

土木研究所報告

第 161 号

地下埋管からの浸透機構とその応用に関する研究 石崎勝義(1)
北川 明

案内標識の配置方法に関する研究 栗本典彦(29)
梶 太郎

昭和 59 年 2 月

建設省土木研究所

Copyright © 1984 年 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

地下埋管からの浸透機構と その応用に関する研究

石 崎 勝 義 *
北 川 明 **

Artificial Groundwater Recharge by Underground Piping Method

by Katsuyoshi Ishizaki
Akira Kitagawa

要 旨：

地下水を人工的に涵養する方法は、大きく井戸法と拡水法に分けられる。地下埋管法は、拡水法のひとつの手法であり、地下 30～60 cm くらいの位置に埋設した管に給水し、水を地下に浸透させる方法である。

本研究は、この手法を技術的に確立することを目標として行った。室内実験、数値解析及び現地実験について取りまとめたものである。なお、地下埋管法は、地下水涵養のみならず、雨水の地下浸透促進による洪水流出抑制にも有効であることが示され、今後現場での広い適用が期待されている。

キーワード：地下水涵養，地下埋管法，数値解析，室内実験，現場実験

Synopsis：

The method for artificial groundwater recharge can be categorized into two groups, one is well method and the other one is scattering method. Underground piping method belongs to the latter group. It is to infiltrate water from porous pipes buried underground (about 30-60 cm from the ground surface). This paper shows the results of indoor experiments, numerical analysis, and field experiments concerning this method. The purpose of the study is to make the technical aspects of the method clear for practical use. We have found that this method is effective not only for groundwater recharge but also for runoff control through the infiltration of rainfall water, and has a potential for wide practical application.

Key Words: Groundwater Recharge, Underground Piping Method, Numerical Analysis, Indoor Experiment, Field Experiment

* 土木研究所河川部水文研究室長（現 木曾川下流工事事務所長）

** 土木研究所河川部水文研究室研究員（現 海外経済協力基金開発第二課）

目 次

1. はじめに	(3)
2. 地下埋管の特性	(3)
〔 1 〕 土壌水帯の特徴	(3)
〔 2 〕 地下埋管の構造	(4)
3. 不飽和帯における浸透	(4)
〔 1 〕 浸透流の基礎式	(4)
〔 2 〕 不飽和透水係数	(6)
(1) 不飽和透水係数の特性	(6)
(2) 保水特性と不飽和透水係数	(6)
〔 3 〕 不飽和浸透における毛管力の作用	(7)
4. 地下埋管からの浸透機構	(8)
〔 1 〕 地下埋管に関する室内実験	(8)
〔 2 〕 数値解析と実験値との比較	(10)
(1) 基本式の差分化	(10)
(2) 実験値との比較	(11)
〔 3 〕 地下埋管からの浸透量	(11)
(1) (a)タイプの地下埋管からの浸透量	(11)
(2) (b)タイプの地下埋管からの浸透量	(13)
(3) (c)タイプの地下埋管からの浸透量	(15)
(4) 降雨の影響	(16)
5. 地下埋管に関する現地実験	(17)
〔 1 〕 現地実験	(17)
(1) 実験地の概要	(17)
(2) 実験施設	(17)
(3) 実験水	(17)
(4) 実験内容と実験方法	(21)
〔 2 〕 実験結果とその考察	(21)
(1) 基礎的実験の実験結果	(21)
(2) 長期浸透実験	(24)
(3) 流出抑制に関する実験	(26)
6. 結 論	(27)
参考文献	(28)

1. はじめに

近年、都市域における生産活動の増大及び人口の集中に伴う近郊部での宅地の開発には著しいものがある。開発に起因する流域の浸透能の減少、粗度係数の減少は、一方では流出係数の増大や洪水到達時間の減少によって洪水時のピーク流量の増加による治水安全度を低下させると共に、他方では低水時の流量を減少させることによって河川水質を悪化させることになる。こうした水文環境の変化を事前に予測し、適切な保全対策を講じることはきわめて重要である。我が国では、大規模開発者に対して水文環境保全対策が義務づけられており、従来、防災調節池あるいは河川改修が開発者の負担でなされてきた。しかしながら、土地価格の高騰は用地の取得を困難にし、こうした対策にとってひとつの障害になりつつある。

昭和30～40年代の経済高度成長期における地下水の過剰揚水は、地下水涸渇、地盤沈下、地下水塩水化等の地下水障害をもたらしたことは記憶に新しいが、都市域で年を追って増大する水需要に応えるためには、こうした障害を未然に防ぎながら、地下水を適正に保全・利用していくことが望まれている。

こうした状況のもとで、開発流域において雨水の積極的な地下浸透を図り表面流出を抑制すると共に、地下水を人工的に涵養することにより有効に利用しようという新しい試みがなされつつある。新しい試みには、それを実現していく上で、従来とは異なった技術が必要とされるのが常であるが、ここでは、雨水をいかにして安定的に地下に浸透させるかという問題を克服する必要がある。

本研究は、そうした問いに対する答のひとつとして、地下埋管法に着目し、地下水涵養技術あるいは表面流出抑制技術としての確立を旨としたものである。地下埋管法は我が国独自の地下浸透技術であり、地下30～60 cm くらいの位置に、管径5 cm 程度の土管をかけ継ぎにして埋設し、ここに給水することにより、管と管の間の隙間から水を浸透させるものであって、ちょうど農業の分野における地下排水暗渠の逆だと思えばよい。

ここで本論文の構成を明らかにしておこう。まず第2章において地下埋管の設置される不飽和帯の特性及び地下埋管の特徴について述べる。第3章で地下埋管からの浸透機構を考えるための準備として不飽和帯における土壌水の移動、すなわち不飽和浸透に関する既知の基礎的な研究を整理したあと、第4章において地

下埋管からの浸透に関する室内実験結果及び数値解析結果について述べ、地下埋管法の地下水涵養技術としての適用性についての基礎的検討を行う。続いて第5章では、荒川扇状地郊外深谷における地下埋管法の現地適用実験を紹介し、それを踏まえて、実際に地下埋管法を適用するために必要となる現地調査法について述べ、現地に適応した具体的な雨水処理施設としての提言を行う。参考文献は末尾にまとめて示してある。

2. 地下埋管の特性

〔1〕 土壌水帯の特徴

土壌水帯は地層の表層を構成する部分であり、雨水・表流水が浸透する際にフィルターとして重要な役割を果たす。地下水の水質が良好であるのは、この土壌水帯のフィルターとしての働きによるところが大きい。また土壌水帯は、植物が根によって水分、養分を吸収するところであり、有機体が土壌微生物によって無機体へと変換されるところでもある。土壌水帯は、図-1に示されるように土粒子、空気、水の3相よりなっており、砂の隙間に張られた凹面のメニスカスがつくる吸引圧と凹面から地下水面までの静水圧とが釣り合っている部分である毛管水帯と、その上に乗っている含水量がほぼ一様な懸垂水帯に分けられる。水分は主に降雨によって供給される。降雨の一部は地下水を涵養し、土壌水帯に貯留された水分の一部は、蒸発散によって大気に還元される。土壌水帯には、水分と共に常に気体が存在するため、不飽和帯と呼ばれることもある。これは、土粒子の隙間がすべて水によって

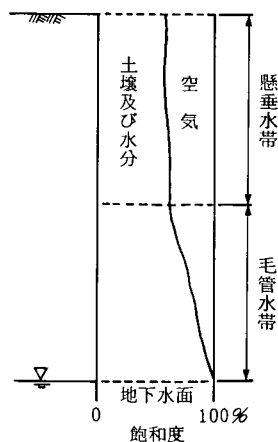


図-1 土壌の3相分布

飽和されている帯水層と大きく異なる点である。土壤水帯での水の動きは、液体と気体の界面に働く表面張力に起因する毛管圧及び重力に支配されている。このように、土壤水帯は、浸透水の流動特性においても、多種多様な土壤微生物が生息することでも、地下水帯とはかなり異なった特性を有していると言えよう。

土壤表面は、自然状態では空隙が大きいため、雨水の浸透が比較的容易であるが、造成地の盛土地盤のように土が締め固められると、雨水は浸透しにくくなる。また、雨滴が土壤表面に直接当たると、雨滴の落下エネルギーによって表面での土壤の固粒が破碎され、微粒子による不透水性膜が形成される。このため、土壤表面の間隙がふさがれ、雨水の浸透能が非常に小さくなることが報告されている¹⁾。

〔2〕 地下埋管の構造

地下埋管は地下水人工涵養の一手法である。地下水の人工涵養手法は大きく注入法と取水法に分けられる。注入法は井戸を用いて涵養する方法で、占有する土地面積が少なく済み、揚水井としても利用できるという利点を有する。しかし、狭い注入井壁を通じて長時間にわたって涵養がなされるため、比注入量²⁾の減少をもたらす目詰まりが発生しやすい。しかも、目詰まりが手の届かないところで発生するため、その除去がなかなか容易でない。これに対して、取水法は、地表面から平均的に地下水を涵養する方法であって、目詰まりが生じてもその回復は比較的容易であり、涵養手法として確実性を有する。池に水を張り、池底から浸透させる浸透池法は、欧米でよく用いられている取水法による手法であるが、かなりの面積の専用の土地が必要であり、国土面積の狭い我が国にとって必ずしも適切な涵養手法とは言いがたい。そこで、専用の土地がなるべく少なく済むような取水法による涵養手法として開発されたのが地下埋管法である。地下埋管の構造は、その用途、浸透水の水質によって種々のものが考えられる。

図-2に代表的と思われる地下埋管構造について示す。左から順に説明を加えよう。(a)タイプは埋管の下にトレンチを有するものであり、汚水の土壤処理の一方法として新見が提案³⁾しているものはこのタイプである。埋管からの供給水はいったん下のトレンチに貯留され、周りの砂、土壤の毛管力によってまず上方へ拡散し、次いで毛管力及び重力によって下方へ浸透す

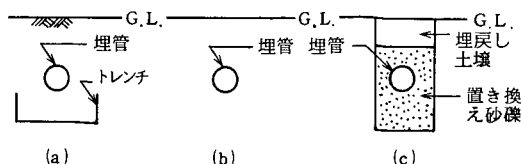


図-2 地下埋管のタイプ

ることになる。土壤中を浸透する浸透水は、土壤内の豊富な土壤微生物の作用及び土壤の吸着作用などによって次第に浄化される。一般に、浸透水に有機物が含まれると、微生物が浸透面に密生し、これが目詰まり現象の一因となるが、不飽和帯での浸透では、空気存在によって酸素が供給されるため、有機物が好氣的に分解され、更に微生物の増殖範囲も広くなり、目詰まりが発生しにくい条件を有しているようである。従ってこのタイプは、浸透水に有機物が含まれており、地下水汚染が危惧される場合に適している。また、水分の拡散が長く期待され、畑地等に設置した場合にはかんがい効果も大きいと思われる。(b)タイプは、土壤中にそのまま地下埋管を埋設したものである。浸透水による地下水汚染の心配がなく、土壤の透水性が高い場合にはかなり浸透量が期待される。また、埋管にある程度の水圧をかけることにより浸透量の増強を図ることができる。(c)タイプは地下埋管の周囲を、一部有効間隙率の大きい砂礫に置き換え、土壤内の貯留量を増加させると共に、土壤に対する浸透面積をも大きくし、浸透量の増加を期待したものであり、流出抑制のための地下浸透に適していると考えられる。

3. 不飽和帯における浸透

〔1〕 浸透流の基礎式

飽和・不飽和の違いは、流れの中の気体の存在の有無によって区別されるが、通常両方の状態が同時に生ずる場合が多い。従って、飽和域、不飽和域の両方にわたって適用可能な浸透の基本式が望ましい。

飽和流に対しては、いわゆるダルシー則が成立する。

$$q = -K_o(\Delta\phi + \Delta Z) \dots\dots\dots (1)$$

q ; 見かけの流速

K_o ; 飽和透水係数

ϕ ; 毛管ポテンシャル

(土粒子の間隙に張られた凹面のメニスカスがつくる吸引圧)

注1) 比注入量=注入量/注入による注入井内水位上昇量

Z ; 重力ポテンシャル

不飽和流の場合は、空気による浸透流路の遮断あるいは浸透流路断面の減少、また、ある場合には空気が浸透水と共に流動するといった現象が見られるため、飽和流と比較するとその取り扱いが複雑である。含水量が非常に小さくなると、水分の移動は主に蒸気体としてなされるようになり、熱収支まで含めた解析が必要となってくるが、こうした場合を除けば、通常層流抵抗に基づき、次式に示すようにダルシー則に準じた関係が仮定される。

$$q = -K(\theta)(\Delta\psi + \Delta Z) \dots\dots\dots (2)$$

$K(\theta)$; 不飽和透水係数

θ ; 含水量

つまり、空気存在に起因する浸透流路の遮断及び流路断面面積の減少を、透水係数の減少としてとらえるのである。 θ と ψ の間には、湿潤過程、脱水過程のそれぞれについて一価の関係が存在することが知られており、 $K(\theta)$ は $K(\psi)$ と書き直すこともできる。

いま、図-3に示すような微小六面体を取り、この内部での微小時間 Δt における水の質量の保存を考えると、次式を得る。

$$V \cdot \{\rho K(\Delta\psi + \Delta z)\} \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \Delta t \\ = \frac{\partial}{\partial t} (\rho n S \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z) \cdot \Delta t \dots\dots\dots (3)$$

ρ ; 水の密度

n ; 間隙率

S ; 飽和度

微小6面体の体積変化は z 方向のみで、 x, y 方向は無視できると考えれば、式(3)の右辺は次のようになる。

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho n S \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z) \Delta t \\ = \left\{ \rho n S \frac{\partial(\Delta z)}{\partial t} + \rho S \Delta z \cdot \frac{\partial n}{\partial t} + n S \Delta z \frac{\partial \rho}{\partial t} \right.$$

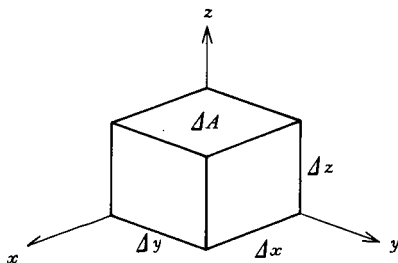


図-3 微小六面体

$$+ \rho n \Delta z \cdot \frac{\partial S}{\partial t} \} \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta t$$

さて、土粒子のスケルトン及び水の体積変化を弾性変化とし、それぞれの圧縮係数を α, β とすれば、上式右辺の各項については次式が成り立つ。

$$\rho n S \cdot \frac{\partial(\Delta z)}{\partial t} = \rho n S \frac{\partial(\Delta z)}{\partial p} \cdot \frac{\partial p}{\partial t} \\ = \rho^2 g n S \Delta z \cdot \alpha \cdot \frac{\partial \psi}{\partial t} \dots\dots (4)$$

$$\rho S \Delta z \frac{\partial n}{\partial t} = \rho S \Delta z \cdot \frac{\partial n}{\partial p} \cdot \frac{\partial p}{\partial t} \\ = \rho^2 g (1-n) S \Delta z \cdot \alpha \cdot \frac{\partial \psi}{\partial t} \dots\dots (5)$$

$$n S \Delta z \cdot \frac{\partial \rho}{\partial t} = n S \Delta z \cdot \frac{\partial \rho}{\partial p} \cdot \frac{\partial p}{\partial t} \\ = \rho^2 g n S \Delta z \cdot \beta \cdot \frac{\partial \psi}{\partial t} \dots\dots\dots (6)$$

$$\rho n \cdot \Delta z \frac{\partial S}{\partial t} = \rho n \Delta z \cdot \frac{\partial S}{\partial \psi} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial t} \dots\dots\dots (7)$$

ここで p は水圧であり $p = \rho g \psi$ であることを用いている。式(4)、式(5)は土粒子のスケルトンの弾性変化、式(6)は水の弾性変化に基づく変形である。式(7)は飽和度の時間変化に係わるものであり、不飽和浸透流の場合には重要な項となる。この項は、当然のことながら、飽和浸透流の場合には考慮する必要がない。

式(4)~(7)を式(3)に代入すると次式を得る。

$$V \cdot \{\rho K(\Delta\psi + \Delta z)\} = \left\{ \rho^2 g S (\alpha + n\beta) \right. \\ \left. + \rho n \cdot \frac{\partial S}{\partial \psi} \right\} \frac{\partial \psi}{\partial t} \dots\dots (8)$$

式(8)において、不飽和浸透流では、土粒子のスケルトン、及び水の圧縮変化は無視しえるから、右辺中かっこ内第一項は無視できる。また、 n, ρ は一定と考えられるから不飽和浸透流の場合は、右辺の中かっこ内第二項については次のような変形が可能である。

$$\rho n \cdot \frac{\partial S}{\partial \psi} = \rho \cdot \frac{\partial n S}{\partial \psi} = \rho \cdot \frac{\partial \theta}{\partial \psi} = \rho C(\psi)$$

従って式(8)は式(9)のようになる。

$$V \cdot \{K(\psi)(\Delta\psi + \Delta z)\} = C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} \dots\dots (9)$$

これは、飽和浸透流の基礎式

$$V \cdot \{K_o(\Delta\psi + \Delta z)\} = C_o \cdot \frac{\partial \psi}{\partial t}$$

K_o ; 飽和透水係数

C_o ; 定数 $C_o = \rho g (\alpha + n\beta)$

と同じ形をしているから、式(9)で、飽和・不飽和に応じて係数を変えることによって、飽和・不飽和両領域にわたる解析が可能である。ただし、式(9)は強い非線形性を有し解析解を求めるのは困難であるため、実際には数値解析によって解かれることになる。

(2) 不飽和透水係数

(1) 不飽和透水係数の特性

前節で述べたように、浸透流の解析には浸透層固有の特性を前もって把握しておくことが必要である。特に不飽和浸透流では不飽和透水係数が重要な役割を果たす。

図-4は、代表的な不飽和透水係数とサクシヨン²⁾との関係を図示したものであるが、これは近似的に次のような式で表現できる。

$$K = \begin{cases} K_0 & \psi > \psi_b \text{ の場合} \\ K_0 \left(\frac{\psi_b}{\psi} \right)^\eta & \psi \leq \psi_b \text{ の場合} \end{cases} \quad \cdots \cdots (10)$$

ψ_b ; バブリングプレッシャー³⁾

η ; 浸透層の土粒子の粒径、粒土分布にかかわる定数で、粒径が大きく均一な場合には大きな値をとり、粒径が小さく粒度が広く分布している場合には小さな値をとる。

バブリングプレッシャーを境にして不飽和透水係数の傾向が大きく変化しているが、これは流動の形態が変

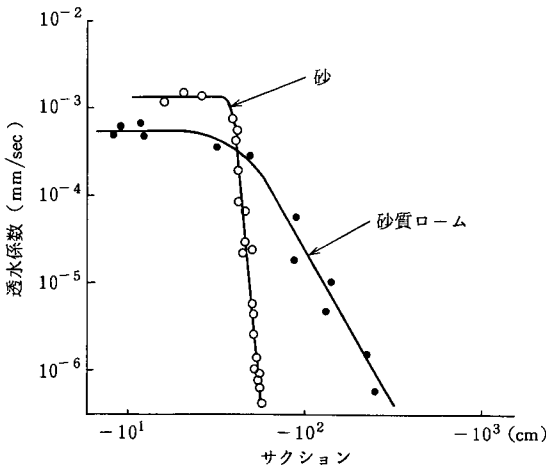


図-4 不飽和透水係数(参考文献7)より)

注2) 毛管圧の絶対値で単位としてcmを用いる。サクシヨンの対数よみがPF。

注3) 毛管圧が小さくなっていくとき、間隙内に気泡が発生し、透水係数の変化が顕著になる毛管圧。

化することに起因している。飽和度が低い、つまりサクシヨンが大きい場合には、間隙内の空気は浸透層内の流路を遮断あるいは流路断面積を減少させるため透水係数は小さいのに対し、飽和度が高くなるにつれて、つまりサクシヨンが小さくなるにつれて、間隙内の空气の閉塞作用が小さくなり、透水係数が大きくなっていくわけである。 ψ_b 近くまでサクシヨンが小さくなると、間隙内の空気泡は流動し始めるようになり、空気泡の閉塞作用はほとんどなくなって、不飽和透水係数は、飽和透水係数とほぼ等しくなる。

K と ψ , あるいは θ と ψ の関係は、 ψ が増加していく場合と減少していく場合とで若干異なり、ヒステリシスループを描く。しかし、どちらの場合でも、式(10)が不飽和透水係数の近似式として適切であることが実測によって明らかにされている。つまり ψ_b, η の値だけが異なっているわけである。

湿润状態から脱水状態へ、あるいはその逆の変化が起こる場合、その移行のしかたは、出発点が定まれば一定であり、この移行に関するモデルも提案されている³⁾が、本研究では湿润状態のみを取り扱うので、これらの点についてのより詳細な議論はここでは行わないことにする。

(2) 保水特性と不飽和透水係数

不飽和透水係数の測定には熟練と手間が必要とされ、一般にあまり容易でない。それに比較して水分量とサクシヨンの関係すなわち保水水分量特性の測定は短時間ですみ、測定器の操作も簡単である。先に述べたように、湿润状態にあるのか、脱水状態にあるのかが決まれば、 K_0, ψ, θ の間にはそれぞれ一価の関係が存在しているから、もし $\psi \sim \theta$ 関係から $K_0 \sim \psi$ 関係あるいは $K_0 \sim \theta$ 関係が推定されれば、直接不飽和透水係数を測定するの必要がない点非常に有効である。

ここでそうした考え方のひとつとしてCambell(1974)⁵⁾によって提案された手法を簡単に紹介しておこう。Childs等(1950)⁶⁾によれば、次の2つの前提のもとで、不飽和透水係数は式(11)のように与えられる。

① 全体として透水性に寄与するのは連続している間隙孔のみであり、途中でとぎれているものは全く寄与しない。

② 透水層内の間隙孔の接続のしかたはランダムであり、ひとつの接続における流れは小さい方の間隙孔の径によって決まる。

$$K = M \int_0^R \int_0^R \gamma^2 F(\gamma) \cdot d\gamma \cdot F(\gamma) d\gamma \quad \cdots \cdots (11)$$

γ ; 間隙孔の径

R ; 最大保水間隙孔径

M ; ポワズユ流れに基づく定数

$F(\gamma)$; 間隙孔径の分布関数

ちなみに間隙率 n は次式で与えられる。

$$n = \int_0^\infty F(\gamma) d\gamma \quad \dots\dots\dots (12)$$

さて、図-5 は $\psi \sim \theta$ の測定結果の一例であるが、一般的に式 (10) と同型な次のような式で近似しうることが示されている。

$$\psi = \begin{cases} \psi_e & \theta > \theta_e \text{ の場合} \\ \psi_e (\theta/\theta_e)^{-b} & \theta \leq \theta_e \text{ の場合} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (13)$$

ψ_e ; 空気混入ポテンシャル。浸潤過程では空気泡が流動し始める時の毛管ポテンシャルに相当するものであり、式 (10) の ψ_e とほぼ同じ値をとる。

θ_e ; $\psi = \psi_e$ のときの θ の値。脱水過程の場合は飽和含水量に等しい。

b ; 浸透層の土粒子の粒径。粒土分布に係わる定数。

ここで毛管の上昇高さを与える式より

$$\psi = -\frac{2\sigma}{\gamma\rho g} \quad \dots\dots\dots (14)$$

σ ; 水の表面張力

g ; 重力の加速度

であるから、式 (13) の下式と式 (14) より γ につい

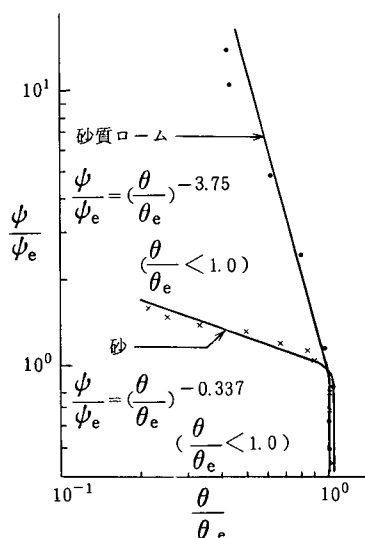


図-5 毛管圧と含水量の関係(参考文献7より)

て整理すると

$$\gamma = -\left(\frac{2\sigma}{\rho g \psi_e}\right) \left(\frac{\theta}{\theta_e}\right)^b \quad \dots\dots\dots (15)$$

を得る。 $F(\gamma) \cdot d\gamma = d\theta$ となることに注意して式 (15) を式 (11) に代入して積分すると、 K と θ の関係式として次式を得る。

$$K = M' \theta^{2b+2} \quad \dots\dots\dots (16)$$

M' ; 定数

$\theta = \theta_e$ の時 $K = K_o$ (飽和透水係数) と考えられるから、式 (16) は次のように書き直せる。

$$K = K_o \left(\frac{\theta}{\theta_e}\right)^{2b+2} \quad \dots\dots\dots (17)$$

式 (13), (17) より θ を消去すれば、 $K \sim \psi$ の関係式として

$$K = K_o \left(\frac{\psi_e}{\psi}\right)^{2+2/b} \quad \dots\dots\dots (18)$$

を得る。 b は式 (13) において $\psi \sim \theta$ の間の関係を規定する係数であるから、式 (17) 又は式 (18) を用いれば、飽和透水係数と $\psi \sim \theta$ 関係より不飽和透水係数が求められることを示している。

以上が Cambell の手法だが、Jackson (1972)⁸⁾ は、間隙の相互作用を考慮すると、式 (17) に $(\theta/\theta_e)^d$ を乗じるべきであるとしている。

$$K = K_o \left(\frac{\theta}{\theta_e}\right)^{2b+2+d} \quad \dots\dots\dots (17)'$$

従って式 (18) は

$$K = K_o \left(\frac{\psi_e}{\psi}\right)^{2+\frac{2+d}{b}} \quad \dots\dots\dots (18)'$$

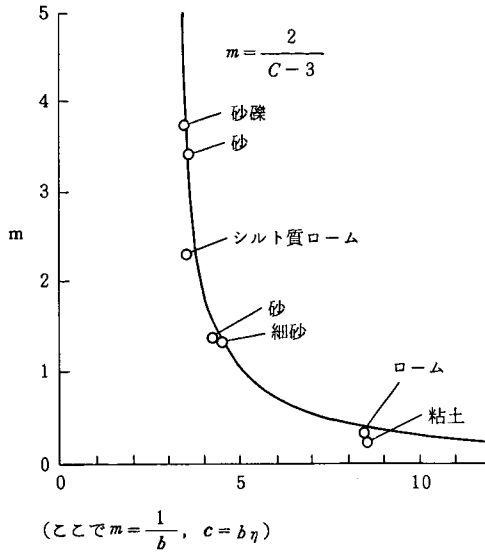
となる。図-6 は Eagleson (1978)⁹⁾ が式 (15) の指数 b と式 (10) の指数 η との関係について、数種の土質について調査し、図にまとめたものであるが、この図より、 $\frac{1}{b} = \frac{2}{b\eta-3}$ つまり $\eta = 2+3/b$ 、よって式 (18) において $d=1$ とおけばよいことがわかる。従って、最終的に次式を得る。

$$K = K_o \left(\frac{\theta}{\theta_e}\right)^{2b+3} \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$K = K_o \left(\frac{\psi_e}{\psi}\right)^{2+3/b} \quad \dots\dots\dots (20)$$

〔3〕 不飽和浸透における毛管力の作用

地下水帯から土壌水帯への毛管上昇は、毛管力によって引き起こされる静的な現象であるが、動的な現象としての不飽和浸透における毛管力の影響も、浸透

図-6 各種土壌についての m と c との関係

現象の理解の上で見のがせない要素である。

1次元の浸透の問題として、地表面に湛水した場合の浸透量を与える式として Green-Ampt 式¹⁰⁾が知られているが、これは次式のように表される。

$$I = K_0 \cdot \frac{H + Z_f + H_f}{Z_f} \dots\dots\dots (21)$$

I ; 単位面積当たり浸透量

H ; 湛水深

Z_f ; 飽和領域の地表面からの浸透深さ

H_f ; 浸潤面における毛管圧(水頭値)

式(21)は、地表面と浸潤面の間の動水勾配に飽和透水係数を乗じたもので、ダルシー則を適用したものである。 H_f によって毛管力の影響が式中に組み込まれており、毛管力の作用が大きいと、浸透量は大きくなることがわかる。しかしながら、式(18)の H_f の値を実際の土壌帯について把握することは非常に困難である。

Mein and Lauson(1973)¹¹⁾は、 H_f の代りに次式で定義される ψ_{cr} (限界毛管圧)を適用しても十分な精度が得られることを示した。

$$\psi_{cr} = \int_{-\infty}^0 (K/K_0) d\psi \dots\dots\dots (22)$$

ψ_{cr} は図-7に示すように斜線の部分の面積が等しくなるように決定される。

一方、Bower(1964)¹²⁾は、水路等からの2次元不飽和浸透においても、図-7に示される ψ_{cr} を境としたステップ関数として不飽和透水係数を与えても、ほぼ同

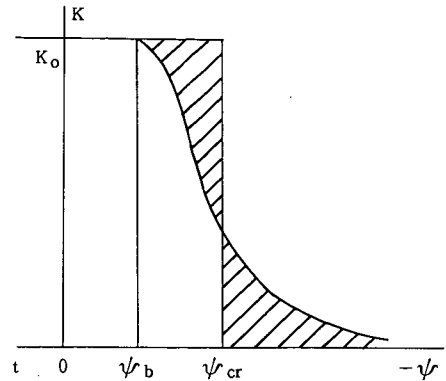
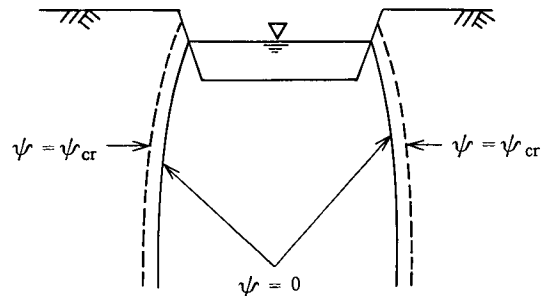
図-7 不飽和透水係数と限界毛管圧 ψ_{cr} 

図-8 毛管圧の影響

様な浸透量が計算できることを明らかにしている。このことは図-8に示すように、毛管力が作用しない場合と比較して流れの幅が広くなることに対応するものであり、 ψ_{cr} は毛管力の影響を表すパラメータと考えることができる。式(10)と合わせて考えれば明らかだが、 ψ_{cr} は不飽和透水係数の特性を示す ψ_b 及び η によって決まる定数である。

4. 地下埋管からの浸透機構

〔1〕 地下埋管に関する室内実験

これまで、土壌水帯での浸透機構について定性的に議論してきた。その結果、不飽和浸透において毛管力が重要な役割を果たすことが示された。さて、毛管力の作用の程度は、土壌条件のみならず、浸透施設の構造形態によっても異なることが考えられる。従って地下埋管からの浸透量を定量的に把握するためには、実験による検討が必要である。

本節では、図-2の(a)タイプ埋管について室内模型実験を行った結果を紹介する。図-9に実験施設の概略を示す。実験装置の大きさは、長さ 70 cm、幅 30 cm、深

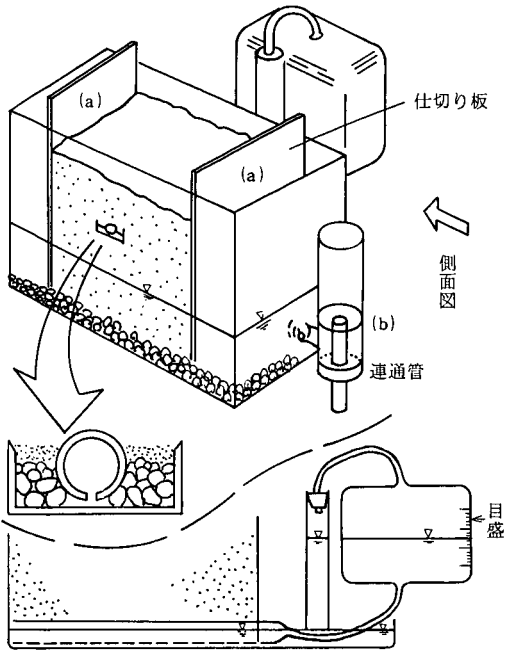


図-9 実験装置

表-1 実験砂の特性

1) 比 重	2.64
2) 間 隙 率	39.4% (乾燥密度1.6)
3) 透水係数	$K=1.0 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$

さ 60 cm であり、設置した埋管の諸元は表-1 のとおりである。図-9 の(a)は移動可能な側壁であり、この間隔を変えることによって隣接した埋管との設置間隔が変わることに対応できると考えた。また、図中の(b)は連通管であり、中央部に挿入した管を上下させることによって地下水位をある一定の位置に保てる仕組みになっている。

一方、水の供給の方だが、常にトレンチ内の水位を一定に保つように給水される仕組みになっており、タンク内の水の減少量から浸透量を計測できるようにになっている。

浸透の媒体としては、豊浦標準砂を用いた。この粒度分布は $105 \mu \sim 149 \mu$ のものが 87 % を占め、ほぼ均一粒径であると考えられる。その他の特性は表-2 に示すとおりであった。本実験に豊浦標準砂を用いたのは、その物理的性質が一般の土壌と異なって安定しており、その取り扱いが容易であることによる。

図-10 に実験条件を示す。トレンチ内の水位と地下水位(実験槽内水位)との水位差 H を 5 ケース、それぞれについて側壁間隔を 3 ケース変化させ、全部で 15 ケースについて、定常状態における浸透量の測定を

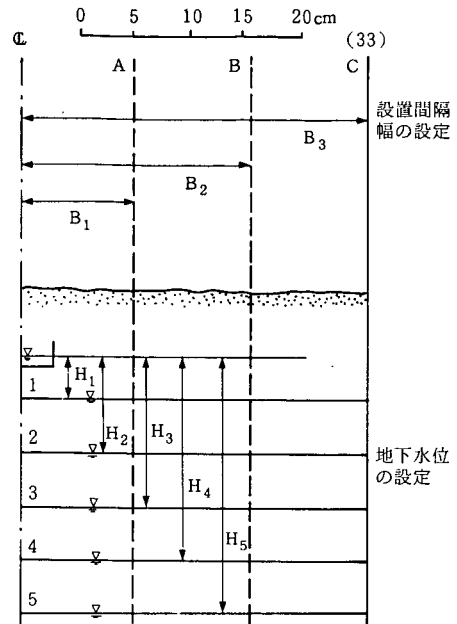


図-10 実験条件

表-2 地下構造物の諸元

	室内実験	現地を想定したスケール
地下構造物の幅	3.0cm	20.0cm
地下構造物の高さ	2.5cm	7.5cm
地下構造物中の水深	1.0cm	3.5cm
土 か む り	26.0cm	58.0cm

行った。

実験結果をグラフの形で取りまとめたのが図-11 である。ここで、涵養量 (cm^3/sec) は各ケースにおける浸透量そのものの値であり、涵養高 (mm/日) はそれを 1 日当りに換算した量を埋管の支配面積で除した値である。水位差及び設置間隔の幅 B を増加させるに従って涵養量が大きくなることが示されている。ただ、幅 B の増加による涵養量の増加は直線的でなく、ある程度まで広がると H に対して一定の浸透量に近づくものと考えられる。これは、毛管作用による浸潤の影響範囲に限界があるためであろう。 H の増加についても、いずれ平均的な全ポテンシャル勾配が一定値に近づくであろうから、浸透量は一定値に漸近するものと考えられる。

本実験で浸透媒体として用いた豊浦標準砂は実際の土壌と異なっているため、実際の土壌での実験や数値解析によって、より詳細な検討を行う必要はあるものの、地下埋管が良好な浸透機能を有する構造物であることは示されたと言える。

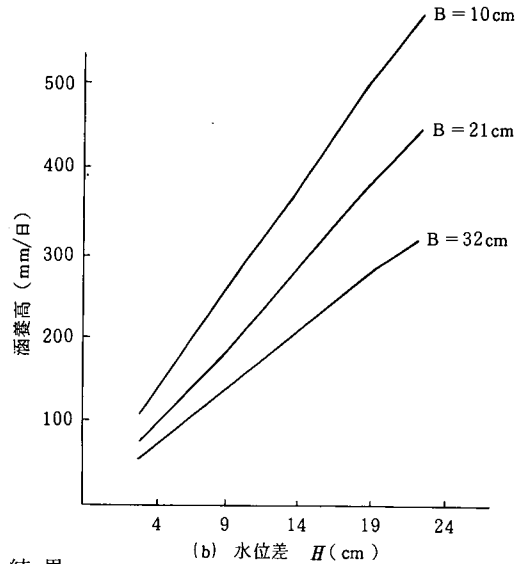
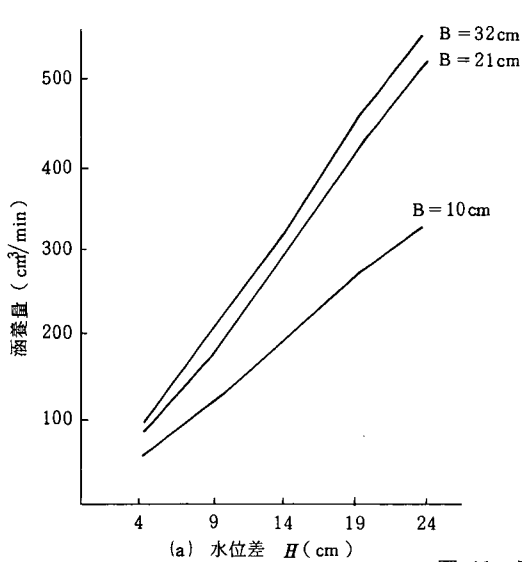


図-11 実験結果

〔2〕 数値解析と実験値との比較

前節で述べた室内実験では、限られた条件のもとでの、しかも(a)タイプ埋管についてのみ取り扱ったのに対し、本節では更に広範な条件のもとでの浸透量について検討するため、数値解析を行った結果について述べる。

(1) 基本式の差分化

ここでは、地下埋管の浸透施設としての有効性を評価することが目的であるため、定常的な浸透量について解析する。従って式(9)は簡略化され、次のようになる。

$$V \cdot [K(\psi)(\Delta\psi + \Delta Z)] = 0 \quad \cdots \cdots (23)$$

これを鉛直2次元の場合について書き下すと次式のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left[K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right] \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial z} + K(\psi) \right] = 0 \quad \cdots \cdots (24) \end{aligned}$$

今、図-12に示すような微小要素を考え、図中のI, II, III, IV点における ψ の値に対応する不飽和透水係数を $K(\psi_I)$, $K(\psi_{II})$, $K(\psi_{III})$, $K(\psi_{IV})$ として式(24)を差分表示すると、

$$\left[\frac{K(\psi_I)(\psi_{i,j+1} - \psi_{i,j})}{(\Delta x_i + \Delta x_{i+1})/2} - \frac{K(\psi_{II})(\psi_{i,j} - \psi_{i,j-1})}{(\Delta x_{i-1} + \Delta x_i)/2} \right] \Delta x_i$$

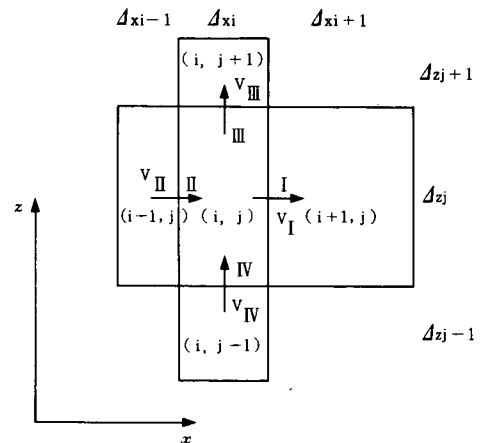


図-12 差分ブロック図

$$\begin{aligned} & \frac{K(\psi_{III})(\psi_{i,j+1} - \psi_{i,j})}{(\Delta z_j + \Delta z_{j+1})/2} - \frac{K(\psi_{IV})(\psi_{i,j} - \psi_{i,j-1})}{(\Delta z_{j-1} + \Delta z_j)/2} \\ & + \frac{K(\psi_{III}) - K(\psi_{IV})}{\Delta z_j} = 0 \quad \cdots \cdots (25) \end{aligned}$$

これを $\psi_{i,j}$ について解き、整理すると

$$\begin{aligned} A\psi_{i,j} &= B\psi_{i+1,j} + C\psi_{i-1,j} \\ &+ D\psi_{i,j+1} + E\psi_{i,j-1} + F \quad \cdots \cdots (26) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{K(\psi_I)}{\Delta x_i(\Delta x_i + \Delta x_{i+1})} + \frac{K(\psi_{II})}{\Delta x_i(\Delta x_{i-1} + \Delta x_i)} \\ &+ \frac{K(\psi_{III})}{\Delta z_j(\Delta z_j + \Delta z_{j+1})} + \frac{K(\psi_{IV})}{\Delta z_j(\Delta z_{j-1} + \Delta z_j)} \end{aligned}$$

$$B = \frac{K(\phi_1)}{\Delta x_i(\Delta x_i + \Delta x_{i+1})}$$

$$C = \frac{K(\phi_{II})}{\Delta x_i(\Delta x_{i-1} + \Delta x_i)}$$

$$D = \frac{K(\phi_{III})}{\Delta z_j(\Delta z_j + \Delta z_{j+1})}$$

$$E = \frac{K(\phi_{IV})}{\Delta z_j(\Delta z_{j-1} + \Delta z_j)}$$

$$F = \frac{K(\phi_{III}) - K(\phi_{IV})}{2\Delta z_j}$$

を得る。これは中央の値 ϕ_{ij} が、周りの4点での値 $\phi_{i+1,j}$, $\phi_{i-1,j}$, $\phi_{i,j+1}$, $\phi_{i,j-1}$ から求まることを示している。従って領域を要素分割し、各要素について上記方程式を立て、境界条件を入れて連立方程式を解くことにより、すべての要素についての ϕ_{ij} が求められることになる。境界条件としては、水面において $\phi = 0$, 計算領域左右の境界において $K = 0$ (対象性を考慮), 地中構造物面, 地表面において $K = 0$ とした。

(2) 実験値との比較

室内実験のスケール及び境界条件のもとに式 (26) を数値解析によって解いた結果を紹介しよう。 $K(\phi)$ については、標準砂に関する測定結果より $K_0 = 1.01 \times 10^{-2}$ cm/sec, $\phi_b = -36$ cm, $\eta = 18.2$ とした。計算値と実験値との比較を示したのが図-13である。計算値の方が H の増加に対する涵養高の増加率が緩やかであるが、両者はほぼ対応しており、解析結果が妥当

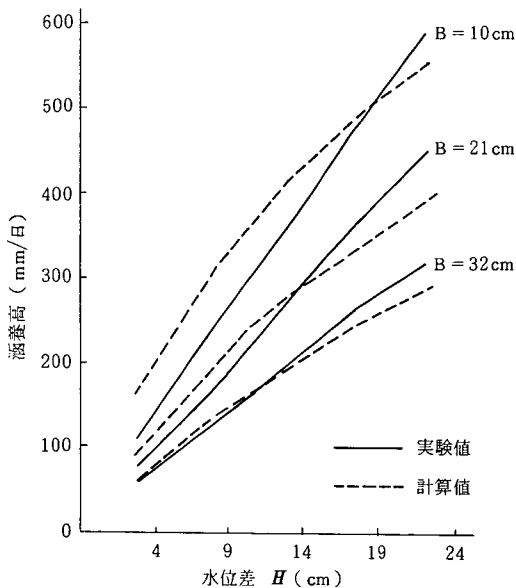


図-13 実験値と計算値の比較

であることが示されている。

〔3〕 地下埋管からの浸透量

本節では、前節で妥当性の示された数値解析を現地施設規模に対して行うことにより、実際の地下埋管において期待される浸透量の把握及び浸透量増強のための方法について検討する。ただし、ここでの検討は小規模室内実験による検証に基づく予測であり、現地の特性を充分考慮したものでないため、現地実験結果をもとに、さらに検討を加えることが必要となることも考えられる。

(1) (a)タイプの地下埋管からの浸透量

図-14は、表-2に示した寸法の地下埋管構造物における浸透量の計算結果である。浸透層は砂質ロームと考え、図-4より $K_0 = 5.6 \times 10^{-4}$ cm/sec, $\eta = 3.5$, $\phi_b = -40.0$ cmとした。ここでは、トレンチ内水位と地下水位の水位差に対する涵養高の変化を、埋管の設置間隔をパラメータとして表している。これによると涵養高は、水位差 H が小さい場合にはその影響を強く受け、特に設置間隔が小さい場合には、水位差の増加に伴う涵養高の増加勾配が大きくなっていることがわかる。しかし、いずれの設置間隔においても、水位差 H がある程度以上に大きくなると、水位差の影響はなく

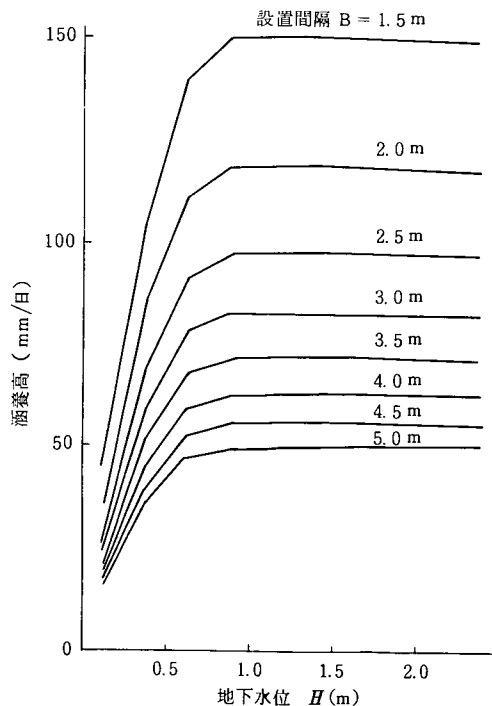


図-14 計算結果

なり、浸透層がローム層があるいはそれに粒度分布が似たような土壌については水位差 H が 1 m 以上であれば、涵養高はほぼ一定値になるようである。現地においては水位差は 1 m 以上あることが普通であるから、むしろ設置間隔 B による影響を考慮する必要がある。

図-15 は、設置間隔と涵養高の関係を示したものである。設置間隔が広がっても、涵養高の減少は緩やかであって、地下埋管の経済的な埋設が可能になるものと考えられる。

図-16 は、地下埋管の周りの水分分布の解析例を示したものである。図-17 に計算条件を示す。毛管圧分布から水分量への換算には式 (13) を用いた。式 (13) 中の定数は図-5 から読み取った値を用いた。図-16 で、地下埋管の周りの含水量上昇は、埋管からの浸透によ

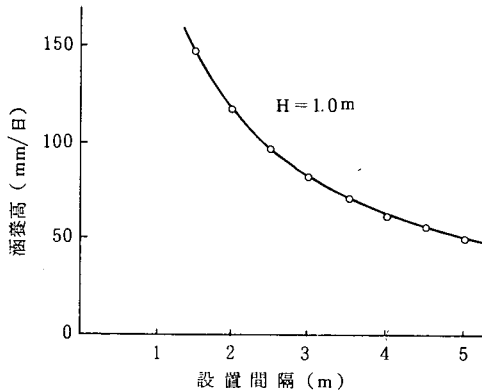


図-15 設置間隔と涵養高

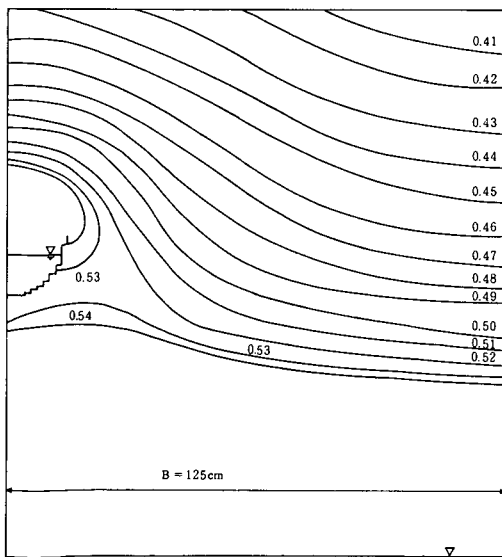


図-16 土壌含水比

るものであり、下方で水分量が多いのは、境界条件として与えた地下水面からの毛管上昇によるものである。図-18 は同じ条件のもとでの水分の移動状況を、矢印の大きさ及び向きで表したものである。本計算条件下では地下埋管近傍で流れが大きくなっているのが、地下水面に到達する段階ではほぼ一樣になっていることがわかる。

図-19 と図-20 は、(a)タイプの地下埋管の周りの土壌を透水性の高い砂で置き換えた場合と、置き換えない場合の、全ポテンシャル分布を示している。置き換え砂は標準砂を想定し、 $K_0 = 0.01 \text{ cm/sec}$, $\eta = 18.2$, $\phi_b = -36 \text{ cm}$ とおいた。土壌については、置換前と同様 $K_0 = 5.6 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$, $\eta = 3.5$, $\phi_b = -40 \text{ cm}$ とした。浸透量について比較すると、置き換えない場合で $0.014 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{hr}$ (10 m 間隔で埋設されたとすれば 33 mm/日)、置き換えた場合で $0.042 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{hr}$ (10 m 間隔で埋設されたとすれば、100 mm/日) となっていて、置き換えた場合には約 3 倍の浸透量となっている。これは、図-19 と図-20 に示されている地下水面に近いローム層内の全ポテンシャル分布の違いから解釈することができる。(a)タイプの地下埋管では、下皿から毛管力によって上方への流れが集中し、そこでのポテンシャル勾配が密にならざるをえないのに対し、透水性の高い砂で置き換えを行えば、下皿付近での全ポテンシャル勾配を緩やかにできるため、全ポテンシャルの損失を少なくすることが可能となる。そこで、全体的なポテンシャル勾配が大きくなり、浸透量が増加するわけである。

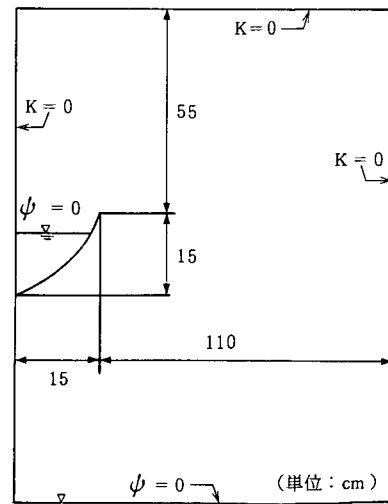


図-17 計算条件(境界条件および計算スケール)

注 $k = 0$ としたのは境界条件で、そこを通して、水分の出入がないことを意味する)

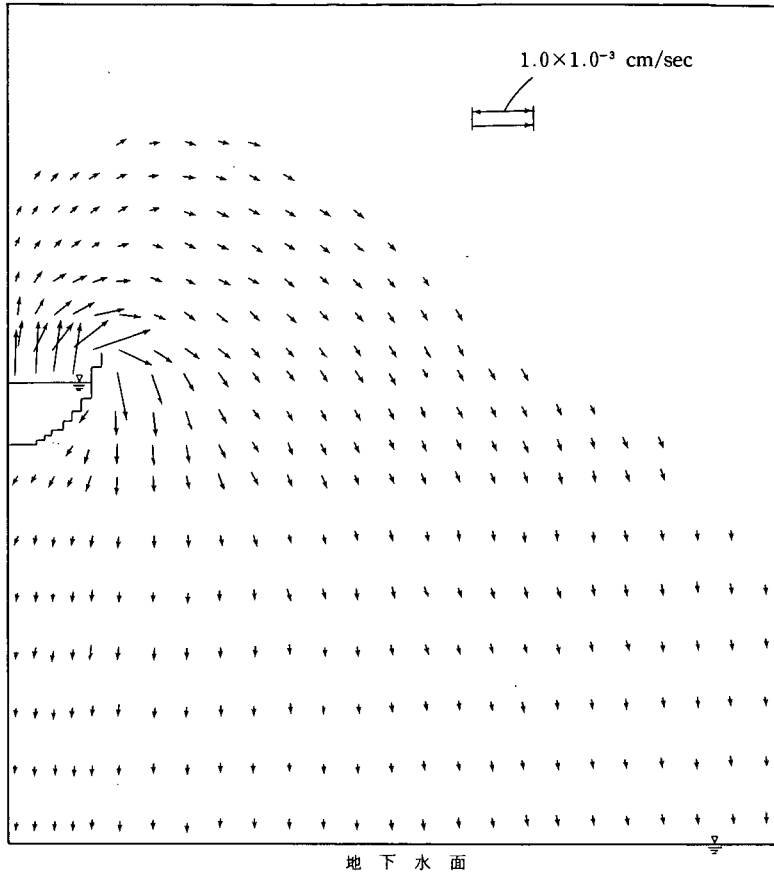


図-18 流速，流向分布図

(a)タイプの地下埋管は，土壤の毛管力のみによる浸透を期待するものであるが，砂質ロームを対象とした場合で，埋管間隔 5 m として 1 日当たり 50 mm の浸透が可能であることが示された。土壤の毛管力の作用は想像以上に大きいことが理解される。また，(a)タイプの地下埋管は，土壤での浄化を期待できるため，河川水のみならず，少々水質的に十分でない水を涵養源として用いることができる可能性がある。ただし，そうした点については別途検討が必要であることは言うまでもない。

(2) (b)タイプの地下埋管からの浸透量

地下水涵養を積極的に行う場合には，直接埋管から浸透させる方が効果的である。というのは，埋管にかかる水圧を大きくすることによって浸透量を増加させることが可能なためである。図-21 は，地下埋管に水圧が 10 cm かかった場合における圧力分布と，全ポテンシャル分布を示す。浸透層の透水係数は(a)タイプについて検討した場合と同じである。埋管に 10 cm の水圧がかかっていながら，飽和領域は埋管のごく近傍に限

られていて，ほとんどが不飽和領域であることが示されている。計算条件は図-21 に示されているように，埋設間隔 250 cm，埋設深 50 cm，地下水位が地表から 260 cm となっている。地下埋管にかかる水圧と浸透量との関係を図-22 に示す。水圧の上昇に従って，浸透量はほぼ直線的に増加するが，水圧が高くなると，その増加はやや鈍くなっているようである。また，水圧が 0 cm 近くになっても浸透量は 0 にはならない。これは，地下埋管が満水状態であるとしているため，毛管力による浸透が生ずるからである。

図-23 は，埋設間隔と浸透量の関係を図示したものである。(b)タイプの地下埋管においては，下方向の浸透が主体であって，隣接した埋管相互の干渉が小さく，そのため埋設間隔によって浸透量が変化することはほとんどない。埋設間隔が 2.5 m 以上であれば，埋管からの浸透量はほぼ一定であることが示されている。従って，(b)タイプの地下埋管においては，埋設間隔を小さくすることによって単位面積当たりの浸透量を上げ，積極的な地下水涵養が可能となるであろう。

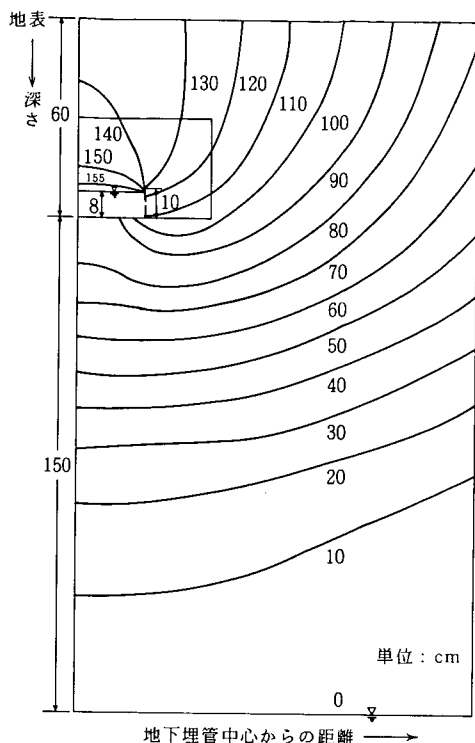


図-19 (a)タイプで置き換えなしの場合の全ポテンシャル分布

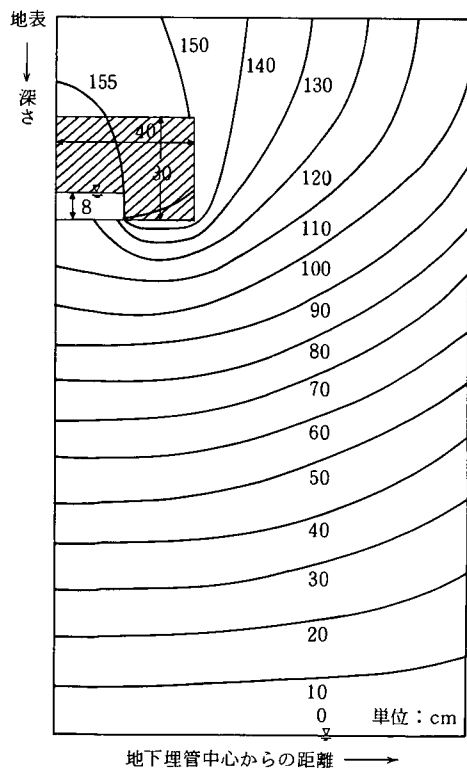


図-20 (a)タイプで置き換えを行った場合の全ポテンシャル分布

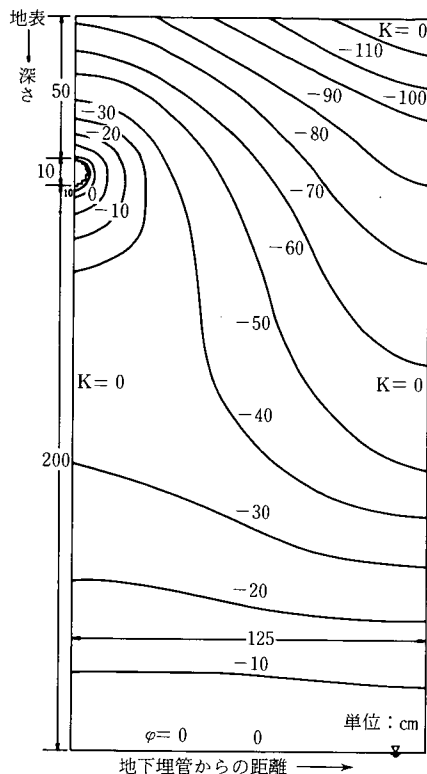


図-21(a) (b)タイプ毛管圧分布

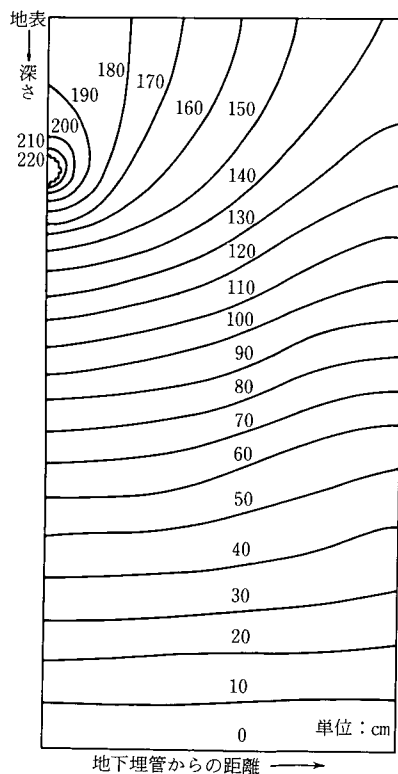


図-21(b) (b)タイプの全ポテンシャル分布

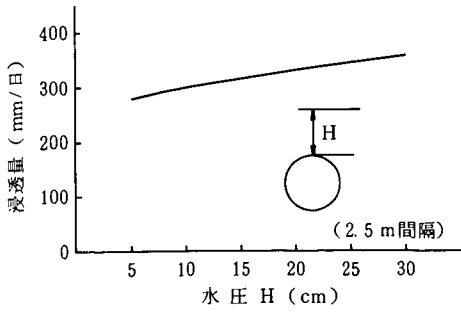


図-22 埋管にかかる水圧と浸透量

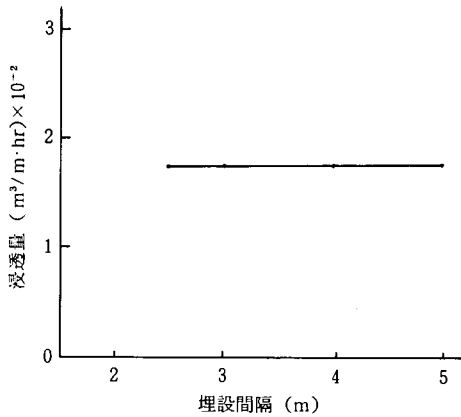


図-23 (b)タイプの浸透量 (埋設間隔との関係)

