

IV-175 系統信号路線における波動伝播現象の視覚化モデル

山口大学大学院 学生会員 安江 進
 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

本研究では系統信号路線を対象とし、交差点で発生する衝撃波の伝播軌跡を数値計算によって求め、それをパソコン画面の時間-距離図上に描く波動モデルを構築した。モデルでは、交通密度 k と速度 v の関係式 ($k-v$ 式) はいくつか用いた。これによって混雑時の波動伝播現象を再現した。このモデルは混雑条件下にある系統信号システムの最適制御を検討するツールとして用いることを目的としている。

2. 発進波の伝播速度の調査

まず実際に交差点で発生する衝撃波のうち、特に発進波に着目してその伝播速度を調査した。調査は宇部市の国道 190 号の江頭交差点、西割交差点および流川交差点で行った。

調査では停止線から 90m 地点まで 30m 間隔でポイントを取り、赤信号により各ポイントに停止した車両が青信号により発進するまでの時間を調べた。発進波の伝播速度は 18km/時～24km/時の範囲であった。また停止線の最大交通量は 0.40～0.50 台/青秒で平均 0.45 台/青秒 (約 1600 台/青時) であった。

3. 衝撃波^{1), 2)}

衝撃波とは交通密度が不連続に変化する交通流の境界面 S である。この境界面の移動速度を衝撃波の伝播速度という。衝撃波の伝播速度 c は次式で表すことができる。

$$c = \frac{k_2 v_2 - k_1 v_1}{k_2 - k_1} = \frac{q_2 - q_1}{k_2 - k_1} \quad (1)$$

ここで k は交通密度、 q は交通量であり、添字の 1, 2 は衝撃波の上流下流をさす。

衝撃波は主に信号の変わり目で発生し、また 2 つが交差して新たな衝撃波に変化する。本研究では特性直線も含め衝撃波を 15 種類に分類してその伝播現象を解析している。衝撃波は成長過程にある衝撃波を QBW, 解消過程にある衝撃波を QDW, その他の衝撃波を WAVE, 特性直線を LINE という名前で表す。

4. 波動構造図

波動構造図とは、縦軸に距離 x , 横軸に時間 t をとった時間-距離図上に衝撃波および特性直線の伝播軌跡を描いたものである。衝撃波の座標位置を Δt ごとに計算し、それを時間-距離図上にプロットして作成する。図 1 は $k-v$ 式として Greenshields の式を用いた場合の波動構造図の 1 例である。交通流の進行方向は上向きである。図には、車両の走行軌跡と密度領域も示している。この図から衝撃波は異なる密度領域間の境界を示す線であると解釈することもできる。上流下流の密度が一定の場合 c は一定であるが、過渡領域の場合は $q-k$ 式より $h(k)=dq/dk$ を導き、また

$$x = h(k)(t - t_0) + x_0 \quad (2)$$

より数値計算で k を求めて式 (1) に代入し c を求める³⁾。ここで、 (t_0, x_0) は青開始時点の座標である。

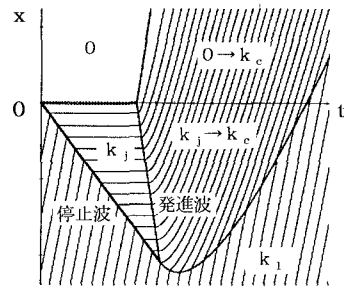


図1 衝撃波と走行軌跡と密度領域

図 2 は、図 1 について交通密度の時間的空間的变化を示したものである。衝撃波は密度の不連続面である段差で示されている。Greenshields の式を用いた場合、交通密度は距離方向 (交通流の方向) に直線的に減少する。交差点上流側では時間方向に密度が減少し、交差点下流側では時間方向と逆方向に減少している様子がわかる。図 3～図 5 はそれぞれ異なる $k-v$ 式を仮定した場合の系統信号路線の波動構造図である。図 3 では Greenshields の式 ($v_i=60$ km/時, $k_j=150$

キーワード: 衝撃波, 波動理論, オフセット

連絡先: 〒755-8611 宇部市常盤台 2557 Tel: 0836-35-9485 Fax: 0836-35-9485

台/km)を仮定し、図4では Greenberg の式 ($v_c = 40\text{km/時}$)を、また図5では Drew の式 ($n = -1/3$)を用いている。このように用いる $k-v$ 式が異なると波動構造図も大きく異なることがわかる。

