



道路走行シミュレータに関する 共同研究報告書 (その2)

平成4年3月

建設省土木研究所
財団法人日本自動車研究所

Copyright © (1992) 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、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

道路走行シミュレータに関する 共同研究報告書(その2)

建設省土木研究所

道路部 部長
道路交通総括研究官
道路研究室長
" 研究員
" 研究員
"

柴田 正雄
神崎 紘郎
松村 哲男
岡 邦彦
今長 信浩
池原 圭一

(財)日本自動車研究所

研究担当理事
研究主管主任技術研究員
第二研究部技術研究員
" 技術研究員
" 副研究員

岩元 貞雄
平松 金雄
佐藤 健治
相馬 仁
宇野 宏

要 旨

本報告は、建設省土木研究所と(財)日本自動車研究所との共同研究として平成2年度から平成4年度までの予定で研究を進めている「道路走行シミュレータに関する研究」について、平成3年度実施分の成果をとりまとめたものである。

本共同研究は、道路走行シミュレータの開発にあたって必要となる車両運動方程式等について検討を行うものである。そこで本報告書は平成3年度実施分の研究成果として、車内騒音および車内振動の再現範囲と再現レベル、車両運動方程式の性能の検証方法、および道路の幾何構造に関する実験用データベースの基礎となる道路構造データと道路付属施設等の背景データなどについて検討した結果をとりまとめたものである。

キーワード：シミュレータ、車両、運動、道路、構造、方程式、データ、走行

－ 目 次 －

1. はじめに	
1.1 共同研究の目的	1
1.2 共同研究の内容	1
2. 道路走行シミュレータにおけるハード機能に関する検討	
2.1 機械機能に関する検討	4
2.2 画像処理装置に関する検討	7
3. 道路走行シミュレータにおけるソフト機能に関する検討	
3.1 車両運動方程式に関する検討	10
3.2 道路構造データに関する検討	14
3.3 背景データに関する検討	19
4. おわりに	20
巻末資料－1	21
巻末資料－2	30
参考文献	51

1. はじめに

1.1 共同研究の目的

近年、道路交通の増大及び運転者の高齢化や女性ドライバーの増加に伴って、道路に対するニーズも多様化してきており、中でも質的な安全性、快適性に優れた道路の整備が強く要求されている。また、都市化の進展により道路の構造が益々複雑化するなかで、より一層安全性、快適性に優れた道路整備の必要性が求められている。

このような社会的要請に対して、従来の実車を用いた現場走行実験や試験走路での実物大道路模型実験だけでは設定条件、被験者等に制約があり、特に高速走行時における各種多様な実験、高齢者・女性・身体障害者を被験者とした実験、人間工学的指標の評価に関する実験等においては被験者の安全性や実験条件の再現性に問題が多く、実施が困難なものとなっている。

そこで、実際走行によるデータ収集が困難な実験についても安全性と再現性を確保しながら広範囲の条件のもとで精度良く実験を行う手段として、道路走行シミュレータの開発が必要である。道路走行シミュレータにおいては、被験者が模擬運転席から見える道路状況に従って、ハンドルやブレーキなどの運転操作を行うが、そのときの道路状況は時々刻々における被験者の運転操作に従った車両の位置や走行速度をもとに計算されたものである必要がある。このようなことから、道路走行シミュレータの開発にあたっては、ハンドルやブレーキなどの運転操作に従った車両の位置や速度を計算するために必要な車両運動方程式等を検討することを目的として平成2年度から3ヶ年計画で共同研究を開始した。

1.2 共同研究の内容

本共同研究では、車両の挙動に関する基礎資料をもとに、開発された車両運動方程式プログラムの再現範囲・再現レベル等に関してプログラムの妥当性を検討するとともに、道路走行シミュレータを具体的に開発する際に必要となる道路走行シミュレータにおけるハード機能とソフト機能に関する検討を行う。また、新しい車両特性（ABS、4WS、TCLなど）に関する車両運動模擬の可能性について検討を行う。なお、平成2年度～平成4年度の3年間にわたる共同研究の研究項目としては、表-1.1に示すとおりである。また、共同研究の研究項目のフローは図-1.1に示すとおりである。

表-1.1 研究項目および実施年度

研 究 項 目	実 施 年 度		
	2年度	3年度	4年度
(1)道路走行シミュレータにおける車両の挙動に関する検討	—		
(2)道路走行シミュレータにおけるハード機能に関する検討			
(3)道路走行シミュレータにおけるソフト機能に関する検討			
(4)新しい車両特性に関する車両運動模擬の可能性検討			

