

土木試験所報告

第十九號

昭和五年十一月



路面構造の運輸經濟に及ぼす
影響竝に之に基く道路設計の
基本に關する研究（第四）

内務省土木試験所

正 誤 表

頁	行	正	誤
19	7	$\left(l_l + S_h + S_l + \frac{2\varphi r}{V_h} V_l - 2r \sin \varphi\right)$	$\left(l + S_h + S_l + \frac{2\varphi r}{V_h} V - 2r \sin \varphi\right)$
30	6	$\frac{2\varphi r}{V_h} V_l$	$\frac{2\varphi r}{V_h} V$
43	下より 3	467.8	467.3
54	4	$\left(\frac{40}{i+\mu}\right)^4$	$\left(\frac{40}{i+4}\right)^4$
61	3	$i=100 \frac{f+Rc}{1+c}$	$i=100 \frac{f+R_s C}{1+C}$
94	11	$V_{\max}$	V_{mean}
98	10	$\frac{V_1^2 - V_0^2}{gR}$	$\frac{V_1^2 - V_0}{gR}$
110	1	粗度係數	粗狀係數
134	下より 4	$\frac{K_1^2}{R_1^2}$	$\frac{K_1^2}{R^2}$
144	同 8	$\frac{e^{0.0016R_1}}{e^{0.016 \times 10}}$	$\frac{e^{0.016R_1}}{e^{0.016 \times}}$
153	1	3. 街路幅員	1. 街路幅員

本報告は曩に發表せる 路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に關する資料に基き 本邦に於ける現在並に將來の交通樣式に對應する道路設計の基本問題に關する研究の成果にして 過去に於ける交通機關の發達の經過に鑑みて 一般道路に對する設計の對象の 混合交通なるを斷定し 各種車輛の經濟價值を比較検討し 以て地方道路並に街路の幅員決定の標準を定め 進んで勾配 線形 横斷形狀 等に關する基本問題の原則を明かにし 更に 各種路面の經濟的價值を比較闡明して其種別選定の標準を定めたるものなり。

昭和五年十一月

內務省土木試驗所長 物 部 長 穗

内務省土木試験所報告

第十九號

目 次

路面構造の運輸經濟に及ぼす影響竝に之に基く 道路設計の基本に關する研究（第四）

4. 道路設計の基本に關する研究

内務技師 藤 井 眞 透

	頁
第一章 緒 言	1
第二章 交通車輛の經濟價值	2
第一節 交通車輛の種類及數量	2
第二節 各種車輛の路面利用効率	4
第三節 車輛の運輸費	12
第三章 道路幅員に關する研究	14
第四節 地方道路の幅員	14
第五節 混合交通量の經濟的限度	16
第六節 現在地方道の交通量に關する考察	32
第四章 街路幅員に關する研究	33
第七節 街路交通の性質	33
第八節 歩道に於ける交通量	33
第九節 歩道に於ける路上工作物の影響	36
第十節 街路幅員の決定	38
第五章 路線勾配及坂路に於ける路面構造に關する研究	41
第十一節 勾配及坂路々面選定に關する標準	41

第十二節	坂路勾配及其延長に關する研究	44
第十三節	坂路に於ける緩勾配區間設定に關する研究	55
第十四節	坂路に於ける路面種別による勾配の限度	59
第六章	道路曲線に關する研究	70
第十五節	曲率半徑に關する研究	70
第十六節	擴幅に關する研究	79
第十七節	高度に關する研究	83
第十八節	緩和曲線に關する研究	101
第七章	道路横斷形狀に關する研究	106
第十九節	路頂高に關する研究	106
第二十節	路面の横斷形狀	110
第八章	路面に關する研究	119
第二十一節	路面の性質	119
第二十二節	路面に及ぼす車輛及輪帶の材質の影響	121
第二十三節	路面の運輸經濟上の價值	129
第二十四節	路面選定に關する研究	141
第九章	結 論	151

路面構造の運輸經濟に及ぼす影響並に之に基く 道路設計の基本に關する研究 (第四)

4. 道路設計の基本に關する研究

内務技師 藤 井 眞 透

第一章 緒 言

本編は、各種車輛を用ひて行へる路面構造の影響に關する試験結果に基き、本邦の交通様式に適應する道路の幅員、路面、勾配及曲線等の設計標準に關して研究せむとするものなり。

近年本邦に於ける道路交通の様式は、自動車の數量激増により著しく變化したりと雖も、現在荷車の數量百八十六萬輛を超え、その内牛馬車は特殊なる國情により過去四十年來、更に減少の傾向なく、貨物自動車に對し、依然として本邦運輸機關の重要な位置を占めたり。

從つて現在、道路殊に地方道の設計に當りては、運輸機關としての荷車類を輕視し得ざるは勿論馬匹が軍事的に獨特の活動範圍を有するが故に常時之を交通用具として利用すべきは當然なるを以て、本邦交通様式は近き將來に於ても之らの自動車と荷車との混合交通の基準に立つものと信ず。

然れども之ら機能を異にする各種車輛を同一路面に運轉せしむるは互にその機能を阻害し、共に著しくその經濟價值を減少すべきは明かなり。

而して現在の國勢より見て、機能を異にする各種車輛に各異なる路面を與ふるの域に達せず、只近年自動車専用道路開設の機運に向ひつゝありと雖も、本邦に於ける自動車數量の現状及その増加の趨勢を鑑みる時、一般道路は之ら疾行及緩行車の混合交通の見地に立ちて、その形狀を整ふべく即幅員、勾配、曲線及路面に關しては各種車輛の機能を基準として之らの混合交通を目的とする道路としての合理的設計を樹つべきものと信ず。

從つて本編に於ては此見地に立ちて次の道路設計に關する基本を求めたり。

1. 車輛に關して、その經濟價值を比較し路面利用効率を求め、
2. 道路幅員に關して、二車線幅を有する路線の混合交通量の限度を求め、經濟上幅員擴張を必要とする交通量を定め、
3. 街路幅員に關して、歩車道幅員決定に關する標準を定め、
4. 路線勾配に關して、勾配及その延長に關する標準、坂路に於ける緩勾配區間の設定に關する標準を定め、路面種別による勾配の限度を定め、
5. 道路線形に關して、曲線半徑、曲線部に於ける擴幅、高度、緩和曲線延長等に關する標準を定め、
6. 道路横斷形に關して、路面種別による路頂高を決定し路面排水上必要なる横斷形曲線を比較し横斷形狀が交通車輛に及ぼす影響を求め、
7. 路面構造に關して、各種輪帶の路面に及ぼす影響を求め、各種路面の運輸經濟上の經濟價值を明かにし、之を指示すべき數値の相關的關係を求め、路面種別の選定標準を定めたり。

第二章 交通車輛の經濟價值

第一節 交通車輛の種類及數量

道路計畫に當り、幅員、線形、勾配を決定する基準は交通車輛の構造、交通様式、交通量に之を求むべきものにして、本邦交通車輛は昭和二年に於て約 7,400,000 輛に達し、時代の進歩に伴ひ、年々増加の勢にあり。

その内、數量最も多きは、自轉車にして、64.34% を占め、之に次ぐは手挽荷車の 28.9%，荷牛馬車の 5.35% にして、自動車は 0.63% に過ぎざるも、その増加率は他種のものに比して極めて大なり。

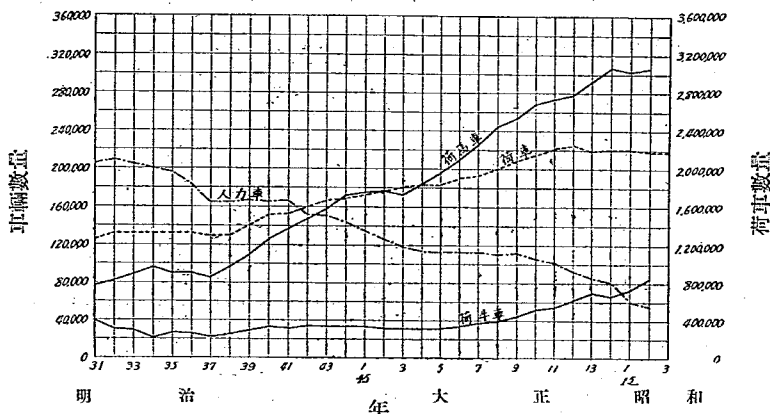
車輛の増加率は、自轉車及自動車最も大にして、荷馬車及手挽荷車は増加率低く獨り人力車は上記車輛の増加に伴ひ、加速度的に減少せり。

第一表、第一圖及第二圖に示すが如し。

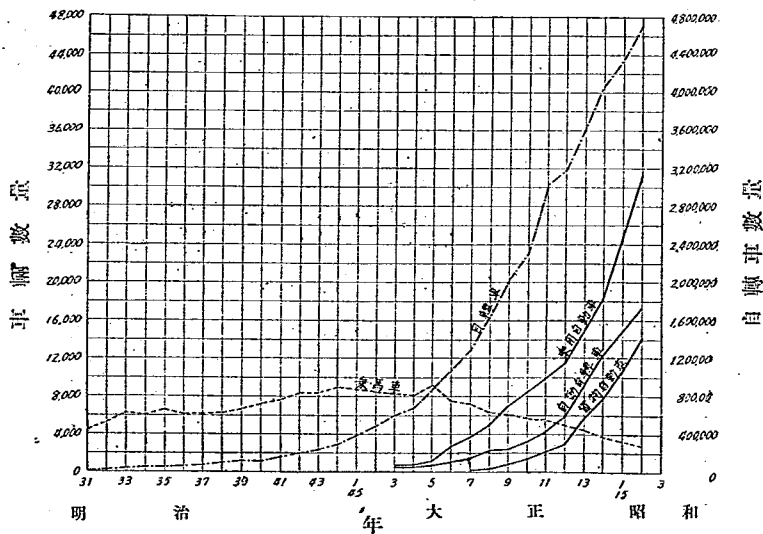
第一表 交通用具數量調査表

	馬車		牛車	荷車	自動車		人力車	自転車		計
	乗用	荷			乗用	貨物		自動	通常	
明治31	4,653	77,897	40,268	1,259,865	—	—	204,419	—	25,982	1,613,084
34	6,095	97,096	22,680	1,334,373	—	—	200,991	—	56,616	1,717,851
37	6,151	87,983	23,742	1,305,281	—	—	167,542	—	86,840	1,677,539
40	7,137	126,823	35,039	1,489,814	—	—	165,995	—	128,972	1,953,780
43	8,565	158,590	35,448	1,667,520	—	—	149,567	—	239,474	2,259,164
大正2	8,581	178,368	33,090	1,803,453	761	—	126,846	—	487,076	2,638,175
5	8,976	195,068	33,576	1,880,309	1,284	23	112,687	809	867,099	3,099,831
8	6,287	244,805	40,587	2,084,865	5,109	444	110,541	2,423	1,611,897	4,106,958
11	5,463	285,206	55,221	2,219,374	9,992	2,099	100,511	4,591	2,812,478	5,494,935
14	3,905	306,038	66,308	2,186,775	18,562	7,884	79,832	12,378	4,070,614	6,752,296
昭和2	2,738	306,473	87,358	2,142,500	31,826	14,467	55,530	17,705	4,751,678	7,410,275
%	0.04	4.13	1.18	28.9	0.43	0.20	0.75	0.24	64.10	
	4.17		1.18	28.9	0.63		0.75	64.34		

第一圖



第二圖



今大正五年に於ける各種車輛の數量を基準とし、年數 (y) と車輛數 (N) との關係を求むれば次の如し。

$$\text{乗用自動車 } N_a = 1,284 + 650 y^{1.54}$$

$$\text{貨物自動車 } N_t = 23 + 20 y^{2.72}$$

$$\text{自動自轉車 } N_{ab} = 809 + 192 y^{1.83}$$

$$\text{自轉車 } N_b = 867,100 + 187,090 y^{1.23}$$

$$\text{荷馬車 } N_{hw} = 195,068 + 25,780 y^{0.65}$$

$$\text{荷車 } N_w = 1880,309 + 179,480 y^{0.23}$$

増加率は貨物自動車、乗用自動車、自動自轉車最も大にして、荷馬車及荷車は小なり。貨物自動車の數量と荷馬車の數量とが同一となるには $y=40$ 、即昭和三十一年なるも、自動車の運輸働は積載量及速度共に荷馬車に比し遙かに大なるが故に、兩者の運輸働が同一量となる時は $y=18$ にして昭和九年に於て實現するものと考へらる。

第 二 節 各種車輛の路面利用効率

各種交通形式の經濟價值を明かにする爲に、自動車、荷馬車、自轉車等に関し、その速度、單位時間の交通量の限度、運輸量、運輸働、路面占有係數等を求め、道路の單位幅當りの運輸働を比較し、各交通形式の經濟價值を算出した。

自動車、荷馬車、自轉車に関しては總て本所試験結果にもとづきて之を比較せり。

比較に用ひたる車輛の寸法及重量は第二表の如く之らは各該種車輛の標準寸法を有するものと考へらる、然れども路線曲線半徑その他の設計に當りては各種車輛の最大寸法をとるを必要とし、之らは更に後章に於て述べんとす。

第 二 表 車 輛 構 造

	乗用自動車	貨物自動車	自轉車	荷馬車	荷小車
寸法 長 m	4.02	5.64	2.00	6.77	2.42
幅 m	1.70	1.85	0.75	1.67	1.26
面積 m ²	6.82	10.42	1.50	11.30	3.05
車 線 幅 m	3.00	3.00	1.00	2.00	2.00
占有面長 m	4.62	6.24	2.60	7.37	3.02
總 重 量 kg	1,684	6,350		1,890	723
積 載 量 kg	270	2,400		1,455	632

1. 交通量の限度

交通障害を受けざる場合に疾行車がその機能に應じて進行するに當り前車に對しては少くもその制動距離を距つるを要す。

一般的に二輪式制動車の場合制動距離は次式により表はし得べし。

S	制動距離	m
Q	自動車總重量	kg
Q_r	同後輪にかゝる分	kg
P_g	回轉勢力に對する當量	kg
μ	牽引抵抗係數	
f	輪帶と路面との摩擦係數	
i	勾配	
μ_0	風壓抵抗係數	
V	速度	km/h
v	同	m/sec
α	減速度	m/sec/sec

之より次式を得べし

$$S \left\{ \mu(Q - Q_r) + fQ_r + Q_i + \mu_0 A V^2 \right\} = \frac{Q + P_g}{2g} v^2$$

今簡單にする爲に μ, μ_0 は極めて小なるが故に之を無視し i が 0 の場合を考ふれば

$$S f Q_r = \frac{Q + P_g}{2g} v^2$$

$$S = \frac{Q + P_g}{2g f Q_r} v^2 = \frac{1 + \frac{P_g}{Q}}{2g f \frac{Q_r}{Q}} v^2 \dots\dots\dots (1)$$

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 ととり Q_r は 2/3 Q とすれば制動距離は次の如し。

$$\text{乗用自動車} \quad S = \frac{0.0804}{f} v^2 = 0.268 v^2 = 0.0206 V^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{貨物自動車} \quad S = \frac{0.0843}{f} v^2 = 0.281 v^2 = 0.0217 V^2 \dots\dots\dots (3)$$

f は路面の性質及狀態により且輪帶により異り第七十七表及第七十八表に示すが如きも、今その平均値をとり、0.3 とすれば式 (2) (3) に示すが如し。

一車線交通量を求める公式は近年何れも制動距離を基礎として之を求め次の一般式をとれり。

$$N = \frac{1000 V}{L + aV + bV^2} \dots\dots\dots (1)$$

N 交通量 / 時 / 車線

V 速度 km/h

L 車の延長 m

bV^2 制動距離 m

aV 前車の停止より後車が制動を行ふ迄に進行する距離 m

然れども本交通量は安全を期する爲の交通量にして一般には更に各車輛間の距離を短縮して進行せしむる場合あり。米國 Washington-Baltimore 間の州道に於て A.N. Johnson が飛行機により交通状態を撮影調査せる結果は次の式を得たり。

$$N = \frac{5280 V}{15 + 0.5 V^{1.3}}$$

V 速度 mile/h.

即實測結果は速度の 1.3 乗を得たるも、之は幸にして故障を生ぜざりし場合に於て一般的には制動距離より求めるを安全とすべし。

尙從來提示せられたる諸式を一括すれば次の如し。

交通量に關する諸式の比較

Agg. $Q = \frac{5280 N \cdot S}{L + C}$ Q 交通量/h, N 車線數, S 速度 mile/h, L 車長 ft, C 間隔 ft

Johnson, Dean, $Q = \frac{5280 N \cdot S}{L + 0.09 S^2}$ Agg は間隔を一定せるもの Johnson 式は制動距離 = $0.0695 V^2$ とせり

R. F. Keller $C = \frac{3600}{T + \frac{L}{S}} = \frac{3600}{T + \frac{12}{M}}$ C 交通量/h, T 車輛間を通過する時間, D 車輛間の距離 ft, S 速度 ft/sec, $M = \text{mile/h}$, L 車長 ft

$$D = \left(T + \frac{12}{M} \right) \left(\frac{88M}{60} \right) \\ = 1467 MT + L$$

Bureau of public road. 減速度 2.73 m/sec^2 , 摩擦係數 0.60 と定む

N.Y. $N = \frac{1000 V}{L + 0.14 V + 0.00867 V^2}$

Ehlgötz
$$Z = \frac{1000 V}{l + \frac{Vt}{3.6} + \frac{3}{2 \times 2.8 \gamma} \times \left(\frac{V}{3.6}\right)^2}$$
 摩擦係數 γ はゴム輪帶に對し 0.65 鐵輪

帶に對し 0.40 とす

Schwanter
$$N = \frac{3600 v}{L + 2v}$$
 之は制動距離を考慮せず

Schaar
$$N = \frac{3600 v}{L + v + 0.33 v^2}$$

Wurzburg
$$N = \frac{3600 v}{L + 0.5 v + 0.166 v^2}$$

$$= \frac{3600 v}{L + tv + kv^2}$$
 t を Reaktionszeit と云ふ減速度 3 m/sec² とす

佛國
$$n = \frac{v}{L + \theta v + (1 - \lambda) \frac{v^2}{2\gamma}}$$

今、試驗結果より制動距離を求め之より一車線交通量を求むれば次の如し

(1) 乗用自動車の交通量

自動車交通量は路面凹凸係數 140 cm/km 砂利道に於ける試驗結果を用ひ次式により求めたり。

$$N = \frac{1000 V}{L + 0.139 V + 0.0108 V^2} \quad (2)$$

N 交通量 / 時 / 車線

V 速度 km/h

L 車輛占有面長 m

L 車輛の間隔 m

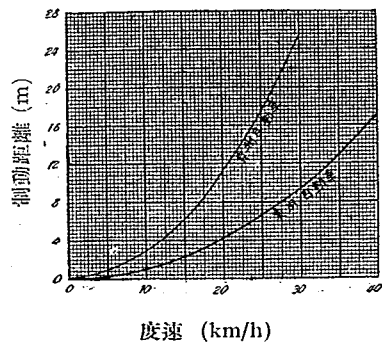
$$L = L + 0.139 V + 0.0108 V^2 \quad (3)$$

此場合 $f = 0.571$

本式は運轉手が細心の注意を拂ふ場合、前車の停止又は故障を發見して制動する迄の時間を 1 sec として求めたり。

交通量と速度との關係は第三圖第四圖及第三表の如し。最大量は式 (2) を微分して求むれば、速度 20.65 km/h の場合、交通量 1715 輛/時 なり

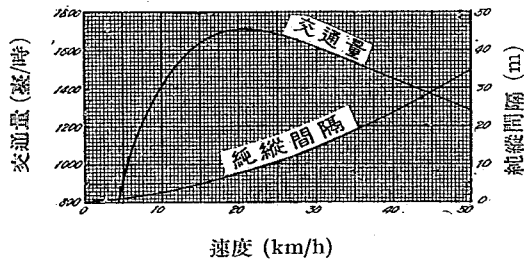
第三圖



第三表 乗用自動車

速度 km/h	交通量 臺/時	縦間隔 m	同 sec	横断幅員 m	運輸働 Car km/h
5	896	5.59	—	—	4,480
10	1,408	7.09	—	—	14,080
15	1,640	9.13	1.22	1.70	24,600
20	1,708	11.72	1.39	1.92	34,160
20.65	1,715	12.11	1.41	1.96	35,415
25	1,685	14.85	1.56	2.17	42,125
30	1,608	18.63	1.75	2.45	48,240
35	1,535	22.74	1.92	2.67	53,725
40	1,470	27.48	2.11	2.83	58,800
45	1,370	32.87	2.29	3.18	61,650
50	1,298	38.21	2.46	3.42	64,500

第四圖 乗用自動車



縦間隔は本表に示すが如く、前後兩車間の純間隔を車輛が進行するに要する時間より、兩車間を歩行者が速度 5 km/h を以て横斷し得べき距離を求むれば車輛速度 45 km/h 以上の場合に 3 m 以上にして之以下の速度の場合は横斷

危険なり、従つて本交通量は自動車専用道路の場合に限り適用し得るものなり。

(2) 貨物自動車の交通量

貨物自動車の制動距離は第一編試験結果より路面凹凸係数 110 cm/km の砂利道に於ては $(0.01945 + 0.00052 V) V^2$ を得たるも、本距離は試験路面状態及勾配の影響を受けたるが如く、従つて交通量を求むるに當りてはその近似値をとりて次式を用ひたり。

$$L = l + 0.139 V + 0.0286 V^2$$

$$N = \frac{1000 V}{l + 0.139 V + 0.0286 V^2}$$

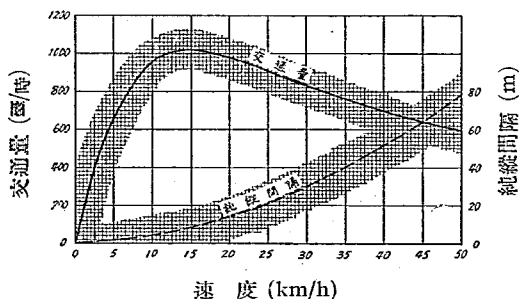
$$f = 0.228$$

速度と交通量の関係は第四表第五圖の如し。

第 四 表 貨 物 自 動 車

速 度 km/h	交通量/時	純 縦 間 隔		横断幅員 m	交 通 働 Car km/h
		m	sec		
5	654	1.41	1.015	1.421	3,270
10	953	4.25	1.530	2.142	9,530
14.85	1,017	8.37	2.029	2.841	15,102
15	1,016	8.52	2.045	2.863	15,240
20	978	14.22	2.560	3.584	19,560
25	906	21.35	3.074	4.304	22,650
30	830	29.91	3.589	5.025	24,900
35	759	39.90	4.104	5.746	26,565
40	695	51.32	4.619	6.467	27,800
50	590	78.45	5.648	7.907	29,500

第 五 圖 貨物自動車



最大交通量は速度 14.85 km/h の場合 1,017 車/時 に達せり。

而して自動車間の純間隔を歩行者が 5 km/h の速度を以て通過し得る場合は速度 20 km/h 以上の場合にして従つて専用道路に限り生じ得べき交通量なり。

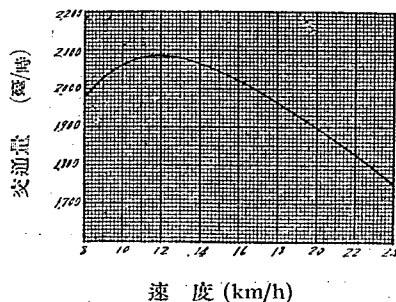
(3) 自動車の交通量

自轉車の交通量は次式より求めたり

$$N = \frac{1000 V}{l + 0.139 V + 0.0144 V^2}$$

速度と交通量の関係は第六圖の如く、その最大量は速度 13.44 km/h 交通量 1900 なり。

第 六 圖 自 轉 車



(4) 荷馬車の交通量

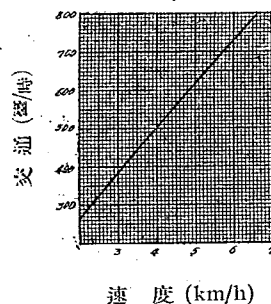
荷馬車の轆馬を附したる場合の延長 6.77 m 停車の際の間隔を 0.60 m とし次式により交通量を求めたり。

$$N = \frac{1000 V}{6.77 + 0.60 + 0.139 V}$$

速度と交通量との関係は第七圖の如し。

荷馬車は平均速度 4 km/h に於て 505 臺, 同 5 km/h に於て 620 臺に達せり。

第七圖 荷馬車



2 車輛の經濟價值

車輛の最大交通量を得べき速度、及一般の交通状態に於ける平均速度の場合に於ける路線に對する運輸價值を求むれば第五表の如し。

路面占有係數は一車に對する占有面と縦間隔との割合より之を求め交通混雜の程度を表すものなり。

第五表 最大交通量の場合

	乗用自動車	貨物自動車	自轉車	荷馬車	荷小車
速度 { km/h	20.65	14.85	11.80	5.00	4.00
m/sec	5.74	4.13	3.28	1.39	1.11
交通量 /h	1,715	1,017	2,090	678	1,324
運輸量 ton/h, Car/h	1,715	2,440	2,090	987	838
運輸働 ton km/h, Car km/h	35,500	35,600	24,700	4,935	3,352
縦間隔 m	12.11	14.62	6.26	8.07	3.58
純間隔 m	8.09	8.97	4.26	1.30	1.16
同進行時間 sec	1.41	2.18	1.30	1.00	1.05
路面占有係數	0.332	0.385	0.320	0.840	0.675

貨物自動車は荷馬車に比し、交通量 1.5 倍、運輸量 2.55 倍、運輸働 7.05 倍に達し、運輸經濟價值遙かに大にして、路面占有係數は 2.2 分の一にして路面混雜の程度は遙かに小なり。

更に地方路線に於ける交通の狀態より考へ、各種車輛がその平均速度に於て運轉する場合を比較すれば、貨物自動車は 30 km/h と考へ得べく荷馬車に比較して、交通量 1.22 倍、運輸量 2.02 倍、運輸働 12.1 倍に達し路面占有係數は 18.6 % に過ぎず、路面交通の混雜を緩和する事大なり。

第六表 平均速度の場合

	乗用自動車	貨物自動車	自動車	荷馬車	荷小車
速度 km/h	40	30	18	5	4
m/sec	11.11	8.33	5.00	1.39	1.11
交通量 /h	1,470	830	1,970	678	1,324
運輸量 ton/h, Car/h	1,470	1,990	1,970	987	838
運輸働 ton km/h, Car km/h	58,800	59,700	35,460	4,935	3,352
縦間隔 m	27.48	36.15	9.16	8.07	3.58
純間隔 m	23.46	30.51	7.16	1.30	1.16
同進行時間 sec	2.11	3.68	1.43	1.00	1.05
路面占有係數	0.146	0.156	0.218	0.840	0.675

更に路面幅員 1 m 當りに對する各種交通形式による運輸交通量は路面の利用効率を示すものなるが故に歩行者、荷馬車、自転車、乗用及貨物自動車、電車等に對して之を求め、之らの交通機能を比較すれば第七表の如し。

各種車輛の速度は街路に於ける平均速度をとりて之を求めたり。

第七表

	歩道 歩行者	車道				軌道 電車
		自転車	荷馬車	乗用自動車	貨物自動車	
交通線幅 m	0.75	1.00	2.00	3.00	3.00	2.81
速度 km/h	5.00	18.00	5.00	30.00	25.00	14.00
縦間隔 m	0.83	9.16	8.07	18.63	27.60	43.00
交通量 /h	5,550	1,970	678	1,608	906	326
人交通量						
人	5,550	1,970	—	8,040	—	22,800
人/m	7,400	1,970	—	2,680	—	8,130
人軒/m	37,000	35,460	—	80,400	—	114,000
貨物運輸量						
ton	—	40	987	—	2,170	—
ton/m	—	40	494	—	723	—
ton km/m	—	720	2,477	—	18,100	—

〔摘要〕 乗用自動車 5 人乗、貨物自動車 2.4 ton 積、自転車 20 kg 携帯、電車 70 人乗とす。

路幅 1 m 當りの運輸價值を各交通様式に就て比較すれば、人交通量に對しては、歩行及電車によるもの最大能力を示すも、交通の目的たる人軒數を比較すれば、歩行

者1に對し自轉車は略同一にして、乗用自動車は2倍、電車は3倍を示し、從つて局部交通に對しては歩行交通が路面の最大能力を發揮し、通過交通に對しては自動車及電車によるを以て路面經濟なりとし、交通量極めて大なる場合は電車によるを經濟なるを示せり。

自轉車は人と貨物との兩者に對して考へ得べく、人交通に對しては路面經濟上歩行と略同一の價値を有す。

貨物運輸に就て比較すれば、荷馬車に比し貨物自動車は運輸量1.5倍、運輸働は7倍30に當り、路面經濟上貨物自動車によるを經濟とし、更に運輸經費を考ふるも亦然るを知るべし。

第八表に示すが如し。

第八表 交通様式による路幅1mの經濟價値

		歩行者	自轉車	乗用自動車	電車	荷馬車	貨物自動車
交通量	人/mの比	1.00	0.26	0.36	1.10	—	—
	人 km/mの比	1.00	0.96	2.18	3.08	—	—
運輸量	ton/mの比	—	—	—	—	1.00	1.47
	ton km/mの比	—	—	—	—	1.00	7.30

第三節 車輛の運輸費

車輛の運輸に要する經費は車輛によりまた地方路面により異りその標準を定め難しと雖も、自動車及荷車の各種に關し調査せる結果は第九表及第十表の如し。

第九表 荷車運輸費

項 目	荷 馬 車								摘 要
	四 輪 車		二 輪 車		荷 牛 車		小 車		
	圓/年	圓/日	圓/年	圓/日	圓/年	圓/日	圓/年	圓/日	
車 臺	50,000	0.139	28,333	0.106	37,500	0.104	16,667	0.046	
轆 牛 車	146,667	0.407	80,000	0.222	23,333	0.065	—	—	
附 屬 品	69,600	0.195	42,083	0.120	8,700	0.024	9,900	0.028	{ シート、荷綱、引綱、手綱、鞍、腹帶、其他雜附屬品
勞 力 費	724,400	2.012	604,400	1.679	497,150	1.362	904,400	2.512	
轆馬飼育費	622,800	1.969	523,320	1.420	594,950	1.630	—	—	{ 牛馬醫料、蹄鐵、飼料、燃料、其他
車輛運輸費	7,200	0.020	7,200	0.020	7,300	0.020	2,400	0.007	

車輛修繕費	36,000	0.100	24,000	0.067	20,000	0.056	5,000	0.014	
厩舍賃	72,000	0.200	72,000	0.200	240,000	0.667	—	—	
税金	19,000	0.053	19,000	0.053	18,000	0.050	3,600	0.010	本税、附加税
計	1,795,667	4.988	1,411,336	3.920	1,446,933	3.978	941,967	2.617	

第十表 自動車運轉費

項 目	貨 物 自 動 車		乘用自動車	乘 合 自 動 車	
	福島、栃木、富山 岡山、平均	名 古 屋	東 京	東 京	名 古 屋
	圓/哩	圓/哩	圓/哩	圓/哩	圓/哩
人 件 費	0.084	0.096	0.040	0.127	0.065
運 轉 費	0.089	0.080	0.037	0.040	0.054
輪 帶 費	0.024	0.008	0.014	0.012	0.017
修 繕 費	0.020	0.030	0.010	0.022	0.026
車 庫 費	0.006	0.005	0.012	0.001	0.010
原 價 償 却	0.038	0.027	0.050	0.040	0.033
稅 金	0.010	0.011	0.006	0.008	0.010
雜 費	0.021	0.017	0.010	0.021	0.045
計	0.292	0.274	0.179	0.271	0.260

荷馬車、荷牛車及小車は東京附近に於て大日本自動車業組合聯合會淺野氏の調査によるものとす。

之らの各種車輛の單位運輸働に對する經費は第十一表の如し。

第十一表 各種車輛の運輸經費

	荷馬車		荷手車	小車	貨物自動車	乗合自動車	乗用自動車
	二輪車	四輪車					
經費 円/年	1,411.336	1,795.667	1,446.933	941.967			
„ 円/日	3.920	4.988	3.978	2.617			
積載量平均 ton	0.50	0.75	0.60	0.40			
運搬距離 km/日	32.00	32.00	24.00	19.20			
運搬働 ton km/日	16.00	24.00	14.40	7.70			
經費 円/ton km	0.245	0.208	0.276	0.340	0.202	0.183	0.128
円/ton mile	0.392	0.333	0.530	0.545	0.292	0.266	0.179

運輸經費に關する資料は尙不充分の感あるも、今以上の資料により ton km 當り運輸費を比較すれば、荷小車最も高く 0.340 圓、荷牛車 0.276 圓、荷馬車之に次ぎて 0.245 乃至 0.208 圓、自動車は 0.202 圓、乗用自動車及乗合自動車は Car km 當り夫々 0.128 圓、0.183 圓にして、最も小なり。

第三章 道路幅員に關する研究

第四節 地方道路の幅員

道路幅員は車輛の大きさ、交通量、速度等により決定すべきものなるも、現代交通車輛の種類及寸法極めて多岐多様にして幅員に關する一般的標準を求むる事困難なり。然れども今行き違ふ二車輛の交通に必要な幅員に關しては從來幾多の説ありて次の如し。

今 Agerley に従つて幅員を求むれば次の如し。

d 車輛の軌間 m

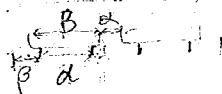
B 積載臺幅員 m

α 二車輛間の横間隔 m

β 車輪と路面の縁との距離 m

W 道路幅員 m

$$W = 2\left(\frac{B-d}{2} + d + \beta\right) + \alpha = B + d + \alpha + 2\beta \dots\dots\dots(1)$$



幅 員

Jons. Agerley

$B=2.5$ m 最大 3.2 m

$d=1.5$ $\alpha=0.20$ $\beta=0.10$

従つて $W=4.4$ 又は 5.1 m 自動車の B は荷馬車より大ならざるも、速度が 3 倍以上なればその間隔は後者の 3.0 倍以上を要す。

Lucian Limasset

$B=2.5$ $d=2.0$ m $\alpha=0.50$

$\beta=0.25$ $W=5.5$ m

但一般に B 及 d は之より小なるを以て路幅員は之より求めたるものより少くとり得べし。

Harger

乗用自動車 $B=1.7$ 貨物 $B=2.13$ m

故に B の最大値 2.44 m とす。

$\alpha=0.45$ (直線部) 0.90 (曲線部)

$\beta=0.30$

Le Laparpe

$\alpha=0.50$

$\beta=0.25$ 車の端と路線との距離

$W_1 = 2B + \alpha + 2\beta = 2B + 1.00$

車輛の最大寸法

	獨逸	佛國	米國	英國		普通寸法	
				平均	最大	乗用自動車	貨物自動車
B	3.2	2.5	2.8	1.50	2.28	1.70	2.13
d	1.5	2.0				1.40—1.50	1.83

今車輛間の間隔を速度に比例するものとし Agerley の式に従ひ、自動車の場合を
求むれば次の如し。

自動車の間隔は荷馬車の間隔の 3 倍とする場合、

$$\text{乗用自動車に對して} \quad W = 1.70 + 1.50 + 0.60 + 0.60 = 4.40.$$

$$\text{貨物自動車に對して} \quad W = 2.13 + 1.83 + 0.40 + 0.40 = 4.76.$$

同じく乗用自動車に對し 5 倍、貨物自動車に對し 4 倍とすれば

$$\text{乗用自動車に對して} \quad W = 1.70 + 1.50 + 1.00 + 1.00 = 5.20.$$

$$\text{貨物自動車に對して} \quad W = 2.13 + 1.83 + 0.80 + 0.80 = 5.56.$$

速度の増大に伴ひ幅員は次第に大なるものを要求するに至れり。

然れども各國一般に一交通車線の幅員を決定し、一路線を二車線幅のものとして設計せり。その車線幅員は第十二表の如し。

第十二表 交通車線幅

英國	佛國	獨逸	米國
Ministry of transport each line of traffic	Ministere des ponts et chaussees	Stufa	
10 ft	3 m	3 m	10 ft 都市街路 9 ft
			現在 Federalaid highway の うち、幅 20 ft のもの 20%、 幅 18 ft のもの 70% を含む。

車線幅は各國共に 3 m とするを標準とし、之以下の現在路線もその幅員を擴大して此標準に達せしめんとしつゝあり。

混合交通の場合、自動車々線 2 と緩行車線 1 をとるに必要な路幅は式 (1) に緩行車幅 B_0 を加へて次式を得べし。

$$W = B + d + B_0 + 2\alpha + 2\beta.$$

緩行車としての荷馬車は 1.82 m の幅員を要するが故に乗用自動車と混合交通の場合 8.02 m 貨物自動車との場合 8.18 m を要す。然れども自動車線が 3 の場合は

貨物自動車に對し 8.49 を要すべく、之により 9 m ととるを適當とすべし。

路肩は路面の側方支持の爲に必要なのみならず、歩行者の安全を期するに必要なを以て各國共に規定を設けて之を備へたり。

路 肩 に 關 す る 規 定

〔佛 國〕 路肩は縁石 (Curb) により限定するを要し。

車體は縁石まで 0.30 m の間隔を有すべし。

建築線迄は 1.40 m の幅を有すべし。

連續せる障害物ある場合は 0.75 m 單獨の障害物ある場合は 0.60 m の間隔を保つを要す。

車體の軌間の間には 0.50 m の間隔をとるべし。

〔米 國〕 West Virginia, dirt shoulder 2'.0 & 1'.0

New Jersey 2'.0

車の停止に必要な部分として路肩の幅、多くの例は 2.4~3.0 m

數例は 0.9~1.2 m 1.8 m を用ふるものも多し。

此部分多くは、雨水の洗堀を防ぐ爲に芝工を行ふ。

A.S.C.E. March 1930.

Brince Public Road. Public Works Jan. 1929.

第 五 節 混 合 交 通 量 の 經 濟 的 限 度

都市近郊及地方路線は主として二車線幅を有し、交通量の増加に伴ひその幅員を擴大すべき標準に關しては一定の法則なく、多くの場合單に想定的に之を決定するに過ぎず。

今混合交通の見地に立ちて車線數増加に關する交通量の限度を求めむとす。

一種類の車輛の専用路線ならざる限り、一般道路は緩行車と疾行車とが同一車線を使用するが故に、後者が前者を追越して進行する場合に、各車が各その速度を低下せざる條件のもとに混合交通量の最大量を求め、更に疾行車が特に速度を變更して、緩行車を追越す場合の混合交通量の最大量を求め、之より車線數を増加し道路幅員を擴大すべき混合交通量の限度を得むとす。

從來混合交通の場合、その交通能力大に減退するも之を評價すべき方法なく、單に想定的に豫想して混合交通の相當量ある路線は、緩行車の使用を禁止せり。

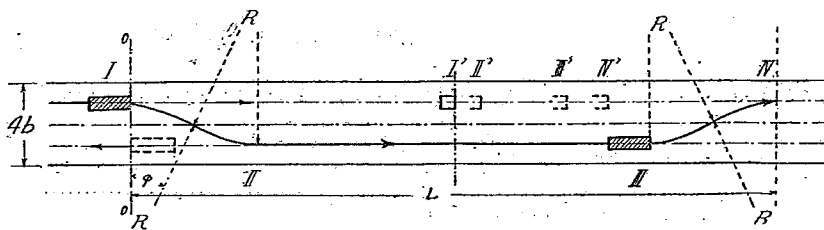
(Agg の説)

I. 疾行及緩行車が各速度を變化せざる場合

今二車線幅を有する路線に於て、左側の疾行車輛が對右側車線の同様車輛と行違ひたる後、その前方を進行中の緩行車輛を追越す爲に、右車線に進路を移し追越せる後に再び左車線に復歸するものと考へ、右側車線に於ても之と同様の追越作業を行ひて各自の本車線に復歸せる際に、之等兩車線の疾行車が行違ふものとし、此らの場合何れも各車輛がその速度の低下を必要とせざるものとして、許容し得べき緩行及疾行兩種車輛の交通量の限度を求むべし。

もし之等行違の場合に一方が停車又は對車線の車輛の障害により、速度の低下をなすべき必要ある場合は、已に混合交通量の限度を超えたる場合なりとす。

第 八 圖



今 疾行車 車體の長 l_h m 速度 V_h m/sec

緩行車 同 l_l m 同 V_l m/sec

路 幅 $4b$ m

路面横勾配 α cm/m 又は $\alpha\%$

車輛が對車線に移る場合の進路の路面勾配 $\tan \gamma$

路面と輪帶との摩擦係數 f

車輛の制動距離 疾行車 S_h

緩行車 S_l

1. 疾行車が緩行車を追越す場合の所要區間延長及時間。

(1) 疾行車が緩行車に近づき之を追越す爲に右車線に進路を移さむとする際の位置 I)。

疾行車と緩行車との縦間隔は前者の速度により異り、制動距離を考へて定むべく、從つて緩行車の位置 (I) は式 (1) により表はさる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{位置 I, 疾行車 } L_{h1}=0 \\ \text{緩行車 } L_{h1}=l+S_h \end{array} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

(第八圖参照)

(2) 疾行車が曲線進路をとりて右車線に移れる際の位置 (II)

疾行車の曲線進路の半径は路面摩擦係数及その路面横勾配により異り式 (2) により表はさる。

$$\left. \begin{array}{ll} \text{曲線半径} & r = \frac{V_h^2}{g \cos^2 \gamma (f - \tan \gamma)} \\ \text{曲線進路の中心角} & \varphi = \tan^{-1} \frac{\sqrt{b(2r-b)}}{r-b} \\ \text{曲線進路の延長} & 2S = 2\varphi r \\ \text{曲線進路の部分の直線延長} & 2r \sin \varphi = 2\sqrt{r^2 - (r-b)^2} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

$g = \text{重力加速度 } \text{m/sec}^2$

従つて疾行及緩行車の位置 (II) 及時間は式 (3) 及 (4) により表はさる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{位置 疾行車 } L_{h2} = 2r \sin \varphi \\ \text{緩行車 } L_{h2} = l + S_h + \frac{2\varphi r}{V_h} V_l \end{array} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{時間 } T_2 = \frac{2\varphi r}{V_h} \dots\dots\dots(4)$$

(3) 疾行車が緩行車を追越して再び左車線に復歸せむとする線の位置 (III)。

(a) 緩行車が速度緩にして、その前方に縦間隔を必要とせざる場合 (緩行車が荷馬車が如きものの場合)。

緩行車と疾行車が兩車線を進行して之を追越す場合の位置に達する迄に、前

記の位置 (II) より進行する距離及時間は式 (5) 及 (6) により表はさる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{距離 疾行車} = \left(l + S_h + \frac{2\varphi r}{V_h} V_l - 2r \sin \varphi \right) \frac{V_h}{V_h - V_l} \\ \text{緩行車} = \left(l + S_h + \frac{2\varphi r}{V_h} V_l - 2r \sin \varphi \right) \frac{V_l}{V_h - V_l} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{時間 } T = \left(l + S_h + \frac{2\varphi r}{V_h} V_l - 2r \sin \varphi \right) \frac{1}{V_h - V_l} \dots\dots\dots(6)$$

従つて位置 (III) は式 (7) 及 (8) により表はさる。

$$\text{位置 疾行及緩行車 } L_{h3} = \frac{V_h}{V_h - V_l} \left(l + S_h \right) + \frac{V_l}{V_h - V_l} \left(2\varphi r - 2r \sin \varphi \right) \dots\dots(7)$$

$$\text{時間} \quad T_3 = \frac{1}{V_h - V_l} (l_i + S_h + 2\varphi r - 2r \sin \varphi) \quad \dots\dots\dots(8)$$

Q(b) 緩行車の速度相當にして、その前方に縦間隔を必要とする場合(緩行車が自轉車の如きものの場合)。

緩行車にその必要なる縦間隔を隔つる位置に於て疾行車が追越し横切る場合、その位置迄進行する距離及時間は式(9)(10)にて表はさる。

$$\text{距離} \quad \left. \begin{aligned} \text{疾行車} &= \frac{V_h}{V_h - V_l} \left(l_i + S_h + S_l + \frac{2\varphi r}{V_h} V_l - 2r \sin \varphi \right) \\ \text{緩行車} &= \frac{V_l}{V_h - V_l} \left(l_i + S_h + S_l + \frac{2\varphi r}{V_h} V_l - 2r \sin \varphi \right) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$\text{時間} \quad T = \frac{1}{V_h - V_l} \left(l_i + S_h + S_l + \frac{2\varphi r}{V_h} V_l - 2r \sin \varphi \right) \quad \dots\dots\dots(10)$$

従つて位置(III)は式(11)及(12)により表はさる。

$$\begin{aligned} \text{位置 III.} \quad & \left(+ l_h + S_e \right) \\ \text{疾行車} \quad L_{h3} &= \frac{V_h}{V_h - V_l} (l_i + S_h) + \frac{V_l}{V_h - V_l} (2\varphi r - 2r \sin \varphi) + S_l \frac{V_h}{V_h - V_l} \\ \text{緩行車} \quad L_{l3} &= \frac{V_h}{V_h - V_l} (l_i + S_h) + \frac{V_l}{V_h - V_l} (2\varphi r - 2r \sin \varphi) + S_l \frac{V_l}{V_h - V_l} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$\text{時間} \quad T_3 = \frac{1}{V_h - V_l} (l_i + S_h + S_l + 2\varphi r - 2r \sin \varphi) \quad \dots\dots\dots(12)$$

✓ (4) 疾行車が緩行車を追越して右車線より、左車線に復歸する位置(IV)復歸に要する進路の延長及時間は(2)の場合と同様に求め得べし。

$$\text{距離} \quad \text{疾行車} = 2r \sin \varphi$$

$$\text{緩行車} = \frac{2\varphi r}{V_h} V_l$$

$$\text{時間} \quad T = \frac{2\varphi r}{V_h}$$

従つて位置(IV)は式(13)(14)及(15)(16)により表はさる。

(a) 緩行車が縦間隔を要せざる場合。

位置

$$\begin{aligned} \text{疾行車} \quad L_{h4} &= \frac{V_h}{V_h - V_l} (l_i + S_h) + \frac{V_l}{V_h - V_l} (2\varphi r - 2r \sin \varphi) + 2r \sin \varphi \\ \text{緩行車} \quad L_{l4} &= \frac{V_h}{V_h - V_l} (l_i + S_h) + \frac{V_l}{V_h - V_l} (2\varphi r - 2r \sin \varphi) + \frac{2\varphi r}{V_h} V_l \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$\text{時間} \quad T_4 = \frac{1}{V_h - V_l} (l_l + S_h + 2\varphi r - 2r \sin \varphi) + \frac{2\varphi r}{V_h} \quad (14)$$

