, 1931, pp. 301-303.
H. L. Smythe : Railway Eng. and Maintenance, 1933, pp. 597-599.
R. W. Abbett : E. N. R., Vol. 110, 1933, p. 186.
E. E. Bottoms : Civil Eng. 1934, p. 651.
2) 縦断面曲線定規.
3) M. W. Furr : E. N. R., Vol. 96, 1926, p. 819; Vol. 97, 1926, p. 268; Vol. 109, 1932, pp. 496-497. 真井新纂 : 1933, 頁 100-102.
4) 道路構造令並同細則改正案要項, 第 9.
5) C. A. Hart : The Surveyor, Vol. 86, 1934, p. 423.
R. A. Powell : The Surveyor, Vol. 90, 1936, pp. 163-164.
E. Gerlach : 1939, S. 7-8, 22-23

共に 1090 ft. とすることもある<sup>1)</sup>。我國では水平曲線の場合と同じ安全視距を用ひてゐる<sup>2)</sup>。

16. 縦曲線としての圓曲線 (Circular Curve as a Vertical Curve)

(1) 概説

獨逸では専ら圓曲線を用ひ、近來我鐵道省でも之を採用するに至つた。一般に勾配  $i_1, i_2$  は小さく、半徑  $R$  を極めて大きくとるから、圖-12.31 より近似的に次の關係式が成立する<sup>3)</sup>。

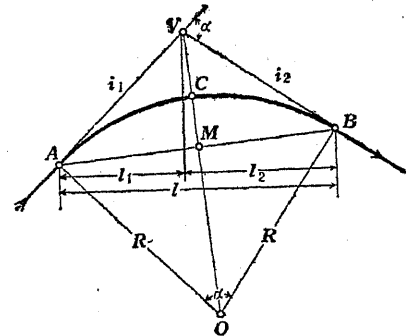


圖-12.31 圓曲線

$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{i_1 - i_2}{2}, \therefore \alpha \approx i_1 - i_2, (\alpha : \text{radian})$ .....(12.84)

$\sqrt{VA} = \sqrt{VB} = R \tan \frac{\alpha}{2} \approx \frac{R}{2} \tan \alpha \approx \frac{R}{2} (i_1 - i_2)$ .....(12.85)

$l = l_1 + l_2 \approx 2R \sin \frac{\alpha}{2} \approx 2R \tan \frac{\alpha}{2} \approx R(i_1 - i_2)$ .....(12.86)

$\sqrt{VC} \approx R \left[ \tan^2 \frac{\alpha}{2} - \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) \right] \approx \frac{\sqrt{VA}^2}{2R},$   
 $\sqrt{CM} \approx R \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right)$ .....(12.87)

$R = (S^2 - 4h^2) / 8h$ , 但し  $S$ : 安全視距,  $h$ : 運轉手の目の高さ,  
.....(12.88)

- 1) Bateman : 1939, p. 81. H. Rubey : 1938, p. 100.
2) 道路構造令並同細則改正案要項, 第 9.
3) E. Neumann : 1932, S. 74-75.



而して縦曲線長  $l$  は 式-12.86 より  $R$  を定めると決定するが、14.(2) に於けると同様の考へから(道路では安全視距をも考へる必要がある<sup>1)</sup>) この  $R$  を定めるのであつて、2,3 の實例を列挙する。

- 國有鐵道<sup>2)</sup>: 半徑 800 m 以下の曲線の場合  $R = 4,000$  m.  
 : 其の他の場合  $R = 3,000$  m.  
 獨逸國有自動車道路<sup>3)</sup>:

種 別	R (m)	
	山形地點	谷形地點
第 1 種	16,700	5,000
第 2 種	9,000	3,000
第 3 種	5,000	3,000(特別の場合1,000)

獨逸地方道路<sup>4)</sup>: 山形地點  $R \geq 4,200$  m, 谷形地點  $R \geq 1,000$  m.

圓曲線では直徑 VCO が鉛直でない限り正確な設置を行ふことは相當困難で複雑な計算を要するが、普通は  $R$  極めて大きく  $e_1, e_2$  は微小であるから、VCO を鉛直と考へた時の計算値か、又は拋物線と看做した時の値を用ひて設置するのであつて、我鐵道省では後者によつてゐる。

(2) 鐵道省に於ける縦曲線挿入法

建設規程 第 16 條に依る縦曲線は本法に據り挿入すべし。

(註) 第 16 條 線路の勾配變化する箇所には勾配の變化が 10/1000 以上の場合に於て左の大き以上の半徑を有する縦曲線を挿入することを要す。  
 半徑 800m 以下の曲線の場合 4,000m, 其の他の場合 3,000m.