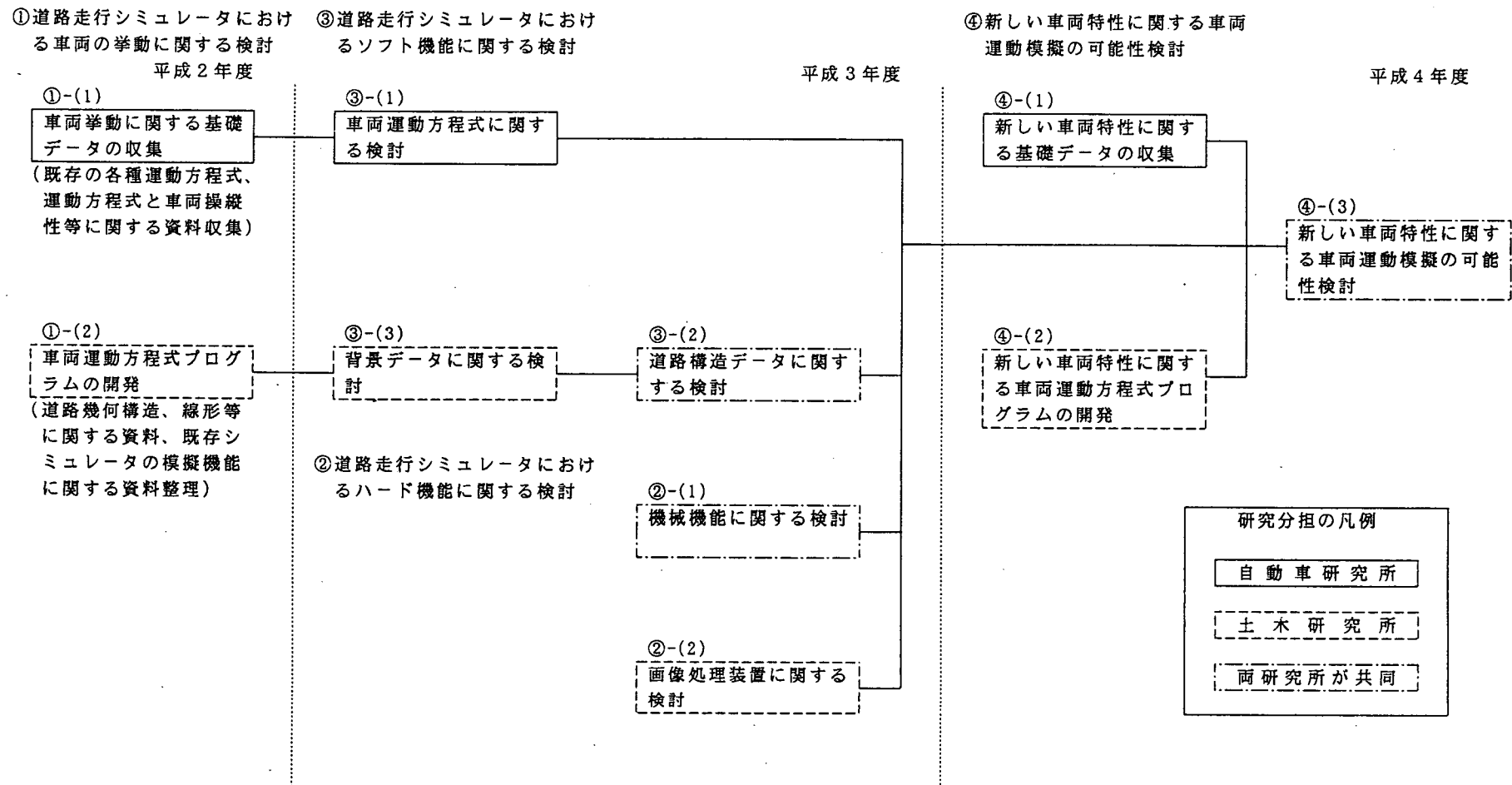


図-1.1 道路走行シミュレータに関する共同研究に関する研究フロー

平成3年度においては、土木研究所と日本自動車研究所は表-1.2に示す研究項目及び研究分担をもとに研究を実施した。

表-1.2 平成3年度の研究細目および研究分担

研 究 項 目	研 究 細 目	研究分担	
		PWRI	JARI
(1)道路走行シミュレータおける ハード機能に関する検討	①機械機能に関する検討	○	◎
	②画像処理装置に関する検討	◎	
(2)道路走行シミュレータおける ソフト機能に関する検討	①車両運動方程式に関する検討		◎
	②道路構造データに関する検討	◎	
	③背景データに関する検討	◎	

(注)PWRI:土木研究所、JARI:日本自動車研究所

◎は主担当、○は副担当を示す。

2 道路走行シミュレータにおけるハード機能に関する検討

2.1 機械機能に関する検討

ここでは乗用車の機械機能として、各種の操作力や車内の騒音・振動などの特性が一般市販車ではどの程度になっているかを調べた。調査対象の車両は排気量 1.8ℓ～3.0ℓの乗用車とし、19台分の特性データを集計した。集計した結果は平均値($\bar{x}$)および標準偏差(σ)の形に整理しており、平均値±1標準偏差の範囲に全体の68%程度が含まれるという考えから、これを排気量 2ℓ級市販車の特性範囲とみなすことにする。

(1) アクセルペダルの操作特性

アクセルペダルを操作した場合、ペダルストロークに対するペダル踏力の特性(ストローク～踏力特性)は図-2.1に示すような傾向が一般的である。このようにバネによる単純な特性を示すことから、“最大ストローク”および“最大ストローク時の踏力”を取り上げ、アクセルペダルの操作特性を表す指標として集計整理すると、それぞれの分布範囲は図-2.2のようになる。

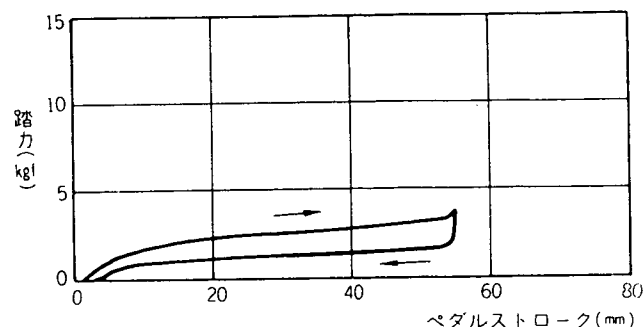


図-2.1 アクセルペダルのストローク～踏力特性 (測定例)

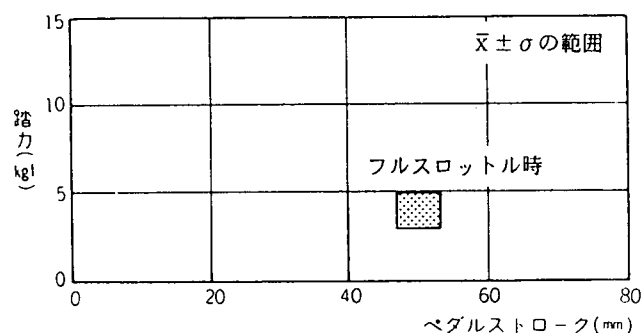


図-2.2 アクセルペダル操作特性の分布範囲

(2) ブレーキペダルの操作特性

乗用車では真空式のブレーキ倍力装置を備えているものが多く、通常の状態ではブレーキペダルを操作するとこの倍力装置が作動するようになっている。ブレーキペダルのストローク～踏力特性は、倍力装置の作動状態で測定すると一般に図-2.3のようになる。この操作特性および走行時の制動特性(踏力に対する減速

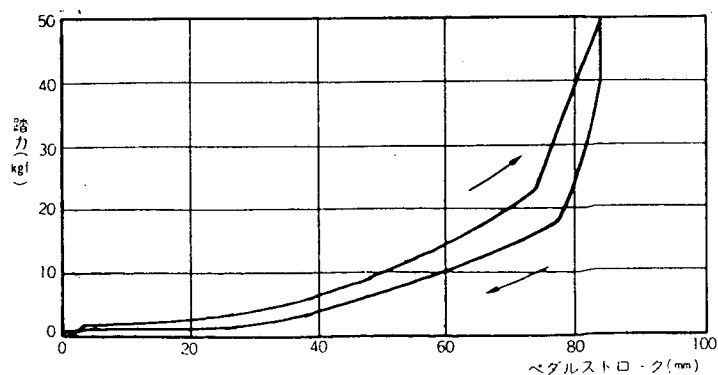


図-2.3 ブレーキペダルのストローク～踏力特性 (測定例)

