



自動車交通に對する經濟勾配に就て

藤 井 眞 透

1 總 論

道路勾配の設計は交通車輛の機能に應じて之を合理的に定むべきものである。

而して自動車は牽引力大であつて相當急なる坂路も上り得べく、特に急坂路で大なる牽引力を要する場合はギヤを變更して之を得べく、また坂路を下る場合はブレーキを用ひて加速度を低減し得られる機能を備へてゐる。

荷馬車は鞍馬がその勞働能力に限度あるから、勞働を繼續し得る生理状態に保つには勾配の割合とその延長に一定の限度を要し、絶對的の勾配限度を支配するものである、即ち一定限度を超ゆれば荷馬車交通が不可能となる場合があるものである。

従て混合交通の路線では軌馬交通を目標として勾配設計を定める事が必要である。而して自動車に對しては此種勾配を有する區間に應ずる運轉方式を定むれば充分である。

然るに自動車交通を目標とする路線の勾配を合理的に定むる場合、若くは一般の混合交通路線で最急勾配は軌馬交通に對する絶對的條件から定め、自動車交通に對しては比較的條件としての經濟的勾配を設計するは、自動車の機能に應ずる路線設計に當り經濟的に極めて緊要なるものである。

2 經濟勾配の理論

自動車交通に對する經濟勾配 (economical grade) の設計は車輛の機能に應じ速度と燃料との經濟方面から次の條件を満足する事が必要である。

- (1) ギヤを變更する必要なくして坂路を上り得る勾配で、同時に之に接續する前の勾配を下る際に蓄積した運動量を利用し得るが如き自動車の經濟速度を以て上り得る勾配たるを要する。即ち惰力勾配 (momentum grade) たるを要する。
 - (2) 坂路を下る場合に牽引力を要せず且ブレーキを用ひず、また不安なる速度に達しないで單に次の坂路に向つて進み得る程度の速度に達して安全に下り得る勾配たるを要する。即ち滑走勾配 (creolcity grade) たるを要する。
- 惰力勾配と滑走勾配との組合せからなる路線は特別の動力を要せずして最も經濟的に進行し得る所謂球コロボン勾配とも稱すべきものである。之が經濟勾配設計の基本である。

一般に滑走勾配は惰力勾配より小なるものである、之らの勾配の決定は路面の性質その牽引抵抗、牽引力及速度等によ

りて求むるものである。

今之らに關する理論を考へる。

1. 車臺の運動

(1) 車臺の運動

進行しつつある車輛が路面に及ぼす作用を考へるに當り、今車臺を車輪と分離せしめて車輪が車臺に及ぼす反作用に等しき力を作用せしめて考へる。第2圖に於て次の如く定める

P, F 後車軸に及ぼす後輪の作用

P', F' 前車軸に及ぼす前輪の作用

之等の力を車輪に代へて考へる

G 重心

A, A' 車軸上の力の作用點

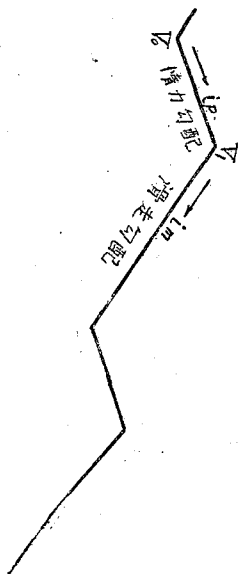
i 勾配

W 車臺の重量

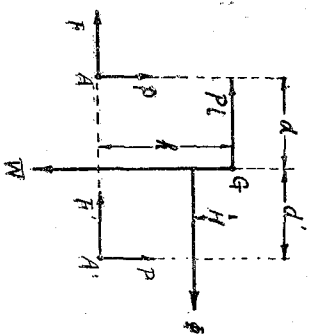
Φ 路面に平行なる方向に作用せしむる力

H 重心より Φ の作用線に至る距離

第一圖



第二圖



h A 及 A' より G に至る距離

d, d' 重心を貫く垂直線より A 及 A' に至る距離

α 進行の加速度

今力学の平衡条件としての垂直及水平二方向の力の釣合とモーメントから次の關係式を導き得る。

$$P + P' = W \dots\dots\dots (a)$$

$$\Phi - (F + F') - Wi = \frac{W}{g} \alpha \dots\dots\dots (b)$$

$$Pd + (F + F')h = P'd' + \Phi H \dots\dots\dots (c)$$

之から (a) と (c) とを組合せ (b) から (F + F') の値を代入すれば次の式 (1) を得る。

$$P = W \frac{d'}{d+d'} + W \left(1 + \frac{\alpha}{g}\right) \frac{h}{d+d'} - \frac{\Phi}{d+d'} \frac{h-H}{d+d'} \dots\dots\dots (a)$$

$$P' = W \frac{d}{d+d'} - W \left(1 + \frac{\alpha}{g}\right) \frac{h}{d+d'} + \frac{\Phi}{d+d'} \frac{h-H}{d+d'} \dots\dots\dots (b)$$

