

第三章 道路の設計

第一節 總 說

1. 路線の選定

道路の設計は、出来上り後使用上からも維持上からも最も経済的で、然も交通安全で愉快で、工費も低廉であるとともに其の路線の目的に叶つたものでなければならぬ。今新設すべき道路の路線の選定に就て考慮すべき事項を挙げれば大體次の如きものである。

- (1) 商業上、農業上、工業上に於て一般利用者に最大なる利益を與へるものであること。
- (2) 之れを利用するに於て最も多數の人に便利なるものであること。
- (3) 土工費の最低のものであること。
- (4) 天然排水の良好なる箇所を選ぶこと。之れには容易に最小縦斷勾配 0.5 % を採り得て長手の方向の路面排水を完全に爲し得る様にする事。
- (5) 他の條件に差支へなき限り永年均齊のとれたる天然地盤の地表を利用すること。
- (6) 勾配は出来得る限り緩にすること。即ち急なる勾配は之れを通行する積荷の重量を制限するからである。
- (7) 急勾配の丘陵又は山岳に於て之れに登るに勾配が急過ぎる場合は之を迂迴すること。
- (8) 小なる半径の曲線は交通に支障あるを以つて出来るだけ大なる半径の曲線にすること。
- (9) 山岳地方に於て山腹を路線が通る場合は片側勾配に造り出来るだけ盛土を避ること。但し工費節約の爲め切盛土量を平均することも考へること。

(10) 危険なる鐵道との平面交叉は之れを避くこと。

路線の選定に當りては、以上の如き種々の條件を適當に満足せしめなければならないのであるから、實地選點の前に先づ正確なる地圖上に數條の比較線を探つて、是等に依て其の優劣を比較研究して見るのである。

交通する物の利便を考慮し、適當の路線構造を決定するためには、現在の附近道路の交通調査の結果に依つて爲さなければならないが、只單に現在の交通情勢にのみ囚はれる事は又避けなければならないのであつて、之れが爲に折角改良した路線も直ちに再改良を要する様になる事がある。殊に近年自動車の普及發達が著しくなつて、逐年其の數を増加するのであるから、現在の交通調査に於ては其の交通量の少い場所でも、路線改良の爲急に増加することもあるのであるから、將來の交通に對しても其の効果を滿し得る様に設計しなければならない。又特殊の目的を有する道路、即ち近來諸處に築造されつゝある自動車専用道路、或は遊覽道路等に於ては各其の目的に依つて之れを設計し、必ずしも以下記述せんとする規格に依る必要はない。

2. 牽引抵抗

道路上を通行する車輛には種々の抵抗があり、之れに依つて其の牽引力を減殺するものである。此の抵抗は大體次の四種に大別することが出来る。

- (1) 車軸の摩擦抵抗
- (2) 廻轉抵抗
- (3) 勾配抵抗
- (4) 空氣抵抗

1. 車軸の摩擦抵抗。車軸の摩擦に依る抵抗と云ふのは、車軸と軸承間の摩擦に依つて起る抵抗で車軸の上に来る荷重、使用する滑油、軸及軸承の材料等に依つて異なるも、一般には餘り大きくないものである。車軸と軸承との間の摩擦係數は、馬力の場合は殆んど速力には關係なきものゝ様である。

一般に此の抵抗は車輪に連絡する機關の數によるもので、手車は機關がない故、單に軸承に起るものだけであるが、蒸汽ローラーの如きは種々の車が其の間に介在するから抵抗が多いのである。滑油の悪い場合、又はなくなつた場合は軸承の質などに比較して抵抗は非常に多く、且速力の増加に伴ひ滑油が攪拌されて抵抗を益々増すのである。

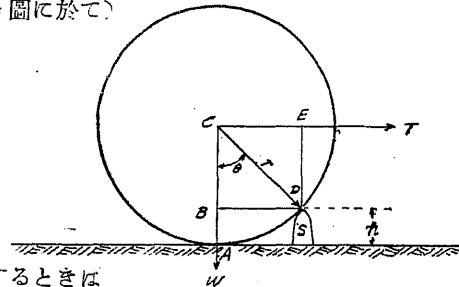
2. 廻轉抵抗。廻轉抵抗と云ふのは車の廻轉するとき車と路面との間に起る抵抗で、路面の種類狀況によつて異なるのであるが、同種の路面に於ても車輪の徑、輪帶の幅、及び車輛の速度、スプリングの有無性質に依つても異なる。

故に車輛の製作に當りては車輪の徑及輪帶の幅を適當に定め、且つ輸送を容易ならしむる様なスプリングを使用しなければならない。

廻轉抵抗が路面の種類に依つて差異ある事は明かであつて、土砂道の如き粗糲なるものよりは、シート・アスファルト道の如き比較的平坦なる面を有する鋪裝の方が抵抗が少ないのであつて、尙同種の鋪裝でも其の状態の如何に依つて相當差異がある。路面が平坦で堅硬なる程、廻轉抵抗は小さいけれども餘り平滑過ぐれば足掛りがなくなつて、反つて牛馬等には牽引力を減ずるのみならず、危険をも伴ふものである。路面の凹凸により廻轉抵抗を生ずる一二の例を考へるに

(1) 路面上突起ある場合。(第4圖に於て)

- h = 障害物 S の高さ
- T = 牽引力
- W = 荷重
- r = 車輪の半径



第 4 圖

將に車輪が障害物を乗越さんとするときは

$$T \times BC = W \times BD$$

$$T = W \frac{BD}{BC} = W \frac{\sqrt{CD^2 - BC^2}}{CD - AB}$$

$$= W \frac{\sqrt{r^2 - (r-h)^2}}{r-h}$$

$$= W \frac{\sqrt{(2r-h)h}}{r-h}$$

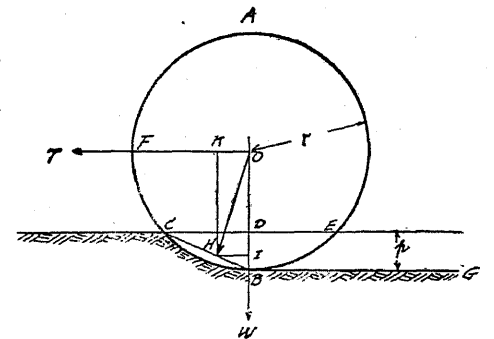
又 D 點上に於ての壓力 P は

$$P = W \times \frac{CD}{BC}$$

路面に突起ある場合之れを乗越すに要する力 T 、及び突起上に起る壓力 P は上式により算出し得るのである。然しきながら實際は車輪は或る速力で進行して來るのであるから、より大きい衝撃を與ふることとなり、又車輪が突起を越し落下するが爲め地盤に激突し路面を毀損し牽引力の効果を減ずる。但しスプリングを備へることにより幾分之れを軽減することが出来る。

(2) 車輪が減り込む場合。

路面の耐力が足らぬ爲に、車輪は路面に減り込み益々抵抗を大きくするのであるが、第5圖に於て車輪 AOB が水平面 EDC 上を OF の方向に廻轉するものとして BD だけ路面下に減り込んだとする。其の深さが浅さい場合には弧 BC は弦 BC と等しいと假定し得る。路面が砂や粘土の様な等質のものであるときは減り込んだ路面の抵抗は、表面 C の附近に皆無で深さが増すに従て増加し、 B にて最大となる。従て其の合成力の作用點 H は $BH = \frac{1}{3}BC$ である。荷重は垂直に向ひ牽引力は水平で共に車輪の中心を通るから OH は即ち是等の合成力を表すものである。従て其の垂直分力 KH は重量を表し水平分力 HI は牽引力を表す



第 5 圖

のである。 W を荷重、 T を牽引力とすると

$$\text{荷重} : \text{牽引力} = OI : HI$$

$$W : T = OI : HI$$

然るに BC は甚だ小さいから $\angle HOI$ 及 $\angle IHB$ も甚だ小さい。

$$OI = OH \cos \angle HOI \doteq OH \doteq OB$$

$$HI = \frac{1}{3} CD$$

車輪の半径を r 、減り込みの深さを BD を p とすると

$$W : T = OI : \frac{1}{3} CD$$

然るに

$$CD = \sqrt{AD \times BD} = \sqrt{p \times (2r - p)}$$

故に

$$T = \frac{1}{3} \frac{W \sqrt{(2r - p)p}}{r}$$

若し r に比較して p が小さい時は

$$T = \frac{W}{3} \sqrt{\frac{2p}{r}}$$

減り込みの深さが浅い時でも、此の抵抗が相當大きいので、如何に粗悪な路面が車輛に重大な関係を持つてゐるかが判る。

牛馬の牽引力に就ては其の時の状態により非常に異なるけれども米國で試験した一つの結果は次の如きものである。

牛馬車の場合に於ける各種道路の牽引抵抗

路面	路面状況	牽引力 (磅/噸)
土砂道	堅く締結し路面乾燥す	100
"	塵埃有り	106
"	泥濘	190
砂道	締結足らず	320
砂利道	良好	51
"	締結足らず	147
マカダム道	良好	38

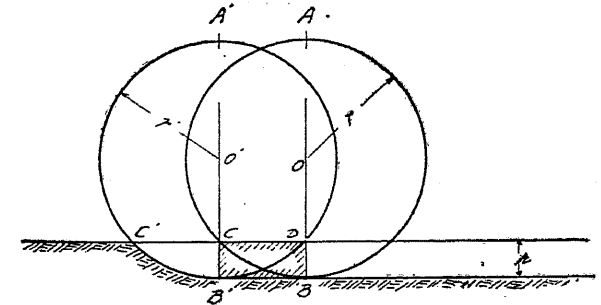
マカダム道	普通	46
シート・アスファルト道		38
アスファルト・コンクリート道		40
煉瓦道	新設	56
鋪木道	良好	33
"	不良	42
小鋪石道		54
アスファルト・ブロック道		52
鋪石道(花崗石)		47

車輪が路面上を通過する時路面は凹屈を起すが、若し此の時路面が軟かければ轍を生じ、弾性が有れば幾分荷重を反撥する。而して前の場合は路面抵抗大きく後の場合は小さい。然し何れの場合に於ても、車輪は路面との接觸部に於て歪み、車輪の機械的破損を招くのである。

次に車輪の廻轉抵抗に對する關係は同一道路上に於ては其の直径が大なる程抵抗が少ない。然し餘り大に過ぐれば牛馬車にありては引く方向が水平以上になりて、牽引力の一部は車輪を下方に押す力となり無益に失はれるものであるから、車輪の最大直径は自ら限度がある。

車の直径と牽引力との關係。路面を壓縮する爲めに費された仕事の量は第6圖

に示す様に、一車輪が半弦 CD だけ廻轉したと考へ、圖式上見出すことが出来る。即ち車輪 AB が廻轉して $A'B'$ の新しい位置を占めたとすれば、其の



第 6 圖

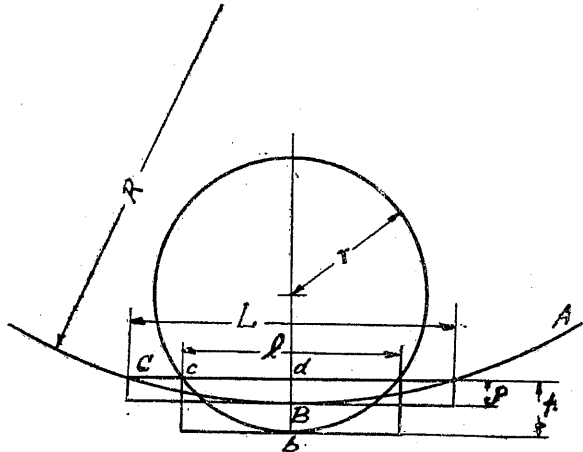
費した仕事は $BB'CC'$ なる面積に比例する。然るに $BB'CC'$ は四邊形 $BB'CD$ に等しいから、車輪の半径を r とし減り込みの深さを p とするとき、仕

事の量 W' は

$$W' = C \times p \sqrt{p(2r-p)} \quad C \text{ は或る係数}$$

今大小二個の車輪が同一の荷重を有するときは、其の仕事の量も同一であるから大輪の減り込みの深さは小輪より浅いのである。

即ち第7圖に示す様に大小二車の仕事は夫々四邊形 CB 及 cb に比例するもので、其の荷重が等しい場合は CB と cb とは等しい。今大小二輪の半径を



第 7 圖

R, r とし、減り込みの長さを夫々 L, l 、深さを P, p とするときは

$$l \times p = L \times P$$

$$\frac{1}{2}l = \sqrt{p \times 2r} \quad \frac{1}{2}L = \sqrt{P \times 2R}$$

故に

$$p^3 r = P^3 R$$

$$p : P = \sqrt[3]{R} : \sqrt[3]{r}$$

即ち減り込みの深さは半径の三乗根に反比例する。

$$\text{又} \quad lp = LP \quad p : P = L : l$$

$$\therefore L : l = \sqrt[3]{R} : \sqrt[3]{r}$$

即ち減り込みの長さは半径の三乗根に正比例する。而して牽引力は減り込みの長さに反比例するから、車輪が水平なる道路を廻轉するとき生ずる廻轉抵抗は直径の三乗根に反比例するのである。

さて實際に車輪の直径が廻轉抵抗に影響することについては、モートン、デュービュア、クラーク等の諸氏が研究されたのであるが、直径に反比説、平方根に反比説、立方根に反比説等であつて未だ公に認められたものはないのである。次表は牽引抵抗と車輪の直径について米國ミズリー州に於てマイヤー氏の行ひたる試験結果である。

牽引抵抗に及ぼす車輪直径の影響

路面の種類	状 態	前後車輪の平均直径		
		50吋 (前44吋 後56吋)	38吋 (前36吋 後40吋)	26吋 (前24吋 後28吋)
碎石道	僅かに磨滅するも良好	57 磅/噸	61 磅/噸	70 磅/噸
砂利道	砂1吋の深さに在り多少軟弱	84	90	110
"	濕潤、昇り勾配 2.2%	123	132	173
土砂道	乾燥して良好	69	75	79
"	$\frac{1}{2}$ 吋深に泥濘、粗雜	101	119	139
平均		87	95	114

此の試験に使用せる車輪は、何れも 6 吋幅の輪帯を有し荷重は何れも 1.75 噸であつた。

輪帯幅と牽引力との關係。車輪が路面に減り込む場合輪帯幅が小なる程抵抗力を増すのであるが、車が通つても路面に何等影響を與へない場合は抵抗は實際上輪帯の幅には關係ない様である。佛國のモリン氏も 6 種、11 種、16 種、幅の輪帯の車について試験した結果、堅い路面では抵抗力は輪帯の幅には關係ないが、軟い路面では輪帯の幅の増加するに従て抵抗は減ずるから輪帯の幅は廣い方がよいと云つて居る。路面の維持上から考へると、輪帯も幅の廣い方がよいが廣い幅のものは、取扱に困難なのである。若し廻轉の難易を同一にしようとすれば、幅廣の輪帯を有する車は輪距を短くするか、前輪の徑を小にするかせねばならぬ。

輪帯幅は以上の他、車の重さを考へ單位輪帯幅に對する荷重により決定しなければならぬ。我國に於ては路面は輪帯幅一寸につき百貫の荷重に耐ふる構造にす

る様道路構造令に規定してある。

又道路取締令には

牛車	3.5 寸以上	(四輪車にありては其の前輪を後輪の二分の一迄縮小することを得)
馬車	3.0 寸以上	(同上)
大車	2.0 寸以上	(荷臺の面積 18 平方尺以上のもの)