(3) (c)タイプの地下埋管からの浸透量

(b)タイプの地下埋管の周りの土壌を、一部有効間隙率が高く透水性の大きい砂礫で置き換えると(c)タイプの地下埋管となる。図-24 は、幅 30 cm、深さ 80 cm にわたって砂で置き換えた場合の毛管圧分布を示している。土壌の透水係数に関する定数は、(b)タイプの地下埋管について検討した場合と全く同じとした。また、置き換え砂については、平均径 0.4 mm 程度の均一な砂を想定し、 $K_0 = 0.1 \text{ cm/sec}$ 、 $\eta = 18.2$ 、 $\psi_b = -10 \text{ cm}$ とした。埋管にかかる水圧は 10 cm と仮定している。図-21 と比較すると、飽和領域ははるかに大きくなっているが、これは砂で置き換えたことによって土壌面に対する水圧が大きくなったことと、水圧のかかる面積が広がったことによるものである。また、図-25 は、地下埋管にかかる水圧と浸透量の関係を示したものであるが、図-21 の場合と比べ約 1.4 倍の浸透量となっている。

図-26 は、(c)タイプの地下埋管の埋設間隔と、埋管からの浸透量の関係を示す。ただし、砂による置き換え幅を 50 cm、埋管にかかる水圧は 20 cm、地下水位は地表から 260 cm としている。埋設間隔が浸透量に及ぼ

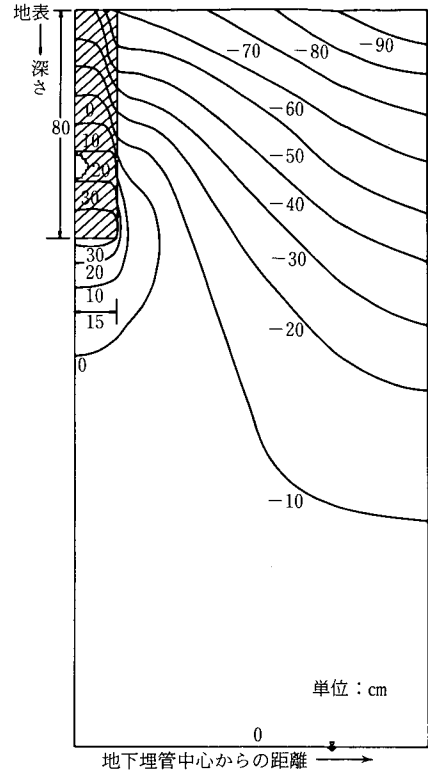


図-24 砂で置き換えた場合の毛管圧分布

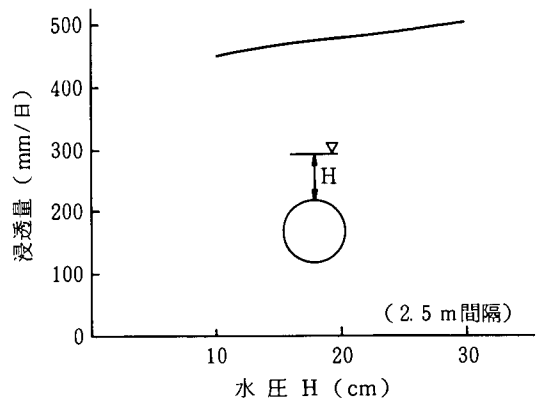


図-25 (c)タイプの場合の埋管にかかる圧力と浸透量

す影響は(b)タイプの地下埋管の場合に比べて大きくなっているが、これは、砂による置き換えのために飽和領域が大きくなり、従って埋管相互の干渉も大きくなるためであろう。

図-27 は、(c)タイプの地下埋管からの浸透量に対する地下水位の影響を示したものであるが、地下水位の影響はほとんどないと言えよう。

(c)タイプの地下埋管で最も重要な検討項目のひとつは置き換えの形状であろう。図-28 は置き換え幅と浸

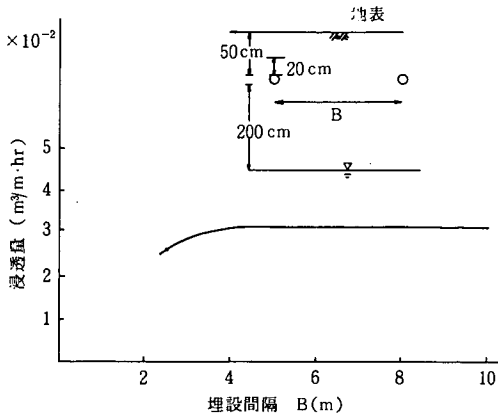


図-26 (c)タイプ地下埋管の埋設間隔と浸透量

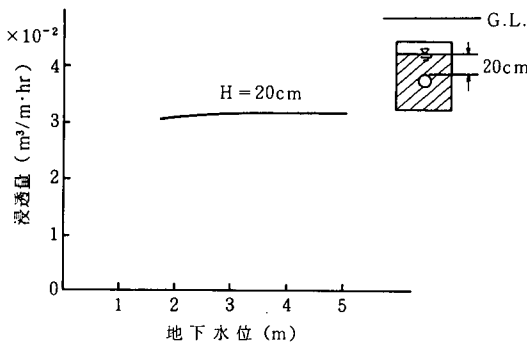


図-27 (c)タイプの地下埋管の浸透量と地下水位

透量の関係を示したものである。置き換え幅が広くなるに従って浸透量は大きくなっており、更に増加率も大きくなっていることがわかる。実際の置き換え幅の決定に当たっては、埋管埋設の費用や施工の容易さ等も考慮に入れる必要があるだろう。

(4) 降雨の影響

不飽和帯における浸透は、毛管力と重力に起因する現象である。重力は、降雨によって変化することはないから、降雨の影響を論ずる場合には、降雨による毛管力の変化について考えることになる。毛管力は埋管周りの土壌での水分量の相対的な差に基づくものであるから、降雨によって周りの土壌の水分量が増加すれば、埋管からの浸透水に働く毛管力は小さくなる。従って、降雨時には地下埋管からの浸透量は減少することが考えられる。さて、第3章で述べたように、毛管力は飽和浸透幅を広げるような作用を有するから、降雨によって毛管力の作用が小さくなれば浸透幅が減少し、重力のみが作用する流動に近くなるわけである。

図-29は、(b)タイプの地下埋管における、降雨の浸透

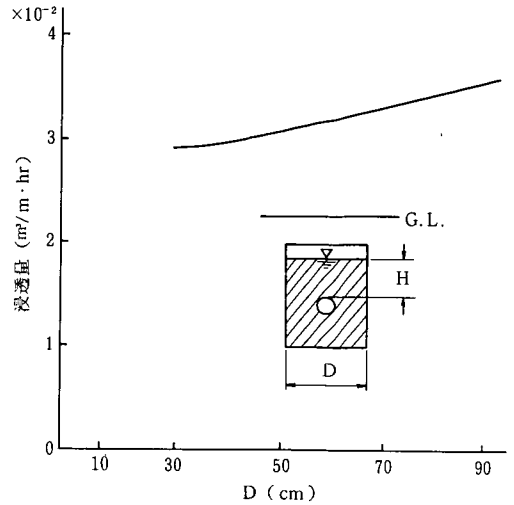


図-28 置き換え幅と浸透量

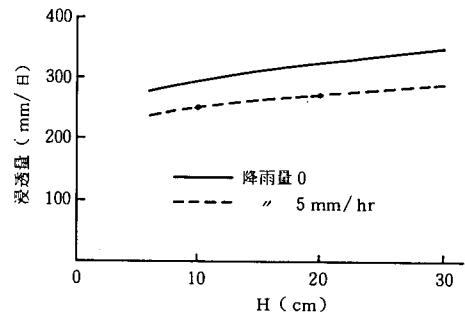


図-29 (b)タイプの場合の降雨の影響

量に対する影響を示したものである。計算条件は図-21に示したものと同じで、降雨強度が5 mm/hrの場合と無降雨の場合が比較してある。計算は、図-12に示す土表面に相当する差分ブロックの V_{III} を5 mm/hrに置換すればよい。降雨5 mm/hrによって、日浸透量を約50 mm、時間当たりにして約2 mm/hrの浸透高減少がみられる。地下水涵養が主目的の場合には、結果的に涵養量が増加するのであるから問題ないが、雨水浸透処理を主目的とする場合、その施設規模の決定に当たっては、浸透量の減少を考慮に入れておく必要がある。

図-30は、(c)タイプの地下埋管に対する降雨の影響を示したものである。(b)タイプ同様降雨の影響が示されている。

ただし、ここでの計算では定常浸透として解析しており、実際の雨水浸透処理への影響としては、非定常性を考慮に入れる必要がある。というのは、降雨初期では、雨水の土壌への浸透より、屋根等からの流出水

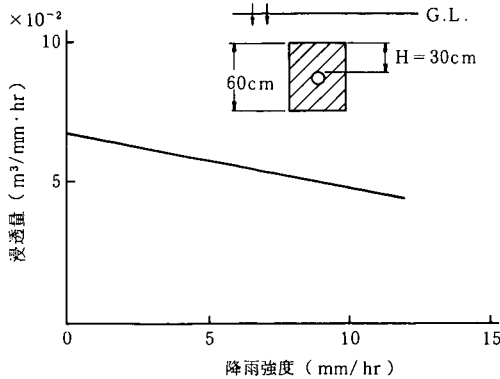


図-30 降雨の影響 ((c)タイプの場合)
(降雨強度と浸透量の関係)

の埋管への流入が時間的に先行すると考えられるからである。また、ここでの計算では、均質な理想的な土壌を仮定したのに対し、実際の土壌の不均一性の及ぼす影響も無視できない要素となろう。いずれにせよ、降雨時における現地実験の蓄積が必要とされることは言うまでもない。

5. 地下埋管に関する現地実験

これまで、均質な土壌水帯を前提として、まずここでの地下浸透機構について理論的な検討を行った上で、室内実験及び数値解析を通じて、地下埋管からの浸透に関する定量的な検討を加えてきた。本章では、前章までの結果を踏まえ、現地において地下埋管に関する実験を行った結果について述べ、現地で地下埋管からの浸透の特性を明らかにすると共に、地下埋管の地下水涵養及び流出抑制における適用性を明らかにすることを目的とする。

(1) 現地実験

(1) 実験地の概要

現地実験は、埼玉県深谷市郊外、荒川左岸扇状地において行ったものである。本扇状地は荒川によって形成された洪積扇状地であり、現在では河岸台地状をなしていて、荒川本川は扇頂より扇端方向に向かって扇状地右端を流下している。地表は年代の異なる武蔵野ロームと立川ロームに覆われている。本実験を行った地点は武蔵野ロームに覆われた所であり、表層約2mがローム層、それ以下は砂礫で形成された帯水層となっている。地下水位は、灌漑期は高くローム層にまで達するのに対し、非灌漑期は地表より4～5mの所

にある。

土地は主として畑として利用されている。水田は、荒川からの国営幹線の整備に伴い、扇頂部及び荒川寄りに開田されてきた。当実験地は、ネギ、小松菜、里いも等の野菜が栽培されていた所であり、本実験中にも、埋管設置部の上ではネギ等を栽培し、地下埋管からの浸透の作物生育への影響についての検討も合わせて行った。

(2) 実験施設

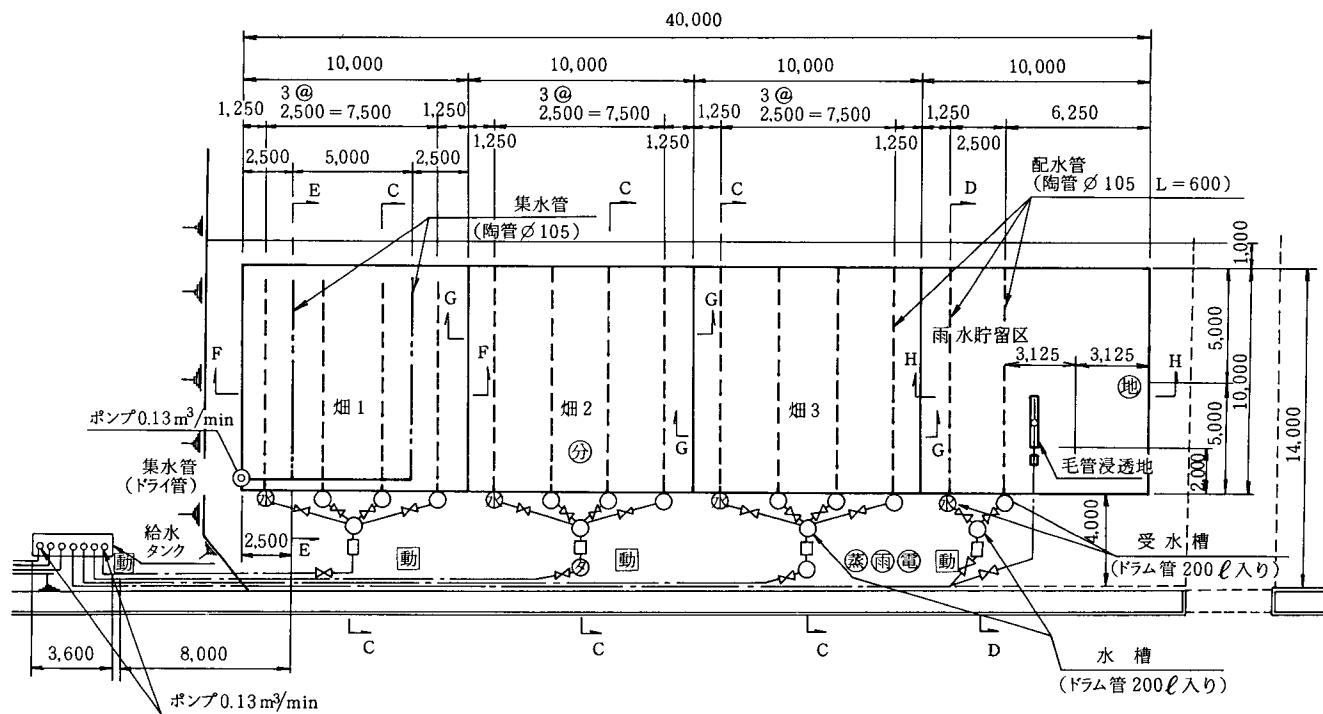
実験地の平面図を図-31に示す。長さ10m、幅10mの実験区が4区画あり、それぞれに地下埋管を埋設した。第1～3区には、長さ10mの埋管を2.5m間隔で埋設したが、図-32はその平面図及び断面図を示すものである。第1区では、埋管の下部、地表から1.5mの所にビニール膜を設置し、浸透水の集水が可能となっている。第4区には雨水処理実験用の(c)タイプの埋管2本と、(a)タイプの埋管を設置した。それぞれ、図-33、図-34に示すとおりのものである。

ここで、継目から出た水は一人陶管に沿って流れ、それから土中に浸透していくと考えられ、実際の効果としては有孔管の場合と変わりないと思われる。従って、数値解析を行う際には管軸方向には流れが変化しないものと考えた。

実験水の配水フローは図-35に示すとおりである。近くの排水河川からポンプ取水された実験水は、実験区わきの約10m³の貯水槽に貯水され、貯水槽内に設置されたポンプによって各実験区に給水される。給水は、各実験区にあるタイマーによって自動的に、あるいは手動で行うことができる。給水量は各実験区の積算流量計によって積算する。また、実験条件を明らかにするため、実験地には、雨量計、蒸発計、地下水位計を設置し、観測を行った。実験水は埋管に直結されている配水槽へ流入するが、各実験区の配水槽1個に水位計を設置し、地下埋管にかかる水圧を計測した。

(3) 実験水

実験水としては、近くの尿処理場から排水される余剰水を排水河川からポンプ取水した。この余剰水の原水は、荒川から農業用水として取水されたものである。実験水の水質を表-3に示す。実験水中のSSがかなり高くなっているが、これは尿処理場内の貯留槽の清掃排水が混入するためである。SSのほとんどは有機性のものと思われる。尿処理場からの排水は月2回程度の頻度で混入し、長期浸透実験の実験水質としては条件的に恵まれているものではない。



地下埋管浸透法観測機器表

凡例	機器名	台数	凡例	機器名	台数
☉	自記雨量計(PT-5)	1	▷◁	手動バルブ	19
分	水分観測孔	2	⌚	タイマー	2
電	電接计数器(LD-100)	1	Ⓟ	水中ポンプ(0.13m³/min)	5
水	水位計(RR-1)	4	○	水槽	4
蒸	蒸発計(RR-20)	1	□	水量計	4
地	地下水位計(RR-5)	1	動	動力制御盤電力計	3

図-31 現地実験施設平面図

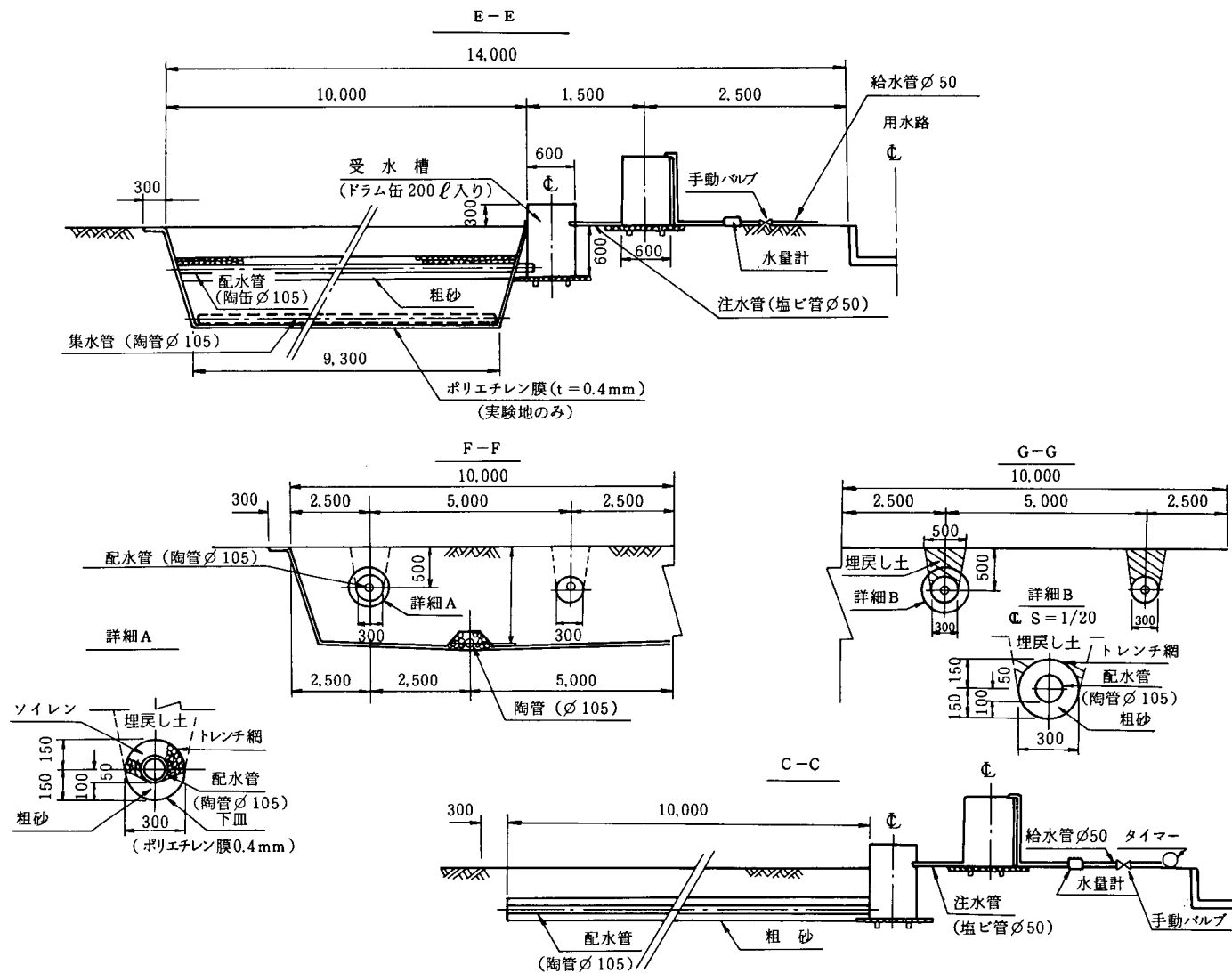


図-32 現地地下埋管断面図

表-3 53年度実験水水質例

pH	BOD mg/l	COD mg/l	NH ₄ -N mg/l	NO ₂ -N mg/l	NO ₃ -N mg/l	T-N mg/l	T-P mg/l	SS mg/l	Cl ⁻ mg/l
7.8	4.3	6.7	0.46	0.03	2.0	15	0.27	16	1.3

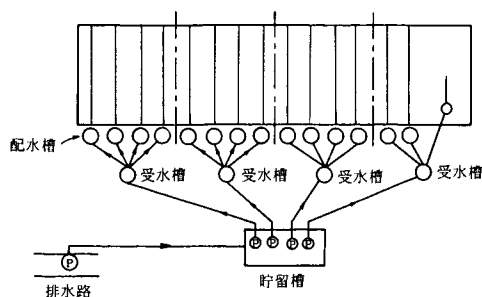


図-35 実験水フロー図

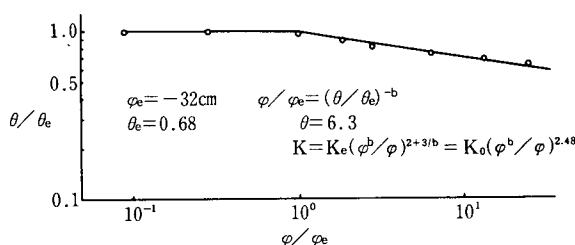


図-37 水分特性の無次元化

(4) 実験内容と実験方法

実験は、地下埋管に関する基本的な実験と、地下埋管の地下水涵養及び流出抑制に関する適用実験に大別される。

基礎的な実験としては、土壌特性調査、地下埋管からの浸透量実験及び浸透に伴う水質調査を行った。土壌特性調査は、浸透の場である土壌水帯の透水性、保水性について明らかにすることを目的とするもので、不攪乱資料による飽和透水試験及びPF試験を行った。地下埋管からの浸透実験及び、浸透に伴う土壌毛管圧調査は、各タイプの地下埋管からの浸透強度を把握し、地下埋管の地下水涵養及び流出抑制への適用可能性を明らかにすることを目的としている。各タイプの地下埋管からの浸透実験は、埋管にかかる圧力を一定に保ち、4~24時間にわたって実施し、浸透強度の変化を明らかにした。また、前期降雨の浸透に与える影響についても検討した。

地下埋管の適用実験では、地下水涵養を前提とした実験と、表面流出抑制を前提とした実験を行った。地下水涵養実験では、約2年にわたる長期実験を行い、長期浸透特性について検討した。また、長期浸透実験後、土壌を掘り返し、土壌微生物調査を行った。流出

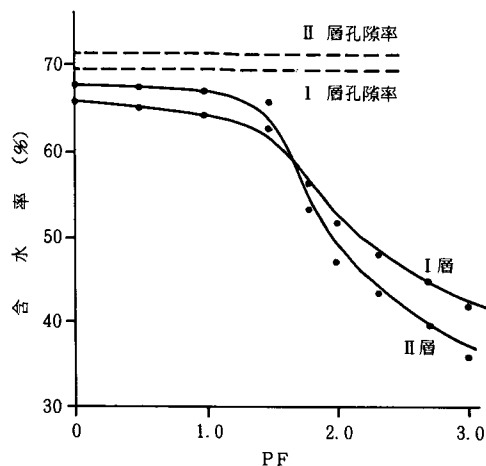


図-36 現地土壌の水分特性

抑制実験では集中型の降雨を想定し、埋管にかかる水圧と浸透強度を明らかにし、雨水浸透処理のための考慮すべき点について考察を加えた。

〔2〕 実験結果とその考察

(1) 基礎的な実験の実験結果

(a) 土壌特性調査

図-36にPF試験結果を示す。図中にI層、II層とあるのは、土壌の深度を示すもので、I層は土壌表面から15cmまでの層であり、II層は15cmから30cmまでの層である。飽和含水比は0.7前後である。サクシンの増加に伴う含水量低下がII層の方が大きくなっているのは、II層がより均一に近い土粒子の構成を有していることを示すものである。I層は作土に対応し、土壌水帯全体を代表するものとは考えられないので、II層の保水水分特性をもって、本土壌水帯を代表させることにする。

図-37は、図-36に示されるII層の水分特性を、無次元化して対数紙にプロットしたものである。この図から、 $\phi_e = -32$ cm, $b = 6.3$ とすれば、第3章の式(13)がほぼ成立していることがわかる。

$$\psi = -32(\theta/\theta_e)^{-6.3} \dots\dots\dots(27)$$

飽和透水試験の結果は、 $K_o = 5.0 \times 10^{-4}$ cm/secであった。そこで、不飽和透水係数は式(20)より、次のよ

うに書くことができる。

$$K = K_o(\phi_e/\psi)^{2+3/b}$$

$$= 5.0 \times 10^{-4} (32/\psi)^{2.5} \dots\dots\dots (28)$$

飽和含水比は 0.7 前後であって大きいようであるが、飽和透水係数の値からすれば、本土壤は砂質ロームのそれと同等と考えられる。

(b) 地下埋管からの浸透量

(i) (a)タイプ埋管からの浸透量

図-38 は、図-39 に示される(a)タイプの地下埋管の下

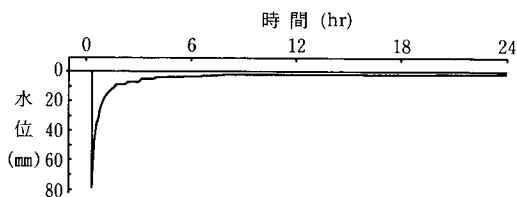


図-38 (a)タイプ地下埋管 下皿水位の変化

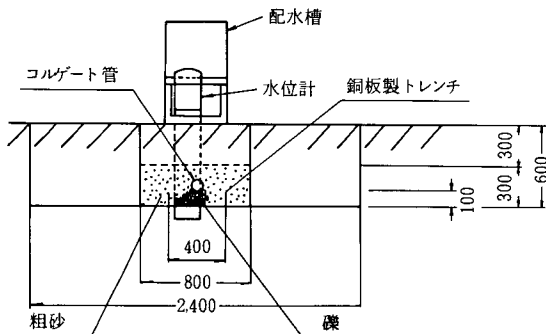


図-39 現地(a)タイプ地下埋管

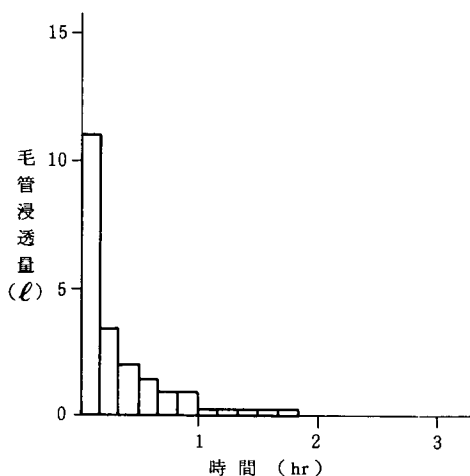


図-40 毛管浸透開始からの浸透量の変化

皿に 8 cm 深まで給水し、その後の浸透による下皿内水位の変化を示している。また、図-40 は水位の変化から、10 分間での平均浸透量に換算したものである。給水後の浸透初期では水位の降下が早く、下皿からの毛管力による浸透が大きいことが示されている。これは、周りの土壌との乾湿差が大きいことによって毛管力が強く働くこと、及び水位が高いため毛管力によって下皿の側壁を越える水分量が多くなるためである。図-41 は、1 時間周期で約 30 ℓ の給水を行った場合の下皿水位の変化を示している。実験は 24 時間継続した。ほぼ一様に 1 時間で 30 ℓ が浸透していることがわかる。本埋管の長さは 2.4 m であり、もし 5 m 間隔で設置したとすると、これは 60 mm/日に相当する。更に図-42 は、下皿水位を 8 cm に維持した場合の浸透量の変化を示している。この場合、高い所に水位が維持しているため、図-41 の場合の約 3 倍の浸透量になっている。これは、5 m 間隔で埋管を埋設したとして、約 200 mm/日であり、(a)タイプの地下埋管でも、かなりの浸透能力を有することがわかる。

式 (28) に示される不飽和透水係数を用い、現地実験と同じ条件で数値計算を行ったところ、浸透量として $0.039 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{hr}$ を得たが、この値は、ほぼ現地実験結果と一致する。ただし、砂による埋め戻し部分の透水係数については $K_o = 0.01 \text{ cm/sec}$, $\eta = 18.2$, $\phi_b = -10 \text{ cm}$ とおいた。

(ii) (b)タイプの地下埋管からの浸透量

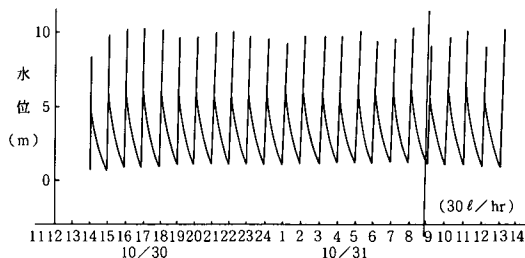


図-41 供給と浸透に伴う下皿水位の変化

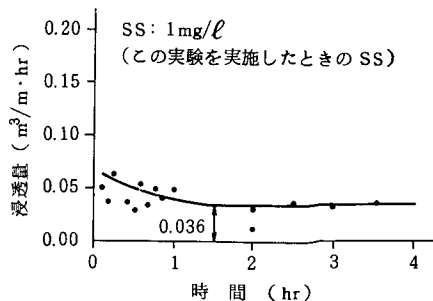


図-42 (a)タイプの浸透量

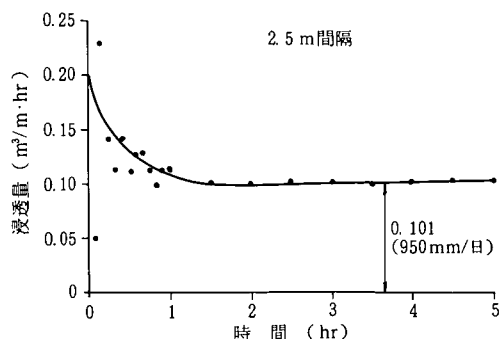


図-43 (b)タイプ地下埋管からの浸透量

(b)タイプの地下埋管からの浸透量についての実験結果を図-43に示す。実験値は計算値(図-15参照)と比べるとかなり大きな値を示しているが、主な原因として、現地土壌の不均一性が考えられる。すなわち、土壌に存在する動植物、物理的な作用等起因する大間隙あるいはクラック等における浸透が卓越することが考えられるわけである。更に、埋管にかかる圧力が高くなると、クラックの幅自体の変化も浸透に寄与しよう。

不飽和浸透のみに依存する(a)タイプの場合には、前節で述べたように計算値と実験値がほぼ一致した。このことは、土壌に大間隙やクラックが存在しても、不飽和浸透にはほとんど寄与しないことを意味する。これは式(11)で示したように、不飽和透水係数が、水分を保持しうる最大の間隙孔の径 R によって決まることからわかる。 R 以上の大間隙が存在しても、不飽和透水係数には何らかのかわりがないわけである。これに比して、重力浸透においてはクラックに圧力をもって流入することから、クラックが存在する場合、全体的な透水係数が大きくなるわけである。

上記の考察は、汚水の重力浸透においては、アンモニア性窒素がそのまま浸透して地下水を汚染するという事実¹²⁾と一致する。もし、土壌水帯を不飽和浸透によって時間をかけて浸透すれば、アンモニア性窒素は酸化され硝酸性窒素に変わるはずだからである。これらのことは地下埋管のタイプによって異なった事前調査が必要であることを意味する。すなわち、不飽和流を利用する(a)タイプの地下埋管に対しては、サンプルによる室内実験によって適切な透水性の評価が可能であるのに対し、重力の作用を重視する(b)タイプあるいは(c)タイプの地下埋管に対しては、大孔隙の乱されない現地において全体的な透水性を把握する現地試験法の開発、改良が必要となってくるわけである。

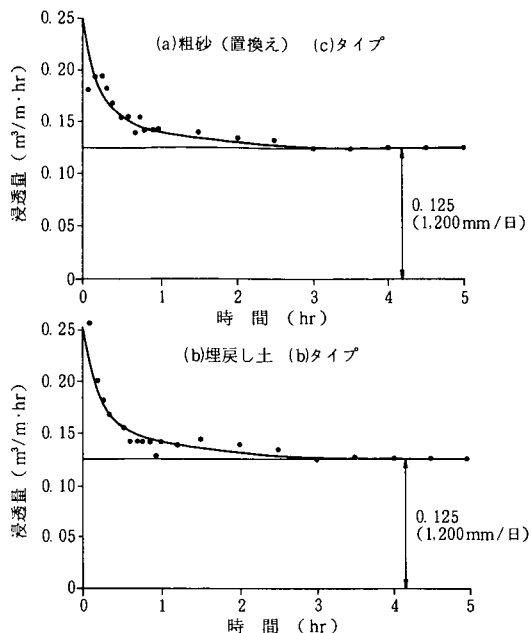


図-44 (c)タイプ地下埋管と(b)タイプ地下埋管の浸透量の比較

(iii) (c)タイプの地下埋管からの浸透量

実験第4区に設置された雨水浸透処理用の地下埋管による浸透実験の結果を図-44に示す。砂による置き換えを行った場合と、土壌の埋め戻しによる場合とを比較して示してあるが、最終的な浸透量としては全く同じ値が得られた。この結果は、数値解析によって得られた傾向とは異なっている。この原因としては、砂による置き換え幅が30 cmと小さかったこともあったか、砂による置き換えによって透水性の向上が促進されなかったようである。

埋管周りの土壌の砂礫による置き換えは、有効間隙を増加させ雨水の一時貯留の役目を果たすと同時に、浸透水に含まれる浮遊物による土壌浸透面閉塞の防止の役割を有している。従って、できるだけ砂礫によって置き換え、永続的な雨水浸透処理を考えるのが経済的であろう。

また、降雨の影響を調べるために、実験日から一週間前までの前期雨量が10 mm及び17 mmの場合(前期雨量としてそれほど多くはないが)の浸透量を比較したところ、浸透初期において降雨の影響を受けて浸透量が減少したものの、最終浸透能についてはほとんど差が見られなかった。これは、浸透初期には、埋管周りの土壌への貯留量が、降雨による水分量増加の影響を受けるのに対し、(b)タイプ、(c)タイプの埋管から

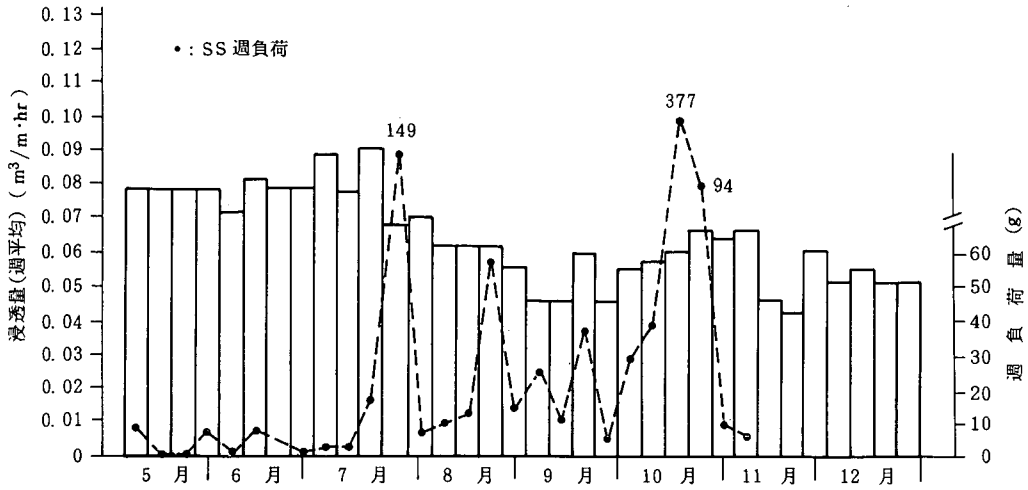


図-45 SS 負荷量と浸透量の関係

の浸透は、先にも述べたように、クラック等からの重力浸透が卓越しているため、毛管力の作用をあまり受けないことに起因していると思われる。

(2) 長期浸透実験

長期浸透実験は、地下水涵養を行う上で最も重要な実験である。地下埋管の地下水涵養施設としての有効性は SS による比較的短期間における目詰まりと、主に微生物による目詰まりに関係した長期浸透特性から判断されるからである。

土壌では、土壌微生物が豊富に生息し、浸透水に含まれている有機物等栄養物は、好氣的に分解される。しかし、間断なく浸透が続けられると、浸透水による栄養分の補給によって、埋管近傍の土壌で微生物が増殖し、目詰まりが発生する可能性がある。もし浸透水の供給を間欠的に行えば、栄養物の補給が中断されることによって微生物の発生が抑制されるから、結果的に微生物の数が制御されることになるわけである。従って、土壌及び涵養水の水質特性に適応した涵養水の供給方法を考えることが重要となる。

第2区においては 50 mm/日の涵養を、1日当たり6回に分割して行った。図-45は、第2区における浸透量と、浸透水に含まれる負荷量との関係を示したものである。縦軸は給水時間中の平均浸透量、破線は週当たり SS 負荷量である。SS 負荷量が少ないと浸透量に変化が見られないが、負荷量の多くなる7月以降には浸透量の減少が見られる。10月になって浸透量がやや回復しているようであるが、浸透開始時の浸透量までは回復していない。浸透量は、前節で述べた(b)タイプ埋管からの短期的な浸透実験における値と比べて5~6

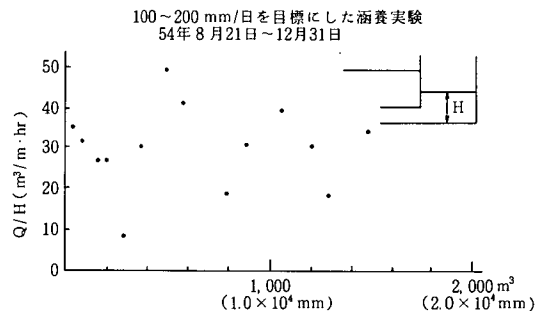


図-46 長期浸透傾向

割であるが、それでも1日2時間程度の給水で50 mm/日の涵養をなし得ることになる。日浸透量としてはまだ余裕があると思われ、長期的な浸透量として更に多くが期待されることがわかる。

図-46は、横軸に累加浸透量、縦軸に Q/H (Q : 浸透量, H : 配水槽の水位) をとって整理したものである。目詰まりが生じて埋管からの浸透に対する抵抗が大きくなると、同じ浸透量に対して配水槽内の水位が高くなるものと考えられる。図中の点はかなり散らばっていて、一定の傾向は明らかでないが、目詰まりによって浸透量が減少しているようには見られない。図-47に示すように涵養は供給水の断水、欠乏等により結果的に間欠的になされていて、有機物の供給が断続的であったため、土壌微生物の生息量と栄養分供給のバランスがとれ、目詰まり現象が顕著にならなかったものと考えられる。なお図-47の下部には、涵養水中の SS 濃度を示してある。

2年間の長期涵養実験ののち、土壌を掘り返し、土壌

微生物調査を行った。長期涵養による土壤微生物の生息状況への影響を明らかにすることを目的としたものである。調査項目は、土壤 1g 中の細菌数、糸状菌数、原生動物及び、T-P（トータルリン）、T-N（トータル窒素）、T-C（トータル炭素）である。

T-P、T-N、T-C は、浸透水によって与えられた栄養分の指標であり、これらが高い値を示すことは、浸透水から負荷された栄養分が多いことを意味する。また、土壤中の細菌は、有機物等栄養分が豊富で含水量が多いところで増殖するから、細菌数が多い所は、浸透水からの栄養分補給が多いということになる。原生動物についても、細菌と同様のことが言えるであろう。糸状菌は、いわゆるカビと呼ばれるものであるが、水分量が多く、間隙内の空気量が少ないところでは生息

に適さない。従って、常に浸透し、含水量が多くなっている所では、細菌数に比較して糸状菌数が少なくなるわけである。

図-48 は、土壤資料の採取場所を示したものである。採取断面は、埋管と埋管の継目で、浸透水が土壤へ浸透するところである。①は土壤表面、②は埋管の上面で置き換え砂内、③は埋管の下方で置き換え砂内、④は埋管下方で土壌内、⑤は埋管側方で置き換え砂内、⑥は側方で土壌内、⑦は埋管下方である。細菌数、糸状菌数を線の長さとして表示してある。また、比較のため、涵養の影響を受けていない所での値も示してある。埋管の周りの置き換え砂内では保水性が高く、従って糸状菌が少なくなっていること、及び埋管周りでは栄養分が多く供給され、従って細菌数が多くなっていることが読みとれる。

表-4 は土壤分析の結果、表-5 は原生動物数を示して

表-4 土壤分析結果

項目 試料採取地点	T-N (mg/kg)	T-P (mg/kg)	T-C (mg/g)
①	441	512	18.0
②	197	99	1.1
③	61	267	3.4
④	615	484	4.0
⑤	1,880	2,618	1.4
⑥	452	713	6.2
⑦	1,960	5,620	31.0

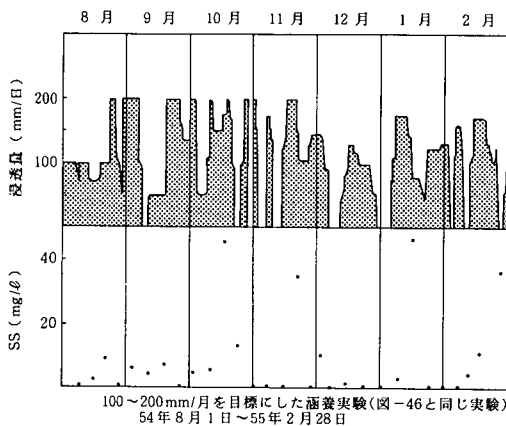


図-47 供給量と浸透水中の SS

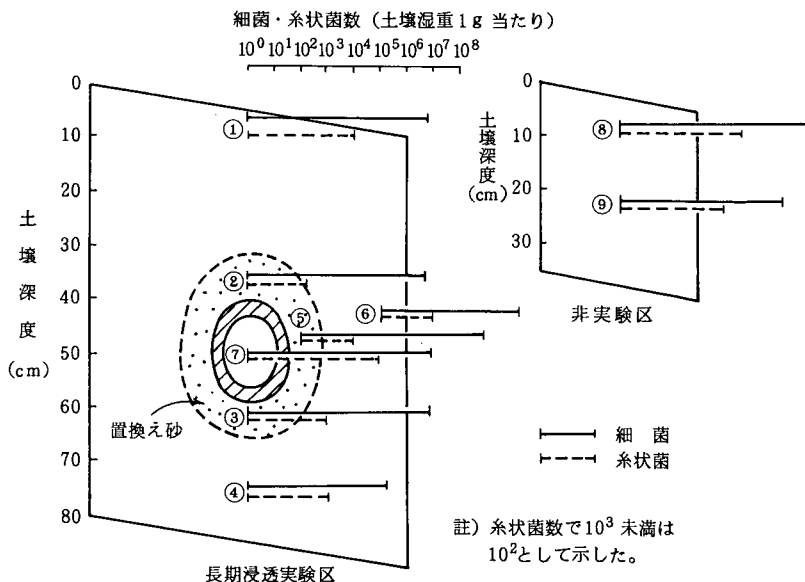


図-48 資料の採取地点及び細菌、糸状菌数

表-5 原生動物数

採取地点	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
原生動物数 (数/g)	240	200	680	80	1,000	40	3,880	400	360

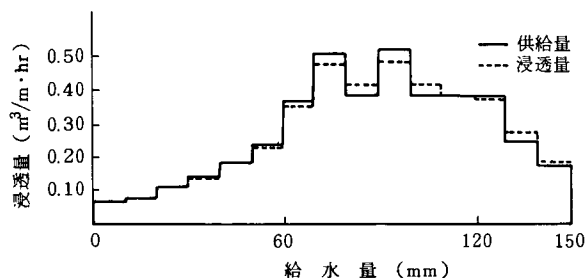


図-49 給水と浸透

いる。埋管の内部で採取された資料に、栄養塩類及び原生動物が最も多く含まれるが、浸透水に含まれていたSSが直接沈降・堆積したものであるから当然のことと言えよう。原生動物数は、明らかに置き換え砂の部分で多く、栄養塩類も概して砂層内で多くなっている。特に、埋管側方砂層内で栄養塩類、原生動物数ともに多くなっており、これより、側方からの浸透が卓越していたことが推定される。更に、側方土壌内での細菌数と糸状菌数の比が高くなっていることから、側方土壌内での保水性が高かったことが推定されるが、これは、土壌内においても側方部の浸透が卓越していたことを示している。透水性が均一な場合には、下方向への浸透が卓越することが数値解析によって明らかにされているから、こうした結果は、何らかの原因で下方に目詰まりを生じ、透水性が劣化したことを示していると言えよう。

土壌分析調査は、2年もの長期涵養実験を終えたもののものであるから、実験当初は下方向への浸透の卓越によって、栄養分の供給がなされ、次第に微生物による目詰まりが進行していったと推定してよいだろう。また、埋管の継目間隔は1mであり、継目からの浸透速度がかなり大きくなったため、置き換え砂の配列を乱したこともひとつの原因になっていることが考えられる。埋管からはできるだけ均等に土壌へ浸透させるように工夫することが重要であると考えられる。

(3) 流出抑制に関する実験

都市域のピーク流量の増大は、不浸透面積率の増加による流出率の増大、及び排水路網の整備による到達時間の減少に起因している。地下埋管による雨水浸透処理は、主として流出量の減少を図るものであるが、埋管への配水のための配水槽や埋管周りの貯留等によ

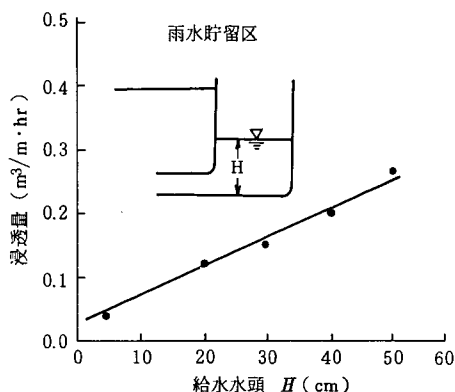


図-50 水位と浸透量

る到達時間の遅れも期待できると思われる。しかし、到達時間遅れ効果は、降雨強度、降雨波形によって当然異なってくるので、実際の計画においては、浸透増によるピーク減少効果のみを考えた方がよいであろう。

さて、現地実験では、後方集中的な降雨波形を考え、地下埋管に給水して浸透状況を検討した。図-49は、給水波形と浸透量の波形を示している。両者はほぼ対応しているが、給水強度が高くなると、若干浸透しきれず、遅れを生じていることがわかる。この給水量と浸透量の差が配水槽に貯留され、配水槽の水位を上昇させる。この水位上昇が次なるステップで給水量を上まわる浸透を生じさせるようである。このように、地下埋管を用いた流出抑制は、配水槽等の貯留施設との組み合わせにより一層効果的になる。図-50は、配水槽水位の上昇によって地下埋管からの浸透量が増加することを示している。これによると、槽内水位が10cmから25cmまで増加することによって、浸透量はほぼ倍になっている。

図-50と図-25とを比較すると、水位の上昇に対し、ほぼ直線的に浸透量が増加している点では両者共通だが、その勾配は大きく異なる。これは、やはり、現地土壌においてはクラック等大間隙での重力浸透が卓越していることに起因するものであろう。

先に、地下埋管によって流出抑制を行うには、配水槽を兼ねた貯留施設が必要であることを述べた。ここで、より経済的な流出抑制施設の計画に当たっては、

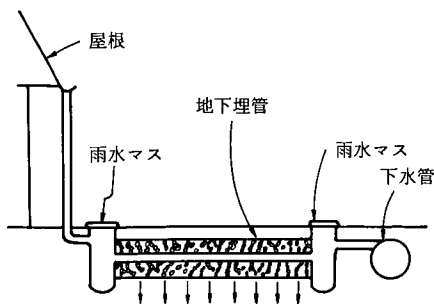


図-51 地下埋管を用いた流出抑制例

浸透能力に対してどの程度の規模の貯留施設が必要かの決定が重要となる。地下埋管長はその基本となるわけだが、図-50 に示した水位と浸透量の関係から、所定の流出抑制を達成するために必要な浸透規模、貯留規模がおのずと決定されると思われる。

下水道が整備されている地域では、雨水排水管は下水道管へ連結されることが義務づけられている。そこで、雨水排水管を地下埋管で置き換え、地下埋管の浸透処理能力以上の降雨は下水管に流下させるような構造が合理的であると思われる。図-51 に示すように、雨水を一たん貯留し、水圧を高める調整槽的な役目を持たせた雨水マスを設置し、そこから地下埋管をのぼすという方法も考えられる。雨水マスの底を浸透可能な構造にしておけば、浸透補助施設として機能するだろうし、また雨水排水に含まれる SS の沈澱池としての役割も期待できよう。

6. 結 論

ここで、本研究によって得られた知見及び今後の課題をまとめると、次のようになる。

① 土壌の表面は、雨滴エネルギーによる難透水性膜の形成や、踏み固めによって透水性が悪くなっている。一方、土壌内部にはさまざまな微生物が生息し、有機物の活発な分解がなされている。地下埋管はこのような土壌の特徴をとらえ、地表部をバイパスして地下浸透を促す技術であって、特に、地下水涵養、表面流出抑制のための雨水浸透処理に適している。その構造は、涵養水の水質、目的に応じ、図-2 に示した3つのタイプに大別される。

② (a)タイプの地下埋管についての室内実験を行った結果、地下埋管の浸透施設としての適応性を確認した。

③ 数値解析を行い、実験値との比較によって計算

の有効性を調べたあと、各タイプ埋管についてさまざまな条件のもとでの浸透の特性について検討を行った。その結果、次の諸点が明らかになった。

① (a)タイプの地下埋管は毛管力によって上方、次いで側方への浸透を生じ、隣接した埋管相互の干渉が大きい。従って、埋設間隔を広げても、浸透量の減少は緩やかである。

② (b)タイプの地下埋管では、下方への浸透が主体で、埋管相互の干渉が極めて小さい。従って埋設密度を大きくして浸透の増強を図ることが可能である。

③ (c)タイプの地下埋管では土壌帯中での飽和領域が大きくなるため、埋管相互の干渉や地下水位が浸透量に与える影響は(a)、(b)タイプに比べて大きい。その程度は、砂礫による埋戻しの範囲が広がるほど大きい。

④ 埋管周辺の土壌を砂礫で置き換えることにより流れの集中する埋管付近での水頭損失を少なくすることができ、その結果浸透量の増加に効果がある。

④ 各タイプ埋管について現地実験を行った結果、以下のことが明らかになった。

① (a)タイプ埋管からの浸透量は $0.033 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{hr}$ であり、現地土壌の不飽和透水係数を用いた数値解析の結果の値 $0.036 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{hr}$ とほぼ同じであったのに対し、(b)タイプ埋管においては、数値解析による予測値の2~3倍の値を示した。これは、現地土壌の不均一性、すなわち大間隙やクラックの存在による重力浸透の卓越に起因すると思われる。

②、①より、(a)タイプ埋管からの浸透量予測は、サンプリング資料の不飽和透水係数を用いた数値解析によって可能であるのに対し、(b)、(c)タイプ埋管の場合には、土壌での全体的な透水性の把握が必要であると言える。特に、地下埋管による流出抑制計画に当たっては、現地透水試験の開発・改良が重要な要素になると思われる。

⑤ 地下埋管の、地下水涵養への適用性を検討するために、長期浸透実験を行った。浸透水中のSS濃度は平均約 $3 \text{ mg}/\ell$ 最大 $30 \sim 40 \text{ mg}/\ell$ 程度であったにもかかわらず、長期的に継続して $100 \sim 200 \text{ mm}/\text{日}$ の浸透が可能であった。実験終了後、埋管付近の土壌、置き換え砂を採取し、栄養分、土壌微生物量の調査を行った結果、埋管からの浸透は、側方からのものが卓越していることが推定された。これは、浸透開始当初の下方への浸透によって、微生物の分解能力を上回る負荷がかかり、目詰まりを生じたためと思われる。埋管か

ら土壌への浸透部分の面積を大きくすることによって、より効果的な浸透に資することができると考えられる。

⑥ 地下埋管の流出抑制への有効性を検討するための現地実験を行った。その結果、現地土壌では、埋管にかかる水圧によって浸透量が大きく増加することがわかった。従って、流出抑制効果を高めるには、埋管への配水槽を兼ねて貯留槽と組み合わせるのが合理的である。最適な貯留槽規模の決定に当たっては、土壌の浸透能、水圧と浸透量の関係等を考慮に入れる必要がある。

⑦ ここで紹介した地下埋管法は、既に水資源涵養や雨水流出抑制を目的として、実際への適用が始められているところである。今後は、そうした実際例でのデータをもとに改良を重ねると共に、地質別の適用性、浸透水の水質が悪い場合の対策等について検討を加える必要があろう。

参 考 文 献

- 1) 相馬恒一「雨滴による土壌皮膜の生成」研究の資料と記録、第2集、pp.23~28、1956
- 2) 新見 正、有水 彊「汚水の土壌浄化研究—総論」毛管浄化研究会、1977
- 3) Yechezkel Mualem "Extention of the Similarity Hypothesis Used for Modeling the Soil Water Characteristics" Water Resources Reserch Vol. 13 No. 4 (1977)
- 4) 土壌物理性測定法委員会編「土壌物理性測定法」養賢堂
- 5) Campbell G. S. "A Simpl Method for Determining Unsaturates Conductivity from Moisture Retention Data" Soil Sci. 117 pp. 311~314 (1974)
- 6) Childs, E. C. and N. Collis-George "The Permeability of Porous Materials Proc." Roy. Soc. London, A, 201, 392~405, 1950
- 7) Masashi Nakano and Kenichi Ichii "Measurement and Prediction of Hydraulic Conductivity in Unsaturated Porous Meduim" Trans. JSIDRE Jun. 1977
- 8) Jackson, R. D. "On the Calculation of Hydraulic Conductivity" Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 36, 380~382, 1972
- 9) Peater S. Eagleson "Climate, Soil, and Vegetation. 3 A Simplified Method of Soil Moisire Movement in the Liquid Phase" Water Resources Research Vol. 14, No. 5 Oct. 1978
- 10) H. J. Morel-Seytoux and J. Khanji "Derivation on an Equation of Infiltration." Water Resources Research. Vol. 10, No. 4 Aug. 1974
- 11) Mein, R. G. and C. L. Larson "Modeling Infiltration during a Steady Rain" Water Resources Research, Vol. 9, No. 2, 1973
- 12) Bouer, H. "Unsaturated Flow in Ground Water Hydraulics" J. Hydraulics Div. Amer. Soc. Civil Eng. 90 (Hy5), 1964
- 13) 田中辰明、平松 功「土壌による排水の浄化に関する研究(その1)」日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)昭和54年9月
- 14) 石崎勝義、北川 明「注入井による地下水涵養に関する研究」土木研究所報告、155号、1981、3月
- 15) 石崎勝義、北川 明「地下埋管による地下水涵養と流出抑制に関する研究」第25回水理講演会論文集、1981

昭和56年8月5日原稿受理

案内標識の配置方法に関する研究

栗 本 典 彦*
梶 太 郎**

A Study on Methods of Allocation and Placements for Highway guide Signs

by Dr. Norihiko Kurimoto
Taro Kaji

要 旨：

道路の案内標識は、道路を通行する者にとって目的地まで安全かつ円滑に到達するために不可欠な重要な情報源である。従って、地理に不案内な運転者が多数利用する道路においては必要かつ十分な量、質の案内標識が適切に配置されていることが道路網としての運用上きわめて重要な要件であると言えよう。本研究では、交差点流入部の案内標識の設置位置と表示規模との関連を明確にし機能の向上を図ることと、案内標識の設置による自動車の誘導効果を道路網全体について評価する手法を見出し、これを手段として案内標識に表示する地名等の標準化を促すことに着目し、交差点における案内標識の設置位置と表示規模及び道路網における案内標識の設置効果について検討を行っている。

キーワード：案内標識，視認性，判読距離，車線変更シミュレーション，最短経路，費用対便益比

Synopsis:

Traffic signs are essential information source for motorists to approach and reach their destinations safely and smoothly. Therefore, it is quite important to supply sufficient number and good quality of traffic signs appropriately on the highway network for a great number of motorists unfamiliar with the geography. This research consists of two parts: one is to make clear the relation between placement and size of guide sign before intersection, and the other is to develop methods for evaluating system-effectiveness of guide signs on highway network.

