

13. AHS のボトルネック解消効果に関する研究

建設省土木研究所 正会員 ○横田敏幸
 東京大学生産技術研究所 正会員 桑原雅夫
 東洋大学工学部 正会員 尾崎晴男

1. はじめに

サグや交差点のようなボトルネック箇所における AHS の渋滞解消効果について交通流シミュレータを用いた分析を行う。ここでは泰野サグをモデルにした渋滞や一般道路である新大橋通りのネットワークを用いた交差点ボトルネックの解消効果についての分析を行う。

2. 交通流シミュレータによる AHS 車両の追従式

交通流シミュレータ¹⁾による AHS 車両の追従走行は A, B, C, D の 4 つのモードで制御され、これまでに AHS 車両の追従走行等について研究開発を行ってきたところである²⁾。図-1 にそれらモードの関係を示す。ここでは車頭時間(headway)が一定になるような AHS 車両の制御を行うこととし S-V 関係の領域によりそれぞれの追従式を用いている。(1)~(5)にその式を示す。

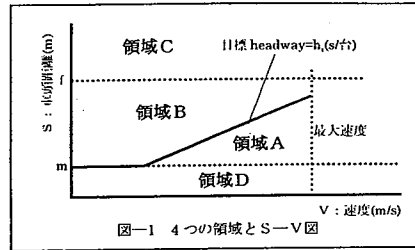


図-1 4つの領域とS-V図

領域 A :
$$dV_F(t+T)/dt = K_1 \Delta V(t) + K_2 (g(t) - a(t)) / g(t) \quad (1)$$

領域 B1 ($\Delta V(t) \geq 0$) :
$$dV_F(t+T)/dt = K_1 \Delta V(t) + K_3 (g(t) - a(t)) / a(t) \quad (2)$$

領域 B2 ($\Delta V(t) < 0$) :
$$dV_F(t+T)/dt = K_3 (g(t) - 2.0) / a(t) - (\Delta V(t))^2 / (g(t) - a(t)) \quad (3)$$

領域 C :
$$dV_F(t+T)/dt = K_4 \quad (4)$$

領域 D :
$$dV_F(t+T)/dt = -K_5 \quad (5)$$

ここで、 $\Delta V(t)$: 先行車と追従車の速度差、 T : 反応遅れ時間、 $g(t)$: 車頭距離、 $s(t)$: 時刻 t における目標車頭距離 (速度の関数)、 $a(t) = s(t)^2 / g(t)$ 、 K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 : パラメータ、 m : 最小車頭距離、 f : 追従限界距離

3. 高速道路サグ渋滞の再現式: 越モデル (尾崎バージョン)

越、尾崎らはサグの隘路現象を再現するモデルを考案している³⁾。その内容を以下に示す。

$$dV_F/dt = dV_{F1}/dt + dV_{F2}/dt + dV_{F3}/dt + dV_{sag}/dt$$

相対速度への反応項

①加速時
$$dV_{F1}(t+T_1^+)/dt = \alpha^+ \cdot \frac{[V_F(t)]^{m^+}}{[S(t)]^{l^+}} \cdot [V_L(t) - V_F(t)] \quad (6)$$

②減速時
$$dV_{F1}(t+T_1^-)/dt = \alpha^- \cdot \frac{[V_F(t)]^{m^-}}{[S(t)]^{l^-}} \cdot [V_L(t) - V_F(t)]$$

$$T_1^+ = \tau^+ + p^+ \cdot dV_L(t)$$

$$T_1^- = \tau^- + p^- \cdot dV_L(t)$$

目標 headway からの偏差への反応項

$$dV_{F2}(t+T_2)/dt = \beta \cdot (1/[S(t)]^n) \cdot [S(t) - f(V_F(t))] \quad (8)$$

