

高速道路渋滞シミュレーションモデルを用いた雪氷対策の 評価に関する基礎的研究

BASIC STUDY ON EFFECTIVENESS OF EXPRESSWAY OPERATIONS IN WINTER USING BOTTLENECK SIMULATION MODEL

巻上安爾*・河島 恒**・根岸克典***・竹内新一****

By Yasuji MAKIGAMI, Hisashi KAWASHIMA, Katsunori NEGISHI and Shinichi TAKEUCHI

This report describes the results of a simulation study which was conducted to evaluate the effectiveness of traffic operations for the Sekigahara section of the Meishin Expressway under snowy and icy roadway surface conditions. The Expressway Bottleneck Simulation Model, which was already developed, was used to compute the total travel time during such operations as chain regulation, detour guidance and speed control using snow plough trucks. The effectiveness of each operation was evaluated in terms of the total travel time. The results of the study indicate the direction for the effective winter time traffic operation on the Expressway clearly.

Keywords : expressway, simulation, traffic operation, winter traffic

1. ま え が き

都市間高速道路の供用延長は昭和63年4月には、4200kmを越え、利用交通量は日平均200万台に近い値となってきた。まさに国土の大幹線で産業経済はいうに及ばず、国民の日常生活も高速道路に大きく依存している。このような高速道路に要求される機能として最も基本的なことは、いついかなるときにも安全で、安定した交通の流れを確保しておくことであろう。

このため大都市周辺の路線で渋滞の頻発している区間では拡幅・別線建設・トンネル増設等の道路構造の改善による交通処理能力の向上を計ると同時に交通管制を実施して円滑な交通を保持し、事故を防止するための各種の対策が施されている。特に冬期の積雪・凍結時には除雪や凍結防止剤の散布により走行可能な路面を確保するとともに、必要に応じて速度制限やチェーン規制が実施されて冬期交通確保のための施策が講じられている。とりわけ東名・名神の両高速道路は東京と大阪を結ぶ大幹線中の大幹線で、上述の改築工事が着々と実施されてい

る。しかしながら名神高速道路の関ヶ原地区は、冬期日本海を渡り、ほとんど何の地形的な抵抗もなしに琵琶湖から直接吹きつけてくる季節風のため積雪・凍結の程度がその前後の区間と比べて格段に厳しくなっており、この大幹線を常時交通可能な状態に保つうえで大きな支障となっている。当区間の管理運用を担っている日本道路公団名古屋管理局は、局の設立以来、当区間の雪氷対策に取り組み、わが国の高速道路上における雪氷作業の草分け的な存在であるが、東名・名神両高速道路の利用者は降雪時や積雪・凍結路面上の走行に不慣れなものが多く、問題の難しさを倍増している。

これまで当区間の雪氷対策としては、除雪と薬剤の散布に加えて、チェーン規制が主として行われてきたが、チェーン装着を実施させるチェーンベースでの交通処理能力が低く、大きな渋滞を引き起こす等の問題が生じていた。このため高速道路上に点在するチェーンベースや、パーキングエリアを拠点として一定時間間隔に除雪車を先導させ、その後を本線走行車が追尾していく、いわゆる梯団誘導を導入し、冬期における交通処理能力の向上を計ることが試みられている。

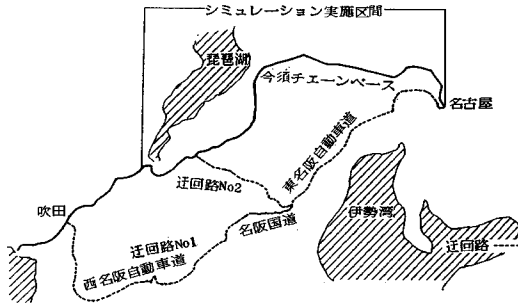
本調査研究はこのようなチェーン規制や梯団誘導に加えてチェーン規制の実施に伴って重大な渋滞が発生したり、事故等による交通止めの際の対策として検討が進め

* 正会員 工博 立命館大学教授 理工学部
(〒603 京都市北区等持院北町 56-1)

** 正会員 日本道路公団高松建設局長

*** 日本道路公団名古屋管理局交通技術課長

**** システム科学研究所



図一 検討対象区間と迂回路

られている迂回制御も加えて、雪氷時の交通処理対策の可能性と効果を、名神高速道路関ヶ原地区をケーススタディーとして取り上げ、総合的な検討を試みたものである。なお、上記の各種交通処理対策を実施中の高速道路本線上の交通状況はすでに開発されている高速道路渋滞シミュレーションモデルを用いた。シミュレーションの実施範囲は、東名高速道路名古屋インターチェンジ～名神高速道路京都東インターチェンジ間の下り線である。図一に本調査研究の対象区間を示す。

2. モデルの概要と現況シミュレーション

(1) モデルの概要と入力データ

上述の高速道路渋滞シミュレーションモデルは、交通流を圧縮性流体として取り扱い、15分～20分のシミュレーション時間帯ごとにOD表の形で入力されるランプ間の交通需要のもとで、各区間の平均走行速度、交通密度、旅行時間等の諸係数値を算定していくものである。

モデルの詳細は参考文献1)に示されているが、理論構成の中心部分を紹介すると以下のとおりである。まず、シミュレーションの対象とする高速道路を、交通容量が均一で、ランプからの流出入による交通量の変動もない様な小区間に分ける。いま*i*番目の区間の非渋滞時の交通量(台/時)と交通密度(台/km)をそれぞれ*q(i)*および*k(i)*とし、渋滞時における交通量と交通密度をそれぞれの記号にダッシュマークを付けたもので表わすものとする。さて現シミュレーション時間帯において下流側の隘路区間*j*から渋滞が発生し、区間*i*にもその渋滞後尾が達するものとするれば、区間*i*における渋滞後尾の進行速度、すなわち衝撃波の伝播速度*γ(i)*(km/時)は次式で求められる。

$$\gamma(i) = \frac{q'(i) - q(i)}{k'(i) - k(i)} \text{ (km/時)} \dots\dots\dots (1)$$

