

土木研究所資料

コミュニティ道路の構造

——シケイン、ランブルストリップ、および歩道幅員——

昭和63年2月

建設省土木研究所
道路部新交通研究室

Copyright © (1 9 8 8) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of 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、複製は、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。

コミュニティ道路の構造

— シケイン、ランブルストリップ、および歩道幅員 —

新交通研究室 室 長 神 崎 紘 郎
主任研究員 山 田 晴 利
村 岡 博 之

要 旨:

本報告書は、コミュニティ道路において自動車の走行速度抑制のために用いられているシケインおよびランブルストリップの構造について検討を行なった結果と歩道幅員について基礎的な分析を行なった結果とをとりまとめたものである。

シケインについては、大型消防車の走行が可能な形状寸法を大型消防車の走行軌跡を描くことによって求め、速度抑制効果を実験的に確かめた。この結果は第1章に記述してある。速度抑制効果が期待できるのは、シケインの横方向のずれを車道幅員に匹敵する程度に大きくとった場合であり、シケインの横方向のずれが小さく道路軸方向の見通しがきく場合には速度抑制効果はほとんど期待できないというのがここでの結論である。

ランブルストリップについては、ランブルストリップ通過時に自動車が受ける加速度の大きさを運動方程式から求めた。また、ランブルストリップの速度抑制効果と自動車通過時の騒音・振動の値を実験によって測定した。この結果は第2章に記述してある。ランブルストリップの構造によって速度抑制効果に差が生じること、また構造によっては大きな騒音・振動が発生することが確かめられた。

歩道幅員については、歩道を歩行している歩行者のかたわらを自動車が走行する場合に、歩行者が安心して歩けるのは歩行者と自動車との距離がどのくらいのときであるかを実験的に求めた。この結果は第3章に記してある。実験の結果によれば、自動車が40km/hで走行する場合には、1m以上の距離を確保する必要があるという結論をえた。

キーワード：コミュニティ道路、シケイン、ランブルストリップ、歩道幅員、速度抑制効果

はじめに

近年、地区道路や居住区域内の道路において歩車共存のための交通環境改善が進められている。こうした改善にあたって重要な課題は、通過交通を地区内の道路から排除すること、自動車の走行速度を低下させ自動車と歩行者との共存を図ること、および良好な歩行環境をつくりだすことの3点である。自動車の走行速度抑制のための方策には、ハンプ、狭窄、シケイン、ランブルストリップなどがある。本報告書は、この中からシケインとランブルストリップを取りあげ、それぞれの速度抑制効果について検討した結果をとりまとめるとともに、歩行者が歩行時に安心して歩ける歩道幅員を実験的に求めた結果を記したものである。

コミュニティ道路の構造
——シケイン、ランブルストリップ、および歩道幅員——

目 次

はじめに

1. シケインの形態および速度抑制効果	1
1-1. 目 的	1
1-2. シケイン通過時の走行軌跡	1
(1). 二輪車モデル	2
(2). 走行軌跡を描く手順	5
(3). 計算条件	9
(4). 結果と考察	9
1-3. シケインの速度抑制効果	13
(1). 実験方法	13
(2). 被験者	16
(3). 実験結果	16
1-4. まとめ	20
2. ランブルストリップの速度抑制効果と騒音・振動	23
2-1. 目 的	23
2-2. ランブルストリップ通過時の車両の動的挙動	23
(1). 過去の研究事例	23
(2). 計算結果と考察	25
2-3. ランブルストリップの速度抑制効果	31
2-4. ランブルストリップ通過時の騒音・振動	38
3. 歩行時の安全感と歩道幅員	41
3-1. 目 的	41
3-2. 実験の方法	41
3-3. 結果と考察	43
参考文献	45

参考資料	47
1. シケイン通過時の速度プロフィール	47
2. 自動車の振動モデル	57
(1). 車両のモデル	57
(2). 計算条件	60

1. シケインの形態および速度抑制効果

1-1. 目 的

シケインとは、「車の通行領域をジグザグに屈折させて自動車の走行速度を抑制する装置」である〔青木等(1986)〕。しかし、コミュニティ道路におけるこれまでの実施例を見直したところ〔建設省道路局(1984)〕、屈曲の程度がたりないため自動車の走行速度が高いままであったり、屈曲を頻繁にいれすぎたために煩雑感を与えている事例がいくつか見受けられた。また、周辺に高層建築物のあるコミュニティ道路にシケインを設置する場合には、大型消防車の走行が可能かどうかを確かめる必要があるが、大型消防車の走行が可能となる線形条件がはっきりしていなかったため、現地で実際に車を走行させて確認する等の手続きを踏んでいる例もあった。そこで、

①大型消防車の通行が可能なシケインの線形・寸法を明らかにし、さらに

②これらのシケインの速度抑制効果を実験的に確かめる

ことを目的として調査を実施した。

シケインの速度抑制効果に関する既存の研究としては、天野・小谷(1980)、天野等(1981)がある。この研究によればシケインの横方向のずれが速度抑制効果に大きな影響を与える要素であることがわかっている。ただし、天野らの研究はシケインを大型消防車が走行できるかどうかという点にはあまり関心をはらっていない。また、西ドイツの生活道路設計基準〔大阪市土木技術協会(1984)〕では、シケインの横方向のずれ幅を可能な限り車道幅員に等しくするように推奨している。本調査ではこれらの知見を参考にしてシケインの線形・形状を決め、走行速度に及ぼす影響を調べた。

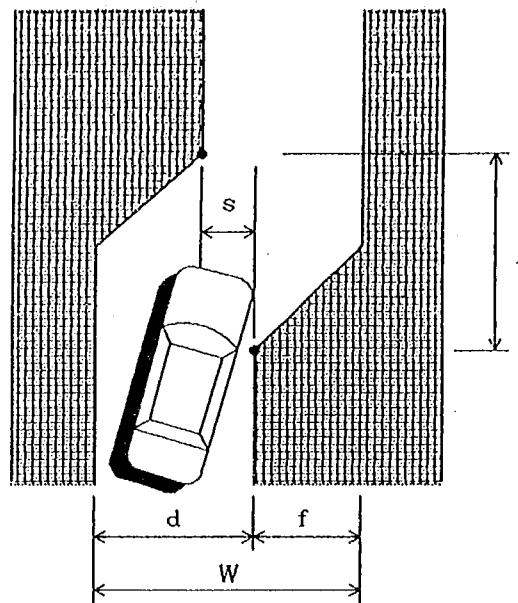
以下、1-2節では、大型消防車の走行軌跡を描き、大型消防車の通過が可能となる線形を求めた結果を述べる。また、1-3節では、シケインの速度抑制効果を確認するために実施した実験の方法と結果とを報告する。

1-2. シケイン通過時の走行軌跡

シケインの形状は一般的に図1-1に示したようになっており、車道幅員 d 、シケインの縦方向のずれ l 、フォルトの幅 f 、およびシケインの横方向のずれ s の4つの値によって形状が決定されている。この図から d 、 W 、 f 、 s の間には、次のような関係式がなりたっていることがわかる：

$$\begin{aligned} s &= f - d, \\ W &= d + f. \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(1)$$

図1-1に示した例では s の値は負で、道路の軸方向の見通しがきく。 s の値が正になると、見通しがきかなくなるため速度抑制効果は高くなるはずである。また、 l の値を小さくすれば屈曲の程度が大きくなるので、やはり速度抑制効果は高まると予想できる。しかし、 d, l, W, f , および s の値の組み合わせによっては、車両の走行が困難になり、特に大型消防車の走行が不可能になる場合も起こりうる。したがって、シケインを設置するにあたっては大型消防車の走行が可能となる形状・寸法が明らかにされていなくてはならない。ここでは、大型消防車の走行軌跡を二輪車モデルを用いて描き、大型消防車の走行が可能となる線形条件を求めた。



s : シケインの横方向のずれ
 l : シケインの縦方向のずれ
 f : フォルトの幅
 d : 車道幅員
 W : シケインの総幅員
 ただし、 $s = f - d$ で、図のよ
 うに道路軸方向の見通しがきく
 場合には $s < 0$ となる。

図1-1 シケインの形状

(1) . 二輪車モデル

二輪車モデルでは四輪車を二輪車で表現する。二輪車モデルの車輪は、四輪車の前後の車軸それぞれの中心に位置している。シミュレーションの目的が走行軌跡を描くことにあるので、力学的平衡条件は考慮しない。したがってこのモデルは低速度で走行する「傾かない自転車」を表現していることになる。具体的な計算式は以下に述べるとおりである。

図1-2に示すように、方向舵角一定という条件のもとでは二輪車の前後輪の走行軌跡は同心円となり、その回転中心は前輪と後輪それぞれの位置における法線の交点Cである。ここでは、この関係が方向舵が連続的に変化する場合にも、微小区間において成立すると仮定する。すなわち、時点 t から時点 $(t+1)$ に至る微小区間においては、方向舵角は ES_t で一定であり、この間の前後輪の運動は同心円上の回転運動となるものと仮定する。時点 t と時点 $(t+1)$ との間の回転移動量 ΔL を十分に小さくとしてやれば、走行軌跡を描くことができる。この手順は図1-3に示したとおりである。

いま、時点 t における前輪 P_t の座標を ${}_tP_t$ 、時点 $(t+1)$ における前輪の座標を ${}_{t+1}P_t$ とすれば、両者の関係は点Cのまわりの回転変換 R_t を用いて次式のように表わされる。

$${}_{t+1}P_t = R_t {}_tP_t \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、回転変換 R_t を平行移動変換 F_t と座標軸の原点を中心とする回転変換 G_t の合成変換として表わせば、 $R_t = F_t^{-1} \circ G_t \circ F_t$ （ただし、記号 $\circ$ は写像の合成を表わす；図1-4参照）であり、(2)式は次のように書き換えられる。

$$\begin{aligned} {}_{t+1}P_t &= F_t^{-1} \circ G_t \circ F_t ({}_tP_t) \\ &= g_t {}_tP_t + (g_t - I) \cdot f_t \quad \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

ここに、
 g_t ：時点 t における回転変換（原点中心）の変換行列、
 f_t ：時点 t における平行移動変換の変換行列、
 I ：単位行列。

(3)式における変換行列 g_t および f_t は、以下のように表現できる。

$$g_t = \begin{bmatrix} \cos(\Delta L / {}_tR_t) & -\sin(\Delta L / {}_tR_t) \\ \sin(\Delta L / {}_tR_t) & \cos(\Delta L / {}_tR_t) \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$f_t = \begin{bmatrix} -{}_tR_t \cos(ES_t + ET_t) \\ {}_tR_t \sin(ES_t + ET_t) \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$${}_tR_t = A / \sin ES_t \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 ΔL ：微小回転変位、
 A ：車両の軸距、
 ${}_tR_t$ ：時点 t における前輪の回転半径、
 ES_t ：時点 t における方向舵角、
 ET_t ：時点 t における車両のY軸からの傾き角（図1-2参照）。

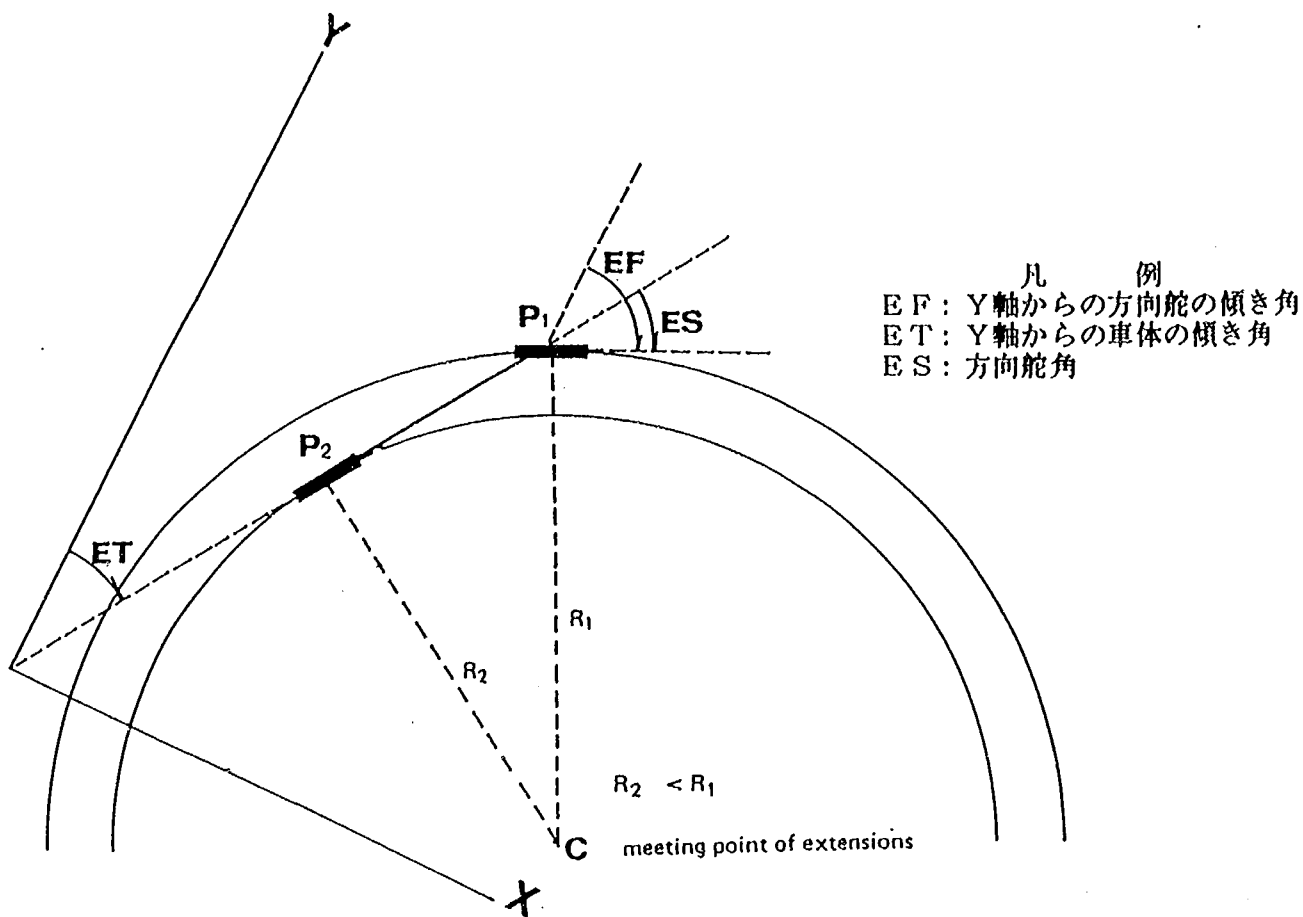


図1-2. 方向舵角を固定した場合の走行軌跡

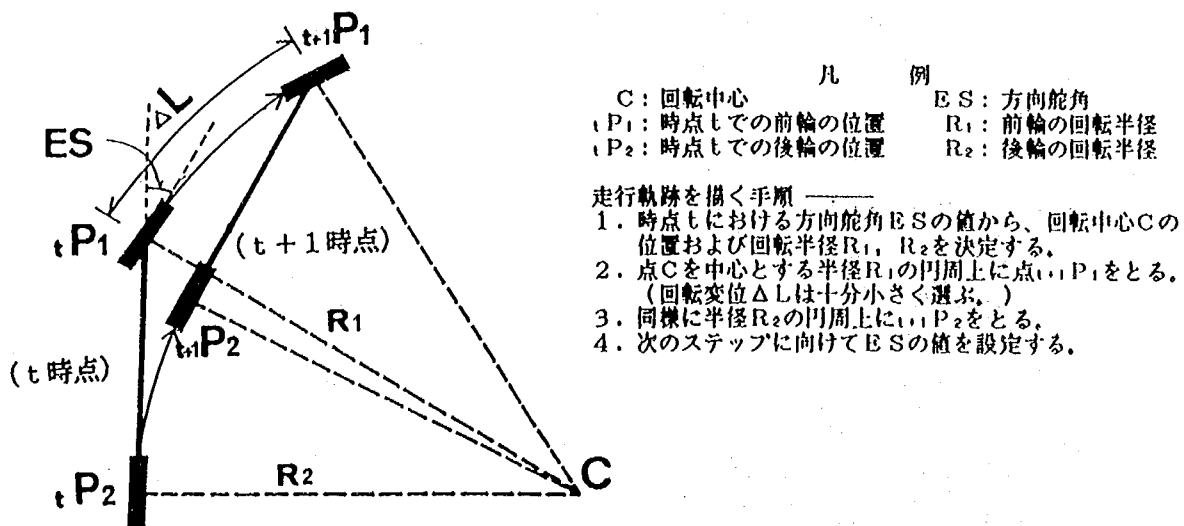


図1-3. 走行軌跡の描き方(二輪車モデル)

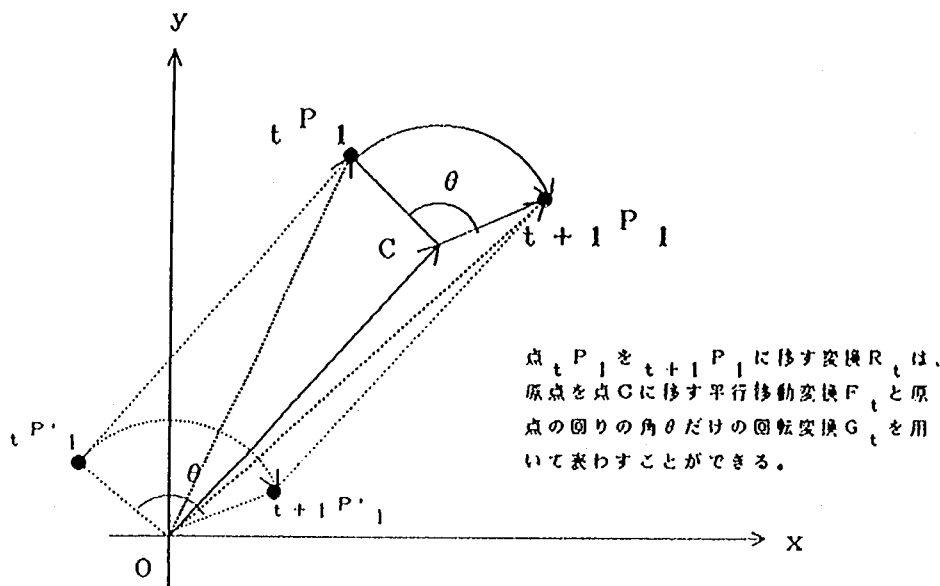


図 1-4 変換の分解

後輪に対しても(3)式は成立する。ただし、 g_t は(4)式の ${}_tR_1$ を ${}_tR_2$ で置き換えたものに等しく、 f_t は次式のようになる。

$$f_t = \begin{bmatrix} -{}_tR_2 \cos E T_t \\ {}_tR_2 \sin E T_t \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$${}_tR_2 = A / \tan E S_t \quad \dots\dots\dots(8)$$

ここに、 ${}_tR_2$ ：時点 t における後輪の回転半径。

また、Y軸と平行に走行していた車が時刻 $t=0$ において旋回を始めたとすれば、時点 t における車両の方向角 $E T_t$ は、次式のように表現できる。

$$E T_t = \sum_{i=0}^{t-1} \frac{\Delta L}{A} \sin E S_i \quad \dots\dots\dots(9)$$

計算では、走行速度一定という仮定のもとに微小変位 ΔL を5cmにとり、方向舵角 $E S$ を図1-5に示すように外生的に与えて軌跡を描いた。

(2)．走行軌跡を描く手順

シケインを通過する車両の走行軌跡を描くにあたって、以下のような4つの段階(Phase1～

Phase4)を設定した。各段階は方向舵角 $E S$ の時間的变化率によって区別されている。図1-5には、各段階における $E S$ の値と式(9)で与えられる $E T$ の値とを例示してある。

Phase 1:シケインに進入後、最大方向舵角(最小回転半径)に達するまで操舵する区間、

Phase 2:ハンドルを最大方向舵角に固定した状態で走行する区間、

Phase 3:ハンドルを切り返し、前輪が道路軸と平行になるまで走行する区間、

Phase 4:ハンドルを戻し始め、車体が道路軸と平行になるまで走行する区間。

走行軌跡は、以下の手順に従って描いた。まず、シケインの横方向のずれ s と車道幅員 d の値を与えておく。車両は車道の最も左寄り、車両の先端部とフォルト先端とが一致する位置からハンドルをきり始めるものとする(図1-6)。次に、上で述べたPhase 2の継続時間を0とした時の走行軌跡を描く。この軌跡は、最初に与えた s と d の値から決まるシケインの形状を満たさないのがふつうであり、走行軌跡が歩道部分にはみだしたり、車道部分に余裕が生じたりする。車道部分に余裕が生じた場合には、ハンドルを最大舵角に固定した状態で走行する時間を増やし(図1-5の1)、また走行軌跡が歩道部分にはみだした場合には、最大方向舵角に達する前にハンドルをきり返し始めるようにした(図1-5の2)。

こうして描かれた走行軌跡から、大型消防車が走行するのに必要なシケインの縦方向のずれ l の値を読みとる。ただし、図1-6にしめたように、ハンドルをきり始めるのを車両の先端とフォルトの先端とが一致する位置とし、車両を車道の左側に寄せているので、こうして読みとった l の値は実際に必要な値よりも大きくなる。これを防ぐために、図1-7にしめたようにフォルトの外側線を平行移動させて l の値が最小になるようにした。したがって、スタート位置は l の値に影響を与えない。なお、フォルトの形状は図1-8にしめたような直角型と45度の角度をもつ斜行型の2種類とし、それぞれについて l の値を読みとった。走行軌跡は、車両のオーバーハング部分が歩道に侵入してもよいという条件と侵入してはならないという2つの条件で描かれているので、それぞれについてさきに述べた方法で l の値を読みとっている。

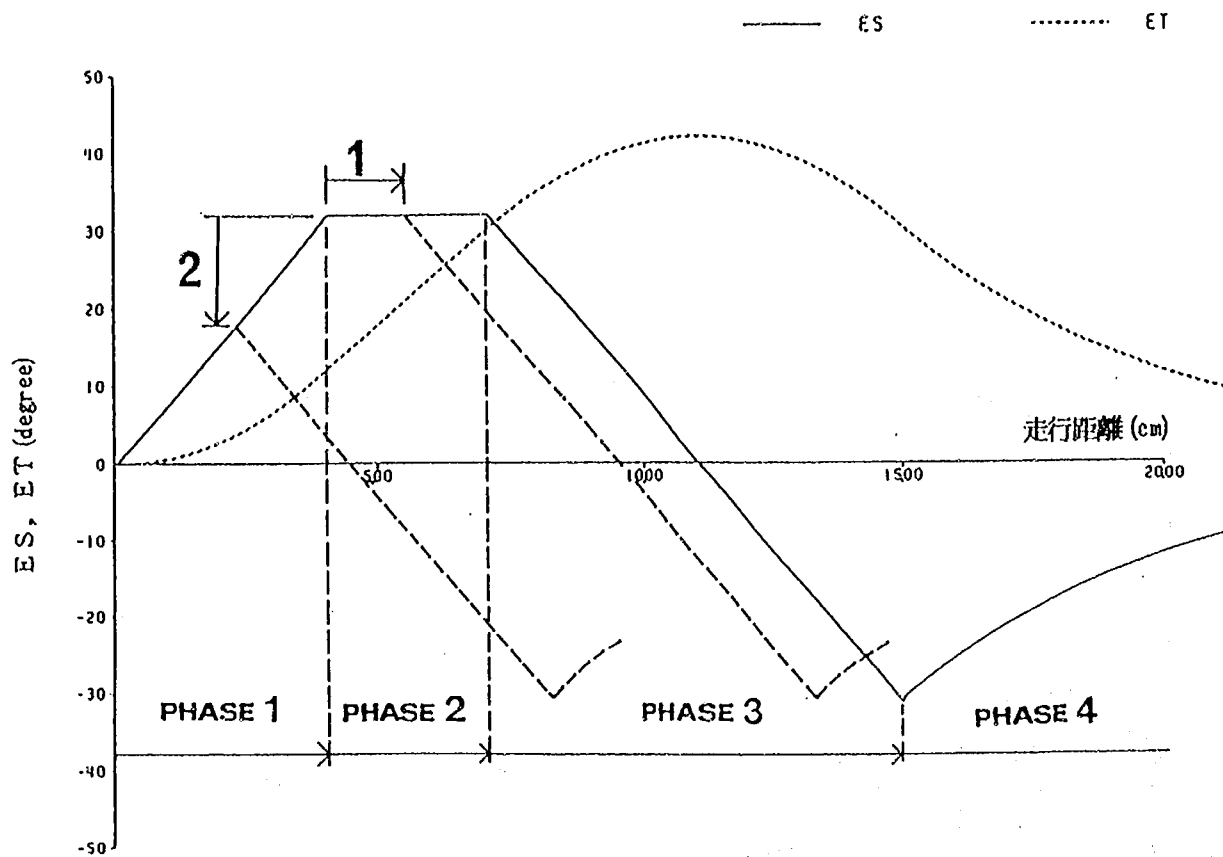
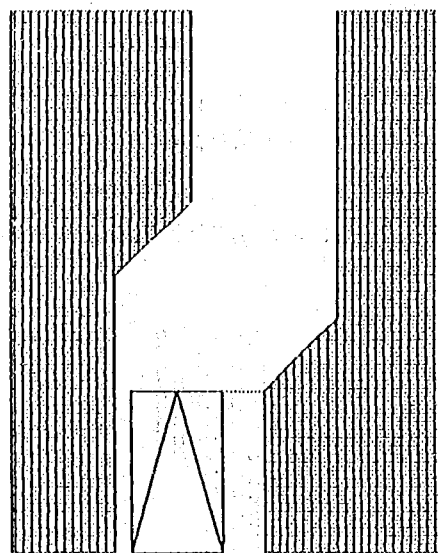
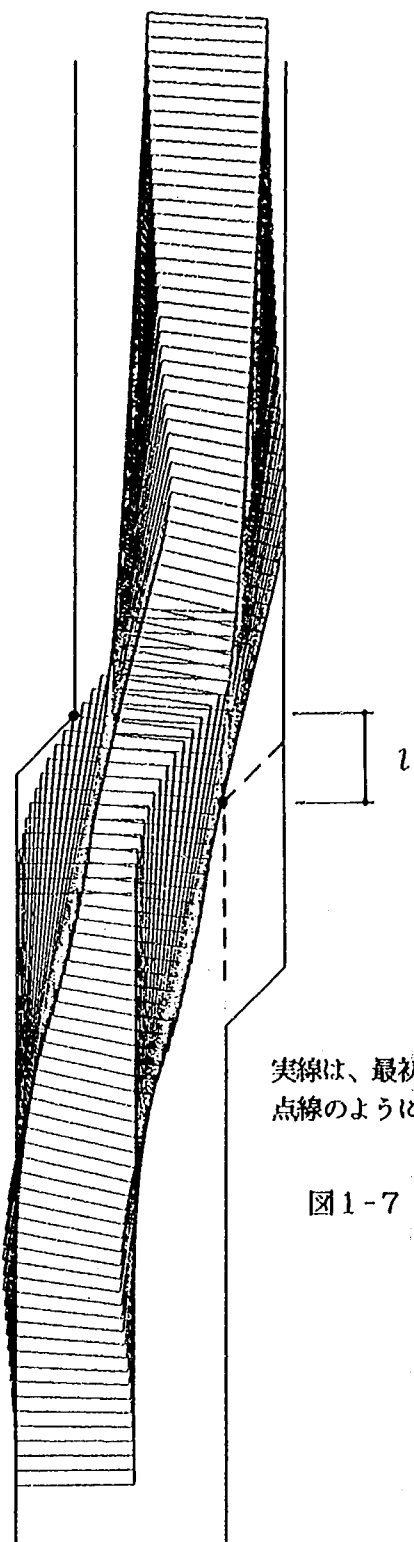


