

勾配部道路交通容量についての一考察

正 員 堀 江 清 一*

1. は し が き

交通は安全性、迅速性と同時に大量性を生命としている。しかし、道路交通においては安全性と迅速性は往々にして相反する要求となるが、大量性と迅速性とは密接な関係にある。道路交通容量はこれら諸点を満足した上で得られる「車道上を一方方向に通すことの出来る車の最大数」と定義されるものであろう。

道路交通容量（以下、単に道路容量という）に関する研究はHighway Capacity Manual にその多くが集約されているが、その中で道路容量は「通常の道路、交通条件である一定時間中に一方方向の車線又は車道のある個所を通過できる車両の最大数」と定義されている。

道路容量の算出は道路の設計、計画の上で重要なものであり、平坦直線部における値を基礎として種々の道路条件を加味することにより行なっている。

本文は道路交通上の大きなネックとなっている勾配区間における道路容量について基本的考察を試み、密度補正による道路容量の算出について述べたものである。

2. 道路容量の算出について

道路容量の算出には種々の方法がとられてきた。それらには次のようなものがある。

- (1) 理論によるもの
- (2) 実測によるもの
- (3) シミュレーションによるもの

理論的な方法は流体理論、交通動力学、確率論などによって代表されるが、交通流がかなり混雑している状態を前提としている事が多く、算出される道路容量は実測値によるものよりも大きな値となりがちである。一方、実測値による方法は観測時の交通・道路条件によってその値が左右されがちである。また算出方法は種々あり、同じ実測データを用いても得られる容量値は一致しないことが多いようである。次にシミュレーションによる研究は(1)、(2)を合わせたものと考えることが出来、様々な道路条件あるいは交通条件のもとで道路容量を推計することが出来

る一方法であり電子計算機の高速、大型化に伴い今後とも大いに用いられよう。

以上の3つの方法において(1)、(2)は平坦直線部を対象として道路容量を求めていることが多く、勾配部等のものを対象としたものは数少ない。この中で(3)の手法によっては種々道路条件および交通条件のもとで研究されており著者らも勾配部における道路容量を研究してきた。

3. 勾配部における交通現象

勾配部における交通現象は平坦部の現象と比べて多くの特徴がある。著者らの研究によれば

- (1) 速 度
- (2) 貨物車の影響
- (3) 車頭間隔
- (4) 追越し

に特徴が表われてくることが明らかになった。

勾配部においては交通流が走行位置によって大きな影響をうけ常に変動していると考えられ、交通現象を微視的又は巨視的に実測する場合に連続的に測定することが重要となってくる。

勾配部における交通現象に関する研究は比較的古くから行なわれてきており、走行試験車を用いた速度変化や地点速度から追究されトラックファクターを求めることに重点がおかれてきた。そして多くの場合、このトラックファクターを用いて道路容量を補正している。

4. 勾配部における道路容量の考え方について

地点観測データから道路容量を求める場合、その前提条件として交通流の定常性が保障されねばならない。定常性とは時間的にかつ距離的な意味をもつものでなければならない。つまり、交通流の基本的な式である

$$Q = K \bar{V}_s$$

は交通流が定常的であることが前提である (Q : 交通量, K : 密度, $\bar{V}_s$: 空間平均速度)。

このとき空間平均速度 $\bar{V}_s$ と密度 K は

* 北海道大学工学部 助手 工修

$$\bar{V}_s = \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{1}{v_i} \right)^{-1} \quad (2)$$

$$K = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^m \frac{1}{v_i} \quad (3)$$

v_i : i 車の地点速度

t : ある一定時間

m : t 時間中の通過台数

で表わされる。この(2)、(3)式もその地点での速度がその後も維持されるという定常性の上で成り立つことを前提としている。(2)、(3)式より(1)式は

$$Q = \frac{m}{t} \quad (4)$$

となる。(4)式は m 台の車が通過するのに要する時間 t の大小が Q の大小となることを示している。

ここで勾配部において非常にしばしば生ずる交通現象として図1に示す場合がある。つまり、低速車に対して後続の高速車が勾配部に流入してから追いつき新たに車群を形成する現象であり、勾配区間での大きな特徴である。