度の関係で、ブレーキ効力特性とよばれる)から減速度0.3 Gおよび0.6 G制動におけるペダルストロークおよびペダル踏力を指標として集計整理すると、それぞれの分布範囲は図-2.4のようになる。

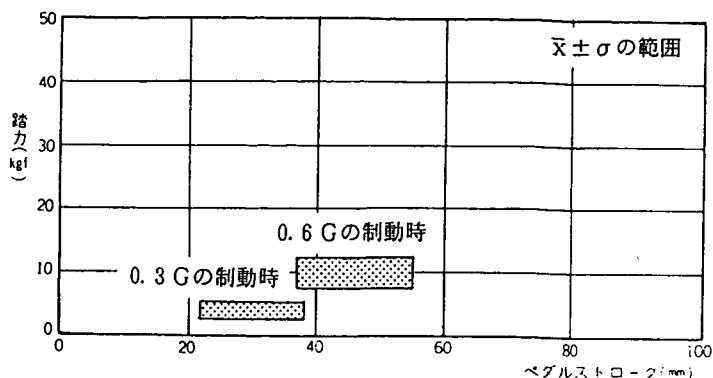


図-2.4 ブレーキペダル操作特性の分布範囲

(3) シフトレバーの操作特性

オートマチックトランスミッション車(AT車)におけるシフトレバーは、それぞれのシフト位置に節度良く操作できるようディテント機構(各シフト位置に安定させる機構)が使われている。それぞれのシフト位置に操作した場合の操作力ピーク値を集計整理すると、操作力の分布範囲は図-2.5のようになる。

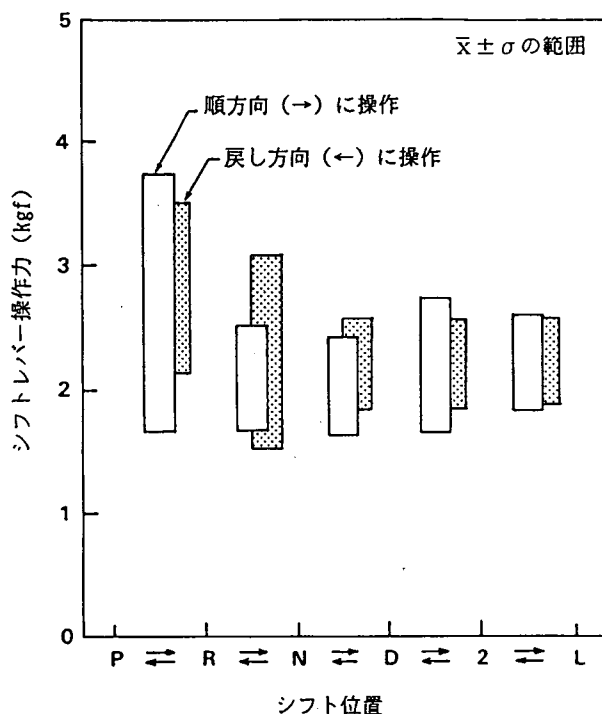


図-2.5 シフトレバー操作特性の分布範囲

(4) 車室内の振動特性

車両の振動特性を調べるための基準凹凸路(JARIテストコース)を走行して測定した車室内の振動特性を集計整理すると図-2.6～図-2.7のようになる。図-2.6は前席シート上の振動レベルであり、シートによる緩衝作用のため図-2.7の前席フロア上のレベルより低くなっている。なお、これらの図において振動レベルを表すdB値は 10^{-5}m/s^2 を0 dBとしており、測定した上下方向の加速度を実効値(RMS値)に変換したものである。実車での測定は、前席フロア上お

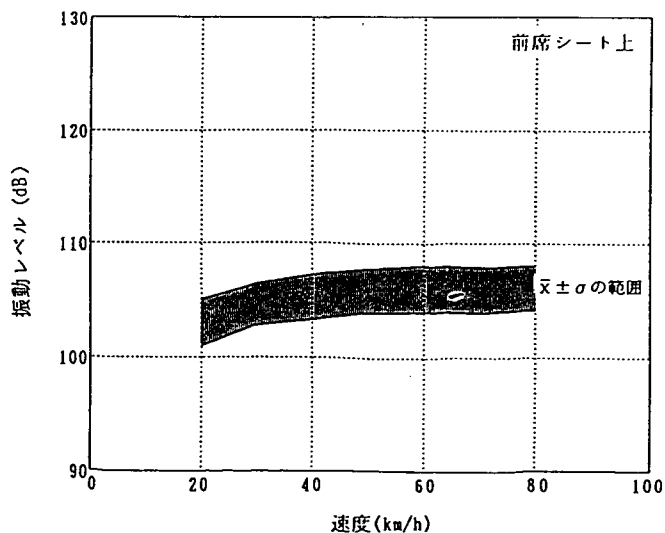


図-2.6 車室内振動レベルの分布範囲(前席シート上)

よび前席シート上ともドライバが着座した場合と同様な条件となるよう特殊な形状の重量物の上に加速度計を設置するなどの工夫をして実施している。

(5) 車室内の騒音特性

車両の室内騒音特性を集計整理すると図-2.8～図-2.9のようになる。図-2.8は精密騒音計のCスケールで測定した結果を集計したものであり、車内音の物理的な大きさとみなすことができる。いっぽう、図-2.9は精密騒音計のAスケールで測定した結果を集計したものであり、人の耳で聴いた音の大きさに近似的に補正されたものである（Aスケール／Cスケールについての詳細は文献3)を参照）。