Key Words: Guide Sign, Visibility, Legibility Distance, Weaving Simulation, Critical Path, Cost Benefit Ratio

* 道路部交通安全研究室長（現 建設省大臣官房監察官）工博
** 道路部交通安全研究室主任研究員（現 国土開発技術研究センター研究部参事）

目 次

1. 序 論	(4) 運転者の地名に関する予備知識……………(43)
〔1〕 案内標識の設置体系の現況と問題点 ……(3)	〔2〕 案内標識の利用率……………(44)
〔2〕 案内標識に関する既存の研究……………(4)	(1) 概 説……………(44)
〔3〕 研究の目的……………(7)	(2) 調査の方法……………(44)
〔4〕 研究の内容と方法……………(7)	(3) 走行距離と案内標識利用率との関連 分析……………(46)
2. 交差点における案内標識の位置と規模……………(8)	(4) 関連分析の吟味……………(47)
〔1〕 案内標識と運転行動……………(8)	(5) 結 語……………(48)
(1) 概 説……………(8)	〔3〕 案内情報の評価方法の提案……………(48)
(2) 運転行動と標識位置……………(8)	(1) 概 説……………(48)
(3) 案内標識の設置計画の手順……………(9)	(2) 評価方法……………(50)
〔2〕 車線変更のための必要距離……………(10)	(3) 評価値の算定……………(54)
(1) 概 説……………(10)	(4) 算定結果の考察……………(69)
(2) 車線変更モデルの設定……………(12)	(5) 結 語……………(71)
(3) 車線変更必要距離の算出……………(14)	4. 現実の適用への提案……………(74)
(4) 車線変更観測調査……………(20)	〔1〕 案内標識の位置と規模についての考察……………(74)
(5) 車線変更必要距離の吟味……………(27)	(1) 交通要因の影響の吟味……………(74)
(6) 結 語……………(29)	(2) 考 察……………(77)
〔3〕 方向変更のための挙動……………(29)	〔2〕 案内標識の設置効果についての考察……………(80)
(1) 概 説……………(29)	(1) 見落とし率, 誤読率……………(80)
(2) 方向変更の考え方……………(30)	(2) 評価値の吟味……………(83)
(3) 方向変更観測調査……………(30)	〔3〕 現実の適用への提案……………(87)
(4) 方向変更必要距離の算出とその吟味……………(31)	(1) 設置計画上の留意点……………(87)
(5) 結 語……………(33)	(2) 設置計画手順の変化……………(88)
〔4〕 設置位置と表示規模……………(34)	5. 結論と将来への発展……………(89)
(1) 概 説……………(34)	〔1〕 結 論……………(89)
(2) 設置位置と設置規模の必要条件……………(34)	(1) 運転行動必要距離……………(89)
(3) 設置現況調査……………(35)	(2) 交差点における案内標識の設置位置 と表示規模……………(89)
(4) 設置位置と表示規模……………(35)	(3) 案内標識利用率……………(89)
(5) 結 語……………(41)	(4) 道路網における案内標識の評価方法 の提案……………(89)
3. 道路網における案内標識の設置効果……………(42)	〔2〕 将来への発展……………(90)
〔1〕 案内標識の効果……………(42)	参考文献……………(90)
(1) 概 説……………(42)	
(2) 地名選定の方法……………(42)	
(3) 設置効果の考え方……………(43)	

1. 序 論

〔1〕 案内標識の設置体系の現況と問題点

道路標識は、運転者など道路利用者に道路又は交通に関する情報を提供し、道路利用者を出発地から目的地まで安全かつ円滑に導くために、道路上に設けられる重要な情報表示施設である。従って、道路本体がその機能を完全に果たすためには、これらの道路標識が量的に十分かつ適切に整備され、また利用者が確実かつ容易にこれを利用できるよう質的にも工夫がなされ、道路情報源としての機能が十分発揮されなければならない。

道路標識は、法的には道路法又は道路交通法に準拠して設置されている。このうち、道路法¹⁾においては、道路標識は「道路の付属物」の一つと定義され、道路標識設置の規定では、「道路管理者は道路の構造を保全し、又は交通の安全と円滑を図るため、必要な場所に道路標識又は、区画線を設けなければならない」とされ、さらに「道路標識及び区画線の種類、様式及び設置場所その他、道路標識及び区画線に関し必要な事項は総理府令・建設省令で定める」と規定されており、この総理府令・建設省令¹⁾が「道路標識、区画線及び道路標識に関する命令」すなわちいわゆる標識令である。

しかし、これらの法令のみでは、実際の道路標識設置計画の運用に支障が出るので、さらに道路構造令解説、道路標識ハンドブック²⁾等の整備が図られ、昭和53年には道路標識設置基準⁴⁾が設定された。我が国の

道路標識は、図-1・1に示すように機能別に案内標識、警戒標識、規制標識及び指示標識の4種類に分類されている。

本研究の対象である案内標識は、通行中の道路利用者に案内又は有益と思われるその他の情報を提供するものであり、以下の機能を有し、その設置は道路管理者が行う。

1) 経路案内——目的地までの経路を案内する。

① 交差点(分岐点)における予告—指示—確認(もしくは、このうちいずれか)の案内を行う。ただし、多車線道路の交差点又は複雑な交差点の場合には予告のための標識と指示標識の間に通行車線を示して交通流を誘導する標識を設置する場合もある。

② 一般部(単路部)における当該道路の経路名、行先の方面及び距離の案内を行う。

2) 沿道案内——沿道を案内する。

① 行政境界の案内(市町村境、都府県境)を行う。

② 著名地点の案内を行う。

③ 現在地の案内(主要地点)を行う。

④ 道路上のサービス施設の案内(待避所、駐車場)を行う。

現在、標識令により規定されている案内標識は27種類、51様式である。

案内標識は道路の区分により、高速道路など(高速自動車国道及び自動車専用道路)に使用されるものとその他の一般道路に使用されるものとに分けられ、前者は緑色系統の色彩、後者は青色系統の色彩で統一されている。

いま、道路標識(道路管理者設置分)の量的な整備水準の推移⁴⁶⁾を見ると、図-1・2のとおりようやく近年になってその整備が急進するようになり、1974年時点

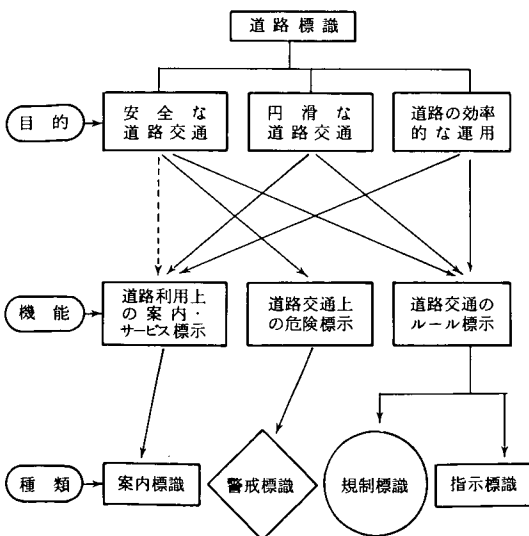


図-1・1 道路標識の機能と分類

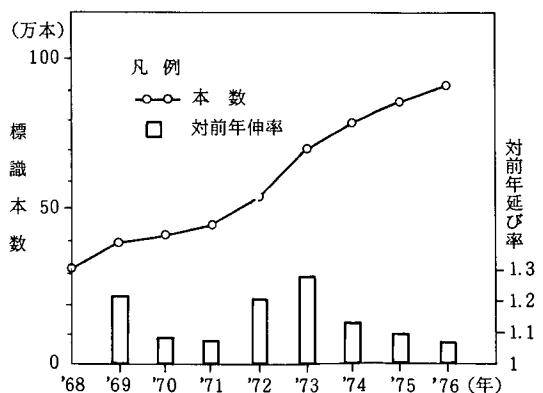


図-1・2 道路標識の整備推移

の道路標識の総合調査において一般都道府県道以上の一般道路に設置されている各種の道路標識の整備状況⁴⁷⁾は表-1・1に示すとおりであった。

この表から、案内標識は総数148,020本、(直轄管理分53,550(本)+都道府県指定市分94,470(本))1km当たり0.91本が設置されており、主として一般国道の幹線である直轄管理の道路においては、1km当たり2.8本に達するまでになった。このうち本研究に関連の深い方面、方向、距離の案内標識は、直轄管理分で1交差点当たり1.9本、都道府県指定市管理分で1交差点当たり0.67本、また国道番号、都道府県道番号は、直轄管理分が1km当たり1.0本、都道府県指定市管理分で1km当たり0.11本設置されている。

以上述べたように、案内標識の設置については法制的にも量的にもかなり整備されてきたのであるが、現実の道路に設置されている案内標識に対して自動車の運転者が持っている標識利用上の意識には不評点がかかり含まれている^{44),45)}。

これらの不評点をその内容によって大別すると以下ようになる。

- ① 案内情報が不足している。
- ② 標識板の損傷等により見えない。
- ③ 案内標識はあっても、適当な情報が得られない。
- ④ 適当な情報はあっても、設置が適切でないため、必要な方向変更ができない。

①は行政体制あるいは予算措置の問題であり、②は道路管理上の問題である。③は方面、方向の案内標識の表示内容の思想に統一性を欠くことによるものであり、これは設置基準又は資料などにより表示する地名の選定方法についての基本的法則は示されているものの、具体的な作業は現場の個々の道路管理者にまかされている部分が多いためである。④は交差点に設置する方面、方向の案内標識の設置位置(先行距離)と大きさとの設定方法に合理性を欠いたために生じたものである。標識板の規模(拡大率)、設置位置(先行距離)の範囲は、標識令により標識の種類に応じて個別におおまかに記述されているものの、交通工学的な視点からその具体的な適用方法が示されていないため、設置位置、規模の最終的な選択決定は、現場の個々の道路管理者の経験にまかされているためである。

従って、不評点を解決するため技術的に検討されるべき対策としては、以下の事項が挙げられる。

- ① 標識の設置位置、規模の適正化
- ② 標識に表示する地名の選定基準の確立
- ③ 路線番号による案内誘導の効率化

- ④ 視認性の高い標識デザインの設定
- ⑤ 設置構造の検討
- ⑥ 標識材料、施工法の検討

もちろん、これらの課題も道路交通の量的増大、大型化、多様化が進んだ中で、道路標識の整備の強化と共に多くの改良、開発がなされてきており、とりわけ④～⑥の事項については、現在までも著しい進展をみている。従って、今後はそれらの対策はもとより、特に交差点に設置する標識の位置、大きさ、各種標識の組合せ方法等を総合した設置システム、及び標識の表示内容の改良と基準化による案内誘導効果の向上に関する調査研究の必要性が高い。

〔2〕案内標識に関する既存研究

案内標識に関する研究は、近代的な道路標識の整備の必要性の高まりと共に進められてきた。

案内標識に係りのある研究は、その内容により次のように大別することができよう。

- ① 標識の判読性
- ② 標識のデザイン
- ③ 標識用反射材等の材料の性能
- ④ 道路標識に対する道路利用者の意識
- ⑤ 交通流と標識設置との関連
- ⑥ 標識に対する運転者の視覚、注視行動
- ⑦ 標識の構造、その他

道路標識の設置に伴って解決すべき諸課題のうち、標識の視認性、デザイン、色彩、運転者の標識に対する注視行動など、いわば人間が直接関係する現象は比較的その解決に不明確な要素が伴う場合が少なくなく、従って、調査・研究課題として多くの関心と努力が払われている。

1) 標識の判読性

標識に表示される文字の判読性では、枝村ら⁷⁾は室内実験により、読取所要時間との関係を実験的に求め、地名に対する予備知識の影響、文字を読む順序、距離表示の位置との関係等について考察している。

また、市原ら⁸⁾は、ランドル氏環視標と格子模様視標とについて材料の組合わせ、昼夜別に視認距離の測定を行っており、伊吹山ら⁹⁾は漢字、ひらかな、カタカナ、アルファベットの文字の特性、及び文字の大きさと視認距離の関係について検討している。

R.J.Jacobsら¹⁰⁾は案内標識の文字表示とシンボル表示の影響等の検討のための室内実験を行い、シンボル表示の効用、識別率と標識の大きさとの関係、視力と視認距離との関係などについての提言を行った。

表-1.1 標識種類別現況

(1) 直轄管理分

事 項		道路種別	一般国道	主 要 地 方 道	一般都道 府 県 道	計
①	案内 標 識	市町村境界・都府県境界 (本)	3,666	44	7	3,717
②		方面・方向・距離 (〃)	16,591	161	26	16,778
③		国道番号・都道府県道番号 (〃)	19,431	56	12	19,499
④		そ の 他 (〃)	13,389	108	59	13,556
⑤		計 (①+②+③+④) (〃)	53,077	369	104	53,550
⑥	警 戒 標 識 (〃)		49,121	1,141	289	50,551
⑦	規 制 標 識 (〃)		3,046	59	30	3,135
⑧	指 示 標 識 (〃)		260	7	0	267
⑨	全標識本数 (⑤+⑥+⑦+⑧) (〃)		106,372	1,607	428	108,407
⑩	道 路 延 長 (km)		18,214	534	259	19,007
⑪	③÷⑩ (本/km)		1.1	0.1	0.04	1.0
⑫	④÷⑩ (〃)		0.7	0.2	0.2	0.7
⑬	⑤÷⑩ (〃)		2.9	0.6	0.4	2.8
⑭	⑥÷⑩ (〃)		2.7	2.1	1.1	2.7
⑮	⑦÷⑩ (〃)		0.2	0.1	0.1	0.2
⑯	⑧÷⑩ (〃)		0.01	0.01	0	0.01
⑰	⑨÷⑩ (〃)		5.8	3.0	1.6	5.7
⑱	交 差 点 数 (箇所)		8,981	55	19	9,055
⑲	②÷⑱ (本/箇所)		1.8	29	1.3	19
⑳	道路が横断する市町村境界及び都府県境界の数 (箇所)		1,892	30	40	1,962
㉑	①÷㉑ (本/箇所)		1.9	1.4	0.2	1.9

(2) 都道府県指定管理分

事 項		道路種別	一般国道	主 要 地 方 道	一般都道 府 県 道	計
①	案内 標 識	市町村境界・都府県境界 (本)	2,208	5,037	7,381	14,626
②		方面・方向・距離 (〃)	9,271	16,987	15,994	42,252
③		国道番号・都道府県道番号 (〃)	10,022	4,189	2,046	16,257
④		そ の 他 (〃)	3,569	8,086	9,680	21,335
⑤		計 (①+②+③+④) (〃)	25,070	34,299	35,101	94,470
⑥	警 戒 標 識 (〃)		37,207	74,256	110,006	221,469
⑦	規 制 標 識 (〃)		2,012	4,256	6,176	12,444
⑧	指 示 標 識 (〃)		497	1,651	2,445	4,593
⑨	全標識本数 (⑤+⑥+⑦+⑧) (〃)		66,114	117,602	161,507	345,223
⑩	道 路 延 長 (km)		15,624	38,260	89,737	143,623
⑪	③÷⑩ (本/km)		0.64	0.11	0.02	0.11
⑫	④÷⑩ (〃)		0.23	0.21	0.11	0.15
⑬	⑤÷⑩ (〃)		1.60	0.90	0.39	0.66
⑭	⑥÷⑩ (〃)		2.38	1.94	1.23	1.54
⑮	⑦÷⑩ (〃)		0.13	0.11	0.07	0.09
⑯	⑧÷⑩ (〃)		0.03	0.04	0.03	0.03
⑰	⑨÷⑩ (〃)		4.23	3.07	1.80	2.40
⑱	交 差 点 数 (箇所)		7,488	17,919	38,052	63,459
⑲	②÷⑱ (本/箇所)		1.24	0.95	0.42	0.67
⑳	道路が横断する市町村境界及び都府県境界の数 (箇所)		1,530	4,204	9,642	15,376
㉑	①÷㉑ (本/箇所)		1.44	1.20	0.77	0.95

注) 交差点数は都道府県道以上相互の交差点は全部、市町村道との交差点については、案内標識を要するような著名地点、もしくは主要地点に直接通じる場合のみ計上したものである。

伊吹山^{11),12)}は、都市高速道路の案内標識の見やすさを検討するため、実走行により、案内標識の種類、色彩反射方式、板の大きさなどの要因と視認性との関係を調査する実験を行い、色彩、反射方式は判読位置に影響を与えなかったこと、文字高は45cm以上必要なこと、走行車線、ヘッドライト数は判読位置には無関係であったこと、特定の様式のもの、走行速度が高いと判読距離（標識の表示内容を完全に読み終えた地点から標識までの距離）は短いことなどを報告している。

標識の様式の相違による視認性の研究では、宮本¹³⁾が正三角形、正四角形など基本形の異なる視認性の実験からその優劣を比較し、我が国の図形の評価を行い、標識の設置高さについても検討している。米谷¹⁴⁾は指示標識規制標識について、その大きさと視認距離（標識の表示内容を読み始めた地点から標識までの距離）及び標識への接近速度と視認距離との関係を実験により求め、シンボル図形を太くすることで視認距離を大きくできるとしている。

また、特定の標識についての視認性については、永岡¹⁵⁾が案内標識の「103の2」（現在の108の2系統に同じ）についてローマ字より漢字に重点をおくこと、色彩と背景の選択について提言している。越ら¹⁶⁾はインターナショナルタイプ（108の2-A）とU.Sタイプ（105-A）との判読性について比較し、前者では左側から、後者は上方から読まれることが多いこと、地名数と判読時間、知名度と判読時間等について検討し、文字の判読性をU.Sタイプが優れているなどの結論を出している。

吉次¹⁷⁾は案内標識の板の大きさ、文字の大きさ、色彩の相違と視認性について調査し、また文字の大きさ別の視認距離を求めた。

広川¹⁸⁾は、首都高速道路に用いる案内標識について同様に板の大きさ、設置方法と視認性について検討している。

現実の道路に設置された標識の視認性について、岡崎¹⁹⁾は、2種類以上の標識の併設の場合の好ましくない例を上げており、宮本²⁰⁾は標識の位置、間隔、併設の限界に対して検討を行い、交差点付近の標識、大形標識、補助標識などについて設置の際の提言を行った。

夜間における標識の視認性については、和気²¹⁾が内照式及び外照式標識に対して、速度条件、輝度と判読距離とに関する実験を行い、平均注視距離、平均注視時間、凝視度を求めると共に、速度補正さえすれば、

歩行条件下のデータで判読性を判断する基準となり得ること、照明方法によっては、設置方法を限定すべきことなどを提言している。また和気²²⁾は、内照式標識の明視距離（標識の表示内容を明視できる地点から標識までの距離）とコントラスト、輝度比との関係について実験し、明視距離の良否の条件を明らかにしている。道路標識の高さなど設置条件、自動車のヘッドライト条件と視認性との関連については、前述の伊吹山¹¹⁾も行っており、宮本²³⁾は反射シートによる文字と地との組み合わせについて実験し、個々の標識の様式についてその視認性を検討した。

降雨時、霧発生の際の標識の視認性に関する研究としては、大東²⁴⁾が空気中の光の透過率と目の識別能力との関係から透過率を測定することにより、限界距離を昼夜別に求められることを示している。

2) 標識の視覚デザイン

宮本²⁵⁾は現行の標識内容としての文字とシンボル図形とを、視覚デザインの立場から検討し評価を試みており、水谷²⁶⁾は標識の文字について、レタリング（文字の図案化）及びレイアウト（配列）の両面から設計上の留意事項を提言している。

また木倉²⁷⁾は、道路標識のシンボル化の国際的な現状について、次第に選択の余地を残しながらも統一化に進んでいると報告している。

3) 標識用反射材などの材料の性能

標識に用いられる反射材の光学的特性については、JIS化の間でも討議されてきたが、道路技術の立場からは市原²⁸⁾が国内産、外国産の代表的な製品について老化試験及び光学試験を行い、それぞれの優劣を比較した。宮本²⁹⁾も反射材の色度範囲、刺激の強い色彩について提言を試みている。

4) 道路標識に対する道路利用者の意識

石井³⁰⁾は初めて当該道路を走行する運転者を対象として現場に設置されている標識についての意識調査を行い、拡大率の増大、懸垂式設置、設置本数の増大、夜間の全反射方式採用についてその必要性を指摘している。高速道路調査会標識調査専門委員会³¹⁾は名神高速道路の調査についてインタビュー調査を行い、標識に対する注意度、理解度、不満度を百分率で示している。

著者ら³²⁾は交差点付近における案内標識表示方法として路線番号優先系統方式を提案し、従来の案内誘導方式と対比する方法で運転者の意向を調査し、現段階では路線番号を優先して案内する方法が必ずしも望まれていない実状を示した。

5) 交通流と標識設置との関連

標識の設置とその付近における交通流との関係は従来あまり研究されていないが、花井ら³³⁾は路面標示と共に、U.Sタイプの案内標識からインターナショナルタイプの案内標識に変更したときの交通流の変化を調査し、車線誘導効果について危険な走行をする自動車の割合が減少したことを報告している。

案内標識に基づく車線変更挙動については、著者ら³⁴⁾が予告標識の設置に伴う車線変更数及びその位置を調査し、危険な方向変更をする台数割合が減少した例が多いこと、及び車線変更位置が交差点より遠くなった例があるが、必ずしも有意な差が認められないことを報告した。

また石井³⁵⁾は、交差点の案内標識の大型化、設置数の増加、頭上設置、反対車線上の設置等の改良を加えた結果、交通事故が無くなった事例を報告している。

6) 標識に対する運転者の視覚、注視行動

市川³⁶⁾は走行速度と視認力との関係を生理科学面から解析し、走行中の運転者の眼は情報収集のため基本的眼球運動によって視野が広げられ、必要な情報が網膜の中心部から離れるに従って対象物の方へ視線を向けて視野修正し、判断と眼球運動に必要な時間の遅れを生ずることを示した。

鈴木ら³⁷⁾は実際の道路（首都高速道路）上で走行中の運転者の注視点アイマークレコーダを用いて測定し、道路及び付属物あるいは景観に対する運転者の注視点解析を試みており、中村ら³⁸⁾は同様な実験方法により道路標識に対して注視距離（注視した地点から対象物までの距離）分布及び平均注視時間などを明らかにしている。また村田³⁹⁾は交通安全施設に対する注視行動を測定し、案内標識の注視時間分布及び頭上設置型の規制標識の注視時間分布、並びに注視距離の分布状況を検討した。

小林ら⁴⁰⁾は高速道路工事区間に設置される暫定標識群に対する注視点調査を行い、注視距離分布及び注視点調査を行い、注視距離分布及び注視距離と平均注視時間との関係を検討すると共に、各標識、看板ごとの見落率の測定を行った結果を報告している。

なお、水田ら⁴¹⁾は列車運転中の注視点測定を行い、特に前方、左右側及び信号に対する視線を沿道条件との関係で分析した。

7) そ の 他

道路標識のその他の部門における研究ではJ. Behrendtら⁴²⁾がアウトバーン道路網における道路番号の付番方法及びそのデザインについて検討し、付番

においては道路の機能に応じて番号の桁を分類している。

一方、松本ら⁴³⁾は道路標識の設置方式及びその構造についての設計方法を提言している。

以上の既存資料で標識の視認性、デザイン及び標識に対する運転者の注視行動の分野における研究が多く見受けられる一方、案内標識の配置計画に関連の深い標識と運転者の運転行動との関係あるいは案内標識の設置効果に関する分野における検討は十分行われたようには見受けられない。

〔3〕 研究の目的

本研究の目的は根本的には交差点に設置する案内標識の配置計画手法をより明確にすることにより、とすると不統一あるいは利用者にとって不親切になりがちな案内標識を改善するのに役立てることであるが、さらに具体的には次のとおりである。

① 交差点に設置する方面、方向等の進路選択に係わる案内標識の設置位置（先行距離：交差点等から標識までの距離）とその標識の規模（拡大率^{注)}あるいは文字高）との関係を求めることにより、標識の設置システムをより合理的にする。

② 案内標識を設置することにより得られる案内誘導効果を道路網全体について評価する方法を構築し、標識に表示する内容をより合理化する手段とする。

〔4〕 研究の内容と方法

本研究は、前述の目的を達成するために以下に示す内容方法を設定した。

1) 案内標識の設置位置と標識板の規模の決定

交差点流入部付近における自動車運転車の行動、すなわち、標識の存在の認知→表示内容の判読→判断→車線変更→減速→方向変更という一連の行動のうち、車線変更に必要な距離、及び車線変更に必要な距離の算定を行い、その結果と既存の資料とにより、案内標識の設置位置と標識板の大きさとの関係を求め、現実の標識の例についてその適否を照合する。

2) 案内標識の設置効果の把握

案内標識に表示する地名が運転者の予備知識の地名リストの中にある場合は、交差点において最短経路を選択するが、それ以外の場合には各道路にODトリップが配分されると仮定し、シミュレーションにより道路網全体における目的地への到達確率、総走行台キロ、

注) 拡大率：標識の大きさを示す指標で、基準値に対する倍率で表される。一般道路の案内標識における基準値は文字高により設計速度別に定められている。

又は費用便益を算出し、これらによる案内標識を設置したことによる案内誘導効果を評価する方法を提案する。

2. 交差点における案内標識の位置と規模

〔1〕 案内標識と運転行動

(1) 概 説

自動車の運転者を対象とした交差点に設置する道路標識の機能は、一般に次に示すとおりである。すなわち、

- ① 道路又は交通に関する基本的な情報を適切に与える。
- ② その情報の指示に従って運転者が安全かつ円滑に行動をとることができるようにする。

前者の機能を果たすためには、まず道路標識が目立ちやすく、運転者が確実にその存在に気づくことが必要であり、この目立ちやすさの程度は一般に道路標識の誘目性又は可視性と呼ばれている。また次に、道路標識の表示内容が運転者に正確かつ容易に読解される必要がある。この性質を道路標識の判読性と呼び、読み間違えにくいことと判読しやすいことの両面から評価することができる。これら誘目性(可視性)、判読性をまとめて視認性と呼んでいる。

しかし、この視認性が優れていても、その道路標識の表示内容が不適切なものであれば、運転者にとってその道路標識は無意味なものであり無いに等しいと言える。特に、案内標識については標識板にいかなる情報を掲げるかが、きわめて重要な問題である。これらの評価は、まずドライバーが道路交通網に対してどのような予備知識をもつかを考慮して検討されなければ

ならないであろう。

後者の機能を果たすためには、運転者が道路標識の表示内容を読解し、自分の取るべき行動を判断した地点からその行動(車線変更, 減速)を終了しなくてはならない地点までの距離が交通安全面からみて十分保たれていなければならない。この距離が十分でないと運転者は道路標識の指示に従うために無理な運転をしたり、また、指示通りに行動ができないなど、道路安全上あるいは道路の管理運用上好ましくない現象が発生する。

これら进行评估するためには、運転者が安全かつ円滑に車線変更, 減速(方向変更)などを行うのにどの程度の距離が必要であるかを十分確認しておく必要がある。

これら交差点に設置する案内標識の質的な評価要因について取りまとめると図-2・1となる。

本節は、交差点に設置する方面方向の案内標識の設置位置、表示規模と、その指示に従って運転者が安全かつ円滑な行動を取れるための交差点流入部付近の運転者との関連について述べるものであり、まず運転者行動と標識視認位置との関係について述べ、次に案内標識の設置計画の手順について述べる。

(2) 運転行動と標識位置

一般に、案内標識の設置された交差点に接近する自動車の運転者は、図-2・2における視認点Aで案内標識Sの存在を知り、B点において標識の表示内容を読み始めることが可能となる。そして、その内容を完全に読み終えることのできる点がC点であり、運転者が自己の取るべき行動を判断する若干の時間を経過した後、行動を開始する。

この行動開始地点Dから交差点端F(又は分流ノーズ, 危険箇所など)までの距離を行動距離 L とい

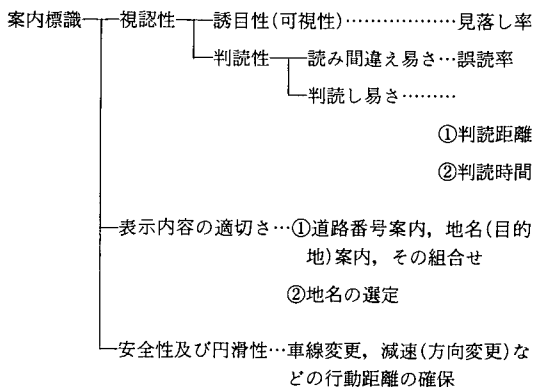


図-2・1 案内標識の質的評価要因

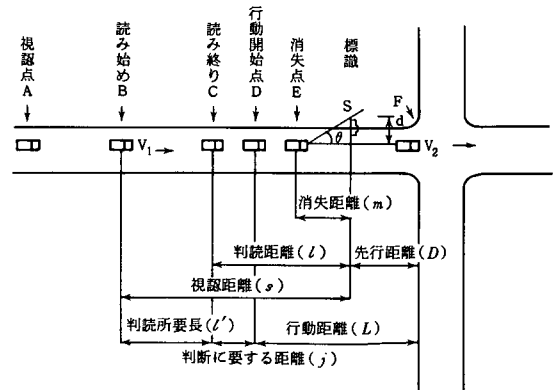


図-2・2 案内標識に対する運転者の行動

い、運転者はこの距離内で必要に応じた車線変更、あるいは方向変更、停止のための減速を安全かつ円滑に完了しなければならない。

また、B点から案内標識までの距離を視認距離SC点から標識までの距離を判読距離 l と呼び、この判読距離は標識の消失点Eから標識までの距離、すなわち消失距離 m に比べて長くなければ、運転者は標識の内容を十分に判読できない。

これらの条件は次式のように表すことができる。

$$L = l + D - j \geq (n-1)L^* + \frac{1}{2a}(V_a^2 - V_e^2) \quad (2.1)$$

$$\left[\begin{array}{l} (n-1)L^*; \text{車線変更必要距離} \\ \frac{1}{2a}(V_a^2 - V_e^2); \text{減速(停止, 方向変更)必要距離} \end{array} \right]$$

$$l \geq m = \frac{d}{\tan \theta} \quad (2.2)$$

ここで

n : 車線数

V_a : 接近速度 (平均走行速度)

L^* : 1回の車線変更に要する距離

a : 減速度

V_e : 交差点端(又は分流ノーズ, 危険箇所など)における速度

j : 判断に要する距離

$j = l' \cdot V_l$ (l' : 判断時間)

a : 運転車の眼の位置から標識までの側方又は上方距離

θ : 消失点における進行方向線と標識最外線との作る角度 (一般には $\theta = 15^\circ$ を標準とし、頭上表示の場合は側角として $\theta = 7^\circ$ としている)²⁾

以上の条件を満足するよう案内標識の設置位置は十分計算された適正な距離を設定する必要がある。

(3) 案内標識の設置計画の手順

交差点に設置する方面、方向などの案内標識の設置計画を策定する際に検討される主要な要因は、案内標識の表示規模(拡大率)と設置位置(先行距離)であるが、前節の式(2.1), (2.2)に示すように、表示規模(拡大率)は判読距離を介して設置位置と密接な関係を有しており、それぞれ独自に検討することは無意味である。すなわち設置位置が設定されれば、おのずから拡大率の範囲が定まるし、またその逆も言える。

道路標識設置要領案⁵⁰⁾(昭和39年制定)、交通工学シ

リーズ「道路標識」⁶⁾においては、まず案内標識の設置位置(先行距離)を設定し、その後拡大率を決めるという方法を採用している。しかし、道路標識設置基準²⁾(昭和53年制定)においては、道路景観の見映えなどを考慮して同一路線、同一地域の案内標識の拡大率をそろえるために、拡大率を条件として案内標識の設置位置(先行距離)の範囲を設定することとしている。案内標識の設置位置の設定には、図-2.3に示す手順が考えられる。すなわち、車線数など交差点流入部付近の道路条件及び交通量など交通条件から案内標識の情報を得た後、交差点に達するまでに運転者が行動するに必要な行動距離を算出する。次に、案内標識の拡大率から判読距離を算定する。さらに、この行動距離、判読距離と判断時間などから先行距離を算出し、案内標識の設置位置を決定する。

また、案内標識の表示規模の設定には図-2.4に示す手順が考えられる。

すなわち、車線数など交差点流入部付近の道路条件及び交通量など交通条件から案内標識の情報を得た後交差点に達するまでに運転者が行動するに必要な行動距離を算出する。次に、行動距離と判断時間などから視認距離を算定する。さらに、この判読距離と判読時間などから視認距離を算出し、これから標識板の拡大率を算定する。

案内標識の設置計画の手順、各段階において考慮されている関係式、数値あるいは項目を、既存の資料^{2), 6), 49), 50)}について対照すると表-2.1である。

標識表示規模の設定手順において現在算定の基礎としている現象のなかで、行動距離の算定については、現在まで参考にされてきている資料^{6), 50)}では減速行動のみが考慮されている。

しかし、一般に一方方向2車線以上の道路において

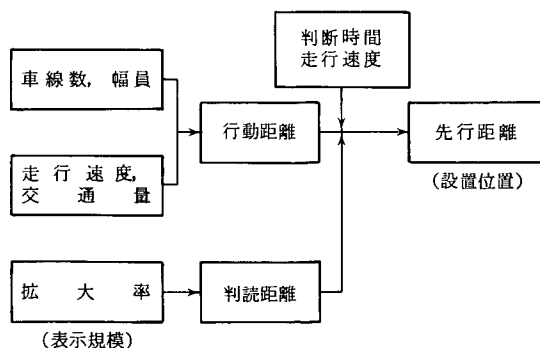


図-2.3 案内標識の位置算定の手順(道路標識設定基準を参考)

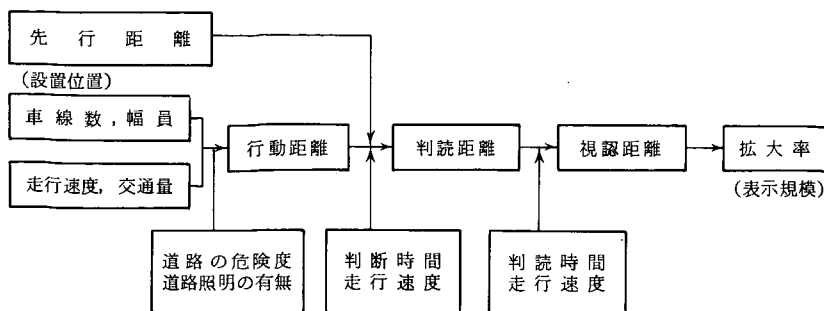


図-2・4 案内標識の規模算定の手順

表-2・1 設置計画の手順と算定基礎(現況)

番号	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(チェック)
ステップ	先行距離 D	行動距離 L	判断時間 t'	判読距離 l	判読所要長 (時間) t'	視認距離 S	文字の有効高 h^*	文字高 h	拡大率 B	
手順										
39年設置 要領案	(先にきめる) $D \leq 30 \text{ m}$ $D \leq 300 \text{ m}$ (予告)	減速のみ $\frac{1}{2a}(V_1^2 - V_2^2)$	1.8 sec	(確認距離) (2)+(3)-(1) $L - t' V a D$	1 ~ 2 sec	(判読距離) (4)+(5) $l - t'$	—	—	(6)より 表-2・2	消失距離 $m \leq$ 確認距離 l (4) $(m = \frac{d}{\tan \theta})$
浅井 内枝 村	同 上	同 上	1.8sec	同 上	字数より図 -2・5室内静 的実験	同 上	(6)より図-2・6	(7)より表-2・3, 図-2・7, 表-2・4, 表-2・5	$\frac{h}{B}$ 表-2・6	消失距離 $m \leq$ 判読距離 l (4)
ハンド ブック	—	—	—	—	—	—	—	—	表-2・7	—
手順										
設置基準	(2)+ $t' V_1$ -(4) $D \leq 30 \text{ m}$ $D \leq 300 \text{ m}$ (予告)	$(n-1)V_1 \cdot t_2$ $+\frac{1}{2a}(V_1^2 - V_2^2)$	約 2 秒	(7)より 図-2・6	—	—	(8)より 表-2・3, 表-2・5, 図-2・7	表-2・6	(先にきめる) 表-2・7	消失距離 $m \leq$ 判読距離 l (4)

は、交差点流入部付近での案内標識の情報に基づく車線変更は必然的な行動であり、そのための距離を無視することは交通の安全と円滑を保持する上で重大な欠陥となる可能性が少なくない。

筆者はこの点を重視し、新たに検討されている道路標識設置基準にはこの考え方を盛り込むよう働きかけた結果、表-2・1に示すように改められた。その具体的方法にはさらに研究の余地がある。特に、交差点流入部付近における運転者の行動には、その箇所の交通量などの交通条件が大きな影響を及ぼすので、これを考慮に入れて行動距離の算定がなされなければならない。

その意味から、交差点流入部付近において、交通量などの交通条件と車線変更といった運転行動との関連性について次節以降検討する。

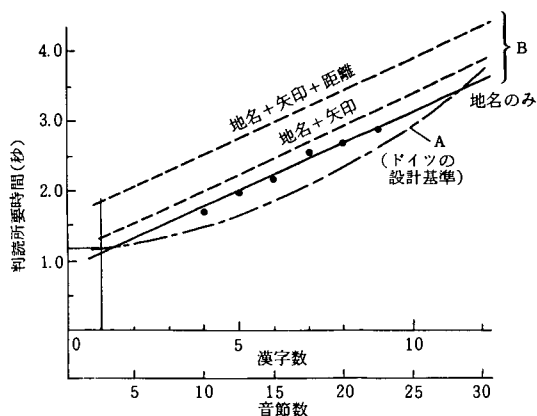
〔2〕 車線変更のための必要距離

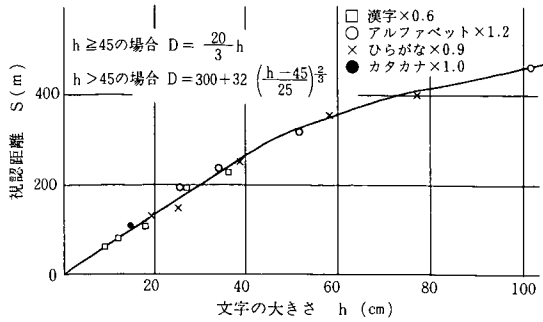
(1) 概 説

土地鑑のない運転者は、交差点付近に設置された案内標識の情報によって当該交差点における自己の進路を決定し、直進、右左折など方向変更を行う。これが

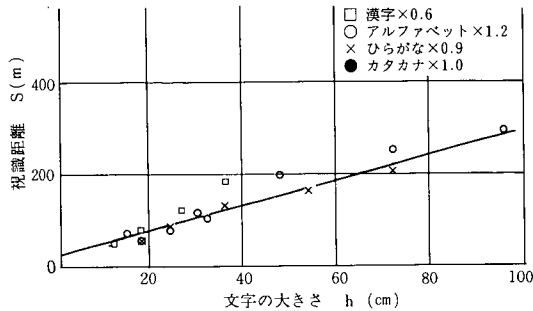
表-2・2 判読距離と拡大率の関係

標識板の拡大倍率	判読距離 (m)
1	20 ~ 40
1.5	35 ~ 55
2	50 ~ 70
2.5	60 ~ 90
3	70 ~ 110

図-2・5 漢字数・音節数と判読時間との関係⁷⁾



(1) 昼間、低視力者、白地黒文字、徒歩



(2) 夜間、低視力者、白地黒文字、徒歩

図-2-6 文字の大きさと視認距離の関係

表-2-5 走行速度と視認距離の関係 h : 文字高

速度 km/h	50以下	60	70	80	90	100
視認距離	240h	239h	236h	227h	209h	177h

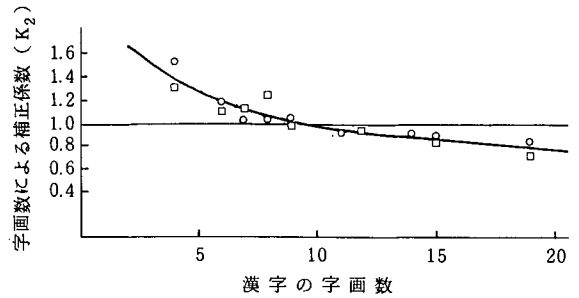


図-2-7 漢字の字画数と視認距離の比 (k_2)

表-2-3 文字の種類と視認距離の比 (h_1)

字の種類	漢字(9画)	ひらがな	カタカナ	アルファベット
視認距離	0.6	0.9	1	1.2

表-2-4 視認距離の文字の大きさに対する倍率
(昼間晴天・視認距離300m未満の場合)

字の種類	漢字	ひらがな	カタカナ	アルファベット
字の大きさに対する視認距離の倍率	400倍	600倍	667倍	800倍

表-2-6 設計速度に対応した文字の大きさの基準値¹⁾

設計速度 (km/h)	文字の大きさ (cm)
70以上	30
40, 50, 60	20
30以下	10

表-2-7 標識板の拡大及び縮小の基準²⁾

分類	道路の区分	標識の種類	拡大及び縮少率
案内標識	高速道路等	全標識	3倍まで (1.5, 2, 2.5, 3倍)
	高速道路等以外の道路	「市町村」、「都府県」、「方面、方向及び距離」、「方面及び距離」、「方面及び方向の予告」、「方面及び方向」、「方面、方向及び経路路線」、「著名地点」及び「主要地点」	1.5, 2, 2.5, 3倍に
		「駐車場」、「国道番号」、「都道府県道番号」、「街路の名称」及び「まわり道(120-A)」	1.3, 1.6, 2倍に
		「待避所」	1倍

注) 拡大、縮少率についての () 書はよく使われている値である。(標識令の定めはない)

一方2車線以上のいわゆる多車線道路における場合には、当然進路選択の運転行動の一環として、車線変更が必要となりうる。

本節ではこの車線変更を安全かつ円滑に行うのに必要な距離を、交通量、走行速度、加速度、及び大型車の混入率の各要素との関連から算定した。

車線変更必要距離の算定手順は、図-2-8に示すとおりコンピュータ・シミュレーションにより解析した結

果を実測調査結果と照合することにより検証した。

シミュレーション・モデルは、いわゆるモンテカルロ・シミュレーションによるものを開発した。まず交通量、走行速度、加速度、大型車混入率などの構成要素に基づくシミュレーションモデルを設定し、次にこのシミュレーション・モデルによる車線変更必要距離の算出を行った。

一方、車線変更必要距離の実測を交通条件との関連

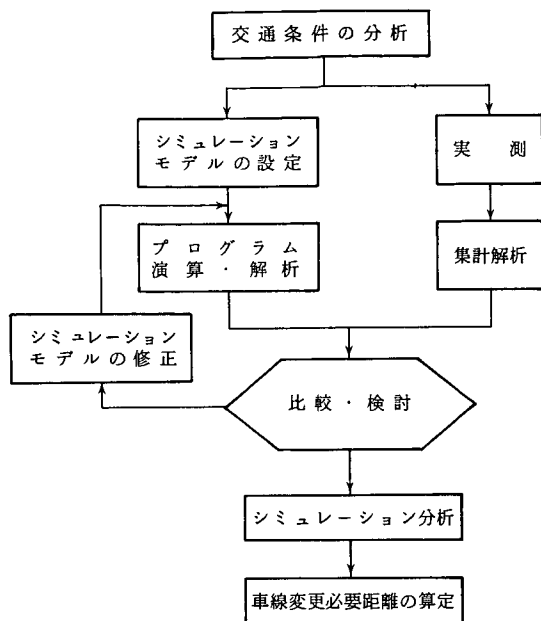


図-2-8 車線変更必要距離の算定手順

で実測し、その実測による調査結果の解析を行った。

最後に、シミュレーション・モデルによる結果と実測による結果との照合を行ってシミュレーション・モデルによる車線変更必要距離の算出方法について検討した。

(2) 車線変更モデルの設定

1) シミュレーション・モデルの概要

本研究において開発したシミュレーション・モデルは、車両の車線変更の挙動をシミュレートし、それに要した時間及び距離を把握するものである。

車線変更の挙動は、交通条件及び道路条件に密接にかつ複雑に関係しているが、本研究では交通流の合流及びウィーピング挙動を参考^{50),51),52)}に、現実に近い範囲でモデルを次のように単純化している。

① 車線変更の挙動を図-2-9のように模式化している。すなわち、 τ_0 は車線変更をしようとした後から受容車線の様子をうかがいながら、車線変更の行動開始を決定するまでの時間。 τ_1 は実際の車線変更行動を開始できるまでの反応時間。 τ_2, τ_3 は実際の車線変更行動に伴う加減速に要する時間。 τ_4 は実際の車線変更行動を終えてから等速運動移行に要する時間を示しており、ここでは τ_0 から τ_4 までの全時間が車線変更に必要な時間と考え、車線変更必要距離を算定する。

② 車線変更以外の一般の車輛の走行速度は、変更車線、受容車線で等速運動とする。

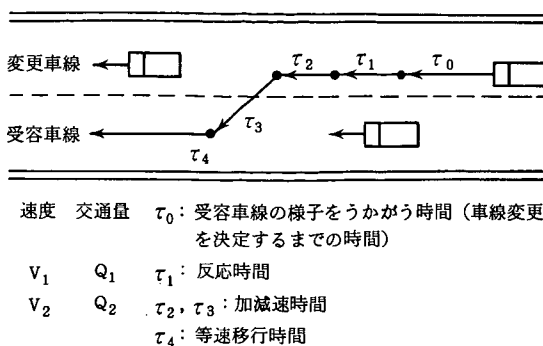


図-2-9 車線変更の概念図

また、車線変更車は車線変更時及び等速運動移行時において等加速運動を行うものとする。

③ 車種を大型車、普通車の2車種に限定し、限界車頭間隔、最小受容ギャップ (車線変更車を受容できる最小の車間距離)、加速度を車種別に与える。

④ 追い越しはなく、すべて追従する。

このモデルでは1回ごとの車線変更挙動を正確にとらえることを目的としておらず、多数回行った車線変更挙動を統計上の立場から総体的にとらえることを目的としているため、以上のようなモデルの単純化で十分であり、特に支障はないと考えられる。

また、車線変更のシミュレーションの条件については以下のように設定した。

- ① 車線変更は、内側車線→外側車線に限定する。
- ② 車線数は2車線 (片側) とする。
- ③ 交通量によって速度を決める (Q-V 曲線)。
- ④ 加速度は走行速度の関数とする。
- ⑤ 車線変更車の割合は実データより設定する。
- ⑥ 大型車の混入率は実データを参考に設定する。
- ⑦ 車線幅員は3.25m とする。
- ⑧ 交通量、限界車頭間隔は実データより選定する。

2) シミュレーション・モデルの構成

交通流の表示方法

① 交通流に関する要因

本モデルでは次に示す要因についてタイマー・マトリクスを設け、各スキニング・サイクルごとに要因の更新を行っている。

- a. 車の走行車線
- b. 車の発生してからの経過時間
- c. 車の走行速度
- d. 車の加速度
- e. 車種 (普通車, 大型車)
- f. 走行状態の区分 (直進車, 車線変更車)

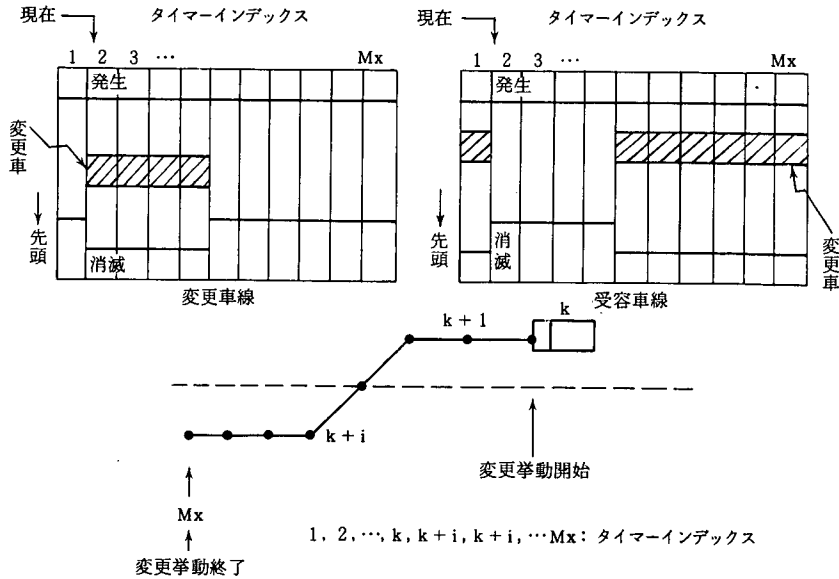


図-2.10 タイマー・マトリクス

② タイマー・マトリクス

図-2.10に示すとおり、車輛発生時より車線変更終了まで(1サイクル)の挙動を記録した行列である。この行列にはタイマー・インデックスを設けてあり、時点を表示できる。

時間が1ピッチ(T)進めば、タイマー・インデックスも+1だけカウントされ、その時点ごとに車線変更の可否が判断される。

走行挙動

① 発生地点、車線変更開始地点及び消滅地点

本シミュレーション・モデルにおける車の発生地点、車線変更開始地点及び消滅地点は図-2.11に示すとおりである。

② 車の発生

道路上を走行する車輛の車頭時間 t についての分布は、統計学的に指数分布に適合すると言われており、本モデルも指数分布を採用した。

その分布関数は次のようになる。

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

ここで、 λ : 平均到着率 $(= Q(\text{交通量})/3.600)$

$P(t)$: 車頭時間が t sec. 以上である確率

限界車頭時間(車頭時間の下限値で、これを下回る車頭時間は発生しない。) t_0 を考慮すれば、式(2.3)より

$$P(t) = e^{-\frac{t-t_0}{\bar{t}-t_0}} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

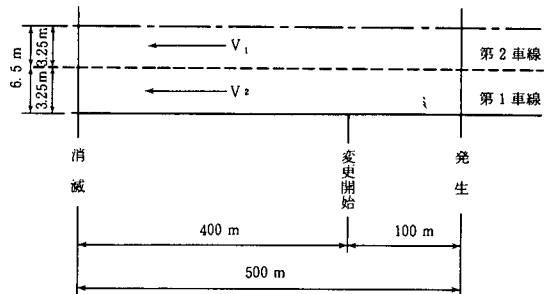


図-2.11 発生地点、変更開始地点及び消滅地点

ここで、 $\bar{t}$: 平均車頭時間 $(= 1/\lambda)$

式(2.4)を $[0, -1]$ の一樣乱数(RN)と対応づけると

$$RN = e^{-\frac{t-t_0}{\bar{t}-t_0}} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

両辺対数を取り変形すると

$$t = t_0 - (\bar{t} - t_0) \log(RN) \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

となり、本モデルでは式(2.6)により、車頭時間をランダムに設定した。ただし、車頭時間に大きな値が出現するのを防ぐために $t_{max}(t \text{の最大値}) \leq 5.0 \times t_0$ とした。

③ 車種の発生

本モデルでは車種を大型車と普通車の2車種に限定し、各車種ごとに限界車頭間隔、最小受容ギャップ、

加速度を与えた。発生車輛に $[0, 1]$ の一様乱数と対応づけて付番 (x) し、大型車混入率 a と比較し $x \leq a$ ならば大型車、 $x > a$ ならば普通車とした。また、内側車線 (変更車線) の発生車輛には同様に他の付番 (y) とし、車線変更車の割合 (車線変更率) b と比較し $y \leq b$ ならば車線変更車、 $y > b$ ならば車線変更車ではないとした。なお、車種の発生にかかわるフローチャートを図-2・12に示す。

④ 座標系での車の移動

a) 直進車

当該車線を直進する車両のことで、等速運動をしているものとする。割り込みによる減速、車線変更によって生じたギャップに対する加速はないものとする。従って、直進車の発生から t 秒後の位置座標 Z は発生時の座標位置を $Z = 0$ とすると、次式で表せる。

$$Z = V_1 t \text{ 又は } V_2 t \quad \dots\dots\dots (2\cdot7)$$

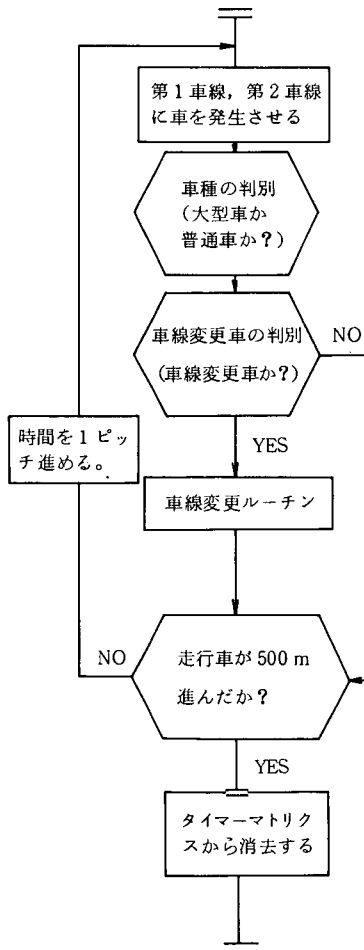


図-2・12 車輛の発生のフローチャート

ここで、 V_1, V_2 : 第1車線及び第2車線の走行速度
b) 車線変更車

車線変更車の移動は図-2・13に示すように行われると考えられ、この場合の t 秒後の位置座標 Z は次式によって表せる。

$$Z = Vt + \frac{1}{2} \alpha t^2 \quad \dots\dots\dots (2\cdot8)$$

ここで、 α は加速度で図-2・13において

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \lambda_1^* - \mu_1^* V_2 && \text{(車線変更時に加速する場合)} \\ \alpha &= \lambda_2^* - \mu_2^* V_2 && \text{(等速運動移行時に加速する場合)} \\ \alpha &= \alpha^* && \text{(車線変更時に減速する場合)} \\ \alpha &= \alpha^* && \text{(等速運動移行時に減速する場合)} \end{aligned} \right\} \quad (2\cdot9)$$

なお、 $\lambda_1^*, \mu_1^*, \lambda_2^*, \mu_2^*, \alpha^*, \alpha^*$ は実験により決まる定数で、その値については後述する。

図-2・14は車線変更のフローチャートを示したものである。

⑤ 車線変更挙動

自動車第2車線から第1車線へ車線の変更を行う場合に、交通条件との関連から考えられる8ケースの挙動について、1スキャンの観測図を示すと図-2・15である。

(3) 車線変更必要距離の算出

前節で設定したシミュレーション・モデルにより、車線変更必要距離を算出する。

1) 入力データ

車線変更必要距離を算出するに当たって前提とすべき自動車の走行速度、交通量、車線変更の割合など交通状態を中心とした条件、すなわちシミュレーション入力データは次のとおりである。

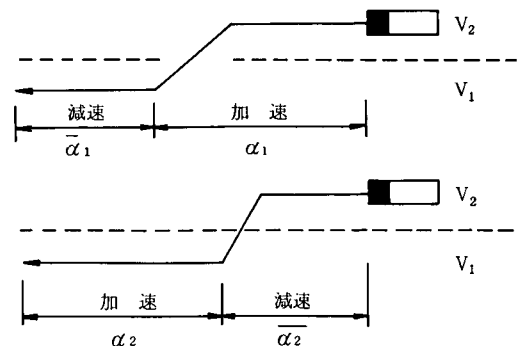


図-2・13 車線変更車の移動

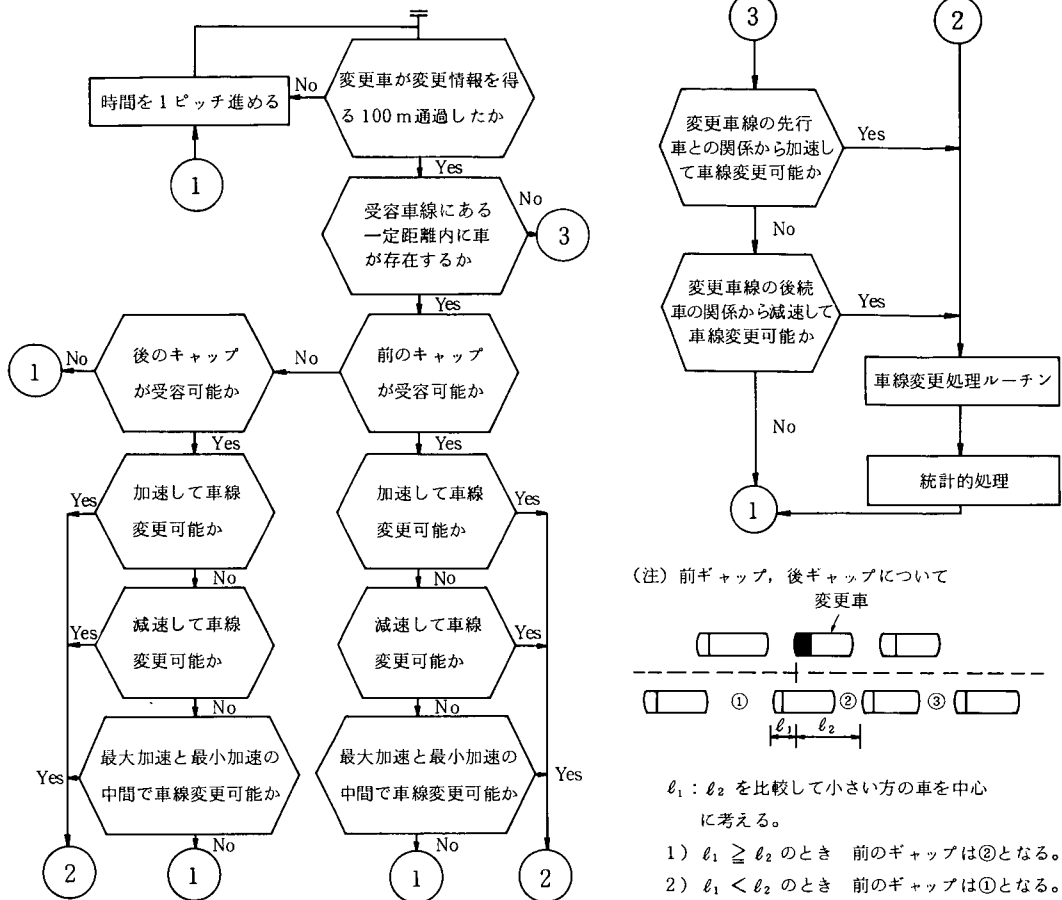


図-2-14 車線変更のフローチャート

① 車線変更シミュレーション時間として通常2時間～4時間の交通量を対象として考える。

② 時間のきざみ(スキニング・サイクル)は0.5秒とする。第1車線と第2車線の速度差を考慮して, その差を最大30km/hと仮定すると, $0.5 \times 30,000 / 3600 = 4.2(\text{m})$ となり, ほぼ自動車1台分の長さとなる。従って, この程度の差があれば車線変更の機会を1スキャンサイクルの中で失うことはないと考えられる。

③ 自動車の速度は交通量と速度との間に相関性があるので, 既存資料¹²⁾より図-2-16に示す関係を利用する。
すなわち,

$$V = -0.03895 Q + 58.67 \dots \dots \dots (2 \cdot 10)$$

ここで, V : 走行速度(5分間平均速度, km/h)

Q : 交通量(5分間交通量, 台/5分)

④ 交通量は一方向(2車線)最小600台/h～最大

2,400台/hとする。

⑤ 大型車混入率, 車線変更率は表-2-8に示す実測値⁴⁴⁾より設定する。

⑥ 反応時間(図-2-9における τ_1)は, 既存資料より0.656秒とする。表-2-9は自動車の追従運動で前車が停止運動に入ったとき, 車間距離別による反応時間を実験的に求めたものである。

各距離別の重量平均値に対する最大値, 最小値の較差は約±15%となり, 車間距離100mの場合, $0.570 \pm 15\%$ で, 道路の設計を行う場合の安全側の数値が0.656秒となる。

⑦ 車線変更に係わる加減速時間及び等速運動の移行時間は, 図-2-9の挙動のおおのの部分について $\tau_2 = 1.0$ 秒, $\tau_3 = 1.0$ 秒, $\tau_4 = 3.0$ 秒とする。この値については, 既存資料¹¹⁾及び後述の車線変更観測調査における測定結果を参考に実態に合うように設定した。

⑧ 限界車頭時間(式(2-4)における t_0)は図-2-17の実測データの散布図から特異値を除いて求めた。

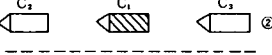
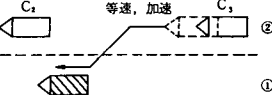
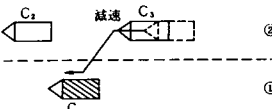
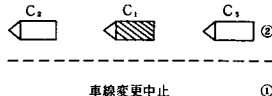
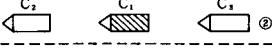
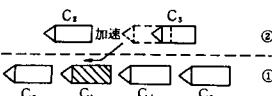
ケース	展 開	条 件 ①第1車線 ②第2車線
1	初 期 	① 走行車なし ②・C ₁ は等速又は加速運動とする。 ・C ₁ はC ₃ に追いつかないとする (一定車間距離をとる)
	終 期 	
2	初 期 ケース1と同様	① 走行車なし ②・C ₁ は減速運動とする。 ・C ₁ はC ₃ に追いつかれないとする (一定車間距離をとる)
	終 期 	
3	初 期 ケース1と同様	① 走行車なし ② 1.2.の試行の結果車線変更不可能の場合
	終 期 	
4	初 期 	① 走行車あり C ₄ ~C ₆ に流出可能ギャップ有り C ₄ に対する車間距離を保つ、加 速度C ₁ に与えるその加速度はC ₄ に対してもある車間距離を与える。 ② その加速度は、C ₃ に追いつか ない。(C ₁ は減速も可)
	終 期 	

