第十六編　路線測量
(Route Surveying)

第一章　概　　說

322　路線測量の定義及び路線選定の方針

路線測量 (Route Surveying) とは鐵道、道路、運河等の交通路は勿論水力電氣、上下水道の導水路、送電線路等の如く幅狹く細長き區域の測量を云ふ。特別の場合の外、三角測量に依らず通常の經緯測量に依り唯直線部分 (Tangent) の外曲線 (Curve) 又は勾配 (Grade) を用ひて障害物を越す。

路線を選定するに當つて最も考慮すべき事は

（1）　經濟上

（a）　交通量又は輸送量の最大なる路線を選ぶ事

（b）　之を輸送する費用が最小なる事

（2）　技術上

（a）　距離が最短である事

（b）　勾配が最緩で且つ曲線が最も少き事

（c）　建設費の最小なる事

等で前者を經濟調査 (Economic Survey)、後者を技術調査 (Engineering Survey) と云ふ。此の兩者は相互に關係を有するのみならず共の何れを主とすべきかは路線の種類及び性質に依て大に異なり、一般には公共に關係を有する程度の多きに從ひ經濟調査を主とする。今玆では經濟調査に就ては本書の範圍外であるから述べない。次に土木技術上から考へても距離、勾配、曲線

は相互に關聯して起り、本邦の如き山地では之等を同時に最小ならしむる事は先づ不可能で、勾配及び曲線を緩和せしむれば距離を增し建設費を增加し、建設費を輕減すれば勾配及び曲線は强められるを常とする。即ち一定數量を輸送するには建設費の程度、勾配及び曲線を如何なる限度に收めるかを調べるのが路線選定の目的である。

最も普通な路線に就て述ぶれば

（1） 鐵道は現今輸送量最も多く從て經濟的影響も大きく輸送費も最大である。されば勾配及び曲線には嚴重な制限を設け、輸送費を輕減すると共に安全度を增す樣にされ、之が爲に起る工費の增加を厭はない。

（2） 道路は輸送量、經濟的影響、之に次ぐもので勾配及び曲線に制限を設け乍ら同時に建設費を考慮に入れ、交通量の多い都會地の街路（Street）は稍鐵道と類似した關係を有し、交通量の少ない田舎道程建設費の最小なる事を求める。又特殊の目的を有する道路例へば近來各所に築造されて居る自動車専用道路、或は遊覽道路（Boulevard Highway）は各其の目的に依て選定すべきである。

（3） 運河（Canal）は水の性質上勾配は著しく制限せられ、曲線も極めて緩なるを要するが之が爲には距離を犧牲にする事が多い。

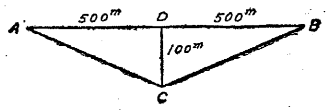
（4） 水力電氣の導水路は成るべく水の有する Energy を消失せしめない樣に距離及び勾配を最も考慮して之が爲に生ずる建設費の增加を厭はない。

（5） 電信、電話、送電線路の類は建設費の增加を考慮に入れ、他の事項は無視する事が多い。

323 路線測量に重要なる要素

（1） **路線の距離**（Distance） 單に距離丈けを考へれば兩地點を連ぬる

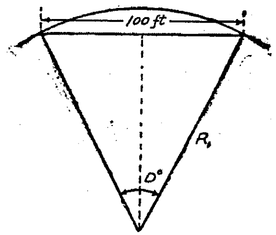
距離が最短なる事が宜しいが、路線の建設費又は輸送費は單に距離のみに關係せず、寧ろ地勢の如何に依ては迂回線（Detour）を取つて却て建設費又は輸送費を減じ得る。殊に鐵道又は自動車交通を考に入れた近代道路にては此の距離は左程重要な問題ではない、交通量の少ない田舎道では距離の近い方が宜い。迂回線を取つても距離が左程延びない事は次の例でもよく判る。



第 741 圖

第 741 圖に於て $AB=1000$ m, $CD=100$ m とすれば迂回線に依る距離の增加は僅かに $ACB-ADB=20$ m に過ぎない。

（2） **路線の曲線**（Curve） 中心線が曲線をなす場合は一般に圓弧を用ふるか其の主なる部分に圓弧を用ふ。曲線の表はし方には二種類あり、其の一つは半徑の長さを以て表はす所謂半徑曲線（Radius Curve）で此の場合は半徑の小なる程急曲線（Sharp Curve）となる。他の一は専ら米國で用ひられる所謂角度曲線（Degree Curve）であり、米國の鐵道工學の方面では第 742 圖の如く 100 ft. の弦が中心にて夾む中心角の度數で表す。依て此の場合は角度の大なる程急曲線となる。半徑と度數との關係は



第 742 圖

R_1=曲線の半徑　D=曲線の度數

とすれば

$$\sin\frac{D}{2}=\frac{50}{R_1}\qquad R_1\,(\text{in ft.})=50\operatorname{cosec}\frac{D}{2}\quad\cdots\cdots\cdots(384)$$

米國の道路工學の方面では之と少し違つて 100 ft. の弧が中心にて夾む中心角の度數で表す、此の場合の半徑を R_2 とすれば

$$R_2=\frac{100}{D_r}\quad (D_r=\text{Angle in Radians})\cdots\cdots\cdots\cdots(385)$$

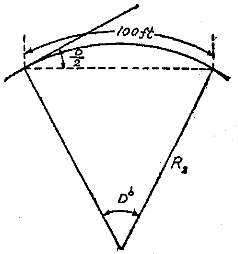
$$R_2=\frac{5729.578}{D}\fallingdotseq\frac{5730}{D}\cdots\cdots\cdots\cdots(386)$$

此の定義の相違に依る差異は緩曲線（Flat or Gentle Curve）に對しては省略し得るが、急曲線にては相當の差を生ずる。例へば

$D=1°$ の場合

$R_1=5729.65,\qquad R_2=5729.58$

で此の程度の曲線では兩方共相等しと見られる。



第 743 圖

曲線は直線に比して見透しが利かず且つ遠心力の爲に直線部に比して常に脫線衝突等の危險があり、且つ路線及び車輛に種々な障害を生じ輸送速力を遲らせる。特に自動車交通を主とする近代道路の如き曲線に依て其の速力を制限されて了ふ。然し一方本邦の如き山地では曲線の除去は不可能であり直ちに工費の增加を來すので、路線の價値、輸送量及び輸送方法等を考慮に入れて選定する。曲線半徑を如何程とすべきかは專ら鐵道或は道路工學の問題で各其の目的に依て最小曲線半徑（Minimum Radius）を定め測量をする。例として各路線の曲線に關する規定を見ると

(1) **國有鐵道建設規程**（昭和 4 年 7 月鐵道省令第 2 號）

第 2 條　本規程の適用に關し線路區間を左の標準に依り甲線、乙線及丙線の三種に區別す

甲線　幹線と認むべきもの又は運輸量特に大なるもの

乙線　準幹線若くは主要なる連絡線と認むべきもの又は運輸量大なるもの

丙線　主要ならざる連絡線又は地方線と認むべきもの

前項の線路區間の種別は別表に依る（別表省略）

第 11 條　本線路に於ける曲線の半徑は次の大さ以上たることを要す

甲線　300 米（特別の線路 400 米）

乙線　250 米

丙線　200 米

前項の半徑は分岐に附帶する場合に於て左の大さ迄之を縮小する事を得

甲線　160 米　　乙線　160 米　　丙線　100 米

停車場に於ける本線路にして乘降場に沿ふ部分の曲線の半徑は左の大さ以上たることを要す但し乘降場兩端の部分に限り之に依らざることを得

甲線　500 米　　乙線　400 米　　丙線　300 米

註　分岐に附帶する曲線とは一線より他の一線が分岐する場合其の分岐に於ける曲線及分岐後該曲線を並行ならしめる爲に要する曲線を含むものにして後者の半徑は成るべく第 2 項の限度より大ならしむるを可とす

第 46 表　鐵道省標準曲線表

半徑（米）	120.	150.	200.	250.	300.
	350.	400.	500.	600.	700.
	800.	1,000.	1,200.	1,400.	1,600.

第 12 條　側線に於ける曲線の半徑は 100 米以上たることを要す但し特別の場合は 80 米迄之を縮小することを得

註　本條但し書は運轉する車輛を制限する場合に限り之を適用す

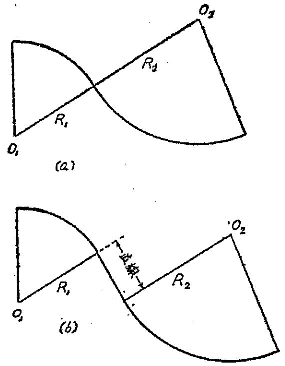
第 14 條　本線路に於ける反對方向の曲線（分岐の場合を除く）に於ては緩和曲線の間に 10 米以上相當の長さの直線を挿入することを要す

前項以外の反對方向の曲線の間には相當の長さの直線を挿入することを要す

(2) **道路構造令**（大正 8 年12月 6 日 內務省令第 24 號）改正（大正11年10月14日 內務省令第 26 號）

第 7 條　國道及府縣道の屈曲部中心線の半徑は 55米以上と爲すべし但し特殊の箇所に於ては 11 米迄之を縮小することを得

人家連檐又は連檐すべき箇所の屈曲部に於ける凸角は相當之を剪除し前項の規



第 744 圖

定に依らざることを得

半徑 35 米以下の曲線は背向直接を避け兩曲線間に相當の直線を設くべし

背向直接（Reverse Connection）とは第 744 圖 (a) の如き構造で、遠心力其他の關係から (b) の如くしなければ危險である。

(3) **街路構造令**（大正8年12月6日內務省令第25號）

第 1 條　本令に於て街路と稱するは地方長官の指定する市內及市に準ずべき地域內に於ける道路を謂ふ

第 6 條　街路の屈曲部に曲線を設くる時は特殊の箇所を除くの外其の中心線の半徑は 90 米以上と爲すべし

(4) **道路構造に關する細則**（昭和 4 年 3 月內務省）

第 2 道路設計に關する分

第 7 條　道路の屈曲部中心線の半徑 40米以下の背向直接を避け兩曲線間に 20 米以上の直線部を設くべし

(5) **軌道建設規程**（大正 12 年 12 月 29 日 內務、鐵道省令）改正（昭和 5 年 6 月 內務、鐵道省令）

第 15 條　本線路の曲線半徑は 11 米より小なることを得ず

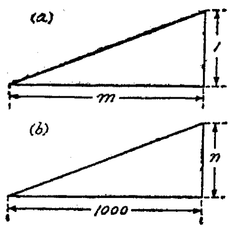
地形の許す限り大半徑の曲線を用ふべきである。又綱の强度が其の最弱點で定まる樣に、線路の輸送速力は曲線に依て定まる場合が多いから一ケ所の急曲線でも全體に影響する。

以上路線の距離及び曲線卽ち平面上から見た形を線形（Alignment）と云つて居る。

(3) 路線の勾配（Grade）　勾配は其の中心線が傾斜した場合に其の高さと水平距離の比を云ふ。通常第 745 圖 (a) の如き場合には $1:m$ 或は

第 47 表　勾配表

千分數 $\frac{0}{00}$ (n)	勾配 $\left(\frac{1}{m}\right)$	仰角 ° ′ ″	千分數 $\frac{0}{00}$ (n)	勾配 $\left(\frac{1}{m}\right)$	仰角 ° ′ ″	千分數 $\frac{0}{00}$ (n)	勾配 $\left(\frac{1}{m}\right)$	仰角 ° ′ ″
0.1	1/10000	0. 0.20	15	1/67	0.51.30	38		2.10.30
0.2	1/5000	0. 0.40	16	1/62	0.55.00	39		2.14. 0
0.3	1/3333	0. 1.00	17		0.58.30	40	1/25	2.17.30
0.4	1/2500	0. 1.20	18	1/55	1. 1.50	41		2.20.50
0.5	1/2000	0. 1.40	19		1. 5.20	42		2.24.20
0.6	1/1667	0. 2.00	20	1/50	1. 8.40	43		2.27.40
0.7	1/1429	0. 2.20	21		1.12.10	44		2.31.10
0.8	1/1250	0. 2.50	22	1/45	1.15.40	45	1/22	2.34.40
0.9	1/1111	0. 3.10	23		1.19. 0	46		2.38. 0
1	1/1000	0. 3.30	24		1.22.30	47		2.41.30
2	1/500	0. 6.50	25	1/40	1.26.00	48		2.44.50
3	1/333	0.10.20	26		1.29.20	49		2.48.20
4	1/250	0.13.50	27	1/37	1.32.50	50	1/20	2.51.40
5	1/200	0.17.10	28		1.36.10	55	1/18	3. 8.50
6	1/167	0.20.40	29		1.39.40	60		3.26. 0
7	1/143	0.24. 0	30	1/33	1.43.10	65		3.43.10
8	1/125	0.27.30	31		1.46.30	70		4. 0.10
9	1/111	0.31. 0	32		1.50.00	75		4.17.20
10	1/100	0.34.20	33	1/30	1.53.20	80		4.34.30
11	1/91	0.37.50	34		1.56.50	85		4.51.30
12	1/83	0.41.10	35		2. 0.20	90	1/11	5. 8.30
13	1/77	0.44.40	36		2. 3.40	95		5.25.40
14	1/71	0.48.10	37	1/27	2. 7.10	100	1/10	5.42.40



第 745 圖

$\frac{1}{m}$ と記す、之は高さ 1 に對して水平距離 m なることを示す。 Meter 制では Meter per km で勾配を表すから第 745 圖 (b) の如く $\frac{n}{1000}$ となる、從て分母は常に同じだから n 丈けで表はす事もある。國有鐵道では n を以て、又道路にては $\frac{1}{m}$ を用ひて居る。第 47 表は $\frac{1}{m}$ と n との關係を示す。米國では Feet per Chain で勾配を表はすから $\frac{n}{100}$ 即ち $n\%$ 勾配 (Percent Grade) である。

勾配は路線の輸送量に最も重大なる影響を有し、勾配抵抗は直に牽引力を減少するか速力を減じ、又車輛の磨滅を增大する。牛馬車交通を主とする田舍道にては勾配は殆んど決定的の要素であるが、自動車交通を主とする場合は勾配は前者程重要でなく、成る丈け曲線の少ない方が宜い。鐵道では車輪の摩擦で走るので勾配には嚴重な制限を置いて居る。次に各路線の勾配に關する規定を示す。

(1) 國有鐵道建設規程

第 15 條　本線路に於ける勾配は左の限度より急ならざることを要す但し乙線に在りて特別の場合は其の限度を $\frac{30}{1000}$、電車專用線路に在りては線路區間の種別を問はず其の限度を $\frac{35}{1000}$ とす

甲線 $\frac{25}{1000}$　（特別の線路 $\frac{10}{1000}$）

乙線 $\frac{25}{1000}$

丙線 $\frac{35}{1000}$

$\frac{25}{1000}$ より急なる勾配にして曲線を伴ふ場合に在りては前項の限度を越えざる樣相當

の曲線補正をなすことを要す停車場に於ける本線路の勾配は其の本線路の最端轉轍器（最端轉轍器外が下り勾配なる場合には之より外方 20 米の箇所）の間及列車の停止區域に於て $\frac{3.5}{1000}$ より急ならざることを要す但し車輛の解結を爲さざる本線路にして列車の發着に支障なき場合は $\frac{10}{1000}$ に到ることを得

側線の勾配も亦 $\frac{3.5}{1000}$ より急ならざることを要す但し車輛を留置せざる側線は之に依らざることを得

註　本條第 3 項の但し書は電車專用驛、簡易なる驛の如き場合に之を適用す

第 43 表　鐵道省標準勾配表

千分率	25.	22.	20.	18.	16.	15.	14.	13.
	12.	11.	10.	9.	8.	7.	6.	5.
	4.5	4.	3.5	3.	2.5	2.	1.8	1.6
	1.4	1.2	1.	0.8	0.6	0.4		

第 16 條　線路の勾配變化する箇所には勾配の變化が $\frac{10}{1000}$ 以上の場合に於て左の大さ以上の半徑を有する縱曲線を挿入することを要す

半徑 800 米以下の曲線の場合　4000 米

其の他の場合　3000 米

(2) 道路構造令

第 6 條　國道の勾配は $\frac{1}{30}$、府縣道の勾配は $\frac{1}{25}$ より急なることを得ず

特殊の箇所に於ては前項勾配を $\frac{1}{15}$ 迄、山地にして已むを得ざる箇所に於ては 70 米以內に限り $\frac{1}{10}$ 迄と爲すことを得。道路の勾配が變移する箇所に於ては相當の縱斷曲線を設くべし

坂路長きときは相當の距離每に $\frac{1}{50}$ より緩なる勾配を有する相當の區間を設くべし

(3) 街路構造令

第 5 條　車道の勾配は特殊の箇所を除くの外 $\frac{1}{30}$ より急なることを得ず

(4) 道路構造に關する細則

第 4 條　道路には最小縱斷勾配を附すべし

前項の勾配は $\frac{1}{200}$ を以て標準とす、但し街路其の他特殊の箇所に於ては相當之を緩にすることを得

第 5 條 勾配 $\frac{1}{25}$ より急なる坂路の長は次の式に依り算出せる制限を超ゆる場合に在りては其の制限長以内毎に $\frac{1}{50}$ より緩なる長 40 米以上の區間を設くべし

$$S=\left(\frac{80}{10+3i}\right)^5+4i \cdots\cdots (387)$$

S＝制限長（米）　　i＝勾配（%）

前項の勾配二つ以上連續する坂路に在りては其の勾配に對する制限長の比例に依り之を一勾配の坂路の長に換算し前項の規定を準用す

(5) 軌道建設規程

第 16 條 本線路の勾配は $\frac{40}{1000}$ より急なることを得ず、但し特殊の箇所に於ては $\frac{67}{1000}$ 迄と爲すことを得

停留場に於ける本線路の勾配は $\frac{10}{1000}$ より急なることを得ず

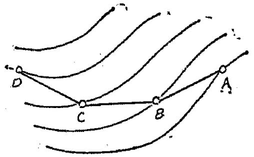
車輛の牽引力は勾配に依て最も影響を受ける、從て牽引力は路線中の勾配に依て支配される。斯様に車輛の牽引力を制限する勾配を制限勾配 (Ruling Grade) と云ふ。地表の平均勾配が制限勾配以下である時は簡單に路線を布設し得るが、若し地表の勾配が制限勾配より急であれば特別の考慮を要する。

第 746 圖にて

h＝相隣る等高線の間隔

S＝制限勾配　　　D＝路線の長さ

とすれば

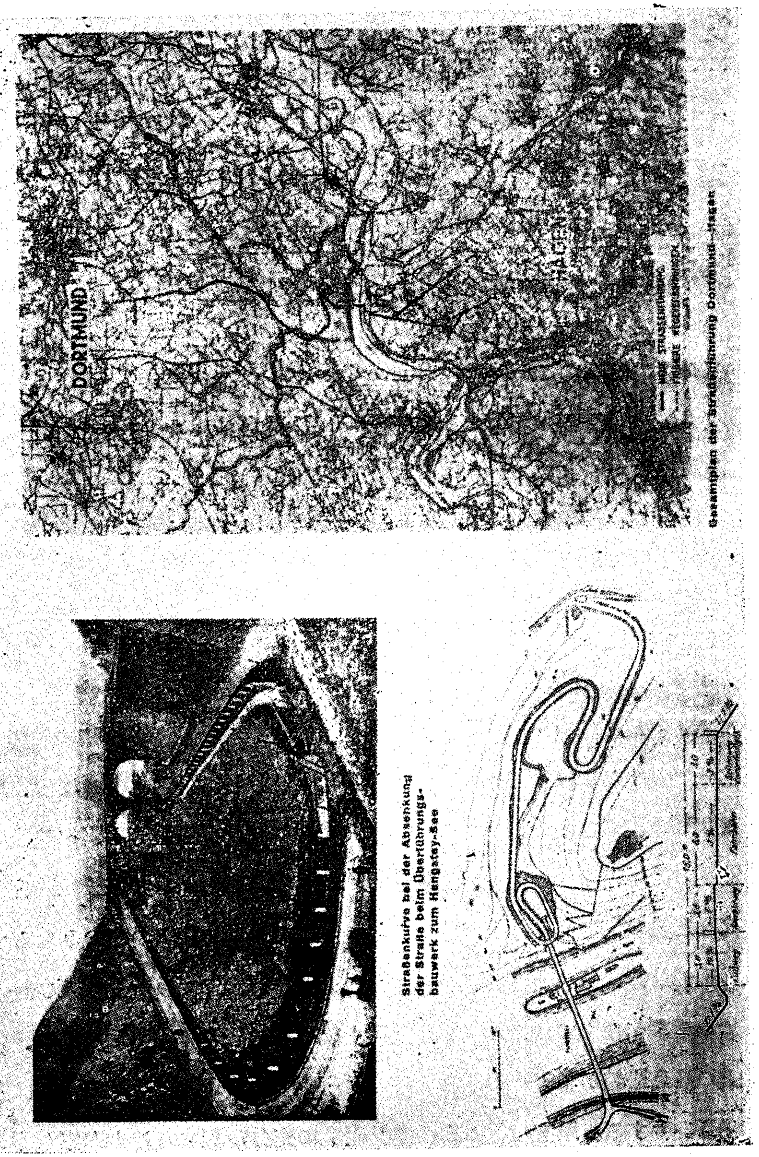


第 746 圖

$$S=\frac{h}{D} \quad \therefore \quad D=\frac{h}{S}=const \cdots\cdots (388)$$

依て D に相當する長さで基點から順次に等高線を切る點を求むれば宜い。D の和が二點間の距離に比し非常に長ければ、鐵道では折り返し (Switch-back) 或はループ線 (Spiral Line) を用ひて居る。道路では斯んな場合普

第 747 圖 DIE NEUE DURCHGANGSSTRASSE DORTMUND-HAGEN



からの九十九折曲線(Zigzag or Hairpin Curve)を用ひて居るが、之は道路にて最も危險な箇所となるから勾配の關係に注意を要する、近頃は道路にループ線も使はれ短距離ならば隧道も差支へ無い。第747圖は道路に於けるループ線の例である。

324 路線測量の種類

路線測量の作業を分けて次の三つとする。

(1) 踏査 (Reconnaissance)

(2) 豫測 (Preliminary Surveying)

(3) 確定測設 (Final Location or Location Surveying)

第二章 踏　　査

325 踏査

路線を設くる場合には先づ其の豫定地一帶を歩行或は其他の方法に依て調査する、之を踏査と云ふ。踏査の目的は路線の通過する大體の位置を決めるにある。或る地方に最良の路線を設くるには非常な注意と熟練とを要する。之を判斷するには主任技術者が自ら詳しく踏査し、附近一帶の地形、地質、河川の本流及び支流、分水嶺の位置、峠の形狀及び位置等を調べ建設費を廉くするのみならず維持費、運搬費を最小ならしめ、然も其の土地一帶に最も交通運輸の便を與へなくてはならない。夫で單に技術上の事のみならず旅客の交通狀態、貨物の性質、數量を調べ、路線開通後に於ける變化及び將來の發展をも調べなくてはならない。技術上最短路線は普通急勾配を伴ふ、又技術上の最良路線が地方一帶の發展と關係薄き場合があり、此の撰定には多大の注意を要する。踏査を行ふ人は路線選定に充分の經驗ある人が宜しく、其の

工費豫算を他日工事費と比較した時其の誤差の成る可く小なる人が宜い。

踏査を行ふ時は充分綿密に地形を調べ、此れ以上良好な路線無しと云ふ所まで調べる。他日工事に着手して更に良好な路線を發見するが如き事があれば踏査の費用に十數倍する損失となる。故に如何に綿密に行つても過ぎる事は先づ無い。踏査の場合の路線の兩端は勿論定つて居るが其の中間にては通過すべき主要點 (Controlling Point) が定つて居る場合と居ない場合とがある。

326 踏査用器械及び器具

(1) 陸地測量部地形圖……$\frac{1}{25,000}$, $\frac{1}{50,000}$, $\frac{1}{200,000}$

(2) 距離測定………卷尺、步數計、測距儀、主に步測又は目測に依つて居る。

(3) 方向測定用……裝稜羅盤、懷中六分儀、懷中羅盤。

(4) 高低測定用……Aneroid 氣壓計、掌準器、測斜水準器。

(5) 其他……………双眼鏡、寫眞器、救急藥、案內書、野帳。

327 路線撰定の注意

(1) 踏査は狹い區域でなく廣い範圍に亘つて行ふ事。

(2) 踏査する時は公平無私の心を以て之に望まなくてはならない。土地の人の言論意志は能く判斷し、宣傳又は運動の類を見分け徒らに盲從しない事。

(3) 土地の廣闊なる所、步行に便利な所、變化の少ない所は路線の設定に便で、藪、森林等の障害のある所、見透しの悪い所は不便と考へて了ふ弊害がある。

(4) 河川は其の水源、流れの方向、勾配、流速、洪水位等をよく調べ氾

濫の有無を知る事。

(5) 河を横斷する場合に於ては上流にてなせば、橋の長さは短くなるが數が多くなり、之に反して下流に於てなす時は數は少くなるが其の長さが長くなる。

(6) 架橋の位置は成るべく流心に直角ならしめる事。

(7) 成るべく現在ある道路に沿ふて撰定すれば建設費も廉く工事も容易である。

(8) 河は一般に最良路線の位置を示す事が多い。

(9) 長距離に亘る切取は力めて避ける事。

(10) 勾配の落込は地勢の許す限り之を設けない事。

(11) 水田、畑地、山林、宅地等は地價を考慮に入れて撰定し、日本人の性質として墓地の移轉を厭がるから墓地、寺院は成るべく避ける事。

(12) 水田中の深い切取は勉めて避けること。

(13) 在來存在する溝渠、道路の附替を考へる事。

(14) 切取と盛土とは成るべく短距離にて平均せしめる事。

328 路線撰定に於ける錯覺 (Optical Illusion)

踏査に當り錯覺を生じ易いから注意せねばならぬ。

(1) 自己の進む方向は近く見え、左右の方向は遠く見える。

(2) 直線は實際より短く見え、曲線は實際より曲つて見える。

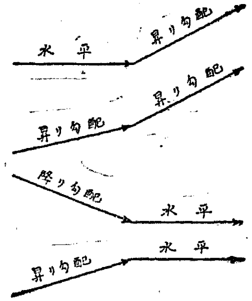
(3) 險しい山は一般に急曲線を要し、緩傾斜の山は緩曲線を要する樣に思はれるが、實際は却つて急曲線を要する場合がある。

(4) 小なるものゝ側に大なるものがあれば殊更大きく見え、其の反對も成立する。

(5) 急傾斜の谷は殊更深く見え緩傾斜の谷は殊更淺く見える。

(6) 傾斜した土地に立つて上方を視れば 60° の傾斜は殆んど垂直に、45° の傾料は 75° 位に見える、即ち一般に眼で見た傾斜の $\frac{2}{3}$ が實際の傾斜である。高所に立つて傾斜せる低地を視下す時は此の傾向が著しい。

(7) 坂路を踏査する時水平地から昇り勾配 (Up Grade) に來れば實際より急に思はれ、初めより昇り勾配で更に急になつた場合は割に緩勾配に思はれる。叉初め降り勾配 (Down Grade) にて水平地に達すれば其の水平地は恰も昇り勾配の如く感ぜられ、之に反し初め昇り勾配で後水平地となつた時には恰も降り勾配の如く思はれる。



第 748 圖

(8) 步行困難な所、榛莽地、或は絕壁の所は工事を殊更に困難と思ひ、之に反し火山麓等の如き自然に傾斜するものは工事を容易なりと思ふ傾向がある。

329 圖上測設 (Paper Location)

圖上測設とは地形圖の上に一定の勾配、曲線を持つ路線を測設する事を云ふ。本邦にては全國到る處に陸地測量部の $\frac{1}{50000}$ 或は $\frac{1}{25000}$ の地圖が完備して居るから、路線撰定の爲め實地を踏査するに先ち地圖上に路線を記入し地形複雜にして撰定に困難を感ずる場所或は圖上測設に依て斷定的の路線を得られない場所を踏査の時入念に調べる、要するに踏査の時補助として用ふるものである。實地踏査に於て斯くして決定した路線が差支へ無ければ直

ちに實測に移るが、普通の場合は次に述べる豫測を行ひ大體前の中心線を標準として 100～500 m 位の幅で $\frac{1}{2000}$ 程度の地形圖を作り、再び此の地形圖に路線の中心線を入れ、一方中心線の縱斷面圖を作り施工基面を入れ中心線を確定する。斯くして實測卽ち確定測設に取掛る。

第 749 圖（折込）は北海道帝國大學工學部土木一年目學生が行つた道路圖上測設の演習の例である。

第三章 豫測 (Preliminary Survey)