図1-5. 方向舵角ESと車体の傾き角ETの変化



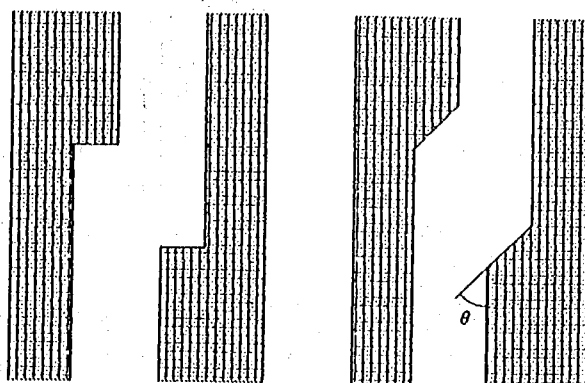
車両の先端とフォルトの
先端とが一致し、車両は
左側に寄った位置からス
タートする。

図1-6. スタート位置



実線は、最初に設定したシケインの形状を示している。これを点線のように移動させて l の値を読む。

図1-7 シケインの縦方向のずれ l の値の読み取り



(a) 直角型

(b) 斜行型

図1-8 フォルトの形状

(3) 計算条件

大型消防車の車両としては、東京消防庁へのヒアリング結果をもとにしてわが国で一般的に使用されている中で最も大型のはしご車を想定した。表1-1に車両諸元をしめす。

走行軌跡は、幅員dについて2ケース、ずれ幅sについて8ケースの値を設定して両者を適宜組み合わせて描いた。幅員dの値としては、3.0m, 3.5mを選定した。ずれ幅sの値としては、-2.5mから1.0mまで0.5m刻みで選定した。走行軌跡を描いたdとsの組合せは表1-2にしめしたとおりである。

さきに述べた計算方法では走行速度として歩く程度の速さを想定している。また、Christie and Chisholm(1981)を参考にして、ハンドルをきり始めてから1秒(走行距離にして約4m)で最大舵角に達するものとした。微小な回転変位 ΔL の値はすでに述べたように5cmである。

表1-1. 大型はしご車の諸元

全 長(m)	10.0	前部オーバーハング(m)	2.25
全 幅(m)	2.5	後部オーバーハング(m)	2.60
全 高(m)	3.5	軸 距(m)	5.15
車両総重量(t)	20	ト レ ッ ド (m)	2.00
最小回転半径(m)	9.8		

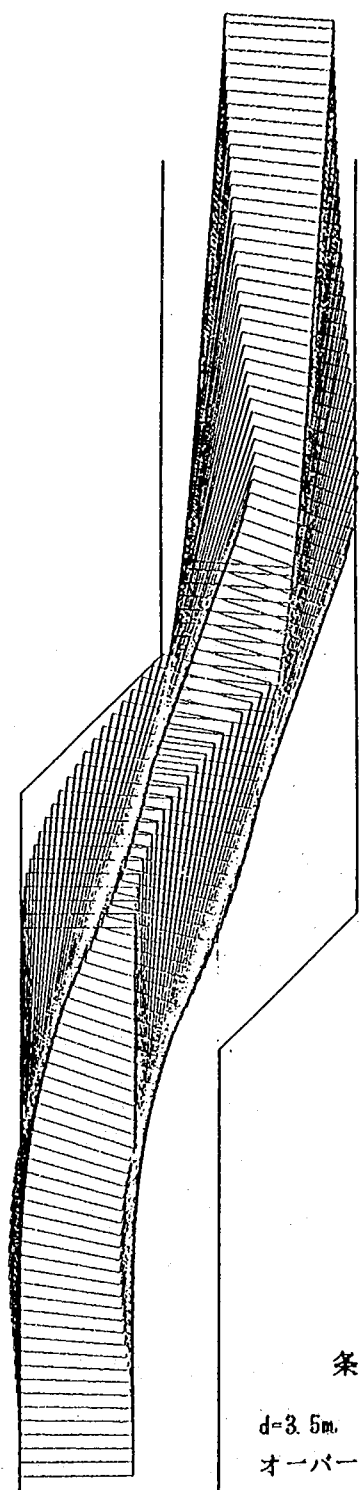
(注) 下線を付した数字を走行軌跡を描くのに使用した。これは、消防庁、昭和51年8月による。『火災等の災害発生時における「はしご自動車」の円滑な消防活動確保のための基準』、東京消防

表1-2. 走行軌跡を描くシケインの車道幅員dと横方向のずれsの値

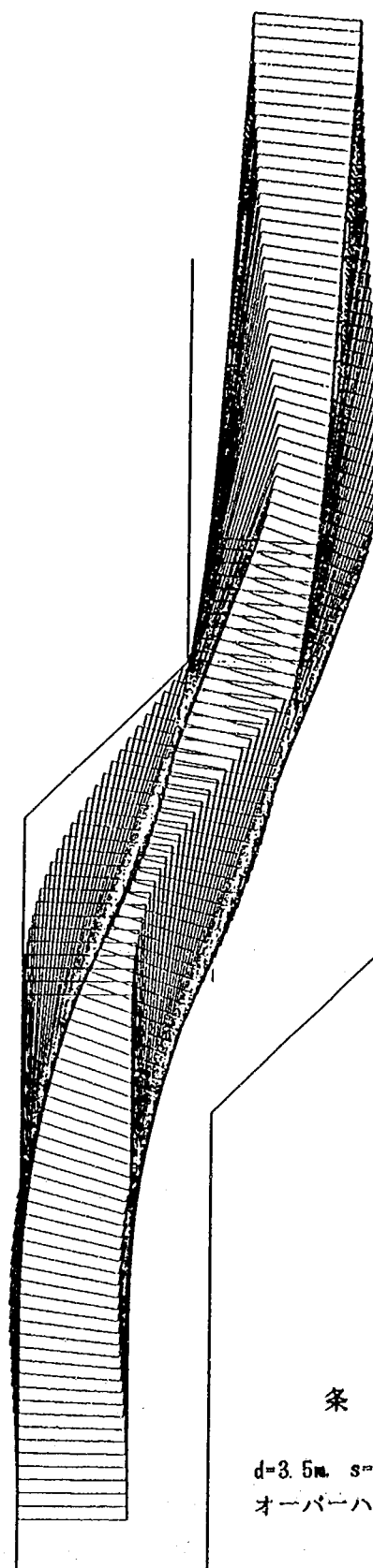
車道幅員 d	シケインの横方向のずれ s (m)							
	-2.5	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	0.0	0.5	1.0
3.0m	-	o	o	o	o	o	o	o
3.5m	o	o	o	o	o	o	o	-

(4) 結果と考察

図1-9に走行軌跡の出力例をしめす。この図をもとにしてシケインの縦方向のずれ l の値を求めた(表1-3、図1-10)。図1-8に掲げた2つのフォルトの形状の違いにかかわらず、 l の値は同じである。これは、フォルトの先端部分と走行軌跡の包絡線との接点で l の値が決定されていることに原因がある(図1-7はこの状況をしめしている)。フォルトの斜辺と走行軌跡の包絡線とが接する場合には、 l の値はフォルトの形状によって異なるはずであるが、今



条 件
 $d=3.5\text{m}$ $s=-1.0\text{m}$
 オーバーハングを考慮している。



条 件
 $d=3.5\text{m}$ $s=-0.5\text{m}$
 オーバーハングを考慮している。

図中の矩形は、車両の外側線を表わしている。

図1-9. 走行軌跡

表 1-3. 大型車が通行するのに必要なシケインの寸法

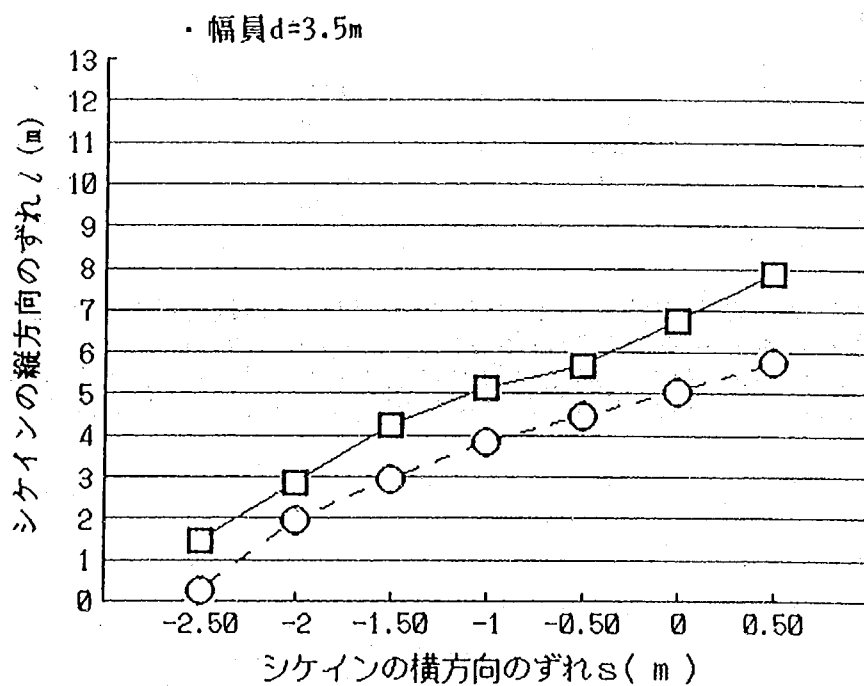
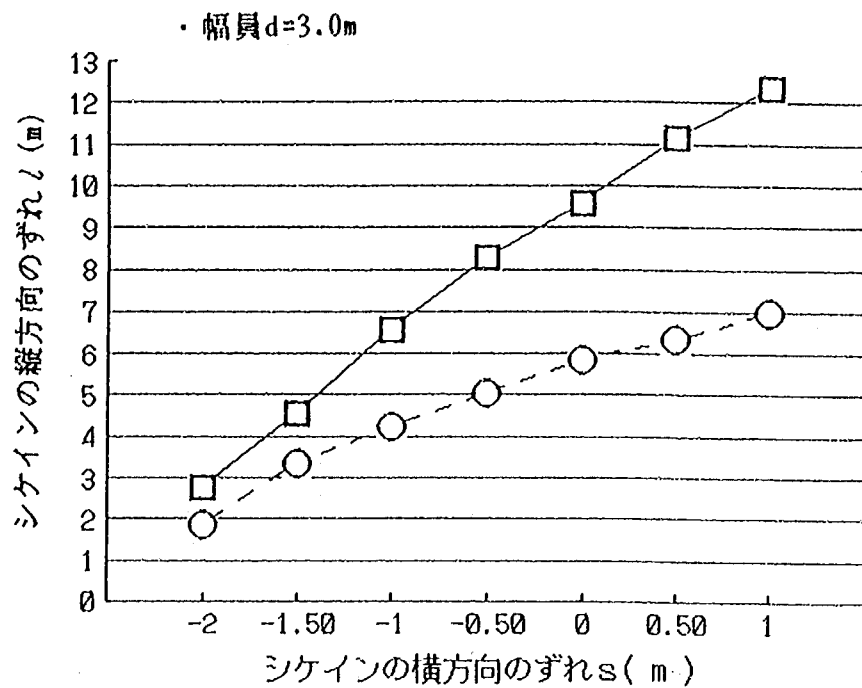
・幅員 $d=3.0\text{m}$

フォルトの幅 $f\text{ (m)}$	シケインの 横方向のずれ $s\text{ (m)}$	シケインの 縦方向のずれ $l_1\text{ (m)}$	シケインの 縦方向のずれ $l_2\text{ (m)}$
1.0	-2.0	2.80	1.90
1.5	-1.5	4.60	3.40
2.0	-1.0	6.60	4.30
2.5	-0.5	8.30	5.10
3.0	0.0	9.60	5.90
3.5	0.5	11.2	6.40
4.0	1.0	12.4	7.00

・幅員 $d=3.5\text{m}$

フォルトの幅 $f\text{ (m)}$	シケインの 横方向のずれ $s\text{ (m)}$	シケインの 縦方向のずれ $l_1\text{ (m)}$	シケインの 縦方向のずれ $l_2\text{ (m)}$
1.0	-2.5	1.50	0.30
1.5	-2.0	2.90	2.00
2.0	-1.5	4.30	3.00
2.5	-1.0	5.20	3.90
3.0	-0.5	5.70	4.50
3.5	0.0	6.80	5.10
4.0	0.5	7.90	5.80

- (注) ・ここにあげた数字は、表 1-2 にかかげた d, s の組合せに対して、大型車の通行が可能となる縦方向のずれ l の値である。
- ・ l_1 はオーバーハング部分が歩道に侵入しないという条件で求めた値、 l_2 はオーバーハング部分が歩道に侵入するという条件で求めた値である。



凡 例

——— オーバーハング部分が歩道に侵入しない

----- オーバーハング部分が歩道に侵入する

図1-10. 大型車の通行が可能なシケインの寸法

回の計算ではこうしたことは起こらなかった。図1-10中の実線は、オーバーハング部分も車輪も歩道に侵入しないという条件で求めた値である。破線は、オーバーハング部分は歩道に侵入するが車輪が歩道に侵入することはないという条件で求めた値である。オーバーハング部分が歩道に侵入するかしないかによって l の値は大きく異なる。また、この図によれば、シケインの縦方向のずれ l とシケインの横方向のずれ s とは、ほぼ直線的な関係にあることがわかる。

この結果を、シケインに対する指針を与えている西ドイツの生活道路設計基準(RAS-B)と比較してみると以下ようになる。RAS-Bではどのような方法で値を算出したかは不明であるが、小型乗用車がシケインを通過することが可能な最小寸法が掲げられており、たとえば「車道幅員が4.0m、シケインの横方向のずれが0.0mのときシケインの縦方向のずれ l は10.0m。大型貨物車はこの値の50%増し」としている。この値はここで求めた値より大きい。これは、車両諸元や走行速度の違いに起因するものであると考える。

1-3. シケインの速度抑制効果

実験では、シケインの車道幅員 d の値として、一方通行を想定した4.0mと対面通行を想定した5.5mを選択し、フォルト幅 f と縦方向のずれ l の値を変化させたシケインを土木研究所試験走路内につくり、各ケースについて10名の被験者に小型乗用車を走行させ、走行速度を光センサーによって測定した。実験の方法と結果は以下にしめすとおりである。

(1) 実験方法

シケインの車道幅員 d は、上述のように4.0mと5.5mである。幅員の4.0mという値は、コミュニティ道路整備事業の補助を行なっている建設省交通安全施設等整備事業の採択基準を参考にして定めたものである^{*}。また、幅員5.5mという値は、2車線道路の最小幅員をもとにして選定した。

^{*}注：実験当時の採択基準では、歩道設置後の車道幅員が「原則として4.0m以上」なくてはならなかったが、現在この値は「原則として3.5m以上」になっている。

これに対して、シケインの横断方向のずれ s の値は、運転者の行動に直接影響して車の走行速度を左右する値である。ここでは s の値を複数設定して結果の違いを見ることにし、RAS-Bで推奨している0mを中心に $\pm 0.5m$ 、 $\pm 1.0m$ の5ケースを選定した。 s と d の値が与えられると、式(1)から f と W の値が求まる。

l の値としては、 s と d の値をもとにして前節で述べた方法を用いて求めた、大型消防車の走行が可能となる値を採用した。ただし、実験に用いたのはオーバーハング部分が歩道に侵入しないという条件で求めた寸法である。これは、試験走路内に模擬的なシケインをつくるさいに、背の高い重量ブロックや植樹を用いており、車両のオーバーハング部分が歩道に侵入することは物理的に不可能だったからである。実験に用いたシケインの形状は、45度の角度を有する斜行型であり、その寸法は表1-4、1-5にしめしたとおりである。

表1-4. 一方通行シケインの寸法

	s	f	l	W	d	停車方式
A 1	-1.0m	3.0m	7.9m	7.0m	4.0m	縦列
A 2	-0.5	3.5	8.3	7.5	4.0	縦列
A 3	0.0	4.0	8.7	8.0	4.0	縦列
A 4	0.5	4.5	9.2	8.5	4.0	縦列
A 5	1.0	5.0	9.5	9.0	4.0	縦列

表1-5. 対面通行シケインの寸法

	s	f	l	W	d	停車方式
B 1	-1.0m	4.5m	10.4m	10.0m	5.5m	斜め
B 2	-0.5	5.0	10.6	10.5	5.5	斜め
B 3	0.0	5.5	10.8	11.0	5.5	直角
B 4	0.5	6.0	11.0	11.5	5.5	直角
B 5	1.0	6.5	11.2	12.0	5.5	直角

フォルトの背後には停車車両を配置した。これは、西ドイツやオランダのシケインで実施されている左右交互停車になったものである。

実際に走行速度を測定してみると、幅員が5.5mの対面通行のシケインでは速度の低下がほとんど見られなかったので、反対車線に自動車を実車として対面通行の状態を近似的に再現したケースを追加した。

実験に用いたのは、図1-11に示したような長さ約110mの直線コースである。このコースの中央にシケインを設け左右対称に走行路を設定した。フォルト部分の歩車道境界は重量ブロックを横に2段積み(高さ40cm)にしてあり、その内側には斜辺に沿って植樹にいられた中木を配した。これはアイストップとしての機能を期待したものである。車道はシケインを中心とする左右10mの範囲では重量ブロックによって区画され、それ以外の範囲では、路面上に固定された白いロープによって区画されている。

被験者(運転者)には、シケインの手前55mの地点から車を発進させ、約30mの区間を時速30km/hの定速で走行するように指示した。この区間を助走区間と呼ぶ。助走区間を過ぎたシケイン中心から25mの地点からは、被験者が制御可能と判断する速度で自由に走行させた。この区間を自由走行区間とよぶ。スタート地点、自由走行区間の開始地点には目印としてセーフティコーンを置いた。自由走行の後、シケインを通過しコースの反対側まで行ったらそこで車をUターンさせ再び同様に走行し、最初の出発点に戻り、次の被験者と交替する。したがって一人の被験者に対して2回の測定が行われたわけである。以下ではそれぞれの走行方向を、計測テントから見た方向を基準にしてL→R、R→Lという記号で表わすことにする(L→Rが往路に、R→Lが復路になる)。実験に用いた車両は、マニュアルシフトのグロリアワゴン(排気量2000cc)である。

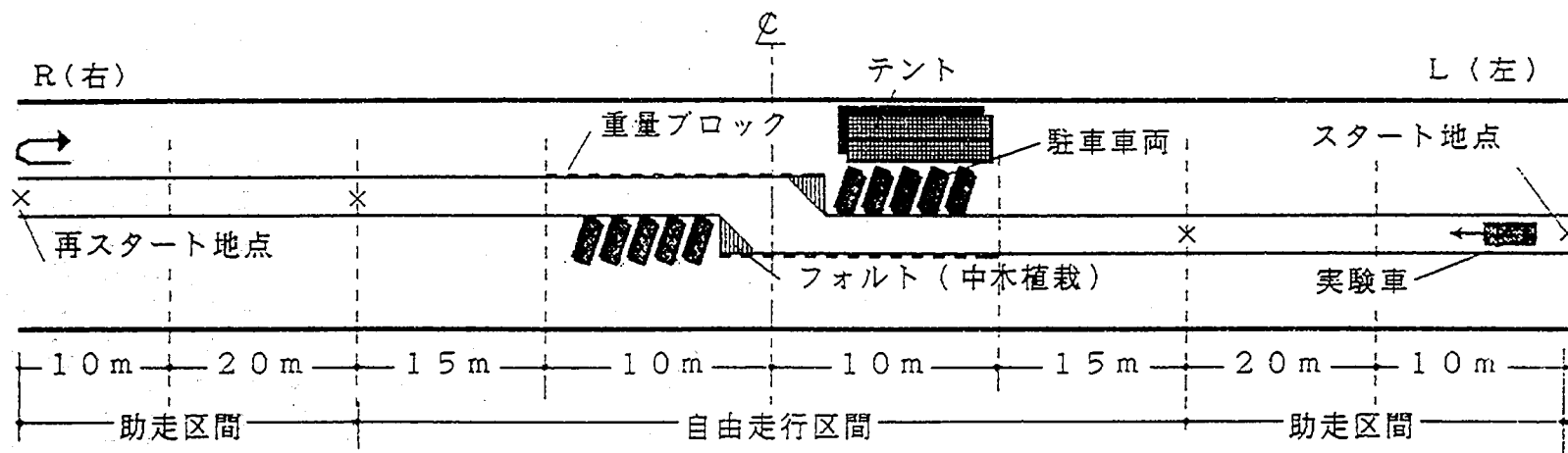


図1-11. 実験コース

それぞれのシケインについて10名の被験者の走行速度を測定してから次のシケインの測定を行なった。実験の順序は次の通りである：

A1,A4,A3,A2,A5;

B1,B4,B3,B2,B5.