衝撃波が区間*i*の上流端を通過する時間*t(i)*は、

$$t(i) = \sum_{n=j-1}^i \frac{l(n)}{\gamma(n)} \dots\dots\dots (2)$$

で与えられる。ただし*l(i)*は区間*i*の区間長である。い

ま現シミュレーション時間帯において、衝撃波は区間*i*を通過してしまうものとするれば、区間*i*の現時間帯における平均交通量*q_d(i)*(台/時)および総旅行時間*T(i)*(台・時)は以下の式で求められる。

$$q_d(i) = \left[1 - \frac{t(i+1) - t(i)}{2\tau} \right] \cdot q'(i) + \frac{t(i+1) - t(i)}{2\tau} \cdot q(i) \dots\dots\dots (3)$$

$$T(i) = \left[\tau - \frac{t(i+1) - t(i)}{2} \right] \cdot k'(i) \cdot l(i) + \frac{t(i+1) - t(i)}{2} \cdot k(i) \cdot l(i) \dots\dots\dots (4)$$

ここにτはシミュレーションの1時間帯長である。上記の式(1)および(3)の両式中の交通密度は、道路構造別に設定された速度と交通量の関係式、すなわち*QV*特性に基づいて、与えられた区間交通量に対する速度を求め、この速度で区間交通量を除することにより求められる。さらに*T(i)*を*q_d(i)*で割れば、区間*i*における旅行時間が求められ、同様に逐次交通流の諸係数値を求めていくことができる。モデルを稼動していくために必要となる入力データは次のとおりである。

- ① 区間別の交通容量については、従来のシミュレーションで用いた既往のデータを主に、「道路の交通容量」に従って算定した可能交通容量も参考にして推定した値を用いた。これはチェーンベースの処理能力や梯団誘導時の交通容量等、雪氷作業の実施上で形成される隘路の交通容量は、実測値あるいは推定値からシミュレーションのケースごとに定められるものの、雪氷対策区間以外の通常路面状態の区間の交通容量は、既往データのものでもそれほど無理のないものと判断したことによる。
- ② 区間別の*QV*特性については、冬期積雪時の実測データが少なく、やむを得ず従来のシミュレーションに用いた曲線式と、大津トンネル坑口で行ったビデオ撮影の結果から、平坦部・勾配部・トンネル部に分けて設定したものをを用いた。ただし、チェーン規制区間内の走行速度等、入手可能な実測値に関しては、*QV*特性でその値以上となる速度は実測値に置き換えるなどの操作を施している。
- ③ 時間帯別ランプ間OD表は、下記に述べる走行実態調査当日の時間帯別OD表、対象区間内3地点の車両検知器による時間帯別交通量および昭和58年度道路交通センサスOD表をもとに作成した。なお、モデルの検証を行うため、昭和61年8月20日(水)にシミュレーション対象区間でフローティング法による旅行時間の調査を実施している。この結果得られた走行速度のコンター図を図二のAに示す⁴⁾。

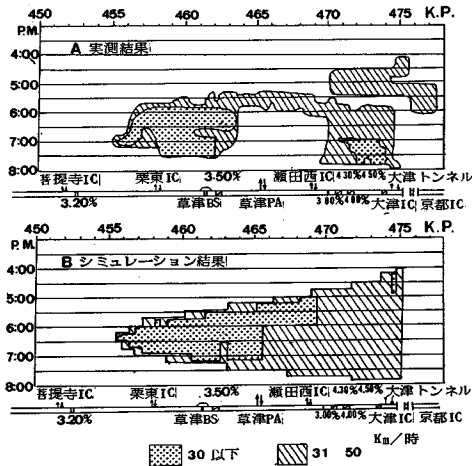


図-2 速度カウンター図

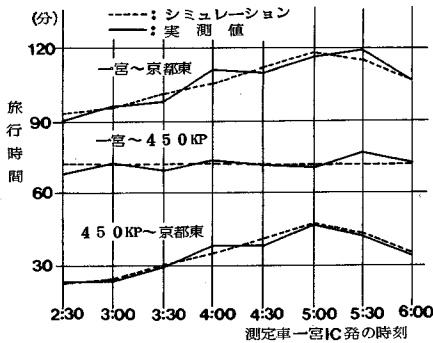


図-3 旅行時間変動図

(2) 現状シミュレーションの結果

シミュレーション結果による走行速度のカウンター図を図-2のBに示す⁴⁾。この結果を図-2のAの実測カウンター図と比較すると、図Aで示されている2か所の隘路からの速度低下の状況が一応再現されており、また渋滞の発生と解消の時刻ならびに渋滞後尾の到達地点も一致している。

旅行時間の変動をみると図-3のとおりである。一宮～京都東間の旅行時間では、実測結果とシミュレーション結果の差はどの時間帯においても5分以内となっている。特にドライバーの個性による影響が出にくいと考えられる450 KP～京都東間においては、両者の差は3分以下に縮まっている。また非渋滞区間であった一宮インターチェンジ～450 KP 間の旅行時間の平均値は、両者ともほとんど同じ値でその差はわずかに3秒となっている。

以上のように通常時の本渋滞シミュレーションモデルの再現性は十分であると考えられる。しかしながら本論文が対象とする冬期の積雪凍結時の走行実態について

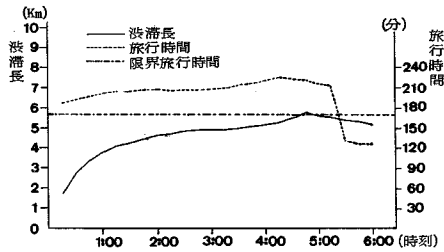
は、調査実施上困難な点が多くモデルの再現性検討に耐えるデータを得ることは不可能であった。したがって本研究では雪氷対策の実施区間以外の区間については通常路面が確保されていることが前提となっているはずであるので、上記検証に用いたモデルを適用し、雪氷対策実施区内では前項②の QV 特性に関して示したように雪氷時期の実績値を加味することによって、それほど無理のない積雪凍結時のシミュレーションが実施されるものと判断して、検討を進めていくものとしたものである。