330 概 說

旣に踏査を終つて路線を測設すべき位置が略定まつた時は此の路線を辿つて假りに折測線より成る中心線を設け、其の中心線に沿ふて基點からの距離並びに高低を定め、併せて中心線に直角なる方向に橫斷面測量を行つて全線に涉る地形を調査する、之等を總て豫測と云つて居る。此の豫測に依て愈々路線の位置を技術的に定める。若し二點を連絡する線に比較線がある時は此の豫測に依て其の優劣を定める。

豫測に當つて注意すべき事は次の通りである。

（1） 豫め關係市町村長に立入り區間、豫定日數其他必要の事項を通知すること。但し土地立入りは土地收用法の規定に基き地方長官の許可を受け、知事は公報を以て之を告示する。但し政府の事業である場合は主務大臣が地方廳に通知をする。

土地收用法 （明治 33 年 3 月 7 日 法律第 29 號） 改正 （大正 3 年法律第 15 號 昭和 2 年法律第 39 號）

第一條 公共の利益と爲る可き事業の爲め之に要する土地を收用又は使用するの必要あるときは其の土地は本法の規定に依り之を收用又は使用することを得。

本法に於て使用と稱するは權利の制限を包含す。

第二條 土地を收用又は使用し得る事業は左の各號の一に該當するものなることを要す。（一、二、三、及び五略す）

四、鐵道、軌道、索道、道路、橋梁、河川、堤防、砂防、運河、用惡水路、溜池、船渠、港灣、埠頭、水道、下水（下略）

第九條 事業の準備の爲め必要あるときは起業者は事業の種類及び立入るべき土地の區域を定め地方長官の許可を得て土地に立入り測量又は檢査を爲すことを得、但し此の場合に於て宮内省又は國の起業に係るときは宮内大臣又は主務大臣は之を地方長官に通知すべし。

地方長官前項の許可を與へ又は通知を受けたるときは起業者事業の種類及立入る可き土地の區域を公告し又は之を其の土地占有者に通知すべし。（下略）

第十條 前條の場合に於ては起業者は立入るべき日より五日前に其の日時及び場所を市町村長に通知すべし。

市町村長は之を公告し又は其の土地占有者に通知すべし。

邸内に立入る場合に於ては起業者は豫め其の占有者に通知すべし。

日出前日沒後は起業者は占有者の承諾あるに非れば邸内に立入ることを得ず。

（2） 要塞地帶内を測量する場合は前項の外更に陸軍大臣の許可を受くるを要する。

要塞地帶法 （明治 32 年 7 月 15 日 法律第 105 號） 改正 （大正 4 年 6 月 法律第 17 號）

第七條 何人と雖も要塞司令官の許可を得るに非ざれば要塞地帶内水陸の形狀を測量撮影、模寫、錄取し又は要塞地帶内を航空するを得ず（下略）

第十六條 各區内に於て陸軍大臣の許可を得るに非れば新設若は變更することを得さるもの次の如し

堤塘、運河、道路、橋梁、鐵道、隧道、永久棧橋

要塞地帶法施行規則 （明治 33 年 6 月 16 日陸軍省令第 14 號）

第七條 許可を受くべき事項にして別に法令の規定に依り主務官廳の許可を要するものは先づ許可を受け許可書の謄本を添付することを要す

（3） 愈々實測に至る迄の間は成るべく樹木を伐採せず、又家屋其他の構造物を破壞しない事、若し之を損傷した場合には其の損害を補償する事。但し山林原野等にては榛莽地は伐採して差支へ無いが、其の時は關係市町村の許可を受け其の損害は補償する。

土地收用法

第十一條 第九條の規定に依る測量又は檢査の為め必要あるときは起業者は行政廳の許可を得て障害物を除去することを得
前項の規定に依り障害物の除去を為す場合に於ては起業者は三日前に其の所有者及占有者に通知すべし

第四十七條 土地所有者及關係人の受くる損失は起業者之を補償すべし
損失の補償は各人別に之を為すべし但し各人別に見積り難き時は此の限に非ず

第四十八條 收用すべき土地物件に就ては相當の價格に依り其の損失を補償すべし
使用すべき土地に付ては其土地及近傍類地の料金に依り其の損失を補償すべし

（4） 總て測量は單に計畫的のもので此れが實現は未定で世に發表を避けるもので地方民の掛引に相手にならない事、測量が始まれば有為無為の徒集り來り問合せ又は要求をなすものである。夫で測量の時は特に注意すべきである。

豫測に於ける測量隊の編成は次の三班となる。

（1） 中心線或は轉鏡儀班（Center or Transit Party）

（2） レベル班（Level Party）

（3） 地形測量班（Topographic Party）

331 中心線或は轉鏡儀班（Center or Transit Party）

之は總ての測量隊の先頭に立つて路線の中心線を定める班で、最も重要なものである。

此の班の人員は主任と轉鏡儀手を兼ねたものが 1 名、鎖手 2 名、旗持 1 名、杭打人夫 1 名、外に材料運搬夫、伐採夫 3～5 名、合計 8～10 名である。所要器械は Transit 1 臺、Level 1 臺、Pole、測鎖、卷尺、杭、槌、旗釘、其他鉈、鋸、鎌等の伐採用器具、野帳、双眼鏡、製圖器等である。

測量に於て注意すべき事項は次の如し。

（1） 豫測では中心線を打つが曲線測設をなさず折測線のみで進めて行く、但し實際に曲線を測設した場合を考へて折測點の位置をきめる、又 1 鎖毎に中心杭を打たず視準の利く限り伸ばし最高 500 m 位とする。

（2） 中心杭（Centre Peg）の大さは 5×5×80 cm 位を用ふ。

（3） 距離は cm 迄讀み、交角（Intersection Angle）は倍角を觀測し其差 40″ 以內位ならば宜い。

（4） 距離が遠くなるから豫め信號の協定が必要である。

（5） 各測點毎に磁針の方位を測り檢照すること。

（6） 晝間測量したものは其の夜整理し製圖する、若し誤差があれば翌日直ちにやり直す、後日誤差を發見すれば再測量をするを要する。

332 Level 班

之は Transit 班の定めた中心線に沿つて路線の縱斷面圖を作る為に 1 鎖毎に高低測量を行ふ。若し中心杭の中間に於て地形の著しい變化があれば此處も併せて高低測量を行ふ。高低測量を行ふには豫め水準基標（Bench Mark, B.M.）を設けて各點の高低を定める。但し全國的に陸地測量部の水準點があるから成る可く其の標高を基準とする事、若し此の標高の關係が判らない場合は假定基準面（Appearent Datum）を用ひる。此の水準基標は豫測の時のみならず確定測設の場合、工事施行の場合更に完成後維持修繕の場合も之を

基準とするから、動かざるもの卽大木の根、岩盤或は特に作られた石柱又はコンクリート柱を用ひ、其の位置を中心線より餘り遠からず且つ後日工事の邪魔にならぬ所に設けねばならぬ。水準基標の距離は平地ならば 1~2 km に一個、山地ならば 0.5~1 km に一個の割で、尙橋梁、隧道、暗渠、開渠等の特殊構造物のある所には水準基標を置いた方が工事施行の時便宜である。

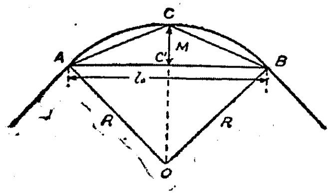
所要人員は器手1名、助手兼記帳手1名、函尺持ち 2 名、運搬夫 2 名、鎖手2名、合計8名位である。器械器具は Level, 標尺、掌準器、鎖、卷尺、旗、野帳等である。

333 地形測量班 (Topographic Party)

此の班は中心線に沿つて枝距を出して橫斷面測量を行ふと共に所要地域內の地形の變化、又は家屋、道路の位置を決定する。橫斷測量又は視距測量は中心線より少くとも路線幅員の 3 倍以上を取り、人家連擔の場合は 5~10 倍以上を取る。現在交通路と交叉する時は其の方向に 100~150 m 高低を調べる。橫斷を取るには Level 又は掌準器、重要ならざる場合は所謂 "Pole 斷面" を用ひる。地形測量には視距絲を用ふると山地で都合宜く、平地の場合は平板に依るが宜い。地形の變化の多い場所或は市街地では此の地形測量が最も重要で最も精密に取らねばならぬ。

所要器械は視距線を有する轉鏡儀 1 臺(視距儀でも宜い)、羅盤、平板、掌準器、標尺、卷尺、鎖、旗、野帳、伐裁用具等である。人員も通過すべき地形に依て大に異なり、轉鏡儀手 1 名、記帳手1名、信號係り 1 名、標尺持ち 2 名、其他運搬夫、伐裁夫等は地形に依る。

橫斷は此の班で取り又時には Level 班にて取る事もある。之も各鎖每の外地形の變化ある所で隨時取る。曲線となる部分に對しては未だ正確な曲線



第 750 圖

測設 (Curve Setting) を行つて居ないから第 750 圖の如く弦 AB の中點 C' から M の値を計算して出し、曲線上の一點 C を見出し、之に器械を据えて橫斷を取る。今

R=曲線半徑　　$AB=l_0$,　　$CC'=M$(Middle Ordinate)

とすれば

$$M(2R-M)=\frac{1}{4}l_0^2 \qquad \therefore\ M=R-\sqrt{R^2-\frac{l_0^2}{4}}$$

334 路線の決定

豫測が終れば線路豫測圖を作り市街、村落、林野狀態を記入し、路線の中心線を記入する、又一方其の中心線に依り縱斷面圖を作り之に施工基面 (Formation Level or Grade Line) を入れる。此の施工基面と地表との高さの差及び橫斷測量より土工の量、用地買收の面積等を知り、從つて建設費の比較を行ふ事が出來る。二三比較線がある時は特に入念に豫測を行つて最良の路線を決定する。勿論地圖上で再三中心線の位置を變へ、從つて縱斷、橫斷を作り直して比較し最後に決定する。鐵道では此の比較をなす時に換算延長 (Equated Length) を用ひる、之は勾配、曲線等の爲に特に起る列車抵抗を計算し、之に等しき抵抗を有する水平直線に直したものである。

l_E=換算延長　　r_E=水平直線路の抵抗

l=實長　　r=實際の抵抗

とすれば

$$l_E r_E = l.r \qquad l_E=\frac{l.r}{r_E} \quad \cdots\cdots(389)$$

然し完全なる比較は建設費、維持費、營業費及び收入等を調査すべきで、今A, Bは比較線にて、夫々の建設費、維持費、收入及び利率を右表に示す如しとすれば

	A	B
建設費	C_1	C_2
維持費	m_1	m_2
收入	R_1	R_2
利率	r	r

$$R_1-C_1r-m_1 \gtreqless R_2-C_2r-m_2 \quad \cdots\cdots(390)$$

に依つて最良の路線を知る。

335 實測或は確定測設 (Final Location)

豫測及び比較線の決定が終れば最良の路線に就いて精密なる決定的測量を行ふ、此の方法は豫測の時と大差ないが實測にては之に依つて工事施行を行ふのであるから精密に行ふ。中心杭を打つ(Centering)のも正確に起點から一鎖毎に番號を記した杭を打ち、曲線の方も次に述ぶる曲線測設法に依て設定し、從つて豫測の時に比して多少中心線の移動を生ずる。縱斷測量、橫斷測量共に新中心線に據つて正確に測り、之等の圖面より切取及び盛土の分配、勾配及び曲線を考慮に入れて施工基面を決定し、土工量を知ると共に橋梁、隧道其他の構造物の設計資料を得、併せて用地境界に杭を打ち法杭を設定する。又一方構造物を造る箇所にては適當の器械にて地質測量をなし、更に移轉物、潰地等の種類、數量、地番、所有者氏名、價格を調査し、潰地は地目、田畑の形狀を調べ、一方町村役場に於て土地分割圖を謄寫し、實測段別と照合して次式に依て價格を算定する。

$$\left.\begin{array}{l}\text{單價}=\text{實測面積}\times\text{時價}\div\text{臺帳面積}\\ \text{價格}=\text{臺帳面積}\times\text{單價}\end{array}\right\} \quad \cdots\cdots(391)$$

第四章 單曲線測設 (Simple Curve Setting)

336 曲線の種類 (Kinds of Curves)

路線に用ふる曲線には次の如き種類がある。

(1) 曲線の形狀に依る分類 (By the Forms of Curve)

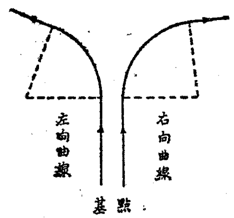
1. 水平曲線 (Horizontal Curve)
   - a 單曲線 (Simple Curve)
   - b 複心曲線 (Compound Curve)
   - c 反向曲線 (Reverse Curve)
   - d 緩和曲線 (Transition Curve)
   - e 擴大曲線 (Widening Curve)
2. 縱曲線 (Vertical Curve)

(2) 曲線の性質に依る分類 (By the Property of Curve)

- a 圓曲線 (Circular Curve)
- b 拋物曲線 (Parabolic Curve)
- c 螺曲線 (Spiral Curve)

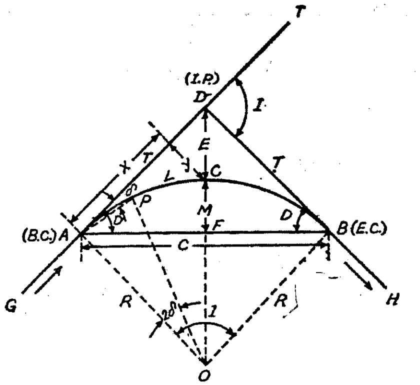
(3) 曲線の方向に依る分類 (By the Direction of Curve)

- a 右向曲線 (Right Curve)
- b 左向曲線 (Left Curve)



第751圖

337 單曲線の術語及公式 (Technical Terms and Formulas in Simple Curve)



第752圖

單曲線は圓弧より成る曲線で第752圖にて次の如き名稱及び略號を有する。

$OA=OB$=半徑 (Radius) $=R$

A=曲線始點(Beginning of Curve)$=B.C.$

B=曲線終點 (End of Curve)$=E.C.$

D=交點 (Intersection Point) $=I.P.$

$\angle TDB$=交角 (Intersection Angle) $=I$

$AD=DB$=切線長 (Tangent Length) $=T.L.$ or $T.$

$\angle AOB$=中心角 (Central Angle) $=I$

DC=正矢 (External Secant or Distance) $=S.L.$ or $E.$

CM=中央縱距 (Middle Ordinate) $=M$

AB=長弦 (Long Chord) $=C$

$\overset{\frown}{ACB}$=曲線長 (Curve Length) $=C.L.$ or $L.$

C=曲線中點 (Point of Secant) $=S.P.$

$\angle DAB=\angle DBA$=總偏倚角 (Total Deflection Angle) $=D.$

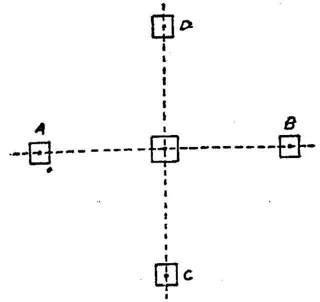
X=切線橫距 (Co Ordinate) $=X.$

Y=切線縱距 (Ordinate) $=Y.$

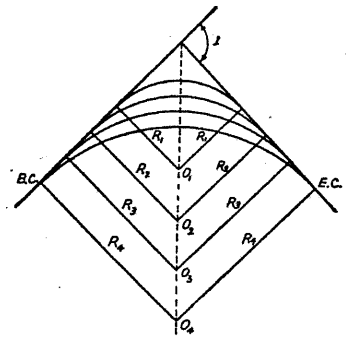
$\angle DAP$=偏倚角 (Deflection Angle) $=\delta$

AP=偏倚角 δ の作る弦長 $=l$

之等の中、始點 ($B.C.$) 終點 ($E.C.$) 及び交點 ($I.P.$) は最も重要なもので永く保存さる可きもので、其の點の側に 2~4 本の控杭 (Guard Peg) を打つて之を保護する。之等の大切な點が時として失はれる事がある、夫で其の場合直に二直線の交點として中心を表はし得る樣にする。第753圖は俗に五本杭と呼ばれ最も用ひられる。



第753圖



第754圖

今二つの切線の方向が定まれば交點 ($I.P.$) 及び交角 ($I.A.$) が定まり、此の間に曲線を設くる場合第754圖の如く半徑 R を任意に假定する事が出來る、又山腹或は市街地の如く障害物の爲め路線の通過する位置が制限せらるゝ場合は逆に R の値を計算する事が出來る。

又單曲線の半徑 (R), 交角 (I), 切線長 (T), 曲線長 (L), 正矢 (E), 中央縱距 (M) 及び長弦 (C) との間に

$$T=AD=DB\qquad =R\tan\frac{I}{2} \quad\cdots\cdots(392)$$

$$E=DC=DO-CO=R\left(\sec\frac{I}{2}-1\right)=R\,\mathrm{exsec}\frac{I}{2} \quad\cdots\cdots(393)$$

$$M=CF=CO-FO=R\left(1-\cos\frac{I}{2}\right)=R\,\mathrm{vers}\frac{I}{2} \quad\cdots\cdots(394)$$

$$C=AB \quad =2AF=2R\sin\frac{I}{2} \cdots\cdots\cdots\cdots(395)$$

$$\frac{I}{2}=\frac{L}{2R} \quad (I \text{ in Radian}) \cdots\cdots\cdots\cdots(396)$$

の關係があるから之等 7 値の中任意の 2 値を知れば他の値を見出す事が出來る。

嚴密に云へば曲線上の二點を如何に近く取つても曲線長 (L) 及び長弦 (C) は等しくはならない。第 752 圖にて

$$\frac{I}{2}=\frac{L}{2R} \qquad \sin\frac{I}{2}=\frac{I}{2}-\frac{1}{6}\left(\frac{I}{2}\right)^3+\cdots\cdots$$

$$\frac{C}{2R}=\frac{L}{2R}-\frac{L^3}{48R^3}+\cdots\cdots \qquad \frac{L}{2R}-\frac{C}{2R}=\frac{L^3}{48R^3}-\cdots\cdots$$

$$L-C=\frac{L^3}{24R^2}\fallingdotseq\frac{C^3}{24R^2} \cdots\cdots\cdots\cdots(397)$$

今 $L=1$ chain$=20$ m に對する弧と弦との差を示せば

L	R	$L-C$
m	m	m
20	200	0.0084
20	300	0.0038
20	400	0.0021

依つて $L:R=1:10\sim1:20$ 以下では $L=C$ 即ち曲線の長さと弦長は等しいと見られる。國有鐵道に於ては其の最小半徑 300m で $L:R\fallingdotseq1:15$ であるから 1 chain$=20$ m に對する 弦長＝弧長 として曲線を測設する。

δ＝曲線長 l に對する偏倚角

とすれば

$$\delta=\frac{l}{2R}(\text{radians})=\frac{l}{2R}\,\frac{180°\times60}{\pi}=1718.87\frac{l}{R}(\text{minutes})\cdots(398)$$

$l=1$ chain に取り　δ_1＝曲線長即ち弦長 1 chain に對する偏倚角

とすれば

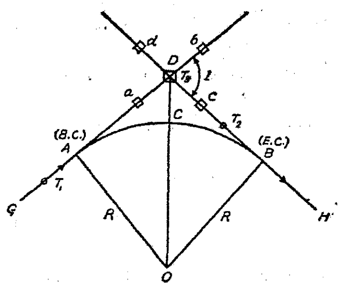
$$\delta_1=\frac{1}{2R}(\text{radians})=1718.87\frac{1}{R}(\text{minutes}) \cdots\cdots\cdots(399)$$

$$\therefore \quad \delta=1718.87\frac{l}{R}=l\delta_1(\text{minutes}) \cdots\cdots\cdots(400)$$

即ち $$L=\frac{I}{2}\div\delta_1=\frac{I}{2\delta_1} \cdots\cdots\cdots(401)$$

338 偏倚角測設法 (Deflection Angle Method)

此の偏倚角測設法は曲線の測設に最も廣く用ひられる。第 755 圖にて左から右の方に中心線測量を進むる場合とすれば、始點 $(B.C.)$ A の少し手前で中心杭を打つのを止めて、線中の一點 T_1 に轉鏡儀を据えて G を後視して後反轉して GA 線を延長し豫め向桿を立てゝ交點と定めてある D 點を挾んで前後 60 cm 位を隔てゝ a, b なる二本の杭を打ち其の頭に正確な中心を定め小釘を打ち、次に轉鏡儀を他の直線 DH 線中の一點 T_2 に据えて B 若くは H を後視して反轉し其の視準線が a, b 二杭の中に落ちた時 D に杭を打ち a, b 間に細絲を張り其の直線を杭頭に移し（鉛筆にて印す）、その線上にピンを動かして BD の視線に合して交點 D の位置を求める。又圖の如く D 點を挾んで 4 本の杭を打ち其の頭に絲を張つて其の交點として定めても宜い。



第 755 圖

斯くして交點 $(I.P.)D$ が定まれば次に轉鏡儀を D に移し成る可く遠い點を視準して交角 I を測定し、次に一定の範圍内に半徑 R の値を與へる。

若し制限ある場合、例へば曲線が $\angle ADB$ の二等分線上の C を通過すべき時は

$$R=\frac{E}{\sec\frac{I}{2}-1}$$

に依つて R を計算する事が出來る。R と I とが定まれば $\boxed{T=R\tan\frac{I}{2}}$ に依て切線長が計算され、從つて始點($B.C.$)及び終點($E.C.$)の位置が正確に定められる。次に 1 chain に對する偏倚角 δ_1 を計算し $\boxed{L=\frac{I}{2\delta_1}}$ に依て曲線長 L を知る。そこで前に中心杭打ちを止めた點から $B.C.$ 迄の距離を測つて $B.C.$ の基點からの距離を知り、更に之に曲線長を加ふれば $E.C.$ の基點からの距離が判る。勿論 $B.C.$, $E.C.$ が丁度 20 m 毎の中心杭に合致する場合は殆んどない、從つて $B.C.$ 及び $E.C.$ の曲線の部分には 1 chain 未滿の曲線を持つ事になる。一般に $B.C.$ 側に於ける曲線の端數を最初の短弦 (First Subchord) と云ひ、$E.C.$ 側のを最後の短弦 (Last Subchord) と云ふ。

現場にて曲線測量を行ふ場合

木下武之助編、曲線測量表(附布設法)　野外編

(昭和 6 年 10 月)シビル社發行　　鐵道道路

を用ふれば非常に便利である上に誤差も生じない。

例題　$I.A.=11°12'00''$,　$R=500$m

の場合前記書籍の曲線函數表に依り

$C.L.(L)=97.740$m,　$T.L.(T)=49.025$m,　$S.L.(E)=2.400$m,

を得、又 $I.P.$ の基點からの距離を 8530.740m とすれば

$B.C.$ の距離$=8530.740-49.025=8481.715$m

$E.C.$ の距離$=8481.715+97.740=8579.455$m

$I.P.$ に轉鏡儀を据え夾角 $\frac{180°-11°12'}{2}=84°24'$ 丈け切線 DA 又は DB から測れ

ば此の線は中心を通るから $S.L.=2.400$m に測れば曲線上の中點 C が定まる。C は此の例の樣な場合には必要無いが $I.A.$ が大であるか又は曲線長が 300 m 以上もある場合は C を設定して照査とする。

$I.P.$, $B.C.$, $E.C.$, $S.L.$ が決れば次に偏倚角を計算する。

$B.C.=8481.715$m であるから曲線内の最初の中心杭は 8500m で從つて

最初の短弦$=8500-8481.715=18.285$m

同樣にに曲線內の最後の中心杭は 8560m であるから

最後の短弦$=8579.455-8560=19.455$m

1 chain に對する偏倚角 δ_1 を求むれば

$$\delta_1=1719.87\times\frac{1}{25}=1°08'45''$$

次に短弦に對する偏倚角 δ_F 及び δ_L を求むれば

$$\delta_F=1°08'45''\times\frac{18.285}{20}=1°02'52''$$

$$\delta_L=1°08'45''\times\frac{19.455}{20}=1°07'03''$$

そこで設定の爲め次の如き表を作る。

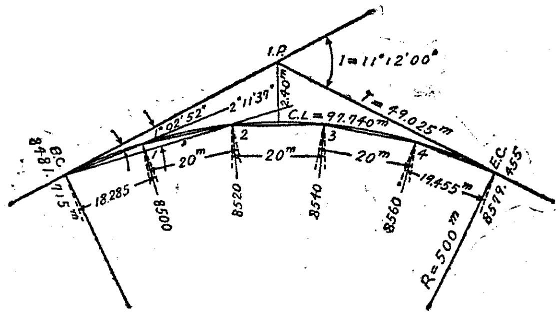
點の種類	距離	偏倚角
中心杭	m 8500	$=1°02'52''$
〃	8520	$1°02'52''+1°08'45''=2°11'37''$
曲線中點	8530.584	$2°11'37''+34'23''+02'04''=2°48'04''$
中心杭	8540	$1°02'52''+2°17'31''=3°20'23''$
〃	8560	$1°02'52''+3°26'16''=4°29'08''$
曲線終點	8579.455	$1°02'52''+3°26'16''+1°07'03''=5°36'11''$

以上の計算の照査をして見ると

$$D=\frac{I}{2}=\frac{11°12'}{2}=5°36'00''\qquad \delta_{E.C}=5°36'11''$$

$E.C.$ にて 11″ の誤差を生じたのは $\delta=1718.873\cdots\frac{l}{R}$ を略して $1718.87\frac{l}{R}$ としたのと四捨五入の結果である。

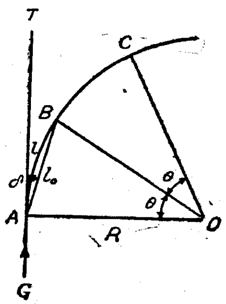
例題に示す如き表を得たる時は轉鏡儀を B.C. に据付け I.P. を視準して遊標を零に合せ最初の偏倚角 1°02′52″ 丈け望遠鏡を廻轉し、一方鎖手は B.C. より其の望遠鏡の方向に 18.285 m を測り、



第 756 圖

其の點が望遠鏡の視準線に入つた所に 8500 m の中心杭を打つ。次に遊標を弛め右方に廻轉して 8520 m の偏倚角 2°11′37″ に合ふ所で望遠鏡を固定し、又一方距離の方は 8500 m の點から 20 m を測り其の端を望遠鏡の視準線内に入れて 8520 m の中心杭を打つ。以下同樣に此の方法を繰返して順次中心杭を測設する、而して全偏倚角 D の時に E.C. を視準するか否かを照査する。若し E.C. に於て 0.2 m以上の差を生ずる場合には再測せねばならぬ。

曲線長 L と弦 L_0 との差は半徑の大小に依て異るもので半徑小なる場合は 1 chain 宛の弦で切る時は曲線長と著しい差異を生ずる、依て測量者は豫め其の關係を知り實用上弧と弦を等しと見做し得る程度の弦を撰ぶ事が必要である。斯の如く弦長を短くしても尙誤差を生ずる恐れある場合は一定の曲線長に對する弦長を計算し、此の弦長を用ひて曲線を切り中心杭を打つ。



第 757 圖

第 757 圖にて

弧 $AB=l$　　弦 $AB=l_0$

θ=中心角 (in Radian)

δ=弧長 l に對する偏倚角

とすれば

$$\theta=\frac{l}{R}\qquad \delta=\frac{\theta}{2}\rho=\frac{l}{2R}\rho=\frac{l}{R}1718.87$$

故に $l_0=2R\sin\delta=2R\sin\left(\frac{l}{2R}\rho\right)=2R\sin\left(1718.87\frac{l}{R}\right)$ ……(402)

にて曲線を切れば曲線長は丁度 l になる。若し l=1 chain の場合は

$$l_0=2R\sin\left(\frac{1718.87}{R}\right)\quad\cdots\cdots(403)$$

此の偏倚角測設法の長所とする所は

（1） 他の測設法に比較して最も精密である。

之と同時に其の缺點とする所は

（2） 曲線の一部分を整正する場合に不適當である。

（3） 障害物の多い場合は面倒である。

（4） 人員、器械及び時間を多く要する。

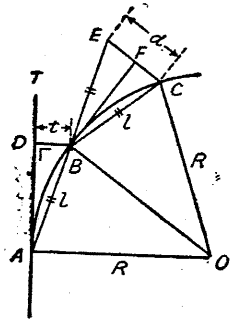
實際に曲線を布設する場合次の枝距法 (Offset Method) と併用して行ふと便宜である。

339 切線偏倚距及び弦偏倚距に依る曲線測設 (Curve Setting by Tangent and Chord Deflection) 即ち枝距法 (Offset Method)

第 758 圖に於て

$AB=BC=\cdots\cdots=l$

とし AT を A に於ける切線とする。B より AT に垂線を下し之を BD



第 758 圖

とし、次に AB を延長して $BE=BC$ として EC を結べば

BD＝切線偏倚距 (Tangent Deflection)

CE＝弦偏倚距 (Chord Deflection)

