

自動車輸送 と 道路構造

星 埜 和



道路の屈曲部、国道1号線戸塚附近

戦後わが国では今まで見られなかつた大型のバスやトラックがぞくぞく製作され、また小型車が街に氾濫しはじめています。この状況に對し道路の現状ははなはだ見劣りする。ここでは自動車輸送の増大とそれに対応すべき道路構造の問題を概観してみた。

1. 自動車による道路交通の發達

自動車による機械化された道路交通が實際に勢いを得たのは20世紀に入ってからであるが、その初期において本来馬車のための碎石道路はさんざんに打ち壊されて全く役に立たなかつた。空気入りタイヤの發明と近代的な各種の舗装工法はこの問題をほぼ完全に解決して、自動車の大型化と高速化を可能にした。さらに將來への發展のためには、市員の増大、急急配と急屈曲の緩和など道路構造の改良が急務とされる。

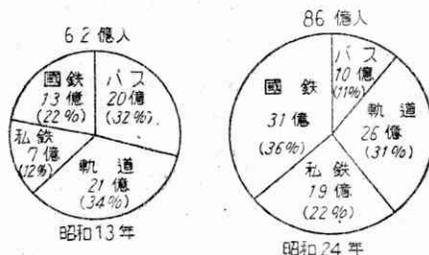
米國の道路改良は主に1920年代を中心として行われ、地方幹線道路の大半は往復2車線の舗装道路として完成を見たのであるが、今日の大型高速交通に對してはすでに全く不十分で時代遅れとなつている。また自動車數の豫想もできなかつた激増ぶりは、各所に混雑を引き起しことに都市内の街路交通はいたるところ大混亂を生じるようになったので、廣汎かつ精細な交通調査を行つて、道路網の再編成と新しい改良計畫に着手している。

自動車の平均速度は毎時80kmで、乗用車の速度は100kmを普通とし、最高速度の平均は140kmに達するといわれる。全米の自動車數は3,740萬臺に達し、一臺の年間平均走行距離は16,000kmである。地方道における貨物輸送量は年間1,400億t・kmと推定されている。

ひるがえつてわが國の現状を見ると、自動車總數は本年ははじめようやく30萬臺を突破して、戦後はかなり急激に増加する傾向を示し、昨年中の増加數は7萬臺に近い。その大半は國產車である。國產トラックの平均速度は40km、最高速度は80kmに達しない程度である。トラックによる貨物輸送量は年間約2億tで、戦前の2倍に近く増しているが、平均輸送距離は20km餘と推定されるので、鐵道にくらべた數で2倍、t・km數で5分の1に當る。米國の貨物輸送量にくらべるとt・km數で30分の1程度になる。

バスによる3年間の旅客輸送人員は戦前20億人、全

輸送人員の32%であつたのに對し、戦後は10億人と半減し全輸送人員に對し僅か11%にすぎず、十分な回復を示していない。(第1圖參照)

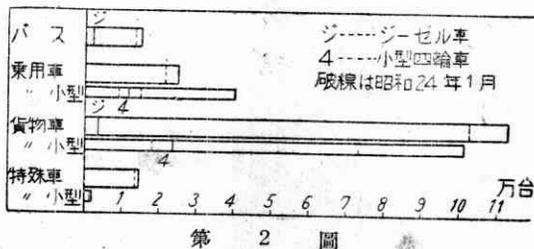


第1圖

わが國の自動車は戦後いちじるしい大型化の傾向を示すとともに、小型車の激増ぶりもまた目立っている。このことは道路の構造に重大な影響を與えるものと思われる。

2. わが國自動車の現況

わが國が現在保有している約31萬臺の自動車の内譯を見ると(第2圖參照)、貨物車が約70%を占め、その



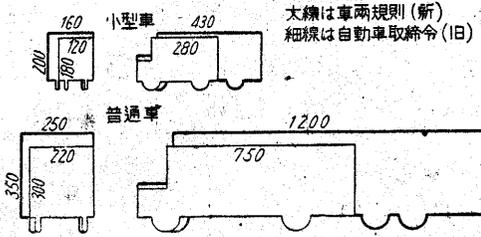
第2圖

半數近くは小型車である。乗用車は約20%、バスおよび特殊用途車がそれぞれ5%ずつとなつている。小型車の總數は14萬臺で自動車總數の半ばに達しようとしている。前年中の増加總數は6.8萬臺であるが、小型車は實にその80%を占めている。ジーゼル車は總數5,500臺で大型のバス、5t以上のトラックおよびセミトレー

