高速度自動車専用道路に對する勾配並に勾配制限長決定法の考察

交通部技佐　大　島　秀　信

第1章　緒　論

高速度自動車専用道路は自動車交通のみを行はしめる道路であるが故に、之が技術的構造に當りては自動車の交通經濟上その性能を最も良く發揮し得る如くせねばならぬ。而して現時の自動車性能の趨勢は高速度、大積載量への傾向を示しつゝあるのであつて、例へば前者に於ては100粁/時以上を普通とし、後者に於ては乘合自動車で100人乘り、貨物車で總重量30頓の如き大型重量車の現出せんとするの近狀である。從つて今後の高速度自動車專用道路は斯くの如き自動車の性能を充分發揮出來るやうにせねばならぬことは勿論であるが又同時に自動車運轉に關する經濟的考慮の拂はれたる構造とせねばならぬ。此處に必然的に斯かる道路の持つ技術的本質としては鋪裝の高級たると、線形の高速度に適したるべきことゝが要求されるものである。

自動車燃料經濟の點からしても高級鋪裝の必要なるは從來しばしば論議され、又實驗等によりても種々數字的に說かれおる所であるが、道路線形の問題が燃料經濟に及ぼす影響はあまり從來かへりみられなかつた所である。所がこの點に關し名古屋高工教授下山鑛一氏は雜誌內燃機關第二卷第十號に於てその實驗結果より、線形の良好ならざる鋪裝道に於ける燃料消費はかへつて線形の比較的良好なる土砂道に於けるよりも大となつた一例をあげて、大いに我々道路技術者の反考を促しておる。これ等を見ても今後の新道路築造に關する線形についてはかゝる方面からの考慮まことに必要にして、特にそれが自動車専用道路においておやである。

線形の問題の中經濟勾配の設計に關しては、既に Prof Agy 氏等によりて考究されておる所であり、(數字的結果は土木工學ポケットブック參照) 我國に於ても種々說かれてゐる所であるがこれ等は殆んど40粁/時～50粁/時 の既往自動車の經濟速度を標準とする算式にして高速度に於ける狀體に關しては充分なる發表なきやうである。

從つて直ちにこれ等の算式を以て高速度の場合に適用すること能はずと思考されるが故に、本稿に於ては高速度を出し得る自動車の型を想定し、之が安全且つ經濟に疾行し得る爲の勾配並にその制限長について考究せんとす。そもそも道路の勾配設計は交通車輛の機能に應じて合理的に決定さるべきであるが、何しろ自動車の構造は實に種々雜多にして且つその性能、消費燃料等も多種多樣である爲に、之等のすべてについて經濟的に勾配を決定するといふことは甚だ困難である。從つて先づこゝでは現在並に將來に於ても適當であると考へらる高速度自動車を想定し主として之について考へることゝする。

第 2 章　標準自動車の想定並に勾配の決定

第1節　高速度自動車專用道路築造規格の規定

想定自動車を考へるに當り高速度道路の築造速度標準を現時の自動車の性能と世界の趨勢とを考へて、假に次の如く定む。

平坦部　160 粁/時

丘陵部　140 粁/時

山岳部　120 粁/時

而して道路は高級にして、出來るだけ平滑なるコンクリート鋪裝なりとす。

從つて想定高速度自動車は 160 粁/時 を出し得る如き性能を要するを絕對條件とする事はいふまでもない。

第2節　馬　　力

車輛運行の際の所要正味馬力數をHとすれば

$$H=\frac{R.V}{75\times3.6\,\lambda}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

R：全走行抵抗　(kg)

V：車輛速度　(km/h)

λ：機關の傳達効率

卽ちHは走行抵抗Rに抗してVなる速度を以て進行するに要する實馬力(又は正味馬力といふ)を示すのであつて、等速進行中に於ける機關の軸出力は常に之と等しい大いさを示す。

第3節　走 行 抵 抗

自動車が走行中に於て生ずる抵抗の中で主なるものは、軸摩擦抵抗、廻轉抵抗、勾配抵抗、空氣抵抗、加速抵抗であることは云ふまでもないが、この中軸摩擦抵抗はボールベヤリングの裝置により、軸摩擦係數を非常に小にならしむることが出來、又加速抵抗は等速にて疾行中に於ては零なる故に、主として自動車所用馬力に影響する走行抵抗としては他の三つと考へ之をR_r, R_g, R_a とすれば

$$R=R_r+R_g+R_a\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

なり。

(i)　R_r：廻轉抵抗は又一面路面抵抗とも稱せられるものであり (イ)路面の凹凸による動搖、衝擊によるもの (ロ)進行に於ける輪帶の過壓と減壓とによる振動、熱の發生等によるもの、(ハ)路面の廻轉抵抗係數による摩擦力によるもの、(ニ)路面の沈下によるもの、(ホ)車輪の半徑輪帶巾の大小によつて起つて來るもの等が主に考へられるのであるが、この中該道路の如く平滑なるコンクリート鋪裝の如き堅固なる場合は(ニ)(ホ)は殆んど考慮するを要せず。又(イ)(ロ)(ハ)の中(ハ)の Factor は自動車の速度に關係なく路面と輪帶との性質によると考へられるが(既存概念からすれば明に速度には無關係であるべきであるが、車輛速度が相當高速になるとこの係數も變化するのではないかと思はれるが未だ疑問のまま殘されてゐる)(イ)、(ロ)は一般に速度に關係する Factor であるとされ、ノイマン等も速度に依つて變化するものであるといつておる。而して各種の實驗の結果を見るに大體速度の自乘に比例すると考へるのが適當な樣である。

從つてR_rは次の樣な形で表はされる

$$R_r=(fW+f_1wV^2)\times1000\quad kg$$

W：車輛の總重量　(噸)

