

1. 序

現在、道路の平面線形要素の一つである緩和曲線としてクロロイド曲線が用いられている。こゝでは、手軽に入手できる普通の鋼線を適当にたませると滑らかな曲線となわち弾性曲線が簡単に得られるので、このような曲線をそのまゝ所要の線形に用いようとするものである(写真-1参照)。このような曲線の設計諸量(例えば曲線の座標・曲線長・曲率・曲率半径等)の計算はすでに発表済みであるが、本研究ではこれらの計算についてマイコンによる中間点成果表のプリントアウトおよび曲線図・曲率図の自動図化を試みたものである。

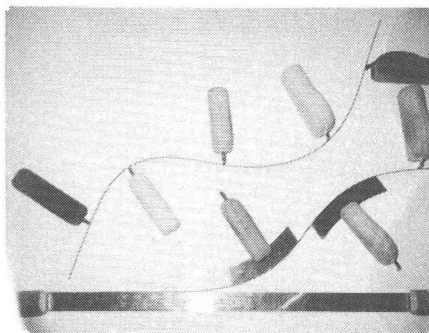


写真-1 実技状況

2. 手法

与えられる任意の縮尺の地図上に一つの候補路線をフリーハンドで素描する。適当に文鎮(支点に相当)を配置して鋼線をたませ、文鎮を移動させてみて、できるだけ候補路線に馴染むように調整する。この鋼線の表わす曲線をそのままトレースすれば一つの線形の設計平面図ができたことになる。

この曲線の設計諸量の計算はつぎのようである。全曲線の背向点を図上で視察により決定する。すなわち、曲線の曲率が0又は直線箇所を探せばよいわけで、この手順は簡単で充分正確に求められる少々ずれても設計の本質的問題にはならない。結局、

相隣る背向点間の曲線の一式又は一谷毎に局部座標系として計算する(写真-2, 図-1参照)。この計算は文鎮の位置(支点の座標又は接線角)を入力データとして所要のキザミを与えることによりマイコンによって全くブラック・ボックス的に行なわれ、その結果、中間点成果表のプリントアウトおよび曲線図・曲率図の自動図化ができる。

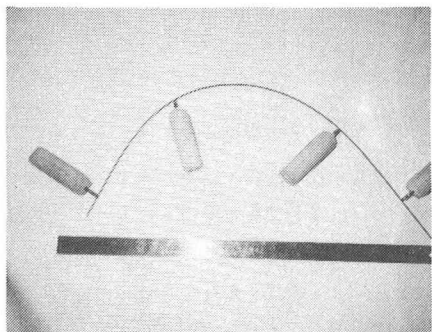


写真-2 基本の曲線形

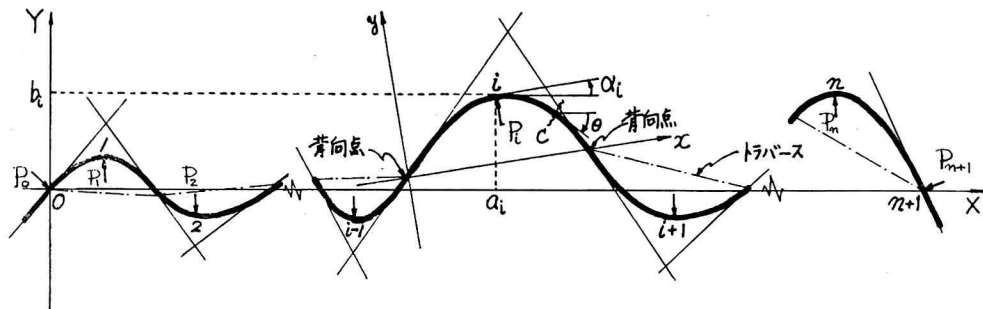


図-1 全曲線

3. 計算

この曲線の設計諸量の計算式は図-1において、鋼線の力の釣り合いと変形の条件によりつぎのようになる。

EI: 鋼線の曲げ剛さ	a_i : 支点 i の X 座標	ρ : 曲率半径
M: 曲げモーメント	b_i : " " " " Y " "	
p_i : 支点 i の 支点反力	X: 任意点の X 座標	F: オ 1 種不完全積分
α_i : " " " " 接線角	Y: " " " " Y " "	F': " " " " 完全 " " " "
P: 合力	θ : " " " " 接線角	E: オ 2 種不完全 " " " "
α : " " " " 接線角	S: 曲線長	E': " " " " 完全 " " " "