図-2・15(1) 車線変更挙動

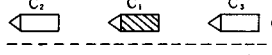
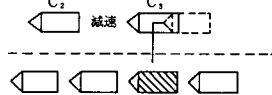
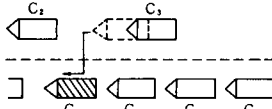
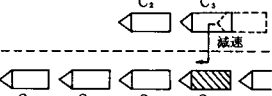
ケース	展 開	条 件 ①第1車線 ②第2車線
5	初 期 	① 走行車あり C ₄ ~C ₆ に流出可能ギャップ有り、 4の条件が満たされていない、C ₄ に 対する車間距離を保つ減速度を 与える。その減速度はC ₄ に対し ても、ある車間距離を与える。 ② その減速度は、C ₃ に追いつか ない。(C ₁ は加速も可)
	終 期 	
6	初 期 ケース5と同様	・ 8の展開が変化して、4の展開に なった場合 (目標ギャップが変わった)
	終 期 	
7	初 期 ケース5と同様	・ 8の展開が変化して5の展開に なった場合 (目標ギャップが変わった)
	終 期 	
8	初 期 ケース5と同様	① 走行車有り ② 4、5の試行の結果車線変更不可 能の場合
	終 期 	

図-2・15(2) 車線変更挙動

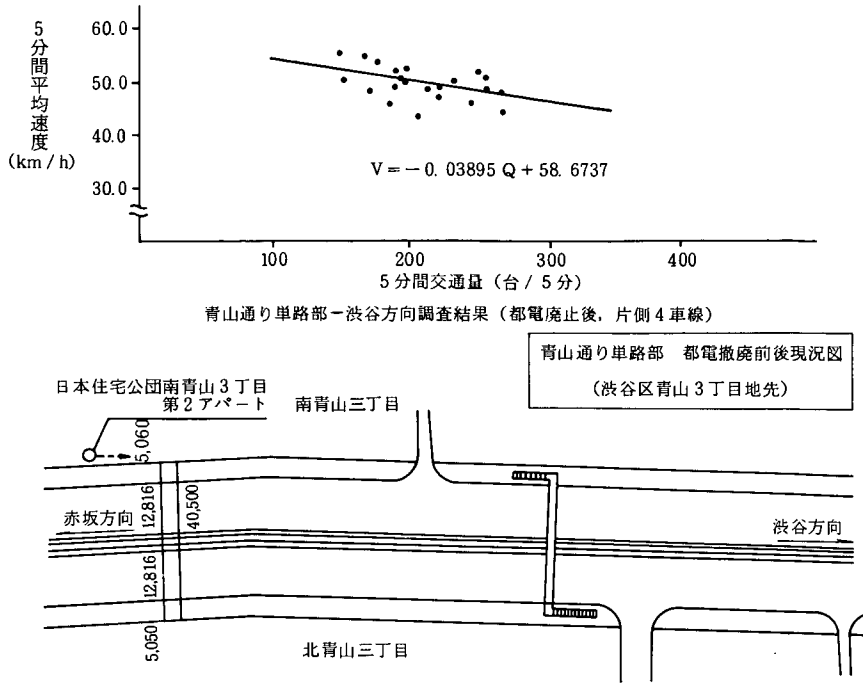


図-2-16 交通量と速度の関係

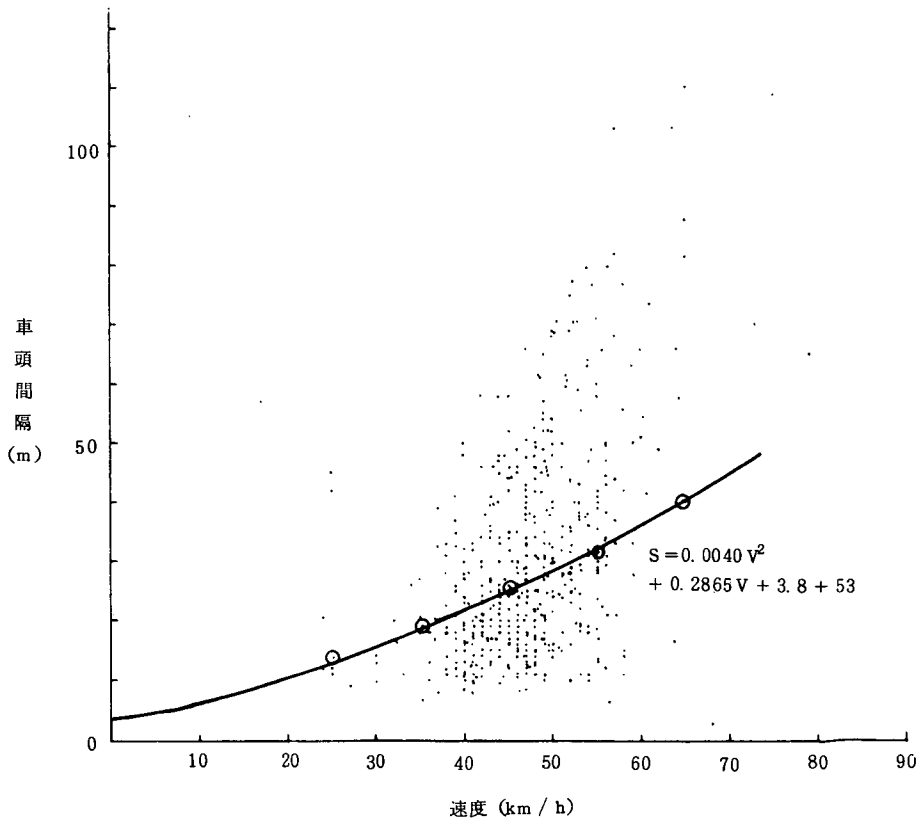


図-2-17 速度と車頭間隔との関係

表-2・8 交通量と車線変更率、大型車の混入率

(単位：1時間当たり)

（単位：1時間当たり）									
地点名	観測日	流入路	車線名	車線別交通量	方向	方向別交通量	変更種別	変更率	大型車混入率（％）
A	平日	1	左	699	左折	145	左→右	0.074	11.3
				直進	554				
		右	646	直進	595	右→左	0.079	10.4	
				右折	51				
		3	左	840	左折	66	左→右	0.070	7.8
				直進	774				
			右	499	直進	192	右→左	0.316	7.5
					右折	307			
	休日	1	左	498	左折	98	左→右	0.107	4.3
				直進	400				
			右	506	直進	462	右→左	0.082	3.2
					右折	44			
		3	左	717	左折	87	左→右	0.123	2.5
				直進	630				
右			437	直進	162	右→左	0.299	2.5	
				右折	275				
B	平日	1	左	622	左折	70	左→右	0.069	19.3
				直進	552				
			右	704	直進	479	右→左	0.093	17.3
					右折	225			
		3	左	603	左折	72	左→右	0.120	17.6
				直進	531				
			右	611	直進	496	右→左	0.136	23.0
					右折	115			
	休日	1	左	596	左折	76	左→右	0.076	3.3
				直進	520				
			右	651	直進	485	右→左	0.078	4.7
					右折	166			
		3	左	565	左折	91	左→右	0.150	4.4
				直進	474				
右			569	直進	455	右→左	0.150	4.2	
				右折	114				
C	平日	1	左	618	左折	223	左→右	0.329	9.0
				直進	395				
			右	393	直進	257	右→左	0.553	17.2
					右折	136			
	休日	1	左	420	左折	200	左→右	0.327	2.9
				直進	220				
			右	356	右折	232	右→左	0.431	12.0
					直進	124			
見取り図									

表-2.9 距離別反応時間 (特異値を除いたデータ)

距離	直近	5M	10M	15M	20M	40M	100M	200M	250M	300M
最大値	.569	.595	.593	.574	.584	.607	.612	.660	.676	.691
最小値	.428	.435	.425	.446	.452	.459	.485	.509	.515	.560
PANGE	.141	.160	.168	.128	.132	.148	.127	.151	.161	.131
平均値($\bar{x}$)	.505	.526	.526	.525	.544	.557	.570	.591	.606	.638
(%)	100	104	104	104	108	110	113	117	120	126

表-2.10 交通量別限界車頭間隔

交通量(台/h) (1車線当たり)	300	400	500	600	800	1000	1200
速度(Km/h)	54.8	53.5	52.1	50.9	48.3	45.7	43.1
限界車頭間隔(m)	9.0	9.0	9.0	9.0	8.0	7.5	7.0
限界車頭時間(秒)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

図-2.17から図-2.16との関連で、交通量と限界車頭時間(限界車頭間隔/速度)との関係を求めることができ、その結果の一部は表-2.10に示すとおりである。

⑨ 最小受容ギャップは、車線変更車が車線変更が可能かどうかの判断基準となるもので、受容車線上の先行車と後続車の車間距離がこの値より大きければ車線変更行動が可能と判断される。本シミュレーションでは、最小受容ギャップを $2.0 \times \text{車長} + 1.0(\text{m})$ とする。従って、普通車で11m、大型車で16.3mとなる。また、最小受容ギャップの値については、第4章において実験計画法により車線変更必要距離に対する寄与率を求め、その値の変動による影響を吟味している。

⑩ 限界受容ギャップは、受容車線に前後ある一定の距離があれば、変更車は変更車線の走行車を意識しないで車線変更の挙動を起こせるものと考え。

車線変更時における両車線の速度差を25km/h (6.9 m/s) とすると、5秒間(車線変更に必要な時間)で進む距離はほぼ30mとなるので、ここではこの値を採用した。

⑪ 大型車の車頭間隔に対する割増しは、普通車の車長を4.39m、大型車の車長を7.04mとしているので、 $7.04 - 4.39 = 2.65(\text{m})$ を割増しとしている。

⑫ 大型車の受容ギャップに対する割増しは⑪と同様に2.65mとした。

⑬ 車線変更に伴う加速度は式(2.9)に示すとおりであるが、ここで用いられている定数 λ^* 、 μ^* 、 α^* については既存資料に⁵²⁾より表-2.11に示す値を用いる。

2) 車の発生

シミュレーション・モデルによる車の発生状況を時

表-2.11 加速度と減速度 (単位: m/S²)

車種	ケース	α		α^*
		λ^*	μ^*	
普通車	車線変更時	1.8	0.03	-1.5
	等速移行時	1.6	0.03	-2.0
大型車	車線変更時	1.6	0.03	-2.0
	等速移行時	1.4	0.03	-2.5

間交通量650台における発生車の車頭時間により、理論による車の発生状況と比較すると図-2.18である。

理論解に比べ、シミュレーション解の車頭時間がやや大きな値となっているが、ほぼ類似した傾向を示した。

3) 車線変更挙動

シミュレーションに基づいた自動車の車線変更挙動を、前方のギャップに加速して移動した例について示すと図-2.19である。この図は右から左に走行する車輛が第2車線(上方)から第1車線(下方)に移行する状況を、0.5秒ごとに車輛群の位置関係で示したものである。

次に、車線変更を行った車輛の走行軌跡の分布を、交通量が変更車線700台/時、受容車線1,000台/時の場合についてプロッターにより図示したのが図-2.20である。この図では、右から左へ走行する車輛が第2車線(上方)から第1車線(下方)へ車線変更しているが、右の方(距離の小さい方)に減速車(点線)の車線変更が集中しているのが認められる。

4) 車線変更必要距離

車線変更必要距離を算出するためのシミュレーション・ケースは、一般幹線道路の交通条件を考慮して、表-2.12のように設定した。

シミュレーション・ケース No.1~No.12の各ケースについて、シミュレーションにより車線変更必要距離の分布を算出した。これを表-2.13~表-2.24に示す。表-2.25は、それぞれの車線変更必要距離の分布に対す

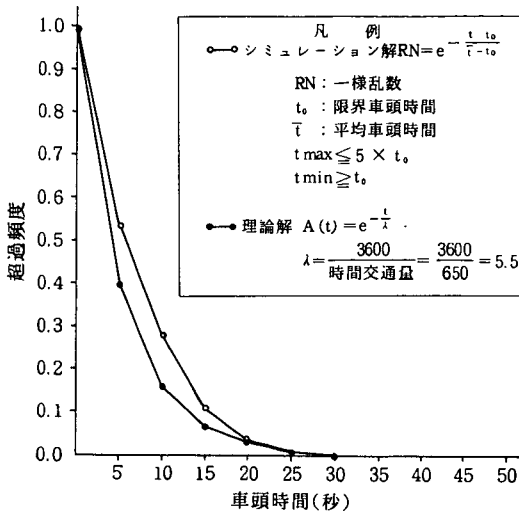


図-2-18 発生車の車頭時間 (変更車線)

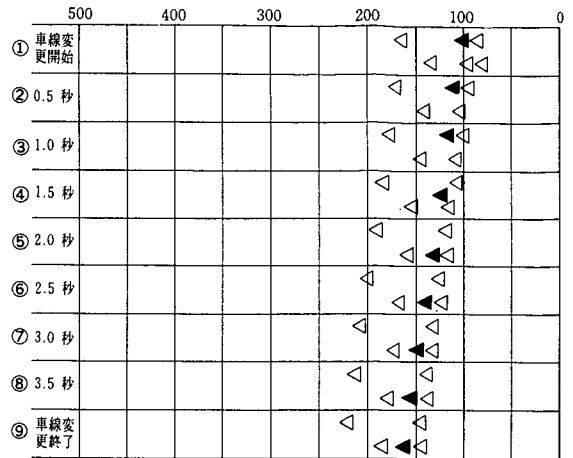


図-2-19 車線変更挙動 (シミュレーション)

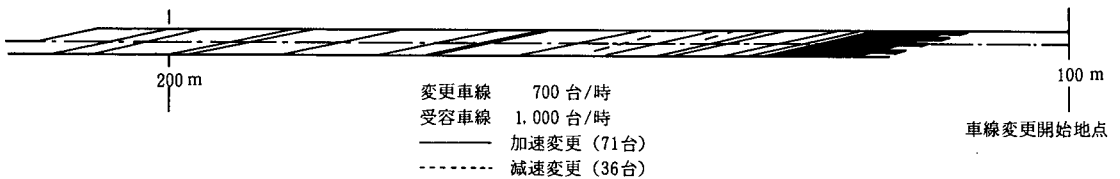


図-2-20 車線変更車の軌跡

る85パーセンタイル値と50パーセンタイル値を求めたものである。

また、表-2・26は変更車線の交通量がケース No.3 において350台/時及び450台/時の場合、ケース No.6 において450台/時及び500台/時の場合、No.9 において650台/時及び850台/時の場合の6ケースについて85パーセンタイル車線変更必要距離を算出したものである。

表-2・25及び表-2・26の結果を受容車線の交通量との関係で図示すると、図-2・21が得られる。この図から次のことが明らかになった。

① 85パーセンタイルの車線変更必要距離は、交通量が増加するに従って、従属的に増加する。

② その回帰式は式 (2・11) に示すとおりで、相関係数は $r = 0.965$ である。

$$L_{85} = 0.1014 Q_1 + 33.44 \dots \dots \dots (2 \cdot 11)$$

ここで、 L_{85} : 85パーセンタイルの車線変更必要距離

Q_1 : 受容車線の交通量 (台/時)

③ 50パーセンタイルの車線変更必要距離は、交通量が増加するに従ってやや従属的に増加するが、それ

ほど顕著ではない。

④ 50パーセンタイル値では、大型車混入率の大きい方が車線変更必要距離も大きくなるが、85パーセンタイル値ではその影響はほとんど認められない。

⑤ 受容車線の交通量が同じ場合でも、変更車線の交通量が異なると、車線変更必要距離に若干の変化が認められる。

(4) 車線変更観測調査

本節における調査は、図-2・7に示した手順により、自動車の運転者が交差点流入部付近において、案内標識の情報を得た後、車線変更を行う場合に、どの程度の距離が必要であるかを検討する資料を得るため実測を行うものである。

1) 調査地点

車線変更調査を実施する箇所は、交通量非常時観測調査が行われている一方2車線以上の単路区間で、調査区間全体にわたって道路交通条件がほぼ一定であることが望ましく、この条件に適合した箇所を近畿地域で1箇所、東北地域で1箇所を表-2・27のとおり選定した。

2) 調査対象運転者

表-2-12 シミュレーション・ケース

ケース No	変 更 車 線		受 容 車 線		大型車の混入率(%)	車線変更率
	交通量(台/時)	速 度(km/時)	交通量(台/時)	速 度(km/時)		
1	250	55.43	300	54.78	14.04	0.149
2	350	54.13	400	53.48	14.04	0.149
3	400	53.48	500	52.18	14.04	0.149
4	450	52.83	600	50.88	14.04	0.149
5	550	51.53	700	49.59	14.04	0.149
6	600	50.88	800	48.29	14.04	0.149
7	650	50.23	900	46.99	14.04	0.149
8	700	49.59	1000	45.69	14.04	0.149
9	750	48.94	1100	44.39	14.04	0.149
10	900	46.99	1200	43.09	14.04	0.149
11	700	49.59	1000	45.69	4.4	0.149
12	900	46.99	1200	43.09	4.4	0.149

表-2-13 車線変更距離度数分布 (その1)

TRAFFIC SIMULATION			QUANTITY-A=250.00(V/H)		ROAD WIDE	= 3.25(M)
NESSEARY DISTANCE			-P=300.00(V/H)		LEAST GAP	=11.00(M)
TIME=14400.0(SEC)			I.VELOCITY-A= 15.34(M/S)		LIMIT BIRTH TIME	= 0.60(S)
CHANGE VEIHCLE=153(V)			-P= 15.22(M/S)		PATIO (A-P)	= 0.15
					PATIO (LARGE)	= 0.14
No	LOW(NE.M)	HIGH(EQ.M)	FREQUENCY	PERCENT	T.PERCENT	HISTOGRAM
1	0	15	0	0	0	
2	15	30	0	0	0	
3	30	45	73	47	47	=====
4	45	60	36	23	71	=====
5	60	75	24	15	86	=====
6	75	90	14	9	96	=====
7	90	120	1	0	96	
8	120	150	0	0	96	
9	150	180	0	0	96	
10	180	210	0	0	96	
11	210	240	0	0	96	
12	240	270	0	0	96	
13	270	300	0	0	96	
14	300	350	0	0	96	
15	350	400	1	0	97	
16	400	450	0	0	97	
17	450	500	4	2	100	—

表-2-14 車線変更距離度数分布 (その2)

TRAFFIC SIMULATION			QUANTITY-A=350.00(V/H)		ROAD WIDE	= 3.25(M)
NESSEARY DISTANCE			-P=400.00(V/H)		LEAST GAP	=11.00(M)
TIME=14400.0(SEC)			I.VELOCITY-A= 15.04(M/S)		LIMIT BIRTH TIME	= 0.60(S)
CHANGE VEIHCLE=198(V)			-P= 14.86(H/S)		PATIO (A-P)	= 0.15
					PATIO (LARGE)	= 0.14
No	LOW(NE.M)	HIGH(EQ.M)	FREQUENCY	PERCENT	T.PERCENT	HISTOGRAM
1	0	15	0	0	0	
2	15	30	0	0	0	
3	30	45	98	49	49	=====
4	45	60	30	15	64	=====
5	60	75	37	18	83	=====
6	75	90	18	9	92	=====
7	90	120	0	0	92	
8	120	150	1	0	92	
9	150	180	0	0	92	
10	180	210	0	0	92	
11	210	240	1	0	93	
12	240	270	1	0	93	
13	270	300	0	0	93	
14	300	350	2	1	94	—
15	350	400	0	0	94	
16	400	450	1	0	95	
17	450	500	9	4	100	=====

表-2・15 車線変更距離度数分布 (その 3)

TRAFFIC SIMULATION			QUANTITY-A = 400.00(V/H)			ROAD WIDE = 3.25(M)		
NESSESARY DISTANCE			-P = 500.00(V/H)			LEAST GAP = 11.00(M)		
			I. VELOCITY-A = 14.86(M/S)			LIMIT BIRTH TIME = 0.60(S)		
TIME=13200.0(SEC)			-P = 14.49(M/S)			RATIO(A-P) = 0.15		
CHANGE VEIHCLE=215(V)						RATIO(LARGE) = 0.14		
No	LOW(NE.M)	HIGH(EQ.M)	FREQUENCY	PERCENT	T. PERCENT	HISTOGRAM		
1	0	15	0	0	0			
2	15	30	0	0	0			
3	30	45	101	46	46			
4	45	60	25	11	58			
5	60	75	61	28	86			
6	75	90	6	2	89			
7	90	120	1	0	90			
8	120	150	1	0	90			
9	150	180	2	0	91			
10	180	210	1	0	92			
11	210	240	1	0	92			
12	240	270	3	1	93			
13	270	300	1	0	94			
14	300	350	4	1	96			
15	350	400	3	1	97			
16	400	450	0	0	97			
17	450	500	5	2	100			

表-2・16 車線変更距離度数分布 (その 4)

TRAFFIC SIMULATION				QUANTITY-A = 450.00(V/H)		ROAD WIDE = 3.25(M)	
NESSESARY DISTANCE				-P = 600.00(V/H)		LEAST GAP = 11.00(M)	
				I. VELOCITY-A = 14.68(M/S)		LIMIT BIRTH TIME = 0.60(S)	
TIME=14400.0(SEC)				-P = 14.13(M/S)		RATIO(A- P) = 0.15	
CHANGE VEIHCLE=275(V)						RATIO(LARGE) = 0.14	
No	LOW (NE.M)	HIGH (EQ.M)	FREQUENCY	PERCENT	T. PERCENT	HISTOGRAM	
1	0	15	0	0	0		
2	15	30	0	0	0		
3	30	45	40	14	14		
4	45	60	93	33	48		
5	60	75	93	33	82		
6	75	90	12	4	86		
7	90	120	9	3	89		
8	120	150	2	0	90		
9	150	180	5	1	92		
10	180	210	2	0	93		
11	210	240	3	1	94		
12	240	270	3	1	95		
13	270	300	2	0	96		
14	300	350	4	1	97		
15	350	400	1	0	97		
16	400	450	2	0	98		
17	450	500	4	1	100		

表-2・17 車線変更距離度数分布 (その 5)

TRAFFIC SIMULATION			QUANTITY-A = 550.00(V/H)			ROAD WIDA = 3.25(M)		
NESSESARY DISTANCE			-P = 700.00(V/H)			LEAST GAP = 11.00(M)		
TIME=13200.0(SEC)			I. VELOCITY-A = 14.31(M/S)			LIMIT BIRTH TIME = 0.60(S)		
CHANGE VEIHCLE=302(V)			-P = 13.78(M/S)			RATIO(A-P) = 0.15		
						RATIO(LARGE) = 0.14		
No	LOW(NE.M)	HIGH(EQ.M)	FREQUENCY	PERCENT	T. PERCENT	HISTOGRAM		
1	0	15	0	0	0			
2	15	30	0	0	0			
3	30	45	61	20	20			
4	45	60	68	22	42			
5	60	75	112	37	79			
6	75	90	19	6	86			
7	90	120	4	1	87			
8	120	150	3	1	88			
9	150	180	6	1	90			
10	180	210	4	1	91			
11	210	240	5	1	93			
12	240	270	2	0	94			
13	270	300	0	0	94			
14	300	350	4	1	95			
15	350	400	3	1	96			
16	400	450	3	1	97			
17	450	500	8	2	100			

表-2・18 車線変更距離度数分布(その6)

TRAFFIC SIMULATION			QUANTITY-A = 600.00(V/H)		ROAD WIDE = 3.25(M)	
NESSESARY DISTANCE			-P = 800.00(V/H)		LEAST GAP = 11.00(M)	
TIME = 7200.0(SEC)			I. VELOCITY-A = 14.13(M/S)		LIMIT BIRTH TIME = 0.60(S)	
CHANGE VEIHCLE = 171(V)			-P = 13.41(M/S)		RATIO(A-P) = 0.15	
					RATIO(LARGE) = 0.14	
No	LOW(NE.M)	HIGH(EQ.M)	FREQUENCY	PERCENT	T. PERCENT	HISTOGRAM
1	0	15	0	0	0	
2	15	30	0	0	0	
3	30	45	20	11	11	=====
4	45	60	61	35	47	=====
5	60	75	51	29	77	=====
6	75	90	15	8	85	=====
7	90	120	1	0	86	
8	120	150	2	1	87	-
9	150	180	1	0	86	
10	180	210	5	2	91	=====
11	210	240	5	2	94	=====
12	240	270	5	2	97	=====
13	270	300	0	0	97	
14	300	350	2	1	98	-
15	350	400	1	0	98	
16	400	450	2	1	100	-
17	450	500	0	0	100	

表-2・19 車線変更距離度数分布(その7)

TRAFFIC SIMULATION			QUANTITY-A = 650.00(V/H)		ROAD WIDA = 3.25(M)	
NESSESARY DISTANCE			-P = 900.00(V/H)		LEAST GAP = 11.00(M)	
TIME = 7200.0(SEC)			I. VELOCITY-A = 13.93(M/S)		LIMIT BIRTH TIME = 0.60(S)	
CHANGE VEIHCLE = 189(V)			-P = 13.05(M/S)		RATIO(A-P) = 0.15	
					RATIO(LARGE) = 0.14	
No	LOW(NE.M)	HIGH(EQ.M)	FREQUENCY	PERCENT	T. PERCENT	HISTOGRAM
1	0	15	0	0	0	
2	15	30	0	0	0	
3	30	45	21	11	11	=====
4	45	60	73	38	49	=====
5	60	75	40	21	70	=====
6	75	90	19	10	80	=====
7	90	120	2	1	82	-
8	120	150	10	5	87	=====
9	150	180	7	3	91	=====
10	180	210	6	3	94	=====
11	210	240	5	2	96	=====
12	240	270	3	1	98	-
13	270	300	0	0	98	
14	300	350	0	0	98	
15	350	400	1	0	98	
16	400	450	2	1	100	-
17	450	500	0	0	100	

表-2・20 車線変更距離度数分布(その8)

TRAFFIC SIMULATION			QUANTIOY-A = 700.00(V/H)		ROAD WIDE = 3.25(M)	
NESSESARY DISTANCE			-P = 1000.00(V/H)		LEAST GAP = 11.00(M)	
TIME = 7200.0(SEC)			I. VELOCITY-A = 13.78(M/S)		LIMIT BIRTH TIME = 0.60(S)	
CHANGE VEIHCLE = 205(V)			-P = 12.69(M/S)		RATIO(A-P) = 0.15	
					RATIO(LARGE) = 0.14	
No	LOW(NE.M)	HIGH(EQ.M)	FREQUENCY	PERCENT	T. PERCENT	HISTOGRAM
1	0	15	0	0	0	
2	15	30	0	0	0	
3	30	45	9	4	4	=====
4	45	60	84	40	45	=====
5	60	75	40	19	64	=====
6	75	90	22	10	75	=====
7	90	120	14	6	82	=====
8	120	150	11	5	87	=====
9	150	180	7	3	91	=====
10	180	210	5	2	93	-
11	210	240	2	0	94	-
12	240	270	0	0	94	
13	270	300	4	1	96	-
14	300	350	3	1	98	-
15	350	400	4	1	100	-
16	400	450	0	0	100	
17	450	500	0	0	100	

表-2・21 車線変更距離度数分布(その9)

TRAFFIC SIMULATION			QUANTITY-A = 750.00(V/H)			ROAD WIDE = 3.25(M)		
NESSESARY DISTANCE			-P = 1100.00(V/H)			LEAST GAP = 11.00(M)		
TIME=7200.0(SEC)			I. VELOCITY-A = 13.59(M/S)			LIMIT BIRTH TIME = 0.60(S)		
CHANGE VEIHCLE=221(V)			-P = 12.33(M/S)			RATIO(A-P) = 0.15		
						RATIO(LARGE) = 0.14		
No	LOW(NE.M)	HIGH(EQ.M)	FREQUENCY	PERCENT	T. PERCENT	HISTOGRAM		
1	0	15	0	0	0			
2	15	30	0	0	0			
3	30	45	5	2	2	—		
4	45	60	102	46	48	=====		
5	60	75	37	16	65	=====		
6	75	90	22	9	75	=====		
7	90	120	12	5	80	=====		
8	120	150	11	4	85	=====		
9	150	180	13	5	91	=====		
10	180	210	4	1	93	—		
11	210	240	3	1	94	—		
12	240	270	5	2	96	=====		
13	270	300	3	1	98	—		
14	300	350	3	1	99	—		
15	350	400	1	0	100			
16	400	450	0	0	100			
17	450	500	0	0	100			

表-2・22 車線変更距離度数分布(その10)

TRAFFIC SIMULATION			QUANTITY-A = 900.00(V/H)			ROAD WIDE = 3.25(M)		
NESSESARY DISTANCE			-P = 1200.00(V/H)			LEAST GAP = 11.00(M)		
TIME=7200.0(SEC)			I. VELOCITY-A = 13.05(M/S)			LIMIT BIRTH TIME = 0.60(S)		
CHANGE VEIHCLE=274(V)			-P = 11.97(M/S)			RATIO(A-P) = 0.15		
						RATIO(LARGE) = 0.14		
No	LOW(NE.M)	HIGH(EQ.M)	FREQUENCY	PERCENT	T. PERCENT	HISTOGRAM		
1	0	15	0	0	0			
2	15	30	0	0	0			
3	30	45	18	6	6	=====		
4	45	60	103	37	44	=====		
5	60	75	65	23	67	=====		
6	75	90	16	5	73	=====		
7	90	120	18	6	80	=====		
8	120	150	14	5	85	=====		
9	150	180	9	3	88	=====		
10	180	210	4	1	90	—		
11	210	240	6	2	92	=====		
12	240	270	7	2	94	=====		
13	270	300	5	1	96	=====		
14	300	350	2	0	97			
15	350	400	4	1	98	—		
16	400	450	3	1	100	—		
17	450	500	0	0	100			

表-2・23 車線変更距離度数分布(その11)

TRAFFIC SIMULATION			QUANTITY-A = 700.00(V/H)			ROAD WIDE = 3.25(M)		
NESSESARY DISTANCE			-P = 1000.00(V/H)			LEAST GAP = 11.00(M)		
TIME=7200.0(SEC)			I. VELOCITY-A = 13.78(M/S)			LIMIT BIRTH TIME = 0.60(S)		
CHANGE VEIHCLE=207(V)			-P = 12.69(M/S)			RATIO(A-P) = 0.15		
						RATIO(LARGE) = 0.04		
No	LOW(NE.M)	HIGH(EQ.M)	FREQUENCY	PERCENT	T. PERCENT	HISTOGRAM		
1	0	15	0	0	0			
2	15	30	0	0	0			
3	30	45	8	3	3	=====		
4	45	60	91	43	47	=====		
5	60	75	34	16	64	=====		
6	75	90	25	12	76	=====		
7	90	120	11	5	81	=====		
8	120	150	12	5	87	=====		
9	150	180	8	3	91	=====		
10	180	210	5	2	93	—		
11	210	240	2	0	94	—		
12	240	270	0	0	94			
13	270	300	0	1	96	—		
14	300	350	3	1	98	—		
15	350	400	4	1	100	=====		
16	400	450	0	0	100			
17	450	500	0	0	100			

表-2-24 車線変更距離度数分布(その12)

TRAFFIC SIMULATION			QUANTITY-A ≈ 900.00(V/H)			ROAD WIDE ≈ 3.25(M)		
NESSESARY DISTANCE			-P ≈1200.00(V/H)			LEAST GAP ≈11.00(M)		
			I. VELOCITY-A ≈ 13.05(M/S)			LIMIT BIRTH TIME ≈ 0.60(S)		
TIME=7200.0(SEC)			-P ≈ 11.97(M/S)			RATIO(A-P) ≈ 0.15		
CHANGE VEIHCLE=276(V)						RATIO(LARGE) ≈ 0.04		
No	LOW(NE.M)	HIGH(EQ.M)	FREQUENCY	PERCENT	T.PERCENT	HISTOGRAM		
1	0	15	0	0	0			
2	15	30	0	0	0			
3	30	45	16	5	5			
4	45	60	109	39	45			
5	60	75	63	22	68			
6	75	90	17	6	74			
7	90	120	19	6	81			
8	120	150	13	4	85			
9	150	180	8	2	88			
10	180	210	3	1	89			
11	210	240	9	3	93			
12	240	270	5	1	94			
13	270	300	5	1	96			
14	300	350	2	0	97			
15	350	400	4	1	98			
16	400	450	3	1	100			
17	450	500	0	0	100			

表-2-25 各ケースの車線変更必要距離(その1)

ケースNo	50パーセンタイル 必要距離(m)	85パーセンタイル 必要距離(m)
1	47	74
2	46	78
3	50	75
4	61	86
5	63	88
6	68	115
7	68	138
8	64	138
9	62	150
10	64	150
11	63	138
12	63	150

表-2-26 各ケースの車線変更必要距離(その2)

ケースNo	変更車線の 交通量(台/時)	85パーセンタイル 必要距離(m)
3	350	88
	450	83
6	450	114
	500	115
9	650	140
	850	150

表-2-27 車線変更観測調査地点

地 域	近 畿	東 北
場 所	神戸市須磨浦地区	仙台市福室地内
道 路 種 類	一般国道2号	一般国道45号
車 線 数	4車線	4車線
規 制 速 度	60km/時	50km/時

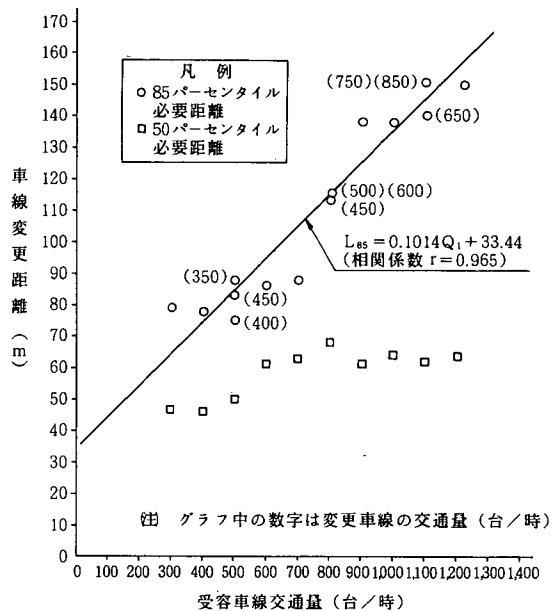


図-2-21 交通量と車線変更必要距離との関係

被保険者としての運転者は一箇所当たり38人とし、運転技術、運転感覚などの要因を考慮して、その性別及び実務運転経験年数の構成を表-2-28のように設定した。

3) 調査方法

調査区間を図-2-22(a)のように設定し、調査員が被保険者の車両に同乗して次の手順により調査を行った。

- ① 出発点Pから車線変更開始点Qまでの距離を800m以上とる。また車線変更測定区間は約200mとする。
- ② 被保険者は出発点より運転を開始し、交通流に

入って走行を続ける。

- ③ 被験者に対しては車線変更開始点Qを知らせない。
- ④ 同乗している調査員の「車線変更開始、の指示で、被験者は車線変更のための動作に入る。同時に調査員は車線変更動作に入った地点Qの位置を、路側に設置した距離表示板により確認する。

表-2・28 調査対象運転者構成(1箇所当り)

性別	車種	実務運転経験年数					計
		1年以内	1年～3年	4年～7年	8年～12年	13年以上	
男	普通	4人	4人	4人	4人	4人	20人
	大型	0	2	2	2	2	8
女	普通	2	2	2	2	2	10
	大型						
合 計							38

注) 普通車 1200cc 乗用車, 1900cc バン
大型車 6t, 8t 貨物車

- ⑤ 被験者は、安全運転を心がけて、車線変更をする。
- ⑥ 被験者が完全に車線変更を終えた点Fの位置を調査員は距離表示板により確認する。
- ⑦ Q地点とF地点との間の距離を算出し、その実験での車線変更必要距離とする。
- ⑧ 調査回数は被験者1人当たり10回(総数1箇所当たり380回)とするが、同一被験者を連続して調査しない。

4) 調査内容

車線変更距離のほか、自動車の走行速度、交通量も測定する。

交通量は5分間観測とする。

調査表の様式を表-2・29に示す。

また、自動車の走行速度及び交通量の測定位置を図-2・22(b)に示した。

5) 調査結果

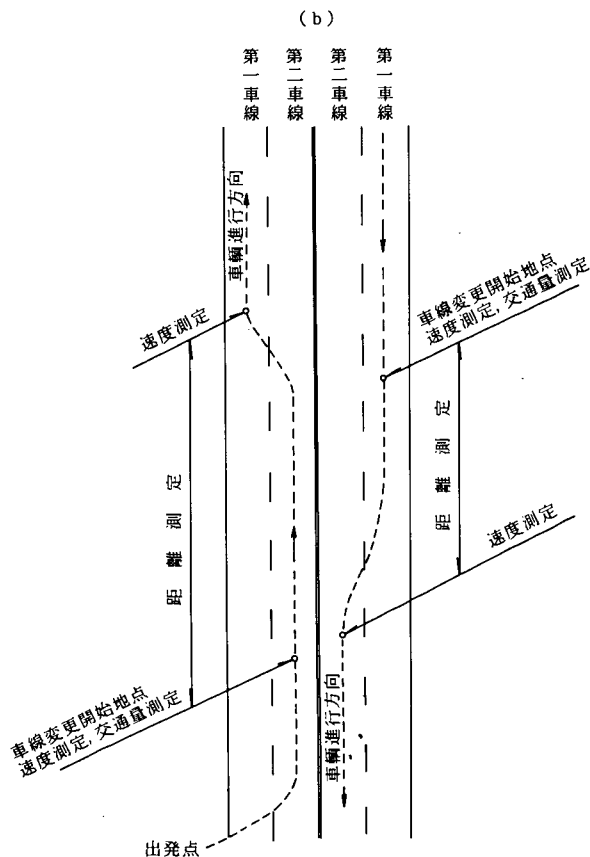
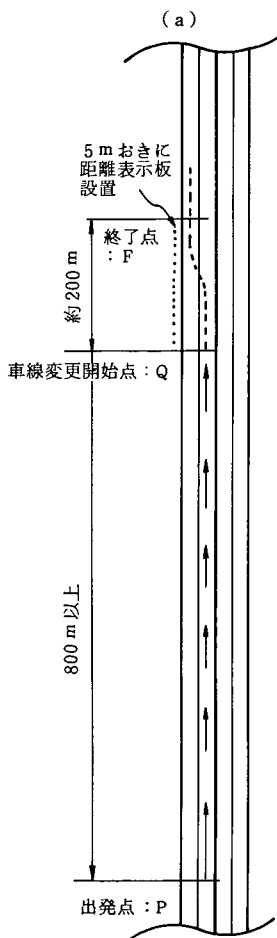


図-2・22 車線変更調査要領図

表-2・29 車線変更挙動測定調査表

年 月 日 天候										
被経験者名	性別	運転 経験 年数	車線変更開始 地点の速度 (km/hr)	F点の速度 (km/hr)	調査 時刻	交通量 (台数/ 5分)	車線変更 必要距離 (m)	車種	調査 員名	備考

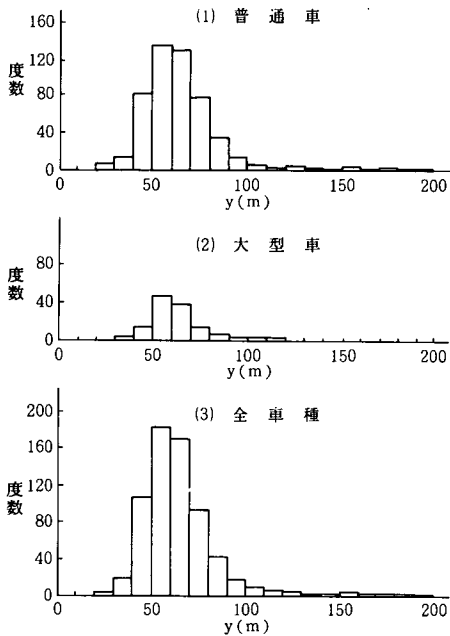


図-2・23 車種別車線変更距離度数分布 (近畿地域)

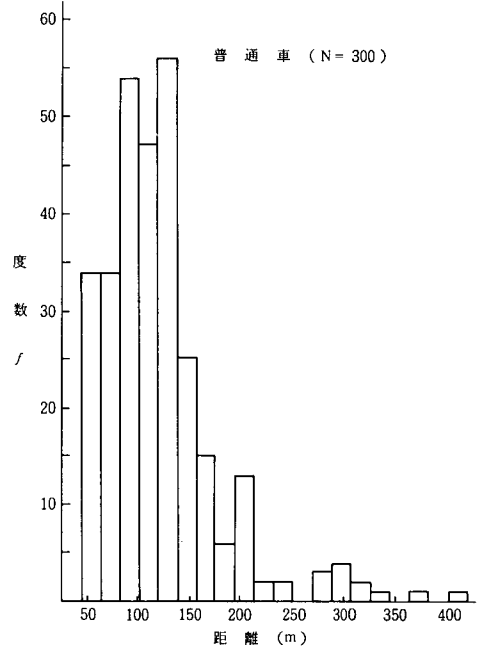


図-2・24 (1) 車種別車線変更距離度数分布 (東北地域)

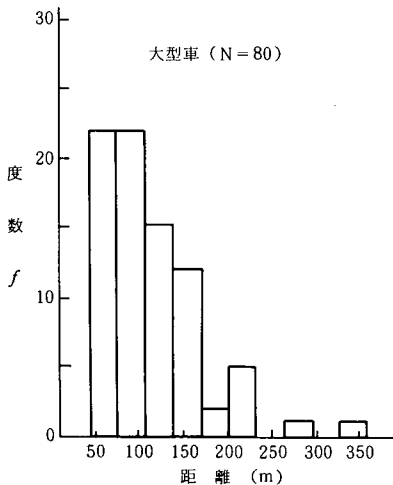


図-2・24 (2) 車種別車線変更距離度数分布 (東北地域)

前述の調査方法、調査内容に基づく車線変更必要距離の度数分布を地域別、車種別の実測値について図示すると、図-2・23及び図-2・24である。

(5) 車線変更必要距離の吟味

本節では、シミュレーションモデルにより算出した車線変更必要距離と前節で集計した実測値との比較を行う。

まず前節の車線変更調査の実測結果より、時間交通量1,100台付近のデータの必要距離度数分布を求めると、図-2・25のようになる。

次に、シミュレーションにより時間交通量1,100台における車線変更必要距離の度数分布を求めると表-2・30が得られる。

図-2・25及び表-2・30の累加百分率を図-2・26に示す。

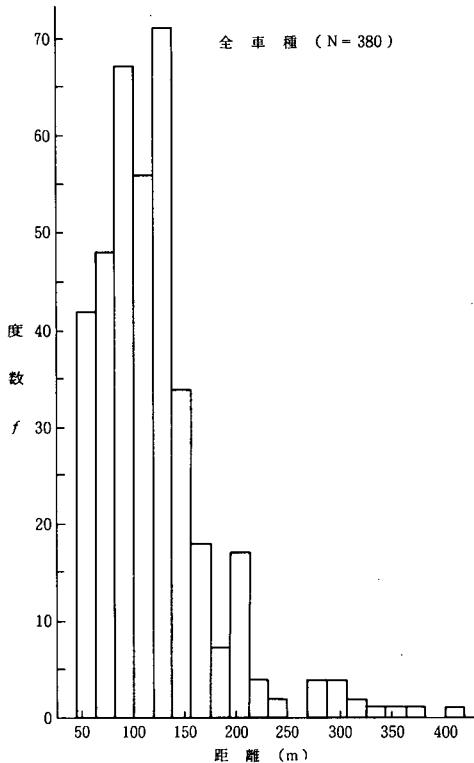


図-2-24 (3) 車種別車線変更距離度数分布(東北地域)

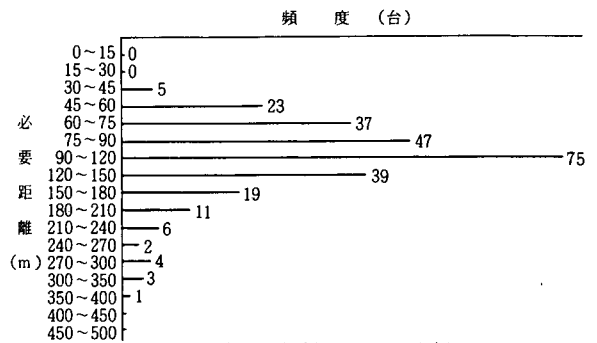
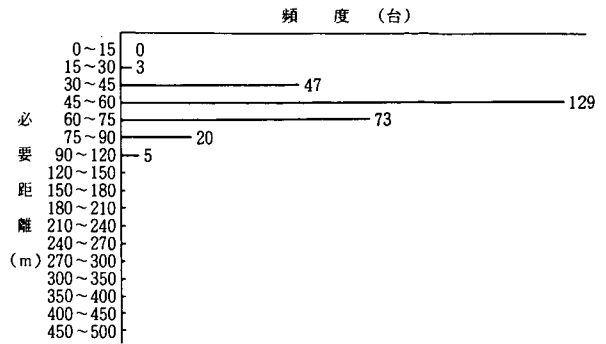


図-2-25 車線変更距離度数分布図

表-2-30 車線変更距離度数分布(シミュレーション)

TRAFFIC SIMULATION					QUANTITY-A = 450.00(V/H)		ROAD WIDE = 3.25(M)	
NESSEARY DISTANCE					-P=650.00(V/H)		LEAST GAP = 11.00(M)	
TIME=14400.0(SEC)					I.VELOCITY-A = 14.68(M/S)		LIMIT BIRTH TIME = 0.60(S)	
CHANGE VEHICLE=274(V)					-P= 13.93(M/S)		RATIO (A-P) = 0.15	
							RATIO (LARGE) = 0.14	
No	LOW(NE.M)	HIGH(EQ.M)	FREQUENCY	PERCENT	T.PERCENT	HISTOGRAM		
1	0	15	0	0	0			
2	15	30	0	0	0			
3	30	45	17	6	6			
4	45	60	100	36	42			
5	60	75	88	32	74			
6	75	90	21	7	82			
7	90	120	9	3	85			
8	120	150	4	1	87			
9	150	180	6	2	89			
10	180	210	5	1	91			
11	210	240	6	2	93			
12	240	270	6	2	95			
13	270	300	3	1	96			
14	300	350	3	1	97			
15	350	400	1	0	98			
16	400	450	5	1	100			
17	450	500	0	0	100			

また、車線変更必要距離の実測値とシミュレーション値の分布におけるパーセンタイル値を比較したものを図-2-27に示す。これらの結果から次のことが明らかになった。

- ① シミュレーション値は、近畿地域と東北地域の実測値の間にあって近畿地域に近い値を示している。
- ② シミュレーション値から150mを超えて車線変

更するものを省いたものは、近畿地域のデータにほぼ近似している。

- ③ 東北地域のデータは全般的に必要な距離が大きいが、150mを超えるものについてはシミュレーション値に近い。

- ④ 85パーセンタイルの車線変更必要距離についてみると、シミュレーション値と東北地域の実測値がよ

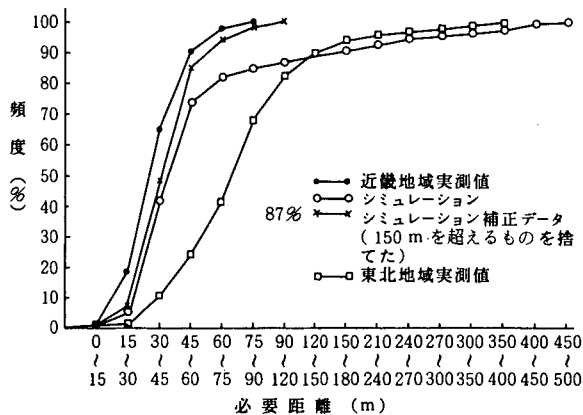


図-2・26 累加百分率（車線変更距離度数）

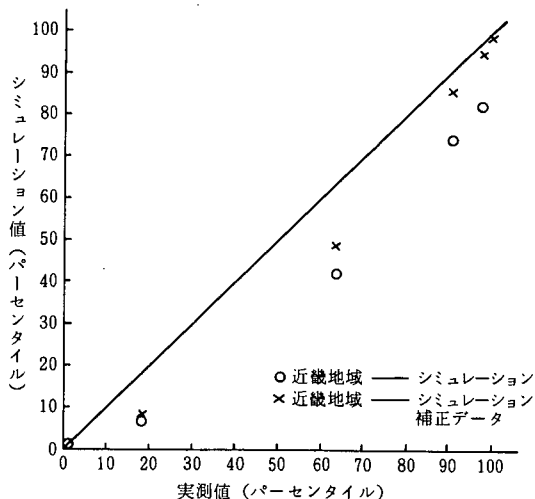


図-2・27 シミュレーション値と実測値との比較

表-2・31 車線変更の方向別必要距離

車 種	変更方向	第1車線→第2車線	第2車線→第1車線	平均値の差の検定
		変更距離 標準偏差	変更距離 標準偏差	
普通車	変更距離 標準偏差	121.4m 60.51	119.3m 52.69	危険率5%で差なし。
大型車	変更距離 標準偏差	122.3 62.78	114.0 42.54	

く一致しており、近畿地域の実測値はシミュレーション値よりも小さい値を示している。従って、案内標識の設置計画の際に用いる車線変更必要距離については、シミュレーションによる85パーセンタイル値を設定しておけば安全側になっていると考えられる。

次に、本節では、第2車線から第1車線への車線変更挙動（左折の場合）を研究対象としたが、これとは逆の第1車線から第2車線への車線変更挙動（右折の場合）における車線変更必要距離について東北地域において実測した結果は、表-2・31に示すとおりである。これらのデータより、第1車線から第2車線への車線変更必要距離と第2車線から第1車線への車線変更必要距離との間に有意な差が認められるかどうかを統計的に検討した結果両者に特に有意な差は認められなかった。従って、第2車線から第1車線への車線変更挙動のみを代表させてさしつかえない。

(6) 結 語

車線変更シミュレーションモデルを作成し、車線変更必要距離に関する検討を行った。

1) 車線変更必要距離は、車線変更開始時の車線変更車と他の車との位置関係などによって大きく影響を受けるため、ある値（平均値）を中心になんかなり広範に

わたり分布する。

2) 車線変更必要距離のシミュレーション値と実測値は、その度数分布においてかなりの一致を示している。85パーセンタイル値については、シミュレーション値が実測値よりも若干大きいので、案内標識の設置計画に際しては、シミュレーション値による85パーセンタイル値を車線変更必要距離として設定するのが望ましいと考えられる。

3) 85パーセンタイル値（シミュレーション値）と受容車線の時間交通量との相関関係はきわめて高く、時間交通量が増加すると85パーセンタイル値もそれに比例して大きくなるという関係が認められた。この回帰式については式(2・11)に示すとおりである。

4) 50パーセンタイル値（シミュレーション値）については、大型車の混入による影響が見受けられる。すなわち大型車混入率が大きくなると、50パーセンタイル値は増加する。しかし、85パーセンタイル値（シミュレーション値）の大型車の混入による影響はほとんど認められない。

〔3〕 方向変更のための挙動

(1) 概 説

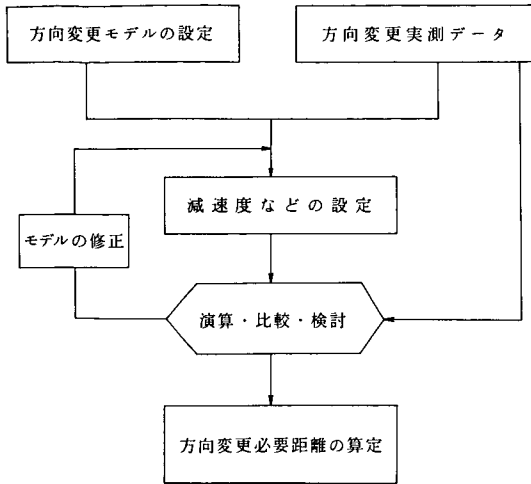


図-2-28 方向変更必要距離の算定手順

本節では、交差点に接近した自動車が安全に左折又は右折する場合に、その挙動に必要な距離は交通流の要素に対して、どのように変化するかを検討する。

その手順は図-2-28に示すとおり、まず、方向変更挙動のモデルの設定を行い、次に、実際の道路における方向変更の観測調査結果からモデルに用いるべき減速度などの値を求め、方向変更必要距離の算出式を設定した。最後に実測データによる算出式の吟味を行い、その実用性を確かめた。

(2) 方向変更の考え方

交差点で左折（又は右折）しようとする自動車が、一旦停車することなく、安全に運転者の意志どおりに方向変更する場合の挙動形式を図-2-29のように考える。（一方2車線の場合の図である）すなわち、走行速度 V_a で、交差点に接近してきた自動車の運転者は、A点で情報を理解し、B点で情報に基づく動作を開始するまで、反応時間 τ_1 秒だけそのまま走行する。さらに、この後に方向変更を起こすための減速を τ_2 秒行うとする。ある目的速度 V_p に達した時からクロソイド曲線の軌跡を描きながら、方向変更を行う。方向変更を行いながらも、なお必要に応じて減速すると考えられる。方向変更により、自動車が走行してきた車道の路側の延長線を切る点をDとし、D点の速度を V_e とすれば、方判変更に要する距離 $\overline{AD}$ は、次のように求められる。ただし、距離 $\overline{CD}$ とC、D間の自動車の走行距離とを同一視した。

$$S_1 = V_a \tau_1 \quad \dots\dots\dots (2\cdot12)$$

$$S_2 = \frac{1}{2a_1} \{ V_a^2 - V_p^2 \} \quad \dots\dots\dots (2\cdot13)$$

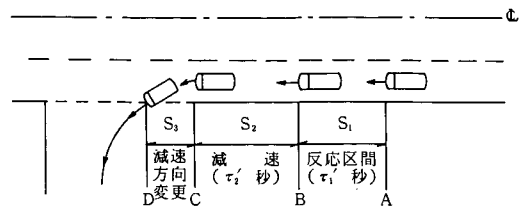


図-2-29 方向変更挙動図

表-2-32 方向変更調査箇所

地 域	近 畿 地 域	東 北 地 域
地 名	兵庫県小野市 古川町地内	宮城県黒川郡 大和町地内
道路の 種 類	一般国道175号	東北自動車道 鶴の巣PA
車線数	2 車 線	4 車 線

$$S_3 = \frac{1}{2a_2} \{ V_p^2 - V_e^2 \} \quad \dots\dots\dots (2\cdot14)$$

$$\overline{AD} = V_a \tau_1 + \frac{1}{2a_1} \{ V_a^2 - V_p^2 \} \\ + \frac{1}{2a_2} \{ V_p^2 - V_e^2 \} \quad \dots\dots\dots (2\cdot15)$$

設置計画上は方向変更は車線変更に継続して行われると考えるべきであるので、第1項は省略できる。

また、減速度をBC区間及びCD区間について同一 ($a = a_1 = a_2$) と考えると式 (2・15) は式 (2・16) となる。

$$\overline{AD} = \frac{1}{2a} (V_a^2 - V_e^2) \quad \dots\dots\dots (2\cdot16)$$

式 (2・16) は式 (2・1) の第2項に相当する。

(3) 方向変更観測調査

交差点における安全な方向変更に必要な距離と交通条件との関連を実際の道路上において調査した。

1) 調査箇所

方向変更調査のため、表-2-32に示す近畿地域1箇所、東北地域1箇所を設定した。

調査箇所は、図-2-30のように車道に沿って間口200m以上奥行20m以上の広場が存在する場所を選定しており、この広場を利用して方向変更を行うこととしている。

2) 調査対象運転者

方向変更調査の対象とした運転者数は、1地域当たり38人でその構成を表-2-33に示す。

3) 調査の手順

方向変更観測調査の手順はおおむね次のとおりである。

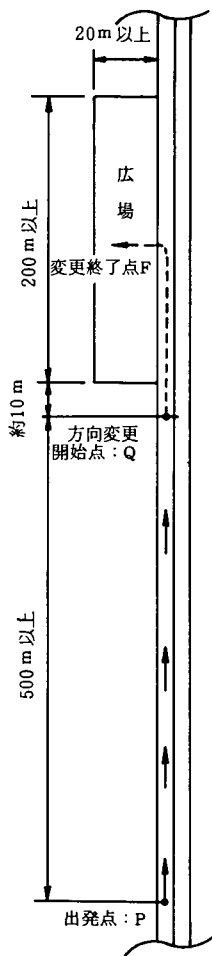


図-2・30 方向変更調査箇所の概要

表-2・33 方向変更調査対象運転者構成（1地域当り）

運転経験年数別人数表							
性別	車種	1年以内	1～3	4～7	8～12	13年以上	計
男	普通車	4人	4人	4人	4人	4人	20人
	大型車	2	2	2	2	2	8
女	普通車	2	2	2	2	2	10
合 計							38

表-2・34 方向変更挙動測定調査表

年 月 日 天候								
被験者名	性別	運転経験年数	方向変更開始地点の速度 (km/hr)	F点の速度 (km/hr)	方向変更必要距離 (m)	車種	調査員名	備考

- ① 出発点Pから広場端までの距離は500m以上とする。
- ② 被験者は出発点より運転を開始し、走行する。
- ③ 広場の手前10m付近を方向変更開始点Qとする。被験者に対しては、この地点を知らせない。
- ④ 同乗している調査員の「方向変更開始」の指示で、ドライバーは方向変更のための動作に入る。同時に調査員は動作開始地点Qの位置を確認する。
- ⑤ 被験者は路肩にはぎりぎりまで他車線或は建物があると想定して直角にしかも安全に方向変更する。
- ⑥ 被験者が完全に方向変更を終えた点Fの位置を確認する。
- ⑦ QとFとの間の距離を測定し、これを方向変更必要距離とする。
- ⑧ 実験は被験者1人当たり10回行ったが、同一被験者を連続しては実験しない。

4) 調査内容

方向変更観測調査における測定事項には、方向変更距離のほか、地点Q及び地点Fにおける走行速度も含まれる。調査表の様式を表-2・34に示す。

5) 調査結果

図-2・31～図-2・34は両地域における、走行速度（方向変更開始時速度）と方向変更必要距離の散布図を車種別に示したものである。

(4) 方向変更必要距離の算出とその吟味

近畿地建の調査結果から、〔2〕.(2)の方向変更の考え方にそって方向変更必要距離の算出モデルを検討・作成し、そのモデルによる算出値の吟味を東北地建の調査結果と比較しながら行うことにする。