と規定してある。

次の表は輪帯幅 $1\frac{1}{2}$ 吋及 6 吋の車輛を使用し米國ミズリー州で試験した結果である。

輪帯幅の牽引抵抗に及ぼす影響

路面の種類	状態	牽引抵抗 (磅/噸)	
		輪帯幅 $1\frac{1}{2}$ 吋	6 吋
碎石道	堅硬にして良好水平道	121	98
砂利道	同	182	134
"	新設の緻密ならざる砂利の乾燥せるもの	330	260
"	締結の足らぬ砂 1 吋 ~ $2\frac{1}{2}$ 吋あり 濕潤	246	256

車輛の速度増大するに従つて路面の不陸に依り、震動衝撃を起し、之れが爲め牽引抵抗を増すのである。増加率は車輛にスプリングを有すると否とにより異なる。又路面の粗雑なる程大にして路面が完全に平坦なれば、速度に依る影響は全く無い筈である。次の表は佛國のモリン氏がスプリングを有する馬車について行つた試験結果である。

牽引力に及ぼす速度の影響 (磅/噸)

路面	状態	速度の影響 (磅/噸)		
		徒歩 (2 哩/時)	早足 (4 哩/時)	駢足 (6 哩/時)
碎石道	良、乾燥して緻密	41	48	49
"	僅かに濕潤なり	48	74	88
"	堅硬、僅かに軟泥	76	91	99
"	硬きも凹凸あり	93	108	116
"	一部磨滅	110	126	132

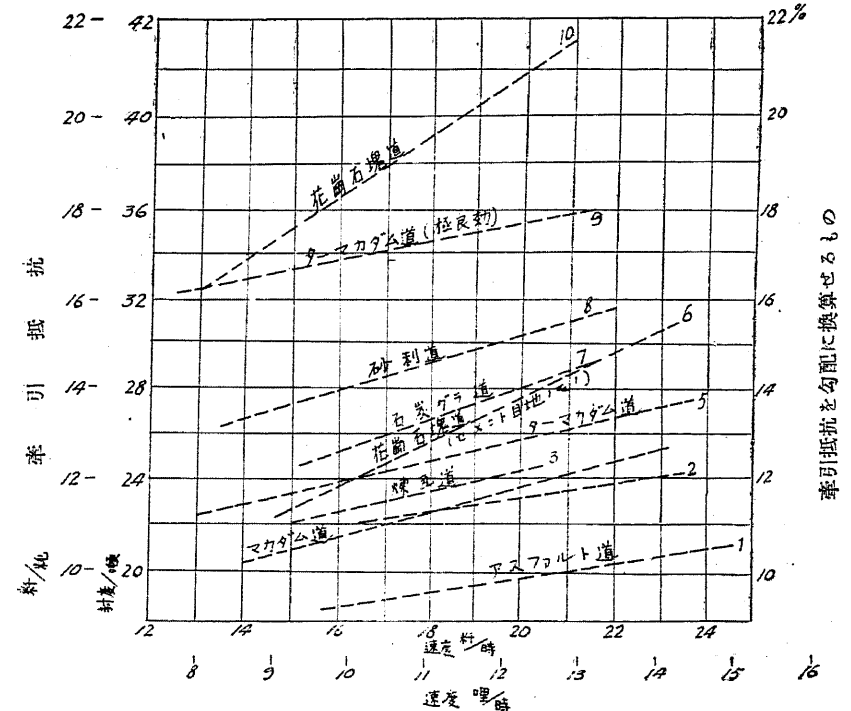
鋪石道	平滑、目地小	31	47	54
"	普通、乾燥す	34	51	67
"	濕潤、塵埃多し	44	60	67

此の表の示す所では抵抗は碎石道に於ては、速度の約 4 乗根に比例して増加し、鋪石道にては約平方根に比例して増大する様である。スプリングのない車輛では猶一層抵抗が大きいのである。

以上は金屬製輪帯を有する車輛の場合で、護謨輪、なかでも空氣入輪帯を有する車輛は速度に依る抵抗の増加極めて少ない。第 8 圖は異つた種類の鋪装について速度を變へた時の牽引抵抗を示すのである。

スプリングは車輛の衝動を減少して牽引抵抗を少くするので速度の大なる車輛

種々の速度に於ける牽引抵抗力圖



第 8 圖

並びに路面の平坦なるものより粗雑なるものに於て有効である。

3. 勾配抵抗。 W なる重量を有する車輛が水平面と α なる角度を有する傾斜面を昇る場合に要する牽引力は (第9圖に於て)

$$T = fW \cos \alpha \pm W \sin \alpha$$

T = 坂路に於ける牽引力

f = 路面と車輪との摩擦係數

α = 坂路の水平となす角

W = 車の重さ

上式に於て α 角が小なる場合は

$$\sin \alpha = \tan \alpha$$

と看做され得べく従て

$$T = W (f + \tan \alpha)$$

即ち或る坂路に於ける牽引力は水平道に於ける路面の摩擦係數 (f) と勾配率との和に其の重量を乗じたるものに等しい。

4. 空氣の抵抗。牛馬車の如き緩速度のものに對しては空氣抵抗は殆どないのであるが、自動車の如く高速度で走るものには相當大きな空氣抵抗を有し、競争用自動車の如きに於ては空氣抵抗は抵抗の大部分を占めて居る。一平面に真正面に風を受けるとき其の面に及ぼす壓力は次の式により表さる。

$$Ra = CAV^2$$

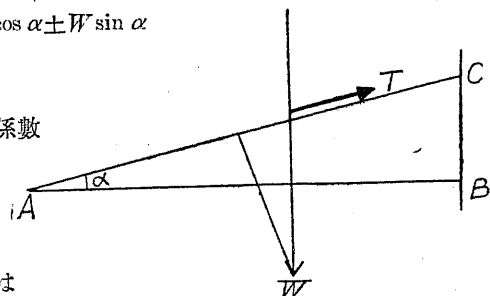
Ra = 空氣の抵抗 (磅)

A = 車輛の横斷面積 (平方呎)

V = 車輛の速度 (哩/時)

C = 測定係數

上式中 C は 1,925 年、カンサス大學のコンラツド教授の研究に依れば 0.0025 であると云はれ、更に 1,928 年にエール大學のラツクウッド教授に依り發表され



第 9 圖

たものに依れば、最近の自動車に對しては 0.0019 ~ 0.0025 である。廻轉抵抗、車軸摩擦抵抗等は荷重により變化するけれども、空氣の抵抗は重さには無關係なり。然し便宜上抵抗は噸當り重さにて表さる。牽引抵抗は普通次の式にて表さる。

$$R = a + bV + cV^2$$

a = 速力に關係なき抵抗

bV = 道路との衝撃作用に關係ある項で、普通他のものと比較して少い故時々省略せらる

cV^2 = 主として空氣の抵抗で、滑油又は惡道の爲めに起る動搖により増加す W を車の總重量とすると

$$RW = aW + cWV^2$$

普通のツーリング・カーで空氣タイヤを有し窓を下した時の大體の總抵抗は

$$R = 50 + 6\left(\frac{V}{10}\right)^2$$

R = 噸當磅 V = 速度 (哩/時)

であると云はれてゐる。

3. 交通調査

新に地方道路を開く場合、國內交通移動狀況を知らんとする場合、現在道路の改良をなす場合等には交通調査を必要とする、交通調査には其の目的により種々あり、全然新に地方道路を開く場合には之れを利用する區域、現存道路、鐵道、軌道並びに水路等との連絡關係、附近の生産及一般交通狀勢等について調査し、改良道路の價值を知りてに其の地方に最も都合のよい道路を造らねばならぬ。こゝには單に現在道路の一定地點に於て交通の量と質とを調査することについてのみ述べて見たいと思ふ。道路上の交通は鐵道と異り、複雑で種々雜多のものが夫々道路に異つた影響を與へる。故に一地點のみの觀測や交通總量のみでは調査の目的を達し得るものではない。車輛の路面に及ぼす影響は車輛の重量、積載、噸數、速度によるのみならず車輛の構造にもよるから、是等も調査せねばならぬ。是等調査に重要

な交通の分類は馬車、乗用自動車、軽重貨物自動車、電車、歩行者等、尚必要ある場合は各車を空車盈車に區別し、又速度と重量により區別し特種乗合車等も區別するのである。又交通には遠距離交通と近距離交通とあつて、その大部分は後者に屬し都市の勢力範圍内に於て往復するものである。小數の遠距離交通は商業用自動車、都市間の貨物自動車等が之に屬す。路幅の決定には何れの交通を主とすべきかを考慮せねばならぬ。又歩行者の數は其の土地が工場地帯であるとか住宅地帯であれば朝夕のラッシュアワアに於て最も多く、その方向は時間に依り相反す、是等の事情によつて路幅を決定せねばならぬ。天候氣候の變化に依り、日曜祭日などは交通の動き、方向に影響を與へるものである。

次に交通調査の方法に就いて述べる。交通の状態は月により日により或は時間によつて變化するし又時代の推移と共に變遷する。交通調査は一年中四季を通じて絶えず行へば、最も實際に近い交通量を知る事が出来るのであるが經費其の他の關係上實行出来ない。従つて適當な時期を選んで調査を行ひ交通状態の大勢を知るのである。實際行つた二三の例を擧ぐれば

- (1) 或季節に約一週間連続して交通調査を行ふ方法。
- (2) 一週間を各季節に分割して調査する方法、即ち第一週は月曜第二週は火曜に行ふ如きもので米國イリノイ州スプリングフィールド附近で行はれてゐる。
- (3) 一年を或時期例へば四期に分ち、此の内で適當な日を選んで二三日宛調査する。此の方法はブランチャード氏の推薦する方法である。佛國では觀測日數を28日とし之れを次の如く四期と週日に割當てゐる。即ち

週日	一期	二期	三期	四期
土	一月三日	四月四日	七月四日	十月三日
金	一月十六日	四月十七日	七月十七日	十月十六日
木	一月二十九日	四月三十日	七月三十日	十月二十九日
水	二月十一日	五月十五日	八月十二日	十一月十一日
火	二月二十四日	五月二十六日	八月二十五日	十一月二十四日

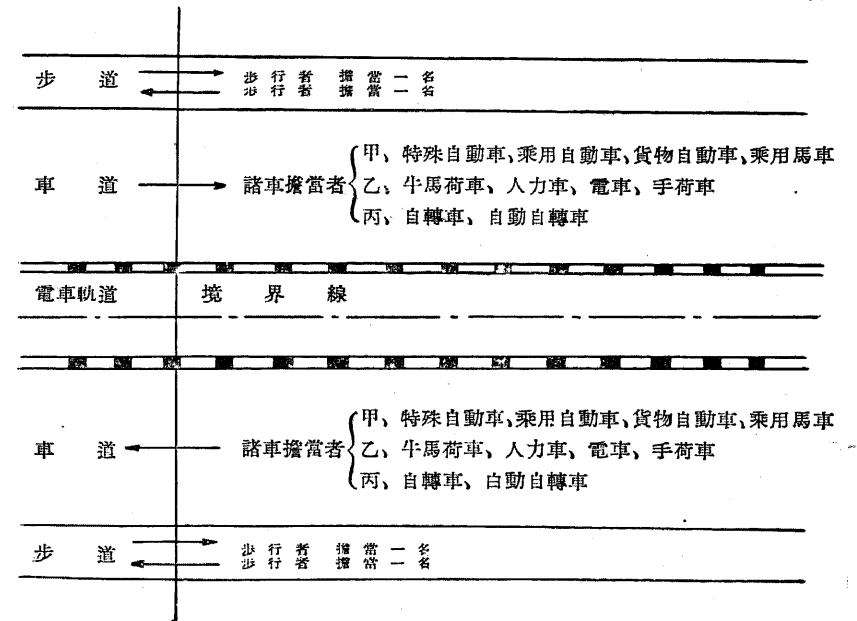
月	三月九日	六月八日	九月七日	十二月七日
日	三月二十二日	六月二十一日	九月二十日	十二月二十日

次に一日の内で何時間調査すべきかは其の土地の事情によるもので、市中の交通調査は24時間制が最も適當と考へられるが、地方道路に於ては晝間だけで充分な所もある。

交通調査の終了後は夫々目的に依つて之を整理するのである。路面の改良には道幅一米當り噸數を必要とし、幅員決定には路面占用値や總臺數などが必要である。夫れには各車輛の單位價值を定めて車輛數を乗すれば觀測點附近に於ける交通密度を知る事が出来る。

