Ⅳ―138　クロソイドにおける平面視距に関する一考察

首都高速道路公団計画部第一計画課　正員　満田　喬

1.まえがき

最近の高速道路においてはクロソイドを用いて線形を設計することが一般化してきているが，急なカーブ地点においては規定の拡巾をしても道路の巾員内において平面視距がとれないために，道路巾員の外にまで拡巾をしなければならないことが非常に多い。本研究においては平面視距を確保するための視線包絡線を対称なクロソイドの場合について考察したものであ

2.包絡線について

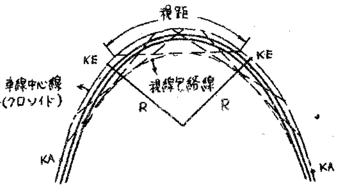


図-1.道路線形における視線包絡線

カーブの急な高速道路では平面視距を確保するためにセットバックをしなければならず，その様子は図-1に示すとおりである。視距は車線中心線に沿う曲線距離であるから，その両端を結ぶ直線を視線と定義すれば，視線包絡線とは走行体が車線中心線上を走る場合の視線の包絡線という意味である。セットバックした高欄の内側の曲線をこの包絡線で設計することが線形上合理的である。

つぎに方程式 $F(x,y,\alpha)=0$ の包絡線は $F(x,y,\alpha)=0$，$F_\alpha(x,y,\alpha)$ によって与えられるから，クロソイドにおける視線方程式を求めれから包絡線を導いたものが視線包絡線となる。クロソイドと視絡線との関係は図-2に示すとおりであり，車線中心線のクロソについて考察を進める。

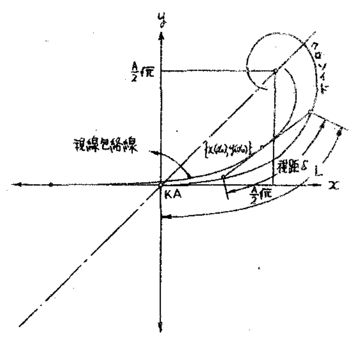


図-2.クロソイドと視線包絡線との関係

3.クロソイドと視線の型について

クロソイドは普通つぎに示す一種のフレネルの積分関数である

$$X=\frac{A}{\sqrt{2}}\int_0^\tau\frac{\cos\alpha}{\sqrt{\alpha}}d\alpha\ ,\quad Y=\frac{A}{\sqrt{2}}\int_0^\tau\frac{\sin\alpha}{\sqrt{\alpha}}d\alpha$$

これを座標の原点，すなわちKA点からの距離Lの関数で表わしたもの，およびそれをLで偏微分したものは，

$$X(L)=\int_0^L\cos\frac{L^2}{2A^2}dL \quad\longrightarrow\quad \frac{\partial X(L)}{\partial L}=\cos\frac{L^2}{2A^2}$$

$$Y(L)=\int_0^L\sin\frac{L^2}{2A^2}dL \quad\longrightarrow\quad \frac{\partial Y(L)}{\partial L}=\sin\frac{L^2}{2A^2}$$

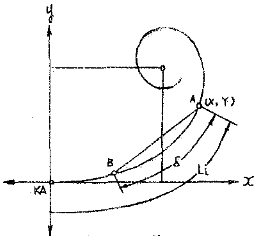
となる。これらを用いてつぎに示す各視線の型について計算する。

対称なクロソイドにおける視線の型は，主としてつぎの9通りの場合である。視線の両端が①クロソイド曲線内にある場合，②クロソイドとその手前の直線にわたる場合，③凸クロソイドの場合でクロソイドとその対称なクロソイドにわたる場合，④凸クロソイドの場合でクロソイドをはさみ直線と対称なクロソイドにわたる場合，⑤クロソイドと円にわたる場合，⑥クロソイドをはさみ直線と円にわたる場合，⑦円内にある場合，⑧円をはさみその両側のクロソイドにわたる場合，⑨円とクロソイドをはさみ直線と対称なクロソイドにわたる場合。以上の各場合が考えられる。

4.視線の型の計算

ここではこの9通りの型のうち①の場合のみ計算を示す。①の場合は L_i：原点からの距離，L_0：

えられたクロソイド長，δ：視距　とlたとき，$L_i < L_o$，$L_i \geqq \delta$ の場合にあらわれる視線方程式による視線包絡線である。図－3がその場合であって，この図に示すように記号を定めれば視線方程式ＡＢは，