(b) 緩行車が縦間隔を要する場合。

位置 疾行車

$$L_{h4} = \frac{V_h}{V_h - V_l} (l_l + S_h) + \frac{V_l}{V_h - V_l} (2\varphi r - 2r \sin \varphi) + S_l \frac{V_h}{V_h - V_l} + 2r \sin \varphi \quad (15)$$

緩行車

$$L_{l4} = \frac{V_h}{V_h - V_l} (l_l + S_h) + \frac{V_l}{V_h - V_l} (2\varphi r - 2r \sin \varphi) + S_l \frac{V}{V_h - V_l} + \frac{2\varphi r}{V_h} V_l$$

$$\text{時間} \quad T_4 = \frac{1}{V_h - V} (l_l + S_h + S_l + 2\varphi r - 2r \sin \varphi) + \frac{2\varphi r}{V_h} \quad (16)$$

(5) 兩車線に於て 各々追越しを完了するに 要する區間延長及時間、左車線に於て 疾行車が緩行車を追越し爲に右車線を進み、再び左車線に復歸せる際に左車線に於て も同様の追越しをなせる疾行車が進み來り、障害なく行違ひをなすものとし、此兩車線 の行違ひの一周期を完了するに 要する 區間延長及時間は式 (17) (18) にて表はし得べ し。

$$\text{區間全延長} \quad L_0 = 2L_{h4} \quad (17)$$

$$\text{時間} \quad T_0 = 2T_4 \quad (18)$$

(a) 緩行車が縦間隔を要せざる場合。

$$\left. \begin{aligned} L_0 &= \frac{2V_h}{V_h - V_l} (l_l + S_h) + \frac{2V_l}{V_h - V_l} (2\varphi r - 2r \sin \varphi) + 4r \sin \varphi \\ T_0 &= \frac{2}{V_h - V_l} (l_l + S_h + 2\varphi r - 2r \sin \varphi) + \frac{4\varphi r}{V_h} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

(b) 緩行車が縦間隔を要する場合。

$$\left. \begin{aligned} L_0 &= \frac{2V_h}{V_h - V_l} (l_l + S_h) + \frac{2V_l}{V_h - V_l} (2\varphi r - 2r \sin \varphi) + \frac{2V_h}{V_h - V} S_l + 4r \sin \varphi \\ T_0 &= \frac{2}{V_h - V} (l_l + S_h + S_l + 2\varphi r - 2r \sin \varphi) + \frac{4\varphi r}{V_h} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

(6) 混合交通量の限度。

疾行車と緩行車の交通量の限度は式 (21) (22) (23) にて表はし得べし。

$$\left. \begin{aligned} \text{疾行者} \quad N_h &= \frac{3600 V_h}{L_0} \quad \text{臺/時} \\ \text{緩行車} \quad N_l &= \frac{3600 V_l}{L_0} \quad \text{臺/時} \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

(a) 緩行車が縦間隔を要せざる場合。

$$\left. \begin{aligned} N_h &= \frac{3600 V_h}{\frac{2 V_h}{V_h - V_l} (l_l + S_h) + \frac{2 V_l}{V_h - V_l} (2 \varphi r - 2 r \sin \varphi) + 4 r \sin \varphi} \\ N_l &= \frac{3600 V_l}{\frac{2 V_h}{V_h - V_l} (l_l + S_h) + \frac{2 V_l}{V_h - V_l} (2 \varphi r - 2 r \sin \varphi) + 4 r \sin \varphi} \end{aligned} \right\} (22)$$

(b) 緩行車が縦間隔を要する場合。

$$\left. \begin{aligned} N_h &= \frac{3600 V_h}{\frac{2 V_h}{V_h - V_l} (l_l + S_h) + \frac{2 V_l}{V_h - V_l} (2 \varphi r - 2 r \sin \varphi) + \frac{2 V_h}{V_h - V_l} S_l + 4 r \sin \varphi} \\ N_l &= \frac{3600 V_l}{\frac{2 V_h}{V_h - V_l} (l_l + S_h) + \frac{2 V_l}{V_h - V_l} (2 \varphi r - 2 r \sin \varphi) + \frac{2 V_h}{V_h - V_l} S_l + 4 r \sin \varphi} \end{aligned} \right\} (23)$$

(7) 混合交通の場合疾行車が追越をなす際に受くる時間及距離的損失は式 (24) (25) により表はさる。

$$\text{距離的損失 } \Delta L = 4r(\varphi - \sin \varphi) \dots\dots\dots (24)$$

$$\text{時間的損失 } \Delta T = \frac{4r(\varphi - \sin \varphi)}{V_h} \dots\dots\dots (25)$$

2. 混合交通の限度

今疾行車と緩行車を次の如くとり、各の場合交通量を求めたり。

- (1) 自動車と荷馬車との混合交通。
- (2) 自動車と自轉車との混合交通。
- (3) 自轉車と荷馬車との混合交通。

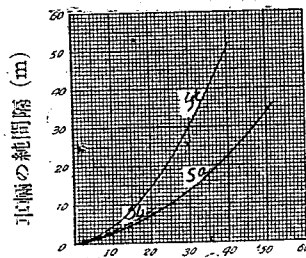
之らの疾行車が緩行車を追越す場合の所要路線延長及時間を求むべし。

車輛の延長及前後の交通車輛間の純間隔は次の如くとり、第十三表第九圖に示すが如し。

貨物自動車	長 5.64 m	純間隔 $S_l = 0.5 V_l + 0.372 V_l^2$
乗用自動車	4.02 m	$S_a = 0.5 V_a + 0.140 V_a^2$
自轉車	2.00 m	$S_b = 0.5 V_b + 0.187 V_b^2$
荷馬車	6.77 m	

第十三表 車輛の純間隔 m

速度 (km/h)	乗用自動車	貨物自動車	自轉車
10	2.47	4.26	2.84
12	—	—	3.74
15	—	8.56	5.34
20	7.11	14.28	8.56
30	13.88	29.98	—
40	22.84	51.48	—
50	34.00	—	—

第九圖
車輛の純間隔

速度 (km/h)

 S_L : 貨物自動車 S_a : 乗用自動車 S_b : 自轉車

路幅は二車線幅を有するものとし、6.0 m となり、路面摩擦係数は第七十七表に示すが如く構造及状態により異なるも、安全の爲に 0.3 とし右側車線に進路をとる場合の進路勾配は $1/50$, $\tan \gamma = 0.02$ とすれば、進路の曲率半径 r と速度との関係は次式を以て表はし得べく、之より第十四表第十圖に之を求めたり。

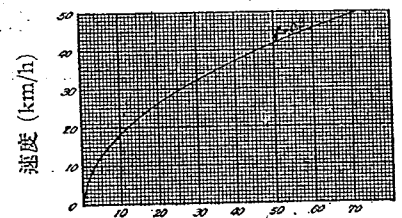
$$r = \frac{V^2}{g \cos^2 \gamma (f - \tan \gamma)}$$

 V 速度 m/sec $\tan \gamma$ 0.02 r 曲率半径

第十四表

疾行車速度 km/h	曲線 進路半径 m	ϕ	曲線 進路延長 $2\phi r$ m	進路 直線延長 $2r \sin$ m	m/sec
10	2.82	1.01245	5.71	4.78	2.78
12	4.04	0.89082	7.20	6.28	3.33
15	6.34	0.70201	8.90	8.19	4.17
20	11.27	0.52175	11.76	11.24	5.56
30	25.29	0.34603	17.50	17.16	8.33
40	44.98	0.25878	23.28	23.03	11.11
50	70.41	0.20678	29.12	28.92	13.90

第十圖



進路曲線半径 (m)

混合交通量は式 (23) により次の如し。

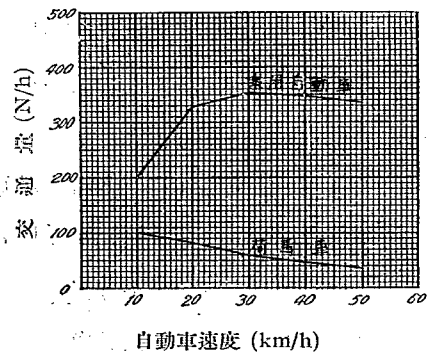
(1) 乗用自動車と荷馬車。

荷馬車の速度を 5 km/h とし乗用自動車の速度を 10 乃至 50 km/h の場合に於ける混合交通量は第十五表第十一圖の如し。

第 十 五 表
荷馬車と乗用自動車

速度 km/h	L_0 m	T_0 sec	N_h	N_l
10	50.38	19.46	198.7	99.
20	61.18	11.38	327.2	81.8
30	85.24	10.39	351.8	58.7
40	114.96	10.44	347.9	43.5
50	149.54	10.82	334.6	33.5

第 十 一 圖 混合交通量



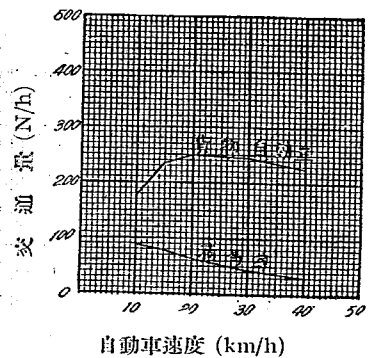
(2) 貨物自動車と荷馬車

荷馬車の速度 5 km/h とし 貨物自動車の速度 10 乃至 40 km/h の場合は第十六表第十二圖の如し。

第 十 六 表
荷馬車と貨物自動車

速度 km/h	L_0	T_0	N_h	N_l
10	57.54	22.04	173.9	87.0
15	64.58	16.17	232.5	77.5
20	80.30	14.81	249.3	62.3
30	123.90	15.03	242.0	40.4
40	180.43	16.33	221.7	27.7

第十二圖 混合交通量



(3) 自轉車と荷馬車

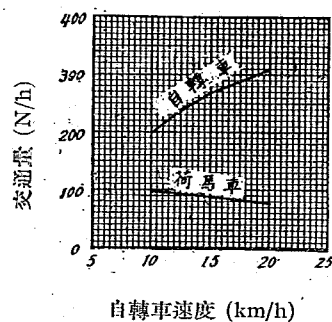
荷馬車の速度 5 km/h とし、自轉車の速度 10 乃至 20 km/h の場合は第十七表第十三圖の如し。

第十七表

自轉車と荷馬車

速度 km/h	L_0 m	T_0 sec	N_h	N_l
10	51.86	19.99	193.0	96.5
12	51.68	16.62	232.0	96.8
15	54.92	13.85	273.3	91.1
20	65.05	12.07	307.7	76.9

第十三圖 混合交通量



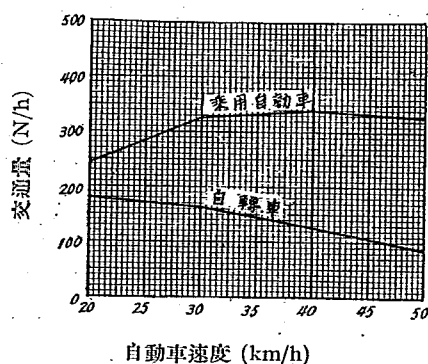
(4) 自轉車と乗用自動車。

自轉車の速度を 15 km/h とし自動車の速度 20 乃至 50 km/h にて之を追越す場合は第十八表第十四圖の如し。

第十八表 自轉車と乗用自動車

自動車速度		自轉車速度		L_0	T_0	N_h	N
km/h	m/sec	km/h	m/sec	m	sec		
20	5.56	15	4.17	83.40	25.77	240.0	180.0
30	8.33	15	4.17	91.59	14.54	327.4	163.9
40	11.11	15	4.17	118.82	12.96	336.6	126.3
50	13.90	15	4.17	152.52	12.74	328.1	98.4

第十四圖 混合交通量



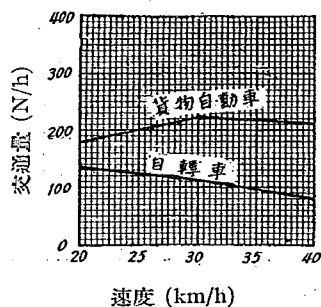
(5) 自轉車と貨物自動車。

前同様に貨物自動車の速度 20 乃至 40 km/h を以て、自轉車を追越す場合は第十九表第十五圖の如し。

第十九表 自轉車と貨物自動車

自動車速度 km/h	自轉車速度 m/sec	km/h	m/sec	L_0 m	T_0 sec	N_h	N_l
20	5.56	15	4.17	112.08	36.09	178.6	133.9
30	8.33	15	4.17	134.53	22.26	222.9	111.6
40	11.11	15	4.17	187.59	21.21	213.2	80.0

第十五圖 混合交通量



3. 専用交通と混合交通の場合との交通量の比較

疾行車と緩行車との混合交通量の經濟的限度と、各々が専用交通の場合の交通量とを比較すれば第二十表乃至第二十四表の如し。

自動車と荷馬車との交通量は平均速度 30 km/h の場合、自動車交通量 20 乃至 25% に減じ、荷馬車は、6 乃至 10% に減少し、著しく路線の利用効率を害するを知るべし。

自轉車と荷馬車との交通量は、各 13 乃至 15% に減少し同様に著しく利用効率を失ふものとす。

第二十表

自動車速度 km/h	乗用自動車交通量			荷馬車交通量		
	混合	専用	減少率 (%)	混合	専用	減少率 (%)
10	198.7	1,408	14.1	99.3	620	16.05
20	327.2	1,708	19.2	81.8	620	13.20
30	351.8	1,608	21.9	58.7	620	9.50
40	347.9	1,470	23.7	43.5	620	7.02
50	334.6	1,298	25.8	33.5	620	5.40

第二十一表

自動車速度 km/h	貨物自動車交通量			荷馬車交通量		
	混合	専用	減少率 (%)	混合	専用	減少率 (%)
10	173.9	953	18.3	87.0	620	14.05
15	232.5	1,016	22.9	77.5	620	12.50
20	249.3	978	25.5	62.3	620	10.05
30	242.0	830	29.2	40.4	620	6.52
40	221.7	695	31.9	27.7	620	4.47

第二十二表

自転車速度 km/h	自転車交通量			荷馬車交通量		
	混合	専用	減少率 (%)	混合	専用	減少率 (%)
10	193.0	2,060	9.36	96.5	620	15.58
12	232.0	2,085	11.15	96.8	620	15.63
15	273.3	2,045	13.35	91.1	620	14.70
20	307.7	1,895	16.20	76.9	620	12.40

自転車と自動車との混合交通は兩者共にその前車との間隔は制動距離より求むべき場合に於て、専用交通量に對する混合交通量は乗用自動車は 22% 内外自転車は 6% 内外に減少し、貨物自動車に對しては、同様 27 % 内外自転車 6% 内外に減少し著しく路線の利用効率を減少す。

第二十三表

自動車速度 km/h	乗用自動車交通量			自転車交通量		
	混合	専用	減少率 (%)	混合	専用	減少率 (%)
20	240.0	1,708	14.1	180.0	2,045	8.80
30	327.4	1,608	20.4	163.9	2,045	8.03
40	336.6	1,470	22.8	126.3	2,045	6.17
50	328.1	1,298	25.3	98.4	2,045	4.81

第二十四表

自動車速度 km/h	貨物自動車交通量			自転車交通量		
	混合	専用	減少率 (%)	混合	専用	減少率 (%)
20	178.6	978	18.1	133.9	2,045	6.55
30	222.9	830	26.9	111.6	2,045	5.46
40	213.2	695	30.7	80.0	2,045	3.92

II 疾行車が速度を變更して緩行車を追越す場合

1. 疾行車が緩行車を追越す爲に減速して之に近づき、加速し曲線進路をとりて右車線に移り追越せる後左車線に復歸する場合の所要區間延長及時間。

I の場合の記號の外次のものを用ふ。

α = 加速度 m/sec^2

β = 減速度 m/sec^2

V_h' = 減速せる場合の疾行車速度 m/sec^2

t = 時間 sec

疾行車が減速して速度 V_h' に於て左車線に曲線路をとりて加速しつゝ緩行車を追越す場合の進路曲線及緩行車との間に必要なる縦間隔は次式により表はさる。

$$r = \frac{(V_h' + \alpha t)^2}{g \cos^2 \gamma (f - \tan \gamma)}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{\sqrt{b(2r-b)}}{r-b}$$

$$S_h' = 2r \sin \varphi = 2 \frac{(V_h' + \alpha t)^2}{g \cos^2 \gamma (f - \tan \gamma)} \sin \varphi$$

然れども疾行車の構造によりその曲線進路の半径に限度あり、從つて運轉上の安全の爲と、更に式の簡易化の爲に疾行車の標準速度 V_h に對する曲線進路をとりて進むものとして縦間隔を求めたり。

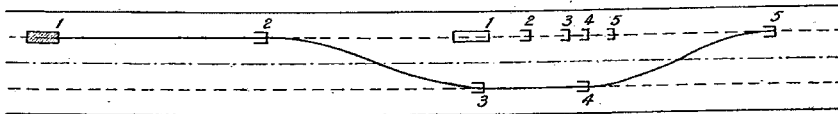
$$r = \frac{V_h^2}{g \cos^2 \gamma (f - \tan \gamma)}$$

$$S_h' = 2r \sin \varphi$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{\sqrt{b(2r-b)}}{r-b}$$

$$S_h' = 2 \frac{V_h^2}{g \cos^2 \gamma (f - \tan \gamma)} \sin \varphi$$

第 十 六 圖



(1) 疾行車が緩行車に近づく爲に減速を初むる位置 I

疾行車 $V_h' = V_h - \beta t$

$$t = \frac{V_h - V_h'}{\beta}$$

減速して V_h' に達する迄の距離

$$\begin{aligned} l_{h1} &= \int_0^t (V_h - \beta t) dt = V_h \frac{V_h - V_h'}{\beta} - \frac{1}{2} \beta \left(\frac{V_h - V_h'}{\beta} \right)^2 \\ &= \frac{1}{2} \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\beta} \end{aligned}$$

疾行車が l_{h1} を進む間に緩行車の進む距離

$$l_{h1} = \frac{V_h - V_h'}{\beta} V_l$$

従つて位置 I は式 (1) により表はさる。

位置 I 疾行車 $L_{h1} = 0$

$$\left. \begin{aligned} \text{緩行車 } L_{h1} &= \frac{1}{2} \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\beta} + S_h' + l_l - \frac{V_h - V_h'}{\beta} V_l \\ \text{時間 } T_1 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

(2) 疾行車が減速して緩行車に近づき對車線に曲線進路をとりて向はんとする位置 II

位置 II は次式により表はし得べし。

$$\left. \begin{aligned} \text{疾行車 } L_{h2} &= \frac{1}{2} \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\beta} \\ \text{緩行車 } L_{h2} &= \frac{1}{2} \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\beta} + S_h' + l_l \\ \text{時間 } T_2 &= \frac{V_h - V_h'}{\beta} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (2)$$

(3) 疾行車が曲線進路をとりて右車線に移る場合の位置 III

$$\begin{aligned} \text{疾行車の進む距離} &= \int_0^t (V_h' + \alpha t) dt = V_h' \frac{(V_h - V_h')}{\alpha} + \frac{1}{2} \alpha \left(\frac{V_h - V_h'}{\alpha} \right)^2 \\ &= \frac{1}{2} \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\alpha} \end{aligned}$$

而して $V_h = V_h' + \alpha t$

$$t = \frac{V_h - V_h'}{\alpha}$$

此疾行車の進行距離の直線延長は次式にて表はさる。

$$\text{直線進路} = \frac{1}{2} \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\alpha} - 2\phi r + 2r \sin \phi$$

従つて位置 III は式 (3) により表はさる。

$$\left. \begin{aligned} \text{疾行車 } L_{h3} &= \frac{1}{2} \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\beta} + \frac{1}{2} \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\alpha} - 2\phi r + 2r \sin \phi \\ \text{緩行車 } L_{h3} &= \frac{1}{2} \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\beta} + S_h' + l_l + \frac{(V_h - V_h')}{\alpha} V_l \\ \text{時間 } T_3 &= \frac{V_h - V_h'}{\beta} + \frac{V_h - V_h'}{\alpha} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

(4) 疾行車と緩行車とその頭首を揃へて進行する位置 IV

頭首を揃へて進行する迄に要する區間延長。

$$\text{疾行車} = \frac{V_h}{V_h - V_l} \left\{ S_h' + l_l + \frac{V_h - V_h'}{\alpha} V_l - \frac{1}{2} \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\alpha} + 2\varphi r - 2r \sin \varphi \right\}$$

$$\text{緩行車} = \frac{V_l}{V_h - V_l} \left\{ \begin{array}{cccc} \text{,,} & \text{,,} & \text{,,} & \text{,,} \end{array} \right\}$$

$$\text{時間 } t = \frac{1}{V_h - V_l} \left\{ \begin{array}{cccc} \text{,,} & \text{,,} & \text{,,} & \text{,,} \end{array} \right\}$$

従つて位置 IV は式 (4) により表はさる。

疾行車

$$L_{h4} = \frac{1}{2} \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\beta} + \frac{V_h}{V_h - V_l} \left[S_h' + l_l + \frac{V_h - V_h'}{\alpha} V_l \right] - \left[\frac{1}{2} \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\alpha} - 2\varphi r + 2r \sin \varphi \right] \frac{V_l}{V_h - V_l}$$

緩行車

$$L_{l4} = \frac{1}{2} \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\beta} + \frac{V_h}{V_h - V_l} \left[S_h' + l_l + \frac{V_h - V_h'}{\alpha} V_l \right] - \left[\frac{1}{2} \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\alpha} - 2\varphi r + 2r \sin \varphi \right] \frac{V_l}{V_h - V_l} \quad (4)$$

時間

$$T_4 = \frac{V_h - V_h'}{\beta} + \frac{V_h - V_h'}{\alpha} + \frac{1}{V_h - V_l} \left[S_h' + l_l + \frac{V_h - V_h'}{\alpha} V_l - \frac{1}{2} \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\alpha} + 2\varphi r - 2r \sin \varphi \right]$$

(5) 疾行車が緩行車を追越して右車線より左車線に復歸する位置 V

復歸に要する進路の延長及時間は I の (4) と同様に求め得べし。

$$\text{距離} \quad \text{疾行車} = 2r \sin \varphi$$

$$\text{緩行車} = \frac{2\varphi r}{V_h} V_l$$

$$\text{時間} \quad T = \frac{2\varphi r}{V_h}$$

従つて位置 V は式 (5) により表はさる。

位置 疾行車

$$L_{hs} = \frac{1}{2} \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\beta} + \frac{V_h}{V_h - V_l} \left[S_h' + l_l + \frac{V_h - V_h'}{\alpha} V_l \right] \\ - \left[\frac{1}{2} \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\alpha} - 2\varphi r + 2r \sin \varphi \right] \frac{V_l}{V_h - V_l} + 2r \sin \varphi$$

緩行車

$$L_{ls} = \frac{1}{2} \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\beta} + \frac{V_h}{V_h - V_l} \left[S_h' + l_l + \frac{V_h - V_h'}{\alpha} V_l \right] \\ - \left[\frac{1}{2} \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\alpha} - 2\varphi r + 2r \sin \varphi \right] \frac{V_l}{V_h - V_l} + \frac{2\varphi r}{V_h} V_l \quad (5)$$

時間

$$T_s = \frac{V_h - V_h'}{\beta} + \frac{V_h - V_h'}{\alpha} + \frac{1}{V_h - V_l} \left[S_h' + l_l + \frac{V_h - V_h'}{\alpha} V_l \right] \\ - \frac{1}{2} \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\alpha} + 2\varphi r - 2r \sin \varphi + \frac{2\varphi r}{V_h}$$

(6) 兩車線に此の追越しが行はるゝものとして一車線の車輛の間隔を求めれば I の場合と同様に式 (6) により求め得べし。

$$\left. \begin{aligned} L_0 &= 2L_{hs} \\ T_0 &= 2T_s \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

(7) 混合交通の限度を求めれば次式により表はさる。

$$\left. \begin{aligned} N_h &= \frac{3600}{2T_s} \\ N_l &= \frac{3600V_l}{2L_{hs}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

2 混合交通量の限度

貨物自動車と荷馬車との混合交通の場合、自動車が追越しをなす場合の加減速度を 1 m/sec^2 として平均速度の場合を考ふれば交通量の限度は第二十五表の如し。

第 二 十 五 表 $\alpha = \beta = 1 \text{ m/sec}^2$ の場合

自動車速度				自動車交通量 荷馬車交通量			
V_h		V_h'		L_0	T_0	N_h	N_l
km/h	m/sec	km/h	m/sec	m	sec		
30	8.33	15	4.17	99.32	9.85	182.8	50.35
		20	5.55	97.78	8.61	209.2	51.15
40	11.11	15	4.17	152.56	13.08	137.6	32.78
		20	5.55	150.26	11.49	156.7	33.55

自動車が定速を保つて進行する場合の混合交通量と比較すれば第二十六表の如く、自動車交通量は定速の場合より減少するも、荷馬車の交通量は増加するを知るべし。

第二十六表

自動車速度 km/h	自動車交通量			荷馬車交通量		
	定速の場合	変速の場合		定速の場合	変速の場合	
		15 km/h	20 km/h		15 km/h	20 km/h
30	242.0	182.8	209.2	40.4	50.35	51.15
40	221.7	137.6	156.7	27.7	32.78	33.55

更に自動車の加減速度を 2 m/sec^2 として考ふれば交通量は第二十七表の如し。

第二十七表 $\alpha = \beta = 2 \text{ m/sec}^2$

自動車速度 V_h		V_h'		L_0 m	T_0 sec	自動車交通量 N_h	荷馬車交通量 N_l
km/h	m/sec	km/h	m/sec				
30	8.33	15	4.17	71.72	7.14	254.0	69.70
		20	5.55	77.78	6.93	259.8	64.30
40	11.11	15	4.17	97.18	8.24	218.5	51.24
		20	5.55	102.04	8.02	224.4	48.00

加減速度 2 m/sec^2 の場合は同 1 m/sec^2 の場合よりも路線利用率大にして、自動車が定速を保つて進行する場合と比較すれば、自動車荷馬車共に交通量増大せり。

第二十八表

自動車速度 km/h	自動車交通量			荷馬車交通量		
	定速の場合	変速の場合		定速の場合	変速の場合	
		15 km/h	20 km/h		15 km/h	20 km/h
30	242.0	254.0	259.8	40.4	69.7	64.3
40	221.7	218.5	224.4	27.7	51.24	48.0

III 地方路線の混合交通の限度

地方路線の交通量より考ふれば自轉車交通量は相當大なれども路線の性質上、經濟的影響大なるは自動車と荷馬車なるが故に兩者の混合交通の見地より經濟上幅員の擴張を必要とする二車線幅の路線の混合交通量の限度を考ふれば第十五表乃至第二十六表に示せる交通量より自動車の加減速 1 m/sec^2 の場合をとり、自動車 200 両/時 荷馬車 50 両/時 とすべく、加減速度之より大なる場合はより大なる交通量を許容し得べきも、自動車運轉の安全を期し難く、従つて前記の交通量を以て標準的限度と考へ得べし。

第六節 現在地方道の交通量に関する考察

現在地方路線の交通量を車輛種別に應じて分類して、昭和三年十月全國に亘りて行へる交通調査に就て考ふれば、未だ前記混合交通量の限度に達せざるもの多きも、都市近郊に於ける幹線（所謂 Superhighway）に於てはその限度に達し、著しく車輛の交通機能を阻害するゝを知るべし。

東京附近に於ける交通調査の結果その主なるものをあぐれば第二十九表の如し。

第二十九表

時刻	八 號 國 道 東京府和田堀町			青 梅 街 道 中野町本郷			東京川口線 赤 羽 町			八號國道 調 布 町			八 號 國 道 小宮村大和町村		
	自動車	自轉車	荷車	自動車	自轉車	荷車	自動車	自轉車	荷車	自動車	自轉車	荷車	自動車	自轉車	荷車
午前															
6—7	15	115	36	41	126	29	3	55	6	60	20	4	5	41	23
7—8	25	151	68	56	198	58	12	59	27	7	31	3	9	72	41
8—9	36	107	97	66	196	66	19	83	32	11	36	7	13	83	38
9—10	32	119	66	70	231	85	20	91	26	16	36	4	16	73	31
10—11	45	118	47	83	290	64	20	84	25	19	36	4	15	62	20
11—12	38	102	72	72	285	87	21	93	23	12	33	6	10	60	17
午後															
0—1	40	98	69	67	234	113	15	86	16	15	41	4	9	65	18
1—2	39	101	62	71	268	108	17	94	28	10	38	3	10	79	21
2—3	37	109	59	76	273	90	21	91	38	13	42	9	10	73	20
3—4	38	126	46	78	277	93	17	99	29	17	45	10	12	64	14
4—5	33	176	57	75	317	68	19	112	26	16	65	13	12	96	19
5—6	41	143	41	76	316	53	14	100	56	16	57	10	9	84	9
6—7	38	106	11	75	203	20	16	60	6	11	25	3	7	41	2
7—8	41	65	12	56	120	11	13	45	4	7	20	1	5	24	1

自轉車交通を犠牲として自動車と荷車との混合交通を考ふるも調査第12號青梅街道の如き著しく經濟的交通量の限度を超えたり。

従つて都市近郊幹線の幅員減少による經濟的損失の大なるを知るべし。

第四章 街路幅員に關する研究

第七節 街路交通の性質

都市街路の交通は文化の進歩と交通用具の發達により、近年急激にその量と質とに變化を來し、將來益々著しからんとする趨勢にあり。此交通革新に調和し社會の進歩を阻害せざらしむるには、街路計畫に關する科學と技術との絶えざる研究に待たざるべからず。

都市の交通施設が尙交通機能を異にする電車、自動車、自轉車及荷車をして同一平面に作業せしむる現代文化の程度に於ては、交通用具の保安設備と交通用路との合理的設計とを立て、更にその交通方法に適當なる整理と統制を與へて之を補足するは止むを得ざる所なり。

従つて今街路に於て各種車輛の同一路面に於ける領域を指示する現在の方法に關して、その領域の決定を研究せむとす。

第八節 歩道に於ける交通量

歩行の交通量及速度は都市内の地域の種別、街路の性質によりて異り、事務的及作業的地域に於ては速度大、住宅及遊樂地域に於ては速度小なるを常態とす。更に同一街路に於ても時刻により異り、今事務的歩行を目的とする一般街路の歩道に於てその最大交通量を求めむとす。

1. 歩行者の縦間隔と速度との關係

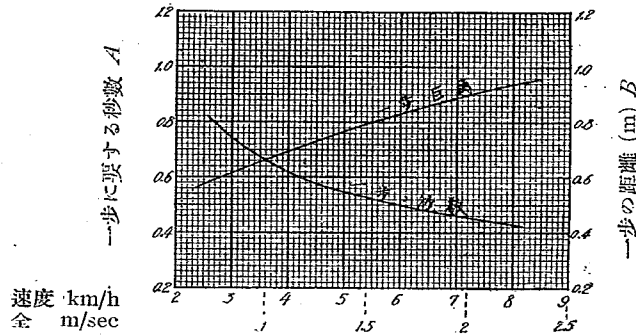
成年男子が歩行する場合の速度は、緩歩 2-3 km/h 常歩 4-5 km/h 速歩 6-8 km/h にして、之らの場合のピッチ、即 1 sec の歩數、1 歩の所要時間、一步の歩長、及前方歩行者との最小縦間隔を試験せるものは第三十表の如し。

第三十表

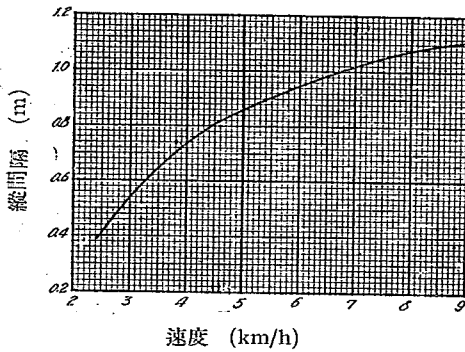
速 度	歩数/秒	秒/歩	延長/歩	縦間隔
米/時	米/秒		米	米
2.60	0.725	1.245	0.804	0.430
3.43	0.955	1.473	0.680	0.630
3.80	1.060	1.585	0.630	0.800
5.40	1.500	1.903	0.525	0.810
7.14	1.990	2.215	0.4525	1.032
8.14	2.260	2.400	0.417	1.073

速度と 1 sec の歩数及歩長の関係は第十七圖の如く速度と縦間隔との関係は第十八圖の如く。

第十七圖



第十八圖



速度と縦間隔との関係を最小自乗法を用ひて次の式を得べし。

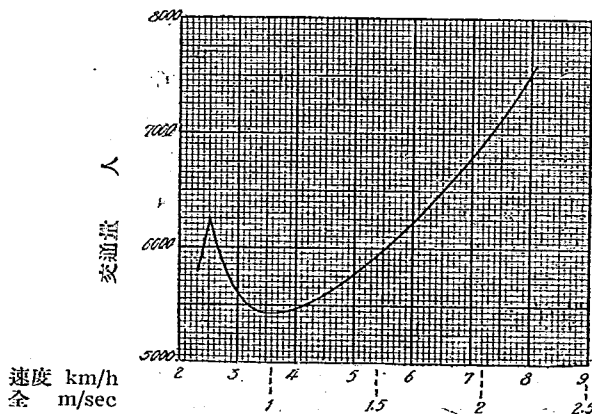
$$h = 0.40 + 0.25(V - 2.5)^{0.60}$$

h 縦間隔 m

V 速度 km/h

2. 一歩行線の交通量

第十九圖



前記の式を用ひて各速度の場合の交通量を求むれば第十九圖の如し。

交通量の最小値は速度 3.5 km/h の場合にして、一時間 5,400 人となり、その他の速度の場合は、何れも之より交通量大なり。此限

度以下の速度の場合は、幅員狭き場所に於て交通混雜せる際に起り、單位時間の交通量は大なるも交通量はその速度小なるにより著しく小なり。

尙 2.5 km/h 以下の場合はその縦間隔は歩行者の互に接觸せる場合にして、速度に比例して増減すべし。

$$\text{獨逸 Ehlgötz} \quad z = \frac{1000 V}{0.8} = 6250/h$$

3. 速度と側間隔との關係

並行せる歩行者の側間隔は路面の性質により異り、砂利道に於ては鋪裝に於けるよりも、その所要幅員大なるべきも、今コンクリート方塊歩道に於て成年男子が歩行する場合の速度と側間隔を試験せるものは第三十一表の如し。

第 三 十 一 表

速 度		歩数/秒	秒/歩	歩長 m	側間隔 m
km/時	米/秒				
2.66	0.736	1.180	0.850	0.626	0.501
3.40	0.945	1.415	0.680	0.640	0.480
5.20	1.440	1.870	0.535	0.770	0.470
7.00	1.940	2.230	0.448	0.870	0.484

小學兒童及中學校生徒の歩行の際の側間隔は第三十二表の如し。

第 三 十 二 表

種 別	側間隔 m
小學生 一年生	0.315
二年生	0.335
三年生	0.355
六年生	0.380
中學生	0.440
成 年	0.500
獨逸 Ehlgötz	0.75
佛國	0.55

側間隔は速度により變化は特に著しく認められず、只歩行者の大きさにより異れり。

本試験に於ては小學生 0.38 m、中學生 0.44 m、成年男子 0.50 m を得たるも、試験は夏季に於て行へるものなるを以て一般交通線幅は、0.60 m とするを適度と認め

られ、更に歩行者が荷物携帯等の事情により、標準幅員は 0.75 m と定むべきものと信ず。

之により、各種速度の交通能力を求むれば第三十三表の如し。

第 三 十 三 表

速度 km/h	歩道交通量 人/h	歩道幅員		摘 要
		1.5 m	3.0 m	
3	5,570	11,140	22,280	小賣商店地域
4	4,980	9,960	19,920	住 宅 地 域
5	5,800	11,600	23,200	事 務 所 区 域

第 九 節 歩道に於ける路上工作物の影響

路下埋設工作物と路上工作物とは街路の特質として避け難き街路附屬物にして、後者は主として歩道上に設置するが故に之に對する相當なる幅員の餘裕をとらざるべからず。

路上工作物は、交番、公衆電話の如き相當廣き面積を占むるものより、自轉車臺、塵埃箱、商店標示の如き私的物件及街路樹、消火栓、新聞揭示板、ポスト、電柱、變電庫、バス停止標、照明柱、火災報知機、撒水用ポンプ、井戸、駐車場標識の如き公共的物件あり、更に一時的の夜店、植木鉢、商品置場等、各種の工作物及障害物を有す。

今東京市内に於て歩道幅員 5.4 m、3.7 m 及 2.7 m の路線に於て之らの工作物及障害物が路面の有効幅員を減少せしむる割合を調査すれば第三十四表の如し。

第 三 十 四 表

歩道障害物	所要 幅員 m	縁石と の間隔 m	歩道幅 5.4 m		歩道幅 3.7 m		歩道幅 2.7 m	
			有効 幅員 m	同 減少 %	有効 幅員 m	同 減少 %	有効 幅員 m	同 減少 %
街 路 樹	0.15	0.90	4.50	16.7	2.80	24.4	1.80	33.4
商 品	0.46	0.00	4.94	8.5	3.24	12.4	2.24	17.1
自 轉 車 臺	1.06	0.15	4.19	22.4	2.49	30.0	1.49	45.0
植 木 鉢	0.60	0.00	4.80	11.1	3.10	16.2	2.10	22.3
消 火 栓	0.22	0.21	4.97	8.0	3.27	10.6	2.27	16.0
塵 埃 箱	0.46	0.00	4.94	8.5	3.24	12.4	2.24	17.1
新 聞 紙 臺	0.18	0.00	5.22	3.3	3.52	4.9	2.52	6.7
交 番	2.00	0.45	2.95	45.5	—	—	—	—

郵便ポスト	0.42	0.24	4.74	12.2	3.04	17.8	2.04	24.5
遞信省電柱	0.34	0.36	4.70	13.0	3.00	19.0	2.00	26.0
東電電柱	0.45	0.36	4.59	15.0	2.89	21.9	1.89	30.0
電車柱	0.40	0.36	4.64	14.1	2.94	20.5	1.94	28.2
夜店	1.52	0.15	3.73	31.0	2.03	45.0	—	—
ギャーボックス	0.91	0.15	4.34	19.7	—	—	1.64	39.2
停止標	0.60	0.15	4.65	13.9	2.95	20.3	1.95	27.8
理髮店標柱	0.30	0.00	5.10	5.5	3.40	8.1	2.40	11.1
變電庫	0.76	0.21	4.43	18.0	2.73	26.2	1.73	36.0
バス標柱	0.46	0.15	4.79	11.3	3.09	16.5	2.09	22.6
照明柱	0.18	0.30	4.92	8.9	3.22	13.0	2.22	17.8
公衆電話	1.03	0.18	4.19	22.5	2.49	32.8	1.49	45.0
火災報知機	0.15	0.30	4.95	8.3	3.25	12.2	2.25	16.7
撒水井戸	0.91	0.00	4.49	16.8	—	—	—	—

路上工作物及障害物を避け得べきものと道路附屬又は交通上避け得ざるものとに分類して、歩道幅員を減少せしむる割合を求むれば第三十五表の如し。

之ら障害物の大さは歩道幅員により變化なきを以て、その歩道有効幅員の減少率は歩道幅狭き場合極めて大にして、歩道幅廣き場合は影響少し。

第三十五表 歩道障害物の幅

物 件	種 類	平均幅 m
避け得ざるもの		
道路附屬物	街路樹、撒水井戸等	0.80
公共的物件	ポスト、消火栓、照明燈、火災報知機、塵埃箱	0.50
交通標識	停止標、バス標柱	0.60
利用物件	交番、公衆電話、新聞揭示板	1.80
避け得べきもの		
電 柱		0.80
私 的 物 件	自轉車臺、植木鉢、商品等	1.00
同	夜店	1.70

今之ら障害物の幅を平均 0.80 m として街路幅員 33 m 及 22 m の場合軌道を有するものと然らざるものとの歩道につきて考へ、有効歩道幅及其の減少率を求むれば第三十六表の如し。

第 三 十 六 表

道路幅	歩道幅	有効歩道幅	減少率
m	m	m	%
33.0	5.40	4.60	14.8
22.0	3.70	2.30	21.6
22.0	2.70	2.70	29.6

歩道幅大なる場合は減少率約 15% 同歩道幅小なる場合は 20 乃至 30% の減少率となり、幅員小なるものは益々小となる状態にあり、勿論歩道幅小なるものはその交通量も少きを意味すべきも、路上工作物及障害物を考ふればその有効歩道幅は全歩道幅と作はざるを以て歩道幅員決定に當りては深く注意を要すべきものと信ず。

第 十 節 街路幅員の決定

街路の幅員及歩車道区分の設定に當りては、從來單なる想定により幅員を定め、或は街路構造令第四條に則りて歩道幅員は街路全幅員の 1/6 宛を兩側に設くるを原則とし、復興局標準設計に於ても、幅員比較的小なる街路に軌道を有する場合に此比率を減する事あるも、軌道なき場合は構造令の指示に従ひ、常に六分一以上の歩道幅員をとれり。

その標準幅員は第三十七表の如し。

第 三 十 七 表

街路間	幅員 m	歩道幅員 m	比
6.0	11	2.5	1 : 4.4
8.0	15	3.0	1 : 5.0
9.0	16	3.0	1 : 5.3
10.0	18	3.5	1 : 5.2
11.0	20	3.5	1 : 5.7
12.0	22	3.7	1 : 6.0
12.0	22	2.7	1 : 8.1
13.8	25	4.2	1 : 6.0
15.0	27	4.5	1 : 6.0
18.0	33	5.5	1 : 6.0
20.0	36	6.0	1 : 6.0

然れども車輛交通と歩行交通との比は、都市に於ける地域及路線により一定せず、

交通調査の結果を見れば第二十圖の如く、歩行交通量が車輛交通に比し著しく大なるものと然らざるものとあり。

従つて地域の種類、路線の目的に應ずる何等の考慮を拂はずして一律に之を則するは、極めて不合理にして不便なる場合少からず。

同一目的を有する地域に於ても、街路幅の大小に關せず、歩車道幅の比を一定にするは、交通量の路面利用係数を等値とすべき基礎に立ちて考ふれば不合理にして、歩道幅が一定幅以上の大きさのものはその單位幅當りの交通

量著しく減じ路面利用率著しく小となるを以て、通過交通を目的とする大幹線街路の歩道の如きは、歩車道幅の比を同様にとれば、交通利用係数著しく小となるべし。

商業地域に於て通過交通を目的とする幹線街路の歩道を、小賣店街と同一比にとりて定むる如きは決して合理的なりと云ひ得べからず。

一般的に街路の幅員を定むる事は極めて困難なりと雖も、都市近郊に於ける幹線街路の如きものに對しては一の法則を求め得べし。

今交通調査の結果より、路線に於ける一方線交通量を取り、將來に於ける交通量の増加は人口及車輛の増加率より之を求め、之より幅員を決定せむとす。

今	T_p	歩行交通量/交通線	t_p	同許容交通量/交通線
	T_w	荷馬車交通量/車線	t_w	同 同
	T_b	自轉車交通量/車線	t_b	同 同
	T_a	自動車交通量/車線	t_a	同 同

一交通線又は車線に於ける許容交通量は第七表より求むるものとす。

路面利用係数は各車輛を同一にとり、之を K とすれば次式を得べし。

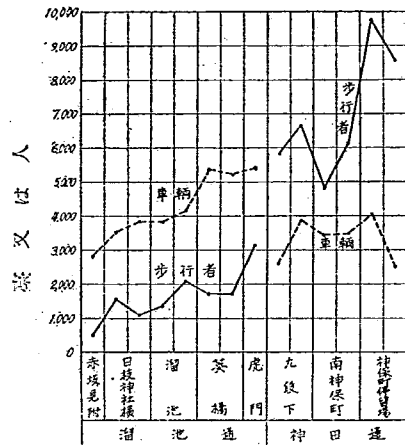
$$\text{歩道幅員 } W_1 = K \frac{T_p n_p}{t_p} \times 0.75 + 0.80 \quad \text{m}$$

$$\text{車道幅員 } W_2 = 2 \left(2 \frac{T_w}{t_w} n_w + \frac{T_b}{t_b} n_b + \frac{3T_a}{t_a} n_a \right) K$$

n_p 關係人口増加率

n_w, n_b, n_a 荷車、自轉車、自動車の増加率

第二十圖 交通量



街路全幅員は歩車道幅員と街渠幅 2×0.60 m を加へて次式の如し。

$$\text{街路幅員 } W = 2W_1 + W_2 + 1.20$$

$$= \left(1.5 \frac{n_b T_b}{t_b} + 4 \frac{n_w T_w}{t_w} + 2 \frac{n_b T_b}{t_b} + 3 \frac{n_a T_a}{t_a} \right) \times K + 2.8$$

東京市内に於ける交通調査の結果より、調査箇所 291 につき、その平均量を求め、その交通量に應すべき所要幅員を求むれば第三十八表の如し。

第三十八表

本表の数値はまた都市の交通の性質を表し得るものと考へらる。

種別	交通量	1 箇所 1 時間 平均交通量	所要幅員 m	標準幅員 m	摘 要
歩行者	7,323,614	2,100	2.54	歩道 4.70	歩道及車道は交通量に 對して路面利用係數 を 0.100 とし
車 輛	4,381,911	1,260			軌道は之を 0.30 とし
自轉車	2,381,063	684	3.47	車道 3.50 (緩行)	歩道は之に路上工作物
荷 車	472,065	136	3.14	3.00 (同)	に對する餘裕 1.6 m
自動車	454,890	130	3.03	6.00 (疾行)	を加へ更に 0.56 m
電 車	463,181	203	5.62	軌道 5.60	を加へて標準幅員を
				街渠 1.20	一定せり
				全幅 24.00	

本邦に於ける車輛交通の現状に鑑み、その最大數量を示せる自轉車交通に對しては疾行緩行車に對すると同様特に一の交通線を指示するを適當と考へらる。

本邦に於ける交通調査は未だ廣き範圍に對し長期に亘りて求めたるもの少く、大正十四年東京市内に於て行ひ、昭和三年地方路線に就て行ひ從つて一地點の交通量の増加率を知るに困難なるも、此兩回の調査に於て行へる同一地點に就て三年間の増加率を求むれば、第三十九表の如く、自動自轉車最も大にして、自轉車、乗用及貨物自動車之に次ぎ、荷車、歩行者之に次ぐ、牛馬車及人力車は減少せり、本地點は東京市郡界に近き部分なるが故に、街路及地方路線に於ては各その交通の性質に應じ特色を有して同様に律すべからざるが故に、只都市近郊幹線 (superhighway) の例として之を掲けたり。

