

講 座

UDC 625.1

鉄道建設技術講座 (VII)

正員 桑原 彌 寿 雄*

第4章 実 測 (中心測量)

1. 中心測量の内容と隊員の編成及び準備

(1) 中心測量の作業内容 広義の中心測量, すなわち実測は建設すべき線路の中心位置の必要な点を現地に設定すること, すなわち狭義の中心測量と, 工事計画及び設計, 予算の編成, 施工並びに後の管理に必要な線路平面図 ($S=1/2500$, 以下国鉄の例) 及び詳細平面図 ($S=1/500$), 縦断面図 (S : 横 $1/2500$, 縦 $1/400$), 横断面図 ($S=1/100$), 等の測量と, 設計用の補測並びにその他必要事項の調査とをその内容とする。

その作業は, 中心設定測量 (選点すなわち直切線の選定と曲線設置及びこれらの中心杭の設定とを含む) 中心水準 (縦断測量), 平面測量 (線路平面図は地形図を利用して中心線を記入するのみとし, 設計用詳細平面図の測量をする), 横断測量 (設計用並びに工事数量計算用) 等の測量のほか, 主要建造物 (隧道坑口, 橋梁, 暗渠等並びにこれ等の翼壁) の設計用補測 (中間横断面, 平行縦断面あるいはこれ等をあわせた暮盤目断面測量, またはこれ等を利用した極詳細地形平面図一例 $1/100$ 等の詳細測量), 並びに気象, 道路関係, 社寺記念物, 工場, 鉱山等線路の選定を設計に必要な事項の調査等の内容を含むものである。

(2) 隊員の編成と工程 以上の作業内容に従つて隊員の編成は次のようなのが普通である。

選定班 隊長 (技術者) 1, 工手 1~2, 人夫 2~4
 中心班 次席 技術者 1, 工手 2~3, 人夫 3~4
 水準班 (選定班) または中心班の兼務
 横断班 下級 技術者 1~2, 工手 2~4, 人夫 4~8
 平面班 中級 技術者 1, 工手 2, 人夫 3~4
 合計 技術者 4~5, 工手 7~10, 人夫 10~20

作業の順序は選定班が最先頭で中心班がこれに続きこの二者の終つた部分を水準班 (縦断班) 及び平面班 (平板班) が進み, 横断班は縦断班の後でない, 現場作業はともかく, 計算及び製図ができない。設計用補測は手の空いた中下級技術者がやり, 諸種の調査は外業が終つて計算製図等の内業をやつている時期に, 隊長または次席級が直接自ら, または用の無い工手を

指揮してやるのが普通である。

その進行の程度はこれくらいの人数ならば, 地形にもよるが雨天の日 (大体 $1/3$ くらいを見込む) は内業整理をすることとして, 大体 7 日/ km くらいである。

(3) 測量準備 出発前にまづ図上研究に従つてその延長難易から隊員の編成及び作業日数を決定し, かつ携行及び購入すべき器具材料等を調べ上げて予算を作り, 測量施行向の書類を事業体の長に提出して認可を得る。また測量法及び土地取用法による立入通知, 国有林その他の立入認可, 移動証明その他の手続きをするのはもちろんである。

携行器材は, トランシット 2, ハンドレベル 2~4, 平板 1~2, ポール 10~15, 布テープ 10 巻以上 (非常に傷みやすく沢山要る, 長さ 30m) 竹尺 4~6 (長さ 30m, 時には 2 本継ぎ), 直角儀 2 個以上等, 地形測量に比して多くその他は同様である。このうち杭材 (現地納めか, 携行か), 竹尺材, 布テープ等消耗品は早く発注することが必要である。杭は大杭 (I.P.B.M. 用 12cm 角前後) 小數, 中杭 (その他の後杭 6~8cm 角) 相当, 小杭 (中心杭その他) 多數を用意せねばならない。なお地形測量の成果や図上選定の研究資料等を携行すべきことは云うまでもない。