次に參考の爲f_1に關する實驗式の二三をあげて見るに藤井博士の"道路の改良(第十五卷第一號)"に掲載せるものは

$$f_1=0.75\times10^{-6}\times r^{0.46}$$

r：路面凹凸係數　（cm/km）

而してこの式は砂利道程度の道並に速度が普通の30粁/時—40粁/時 に於ては適合すると考へられるが、高速度良道路の場合には不適と思はる。ノイマンも亦低速度不良道路に於ては相當大なる値を示すが良道路高速になればあまり差異はないといつてをる等よりして見てもこの式をそのまゝ適用することは出來ぬ。

又"内燃機關(第二卷第九號)"に發表しある下山鑛一氏の實驗結果を見るに氏は1934年型5人乘箱型乘用車を使用して種々の道路狀體に應じて 10 粁/時～80 粁/時の範圍で等速實驗せる結果次の數値を適當なりとしてゐる。

アスフアルト、ブロツク鋪裝

$f=0.011 \quad f_1=(0\sim0.02)\times10^{-6}$

コンクリート鋪裝

$f=0.011 \quad f_1=(0\sim0.04)\times10^{-6}$

良好土道

$f=0.017 \quad f_1=(0.73\sim0.75)\times10^{-6}$

凹凸多少ある土道(バラス大體埋る)

$f=0.020 \quad f_1=0.82\times10^{-6}$

凹凸多い土道(バラス大體埋る)

$f=0.020 \quad f_1=(1.2\sim1.33)\times10^{-6}$

の如し。之等の數字を見ても明に道路狀況の悪くなればなるほどf_1の値は增大し高級なる道路に於てはあまり影響なき事が分る。尙ほこの實驗數値は速度80粁/時 の範圍に於て行はれたると、路面凹凸係數との考究に於て關係づけられてゐない點に於て些か不充分なる所ありと私考され、100粁/時を目標とする高級鋪裝道路の考究に於て適合され得るや否や又疑問なり。これに關しては今後試驗鋪裝道路築造の下に更に實驗研究されるべき必要ありと思はれる。而し此處に於ては R_r の値としては一應下記の理由

卽ち

イ、f_1の値は高級道路、高速度（100粁/時以上）になるに從つて減少されると考へられ之による抵抗は他の勾配抵抗、風壓抵抗に比してNeglisibleと考へられる。

ロ、コンクリート道路のゴム輪帶との廻轉摩擦係數 f は大體0.0075～0.015の間にある。

ハ、下山氏の實驗に於て f ＝ 0.011 としており、ノイマンの道路工學に掲載せる米國の實驗に於ては路面抵抗係數(R_r/1000.W)を道路鋪裝の平滑にして堅固なる場合の最小はやはり 0.011 であるといつてゐる。而し Richard Bussien の行へる實驗ではコンクリート鋪裝で 0.010 なる値であるとしてゐる。

以上の資料に基いて今 R_r の中速度に關係するものはあまり影響せざるものと考へ

$$Rg=(0.011W)\times1000=11W \quad kg$$

を採用するものとす。

（ii） R_d ：勾配抵抗は坂路に於て起るもので今勾配を i ％とすれば

$$Rg=1000.\ W.\ \sin\theta$$

$$\fallingdotseq 1000.\ W.\ \tan\theta=1000.\ W.\ i \quad kg$$

但しθは水平となす坂路の角度

（iii） R_a：空氣抵抗は一般にV^2に比例すると考へられ次の形で表はされる事は異論なき所である。

$$R_a=\mu.A.\ V^2$$

V＝車輛速度(粁/時)

A＝車輛前面投影面積(m^2)

μ＝風壓抵抗係數

但しR_aは無風狀體に於けるものとす

R_aの値は速度が大になればなるほど全走行抵抗中

の大なる部分を占めることになるのであつて、車輛の型の如何卽ち流線形なるか否かは非常な關係を有するものである。今自動車の種類によつてこれ等の係數を次の如く考ふ。

μの値（內燃機關第二號第十卷に依る）

一般貨物車　　0.005

流線形乘用車並に乘合自動車　0.0012

Aの値（機械工學ポケツトブツク）

一般貨物車　　$3.2\ m^2$

乘　用　車　　$2.25m^2$

乘合自動車　　$4.0\ m^2$

而る時はR_a次の如し

流線形乘用車　$R_a=0.0012\times2.25V^2=0.0027V^2$

流線形乘合車　$R_a=0.0012\times4.0V^2=0.0048V^2$

貨物自動車　$R_a=0.005\times3.2V^2=0.016V^2$

（iv）R：全走行抵抗は以上により(2)式より次の値を得る。

想定乘用車：　$R=11.W+10.i.W+0.0027V^2$ ……………（3）

〃 乘合自動車：$R=11.W+10.i.W+0.0042V^2$ ……………（4）

〃 貨物自動車：$R=11.W+10.i.W+0.016\ V^2$ ……………（5）

第4節　勾 配 の 決 定

前述の如く高速度の考究の意味を以て乘用自動車に關する方面のみからすることゝし、今現時自動車工業の狀體より考へて想定自動車は

H＝100馬力（最大）

n＝3800/每分（最大馬力の時）

の性能を持つものとす。機關出力は一定として最大出力の場合の各速度に於て登り得る勾配を求むれば

（1）と（3）より

$$H=\frac{(11+10i)WV+0.0027V^3}{75\times3.6\,\delta}\cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

