

# 高速道路のトンネル内交通流シミュレーションに関する基礎的研究

## BASIC STUDY ON EXPRESSWAY TUNNEL TRAFFIC SIMULATION

巻上安爾\*・楠 喜税\*\*・中島益雄\*\*\*

By Yasuji MAKIGAMI, Yoshimitsu KUSUNOKI and Masuo NAKAJIMA

This report describes the development of a simulation model which simulates the traffic flow through an expressway tunnel in order to investigate countermeasures for the traffic congestion due to the limited capacity of the tunnel. The model was developed based on the results of traffic survey conducted through the Tennozsan Tunnel of The Meishin Expressway in 1985 using television cameras installed in the tunnel for the traffic surveillance. The model was a Monte Carlo type simulation model which compute the movement of all the vehicles generated at the upstream starting point of the simulation section. The car following theory is used in the computation process when gaps between running vehicles are reduced beyond certain limit. The calibrated model was used to evaluate several countermeasures for the traffic congestion.

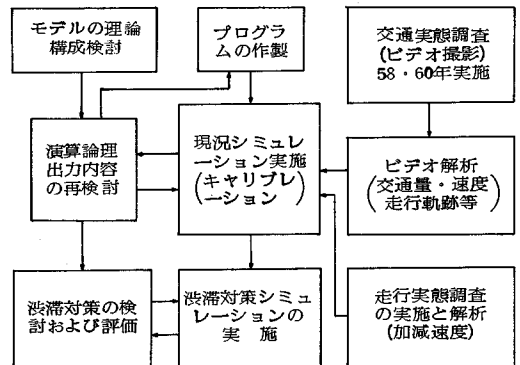
Keywords : expressway, tunnel traffic, simulation

### 1. はじめに

開通以来 25 年を迎えようとしている名神高速道路は年々利用交通が増加して、各所で渋滞が頻発している。特に京都南～茨木間は年平均日交通量が 80 000 台を超え、当該区間内にある天王山・梶原の両トンネルを頭とする渋滞は、週日朝夕のピーク時に定常的に発生している。このため、当該区間ピーク時の旅行時間は著しく増大し、高速道路としての機能は大きく低下している。この渋滞を解消するため京都南～吹田間ではトンネルを増設し車線数を 4 車線から 6 車線へ増加する改築工事が実施されている。しかしながら工事の進捗状況は、用地の制約等から予想以上に進まず、道路構造の改良による渋滞の解消が早急に実現されることを期待することは、残念ながら非常に困難な状態にある。したがって当面の対策としては、車両検知器や可変情報板を増設し、情報提供のレベルを上げるなど、主として交通管制上の施策が進められている。一方、重大な隘路となっているトンネ

ル内の交通の実態を調査し対策検討の基礎を固めていく努力も各所で実施されている。本研究は、このような調査研究のうち昭和 58 年と 60 年の 2 回にわたって実施された名神高速道路天王山トンネル下り線を対象とした交通実態調査の結果に基づいて、トンネル内の交通流を再現するシミュレーションモデルの開発を行い、渋滞対策検討の一助とすることを目的として行われたものである。

調査は、主としてトンネル内の監視用 ITV カメラを用いて実施された。すなわち、ITV カメラからの伝送



図一 調査研究の流れ図

\* 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 日本道路公団大阪管理局交通技術課長  
(〒565 吹田市清水 15-1)  
\*\*\* 正会員 工修 システム科学研究所研究員  
(〒600 京都市下京区四条室町住友生命ビル)

画面をビデオテープに収録し、再生画面から交通量、走行速度、車頭時間等の読み取りが行われた。またトンネル内走行車両の加減速特性を調べるための走行調査も一部実施されている。モデルはモンテカルロ型のモデルとし、シミュレーション実施区間の始点上で発生させた個々の車両の走行状態を逐次追跡していくものである。走行速度の分布状況や大型車の混入状況等、モデル構成上重要な諸係数は実態調査の解析結果に基づいている。また、発生車両相互の車間距離が一定値以下となった場合には追従理論の適用を試みている。シミュレーション結果は、ビデオ解析結果と比較照合され、モデル内の諸係数には、種々調整が加えられた。最後に現況交通の再現性の最も良好なモデルを用いて、トンネル内への流入交通量の調整や、車線規制等の交通運用手法の評価を試みている。図-1に本調査研究のフローチャートを示す。

## 2. モデルの構成と演算論理

### (1) 前提条件

シミュレーションモデルを構成していくにあたって、以下のような前提条件を設定した

#### i) モデルの型式

モデルの型式は、モンテカルロ型のシミュレーションモデルを想定した。すなわち、発生車両相互の車頭時間や走行速度に適合度のよい理論分布を設定し、乱数発生により個々の車両の走行特性を与えて、その挙動を追跡していくものとした。

#### ii) モデルの対象区間

上記の型式のモデルを開発していくための対象区間は、昭和58年、60年に交通実態調査が行われた名神高速道路天王山トンネル下り線の区間とする。調査はトンネル坑口上流側140mの地点からトンネルの出口付近までの区間にわたって実施されているが、モデル開発にあたっては、さらに上流側に100mのならし運転区間を設定している。対象区間の平面および縦断図を図-2に示す。

#### iii) 流入交通量とシミュレーションの時間帯

シミュレーションの実施時間帯は、当該トンネル上流

側に設けられている車両検知器の集計時間単位に合わせて5分間を一時間帯とした。また、ならし運転区間の上流端では、理論分布に従って車両の発生が行われるが、その理論分布の平均値として示される交通需要は、この5分間の時間帯の間は一定のものとした。トンネルへの流入交通需要の変動は、理論分布の平均値をステップファンクションの形で入力していくことにより行っていくものとした。

#### iv) 演算の基本方針

演算の実行は、トンネル内および坑口手前が車線変更禁止となっているので車線別に行う。すなわち各車線上の個々の車両の走行状況を1~2秒の微少な時間間隔ごとに追跡していくものとした。各車の走行速度は、実態調査から得られたQV式と速度の標準偏差から各地点の速度分布状況に対応したものとするとともに、このため生ずる各発生車両間にある速度差によって高速車両が先行する低速車に追いついた場合の減速走行をスムーズに行わせていくため、前車との車間距離が一定限度以下になった場合は、追従理論式を適用するものとした。

### (2) モデルの構成と演算の論理

#### i) 道路構造

対象とする道路区間は、一方二車線のトンネル区間が主要部分である。トンネル部か明り部かといった道路本体の構造以外に、車両の走行速度に影響を与える幾何構造には、側方余裕や縦断勾配等が考えられる。しかし本モデルでは、各調査地点のQV式に基づいて走行速度を求めていくことにしているため、上記のような幾何構造要素の影響はこのQV式自体に織り込まれているとみなし、演算過程に組み入れる必要はないものと判断した。したがって、モデル構成上、道路そのものに関しては、道路延長上の地点表示の方法を定めておけばよい。シミュレーション実行の基準点となる地点を実態調査の調査地点と同一にとり、地点間の距離とその累加距離を以下のように表示するものとした。

