

の有無は多大の関係を有し即ち換言せば避難處の面積の最小限度を低下せしむる上に多大の効果ありたるの事實を確認することを得たり (完)

道路運搬に関する費用の理論と算出方法

(Engineering News-Record, Jan. 10, 1924)

道路運搬に關して經濟上の比較を爲すには道路自身に對する費用ばかりでなく通行車輛の費用も考慮に入れなければならぬ實際兩者の間には密接なる關係があり單獨に考へることが出來ないのである總運轉費即ち眞の道路運搬費は車輛費と道路費との和であり決して一方のみでは成立しない

道路費の經濟的理論

道路費の年額を算出する公式は多々ありと雖も茲にはMechanical and Electrical Cost Data" (McGraw-Hill Book Co.) のうちにある Gillette 及 Dana 兩氏の提案せる公式を用ふる私は夫が大體に於て誤りのないものであつて且道路技術者にとつて適用が容易であると信ずるからである (私の同僚のうちには烈しい異議を唱ふる者もあるが)

路面の工費

道路の經濟的壽命を超へない間は路面の一年の費用は次式にて算出される

$$C = M + (I - S)f + IR \dots \dots \dots (1)$$

上式に於て

C は路面單位面積の經費年額

M は路面單位面積の平均修繕費年額

I は監督費及雜費を含める路面單位面積の建設費

S は經濟上の壽命が盡きたときの路面の單位面積の價格

f は年 4 分の復利にて路面の經濟的壽命に等しき期間内に 1 弗となるべき年積立金

R は道路費に適用し得る利率にして茲には 4 分を取る

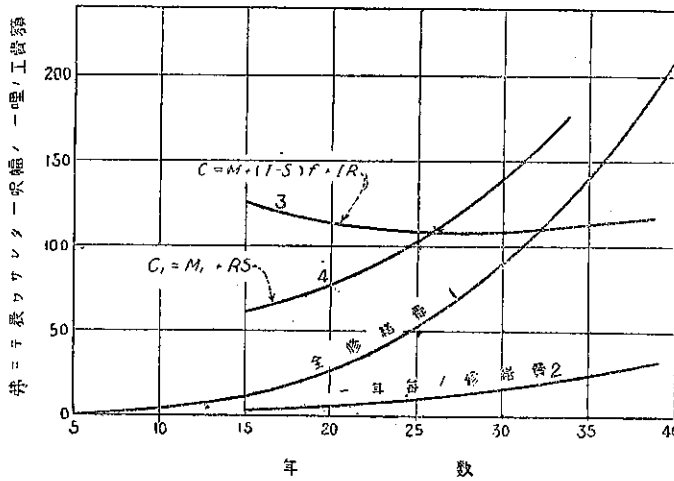
幅員 1 呎毎の長 1 哩の 1 年間の路面經費が決定されるならば車輛の噸哩の費用は路面 1 呎幅に於ける車輛の 1 年間の平均總噸數で其の工費を割るならば得らる

最初の工費

此方法に依り舗装の請負金額を決定するのが普通である然し夫には監督費及雜費を加へなければならぬ監督費及雜費は州道路工事で順調に進んだときに3%都市工事の場合に約10%迄である正確なる數の得られぬ場合には5%は相當の平均値として採用しても可なり

第一圖

路面費及路面修繕費の曲線



修繕費

修繕費の記録は大抵不完全で又全經濟的壽命間の修繕費曲線の作れる程長期間の調べは得難いから之を決定するは困難である第一圖に於て1曲線はニューヨーク州バフアラウに於ける舗装道路の或る部分の數年間の平均修繕費を示せるもので修繕費の大體の觀念を與ふるものである若し此が直線でない場合は路面の經濟的壽命間の平均1箇年修繕費には時を考へに入れなければならぬ即ち先づ毎年の修繕費が路面の經濟的壽命の最後迄に復利法の元に積み立てられたとしての金額を計算して夫を總て加へ合し路面の經濟的壽命の間にそれ丈を償却し得る年金を定める斯くして出された年金が第一公式の M である若し直線であるならば明かに M は年修繕費と等しいのであるから單に平均することに依りて算出される

使用後の残存價額

路面の残存價額は構造の種類及改良舗装の種類に依りて著しい額となることもあるし零となることもある即ち板或は塊舗装の混凝土が新しい舗装に其の儘利用

されることもあるし新しい舗装の厚さを元のマカダム又は砂利道を幾分利用して薄く造ることもある一般に残存價額は現存の舗装を利用したときと舊路面は利用せず全く新材料で造つたときとの差である故に新しく築造した場合は残存價額はない譯である