$$f(V_F) = a_3 V_F^3 + a_2 V_F^2 + a_1 V_F + a_0$$

先行車の行動にあわせる補正項

$$dV_{F3}(t+T_3)/dt = \delta \cdot (1/[S(t)]^h) \cdot dV_L(t) \quad (9)$$

縦断勾配の影響項

$$dV_{sag} = g [\sin \theta(t) - \sin \theta(t - T_g)] \quad (10)$$

ここで、 $V_F(t)$: 時刻 t における追従車の速度、 $V_L(t)$: 時刻 t における先行車の速度、 T_1^+ : 加速時の相対速度への加速反応遅れ時間、 $S(t)$: 時刻 t における先行車と追従車の車間距離、 T_1^- : 減速時の相対速度への減速反応遅れ時間、 T_2 : 目標 headway からの偏差への加減速反応遅れ、 $f(V_F)$: 追従車の速度が V_F の場合の希望車間距離の関数、 T_3 : 先行車の加速度に対する加減速反応遅れ、 g : 重力加速度、 T_g : 縦断勾配の補償対応に対する反応遅れ、 $\theta(t)$: 時刻 t における走行地点の縦断勾配、 $\alpha^+, m^+, l^+, \tau^+, p^+, \alpha^-, m^-, l^-, \tau^-, p^-, \beta, n, a_3, a_2, a_1, a_0, \delta, h$: パラメータ

4. AHS によるサグ渋滞解消効果に関する分析

東名高速道路秦野サグの上り線を念頭に置いた縦断勾配差 2.3%、縦断曲線長 500m (47.236kp から 46.736kp)、 $R=21,700m$ 、1車線の構造の道路モデルを用いサグ渋滞再現の確認及び AHS 導入効果の評価を行う。

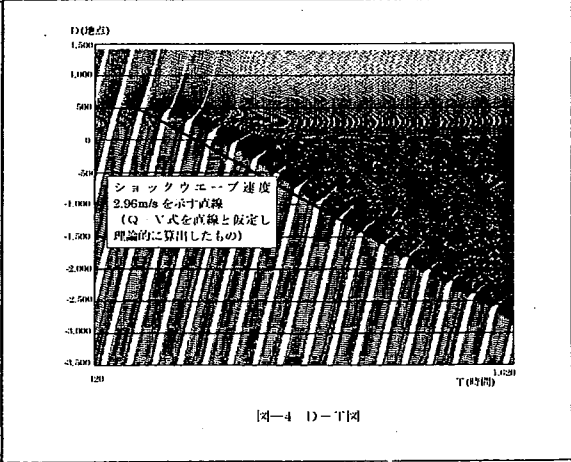
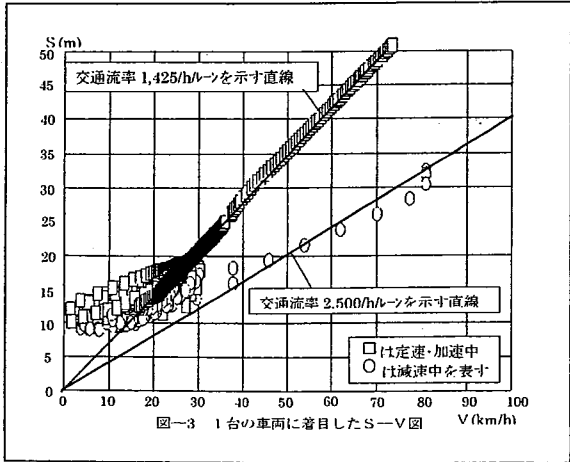
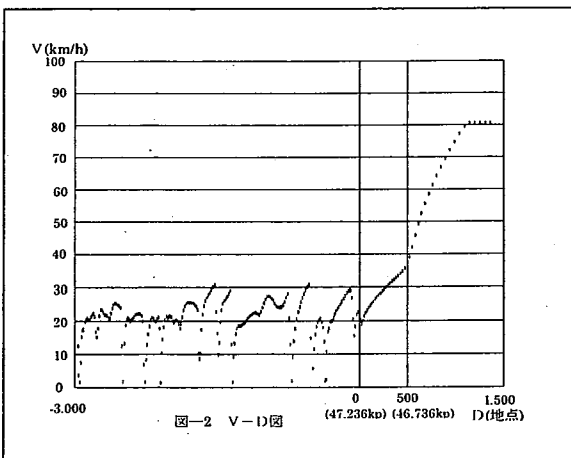
1) サグ渋滞再現の確認