なお、実車での測定はマイクロフォンを運転席と助手席の中間で耳の高さとなる位置に置いて、ギヤ位置を5速またはDレンジの状態で行っている。

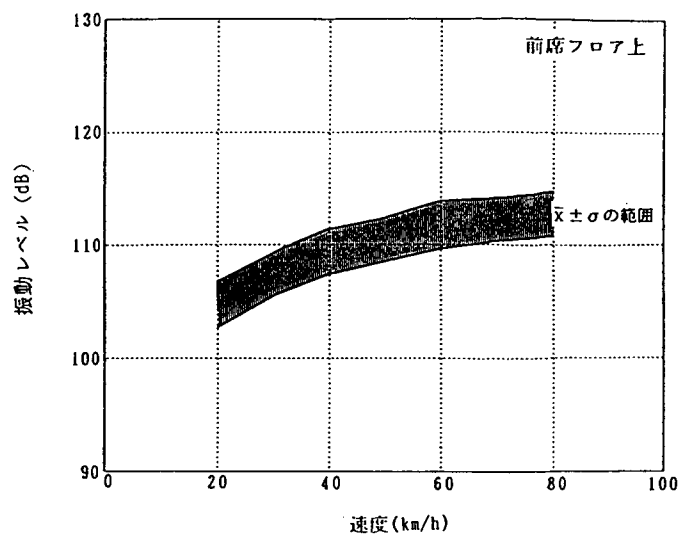


図-2.7 車室内振動レベルの分布範囲（前席フロア上）

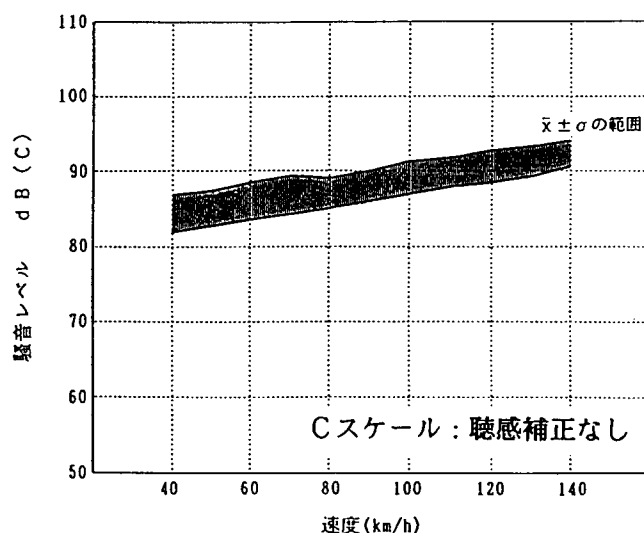


図-2.8 車室内騒音レベルの分布範囲

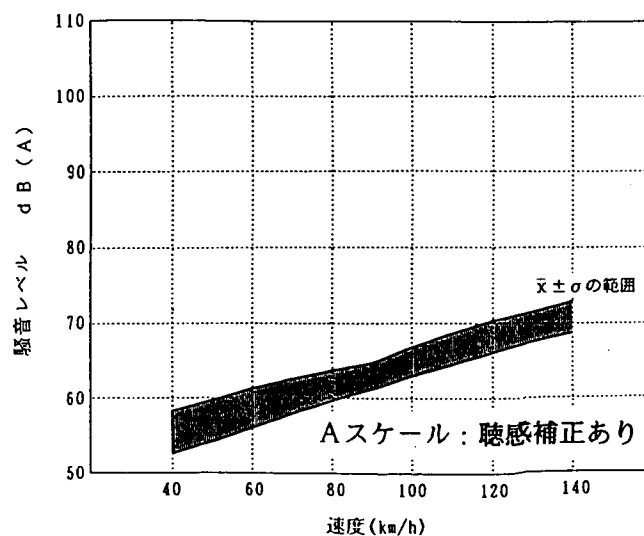


図-2.9 車室内騒音レベルの分布範囲

2.2 画像処理装置に関する検討

道路走行シミュレータの画像処理装置（画像発生装置、画像表示装置、灯火発生装置、特殊効果発生装置）としては、以下の機能を有したものを開発しており、道路の幾何構造等に関する実験を行うための各種実験用データベースを作成するにあたっては、これらの機能を勘案して作成する必要がある。

- ・ 画像更新1/30秒
- ・ 画像表示能力 500平面、他車4台発生可能
- ・ 輝度 $4\text{ft}\cdot\text{L}(=13.7\text{cd}/\text{m}^2)$
- ・ 走査線 1000×1280 画素／画面（解像度 約3分）
- ・ 昼間、薄暮、夜間を再現可能
- ・ テクスチャ模様付加

しかし、当該データベースがこれらのハード機能を厳密に満足するように作成するためにはかなり高度な技術とデータベースの画像平面数の算出という緻密な作業を要する。そこで、画像処理装置のハード機能から規定される制約を比較的容易に把握するために、これらの性能を満足する道路データベースの事例を作成しかつそれを視覚的に表現することにより、実験用データベースを作成する際の一つの目安として活用するものとする。ここでは、上記の性能を満足する事例として、関越トンネルの坑口部を取り上げて検討するものとする。

関越トンネルの坑口部は写真-2.1に示すようにドライバーがスムーズに進入できるように、開口部が大きく開いており、前方に僅かに傾斜し、横長の馬蹄形で緩やかな弧を描き、底部は内側に引き締まっている。そこで、関越トンネルの坑口部を道路技術基準通達集を満足しつつ、かつある程度稠密に再現するために図-2.10のように表現する。この図に示す関越トンネルと同様の坑口部を持つ全長1500m（ただし内部を3分割）における使用平面数（ポリゴン数）の試算を行った。ここで、照明の配置間隔は入り口から500mを10m、それ以外を100mとした。その結果、使用平面数（366）は表示能力（500）以内に収まっており、本機が道路構造に関する実験に要するのに妥当な画像表示能力を有していることが確認された。なお、この結果は将来の実験用データベースにおける画像処理に対する対応性能をマクロ的に検証する際に、有効活用されるものと考えられる。