交通量

其の道路を通行する車輛の交通量の1年間の平均數は亞米利加に於ては長き間の組織的調査を爲せることなきを以て決定に困難である英國の技術者は寧ろ此の點に於ては優つて居る修繕費を計算するときに要する交通量の正確なる調査の無いときには交通量を推定して算出せざるべからず但し其の時には其の路線の通ずる地方を充分に熟知して居る經驗ある技術者に依るに非らざれば何等價値なきものなるべし

經濟的壽命

道路面の經濟的壽命は經費年額が最小となれるときに得られる路面を注意して修繕するならば夫が經濟的壽命に達した後でも使用に耐へるけれども其の修繕費は壽命を大ならしむべく努力するよりも路面を取換へた方が經濟的である事が證せられるであらうこの關係から修繕は路面の最大使用能力まで路面を保護すべきものであることが解る若しも不適當なる修繕路面に無理に車輛を通ずるならば自動車運轉費が増加して其の費用の負擔は自動車所有者に移つて來る

經濟的壽命の最終には路面舗装は其の残存價額迄低下し最早積立金を考ふる必要がないから經濟的壽命を超えたときの道路の經費年額は次式に依りて算出し得

$$C_1 = M_1 + RS \dots\dots\dots(2)$$

上式に於て

C_1 は路面の經濟的壽命經過後或る期間内の路面單位面積に對する經費年額

M_1 は右期間内の平均年修繕費

R と S とは前式と同様の符號である

經濟的壽命の算出

路面の經濟的壽命は公式1及2で實際に計算して見出される即ち公式1にて新しい路面の價値が見出される公式2にて現存路面の價値が解る然して C_1 が C_0 より大となるときは其の路面の經濟的壽命は過ぎて居るのである

維持修繕を適當に行ふときは舗装の新舊に係わらず同一の交通量と考へ得るを

以て經濟的壽命を算出するには交通量を考へに入れる必要なるべし

今第一圖の1曲線は修繕費を表わすものとする現存路面に換わる新舗裝の工費は1平方ヤード1.55弗で其の殘存價額は零である現存路面の最初の工費は1平方ヤード3.3弗で其の殘存價額は1.75弗である總ての計算に於て利子は年4分で復利とする

現存路面の經濟的壽命を20年25年30年と夫々假定して順にCの値を算出して第一圖の3曲線の各點を求める

亦經濟的壽命が20年であると假定されるならば公式2に依りて21年目の經費が決定され25年なれば26年目の經費を算出し得然して第一圖の4曲線の各點が得られる

斯くして得たる3曲線及4曲線の交點は即ち求めんとする舗裝の經濟的壽命にして27年なることが判明する27年目に於けるこの舗裝單位面積の年額が1.1弗でこの壽命に於ける交通量が判明しないが同様な地方の他の舗裝道路との比較から1年1呎幅に付て6,000噸と見積られるから交通量1噸に付1哩1呎幅の年道路費は殆ど2セントである

相異なる道路築造に對する適用方法

州に依りては道路の築造は長い年月に亘り區切區切に行われる若し各區間が充分に保護されて夫が經濟的壽命に達したときに取換へられるならば其の道路系のうちにある各路面構造の修繕に對する平均年支出は殆ど理論的に一構造として平均されたものと同一である此一路線の道路の實際の年經費を計算するには他の要素が見積られて居るから大抵の場合に於て各構造毎の實際の平均修繕年經費を用ひても充分に正確なるものを得ることが出来る

如何なる行政區域に於ても各路面の構造毎に路面の平均經濟的壽命は交通の密度に應じ實例に徴し相當のものを採らざるべからず猶修繕費殘存價額及其他の要素に對しても各路面の大部分に共通なる狀態を總合して充分なる實例に基き平均のものを決定しなければならぬ

公にせられた資料が少ないのでそれ程正確なるものは作り得なかつたけれども第一表は種々の記録を集めて色々の構造に對する大凡の平均値を假りに定めたものである従て何れの州又は市にも此表はしつくりと合致しないであらうが夫は唯表の作り方の説明に提供されたに過ぎないからである然し適當の計算の基礎資料