$j$  : 地点番号。

$l_j$  : 地点  $(j-1)$  と  $j$  の間の距離をメートル単位で示した値、区間長という。

$L_j$  : 地点長。始点から地点  $j$  までの距離をメートル単位で示した値。

なお、図-2には、調査地点であるテレビカメラの設置位置と各区間長が示されている。

#### ii) 交通の発生

車両相互の車頭時間は、交通量が多くなるとアーラン分布がよく適合する。本モデルにおいても車頭時間は、アーラン分布に従うものとして車両の発生を以下のように行う。現時間帯の単位時間当たりの平均流入交通量を  $\lambda$  とすれば、車頭時間が  $\tau$  以上となる確率  $P(X \geq \tau)$  は、

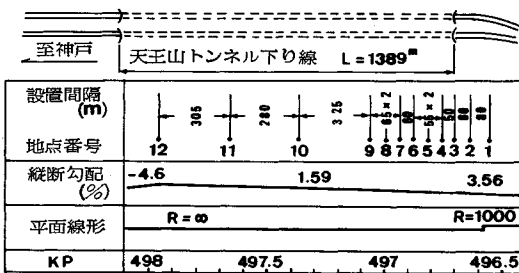


図-2 シミュレーション実施区間の平面・縦断線形

$$P(X \geq \tau) = e^{-\lambda \tau} \sum_{m=0}^{k-1} \frac{(\lambda \tau)^m}{m!} = F(\tau) \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 $\lambda = k \cdot \lambda$ で、 $k$ はアーラン分布の係数であるポアソン項数である。ここで、一様乱数  $R$  を発生させ、上記式 (1) に対応させることにより、 $i$  番目に発生させる車両とその前車との間の車頭時間  $\tau_i$  を次式で求めていくことができる。

$$\tau_i = F^{-1}(R) \dots \dots \dots (2)$$

iii) 車種の判別と速度傾向の付与

当該車線の現時間帯における大型車の混入率を  $P_L$  とすれば、上記 ii) で発生させた車両の車種判別は、さらに一様乱数  $R$  を発生させて、

○  $R \leq P_L$  のときは、 $i$  番目の車両は大型車

○  $R \geq P_L$  のときは、 $i$  番目の車両は小型車

と車種を判定する。

次に車両  $i$  の速度傾向を、平均値からの差異が標準偏差の単位でどの程度離れているかによって定める。すなわち、標準正規分布の分布関数を  $\theta(\xi)$  とすれば、さらに、一様乱数  $R$  を発生させ、これに対応する偏差値を発生車両  $i$  の速度偏差値  $\xi_i$  とする。すなわち

$$\xi_i = \theta^{-1}(R) \dots \dots \dots (3)$$

iv) シミュレーション時間の追跡

シミュレーションの演算は、演算の単位時間 ( $\Delta t$ ) を現在時間  $t$  に累加して時間が一時間帯の時間長に達するまで続けられる。いま  $i$  番目の車両が地点  $j$  に到達する時刻を  $t(i, j)$  とする。当然シミュレーション区間の始点では、以下の式が成り立つ。

$$t(i, 0) = \sum_{n=1}^i \tau_n \dots \dots \dots (4)$$

また、時刻  $t$  が、  
 $t \leq t(i, 0) \leq t + \Delta t$

の条件を満足しているとき、車両番号が  $i$  以下でシミュレーション区間に存在する全車両の時刻  $t + \Delta t$  における走行位置と速度を次項で示す方法により算定する。

v) 独立走行車または車群先頭車の走行速度と走行位置

前車との距離が一定距離以上である車両で、後続車両との距離も一定値以上である車両を独立走行車、前車との距離は十分あるが、後車との距離が一定値以下の車両を車群先頭車とよぶ。車両の走行状況とその位置を算出していくにあたって、以下の変数を導入する。

$x(i, t)$ : 車両  $i$  の時刻  $t$  の走行位置 (メートル)

$v(i, t)$ : 車両  $i$  の時刻  $t$  の走行速度 (km/時)

車両  $i$  の時刻 ( $t + \Delta t$ ) における走行位置は、

$$x[i, (t + \Delta t)] = x(i, t) + v(i, t) \cdot \frac{\Delta t}{3.6} \dots \dots \dots (5)$$

によって求める。また各車両の走行速度は、 $\bar{v}(j)$  およ

び  $\sigma(j)$  を、それぞれ地点  $j$  における平均走行速度およびその標準偏差とすれば、車両  $i$  の時刻  $t$  における走行位置が地点  $j$  と ( $j-1$ ) の間にあったものとして、

$$v(i, t) = \frac{L_j - x(i, t)}{l_j} \{ \bar{v}(j-1) + \xi_i \sigma(j-1) \} + \frac{x(i, t) - L_{j-1}}{l_j} \{ \bar{v}(j) + \xi_i \sigma(j) \} \dots \dots \dots (6)$$

で求めていくことができる。上式は車両  $i$  を挟む上・下流両地点の平均走行速度と標準偏差を、車両  $i$  の存在位置から距離的に内分し、速度傾向値を標準偏差に乗じて求めたものである。各地点における平均走行速度とその標準偏差は、交通実態調査の解析結果を用いるものである。

vi) 追従車両の走行挙動

時刻  $t$  において、先行車 ( $i-1$ ) と車両  $i$  の間の車頭間隔が一定値以下となって車両  $i$  が追従走行車と判定されたものとする。この場合の車両  $i$  の加速度は追従理論を適用して、次のように与えられるものとする。

$$a(i, t) = \frac{\lambda_0 \cdot \{ v[(i-1), (t-T)] - v[i, (t-T)] \}}{3.6 \{ x[(i-1), t] - x(i, t) \}^m} \dots \dots \dots (7)$$

ここに、

$a(i, t)$ : 車両  $i$  の時刻  $t$  における加速度 ( $m/s^2$ )

$T$ : 運転者の反応遅れ時間 (秒)

$\lambda_0$ : 感能係数

$m$ : 車間距離にかかわる係数で加速時には 0、減速時には 1 の値を与えるものとする。

(3) プログラムの概要

図-3 に本シミュレーションの電算処理過程を示す。このフローチャートに従って電算処理の概要を述べると次のとおりである。まず地点距離、演算時間帯長と時間帯数、 $QV$  式の各係数等の実施条件にかかわるデータと流入交通量や大型車混入率等の交通量データを読み取り、流入交通の状況から自由走行か渋滞状況の走行かを判定する。次に車線ごとに流入交通量に対するアーラン分布を作成し、演算時間帯内に対象区間に流入する車両を発生させ、各発生車両に走行速度を与えていく。この走行速度と車両発生時に算出される前車とのギャップから車頭距離を求め限界値より小さい場合は、当該車両の発生は、棄却される。このチェックを全車両について行った後走行状況の追跡へと移る。

走行状況追跡のフローは次のとおりである。まず発生順に、車群先頭車が追従走行車かを判定する。車群先頭車であれば  $QV$  式を用いて、追従走行車であれば追従理論式に基づいて、現タイムステップ終了時点すなわち、2秒後の各車両の走行位置を算定する。この算定結果で車頭距離が限界値以下となった場合は、車両の位置を修