第三十九表

観測地	歩行者	人力車	自轉車	荷車	乗用馬車	牛馬車	自動自轉車	乗用自動車	貨物自動車	電車
上富士前町										
大正十四年調	7,204	69	2,436	586	8	429	17	478	155	646
昭和三年調	13,206	45	8,272	790	0	304	164	1,471	711	815
増加率	1.83	0.65	3.40	1.35	0.00	0.71	9.65	3.08	4.59	1.26
西丸町										
大正十四年調	7,650	50	2,257	696	1	743	16	252	369	877
昭和三年調	8,667	22	7,624	776	0	507	120	898	1,001	815
増加率	1.14	0.44	3.38	1.12	0.00	0.69	7.50	3.56	2.72	0.93

第五章 路線勾配及坂路に於ける 路面構造に關する研究

第十一節 勾配及坂路路面選定に關する標準

路線勾配の決定に當り、自動車は牽引力の強大なるにより相當急なる坂路を上り得るも、その機關運轉の方法により、經濟的速度の範圍内に於て運轉せしむるには勾配とその延長に一定の限度を定むる事を得べし。

轆馬はその勞働能力に限度を有するが故に勞働を繼續し得る生理狀態に保つには勾配とその延長に一定の限度を必要とす。

自動車の普及發達顯著なりと雖も、吾國に於ける現在馬匹 150 萬頭を算して過去 30 年に亘り更に減少せず、荷馬車も 353,000 輛を有して減少せず、貨物自動車が此數に達するには今後 22 年を要すべく、従つて現代運輸交通上轆馬運輸を輕視するを得ざるが故に、一種車輛の専用道路以外の一般地方路線設計は此混合交通の見地に立つを要すべく、而してその勾配と延長限度とを轆馬交通より求むれば自動車交通に對して尙その經濟的範圍にあり。

従つて今地方路線勾配に關する、限度を荷馬車に關する試験結果より之を求めむとす。

坂路勾配及その延長限度は轆馬の勞働能力より求むるが故に、その限度に於ては轆馬の休息區間を設定するを要し、その區間の位置及延長はその前後の勾配及延長、路線交通量より求むべきものとす。

勾配の延長がその限度に達せざる坂路に於ける路面構造は蹄鐵に對するその摩擦係

第三十九表

観測地	歩行者	人力車	自轉車	荷車	乗用馬車	牛馬車	自動自轉車	乗用自動車	貨物自動車	電車
上富士前町										
大正十四年調	7,204	69	2,436	586	8	429	17	478	155	646
昭和三年調	13,206	45	8,272	790	0	304	164	1,471	711	815
増加率	1.83	0.65	3.40	1.35	0.00	0.71	9.65	3.08	4.59	1.26
西丸町										
大正十四年調	7,650	50	2,257	696	1	743	16	252	369	877
昭和三年調	8,667	22	7,624	776	0	507	120	898	1,001	815
増加率	1.14	0.44	3.38	1.12	0.00	0.69	7.50	3.56	2.72	0.93

第五章 路線勾配及坂路に於ける 路面構造に關する研究

第十一節 勾配及坂路路面選定に關する標準

路線勾配の決定に當り、自動車は牽引力の強大なるにより相當急なる坂路を上り得るも、その機關運轉の方法により、經濟的速度の範圍内に於て運轉せしむるには勾配とその延長に一定の限度を定むる事を得べし。

轆馬はその勞働能力に限度を有するが故に勞働を繼續し得る生理狀態に保つには勾配とその延長に一定の限度を必要とす。

自動車の普及發達顯著なりと雖も、吾國に於ける現在馬匹 150 萬頭を算して過去 30 年に亘り更に減少せず、荷馬車も 353,000 輛を有して減少せず、貨物自動車が此數に達するには今後 22 年を要すべく、従つて現代運輸交通上轆馬運輸を輕視するを得ざるが故に、一種車輛の専用道路以外の一般地方路線設計は此混合交通の見地に立つを要すべく、而してその勾配と延長限度とを轆馬交通より求むれば自動車交通に對して尙その經濟的範圍にあり。

従つて今地方路線勾配に關する、限度を荷馬車に關する試験結果より之を求めむとす。

坂路勾配及その延長限度は轆馬の勞働能力より求むるが故に、その限度に於ては轆馬の休息區間を設定するを要し、その區間の位置及延長はその前後の勾配及延長、路線交通量より求むべきものとす。

勾配の延長がその限度に達せざる坂路に於ける路面構造は蹄鐵に對するその摩擦係

數より定むべく、坂路面係數、牽引効率を求めて坂路に於ける路面の性質を明かにし、各種路面の勾配の限度を求めたり。

路線設計に對する標準輓馬の性質及その労働能力は、試験輓馬と一般輓馬とを比較し、現在及將來に於ける輓馬の發達を考慮して之を定めたり。

1. 標準輓馬

輓馬として使用するは中間種の輕輓馬を主とし之に重種の重輓馬をも含ましめ、輕輓馬は輕種乗馬の血液を多少混じ輕重何れにも屬せざる各種の混血種を總稱し「アングロノルマン」「ハクニー」はその主要の元種にして輕駕用として適度の體重と速歩の能力を有し、標準體型身幹 1.60 m 以下、胸圍率 115 以上を理整とす、重輓馬は輕種又は中間種の血液を混ぜざる骨格重厚にして輓曳力に富む「ペルシュロン」「プラバンソン」「クライズデール」及之に類似の直系馬を總稱し、運輸と農業用とに應じ多少適否の差を有し輓馬用としては重種の通患たる鈍重化を防ぐ爲に中間種の血液を輕度

に混じ之により悍威と速度とを賦與せるものあり。

交通運輸に經濟的關係を有する輓馬は、此中間種輓馬にして路線設計は此種のものゝ労働能力に立脚せざるべからず。

而して現在吾國の產馬方針は、明治三十八年臨時馬制調査會の決議に基き立案せる計畫に則り三十年繼續事業として第一期は十八ヶ年に亘り馬種改良の要件たる血液進化の巧程を馬匹數の三分二に達せしめ、引續き第二期は十二ヶ年に亘り大正十三年より昭和十年に至る期間に於てその残り三分一の血液進化を圖り、併せて一般馬匹の體型整理を行ひつゝあり。

產馬事業を經濟的基礎に立脚せしむる爲に政府の種牡馬供給も輕輓馬は全數の 75 乃至 85% を占むるが故に吾國の輓馬も次第に改良され血液の更進、整理及種類の統制を得つゝあり。

かくの如く輓馬は馬匹利用の主體をなし、昭和二年に於て全國總馬匹數 1,494,823 頭のうち營業用輓馬 309,211 頭にして 20.6% を占め、そのなせる運輸費は農林省畜産局調査によれば 643,593,300 圓に達せり。

2. 輓馬體重

體重は年齢及季節によりても異り、我國輓馬の平均値を知るべき統計なきも第一師團所屬各種馬匹第四十表、帝國馬匹協會調査第四十一表、馬匹博覽會調査第四十二表、軍馬補充部五歳育成の補充馬第四十三表の如し。

第四十表 某軍隊軍馬體重表

	kg
乘馬駄馬	422.4
乘 馬	449.6
乘馬輓馬	464.4
乘馬駄馬	420.0
乘馬駄馬	418.2
平 均	458.4
前 月	456.7
前年同月	451.5
前年前月	450.15

第四十一表 輓馬體重表

帝國馬匹協會調査

役 種	年 齡	所 屬	體 重 kg
輓 馬	5	軍馬補充部	454
	6—12	野 砲 兵	458
	„	重 砲 兵	456
	„	山 砲 兵	420
乘 馬	5	軍馬補充部	423
	6—12	騎 兵	431

第四十二表 輓馬體重表

御大典記念馬匹博覽會出馬調査

役 種	體重 kg	體高 m	胸圍 m	管圍 m	體重に對する 胸圍百分率
輕輓馬	520.0	1.580	1.808	0.197	114.4
重輓馬	593.0	1.575	1.890	0.209	120.4
輕乘馬	418.0	1.560	1.710	0.185	109.6
重乘馬	460.0	1.573	1.755	0.191	111.5

第四十三表 五歲育成補充馬の平均體重

入部時の年齡	調査年	輕	中	重
2 歲	大正十五年	444.0 kg	456.0 kg	495.0 kg
„	昭和二年	450.0 „	467.8 „	496.9 „
3 歲	大正十五年	445.0 „	450.0 „	479.0 „
„	昭和二年	430.2 „	443.9 „	440.5 „

これらのものは一般に優秀なる部類に属するが故に一般挽馬としては、輕挽馬 375 乃至 450 kg (100 乃至 120 貫)、中挽馬 450 乃至 490 kg (120 乃至 130 貫)、重挽馬 490 乃至 560 kg (130 乃至 150 貫) の體重を有するものと考へ得べし。而しそのうち最も多きは中及輕挽馬なりとす。

従つて今取締令規定の四輪車を牽引すべき挽馬體重を 390 kg とし、勞働能力はその體重に比例するものとす。試験挽馬は體重 485 kg を有するが故に前記標準挽馬の勞働能力は試験挽馬の 80% を有するものとして路線設計に用ひたり。

牽引試験は夏期に行へるが故に他の季節に於けるよりも挽馬の疲勞を感じる事大なり。氣溫之より低き場合は挽馬の勞働能力は尙大にして路線設計に對して安全なりとす。

第十二節 坂路勾配及その延長に関する研究

挽馬の勞働に関する試験結果より、坂路の勾配及その延長の限度に関する標準を研究するに當り、今坂路の全抵抗、挽馬の疲勞限度、標準挽馬の勞働能力を求め、之より勾配とその延長に関する限度を求めむとす。

1. 坂路に於ける全抵抗

坂路に於て車輛を牽引する場合は、路面抵抗と勾配抵抗とを受くるが故に風壓抵抗を無視すれば、次式により表はさる。

$$R = W(r + i) \dots \dots \dots (1)$$

R 坂路の全抵抗 kg

W 車輛重量 取締令規定車輛は 1875 kg

r 牽引抵抗係數

i 勾配

牽引抵抗は第三編に求めたるが如く、本邦に於て國道路面の標準値 33 kg/ton にして、東京川口線、瀧の川町役場前より飛鳥山公園前に至る區間のものが略之に近く、府縣道路面の標準値は 40 kg/ton にして、同路線中王子驛前より神谷橋に至る區間のものが略之に近し。

今牽引抵抗 33 kg/ton のものを第一種とし、同 40 kg/ton のものを第二種とし、勾配 10% 迄の坂路に於ける全抵抗を求むれば第四十四表、第二十一圖及第二十二圖の如し。

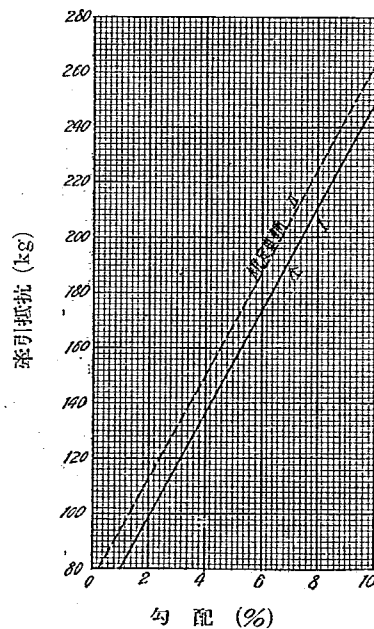
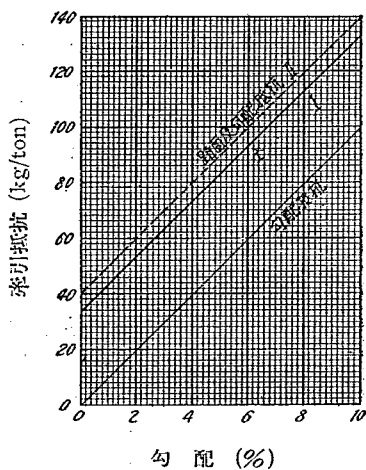
第 四 十 四 表

%	勾配	勾配抵抗 kg/ton	牽引抵抗 kg/ton		全抵抗 kg	
			No. 2	No. 1	No. 2	No. 1
12.5	1:8	125	165	158	309	296
10	1:10	100	140	133	262	249
6.7	1:15	67	107	100	201	185.5
6	1:16.7	60	100	93	187	174
5	1:20	50	90	83	169	155.5
4	1:25	40	80	73	150	137
3.3	1:30	33	73	66	137	123.8
3	1:33	30	70	63	131	118
2.5	1:40	25	65	58	122	108.9
2	1:50	20	60	53	113	99.5
1	1:100	10	50	43	94	80.6
0		0	40	33	75	62.0

〔摘要〕 國道は平路牽引抵抗 33, 府縣道は 40 kg/ton を標準とす。

第 二 十 二 圖

第 二 十 一 圖



2 轆馬の疲勞限度。

轆馬の勞働能力を求むるに當り、呼吸數により疲勞限度を定めたり。轆馬の呼吸數

は労働に伴ひ増加し、毎分 140 に達すれば絶対に休息を必要とし、もし労働を繼續すれば遂に倒るゝに至るべく、160 はその最高呼吸数と考へらる。

従つて今坂路に於ける労働の際の轆馬の初めの呼吸数を毎分 80, 90, 100, 110 ととり、同呼吸数 120 に達する迄に進行し得る延長を勾配延長の限度と定めたり。

此疲勞呼吸数の限度は幾分少きに失し、轆馬は呼吸数 120 乃至 130 に於ても尙労働能力を有すと雖も、坂路が路線中にあるその位置により、更にその労働能力の保存を有する場合多きを以て、轆馬の労働と疲勞との試験結果より之を限度と定めたり。

3. 輕馬の一定呼吸数の場合に於ける勾配とその延長の限度

路面牽引抵抗 40 kg/ton を有する第二種道路に於て、全抵抗を第四十四表より求め、第三編第六十七圖より抵抗に應ずる轆馬の進行速度を求め、之より單位時間の働を算出し、この單位時間の働に應すべき轆馬の労働能力を第三編第六十四圖より轆馬の呼吸数 80, 90, 100, 110 の各場合に於て求め、此労働能力を消費すべき轆馬の進行距離勾配の延長を算出すれば第四十五表乃至第四十八表第二十三圖の如し。

此場合進行速度も標準轆馬に對しては試験速度の 80% をとりて求め労働能力も同様に 80% をとれり。

勾配の延長は次式により求めたり。

$$L = \frac{0.8 W}{1.875 (R + 10i)} \dots\dots\dots (2)$$

L 勾配延長 m
 W 労働能力 mkg
 i 勾配 %
 R 牽引抵抗 kg/ton

第四十五表 初呼吸数 80 の場合。

勾配 %	牽引抵抗 kg	轆力係数	速度 m/sec	單位働 m kg/sec	労働能力 km kg		労働繼續 時間 sec	同延長 m
					試験轆馬	標準轆馬		
10	262	0.673	1.60	420	65	52	123	198
6	187	0.480	1.57	292	190	152	521	820
5	169	0.434	1.56	262	216	173	661	1030
4	150	0.386	1.55	232	242	194	836	1300
3	131	0.337	1.53	200	276	221	1105	1690
2	113	0.290	1.49	168	312	250	1490	2220
1	94	0.242	1.46	134	370	296	2220	3230
0	75	0.192	1.40	106	482	395	3730	5520

第四十六表 初呼吸數 100 の場合

勾配 %	牽引抵抗 kg	軌力係數	速度 m/sec	單位働 m kg/sec	勞働能力 km kg		勞働繼續 時間 sec	同延長 m
					試驗軌馬	標準軌馬		
10	262	0.673	1.60	420	34	27.3	64.8	102
6	187	0.480	1.57	292	140	112	384	602
5	169	0.434	1.56	262	164	131	500	780
4	150	0.386	1.55	232	185	147	634	982
3	131	0.337	1.53	200	210	168	840	1285
2	113	0.290	1.49	168	240	192	1145	1705
1	94	0.242	1.46	134	282	234	1745	2550
0	75	0.192	1.40	106	380	305	2875	4030

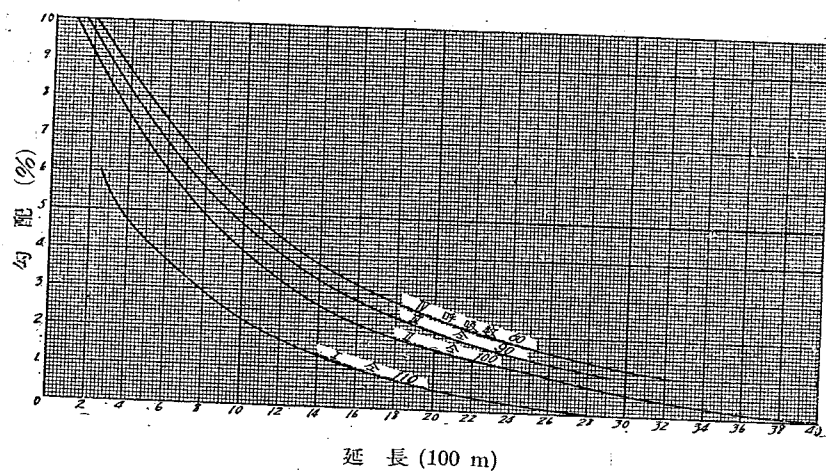
第四十七表 初呼吸數 90 の場合

勾配 %	牽引抵抗 kg	軌力係數	速度 m/sec	單位働 m kg/sec	勞働能力 km kg		勞働繼續 時間 sec	同延長 m
					試驗軌馬	標準軌馬		
10	262	0.673	1.60	420	50	40	95.3	152
6	187	0.480	1.57	292	165	132	453	710
5	169	0.434	1.56	262	190	152	580	905
4	150	0.386	1.55	232	215	173	746	1158
3	131	0.337	1.53	200	245	197	985	1510
2	113	0.290	1.49	168	280	225	1340	2000
1	94	0.242	1.46	134	333	266	1990	2910
0	75	0.192	1.40	106	450	360	3400	4750

第四十八表 初呼吸數 110 の場合

勾配 %	牽引抵抗 kg	軌力係數	速度 m/sec	單位働 m kg/sec	勞働能力 km kg		勞働繼續 時間 sec	同延長 m
					試驗軌馬	標準軌馬		
10	262	0.673	1.60	420	—	—	—	—
6	187	0.480	1.57	292	62	49.5	165	260
5	169	0.434	1.56	262	76	60.5	230	360
4	150	0.386	1.55	232	101	81	348	540
3	131	0.337	1.53	200	128	102	510	780
2	113	0.290	1.49	168	152	122	728	1085
1	94	0.242	1.46	134	202	162	1210	1765
0	75	0.192	1.40	106	265	212	2000	2800

第二十三圖



これらの延長と勾配との関係は次式により表はし得べし。

$$\text{呼吸数 110/分 の場合} \quad L = \left(\frac{103.10}{i+4} \right)^{2.45} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{同 100/分 の場合} \quad L = \left(\frac{176.62}{i+4} \right)^{2.20} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{同 90/分 の場合} \quad L = \left(\frac{208.66}{i+4} \right)^{2.15} \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{同 80/分 の場合} \quad L = \left(\frac{246.14}{i+4} \right)^{2.05} \dots\dots\dots (6)$$

第一種道路に對しては分母を $(i+3)$ として、同様に上式を用ひ得べし。

4. 勾配とその延長の限度

鞍馬が呼吸数 80, 90, 100, 110 の場合に適用すべき勾配と、その延長限度より一般的標準を求むるに當り、勾配急なる部分は疲勞大なる場合をとり緩なる部分は比較的疲勞小なる場合をとりて考ふるを安全なりとすべく、尙緩なる勾配に於て鞍馬の勞働能力に比較して所要鞍力が比較的小なる場合は、勞働中に於て却つて呼吸数減少するが如き場合あるを以て、今勾配 4%以上の急坂路に於ては鞍馬の呼吸数 110 の場合をとり、同 1%の坂路に於ては呼吸数 90、平路に於ては呼吸数 80 の場合をとり、勾配とその延長との關係を求むれば第二十四圖に示せる原式の如し。

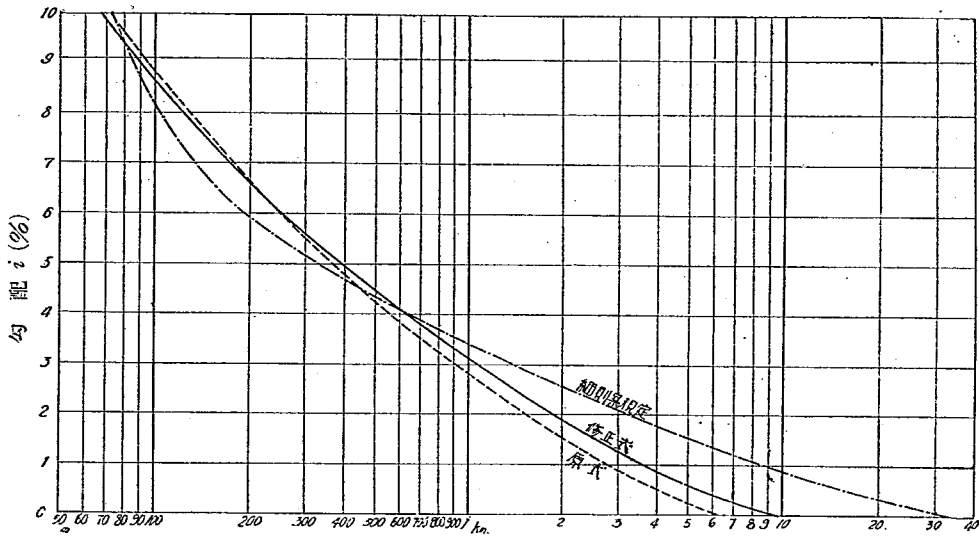
此勾配と延長との關係は最小二乘法を用ひ次式を得べし。

$$L = \left(\frac{47.18}{i+4} \right)^{3.55} \dots\dots\dots (7)$$

L 坂路の延長の限度 m

i 勾配 $\%$

第二十四圖 勾配とその制限延長



坂路勾配とその延長に關する標準は從來科學的に研究せるものなく、何れも假定せるものに過ぎず、只本邦に於て道路構造令細則案第五條に牧博士の立てたる式あり。

道路構造令細則案第五條によれば勾配とその延長との關係を次式にて表はせり。

(案) 勾配二十五分一より急なる坂路の長、次の式により算出せる制限を越ゆる場合にありては、その制限長以内毎に $\frac{1}{10}$ より緩なる長 40 メートル以上の區間を設くべし。

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

i = 勾配百分率

S = 制限長メートル

前項の勾配二以上連續する坂路にありては其の勾配に對する制限長の比例により之を一勾配の坂路の長に換算し前項の規定を準用す。

本式は牧博士か米國に於ける經驗を參酌し、次の條件を基として定められたるものなり。

1. 馬が一週日の内 6 日間毎日 10 時間宛の繼續的仕事をなすとき毎時 2.5 哩の平

常速度を以て行進する。即一日に 132,000 呎の距離を歩行するに當りその體重の十分に當る作力を用ふるもその強健を害ふ事なし。但その間兩三回の相當なる休息を見込む。

2. 二頭聯馬にありては約 1000 呎の距離迄はその體重の四分一に當る作力を用ひ能ふ。若し之より長距離なる時は相當休息を必要とす。

3. 足掛り良好なる場合に於て、馬は約 100 呎の距離迄はその體重の十分の四に當る作力を用ふる事を得。

4. 發車その他の非常の際に於て、馬はその體重の三分二に當る作力を用ゆる事を得。

細則案によれば平路に於ける連續進行距離 32 km となり、その間には勿論或る休息時間を必要とすべきを以て、少しく無理の點なきにしもあらず。尙第二項の勾配%に比例して、その制限延長増加するが如きは、實際的に合理なりと云ふを得ず。従つて試験結果より導きたる前記の式により此點を除き得られ、輓馬勞働能力を基礎とする科學的根據を有するものと信ず。

然れども本式を實際的に應用上便宜ならしむる爲に、その勾配及延長に大なる影響を及ぼさずして、その指數を單數化して次式を求めたり。

$$L = \left(\frac{40}{i+4} \right)^4 \dots\dots\dots (8)$$

此一般式は次の如し。

$$L = \left(\frac{40}{i+\mu} \right)^4 \dots\dots\dots (9)$$

$$\mu \text{ 路面摩擦係數 } \left(= \frac{R}{10} \right)$$

修正式は原式に比し勾配急なる場合の制限延長少しく減じて、輓馬に對して安全を増加し、勾配緩なる場合もしくは平路に於てその延長増すも、平路に於ける連續進行距離 10 軒となり差支なきものと思はる。

本修正式は細則案の式に比して合理的且その數値計算上極めて簡易なるが故にその應用に便なりと信ず。

細則案及こゝに求めたる原式及修正式を用ひ勾配%とその延長限度を求むれば、第四十九表の如し。

第四十九表 公 式 の 比 較

勾配 i %	制限延長 (m)		
	細則案	原式	修正式
10	72.0	74.67	67.5
6	184.0	246.56	256.0
5	355.0	—	—
4	636.0	544.45	625.0
3	1,352.0	—	—
2	3,132.0	1,511.78	1,905.0
1	8,650.0	—	—
0	32,700.0	6,376.92	10,000.0

5. 軌馬の坂路を下る場合。

軌馬が坂路を下る場合の作力は次式により表はし得。

$$E = P(\mu - i) - pi \dots\dots\dots(9)$$

$$= P\mu - (P + p)i$$

E 軌馬の作力 kg

P 車輛重量 kg

p 軌馬重量に比例する下坂の際の相當輕減力 kg

μ 路面牽引抵抗率 ($= R \times 10^{-3}$)

i 勾配

i 大なる場合は作力は負値をとり、軌馬は滑動を防ぐ爲に後方に壓力を加へつゝ下るを要す。作力 0 の場合勾配と μ との關係は次式の如し。

$$i = \frac{P}{P + p} \mu \dots\dots\dots(10)$$

従つて勾配大なる場合は μ を増大せしむべく、即坂路を下る場合は路面摩擦係数の大なるを要す。その數値に關しては第十四節に之をあげたり。

⑥ 自動車交通より見たる勾配とその延長の關係。

自動車交通に關して T. R. Agg の求めたる勾配と延長との關係は、制動を行はずして安全範圍内の速度を以て下り得る勾配、變速を行はずして機關の能率を低下せざる範圍内に於ける速度を以て上り得る勾配を標準として求めたるものは次式の如し。

$$\begin{aligned}
 &\left. \begin{aligned}
 &\text{上り勾配 乗用自動車に對し } i_p = \frac{T}{10} - \frac{R}{10} + \frac{0.410}{L} (S_2^2 - S_1^2) \\
 &\text{貨物自動車に對し } i_p = \frac{T}{10} - \frac{R}{10} + \frac{0.431}{L} (S_2^2 - S_1^2) \\
 &\text{下り勾配 乗用自動車に對し } i_m = \frac{0.410}{L} (S_2^2 - S_1^2) + \frac{R}{10} \\
 &\text{貨物自動車に對し } i_m = \frac{0.431}{L} (S_2^2 - S_1^2) + \frac{R}{10}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)
 \end{aligned}$$

S_2 速度 大なるもの km/h

S_1 同 小なるもの km/h

R 牽引抵抗 kg/ton

L 勾配の延長 m

T 牽引力 kg/ton

今速度、牽引力、牽引抵抗を第五十表の如くとりて勾配と延長との關係を求むれば
次式の如く、第二十六圖の如し。

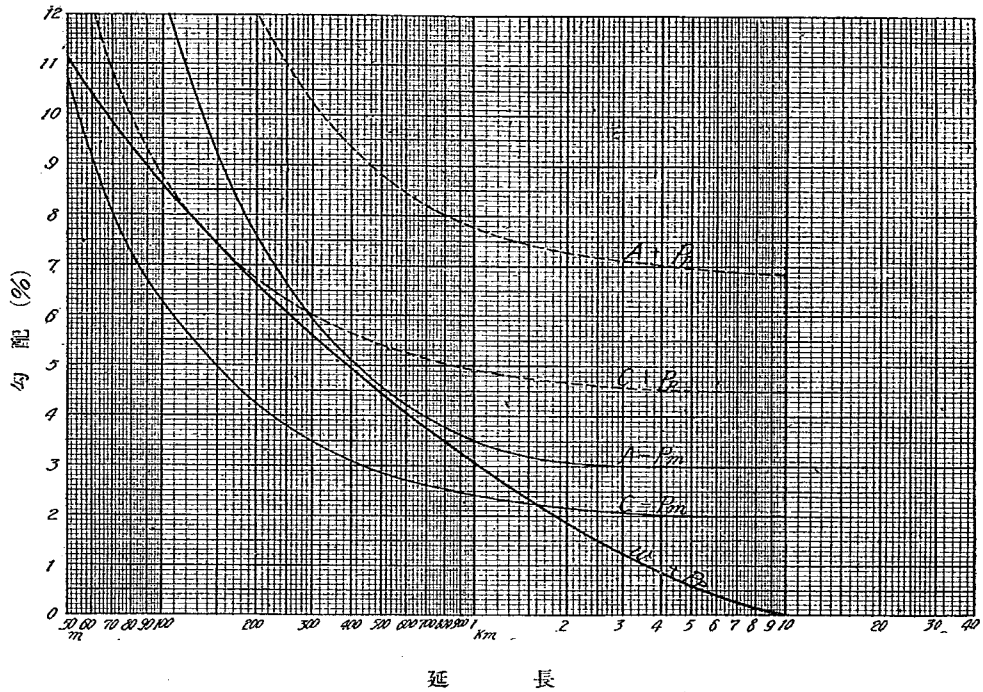
第 五 十 表

	乗用自動車		貨物自動車		
	S_2	S_1	S_2	S_1	
勾配を上る場合	64	40	40	24	乗用車は 牽 引 力 $T=92.5$ kg/ton 牽引抵抗 $R=25.0$ kg/ton
勾配を下る場合	64	40	40	24	貨物車は 牽 引 力 $T=65$ kg/ton 牽引抵抗 $R=20$ kg/ton

$$\begin{aligned}
 &\left. \begin{aligned}
 &\text{上り勾配 乗用自動車 } L = \frac{1020}{i_p - 6.75} \\
 &\text{貨物自動車 } L = \frac{442}{i_p - 4.5} \\
 &\text{下り勾配 乗用自動車 } L = \frac{1020}{i_m - 2.5} \\
 &\text{貨物自動車 } L = \frac{442}{i_m - 2}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (12)
 \end{aligned}$$

第二十六圖に於て $A+p_p$ は乗用自動車の上り勾配を表し、 $C-p_m$ は貨物自動車の下り勾配の場合を示し、 $w+p_p$ は荷馬車の上り勾配の標準を示すものとす。

第二十六圖 勾配とその延長



自動車は、下り勾配に於ては、速度急激に増大し危険なるを以て其制限延長上り勾配に比して小なること第二十六圖に示すが如し。

Batesman は Agg の式を修正して次の簡易式を求めたり。

上り勾配 乗用自動車 $i = 3.75 + \frac{1030}{L} \%$

貨物自動車 $i = 1.50 + \frac{445}{L} \%$

下り勾配 乗用自動車 $i = 5.50 + \frac{1030}{L} \%$

貨物自動車 $i = 5.20 + \frac{445}{L} \%$

之は式 (12) と同様のものなり。

7. 鞍馬交通を主として設計せる坂路の自動車交通に及ぼす影響。

鞍馬交通より求めたる坂路勾配と延長との関係式の坂路を自動車が下る場合を考ふれば次の如し。

$$L = \frac{0.431}{i - \mu} (S_2^2 - S_1^2) \dots\dots\dots (1)$$

$$L = \left(\frac{40}{i + \mu} \right)^4 \dots\dots\dots (2)$$

$$S_2^2 - S_1^2 = \frac{i - \mu'}{0.431} \left(\frac{40}{i + \mu} \right)^4$$

$$S_1^2 = S_2^2 - \frac{i - \mu'}{0.431} \left(\frac{40}{i + \mu} \right)^4$$

今 $\mu = 4$, $\mu' = 3$ とし式 (2) を (1) に挿入して速度と勾配延長の関係を求むべし。

$$i = 5\% \text{ の場合 } L = \left(\frac{40}{9} \right)^4$$

$$L = \frac{0.431}{5 - 3} (S_2^2 - S_1^2) = \left(\frac{40}{9} \right)^4$$

$$S_2^2 - S_1^2 = 1810$$

同様に i を 5 乃至 12% とし、速度の自乗の差を求むれば第五十一表の如し。

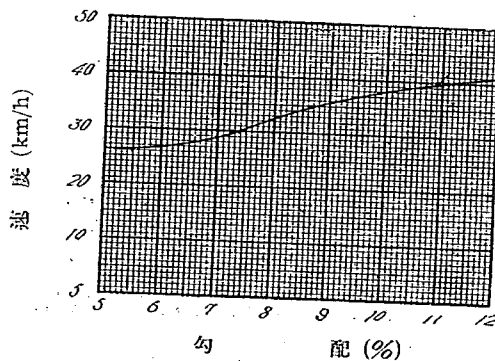
之より坂路の下端に於ける速度を 50 km/h とすれば上端に於ける速度は、勾配と延長とより制限さるゝが故に上式より求むれば第五十一表第二十七圖の如し。

第 五 十 一 表

勾配 i %	$S_2^2 - S_1^2$	坂路の下端に於ける速度 50 km/h の場合 坂路の上端に於ける速度
5	1810	26.2
6	1780	26.7
7	1620	28.8
8	1430	32.7
10	1085	37.6
12	815	41.0

第 二 十 七 圖

自動車の勾配を下る場合の坂路上端の速度



軌馬交通より求めた
る勾配延長は自動車交
通に對しては比較的緩
にして、勾配大なるに
従ひその速度の制限を
受くる事少く、自動車
に對して安全なるを知
るべし。

第十三節 坂路に於ける緩勾配區間設定に關する研究

坂路に於て輓馬疲勞甚しき場合に、更に勞働を繼續せしむる爲には相當の休息時間と與へ、その疲勞を回復せしむるを要し、その休息區間の位置及延長を決定するに當り、本試驗結果にもとづきて之を求めむとす。

道路構造令細則案に於ては前節に求めたる勾配及その延長を超ゆる場合に於ては $\frac{1}{50}$ より緩なる長 40 メートル以上の區間を設くる事と定められたり。

坂路に於ける輓馬疲勞を回復せしむるに必要な休息區間の延長は、その路線中に於て占むる位置により定むべく、山岳部にありては爾後の勞働を考慮し長時間の休息と與ふべく、坂路を殆ど上り盡して爾後の勞働が過激ならざる坂頂の部分に於ては、休息時間はさほど長きに亘るの要なし。今前者の山岳部に於ける回復すべき呼吸數を 80、後者の坂頂部に於ける場合を 100 と定め、疲勞呼吸數より之に回復する迄に要する休息時間を求め、更に路線交通量により 1 時に休息を必要とする車輛數を求め、その休息區間の延長を算出せむとす。

一車に對する總延長を 8 m とし、次式により之を求めたり。

$$L = 8 \left(1 + \frac{TN}{60} \right)$$

L = 休息區間の延長

T = 休息時間 分

N = 交通量 輛/時

此の休息區間は第十二節の勾配がその延長限度に達せる部分に之を設け、第三編に求むる惰走勾配より緩なる勾配となすを要す。

第三編第二百二十四表に示せるが如く、輓馬が勞働後の疲勞呼吸數 120 が同 80 に回復すべき休息時間は 32 分、同 100 に回復すべき時間は 17.5 分なるも、標準輓馬は試験輓馬に對し體重勞働能力共に 80% と定めたるを以て、所要休息時間も同一割合を以て増加するものと定めたり。

標準輓馬が疲勞呼吸數 100, 110, 120, 130 の場合、山岳地方に於て呼吸數 80 に坂頂部分に於て同 100 に回復せしむるに要する休息時間は試験輓馬の場合と對照して求むれば第五十二表の如し。

第五十二表

疲労呼吸数 /分	休 息 時 間 (分)				摘 要
	山 岳 部		坂 頂 部		
	試験轆馬	標準轆馬	試験轆馬	標準轆馬	
100	13.0	16.0	—	—	山岳部は山間の坂路又は一日行程の中途に於ける場合にして、更に繼續してその労働を行ふべき状態に疲労を回復せしむる場合にして、その回復呼吸数を 80 とす。 坂頂部とは山岳部の坂路の終りに近く爾後稍々平易なる作業に移る部分の作業にして、その回復呼吸数を 100 とす。
100	21.0	26.0	7.5	9.5	
120	32.0	40.0	17.5	22.0	
130	45.0	56.0	28.0	35.0	

標準轆馬が疲労呼吸数 120 の場合、回復呼吸数 80 に達する迄に 40 分、同 100 に達する迄に 22 分を要す。

之より、轆馬休息区間の延長は次式により表はし得。

$$\text{山岳部} \quad L_1 = 8 \left(1 + \frac{40 N}{60} \right) = 8(1 + 0.66 N)$$

$$\text{坂頂部} \quad L_2 = 8 \left(1 + \frac{22 N}{60} \right) = 8(1 + 0.36 N)$$

N 交通量 臺/時

L 休息区間延長 m

前記の場合に於て交通量 5 乃至 20 臺/時の路線に於ける休息区間延長の標準を算出すれば山岳部に於ては第五十三表第二十八圖、坂頂部に於ては第五十四表第二十九圖の如し。

第五十三表 休息区間延長

山岳部 (回復呼吸数 80)

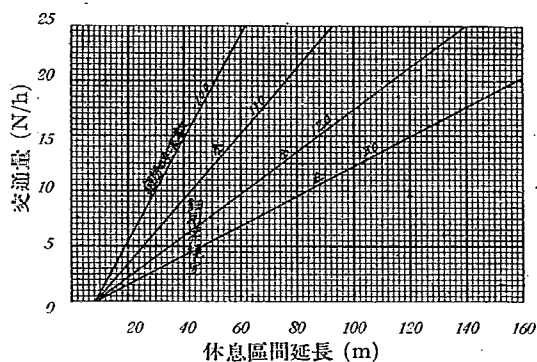
交通量 臺/時 間隔 分		疲労呼吸数 /分							
		100		110		120		130	
		休息区間		休息区間		休息区間		休息区間	
		車數	延長 m	車數	延長 m	車數	延長 m	車數	延長 m
5	12	2.33	18.7	3.16	25.2	4.33	34.6	5.66	45.4
10	6	3.67	29.5	5.35	42.8	7.68	61.3	10.35	83.0
15	4	5.00	40.0	7.50	60.0	11.00	88.0	15.00	120.0
20	3	6.34	51.0	9.67	77.3	14.30	114.5	19.70	158.0

第 五 十 四 表 坂頂部 (回復呼吸數 100)

交通量		疲 勞 呼 吸 數 / 分					
		110		120		130	
		休息區間		休息區間		休息區間	
		車數	延長 m	車數	延長 m	車數	延長 m
5	12	1.80	14.4	2.84	22.7	3.93	31.5
10	6	2.59	20.7	4.67	37.5	6.84	54.8
15	4	3.37	27.0	6.50	52.0	9.74	78.0
25	3	4.17	33.4	8.35	66.8	12.7	102.0

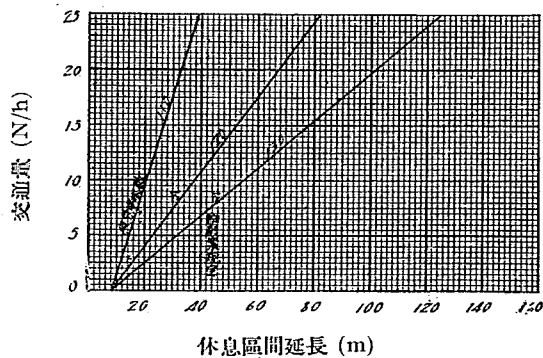
第 二 十 八 圖

交通量と軌馬休息區間延長 山岳部



第 二 十 九 圖

交通量と軌馬休息區間延長 坂頂部



地方路線設計に當りては之より次の標準を定むるを適當と信ず。

第五十五表 休息區間標準

交通量 臺/時	山岳部 m	坂頂部 m
5	40—48	24—32
10	64—88	40—56
15	88—120	56—80
20	120—160	64—104

獨逸規定

獨逸規定 長距離に互り $\frac{1}{25}$ 以上の最急勾配を避け得ざる場合は 600—800 m 毎に勾配 $\frac{1}{100}$ より緩なる長 30 m 以上の休憩所を設くべし。

日本規定 前節に求めたる勾配及その延長を越ゆる場合に於ては $\frac{1}{50}$ より緩なる長 40 m 以上の區間を設くべし。

急坂ならざるも相當なる勾配及その延長の連續せる路線に於ては輓馬の休息區間の設定を必要とするを以て、先に求めたる疲勞呼吸數の回復時間、疲勞呼吸數に達する迄になすべき働、勾配とその延長の表はすべき働の諸式を組合せて一般式を求むべし。

$$\text{休息區間延長 } L = 8 \left(1 + \frac{tN}{60} \right) \dots\dots\dots (1)$$

L 休息區間延長 m

N 交通量 臺/時

t 休息時間 分

疲勞呼吸數 I が 回復呼吸數 80 に減する迄に要する休息時間は、第三編 135 頁に求めたる實驗式を用ふ。

$$I - 30 = 8.63(t + 20)^{0.60}$$

$$\text{従つて } t = \left(\frac{I - 30}{8.63} \right)^{1.66} - 20 \dots\dots\dots (2)$$

疲勞呼吸數 I に達する迄に輓馬のなせる勞働は、第三編 127 頁に求めたる呼吸數と勞働との關係を表はす實驗式のうち、安全の爲に後期勞働の場合をとれば次式の如し。

$$I - 30 = 10.06(W + 75)^{0.385} \dots\dots\dots (3)$$

W 勞働量 km kg

勞働量は、路面牽引抵抗勾配抵抗及その延長により次式の如く表はし得べし。

$$W=1.875(10i+40)l \text{ km kg} \dots\dots\dots(4)$$

i 勾配 %

l 進行距離延長 km

之より勾配及その延長より疲勞呼吸數及所要休息時間を求むれば、次式の如し。

$$I=31.10\left\{\sum(i+4)l+4\right\}^{0.385}+30 \dots\dots\dots(5)$$

$$t=8.38\left\{\sum(i+4)l+4\right\}^{0.638}-20 \dots\dots\dots(6)$$

之より休息區間の延長は次の如し。

$$L=8\left[1+\frac{\left\{\sum(i+4)l+4\right\}^{0.638}}{7.16}\times N-\frac{N}{3}\right] \dots\dots\dots(7)$$

式を簡易化して次式を得

$$L=8\left[1+\frac{\left\{\sum(i+4)l+4\right\}^{\frac{2}{3}}}{7}N-\frac{N}{3}\right] \dots\dots\dots(8)$$

勾配の延長制限延長に達せざる坂路が連續する場合に、式 (5) に於て呼吸數 I が 120 に達せる場合、即式 (9) の示すが如き勾配及延長の限度に於ては、式 (8) の休息區間延長を設定するを要すべし。

$$\left\{\sum(i+4)l+4\right\}^{0.385}=2.91 \dots\dots\dots(9)$$

第十四節 坂路に於ける路面種別による勾配の限度

坂路に於ける路面構造の種別による勾配の限度を求むるに當り、自動車のゴム輪帶よりも、轆馬交通の場合の蹄鐵及鐵輪帶が路面との摩擦係數が危險を生じ易きが故にこの場合を考へむとす。

轆馬交通に於て坂路を上り又は下る場合、滑動せざる爲には次式を満足するを要す。

$$fw \cos \theta \geq w \sin \theta \pm RP \cos \theta + P \sin \theta \dots\dots\dots(1)$$

f 蹄鐵の路面との摩擦係數

w 轆馬の體重 kg

P 車輛の重量 kg

R 車輪と路面との摩擦係數

θ 坂路の傾斜角

c P/w 比荷重

轆馬が車輛を牽引して上り得る勾配の限度は式 (2) により表はし得べし。

$$i = \frac{f - cR}{1 + c} \dots\dots\dots(2)$$

i = 勾配

此勾配の限度は蹄鐵の摩擦係數大、車輪の摩擦係數小なるに従つて大となり、また比荷重の増加に従つて小となるものなり。

鞍馬の路面に於ける足がゝり (foot-holding) の良否は車輪の抵抗に對する蹄鐵の摩擦抵抗の比によりて表はし得べく、式 (2) より $(f - cR)$ を以て、足がゝりの良否の程度を示すべき坂路面係數と定め得べし。

$$\text{坂路面係數} = f - cR \dots\dots\dots(3)$$

係數 0 の場合は、如何なる勾配をも上り得ざる場合して、 f の數值大、 R 及 c の數值小即係數大なるに従つて急なる勾配をとり得るものとす。

式 (2) はまた次の如く表はし得べし

$$c = \frac{f - i}{R + i} \dots\dots\dots(4)$$

比荷重 c は式 (4) により定まり、之を牽引効率と稱し得べきものとす。

坂路面係數 0 即坂路に用ひ得ざる路面構造の蹄鐵と車輪とに對する摩擦係數の相關的數値を道路取締令規定車輛の重量 1875 kg、鞍馬體重 400 kg 即比荷重 4.67 に對して求むれば第五十六表の如し。

第五十六表 比荷重 4.67 の場合の絶対摩擦係數

車輪摩擦係數 R	蹄鐵摩擦係數 f
0.020	0.093
0.025	0.117
0.030	0.140
0.035	0.164
0.040	0.187
0.045	0.211
0.050	0.234
0.060	0.280
0.070	0.327
0.080	0.374
0.090	0.420
0.100	0.467

R 及 f は路面種別により異なると同時にその凸凹狀態、溫度、濕潤狀態、結霜、結氷によりても大に異り更に路面に溝形、目筋等を適當に設けて相當にその數値を増

加し得べし。

轆馬が坂路に停止し得る勾配の限度は同様に次式により表はさる。

$$i = 100 \frac{f + R_a \cdot c}{1 + c} \dots \dots \dots (5)$$

停止し得る限度は蹄鐵及車輪の摩擦係數大なるに従つて大なり、而して上り得る勾配に於ては何れもその途中に於て停止し得るを知るべし。

今、各種路面に於ける蹄鐵及車輪の摩擦係數を測定し之より、その勾配の限度、路面、坂路係數及牽引効率を求めんとす。

1. 路面摩擦係數

蹄鐵及車輪の路面に於ける摩擦係數は之らが滑動し初むる傾斜角を測定して之を求めたり。

路面材料は瀝青ブロック、混凝土及同方塊、煉瓦、滲透ブロック、石灰岩、砂利道をとり之等の表面狀態を實際路面に於て見るが如く、普通狀態、磨滅を受けたる場合の光澤ある狀態、降雨の際に於けるが如き濕潤狀態等の種々なる狀態に保ちて試験を行へり。

