IV－7　　　　弾性曲線による道路線型設計手法

九州共立大学　正会員　澤　慶治

1. 主旨

道路の線型は円（直線も含めて）とクロソイド曲線の組み合せによっている。円とクロソイドのパラメーターおよびその起点（終点）とがきまれば機械的に線型の座標が計算される。しかし，その前段となる，どのような円をどのように配置し，どのようなパラメーターのクロソイドをどこから（どこまで）挿入したらよいかということは相当の線型技術的な習熟を要する。こゝに，“しない定規”（軸方向に等質でしなやかな長い棒，たとえば，バッテン・スチールテープ・現寸テープ等）を利用してみた。すなわち，地図の上で通過候補地点（支点とよぶ）にピンまたわ文鎮をあわせ，これに定規を自然にからませる。その表わす弾性曲線をもって求める線型とし，この曲線の座標計算式を求め，さらに，路線としての検討をおこなったものである。このような手法によれば，ペーロケにおける路線検討に便利であり，また，直観的かつ客観的に線型の設計ができるように思う。

2. 座標計算式

いま，クロソイド曲線上の任意点を走る車に働く遠心力Fおよび弾性曲線上の任意点で定規に働く曲げモーメントMは，車の質量をm，設計速度をv，曲率半径をρ，定規の曲げ剛さをEIとすれば，それぞれ，つぎの関係がある。

$$F = mv^2/\rho \qquad こゝに\quad mv^2:一定$$

$$M = EI/\rho \qquad 〃 \quad EI:〃$$

この両式はよくにている。こゝで，車の走行距離sまたわ曲線長sの変化に対する遠心力および曲げモーメントの変化の割合をとればつぎのようになる。

$$\frac{dF}{ds} = mv^2\frac{d}{ds}\left(\frac{1}{\rho}\right) \quad , \quad \frac{dM}{ds} = EI\frac{d}{ds}\left(\frac{1}{\rho}\right)$$

もし，$dF/ds = k$（一定）とおけば，$\rho \cdot s = mv^2/k = A^2$となり，これはパラメーターを$A$とするクロソイド曲線の式にほかならない。同様に，$dM/ds$を一定とおくことができるならば，弾性曲線とクロソイド曲線は一致することになる。しかし，これはたわみ曲線の場合で，たわみの大きな弾性曲線の場合には適当でない。したがって，つぎのようになる。

a) 一般型の座標

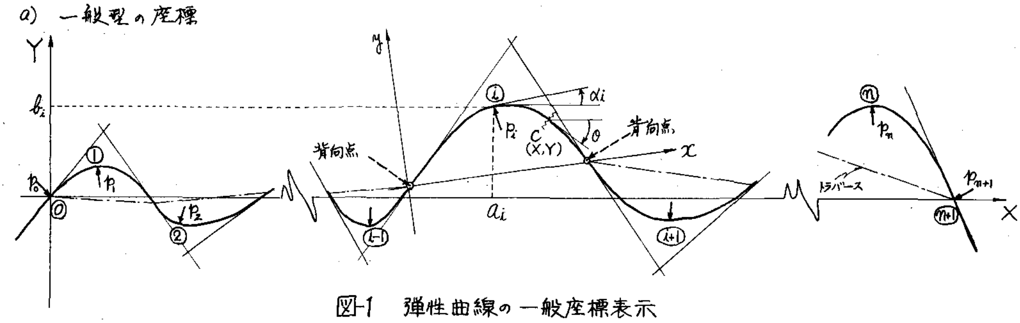

図-1　弾性曲線の一般座標表示

図-1は弾性曲線に任意の座標軸をいれたものである。こゝに，ⓘは支点，$p_i \cdot \alpha_i \cdot a_i \cdot b_i$はⓘ支点における反力・接線角・座標を表わし，Cはⓘ支点とⓘ+1支点との間の曲線上の任意点とする。

つり合いの条件から

$$\sum_0^{n+1} p_i \sin\alpha_i = 0 \quad , \quad \sum_0^{n+1} p_i \cos\alpha_i = 0 \quad , \quad \sum_1^{n+1} (p_i \sin\alpha_i \cdot b_i + p_i \cos\alpha_i \cdot a_i) = 0$$