3. チェーン規制と迂回誘導の効果

(1) チェーン規制シミュレーション

路面の積雪凍結時には、通常チェーン規制が実施されるが、チェーンの装着を行うチェーンベースの疎通能力が限られているため大きな渋滞が発生し、問題となっていることはすでに述べたとおりである。ここでは、この渋滞による旅行時間の損失を減少させるため、図-1に示した迂回路へ利用者を誘導することにより、チェーンベースへの負荷を低減させ、高速道路上の旅行時間の向上を計り、高速道路と迂回路双方の効率的利用の可能性を追求する。まず迂回誘導の前提となるチェーン規制の実行条件を次のように定め、渋滞シミュレーションモデルを用いて、高速道路の交通の状況をシミュレートした。

- ① チェーン規制の時間帯は、実績を踏まえ、かつ迂回路側の交通も少なく高速道路からの迂回交通による影響も少ないと考えられる午前0時～6時とする。
- ② チェーン規制の実施区間は50 km 規制を始めとする冬期の規制実績の多い今須チェーンベース～八日市インターチェンジの間とする。
- ③ 米原、秦荘付近でチェーン規制中の速度の実測結果から規制区間中の走行速度は58 km/時とする。
- ④ 昭和62年度に実施されたチェーンベース利用実態調査²⁾より、今須チェーンベースの夜間の処理能力を433台/時とする。ただし、シミュレーションの第1時間帯にあたる0:00～0:15分の間は、おのおのの車両がチェーンを装着し終えるまでの時間を考慮し、今須チェーンベースの交通容量を0とする。
- ⑤ チェーンの取り外しに関しては、規制区間下流側で通常路面に戻っている区間もあって、利用者が自主的に取り外してしまうことが多い。したがって、ここではチェーン取り外し以降の通常走行による旅行時間の回復も考えて、チェーン取り外しのための損失を旅行時間に見込むことはしないものとした。
- ⑥ シミュレーションに用いたOD表は、対象区間内の4つの車両検知器による昭和62年11月の時間



図—4 チェーン規制時の渋滞長と旅行時間の変動

帯別交通量および昭和58年度道路交通センサスOD表をもとに作成したものを、雪氷対策区間の大垣～八日市間の11月と2月の交通量比を乗じて求めた。

以上の条件を入力して行ったシミュレーションの結果をみると、チェーン規制実施直後からチェーンペースを先頭とした渋滞が急激に立ち上がり、その後時間の経過に伴って渋滞は5時頃まで延伸を続け、規制の解除後に解消している。旅行時間も渋滞の延伸につれて増大している。図—4に名古屋～京都東インターチェンジ間の旅行時間と、渋滞長の変動状況を示す。なお、図—4の横軸の時刻はシミュレーション実施区間の最上流端である名古屋インターチェンジにおける流入交通の流入時刻であり、渋滞長、旅行時間ともに規制の実施時刻と比べると今須チェーンペースまでの到達時間だけずれている。

(2) 迂回路と迂回誘導実施の判断基準

迂回路としては、名古屋からの誘導を想定し、なおかつ現在建設中の名古屋第2環状線（以下名古屋2環という。）がすでに利用可能であると想定して、図—1に示した以下の2つのルートを設定した⁵⁾。

- ① 名古屋インターチェンジ→名古屋2環→東名阪自動車道→国道25号線→西名阪自動車道→近畿自動車道→吹田インターチェンジ
- ② 名古屋インターチェンジ→名古屋2環→東名阪自動車道→国道1号線→栗東インターチェンジ

この2つの迂回路の旅行時間は、昭和61年度に名古屋管理局が実施した冬期迂回路状況調査の結果を参考に、迂回路①を198分、迂回路②を193分と推定した³⁾。両者の間には5分の差があるが、ほぼ高速道路並の規格が全線に保たれ、容量も大きい迂回路①を迂回誘導シミュレーションを行う際の判断基準の対象ルートとし、高速道路上の旅行時間が198分、すなわち3時間18分を超えた場合に迂回誘導の実行に移るものとした。ただし、京都東～吹田間36kmの間の旅行時間28分を上記3時間18分から差し引けば、図—1に示すシミュレーション対象区間である名古屋～京都東間の旅行時間が、2時間50分、すなわち170分間を越えた場合、迂回誘導を実施するものとすればよいことになる。以後、この

2時間50分、あるいは170分を限界時間という。図—4中、一点鎖線で示すこの限界時間と点線の旅行時間を比較すれば、今須でチェーン規制に入った時点で、名古屋インターチェンジにおいて迂回誘導を始めればよいことが示されている。

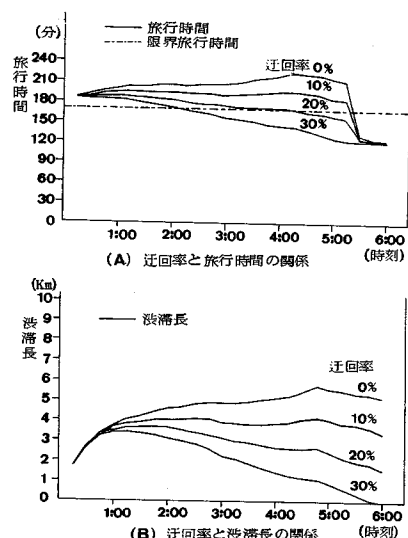
(3) 迂回誘導の実施とその効果

上記の判断基準に従って迂回誘導を実施した場合の、高速道路本線上の交通状況をシミュレーションによって求めた。実行にあたって想定した事項は以下のとおりである。

まず迂回路への誘導は可変情報板、あるいはハイウェイラジオを用いて行われることになるが、通行止めの際の流出規制のような強制的なものではなく、ドライバーが迂回路へ向かうかどうかは、全くドライバー自身の選択にまかせられることになり、一義的に定めることは困難である。ここでは、首都高速道路⁷⁾や阪神高速道路⁸⁾で実施された渋滞原因別・渋滞長別の迂回率に関するアンケート調査や名神高速道路で実施された渋滞情報に対する利用者の意識調査⁶⁾の結果を参考にして、ドライバーが迂回に応じる率、すなわち迂回率の最大値を30%と定め、迂回率10%、20%、および30%の3ケースのシミュレーションを実施した。