第一表 一呎幅の路面一哩に付ての道路費の見積弗額

名	路面の構造			路面の構造			路面の構造			路面の構造		
道路の區域	普通	最良	最良土	普通砂利	水締マカダム	瀝青マカダム	シートアスファルト入瀝青混凝土	ポットランドセメント混凝土	燒過煉瓦			
土	90.00	75.00	100.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00			
區域内の修繕	2.50	2.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50			
路面の修繕	$\frac{150 + \frac{A.T.}{3,000}}{W}$	$\frac{250 + \frac{A.T.}{3,000}}{W}$	$\frac{A.T.}{3,000}$	$\frac{500 + \frac{A.T.}{3,000}}{W}$	$\frac{500 + \frac{A.T.}{3,000}}{W}$	$\frac{350 + \frac{A.T.}{4,500}}{W}$	$\frac{100 + \frac{A.T.}{4,500}}{W}$	$\frac{80 + \frac{A.T.}{6,000}}{W}$	$\frac{50 + \frac{A.T.}{6,000}}{W}$			
路面費	100.00	200.00	700.00	1,000.00	1,000.00	1,800.00	1,850.00	1,950.00	2,200.00			
殘存價格	50.00	300.00	400.00	400.00	400.00	1,250.00	1,250.00	1,250.00	1,250.00			
壽命	6年	7年	15年	20年	20年	30年	30年	30年	30年			

* W=呎にて表わされた通行に供せらるる路幅
 ** A.T.=噸で表わされた自動車年數

がないときには勘からず参考になるのである

修繕費と交通量との關係

路面の修繕費と交通量との間には一定の關係のあることは認められるが普通修繕費のうちに交通量の増加に對する影響は考へない或る場合には其の費用の増加は實際に交通量の増加に基因して居ても路面の壽命を大きくとり過ぎたと考へて居た

丁度手に入つた記録から交通量と修繕費との關係が次の式から得られることが證せられる

$$\text{平均修繕費} = K + \frac{\text{平均年交通量(噸)}}{P}$$

此 K 及 P は全く不定で其の値は氣候と交通の狀態に依りて異なるアイオア州に於ては次の様な値を採用せり

	K	P
普通土	150	3,000
最良土	250	3,000
普通砂利	300	3,000
最良砂利	500	3,000
水締マカダム	500	3,000
瀝青マカダム	350	4,500
シートアスファルト及瀝青混凝土	100	4,500
ポットランドセメント混凝土	80	6,000
硝化煉瓦	50	6,000

附隨經費

路面の経費は今迄述べたが道路の實際の費用は尙附隨経費を加へなければならぬ故に路面の年経費は各異なる附隨経費毎に適當なる價を公式1に挿入することに依りて算出すべきものである

道路敷に於ける諸費

道路敷内の諸費の項目としては芝草を刈る費用側溝を掃除する費用浸蝕に對する保護費或は修繕費其他類似の費である夫等の費用は年毎に大なる變化はないから毎年同じものとして其の平均経費は路面に用ひられる修繕費に含めて用ひて宜しいこの費用は土の種類と氣候の状態とに依りて異なるけれども幹線道路に於ては1年1哩50弗から150弗の間である

($I-S$) f なる項を道路敷に適用するに就ては澤山の議論はあるだらう古くから築造されて居る道路の場合には其の道路敷は附近の土地から取られて若し其の道路が廢棄されたときには元に返却されたから實際 I と S とは等しくして($I-S$) f なる項は消滅する若しも道路敷が購われた場合には其の殘存價額を推定することは甚だ困難であるが大體は最初の價額に等しくなるか或は夫より大きくなると考へた方が適當である又道路の廢棄は滅多にないことであるから其の場合を考慮する必要は先づ無からう其の道路敷が長い期間用ひられるときには f が非常に小さくなりて道路敷費の年額に影響は無くなる故に一般には($I-S$) f なる項を零とし甚てだしい誤差は生じない

最後に IB なる項は良く間違の原因となる道路敷が寄附されたものでも或は附近の地域から取られたものでも價額は持つて居るものと考へるを至當とす然して其の價額は道路築造當時の價額に關せず現在其の土地が持つて居る價額と考ふるを至當とす

