

道路交通流の測定法に関する研究

静電現象を利用した車両検出器と車両走行速度、車頭時間測定装置

北海道開発局 正員 高 橋 毅

北海道大学 正員 佐 藤 馨 一

北海道大学 正員 五十嵐 日出夫

は じ め に

道路交通現象を研究する場合、最も基本的な事項は道路上における車両の走行速度である。したがって、道路交通の研究は、車両の走行速度の測定から出発するといっても過言ではない。車両の走行速度の測定法は研究目的に応じ、多くの人によって、いろいろの方法が提案され、使用されている。しかし、それらは、非常に高価な機械を使ったり、取扱いが困難であったり、解析、計算が面倒であったり、又、精度が研究の目的に合わなかったり、実際に現場で測定する場合には、どの方法を採用したらよいか迷うことが多い。

本報告では、北海道開発局土木試験所が道路交通の調査研究を目的として開発した静電現象を利用した車両検出器とこれと組合わせ使用する車両走行速度、車頭時間測定装置についてその概要を説明する。

1. 速度測定法の原理と特徴

車両の走行速度の測定は基本的には次の3つの原理のいずれかによって行われている。

(1) 一定の距離 (L) の区間を通過するのに要した時間 (T) を測定し速度 (V) を計算する方法

この原理に基づいた測定法には、一定距離 (L) を通過するのに要する時間 (T) をストップウォッチで測定するもののほか、一定距離の両端に車両検出器をおき、車両の通過を自動的に感知して、これを記録紙上に記録し、これから時間を読み取る方法、または車両検出器間の通過時間を直接測定する方法などがある。この方法では、車両検出器の種類と性能、時間測定の方法と精度が測定結果の精度を支配する。ストップウォッチ法では測定区間を長くしなければ必要な精度は得られず、したがって交通量の多い場所では全部の車両を測定することは實際上不可能である。車両検出器として従来一般に用いられているものには、ゴムホース式、ループコイル式、光電管式、超音波式などがある。ゴムホース式は取扱いは容易であるがゴムホースが切断しやすく、また車種による感度の差が大きく誤動作の原因となる。光電管式は雪やホコリの影響を受ける。超音波式、ループコイル式は精度が悪い。路上スイッチ式はゴムホース式とともに路上に大きなカメラボコ形の路上スイッチやゴムホースをおくので運転者に心理的な影響を与える。などの問題点がある。

(2) 一定の時間間隔 (dt) の間に車両が移動した距離 (dl) を測定し速度 (V) を計算する方法

この原理に基づいたものとして、航空写真方式、パルスカメラ方式、モータードライブカメラ方式など、一定の時間間隔で写真を写して、その間に移動した距離を写真上から求め、速度を計算する方法がある。この方法では写真上の座標と実際道路の路面上の座標の変換が非常に難かしく (注1)、また写真上の座標の読み取りには熟練を必要とし、大量の観測データの解析には非常に長時間を必要とする。

(3) ドップラー効果を利用して車両の走行速度を測定する方法

この原理をもとにした測定法として、レーダースピードメーターを用いる方法がある。これは電波が移動物体にあたるとドップラー現象によって反射波の周波数が変化することを利用して、自動車の走行速度を測定するものである。この方法ではアンテナの取付高さや方向の調整が難かしく、これによる誤差を生じやすい。車種によって記録紙上に書かれる波形が変化し、記録紙上からの読み取りが難かしく、また、交通量の多い場合にはビーム照射角内の他の車両と区別できない。路側にアンテナを設置するので、運転者に心理的な影響を与える。電波法の規制を受け、無線従事者の有資格者が操作する必要がある。などの問題点がある。

