

トンネル内交通渋滞検知のための検知器配置方法

京都大学工学部 正員 井上 矩之  
 京都市交通局 正員 O安藤 隆  
 大日本土木 永井 利明

1. はじめに

高速道路トンネル内の事故渋滞は危険防止のためとくに早期発見の必要がある。本研究ではループ式検知器を対象に、配置間隔および情報収集時刻の間隔と渋滞検知までの時間の関係も考察し、1分以内といった短時間の検知が可能かどうかを検討する。

2. 交通流のモデル

交通流を流体として扱い、波動理論を適用する。事故発生地点の交通処理能力が、平常時の $q_c$ より次式の $q_a$ に減少したとする。 $q_a = (1-\alpha)q_c$  --- (1). 上式の $\alpha$ は車線閉塞の程度を示すパラメータといえる。流れの速度 $v$ と交通密度 $k$ の間に、 $v = \sqrt{c(1 - \frac{k}{k_j})}$  --- (2), なる線形関係を仮定すると、衝撃波通過後の事故地点上、下流側の交通密度はそれぞれ

$$k_1 = \frac{1+\sqrt{\alpha}}{2} k_j, \quad k_2 = \frac{1-\sqrt{\alpha}}{2} k_j \quad \text{--- (3)}$$

と表わされ、上流へ伝わる衝撃波の伝播速度は

$$c = \sqrt{c(\alpha - 1 + 2k_0/k_j)} \quad \text{--- (4)}$$

と表わされる。<sup>1)</sup> ここに、 $c$ は自由速度、 $k_j$ は飽和密度、 $k_0$ は事故発生前の密度である。

3. 長大ループ検知器等間隔配置 (ループ長 $l_1$ , ループ間々隔 $l_2$ )

交通密度は空間オキュパニーと比例的な関係にあると考えられるので、交通密度で考察する。事故は時刻 $t=0$ に、ループ $i$ の上流端より下流へ距離 $x$ の所で発生したとする。事故発生地点がループ上かループ外かにより、密度 $k_i$ の変化特性が異なる。またループ上の場合、下流端よりであると $k_i$ は事故後増加するが、上流端よりであると逆に減少するので、1つ上流のループの密度 $k_{i-1}$ が基準値を超えるまで検知できない。それぞれの時刻 $t$ における密度、検知時刻 $t_c$ は次のようになる。ただし基準値 $k_c$ は $k_j/2$ とした。

(a) ループ外で事故発生するとき ( $l_1 < x \leq l_1 + l_2$ )

$$k_i(t) = [k_0(x - ct) + k_1\{l_1 - (x - ct)\}] / l_1 \quad \text{--- (5)}$$

$$t_c = \frac{x - l_1}{c} + \frac{1 - 2k_0/k_j}{R} \cdot \frac{l_1}{c} \quad \text{--- (6)}$$

(b) ループ上下流端よりで事故発生するとき ( $l_1 < x \leq l_1$ )

$$k_i(t) = [R_0(x - ct) + k_1(ct + l_2(l_1 - x))] / l_1 \quad \text{--- (7)}, \quad t_c = \frac{\sqrt{\alpha}}{R} \frac{l_1}{c} - \frac{S}{R} \frac{x}{c} \quad \text{--- (8)}$$

(c) ループ上上流端よりで事故発生するとき ( $0 < x \leq l_1$ )

$$k_{i-1}(t) = [k_0\{(l_1 + l_2 + x) - ct\} + k_1\{ct - (l_2 + x)\}] / l_1 \quad \text{--- (9)}$$

$$t_c = \frac{x + l_2}{c} + \frac{1 - 2k_0/k_j}{R} \cdot \frac{l_1}{c} \quad \text{--- (10)}$$

ここに、 $R = \sqrt{\alpha} + 1 - 2k_0/k_j$ ,  $S = \sqrt{\alpha} - 1 + 2k_0/k_j$  --- (11),

また $k_i$ が $k_c$ を超えるかどうかの境界 $x_1$ は次式で与えられる。 $x_1 = \frac{k_c - k_2}{k_1 - k_2} l_1 = l_1/2$  --- (12)

式(6), (8), (10)より $x = l_1/2$ のとき $t_c$ が最大になることがわかる。情報収集時刻の間隔を $T$ とすると、結局最大検知時間は次式のようになる。

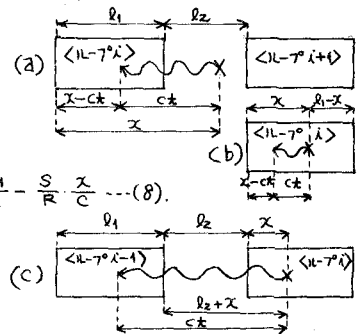


図-1 時刻 $t$ における状態

$$T = (t_c)_{\max} + T_1 = \frac{(l_1/2) + l_2}{c} + \frac{1 - 2k_0/k_d}{R} \cdot \frac{l_1}{c} + T_1 \quad \text{--- (13)}$$