と云ひ、之等を用ひて布設し別に角度を用ひないから枝距法とも稱して居る。

（1） 先づ弦偏倚距 d を求むる爲に $\triangle OBC$ 及び $\triangle BCE$ を取れば

$$\angle BOC=180°-(\angle OBC+\angle BCO)$$

然るに

$$\angle BCO=\angle ABO$$

$$\therefore\ \angle BOC=180°-(\angle OBC+\angle ABO)=\angle CBE$$

且 $BO=CO=R$ 及び $BC=BE=l$

であるから、二つの三角形は相似である。

$\therefore\ BO:BC=BC:CE$ 卽ち $R:l=l:d$

$$\therefore\ d=\frac{l^2}{R} \quad\cdots\cdots(404)$$

$l=1$ chain とすれば

$$d=\frac{1}{R} \quad\cdots\cdots(405)$$

（2） 次に切線偏倚距 t を求むる爲め CE の中點 F と B とを結べば BF は $\angle EBC$ を二等分する。從つて

$$\angle CBF=\frac{1}{2}\angle BOC=\angle BAD$$

第 49 圖　$\frac{l^2}{R}$ の値

R (米)	l (米) 20	30	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
300	1.334	3.000	5.333	6.750	8.333	10.083	12.000	14.083	16.333	18.750	21.333	24.083	27.000	30.083	33.333
350	1.143	2.571	4.571	5.786	7.143	8.643	10.286	12.071	14.000	16.071	18.286	20.643	23.143	25.785	28.571
400	1.000	2.250	4.000	5.063	6.250	7.563	9.000	10.563	12.250	14.063	16.000	18.063	20.250	22.563	25.000
450	0.889	2.000	3.556	4.500	5.556	6.720	8.000	9.389	10.889	12.500	14.222	16.055	18.000	20.055	22.000
500	0.800	1.800	3.200	4.050	5.000	6.050	7.200	8.450	9.800	11.250	12.800	14.450	16.200	18.050	20.000
550	0.727	1.636	2.909	3.632	4.545	5.500	6.545	7.632	8.909	10.227	11.636	13.136	14.727	16.409	18.182
600	0.667	1.500	2.667	3.375	4.167	5.042	6.000	7.042	8.167	9.375	10.667	12.042	13.500	15.042	16.667
650	0.615	1.385	2.462	3.115	3.846	4.654	5.538	6.500	7.538	8.654	9.846	11.116	12.462	13.885	15.385
700	0.571	1.286	2.286	2.893	3.571	4.321	5.143	6.036	7.000	8.036	9.143	10.321	11.571	12.893	14.286
750	0.533	1.200	2.133	2.700	3.333	4.033	4.800	5.633	6.533	7.500	8.533	9.633	10.800	12.033	13.333
800	0.500	1.125	2.000	2.531	3.125	3.781	4.500	5.281	6.125	7.031	8.000	9.031	10.125	11.281	12.500

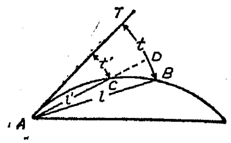
∴　$t=BD=\frac{1}{2}CE=\frac{1}{2}d$ ……(406)

（3） 更に短弦 (Sub-chord) に對する切線偏倚距を求める。第 759 圖に於て

$AB=l$　　$AC=$短弦$=l'$

$t=$弦 l に對する切線偏倚距

$t'=$短弦 l' に對する切線偏倚距



第 759 圖

とすれば

$\frac{TD}{l'}=\frac{t}{l}$　及び　$\frac{l}{TD}=\frac{l'}{t'}$

依て此の兩式を邊々掛け合すれば

$\frac{l}{l'}=\frac{t}{t'}\frac{l'}{l}$

故に　$t'=t\left(\frac{l'}{l}\right)^2$ ……(407)

（4） 之等の値を用ひて曲線を布設するには更に第 758 圖に於ける AD の値を知らねばならぬ。

$$AD=\sqrt{AB^2-BD^2}=\sqrt{l^2-\left(\frac{l^2}{2R}\right)^2}$$

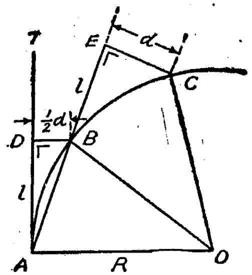
$$=\frac{l}{2R}\sqrt{(2R+l)(2R-l)} \quad \text{……(408)}$$

又曲線長を 1 chain に取れば

$$AD=l\sqrt{1-\sin^2\frac{\rho}{2R}}=l\sqrt{\left(1+\sin\frac{\rho}{2R}\right)\left(1-\sin\frac{\rho}{2R}\right)} \quad \text{……(409)}$$

故に曲線を測設するには始點 A に鎖の一端を保ち切線の方向に AD の値に等しく D 點を定め、D より垂直の方向に切線偏倚距 $\frac{1}{2}d$ に等しく BD を切れば B は即ち求むる曲線中の一點である。次に AB を延長して BE

$=BC$ となる樣に E を定め、鎖の一端を B に保ち他端を C の方向に向け、又一方他の卷尺を用ひて弦偏倚距 d に等しき長さを取りて前の鎖の端と交る所を求むれば即ち C で、同じく曲線中の一點である。以下之を繰返して行けば宜い。



第 760 圖

以上は理論的に正しい方法であるが實際に行ふ場合には第 760 圖に示す如く簡便法を行つて居る。先づ切線の方向に $AD=l$ に D を定め、D より $\frac{1}{2}d$ の枝距を出して B 點を定める。次に AB を延長して $BE=l$ なる如く E 點を定め、E より AE に直角に枝距 d を出して C 點を定め、以下之を繰返すのである。勿論不合理であるが其の差は

$$\left.\begin{array}{l}\text{切線偏倚距の場合}=\sqrt{l^2+\frac{1}{4}d^2}-l\\ \text{弦偏倚距の場合}\ =\sqrt{l^2+d^2}-l\end{array}\right\} \quad \text{……(410)}$$

にて求めらるゝ如く微小であるから $R\geqq300$ m の場合には差支へない。

此の測設法は別に轉鏡儀を用ひず鎖及び卷尺のみで簡單に行ひ得る點にある。前の偏倚角測設法と併用して用ひられる。

例題　半徑 $R=300$m　　弦長 $l=20$m

曲線始點 (*B.C.*) の距離=1531.350m

の場合に就て曲線測設に必要な計算を行へば

弦偏倚距　$d=\frac{l^2}{R}=\frac{20^2}{300}=1.333$ m

從て　切線偏倚距　$t=\frac{1}{2}d=0.667$m

又最初の短弦の長さは 8.650m であるから

短弦に對する切線偏倚距

$$t'=t\left(\frac{l'}{l}\right)^2=0.667\times\left(\frac{8.65}{20}\right)^2=0.125\text{ m}$$

依て簡便法を行ふ爲の誤差は

切線偏倚距の場合 $=\sqrt{l^2+\frac{1}{4}d^2}-l=\sqrt{20^2+0.667^2}-20=0.011\text{m}$

弦偏倚距の場合 $=\sqrt{l^2+d^2}-l=\sqrt{20^2+1.333^2}-20=0.042\text{m}$

位であるから實用上差支へない。

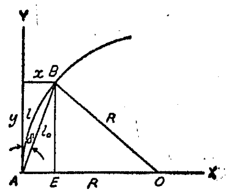
340 折線よりの枝距に依る測設法

(Offset from Tangent Method)

第 761 圖に於て

l =曲線長　　$l_0=l$ に相當する弦長

R=曲線半徑　　$\delta=l$ に對する偏倚角



第 761 圖

とすれば

$$\delta=\frac{l}{2R}\rho=1718.87\frac{l}{R}$$

$$l_0=2R\sin\delta$$

從て
$$\left.\begin{aligned}x&=l_0\sin\delta=2R\sin^2\delta\\ y&=l_0\cos\delta=R\sin 2\delta\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(411)$$

然し本法は中心杭の測設よりも寧ろ曲線の整正 (Adjustment of Curve) に用ひられるから次の如く簡單に計算し得る。

$\triangle BEO$ に於て

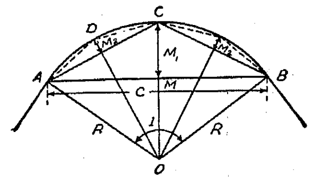
$$R^2=(R-x)^2+y^2$$

$$\therefore\quad x=R-\sqrt{R^2-y^2}\cdots\cdots(412)$$

$$=\frac{y^2}{2R}\quad\text{(Approximately)}\cdots\cdots(413)$$

前以て種々の y の値に對する x の値を計算する。但し枝距を出す間隔は曲線が切線を遠ざかるに從つて夫に比例して密に取る可きである。急曲線の場合は兩方から測設する事も出來るが、何れにしても不適當である。

341 中央縱距に依る測設法 (Middle Ordinate Method)



第 762 圖

第 762 圖に於て

$AB=C$=長弦

$CM=M_1$=中央縱距

$\angle AOB=I$=中心角=交角

$AO=BO=R$=曲線半徑

とすれば

$$M_1=R\left(1-\cos\frac{I}{2}\right)=R\,vers\frac{I}{2}\cdots\cdots(414)_1$$

同樣に　M_2=弦 AC の中央縱距　とすれば

$$M_2=R\left(1-\cos\frac{I}{4}\right)=R\,vers\frac{I}{4}\cdots\cdots(414)_2$$

以下同樣にして

$$M_n=R\left(1-\cos\frac{I}{2^n}\right)=R\,vers\frac{I}{2^n}\cdots\cdots(414)_3$$

又長弦の長さ C が分つて居る場合は

$$M(2R-M)=\frac{1}{4}C^2\quad\text{卽ち}\quad M^2-2MR+\frac{1}{4}C^2=0$$

$$\therefore\quad M=R-\sqrt{R^2-\frac{1}{4}C^2}=R-\sqrt{\left(R+\frac{C}{2}\right)\left(R-\frac{C}{2}\right)}\cdots\cdots(415)$$

若し弦の長さが短きか或は概略の M を求むる時は M^2 を省略して

$$M=\frac{C^2}{8R}\cdots\cdots(416)$$

第 50 表

M^{mm}	曲線半徑 $R^{m}=\frac{C^2}{8M}$ $C=10$ m	曲線半徑 $R^{m}=\frac{C^2}{8M}$ $C=20$ m	M^{mm}	曲線半徑 $R^{m}=\frac{C^2}{8M}$ $C=10$ m	曲線半徑 $R^{m}=\frac{C^2}{8M}$ $C=20$ m	M^{mm}	R^{m} $C=20$ m	M^{mm}	R^{m} $C=20$ m
20.0	625	2500	45.0	278	1110	72.0	694	100	500
20.5	610	2440	45.5	275	1100	72.5	690	102	490
21.0	595	2380	46.0	272	1090	73.0	685	104	481
21.5	581	2330	46.5	269	1080	73.5	680	106	472
22.0	568	2270	47.0	265	1060	74.0	676	108	463
22.5	556	2220	47.5	263	1050	74.5	671	110	455
23.0	543	2170	48.0	260	1042	75.0	667	112	446
23.5	532	2130	48.5	258	1030	75.5	662	114	439
24.0	521	2080	49.0	255	1020	76.0	658	116	431
24.5	510	2040	49.5	253	1010	76.5	654	118	424
25.0	500	2000	50.0	250	1000	77.0	649	120	417
25.5	490	1960	50.5	248	990	77.5	645	122	410
26.0	481	1920	51.0	245	980	78.0	641	124	403
26.5	472	1890	51.5	243	971	78.5	637	126	397
27.0	463	1850	52.0	240	962	79.0	633	128	391
27.5	455	1820	52.5	238	952	79.5	629	130	385
28.0	446	1790	53.0	236	943	80.0	625	132	379
28.5	439	1750	53.5	234	935	80.5	621	134	373
29.0	431	1720	54.0	231	926	81.0	617	136	368
29.5	424	1690	54.5	229	917	81.5	613	138	362
30.0	417	1670	55.0	227	909	82.0	610	140	357
30.5	410	1640	55.5	225	901	82.5	606	142	352
31.0	403	1610	56.0	223	893	83.0	602	144	347
31.5	397	1590	56.5	221	885	83.5	598	146	342
32.0	391	1560	57.0	219	877	84.0	595	148	338
32.5	385	1540	57.5	217	870	84.5	592	150	333
33.0	379	1520	58.0	216	862	85.0	588	152	329
33.5	373	1490	58.5	214	855	85.5	585	154	325
34.0	368	1470	59.0	212	847	86.0	581	156	321
34.5	362	1450	59.5	210	840	86.5	578	158	316
35.0	357	1430	60.0	208	833	87.0	575	160	313
35.5	352	1410	60.5	207	826	87.5	571	162	309
36.0	347	1390	61.0	205	820	88.0	568	164	305
36.5	342	1370	61.5	203	813	88.5	565	166	301
37.0	338	1350	62.0	202	806	89.0	562	168	298
37.5	333	1330	62.5	200	800	89.5	559	170	294
38.0	329	1320	63.0		794	90.0	556	172	291
38.5	325	1300	63.5		787	90.5	552	174	287
39.0	321	1280	64.0		781	91.0	549	176	284
39.5	316	1270	64.5		775	91.5	546	178	281
40.0	313	1250	65.0		769	92.0	543	180	278
40.5	309	1230	65.5		763	92.5	541	182	275
41.0	305	1220	66.0		758	93.0	538	184	272
41.5	301	1200	66.5		752	93.5	535	186	269
42.0	298	1190	67.0		746	94.0	532	188	266
42.5	294	1180	67.5		741	94.5	529	190	263
43.0	291	1160	68.0		735	95.0	5[illegible]6	192	260
43.5	287	1150	68.5		730	95.5	524	194	258
44.0	284	1140	69.0		725	96.0	521	196	255
44.5	281	1120	69.5		719	96.5	518	198	253
45.0	278	1110	70.0		714	97.0	515	200	250
			70.5		709	97.5	513		
			71.0		704	98.0	510		
			71.5		699	98.5	508		
						99.0	505		
						99.5	503		

(有効數字3位以下四捨五入)

卽ち圓曲線を拋物線と見做したものとなる。

此の測設法は中心杭の測設には不適當であるが、既設曲線を整正する場合特に鐵道にて保線從事員が曲線の曲度 $\left(\frac{1}{R}\right)$ を求むる場合には最も有効な方法である。

（1） $R<200$ m の場合　　M は (415) 式に依て求める

（2） 200 m$\leqq R<$400 m の場合　　$C=10$ m に取る

$$\frac{1}{R}=\frac{8}{C^2}M=\frac{8}{100\times1000}M=\frac{M}{12500}\begin{pmatrix}R=\text{m}\\M=\text{mm}\end{pmatrix}\quad\cdots\cdots\cdots(417)$$

（3） 400 m$\leqq R$ の場合　　$C=20$ m に取る

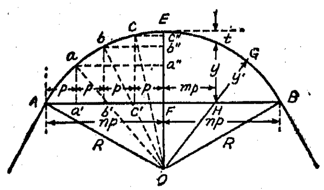
$$\frac{1}{R}=\frac{8}{C^2}M=\frac{8}{400\times1000}M=\frac{M}{50000}\begin{pmatrix}R=\text{m}\\M=\text{mm}\end{pmatrix}\quad\cdots\cdots\cdots(418)$$

第 50 表は R と M との關係を示す表である。

342 長弦よりの縱距に依る測設法 (Ordinate from Long Chord Method)

第 763 圖に於て長弦 AB を $2n$ に等分し其の一つを p とすれば其の各點に於ける縱距を計算する事が出來る。

$$aa'=Oa''-OF=\sqrt{Oa^2-aa''^2}-\sqrt{OA^2-AF^2}=\sqrt{R^2-\{(n-1)p\}^2}-\sqrt{R^2-\overline{np}^2}\cdots\cdots\cdots\cdots(419)_1$$



第 763 圖

同様に

$$bb'=\sqrt{R^2-\{(n-2)p\}^2}-\sqrt{R^2-\overline{np}^2}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(419)_2$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$EF=R-\sqrt{R^2-\overline{np}^2}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(419)_3$$

斯の如く縱距を計算すれば容易に曲線を測設し得る。尙

$$y=EF-t=M-R+\sqrt{R^2-mp^2} \cdots\cdots\cdots\cdots (420)$$

$$=M-\frac{mp^2}{2R} \quad \text{(Approximately)} \cdots\cdots\cdots\cdots (421)$$

或は長弦を H に於て二分して $GH=y'$ とすれば

$$AH.HB=y'(2R-y') \quad 即ち \quad (np+mp)(np-mp)=y'(2R-y')$$

$$\therefore \quad y'=\frac{(np+mp)(np-mp)}{2R-y'} \cdots\cdots\cdots\cdots (422)$$

R は y' に比して非常に大であるから y' を省略すれば

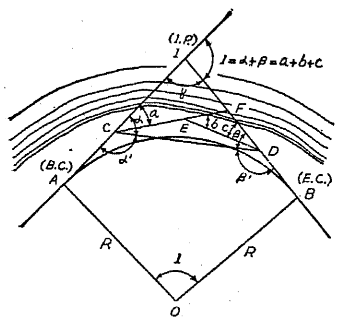
$$y'=\frac{(n^2-m^2)p}{2R} \cdots\cdots\cdots\cdots (423)$$

事實上縱距 y ト y' との差は極めて小であるから $y=y'$ として

$$y=\frac{(n^2-m^2)p}{2R} \cdots\cdots\cdots\cdots (424)$$

343 曲線測設上の障害 (Obstacles on Curve Setting)

曲線を測設する場合建築物、森林等の爲に見透しを妨げられ、或は河川、湖沼等が其の間に在り距離の測定又は轉鏡儀の据付けに障害をなす場合が少くない。之等の場合は幾何學的關係に依り又前の測設法の應用に依て目的を達し得る。



第 764 圖

(1) 交點 (*I.P.*) が水上に落ちて近づき得ざる場合 第 764 圖の如く (*I.P.*) が水上に落つる場合は (*B.C.*) 又は (*E.C.*) から (*I.P.*) に向つて近づき得る所まで距離を測り其の點を C 及び D とする。C と D とが互に見透し宜く且つ距離を測り得る

時は、先づ C に轉鏡儀を据えて $\angle ICD=\alpha$ 或は $\angle ACD=\alpha'$ を、次に器械を D に移して $\angle IDC=\beta$ 或は $\angle CDB=\beta'$ を測り且つ距離 CD を測る。然る時は

$$\angle I=\alpha+\beta=360°-\alpha'-\beta' \quad 及び \quad \sin\gamma=\sin(\alpha+\beta)$$

$$CI=\frac{\sin\beta}{\sin\gamma}CD=\frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}CD$$

$$DI=\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma}CD=\frac{\sin\alpha}{\sin(\alpha+\beta)}CD$$

依て曲線半徑 R が分れば $T=R\tan\frac{I}{2}$ であるから

$$AC=AI-CI=R\tan\frac{I}{2}-\frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}CD \cdots\cdots\cdots\cdots (425)_1$$

$$BD=BI-DI=R\tan\frac{I}{2}-\frac{\sin\alpha}{\sin(\alpha+\beta)}CD \cdots\cdots\cdots\cdots (425)_2$$

從つて A (*B.C.*) 及び B (*E.C.*) の位置を定め通常の方法にて曲線を測設し得る。

若し C より D への見透し利かず或は距離を測るに困難なる場合は CED の如く經緯測量 (Traverse Survey) にて兩切線を連絡すれば宜い。

$$CE, \ ED, \ \angle ICE=a, \ \angle FED=b \quad 及び \quad \angle FDE=c$$

を測れば

$$\angle IFC=b+c \qquad I=a+\angle IFC=a+b+c$$

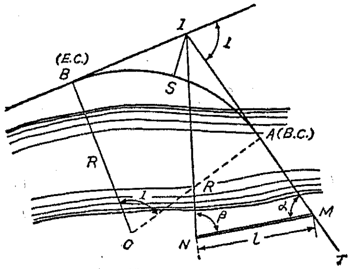
$$EF=\frac{\sin c}{\sin(b+c)}ED, \quad FD=\frac{\sin b}{\sin(b+c)}ED \quad 及び \quad CF=CE+EF$$

$$\left.\begin{aligned} \therefore \quad CI&=\frac{\sin(b+c)}{\sin(a+b+c)}CF=\frac{\sin(b+c)}{\sin(a+b+c)}\left\{CE+\frac{\sin c}{\sin(b+c)}ED\right\} \\ &=\frac{\sin(b+c)}{\sin(a+b+c)}CE+\frac{\sin c}{\sin(a+b+c)}ED \end{aligned}\right\}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(426)_1$$

$$DI=IF-FD=\frac{\sin a}{\sin(a+b+c)}CF+\frac{\sin b}{\sin(b+c)}ED\cdots(426)_2$$

（2） 始點（*B.C.*）又は終點（*E.C.*）が水上に落ちて近づき得ざる場合



第 765 圖

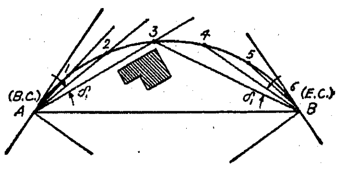
第 765 圖の如く（*B.C.*）或は（*E.C.*）が水上に落つる場合は直線部 T より I に向ふ鎖測を適當な近づき得る地點 M にて止め、次に交點（*I.P.*）I を定めて交角 I を測定し、切線長（*T.L.*）、曲線長（*C.L.*）、正矢（*S.L.*）等を計算又は表より求め、曲線中點 S 及び他の點（此の圖では（*E.C.*））を定める。次に適當なる點 N を取り轉鏡儀を M 及び N に据えて $\angle\alpha,\angle\beta$ 及び MN 間の距離 l を測る。

$$MI=\frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}l$$

$$AM=MI-AI=\frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}l-R\tan\frac{1}{2}I\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(427)$$

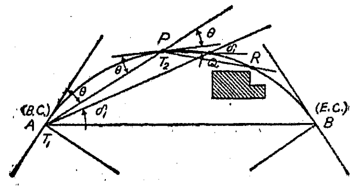
依て（*B.C.*）の其の點よりの距離を知り、之に曲線長を加へて S 及び（*E.C.*）の基點よりの距離を知る。S を定めるには $\angle AIB$ を二等分する方向に $IS=R\left(\sec\frac{I}{2}-1\right)=R\,\mathrm{exsec}\frac{1}{2}I$ に取ればよい。曲線上に中心杭を打つには（*E.C.*）或は S に轉鏡儀を据えて行ふ。

（3） 曲線全部が始點（*B.C.*）又は終點（*E.C.*）から見透し得ざる場合 第 766 圖の如く（*B.C.*）或は（*E.C.*）の中間に障害物が有れば、夫が中心線上に無くても見透しが利かず偏倚角法に依て測設する事が出來ぬ。此の場合には（*B.C.*）より見透しの利く點迄偏倚角法に依て中心杭を打ち、次に轉鏡儀を（*E.C.*）に据付け遊標を 0° にして最後の中心杭を視準し偏倚角丈け取つて次の中心杭を打つ、以下同樣にして測設をする。



第 766 圖

更に第 767 圖に示す如く始點（*B.C.*）及び終點（*E.C.*）何れの點よりしても曲線全體を見透し得ざる場合は、

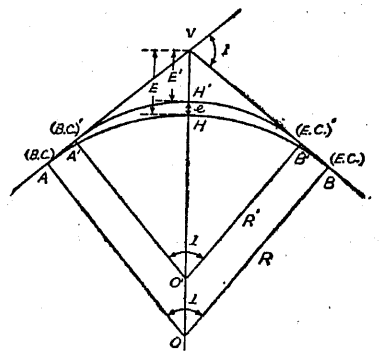


第 767 圖

（*B.C.*）より視準し得る最後の中心杭の位置を P とし P の偏倚角を θ とする。次に轉鏡儀を P に移し遊標を 0° にして望遠鏡倒の位置で A(*B.C.*) を後視して後轉鏡し $\theta+\delta_1$(δ_1=1 chain に對する偏倚角）丈け廻轉し其の線上 PQ=1 chain となる如く Q を選べば Q は次の中心杭の位置である。

以下同樣に P に於て見ゆる限り測設し、次へ移り同樣の操作を行つて全體を測設する。

344 路線變更の場合に起る單曲線布設上の特殊問題



第 768 圖

（A） 切線の方向が變らざる場合

（1） 舊曲線の中央に於て e 丈け變移（Shift）する場合（第 768 圖） 以下の二曲線は新曲線及び舊曲線を示し其の何れにも適用し得る。

$AO=BO=R,\quad A'O'=B'O'=R'$

$VH=E$=半徑 R なる曲線の正矢

$VH'=E'=$半徑 R' なる曲線の正矢

$\angle I=$兩曲線の交角　　$e=$正矢の變移量

とすれば

$$E=R\left(\sec\frac{I}{2}-1\right)\qquad E'=R'\left(\sec\frac{I}{2}-1\right)\quad 及び\quad E=E'+e$$

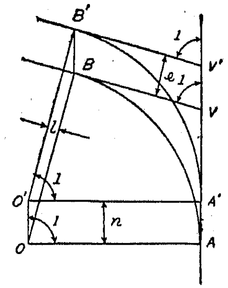
$$\therefore\quad R\left(\sec\frac{I}{2}-1\right)=R'\left(\sec\frac{I}{2}-1\right)+e$$

即ち $R=R'+\dfrac{e}{\sec\frac{I}{2}-1}$ ……………………………(428)

(2) 舊切線に平行に e 丈け變移する場合(第 769 圖)

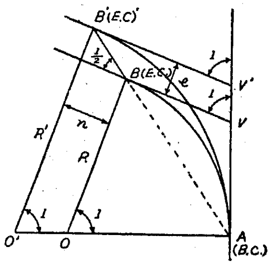
$$\left.\begin{aligned}AA'=BB'=OO'=n=\frac{e}{\sin I}\\ l=n\cos I=e\cot I\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(429)$$

に依つて n 及び l を計算すれば始點(B.C.)終點(E.C.)其他の各點を VA の方向に n 丈け移動して直ちに同半徑の新曲線を得る。轉鏡儀を用ひなくても宜い。



第 769 圖

(3) 始點(B.C.)を移動せずに舊切線に平行に e 丈け變移する場合(第 770 圖)



第 770 圖

$VV'=\dfrac{e}{\sin I}$, $AV=T$, $A'V'=T'$

であるから

$AV+VV'=AV'$ に代入すれば

$T+\dfrac{e}{\sin I}=T'$ …………(430)

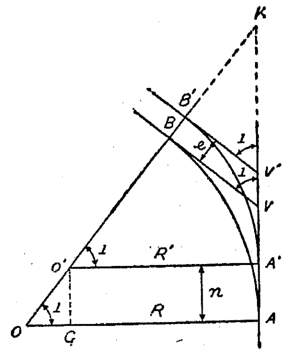
更に $T=R\tan\dfrac{I}{2}$, $T'=R\tan\dfrac{I}{2}$ に依り

$$R\tan\frac{I}{2}+\frac{e}{\sin I}=R'\tan\frac{I}{2}\quad 即ち\quad R+\frac{e}{\sin I\tan\frac{I}{2}}=R'$$

$$\therefore\quad R+\frac{e}{2\sin^2\frac{I}{2}}=R'\quad 或は\quad R+\frac{e}{1-\cos I}=R'\cdots\cdots\cdots(431)_1$$

及び $n=e\cot\dfrac{I}{2}$ ……………………………………(431)$_2$

(4) 終點(E.C.)を先方に移動せずに舊切線に平行に e 丈け變移する場合(第 771 圖)



第 771 圖

$BB'+B'K=BK$　及び　$BB'=e$

$B'K=R'\,\mathrm{exsec}\,I$,　$BK=R\,\mathrm{exsec}\,I$

より　$e+R'\,\mathrm{exsec}\,I=R\,\mathrm{exsec}\,I$

$\therefore\quad R-R'=\dfrac{e}{\mathrm{exsec}\,I}$ …………(432)$_1$

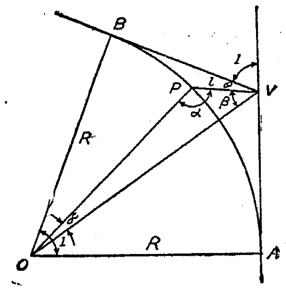
及び　$n=(R-R')\tan I$ …………(432)$_2$

(5) 切線の位置が定まり且つ定點 P を通る曲線を測設する場合(第 772 圖) 交點 V に轉鏡儀を据え θ を測り、且つ $PV=l$ を測定すれば次式に依て其の半徑を知る事が出來る。

$\triangle PVO$ に於て

$$\frac{\sin\alpha}{R\sec\frac{I}{2}}=\frac{\sin\beta}{R}$$

$$\frac{\sin\alpha}{\sec\frac{I}{2}}=\sin\beta=\cos\left(\frac{I}{2}+\theta\right)$$