2. 静電現象を利用した車両検出器

前項でのべた各種の車両走行速度測定法の問題点を整理すると (a) 精度、(b) データの読み取り、計算、(c) 機械の取扱い、が共通の問題であり、他に一定距離の通過時間を測定する方法では、車両検出器の種類が最も大きな問題である。さらに実際にいろいろの測定器を使用して、現場で測定した経験によれば測定時の気象条件による影響、とくに降雨、降雪、低温による障害が多く、また冬季の測定では、路面の積雪、氷結や自動車のスパイクタイヤ、タイヤチェーンなども大きな障害となった。また予期しなかった現象として、測定地点付近の送電線や放送波の影響を受けたこともあった。

このようなことから、我々は実際の道路上で、積雪寒冷の気象条件、各種車両の交通条件の下で使用できる、軽便で取扱いの簡単な、静電現象を利用した車両検出器を考案、製作した。この車両検出器は路上に設置するセンサーとセンサーからの信号を増幅する静電増幅器の2つの部分から成る。

(1) 静電現象を利用した車両検出器の原理とセンサー

車両検出器には、その構造から車輪に感应するものと車体に感应するものがある。ゴムホース式、路上スイッチ式などは車輪感应型であり、光電管式、超音波式、ループコイル式などは車体感应型である。ここで のべる静電現象を利用した車両検出器は、路上に設置したケーブルを自動車の車輪が踏んだとき、その衝撃で発生する静電圧を信号として利用するものであって、車輪感应型の車両検出器である。

乾いたガラス棒を絹布で摩擦すると、このガラス棒は紙片や毛髪などを吸引することは、よく知られている。一般に固体面と固体面あるいは固体面と液体面との接触や衝撃によって、その表面に静電気を発生する。これを静電現象または帯電現象という。各種のケーブルも外部から衝撃を与えると静電現象を生ずる。我々は、各種のケーブルについて実験をして、衝撃時に発生する静電圧とその周期について検討した結果、同軸ケーブルに生ずる静電現象は車両検出器として利用できると考え、この研究に着手した。

同軸ケーブルは内部導体として銅の単線またはより線などを用い、外部導体には銅編組線を使用しており、内外導体の絶縁物としてポリエチレンを、外被覆として塩化ビニールを使用しているのが普通である。

各種の同軸ケーブルを金属製の台板上に固定し、衝撃を与えたときに発生する静電圧をシンクロスコープで観察した結果、5C2Vまたは5D2Vは、0.2～0.5Vの静電圧が2～3msec周期の波形で発生し

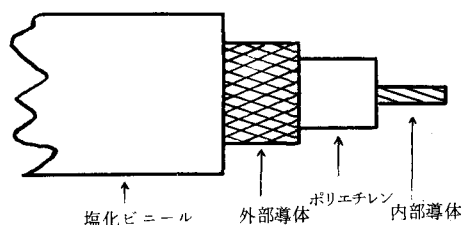


図-1 同軸ケーブルの構造

た。衝撃時の波形の立上り時間は0.5msec程度である。この結果を検討し、我々は路上に設置するセンサーとして、5C2Vまたは5D2Vの同軸ケーブルを用いることとした。同軸ケーブルは外径が細く、丈夫であり、類似の路上スイッチやゴムホースにくらべて耐久性も良く、路上への設置も比較的容易であり、調査研究を目的として短時日の測定を多数個所で実施する場合、従来の方とくらべて最も優れている。また、実測の結果、運転者への心理的な影響や、自動車の走行への影響もほとんどない。

(2) 静電増幅器

静電増幅器は車両通過時にセンサー（同軸ケーブル）に発生する微弱な静電圧をペン書きオシログラフまたはデータレコーダの入力信号として必要な所定のレベルまで増幅し、電気的な信号に変換するためのものである。静電増幅器の性能としては、土木試験所がこれまで道内各地で交通調査を実施した経験から、厳しい気象条件および交通条件での使用に耐え、しかも取扱いが簡単で、データの処理が容易であることが望まれたが、数次にわたる改良の結果、次の各項目にかかげた性能のものを作ることができた。