$$F + F' = \Phi - W \left(1 + \frac{\alpha}{g}\right) \dots\dots\dots (c)$$

之より前軸の荷重 P' は牽引力大なれば増大し勾配及加速度大なれば減少し、後軸の荷重 P は之と反對の關係にある。

(2) 車輪の運動

逆行する車輪が路面に及ぼす作用を考へるに當り、車臺を除きて一輪の運動を考へる。

今汗輪の場合をとり第3圖に示すが如く作用するものとする、

P, F 車軸に對する反作用

p 車輪の重量

N 車輪に對する路面の垂直作用

T 同 路面の水平作用

φR 軸が車輪の面に垂直なる偶力

m, r 軸心より r の距離にある點の重量 m

K 車輪の環動半径

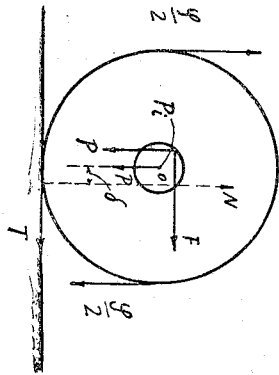
ω 車輪の角速度

V 車輛の進行速度

R 車輪の半径

ρ 車軸の半径

第 三 圖



車輪の平衡條件から次の三式を得る。

$$N = P + p \dots\dots\dots (a)$$

$$F + T - pi = \frac{p}{g} \alpha \dots\dots\dots (b)$$

$$\varphi R - (P + p) f \rho - (P + p) \delta - TR = \Sigma (m r^2) \frac{d\omega}{dt} \dots\dots\dots (c)$$

今 $\Sigma m r^2 = \frac{P}{g} K^2$

$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\alpha}{R}$ とする。

之より (c) は次の如くなる。

$$\varphi - (P+p) \frac{f_2 \rho + \delta}{R} - T = \frac{P}{g} K^2 \frac{\alpha}{R^2} \dots\dots\dots (6)$$

今 $\frac{f_2 \rho}{R} + \frac{\delta}{R} = f_2$ とする。

之より次の 3 式を導き得る、

$N = R+p$

$F+T = p(i + \frac{\alpha}{g}) \dots\dots\dots (2)$

$\varphi - T = (P+p)f_2 + \frac{P}{g} \alpha \frac{K^2}{R^2}$

自動車の前輪に對しては $\varphi = 0$ であるから、次の式で表はされる。

$N' = P'+p'$

$F'+T' = p'(i + \frac{\alpha}{g}) \dots\dots\dots (2)$

$-T' = (P'+p')f_2 + \frac{P'}{g} \alpha \frac{K^2}{R^2}$

(3) 車輛の運動

以上の式(2)及(2)の第三式を組合せ、式(1)の第三式を代用し、且

$$P + P' = W$$

$$P + P' = W$$

$$F + F' = -(T + T')$$

と置けば車輛の運動に對しては次の式(3)を導き得る、

$$\varphi + \Phi = (W + w) \left(f_0 + i + \frac{\alpha}{g} \right) + w \frac{\alpha}{g} \frac{K^2}{R^2} \dots \dots \dots (3)$$

今自動車に對して之を考ふれば動力を以て車輛を回轉せしむるから $\Phi = 0$ であるが、その進行速度が大であるから

風壓抵抗が反對の方向に作用する、從て、

$$\Phi = -A = -cAV^2$$

c 風壓係數

A 風向表面積

V 速度

從て自動車に對しては式(3)は次の如くなる。

$$\varphi = (W + w) \left(f_0 + i + \frac{\alpha}{g} \right) + w \frac{\alpha}{g} \frac{K^2}{R^2} + A \dots \dots \dots (4)$$

回轉偶力は

$$qR = (W+w)\left(f_2 + i + \frac{\alpha}{g}\right)R + w \frac{\alpha}{g} \frac{K^2}{R} + AR \dots \dots \dots (5)$$

進行距離 l の間になせる仕事は、偶力 qR と回轉角度 l/R の相乗積である。

$$\text{仕事量} = (W+w)\left(f_2 + i + \frac{\alpha}{g}\right)l + w \frac{\alpha}{g} \frac{K^2}{R^2} l + Al \dots \dots \dots (6)$$

所要馬力は l の代りに v m/sec を乗じて得られる。即

$$HP = (W+w)\left(f_2 + i + \frac{\alpha}{g}\right)v + w \frac{\alpha}{g} \frac{K^2}{R^2} v + Av \dots \dots \dots (7)$$

今、牽引力係数を t とすれば

$$HP = t(W+w)v \dots \dots \dots (8)$$

之より

$$t = \left(f_2 + i + \frac{\alpha}{g}\right) + \frac{w}{W+w} \frac{\alpha}{g} \frac{K^2}{R^2} + \frac{A}{W+w} = f_2 + i + \frac{\alpha}{g} \left\{ 1 + \frac{w}{W+w} \frac{K^2}{R^2} \right\} + \frac{A}{W+w} \dots \dots \dots (9)$$

牽引力係數 (specific tractive effort, tractive factor) は時として % 又は單位 kg/ton を用ゑる。

2 惰力勾配 (Momentum grade)

惰力勾配を求むるに當り今前記の式 (9) に於て今記號を用ひて之を書き換へる。

q 上り勾配

$$\alpha = \frac{V_1^2 - V_0^2}{2L} \quad \text{減速度}$$

V_0 初速度

V_1 τ 時間後の速度

L τ 時間に進行せる距離

風壓抵抗を無視して次式を得る、

$$t = f_2 + i_p + \frac{V_1^2 - V_0^2}{2Lg} \left\{ 1 + \frac{w}{W+w} \frac{K^2}{R^2} \right\}$$

今 t, f_2, i を總て % で表し v m/sec を V km/h を以て表せば

$$t = f_2 + i_p + \frac{100}{2 \times 9.8L} \left\{ 1 + \frac{w}{W+w} \frac{K^2}{R^2} \right\} \frac{V_1^2 - V_0^2}{3.6^3} \dots\dots\dots(10)$$