(1) 線 説

圖-12.32 に示す如く  $m, n$  なる 2 勾配線が T に於て交る場合に於て、之に縦曲線を挿入せんとするには、先づ T より B に至る横距  $l$  を算出して B 點を決定し、B より  $x$  なる距離に於ける縦距  $y$  の値を算出して縦曲線上の點を決定するのである。

(2)  $l$  の値の算出法

兩隣接勾配線の交點 T より縦曲線の始點 B に至る距離  $l$  (m) を求むるには次

- 1) B. W. W. Richards: The Surveyor, Vol. 95, 1939, pp. 137—139.
- 2) 建設規程, 第 16 條.
- 3) E. Gerlach: 1939, S. 7.
- 4) E. Gerlach: 1939, S. 21.

式に據るものとす。

$$l = \frac{R}{2} \left( \frac{m}{1,000} \pm \frac{n}{1,000} \right) = \frac{R}{2,000} (m \pm n), \quad R = \text{縦曲線半徑 (m)} \dots (1)$$

即ち兩勾配線の交點が半徑 800 m 以下の曲線中にある場合  $l = 2 \times (m \pm n) \dots (2)$

其の他の場合  $l = 1.5 \times (m \pm n) \dots (3)$

但し (+) は兩勾配が異方向に變ずる場合、(-) は兩勾配が同方向に變ずる場合。

上式に依りて算出せる  $l$  の値は m 以下の端数は m の位に切上げるものとす (表-12.6)。

(註) 上式に於ける  $l$  は切線長を表すものなれども、實用上水平距離を表すものと考ふるも支障なし。例へば最急勾配 35/1,000 に於てもその誤差は 6/10,000 程度なればなり。

(3)  $y$  の値の算出法

勾配線と縦曲線との間に挟まれたる縦距  $y$  (m) は次式に依りて算出するものとす。

$$y = x^2 / (2R) \dots (4)$$

而して  $y$  の値は上式に依り算出せる結果を表-12.7 に記載せるを以て之に依るを便とす。但し  $x$  の値小數を含み表中に求め得ざる時は隣接する  $y$  の値より比例に依りて算出するものとす。

(註) 縦曲線は圓弧なるも拋物線と假定して實用上支障なし。

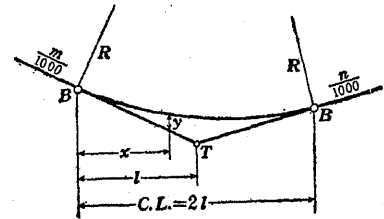


圖-12.32

適 用 例

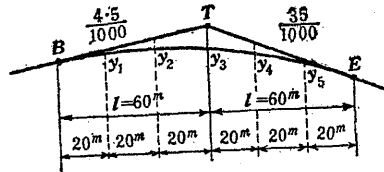
(例 1) 上向せる 4.5/1,000 線と下向せる 35/1,000 線とが半徑 1,000 m の曲線中に於て交叉する場合に縦曲線を挿入せんとす。

$$l = 1.5 \times (m + n) = 1.5 \times (4.5 + 35) = 59.25 \approx 60 \text{ m}$$

$$y = x^2 / 6,000$$

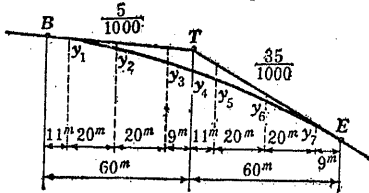
表-12.7 により

- $y_1 = 67$  mm,
- $y_2 = 267$  //
- $y_3 = 600$  //
- $y_4 = 267$  //
- $y_5 = 600$  //
- $y_6 = 67$  //