(4) 踏査及び中心線の再検討 現地到着後宿舎に着いたならばただちに関係方面に挨拶並びに手続きをなし, 器材の整備 (器械の整正と材料, 例えば竹尺の目盛墨入れや継ぎ方) をする。また現場測量に着手前に, 下級者が器材の整備をしている間に隊長と上級者は一度測量区域を踏査して, 地形を観察し, 地理調査所の B.M. や前の地形測量の杭の有無等によつて, 測量作業の順序や作業内容, あるいは川渡り山越えの三角測量等の測量計画を立てる。なお図上選定による中心線の良否を現地と照査して, 訂正すべき箇所を検討し次の選点作業に備える。

2. 中心線設置測量

(1) 選点 選点は最も深い経験と技術とを要するので隊長が当るのが普通であり, その作業の助手をする測量工手も一般に経験の深い工手長が当るが, 地形図上の図上選定をやらなかつた昔はいわゆる測量の

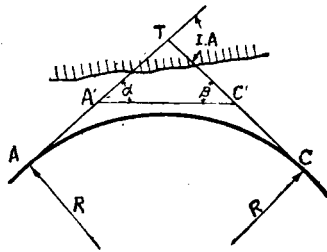
神様がやつたものである。

作業はまづはば図上選定により選ばれた路線位置をこれにとられることなく、踏査によつて気づいた点を加味して、現地に充分適合するように修正して現地に設定する。すなわち直線部の 2~3 点を著名な建物建造物等から位置を推定してポールを立て、これが障害物に当らぬよう、また必要な点を通るようにする。次の直線も同様にして定めてその交会点に I. P. (通称インター) の大杭を打つ。この杭は中心測量の生命とも云うべき杭であつて、以後の測量や工事完了後にも路線中心位置の保守や改良にも必要なので、特に大切にその逃げ杭 (引照点) として兼用い杭を四囲に打つか、またはあらかじめ両直線上にこの I. P. を挟んで T. P. (盛替点) の杭を打つておく。直線が長く見とおしがきかない場合にはもちろん T. P. 杭を打つておく。すなわち T. P. は一種の役杭であつて、役杭は固い杭を打つておくのが普通である。

I. P., T. P. 杭ができたならば、両直線すなわち曲線の切線の交角 I. A. 一外角一をトランシットで、倍角法により正確に(このために正反位, 左右回転を計る)秒単位の結果をだす。この I. A. の測角は後の中心線(曲線)設置作業の以前に必要な各種寸法を計算しておくのに絶対必要であるからあらかじめ測つておくのである。

図-1 近寄れぬ I. A. の測定

地形上障害物があり、I. P. が前後から直接見えない懸崖の下へ落ちたり、近よつたり測角したりできない絶壁の途中に引掛



つたりした場合には、図-1 のように両直線の途中、適当な 2 点の各点に器械を据えて、各その外角を測れば(すなわち I. A. の分割測定)その和が I. A. となる。

また直線が懸崖をなす河谷を通過して直接測長のできない場合は、両河岸に近い 2 点と、1 岸の点から河岸に沿うた別の 1 点を設けて、その点までの距離とこの 3 点のなす三角形の内角を測定しておけば、三角計算により兩岸の点の間の距離がわかつて、後の中心設置作業に便利である。

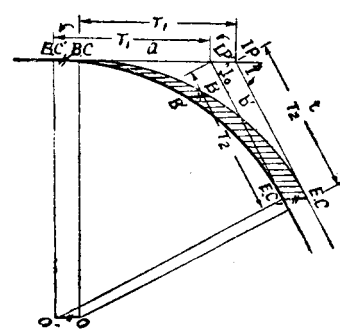
また直線が山を隧道で越すような場合は、山の上に T. P. を取り、山の麓の両側にも 2 点を設け、押してきた直線上の手前にも別に 1 点 T. P. を取り、この点と手前の麓の点との間を基線として、さらに別に、両

麓の点とこの点と、さらに山上の T. P. とのどの点からも見えるような点を、直線のほぼ直角方向の山上に設け、これ等の点で三角網を設定して測角計算すれば山上を階段状に距離測定をしなくても、正確に麓の 2 点間の距離、従つて隧道の距離が直線上の T. P. 以外の 1 点を設けるだけで正確に出せるのである。

両直線間の曲線上でぜひ通りたい点、またはぜひ避けたい点がある時は、両直線すなわち I. P. と I. A. が定まつていれば、半径を変化させれば目的を達することができる。これには I. P. からその点への直線の長さと同直線とのなす角、すなわちその点の相対的位置がわかれば、計算によつて半径の大きさを算出し得るわけであるが、図上選定の地形図上で曲線定規を変えて当ててみるか、あるいは筆者の考案した選点図表(測量の神様の図表)を用いれば簡単に出来る(拙著『路線測量』p. 110 参照)。