拓弧内にあるものは車輛の進行のエネルギー (transitional energy) に對する回轉する部分の回轉エネルギー (energy of rotating parts) を考慮するもので一般に乗用自動車に對し 5%, 貨物自動車に對して 10% ととり得るが故に式 (10) は、次の如くなる。

乗用自動車に對するもの

$$t = f_2 + i_p + \frac{0.412}{L} (V_1^2 - V_0^2)$$

貨物自動車に對するもの

$$t = f_2 + i_p + \frac{0.432}{L} (V_1^2 - V_0^2)$$

之より惰力勾配は次の如し。

乗用自動車に對するもの

$$ip = t - f_2 + \frac{0.412}{L} (V_0^2 - V_1^2) \dots\dots\dots (11)$$

貨物自動車に對するもの

$$ip = t - f_2 + \frac{0.432}{L} (V_0^2 - V_1^2) \dots\dots\dots (12)$$

3 滑走勾配 (velocity grade)

滑走勾配の條件は牽引力を零とするにある、而して勾配は負値をとるが故に式 (11) 及 (12) に於て ip の代りに $-i_m$ を挿入して定むる事が出来る。

乗用自動車に對する滑走勾配

$$i_m = f_2 + \frac{0.412}{L} (V_1^2 - V_0^2)$$

貨物自動車に對する滑走勾配

$$i_m = f_2 + \frac{0.432}{L} (V_1^2 + V_0^2)$$

4 勢力式より求むる方法

前記關係式を簡単に導く爲に第 4 圖に於て勢力式を用ふれば次の如くである。

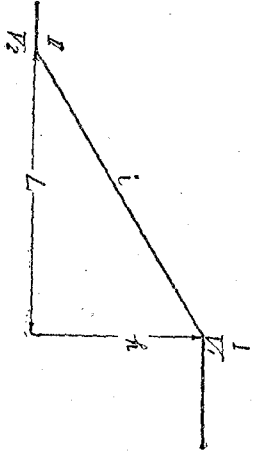
V_1	坂路の頂部に於ける速度	km/h
v_1	同	m/sec
V_2	坂路の下部に於ける速度	km/h
v_2	同	m/sec
R	回轉抵抗及空氣抵抗	kg/ton
i_p	上り勾配 %	
i_m	下り勾配 %	
L	坂路の長 m	
Q	車輛の重量 ton	
h	坂路の高	
T	牽引力 kg/ton	

(1) 下り勾配

車輛の有するエネルギーは次の如し、

坂路の頂部 $E_1 = \frac{1,000 Q}{2g} v_1^2 + \sum \left(-\frac{1}{2} I \omega^2 \right)_1$

同 下部 $E_2 = \frac{1,000 Q}{2g} v_2^2 + \sum \left(-\frac{1}{2} I \omega^2 \right)_2$



坂路の頂部より下部に進行する場合になす仕事量は次の如し、

$$W = 1,000 Q \cdot h - R \cdot Q \cdot L$$

$$W = E_1 - E_2$$

車輛の回轉する部分のエネルギー (energy of rotating parts) が進行の運動エネルギー (translational energy) に對する割合は、乗用自動車、貨物自動車に對して各々 5%, 10% と考へるを普通とするから、之をとりて次の式を導き得る。

乗用自動車に對する關係式

$$\frac{1,000 Q}{2g} (v_2^2 - v_1^2) \times 1.05 = 1,000 Qh - RQL$$

而して $im = \frac{h}{L} \times 100$

$$h = \frac{i_m L}{100}$$

從て
$$\frac{1,000}{2g} \left[\left(\frac{V_2}{3.6} \right)^2 - \left(\frac{V_1}{3.6} \right)^2 \right] \times 1.05 = 1,000 \frac{i_m L}{100} - RL$$

之より
$$i_m = \frac{0.410}{L} (V_2^2 - V_1^2) + \frac{R}{10}$$

貨物自動車に對する關係式

同様に
$$\frac{1,000 Q}{2g} (v_2^2 - v_1^2) \times 1.10 = 1,000 Qh - RQL$$

之より同様に
$$im = \frac{0.431}{L}(V_2^2 - V_1^2) + \frac{R}{10}$$

(2) 上り勾配

前記の場合と同様に考へて次式を導き得る。

$$\frac{1,000 Q}{2g} v_2^2 + T \cdot Q \cdot L = \frac{1,000 Q}{2g} v_1^2 + 1,000 Qh + RQL$$

$$\frac{1,000}{2g} (v_2^2 - v_1^2) = 1,000 h + RL - TL$$

而て
$$ip = \frac{h}{L} \times 100$$

$$h = \frac{ipL}{100} \quad \text{とす。}$$

$$\frac{1,000}{2g} \times \left(\frac{1}{36}\right)^2 (V_2^2 - V_1^2) = 10ipL + RL - TL$$

之より乗用自動車に對する關係式は次の如し、

$$ip = \frac{T}{10} - \frac{R}{10} + \frac{0.410}{L} (V_2^2 - V_1^2)$$

貨物自動車に對する關係式

$$ip = \frac{T}{10} - \frac{R}{10} + \frac{0.431}{L} (V_2^2 - V_1^2)$$

符號を異にするも前に求めたるものと同一の式を得る。

3 經濟勾配設計に對する自動車の機能及路面の性質

道路設計に當り經濟勾配を適用するには前記の式に含まるゝ自動車の機能としての牽引係數、經濟速度、及路面の抵抗係數を求めなければならぬ。

1 自動車の牽引係數

牽引係數は機關の機能に應ずるもので一般に次式で表はし得る。

$$t = \frac{\xi \eta p B \Delta N G}{8 W D}$$

t	牽引係數
ξ	傳算能率
η	機關能率
l	衝程
P	平均壓
B	氣筒徑
N	氣筒數
G	ギヤ比

W 車輛重量

D 側輪半径

今 $K = \frac{B^2 \sin \theta}{WD}$ とおけば (kはhill factor)