試験體は長約 20 cm とし、車輪及蹄鐵を之にのせ、徐々にその一端をあけて滑動し初むる際の兩端の高さの差より傾斜角を求め、正切をとりて摩擦係數とせり。

試験結果は第五十七表乃至第五十九表の如し。

第 五 十 七 表 摩 擦 係 數

		瀝 青 鋪 裝				普通狀態			
		光澤ある狀態							
車 輪		細 粒		粗 粒		細 粒		粗 粒	
		乾燥	濕潤	乾燥	濕潤	乾燥	濕潤	乾燥	濕潤
		0.0160	0.0100	0.0085	0.0100	0.0110	0.0100	0.0225	0.0140
		0.0165	0.0085	0.0090	0.0085	0.0125	0.0095	0.0240	0.0130
		0.0140	0.0115	0.0120	0.0085	0.0125	0.0093	0.0225	0.0140
		0.0155	0.0100	0.0098	0.0090	0.0120	0.0096	0.0230	0.0137
蹄 鐵	新 型	0.3250	0.3900	0.4800	0.5200	0.5300	0.5400	0.5550	0.5500
		0.3100	0.4150	0.5000	0.4800	0.5600	0.5100	0.5400	0.5400
		0.3250	0.3800	0.4700	0.5100	0.5600	0.5300	0.5650	0.5650
		0.3200	0.3950	0.4830	0.5033	0.5500	0.5267	0.5533	0.5517
	舊 型	0.2900	0.4550	0.4400	0.5400	0.4900	0.6400	0.5500	0.5700
		0.2850	0.4200	0.4300	0.5600	0.4600	0.5600	0.5350	0.5500
		0.3000	0.4400	0.4600	0.5400	0.4700	0.6200	0.5150	0.5650
		0.2917	0.4383	0.4430	0.5467	0.4733	0.6067	0.5333	0.5617

(摘要) 光澤ある狀態とは、表面磨滅を受けて極めて平滑となり、光澤を有する迄に輾壓作用を受け埃塵等のなき清淨なる狀態を云ふ。

第五十八表

		混 凝 土				鋪 裝 煉 瓦			
		混凝土ブロック		混 凝 土		品川煉瓦		大阪煉瓦	
		乾燥	濕潤	平滑	普通	乾燥	濕潤	乾燥	濕潤
車 輪		0.0130	0.0075	0.0267	0.0200	0.0183	0.0200	0.0200	0.0170
		0.0095	0.0100	0.0250	0.0250	0.0170	0.0250	0.0180	0.0150
		0.0110	0.0060	0.0200	0.0350	0.0200	0.0220	0.0220	0.0200
		0.0112	0.0078	0.0239	0.0266	0.0183	0.0223	0.0200	0.0173
蹄鐵新型		0.4700	0.6050	0.5670	0.6000	0.5300	0.5500	0.4300	0.4600
		0.4400	0.5950	0.5430	0.5850	0.5000	0.6000	0.3900	0.5100
		0.4850	0.6100	0.5600	0.6100	0.5100	0.5800	0.4000	0.5600
		0.4650	0.6033	0.5566	0.5938	0.5133	0.5766	0.4070	0.5100
舊 型		0.3950	0.5500	0.5100	0.5470	0.5000	0.6600	0.4500	0.4400
		0.4150	0.5250	0.5150	0.5500	0.4800	0.6200	0.4000	0.5200
		0.4300	0.5350	0.5000	0.5300	0.4900	0.6000	0.4200	0.5100
		0.4133	0.5367	0.5083	0.5423	0.4900	0.6266	0.4233	0.4900

第五十九表

		滲透ブロック				石 灰 石				砂 利 道		
		平滑状態		普通状態		平滑状態		普通状態				
		乾燥	濕潤	乾燥	濕潤	乾燥	濕潤	乾燥	濕潤	乾燥	濕潤	濕潤
車 輪		0.0150	0.0160	0.0250	0.0400	0.0075	0.0175	0.0125	0.0125	0.0950	0.0330	0.0400
		0.0130	0.0120	0.0225	0.0450	0.0100	0.0150	0.0150	0.0175	0.0750	0.0430	0.0430
		0.0140	0.0150	0.0240	0.0400	0.0075	0.0175	0.0110	0.0175	0.1000	0.0367	0.0350
		0.0140	0.0143	0.0238	0.0417	0.0083	0.0167	0.0128	0.0158	0.0900	0.0379	0.0393
蹄鐵新		0.5000	0.5800	0.5500	0.6300	0.4300	0.4000	0.4900	0.4600	0.8050	0.7400	0.7400
		0.5300	0.5700	0.5600	0.6100	0.4100	0.4200	0.4700	0.4050	0.7950	0.7050	0.7550
		0.4900	0.5900	0.5400	0.6000	0.4400	0.4100	0.4900	0.4400	0.7600	0.7250	0.7500
		0.5066	0.5800	0.5500	0.6133	0.4266	0.4100	0.4833	0.4350	0.7867	0.7230	0.7483
舊		0.5100	0.5700	0.5100	0.5600	0.4000	0.4700	0.5000	0.4700	0.7800	0.6800	0.6950
		0.4900	0.4900	0.6000	0.5800	0.3800	0.4650	0.5100	0.4600	0.7500	0.6850	0.6550
		0.5200	0.5300	0.5300	0.5700	0.3700	0.4700	0.5300	0.4750	0.7900	0.7000	0.6900
		0.5066	0.5300	0.5467	0.5700	0.3833	0.4683	0.5133	0.4683	0.7733	0.6550	0.6800

2. 勾配の限度、坂路面係數及牽引効率

摩擦係數測定値より各種路面の勾配の限度、坂路面係數を求めれば第六十表の如し。

第六十表 勾配の限度

路面種別				摩擦係數		坂路面係數勾配限度		
				蹄鐵 f	車輪 R	cR	$f - cR$	%
瀝青鋪裝	細粒 平滑	乾燥	乾燥	0.3200	0.0155	0.0724	0.2476	4.37
			濕潤	0.3950	0.0100	0.0467	0.3483	6.15
		普通	乾燥	0.4733	0.0120	0.0560	0.4173	7.35
			濕潤	0.5267	0.0096	0.0448	0.4819	8.51
	粗粒 平滑	乾燥	乾燥	0.4430	0.0098	0.0457	0.3973	7.00
			濕潤	0.5033	0.0090	0.0421	0.4612	8.14
		普通	乾燥	0.5533	0.0230	0.1075	0.4258	7.45
			濕潤	0.5517	0.0137	0.0640	0.4877	8.60
	混凝土鋪裝	方塊	乾燥	0.4133	0.0112	0.0522	0.3611	6.38
			濕潤	0.5367	0.0078	0.0364	0.5003	8.82
		混凝土平滑		0.5083	0.0239	0.1118	0.3965	7.00
		普通		0.5423	0.0266	0.1240	0.4183	7.36
煉瓦鋪裝	品川煉瓦		乾燥	0.4900	0.0183	0.0854	0.4046	7.20
			濕潤	0.5766	0.0223	0.1040	0.4726	8.35
	大阪煉瓦		乾燥	0.4070	0.0200	0.0935	0.3135	5.54
			濕潤	0.4900	0.0173	0.0810	0.4090	7.24
	滲透ブロック	平滑	乾燥	0.5066	0.0140	0.0654	0.4412	7.80
			濕潤	0.5300	0.0143	0.0670	0.4630	8.14
石灰石道		普通	乾燥	0.5467	0.0238	0.1114	0.4353	7.67
			濕潤	0.5700	0.0417	0.1945	0.3755	6.64
		平滑	乾燥	0.3833	0.0083	0.0387	0.3446	6.08
			濕潤	0.4100	0.0167	0.0780	0.3320	5.85
		普通	乾燥	0.4833	0.0128	0.0596	0.4237	7.46
			濕潤	0.4350	0.0158	0.0736	0.3614	6.40
砂利道			乾燥	0.7733	0.0900	0.4200	0.3533	6.24
			濕潤	0.6550	0.0379	0.1770	0.4780	8.42
			濕潤	0.6800	0.0393	0.1835	0.4965	8.75

各種路面の勾配限度はその路面状態の最も不利なる場合に於て定むべく、前記試験結果よりその勾配限度を求むれば第六十一表の如し。

第六十一表

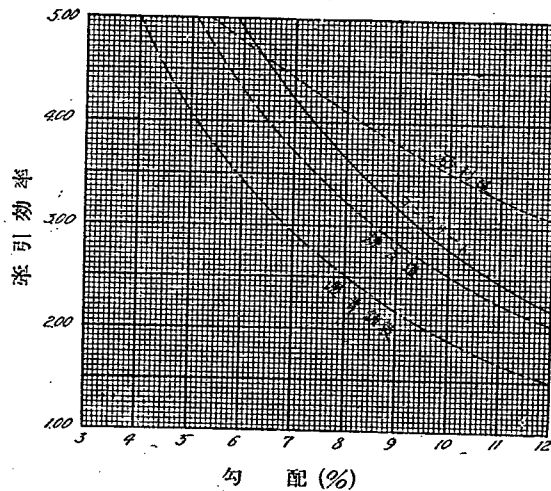
路面種別	勾配の限度 %	摩擦係数		坂路面係数
		蹄鐵	車輪	
瀝青舗装	4.37	0.3200	0.0155	0.2476
混凝土舗装	6.38	0.4133	0.0112	0.3611
煉瓦舗装	5.54	0.4070	0.0200	0.3135
滲透ブロック	6.64	0.5700	0.0417	0.3755
鋪石道	5.85	0.4100	0.0167	0.3320
砂利道	乾	6.24	0.7733	0.0900
	濕	8.75	0.6800	0.0397
				0.4965

路面構造はその状態により著しく異なり、一定し難く、砂利道、碎石道の如きは、本表に示せるものよりその變化殊に大にして、勾配の限度も自ら異なるものなれども、各種路面構造に比し比較的にその限度大にして相關的關係を示すものなり。

此勾配の限度は比荷重 4.67 の場合にして、もし此限度を超ゆる勾配に於てはその比荷重を減すべく、勾配と牽引効率との關係を求むれば第三十圖の如く著しく、その經濟價值を減するが故に前記限度に於て路面舗装の決定を行ふべきものとす。

第三十圖により勾配急なる坂路々面は砂利道が最も牽引効率大にして有利なるを知るべく、勾配緩なるに従つて平滑なる路面の有利なるを知るべし。

第三十圖



本試験結果は試験車輪の重量が荷馬車に比し小なりしが故に、車輪の摩擦係數少く、從つて各種路面の勾配の限度に關して相關の差を示すに過ぎざるを以て、今荷馬車を用ひて行へる試験の車輪の回轉抵抗と本試験にて得たる蹄鐵の摩擦係數とより限勾度配を求むれば第六十二表の如し。

本表に於て摩擦係數は次の如く定めたり。

瀝青鋪裝は、蹄鐵に對するものは普通の表面狀態に於ける平均値をとり、表面平滑にして光澤を有する場合は已に表面に滑り止の工法を行ふべき場合として之を除けり。車輪に對しては第三編に求めたるものの内最も不利なる場合として路面溫度 37°C の場合のものをとれり。

煉瓦鋪裝は、蹄鐵に對する最小値をとり、車輪に對するものは平均値をとれり。

鋪石道は、表面が磨削を受けて平滑となれる場合は已に再仕上を要するものとして除き、普通路面の場合をとれり。

砂利道は、三種の車輪摩擦係數をとりてその最大最小及平均値を表はし、之に對する蹄鐵に對する係數も試験結果による三種を夫々組合せたり。

塗裝砂利道は車輪に對しては平均値をとり、蹄鐵に對しては特に試験を行はざりしも粗粒瀝青の混凝土の場合のものをとれり。

第 六 十 二 表

路面種別	摩 擦 係 數			坂路係數	勾配
	限度 f	車輪 R	cR		
瀝青鋪裝 細粒	0.4733	0.0380	0.1770	0.2963	5.24
	0.5517	0.0380	—	0.3763	6.54
煉 瓦 鋪 裝	0.4070	0.0245	0.1145	0.2925	5.16
鋪 石 道	0.4350	0.0240	0.1120	0.3230	5.70
塗 裝 砂 利 道	0.5537	0.0395	0.1840	0.3677	6.50
砂 利 道	0.6550	0.0300	0.1400	0.5150	9.10
	0.6800	0.0365	0.1700	0.5100	9.00
	0.7733	0.0405	0.1890	0.5843	10.30

之により瀝青鋪裝は 5.0%、煉瓦鋪裝 5.0%、鋪石道は特殊の目筋工法を行はざるものは 5.5%、塗裝砂利道 6.0% を限度勾配とし砂利道はその工法により 9 乃至 10% にも用ひ得るを知るべし。

ゴム輪帶を有する自動車は、その摩擦係数が鐵輪帶及蹄鐵の場合より大にして、且制動を加へて適宜に減じ得るが故に前記の荷馬車交通の場合をとり勾配と路面とを定むれば安全なるを知るべし。

路面種別による勾配の限度に関する例

	A.S.C.E.	Bateman
土砂道	—	12%
砂利道	—	12
碎石道	12%	—
瀝青塗裝	—	6
同マカダム舗裝	8	8
同コンクリート舗裝	5—6	8
シートアスファルト舗裝	—	5
コンクリート舗裝	8	8
煉瓦舗裝 セメント目地	—	6
瀝青目地	—	12*
石塊舗裝 セメント目地	9	9
瀝青目地	—	15
木塊舗裝	—	4
小舗舗裝	15	—

* は注入工法にして squeeze 工法は 6%

第三編に於ける軌馬の荷馬車牽引の場合の始動抵抗測定値より、蹄鐵の摩擦係数を求むれば、瀝青舗裝に對するもの第六十三表及第六十四表、木塊舗裝に對するもの第六十五表、小舗石舗裝に對するもの第六十六表、砂利道に對するもの第六十七表の如し。

第六十三表 瀝 青 舗 裝

測定地點	摩 擦 係 數					
	No. 11	No. 5	No. 13	No. 3	No. 7	No. 14
上 富 士 前	0.382	0.700	0.805	0.588	0.515	0.608
染 井 角 (西)	0.640	0.670	0.515	0.876	0.784	0.495
(東)	0.865	0.700	0.917	1.052	0.660	0.866
妙 義 坂 下 (西)	0.568	0.340	0.505	0.474	0.515	0.330
(東)	—	—	—	—	—	0.845
暗 闇 坂 下 (西)	—	—	—	0.464	0.629	0.557
(東)	0.568	0.372	0.557	0.433	0.691	0.649
最 大	0.865	0.700	0.917	1.052	0.784	0.866
最 小	0.382	0.340	0.505	0.433	0.515	0.330
平 均	0.605	0.556	0.660	0.648	0.632	0.621

第六十四表 瀝 青 鋪 裝

測定地點	摩 擦 係 數			
	No. 8	No. 12	No. 6	No. 15
上 富 士 前 町	0.578	—	0.866	0.361
着 町 (東)	0.578	0.516	1.010	0.680
(西)	0.825	—	1.134	0.969
一 高 前 (東)	0.598	0.743	0.990	0.485
(西)	1.115	0.743	—	0.794
赤 門 前 (東)	0.670	0.670	0.845	0.588
(西)	1.042	0.805	1.000	0.670
最 大	1.115	0.805	1.134	0.969
最 小	0.578	0.516	0.845	0.361
平 均	0.777	0.695	0.975	0.652

第六十五表 木 塊 鋪 裝

測定地點	摩 擦 係 數			
	No. 8	No. 12	No. 6	No. 15
壹 岐 坂 上 (東)	0.928	0.722	1.031	0.887
(西)	0.722	0.928	0.804	1.031
聖 橋 通 角 (東)	0.722	0.578	1.052	0.722
(西)	0.557	0.774	0.588	0.515
最 大	0.928	0.928	1.052	1.031
最 小	0.557	0.578	0.588	0.515
平 均	0.733	0.745	0.869	0.789

第六十六表 小 鋪 石 鋪 裝

測定地點	摩 擦 係 數							
	No. 9	No. 11	No. 5	No. 13	No. 3	No. 7	O ₀	O ₁
妙 義 坂 下 (東)	—	1.000	0.722	0.897	1.093	0.876	0.825	0.701
暗 開 坂 下 (西)	—	0.990	—	0.680	—	—	0.412	0.567
(東)	0.722	—	—	—	—	—	—	—
平 均	0.722	0.995	0.722	0.789	1.093	0.876	0.619	0.634

第六十七表 砂 利 道

測定地點	摩 擦 係 數										
	No. 9	No. 11	No. 5	No. 13	No. 3	No. 7	No. 14	B ₀	O ₀	B ₁	O ₁
役 場 前 (南)	0.980	0.598	0.485	0.598	0.670	0.845	0.722	0.412	0.289	0.247	0.979
(北)	—	0.485	0.577	0.825	0.464	0.567	0.701	0.289	0.557	1.093	0.371
西 ケ 原 (南)	0.382	0.464	0.556	0.577	0.680	0.990	0.619	0.216	0.196	1.237	0.722
(北)	—	0.940	0.876	0.856	1.031	0.536	0.825	0.567	0.361	0.773	—
飛 鳥 山 (南)	0.783	0.557	0.618	0.680	0.577	0.928	0.515	0.206	0.351	0.660	0.515
(北)	—	0.526	1.070	0.618	0.753	0.670	0.845	0.412	0.330	0.392	0.722
最 大	0.980	0.940	1.070	0.856	1.031	0.990	0.845	0.567	0.557	1.237	0.979
最 小	0.382	0.464	0.485	0.577	0.464	0.536	0.515	0.206	0.196	0.247	0.371
平 均	0.715	0.595	0.697	0.691	0.696	0.756	0.705	0.351	0.347	0.734	0.672
王子驛前 (南)	0.722	0.732	0.567	0.877	0.763	0.784	0.722	0.381	0.330	—	0.784
(北)	0.722	0.876	0.660	0.711	0.711	0.722	0.515	0.392	0.216	0.876	0.206
尾 長 橋 (南)	0.793	0.722	0.876	0.866	0.845	0.639	0.619	0.309	0.433	1.072	0.515
(北)	0.805	0.898	0.794	0.815	0.619	0.485	0.825	0.412	0.423	0.876	0.990
神 谷 橋	—	0.938	0.515	0.980	0.866	0.763	0.763	0.320	0.608	0.722	0.928
最 大	0.805	0.938	0.876	0.980	0.866	0.784	0.825	0.412	0.608	1.072	0.990
最 小	0.722	0.722	0.515	0.711	0.619	0.485	0.515	0.309	0.216	0.722	0.206
平 均	0.761	0.851	0.655	0.871	0.782	0.692	0.701	0.356	0.437	0.858	0.725
全 平 均	0.738	0.723	0.676	0.782	0.738	0.724	0.703	0.353	0.392	0.796	0.699

各種の路面と蹄鐵との摩擦係数の最大値及平均値は第六十八表の如く、瀝青鋪装はその路面温度高き場合可塑性となり、同係數1以上を出し得る事あり。小鋪石、砂利道は蹄鐵が路面に穿入して足がよりを得るが故に、また同係數1以上の場合あり。木塊鋪装も表面に瀝青塗装を施せるものは同様なり。

第六十八表 蹄鐵摩擦係數

	瀝青鋪装	木塊鋪装	小鋪石鋪装	砂利道
最 大 値	1.134	1.052	1.093	1.237
平 均 値	0.682	0.784	0.866	0.730

3. 路面摩擦抵抗を増加せしむる特殊工法

都市街路にあるが如き避け得ざる急坂路に於ける路面構造は、摩擦係數を増加せしむる爲に硬度小く蹄鐵の壓力作用に對し、適當の凹みを生ずるが如きものを必要とす

るも、かゝる構造は一般に耐久性乏しきを以て、剛性舗装を用ふる場合は氷上蹄鐵の如き特別蹄鐵を用ふるか若くは路面に目筋溝形を與へて機械的に摩擦抵抗を増大せしめ蹄鐵爪先に於ける足がゝりを充分ならしむるを要す。

設くべき溝又は目筋の間隔は少くも蹄鐵の長以下にすべく、第六十九表及第三編第二百二十六表に揚げたる蹄鐵の長さより考へて、10 cm 以下とすべく勾配急なるに従ひ、轆馬が肢脚をおろせる地點に足がゝりの溝なき場合は更に之を滑動して前後の溝に足がゝりを求むべく、その滑動の許容範圍は蹄鐵下面の曲線部をなす 2.0 cm の間なるべく、之により溝の間隔は先に求めたる勾配の限度以上の場合には 5.5 cm とすべきものと考へらる。

溝の幅は蹄鐵爪先部の幅 1 cm よりも幾分廣きを要し、轆馬が肢をあけて進行する際蹄鐵が溝に入りて足がゝりを求め更に溝縁に觸れてつまづかざる爲には 1.5 cm 乃至 2.0 cm に保つを要すべし。

溝の深さは幅と同様に保つを有効とし、塵埃填充の爲その特質を失ふを以て掃除若くは雨水により流出容易ならしむる爲に丸味を便とすべし。

目筋に於て前記の溝と同様の効果を有せしむる爲の工法は、幅及深さが大なるにより却つて目筋材の機械的及氣象作用による龜裂を生じ、雨水の浸入を容易ならしめ路面構造の耐久性を失はしむる惧ありと考へらる。

第 六 十 九 表

蹄鐵番號	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
長 cm	11.5	12.0	12.5	13.5	14.5	15.5
幅 cm	10.5	11.0	11.5	12.5	13.5	14.5

蹄鐵が溝に足がゝりを求むる場合溝縁にかゝる荷重より、その必要とする縁壓強度を求むれば次の如し。

轆馬體重の 60% が前肢にかゝり、車輪牽引抵抗も同一割合を以て之に加はるものとし、爪先部の幅を第三編第二百二十六表により 7 cm とすれば、縁壓力は次式により表はし得べし。

$$P = 34.3i + 161 (R + i) \text{ kg/cm}$$

$$P = \text{縁壓力} \text{ kg/cm}$$

$$i \text{ 勾配} \quad R \text{ 車輪摩擦係數}$$

鋪石鋪裝、煉瓦鋪裝に於て此稜縁壓力は第七十表に示すが如し。

第七十表 稜縁壓力 kg/cm

鋪裝	率引抵抗	勾配 i						
		0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10
鋪石鋪裝	0.025	9.9	11.9	13.8	15.5	17.7	19.7	23.5
煉瓦鋪裝	0.020	9.1	11.1	13.0	14.9	16.9	18.8	22.7

坂路の鋪裝材料は勾配急なるに従ひ強度大なるを必要とし、第七十表の稜縁壓力は衝撃作用を考慮し安全率 5 をとり、蹄鐵との接觸面幅を 0.3 cm ととれば勾配 6% に於て 250 kg/cm² 同 8% に於て 325 kg/cm² 同 10% に於て 400 kg/cm² の強度を必要とす。

○ 第 六 章 道路曲線に關する研究

○ 第十五節 曲率半徑に關する研究

道路線形は可及的直線を可とするも、本邦の如き山岳丘陵が起伏多き國に於ては、地方路線の如き殆ど曲線部分がその大部を占め、従つてその曲率半徑は勾配と共に路線設計の重要な要素をなすものなり。

曲率半徑は緩行車に對しては、その速度の小なるが故に特に考慮を要するもの少きも、疾行車は之によりその速度を制限され、従つてその機能を阻害さるゝ事大なるが故に、曲率半徑に相當の限度を設け以てその機能の障害を少からしむるは、荷馬車に對する勾配と同様に自動車に對する重要な要件なり。

近年自動車の絶えざる改良進歩によりて、道路設計に及ぼす影響も相當に著しきものあり。四輪制動式の普及により安全視距の問題も變化すべく、道路幅員の擴大及路面の改良により速度も相當に増大し、従て線形の問題は現在及將來に亘り幾多の懸案を有するものなり。

道路曲線は勾配と共にその通行可能性を支配するものにして、更に之により路線延長を増大し、工事費及運輸費を増加せしむるのみならず、車輛は遠心力の爲に餘分の力を受け、車輛及路面は共に直線部よりも大なる影響を受くるが故に可及的之を避け、止むを得ざる場合はその曲率半徑を可及的大ならしむるを要す。

従來自動車交通に對して曲線の設計は、運轉手の注意を缺く場合を考慮して相當の

鋪石鋪裝、煉瓦鋪裝に於て此稜縁壓力は第七十表に示すが如し。

第七十表 稜縁壓力 kg/cm

鋪裝	牽引抵抗	勾配 i						
		0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10
鋪石鋪裝	0.025	9.9	11.9	13.8	15.5	17.7	19.7	23.5
煉瓦鋪裝	0.020	9.1	11.1	13.0	14.9	16.9	18.8	22.7

坂路の鋪裝材料は勾配急なるに従ひ強度大なるを必要とし、第七十表の稜縁壓力は衝撃作用を考慮し安全率 5 をとり、蹄鐵との接觸面幅を 0.3 cm ととれば勾配 6% に於て 250 kg/cm² 同 8% に於て 325 kg/cm² 同 10% に於て 400 kg/cm² の強度を必要とす。

○ 第 六 章 道路曲線に關する研究

○ 第十五節 曲率半徑に關する研究

道路線形は可及的直線を可とするも、本邦の如き山岳丘陵が起伏多き國に於ては、地方路線の如き殆ど曲線部分がその大部を占め、従つてその曲率半徑は勾配と共に路線設計の重要な要素をなすものなり。

曲率半徑は緩行車に對しては、その速度の小なるが故に特に考慮を要するもの少きも、疾行車は之によりその速度を制限され、従つてその機能を阻害さるゝ事大なるが故に、曲率半徑に相當の限度を設け以てその機能の障害を少からしむるは、荷馬車に對する勾配と同様に自動車に對する重要な要件なり。

近年自動車の絶えざる改良進歩によりて、道路設計に及ぼす影響も相當に著しきものあり。四輪制動式の普及により安全視距の問題も變化すべく、道路幅員の擴大及路面の改良により速度も相當に増大し、従て線形の問題は現在及將來に亘り幾多の懸案を有するものなり。

道路曲線は勾配と共にその通行可能性を支配するものにして、更に之により路線延長を増大し、工事費及運輸費を増加せしむるのみならず、車輛は遠心力の爲に餘分の力を受け、車輛及路面は共に直線部よりも大なる影響を受くるが故に可及的之を避け、止むを得ざる場合はその曲率半徑を可及的大ならしむるを要す。

従來自動車交通に對して曲線の設計は、運轉手の注意を缺く場合を考慮して相當の

餘裕を以て考へられたるも、速度の増大に伴ひ、之等の餘裕は次第に除外するを餘儀なくせられ、車輛の進行に安全且必要なる限度に止むるに至り、從つて運轉上の細心の注意と車輛構造の改善と相待つて曲線設計を合理的に行ふに至れり。

1. 最小曲線半徑

自動車は曲線に於てはその曲率半徑大なるほど、運轉は安全なれどもその速度に應じ交通上安全を期し得れば、その限度以上に半徑を大にして路線延長を増大せしめ、工事費、維持費、運輸費及運轉時間を大ならしむるを要せず。

此交通に必要な經濟的限度は各國に於て規定あるも、何れも一定せず。

曲 線 に 關 す る 標 準 工 法

米 國

曲線半徑は 300 m 以上とするもの數州あるも多くの州は未だ之をとらず。只山間地方の州の外は 150 m 以下のもの稀なり。

速度の増大に伴ひ視距は重大なる條件にして、幹線に對する要求は 150 m なり。

速度の増大、夜間に於ける運動のため反曲線、複曲線は單純曲線となり、相當長の切線により分離せる單純曲線となれり。 A.S.C.E. March 1930.

重交通路線の曲線半徑は 150 m 以上とす。

A.G. Bruce, Public Road, Public Works; Jan. 1929.

曲線半徑は大となり、縱曲線も大となり、數年以前は 40~60 m を用ひたるも、技術家及社會の要求は 150 m 以上となれり。

或る州は幹線 300 m とせり、切線は橋梁、反曲線に於て少くも 30 m とす。

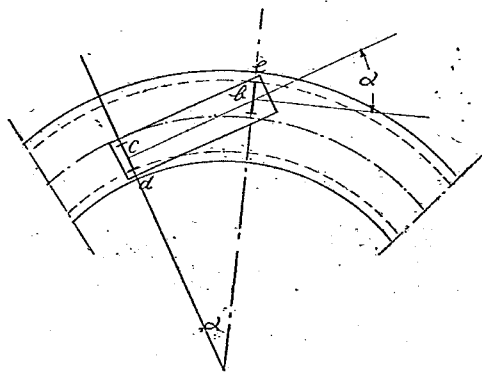
A. G. Bruce, Good Road, May 1927.

曲 線 半 徑

日本	佛國	Harger	Reiner	Sannier
道路構造令 第七條		Locat. grading & drainage of hy.	Handbuch der neue Straszenbauweisen	The 1st I.R.C.
國道 12 m	幹線道路 30~50 m	急勾配の曲線及そ の旒 90~120 m	重交通 250 m	500 m
府縣道 12 m	地方道路 150 m	半徑 60 m	中 " 150 m	
標準 55 m			輕 " 100 m	

Marchet は半径 10 m の曲線を一
般交通車輛の通過し得る限度と述べ
たり。第三十一圖に示すが如く自動
車が方向轉換をなすに當り前車軸に
於て、その中心線と進行方向とのな
す角度は 19.5° 乃至 30° を普通とす
るを以て今之を 25° として半径と軸
距、路幅の關係を求むれば、軸距 5 m
の場合、半径 11.0 m を要す。

第三十一圖



曲線半径小なるものは高度を大にす
る要あるのみならず、之を大にするも速度に及ぼす影響大ならず而して遠心力を受け
車輪は不均一なる荷重を受け、衝撃係数も極めて大なるは、第二編第四十一圖、第六
十二表に示すが如し、半径 8 乃至 12 m の曲線部に於ては速度 20 km/h に於て衝
撃係数 0.5 乃至 0.6 に達せり。

従つてかゝる小なる曲線半径は、現代交通の使命を有する路線には絶対に之を許す
べからず。

曲線半径は各國とも通常 150 m を最小半径とするもの多く、Sannier 氏は 500 m
をとり、米國の數州は 300 m をとれるも、本邦に於けるが如く混合交通の場合の緩
行車に對しては甚だ不經濟にして、疾行自動車に對しては、理想に失するが如し。

従つて此最小半径の決定は、安全視距、速度、擴幅等より合理的に之を行はざるべ
からず。

2. 視距

疾行車が曲線部に於てその進路に障害物を發見し、之を回避して安全に進行又は停
止するに必要な區間は、速度と曲率半径により定まり従つて視距と曲率半径の關係
を求むべし。

自動車が進路に障害物を發見し、之を回避すべき行動を始むる迄の時間は運轉手の
注意により定まるものとす。

(A) 自動車が障害物を發見して、その進路を変更し得る場合。

Marchet の行へる方法は次の如し。

A 車が障害物を發見して進路を変更して回避を始むる迄に進行する區間

$$l_1 = v_1$$

回避行動に要する區間

$$l_2 = S_2 + 2\rho\theta \frac{\pi}{180}$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{\rho - c/2}{\rho}$$

B 車が A 車と行違ふ迄に進行する區間

$$\begin{aligned} l_3 &= \frac{l_1 + l_2 v_2}{v_1} \\ &= \left(v_1 + S_2 + 2\rho\theta \frac{\pi}{180} \right) \frac{v_2}{v_1} \end{aligned}$$

従つて必要な視距 L は次の如し。

$$\begin{aligned} L &= l_1 + l_2 + l_3 \\ &= \left(v_1 + S_2 + 2\rho\theta \frac{\pi}{180} \right) + \left(v_1 + S_2 + 2\rho\theta \frac{\pi}{180} \right) \frac{v_2}{v_1} \\ &= \left(v_1 + S_2 + 2\rho\theta \frac{\pi}{180} \right) \frac{v_1 + v_2}{v_1} \\ &= \left(v_1 + v_2 \right) + \frac{v_1 + v_2}{v_1} S_2 + \frac{v_1 + v_2}{v_1} \times 2\rho\theta \frac{\pi}{180} \end{aligned}$$

S_2 進路を移す場合に道路中心線に於て進行する區間

然れども一車線より他の車線に進路を變ふる場合の進路の曲率半径は、路面の勾配及摩擦係數により定まらるべく、Marchet の式は之を單に路幅の函數として求めたるものなり。

今第三十二圖の如く進路を變更するものとすれば、必要な視距は次式により表はし得。

$$\begin{aligned} L &= t(v_1 + v_2) + \frac{v_1 + v_2}{v_1} \times 2\rho\varphi \\ \rho &= \frac{v_1^2}{g \cos^2 \gamma (f - \tan \gamma)} \\ \varphi &= \tan^{-1} \frac{\sqrt{b(2\rho - b)}}{\rho - b} \end{aligned}$$

(第三章 式 (2) 参照)

t 障害物を發見してより進路を變更し始むる迄の時間

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

$v_1 = v_2$ の場合

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

(B) 自動車の進路に回避し得ざる障害物ある場合

自動車がその進路に障害物を発見し、之を回避せむとする他の車線に別の障害物ある場合は、回避し得ざるが故に制動により停車するの外なし。

今一般的に二輪式制動車の場合をとり速度と視距との關係を求むれば次の如し。

制動距離は第二章式 (1) により

$$S = \frac{1 + P_g}{2gf \frac{Q_r}{Q}} v^2 = Bv^2$$

視距は兩車の制動距離と停車せる場合に衝突せざらしむる爲に安全なる間隔を必要とし、之を l_0 m とすれば、次式により表はし得べし。

$$L = B_1 v_1^2 + B_2 v_2^2 + l_0 + (v_1 + v_2)t$$

兩車の速度等しき場合は次の如し。

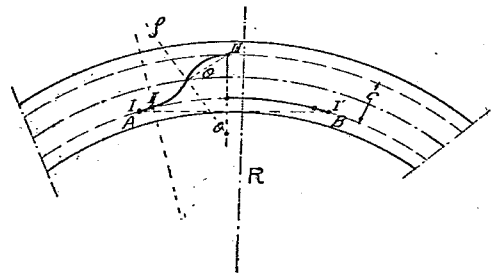
$$\begin{aligned} L &= 2Bv^2 + l_0 + 2tv \\ &= 2 \frac{1 + P_g}{2gf \frac{Q_r}{Q}} v^2 + 2tv + l_0 \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

3. 二車線幅の道路に於ける視距と速度との關係

今二車線幅を有する道路の曲線部に於て、速度と視距との關係を求むれば、次の如し。

幅員 $4b$ は 6 m とし、自動車の進路勾配を 0.02 とし、制動距離を求むるに當り、

第三十二圖



摩擦係数 f は安全を考慮して之を 0.30 とす。

(A) 回避し得る場合。

$$\rho = \frac{v^2}{2.747}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{\sqrt{4.120(2v^2 - 4.120)}}{v^2 - 4.120}$$

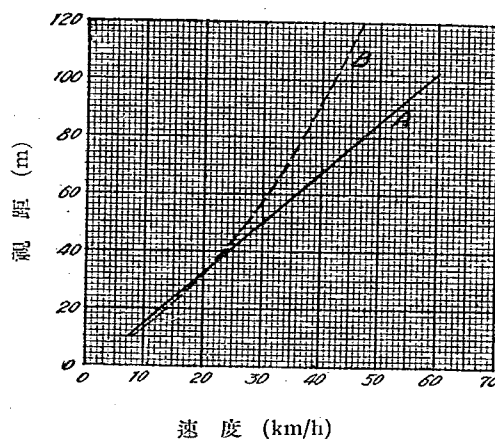
$$L = 2tv + \frac{4v^2}{2.747} \tan^{-1} \frac{\sqrt{4.120(2v^2 - 4.120)}}{v^2 - 4.120}$$

運轉手が相當細心の注意を以て運轉する場合 t を 1 sec とし、之より速度と視距の關係を求むれば第七十一表第三十三圖 A の如し。

第七十一表 視距と速度 $t=1$ sec の場合

V km/h	10	20	30	40	50	60
v m/sec	2.78	5.55	8.33	11.11	13.88	16.66
$\varphi = \frac{\theta\pi}{180}$	1.082	0.4613	0.3255	0.2500	0.2028	0.1693
$\rho = \frac{v^2}{2.942}$	2.845	11.30	25.34	45.10	70.20	101.20
$4\varphi\rho$	12.32	20.88	32.95	45.10	56.95	68.60
$L = 2v + 4\varphi\rho$	17.88	31.98	49.62	67.33	84.71	101.92

第三十三圖



(B) 回避し得ざる場合。

自動車が停車する場合の減速度は乗客に対する乗心地、貨物に対する損傷を考慮し

て制限され、通常 2.5 m/sec^2 の程度を標準と考へらる。

停車せる場合の兩車の間隔 L は安全の爲に 5 m ととり、 t は 1 sec とす。

制動距離は第二節式 (2) に據り次の如し。

$$\text{自動車 } S = 0.268v^2 = 0.0206V^2$$

従つて視距は次の如し。

$$L = 2 \times 0.0206V^2 + 5 + 2v$$

$$= 0.0412V^2 + 5 + 2v$$

之より速度と視距との關係は第七十二表第三十三圖の如し。

第七十二表 回避し得ざる場合

$V \text{ km/h}$	10	20	30	40	50	60
$v \text{ m/sec}$	2.78	5.55	8.33	11.11	13.88	16.66
S	2.06	8.24	18.54	32.96	51.50	74.16
$L = 2v + 2S + 5$	14.66	32.59	58.74	93.14	135.76	186.64

4. 必要なる視距

曲線部に於ける速度と視距との關係を表せる第七十一表及第七十二表より速度に必要な視距を求むれば、速度小なる場合は回避し得る場合より考へ、速度大なる場合には回避し得ざる場合より考ふべく、従つて速度と必要なる視距との關係は第七十三表の如し。

第七十三表 速度と視距

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

視 距 (m)

日 本	Bateman	Wiley
道路構造令細則案		
國 道 100		
府縣道 60	90	120

$$M = 0.000022C^2D \quad C \text{ 視距 ft. } D \text{ 曲線度 } R \text{ 半径 ft.}$$

$$= \frac{0.125C^2}{R} \quad M \text{ 交通線より側方障害物に至る距離 ft.}$$

然れども視距は路幅、沿道の状勢により異り更に交通量によりても影響を受けるが故に、その決定に當りては直線部分の幅員、最大速度を定めて之を行ふべく、最高速度 45 km/h の場合、視距は 120 m、速度 40 km/h の場合、同 100 m、速度 30 km/h の場合、同 60 m を必要とす。

5. 視距と曲率半径との關係

道路中心線半径を R 、中心線より視線を遮る路側の障害物までの距離を m とすれば、 R は m に比し相當大なるを以て必要なる視距弧長 L を直線と見做せば安全なる結果を得べく、之より視距と曲率半径との關係は次式を用ひたり。

$$R = \frac{m}{2} + \frac{L^2}{8m} \quad \text{○}$$

従つて式 (1) 及 (2) より次式を得べし。

(A) 回避し得る場合。

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

$v_1 = v_2$ の場合

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

二車線幅路線に於ては次の如し。

$$R = \frac{m}{2} + \frac{1}{8m} \left\{ 2tv + \frac{4v^2}{2.747} \tan^{-1} \frac{\sqrt{4.120 (2v^2 - 4.120)}}{v^2 - 4.120} \right\}^2$$

(B) 回避し得ざる場合。

$$R = \frac{m}{2} + \frac{1}{8m} \left\{ \frac{1 + P_g}{2gf \frac{Q_r}{Q}} v_1^2 + \frac{1 + P_g'}{2gf' \frac{Q_r'}{Q'}} v_2^2 + t(v_1 + v_2) + l_0 \right\}^2$$

$v_1 = v_2$ の場合。

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

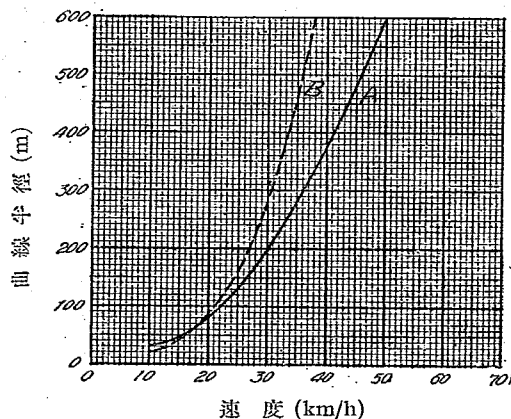
二車線幅の路線に於て前記の場合と同様に

$$R = \frac{m}{2} + \frac{1}{8m} \left\{ 2 \times 0.0206 V^2 + 2vt + 5 \right\}^2$$

(A) 及 (B) の二つの場合に於て $t=1$ sec、 $m=1.5$ m として、速度と半径との關係を求むれば第三十四圖の如く、速度小なる場合は回避し得る場合が大なる曲線半径を要し、回避し得ざる場合は速度大なる場合に曲線半径大なるものを要す。

9

第三十四圖



A: 回避し得る場合

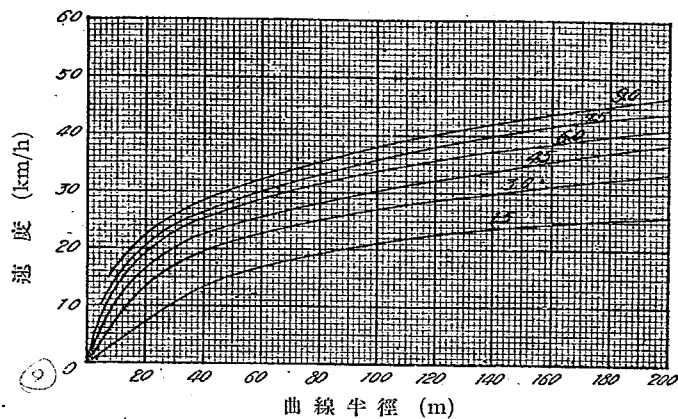
B: 回避し得ざる場合

此二つの場合の視距のうち大なるものを取り、 t を 1 sec として、 m を 1.5 m より、9.0 m 迄の場合の曲率半径を求むれば第七十四表第三十五圖の如し。

第七十四表 m と速度と半径との關係

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
曲線半径 R (m)									
に 車 線 中心より路側障害物									
至る距離									
=1.5	27.0	48	84.5	161.5	291	458	738	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

第三十五圖



曲線に附する數は m (m) を示す。

曲線半径は速度を支配する重要な要素にして、速度の變化大なるは交通量の密度を異にし、事故發生の原因をなすが故に可及的に之を一定すべく、然れどもその速度は亦幅、高度及 m の値により異なるが故にその限度を定め難きも、今 m を 3 m とすれば、速度 30 km/h は曲線半径 150 m、同 25 km/h は半径 80 m、同 20 km/h は同 50 m を要す。路線性質交通状態に應じその標準半径を定むるに當り、勿論 150 m を選ぶべきも、本邦の國勢に鑑み幹線 80 m 以上とすべく、地方路線は 50 m をとるを適當とすべし。

第十六節 擴幅に關する研究

幅員相當大なる道路に於て交通量大ならざる場合は、曲線部の幅員は直線部より大にする要なきも、幅員小なる路線に於ては、曲率半径及交通車輛の長に應ずる擴幅を必要とす。

自動車は曲線部を通過する場合、前輪は同側の後輪よりも大なる曲率半径の曲線進路をとり、從つて後輪は曲線の内側へ近づくものと考へ得べく、之により多くの場合曲線内側に擴幅を行ふものとす。

此擴幅は車の長著しく大なるか、曲率半径小なる場合の外はその數値大ならされども、道路の如く車輛が自由軌道を通行するものにありては、運轉上の要求よりも相當の餘裕を加へて擴幅を行ふを必要とす。

1. 擴幅に關する各國の標準工法

擴幅に関する在來工法

米國の州の大部分は實行せり、然れども曲線半徑大なり、從つて次第に不必要となれり。半徑大なる曲線を標準とする一部の如きは、山地方の外は不連續の幅員を與へたり。

A.S.C.E. March 1930.

8° 以上の曲線に用ひ、最大 1.5 m をとる。

A.G. Bruce, Public road, Public Works Jan. 1929.

California 州にては次の式を用ふ。

$$w = 2(R - \sqrt{R^2 - L^2}) + \frac{3.5}{R}$$

w 擴幅 呎 R 半徑 呎 L 軸距 呎 (20)

但し之は一般工法よりその數値小なり。240 m 以下に用ひたり。

(Agg 説) 半徑 150 m 以下の場合に用ひる表を求めたり之を式化すれば凡そ

$$w = \frac{3.1}{150}(150 - R) \quad \text{in meter}$$

緩和曲線に添ふて均一なる割合を以て擴幅を行ふ。

各州により異りて一定せざるも一般に用ひらるゝものは、次の如し

$$f = \frac{D}{10} \text{ 又は } f = \frac{D}{10} + 1 \text{ 又は } f = \frac{D}{10} + 2$$

$f = \sqrt{D}$ 重量大なる車輛

f 最大擴幅 D 曲線角度

Wiley
$$w = \frac{l^2}{2R}$$

w 一車線毎の擴幅 ft. l 車長 ft. R 半徑 ft.