式(2・16)における減速度 α の値について近畿地建における調査実側値から、その度数分布を車種別に示せば、図-2・35である。設置計画上の減速度限界値を全車輛数の85パーセントを包容する15パーセンタイル値をとれば $\alpha = 1.07\text{m/sec}^2$ であり、方向変更必要距離 L_t は式(2・21)で求められることになる。

$$L_t = (V_a^2 - V_e^2) / 27.7 \dots\dots\dots (2\cdot17)$$

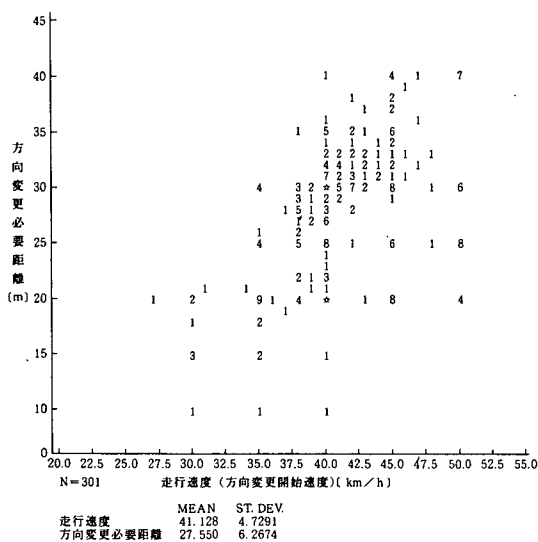


図-2-31 走行速度と方向変更必要距離
(近畿地建, 普通)

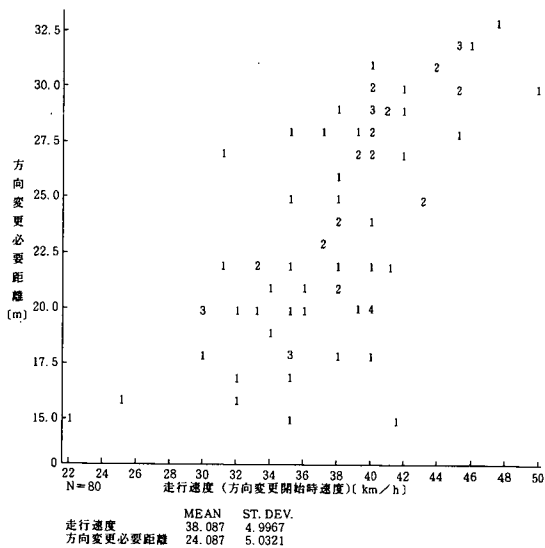


図-2-32 走行速度と方向変更必要距離
(近畿地建, 大型)

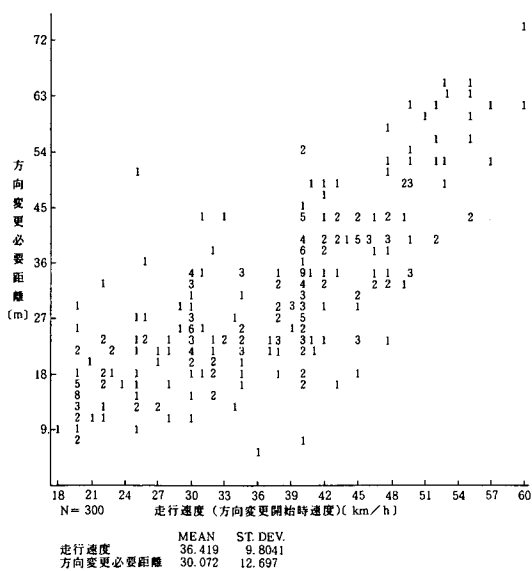


図-2-33 走行速度と方向変更必要距離
(東北地建, 普通)

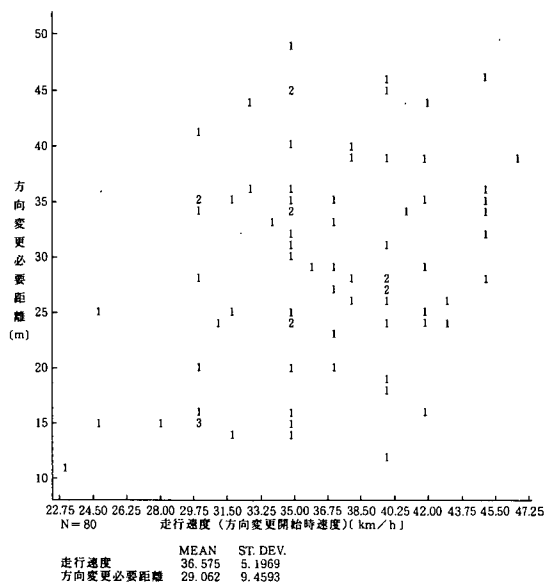


図-2-34 走行速度と方向変更必要距離
(東北地建, 大型)

V_e については、近畿地区におけるデータの回帰分析結果より走行速度が25~55km/hの範囲において走行速度 V_a と以下の関係があることがわかる (図-2-36)。

$$V_e = 0.63 V_a - 4.54 \dots\dots\dots (2-18)$$

この回帰式による方向変更終了時速度 V_e の100 (1 - α) %信頼区間における上・下限値はデータ数が十

分大きいので次式で表される。

$$\sup \text{ or } \inf V_e = V_e \pm z(1 - \frac{\alpha}{2}) \cdot s \dots\dots (2-19)$$

ここに, s : 標準偏差 (s^2 : 誤差分散)

いま, 信頼区間を70%に設定すれば V_e の下限値は式 (2-20) により求められる。

$$\inf V_e = 0.63 V_a - 11.40 \dots\dots\dots (2-20)$$

従って, 方向変更終了時速度の観測値は85%という

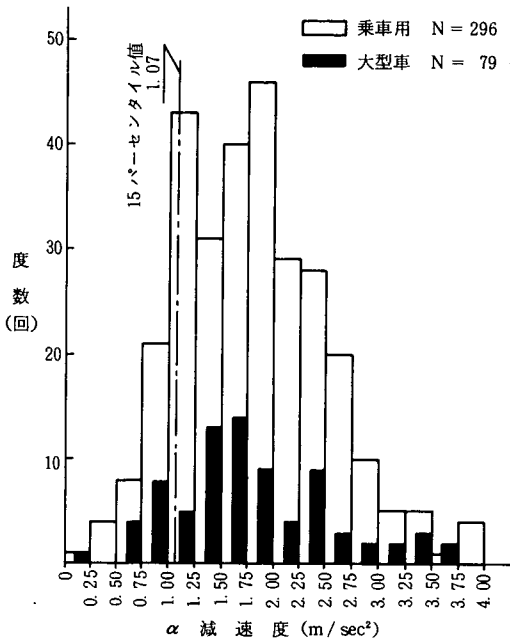


図-2・35 減速度の頻度分布

確率でこの下限値より高い値を示すことになる。式(2・20)を式(2・17)に代入すると次式が得られ、

$$L_t = \frac{V_a^2 - (0.63 V_a - 11.40)^2}{27.7} \\ = -4.7 + 0.519 V_a + 0.022 V_a^2 \quad \cdots (2 \cdot 21)$$

この式によって十分安全な方向変更必要距離が算定できると考えられる。

また、 V_e の速度限界値として、交差点手前において停止する場合を考えるならば $V_e = 0$ km/h であり、 L_t は以下のように求められる。

$$L_t = V_a^2 / 27.7 \\ = 0.036 V_a^2 \quad \cdots \cdots \cdots (2 \cdot 22)$$

東北地建における走行速度（方向変更開始時速度）と方向変更必要距離との散布図に式(2・21)、を示すと図-2・37のようになる。

この図により、走行速度が25km/hより小さい場合には式(2・21)によって算出される値を上回る方向変更必要距離が半分近く観測されるが、走行速度が25km/h以上の場合には、式(2・21)による算出値を上回る方向変更距離はほとんど観測されない。一般に走行速度として25km/hを上回る範囲を考慮しておけばよいので、式(2・21)は、方向変更必要距離の算定式として十

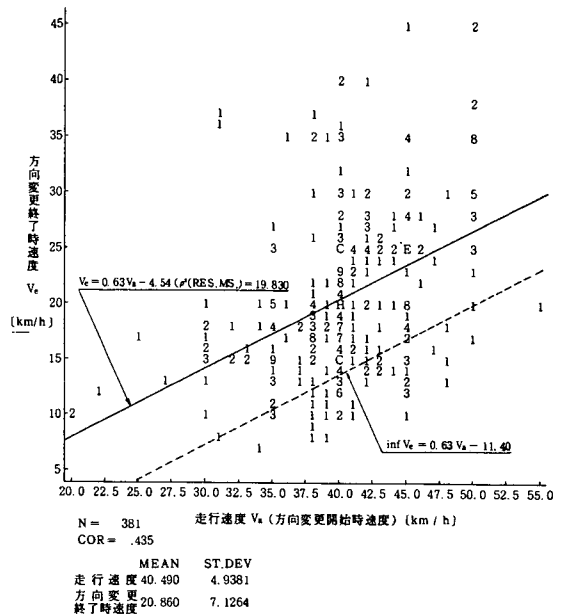


図-2・36 走行速度と方向変更終了時速度（近畿地建）

分に有用なものであると考えられる。

(5) 結 語

運動者が方向変更を安全に行う場合の挙動について調査した結果、以下のことが明らかになった。

1) 安全な減速度として $\alpha = 1.07$ m/sec²、安全な方向変更終了時速度は、走行速度が25~55km/hの範囲において走行速度により次式で与えられる。

$$V_e = 0.63 V_a - 11.4$$

2) 方向変更必要距離 L_t は次式で与えられ

$$L_t = \frac{V_a^2 - V_e^2}{2\alpha} = \frac{V_a^2 - V_e^2}{27.7}$$

方向変更終了時速度と走行速度の関係を上式に代入すれば、走行速度が25~55km/hの範囲では方向変更必要距離は次式により算出できる。

$$L_t = -4.7 + 0.519 V_a + 0.022 V_a^2$$

また、交差点で停止する場合には $V_e = 0$ であるから方向変更必要距離は次式により算出される。

$$L_t = 0.036 V_a^2$$

3) これらの方向変更必要距離の算定式は、走行速度が25~55km/hの範囲で十分に有用なものであることが認められる。

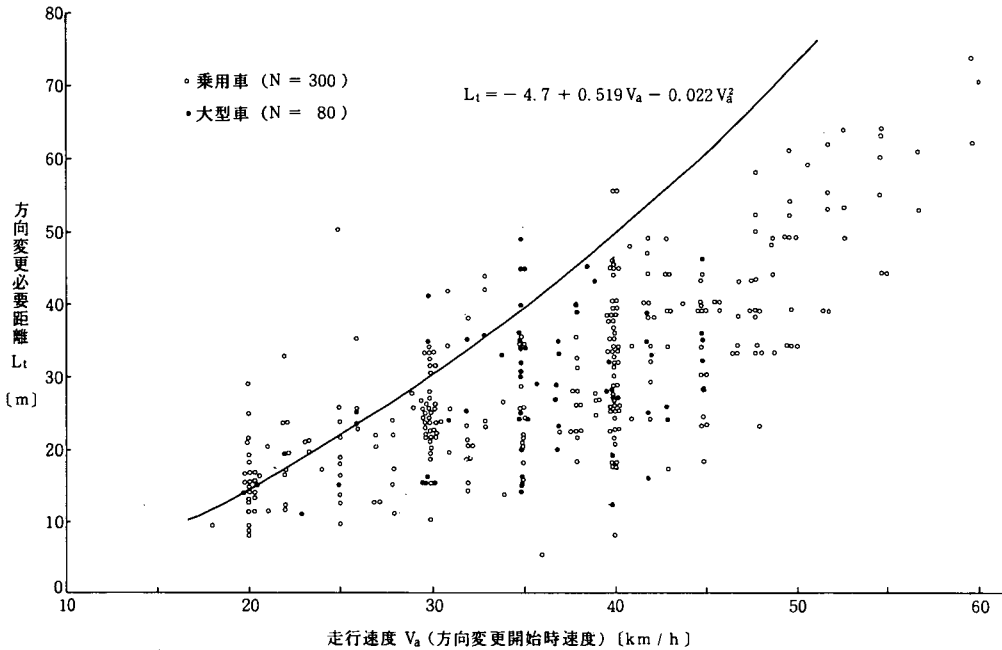


図-2・37 走行速度と方向変更必要距離の関係

〔4〕 設置位置と表示規模

(1) 概 説

本章の前節までにおいて、交差点流入部付近における運転者の運転行動として考えられる車線変更及び方向変更のために必要な距離を算定した。

本節では、これらの結果に基づいて交差点に設置する方面、方向の案内標識が満足せねばならない設置位置（先行距離）と表示規模（拡大率）との関係を明らかにする。そして、この条件と現実に設置されている案内標識における両者の関係とを対比させ、その適否を評価する。このため、まず案内標識の設置位置と表示規模の必要条件について述べる。

次に、現実の道路に設置された案内標識の設置位置と表示規模についての調査について述べ、最後に、シミュレーション結果などに基づく両者の満足すべき関係を交通量ごとに求めると共に、現実に設置されている案内標識の状態と対比する。

(2) 設置位置と表示規模の必要条件

交差点に設置する方面・方向などの案内標識の設置位置と大きさとの間には、運転者が標識の情報を得てから交差点に入るまでに安全かつ円滑な運転行動を取り得ることを考慮した条件のもとにある相関を有する。この点から式 (2・1) 及び式 (2・2) を案内標識の

設置場所に関する変数 D （先行距離） d （運転者の眼の位置から案内標識までの側方又は上方距離）について整理すれば、

$$D \geq (n-1)L^* + \frac{1}{2a}(V_a^2 - V_e^2) + t' \cdot V_a - l \quad (2\cdot23)$$

$$d \leq l \cdot \tan \theta \quad (2\cdot24)$$

となり、交差点に設置する案内標識の位置としては、式 (2・23) 及び式 (2・24) を満足するように決定される必要がある。

道路標識の判読距離 l については、案内標識の場合文字高 h により求めることができる。

$$l = f(h) \quad (2\cdot25)$$

従って、式 (2・23)、式 (2・24) を文字高と先行距離あるいは文字高と側方又は上方距離をそれぞれ横軸、縦軸として図示すれば、それぞれ図-2・38、及び図-2・39のように示すことができる。

また、式 (2・23) は、図-2・16に示した交通量と走行速度との関係式 (2・10) を式 (2・26) に変形して用いることにより、案内標識の設置位置として満足すべき必要条件としての交通量と先行距離との関係は図-2・40となる。

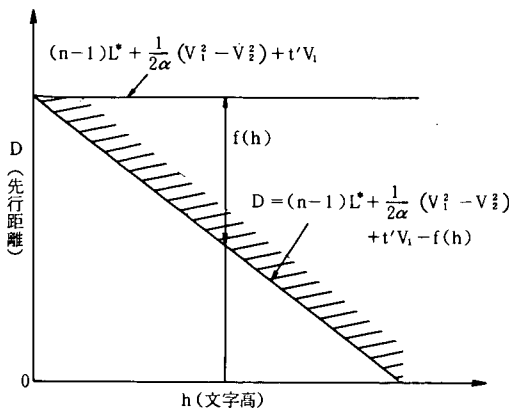


図-2・38 文字高と先行距離の関係

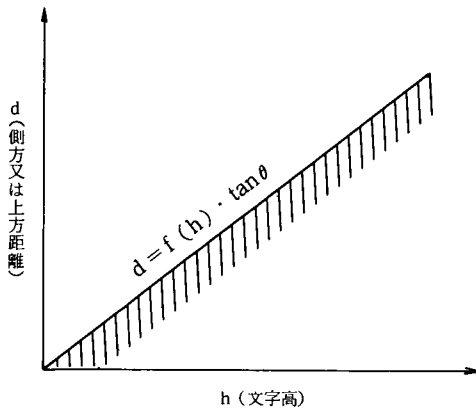


図-2・39 文字高と側方又は上方距離の関係

$$V_a = -0.01298 Q + 58.67 \dots\dots\dots (2\cdot26)$$

ここに

Q: 車線当たり交通量 (台/時/車線)

(3) 設置現況調査

1) 調査対象標識

交差点の流入部(交差点端から500m以内)に設置されている路線選択のための以下に示す案内標識を対象とする。

- ① 方面・方向及び距離 (105-A, B, C)
- ② 方面及び方向の予告 (108-A, B)
- ③ 方面及び方向 (108の2-A, B)
- ④ 方面, 方向及び経由路線 (108の3)
- ⑤ 著名地点 (114-A)
- ⑥ 街路の名称 (119-A, B)

2) 調査箇所数

東北, 関東, 中部, 近畿及び四国の5地域においておのおの表-2・35のとおり交差点流入部を無作為に選定する。ただし右折又は左折禁止交差点を除く。

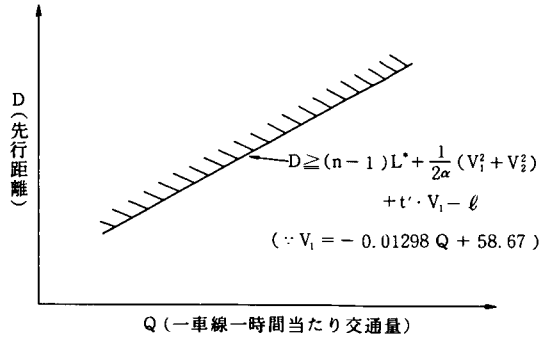


図-2・40 交通量と先行距離の関係

表-2・35 設置現況調査箇所数

道路の種類	一方向車線数	調査箇所数
一般国道	2車線以上	6
都道府県道	〃	6
(任意)	1車線	3
計		15

3) 調査項目

(1) 案内標識に関する事項

- ① 標識の大きさ
 - a. 標識板(タテ×ヨコ) b. 文字高
- ② 設置位置
 - a. 先行距離 b. 標識の側方距離 c. 標識の上方距離
- ③ 標識の種類
- ④ 標識の基板材料, 設置方式
- ⑤ 設置年月日

(2) 道路構造に関する事項

- ① 平面図
- ② 流入部横断構成
 - a. 車線数, b. 車線幅員, c. 路肩幅員, d. 歩道幅員, e. 右折車線幅員, f. 中央帯幅員
- ③ 停止線位置
- ④ 右折車線の停止位置

(3) 交通条件に関する事項

- ① 車線別交通量(平日, 休日)
- ② 流入部設計速度, 規制速度
- ③ 交通規制(車線変更規制)延長
- ④ 車線別最大渋滞長
- ⑤ 信号現示

(4) 設置位置と表示規模

[3]. (3)で算出した車線変更必要距離及び[3]. (4)で算出した方向変更必要距離を運転行動距離として用いて交差点の路線選択のための案内標識が具備す

べき設置位置（先行距離）と表示規模（文字高）との関係、及び設置位置と交通量との間の関係を求め図-2・38～図-2・40に示す。また同時に、前項により調査した現実に設置されている案内標識の上記要素の実測値を同図に示して、案内標識が具備すべき条件と対比することにより、その案内標識の良否を検討する。

1) 先行距離と車線交通量との関係

一方2車線の道路、3車線の道路及び4車線の道路について先行距離と一車線当たりの最大交通量との関係及び実測値を示せば、それぞれ図-2・41、図-2・42及び図-2・43である。

これらの結果から、交差点近接点に本標識のみを設置する（予告標識を設置しない）の場合には、調査した大部分の交差点は図-2・40の条件を満足していない。しかし、一方3車線以下の道路では予告標識の設置によりこの条件を補足することができる。

2) 先行距離と文字高

設置位置（先行距離）と表示規模（文字高）との関係には、時間当たり交通量が影響する。従って、まず表-2・36のとおり交通量によりカテゴリー分けし、それぞれの交通条件における1方向2車線の道路の場合の先行距離と文字高との関係を実測値と併せて図-2・44～2・49に示す。

また、一方3車線の道路については、調査対象交

差点で最も点数が多い車線当たり交通量600～800台/時の場合の両者の関係及び実測値を示せば図-2・50である。

これらの図から、一方2車線の道路の予告標識が設置されている交差点の場合には、先行距離と文字高との関係が図-2・38に示す条件を満足していることが明らかになった。しかし、本標識のみで予告標識が設置されていない場合の多くは上記条件を満たしていない。従って、交通量の少ない箇所においても、標識の設置位置と規模に十分意を用いる必要があると同時に、予告標識の機能が極めて有効であることが理解できる。また、これらの図が、標識の先行距離と文字高を決定する場合の重要な資料となり得ることがわかった。

3) 側方又は上方距離と文字高

運転者の目の位置から路側又は頭上に設置された案内標識までの横又は垂直方向の距離と標識の文字高と

表-2・36 交通量によるカテゴリー分け

分類	交通量の範囲	中央値
1	0 ～ 400	200
2	400 ～ 600	500
3	600 ～ 800	700
4	800 ～ 1000	900
5	1000 ～ 1200	1100
6	1200 ～	1300

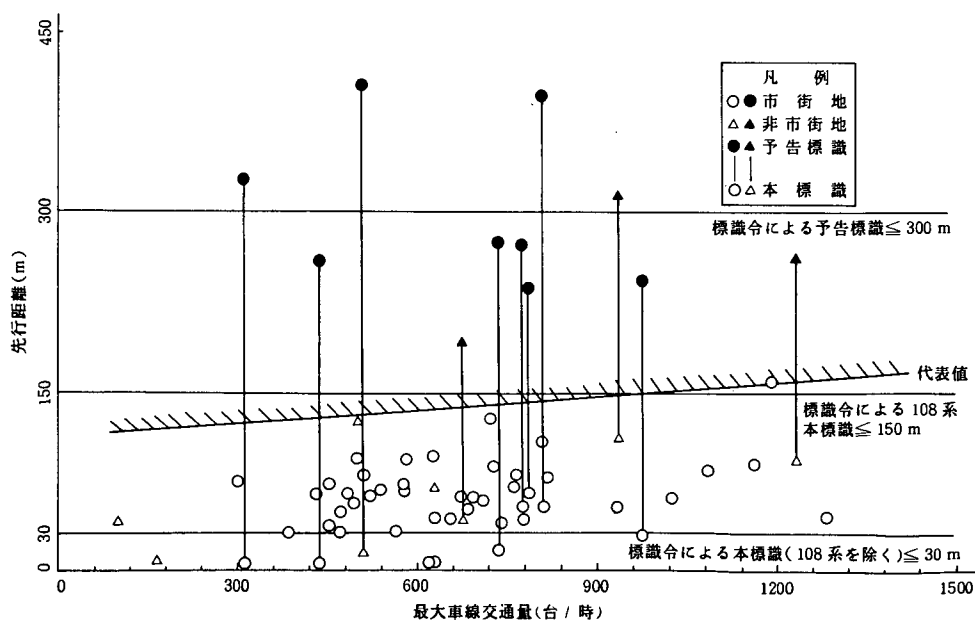


図-2・41 先行距離と交通量との関係（1方向2車線の場合）

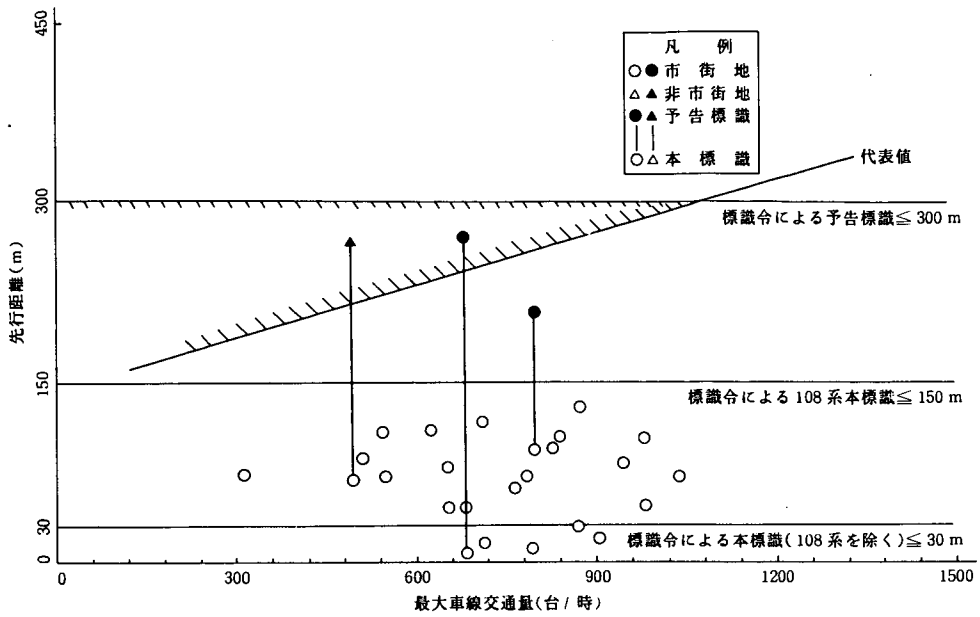


図-2・42 先行距離と交通量との関係 (1方向3車線の場合)

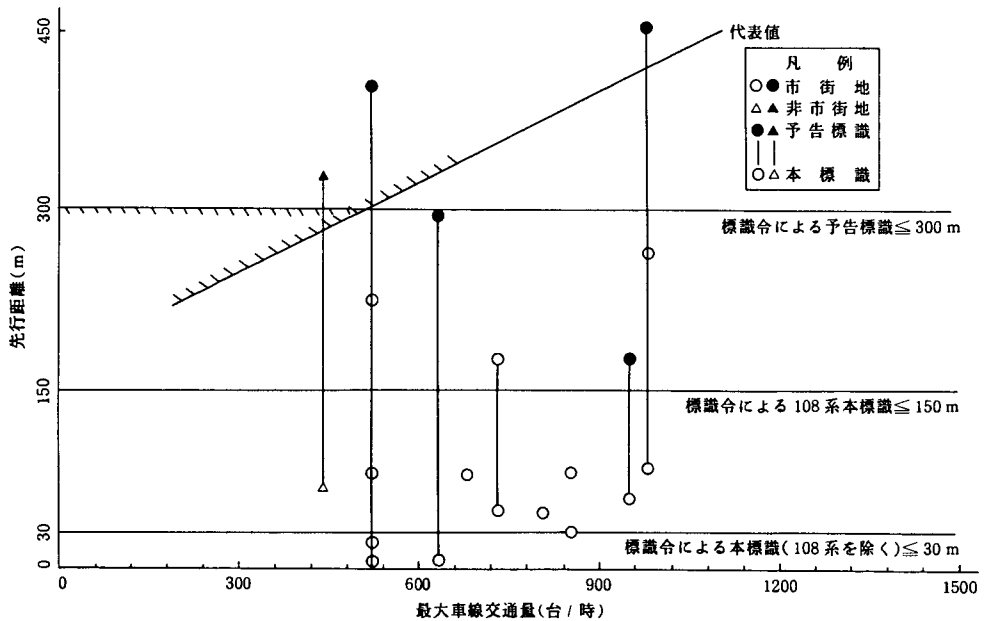


図-2・43 先行距離と交通量との関係 (1方向4車線の場合)

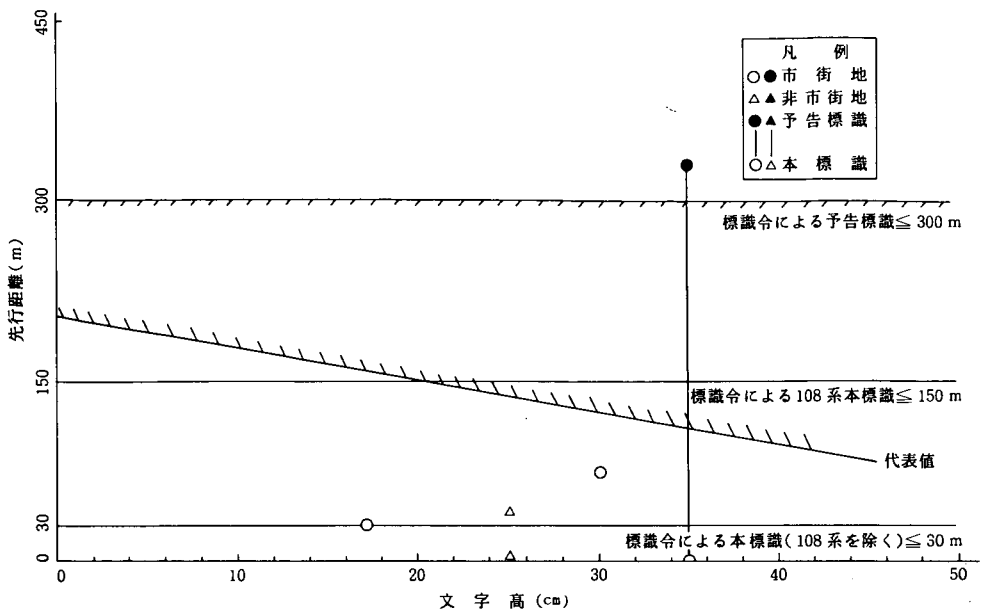


図-2・44 先行距離と文字高との関係（1方向2車線，車線交通量0～400台/時の場合）

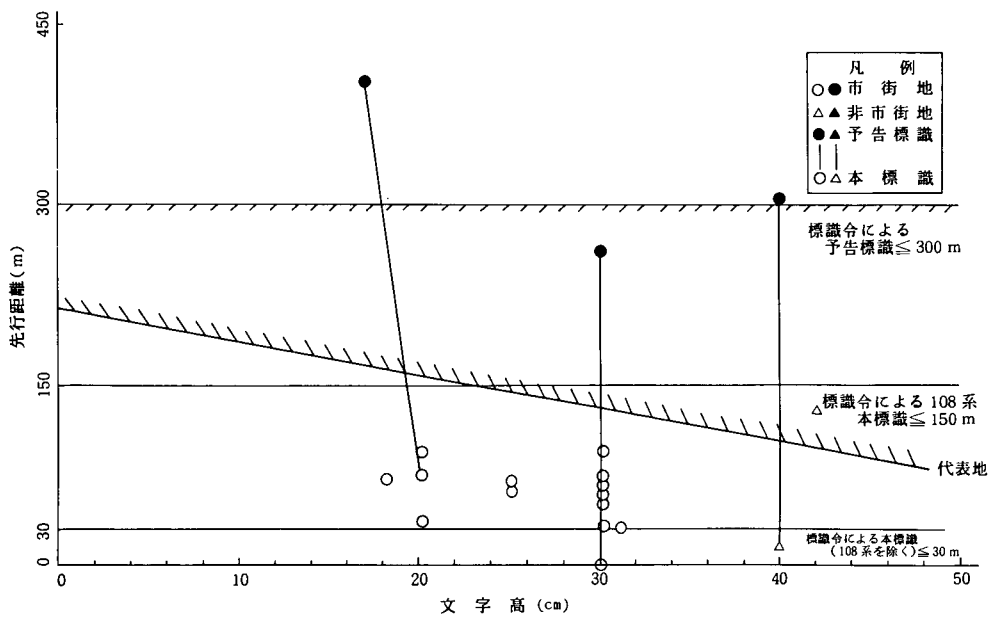


図-2・45 先行距離と文字高との関係（1方向2車線，車線交通量400～600台/時の場合）

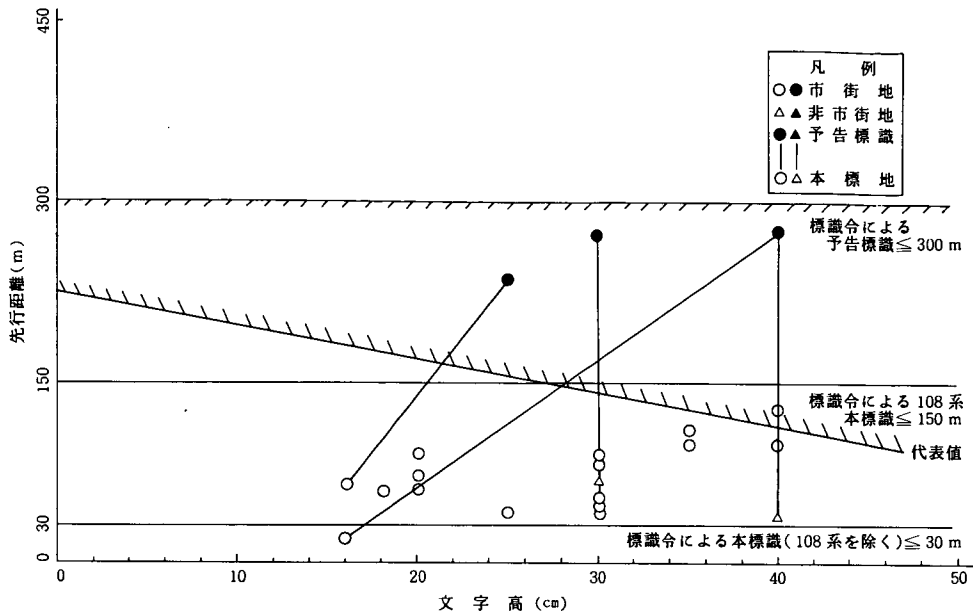


図-2・46 先行距離と文字高との関係 (1 方向 2 車線, 車線交通量 600~800 台/時の場合)

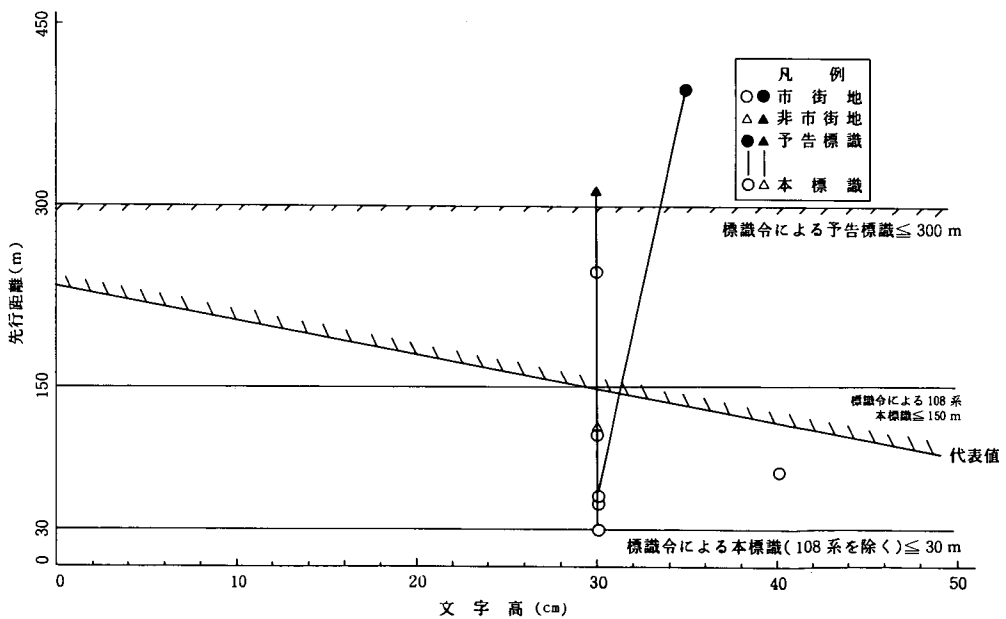


図-2・47 先行距離と文字高との関係 (1 方向 2 車線, 車線交通量 800~1000 台/時の場合)

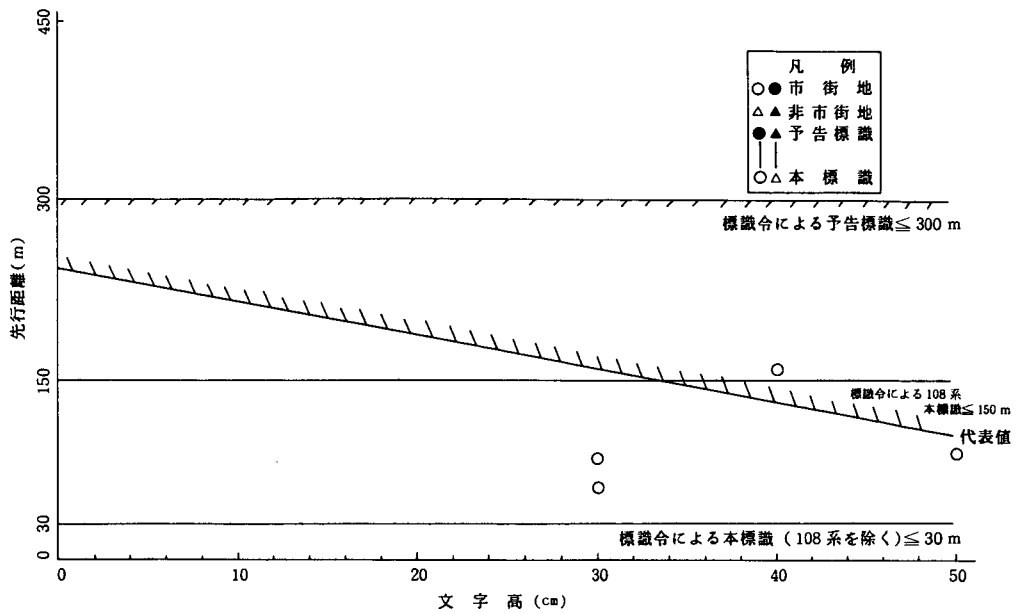


図-2・48 先行距離と文字高との関係（1方向2車線，車線交通量1000～1200台/時の場合）

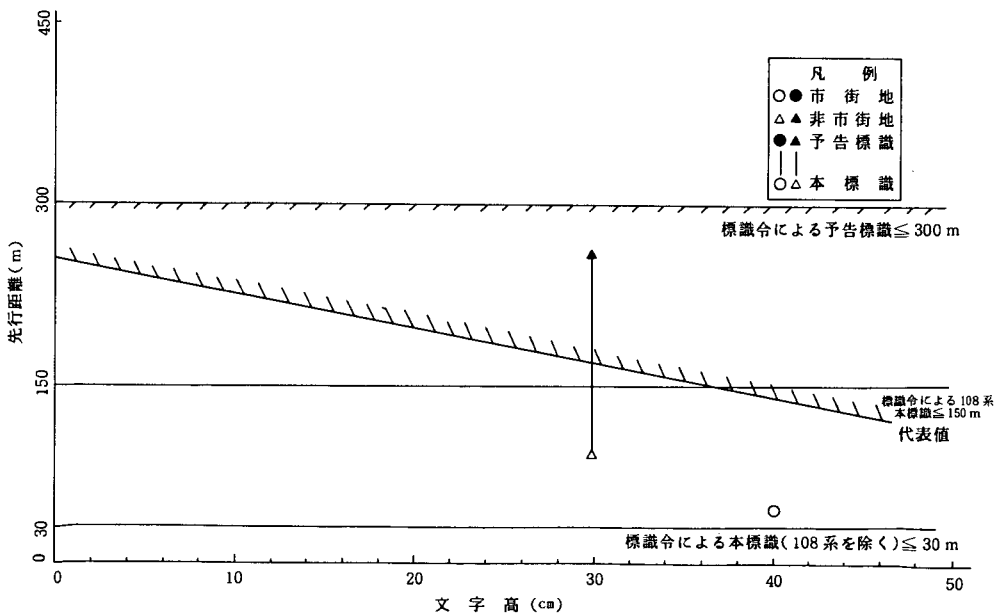


図-2・49 先行距離と文字高との関係（1方向2車線，車線交通量1200台/時以上の場合）

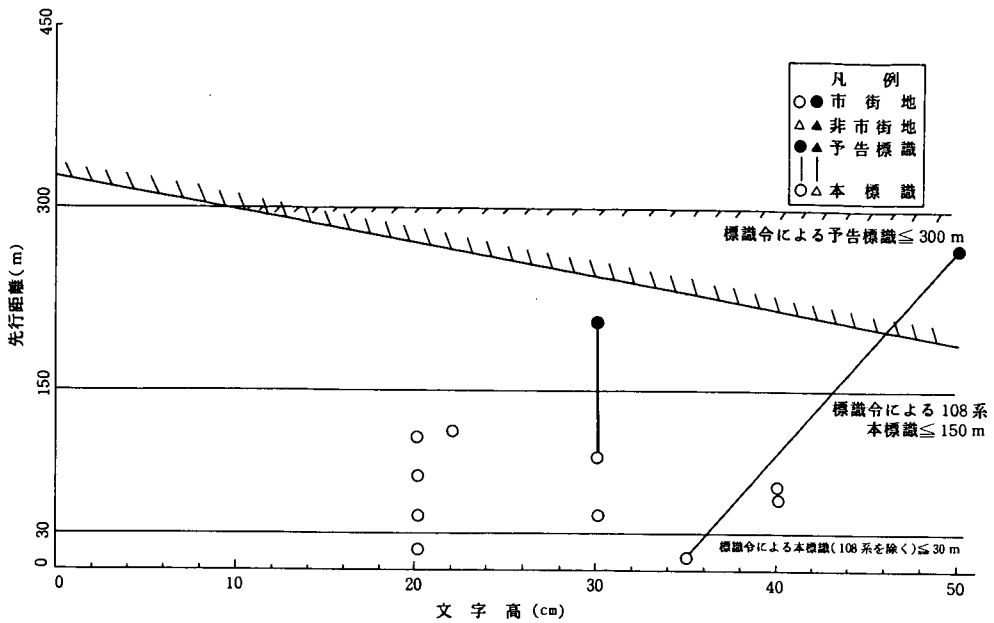


図-2・50 先行距離と文字高との関係（1方向3車線，車線交通量600～800台/時の場合）

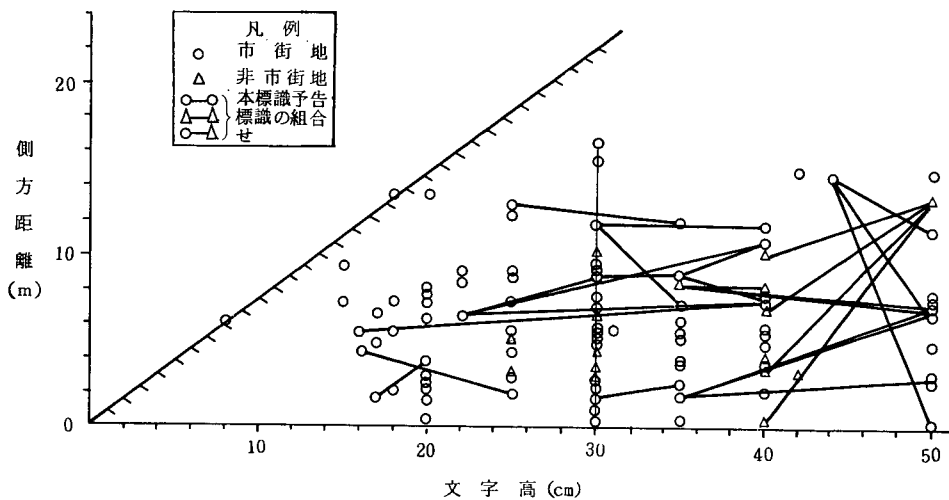


図-2・51 側方距離と文字との関係（車線交通量800台/時の場合）

の関係は，車線交通量を800台/時とすれば，それぞれ図-2・51，及び図-2・52のように求められた。また，これらの図は現実に設置されている標識についての関係もプロットしたが，上方距離と文字高との関係で若干の例が表-2・35に示した条件を逸脱する以外は，すべてこの条件を満足することが判明した。

（5）結 語

交差点に設置する経路選択のための案内標識の具備すべき条件として次の事項が明らかとなった。

- 1) 先行距離と文字高などの間の関係を設定することが可能である。
- 2) 上記の関係を用いて現実に設置する，又は設置されている案内標識の良否を評価することができる。
- 3) 現実に設置されている案内標識は，特に先行距離と文字高との関係において，予告標識を併設する場合には条件を満足するが，本標識のみの場合には，条件に満たないものが少なくない。
- 4) 従って，特に本標識のみの場合には文字高を大

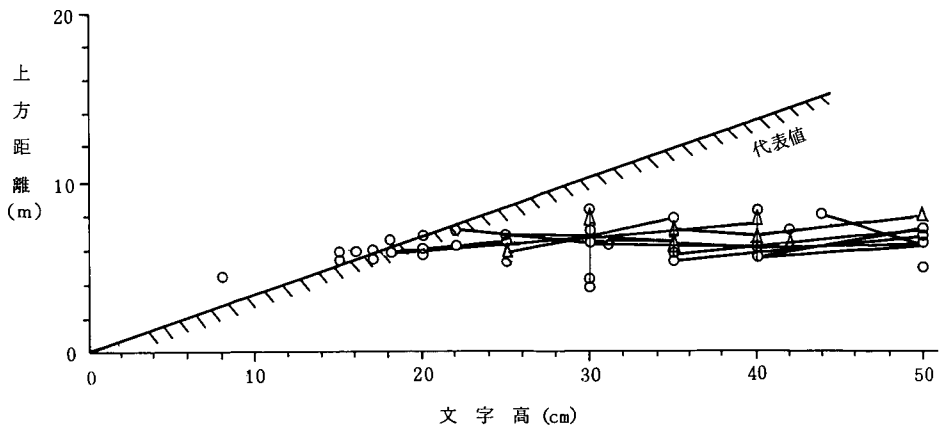


図-2・52 上方距離と文字高との関係（車線交通量800台/時の場合）

きくするか、先行距離を大きくする必要が生ずることが多く、その意味からも、標識令による標識の設置位置の条件、すなわち、105系統は30m以内の地点、108の2系統は150m以内の地点、108系統は300m以内の地点という条件を考慮すると、予告標識の持つ機能の重要性を認識することができる。

3. 道路網における案内標識の設置効果

〔1〕 案内標識の効果

（1）概 説

一般に、道路選択のため交差点等に設置する案内標識の案内誘導効果は、①運転者が当該案内標識を必要とする度合、②案内標識に表示する内容の情報伝達効力に支配される。従って、案内標識の設置効果を評価するためには、これらの条件がその評価の方法に考慮されている必要がある。また、特に後者に対しては、目的地、主な経過地等の地名についての運転者の予備知識の程度が大きな影響要因となる。

すなわち、道路の分岐点（交差点、インターチェンジなど）に設置される交差道路の方面、方向などの案内標識は、方向を示す矢印図形と、経路番号又は名称（国道、県道などの番号、道路名称あるいは通りの名称）及び地名との組合せによって行われる⁴⁹⁾。さらに目的地までの距離も同時に表示される場合もある。特に我が国のように地勢の影響などのため、道路網が不規則に発展していることもあり、案内標識にいかなる地点を表示するかは、その標識を利用する運転者に大きな影響を及ぼす。いわば、地名の表示の仕方によって、

その案内標識を設置した効果に差異が生ずると言える。本節では、まず交差点に設置する案内標識に表示する地名のあり方、及びそれに対して、3.〔3〕節の案内標識の効果の評価手法が持つ意味について述べる。次に、本節の主題である案内標識の設置効果を評価する方法について総括する。続いて評価シミュレーションの条件となる運転者の地名に関する予備知識について述べる。なお、評価に当たって、他の一つの条件となる運転者の案内標識を必要とする度合（標識利用率）については、次節で述べることとする。

（2）地名選定の方法

交差点に設置する案内標識に表示する地名は、次のような基本的な要件を満たすものでなければならないと考えられる。

- ① その案内標識を利用する大部分の運転者に直ちに理解しうる地名であると同時に、必要最小限の数であること。
- ② 経路を選択する上で、重要かつ適切な位置を占める地名であること。
- ③ 経路をたどって行く上で、情報に連続性のある地名であること。
- ④ 地図上の地名と整合性のある地名であること。

これらの表示地名選択において地名が有すべき要件は、本論文の案内標識の評価シミュレーションをより効果的に行うためには、インプット・データの特性をあらかじめ制限ないし選択することが有効であることを示していると考えられる。

一方、評価結果の現実の道路への適用に当たっても、地名が有すべき要件として合わせて考慮されなければならないものである。

地名（目的地）の選び方について、我が国の既存資料^{2),4),6)}は一応の目安を示しているものの、具体的な地名の選択は案内標識を直接設置する各道路管理者にまかせているため、上記の要件を満足していない場合が少なくない。

また外国の例として、フランスでは地名の選択基準を具体的に規定している。道路の種類と目標地点となる都市の規模とにより分類し、おのおの重要度に応じて地名を決定する機関を明確にすると共に、道路の種類と標識の重要度及び交差点の位置により表示すべき地名分類を明記している。このシステムにより、情報量の適正化と情報の連続性が確保されている。

交差点に設置される案内標識に表示されるべき地名を選定するに際して検討されなければならない要素としては、次のような事項が考えられる。

1) 表示する地名の数

一方一地名か、あるいは二地名以上とするかは、標識の誘導性と判読性に関連する。

2) 地名選定の指標

地名を選定する際に基準とすべき指標として、市町村名、人口、集中発生交通量、知名度などがあげられる。

3) 地名選定の優先度

多数の地名の中からどれを選択すべきかは、その道路あるいは交通の特性、地域特性、標識設置位置などによって異なることが考えられる。

我が国においても、道路事情、土地利用状況に適合した地名選択手法の確立が必要である。そのためにも、地名の選定方法により、案内標識の設置効果を定量的に評価する手法を見出すことが重要となる。

(3) 設置効果の考え方

交差点に方面、方向などの案内標識を設置する目的は、言うまでもなくその案内標識を必要とする者を安全かつ円滑にその者の希望する目的地への経路に誘導案内することである。

従って、この種の案内標識を設置する効果は、①案内標識利用者のうち、どれだけ適正に誘導できるか。②案内標識の設置にもかかわらず、間違った経路を選択した自動車は、どれだけ無駄な走行を強いられるかにかかわると言えよう。

この場合の案内誘導は、通常前項で述べたように地名又は路線番号、あるいはその組合せによって行われるので、それぞれの様式により、その効果は評価されなければならないことになるが、我が国においては道路網の沿革などのため、先に述べたように路線番号を

優先して案内する方法を推進しながらも、一般的な交差点はもとより、大幹線道路間の交差点といえども従来からの地名による案内をないがしろにはできない。むしろ、地名案内の効率的設定方法を確立することが、案内標識の誘導効果を高める上でも重要であると言える。

従って、本研究では個々の案内標識の情報を道路網全体に有機的に結合し、一つの情報体系として見た場合、それらが果たして適切な案内情報と見なせるかどうかを評価する方法について述べることにする。

案内情報の効果の評価には、大別して3通りの方法が考えられる。すなわち、自動車の目的地への到達確率による評価、総走行台キロによる評価及びこれを発展させた案内情報の費用対便益による評価である。

1) 到達確率による評価

到達確率による評価とは、ある出発地から目的地までの代表的経路（運転者にとって望ましい、無駄のない経路）について、目的地へ到達しうる確率を算定し評価するもので、代表的な経路を通過する車輛を追跡する。

2) 総走行台キロによる評価

代表的な経路を通過した車両は無論のこと、代表的な経路を逸脱したものについてもその損失走行台キロを算定し、案内情報を評価する。

3) 費用対便益による評価

案内情報を与えることにより短縮される走行台キロに伴う走行及び時間便益と案内情報を与えるために要する経費とを比較することにより評価する。

〔3〕節では、これらの方法による案内標識の設置例について評価する。

(4) 運転者の地名に関する予備知識

ある出発地から目的地に向かおうとする場合、運転者は通常

1) まず目的地までの経路を選定する。

トリップ目的が観光、レジャーである場合、遠回りとなっても景観の優れた観光用の道路を通して目的地に向かおうとする傾向にあるが、一般的には最短時間あるいは最短距離で目的地に至ることのできる経路を選択する。

2) 次に、その経路に関する予備知識を持つ。

選定された経路を間違いなく走行できるよう道路地図などから様々な予備知識を得る。

運転者が案内標識の地名を判読して自らの進路を選択する場合に、標識に表示された地名と自己の目的地との地理的関連性を理解していることが重要となる。

この両者の関連性は、運転者が道路地図によって見聞することであろうし、また過去の経験によって体得している場合もある。

さらに、標識の設置位置付近の地形、風景等の道路環境要因と目的地との関連性を理解しているほどの予備知識を有する運転者は、案内標識を利用しないこともあり得る。

このように運転者の予備知識の程度は多種の要因が複雑に絡み合っている影響を受ける。影響を与える要因として次のようなものが考えられる。

- ① 運転者系——運転者の属性による。
- ② 地名系——地名の著名度などによる。
- ③ 地域系——地域特性による。
- ④ 道路系——道路の種類、規模などによる。
- ⑤ 旅行系——旅行目的、日程などによる。

案内標識の表示内容が、この運転者の予備知識と十分対応のとれたものであれば、例えばこれから向かうとする目的地が標識板に示されていないとしても、運転者は迷わず自分の進路を判断することができよう。

案内誘導効果の評価に当たって、運転者の予備知識に関する前述した要因系列のうち、①運転者系については、〔2〕節の案内標識の利用率として包含されると理解することができる。また②地名系、③地域系及び④道路系は、人口、交差道路規模又は都市名をもって読みかえることにより寄与させる。

なお、⑤旅行系要因については他の要因に代替されると見なし、無視した。

〔2〕 案内標識の利用率

（1）概 説

道路の交差点を通過する自動車は、一般にその出発地、目的地、走行距離、旅行目的、日常活動地域などがまちまちであり、従ってそこに設置されている交差道路の方面・方向などを表す案内標識を自己の進路決定に利用する車輛と利用しない車輛とが存在する。案内標識の設置効果を検討するに当たっては、この案内標識の利用者に注目する必要がある。

本節は、立地条件の異なる交差点における案内標識の利用状況を把握し、走行距離と標識利用率との関連性を見出すものである。この標識利用率は、次節の案内標識の設置効果の評価シミュレーションにおける条件の一つとなるものである。

（2）調査の方法

本調査による分析は、図-3・1のような手順で行う。標識利用状況は運転者に対するアンケート調査方式に

よって把握した。

1) 調査対象者

特定標識の設置地点を通過する自動車の運転者を調査対象とした。

2) 調査対象地点

幹線国道における4箇所とし、道路及び交通の特性を考慮して、市街部地点として兵庫県西宮市内の本町交差点及び宮城県仙台市内の本町交差点及び宮城県仙台市内の新五橋交差点の3箇所を、また非市街部地点として兵庫県伊丹市内の大鹿交差点及び宮城県岩沼市内の岩沼交差点の2箇所を選定した。その主要立地条件は表-3・1である。

3) 調査項目

運転者の属性(年齢、性別、運転経験など)、走行特性(出発地、目的地など)、調査対象案内標識特性(利用状況、視認性、判読性など)など本調査を目的とするものを含めて17項目について実施した。調査票の様式例を表-3・2に示す。

4) 配布・回収

調査対象標識に関連する交差点流入自動車の運転者に対し路側より調査表を手渡し、回答は郵送により行うよう依頼した。

5) 調査日

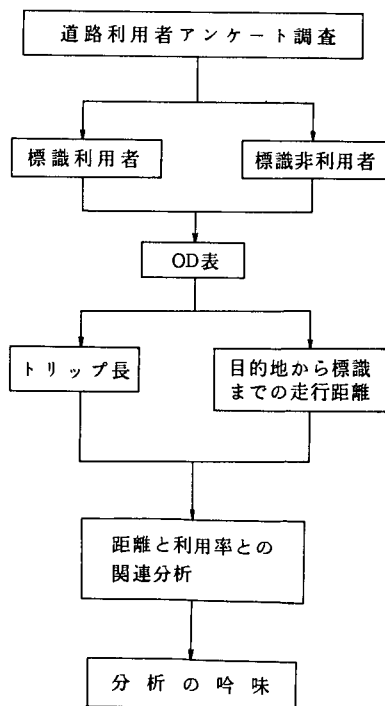


図-3・1 走行距離と標識利用率との関連分析の手順

表-3.1 アンケート調査対象交差点

交差点名	本 町	大 鹿	新 五 橋	岩 沼
所 在	兵庫県西宮市本町	兵庫県伊丹市大鹿	宮城県仙台市五橋2丁目	宮城県岩沼市阿武隈1丁目
交差道路規模	10車線と4車線	4車線と2車線	8車線と6車線(Y字)	4車線と2車線(Y字)
道 路 種 類	国道43号と市道	国道171号と県道	国道4号と市道	国道4号と国道6号
沿 道 条 件	市街部	非市街部	市街部	非市街部
主 路 交 通 量	(一方方向流入) 平日：40,000台/12h 休日：25,000台/12h	(一方方向流入) 平日：20,000台/12h 休日：18,000台/12h	(一方方向流入) 平日：26,000台/12h 休日：20,000台/12h	(一方方向流入) 平日：14,000台/12h 休日：12,000台/12h
アンケート調査日	昭和50年9月 7, 8, 21, 22日 昭和50年11月 9, 10, 16, 17日	同 左	昭和50年10月 21, 23, 26日 昭和50年12月7, 10日	同 左
配布数(枚)	7,800	7,800	4,780	4,780
回収数(枚)	1,592	1,817	1,280	1,062
回収率(%)	20.4	23.3	26.8	22.2

表-3·2 調查表例

新五橋交差点 アンケート調査票(事前走行調査用)

このアンケートは現在の国道の案内標識を改善するための参考資料とするものです。よろしく御協力をお願い致します。

整理番号 _____

通過年月日 昭和 年 月 日

※ 該当する番号を○で囲んで下さい。また□には数字を記入して下さい。

1) 車 種 1. 大 型 2. 小 型

2) 住 所 1. 市 内 2. 県 内 3. 県 外

3) 年 齢 1. 20歳未満 2. 20歳～29歳

3. 30歳～39歳 4. 40歳以上

4) 性 別 1. 男 2. 女

5) 運転実務年数 _____ 年

6) あなたの視力はどの位ありますか。

(眼鏡使用の方は矯正視力を御記入下さい)

視 力 _____

7) あなたは現在自動車を運転しておりますが、どう
いう用事で通られましたか。

1. 通 勤 2. 業 務 3. 私 用 4. 旅 行

8) 新五橋交差点を通ったときの出発地と目的地はど
こですか。

出 発 地		目 的 地	
都	道	都	道
府	市	府	市
県	町	県	町
	村		村

9) 走行経路

12) はじめて通る人でも新五橋交差点において道路の
選択が容易に行えると思いますか。

1. 容易に行える
2. なんとか行える
3. わずかしい

13) 現在の新五橋交差点には道路案内標識がありませ
んが標識を設置する場合、あなたは特に何が必要
だと思いますか。(2つ以上でも結構です)

1. 方面、方向(主要な地名)
2. 路線名(例国道4号、市道〇〇線など)
3. 交差点の手前における分岐の予告
4. 交差点名
5. 主要地点までの距離
6. 車線指示
7. その他 _____

14) あなたは仕事又は旅行で知らない土地へ自動車を
運転して出かける場合、道路マップをもって行き
ますか。

1. 必ずもっていく
2. ときどきもっていく
3. ほとんどもっていかない

15) あなたは仕事又は旅行中に知らない土地で自動車
を運転しているとき、道路案内標識を利用しています
か。

1. よく利用する
2. ときどき利用する
3. ほとんど利用しない

16) 前設問で1または2を○で囲んだ方は標識の何を
確認しながら走行していますか。
(2つ以上でも結構です)

1. 国道番号
2. 地点名
3. 方面、方向(地名)および距離

17) その他新五橋交差点に限らず道路標識(案内標識)
全般について、お気付きの事があればお聞かせ下
さい。

10) あなたは新五橋交差点をどの位通りますか。

1. はじめて 2. 年に数回 3. 月に数回 4. ほとんど毎日

11) 新五橋交差点において今回進路を迷いましたか。

1. 迷った 2. 迷わない

今回のアンケートに御協力いただき誠にありがとうございました。記入次第御返送下さいますようお願い致
します。

アンケート調査は、調査対象標識の改良工事の前後にそれぞれ平日、休日を含んだ3～4日間、昼間時に配布した。

6) 調査数

調査数は、1箇所1日当たり590～970枚で、1箇所当たりの配布総数は7,800枚又は4,780枚とした。また郵送による回収率は全体で22.9%であった。箇所別の回収率は表-3・1である。

(3) 走行距離と案内標識利用率との関連分析

分岐点における方面及び方向の案内標識を運転者が通過時点に進路選択のために利用するかどうかは、運転者の過去における当該道路利用状況、予備知識の程度、道路構造など多くの要因により決定されと考えられるが、一般的にその案内標識から遠い地域で日常生活している運転者は、近い地域の運転者に比してその道路についての知識の持合せはより低く、分岐点において案内標識を必要とする可能性はより大きいと考えられる。