前述の結果道路敷に因る運搬費の各項目中殘るものは修繕費と利子の二つのみである

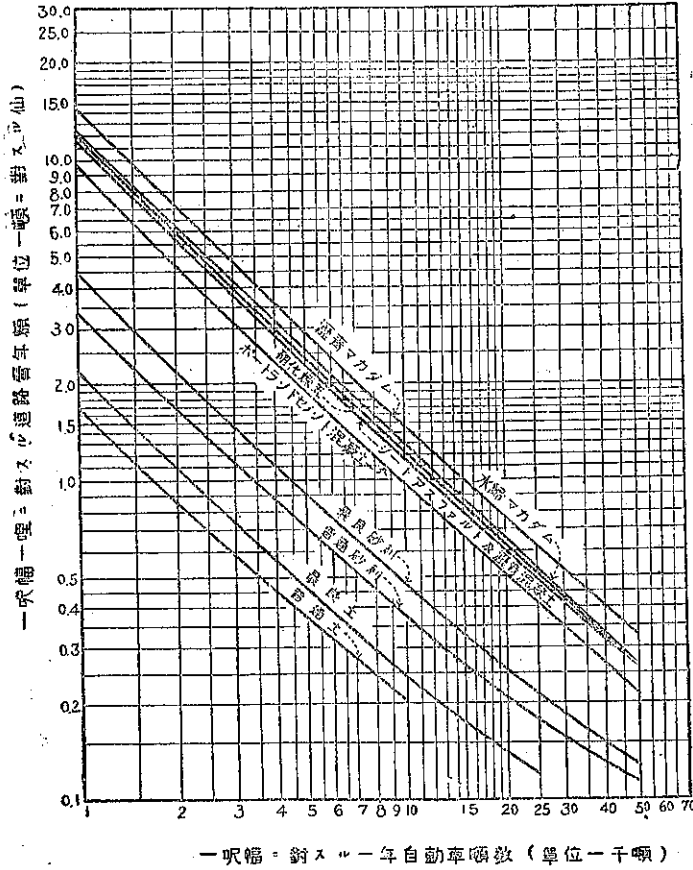
同様に橋梁暗渠道路標識其他種々の附帶物に對し負擔すべき運搬費を算出することを得之等の計算から出て來た費用年額に路面の費用を加算したものは即ち道路の築造並に維持費に因る運搬費である

全道路費

前述の方法に依り第一表の數字を基礎として橋梁及暗渠の如き非常に變化のある項を除いて路面構造の各種に付き幅員1呎に付年費用を推定するに第二圖に示

第二圖

種々路面 = 對スル自動車費曲線



すが如し各構造の路面に對する比較上の全運搬費を實質的に變へることなしに夫等の費用のうちに著しき誤差の存在することが後程解る

車輛費の經濟的理論

車輛運轉上の全費用の公式(1)を變形した次の式に依りて算出し得

$$C_v = \frac{M_v + O_v + (I_v - S_v)f + IR}{T_v}$$

上式に於て

C_v は經濟的壽命に於ける噸哩に付き車輛の平均經費

M_v は經濟的壽命内に於ける車輛1年間の平均修繕費

O_0 は經濟的壽命内に於ける車輛1年間の平均運轉費

I_0 は車輛購入費

S は經濟的壽命の最後に於ける車輛の價額

f は年6分の復利を用ひて車輛の經濟的壽命に等しき期間内に1弗となるべき積立金

R は車輛購入費に對する利率にして年6分とす

T_0 は車輛平均1年間の仕事噸哩

車輛に付て之れ等の費用の項目が解れば實際の經濟的壽命と運轉噸哩に對する平均費用とが算出される

多くの車輛を使用する場合の費用

道路上を通る車輛は數多きのみならず其の種類も亦多し加之運轉手の熟練と巧妙さとの相違があるから道路運搬費は澤山の車輛の平均を基礎としなければならぬ車輛費も其の道路に用ひられてる各種の車輛の平均をとらねばならぬ若し總ての車輛が正當な運轉と注意とを以て(夫等は得られないかも知れないが)其の車輛費を最低にするならば其の平均値は車輛運轉の眞の費用を表わすであらう數種の車輛平均運轉費には道路運搬費の經濟的計算に依り算出せるものならざるべからず如何に注意して算出するも個々の車輛に對して運轉費の正確なものを算出することは出来ない

道路の構造と車輛費との關係

路面の構造及狀態と燃料油輪帶維持修繕費並に償却資金との間にはある關係のあることは一般に認められる然し正確なるものは長い間の調査をしなければ解らないアイオア州土木試験所及ミシガン州道路局に於て行ひし回轉抵抗に關する研究の結果路面の回轉抵抗と車輛の燃料費との間には一定の關係があることを知る此結果に基き路面の種類並に狀態と各種車輛の消費する燃料との間の大體の關係を示すこと第二表の如し