- a) 分解能、応答性にすぐれ、入力-出力間の伝送回路による遅れを生じない。
- b) 測定現場付近の送電線による影響、放送波による影響を受けない。
- c) 増幅器内部または外部からの雑音が少ない。

d) 気象条件による影響、とくに気温の高低による誤動作や動作不良を生じない。

e) 小型軽量で現場での取扱いが容易

この静電増幅器の信号回路に使用したリレーの動作時間は1 msec 以下である。したがって、センサーの信号の立上り時間0.5 msec と合わせて最悪の条件でも、リレーの遅れ時間は1.5 msec 以内である。

(3) 測定法

同軸ケーブルと静電増幅器を車両検出器として使用した車両走行速度測定法の現場配置図とフローチャートは図-2.3のとおりである。

道路上の同軸ケーブルの間隔は、ペン書きオシログラフを使用する場合、記録紙上からの読取り精度から30 mとして紙送り速度を25 mm/sec とする。交通量の少い2車線道路では両車線を通して一組の同軸ケーブルで測定できるが交通量が多い場合は記録紙上からの読取りが難かしくなるので、図-2のように車線ごとに分けて、それぞれ30 m間隔に設置した一組の同軸ケーブルを使用し、記録紙には、同軸ケーブル一本ごとに別のチャンネルを使用して記録する。

車種を調査する場合には、観測員により目視観測をして、車種ごとに区分した電圧出力を有するマーカーを手で操作し、同一の記録紙上に記録する。追越車両など特異な現象は記録紙上にメモしておくとして解析時に便利である。

この方法で測定すれば、同一の同軸ケーブルに到着した前後の車の時間間隔を記録紙上から読取り車頭時間を求めることもできる。(厳密には前後車の前輪の到着時間間隔であるが、自動車の車間距離と車種による前端オーバーハングの差とから、実用上、車頭時間として問題ない)。さらに車頭時間と前車の走行速度から車頭間隔を求めることができる。

この方法による測定と写真法およびレーダースピードメーター法による測定を同時の実施し、その結果を比較した例は、既に報告したとおりである。(注-1)

また、この測定器を3台用いると、車両

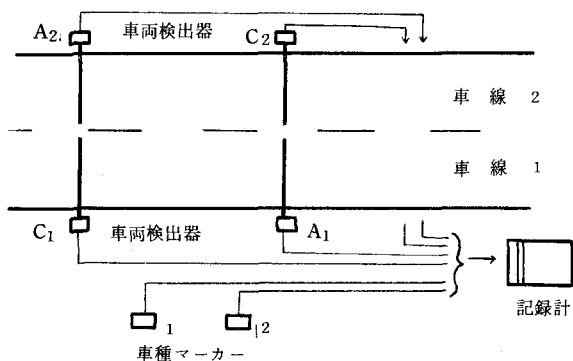


図-2 車両検出器の配置

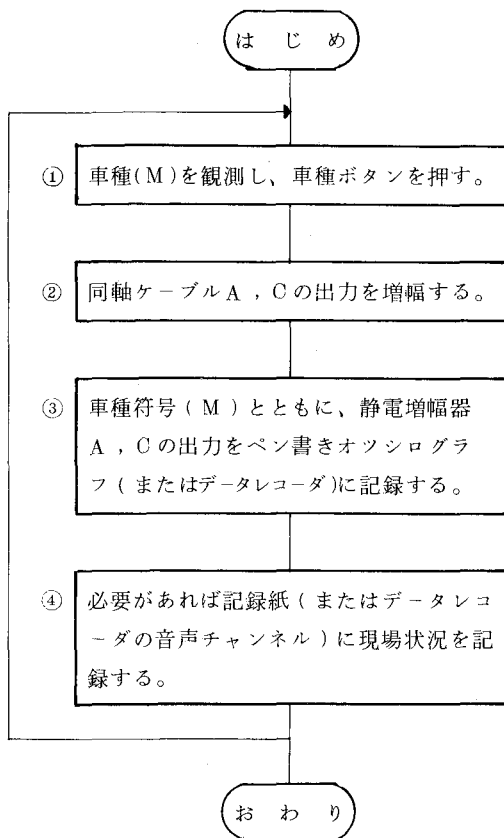


図-3 現場測定

の通過位置を測定することもできる。(注-2)