そこで、その地点を通過する自動車の一旅行における走行距離に着目し、これと案内標識を必要とする自動車の割合との関係を調べることにした。

図-3・2において、調査の対象とする分岐点に設置した案内標識Aを利用した自動車のAを利用しうる全交通量に対する割合を標識利用率と定義し、この標識利

用率とトリップ長 L (OD 距離) 又は出発地から案内標識Aまでの距離 ℓ との関連をアンケート調査結果から分析した。

1) トリップ長 L (OD 距離) と標識利用率との関係

トリップ長と標識利用率との関係について、近畿地区の西宮市本町交差点及び伊丹市大鹿交差点、並びに東北地区の仙台市新五橋交差点及び岩沼市岩沼交差点における調査結果を示すと図-3・3である。

これより4箇所全体の回帰式及び地区別回帰式を求めると次のようになる。

① 4地区全体におけるトリップ長と標識利用率との関係式

$$\lambda = -1.2 + 14.4 \ln L \dots\dots\dots (3.1)$$

ここで λ : 標識利用率 (%)

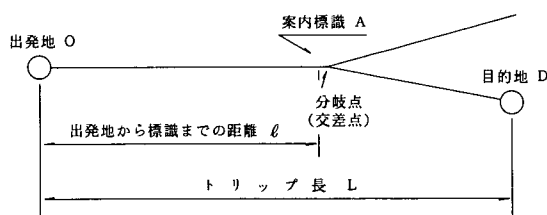


図-3・2 出発地、目的地と標識との位置関係

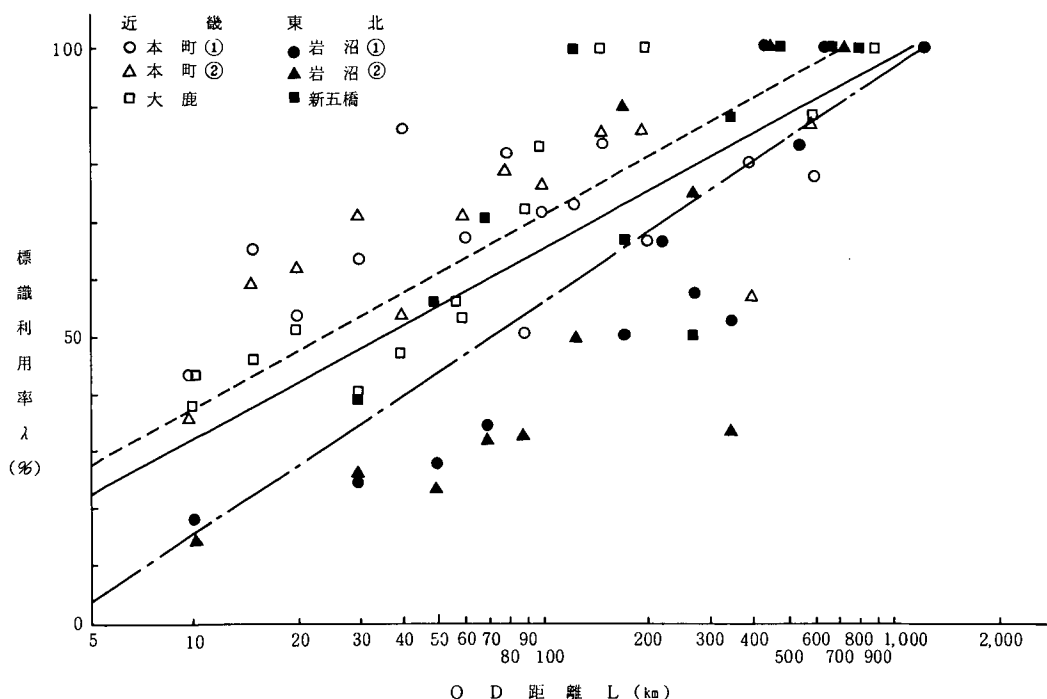


図-3・3 トリップ長(OD距離)と標識利用率との関係

L : トリップ長 (km)

$\ln$: 自然対数記号

相関係数 $r = 0.75$

- ② 近畿地区におけるトリップ長と標識利用率との関係式

$$\lambda = 3.8 + 14.8 \ln L \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

相関係数 $r = 0.81$

- ③ 東北地区におけるトリップ長と標識利用率との関係式

$$\lambda = -25.6 + 17.9 \ln L \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

相関係数 $r = 0.79$

- 2) 出発地から標識までの距離と標識利用率との関係

出発地から案内標識までの距離 (図-3.2におけるOA間: l) と当該標識の利用率との関係について、近畿地区の西宮市本町交差点及び伊丹市大鹿交差点の調査結果を示すと図-3.4になる。

これより対数回帰分析を行うと次式が得られた。

$$\lambda = 29.66 + 10.52 \ln l \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

ここで λ : 標識利用率 (%)

l : 出発地から当該標識までの距離 (km)

$\ln$: 自然対数記号

相関係数 $r = 0.94$

(4) 関連分析の吟味

標識利用率 λ は、(1) 出発地からその標識までの距離 l 、あるいは(2) 出発地から目的地までの距離 L と対数相関が高いことを明らかにしたが、本項では関連分析の吟味として、他の回帰式との相関係数の比較及び有意検定を行う。また、調査データのサンプルの信頼性に

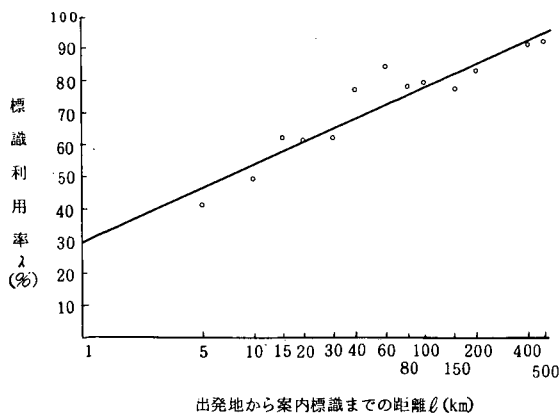


図-3.4 出発地から標識までの距離と標識利用率との関係

ついて吟味する。

標識利用率の性質及び測定値の散布状況から、回帰式として次の3種類を予想する。

- ① 対数曲線 $\lambda_1 = a_1 \ln l + b_1$

$$\text{又は } \lambda_2 = a_2 \ln L + b_2 \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

- ② ロジスティック曲線

$$\lambda_1 = \frac{100}{1 + e^{a_1 l + b_1}}$$

$$\lambda_2 = \frac{100}{1 + e^{a_2 L + b_2}} \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

- ③ 放物線

$$\lambda_1 = a_1 l^{b_1}, \lambda_2 = a_2 L^{b_2} \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

アンケート調査によって得られた近畿地区及び東北地区のデータにより、地区別及び調査対象標識が立地している交差点付近の土地利用状況 (市街地、非市街地) の別に、標識利用率と l 又は L との関係についての式 (3.5) ~ (3.7) による回帰式、相関係数及び有意水準0.05における t 検定結果を表-3.3、表-3.4に示す。

これにより前項で示した近畿地区の対数回帰式の相関が高く、有意であることがわかる。しかし、市街地、非市街地別では、標識利用率は出発地かつ目的地までの距離との間で市街地の式 (3.5) 及び式 (3.6) の相関が比較的高いが、地区別の場合ほど顕著ではない。

次に、標識利用率に関するアンケート調査のサンプルの信頼性については、百分率誤差によるサンプル数の設定を行った。すなわち、当初、求める標識利用率の推定値の誤差が次の値を超えない確率を95%とするために必要な標本数の大きさを距離の各カテゴリーごとに設定し、これを下回らないよう努めた。

- (1) 出発地から標識までの距離 l において

- ① $l < 100$ km,

百分率誤差の許容範囲 = $\pm 10\%$

- ② $l \geq 100$ km,

百分率誤差の許容範囲 = $\pm 20\%$

- (2) 出発地から目的地までの距離 L において

- ① $L < 200$ km,

百分率誤差の許容範囲 = $\pm 15\%$

- ② $L \geq 200$ km,

百分率誤差の許容範囲 = $\pm 20\%$

調査の結果、距離の各カテゴリーの百分率誤差を地域別、 l 、 L 別に示せば、図-3.5であり、東北地区の L に関する距離カテゴリーの一部を除いて満足した。特

表-3・3 標識利用率と出発地から標識までの距離との相関検定

分 類	回帰式 の種類	回帰式の定数		相関係数	t 検 定	
		a	b		t 値	検 定
近畿地区	①	10.52	29.66	0.941	9.2992 (2.201)	有 意
	②	-0.00649	-1.363	0.372	1.9232 (2.069)	有意でない
	③	39.471	0.1575	0.850	7.7377 (2.069)	有 意
東北地区	①	14.21	-5.888	0.689	3.5524 (2.145)	有 意
	②	-0.001218	0.1017	0.827	5.5003 (2.145)	有 意
	③	16.736	0.2536	0.664	3.3191 (2.145)	有 意
市 街 地	①	9.352	33.85	0.684	3.9776 (2.101)	有 意
	②	-0.008074	-0.5163	0.618	3.3329 (2.101)	有 意
	③	39.734	0.1359	0.655	3.6763 (2.101)	有 意
非市街地	①	10.51	21.33	0.581	3.1153 (2.093)	有 意
	②	-0.008628	-0.6039	0.442	2.1481 (2.093)	有 意
	③	29.111	0.1706	0.531	2.7321 (2.093)	有 意

注) 回帰式の種類: ①は対数曲線, ②はロジスティック曲線, ③は放物線である。

に近畿地区におけるサンプル数の百分率誤差は、すべて11%以下に収まった。

(5) 結 語

交差点に設置する方面・方向に関する案内標識が運転者に利用される割合は、その運転者がその交差点付近の道路事情についてどの程度の知識を有するかに関係があり、その知識は、走行距離の要素によって代表させ得ることが明らかになった。

自動車のトリップ長(OD距離)と案内標識との関連では、図-3・3及び式(3・1)で明らかなように対数関係が認められ、この関係式の相関係数は0.75である。

このことは、一般に日常の生活圏の近距離においてよりも、遠距離になるほど地理的情報量、知識量ともに少なくなることとよく符合する。さらにこの結果を地区別に見ると、近畿地区と東北地区とでは、交通量、道路密度、土地利用形態、旅行目的構成など、道路・交通条件が異なるにもかかわらず、同じトリップ長に対する標識利用率の値に多少の差違が現れてはいるものの、トリップ長と標識利用率との関係数も0.81又は0.79とさらに高く、トリップ長の標識利用率に対する意味あいはいは同質と考えることができる。

次に、出発地から案内標識までの距離と当該案内標識の利用率との関連についても、図-3・4及び式(3・4)に示したトリップ長と標識利用率との関係と同様、対数関係にあることが明らかとなり、相関係数は0.94であり、極めて高い相関であることが示せた。これらのことから、案内標識の利用率は出発地から標識までの距離の対数式を両者の間の関係式として用いることができよう。

従って、案内情報の評価を検討する場合は、相関が最も高い出発地から標識までの距離と案内標識利用率との対数関係式(式(3・4))を用いることとした。

[3] 案内情報の評価方法の提案

(1) 概 説

案内標識による方面・方向などのいわゆる進路選択のための情報の運転者への提供システムは、従来個々の情報については検討されているものの、ある範囲における道路網全体における検討は、きわめて不十分であったと言えよう。この原因の一つには、案内標識を設置したことによる道路網全体における案内誘導の効果を定量的に把握する手法が試みられなかったことに

表-3・4 標識利用率と出発点から目的地までの距離：Lとの相関検定

分 類	回帰式 の種類	回帰式の定数		相関係数	t 検 定	
		a	b		t 値	検 定
近畿地区	①	14.8	3.8	0.812	6.8402 (2.042)	有 意
	②	-0.04997	-1.1166	0.690	5.3112 (2.042)	有 意
	③	39.36	0.1356	0.758	6.4705 (2.042)	有 意
東北地区	①	17.9	-25.6	0.791	6.8081 (2.074)	有 意
	②	-0.04816	-0.3648	0.410	2.1069 (2.074)	有 意
	③	14.33	0.2657	0.657	4.0887 (2.074)	有 意
市 街 地	①	10.25	26.50	0.722	5.4283 (2.052)	有 意
	②	-0.06158	-0.7475	0.741	5.7281 (2.052)	有 意
	③	36.27	0.1448	0.691	4.9738 (2.052)	有 意
非市街地	①	10.35	14.36	0.545	3.3139 (2.056)	有 意
	②	-0.03960	-0.8320	0.441	2.5050 (2.056)	有 意
	③	22.84	0.1916	0.555	3.4029 (2.056)	有 意

注) 回帰式の種類：①は対数曲線，②はロジステック曲線，③は放物線である。

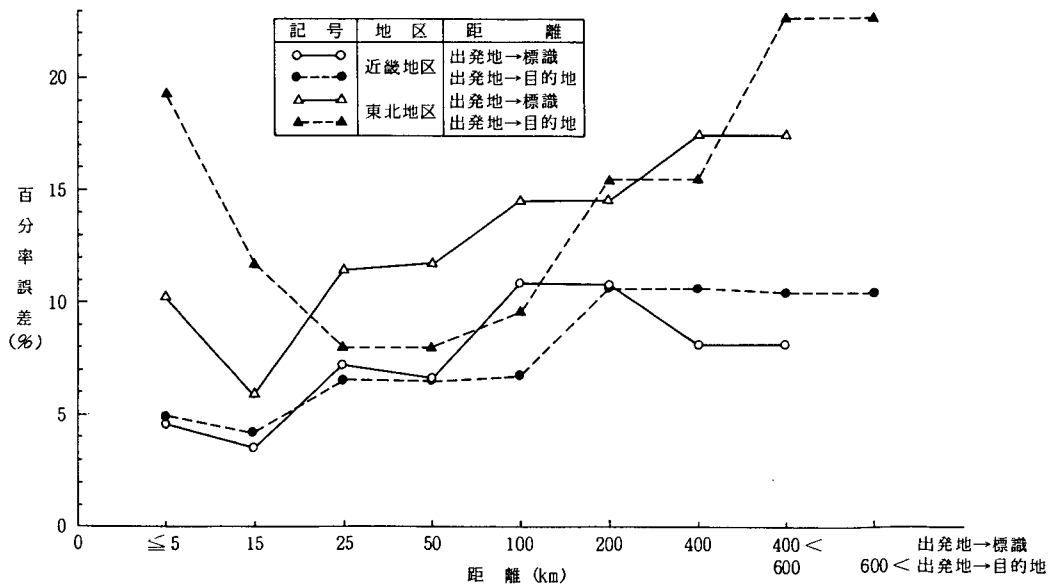


図-3・5 サンプル数からの信頼度

ある。

一般に、限られた予算(経費)と労力とによって案内標識をより効果的に整備しようと意図する場合に、案内標識の配置方法、表示地名の選択方法などの要素を、道路網全体の交通の流れを十分考慮して総合的見地から決定し、これにそって整備することが望ましい。この意味からも、案内情報の効果を道路網全体の中で評価する手法を開発することの必要性が認識されるのである。

本節では、ある範囲の道路網の交差点に任意の数の案内情報を地名により表示した場合に、運転者がその案内情報を得て適切な進路選択を行い得ることにより生ずる案内情報の表示効果を評価する方法を提案しようとするものである。評価方法は、前節で述べた3種類の方法とし、まずそれぞれの方法により評価値を算定するためのモデル、及びその前提となる条件の設定を行う。次に、そのモデルによってシミュレーションを行う方法及びシミュレーション対象道路について述べる。さらに、仮想道路網及び実際の道路網の例について、シミュレーションにより評価値を算定し、案内情報の提供の状況による評価値の相違を比較する。最後に、シミュレーション解析についての吟味を行う。

(2) 評価方法

1) 評価の前提条件

① 到達経路の条件

一般に、運転者が出発地から目的地まで達するための経路は多数存在している。しかし、これらの経路のうち、当該運転者にとって望ましい無駄のない経路という条件を満たすものの数は限られてくる。ここで、無駄のない経路を到達経路と呼ぶことにすれば、運転者が到達経路以外の経路を経て目的地に至った場合は、その運転者は、途中で道に迷ったと定義できよう。

到達経路として最短時間で目的地に至れる経路を設定するのが一般的ではあるが、混雑による遅滞などを考慮する必要の少ない地方部では、最短距離経路を到達経路と考えて差しつかえなからう。従って本研究におけるシミュレーション・モデルでは、最短距離経路を到達経路として取扱う。

いずれにしろ到達経路の条件は、道路管理者が多数の運転者の立場を踏まえて様々な道路交通状況をもとに設定するもので、道路管理者はこの到達経路に基づいて案内標識を適切に設置し、できるだけ多くの運転者に便宜を図る必要もある。

② 予備知識

運転者が案内標識を判読する時点で有する予備知識

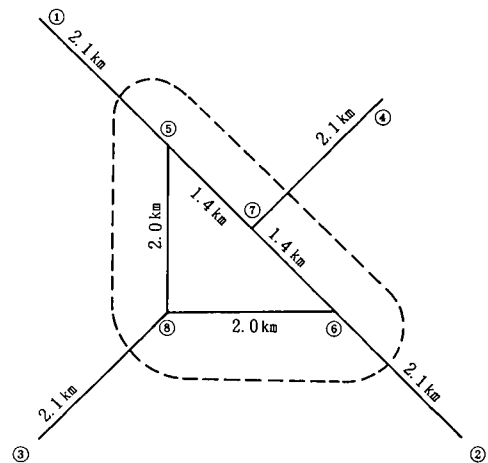


図-3-6 対象道路網例

は複雑・多様な面があるが、一般的には運転者は道路マップ等より比較的規模の大きい都市、一般国道等幹線道路の交差する都市等の地名については目的地との位置関係と絡めて予備知識として記憶している。

2) 到達確率による評価手法

土地に不案内な運転者が図-3-6のような道路網において①地点を出発し、②の目的地まで到達経路(本シミュレーションでは最短経路)を走行する場合には、案内標識が全く設置されていない条件では、次に示す経路により到達確率は1/8、走行距離は0.7kmであるとする。

$$\textcircled{1} \xrightarrow{\times \frac{1}{2.1}} \textcircled{5} \xrightarrow{\times \frac{1}{1.4}} \textcircled{7} \xrightarrow{\times \frac{1}{1.4}} \textcircled{6} \xrightarrow{\times \frac{1}{2.1}} \textcircled{2} \quad \frac{1}{7.0}$$

ただし、この場合分岐点における道路選択率は、案内標識がなければ、また案内標識の内容と運転者の予備知識が一致していなければ均等としている。しかし、実際の道路における進路選択には、たとえ案内標識が設置されない交差点においても、その付近の車道幅員、交通量などの要因も影響することが考えられるが、ここではその要因は無視している。

次に、⑥地点に②地点を案内する標識が設置してあれば⑥地点において迷うことがなくなるので到達確率は1/4となる。

また⑦地点に⑥地点を案内する標識があり、運転者が②地点に行くには⑥地点を通らねばならないことを予備知識としてもっていれば、到達確率は1/4となる。このように、ある出発地からある目的地に最短経路で到達する確率は、対象とする道路網の構造、案内標識の設置状況、運転者の予備知識などによって異なる。

また、①地点から②地点へ走行するすべての運転者が標識を必要とするわけではなく、この要素を標識利用率として考慮する。

このような考え方を一般化して、評価値を次のように算出する。

ある道路網の i 地点を出発し、最短経路によって j 地点に到達できる確率を P_{ij} , i を出発地, j を目的地とする交通量を T_{ij} とし、その交通の標識利用率を λ_{ij} とすると、 i 地点を出発し、 j 地点に到達できる車の台数は $\lambda_{ij} \cdot P_{ij} \cdot T_{ij}$ で表される。この車の台数を道路網全体にわたって算出し、その総和をとり、標識利用の OD 交通量の総数で除して次式を得る。

$$C = \frac{\sum_i \sum_j \lambda_{ij} P_{ij} T_{ij}}{\sum_i \sum_j \lambda_{ij} T_{ij}} \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

式 (3.8) によって算出される値が、その対象道路網における案内情報体系の到達確率に基づく評価値である。この評価関数の値が 1.0 に近ければ、その道路網の案内情報体系が優れていることを意味する。

3) 総走行台キロによる評価手法

ある交差点で案内標識が設置されていないか、又は役に立たなかった場合に運転者が迷いながら走行する範囲は、その自動車の OD 距離と、迷った交差点の位置から目的地までの残った距離に関係するであろう。いま、運転者が到達経路からはずれ、迷いながら走行する距離、すなわち一般的には進路の誤りに気づくまでの距離を迷走距離と定義すれば、図-3.7 のように、迷走距離は迷う位置が出発地付近か、又は目的地付近においては比較的注意深く走行するので小さい値を示すと考えられる。従って、ここでは迷走距離を次式のように設定した。

$$l' = 4 \beta l (1 - l/L) \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

ここで、 l' : 迷走距離

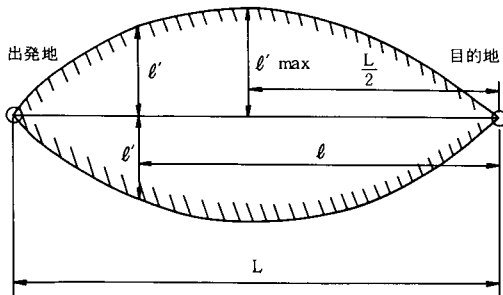


図-3.7 迷走距離の範囲

l : 目的地までの残りの距離

L : OD 距離 (トリップ長)

β : 迷って走行する距離の最大値 $l' \max$ の OD 距離 L に対する比率、すなわち

$$\beta = \frac{l' \max}{L}$$

いま、 $\beta = 0.25$ とすれば、式 (3.9) より次式が得られる。

$$l' = l (1 - l/L) \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

ただし、迷った後の走行方向が目的地で逆になっている場合には、運転者が方向感覚から早目に進路の誤りに気づくと考えられるため、次のように考える。

例えば、図-3.8 において①地点から⑧地点に向かう運転者が、④地点で進路の選択に迷った場合には、⑤地点と⑧地点 (目的地) の最短経路上に④地点 (迷いを生じた分岐点) が存在し、⑥地点と⑧地点の最短経路上に④地点は存在しないので、⑥地点及び⑦地点方向への進路選択はあっても、⑤地点方向は、選択対象路線としない。この手法の導入により、常識的に考えられない方向への走行を回避することが可能となる。

進路を誤っているのに気づいた時点で、ドライバーは近くのカソリンスタンドあるいは道路地図などから正確な情報を得て、その時点からは最短経路で目的地に到着できるよう走行すると考える。

評価値は次のように算出する。

ある道路網において、 i 地点を出発地、 j 地点を目的地とする交通量 $\lambda_{ij} \cdot T_{ij}$ のうち、到着経路上にある交差点 k において迷ったものの交通量を T'_{ijk} ($k = 1, 2, 3 \dots n_{ij}$; n_{ij} : i, j 間の分岐点数)、迷わなかったものの交通量を T'_{i0} ($k = 0$) とすれば、

$$\lambda_{ij} \cdot T_{ij} = \sum_k T'_{ijk} \quad \dots\dots\dots (3.11)$$

ただし、 $\lambda_{ij} P_{ij} T_{ij} = T'_{i0}$

ここで、 λ_{ij} : 標識利用率

P_{ij} : 到達確率

また、それぞれの交通の道程距離を L_{ijk} , 進路の誤

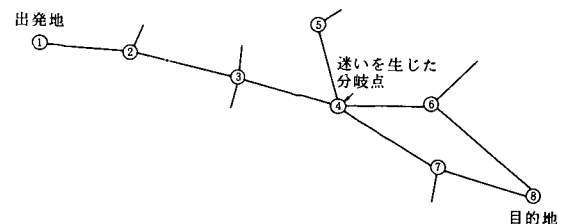


図-3.8 出発地、目的地と迷いを生じた位置との関係

りに気づく点を m とすると、

$$L_{ijk} = \widehat{ik} + \widehat{km} + \widehat{mj} \quad \dots\dots\dots (3.12)$$

ただし、 $L_{ij} = L_{ij0} (k=0)$

ここで、 $\widehat{ik}$: i 地点と交差点 k の最短距離

$\widehat{km}$: 交差点 k と m 地点の最短距離

$\widehat{mj}$: m 地点と j 地点の最短距離

L_{ij} : i 地点と j 地点の到達経路 (最短距離経路) の距離 (到達距離)

i 地点を出発し、 j 地点に到着する標識を必要とする自動車の走行台キロ V_{ij} は次式となる。

$$V_{ij} = \sum_k T'_{ijk} L_{ijk}$$

従って、道路網全体の総走行台キロ V は次式で表せる。

$$\begin{aligned} V &= \sum_i \sum_j V_{ij} \\ &= \sum_i \sum_j \sum_k T_{ijk} L_{ijk} \quad \dots\dots\dots (3.13) \end{aligned}$$

案内標識の利用を必要とする運転者が、最短距離で目的地に到達できた場合の総走行台キロを V で除して式 (3.14) を得る。

$$C' = \frac{\sum_i \sum_j \lambda_{ij} T_{ij} L_{ij}}{\sum_i \sum_j \sum_k T'_{ijk} L_{ijk}} \quad \dots\dots\dots (3.14)$$

式 (3.14) は次式のように表現することもできよう。

$$C' = \frac{\left(\begin{array}{l} \text{すべての交差点の流入部にOD表のすべての} \\ \text{の目的地を表示した場合の総走行台キロ} \end{array} \right)}{\left(\begin{array}{l} \text{評価対象とする任意の案内標識} \\ \text{を設置した場合の総走行台キロ} \end{array} \right)}$$

式 (3.14) をもって道路網の案内情報体系の総走行台キロによる評価関数とすることができる。この評価関数の値が1.0に近ければ、その道路網の案内情報体系が優れていることを意味する。

4) 費用便益による評価手法

① 評価関数

費用対便益分析における計算基準はアメリカにおける AASHO (American Association of State Highway Officials) の費用対便益計算基準による⁵⁹⁾。この考え方はアメリカにおける水資源開発のプロジェクトの投資選択を目的として開発されたものであり、これを道路投資基準に適用したものである。その後我が国においても、この評価手法は道路建設計画の路線比較選定などに導入され利用された例はあるが、道路標識などの道路付属物の整備計画に取入れられた経験はない。

この手法の基本的な考え方は以下のである。

道路改良のディシジョンメイキングは、現存道路と改良道路の年間費用の比較によって行われる。年間費用は、道路利用者費用と道路費用 (建設、維持管理) となっており、この比率を費用対便益比と呼び次式で表すことができる。

$$r = \frac{R_1 - R_2}{H_2 - H_1} \quad \dots\dots\dots (3.15)$$

ここで、 r : 費用対便益比

R_1 : 現存道路の年間道路利用者費用

R_2 : 改良道路の年間道路利用者費用

H_1 : 現存道路の年間道路費用
(建設、維持管理)

H_2 : 改良道路の年間道路費用
(建設、維持管理)

また、両者の差は純便益として次式で表される。

$$r' = (R_1 - R_2) - (H_2 - H_1) \quad \dots (3.16)$$

従って、案内標識の設置に関する費用対便益比は式 (3.15) をもとに次式で表される。

$$r = \frac{R}{H} \quad \dots\dots\dots (3.17)$$

ここで、 r : 案内標識の費用対便益比

R : 標識設置により得られる便益
(走行及び時間)

H : 標識設置及び維持管理に要する費用
標識設置及び維持管理に要する経費は次式により求められる。

$$H = x \cdot C + M \quad \dots\dots\dots (3.18)$$

H : 標識設置に伴う年間費用

x : 資本回収率

C : 初期投資費用 (建設費)

M : 年間維持管理費

ここで

$$x = \frac{\alpha(1+\alpha)^n}{(1+\alpha)^n - 1} \quad \dots\dots\dots (3.19)$$

α : 利子率

n : 平均耐用年数

次に、標識設置による年間便益は、次式によって求められる。

$$R = (A \cdot U^* + \frac{A}{v} \cdot t^*) \times 365 \quad \dots\dots (3.20)$$

A : 標識設置により節約できる1日当たりの総走行キロ

U^* : 1台キロ当たりの走行費用

t^* : 1台当たりの時間費用

v : 平均走行速度

また、案内標識の設置に関する純便益は次式となる。

$$g' = R - H \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 21)$$

ここで、 R 及び H は、それぞれ式 (3・18) 及び式 (3・19) に同じである。

② 走行費用及び時間費用

自動車の走行費用については、(財)高速道路調査会の調査による表-3・5の昭和43年度走行費用を経済企画庁調査による表-3・6のインプリシットデフレーターにより、OD表の調査年度である昭和49年度時点の価格に換算して用いる。

また、対象車種については小型乗用車、小型貨物車、普通貨物車の3種類に分類して、調査した結果を表-3・7により、加重平均して単位走行台キロ当たりの費用を算出した。すなわち、昭和49年度価格による平均走行費用は以下のように算出される。

平均走行費用

$$= \frac{12.16 \times 4,746,988 + 11.47 \times 2,526,811 + 22.33 \times 339,584}{7,613,383} \times \frac{198}{114.2} = 21.30 \text{ 円/km}$$

次に、時間費用は(財)高速道路調査会の調査による表-3・8の昭和43年度時間費用を表-3・9の1人当たり実質国民所得の伸び率は、表-3・6により補正している。

すなわち、

表-3・5 車種別走行費用(昭和43年度価格)
(円/km)

	燃料	油脂	タイヤ チューブ	車輪修繕	車輪償却	合 計
小型乗用車	3.5	0.35	1.18	2.0	5.13	12.16
小型貨物車	3.5	0.35	0.88	1.44	5.0	11.17
普通貨物車	9.1	0.64	3.0	3.16	6.43	22.33

表-3・6 経済企画庁によるインプリシット
デフレーター(基準年昭和40年)

	昭和40年度	昭和43年度	昭和49年度
インプリシット デフレーター	100	114.2	198

表-3・7 運輸省登録台数

車 種	小型乗用車	小型貨物車	普通貨物車	合 計
保有台数	4,746,988	2,526,811	339,584	7,613,383

$$\text{伸び率} = \frac{(971,130/198.0)}{(411,150/114.2)} = 1.362$$

従って、加重平均により、昭和49年度の平均時間費用は以下のように算出される。

平均時間費用

$$= \frac{10.19 \times 4,746,988 + 12.73 \times 2,526,811 + 22.35 \times 339,584}{7,613,383} = 11.58 \text{ (円/分)}$$

③ 平均走行速度

自動車の平均走行速度は、昭和50年度直轄国道管理調査走行速度調査結果により **42.2km/時** とする。

④ 案内標識設置費用

案内標識1本当たりの設置費用は、当該標識の設置方式、大きさ、材料などにより異なる。

図-3・9は、関東地域における調査例からオーバーハング固定式の反射シートを板面に用いた標識板面積

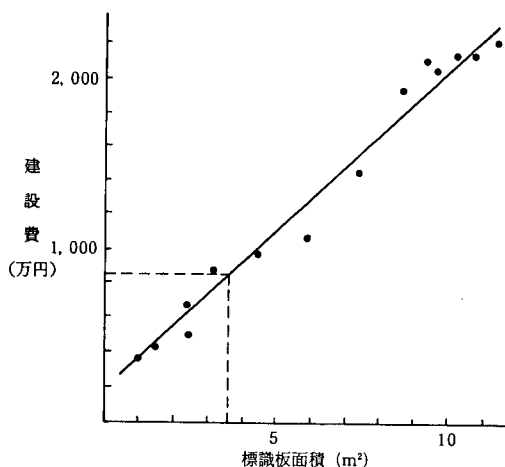


図-3・9 案内標識板面積と設置費用との関係

表-3・8 車種別時間費用(昭和43年度価格)
(円/分)

車 種	小型乗用車	小型貨物車	普通貨物車
時間費用	7.48	9.35	16.41

表-3・9 1人当たり国民所得

昭和43年1人当たりの国民所得(名目)	411,150円
昭和49年1人当たりの国民所得(名目)	971,130円

表-3・10 車種別時間費用(昭和49年度価格)
(円/分)

車 種	小型乗用車	小型貨物車	普通貨物車
時間費用	10.19	12.73	22.35

表-3・11 シミュレーション対象道路網のOD表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
1	2,500	1,200	50	0	50	0	0	1,200	0	0	0	5,000	10,000
2	1,500	300	150	0	150	0	100	500	150	150	0	2,000	5,000
3	100	50	0	0	50	0	50	100	50	50	0	50	500
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	200	50	50	0	0	0	50	100	0	0	0	50	500
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	100	50	50	0	50	0	50	50	50	50	0	50	500
8	300	150	50	0	150	0	50	400	50	50	0	1,800	3,000
9	100	100	50	0	0	0	50	0	100	100	0	0	500
10	200	100	50	0	0	0	50	50	0	0	0	50	500
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	4,000	1,000	150	0	150	0	200	1,100	200	200	0	3,000	10,000
計	9,000	3,000	600	0	600	0	600	3,500	600	600	0	12,000	30,500

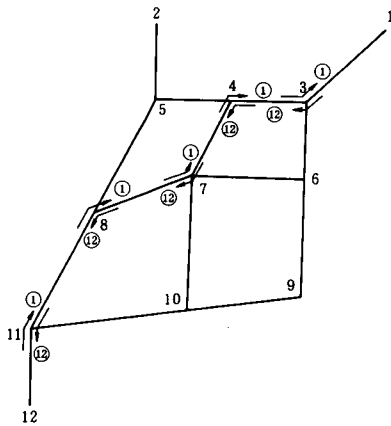


図-3・11 主交通に対する案内を重点に行う方式 (ケース1)

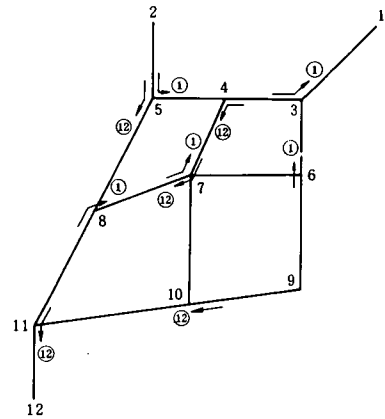


図-3・13 道路網全体に主地点の案内を分散させる方式 (ケース3)

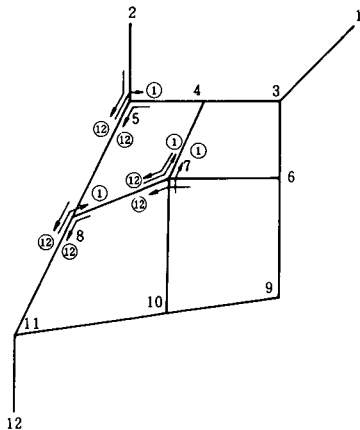


図-3・12 特定の分岐点に主地点の案内を集中させる方式 (ケース2)

表-3・12～表-3・15に各ケースの到達確率表を示す。

図-3・14は、到達確率に基づく各ケースの評価値を比較したものである。この結果は、主交通に対する案内を重点に行うケース1の評価値が他のケースの評価値に比してきわめて高く、案内標識の無い場合(ケース0)の5倍近い値を示している。また、ケース2とケース3の案内方式はほとんど変わらない評価がなされている。これらの結果は一般性をもつものとは言えないが、集中交通量が他の市町村に比較して、目立って大きい都市が存在しているような道路網においては、それら大都市相互の案内を重点的に整備する方式が優れていると言える。

以上のように、案内標識の設置位置に対する到達確

表-3-12 シミュレーション対象道路網の到達確率表 (ケース 0)

起 点 \ 終 点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		0.1250	1.0000	0.5000	0.2500	0.5000	0.2500	0.0833	0.2500	0.0833	0.0417	0.0208
2	0.1250		0.2500	0.5000	1.0000	0.1250	0.2500	0.5000	0.0625	0.0833	0.2500	0.1250
3	0.3333	0.0833		0.3333	0.1667	0.3333	0.1667	0.0556	0.1667	0.0556	0.0278	0.0139
4	0.1667	0.1667	0.3333		0.3333	0.1667	0.3333	0.1111	0.0833	0.1111	0.0556	0.0278
5	0.0833	0.3333	0.1667	0.3333		0.0833	0.1667	0.3333	0.0417	0.0556	0.1667	0.0833
6	0.1667	0.0417	0.3333	0.1667	0.0833		0.3333	0.1111	0.3333	0.3333	0.0556	0.0278
7	0.0625	0.0625	0.1250	0.2500	0.1250	0.2500		0.2500	0.1250	0.2500	0.1250	0.0625
8	0.0278	0.1667	0.0556	0.1111	0.3333	0.1111	0.3333		0.0556	0.1111	0.3333	0.1667
9	0.1250	0.0313	0.2500	0.1250	0.0625	0.5000	0.2500	0.0833		0.5000	0.2500	0.1250
10	0.0278	0.0278	0.0556	0.1111	0.0556	0.3333	0.3333	0.1111	0.3333		0.3333	0.1667
11	0.0139	0.0833	0.0278	0.0556	0.1667	0.0556	0.1667	0.3333	0.1667	0.3333		0.3333
12	0.0208	0.1250	0.0417	0.0833	0.2500	0.0833	0.2500	0.5000	0.2500	0.5000	1.0000	

表-3-13 シミュレーション対象道路網の到達確率表 (ケース 1)

起 点 \ 終 点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		0.1250	1.0000	0.5000	0.2500	0.5000	0.2500	0.0833	0.2500	0.0833	0.0417	1.0000
2	0.2500		0.2500	0.5000	1.0000	0.1250	0.2500	0.5000	0.0625	0.0833	0.2500	0.2500
3	0.3333	0.0833		0.3333	0.1667	0.3333	0.1667	0.0556	0.1667	0.0556	0.0278	0.3333
4	0.3333	0.1667	0.3333		0.3333	0.1667	0.3333	0.1111	0.0833	0.1111	0.0556	0.3333
5	0.1667	0.3333	0.1667	0.3333		0.0833	0.1667	0.3333	0.0417	0.0556	0.1667	0.1667
6	0.1667	0.0417	0.3333	0.1667	0.0833		0.3333	0.1111	0.3333	0.3333	0.0556	0.1111
7	0.2500	0.0625	0.1250	0.2500	0.1250	0.2500		0.2500	0.1250	0.2500	0.1250	0.2500
8	0.3333	0.1667	0.0556	0.1111	0.3333	0.1111	0.3333		0.0556	0.1111	0.3333	0.3333
9	0.1250	0.0313	0.2500	0.1250	0.0625	0.5000	0.2500	0.0833		0.5000	0.2500	0.1250
10	0.1111	0.0278	0.0556	0.1111	0.0556	0.3333	0.3333	0.1111	0.3333		0.3333	0.1667
11	0.3333	0.0833	0.0278	0.0556	0.1667	0.0556	0.1667	0.3333	0.1667	0.3333		0.3333
12	1.0000	0.1250	0.0417	0.0833	0.2500	0.0833	0.2500	0.5000	0.2500	0.5000	1.0000	

表-3-14 シミュレーション対象道路網の到達確率表 (ケース 2)

起 点 \ 終 点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		0.1250	1.0000	0.5000	0.2500	0.5000	0.2500	0.0833	0.2500	0.0833	0.0417	0.1250
2	0.1250		0.2500	0.5000	1.0000	0.1250	0.2500	0.5000	0.0625	0.0833	0.2500	0.5000
3	0.3333	0.0833		0.3333	0.1667	0.3333	0.1667	0.0556	0.1667	0.0556	0.0278	0.0833
4	0.1667	0.1667	0.3333		0.3333	0.1667	0.3333	0.1111	0.0833	0.1111	0.0556	0.1667
5	0.0833	0.3333	0.1667	0.3333		0.0833	0.1667	0.3333	0.0417	0.0556	0.1667	0.1667
6	0.1667	0.0417	0.3333	0.1667	0.0833		0.3333	0.1111	0.3333	0.3333	0.0556	0.1667
7	0.0625	0.0625	0.1250	0.2500	0.1250	0.2500		0.2500	0.1250	0.2500	0.1250	0.1250
8	0.0833	0.1667	0.0556	0.1111	0.3333	0.1111	0.3333		0.0556	0.1111	0.3333	0.1667
9	0.1250	0.0313	0.2500	0.1250	0.0625	0.5000	0.2500	0.0833		0.5000	0.2500	0.1250
10	0.0833	0.0278	0.0556	0.1111	0.0556	0.3333	0.3333	0.1111	0.3333		0.3333	0.1667
11	0.0833	0.0833	0.0278	0.0556	0.1667	0.0556	0.1667	0.3333	0.1667	0.3333		0.3333
12	0.1250	0.1250	0.0417	0.0833	0.2500	0.0833	0.2500	0.5000	0.2500	0.5000	1.0000	

表-3・15 シミュレーション対象道路網の到達確率表 (ケース 3)

起 点 \ 終 点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		0.1250	1.0000	0.5000	0.2500	0.5000	0.2500	0.0833	0.2500	0.0833	0.0417	0.2500
2	0.5000		0.2500	0.5000	1.0000	0.1250	0.2500	0.5000	0.0625	0.0833	0.2500	0.5000
3	0.3333	0.0833		0.3333	0.1667	0.3333	0.1667	0.0556	0.1667	0.0556	0.0278	0.1667
4	0.3333	0.1667	0.3333		0.3333	0.1667	0.3333	0.1111	0.0833	0.1111	0.0556	0.1667
5	0.1667	0.3333	0.1667	0.3333		0.0833	0.1667	0.3333	0.0417	0.0556	0.1667	0.1667
6	0.1667	0.0417	0.3333	0.1667	0.0833		0.3333	0.1111	0.3333	0.3333	0.0556	0.0556
7	0.1250	0.0625	0.1250	0.2500	0.1250	0.2500		0.2500	0.1250	0.2500	0.1250	0.1250
8	0.1667	0.1667	0.0556	0.1111	0.3333	0.1111	0.3333		0.0556	0.1111	0.3333	0.3333
9	0.2500	0.0313	0.2500	0.1250	0.0625	0.5000	0.2500	0.0833		0.5000	0.2500	0.2500
10	0.0556	0.0278	0.0556	0.1111	0.0556	0.3333	0.3333	0.1111	0.3333		0.3333	0.1667
11	0.1667	0.0833	0.0278	0.0556	0.1667	0.0556	0.1667	0.3333	0.1667	0.3333		0.3333
12	0.2500	0.1250	0.0417	0.0833	0.2500	0.0833	0.2500	0.5000	0.2500	0.5000	1.0000	

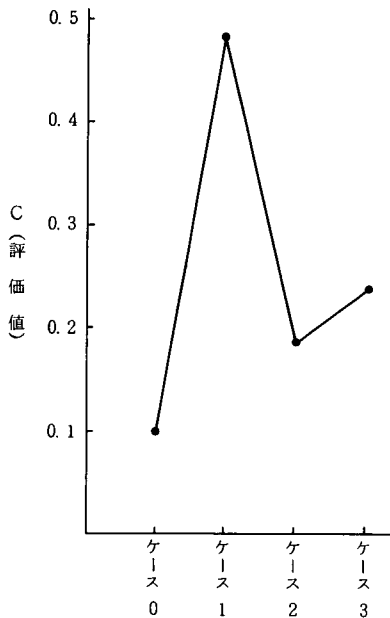


図-3・14 設置位置に対する評価 (到達確率)

立に基づく評価が可能である。

2) 都市内高速道路における案内地名の選定方法に対する評価

評価シミュレーションの対象道路網として、図-3・15に示す首都高速道路(東京線)を設定した。この対象道路のOD表は、昭和49年度首都高速道路起終点調査結果のランプ間OD表を用いる。

① シミュレーション・ケース

進路選択に関する案内標識をすべての分岐点に設置できるものとした場合の案内地名の選定方法の各ケー

スを表-3・16のように設定する。

② シミュレーションの条件

シミュレーションの条件を以下のように設定する。

- 到達経路の条件として、最短距離経路を設定する。
- 運転者は、首都高速道路に関する地理的な予備知識を持たないものとする。
- 各OD交通とも、標識利用率はすべて一定とする。

③ シミュレーションの結果

各ケースの案内情報体系の評価がどのようなものであるかを到達確率による評価値Cによって検討する。図-3・16は各ケースの評価値を示したものである。

この結果は、分岐点の案内標識に表示すべき地名(ランプ名)の選定には、ランプの集中交通量と分岐点とランプ間の距離を考慮した方法であるケース4、ケース5の評価が高く、特に $T_c / \sqrt{D}$ なる指標を用いているケース5は、評価値が案内標識のない場合の2倍近い値となっており、このシミュレーションの中ではもっとも大きな評価値を示している。また、集中交通量のみ選定基準としている場合は、集中交通量の基準値が大きくなるほど評価値が高くなるという傾向が認められる。

以上のように、案内標識の地名の選定方法に対する評価も可能となる。

3) 地方部道路網における案内地名の選定方法に対する評価

評価シミュレーションの対象道路ネットワークとして千葉県南部の一般国道及び主要地方道よりなる道路

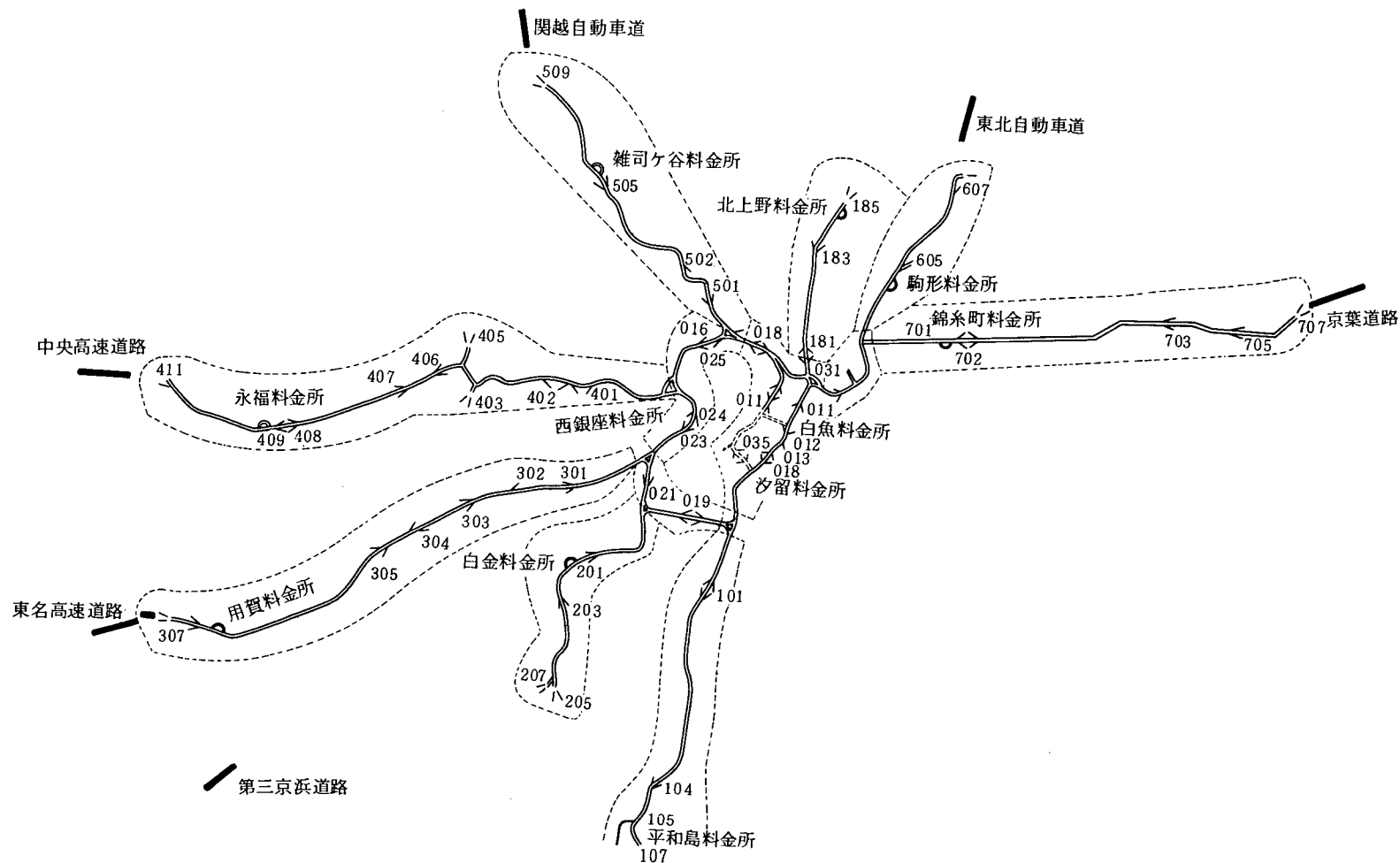


図-3-15 首都高速道路 (東京線)

表-3・16 地名の選定方法

ケース	内 容	ケース	内 容
0	案内標識なし	4	T_c/D の最大
1	集中交通量3,000台以上のランプ	5	$T_c/\sqrt{D}$ の最大
2	集中交通量5,000台以上のランプ	T_c : ランプの集中交通量 D : 分岐点からランプまでの距離	
3	集中交通量7,000台以上のランプ		

- 注1) すべて最寄のランプを案内するものとする。
 2) すべて一方向一地名案内である。

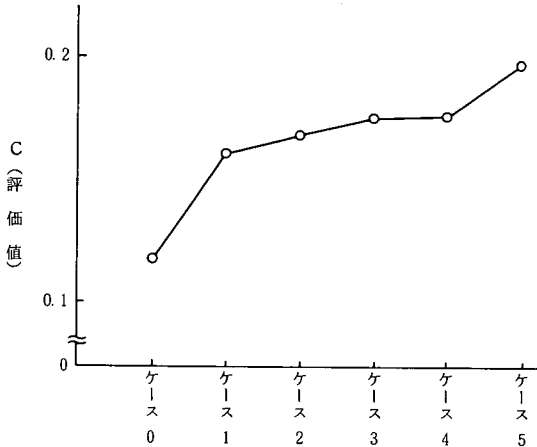


図-3・16 地名選定方法に対する評価（到達確率）

網を設定し、対象道路網のOD表は、表-3・17及び図-3・17に示す昭和49年度交通情勢調査の結果を用いる。

① シミュレーション・ケース

この道路網すべての分岐点に案内標識を設置できるものとした場合に、これに表示する地名の選択方法として表-3・18に示すようなA～Fの6ケースを設定する。

② シミュレーションの条件

シミュレーションの条件を以下のように与える。

- 到達経路として最短距離経路を設定する。
- 運転者の予備知識はないものとする。
- ゾーン内交通は案内標識を必要とせず、標識を必要とするのは、ゾーン内外交通のみとする。

③ シミュレーションの結果

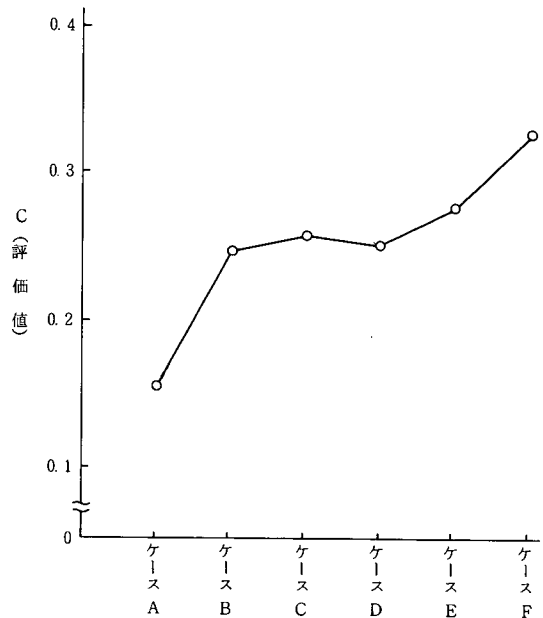
各ケースの案内情報体系を到達確率に基づく評価Cによって評価し、どのような地名選定の方法が適切であるかを検討する。

図-3・18は各ケースの評価値を比較したものである。

この結果は、主要地方道以上の道路が交差する主要地点と人口5万以上の市の両方を一方向に案内するケースFの評価値がもっとも高く、案内標識の無い場合（ケースA）の約2倍の値を示している。またケー

表-3・18 地名の選定方法

ケース	内 容	ケース	内 容
A	案内標識なし	E	人口5万以上の市町 (1方向1地名)
B	主要地方道以上の道路が交差する 主要地点(1方向1地名)	F	BとEと組合せ (1方向2地名)
C	人口1万以上の市町 (1方向1地名)	注) すべて最寄の市町を案内するものとする。	
D	人口3万以上の市町 (1方向1地名)		

図-3・18 地名選定方法に対する評価
（千葉県南部・到達確率）

スB、ケースC、ケースDとでは、ほぼ同じ評価がなされており、人口5万以上の市を案内するケースEがこれらと比較して若干高い評価がなされる。

これらは、人口の多い（集中交通量の多い）都市の案内を行う方法が優れていることを裏付けると共に分岐点において1方向に2地名を案内する方式を、視認性などの面を含めて検討する必要性を示唆していると考えられる。

4) 地方道路における案内情報の各要因に対する

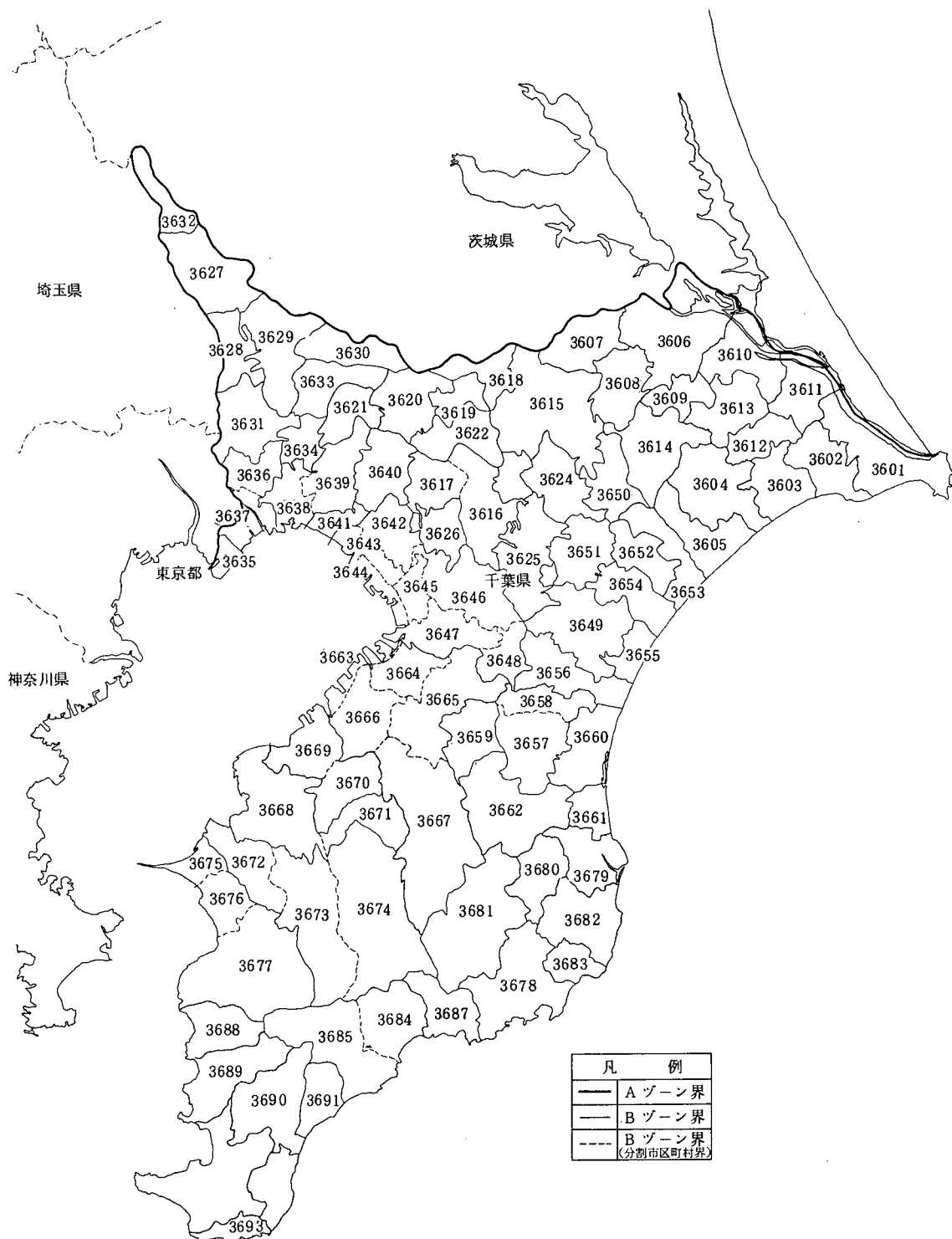


表-3・17 千葉県地図 (OD ゾーン)

