

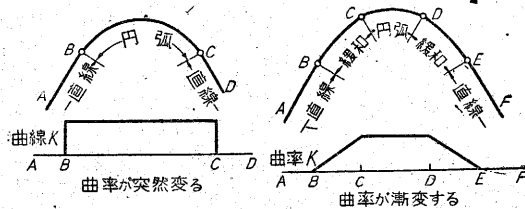
カーブを曲る自動車の動きについて

—動きの實測と道路構造の影響—

星 堃 和

道路上を走る自動車の動き、特にカーブを曲る時のハンドルの切り方を記録して、道路構造との関係を調べて見た。自動車と道路を一體と考えて初めて快適なドライブ道が生れる。

近代的高性能をほこる自動車も道路が悪くては、水なき魚の如く無力であつて、道路あつての自動車、自動車あつての道路なのであるが、道路の改良はいつも自動車の發達に伴わないうらみがあつた。自動車の普及につれてまず問題になつたのは、路面工法の改良であつた。アスファルトやポルトランド、セメントを用いる舗装工法の發達はこの問題に一應の解決を與え、その結果自動車が高速を出そうとした時、突當つた第 2 の問題は道路の急屈曲や急勾配や狭い幅員などであつた。幾何學的な構造とよばれるこれらの構造の研究にはかなり重要な問題が未だ解決されないうまま残されている。最近歐米で論議を巻き起している道路屈曲部すなわちカーブの設計法などはその好例で、圓弧を直線に直接させるのが從來のならわしであるが、その接續部では曲率が不連続に變ることになるので(第 1 圖参照)、高速で走る自動車に支障を



第 1 圖 緩和曲線の效果

與える。そこで圓弧と直線の間曲率が漸變する緩和曲線 (Transition curve または Easement curve) を入れる必要が起り、一部ではすでにそのような設計法が採用されているところもあるが、緩和曲線の長さや形を決める方法に定説が未だない。今までもつとも広く採用されている方法はショート (Shortt) の説にもとづくもので、鐵道でも用いられている。

ショートはカーブを走る車に加わる横向き遠心力がある限度を越すと乗客に不快な感じを與えるものと考えた。

今カーブの半徑を R m, 車の走る速さを v m/sec とすると、遠心加速度は v^2/R となる。緩和曲線を通過するに要する時間を t 秒とすると、遠心加速度の増す割合 C は

$$C = (v^2/R) \div t \text{ m/sec}^3$$

これから C が與えられた時の所要時間は

$$t = v^2/CR \text{ 秒}$$

従つて緩和曲線の長さ L は次のようになる。

$$L = vt = v^3/CR \text{ m}$$

ショートは經驗的に C を 1 呎/秒³ (0.3 m/sec³) にとれば十分であるといつている。鐵道では大體この値を採用しており、道路ではやゝ大きな値をとることが多い。

とところが最近このような設計方法は少くとも道路ではあまり意味がないといひ出した人がある。英國のレーミング (Leeming) は加速度計を自動車に取付けてカーブで自動車に加わる横向きの加速度の變り方を實測した結果、乗心地を支配するのは主に最大の加速度そのものゝ値で、 C はあまり影響しないと主張している (文献—1 参照)。實測の結果によると、それぞれのカーブについては C の値がほゞ一定に保たれるとみなしてよいが、その C の値はカーブ毎に異なつている。ということは運轉手がハンドルを回す速さはそれぞれのカーブでほゞ一定しているが、カーブの半徑が異れば變化し、大體急なカーブ程速くハンドルを廻すことが認められた。またカリフォルニア大學のスマルノフ (Smirnoff) は片勾配の影響を考へて緩和曲線の長さを設計する方法を提案した。 (文献—2 参照)。

自動車交通の發達している米國でもこの程度であつて土地が廣く割合に平坦なところでは道路構造に十分なゆとりをとり、多少の無駄があつてもさほどのことはないと思われるが、わが國では全く事情を異にする。ギリギリの巾員、合理的で完全なカーブや勾配をとつて、一寸の土地もむだに使わぬという心構えがある。