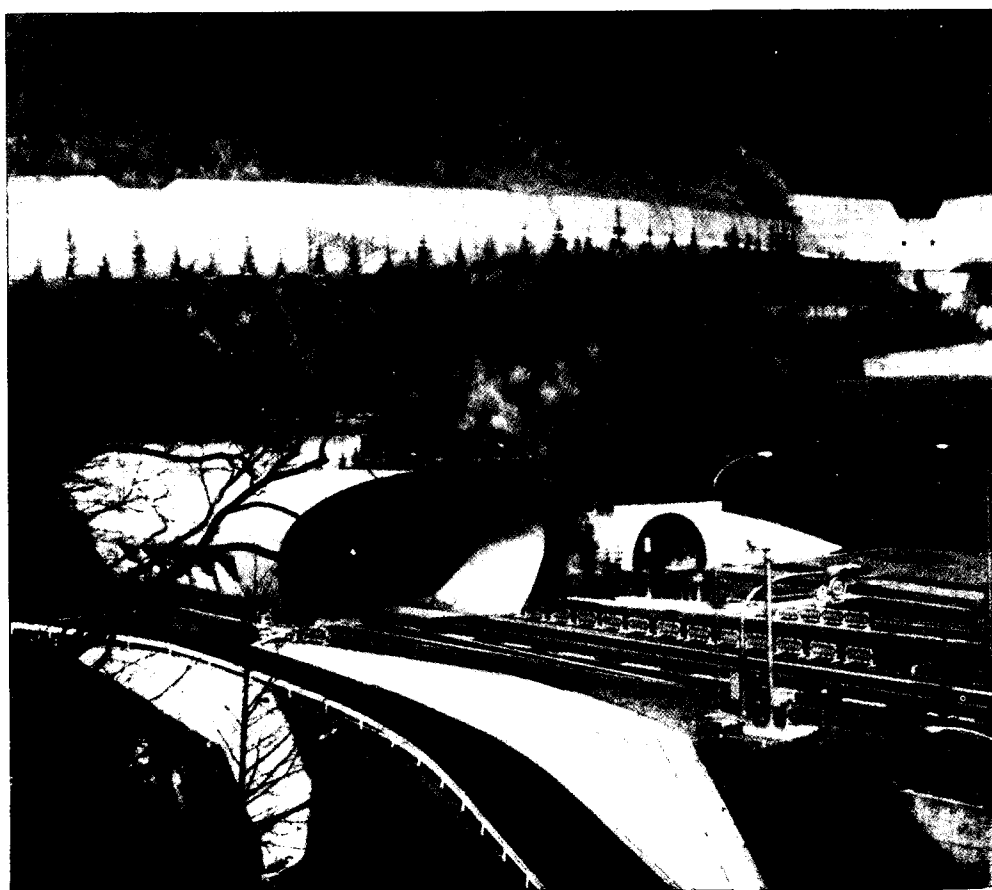
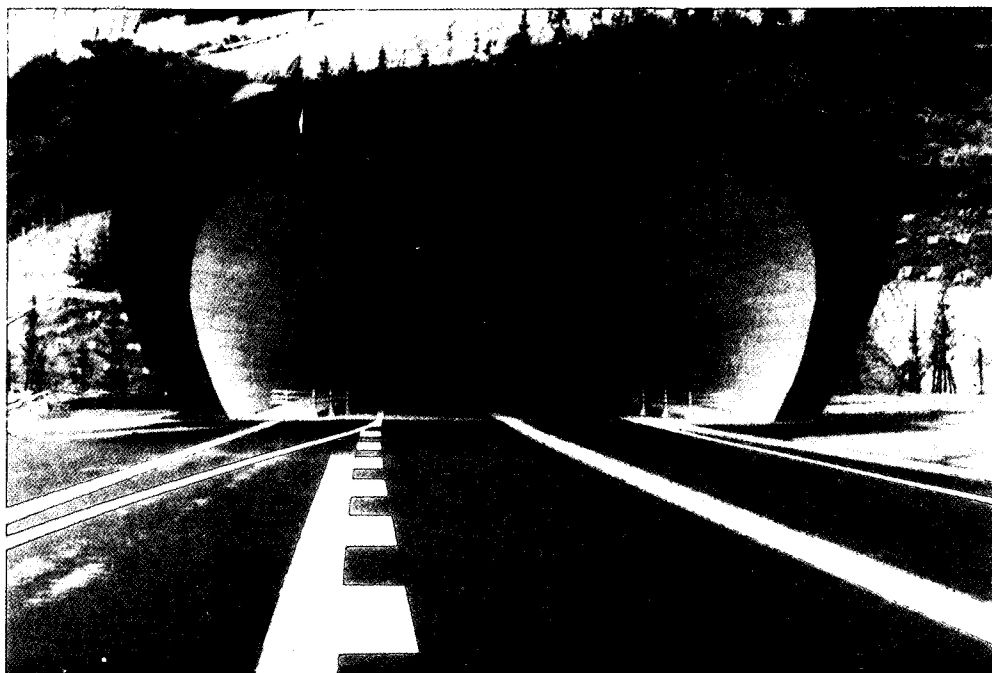


写真-2.1 関越トンネル坑口部

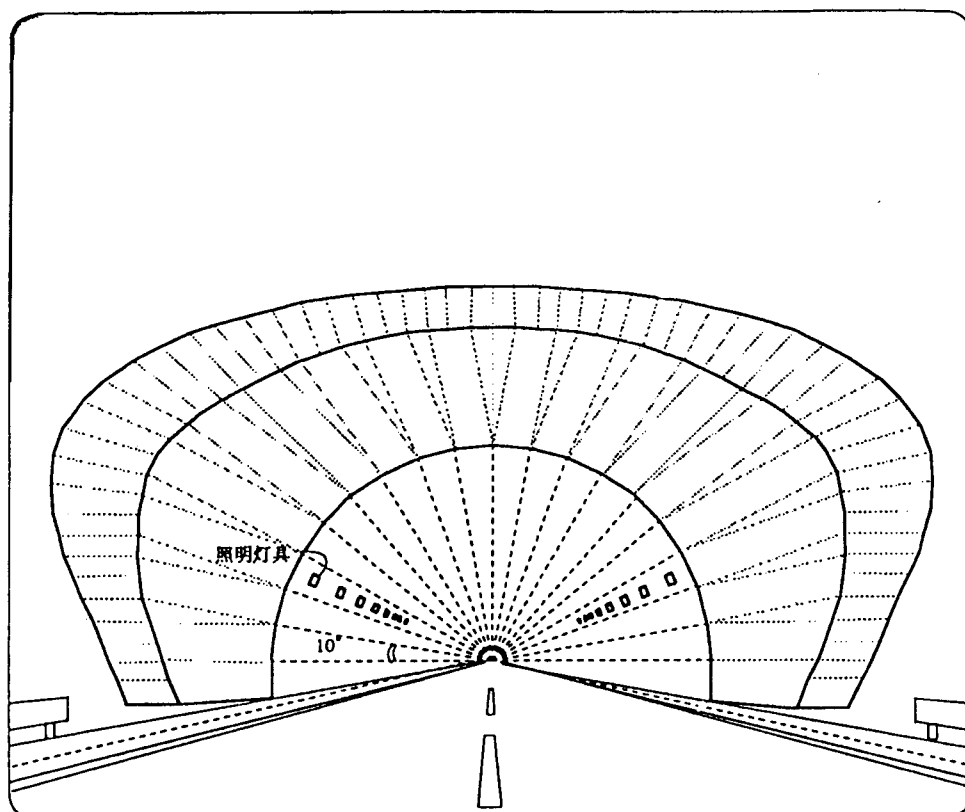


図-2.10 関越トンネル坑口部(平面分割図)