この方法では算出した半径が線路規格以下でいけなかつたり、または正確にその点に乗らないような場合に、一方の切線は既定で動かすににくい、次の直線は位置方向に多少変化の余地あるときは、I. P. の位置を少々変化させ、かつ I. A. すなわち第 2 の直線の切線方向を少々動かせば正確に目的を果し得るわけであるが、実際はこの二者の変化による円弧の位置移動を解析的に出すことは困難であるから、図上で見当をつけておいて大体の方向へ I. P. 及び I. A. (すなわち直切線方向)

図-2 選点(切線の平行移動)



を動かして試みてみるより仕方ない。

これを簡単に解決するには、図-2 のように所要の点 B' を通つて a 切線に平行線を引き、

概算の円弧と交わる点 B との間の長さ BB' だけ平行移動した切線 b' を引けば、I. P. 及び B. C., E. C. はそれぞれ (I. P.)' (B. C.)' (E. C.)' の位置に移動して、これに切するその半径の円は正確に所要の点 B' を通る。これは図示の a 切線に平行な線分で示されたように円曲線上の各点が平行移動するからである。この B. B' の長さが大きくなって、b 切線の平行移動が後の所要点に実用上支障がなければこれでよいわけである。

(2) 中心線設置作業(通称センター作業) 選点の終つた部分はすぐその後から中心班が中心杭を打

つてゆく。直線部は始点から 20 m ごとに中心杭の距離を引きながらすすむのである。始点から T.P., I.P., B.C., E.C., その他の役杭の頂部にはその中心を示す釘を打つておく必要があるが、普通の中心杭（経約 3 cm）は中心線上の 20 m ごとの位置に打つだけで、釘は打たず距離を引く際に 20 m ごとの位置を示す線を鉛筆で引いておく。杭には皆その位置と役杭には名称も書いておく。

中心杭を打つには、始点中心にトランシットを据えてすでに選定された I.P. または T.P. を前方に視準しその手前に中心線の杭を視準する。一方から直線を片押しする場合（選点の場合が多い）に、T.P. 上にトランシットを据えて、もとの T.P. を後視 (B.S.) して反転延長する際には、必ず正反 2 回の結果の 1/2 の位置に T.P. 中心を取つて進むことは絶対必要である。

隧道その他の傾斜地では役杭の頂部同士を直接竹尺を引いたのでは誤差ができるから、中間に距離引き専門のポール（素性のよい真直ぐなもの一面を少し落して中心線が入れてある）を垂直に立てて下げ振りをかけて換する。

水平に（少し竹尺を上下して一番短かい目盛を取る）測つて、階段状に測定するのである。しかし面倒な作業であるから、途中に中心杭の必要のない隧道などは前述のように三角測量を利用して飛んだ方が作業が楽で速かつより正確である。

かくして直線上の中心杭の設置が進行して I.P. に近づけば I.P. からあらかじめ計算しておいた切線長だけ引き戻して手前の曲線始点（始曲点 B.C.）を打つて手前から竹尺で位置を出し、同様に曲線終点（終曲点 E.C.）を I.P. から切線長だけとつて打つて、これは計算による曲線長から料程を入れる。このために作業の前夜に、I.A. と R. から切線長はじめ諸種の曲線設置に必要な数字を計算しておくのである。

3. 曲線設置測量 (Curve Setting)

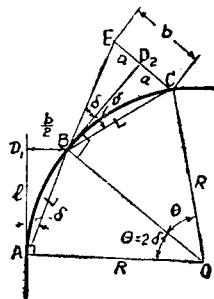
(1) 切線距及び弦距による曲線設置法 この方法はトランシットなしに、**図-3 切線距及び弦距** 竹尺巻尺とポールだけで曲線設置できるのが特徴である。**図-3** のように AB の延長 BE=L とするとき

$$BD_1 = \text{切線(偏倚)距} = a$$

$$CE = \text{弦(偏倚)距} = b$$

$$a = \frac{b}{2}$$

であつて、△OBC と △BCE



とは相似三角形であるから

$$R:L = L:b \quad \therefore b = \frac{L^2}{R} \quad \dots\dots(1)$$

また $AD_1 = l = \sqrt{L^2 - \frac{b^2}{4}} \quad \dots(2)$

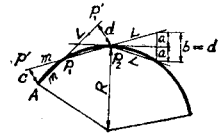
$$L = 2R \sin \theta = 2R \sin \frac{\widehat{AB}}{2R} \rho (\equiv \widehat{AB})$$