第 772 圖

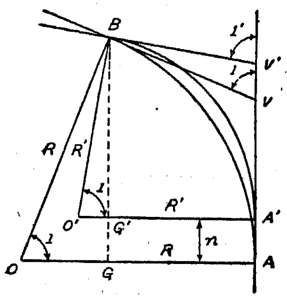
$$\left.\sin\alpha=\frac{\cos\left(\frac{I}{2}+\theta\right)}{\cos\frac{I}{2}}\right\}\cdots\cdots(433)_1$$

$$\beta=90^\circ-\left(\frac{I}{2}+\theta\right),\quad \gamma=180^\circ-\alpha-\beta\cdots\cdots(433)_2$$

$$R=\frac{l\sin\beta}{\sin\gamma}\cdots\cdots(433)_3$$

(B) 切線の方向が變化する場合

（6） 切線の方向を始點（*B.C.*）又は終點（*E.C.*）に於て變更する場合（第 773 圖）



第 773 圖

$$A'G'=AG,\quad R(1-\cos I)=R'(1-\cos I')$$

$$R=\frac{1-\cos I'}{1-\cos I}R'=\frac{\mathrm{vers}\,I'}{\mathrm{vers}\,I}R'\cdots(434)_1$$

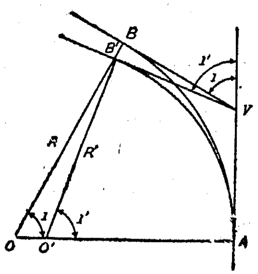
$$n=R\sin I-R'\sin I'\cdots\cdots(434)_2$$

此の場合は新曲線の交點を設置し其の交角を測定し、而る後前記の公式に依て R, n を出し曲線を測設する。

（7） 切線の方向を交點（*I.P.*）に於て變更する場合（第 774 圖） 此の場合は切線長が兩曲線に共通であるから

$$VA=R\tan\frac{I}{2}=R'\tan\frac{I'}{2}\cdots\cdots(435)_1$$

$$R'=R\tan\frac{I}{2}\cot\frac{I'}{2}\cdots\cdots(435)_2$$



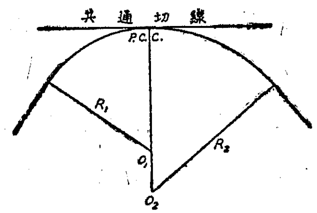
第 774 圖

第五章 複心曲線及び反向曲線

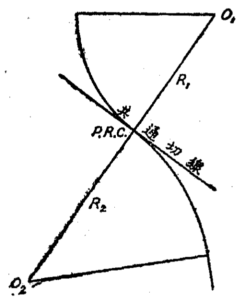
(Compound and Reverse Curve)

345 概 說

二つの異なる半徑を有する曲線が其の接續點に於いて共通切線（Common Tangent）を有する場合に、第 775 圖の如く其の中心が共通切線の同じ側にあれば之を複心曲線（Compound Curve）と云ひ、第 776 圖の如く其の共通切線の兩側にあれば之を反向曲線（Reverse Curve）と云ふ。複心曲線の接續點卽ち共通切點を複心曲線接續點（Point of Compound Curvature or *P.C.C.*）と云ひ、反向曲線の夫れを反向曲線接續點（Point of Reversed Curvature or *P.R.C.*）と云ふ。鐵道、道路を選定する場合複心曲線特に反向曲線があれば、直接車輛に危險なるのみならず其の輸送量並に速度を阻害するので、路線の方向を變ずるには出來る丈け單曲線を用ふべきであるが、山地を通ずる路線は種々條件の爲め單曲線よりも有利な場合が起つて來る。此の場合は圖上に先づ測設し大體の半徑を定め次の諸公式から各の値を求め條件に適する曲線を確定する。普通二個の曲線の混合であるが第 777 圖の如く特に三個の曲線の場合は三心複曲線（Three Centered Compound Curve）と

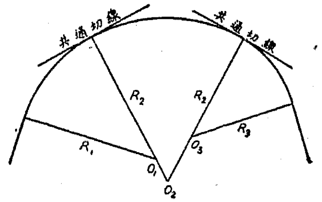


第 775 圖



第 776 圖

云ふ。



第 777 圖

複心曲線或は反向曲線を測設するには次の順序で野業を行ふ。

（1） 始點（*B.C.*）に轉鏡儀を据える

（2） 接續點（*P.C.C.* or *P.R.C.*）迄單曲線を測設する

（3） 次に轉鏡儀を接續點（*P.C.C.* or *P.R.C.*）に移す

（4） 轉鏡儀の遊標を 0° にして共通切線の方向を視準する

（5） 終點（*E.C.*）迄單曲線を測設する。

複心曲線或は反向曲線の要素は次に示す 7 項で、玆では次の如き符號を以つて代表する。

R_1=短い方の半徑　Δ_1=半徑 R_1 なる圓弧の中心角

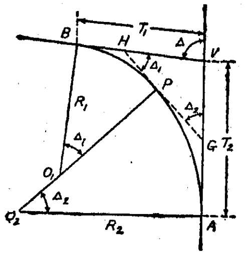
R_2=長い方の半徑　Δ_2=半徑 R_2 なる圓弧の中心角

T_1=短い方の切線長　Δ=全體の方向の變化

T_0=長い方の切線長　$=\Delta_1+\Delta_2$（複心曲線），$\Delta_1\sim\Delta_2$（反向曲線）

此等の中任意の 4 項が與へらるれば殘りの 3 項を算出し得る。

〔例題〕 複心曲線に於て $R_1, R_2, \Delta_1, \Delta_2$ を與へて Δ, T_1 及び T_2 を求む。



第 778 圖

之は複心曲線に於て最も普通に起る問題である。第 778 圖に於て

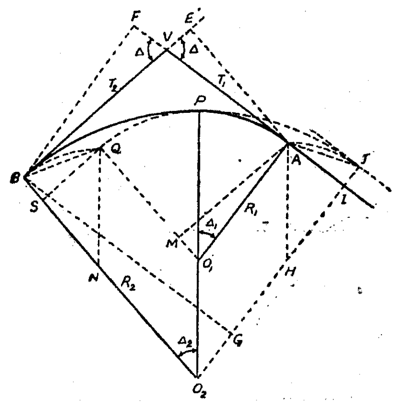
$$\left.\begin{array}{ll}\Delta=\Delta_1+\Delta_2 & AG=PG=R_2\, san\frac{1}{2}\Delta_2 \\ & HP=BH=R_1 \tan\frac{1}{2}\Delta_1\end{array}\right\}\cdots(436)_1$$

$$\therefore\quad GH=GP+PH=R_2\tan\frac{1}{2}\Delta_2+R_1\tan\frac{1}{2}\Delta_1$$

$\triangle VGH$ に於て $\angle VHG=\Delta_1$，$\angle VGH=\Delta_2$，GH が既知だから之を解いて VG 及び VH の長さを知る。故に

$$\left.\begin{array}{l}T_2=AV=AG+GV=R_2\tan\frac{1}{2}\Delta_2+VG \\ T_1=BV=BH+HV=R_1\tan\frac{1}{2}\Delta_1+VH\end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(436)_2$$

346 複心曲線の一般方程式（其の一）



第 779 圖

第 779 圖に於て

AP, BP=複心曲線の圓弧

$O_1A=O_1P=R_1$=短い方の半徑

$O_2B=O_2P=R_2$=長い方の半徑

$\angle AO_1P=\Delta_1$，　$\angle PO_2B=\Delta_2$

$AV=T_1$，　　$BV=T_2$

とする。弧 AP を Q まで延長して $\angle AO_1Q=\Delta$ ならしめ、同様にして BP を J まで延長して $\angle PO_2J=\Delta_1$ ならしめる。AM 及び QS を QO_1 及び O_2B に夫れ夫れ垂直に引く、更に PO_2 に平行に QN 及び AH を引き、O_2J に垂直に BG を引く。AV 及び BV の延長に A, B より垂線 BF 及び AE を引く。最後に弦 QB を畫き N を中心として半徑 $NQ(=R_2-R_1)$ を以て弧 BQ を畫き、同様に H を中心とし半徑 $HA(=R_2-R_1)$ を以て圓弧 AJ を畫く。

然る時は圖から直ちに

$$AE=MQ+SB$$

$$T_1\sin\Delta=R_1\,vers\,\Delta+(R_2-R_1)\,vers\,\Delta_2\cdots\cdots\cdots\cdots(437)_1$$

同様に　$BF=GJ-JI$

$$T_2 \sin \Delta = R_2 \,\mathrm{vers}\, \Delta - (R_2 - R_1)\, \mathrm{vers}\, \Delta_1 \quad \cdots\cdots(437)_2$$

又 $\tan JAI = \dfrac{JI}{AI} = \tan \dfrac{1}{2}\Delta_1 \qquad JI = GJ - GI = R_2 \,\mathrm{vers}\, \Delta - T_2 \sin \Delta$

$$AI = BG - FV - VA = R_2 \sin \Delta - T_2 \cos \Delta - T_1$$

$$\therefore \ \tan \frac{1}{2}\Delta_1 = \frac{R_2 \,\mathrm{vers}\, \Delta - T_2 \sin \Delta}{R_2 \sin \Delta - T_2 \cos \Delta - T_1} \quad \cdots\cdots(438)_1$$

同樣に

$$\tan BQS = \tan \frac{1}{2}\Delta_2 = \frac{SB}{SQ}, \quad SB = AE - MQ = T_1 \sin \Delta - R_1 \,\mathrm{vers}\, \Delta$$

$$SQ = BV + VE - MA = T_2 + T_1 \cos \Delta - R_1 \sin \Delta$$

$$\tan \frac{1}{2}\Delta_2 = \frac{T_1 \sin \Delta - R_1 \,\mathrm{vers}\, \Delta}{T_2 + T_1 \cos \Delta - R_1 \sin \Delta} \quad \cdots\cdots(438)_2$$

〔例〕 $R_1, R_2, \Delta_1, \Delta_2$ を與へて Δ, T_1 及び T_2 を求む。

$$\left.\begin{aligned} &\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 \\ &T_1 = \frac{R_1 \,\mathrm{vers}\, \Delta + (R_2 - R_1)\,\mathrm{vers}\, \Delta_2}{\sin \Delta} \\ &T_2 = \frac{R_2 \,\mathrm{vers}\, \Delta - (R_2 - R_1)\,\mathrm{vers}\, \Delta_1}{\sin \Delta} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(439)$$

〔例〕 Δ, T_1, T_2 及び R_1 又は R_2 を與へて Δ_1, Δ_2 及び R_2 又は R_1 を求む。

(1) R_1 を與へた時

$$\left.\begin{aligned} &\tan \frac{1}{2}\Delta_2 = \frac{T_1 \sin \Delta - R_1 \,\mathrm{vers}\, \Delta}{T_2 + T_1 \cos \Delta - R_1 \sin \Delta}, \quad \Delta_1 = \Delta - \Delta_2 \\ &R_2 = R_1 + \frac{T_1 \sin \Delta - R_1 \,\mathrm{vers}\, \Delta}{\mathrm{vers}\, \Delta_2} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(440)$$

(2) R_2 を與へた時

$$\left.\begin{aligned} &\tan \frac{1}{2}\Delta_1 = \frac{R_2 \,\mathrm{vers}\, \Delta - T_2 \sin \Delta}{R_2 \sin \Delta - T_2 \cos \Delta - T_1} \quad \Delta_2 = \Delta - \Delta_1 \\ &R_1 = R_2 - \frac{R_2 \,\mathrm{vers}\, \Delta - T_2 \sin \Delta}{\mathrm{vers}\, \Delta_1} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(441)$$

347 複心曲線の一般方程式（其の二）

第 780 圖に於て

AP, BP＝複心曲線の圓弧

$O_1A = O_1P = R_1$＝短い方の半徑

$O_2B = O_2P = R_2$＝長い方の半徑

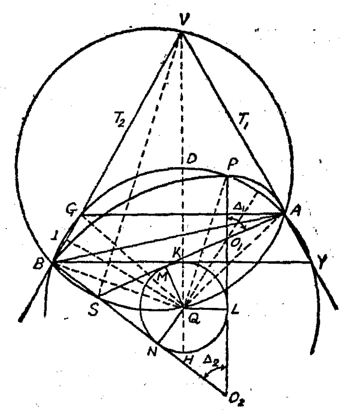
$\angle AO_1P = \Delta_1, \ \angle BO_2P = \Delta_2$

$\Delta = \angle VAB + \angle VBA$＝偏倚角

$= \Delta_1 + \Delta_2$

$\gamma = \angle VAB - \angle VBA$

$AV = T_1, \quad BV = T_2$



第 780 圖

とする。先づ AO_1 を S 迄延長して $\angle ASB = \Delta$ ならしめる。次に VS を結び、VS を直徑として圓 $SBVA$ を畫く。$\angle AVB$ を二等分する弦 VQ を引いて Q を圓周上に定め、AQ 及び BQ を結ぶ。此の時は勿論 $AQ = BQ$ である。Q を中心として QA の半徑を以て圓 $YAPGB$ を畫き VA, VB との他の交點を Y, G とすれば

$$VA = VG, \quad VY = VB \quad \therefore \ BG = AY, \ (AG /\!/ BY) \perp VQ$$

更に AB を結べば $\angle AQB = \angle ASB = \Delta$

$\triangle VAB$ に於て

$$\gamma = \angle VAB - \angle VBA = (\angle VAG + \angle GAB) - (\angle VBY - \angle ABY)$$

然るに $\angle VAG = \angle VBY$ 及び $\angle GAB = \angle ABY$

$$\therefore \ \gamma = 2\angle GAB$$

然る時は $\triangle BQI$ に於て

$$\cot BQI = \frac{IQ}{BI}, \quad IQ = VI \cot IQV = \frac{1}{2}(T_2 + T_1)\cot \frac{1}{2}\Delta$$

及び $BI=\frac{1}{2}(T_2-T_1)$

$$\cot\frac{1}{2}\gamma=\frac{T_2+T_1}{T_2-T_1}\cot\frac{1}{2}\Delta \quad\cdots\cdots\cdots(442)$$

$\triangle AQM$ に於て

$$AO_1=AM-MO_1,\quad AM=MQ\cot\frac{1}{2}\gamma \quad 及び \quad MO_1=MQ\cot\frac{1}{2}\Delta_1$$

$$MQ=\frac{1}{2}(T_2-T_1)$$

$$R_1=\frac{1}{2}(T_2-T_1)\left(\cot\frac{1}{2}\gamma-\cot\frac{1}{2}\Delta_1\right)$$

同様に

$$R_2=\frac{1}{2}(T_2-T_1)\left(\cot\frac{1}{2}\gamma+\cot\frac{1}{2}\Delta_2\right) \quad\cdots\cdots\cdots(443)$$

$$\therefore\quad R_2-R_1=\frac{1}{2}(T_2-T_1)\left(\cot\frac{1}{2}\Delta_2+\cot\frac{1}{2}\Delta_1\right)\cdots\cdots\cdots(444)$$

公式 (443) より

$$\left.\begin{aligned}\cot\frac{1}{2}\Delta_1&=\cot\frac{1}{2}\gamma-\frac{R_1}{\frac{1}{2}(T_2-T_1)}\\ \cot\frac{1}{2}\Delta_2&=\frac{R_2}{\frac{1}{2}(T_2-T_1)}-\cot\frac{1}{2}\gamma\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots(445)$$

$\triangle ABG$ に於て

$$BG=\frac{AB\sin BAG}{\sin AGV}$$

$$\therefore\quad \frac{1}{2}(T_2-T_1)=\frac{\frac{1}{2}AB\sin\frac{1}{2}\gamma}{\sin\frac{1}{2}\Delta}\cdots\cdots\cdots(446)$$

公式 (444) より

$$\frac{1}{2}(T_2-T_1)=\frac{R_2-R_1}{\cot\frac{1}{2}\Delta_2+\cot\frac{1}{2}\Delta_1}\cdots\cdots\cdots(447)$$

公式 (443) より

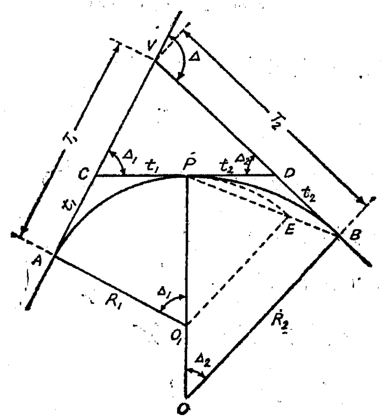
$$\left.\begin{aligned}\cot\frac{1}{2}\gamma&=\frac{R_1}{\frac{1}{2}(T_2-T_1)}+\cot\frac{1}{2}\Delta_1\\ \cot\frac{1}{2}\gamma&=\frac{R_2}{\frac{1}{2}(T_2-T_1)}-\cot\frac{1}{2}\Delta_2\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots(448)$$

公式 (442) より

$$\frac{1}{2}(T_2+T_1)=\frac{\frac{1}{2}(T_2-T_1)\cot\frac{1}{2}\gamma}{\cot\frac{1}{2}\Delta}\cdots\cdots\cdots(449)$$

公式 (447) 及び (449) に依て切線長 T_1 及び T_2 を見出す事が出來る。

348 複心曲線の一般方程式(其の三)



第 781 圖

第 781 圖に於て前節の符號の外

$AC=CP=t_1$

$=$單曲線 AP の切線長

$PD=DB=t_2$

$=$單曲線 PB の切線長

とすれば

$$\Delta=\Delta_1+\Delta_2$$

$$t_1=R_1\tan\frac{1}{2}\Delta_1,\quad t_2=R_2\tan\frac{1}{2}\Delta_2$$

及び $CD=t_1+t_2$

$$\left.\begin{aligned}CV&=CD\frac{\sin\Delta_2}{\sin\Delta}=(t_1+t_2)\frac{\sin\Delta_2}{\sin\Delta}\\ DV&=CD\frac{\sin\Delta_1}{\sin\Delta}=(t_1+t_2)\frac{\sin\Delta_1}{\sin\Delta}\end{aligned}\right\}$$

$$\therefore\quad \left.\begin{aligned} T_1&=t_1+(t_1+t_2)\frac{\sin\Delta_2}{\sin\Delta}\\ T_2&=t_2+(t_1+t_2)\frac{\sin\Delta_1}{\sin\Delta}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(450)$$

公式 (450) に t_1, t_2 の値を代入すれば

$$\left.\begin{aligned} T_1&=R_1\tan\frac{1}{2}\Delta_1+\left(R_1\tan\frac{1}{2}\Delta_1+R_2\tan\frac{1}{2}\Delta_2\right)\frac{\sin\Delta_2}{\sin\Delta}\\ T_2&=R_2\tan\frac{1}{2}\Delta_2+\left(R_1\tan\frac{1}{2}\Delta_1+R_2\tan\frac{1}{2}\Delta_2\right)\frac{\sin\Delta_1}{\sin\Delta}\end{aligned}\right\}$$

$$\cdots\cdots(451)$$

$$\tan\frac{1}{2}\Delta_{1\text{ or }2}=\frac{1-\cos\Delta_{1\text{ or }2}}{\sin\Delta_{1\text{ or }2}}$$

$$T_1=R_1\frac{1-\cos\Delta_1}{\sin\Delta_1}+\left(R_1\frac{1-\cos\Delta_1}{\sin\Delta_1}+R_2\frac{1-\cos\Delta_2}{\sin\Delta_2}\right)\frac{\sin\Delta_2}{\sin\Delta}$$

即ち $T_1\sin\Delta=R_1\left(\frac{1-\cos\Delta_1}{\sin\Delta_1}\right)(\sin\Delta+\sin\Delta_2)+R_2(1-\cos\Delta_2)$

$\sin\Delta_2=\sin(\Delta-\Delta_1)$ と置けば

$$\begin{aligned} T_1\sin\Delta&=R_1(\sin\Delta\sin\Delta_1+\cos\Delta\cos\Delta_1-\cos\Delta)+R_2(1-\cos\Delta_2)\\ &=R_1\{\cos(\Delta-\Delta_1)-\cos\Delta\}+R_2(1-\cos\Delta_2)\\ &=R_1(\cos\Delta_2-\cos\Delta)+R_2(1-\cos\Delta_2)\\ &=R_1\{(1-\cos\Delta)-(1-\cos\Delta_2)\}+R_2(1-\cos\Delta_2)\end{aligned}$$

即ち $T_1\sin\Delta=R_1\,\mathrm{versin}\,\Delta+(R_2-R_1)\mathrm{versin}\,\Delta_2$

同様に

$T_2\sin\Delta=R_2\,\mathrm{versin}\,\Delta-(R_2-R_1)\mathrm{versin}\,\Delta_1$ ……(452)

即ち前に揭げた公式 (437) と同一である。

〔例〕 T_1, R_1, R_2, Δ を與へて T_2, Δ_1, Δ_2 を求む。

$$\mathrm{versin}\,\Delta_2=\frac{T_1\sin\Delta-R_1\,\mathrm{versin}\,\Delta}{R_2-R_1},\qquad \Delta_1=\Delta-\Delta_2$$

$$T_2=\frac{R_2\,\mathrm{versin}\,\Delta-(R_2-R_1)\,\mathrm{versin}\,\Delta_1}{\sin\Delta}$$

〔例〕 $T_1, R_1, \Delta_1, \Delta$ を與へて T_2, R_2, Δ_2 を求む。

$$\Delta_2=\Delta-\Delta_1$$

$$R_2=R_1+\frac{T_1\sin\Delta-R_1\,\mathrm{versin}\,\Delta}{\mathrm{versin}\,\Delta_2},\qquad T_2=\frac{R_2\,\mathrm{versin}\,\Delta-(R_2-R_1)\mathrm{versin}\,\Delta_1}{\sin\Delta}$$

〔例題〕 $R_1=400$ m, $R_2=800$ m, $T_1=350.8$ m 及び $\Delta=63°29'$ の場合

$$\mathrm{vesrsin}\,\Delta_2=\frac{350.8\sin 63°29'-400\,\mathrm{versin}\,63°29'}{800-400}\ \text{より}\ \Delta_2=39°45'$$

$$\Delta_1=63°29'-39°45'=23°44'$$

$$T_2=\frac{800\,\mathrm{versin}\,63°29'-(800-400)\,\mathrm{versin}\,23°44'}{\sin 63°29'}=457.0\ \mathrm{m}$$

交點 V より $T_1=350.80$m を測つて A 點を定める。今 A 點の位置が 5049.20 m とすれば

$$\text{曲線 } AP=\frac{\pi\Delta_1R_1}{180°}=\frac{\pi 23°44'\times400}{180°}=165.60\ \mathrm{m}$$

故に P の位置=5049.20+165.60=5214.80 m

$$\text{曲線 } PB=\frac{\pi\Delta_2R_2}{180°}=\frac{\pi 39°40'\times800}{180}=555.0\ \mathrm{m}$$

故に B の位置=5214.80+555.0=5769.80 m

以後偏角の表を作つて測設する事は單曲線の場合と同じ。

349 複心曲線に關する問題

(1) 交點 (V) が河其他の障害物に落ち交角 (Δ) 及び切線 (T_1, T_2) を測定し得ざる場合 第 782 圖に於て $AB=l$ とし、l, $\angle VAB=\alpha$, $\angle VBA=\beta$ 及び R_1 (或は R_2) を知つて R_2 (或は R_1) 及び $\Delta_1, \Delta_2, \Delta$ を求める。

$$\Delta=\alpha+\beta$$

$\triangle VAB$ に於て

$$\frac{l}{\sin\Delta}=\frac{T_1}{\sin\beta}=\frac{T_2}{\sin\alpha}$$

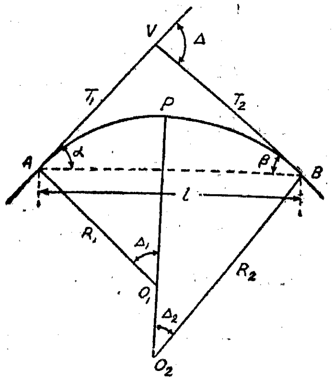
従て $T_1=\dfrac{l\sin\beta}{\sin\Delta}$ 及び $T_2=\dfrac{l\sin\alpha}{\sin\Delta}$

$$\tan\frac{1}{2}\Delta_2=\frac{T_1\sin\Delta-R_1\,\mathrm{vers}\,\Delta}{T_2+T_1\cos\Delta-R_1\sin\Delta}$$

$$\Delta_1=\Delta-\Delta_2$$

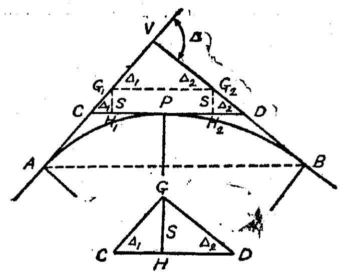
$$R_2=R_1+\frac{T_1\sin\Delta-R_1\,\mathrm{vers}\,\Delta}{\mathrm{vers}\,\Delta_2}$$

に依て見出す事が出來る。



第 782 圖

AB も障害物の爲め用ひられざる時は、次の如き交互法 (Alternative Method) を用ふ。第 783 圖に於て CD を共通切線とすれば



第 783 圖

$$\angle VCD=\Delta_1,\quad \angle VDC=\Delta_2$$

及び $\Delta=\Delta_1+\Delta_2$

$$CD=t_1+t_2=R_1\tan\frac{1}{2}\Delta_1+R_2\tan\frac{1}{2}\Delta_2$$

依つて實際の場合は共通切線 CD を作つて Δ_1 及び Δ_2 を測り且 CD の長さ L を測り、一方 t_1 及び t_2 を計算して $L=t_1+t_2$ であれば C から t_1 を測つて共通切點 P を確定し、曲線 AP 及び PD を測設する。若し L が t_1+t_2 と等しからざる時は Δ_1 及び Δ_2 を正しく測つたとすれば、此の長さの相違は CD が共通切線の位置になく、之と平行な位置 G_1G_2 に移動して居る爲である。此の場合には平行移動に依て正しき位置に直す。即ち

(1) $L>(t_1+t_2)$ であれば交點 V の方に移動する

(2) $L<(t_1+t_2)$ であれば曲線の方に移動する

第 783 圖にて $G_1G_2=L<(t_1+t_2)$ とすれば $G_1H_1=G_2H_2=s$. は移動すべき量である。$\triangle G_1CH_1$ 及び $\triangle G_2DH_2$ を次第に近寄せ G_1H_1 が G_2H_2 と一致し遂に $\triangle CDG$ になつた時は

$$CH=s\cot\Delta_1\quad 及び\quad DH=s\cot\Delta_2$$

$$\therefore\ CH+DH=s(\cot\Delta_1+\cot\Delta_2)=(t_1+t_2)-L$$

故に一般に移動距離は

$$s=\frac{(t_1+t_2)-L}{\cot\Delta_1+\cot\Delta_2}\quad\cdots\cdots(453)$$

で表はせる。

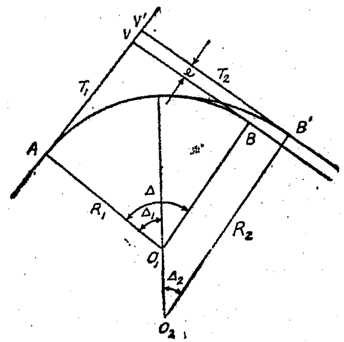
(2) 或る單曲線を變更して複心曲線となす場合

(i) 新切線 $V'B'$ が單曲線の切線 VA の外側にある場合 (第 784 圖)

VB 及び $V'B'$ の距離を e とし、尚

$$AV'=T_1,\quad V'B'=T_2$$

とする。



第 784 圖

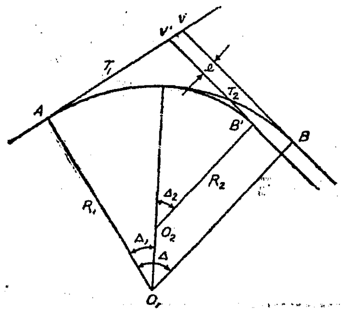
$$R_2\,\mathrm{vers}\,\Delta_2-R_1\,\mathrm{vers}\,\Delta_2=e$$

$$\therefore\ \mathrm{vers}\,\Delta_2=\frac{e}{R_2-R_1}\cdots\cdots(454)_1$$

$$\left.\begin{aligned}&\Delta_1=\Delta-\Delta_2\\&T_1=R_1\tan\frac{1}{2}\Delta-e\,\mathrm{cosec}\,\Delta\\&T_2=R_1\tan\frac{1}{2}\Delta-e\cot\Delta+(R_2-R_1)\sin\Delta_2\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(454)_2$$