この際、迂回誘導の対象となる交通は、名古屋以東から来て吹田以西へ向かう交通は迂回路①へ、栗東～京都南間へ向かう交通は迂回路②へ迂回誘導可能な交通とした。

シミュレーションの結果を図—5に示す。図—5のうち(A)は迂回率の変化に伴う旅行時間の変動状況を、(B)は渋滞長の変動の状況を示している。両図とも0%と記されている渋滞長と旅行時間の変動状況は図



図—5 チェーン規制時の迂回誘導シミュレーション結果

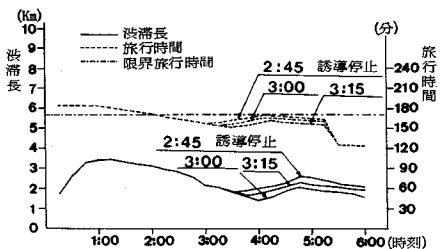
—4に示したものと同じものである。

A図の旅行時間変動状況図から、10%程度の迂回率では、本線上の旅行時間は20分程度減少するものの、チェーン規制終了まで限界値を越えており、迂回の程度はまだ不足していることがわかる。一方20%および30%の迂回率では規制期間の中ほどで本線上の旅行時間が限界値を下回り、誘導による迂回が過大となることが示されている。

またB図の渋滞長の変動状況図では迂回誘導をしなかった場合は、規制解除の30分前まで延伸していた渋滞長は、10%の迂回率では最高約4km程度に達した後、ほぼ一定の値となったのに対して20%および30%の迂回率の場合には規制開始から1時間ほどは渋滞長は伸びていくものの、その後は時間の経過につれ減少の一途をたどっていることが示されている。また、迂回率20%および30%の迂回率に注目して、(A)、(B)両図を比較すると、本シミュレーションのケースでは、渋滞長がほぼ2.5km以下になると本線上の旅行時間が限界時間を下回っていくものと判断される。したがって渋滞長が2.5km以下となる時点で、迂回誘導を停止し、過度の迂回による迂回路での時間損失を防ぐことも考えられる。

このため、迂回率20%および30%の両ケースについて、迂回誘導の解除を上述のタイミングで実施するケースについても、シミュレーションを実施した。その一例を図—6に示す。両ケースともに、渋滞長が2.5km以下となると予測される近傍の時間帯以降、チェーン規制の解除時期まで迂回誘導を停止しても旅行時間が限界時間を超えることもなく、過度の迂回誘導を防ぐのに効果的であることが示されている。

最後に以上のシミュレーション結果から総旅行時間を求めてチェーン規制時における迂回誘導の国民経済的な評価を試みた。総旅行時間は旅行時間と交通量の積であるので、シミュレーションの各ケースについて、シミュレーションの15分間の各時間帯ごとに高速道路本線と迂回路それぞれの総旅行時間を求めた。この総旅行時間の集計時間は、チェーン規制が実施された午前0時から同6時までの6時間である。ただし、(1)チェーン規



図—6 チェーン規制時迂回誘導シミュレーションの結果

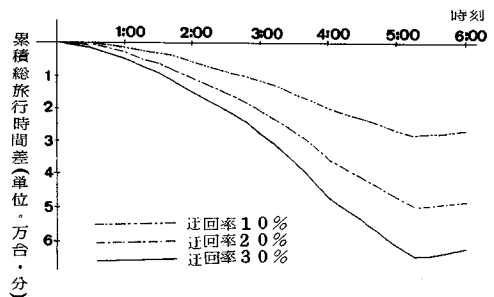
制シミュレーションの実行条件の①項で示したように、迂回路上の交通量は少なく、高速道路上の交通量の変動や迂回率の大小による迂回路上の旅行時間は変化せず常に一定とし、迂回路における総旅行時間の変動は、迂回した交通量の大小に比例して変動するものとしている。結果を表—1に示す。表中に迂回誘導を停止したケースについても、その停止時刻とともに示してあるが、総旅行時間の欄に示してある値は、複数ケース実施した誘導停止シミュレーション中、最も総旅行時間が小さくなったものである。同表からチェーン規制時の総旅行時間はチェーンベースから始まる渋滞のため、時間損失が大きくなっているため、利用者が迂回誘導に応じてくれる割合が高くなればなるほど、全体としての時間損失が少なくなっていくことが示されている。

この迂回誘導の効果をさらに明確に図示するため、迂回制御の開始から各時間帯ごとに迂回誘導をしなかった場合の総旅行時間との差を求めて示したものが図—7お

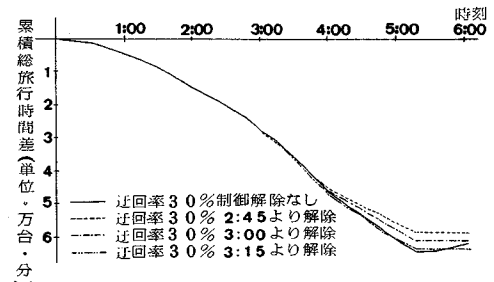
表—1 チェーン規制時の総旅行時間

迂回率	誘導停止時刻	総旅行時間(台・分)	低減率
0%	—	792, 403	1.00
10%	—*	755, 469	0.95
20%	—	717, 985	0.91
	4:15	727, 953	0.92
30%	—	675, 643	0.85
	3:15	667, 538	0.84

* 誘導停止を行っていないケース



図—7 累積旅行時間差の変動状況



図—8 誘導停止時刻の影響

よび図-8である。両図ともチェーン規制終了時間である午前6時において、累積総旅行時間差が大きければ大きいほど効果的であることを示している。したがって図-8では迂回誘導を午前3時15分以降解除した場合の方が、迂回誘導をそのまま継続した場合よりも累積総旅行時間差が大きくなり、誘導の停止時刻を適切に選べば、さらに効果的な誘導が実施される可能性のあることを示している。