表-3・17 千葉県南部の OD 表

	3 6 5 7 原 市	3 6 5 8 納 町	3 6 5 9 柄 町	3 6 6 0 子 町	3 6 6 1 宮 町	3 6 6 2 沢 村	3 6 6 3 原 市	3 6 6 4 原 市	3 6 6 5 原 市	3 6 6 6 原 市	3 6 6 7 原 市	3 6 6 8 木 更 津 市	3 6 6 9 袖 ヶ 浦 市	3 6 7 0 川 町	3 6 7 1 木 更 津 市	3 6 7 2 津 市	3 6 7 3 津 市	3 6 7 4 津 市	3 6 7 5 津 市	3 6 7 6 津 市	3 6 7 7 津 市	3 6 7 8 勝 浦 市	3 6 7 9 岬 町	3 6 8 0 夷 隅 町	3 6 8 1 大 多 喜 町	3 6 8 2 大 原 町	3 6 8 3 御 宿 町	3 6 8 4 鴨 川 市	3 6 8 5 鴨 川 市	3 6 8 6 館 山 市	3 6 8 7 天 津 小 湊 町	3 6 8 8 路 南 町	3 6 8 9 富 山 町	3 6 9 0 山 町	3 6 9 1 和 田 町	3 6 9 2 千 倉 町	3 6 9 3 白 浜 町	A	B	C	D	E	F	東 玉	鳩 城	灰 川	神 奈 川	新 木	屏 風		73	74	75		
59464	26006	33458	1822	2284	4169	1326	3780	113	503	278	123	190	47	0	88	0	46	0	0	0	0	0	363	881	416	569	856	359	58	213	13	0	0	0	0	0	48	32	286	2699	413	201	192	2530	932	29	83	0	64	0	3657 (茂原市)	3946	3483	0	
	6552	4730	1822	88	768	63	137	72	63	0	71	80	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	61	0	22	0	0	48	0	0	0	0	0	0	0	0	57	538	48	44	111	498	74	23	0	0	0	23	3658 (本納町)	0	1416	0		
		6654	4590	2064	261	59	293	125	141	111	154	84	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	88	0	52	20	0	0	0	0	0	0	0	0	125	601	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3659 (長柄町)	748	0	0				
			15828	9658	6170	1292	339	42	119	0	0	0	28	0	0	0	0	19	0	0	0	23	253	40	0	197	0	60	40	0	0	0	0	0	0	550	21	0	80	1003	354	0	0	0	0	0	0	3660 (白子町)	904	21	0				
				9861	5237	4624	1005	42	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	647	40	66	200	20	0	0	76	0	0	0	0	0	0	268	74	0	0	0	0	42	0	25	0	0	3661 (一宮町)	325	74	0					
					18815	12483	6332	21	82	27	63	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	366	119	206	64	57	0	0	0	0	0	0	169	927	178	31	179	3909	244	144	19	0	0	3662 (睦沢村)	1484	4316	0							
						24786	21536	3250	6360	331	1641	255	976	1124	178	0	77	60	151	29	29	2	0	40	80	0	0	0	40	0	26	27	0	2	0	627	5174	238	29	251	324	1898	215	191	713	22	11	3663 (市原市)	9693	0	0				
							56785	31813	24972	1996	4327	1219	972	252	284	50	62	9	123	8	146	0	0	0	0	104	88	44	18	0	126	0	0	48	0	0	51	698	8623	327	167	564	393	2462	357	383	581	61	2	3664 (市原市)	14618	0	0		
								8877	5693	3184	593	322	22	9	0	0	0	68	0	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	1387	0	0	44	0	310	2	78	42	0	0	3665 (市原市)	1848	44	0					
									19215	12695	6620	458	625	392	54	0	18	0	61	0	82	0	0	0	0	0	0	36	0	0	0	0	2	0	607	2166	71	29	317	41	480	42	2	65	49	126	3666 (市原市)	3637	358	0					
										10305	5269	5036	279	0	160	39	107	0	189	72	130	0	40	16	14	105	82	40	0	82	0	0	42	0	0	181	506	98	76	24	44	204	52	0	0	28	14	3667 (市原市)	1159	68	0				
											72769	24389	48380	2084	825	28	7671	1176	675	2331	782	874	50	42	0	23	63	0	85	16	150	3	232	121	0	0	385	2039	53	16	82	27	1066	209	90	176	0	24	3668 (木更津市)	4058	109	0			
												14469	7803	6666	398	0	185	2	25	146	40	0	0	0	0	0	0	18	0	98	0	0	0	0	168	1551	44	3	0	0	915	46	38	221	44	0	3669 (袖ヶ浦町)	3030	0	0					
													8659	2787	5872	154	175	0	171	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	157	42	0	0	21	0	0	0	0	0	0	3670 (平川町)	199	21	0						
														1328	1178	150	0	0	178	0	0	31	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140	353	40	36	0	0	0	0	67	31	0	0	3671 (木更津市)	667	0	0						
															30048	14386	15662	755	737	1884	900	271	0	0	0	20	0	0	84	38	76	23	21	21	42	0	0	15	510	0	20	9	0	286	68	0	187	64	14	3672 (君津市)	1164	9	0		
																4105	2729	1376	4	80	236	16	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	42	40	0	0	0	0	28	112	0	0	0	0	0	0	69	0	0	3673 (君津市)	209	0	0		
																	8074	3812	4262	190	0	99	0	0	0	8	0	0	120	0	0	0	0	0	0	144	569	36	54	126	40	0	0	6	0	0	0	3674 (君津市)	809	166	0				
																		15186	7854	7332	1266	1106	0	0	0	0	0	0	72	22	149	0	25	0	0	0	0	0	170	0	0	40	140	0	40	4	0	0	0	3675 (富津市)	214	180	0		
																			11924	5186	6738	594	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	44	0	0	35	523	0	14	63	72	115	0	32	45	0	0	3676 (富津市)	764	135	0			
																				9936	4148	5788	0	0	0	0	0	0	68	128	279	0	227	75	5	0	0	6	25	164	0	0	100	21	0	0	40	17	0	3677 (富津市)	367	0	0		
																						15874	4662	11212	373	193	244	881	503	425	141	0	375	22	38	0	0	20	75	113	337	0	0	68	78	75	0	69	0	36	0	3678 (勝浦市)	561	215	0
																							10916	5468	5448	486	148	1125	301	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	397	0	40	0	152	130	0	0	0	0	3679 (岬町)	497	0	192
																								6640	2768	3872	448	456	98	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	25	78	25	0	0	63	21	21	0	0	0	3680 (夷隅町)	145	88	0	
																								3366	3302	10064	585	103	22	98	0	20	0	0	0	0	0	58	295	0	0	2	0	102	0	0	34	0	0	3681 (大多喜町)	509	2	0		
																									17156	7946	9210	1167	133	66	101	99	0	0	0	0	0	0	178	704	16	3	46	258	439	67	20	0	0	3682 (大原町)	1388	39	304		
																										6849	3345	3004	58	0	0	138	0	0	0	0	0	0	216	7	0	42	57	40	24	0	0	0	15	3683 (御宿町)	295	7	99		
																											22389	8375	14014	3667	547	1510	102	20	170	439	94	42	59	89	0	0	72	98	78	0	0	40	21	18	3684 (鴨川市)	305	0	170	
																												14513	6813	7250	445	485	126	56	367	321	42	128	0	163	0	0	30	0	39	0	0	0	0	0	3685 (鴨川市)	202	0	30	
																													54947	13625	41322	170	713	2672	2864	644	1584	1316	484	200	48	32	127	50	517	37	25	43	0	13	3686 (館山市)	1389	0	177	
																													8401	3283	5118	23	0	20	0	61	21	6	100	67	1	36	50	25	23	0	0	0	0	0	3687 (天津小湊町)	191	36	75	
																														10637	2971	7666	1154	68	40	42	67	6	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	3688 (路南町)	29	0	0	
																															12204	5150	7054	491	42	0	0	40	20	0	0	10	0	26	28	46	78	34	0	3689 (富山町)	272	10	0		
																																12239	5563	6676	542	780	20	55	0																

評価

千葉県南部の一般国道及び主要地方道からなる道路網を対象とし、昭和49年交通情勢調査のOD表を用いる。

① シミュレーションの条件

シミュレーションの条件を次のように設定する。

- a) 到達経路の条件は、最短距離で目的地に至れる経路とする。
- b) 標識利用率は、出発地から標識までの距離との関数式(3・4)を用いる。すなわち

$$\lambda = 29.66 + 10.52 \ln L^*$$

ここで、 λ ：標識利用率(%)

L^* ：出発地から標識までの距離(km)

- c) 運転者は次に示すような都市の地理的な位置関係を予備知識として認識していると仮定する。

- 人口5万以上の都市
- 国道の交差する都市

これらの位置を図-3・19に示す。

- d) 迷走距離については式(3・10)に従うものとする。すなわち、

$$l' = l(1 - l/L)$$

ここで、 l' ：迷走距離

l ：目的地までの残りの距離

L ：OD距離

② シミュレーション・ケース

a) 設置場所

次の3ケースを設定する。

- (i) 発生交通量の多い地点の周りに設置(図-3・20)
- (ii) 交差点流入交通量の多い地点
- (iii) 現実の設置位置

(i)、(ii)については、(ii)のケースの方が高い評価が得られるであろうことは推測できるが、これがどの程度の違いであるか検討の必要がある。(iii)のケースは、現在の設置状況の評価ということでシミュレーション・ケースとして加えている。なお(ii)の交差点流入交通量の多い地点は、標識利用率を考慮した場合を考慮しない場合とがあるが、上位数箇所を見る限りにおいては順位的に大きな差異は認められない。

今回のケースとしては、標識利用率を考慮した交差点流入交通量の多い地点(図-3・21)を取り上げた。標識利用率を考慮しない場合の交差点流入交通量の多い地点を図-3・22に示す。

b) 案内地名

次のようなケースを設定することとする。

- (i) 集中交通量の多い地名(図-3・23)
- (ii) 運転者が予備知識として持っている地名(図-3・19)
- (iii) 現実の標識の案内地名^{61),62)}

(i)の集中交通量の多い地名は、ODトリップの目的地になる対象が多いという意味で検討する必要がある。(ii)の運転者が予備知識として持っている地名が分岐点に案内されていれば、当然その情報体系は高い評価値を示すであろうと考えられるため、(i)のケースとの比較による検討を行う必要がある。(iii)の現実の案内地名は、現状の評価ということで検討の必要がある。

なお、上記ケースの地名選定の補足条件として、次の事項を設定する。

- 標識設置場所から見て方角的に不自然な案内地名は選定しない。
- 同一方向に複数の案内地名候補があった場合には近い方の地名を採用することとする。
- 一方向一地名の案内とする。

c) 標識設置数

標識設置数によりどの程度の効果があるかを検討するために標識設置数を5本、10本、20本、30本、40本の5ケースを設定する。標識設置場所及び案内地名のケースについては①及び②においてもっとも高い評価を示すケースを採用することとする。

最終的に上記の要因を組み合わせ、13種類のシミュレーションケースを設定した。

③ シミュレーション及び費用便益分析の結果

- a) 到達確率による評価値(全ケース)
表-3・19に示す。
- b) 総走行台キロによる評価値(全ケース)
表-3・20に示す。
- c) 同一標識数における設置場所、案内地名の違いに対する到達確率及び総走行台キロによる評価
図-3・24に示す。
- d) 同一案内地名で同一標識数で設置場所の違いに対する到達確率及び総走行台キロによる評価
図-3・25に示す。
- e) 現実の標識設置位置における案内地名の変化に対する到達確率及び総走行台キロによる評価
図-3・26に示す。
- f) 同一設置場所で同一案内地名の選定方法で標識数の変化に対する到達確率及び総走行台キロによる



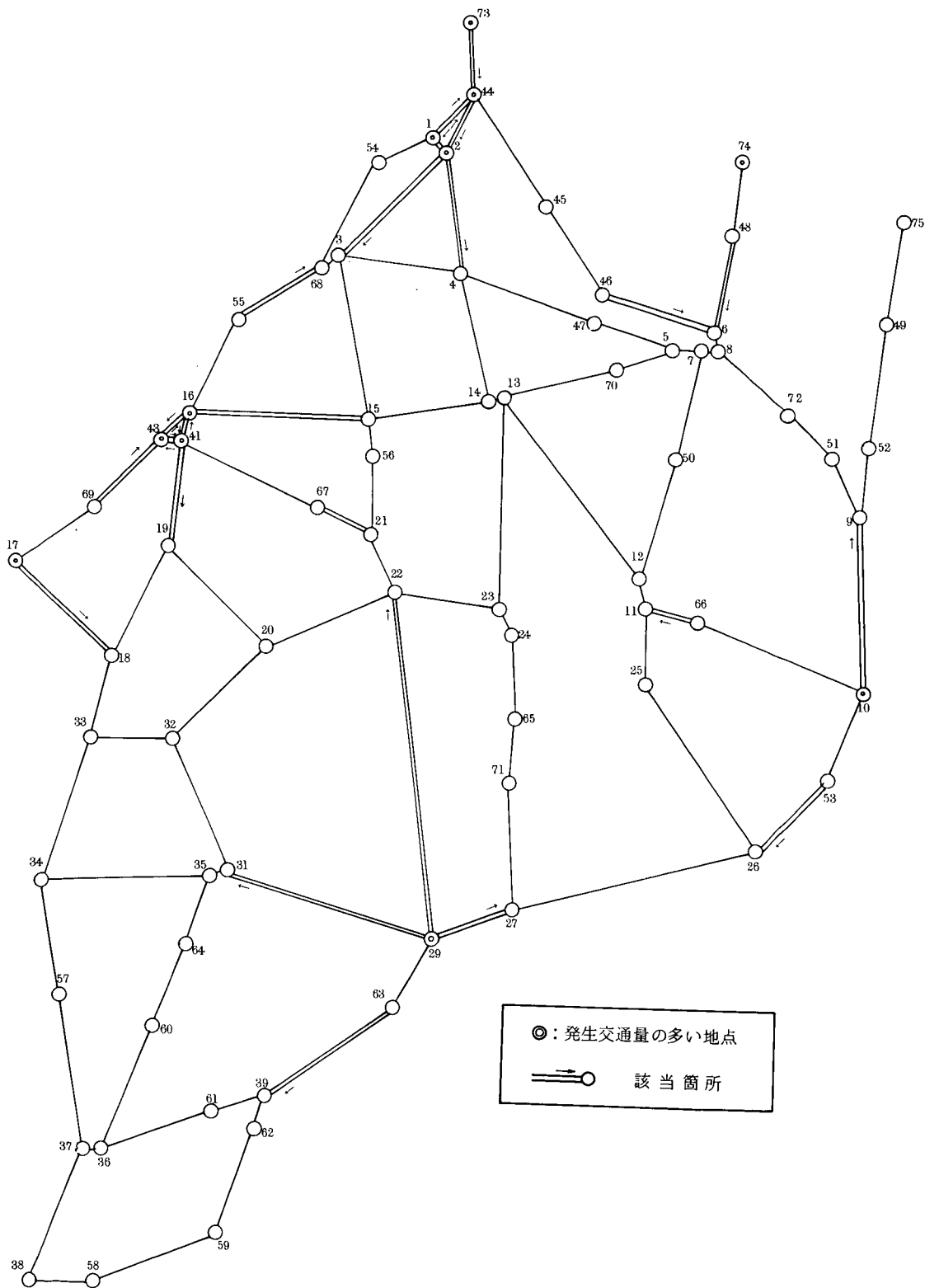


図-3・20 発生交通量の多い地点の回りで最初の三分岐以上の交差点30箇所

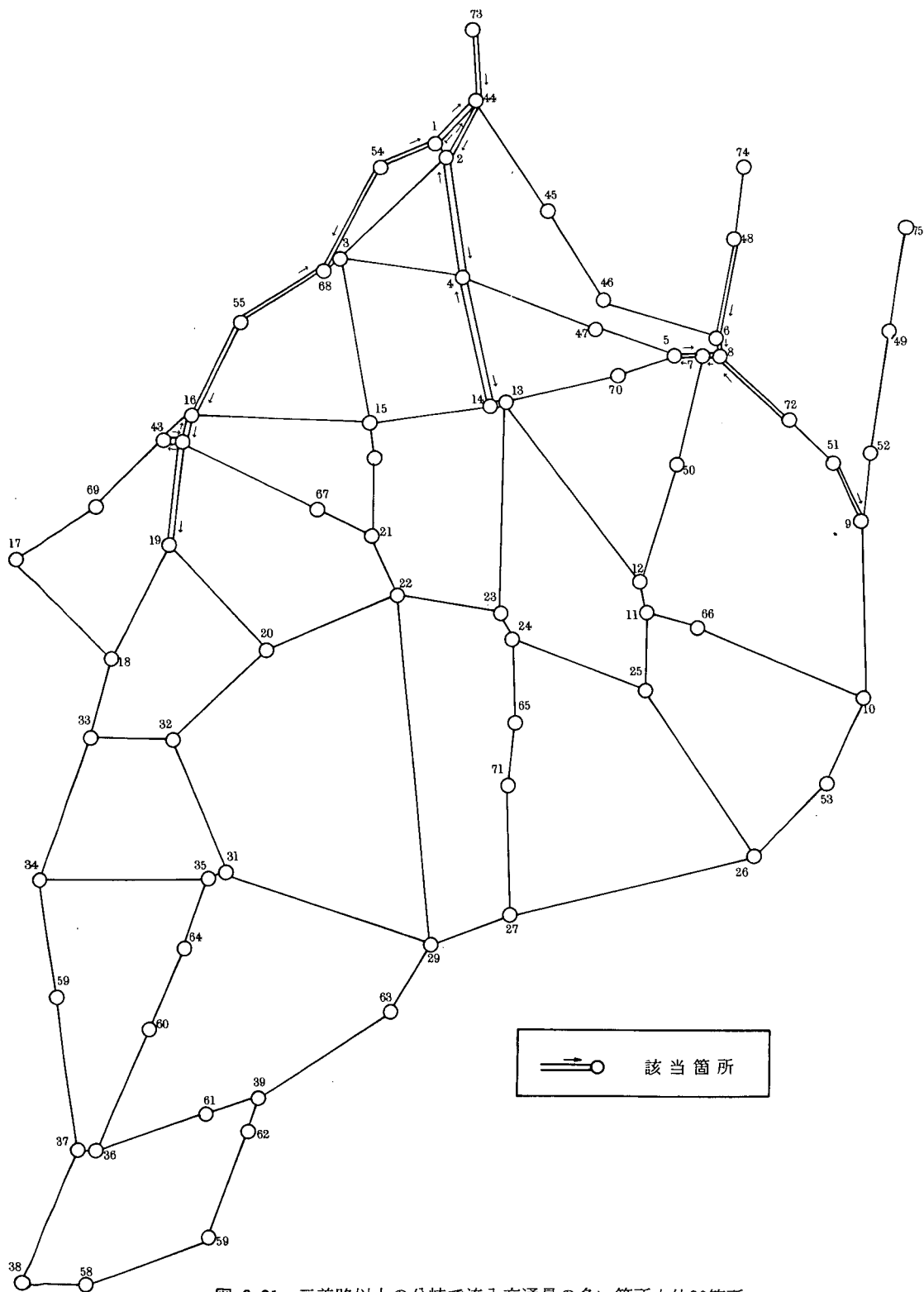


図-3・21 三差路以上の分岐で流入交通量の多い箇所上位30箇所
(標識利用率考慮)

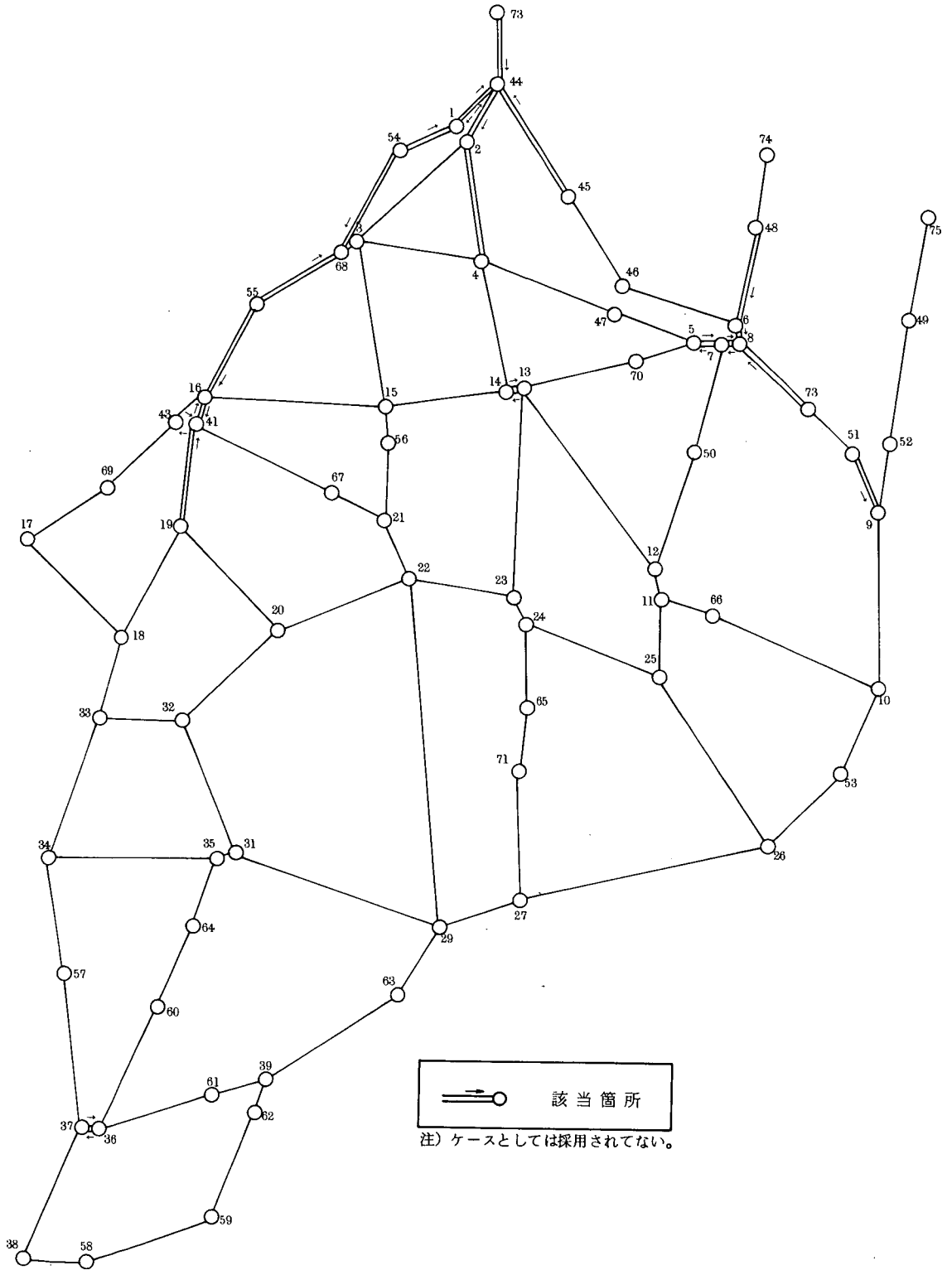


図-3・22 三差路以上の分岐で流入交通量の多い箇所上位30箇所
(標識利用率考慮しない)

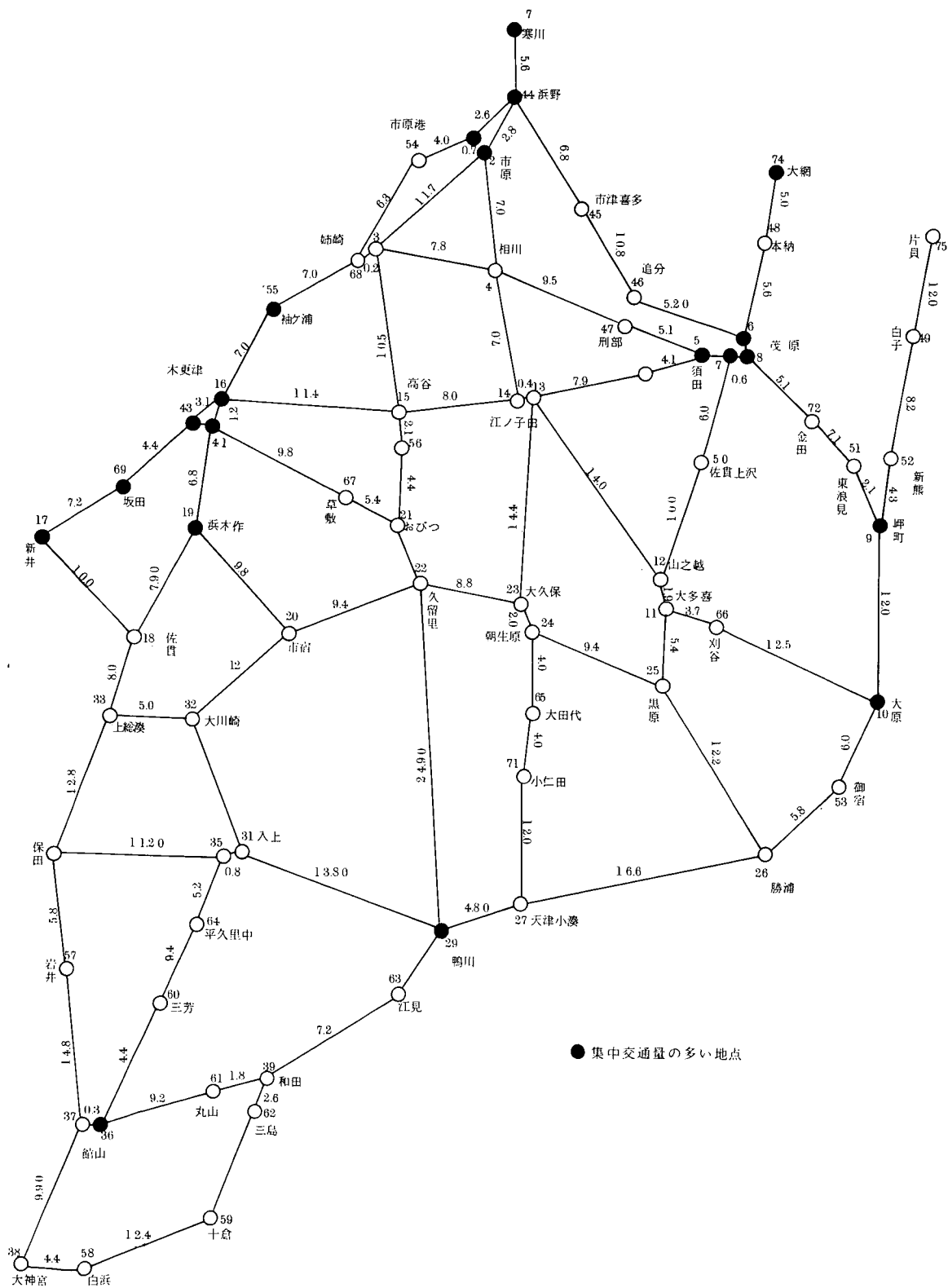


図-3・23 集中交通量の多い地点上位20箇所

表-3-19 到達確率による評価

ケース	設置場所	案内地名	標識設置数	評価値
1	発生交通量大の回りの地点	予備知識としてドライバーが持っている地名	30	0.460
2	〃	集中交通量の多い地名	30	0.433
3	〃	現実の案内地名	30	0.433
4	交差点流入交通量の多い地点	予備知識としてドライバーが持っている地名	30	0.628
5	〃	現実の案内地名	30	0.560
6	〃	予備知識としてドライバーが持っている地名	5	0.385
7	〃	〃	10	0.447
8	〃	〃	20	0.546
9	〃	〃	40	0.688
10	現実の設置場所	現実の案内地名	128	0.670
11	〃	予備知識としてドライバーが持っている地名	128	0.774
12	全 部	全 地 名	227	1.0
13	な し	な し	0	0.273

表-3-20 総走行台キロによる評価

ケース	設置場所	案内地名	標識設置数	総走行台キロ	標識が案内した台キロ	1標識当たりの台キロ	評価値
1	発生交通量大の回りの地点	予備知識としてドライバーが持っている地名	30	1,804,188	310,583	10,353	0.656
2	〃	集中交通量の多い地名	30	1,847,687	267,084	8,903	0.640
3	〃	現実の案内地名	30	1,892,418	222,353	7,412	0.625
4	交差点流入交通量の多い地点	予備知識としてドライバーが持っている地名	30	1,725,142	389,629	12,988	0.686
5	〃	現実の案内地名	30	1,785,094	329,677	10,989	0.663
6	〃	予備知識としてドライバーが持っている地名	5	1,997,536	117,235	23,447	0.592
7	〃	〃	10	1,941,426	173,345	17,334	0.609
8	〃	〃	20	1,816,982	297,789	14,889	0.651
9	〃	〃	40	1,642,028	472,743	11,819	0.720
10	現実の設置場所	現実の案内地名	128	1,560,906	553,865	4,327	0.758
11	〃	予備知識としてドライバーが持っている地名	128	1,390,826	723,945	5,656	0.850
12	全 部	全 地 名	227	1,182,777	931,994	4,106	1.000
13	な し	な し	0	2,114,771	0	0	0.559

る評価

図-3-27に示す。

- g) 到達確率と総走行台キロによる評価の比較
(全ケース)

図-3-28に示す。

- h) 費用便益による比較 (全ケース)
表-3-21に示す。

(4) 算定結果の考察

- 1) 同一標識数における設置場所、案内地名の違いに対する評価 (図-3-24)

案内標識の設置本数を30本とした場合、運転者が予備知識として持っている地名を案内するケースがもっとも高い評価を示している。また、標識の設置場所としては流入交通量の多い交差点を選択することが重要である。

案内地名、設置場所の違いによって到達確率による評価値は大きく影響を受けている。しかし、総走行台キロによる評価値の各ケースの差は少ない。これは、標識設置数で30本と、全体から見るときわめて少ない数となっているためと思われる。

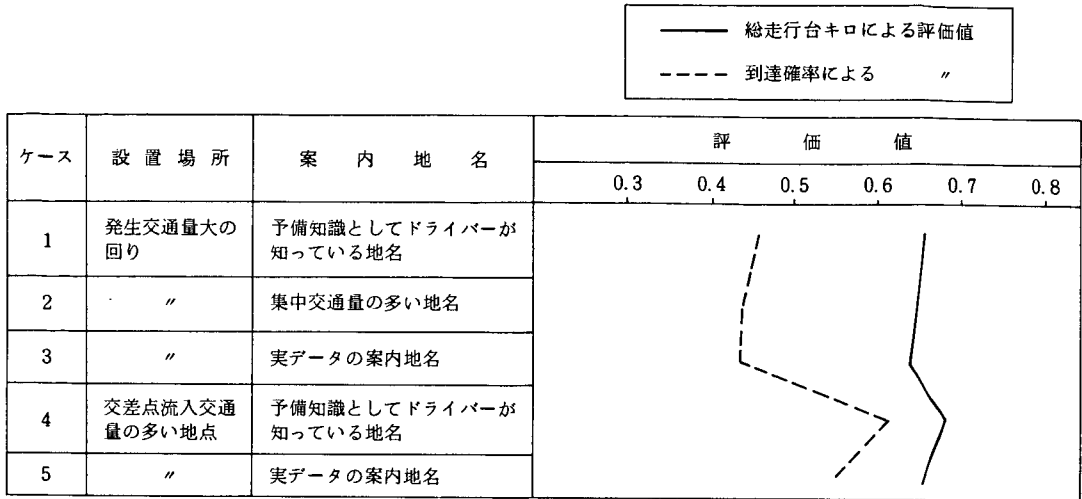


図-3-24 同一標識数における設置場所・案内地名に対する評価

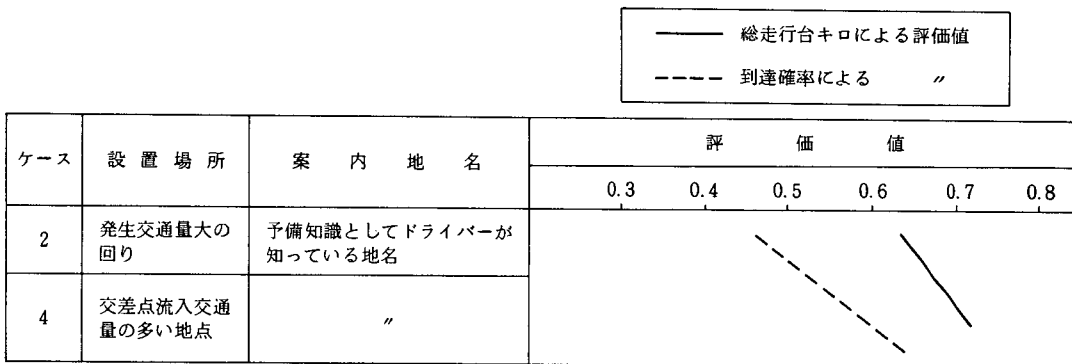


図-3-25 同一案内地名で同一標識数で設置場所の違いに対する評価

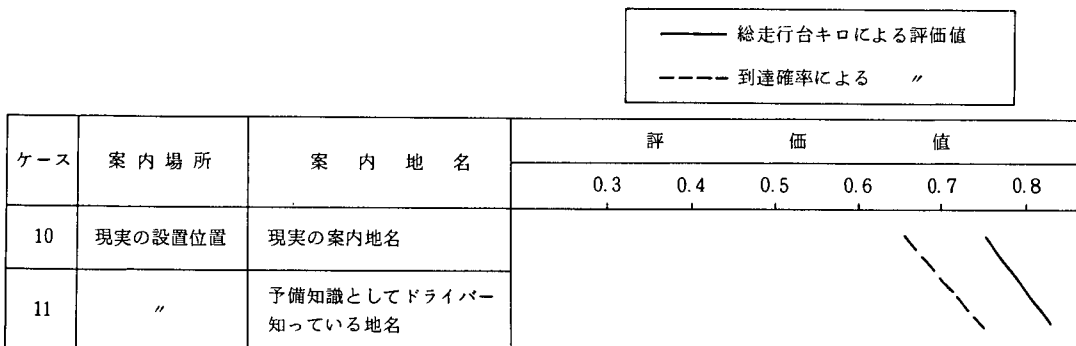


図-3-26 現実の標識設置位置における案内地名の変化に対する評価

2) 同一案内地名、同一標識数における設置場所の違いに対する評価 (図-3-25)

ケース2と4を比べると、ケース4の評価値が到達確率によるもの及び総走行台キロによるもののいずれも高い値を示している。これは流入交通量の多い交差

点に案内標識を設置する方が効果的であることを顕著に示しているものと考えられる。

3) 現実の標識設置位置における案内地名の違いに対する評価 (図-3-26)

ケース10と11を比較した場合、運転者が予備知識を

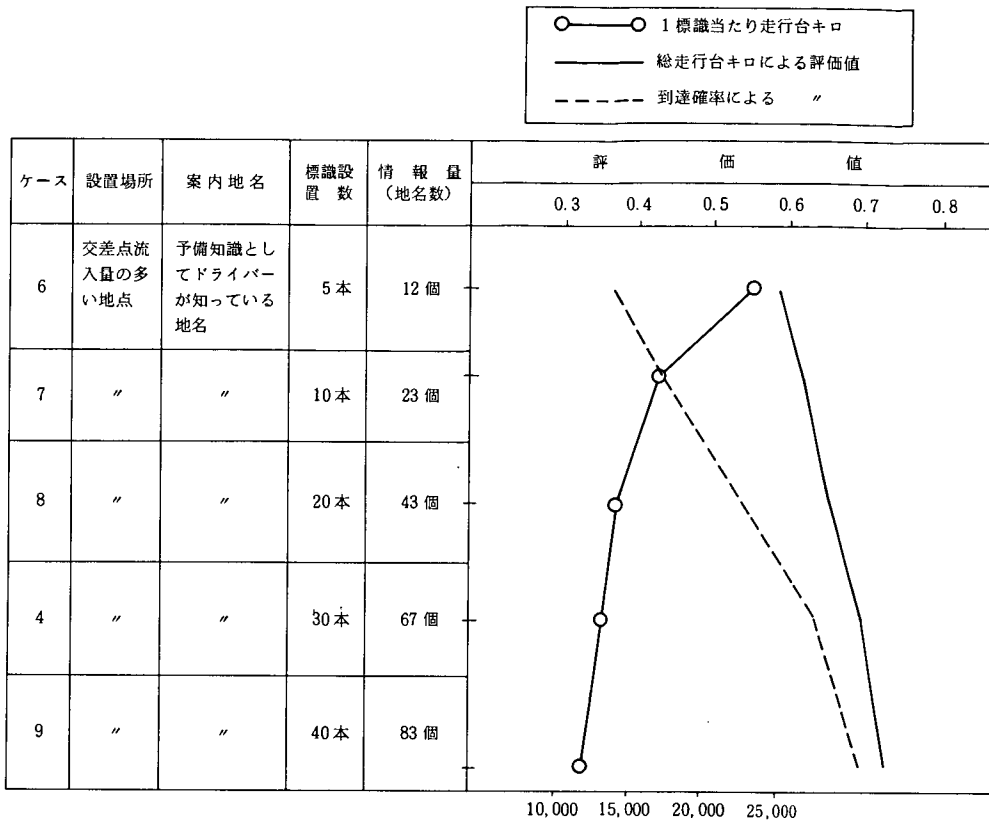


図-3-27 同一設置場所で同一案内地名の選定方法で標識数の変化に対する評価

もっている地名を案内する方が明らかに高い評価値を示している。また、到達確率による評価値も、総走行台キロによる評価値も、同じ傾向を示している。これは、標識設置数が128本で全体の設置可能箇所数から見て、かなりの割合を占める本数であるため、総走行台キロによる評価値においても、案内地名の差による影響が大きくなったためと考えられる。

4) 標識数の違いに対する評価 (図-3-27)

ケース⑥、⑦、⑧、④、⑨の評価値の比較により、案内標識の設置数が増加するほど評価値が高くなる傾向が認められる。この傾向は到達確率による評価値において顕著に現れている。

5) 費用対便益的考察 (表-3-21)

費用対便益的に見ると、どのケースもきわめて高い便益比を示しているのが認められる。国民経済的な観点に立てば、幹線道路相互の交差点（主要地方道以上の交差点）には、標識を必ず設置すべきであろう。また、この結果は道路付属施設の中でも、案内標識の効率がきわめて良いことを示していると考えられる。

6) 総合的な考察

総合的には、設置場所については、流入交通量の多い交差点に設置するのが有効と考えられ、案内地名については、運転者の共通の予備知識となり得るレベルの地名などを案内することが望ましい。

現実には、運転者はさまざまな予備知識を持っているため、その中から運転者共通の予備知識をとらえることは困難な課題であるが、今後のよりよい案内情報体系の整備を進展させるためには、ぜひ検討しておく必要がある。

目的地に近くなった運転者に対しては、近距離で比較的小さな町村名が必要な情報となり得るため、視認性などを考慮のうえ、1方向2地名の案内標識を今後検討する必要がある。

標識設置数に対しては、数多く設置すればそれに見合っただけの効果（評価値）は期待できよう。しかし、標識1本当たりの効果は逆に減少する傾向が認められる。

(5) 結 語

1) 案内標識の表示内容（地名）設置位置などの要素に関する三種類の評価方法、すなわち到達確率に

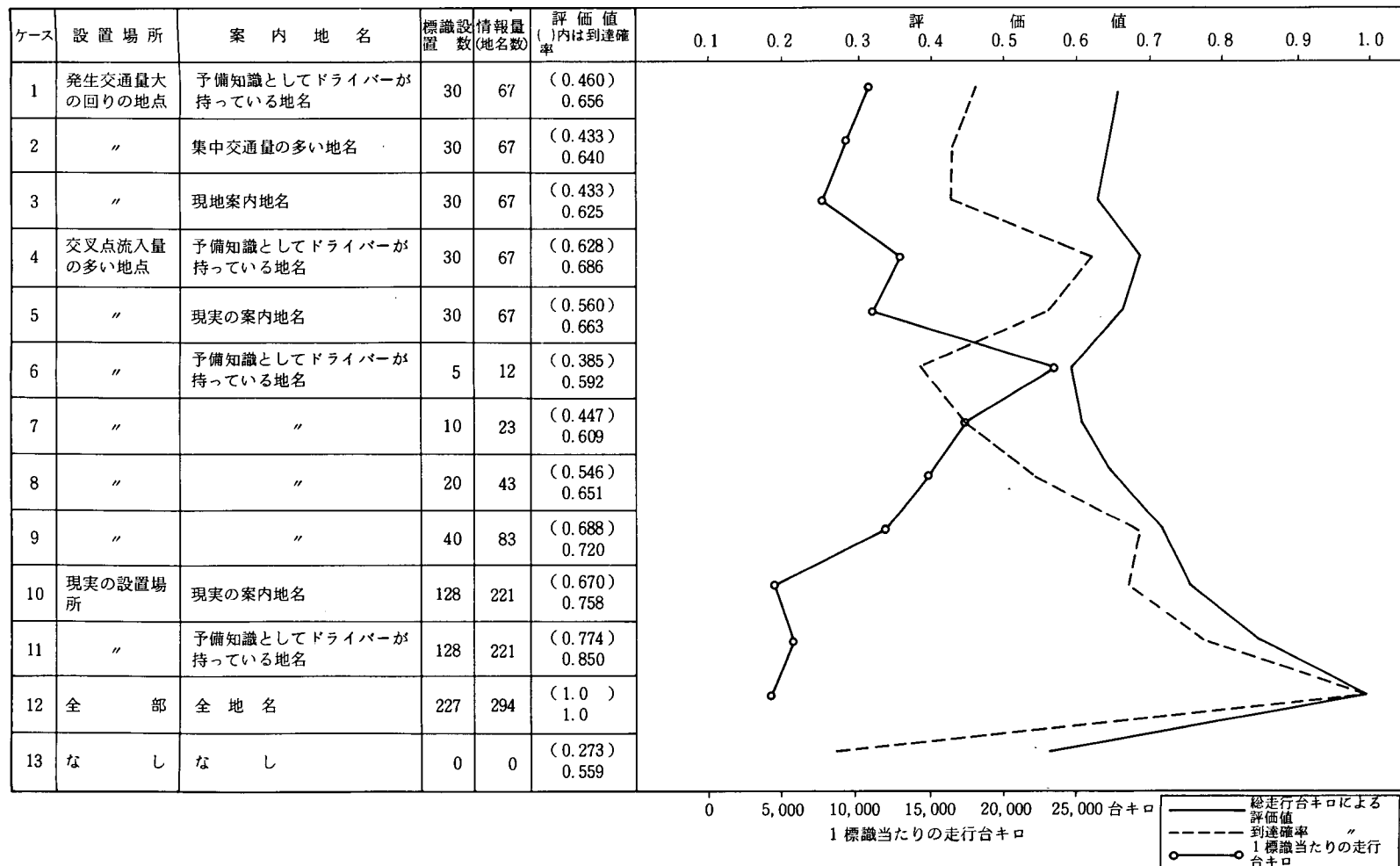


図-3・28 到達確率による評価値と総走行台キロによる評価値の比較

表-3・21 費用便益による比較

ケース	設置場所	案内地名	標識設置数	総走行台キロ	標識が案内した走行台キロ	標識設置年間費用(百万円)①	標識が案内した走行台キロの年間費用(百万円)				便益比②①	純便益②-①(百万円)
							1日当たり時間	時間費用	走行費用	年間費用合計②		
1	発生量交通大の回りの地点	予備知識としてドライバーが持っている地名	30	1,804,188	310,583	44.5	7,360	1,866.6	2,414.5	4,281.1	96.2	4,236.6
2	〃	集中交通量の多い地名	30	1,847,687	267,084	〃	6,329	1,604.9	2,076.5	3,681.4	82.7	3,636.9
3	〃	現実の案内地名	30	1,892,418	222,353	〃	5,269	1,336.3	1,728.6	3,064.9	68.9	3,020.4
4	交差点流入交通量の多い地点	予備知識としてドライバーが持っている地名	30	1,725,142	389,629	〃	9,233	2,341.5	3,029.1	5,370.6	120.7	5,326.1
5	〃	現実の案内地名	30	1,785,094	329,677	〃	7,812	1,981.2	2,563.0	4,544.2	102.1	4,499.7
6	〃	予備知識としてドライバーが持っている地名	5	1,997,536	117,235	7.4	2,778	704.5	911.4	1,615.9	218.4	1,608.3
7	〃	〃	10	1,941,426	173,345	14.8	4,108	1,041.7	1,347.5	2,389.2	161.4	2,374.4
8	〃	〃	20	1,816,982	297,789	29.7	7,057	1,789.6	2,315.2	4,104.8	138.2	4,075.1
9	〃	〃	40	1,642,028	472,743	59.3	11,202	2,840.8	3,675.2	6,516.0	109.9	6,456.7
10	現実の設置場所	現実の案内地名	128	1,560,906	553,865	189.8	13,125	3,328.4	4,305.9	7,634.3	40.2	7,444.5
11	〃	予備知識としてドライバーが持っている地名	128	1,390,826	723,945	〃	17,155	4,350.4	5,628.3	9,778.7	52.6	9,788.9
12	全 部	全 地 名	227	1,182,777	931,994	336.6	22,085	5,710.4	7,245.6	12,956.0	38.5	12,619.4

よる評価方法、総走行台キロによる評価方法費用対便益による評価方法を提案することができた。これらは、個々の案内標識の情報を道路網全体に有機的に結合し、一つの情報体系としてとらえて評価を行うものであり、案内標識の設置効果の評価方法として適切なものであると考えられる。

2) 千葉県（南部）の道路網において、現実に設置されている案内標識を比較対象としてさまざまな視点に立つ案内情報体系の評価を行うことができた。

3) 案内標識の設置場所については、流入交通量（標識を必要とするドライバーのみ対象）の多い交差点から優先的に案内標識を整備する方法が、高い評価値を示した。

4) 案内地名については、運転者の共通の予備知識となり得るような地名を選定する方法が高い評価値を示した。

予備知識となり得るような市町は、集中交通量も多いため、このような結果が得られたものと考えられるが、運転者の予備知識の持ち方については、更に検討するに値する。

5) 標識設置数が多くなるほど、評価値の高くなる傾向が認められる。しかし、標識1本当たりの効果は逆に減少する。

6) 費用対便益計算に基づく案内標識の評価方法を検討し、その計算結果を示すことができた。案内標識の設置費用はその便益からみればきわめて安価なものであるため、費用対便益比は、他の道路交通施設に比べてきわめて高い値を示している。

4. 現実の適用への提案

〔1〕案内標識の位置と規模についての考察

（1）交通要因の影響の吟味

交差点流入部に設置する経路選択のための案内標識が、運転者の車線変更などの運轉行動を安全に行わせることをも十分考慮した場合に具備すべき設置位置（先行距離）と表示規模（文字高）の条件を2.〔4〕節に示すことができた。

この必要条件の構築に用いた車線変更必要距離の算出方法には、車線当たり交通量、最小受容ギャップ、大型車混入率などの交通因を考慮しているが、これらの交通要因は現実道路においてはある範囲で分散している。例えば、同一受容車線交通量においても、車線変更必要距離は、ある幅を持つ値であると考えられる。

従って、これらの交通要因の変化が、案内標識が具備すべき位置と規模との関係にどのように影響するかを検討しておくことが、この必要条件を現実の道路における案内標識に適用する場合に重要となる。

いま、

- ① 交通量（一方向2車線当たり）
- ② 最小受容ギャップ
- ③ 大型車混入率
- ④ 交通量差
- ⑤ 車線変更率

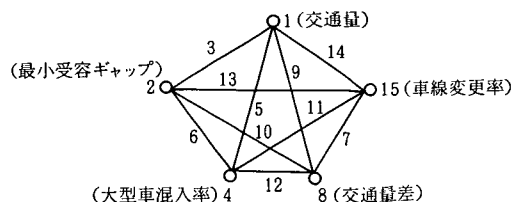
の交通要因について、まずシミュレーション・ケースを、実験計画法により設定し、各要因の影響を概略的に捉える。次に、その結果を分散分析を用いて分析し、各要因の車線変更距離に及ぼす影響を定量的にとらえる。最後に、以上の結果から、受容車線交通量に対する車線変更距離の範囲、及び案内標識の先行距離と文字高との関係における変動幅を算出し、その結果を検討する。

1) 交通要因とその効果

各要因について最大値と最小値の2水準を設定し、各要因の効果及び交互作用の効果を見るために、実験計画法によりシミュレーションケースを設定する。

5つの要因を実験計画法¹⁾における線点図に当てはめると図-4・1のようになる。これを2⁵型直交配列表に割り付けると表-4・1が得られる。この割り付けの特徴は5つの要因の効果とそれぞれの交互作用の効果をすべて網らしていることにある。このため個々の要因とすべての交互作用について分析が可能である。表-4・1に示す16ケースをシミュレーションすることによって、各要因の影響の程度を見ることができる。

各要因の最大値と最小値を現実の一般道路の交通状況から表-4・2のように設定して、シミュレーションを行った結果を表-4・3に示す。表-4・3の中から各要因の水準1、水準2の合計値（各水準ごとに8ケースある）の差を見ることによって、要因と車線変更必要距離との間の関係を概略的にとらえることができる。結果を表-4・4に示す。これより、各要因と車線変更必要距離



注) 図中の番号は表-4・1の列番に同じ。

図-4・1 交通要因の線点図

との関係は図-4・2のようになる。

これらの結果から次のことが言える。

- ① 交通量は多い方が車線変更必要距離は長い。
- ② 最小受容ギャップは小さい方が車線変更必要距離は長い。
- ③ 交通量差は少ない方が車線変更必要距離は長い。

表-4・1 直行配列表

列 行	①	②	③	④	⑤											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	

- ① 交通量 (片側2車)
- ② 最小受容ギャップ
- ③ 大型車混入率
- ④ 交通量差
- ⑤ 車線変更率

- ④ 車線変更率の車線変更必要距離に与える影響は小さい。

以上のことを分散分析によりさらに分析する。

2) 交通要因の感度分析

表-4・1に示すシミュレーション結果から、前述の5種の交通要因とその交互作用が車線変更必要距離にどの程度の影響力を持つかを、分散分析により求めた。分散分析表を表-4・5に示す。この分散分析においては、誤差項として交互作用の中から偏差平方和の小さいものから4項(表-4・4の列番号6, 10, 11及び14)を取り上げた。従って、各要因の自由度はそれぞれ1であり、誤差項は4である。各要因の偏差平方和をこの自由度で除した値が各要因の分散である。

次に、各要因の有意性の判定をするために、各要因の分散と誤差項の分散との分散比を求めた。分散比がF分布に従うため、F分布表により有意性を判定する

表-4・2 交通要因の最大値と最小値

要因	水準	最大値(水準1)	最小値(水準2)
交通量(片側2車)		25.00 台/h	500 台/h
最小受容ギャップ		13.17 m	6.59 m
大型車混入率		50.0 %	5.0 %
交通量差		300 台/h	100 台/h
車線変更率		40.0 %	5.0 %

表-4・3 各要因の組合せによる計算結果

要因 ケース 番号	交通量(片側2車) (台)	受容ギャップ (m)	大型車混入率 (%)	交通量差 (台)	直線変更率 (%)	変更距離 (85パーセントタイル値)
1	2500	13.17	50	300	40	210
2	2500	13.17	50	100	5	210
3	2500	13.17	5	300	5	120
4	2500	13.17	5	100	40	165
5	2500	6.59	50	300	5	210
6	2500	6.59	50	100	40	220
7	2500	6.59	5	300	40	150
8	2500	6.59	5	100	5	190
9	500	13.17	50	300	5	75
10	500	13.17	50	100	40	72
11	500	13.17	5	300	40	79
12	500	13.17	5	100	5	75
13	500	6.59	50	300	40	85
14	500	6.59	50	100	5	75
15	500	6.59	5	300	5	75
16	500	6.59	5	100	40	73

表-4・4 要因の交互作用の影響

列番号	割り付けた因子又は交互作用	Σ_1 (大)	Σ_2 (小)	$(\Sigma_1 - \Sigma_2)$	$(\Sigma_1 - \Sigma_2)^2$
1	交通量 (A)	1,475	609	866	749,956
2	最小受容ギャップ (b)	1,006	1,078	-72	5,184
3	A × B	1,013	1,071	-58	3,364
4	大型車混入率 (C)	1,157	927	230	52,900
5	A × C	1,152	932	220	48,400
6	B × C	1,055	1,029	26	676
7	D × E	1,074	1,010	64	4,096
8	交通量差 (D)	1,004	1,080	-76	5,776
9	A × D	985	1,099	-114	12,996
10	B × D	1,042	1,042	0	0
11	C × E	1,047	1,037	10	100
12	C × D	1,083	1,001	82	6,724
13	B × E	1,076	1,008	68	4,624
14	A × E	1,045	1,039	6	36
15	車線変更率 (E)	1,054	1,030	24	576

表-4・5 分散分析表

要 因	① 偏差平方和 (SS)	② 自由度 (Φ)	③ 不変分散 (ms)	④ 分散比 (F)	⑤ 純効果	⑥ 寄与率 (%)	⑦ 有意性
交通量 (A)	46,872	1	46,872	3605.5	46,259	84.0	**
最小受容ギャップ (B)	324	1	324	24.9	311	0.6	**
大型車混入率 (C)	3,306	1	3,306	254.3	3,293	5.9	**
交通量差 (D)	361	1	361	27.8	348	0.6	**
車線変更率 (E)	36	1	36	2.8	22	0.04	*
交通量 × 大型車混入率 (A × C)	3,025	1	3,025	232.7	3,012	5.4	**
交通量 × 交通量差 (A × D)	812	1	812	62.5	799	1.4	**
大型車混入率 × 交通量差 (C × D)	420	1	420	32.3	407	0.7	**
最小受容ギャップ × 車線変更率 (B × E)	289	1	289	22.2	276	0.5	**
交通量差 × 車線変更率 (D × E)	256	1	256	19.7	243	0.4	*
交通量 × 最小受容ギャップ (A × B)	210	1	210	16.2	197	0.4	*
誤 差	51	4	13		13	0.02	
合 計					55.780 (全変動)	100.0	

注) 表の項目のうち、

① 偏差平方和 (SS) = $(\Sigma_1 - \Sigma_2)^2 / n$ (n : 資料数, この場合16)

③ 分散 (ms) = ① / ②

④ 分散比 (F) = 各要因の分散 / 誤差項の分散 = ③ / 13.

⑤ 純効果 = 各要因の分散 - 誤差項の分散 = ③ - 13.

⑥ 寄与率 = 各要因の純効果 / 純効果の和 × 100.