此の場合は R_1, Δ, T_1 及び e が既知であるから R_2, Δ_1, Δ_2 及び T_2 を上の公式に依て見出し得る。

(ii) 新切線が單曲線の切線の內側にある場合（第 785 圖）

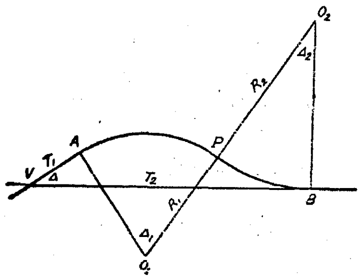


第 785 圖

$$\left.\begin{aligned}
&vers\,\Delta_2=\frac{e}{R_1-R_2}\\
&\Delta_1=\Delta-\Delta_2\\
&T_1=R_1\tan\frac{1}{2}\Delta-e\,cosec\,\Delta\\
&T_2=R_1\tan\frac{1}{2}\Delta+e\cot\Delta\\
&\quad-(R_1-R_2)\sin\Delta_2
\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots(455)$$

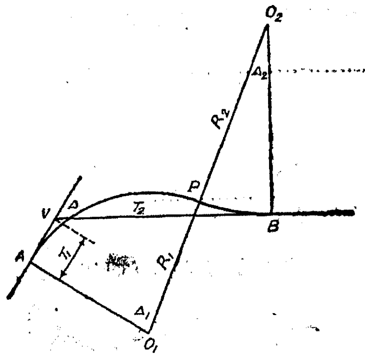
350 反向曲線の一般方程式

反向曲線の幾何學的性質は複心曲線と同一で、前記複心曲線の諸公式に於て $R_2=-R_2$ 及び $\Delta_2=-\Delta_2$ と置けば反向曲線の方程式となる。然し反向曲線の場合は複心曲線と異なり (1) $R_1=R_2$ の場合が存在し、(2) 兩切線の交點 V は共通切線の何れの側にも在り、又始點 A 及び終點 B の何れの側にも存在し、(3) 更に前の如く R_2 を大なる方の半徑としても R_2 に隣る切線 T_2 は複心曲線の場合の如く必ずしも T_1 よりも大とはならない。若し交點 V が A 或は B と一致すれば一方の切線長は消失して了ふ。第 786 圖より第 790 圖迄は此の種々の條件を示す。



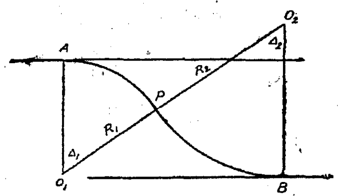
第 786 圖

(1) $\Delta_1>\Delta_2$: 切線交點 V が共通切線の O_1 側にあり且つ始點 A の手前にある場合（第 786 圖）



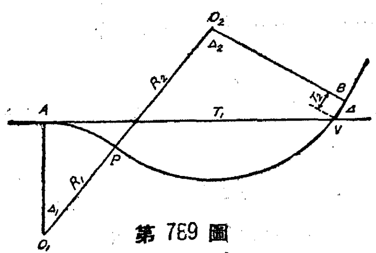
第 787 圖

(2) $\Delta_1>\Delta_2$: V が共通切線の O_1 側にあり且つ A の向ふにある場合（第 787 圖）



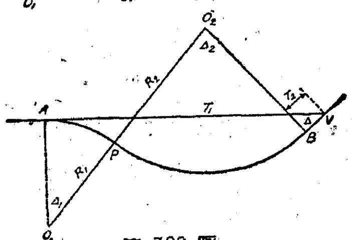
第 788 圖

(3) $\Delta_1=\Delta_2$: 兩切線が平行で從て V が無限大の位置にある場合（第 788 圖）



第 789 圖

(4) $\Delta_1<\Delta_2$: V_2 が共通切線の O_2 側にあり且つ終點 B の手前にある場合（第 789 圖）



第 790 圖

(5) $\Delta_1<\Delta_2$: V が共通切線の O_2 側にあり且つ B の向ふにある場合（第790 圖）

複心曲線の場合と同じく　Δ=兩切線のなす偏倚角　とすれば

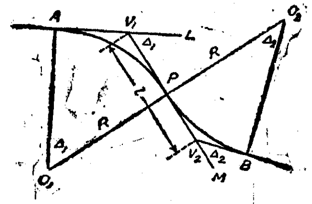
$$\Delta=\Delta_1\sim\Delta_2 \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(456)$$

公式 (452) に相當する關係は

$$\left.\begin{array}{l}T_1\sin\Delta=(R_1+R_2)\,versin\,\Delta_2-R_1\,versin\,\Delta\\ T_2\sin\Delta=(R_1+R_2)\,versin\,\Delta_1-R_2\,versin\,\Delta\end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots(457)$$

〔例〕　反向曲線に於て共通切線の長さ及び其の兩端切線と爲す角を知つて反向曲線の共通半徑を求む。

第 791 圖に於て



第 791 圖

$V_1V_2=l$=共通切線

AV_1, BV_2=兩端に於ける切線

$\angle LV_1P=\angle AO_1P=\Delta_1$　R=共通半徑

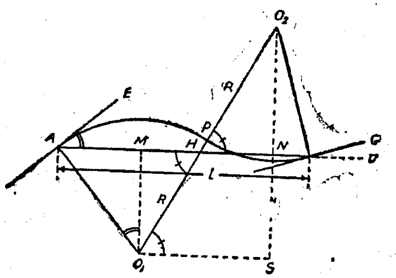
$\angle MV_2P=\angle BO_2P=\Delta_2$

とすれば

$V_1V_2=V_1P+V_2P$　即ち　$l=R\tan\frac{1}{2}\Delta_1+R\tan\frac{1}{2}\Delta_2$

$$R=\frac{l}{\tan\frac{1}{2}R_1+\tan\frac{1}{2}R_2} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(458)$$

〔例〕　反向曲線に於て兩端切點間の距離及び其の兩端切線となす角を知りて共通半徑を求む



第 792 圖

第 792 圖に於て

$AB=l$=切點間の距離

$\left.\begin{array}{l}\angle EAB=A\\ \angle UBG=B\end{array}\right\}$=與へられたる角

とし、AB に平行に O_1S を引き尙 AB に垂直なる O_1M 及び O_2S を引き

$\angle AHO_1=\angle O_2HB$
$=\angle O_2O_1S=H$

とすれば

$$O_2S=O_1O_2\sin H=2R\sin H \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(a)$$

及び　$O_2S=O_2N+NS=O_2N+O_1M=R\cos B+R\cos A$　$\cdots\cdots(b)$

∴　(a)=(b)　即ち　$2R\sin H=R\cos A+R\cos B$

$$\sin H=\frac{1}{2}(\cos A+\cos B) \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(459)_1$$

扨て　$AB=l=AM+MN+NB=AM+NB+O_1S$

$l=R\sin A+R\sin B+2R\cos H$

$$R=\frac{l}{\sin A+\sin B+2\cos H} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(459)_2$$

351　平行切線 (Parallel Tangent) の場合

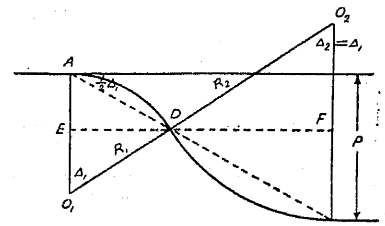
前節 (3) の場合 (第 788 圖) は $\Delta=0$ 及び T_1, T_2 共に無限大となるので一般公式を用ひて測設する事が出來ぬ。而も平行切線に於ける反向曲線は鐵道、軌道等の亘り線 (Cross Over) に應用せられ實用上重要なもので、實際上起る殆ど總ての場合平行切線間の距離が與へられて居る。

第 793 圖に於て

$O_1A=R_1,\quad O_2B=R_2$

P=平行切線間の垂直距離

共通切點 D を通り切線に平行なる EDF を引き O_1A 及び O_2B との交りを夫々 E 及び F とすれば



第 793 圖

$$P=AE+FB=R_1\,versin\,\Delta_1+R_2\,versin\,\Delta_2=(R_1+R_2)\,versin\,\Delta_1$$

$$versin\,\Delta_1=\frac{P}{(R_1+R_2)} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(460)$$

半徑が分れば D を測設する事が出來、從つて AD 及び DB 間に二個の單曲線を測設し得る。又半徑の何れか一つ及び中心角を知れば、他の半徑を

見出し得る。

實際上平行切線の場合の反向曲線は小區域にしか亘らないから、兩端切點間の距離 AB が與へられる場合がある。此の場合も第 793 圖に於て D は AB 線中にあるので

$$AD=2R_1\,sin\frac{1}{2}\varDelta_1 \quad 及び \quad DB=2R_2\,sin\frac{1}{2}\varDelta_1$$

$$\therefore \quad AB=AD+DB=2\,sin\frac{1}{2}\varDelta_1(R_1+R_2)=2\frac{P}{AB}(R_1+R_2)$$

卽ち　$AB=\sqrt{2P(R_1+R_2)}$ ……………………………………(461)

若し　$R_1=R_2=R$ の場合は

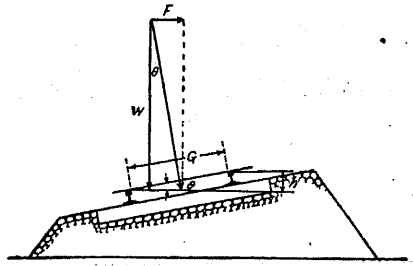
$$versin\,\varDelta_1=\frac{P}{2R} \quad 及び \quad AB=2\sqrt{RP} \quad \cdots\cdots(462)$$

第六章　鐵道或は軌道に於ける緩和曲線

352　高度 (Cant)

列車或は電車が線路の曲線部分を通過する時は遠心力 (Centrifugal Force) の作用に依り車輛は曲線の外方に投出されんとする傾向がある。此の遠心力は曲線半徑が小さく且つ列車の速度大なる時大であり、時に脫線等の危險を生ぜしめる。故に曲線部に於ては外部の軌條(Rail)を內部の軌條より高め、列車を曲線內部に傾斜せしめ其の重力に依て遠心力と平衡を保ち車輛を安全に保たしめる。斯くの如く外部の軌條を內部の軌條よりも高める度合を高度 (Cant) と云ふ。

第 794 圖に於て



第 794 圖

g=重力に依る加速度=9.81m/秒^2

W=車輛の重量
F=遠心力
h=高度 (Cant)
M=車輛の質量
G=軌間 (Gauge)=1.067 m*
R=曲線半徑 (m)
v=列車の速度 (m/sec)
θ=軌條頭部の傾斜角

とすれば

$$W=Mg, \qquad F=\frac{Mv^2}{R}$$

$$及び \quad tan\,\theta=\frac{F}{W}=\frac{h}{G}$$

$$\therefore \quad FG=hW \quad \frac{Mv^2}{R}G=hMg$$

$$h=\frac{Gv^2}{gR}=\frac{Gv^2}{9.81R} \quad \cdots\cdots(463)$$

今　V=列車の速度 (km/時) とすれば

$$v^2=\left(\frac{1000}{60\times60}V\right)^2=\left(\frac{5}{18}V\right)^2=\left(\frac{V}{3.6}\right)^2$$

$$\therefore \quad h=\frac{G}{9.81R}\left(\frac{5}{18}V\right)^2=\frac{GV^2}{3.6^2\times9.81R}=\frac{GV^2}{127R} \quad \cdots\cdots(464)$$

此の式に依り曲線半徑及び列車速度に應ずる理論的高度を定むる事が出來る。上式に依り高度は曲線半徑の小となる程又列車速度の大となる程大にせねばならぬ。然し實際問題として曲線路を通過する列車の速度を等しくする事は

* 國有鐵道建設規程　第 8 條　軌間は 1.067 m とす。

困難な事で、高速度の急行列車に對して高度を定むれば低速度の列車に對しては內側に倒れる傾向となり、又低速度の貨物列車を標準として高度を附すれば高速度列車の場合は外方に倒れかゝる。故に今日では或る區間每に豫め平均速度を假定して之に應ずる高度を附して居る。

平均速度を出すには次の式を用ひる。

$$V=\sqrt{\frac{V_1^2+V_2^2}{2}} \quad \cdots\cdots(465)$$

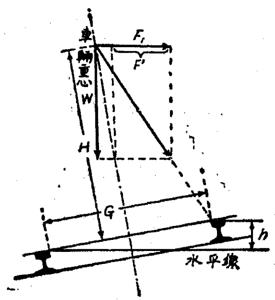
但し　V＝平均速度（km/時）

V_1＝豫定最高速度（km/時）

V_2＝豫定最低速度（km/時）

次に高度設置に伴ふ列車の安定を考へると、今高度を附けた曲線々路を V なる平均速度を以て通過する時は、曲線に依る遠心力 F は高度に依て失はれる。若し速度を增して列車が將に倒れんとする時の速度を V_1、其の遠心力を F_1 とすれば、此の時の列車を轉倒せんとする遠心力は

$$F'=F_1-F=\frac{WV_1^2}{127R}-\frac{WV^2}{127R}=\frac{V_1^2-V^2}{127R}W \quad \cdots\cdots(a)$$



第 795 圖

從て第 795 圖より安定の條件は次の如くなる。

$$\frac{W}{F'} \geqq \frac{H}{\frac{G}{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(b)$$

(a) 及び (b) 式より

$$\frac{V_1^2-V^2}{127R} \cdot \frac{H}{G} \leqq \frac{1}{2} \quad \cdots\cdots\cdots(466)$$

安定率を 4 即ち合成力が軌間の中央 $\frac{1}{4}$ に落つる爲めには

$$\frac{V_1^2-V^2}{127R} \cdot \frac{H}{G} \leqq \frac{1}{8} \quad \cdots\cdots(467)_1$$

最低速度の場合も全く同樣に

$$\frac{V^2-V_2^2}{127R} \cdot \frac{H}{G} \leqq \frac{1}{8} \quad \cdots\cdots(467)_2$$

又は $(467)_1$ 及び $(467)_2$ 式より

$$\frac{V_1^2-V_2^2}{127R} \cdot \frac{H}{G} \leqq \frac{1}{4} \quad \cdots\cdots(468)$$

又最高速度は次の制限を越す事は出來ない。

半徑	速度	半徑	速度
600 m の場合	113 km/時	240 m の場合	64 km/時
400 〃	89 〃	200 〃	58 〃
300 〃	72 〃	160 〃	48 〃

國有鐵道に於ては高度の最大限度を 115 mm と定めて居る。之は車輛の安定を考慮したもので、第 796 圖に於て

H＝車輛重心の高さ＝1650 mm（現存機關車では最高 1600 mm）

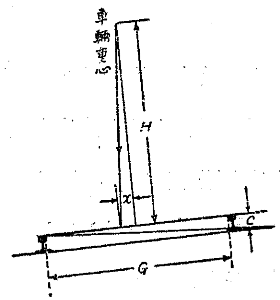
c＝カント＝115 mm

G＝軌間＝1067 mm

とすれば

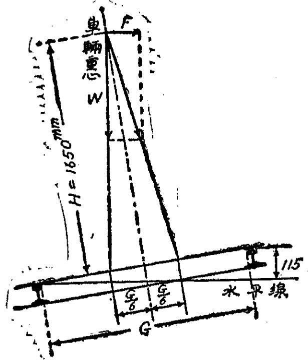
$$x=\frac{cH}{G}=\frac{115\times1650}{1067}=178\text{ mm}$$

$$=\frac{1}{6}G \quad \cdots\cdots(469)$$



第 796 圖

依て 115 mm の高度を附ければ重心の高さ



第 797 圖

1650 mm の車輛が停止或は小速度で通過する場合に内側の軌條が其の重量の約 $\frac{2}{3}$ を、外側の軌條が約 $\frac{1}{3}$ を負擔することゝなり、車輛の轉覆に對する安全率は約 3 となる。

次に前記の車輛が運轉する場合同様の安全率を保つ様な最高速度を出して見る。第 797 圖に於て

$$\frac{F}{W}=\frac{G}{3H},\quad F=\frac{Mv^2}{R},\quad W=Mg$$

$$\therefore\quad v=\sqrt{\frac{RgG}{3H}}=1.45\sqrt{R}\quad \text{m/秒} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(470)$$

R の種々の値に對する v の値は次の如くなる。然し實際の運轉速度は之より著しく低いから高度 115 mm には相當の餘裕があることになる。

R (m)	400	300	250	200
v (m/秒)	29	25	23	20.5
V (km/時)	104	90	83	74

以上の公式に依り種々の半徑及び速度に對して第 51 表の高度表が出來る。

軌道の場合も前記の公式及び表に依て高度を附ける。然し併用軌道の場合に高度を附くれば、一般道路交通に支障を來すから、高度を附けず護輪軌條 (Guard Rail) を用ふるか又は特殊な曲線用溝形軌條を用ひ、特に路面電車に於ては勾配及び鋪裝の關係上此の影響が多いから專ら速度を緩にして之を補ふ。

第 51 表 軌 條 高 度 表

半徑(米) / 平均速度(粁)	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	8	7
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	34
100							105	84	70	60	53	42

軌道建設規程

第 11 條 併用軌道に於ては軌條間の全部及左右各 610 mmは其の軌道を敷設する道路の路面と同一構造とし軌條面と道路面と高低なからしむべし.

然るに自動車の如き高速度交通を考へた近代道路にては其の屈曲部に高度を附け安全を保つて居る。

道路構造に關する細則

第 12 條 道路屈曲部に於ける横斷勾配は街路其の他特殊の箇所を除くの外中心線の半徑 300米以下の場合に限り次の標準に依る勾配と爲すべし。前項の屈曲部と直線部との横斷勾配の摺付は特殊の箇所を除くの外長 10 米に付 0.1米の割合

を以て標準と爲すべし。

半　　　　　　　　徑	勾　　　　配
100　米未滿	$\frac{1}{12}$
100　米乃至　150　米未滿	$\frac{1}{15}$
150　米乃至　240　米未滿	$\frac{1}{20}$
240　米乃至　300　米以下	$\frac{1}{25}$

依て此の規定に依つて築造された道路であれば、之に軌道を敷設する場合は道路面の有する勾配の程度に高度を附ければ一般交通に支障はない。

353　擴度（Slack）

線路上を通過する車輛や機關車には其の構造上固定輪軸距（Rigid Wheel Base）と云ふものがあり、曲線上を通過する場合曲線半徑の小なる線路上にては軌條と車輪の突緣（Flange）との接觸點が車軸の眞下から幾分外れる樣になるため、直線部と同じ軌間では車輪と軌條が軋り合ひ滑らかに運轉が出來ず、從つて車輪及び軌條を損ずるのみならず脫線の危險も生ずる恐れがある。夫で所定の固定輪軸距を有する車輛の運轉に差支へ無い樣に曲線內では軌間を擴げなくてはならぬ。此の擴げる大さを擴度（Slack）と云つて居る。擴度は必ず內側軌條を以て加減し決して外側軌條を動かしてはならぬ。

我が國有鐵道では建設規程で擴度を次の如く定めて居る。

國有鐵道建設規程

第 9 條　半徑 800米以下の曲線に於ては前條の軌間に相當のスラックを附することを要す。但し 30 粍を越ゆることを得ず。前項スラックは分岐の場合を除き 5 米以上の緩和曲線ある場合は其の全長に於て、其の他の場合は圓曲線端より 5 米の長さに於て之を遞減するものとす。

註　本條第 2 項に於ける其の他の場合とは複心曲線又は側線の曲線に於ける如き場合を謂ふ。

軌間の擴度は車輛の軸距及び軌條と輪鐵との可許遊間程度に依て異るもので、凡ての場合に適用し得る公式を與へる事は全然不可能である。從來の擴度計算の公式は種々の假定に基いたもので、此の假定の異なるに依て甚だしく異なる値を得る。要するに與へられたる擴度の値に依て次に示す種々の場合の何れにも近い形を取り得るものと思はれる。

（1）　後方車軸が曲線の半徑の方向と一致せざる場合

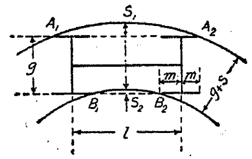
（i）　二軸車

第 798 圖に於て

S＝所要の擴度　　g＝軌間

R＝曲線半徑　　l＝固定輪軸距

とすれば



第 798 圖

$$S=S_1-S_2$$

$$S_1=\frac{\left(\frac{l}{2}+m\right)^2}{2\left(R+\frac{g}{2}\right)-S_1}\fallingdotseq\frac{\left(\frac{l}{2}+m\right)^2}{2R}$$

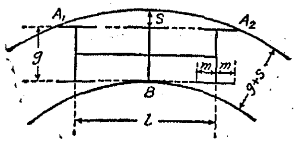
$$S_2=\frac{\left(\frac{l}{2}+m\right)^2}{2\left(R-\frac{g}{2}\right)-S_2}\fallingdotseq\frac{\left(\frac{l}{2}-m\right)^2}{2R}$$

$$S=\frac{\left(\frac{l}{2}+m\right)^2}{2R}-\frac{\left(\frac{l}{2}-m\right)^2}{2R}=\frac{ml}{R}\text{(in m)} \cdots\cdots\cdots\cdots(471)$$

（ii）　三軸車（第 799 圖）

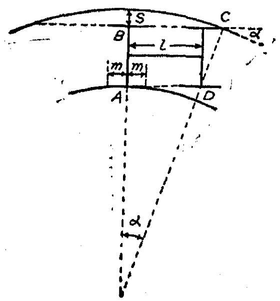
$$S=\frac{\left(\frac{l}{2}+m\right)^2}{2\left(R+\frac{g}{2}\right)-S}\doteqdot\frac{\left(\frac{l}{2}+m\right)^2}{2R}$$

(in m)……………………(472)



第 799 圖

（2） 後方車軸が曲線の半徑の方向と一致する場合



第 800 圖

第 800 圖に依り

$$S=\frac{(l+m)^2}{2\left(R+\frac{g}{2}\right)-S}\doteqdot\frac{(l+m)^2}{2R}$$

(in m)……………………(473)

之等の公式に依れば固定輪軸距（l）の大なるもの程、又曲線半徑（R）の小なるもの程所要擴度の値が大となり危險であるから我が國有鐵道に於ては $l\leqq 4.6$ m 及び $R\geqq 80$ m に制限して居る。

國有鐵道建設規程

第 64 條　固定軸距は 4 米 6 以下たることを要す

我が國有鐵道では擴度を次の公式にて算出して居る。

$$S=\frac{5620}{R}-5 \quad\cdots\cdots(474)$$

但し　S=擴度（mm）　R=曲線半徑（m）

之に依つて算出したものが次の軌間擴度表である。

第 52 表　軌 間 擴 度 表

半　徑（m）	150	200	300	400	500	600	800
擴　度（mm）	30	23	14	9	6	4	2

軌道の場合に對する規定に依れば

軌道建設規程

第 6 條　併用軌道の曲線に於て軌間に擴度を附する場合は左の制限に依るべし

（1） 軌間 1 米 067 若は 1 米 435 にして曲線の半徑 120 米以下のものに在りては 25 粍以內

（2） 軌間 762 粍にして曲線の半徑 60 米以下のものに在りては 13 粍以內

然し路面電車にては曲線部に溝軌條を使用する場合には擴度は附けない習慣である。

354 緩和曲線（Transition Curve, Easement Curve）

緩和曲線とは鐵道線路或は電車軌道に於て列車又は電車運轉の平滑を期する爲に圓曲線と直線との間に設くる一樣特別な曲線である。

列車又は電車が直線より曲線に進入する時其の半徑が急激に變化する爲め著しく動搖する。又曲線部を走行する時は遠心力の作用に依り列車又は電車を外方に投げ出さんとする傾向を生じ、之に抵抗する爲に外側軌條に高度を附ける事前述の通りである。更に固定軸距の關係上軌條を少し擴げる。然し線路直線なる部分に在つては兩側軌條は水平なる故、曲線部にて外側軌條に高度を附くれば外側軌條は直線部と曲線部との境で高低差を生じ、此の差は直線部と曲線部の接續點に於て一時に補正するを得ず、其の何れかに勾配を附けて兩者を接續せしめねばならない。然し直線部分に於て一方の軌條に勾配を附け、線路の兩側軌條に高低を附くるのは勿論、圓曲線の半徑一定せる部分に勾配を附くるのも、速度、半徑一定なる上は高度も一定である可きであるから面白くない。夫で直線部と曲線部の間に一種の特別な曲線を用ひて其の缺點を補正する必要があり、此の曲線を緩和曲線と云ふ。故に緩和曲線の理想としては任意の箇所に於ける曲率半徑が兩軌條の高低差に相當する所の

曲線であつて、若し計算に用ふる列車の速度 V を一定した上は、曲線中何れの個所に於ても其の點の高度と半徑との間に一定の關係を有すべきである。卽ち緩和曲線は一定の高度を有する圓曲線部と高度を有せざる直線部との間に敷設する勾配を有する曲線であつて、勾配の初めは曲率半徑は無限大であるが高度の增加に伴ひ半徑を變更し、勾配の終り卽ち圓曲線の終點に於ては一定の高度に達し其の半徑は圓曲線のものと同一となるべきものである。

現在用ひられて居る緩和曲線は主として三次拋物線 (Cubic Parabola) か或は螺線 (Sprial) である。三次拋物線は獨逸及び日本で用ひ、螺線は主として米國で用ひて居る。

擴度、高度及び緩和曲線に關する鐵道省の規定を示せば次の如くである。

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 217 號）

第一章　曲線ニ於ケル軌間ノ擴度

第一條　曲線ニ於ケル軌間ノ擴度ハ下ノ公式ヲ應用シ別記軌間擴度表ニ依ルモノトス。

$$S=\frac{5620}{R}-5 \quad \begin{cases} S=\text{擴度(粍)} \\ R=\text{曲線半徑(米)} \end{cases}$$

第二條　擴度ハ三十粍ヲ以テ最大限度トス。

但輪鐵ノ幅員ヲ百二十四粍ト假定ス。

第二條ノ二　擴度ハ緩和曲線ノ全長ニ於テ始終スルモノトス。

緩和曲線ヲ採用セザル場合ニハ圓曲線ノ始終點ヨリ高度四百倍以上ノ直線長ニ於テ始終スルモノトス。

第二章　曲線ニ於ケル軌條ノ高度

第四條　軌條ノ高度ハ左ノ第一公式ヲ應用シ別記高度表ニ依ルモノトス。

但第二公式ノ條件ヲ具備スルヲ要ス。

$$C=\frac{gV^2}{0.127R}\cdots\cdots\cdots\cdots(1) \qquad \frac{V_1^2-V^2}{127R}\cdot\frac{H}{g}\leqq\frac{1}{8}\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

C＝外軌高度(粍)　　g＝軌間(米)

R＝曲線半徑(米)　　V＝列車平均速度(一時間＝付粁)

V_1＝列車最大速度(一時間＝付粁)　　H＝車輛ノ重心ヨリ軌條面ノ距離(米)

前項ノ列車ノ平均及最大速度ハ營業線ニアリテハ實際運轉セル列車ノ平均速度及最大速度ニシテ新設線路ニアリテハ營業開始當時ニ於ケル豫定運轉列車ノ平均速度及最大速度トス停車場内ニ於ケル列車不通過線路ノ軌條ニハ高度ヲ附セザルモノトス。

第五條　高度ハ百十五粍ヲ以テ最大限度トス。

第六條　高度ヲ遞減シテ全廢ニ至ル迄ノ距離ハ緩和曲線ノ全長トス。

但シ緩和曲線ヲ採用セザル場合ニハ甲乙兩種線路トモ圓曲線ノ始終點ヨリ直線ニ於テ四百倍トス。

第七條　高度ハ線路ノ水平ト勾配トヲ問ハズ內側軌條ヲ施工基面ニ應ジテ敷設シ外方軌條ニ於テ高度ヲ施スモノトス。

第三章　緩和曲線

第八條　線路ノ曲線ニハ緩和曲線ヲ採用ス。

緩和曲線ハ三次拋物線ニシテ其敷設法ハ別記第一法ニ依ルモノトス。

但既成線路ニシテ圓曲線頂部 (Apex) ノ移轉困難ナル場合ニ於テハ小半徑ノ圓曲線ヲ中間ニ挿入シ其敷設法ハ第二法ニ依ル可シ。

第九條　緩和曲線ノ長サハ甲種線路ニアリテハ計畫高度ノ六百倍乃至八百倍乙種線路ニアリテハ四百八十倍乃至六百倍トス。

第十條　新線路建設又ハ既成線路改築ノ場合ニ於テハ將來ニ於ケル列車運轉ノ最大速度及最小速度ヲ豫定シ下ノ公式ニ依リ其ノ平均運轉速度ヲ算出シ之ヲ第四條ノ公式ニ應用シ第五條ノ制限內ニテ計畫高度ヲ定メ前條ニ依リ緩和曲線ノ長サヲ定ムルモノトス。

$$V=\sqrt{\frac{V_1^2+V_2^2}{2}}$$

V＝平均速度(一時間＝付粁)

V_1＝豫定最大速度(一時間＝付粁)

V_2＝豫定最小速度(　同　)