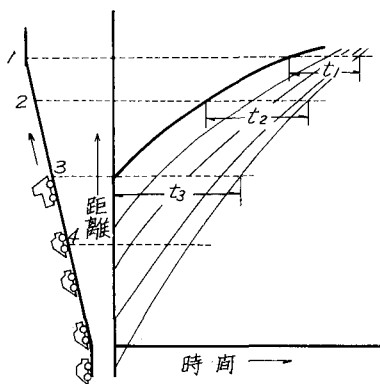
このような場合には図1からも明らかなように同一台数の車両が通過するのに要する時間は勾配区間の各地点で観測した場合は各々、 $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ であり、これらの間には通常次の関係がある。

$$t_1 < t_2 < t_3 < \dots < t_n \quad (5)$$

つまり、(4)式から各地点での単位時間あたりの交通量 Q_i を計算すると

$$Q_1 > Q_2 > Q_3 > \dots > Q_n \quad (6)$$

が成立することになる。



図一 勾配部における時間—距離図

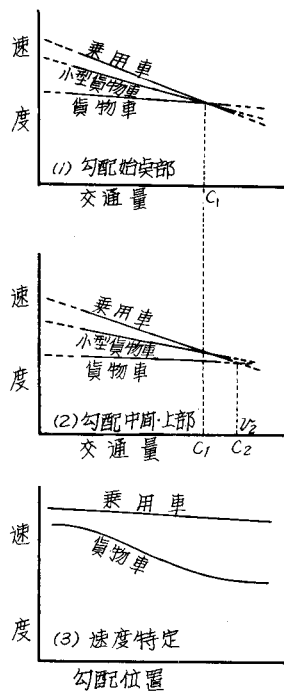
このように勾配部のような区間で交通量としてみた場合には明らかに矛盾が生じてくることを示している。

次に道路容量を実測値から算出することを考えると次

のことが一つの問題となつてこよう。

実測値からは通常 $(Q-V)$ 、 $(K-V)$ あるいは最小車頭間隔の関係式を用いて道路容量値を得ている。これらの方法を勾配部において適用すると $(Q-V)$ 式の場合、次のようになる $(Q-V)$ 式は通常図2—(1)で表わされ車種毎の速度差がなくなった交通量をもって可能道路容量ともいうべき値をとっている。しかし、勾配部における乗用車類、貨物車類の速度変化を実測による結果によって概略的に示すと図2—3のようになる。このため勾配区間始点附近では $(Q-V)$ 関係式は図2—(1)のようになるが勾配部の中間・上部においては図2—(2)のようになろう。図2—(2)の場合、各車種間の速度差のなくなる速度は v_2 になると考えるべきであるから求められる道路容量は C_2 となり、これら各地点の道路容量 C_i の間には次の大小関係が成りたつ。

$$C_1 < C_2 < C_3 < \dots < C_n \quad (7)$$



図二 勾配部における $(Q-V)$ 特性

著者らが国道36号線島松沢と国道230号線簾舞で行なった実測ではこのことが両地点において裏づけられている。

すでに述べたが勾配部のような区間の交通流は時間的にも、位置的にも大きく変動していることによって以上のような結果が生ずるものと考えられる。

このため、著者らは追従現象を微視的にとらえることによって貨物車混入による道路容量の低下率を図3の手法によるシミュレーションを行ない図4の結果を得た。

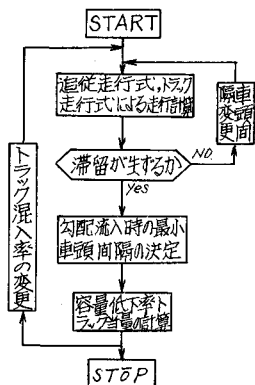


図-3 追従状況より交通容量を算出するフローチャート

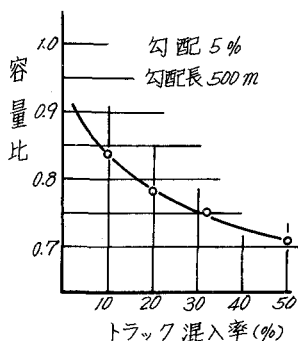


図-4 図3の手法による結果

5. 勾配部における道路容量算出の一方

前節において述べた点を考慮し、定常的でない交通流を実測したデータから道路容量を(1)式を用いて算出する方法について述べる。

今、勾配長を ℓ とする。そして、ある車 i がその ℓ 区間を走行するのに要する時間を T_{Gi} とする。また、同じ i 車が平坦区間を ℓ だけ走行するのに要する時間を T_{Li} とすると勾配部、平坦部の各々における i 車の平均速度

$$\left\{ \begin{array}{l} v_{Gi}, v_{Li} \text{ は} \\ v_{Gi} = \frac{\ell}{T_{Gi}} \\ v_{Li} = \frac{\ell}{T_{Li}} \end{array} \right. \quad (8)$$

(8)

(9)

よって、勾配区間 ℓ を走行するための時間損失 ΔT_i は

$$\Delta T_i = T_{Gi} - T_{Li} \quad (10)$$

である。このため、 i 車は勾配による速度低下がなければ

$$\Delta \ell_i = v_{Li} \cdot \Delta T_i$$

$$= v_{Li} \left(\frac{1}{v_{Gi}} - \frac{1}{v_{Li}} \right) \ell$$

だけ長く走行できることになる。以上のことから「勾配長 ℓ は i 車にとって平坦部の $(\ell + \Delta \ell_i)$ の長さに相当する」と考えることが出来る。このことは全車の勾配部平均速度、平坦部平均速度を各々 v_{GM} 、 v_{LM} として考えても同様のことが言える。