3 道路走行シミュレータにおけるソフト機能に関する検討

3.1 車両運動方程式に関する検討

道路走行シミュレータにおいては、車両運動方程式により模擬した車両運動ができるだけ現実の車両運動を再現していることが望ましい。このような意味で車両運動方程式がどの程度の性能を有しているかを検証する必要があるが、その一つの方法としては、車両運動方程式から模擬された車両運動と実際の車両運動とを比較することである。ここでは、具体例を挙げて検証の方法について示す。

3.1.1 検証方法の概略

車両運動方程式と実車との整合性をみるためには、まず、どのような状況について模擬したり、実験したりすべきか設定する必要がある。とくに車両運動の特性がよく現れる状況を考えなければならない。実車の場合では、いわゆる操安性試験を実施することによって車両運動の特性が測られている。そこで、車両運動方程式を用いてモデル上の操安性試験を行うことにより、この結果と実車の結果とを比較すれば、比較的容易に両者の整合性を検証することができる。操安性試験の一つに車両の動的な特性（ダイナミクス）を調べるためのステップ応答試験があり、このような状況を車両運動方程式においても再現して、実車との整合性を検証してみる。

この場合の検証方法のフローは図-3.1のようになる。まず、車両運動方程式を利用して計算機上で車両運動の模擬を行う。その結果として、ステップ状の操舵を加えたときの車両応答を求める。この結果と実車実験より求めた車両応答とを比較することによって、両者の整合性が検討できる。以下では、車両応答としてヨー角速度の時間波形を用いて具体的な方法の一例について述べる。

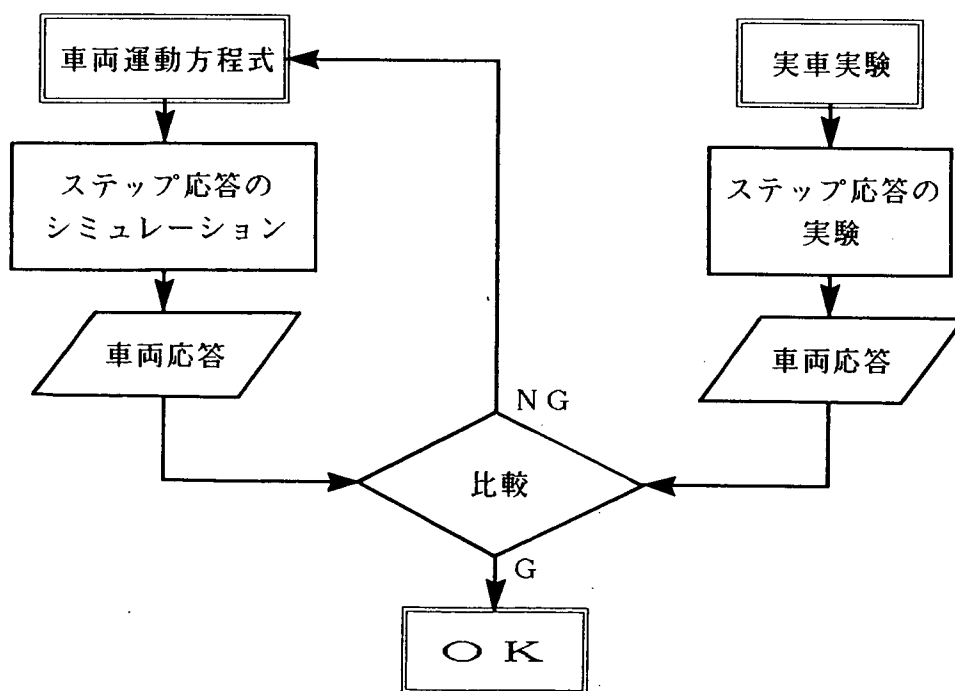


図-3.1 車両運動方程式の検証方法

3.1.2 車両運動の模擬方法

車両運動方程式を用いて車両運動を模擬する方法について述べる。ここでは一つの例を示すため、つぎに述べるような簡略化した車両運動方程式を用いる。なお、車両運動方程式を規定する座標系は図-3.2に示すとおりである。

車両の横方向およびヨー方向の力の釣り合い式はつぎのとおりである。

$$m(\dot{v} + u\dot{\Psi}) = 2F_{yf} + 2F_{yr}$$

$$J_z\ddot{\Psi} = 2F_{yf}l_f - 2F_{yr}l_r$$

ここで $F_{y\cdot}$ はタイヤから発生する力であり、つぎのようになる。

$$F_{yf} = -C_f \cos(\beta_f + \delta)$$

$$F_{yr} = -C_r \cos\beta_r$$

$$\beta_f = \tan^{-1} \frac{v + l_f \dot{\Psi}}{u} - \delta$$

$$\beta_r = \tan^{-1} \frac{v - l_r \dot{\Psi}}{u}$$

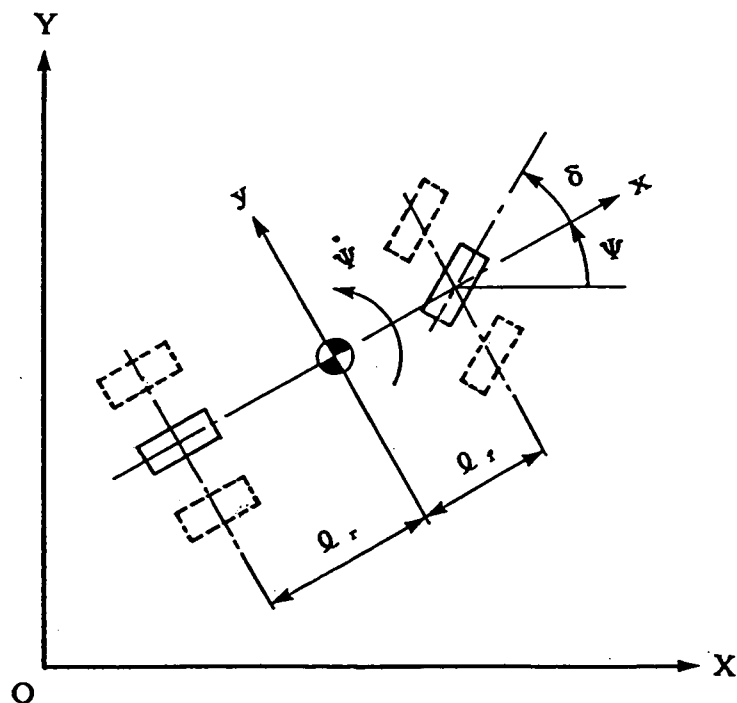


図-3.2 車両運動方程式の座標系

ただし、

- m : 車両の質量
- J_z : 車両のヨー慣性モーメント
- Q_f : 重心から前軸までの距離
- Q_r : 重心から後軸までの距離
- u : 車体前後方向の速度
- v : 車体横方向の速度
- Ψ : 車体のヨー角
- F_{yf} : 前輪における横力
- F_{yr} : 後輪における横力
- C_f : 前タイヤのコーナリングフォース
- C_r : 後タイヤのコーナリングフォース
- β_f : 前輪の横すべり角
- β_r : 後輪の横すべり角
- δ : 前輪の実舵角