入力する交通流は、車群を形成させ上流より周期的かつ断続的に発生させる。このとき車群中の交通流率を 2,500/h/レーン (目標 headway=3,600/2,500=1.44 s/台) とし、車群の台数を変化させることによって1時間あたりの交通量を変化させる。このとき発生させる車両は乗用車のみとする。なお、越モデル (尾崎バージョン) の交通流率は速度の関数となっているが、ここではサグ渋滞流到着前の定速状態においては先行車が速度変化を生じなければ 2,500/h/レーンの交通流率を維持するようにする。また、(6)~(10)式における越モデル (尾崎バージョン) のパラメータは尾崎の研究事例に基づいて設定する。

車群中の交通流率 2,500/h/レーンを維持しながら、車群台数を徐々に増加させることで渋滞にいたる直前のサグ部の最大交通流率を計測し、さらに渋滞が発生し交通流が安定した時点での交通流率を計測した。その結果、非渋滞時の最大交通流率は 1,850/h/レーン、渋滞時交通流率は 1,425/h/レーンであった。

図-2 の V-D 図 (速度-距離図) に渋滞が発生したあとの車両の走行状態を示す。サグ部を先頭に渋滞が形成され、渋滞中の走行速度が 0~約 30km/h の範囲で変動し尺とり現象を再現している。次に 1 台の車両がサグの上流から下流まで走行する際の自由走行→渋滞走行→自由走行についての S-V 図 (車頭距離-速度図) を図-3 に示す。この S-V 図から渋滞前後の走行状況はそれぞれ 2,500、1,425/h/レーンの交通流率を示す直線とほとんど一致し、渋滞中の尺取りの交通現象が 0~約 30km/h で発生していることがわかる。図-4 には D-T 図 (時間-距離図) を示す。この図において、車群がサグの上流から自由流の状態で流入しサグ部を通過する際に渋滞を形成しその渋滞が上流へ伝搬している様子や、自由流から渋滞流へ巻き込まれサグ渋滞を通過し再び自由走行へと移行している状況がわかる。

越モデル (尾崎バージョン) が厳密に再現されたかどうかについてはより詳細な検討が必要であると考えられるが、渋滞前・後の交通流率の再現、V-D 図、S-V 図、D-T 図の分析から AHS の渋滞解消効果の評価するに十分なサグ渋滞の再現がなされていると考える。