(例: AB=20 m のとき R=200 m で L=19 992 m,
 ρ : ラジアン = $57^\circ.2958 = 57^\circ 17' 45''$
 $= 206 265''$).....(3)

となる。故にいままづ切線上に $AD_1=l$ なる点 D_1 を作り、次に D_1 より $\frac{b}{2}$ (すなわち切線距) と A より L の距離で第 1 点 B が出る。次に AB を延長して BE=L なる距離に E を設け、E より b (弦距), B より L なる距離の交点が第 2 点 C となる (各種の R に対してこれらの b, L 等及び弧長に対する数値の表は拙著『路線測量』を参照されたい、以下同様)。

一般の中心測量においては、B.C. (図の A) から第 1 の中心杭(図の B)までの距離は半端であつて、これを**始補弦**と云う。これを m とすれば、その大いさは上記の式で L, b, θ, a を m', b', θ', a' と書きかえればよいことになり、現場の作業は上記と全く同様である。

しかしこの a' その他の数値の計算は面倒であるから**図-4 補弦距延長法** のように e を**補弦距**, d を**第一弦距**として、A(B.C.) と P1 から e と m の距離の交点 P' を設け、AP' を延長して L の距離に P1' をとり、P1' と P1 とからそれぞれ d 及び L の距離の交点 P2 を設ければ P1P2 は第 1 弦である。以下前と同様に第 2 弦以下を求めるが、この場合



$$\text{補弦距 } e = \frac{m(m+L)}{2R} \quad \dots\dots(4)$$

$$\text{第 1 弦距 } d = \frac{(m+L)L}{2R} = b \quad \dots\dots(5)$$

となる (証明及び数値表は拙著『路線測量』参照)。

(2) (切線) 支距法 これは**図-3**における第 1 点 B を AD_1 及びこれに直角な D_1B から出し、第 2 点 C 以下もその各点から切線に至る垂線 (支距) の長さ (x) と、A から垂線の足に至る距離 (y) から出す方法であつて

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{L^2}{2R} \\ y &= L \sqrt{1 - \left(\frac{L}{2R}\right)^2} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(6)$$

であるが、森林地帯等で見通しのきかない伐採量の多い場合、I.A. のあまり大きくない時に精確さをあまり要求させられない道路、軽便鉄道等に用いられる。

(3) 縦横距法 これは曲線始点 (B.C.) と終点

(E. C) とを結ぶ弦 L を横軸とし、曲線上の各点からこの横軸に至る垂線を引いてその縦距、横距を算出して、坐標的に曲線上の各点を設定する方法である。この坐標の原点は、その一端におく場合もあるが、一般に中央におく。中央の縦距は $M = R - \sqrt{R^2 - \frac{L^2}{4}}$ であつて、任意の点の縦距は $y = \sqrt{R^2 - x^2} - \sqrt{R^2 - \frac{L^2}{4}}$ となる。

また中央縦距法と称して、まづ B.C., E.C. のちよほど中間の曲線上の点を上記の M' から算出して、次のこの点と両端の点とを結ぶ弦から、そのまた中間の点をそれぞれ、その中央縦距 M' から求め、さらにこれを逐次細分する方法があるが、市街地の軌道の曲線設置によく用いられる。

(4) 偏(移)角法 鉄道の曲線設置で最も多く用いられる方法である。B.C. から最初の 20 m の杭までの半端距離の弧または弦を始補弧または弦と云い、同様 E.C. の手前の半端も終補弧(弦)と云う。作業は B.C. にトランシットを据えて I.P. を後視して 図-5 の