写真-1は、路面上の同軸ケーブルの設置状況と静電増幅器である。

3. 車両走行速度、車頭時間測定装置

前述の静電現象を利用した車両検出器を使用し、現場でペン書きオツシログラフに記録する方法によって、我々は多くの現場で実際の交通現象の測定を行ってきた。しかし、この方法では記録紙からのデータの読取り作業は非常に長時間かかり、しかも熟練者が作業する必要のある困難な作業であった。さらに実際に測定を行って気付いたことであるが、記録紙の送り速度の変化や、記録紙自体の伸び縮みの変化があり、これらを補正することは、データの読取り以上に大変な作業であった。

我々はこれらの点を改善し、さらに人為的な誤差を防ぐために、測定値の読取りを自動化できないか検討した。以下にその考え方と試作した測定装置の概要を述べる。

(1) 測定項目と装置の機能

従来ペン書きオツシログラフの記録紙から解析していた事項をもとに、測定項目および装置の機能として、次の事項を取上げ検討した。

a) 車両が通過した車線を区分すること

各車線ごとに一定間隔に設置した2つ一組の車両検出器を使用し、2車線までの測定を車線区分して同時にできるようにした。

b) 車両の進行方向を識別すること

測定するそれぞれの車線を、車両がどの方向に進行通過したかを識別区分する。例えば、追越のため対向車線を反対方向に進行した場合も、通過した車線と進行方向を識別区分する。これは、車両の通過した車線で、2つの車両検出器のいずれに先に検知したかで区分する。

c) 前項と関連して、誤動作をさけるため、一車線の一方の検出器に感知してから、一定時間(車両検出器の間隔と推定走行速度範囲から決定する)を経過して、他方の検出器に到着しない場合は、自動的に零復帰する。この場合、プリンターおよびパンチャーは到着時間、車種とNG符号をプリントおよびテープパンチする。

d) それぞれの車線において、車両が2つの車両検出器間を通過するのに要した時間(T)を測定する。



写真 - 1

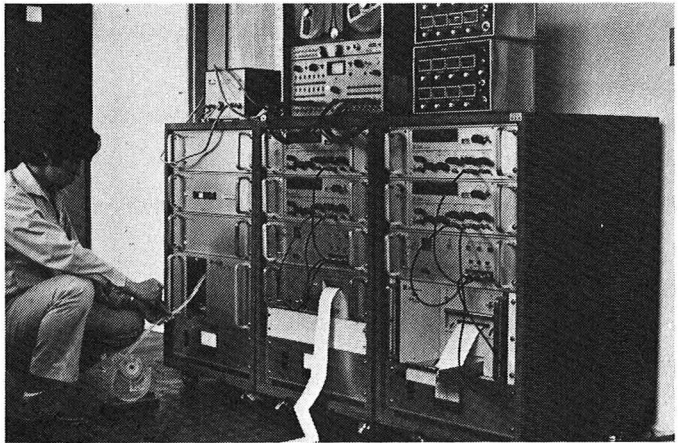


写真 - 2

e) それぞれの車線において1つの車両検出器に前の車が到着してから、次の車が到着するまでの時間間隔 (HT) を測定する。

f) 車種区分が必要な場合は、目視観測結果を車種区分ごとに一定の電圧出力を有するマーカーで入力し、A-D変換して、1桁の数字 (M) で表わす。

g) 測定結果を一定の配列で印字およびさん孔する。

これらのうち、d)、e)は本来の測定機能であるが、b)のように人間が目で見えて判断するような機能を測定装置に機械的に処理させるには苦心した。しかし進行方向の判断と通過予想時間の組合わせで零復帰する方法 (c) などと組合わせて解決した。d)、e)の時間測定用には、汎用のデジタルカウンターを用いることとし、通過時間 (T) は msec 単位で、車頭時間 (HT) は 10 msec 単位で、デジタル表示し、プリントおよびテープパンチをすることにした。車種区分の自動化を検討したが、現段階では簡便化が困難で、必要の都度、観測員により目視観測をして、マーカーを手動操作し、A-D変換して、プリントおよびテープパンチすることとした。通過車線、進行方向は装置が自動判別して、数字でプリントおよびテープパンチする。