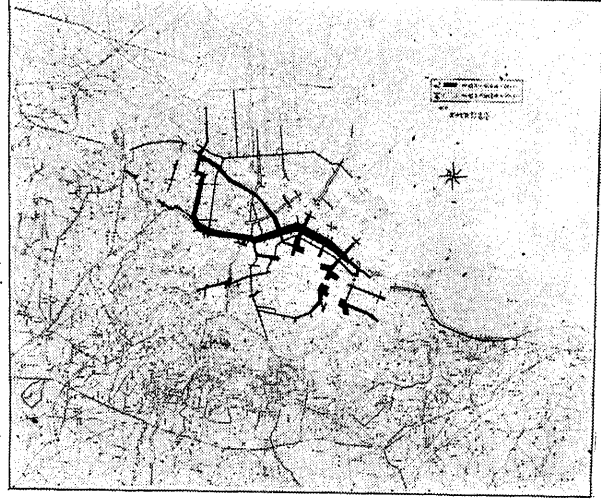
次に我國に於て行つた交通調査の一二の例を示す。

大正十四年六月三日東京市に於て施行した方法は、午前六時より午後六時迄十二時間施行し歩行者、特種自動車、乗用自動車、貨物自動車（二噸以下及二噸以



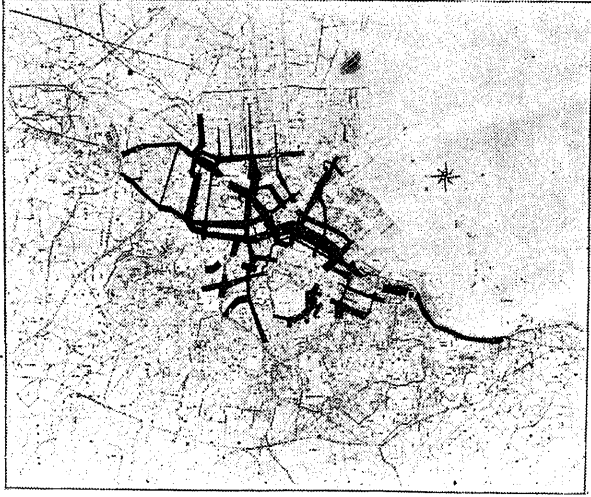
第 10 圖

東京市自動車交通量圖
大正十四年六月調査



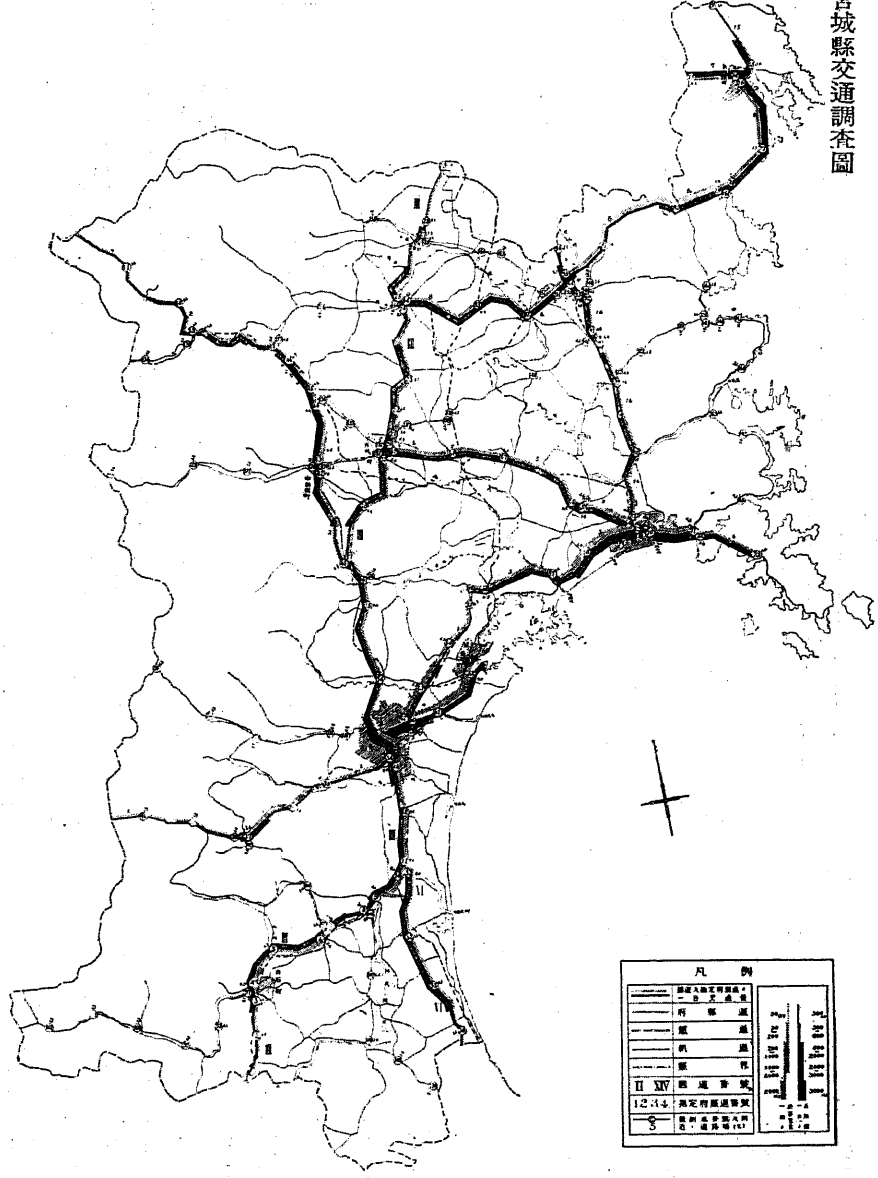
第 12 圖

東京市現在路線交通密度圖
大正十四年六月調査



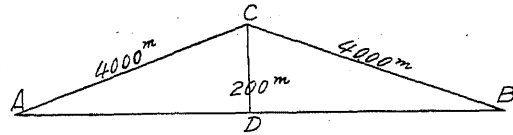
第 11 圖

宮城縣交通調査圖



第 13 圖

路線に於て迂廻の爲めの距離の増加は案外に少ないもので、普通過大視されてゐる傾向がある。例へば第 14 圖に於て $AC = CB = 4,000$ 米にして C 點が AB 線より 200 米の距離にあるとき ADB と ACB の距離の差は僅に 10 米に過ぎないのである。 DC が 1,000 米

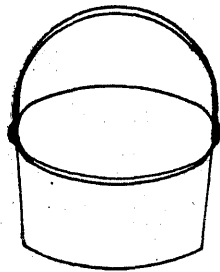


第 14 圖

としても 123 米に過ぎないのである。若し D が山の頂であるとすれば、 ADB では 5%

の勾配の坂を上り下りしなければならぬことになるから、勾配抵抗や速度から考へる時は餘程の廻り道をして利益なことが多いのである。普通の田舎道の缺點は寧ろ屈曲の多いことよりも、距離を短縮し過ぎることにある。山を迂廻する道路が應々山を横斷して越えてゐる道路と其の距離に於て餘り異ならぬ事がある。

丁度バケツの柄を立たしめるときと倒したときと其の距離が異なるのと同一理である。(第 15 圖参照)



第 15 圖

又此の線形並びに勾配の決定には、其處の交通物の種類に就ても大いに考慮しなければならないのであつて、例へば牛馬車交通に對しては線形よりは寧ろ勾配を主とし、自動車交通に對しては勾配は前者程重要でなく、出來るだけ直線の道路を望むのであるが、餘り長距離の間全然直線とする場合には一面美觀を害し且つ周圍の眺望の變化が乏しく、通行者に嫌意を覚えしめるのであるから、一般使用者の立場より幾分は、其の間に曲線部を設ける方がよい場合もある。

2. 曲線

曲線部の半徑の大小は牛馬車の如き緩速度車輛に對しては餘り問題ではなく、其の程度は要するに之れを曲り得られるだけの半徑であれば宜しいのであるが、自動車の如き高速度のものに於ては、其の速力を曲線部に於ても緩めずに安全に

通行する爲には極めて大きい半徑を使用せねばならぬ。即ち之れに對しては少くも約 1,000 米の半徑を要すると言はれてゐる。故に地形の許す限り之に近づけて大きい半徑を採用する方が宜しいのであるが、我が國の様に山地部の多い處では、常に斯く大なる半徑を採る事は不可能の場合が多いのであるから、道路法に於ては國道、府縣道に對し、55 米 (30 間) 以上とし特殊の箇所には 11 米 (6 間) 迄縮小することを許してゐる。

今之に對する歐米の例を見ると、米國に於ては地勢の平坦なる所が多いので極めて大なる半徑を使用し、平坦な地方では 300 米を最小半徑としてゐるが、州道に對しては一般に 60 米位を採用してゐる。佛國では國道は最小半徑を 40 米にして、特別の場合には 30 米迄許し、田舎道に於ては更に 15 米以上と規定してゐる。オーストリアでは主要道路に對して 25 ~ 50 米、地方道は 20 ~ 30 米、更に牛馬車道には 10 米を使用してゐる。

又第一回の萬國道路會議に於ても曲線部の半徑は少くとも 50 米 (165 呎) 以上とし且つ屈曲部は道路の幅員を擴大し直線部との間は拋物線より成る緩和曲線を挿入し、尙緩速車の交通に差支へなき程度の特種横斷勾配を付し、更に相當な安全視距を採ることを提議してゐる。

以上の如く各國とも相當大きい半徑を規定してゐるけれども、山地部に於ては曲線半徑の長さの増すに従つて建設費が急激に増加するのであるから交通の許す範圍に於て半徑の小さいものを用ひるのも止むを得ない。又曲線の最小半徑は道路の幅員及び交通する物の種類に依つても異なる。今假りに 3 米の幅員の道路を四頭立馬車即ち全長 15 米の車輛の通行の爲には約 37.5 米の半徑を必要とする。此の半徑は道路の幅員の増加と共に減じ幅員 5.5 米となれば約 2.5 米にて宜らしいことになる。幅員の異なる道路の中心線の最小半徑は大體次式によつて算出することが出来る。(第 16 圖参照)

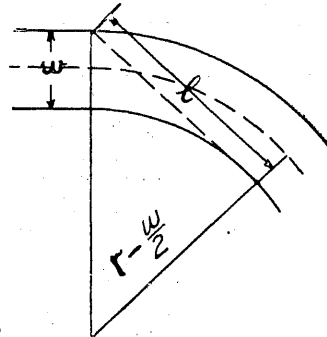
$$r = l^2 / 2w$$

r = 中心線の半径

l = 車輛の全長

w = 道路の幅員

上式に依つて算出された最小半径は交通する物が真直であり、曲線を廻る際には道路の全幅員を占むることを假定して居る。



第 16 圖

九十九折道路屈曲部(ヘアピン曲線)の設定方法

吾が國の如き山國に於ては其の線形に、交通上支障なき程度に急なる勾配と小なる半径を用ひなければならぬ場合がある。然し兩者が同じ箇所にて設けらるゝ場合に其の屈曲部は其の中心線の半径(メートル)を其の勾配(分數)にて除したる數が 750 以上 ($\frac{R}{S} \geq 750$ R = 半径(米) S = 勾配(分數))のものにするやうに道路構造の細則に規定してある。米國カリフォルニア州にては約 6% より急な屈曲部の勾配は $G = 6 - \frac{75}{R}$ により算出した G (G はパーセントにて表はされた勾配、 R は呎にて表はされた半径)の値より緩にする様に規定してゐる。急曲線にして急勾配であることは、交通上危険でもあり、亦牽引力にも影響するからである。

山腹の勾配が急である時、其の峠に登る道路に適當の勾配を附することの困難なる場合には、已むを得ずヘアピン曲線を用ひる事があるが(第 17 圖参照)之れは道路では最も危険な箇所となるのであるから、勾配との關係は充分に考慮しなければならない。

ヘアピン曲線の設定方法は普通、曲線の外側に幅を擴げ、適當の勾配を附し、出来るだけ内側の曲線半径を大とするのである。之れを佛蘭西では 8 米 ~ 9 米、英國では 12 米をとつて居る。ヘアピン曲線は、從來のものは馬車交通を主とするものに就て築造されてゐたが此の場合は速度よりも、馬と車體との間が折れる事に影響されて其の牽引力を非常に減する様になるので、我が國では最小限を道路構

西瑞アルプス山中九十九折道路

造令で曲線半径六間に定めてある。自動車交通に對しては大體次の様に設定すればよい。第 18 圖はヘアピン曲線の一例であるが、其の最小限の長さは CD 及 $C'D'$ の曲線半径は 20 米以上、 BC 及 $B'C'$ の直線部分の長さは 10 米



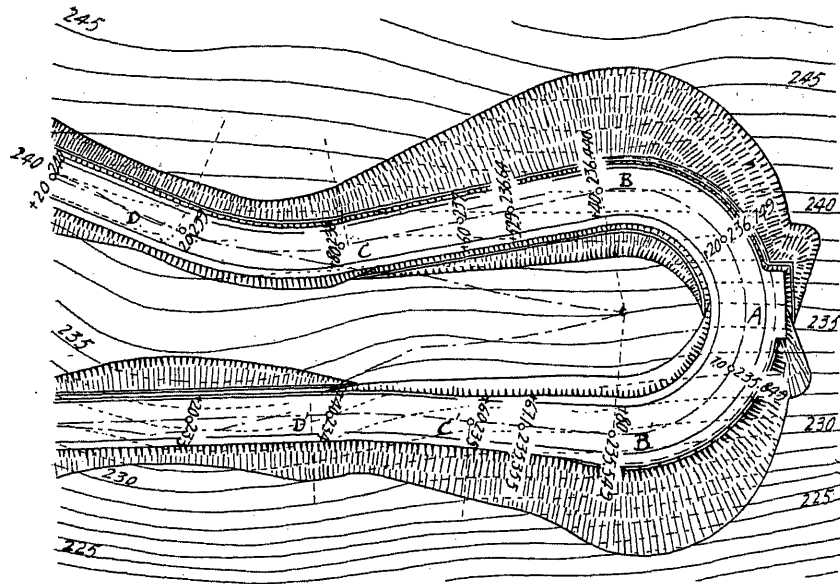
第 17 圖

以上、 BAB' 曲線の内側の半径は 8 米以上外側の半径は夫れに道路幅員を加へたものである。

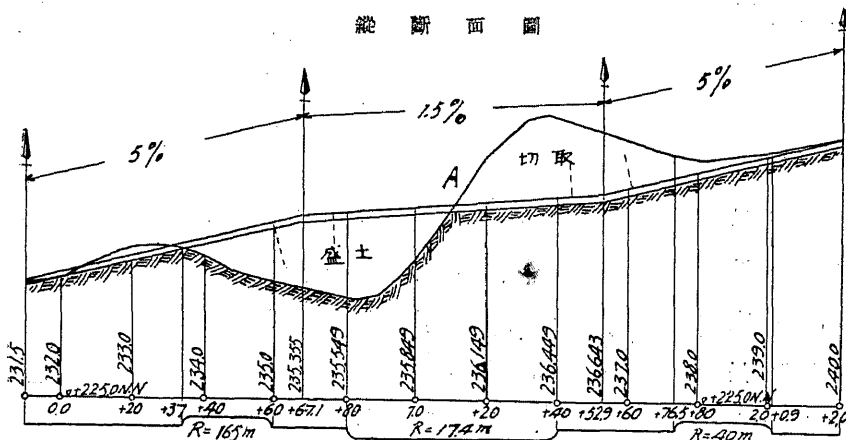
3. 安全視距

曲線部に於ても直線部と同様に、高速度車輛が其の速力を緩める事なく其の全

平面圖



縦断面圖

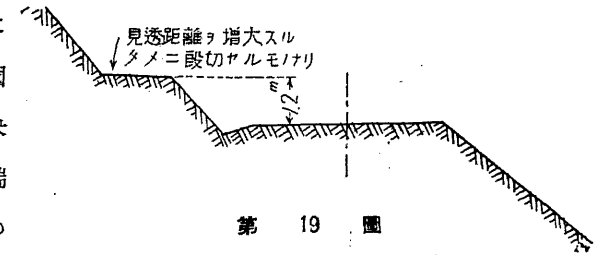


第 18 圖

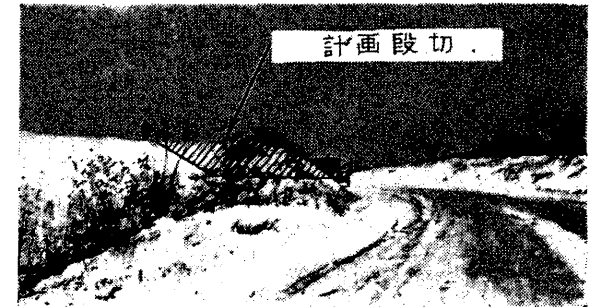
能力を發揮し得るためには、前述の如く曲線半徑を増大し且つ路幅を擴大しなければならぬのであるが、尙ほ前方を見透し得る相當の視距を必要とするのである。之れを安全視距と云つて居る。即ち安全視距とは運転手が前方より進行して

來る他の車輛を認め、其の衝突を避け、尙必要ならば停車せしむるに充分なる距離である。走行中自動車ブレーキをかけてから停止する迄の距離は實驗の結果乗用自動車は毎時 32 軒の速力にては約 12 米にて停止し、64 軒の速力にては約 48 米を要すと云はれて居る。勿論之れは路面の状態並びに自動車の構造に依りて相違するもので上述のものも其の一例に過ぎない。且つ實際には多くの場合之れより大なる距離を要するとも見られる。互に向ひ合つて來る自動車の場合を考慮し運転手が前方の自動車を目撃してからブレーキをかける迄相當の時間を見込み約 100 米を最小安全視距とするが適當であらう。

安全視距の問題に對する第四回の萬國道路會議に於ける決議では道路の内側端より路面上 1.5 米の高さにて 100 米以上を見透し得る様すべしとある。我國に於ては道路構造に関する細則に於て國道に對して 100 米、府縣道には 60 米を標準



第 19 圖



第 20 圖

最小安全視距として居る。屈曲部の半徑、見透距離、見透し有効幅員の關係は次の式により算出することが出来る。

$$R = \frac{m}{2} + \frac{C^2}{8m}$$

R = 半徑

m = 道路中心線上 1.5 米の高さに於て中心線より之れと直角の方向に

於ける屈曲部の内側の法面又は障害物に至る最短距離

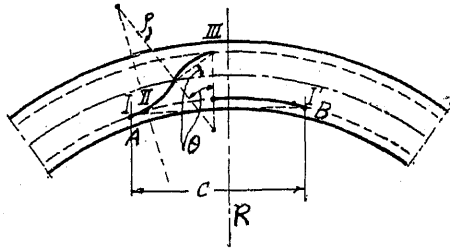
$$C = \text{安全視距}$$

理論上の視距、屈曲半径、路幅、車輛の速度の關係。

疾行車が曲線部に於て、其の進路に障害物を見て、之れとの衝突を避くるには進路を変更するか、又は停止するか二方法に依るのである。

1. 視距と速度との關係

(a) 運轉手が障害物を発見して、その進路を変更する場合第 23 圖の如く進路を変更するものとすれば、必要な視距は次式に依つて表はされる。



第 23 圖

$$C = t(v_1 + v_2) + \frac{v_1 + v_2}{v_1} \times 2\rho\theta$$

$$\rho = \frac{v_1^2}{g \cos^2 \gamma (f - \tan \gamma)}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\sqrt{b(2\rho - b)}}{\rho - b}$$

