

信号交差点における交通現象解析

山口県庁 正会員○山田 美幸
山口大学工学部 正会員 久井 守
山口大学工学部 正会員 田村 洋一

1. はじめに

混雑時の信号シミュレーションはまだ確立していない。混雑時の制御を確立するためには、信号交差点の交通現象を記述できるモデルが必要であるが、そのためには停止波や発進波などの衝撃波の伝播挙動を把握することがまず重要である。本研究では、発進波の伝播速度について観測調査を行い、また波動理論による数値計算によって交差点流入部の交通現象、特に発進波の再現性について検討した。

2. 衝撃波

衝撃波は交通密度が不連続に変化する境界点である。代表的な衝撃波としては、赤信号によって待ち行列の最後尾が上流に伝わる停止波、および青信号で待ち行列の先頭車から順次発進しそれが上流に伝わる発進波がある。

3. 交通観測調査

まず信号交差点で発生する発進波の伝播速度を観測調査した。調査は宇部市の国道190号江頭交差点と国道490号沼交差点の2地点で行った。

調査方法は停止線から90m地点まで30m間隔の地点で、赤信号で停止した車が、青信号開始時点から発進するまでの時間を調べるものである。江頭交差点における調査結果の抜粋を表1に示す。この調査結果より発進波の伝播速度は約5.6m/s=20km/hであることがわかる。沼交差点の調査でもほぼ同じ結果が得られた。

表1 発進波伝播速度観測データ

宇部市国道190号 江頭交差点 1997.8.6(7:30~9:00 a.m.)									
No	0m	30m	台数(大)	60m	台数(大)	90m	台数(大)	大型台数	
1	1"5	4"2	5	9"5	9(1)	14"4	12(1)	2	
2	1"0	4"1	5	7"8	9	16"0	14	0	
3	0"8	3"0	4(3)	7"0	7	9"8	11	3	
4	1"5	4"9	5(1)	8"7	9	16"8	13(1)	2	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	
27	1"0	5"4	5	9"8	10	14"0	14	0	
28	0"8	4"5	4	9"4	8	15"8	12(1)	1	
29	1"0	4"4	5	11"2	10	17"2	14	0	
平均	1"2	5"0	4.8	10"4	9	16"0	12.9		
分散	0.183	1.581		3.284		4.722			
秒速 (m/s)	6.0			5.7		5.6			

4. 交通密度と速度の関係式

本研究では交通密度(k)と速度(v)の関係式($k-v$ 式)としてGreenshieldsの式, Greenbergの式, Underwoodの式, Drakeの式, Drewの式およびMunjal-Pipesの式の6式を検討し, その中から実際の発進波の伝播速度を再現できる式を求めた。6式のうちDrewの式は次の式である。

$$v = v_f [1 - (k/k_j)^{(n+1)/2}] \quad (1)$$

(ただし $n > -1$)

5. 波動構造図

波動構造図とは、時間 t の経過とともに衝撃波の座標を数値計算によって求め、それを時間(秒)-距離(m)図上にプロットしたものである。図の横軸には信号の変化を示すため赤信号は太線で表示する。また交通流の進行方向は下から上向きとする。図1は発進波、停止波および車の走行軌跡を示した波動構造図の1例である。

(1) 発進波の伝播速度

交通流中の微小攪乱波の伝播速度 $h(k)$ は次式のように $k-q$ 曲線の接線勾配となる。

$$h(k) = \frac{dq}{dk} \quad (2)$$

発進波はこの攪乱波の特別の場合である。すなわち交通密度が飽和密度の場合の攪乱波の速度である。これは $k-v$ 式を交通流の基本式 $q = kv$ に代入したときの $k = k_j$ における接線勾配に相当する。

(2) 停止波の伝播速度

停止波上の任意の点Aの座標を (t, x) とすると衝撃波の伝播速度は式(3)となる。

$$\frac{dx}{dt} = \frac{k_u v_u - k_d v_d}{k_u - k_d} \quad (3)$$

ここで点Aの上流の交通密度を k_u 、速度を v_u 、下流の交通密度を k_d 、速度を v_d とする。点Aの下流側では待ち行列を形成していることから k_u は飽和密度 k_j でありまた速度 v_d は0であるので

式(3)は次式となる。

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{k_u v_u}{k_l - k_u} \quad (4)$$