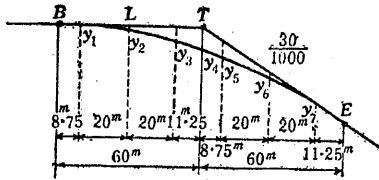


(例 2) 下向せる 5/1,000 線と下向せる 35/1,000 線とが半徑 400 m の曲線中に於

て交叉する場合に縦曲線を挿入せんとす。



(例3) 水平線と下向せる 30/1,000 線とが半径 600m の曲線中に於て交叉する場合に縦曲線を挿入せんとす。



$$y_1 = 8 + (10 - 8) \times 0.75 = 9.5 \approx 10 \text{ mm},$$

$$y_2 = 98 + (105 - 98) \times 0.75 = 98 + 5.25 \approx 103 \text{ //},$$

$$y_3 = 288 + (300 - 288) \times 0.75 = 288 + 12 \times 0.75 = 297 \text{ //},$$

$$y_4 = 450 \text{ //},$$

$$y_5 = 325 + (338 - 325) \times 0.25 \approx 328 \text{ //},$$

$$y_6 = 120 + (128 - 120) \times 0.25 = 122 \text{ //},$$

$$y_7 = 15 + (18 - 15) \times 0.25 \approx 16 \text{ //}$$

### 17. 道路の路頂高と横断形状 (Crown Height and Camber of Highway)

#### (1) 路頂高 (Crown height)

路頂高及び横断形状は路面の排水と運轉の安全の2點から決定すべきであるから、交通車輛と路面の種類及び構造、路線の線形及び縦断勾配並に雨量等により異にすべく、之が選定上の大體の

表-12.6 により

$$l = 2.0 \times (m - n) = 60 \text{ m.}$$

$$y = x^2 / 8,000$$

表-12.7 により

$$y_1 = 15 \text{ mm}, y_6 = 3,00 \text{ mm},$$

$$y_2 = 120 \text{ //}, y_8 = 105 \text{ //},$$

$$y_3 = 325 \text{ //}, y_7 = 10 \text{ //},$$

$$y_4 = 450 \text{ //},$$

表-12.6 により  $l = 60 \text{ m.}$

$y$  の値.  $x$  の値は小数を含み表-12.7 より直ちに求むる事を得ず、表-12.7 により隣接する2つの  $y$  の値を求め、比例により  $y$  を算出するものとす。表-12.7 により

表-12.6  $l$  の値 (m)

$$l = \frac{R}{2} \left( \frac{m}{1,000} \pm \frac{n}{1,000} \right)$$

$R = 4,000 \text{ m}$  のとき  $l = 2(m \pm n)$   
 $R = 3,000 \text{ m}$  のとき  $l = 1.5(m \pm n)$

$m \pm n$	$l$ (m)		$m \pm n$	$l$ (m)	
	$R = 4,000$	$R = 3,000$		$R = 4,000$	$R = 3,000$
10	20	15	41	82	62
11	22	17	42	84	63
12	24	18	43	86	65
13	26	20	44	88	66
14	28	21	45	90	68
15	30	23	46	92	69
16	32	24	47	94	71
17	34	26	48	96	72
18	36	27	49	98	74
19	38	29	50	100	75
20	40	30	51	102	77
21	42	32	52	104	78
22	44	33	53	106	80
23	46	35	54	108	81
24	48	36	55	110	83
25	50	38	56	112	84
26	52	39	57	114	86
27	54	41	58	116	87
28	56	42	59	118	89
29	58	44	60	120	90
30	60	45	61	122	92
31	62	47	62	124	93
32	64	48	63	126	95
33	66	50	64	128	96
34	68	51	65	130	98
35	70	53	66	132	99
36	72	54	67	134	101
37	74	56	68	136	102
38	76	57	69	138	104
39	78	59	70	140	105
40	80	60			

表-12.7  $y$  の値 (mm)  $y = \frac{x^2}{2R} \times 1,000$

$x$ (m)	$y$ (mm)		$x$ (m)	$y$ (mm)		$x$ (m)	$y$ (mm)		$x$ (m)	$y$ (mm)	
	$R=4,000$	$R=3,000$		$R=4,000$	$R=3,000$		$R=4,000$	$R=3,000$		$R=4,000$	$R=3,000$
1	0	0	36	162	216	71	630	840	105	1405	1873
2	1	1	37	171	228	72	648	864	106	1431	1908
3	1	2	38	181	241	73	656	888	107	1458	1944
4	2	3	39	190	254	74	665	913	108	1485	1980
5	3	4	40	200	267	75	673	938	109	1513	2017
6	5	6	41	210	280	76	722	963	110	1540	2054
7	6	8	42	221	294	77	741	988	111	1568	2091
8	8	11	43	231	308	78	761	1014	112	1596	2128
9	10	14	44	242	323	79	780	1040	113	1625	2166
10	13	17	45	253	338	80	800	1067	115	1653	2204
11	15	20	46	265	353	81	820	1094	116	1682	2243
12	18	24	47	276	368	82	841	1121	117	1711	2282
13	21	28	48	288	384	83	861	1148	118	1741	2321
14	25	33	49	300	400	84	882	1176	119	1770	2360
15	28	38	50	313	417	85	903	1204	120	1800	2400
16	32	43	51	325	434	86	925	1233	121	1830	2440
17	36	48	52	338	451	87	946	1262	122	1861	2481
18	40	54	53	351	468	88	966	1291	123	1891	2522
19	45	60	54	365	486	89	989	1320	124	1922	2563
20	50	67	55	378	504	90	1013	1350	125	1953	2604
21	55	74	56	392	523	91	1037	1380	126	1985	2646
22	61	81	57	406	542	92	1061	1411	127	2016	2688
23	66	88	58	421	561	93	1085	1442	128	2048	2731
24	72	96	59	435	580	94	1109	1473	129	2080	2774
25	78	104	60	450	600	95	1128	1504	130	2113	2817
26	85	113	61	465	620	96	1152	1536	131	2145	2860
27	91	122	62	481	641	97	1176	1568	132	2178	2904
28	98	131	63	496	662	98	1201	1601	133	2211	2948
29	105	140	64	512	683	99	1225	1634	134	2245	2993
30	113	150	65	528	704	100	1250	1667	135	2278	3037
31	120	161	66	545	726	101	1275	1700	136	2312	3083
32	128	171	67	561	748	102	1301	1734	137	2346	3128
33	136	182	68	578	771	103	1326	1768	138	2381	3174
34	145	193	69	595	794	104	1352	1803	139	2415	3220
35	153	204	70	613	817	105	1378	1838	140	2450	3267