先にもこの問題について解説し、私見を述べたことがあるが (文献—3 参照)、カーブを通過する自動車の運動状態を實測して、自動車が實際どのように運轉されているかの一例を示し、それと道路構造との關係を検討した結果について概略説明して見ることにする。

カーブする自動車の運動を測る方法

これまでに用いられた方法をあげると大體次の三つになるようである。

1. 加速度計で横向きの加速度を直接測る方法。レーミングが用いたことはすでにのべた。速度は別に測る。
2. 自動車の走行経路を路面上にプロットして、あとで測量をする方法。毎秒の位置を點で落せば速度も決定できる。わが國にもイズズ自動車會社の考案がある。
3. 高いところから見下して連続寫眞をとり、自動車

の徑路と速度を寫眞の上から判定する。

これらの方法にはそれぞれ得失があるが、こゝでは一々述べないことにする。

筆者らが用いた方法は上述のいずれでもなく、前例も聞かないのであるいは全く初めての方法かも知れない。

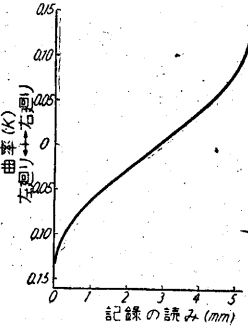
使用した装置はハンドルを回した時、自動車の前輪が廻轉する運動をステアリング、アームからレバーと齒車によつて機械的に導いて、車中に据えた記録用紙にペンで自記させるようにしただけの簡単なものである。この自記装置は同時に時間とアグセルおよびブレーキの動きを記録するようになってゐる。

この装置の検定であるが、實測の結果は第2圖のようになった。この圖に示した曲率 K は後車軸中心點が畫く軌跡の半徑 R の逆數で、實際に測つたのはハンドルの廻轉角 ψ と内側後輪の廻轉半徑 R' であるから

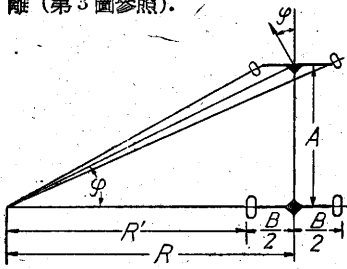
$$R = R' + (B/2)$$

$$K = 1/R$$

こゝに B は左右後輪間の距離 (第3圖参照)。



第2圖 装置の検定



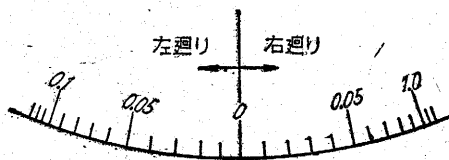
第3圖 曲率 K ($=1/R$) と操向角 ϕ の關係

従つて第3圖に示した操向角 ϕ は $\tan\phi = A/R = AK$ から求まる。こゝに A は前後車軸間の距離である。

ハンドルの廻轉角 ψ は操向角 ϕ にほぼ比例するようになっていて、試験に用いた車では ϕ よりむしろ $\tan\phi$ に比例し、倍率は平均 23.5 となつた。すなわち