前項ノ最大速度及最小速度ヲ豫定スルニハ下ノ條件ヲ必要トス。

$$\frac{V_1^2-V^2}{127R}\cdot\frac{H}{g}=\frac{V^2-V_2^2}{127R}\cdot\frac{H}{g}\leqq\frac{1}{8}\quad 又ハ\quad \frac{V_1^2-V_2^2}{127R}\cdot\frac{H}{g}\leqq\frac{1}{4}$$

H＝車輛ノ中心ヨリ軌條面迄ノ距離(米)

各前項ノ最大速度ハ左ノ制限ヲ超ユル事ヲ得ズ。

半徑	六百米ノ場合	一時間	百十三粁
同	四百米ノ場合	同	八十九粁
同	三百米ノ場合	同	七十二粁
同	二百四十米ノ場合	同	六十四粁
同	二百米ノ場合	同	五十八粁
同	百六十米ノ場合	同	四十八粁

第十一條　緩和曲線ノ最長限度ハ緩和曲線挿入前ノ圓曲線全長ノ四分ノ三トス

附　則

第十二條　本規定ニ於テ甲種線路トハ東海道本線、東北本線、常磐線、山陽本線、鹿兒島本線、長崎本線、豐州線（除行橋以東）筑豐線、函館線、室蘭線ヲ謂ヒ乙種線路トハ甲種線路以外ノ線路ヲ謂フ。

355　三次拋物緩和曲線の原理 (Principle of Cubic Parabola Transition Curve)

今 $\frac{1}{n}$＝外側軌條の勾配

z＝外側軌條の高度

S＝緩和曲線の始點 ($P.T.C.$) A より任意の點 (x,y) に至る曲線長

とすれば

$$\frac{z}{S}=\frac{1}{n}\quad\cdots\cdots(475)$$

國有鐵道に於ては n=600～300（國有鐵道建設規程第 13 條）に取り、從つて曲線は非常に緩やかで曲線長 S は横距 x に等しと見做し得る。

$$S\fallingdotseq x,\quad \frac{z}{x}=\frac{1}{n},\quad z=\frac{x}{n}\quad\cdots\cdots(a)$$

一般に曲率半徑の公式は

$$R=\frac{\left\{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right\}^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2y}{dx^2}}$$

此の場合曲線が極めて緩やかであるから

$$\frac{dy}{dx}\fallingdotseq 0\quad 從て\quad R=\frac{1}{\frac{d^2y}{dx^2}}$$

即ち $\frac{1}{R}=\frac{d^2y}{dx^2}$ ……(b)

更に公式 (463) より

$$z=\frac{Gv^2}{gR}\quad 從て\quad \frac{1}{R}=\frac{gz}{Gv^2}$$

$$\frac{d^2y}{dx^2}=\frac{gz}{Gv^2}=\frac{g}{nGv^2}x\quad\cdots\cdots(c)$$

今 $\frac{nGv^2}{g}=q$ と置けば $\frac{d^2y}{dx^2}=\frac{x}{q}$ ……(d)

(d) 式は即ち三次拋物緩和曲線の微分方程式である。(d) 式を積分すれば

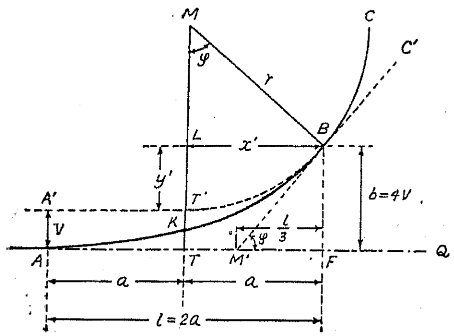
$$\frac{dy}{dx}=\frac{x^2}{2q}+C_1\quad 及び\quad y=\frac{x^3}{6q}+C_1x+C_2\cdots\cdots(e)$$

始點 A に於ては

$$x=0,\ y=0\quad 及び\quad \frac{dy}{dx}=0\quad 從て\quad C_1=C_2=0$$

$$\therefore \quad \frac{dy}{dx}=\frac{x^2}{2q}, \qquad y=\frac{x^3}{6q} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(476)$$

即ち三次拋物線より成る緩和曲線の方程式を得る。



第 801 圖

(b) 式及び (d) 式より

$$\frac{1}{R}=\frac{d^2y}{dx^2}=\frac{x}{q}$$

即ち $R=\dfrac{q}{x}$ ⋯(f)

故に始點 A に於ては

$$x=0, \quad R=\infty$$

終點 B に於ては

$$x=l, \quad R=r$$

從て (f) 式により

$$r=\frac{q}{l}. \text{ 即ち } l=\frac{q}{r} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(g)$$

終點 B の縦距 b は

$$b=\frac{l^3}{6q}=\frac{q^2}{6r^3}=\frac{l^2}{6r} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(h)$$

$\varphi=\angle BM'F=$終點 B に於ける切線が横軸となす角

とすれば

$$\tan\varphi=\left|\frac{dy}{dx}\right|_{x=l}=\left|\frac{x^2}{2q}\right|_{x=l}=\frac{l^2}{2q}=\frac{3b}{l}=b:\frac{l}{3} \quad \cdots\cdots(477)_1$$

即ち B の補切線 (Subtangent) BM' は B の横距 $AF=l$ の三等分點を過る。

$$M'F=\frac{l}{3} \text{ 及び } AM'=\frac{2}{3}l \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(477)_2$$

(477) 式の關係は一般に曲線の他の點にも適用し得る。

次に圓曲線の中心 M より横軸に垂線 $MT'KT$ を引き圓弧及び緩和曲線と夫々 T' 及び K にて交らしめる、然る時は $\angle BMT'=\varphi$、又 B より MT に垂線 BL を下し $BL=x'$, $LT'=y'$ とすれば

$$x'=r\sin\varphi, \qquad y'=r(1-\cos\varphi) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(i)$$

φ は事實上甚だ小であるから

$$\left.\begin{aligned} \sin\varphi&=\tan\varphi=\frac{l^2}{2q} \\ \cos\varphi&=\sqrt{1-\left(\frac{l^2}{2q}\right)^2}\fallingdotseq 1-\frac{1}{2}\left(\frac{l^2}{2q}\right)^2 \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(j)$$

(g), (h) 及び (j) を (i) 式に適用すれば

$$\left.\begin{aligned} x'&=r\sin\varphi=\frac{q}{l}\cdot\frac{l^2}{2q}=\frac{l}{2} \\ y'&=r(1-\cos\varphi)=\frac{q}{2l}\left(\frac{l^2}{2q}\right)^2=\frac{l^3}{8q}=\frac{3}{4}b \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(478)$$

$$\text{及び} \quad \left.\begin{aligned} l&=2x'=2a \\ T'T&=b-y'=\frac{1}{4}b=V=\frac{q^2}{24r^3} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(479)$$

此の $T'T=V$ を移程 (Shift) と云ふ。

緩和曲線の方程式 (476) に $x=\dfrac{l}{2}$ と置けば

$$TK=\left(\frac{l}{2}\right)^3\frac{1}{6q}=\frac{l^3}{48q}=\frac{b}{8}=\frac{1}{2}V \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(480)$$

故に移程 $TT'=V$ は緩和曲線に依て K 點に於て二等分される。

356 三次拋物緩和曲線の敷設法

緩和曲線を實際に敷設する場合我が國有鐵道にては

國有鐵道建設規程

第 13 條　本線路に於ける直線と曲線とは分岐の場合を除き相當の緩和曲線を以て接續することを要す

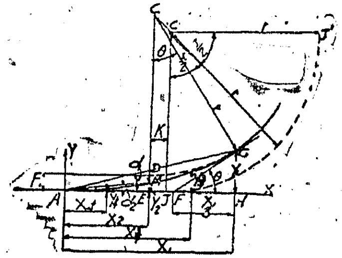
前項の緩和曲線の長さは第25條に依り附するカントの次の倍數を下る事を得ず

甲線　600 倍　　乙線　450 倍　　丙線　300 倍

と規定されてある。

緩和曲線の敷設法には次の二方法がある。

（1）**第一法**（第 802 圖參照）本方法に依つ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內方に F 丈け移動せしめ、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。



r＝曲線半徑(米)
L＝緩和曲線長(米)
I＝曲線交角

第 802 圖

曲線半徑 r（米）、軌條高度 c（粍）なるときは先づ

$$K=\frac{cn}{1000r}$$

$$\text{但し}\quad n\begin{cases}\text{甲種線路に在りては}\ 600\sim800\\ \text{乙種}\qquad\text{〃}\qquad 480\sim600\end{cases}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(481)$$

に依り K を算出し次に第53表(第一表)に於て K に近き l を撰出すれば、之に相當する $\theta, f, x_1, y_1, x_2, y_2$ 等の値を得られるから、次式に依つて各所要の寸法を求むる事が出來る。

$$\left.\begin{array}{ll} L=lr\ (\text{米}) & F=fr\ (\text{米})\\ X_1=x_1r\ ('') & Y_1=y_1r\ ('')\\ X_2=x_2r\ ('') & Y_2=y_2r\ ('')\end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(482)$$

$$\left.\begin{array}{ll} X_{\frac14}=x_{\frac14}r('') & Y_{\frac14}=y_{\frac14}r('')\\ X_{\frac34}=x_{\frac34}r('') & Y_{\frac34}=y_{\frac34}r('')\end{array}\right\}$$

但し r＝曲線半徑(米)

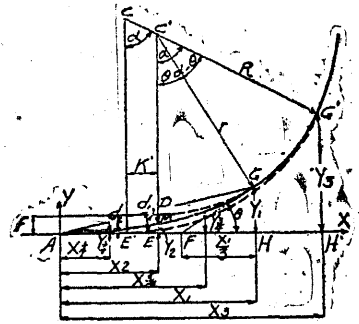
一般に AH を n 等分して m 番目の點の位置を求めんとすれば

$$\left.\begin{array}{ll} X_{\frac{m}{n}}=\dfrac{m}{n}x_1(\text{米}), & Y_{\frac{m}{n}}=\left(\dfrac{m}{n}\right)^3 y_1\\ \tan d_{\frac{m}{n}}=\left(\dfrac{m}{n}\right)^2\dfrac{y_1}{x_1} & \end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(483)$$

尙　$FH=\dfrac{1}{3}X_1$（米），　$K=F\tan\dfrac{I}{2}$（米）

又 G 點及び D 點の偏角 d_1 及び d_2 は第 53 表(第一表)に示す如し。

（2）**第二法**（第 803 圖參照）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挿入して緩和曲線を敷設するものとす。



R＝曲線半徑（米）
r＝小曲線半徑（米）
L＝緩和曲線長（米）
＝AMG の長

第 803 圖

此の際使用すべき小半徑は次式に依つて算定するのである。

$$r=R-\frac{1}{20}(R-100)\cdots(484)$$

但し r は 5 米の整數倍とす（第53表(第2表)參照）

之に依つて r を定め夫れより第一法の場合と同樣に

$$K=\frac{cn}{1000r}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(481)$$

に依つて K を算出し、第 53 表(第一表)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 AG 間の所要寸法を算出することが出來る。

α 角を求むるには第 53 表(第三表)に依り $(R-r)$ に相當する値を撰み、之に r を乘ずれば $vers\,\alpha$ 卽 $1-\cos\alpha$ を得、從て α を定むることが出來る。

尙

$$\left.\begin{array}{ll} Y_3=R\,vers\,\alpha\ (米) & X_3=X_2+r\sin\alpha\ (米) \\ K'=(R-r)\sin\alpha('') & AE'=X_2-(R-r)\sin\alpha('') \\ \widehat{GG'}=\pi\dfrac{r(\alpha-\theta)}{180}('') & \end{array}\right\}\cdots(485)$$

等を得。

〔例 1〕 曲線半徑 300 米、軌條高度 115 粍、$n=800$ なる場合に於ける緩和曲線の主要寸法を求む。

此の場合は　$r=300$,　$c=115$,　$n=800$

$$\therefore\ K=\frac{115\times800}{1000\times300}=0.30667$$

故に第 53 表(第一表)に依り $l=0.305978$ を撰み $\theta=90°-0'-0''$ たるを知り、次の如く主要寸法を求むる事が出來る。

$L=0.305978\times300=91.793$ (米)　　$F=0.0038019\times300=1.141$ (米)

$X_1=0.305212\times300=91.564$ (米)　　$Y_1=0.0161136\times300=4.834$ (米)

$X_2=0.148777\times300=44.633$ (米)　　$Y_2=0.0018664\times300=0.560$ (米)

$X_{\frac{1}{4}}=0.076303\times300=22.891$ (米)　　$Y_{\frac{1}{4}}=0.0002518\times300=0.076$ (米)

$X_{\frac{3}{4}}=0.228909\times300=68.673$ (米)　　$Y_{\frac{3}{4}}=0.0067979\times300=2.039$ (米)

$FH=\frac{1}{3}\times91.564=30.521$ (米)

〔例 2〕 曲線半徑 1200 米、軌條高度 35 粍なるとき第 802 圖に示す F, X_1, Y_1, X_2, Y_2 及び緩和曲線長 L を求む。但し $n=800$ とす。

此の場合にあつては

$r=1200$,　$c=35$,　$n=800$

第 53 表(第一表)　緩和曲線敷設法附表

θ	l	f	x_1	y_1	x_2	y_2	$x_{\frac{1}{4}}$	$y_{\frac{1}{4}}$	$x_{\frac{3}{4}}$	$y_{\frac{3}{4}}$	d_1	d_2
0°30′	.017453	.0000127	.017452	.0000508	.008725	.0000063	.004363	.0000008	.013098	.0000214	0°10′00″	0°02′30″
0°40′	.023268	.0000225	.023267	.0000902	.011632	.0000112	.005817	.0000014	.017451	.0000381	0°13′20″	0°03′20″
0°50′	.029082	.0000358	.029082	.0001410	.014538	.0000176	.007270	.0000022	.021811	.0000595	0°16′40″	0°04′10″
1°00′	.034895	.0000507	.034894	.0002030	.017442	.0000254	.008724	.0000032	.026171	.0000856	0°20′00″	0°04′59″
1°15′	.043630	.0000792	.043609	.0003172	.021794	.0000396	.010902	.0000050	.032707	.0001338	0°25′00″	0°06′15″
1°30′	.052322	.0001140	.052318	.0004567	.026141	.0000569	.013080	.0000071	.039239	.0001927	0°30′00″	0°07′30″
1°45′	.061077	.0001550	.061020	.0006214	.030482	.0000775	.015255	.0000097	.045765	.0002622	0°35′00″	0°08′44″
2°00′	.069723	.0002023	.069714	.0008115	.034815	.0001012	.017429	.0000127	.052286	.0003424	0°40′01″	0°09′59″
2°30′	.087089	.0003154	.087073	.0012672	.043453	.0001575	.021768	.0000198	.065305	.0005346	0°50′02″	0°12′28″
3°00′	.104414	.0004531	.104336	.0018236	.052050	.0002261	.026097	.0000285	.078290	.0007693	1°00′03″	0°14′56″
3°30′	.121687	.0006148	.121642	.0024800	.060593	.0003065	.030411	.0000388	.091232	.0010463	1°10′05″	0°17′23″
4°00′	.138902	.0008002	.138834	.0032361	.069077	.0003987	.034709	.0000506	.104126	.0013652	1°20′07″	0°19′50″
4°30′	.156049	.0010085	.155952	.0040912	.077493	.0005020	.038988	.0000639	.116964	.0017260	1°30′10″	0°22′16″
5°00′	.173119	.0012395	.172987	.0050448	.085831	.0006162	.043247	.0000788	.129740	.0021283	1°40′14″	0°24′41″
5°30′	.190106	.0014923	.189930	.0060961	.094084	.0007410	.047483	.0000953	.142448	.0025718	1°50′18″	0°27′04″
6°00′	.207002	.0017661	.206773	.0072442	.102244	.0008758	.051698	.0001132	.155080	.0030561	2°00′23″	0°29′27″
6°30′	.223795	.0020603	.223505	.0084884	.110302	.0010205	.055876	.0001326	.167629	.0035810	2°10′30″	0°31′48″
7°00′	.240481	.0023738	.240119	.0093276	.118250	.0011739	.060030	.0001536	.180090	.0041460	2°20′37″	0°34′07″
7°30′	.257050	.0027058	.256605	.0112609	.126079	.0013358	.064151	.0001760	.192454	.0047507	2°30′46″	0°36′25″
8°00′	.273494	.0030552	.272955	.0127871	.133782	.0015056	.068239	.0001998	.204716	.0053946	2°40′56″	0°38′35″
8°30′	.289806	.0034210	.289160	.0144051	.141351	.0016827	.072290	.0002251	.216870	.0060772	2°51′07″	0°40′55″
9°00′	.305978	.0038019	.305212	.0161136	.148777	.0018664	.076303	.0002518	.228909	.0067979	3°01′20″	0°43′07″
9°30′	.322002	.0041910	.321103	.0179114	.156053	.0020560	.080276	.0002799	.240827	.0075564	3°11′34″	0°45′17″
10°00′	.337871	.0046049	.336824	.0197971	.163176	.0022509	.084206	.0003093	.252618	.0083519	3°21′49″	0°47′25″

$\therefore \quad K=\dfrac{35\times 800}{1000\times 1200}=0.02333$

故に第 53 表(第一表)に依り　$l=0.023268$　を撰び $\theta=0°-40'$ たるを知り、所要の寸法を算出すること次の如し。

$L=0.023268\times 1200=27.922$ (米)　　$F=0.0000225\times 1200=0.027$ (米)

$X_1=0.023267\times 1200=27.920$ (米)　　$Y_1=0.0000902\times 1200=0.108$ (米)

$X_2=0.011632\times 1200=13.958$ (米)　　$Y_2=0.0000112\times 1200=0.013$ (米)

〔例 3〕 緩和曲線を用ひざる曲線軌道あり。其の半徑 300 米、軌條の高度 115 粍、今此處に $n=800$ とせる緩和曲線を敷設せんとすれば第 803 圖に示す $L, F, X_1, Y_1, X_3, Y_3, \widehat{GG'}$ の値如何。

先づ第 53 表(第二表)に依り $R=300$ に對する $r=290$ を知り例 1 に示した 3 と同様に

$K=\dfrac{115\times 800}{1000\times 290}=0.31724$

故に第 53 表 第一表)に依り　$l=0.322002$　を撰び $\theta=9°-30'$ たるを知り

$L=0.322002\times 290=93.381$ (米)　　$F=0.0041970\times 290=1.217$ (米)

$X_1=0.321103\times 290=93.120$ (米)　　$Y_1=0.0179114\times 290=5.194$ (米)

を得。次に第 53 表(第三表)に依り　$R-r=10$,　$\theta=9°-30'$　に對する値 0.004197 を得、之を 290 倍して $vers\,\alpha=0.1217130$

從て　$\alpha=28°-33'-49''$　　$sin\,\alpha=0.4781342$

$\therefore \quad Y_3=300\ vers\,\alpha=36.514$ (米)

故に　$X_3=X_2+r\ sin\,\alpha=(0.156055+0.47834)\times 290=183.915$ (米)

$\widehat{GG'}=290\times 0.3327228=96.490$ (米)

$K'=(R-r)sin\,\alpha=10\times 0.4781342=4.781$ (米)

第 53 表(第二表)　緩和曲線敷設法附表

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

第 53 表(第 3 表)　緩和曲線敷設法附表

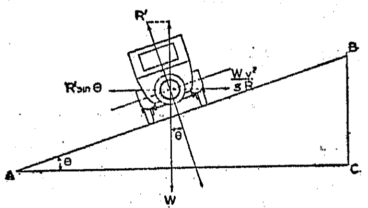
θ \ $R-r$	10 米	15 米	20 米	25 米	30 米	35 米	備考
0°30′	.00000127	.00000085	.00000064	.00000051	.00000042	.00000036	本表以外の $(R-r)$ に對する値は $(R-r)$ を以て $(R-r)=10$ なる場合の値を除し夫れに 10 を乘じて求むることを得
0°40′	.00000225	.00000150	.00000113	.00000090	.00000075	.00000064	
0°50′	.00000352	.00000235	.00000176	.00000141	.00000117	00000101	
1°00′	.00000507	.00000338	.00000254	.00000203	.00000169	.00000145	
1°15′	.00000792	.00000528	.00000396	.00000317	.00000264	.00000226	
1°30′	.00001140	.00000760	.00000570	.00000456	.00000330	.00000326	
1°45′	.00001550	.00001033	.00000775	.00000620	.00000517	.00000443	
2°00′	.00002023	.00001349	.00001012	.00000809	.00000674	.00000578	
2°30′	.00003154	.00002103	.00001577	.00001262	.00001051	.00000901	
3°00′	.00004530	.00003020	.00002265	.00001812	.00001510	.00001294	
3°30′	.00006148	.00004099	.00003074	.00002459	.00002049	.00001757	
4°00′	.00008002	.00005335	.00004001	.00003201	.00002667	.00002286	
4°30′	.00010085	.00006723	.00005043	.00004034	.00003362	.00002881	
5°00′	.00012395	.00008263	.00006198	.00004958	.00004132	.00003541	
5°30′	.00014923	.00009949	.00007462	.00005969	.00004974	.00004264	
6°00′	.00017661	.00011774	.00008831	.00007064	.00005887	.00005046	
6°30′	.00020603	.00013735	.00010302	.00008241	.00006868	.00005887	
7°00′	.00023738	.00015825	.00011869	.00009495	.00007913	.00006782	
7°30′	.00027058	.00018039	.00013529	.00010823	.00009019	.00007731	
8°00′	.00030552	.00020368	.00015276	.00012221	.00010184	.00008729	
8°30′	.00034210	.00022807	.00017105	.00013684	.00011403	.00009774	
9°00′	.00038019	.00025346	.00019010	.00015208	.00012673	.00010863	
9°30′	.00041970	.00027980	.00020985	.00016788	.00013990	.00011991	
10°00′	.00046049	.00030699	.00023025	.00018420	.00015350	.00013157	

第七章　道路に於ける高度及び路幅の擴大

357　道路に於ける高度 (Superelevation of Highway)

道路に於ても高速度車輛を速度を減ずる事なく安全に曲線部を通過せしむる爲め、鐵道に於てカントを附くると同じく曲線部の外側を幾分高く片勾配とする、此の片勾配の度合は道路の屈曲半徑、路面の構造、車輛及び其の速度に依つて大に異なる。元來道路は鐵道、軌道の如く同一の車輛が略等しき速度で走ることなく、全く性質を異にする車輛が種々の速度にて通過する爲め、その總てに都合宜き片勾配即ち高度を附くる事は不可能である。

理論上屈曲部に於て路面の摩擦を考へずに單に遠心力に平衡する片勾配を附けるとすれば第 804 圖に於て



第 804 圖

W＝車輛の重量

F＝遠心力

h ＝高度 (1 m に對する)

M＝車輛の質量

R＝曲線半徑 (m)　　θ＝傾斜角

V＝車輛の速度(km/時)　　g＝重力に依る加速度＝9.81 m/秒²

とするとき

$$W=Mg,\quad F=\frac{MV^2}{(3.6)^2R}\quad h=\tan\theta=\frac{F}{W}=\frac{V^2}{9.81\times(3.6)^2R}$$

$$h=\frac{V^2}{127R}=0.0079\frac{V^2}{R}\quad\cdots\cdots(486)$$

次に滑動 (Skidding) に對して路面の摩擦を考へれば

P＝後車輪に來る荷重と車輛總荷重との比

f＝車輪と路面間の摩擦係數

$$h=0.0079\frac{V^2}{R}-Pf\quad\cdots\cdots(487)$$

我國では緩速車輛（馬車）及び急速車輛（自動車）を考慮して次の如き規定を用ひて居る。

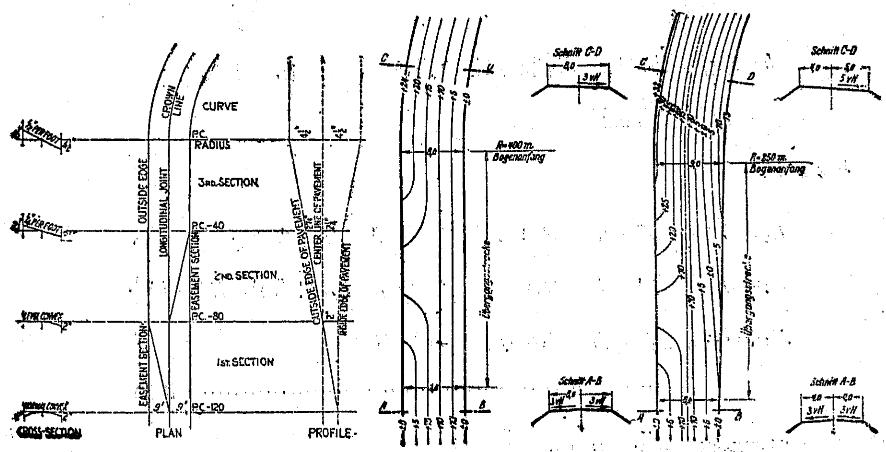
道路構造に關する細則（第二）

第 12 條　道路屈曲部に於ける横斷勾配は街路其他特殊の箇所を除くの外中心線の半徑 300米以下の場合に限り次の標準に依る勾配と爲すべし。

前項の屈曲部と直線部との横斷勾配の摺付は特殊の箇所を除くの外長 10米に付0.1米の割合を以て標準となすべし。

半　　　　徑	勾　配
100 米未滿	$\frac{1}{12}$
100 米乃至 150 米未滿	$\frac{1}{15}$
150 米乃至 240 米未滿	$\frac{1}{20}$
240 米乃至 300 米以下	$\frac{1}{25}$

道路の直線部即ち普通の横斷勾配の箇所から曲線部の片勾配に移るには



第 805 圖

一定長の緩和區間 (Transition Section) を設け、漸次に其の勾配を變化する。第 805 圖は米國に於ける例で同じく第 806 圖は獨逸に於ける例である。

358 路幅の擴大及び緩和曲線 (Widening of Curved Roadway and Transition Curve)

高速度交通の安全の爲め道路の曲線部に片勾配を附すると同時に又曲線部の路幅を相當擴大しなければならない。

第 807 圖の如き二車線道路 (Two Lane Road) に於て理論的に擴大量を求めて見ると

R＝標準斷面の中心線の半徑

W＝標準斷面の幅員

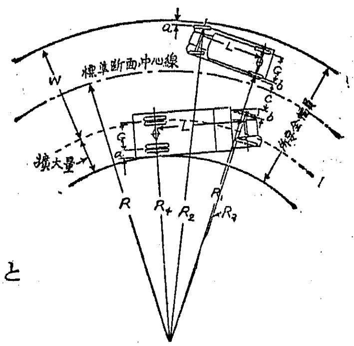
G＝車輛の軌間

L＝車輛の固定軸距

a＝路端と之に最も近き車輪の中心との間隔

b＝車輪の外に出る車輛の部分の長さ

c＝車輛間の間隔



第 807 圖

とすれば

$$\left.\begin{aligned}&R_2=R+\frac{1}{2}W-a,\quad (R_1+G)^2=R_2^2-L^2,\quad R_1+G=\sqrt{R_2^2-L^2}\\&R_1=\sqrt{R_2^2-L^2}-G,\quad R_3=R_1-(c+2b),\quad (R_4+G)^2=R_3^2-L^2\\&R_4+G=\sqrt{R_3^2-L^2},\quad R_4=\sqrt{R_3^2-L^2}-G\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(488)$$

$$\left.\begin{aligned}&\text{所要全幅員}=R-R_4+a+\frac{1}{2}W\\&\text{所要擴大量}=R-R_4+a-\frac{1}{2}W\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(489)$$

之に依り任意の路幅、曲線半徑の時の擴大量を見出す事を得る。

普通、貨物自動車の場合 $L=5.0\,\text{m}$, $G=1.5\,\text{m}$, $a=b=0.5\,\text{m}$

乘用自動車の場合 $L=3.6\,\text{m}$, $G=1.4\,\text{m}$, $a=b=0.45\,\text{m}$, $c=1.0\,\text{m}$

位とする。

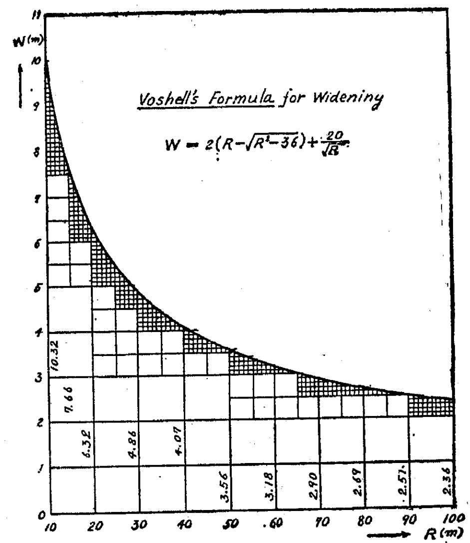
曲線部の擴大に對し一般に用ひられるのは次の Voshell 氏の公式である。

$$W=2(R-\sqrt{R^2-L^2})+\frac{20}{\sqrt{R}}\quad\cdots\cdots(490)$$

但し W＝擴大路幅(m), L＝自動車の固定輪軸距(m), $L=6\,\text{m}$

R＝曲線半徑 (m)