先にも述べたように、車道幅員5.5mのシケインでは速度の低下がほとんど見られなかったので10名の被験者のうち3名については、シケインの屈曲部から直線部へ出る位置に車をとめ(図1-12)、対面通行の条件を近似的に再現して測定を行なった。

自動車の走行速度は、路面上に光センサーを多数はりつけて、自動車がこのセンサー上を通過した瞬間にリレーが作動しタイマーを停止させる装置を用いて測定した。自動車の走行軌跡が一定していないため、道路横断方向にも複数のセンサーを配置した。図1-13にはセンサーの配置をしめしてある。センサー間の距離をその間の走行時間で除せば、センサー間の速度を得ることができる。求められた走行速度の値をそれぞれのセンサー間の midpoint での速度とみなし、各地点での走行速度を直線補間によって求めた。こうして求めた走行位置と走行速度との関係を以下では『速度プロフィール』と呼ぶことにする。

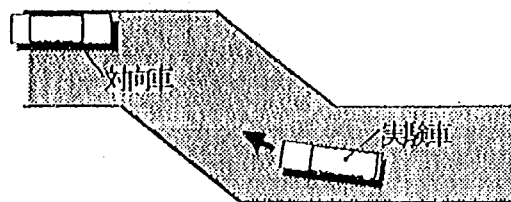


図1-12. 対向車の位置

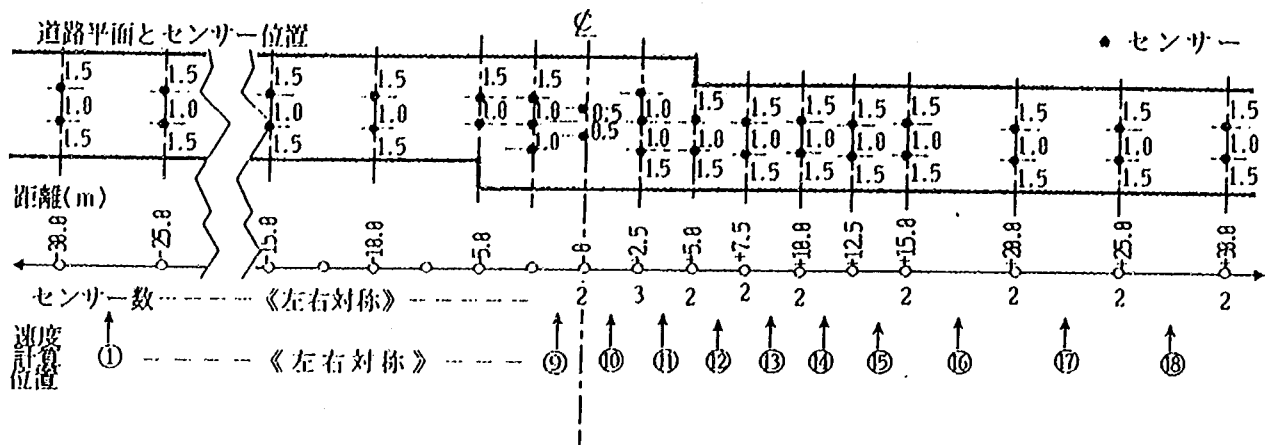
(2) 被験者

被験者の総数は、一方通行を想定したシケインでは19名(うち男性7名)、対面通行を想定したシケインでは20名(うち男性6名)であり、表1-4、1-5にしめした各シケインに対してそれぞれ10名の被験者を割り当てた。シケインの寸法が変わるごとに被験者を3名ずつ入れ替えて測定を行なった。

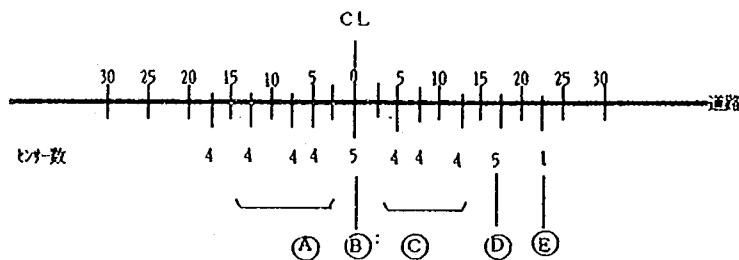
被験者の属性は表1-6にしめしたとおりである。被験者は大学生とパートタイム勤務の女性であり、日頃よく車を利用している人が多かった。

(3) 実験結果

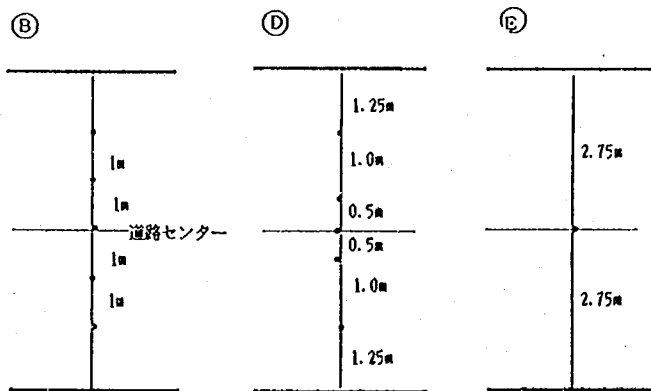
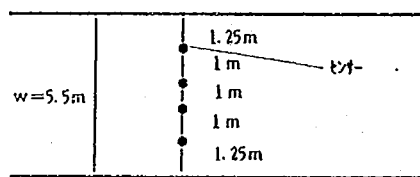
シケイン別、被験者別の速度プロフィールは参考資料にしめしたとおりである。これを用いて、まず走行方向別(L→R、R→L)の走行速度の違いについて検討した。一方通行シケインのすべての場合において往路(L→R)より復路(R→L)のほうが若干速度が高めであった(差は約2km/h)。この理由としては被験者の慣れが考えられる。しかし、往復の速度プロフィールの形状はおおむね一致している。各シケインごとに地点ごとの平均速度を算出して、往路復路の速度値の相関をとってみると、A1～A5では、相関係数の値が0.8をこえており、A2では0.988となった。そこで、以下の分析では一方通行シケインについては走行方向を区別せずに取りあつかう。



(a). 一方通行シケイン(A1~A5)



(A) および (C)



(b). 対面通行シケイン(B1~B5)

図1-13. 光センサーの位置

表 1-6 被験者の属性

番号	性別	運転歴(年)	自家用車保有	運転頻度(日/週)	利き腕	運転態度*
1	女	3.0	保有	7	右	1
2	男	0.5	保有	4	右	3
3	女	1.5	保有	3	右	3
4	女	2.5	保有	7	右	3
5	男	3.0	保有	7	右	4
6	男	5.0	保有	7	右	3
7	男	4.0	保有	3	右	3
8	男	2.0	非保有	7	右	3
9	女	2.0	保有	7	左	3
10	男	4.0	保有	7	右	4
11	男	1.0	保有	7	右	4
12	女	2.0	非保有	3	右	2
13	女	0.5	保有	4	右	2
14	女	2.0	保有	6	右	3
15	女	9.0	保有	7	右	3
16	女	19.0	保有	7	右	3
17	女	12.0	保有	7	右	3
18	女	5.0	保有	7	右	4
19	女	4.0	保有	7	右	4
20	女	7.0	保有	7	右	3
21	女	5.0	保有	-	右	3

- * 1. 用心深くゆっくり走る 2. どちらかといえば用心深くゆっくり走る
 3. ゆっ 4. どちらかといえば速く走る
 5. 速く走る(とばす)

図 1-1 4 には、すべての一方通行シケインを対象として、各被験者の走行速度が最低になる地点の度数をしめした。これによると、シケインの中心を通過する直前または直後に最低速度が現れていることがわかる。分布形はほぼ左右対称であるが、シケインの手前で減速している被験者の方が多い。

次に、各シケインごとに各地点の平均速度を計算して速度プロフィールを描き、走行速度の変化を比較した(図 1-1 5)。この図からシケインの形状・寸法と走行速度との関連を読み取ることができる。横方向のずれ s の値が最も大きい($s=1.0\text{m}$)シケイン A5 で最低速度の値が 14.5km/h と最も低く、速度抑制効果が一番高い。コミュニティ道路の導入計画(案)〔建設省道路局(1986)〕では自動車の走行速度を 20km/h にすることを目標としているので、速度 20km/h 以下になる範囲を調べてみると、シケイン A5 でシケイン中心より前方 12.0m 、後方 10.0m の計 22.0m であり、A4 で前方 9.4m 、後方 6.6m の計 16.0m 、A3 で前方 7.0m 、後方 6.0m の計 13.0m 、A2 で前方 6.6m 、後方 6.4m の計 13.0m である。A1 では速度が 20km/h 以下にならなかった。

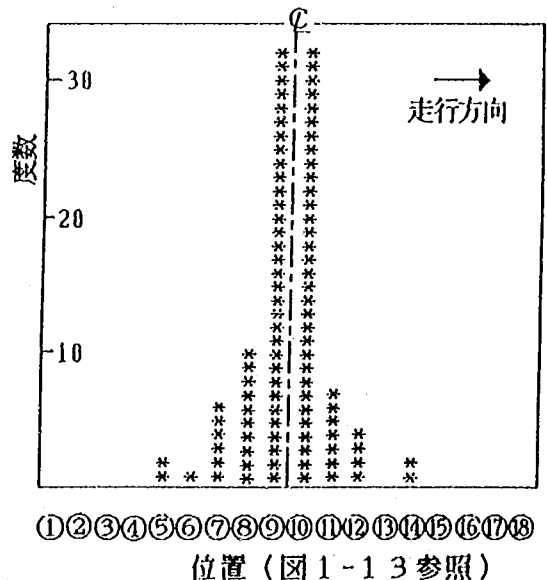


図 1-1 4. 最低速度の現われる位置

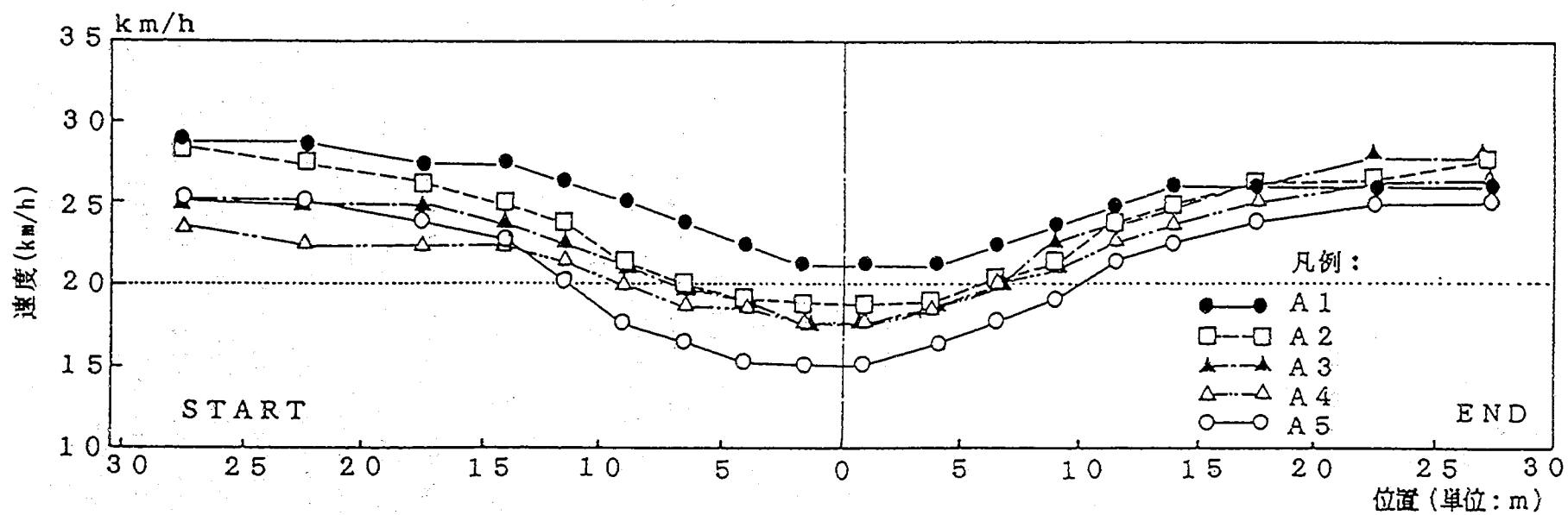


図1-15. 一方通行シケインの平均的速度プロフィール

ここで、図1-14を再検討する意味で図1-15を見直すと、横方向のずれ s の値が最も小さいA1ではシケイン中心を過ぎたあたりで最低速度になっている。これに対して、 s が最も大きいA5ではシケイン中心の手前ですでに最低速度になっていることがわかる。このようにシケインのタイプによって最低速度が現れる位置が異なっている。

速度低下の程度に注目してみると、いずれのタイプでもシケイン部分では走行速度が5~10km/h低下していることがわかる。シケイン別に速度抑制効果を見るために、シケイン通過前後の最低速度 V_{min} とシケイン通過後の最高速度 V_{max} とを速度プロファイルから読み取り、速度低下率 r を次式によって計算した。

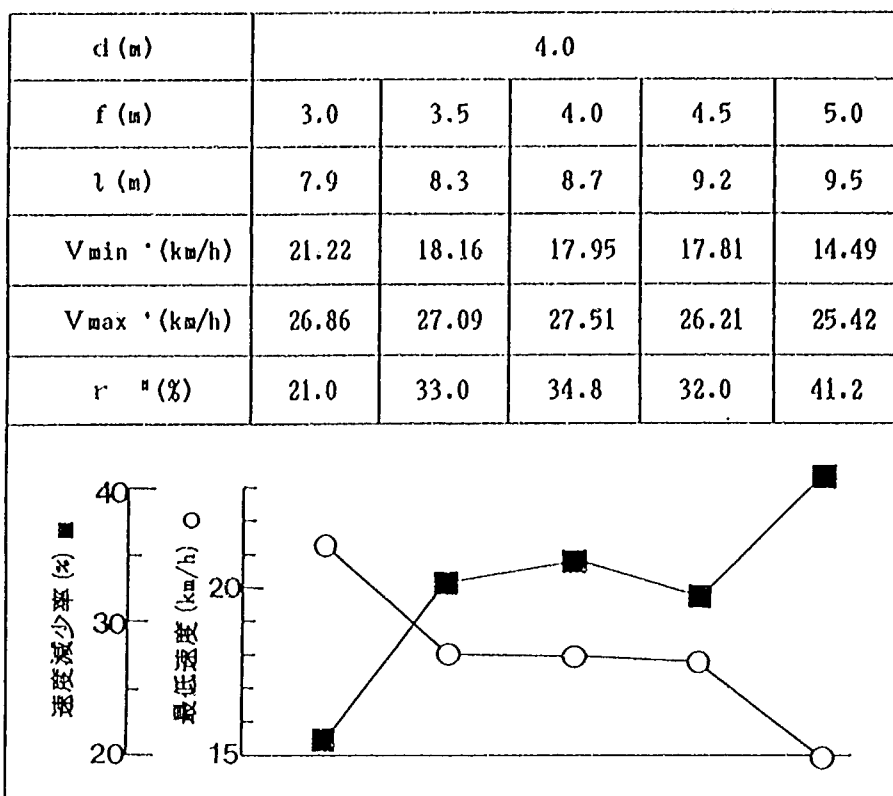
$$r = (V_{max} - V_{min}) / V_{max}.$$

V_{max} 、 V_{min} 、および r の値は図1-16にしめしてある。A2、A3およびA4の3つのシケインでは速度低下率に大きな差が見られない。A1では速度の低減がほとんどないのに対し、A5では40%を超える速度低下が生じていることがわかる。シケインA5では横方向のずれが1.0mと最も大きいことが顕著な速度低下につながっていると解釈できる。

これに対して、対面通行のシケインでは対向車を想定した実験ケースを除いて、一方通行シケインの場合ほどの走行速度の低下は認められず、シケイン通過時の走行速度は通過前後の速度とほとんど同じである。対面通行シケインの場合の速度プロファイルを、B1、B5について対向車あり/なしのものを対比させて図1-17にしめた。シケインB1では、対向車に見立てた停車車両のあり/なしで、シケイン通過時の速度プロファイルに著しい相違があることがわかる。しかし、屈曲の程度がきついB5では、停車車両のあり/なしによる走行速度の差は見られない。これは、B5の屈曲の程度がきつく、対向車両がない場合でも速度低下の割合が大きいためであると解釈できる。ただし、参考資料にしめた対面通行シケインの速度プロファイルを一方通行シケインのものと比べてみると、走行速度が全般に低めになっている。これは、被験者が対面通行であることを意識した結果であると解釈することもできる。

1-4. まとめ

本調査では、コミュニティ道路で盛んに使用されるようになったシケインの最小寸法を走行軌跡図をもとにして求め、さらに走行実験を実施してシケインの速度抑制効果を確認した。その結果によれば、一方通行のシケインの速度抑制効果は顕著であり、とりわけ、シケインの横方向のずれ s の値を-0.5m以上にすると、シケインを中心とした長さ13m以上の範囲で走行速度が20km/h以下に抑えられた。最高速度と最低速度とを比べると、シケインの横方向のずれ s の値が0mのとき、27.5km/hから18.0km/hへと9.5km/h速度が低下している。これは、1-2節で引用したRAS-Eの主張を裏付けている。 s の値を1.0mにすれば、速度抑制効果はより高まるが、広い道路幅員が必要となるうえに視界もさえぎられるので、安全性が低下する恐れもある。この意味では、 $s=0.0m$ が実用上妥当であると考えられる。



* シケイン通過時の最低速度の値
 + シケイン通過後の最高速度の値
 # (最高速度-最低速度)/最高速度の値を示す。

図1-16. シケイン通過時の最高・最低速度と速度低下率

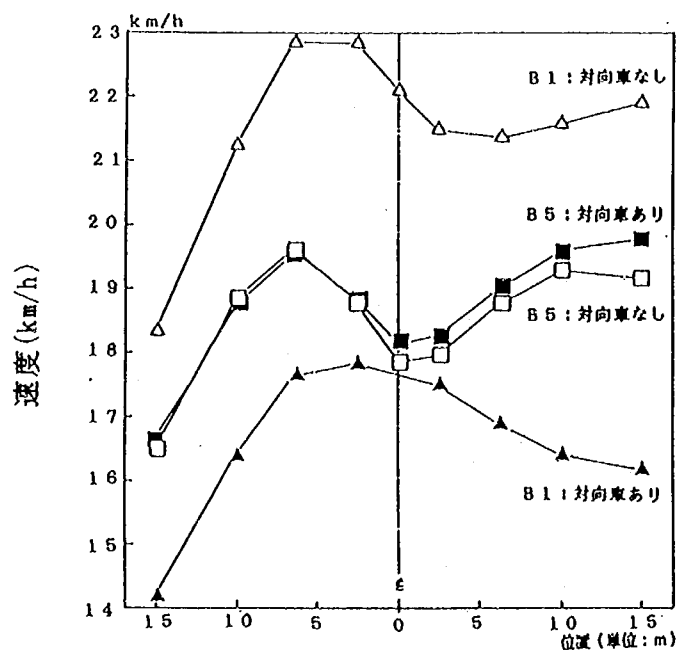


図1-17. 対面通行シケインの平均的速度プロフィール

対面通行シケインでは、対向車に見立てた車があると大幅な速度低下が見られる場合があった。しかし、本実験の結果だけでは対面通行シケインの速度抑制効果について明確な結論を導くことはできない。対面通行道路にシケインを設ける場合には、シケイン部分だけを中央分離帯で区切るなどの対策をとるかハンプなどを設けるといった工夫が必要であると考ええる。

2. ランブルストリップの速度抑制効果と騒音・振動

2-1. 目 的

ランブルストリップは、路面に凹凸を設けて、その上を走行する車両に微振動を与えることによって走行速度の低減を図るものである。交差点の手前にランブルストリップを設けたところ交通事故が激減した〔毎日新聞(1987)〕という事例がある一方で、車両通過時の騒音がひどく沿道の住民から苦情が寄せられランブルストリップを撤去したという事例もある。したがって、ランブルストリップの設置にあたっては、車両通過時の騒音などにも注意をはらう必要がある。

しかし、ランブルストリップは、ハンプ、シケインほど数多く設置されておらず、車両通過時にどのくらいの騒音が発生するのか、速度抑制効果はどの程度なのかといった点が十分に解明されていない。そこで、これらの点の解明を目的として以下の検討を行った：

- ① ランブルストリップ通過時の車両の動的挙動を計算によって求め、速度抑制効果を実験的に検討するための予備的な知見を与える。
- ② この結果をもとにして、いくつかのランブルストリップを選び、その上を実際に自動車を行走させ、速度抑制効果を実験的に求める。
- ③ 同時に、ランブルストリップ通過時の騒音および地盤振動を測定する。

以下では、これらの検討結果について述べる。

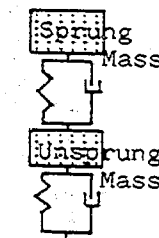
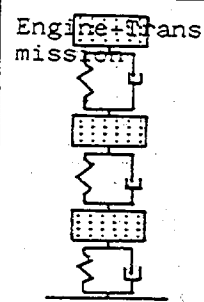
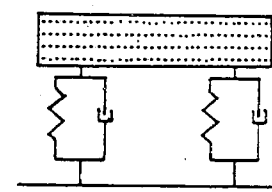
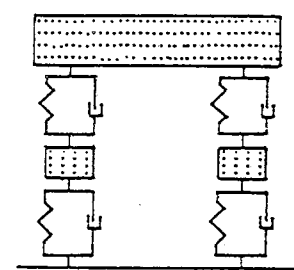
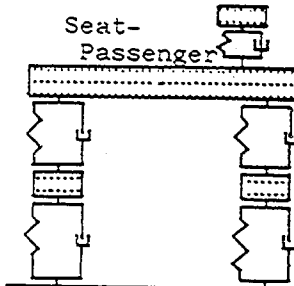
2-2. ランブルストリップ通過時の車両の動的挙動

(1). 過去の研究事例

道路上の突起通過時の車両の動的挙動については過去にもかなりの研究の蓄積がある。表2-1はこれらのうちの主なものをまとめたものである。この表は、いわゆる集中質点系モデルを線型、非線型別にしめしている。実際の自動車は車体の曲げねじりによる弾性振動や動力伝達系のねじれ・曲げによる振動などをおこすが、動力伝達系の振動は乗り心地を考える上ではそれほど重要ではないし、車体の弾性振動もモノコックボディの小型車では無視しても差支えないといわれている〔高波等(1968)〕ので、ここにしめした有限自由度の質点モデルでもそれほどの不都合は生じないと思われる。なお、この表で線型・非線型といっているのは、材料非線型性を考慮しているかどうかであって、幾何学的な非線型性についてはどのモデルでも考慮されていないことを付記しておく。

表2-1のうちのモデルⅠとⅡは前軸ないし後軸を単独でとりだしてモデル化したものとみなせる。車体の上下動とピッチングとが連成しないならば、前後軸を別々にあつかうことが許されるが〔金丸、吉田(1969)〕、この条件は常に満たされるわけではない。モデルⅢとⅣは前後軸の振動とピッチングとを連成させたものである。モデルⅣではばね上、ばね下質量の区別が

表2-1. 自動車の振動モデル

	I	II	III	IV	V	VI
						more sophisticated models
Linear	-川合、森崎 (1965) -金丸、吉田 (1969)	-兼重、粕谷、浅野 (1965)	-島田 (1961a, 1961b, 1962)		-Dahlberg (1979) -Kassem and Al-Nassar (1982)	-石塚、井上 (1985) (タイヤのエンヴェロップ特性を考慮) -Captain et al. (1979) (同上)
Nonlinear	-海出、岡田、小野 (1960) (ショックアブソーバの非線型性とタイヤの接地条件を考慮している)			-吉田、山田 (1961) (ショックアブソーバの非線型性を考慮) -水口、武内、迫田 (1968) (同上) -Post and Bernard (1976) (ショックアブソーバの非線型性とbilinearなばねを考慮)	-Yabuta, Hidaka, and Fukushima (1984) (懸架系の摩擦を考慮している。9自由度)	

なされている。モデルⅤでは乗員と座席とが簡単な1自由度系でモデル化されているが、人体および座席という複雑な系のモデルとしては簡略に過ぎよう。モデルⅥには、より複雑なモデルが含まれている。おもに、タイヤとショックアブソーバーに関してモデルの精密化が図られているが、モデルが精密になればなるほど構造定数の測定も面倒なものになるため、取りあつかいは容易ではなくなる。

以上の検討をもとにして、ここでは表2-1のモデルⅤに相当する集中質点モデルを用いて考察を行なうことにした。このモデルでは乗員と座席のモデル化が充分とはいえないが、ほかに適当なモデルも存在しないのでとりあえずこの形でモデル化しておき、車体の振動に焦点をあてて考察を進める。ただし、ショックアブソーバーは顕著な非線型性をしめすことが知られているので、線型・非線型両方のモデルをつくり非線型性の及ぼす影響を考慮した。

(2) . 計算結果と考察

計算に用いた車両のモデルおよび構造定数は参考資料にしめしたとおりである。

自動車がランブルストリップを通過するときの車両重心における鉛直方向加速度の最大値、最小値を速度別、ランブルストリップの種類別にしめしたものが図2-1である。

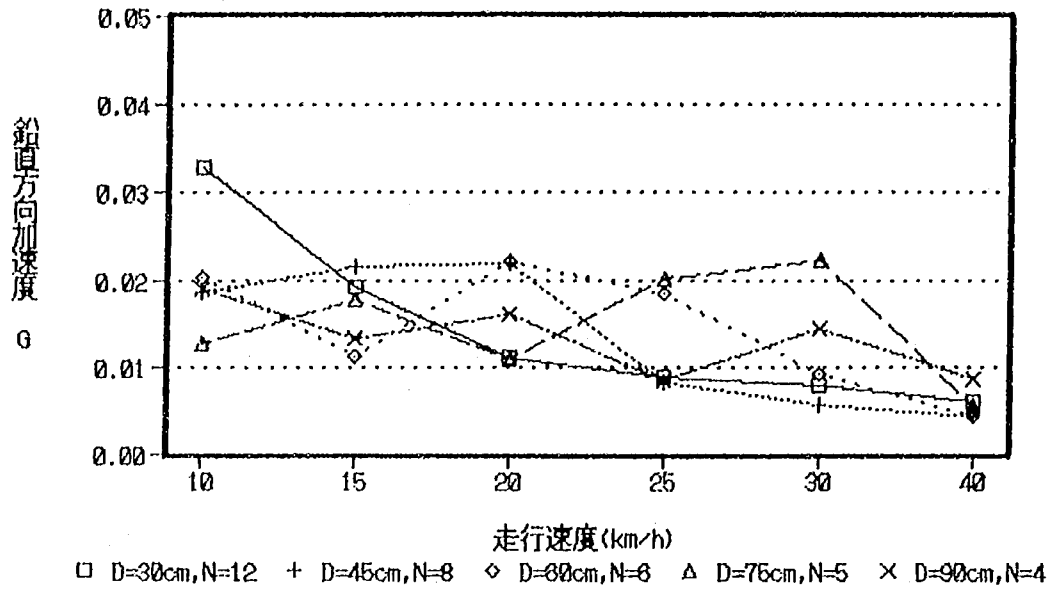
この図を見てまず気がつくのは、加速度の値が小さいことである。同じ自動車がハンプを通過する場合の鉛直方向最大加速度の絶対値が1g前後である〔山田(1986)〕ことを考えると、ランブルストリップ通過時の加速度の値はハンプ通過時の加速度の値の1/20～1/100である。また、速度の上昇にともなう鉛直方向加速度の値の絶対値が小さくなっていく場合もある。このような速度の上昇にともなう加速度の値の減少は、走行速度抑制のためにランブルストリップを使おうとする場合には好ましいことではない。なぜなら、通過時の衝撃を小さくするためにはやい速度で走行することになりがちだからである。

ただし、加速度の値が速度の上昇にともなう連続的に減少せず、絶対値が大きくなる場合もある。これは、車両の前軸あるいは後軸の固有振動数とランブルストリップ通過時に車両がうける周期的な衝撃力の振動数とが一致し、共振を起こしているためである。前軸あるいは後軸の固有振動数を f 、ランブルストリップの間隔を D 、走行速度を v とすれば、共振が起きる条件は、

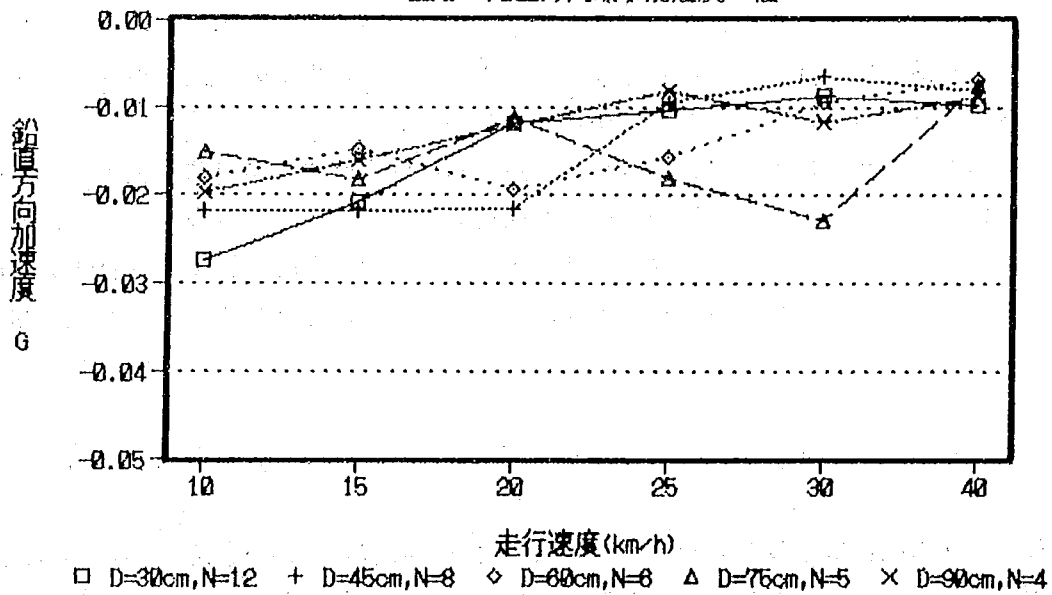
$$1/f = D/v \quad \text{すなわち、} \quad D = v/f \quad \dots\dots\dots(1)$$