$t = \frac{\xi \eta \rho K}{g}$

これらの數値に關して英國 Royal Automobile Club で定めたるものは第 1 表の如し。

種 別	K の 値	そ の 他
貨物自動車	$\frac{1}{160} \sim \frac{1}{180}$	ξ 85%
通常乗用自動車	$\frac{1}{130} \sim \frac{1}{140}$	ηρ 72 呎/時 ²
高級乗用自動車	$\frac{1}{110} \sim \frac{1}{120}$	

之よりも平均値は第 2 表の如くである。

第 2 表

種 別	t 値 %
貨物自動車	4.8 ~ 4.3
通常乗用自動車	5.9 ~ 5.5
高級乗用自動車	7.0 ~ 6.4

2 自動車の經濟速度

自動車の合理的速度を定むるは極めて困難である。

ガソリン消費量に關する多くの實驗から考ふれば、消費量は自動車の所要馬力に對する直接の相關値を表はさないので馬力に應じて異なるものである。

機關の運轉速度小なる間は弁の開放の時間比較的長く、從てガソリンと空氣との混合ガスが氣筒に相當の壓力のもとに充滿し完全に燃焼し得ないで燃焼効率幾分劣るものであるが、運轉速度の増大に伴ふて効率も増大するものである。

機關の運轉速度極めて大であれば弁の開放時間短く、從て混合ガスが弁から氣筒内部に送らるゝ事少いから次第に動力は減少する。

從て機關動力の小なる間はガソリン消費量は比較的大であり、機關動力の増大に伴ふて燃焼効率が增大するものである。

從來幾多の實驗の結果から考へると燃焼効率(Thermal efficiency)は全荷重の四分の三の荷重の場合に最大値に達する。此場合一般自動車の機關の速度は 900 ~ 1,000 r.p.m. で之以上では効率は次第に減少するものである。

之らの結果に基き今機關の全荷重動最大ブレーキ馬力の場合に機關の運轉速度 n を 1,200 とし燃料効率の最大なる場合の機關運轉速度 n を 900 と假定し之に基き此二つの條件に應ずる速度を決定する。

進行の速度は次式で表はし得る。

$$V = \frac{Dn}{336G}$$

D 車輪徑 吋

n 機關回轉速度 7.p.m.

G ギヤ比

V 速度 哩/時

乗用自動車に對しては次の如し、

$$D = 32 \quad G = 4.5:1 \text{ とす、}$$

$$V_o = \frac{32 \times 1,200}{336 \times 4.5} \times 1.6 = 40.5 \text{ km/h}$$

$$V_r = \frac{32 \times 900}{336 \times 4.5} \times 1.6 = 30.5 \text{ km/h}$$

貨物自動車に對しては次の如し、

$$D = 36 \quad G = 8:1 \text{ とす、}$$

$$V_o = \frac{36 \times 1,200}{336 \times 8} \times 1.6 = 25.6 \text{ km/h}$$

$$V_r = \frac{36 \times 900}{336 \times 8} \times 1.6 = 19.2 \text{ km/h}$$

3 路面の牽引抵抗係數

路面の牽引抵抗係數は輪帶の性質と路面の性質により異なるものであるから、今自動車交通に對する經濟勾配設計を本邦道路に適用するに當り、一般地方路線の牽引抵抗係數を考へる。

(1) 地方路線の鐵輪に對する路面の性質

本邦道路構造令に基く路面の牽引|抵抗係數を考ふるに當り、國道に對する最急勾配三十分一、府縣道に對する最急勾配二十五分一と定めてあるから、轆馬交通に對する牽引|抵抗係數を次の如く定める。

一般に轆馬の作力は次式で表はされる。

$$E = Q(f_2 + i) + qi \dots\dots\dots (1)$$

E 轆馬作力

Q 車輛重量

q 轆馬體重

f₂ 牽引|抵抗

i 勾配

今 t を牽引|係數とすれば、

$$t = \frac{E}{Q} \quad \text{牽引|係數}$$

$$e = \frac{Q}{q} \quad \text{比荷重}$$

從て $t = (1+e)i + f_2 e \dots\dots\dots (2)$

$$i + f_2 = \frac{1}{1+e} (t + f_2) \dots\dots\dots (3)$$

今坂路に於ける牽引の場合を考ふるに平路に於てよりも餘分の努力を要するから n を努力係數とする。平路の部分の牽引抵抗係數を f_0 、努力係數 (exertion factor) を n とすれば式 (3) は次の如くなる。

$$1+c = \frac{t+f_2}{i+f_2} = \frac{t_0+f_0}{f_0} \dots\dots\dots(4)$$

之より $c = \frac{t_0}{f_0} \dots\dots\dots(5)$

而して $t = nt_0 \dots\dots\dots(6)$

今式 (4) に式 (6) を入るれば次の如く導く事が出来る。

$$\frac{t_0+f_0}{f_0} = \frac{t+f_2}{i+f_2} = \frac{nt_0+f_2}{i+f_2} \dots\dots\dots(7)$$

$$\frac{nt_0+nt_0-f_2+f_2}{t_0+f_0} = \frac{i+f_2}{f_0}$$

$$n - \frac{nf_0-f_2}{t_0+f_0} = \frac{i+f_2}{f_0}$$

従て $i_{\max} = nf_0 - f_2 - \frac{nf_0-f_2}{t_0+f_0} \times f_0 \dots\dots\dots(8)$

$$= (nf_0 - f_2) \left(1 - \frac{f_0}{t_0+f_0}\right) = (nf_0 - f_2) \frac{t_0}{t_0+f_0} \dots\dots\dots(9)$$