第 54 表



曲線部に於ける幅員擴大部分と普通直線部の取付けは前述の緩和區間中にて行ふ。曲線部中心線が圓弧なる時は簡單に此の取付けを直線或は圓弧を以てする。第 808 圖は緩和區間を直線で結んだ例で、第 809 圖は全部を單一の圓弧で連絡した場合である。此の場合

R＝中心線の半徑

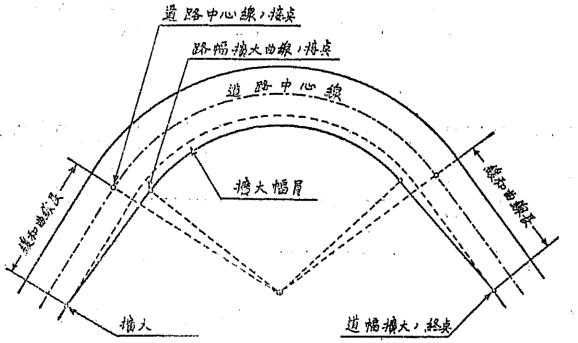
R'＝擴大曲線の半徑

f＝中央の擴大量　　W＝直線部の路幅

とすれば

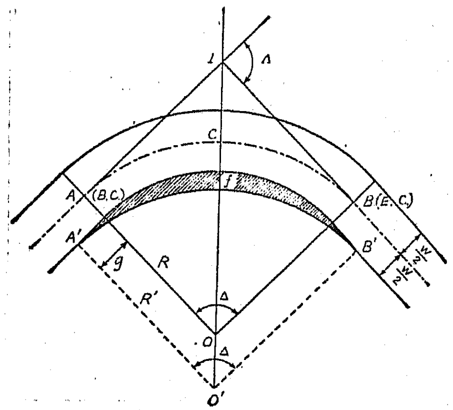
$$g = f\cot\frac{1}{4}\Delta$$

$$R' = R - \frac{1}{2}W + g\cot\Delta = R - \frac{1}{2}W + f\cot\frac{1}{4}\Delta\frac{1}{2}\Delta \cdots\cdots(401)$$



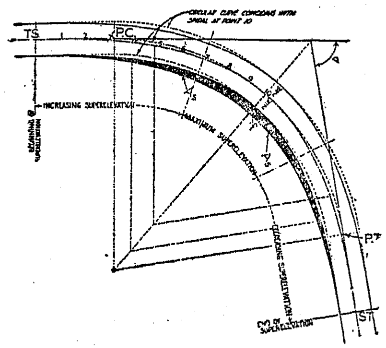
第 808 圖

從來の如く低速車輛を主とするときには擴大も餘り必要なく其の敷設法も簡單であつたが、自動車交通の增加に依り高速車輛を主とする場合には、鐵道の場合と同じく曲線半徑と片勾配の度合が互に比例しなければ車輛の動搖、路面の磨滅のみならず、時として衝突等の不祥事を惹起す事がある。依て通過車輛の高速となるに從ひ、中心線に緩和曲線を用ふるに至る。曲線部に緩和曲線を用ひたるときの擴大曲線の例は第 810 圖及び第 811 圖に示す如し。

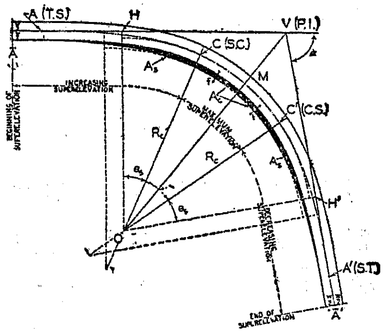


第 809 圖

我國の如く山地多く且つ牛馬車等の低速車輛の多い場合には擴大も緩和曲線の長さも充分に取り得ない事が多い。



第 810 圖



第 811 圖

道路構造に關する細則（第二）

第 10 條　屈曲部中心線の半徑 300 米以下の場合に於ける道路の幅員は其の屈曲部の內側に於て次の標準に依り之を擴大すべし。

半徑	擴大すべき幅員
20 米未滿	2.0 米
20 米乃至 30 米未滿	1.5 米
30 米乃至 45 米未滿	1.2 米
45 米乃至 60 米未滿	1.0 米
60 米乃至 120 米未滿	0.8 米
120 米乃至 180 米未滿	0.5 米
180 米乃至 300 米未滿	0.3 米

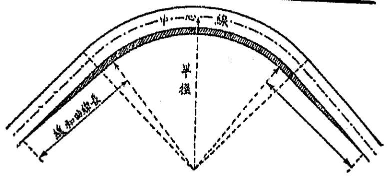
前項の規定に依る擴大部分の兩端と其の前後直線部との取付には緩和曲線を用ひ其の長は次の標準に依るべし。

半徑	緩和切線の長
45 米未滿	30 米以上
45 米乃至 60 米未滿	25 米以上
60 米乃至 120 米未滿	22 米以上

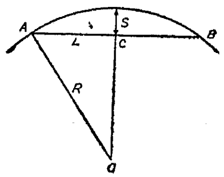
120 米乃至 180 米未満	20 米以上
180 米乃至 240 米未満	18 米以上
240 米乃至 300 米以下	15 米以上

359 運河曲線部の擴大

運河の曲線部も直線部に比較して船舶抵抗及び危險度を增す爲め幅員の擴大を行ふ。第 813 圖に於て



第 812 圖



第 813 圖

R=運河中心線の曲線半徑

l=運河を航行する最大船舶の長さ

S=擴大すべき量　　$L=3l$

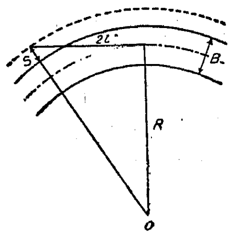
とすれば

$$S=R-\sqrt{R^2-L^2}=R\left(1-\sqrt{1-\frac{L^2}{R^2}}\right) \cdots\cdots(492)$$

或は次の式を用ひても宜い。

$$S=\sqrt{R^2+L^2}-R=\left(\sqrt{1+\frac{L^2}{R^2}}-1\right) \cdots\cdots(493)$$

有名な Suez 運河では次の式に依り曲線部の幅員を擴大した。



第 814 圖

$$S=\sqrt{R^2+4l^2}-\left(R+\frac{B}{2}\right) \cdots\cdots(494)$$

但し　B=運河直線部に於ける底幅

實例を示せば

Ems-Weser-Kanal（水深 3.5 m）

半徑 (R)	擴大量 (S)	半徑 (R)	擴大量 (S)
$R\geqq 2000$ m	0 m	1200 m $>R\geqq$ 900 m	3 m
2000 m $>R\geqq$ 1500 m	1 m	900 $>R\geqq$ 700 m	4 m
1500 $>R\geqq$ 1200 m	2 m	700 $>R\geqq$ 500 m	5 m

第八章　縦曲線 (Vertical Curve)

360 鐵道、軌道に於ける縦曲線

鐵道線路の勾配の變換點で其の交角が一定の限度を越ゆれば、列車が其の點を通過する場合に撃衝を受けて乘客に不快なるのみならず、車輛、連結器は勿論軌道そのものを損傷し危險を生ぜしめる。故に此の危險を除き列車を平滑に運轉せしめる爲に其の點を弧狀とする、之を縦曲線と呼んで居る。鐵道或は軌道に於て用ふるものは (1) 圓曲線及び (2) 拋物線である。

國有鐵道建設規程

第 16 條　線路の勾配變化する箇所には勾配の變化が $\frac{10}{1000}$ 以上の場合に於て左の大さ以上の半徑を有する縦曲線を挿入することを要す。

半徑 800 米以下の曲線の場合	4000 米
其の他の場合	3000 米

となつて居る。

(1) 拋物線を用ふる場合

縦截面曲線定規　鐵道省　大正 12 年 4 月 24 日發布

國有鐵道建設規程（以下略）に依り縦曲線を挿入する時は本法に依るものとす。

第一條　隣接勾配の爲す外角の正切は兩勾配の差を以て之を表はすものとす

但し上り勾配を（+）とし下り勾配を（−）とす｛以下之に準ず｝

第二條　縦曲線には抛物線を採用す

此の抛物線は頂點に於ける曲率半徑約 4000 米を有し各 20 米毎の勾配變換率は $\frac{5}{1000}$ に近く其の軸は垂直の位置を取るものとす

第三條　縦曲線の長さは次の方法に依り算出するものとす

第一法　隣接勾配線の交點が線路縦斷面圖の 20 米毎の縦線の中に在る時は縦曲線の長さ（米）は兩勾配の差を $\frac{5}{1000}$ にて除したる商に最近の偶數を取り之に 20 を乘じたるものとす。

第二法　隣接勾配線の交點が線路縦斷面圖の 10 米を縦線中に在る時は縦曲線の長さ（米）は兩勾配の差を $\frac{5}{1000}$ にて除したる商に最近の奇數を取り之に 20 を乘じたるものとす。

第三法　隣接勾配線の交點が線路縦斷面圖の 20 米毎の縦線の間に在る時は縦曲線の長さ（米）は兩勾配の差を $\frac{5}{1000}$ にて除したる商に20を乘じたる積に最近の數にして曲線の一端は 20 米毎の縦線より起るものとす。

第四條　勾配線と縦曲線との間に挾まれたる縦距は次式に依り算出するものとす。

$$a=\frac{d}{2l}N^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (495)$$

上式に於て

l ＝縦曲線の長（米）　　d＝隣接勾配の差

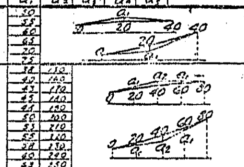
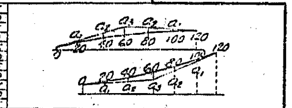
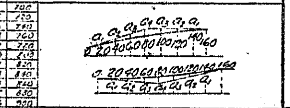
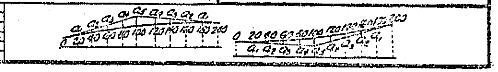
N＝縦曲線の始點又は終點よりの横距（米）

a＝横距 N に於ける縦距（米）

備　考　附屬第 55 表は第一法の場合、第 56 表は第二法の場合の縦曲線長及び縦距

第 55 表

両勾配ノ差(‰)	曲線長 l(米)	縦距(粍) a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
10	40	50				
11		55				
12		60				
13		65				
14		70				
15		75				
15	80	38	150			
16		40	160			
17		43	170			
18		45	180			
19		48	190			
20		50	200			
21		53	210			
22		55	220			
23		58	230			
24		60	240			
25		63	250			
25	120	42	167	375		
26		43	173	390		
27		45	180	405		
28		47	187	420		
29		48	193	435		
30		50	200	450		
31		52	207	465		
32		53	213	480		
33		55	220	495		
34		57	227	510		
35		58	233	525		
35	160	44	175	394	700	
36		45	180	405	720	
37		46	185	416	740	
38		48	190	428	760	
39		49	195	439	780	
40		50	200	450	800	
41		51	205	461	820	
42		53	210	473	840	
43		54	215	484	860	
44		55	220	495	880	
45		56	225	506	900	
45	200	45	180	405	720	1125
46		46	184	414	736	1150
47		47	188	423	752	1175
48		48	192	432	768	1200
49		49	196	441	784	1225
50		50	200	450	800	1250

第一法

両勾配ノ差（上向ノ勾配ヲ(+)下向ノ勾配ヲ(−)トス）ヲ基キ之ヲ表中ニ求メ之ノ場合ニ相応スル曲線長(l)、縦距(a_1 a_2 a_3等)ヲ見出スモノトス。若シ両勾配ノ差ガ端数ナリシ時ハ表中ニアラザルノ縦距ハ其ノ前後ノ縦距ヨリ比例ヲ用ヒテ之ヲ見出スモノトス。

例　上向セル 12.5/1000 ト下向セル 20/1000 ナル両勾配線間ニ適用スベキ縦曲線長及ビ二十米毎ニ於ケル縦距ヲ求ム。

$\frac{12.5}{1000}-(-\frac{20}{1000})=\frac{32.5}{1000}$

表ニヨリ曲線長ハ 120 米トナリ

次ニ縦距ハ

$\frac{32}{1000}$ 及 $\frac{33}{1000}$ ノ場合ノ平均ニヨリ

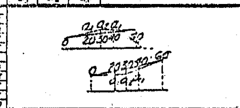
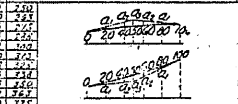
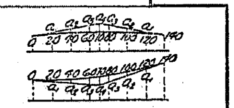
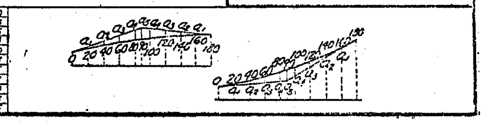
a_1 = 54粍

a_2 = 217粍

a_3 = 488粍

第 56 表

両勾配ノ差(‰)	曲線長 l(米)	縦距(粍) a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
10	60	33	75			
11		37	83			
12		40	90			
13		43	98			
14		47	105			
15		50	113			
16		53	120			
17		57	128			
18		60	135			
19		63	143			
20		67	150			
20	100	40	160	250		
21		42	170	263		
22		44	176	275		
23		46	184	288		
24		48	192	300		
25		50	200	313		
26		52	208	325		
27		54	216	338		
28		56	224	350		
29		58	232	363		
30		60	240	375		
30	140	43	171	386	525	
31		44	177	399	543	
32		46	183	411	560	
33		47	189	424	578	
34		49	194	437	595	
35		50	200	450	613	
36		51	206	463	630	
37		53	211	476	648	
38		54	217	489	665	
39		56	223	501	683	
40		57	229	514	700	
40	180	44	178	400	711	900
41		46	182	410	729	923
42		47	187	420	747	945
43		48	191	430	764	968
44		49	196	440	782	990
45		50	200	450	800	1013
46		51	204	460	818	1035
47		52	209	470	836	1058
48		53	213	480	853	1080
49		54	218	490	871	1103
50		55	222	500	889	1125

第二法

両勾配ノ差（上向ノ勾配ヲ(+)下向ノ勾配ヲ(−)トス）ヲ算出シ之ヲ表中ニ求メ之ノ場合ニ相応スル曲線長(l)、縦距(a_1 a_2 a_3等)ヲ見出スモノトス。若シ両勾配ノ差ガ端数ナリシ時ハ表中ニ無キトコロノ縦距ハ其ノ前後ノ縦距ヨリ比例ヲ用ヒテ之ヲ見出スモノトス。

例　下向セル 4/1000 ト下向セル 25/1000 ナル両勾配線間ニ適用スベキ縦曲線長及ビ二十米毎ニ於ケル縦距ヲ求ム。

両勾配ノ差ハ

$-\frac{25}{1000}-(-\frac{4}{1000})=-\frac{21}{1000}$

表ニヨリ曲線長ハ 100米

a_1 = 42粍

a_2 = 170粍

a_3 = 263粍

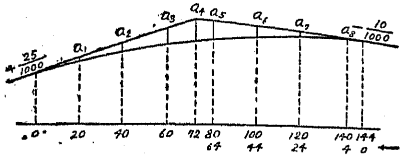
を示したるものなり。

第三法適用例　上向せる $\frac{25}{1000}$ と下向せる $\frac{10}{1000}$ との兩勾配線の交切點が第

815 圖の如く 72 米に在る時縱曲線の長さ及び縱距を求む。

$$\frac{+25-(-10)}{5}=\frac{+25+10}{5}=7$$

$$20\times7=140$$

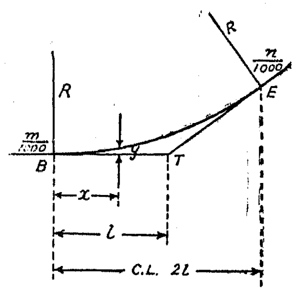


故に $l=144$ m とし其の左端を 0 米より起す

第 815 圖

$a_1=\frac{35}{2\times144}\times20^2=$ 49 粍	$a_5=\frac{35}{2\times144}\times64^2=498$ 粍
$a_2=a_1\times4$ $=194$ 粍	$a_6=$ 〃 $\times44^2=235$ 粍
$a_3=a_1\times9$ $=438$ 粍	$a_7=$ 〃 $\times24^2=$ 70 粍
$a_4=\frac{35}{2\times144}\times72^2=630$ 粍	$a_8=$ 〃 $\times4^2=$ 2 粍

(2) 圓曲線を用ふる場合 建設規程第 16 條に依る縱曲線は本法に據り挿入する。



第 816 圖

(i) 總說 第816圖に示す如く m, n なる二勾配線が T に於て交る場合に於て之に縱曲線を挿入せんとするには、先づ T より B に至る橫距 l を算出して B 點を決定し、B より x なる距離に於ける縱距 y の値を算出して縱曲線上の點を決定するのである。

(ii) l の値の算出法 兩隣接勾配線の交點 T から縱曲線の始點 B に至る距離 l（米）を求むるには次式に據るものとす。

$$l=\frac{R}{2}\left(\frac{m}{1000}\pm\frac{n}{1000}\right)=\frac{R}{2000}\times(m\pm n) \quad\cdots\cdots(496)$$

R＝縱曲線半徑（米）

即ち兩勾配の交點が 800 米以下の曲線中にある場合

$$l=2\times(m\pm n) \quad\cdots\cdots(497)$$

其他の場合

$$l=1.5\times(m\pm n) \quad\cdots\cdots(498)$$

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

上式に依て算出したる l の値は米以下の端數は米の位に切上げるものとす（第 57 表）

〔註〕 上式に於ける l は切線長を表はすものであるが實用上水平距離を表はすものと考へても支障はない。例へば最急勾配 $\frac{35}{1000}$ に於ても其の誤差は $\frac{6}{10000}$ 程度である。

(iii) y の値の算出法 勾配線と縱曲線との間に挾まれた縱距 y（粍）は次式に依つて算出するものとす。

$$y=\frac{x^2}{2R} \quad\cdots\cdots(499)$$

R＝縱曲線半徑（米）

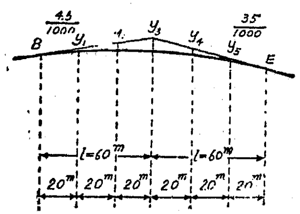
而して y の値は上式に依り算出せる結果を第 58 表に記載せるを以てこれに據るを便とす。但し x の値小數を含み表中に求め得られざる時は隣接する y の値より比例に依つて算出するものとす。

〔註〕 縱曲線は圓弧であるが拋物線と假定して實用上支障なし。

(iv) 適用例

〔例 1〕 上向せる $\frac{4.5}{1000}$ 線と下向せる $\frac{35}{1000}$ 線とが半徑 1000 米の曲線中に於て交叉せる場合に縱曲線を挿入せんとす。

$$l=1.5(m+n)=1.5\times(4.5+35)=59.25\fallingdotseq60\text{ m}$$



第 817 圖

第 58 表に依り

$y=\frac{x^2}{6000}$ $y_1=267$ mm, $y_2=67$ mm

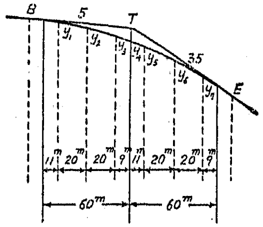
$y_3=600$ mm, $y_4=267$ mm $y_5=67$ mm

〔例 2〕 下向せる $\frac{5}{1000}$ 線と下向せる $\frac{35}{1000}$ 線とが半徑 400 米の曲線中に於て交叉する場合に縱曲線を插入せんとす。

第 57 表に依り

$l=2.0(m-n)=60$ m

$y=\frac{x^2}{8000}$



第 818 圖

第 58 表に依り

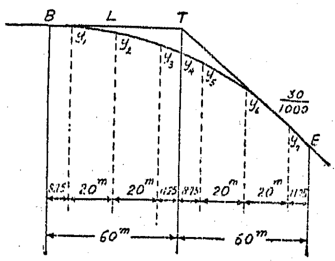
$y_1=15$ mm,　$y_2=120$ mm,　$y_3=325$ mm

$y_4=450$ mm,　$y_5=300$ mm,　$y_6=105$ mm,　$y_7=10$ mm

〔例 3〕 水平線と下向せる $\frac{30}{1000}$ 線とが半徑 600 米の曲線中に於て交叉する場合に縱曲線を插入せんとす。

第 57 表に依り

$l=60$ m



第 819 圖

y の値、x の値は小數を含み第 58 表より直ちに求むる事は出來ない。第 58 表に依り隣接する二つの y の値を求め比例により y を算出する。

第 58 表に依り

$y_1=8+(10-8)\times0.75=9.5\doteqdot10$ mm

$y_2=98+(105-98)\times0.75=98+5.25\doteqdot103$

$y_3=288+(300-288)\times0.75=288+12\times0.75=297$

$y_4=450$

$y_5=325+(338-325)\times0.25=328$

$y_6=120+(128-120)\times0.25=122$

$y_7=15+(18-15)\times0.25=16$

第 57 表 l の値

$$l=\frac{R}{2}\left(\frac{m}{1000}\pm\frac{n}{1000}\right)$$

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

$m\pm n$	l (米) $R=4,000$	l (米) $R=3,000$	$m\pm n$	l (米) $R=4,000$	l (米) $R=3,000$
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			

第 58 表　$y=\frac{x^2}{2R}$ (粍) の 値

x (米)	y (粍) R=4.00	y (粍) R=3,000	x (米)	y (粍) R=4,000	y (粍) R=3,000	x (米)	y (粍) R=4,000	y (粍) R=3,000	x (米)	y (粍) R=4,000	y (粍) R=3,000
1	0	0	36	162	216	71	630	840	106	1405	1873
2	1	1	37	171	228	72	648	864	107	1431	1938
3	1	2	38	181	241	73	666	888	108	1458	1944
4	2	3	39	190	254	74	685	913	109	1485	1980
5	3	4	40	200	267	75	703	938	110	1513	2017
6	5	6	41	210	280	76	722	963	111	1540	2053
7	6	8	42	221	294	77	741	988	112	1568	2090
8	8	11	43	231	308	78	761	1014	113	1596	2128
9	10	14	44	242	328	79	780	1040	114	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	2242
12	18	24	47	276	368	82	841	1121	117	1711	2281
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	963	1291	123	1891	2521
19	45	60	54	365	486	89	990	1320	124	1922	2562
20	50	67	55	378	504	90	1013	1350	125	1953	2604
21	55	74	56	392	523	91	1035	1380	126	1985	2646
22	61	81	57	406	542	92	1058	1411	127	2016	2688
23	66	88	58	421	561	93	1081	1442	128	2048	2730
24	72	96	59	435	580	94	1105	1473	129	2080	2773
25	78	104	60	450	600	95	1128	1504	130	2110	2813
26	85	113	61	465	620	96	1152	1536	131	2145	2860
27	91	122	62	481	641	97	1176	1568	132	2179	2905
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	160	66	545	726	101	1275	1700	136	2312	3094
32	128	171	67	561	748	102	1301	1734	137	2346	3128
33	136	182	68	578	771	103	1326	1768	138	2381	3173
34	145	193	69	595	794	104	1352	1803	139	2415	3220
35	153	204	70	613	817	105	1378	1838	140	2450	3266

361 道路に於ける縱曲線

(1) 概說 道路に於ける縱曲線は高速度車輛の衝撃を減じ乗客の不快を去り、其の維持費を輕減する外、必要なる安全視距を保つて交通安全を計り或は道路の美觀を添え、更に併用軌道の運轉を圓滑ならしめるに役立つ。縱曲線の長さは長い程宜いが我國の如く山地の多い場合は充分の長さを取り得ない場合が甚だ多い。

我國の規定では次の如く定めてある。

道路構造に關する細則

第 6 條　縱斷曲線の長は次の標準に依るべし。但し縱斷曲線を設くべき區間短きときは其の長を相當短縮することを得。

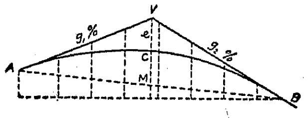
縱 斷 曲 線 の 長

勾配の代數差	主要なる區間 平地部	主要なる區間 山岳部	其他の區間 平地部	其他の區間 山岳部
$\frac{1}{100}$ 乃至 $\frac{3}{100}$ 未滿	30 米以上	30 米以上	30 米以上	10 米以上
$\frac{3}{100}$ 乃至 $\frac{5}{100}$ 未滿	60 米以上	30 米以上	30 米以上	10 米以上
$\frac{5}{100}$ 乃至 $\frac{8}{100}$ 未滿	80 米以上	50 米以上	50 米以上	20 米以上
$\frac{8}{100}$ 乃至 $\frac{10}{100}$ 未滿	90 米以上	60 米以上	60 米以上	20 米以上
$\frac{10}{100}$ 以上	90 米以上	80 米以上	80 米以上	30 米以上

縱斷曲線に用ふる曲線は普通圓弧或は抛物線であるが、施工上便利なのと實際上充分な長さを求め得る場合が多い關係上抛物線の方が多く使用せられる。次に縱斷曲線に抛物線を用ひた場合の計算方法を示す。

(2) 縱斷曲線の計算方法 第 820 圖の如く g_1% の勾配をなす路面 AV

と g_2% の勾配をなす路面 VB とが V にて相會する時縱斷曲線として拋物線 ACB を挿入し其の中點を C とする。



第 820 圖

更に

$$VA=VB$$

$Vl=AC=CB$($2l$=曲線長)， $e=VC$=頂點から曲線中點迄の距離とすれば

V を基準とした場合

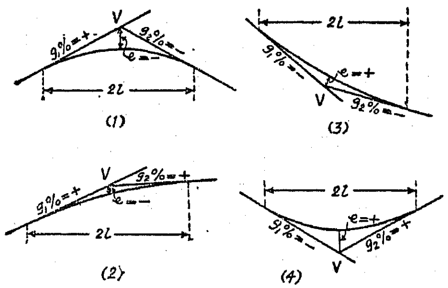
$$A \text{ の高さ}=-g_1\times\frac{l}{100}$$

$$B \text{ の高さ}=+g_2\times\frac{l}{100}$$

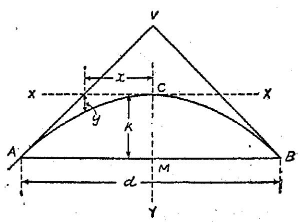
從つて A,B の中點 M の高さ$=\frac{1}{2}(g_2-g_1)\times\frac{l}{100}$

$$VC=e=\frac{1}{2}VM=\frac{1}{4}(g_2-g_1)\times\frac{l}{100}=\frac{1}{8}(g_2-g_1)\times\frac{2l}{100}\cdots(500)$$

e の符號は第 820 圖の如き場合は $-$ で、C が V の上に來れば $+$ になる。尚此の關係は第 821 圖で明瞭に示される。從つて其の縱距は (495) 式に依て求められる。



第 821 圖



第 822 圖

別の方法として第 822 圖の如く AV 及び VB の路面がある場合 AB の

中點を M とし、圖の如く X,Y 軸を取れば拋物線の方程式は

$$y=\frac{4K}{d^2}x^2=\frac{K}{\left(\frac{d}{2}\right)^2}x^2=\left(\frac{x}{\frac{d}{2}}\right)^2K\cdots\cdots(501)$$

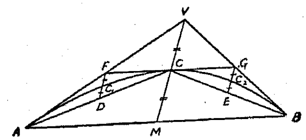
又 $AM=\frac{1}{2}AB=\frac{1}{2}d$

從つて之を等分すれば

$$\left.\begin{aligned} x&=\frac{AM}{n}=\frac{d}{2n} \\ \text{從て}\quad y&=\left(\frac{d}{2n}\times\frac{2}{d}\right)^2K=\frac{K}{n^2}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(502)$$

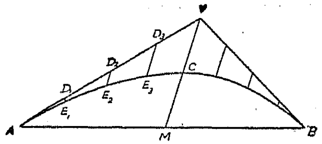
之等に依て任意の x に對する y の値を求める事が出來る。例へば $n=2$ 即ち $x=\frac{AM}{2}$ とすれば其の時の $y=\frac{K}{4}$ である。依て縱斷面圖から直ちに必要なる縱斷曲線の夫々の高さを求め得る。

我國の如き山地にては時として相等しい切線を取り得ない場合がある。即ち第 823 圖の如く AV 及び VB の長さが異なる場合には次の如き圖式解法に依て拋物線の形を定める。AB を結んで其の二等分點 M を求め、次に VM を結び其の中點 C を求むれば C は求むる拋物線上の一點である。



第 823 圖

次に AC を結び其の二等分點を D とし、C より AB に平行線 FG を引き AV と交る點を F とすれば FD の中點 C_1 も又拋物線上の點であり、同様に之を右側に施して拋物線上の點 C_2 を得る。更に此の操作を繰返して拋物線の形を定める。但し此の場合計算に依て拋物線上の點の高さを求めるのは困難だから、圖を相當の大さに畫き夫を尺度で測つて點の高さを決定するが宜い。



