

自動操縦ガイドウェイ・インターチェンジ部のバッファ容量に関する研究 *

Study on Capacity of Automated Guideway Network with Respect to Ramp Buffer Length *

○福田 健* * 越 正毅* * * 安井 一彦* * * *

By Takeshi FUKUDA, Masaki KOSHI, Kazuhiko YASUI

1. はじめに

都市内の物流はそのほとんどが貨物自動車によって輸送されている。しかしながら、貨物自動車交通の増大により都市内での交通渋滞、環境汚染等の問題を抱え、輸送の高速性、定時制、経済性に優れた効率的な貨物輸送体系の整備が求められている。

そこで、これらの問題解決に寄与し、貨物自動車輸送の一部を代替する新物流システムが検討されている。これは主に地下ネットワーク上のガイドウェイに沿って貨物車を自動走行させる物流システムのことである。

想定されるネットワーク全体の交通容量は、一般にボトルネックとなり得るインターチェンジの影響を受けるものと考えられる。そこでネットワーク上のインターチェンジにおいて、単一立体交差を想定し、交差する2本の道路（主道路）は、“常に等速走行をする”として絶対的優先権を与え、他方一方の主道路から交差する主道路へ連絡する道路（ramp：以下渡り線）の交通を制御することにより、一定のインターチェンジ容量を確保することを試みた。

この渡り線から主道路への交通を制御するとは、本稿で提案する追従モデルにより、あるタイミングと速度から主道路上を走行する主交通車両のギャップを狙って合流させることである。仮に、主交通流率が高い状態では、主交通流中に存在する合流するためのギャップ数（空スペース数）が減少するため、渡り線内に合流待ちをする車両が多くなると予想される。したがって、渡り線の長さ主道路の交

通流率により、インターチェンジ容量は変化すると考えられる。

渡り線の長さには最適な長さが存在する筈である。

そこで、本研究では渡り線の長さ主インターチェンジ容量との関係を明らかにすることにより、最適な渡り線の長さを求めることを目的としている。

本研究は、この課題をシミュレーションによって検討したものである。

2. 渡り線の幾何構造

渡り線は、図-1に示されるとおり、分岐から合流までのバッファ、減速、転回、加速区間によって構成されている。

以下に、その概要を示す。

・バッファ：渡り線内が合流待ち車両により飽和状態となった時に、分岐して渡り線内に流入したならば制動距離を確保できないために本線上で減速を余儀なくされ、主道路上の走行を妨ぐ場合が起こり得る。これを防ぐための滞留スペースをバッファということとする。

バッファ区間長を「主道路1側分岐点から減速区間の始点までの長さ」として定義する。また、減速区間長（約17m）、転回区間長（約16m）、加速区間長（約25m）は固定の長さとする。これより渡り線の長さは、バッファ長の長さを変えることにより設定する。したがって、以下、バッファ区間長主インターチェンジ容量との関係を明らかにすることにより、最適なバッファ長を求めることを目的とする。

ここで、主道路1側分岐点で分岐した後先頭車の影響を受けない場合、バッファ区間では主道路と同速度で走行することとする。一方、バッファ長を0mに設定したならば、分岐した後、すぐに減速区間で減速させることとする。