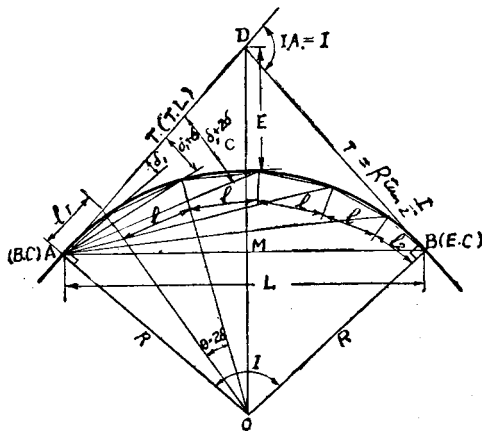
図-5 偏移角曲線設置法

切線長 $T.L. = T = R \tan \frac{1}{2}$

外割(通称セカント) $DC = E = R \left(\sec \frac{1}{2} - 1 \right)$

中央縦距 $CM = M = R \left(1 - \cos \frac{1}{2} \right)$

曲線長 $C.L. = R \frac{I}{\rho}$ (ρ : ラジアン)



ように各点を視準するわけであるが、これは円曲線はその切線と弦とのなす角(偏角)は、その弧または弦の張る中心角の 1/2 に等しく、かつ弧の大きさに比例するという幾何学の原理に基づいているのである。

すなわち偏角 δ は、弧長 L に対して

$$\delta = \frac{L}{R} \times \frac{\rho}{2} \quad (1 \text{ ラジアン } \rho = 57'.2958 = 57''.17'45'' = 206265'')$$

なる式から、始補弧 δ_1 と弧長 20 m に対する δ が計算され、図のように第 1 点 δ_1 、第 2 点 $\delta_1 + \delta$ 、第 3 点 $\delta_1 + 2\delta$ 、……をあらかじめ計算しておいて、各中心杭の点を打つていくのである。かくして各点の杭を打つて E.C. に来て計算の角で視準した時に、その狂いがポール 1 本の太さくらいまでならまづ及第であるが、握り拳以上となつたらやり直してである。なお各点を視準する際に、能率上測量工は大體次のポールの位置を見当つけるのに、前項の弦距 b の大きさを利用して、前の 2 本の杭の直線上 20 m の点から b だけ内側によつて距離 20 m の点にポールを立てるのである。このために 20 m に対する b の長さを中心測量専用の墨入れポールに刻み込んでおいて、これをいわゆる馬鹿棒として倒してみても見当をつけるのである。

(5) 障害物を避ける方法 広い野原なら問題がないが、途中に見通しの困難があつたり、また I.A. があまりに大きいような場合は、通常 I.P. からいわゆるセカントすなわち曲線の midpoint をだしておく。このセカントの大きさは $E = R \left(\sec \frac{1}{2} - 1 \right)$ であつて、比較的正確にだし得るから、役杭に準じて扱い、ここで一応偏角法その他で出した曲線中心を補正し、さらにここに器械を据えて中心杭を打ち進めることができるのである。

また曲線上や、見通しの上に視界をさえぎる障害物がある時は、その手前までは普通に曲線中心を打つてこの障害物を飛び越えて任意の点 B の方向と切線をなす $\angle IAB = \alpha$ を測つてから

$$AB = 2R \sin \alpha$$

なる距離に B 点の杭 (T.P. 杭) を打ち、器械を B 点に盛り替えて、BA と α なる角をなす線、すなわち切線の方角を出し、反転した方向(ただし正反位 2 回の平均の方角)を切線として、以下 B を A(B.C.) と同様に扱つて曲線を打つてゆけばよいわけである。

その他にも円曲線の幾何学的性質を利用して障害物をさけることができるので省略する。

(6) 複(合)曲線及び反(向)曲線 地形狭隘、峻険な懸崖沿いや、障害物や橋梁等特定のある場合に、動かさない前後の直線を加えて特定点との合計の数が 4 つ以上ある場合は、1 つの円曲線では一般に全部を通ることができなくて、やむをえず 2 つの異なる半径を有する円曲線を連続させることがある。これを複(合)曲線と云い、境目(すなわち共通切点)で共通切線を有するが、時に切点でこの共通切線の逆の側に曲線がつながるのを反(向)曲線と云う、すなわち Sカーブである。反(向)曲線は車輛の運転上悪影響があるのででき得る限りさけるが、国鉄では 2 つの円弧をつきつ