密度についてみると勾配区間 ℓ に n 台の車がある場合、この密度を平坦部について考えれば $K_L = n/\ell$ であるが勾配上での密度 K_G は次のように補正される。

$$K_G = \frac{\ell}{\Delta \ell + \ell} K_L = \frac{v_G}{v_L} K_L \quad (12)$$

$$\text{ただし、} \Delta \ell = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \Delta \ell_i$$

つまり、密度の補正を図5のように行なったことになる。

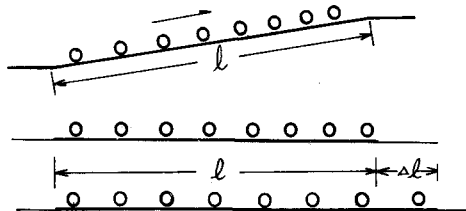


図-5 密度の修正

このことより、平均部における道路容量時の密度 K_{LC} とその時の勾配区間 ℓ での平均速度 $\bar{v}_{GM}$ が求められると勾配区間 ℓ での道路容量 C_G は(1)式より

$$\begin{aligned} C_G &= K_G v_{GM} \\ &= \frac{\ell}{\Delta \ell + \ell} K_{LC} \cdot \bar{v}_{GM} \end{aligned} \quad (13)$$

(13)式に(12)式を代入すると次のようになる。

$$C_G = \frac{\bar{v}_{GM}}{v_{LM}} \cdot K_{LC} \quad (14)$$

よって、容量の変化 ΔC は平坦部の容量を C_L とすると(15)式で表わされ、容量変化率 P は(16)式である。

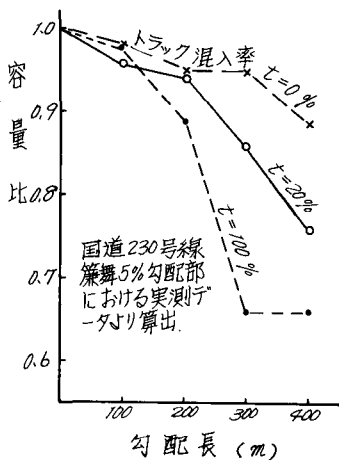
$$\begin{aligned} \Delta C &= C_L - C_G \\ &= K_{LC} \left(\bar{v}_{LM} - \frac{\bar{v}_{LM}}{\bar{v}_{GM}} \right) \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} P &= 1 - \frac{C_G}{C_L} \\ &= 1 - \left(\frac{\bar{v}_{GM}}{\bar{v}_{LM}} \right) \end{aligned} \quad (16)$$

以上のことから、勾配区間での道路容量は平坦部での道路容量時の速度と密度および勾配部での速度低下の状

況がわかれば算出できることになる。そして、ここで考えられている道路容量は勾配区間に「流入して、流出できる」車の両の最大数でありボトルネック区間での道路容量を考える上で重要な点である。

以上の結果を用いて勾配部における道路容量の低下について国道 230 号篠舞の実測データを用いて計算した結果を図 6 に示す。この結果は図 4 に示された結果に近い値となっている。なお、速度は各配区間の始終点の速度の平均値をとった。



図一 6 (16式)による勾配長と容量比の関係

6. あとがき

勾配部における道路容量については他の道路条件の所

と同様な方法では求めることが出来ないと考えられる。しかし、この点についての考察はいまだにほとんどなされていない。本文では交通流が定常的な流れでなければ交通流基本式 $Q = KV$ は用いることが出来ないことを若干ではあるが明らかにしたと考えている。そして勾配部における容量算出についての試案をのべた。この手法は実測データに基づいて算出されるものであり、低速車混入率などによって種々の差が生ずるものであるがボトルネックが存在する道路区間の道路容量を考察する上で重要なものと考えられる。

本考察を進めるにあたり板倉忠三教授、加来助教授をはじめ北大工学部交通管理講座の皆様の多大の協力を得たことをここに深く感謝します。

参 考 文 献

1. "Highway Capacity Manual" H. R. B. Special Report, 1965
2. O. K. Normann 他 "New Methods for Determining Capacity of Rural Roads in Mountainous Terrain" H. R. B. Bull. 167, 1957
3. 堀江清一 "交通容量に関する研究、北海道大学修士論文, 1969
4. 板倉・加来・堀江 "勾配部、曲線部における交通流について、土木学会第24回年次大会講演集, 昭和44年