

道路構造に關する細則第十二條の 理論的考察

久野重一郎

1. 緒言

「道路構造に關する細則」に就て、當局は、最近各府縣關係者の意見を徵せられるところがあつたかのやうな噂を耳にした。もしそれが事實ならば、誠に時宜に適した御企であると思はれるのである。これに就て、局外者の筆者がかれこれ申述べることは、甚だ失禮且つ僭上の譏を免れ得ないであらうことは十分承知である。にも拘らず、茲に、本文を草する所以のものは、現行細則の第十二條が、人命を傷つける場合もあり得るやうな甚だ憂慮すべき内容を含むことを知り、將來の自動車事故を未然に防べべき方策を當局に樹立して置くことが、甚だ緊要事であると考へたからである。

2. 細則第十二條

道路構造に關する細則の第一章第十二條は、道路曲線部の片勾配に關する條項であつて、次のやうに規定されてゐる。

道路曲線部ニ於ケル横斷勾配ハ、街路其ノ他特殊ノ箇所ヲ除クノ外、中心線ノ半徑 300 m 以下ノ場合ニ限リ、次ノ標準ニ依ル片勾配ト爲スベシ

半 徑	未滿	勾 配
100 m		1/12
100 m ~ 150 m		1/15
150 m ~ 240 m		1/20
240 m ~ 300 m		1/25

前項ノ曲線部ト直線部トノ横斷勾配ノ攝付ハ、特殊ノ箇所ヲ除クノ外、長サ 10 m = 付 0.1 m' 割合ヲ以テ標準ト爲スベシ。

この前半の數値に就て、以下、理論的考察を加へたいと思ふのである。この規定は、今より約 10 年前に草せられたもので、その當時としては實に萬全と考へられたものであつたに違ひないのである。しかしこの 10 年間に、道路設計理論は決して足踏みをしては居られなかつた。現在選し得た境地から見れば、上記の規定には、吟味の餘地が多分に殘されてゐることを見出すのである。即ちその主なものとして、次の 3 項を擧げることができる。

第一。半徑と勾配との間に理論的根據が示されてゐない。

第二。高速車に對する安全さを推知する途がない。

第三。自動車が無然横こりするであらう如き危険な場合を許容してゐる。

そのうち、第一と第二だけであれば、單に不十分といふだけであつて、現行のまゝでも大して差支はないのである。第三項が致命的である。始めから、事故を起し得るやうな路を作することは、技術者のとるべき態度でないと考えられるからである。理由を次に述べる。

3. 自動車事故の責任が内務省にある？

いま半徑 40 m の場合、横勾配 1/12 を採用したと假定する。これは條文に示された範圍であつて、その設計者に法規上の手落はないわけである。然るに 40 m で 1/12 なる片勾配に就き、後述の理論から推算すれば、自動車の横ごりに對する安全率が 0.6 になるのである。但し自動車は時速 50 km で走り、タイヤと路面間の横ごり摩擦係数を 0.25 とした場合である。時速 50 km は、自動車取締令第五十一條に定められた最高速度で、約 31 哩に當る。この位の速度は、さう珍らしいことでない。摩擦係數 0.25 は、米國で、普通の状態に於て實驗した最低値である。

藤井博士によれば、雨水や氷雪で路面が被はれたときは、係數を 0.1 位にとり得るとのこと。さうすると、半徑 40 m で片勾配 1/12 の場合には、安全率が 0.24 といふ驚くべき低値に達する。

さて安全率が 1 を割ることは、もはや安全でないことを示す。即ち時速 50 km の自動車は横ごりすることは必定で、その際、傍に通行人が居つて、自動車に接觸するやうな事もないとは斷言できない。これが歩車道の區別ない地方道路であれば、通行人にも運転手にも、特別な手落といふほどのものはないわけである。なぜかといへば、事故の原因は、曲線部を走ることによつて生じた遠心力が、自動車の横ごり抵抗に打勝つたことにあるからである。更にその原因は、横ごり

するやうな断面を築造した事に存するのである。この論理を進めると、結局、曲線部の自動車事故の責任が、内務省土木局にあるやうな場合が、相當あり得ることになる。これは實に驚くべき手落である。

4. どう改正すべきか

正當な速度で當然事故を起すべきやうな規定が、内務省の名に於て公示されてゐることは、面白くない。大きいいへば、人道問題である。何んとかならぬものであらうか。

對策の要點は、安全率が 1 を下るやうな設計を絶対に許さないことである。一般に、力をうける事に用ひる土木材料は、破壊強度いつばいでは、決して使はないのである。即ち安全率は 1 より大きい。のみならず大抵は 2 を下ることはなく、多いものでは 5 に近いことさへある。曲線部の片勾配に關しても、それが土木構造物である以上、安全率は 2 以上にとるべきであらう。この見解に従へば、少くとも次の一項を省くわけにはゆかない。