ターをふくんでいる。

将来短區間における小單位の輸送には小型車が廣く用いられるようになり、比較的市の狭い道路も隅々まで利用されて戸口から戸口への輸送が可能になるものと思われる。他方大單位の長距離輸送は經濟上の見地から大型ジーゼル車によつて行われるものと豫想される。

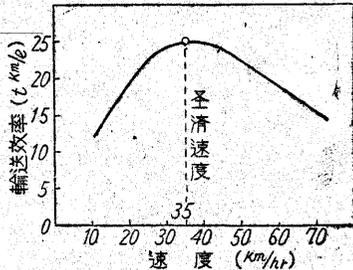
戦後大型化の傾向に即應して、自動車取締令が廢止され、新たに制定された車兩規則（昭和 22 年 12 月、運輸省令第 36 號）によつて法令上の制限も大巾に緩和された（第 3 圖）。セミトレーラー型バスで長さ 14m におよ



第 3 圖

ぶものがある。また總重量の制限は 20t であるが、セミトレーラー型トラックの最大は自重 8t、積載荷重 10t となっている。

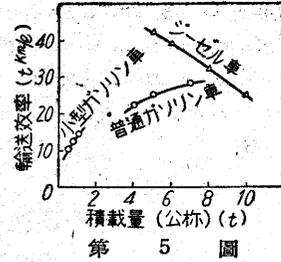
わが國のように燃料資源が乏しくその大半を輸入に待たなければならないところでは、燃料消費量を極力節約して、自動車交通の經濟化をはかる必要がある。今國産トラックを例にとつて燃料消費の問題を検討するに當つて、燃料 1l で運び得る貨物の t·km 數（例えば 5t を 6km 運べば 30t·km になる）で比較するのがもつとも解りやすいと思う。これを輸送効率と名付けると、輸送効率は車種によつて異なるのはもちろんであるが、積荷の量、路面の状態および速度によつて變つてくる。今公稱の全荷重で、最高級の舗装路面上を走行する場合を標準とすると、輸送効率におよぼす速度の影響は第 4 圖の



第 4 圖

ようになる。すなわち輸送効率を最大にする速度があつて、これを經濟速度と名付ける。國産小型車、普通車の經濟速度は 35km/hr 前後、セミトレーラーで 25km/hr 前後である。各種貨物車の經濟速度における最大の輸送効率は第 5 圖のようになる。

路面の状態が悪くなると、經濟速度が低くなるとともに輸送効率が下がる。その一例は第 1 表のようである。



第 1 表 路面状態の影響

路面状態	經濟速度比	輸送効率比
A 上級舗装	100	100
B { 中級舗装	80	77
上級砂道		
C { 下級舗装	70	65
中級砂道		
D 下級砂利道	60	58

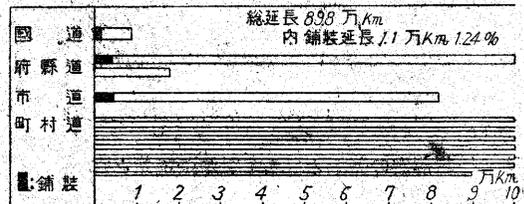
速度の影響は第 4 圖の例から知られる通り、とくに速度低下の影響がいちじるしいことに気がつく。

積荷量は輸送効率にもつとも直接的な影響をおよぼし空荷の時は輸送効率は 0 となり、半荷の時は 55% 程度になる。定量以上の積荷は輸送効率だけから見ると經濟的であるが、車體や路面の損傷を考えに入れると決して引合ふことにならない。

3. わが國道路の概況

米國の地方道總延長は 301 萬哩で、そのちようど半分 of 150 萬哩は何らかの處理を行つた改良路面を持つており、残り半分の中 67 萬哩は既改良ではあるが路面處理が行われていないし、全然の未改良延長として 84 萬哩が残されている。全延長の 1/4 に當る 75 萬哩が 1 級および 2 級の幹線道路として指定されるはずであるが、それを利用する交通量は全交通量のほゞ 90% に當るものと推定されている。