卽チ　$$i=\frac{75\times3.6H\,\delta-0.0027V^3-11.W.V}{10.\ W.\ V}\cdots(7)$$

この式に於て今W＝2.0頓　$\delta=0.90$として、iを求めて見ればTab. 1の如し

Tab. 1

W	H	V	i
2,0	100	160	3,0
2.0	100	140	4.9
2.0	100	120	7.1

上のiの値は速度の如何にかゝはらず、機關の廻轉はかはらずして機關出力は常に最大値を出しておるとした場合の値であるが實際問題としては、自動車の變速裝置は連續的に行はれるものでなくて、段階的なるを以て、機關の廻轉數卽ち機關の出力を一定に保つを得ず。又その機關最大出力を以て運轉するは不經濟なり。從つて上表の各iに對してそれに相應するVの値を以て登り得る爲には更に機關に餘裕馬力を有せしむるか、勾配を緩にするか或は勾配の制限長を規定するかの何れか又は之等の併用を行はねばならぬ。而して他の貨物重量車等の運轉經濟を考へる時は勾配を更に緩にせる方が良好（車輛重量大となれば勾配抵抗の馬力に及ぼす影響は非常に大となることは(5)式よりも分るのであるが此處では省略す）なる結果となるを以て一應こゝに於て考へる自動車專用道路の勾配を

平 坦 部　　2.5%

丘 陵 部　　4.0%

山 岳 部　　6.0%

と考へ、而る時この想定自動車の性能を以てしても尙ほ勾配制限長を要するや否やを次章に吟味す。

第 3 章 經濟勾配並ニ勾配制限長の決定

第 1 節 理 論

自動車交通に對する經濟勾配の設計は車輛の機能に應じて速度と燃料との經濟方面から次の條件を滿足するとこが必要であつて、この方法は Prof. Agg 氏の發表せるものである。

A：坂路を上る際にはギヤーを變更することなく。前の勾配を下る際に蓄積した運動量を利用し、その車輛に應ずる經濟速度の範圍內に於て登り得る勾配及びそれに對する勾配制限長を有すること。

B：坂路を下る際には何らの驅動力を要せず且つ制動をも行はず而も道路の構造以上の不安なる速度に達しないで下り得る勾配及びそれに對する勾配制限長を有すること。

以上二つの條件は車が燃料消費經濟から見たる經濟速度の範圍內に於て適用されるべきが本則であるが、車輛に高速度の要求される場合にも卽ちその速度が燃料消費から見た絕對經濟速度ではなくとも、經濟理論として適用することが出來る。卽ち換言すれば如何なる進行速度の場合に於ても、それが規定されたる速度の範圍內で、下坂に於て降るにブレーキを用ひざれば、それだけ燃料は經濟であり、又上坂に於ても所要速度を常に high gear にて登り得る如くすれば Gear を變更する場合よりも燃料經濟となるはいふまでもない。（之が數字的には現在調査中）、かゝる意味を含めての經濟勾配を前述の如き想定乘用自動車の高速度に於て考へんとす。

第 2 節 下 り 勾 配

第 1 項 式 の 誘 導

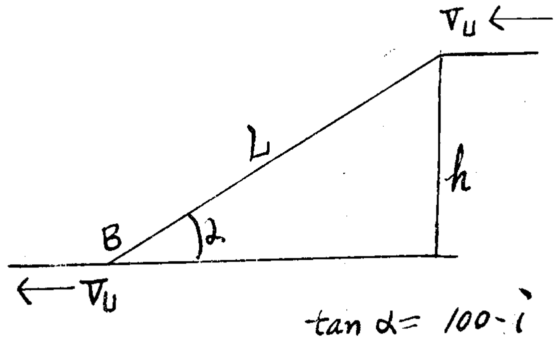
V_u ：坂路の頂部に於ける速度 (km/h)

V_d ：坂路の下部に於ける速度 (km/h)

i ：勾配(%)

L ：勾配の長(m)

W：車の重量(ton)



Aに於て機關のスウイツチ並にクラツチを切斷し、ブレーキもかけざるものとして energy 法に依つて導けば次の如し（"道路の改良"第十五卷第十一號藤井博士述參照）

Aに於ける Kinetic energy と Potential energy との總和

$$E_1 = \frac{1000}{2.g}.W, \left(\frac{V_u}{3.6}\right)^2(1+k)+1000.W.h$$

$$k = \frac{\text{車輪の廻轉エネルギー}}{\text{車輛の進行エネルギー}}$$

g＝重力の加速度m/sec²

$$h = 100.i.L$$

$$\therefore$$

$$E_1 = \frac{1000(1+k)}{2\times3.6^2g}WV_u{}^2+10iWL$$

同樣にBに於ける保有 energy は

$$E_2 = \frac{1000(1+k)}{2\times3.6^2g}WV_d{}^2$$

AからBに行く間に速度は V_u より V_d に等加速度的に變化せりとする時のなせる總仕事量は

$$Q=\int_0^L R\cdot dx=\int_0^L\left[11WL+\mu A\left\{V_d+\frac{(V_d-V_u)x}{L}\right\}^2\right]dx=11WL+\frac{(V^2_u+V_uV_dV_d{}^2)}{3}\mu AL$$

R：全走行抵抗

然る時は　$E_1-Q=E_2$　なるにより

$$\left\{(10i-11)W-\frac{(V^2_u+V_uV_d+V_d{}^2)}{3}\mu A\right\}L$$
$$=\frac{1000(1+k)}{2\times 3.6^2 g}W(V^2_d-V^2_u)\cdots\cdots\cdots(8)$$

(8) 式は速度、勾配及びその制限長の關係を示す式で之を吟味すれば次の三つの場合が考へられる。

（i） 坂部に於ける重力による作用力がこの場合の走行抵抗より大なる樣な勾配では$V_u<V_d$となり、この時の制限長を ${}_A L_D$ とすれば

$$_AL_D=\frac{\frac{1000(1+k)}{2\times 3.6^2 g}(V^2_d-V_u{}^2)W}{(10i-11)W-\frac{(V_u+V_uV_d+V_d{}^2)}{3}\eta A}\cdots\cdots\cdots(9)$$