で与えられる。(実際には、 D が式(1)で与えられる値の整数倍でも共振が起こる。)各車両の前後軸の固有振動数の値を、非線型性を考慮せずに参考資料にしめした式(1)から(5)によって表わされる線型モデルによって求めた結果は、表2-2にしめしたとおりである。軽乗用車と乗用車では、固有振動数は10Hz前後であり、トラックではこれよりやや高めの値をとる。この固有振動数の値をもとにして、上にしめした式(1)を用いて共振を起こす間隔 D を求めた。この結果も表2-2にしめしてある。

ランブルストリップ通過時の応答
 重心の鉛直方向最大加速度の値



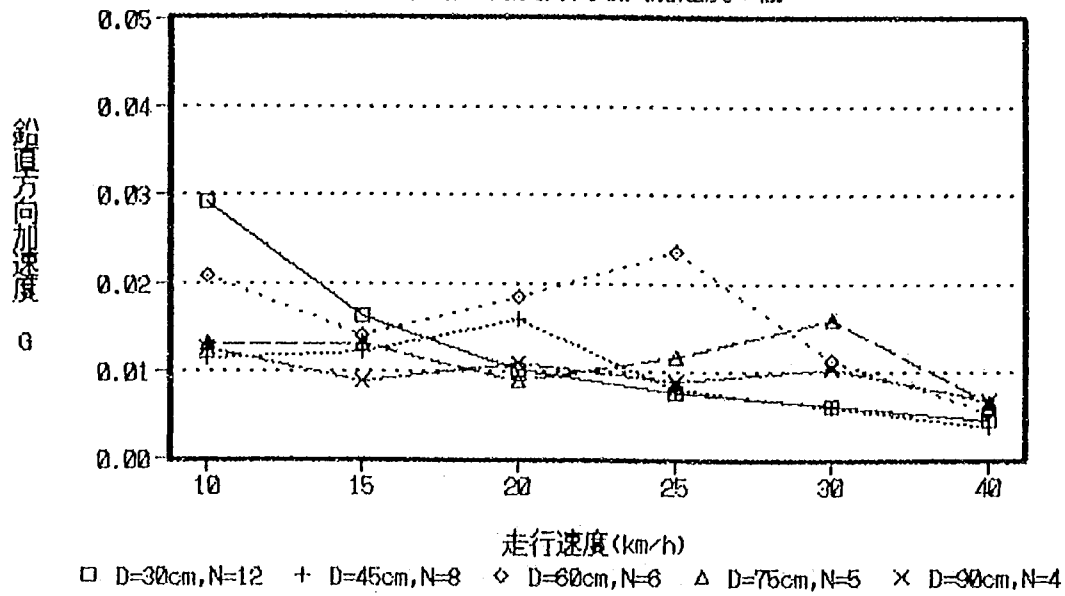
ランブルストリップ通過時の応答
 重心の鉛直方向最小加速度の値



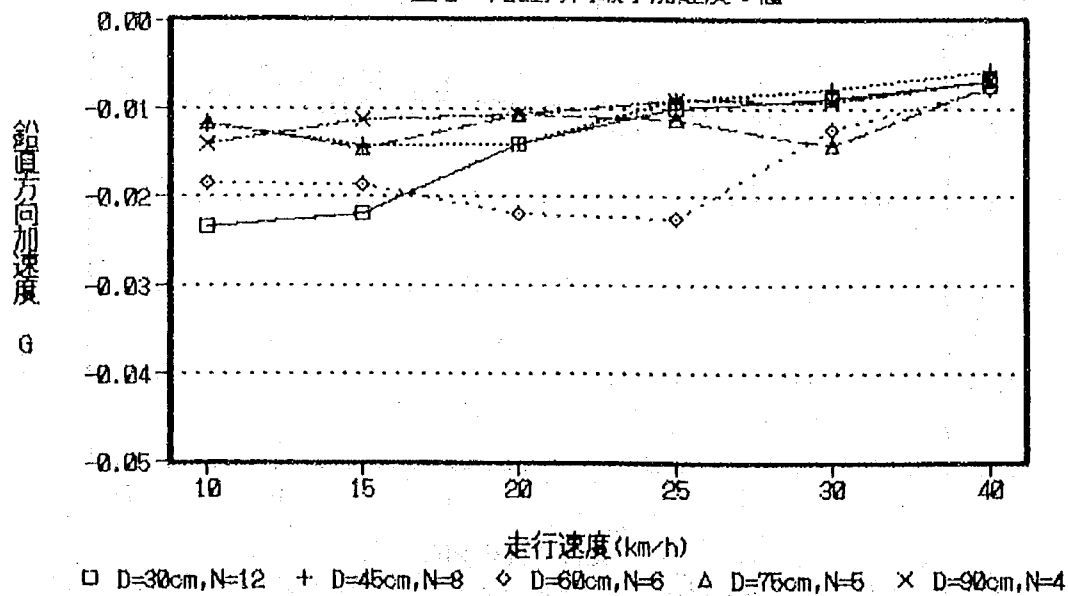
(a) 軽乗用車

図 2-1 車両重心の鉛直方向最大・最小加速度の値

ランブルストリップ通過時の応答
重心の鉛直方向最大加速度の値

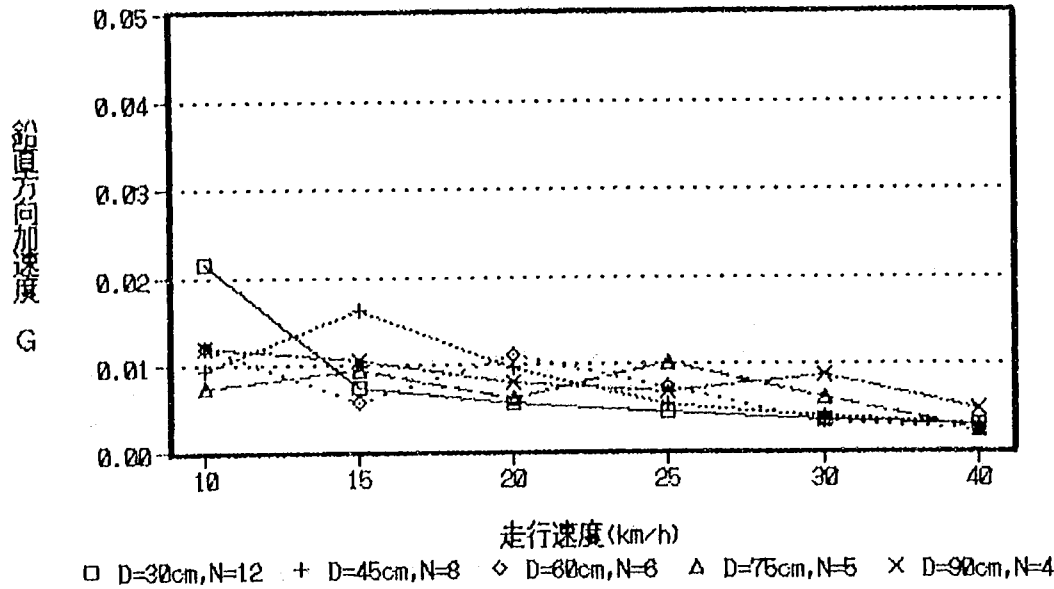


ランブルストリップ通過時の応答
重心の鉛直方向最小加速度の値

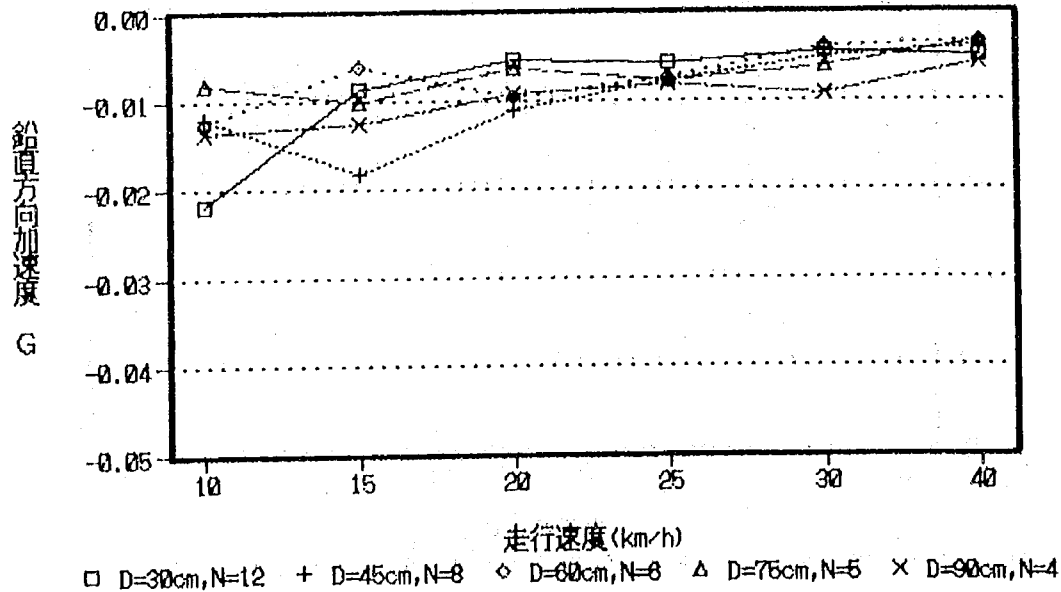


(b) 1300cc 乗用車

ランブルストリップ通過時の応答
重心の鉛直方向最大加速度の値

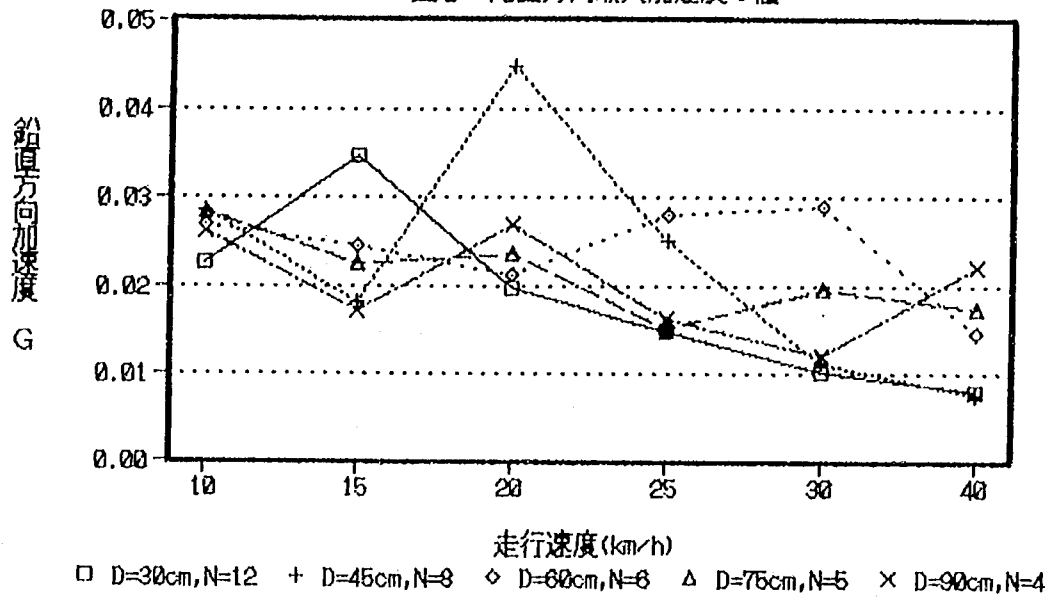


ランブルストリップ通過時の応答
重心の鉛直方向最小加速度の値

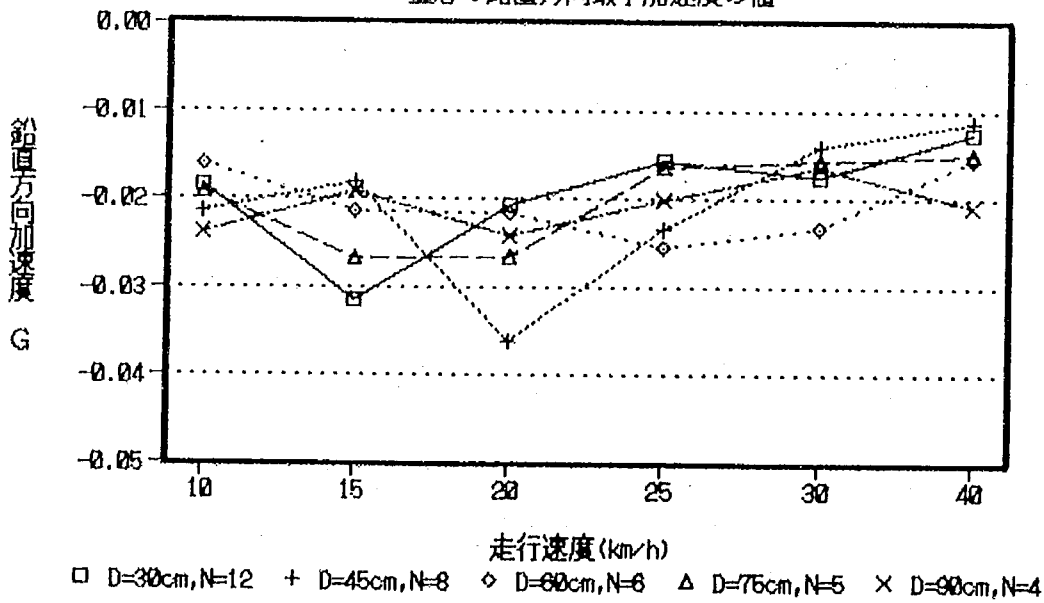


(c) 2000cc 乗用車

ランブルストリップ通過時の応答
重心の鉛直方向最大加速度の値



ランブルストリップ通過時の応答
重心の鉛直方向最小加速度の値



(d) 2tトラック

表 2-2 自動車の固有振動数および共振を起こすランブルストリップの間隔

(単位m)

車 種	固有振動数(Hz)		走 行 速 度 (km/h)					
			10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	40.0
軽 乗 用 車	前 軸	11.947	0.233	0.349	0.465	0.581	0.698	0.930
	後 軸	10.387	0.267	0.401	0.535	0.669	0.802	1.070
1300cc乗用車	前 軸	10.757	0.258	0.387	0.516	0.646	0.775	1.033
	後 軸	10.873	0.255	0.383	0.511	0.639	0.766	1.022
2000cc乗用車	前 軸	10.252	0.271	0.406	0.542	0.677	0.813	1.084
	後 軸	9.1168	0.305	0.457	0.609	0.762	0.914	1.219
2tトラック	前 軸	14.016	0.198	0.297	0.396	0.495	0.595	0.793
	後 軸	12.805	0.217	0.325	0.434	0.542	0.651	0.868

この結果と図2-1とを見比べると、軽乗用車では速度10km/h、ランブルストリップ1（D=30cm）の場合；速度30km/h、ランブルストリップ4（D=75cm）の場合に共振が起きていることがわかる。ほかの車種で共振が起きているのは、

1300cc乗用車では、速度10km/h、ランブルストリップ1および3、

速度25km/h、ランブルストリップ3、

速度30km/h、ランブルストリップ4の場合、

2000cc乗用車では、速度10km/h、ランブルストリップ1、

速度15km/h、ランブルストリップ2の場合、

2tトラックでは、速度15km/h、ランブルストリップ1、

速度20km/h、ランブルストリップ2、

速度20km/h、ランブルストリップ5、

速度30km/h、ランブルストリップ3、

速度40km/h、ランブルストリップ5の場合

である。

ランブルストリップ通過時の車内騒音を測定した結果（図2-4参照）によれば、車内騒音の値は70～80dB(A)であり、90dB(A)近いこともある。この事実と鉛直方向加速度の値が小さいことを考えあわせると、速度抑制には騒音の大きさの方がより影響しているとも考えられる。そこで、さまざまな種類のランブルストリップの速度抑制効果を実験によって確かめた。

2-3. ランブルストリップの速度抑制効果

実験の対象としたのは、表2-3にしめした9種類のランブルストリップである。高さが7mm、間隔が45cmのランブルストリップを基準として、間隔、高さ、材質を変化させてある。C1とC2はいずれもタイルを用いたものであり、C1は透水タイル製、C2は磁器タイル製である。C3からC8までは10cm角の御影石を用いたものであり、C3の高さが14mmとなっているほかはすべて高さは7mmである。間隔は30cmから90cmまで15cmきざみで変化させた。C9は、アスファルトを焼結させたパンブロックを並べたものであり、ほかのランブルストリップとは形状が異なっている。なお、ランブルストリップの全長はいずれも3.6mである。写真2-1にはいくつかのランブルストリップの形状をしめしてある。

表2-3 実験対象のランブルストリップ

番号	材 質	間隔D	高さH	長さL	数 N	全長 T_L
C 1	透水タイル	450mm	7 mm	147mm	8	3.6m
C 2	磁器タイル	450	7	140	8	3.6
C 3	御影石	450	14	100	8	3.6
C 4	御影石	300	7	100	12	3.6
C 5	御影石	450	7	100	8	3.6
C 6	御影石	600	7	100	6	3.6
C 7	御影石	750	7	100	5	3.6
C 8	御影石	900	7	100	4	3.6
C 9	パップロック	—	—	—	—	3.6

実験では、まずそれぞれのランブルストリップを自動車で走行するときに感じる振動および騒音の大きさをマグニチュード法〔小柳(1977)〕によって求めた。マグニチュード法では、基準に選んだランブルストリップを走行したときに感じる振動・騒音の大きさ(評点)を100とし、ほかのランブルストリップを走行したときの振動・騒音の大きさをこれと比較して被験者に答えてもらう。ここでは、C1を基準のランブルストリップとした。ランブルストリップへの進入速度は25km/hとし、自動車の速度計で進入速度を確認するよう被験者に指示した。実験に用いたのは小型乗用車(ホンダシビック)である。なお、ランブルストリップの走行順序は以下のとおりである；

C 1 → C 4
→ C 1 → C 6
→ C 1 → C 5
→ C 1 → C 8
→ C 1 → C 7
→ C 1 → C 3
→ C 1 → C 9

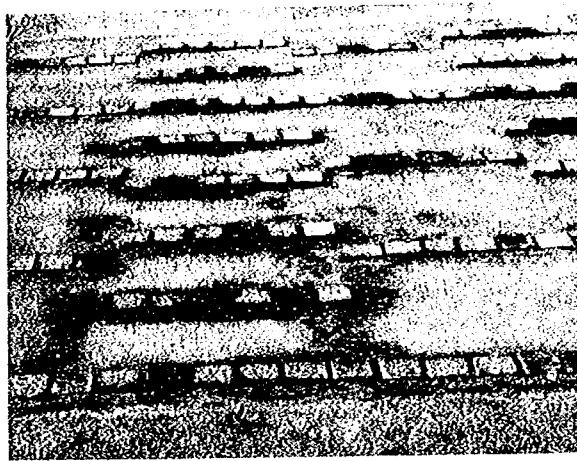
すなわち、それぞれのランブルストリップを走行する前にC1を走行し、基準となる振動・騒音を体験するようにした。なお、C2はC1と高さ、間隔が同じなので測定対象とはしなかった。表2-4に10人の被験者の評点の平均値と標準偏差との値をしめした。

この表によると、以下のことがわかる；

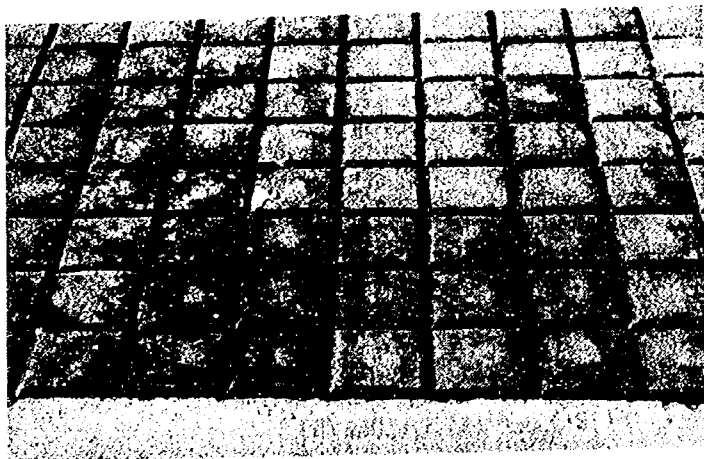
- ① C1と同じ間隔、高さをもつC5の評点は99であり、被験者はC1と同程度の振動・騒音を感じている。



(a). C 1 透水タイル



(b). 御影石を用いたランブルストリップ



(c). C 9 バンプロック

写真 2 - 1 実験に用いたランブルストリップ

- ② 高さが14mmとほかのランブルストリップの二倍の値になっているC3では、評点が138といちばん高い。
- ③ バンプブロック(C9)の評点は54といちばん低い。これは、バンプブロックの凹凸の程度がほかのランブルストリップより小さいことに原因がある。
- ④ 材質と高さが同じで間隔のみ異なるC4～C8を比較すると、C5(D=45mm)の評点がいちばん高く、間隔がこれより短くなっても(→C4)、長くなっても(→C6、C7、およびC8)評点は小さくなる。

表2-4 ランブルストリップ走行時の体感振動・騒音の大きさ
(マグニチュード法による)

番 号	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8	C 9
評 点	100	—	138	75	99	77	68	61	54
標準偏差	—	—	20.4	19.6	17.0	13.5	22.3	11.4	31.0

次にそれぞれのランブルストリップを指定した速度で走行したときの『速度感』を5段階の評点尺度で被験者に回答してもらった。評点尺度は、以下のとおりである；

5. いまのスピードでは速すぎた
4. " ではやや速すぎた
3. " でちょうどよい
2. " ではやや遅すぎた
1. " では遅すぎた。

ランブルストリップ通過時の速度は、20、25、および30km/hとし、デジタル式の速度計をみて同乗した記録員が確認した。ただし、±2.5km/h以内の速度差は許容した。ランブルストリップの走行順序はすべての被験者について同一であり、以下のとおりである；

C 6 (30km/h)→C 3 (20km/h)→C 2 (25km/h)
 →C 8 (20km/h)→C 9 (25km/h)→C 6 (25km/h)
 →C 3 (30km/h)→C 7 (25km/h)→C 2 (20km/h)
 →C 4 (30km/h)→C 3 (25km/h)→C 5 (20km/h)
 →C 2 (30km/h)→C 9 (30km/h)→C 1 (20km/h)
 →C 7 (30km/h)→C 6 (20km/h)→C 8 (25km/h)
 →C 9 (20km/h)→C 4 (20km/h)→C 1 (25km/h)
 →C 5 (25km/h)→C 4 (25km/h)→C 1 (30km/h)

→C 5 (30km/h)→C 7 (20km/h)→C 8 (30km/h)

実験に使用したのは、小型乗用車2台（ホンダシビックおよびマツダカペラ）である。ホンダシビックについては5人の被験者、マツダカペラについては7人の被験者に走行してもらった。各被験者の評点を平均し、走行速度と評点平均値との関係をグラフ化したものが図2-2である。

評点の値が3未満の場合には、被験者はランブルストリップを走行したときの速度が『遅かった』と感じているわけである。したがって、走行速度を25km/h以下に抑えることを当面の目標とすれば、実験に用いた車種に関する限り、C 7、C 8、およびC 9の三つのランブルストリップの速度抑制効果はないと判断できる。また、C 6はカペラに関しては速度抑制効果が認められるものの、シビックに関しては抑制効果が認められない。速度抑制効果がないと判断されたランブルストリップは、間隔が長い（C 6、C 7、C 8）か凹凸の程度が小さい（C 9）ものである。

これに対して、速度抑制効果が期待できるランブルストリップは、

シビックについては、C 1、C 2、C 3、およびC 5

カペラ については、C 1、C 2、C 3、C 5、およびC 6

である。C 3については、速度が20km/hと一番遅い場合でも速度が『やや速すぎた』ないしは『速すぎた』という評価が与えられており、C 3ではランブルストリップの高さが14mmと一番高いことの影響が現われている。

ランブルストリップC 4については、走行速度が上昇するにつれて評価が『やや速すぎた』から『ちょうどよい』へと逆転したり（シビックの場合）、速度25km/hの場合の評価が一番きびしくなっている（『やや速すぎた』）いたり（カペラの場合）する。これは、前節の数値計算例でもしめしたように、速度がはやくなるほど鉛直方向加速度の値が小さくなる現象が現われているか、あるいは共振が起きているためであると解釈できる。

ここで検討した速度抑制効果は、限られた車種についての実験結果から導かれたものなので、ほかの車種についてはここで述べた結論はそのままあてはまらないことに注意する必要がある。数値計算例でもしめされているように、ランブルストリップ走行時の鉛直方向加速度の値は、車種によって大きく変化し、また前後軸の共振が起きると加速度の値は大きくなる。したがって、不特定多数の車両に対して速度抑制効果をもつランブルストリップを設計しようとする場合には、ランブルストリップの間隔あるいは高さをひとつに固定するのではなく、変化をつける必要がある。ただし、高さを高くすると騒音・振動の問題を生じやすい（⇒次節を参照）ので、実際には間隔を変化させることになろう。この意味で、図2-3にしめした、ヨーロッパで使われている次第に間隔が狭くなっていくランブルストリップが有効であると考えられる。