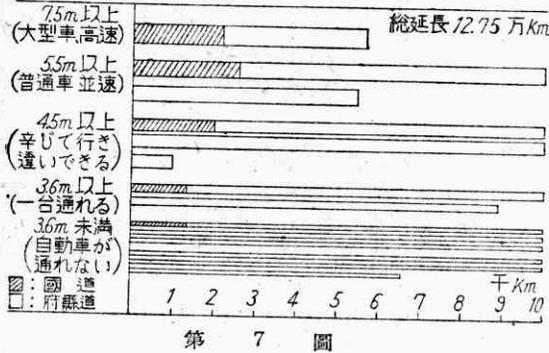
これに對しわが國道路の現況はどうであらうか？ 戦後發表された統計によると、わが國の公共の用に供されている道路の總延長は 90 萬 km でその中舗装區間の延長は僅かに 1.1 萬 km、1.2% 餘にすぎない（第 6 圖参照）。また 70% は自動車が通れないといわれる。



第 6 圖

全國道路網の中で國道、府縣道に指定され、その幹線

と見なされる道路が 12.7 萬 km あるが、その半ばに近い 5.6 萬 km は有効巾員が 3.6 m 以下で自動車の通行に
 適せず、残りの 7.1 萬 km の中 2.9 萬 km は自動車が一
 臺辛じて通過できる程度である(第7圖参照)。二車線道



第 7 圖

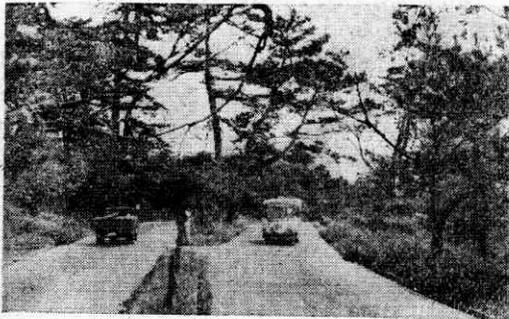
路としてどうやら自動車の行き違いができる最小限度の有効巾員 4.5m 以上の区間は 4.2 萬 km で、全体の 1/3 である。

わが國幹線の第一位にある國道 1 號線の中でもつとも重要と思われる東京名古屋間 377km について見ると、第 2 表に示すように、改良区間は半ばに達せず、舗装延

第 2 表 東京名古屋間國道の概況

	延長(km)	比率(%)
總 延 長	377	100
改 良 区 間	175	46
未 改 良 区 間	202	54
高 級 舗 装	129	34
簡 易 舗 装	30	8
3% 以上 勾 配 部	42	11
半 徑 100m 以下 屈 曲 部	33	9

長が簡易舗装を含めて 42% にすぎない。未改良区間の中には總巾員 5m 未満の箇所が 40km もある。



第 8 圖 國道 1 號線戸塚附近の往復車線の分離状況

4. 道路構造の基準となる自動車の種類と速度

近い将来においてわが國の自動車保有数が急増し、交通の質と量に劃期的な變化が起るものと豫想される時、現在の道路がこの變化に對してどの程度の適應性を示す

かを検討し、不適當な区間は緩急順位にしたがつて改良を進めることになると思われるが、その際、道路構造の基準となる自動車を想定する必要が起る。

従來の基準は巾 2.2m 長さ 8m 程度で、標準速度 60km としている。今日では少なくとも次の 3 種類を考えなければならないであろう。

車 種	車 巾	車 長
小 型 (乗用車, トラック)	1.6 m	4.5 m
普通型 (乗用車, トラック)	2.2 m	8.0 m
大 型 (バ ス, トラック)	2.5 m	12.0 m

またセミトレーラーを考える必要も起るであろう。

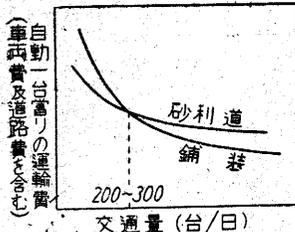
自動車の速度は經濟的な見地からトラックについて考えると現在 35km と見られ、將來に對する餘裕を見こめば 40% 増しの 50km をもつて基準とすれば十分のように思われる。この値は従來の 60km に對して退歩のように見えるが、現行の設計標準には不合理な點が多く、それによつて設計された道路で實際に 60km 出すことがむづかしい。だから設計方法の合理化をはかつて確實に 50km の速度を保證できれば、實際には 40% 増しの 70km 程度を出すことができるものと思われる。