・減速区間：転回区間で転回可能な速度になるま

*キーワード：インターチェンジ・バッファ・迂回、空座席

**正会員 （財）国土開発技術研究センター

（東京都港区虎ノ門2-8-10、第15森ビル7階、TEL 03-3503-7619
FAX 03-3507-0552

***正会員 工博 日本大学教授 理工学部交通土木工学科
（千葉県船橋市習志野台7-24-1、TEL 0474-69-5504、FAX 同左）

****正会員 工博 日本大学助手 理工学部交通土木工学科
（千葉県船橋市習志野台7-24-1、TEL 0474-69-5504、FAX 同左）

で減速する区間である。

・転回区間：転回するための区間である。

合流待ちをする先頭車両は、図-1に示す転回区間内で停止させることとする。この停止位置から加速することにより転回区間終点で5 (m/s) となる。

・加速区間とは、転回区間の終点から加速して主道路に合流するための区間である (5→15m/s)。

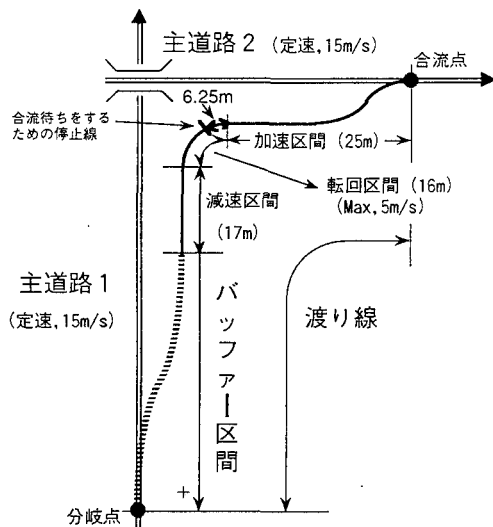


図-1 渡り線の幾何構造

3. シミュレーションにおける交通流モデル

シミュレーションの交通流モデルを以下のように想定し設定した。また、スキャン間隔は0.1 (s) のピリオディックスキャンを用いてシミュレーションを行った。なお、車両発生については、一様乱数を用いて1 (S) おきに発生させた。

(1) 車種特性

車種は小型トラックのみとし、車両の属性を以下の表-1に示す。

表-1 車両の属性

最大減速率	3.0 (m/s ²)
最大加速率	2.0 (m/s ²)
反応遅れ時間	0 (s)
有効車長	5 (m)

本研究で用いた追従モデルでは、モデルの簡便化を図るため定速、加速、減速のみの行動様式とす

る。加速、減速については表-1に示される最大加速率、最大減速率のどちらかを常に用いることとした。なお、車長を4.7m、停止時のクリアランスを0.3mとして有効車長を5mに設定した。

(2) 車両挙動

シミュレーションの車両挙動はX-T（距離-時間）の2次元モデルとした。

1) 速度

本線上では、常に54km/h (15m/s) の定速走行を行うこととした。また、転回区間は (0~18km/h (5m/s)) で走行することとした。

2) 渡り線で用いる追従モデル

先行車両の進行状態は、先行車定速行動・停止行動・減速行動・加速行動の4パターンとし、追従車両はこのいずれかに対応した行動を行う。

(3) 交通流モデルの概要

① 高密度走行を維持するために主道路上を走行する車両は、常に単位車頭時間1 (s) (速度15m/sの定速走行より最小車頭距離15m) で走行する。すなわち、主道路上の走行車両は車頭距離15mの整数倍の間隔で走行することになる。

② 想定されるネットワーク上のガイドウェイを走行する車両は、ムービングターゲットなる仮想的点（図-2）に追従して走行するものと仮定する。このターゲットに追従していない車両は15mの空きスペース（以下、空座席と呼ぶ：図-2）が存在する。渡り線から主道路へ合流するときは、これから乗ろうとする「空座席」を見出し、その座席をねらって合流する。この時の位置、時点により速度を制御しながら狙った座席に合流する。一方、「空座席」を確保できなかった場合は、できるだけ合流に近い地点で空席待ちをすることにする。

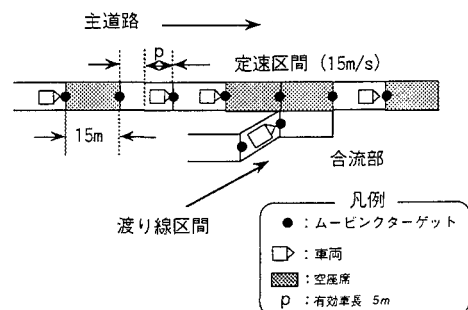


図-2 合流部での車両挙動

③ 空席待ちをする車両により渡り線内が飽和状態であるならば、渡り線側に分岐しようとする車両は、衝突を回避するべく制動距離を確保するために主道路上の分岐点手前で減速を余儀なくされ、主道路上の走行に影響を与えることが予想される。この場合、この車両は分岐せずに主道路上を直線させ、さらに下流のインターチェンジまで行ってから迂回経路をたどって目的地に行かせることとする。このような場合を「迂回」と定義する。