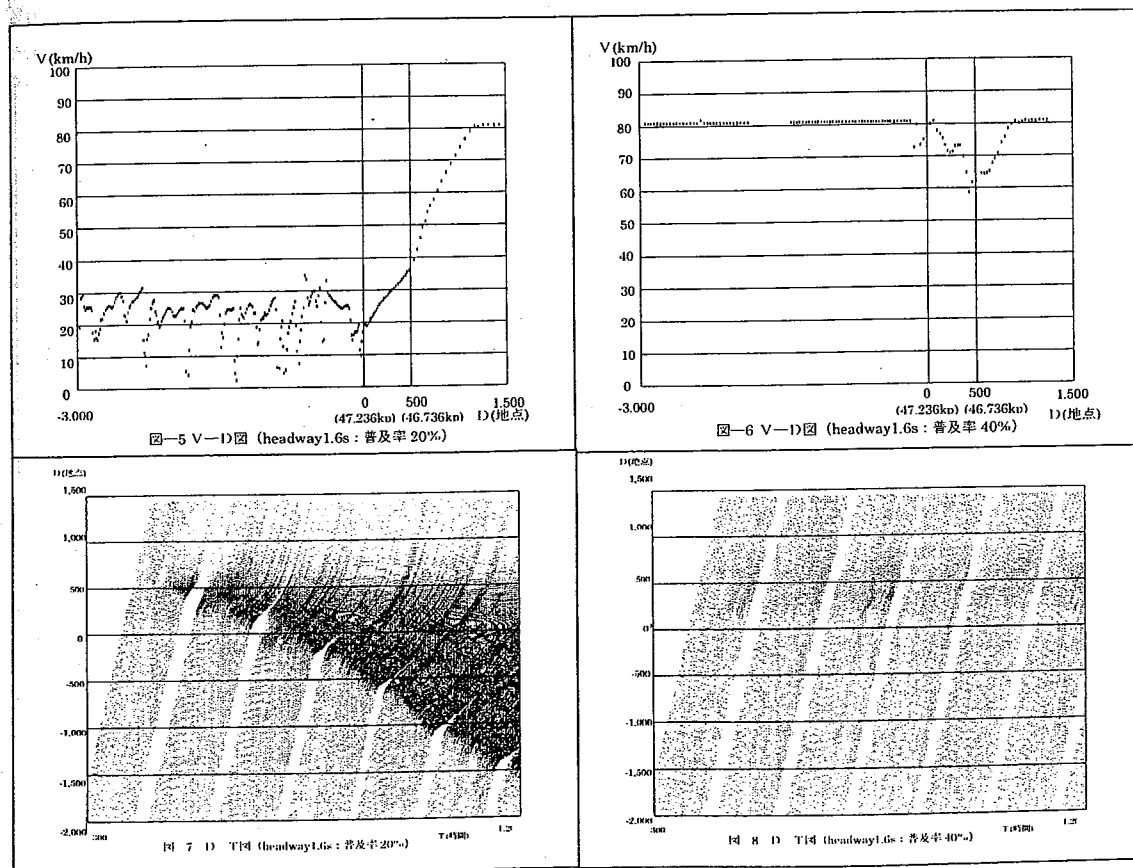
2) サグにおける AHS の導入効果の評価

同様の道路モデルに対し AHS 車両の目標 headway を 1.6, 0.9 s/台の 2 段階、普及率を 0, 20, 40, 60, 80, 100%、反応遅れ時間 0.3s としシミュレーションを実施する。非 AHS 車両の車群中の交通流率を 2,500/h/レーン、車群と車群の間隔を含めた交通流率を AHS 車両の目標 headway、普及率に関わらず 2,000/h/レーン (平均 headway 1.8 s/台) に設定する。このとき、1 時間の車群の発生回数を 25 回とし 1 車群の車両台数を 80 台程度とする。

シミュレーションの結果、AHS 車両の目標 headway が 1.6, 0.9s/台の場合ともに普及率が 0, 20% の場合にはサグ部の速度低下が増幅して渋滞が発生、継続したが、40, 60, 80% の場合はサグ部を通過する際に若干の速度低下がみられたものの渋滞は形成されなかった。普及率が 100% のケースでは渋滞が形成されなかっただけでなくサグ部を通過する際の減速も生じなかった。なお、サグ通過の際の減速の程度は普及率が高いほど小さかった。

ここでは実験結果をすべて示すことが出来ないため、図-5~8 に AHS 車両の目標 headway を 1.6 s/台、普及率を 20, 40% の場合の V-D 図、D-T 図を示す。なお普及率 20, 40% のケースを掲載したのは渋滞発生と非発生状況を示すためである。

今回の実験から AHS 車両の普及率が途上であってもサグにおける交通容量を向上させることができると考えられる。その際、AHS 車両の目標 headway の設定の違いはさほどなく、サグにおけるドライバーの走行挙動が増幅しながら上流に伝搬される交通現象を緩和する AHS 車両の普及率の方がより支配的であると考えられる。



5. 新大橋通りにおける AHS のボトルネック渋滞解消効果に関する分析

新大橋通りにおける道路モデルを図-9 に示す。

対象区間は都道東京市川線（新大橋通り）の中央区日本橋浜町 3 丁目から墨田区菊川 2 丁目までの約 2km の区間で 10 の信号交差点を含んでいる。

交通状況調査は平成 9 年 9 月 17 日（水）am7:00 ~am10:00 の時間帯に行われた。（交通需要は 8 時台が一番大きかった。）この区間は平成 6 年度道路交通センサス一般交通量調査でも 12 時間交通量が 16,600 台と交通量も多く、朝のピーク時には上り方向では隅田川をこえる新大橋付近の新大橋西交差点を先頭に渋滞が頻発している。調査当日、7 時台の交通は上り下り方向ともに非渋滞流であったが、8、9 時台は上り方向において新大橋西交差点を先頭に 500~600m 程度の渋滞が発生した。