事故前の交通量が1,800台/時/車線, 全車線閉塞事故( $\alpha=1$ )に対して $l_1, l_2$ よりでも計算し, 結果を図-2に示す。ここでは80km/時,  $k_0$ は120台/km/車線とした。 $l_1=150m, l_2=約40m, T_1=0.5分$ とすれば1分以内の検知も可能である。検知までの時間を小さくするには $l_1, l_2$ をもっと小さくすればよいが, 前者については交通流の不規則変動という性質のため, 収集された情報が不安定になるというソフト上の限界が, 後者については隣接ループが磁気的に干渉しあい正確な情報が得られなくなるというハード上の限界がある。

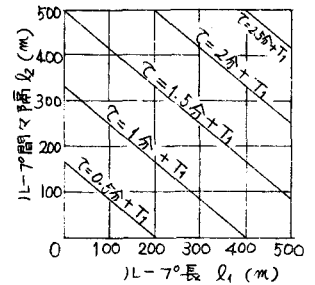


図-2  $l_1, l_2$ と最大検知時間

#### 4. 短ループ検知器等間隔配置 (ループ間隔 $l$ , T分間時間オキュパニー)

車長を $d$ (一定)と仮定すると, 衝撃波通過前にあいて時間オキュパニーは

$$O_t = \frac{(d/v_0) \times (k_0 T)}{T} = d R_0 \quad \text{--- (14)}, \text{ と表わされ, 衝撃波通過後の波滞時においては, } v_1 \neq 0$$

ならば  $O_t = \frac{(d/v_1) \times (k_1 T)}{T} = d R_1 \quad \text{--- (15)}, \text{ と表わされる。} v_1 = 0 \text{ のとき, } O_t = d R_0 \text{ と定義すれば, 波滞時の } O_t \text{ をすべて式(15)で統一して表現できる。}$

図-3に示すように, 検知器より下流へ距離 $x$ の所で事故が発生し, ある観測単位中 $\theta$ 分後に衝撃波が通過したとすると,  $O_t$ は式(14),

$$(15) \text{ の重みつき平均 } O_t = \frac{(d R_0)\theta + (d R_1)(T - \theta)}{T} \quad \text{--- (16)} \text{ となる。波滞}$$

検知の基準値を交通処理能力時の交通密度 $k_c$ に対応する値, すなわち

$$O_{tc} = \frac{(d/v_c) \times (k_c T)}{T} = d R_c \quad \text{--- (17)} \text{ とすることとする。} 0 \leq \theta \leq \theta_*$$

のときは, 衝撃波通過時刻  $t_1 = x/c \quad \text{--- (18)}$  を含む観測単位で波滞検知がなされるので, 検知時間は  $t_c = t_1 - \theta + T \quad \text{--- (19)}$

となる。また,  $\theta_* \leq \theta < T$  のときは, 式(16)の $O_t$ は $O_{tc}$ を超えない

ので, 次の観測単位により検知され,  $t_c = (t_1 - \theta_* + T) + T_1 \quad \text{--- (20)}$  となる。ここに, 限界時刻  $\theta_* = \frac{R_1 - R_c}{R_1 - R_0} T = \frac{\sqrt{x}}{R} T \quad \text{--- (21)}$  である。最大検知時間では, 時刻 $\theta_*$ の直後に衝撃波

がきたときで, 検知器より最も遠い所で事故が発生したときに

実現する。したがって,  $T = (l/c + \theta_* + T) + T_1 \quad \text{--- (22)}$  となる。

図-4に $l, T, T_1$ と $T$ の関係を示す。条件は先の例と同じである。最大1分以内の検知を目標にすれば, 検知器を100m

間隔で配置しても, 0.5分程度の短時間 $O_t$ をとりおぼならない。

また,  $T$ を小さくするには $l$ を小さくするよりも,  $T_1, T$ を小さくする方がはるかに効果的であることがわかる。

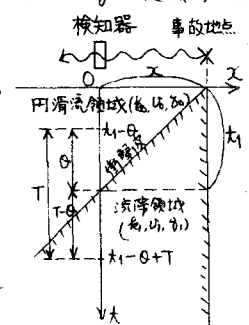


図-3 衝撃波通過図

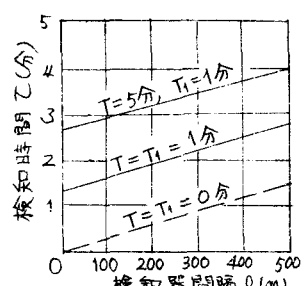


図-4  $l, T, T_1$ と検知時間

#### 5. おまじ

長さ150mの長大ループを間隔50mあけて配置空間オキュパニーを, または100m間隔に短ループで配置し0.5分間時間オキュパニーを, しかたも0.5分ごとの情報を収集すれば1分以内の検知も可能である。しかしいかなる情報不安定と思われ, 実用上はITV併用が必要であろう。コスト面からみれば両ループの比較現在進行中である。

<参考文献>1)井上矩之:波動理論による事故波滞の解析, 交通工学, 中9巻中6号, pp.22~24