Bateman
$$R_2^2 = (R_1 - G)^2 + L^2$$

$$w_1 = R_2 - R_1$$

$$A = R_2 - (R_1 + G)$$

$$R_2 = w_1 + R_1$$

$$= A + R_1 + G$$

Leeming
$$w = R - \sqrt{R^2 - L^2}$$

w 擴幅 R 半徑 L 軸距

2. 自動車の寸法

自動車の改良日に新にして、その標準寸法を定め難きも、今各國の規定をあぐれば第七十五表の如く、吾國の規定は比較的小に過ぐる傾あり。將來更に擴大し得るものと考へらる。

幅員は獨逸に於ては 2.35 m を要求し、道路改良の進歩に伴ひて更に擴大すべく、從つて曲線部の計算に當りては之を 2.5 m とすべし。

車の長さは近年次第に大となり、米國に於て 9 m 被牽引車を有する場合は 25.8 m に達せり。然れども之らの車輛は設計に用ふるに當り、本邦に於ては例外に屬すべく之をとるは極めて不經濟なるが故に今長 6.0 m として之より擴幅を求むべし。

第七十五表 自動車制限寸法

	日本 自動車取締令 施行細則	米國 The American motorvehicle Conference, Committee 提案				獨逸 Verkehrsregelung der Studiengesellschaft für Automobilstrassenbau D. stz. B.V.			
		9.1 m	25.8 m	30'	85'				
長 m	5.5								
高 m	3.0	3.8 m	3.8 m	12.5'	12.5'				
幅 m	2.1	2.43 m	2.73 m	8'	9'	2.1	2.30	2.30	2.80
			牽引車			貨物自動車	バス及家 具運搬車		荷物車
							Möbelwagen		

伊、スイス共に幅 2.20 m

3. 擴幅の大きさに關する理論

第三十八圖に於て擴幅の大きさを求むれば次の如し。

l 車輛の軸距 m b 車幅 m d 軌間 m

a 自動車 $A_1 A_2$ 間の必要なる横間隔 m

B 直線部の道路幅員 m

c 車輛と路面の縁との餘裕間隔 m

w 擴幅

$$w = R - R_2 + c - \frac{B}{2}$$

$$R_2 = \sqrt{R_3^2 - l^2} - d$$

$$R_3 = R_1 - (a + b)$$

$$\text{従つて } R_2 = \sqrt{\{R_1 - (a+b)\}^2 - l^2} - d$$

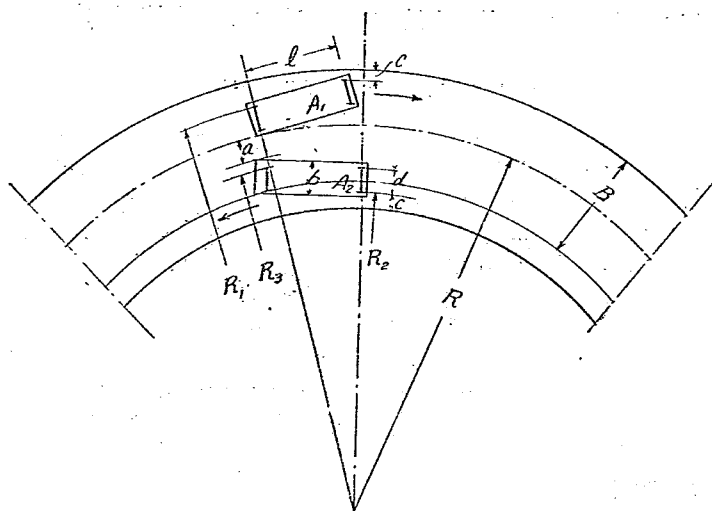
$$R_1 = \sqrt{\left(R + \frac{B}{2} - c\right)^2 - l^2}$$

$$\text{従つて } R_2 = \sqrt{\left\{\sqrt{\left(R + \frac{B}{2} - c\right)^2 - l^2} - (a+b)\right\}^2 - l^2} - d$$

$$\text{之より } w = R + c + d - \frac{B}{2} - \sqrt{\left\{\sqrt{\left(R + \frac{B}{2} - c\right)^2 - l^2} - (a+b)\right\}^2 - l^2}$$

之より 半径、路幅に應すべき擴幅を求め得べし。

第三十八圖



4. 二車線幅を有する路線の擴幅

今前記の式を用ひ、道路幅員 6.0 m の路線に於て次の數値を用ひて曲線半径と擴幅との關係を求むれば第七十六表第三十九圖に示すが如し。

$$l = 5.5 \text{ m} \quad b = 2.5 \text{ m} \quad d = 1.5 \text{ m}$$

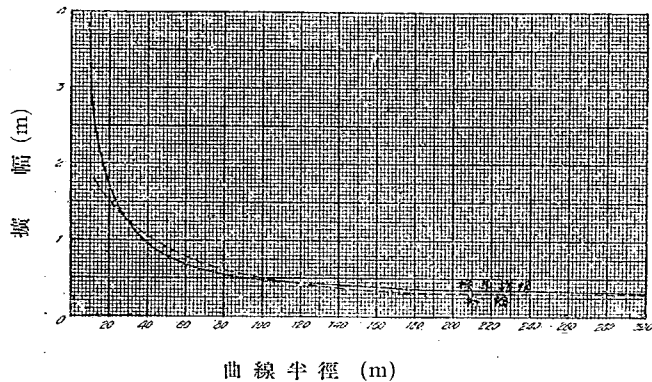
$$a = 1.2 \text{ m} \quad c = 0.5 \text{ m} \quad B = 6.0 \text{ m}$$

第七十六表 擴 幅

曲率半径	R m	10	15	20	30	40	50	75	100	150	200	300	500
	R_2 m	3.64	10.18	15.76	26.29	36.55	46.70	71.90	97.00	147.10	197.15	297.19	497.23
擴 幅	w m	3.86	2.32	1.74	1.21	0.95	0.80	0.60	0.50	0.40	0.35	0.31	0.27

道路構造令細則案と比較すれば幾分廣き擴幅を要し殊に半徑小なる曲線に於て大なるを要す。

第三十九圖



第十七節 高度に關する研究

道路の直線部に於ける横斷形は、路面排水上竝に往復二車線を指示する爲に一般にその中央部を高くして中高形とするも、曲線部に於ては車輛はその進路曲線半徑を可及的大ならしむる爲に、何れも進路を内側車線にとる傾向あり。従つて路面の利用さるゝ割合が部分により異なるのみならず、外側車線を進行する場合は中高形路面に於ては遠心力の作用を受け横倒又は滑動の惧あり、交通の安全を期し難き場合少からず。

車輛に對しては外側を進行する場合遠心力を受け、車輪に不均一の壓力を及ぼし振動も大となり。輪帶の損傷も直線部に比して大なる事、第二編第四十一圖、第六十二表に示すが如し。

路面が車輪により受くる壓力強度は、直線部に於ても彈性限度を超ゆる場合少からず。曲線部に於ては更に複雑且大なるが故に横斷形決定に當り可及的その受くる作用を輕減すべく、従つて曲線部に於ては、曲率半徑に應じ適當なる高度を與ふる一方向勾配とし、併せて路面の利用さるゝ割合を均一ならしめざるべからず。

道路は鐵道と異り交通車輛の種類、寸法、構造、速度極めて廣き範圍に亘り、更に鐵道は一定軌道をとり曲線部に於ては外軌條が車輪進路を指示するが故に遠心力による顛覆に對して考慮すれば足るも、道路は制限軌道を有せざるが故に横滑りをも考慮するを要す。而して横滑りは路面の摩擦係數により異り、同係數は路面性質、狀態及氣

象の變化に伴ひ著しく異なるが故に横勾配の決定は極めて複雑なる問題なり。

従つて今摩擦係數小なる場合に於て高度を求め、同係數増大せる場合の影響を求めむとす。

1. 高度に関する工法

交通車輛の速度増大に伴ひ各國共に高度を規定するに至れり、然れどもその大さは一定せるものなく、只多くは 0.10 を最大高度とするに一致し、米國のある州に於ては 0.12 をとれり。

Harger	
曲線半徑 m	高度 %
15—60	10.4
60—150	8.3
150—240	6.3
240—300	4.2
300 以上	0

American Committee on recommended practice of concrete road and street construction.

曲線半徑 m	高度 %
— 45	6.3
45—150	4.2
150 以上	0

Reiner

片横勾配 5% 乃至 2.5% 速度 60 km/h 半徑 250 m 高度 4%
混合交通 5%—2.5% 萬國道路會議にては 6%

American Association of state highway officials は public road, J.D. Voschell の説をとり 高度最大値 8.3%

$$E = 0.067 \frac{V^2}{R} \quad E \text{ 勾配 ft/ft} \quad V \text{ 速度 mile/h} = 35 \quad R \text{ 半徑 ft.}$$

半徑 9 乃至 300 m 迄之を行ふ

Wiley $e = \frac{0.067 S^2}{R} \text{ ft/ft} \quad e = 0.8 \frac{S^2}{R} \text{ inch/ft}$

最大限度は 8~10% 最小限度は $e = 0.3 \frac{S^2}{R} \text{ inch/ft}$

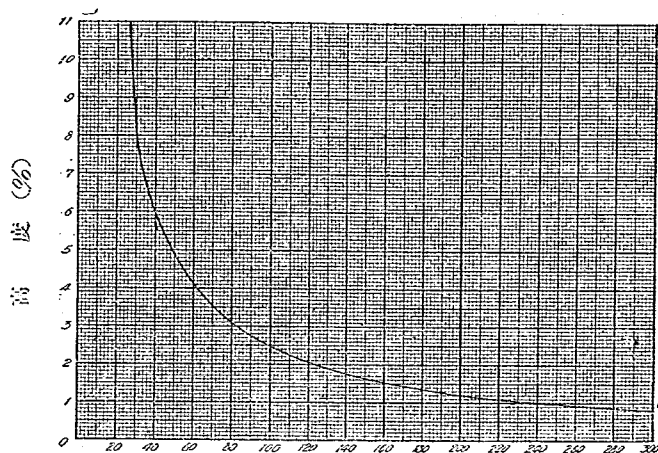
Agg は $e = \frac{0.8 S^2}{r} - 12 K f$

e 高度 inch/ft S 速度 mile/h r 半徑 W 車輛重量 f 摩擦係數

$K = \frac{w}{W}$, w 後車軸重 f 乾燥鋪裝面 0.4 氷雪被覆面 0.15 濕潤滑面 0.30

Bateman $e = \frac{V^2}{15R} \text{ ft/ft} \quad V \text{ 速度 mile/h} \quad R \text{ 半徑 ft}$

第四十圖 米國標準工法



曲線半径 (m)

2. 高度決定に關する在來工法

曲線部に於ける片勾配の決定に關しては未だ定説なく、曲率半径に應じ速度を制限して定むるもの、半径の大きさに係らず勾配を一定するものあり、曲線部の速度に關しても定説なく、更に混合交通の場合に緩行車に及ぼす影響を考慮すれば極めて困難なる問題なり。

從來一般に疾行車に對し曲線半径に應ずる勾配を定め、緩行車の安全の爲に之を一定限度に止めたり、從つて緩行、疾行兩車何れにも不徹底のものをとれる感あり。

自動車に對する横勾配決定に關する理論は横滑りと横倒に對する安全より求め得べし。

(1) 横滑りに對するもの

- 今 C 遠心力
 Q 自動車重量
 i 横勾配
 f 横滑りに對する輪帶と路面との摩擦係數
 V 速度 km/h v m/sec
 R 曲率半径

後輪が横滑りを起さる爲には

$$C \cos \alpha \equiv Q \sin \alpha + f Q \cos \alpha \dots\dots\dots (1)$$

i は緩行車に対する安全の爲に 0.10 以下とするを以て $\cos \alpha \doteq 1$.

$\sin \alpha \doteq \tan \alpha$ とせば式 (1) は次の如し。

$$C \leq Q \tan \alpha + fQ = Q(i+f) \dots \dots \dots (2)$$

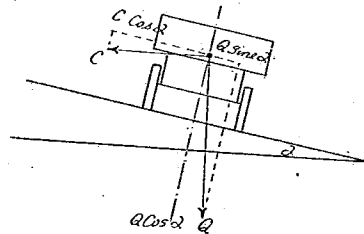
然るに $C = \frac{Qv^2}{gR}$

従つて $v^2 \leq gR(i+f)$ 又は $V \leq 11.275\sqrt{R(i+f)}$

之より $i \geq \frac{v^2}{gR} - f \dots \dots \dots (3)$

高度は速度大、曲率半径小なるほど大なるを要し、路面摩擦係数大なれば小なるべし。

第四十一圖



(2) 横倒に対するもの

第四十二圖に於て C 遠心力 cd
 Q 自動車重量 ca
 R 自動車重量と遠心力との合成力 cb

然る時は $\tan(\alpha + \theta) = \frac{C}{Q}$

$$\frac{\tan \alpha + \tan \theta}{1 - \tan \alpha \tan \theta} = \frac{C}{Q}$$

従つて $\tan \theta = \frac{\frac{C}{Q} - \tan \alpha}{1 + \frac{C}{Q} \tan \alpha} = \frac{n}{h} \dots \dots \dots (4)$

然るに $C = \frac{Qv^2}{gR}$ 及 $\tan \alpha = i$

従つて $\frac{n}{h} = \frac{\frac{v^2}{gR} - i}{1 + \frac{v^2}{gR} i} \dots \dots \dots (5)$

$$\text{之より} \quad i = \frac{v^2 - \frac{u}{h} g R}{\frac{u}{h} v^2 + g R} \dots\dots\dots (6)$$

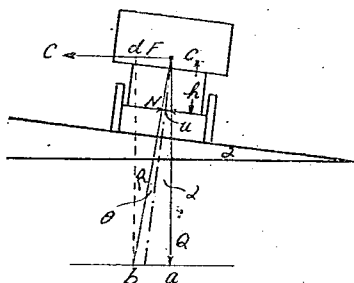
今 $u=0$ とすれば

$$i = \frac{v^2}{g R} \dots\dots\dots (7)$$

u は遠心力と自重との合成力の作用する線が車軸と交はる點に至る中心よりの距離を表はすものとす。

式 (7) は合成力が車輛重心に作用する場合にして遠心力に平衡を保つべき横勾配を意味するものなり。

第 四 十 二 圖



混合交通の場合は之を合理的に解決する事極めて困難なるを以て曲線部に於ては可及的疾行及緩行車の進路を分離せしむるを要す。

遠心力は半径と反比例するが故に半径小なる場合は高度を大にすべきも緩行車に對する安全の爲に幾分之を減少して定むるを通例とす、然るに緩行車に對し高度大に過ぐるが如き小半径の曲線に於ては擴幅が相當大となるを以て、此擴幅を充分にとりて之を兩側に緩行車線、中央に疾行車線を指示し得るが如く定め、兩側は緩勾配、中央部は疾行車に必要な高度を用ひる場合には、相當交通の目的を達し得べし、而して相當大なる半径の曲線に於ては高度も前者の場合に比し小なるを以て影響少かるべし。

- 9) 摩擦係数は路面の性質及狀態、輪帶の性質及狀態により、著しく變化するが故に、高度決定に當り摩擦係数は、路面が雨水、氷雪等に被はるゝ場合を考へ、安全の爲に之を 0.10 とし、之より高度、速度、半径の關係を求むべし。

路面と輪帶との摩擦係数は第七十七表及第七十八表の如し。

第七十七表 車輪の方向に對する摩擦係數

	空氣入輪帶		ソリッド輪帶	
	最大値	最小値	最大値	最小値
木塊鋪裝	0.537	0.273	0.471	0.225
	0.715	0.303	0.531	0.250
瀝青鋪裝	0.626	0.481	0.501	0.330
	0.695	0.490	0.566	0.392
混凝土鋪裝	0.459	0.311	—	—
	0.566	0.408	—	—
	0.609	0.517	—	—
	0.775	0.547	—	—
鋪裝面の雨水が 氷結せる状態	0.209	0.153	0.158	0.069
			0.159	0.124

第七十八表 車輪に直角方向の摩擦係數

	空氣入輪帶		ソリッド輪帶	
	最大値	最小値	最大値	最小値
木塊鋪裝	0.431	0.245	0.336	0.334
瀝青鋪裝	0.415	0.318	0.301	0.281
混凝土鋪裝	0.401	0.387	0.325	0.324
砂利道	0.344	0.261	0.299	0.290
塗裝砂利道	0.417	—	0.348	0.312
土砂道	0.318	0.300	0.269	0.266

今 曲率半径、速度、摩擦係數より高度を求むれば次の如し

(1) 横滑りの關係より求めたるもの

式 (3) は半径に應すべき速度を求むる事能はず、從つて半径と通常工法の高度とより速度を求めたるものは第七十九表の如し、從つて不徹底を免れず。

半径と速度との關係は第十五節、視距を求めたる場合の式より求め得べしと雖も、該式は車線より側方障害物に至る距離を考慮に入れたるが故に一般に適用し難し。

第七十九表

曲線半径 R m	速度		gR	$\frac{V^2}{gR}$	高度 $\frac{V^2}{gR} - 0.10$
	km/h	m/sec			
15	19.5	5.42	147	0.200	0.100
60	39.0	10.84	587	0.200	0.100
60	37.3	10.37	587	0.183	0.083
150	59.0	16.40	1470	0.183	0.083
150	55.5	15.46	1470	0.1625	0.0625
240	70.4	19.55	2350	0.1625	0.0625
240	65.7	18.26	2350	0.1420	0.042
300	75.0	20.85	2940	0.1420	0.042

(2) 横倒に對するもの。

式 (6) の u の値は第一回萬國道路會議に於て Wernecke が軌間の三分の一迄許し得ると述べたるも、一般に横倒に對する横勾配は極めて急にして混合交通の場合はかゝる大なる高度を考ふる必要なし。

従つて横勾配は横滑りの關係より求むべきものとす。

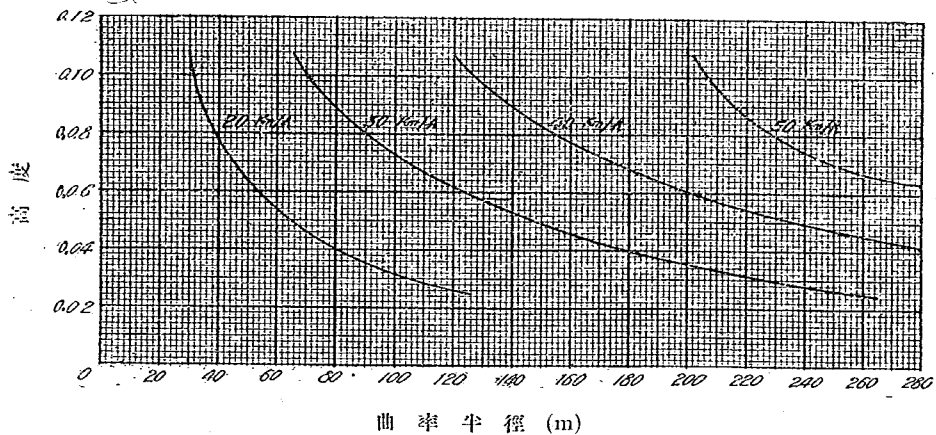
曲率半径の大きさに係らず速度を一定として必要な高度は式 (7) により求むれば第八十表第四十三圖の如し。

然れどもかくの如きは混合交通に對し極めて危險にして半径に應じ速度を異にするべきは合理的なりとす。

第八十表 一定速度の場合、曲率半径と高度

速度	km/h	20	30	40	50
	m/sec	5.55	8.33	11.11	13.90
曲率半径 R m					
高度 i	0.025	126.0	286	504	792
	0.040	79.0	179	315	495
	0.060	52.5	119	210	330
	0.080	39.4	89.5	157	248
	0.100	31.4	71.5	126	198

第四十三圖 一定速度の場合の曲率半径と高度との關係



高度決定に當り遠心力と完全に平衡すべき高度をとるは緩行車に對し極めて危險且不安なるが故に、横滑り即摩擦係数を考慮せる式 (3) より決定し自動車自身の平衡に

より一部の遠心力をとらしむるを安全とすべし。

Wiley は遠心力の影響が實際上相當緩和せらるゝ事實に基き $i=v^2/gR$ の勾配の $\frac{1}{2}$ にて足ると説けり。

3. 高度決定に関する標準

高度決定に當り最も主要なるは自動車の速度にして、その平均速度、最高及最低の限度を定むるを要す、車輛の構造機能多岐多様に之を定むるは甚しく困難なりと雖も路線の運輸能力に及ぼす影響、交通混雑の原因が速度の不同に基く事大なるに鑑み、平均及最高最低速度の限度を定むるは極めて緊要なり。

高度は此平均速度の場合遠心力と完全に平衡し得るものとし、最高及最低速度の場合、車體によりて遠心力の一部を受けしむべく之を求めむとす。

自動車の速度の制限は各國に於て異なり、規定あるも實行極めて亂れ易く、その實際値を知り難く、更に路幅、線形、路面構造により變化し一定し難きを以て、路線の性質により定むべく、今最高及最低速度に關して第八十一表の如く各種の場合を考へ、平均速度は、速度の路面に及ぼす作用が何れの場合も、その自乗に比例するが故に次式により之を求めたり。

$$V_{\text{mean}} = \sqrt{\frac{V_{\text{max}}^2 + V_{\text{min}}^2}{2}}$$

V_{mean} 平均速度 V_{max} 最高速度 V_{min} 最低速度

第 八 十 一 表

	最高速度 km/h	平均速度		最低速度 km/h
		km/h	m/sec	
I ₁	50	45.3	12.6	40
I ₂	50	41.3	11.5	30
I ₃	50	39.5	10.98	25
II ₁	40	35.3	9.82	30
II ₂	40	33.3	9.26	25
II ₃	40	31.3	8.70	20
III ₁	30	27.6	7.68	25
III ₂	30	25.4	7.06	20
III ₃	30	23.7	6.59	15
VI ₁	25	22.65	6.30	20
VI ₂	25	20.6	5.73	15
V ₁	20	17.7	4.92	15

		自動車速度 km/h	
日 本		米	獨
		Maclintock	Reiner
輕自動車	32	Traffic control	半徑 100 m 以上 40—50 km/h
重自動車	26	40—56	半徑 200—300 m 以上 50—60 km/h
作業自動車	16		

高度の最大値は自動車の最大速度を標準として求むれば緩行車に對し危険且困難なるのみならず、霜氷雪の爲に摩擦係數減ぜる場合到底豫定の速度を出し得ずして高度大なる爲に却つて危険且不經濟となるの惧あり。

横勾配が緩行車に及ぼす影響を考ふるに輓馬は横勾配に基きて常に横滑りに對する抵抗を受くると同時に、車輛牽引に當り、その進行方向に働く抵抗力と、横勾配に基きて之と直角に作用する力のある部分との合成力に等しき輓力を要し、その作用する方向も横勾配により異なり、幾分勾配大となるに従ひ餘分の輓力を要す。

車輛が横勾配によりて受くる横滑の力は路面との摩擦抵抗と平衡するも今之と進行方向の牽引抵抗との合成力と横勾配との關係を求むれば次の如し。

$$i = \tan \alpha \quad \text{路面勾配}$$

$$Q \quad \text{車輛重量}$$

$$f \quad \text{摩擦係數}$$

$$F_0 \quad \text{横勾配 0 の場合の所要輓力}$$

$$F \quad \text{横勾配 } i \text{ の場合の同上}$$

$$F_0 = fQ$$

$$F = \sqrt{fQ \cos \alpha^2 + Q \sin \alpha^2}$$

$$F \text{ の作用する方向 } \tan \theta = \frac{Q \sin \alpha}{fQ \cos \alpha} = \frac{\tan \alpha}{f}$$

$$\frac{F}{F_0} = \frac{\sqrt{fQ \cos \alpha^2 + Q \sin \alpha^2}}{fQ} = \sqrt{\frac{f^2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}{f^2}}$$

$$= \sqrt{\cos^2 \alpha + \frac{\sin^2 \alpha}{f^2}}$$

$$= \sqrt{1 + \sin^2 \alpha \frac{1 - f^2}{f^2}}$$

$$\text{今 } \tan \alpha = i \text{ とすれば}$$

$$\frac{F}{F_0} = \sqrt{1 + \frac{i^2}{1 + i^2} \frac{1 - f^2}{f^2}}$$

$$\frac{F}{F_0} = \sqrt{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{f^2}} \left(\frac{1}{f^2} - 1 \right)}$$

f^2 及 i^2 は 1 に比し極めて小なるが故に上式は次の近似式となし得べし

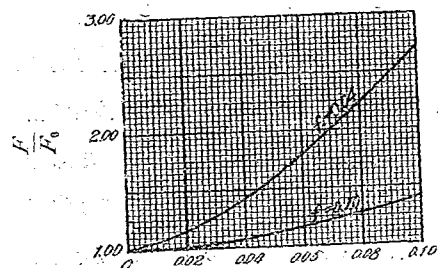
$$\frac{F}{F_0} = \sqrt{1 + \frac{i^2}{f^2}}$$

f を 0.040 と 0.100 の場合に F/F_0 を求むれば、第八十二表第四十四圖の如し。

第八十二表 F/F_0 の比

勾配 i	F/F_0	
	$f=0.10$	$f=0.040$
0.000	1.000	1.000
0.025	1.031	1.180
0.040	1.077	1.414
0.060	1.166	1.800
0.080	1.279	2.235
0.100	1.414	2.690

第四十四圖



横勾配

最高高度は、自動車交通より 0.10 とするもの多く、米國に於ては速度の増大に伴ひ 0.120 をとるものありと雖も、之等は緩行車に對して極めて不安、不經濟にして第八十二表、第四十四圖により、混合交通の場合は F/F_0 の比 2 以下をとり 0.06 を最高々度とすべく、自動車交通を主とする路線にして荷馬車交通を犠牲とするか、之の部分に別路線を設定し得る場合は 0.10 をとり得べし。

此標準によりて曲線半径と高度との關係を求むべし。

4. 標準曲率半径

混合交通路線に於て最高々度を 0.06 とする場合、道路を幹線、地方路線第一種及第二種の三に分ちて、速度曲率半径、視距の關係を第四十三圖及第三十五圖より求むれば第八十三表の如し。

第八十三表 高度 0.06 の曲率半径の曲線

曲率半径の種類別

	速 度		
	30 km/h	25 km/h	20 km/h
高度より定まる曲率半径 (m)	120	80	60
視距より定まる曲率半径 (m)	140	80	50

之により標準曲率半径は幹線 150 m 地方路線第一種 80 m 同第二種は 60 m を適當とすべし。

此線形を有する路線を將來自動車交通を主とする爲に最高高度を 0.10 とすれば、幹線に於て速度 43 km/h. 地方路線第一種 32 km/h. 同第二種約 28 km/h を出し得べく、疾行車線として充分その機能を發揮し得べし。

5. 曲率半徑、高度及速度の關係

道路横勾配は路面構造により路面排水上必要なる最低限度を有するが故に自動車交通に對し次の條件により、曲率半徑、速度、高度の關係を求めむとす。

路線を混合交通を主とするもの、自動車交通を主とするものの二種に分ちて考へ最高々度は前者に對し 0.06 後者に對し 0.10 とす。

1. 最小曲率半徑 R_1 に於て最高々度 $i_{\max}$ を與ふ。
2. 曲率半徑 $R=300$ m に於て高度 i は直線部の横勾配 i_0 と同一値を與ふ。
3. 直線部の横勾配は路面排水より考へたる i_0 を有するも遠心力より考慮せる高度を有せざるものとす。
4. 曲率半徑と高度との關係は拋物線形をとるものとす。

$$i = \frac{K}{R^n} \dots\dots\dots (1)$$

i 高度

R 曲率半徑

K, n 常數

最小半徑 R_1 の部分の高度を i_1 とし同 300 m の部分の高度を i_0 とすれば式 (1) は次の如し。

$$i_1 R_1^n = K$$

$$i_0 \times 300^n = K$$

$$\text{之より} \quad n = \frac{\log \frac{i_1}{i_0}}{\log \frac{300}{R_1}} \dots\dots\dots (2)$$

$$K = i_1 R_1^n = i_0 \times 300^n \dots\dots\dots (3)$$

從て一般式は

$$i R^n = i_0 \times 300^n = i_1 R_1^n \dots\dots\dots (4)$$

式 (4) より曲率半徑と高度との關係を得べし。

更に平均速度に於て遠心力を高度により、完全に平衡せしむるものとして次式により速度を求め得べし。

$$v = \sqrt{igR} \dots\dots\dots (5)$$

而して式 (4) より i は次式を得べし。

$$i = \frac{i_0 300^n}{R^n} = \frac{i_1 R_1^n}{R^n} \dots\dots\dots (6)$$

式 (6) を式 (5) に入れて速度と半径との関係式を得べし。

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{i_1 \left(\frac{R_1}{R}\right)^n gR} \\ &= \sqrt{i_1 g R_1^n R^{1-n}} \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

今 300 m の曲率半径の曲線部に於て直線部と同様の平均速度 V_{mean} を以て進行し得るものとすれば V_{mean} に對し自動車は遠心力と完全に平衡を保つ爲に必要なる條件は次の如し。

$$i_0 = \frac{V_{\text{mean}}^2}{gR} = \frac{V_{\text{mean}}^2}{2940} \dots\dots\dots (1)$$

V_{mean} に對しては次の如し。

$$i_0 = \frac{V_{\text{max}}^2}{gR} - f = \frac{V_{\text{max}}^2}{2940} - f \dots\dots\dots (2)$$

$$V_{\text{mean}} = \sqrt{2940 i_0} = 54.2 \sqrt{i} \dots\dots\dots (3)$$

V_{mean} と i との関係は第八十四表第四十五圖の如し。

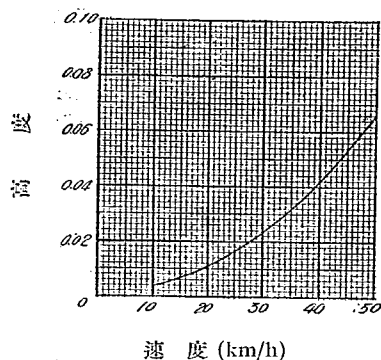
第 八 十 四 表

曲線半径 300 m の部分の高度と速度

最高速度 km/h	最低速度 km/h	平均速度		i
		km/h	m/sec	
50	40	45.3	12.6	0.0540
50	30	41.3	11.5	0.0450
50	25	39.5	10.98	0.0410
40	30	35.3	9.82	0.0328
40	25	33.3	9.26	0.0292
40	20	31.3	8.70	0.0258
30	25	27.6	7.68	0.0201
30	20	25.4	7.06	0.0170
30	15	23.7	6.59	0.0148
25	20	22.65	6.30	0.0135
25	15	20.6	5.73	0.0112
20	15	17.7	4.92	0.0082

第四十五圖

半径 300 m の曲線に於ける高度と速度との關係



混合交通の場合最高々度 0.06 の部分の速度と曲率半径は次式より求むれば第八十五表の如し。

$$v = \sqrt{gRi} = \sqrt{9.8 \times 0.06 \sqrt{R}} = 0.766 \sqrt{R}$$

自動車の最低速度 10 km/h を標準とすれば、最小曲率半径 $R=15$ m となり、同 15 km/h を標準とすれば $R=30$ m となるべし。

而して $R=30$ m は限度として高すぎるが故に 12.5 km/h を標準として $R=20$ m を限度とするを適當とすべし。

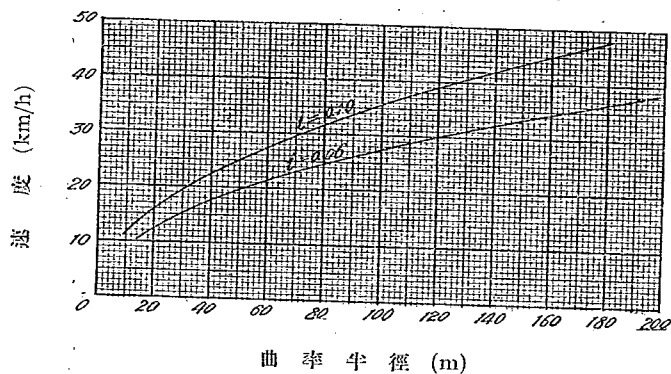
第八十五表

高度 0.06 の部分の半径と速度の關係

曲率半径 R m	速 度	
	m/sec	km/h
15	2.97	10.70
20	3.42	12.30
25	3.82	13.75
30	4.20	15.10
50	5.41	19.40
70	6.41	23.10
100	7.66	27.50
150	9.39	33.80
200	10.85	39.00

第四十六圖

曲率半径と速度との関係



自動車交通を主とする場合最高々度を 0.10 とすれば遠心力と平衡するものとして
曲率半径と速度の関係を求むれば第八十六表の如し。

$$v = \sqrt{gRi} = \sqrt{9.8 \times 0.10 R} = 0.99\sqrt{R}$$

第八十六表

高度 0.10 の部分の半径と速度

曲率半径 m	速度	
	m/sec	km/h
15	3.83	13.80
20	4.43	15.90
25	4.95	17.80
30	5.42	19.50
50	7.00	25.30
70	8.28	29.80
100	9.90	35.60
150	12.12	43.60
200	14.02	50.50

半径 300 m の曲線部の横勾配は路面構造及路面排水上一定の限度あり、今第一種
及第二種の場合、その横勾配を夫々 0.025, 0.041 とすれば、混合交通及自動車交通
の兩種路線に於ける速度は第八十七表の如し。

第八十七表

路線種別		半径 300 m の曲線部			半径 20 m の曲線部		
		高度 i	速度		高度 i	速度	
			m/sec	km/h		m/sec	km/h
混合交通	第一種	0.041	10.98	39.5	0.060	3.42	12.3
	第二種	0.025	8.70	31.3	0.060	3.42	12.3
自動車交通	第一種	0.041	10.98	39.5	0.100	4.43	15.9
	第二種	0.025	8.70	31.3	0.100	4.43	15.9

6. 混合交通路線の曲率半徑、速度、高度の關係式

(1) 第一種路線 M_1

$R=300$ m の曲線に於て

$$V_{\max} = 50 \text{ km/h} \quad V_{\min} = 25 \text{ km/h} \quad V_{\text{mean}} = 39.5 \text{ km/h}$$

$$i = 0.041 \quad v = 10.98 \text{ m/sec}$$

$R=20$ m の曲線に於て

$$V_{\text{mean}} = 12.3 \text{ km/h} \quad v = 3.42 \text{ m/sec} \quad i = 0.060$$

i と R , v との關係は次の如し。

$$i = 0.0914R^{-0.1498}$$

$$v = 0.946R^{-0.4296}$$

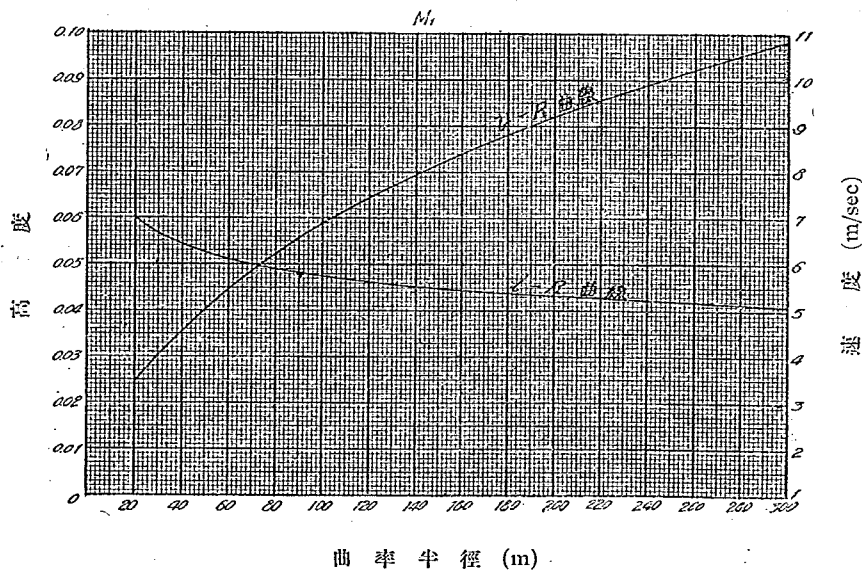
第八十八表第四十七圖に示すが如し。

第 八 十 八 表

混 合 交 通 路 線 M_1

曲率半徑 R m	20	40	60	80	100	150	200	250	300
高 度 i	0.060	0.054	0.051	0.049	0.048	0.045	0.043	0.042	0.041
速 度 v m/sec	3.426	4.615	5.493	6.215	6.841	8.142	9.213	10.140	10.98

第 四 十 七 圖



最高及最低速度の場合は遠心力と完全に平衡を保たざるが故に所要路面の摩擦係数を求むれば次の如し。

$$i = \frac{v_1^2}{gR} - f$$

$$i = \frac{v_0^2}{gR}$$

i 高度

v_0 平均速度

v_1 最高速度

f 摩擦係数

之より次式を得べし。

$$f = \frac{v_1^2 - v_0^2}{gR} = i \left(\frac{v_1^2}{v_0^2} - 1 \right)$$

$$\frac{f}{i} = \left(\frac{v_1}{v_0} \right)^2 - 1$$

$$\frac{v_1}{v_0} = \sqrt{1 + \frac{f}{i}}$$

一般に最高速度と平均速度の比は 1.2 乃至 1.3 の間にあり、第八十九表に示すが如し。

今最高と最低速度の比を 2:1 とすれば所要摩擦係数は次の如し。

$$1.27 = \sqrt{\frac{f}{i} + 1}$$

$$\frac{f}{i} = 0.61$$

$$f = 0.61i$$

i を 0.10 とするも f は 0.061 となり、一般に摩擦係数の値は上式を満足するを知るべし。

第八十九表

最高速度	平均速度	最低速度	比 $\frac{\text{最高速度}}{\text{平均速度}}$
1.5	1.27	1	1.19
2.0	1.58	1	1.27
3.0	2.23	1	1.35

(2) 第二種路線 M_2

$$R=300 \text{ m に於て} \quad v=8.70 \text{ m/sec} \quad i=0.025$$

$$R=20 \text{ m に於て} \quad v=3.42 \text{ m/sec} \quad i=0.060$$

とすれば次式の如し。

$$iR^{0.3233}=0.1581$$

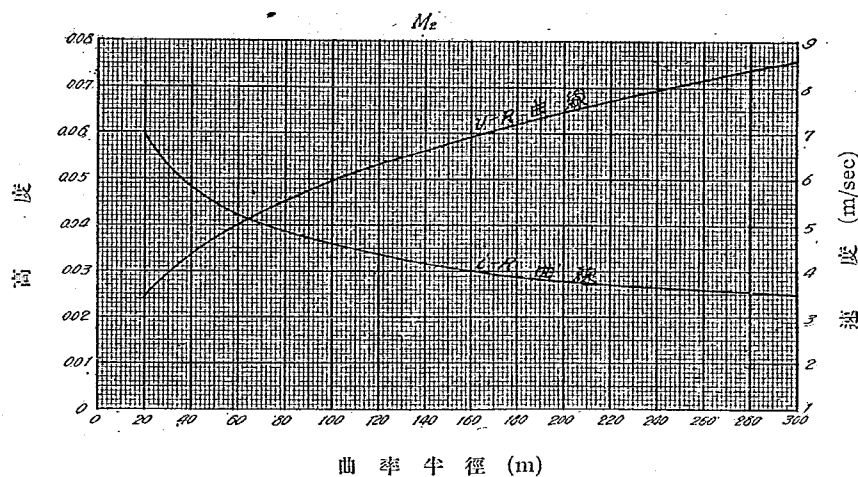
$$v=1.246R^{0.3384}$$

第九十表第四十八圖に示すが如し。

第 九 十 表

曲率半径 R m	20	40	60	80	100	150	200	250	300
高 度 i	0.0600	0.0479	0.0421	0.0383	0.0357	0.0313	0.0285	0.0265	0.0250
速 度 v m/sec	3.429	4.333	4.975	5.480	5.915	6.783	7.474	8.058	8.573

第 四 十 八 圖



7. 自動車交通を主とする路線の曲率半径、速度、高度の關係式

(1) 第一種路線 A_1

$R=300 \text{ m}$ の部分

$$V_{\max}=50 \text{ km/h}$$

$$V_{\min}=25 \text{ km/h}$$

$$V_{\text{mean}}=39.5 \text{ km/h}$$

$$i=0.041$$

$$v=10.98 \text{ m/sec}$$

$R=20 \text{ m}$ の部分

$$V_{\text{mean}}=16.0 \text{ km/h}$$

$$v=4.43 \text{ m/sec}$$

$$i=0.100$$

i と R , v との関係式は次の如し。

$$i = 0.268R^{-0.3292}$$

$$v = 1.621R^{0.3354}$$

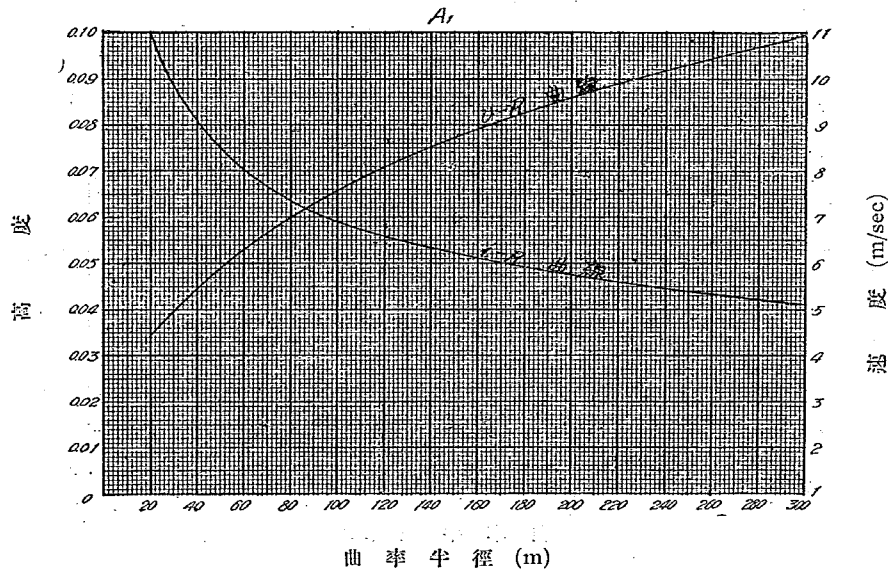
$$R = \frac{0.0182}{i^{3.04}}$$

第九十一表及第四十九圖に示すが如し。

第九十一表 A_1

曲率半径	m	20	40	60	80	100	150	200	250	300
高度	i	0.100	0.080	0.070	0.063	0.059	0.052	0.047	0.044	0.041
速度	m/sec	4.427	5.586	6.400	7.048	7.596	8.703	9.585	10.329	10.98

第四十九圖



(2) 第二種路線 A_2

$R=300$ m の部分

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

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

$$V_{\text{mean}}=31.3 \text{ km/h}$$

$$i=0.025$$

$$v=8.7 \text{ m/sec}$$

$R=20$ m の部分

$$i=0.100$$

$$v=4.43 \text{ m/sec}$$

i , R , v の関係式は次の如し。

$$i=0.463R^{-0.5116}$$

$$v=2.132R^{0.2442}$$

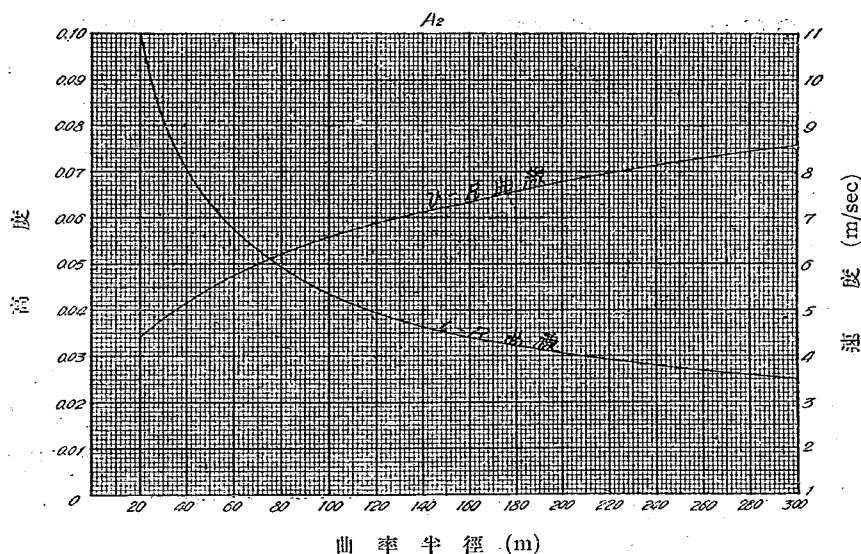
$$R=\frac{0.2205}{i^{1.957}}$$

第九十二表第五十圖に示すが如し。

第九十二表 A_2

曲率半徑	m	20	40	60	80	100	150	200	250	300
高 度		0.100	0.070	0.057	0.049	0.044	0.036	0.031	0.027	0.025
速 度	m/sec	4.431	5.248	5.794	6.216	6.564	7.248	7.775	8.211	8.584

第 五 十 圖



第 十 八 節 緩和曲線に關する研究

曲線部に於ける速度及高度は直線部に接續する部分より漸次之を變化せしめて横斷形の急激なる變化を避くるは自動車の振動を減じ衝擊作用を小ならしめ、車輛及路面に及ぼす作用を輕減するが爲に極めて必要にして、その部分の延長、半徑、横斷形の決定は重要なる問題の一なり。

殊に此部分に於ては横勾配の變化にもとづき路面排水不充分なる恐あり、爲に路面

破壊作用を促進され得るが故に路面構造上極めて緊要なる部分なりとす。

1. 現在の緩和曲線設定方法

緩和曲線の長さは鐵道の場合より小にとるは各國共に一致せり通常多くは 45 m 乃至 60 m をとれり。

その線形及延長は殆んど定説なし。

緩和曲線延長

Wiley

Bateman

經驗上最大高度の曲線に對し長 30—45 m.
高速度の場合は 60—75 m.