方針は次の様である。

- (1) 路面が圓滑ならば雨水が流れ易いから、路頂高を低くする。又交通による磨耗の少い材料を用いた路面は、耐久性が大きいから路頂高は低くてよいが、磨耗が大きいと横断形が變化し雨水が流れ難くなる惧があるから、始めから路頂高を高くて置く。
- (2) 車輪との間の摩擦係数の小なる路面は、交通安全の爲に路頂高を低くして置く。

以上は交通量、雨量の大小によつても多少の影響を受けるが、(1)、(2)の要點から導いた藤井公式<sup>1)</sup>は次の様である (圖-12.33)。

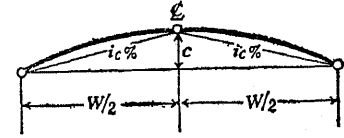


圖-12.33 道路横斷面

$$i_c = 5.14 r^{1.15} \omega^{0.65} \dots \dots \dots (12.89)$$

但し  $i_c$ : 横斷勾配(%),  $r$ : 路面に於ける流水の Bazin 公式による粗度係数,  
 $\omega$ : Dorry 硬度試験による磨耗量。

次に米國に於ける 2, 3 の實驗式を挙げると<sup>2)</sup>,

$$\text{Rosewater 公式: } c = \frac{W(100-4i_c)}{1,000 C} \dots \dots \dots (12.90)$$

但し,  $c$ : 路頂高(ft.),  $W$ : 鋪裝幅(ft.),  $i_c$ : 横斷勾配(%),  
 $C$ : 定數にして、ブロック鋪裝には 6, シートアスファルト鋪裝には 5。

$$\text{Dare 公式: } c = \frac{W(100-4i_c)}{6,300 + 50i_c^2} \dots \dots \dots (12.91)$$

但し、上式の  $c$  は主としてアスファルト又はコンクリート鋪裝に對するもので、  
 ブロック鋪裝には上式の値の 5/6 を採用する。

従來は一般に排水を重要視し、相當大なる路頂高を用ひたが、  
 近來路面仕上が良くなり且自動車速度が増した爲に、交通安全を考慮し次第に路頂高を小にする傾向にある<sup>3)</sup>。我國の規定では路面の種類に應じ横斷勾配の値を次の如く定めてゐる<sup>4)</sup>。

1) 藤井真澄: 土木工学, 1933年5月, 頁68.  
 2) E. L. Leeming: 1933, pp. 32-35. J. H. Bateman: 1934, p. 179,  
 3) J. H. Bateman: 1939, p. 74.  
 4) 道路構造令並同細則改正案要項, 第20,

道路横断勾配は次の標準に依るべし。

路面の種類	横断勾配
砂利道	4% 乃至 6%
水締マカダム道	3% 乃至 5%
瀝青塗装道	2.5% 乃至 4%
瀝青マカダム舗装道	2.5% 乃至 3%
瀝青コンクリート舗装道	2% 乃至 2.5%
塊舗装道	2% 乃至 2.5%
コンクリート舗装道	1.5% 乃至 2%
シート・アスファルト舗装道	1.5% 乃至 2%

(2) 横断形状 (Camber)