上式に於て C = 視距

t = 障害物を発見してより進路を変更し始むる迄の時間

v₁ = 迴避せんとする車輛の速度 (米/秒)

v₂ = 直線に進む車輛の速度 (米/秒)

ρ = 迂迴路の曲線半径

f = 路面と輪帯との摩擦係數

g = 重力加速度

tan γ = 車輛が對車線に移る場合の進路の路面勾配

θ = 曲線進路の中心角

b = 路幅の四分の一

$$\therefore C = t(v_1 + v_2) + 2 \frac{(v_1 + v_2)}{v_1} \frac{v_1^2}{g \cos^2 \gamma (f - \tan \gamma)} \tan^{-1} \frac{\sqrt{b(2 \frac{v_1^2}{g \cos^2 \gamma (f - \tan \gamma)} - b)}}{\frac{v_1^2}{g \cos^2 \gamma (f - \tan \gamma)} - b}$$

v₁ = v₂ の場合

$$C = 2tv + 4 \frac{v^2}{g \cos^2 \gamma (f - \tan \gamma)} \tan^{-1} \frac{\sqrt{b(2 \frac{v^2}{g \cos^2 \gamma (f - \tan \gamma)} - b)}}{\frac{v^2}{g \cos^2 \gamma (f - \tan \gamma)} - b}$$

(b) 進路を変更し能はざる時 (停車の場合)

一般に二輪式制動車の場合をとり

制動距離
$$S = \frac{1 + P_g}{gf \frac{Q_y}{Q}} v^2$$

兩車の速度相等しきとき

$$C = 2 \frac{1 + P_g}{2gf \frac{Q_y}{Q}} v^2 + 2tv + l_0$$

上式に於て P_g = 迴轉エネルギーに対する當量 (kg)

(P_g は通常乗用自動車に對し 0.05 Q、貨物自動車に對し 0.10 Q、Q_y は $\frac{2}{3} Q$ とす)

Q = 自動車の總重量 (kg)

Q_y = 後輪にかゝる重量 (kg)

l₀ = 前車との間の安全間隔 (m)

2. 視距、屈曲半径、路幅、車輛の速度との關係。

上述の視距の値 C を R = $\frac{m}{2} + \frac{C^2}{8m}$ に代入することに依りて、此の關係を

知り得。即ち

$$(a) R = \frac{m}{2} + \frac{1}{8m} \left\{ t(v_1 + v_2) + \frac{v_1 + v_2}{v_1} \times \frac{2v_1^2}{g \cos^2 \gamma (f - \tan \gamma)} \tan^{-1} \frac{\sqrt{b(2 \frac{v_1^2}{g \cos^2 \gamma (f - \tan \gamma)} - b)}}{\frac{v_1^2}{g \cos^2 \gamma (f - \tan \gamma)} - b} \right\}^2$$

$v_1 = v_2$ の場合

$$R = \frac{m}{2} + \frac{1}{8m} \left\{ 2tv + \frac{4v^2}{g \cos^2 \gamma (f - \tan \gamma)} - \tan^{-1} \frac{\sqrt{b \left(\frac{2v^2}{g \cos^2 \gamma (f - \tan \gamma)} - b \right)}}{\frac{v^2}{g \cos^2 \gamma (f - \tan \gamma)} - b} \right\}^2$$

(b) 回避し得ず停車する場合

$v_1 = v_2$ の場合

$$R = \frac{m}{2} + \frac{1}{8m} \left\{ 2 \left(\frac{1 + P_g}{2gf - Q_L} \right) v^2 + 2tv + l_0 \right\}^2$$

必要なる視距は、速度の大なる車輛に於ては回避する場合より、兩車とも停車する場合の方が大となる。今この場合に乗用自動車に對するものを計算して見るに、夫々の値を次の如く假定すれば、

$v =$ 急に停車する場合の減速度は乗客の乗心地を考慮して 2.5 m/秒

$f =$ 安全を考慮して 0.30

$t =$ 運轉車が細心の注意を以て運轉するとして 1 秒

$Q_L = \frac{2}{3} Q$

$P_g = 0.05 Q$

今 m を 1.5 米より 9.0 米迄の場合に於ける曲線半徑を求むれば次の如し。

m と速度と半徑との關係

速度 (km/h)	10	15	20	25	30	35	40	45	50
視距 (m)	18	24	32	44	59	74	94	112	136
曲線半徑 R (m)									
車害線物中に心至るり距離側障									
$= 1.5$	27.0	48	84.5	161.5	291	458	734	1,046	1,536
$= 3.0$	13.5	24	42.3	80.8	146	229	369	523	768
$= 4.5$	9	16	28.2	54	97	153	246	348	512
$= 6.0$	6.75	12	21.2	40.4	73	115	185	262	384
$= 7.5$	5.4	9.6	17	33	59	92	148	209	308
$= 9.0$	4.5	8	14	27	49	76	123	174	256

(尙詳細は内務省土木試験所報告第一九號を参照せられたし)

尙切取部に於て見透距離を増大する爲め第 19 圖の如く段切を爲す事があるが、

此の時は路面上 1.2 米以下の高さに於て爲すのである。以上の如く安全視距は各國共大體 100 米以上を適當として採用して居る。第 21 圖及第 22 圖は安全視距 200 尺並びに 300 尺の時の曲線部の半徑、切線の交差角及び W (上式にて m) との關係を表せるものである。

自動車交通の安全を期するには出来るだけ視距を大にしなければならないのであるが、山地部では之れが爲に多額の工費を要するのであるから、之れに依り難き箇所には交通の安全を期する爲に他に何等かの設備を施す必要がある。

近時米國では道路の中心線に白線を施して路面を二分し往復の交通線を區別してゐるものもあるが之れも一つの施設である。又屈曲部を多少擴めて中央に小高く中島を設けて往復の交通を全然分離するのも一つの方法である。

安全視距は平面的に考へるのみならず、縦斷的にも考察しなければならぬのであるが、更に同一箇所でも平面的にも屈曲し縦斷的にも勾配の變化のある様な所即ち峠にして然も屈曲せる箇所に於ては、特に充分な安全視距を設ける必要がある。

4. 平面交叉の除去

鐵道又は軌道と道路とが平面交叉を爲す事は交通に危険を伴ひ、且つ其の能率を減するのであるから出来るだけ平面交叉は避けなければならない。未だ自動車の發達普及しなかつた頃には此の平面交叉の問題も餘り重要視されなかつた。夫れでも格別不便を感じなかつたので、築造費を節約する爲に到る處に兩者の平面交叉があり之れが爲に今日事故を年々増加する様になつて來た。

此の踏切事故は勿論運轉者の不注意に依るのであるが、高速度自動車の發達普及と共に將來は尙一層増加するものと豫想せられるのである。之れを防止するには勿論此の平面交叉を除去するが最善の方法であるけれども、今直ちに總ての平面交叉を高低交叉に改むるには莫大の費用を要することであるから、先づ交通量の大きな踏切より漸次改良すると共に將來築造されるものは出来るだけ高低交叉とし、若し平面交叉を避け得られざる場合には成る可く遠方より踏切箇所を認め

得るやうにし、且つ其の角度或は勾配、曲線警戒標等を考慮して交通の安全を期する様にするのである。

米國イリノイ州に於ては此の平面交叉に對する危険を防止する爲に、交叉部に於ては其の前後少くとも 90 米の間は 左右 300 米以上鐵道線路を見得る様にし、又踏切部通行の際安全且つ容易に方向を異にする道路上の車輛が行違ひ得る様に其の有効幅員を 5.5 米以上とし、踏切の前後各 15 米以上は平坦にするか或は 2 % 以下の緩勾配を設くる様にして居る。

我國に於ては道路構造に關する細則に次の如く規定されて居る。

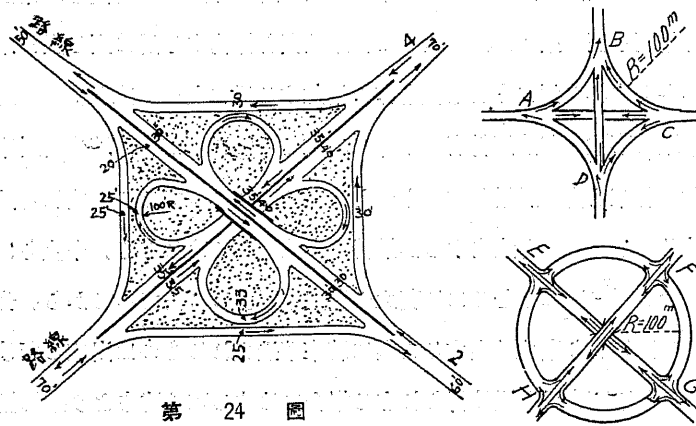
踏切の前後に於て各 60 米以上の直線部を設け、踏切の前後長さ 30 米以上の區間は $\frac{1}{50}$ より緩なる勾配とすべし。

踏切及び其の前後に於ける長さ各 20 米以上の道路の幅員は前後道路の幅員に 2 米を加へたるものとすべし。

尙我國に於ては道路が鐵道又は新設軌道と交叉する場合、其の踏切の角度は出來るだけ 45° より緩にする様に道路法に依る訓令に示されてゐる。

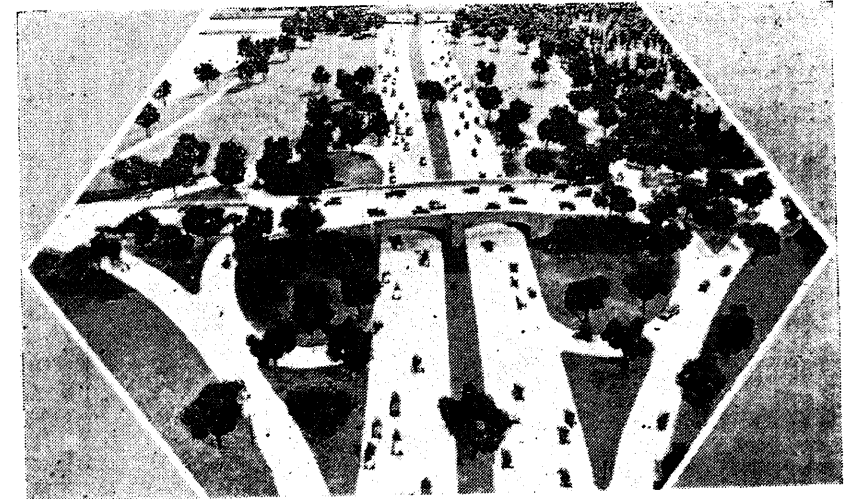
道路と道路との高低交叉

鐵道若くは高速度軌道と主要道路とが交叉する場合は、交通能力の充分なる發
ブルムスに於て 1,930 ~ 1,931 年に築造せられたる道路の高低交叉



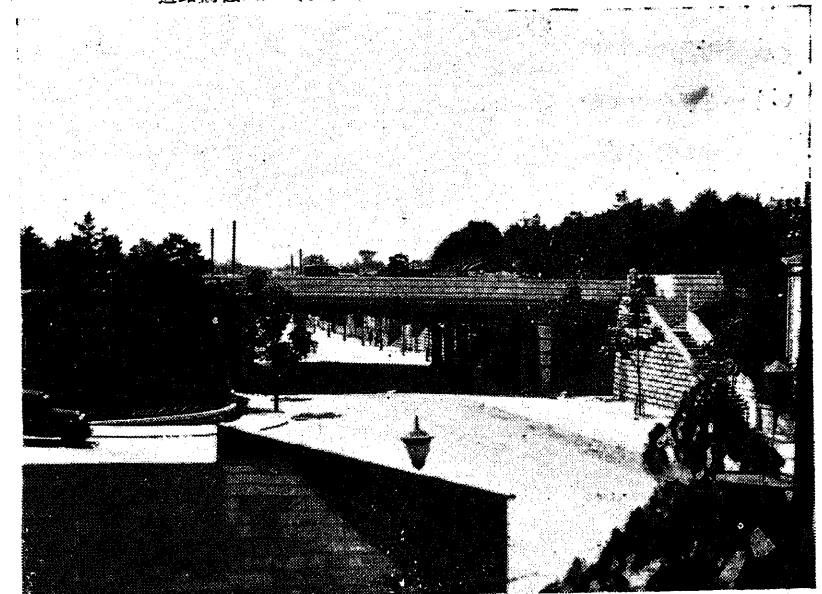
第 25 圖
第 26 圖

アメリカガブアージニア州ワーノンに至るワシントン紀念道路に於て 1930 年築造せられたる道路高低交叉



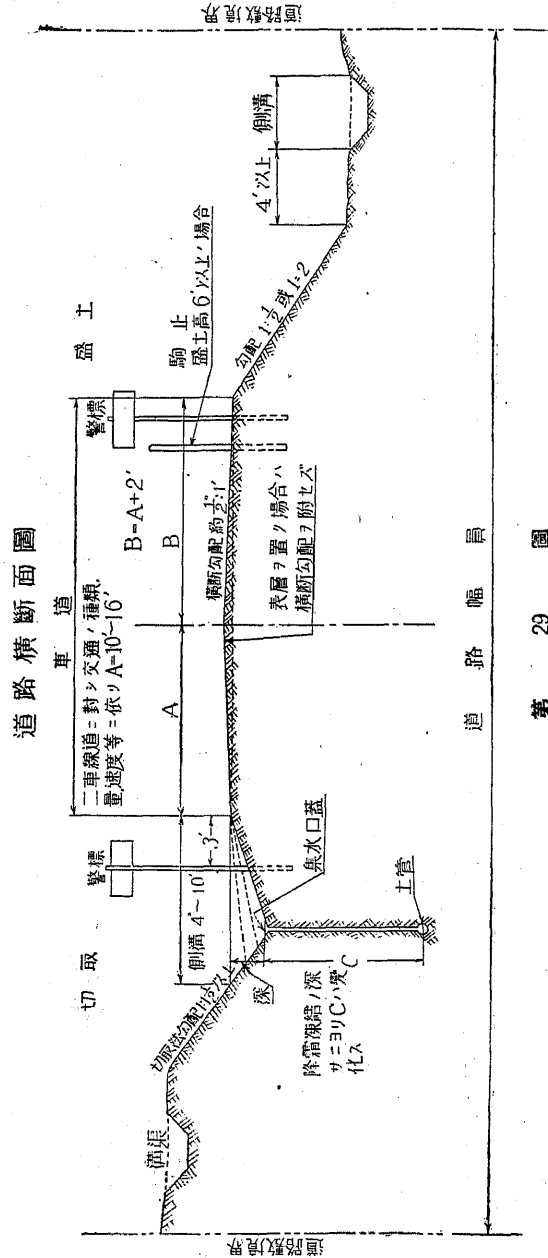
第 27 圖

道路高低交叉 (東京千駄谷附近、上は明治神宮外苑道路)