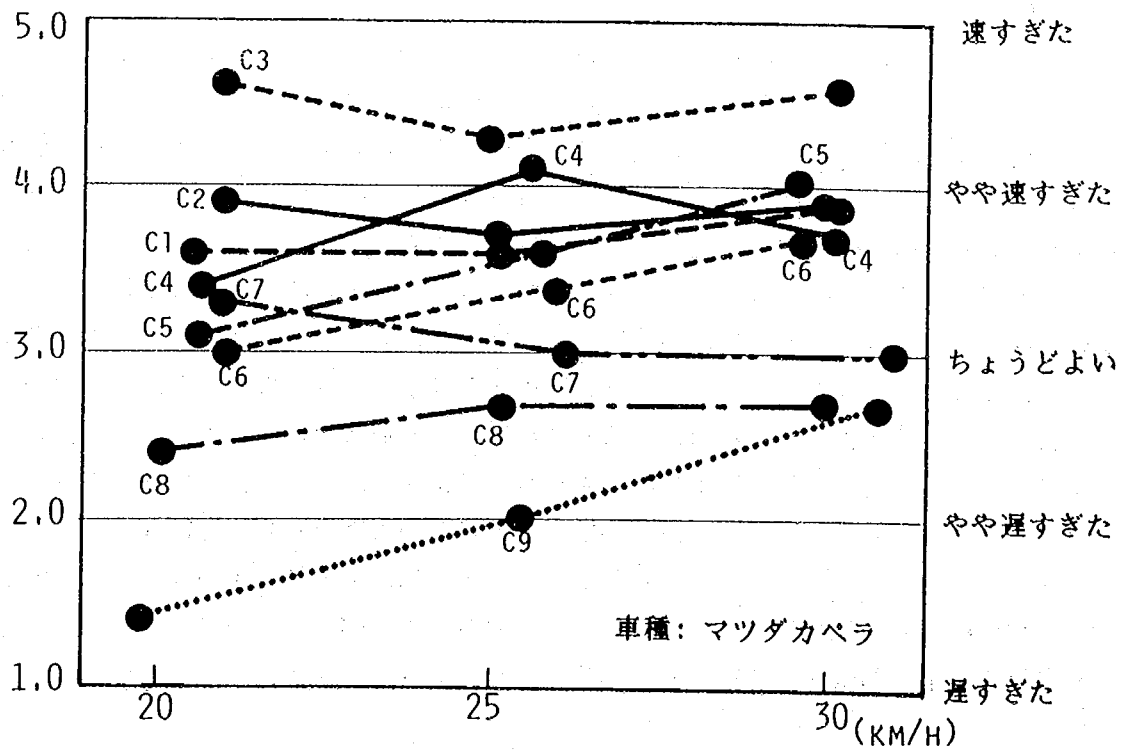
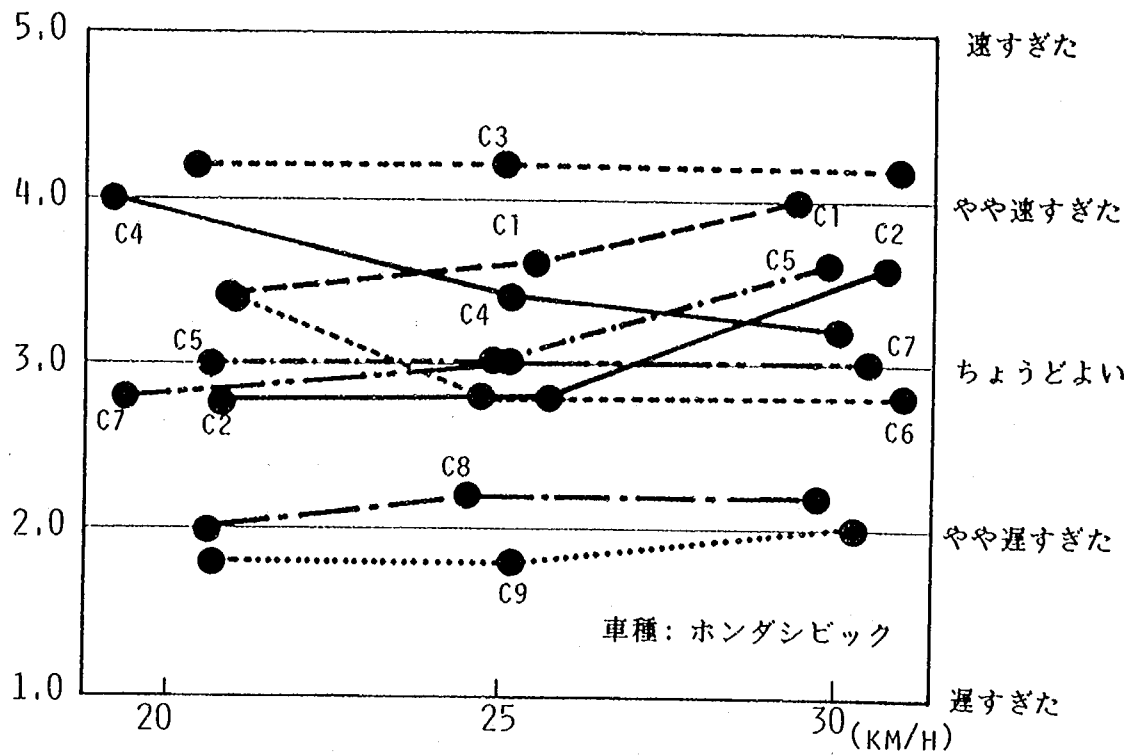
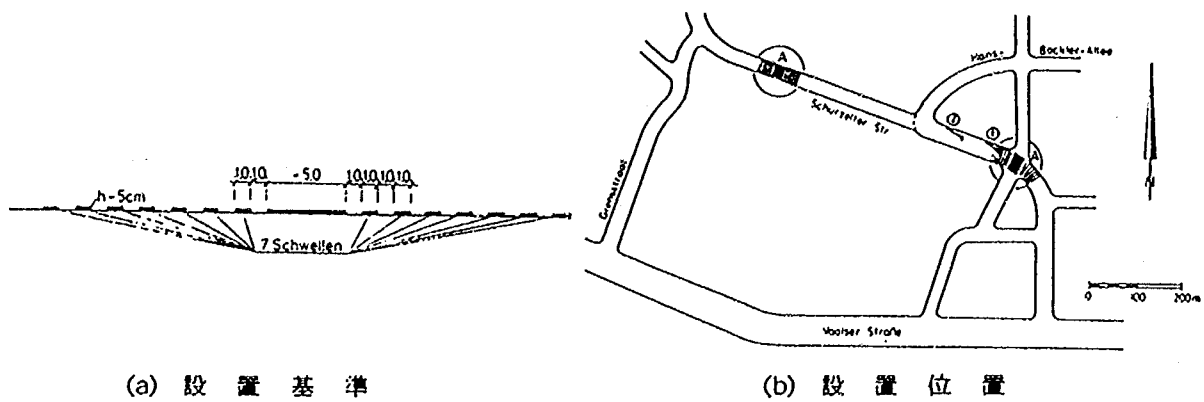


図 2-2 ランブルストリップ通過時の速度と速度評価



西ドイツアーヘンのランブルストリップ

図 2-3 間隔が短くなるランブルストリップ [大阪市土木局 (1984)]

2-4. ランブルストリップ通過時の騒音・振動

ランブルストリップ通過時の道路騒音、車内騒音、および地盤振動のピークレベルを測定した結果を図2-4および5に示した。道路騒音、地盤振動の測定地点は道路端から1.5 mおよび3.5 mであり、走行速度は20 km/hである。（ただし、平坦路面については走行速度は25 km/hである。）それぞれのランブルストリップについて4回から6回測定を繰返し、ピークレベル値を平均した。測定に用いた機器は、以下のとおりである；

騒音—リオンNA-20（騒音計） およびリオンLR-04（レベルレコーダ）

振動—リオンVM-14B（振動計）およびリオンLR-04（レベルレコーダ）

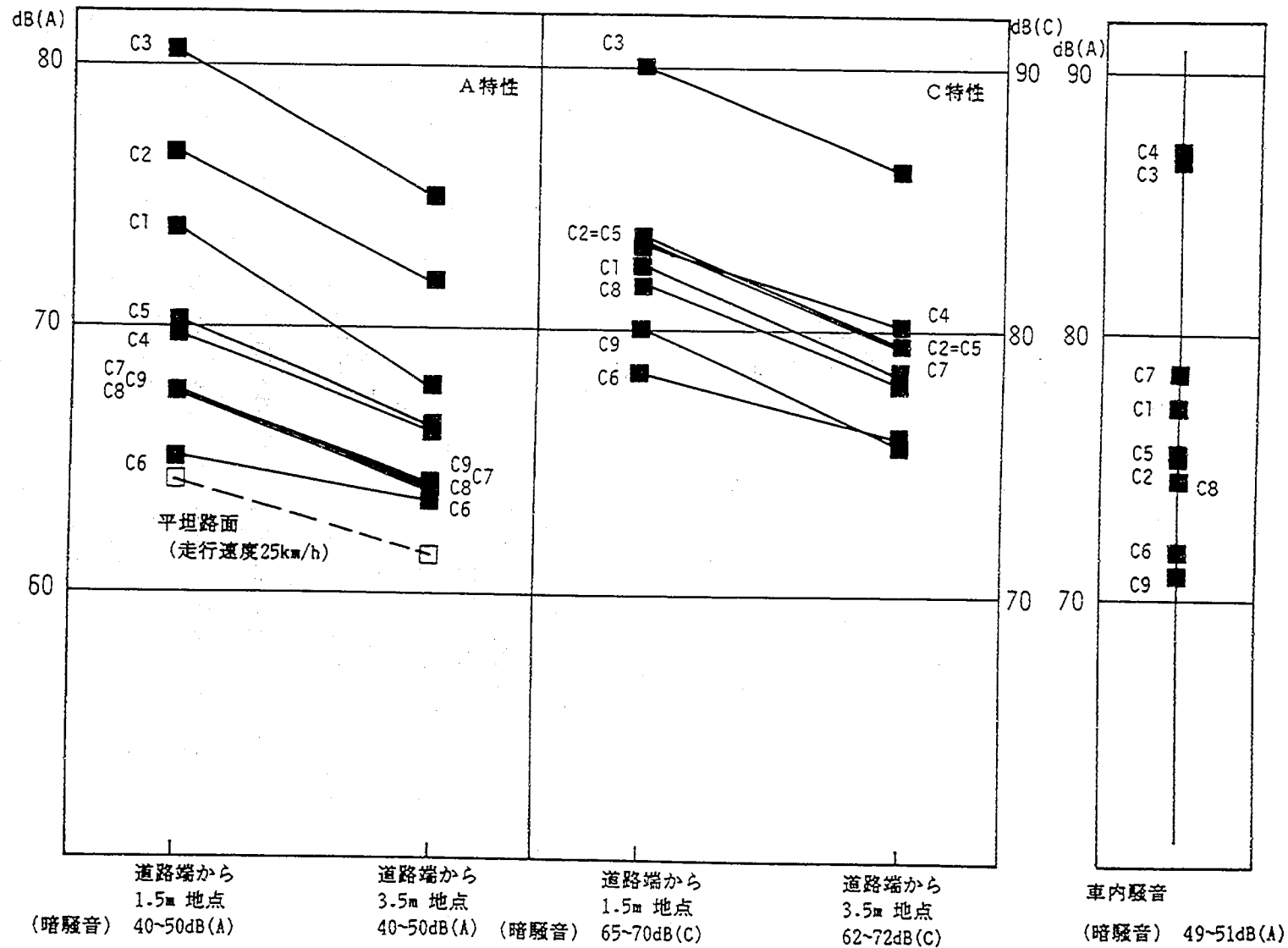
測定に用いたのは小型乗用車（ホンダシビック；2名乗車）である。

図2-4によると、ランブルストリップ通過時の道路騒音の値は、平坦路面を走行する場合の値に比べ、数デシベルから十数デシベル高い（A特性での比較）。特に、高さが14 mmと一番高いC3の騒音の値は大きくなっている。また、タイルを用いたC2およびC1の騒音の値も大きい。ただし、透水タイルを用いたC1の方が磁器タイルを用いたC2より騒音の値が低くなっている。ランブルストリップの間隔が広いC6、C7、C8、およびバンブブロックを用いたC9の騒音の値は比較的low、なかでも間隔が60 mmのC6の値は低くなっている。

車内騒音の値は、道路騒音とはやや傾向を異にしている。道路騒音がそれほど大きくないC4の車内騒音が最も高いのは、共振が起きていることを窺わせる。このことは、先に示した図2-2からも読み取ることができ、C4では、速度が20 km/hのときの評価が最もきびしく、『やや速すぎた』になっている。また、平坦路面を走行する場合の車内騒音の値が49～51 dB(A)であるのと比較すると、ランブルストリップ走行時の車内騒音の値は20～37 dB(A)も高い。このことは、ランブルストリップ通過時の速度抑制には、鉛直方向加速度よりは騒音が利いていること示唆している。

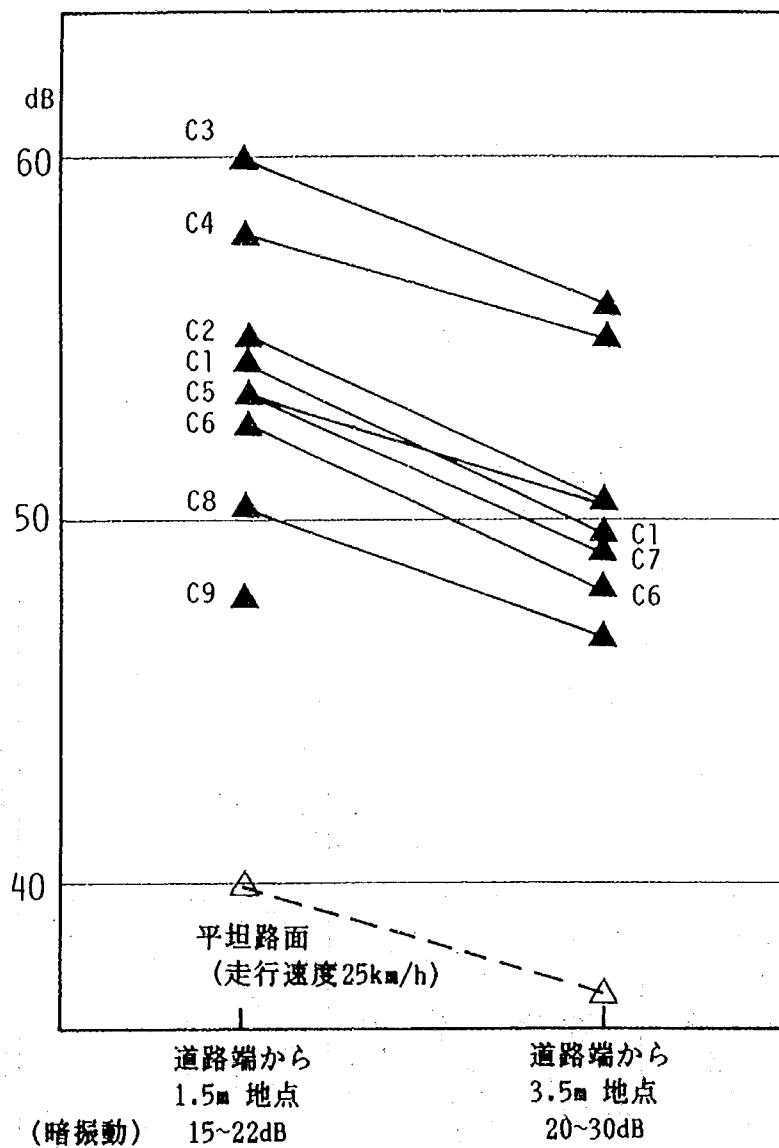
また、地盤振動の値は、図2-5に示したとおりであり、平坦路面を走行する場合の値に比べ10～20 dBほど高くなっている。地盤振動の場合にもやはり高さの高いC3の値が最も大きくなっている。C4の地盤振動の値が高いのは、上述のように共振が起きているためであると考えられる。

測定結果をまとめると、ランブルストリップ通過時の騒音・振動の値は、平坦路面を走行する場合に比べるとかなり高く、ランブルストリップを住宅地で用いるのは難しいということになる。ただし、この実験では、高さが14 mmと7 mmの2種類のランブルストリップしか対象としていない。高さをもう少し低くした場合には、騒音・振動を低く抑えることができる可能性がある。もっとも、高さを低くすると速度抑制効果も落ちると予想されるので、騒音・振動と速度抑制効果との関係についてはさらに検討する必要がある。



平坦路面を除いて走行速度は20km/hである。

図2-4 ランブルストリップ通過時の騒音



平坦路面を除いて走行速度は20km/hである。

図2-5 ランブルストリップ通過時の地盤振動

3. 歩行時の安全感と歩道幅員

3-1. 目 的

歩道の幅員を決定するよりどころとなっているのは、道路構造令の歩道幅員に関する規定である。道路構造令によれば、計画交通量をもとにして道路の種・級が定められており、この道路区分にしたがって歩道の最低幅員が決められているので、歩道幅員は自動車交通量に対応して決定されていることになる。そして、歩道幅員を定めるにあたっては、歩行者一人の占有幅を0.75mとして、歩行者のすれ違いが可能になるよう配慮している。このような幅員決定方法に対して、人間の心理、生理といった観点から歩道幅員を決定するという方法も存在するはずである。この方法による幅員決定は、歩行時の快適さ、安全感を増すことにつながる。

ここでは、心理、生理的側面からの歩道幅員決定方法について考察する第一歩として、歩行時の安全感を実験によって評価した結果を述べる。実験では、歩道上を歩いている被験者にかたわらを自動車が走行したときの危険感、スピード感を評点尺度によって評価してもらった。この評点の平均値を用いて、自動車の走行速度、自動車との距離がこれらの感覚に与える影響を分析した。

3-2. 実験の方法

実験は、土木研究所構内の片側にのみ歩道をもつ複断面道路において実施した。被験者は、男性4名、女性10名の計14名である。男性はすべて大学生であり、女性は大学生と主婦である。この実験はシケインの速度抑制効果を確認する実験と同時に実施したので、被験者はシケインの実験の場合と重複している。車道は幅員6mで2車線からなり、アスファルト舗装されている。歩道は、幅員2.5mで、車道との間に約10cmの段差をもち、30cm角の平板ブロックで舗装されている。被験者には、歩道の縁石から1つ、2つ、3つ、ないしは4つ目の平板の上をまっすぐに歩くように指示した。1つ目の平板上を歩いている場合には、歩道端からの距離は25cmであり、1つ内側の平板へいくごとに、距離が30cmずつ増える(図3-1)。自動車の運転手には、歩道端から50cmのところを一定速度で走行するよう指示した。走行速度は、20、40、および60km/hであり、自動車は歩行者を後ろから追い越すように走行した。歩行位置(歩道端からの距離Dで表わす)と走行速度(V)との組合せおよび実験順序は、表3-1に示したとおりである。実験の順序は、すべての被験者に対して同一である。一回の実験では、2～3名の被験者を対象とし、各被験者を約10mの間隔で、自由な速さで歩かせた。被験者に対する質問票は、表3-2に示したとおりで、車の通過時の恐怖感を4段階で、スピード感を5段階で評価してもらっている。

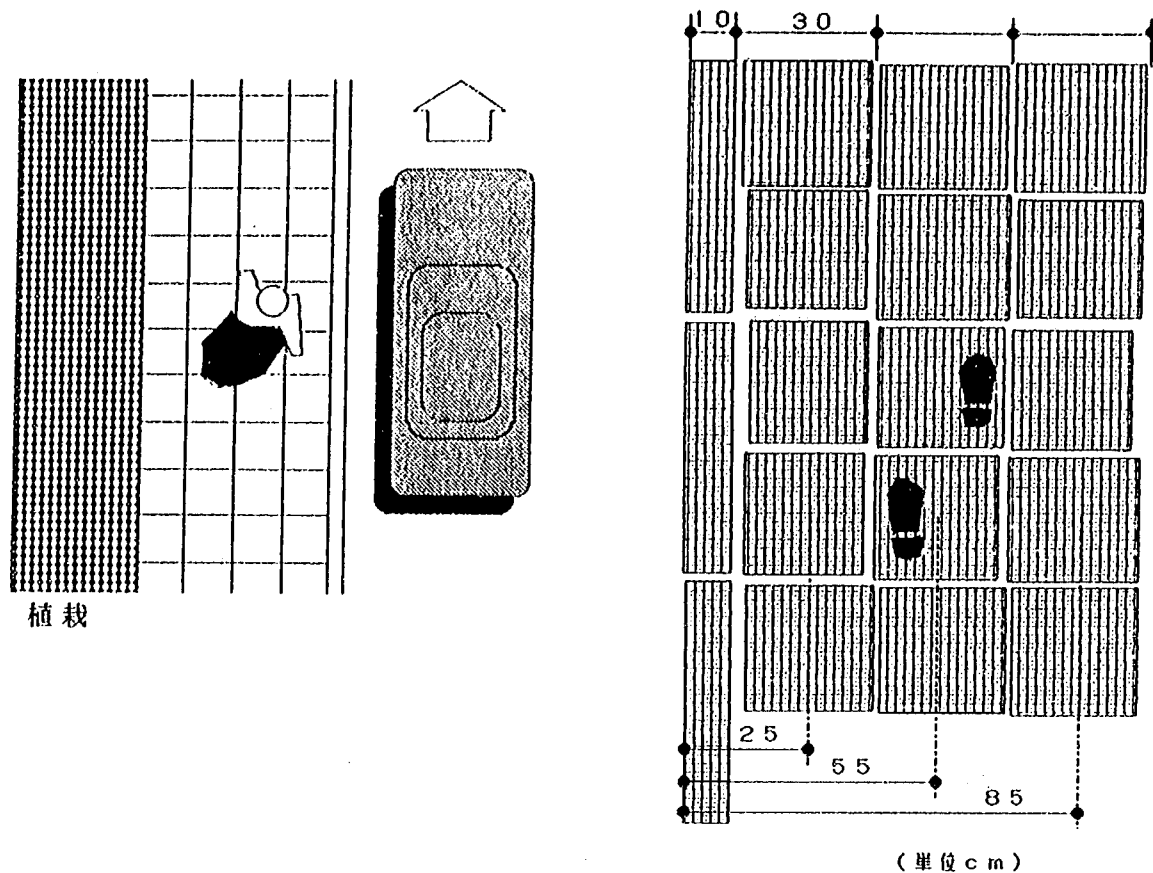


図 3 - 1 歩行位置と自動車の走行位置

表 3 - 1 実験条件と実験順序

		走行速度 v (km/h)		
		20	40	60
歩道端からの距離 D (cm)	25	C1		
	55	C9	C7	C3
	85	C5	C2	C6
	115		C8	C4
	145			C10

表 3 - 2 被験者に対する調査票

C□

問 1 / 車の通過時にあなたは、…… (1 つ ○ をつける)

- ① とても恐かった
- ② どちらかといえば恐かった
- ③ あまり恐くなかった
- ④ まったく恐くなかった

問 2 / 今の車の速度に対してあなたは、車が…… (1 つ ○ をつける)

- ① もっと速く走ってもよいと思った
- ② どちらかといえばもっと速く走ってもよいと思った
- ③ 今の速度でちょうどよい
- ④ どちらかといえばもっと遅く走ってよいと思った
- ⑤ もっと遅く走ってもよいと思った

3-3. 結果と考察

分析では、恐怖感とスピード感それぞれの評点の平均値を用いた。評点の値は、表3-2の○の中に示されている。恐怖感とスピード感との間には、かなり強い負の相関($r=-0.86$)が存在するが、以下では両者を別々に扱う。

車両通過時の恐怖感と車の速度および歩道端からの距離との関係を図3-2に示してある。この図によれば、速度が遅いほど、また距離が大きいほど、恐怖感は小さいことがわかる。走行速度が20,40km/hのときは、距離の増加にともなって恐怖感は漸減するが、走行速度が60km/hのときには、恐怖感の減少の程度は不連続的であり、 $D=55\text{cm}$ と $D=85\text{cm}$ とで恐怖感はほとんど変わらない。 $D=115\text{cm}$ になると、速度が40km/hでも60km/hでも恐怖感には差がないこともわかる。一般に、都市内道路の制限速度は40km/hなので、走行速度が40km/hのときに歩行者が「余り恐くない」と感じる距離 D を図3-2から求めると、約60cmとなる。これは歩行者と車との距離では110cmに相当している。この結果は、都市内道路に設置された歩道では、少なくともこの程度の距離を確保する必要があることを意味している。

自動車のスピード感について、図3-2と同様にして表示したものが図3-3である。走行速度が20km/hのときは、距離 D が増えるにつれて「どちらかというともっと速くても良い」という評価になっていくが、走行速度が40および60km/hのときには、距離 D の増加にともなって「どちらかというともっと速くても良い」という評価から、「ちょうど良い」という評価へと逆転している。この原因としては実験順序の影響が考えられる。たとえば、 $D=115\text{cm}$, $V=60\text{km/h}$ (C4)という組合せは、 $D=55\text{cm}$, $V=60\text{km/h}$ (C3)という車が高速でかたわらを走る組合せの直後に評価されているため、スピード感をあまり感じなかったと解釈できる。また、 $D=85\text{cm}$, $V=40\text{km/h}$ (C2)という組合せは、 $D=25\text{cm}$, $V=20\text{km/h}$ (C1)という車が間近を走る組合せの直後に評価されたため、やはりスピード感をあまり感じなかったと考えることができる。走行速度が40km/hのとき、歩行者が「ちょうど良い」と感じる距離 D を図3-3から求めると、約60cmとなり、図3-2から求めた「余り恐くない」と感じる距離と一致する。したがって、車との間隔として110cmを確保することは、恐怖感からだけではなく、スピード感からみても必要なことであると結論できる。