けないで、必ず間に直線部において2つの曲線とすることになっている。しかしこの直線と両曲線との境目にも必ず緩和曲線を入れることになっており、かつ直線の長さは普通20m以上、やむを得ない場合でも10m以上とすることになっているので、地形の悪い所ではなかなか苦しいことがある。最近はこの境目の緩和曲線は必要だが、直線部は不要むしろ有害だとの説もある。

複曲線の計算をする場合には、2つの曲線の半径は地形図上の選定で曲線定規により定めれば、交角 $I_1 + I_2 = I$ と切線長 T_1, T_2 は見当がつくが、2つの曲線の I_1 または I_2 、あるいは T_1 または T_2 の一方を仮定すれば、複曲線の各要素寸法の計算ができる。ここにはその計算は省略するから拙著「路線測量」p.127を参照されたい。

4. 緩和曲線

(1) 緩和曲線の意義 曲線上を運転する列車は $f = Mv^2/R$ なる遠心力を受けるので、外側軌条に高度(カント) h をつけて釣合を保たねばならない。このカントをつけるためには直線部の0から漸時増大せしめる区間が必要であり、また曲線部の入口で急に遠心力を衝撃的に受けても困るので、直線部(半径無限大)から漸時曲率半径を小さくして曲線始点でその曲線半径とするための移行区間が必要であるので、このために緩和曲線を入れるのである。

車体が遠心力を受けるときに重力の分力と釣合うためには

$$\frac{Mv^2}{R} \cos \alpha = Mg \sin \alpha, \text{ ただし } \sin \alpha = \frac{h}{B}$$

(B : 軌条中心間隔)

と云う条件が必要であり、 $\cos \alpha \approx 1$ であるからこの式から

$$h = \frac{v^2 B}{Rg} = 0.116 \frac{v^2}{R} = \frac{SV^2}{0.127R} \quad (S: \text{軌間}, V: \text{km/h})$$

と云うことになる。我国鉄(軌間1.067m)ではこの h の最大は115mmを限度としている。なおこの V は予定最大速度 V_m と予定最小速度 V_n の幾何平均をとり $V_m = \sqrt{\frac{V_n^2 + V_n^2}{2}}$ としている。

また緩和曲線の長さ Lm はカント h mmの N 倍とすれば

$$L = \frac{N}{100} h = \frac{N}{1000} \cdot \frac{SV^2}{0.127R}$$

となるが、 N は 甲線 ≥ 600 、乙線 ≥ 450 、丙線 ≥ 300 、と建設規定に示されている。この緩和曲線長を具体的に示せば丙線25m(混合列車線 $R \leq 400$ m, 旅客主体線 ≤ 700 m)~10m($R=1000 \sim 1600$ m), 乙線40m($R=250 \sim 800$ m)~20m($R=1600$ m), 甲線55m($R=300 \sim 800$ m)~30m($R=1600$ m)となっている。なお緩和曲線の最大長は普通旧円曲線の全長の3/4以下とされているが、そんな場合はI.A.が小さいのであるから曲線半径を増大すべきである。

(2) 緩和曲線の式 緩和曲線は曲率半径 ∞ の直線から曲線の半径 R_0 まで変化するものであるが、

(i) その変化を横距(原直線方向の座標値)に比例させれば3次抛物線となり、

(ii) 曲線すなわち弧の長さとともに変化させればホルブルックの螺線となり、

(v) 一定長さの弧または弦の挟む中心角すなわち角度法曲線における曲率を逡増させれば、シールズ螺線となる。

この角度法曲線と云うのはアメリカで多く行われた方法であつて、100呎の弧を挟む角度の大きさに曲線を表わし、何度曲線と云う表現をするが、度数の多い方が急曲線である。この3曲線のうちで(i)の3次抛物線が最も扱いよく、かつ実際の形も螺線とほとんど異ならないから普通これが用いられている。

この場合曲率半径の一般式に、 $\frac{dy}{dx}$ は非常に小さい

から $\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \approx 0$ とにおいて $\frac{1}{R} = \frac{d^2y}{dx^2}$ なる式から

$$h = \frac{B}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \text{ また } h = \frac{x}{n} \text{ なる関係を入れ、 } \frac{nBv^2}{g} = P$$