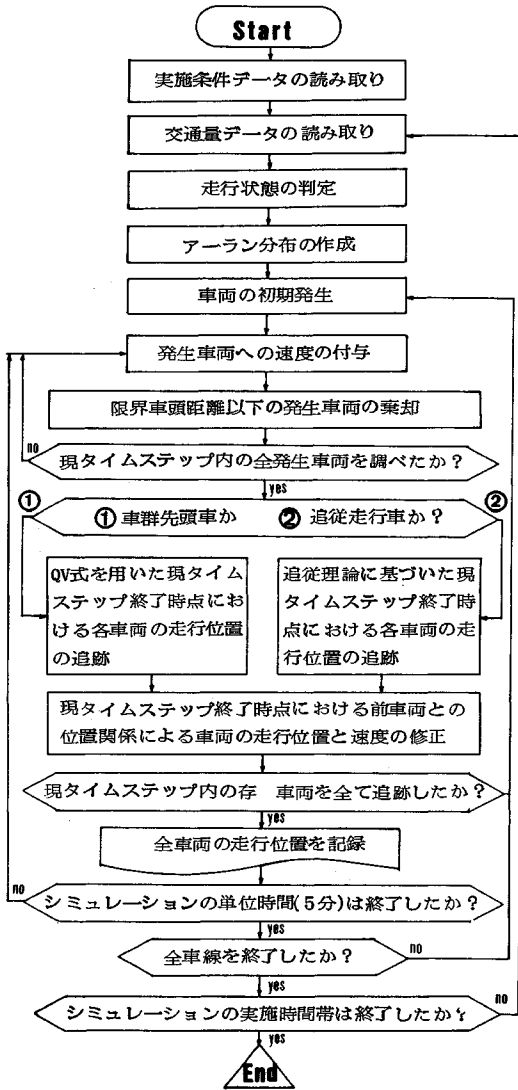


図-3 シミュレーションの演算処理フロー図

正する。このような演算が、演算単位時間に達するまで実施し、全車線について終了した段階で次の時間帯へ移行していく。シミュレーションの実施時間のすべての時間帯について演算が終了して、シミュレーションが終了することになる。なお、走行軌跡図の作成は、演算結果が収められているディスクから、各演算時刻における全車の存在位置を読み取り、別途に XY プロッターを稼働させて実行される。

### 3. 交通実態調査の概要と解析結果

#### (1) 調査方法

トンネル内交通流シミュレーション開発の基礎資料を得るための交通実態調査は、1. でも述べたように、昭

表-1 交通実態調査の集計項目

調査項目	集計項目	内 記
交通量	5分間交通量	車線別・車種別・地点別
速度	5分間平均速度	車線別・車種別・地点別
	最高速度	同 上
	最低速度	同 上
	Q-V相関	地点別Q-V相関図
速度の標準偏差	標準偏差	車線別・地点別
	最大値	同 上
	最小値	同 上
加速度	加・減速度	車線別・交通状況別

和 58 年 10 月と昭和 60 年 10 月の 2 回にわたって実施されている。この 2 回の調査とも、トンネル内交通状況監視用の 6 つの ITV に加えて、トンネル坑口の上下流に調査のため新設された 6 つのビデオカメラを用いて実施された。ITV カメラおよび新設ビデオカメラの設置位置は図-2 の平面・縦断図に示したとおりである。調査にあたっては、各カメラからの伝送画面上で解読しやすい路面上の路側および車線境界線上に、あらかじめ 30 m ないし 40 m の間隔で白ペイントのマーキングを施し、車頭時間間隔や走行速度の計測基準線が設けられている。調査当日の交通状況は、各カメラから日本道路公団茨木管理事務所内にあるコントロール室へ伝送されてくる画像に基づいて午前 11 時から午後 5 時までの 6 時間にわたって、ビデオテープに録画された。再生画面に基づく解析作業は、表-1 に示される項目について実施された。なお、昭和 58 年調査では、午後 4 時頃よりトンネル坑口手前の路肩に大型車が停車して走行車両の速度を大きく低下させる等の異常な状況がみられた。したがって以下には、通常交通状況が保たれた 60 年調査の解析結果のうち、本シミュレーションのモデル構成に直接関係するものについて示す。なお追従時の加減速度の範囲を定めるために、試験的にフローティング調査も別途行っている。

#### (2) 解析の方法と結果

##### i) 交通量

再生画面から車線別、車種別 (5 トン車以上の大型車と小型車別) に各地点の上流側計測線を通過した台数を 5 分間単位で計数器を用いて目視計測を行った。計測結果からトンネル手前の地点 No. 1 の 5 分間交通量と追越車線における 5 分間平均走行速度の時間変動状況を、図-4 に示す。なお、後で述べるシミュレーションの実施時間帯も併せて示している。

##### ii) 走行速度

再生画面上に、路面上あらかじめ印されたマーキングを目印にして計測基準線を描き、画面上の走行車が、上

下流の計測線を通過した時点パーソナルコンピュータに入力し、上下流計測線の通過時刻の差と、両計測間隔からコンピュータ内で同時演算させ、各車両の走行速度と5分間平均走行速度と分散を求めた。図-5に地点別走行速度の変動状況を車線別に示す。さらに、5分間平均走行速度と5分間交通量の解析結果を用いて、回帰分析を行い、地点別・車線別のQV式を求めた。QV式の例を図-6に示す。図に示すように、午後4時30分以後、追越車線上で瞬間的な走行車両の停止状況が頻発し、速度変化が後続車両へ伝播していく状況、すなわちショックウェーブの伝播状況を容易に確認することができた。このような時間帯を除くとQVの相関性はかなりよく、走行車線の相関係数の平均値は0.85、追越車

線の相関係数は0.75となっている。

iii) 知覚反応時間

追従理論式で用いられる運転者の知覚反応時間の推定を60年調査の再生画面からショックウェーブの伝播状況を追跡することによって、次のように試みた。まず各録画地点でショックウェーブに遭遇した車両のうち、速度の低下が最も顕著な車両に注目し、停止あるいは最低の速度に至る時刻と、発進あるいは加速し始める時刻を0.1秒単位で読み取る。このような読み取り作業をショックウェーブ現象が録画されている全録画地点について行い、一連のショックウェーブについて、隣接地点間の停止・発進時刻の差と、その間に存在する車両台数から1台当たりの知覚反応時間を求めた。このようなショックウェーブは図-6に示すように追越車線で3回発生している。読み取りの結果と、知覚反応時間の算出過程の一例を表-2に示す。以上の結果をまとめて、停止・発進の知覚反応時間の平均値を求めてみると、それぞれ1.39秒と1.43秒となり、ほとんど同様の値となった。

iv) 加減速度

走行中の加速度あるいは減速度を12か所とはいえ、限られた録画地点の走行速度の計測結果から推定することは不可能である。ここではシミュレーション対象区間を含む名神高速道路下り線の京都南～茨木間で走行試験を行い、加減速度の変動範囲を推定することを試みた。以下にその概況を示す。