一般に雨水の流量は路頂より路端に近づくにつれて増加するから、之に應じて路端に近づく程横勾配を急にする必要がある。路面上の流水深を一定にすると云ふ条件のみからは、3次拋物線が理想的であるが、交通量の多い路頂附近は流水による悪影響が大きく且摩擦し易い爲に流水深を増す惧がある。故に実際上は流水深が路頂附近で小さく路端にゆきにつれて漸増する如き横断形状が望ましく、2, 3 の實例を列挙する。

(a) 双曲線 (Hyperbola). 復興局にては R. S. Beard の考案になる次の如き双曲線を一般舗装道路に採用した。

$$y = \frac{c}{16} \left( -7 + \sqrt{49 + 1920x^2/W^2} \right) \dots\dots\dots (12.92) 1$$

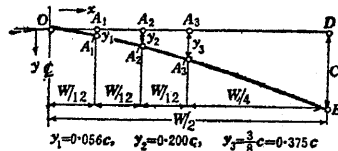


圖-12.34 双曲線横断形状

之は圖-12.34の如く路頂を頂點とし路幅の1/4點の落高を3/8cとする双曲線にして<sup>2)</sup>、普通はOA<sub>3</sub>を3等分した各點の落高よりA'1, A'2, A'3を定め、A'3Eを直線として曲線形を設定する。尙時にはA<sub>3</sub>點の落高を3/7cとする双曲線を

1) 牧野雅樂之丞：道路工学，1931，頁 98—104。  
2) 非對稱横断形に就いては，淺田喜久男：土木學會誌，1939，頁 384—386 参照。

用ひることがある。

(b) 拋物線 (Parabola). 復興局にて砂利道、碎石道に採用した曲線は、

$$y = cx/W + 2cx^2/W^2 \dots\dots\dots (12.93) 1$$

之は圖-12.35の如く1/4點の落高を3/8cとする拋物線であるが、路頂にて

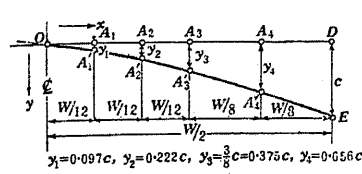


圖-12.35 拋物線横断形状

( $dy/dx$ )<sub>x=0</sub> = c/Wなる傾斜を有するから、之を中心線の左右對稱に用ひることにより中央に勾配の峰を生ずる。普通はOA<sub>3</sub>を3等分、A<sub>3</sub>Dを2等分した各點の落高を求めて圖の如く設定する。

(c) 圓弧 (Circular arc).

兩路端及び路頂を通る圓弧の場合には、横断勾配  $ie = 2c/W$  が 1/25 より小ならば、拋物線  $y = c(2x/W)^2$  に極めて近い曲線となる。Besson<sup>2)</sup> は路頂にて交る2圓弧を用ひ1/4點の落度を c/3 とすることを提唱してゐる。

(d) 直線 (Straight line). 路頂と路端を直線で結ぶ場合と、路頂附近を曲線としその兩側に直線を接續する場合がある。以前は狭い街路にのみ用ひられたが、近來は完全舗装をした自動車道路等にも用ひられる<sup>3)</sup>。

従來は一般に舗装道路には式-12.92の双曲線が、又砂利道及び碎石道には式-12.93の拋物線が適すると云はれ、夫々廣く用ひられて來たが、最近注目されるものに次の指數公式がある<sup>4)</sup>。

$$y = c(2x/W)^n, \quad \text{但し } n=1 \sim 2 \text{ にして普通は } 1.4 \text{ 又は } 1.5 \dots\dots\dots (12.94)$$

之は形が簡單で記憶し易く、而も n を適當にとることにより上記 (a)~(d) の曲線と實用上差異のないものが得られて、頗る便利である。

尙道路の横断形状に就いては、近來曲線設置の簡便又は排水及び交通の安全等の立場から、各國に於て種々の新研究が行はれて

1) 牧野雅樂之丞：1931，頁 98—104。  
2) B. L. Leeming. 1933: p. 34.  
3) E. Gerlach: 1939, S. 8—10 u. 34.  
4) 久野重一郎：土木學會誌，1933，頁 627—640。

るる1)。

歩道は主として排水の目的から、車道に向つて  $1/30 \sim 1/60$  の片勾配を附けるのが普通である。

---

1) 藤井真澄：土木工學，1933年5月，頁68-69；6月，頁56-58。

工藤久夫：土木學會誌，1936，頁49-55。

久野重一郎：土木學會誌，1936，頁1083-1095。

F. Cnare：E. N. R.，Vol. 118，1937，pp. 922-923。

R. D. Goodrich：E. N. R.，Vol. 119，1937，p. 170。