ただし、今回の実験では歩行者のかたわらを自動車が後ろから追い越す場合の検討しか行っていない。歩行者と自動車が対面して通行する場合の検討は今後の課題として残されている。

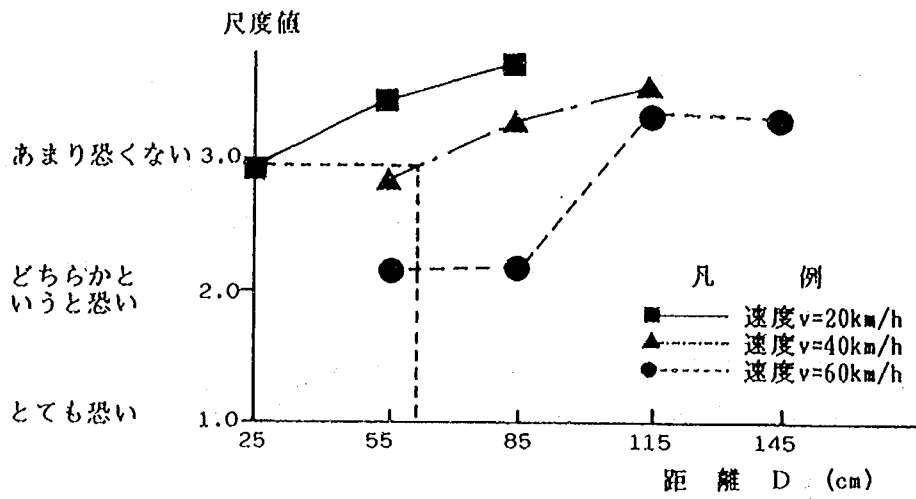


図3-2 自動車通過時の恐怖感

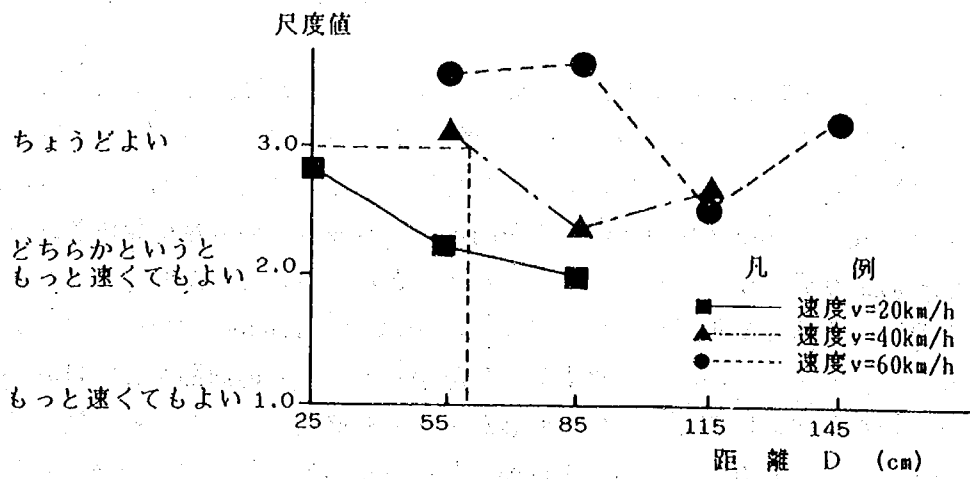


図3-3 自動車のスピード感

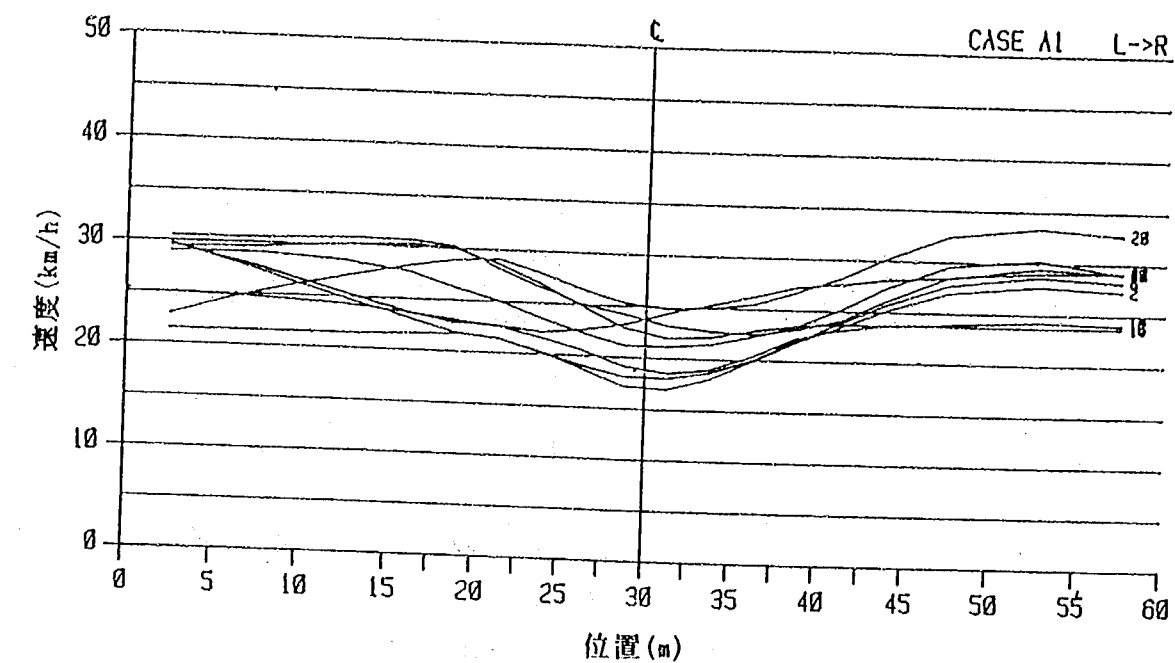
参考文献

- 青木 英明、久保田 尚、新谷 洋二(1984a):「ハンプの研究(その1)」、交通工学19(2)、10-18.
- (1984b):「ハンプの研究(その2)」、交通工学19(3)、15-31.
- 青木 英明、久保田 尚、山田 晴利、吉田 朗(1986):「シケインの形態と速度抑制効果に関する基礎的研究」、土木計画学研究論文集No 4、1986.10.
- 天野 光三(監訳)(1982):「人と車の共存道路-西ドイツの住宅地における実施例」、技報堂
- 天野 光三、小谷 通泰(1980):「路上障害物を利用した自動車の速度抑制手法に関する一実験的考察」、土木計画学会研究発表会講演集No 2、1980.1.
- 天野 光三、小谷 通泰、山中 英生(1981):「歩車共存のための住区内街路整備計画について」、土木計画学会研究発表会講演集No 3、1981.1.
- 天野 光三、榊原 和彦、松尾 俊之、藤埴 忠司(1985):「歩車共存道路におけるハンプフォルトの設置効果に関する研究(その1)」土木学会年次学術講演会概要集IV、139-140.
- Captain, K.M., A.B. Boghani and D.N. Wormley(1979): "Analytical Tire Models for Dynamic Vehicle Simulation." *Vehicle System Dynamics* 8. 1-32.
- Christie, A.W. and J. Chisholm(1981): "Goods Vehicle Manoeuvres---A Computer Simulation and its Application to Roundabout Design." TRRL SR662.
- Green, P.B.(1980): "Simulation of Vehicle Manoeuvres.", *The Highway Engineer*, 27(7).
- Dahlberg(1979): "Optimization Criteria for Vehicle Travelling on a Randomly Profiled Road---A Survey." *Vehicle System Dynamics* 8. 239-252.
- 石塚 松男、井上 茂(1985):「突起乗り越しの時の車両振動(第1報)」、自動車研究7(10)、18-21.
- 金丸 伸二、吉田 寛(1985):「懸架系の振動特性と問題点」、自動車技術23(8)、768-776.
- 兼重 一郎、粕谷 誠一、浅野 稔(1965):「乗用車の上下振動に与えるエンジンマウントの影響」自動車技術19(11)、863-868.
- Kassem, E. and Y. Al-Nassar(1982): "Dynamic Considerations of Speed Control Humps." *Transportation Research* 16B(4), 291-302.
- 河合 平夫 森崎 健二(1965):「自動車走行路面の性質と振動乗り心地への関連性」、三菱重工技報、2(2)、20-27.
- 建設省道路局(1986):「地区内道路における歩車共存手法の導入に関する調査報告書」、国土開発技術研究センター、1986.3.
- 小柳 武和(1977):「景観評価論(土木工学大系13 景観論)」、彰国社.

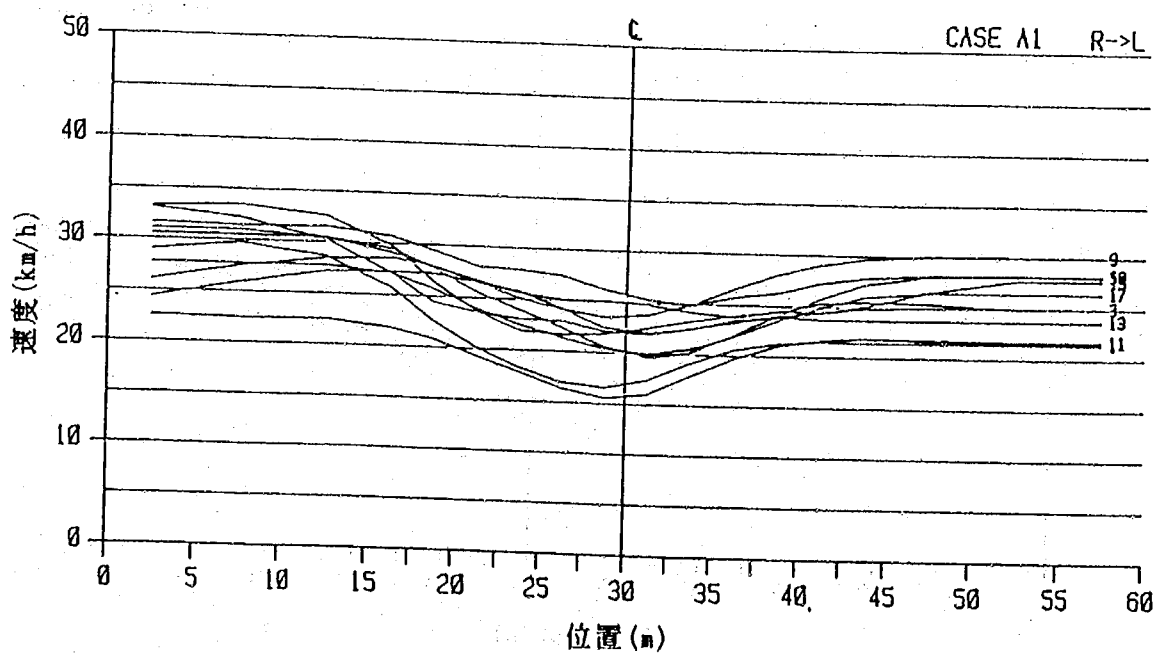
- 毎日新聞(1987):「交差点手前に『樹脂薄層』を舗装—『ガタガタ作戦』など奏功—交通事故発生わずか1件」、毎日新聞埼玉版、1987.10.18.
- 水口 正昭、武内 良文、迫田 正義(1968):「自動車の振動乗り心地・接地性に及ぼすショックアブソーバー特性の影響」、三菱重工技報5(3)、55-64.
- 三輪 俊輔(1973):「全身振動の評価法 (ISO/TC108/DIS2631を中心として)」、日本音響学会誌29(4)、252-258.
- 名古屋市(1981):「地区交通計画運営手法の検討I (道路ハンプ走行実験)」.
- 大阪市土木局(1984):「交通抑制のための道路構造」.
- 大阪市土木技術協会(1984):「西ドイツにおける生活道路設計基準(RAS-E)」(青木英明訳).
Post.T.M. and J.E.Bernard(1976):"Response of Vehicles to Pavement Undulations."
paper prepared for FHA Highway Safety Research Institute, The University of Michigan.
- 島田 文平(1961a):「障害板対称乗越しによる自動車の過渡振動(第2報 減衰あり、非達成)」、自動車技術15(5)、204-209.
- (1961b):「障害板対称乗越しによる自動車の過渡振動(第3報 減衰なし、達成)」、自動車技術15(7)、303-307.
- (1962):「障害板対称乗越しによる自動車の過渡振動(第4報 減衰あり、達成:括)」、自動車技術16(2)、82-89.
- 角 知憲(1986):土木計画学会におけるコメント.
- 田島 学、西武都市開発(1983):「<生活の庭>としての道を求めて」、都市住宅.
- 高波 克治、吉野 良治、杉 時夫(1968):「振動乗心地、空気調和、居住性の試験法」、自動車技術22(9)、833-840.
- 海出 久雄、岡田 正、小野 和明(1960):「ショックアブソーバーの形式と車体振動について」、自動車技術14(4)、136-139.
- Yabuta.K., K.Hidaka and N.Fukushima(1984):"Effects of Suspension Friction on Vehicle Riding Comfort." Vehicle System Dynamics 10(2-3), 85-91.
- 山田 晴利(1986):「ハンプ通過時の自動車の動的挙動」、土木計画学研究講演集、Vol.8, pp.145-152.
- 吉田 明夫、山田 昌夫(1961):「車体ビッチングに及ぼす懸架特性の影響」、トヨタ技術13(2)、32-48.

参考資料

1. シケイン通過時の速度プロフィール

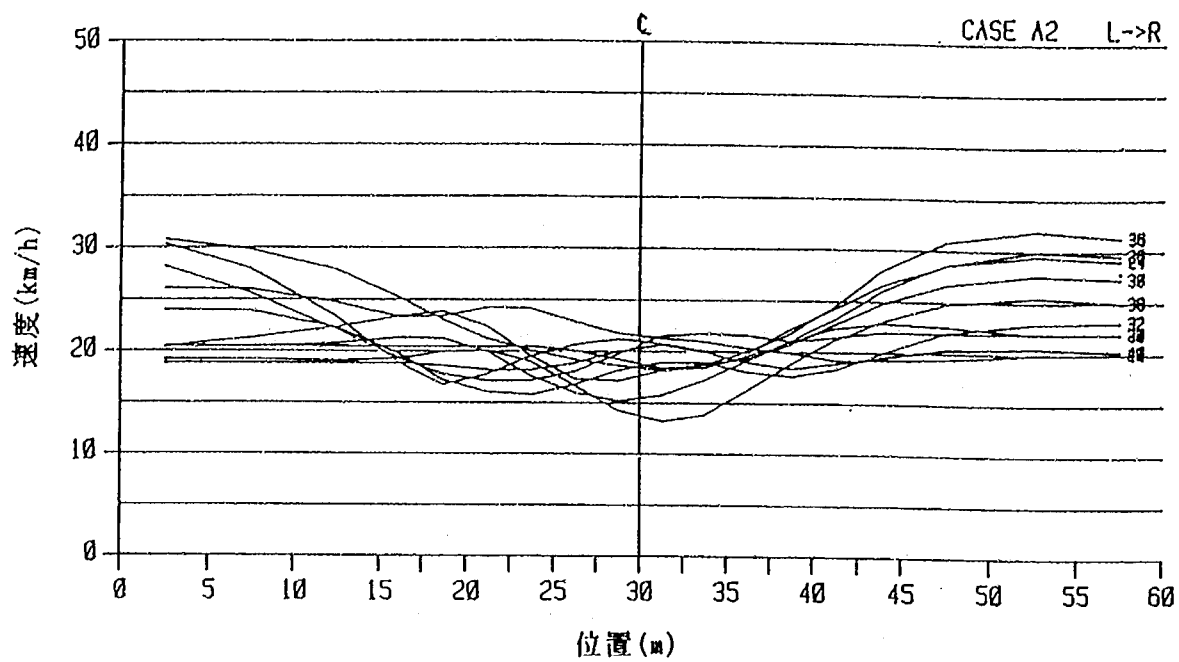


シケイン種別: A 1 走行方向: L→R

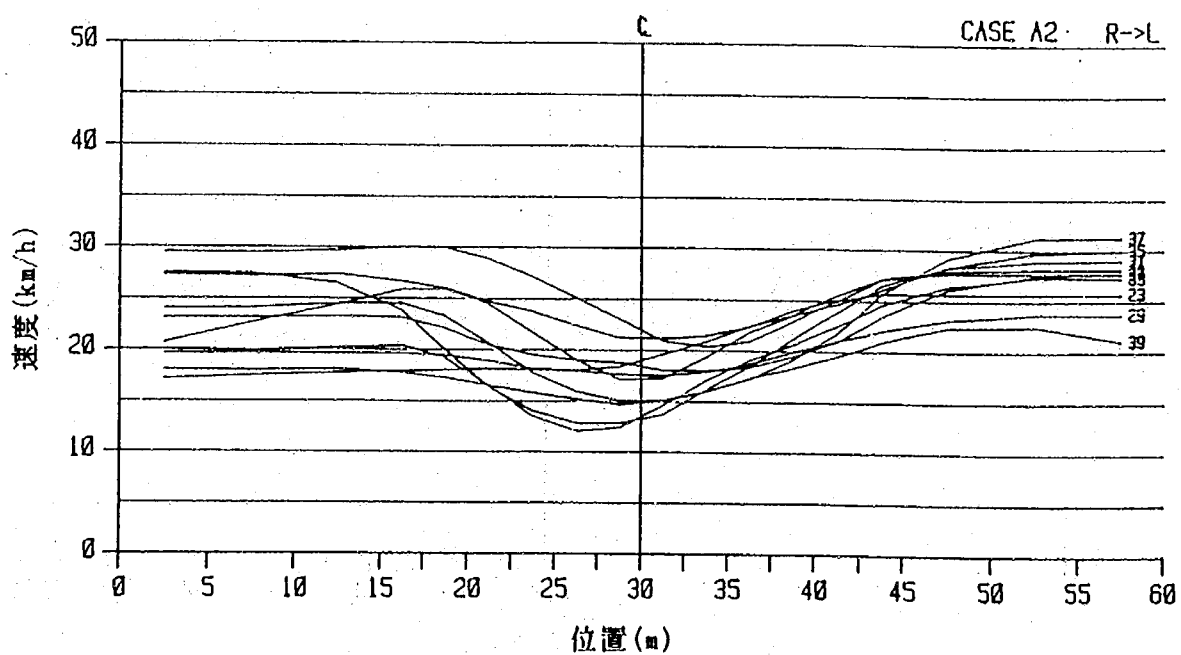


シケイン種別: A 1 走行方向: R→L

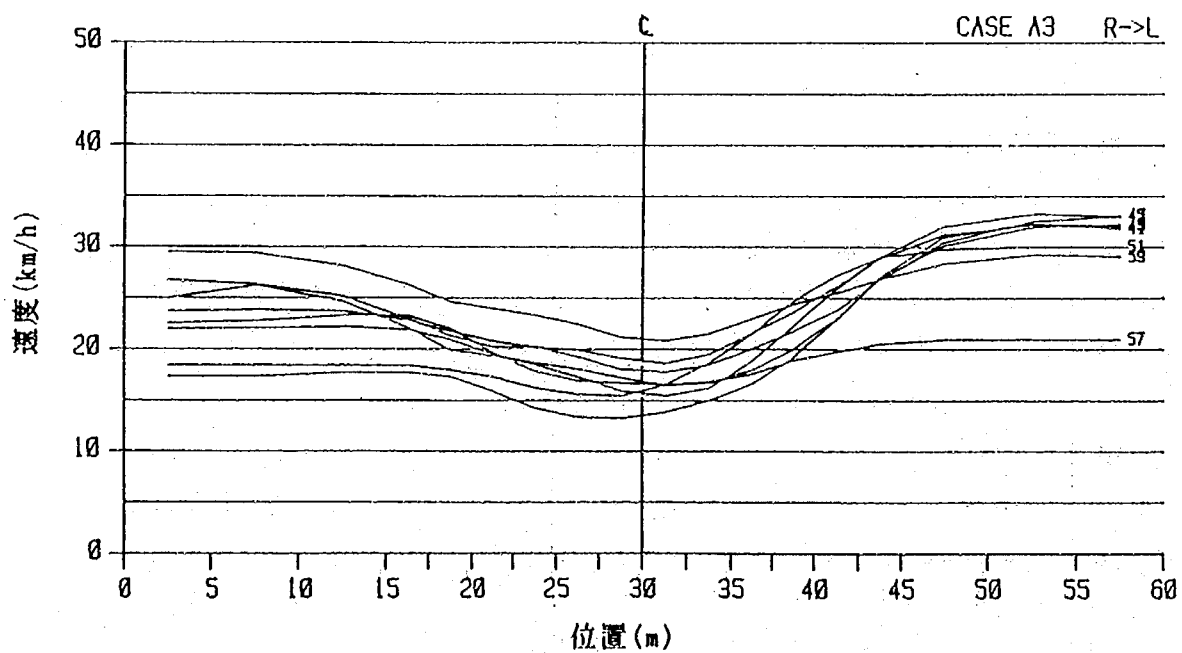
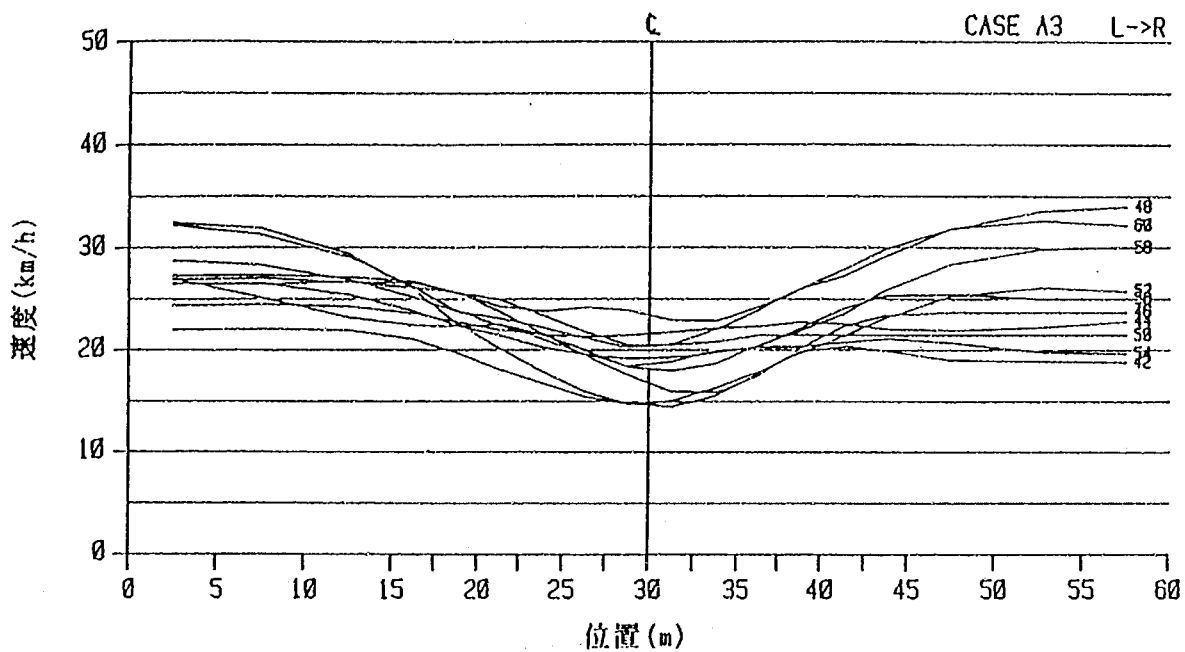
参考 図1-1 . シケイン通過時の速度プロフィール