『自動車の横に對する安全率は、2 を下るべからず』。

安全率の最小値を指定するとして、さてどうして之を算定するか。それに對しては、甚だ憚りながら、現在のところでは、次の公式以上に出るものはないと思はれる。

嚴密式

$$n = f \cdot \frac{s + (127 R/V^2)}{1 - s(127 R/V^2)} \dots\dots\dots (1)$$

近似式

$$n = \frac{f}{(V^2/127R) - s} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 n = 横江りに對する安全率

s = 片勾配

R = 曲線の半径、單位 m

V = 自動車速度、單位 $km/時$

f = 横江り摩擦係數

近似式(2)は、(1)の分子に於て、第一項の s がその第2項に比べて小さいことに着目して、この s を省略し、その上式形を僅か變更したものである。これに基づく誤差は極めて僅少で、實用上には(2)で充分である。

片勾配の問題は、結局、公式(2)を與へて、この n が2を下らぬことを指定すればよいことになる。「2を下らぬ」といふのは「いつも2にとれ」といふ意味ではないのである。3でも5でも10でもよい。半徑が150m以上では、安全率も3以上にとつて少しも不都合がない。のみならず大きいことが望ましいのである。なぜかといへば、半徑の大きいとき n を2にすると片勾配が緩にすぎ、排水上面白くならない。時には、負の勾配が算出されて「横江りに對しては勾配不要であること」を示す場合も少くない。故に次の規定も挿入した方が誤解がない。

「安全率はなるべく大なるべし。横江りに對し勾配を要しない場合と雖も、排水に必要な片勾配を附すべし。」

5. 公式のもつゆとり

A. 横二り摩擦係数。 f の選び方は、主として設計者の意見による問題である。米國で行つた正常状態の實驗から見ると、 f の下限は 0.25 で上限は 0.45 位で、平均は $1/3$ になつてゐる。英國の Oyal-Dawson によれば、設計には下限 0.25 を用ひるが望ましい。しかし氷雪雨水のある場合を考へれば、藤井博士のやうに 0.1 や 0.04 を用ひることもできるわけである。筆者は 0.25 位が適當であるまいかと考へてゐる。

B. 片勾配。 s をあまり急にすると、自動車にはよいが、緩行車や歩行者に著しい不便を與へる。この點から s の上限がきまる。現行規定の $1/12$ がよいか、或は $1/15$ を最大と制限すべきかは、議論のある所と思ふ。 s の下限は前記のやうに、排水の點から決まるのである。

C. 半径。自動車をいつも 50 km/時 まで許すこととし、 s の上限を $1/15$ に制限し、 n を 2 以上と指定すると、半径は 100 m 以下になし得ないことになる。ここで、最小半径を規定すべきや否やの問題が起るのである。小さい半径まで許せば、速度の制限を行ふより仕方がない。

D. 速度。 V はなるべく 50 km/時 まで許したいものである。地形上 R がどうしても大きくとれぬときは、速度制限の標識を立てねばならない。それには、公式 (2) ~ 種々の速度を代入し、安全率が 2 を下らぬものの中から適當な速度を選ぶべきである。

標識に記す速度は、端數をつけないことが望ましい。「自動車は時速 31.4 km 以下にて走行すべし」なんかは、滑稽に近

い。運轉手と雖も 31.4 と 31.5 km の區別は困難だし、又公式もそんなに微細な點まで保證するものではない。時速 40 km とか 30 km とかいつたラウンド・ナンバーをとるべきである。安全率を正しく 2 にしやうなどと努力することは、數式に捕はれすぎた愚學といはねばならない。

6. 公式の誘導法

曲線部に於て高速自動車に作用する遠心力は、次式で興へられる。

$$F = \frac{wW^2}{gR} \dots\dots\dots (3)$$

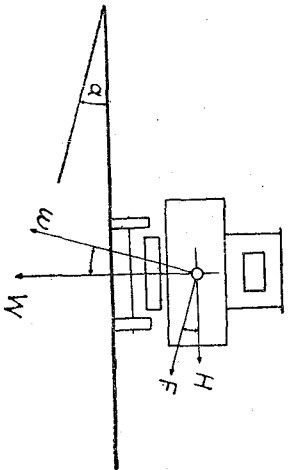
ここで F = 遠心力、 w = 自動車の重さ、 g = 重力の加速度、 v = 速度、單位 m/秒