4. 梯団誘導の評価

(1) 梯団誘導シミュレーションの条件設定

梯団誘導は昭和62年度に本調査研究の対象区間で本格的な導入が試みられている雪氷対策手法で、冒頭に述べたようにチェーンベースやパーキングエリアを拠点として3台の除雪車を併列で先行させ、その後ろに本線走行車を追尾させていくものである。この手法の導入が本格的に試みられた背景には、チェーン規制区間内とはいえ、上り勾配区間で何らかの理由により車線上で停止する車があれば、その後ろに停止車が続き、いったんこのような停止車の列が発生すると、積雪凍結路面では発進不可能となる車も多く、このため通行止めにまで事態が移行してしまうことを防ぐため、本線走行車のすべてをいったんパーキングエリア等へ導き入れ車群を形成させた後、除雪車が除雪しながら本線を先導し、低速度ながら安定した走行を続けることにより、効率的な冬期の交通確保をねらったものである。当然なことながらパーキングエリア等での停留車の待ち時間を少なくするため、スケジュールにのっとったローテーション形式の誘導が必要となり、大量の除雪機が必要となってくるものであ

る。

この梯団誘導時の交通流の評価は、単に梯団誘導区間の走行速度を誘導速度に置き換えてしまえばよい。また誘導開始地点の交通処理能力の制約から渋滞が延伸することもないので、本モデルの最も特徴的な機能である渋滞時の演算過程が稼動することもない。しかしながら、誘導区間や誘導速度の変更等、種々の変更に対する演算が簡単にできて、しかもチェーン規制のシミュレーションと同じモデルを使うことによって両者の比較が同じ基盤で行えることもあり、梯団誘導の評価も渋滞シミュレーションモデルを用いて行うこととした。シミュレートするにあたって想定した条件は以下のとおりである。

- ① 梯団誘導の実施時間は、チェーン規制シミュレーションの時間帯に合わせて午前0時～6時までの間とし、梯団誘導の時間間隔は実行計画にあわせて20分とする。これは、以下の(2)で示す誘導開始地点での利用車両の溜込みで発生する遅れ時間の評価が容易となり有効な変換となるものである。なお、基本的なOD表は時間単位で用意されており、これを15分あるいは20分間に分割しても、時間交通量そのものは分割方法によって変わることはない。非渋滞の演算を行う限り、全体の演算結果が変動することはない。
- ② 梯団誘導の実施区間は、現在実施中の区間に合わせて図-9に示す養老サービスエリア～百済寺チェーンベースの間とする。
- ③ 梯団誘導時の除雪車の速度は、実測値および図-9に示される計画で想定されている速度に合わせて36km/時とする。なお除雪車の速度の向上が旅行

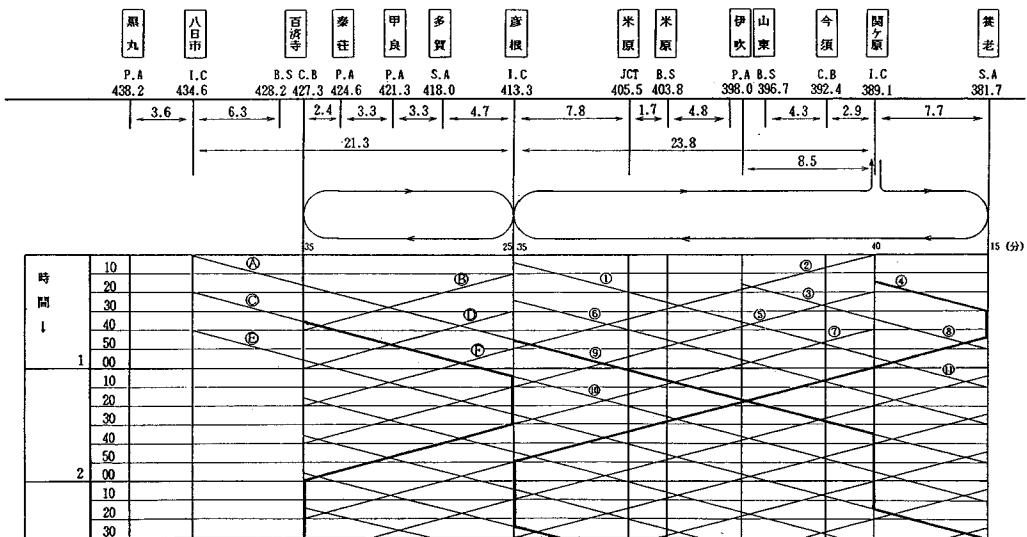


図-9 昭和62年度名神高速道路定時梯団作業(20分間隔目標)

時間の節減に及ぼす効果を見るため、33 km/時および 35km/時のケースも実施した。

- ④ 梯団誘導時の交通容量は、除雪車の走行速度の実測値 (28.8 km/時) と雪氷時の車頭間隔を考慮して 1152 台/時とする。

(2) 梯団誘導における待ち時間の算定

前節で示したように、梯団誘導においては除雪車の後尾に車群を形成させるため、除雪走行の開始前に本線走行車を一定時間待機させるため、一定の溜込み時間を設定する必要がある。本来、梯団誘導時の旅行時間は走行に要する時間と溜込みのための待ち時間を加えた時間であるはずであるが、本シミュレーションの現在の機能では、この待ち時間を加える演算過程が組み込まれていないので、下記によりオフラインで計算し、おのおのの誘導時間帯に待ち時間による時間損失 (台・分) を加えて総旅行時間の算定を行った。待ち時間の計算にあたって想定した事項は次のとおりである。

- ① 梯団誘導の開始地点へは、おのおのの時間帯の交通量にみあった一様な間隔で、走行車が流入してくるものとする。
- ② 前サイクル中に溜め込まれた車両が、梯団誘導時の交通容量の率で流れ出して、停止車がすべて発進し終えた時点から、現サイクル中の溜込み時間を開始する。

いま、

q_i : 梯団誘導開始から i 番目の時間帯の誘導区間への流入交通量 (台/時)

c : 梯団誘導の交通容量 (台/時)

t_i : 時間帯 i における溜込み時間 (分)

とすれば図-10 を参考に

$$t_i = 20 - \frac{q_{i-1}}{c - q_i} \cdot t_{i-1} \dots \dots \dots (3)$$

この場合、時間帯 i における時間損失 D_i (台・分) は

$$D_i = \frac{1}{2} \cdot \frac{t_{i-1}}{60} \cdot q_{i-1} \cdot (20 - t_i) + \frac{1}{2} \cdot t_i \cdot \frac{t_i}{60} \cdot q_i$$

$$= \frac{t_{i-1}(20 - t_i)}{120} \cdot q_{i-1} + \frac{t_i^2}{120} \cdot q_i \dots \dots \dots (4)$$