之に式 (5) を入るれば、

$$i_{\max} = (nf_0 - f_2) \frac{cf_0}{cf_0+f_0} = \frac{c}{1+c} (nf_0 - f_2) = \frac{Q}{Q+g} (nf_0 - f_2) \dots\dots\dots(10)$$

之より $i_{\max} = n f_0 - f_2 \dots\dots\dots (11)$

今 $f_0 = f_2$ とすれば、

$$i_{\max} = (n-1)f_2 \dots\dots\dots (12)$$

最急勾配は路面抵抗に應じて定むべきである。

今式 (9) に於て $f_0 = f_2$ とすれば

$$\frac{n-1}{i} = \frac{1}{f_0} + \frac{1}{f_0} \dots\dots\dots (13)$$

坂路に於ける努力係数を平路に於けるものの2倍とすれば、

$$i_{\max} = \frac{f_0 t_0}{f_0 + f_0}$$

$$\frac{1}{i_{\max}} = \frac{1}{f_0} + \frac{1}{f_0} \dots\dots\dots (14)$$

式 (14) に式 (5) を入れると

$$i = \frac{c}{1+c} f_2 = \frac{Q}{Q+c} f_2$$

今 Q は q に比し極めて大であれば $Q/(Q+c)$ を 1 として次式を得る。

$$i_{\max} \approx f_2 \dots\dots\dots (15)$$

即上り勾配の最大値は路面牽引抵抗係数の値を越ゆる事は出来ない。

本邦では普通最急勾配は、國道に對して三十分一、府縣道に對して二十五分一と定めてある。

従て路面牽引抵抗係数は、國道に對して三十分一、約 3.33%、33.3 kg/ton であり、府縣道に對して二十五分一約 4.0%、40 kg/ton を標準とすると考へ得られる。

砂利道に於て鐵輪車の牽引抵抗は、實驗により凹凸係數との關係は次の式に導き得る。

$$R = 27.30 + 26.20 \times 10^{-3} \times \gamma$$

R 牽引抵抗 kg/ton

γ ヲアノアノグによる路面凹凸係數 cm/km

先に求めたるが如く、國道府縣道並に道路取締令を適用して輪帶幅を擴大する場合に、路面に及ぼす損傷を減少すると同時に、之に要する動力を軽減し得る爲に必要な路面状態を保つべき標準路面を有する一般地方路線に於ける路面の性質は、第 3 表の如きものたるを要する。

第 3 表

路面の性質

種 別	牽 引 抵 抗 kg/ton	凹 凸 係 數 cm/km
國 道	33.3	230
標準地方道路	38.0	400
府 縣 道	40.0	485

(2) ヲム輪に對する路面の牽引抵抗

自動車交通に對する經濟勾配は、 γ 輪帯に對する牽引抵抗を考慮しなくてはならぬ。

牽引抵抗は速度、路面の種類及凹凸係數により異り實驗式は次の如くである。

$$R = K + 0.75 \times 10^{-3} \times V^{0.46} V^2$$

R 牽引抵抗 kg/ton

γ 路面凹凸係數 cm/km

V 速度 km/h

K 路面と輪帯の材質とにより異なる常數

これらの實驗式により國道、府縣道並に標準路面を有する地方路線につき、その路面凹凸係數を夫々 230, 485, 及 400 cm/km として、その關係式を求むれば次の如くである。

貨物自動車に對するもの

國道 $R = 22.70 + 9.15 \times 10^{-3} \times V^2$

標準道路 $R = 22.70 + 11.80 \times 10^{-3} \times V^2$

府縣道 $R = 22.70 + 13.90 \times 10^{-3} \times V^2$

乗用自動車に對するもの

國道 $R = 18.57 + 9.15 \times 10^{-3} V^2$

標準道路 $R = 18.57 + 11.80 \times 10^{-3} V^2$

府 縣 道 $R = 18.57 + 13.90 \times 10^{-3}V^2$

先に求めたる自動車の經濟速度に對する路面抵抗を之等の式を用ひて求むれば第4表の如くである。

第 4 表

車 輛	路 面 牽 引 抵 抗 kg/ton	標 準 道 路	府 縣 道
	km/h		
乗 用 自 動 車	40	32.57	37.4
	30	26.77	29.17
	26	28.95	30.75
貨 物 自 動 車	20	26.35	27.42
			28.26

精力勾配及滑走勾配の坂路に於ては自動車の速度は加減速度の影響を受けて一定でないが、今簡單にする爲にその路面抵抗値は初速の場合と終速の場合との平均値と等しきものと假定し、牽引抵抗係數として表せば第5表の如くである。

第 5 表

車 輛	國 道	標 準 道 路	府 縣 道
	路面牽引抵抗係數 %		
乗 用 自 動 車	2.97	3.33	3.57
貨 物 自 動 車	2.77	2.91	3.02