速度を km/時 で表はし (V)、を 9.80 m/秒² にとれば、

上式は

$$F = \frac{wV^2}{127R} \dots\dots\dots (4)$$

この F は、自動車の重心に働き方向は水平である。従て路面に平行な力は、 F と w の一部分づゝから成るわけで、その大きさは、圖から明かなやうに、



$$H = F \cos \alpha - w \sin \alpha = \cos \alpha (F - w \tan \alpha) \dots\dots\dots(5)$$

この力が、自動車を外方へ横にりさせやうとする。一方路面に垂直な力も、 F と w の分力から成り、これを W とすれば、

$$W = F \sin \alpha + w \cos \alpha = \cos \alpha (F \tan \alpha + w) \dots\dots\dots(6)$$

垂直壓 W に對し、路面とタイヤ間の横にり摩擦係数が f であるから、横にりに對する最大抵抗力は fW に等しい。

ここで、抵抗力 fW が、横にりさせる力 H よりも、大きいならば、自動車は安全である。その安全さの程度は、該2力の大きさの比較によつて推知される理である。よつて

$$n = \frac{fW}{H} \dots\dots\dots(7)$$

とおけば、この n が大きいほど安全なのである。そこで n を横にり安全率 (factor of safety for skidding) と筆者は名づけた。

式 (7) の H と W を (5) と (6) を代入し、更に $\tan \alpha = s$ とおいて、尙 F を (4) の値を代入すれば、次式が出る、

$$n = f \cdot \frac{s + (127RV/V^2)}{1 - s(127RV/V^2)}$$

これは、先きに記した公式 (1) である。右邊分子の s をその第二項に對して省略すれば、近似式 (2) になる。

7. 計 算 例

例 1. 細則第十二條の勾配値について、 $V = 50$, $f = 0.25$ の場合の安全率を求めると、次のやうである。

横勾配	1/12	1/15	1/20	1/25
半 徑	40 60 90 100	100 120 150	150 200 240	240 275 300
安全率	0.6 1.0 1.8 2.2	1.9 2.5 3.8	3.0 5.0 7.5	5.8 7.6 9.4

例 2. $R = 60m$, $s = 1/12$ $f = 0.25$ の場合に、安全率が 2 であるためには、速度を 40 km/時 に制限しなければならぬ。

例 3. $V = 50$, $f = 0.25$, $R = 150m$ に對して安全率を 2 にすると、勾配は計算上 1/122 になる。即ち高速運轉の側からは、片勾配は殆ど不要である。排水の必要から 1/20 の片勾配にしたとすれば、その時の安全率は 3 である。

例 4. $V = 50$ $f = 0.25$, $R = 160$ のとき $s = 1/30$ をとれば $n = 2.7$ になる (近似式)。

例 5. $f = 0.25$, $R = 100$, $s = 1/15$ のとき $n = 3$ と指定すれば、計算上 $V = 44$ ができる。實際には $V = 40$ といふ如き明瞭な速度に制限して、安全率を高めることが望ましい。(近似式)

例 6. $V = 50$, $f = 0.25$ に對し n は 2 に保ち、 s は 1/20 より急に小さくしない。さうすると R は 114m より小さくはできない事になる。

8. 在來の公式が役に立たない理由 (その一)

ライマンの道踏書其他に記されてゐる公式に、次の形のものがある。

$$R = \frac{v^2(1-fs)}{g(f+s)} \dots\dots\dots (8)$$

この右邊の分子の f_s を 1 に對して省略し、尙式形を少し變へれば

$$s + f = v^2 / R \dots\dots\dots (8a)$$

この式も種々の書物にある。いま記述の簡單のため、

$$K = \frac{gR}{v^2}$$

とおくことにしやう。もし速度を km/時、 g を 9.80 にとれば $K = (127 R / V^2)$ である。公式 (8) は次の形に變へられる。

$$\frac{1-fs}{s+f} = K$$

これを f について解き、 f の逆数を求めると

$$\frac{1}{f} = \frac{s+K}{1-sK}$$

この式をよく見ると、先きに記した公式 (1) に於て $n = 1$ とおいた場合に等しいことがわかる。即ち (8) 系統の公式は、安全率が 1 の場合を取扱つてゐる。將ににらうとする危険な状態に着目して、これを數式に表はしたものであるから、實用に供しやうとする場合に、種々の無理あることは當然である。なぜかといへば「横江りしやうとする状態の公式を用ひて、横江りしない状態を計算しやう」と努力することにならなからである。公式そのものに誤謬があるのではなく、設計に用ふべからざる公式を強いて用ひやうとする所に誤謬がある。(8) 系統のものが役に立たないのは、この理由による。この役に立たない式を、役に立つかの如く記した書籍が多い。