（ii） 重力による作用力がその場合の走行抵抗と等しい勾配では車は等速運動を行ひ$V_u=V_d$にしてその大いさは次式で與へられる。

$$i_o=1.1+\frac{\mu AV^2}{10W}\cdots\cdots\cdots(10)$$

（iii） 重力による作用力がその場合の走行抵抗より小となる勾配では減速運動となり$V_u>V_d$にして、減速するまでの距離を ${}_B L_D$ とすれば

$$_BL_D=\frac{\frac{1000(1+k)}{2\times 3.6^2 g}(V^2_u-V^2_d)W}{(11-10i)W+\frac{(V^2_u+V_uV_d+V_d{}^2)}{3}\eta A}\cdots(11)$$

今二つの速度V_1V_2を考へ($V_2>V_1$)そのときのi_oを(10)式に於て夫々 $i_1\ i_2$ とすれば (9)式に於ては$V_d=V_2$、$V_u=V_1$ にして i_2なる勾配に於ては、勾配の長さがいくら長くなるとも車輛の速度は V_2 より大となることはない、從つて速度增大に伴ふ危險を防止し、安全速度で降らんとする場合の制限長はi_2より大なる勾配の場合に考慮され、(11)式に於ては$V_d=V_1V_u=V_2$にして i_1なる勾配に於ては坂路がいくら長くとも V_1 より減速されず。從つて坂部に於て所定範圍外の速度降下を防止せんとする場合の制限長はi_1より小なる勾配の場合にのみ考慮すればよい。而してi_1とi_2との間の勾配に於ては坂路の長に無關係に自動車速度は V_1とV_2との範圍內を出でず安全に而もあまり速度の降下をも來さず降り得るのである。換言すれば道路の構造並に地勢に應じて車輛速度が $V_1\sim V_2$範圍で規定されおるとするとき、$i_1\sim i_2$ の範圍の勾配に於ては長さに於て何等の制限もされず理想的であるといひ得る。

(9) (10) (11)の一般式と (3) (4) (5) の自動車の種類による式とを結びつけて次の計算式を得る。

a） 乘用車の場合(一般に$k=0.05$)

$$i_1=1.1+\frac{0.0027V_1{}^2}{10W}\quad i_2=1.1+\frac{0.0027V_2{}^2}{10\ W}$$

$$_AL_D=\frac{4.13(V_d{}^2-V_u{}^2)W}{(10i-11)W-0.0009(V_u^2+V_uV_d+V_d^2)}$$
$$V_d=V_2\quad V_u=V_1\quad i\geqq i_2\cdots\cdots\cdots(12)$$

$$_BL_D=\frac{4.13(V^2_u-V^2_d)W}{(11-10i)W-0.0009(V^2_u+V_uV_d+V_d{}^2)}$$
$$V_u=V_2\quad V_d=V_1\quad i\leqq i_1\cdots\cdots\cdots(13)$$

b） 貨物車の場合(一般に$k=0.10$)

$$i_1=1.1+\frac{0.016V_1{}^2}{10W}\quad i_2=1.1+\frac{0.016V_2{}^2}{10W}$$

$$_AL_D=\frac{4.33(V_d{}^2-V_u{}^2)W}{(10i-11)W-0.0053(V_u^2+V_d+V_d{}^2)}$$
$$V_d=V_2\quad V_u V_1\quad i\geqq i_1\cdots\cdots\cdots(14)$$

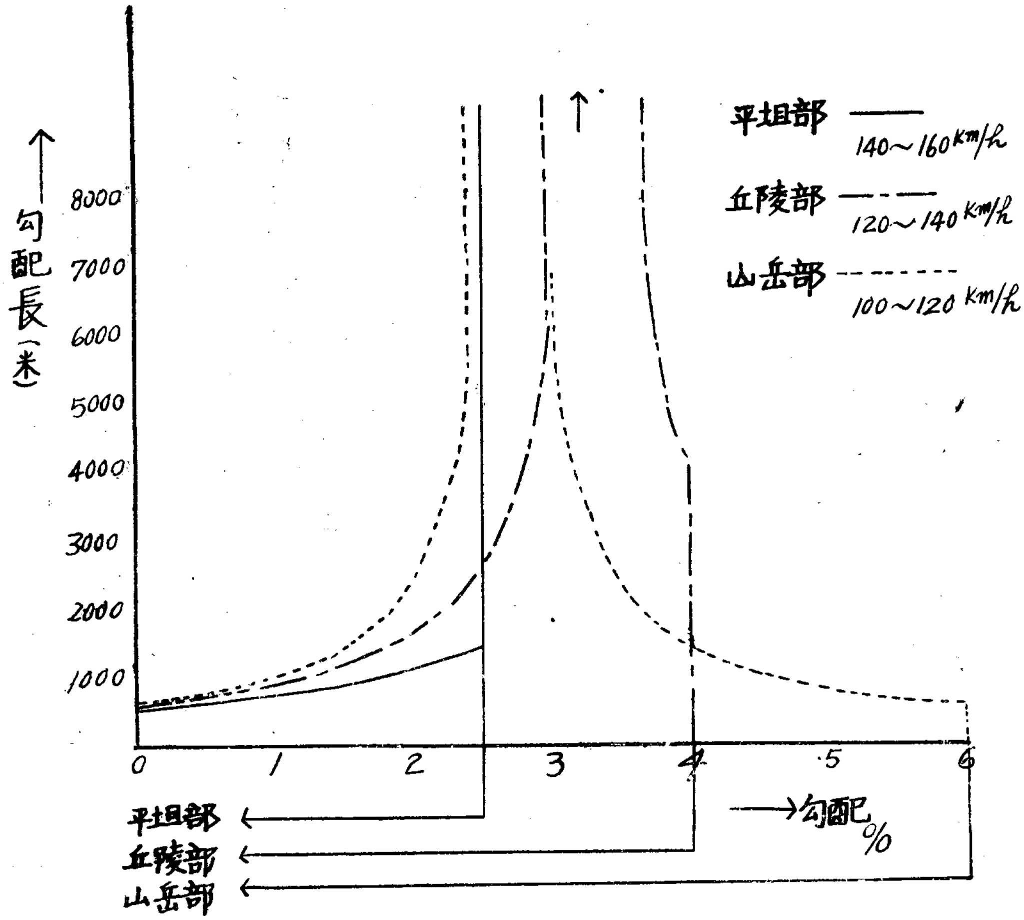
$$_BL_D=\frac{4.33(V_{u\,2}-V_d{}^2)W}{(11-10i)W+0.0053(V_u^2+{}_uV_d+V_d{}^2)}$$
$$V_d=V_2\quad V_u=V_1\quad i\leqq i_1\cdots\cdots\cdots(15)$$