$$\sum_{i=0}^{n+1} p_i \sin \alpha_i = 0 \dots\dots\dots (1)$$

$$\sum_{i=0}^{n+1} p_i \cos \alpha_i = 0 \dots\dots\dots (2)$$

$$\sum_{i=0}^{n+1} (p_i \sin \alpha_i \cdot b_i + p_i \cos \alpha_i \cdot a_i) = 0 \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{d\theta}{ds} = \frac{1}{\rho} \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{M}{EI} = \frac{1}{\rho} \dots\dots\dots (5)$$

となる。ここに、

$$M = - \left(\sum_{i=0}^i p_i \sin \alpha_i \right) Y - \left(\sum_{i=0}^i p_i \cos \alpha_i \right) X + \sum_{i=0}^i (p_i \sin \alpha_i b_i + p_i \cos \alpha_i a_i)$$

であるから、いま、 $\sum_{i=0}^i p_i \sin \alpha_i = P \sin \alpha$ 、 $\sum_{i=0}^i p_i \cos \alpha_i = P \cos \alpha$ とおきかえと、

$$\frac{dM}{ds} = -P \cos(\alpha - \theta) \dots\dots\dots (6)$$

となる。したがって式 (4)、(5)、(6) より

$$\frac{d\theta}{ds} = \frac{1}{\rho} = \sqrt{\frac{2P}{EI}} \sqrt{\sin(\alpha - \theta)} \dots\dots\dots (7)$$

式 (7) を積分すれば

$$s = \sqrt{\frac{EI}{2P}} (F - F') \dots\dots\dots (8)$$

$$\left. \begin{aligned} X &= -\sqrt{\frac{EI}{2P}} \{ \cos \alpha \cdot 2 \sqrt{\sin(\alpha - \theta)} \\ &\quad + \sin \alpha \cdot (\sqrt{2} F - 2 \sqrt{2} E - \sqrt{2} F' + 2 \sqrt{2} E') \} \\ Y &= -\sqrt{\frac{EI}{2P}} \{ \sin \alpha \cdot 2 \sqrt{\sin(\alpha - \theta)} \\ &\quad - \cos \alpha \cdot (\sqrt{2} F - 2 \sqrt{2} E - \sqrt{2} F' + 2 \sqrt{2} E') \} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

図-2 は計算の流れ図を示している。 入力は基線長(背向点間距離)・支点の接線角・必要に応じた中間点キザミ・支点の座標略値とする。 この場合支点の座標の代りにその接線角を条件にしたのは、一般に一山(又は一谷)の曲線は両隣りに続く一谷(又は一山)の曲線と背向点において接線を共有しなければならないから、接線角で入力した方が曲線が滑らかであるからである。 また、3 支点以上も考えられるが實際上 2 支点以下で充分であり、これ以上支点を増しても道路の線形として無意味と思われる。 F, E, K, Q は繰り返し用いられるのでサブルーチンとしている。 A1, A4 は確値の計算である。 結果はステーションナンバー・中間点座標・曲線長・曲率および曲率半径をプリントアウトすると同時に、適当な縮尺で曲線図または曲率図が自動図化される。