9. 在來の公式が役に立たない理由 (その二)

ベートマンの道路書其他には、次の形の公式が掲げてある。

$$s = v^2 / gR \dots \dots \dots (9)$$

速度と g を前のやうに改めれば

$$s = V^2 / 127 R \dots \dots \dots (9a)$$

となり、また R を呟で、速度を哩/時 で表せば、

$$s = V^2 / 15 R$$

となるのである。いま (9a) の兩邊へ $(127 R / V^2)$ を掛けて、更に少し變形すれば、次式ができる

$$1 - s(127 R / V^2) = 0$$

この左邊をよく見ると、實は前の公式(1)の右邊の分母にほかならない。即ち上式は、該分母を0とおいたわけである。しかるに(1)の分子の方は、決して0にならないから、上式の成立するためには、(1)から明かなやうに $n = \infty$ なることが、暗黙裡に承認されてゐるのである。即ち(9)系統の公式は、安全率が無限大の場合を取扱つてゐる。「横二りする力が少しも働かない」さういふ状態を數式に表はしたものである。だから、この式から出る片勾配は、べらぼうに大きい。例へば、 $V = 50$ に對して、ざつと次の値が計算される。

R の大小	60	100	200	300	500
δ の 値	1/3	1/5	1/10	1/15	1/25

こんな次第で、(9)系統の式も、式そのものに欠陥あるのではないが、設計に使ふ式としては、甚だ不適當なのである。横二りに對する抵抗力を全く考慮に入れないことが、役に立たなくなつた主要原因である。

10. 在來公式が役に立たない理由 (その三)

アツグの道路書には次の形の式が示されてゐる。

$$\frac{e}{12} = \frac{v^2}{15R} - kf \dots\dots\dots (10)$$

e は横勾配で1呎につき e 時の割、 R は呎、 v は哩/時、 k は自動車の後輪にかかる重量と全重量 w との比であつて、アツグはこれを0.6にとつてゐる。上式を書きかへると

$$k f = \theta^2 / 15 R - s \dots\dots\dots (11)$$

となる。これは前に記した (8a) と比較して f が f_k となつただけの相違である。

上式は次のやうにして出る。即ち「自動車を横にりさせやうとする力 H が、後輪の荷重に基づく最大横にり抵抗力 $f (k w)$ に等しいと假定するのである。

$$H = f (k w)$$

これへ (5) を代入し $\tan \alpha = s$, $\cos \alpha = 1$ とおけば

$$F - w s = f k w$$

この F へ遠心力を入れると

$$v^2 / g R - s = f k$$

となつて、(11) に等しいものになる。

さてこの誘導法が正しいだらうか。自動車を横にりさせる力は、(5) からわかるやうに

$$H = (v^2 \cos \alpha / g R - \sin \alpha) w$$

であつて、 H は、重さ w に正比例するのである。従つて、重さ $k w$ に對應する横にり力は、明かに $k H$ であらねばならない。故に自動車の安定を、後輪だけについて論ずる場合には、 $k H$ と $f k w$ との關係を考察すべき筈のものである (厳密には $f k w$ でなく $f k W$ をとる)。

然るにアツジの式は、横にりさせる力については、前輪の分と後輪の分を合併して考へ、摩擦抵抗については後輪の分

だけをとつてゐる。前輪へかかる荷重は、遠心力を生ずるけれども、摩擦抵抗には關與しないといふのであるらしい。だが、前輪へかかる重さがある以上、それが路面へ傳はらないといふ筈はない。路面へ傳はるからには、そこに横じり摩擦抵抗は存在するのである。

要するに、後輪だけ考へるならば、遠心力も又後輪の分だけをとればよいのである。また全荷重の遠心力を用ひるときは全荷重による抵抗力を考察すべきである。この論理をツツクは無視してゐる。その上、安全率に對する考察を欠いてゐる。

(10) 系統の式が實際に役に立たないであらうことは、やむを得ない。

11. 要 結

現行の細則第十二條は、自動車交通に對して十分といひ難い點を含んでゐる。これは、安全率の考察を加味して、各設計者が、片勾配及走行速度を算出し得るやうな規定に改められることが、緊急事であると考へられる。具體的にどうするかについては、賢明なる當局に御一任してよいであらう。