これらの車両運動方程式を計算機を用いて数値計算を行う。数値計算の方法としてRunge-Kutta-Gill法を用い、時間きざみは0.01sとする。入力であるステップ状のハンドル角の時間波形を入力して、計算を進める。車両運動の模擬に用いた車両諸元は表-3.1のとおりである。

表-3.1 車両諸元

重量	前 軸 重 量 (kg)	950
	後 軸 重 量 (kg)	815
	総 重 量 (kg)	1765
全	長 (mm)	4690
全	幅 (mm)	1695
軸	距 (mm)	2735
前 軸 輪 距 (mm)	1440	
後 軸 輪 距 (mm)	1455	
前軸懸架装置形式		独立懸架ストラット
後軸懸架装置形式		独立懸架セミトレーリングアーム
舵取り装置形式		ラック&ピニオン
タ イ ヤ 空 気 圧 (kgf/cm ²)	205/65 R15 2.0	
総 排 気 量 (cc)	1998	

巻末資料-1 道路構造座標値の計算方法

1-2 道路構造座標値計算方法

道路構造データの座標値を計算するに当たって、以下の事項を基本とする。

- 1) 道路区間10m刻みに、横断面上の点(A～O)のXYZ系座標値を算出する。
- 2) XYZ系は右手系、XY平面は水平面。
- 3) 平面線形、縦断線形及び横断構造はそれぞれ独立に変化する。
- 4) 道路距離は、XY平面への投影図上での距離とし、この延伸方向をs軸、横断方向をt軸、st平面への垂直軸をh軸とした系を用いる。
- 5) 片勾配は曲率半径に応じて変化するが、自動的な設定はせず、入力する。

計算の各プロセスにおける考え方を、前述の道路構造座標値計算フロー図の項目に従って以下の①～⑧に示す。

① 平面線形変化点データの入力

1) 変化点

平面線形を直線部、クロソイド曲線部、円曲線部に分け、それぞれの始点及び終点を変化点とする。

それぞれの始点及び終点には含まれた区間を基本区間とする。

2) 変化点の曲率半径及び区間長を変化点データとして入力する。

3) 道路全区間の始点のX, Y座標を(0, 0)と設定する。

② 中心線区点、X, Y座標算出

1) 中心線区点

中心線上の10m刻みの点を、中心線区点(H点)とし、このX, Y座標を算出する。

2) 道路全区間の始点において、横断方向をY軸、直進方向をX軸とする。

したがって、始点においては道路とX軸の角度は0(ラジアン)である。

3) 道路とX軸のなす角度については、微小区間における角度の偏位量を累積して求める。

4) 微小区間における角度の偏位量は、当該点における曲率半径より求める。

5) X, Y座標値算出式

基本区間内において、始点から距離Sの区点Oの座標値を (X_0, Y_0) とするとき、距離 $S + \Delta S$ の区点Pの座標値 (X, Y) は次式により求める。

$$X = X_0 + \Delta S \cdot \cos(\theta + \Delta\theta)$$

$$Y = Y_0 + \Delta S \cdot \sin(\theta + \Delta\theta)$$

ここで、 θ : 区点Oにおける道路のX軸からの角度

$$\Delta\theta = \Delta S / R$$

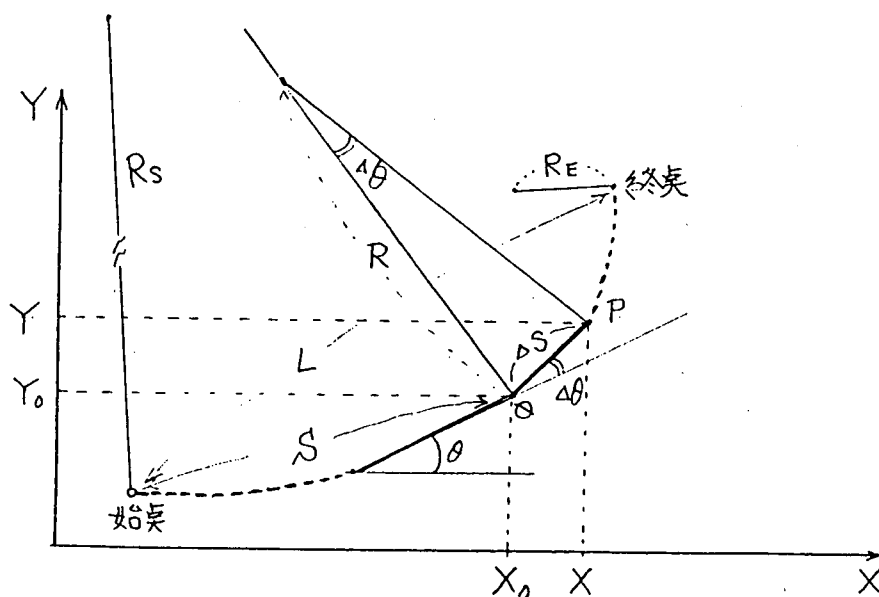
R : 点Oにおける曲率半径で、次式による

$$1/R = (L - S) / L / R_S + S / L / R_E$$

L : 基本区間長

R_S : 基本区間の始点における曲率半径

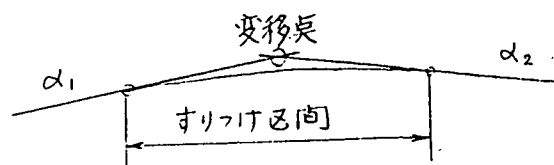
R_E : 基本区間の終点における曲率半径



③ 縦断線形変移点データの入力

1) 変移点

縦断勾配の変移する点を変移点とする。(縦断勾配の変移点前後におけるすりつけ区間の始終点は変移点としない。)



2) 変移点後の勾配及びその勾配区間長を入力する。

3) すりつけ区間は放物線ですりつけを行うこととし、縦断曲線の長さ(すりつけ区間長)を指定し、入力する。ただし、すりつけ区間長として0を入力した場合には、道路構造令に規定する、設計速度120 km/hにおける必要縦断曲線長を算出して用いる。