(4) 主道路上のムービングターゲットに乗るための渡り線での車両行動

渡り線交通車両がスムーズに合流するには、このまま進行したときに主交通車両により合流を妨げられる、と予測するならば、次の空座席を見出し、その狙った座席に乗るための速度制御を行いながら調度良い速度とタイミングで合流する必要がある。そこで、狙った空座席に乗るための速度とタイミングの制約の下で追従走行を行うことのできる追従モデルを提案する。これから乗ろうとする「空座席」が見出され次第、図-3に示す速度制約領域が車両一台ごとに与えられる。この時位置、時間によって制約を受ける領域が決まり、その領域で与えられる速度制約に従いながら追従走行を行う。図-3の太線はその速度制約領域の境界線を示す。X軸には経過時間 T (s) を示し、Y軸には経過時間 T での位置 X (m) を示す。

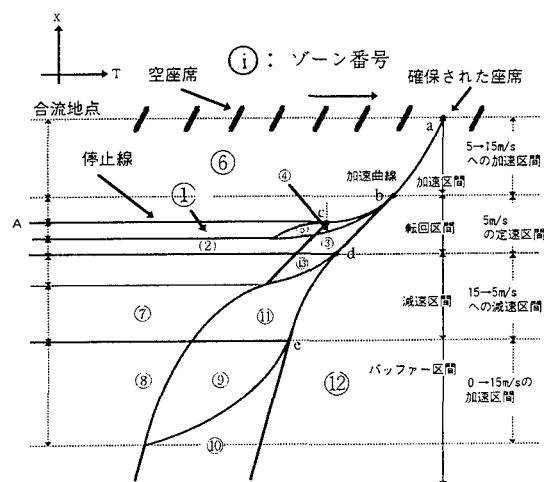


図-3 主道路上の狙った座席に乗るための速度制約領域

この図からわかるように①～⑬の複雑な速度制約領域が存在する。

このモデルは渡り線交通車両が主道路上のムービングターゲットに乗るために、速度制約ゾーンがもつ速度 V_{max} 、もしくは V_{min} によって速度制約を与えるものである。

速度 V_{max} とは、各ゾーンが持つ速度 V_{max} を越えないように減速させることで狙った空座席に乗れるようにする最大速度のことである。

速度 V_{min} とは、各ゾーンが持つ速度 V_{min} を下回らないように加速させることで狙った空座席に乗れるようにする最小速度のことである。

1) 運行ロジック

狙った座席に最短時間で乗るためには、図-3に示される境界線 $e \rightarrow d \rightarrow b \rightarrow a$ の軌跡（時間距離平面上）をたどらなければならない。つまり、待ち時間無しで合流する時はこの軌跡をたどることになる。また、狙った座席に乗るためには、ゾーン6、12の領域内に車両が存在するようなことがあってはならない。車両が少しでもこれらの領域に存在するならば、狙った座席に乗ることは不可能となる。さらに、車両がゾーン1に存在するときは、ゾーン1が持つ速度 V_{max} により境界線Aの停止線で停止するように制御し、この地点で本線上の「空座席」に乗るために合流待ちを行うこととする。

4. ケース設定

1) バッファー長

バッファー長を0m、100m、200m、300mの4ケース（100m毎）に設定し解析した。その結果、0mと100mのケースで大きな変化が見受けられ、さらにその原因を追究するべくバッファー長が0～100m間での20m、40m、60m、80mの4ケース（20m毎）について設定し、合計8ケース行った。

2) 交通流率

表-2に示す通り、（本線+渡り線）の合流後交通流率が3600台/時以下になるように45ケース行った。また、交通流率が近飽和状態（3240veh/h：表-2の●）でのバッファー長とインターチェンジ容量との関係について行った。