したがって、梯団誘導を開始する前の溜込み時間 (t_0) を与えれば、以後の時間帯の溜込み時間と時間損失は上記の式を用いて逐次求めていくことができる。本シミュレーションに加算する待ち時間を算定するにあたって t_0 を 5 分として計算したところ、各時間帯の溜込み時間は交通量によって変動し、その範囲は 3 分~17 分の間であった。

(3) シミュレーション結果と梯団誘導の評価

梯団誘導シミュレーションの結果による走行時間は、各時間帯とも一定で、想定した誘導速度の変化に対して

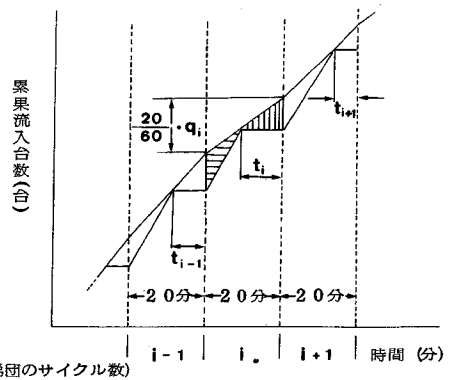


図-10 梯団誘導時の待合せ時間の算定方法

反応するのみで、単純明解である。これはチェーン規制のような渋滞による時間損失がなく、夜間の交通量が少ないため、シミュレーション上の走行速度が QV 曲線上自由走行領域の一定速度となり、誘導区間を除くすべての地点に毎時間帯適用されていることによる。一方、式 (3)、(4) を用いて求めた平均待ち時間は約 6 分であり、これを走行時間に加えたものが表-2 の走行時間の欄に示す値である。この値を図-5(A) に示すチェーン規制時の旅行時間と比較すると、迂回誘導をしない場合のチェーン規制の旅行時間よりも梯団誘導の方が旅行時間は短くなっているが、チェーン規制中の迂回誘導を行い、迂回率が 20% 程度で、30 km/時の梯団誘導とほぼ同じ値となり、迂回率が 30% を超えると、チェーン規制の方が有利になってくることが示されている。

表-2 の第 3 欄にはシミュレーション結果から得られた各時間帯の本線上の総旅行時間の集計値に式 (3)、(4) を用いて求めた誘導待ちによって生ずる損失時間を加えた、梯団誘導時の総旅行時間を示す。また比率の欄に示す値は表-1 に示された、迂回率 0% の場合のチェーン規制時の総旅行時間との比率である。この総旅行時間および比率の数値からも上記と同様のことがいえる。これは、養老~百済寺という約 45.6 km もの距離を 30 km/時程度の速度に押さえ込んで走行させることによるものである。

以上、現在本格的な実施に移った梯団誘導は、これまでのチェーン規制と比べて、旅行時間あるいは総旅行時間といった指標で見ると、迂回誘導が効果的に実施され

表-2 梯団誘導時における総旅行時間

誘導速度 (km/時)	旅行時間 (分)	総旅行時間 (台・分)	比率
30	204	727, 625	0.92
33	195	700, 989	0.88
35	191	685, 770	0.86

た場合には、それほど優位なものではないと判断されよう。しかしながら、チェーン規制が優位となるケースは、迂回率が高い場合であり、一般利用者の迂回誘導に対する反応、あるいは迂回路の交通状況という予測の非常に困難な要素にその有効性を依存している。また梯団誘導における交通容量は、チェーンベースでの処理能力と比較すると3倍以上の能力があると推定され、現時点における夜間の交通量に対して十分な余裕がある。このような点を考慮すれば、梯団誘導が確実に実行に移行されるよう十分の対策を取り、実績を積み上げて作業の信頼性を高めていくことが非常に重要であると判断される。

なお、以上の結論はチェーン規制、梯団誘導ともに事故等の異常な事態の発生はなく、正常な状態で規制や作業が実施された場合を想定した結論であることはいうまでもない。

5. 通行止めを想定したケーススタディー

(1) 通行止めシミュレーションの条件設定

3.の始めに述べたように、経験と実績のあるチェーン規制においても、天候の急変による異常な降雨量の増加、あるいはチェーン装着車のチェーン切れ等予測不可能な事態の発生によって通行止めに至るケースが毎年のように発生している。また昭和62年度初めて本格的な導入が試みられた梯団誘導も、20分間隔の除雪誘導の間に除雪車の除雪能力を越えた降雪量が記録されたり、梯団誘導予定区間外にまで及ぶ広範囲の降雪にみまわれた場合等には、計画どおりの誘導作業に支障が生じてしまうことがあるようである。

このように雪氷時の交通処理には、予測不可能な事態の発生で通行止めに追い込まれるケースが多い。それであるならば、これまでに検討してまた迂回誘導付きのチェーン規制、あるいは梯団誘導の評価の視点として、それぞれの対策が実行されている途中で、異常事態の発生で通行止めとなった場合に利用者が被る損失を両ケースについて求め、比較検討するという見地に立ってみることも十分意義があると考えられよう。このような視点のもとに、下記のような条件を設定して通行止めのシミュレーションの実施を試みた。当然なことながら、異常事態の発生の条件設定ということであるので、明確な理由づけは困難である。しかしながらこれまでの雪氷時期における通行止めの記録からみて、不自然なことはないと判断される条件を設定している。

- ① 降雪量の異常な急増、あるいは事故等により、高速道路本線が通行止めとなった状態を想定し、その時間帯を午前4時～7時の間とする。
- ② 閉鎖区間は、異常事態下での通行止めは比較的広範囲に降雪のあった場合も多いので、梯団誘導区間