⑦ 有意性 ** 1%で有意 * 5%で有意

ことができる。表-4・5については、 F 分布表の $F_4^1(0.01) = 21.2$, $F_4^1(0.05) = 7.71$ より各要因の有意性をみると、有意水準5%の場合すべての要因と、その組合わせは有意である。また、有意水準1%でも、車線変更率、交通量と車線変更率との組合わせ、交通量と

最小受容ギャップとの組合わせを除く、他の要因及びその組合わせでは有意となる。

各要因の寄与率については、各要因の分散から誤差項の分散を引いて純効果を算出し、純効果の合計を全変動として、この全変動に対する各要因の純効果の占

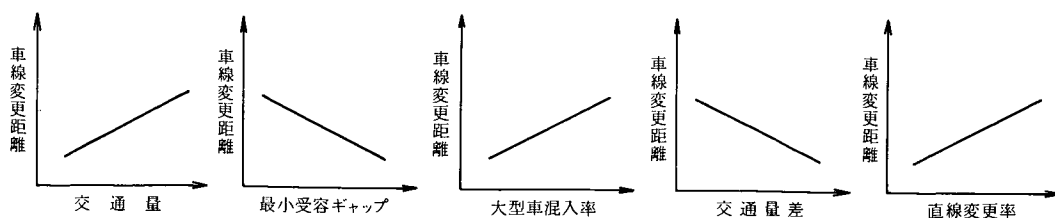


図-4-2 各要因と車線変更距離との傾向

表-4-6 交通量を除く交通要因の最大値と最小値

要因 想定ケース	最小受容ギャップ (m)	大型車混入率 (%)	交通量差 (台/n)	車線変更率 (%)
最大ケース	6.59	50.0	100	40.0
最小ケース	13.17	5.0	300	5.0

める割合により示すことができる。この表-4-5に示すとおり、交通量が84.0%と圧倒的な影響力を有していることがわかり、続いて大型車混入率が5.9%、交通量×大型車混入率が5.4%となり、この2つの要因の関係する交互作用の寄与率が比較的高い。しかし、車線変更率については、その効果が小さく、この要因と関係する交互作用の効果も小さい。従って、交通量を固定して最大・最小の車線変更必要距離を求める場合には、大型車混入率の影響力が極めて小さいことになる。

3) 交通要因による案内標識の位置と規模の変動

1)及び2)の結果から、交通要因に基づく車線変更必要距離、及び案内標識の位置と規模の最大値、最小値を取り得る水準として、交通量を除いた他の要因について表-4-6のとおり設定する。最も大きい影響力を有する(受容車線)交通量については、500, 600, 700, 800, 900, 1100台/時にカテゴリー分けして、車線変更必要距離を算出した結果を図示したのが図-4-3における最大値及び最小値であり、その回帰式は、それぞれ式(4-1)及び式(4-2)である。すなわち、車線変更距離は、交通要因によりこの範囲内で変動することが推定される。

$$(\text{最大値}) L_{\max} = 0.1257 Q_1 + 42.79 \cdots \cdots (4-1)$$

$$(\text{相関係数 } \gamma = 0.978)$$

$$(\text{最小値}) L_{\min} = 0.0876 Q_1 + 30.03 \cdots \cdots (4-2)$$

$$(\text{相関係数 } \gamma = 0.907)$$

ここで、 $L_{\max}$, $L_{\min}$: 車線変更必要距離の最大値、最小値(m)

Q_1 : 受容車線交通量(台/時)

なお、2.[2]節において算出した回帰式(2-11)も代表値として同図に示した。

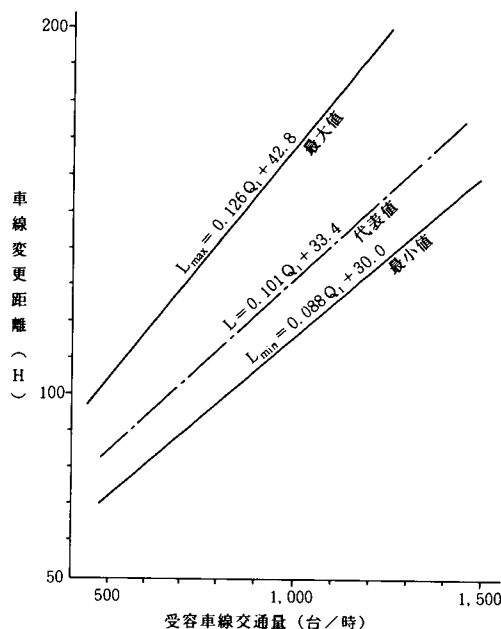


図-4-3 交通量と車線変更必要距離の最大、最小値

次に、この最大値、最小値の回帰式に基づいて、2.[4]節で求めた案内標識の先行距離と文字高との必要条件の関係(図-2-49～図-2-55)と同様に、両者の関係における最大値と最小値を交通量のカテゴリーごとに算出し、図示すると図-4-4～図-4-10ようになる。

(2) 考 察

前項で案内標識の具備すべき設置位置と表示規模との関係において、交通量、最小受容ギャップ、大型車混入率、交通量差及び車線変更率の交通要因の変動の意味合いを吟味したが、ここでその結果について考察する。

まず、車線変更必要距離及び案内標識の先行距離、文字高に対して、交通量が大きな影響力を有するため、交通量別にあるいは交通量を変数として、それらの具備すべき必要条件を把握すべきであることが確認された。

次に、車線変更必要距離については、受容車線交通量が増加すると、最大値、最小値の幅が大きくなるこ

と、また、最小値より最大値の方が受容車線交通量に対する変化が大きいことがわかった。

案内標識の先行距離と文字高との関係に対しては、交通量の増加により、最大値と最小値との幅は大きくなり、いわば両者が具備すべき関係の条件は厳しくなる。しかし、交通要因によって受ける影響の幅は、例えば交通量（1方向2車線）600～800台/時の交差点に

おいては、先行距離換算で約40m、文字高換算で約10cm程度である（図-4・6参照）。これら交通要因の影響をも考慮し、標識設置計画上の安全側を採用するとすれば、先行距離と文字高の関係においては最大値の直線より右上の領域を必要条件として考えねばならない。しかし、現実の標識の先行距離、文字高の現状と比較すると、この条件は予告標識を設置した場合には

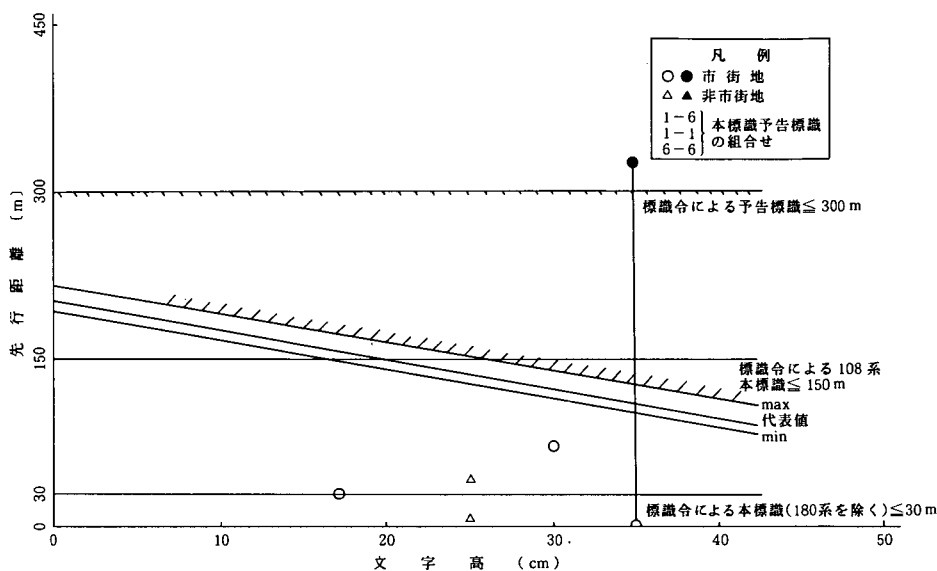


図-4・4 先行距離と文字高との関係（1方向2車線、車線交通量0～400台/時の場合）

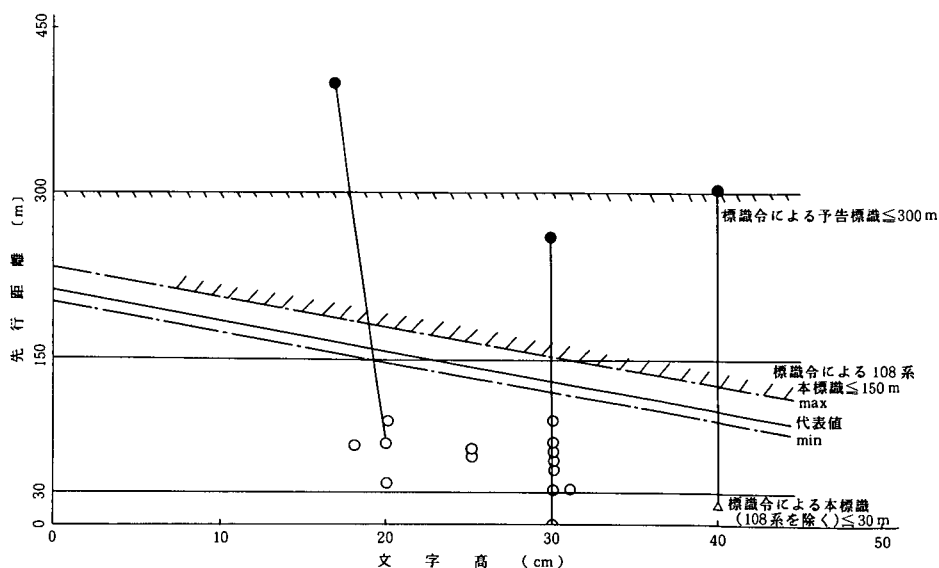


図-4・5 先行距離と文字高との関係（1方向2車線、車線交通量、400～600台/時の場合）

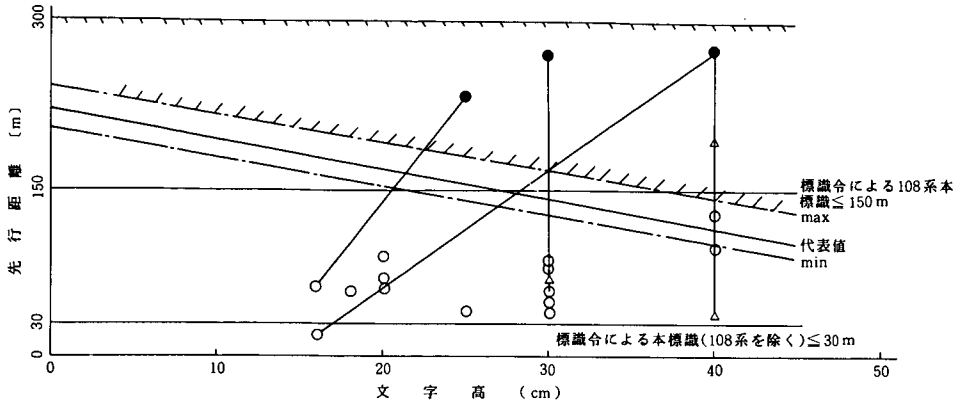


図-4.6 先行距離と文字高との関係（1方向2車線，車線交通量600～800台/時の場合）

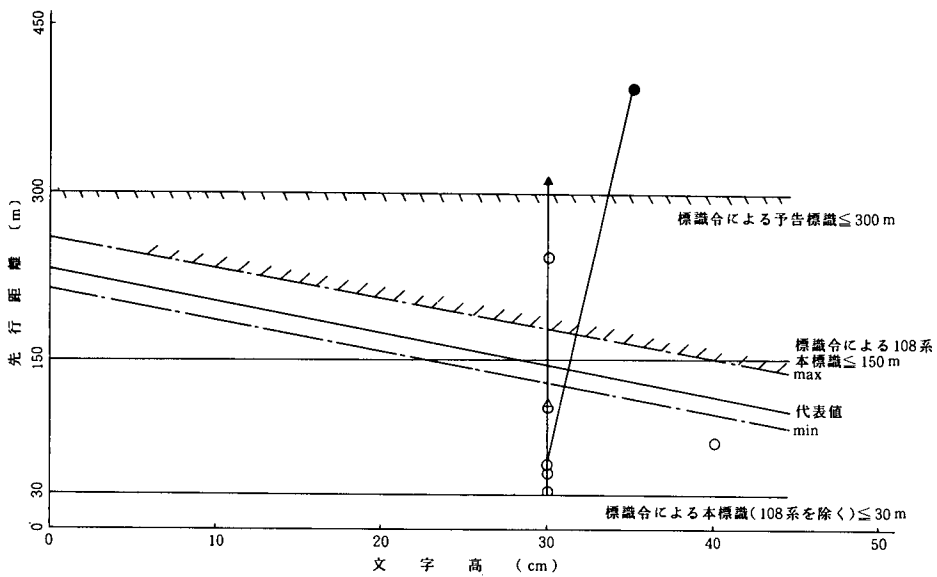


図-4.7 先行距離と文字高との関係（1方向2車線，車線交通量800～1000台/時の場合）

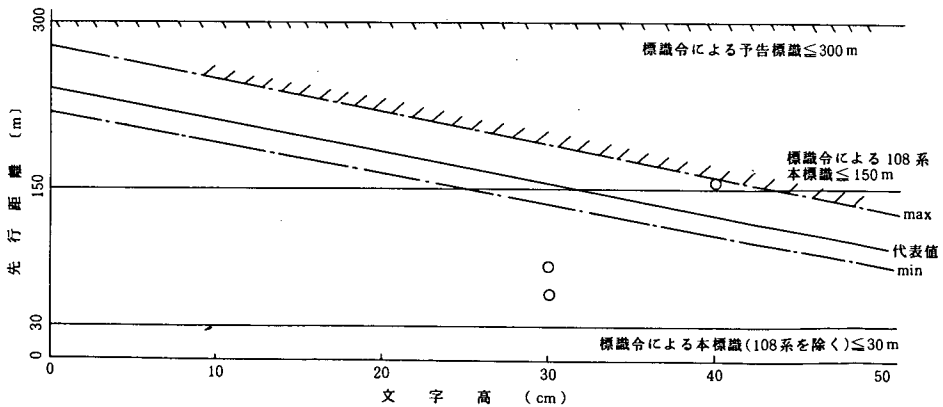


図-4.8 先行距離と文字高との関係（1方向2車線，車線交通量1000～1200台/時の場合）

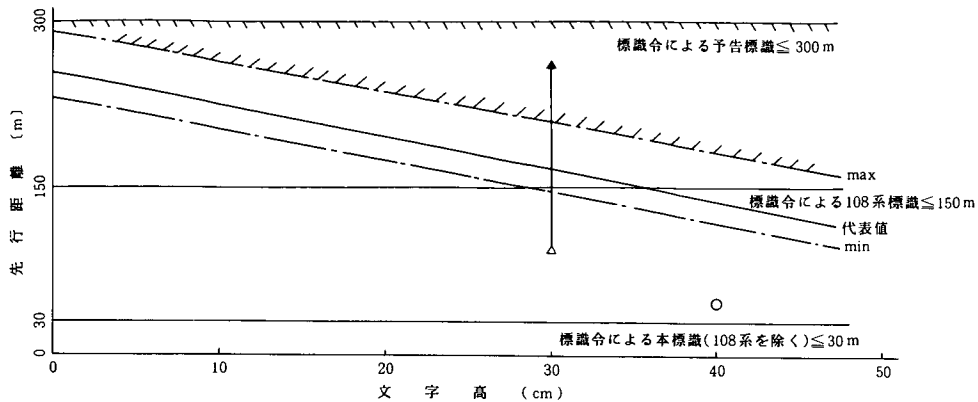


図-4・9 先行距離と文字高との関係（1方向2車線、車線交通量1200台/時以上の場合）

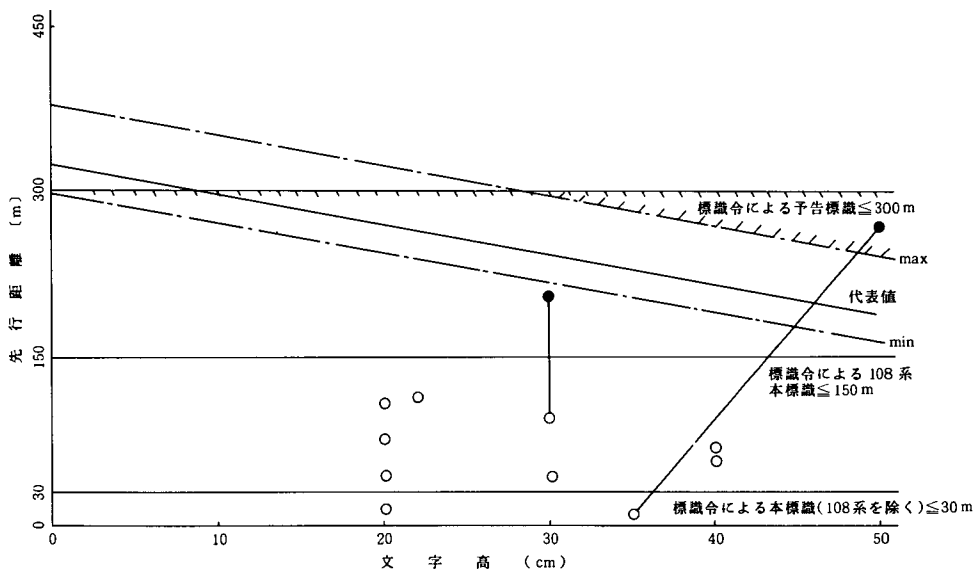


図-4・10 先行距離と文字高との関係（1方向3車線、車線交通量600～800台/時）

十分満足するが、本標識のみの場合にはほとんど満足しないという判定が得られることは、既に2.〔4〕節で求めた結果と同様であり、現実の道路への適用に際しての大きな要素とはならないと考えられる。ただし、図-4・10でも明らかなように、1方向3車線以上の広幅員道路については代表値と最大値との開きは一層増大する。

現実の案内標識への適用に際して、先行距離と文字高との関係で必要条件を満足させるための方法としては、図における直線の勾配からも明らかなように、一般には文字高を大きくするより先行距離を大きくした方がより容易であることが判明する。例えば、図-4・7

において先行距離を30m延長することは、文字高を10cm大きく（文字高20cmの場合は拡大率で1.5）することに相当する。従って、現実の案内標識の設計においては、予告標識の設定と標識の位置、拡大率の設定の重要性を認識しなければならない。

〔2〕案内標識の設置効果についての考察

（1）見落し率、誤読率

案内標識の設置効果について評価する場合、その見落し率及び誤読率を無視することはできない。すなわち、本研究における案内標識の設置効果の評価手法は、評価対象となる標識を適切に利用した運転者を対象とし

ているが、その外に利用する意志はあったが利用できなかった、あるいは誤って利用した運転者が一般にどの程度存在するののかも、本研究の主題ではないが吟味しておく必要がある。

案内標識の質的評価における見落し率、誤読率の位置づけについては、2.〔1〕節の表-2・1で述べたが、本項ではこれらについての筆者らの調査例²⁾について述べ

る。

1) 調査路線

①中部地域……名古屋～一宮市間の一般国道19号、155号旧22号のA,Bコース

②四国地域……高松市～徳島市間の一般国道11号、192号、318号、及び県道

図-4・11に調査路線を示す。

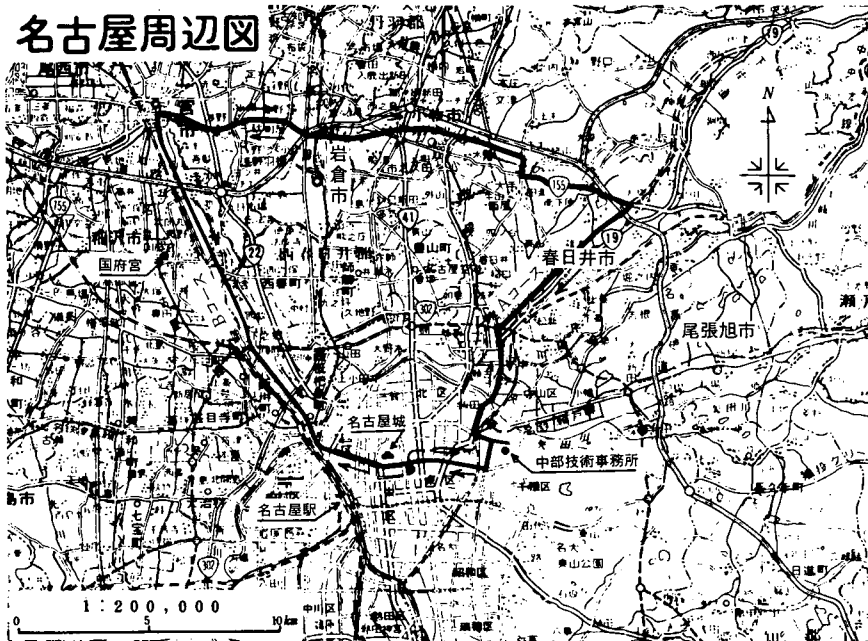


図-4・11(1) 調査路線図 中部地域 注、▽ Aコース、○ Bコース

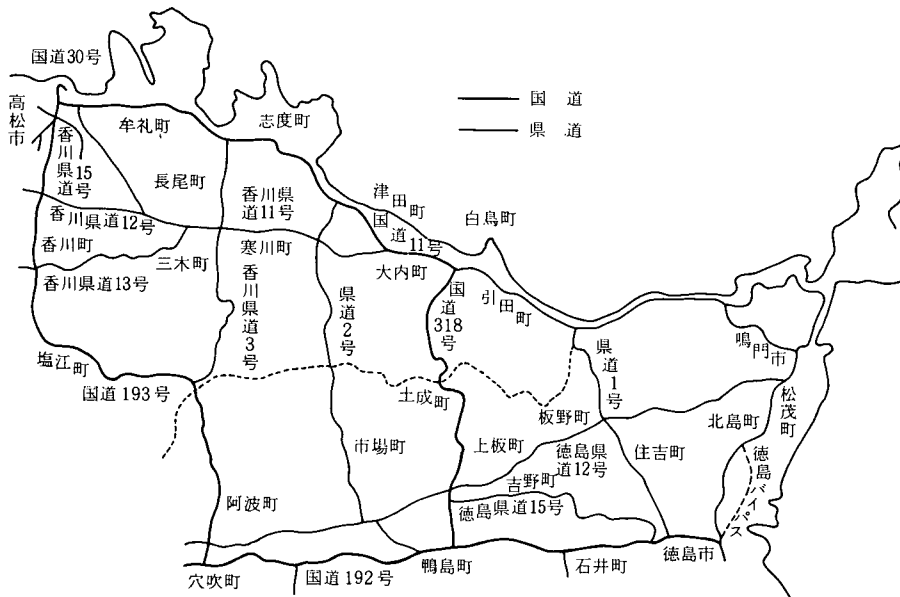


図-4・11(2) 調査路線図 四国地域

2) 調査方法

被験者は、この調査路線に不案内な運転者であることを条件として選出し、その構成は表-4・7のとおりである。

調査対象路線上に設置されている案内標識は、標識板の大きさ、設置構造、管理状況などの項目について調査、写真撮影を行い、台帳を作成した。

調査対象区間における設置状況は表-4・8に示すとおりである。

走行調査は、被験者の予備知識を一定にするため、

表-4・7 被験者の構成

地域別	昼夜別	性別	年齢層別			計
			20～29歳	30～39歳	40歳以上	
中部	昼間	男	13	11	6	30
		女	4	1	0	5
	夜間	男	3	5	2	10
		計	20	17	8	45
四国	昼間	男	28*	—	—	28
		女	2	—	—	2
	計		30	—	—	30

*印 20歳以下を含む。

調査の内容及び路線に関する指示をし、道路地図を渡し10分間程度の閲覧時間を与えた。その後被験者に調査対象路線を走行させ、道路標識の視認性について被験者の気づいたこと（標識を見落した原因、判読が困難な原因など）を調査員が調査票に示す項目に従って記入した。

なお、夜間の走行調査は中部地域のAコースについてのみ行った。

3) 調査結果

正読率、見落し率及び誤読率を次のとおり定義する。

●正読率

$$= \frac{\text{正読回数} (= \text{通過回数} - \text{見落し回数} - \text{誤読回数})}{\text{通過回数}} \times 100 (\%)$$

●見落し率 = $\frac{\text{見落し回数}}{\text{通過回数}} \times 100 (\%)$ (誘目性の指標)

●誤読率 (読み間違えやすさ) = $\frac{\text{誤読回数}}{\text{判読回数}} \times 100 (\%)$
(判読性の指標)

案内標識全体の視認結果は、図-4・12に示すとおり、正読率が昼間で88.1%の高率を示し、そのうち「すぐ判読できた」と答えた者が80.5%を占めた。夜間にお

表-4・8 調査路線上の標識設置状況

地名	101, 102-A	103-A	104-A	105-A, R, C	106-A	108-A	108の2-A, B, C	108の3	114-A, B 114の2-A, B	118 118の2	案内標識計
	県村市町界	入口の方向	入口の予告	方及面及び方距向離	方距向及び離	方向(予色)及び	方方面及び向	方び経由方向及線	著主名要地点点	路線番号	
中部	19	11	5	76	20	0	7	7	189	107	441
四国	88	—	—	81	67	18	158	21	292	291	1,016
計	107	11	5	157	87	18	165	28	481	398	1,457

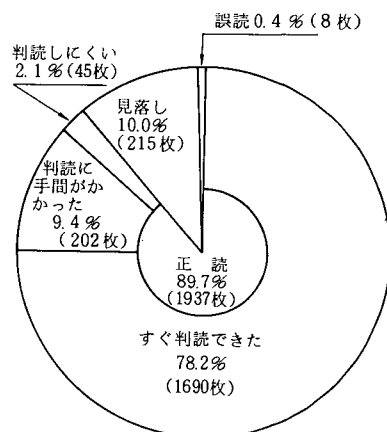
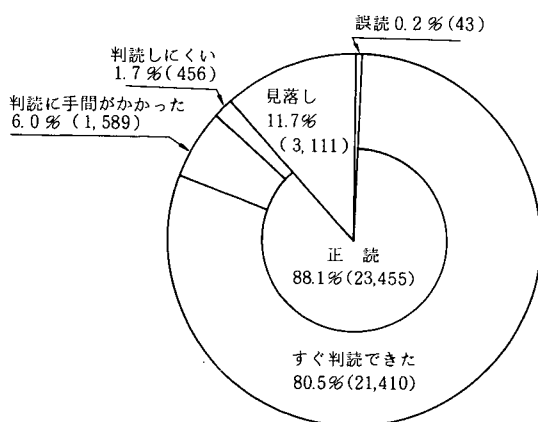


図-4・12 案内標識の視認性

いては、その率はいく分低いが大差はない。

見落し率は昼間11.7%、夜間10.0%であり、いずれにしても現状では10%程度は存在することがわかった。また、誤読率は0.2%程度できわめて小さい。

標識の種類別に見落し率を示すと表-4・9であり、これより比較的標識板の小さい114-A, B (著名地点の案内)、114の2-A, B (主要地点表示) 及び参考に調査した警戒標識等が高い値を示していることが認められる。これらは、標識板が小さいこと、路側式又は信号機や照明灯などに添架している標識が多いこと、街路樹や照明灯などが障害物となっている場合が多いことなどによっているものと思われる。また、114の2-A, B 標識において分離帯に設置しているものは、設置高さが低く車の影になって見えにくいことなども、標識を見落す原因となっていると考えられる。これに対し、本研究の対象としている交差点流入部に設置する経路選択の主要な案内標識である105系統、及び108系統の標識は、昼間、夜間共に比較的低見落し率の低いことがうかがえる。

次に、見落しの原因を示すと図-4・13であり、全体としては、運転者の不注意が原因となっているものが最も多い。夜間においては特に不注意による見落しが多く、標識板自体に原因のある場合の割合は逆に少なくなっている。

標識の誤読率は前述のとおり、昼、夜間とも1%以下の低い値であり、実用上何ら問題点は認められなかった。

なお、設置方法別の見落し率は、表-4・10のとおり、オーバーヘッド、オーバーハング式が低く、添加式、路側式の見落し率が高い。

以上の結果から、一般的には交差点における選択のための案内標識については、標識板自体の見落し又は誤読の問題点は少なく、これが本研究の案内標識の設置効果の評価手法に影響を及ぼすことは無いと考えられる。

(2) 評価値の吟味

案内標識の配置による道路網全体の案内誘導効果は、その標識を設置することによる費用便益比によって評価することが可能であることを3.〔3〕節で示した。

千葉県南部の幹線道路網の場合の費用対便益比との値は39~210程度であり、道路建設の費用対便益比(通常1桁)に比し大きな値を示している。これは道路建設に比して、標識設置に要する経費が小さい割に標識設置による自動車の誘導による経費節約額が多いことによる。

そこで本項では、次の2つの観点から費用便益比の値の吟味を行う。

① 3.〔3〕節においては、案内標識が設置されない状態を基準として、任意の数の標識を設置した場合の費用便益計算を行ったが、任意の数の標識が調置されている状態を基準として、次に設置される標識の費用対便益を計算すれば、その値はどうなるのか。

② 運転者の標識見落し率が異常に高い場合の費用対便益比の値はどの程度か。

1) 任意の数の標識が設置されている状態を基準とした場合の費用対便益比

任意の数 (i 本) の標識が設置されている状態を基準として、それ以降設置する標識 (j 本) の費用対便益を算定する場合の費用対便益比 $rj(i)$ は、式 (3・15) から式 (4・1) のように変形して表される。

$$rj(i) = \frac{B_j - B_i}{C_j - C_i} \dots\dots\dots (4 \cdot 1)$$

ここに $C_i (C_j)$: $i(j)$ 本設置時の費用。

$B_i (B_j)$: $i(j)$ 本設置時の便益。

3.〔3〕節において算出したと同様に、千葉県南部の幹線道路網について $i = 0.5, 10, 20, 40, 70, 100$ の各標識設置本数を基準として、それ以降 $j = 5, 10, 20, 40, 70, 100, 227$ 本 (全数) の各標識設置本数に増設した場合の様々な組合せについて費用対便益比を算出すると、表-4・11、表-4・12及び図-4・14が得られる。表-4・11は標識のない場合 ($i = 0$) を基準とした場合、表-4・12はすべての場合について費用対便益比を示したものである。標識の設置は便益の高い場所から優先されるので、増設される標識本数が多くなるほど、費用対便益比は減少する。また、基準となる標識本数が多いほど、標識増設による費用便益比は減少する。しかし、 $i = 100$ を基準として標識を227本 (全数) に増設した場合でも、費用対便益比は約8であり、案内標識設置により得られる便益の大きいことが、この面からも推察される。

2) 見落し率と費用対便益比

案内標識の見落し率は、4.〔2〕節で示したように12%程度であり、また交差点において経路選定に係わる105, 108系統の標識については更に低く0~9%である。また、本研究における費用対便益比算出に用いている3.〔2〕節の標識利用率は、それ自体標識を見落した者を便益の対象からはずしているため、費用対便益比の値にその面からの大きな疑問を生じる余地はないが、仮に標識利用率の中に見落し率が含まれる場合を仮定した場合に、この見落し率により費用対便益比がどのように変化するかを検討する。

表-4・9(1) 標識種類別見落し率(昼間(中部, 四国))

標識の種類	通過回数	見落し回数	見 落 し 率					
			5	10	15	20	25	30(%)
108-B	7	0						
102-A	14	0						
108の2-C	35	0						
105-B	672	6						
105-A	420	4						
106-A(旧)	635	11						
104	175	4						
105-A(旧)	722	20						
105-C	200	6						
108の3	513	19						
106-A	961	41						
101	144	7						
108の2-A	791	43						
105-B(旧)	650	36						
118の2	711	47						
102-A(旧)	29	2						
108の2-B	1,460	110						
101(旧)	1,103	91						
103-A	385	32						
108-A	105	10						
105-C(旧)	587	56						
118	5,437	563						
114の2-B	4,615	572						
114-B	210	35						
114-A	1,668	319						
警戒標識	4,049	991						
114の2-A	3,975	998						
114-A(旧)	250	64						

平均値(11.7%)
(案内標識)

表-4・9(2) 標識種類別見落し率(夜間(中部))

標識の種類	通過回数	見落し回数	見 落 し 率					
			5	10	15	20	25	30(%)
101	10	0						
104-A	30	0						
105-B(旧)	30	0						
105-C	10	0						
108の3	20	0						
105-A(旧)	100	1						
105-B	100	1						
118の2	100	1						
106-A	40	1						
105-A	60	2						
105-C(旧)	80	3						
108の2-B	20	1						
101(旧)	90	7						
103-A	50	5						
108の2-A	10	1						
114-A	10	1						
118	400	44						
106-A(旧)	70	8						
114の2-A	220	29						
114の2-B	650	86						
114-A(旧)	30	6						
114-B	30	18						60.0%

平均値
(9.8%)

注) (旧)は旧標識令によって設置された標識

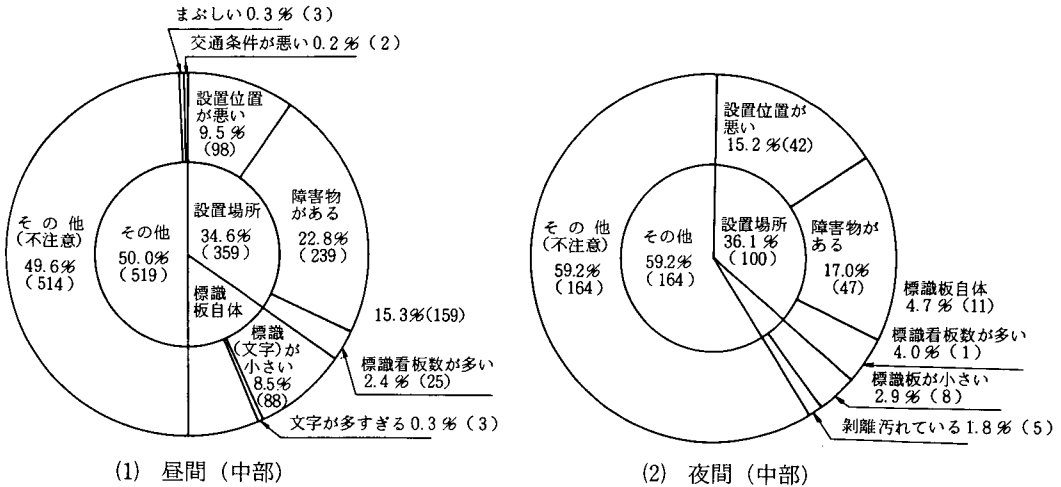


図-4-13 見 落 し の 原 因

表-4-10 設置方法別による見落とし率

(1) 昼 間 (中部, 四国)

設 置 方 法	通過回数	見 落 し 回 数	見 落 し 率 (%)				
			5	10	15	20	25
オーバーヘッド式	374	17					
オーバーハング式	6,081	355					
添 架 式 (横断歩道橋)	4,825	322					
分 離 帯	2,415	302					
路 側 式	7,181	1,109					
添 架 式 (信号機)	4,020	787					
添 架 式 (電柱, 照明灯等)	1,011	204					

(2) 夜 間 (中 部)

設 置 方 法	通過回数	見 落 し 回 数	見 落 し 率 (%)				
			5	10	15	20	25
オーバーヘッド式	10	0					
添 架 式 (横断歩道橋)	300	12					
オーバーハング式	460	20					
添 架 式 (電柱, 照明灯等)	40	2					
分 離 帯	350	39					
添 架 式 (信号機)	390	45					
路 側 式	660	118					

いま、標識を見落した運転者は、その標識が設置されない場合の運転者と同じ経路選択指向（本研究においては対象道路に等分）を取るとする。すなわち、例えば図-4-15のA交差点に設置した案内標識に対する見落とし率が0%の場合と20%の場合では、自動車100台の交通量の流れは同図中に示すとおり差異を生ずる。

この考え方で、千葉県南部の幹線道路網を対象に見落とし率20%と80%の場合の費用対便益比を、表-4-11と同様に算出し、図示したのが図-4-16である。この結果、仮りに見落とし率80%であっても、標識設置した場合の費用対便益比は14以上となることがわかる。

表-4・11 費用便益比較表(1)(標識なしを基準とした場合)

標識数	総走行台キロ	標識が案内した走行台キロ	標識設置年間費用(百万円)	標識が案内した走行台キロ年間費用(百万円)				便益比
				1日当りの時間	時間費用	走行費用	年間費用合計	
0本	2,174,280	0	0	0	0	0	0	
5本	2,052,493	121,787	7.4	2,886	731.8	946.8	1,678.6	226.8
10本	1,983,252	191,028	14.8	4,527	1,148.0	1,485.1	2,633.1	177.9
20本	1,866,726	307,554	29.7	7,288	1,848.2	2,391.0	4,239.2	142.7
40本	1,677,326	496,954	59.3	11,776	2,986.4	3,863.5	6,849.9	115.5
70本	1,454,681	719,954	103.8	17,060	4,326.4	5,597.2	9,923.6	95.6
100本	1,297,984	876,296	148.3	20,765	5,266.0	6,812.7	12,078.7	81.4
227本	1,182,777	991,503	336.6	23,495	5,958.3	7,708.4	13,666.7	40.6

表-4・12 費用便益比較表(2)

標識数	0本を基準とした		5本を基準とした		10本を基準とした		20本を基準とした		40本を基準とした		70本を基準とした		100本を基準とした	
	費用	便益比	費用	便益費	費用	便益費	費用	便益費	費用	便益費	費用	便益費	費用	便益費
	便 益		便 益		便 益		便 益		便 益		便 益		便 益	
5本	7.4	226.8												
	1,678.6													
10本	14.8	177.9	7.4	128.9										
	2,633.1		954.5											
20本	29.7	142.7	22.3	114.8	14.9	107.8								
	4,239.2		2,560.6		1,606.1									
40本	59.3	115.5	51.9	99.6	44.5	94.7	29.6	88.1						
	6,849.9		5,171.3		4,216.8		2,610.7							
70本	103.8	95.6	96.4	85.5	89.0	81.9	74.1	76.7	44.5	69.0				
	9,923.6		8,245.0		7,290.5		5,624.4		3,073.7					
100本	148.3	81.4	140.9	73.8	133.5	70.7	118.6	66.1	89.0	58.7	44.5	48.4		
	12,078.7		12,400.1		9,445.6		7,839.5		5,228.8		2,155.1			
227本 (全数)	336.6	40.6	329.2	36.4	321.8	34.3	306.9	30.7	277.3	24.5	232.8	16.0	188.3	8.4
	13,666.7		11,988.1		11,033.6		9,427.5		6,816.8		3,743.1		1,588.0	

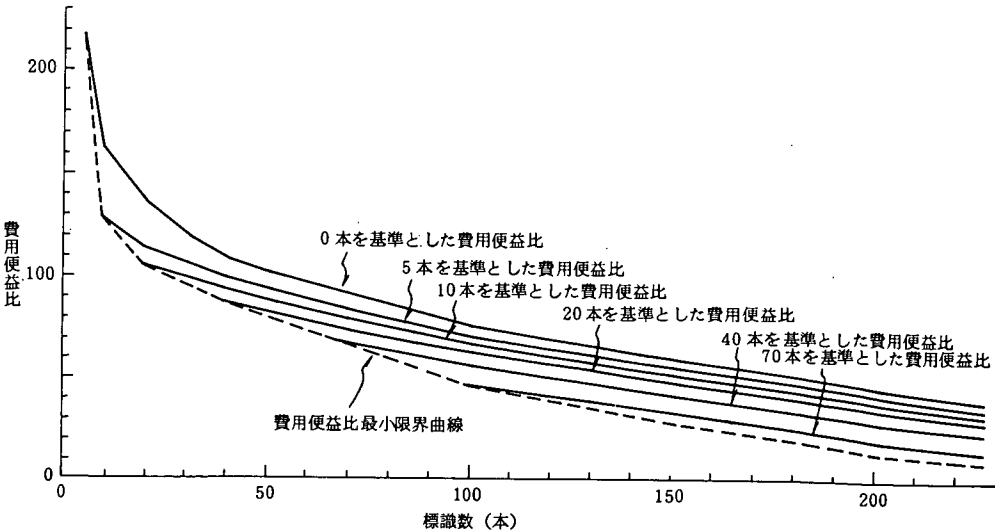


図-4・14 標識設置本数と費用便益比 (千葉県南部道路網)

〔3〕 現実の適用への提案

(1) 設置計画上の留意点

第2章で得られた運転者が交差点流入部において安全円滑に進路を選択し得るための案内標識の先行距離と文字高の関係、及び第3章で明らかにした案内標識を配置することにより得られる道路網全体における案内誘導効果の評価手法を現実の案内標識の配置計画に適用する際に考慮すべき留意点は次のとおりである。

1) 案内標識の位置と規模

① 標識の大きさの不均衡

2.〔4〕節で求めた標識の先行距離と文字高の条件を

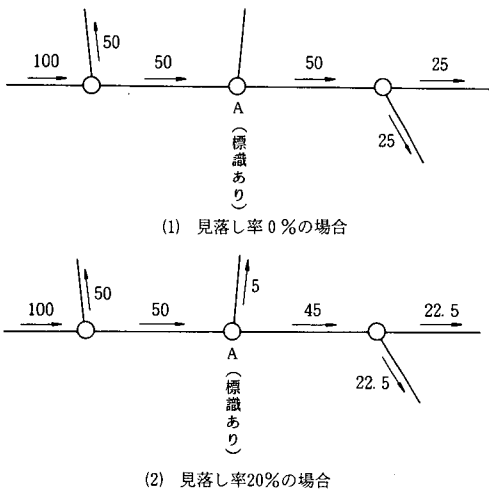


図-4・15 見落率と交通の流れ (単位: 台)

現実の設計に適用する場合、標識設置位置を与件と考え、同一路線における多数の標識の大きさが、交差点によってそれぞれまちまちになることも考えられ、道路景観の見映えあるいは運転者に対する標識の誘目性等の点から必ずしも望ましいことではない。このような場合には、拡大率を同一路線における同種類の標識については同一のものを設置し、先行距離により2.〔4〕節で求めた条件を調整するのが望ましい。なお、この考え方については筆者らの働きかけにより、現道路標識基準において採用されている。

② 交通規制の影響

最近では交差点流入部において進行方向別通行区分の指定（車線変更の禁止）の交通規制がなされている区間が存在する場合には、その区間の道路延長が減速・方向変更必要距離を超える部分については、案内標識の先行距離に追加して設置条件を設定しなければならない。

③ 交通信号による自動車の停滞の影響

交差点の赤信号により、自動車が流入部に停滞する。この場合も、理論的にはその停滞（渋滞）だけ手前で運転行動を完了することが必要となる。この車列が最大延長となる状態は一般には信号が赤から青に変わる直前であると考えられる。特に右折率の大きい交差点の場合には、②と同様な考え方に基づいて標識の設置位置と規模を設定するよう留意する必要がある。

2) 案内標識の設置効果

① 表示地名と予備知識

3.〔3〕節の到達確率による評価、総走行台キロによる

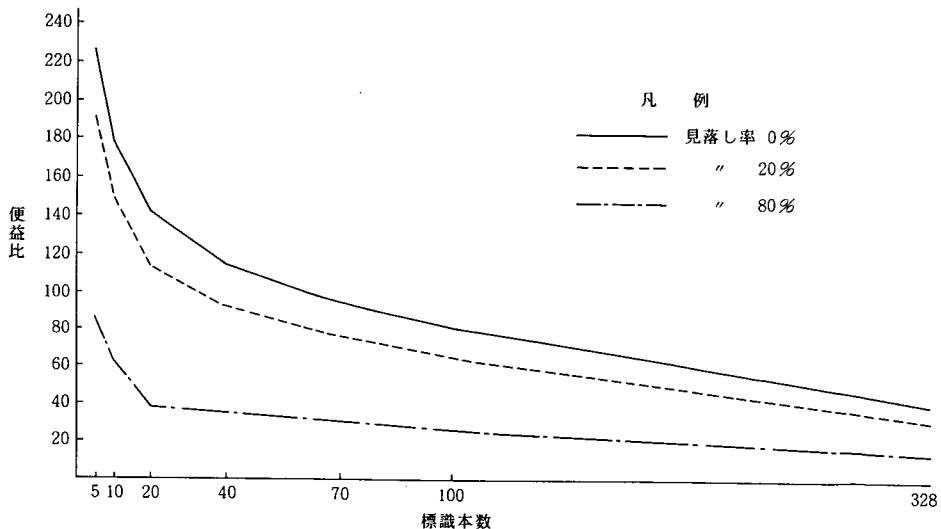


図-4・16 見落率と費用便益率 (千葉県南部道路網)

評価及び費用対便益による評価のいずれの方法においても、案内標識に表示する地名は、集中交通量の多い地名あるいは現実の標識に表示されている地名に比し、運転者が予備知識として有している地名を表示する方がより高い評価値を示し、案内誘導効果が大きいことが明らかになった。従って、3.〔3〕節の評価手法の現実の標識配置計画への適用に当たっては、案内標識を利用する運転者が有する予備知識の傾向と特性を把握することが必要となろう。

筆者らが実施した運転免許所有者に対するアンケート調査（1977年実施、全国5地域調査対象者630人）によれば、土地不案内は地域の道路を自動車で行く場合は、95%以上の者が事前に目的地までの少くともおよその道順を決定しており、経路地名などの予備知識は道路地図、ガイドブック又は他人から得ている。また、走行途中における情報源としては、道路標識、道路地図、通行人、沿道の住民が高い割合となっている。

従って、限られた量の地名しか表示できない案内標識においては、その配置の評価に当たって運転者の予備知識の実状に留意する必要がある。

② 対象道路網とOD表

現実の道路網の任意の範囲については、3.〔3〕節の評価手法を適用する場合には、一般に対象道路網の外に出発地又は目的地を持つトリップをその道路網端で連続的にとらえることができるようOD表の修正に留意する必要がある。

この場合の修正は、当初のトリップの出発地又は目

的地の少なくとも片方が対象道路網の外にあるトリップについては、その出発地と目的地を結ぶ最短経路が通る道路網の周辺のリンクに、道路網の外にある出発地又は目的地を移し替える方法が適切であると考えられる。

③ 最短経路と道路の種類

経路として、最短経路を案内する方法が同一トリップに対しては案内標識の設置効果が最も高く評価されるが、現実の道路においては案内標識を利用する（土地不案内な）運転者には、わかりやすい道路、すなわちより上級の種類の道路を走行できるよう案内することが望まれる。従って、3.〔3〕節の評価手法の適用に当たっては、例えば地域の特性を考慮しつつ、一般国道網、都道府県道網など道路の種類に応じて、道路網を層別することも必要となろう。

（2）設置計画手続の変化

本研究の結果は、案内標識の配置計画、設置計画手続において、従来の手法と対比して以下のような変化をもたらす、

1) 案内標識の設置位置と表示規模の関連

交差点に設置する案内標識の設置位置と表示規模の設定手順を、現状と本研究の結果を適用した場合とを対比すると表-4・13である。すなわち、本研究の結果を適用することにより、特に多車線（1方向2車線以上）道路の交差点流入部における運転行動の安全及び円滑化が保証されると共に、先行距離と文字高との間の必要条件を図示することにより、先行距離と拡大率との間の現地条件に合わせた調整がきわめて容易となる。

表-4・13 案内標識の位置と規模の設定手順

現 状	設 置 位 置	{105-A~C} D ≤ 30m {108-A, B} {108の2-C~E} D ≤ 300m {108の2-A, B} {108の3} D ≤ 150m	設置位置と表示規模の調整は行われない。
	表 示 規 模	行動距離(減速のみ考慮)→判読距離→視認距離→拡大率 (実際には、ほとんどの場合設計速度、標識種類等から拡大率を経験的に設定している)(表-2.6, 表-2.7参照)	
本 研 究 の 適 用 後	設 置 位 置	行動距離(車線変更、減速方向変更を考慮)→判読距離→先行距離	現地の条件、路線の性格等により、行動距離を満足するよう、先行距離と拡大率との間の調整を行う。
	表 示 規 模	拡大率は標識の誘目性、同一路線上における拡大率の均一化などを考慮し仮設定し、設置位置との関連で最線的に決定する。	

なお、調整においては、拡大率を与件として、先行距離で調節の方が道路景観上、経済性などの点から好ましいことを示した。

2) 案内標識の設置効果

交差点に設置する案内標識の案内誘導効果は、現状では全く評価されていない。従って、本研究の結果の適用により以下の項目において配置計画上の手順の改善が可能となる。

① 表示内容の評価

案内標識に表示する地名の選定方法の現状は、現場の道路管理者の知識・経験のみに頼ることが多いが、地名選定を含む表示内容の選定基準の策定の必要性が高く、本研究の結果を活用することにより、表示地名による案内誘導効果を評価することが可能となり、合理的な地名選定基準の設定に役立つ。

② 設置選択の優先度の評価

ある道路網において一定の本数の案内標識を配置する場合の設置場所の選定は、現状では交通量の多い交差点を優先することで行われているが、本研究の結果を適用することにより、任意の本数の案内標識の設置による案内誘導効果を評価することが可能となり、従って道路網全体の案内情報体系から見た案内標識の設置優先順位を適確に把握することが可能になる。

5. 結論と将来への発展

〔1〕 結 論

(1) 運転行動必要距離

第1の結論は、案内標識の設置位置と表示規模が具備すべき条件を求めるための、交差点流入部における運転行動に必要な距離を算定したことにある。

本研究では、運転行動として、安全かつ円滑に車線変更できる距離(車線変更必要距離)を交通量、大型車混入率等の交通要因を考慮して算出するシミュレーションを開発した。この結果は、現地における調査結果ともよく付合している。これにより、85パーセントイル車線変更必要距離は受容車線交通量と強く関連することが明らかとなり、2.〔2〕節の式(2・11)のような回帰式が得られた。

また、方向変更に必要な距離(方向変更必要距離)は実測値より2.〔3〕節の式(2・21)、式(2・22)が得られた。

(2) 交差点における案内標識の設置位置と表示規模

第2の結論は、1.〔2〕節で述べた本研究の目的の1つである交差点に設置する経路選択のための案内標識の具備すべき先行距離と文字高との関係を得たことである。

現在までの案内標識の設置位置と表示規模の決定方法は、個々の案内標識について、先行距離については、標識令の規定に基づいて現地の立地条件から任意に設定し、一方標識の大きさ、すなわち文字高(拡大率)については、道路種類などにより独自に設定することが多かった。それに対し本研究では、前項で述べた結論に基づいて、交通量を考慮した標識がその視認性及び運転行動から具備すべき先行距離と文字高との関係を明らかにした。これにより、両者の関係が明確となり、現地の立地条件に応じて両者の値を調整することが容易となり、また案内標識の良否を評価することが可能となった。さらに交通量以外の交通要因による先行距離及び文字高への感度分析を行い、実用上は大きな影響を及ぼさないことが判明した。

(3) 案内標識利用率

第3の結論は、案内標識を利用する運転者の割合と出発地から標識までの距離との関連式が求まったことである。

本研究では、まず現地調査結果に基づいて、トリップ長と標識利用者の全交通量に対する割合との関係式を地域別に求め、次に出発地からその標識までの距離と標識利用率との関係式を同様に求めたが、論理的にもより妥当と考えられる後者(3.〔2〕節、式(3・4))の方が、関連分析において相関係数が高いことが立証された。また、回帰式として3種類の曲線を取り上げ、相対的に対数曲線の相関が高い結果を得ると共に、 t 検定法によりそれぞれがほぼ5%で有意な結果であることを見出した。サンプル数の信頼度は百分率誤差法により距離別に吟味した。

(4) 道路網における案内標識の評価方法の提案

第4の結論は、3.〔3〕節で述べた本研究の目的である案内標識の案内誘導効果を道路網全体について評価する方法の提案を行ったことである。

本研究では、3種類の評価方法を構築した。すなわち、

- ① 到達確率による評価方法
- ② 総走行台キロによる評価方法
- ③ 費用対便益による評価方法

である。

まず、典型的な仮想道路網及び仮想OD表について①による評価を試みた結果、案内標識の本数及びその

配置方法の仮定に対し、評価値が変化することが明らかとなった。特に主交通の流れが強く作用することが判明した。また、表示地名の選定方法では、集中交通量と分岐点から目的地までの距離とによっても反応し、地名選定手法への適用の可能性も示した。

次に、現実の道路網及びOD表について、①及び②の評価方法により、標識の設置本数、設置場所（配置方法）、表示地名の差異による評価値の変化を確認した。この結果、図-5・3に示すとおり到達確率による評価値と総走行台キロによる評価値は、ほぼ同傾向を示すことが判明した。また、標識1本当たりの走行台キロは標識本数の増加に伴い減少することを理解し得た。同一の道路・交通条件について、③による評価として、表-3・20のように費用便益比及び純便益を算出し、標識の設置効果を評価する手法として、費用対便益法がきわめて有効であること、並びに案内標識の設置は高い便益をもたらすことが明らかとなった。この費用対便益比は標識の見落とし率、誤読率の増大及び評価ベースの変化（例えば、標識のない場合を基準に他の状態の便益を算定するかどうか）によっても、有効性を損なわないことがわかった。

以上の結果から、標識利用率の概念を用いて、案内標識の本数、配置方法及び表示地名の要因に対する道路網全体の案内誘導効果を評価する方法の適用可能性が示された。

〔2〕 将来への発展

本研究で求めた案内標識の位置と規模の関係は、交差点の間隔が300m以上程度の密度が粗な道路、すなわち、都市郊外あるいは地方部の幹線道路における運転行動に基づいたものである。この種の道路の案内標識の位置と規模の検討に本研究の成果を用いるには、これら以外の要因を考える必要はない。しかしながら、他の道路、すなわち都市内の幹線道路については当然考察が必要となる。

そこで次の2局面に分けて、都市内幹線道路における案内標識について考察する。

第1は、交差点密度が高い市街部の案内標識の在り方を考えた場合である。この場合、案内標識の持つ機能は地理的案内と交通情報とが重視される。これは、特に大都市内においては道路密度が高い一方、交通量も大きく、円滑な交通を確保するためには、一方通行など交通規制の情報、さらには交通混雑と情報の提供が必要となり、交差点における案内情報の内容にもこの要素が考慮されなければならない。また、設置位置

についても先行距離の制約がきびしく、予告標識の本数の増大を考慮しなければならない。

第2は、1方向2車線以上の広幅員道路における運転行動に伴う案内標識の在り方を考えた場合である。

本研究においても一部1方向3車線道路における案内標識の先行距離と文字高との関係を求めたが、この場合の車線変更の挙動は1方向2車線道路における車線変更のその繰返しを考えた。1方向3車線以上の道路においても同様の挙動と考えてよいかどうかの検討がされなければならない。

次に、本研究で示した案内標識の設置効果の評価は、対象道路網が同一の性格を有し、案内標識は地名のみによる表示の方法を提案している。しかし、異なる種類の道路の組合せによる道路網を対象として、地名以外の表示内容との組合せ表示による案内方法について当然考慮が必要となる。これを次の2つの局面に分けて考察する。

第1は、表示内容として、地名と路線番号との組合せを考えた場合である。この場合、路線番号は経路選択をより容易にするには不可欠な内容であり、予備知識との関連から地名と路線番号との組合せによる表示機能を評価する方法を検討することが必要となろう。

第2は、対象道路網に異なる種類、重要度を有する道路が含まれる場合である。この場合、案内標識を必要とする、いわばその土地に不案内な運転者に対しては、できるだけ迷いにくい主要な道路が代表経路として案内されるべきである。従って、道路の重要度を考慮した案内表示の評価がなされるような手法の検討が必要であり、この方面への研究の進展が望まれる。

なお、本研究に示した案内標識の設置効果の評価方法を活用して、少なくとも幹線道路については、案内標識に表示する地名のランク付けを、対象道路の種類、地域、交通状況などの特性を考慮して、全国的な規模で実施し、表示地名の普遍性、連続性などの確保により、案内誘導効果の向上を図ることが期待される。

参 考 文 献

- 1) 建設省道路局編「道路六法」
- 2) ㈱全国標識標示業協会編「道路標識ハンドブック」
- 3) 浅井新一郎、内山茂樹、交通工学シリーズ「道路標識」1970.9
- 4) ㈱日本道路協会、道路標識設置基準調査特別委員会「道路標識設置基準」1978.10
- 5) 建設省道路局企画課長通達「道路標識、区画線及

- び道路標示に関する命令の一部を改正する命令の施行についての取扱いについて」1971.12
- 6) 建設省道路局企画課「道路標識設置要領(案)」1964
 - 7) 枝村俊郎, 三上市蔵「道路標識を読む速さに関する室内実験」土木技術資料, 1963.4
 - 8) 市原 薫, 枝村俊郎, 岩城勝正, 「道路標識とデリニエーターに関する二, 三の実験」第8回日本道路会議論文集
 - 9) 伊吹山四郎, 佐藤和夫「道路標識に関する基礎実験〜文字の大きさと視認距離について」道路, 1960.6
 - 10) R.J.Jacobs, A.M.Johnston, B.L.Cok "The Visibility of Alphabetic and Symbolic Traffic Signs" Journal of the Australian Road Research Board, May 1975
 - 11) 伊吹山四郎, 枝村俊郎, 「道路標識のみやすさ」土木技術資料, 1962.6
 - 12) 伊吹山四郎, 枝村俊郎「標識試験結果について(その2)」第6回日本道路会議論文集
 - 13) 宮本 誠「道路標識の視認性について(その1)(形と高さの考察)」1968.7
 - 14) 米谷栄二, 佐々木綱「道路標識の視認距離について」第6回日本道路会議論文集
 - 15) 永岡義次, 佐藤三郎「案内標識「103の2」の設置例とその考察」道路, 1963.11
 - 16) 越 正毅, 富岡征一郎, 福島洋介「案内標識のデザインの実験的研究」交通工学, 4巻6号, 1969
 - 17) 吉次保雄, 山下義之「案内標識の大きさ等についての一研究」交通工学, 6巻2号, 1971
 - 18) 広川楡吉, 松本 博, 植田一郎「首都高速道路標識」第6回日本道路会議論文集
 - 19) 岡崎 聡, 武田富記「道路標識の試験設置について」道路, 1961.12
 - 20) 宮本 誠「道路標識の視認性について(その3)(方向, 距離, 時間および運動知覚の考察)」1968.9
 - 21) 和気典二, 小林 実「道路標識の視認性」交通工学, 増刊号, 1973
 - 22) 和気典二, 上笹 恒, 内村喜之「道路標識の視認性」人間工学, Vol.4, No.4
 - 23) 宮本 誠「道路標識の視認性について(その5)(文字の大きさの設計と夜間視認性を向上する方法)」1969.2
 - 24) 大東幸男, 徳安光雄「名神高速道路の交通管理施設について」第8回業務研究発表会論文集
 - 25) 宮本 誠「道路標識の視認性について(その4)(文字およびシンボルの視覚デザインの考察)」1968.9
 - 26) 水谷文平「高速道路標識の文字について」交通工学, 8巻5号, 1973
 - 27) 木倉正美「道路標識のシンボル化に関する国際会議に出席して」道路, 1972.10
 - 28) 市原 薫, 枝村俊郎, 岩城勝正「道路標識用指向性反射材料試験について」土木研技術資料, 1962.2
 - 29) 宮本 誠「道路標識の視認性について(その2)(色と光の考察)」1968.8
 - 30) 石井一郎「道路標識のアンケート調査について」道路, 1964.5
 - 31) 勸高速道路調査会 標識調査専門委員会「名神高速道路の標識調査」高速道路と自動車, 1967.9
 - 32) 栗本典彦, 梶 太郎, 大友恭也「案内標識の改良に関する考察(その1)」土木技術資料, Vol.17, 1975.12
 - 33) 花井省三, 松下 勇, 河野利典「案内標識の改善による交通流の変化について」第11回日本道路会議論文集
 - 34) 栗本典彦, 梶 太郎「案内標識の改良に関する考察(その1)」土木技術資料, Vol.17, 1975.12
 - 35) 石井一郎「案内標識についての一考察」道路, 1966.11
 - 36) 市川 宏「スピードと視認力」交通医学, Vol.25, No.6, 1971
 - 37) 鈴木忠義, 中村良夫, 村田隆裕, 小笠原常資「運転者注視点の性質」高速道路と自動車, Vol.9, No.7, 1966
 - 38) 村田隆裕, 中村良夫「自動車運転者の注視点」交通工学, 5巻5号
 - 39) 工学, 8巻, 6号
 - 40) 小林 実, 村田隆裕, 巻上安爾「高速道路工事区間での注視点調査」交通工学, 増刊号
 - 41) 水田淳一, 伊南盛治, 吉岡哲二他「列車運転における視作業分析」人間工学, Vol.11, No.2, 3, 1975
 - 42) J.Behrendt, "Zur Entwicklung des neuen Numerierung Systems für die Bundesautobahnen" Strass und Autobahn 26. Jahrg April, 1975
 - 43) 松本 博, 稲吉正敬「首都高速道路の案内標識の構造について」第7回日本道路会議論文集
 - 44) 栗本典彦, 梶 太郎, 大友恭也「案内標識に関する調査研究(その1)」土木研究所資料, 第1097号, 1975.10
 - 45) 日本交通政策研究会「道路案内システムに関する

- 提言 (その1)」1974.8
- 46) 建設省道路局企画課「交通安全対策関係事業等の資料集」1977.3
- 47) 建設省道路局企画課「道路標識の整備状況」1975.6
- 48) 栗本典彦, 梶 太郎, 大友恭也「案内標識の現状と問題点」土木技術資料, 1977.5
- 49) 浅井新一郎, 内山茂樹「道路標識」技術書院, 1970.9
- 50) (社)日本道路協会「道路構造令の解説と運用」1970.11
- 51) Louis. J.Pignatoro "Traffic Engineering-Theory and Practice" PRENTICE-HALL
- 52) 交通工学研究会, 合流交通容量研究委員会「シミュレーションによる合流交通容量の研究報告書」1968.3
- 53) 国沢清典「確率統計演習(2)」
- 54) 米谷栄二, 定井喜明「交通工学のための推計学」国民科学社, 1971.6
- 55) (社)日本自動車工業会「立体交差道路の交通処理に関する研究報告書」1973.3
- 56) (社)交通工学研究会, 交通現象委員会「道路施設の交通容量に及ぼす影響に関する研究報告書」1969.2
- 57) 米谷栄二, 定井喜明「交通工学のための推計学」国民科学社, 1971.6
- 58) 総理府・建設省令第3号「道路標識, 区画線及び道路標示に関する命令」1960.12
- 59) 佐々木恒一, 河野博忠, 蔵下勝行「道路の経済効果と投資基準」技術書院, 1972.6
- 60) 建設省都市局, 道路局, 「昭和49年度全国道路(街路)交通情勢調査, 出発地目的地別交通量調査集計表」1975.3
- 61) 建設省千葉国道工事事務所, 「道路標識台帳」
- 62) 千葉県土木部道路維持課「道路標識台帳」
- 63) 田口玄一「実験計画法(上)」丸善, 1967.2

昭和56年9月19日原稿受理

地下埋管からの浸透機構とその応用に関する研究

土木研究所報告 第161-1
昭. 59. 2 (1984)

石崎勝義, 北川 明

要 旨:

地下水を人工的に涵養する方法は、大きく井戸法と拡水法に分けられる。地下埋管法は、拡水法のひとつの手法であり、地下30~60cm くらいの位置に埋設した管に給水し、水を地下に浸透させる方法である。

本研究は、この手法を技術的に確立することを目標として行った。室内実験、数値解析並びに現地実験についてとりまとめたものである。なお、地下埋管法は、地下水涵養のみならず、雨水の地下浸透促進による洪水流出抑制にも有効であることが示され、今後現場での広い適用が期待されている。

キーワード 地下水★養, 地下埋管法, 数値解析, 室内実験, 現場実験

案内標識の配置方法に関する研究

土木研究所報告 第161-2
昭. 59.2 (1984)

栗本典彦, 梶 太郎

要 旨:

道路の案内標識は、道路を通行する者にとって目的地まで安全かつ円滑に到達するために不可欠な重要な情報源である。従って、地理に不案内な運転者が多数利用する道路においては必要かつ十分な量、質の案内標識が適切に配置されていることが道路網としての運用上きわめて重要な要件であると言えよう。本研究では、交差点流入部の案内標識の設置位置と表示規模との関連を明確にし機能の向上を図ることと、案内標識の設置による自動車の誘導効果を道路網全体について評価する手法を見出し、これを手段として案内標識に表示する地名等の標準化を促すことに着目し、交差点における案内標識の設置位置と表示規模及び道路網における案内標識の設置効果について検討を行っている。

キーワード: 案内標識, 視認性, 判読距離, 車線変更シミュレーション, 最短経路, 費用対便益比

Report of PWRI Vol. 161-1, Feb. 1984
Artificial Groundwater Recharge by Underground Piping Method
by Katsuyoshi Ishizaki
Akira Kitagawa

Synopsis :

The method for artificial groundwater recharge can be categorized into two groups, one is well method and the other one is scattering method. Underground piping method belongs to the latter group. It is to infiltrate water from porous pipes buried underground (about 30-60 cm from the ground surface). This paper shows the results of indoor experiments, numerical analysis, and field experiments concerning this method. The purpose of the study is to make the technical aspects of the method clear for practical use. We have found that this method is effective not only for groundwater recharge but also for runoff control through the infiltration of rainfall water, and has a potential for wide practical application.

Key Words : Groundwater Recharge, Underground Piping Method, Numerical Analysis, Indoor Experiment, Field Experiment

Report of PWRI Vol. 161-2, Feb. 1984
**A Study on Methods of Allocation and Placements
for Highway Guide Signs**

by Dr. Norihiko Kurimoto
Taro Kaji

Synopsis :

Traffic signs are essential information source for motorists to approach and reach their destinations safely and smoothly. Therefore, it is quite important to supply sufficient number and good quality of traffic signs appropriately on the highway network for a great number of motorists unfamiliar with the geography. This research consists of two parts : one is to make clear the relation between placement and size of guide sign before intersection, and the other is to develop methods for evaluating system-effectiveness of guide signs on highway network.

Key Words : Guide Sign, Visibility, Legibility Distance, Weaving Simulation, Critical Path, Cost Benefit Ratio

土木研究所報告第161号

昭和59年2月23日発行

発行 建設省土木研究所
〒305 茨城県筑波郡豊里町大字旭1番地
電話 0298 (64) 2211

印刷 前田印刷株式会社
金沢市金市町ホ34番地1
電話 (0762) 57-3391

本研究報告より転載又は複製する場合は、前もって
建設省土木研究所情報資料課に連絡のうえ、許可を
得てください。

Report
of
Public Works Research Institute
Ministry of Construction

Vol. 161 Feb. 1984

CONTENTS

1. Artificial Groundwater Recharge by
Underground Piping Method
Katsuyoshi Ishizaki and Akira Kitagawa(1)
 2. A Study on Methods of Allocation and Placements
for Highway Guide Signs
Norihiko Kurimoto and Taro Kaji(29)
-