c） 乘合自動車の場合(一般に$k=0.10$)

$$i_1=1.1+\frac{0.0048V_1{}^2}{10W}\ i_2=1.1+\frac{0.0048V_2{}^2}{10W}$$

$$_AL_D=\frac{4.33(V_d{}^2-V_u{}^2)W}{(10i-11)W-0.0016(V_u^2+V_uV_d+V_d{}^2)}$$
$$V_d=V_2\quad V_u=V_1\quad i\geqq i_2\cdots\cdots\cdots(16)$$

$$_BL_D=\frac{4.33(V_u{}^2-V_d{}^2)W}{(11-10i)W+0.0016(V_u^2+V_uV_d+V_d{}^2}$$
$$V_u=V_2\quad V_d=V_1\quad i\leqq i_1\cdots\cdots\cdots(17)$$



第I図　下リ勾配ニ於ケル
制限長

第 二 項　勾配並に制限長の計算

高速度自動車道路の規格に從つて速度の範圍を次の如考ふ

Tab 2.

	$V_1 \sim V_2$	勾配
平坦部	140粁/時~160粁/時	2.5%以下
丘陵部	120 ~ 140	4%以下
山岳部	100 ~ 120	6%以下

例を先に想定せる乘用車に取り前節a)の式によつて表を作れば次の如し。

Tab 3

V	W	i_0
160	2.0	4.5
140	2.0	3.7
120	2.0	3.0
100	2.0	2.4

(i) 平　坦　部

Tab 3.によりこの場合は$i_2=4.5\%$　$i_1=3.7\%$ 而るに平坦部に於ては 2.5 % 以下なる勾配なるを以て $_AL_D$は要せず $_BL_D$ は　$i \leqq 2.5 \angle i_1=3.7$ なる勾配に於て考へれば可なり。この場合の制限長を圖表せば第I圖(實線カーブ)の如し。

(ii) 丘　陵　部

$i_2=3.7$　$i_1=3.0$

丘陵部は4%以下なるを以て ${}_AL_D$ は $4.0\geqq i\geqq 3.7$ の範圍に於て ${}_BL_D$ は $i\leqq 3.0$ の範圍に於て考へれば可なり、この時の制限長は第I圖（鎖線カーブ）の如し。

(iii) 山　岳　部

$i_2=3.0$　$i_1=2.4$

山岳部は6%以下なるを以て

${}_AL_D$ は $6.0\geqq i\geqq 3.0$

${}_BL_D$ は　$i\leqq 2.4$

の間の勾配を考へれば可なりこの場合の制限長は第I圖(點線カーブ)の如し。

以上想定乘用車に於て高速度の場合に置けるものの計算例を示したのであるが貨物車、乘合自動車に關しても同じことを行へば同樣に經濟的勾配及び勾配制限長が考へられるのであるが、こゝに於ては繁雜の爲省略す。

第3節 上り勾配

第1項 式の誘導

前述の Prof, Agg 氏の理論により Gear を變更せずして V_d より V_u への速度變化を許して坂を登らんとす。

坂の下部に於ける Kinetic energy は

$$E_3=\frac{1000(1+k)}{2\times 3.6^2 g}WV_d{}^2$$

頂部に於ける Kinetic energy は

$$E_4=\frac{1000(1+k)}{2\times 3.6^2 g}WV_u{}^2$$

L なる區間に於ての車輪周邊の機關の出し得る驅動力を V_u の時 T_u V_d の時 T_d とすればこの間になす仕事量は

$$S_1=\left(\frac{T_u+T_d}{2}\right)\cdot L$$

走行抵抗に打ちかちてなせる仕事量は

$$S_2=\int_0^L R\cdot dx=11WL+10iWL+\frac{(V_u{}^2+V_u V_d+V_d{}^2)}{3}\mu AL$$

然る時

$E_3+S_1=E_4+S_2$　なる關係より

$$\left\{11W+10iW+\frac{(V^2{}_u+V_u V_d+V_d{}^1)}{3}\mu A-\frac{T_u+T_d}{2}\right\}\cdot L=\frac{1000(1+k)}{2\times 3.6^2 g}W(V_d{}^2-V_u{}^2) \quad\cdots\cdots(18)$$

(18) 式は速度、勾配及びその限制長の關係を示すがこの場合も下り勾配の時と同じく次の三つの場合が考へられる。

(i) 坂部に於ける全走行抵抗が機關の出し得る驅動力より大なる場合

$V_d>V_u$ にして

$${}_AL_u=\frac{\frac{1000(1+k)}{2\times 3.6^2 g}(V_d{}^2-V_u{}^2)W}{(10i+11)W+\frac{(V_u{}^2+V_uV_d+V_d{}^2)}{3}\mu A-\frac{T_u T_d}{2}} \quad\cdots\cdots(19)$$

