

道路線形と見通し視距の関係に関する考察

A Study on Relationship between Road Alignment and Sight Distance

大口 敬¹⁾, 片倉正彦²⁾, 鹿田成則³⁾

By Takashi OGUCHI, Masahiko KATAKURA, Shigenori SHIKATA

1. はじめに

道路設計において最も重要なことは、どのようにしたら「安全」かつ「円滑」な道路を造ることができるか、ということである。しかしいまだに高速道路での重大事故は多発し、高速道路単路部におけるサグやトンネルに起因する渋滞現象の発生も阻止できない。これらの事故や渋滞現象は、与えられた道路環境のもとでの運転者の運転挙動特性に起因するものであり、「運転者－車両－道路」という「マン－マシン－環境系」の持つ特性と問題点を洗い出し、根本的な対策を見いだすことができれば、工学的に非常に有意義なことである。

運転者が道路環境から得る情報は、ほとんどが目からの情報（視覚情報）と考えてよい。従って主に視覚からの情報の認知特性、これにもとづく判断・挙動特性の解明が重要となる。

視覚情報を取得することが可能な道路面上の範囲である「視距」は、この観点から大変重要な指標の一つと考えられる。視距は、これまで設計基準として制動停止または追越しに必要な長さを満たしているかどうか、の判断のために用いられてきたが、これを道路の安全性や容量特性の分析に用いる評価指標とする研究はこれまでほとんど見あたらない。

本研究の目的とするところは以下の通りである。まず道路の線形・構造をモデル化して、視距を算定する方法を検討し、この方法を用いて「視距図」（曲率図や縦断線形図に対応するもの）を具体的に実際

の道路において作成する。なお視距は道路上の同じ位置でも車両の進行方向により異なるので、視距図は両方向別に作成する必要がある。また現地調査や設計図面に基づいて実際の道路環境から視距を導く方法についても検討する。この視距図を材料に加えて、高速道路の事故対策やボトルネック対策を検討・分析することが本研究の最終目標である。

本報告では、まず現在のマニュアル等で視距がどのように扱われているかを概観した上で、道路線形・構造の単純なモデル化の仮定のもとで視距を算定する方法の枠組みを提示する。

2. 道路の視覚的問題

(1) 道路の視覚的問題の考え方

道路の線形を設計する上において、視覚的な問題は非常に重要である。道路の視覚的問題とは、「道路の線形を、運転者が見た透視図の中で、如何にして歪みを少なく、視覚的な錯誤を伴わないように、広い範囲に渡ってかつ細部まで見せるか」¹⁾、として捉えられよう。そこでは、さまざまな線形要素の設計、それらの組合せ方、それらから得られる視距の確保、などが複合的に絡み合ってこの視覚的問題の要因となっている。「視距」は、その中の一つの重要な要因である。すなわち、ほとんどの道路の視覚的情報は「視距」の範囲内からしか得られないし、逆に「視距」は道路の線形などの要素によって規定されてしまうものだからである。

(2) 視距の定義と道路設計上の規準の考え方

運転者の視点及び対象物の横断面方向における位置を車線中心線上とする。視距は、運転者の前方に置かれたある高さの対象物までの視界が連続的に確保される最大の車線中心線上の距離と定義される²⁾。

キーワード: 道路計画, 交通容量, 交通安全

- 1) 正会員 博(工) 東京都立大学工学部講師 (192-03 八王子市南大沢1-1, TEL:0426-77-1111(代), FAX:0426-77-2772, oguchi-takashi@c.metro-u.ac.jp)
- 2) 正会員 工博 東京都立大学工学部教授 (192-03 八王子市南大沢1-1, TEL:0426-77-2781, FAX:0426-77-2772, katakura-masahiko@c.metro-u.ac.jp)
- 3) 正会員 工修 東京都立大学工学部助手 (192-03 八王子市南大沢1-1, TEL:0426-77-1111(代), FAX:0426-77-2772, shikata-shigenori@c.metro-u.ac.jp)

視距には、運転者が前方の対象物として障害物を発見してから安全に車両停止が行えるのに必要な「制動停止視距」と、安全な追越しのために必要な「追越し視距」とがある。我が国の規定では、「制動停止視距」は、全道路の全区間で規準値を満たさなければならないが、「追越し視距」は、対向2車線道路の約30%の区間において、規準値を確保することが望ましいとされている³⁾。