曲線内側に半徑大なる圓形曲線をとる

日本道路構造令

半徑 m	緩和切線延長
45m以下	30m以上
45—60	25 以上
60—120	22 以上
120—180	20 以上
180—240	18 以上
240—300	15 以上

鐵道規程

甲種線路	600—800 i
乙種線路	480—600 i
延長限度	緩和曲線挿入前の圓曲線全長 3/4
	$0.115 \times 800 = 92 \text{ m}$
	$0.115 \times 500 = 57.5 \text{ m}$

2. 緩和曲線の延長

緩和曲線は延長過少なれば車輛運轉上圓滑を缺ぎ、理論的に高度を決定するもその効少なく更に過大に失すれば過剰なる建設費を要し不經濟に陥るべし。

道路は鐵道と比較して、その車輛の長さ小にして且方向變換裝置を有するが故に緩和切線の長さは常に後者より短くとするものとする。

今速度調節より考へて曲線の延長を求むべし。

半徑 300 m の曲線に於ては直線部と同一速度を以て進行し得るものとし、之より小なる半徑の曲線と平均速度との關係は第十七節に求めたり。

此曲線部に於ける速度に減する際の減速度より所要延長を求め得べし。

$$i = \frac{K}{R^n}$$

$$v = \sqrt{igR}$$

今

v_0 直線部に於ける平均速度 m/sec

v 曲線半徑 R の部分の平均速度 m/sec

α 加減速度 m/sec^2

t 時間 sec

然る時は $v_0 = v + \alpha t$

$$t = \frac{v_0 - v}{\alpha}$$

緩和曲線の延長 $l = \int_0^t (v + \alpha t) dt$

$$l = \frac{v_0^2 - v^2}{2\alpha}$$

$$l = \frac{v_0^2}{2\alpha} - \frac{igR}{2\alpha} \dots\dots\dots (1)$$

此式 (1) を用ひて第十七節に於ける路線の場合の曲率半径と曲線長とを求めれば次の如し。

3. 混合交通路線の緩和曲線延長

(1) 第十七節第一種路線 M_1

$$R = 300 \text{ m} \quad i = 0.041 \quad v_0 = 10.98$$

$$R = 20 \text{ m} \quad i = 0.060 \quad v = 3.42$$

$$iR^{0.1408} = 0.0914$$

$$v = 0.946R^{0.946}$$

$$\begin{aligned} \text{緩和曲線延長 } l &= \frac{v_0^2}{2\alpha} - \frac{igR}{2\alpha} \\ &= \frac{10.98^2}{2\alpha} - \frac{0.0914 \times 9.8}{2\alpha} R^{0.8592} \\ &= \frac{120.5}{2\alpha} - \frac{0.896}{2\alpha} R^{0.8592} \end{aligned}$$

加速度 α は $0.5 \sim 2.5 \text{ m/sec}^2$ を普通とし乗客の乗心地、貨物に對する損傷を少くする爲には可及的小なるものをよしとするも今 1 m/sec^2 とすれば上式は次の如し。

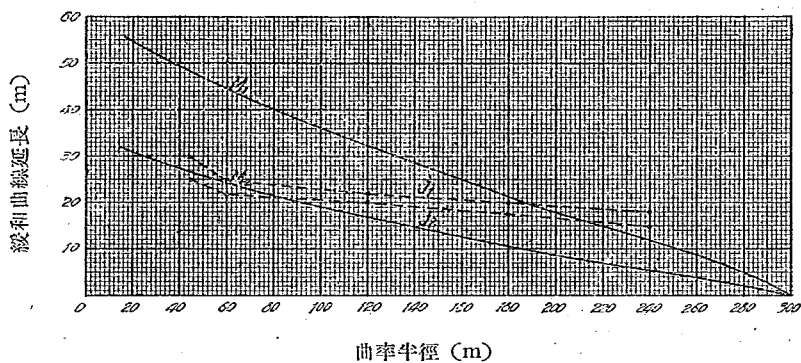
$$l = 60.25 - 0.448R^{0.8592}$$

R を 20 乃至 300 m とすれば第九十三表第五十二圖の如し。

第九十三表 曲率半径と緩和曲線延長

曲率半径 m	混合交通路線		自動車交通路線	
	M_1	M_2	A_1	A_2
20	54.37	30.86	50.45	27.99
30	51.92	—	47.38	25.99
40	49.59	27.34	44.64	25.85
50	47.34	—	42.13	24.04
75	41.95	—	36.46	22.46
100	36.82	19.26	31.40	19.10
150	27.06	13.74	22.38	16.28
200	17.76	8.80	14.32	11.57
250	—	4.24	—	7.61
300	0	0	0	0

第五十二圖 緩和曲線延長



第五十二圖及 A_1 及 A_2 は自動車交通路線第一種及第二種を表し道路構造令細則案は切線延長の範圍を規定するが故に j_1 及 j_2 に之を表して前者と比較せり。

(2) 第二種路線 M_2

$$R = 300 \text{ m} \quad i = 0.025 \quad v_0 = 8.7$$

$$R = 20 \text{ m} \quad i = 0.060 \quad v = 3.42$$

$$iR^{0.3233} = 0.1581$$

$$v = 1.246R^{0.3384}$$

$$\text{緩和曲線の長さ } l = \frac{v_0^2}{2\alpha} - \frac{igR}{2\alpha}$$

$$l = \frac{8.70^2}{2\alpha} - \frac{0.1581}{R^{0.3233}} \times \frac{9.8 \times R}{2\alpha}$$

$$= \frac{8.70^2}{2\alpha} - \frac{0.775}{\alpha} R^{0.6767}$$

α を 1 m/sec^2 とすれば

$$l = 37.80 - 0.775 R^{0.6767}$$

第九十三表第五十二圖に之を求めたり。

4. 自動車交通を主とする路線の緩和曲線

(1) 第十七節第三種路線 A_1

$$R = 300 \text{ m} \quad v = 10.98 \text{ m/sec} \quad i = 0.041$$

$$R = 20 \text{ m} \quad v = 4.43 \text{ m/sec} \quad i = 0.100$$

$$iR^{0.3292} = 0.268$$

$$v = 1.621 R^{0.3354}$$

$$\text{緩和切線長} \quad l = \frac{10.98^2}{2\alpha} - \frac{0.268}{R^{0.3292}} \times \frac{9.8R}{2\alpha}$$

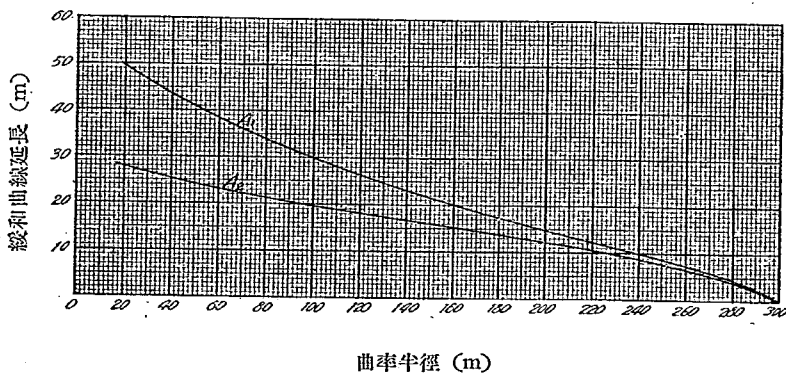
$$= \frac{120.5}{2\alpha} - \frac{2.628}{2\alpha} R^{0.6708}$$

今 $\alpha = 1 \text{ m/sec}^2$ とすれば

$$l = 60.25 - 1.314 R^{0.6708}$$

第九十三表第五十三圖に之を示せり。

第五十三圖 緩和曲線延長



(2) 第二種路線 A_2

$$R=300 \text{ m} \quad v=8.7 \text{ m/sec} \quad i=0.025$$

$$R=20 \text{ m} \quad v=4.43 \text{ m/sec} \quad i=0.10$$

$$iR^{0.5116}=0.463$$

$$v=2.132R^{0.2442}$$

$$\begin{aligned} \text{従つて} \quad l &= \frac{v_0^2}{2\alpha} - \frac{igR}{2\alpha} \\ &= \frac{8.7^2}{2\alpha} - \frac{0.463}{R^{0.5116}} \times 9.8 \times \frac{R}{2\alpha} \\ &= \frac{75.6}{2\alpha} - \frac{4.54R^{0.4884}}{2\alpha} \end{aligned}$$

$\alpha=1 \text{ m/sec}^2$ とすれば

$$l=37.8-2.27R^{0.4884}$$

第九十三表第五十三圖に之を示せり。

第 七 章 道路横斷形狀に關する研究

第 十 九 節 路頂高に關する研究

路面横斷形は路頂部分を高くし表面の雨水を側溝又は街渠に導くを目的とす、その路頂高及横斷線形の決定は、路面排水に充分ならしむると同時に交通車輛に對し安全にして支障少からしむるを要す。

路頂高の決定に當り雨水排除の目的と交通安全の目的とは一致し難く、交通安全の爲に可及的路頂高は低くとるを要するも雨水排除の爲には流速の一定限度に於て比較的之を高くとるを便とす、然れどもその路面構造の交通による磨耗抵抗大なるものはその横斷形の變化を生ずる事少きが故に比較的之を低くとり、路面材質可塑性にして磨耗小なるが横斷形狀の變化を生じ易きものは高くとり、路面磨耗するも尙路面排水に支障なからしむるを要す。

尙横勾配急なる路面に於ては車輛が滑り易き場合多きを以て摩擦係數小なる路面は路頂高を低くとるを要す。

1. 路頂高の標準

從來路頂高の決定に關しては各國共に定説なく何れも路面構造の種別に應じ經驗上の標準を立てたるに過ぎず。

$$R=300 \text{ m} \quad v=8.7 \text{ m/sec} \quad i=0.025$$

$$R=20 \text{ m} \quad v=4.43 \text{ m/sec} \quad i=0.10$$

$$iR^{0.5116}=0.463$$

$$v=2.132R^{0.2442}$$

$$\begin{aligned} \text{従つて} \quad l &= \frac{v_0^2}{2\alpha} - \frac{igR}{2\alpha} \\ &= \frac{8.7^2}{2\alpha} - \frac{0.463}{R^{0.5116}} \times 9.8 \times \frac{R}{2\alpha} \\ &= \frac{75.6}{2\alpha} - \frac{4.54R^{0.4884}}{2\alpha} \end{aligned}$$

$\alpha=1 \text{ m/sec}^2$ とすれば

$$l=37.8-2.27R^{0.4884}$$

第九十三表第五十三圖に之を示せり。

第 七 章 道路横斷形狀に關する研究

第 十 九 節 路頂高に關する研究

路面横斷形は路頂部分を高くし表面の雨水を側溝又は街渠に導くを目的とす、その路頂高及横斷線形の決定は、路面排水に充分ならしむると同時に交通車輛に對し安全にして支障少からしむるを要す。

路頂高の決定に當り雨水排除の目的と交通安全の目的とは一致し難く、交通安全の爲に可及的路頂高は低くとるを要するも雨水排除の爲には流速の一定限度に於て比較的之を高くとるを便とす、然れどもその路面構造の交通による磨耗抵抗大なるものはその横斷形の變化を生ずる事少きが故に比較的之を低くとり、路面材質可塑性にして磨耗小なるが横斷形狀の變化を生じ易きものは高くとり、路面磨耗するも尙路面排水に支障なからしむるを要す。

尙横勾配急なる路面に於ては車輛が滑り易き場合多きを以て摩擦係數小なる路面は路頂高を低くとるを要す。

1. 路頂高の標準

從來路頂高の決定に關しては各國共に定説なく何れも路面構造の種別に應じ經驗上の標準を立てたるに過ぎず。

その主なる標準は次の如し(%)

第九十四表

	標準			復興局	Agg.	Leeming
	最大	最小	平均			
土砂道	8.35	3.19	5.21	—	—	—
砂利道	6.25	2.09	3.17	4.00	4.12	—
水締マカダム道	6.25	2.09	3.17	4.00	4.17	4.17
瀝青塗裝	6.25	2.09	4.17	—	—	3.30
瀝青マカダム鋪裝	—	—	—	3.30	3.12	2.78
瀝青混凝土鋪裝	4.17	1.05	2.09	2.85	—	2.09
シートアスファルト鋪裝	—	—	—	2.50	—	—
アスファルトブロック鋪裝	—	—	—	—	—	—
煉瓦鋪裝	4.17	1.05	2.09	2.50	—	—
木塊鋪裝	—	—	—	2.50	—	—
石塊鋪裝	—	—	—	2.50	—	2.09
コンクリート鋪裝	—	—	—	2.50	2.09	1.60

路頂高は一般に小さくする傾向を有し表面仕上を平滑にして可及的平坦とす。

硬質鋪裝は $1/96 \sim 1/120$ をとるに至り米國に於てコンクリート、煉瓦、瀝青鋪裝は大部分 2.09%、二三州は 1.05%、二州は 0.83% をとり次第に $1/120$ までとする傾向あり土砂道、砂利道、マカダム道は 4.17% 瀝青マカダムは 3.03% をとれり。

public road Bruce and Brown.

勾配 0.83% の硬質鋪裝は 3m straight edge を用ひて 6 mm 凹凸を限度とす。

之等の經驗の結果にもとづき實驗式を求めたり。

2. 路頂高決定に關する實驗式

路頂高の決定は次の標準により之を行へり。

(1) 表面平滑にして凹凸なき路面は雨水の流速係數大なるを以て路頂高を低く定め得べく、同係數小なる路面は高く定むるを要す。

(2) 交通に對し路面材質の磨耗抵抗大なる路面に於ては耐久性大なるが故に路頂高は低くとり得、同抵抗小にして磨耗量大なる路面は横斷形の變化を受け路面排水の目的を達し得ざるに至るべく從つて之を高く定むるを要す。

(3) 輪帶との摩擦係數小なる路面に於ては滑りの危險を考慮して路頂高を低くするを要す。

之らの條件は硬質鋪裝の如き路面に於て雨水流速に對する粗度係數小なるものは砂利碎石マカダム道の如き同係數大なる路面構造のものより路頂高を低くとり得べく、

コンクリート舗装の如き磨耗抵抗大なる路面は同抵抗小なる瀝青舗装より路頂高を低くとり得べき論據を示すものなり。

路面摩擦係数小なる路面は路頂高を低くとるを要するも摩擦係数は流量に對する粗度係数と略比例するものとし、簡易化して次の實驗式を求めたり。

$$i = KY^n w^n$$

i 路頂高 %

w ドーリー硬度試験による磨耗量 mm

Y バサン流速公式の Y 粗度係数

K 常数

Dorry 硬度試験機による各種路面材料の磨耗試験結果は第九十五表の如し。

石塊、木塊、コンクリート最も磨耗量少く、煉瓦、瀝青ブロック之に次ぎ瀝青コンクリート舗装、シートアスファルト舗装比較的大なり。

第 九 十 五 表 舗装のドーリー磨耗量及靱性

舗 装	比 重	磨耗量 mm	衝撃靱性
瀝青舗装			
瀝青コンクリート 細粒	2.16	10.79	4.55
〃 中粒	2.24	10.95	4.97
〃 粗粒	2.18	9.40	3.00
シートアスファルト	2.04	12.46	4.75
石塊舗装			
花 崗 岩 粗粒	2.66	3.95	10.00
〃 中粒	2.68	4.99	13.50
〃 細粒	2.69	3.35	16.50
閃 緑 岩	2.73	3.74	16.00
瀝 青 ブ ロ ッ ク			
A	2.33	10.30	9.80
B	2.29	7.20	9.50
C	2.32	9.80	7.50
D	2.30	9.80	8.50
E	2.06	8.70	10.20
F	2.16	8.80	10.50
平 均	2.24	9.10	9.33
煉 瓦 舗 装			
A	2.12	4.00	10.50
B	2.09	4.90	12.00
木 塊 舗 装			
A	0.68	2.15	—
B	0.68	2.00	—
C	0.72	1.50	—
D	0.71	2.00	—
E	0.69	1.80	—
コンクリート塊舗装	2.36	10.78	4.00
コンクリート 舗 装			
A	—	3.50	6.80
B	—	5.60	4.50
C	—	2.50	5.50
平 均	—	3.86	5.60

東京市内各種舗装の交通によりて受くる磨耗量を測定せる結果より一ケ年間の平均磨耗量を求め、之より磨耗量 2 cm に達する迄の年数を求むれば第九十六表の如く、ドーリー硬度試験の磨耗量と略比例するを知るべし。

然れども本表は路線の交通量一様ならざるを以て正確なる比を知り得ざるも略その概念を知り得るものとす。

第 九 十 六 表 東京市内舗装と交通量による磨耗量

舗 装	1 ケ年間の磨耗量 mm	磨耗量 2 cm に 達する迄の年数
シートアスファルト舗装	5.78	3.47
木塊舗装	3.78	5.30
アスファルトブロック舗装		
ロックアスファルト塊	6.61	3.03
石油アスファルト塊	1.60	12.50
碎石コンクリート舗装	1.19	16.80
ソリデチット舗装	2.12	19.45
煉瓦舗装	1.81	11.10

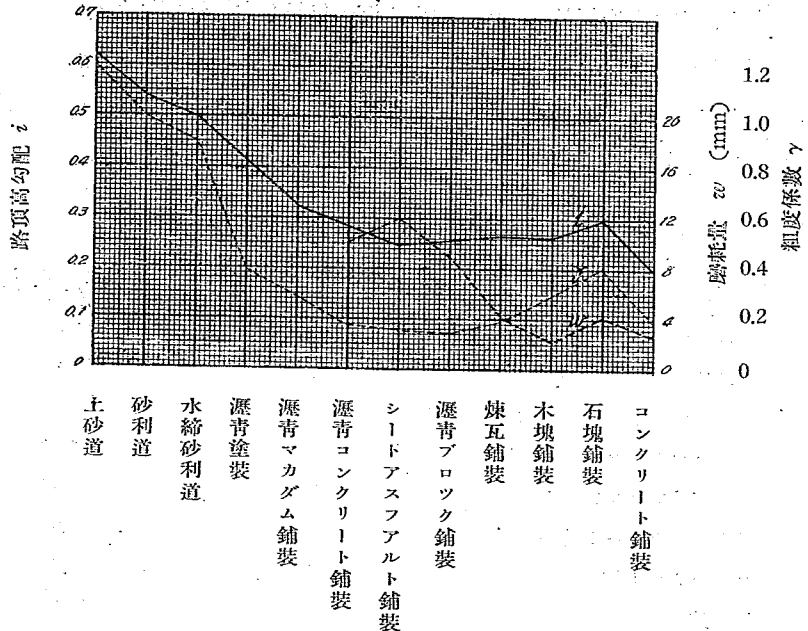
路面雨水の流速はバザンの式を用ひ、その粗度係数 γ は第九十七表の数値をとれり。

$$\text{バザン公式 } C = \frac{157.6}{\gamma} \cdot \frac{1}{1 + \sqrt{R}}$$

第 九 十 七 表 路面の粗度係数

	良好路面	普通路面	不良路面
土砂道	1.00	1.20	1.50
砂利道	0.90	1.00	1.20
水縮マカダム道	0.80	0.90	1.00
瀝青塗装	0.30	0.40	0.50
同マカダム舗装	0.20	0.25	0.30
同コンクリート舗装	0.08	0.18	0.22
シートアスファルト舗装	0.05	0.16	0.20
アスファルトブロック舗装	0.05	0.15	0.18
煉瓦舗装	0.12	0.20	0.25
木塊舗装	0.25	0.30	0.33
石塊舗装	0.30	0.35	0.50
コンクリート舗装	0.15	0.20	0.22

第五十四圖 粗度係數、磨耗量及路頂高 (%)



今各種路面の標準勾配、ドーリー硬度試験の磨耗量、バザン氏流速公式の粗度係数の関係式を求めれば次の如し。

$$i = 5.14 \gamma^{1.146} w^{0.645}$$

i 横勾配 %

γ 路面に於ける流水に対するバザン公式による粗度係數

w ドーリー硬度試験による路面の磨耗量

粗度係數大なるものは勾配を高くすべく、磨耗量大なるものも亦之を高くとるべく而して粗度係數の影響が磨耗量より著るきを知るべし。

第二十節 路面の横斷形狀

一定の路頂高を有する路面に於て、路頂と路端との間の線形を定むるに當りては次の考慮を要す。

(1) 雨水の路面に於ける流量は路頂より側溝に近づくに従ひ増加するを以て、之に伴ひて横勾配も同様に急にするを要す。

従つて一般に拋物線形を用ふるもの多し。

路面横斷形の線形は排水上及交通上の安全を目的とし之を定めたり。

(a) 排水上の條件

流水深を可及的淺くして一定限度に保たしむる爲に必要な横斷形狀は次の如し。

路面の一點 B に於て横勾配 p 縦勾配 j を有する場合、流水はその最急勾配 P の方向に流るゝものとす。

$$P = \sqrt{p^2 + j^2}$$

$$v = ch\sqrt{P}$$

今 $q = \text{雨量 } m^3/\text{sec}/m^2$ として路頂よりの水平距離 x の B 點に於て必要な横勾配 p を求むべし。

從來路面横斷形狀は主として經驗により定められ理論的研究は極めて少く、多くは閑却され居るも佛國の L. Girard が之に關して試みたるものあり。

1. 拋物線形

(1) 二次拋物線形

佛國 Allard 氏の設計は次式を用ひたり。

$$y = \frac{d}{L-1} x^2$$

d L 形街渠の深

L 道路幅員

$$\text{横勾配 } \frac{dy}{dx} = \frac{2d}{L-1} x$$

本式は横勾配が道路幅員の増大に伴ひて減少し街渠の深に伴ひて増大するも路頂より一定距離の部分の勾配は路幅により異なる必要なく街渠の深も路幅、雨水枋の間隔、雨水流量係数により定まり勾配より直接に定まるものにあらず。

(2) L. Girard の公式

路面の流水深は極めて薄きが故に流速、流量に關する式は常水路の場合と異り實驗上、最急勾配の方向に於ける流速は次式にて表はさる。

$$v = ch\sqrt{i}$$

$$Q = ch^2\sqrt{i}$$

v 流速 m/sec

Q 流量 $\text{m}^3/\text{sec}/\text{m}$ 幅

c 路面の流速係数

h 流水深 m

i 最急勾配

$$xq = Vh_x \quad \therefore h_x = \frac{xq}{V}$$

而して $V = v \cos \theta = v \frac{p}{\sqrt{p^2 + j^2}}$

従つて $h_x = \frac{xq\sqrt{p^2 + j^2}}{vp}$

而して $v = ch_x \sqrt[4]{p^2 + j^2}$

従つて $h_x = \frac{xq\sqrt{p^2 + j^2}}{pch_x \sqrt[4]{p^2 + j^2}} = \frac{qx \sqrt[4]{p^2 + j^2}}{ch_x p}$

$$h_x^2 = \frac{qx \sqrt[4]{p^2 + j^2}}{cp}$$

従つて $p = \frac{qx}{ch_x^2} \sqrt[4]{p^2 + j^2} = Ax \sqrt[4]{p^2 + j^2}$

$$A = \frac{q}{ch^2} \quad \text{とす}$$

之より p を求むれば次の如し。

$$\begin{aligned} p &= \frac{Ax}{\sqrt{2}} \sqrt{A^2 x^2 + \sqrt{A^4 x^4 + 4j^2}} \\ &= \frac{qx}{\sqrt{2} ch^2} \sqrt{\frac{q^2 x^3}{c^2 h^4} + \sqrt{\frac{q^4}{c^4 h^8} x^4 + 4j^2}} \end{aligned}$$

従つて横斷形の線形は次式の如し。

縦斷勾配 $j=0$ の場合

$$y = \left(\frac{q}{ch^2} \right)^2 \frac{x^3}{3}$$

縦斷勾配 j の場合

$$y = \frac{j^{\frac{3}{2}}}{3A} \left(2 + \frac{\alpha^2 - 3}{\sqrt{\alpha}} \right)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{A^2 x^2}{2j^2} (A^2 x^2 + \sqrt{A^4 x^4 + 4j^2})}$$

雨水の性質を試験せるものは第九十八表の如く、路面により雨水の不純物含有量異

るもその粒子は微粒なるも粘度に影響を及ぼす程微ならず、從つて流量係数は通常の水の場合と大差なしと看做し得べく、只砂利道に於て粘土質粒子が多量に含有する場合は此限りにあらず。

第 九 十 八 表 側溝に於ける雨水の性質

	エングラー 粘度 sec	比粘度	不純物含有量 %			摘 要
			No. 1	No. 2	平 均	
瀝青鋪裝	28.0	1.23	0.0193	0.0110	0.0152	定結果にして降雨は15日午後7時
石塊鋪裝	28.0	1.23	0.0179	0.0096	0.0138	55分より16日午後8時45分まで繼
砂 利 道	29.0	1.28	0.0090	0.0085	0.0087	續せり、試験は側溝に於て之を16
砂 利 道	29.5	1.30	0.3492	0.3644	0.3568	日午前11時30分に採取せり。

2. 直線勾配を有する部分間を曲線により結合するもの

此種の横斷形は施工容易にして路頂部分に交通による窪みを生じ得る恐れが比較的小きものとす。

h_x の式より最大流水深 h の生じ得る地點は $x=l$ の點にしてその部分の横勾配 p_0 は次の如し。

$$p_0 = \frac{ql}{ch^2} \sqrt{p_0^2 + j^2}$$

$$p_0 = \frac{Al}{\sqrt{2}} \sqrt{l^2 A^2 + \sqrt{A^4 l^4 + 4j^2}}$$

$$A = \frac{q}{ch^2}$$

j が増加するに従つて p_0 も増加す。

直線部分と接續する部分に於て横勾配 p_0 を有する曲線形は次の如し。

(a) 二次拋物線形

$$y = \frac{p_0}{2l} x^2$$

(b) 圓形曲線

$$\text{半徑を } R \text{ とすれば } R^2 = \frac{1+p_0^2}{p_0^2} l^2$$

$$R = \frac{c}{2} + \frac{l^2}{2c}$$

圓形部分の兩端を結ぶ線上に於て路頂下の點を原點とする圓の曲線式

$$x^2 + y^2 + 2y\left(\frac{c}{2} + \frac{l^2}{2c}\right) - l^2 = 0$$

(c) 直線部分は次式の如し。

$$y = p_0\left(x - \frac{l}{2}\right)$$

3. 双曲線形

拋物線は路頂部分が横勾配極めて緩となり交通が此部分に集り路面の磨耗量大となり線形を破壊され易く、路端附近に於ては急に過ぎ交通車輛に對し安全を缺く恐あり、従つて幅員 $\frac{1}{4}$ の點に於ける路頂よりの落度を指定するものあるも、幅員大にして緩勾配を有する路面に於ては尙路頂部分の勾配緩に失す、米國 Robert S. Beard 氏が之に關し次の圓錐斷面形を案出せり。

$$x^2 = \frac{cw^2g(m^2-4) - mcw^2y^2(m-4)}{16c^2(m-1)}$$

x 路頂より路面上の任意の一點に至る水平距離 (m)

y 路頂より 同 垂直距離 (m)

c 路頂高

w 邊石間の道路幅員

$\frac{c}{m}$ 道路幅員四分の一の點に於ける y の値

今 $m=2$ とすれば上式は次の如し。

$$x^2 = \frac{w^2}{4c^2}y^2$$

即路面は道路中心に於て相交叉する二の平面となるべし。

今 $m=4$ とすれば上式は次式となる。

$$x^2 = \frac{w^2}{4c}y$$

即路面横斷形は拋物線となるべし。

今 m を 2 と 4 との間の數値を與ふる場合は、上式は直線と拋物線との中間に位置すべき双曲線を表はし、 m を 4 以上とすれば、楕圓の式となるべし。

Beard 氏は、軌道なき道路に對しては m を $\frac{8}{3}$ となして双曲線の形狀を用ひたり此場合の一般式は、次の如し。

$$x^2 = \frac{w^2y}{60c^2}(8y+7c)$$

$$\text{之より} \quad y = \frac{c}{16} \left\{ -7 \pm \sqrt{49 + 1920 \frac{x^2}{w^2}} \right\}$$

道路幅員二十四分一を單位長とし、之を p とすれば

$$x = \frac{w}{24} p$$

$$y = \frac{c}{16} \left\{ -7 + \sqrt{49 + \frac{10}{3} p^2} \right\}$$

今、更に m を $\frac{7}{3}$ ととれば双曲線の一般式は次の如し。

$$y = \frac{c}{70} \left\{ -13 + \sqrt{169 + 192 \times 140 \frac{x^2}{w^2}} \right\}$$

$$\text{之より} \quad y = \frac{c}{70} \left\{ -13 + \sqrt{169 + \frac{140}{3} p^2} \right\}$$

4. 交通車輛に及ぼす横斷形狀の影響

路面横斷形が交通車輛に及ぼす影響を可及的少からしむる爲こは、路頂高を低くとり、横勾配を緩ならしむを要す。従つて路面排水上必要なる程度の横勾配が車輛に及ぼす影響を考ふれば次の如し。

(1) 路面に於ける車輛の滑り。

横勾配急に過ぐれば車輛は滑りを生じ、交通の安全を期し難き場合多し。

路面摩擦係数は第五章第六章に述べたるが如く、路面の性質及狀態により異り、その變化相當大にして、通常の路面に於ては 0.30 以上を有するも、表面泥土を以て被はるゝか、氷雪ある場合は 0.10 以下となり 0.07 を下る場合稀ならず、かゝる場合は相當の保護工を必要とすべし。

路頂高を有する中高形路面の曲線部に於ては外側車線を進行する車輛は遠心力の作用を受け一定速度に達すれば遂に滑りを生ずべく、その場合の半徑と速度及勾配の關係は次式により表はし得べし。

$$\text{曲線部に於ける外側車線} \quad v = \sqrt{gR(f-i)}$$

$$\text{内側車線} \quad v = \sqrt{gR(f+i)}$$

内側車線は、速度大なるを得るも外側車線は之より大なるを得ず、摩擦係數減少するに至らば横勾配大なるものに於ては、遂に滑りて進行し得ざる場合なきを保し難し。

今 i が 4%、摩擦係數 0.14 の場合の砂利道に於て、その外側車線を自動車

30 km/h の速度を以て進行する場合滑動せざる曲線半径は 77 m 以上たるを要するを知るべし。

(2) 車輛に及ぼす影響。

横斷形が曲線をなす路面に於ては四輪車が斜に進行する場合、もし車台が剛體ならばその一輪は常に路面と接觸し得ずして離れ、その輪縁と路面との間隔は車輛の輪距軸距により異り、二次拋物線の路面に於ては次式により表はさる。

$$\text{拋物線形} \quad y = ax^2$$

$$d = 2aRG\frac{1}{2}l_2$$

d 輪縁と路面との間隔

R 軸距

G 輪距

$\frac{1}{2}$ 車輛の中心軸が道路の横方向となす角の餘弦

l_2 車輛の車軸の方向が 同 餘弦

今、拋物線 $y = ax^n$ につき、指數 n と輪縁と路面との間隔との関係を見れば次の如し。

$$\frac{d_{n'}}{d_{n''}} x^{n'-n''}$$

従つて $a > n''$ ならば $d_{n'} < d_{n''}$

$n' < n''$ ならば $d_{n'} > d_{n''}$

となり、今 $n' = 1.5$, $n'' = 2$ とすれば $d_{1.5}$ が d_2 より大となり路面に及ぼす影響大なるを知るべし。

d の最大値は各種車輛の場合 6~12 cm に達し、鐵輪車は相當の衝撃を與へ得べく、更に車輛も完全剛體ならずして一部之に應じて否曲を得くるが故に可及なる進路を路線と並行ならしむるを要す。

5. 各種曲線の比較

直線勾配を有する部分を曲線形を以て結合する横斷面は施工の簡易を目的とし、直線勾配は何等合理的根據を有せざるが故に、今拋物線及双曲線に就て同一路頂高及同一幅員を有する路面に就て比較すれば次の如し。

拋物線形は二次及三次のものをとり、更に双曲線形に類似して路頂部分の勾配を比較的急に路端部分の横勾配を比較的に急とする 1.5 次の形を加へ、双曲線は m を

$\frac{8}{3}$ 及 $\frac{7}{3}$ の各種をとれり。

$$\text{拋物線 } P_1 \quad y = \left(\frac{c}{p^3}\right)x^3$$

$$\text{同 } P_2 \quad y = \left(\frac{c}{p^2}\right)x^2$$

$$\text{同 } P_3 \quad y = \left(\frac{c}{p^{1.5}}\right)x^{1.5}$$

$$\text{双曲線 } H_1 \quad y = \frac{c}{16} \left\{ -7 + \sqrt{49 + \frac{10}{3}p^2} \right\}$$

$$H_2 \quad y = \frac{c}{70} \left\{ -13 + \sqrt{169 + \frac{140}{3}p^2} \right\}$$

拋物線 p_3 は双曲線に近似の曲線として、實際用らるゝ場合少からざるを以て比較の爲にあけたり。

各曲線の路頂より路面各點の落度及路端線よりの高は、第九十九表及第百表の如し。

第 九 十 九 表 各種横斷線形に於て各點の路頂よりの落度

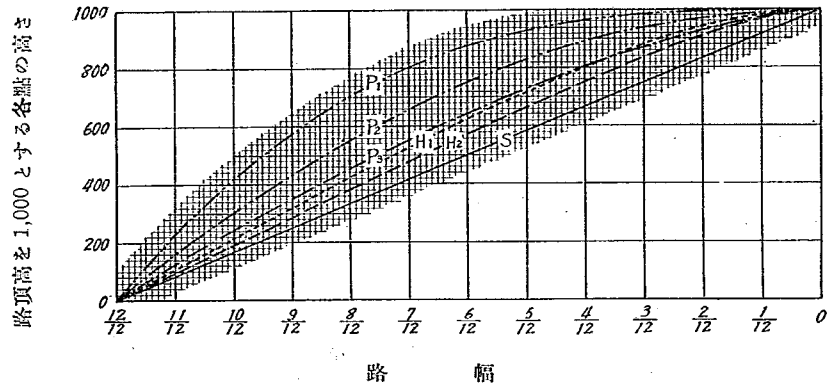
曲 線	路頂	$\frac{1}{12}$	$\frac{2}{12}$	$\frac{3}{12}$	$\frac{4}{12}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{6}{12}$	$\frac{7}{12}$	$\frac{8}{12}$	$\frac{9}{12}$	$\frac{10}{12}$	$\frac{11}{12}$	路端
拋物線 P_1	0	0.58	4.62	15.62	35.70	72.30	125.00	198.30	296.00	422.00	579.00	770.00	1,000.00
	P_2	0	6.95	27.70	62.50	111.10	173.50	250.00	340.00	444.00	562.50	695.00	1,000.00
	P_3	0	24.06	68.04	125.00	192.45	268.96	353.55	445.53	544.33	649.52	760.73	1,000.00
双曲線 H_1	0	14.64	55.94	118.01	194.75	281.48	375.00	473.23	574.79	678.79	784.58	891.76	1,000.00
	H_2	0	24.08	83.70	160.99	246.57	336.38	428.57	522.21	616.79	712.02	807.70	1,000.00

第 百 表 各種横斷形に於て各點の路端線よりの高さ

曲線	路端	$\frac{11}{12}$	$\frac{10}{12}$	$\frac{9}{12}$	$\frac{8}{12}$	$\frac{7}{12}$	$\frac{6}{12}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{4}{12}$	$\frac{3}{12}$	$\frac{2}{12}$	$\frac{1}{12}$	路頂
拋物線 P_1	0	230.00	421.00	578.00	704.00	801.70	875.00	927.70	964.30	984.38	995.38	999.42	1,000.00
	P_2	0	160.00	305.00	437.50	556.00	660.00	750.00	826.50	888.90	937.50	972.30	1,000.00
	P_3	0	122.36	239.27	350.48	455.67	554.47	646.45	731.04	807.55	875.00	931.96	1,000.00
双曲線 H_1	0	108.24	215.42	321.21	425.21	526.77	625.00	718.52	805.25	881.99	944.06	983.36	1,000.00
	H_2	0	96.28	192.30	287.98	383.21	477.79	571.43	663.62	753.43	839.01	917.30	1,000.00
直 線 S	0	83.33	166.67	250.00	333.33	416.67	500.00	583.33	666.67	750.00	833.33	916.67	1,000.00

横斷形狀は第五十五圖の如し。

第五十五圖

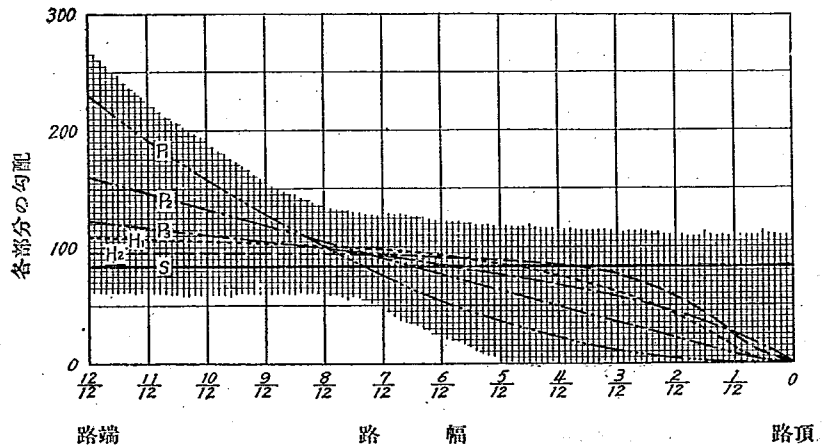


路頂より路端に至る間の各部分の勾配の割合を求むれば、第百一表第五十六圖の如し。

第百一表 各點の勾配の割合

曲線	路端	$\frac{11}{12}$	$\frac{10}{12}$	$\frac{9}{12}$	$\frac{8}{12}$	$\frac{7}{12}$	$\frac{6}{12}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{4}{12}$	$\frac{3}{12}$	$\frac{2}{12}$	$\frac{1}{12}$	路頂
拋物線 P_1	230.00	191.00	157.00	126.00	97.70	73.30	52.70	36.60	20.08	11.00	4.04	0.53	0
P_2	160.00	145.00	132.50	118.50	104.00	90.00	76.50	62.40	48.60	34.80	20.75	6.95	0
P_3	122.36	116.91	111.21	105.19	98.80	91.98	84.59	76.51	67.45	56.96	43.98	24.06	0
双曲線 H_1	108.24	107.18	105.79	104.00	101.56	98.23	93.52	86.73	76.74	62.07	41.30	14.64	0
H_2	96.28	96.02	95.68	95.23	94.58	93.64	92.19	89.81	85.58	78.29	58.62	24.08	5
直線 S	83.33	83.33	83.33	83.33	83.33	83.33	83.33	83.33	83.33	83.33	83.33	83.33	0

第五十六圖



三次拋物線形は流水深を一定に保つ爲に理論的のものなれども、路頂附近は交通量益々大となり、流水層の厚の影響を受ける事大なるも、路端に近き部分は交通量比較的少く、その影響を感ずる事少く、更に路面磨耗し横勾配緩となれる場合は、路頂附近の流水深を増加し、場合によりては路頂部に湛水を生ずるに至るが故に交通に、及ぼす支障大なり。

双曲線は流水層の厚が路頂より、路端に近くに従ひ漸次増大し、交通量の異なる部分の流水深小にして、その支障を與ふる事少く、拋物線形の缺點を補ひ得べし。即路端より幅員の $\frac{1}{4}$ 點に至る區間は殆ど直線に近似し、その路端線よりの高は路頂高の $\frac{5}{8}$ をとり (又は $\frac{4}{7}$) 此の部分は幅員 15 m 以上の道路に於ては直線勾配となし得べし。幅員 $\frac{1}{4}$ 點より同 $\frac{1}{8}$ 點に至る區間の高は、路頂高の $\frac{2}{8}$ をとり残りの $\frac{1}{8}$ 點より路頂に至る區間は同じく路頂高の $\frac{1}{8}$ をとるべし。

之により幅員 $\frac{1}{8}$ 點に於ては拋物線に比し 2 倍の落度を有し、 $\frac{1}{4}$ 點に於て 50 % 大きく、而して路端より $\frac{1}{4}$ 點に至る區間は拋物線より路頂高の $\frac{1}{8}$ だけ小にして、實際上その缺點を補ひ得るものとす。

直線勾配を曲線を用ひて結合する横斷形は、略双曲線に近似し、施工に當り便なるを特質とす。

第八章 路面に關する研究

第二十一節 路面の性質

近年文化の進歩交通の激増により路面構造に關し各種の材料及工法が行はれ異常なる發達を遂けたりと雖も、その改良に當りては一は幅員、勾配線形等に關し、一は路面構造に關し交通の質と量とに應じて科學と技術とを鐘め以て合理的設計を必要とするものなり。

路面構造に關しては近年技術の進歩著しく、使用材料の科學的性質の研究利用と工法に關する合理的設計の研究とは路盤土質に關する研究と相待ちて鋪裝の力學的設計に相當の進歩を遂ぐるに至れり。

路面はその使用材料の種類及工法の範圍極めて廣く、更に交通の質及量も相當多岐に亘り、之らが互に作用する關係は極めて複雑にして、砂利道碎石道に於ては、その構成簡易にして、その材料の集成配列が動荷重により容易に破壊され車輪と路面粒子

三次拋物線形は流水深を一定に保つ爲に理論的のものなれども、路頂附近は交通量益々大となり、流水層の厚の影響を受ける事大なるも、路端に近き部分は交通量比較的少く、その影響を感ずる事少く、更に路面磨耗し横勾配緩となれる場合は、路頂附近の流水深を増加し、場合によりては路頂部に湛水を生ずるに至るが故に交通に、及ぼす支障大なり。

双曲線は流水層の厚が路頂より、路端に近くに従ひ漸次増大し、交通量の異なる部分の流水深小にして、その支障を與ふる事少く、拋物線形の缺點を補ひ得べし。即路端より幅員の $\frac{1}{4}$ 點に至る區間は殆ど直線に近似し、その路端線よりの高は路頂高の $\frac{5}{8}$ をとり (又は $\frac{4}{7}$) 此の部分は幅員 15 m 以上の道路に於ては直線勾配となし得べし。幅員 $\frac{1}{4}$ 點より同 $\frac{1}{8}$ 點に至る區間の高は、路頂高の $\frac{2}{8}$ をとり残りの $\frac{1}{8}$ 點より路頂に至る區間は同じく路頂高の $\frac{1}{8}$ をとるべし。

之により幅員 $\frac{1}{8}$ 點に於ては拋物線に比し 2 倍の落度を有し、 $\frac{1}{4}$ 點に於て 50 % 大きく、而して路端より $\frac{1}{4}$ 點に至る區間は拋物線より路頂高の $\frac{1}{8}$ だけ小にして、實際上その缺點を補ひ得るものとす。

直線勾配を曲線を用ひて結合する横斷形は、略双曲線に近似し、施工に當り便なるを特質とす。

第八章 路面に關する研究

第二十一節 路面の性質

近年文化の進歩交通の激増により路面構造に關し各種の材料及工法が行はれ異常なる發達を遂けたりと雖も、その改良に當りては一は幅員、勾配線形等に關し、一は路面構造に關し交通の質と量とに應じて科學と技術とを鐘め以て合理的設計を必要とするものなり。

路面構造に關しては近年技術の進歩著しく、使用材料の科學的性質の研究利用と工法に關する合理的設計の研究とは路盤土質に關する研究と相待ちて鋪裝の力學的設計に相當の進歩を遂ぐるに至れり。

路面はその使用材料の種類及工法の範圍極めて廣く、更に交通の質及量も相當多岐に亘り、之らが互に作用する關係は極めて複雑にして、砂利道碎石道に於ては、その構成簡易にして、その材料の集成配列が動荷重により容易に破壊され車輪と路面粒子

とが相對的移動をなすも、締合材を有する路面に於ては彈性體として考慮し得るもの多く、その動荷重の輪帶が路面との接觸部分に於ける壓力強度は相當大にして材料の彈性限界を超ゆるもの多く、然らざるものも氣溫及水分等の氣象作用の影響による物理的性質の變化を受け、之に伴ふて彈性限界、強度等の力學的性質を變化し輪荷重に對し磨耗を生ずるは常に吾人の知る所なり。

舗装は交通物を支持する構造物にして版狀の特種なる性質上他種のものに比し氣象作用の影響を受ける事極めて大なるが故に路面材質の研究に當りては常にその物理的性質を重視すべく、以てその目的たる交通の安全と經濟とを期すべきものとす。

構造としての舗装は、動荷重に對する強度、路盤に於ける支持力を必要とすると同時に、その路面の性質に對し次の條件を必要とす。

1. 動荷重に對するもの。

- (1) 輪荷重の路面に於ける單位面積の壓力強度に對し充分なる強度を要す。
- (2) 車輪の牽引抵抗小きを要す、同抵抗は車輛に對して車軸抵抗を減じ路面に對しては凹凸係數、衝擊係數に伴ひ、ガソリンの路面經濟効率に影響するものとす。
- (3) 輪帶及蹄鐵に對し適度の摩擦係數を要す。

2. 經濟的條件。

- (1) 築造費及維持費の低廉なるを要す。
- (2) 工法の簡易を要す。
- (3) 耐久性を要す。

機械的作用に對しては、磨耗抵抗、反覆荷重に對する疲勞強度。

物理的作用に對しては、吸水量、比熱、熱傳導率、熱膨脹係數。

化學的作用に對しては、化學的作用に對する材質の變化少。

(4) 清淨工の簡易。

(5) 修繕工の簡易。

3. 交通者及沿道住居者に對するもの。

- (1) 清淨にして塵埃少く、衛生的なるもの、磨耗抵抗大なるを要す。
- (2) 交通車輛に對し噪音及震動少きもの、凹凸係數、衝擊係數小なるを要す。
- (3) 相當の美觀を有するもの。

以下路面の科學的性質につき之を求めむとす。

第二十二節 路面に及ぼす車輛及輪帶の材質の影響

車輛が路面に及ぼす作用を輪帶の及ぼす壓力強度及水平剪力に就て考へ、路面の破壊作用に及ぼす車輛及輪帶の材質の影響を求め交通の種類、その性質により路面構造を選定するは極めて緊要なりと信ず。

乗用自動車、貨物自動車、荷馬車が各標準重量を有する場合、夫々空氣入ゴム輪帶、ソリッド輪帶、鐵輪帶を有するものとし、鐵輪帶はその輪幅を異なるものを取り、路面の破壊作用を比較せり。

路面に及ぼす作用は輪帶の路面と接觸面に於ける壓力強度及車輛が進行する場合の牽引抵抗より路面磨耗を生ずべき單位水平剪力とを求めたり。

1. 路面の受くる壓力強度に及ぼす輪帶の材質の影響

車輪重量、車輪寸法及輪重は第百二表の如し。

第 百 二 表 車 輪 重 量

	乗用自動車			貨物自動車			荷 馬 車					
	前輪	後輪	計	前輪	後輪	計	取締令規定			在來地方規定		
							前輪	後輪	計	前輪	後輪	計
空車の場合 kg	684	730	1,414	1,750	2,200	3,950	179	253	437	177	233	410
貨車の場合 kg	716	969	1,685	1,930	4,420	6,350	636	1,255	1,891	634	1,230	1,864
輪 重 kg	358	485		965	2,210		318	628		317	615	
同 比	0.90	1.00		2.51	4.56		0.83	1.30		0.82	1.27	

單輪重は貨物自動車最も大にして乗用自動車の 4.5 倍に達す。従つて、路面構造の決定は貨物自動車の場合を考へ試験車の單位輪重は 2,210 kg なるも自動車取締令施行細則案によれば最大輪重 2,625 kg と定められ而して實際の輪重は更に大なるものあり。

飯田町驛構内に於て重量計により測定せる結果は、第百三表の如く二噸積貨物自動車は 8 ton のものありて著しく規定を超過せり。従つて前記試験車の輪重も相當生じ得べき重量なり。

第百三表 車輛重量試験表

車輛の種類	積荷種類	全重量 ton
貨物自動車 ケリー二噸積	砂利	7.940
マツク 同	同	7.970
コンマース 同	同	8.300
マツク 同	同	3.810
フェデラル 同	同	4.510
平均		
フォード一噸積	砂利	3.850
同 同	木材	2.820
同 同	野菜	2.600
同 同	瓦	2.070
同 同	果物	2.540
荷馬車四輪車	材木	1.780
荷車二輪車	野菜	0.360

(大正十五年六月十日飯田町驛構内)

萬國道路會議の提案 (Wood)

1. 乗用自動車、損傷を與へざる爲に必要な事項。

最大速度 25 km/h

最大軸重 4 ton

單位輪重 150 kg/cm 以下

但 輪徑 1 m の場合

輪徑の異なるものに對しては

$$c = 150\sqrt{d}$$

c 輪重 kg

d 輪徑 m

2. 貨物自動車、舗装面に特別の損傷を與へざる爲に必要な條件

	第一種	第二種
最大輪重	4.5 ton	4.5~7.0
最大速度	49 km/h	12 km/h
最大輪重	150 kg/cm	150 kg/cm

(但輪徑 1 m の場合)

The motor vehicle Conference Committee for 4 wheel vehicle

Highway Engineer and Contractor May 1929.