4 經濟勾配とその延長

經濟勾配の理論に基き、且自動車の牽引力及速度を定め尚路面牽引抵抗係数を定めてその勾配の%と延長との關係を導き得る。

1 國道の經濟勾配

國道の標準路面は軌馬交通に對する牽引抵抗 33.3 kg/ton, 路面凹凸係數 230 cm/km と考へ、自動車の牽引力及經濟速度をとりて次の關係式を得る。

(1) 乗用自動車に對するもの

$$V_{\max} = 40 \text{ km/h}$$

$$V_{\min} = 30 \text{ km/h}$$

$$t = 5.9$$

$$f_s = 2.97$$

上り勾配

$$i_p = t - f_s + \frac{0.412}{L} (V_p^2 - V_0^2) = 5.9 - 2.97 + \frac{0.412}{L} (40^2 - 30^2) = 2.93 + \frac{288.4}{L}$$

$$\therefore L = \frac{288.4}{i_p - 2.93}$$

下り勾配

$$i_m = f_s + \frac{0.412}{L} (V_m^2 - V_0^2) = 2.97 + \frac{0.412}{L} (40^2 - 30^2) = 2.97 + \frac{288.4}{L}$$

$$\therefore L = \frac{288.4}{i_m - 2.97}$$

(2) 貨物自動車に對するもの

$$V_{\max} = 26 \text{ km/h}$$

$$V_{\min} = 20 \text{ km/h}$$

$$t = 4.8$$

$$f_g = 2.77$$

上り勾配

$$i_p = 4.9 - 2.77 + \frac{0.432}{L} (26^\circ - 20^\circ) = 20.3 + \frac{119.2}{L}$$

$$\therefore L = \frac{119.2}{i_p - 2.03}$$

下り勾配

$$i_m = 2.77 + \frac{0.432}{L} (26^\circ - 20^\circ) = 2.77 + \frac{119.2}{i_m - 2.77}$$

$$\therefore L = \frac{119.2}{i_m - 2.77}$$

2 標準路面を有する地方道路の經濟勾配

先に述べたるが如く道路取締令に基く輸帶幅を有する鐵輪車が、在來地方規定に基く車輛に比して路面に及ぼす破壊作用を軽減すると同時にその所要動力を低減せしめ得る限度は、路面凹凸係數 400 cm/km 以下の路面であつて國道、府縣道及町村道は何れも可及的速かに、その路面状態を此限度以下に改良するを要するものである。

今此標準路面を有する地方道路の經濟勾配を求めらる。

(1) 乗用自動車に對するもの

$$V_{\max} = 40 \text{ km/h}$$

$$V_{\min} = 30 \text{ km/h}$$

$$t = 5.9$$

$$f_2 = 3.33$$

上り勾配

$$i_p = 5.9 - 3.33 + \frac{0.412}{L} (40^2 - 30^2) = 2.57 + \frac{288.4}{L}$$

$$\therefore L = \frac{288.4}{i_p - 2.57}$$

下り勾配

$$i_m = 3.33 + \frac{288.4}{L}$$

$$\therefore L = \frac{288.4}{i_m - 3.33}$$

(2) 貨物自動車に對するもの

$$V_{\max} = 26 \text{ km/h}$$

$$V_{\min} = 20 \text{ km/h}$$

$$t = 4.8$$

$$f_2 = 2.91$$

上り勾配

$$i_p = 4.8 - 2.91 + \frac{0.432}{L} (26^2 - 20^2) = 1.89 + \frac{119.2}{L}$$

下り勾配

$$\therefore L = \frac{119.2}{i_p - 1.89}$$

$$i_m = 2.91 + \frac{0.432}{L} \quad (26^\circ - 20^\circ) = 2.91 + \frac{119.2}{L}$$

$$\therefore L = \frac{119.2}{i_m - 2.91}$$

3 府縣道の經濟勾配

府縣道の標準路面は鞍馬交通に對する牽引抵抗 40 kg / ton, 路面凹凸係數 485 cm / km とし、前記同様に求むれば次の如し。

(1) 乗用自動車に對するもの

$$V_{\max} = 40 \text{ km/h}$$

$$V_{\min} = 30 \text{ km/h}$$

$$t = 5.9$$

$$f_2 = 3.59$$

上り勾配

$$i_p = 5.9 - 3.59 + \frac{0.412}{L} \quad (40^\circ - 30^\circ) = 2.31 + \frac{288.4}{L}$$

$$\therefore L = \frac{288.4}{i_p - 2.31}$$

下り勾配

$$i_m = 3.59 + \frac{0.412}{L} (40^2 - 30^2) = 3.59 + \frac{288.4}{L}$$

$$\therefore L = \frac{288.4}{i_m - 3.59}$$

(2) 貨物自動車に対するもの

$$V_{\max} = 26 \text{ km/h}$$

$$V_{\min} = 20 \text{ km/h}$$

$$t = 4.8$$

$$f_g = 3.02$$

上り勾配

$$i_p = 4.8 - 3.02 + \frac{0.432}{L} (26^2 - 20^2) = 1.78 + \frac{119.2}{L}$$

$$\therefore L = \frac{119.2}{i_p - 1.78}$$

下り勾配

$$i_m = 3.02 + \frac{0.432}{L} (26^2 - 20^2) = 3.02 + \frac{119.2}{L}$$

$$\therefore L = \frac{119.2}{i_m - 3.02}$$

4 軌道交通より考へたる勾配との關係

交通車輛の機能に應じて總ての種類交通車輛に交通可能なる勾配を設計するには、自動車は牽引力大で相當急なる坂

路をも上り得るが、鞍馬はその労働能力の限度比較的小であるから、一般的設計には鞍馬の労働能力を標準として定むべく、鞍馬をしてその労働状態を繼續し得る生理状態に保つ爲に勾配とその延長に一定の限度を必要とする。