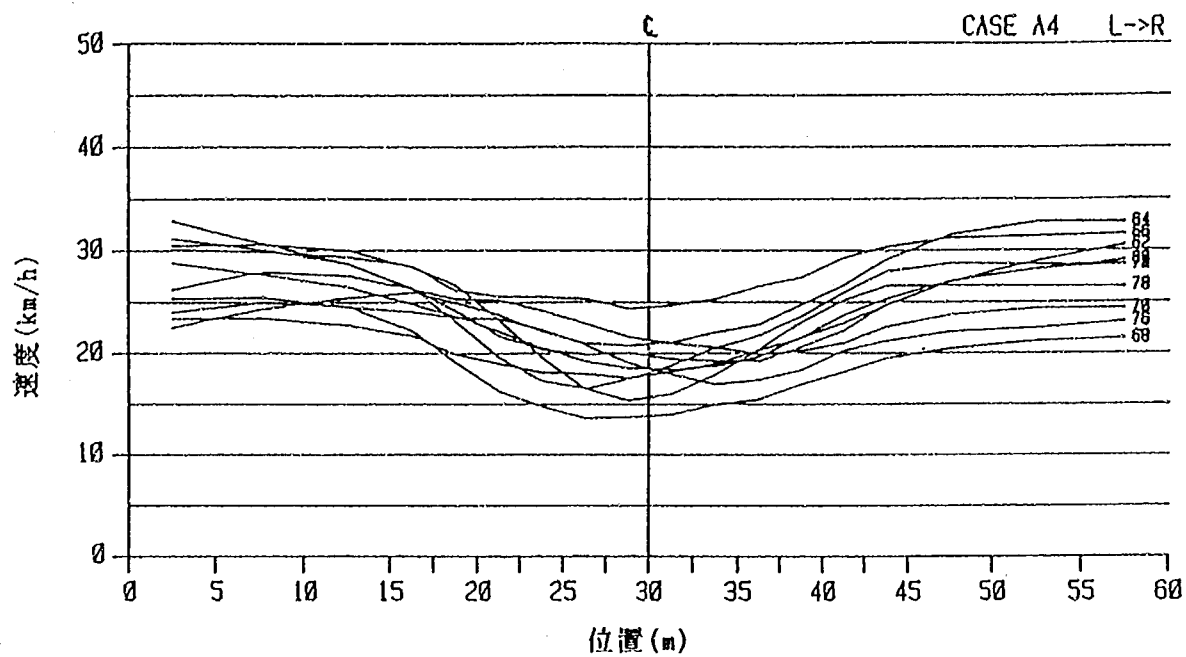


シケイン種別: A 2 走行方向: L→R

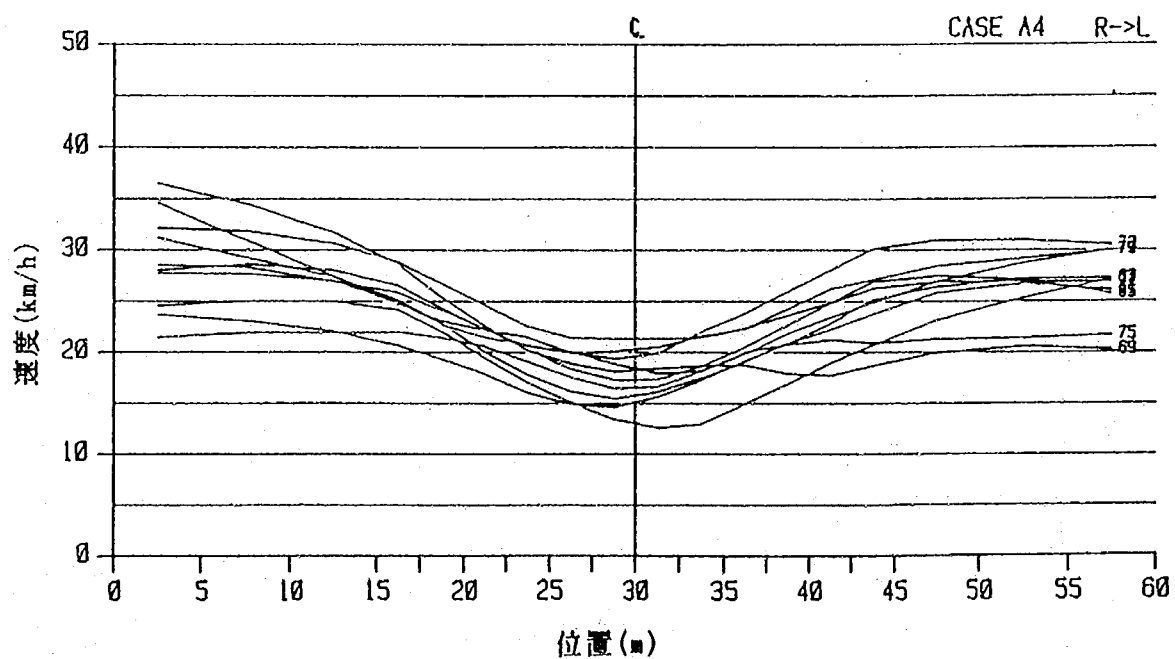


シケイン種別: A 2 走行方向: R→L

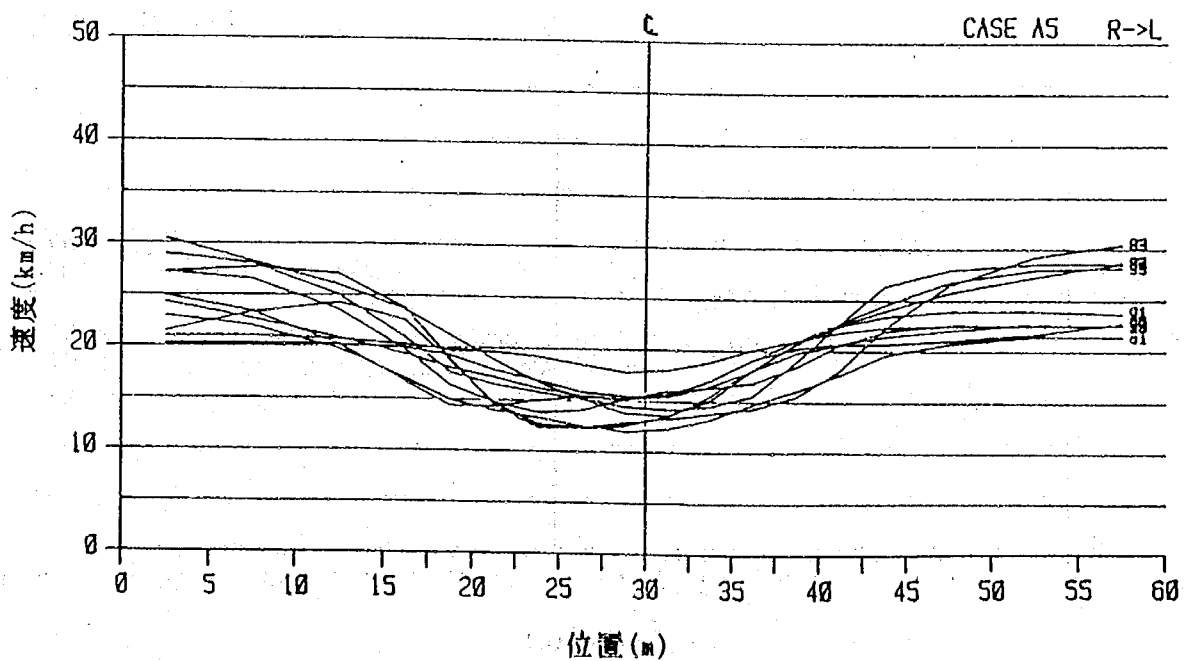
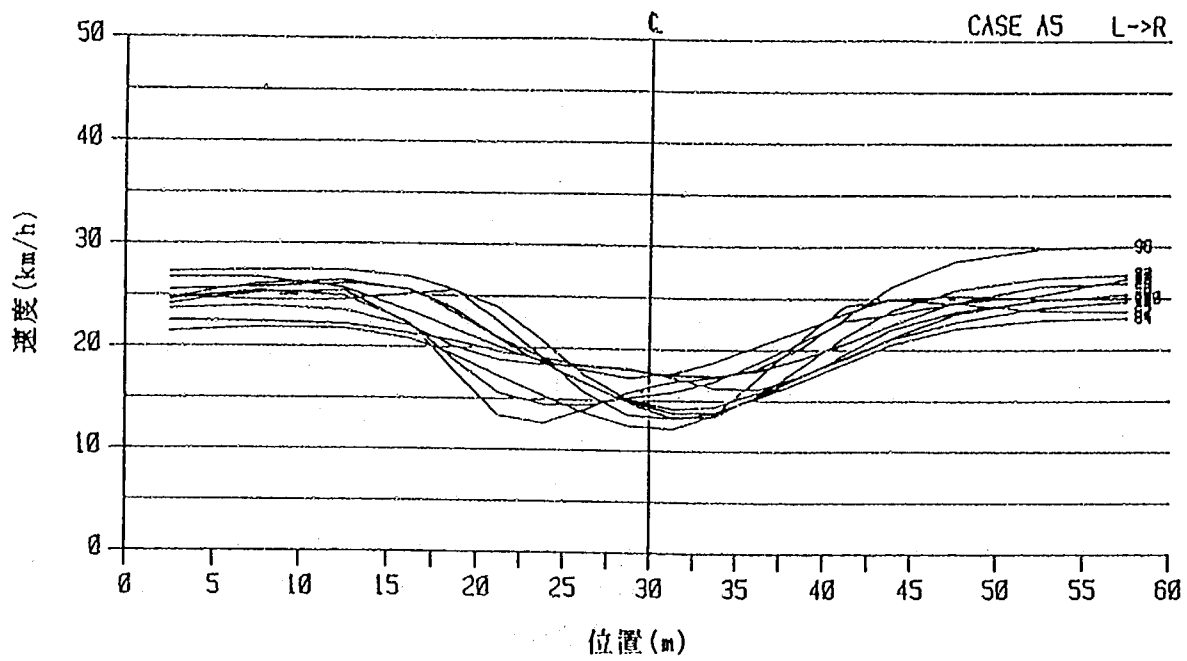


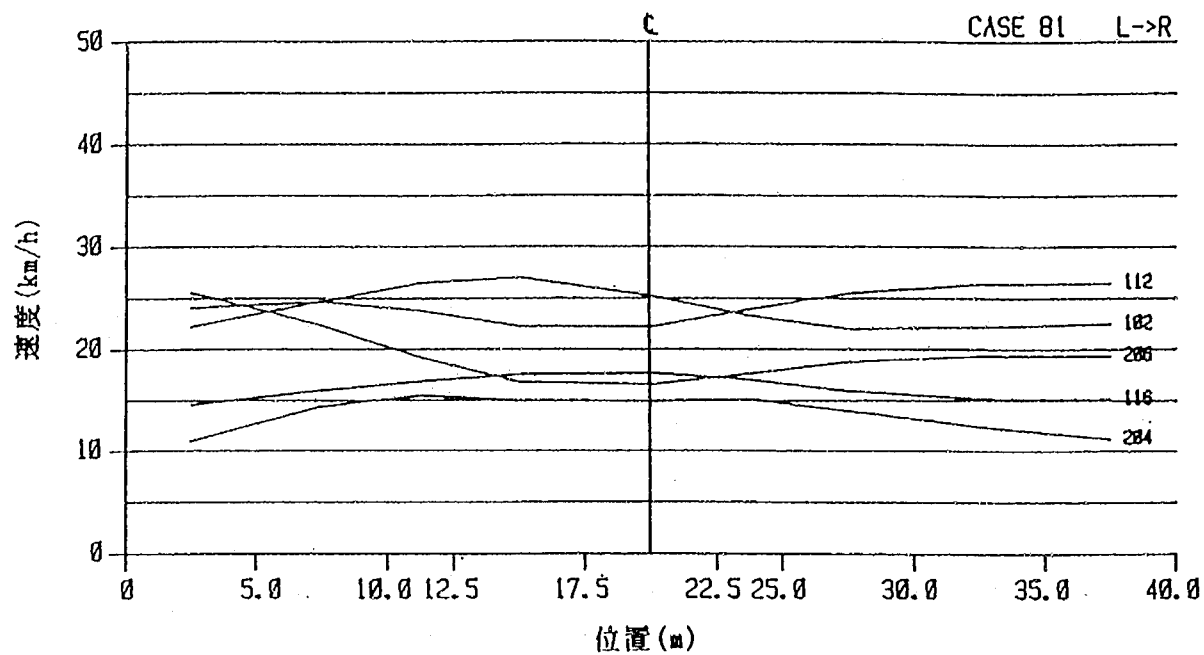


シケイン種別: A4 走行方向: L→R

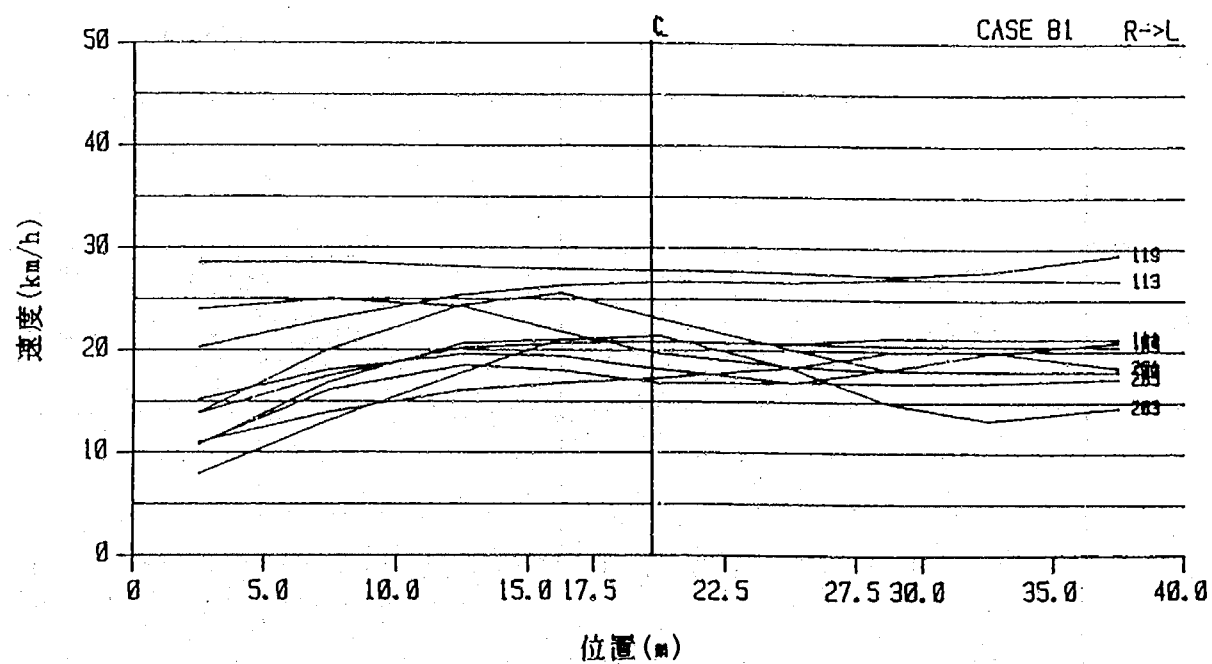


シケイン種別: A4 走行方向: R→L

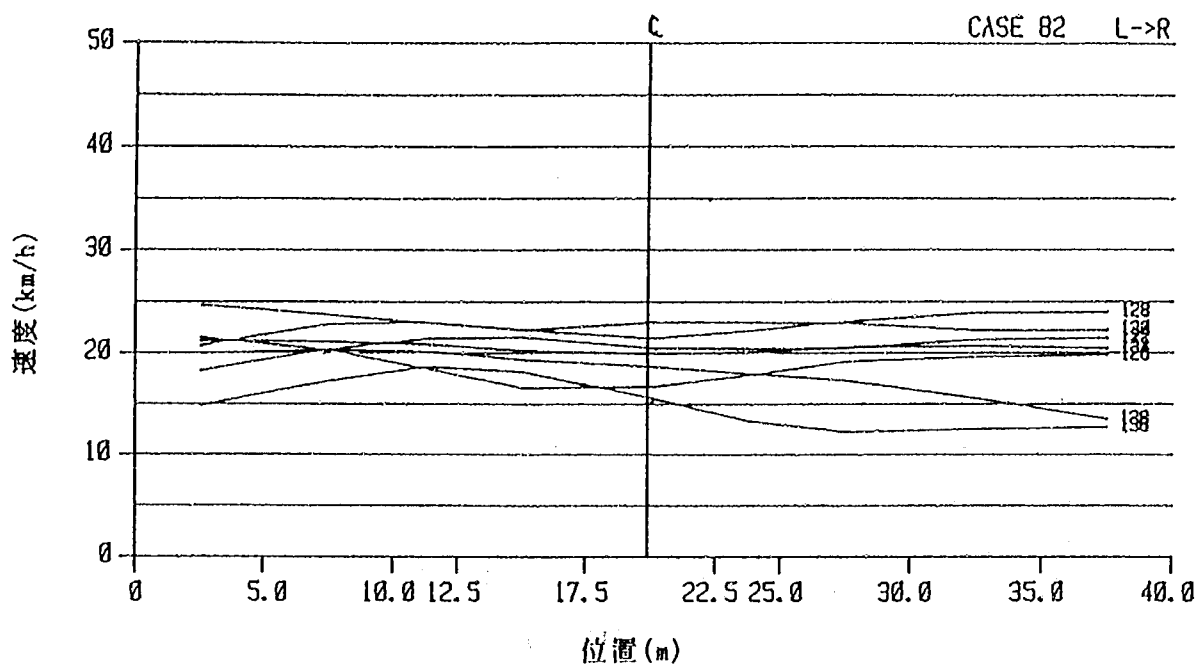




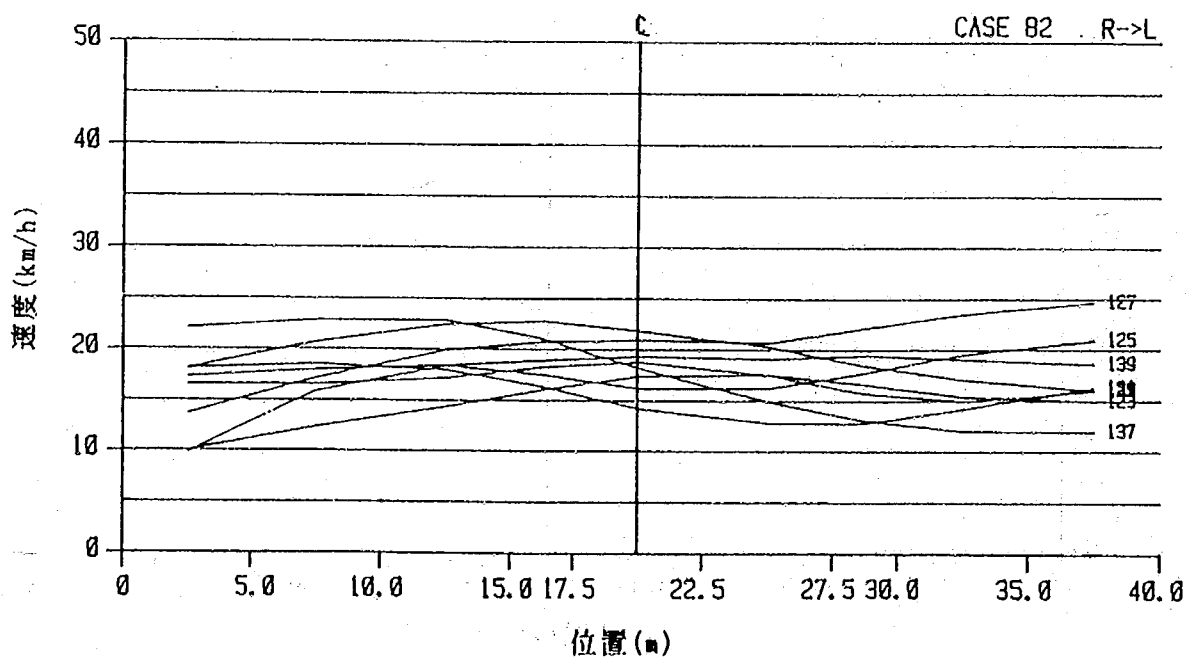
シケイン種別: B 1 走行方向: L→R



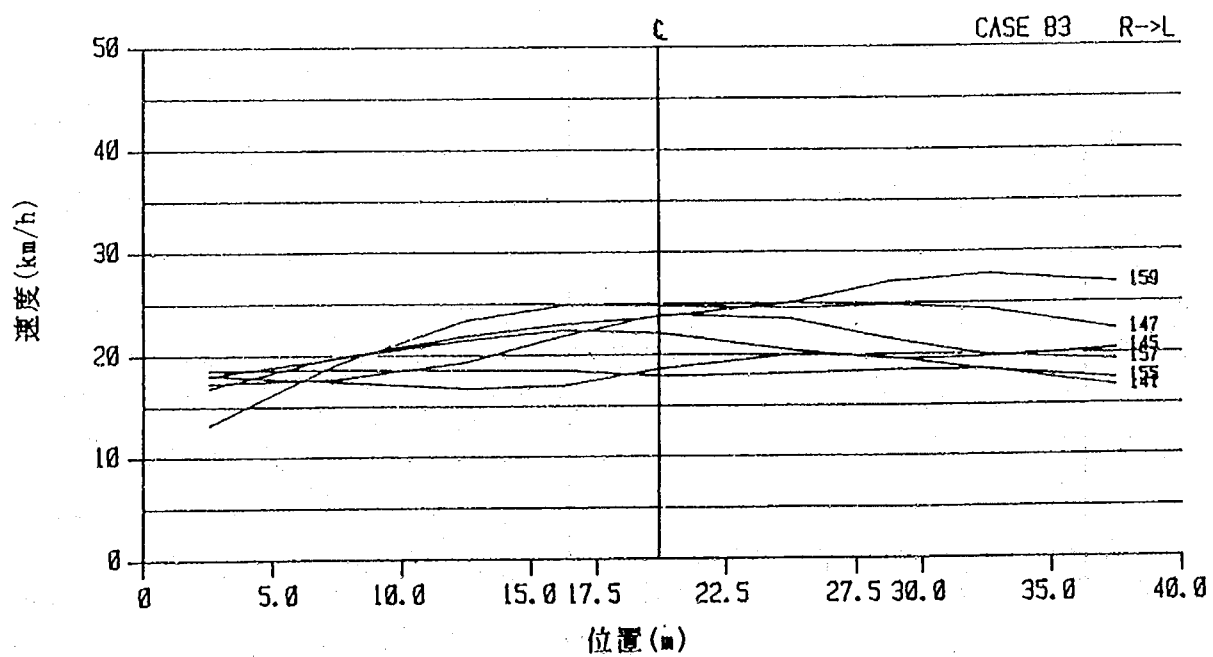
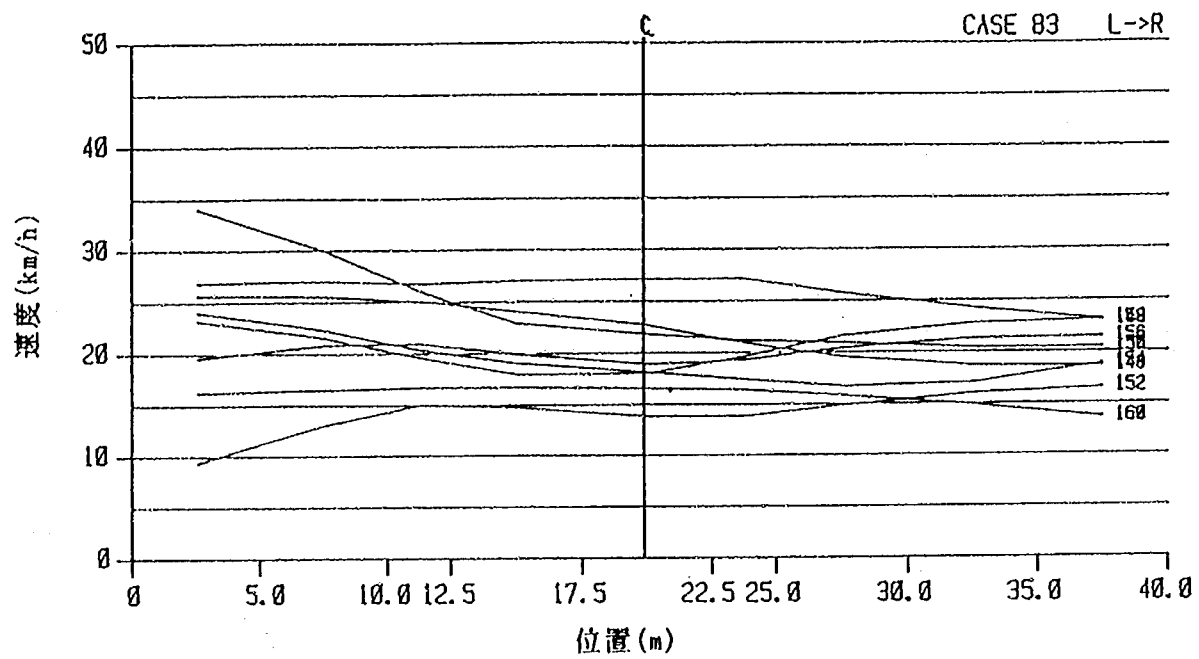
シケイン種別: B 1 走行方向: R→L