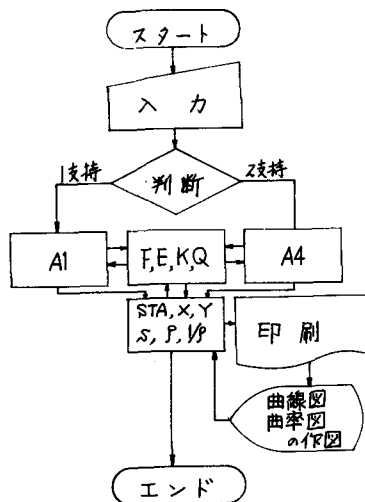


図-2 流れ図

4. 実例

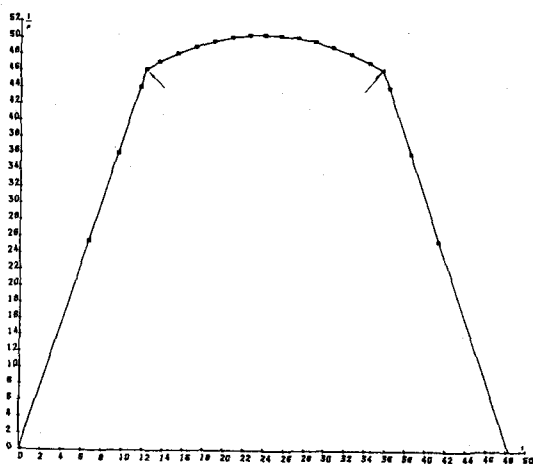
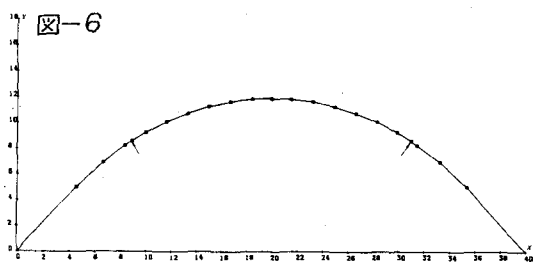
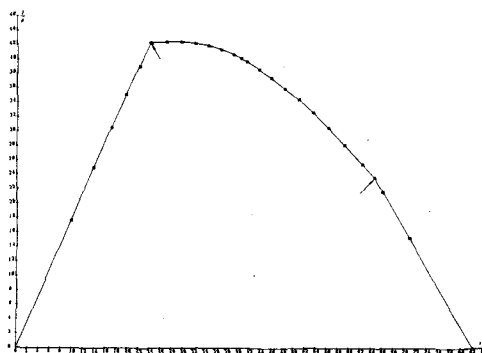
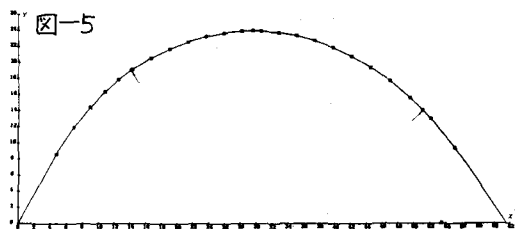
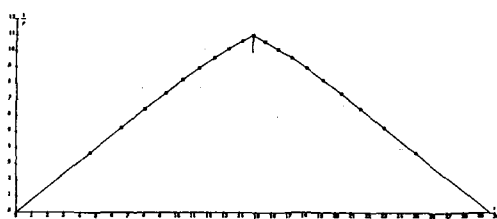
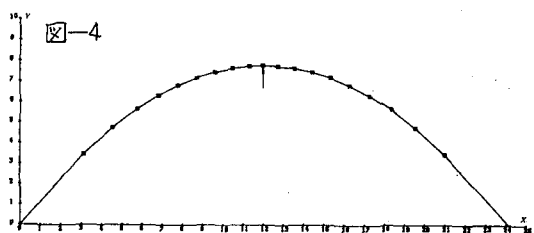
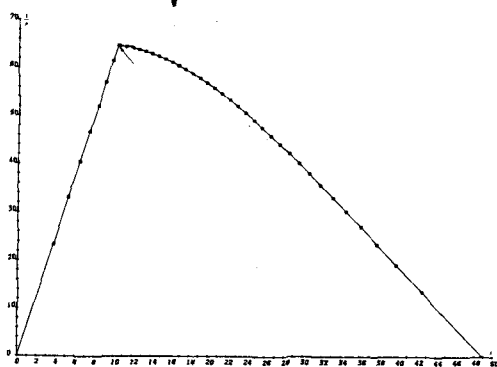
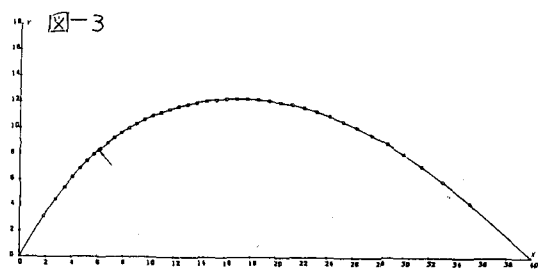
表-1 は一つの実例の中間点成果表の一部を示している。 図-3, 4, 5, 6 はそれぞれ任意の一点支持・中央支持・任意の二点支持・対称二