調査は昭和62年12月15日(火)に実施し、調査区

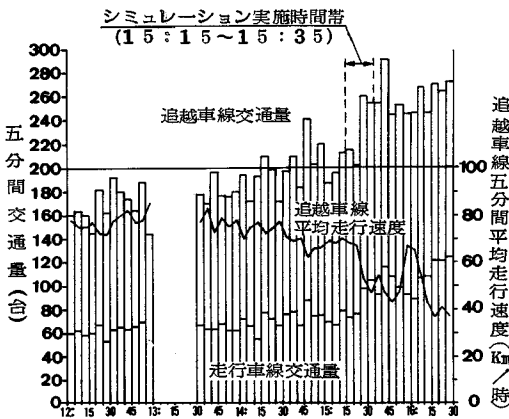


図-4 交通量と追越車線平均走行速度の時間変動

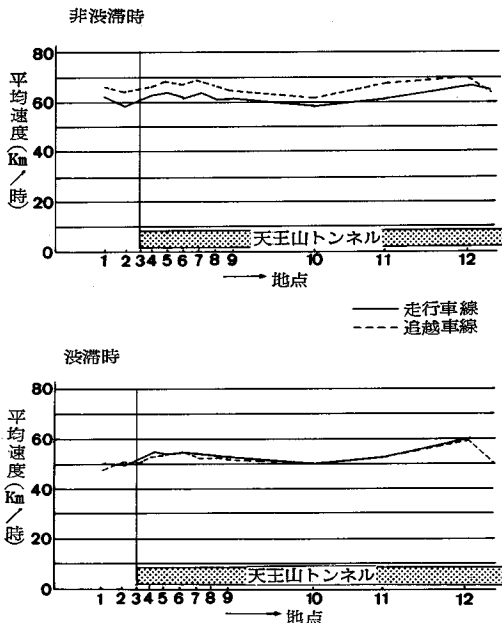


図-5 平均走行速度の地点変動状況

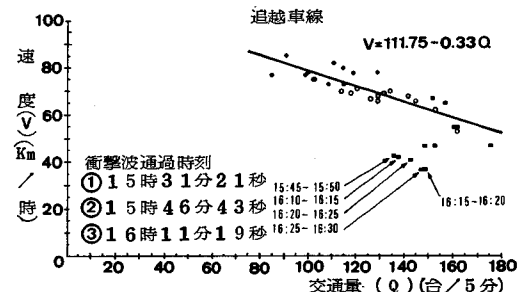
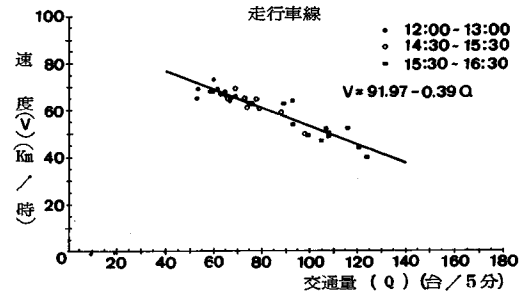


図-6 地点1のQ-V特性

間を3回走行した。使用した車両は乗用車で、後部座席にテレビカメラを設置し、フロントガラスを通して見える道路の前景と、運転台のスピードメーターを同時に録画できるようにカメラアングルを定めた。収録にあたっては、道路状況を音声で吹き込むと同時に、ビデオタイマーを用いて走行開始からの経過時間を秒単位で画面に記録させて、速度の変動状況の追跡ができるようにした。当日の天候と路面の状況は良好で、3回の走行で自由走行状態、渋滞発生直後および渋滞が15km程度延伸した状況のもとで計測を実施することができた。調査結果を表一3に示す。なお、本シミュレーションでは現実の走行と同様に、走行車両は一定の加減速度で速度を変えるのではなく、各タイムステップごとに追従理論式に従って加減速度が変化する。したがって、表一3に示す実測値から直接、追従理論式に含まれる感応係数の値を推定していくことは困難である。したがって、本シミュレーションでは表一3の実測結果を参考に、シミュレーションを繰り返し実施し、キャリブレーションを通じて

感応係数を定めざるを得なかった。

4. 現況シミュレーションの実施とその結果

(1) 諸係数と入力データ

前節で述べた交通実態調査の結果に基づいて、調査実施日の交通状況をモデルを用いて再現することを試みた。対象とする時間帯は、昭和60年調査において流入交通量が増加し、通常連続走行から一部渋滞現象が発生し渋滞へと移行していった午後3時25分を中心に、午後3時15分から同35分までの20分間である。表一4にこの時間帯の車線別・車種別交通量および大型車混入率を示す。モデルにはシミュレーション実施上の基本時間帯である5分ごとの合計交通量が車線別に入力され、車種の判定は5分間ごとの車線別大型車混入率を基準に乱数発生により行われることになる。表中最右欄のQV特性は、非渋滞の場合は図一6に例示されているような各地点ごとに求められたQV関係式を用い、渋滞の発生時間帯では、渋滞時の地点別平均走行速度が用いられることを示している。

その他、演算実行上設定しておかなければならない諸係数の一覧を表一5に示す。各項目の内容は次のとおりである。

① 時間帯長：シミュレーション実行の基本時間帯で

表一2 知覚反応時間の算出過程

地点No.1での車両の通過時刻および停止・発進時刻			
車種	通過時刻	停止・発進時刻	
白乗用車	15:46' 23.4"	地点 No. 2 15:46' 34.7"	
タンクローリー	46' 25.0"		
白乗用車	46' 27.8"	46' 41.2"	
青乗用車	46' 29.2"	(存在台数：6台)	
ホロトラック	46' 30.5"		
乗用車	46' 32.9"		
乗用車	46' 34.9"		
乗用車	46' 36.7"		地点 No. 1 15:46' 42.8"
白乗用車	46' 38.5"		46' 54.4"
知覚反応時間算出結果			
項目	地点 No. 1	地点 No. 2	
停止時刻	15:46' 42.8"	15:46' 34.7"	
発進時刻	46' 54.4"	46' 41.2"	
停止時刻差	8.1" (1台当たり平均1.4")		
発進時刻差	13.2" (1台当たり平均2.2")		
知覚反応時間： 停止～1.4秒、発進～2.2秒			

表一4 車線別車種別5分間流入交通量と大型車混入率

時間帯	走行車線			混入率	使用Q-V特性
	大型	小型	計		
15:15-20	26	47	73	0.356	非渋滞時
15:20-25	21	55	76	0.276	
15:25-30	30	68	98	0.306	渋滞時
15:30-35	26	79	105	0.248	
追越車線					
15:15-20	29	113	142	0.204	非渋滞時
15:20-25	27	99	126	0.214	
15:25-30	43	119	162	0.265	渋滞時
15:30-35	43	106	149	0.289	

表一5 モデル実行のための諸係数

時間帯長	300.0 (秒)	
タイムステップ長	2.0 (秒)	
渋滞発生時間帯番号	3	
渋滞終了時間帯番号	4	
限界車頭距離 (普通車)	8.5 (m)	
限界車頭距離 (大型車)	13.0 (m)	
最小速度偏差値	-1.5 (σ)	
最大速度偏差値	+3.0 (σ)	
追従理論式関連諸係数値	加速時	減速時
追従限界	200.0 (m)	80.0 (m)
知覚反応時間	1.4 (秒)	1.4 (秒)
感応係数	0.4	4.5

表一3 走行試験による加減速度の計測結果 (単位：m/s<sup>2</sup>)