鞍馬が普通労働状態に於て労働を繼續し、疲勞して呼吸數毎分120に達する迄に出し得べき労働能力を標準とすれば勾配とその延長に關する限度は次式で表はされる。

$$L = \left(\frac{40}{i + f_2} \right)^4$$

L	延長	m
i	勾配	%
f_2	路面牽引抵抗	%

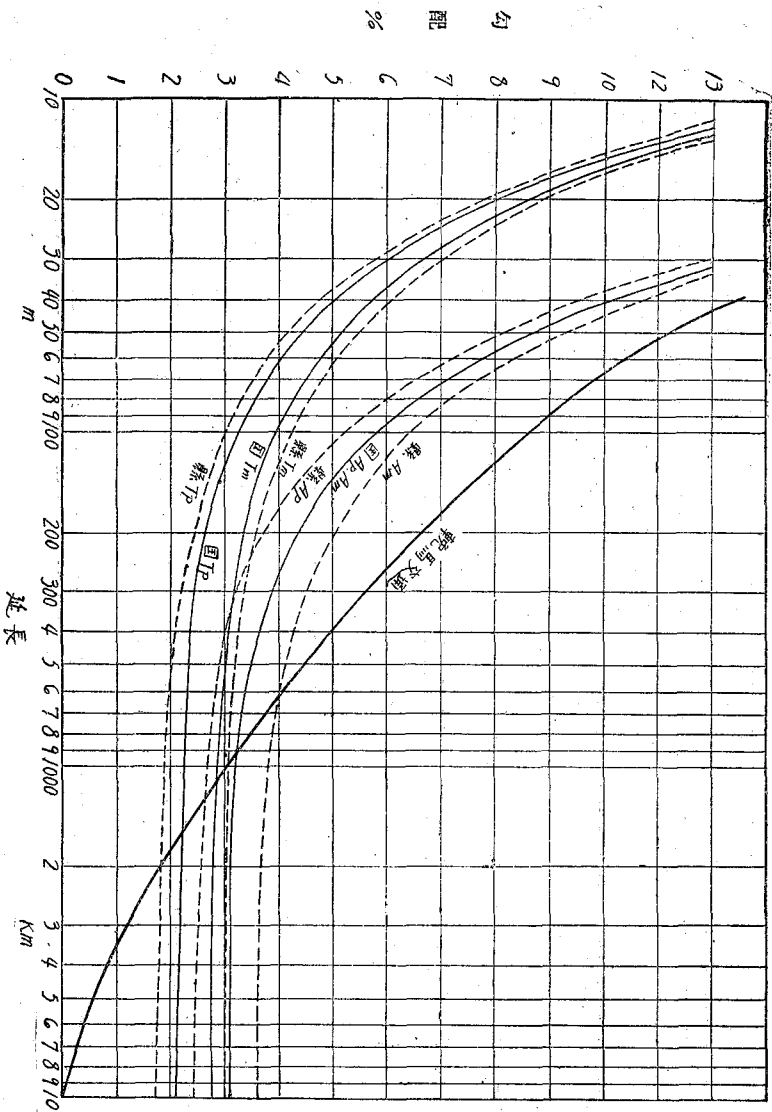
自動車交通に對してはその機能に應じて惰力勾配、滑走勾配を經濟とするから、先に求めたる國道及府縣道の路面に於ける、之らの經濟勾配を鞍馬交通に對する絶對的勾配と比較して示せば第5圖の如くである。

一般に鞍馬交通の勾配曲線を絶對的限度とするも、なるべく勾配とその延長の限度は此自動車の經濟勾配に止めるのが有利である。

勾配大なる區間に於てはギヤを變更して牽引力を増大せしめるから、第5圖に於ては普通の勾配の部分のみ適用し得れるものでギヤを變更して運轉する場合は更に改めて之を述べる。

第5圖に於て鞍馬交通曲線は鞍馬交通を目標とする勾配及延長を表し、國は國道、縣は府縣道、 A_g 、 A_m は乗用自動車の上り勾配及下り勾配、 T_b 、 T_m は貨物自動車の上り勾配及下り勾配を表すものである。

第五圖



5 經濟勾配に関する考察

一般に傾力勾配は滑走勾配より大である、即上る場合は比較的安全で急なる勾配を設定し得るが、下る場合が却て危険である。

路面の性質から考えると牽引抵抗小なるもの即平滑なる路面に於ては上る場合は比較的有利であるが下る場合は却て危険であるから、路面の平滑なるもの程勾配を小さく定めなければならぬ。

5 勾配設定の方針

現在路線の最急勾配 i を自動車交通に對する經濟勾配に緩和する事は、軌馬交通に對する絶對的條件のものと異り、相對的性質のものである。即軌馬交通では此限度を超越れば荷馬車交通は不可能で特に副馬を必要とする様なものであるが自動車の經濟勾配は、之がより經濟であると云ふ意味のものであるから、經濟勾配の設定は經濟的に償ふものでなければならぬ。