NS	X	Y	S	RI	R
10	4.68434	8.63967	-9.83119	0.01774	56.35750
11	6.97299	12.01270	-13.90870	0.02505	39.92680
12	8.95558	14.44220	-17.04550	0.03058	32.70410
13	10.80700	16.34340	-19.70000	0.03515	28.44950
14	12.58740	17.87720	-22.05070	0.03907	25.59330

表-1 中間点成果表の一部

曲线图

曲率图



点支持の場合の曲線図と曲率図を示めている。図中のロ印は計算の座標点であり、入力のキガミを細かくすればそれだけ曲線は滑らかに正確となる。一種類の曲線について必要計算および図化時間は約10分であった。

5. 検討

道路の平面線形の適性の検討は曲率図によるのが簡明である。実例で示めされるように一つの候補線形について曲率図が簡便に自動図化されるのでこの図により、シヨーツ値・最小半径・曲率変化状況・曲線の調和等の検討ができる。具合の悪い箇所については支点を動かしてみるにより細かな調整が自動的にできる。曲線図はすでに地図上に作図されているから直接必要ではないが任意の縮尺の図化や作業のチェックに役立つ。例えば作図曲線について鋼線をたわましてみたが殆んど一致することが確かめられた。また、演算の内容は、陰関数形の式に対するNewton Raphson形の根を求める計算とE,Fに対する級数の一般項の繰り返し収束計算とのプログラムが主となっており、大きな記憶容量を必要とする有限要素法やマトリックスの演算の必要がないので、演算速度の点について耳抱できるならマイコンに好適の設計対象と思われる。

b. 結

道路の平面線形設計は単に一つの幾何学的図形を地図上に設定するのではなく、広い土木技術を背景にして自然と調和し、かつ、快適で運転しやすい線形でなければならぬ。したがって、数学的線形の予備知識・設計用具の取り扱いや習熟等にできるだけ拘束されることなく、一般土木技術者が手軽にしかも多面的な目細かな検討が簡便迅速にできるような設計手法が要請されている筈である。このような意味で本法をまとめてみるとつぎのようである。

- ① 道路線形として適性に遜色がない。自動図化による曲率図を手立てとして、その線形の適性が検討できる。思わしくない箇所については支点を移動してみるにより容易に修正することができる。
- ② 線形を作図するに当り、数学的予備知識および試行的計算の必要がない。計算は支点の条件と入力するだけでマイコンによりブラック・ボックス的にできる。自動図化の曲線図も役に立つ。
- ③ 作図作業は特殊の用具および習熟を必要としない。均質、等断面（すなわち曲げ剛一定）の鋼線であればよい。目盛があれば曲線長の概略が分るので都合がよい。支点は点形文鎮が使い易い。
- ④ 全線もこの曲線の組み合わせとして設計するのが効率がよいが、緩和曲線（円と円、直線と円、直線と直線）として設計することも容易である。
- ⑤ マイコンと対話的に目細かなバーバー・ロケーションの作業ができる。倍精度宣言により実用上の精度も充分確保できる。
- ⑥ 平面線形のみならず縦断曲線に用いても支障ないものと思われる。

末尾下り、本研究に当り実際の設計資料を種々貸与して下さいた日本道路公団の方々に感謝申し上げます。

※参考文献

- 1) 薄廣治：弾性曲線による道路線形設計手法，土木学会西部支部研究発表，昭和47年2月
- 2) 薄廣治：しない定規による道路線形設計の検討，土木学会論文報告集，才219号，1973・11
- 3) 薄廣治・吉岡美秋：弾性曲線による道路線形設計手法(続)，土木学会西部支部研究発表，昭和50年2月