或る論文のうちに H. S. Carter 氏は(現在アイオア州大學土木工學科の教授)各種の用に供せられて居る 1,000 臺の貨物自動車に對して其の運轉費を調べたる結果全運轉費と燃料費との比は意外にも運轉狀態の廣範圍に於て一樣であり又全費用に對する運轉費の比は全く車輛の各階級を通じて一致することを見出せるを發表して居る此關係は車輛運轉費報告に於て二、三確かめられたるものはあるが充

第 二 表
平均輪展抵抗及依りて生ずる燃料消費

空氣抵抗と輪展抵抗との和の平均値	空氣抵抗と輪展抵抗に依りて生ずる燃料消費				抵抗の單位を一噸に付80封度として路面の抵抗に依りて生ずる燃料消費額			
	中實輪帶 一時間 100哩	空氣入輪 帶一時間 150哩	空氣入輪 帶一時間 250哩	空氣入輪 帶一時間 350哩	中實輪帶 一時間 100哩	空氣入輪 帶一時間 150哩	空氣入輪 帶一時間 250哩	空氣入輪 帶一時間 350哩
ポートランドセメント混凝土、最良、新しく竣功せしもの	30	22	27	35	1.00	0.89	0.96	1.07
ポートランドセメント混凝土、粗未なる工事に依るもの	36	30	35	22	1.08	1.00	1.00	1.16
ポートランドセメント混凝土、平均に宜しき状態	32	27	32	39	1.02	0.96	1.02	1.12
瀝青混凝土、粗粒のもの 平均年温度、最良	30	25	30	37	1.00	0.78	1.00	1.09
瀝青混凝土、粗粒のもの 平均年温度、平均	33	27	32	39	1.04	0.96	1.02	1.12
シニアスファルト 平均 年温度、最良	28	23	28	35	.97	0.91	0.98	1.07
シニアスファルト 平均 年温度、平均	30	30	35	42	1.8	1.00	1.07	1.16
瀝青自地の煉瓦、平均表面近くに填隙材なきもの	30	26	31	38	1.00	0.95	1.01	1.11
モルタル自地の煉瓦 平均	37	30	33	45	1.09	1.00	1.11	1.20
填隙材の少ない木塊 平均に一様の表面	35	30	34	40	1.07	1.00	1.05	1.13
砂利最良、粒土目地	40	35	40	47	1.13	1.07	1.13	1.23
砂利、粗悪な細粒、表面が粗雑で窪のあるもの	55	50	55	62	1.33	1.27	1.33	1.42
砂利、粗悪な状態、凸凹ありて澤山のこわれたところのあるもの	60	55	60	65	1.40	1.33	1.40	1.47
砂利、アイオアリツツ概略年平均	50	45	50	57	1.27	1.20	1.27	1.36
自然土、良刻なるもの構造宜しく番人の修繕するもの	45	35	40	47	1.20	1.07	1.13	1.23
自然土、軟かきもの(幾分海綿状のもの)	70	70	75	80	1.54	1.53	1.60	1.67
自然土、アイオアリツツの概略年平均	55	45	50	58	1.33	1.20	1.27	1.37
礫、2吋厚、良く固められたもの	55	50	50	58	1.33	1.27	1.53	1.37
礫、約4吋厚、幾分固められたもの	75	70	70	58	1.60	1.53	1.53	1.37
礫、約4吋厚、幾分固められたもの、車に鎖を附す	75	70	70	58	1.60	1.53	1.53	1.37
最良に舗装せられたものの平均、混凝土、瀝青、煉瓦、本塊	30	22	27	37	1.00	0.83	0.96	1.09
幾分磨損せる舗装の平均、同上の構造、平均状態	35	30	35	42	1.07	1.00	1.07	1.16
車道の之に用ひらる最良砂利構造の年平均	45	40	45	55	1.20	1.12	1.20	1.33
第二級道路にある普通の砂利道の年平均	55	50	55	65	1.33	1.27	1.33	1.47
輕自動車に對する修繕の行届た道の年平均	65	60	63	75	1.47	1.40	1.44	1.60
重自動車に對する修繕の行届いた道の年平均	55	50	58	65	1.34	1.27	1.31	1.47