わが國のように地勢の變化がはげしく山岳に富む地形では、常に基準速度を嚴守することは工事費が大となつて反つて不經濟となる場合があるから、やむを得ないとみとめられる時は、速度制限を考える必要がある。できるかぎり經濟速度 35km を割らないことが望ましいが急勾配部や急屈曲部ではその 70% を、また街角その他眞にやむを得ない箇所では 50% を最低速度とすることが許されるべきであろう。乗用車に對しては高速性に對する要求が特に大きいから基準速度を 70km に、セミトレーラーではこれを 35km にとると、次のような設計速度の表が得られる。

	最高 km/hr	基準 "	經濟 "	勾配 "	最低 "
乗 用 車	100	70	50	35	25
バス及びトラック	70	50	35	25	18
セミトレーラー	50	35	25	18	12

5. 道路上における自動車の運動

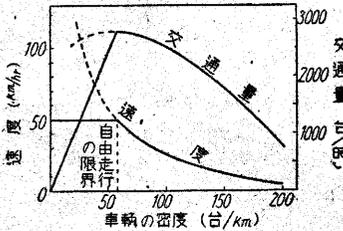
上に述べたような基準速度を實際にだし得るには、道路上で自動車が自由に運動できることが條件となる。運轉の容易さと安全さを確保し高速度を保とうとすると路面の状態はもちろん、巾員や屈曲、勾配の各部構造その他の施設がこれに適したものでなければならない。また交通量が大きな影響を持つことも見逃がすことができない。砂利路面や碎石路面はよく維持が行きとどいていれば良好な態状を示すけれども、普通高速交通に適しない



第 9 圖

し、また交通量が増すと維持費が急速に増して、舗装をした方が経済的になる。舗装が有利となる限界の交通量は色々な要素によつて變り、およそ 1 日 200 ないし 300 臺といわれる (第 9 圖)。

閑散な道路上では一臺の自動車が発路を自由に使用しているから、巾員の狭いことも構造上の不備もあまり苦にならないが、交通量が増すと片側一車線の中にしばり付けられることになつてはじめてそれらの缺陷が致命的になつてくるし、また緩速車が高速車にとつて邪魔になる。交通量が増して前後に追隨する自動車の間

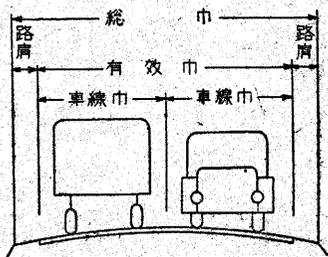


第 10 圖

隔が短くなるともはや自由な走行はできなくなつて、速度の低下をまねきかつ總交通容量が減退して混亂を生じるようになる (第 10 圖参照)。

このことは交通のはげしい街路においてしばしば見られる現象である。

いま交通のさほど激しくない地方道路についてだけ考えて見よう。自動車が自由に走行し得るための道路巾は車體の巾にある餘裕を見こんだ車線巾を往復分として 2



第 11 圖

倍したものを有効巾とし、さらにその兩側へ餘裕として路肩を加えたものを全路巾としてとる必要がある。(第 11 圖参照)。有効巾は基準速度中交通に對して、

小型車 4.5m、普通車 6.0m、大型車 6.6m 程度となる。路肩巾は有効巾に對しそれぞれ 10% 以上必要とする。屈曲部では車體の経路巾の増大に應じて路巾を擴大する必要が生ずる。

交通量の相當大きい道路では片側 2 車線往復 4 車線として高速車が緩速車を追越することができるようにし、できれば往復車線を中間地帯で分離すればヘッドライトの眩しさや衝突の危険を避けることができ安全さの上から理想的である。米國の近代的道路はこの標準によつてつくられている。(第 8 圖は日本の例)

自動車が道路上で高速をだし得るばかりでなく、常に

均等な速度で走行できることもまた欠くことのできない要件で、加速減速の回数が多いことは經濟上も保安上も望ましくない。そのためには構造上の急變をさげるとともに、道路上の見透しが十分廣かつ長いことが必要である。横合いから歩行者や他の車が突然現われるおそれがあつては安全な運轉ができない。この點は交叉道路の數がむやみに多いわが國の現状で高速度を發揮できない一番大きな原因となつていよう思われる。それだから横斷道路や接續道路はできれば立體交叉として分離すべきであるが、それがむつかしければ取付部分の構造を改善すべきであらう。