第 28 圖

輝のため或は交通の安全のために、之れを高低交叉にしなければならぬ事は既に述べたところであるが、近來發達して來た高速度の自動車の交通を主とする様な道路が互に交叉する如き場合にも、是等を高低交叉とする様な傾向になつて來た。ニューヨーク市郊外の道路の如きは其一例である。然し鐵道と道路との交叉の如く、交通用具の相關連しないものと異なつて道路と道路との交叉に於ては兩方の道路を通行する車輛は同一のものであるから、夫れを高低交叉とする場合には一方の道路から他の道路に容易く連絡し得る様に設計しなければならない。此の連絡方法が適當に設計せられるため交通が混雑し、



第 29 圖

或は他の車線を侵す様なことがあつては折角高低交叉とせる効果はないのであるから、相連絡するに要する時間に於ても、勾配に於ても、屈曲半径に於ても充分の考慮を拂はなければならない。(第24~26圖参照) 其の交叉方法の設計完全なものとして米國主都ワシントンに近きバージニア州に、實際築造せられたるものゝ寫眞(第27圖)を擧げて置いたから参照せられたい。是等を見るに其の高低交叉は交通の流れを横切ることなく一方より他方に安全に方向を變へしめる爲、相當廣い面積と工費とを要して居る。故に高低交叉を爲すに就ては、充分に經濟的見地からも研究しなければならないのである。交通事故は人命に関する問題であるから、安全率は充分とらなければならないのであるが、交通整理の方の設備を充分にし、多少交叉に要する時間を犠牲にして經濟的なものにする場合もある。從て圖の如き理想的設計は必ずしも必要としない。故に此の高低交叉部の互の連絡は之れを廢し、普通の鐵道と道路との交叉の如く簡単に造る場合が多い。第28圖は此の種の最も簡單なもので東京市明治神宮外苑にある高低交叉である。

第三節 横断面

第29圖は米國道路の標準横断面を示したものであるが、此の標準横断面は道路設計に當り考へなければならぬ種々の要素を含むもので、或る場合には排水土管や防護柵の様なものも勿論除外せらるゝものである。只一つの標準を示したのであるから幅員や勾配等も其の場合により變更されなければならぬ。殊に幅員は本断面より節約されなければならぬ場合も多く、又側溝などは本邦に於ては箱形が多く用ひられる。

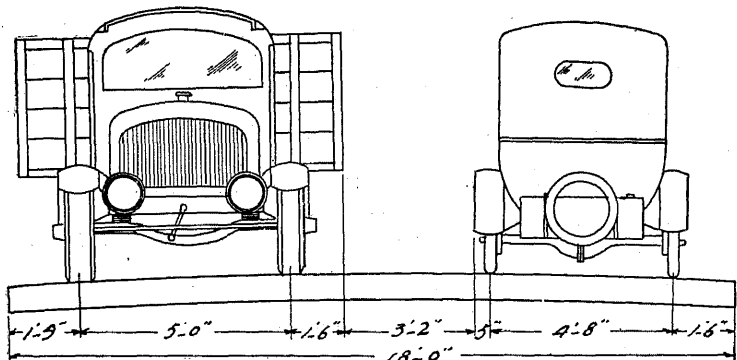
道路の横断面の決定に就ては、先づ幅員と横斷勾配を決定し之れに排水側溝等の設計を含むのである。

1. 幅員

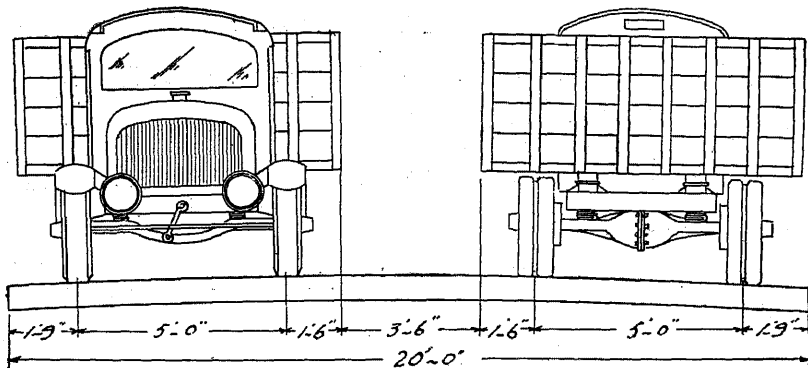
道路の幅員の決定は鐵道或は特殊道路等の如く、其の輸送條件の確定してゐる

ものと同様に理論的に之を取扱ふ事は困難である。又米國に於ける様に近代的交通用具の發達著しく、其の交通物の大部分が自動車である様な場合には比較的容易に幅員の決定が出来るが、現在の我國の如く交通物の種類の雜多なる場合は等各の車輛に對し適當なる幅員を決定する事は困難である。一般に道路の幅員は交通の量及び質に依つて定められ、交通の少ない地方では一車通るだけで満足せねばならぬこともある。稍交通多くなれば待避所を設け、更に多くなれば二車の通行が出来る幅員を與ふることになるのである。幅員小なる道路は交通の集中に

乗用自動車と貨物自動車との行き違ひ



貨物自動車の行き違ひ



自動車の行き違ひに安全なる道路幅員

依つて路面の磨耗甚だしいから、幅員の決定には維持費も考慮して經濟的なものを決定しなければならない。

通常一車線に對し自動車にては 3 米、牛馬車にては 2.5 米を最小幅員とし主要道路は 5.5~6 米(二車線分)以上とするのである。然し我國に於ては地價極めて高く且つ平坦地少なきを以て一概に 6 米以上を採用するは不可能なる場合も尠くない。幅員狭く車輛の行違ひ困難なるが如き場合には路側の構造を完全にし且つ待避所等を設ける。待避所は使用に容易なる様見透し充分なる箇所を選びて設け、一般に其の長さは 20 米以上とし間隔は交通により異なるけれども 1 軒當り 2~3 箇所を設くるを適當とす。

路幅は車輛幅と各車輛間の間隔、並びに路端と車輛との間に相當の餘裕を與へて決定するが普通である。勿論人馬其他車輛以外のものゝ通る時は、又夫々是等のものを考慮しなければならぬ。車輛幅は積荷の幅も含む最大の幅で、車輛間の間隔は車輛速度により異なるが自動車の場合には 0.5~1.2 米を要す。路端との餘裕も速度によつて異なるけれども最少 0.30 米を普通とする。二車線道路の有効幅員はアガレー氏(Agerly) に依れば次の式により表はされる。

$$W = 2 \left(\frac{B-d}{2} + d + \beta \right) + \alpha = B + d + \alpha + 2\beta$$

d = 車輛の軌間

B = 積載臺幅

α = 二車輛間の横間隔

β = 車輪と路面の縁との距離

W = 道路有効幅員

車 輛 の 最 大 寸 法

	獨逸	佛國	米國	英國		普通寸法	
				平均	最大	乗合自動車	貨物自動車
B	3.2 米	2.5 米	2.8 米	1.5 米	2.28 米	1.70 米	2.13 米
d	1.5	2.0				1.40~1.5	1.83

我國の車の幅は荷の幅共 2.5 米を最大とするが、各府縣地方状況により多少縮少して居る。

三車線の幅は上式に加ふべき車の幅並びに餘裕を加へることにより得らる。

第 30 圖は二車線道路の有効幅を決定せる一例である。

我國に於ては幅員に對して道路構造令に次の如く規定されてゐる。

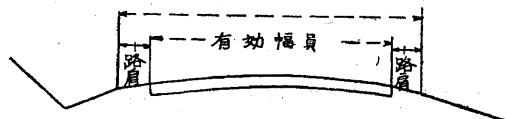
	一般有効幅員	山地其の他特殊の箇所にて減じ得る幅員
國 道	7.4 米(4 間) 以上	1.8 米(1 間) 以内
府 縣 道	5.5 米(3 間) 以上	0.9 米(3 尺) 以内
市 道	5.5 米(3 間) 以上	1.8 米(1 間) 以内
町 村 道	3.5 米(2 間) 以上	0.9 米(3 尺) 以内

而して以上の幅員に據り難い場合には、相當距離毎に待避所を設けることになつてゐる。尙道路構造に關する細則には待避所は見透開敞の場所を選び其の長さは 20 米以上とすべしと規定してある。

次に歐洲各國の例を見るに、1,908 年巴里に於ける 萬國道路會議に於ては如何なる道路も 6 米以上にすべしと決議し、尙一車線に對する路幅は自動車にては、2.5 米(8 呎)、人間の歩行には 0.6 米(2 呎) 兵卒には 0.76 米(2.5 呎) を要すと決められてゐる。

オーストリアにては國道は約 6.4 米、地方道にては 4.3 ~ 4.9 米、田舎道は 3.7 ~ 6.1 米とし、佛國に於ては國道に相當するものが總幅員 20 米にて 6.7 米を舗裝し、府縣道に當るものは 12 米中 6 米を、地方道にては 10 米中 4 ~ 5 米を舗裝し、兩側は碎石を敷くことになつて居る。英國にては主要道は 4.9 ~ 6.7 米とし、米國にては州道は路肩を含まざる幅員 5.5 ~ 6 米 (18 ~ 20 呎) とし都會に近くに従つて幾分廣くして居る。尙區道等にて交通少なき場所には一車線道として 2 ~ 2.7 米(7 ~ 9 呎) を舗裝し、交通の便宜の爲に路肩を多少改良して利用することにして居る。

路肩。道路の横斷面は普通第 31 圖に示す様な形狀にするのであるが、有効幅員、路肩、側溝、其



第 31 圖

の他切盛の法部等から成つて居る。而して路面として主に役立つ部分は圖面に有効幅員と書いた處であつて、路肩は舗裝築造の際重いローラー等を引いても支障ない様に、又築造後重い車輛の通過の爲め舗裝が押し出されて、之れが爲め舗裝が破壊されぬためと路面を有効に使用せしめる爲に必要なのである。路肩は少なくとも 0.5 米、成るべく 0.8 米以上とし天然土道のままか又は砂利其の他簡単に處理して自動車故障を起した時の待避所ともなし得る。路肩には 1/15 前後の勾配をつけるのが普通である。

道路の運輸能力。一定幅の道路の最大輸送能力より道路幅員を推定する場合もある。之れは主として同一種類の車輛例へば専用自動車道の場合に考へなければならぬ事項である。一車線通過臺數算出の一の二の式を擧ぐると

$N = 1$ 時間に於ける最大通過車輛數

$S_a =$ 車輛の平均速度 (哩/時)

$S_m =$ 通過車輛の最大速度 (哩/時)

$F =$ 安全率 (普通 2)

$L =$ 車輛の長さ (呎)

$$(1) \dots N = \frac{5280 S_a}{F \left(\frac{S_a^2}{10} \right) + L}$$

$$(2) \dots N = \frac{5280 S_a}{15 + 0.0556 S_a^2 + 0.73 S_a} \begin{cases} \text{摩擦係數} = 0.6 \\ \text{制動止の時間} = 0.5 \text{ 秒} \\ \text{車體の長さ} = 15 \text{ 呎} \end{cases}$$

是等の式は何れも前車の停止を後車の運轉手が目撃して、制動機をかける迄の時間並びに制動機をかけてから、車輛の停止迄の距離などを主に考へて出したもので、是等の式によると何れも或る一定の速度で通過臺數が最大となり、前後は急に減するのである。實際に於ては自動車交通の盛な米國に於ても餘程都合のよい時でも一時間千二百臺に達することは稀れである。1,924 年フロリダ州ミヤミ及ミヤミビーチ間の交通一時間の最大は 1,200 ~ 1,300 臺にしてニューヨーク市ホーランドトンネルも大體同數である。或る經濟的速度で總ての車が通過するこ

とは道路の輸送能力を最も大にする方法であるが、自動車専用道路でも今日では殆んど不可能のことである。まして一般公道に於て自動車の相當發達した將來を豫想するとしても、速度を一定することは期待し難いことである。従て以上の算出方法はある限度を知るときの参考程度である。

道路の幅員は一般には廣きを可とするも、廣きに失する場合は建設費及び維持費を増加し、美觀を損し尙且つ交通整理に不利なる事あるを以て交通量に應じて適當に路幅を決定するを要す。交通は年と共に増加するを普通とする。従て道路幅員も將來擴張を要する場合多く、一度改良せる所は再び之れをなすことは甚だ困難なる場合多きを以て相當將來を見越して幅員を決定するのである。

2. 横斷勾配

道路は單に之れを利用の點より見れば平坦なるを可とするも、路面排水の爲には之れに適當の横斷勾配を附さなければならない。此の勾配は其の道路を通過する車輛の種類、氣候、路線の線形、縦斷勾配並びに鋪裝の種類等に依つて夫々考慮しなければならないが、是等の條件に對し適當なる規定を設くるは極めて困難なるを以て、我國に於ては鋪裝の種類に依つて大體次の如き標準を定めてゐる。

路面の種類	横斷勾配	
土砂道	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{25}$
砂利道	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{25}$
水締マカダム道	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{30}$
瀝青マカダム道	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{40}$
瀝青コンクリート道	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{50}$
セメント・コンクリート道	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{50}$
煉瓦道		
木塊道		

石塊道	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{50}$
シート・アスファルト道	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{60}$

要するに横斷勾配は急なる程路面の排水良好にして、土砂道、砂利道等の如く吸水性の路面には急なる勾配を必要とする。然し横斷勾配急なる時は交通車輛を中央に集中せしめ、路面の磨耗を促進し、且つ堅硬にして平滑なる路面に於ては、横滑りして危険である。故に勾配率は路面の排水に差支なき程度に於て出来るだけ平にするが宜ろしい。

横斷勾配は中央を高く兩側を低くするのが普通で其の形狀は二直線式、或は弧線の交叉形、又は圓弧の一部、楕圓形、拋物線形等を用ひるも後者を最も普通とする。

坂路に於ける横斷勾配は平地より緩にして、交通車輛の容易に上り得る様にする。次式は縦横斷勾配の關係を表はせる二三の實驗式である。

アンドリュウ・ローズウォーター (Andrew Rosewater) 氏の式

アスファルト鋪裝の如き平滑の路面には

$$C = \frac{W(100 - 4f)}{5,000}$$

マカダム、石、其の他比較的表面の平滑ならぬ路面には

$$C = \frac{W(100 - 4f)}{6,000}$$

C = 勾配の總高

W = 道路の幅員 (呎)

f = 縦斷勾配 (百分率)

又バルチモアの規定 (Baltimore rule) は

煉瓦、石、及木塊には

$$C = \frac{\text{幅員}}{1,600} (20 - \text{勾配百分率})$$

又塊舗装にあらざる一枚打ちの舗装には

$$C = \frac{\text{幅員}}{600} (9 - \text{勾配百分率})$$

3. 屈曲部に於ける横断勾配

高速度車輛をして速度を減ずる事なく道路の曲線部を安全に通行せしむるため鐵道に於てカントを附するが如く、曲線部の外側を幾分高く路面を片勾配となし、遠心力に依つて起る顛覆或は滑動を防ぐのみならず車輛をして路幅均等に走らしめ、路面の片減を防ぐのである。

片勾配の度合は道路の屈曲半径、車輛、路面の構造及び通行すべき車輛の速度等により異なる。道路は軌道鐵道の如く同一の車輛がほぼ等しき速度にて走ることなく車輛の種類も非常に異り又速度も異なるのである。従て道路を通る總ての車輛に都合よき片勾配を附することは不可能である。