$$\psi = 23.5 \tan\phi \approx 23.5 \phi$$

検定の結果第4圖のような物指を作つてデータを整理することにした。



第4圖 曲率を求める物指

試験に用いた車はニッサン 180 型トラックをバス型に

改装したのも一臺だけで、これから述べる試験結果は嚴密にはこの種のトラックやバスにだけ當はまると考える方がよい。

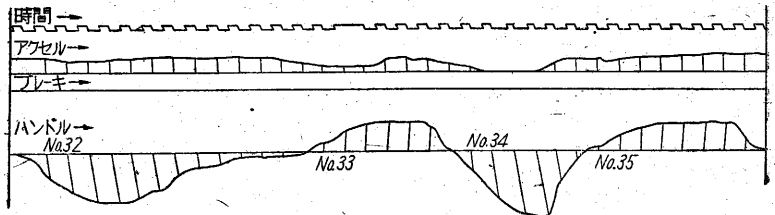
實測の場所と實測の結果

箱根越えの國道で實測した例について述べよう。試験區間の距離、勾配、曲率および試験車の走行速度などは第1表に示した。

第1表 試験區間の速度と道路構造

區 間	塔澤一宮下	峠一三島
距離 (m)	4904	15790
時 間 (秒)	803	1708
平均速度 (m/sec)	6.11	9.26
標高差 (m)	288	810
平均勾配 (%)	5.88 (上り)	5.13 (下り)
最急勾配 (%)	9.2	8.9
屈 曲 角 (rad)	74.1	97.4
平均曲率	0.0151	0.0062
最大曲率	0.10	0.04
路 面	鋪裝路	砂利道

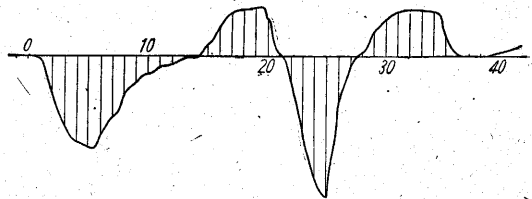
箱根國道を選んだ理由は、急カーブと急勾配が連続して測定に便利なことと、道路構造の詳細が判明しているので、その影響を検討することができると考えたからで、後に述べるようにカーブを曲る時の車の速度を推



第5圖 記録の一例(上り坂)

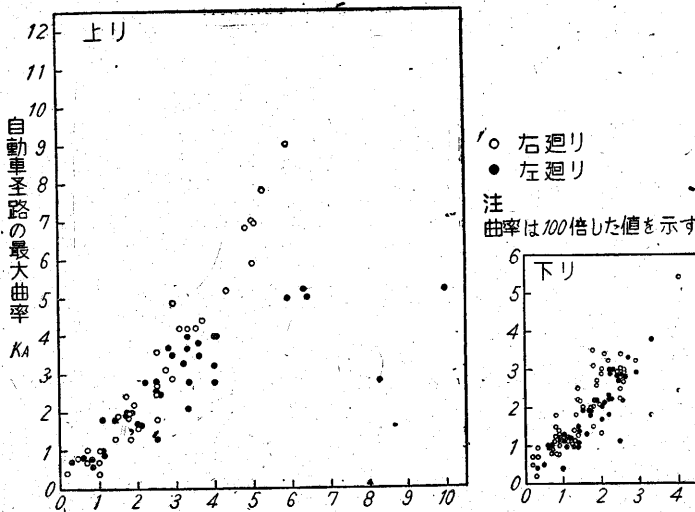
定することができて極めて好都合であつた。

實測の結果得られた記録の一例を示すと第5圖のようになる。第4圖の物指を用いてこれを整理して、曲率と時間の曲線(假に $K-t$ 曲線と名付ける)を作ると第6圖のようになる。

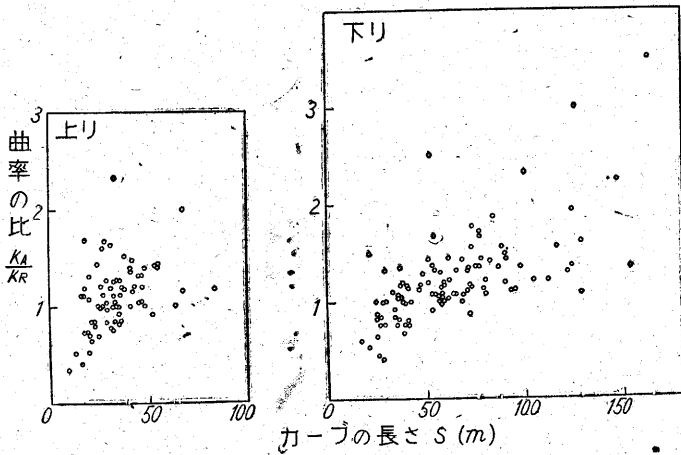


第6圖 曲率の時間的變化を示す曲線 ($K-t$ 曲線)