項目	第1回	第2回	第3回	
開始・終了時刻	2:16~3:15	3:19~4:03	4:05~4:39	
交通状況	自由走行状態	渋滞発生初期	渋滞中	
加速 度	加速車線上	0.69	0.92~1.42	測定不能
	トンネル内	0.53	0.48~0.52	0.27~0.54
	明り区間	0.50~0.51	0.19~0.80	0.36~0.50
減速 度	減速車線上	測定不能	-0.64~-1.09	-0.36
	トンネル内	-0.46	測定不能	-0.63
	明り区間	-0.47~-0.82	-0.34~-0.58	-0.26~-1.26
渋滞後尾	-0.57~-0.61	-0.89~-1.08	-0.49~-0.98	

ある5分を秒単位で入力するものである。

② **タイムステップ長**：演算はシミュレーションタイムで2秒ごとに実施し、現象追従を行うものとした。

③ **ポアソン項数**：車頭時間の分布から最適アラン分布を与えるポアソン項数を入力すべきであるが、電算機の容量上の制約から現状では上限値の3を入力している。

④ **渋滞発生および終了時間帯番号**：渋滞時の平均走行速度に基づいて各走行車両の速度の算定を行う時間帯を指定する。すなわち渋滞状況になるかならないかは、シミュレーションの演算過程に内蔵されているのではなく、入力データからの指令により決定されるものとしている。1 km 間隔で車両検知器が整備され、交通流の状態が瞬時に検知される状態にある当該シミュレーション区間で、交通運用上の対策を検討のための基礎資料の蓄積を狙うシミュレーションでは、入力データによる判定で十分と判断したことによっている。

⑤ **限界車頭距離**：完全な追従走行となった場合の最少車頭間隔を m 単位で示したものである。

⑥ **速度偏差値の変動範囲**：走行速度の決定過程で異常な速度、特に異常な低速度車の出現によりシミュレーション全体の速度低下現象を防ぐために設定するもので、走行速度の実測結果を参考に定めたものである。

⑦ **知覚反応時間**：ビデオ解析の結果から、加速・減速時ともに1.4秒とした。

⑧ **追従限界と感応係数**：追従理論式の適用範囲と追従理論式に含まれる感応係数で、ともに加速・減速特別に与えられる。追従理論適用範囲の限界値は、車頭間隔の最大値の形で与えられる。これらの値は前節で述べたようにキャリブレーションを通して定められたものである。

(2) 現況シミュレーションの実施結果

前節で示した諸係数と入力データの値を用いて実施した現況シミュレーションの実施結果のうち、5分間平均走行速度の地点変動状況を、ビデオ解析の結果得られた実測結果と対比させたものが図-7である。20分のシミュレーション時間のうち前半の10分が自由走行状態、後半の10分が渋滞状況のシミュレーションであるが、図-7には自由・渋滞両時間帯のそれぞれ始めの5分間の演算結果を例示的に示したものである。図中破線は実測値、実線はシミュレーション結果である。また、灰色で示す範囲は実測平均走行速度±標準偏差の間の範囲を示している。図からほとんどの地点で、シミュレーション結果が灰色の範囲に納まり、トンネル内の走行状態の全般的な趨勢は、再現されてはいるものの、トンネル内坑口付近の微妙な速度の変動状況を再現するにはいたっていない。これは速度偏差値の低い車両をそのまま走行

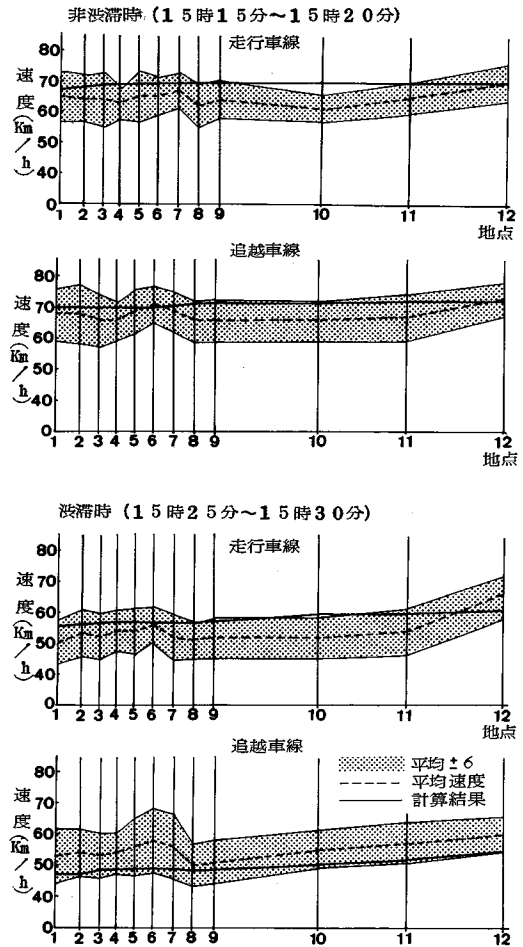


図-7 実測およびシミュレーションによる地点速度

させると、後続の車両が逐次追いついていき低速の車群が形成されていくため全体の平均速度が低下してしまう事態を避けるため、追従理論の適用範囲を加速時には200 mと大きい値を用いていることによるものと考えられる。このような処置によって低速車が加速していく機会は大きくなるものの、QV式で示される各地点の速度傾向とは直接関係のない追従加速の影響が大きくなっていくからである。

次に図-8に時間・空間平面上に描かれた個々の車両の走行軌跡を示す。(A)図は、ビデオ解析の結果得られた実測走行軌跡、(B)図はシミュレーション結果からXYプロットによって直接描かれた走行軌跡である。両者ともに交通量が多く、追従走行やショックウェーブの発生がみられる追越車線の走行軌跡を示している。図に含まれる時間帯は非渋滞から渋滞へと移行する15時25分を挟んだ10分間である。A-B両図を比較すると、全体的な軌跡の傾きは、ほぼ同様な傾向を示している。

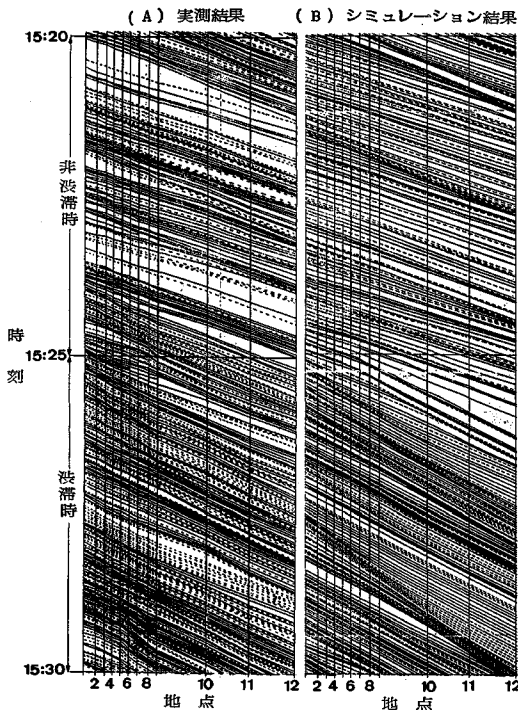


図-8 走行軌跡図

しかしながら、シミュレーションによる軌跡図では、渋滞発生直前の流入台数が僅少な領域がトンネル下流区間に渋滞発生時の15時25分以降に大きく入り込んだり、車群の形成あるいはショックウェーブの発生が実測軌跡図よりもかなりトンネル内部へずれ込んでいる状態となっている。これは平均走行速度の地点変動状況でも示された問題点が軌跡図の上にも現われているものと考えられる。