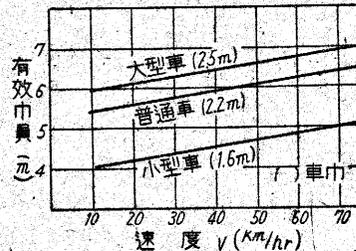
自動車が勾配部を登る時、勾配の度合に應じる抵抗を生じ、速度低下をきたすとともに、燃料消費量が増大する。勾配部を下る時には反對になるから、差引き平均すると勾配の影響は 2% 以下の緩勾配では餘り考えないでよいのであるが、2% を越すと速度と燃料におよぼす影響は無視できない。6% の勾配では平坦部の 2 倍の燃料を消費するという實測例がある。自動車の登り得る最急勾配はトラックに對し 10% と考えれば安全であらう。

勾配の變り目では自動車の進行方向に變化があり、車體は横向きの水平軸を中心として回轉運動をする。その時車體は回轉力と路面に垂直な遠心力をうけるから、それらの力が過大にならないようまた衝擊的に加わらないよう處置することが必要である。

自動車が屈曲部を廻る時、外側に向つて進行方向に直角な遠心力が加わり横滑りしようとする。急カーブでは路面の摩擦抵抗だけでこの横滑りを防ぐことはできないので、外側の路端を高めて内側へ向う直線の片勾配とする。その勾配の限度は從來 6% としているが自動車に對しては 10% 位まで許してよいと思われる。自動車が直線部から屈曲部に進入したまたはそこから出る際に、運轉手がハンドルを操作する餘裕を與えるため、また巾員を擴大し、片勾配をすりつけるなど構造上の必要から緩和區間を必要とする。緩和區間において自動車は垂直軸と水平な縦軸の廻りに回轉力をうけるから、それらの力が過大にならないようまた衝擊的に加わらないよう構造を定めなければならない。

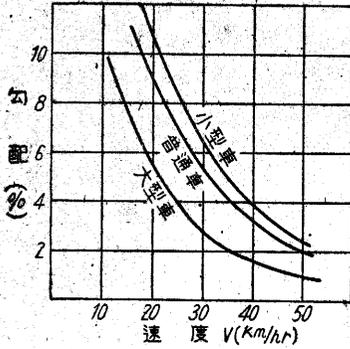
6. 自動車道路の構造

終りに自動車を主とする道路の各部構造について簡單



第 12 圖

に述べておきたい (詳しくは文献 8 参照)。路面は一應何らかの舗装をするものとすれば横斷勾配は簡易舗装で 4%、高級舗装で 2% を標準と



第 13 圖

速度に應ずる勾配の限度はトラックに對し第 13 圖から求められる。勾配の變り目に入れる縦斷曲線は二次拋物線、近似的には圓弧とする。従來の設計では遠心加速度 a を $2/7 \text{ m/sec}^2$ とおさえて、圓弧の半径 R を

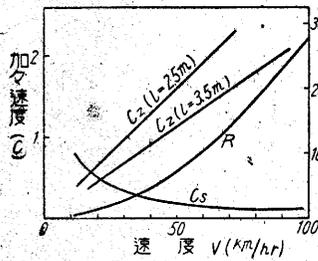
$$R = v^2/a \quad \text{こゝに } v \text{ は自動車速度 (m/sec)}$$

から求めている。

この場合に衝撃の度合を知るため、加速度の増す割合(加々速度)をしらべて見ると

$$\begin{aligned} \text{路面に平行な加々速度} & C_1 = ga/v \\ \text{" 垂直 "} & C_2 = av/l \end{aligned}$$

こゝに、 l は軸間距離、 g は重力の加速度、すなわち垂直加々速度 C_2 は l が小さく、 v が大きい



第 14 圖

時かなり大きくなる。 (第 14 圖)。

次に屈曲部の構造について考えると、速度に應ずる限界半径(片勾配をつけなくてよい限界の半径)