自動車の走行徑路の最大曲率 K_A と道路中心線の曲率 K_R を比較すると第7圖に示すように、大體兩者比例して、走行徑路の最大曲率の方がいくぶん大きいもの

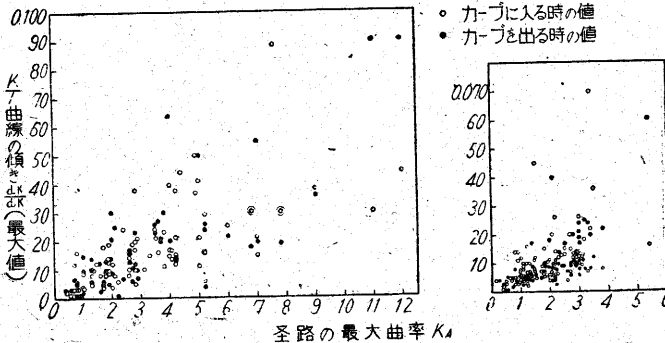


第 7 圖 道路カーブの曲率 K_R



第 8 圖 カーブの長さによる曲率の比の變化

が多いように見えるが、中には目立つて小さいものもある。これにはカーブの長さが関係するよう思えたので両者の比 K_A/K_R を作つて、カーブの長さとの関係を調べて見たのが第 8 圖で、明かにカーブの長さが小さい時に比が小さく、大きくなるにつれて比は 1 より大きくなる傾向を示す。つまり短いカーブを曲る時、自動車は道路の曲率より小さな曲率で、曲る傾向がいちじるしく



第 9 圖 $K-\dot{\phi}$ 曲線の傾き(ハンドルをまわす速さ)

長いカーブでは逆になる傾向があることがわかつた。此の最小値は 0.4、最大値は 3 以上になつている。

次に $K-\dot{\phi}$ 曲線の両端での傾き dK/dt であるが、それぞれの曲線についてカーブに入るところと出るところで最大値と思われるものをおさえて見た。

ハンドルを廻す速さは $d\phi/dt$ で表わされ、前に述べた関係を使うと

$$d\phi/dt = 23.5 A dK/dt$$

となり、曲線の傾きはハンドルを廻す速さを表わすことがわかる。A は前後車軸間の距離で試験車では 4 m であつた。

第 9 圖は曲線の傾き $d\phi/dt$ と径路の最大曲率 K_A との関係を調べて見たもので、曲率が大きい程大きくなつている。つまり急なカーブを曲る時ほどハンドルを廻す速さは速くなる傾きがあることを示している。この點はレーミングの報告とよく一致している。 dK/dt の最大値は 0.09 であるから、これをハンドルの廻轉速度に直すと

$$d\phi/dt = 23.5 \times 4 \times 0.09 = 8.46 \text{ rad/秒} \\ = 485 \text{ 度/秒}$$

となつて、毎秒 1.35 回轉することになる。しかし多くは毎秒半回轉以下である。

カーブに入る時と出る時の速さをくらべると上り勾配では出る時の方が、下り勾配では入る時の方がいく分大きめに突出しているが、その差は明瞭ではない。

自動車の走行速度の推定

この試験ではやゝ長い区間毎の走行速度は距離計の読みや實測距離と経過時間とからその平均値を出すことができたが、カーブを曲る時の自動車の速度は曲率によつて影響され、急カーブでは速度がいちじるしく低くなる。瞬間速度の實測を是非實現したいと考えるのであるが間に合わなかつたので、(カーブごとの)大體の平均速度を推定するため次のような方法を探つた。