## 5. シミュレーションによる渋滞対策の検討

### (1) 渋滞対策手法

本シミュレーションの実施区間である天王山トンネルを頭とする下り線の渋滞は週日の午後のピーク時に定常的に発生しており、その状況は年々悪化している。接続道路の交通状況も厳しく、上流側のインターチェンジで流入制御を行って渋滞の発生を防止することは非常に困難である。しかしながら、いったん渋滞が発生すれば、トンネルの疎通能力はいわゆるさばけ容量にまで低下し、渋滞の延伸を助長する場合もある。また交通安全上の見地からもトンネル内の渋・停滞はできるだけ未然に防ぐことが望ましい。ここでは本シミュレーションを用いて以下に示す3つの渋滞対策の評価を試みた。3案とも、技術的にも、法制上からも即座に実施するには問題点が多いと考えられる。しかしながら、当隘路区間の改

築計画の完成に今後相当の年月が見込まれている段階で、いたずらに天王山トンネルからの渋滞を放置しておくことは、社会的にも容認されるものではなからう。少しでも可能性のある対策について、その結果を確かめておくことは、現時点においても一応の意義はあるものと考え、3案の評価を試みたものである。

#### i) 流入制御

トンネル内の渋・停滞は交通安全上、きわめて問題とされる場所である。この状況を防ぐために、トンネル坑口より上流部で人為的に疎通能力を調整し、トンネル坑口で発生する渋滞を比較的安全な明りの部分で発生させ、走行上の危険度を低下させることが考えられる。天王山トンネル下り線の上流部には3kmにおよぶ直線区間があり、この区間を利用することが考えられる。交通量を調整する具体的な方法としては、以下のようなことが考えられる。

- ① 速度規制を実施する。
- ② 可動式セーフティーコーンをトンネル坑口付近の車線境界線に設置し、走行速度の低下をうながす(ニューヨーク・リンカントンネルの例)。
- ③ 拡幅の一部完成区間等を利用し、一定区間を3車線とし、2車線に絞り込むところで容量の押え込みを計る。

なお、シミュレーションの実施にあたっては、トンネル内への流入交通量を1割削減して渋滞の発生を防止するものとした。

#### ii) 交通容量の増加

隘路であるトンネルの交通容量を増加させて、渋滞の発生を防ぐか、あるいは低減させようとするものである。完全な容量の増加対策としては、現在計画中のトンネルの増設しかないと考えられるが、トンネルの構造そのものの変更は想定せず、トンネル内の交通環境を以下に示すような対策を講じて容量の増加を狙うもので、中央高速道路小仏トンネル等で、試験的に試みられているものである。

- ① 内装版を明るいものにし、照明の照度を上げたりして、トンネル内の交通環境を改善する。
- ② 車道外側線のマーキングあるいは視線誘導標の改善を計って視線誘導の効果を高める。
- ③ 坑口にルーバーを設け、急激な側方余裕の変化をゆるやかにしてスムーズなトンネルへの誘導を計る。

シミュレーションの実施にあたっては、流入交通量は変更せず表-4のとおりとし、容量の増加対策によって渋滞の発生は防止できるものとして実行した。

#### iii) 大型車の車線使用規制

走行車線と比べて交通量が多く、速度も高い追越車線



に大型車が混在することがショックウェーブ、ひいては渋滞の発生のきっかけとなり、交通安全の見地からも注目されている。表-4から追越車線にもかなりの数の大型車が走行していることが示されている。これらの大型車に対して追越車線の使用を禁止すれば、渋滞発生防止と安全性の向上に役立つものと考えられる。シミュレーションの実施にあたっては、現況シミュレーションで追越車線を走行していた大型車はすべて走行車線に移行するものとしたが、逆に走行車線を走行する小型車については、(I)すべて走行車線にとどまるケースと(II)半数の小型車は追越車線の方へ移行するケースの2つのケースを想定した。流入交通量の一覧表を表-6に示す。

(2) シミュレーションの結果と対策の評価

各対策案について、上述の条件に従ってシミュレーションを実施した。実施にあたっては、各案ともに対策の実行によってどの地点においても渋滞の発生は防ぐことができるものとして、非渋滞時のQV式を用いて走行速度の算定を行っている。ちなみに、いずれの対策においても各車線の5分間交通量は調査時間帯で渋滞の発端となった15時25分~30分の追越車線の交通量163台よりも小さく、渋・停滞の続いた追越車線の渋滞時平均交通量を越えていない。なお容量増加案においても、渋滞の発生が押えられる程度にトンネル内の交通容量の増加が計られたものとして同様の速度算定方式を用いて

いる。ただし交通容量の増加に対応したQV式の修正は、実測結果がないだけに不可能であり、現況のQV式を準用するにとどまっている。

シミュレーションの結果から、地点別の車線走行速度を集計平均して、車線別平均走行速度の対策案別比較を行った。これは、現況からの速度の増減を対策案ごとに行うことによって案相互の優劣の比較が可能となると判断したことによる。検討結果の一例として、渋滞・非渋滞の両時間帯の車線別平均走行速度の比較結果を図-9に示す。この車線別平均走行速度は、渋滞・非渋滞の時間帯別に全地点の平均走行速度を車線別に単純平均して求めたものである。シミュレーション上の現況平均走行速度のレベルを、走行車線については実線で、追越車線については破線で示している。渋滞時における追越車線の平均走行速度は走行車線のそれよりも約8km/時も低い速度となっている。これは追越車線に交通が偏り、ショックウェーブや停滞状況が発生した影響であり、実態調査の結果求められた車線別平均走行速度も、追越車線の値が1~3km/時程度低い値となっている。図-9を参照して各対策案の評価を試みると次のとおりである。第I案の流入制御案では、現況と比較して自由走行時間帯には平均走行速度が、両車線とも3~4km/時のわずかな速度の向上をみるのみであるが、渋滞時には、走行車線で4km/時近く、追越車線においては23km/時近い速度の向上が計られている。

表-6 車線規制案における車線別交通量

I: 追越車線上の大型車のみが走行車線へ移行する場合

時間帯	走行車線				使用Q-V特性
	大型車	小型車	計	大型車混入率	
15:15-20	55	47	102	0.539	非ピーク時
15:20-25	48	55	103	0.466	
15:25-30	73	68	141	0.518	
15:30-35	69	79	148	0.466	
	追越車線				
15:15-20	0	113	113	0.000	非ピーク時
15:20-25	0	99	99	0.000	
15:25-30	0	119	119	0.000	
15:30-35	0	106	106	0.000	

II: Iに加え走行車線の小型車の半数が追越車線へ移行

時間帯	走行車線				使用Q-V特性
	大型車	小型車	計	大型車混入率	
15:15-20	55	27	79	0.696	非ピーク時
15:20-25	48	28	76	0.632	
15:25-30	73	34	107	0.682	
15:30-35	69	39	108	0.639	
	追越車線				
15:15-20	0	136	136	0.000	非ピーク時
15:20-25	0	126	126	0.000	
15:25-30	0	153	153	0.000	
15:30-35	0	146	146	0.000	