理論上車輛が屈曲部を或る速度で走るとき路面の摩擦を考へずに單に遠心力に平衡するだけの片勾配を附けるとすれば

$$F_1 = \frac{W}{g} \frac{V^2}{R} \quad (\text{第 32 圖参照})$$

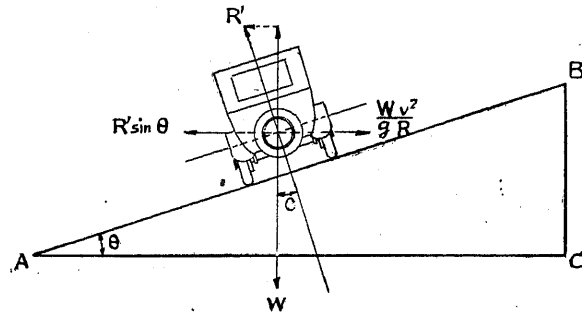
F_1 = 遠心力

W = 車輛の重さ (積荷の重さも含む)

V = 車輛の速度

R = 屈曲半径

g = 重力による加速度



第 32 圖

車輛が水平と θ の角度をなしてゐる。斜面上に止まる時の斜面の方向の分力 (F_2) は

$$F_2 = W \tan \theta$$

斜面上の車輛が遠心力と平衡を保つと考へるときは、遠心力 F_1 と斜面を滑り落んとする力 F_2 とは等しくなければならぬ。

$$\therefore \tan \theta = \frac{V^2}{gR}$$

此の關係を實際に應用し得る様に簡単にすれば

$$e = \frac{V^2}{15R} \quad (\text{近似値})$$

e = 道路幅員 1 呎に對する高度 (呎) (高度とは片勾配の高のこと)

V = 車輛の速度 (哩/時)

R = 道路中心線屈曲半径 (呎)

若し曲線を度によりて表すときは

$$e = 0.0000117 DV^2$$

D = 曲線の度

更にメートル式とするときは

$$e = 0.0079 \frac{V^2}{R}$$

e = 1 メートルに對する高度 (メートル)

V = 速度 (浬/時)

R = 屈曲半径 (メートル)

以上は路面の摩擦について考へてゐないが、車輛と路面との間の摩擦抵抗を多少考へに入れ、米國アイオワ大學教授アツグ氏は次の様に算出し、理論的勾配より少なき勾配を採用した時の安全度の檢出をする方法としてゐる。

$$W \tan \theta = \frac{WV^2}{gR} - PWf$$

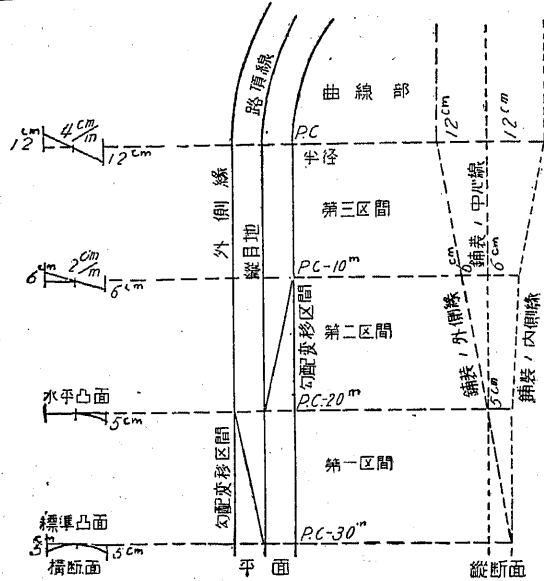
$P =$ 後車輪に來る荷重と車輛總荷重との比

$f =$ 車輪と路面間の摩擦係數

依て

$$e = \frac{V^2}{15R} - Pf$$

次の表は車輪と路面との摩擦係數に就て、アイオア大學にて測定した結果である。



第 33 圖

摩擦係數表

	乾燥路面		濕潤路面		
	四輪出發時	滑動時平均	四輪出發時	滑動時平均	
セメント・コンクリート(施工後2年)	0.77	0.74	0.75	0.71	
〃 (施工後5年)	0.74	0.68	0.82	0.76	
アスファルト・コンクリート	0.85	0.80	0.86	0.82	
ビチユリシツク	0.73	0.67	0.72	0.67	
木 塊	0.84	0.99	0.73	0.48	
煉瓦	モノリシツク	0.88	0.84	0.65	0.30
	砂 目 地	0.86	0.82	0.66	0.60
	アスファルト目地	0.95	0.89	0.71	0.65
砂 利 道	0.65	0.61	0.63	0.57	
土 砂 道	0.68	0.65	0.59	0.52	

我國では緩急兩速度車輛を考慮して中心線の半徑300米以下の場合には、通常次の如き標準で片勾配をつけることにして居る。

半 徑	勾 配
100米未滿	$\frac{1}{12}$
100米乃至150米未滿	$\frac{1}{15}$
150米乃至240米未滿	$\frac{1}{20}$
240米乃至300米	$\frac{1}{25}$

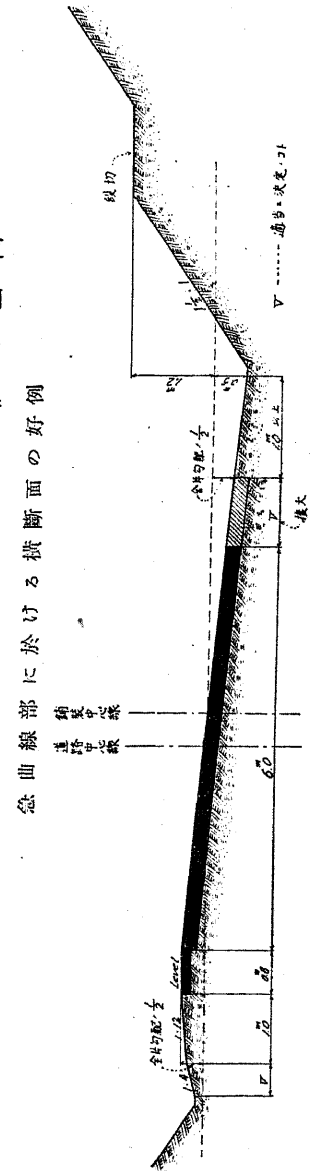
而して片勾配は特殊の箇所を除く外前後直線部に於て少なくとも10米につき0.1米の割合で漸次摺付け、曲線の初め及び終りに於て片勾配の總量を附すること第33圖及び第34圖に示す通りである。

片勾配の外國の例を見るに、米國では中心線の半徑90米迄は $\frac{1}{12}$ の片勾配とし90~180米にては $\frac{1}{16}$ を使用するもの多く、西班牙にては半徑30米の時は $\frac{1}{50} \sim \frac{1}{100}$ の勾配を付せば、緩急兩速度の交通に對して大なる支障なしとしてゐる。

4. 路幅の擴大及び緩和曲線

高速度交通の安全の爲道路の曲線部に片勾配を付すると同時に、又曲線部の路幅を相當擴大しなければならない。

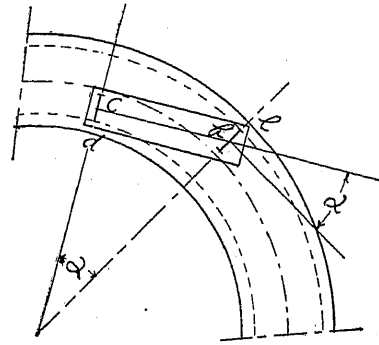
屈曲部の路幅の擴大を要する原因は大體二つある。其の一は屈曲部を通る車輛の後輪は前輪より内側に片寄ることにより、他の一つは曲線部特に鋭角を廻るに際しては、安全の



第 34 圖

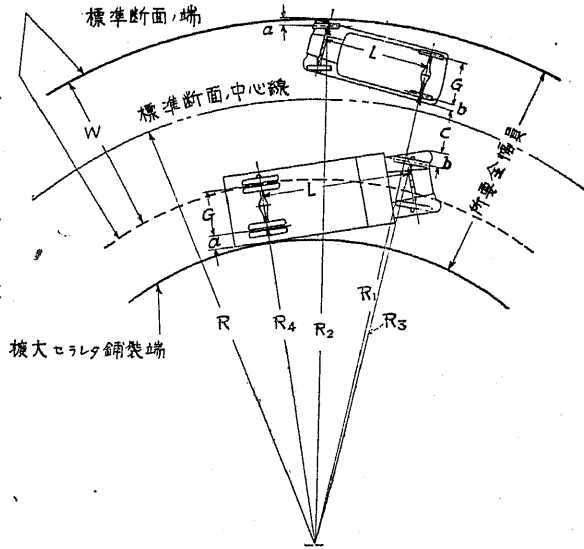
爲遠心力に對抗して餘裕をとり一般に其の内側を通行せんとする傾向あるに依る。其の他速く走するためには直線部より多くの車輛間の間隔がなければならぬ。

自動車が屈曲部を廻轉するときは、後軸の延長線上に中心を置く故曲線部の幅員は第 35 圖に示す様にして計算することが出来る。而して前車軸に於て車の中



第 35 圖

- R = 舗装の標準断面の中心線の半径
- W = 舗装の標準断面の幅員
- a = 舗装の端と之れに最も近寄れる車輪の中心との間隔 (普通乗用自動車では 0.45 米、貨物自動車では 0.5 米を取る)
- c = 車輛間の間隔
- L = 車軸と車軸の間隔 (軸距)、(普通乗用自動車では 3.6 米、貨物自動車では 5.1 米を取る)



第 36 圖

- G = 車輛の軌間 (輪距)、(普通乗用自動車では 1.4 米、貨物自動車では 1.5 米を取る)
 - b = 車輛の車輪外に出る部の長さ (乗用自動車では 40 糎、貨物自動車では 45 糎を取る)
- $$R_2 = R + \frac{1}{2}W - a \quad (R_1 + G)^2 = R_2^2 - L^2 \quad R_1 + G = \sqrt{R_2^2 - L^2}$$
- $$R_1 = \sqrt{R_2^2 - L^2} - G \quad R_3 = R_1 - (c + 2b) \quad (R_4 + G)^2 = R_3^2 - L^2$$
- $$R_4 + G = \sqrt{R_3^2 - L^2} \quad R_4 = \sqrt{R_3^2 - L^2} - G$$
- $$\text{所要全幅員} = R - R_4 + a + \frac{1}{2}W \quad \text{所要擴大量} = R - R_4 + a - \frac{1}{2}W$$

心線と進行方向との角度は軸距の長さによるのであるが、大體 19~30° 位である。

曲線部の路幅の擴大に對し一般に使用せらるゝ大體の公式は次のポーシェル氏 (Voshell) の式である。

$$w = 2[R - \sqrt{R^2 - L^2}] - \frac{35}{\sqrt{R}}$$

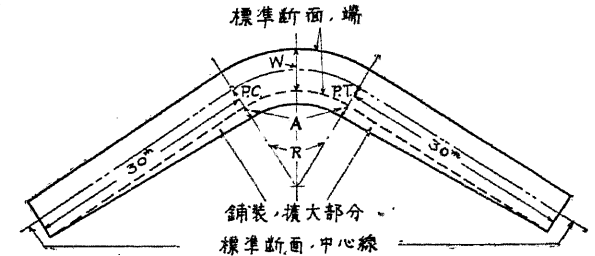
上式に於て w は擴大幅 (呎)、 R は曲線の半径 (呎)、 L は車輛の軸距 (呎) にして、軸距は車により異なれども道路の設計には大きなものを採用し乗用車には 3.6 米、貨物自動車には 5.1 米位のものを採用する。

又第 36 圖及び其の説明の如く、二車線道路に於て稍精密に擴大量を算出することが出来る。

次に自動車が高速度にて屈曲部を通過せんとする時、直線より屈曲部に移る點に於て幾分動搖を感じるのである。此の動搖は車輛の速度に比例し、曲線の半径に逆比例して大きくなる。故に直線部と曲線部との連結箇所並びに對稱横斷勾配より片勾配に移るべき點には、鐵道に於けるが如く緩和曲線を入れて車輛に對する動搖を減ずることもあり、又簡単に直線で結ぶ場合もある。

曲線部に於ける簡單なる路幅擴大方法

- R = 舗装の標準断面の中心線の半径
- $P.C.$ = 曲線の終點
- $P.T.$ = 曲線の起點
- W = 舗装の標準断面の幅員
- A = 曲線部に於ける



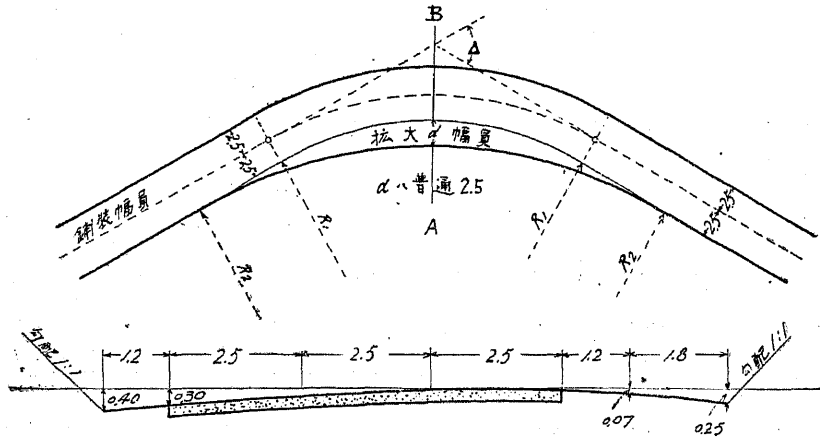
第 37 圖

擴大せられたる舗装幅員

30 米 = 切線部に於ける擴大部の長さ

注意: 切線部に於て擴大せる舗装端の線は、曲線の起點に於ける擴大せられたる舗装端の曲線に正確に切線とはならぬ。然し其の切點は曲線の起點に極く近いのであるから實際には其の點にて結んでも些したる支障はない。

屈曲部に於ける幅員擴大部と普通直線部との取付けを、直線又は圓弧緩和曲線にて組合せる場合は第37圖第38圖及び第39圖に示してある。小半径の屈曲部に於ては、擴大量大きく圓弧の長さ小に失するを以て、其の緩和曲線を用ひること困難なるを以て、一般に圓弧緩和曲線は半径60米以上の場合に採用される。



断面 A-B

第 38 圖

曲線部に於ける舗装部の幅員擴大

(ロサンゼルス地方道協會)

R_1 = 曲線半径より標準舗装幅員の $\frac{1}{2}$ を減ぜるもの

$$R_2 = R_1 + \frac{d}{e \sec \frac{\Delta}{2}}$$

d は曲線部の擴大量で 0.75米から 2.5米 の間に採られる。曲線部の舗装の片勾配及び幅員の擴大は、曲線の半径及危険の度合に依つて異なる。

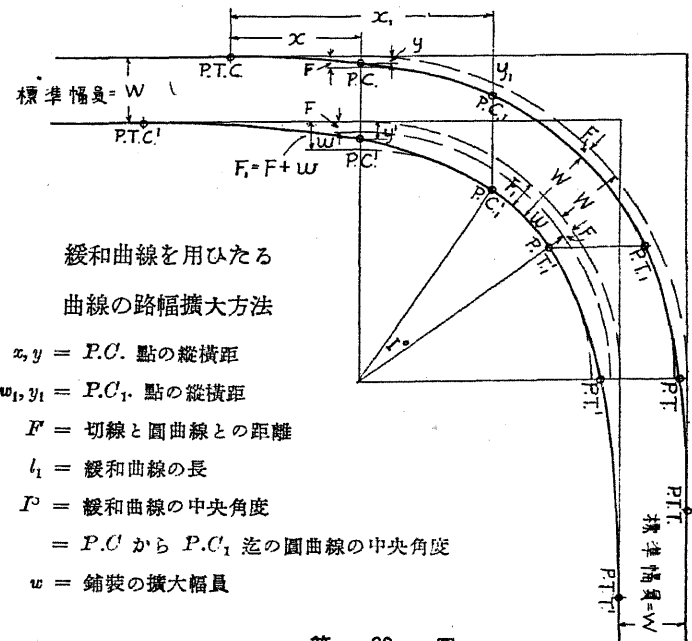
従來の如く牛馬車交通を主とする頃には曲線部に於ける路幅の擴大も餘り必要でなく、又屈曲部も單に圓弧の曲線挿入せるのみにして大なる支障もなかつたが、追々と自動車の發達につれ是等に就いては充分考慮する必要が生じて來た。我國の如き山國に於ては擴大も緩和切線の長さも充分取り得ない場合が多い。道