計算上の假定はカーブを通過する前後で自動車の方向角の變化と道路中心線方向角の變化が等しいとしたことである。つまりカーブに入る時と出る時に、車體の長軸は道路中心線に完全に一致していると考えた。この假定はカーブがたがいに近接している場合には當はまらないことが起り得るけれども、その間に相當長い直線部分をはさんでいる時はまず適當なものと思われる。

自動車の方向角の變化は曲率 $K=d\theta/ds$ を

距離 s について積分すれば得られるが、今求まっているのは時間 t との関係であるから、速度 v を入れて

$$\theta = \int K ds = \int K \frac{ds}{dt} dt = \int K v dt$$

としなければならない。 v を平均速度のようなものと考えて一定とし、積分記號の外へ出すと、上述の假定から θ が道路中心線の交角 Δ に等しいとおいて次式を得る。

$$\Delta = v \int K dt$$

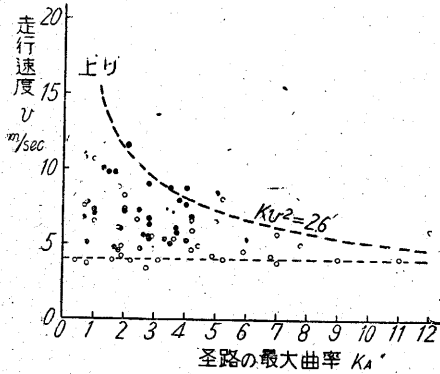
式中の積分は $K-t$ 曲線の面積であるから、これを F とおくと、

$$v = \Delta / F.$$

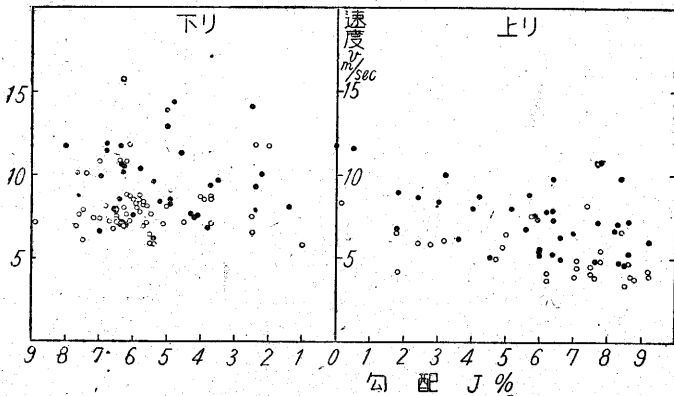
v は速度の算術平均値ではないが、幾分最低値に近い平均の速度を與えることになる。このようにして求めた速度を用いて二三の検討を行った。

速度をふくむ諸因子の検討

まず速度と曲率との関係を見ると、第10圖からわかるように速度の下限は曲率に無関係には一定して上りで4 m/sec、下りで6 m/sec 前後であるが、上限は曲率の増大と共に低くなつていく。この上限は遠心加速度 Kv^2 が 2.6 m/sec^2 となる線にほぼ沿つていくことがわかつた。



第10圖 速度と曲率の関係

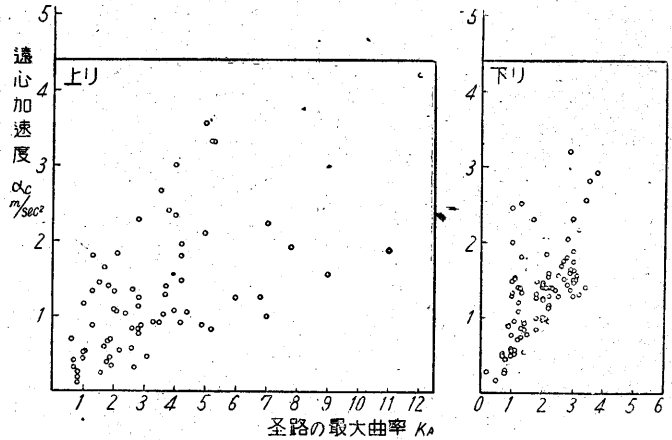


第11圖 速度と勾配の関係

次に勾配の影響を見ると、第11圖に示されるように下り勾配から上り勾配へかけて速度の一般的な低下が見られ、下りの急勾配部でもやや下り気味に見える。中間の平坦部の點が少ないのと曲率の影響も併せて入つていくことから一定の傾向を指摘しにくい。曲率と勾配の影響を全く分離して測定して見る必要がある。