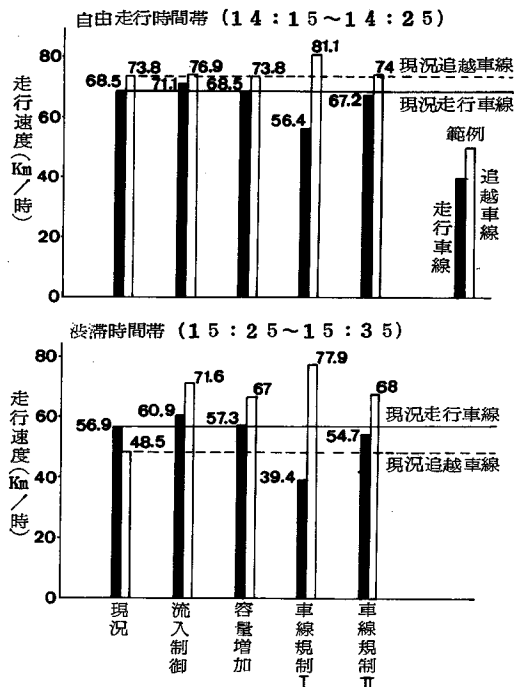


図-9 各対策案における平均走行速度

容量の増加案のシミュレーション結果では、渋・停滞の発生が集中している渋滞時の追越車線に大きな効果がみられる。また自由走行の時間帯でシミュレーション上の効果がみられないのは、側壁の色調や照度の改善がQV特性に及ぼす影響をモデルの構成上、反映できないことによっている。

大型車の車線規制案では、追越車線を走行していた大型車はすべて走行車線へ移るが、走行車線を走行している小型車はそのまま走行車線を走り続けるとしたケースⅠでは、いずれの時間帯においても追越車線の速度は向上し、とりわけ渋滞には21 km/時の増と著しいものがある。しかしながら、走行車線ではそのしわ寄せを受けて、17 km/時程度の速度低下をきたしている。これに対して、走行車線を走行中の小型車の半数は追越車線へ移行するとしたケースⅡでは、走行車線での速度低下は、ほとんどみられず、渋滞時の追越車線の状況が改善されていることが示されている。

以上、4種類の渋滞対策案のシミュレーション結果を示したが、どの案もショックウェーブのみられる追越車線上における走行速度の改善が計られ、渋滞の低減・防止と交通の安全上、一応の効果が期待される結果となった。ただし、車線規制のケースⅠでは、走行車線における速度の低下がみられる。これは仮定した小型車の車線利用のルールに無理があったものと考えられるが、実際の車線規制を実行することになれば、利用者への情報提供の方法等、十分に検討する必要がある。その他の流入制御・容量増加対策についても、それらの実現には、多くの調査研究と経験の積み重ねが必要となることはいうまでもない。

## 6. 結論と今後の課題

交通実態調査の解析結果、得られたQV特性を走行速度算定の基本とし、車群中の車両には追従理論を適用したモンテカルロ型の本トンネルシミュレーションモデルは、トンネル坑口付近の微妙な速度変動を追跡するまでには至っていないが、各地点ごとの走行速度は、実測値とそれほどの差異もなく、トンネル内の走行状況の傾向を再現し得た。モデルは地点ごとの平均走行速度や車種別交通量などを出力するほか、個々の車両の走行軌跡と車線別に作図する機能も加えられている。このため、モデル内の諸係数や入力データの変更に対して、モデル

がどのように挙動していくかを追跡するのに便利である。本モデルを用いて、渋滞の頻発している名神高速道路の天王山トンネルにおける渋滞対策の検討を加えた。検討の対象としたのは、現在改築工事が進められているトンネル増設案を除いた、容量増加、流入制御および車線規制であるが、いずれの対策もトンネル内走行速度の向上が期待できることが示された。今後の課題としては以下のことが挙げられよう。

- i) 車両発生と同時に発生車両に速度傾向値を付与しているが、低速度傾向をもつ車両の速度回復のルールを組み入れるなどして、トンネル内走行実態をより反映するようモデルの改良を行うこと。
- ii) 追従理論式中の感応係数については、今後さらに調査を進め、サンプル数を増やして加減速度を正確に把握する必要がある。
- iii) 交通運用方法の工夫を主とした渋滞対策案を本モデルを用いて検討したが、今後さらに具体的手法を検討し、実現の可能性のある施策を構築していくこと。

謝 辞：本調査研究を実施するにあたって、日本道路公団大阪管理局の関係各位に多大のご協力を得た。また膨大な解析作業を行い、シミュレーションの実行に携わった立命館大学理工学部土木工学科計画研究室の加藤剛・本間誠一の両君に謝意を表したい。なお本調査研究の一部は、文部省科学研究費からの援助を得ていることを付記する。

## 参 考 文 献

- 1) Donald R. Drew: Traffic Flow Theory & Control, McGraw-Hill, pp. 337~340, 1968.
- 2) 日本道路公団大阪管理局：名神高速道路トンネル部の交通現象調査解析報告書，昭和60年3月。
- 3) 日本道路公団大阪管理局：名神高速道路トンネル部の交通現象調査解析報告書，昭和61年3月。
- 4) 卷上安爾・東 勝之：トンネル内交通流シミュレーションについて，土木学会関西支部年次学術講演会講演概要，昭和61年5月。
- 5) 日本道路公団大阪管理局：名神高速道路トンネル部の交通現象調査解析報告書，昭和62年3月。
- 6) 卷上安爾・八賀 真：名神高速道路天王山トンネルの交通容量について，第17回日本道路会議論文集。

(1988. 7. 25・受付)

# 圧密解析ソフト パソコンに上陸!!

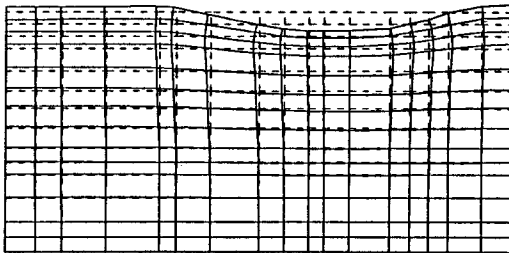
## 地盤の非定常圧密解析プログラム

# Mr. 圧密

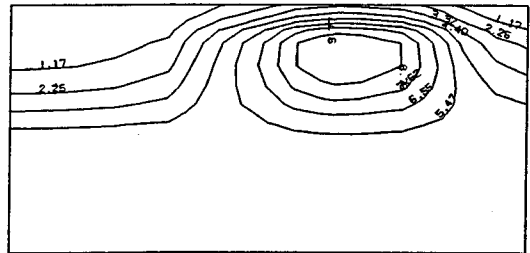
(特長)

- 非定常FEMによる線形弾性解析(christian系の解法)。
- 二次元平面歪解析。
- 要素として三角形・任意四角形が扱える。
- スケールングをしているので安定して解が求まる。
- リスタート機能の完備。
- 入力はわかりやすいコマンド形式を採用(フリーフォーマット)。
- 図化处理(プロッタ、画像出力)等、豊富な機能を持つポストプログラムを完備。
- ジェネレート機能(長方形要素)により簡単にモデル作成が可能。
- 大モデルはそのままCRCネットワークでも(ホスト処理)可能。