とおき $\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{x}{P}$ なる関係を得てこれを x につき積分すれば、

$$y = \frac{x^3}{6P} \dots\dots(7)$$

となり、これが緩和曲線の曲率半径を旧直線方向の横距に比例して変化させたときの一般式である。以上は緩和曲線の長さ l と横距 x とを同一であるものとして計算したものであるが、事実は

$$l = x + \frac{x^5}{40P^2}$$

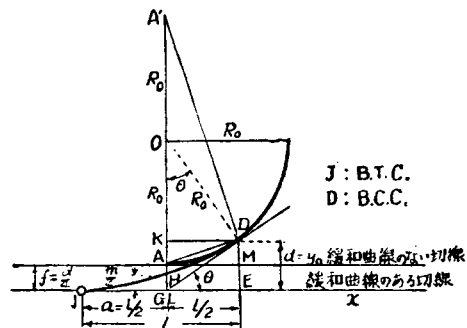
あるいは、第2項は小であるから $l^5 \approx x^5$ として

$$x \approx l - \frac{l^5}{40P^2}$$

と表わすことができる。

(3) 緩和曲線の性質 緩和曲線の一般式は、図-6のJを原点とし $x=l$ なるときの半径を R_0 とすれば

図-6 緩和曲線の性質



$$\left(\frac{d^2y}{dx^2}\right)_{x=l} = \frac{x}{P} = \frac{l}{P} = \frac{1}{R_0} \therefore P = R_0 l$$

であるから

$$y_0 = \frac{l^3}{6R_0 l} = \frac{l^2}{6R_0} = d \dots\dots(8)$$

となる。以下証明は省略するが(拙著「路線測量」参照) 図-6に表われた緩和曲線の諸性質を列挙すれば

$$a = \frac{l}{2} \dots\dots(9)$$

すなわち図の円曲線中心より直線部への垂線の足Gは緩和曲線の横距の中点である。

次に円曲線に切し直線部に平行な切線を引いてその間の距離 $d - KA = f$ とすれば

$$f = \frac{d}{4} = \frac{l^2}{24R} \quad \dots\dots(10)$$

である。その f を緩和曲線の移程 (Shift) と称し、これだけ内側に円曲線を設置することとなるのである。

さらに $x = \frac{l}{2}$ の点では

$$y_1 = \frac{f}{2} \quad \dots\dots(11)$$

である。すなわち緩和曲線は図のようにその中点で移程の半分の点を通るのである。

なお D における切線 DL が横軸 (直線部) に交わる点を L とすれば、D の補切線 LE のなす角を θ とすれば

$$LE = d \cot \theta$$

であつて

$$\tan \theta = \left(\frac{dy}{dx} \right)_{x=l} = \left(\frac{x^2}{2P} \right)_{x=l} = \frac{l^2}{2P} = \frac{3d}{l}$$

であるから

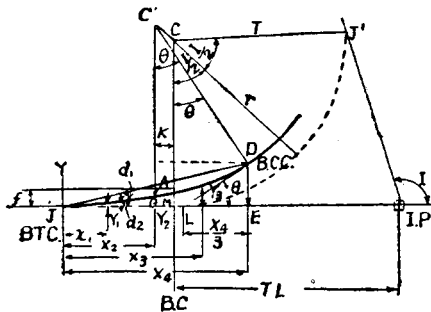
$$LE = \frac{l}{3}, \quad JL = \frac{2}{3}l \quad \dots\dots(12)$$

となる。すなわち D の補切線 LE は D の横距の 1/3 に等しい。

(4) 緩和曲線敷設法 緩和曲線の敷設法は一般に上記のごとく内方に f なる距離に円曲線を移して敷設するのであるが、既設の線路などで円曲線の内方敷設のできない時は、原曲線より小さい円曲線を用いてこれに緩和曲線を入れる。国鉄では「建設規定に対する暫定細則一昭.5.7.3」で取扱い方を定めて、前者を第1法と云い、後者を第2法と云つている。

緩和曲線敷設法第1法にあつては、緩和曲線始点 B.T.C. と原円曲線始点 B.C. との間の距離 T' は図-7 のように

図-7 緩和曲線設置作業



$$T' = L/2 + K$$

であつて、ここに $K = f \tan \frac{l}{2}$, $f = \frac{l^2}{24R}$

である。また緩和曲線各部の寸法は

$$d = y_4 = \frac{l^2}{6R}, \quad y_3 = \frac{27}{64}y_4, \quad y_2 = \frac{1}{8}y_4, \quad y_1 = \frac{1}{64}y_4$$