車體に加わる横向き遠心加速度の最大値 α_c は $\alpha_c = Kv^2$

から求められる。第12圖はその結果を示したもので、



第12圖 遠心加速度の値

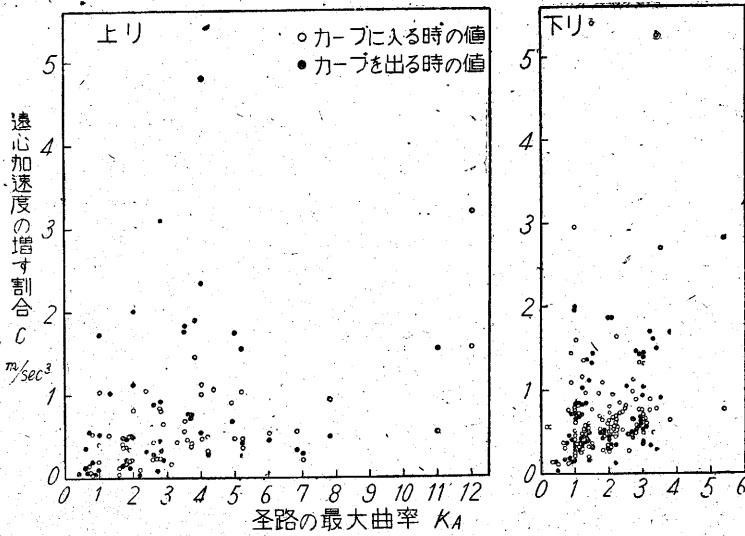
α_c も曲率とともに大きくなる傾向が認められる。最大値は 4 m/sec^2 にも達するが、大部分は 2 m/sec^2 以下である。急なカーブでは路面の外側端を高くして片勾配をつけているから、遠心加速度を 2.6 m/sec^2 とすると、片勾配6%の時、 $0.06g$ を差引いて、實際車に加わる横向きの加速度は 2 m/sec^2 となり、實測値がこれを越すことはまれである。

終りに遠心加速度の増大する割合について調べて見よう。これを C とすると、 v の變化を無視すれば

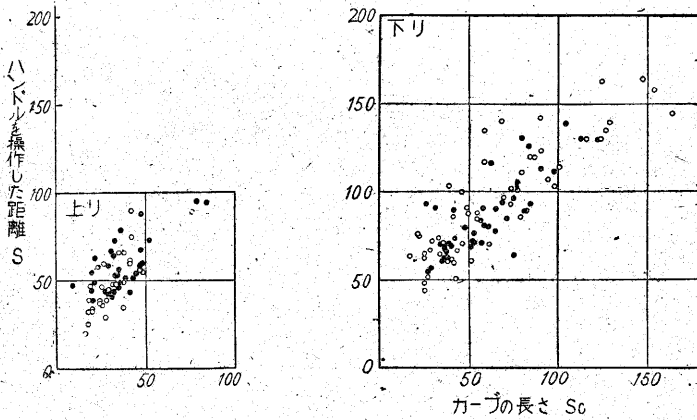
$$C = d\alpha_c / dt = v^2 \times dK / dt$$

となる。第13圖から、曲率が大きくなると C もいくぶん大きくなるようであるが、むしろ関係がないと見る方が妥當なようである。

C の最大値は 5 m/sec^3 以上に達していて、大部分は 2 m/sec^3 以下、普通 1 m/sec^3 以下が多いようである。 C の値と乗心地との関係は調べて見ないので判らないから、 C の値を基準にして緩和曲線を設計することの可否はしばらくおくとしても、ショート提案する 1 呎/秒^3 (0.3 m/sec^3) は道路では低すぎるようである。その2倍ないし3倍程度の値は実際にしばしば起つていくことが推測される。