視距の設計規準値を算定するためには、標準となる運転者の視点の高さと対象物の高さが必要である。我が国では目の高さの低い乗用車を想定し、運転者の視点の高さを路面から1.2[m]とする。対象物には、制動停止視距では路面からの高さ0.1[m]の障害物、追越し視距では高さ1.2[m]の対向車を考える。参考に1990年の米国AASHTOでは、運転者の視点の高さを3.50フィート（約1.07[m]）、制動停止のための路面障害物の高さを6インチ（約0.15[m]）、追越しで考える対向車の高さを4.25フィート（約1.30[m]）としている⁴⁾。

（3）高速道路単路部のボトルネック現象

近年の高速道路の単路部をボトルネックとする渋滞現象は、運転者の運転挙動の持つ特性に起因することが徐々に証明されつつある^{5), 6)}。渋滞を起こすサグと起こさないサグの違いは、サグの勾配差、上流一定勾配区間の長さ、下流標高差、直上流平面半径、上流ボトルネックまでの距離、及びサグの視認性、という6要因によりほぼ説明できる⁶⁾。この研究では「視距」とは多少異なる「見通し距離」を定義し、見通し距離の範囲内のサグの勾配変化による路面の見かけ上の上昇分を仰角として定義し、これがある値よりも小さいサグでは、渋滞を起こす可能性が高いことが示されており、道路の視覚的問題が単路部のボトルネック現象の重要な要因であることが示されている。本研究では視距を扱うものであるが、この「見通し距離」についても本研究の成果を容易に応用できるものと思われる。

3. 視距の確保についてのこれまでの考え方

2.（2）に示した規準値は、設計上確保しなければならない視距である。この視距をどのようにす

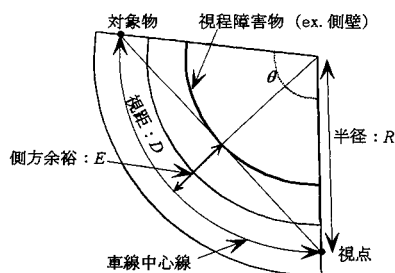


図-1 視距の確保（平面円曲線の場合）

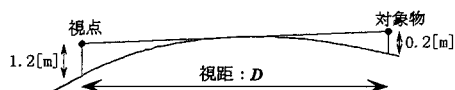


図-2 クレストの場合の視距の確保

れば確保できるかについては、道路構造令では以下のように示されている³⁾。

まず平面線形のみ考える場合は、視点と対象物の高さを考慮する必要がない。視点、対象物の両者が円曲線区間内にある場合には、図-1から容易にわかるように、視距を確保するために視程障害物までの車線中心線からの距離：Eは、次式(1)のようになる。

$$E = R \left\{ 1 - \cos \frac{\theta}{2} \right\}, \quad \theta = \frac{D}{R} \quad (1)$$

ここに、D：視距，R：半径

直線と円、緩急曲線が接続している場合には、「図面上に実際に落としてみることによって」³⁾、側方視程障害物までの距離：Eを確保するものとされ、計算により求める方法は明確に示されていない。

縦断線形と平面線形組み合わせでは、視点と対象物の高さにより、視程障害物の高さ、典型的な例として法面のセットバック量が決まってくる。このセットバック量は本報告の第4章で再度取り上げる。

縦断線形のみを考える場合は、クレストでは、設計速度50[km/h]以上の場合に視距の確保に必要な最小縦断曲線半径が設計規準値となる。クレストの縦断曲線を放物線として考えて幾何学的関係を検討すると、視点・対象物の両方も縦断曲線区間内にある場合に必ず最小の視距となるので、この場合の視距を確保すればよい（図-2参照）⁷⁾。サグの場合も跨道橋の建築限界で上方の視界が遮られるために視距を確保する必要があるが、実際は衝撃緩和のために必要な曲線長の方が必ず長いために設計規準

値はこれで決まり、視距は考慮しなくてよい⁷⁾。

4. 道路線形と視距のモデル化

視距は安全上極めて重要な設計要件であるから、必要な視距は必ず確保しなければならない。実際の設計上は、単純な場合は(1)式を当てはめ、その他の多くの場合は図式解法などを用いて確認している。しかし最も視距が短くなる場所においてのみ、規準を満たすかどうかを確認しているのが実状であろう。

事故や容量の分析に視距を利用するためには、道路区間上の任意の点の視距の値が知りたい。この視距の算定には、道路線形や道路環境（側壁や法面の形状）などをモデル化する必要がある。