(2) 測定法

前述の考えに基づいて既製品の汎用デジタルカウンター4台、プリンター2台、テープパンチャー1台を用いコントローラーを取り付けて車両走行速度、車頭時間測定装置を作った。当初はこの装置を直接測定現場に持込み、車両検出器と直結して測定したが、標準品の機械を何台も組合わせて作ったので、寸法重量も大きく、しかも現場での結線個所が多く、取扱いは決して容易でなかった。そこで、現場では、車両検出器および車種別マーカーの信号をデータレコーダを用いて磁気テープに集録し、これを持帰って、実験室でデータを再生し、測定装置を使って、プリントおよびテープパンチをすることとした。図-2、3はこのフローチャートを示したものである。この場合、現場の特異な現象などは、データレコーダの音声チャンネルに同時録音することができ、データ解析時の参考となる。この方法による場合、時間読取りの精度から路面上の同軸ケーブルの間隔は3mまで短縮することができる。またパンチされた紙テープは、直接電子計算機の入力データとして使用可能である。

写真-2はデータレコーダで再生したデータを測定装置で処理している状況、表-1は実測結果の一例である。

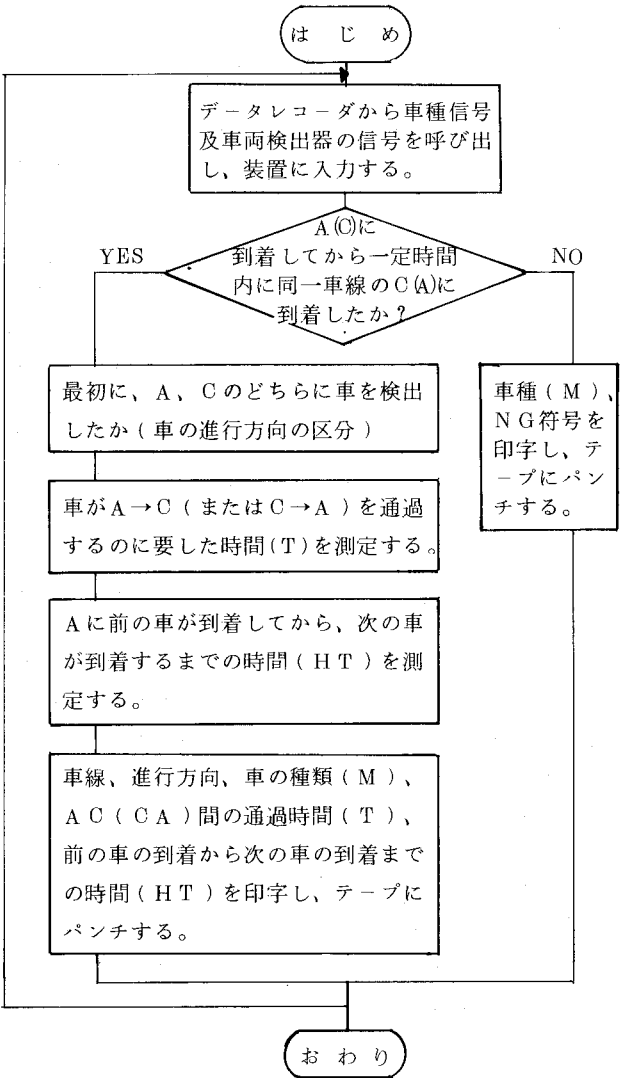


図-4 車両走行速度、車頭時間測定装置

I	M	V(I)	T(I)	HT(I)	HL(I)	
1	6	64.65	1.67	0.00	0.00	
2	3	52.34	2.06	53.35	775.68	
3	1	57.85	1.87	4.42	71.05	
4	1	57.86	1.87	5.70	91.58	
5	5	51.12	2.11	9.53	135.34	
6	1	61.07	1.77	3.14	53.33	
7	1	57.86	1.87	6.78	108.96	
8	1	66.62	1.62	4.62	85.46	
9	5	49.97	2.16	8.55	118.64	I : 車両番号 (到着順)
10	6	53.62	2.01	1.78	19.02	
11	1	52.35	2.06	1.08	15.72	M : 車 種
12	6	54.96	1.96	4.22	64.50	1 : 普通乗用者
13	3	61.07	1.77	1.28	21.67	
14	1	51.12	2.11	1.96	27.91	2 : バ ス
15	6	61.07	1.77	1.47	25.00	
16	1	61.07	1.77	1.28	21.67	3 : 小型乗用車
17	1	57.85	1.87	0.88	14.21	
18	1	61.07	1.77	0.98	16.67	4 : 二輪車
19	1	61.07	1.77	2.55	43.33	
20	1	57.86	1.87	17.19	276.33	5 : 大型貨物車