図－3. 式(1)の説明図

$$y = \frac{\int_0^{L_i} \sin\frac{L^2}{2A^2}dL - \int_0^{L_i-\delta} \sin\frac{L^2}{2A^2}dL}{\int_0^{L_i} \cos\frac{L^2}{2A^2}dL - \int_0^{L_i-\delta} \cos\frac{L^2}{2A^2}dL}\left\{x - \int_0^{L_i}\cos\frac{L^2}{2A^2}dL\right\} + \int_0^{L_i}\sin\frac{L^2}{2A^2}dL$$

となる。ここで，

$S(L) = \int_0^{L_i} \sin\frac{L^2}{2A^2}dL$， $S = \sin\frac{L^2}{2A^2}$， $S(L,\delta) = \int_0^{L_i-\delta} \sin\frac{L^2}{2A^2}dL$， $S_\delta = \sin\frac{(L_i-\delta)^2}{2A^2}$， $a = S - S_\delta$， $c = S(L) - S(L,\delta)$

$C(L) = \int_0^{L_i} \cos\frac{L^2}{2A^2}dL$， $C = \cos\frac{L^2}{2A^2}$， $C(L,\delta) = \int_0^{L_i-\delta} \cos\frac{L^2}{2A^2}dL$， $C_\delta = \cos\frac{(L_i-\delta)^2}{2A^2}$， $b = C(L) - C(L,\delta)$， $d = C - C_\delta$

とおけば上式は，

$$y = \frac{c}{b}\{x - C(L)\} + S(L)$$

となる。すでに述べたように，この式から視線包絡線をおめるには，L_iで偏微分したものと，この式からL_iの関数としてx，yをおめればそれが視線包絡線となる。いまこれをL_iで偏微分してxをおめると，

$$x = C(L) - \frac{b(S \cdot b - C c)}{a \cdot b - c \cdot d}$$

となる。yをおめるにはこのxを上式へ代入すればよい。以下このようにして9通りの場合を行なえばよい。

表－1 視線包絡線の計算順序

			曲線番号	計算式使用順序
$L_o > \delta$	$L_c < \delta$		(1)	②→①→⑤→⑧
	$L_c = \delta$		(2)	②→①→⑤
	$L_c > \delta$		(3)	②→①→⑤
	$L_c = 0$（凸クロソイド）		(4)	②→①→③
$L_o = \delta$	$L_c < \delta$		(5)	②→⑤→⑧
	$L_c = \delta$		(6)	②→⑤
	$L_c > \delta$		(7)	②→⑤→⑦
	$L_c = 0$（凸クロソイド）		(8)	②→③
$L_o < \delta$	$L_c < \delta$	$L_o + L_c > \delta$	(9)	②→⑥→⑤→⑧
		$L_o + L_c = \delta$	(10)	②→⑥→⑧
		$L_o + L_c < \delta$	(11)	②→⑥→⑨→⑧
	$L_c = \delta$		(12)	②→⑥→⑤
	$L_c > \delta$		(13)	②→⑥→⑤→⑦
	$L_c = 0$（凸クロソイド）		(14)	②→④→③

5.視線包絡線の計算順序

与えられた車線中心線はL_cを円弧の長さとすれば，表－1の曲線番号に示すどれかの場合にあてはまるはずである。だからそれに応じて右列の計算式使用順序に示すような計算方針をとって計算すれば対称な場合の視線包絡線がおめられる。

6.まとめ

以上に述べた方法によって視線包絡線による高速道路が設計できる。そして視線包絡線で設計された高速道路は経済性，合理性の条件をみたしており，美観の点においても好ましいものであるといえよう。しかしまだ未解決の問題点もあり，また今後の問題としてSカーブおよび非対称のクロソイドがある。それらについては講演時に詳しく述べる。実際の設計に際し，包絡線上での決められた点の座標が必要なときはL_iを前後に移動させ収束させておめることもできる。またカーブ地点に近ずくにつれて速度の減少に応じて視距も漸減的に決定すれば視線包絡線がユニークな曲線で表され，興味ある高速道路が設計できよう

終りにお世話になった京都大学　米谷教授，首都高速道路公団計画部の線形担当の方々，ならびに松下通信工業株式会社　太田部長そして石原プログラマーの各位に厚くお礼申し上げる次第である。