販売価格：60万円 機種：NEC PC9800シリーズ 他



変形図



過剰間隙水圧コンター図

※EWS、汎用機用の圧密解析プログラム(逆解析も可能)として"UNICON"も用意しております。

**CRC** センチュリリサーチセンター 株式会社

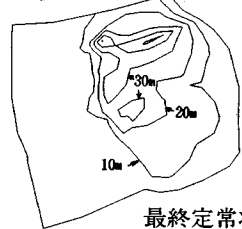
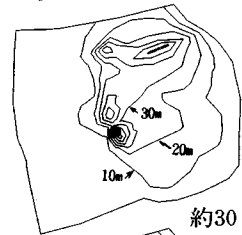
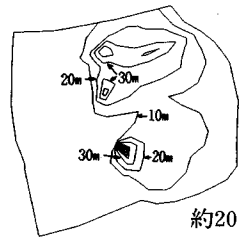
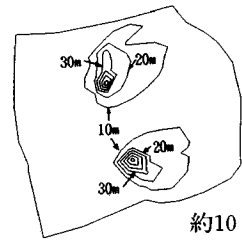
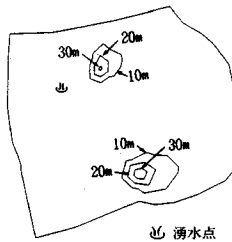
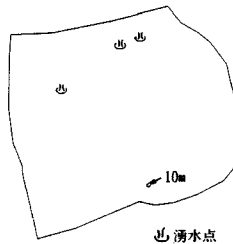
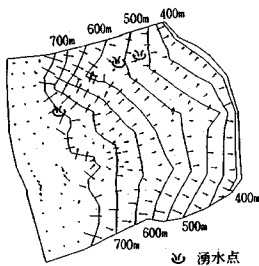
大阪市東区北久太郎町 4-68  
(06-241-4121) 担当:岩崎・榊原

# 地下水解析のことなら CRC

## 日本初!! 逆解析手法による 地下水変動解析プログラム

# UNISSF

スピーディな同定・安価な解析



特長 ○有限要素法による準3次元解析を中心とした地下水の流れのトータルシステムです。

○観測水位と計算水位より、非線形最小二乗法を用いて帯水層定数の同定が可能です。(逆解析手法)

○建設・土木工事(掘削・ディープウェルその他)の解析に対応する多くの機能を備えています。

○メッシュ・ジュネレータにより、モデル(要素分割)作成の手間を軽減できます。

○図化処理プログラムにより、結果の確認が容易に行えます。

機種：FACOM-Mシリーズ, HITAC-Mシリーズ  
IBM303X,308X,43XX, CRAY  
NEC ACOSシリーズ, DEC VAX11 他

このシステムは、情報処理振興事業協会の委託を受けて開発したものです。

**IPA 情報処理振興事業協会**

**CRC センチュリリサーチセンター株式会社**

大阪市東区北久太郎町4-68

(06-241-4121) 担当:岩崎、中屋

## 〈Mr.SOIL 無償提供のご案内〉

おかげさまで、弊社も創立30周年を迎える事ができました。  
これもひと重に皆様のおかげと感謝しております。

記念事業の一つとして、日本の大学・高校・公共機関 等で、地盤関係を研究されている研究者の方々に、Mr. SOIL を無償で提供させて頂き、研究の一助になれば幸いですと考えております。

**対 象：大学・高校・公共機関に従事する研究者**

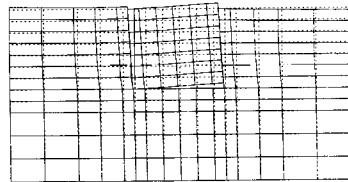
**申し込み期間：昭和64年1月～3月まで**

(ご提供は、昭和64年4月以降とさせていただきます)

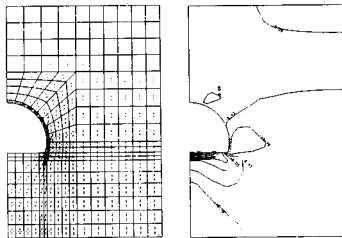
# Mr. SOIL Version-2.0

### 〈機能〉

- ・弾性及び弾塑性解析が可能
- ・掘削機能、盛土機能がある。
- ・地盤の不連続性や、構造物との相互作用が扱える。
- ・三角形要素、四角形要素、梁・棒要素、joint 要素の準備。
- ・大型モデルは、CRCネットワークでメインフレーム処理が可能。



不連続性を考慮した地盤と構造物の解析



トンネル掘削による応力ベクトル/コンター図

- ・地震荷重、分布荷重が扱える
- ・荷重の段階的載荷が可能。
- ・弾性解での安全率（モール・クーロン基準）評価。
- ・充実したグラフィック機能（変形図、応力ベクトル図、応力コンター図、拡大機能）

販売価格：64万円 機種：NEC PC-9801シリーズ、IBM5550  
150万円 機種：SONY NEWS, 他

# UNICOUP v3.0

応力解析と浸透解析がドッキングした!

## 特長 (太字はV3.0による追加機能)

応力と地下水の流れをカッパルさせた問題が解析可能です。(圧密含む)

地下水の流れは飽和・不飽和域を対象としています。

多段掘削・盛土や降雨等が扱えます。

梁や連結要素も扱え実用的です。

解析対象として平面ひずみ問題、軸対象問題が扱えます。

経時観測記録(変位・水位)があれば、非線形最小二乗法に基づき変形係数や透水係数が逆解析手法により求まります。

- 線形弾性
- 非線形弾性 (電中研式、ダンカン・チャンの双曲線モデル)
- 弾塑性 (ドラッカー・ブラガー モール・クーロン ハードニング、ソフトニング カムクレイモデル含む)
- 弾粘塑性 (関口・太田モデル)

## 対応機種

各種汎用機

各種EWS

## 図化出力 (太字はV3.0による追加機能)

変位図、変位ベクトル図、応力ベクトル図、応力コンター図、水頭コンター図、圧力水頭コンター図、安全率コンター図

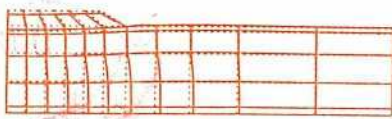
(荷重)



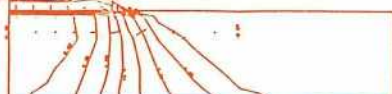
応力増分コンター(Δσv)  
(10日後)



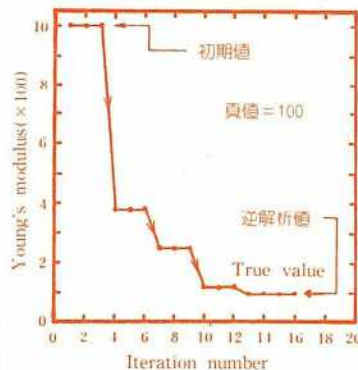
変位ベクトル図 (40日後)



盛土(40日後)の地盤の変形



盛土(40日後)の地下水の流れと水頭コンターおよび自由水面



ヤング率と繰り返し回数との関係

逆解析によるパラメータの推定

このシステムは、情報処理振興事業協会の委託を受けて開発したものです。

IPA 情報処理振興事業協会  
CRC センチュリリサーチセンタ 株式会社

問合せ先  
大阪市東区北久太郎町4-68  
(06-241-4121)担当: 浜口、岩崎

○ 土 木 学 会 論 文 集 ○ 定 価 一 五 〇 〇 円