第 824 圖

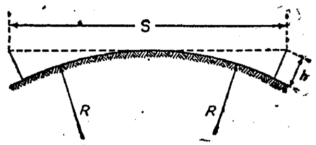
又第 824 圖に示す如く AB の中點 M を求め、更に VM の中點を C とすれば前述の通り抛物線上の一點が定まる。次に切線 AV を n 等分して其の各點を $D_1, D_2, D_3, \cdots\cdots, D_n$ とし、之より VC に平行に $D_1E_1, D_2E_2, D_3E_3, \cdots\cdots, D_nE_n$ を引けば抛物線の性質に依て

$$\left.\begin{aligned} D_1E_1&=\frac{1}{n^2}VC \\ D_2E_2&=\frac{2^2}{n^2}VC=4D_1E_1 \\ D_3E_3&=\frac{3^2}{n^2}VC=9D_1E_1 \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \\ D_nE_n&=\frac{n^2}{n^2}VC=VC \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots(503)$$

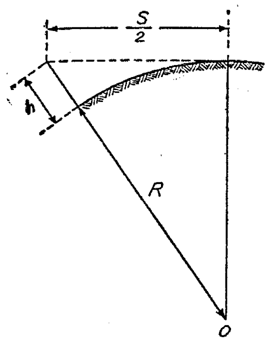
に依て抛物線上の點 $E_1, E_2, E_3, \cdots\cdots, E_n$ を決定する事が出來る。

362　安全視距 (Safety Sight Distance)

曲線部に於ても直線部と同様に自動車が其の速力を低減する事なく通過し得る爲には半徑の增大、片勾配及び路幅の擴大の外前方を見透し得る相當の視距を必要とする、之を安全視距と云つて居る。卽ち安全視距とは運轉手が前方より來る他の自動車を認め、其の衝突を避け又必要の場合停車せしむるに充分なる距離である、安全視距は自動車の速度の大なる程長きを要し、勿論長き方が萬事に都合が宜く、獨逸の如き 200 m 位を採つて居るが、我國の自動車交通の趨勢及び地形狀態に對し安全視距の增大は直ちに工費の增加となるので 100 m 位



第 825 圖



第 826 圖

が適當である。

縱斷曲線の場合は第 825 圖の如く視距が決定される。

今　S＝安全視距

R＝縱曲線半徑

h＝眼高

とすれば第 826 圖に於て

$$\left(\frac{S}{2}\right)^2+R^2=(R+h)^2 \cdots\cdots\cdots\cdots(504)$$

h は S 及び R に比して小であるから h^2 の項を省略すれば

$$\frac{S^2}{4}=2Rh,\quad R=\frac{S^2}{8h} \cdots\cdots\cdots\cdots(505)$$

第 59 表　種々なる縱曲線半徑 (R) に對する安全視距 (S)

縱曲線半徑 R	安全視距 S		縱曲線半徑 R	安全視距 S	
	h=1.0 m	h=1.5 m		h=1.0 m	h=1.5 m
m	m	m	m	m	m
1000	90	110	9000	270	330
2000	125	155	10000	285	345
3000	155	190	11000	295	360
4000	180	220	12000	310	380
5000	200	245	13000	320	395
6000	220	270	14000	335	410
7000	240	290	15000	345	425
8000	255	310	20000	400	490

縱斷面の場合と同じく線形 (Alignment) 卽ち平面形の場合にも同樣に安全

視距を要求する。今路幅、曲線半徑及び安全視距の關係を求めて見ると第 827 圖に於て

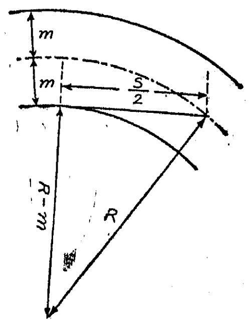
R=曲線半徑,　S=安全視距

m=路幅

とすれば

$$\left(\frac{S}{2}\right)^2+(R-m)^2=R^2$$

$$R=\frac{m}{2}+\frac{S^2}{8m}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(506)$$



第 827 圖

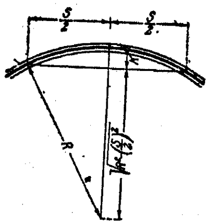
切取の場合必要の見透しを得られない時或は見透距離を增大する場合には第 828 圖の如く路面上一定の高さに於て曲線部の內側を切擴げ卽ち俗に云ふ段切を行ふ。第 829 圖に於て

第 828 圖

K=道路中心より切擴端迄の距離

とすれば

$$K=R-\sqrt{R^2-\left(\frac{S}{2}\right)^2}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(507)$$



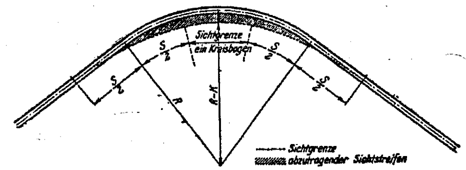
第 829 圖

第 60 表は種々の半徑及び視距 S に對する K の値を示す。第 830 圖は此の切擴げ曲線を平面圖に表はし

第 60 表

曲線半徑 R	視距 S に對する K の値					
	100 m	150 m	200 m	250 m	300 m	400 m
50	50	—	—	—	—	—
100	13	34	100	—	—	—
150	9	20	38	67	150	—
200	6	15	27	44	68	200
250	5	11	21	33	50	100
300	4	9	20	27	40	76
350	3	8	16	23	34	63
400	—	7	13	20	30	54
450	—	6	12	18	26	47
500	—	6	11	16	23	42
600	—	5	8	13	19	34
700	—	4	7	11	16	29
800	—	4	6	10	14	25
900	—	3	6	9	13	23
1000	—	3	5	8	12	20
2000	—	—	3	4	6	10

たもので、曲線の中央では道路中心から K の間隔を取つて圓弧を作り、夫から曲線內方に $\frac{S}{2}$ 及び曲線外方に $\frac{S}{2}$ を取つて其の間を拋物線で結び付ける。依て此の段切の面積を出す事が出來るのである。幹線若くは自動車交通を豫想せらるゝ道路の工事には此の視帶の土工を考慮に入れて土工の調和を計れば其の割に工費を增さない。



第 830 圖

我國では次の如き規定を設けて居る。

道路構造に關する細則（第 2）

第 9 條　道路に於ける最小安全視距は特別の事由あるものを除くの外國道に在りては 100米、府縣道に在りては 60 米を標準とし屈曲部の中心線の半徑は次の式に依り之を算出すべし。

$$r=\frac{m}{2}+\frac{c^2}{8m}$$

r=半徑

m=道路中心線上 1.5 米の高に於て中心線より之と直角の方向に於ける屈曲部の內側の法面又は障碍物に至る最短距離

c=安全視距

363 軌道に於ける縱曲線

專用軌道の場合は鐵道の場合に準じて縱曲線を布設する。併用軌道の場合若し其の道路が「道路構造に關する細則」第6條に基いて築造されてあれば軌道の縱曲線も之に倣つて敷設すれば宜い。

軌道建設規程

第 11 條 併用軌道に於ては軌條間の全部及び左右各 610粍は其の軌道を敷設する道路の路面と同一構造とし軌條面と道路面と高低なからしむべし。

若し既設の道路に縱斷曲線を用ひてない場合は軌道としては前記第6條に作る縱斷曲線を用ひ、路面を之に倣はしむ可きである。

第九章 內業

364 中心線の製圖 (Plotting the Center Line)

實測を終れば直ちに其の中心線の製圖に取掛る。原圖紙は普通幅 1.5 m長さ 4.5 mのものを用ひる。成る可く其の全部が一圖に入る樣中心線を配置す可きであるが、方向の屈曲の爲めに圖紙から出る場合には適當な箇所にて切斷し別な原圖に製圖し、必要に應じて兩方を正確に重ね合せ得る樣注意が肝要である。鐵道、道路等の中心線は開多角形と同じく圖の一端から他端に至るもので、製圖に際しての方向の誤差が最も重要で、決して如何なる場合でも分度器 (Protractor) に依て中心線を描いてはならぬ。普通中心線の製圖に用ふるものは (1) 正切法 (Tangent Method) (2) 正弦及び餘弦法(Sine and Cosine Method) かで坐標或は緯距、經距を用ふる法は餘り行はれて居

ない。

365 平面圖 (Plan)

路線測量の平面圖は其の通過する地域及び地形を知り用地面積を算出する爲に用ひるもので、其の幅は道路の場合中心線の左右各 50 m 位若くは等高線 5—10 m 高の範圍とし、鐵道の場合は少し廣く測量する。之に記入すべき事項は

(1) 20 m 每の距離を示した計畫路線中心線及び 100 m 每の遞加距離

(2) 其の路線と交叉する他の路線及び河川、運河、鐵道、用惡水路、從つて隧道、橋梁、渡船場、鐵道、軌道の踏切等の位置及び名稱。

(3) 縣市町村名、字名及び其の境界線

(4) 神社、佛閣、官公衙其他參考となるべきもの

(5) 屈曲部に於ける曲線の起點 (B.C.)、終點 (E.C.)、其の半徑 (R)、交角 (I)、切線長 (T.L.) 及び曲線長 (C.L.)

(6) 用地境界線

(7) 水準據標 (B.M.) の番號並に其の高さ

尙此の外各圖面には

(1) 縮尺、方位、凡例

(2) 路線の名稱及び市町村並に延長

(3) 測量、製圖年月日及氏名

を卷頭及び卷終に記載して置く。縱斷面圖の場合も同じ。

366 縱斷面圖 (Longitudinal Section or Profile)

中心線に沿て行つた高低測量に依り縱斷面圖を作り、之より路線の勾配卽ち施工基面の高さを知り且つ中心線上に於ける土工の深さを知る。

記入すべき事項は

(1) 測點番號、測點間距離及び遞加距離

(2) 測點毎の路線中心線の地盤高(黑數字)、施工基面及び施工基面高(赤線及び赤數字)

盛土及び切取高(盛土高青數字)(切取高赤數字)

(3) 縱斷勾配及び其の延長(赤數字)

(4) 縱斷曲線の位置及び延長(赤數字)

(5) 隧道の延長、位置及び名稱(引出線及び赤數字)

(6) 橋梁、溝橋の徑間、徑間數、位置及び名稱(引出赤線及び赤數字)

(7) 渡船場の延長、位置及び名稱

(8) 鐵道、軌道との交叉位置及び名稱、架道橋にては路面上の有效高

(9) 側溝底敷線

(10) 屈曲部に於ける曲線の起點(B.C.)、終點(E.C.)、半徑(R)並に其の方向

横斷面圖の縮尺は一般に横と縱とを異にし横を平面圖、縱を横斷面圖と同一にする習慣である。

367 横斷面圖 (Cross Section)

横斷面圖は切取、盛土或は土留石垣の高さ及び用地幅を定むる爲に用ふるもので、其の間隔は普通 10 m 又は 20 m であるが、地形の變化甚だしい箇所、又は溝渠付換等のある箇所は別に測量す可きである。横斷面は箇々獨立し誤差が他に波及しないから他の測量の如く精密を要せず其の方向は中心線に直角である。中心線より左右に測る距離は工事の種類に依て異なり、鐵道にては 100～300 m、停車場を設置する場所にて 300～600 m、道路にては

30～50 m 位である。

横斷面圖に記載すべき事項は

(1) 測點番號(黑數字)及び地面線(黑線)

(2) 横斷設計線(赤線)

(3) 切取、盛土の高、斷面積及び其の算出法(盛土青數字)(切取赤數字)

(4) 石垣、張芝、筋芝を施行する箇所には其の勾配、法長

(5) 河川、用惡水路に接する場合は最高水位及び平水位

(6) 用地境界

368 特殊工作物の構造圖

路線に附屬する橋梁、隧道、溝渠等の特殊工作物の有無、大小、數量は土工に比し其の數倍の影響を及ぼす故、測量の當初より考慮に入れて其の詳細を示す構造圖を作製する。此の構造圖に記入すべき事項は

(1) 特殊構造物の平面、側面及び斷面圖等構造を詳しく知り得る圖面

(2) 工作物と地盤との關係

(3) 橋梁、溝橋其他水理工作物には最高水位(H.H.W.)、桁下高及び平水位(M.W.)

(4) 他の路線との取付關係

(5) 主要構造物にては其の地質

(6) 水位は已むを得ざる場合の外陸地測量部水準基標に依ること。

更に一般の場合に對して横斷定規即ち所謂土工定規を作製し次の事項を記入する。

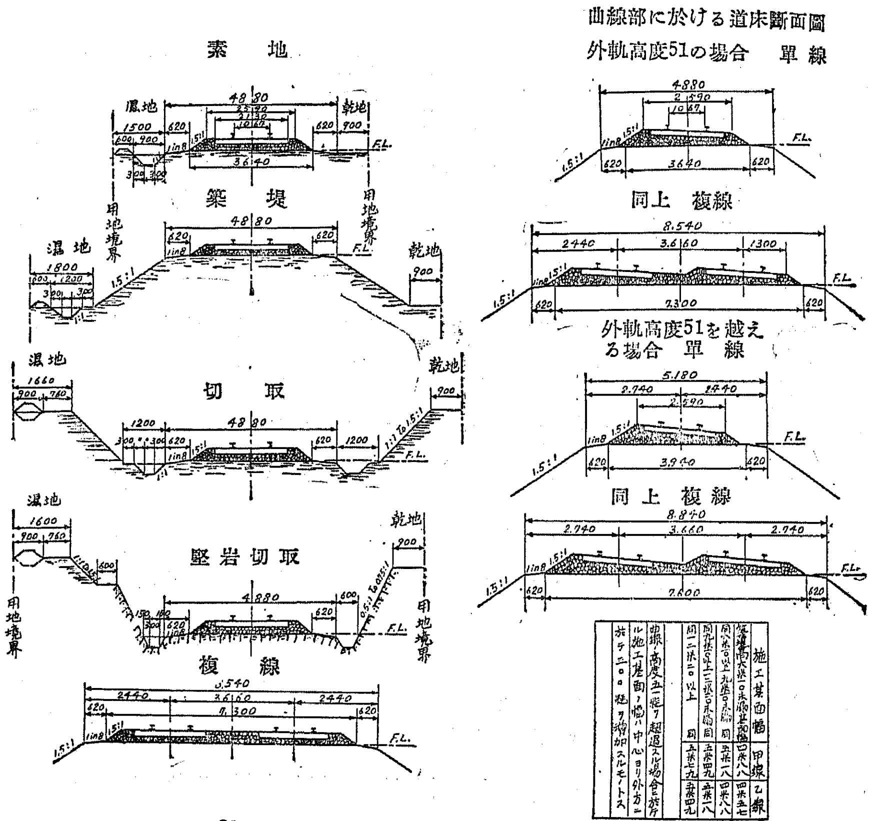
(1) 路線幅

(2) 切取、盛土の法勾配

（3） 路面、側溝の構造

（4） 横斷勾配

第 831 圖は國有鐵道に於ける土工定規である。



第 831 圖 國有鐵道土工定規圖（其の一）

369 圖面の縮尺 (Scale of Map)

路線測量圖面の縮尺は路線の性質及び習慣に依て種々になつて居る。其の大體を示せば次の如くである。

第 61 表 路線測量圖面の縮尺表

分類	路線種類		平面圖	縱斷面圖 橫	縱斷面圖 縱	橫斷面圖	關係法規
鐵道關係	國有鐵道	豫測圖	$\frac{1}{25000}$	$\frac{1}{25000}$	$\frac{1}{2500}$	$\frac{1}{100}$	
		實測圖	$\frac{1}{2500}$	$\frac{1}{25000}$	$\frac{1}{500}$		
	地方鐵道	豫測圖	$\frac{1}{25000}$ 以上	$\frac{1}{25000}$ 以上	$\frac{1}{2000}$ 以上		地方鐵道法施行規則（第 5 條）
		實測圖	$\frac{1}{25000}$ 以上 $\frac{1}{2500}$	$\frac{1}{25000}$ 以上 $\frac{1}{2500}$	$\frac{1}{2000}$ 以上 $\frac{1}{400}$		〃 （第 11條）
道路關係	軌道	豫測圖	$\frac{1}{25000}$ 以上	$\frac{1}{2500}$ 以上	$\frac{1}{200}$ 以上		軌道法施行規則（第 3 條）
		實測圖	$\frac{1}{2500}$ 以上				〃 （第 8 條）
	道路臺帳の圖面		$\frac{1}{1200}$ 以上				道路臺帳に關する件
	國道改良工事	計畫圖	$\frac{1}{50000}$				國道改良工事實施設計調製に關する件通牒
		實測圖	道路 $\frac{1}{1000}$ 街路 $\frac{1}{500}$	平面圖と同じ	橫斷面圖と同じ	$\frac{1}{200}$	
水路關係	運河	豫測圖	$\frac{1}{20000}$ 以上	$\frac{1}{20000}$ 以上	$\frac{1}{200}$ 以上	$\frac{1}{200}$ 以上	運河法施行規則（第 3 條）
		實測圖	$\frac{1}{3000}$ 以上	$\frac{1}{3000}$ 以上	$\frac{1}{200}$ 以上	$\frac{1}{200}$ 以上	〃 （第 7 條）
	土地改良水路圖		$\frac{1}{2000}$ 以上	$\frac{1}{1200}$ 以上	$\frac{1}{200}$ 以上	$\frac{1}{100}$ 以上	土地改良補助規程（第 8,9,10 條）

之で見ると未だ米突式になつて居ないものが相當あり、圖面縮尺の統一と云ふ事は事實上相當重要な事である。

370　土量の計算

前述の如く横斷面圖から切取及び盛土の面積を知り得る故之に兩斷面間の距離を乘じて土量を計算する。

(1)　直線部の場合

今　A_1, A_2＝兩端に於ける斷面積

A_m＝中央に於ける斷面積

l＝兩端斷面間の距離

とすれば普通の公式は

(1)　兩端面平均法 (End Area Method)　$V=\frac{1}{2}(A_1+A_2)l$

(2)　中央斷面法 (Middle Area Method)　$V=A_m l$

(3)　擬壔法 (Prismoidal Method)　$V=\frac{l}{6}(A_1+4A_m+A_2)$

此の中擬壔法は最も正確であるが、普通は簡單な爲に兩端面平均法が好んで用ひられる。之は元來土量の算定が概略的であるのと其の誤差が工費の計算上安全なる側に傾く爲である。

連續する斷面を $A_0, A_1, A_2, \cdots\cdots, A_n$, 其の各の距離を $l_1, l_2, \cdots\cdots, l_n$ とすれば其の土量は

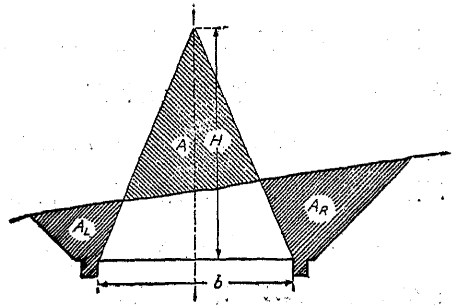
$$V=V_1+V_2+V_3+\cdots\cdots+V_n$$

$$=\frac{A_0+A_1}{2}\times l_1+\frac{A_1+A_2}{2}\times l_2+\cdots\cdots\frac{A_{n-1}+A_n}{2}\times l_n \cdots(508)$$

若し　$l_1=l_2=\cdots\cdots=l_n$ であれば

$$V=l\times\left\{\frac{A_1+A_n}{2}+A_2+A_3+\cdots\cdots+A_{n-1}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(509)$$

第 832 圖の如く是等斷面を各一樣なる底幅 b を有する二等邊三角形に直し其の高さを各 $H_1, H_2, \cdots\cdots, H_n$ とすれば



第 832 圖

$$A_0=\frac{bH_0}{2},$$

$$A_1=\frac{bH_1}{2}, \cdots\cdots\cdots\cdots, A_n=\frac{bH_n}{2}$$

$$V=l\left\{\frac{bH_0}{2}+\frac{bH_1}{2}+\cdots\cdots\cdots\cdots+\frac{bH_n}{2}\right\}$$

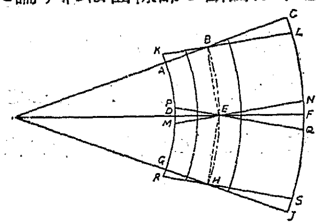
$$=\frac{lb}{2}\left\{\frac{H_0+H_n}{2}+H_1+H_2+\cdots\cdots\cdots\cdots+H_{n-1}\right\}\cdots\cdots\cdots(510)$$

依て $b=1$ に取れば

$$V=\frac{l}{2}\left\{\frac{H_0+H_n}{2}+H_1+H_2+\cdots\cdots\cdots\cdots+H_{n-1}\right\}\cdots\cdots\cdots(511)$$

(511) 式は概算の時によく用ひられる。

(2)　曲線部の場合　路線の中心が曲線を成す場合は普通直線の部分と同じく兩端面を平行と考へ中心線の夾む弦を距離と考へて計算する。然し嚴密に論ずれば曲線部の斷面は中心よりの放射面で互に平行でなく從て曲線部では一般に補正を必要とする。



第 833 圖

第 833 圖に於て B, E, H を曲線上の中心杭の位置とし、AC, DF 及び GJ を各横斷面とする。B より E 迄の容積は AD FC にて表はされるが、實際上切線に直角

な横斷面 AC は弦に直角な横斷面 KL に等しいから、計算せられる容積は $KMNL$ である。故に實際と計算との差は

$$ADFC-KMNL=(\triangle CBL+\triangle FEN)-(\triangle ABK+\triangle DEM)$$

同樣に E より H 迄の容積の實際と計算との差は

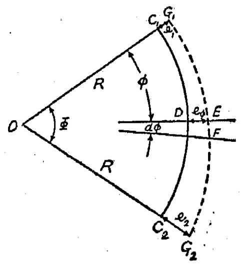
$$DGJF-PRSQ=(\triangle FEQ+\triangle SHJ)-(\triangle DEP+\triangle GHR)$$

從つて全體に就て補正すべき量は

$$(\triangle CBL+\triangle NEQ+\triangle SHJ)-(\triangle ABK+\triangle MEP+\triangle GHR)$$

である。

次に曲線部の容積を示す一般公式を擧げて其の補正の量を表はして見やう。第834圖に於て



第 834 圖

C_1C_2=半徑 R なる曲線部の中心線

G_1G_2=各横斷面の重心を連ぬる重心線 (Centroid)

Φ=曲線部の中心角

$C_1G_1=e_1$, $C_2G_2=e_2$, 各横斷面に於ける偏心距離

ϕ=任意の點 D に於ける中心角

$e_\phi=D$ 點に於ける偏心距離

とし尚 Pappus の定理(一平面上の閉曲線が其の平面內の軸の周圍に廻轉して生ずる容積は其の閉曲線の重心の畫く長さに其の曲線內の面積を乘じたるものに等し) を適用すれば D に於ける橫斷面 A_ϕ の重心が E に在つて O の周りに $d\phi$ 丈け廻轉する時は重心は EF 丈け動き從つて此の廻轉に依て生ずる容積 dV は

$$dV=A_\phi EF=A_\phi(R+e_\phi)d\phi \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{(a)}$$

但し e_ϕ の符號は第834圖の如く重心線が外側にあれば (+)、內側にあれば (−) である。故に C_1C_2 間の容積は $0\to\Phi$ に積分して求められる。

$$V=\int_0^\Phi A_\phi(R+e_\phi)d\phi \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{(b)}$$

今兩端の橫斷面を各

$$A_1=\frac{b_1h_1}{2}, \quad A_2=\frac{b_2h_2}{2} \quad \text{及び} \quad \widehat{C_1C_2}=l$$

とし、三角々壔とすれば

$$\left.\begin{aligned}
\Phi&=\frac{l}{R}\\
A_\phi&=\frac{1}{2}\left\{b_1+(b_2-b_1)\frac{\phi}{\Phi}\right\}\left\{h_1+(h_2-h_1)\frac{\phi}{\Phi}\right\}\\
e_\phi&=e_1+(e_2-e_1)\frac{\phi}{\Phi}
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\text{(c)}$$

之を (b) に代入すれば

$$\begin{aligned}
V=&\frac{1}{2}\int_0^{\frac{l}{R}}\left\{b_1+(b_2-b_1)\frac{\phi R}{l}\right\}\left\{h_1+(h_2-h_1)\frac{\phi R}{l}\right\}\\
&\left\{R+e_1+(e_2-e_1)\frac{\phi R}{l}\right\}d\phi\\
=&\frac{1}{2}\Bigg[\Bigg\{b_1h_1\phi+h_1(b_2-b_1)\frac{\phi^2R}{2l}+b_1(h_2-h_1)\frac{\phi^2R}{l}\\
&+(b_2-b_1)(h_2-h_1)\frac{\phi^3R^2}{3l^2}\Bigg\}R+\Bigg\{b_1h_1\phi+h_1(b_2-b_1)\frac{\phi^2R}{l}\\
&+b_1(h_2-h_1)\frac{\phi^2R}{2l}+(b_2-b_1)(h_2-h_1)\frac{\phi^3R^2}{3l^2}\Bigg\}e_1\\
&+\Bigg\{b_1h_1\frac{\phi^2}{2}+h_1(b_2-b_1)\frac{\phi^3R}{3l}+b_1(h_2-h_1)\frac{\phi^3R}{3l}\\
&+(b_2-b_1)(h_2-h_1)\frac{\phi^4R^2}{4l^2}\Bigg\}(e_2-e_1)\frac{R}{l}\Bigg]_0^{\frac{l}{R}}\\
=&\frac{l}{2}\Bigg[b_1h_1+\frac{1}{2}h_1(b_2-b_1)+\frac{1}{2}b_1(h_2-h_1)+\frac{1}{3}(b_2-b_1)(h_2-h_1)\\
&+\left\{b_1h_1+\frac{1}{2}h_1(b_2-b_1)+\frac{1}{2}b_1(h_2-h_1)+\frac{1}{3}(b_2-b_1)(h_2-h_1)\right\}\frac{e_1}{R}
\end{aligned}$$

$$+\left\{\frac{1}{2}b_1h_1+\frac{1}{3}h_1(b_2-b_1)+\frac{1}{3}b_1(h_2-h_1)\right.$$

$$\left.+\frac{1}{4}(b_2-b_1)(h_2-h_1)\right\}\frac{(e_2-e_1)}{R}\Bigg]\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{(d)}$$

即ち

$$V=\frac{l}{6}\Bigg[b_1h_1+\frac{1}{2}b_2h_1+\frac{1}{2}b_1h_2+b_2h_2+\left\{b_1h_1+\frac{1}{2}b_2h_1+\frac{1}{2}b_1h_2+b_2h_2\right\}\frac{e_1}{R}$$

$$+\frac{1}{4}\left\{b_1h_1+b_2h_1+b_1h_2+3b_2h_2\right\}\frac{e_2-e_1}{R}\Bigg]\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{(512)}$$

$$=\frac{l}{6}\left\{(A_1+4A_m+A_2)+(A_1+4A_m+A_2)\frac{e_1}{R}+(2A_m+A_2)\frac{e_2-e_1}{R}\right\}$$

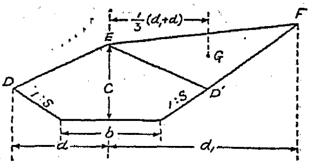
$$=\frac{l}{6}(A_1+4A_m+A_2)+\frac{l}{2R}\left\{(A_1+2A_m)e_1+(2A_m+A_2)e_2\right\}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{(513)}$$

(513) 式中第一項は弧 $C_1C_2=l$ を直線として曲率を考慮しない場合の擬壔公式に依る容積で、從つて第二項以下は曲率補正を示す。依て此の補正を $\varDelta_c$ とすれば

$$\varDelta_c=\frac{l}{6R}\left\{(A_1+2A_m)e_1+(2A_m+A_2)e_2\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{(514)}$$

第 835 圖の如き三準斷面(Three Level Section)にては更に簡單に補正量を出すことが出來る。ED に對稱に ED' を取れば横斷面の不對稱部分は $\triangle ED'F$ で、此の面積が中心線を中心として中心角 $\varPhi$ 丈け廻轉して生じたる容積は、即ち此の部分に於ける曲率補正を示す。圖の如き符號を用ふれば



第 835 圖

$$\triangle ED'F=\left(\frac{d_1-d}{2}\right)\left(c+\frac{b}{2s}\right),\qquad \varPhi=\frac{l}{R}$$

E より $\triangle ED'F$ の重心 G 迄の距離 $=\frac{1}{3}(d_1+d)$

重心 G の移動したる距離 $=\frac{\varPhi}{3}(d_1+d)=\frac{l}{3R}(d_1+d)$

從つて曲率補正の量は

$$\left(\frac{d_1-d}{2}\right)\left(c+\frac{b}{2s}\right)\times\frac{l}{3R}(d_1+d)=\frac{l}{6R}(d_1^2-d^2)\left(c+\frac{b}{2s}\right)\cdots\text{(515)}$$