より広くとり、大垣～栗東間とする。

- ③ 通行止めとなった場合の各ODを結ぶ交通は、原則としてチェーン規制時の迂回誘導で想定した迂回の方法に従って両迂回路へ迂回するものとする。ただし名古屋～大垣間の中間インターチェンジからの流入交通は現道経由のうえ2環から迂回路へ向かうものとし、閉鎖区間のインターチェンジで流出する交通は、その半数が大垣で高速道路を離脱するものの、残りは開通を待って本線上で待機するものとする。この本線上へ待機する車輛は、シミュレーション実行の便宜上、大垣インターチェンジのオフランプノーズで待ち、行列に加わるものとする。
- ④ 通行止めの期間中、大垣インターチェンジ流出ランプ直近下流の本線の交通量、およびチェーン規制の場合は今須チェーンベースの容量を、また梯団誘導の場合は、養老サービスエリアへの流出ランプ直近下流の本線の交通量をそれぞれ0とする。

(2) シミュレーション結果とその評価

図-11に上記の前提条件のもとで実施したシミュレーション結果に、別途算定した迂回交通の総旅行時間等を加算した通行止め時間帯における総旅行時間の算定結果を示す。図中、黒棒グラフの部分は4時までの総旅行時間および閉鎖区間内における時間損失を加えたもので、閉鎖以前に実施されていたおのおのの規制・誘導の方法の違いで変動していく値である。ここで閉鎖区間内における時間損失とは、主としてチェーンベース、あるいは迂回誘導区間上流端で、通行止めとなった瞬間に渋滞に巻き込まれていた車両が通行止めの時間中に被る時間損失である。

白棒グラフ部分は、通行止めの期間中に閉鎖区間以外的高速道路の部分および迂回路上での総旅行時間で、上記の前提条件のもとで、規制・誘導の方法の違いでその値が変動しないものの総計である。その内容には、閉鎖区間外の名古屋～大垣間、および栗東～吹田間での午前4時から7時までの総旅行時間、大垣ICでの待ち時間、および迂回路を走行する車両の総旅行時間が含まれている。参考までに大垣インターチェンジで閉鎖解除を期待して高速道路本線に止まっている待ち台数の累加状況を図-12に示す。

なお、迂回路等、高速道路の閉鎖区間以外の旅行時間は、閉鎖以前に実施されていた規制・誘導の方法によって変動はしないと判断できるものの、降雪の状況に大きく左右されるものである。したがって上記の白棒グラフの値も迂回路における夜間走行調査の結果によっているが、さらに実際に名神高速道路が通行止めになり、迂回路上も大渋滞が発生した状況で行われた調査に基づいて算定した総旅行時間を白棒グラフに加えて破線で囲まれ

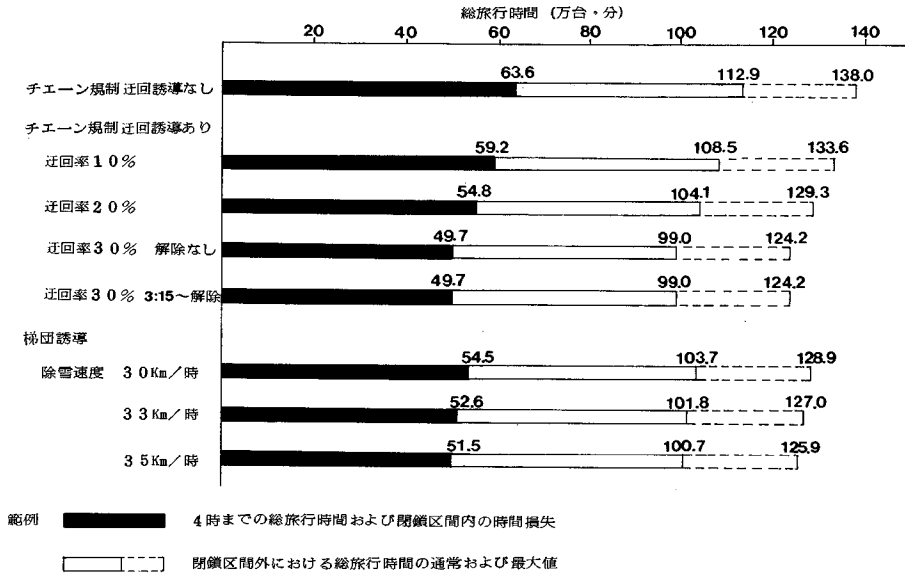


図-11 通行止めシミュレーションの結果

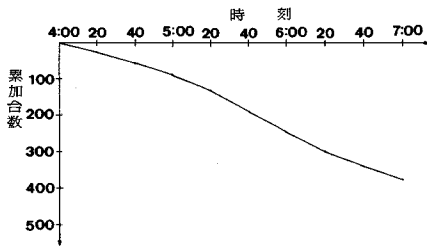


図-12 通行止めの大型における累加待ち台数

た白棒グラフで示している。この場合の状況は栗東インターチェンジへ向かう国道1号線上の平均走行速度が6 km/時となっている等、かなりの悪条件のもとでの値であり、現実の通行止めの場合の総旅行時間は、白棒グラフの右端に示される値と破線白棒グラフの右端に示された値の中間に落ち着くものと判断される。

以上の内容を盛り込んだ図-10の棒グラフから、チェーン規制は、現状のまま迂回誘導を実施しない場合は、通行止めとなった時点でチェーンベースを頭とした渋滞に巻き込まれて身動きできなくなった車両の被る時間損失が大きくなってしまっている。一方、チェーン規制時でも迂回誘導を実施しておれば、チェーンベースでの渋滞長が短くなり、この通行止めとなった場合の時間損失はかなり減少していくことが示されている。また梯団誘導は、本来交通処理能力は十分で、速度押え込みのための溜込み台数も少なく、通行止めの際の時間損失は、チェーン規制の場合と比べて少なくなっている。

なお、表-1に示す迂回誘導なしのチェーン規制の場合の総旅行時間に、午前6時から7時までの総旅行時間

を加えた値と、図-11の通行止めの際の対応する値との差を求めると約21~46万台・分となる。これを通行止めの時間帯である午前4時から午前7時の間の、通行止め上流端における通常時の通過交通量1461台で割り、1台当たりの損失時間を求めると142分~315分となり、3時間の閉鎖に伴う国民経済的損失が非常に大きいことが示されたといえよう。