(ii) 坂部に於ける全走行抵抗が驅動力と等六場合

$V_d=V_u$ にして

$$i_o=\frac{T}{10W}-\frac{\mu AV^2}{10W}-1.1 \quad\cdots\cdots(20)$$

(iii) 坂部に於ける全走行抵抗が驅動力より小なる場合

$V_d<V_u$ にしてそれに要する長さは

$${}_BL_u=\frac{\frac{1000(1+K)}{2\times 3.6^2 g}(V^2{}_u-V^2{}_d)W}{\frac{T_u+T_d}{2}-(10i+11)W-\frac{(V_u{}^2+V_uV_d+V_d{}^2)}{3}\mu A} \quad\cdots\cdots(21)$$

今二つの速度 V_1, V_2 を考へ($V_2>V_1$)その時の i_o を i_1, i_2 とすれば下り勾配の場合と同理により(19)式に於ては $V_d=V_2$ $V_u=V_1$ にして制限長即ち坂を登る際に速度があまり低下せず所定の範圍內で登り

得る長さはi_1より大なる勾配に於てのみ考慮され、(21)式に於ては $V_d=V_1 V_u=V_2$ にして速度があまり増加せず所定の範圍内の速度に達する長さ(之は普通制限長としては考へぬ)は i_2 より緩なる勾配に於てのみ考慮すれば可なり。$i_1 \sim i_2$ の間では速度 $V_1 \sim V_2$ と規定されたる道路の構造上からは勾配の長さには無關係である。

尙ほ前記各式に於ける Tの値は速度によつて、又機關の機能によりて異なるものであるが故に、理論的に之を一樣に決定することは甚だ困難であるが一應之が算出基礎を次項に於て述べんとす。

(19)(20)(21)一般式と(3)(4)(5)の自動車の種類によるものとを結びつければ次の計算式を得る。

a) 乘用車の場合

$$i=\frac{T_1}{10W}-\frac{0.0027V_1^2}{10W}-1.1 \qquad i_2=\frac{T_2}{10W}-\frac{0.0027V_2^2}{10W}-1.1$$

$${}_A L_u=\frac{4.13(V_d^2-V_u^2)W}{(10i+11)W+0.0009(V_u^2+V_uV_d+V_d^2)-\frac{T_1+T_2}{2}}(V_d=V_2,V_u=V_1,i\geqq i_1)\cdots\cdots(22)$$

$${}_B L_u=\frac{4.13(V_u^2-V_d)W}{\frac{T_1+T}{2}-(10i+11)W-0.0009(V_u^2+V_uV_d+V_d^2)}(V_D=V_1,V_u=V_2,i\leqq i_2)\cdots\cdots(23)$$

b) 貨物車の場合

$$i_1=\frac{T_1}{10W}-\frac{0.016V_1^2}{10W}-1.1 \qquad i_2=\frac{T_2}{10W}-\frac{0.016V_2^2}{10W}-1.1$$

$${}_A L_u=\frac{4.33(V_d^2-V_u^2)W}{(10i+11)W+0.0053(V_u^2-V_uV_d+V_d^2)-\frac{T_1+T_2}{2}}(V_d=V_2,V_u=V_1,i\geqq i_1)\cdots\cdots(24)$$

$${}_B L_u=\frac{4.33(V_u^2-V_d^2)W}{\frac{T_1+T_2}{2}-(10i+11)W-0.0009(V_u^2+V_uV_d+V_d'^2)}(V_d=V_1,V_u=V_2,i\leqq i_2)\cdots\cdots(25)$$

c) 乘合自動車の場合

$$i_1=\frac{T_1}{10W}=\frac{0.0048V_1^2}{10W}-1.1 \qquad i_2=\frac{T_2}{10W}-\frac{0.0048V_2^2}{10W}-1.1$$

$${}_A L_u=\frac{4.33(V_d^2-V_u^2)W}{(10i+11)W+0.0016(V_u^2+V_uV_d+V_d^2)-\frac{T_1+T_2}{2}}(V_d=V_2,V_u=V_1,i\geqq i_1)\cdots(26)$$

$${}_B L_u=\frac{4.33(V_u^2-V_d^2)W}{\frac{T_1+T_2}{2}-(10i+11)W-0.0009(V_u^2+V_uV_d+V_d^2)}(V_d=V_1,V_u=V_2,i\leqq i_2)\cdots(27)$$

第2項 驅動力Tの算出式

今次の如き附號を用ふ

(築山著"自動車工學,,、アルス"內燃機關,,に依る)

H:正味馬力 P:圖示平均有効壓力(kg/cm²)

P' =μ·P:正味平均有効壓力(kg/cm²)

H' =H·δ:制動馬力

η:機械効率

μ:傳導効率

B:Cylinderの內徑(cm) S:衝程(cm)

n:機關廻轉數(每分) N:Cylinderの數

Gt:全變速比

T : G_t の場合に於ける驅動力(kg)

M : 機關廻轉力(kg.m)

とすれば四衝程式機關に於ては

$$H=\frac{\pi\eta PB\delta^2 nN}{8\times60\times75\times100}\cdots\cdots\cdots(28)$$