表-2 交通流率のケース設定

		本線側								
		3240	2880	2520	2160	1800	1440	1080	720	360
渡り線側	360	○	●	○	○	○	○	○	○	○
	720		○	●	○	○	○	○	○	○
	1080			○	●	○	○	○	○	○
	1440				○	●	○	○	○	○
	1800					○	●	○	○	○
	2160						○	●	○	○
	2520							○	●	○
	2880								○	●
	3240									○

(単位: 台/時間)

迂回率は次式(6)により算出した。

$$\text{迂回率} = \frac{\text{迂回台数}}{\text{分流需要台数}} \dots (6)$$

以下、インターチェンジ容量を分岐して渡り線に流入したときの流入率(100-迂回率)% (図-4、5のZ軸)として捉えることとする。

5. シミュレーション結果

バッファ長が0~300m(100m毎)の場合を図-4、0~100m(20m毎)の場合を図-5に示す。

図-4より、渡り線側の交通流率に関わらずバッファ長が0mから100mで迂回率が急激に減少している。また、バッファ長が100mより長い場合は、渡り線の交通流率に関わらず迂回率はさほど変わらない。また、渡り線の交通流率が高くなるにつれてバッファの長さが0mから100mですら違いが小さい。このことから、バッファ長を100mより長く設定しても、インターチェンジ容量は変わらないことがわかった。また、図-5より、渡り線側の交通流率に関わらずバッファ長が0mから20mで迂回率が急激に減少している。また、バッファ長が20mより長い場合は、渡り線の交通流率に関わらず迂回率はさほど変わらない。このことからバッファ長を20mより長く設定しても、インターチェンジ容量はさほど変わらないことがわかった。

6. 結論と今後の課題

当然のことながら、渡り線の交通流率が高くなるにつれて迂回率は大きな値を示している。このことは渡り線の交通流率が高くなるにつれてインターチェンジ容量が低下することを示している。さらに、インターチェンジ容量上はバッファの長さが

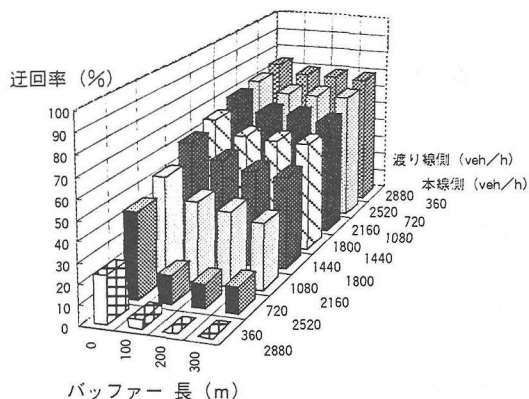


図-4 バッファ長と迂回率の関係
(0~300m)

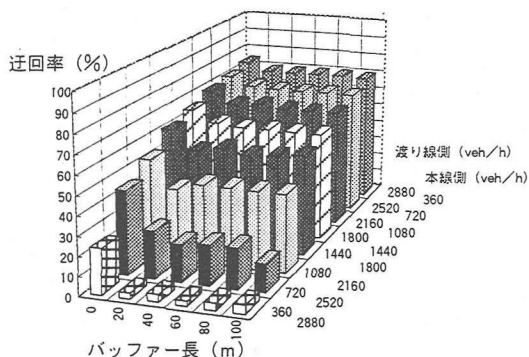


図-5 バッファ長と迂回率の関係
(0~100m)

20m(渡り線長78m)あれば、実用上十分であることがわかった。

今後の課題として、ネットワーク上で、迂回率が高くないような巨視的な経路指定を行うアルゴリズムを開発する必要がある。

参考文献

- 1) 土木学会誌/地下物流ネットワーク構想
1992年4月号 越 正毅
- 2) 建設省土木研究所 共同研究報告書 第123号 新物流に関する共同研究報告書 1985年 3月
- 3) VERTIS グランドデザイン(インテリジェント交通システムの研究 開発基本計画
1984年 10月、VERTIS
- 4) 新交通システム/その6 新交通システムの開発実験
CVSの会 越正毅・石井威望・井口雅一