路構造に関する細則に次の規定を設けて居る。

屈曲部中心線の半径 300 米以下の場合に於ける道路の幅員は、其の屈曲部の内側に於て次の標準に依り之れを擴大すべし。

曲線の半径	擴大すべき幅員
20 メートル 未滿	20 メートル
20 // 乃至 30 メートル 未滿	1.5 //
30 // 乃至 45 // 未滿	1.2 //
45 // 乃至 60 // 未滿	1.0 //
60 // 乃至 120 // 未滿	0.8 //
120 // 乃至 180 // 未滿	0.5 //
180 // 乃至 300 // 以下	0.3 //

前項規定に依る擴大部分の兩端と其の前後直線部との取付けには緩和切線を用ひ其の長さは次の標準に依るべし。



緩和曲線を用ひたる

曲線の路幅擴大方法

x, y = P.C. 點の縦横距

x_1, y_1 = P.C₁ 點の縦横距

F = 切線と圓曲線との距離

l_1 = 緩和曲線の長

P = 緩和曲線の中央角度

= P.C から P.C₁ 迄の圓曲線の中央角度

w = 舗装の擴大幅員

第 39 圖

曲線の半径 (米)	緩和切線の長 (米)
45メートル 未滿	30メートル 以上
45 " 乃至 60メートル 未滿	25 " 以上
60 " 乃至 120 " 未滿	22 " 以上
120 " 乃至 180 " 未滿	20 " 以上
180 " 乃至 240 " 未滿	18 " 以上
240 " 乃至 300 " 以下	16 " 以上

5. 排水側溝

道路には普通兩側に排水溝を設け路面の排水をなすと共に雨水の路面床に滲入するを防ぐ。側溝には箱型、L型、U字型等あるが地方道路に於ては何れも掘り放しのもの多く、従つて勾配急なる地には稀に粗石積などゝする。掘り放しの側溝には概ね道路側を緩勾配とし排水に充分なる断面と深さを與へ適當の縦勾配を附し、適當なる所に之れを集め道路敷外に放流せしむるのである。路面は附近水流水面上より少しく高くし路床の害さるゝことなからしむ。

第四節 縦断勾配

道路の縦断勾配の車輛に及ぼす影響は種々あるも大體次の四である。

- (1) 勾配急となるに従つて一定の力に對しては輸送力を減す。
- (2) 平地と同一速度で坂路を上るには大なる努力を要す。
- (3) 勾配急となるに従つて一定力に對しては其の速度を減す。
- (4) 勾配急となるに従つて車輛の磨損を増大す。

然し登坂に於て消費する機械的エネルギーの一部は、降り坂に於ける其の減少に依つて相殺せらるゝのである。

縦断勾配の決定に際しては交通の安全、便益、輸送費並びに其の築造費、維持費を考慮すると同時に又一面路面の排水を充分ならしむるやう適當に考究し、尙之れを利用すべき車輛の種類即ち自動車交通が主なるか、牛馬車交通が多きかを

知り是等に及ぼす勾配の影響を考慮し、更に舗装せんとする路面の種類に就いても充分研究の上決定しなければならない。

1. 自動車と縦断勾配

最近迄道路勾配を定めるに單に馬力のみを考へて定めて居つたのであるが、次第に自動車が發達して來るので兩方共に考へねばならぬことが多いのであるが、自動車の多くなるに従つて勾配、距離、屈曲、路面の種類状況等は其の燃料其の他運輸費に影響する所大きく、之等は道路設計上の基本的考へとなりつゝあるのであるが就中勾配は重大な關係を持つて居るのである。

最急勾配は交通を容易くすると云ふことより定まるのが普通で、最急勾配以下の勾配は土工を少くして工費を安くするのが利益か、距離を長くし勾配を緩にするのが利益かにより決定することが多い。而して其の比較決定には自動車を考ふるのであるが、自動車の構造が年と共に變り其の能率並びに使用する油(燃料用)等も重大な關係を持つて居るので、最も經濟的に勾配を決定することは困難なことである。

道路の勾配を主として自動車に適する様決定するにしても、自動車の構造は其の製造會社により異り又年々に進歩して來るので其の採用に迷ふのである。道路に適するやう車輪を改造すべきか、車輪に適する様道路を改築すべきかについては、約二世紀も以前に英國議會で盛に論議された問題である。今日迄は道路構造は自動車の出現により變化して來たのであるが、是から道路を造らうと云ふ場合には現在の車輪の大體構造並びに將來の傾向を考へてしなけれはならぬ。

坂路の勾配の決定には車輪の速働比(Gear ratio)を知る必要があるが普通輕乗用車では、舗装がしてあれば6%勾配では相當長い時でもギヤーを變へることが少く、10%で下段を使用し重い貨物車でも坂の相當長い時でも4%ではシフトすること少く、5%でギヤーを變へ8%で下段に移るのが普通である。勾配を決定するに先立ち、現在並びに近き將來にも適當であると信ずる標準車輛を想

定し置き是等の或るものが適當の條件のもとに通じ得る様に設計するのである。此の時には牽引係数を見出すに次のメーヤー (Myer) 氏の式を用ふることが出来る。

$$TF = \frac{28.2 B^2 SR}{D W}$$

TF = 牽引係数 (%) B = シリンダーの内径 (吋)

W = 荷重及車の重 (封度) S = 衝程 (吋)

D = 車輪の径 (吋) R = ギヤー比

路面抵抗 f (噸當り %) 勾配 g (百分率) とすると

$$f + g = \frac{28.2 B^2 SR}{D W}$$

此の式に於て R を除き夫々適當の標準數字を入れ R を算出し標準形の R との關係を比較し勾配を決定するのである。

又自動車の牽引力算出には次の式も普通用ひらる式である。

$$P = \frac{5.18364 B^2 SNR}{D}$$

P = 牽引力 (封度) N = シリンダーの數

T. R. Agg (Iowa State College of Agriculture and Mechanic Arts Official Publication No39 に依る) はハイギヤーで經濟的な速度で上り得る勾配、安全な速度で制動をかけずに下り得る勾配を經濟的勾配の標準として次の式を出してゐる。

$$\text{乗用自動車の上り勾配} \quad i_p = \frac{T}{10} - \frac{R}{10} + \frac{0.410}{L} (S_2^2 - S_1^2)$$

$$\text{貨物自動車} \quad " \quad i_p = \frac{T}{10} - \frac{R}{10} + \frac{0.481}{L} (S_2^2 - S_1^2)$$

$$\text{乗用自動車の下り勾配} \quad i_m = \frac{0.410}{L} (S_2^2 - S_1^2) + \frac{R}{10}$$

$$\text{貨物自動車} \quad " \quad i_m = \frac{0.481}{L} (S_2^2 - S_1^2) + \frac{R}{10}$$

S_2 = 大なる速度 (呎/時)

S_1 = 小なる速度 (呎/時)

R = 噸當り牽引抵抗

L = 坂路の長 (メートル)

T = 荷重 1 噸當り牽引力 (呎/噸)

上式中 ($S_2^2 - S_1^2$) を含む項は惰力を利用しつゝ運轉せし場合にして若し惰力を利用せず一様の速力にて走る場合は此の項は零である。 S_2, S_1, T, R を決定するときは長と勾配の關係を知ることが出来る。

若し馬力交通を主として設計せる坂を自動車下る場合は

$$L = \frac{0.431}{i_m - \mu'} (S_2^2 - S_1^2) \quad \mu' = \text{噸當り牽引抵抗率}$$

此の坂の長さが道路構造に関する細則に規定せる制限坂路長である場合は

$$L = \left(\frac{80}{10 + 3i_m} \right)^5 + 4i_m$$

此の二式より i_m 及 μ' を與へ坂路の初速と終りの時の速度の關係を知ることが出来る。

自動車が坂路を上るときは、費しただけの燃料に相當する仕事は位置のエネルギーに變化するのである。若し此の坂が餘り急でないならば再び下るときは位置のエネルギーは全部利用されるのであるが、經濟的勾配を越す様な急な坂では制動機を使用する必要がある故利用は其の一部分に過ぎない。其の上斯かる坂を上る爲めにはハイギヤー以外のギヤーを使用しなければならず、同じ高さを上るにしても燃料が多く要り不經濟である。斯る箇所には何れが經濟であるかは交通の量から節約し得る運轉費年額を算出して工費と比較し決定するのである。Agg 氏は機械の能率がガソリンの仕事當量、金利 (4%) 有利状態の繼續する年數 (年々自動車の構造、油の能率等も異なる故、永久に此の状態の續くものと考へることは出来ない、25 年と假定す) 等を假定して勾配緩和の費用算出方法を

次の如く示してゐる。

$$S_u = 24CV_a(MiL - i_p L_p)$$

S_u = 経済的上り勾配にする爲めに要する費用

C = ガソリン1ガロンの値段(弗)

V_a = 坂を上る一年間の交通量(単位百萬噸)

Mi = 勾配に使用したギヤに對するガソリンの使用量とハイギヤに對する夫れとの間の係數

L = i 勾配(平均)率と高さ H を有する坂路の長

L_p = i_p 勾配率を有する坂路の長

最も経済的の下り勾配は経済的上り勾配より常に小である。然して一つの坂には普通上りの車と下りの車とあるを以て此の點も充分考慮に入れ経済的のものを選定すべきである。

前と同様に下りの交通に適當する勾配にする爲に要する費用 S_d

$$S_d = 24CV_a(i_p L_p - i_1 L_1)$$

式中 i_1 は最も経済的上り勾配と下り勾配との中間勾配で L_1 は坂路 i_1 の長さである。

アンダーソン氏は單に勾配について考へ勾配緩和に要する經濟上工費算出に次の式によつてゐる。

$$A = \frac{CGT}{ERQ}$$

A = 投資さるべき金額

C = 燃料一ガロンの値段

E = 機關並に車輛の平均能率

G = 緩和さるゝ總高(呎)

Q = 燃料1ガロン當りの總エネルギー(呎・噸)

R = 金利

T = 1年間に坂を運び上る總噸數

此の式によると $T = 300,000$ 噸 $G = 50$ 呎 $E = 20$ $Q = 45,000$ 呎・噸/ガロン $C = 25$ セント $R = 4\%$ とすると 10,411 圓となり高 50 呎下げる爲めに投じ得る經濟上の工費にして、或は 10% 勾配の延長 500 呎の坂を除く爲めに投じ得る費用とも考らるゝのである。

2. 馬の牽引力と勾配との關係

馬力交通に於て坂路を上り又は下る場合之らぬ爲めには一般に次の式を満足せねばならぬ。

$$fw \cos \theta \geq w \sin \theta \pm RP \cos \theta + P \sin \theta$$

f = 蹄鐵と路面との摩擦係數 w = 馬の體重(kg)

P = 車輛の重み(kg) R = 車輪と路面との摩擦係數

θ = 坂の傾斜角 $C = P/w$ 荷重比

馬が車輛を挽き上げ得る勾配は次の式により得らる。

$$i = \frac{f - CR}{1 + C} \quad i = \text{勾配}$$

R 及 f は路面種類により異なるのみならず凹凸、狀況、溫度、濕度等により異なる。

馬の牽引力。牛馬の牽引力は其の體重及骨骼、荷重の付け方、訓練の程度、飼育の良否、路面の足掛りの良否、速力、勞働時間並びに其の間の休息時間將來の能率の程度等に依つて異なり、就中體重、速力及び勞働時間の長短が最も影響するのである。

而して馬の體重は 800 ~ 1,800 封度、即ち約 100 貫以上であつて種々の試験の結果足掛かりが良ければ馬は 1 日 10 時間、1 時間 2.5 哩の速度で 1 週 6 日間働くものとして大體其の體重の $\frac{1}{10}$ の牽引力を有すとペーカー氏(米國)は云つて居る。此の假定によると 1,500 封度の體重のある馬は毎秒 550 呎封度の仕事即ち

一馬力の仕事をするのである。獨逸では1日8時間~10時間の行程30軒以下なれば體重の $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{5}$ の牽引力を有すると云ひ、英國にては1日8時間、毎時2哩の速度で $\frac{1}{7}$ を出し得ると云ひ、各國夫々異つた見方をして居るが、前にも述べた通り種々の點で異なるので勞働烈しければ馬の壽命も短いのである。

以上は何れも長時間勞働の場合であるが短時間例へば出發の當初15米~30米位迄は其の體重の $\frac{1}{2}$ を出し得。急勾配の坂路で時間も短かく距離にして350米位迄は其の $\frac{1}{4}$ の力を出すことが出来、猶夫れ以上の勞働を爲さしむるときは180米~20米毎に休息所を設くる必要があるとペーカー氏は云つてゐる。

要するに馬の牽引力は勞

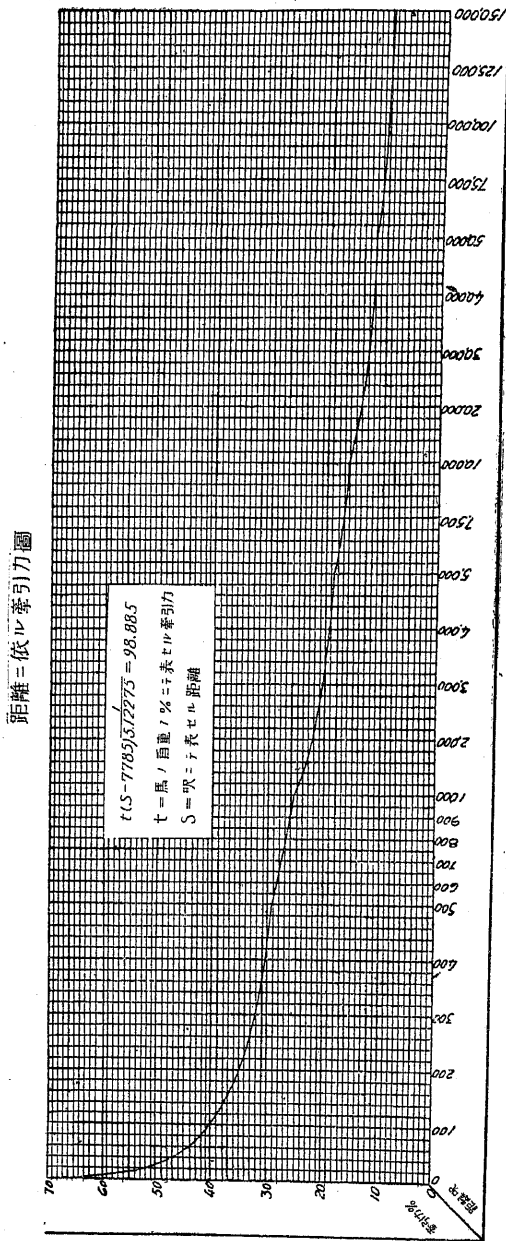


圖 40

働時間が減少すれば増加し、速度が増加すれば減少する。第40圖は馬の疲勞の程度を米國に於て實驗した結果より牧博士により算出された曲線にして馬の働く距離と牽引力との關係を示したものである。