によりて馬力數を求めることが出來る、又廻轉力と馬力數との間には

$$75H=\frac{n}{60}\times2\pi M \quad \text{なる關係あり}$$

$$\text{從つて}\quad M=\frac{60\times75H}{2\pi n}\cdots\cdots\cdots(29)$$

車輪の直經をD cm とすれば機關の出力は車輪の周邊に驅動力を生ぜしめるが故に、

$$75\lambda H=\frac{n}{60G_t}\times\pi\times\frac{D}{100}\times T$$

$$\therefore\quad T=\frac{60\times75\times100\delta HG_t}{\pi nD}=$$

$$\frac{200\lambda G_t M}{D}\cdots\cdots\cdots(30)$$

(28)と(30)とより又

$$T=\frac{\lambda\eta PB^2SNG_t}{8D}\cdots\cdots\cdots(31)$$

このTの値に對して車の出し得る速度は

$$V=\frac{6n\pi D}{10000G_t}\cdots\cdots\cdots(32)$$

(30)と(32)とより

$$H=\frac{T\cdot V}{75\times3.6\lambda}\cdots\cdots\cdots(33)$$

卽チこの式はTなる驅動力でVなる速度を出す爲にはH馬力を要することを示し、車がVなる等速運動をなしおる時は　T=R　なることを示す。

こゝにRは全走行抵抗を示すは勿論である。

以上の式を見るに一つの機關について、ある回轉數の時の出力がわかれば任意の廻轉數に於ける出力が(28)式により決定され、從つて(30)式よりその時の驅動力Tが算出され得るのであり。又 G_t を假定すれば(32)式によつて廻轉數と速度との關係がわかる故に任意の速度に於ける驅動力は知れる筈である。

そこで今廻轉數 n_o なる場合に最大實馬力 H_o を出し得る機關を考へて見れば

$$H_o=\frac{\pi\eta PB^2Sn_oN}{8\times60\times75\times100}=Kn_o$$

$$K=\frac{H_o}{n_o}\cdots\cdots\cdots(34)$$

從つてn廻轉の時には

$$H=Kn\cdots\cdots\cdots(35)$$

なる關係によつて任意の廻轉數に於ける出力を求め得る。而し之は機關の出力が廻轉數に比例して變化するとした時であるが實際に於ては、その機關に特有なる性能曲線の示す如くHはnの小なる間では殆んど直線的に增大すると考へられるが、nが大となれば次等に凸曲線的變化をなし、ある廻轉數に到れば遂に出力は最大となりそれよりnを增せばかへつて出力低下の現象を示す。而して之は機關の種類によりて種々異なる爲理論的にnとHとの關係を求むるのは甚だ困難なるも今(34)式は實際には次の如き形で表はさると考ふ

$$H=K(1+\gamma)n\cdots\cdots\cdots(36)$$

こゝに γ は又nの函數である。

然らは

(36)と(30)とから

$$T=\frac{60\times75\times100\times(1+\gamma)\lambda KG_t}{\pi D}\cdots(73)$$

或は又(31)式の形で表はせは

$$T=\frac{\lambda\eta P_o B^2SNG_t}{8D}(1+\gamma)\cdots\cdots\cdots(38)$$

P_o は n_o なる時の圖示平均有効壓力なり。

γ は機關の廻轉數によりて變化するのであるが、それがあまり高速とならざる範圍内卽ち出力が廻轉數に略比例する範圍内に於ては γ は殆んど一定數なりと考へられ、實驗的に $\gamma=0.28$ と見做し得べし從つて(37)式は $T=\frac{60\times75\times100\times1.28\lambda KG_t}{\pi D}\cdots(39)$

なる關係式によりて驅動力Tを出れ得る。

第3項　高速度、High Gear に於け

るTの算出

Gear を變更ぜずしてHigh Gearのまゝにて坂を登る場合に於ける驅動力の變化を考察するに Gear を變更せざれば機關の回轉數がかはらぬ限り速度は低下しないのであるが、坂路に於て抵抗が增加するも Gcar の變更を行はざれば自然に Eugine brake がかゝる事になつて廻轉數は低下す。廻轉數が低下すればそれにつれて又出力の低下を來し從つて驅動力Tは低下し、益々速度は低下することになる。これがある限度に達すれば Gear の變更を必要とするわけである。

廻轉數低下による驅動力の低下は(37)式によりて示されるが經濟速度の範圍內に於ては驅動力は一定と見做し得べくそれは(39)式によりて算出し得。

そこで今前記の如き想定乘用車に例を取りて高速度の場合に於けるものを考へるに、この機關の有すべきHigh Gear 比を G_h とすれば(32)式より

廻轉數低下による驅動力の低下は(37)式によりて示されるが機關の經濟廻轉速度の範圍內に於ては High Gear のまゝでは驅動力は一定と見做し得べくそれは(39)式によりて算出し得。

そこで今前記の如き想定乘用車に例を取りて高速度の場合に於けるものを考へるにn_o =3800 H=100の性能を持つ高速機關に於ては大體回轉數 1600～2600の範圍內を常時 High Gear に於て使用するものとす (かゝる機關に於ては燃料經濟の最大なるは1600～1700と考へらる。)

而るときこの自動車の持つべき High Gear比を G_h とすれば(32)式より

$$G_h = \frac{6n\pi D}{10000V}$$

$n=2600/\mathrm{min} \quad D=82\mathrm{cm}$

$V=160\ \mathrm{Km/h}$

$$G = \frac{6\times 2600\times \pi \times 82}{10000\times 160} = 2.51 \cdots\cdots (40)$$