(1) 平面線形

測線を水平平面へ射影したものを「測線射影曲線」と定義する。測線とは測点を結んだ線で通常は道路中心線である。測線射影曲線は、直線、クロソイド曲線、円曲線から成る。視距を考える車線中心線は、測線に対する平行線または拡幅曲線となる。車線のマーキング、側壁、法面の平面線形等も同様である。

直線及び円曲線区間の車線中心線や側壁などの平面線形は、測線の平行線であるものとする。この平行線は直線または円曲線（同心円）となる。

道路構造令では、設計速度に応じて一定以下の半径の曲率では拡幅が必要とされる。拡幅が必要な区間では、クロソイド区間内で拡幅のすりつけを行う。これを「クロソイド拡幅曲線」と名付ける。拡幅が必要でない場合には、クロソイド曲線と並行な「クロソイド平行線」となる。両曲線ともクロソイド曲線ではない点に留意する必要がある⁸⁾。

クロソイド曲線の直線との接続点を原点とし、その接線方向に x 軸、 x 軸と直交しクロソイドの曲率中心のある側を y 軸の正方向に取ると、クロソイドパラメータ A の曲線は式(2)で表される。

$$x = \frac{A}{\sqrt{2}} \int_0^{\tau} \frac{\cos \tau}{\sqrt{\tau}} d\tau, \quad y = \frac{A}{\sqrt{2}} \int_0^{\tau} \frac{\sin \tau}{\sqrt{\tau}} d\tau \quad (2)$$

ここに、 τ : 接線角（接線方向と x 軸のなす角）

原点からの曲線長 l と τ には以下の関係がある。

$$\tau = \frac{1}{2} \left(\frac{l}{A} \right)^2 \quad (3)$$

クロソイド曲線上の任意の点 (x, y) から曲率中心方向（中心から遠ざかる方向を正とする）へ E だけ移動した点 (x', y') の集合をクロソイド平行線とする。

$$x' = x + E \sin \tau, \quad y' = y - E \cos \tau \quad (4)$$

クロソイド拡幅曲線の場合は、クロソイド曲線長 L を用い、拡幅前を E_0 、拡幅後を E_1 として式(5)のように E を l の線形関数とする。

$$E = E_0 + \frac{E_1 - E_0}{L} \cdot l \quad (5)$$

拡幅量は車線当たりで定めるので、車線マーキング間のみで拡幅を行い、路側や路肩は拡幅しない。視点と対象物を設定する位置となる車線中心線の場合は、車線当たり拡幅量の半分の拡幅量とする。

(2) 縦断線形

道路の道のり距離は、厳密には3次元曲線である測線上の道のり距離であるが、ここでは、測線射影曲線の道のり距離とする。

測線射影曲線方向、すなわち道のり距離方向を u 軸とし、標高の高い方向を正として z 軸を取る。縦断勾配 I （正接、 $\tan$ の値）の一定勾配区間の始点を原点とすれば、道のり距離 u だけ進んだ点の z 座標は、式(6)で表される。

$$z = I \cdot u \quad (6)$$

勾配 I_0 から I_1 へ変化する縦断曲線は、勾配 I_0 の区間からの接続点を原点とし、縦断曲線長を L_v 、縦断曲線半径を R_v （サグの時正、クレストの時負の符号を持つ）として式(7)に示すような放物線となる。

$$z = I_0 \cdot u + \frac{1}{2R_v} \cdot u^2, \quad R_v = \frac{L_v}{I_1 - I_0} \quad (7)$$

式(6)、(7)は測線の z 方向の形状である。道路には排水勾配や片勾配が付けられるが、簡単のため道路の横断面形状は常に水平であると仮定する。すなわち道路面は、 u 軸に直交する平面とこれとの交わりが常に水平直線となるような3次元曲面である。

(3) 視距

視点 e の座標を (x_e, y_e, z_e) 、対象物 b の座標を (x_b, y_b, z_b) とすると、線分 eb が道路面又は側壁などと交わらなければ、視点から対象物は見通せる。この交わりを持たない線分 eb を最も長く取れるような eb 間の道のりが視距 D となる。