經濟勾配に緩和するに要する工事費が之を設定した結果として得らるべき經濟價值と同等以下でなければならぬ。

今此經濟勾配設定を經濟なりとする工事費額を算定して見たい。

現在の勾配 i を經濟勾配 i_p に緩和するに用ふべき工事費は相當の年月の間に於てその勾配の經濟的價值によりて償ひ得るものたるを要する。従て金利と償還額とが自動車の受くる年々の節約額と等しかるべき事を要する。

今金利 4% 償還期限 25 年とし自動車の燃料消費量の節約額とから之を算定する。

i 現在の勾配

h 現在の坂路の頂高 m

L 同 延長 m

h_1 現在坂路を經濟勾配 i_p に緩和せる場合の高さ m

C_a 上り勾配 i_p に緩和するに經濟上償ひ得る工事費

e 現在坂路を上る場合に用ふるギヤの能率比

e の値は第一速度 1.0 第二速度 1.3 第三速度 1.9 第四速度 3.0

T_a 上り交通量 ton/車線/日

將來の増加量を考慮して定む

f 燃料費 圓/lit

ガソリンは 19,000 B.T.V./lbs とす、

之より次式を立つる事を得る。

1 i_p に緩和する場合の償ひ得る工事費

上り交通量に對するもの $C_a = 1.03 \times 10^{-2} \times f \times T_a (e i - i_p) L$

下り交通量に對するもの $C_d = 1.03 \times 10^{-2} \times f + T_d (i - i_p) L$

從て i を i_p に緩和するに要する報償額は $(C_a + C_d)$ である。

此總額が實施設計の工事費と等しき場合は之を施工して經濟的に有利である。

此總額が工事費より大なる場合は進で i_m に緩和すべきかを研究しなくてはならぬ。

2 i_m に緩和する場合

此場合には上り交通量に對しては已に經濟勾配以下の勾配であるから何等の節約とならないから下り交通量に對してのみ考へる。

$$Q_m = 1.03 \times 10^{-2} \times f \times T_d (Q_p - i_m) L_p$$

i_p を i_m に緩和するに要する工事費が之らの $(Q_a + Q_d + Q_m)$ の總額以下の場合に滑走勾配 i_m の設定が經濟的に有利である。

3 一例に對する考察

今現在路線の勾配を 10% 延長 1km とし、交通量は次の如く豫定して之を經濟勾配に緩和するを妥當とする價格を求めらる。

交通量	乗用自動車	上り	110 ton / 日	下り	100 ton / 日
	貨物自動車	上り	140 ton / 日	下り	120 ton / 日

現在第三ギヤを用ひて上るものとし荷ガソリンは輪帶その他の經費をも考慮して 0.232 圓/lit として考へる。

(1) 經濟勾配は第5圖より第5表の如く定める。

第 5 表

經濟勾配

車輛	i_p %	i_m %
乗用自動車	7.8	3.5
貨物自動車	5.0	2.4

(2) i_p を 5% とし、現在勾配 10% を之に緩和するに費すを經濟なりとする額

$$C_{a,a} = 1.03 \times 10^{-2} \times 0.232 \times 110(1.3 \times 10^{-5}) \times 1,000 = 2,110$$

$$C_{u,t} = 1.03 \times 10^{-2} \times 0.232 \times 140(1.3 \times 10^{-5}) \times 1,000 = 2,690$$

$$C_d = 1.03 \times 10^{-2} \times 0.232 \times 220(10^{-5}) + 1,000 = 4,220$$

従て勾配 10% 延長 1,000 m の區間を經濟勾配 5% に緩和するに價する工事費は、

$$C_{a,a} + C_{u,t} + C_d = 9,020 \text{ 圓}$$

(3) i_m を 3.5% とし之に緩和するに費すを經濟なりとする額

$$C_m = 1.03 \times 10^{-2} \times 0.232 \times 100 \times (5 - 3.5) \times 1,000 = 360$$

(4) i_m を 2.4% とし之に緩和するに費すを經濟なりとする額

$$C_m = 1.03 \times 10^{-2} \times 0.232 \times 22 \times (5 - 2.4) \times 1,000 = 625$$

(5) 約言

以上の結果から現在の勾配 10% 延長 1 km の部分の勾配緩和に關しては、

- (a) 5% に緩和するには 9,020 圓
 - (b) 3.5% に緩和するには 9,380 圓
 - (c) 2.4% に緩和するには 9,645 圓
- の費額以内を費すを正當とする。

之から考へると自動車交通に對しては急勾配を除いては通常の軌馬交通の可能なる勾配よりも緩和するには特別の著しき經濟的價値が現れないと考へる。

4 結 論

一般に自動車交通に對して勾配を緩和する事は路線變更若くは總延長に於て相當増大しない限りは精力勾配の限度迄之を緩和するは經濟である、かゝる場合には勾配緩和による運轉費の節約額と之に要する實施工事費とを比較して合理的に決定しなくてはならぬ。

本編は單にギヤを變更せざるものとして述べたが勿論急勾配に於ては之を變更すべく、從て進んで之に應ずる經濟勾配を考慮しなくてはならぬ。同時に速度を變更しつゝ進行するから路面牽引係數も一定でない。之らを考慮に入れて進で研究を要するものであるが、之らは實際路面に於ける實驗値から定むるを直接であり正確と信ずるから、茲に理論的に記述するを止めた。

本邦は歐米諸國に比して丘陵に富める國土を有するから、此種の經濟勾配の設定は激増しつゝある自動車交通の現状に鑑みて路線設計上極めて緊要であり、進で研究を要するものと信ずる。