Stephanopoulosら¹⁾の波動理論より、点Aは等密度線すなわち密度 k_u の攪乱波の伝播直線と停止波の交点として定まる。下流信号の青開始時点を t_{is} とすると、この点から放射する等密度線は式(5)で表される。この式を変形して k_u を求め、式(4)に代入すれば停止波の伝播速度が得られ停止波を描くことができる。

$$x = h(k)(t - t_{is}) + L \quad (5)$$

Drewの式を仮定した場合の波動構造図を図1に示す。この図では $n=-1/3$ として、発進波の伝播速度を約5.6m/sとすることができた。

6. 三角型k-q関係の波動構造図

次に図2のような三角型のk-q関係を仮定する。この場合k-v式は次のようになる。

$$0 \leq k \leq k_c \text{ のとき } v = v_f \quad (6)$$

$$k_c \leq k \leq k_j \text{ のとき } v = v_s \left(\frac{k_j}{k} - 1 \right) \quad (7)$$

この場合の衝撃波の波動構造図は図3のようになる。すなわち車は急加速して自由速度 v_f に達し赤信号で急停止する。また発進波と停止波は平行となり、その伝播速度は $v_s=5.6\text{m/s}$ とした。また $v_f=16.7\text{m/s}$ 、 $k_c=0.037\text{台/m}$ とした。

7. 交通密度と距離の関係²⁾

青信号開始後の任意の時間 t における停止線前後の交通密度の距離的变化の例を図4で示す。波動構造図の下流信号青開始時点から放射する等密度線は式(5)で表されるが、この式を用いて交通密度(k)と距離(x)の関係($k-x$ 関係)を描くことができる。図4はDrewの式を仮定した場合の $k-x$ 関係である。

8. おわりに

交通観測調査の結果、発進波の伝播速度は約20km/hであることがわかった。この速度を再現することができるのは、6つのk-v式のうちDrewの式のみであるが、三角型k-q関係を含め、なお検討が必要である。また衝撃波の波動構造図を描くことにより停止波と発進波の伝播現象を視覚的に表現することができた。

本研究は文部省科学研究費補助金の助成を受けて行った研究成果の一部である。

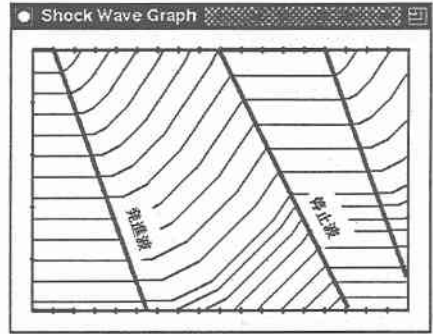


図1 Drewの式を仮定した場合の波動構造図

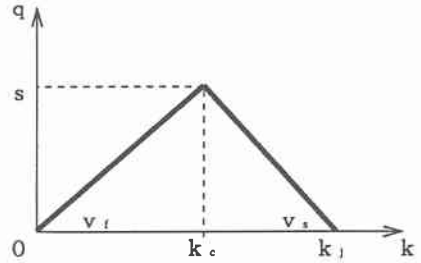


図2 三角型k-q関係

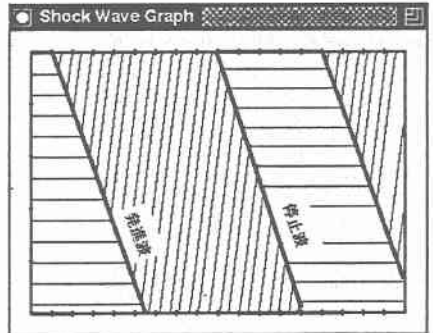


図3 三角型k-q関係の衝撃波の波動構造図

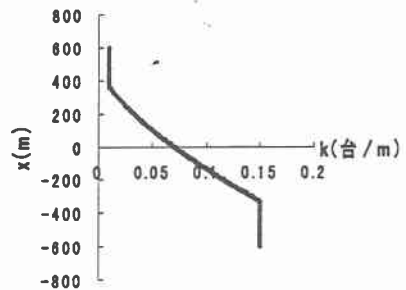


図4 Drewの式を仮定した場合のk-x関係

1) G. Stephanopoulos et al.: Trans. Res. A, No. 5, pp. 295-307, 1979

2) 久井守他: 山口大学工学部研究報告, 第45巻, 第1号, 平成6年