馬の數を増加するも牽引力は頭數の割合に増加しない。大體二頭にて約95%三頭では85%となる。

坂路で馬の有效に働き上げ得べき牽引力は、馬自身の重さを坂路を沿うて引き上げなければならぬ故平地より減するのである。

今 $T =$ 坂路に於ける有效牽引力 $W =$ 馬の體重
 $t =$ 馬の平地に於ての牽引力を其の體重の百分率で表したのもの
 $g =$ 單位水平距離に對する坂の上り(勾配率)
 とすれば

$$T = tW - gW = (t - g)W$$

となる。若し馬の平均の牽引力を其の重さの十分の一とするときは $t = 10$ にして10パーセントの坂を上るとすれば馬自身の身體だけ上げることになる。即ち坂路に於て馬の出し得る牽引力は、平地で出し得る牽引力と坂の勾配率に自重を乗じたものとの差である。

坂路に於ける最大荷重。或る荷物を働き上げんとするとき、上式による有效牽引力は路面と車との間の摩擦係數並びに荷重を引き上げる力である故

$L =$ 荷重 $\mu =$ 道路の抵抗係數 とすれば

$$(t - g)W = \mu L + gL$$

而して $L = \frac{t - g}{\mu + g} W$

$$\text{又 } \frac{L}{W} = C \quad C = \frac{t - g}{\mu + g} \quad 1 + C = \frac{t + \mu}{g + \mu}$$

$$g + \mu = \frac{t + \mu}{1 + C} = \frac{W}{L + W} (t + \mu)$$

前表でも見る様に勾配の影響は、摩擦多い路面よりも少ないもの程多く、路面を改良すればする程勾配の影響が大きくなるのである。例へば表 II により 3% の勾配の鐵軌條上を單に平地のときの 10% を引き得るに過ぎないが、水縮マカダム道では 3% の勾配のときは水平のときの 25% を引くことが出来る。

馬の道路上特に急坂を引き上げ得る最大荷重は、勾配及抵抗に必ずしも比例せず、馬の脚掛りの良否に依るのであるから之れを考へ入れなければならない。

3. 最大縦斷勾配

道路の設計に當つても、其の道路の交通状況と工費とを考へて前述の方法により適當な最大勾配を決定して置くことが最も必要なことである。最大勾配を決定するには上り下り兩勾配を考へなければならぬ。上り勾配は轆く力を考へ、下り勾配にも速度の増加より來る危険防止を主として考へなければならぬ。自動車は馬車の上り得る坂は上れる様な構造に出來て居るから、兩者共用する一般道路には馬車についてのみ考へて支障ない。

最大勾配は路面抵抗、馬の力、運搬すべき單位荷重等から決定さるゝのであるが、地形沿道の状況其他より決定さるゝ場合も相當多い。上り勾配で馬の引き上げ得る荷重、勾配率等により最急勾配の長さが定まるのであるが、坂路が長過ぎる場合には相當長さの休み場を設くるのである。車輛引き出しの力は動いてゐる時の力の四、五倍の力を要するのであるから、休み場の勾配は殆んど平なものでなければならぬ、下り勾配は主として安全のため急に轉げ落ちぬ様な勾配にするのであるが、車の種類、滑油の性質、荷重、車の大きさ等により異なるのであるから道路の状況にのみよることが出来ない。

我が國に於ては道路構造令に於て「國道の勾配は $\frac{1}{30}$ 、府縣道の勾配は $\frac{1}{25}$ より急なる事を得ず。特殊の箇所には前項勾配を $\frac{1}{15}$ 迄、山地にして已むを得ざる箇所には長さ 40 間以内に限り $\frac{1}{10}$ 迄となす事を得」とある。更に其の細則には次の如く規定されてゐる。

勾配 $\frac{1}{25}$ より急なる坂路の長さは左の式に依り算出せる制限を越ゆる場合に在りては、其の制限長以内毎に $\frac{1}{50}$ より緩なる長さ 40 米以上の區間を設くべし。

$$S = \left(\frac{80}{10+3i} \right)^5 + 4i$$

S = 制限長 (米)

i = 勾配 (百分率)

前項の勾配二以上連続する坂路に在りては、其の勾配に對する制限長の比例に依り之れを一勾配の坂路の長さに換算し前項の規定を準用す

獨逸に於ては山地にては 6%、丘陵部にては 4%、平地にては 3% とし、英國は山地 6%、丘陵部 3.5% とし、ベルギーにては平地に於ては 3%、山地に於ては 5% とす。之れに對して米國は州道路中幹線にては、5~6%、支線は 5~7% とし、特殊の場合に 9~11% を許して居る。

4. 最小縦斷勾配

交通運輸上からのみ考ふれば水平道路が最良であるが、其の維持即ち路面排水に對しては幾分勾配を付けた方がよいのである。此の勾配をを最小縦斷勾配と云ふのである。

一般に道路は路面排水の爲適當なる横斷勾配を付け、路面の水を速かに側溝に排くのであるが、交通に依り轍跡を生じ之れが爲單に横斷勾配を設けたのみでは、路面の排水不完全な場合には道路に僅少の縦斷勾配を付して路面排水を良好ならしむるのである。

故に最小勾配率は路面が堅硬なる程其の必要少なく、例へば土砂道、砂利道等に於ては、其の表面に轍跡を生ずる事が多いから相當大なる勾配を要するのであるが、平坦なアスファルト道等を空氣タイヤを有する自動車が走る場合では、道路に轍跡を生ずることが少ない故其の必要も少ないのである。

我國に於ては $\frac{1}{100}$ 即ち 0.5% を以て標準とし、場合に應じて相當之を緩かに

する様にしてある。尙歐米に於ては水締碎石道に對し、英國にては $1\frac{1}{4}\%$ 、佛國にては 0.8% 、米國にては 0.5% を最小縦斷勾配として規定して居る。

5. 縦斷曲線

勾配率が急激に變化する場所には、縦斷曲線を挿入して自動車の如き高速度車輛の受くる衝撃を減じ、安全視距を大にして交通上の安全を期し且つ乗客の不愉快を去り、維持費を軽減し外觀をよくするのである。

時の頂にも適當なる安全視距を採りて交通の安全を計ることは既に述べた所であるが、安全視距は路面上 1.5 米の所に於て計り、適當長の縦斷曲線を入れるのである。

縦斷曲線は長き程車輛の進行を圓滑にし、不快の感じを與へず見た目も良いのであるが、山地部に於ては地勢上充分な長さを取り得ないことが多いのである。我國に於ける道路構造の細則には次の如く定めてある。

縦斷曲線の長

勾配の代数差	主要なる區間		其の他の區間	
	平地部	山岳部	平地部	山岳部
$\frac{1}{100}$ 乃至 $\frac{3}{100}$ 未満	30メートル以上	30メートル以上	30メートル以上	10メートル以上
$\frac{3}{100}$ 乃至 $\frac{5}{100}$ 未満	60 " 以上	30 " 以上	30 " 以上	10 " 以上
$\frac{5}{100}$ 乃至 $\frac{8}{100}$ 未満	80 " 以上	50 " 以上	50 " 以上	20 " 以上
$\frac{8}{100}$ 乃至 $\frac{10}{100}$ 未満	90 " 以上	60 " 以上	60 " 以上	20 " 以上
$\frac{10}{100}$ 以上	90 " 以上	80 " 以上	80 " 以上	30 " 以上

縦斷曲線には圓又は拋物線を用ひるのであるが、施工上便利なのと實際上充分な長さを求められる場合が多い關係上拋物線が多く使用せらる。縦斷曲線に拋物線を入れる方法の一二を示して見る。

縦斷曲線の計算方法

百分率で表はされた g_1 及 g_2 勾配の道路が交會して居る場合、之れを AVB

とする。是等の勾配が極く緩である場合は縦斷曲線を入れる必要がない。

第 42 圖に於て拋物線の中點 C は V と M との中央にあり M は A と B との中央にある。今 $VA = VB$, $l = AC = CB$ ($2l =$ 曲線の長), $e = VC$ = 頂點 V から曲線の中點までの距離とする。

A を基準として V の高さは $g_1 l$, 此の場合 g_1 (又は g_2) は百分率で表はされた勾配率、即ち長 100 呎に對する勾配の昇り又は降り (呎にて表はさる) であつて、昇り勾配では (+), 降り勾配では (-) とする。

V を基準とせる場合

$$A \text{ の高さ} = -g_1 \times \frac{l}{100}$$

$$B \text{ の高さ} = g_2 \times \frac{l}{100}$$

$$M \text{ の高さ} = \frac{1}{2}(g_2 - g_1) \times \frac{l}{100}$$

$$C \text{ の高さ} = \frac{1}{4}(g_2 - g_1) \times \frac{l}{100}$$

$$\text{故に } e = \frac{1}{4}(g_2 - g_1) \times \frac{l}{100} = \frac{1}{8}(g_2 - g_1) \times \frac{2l}{100}$$

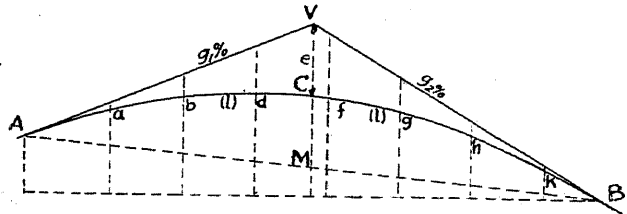
今 -3% 勾配と $+5\%$ 勾配とが接續して居て、拋物線の長 = 400 呎 とすれば

$$e = \frac{1}{8}\{5 - (-3)\}$$

$$\times \frac{400}{100} \text{ 呎} = 4 \text{ 呎}$$

となる。又 -1%

の勾配と -5% 勾



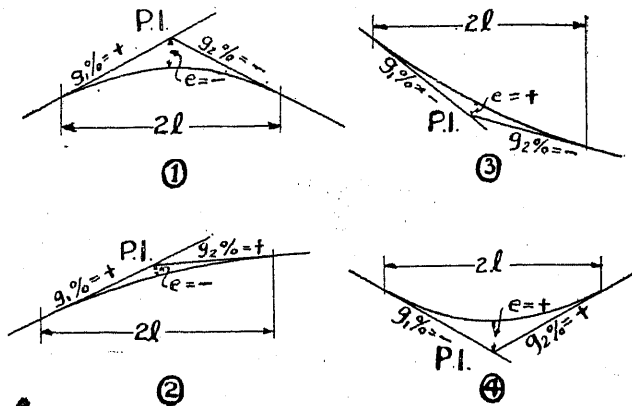
第 42 圖

配とが接續して居て拋物線の長さが 300 呎であるとすれば

$$e = \frac{1}{8}\{-5 - (-1)\} \times \frac{300}{100} = -1.5 \text{ 呎}$$

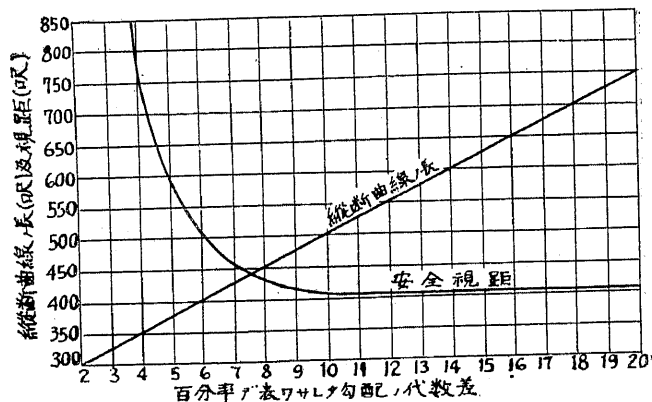
若し e が正であるときは曲線の中點は勾配の頂點の上にあるのであるから、曲

線の各点の高さは切線の高さに其の地點の高さを加へたものになる。又 e が負である時は曲線の中點は勾配の頂點の下になるのである。(第 43 圖参照)



第 43 圖

AV 線から曲線への枝距は A からの距離の自乗に比例して變化する。同様に BV 線から曲線への枝距は B からの距離の自乗に比例するのである。



第 41 圖

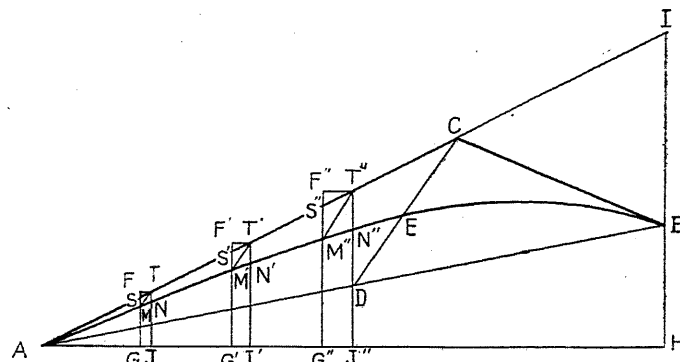
例、今 $+4\%$ 勾配と -6% 勾配とが $27+40$ なる點にて接続して其の高さが 608.20 であり、縦断曲線の長さを 400 呎とする時、拋物線の中點への勾配の頂點からの距離 $= e = \frac{1}{8} \{-6(-4)\} \times \frac{400}{100} = -5.0$ 呎
 又曲線の始點 A の高さ $= 600.20$
 曲線の終點 B の高さ $= 592.20$
 とすれば拋物線の各點の高さは次の表の如くなる。

拋物線の長 $= 400$ 呎 $l = 200$ 呎 $e = -5.0$ 呎

測 點	切線の高さ	$\frac{x}{l}$	枝 (-) 距	曲線の高さ
25+40 (P.O.)	600.20	0	0	600.20
+50	600.60	0.05	$(0.05)^2 \times 5 = 0.01$	600.59
26+00	602.60	0.3	$(0.3)^2 \times 5 = 0.45$	602.15
+50	604.60	0.55	$(0.55)^2 \times 5 = 1.51$	603.09
27+00	606.60	0.8	$(0.8)^2 \times 5 = 3.20$	603.40
+40	608.20	1	5.00	603.20
.....	$\frac{2l-x}{l}$		
+50	607.60	0.95	$(0.95)^2 \times 5 = 4.51$	603.09
28+00	604.60	0.7	$(0.7)^2 \times 5 = 2.45$	602.15
+50	601.60	0.45	$(0.45)^2 \times 5 = 1.01$	600.59
29+00	598.60	0.2	$(0.2)^2 \times 5 = 0.20$	598.40
+40 (P.T.)	596.20	0	0	596.20

拋物線の縦断曲線を用ひて其の切線の長さの異なる場合の曲線の位置及び高さを求むるには AB (第 45 圖) を二等分して D 點を求め、此の線と拋物線との交はる點を E とすれば拋物線の性質から $CE=ED$ となる。次に切線 AC を任意の等距離

に n だけに分け其の點を $T, T', T'' \dots T^n$ とする。之れより CD に平行に $TM, T'M, T''M'$ 線を



第 45 圖

引く。然らば是等の長さは拋物線の性質に依つて $TM = \frac{CE}{n^2}$, $T'M' = 4TM$, $T''M'' = 9TM$ である。 $\triangle ACD$ の三邊の値が既知であるから内角の値は計算し得る。従つて $\triangle FTM$, $\triangle FT'M'$, $\triangle FT''M''$ の内角の値が解るのであるから TM , $T'M'$, $T''M''$ の既知長を用ひて FT , $F'T'$, $F''T''$ 及 FS , $F'S'$, $F''S''$ の値を知り得。尙 $GJ = FT$, $G'J' = F'T'$ …… であり $FG = TJ$, $F'G' = T'J'$ …… であり TJ , $T'J'$ …… は計算し得るから G , G' , G'' 等の位置及 $TJ - FM$, $T'J' - F'M'$ 等に依つて曲線の高 GS , $G'S'$ 等が求められて GM , $G'M'$, 等の M , M' , M'' 等の位置が得られるのである。

尙曲線 EB に於ても前同様に計算するのである。