幅 m 2.44

高 m 4.42

長 m 10.00 被牽引車を有する場合は 25.7 m

重量 kg 12,000 軸重 (多軸の場合) 10,200 kg

路面に及ぼす單位壓力強度は、車輪の材質、徑、輪幅及路面の性質によりその接觸面積を異にするを以て、實驗及計算により、その接觸面積を求め之より單位壓力強度を算出して比較せり。

輪帶と路面との接觸面積の廣さはその部分の單位輪重に直接影響を及ぼし、その大さを鐵輪帶とゴム輪帶との場合に於て比較すれば第百五表の如し。

今輪帶を球形と考へ一定荷重を受けて路面と接觸し彈性變形をなす場合の接觸面半徑を求むれば次式の如し。

$$r = \sqrt[3]{\frac{3P(d_1 + d_2)}{16\rho}} = 10^{-1} K \sqrt[3]{P}$$

$$d_1 = \frac{4(1 - \mu_1^2)}{E_1}$$

$$d_2 = \frac{4(1 - \mu_2^2)}{E_2}$$

r = 接觸面半徑

P = 荷重

$$\rho = \frac{1}{R}$$

R = 輪帶半徑

E_1, E_2 路面及輪帶の彈性係數

μ_1, μ_2 路面及輪帶のポアソンス比

今、輪帶を鐵及ゴム質、路面をコンクリート及瀝青鋪裝として次の數値を與へて接觸面半徑を求め、更に道路取締令に規定せる荷馬車と本所々報第十號所載の貨物自動車の場合に就て、路面上の壓力強度を求むれば第百四表より第百五表第五十七圖の如し。

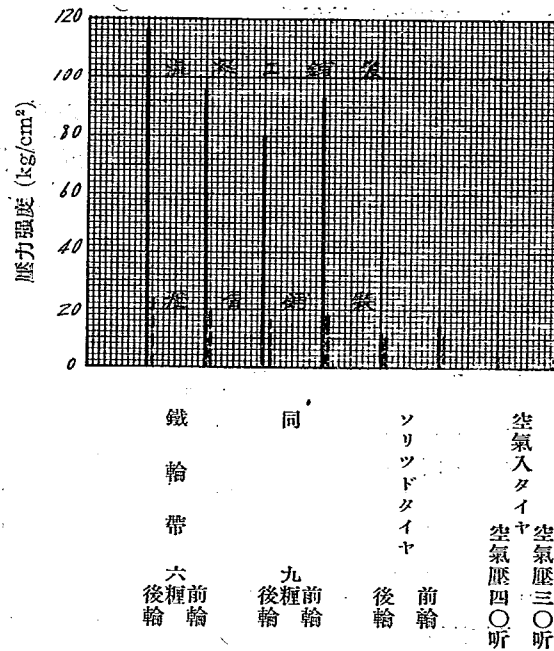
第 百 四 表

種 類	彈性係數 kg/cm ²	ポアソンス比
鋪裝コンクリート	250,000	0.15
瀝青コンクリート材料		
溫度 20°C	1,000	0.35
30°C	600	0.37
40°C	300	0.40
鐵輪帶材料	1,250,000	0.25
ソリッド輪帶材料	70	0.50

第百五表(其一) 路面壓力強度

路面種別	車輛	車輪	輪重 kg	輪半徑 cm	路面との接觸面		壓力強度 kg/cm ²
					長 cm	面積 cm ²	
瀝青鋪裝	荷馬車	取締令規定 後輪	628	55	4.45	40.05	15.70
		前輪	318	28.5	2.84	17.04	18.65
	同 在來地方規定	後輪	615	54	4.39	26.35	23.40
		前輪	317	28	2.83	16.99	18.65
	貨物自動車	後輪	1,105	45.44	10.64	99.00	11.15
		前輪	965	44.50	10.10	76.80	12.58
混凝土鋪裝	荷馬車	取締同規定 後輪	628	55	0.884	7.956	78.95
		前輪	318	28.5	0.565	3.390	93.75
	同 在來地方規定	後輪	615	54	0.874	5.244	117.50
		前輪	317	28	0.563	3.379	93.75
	貨物自動車	後輪	1,105	45.44	10.24	95.30	11.60
		前輪	965	44.50	9.74	74.00	13.04

第五十七圖 車輪の路面に及ぼす壓力



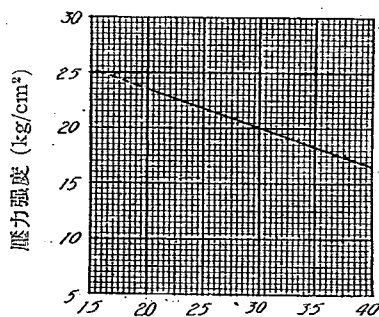
第百五表 (其二) 路面に及ぼす輪帶の壓力強度 kg/cm^2

	鐵輪帶	ソリッド輪帶	空氣入輪帶
土砂道	8.6	<28.5	<12.0
砂利道	10.9		
碎石道	13.7		
綬質	21.1~29.0		
硬質			
コンクリート	33.8~46.0	28.5	12.0

更に瀝青舗装はその路面温度によりその性質を變化するが故にその路面温度の異なる場合に在來地方規定の荷馬車の後輪が及ぼす壓力強度を求むれば第百六表第五十八圖の如く、温度高き場合は接觸面積増大し従つて壓力強度は減するもその彈性限度は 40°C に於て 20 kg/cm^2 、その場合の壓力強度は 16.5 kg/cm^2 を示し殆んど一致し更に温度上昇すれば、可塑性變形を生じ牽引抵抗は増加し路面破壊作用を促進するものと考へらる。

第五十八圖

在來規定の鐵車輪の壓力強度



瀝青舗装温度 $^{\circ}\text{C}$

第 百 六 表

瀝青舗装 路床温度 $^{\circ}\text{C}$	接觸面 長 cm	同面積 cm^2	壓力強度 kg/cm^2
20°	4.37	26.35	23.40
30°	5.09	30.56	20.16
40°	6.21	37.26	16.50

空氣入輪帶はビツク乗用自動車のコードタイヤ 31 吋×4 吋のものにその輪重 358 kg を加へたる場合の混凝土舗装上の路面に及ぼす壓力強度は第百七表に示すが如し、鐵輪帶及ソリッド輪帶の及ぼす壓力強度に比し極めて小なり。

第百七表 混凝土舗装上の空氣入輪帶の荷重強度

空氣入輪帶 空氣壓 听/吋 ²	接觸面の大小		全面積 cm^2	接觸實面積 cm^2	荷重強度 kg/cm^2
	長徑 cm	短徑 cm			
20	26.12	8.16	184.30	141.00	2.52
25	24.34	8.16	166.20	127.80	2.80
30	23.32	8.06	155.05	116.65	3.07
35	22.04	7.68	140.80	105.00	3.41
40	23.06	7.56	125.60	94.00	3.81

各種輪帶がコンクリート路面に於て及ぼす壓力強度を比較すれば第百八表の如く、空氣入輪帶最も少く、ソリッド輪帶之に次ぎ、鐵輪帶最も大なり、その壓力強度の比は凡そ 1:4:28 の割合にあり。

鐵輪帶に於ては輪幅の影響を受け、6 cm のものは 9 cm のものに比して 125 % に當れり、従つて在來規定車輛の及ぼす壓力強度の比は 1:4:35 をなし貨物自動車に比するも尙 7 倍及 8 倍に當れり。

鐵輪帶の及ぼす壓力強度はかくの如く大にして殊に在來規定車輛の場合は 117 kg/cm² に達し、衝撃作用を合すれば更に大となるべく、路面破壊作用を起し易きを知るべし。

瀝青鋪裝に於ては、貨物自動車 12.58 kg/cm² に對し鐵輪帶の取締令及在來地方規定の車輛は各 18.65 及 23.40 kg/cm² に當り、前者の 1.5 倍及 2 倍に當り、接觸面積の増大により壓力強度は大ならざるも、路面溫度 40°C 乃至 50°C に於ては、鋪裝の彈性限度は第三編第二十八圖に示すが如く 21 乃至 14 kg/cm² にして、夏期氣溫高き場合容易に此限界を超ゆるが故に、路面破壊作用を著しく促進するものと考へらる。

之により鐵輪車交通の路面の強度は相當剛性なるべく、更にまたその輪幅の擴大、改良は路面保護上極めて必要なりと信ず。

第百八表 各種輪帶の路面に及ぼす壓力強度の比

輪帶	車輛	路面壓力強度 kg/cm ²	同 比
鐵輪帶幅 6 cm	荷馬車	117.50	34.3
同 9 cm	同	93.75	27.5
ソリッド輪帶	貨物自動車	13.04	3.8
空氣入輪帶 35 听	乗用自動車	3.41	1.0

2. 路面の車輛に及ぼす牽引抵抗及其磨耗量

鐵面磨耗の主因をなすべき牽引抵抗は、路面と輪帶との材質により異なるが故に今試験結果をあぐれば第百九表の如し。

車輛重量に應すべき全牽引抵抗は第百十表の如し。

第百九表 各種輪帶の牽引抵抗 (kg/ton)

路面種別		空氣入輪帶			ソリッド輪帶		鐵輪帶	
		速度 km/h			速度 km/h		輪幅 cm	
		16	24	32	16	24	9	6
砂利道	良好	19.05	19.63	20.47	15.48	17.46	30.28	38.57
	普通	—	—	—	21.50	25.58	40.44	42.28
瀝青塗裝		—	—	—	—	—	39.57	—
瀝青マカダム鋪裝		16.08	—	—	—	—	—	—
瀝青鋪裝		16.05	16.73	10.76	11.10	11.78	25.74	29.50
木塊鋪裝		—	—	—	9.83	10.63	—	22.67
小鋪石鋪裝		—	—	—	14.84	18.44	24.00	—
コンクリート鋪裝		—	—	—	6.73	—	—	—
煉瓦鋪裝		—	—	—	—	—	—	24.41

第百十表 車輛の牽引抵抗 (kg)

路面種別		乗用自動車			貨物自動車		荷馬車	
		速度 km/h			速度 km/h			
		16	24	32	16	24	取締令 規定	在來地 方規定
砂利道	良好	32.0	33.1	34.4	98.4	111.0	58.1	74.0
	普通	—	—	—	136.2	162.2	77.5	81.0
瀝青塗裝		—	—	—	—	—	76.0	—
瀝青マカダム鋪裝		27.1	—	—	—	—	—	—
瀝青鋪裝		27.0	28.1	31.5	70.5	74.8	49.4	56.6
木塊鋪裝		—	—	—	62.4	67.6	—	43.5
小鋪石鋪裝		—	—	—	94.2	117.0	46.0	—
コンクリート鋪裝		—	—	—	42.7	—	—	—
煉瓦鋪裝		—	—	—	—	—	—	46.9

單位重量當りの牽引抵抗は、鐵輪帶最も大なり、これ鐵輪帶の路面に及ぼす變形量最も大なるが爲にして、空氣入ゴム輪帶はその重量小なるのみならず、輪帶相當に損傷を受けたるが故にソリッド輪帶より大なる抵抗を示せり。

各種車輛の全牽引抵抗は貨物自動車がその重量大なるにより最も大にして、荷馬車はその輓力劣り荷重小なるが故に之より小さく、乗用自動車は最も小なり。

路面磨耗を生ずべき剪力を單位幅に對する牽引抵抗より求むれば、第百十一表の如し。

之は乗用車は速度 32 km/h 貨物自動車は 24 km/h の場合に於て比較せるものにして貨物自動車はその積載量及全重量の大なるにより、牽引抵抗大きく、從つて單位幅に對する剪力も最も大なり。

第百十一表 輪帯の路面に及ぼす水平力 (kg/cm)

	乗用自動車		貨物自動車		荷馬車			
	前輪	後輪	前輪	後輪	取締令規定		在來地方規定	
輪重 kg	358	485	965	2210	前輪	後輪	前輪	後輪
輪幅 cm	8.08	7.68	7.6	18.6	318	628	317	615
牽引抵抗 kg					6.3	9.0	6.0	6.0
瀝青鋪装	13.4	18.1	22.8	52.0	20.4	28.4	22.2	34.6
砂利道 良好	14.6	19.8	33.8	77.2	24.2	33.9	28.8	45.3
普通	—	—	49.4	112.6	32.2	45.4	31.7	49.5
剪力 kg/cm								
瀝青鋪装	1.66	2.36	3.00	2.79	1.65	1.67	1.86	2.88
砂利道 良好	1.81	2.58	4.44	4.15	1.97	1.89	2.40	3.77
普通	—	—	6.50	6.05	2.62	2.53	3.63	4.13

3. 車輛の路面に及ぼす作用の比較

各種車輛が路面に及ぼす壓力強度及磨耗を生ぜしむる水平剪力強度の比を求め、更に之より合成力の比を求むれば第百十二表の如し。

路面構造の厚さ及強度を支配すべき輪重は貨物自動車が最も大にして、乗用自動車は 0.22 荷馬車は 0.285 に當れり、従つて鋪装の厚さは貨物自動車の重量により決定すべきものとす。

路面破壊作用の大きさを支配する單位壓力強度は鐵輪を有する、荷馬車が最も大にして、乗用自動車の 27 乃至 34 倍に當り、貨物自動車の 7.12 乃至 9 倍に當り、路面の材質を決定すべき要素をなすものとす。

路面の磨耗を生ずべき並行剪力は、貨物自動車最も大にして乗用自動車の 2.5 倍、荷馬車は同じく 1.6 倍に當れり。

従つて交通量より路面選定を行ふに當りては、その質に對して調査を行ひ合理的選定を行はざるべからず。

第百十二表 車輛の路面に及ぼす作用の比較

	乗用自動車	貨物自動車	荷馬車	
			取締令規定	在來地方規定
輪重 比	1.00	4.56	1.30	1.27
單位壓力強度 比	1.00	3.83	27.50	34.30
牽引抵抗 比				
瀝青鋪装	1.00	2.37	1.57	1.80
砂利道	1.00	3.23	2.25	2.36
單位剪力 比				
瀝青鋪装	1.00	1.27	0.69	1.23
砂利道	1.00	2.52	0.98	1.56

貨物自動車の輪重最も大なるが故に舗装としての強度は路盤支持力を考へて之により決定すべく、路面に及ぼす單位壓力強度は鐵輪荷馬車が大なるが故に、路面舗装材料の強度は之より決定すべきものとす。

試験に用ひたる貨物自動車は重量 6.35 ton を有し普通のもの平均 4 ton に比し約 1.6 倍大なりと考へらるゝを以て、最大値を比較する場合は、本表によるべきも平均値を比較する場合は之に應じて減額して考ふるを適當とし、從つて磨耗剪力としては、鐵輪車の作用が大なりと考へ得べし。

第二十三節 路面の運輸經濟上の價值

路面の經濟價值は交通車輪の進歩に及ぼす作用によりて之を定むるものとし、路面凹凸係數、牽引抵抗、ガソリン消費量、衝擊係數、輪體の磨耗量輓馬に及ぼす疲勞等に關して之を求め、之らの間の關係を定めたり。

1. 路面凹凸係數

路面の凹凸狀態は車輛の進行に當り、路面及車輛に及ぼす衝擊量に直接影響を及ぼす主要々素にして乗客の乗り心地、車輛及貨物に對する損傷に影響を及ぼし牽引抵抗、ガソリン消費量も亦之に伴ひ、噪音も之に伴ひて増大するが故に可及的之を減するは路面維持に當り主要なる問題なり。

その測定法として Profilometer, Roughometer, Vialog Bumpometer 等あり、Vialog を用ひて行へる路面凹凸係數は、彈條の撓みの變化より路面狀態を間接に求めたるものなるを以て Bumpometer により直接に求めたるものと比較すれば相當異り、宮城外苑瀝青舗装に於て測定せるものは次の如し。

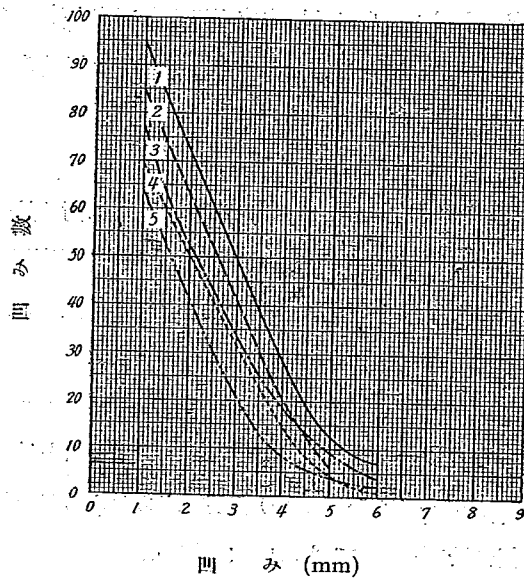
Bumpometer は straight edge の長さ 1, 2, 3 m のものを用ひたるも、長大なるものは局部の小なる凹凸を測知し難き憂あるを以て、長 1 m のものを用ひたる結果をとれり。

試験は復興局に於て行へるものにして路線延長 60 m の區間に於て測定せる結果凹凸量 3~6mm のものは比較的正確に電燈及音響によりて確知し得たるも同 1~2mm のものは測知し得ざる場合少からず、第百二十表の如し、測定結果より小凹みの數量を考慮し第五十九圖の如き曲線を表すものとし、各凹み量の數量を求めたり、第百十三表第五十九圖の如し。

第百十三表 Bumpometer 試験

位置	凹み量 mm					
	1	2	3	4	5	6
A No. 1 測値	7	14	20	16	5	7
訂値	25	22	20	16	5	7
No. 2 測値	5	15	21	14	6	—
訂値	24	20	21	14	6	—
C No. 3 測値	1	17	16	9	5	4
訂値	26	17	16	9	5	4
A No. 4 測値	7	12	17	10	3	1
訂値	21	17	17	10	3	1
B No. 5 測値	13	23	13	4	2	2
訂値	21	22	13	4	2	2

第五十九圖



之より全凹み量及1箇の凹み量及其波状ピッチを求むれば第百十四表の如し。

第百十四表 平均凹凸量及波状ピッチ

試験番號	延長 60 m 區間の凹凸		延長 1 km 當り		一個所
	數量	全凹凸量 (cm)	凹凸量 (cm)	平均凹凸量 (cm)	
No. 1	95	26.0	433.0	0.273	0.633
No. 2	85	21.3	355.0	0.251	0.706
No. 3	77	19.3	322.0	0.251	0.779
No. 4	69	16.7	278.0	0.242	0.870
No. 5	64	14.2	236.0	0.222	0.937
平均	76	19.5	324.8	0.248	0.785

延長 1 km 當り凹凸量 324.8 cm/km. となり 1 凹凸の大小 0.248 cm その波長は 0.785 m を示せり。

此部分に於て乗用自動車をして測定せる路面凹凸係數は速度 22.4 km/h に於て 15.8 cm/km を示せり、從つて Bumpometer の straight edge による、測定値 324.8 cm/km は前者より約 20.5 倍大なる數値を表せり。

此波狀の生成を考ふるに、輪帶の路面との接觸により受くる變形を彈條と同様なる作用と看做し、その輪帶の撓みを第二編の測定結果により 30 mm とすれば、その撓みの振動の周期は

$$t = \pi \sqrt{\frac{30}{9800}} = 0.174 \text{ sec}$$

自動車の進行する速度は略 16 km/h なるを以て、輪帶の 1 振動週期の間に進行する距離は

$$l = 0.174 \times \frac{16,000}{3600} = 0.773 \text{ m}$$

略 Bumpometer による實測値と一定せり。

彈條の振動は一定せず、何れも輪帶の振動周期より大なるを以て波狀生成には影響少なきが如し。

名種路面の凹凸係數は貨物自動車により測定せるもの、第一編第十二表乃至第十六表、乗用自動車によるもの第二編第三十一表乃至第三十二表に示すが如し。

2. 衝擊係數

車輛の路面に及ぼす衝擊量は一般に次式により求め得。

$$F = \frac{W_1}{g}(\alpha + g) + W_2 + Ad$$

F 衝擊荷重 W_1 非彈重 α 同下降加速度 g 重力

W_2 彈重 A 係數 d 彈條の撓み

$$\text{衝擊係數} = \frac{W_1 \frac{\alpha}{g} + Ad}{W_1 + W_2}$$

自動車の下降の加速度は第一編に述べたるが如く、極めて小なるが故に、鋪裝に於ては之を無視するも著しき影響なきを以て、單に次式によりて之を求めたり。

$$I = \frac{Ad}{W_1 + W_2}$$

各路線に於ける衝撃係数は貨物自動車によるもの第一編第十表 1 及 2, 乗用自動車によるもの第二編第五十八表乃至第六十二表の如し。

各種路面の衝撃係数平均値は第百十五表の如し。

第 百 十 五 表

各種路面の衝撃係数

路 面 種 別	衝撃係数平均値				衝撃係数極値			
	貨物自動車		乗用自動車		貨物自動車		乗用自動車	
	16 km/h	24 km/h	24 km/h	32 km/h	16 km/h	24 km/h	24 km/h	32 km/h
砂 利 道 良好	0.170	0.296	0.255	0.300	0.244	0.367	0.450	0.490
普通	0.203	0.361	0.460	—	0.288	0.456	0.760	—
瀝青舗装	0.083	0.130	0.112	0.143	0.128	0.150	0.235	0.340
木塊舗装	0.085	0.178	—	0.203	0.170	0.255	—	0.310
板石舗装 砂利基礎	0.385	0.445	—	—	0.445	0.488	—	—
コンクリート基礎	0.333	0.480	—	—	0.425	0.550	—	—
軌道交又點	0.165	0.258	0.234	0.377	0.234	0.360	0.310	0.520

路面凹凸係数の大さは衝撃量に影響を及ぼす主要要素にして之等の關係を試験結果より求むれば速度 24 km/h の場合凡そ次式により表はし得べし。

$$I = 0.125 + \frac{R_1}{450}$$

I 衝撃係数

R_1 路面凹凸係数 cm/km

本式は凹凸係数 0 の場合衝撃係数 0.125 を示し凹凸小なる路面に於ては適應せざるも通常路面に於ては略適用し得るものと考へらる。

(第一編 第十三圖 参照)

3. 牽引抵抗

牽引抵抗は路面構造その状態により異り又輪帶の性質、車輛の構造により異り、ガソリン消費量、鞍馬疲労、路面磨耗量、輪帶の磨耗量に直接影響を及ぼし、路面性質として重要な要素なり。

(1) 路面に及ぼす進行中の車輛の壓力。

一般に進行中の車輛が路面に及ぼす壓力は次式により表はし得べし。

$$\text{後軸} \quad P_1 = W \frac{d'}{d+d'} + W \left(i + \frac{\alpha}{g'} \right) \frac{h}{d+d'} - \Phi \frac{h-H}{d+d'}$$

$$\text{前軸} \quad P_2 = W \frac{d}{d+d'} - W \left(i + \frac{\alpha}{g} \right) \frac{h}{d+d'} + \Phi \frac{h-H}{d+d'}$$

P_1, P_2 後軸又は前軸による路面壓力

W 車輛の荷重

i 勾配

α 加速度

d, d' 車輛重心より前後輪に至る水平距離

H 同重心より牽引力作用點に至る垂直距離

h 同車心より牽引力に對する反力の作用點に至る垂直距離

Φ 牽引力

水平路面に於て一定速度を以て進行する場合は次の如し。

$$P_1 = W \frac{d'}{d+d'} - \Phi \frac{h-H}{d+d'}$$

$$P_2 = W \frac{d}{d+d'} + \Phi \frac{h-H}{d+d'}$$

車輛の靜止せる場合は、

$$P_1 = W \frac{d'}{d+d'}$$

$$P_2 = W \frac{d}{d+d'}$$

牽引力は一般に次式により表はし得べし。

$$\Phi = W \left(f + i + \frac{\alpha}{g} \right) + p \frac{\alpha}{g} \frac{K^2}{R^2}$$

p 車輪のみの自重

f 回轉摩擦係數

ω 角速度

K 車輪回轉半徑

R 同 半徑

荷馬車の場合は

$$\Phi = W(f+i)$$

従つて馬の自重を q とし比荷重を c とすれば所要牽引力は次の如し。

$$\lambda q = \Phi + iq = W(f+i) + iq$$

従つて $\lambda = d(f+i) + i$

$$i = \frac{\lambda - i}{f+i}$$

自動車の場合の牽引力は、

$$\varphi = W\left(f+i+\frac{\alpha}{g}\right) + p \frac{\alpha}{g} \frac{K^2}{R^2} + aV^2A.$$

φR 車輪に作用する偶力

aV^2A 風壓

平路に於て一定速度を以て進行する場合

$$\varphi = Wf + aV^2A$$

車輪の路面に及ぼす作用

(a) 垂直壓力

車輛が静止せる場合 $P_1 = W \frac{d'}{d+d'}$

$$P_2 = W \frac{d}{d+d'}$$

今 $d' = 2d$ の場合 $P_1 = \frac{2}{3}W$ $P_2 = \frac{1}{3}W$

$d = 3d$ の場合 $P_1 = \frac{3}{4}W$ $P_2 = \frac{1}{4}W$

一般に次の値を有せり。

乗用自動車 $d' = \frac{3}{2}d$

輕貨物自動車 $d' = \frac{15}{7}d$

重貨物自動車 $d' = 3d$

(b) 剪力

荷馬車の場合 $T_1 = -P_1f - p_1 \frac{\alpha}{g} \frac{K_1^2}{R_1^2}$

$$T_2 = -P_2f - p_2 \frac{\alpha}{g} \frac{K_2^2}{R_2^2}$$

車輪が路面に及ぼす力の方向はその進行の方向に作用し、従つて路面材料は前方に動かさるべし。その大きさは加速度小なるを以て主として摩擦係數に伴ひて増減す。

自動車の場合

$$\text{動輪 } T_1 = W \left(f + i + \frac{\alpha}{g} \right) + p \frac{\alpha}{g} \frac{K^2}{R^2} + aAV^2 - P_1 f - p_1 \frac{\alpha}{g} \frac{K_1^2}{R_1^2}$$

$$\text{從輪 } T_2 = -P_2 f - p_2 \frac{\alpha}{g} \frac{K_2^2}{R_2^2}$$

(2) 牽引抵抗測定値

自動車に對する牽引抵抗は一定速度を以て進行する場合の惰走距離及時間を測定して之を求めたるが故にその餘勢力が路面抵抗に費されざるを以て直接に之を牽引力測定器を以て測定せるものと一致せざるべきもその相關的關係を知り得べく、

荷馬車に對しては、牽引力測定器を用ひ直接に之を測定せり。

之らの試験結果は貨物自動車に對するもの第一編、乗用自動車に對するもの第二編、鐵輪荷馬車に對するもの第三編に之をあけたり。

車軸抵抗は鐵車輪に於ける車軸摩擦係数が普通車軸に於て 0.0977、球承車軸に於て 0.00676 なるを以て、第百十六表に示すが如く普通車軸に於て 2~4 kg/ton、球承車軸に於ては 0.10~0.30 kg/ton に過ぎず。

第百十六表 車 軸 抵 抗

路面種別	普通車軸		球承車軸	
	牽引抵抗 kg/ton	車軸抵抗 kg/ton	牽引抵抗 kg/ton	車軸抵抗 kg/ton
砂利道 良好	38.57	3.77	36.82	0.25
	42.28	4.13	38.13	0.26
	40.43	3.95	37.48	0.26
瀝青鋪裝	30.67	2.99	18.10	0.12
木塊鋪裝	22.67	2.21	25.76	0.17
煉瓦鋪裝	24.41	2.38	25.20	0.17

風抵抗は風速に伴ひて増大するも自動車に對しては牽引抵抗の 0.27 乃至 2.40 % に過ぎず。

各種路面に於ける牽引抵抗測定に當り、本邦に於ては各種鋪裝の連續延長未だ充分ならず。何れの鋪裝もその延長一局部に止り、延長相當に及べるものあるも東京に於ては復興事業の爲にその中間に障害あり従つて路面の各種に亘りて試験を行ふを得ざりしを以て、試験結果に就きてその平均値を求むれば第百十七表の如し。

第百十七表 牽引抵抗 kg/ton

路面種別	荷馬車 鐵輪帶	貨物自動車 ソリッド輪帶		乗用自動車 空氣入輪帶		
		16 km/h	24 km/h	16 km/h	24 km/h	32 km/h
砂利道 良好	38.57	15.48	17.46	15.80	17.10	17.80
普通	42.28	21.50	25.58	19.05	19.63	20.47
平均	40.43	17.90	21.52	—	—	—
瀝青塗裝	39.57	—	—	—	—	—
瀝青マカダム鋪裝	—	—	—	16.08	—	—
瀝青鋪裝	30.67	11.10	11.78	16.05	16.73	18.76
煉瓦鋪裝	24.41	—	—	—	—	—
木塊鋪裝	22.67	9.83	10.63	—	—	—
石塊鋪裝砂利基礎	—	—	33.00	—	—	—
硬質基礎	26.50	14.84	18.44	—	—	—
コンクリート鋪裝	—	6.73 (8 km)	—	—	—	—

(3) 牽引抵抗に及ぼす輪帶、路面凹凸係數、速度等の影響。

- (a) 空氣入輪帶に及ぼす單位重量當り牽引抵抗は、一般にソリッド輪帶より小なるべきも輪帶の性狀、輪重、空氣壓、路面狀態により異り前者の路面との接觸面積が大なるにより却つて後者に對する抵抗より大なる場合あり。本試験に於ては前者に對する抵抗大なり。
- (b) 速度の増大に伴ひ衝撃量大となり、従つて牽引抵抗増大す。同一種別の平滑なる路面と凹凸ある路面との牽引抵抗の關係は未だ定説なきも本試験に於ては次式を得たり。

自動車の場合

$$R = R_0 + 0.75 \times 10^{-3} R_1^{0.46} V^2$$

R 牽引抵抗 kg/ton

R_1 路面凹凸係數 cm/km

R_0 常數

各種路面に於て此の實驗式を求むれば次の如し。

貨物自動車に對するもの。

瀝青鋪裝 $R = 10.51 + 1.75 \times 10^{-3} V^2$

木塊鋪裝 $R = 9.04 + 2.42 \times 10^{-3} V^2$

砂利道 良好路面 $R = 13.00 + 5.24 \times 10^{-3} V^2$

$$\text{砂利道 普通路面 } R=22.70+17.10 \times 10^{-3} V^2$$

乗用自動車に對するもの

$$\text{鋪 裝 } R=15.58+2.28 \times 10^{-3} V^2$$

$$\text{砂 利 道 } R=18.57+2.27 \times 10^{-3} V^2$$

然れども速度大なる場合は車輪はバウンドしつつ進行するが故に路面凹凸係數大なる路面に於ても牽引抵抗は餘り増大せず、従つて前記の實驗式は平常の速度の場合に於て適用し得るものと考へ得べし。

列 車 抵 抗

$$\text{空 貨 車 } R=7.0+0.822V+0.0316V^2 \quad (V=7\sim 13 \text{ km/h の場合})$$

$$R=1.41+0.00136V^2 \quad (V=13\sim 36 \text{ km/h の場合})$$

$$\text{積 載 貨 車 } R=7.0+0.760V+0.02375V^2 \quad (V=10\sim 16 \text{ km/h の場合})$$

$$R=0.76+0.000594V^2 \quad (V=16\sim 40 \text{ km/h の場合})$$

(鐵道省試驗結果)

(c) 鐵輪帶を有する荷馬車の場合、進行速度略一定なるを以て牽引抵抗と路面凹凸係數との關係は、次式を得たり。

$$\text{砂利道 } R=27.30+26.20 \times 10^{-3} R_1$$

鋪裝路面に於ては路面凹凸係數の關係よりも鐵輪帶と路面材質との相關的關係より受くる影響大にして、砂利道と同様の關係式を求め難し。

砂利道に於て、輓馬の速度を 4 km/h として前記の式を改むれば次の如し。

$$R=27.30+1.64 \times 10^{-3} R_1 V^2$$

然れども、輓馬の速度は、牽引抵抗により異り、次式によりて變化するが故に、路面凹凸係數と速度との關係は、次式を得たり。

$$v=1.10+0.213 (R-25)^{0.276}$$

$$v \quad \text{速度} \quad \text{m/sec}$$

$$R \quad \text{牽引抵抗} \quad \text{kg/ton}$$

$$V=3.96+0.765 (R-25)^{0.276}$$

$$V \quad \text{速度} \quad \text{km/h}$$

$$R=25+\left(\frac{V-3.96}{0.765}\right)^{3.62}$$

$$R = 27.3 + 26.2 \times 10^{-3} R_1$$

従つて路面凹凸係数と速度との関係は次の式を得たり。

$$R_1 = 38.2 \left(\frac{V - 3.96}{0.765} \right)^{3.62} - 87.8$$

(d) 路面温度の牽引抵抗に及ぼす影響は、瀝青舗装に於て鐵輪帶に對する場合最も著しく、路面温度 26°C 以上に於て温度 1°C に對し牽引抵抗の増加 1.81 kg/ton に達せり。

(4) 牽引抵抗に關する已往試験の結果。

第 百 十 八 表

路面種別	鐵輪帶 4 km/h		Agg	同 10km/h	
	Davidson	P. Anderson		Colonel Crompton	
砂		50.0—150.0 (d) 150.0—250.0	160.0		
土 砂 道	46.00 (dust) 49.65 (m) 109.00	30.0— 50.0 50.0— 87.5	50.0 (m) 93.0		
砂 利 道	37.50 41.15 131.50	25.0— 45.0 45.0—100.0	25.5 73.5		
水 締 マ カ ダ ム 道	32.16	22.5— 37.5 37.5— 75.0	19.0 23.0	32.5 37.5 45.0	
瀝 青 塗 装	39.10		(d) 30.5 (w) 54.0		
瀝 青 マ カ ダ ム 舗 装					
瀝 青 コ ン ク リ ー ト 舗 装	34.25 44.15 46.30	15.0— 35.0	20.0	25.0	
シ ー ト ア ス フ ァ ル ト 舗 装			19.0		
ア ス フ ァ ル ト ブ ロ ッ ク 舗 装					
煉 瓦 舗 装		12.5— 27.5	28.0		
木 塊 舗 装		15.0— 25.0	16.5 21.0	25.0	
石 塊 舗 装		15.0— 40.0	13.5	30.0	
コ ン ク リ ー ト 舗 装	13.8	12.5— 40.0			
同 瀝 青 塗 布	24.6				
板 石 舗 装					

第 百 十 九 表

路面種別	ソリッド輪帯				空氣入輪帯			
	P. Anderson 輕車 19.2 km/h	Bur 重車 12.8 km/h	Colonel Crompton 24 km/h	Müller	Lieman Agg	Colonel Crompton 64 km/h	Agg	
砂				15.0—30.0	150.0			
土 砂 道		37.5—50.0	(±)80	50.0	(d) 50.0			
砂 利 道	12.5—20.0	20.0—50.0			(w)100.0			
水 締 マ カ ダ ム 道	12.5—20.0		30.0 28	—35.0	20.0			
			(w)40.0		30.0			
					40.0			
瀝 青 塗 裝					160.0			
瀝青 マ カ ダ ム 鋪 裝		17.5—37.5		23.0—25.0		(d)20.0		
				30.0		(w)25.0		
瀝青 コンクリート 鋪 裝	10.0—15.0	15.0—25.0		12.5—15.0	10.0	(d)20.0		
						(w)25.0		
シートアスファルト 鋪 裝								
アスファルトブロック 鋪 裝								
煉 瓦 鋪 裝	11.0—15.0	12.5—25.0			13.0			
					(w)47.0			
木 塊 鋪 裝	11.0—15.0	12.5—25.0	(d)25.0	18.0—20.0	18.0	(d)20.0		
						(w)25.0		
石 塊 鋪 裝	12.5—2.25	15.0—37.5	(d)30.0	18.0—20.0	20.0	(d)20.0		
			(無目地)	20.0—22.5	20.0	(w)25.0		
コンクリート 鋪 裝	10.0—15.0	12.0—2.00		12.5—15.0	(16)11.5	(16)11.7		
瀝青塗裝				20.0—22.5	(24)12.0	(24)12.8		

d は乾燥、w は濕潤状態を示し括弧は速度を示す。

牽引抵抗の鞍馬疲勞に及ぼす影響は極めて顯著にして第三編に之をのべたり。

4. 自動車のガソリン消費量

自動車は各種路面を進行する場合のガソリン消費量は、路面構造の運輸費に及ぼす經濟價值を直接に表はし、自動車に對するその他の經費も之と相關的關係を有するものと考へらる。

ガソリンの化學的勢力が路面抵抗に打ち克つ有効働に費さるゝ割合は、貨物自動車に於ては鋪裝の場合平均 4.64% 砂利道の場合平均 7.27% 乗用自動車に於ては鋪裝の場合平均 4.66% 砂利道の場合平均 5.79% に過ぎずして機關冷却用水、摩擦係數、放出瓦斯等に浪費さるゝ割合多く、從つて路面構造の影響を受くる事小なり。更に自動車は熱効率と同様に、進行に要する所要馬力に應じて機械能率も異にするが故に自動車機關の同一基準に於て路面状態を比較し得ざるも、今實際運轉せる場合の結果より、

自動車ガソリン 1 lit 當りの運輸量 ton km を求め、之を經濟効率として貨物自動車に對しては、第一編第十二表乃至第十六表、乗用自動車に對しては、第二編第三十七表乃至第四十三表に示せり。

路面種別に應じその平均値を求むれば第百二十表の如し。

第百二十表 ガソリン經濟効率

路面種別	貨物自動車			乗用自動車			
	路面凹凸係數	ガソリン經濟効率		路面凹凸係數	ガソリン經濟効率		
		cm/km	16 km/h 24 km/h		cm/km	16 km/h 24 km/h 32 km/h	
砂 利 道	良好	41.70	11.45 11.39	341.20	9.16	—	—
	普通	113.50	12.65 12.09	445.00	—	7.37	—
	不良	—	—	1335.00	9.05	6.05	—
瀝青マカダム鋪裝	—	—	—	69.00	—	9.63	—
瀝 青 鋪 裝	14.25	14.58	14.41	26.00	—	9.58	7.84
木 塊 鋪 裝	20.80	15.02	14.77	111.58	—	—	7.83
コンクリート鋪裝	34.70	14.43	14.20	—	—	—	—
板 石 鋪 裝	—	—	—	173.00	—	—	7.75

經濟効率と路面抵抗との關係を貨物自動車の場合につきて考ふれば、次式により表はし得べし。

$$T = 16.59e^{-0.016R}$$

T 經濟効率 ton km/lit

R 路面抵抗 kg/ton

ガソリン消費量に關する已往試験の結果。

White Co.			T. R. Agg
貨物自動車 (2 ton)			ton mile/gal.
mile/gal			
土	砂	道	5.78 14.00
砂	利	道	7.19 (c) 19.8
			9.39 (d) 21.7
			— (h) 22.0
瀝青マカダム道			9.48 29.4
煉瓦鋪裝			9.88 29.4
			11.44 —
コンクリート鋪裝			11.78 30.7
瀝青鋪裝			— 23.4
c 普通	d 乾燥	h 硬質	

第二十四節 路面選定に關する研究

從來路面構造は主としてその築造費を以て比較する事多かりしが、之は單に一要素に過ぎずして、路面の經濟價值は築造費及之と直接又は間接に相關的關係を有する幾多の要素によりて定むべきものとす。

道路交通は鐵道軌道及專用道路の場合と異り公衆の一般經濟を目的とするが故に收入を生ぜざるを原則とす、従つて經濟社會が要求し之に對し報酬を拂ふべきものと認むる利用價值によりて路面の經濟價值を定むべきものとす。

従つて經濟價值は運輸費に及ぼす影響により定まるものとす、故に路面構造の選定及管理維持に關しては道路の經費と交通車輛の經費とを合せて考慮し、その合計をとりて全運輸費を求め、之を最小とする目的を以て之を行はざるべからず。

道路經濟の目的に鑑み、築造及維持に關する經費の大部分は交通車輛が負ふべきものと理論及之に立脚せる政策は極めて當然にして、従つて道路運輸の經濟は産業開發、國家經濟上極めて緊切なる關係を有するものと云ふべし。

1. 道路費

道路の經濟價值の基準は、單位運輸費により表はし得べく、その單位は各國により一定せず、米國は道路幅 1 呎當り交通量に對する幅 1 呎延長 1 哩の一年道路費をとり、英國は道路幅 1 碼當り交通量に對する面積 1 平方碼の一年道路費をとれるも、現代交通の狀勢に鑑み車線幅をとりて之を定むるを適當とすべく、従つて今一車線交通量に對する一車線幅の延長 1 km 當りの一年道路費を標準として之を求むるを適當とす。

(1) 經濟的壽命。

路面構造の經濟的壽命は交通量に應じて異り、時の函數なるが故に一定の通過交通量の限度あり。特殊の路面に於ては普通の交通量なき場合は却つて之ある場合よりも路面の破壊を促進さるゝ場合あるも、一般に交通量に應じ經濟的壽命は短縮さるゝものとす。

經濟的壽命は一年當りの道路費最小限度に達せる場合にして、相當の注意を以て維持を行へばその後も尙路面を利用し得るも、維持費は次第に増加し遂にその使用を繼續するよりも之を改築するを經濟とするに至るべし。

維持不完全にして更に使用を繼續する場合は交通車輛の運轉費増大し、費用を交通者に轉嫁するに至るべし。

(2) 路面費。

路面構造の經濟的壽命の範圍に於ては、一ヶ年當り路面費は次式により表はし得べし。

$$C_r = M_r + (I_r - S_r)f_r + I_r m_r \dots\dots\dots (1)$$

C_r 單位面積當りの一ヶ年路面費

M_r 同 の一ヶ年維持費

I_r 同 の築造費

S_r 同 の經濟的壽命を失ふ時期に於ける殘存價值

f_r 經濟的壽命の期間に於て金利 m の場合金一圓に達する年金

m_r 道路築造費に適應すべき金利

I_r 築造費は路面築造費及設計監督費を包含し、後者は前者の 3~10% 平均 5% をとり得べし。

M_r 維持費は經濟的壽命の終期迄に、各年維持費が複利を以て達し得べき金額を求め、之を合計し經濟的壽命の期間に於て此金額を生すべき年金をとるものとす。

S_r 殘存價值は路面種別により異り、已設鋪裝の上に築造する新工種の築造費と之を利用し得ざる場合の築造費との差額により定まるものとす、新工法の設計に當り之を利用し得ざれば、その殘存價值は皆無にして却つて除却に要する過剰なる工費が新工種の築造費に加はるものとす。

經濟的壽命の終りに於ては、路面はその殘存價值の狀態に破壊され、之以上の期間に於ては道路費年額は次の如し。

$$C_r' = M_r' + S_r m_r \dots\dots\dots (2)$$

C_r' 經濟的壽命期以後の單位面積當り一ヶ年道路費

M_r' 同 維持費

此の式は經濟的壽命期を超えたるが故に償却の項なし。

式 (1) 及 (2) は路面の經濟的壽命を實際的に求むる方法を示すものなり。式 (1) は新路面の利用價值を與へ、式 (2) は現存せる路面の利用價值を與ふるものなり。

C_r' は常に C_r より大にして、一般に路面はその經濟的壽命期を超えて使用さるゝ場合極めて多し。

(3) 維持費。

交通量の維持費に及ぼす影響は極めて直接なるも、その影響を求むる事極めて困難

にして、維持費の増加は交通量の増大によるか路面の材齡、即ち築造後の年數の經過の延長によるか不明の場合も極めて多し。交通の質による影響は試験室内の試験結果により極めて明かなるも、之らの關係に對し一定標準を立つるは極めて困難なり。殊に本邦に於けるが如く、維持すべき時期に達して之を行はず時に應じて一時に修繕を加ふるが如き狀態に於て、標準維持費を現在施行の結果に求むるは却つて不合理なるが故に、次の法則を立て之を維持費の標準とせり。

$$M_r = K + aT_a + wT_w$$

M_r 維持費

T_a 自動車 交通量 ton/年

T_w 荷牛馬車 交通量 ton/年

K 常 數 路面構造、氣象その他によるもの

a, w 常 數 交通量及質によるもの

(4) その他の道路費。

道路費として前記の經費の外に、用地費、土工費及用地幅維持費を考慮するを要す用地幅の維持費は路肩の除草、側溝の掃除、保護等にして年額略一定せり。

用地費に關しては、土地の殘存價值は却つて原購入費より増加し、從つて之を等しく取り得べきが故に、特に之を考慮するの要なし。

2. 車輛費

車輛運轉に要する經費(圓)は次式により表はし得べし。

$$C_v = \frac{M_v + O_v + (I_v - S_v)f_v + I_v m_v}{T_v}$$

C_v 經濟的壽命の期間に於ける運輸 ton km 當り車輛經費

M_v 同 車輛の一年維持費

O_v 同 車輛の一年運轉費

I_v 車輛購入價

S_v 經濟的壽命後の車輛の殘存價格

f_v 年複利 m として車輛の經濟的壽命の期間に金一圓に達する年金

m_v 車輛購入費に對する金利

T_v 車輛の一年平均運輸量 ton km

車輛の種別に應じ之を調査し、その經濟的壽命及運輸費を求むるは極めて緊要なり。その種類極めて多く、之を求むる事困難なるも、第二章に於て求めたる車輛の運輸費より之を求めたり。