21	1	52.35	2.06	2.75	40.00	
22	1	61.07	1.77	18.77	318.32	6 : 普通貨物車
23	1	64.65	1.67	16.70	299.97	7 : 小型貨物車
24	6	54.96	1.96	7.07	108.00	8 : 特殊車
25	1	61.08	1.77	60.18	1020.94	
26	1	64.66	1.67	2.31	41.47	T : 通過時間 (sec)
27	2	68.70	1.57	1.18	22.50	
28	6	61.07	1.77	6.98	118.33	HT : 車頭時間 (sec)
29	1	57.85	1.87	6.58	105.78	V : 速 度 (Km/h)
30	1	56.37	1.92	1.18	18.46	
31	6	68.70	1.57	2.95	56.25	HL : 車頭間隔 (m)
32	1	54.96	1.96	1.38	21.00	
33	1	56.37	1.92	1.47	23.08	
34	1	54.96	1.96	2.55	39.00	
35	1	84.57	1.28	1.67	39.24	
36	6	91.61	1.18	0.69	17.50	

表 - 1 測定結果の一例

あ と が き

本報告では道路交通の研究において最も基礎的な資料となる車両走行速度と車頭時間の測定装置と測定法について、これまでの研究結果をとりまとめ、その概要をのべた。道路交通関係の観測機器としては、大規模な交通制御用の機器は広く研究開発されているが、調査研究のためには、これまで適当なものがなかった。とくに、研究資料を得るために多くの地点で比較的短期、精度の良い測定をするのに適したものがなく、また、気象条件や交通条件の影響をうけない簡便なものがなかった。ここで紹介した装置は、いずれも実際に現場で使用して問題点の改良を重ねてきたものであり、冬季、低温時を含めて、最も安定した動作で精度の良い測定値を得ることができる。とくに静電現象を利用した車両検出器はこれまで多くの現場で測定に使われ、その成果も数多く発表されている。(注-3) しかし、これまでは測定後のデータ解析が困難であった。今回報告した車両走行速度、車頭時間測定装置を組合わせて使用することにより、現場測定は一層簡便となり、またデータ処理も容易になった。これらの測定装置が現場の生きた交通現象による研究解析に役立てられ、安全で円滑な交通確保のための基礎研究の進展に利用されることを期待するものである。

(注) - 1 高橋毅、佐藤馨一；車両走行速度の測定法について；土木学会第25回年次学術講演会講演集

2 高橋、佐藤、高森；車両の走行特性に関する研究；第24回建設省技術研究会報告、など

3 高橋、佐々木、佐藤、高森；車両の通過位置と走行速度について；第13回北海道開発局技術研究発表会論文集、など