C点における曲げモーメントMは

$$M = -\left(\sum_0^{i} p_i \cdot \sin\alpha_i\right) Y - \left(\sum_0^{i} p_i \cdot \cos\alpha_i\right) X - \sum_0^{i} (p_i \sin\alpha_i \cdot b_i + p_i \cos\alpha_i \cdot a_i)$$

曲率の定義と弾性条件から

$$\frac{d\theta}{ds} = \frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$$

$$\therefore \frac{dM}{ds} = -p\cos(\alpha - \theta)$$

$$\therefore \frac{d^2\theta}{ds^2} = \frac{1}{EI}\{-p\cos(\alpha - \theta)\}$$

$$\therefore \frac{d\theta}{ds} = \sqrt{\frac{2p}{EI}}\sqrt{\sin(\alpha - \theta)} = \frac{1}{\rho}$$

$$\therefore s = \sqrt{\frac{EI}{p}}(F - F')$$

$$\therefore X = \sqrt{\frac{EI}{2p}}\left\{\cos\alpha \cdot 2G + \sin\alpha \cdot (\sqrt{2}F - 2\sqrt{2}E + 2\sqrt{2}E' - \sqrt{2}F')\right\}$$

or

$$Y = \sqrt{\frac{EI}{2p}}\left\{\sin\alpha \cdot 2G - \cos\alpha \cdot (\quad 〃 \quad\quad 〃 \quad)\right\}$$

こゝに $\sum_0^{i} p_i \sin\alpha_i = p\sin\alpha$, $\sum_0^{i} p_i \cos\alpha_i = p \cdot \cos\alpha$

θ : C点の接線角

こゝに $F(F')$: 才一種の（完全）楕円積分（パラメーター $G \cdot \pi/2$）

$E(E')$: 才二種 〃 〃 （〃）

G : $\sqrt{\sin(\alpha - \theta)}$

b) 基本型の座標

弾性曲線の曲線長・曲率半径・座標はa)の式で表わされるが，実際の設計では支点の数が多く，また，変数が陰関数の形であるから煩雑さのため計算困難である。しかし，図-1の中央部X-Y座標で示されるように，一般に各支点の間に背向点があり，こゝでは曲率0すなわち定規に曲げモーメントが生じていないので，この点で定規を切り離して，かわりに支点でおきかえることができる。この部分を基本型とよぶことにすれば，全曲線を背向点とその接線角を媒介とした基本型の組み合せとして取りあつかえる。このように考えればa)の式で $n=1$ となり手計算でも計算できることになる。

3. 路線としての検討

路線としての適性は力学的安定性・運転心理上の快適性・環境との調和性などから検討される。まず，定規の弾性条件から曲率の急変は生じない。最小半径はa)の式で求まる。つぎに，ハンドル捌きはa)の式および図-2に示されるようにクロソイド曲線より滑らかである。縦断線形にも弾性曲線を使用できる。また，分岐路連絡路（ランプ）にも応用できうる。環境との調和については，支点を適当にずらしてみることにより視覚的な検討が容易である。現地の曲線設置には，背向点を結んだ直線をトラバーにえらべる。中間点は基本型として計算されている。

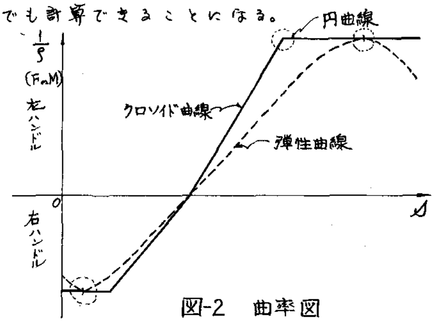

図-2 曲率図

問題点としては，この曲線には円弧が挿入されないので，いわゆる全線緩和曲線ということになり走行中ハンドル捌きの手休みができないこと，また，クロソイド曲線のように一つの簡明な式で表現できないことである。

（以上）