(1) 運輸費に及ぼす路面構造の影響。

從來幾多の調査の結果により、自動車のガソリン費と全運輸費とは何れも略一定の比をなし、ガソリン消費量は路面の抵抗とは明かに一定の關係を有す。

試験結果より次式を得たり。

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{a} e^{bR}$$

T ガソリン量/ton km
 R 路面抵抗 kg/ton
 a, b 常数

従つて R_0 の場合のガソリン量を G_0 とし、 R_1 に對する G_1 を求むれば次式により表はし得べし。

$$G_0 = \frac{e^{bR_0}}{a}, \quad G_1 = \frac{e^{bR_1}}{a}$$

$$\frac{G_1}{G_0} = \frac{e^{bR_1}}{e^{bR_0}} = e^{b(R_1 - R_0)}$$

今米國に於ける運輸費に關する實驗式を参照し、本邦に於ける車輛運輸費に關して次式を求めたり。

$$\left. \begin{aligned} \text{貨物自動車} \quad C_t &= C_b \left(0.50 + 0.50 \frac{e^{0.016R_1}}{e^{0.016 \times 10}} \right) \\ \text{乗合自動車} \quad C_t &= C_b \left(0.40 + 0.60 \frac{e^{0.016R_1}}{e^{0.016 \times 10}} \right) \\ \text{乗用自動車} \quad C_t &= C_b \left(0.25 + 0.75 \frac{e^{0.016R_1}}{e^{0.016 \times 10}} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

C_t 路面抵抗 R_1 を有する路面に於ける運輸費

C_b 路面抵抗 10 kg/ton を有する路面に於ける運輸費

R_1 路面抵抗 kg/ton

Agg の運輸費に關する式

$$\text{貨物自動車} \quad C_t = 0.50C_b + 0.50C_b \frac{F_t}{F_b} = C_b \left(0.50 + 0.50 \frac{F_t}{F_b} \right)$$

$$\text{乗合自動車} \quad C_t = 0.40C_b + 0.60C_b \frac{F_t}{F_b} = C_b \left(0.40 + 0.60 \frac{F_t}{F_b} \right)$$

$$\text{乗用自動車 } C_t = 0.25C_b + 0.75C_b \frac{F_t}{F_b} = C_b \left(0.25 + 0.75 \frac{F_t}{F_b} \right)$$

C_t 全車輛費

C_b 路面抵抗 15 kg/ton なる路面に於ける運轉費

F_t 路面のガソリン消費量

F_b 路面抵抗 15 kg/ton の路面に於けるガソリン消費量

荷馬車に於ては路面抵抗の少き路面に於ては一日に行ふ運輸働を増大し得るが故に運輸費に及ぼす影響は次式により表はし得べし。

$$C_w = C_0 \left(0.50 + 0.50 \times \frac{R_1}{R_0} \right) \dots \dots \dots (2)$$

C_w 路面抵抗 R_1 の路面に於ける荷馬車運輸費 圓/ton km

C_0 同 R_0 の路面に於ける荷馬車運輸費 圓/ton km

路面抵抗の減少に伴ひ運輸働を増加し運輸費は従つて減少す。

3. 道路運輸費

道路運輸費は道路費及車輛費共に地方的狀勢により各々異り、一般的標準を示し難く、各地に於てその特殊の事情を參酌して定むべきものなれども、今概念的に一般標準を立つれば次の如し。

(1) 道路費

道路費は用地費用地幅維持費、土工費及路面築造費等を第二百一表の如く定め、路面維持費は第二百二表の如く定めたり。

第二百一表 一車線幅延長 1 km 當りの道路費

路面種別	用地費	土工費	用地幅維持費	路面築造費	殘存價值	經濟的壽命(年)
砂 利 道	9,075	2,723	30	5,000	5,000	—
瀝 青 塗 裝	9,075	3,830	40	6,400	5,900	2
瀝青 マカダム鋪裝	9,075	3,830	40	13,600	9,000	5
瀝青コンクリート鋪裝	9,075	3,830	40	16,500	9,000	10
シートアスファルト鋪裝	9,075	3,830	40	18,000	9,000	10
コンクリート鋪裝	9,075	3,830	40	17,400	9,000	15
木 塊 鋪 裝	9,075	3,830	40	27,200	9,000	20
小 鋪 石 鋪 裝	9,075	3,830	40	25,500	9,000	30
煉 瓦 鋪 裝	9,075	3,830	40	30,000	9,000	30
備 考	10圓/坪	砂利道 3/面坪				
		其 他 4/面坪				

百二十二表 一年路面維持費

路面種別	路面維持費
砂 利 道	$400 + 0.244T_l + 1.60T_w$
瀝 青 塗 装	$400 + 0.244T_l + 1.60T_w$
瀝青マカダム舗装	$300 + 0.150T_l + 1.20T_w$
瀝青コンクリート舗装	$250 + 0.122T_l + 1.00T_w$
シートアスファルト舗装	$240 + 0.122T_l + 1.00T_w$
コンクリート舗装	$200 + 0.080T_l + 0.60T_w$
木 塊 舗 装	$150 + 0.080T_l + 0.60T_w$
小 舗 石 舗 装	$100 + 0.060T_l + 0.50T_w$
煉 瓦 舗 装	$100 + 0.060T_l + 0.50T_w$

T_l 自動車交通量 ton/day
 T_w 荷車交通量 ton/day

今用地費の金利を 4% 工事費同 5% として路面維持費以外の道路一年の経費を求むれば百二十三表の如し。

路面維持費は百二十二表の式に従ひ、自動車交通量 70% 荷車交通量 30% として求むれば百二十四表の如し。

百二十三表 維持費以外の年道路費(圓)

路面種別	用地費利子 4%	土工費利子 5%	路面築造費 利子 5%	補償年金	用地幅維 持費	計
砂 利 道	363	136	250	—	30	779
瀝 青 塗 装	363	192	320	240	40	1,145
瀝青マカダム舗装	363	192	680	830	40	2,105
瀝青コンクリート舗装	363	192	825	593	40	2,013
シートアスファルト舗装	363	192	900	710	40	2,205
コンクリート舗装	363	192	870	396	40	1,865
木 塊 舗 装	363	192	1,360	545	40	2,500
小 舗 石 舗 装	363	192	1,275	350	40	2,220
煉 瓦 舗 装	363	192	1,500	442	40	2,537

百二十四表 交通量に對する維持費(圓)

路面種別	交 通 量 ton								
	50	100	200	400	600	800	1,000	1,500	2,000
砂 利 道	423	445	530	660	790	920	1,050	1,375	1,700
瀝 青 塗 装	423	445	530	660	790	920	1,050	1,375	1,700
瀝青マカダム舗装	323	346	392	484	576	668	760	990	1,220
瀝青コンクリート舗装	269	288	326	402	478	554	630	810	1,000
シートアスファルト舗装	259	278	316	392	468	544	620	800	940
コンクリート舗装	212	224	248	296	344	392	440	560	680
木 塊 舗 装	162	174	198	246	294	342	390	510	630
小 舗 石 舗 装	110	119	138	176	214	252	290	385	480
煉 瓦 舗 装	110	119	138	176	214	252	290	385	480

之により一ケ年の全道路費は第二百二十五表の如し。

第 百 二 十 五 表 一ケ年道路費 (圓)

		交 通 量 ton								
		50	100	200	400	600	800	1000	1500	2000
砂	利 道	1201	1224	1332	1439	1569	1699	1829	2154	2479
瀝	青 塗 装	1567	1590	1675	1805	1935	2065	2195	2520	2845
瀝	青 マ カ ダ ム 舗 装	2428	2451	2497	2589	2681	2773	2865	3095	3325
瀝	青 コ ン ク リ ー ト 舗 装	2282	2301	2331	2415	2491	2567	2643	2823	3013
シ	ー ト ア ス フ ァ ル ト 舗 装	2464	2483	2521	2597	2673	2749	2825	3005	3145
コ	ン ク リ ー ト 舗 装	2077	2089	2113	2161	2209	2257	2305	2425	2545
木	塊 舗 装	2662	2674	2698	2746	2794	2842	2890	3010	3130
小	舗 石 舗 装	2330	2339	2358	2396	2434	2472	2510	2605	2700
煉	瓦 舗 装	2647	2656	2675	2713	2751	2789	2827	2922	3017

(2) 車輛費

式 (1) 及 (2) を用ひ第十一表を参照して車輛費を求めたり第二百二十六表の如し。

第 百 二 十 六 表 車輛運轉費 (圓/car km)

路 面 種 別	貨物自動車	乗用自動車	乗合自動車	荷馬車
砂 利 道	0.2020	0.1902	0.1921	0.2500
水 締 マ カ ダ ム 道	0.1973	0.1834	0.1866	0.2350
瀝 青 塗 裝	0.1924	0.1790	0.1830	0.2250
瀝 青 マ カ ダ ム 鋪 裝	0.1885	0.1707	0.1762	0.2050
瀝 青 コ ン ク リ ー ト 鋪 裝	0.1830	0.1629	0.1698	6.1850
シ ー ト ア ス フ ァ ル ト 鋪 裝	0.1805	0.1592	0.1668	0.1750
コ ン ク リ ー ト 鋪 裝	0.1805	0.1592	0.1668	0.1750
木 塊 鋪 裝	0.1817	0.1610	0.1683	0.1800
小 鋪 石 鋪 裝	0.1913	0.1748	0.1795	0.2150
煉 瓦 鋪 裝	0.1817	0.1610	0.1683	0.1800

今混合交通量が貨物自動車 15% 乗用自動車 40% 乗合自動車 15% 荷馬車 30% の場合に於ける車輛運轉費を求むれば第二百二十七表の如し。

各車輛の重量比は夫々 3 1.5 2.65 2 ton とすれば全交通量 100 臺の總重量 200 ton となるものとす。

自動車と荷馬車との交通量重量比は 70 : 30 となり第百二十四表の維持費を求めたる場合と同一条件となるものとす。

第 百 二 十 七 表

各種路面に於ける交通量 200 ton の混合交通量の運轉費 (圓)

路面種別	一車線一日交通量					交通量計 100 臺 200 ton
	貨物自動車 15 臺	乗用自動車 40 臺	乗合自動車 15 臺	荷馬車 30 臺		
砂利道	3.030	7.608	2.882	7.500	21.020	
水締マカダム道	2.960	7.336	2.799	7.050	20.145	
瀝青塗装	2.913	7.160	2.745	6.750	19.568	
瀝青マカダム舗装	2.828	6.828	2.643	6.150	18.449	
瀝青コンクリート舗装	2.745	6.515	2.547	5.550	17.358	
シートアスファルト舗装	2.708	6.368	2.502	5.250	16.828	
コンクリート装舗	2.208	6.368	2.502	5.250	16.828	
木塊舗装	2.726	6.440	2.525	5.400	17.051	
小舗石舗装	2.870	6.992	2.693	6.450	19.005	
煉瓦舗装	2.726	6.400	2.525	5.400	17.051	

交通量一日 100 乃至 200 ton の場合各種路面に於ける一ケ年車輛費は第百二十八表の如し。

第 百 二 十 八 表 一ケ年車輛費 (圓)

	交 通 量 ton/日									
	50	100	200	400	600	800	1000	1500	2000	
砂 利 道	1,916	3,833	7,665	15,330	22,995	30,660	38,325	57,490	76,650	
瀝 青 塗 装	1,781	3,572	7,143	14,286	21,429	28,572	35,720	53,560	71,430	
瀝 青 マ カ ダ ム 舗 装	1,686	3,372	6,744	13,488	20,232	26,976	33,720	50,564	67,400	
瀝 青 コ ン ク リ ー ト 舗 装	1,584	3,168	6,336	12,672	19,008	25,344	31,680	47,520	63,300	
シ ー ト ア ス フ ァ ル ト 舗 装	1,537	3,074	6,147	12,294	18,441	24,588	30,740	46,100	61,470	
コ ン ク リ ー ト 舗 装	1,537	3,074	6,147	12,294	18,441	24,588	30,740	46,100	61,470	
木 塊 舗 装	1,556	3,112	6,223	12,446	18,669	24,892	31,120	46,675	62,300	
小 舗 石 舗 装	1,734	3,467	6,935	13,870	20,805	27,740	34,670	52,010	69,350	
煉 瓦 舗 装	1,556	3,112	6,223	12,446	18,669	24,892	31,120	46,675	62,230	

(3) 道路運輸費

今交通量が 100 ton 乃至 2,000 ton/日/車線 の場合に各種路面の道路費及車輛費の總計を求むれば第百二十九表の如し。

第 百 二 十 九 表 一 年 道 路 運 輸 費

路面種別		交通量 ton								
		50	100	200	400	600	800	1,000	1,500	2,000
1.	砂利道	3,117	4,607	8,997	16,769	23,564	32,359	40,154	59,644	79,129
2.	瀝青塗装	3,348	5,162	8,818	16,091	23,364	29,041	35,915	53,084	74,275
3.	瀝青マカダム舗装	4,114	5,823	9,241	16,077	22,916	29,749	36,585	53,659	70,765
4.	瀝青コンクリート舗装	3,866	5,469	8,677	15,087	21,499	27,911	34,324	50,343	66,373
5.	シートアスファルト舗装	4,001	5,557	8,668	14,891	21,114	27,307	33,565	49,105	64,615
6.	コンクリート舗装	3,614	5,163	8,260	14,455	20,650	26,845	33,045	48,525	64,015
7.	木塊舗装	4,218	5,786	8,921	15,192	21,463	27,734	34,010	49,685	65,360
8.	小舗石舗装	4,064	5,806	9,293	16,266	23,239	30,212	36,870	54,615	72,050
9.	煉瓦舗装	4,203	5,768	8,898	15,159	21,420	27,691	33,947	47,617	65,247
舗装(3—9)の平均		4,012	5,625	8,851	15,161	21,757	28,207	34,621	50,507	66,989

交通量 100 ton の場合は砂利道最も經濟的にして、同 200 ton の場合は砂利道を塗裝するかその他の鋪裝を行ふを經濟とすべし。

4. 路面種別の選定

路面種別の選定は經濟に立脚して交通量に應ずる最小經費を目的とし、その地方的事情に則し合理的標準を立て、之を定めざるべからず。

第六十一圖に交通量と運輸費との關係を求むれば前に述べたる混合交通に於ては砂利道、瀝青塗裝及普通鋪裝の平均値に就て比較すれば經濟的路面は交通量 1 日一車線 180 ton 以下は砂利道、180 ton 乃至 210 ton は瀝青塗裝、210 ton 以上は鋪裝路面の場合なり、塗裝工法及之に準ずる簡易鋪裝に就て考ふるに交通量 180 ton 乃至 210 ton の場合にその經濟的地位を占むるを考へ得べし。

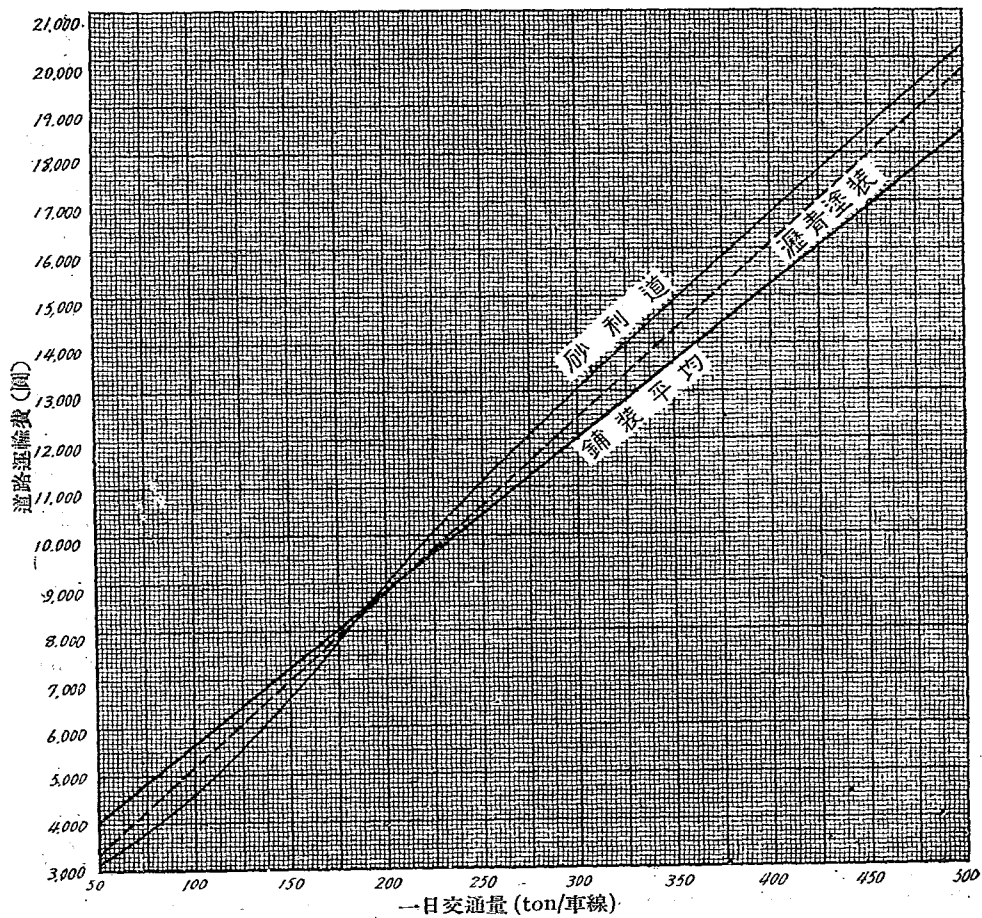
塗裝と瀝青マカダム鋪裝を比較すれば前記混合交通に於ては交通量 400 ton 以下は塗裝を經濟とし之以上はマカダム鋪裝を經濟とせり。

此場合に於ても瀝青マカダム鋪裝より他種鋪裝の平均値が却つて經濟なり、然れども可及的少き築造費を以て施工する場合の標準と考へ得べし (一般にコンクリート鋪裝は運輸費少く經濟なるを示せり)。

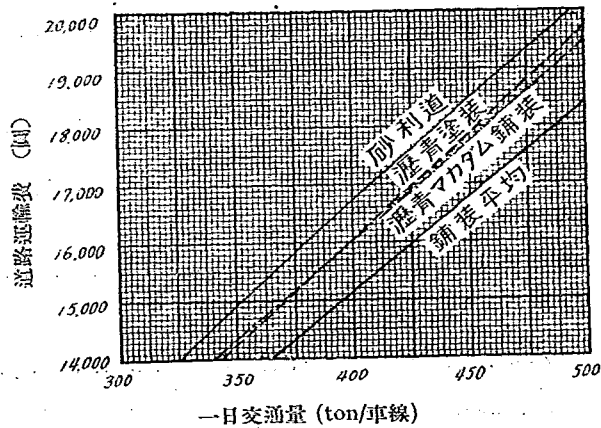
路面の性質が交通者及沿道住居者に與ふる影響は第二十三節路面の經濟上の價值を比較せる場合の數値によりて之を知るを得べし。

塵埃發生の程度は第七章磨耗抵抗により噪音の程度は凹凸係數、衝擊係數と伴ひ得べく、震動の程度は路面構造によりて定まるものとす。

第六十圖



第六十一圖



第九章 結 論

本編に於て求め得たる結論は次の如し。

1. 交通車輛

本邦に於ける道路交通車輛は約七百四十萬に達し年々増加の勢にあり、その内自轉車は 63% を占め最も多く、之に次て荷車 28% 荷馬車 4.13%、而して自動車は 1% に達せず、然れどもその増加率は自轉車及自動車最も大にして、荷馬車、荷車は極めて少く、人力車は年々減少の勢にあり、現在の増加率を持続するものとすれば貨物自動車の數量は昭和三十一年に於て荷馬車と同じく、その運輸働は昭和九年に於て同額となるべし。

(1) 自動車の制動距離を基準として求めたる最大交通量は路面凹凸係數 110 乃至 140 cm/km の砂利道に於ては乗用自動車の場合速度 20.65 km/h 交通量 1,715/h. 貨物自動車の場合速度 14.85 km/h 交通量 1,017/h となり、その他の車輛と比較すれば運輸働は乗用自動車 35,500 car km/h 貨物自動車 35,600 ton km/h 自轉車 24,700 car km/h 荷馬車 4,935 ton km/h 小車 3,352 ton km/h を示し、路面占有係數は夫々 0.332, 0.385, 0.320, 0.840, 0.675 を示し、貨物自動車は荷馬車に比し交通量 1.5 倍、運搬量 2.55 倍、運輸働 7.05 倍に達し路面占有係數は 45% に過ぎず、地方路線に於ける普通速度を標準とし 30 km/h の場合と比較すれば交通量 1.22 倍、運搬量 2.02 倍、運輸働 12.1 倍に當り路面占有係數 18.6% に過ぎず、何れの場合も運輸經濟價值遙かに大にして路面交通の混雜を緩和する事大なり。

(2) 道路幅 1m 當りの運輸價值を普通速度の場合に比較すれば、人交通に對しては運輸働は歩行 37,000 人/km 自轉車 35,460 人/km にして略近似し乗用自動車は約その 2 倍、電車 3 倍を示し通過交通量に對する運輸價值の大なるを示し、交通量は歩行 7,400 人にして乗用自動車の約 3 倍を示し局部交通の特質を示せり、從つて局部交通より考ふれば歩行が路面の最大能力を發揮し通過交通に對しては自動車又は電車によるを路面經濟とし、交通量極めて大なる場合は電車によるを經濟なるを示せり。

貨物運輸に對しては貨物自動車は荷馬車に比し運輸働共に優り夫々 1.5 倍、7.3 倍を示せり。

(3) 運輸經費は荷馬車 0.245 乃至 0.208 圓、貨物自動車 0.202 圓にして略相等しく前者幾分大なり。

2. 道路幅員

(1) 二車線幅 6 m を有する地方路線の許容交通量は混合交通の場合は凡て次式により表はし得べし。

疾行及緩行車が常に一定速度を保持する場合

緩行車が制動距離を縦間隔として必要とせざる場合

$$\text{疾行者 } N_h = \frac{3600 V_h}{\frac{2V_h}{V_h - V_l}(l_l + S_h) + \frac{2V_l}{V_h - V_l}(2\varphi r - 2r \sin \varphi) + 4r \sin \varphi}$$

$$\text{緩行車 } N_l = \frac{3600 V_l}{\frac{2V_h}{V_h - V_l}(l_l + S_h) + \frac{2V_l}{V_h - V_l}(2\varphi r - 2r \sin \varphi) + 4r \sin \varphi}$$

緩行車が制動距離を縦間隔として必要とする場合

$$\text{疾行車 } N_h = \frac{3600 V_h}{\frac{2V_h}{V_h - V_l}(l_l + S_h) + \frac{2V_l}{V_h - V_l}(2\varphi r - 2r \sin \varphi) + \frac{2V_h}{V_h - V_l}S_l + 4r \sin \varphi}$$

$$\text{緩行車 } N_l = \frac{3600 V_l}{\frac{2V_h}{V_h - V_l}(l_l + S_h) + \frac{2V_l}{V_h - V_l}(2\varphi r - 2r \sin \varphi) + \frac{2V_h}{V_h - V_l}S_l + 4r \sin \varphi}$$

疾行車が加減速を行ひて緩行車を追越す場合

$$\text{疾行車 } N_h = \frac{3600}{\frac{2(V_h - V_h')}{\beta} + \frac{2(V_h - V_h')}{\alpha} + \frac{2}{V_h - V_l} \left\{ S_h' + l_l + \frac{V_h - V_h'}{\alpha} V_l \right.}$$

$$\left. - \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{2\alpha} + 2\varphi r - 2r \sin \varphi \right\} + \frac{4\varphi r}{V_h}}$$

$$\text{緩行車 } N_l = \frac{3600 V_l}{\frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{\beta} + \frac{2V_h}{V_h - V_l} \left\{ S_h' + l_l + \frac{V_h - V_h'}{\alpha} V_l \right\}}$$

$$- \frac{2V_l}{V_h - V_l} \left\{ \frac{(V_h - V_h')(V_h + V_h')}{2\alpha} - 2\varphi r + 2r \sin \varphi \right\} + 4r \sin \varphi}$$

(2) 荷馬車と自動車との混合交通に於て自動車が一定速度を以て進行して荷馬車を追越す場合よりも速度を加減して之を行ふ場合が交通量多く加減速度 1 m/sec^2 に於ては自動車 200 両/時 荷馬車 50 両/時の交通量を得べし、加減速度之より大なる場合はより大なる交通量を許容し得べきも、交通の安全の爲には前記交通量を混合交通量の標準限度とし得べし、而して都市近郊の幹線は多く此限度に達し、加減速度が之以上に達し交通安全を期し難き状態にあり幅員擴張を必要とする交通量に達せるを知るべし。

3. 街路幅員

- (1) 歩道に於て歩行者の速度と縦間隔は次式により表はさる。

$$h = 0.40 + 0.25(V - 2.5)^{0.60}$$

歩行者の側間隔は 0.50 を最小とし標準幅員 0.75 を要すべし。

路上工作物にして避け得ざる道路附屬物は幅 0.80 m を要し、歩道有効幅員の減少率は 30 % 乃至 15 % に達す従つて歩道幅決定に當りて深く考慮を要すべし。

- (2) 街路に於て歩道と車道との交通量の比は路線により一定せず従つてその比は路線の目的及性質により合理的に決定するを要す。

- (3) 都市近郊幹線に對してはその人口、車輛數量に對する影響範圍略一定するを以て交通量調査の結果より幅員を決定し得べし。

$$W = K \left(1.5 \frac{n_p T_p}{t_p} + 4 \frac{n_w T_w}{t_w} + 2 \frac{n_b T_b}{t_b} + 3 \frac{n_a T_a}{t_a} \right) + 2.8$$

- (4) 本邦交通の狀勢に鑑み、自轉車交通に對しても疾行及緩行車に對すると同様に一交通線を指示するを適當とす。

4. 路線勾配

- (1) 路線勾配の決定に當りては自動車は牽引力大にして相當急なる坂路を上り得るも輓馬はその勞働能力の限度比較的小なるが爲に坂路勾配は後者の勞働能力を標準として定むべく輓馬がその勞働を繼續し得る生理狀態に保つ爲に勾配とその延長に一定の限度を必要とす。

勾配決定の標準とすべき標準輓馬は本邦產馬匹の現狀に鑑み體重 390 kg を有するものをとれり。

- (2) 輓馬がその普通勞働狀態に於て勞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勞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により表はし得べし。

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

- (3) 輓馬が坂路を下る場合は路面抵抗大なるを要し作力を零とする場合に於ては勾配と路面摩擦係數との關係は次式により表はし得べし。

$$i = \frac{P}{P + p} \mu$$

(4) 軌馬交通を目的として設計せる坂路に於ける自動車交通は坂路を下り終れる際の速度を一定限度に保つ爲にはその始めに於ける速度に限度を必要とす。

制動を行はすして安全範囲の速度を以て下り得る爲には坂路に於ける下り始めの速度は次式を満足するを要す。

$$S_1^2 = S_2^2 - \frac{i - \mu'}{0.431} \left(\frac{40}{i + 4} \right)^4$$

(5) 前記勾配の限度の延長を有する坂路に於ては軌馬の休息區間として車輪の惰走勾配より緩なる勾配の區間を設定するを要し、その區間延長は次式より表はし得べし。

$$\text{山岳部 } L = 8 \left(1 + \frac{2}{3} N \right)$$

$$\text{坂頂部 } L = 8 \left(1 + \frac{1}{3} N \right)$$

勾配の限度延長に達せざる坂路の連続せる路線に於ては、勾配及其の延長の連続が次の範圍を超過する毎に次式により之を設定するを要す。

$$\text{範圍の限度 } \{ \Sigma(i+4)L + 4 \}^{0.385} = 2.91$$

$$L = 8 \left[1 + \frac{\{ \Sigma(i+4)L + 4 \}^3}{7} N - \frac{1}{3} N \right]$$

(6) 坂路に於ける路面種別は上り勾配に於ては蹄鐵との摩擦係數大、車輪との摩擦係數大なるを要し、坂路面係數の大なるを必要とす。

$$\text{坂路面係數} = f - cR$$

勾配と坂路面係數より牽引効率が定められ、その路面を有する坂路を上り得る比荷重が定まるものとす。

$$\text{牽引効率 } c = \frac{f - i}{R + i}$$

急勾配の坂路に於ては砂利道が比荷重大にして有利なり、勾配緩むるに従つて平滑なる路面の有利なるを知るべし。

(7) 路面種別による勾配の限度は瀝青鋪裝 5.0% 石塊鋪裝の目筋工法の影響を現さる場合は 5.5% 塗裝砂利道 6.0% 砂利道は 9 乃至 10 % にも用ひ得るを知るべし。

(8) 蹄鐵の路面摩擦抵抗を増加せしむる爲の溝形は間隔 5.5 cm 幅 1.5 乃至 2.0 cm を要し勾配急なるに従ひ強度大なる材料を必要とす。

5. 道路曲線

轎馬交通に對してはその速度小なるが故に曲線半径の大きさを考慮する事を要せざるも、自動車に對しては速度の制限を受け機能を阻害さるゝ事大なるが故に半径の大きに相當の限度を設くるを要し、荷馬車に對する勾配と同様に自動車交通に對する重要な要素なり。

(1) 曲線半径は多くの場合自動車に必要な視距により定まり視距は速度小なる場合は自動車が障害物を回避して他車線に進路を移す場合より考へ、速度大なる場合には回避し得ずして制動を行ふ場合を考ふべく、速度 45 km/h にて視距 120 m、同 40 km/h にて 100 m、同 30 km/h にて 60 m を要す。

(2) 標準曲率半径は視距を定むるに當り車線中心より側方障害物に至る距離を 3m にとり速度 30 km/h を出し得るものとして半径 150 m を必要とすべし。

(3) 擴幅に關しては次式を用ひて之を求め得べし。

$$w = R + c + d - \frac{B}{2} - \sqrt{\left\{ \sqrt{\left(R + \frac{B}{2} - c\right)^2 - l^2} - (a + b)^2 \right\} - l^2}$$

(4) 道路交通の混雜は車輛の速度が一定せざるに因るもの多きが故に今路線に應じてその速度に一定標準を設け、平均速度に於て必要な高度を設定し、最高速度の場合は路面摩擦抵抗により平衡を保たしむるものと定めたり。

摩擦係数は路面性質及狀態により著しく異なるが故に安全の爲に 0.10 と定め、平均速度は最高及最低速度の自乗の平均値の平方根をとりて定めたり。

最高々度は牽引抵抗と横勾配の爲め横方向の摩擦抵抗とに必要な牽引力が横勾配なき場合の牽引力に對する比が、摩擦係數 0.04 の場合 2 以下の場合をとり 0.06 を混合交通に對する最高々度と定めたり。

(5) 高度 0.06 の曲線部に於て速度 30, 25, 20 km/h を出すに必要な曲率半径と、此等の速度に必要な視距に應ずる曲率半径とを考へて、各半径 150, 80, 60 を必要とす、路線の性質に應じ幹線地方路線は之を標準半径と考へ得べし。

自動車交通を主とする路線に於て高度を 0.10 とすれば速度は各 43, 32, 28 km/h を出し得られ疾行車線として充分なる機能を發揮し得べし。

(6) 曲率半径、高度速度の關係数を求むるに當り最小半径 R_1 に於て最高高度 i_1 を與へ、半径 $R_0 = 300$ m に於て高度 i が直線部の横勾配 i_0 と同一値となるものとすれば之の關係は次式により求め得べし。

$$iR^n = 300^n i_0 = i_1 R_1^n$$

$$v = \sqrt{igR_1^n R^{1-n}}$$

之により次の路線の関係式を得べし。

混合交通路線第一種 $R=300\text{ m}$ $V_{\text{mean}}=39.5\text{ km/h}$ $i=0.041$

$R=20\text{ m}$ $V=12.3\text{ km/h}$ $i=0.06$

$$i=0.0914 R^{-0.1408}$$

$$v=0.946 R^{0.4296}$$

同 第二種 $R=300\text{ m}$ $V=31.3\text{ km/h}$ $i=0.025$

$R=20\text{ m}$ $V=12.3\text{ km/h}$ $i=0.06$

$$i=0.1581 R^{-0.8233}$$

$$v=1.246 R^{0.3384}$$

自動車交通を主とする路線第一種

$R=300\text{ m}$ $V=39.5\text{ km/h}$ $i=0.041$

$R=20\text{ m}$ $V=16.0\text{ km/h}$ $i=0.100$

$$i=0.268 R^{-0.3292}$$

$$v=1.621 R^{0.3354}$$

同

路線第二種

$R=300\text{ m}$ $V=31.3\text{ km/h}$ $i=0.025$

$R=20\text{ m}$ $V=16.0\text{ km/h}$ $i=0.100$

$$i=0.463 R^{-0.5116}$$

$$v=2.132 R^{0.2442}$$

速度の最高と最低値との比を2とすれば平均速度に於て遠心力と平衡を保つものとして定めたる高度*i*の場合最高速度を以て進行する際の過分の遠心力に對する爲の路面摩擦係数は $0.61 i$ にして此條件は一般に満足するを知るべし。

(7) 緩和曲線の延長は自動車の加減速度 α 及直線部に於ける速度 v_0 曲線半径 R 、高度より次式を求めたり。

$$l = \frac{v_0^2}{2\alpha} - \frac{igR}{2\alpha}$$

今 α を 1 m/sec^2 として次の路線に關して之を求めたり。

混合交通路線第一種 $l=60.25-0.448 R^{0.8592}$

同 第二種 $l=37.80-0.775 R^{0.6767}$

自動車交通を主とする路線第一種 $l=60.25-1.314 R^{0.6708}$

同 第二種 $l=37.80-2.27 R^{0.4884}$

6. 道路横斷形

路頂高の決定及横斷形の曲線の比較を行へり。

(1) 路頂高は各種路面に應じ經驗上一定限度を定めたるも今表面平滑にして凹凸なき路面は雨水の流速係數大なるを以て之を低く定め得べく、路面材質の交通に對する磨耗抵抗大なる路面は耐久性大にして、その横斷形狀の變化を受くる事少きが故に路頂高を低く定め得べく、輪帶との摩擦係數 (w) 小なる路面は滑りの危險を考慮して路頂高を低くとるべきものとし後者は(水路として)の粗度係數 (γ) に伴ひて變化し得るものと考へらるゝが故に次式を求めたり。

$$i=5.14 \gamma^{1.146} w^{0.645}$$

(2) 横斷曲線は路面流水深を一定とする場合は三次拋物線を理論的とするも路頂部分が平坦すぐる傾向あり従つて之より低次の拋物線及双曲線にして路幅 1/4 の點の路頂よりの下りを $\frac{3}{8}$, $\frac{3}{7}$ とするもの、直線勾配を有し路頂部分を圓形、拋物線を以て結合するものを比較すれば双曲線形は路頂部分に於ける勾配も相當量を有し交通量大なる部分の水深小にして交通量少き部分に大に路端より幅 1/4 員點に至る區間は殆んど直線に近似し實際的に有効なる結果を示すものとす。

二次以下の拋物線は双曲線に近似し直線勾配を有する復曲線形と共に施工を便宜とする便法なり。

(3) 車輛に及ぼす影響は、その滑りに關しては横勾配の量により速度の制限を受け剛體なる四輪車の一輪が輪縁と路面と接觸せざる場合は二次拋物線 $d=2aRGh/2$ にて表はれ之より低次の拋物線はその間隔更に大なり従つて低次拋物線及双曲線は車輛が路面に及ぼす作用増大す。車輛も一部之に應じて歪曲を受くるが故に進路を可及的路線と並行ならしむるを要す。

7. 路面

路面として必要な性質を、動荷重に對するもの、經濟的のもの、交通者及沿道住居者に對するものとして各々之をあげ、之に關して行へる試験結果にもとづき路面選定方法を求めたり。

(1) 路面に及ぼす車輛及輪帶材質の影響

(a) 輪帶と路面との接觸面に於ける單位壓力強度は輪帶材質及路面の性質により異

り、輪帯の直径、輪幅、弾性係数、ポアソンス比、路面材質の弾性係数、ポアソンス比及輪重により異り空気入輪帯は内部空気圧により異なるも今一般に夫々空気入、ソリッド及鐵輪帯を有する乗用自動車、貨物自動車、荷馬車がコンクリート舗装上に及ぼす単位壓力強度を求むれば、各 3.4 kg/cm^2 13.04 kg/cm^2 荷馬車取締令規定のもの 93.75 kg/cm^2 在來地方規定のもの 117.50 kg/cm^2 にしてその比は約 $1:4:28:34$ となり鐵輪荷馬車の及ぼす影響極めて大なり。

瀝青舗装に於てはその温度により異り鐵輪荷馬車が 20° , 30° , 40°C に於て各 23.4 , 20.16 , 16.50 kg/cm^2 の壓力強度を表し之に對し彈性限度は 40°C に於て 20 kg/cm^2 にして殆ど前者と一致し更に温度上昇すれば可塑性變形を生じ牽引抵抗は増大し路面破壊作用の促進するものと考へらる、従つて鐵輪帯に對する瀝青舗装は彈性限度大なる配合強度を必要とす。

空気入輪帯は空気壓 1.4 乃至 2.8 kg/cm^2 に於て單位面積壓力強度 2.52 乃至 3.81 kg/cm^2 となり他種輪帯のものに比し著しく小なり。

(b) 輪帯材質の牽引抵抗に及ぼす作用は鐵輪帯が路面に及ぼす變形量大なるが故に最も大にしてゴム輪帯に比して著しく大なり。

路面磨耗を生ずべき輪帯の單位幅當り剪力は荷馬車大にして貨物自動車之に次ぎ乗用自動車最も小なり。

(c) 貨物自動車は輪重最も大にして舗装としての強度は支持力を考へて之により決定すべく路面に及ぼす単位壓力強度は鐵輪荷馬車最も大にして路面材料としての強度は之により決定すべきものとす。

(2) 路面の運輸經濟上の價值につき試験結果より次の關係を求めたり。

(a) 路面凹凸係數

Vialog は車輛の彈條の振動により間接的に路面の凹凸程度を測定するものなるが故に bumpometer 長 1 m のものにより直接に測定せる結果と比較すれば Vialog の記録凹凸係數は bumpometer 記録の 5% を表示せり。

bumpometer によれば瀝青舗装に於ける平均一ヶ所の凹凸量 0.25 cm , 波長 0.80 m を示し車體の一振動周期の間に進行する距離と略一致せり。

(b) 衝撃係數

路面凹凸係數と衝撃係數との關係は次式を得たり。

$$I = 0.125 + \frac{R_1}{450}$$

(c) 牽引抵抗

路面凹凸係數と牽引抵抗との關係に對して次式を得たり。

一般式 $R = R_0 + 0.75 \times 10^{-3} R_1^{0.46} V^2$

貨物自動車 瀝青鋪裝 $R = 10.51 + 1.75 \times 10^{-3} V^2$

木塊鋪裝 $R = 9.04 + 2.42 \times 10^{-3} V^2$

砂利道 $R = 13.00 + 5.24 \times 10^{-3} V^2$ 良好路面

$R = 22.70 + 17.10 \times 10^{-3} V^2$ 普通路面

乗用自動車 鋪裝 $R = 15.58 + 2.28 \times 10^{-3} V^2$

砂利道 $R = 18.57 + 2.27 \times 10^{-3} V^2$

鐵輪荷馬車 砂利道 $R = 27.3 + 26.20 \times 10^{-3} R_1$

又は $R = 27.3 + 1.64 \times 10^{-3} R_1 V^2$

荷馬車の場合路面凹凸係數と速度の關係は次の如し。

$$R_1 = 38.2 \left(\frac{V - 3.96}{0.765} \right)^{3.62} - 87.8$$

瀝青鋪裝は路面溫度により著しく牽引抵抗を増大し荷馬車に對して 26°C 以上に於ては 1°C 毎に 1.31 kg/ton を増大せり。

(d) 自動車ガソリン消費量

ガソリンの化學的勢力が路面抵抗に打ち克つ有効働に費さるゝ割合は貨物自動車は鋪裝に於て 4.64 % 砂利道 7.27 % 乗用自動車は同じく各 4.66 % 5.79 % に過ぎず。

従つて路面構造の影響を受くる事少く更に各機關の熱効率と同様に機械能率も異にするが故に同一基準に立ちて比較し難きも、試験結果より經濟効率 ton km/lit を求め路面抵抗との關係を次式の如く求めたり。

$$T = 16.59 e^{-0.016R}$$

(3) 路面選定方法

路面種別の決定は道路交通が一般經濟を目的とするが故に道路費と車輛費との總計に於て最小なるを要す。

(a) 道路費は用地費土工費用地幅維持費、路面築造費に對する利子、經濟的壽命の期

間に於ける路面費の損失に對する年金、交通費に應ずる維持費を包含すべく混合交通に於て自動車交通量 70 % 荷馬車交通量 30 % の場合交通費と道路費の關係を求めたり。

(b) 車輛費は購入價利子、維持費、運轉費、償却費を定めて ton km 當りの車輛費を求め前記交通量の場合の車輛費を求めたり。

運轉費は試験結果にもとづき次式によれり。

$$\text{自動車 } C_t = C_0 \left(a + b \frac{e^{bR_1}}{e^{bR_0}} \right)$$

$$\text{荷馬車 } C_w = C_{w0} \left(a + b \frac{R_w}{R_0} \right)$$

(c) 各種路面に於ける道路運輸交通費を前記の混合交通量の場合に求むれば、砂利道は一日一車線交通量 180 ton 以下の場合に最も經濟にして塗裝道は同 180 乃至 210 ton の場合經濟なり 210 以上は鋪裝を經濟とす。

然るに塗裝と瀝青マカダム鋪裝とを比較すれば前記混合交通の場合は一日一車線 400 ton 以下は塗裝を經濟とし之れ以上はマカダム鋪裝を經濟とす、而して此場合に於て瀝青マカダム鋪裝よりも他種鋪裝を經濟とせり。

一般にコンクリート鋪裝は運輸費少く經濟なるを示せり。

8. 道路設計の基本に就て

本邦に於ける各種車輛の性質に應ずる混合交通路線の幅員勾配線形及路面構造に關して合理的設計を立てんとすれば、専用路線の場合に比して、幅員は交通能力著しく減じ幅員擴大の必要多く勾配及び線形は疾行車及緩行車の要求が互に相反し共に満足なる設計を立つるは相當多額の經費を要すべく、横斷勾配を一に適當と定むれば他に適當ならず何れにするも不充分なるを免れず、路面材質に關しては鐵輪車がより硬質を要求し兩者を満足なる性質を與ふるは經費多大なるを要す。

然るに本邦に於ける緩行車は馬匹に對する特殊なる國情とその勞銀が比較的低廉なるとにより疾行車の増加率大なるに比するも、尙將來に互り激減するに至らざるべく從つてその經濟價值に鑑み局部運輸に使用するを適當と考へらるゝが故に、道路設計の基本は局部交通に對しては混合交通を目的とし通過交通に對しては疾行車を目的として之を立つるを適當と信ず。

土木試験所出版圖書

報告

- 第一號 {路面及勾配が馬車運送に及ぼす影響に就ての研究
中間報告。瀝青質材料並瀝青質混合物に關する研
究第一報} 大正十四年三月發行
- 第二號 {瀝青質材料針度に就て} 大正十五年一月發行
- 第三號 {「ヴァイアログ」に依る路面凹凸測定。瀝青混合物
に關する研究。「アスファルト」合材混合の際に於
ける「アスファルト」の粘度に就て} 同 二月發行
- 第四號 {急硬セメントに關する試験報告} 同 五月發行
- 第五號 {簡易舗装に關する試験報告} 昭和二年三月發行
- 第六號 {混凝土及鐵筋混凝土抗扭力試験報告} 同 五月發行
- 第七號 {八幡製鐵所副産部製品、瀝青質材料、瀝青質舗装、
「セメント」類及揮發油に對する「アスファルト」の
可溶率等に關する試験成績} 同 七月發行
- 第八號 {瀝青質材料標準試験方法。石材料標準試験方法} 同 十月發行
- 第九號 {急硬性「セメント」に關する試験。「ソリデイティ
ット」の耐壓強度に關する試験。「ブロック」に關
する試験。高知縣黒龍川産砂に關する試験。多摩
川産砂利及砂に關する調査。石材料試験成績} 同 十一月發行
- 第十號 {路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て (第一)
道路橋振動試験} 昭和三年三月發行
- 第十一號 {瀝青滲透ブロック試験成績。舗装工事用サーフェ
ス・ヒーターの碎石に及ぼす影響に關する試験。
常願寺川産砂に關する試験} 同 七月發行
- 第十二號 {アスファルト・ブロック試験成績。合種アスファ
ルト・ブロック比較試験成績。石油アスファルトとコ
ール・タール・ピッチとの混合物に關する試験。瓦
斯爐及炭炭爐タール及ピッチに關する試験成績。瓦
ス・タール・ピッチ中の純瀝青に就て大氣中に
於けるアスファルト・セメントの變化。石炭瓦斯の
アスファルト・セメントに及ぼす影響。標準砂モル
タルの強度に及ぼす火山灰及石粉の影響} 同 四年一月發行
- 第十三號 {ポートランドセメント混凝土舗装の磨耗試験。橋
梁用敷板強度試験。舊橋鐵材の腐蝕に關する調
査。舗装用鑄鐵ブロック磨耗試験} 同 五月發行
- 第十四號 {瀝青乳劑及ビチユマルス舗装に關する試験
瀝青滲透ブロックに關する試験
瀝青質材料の滲透性に關する試験
瀝青質材料の粘度及膨脹係數に關する試験} 同 十二月發行
- 第十五號 {北上川降開式轉動堰模型試験。電氣銲接法による
鐵筋の接合。現場打混凝土の耐壓試験報告} 同 五年二月發行
- 第十六號 {路面の構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て
(第二)。瀝青滲透ブロック舗装試験。工事用石材
試験成績} 同 五月發行

(注意) 裏面=續ク

第十七號 {路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て(第三)} 昭和五年五月發行

第十八號 {混凝土鋪裝の粗骨材別磨耗比較試験。鋪裝混凝土工に及ぼす氣象作用の影響並に之に應ずる設計及工法に就て(一)。鬼怒川上流改修工事用角礫凝灰岩砂利及砂に關する試験。鐵筋混凝土道路橋設計資料。各種土木工事用材料試験成績} 同 十月發行

其 他

本邦道路橋輯覽

大正十四年十二月發行

本邦道路橋輯覽(增補)

昭和三年三月發行

昭和五年十一月一日 印刷

昭和五年十一月五日 發行

內務省土木試驗所

東京市本郷區駒込上富士前町二十六番地

電話小石川(85)五五〇〇番

東京市本所區鯉橋一丁目二十七番地ノ二

印刷者 井 上 源 之 丞

東京市本所區鯉橋一丁目二十七番地ノ二

印刷所 凸版印刷株式會社本所分工場