5. $k-v$ 式と波動現象の再現性

いくつかの $k-v$ 式についてまず交通密度の距離的变化すなわち $k-x$ 関係について求めた。その結果 Underwood の式および Drake の式を用いた場合、臨界密度 k_c の与え方によってはある距離 x において密度 k が2つの値をとることがある。また、Munjal-Pipes の式を用いた場合、 $n < 1$ では k_j の値が無限大になり、 $n = 1$ の場合は Greenshields の式と同じになり、 $n > 1$ の場合はある x に対して k が2つの値をとるということがわかった。

次に、発進波の伝播速度は約 20km/時 であり、また交差点の最大交通量は約 1600 台/青時という調査結果を考慮して $k-v$ 式を比較すると、Drew の式で $n = -1/3$ とした場合、および Drake の式で臨界密度 k_c を 70 台/km とした場合には、発進波の伝播速度が約 20km/時 となる。しかし、最大交通量についてはいずれの式も実際とはかなり異なる。また Drew の式で $n = 1/5$ とすれば最大交通量は約 1600 台/青時となるが、発進波の伝播速度は実際よりかなり大きくなる。したがって、単路部ではなく交差点の最大交通量と発進波の伝播速度の両者を記述する良好な $k-v$ 式についてはなお検討の余地があると考えられる。

6. 結論と今後の課題

本研究では衝撃波の波動構造図を描くことにより系統信号路線における衝撃波の発生、交差および伝播という一連の現象を視覚的に表現することができた。しかも非飽和および過飽和いずれの場合でも扱うことができた。交差点を越えて伝播していく現象も再現することができた。今後の課題としては交通量変動や信号制御パラメータの変更を扱えるようにすることが必要である。また実現現象を再現できる $k-v$ モデルを開発することも課題としてあげられる。

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。記して謝意を表したい。

参考文献

- 1) M.J.Lighthill, G.B.Whitham : Proc. Royal Society of London, Series A, Vol.229, No.1178, pp.317-345, 1955
- 2) M.Hisai, S.Sasaki : Technology Reports of the Yamaguchi University, Vol.5, No.2, pp.117-127, 1993
- 3) Gregory Stephanopoulos, Panos G.Michalopoulos, George Stephanopoulos : Transpn.Res., Vol.13A, No.5, pp.295-307, 1979

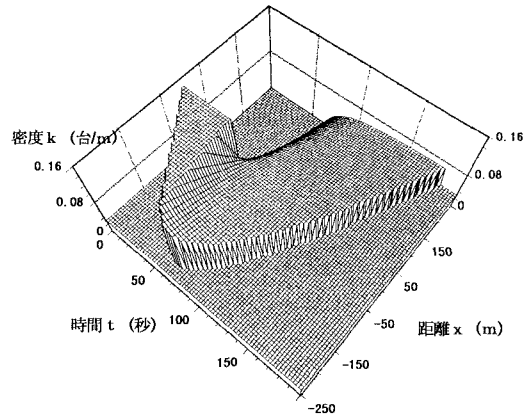


図2 交通密度の時間的空間的变化

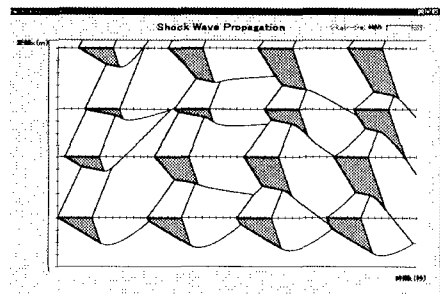


図3 Greenshields の式を仮定した波動構造図

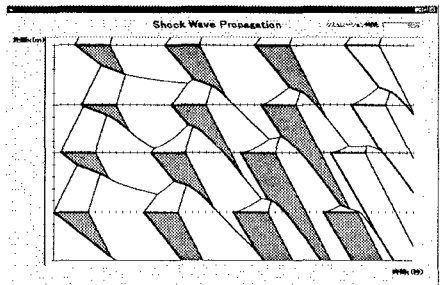


図4 Greenberg の式を仮定した波動構造図

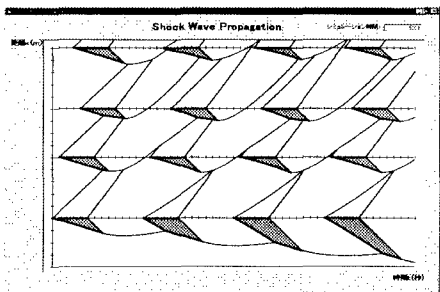


図5 Drew の式を仮定した波動構造図