かゝるGear比のまゝで 100km/h～160km/h の速度變化をせしめたる時機關の出し得る驅動力 Tを求めんに、この回轉數の範圍內では $T_1=T_2=T$ と見做し得べき故(39)式より

$$T = \frac{60\times 75\times 100\times 1.28\times \lambda \times G^h}{\pi D}\times K$$

$$= \frac{60\times 75\times 100\times 1.25\times 0.90\times 2.51}{82\times \pi}\times \frac{100}{3800}$$

$$= 133\ \mathrm{kg} \cdots\cdots\cdots\cdots (41)$$

第4項 勾配制限長の計算

(41)式と(22)(23)式とにより高速度乘用車について計算例を示す、速度範圍は Tab 2 の如し。

Tab 4

V	W	T	i_o
160	2.0	133	2.1
140	2.0	133	2.9
120	2.0	133	3.6
100	2.0	133	4.2

(i) 平 坦 部

Tab 4 により $i_2=2.1\%$ $i_2=2.9\%$

而るに平坦部に於ては$i\leqq 2.5\%$ なるべきにより $_1\geqq i_1$なる勾配は存せず$_A L_u$ を必要とせず、$_B L_u$ は$i\leqq 2.1\%$ なる勾配に於て考へれば可なり。この場合を圖表せば第II圖實線カーブの如し。

(ii) 丘 陵 部

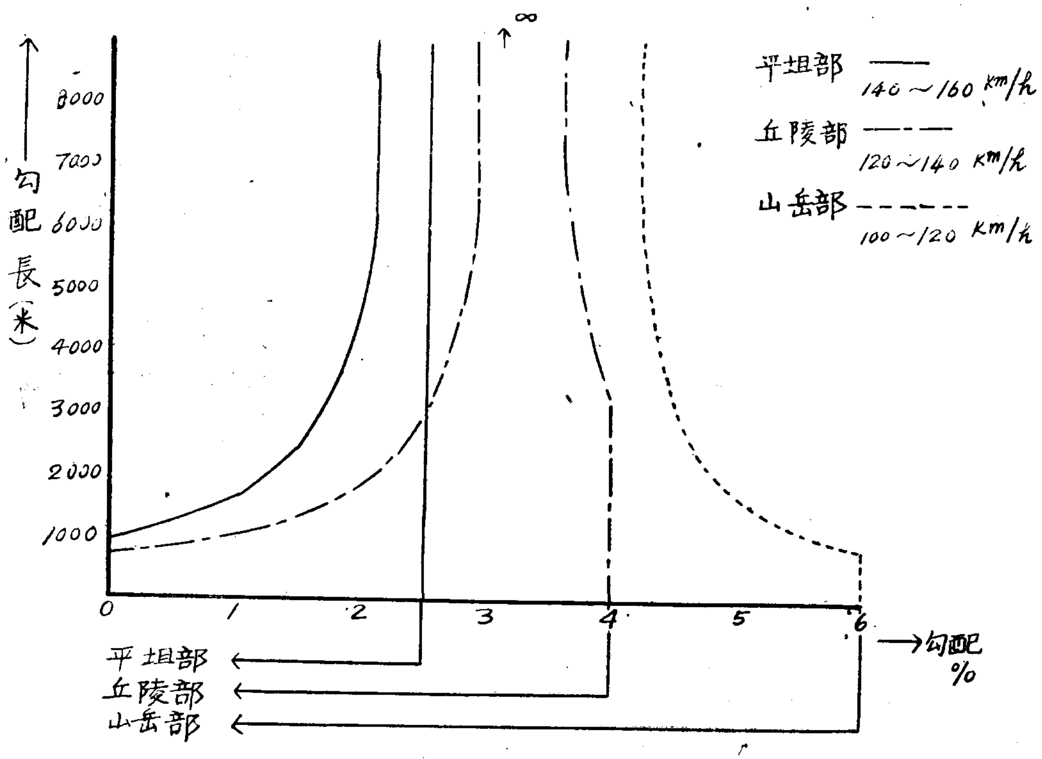
$i_2=2.9\%$ $i_1=3.6\%$

$i\leqq 4\%$なるべきにより$_A L_u$ は$4.0\geqq i\geqq 3.6\%$の範圍に於て又$_B L_u$ は$i\leqq 2.9\%$の勾配に於て考慮せば可なり。第II圖鎖線カーブの如し。

(iii) 山 岳 部

$i_2=3.6\%$ $i_1=4.2\%$

$i\leqq 6\%$なるべきにより$_A L_u$ は$6.0\geqq i\geqq 4.2\%$に於て又$_B L_u$ は$i\leqq 3.6\%$の勾配に於て考慮せば可なり、第II圖點線カーブの如し。



第五図　上リ勾配ニ於ケル制限長

第四章　結　言

以上に於て大體經濟勾配並に制限長の決定法に關し高速度想定乘用車に例を取りての結果を得たのであるが、乘合自動車、貨物自動車についても現時の高馬力、高速度の趨勢に從つて適當に想定せば同樣なる方法によりて規定することが出來る。

尙ほ實際に當りては勾配を緩にしたり、制限長を設けたりすることは時として築造費の增大を來すべきにより、何れが經濟となるかを更に比較研究するを要する。又道路の構造、勾配等が決定さるれば、かかる道路に適する最も經濟的な自動車の型及び性能も上記の計算を逆に考へれば想定し得る。

上記上り勾配の計算に於ては機關の常時廻轉を1600～2600の高度に考へたるも、絕對的燃料の經濟の點からは更に低速が望まるべく、又Diesel engine等に於ては更に一層、機關の高回轉は燃料經濟の範圍内にては望まれざる故に車輛高速度の要求に於ては Over speed gear の構造が將來期待さるべきであらう。かゝる車輛にては上述計算例より以上の勾配制限長を加へらるべきであるが、之等に關しては次の機會にゆずることとする。

尚ほ上記に於ては機關の經濟回轉範圍を相當廣く考へ所要速度變化を High Gear のまゝにて行はしめるとして考慮せるも、途中に於て一回の Gear の變更を許して考慮する時は尚ほ一層經濟的なる範圍に於て機關を利用することが出來るが故に事實何れが燃料經濟的なるかは今後の比較研究にまつこととしたい。