6. 結論と今後の課題

本調査研究では、東京~大阪を結ぶ東名・名神の両高速道路の冬期雪氷時の隘路である関ヶ原地区において実施されている雪氷対策の評価を、交通処理上の効果に注目して、すでに開発されている高速道路渋滞シミュレーションモデルを用いて行ったものである。検討の対象とした雪氷対策としては、チェーン規制と梯団誘導であり、これに迂回路への誘導の効果もからませて、さらに対策実施中に異常な降雪等による通行止めが生じた際のケーススタディーも加えて、現在あるいは将来にわたって基本的な対策として用いられていくであろうと考えられる雪氷対策の評価を試みた。本調査・研究の結論および今後の課題は以下のとおりである。

(1) 交通流を圧縮性流体として取り扱い、 QV 特性から、交通流の諸特性値を求めていく高速道路渋滞シミュレーションモデルは、本調査区間においても渋滞の発生、伝播状況、旅行時間等について実測した値との検証結果から、再現性が十分あることが確かめられた。

(2) このシミュレーションモデルを用いて、チェーン規制時の渋滞の発生状況と、これに伴う旅行時間の変

遷を追跡した結果、チェーンベースを頭とする渋滞は最大延長が6 km 近くにも及び、名古屋2環～名阪国道等を中心に想定した迂回路上の旅行時間よりも、名神高速道路上の旅行時間の方が大きくなる時間帯が、チェーン規制実施中のかなりの部分を占めることが示された。

(3) 上記の渋滞に起因する旅行時間の損失を低減させる目的で、チェーン規制実施中に迂回路への誘導を行うシミュレーションを実施した。その結果、利用者が迂回誘導に応じる割合が高くなるほど、迂回路上での旅行時間も考慮した総旅行時間は減少していくことが確かめられた。また利用者の過剰な反応によって、過大な迂回がある場合、迂回誘導を停止することにより、さらに効果を上げていくことのできる可能性が確かめられた。

(4) 昭和62年度に本格的な導入が試みられた梯団誘導に関して、梯団の走行速度となる除雪車の速度を30, 33および35 km/時と想定してシミュレーションを実施した結果、迂回誘導を実施しない場合、あるいは利用者の反応がにぶく迂回誘導を行っても迂回率が20%程度のチェーン規制よりも旅行時間が少なく、効果的である。しかし迂回率が30%の場合は梯団誘導の旅行時間の方が大きくなってしまふ結果となった。これは45.6 km もの距離を除雪速度で押さえ込んで後続の車群を走行させていることによる。

(5) さらに、チェーン規制あるいは、梯団誘導が実施されている最中に異常現象の発生による通行止めとなった場合のシミュレーションを行った。この結果、現道を介して名古屋2環～名阪国道、あるいは栗東へ向けて国道1号へ迂回した交通等の被る時間損失は非常に大きいものとなった。またチェーン規制時の場合と梯団誘導の場合に通行止めとなった際の総旅行時間の差は、迂回誘導がチェーン規制時に効果的に実施されておれば、それほど大きなものではない。したがって名古屋2環～名阪国道～西名阪といった処理能力の大きい迂回路への迂回誘導は非常に効果的であることが示された。しかしながら迂回誘導が行われない場合のチェーン規制中の通行止めシミュレーションの結果では、時間損失が非常に大きく、チェーン規制中の渋滞に巻き込まれて選択の余地もなく通行止めの中で待たされる車両の被る損失について十分の考慮を払う必要のあることが示された。

以上の結論に基づいて、今後の課題として考えられる事項を示すと次のとおりである。

(1) 評価手法上の問題としては、モデルの挙動に大きな影響を与える冬期の交通容量やQV特性、OD表の形で入力される交通需要、迂回誘導開始の判断基準に大

きくかかわっている迂回路上の旅行時間等、基礎的なデータについては調査を積み重ねて、より信頼性を高めていく必要があると考えられる。

(2) チェーンベースの容量の制約から渋滞が発生し、利用者の被る時間損失の大きいチェーン規制を将来ともに効果的に用いていくために、また異常時の通行止めの際の交通処理のためにも、効果的な迂回誘導を実施していくための準備や調査研究を今後ともに続けていく必要がある。この中には、迂回路の拡充整備といった基盤整備上のことから、可変情報板等による誘導の具体的な方法などの技術的な課題が含まれよう。

(3) 梯団誘導については、長区間を除雪速度で誘導していくため、時間損失が予想以上に多くなったが、交通処理能力が十分あり、利用者を渋滞に巻き込む可能性の少ないこともあるので、今後とも実績を積み重ねて信頼性のあるものとしていく必要がある。また通行止めや事故の発生頻度が、他の手法と比べてどのような傾向を示すかについても、データを積み重ねていくことが望まれる。

謝 辞：本調査研究を実施するにあたって、日本道路公団名古屋管理局の担当職員の方々から種々ご協力を得た。心からの謝意を表したい。また調査とシミュレーションの実行にあたった立命館大学理工学部土木工学科計画研究室の上島章弘・高木誠一の両君にも心からの謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 巻上安爾・中西恒彦・久間木信夫・金 世一：高速道路の単路部渋滞モデルについて、交通工学, Vol. 8, No. 2, pp. 3-16, 1983.
- 2) 日本道路公団名古屋管理局：名古屋管理局管内チェーンベース利用実態調査報告書, 1985年3月.
- 3) 日本道路公団名古屋管理局：名神高速道路冬期迂回状況調査報告書, 1986年3月.
- 4) 巻上安爾・河島 恒・根岸克典・竹内新一：高速道路における迂回制御効果に関する基礎的研究, 土木計画学研究・講演集10, 土木学会, pp. 445-452, 1987年11月.
- 5) 日本道路公団名古屋管理局：名古屋管理局管内高速道路の機能分析と交通管制に関する調査報告書, 1988年3月.
- 6) 日本道路公団大阪管理局：高速道路利用者意識調査報告書, 1983年3月.
- 7) 首都高速道路公団：高速利用者による管制システム意識調査.
- 8) 阪神高速道路公団：道路情報板に関する調査解析報告書. (1988. 3. 7・受付)