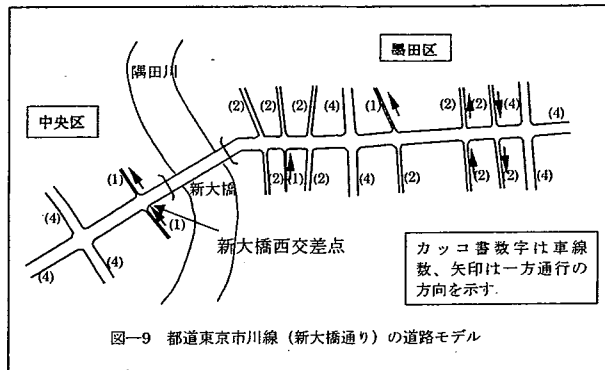
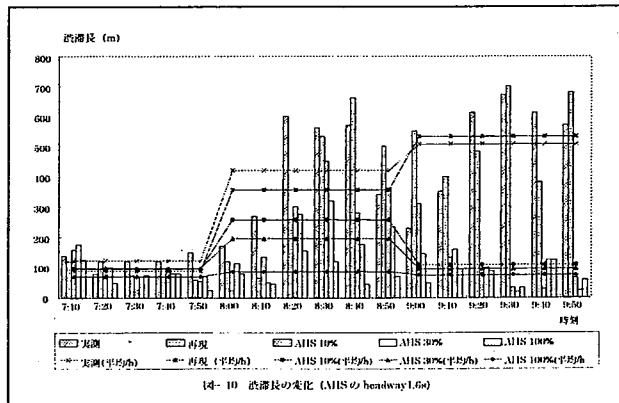


図-9 都道東京市川線（新大橋通り）の道路モデル

1) AHS の導入効果の評価

AHS 車両の設定は目標 headway を 1.6, 0.9 s/台の 2 段階、普及率を 0, 10, 30, 100% の 4 段階とし、反応遅れ時間を 0.3s (非 AHS 車両の平均反応遅れ時間 1.0s) とする。図-10 に目標 headway 1.6s/台、普及率を 0, 10, 30, 100% の場合の新大橋西交差点を先頭とする上り方向の渋滞長の変化を示す。ここで、渋滞長とは停止車両最後尾までの長さとして定義する。図-10 より、普及率が低い段階からボトルネック渋滞がかなり解消されていることがわかる。(headway 0.9 s/台で普及率が 30% のケースの渋滞解消効果は普及率が 100% のケースとほとんど同じであった。)



14-10 渋滞長の変化 (AHS の headway 1.6s)

このように普及率が低い段階から渋滞改善効果があったことについては次のように考察することが出来る。越、桑原らによると「都市内の平日の交通渋滞は比較的低い割合（数%から 10 数%）の超過需要によって発生する。」¹⁾と指摘されるが今回の実験の場合、反応遅れ時間が小さく規則的な

走行を行う AHS 車両がある程度普及したことでボトルネックの交通容量を超える需要分に対する相殺効果があり新大橋西交差点を先頭とする渋滞をかなり解消させることができた。また、この効果については headway 1.6s, 0.9s とともに普及率がさほど高くない段階でもかなりの効果が出ている。このことから、headway の短縮も渋滞解消に有効と考えられるが反応遅れ時間の短縮や規則的な挙動の効果も大きいと思われる。

6. あとがき

本研究からは AHS 車両の普及率が途上であっても高速道路、一般道路ともにボトルネックの解消効果があることが確認された。また、その効果は headway の短縮だけでなく反応遅れ時間の短縮や規則的な挙動による効果も大きいと推測された。今後これらの研究について様々な状況で精査を実施する。

¹ Gordon Duncan: Paramics Technical Report, Car-Following, Lane-Changing and Junction Modeling

² 横田敏幸, 桑原雅夫: AHS の交通流へ与える影響に関する分析, 第 53 回土木学会年次講演会, 1998 (予定)

³ 尾崎晴男: 車両の追従挙動とサグの隘路現象, 東京大学学位論文, 1994

⁴ 越正毅, 桑原雅夫, 大蔵泉, 鹿島茂, 片倉正彦, 岩崎征人, 赤羽弘和: 交通工学通論, 技術書院, pp.115, September, 1989