縦断勾配が一定の区間では線分: eb は道路面とは交わらず、平面線形により視距が決定される。視点、対象物共に円曲線内の場合は式(1)を D について解けばよい。

$$D = 2R \left(\cos^{-1} \left[\frac{R-E}{R} \right] \right) \quad (8)$$

但しこれは、視程障害物が側壁のように道路面と鉛直な場合であり、円曲線区間内ではこの側壁は円筒面となる。一方断面のような道路横断面方向に勾配: $N(>0)$ を持つ視程障害物の場合には、式(9)のような円錐面として考えることができる。

$$x^2 + (y-R)^2 = \left\{ (R-E) - \frac{z}{N} \right\}^2 \quad (9)$$

法面の場合には、路面からの視点の高さ: h_e と対象物の高さ: h_b により線分: eb が法面のどこの高さで接するかが決まる。仮りに視点と対象物を車線中心線ではなくて測線上に持ってきた場合、規定の視距: D を確保するために必要な測線から法面と道路面の交わりまでの側方余裕幅: E を、法面が線分: eb と接する条件から求めると、式(10)が得られた。

$$E = R + \frac{h_e - h_b}{2N} - \frac{1}{2N^2} \sqrt{N^2(h_e + h_b)^2 + f(\theta)}$$

$$f(\theta) = 2R^2N^4(1 + \cos\theta) - \frac{2(h_e - h_b)^2N^2}{1 - \cos\theta} - 4N^2h_eh_b$$

なお、 $\theta = \frac{D}{R}$ (10)

論理的には、法面勾配: N を大きくすれば側方余裕: E を大きくする必要がある。式(10)では、 N に対して増大傾向にあり、また $N \rightarrow$ 無限大の極限を取れば円錐面は円筒面となって法面は側壁となって式(1)に一致するはずであるが、式(10)はこの条件を満たす。式(10)を視距: D について解けば、法面までの側方余裕: E が判れば視距が算出できる。

一方「構造令の解説と運用」には、この条件の場合が式(11)として参考例として示されている⁹⁾。

$$E = \frac{D^2}{8R} + \frac{N^2(h_e - h_b)^2}{D^2} R - \frac{N(h_e - h_b)}{2} \quad (11)$$

なおその導出根拠は示されていない。式(11)の右

辺を N について整理すると、 $N = \frac{(h_e + h_b)D}{4(h_e - h_b)^2}$ よりも

N が小さければ単調減少、大きければ単調増加とな

る。例として $h_e = 1.2[\text{m}]$, $h_b = 0.1[\text{m}]$, $D = 160[\text{m}]$ の場合、 $N \approx 43$ となり通常の法面勾配の範囲では単調減少となり、式(11)は論理的に矛盾している。また $N \rightarrow$ 無限大の極限では、式(11)は発散してしまう。このように式(11)の誤りが指摘できる。

以上は、縦断勾配区間で平面線形として円曲線を考えた場合のみである。円曲線と緩和曲線または直線にまたがる場合を考えると、式(2)を明示的に逆に解けないために、代数的に陽に視距: D を解く事が出来ない。また縦断曲線区間の場合や視点と対象物が縦断曲線と一定勾配区間にまたがる場合も、計算が複雑になり視距: D について陽に解くのは困難である。現在、コンピュータアルゴリズムにより近似や探索により解く方法を検討している。

5. おわりに

本報告では、視距を任意の位置で求めるための考え方の端緒を示した。その中で既存文献⁹⁾の算定式の誤りを見いだすことが出来た。発表時点ではもう少しまとめた内容を示すことが出来る予定である。なお本研究は、卒論生の北村元君(現日本道路公団)、富士田昌栄君の協力を得て行われている。両君の協力に謝意を表したい。

参考文献

- 1) ハンス・ローレンツ[中村英夫・中村良夫訳]: 道路の線形と環境設計, 鹿島出版会, pp. 91, 1976.
- 2) 越正毅: 交通工学通論, 技術書院, pp. 57, 1989.
- 3) 道路構造令の解説と運用, 日本道路協会, pp. 252-261, 1983.
- 4) "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets", American Association of State Highway and Transportation Officials, pp. 136-137, 1990.
- 5) 越正毅, 桑原雅夫, 赤羽弘和: 高速道路のトンネル, サグにおける渋滞現象に関する研究, 土木学会論文集, No. 458/IV-18, pp. 65-71, 1993.
- 6) 大口敬: 高速道路サグにおける渋滞の発生と道路線形との関係, 土木学会論文集, No. 524/IV-29, pp. 69-78, 1995.
- 7) 前掲3), pp. 286-297.
- 8) 佐藤信武: 実用クロソイド曲線の設計と計算例, 現代理工学出版, pp. 112-118, 1984.
- 9) 前掲3), pp. 263.