第 13 圖 遠心加速度の増す割合



第 14 圖 ハンドルを切り初めてから元にもどすまでに経過する距離

なおハンドルを切り初めてから終るまでの所要時間に速度を掛けると経過距離が出る。これと道路屈曲部の中心線長、つまり圆弧部分の長さを比較すると、第 14 圖のように経過距離の方がずっと長くなつていて、その差は 10 m から 60 m の間にある。時間にすると 1 秒から 6~7 秒、平均 3~4 秒分だけ長いことになる。このことは緩和曲線の長さを決める時に参考にしてよいと思われる。

道路構造についての問題

以上の結果から道路構造と関連する点を拾つて見ると長さの短い急カーブを入れると、自動車はこのカーブに従わないで、もつと緩なカーブを畫いて曲る。このような現象は長さが 50 m 以下で起り得るから、カーブの長さをそれ以上に選ぶことが望ましい。

カーブを通過する自動車は車體に加わる横向きの加速度が 2 m/sec^2 以上にならないように速度を調節している。従つて設計にはこの値に相當のゆとりを見て最小半

徑を決めるべきであろう。

緩和曲線を確定できるだけの十分なデータは得られなかつたが、従來基準となつてゐる C の値はかなり廣い範圍に變り得ることがわかり、かつ一般に豫想より大きな値を示した。経過時間が 3~4 秒となるよう緩和曲線長を選ぶのも一案と考えられる。

従來緩和曲線を入れない場合はこれに代る緩和切線などでがまんしていたわけであるが経路が横にずれる移程 (Shift) の量などと考へても合理的な曲線を入れて緩和の實效をあげるべきで、曲線の形としては螺旋角 θ が距離の二乗に比例するクロソイド (Clothoid) が最も適してゐて、表を用いれば計算も樂にできる。獨立したカーブの場合だけでなく、カーブとカーブが近接している時ぼつちの間にも緩和曲線を入れるべきである。

この研究は當研究所第 5 部交通工學研究室と建設省土木研究所道路研究室が共同で行つた科學試驗研究費による研究の一部で、建設省谷藤、樽井兩技官の援助によることが多かつたことを記して深謝の意を表する。

(1951・8・29 受)

文 獻

- (1) J. J. Leeming: The General Principles of Highway Transition Curve Design, Transactions, A.S.C.E. paper No. 2350 Vol. 113, 1948. p.p. 868~880.
- (2) M. V. Smirnof: Analytical Method of Determining the Length of Transition Spiral. Proc., A.S.C.E., Nov. 1949, p.p. 1283~1286 Discussion. Proc., A.S.C.E., Vol. 76, Sept. 1950
- (3) 星整和: 自動車輸送と道路造機, 生産研究 2 卷 12 號, 昭 25 年 12 月, 6~10 頁

化學機械協會出版物案内

(東京都中央区銀座 6 の 4 交詢ビル 609 號, 振替東京 131518)

當協會は會誌の他に化學機械・化學工學に関する圖書を多數刊行しています。その中主なものを紹介すると、

化學機械 年 8 回刊行の會誌で、27 年度からは月刊となる豫定。會費現在 500 圓、明年より 600 圓の豫定。

化學工學と化學機械 年刊で長編論文と綜説を収録。1950 年版は B 5 版、236 頁、450 圓 (凝縮器の最經濟條件、窯爐内輻射傳熱論、液々攪拌、遠心分離、真空技術等)

最近の化學工學 毎年一回開催する講習會講義錄。尖端技術を平易に解説した單行本としても價値がある。1951 年版、A 5 版、198 頁、350 圓 (耐火材料、高壓筒、電氣化學的防蝕法、收塵裝置、自動調節、高真空蒸溜等)

化學工學便覽 本邦化學工學の決定版、A 5 版、560 頁、850 圓