および最小半径は横滑りに對する安定の條件から次式で計算される。

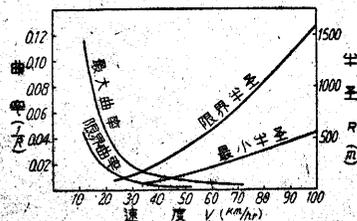
$$\begin{aligned} \text{限界半径} & R = v^2/g(f-i_0) \\ \text{最小半径} & R = v^2/g(f+i_1) \end{aligned}$$

こゝに f はゆるされるタイヤと路面の間の横滑り摩擦

係数(普通 0.08, 最大 0.20 程度), i_0 は横斷勾配, i_1 は片勾配。

計算の結果は第 15 圖を得る。

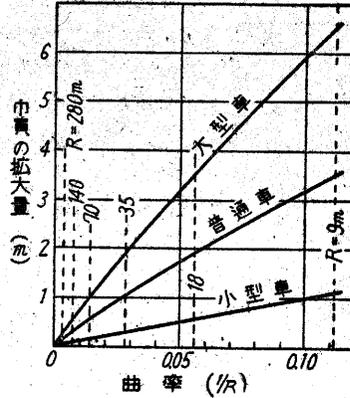
屈曲部半径に應じて有効巾員を擴



第 15 圖

大すべき量は車體の徑路巾の擴大量から求めるとおよそ

することができよう。横斷形状は双曲線形がもつともよいと思われる。道路の有効巾員は二車線の場合、中交通に對し速度に應じて第 12 圖から求められる。交通量の大小に應じて 30~50 cm の加減をすればよい。



第 16 圖

第 16 圖のようになる。大型車に對する計算値はセミトレーラーにも適用される、緩和區間に入れる曲線は従來三次拋物線やレムニスケイト等が用いられているが、螺旋角 θ が距離 s の二乗に比例するクロソイド曲線がもつ

とも合理的でかつ便利であると考える。すなわち、緩和係数を λ とおいて

$\theta = s^2/4\lambda^2$ とすると、曲率 $d\theta/ds$ は距離 s に比例し、二次微係数 $d^2\theta/ds^2$ は一定となる。

自動車の後車軸中心が、クロソイド曲線にそつて動く時、ハンドルを操作する速度に比例する前輪の回転速度、すなわち操向角速度 ω 、車體の回轉角加速度 β 、および遠心加速度の増す割合(加々速度) c はいずれもは一定になる。従來歐米においては加々速度 c を一定の限界に保つ條件から緩和曲線を設計している。すなわち

$$d^2\theta/ds^2 = 1/\lambda^2 = c/v^3$$

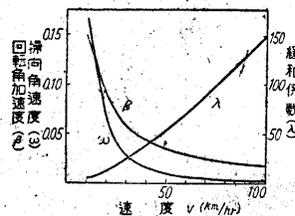
とすると緩和係数は次式のようになる。

$$\lambda = \sqrt{v^3/2c}$$

この場合に、

$$\text{回轉角加速度 } \beta = c/v \quad \text{操向角速度 } \omega = cl/v^2$$

はともに v が小さい時に大きくなる。今 c を 0.5 m/sec^3 とつて、計算すると第 17 圖に示されるようになる。



第 17 圖

β は十分にれば 0.02 rad/sec^2 , ω は實測によると 0.1 rad/sec 以下が望ましいとされるから、従來の設計は低速に對してきわめて不十分といわなければならない。わが國では従來緩和曲線を入れることすら稀で高速交通に對してさらに大きな障害を與えることになる。

文 獻

- (1) 南 瓜 喜: 我が國自動車の實態について, 道路, 昭 23-6
- (2) 南 辰 喜: 道路設計の對照としての自動車の現狀, 道路, 昭 24-7
- (3) 運輸省自動車局: 陸運月報
- (4) 自動車技術會: 國產自動車の性能試驗報告
- (5) 平尾 收: 國產自動車, 機械の研究, 1 卷 5 號
- (6) 星 益 和: 自動車道路の輸送力に就て, 道路, 昭 23-1
- (7) 星 益 和: 自動車のガソリン消費量を實測した結果(特に勾配の影響)について, 道路, 昭 24-10
- (8) 星 益 和: 自動車の運動と道路の構造, 道路, 昭 25-11, 12
- (9) American Road Builders' Association: A Discussion of Highway Practice in the United States of America Part 1, Part 2, 1948.