であり、 L を n 等分して B.T.C. より m 番目の点の

$$\text{縦距は } y_m = \left(\frac{m}{n} \right)^3 y_4 \quad \dots\dots(13)$$

である。なお緩和曲線の敷設に当つて必要な数値は

$$\tan \theta = \frac{3d}{L} = \frac{l^2}{2R} \quad \dots\dots(14)$$

$$\tan d_m = \left(\frac{m}{n} \right)^2 \frac{y_4}{x_4} \quad \dots\dots(15)$$

である。

緩和曲線敷設法第2法においては、原円曲線より小さい円曲線の半径 r は

$$r = R - \frac{1}{20}(R - 100) \quad (\text{ただし } r = 5 \text{ m の整数倍}) \quad \dots\dots(16)$$

であり、また

$$\alpha = \cos^{-1} \left(1 - \frac{f}{R-r} \right),$$

$$T'' = \frac{L}{2} + K' = \frac{L}{2} - (R-r) \sin \alpha \quad \dots\dots(17)$$

である。

複曲線の場合は、2種類の緩和曲線が入り、従つて Shift も2種類できることになりその計算は複雑であるから省略するが、拙著「路線測量」p.191~196を参照されたい。なお2種類の半径の相接する境目の共通切点 C.T.P. においては理論上緩和曲線を入れるべきであるが、實際上2種の曲線半径の差はそれほど大きくないので煩雑にするのが普通である。

(5) 緩和曲線設置作業 緩和曲線設置の現場作業に当つては、まづ通常のように I.P. から切線長 T' のほかに

$$T'' = \frac{L}{2} + K' \quad (\text{第2法なら } K \text{ の代りに } K')$$

を加えた長さを引きもどして緩和曲線始点 (B.T.C.) J を得る。次に旧円曲線の始点 (B.C.) より K だけ手前の点 (あるいは B.T.C. より $L/2$ の点) G より垂線 (円中心) の方向に移程 f だけ内方に移動して、この切線に対する円弧の始点 (B.C.) A を得る。この GA の中点 H は緩和曲線の通過すべき点 (中点) である。また G 点より I.P. 寄りに $L/2$ だけ切れば B.T.C. の横距 E を得る。従つて E より $d = 4f$ に等しい縦距を取つて D とすれば、D は緩和曲線終点 (B.C.C.) である。この J, H, D, の3点で普通用は足りるがいていねいには

その中間に $(x_1 = \frac{L}{4}, y_1 = \frac{1}{64}y_4 = \frac{L^2}{384R})$ 及び $(x_3 = \frac{3}{4}L, y_3 = \frac{27}{64}y_4 = \frac{27L^2}{384R})$ の点を取れば緩和曲線を現地に

設定し得たわけである。次に直線部、すなわち切線上に、J から $JL = \frac{2}{3}L$ の点に J を設けて、D に器械を据えて L を視準して反転すれば、D (B.C.C.) における切線方向ができるから、この切線の I.P. 杭を打つて以下は普通の曲線設置の作業をすればよい。

以上のやり方の代りに図-7 の I.P. から T 点 (B.T.C.) を引き戻したならば、ただちにここに器械を据えて、直接緩和曲線全長に対する偏角 d_1 と弦長 D とより B.C.C. を出し、次に B.T.C. を後視して、 $\theta - d_1$ の方向を見て反転すれば、やはり B.C.C. における切線方向を得るが、この方が普通である。

以下同様に普通のごとく始補弦から始めて 20 m ほどの中心板を偏角法で打ち最後に I.A. から曲線長を出して終補弦を打つて、曲線の終りの緩和曲線始点 (E.C.C.) を出し、初めと逆に単円曲線の終点 (E.C.) と緩和曲線終点 (E.T.C.) を出し、これと I.P. と結んで逆に延長すれば次の直線となるわけである。

以上の緩和曲線設置に必要な $L, \theta, f, x_n, y_n, d_1, d_2, D$ 等の数字は「路線測量」p.187~190を参照。