分決定的のものではない多くの車輛の運轉手は總運轉費中燃料費が其の大部分を占むるを以て燃料の消費に對しては最大の注意を拂ふを常とする

車輛運轉費に對する路面の状態と種類との影響を知るには運轉費は燃料費に比例し又各種路面に於ける車輛運轉費の比較値は次式の關係を有することを假定し得べし

乗合自動車を除いた商業用自動車に付き

$$C_i = 0.5C_b + 0.5C_b F_i/F_b$$

乗合自動車に付ては

$$C_i = 0.4C_b + 0.6C_b F_i/F_b$$

乗用自動車に付ては

$$C_i = 0.25C_b + 0.75C_b F_i/F_b$$

此處で

C_i は或種の路面に對する全車輛費

C_b は比較の基礎とせる舗裝に對する實際の費用（回轉抵抗は一噸に付 30 封度と假定する）

F_i は C_i を決定せる舗裝上を走るときの燃料消費割合

F_b は標準と定めたる路面上を走るときの燃料消費割合

第 三 表
車輛運轉費（單位噸哩に付仙）

路 面 構 造	車輛の種類と速度			
	中貨輪帶貨物 自動車 速度 一時間 10 哩	空氣入輪帶自 動車 速度 一時間 15 哩	専用自動車 速度一時間 25-35哩	乗合自動車 (一哩仙) 速 度一時間25哩
平均ポートランドセメント混凝土 瀝青を充せる煉瓦 最良ポートランドセメント混凝土	8.0	8.3	10.0	24.0
硝青を充せる煉瓦	7.75	7.7	9.3	22.5
最良砂利（年平均）	8.5	8.8	10.9	25.3
普通砂利（年平均）	9.0	9.4	11.8	27.3
良く修繕されたる水締マカダム	8.7	8.95	11.1	26.0
良く修繕されたる瀝青マカダム	8.5	8.8	10.6	25.7
普通のシートアスファルト（年平均温度）	8.1	8.3	10.0	24.0
普通の瀝青混凝土（年平均温度）	8.0	8.3	10.0	24.0
良く自動車て固められた混凝土（年平均）	9.0	9.4	11.7	27.8
軽い自動車の通る普通土（年平均）	9.5	9.95	12.6	27.6

燃料消費割合

第三表は各種舗装上を走るときの各種車輛別總運轉費を示す此表を作るに際して運轉費の標準となるべきものを定めるために各車輛に付き多くの實例を基礎として造りたるものなり標準舗装以外の舗装に對する費用は前説明の如くにして得らるる表には下級の路面に對して運轉費の比較値を全部掲げてある然して此表は又比較の爲めにも用ひて宜し

第 四 表

全運搬費年額（單位一哩に對して弗）

（假定 噸數の90%は乗用自動車、10%は貨物自動車、貨物自動車の半分は空氣入輪帶にして他の半分は中實輪帶）

18 呎 路 面

	1 呎幅に對する自動車通行年噸數					
	2,000	5,000	10,000	15,000	25,000	50,000
普通土	4.672	11.411	22.524
最良土	4.520	10.718	21.049	31.378	52.043
普通砂利	4.761	11.016	21.442	31.863	52.718	126,000
最良砂利	4.649	10.434	20.056	29.711	48.992	97,182
水縮マガタム	6.166	12.597	21.171	31.691	51.325	103,319
瀝青マガタム	6.391	12.032	21.413	31.162	47.577	96,507
シートアスファルト	5.635	10.951	19.812	28.674	46.363	90,702
瀝青混凝土	5.632	10.947	19.805	28.661	46.373	90,648
ポートランドセメント混凝土（平均）	5.253	10.582	19.415	28.266	45.967	90,225
同（最良）	5.011	9.956	18.204	26.451	42.941	84,173
硝化煉瓦	5.682	10.990	19.843	28.691	46.395	90,648

車輛費と道路費との合計

各種路面に於ける噸哩當り車輛費と交通量噸當り道路費が解れば其の和は道路運搬の全費用である

斯して得たる全費用は交通の量と性質とに依りて變化するから一般の表は作られないが比較の出来る性質の道路に付ては出来る第四表は前述の方法の結果を示すために上部ミシシッピ流域の諸道路に適用し得るものを示すのである表にある價額の關係は第二圖よりも寧ろ主として第三表の正確の度に依るものであるから其の地方に最も適當した車輛運轉費を採用する様に充分の注意を拂わなければならぬ（完）