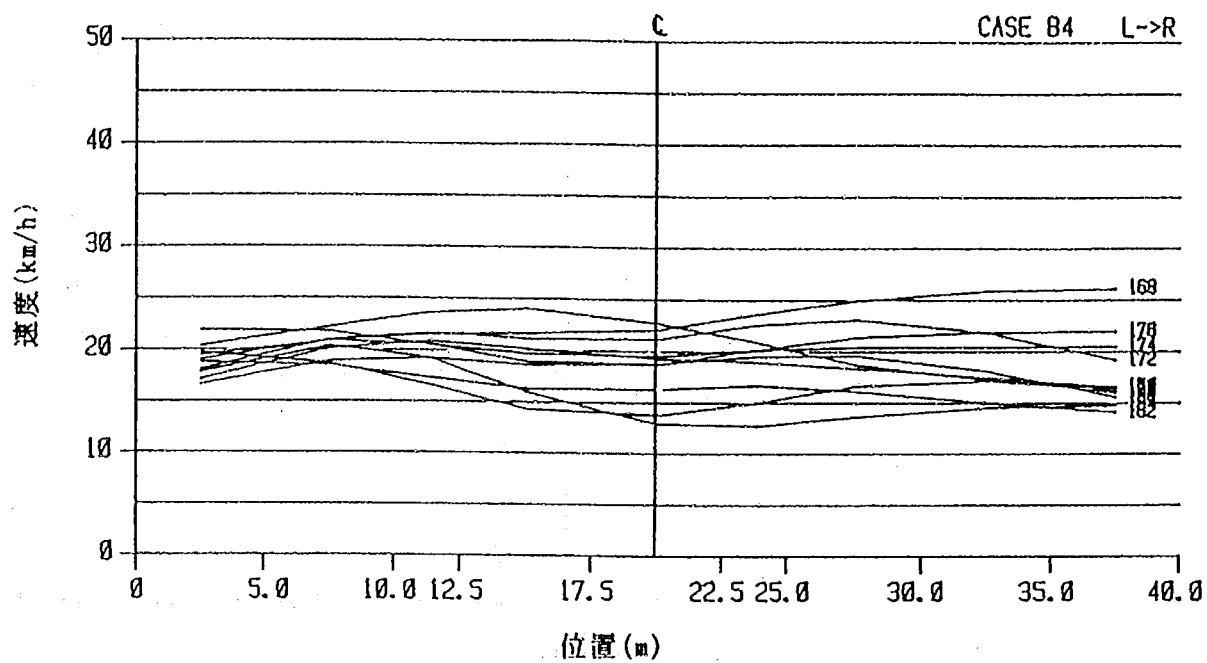


シケイン種別: B 2 走行方向: L→R

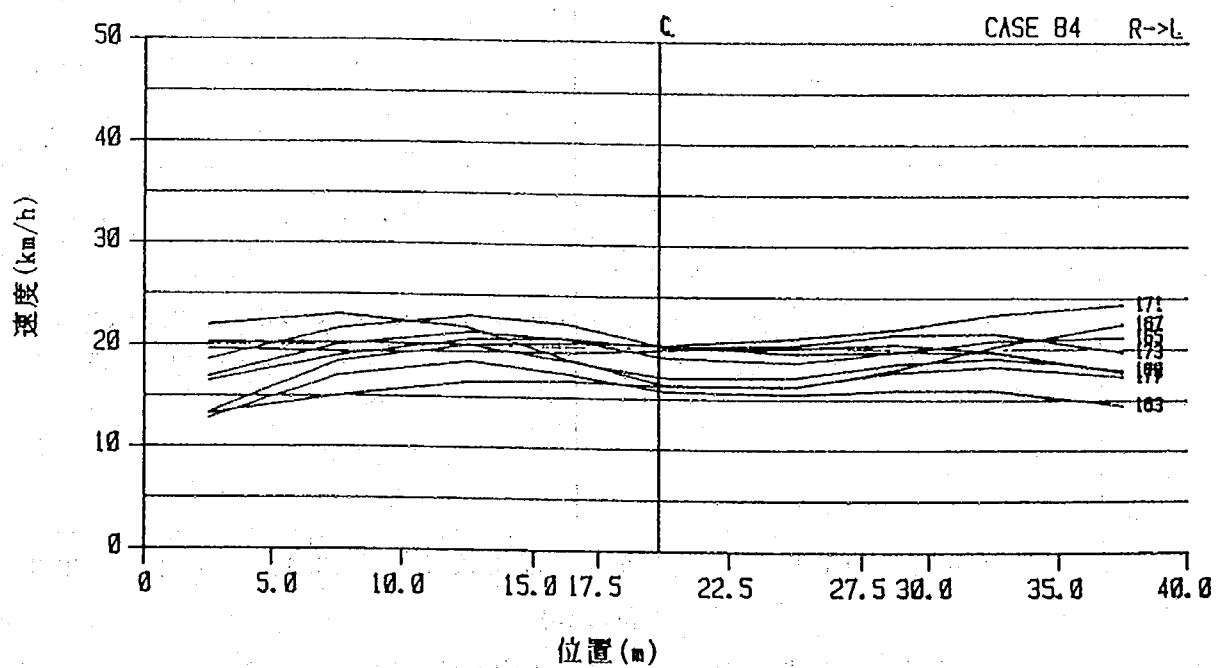


シケイン種別: B 2 走行方向: R→L

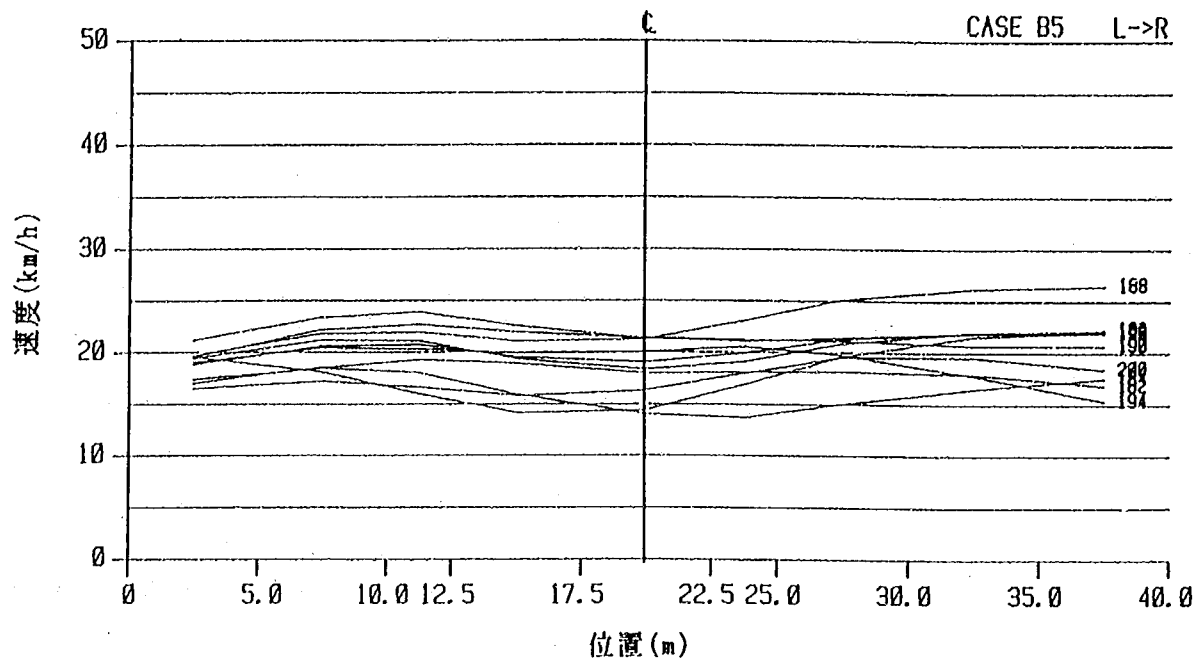




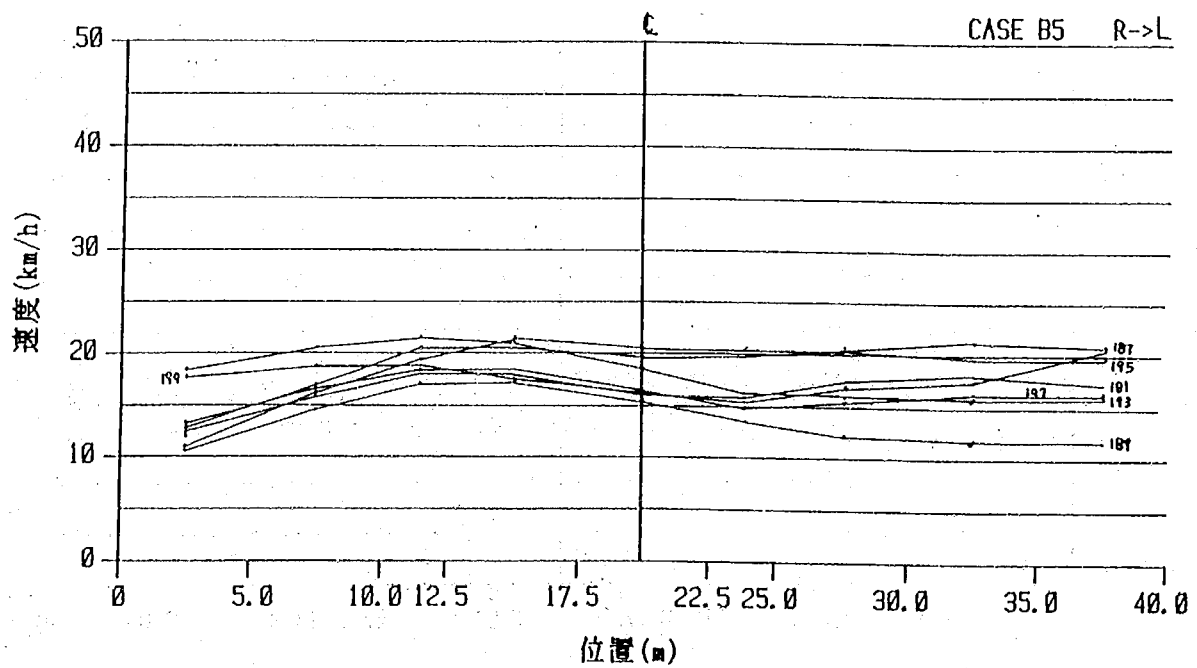
シケイン種別: B 4 走行方向: L→R



シケイン種別: B 4 走行方向: R→L



シケイン種別: B 5 走行方向: L→R



シケイン種別: B 5 走行方向: R→L

2. 自動車の振動モデル

ここでは、ランブルストリップ通過時の自動車の動的挙動を計算するのに用いた車両モデルと計算条件とをしめす。

(1). 車両のモデル化

図2-1 にしめしたように記号を定めると、すべての構造要素が線型の場合の運動方程式は次のようになる：

$$M \ddot{X} + C \dot{X} + K X = F(t), \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに、

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & & & & \\ & m_2 & & & \\ & & m_3 & & \\ 0 & & & m_4 & \\ & & & & m_5 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_1+c_3 & 0 & -c_3 & l_1 c_3 & 0 \\ 0 & c_2+c_4 & -c_4 & -l_2 c_4 & 0 \\ -c_3 & -c_4 & c_3+c_4+c_5 & -l_1 c_3+l_2 c_4-l_3 c_5 & -c_5 \\ l_1 c_3 & -l_2 c_4 & -l_1 c_3+l_2 c_4-l_3 c_5 & l_1^2 c_3+l_2^2 c_4+l_3^2 c_5 & l_3 c_5 \\ 0 & 0 & -c_5 & l_3 c_5 & c_5 \end{bmatrix}, \quad \dots\dots\dots(3)$$

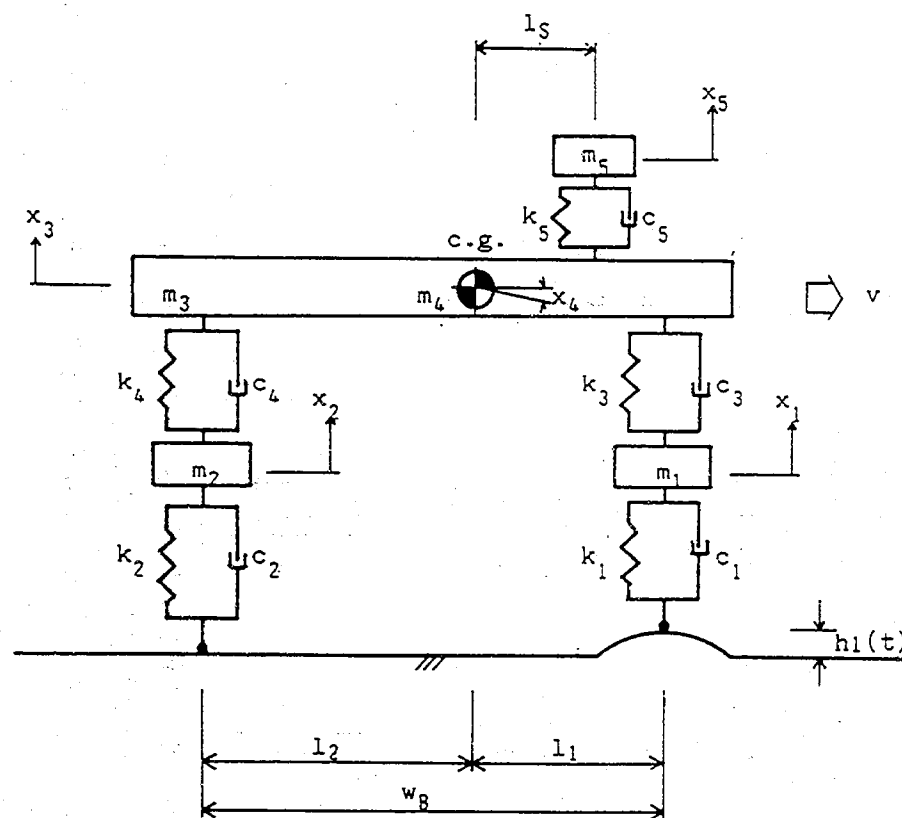
$$K = \begin{bmatrix} k_1+k_3 & 0 & -k_3 & l_1 k_3 & 0 \\ 0 & k_2+k_4 & -k_4 & -l_2 k_4 & 0 \\ -k_3 & -k_4 & k_3+k_4+k_5 & -l_1 k_3+l_2 k_4-l_3 k_5 & -k_5 \\ l_1 k_3 & -l_2 k_4 & -l_1 k_3+l_2 k_4-l_3 k_5 & l_1^2 k_3+l_2^2 k_4+l_3^2 k_5 & l_3 k_5 \\ 0 & 0 & -k_5 & l_3 k_5 & k_5 \end{bmatrix}, \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$F(t) = \begin{bmatrix} k_1 h_1(t) + c_1 \dot{h}_1(t) \\ k_2 h_2(t) + c_2 \dot{h}_2(t) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix}.$$

$h_1(t), h_2(t)$ はそれぞれ前輪、後輪の位置における鉛直方向の路面変位である。

非線型モデルでは、次の二つの非線型性を組込んだ。

(i) 車体の懸架系のショックアブソーバーは顕著な非線型性をしめすことがわかっている。こ



記号	単位	意味
m_1	kg	前軸ばね下質量
m_2	kg	後軸ばね下質量
m_3	kg	ばね上質量
m_4	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$	ビッチングモーメント
m_5	kg	座席と乗員の質量
k_1	N/m	前軸ばね下のばね係数
k_2	N/m	後軸ばね下のばね係数
k_3	N/m	前軸ばね上のばね係数
k_4	N/m	後軸ばね上のばね係数
k_5	N/m	座席のばね係数
l_1	m	車体重心から前軸までの距離
l_2	m	車体重心から後軸までの距離
l_3	m	車体重心から座席までの距離
l_5	m	ホイールベース ($=l_1+l_2$)
x_1	m	前軸ばね下の鉛直方向変位
x_2	m	後軸ばね下の鉛直方向変位
x_3	m	車体重心の鉛直方向変位
x_4	rad	ビッチング回転角
x_5	m	座席の鉛直方向変位
c_1	Ns/m	前軸ばね下の減衰係数
c_2	Ns/m	後軸ばね下の減衰係数
c_3	Ns/m	前軸ばね上の減衰係数
c_4	Ns/m	後軸ばね上の減衰係数
c_5	Ns/m	座席の減衰係数
h_1	m	前軸位置における路面の変位
h_2	m	後軸位置における路面の変位

参考 図2-1. 5自由度振動モデル

の非線型性はバイリニア関数で近似的に表現されることも多い。しかし、ショックアブソーバーの特性に関する詳しいデータを入手することができなかったため、ここでは、圧縮・引張りの応答特性の差のみを考慮することとし、以下に示すような特性をモデルに組み込んだ。水口等(1968)によれば、実際の道路を走行するときのショックアブソーバーの作動速度は0.3m/s以下のことがほとんどであるし、この作動速度以下では減衰力と作動速度とはほぼ比例関係にあるとみなしてよいので、以下のような特性でもそれほど大きな違いは生じないと考えて良いであろう。

(ii) 突起乗り越しのさいにタイヤが地面から離れる場合がある。このとき、タイヤと地面との間には力が作用せず、車体は自由落下する。上に述べた線型モデルでは、タイヤが地面から離れたときにも車体にはタイヤを通して引張り力が作用することになるので、この点を改善する。これによって車体にはたらく鉛直下向きの加速度は線型モデルの場合に比べて小さくなるはずである。

(i) によれば、ショックアブソーバーの減衰定数 c_3, c_4 の値が作動速度の値によって変化する。すなわち、

$$c_3 = \begin{cases} c_{3tn} & (\dot{x}_3 - \dot{x}_1 - l_1 \dot{x}_4 \geq 0 \text{ のとき}) \\ c_{3op} & (\dot{x}_3 - \dot{x}_1 - l_1 \dot{x}_4 < 0 \text{ のとき}) \end{cases}$$

$$c_4 = \begin{cases} c_{4tn} & (\dot{x}_3 - \dot{x}_2 + l_2 \dot{x}_4 \geq 0 \text{ のとき}) \\ c_{4op} & (\dot{x}_3 - \dot{x}_2 + l_2 \dot{x}_4 < 0 \text{ のとき}) \end{cases}$$

となる。また、(ii) によれば、 k_1, k_2, c_1, c_2 の値が相対変位の値によって変化する。すなわち、

$$k_1 = \begin{cases} k_{1tn} = 0 & (x_1 - h_1(t) \geq d_r \text{ のとき}) \\ k_{1op} & (x_1 - h_1(t) < d_r \text{ のとき}), \end{cases}$$

$$k_2 = \begin{cases} k_{2tn} = 0 & (x_2 - h_2(t) \geq d_r \text{ のとき}) \\ k_{2op} & (x_2 - h_2(t) < d_r \text{ のとき}), \end{cases}$$

$$c_1 = \begin{cases} c_{1tn} = 0 & (x_1 - h_1(t) \geq d_r \text{ のとき}) \\ c_{1op} & (x_1 - h_1(t) < d_r \text{ のとき}), \end{cases}$$

$$c_2 = \begin{cases} c_{2tn} = 0 & (x_2 - h_2(t) \geq d_r \text{ のとき}) \\ c_{2op} & (x_2 - h_2(t) < d_r \text{ のとき}) \end{cases}$$

となる。ただし、 d_r, d_r はそれぞれ前軸、後軸タイヤの静たわみ量であり、次式で与えられる

(g は重力加速度を表す)。

$$d_f = \frac{g}{(l_1 + l_2)k_1} \{l_1 m_1 + l_2 (m_1 + m_3 + m_5) + l_3 m_5\},$$

$$d_r = \frac{g}{(l_1 + l_2)k_2} \{l_1 (m_2 + m_3 + m_5) + l_2 m_2 - l_3 m_5\}.$$

前軸・後軸のタイヤが接地している状態では、ここにあげた係数の値を修正することによって、式(1)がそのまま成り立つ。前軸のタイヤが地面から離れた時には、 m_1 には下向きに

$$f_f = m_1 g + k_3 d_3 = k_1 d_f$$

の力が作用する。後軸のタイヤが地面から離れたときには、 m_2 に下向きに

$$f_r = m_2 g + k_4 d_4 = k_2 d_r$$

の力が作用する。以上をまとめると、非線型性を考慮した場合の運動方程式は次のようになる：

$$M \ddot{x} + C \dot{x} + K x = F_n(t) \quad \dots\dots\dots(5)$$

ここに、 M 、 C 、 K 、は式(2)、(3)、および(4)で定義されたものと同じ形をしており、その要素のなかに現れる c_1 、 c_2 、 c_3 、 c_4 、 k_1 、および k_2 については上にしめしたような値をとるものとする。また、 $F_n(t)$ は次式で与えられる：

$$F_n(t) = \begin{bmatrix} k_1 h_1(t) + c_1 \dot{h}_1(t) - \text{sgn}(x_1 - h_1(t) - d_f) f_f \\ k_2 h_2(t) + c_2 \dot{h}_2(t) - \text{sgn}(x_2 - h_2(t) - d_r) f_r \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

ただし、
$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & (x \geq 0 \text{ のとき}) \\ 0 & (x < 0 \text{ のとき}) \end{cases}$$

である。

(2)．計算条件

計算の対象としたランブルストリップは表2-1にしめした5種類である。ランブルストリップは、表2-1にしめしたような矩形の突起で表現されている。一つ一つの突起は高さが1cm、幅が10cmであり、突起と突起の間隔Dの値を変化させたとき、自動車の受ける鉛直方向加速度の値がどのように変化するかを計算によって求めた。ランブルストリップの数Nは、全長T

l が3.6m以下となるように、

$$T_L = N \cdot L + (N - 1) \cdot D < 3.6\text{m}$$

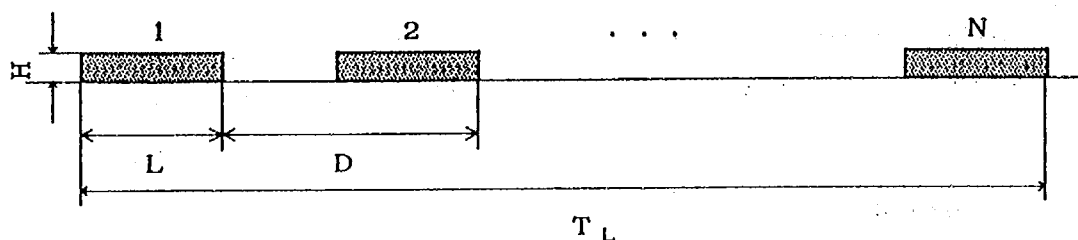
を満足する最大の整数とした。

参考 表2-1 計算対象のランブルストリップ

番号	間隔D	高さH	長さL	数 N	全長 T_L
1	300mm	10mm	100mm	12	3.6m
2	450	10	100	8	3.6
3	600	10	100	6	3.6
4	750	10	100	5	3.6
5	900	10	100	4	3.6

(注)全長 $T_L = N \cdot L + (N - 1) \cdot D$ である。

記号の意味については下図を参照されたい。



自動車の走行速度は10、15、20、25、30、および40km/hとした。計算は自動車の前輪がランブルストリップの前端にかかった瞬間から開始し、後輪がランブルストリップの終端を通過しさらに1m走行した時点まで行なった。すなわち、ランブルストリップの長さを T_L 、車のホイールベースを w_B 、走行速度を v とすれば、計算時間は

$$(w_B + T_L + 1) / v \quad (\text{秒})$$

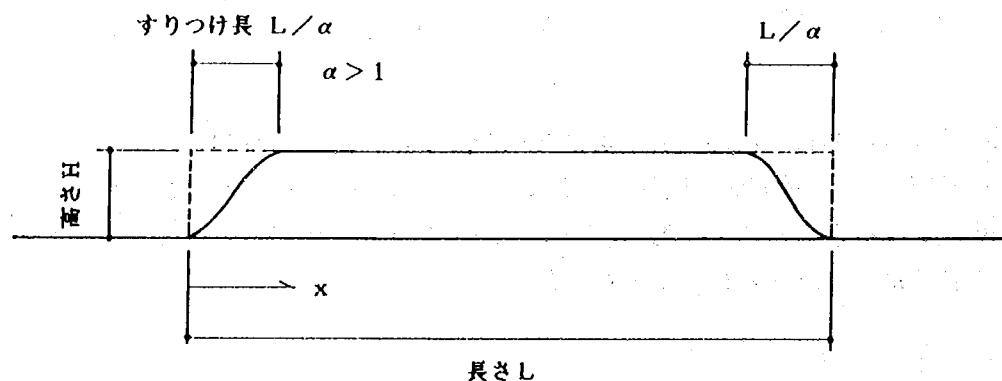
ということになる。また、運動方程式は4次のRunge-Kutta-Gill法によって数値的に解いた。時間きざみは、走行速度が10km/hのときは0.0008秒、走行速度が15および20km/hのときは0.0004秒、走行速度が30km/hのときは0.00025秒、走行速度が40km/hのときは0.0002秒とした。0.0008秒の時間きざみでも625Hzまでの周波数をカバーしているので、人体の感じる振動を評価する上では問題はない〔三輪(1973)〕。また、自動車の車体がローパスフィルタとしてはたらくので車体振動として100Hz以上の周波数が現われるとは考えにくく、時間きざみの値はこのくらい細かければ充分であると考ええる。

なお、式(5)からわかるように、ランブルストリップ通過時の応答を求めるには、路面の鉛直方向変位の時間微分 $\dot{h}_1(t)$ 、 $\dot{h}_2(t)$ の値が必要になる。ランブルストリップを表2-1に示めたように矩形で表現すると、矩形の端点でこの時間微分の値が正または負の無限大となってしまう。そこで、図2-2に示めたように端点の部分のコサイン曲線で滑らかに繋ぎ、時間微分の値が連続になるようにした。このすりつけ区間の長さを L/α （ただし $\alpha > 1$ ）と表すことにすると、ランブルストリップの一つの突起の鉛直方向変位 y は次のように表される：

$$y = \begin{cases} \frac{H}{2} \left[1 - \cos \frac{\pi x}{L/\alpha} \right] & 0 \leq x < L/\alpha \text{ のとき} \\ H & L/\alpha \leq x < (1-1/\alpha)L \text{ のとき} \\ \frac{H}{2} \left[1 + \cos \frac{\pi \{ x - (1-1/\alpha)L \}}{L/\alpha} \right] & (1-1/\alpha)L \leq x < L \text{ のとき} \end{cases}$$

ただし、 x はランブルストリップの突起の端点からはかった距離である（図2-2参照）。以下の計算では、 $\alpha = 10$ とした。

計算に用いた車種は、軽自動車、1300ccクラスの乗用車、2000ccクラスの乗用車、および2トン積トラックの4つである。それぞれの諸元は表2-2に示めたとおりである。



参考 図2-2 ランブルストリップ端部のすりつけ

参考 表2-2 計算に用いた車両の構造定数

定 数	単 位	軽乗用車	1300cc乗用	2000cc乗用	2tトラック
m1	kg	40.0	60.0	75.0	120.0
m2	kg	60.0	60.0	100.0	160.0
m3	kg	460.0	635.0	1060.0	1415.0
m4	kgm ²	500.0	800.0	1500.0	2200.0
m5	kg	70.0	75.0	75.0	75.0
k1	kN/m	200.0	245.0	274.4	784.0
k2	kN/m	200.0	245.0	274.4	820.0
k3	N/m	26068.0	33516.0	39200.0	156800.0
k4	N/m	54880.0	38220.0	58800.0	215600.0
k5	N/m	16000.0	14300.0	14300.0	18500.0
l1	m	0.8467	0.8557	1.1977	0.9099
l2	m	1.2033	1.5593	1.4473	1.5901
l3	m	-0.2033	-0.3443	-0.2523	0.7099
wB	m	2.050	2.415	2.645	2.5000
c1	Ns/m	0.0	0.0	0.0	0.0
c2	Ns/m	0.0	0.0	0.0	0.0
c3	Ns/m	343.0	882.0	784.0	2107.0
c4	Ns/m	588.0	735.0	1274.0	2067.8
c5	Ns/m	580.0	620.0	620.0	590.0
c3tn	Ns/m	392.0	1274.0	980.0	3234.0
c3op	Ns/m	294.0	490.0	588.0	980.0
c4tn	Ns/m	784.0	980.0	1764.0	3018.4
c4op	Ns/m	392.0	490.0	784.0	1117.2

コミュニティ道路の構造

——シケイン, ランブルストリップ,
および歩道幅員——

I S S N 0 3 8 6 - 5 8 7 8

土木研究所資料第2595号

昭和63年2月(1988)

神崎紘郎, 山田晴利, 村岡博之

キーワード: コミュニティ道路, シケイン, ランブルストリップ, 歩道幅員,
速度抑制効果

要 旨 本報告書は, コミュニティ道路において自動車の走行速度抑制のために用いられているシケインおよびランブルストリップの構造について検討を行なった結果と歩道幅員について基礎的な分析を行なった結果とをとりまとめたものである。

郵便はがき

40円切
手
下
さ
は
い
っ
°
て

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所

新交通研究室 御中

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 00008

土木研究所資料第2595号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏名