4) 勾配は下り線の登り勾配をプラスとし、平面距離に対する垂直距離の比を%値で表わす。

5) 道路全区間の始点部には勾配のすりつけ区間を設けない。

6) 道路全区間の始点部のZ座標を指定し、入力する。

④ 中心線区点Z座標算出

1) H点のZ座標を10mおきに算出する。

2) すりつけ区間長は変移点の前後に等距離に設定する。

3) Z座標値算出式

変移始点のZ座標値をZ。とする(すりつけを行う前のZ座標)とき、変移始点からxの距離($x \geq 0$)にある点PのZ座標値Zは以下による。なお、下式において記号は次のとおり。

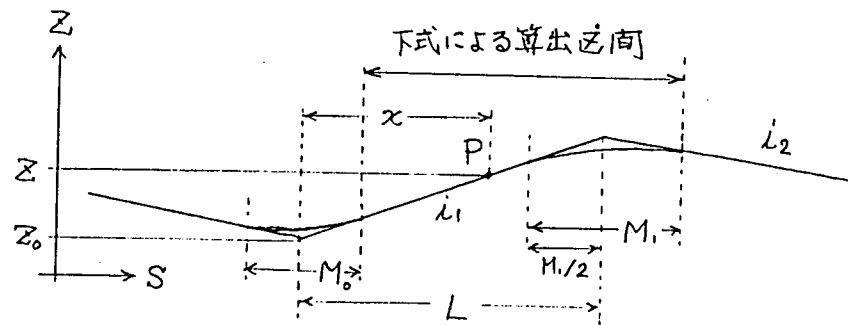
i_1 (%) : 計算区間の縦断勾配

i_2 (%) : 次の区間の縦断勾配

L : 計算区間の区間長(変移始点と変移終点間の距離)

M_0 : 変移始点の前後にとられたすりつけ区間長

M_1 : 変移終点の前後にとられたすりつけ区間長



イ) $x \leq M_0/2$ … 始点の縦断曲線部

手前の区間の算出時に求める。

ロ) $M_0/2 < x \leq (L - M_1/2)$ … 直線部

$$Z = Z_0 + x \cdot i_1 / 100$$

ハ) $(L - M_1/2) < x \leq (L + M_1/2)$ … 終点の縦断曲線部

$$Z = Z_0 + x \cdot i_1 / 100 - (i_1 - i_2) x^2 m / M_1 / 200$$

$$\text{ただし、} x m = x - L + M_1 / 2$$

4) 縦断曲線長 (すりつけ区間長)

走行実験を行うために、すりつけ区間長は任意に指定できるものとするが、標準的な設計とする場合は、設計速度 120 km/h における必要縦断曲線長を用いることとする。

必要縦断曲線長 (道路構造令)

形 状	設計速度 (km/h)	必要縦断曲線長 (m)
凸 型 曲 線 ($i_1 > i_2$)	120	110 ($i_1 - i_2$)
	100	65 ($i_1 - i_2$)
	80	30 ($i_1 - i_2$)
凹 型 曲 線 ($i_1 < i_2$)	120	40 ($i_2 - i_1$)
	100	30 ($i_2 - i_1$)
	80	20 ($i_2 - i_1$)

注) 縦断曲線半径は縦断曲線長に $100 / (i_1 - i_2)$ を乗じて得られる。

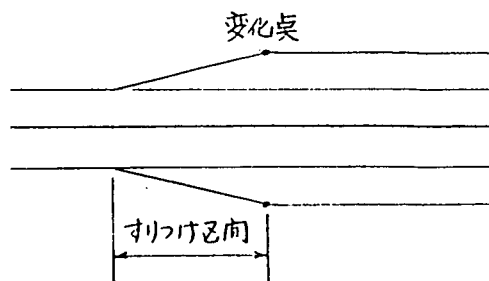
⑤ 横断構造変化点データの入力

1) 変化点

車線数、車線幅員、その他の幅員等が変化する点を変化点とする。（幅員のすりつけ区間は変化点としない。）

2) すりつけ区間は変化点

の手前にとる。



3) 変化点手前のすりつけ率の逆数及び変化点後の横断部要素の巾員（分離帯、側帯、車線…等）及びその区間長を入力する。

4) 基本的に片側3車線を想定し、2車線の場合は第1車線幅員を0と入力する。

注) すりつけ率の逆数は、幅員1mの変化に対するすりつけ区間長[m]で標準値は70[m]。

⑥ A～O点 X, Y座標算出

1) A～O点のX, Y座標を10m刻みに算出する。

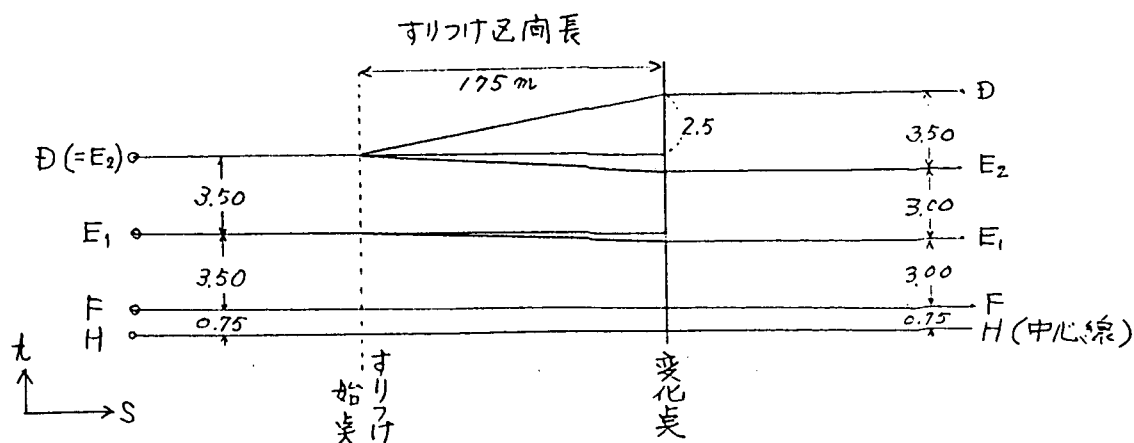
2) 幅員変化点におけるすりつけは、変化点の手前で行い、直線ですりつける。

3) 車道部最外側線（D, L点）が指定したすりつけ率となるようにする。

4) すりつけ例

片側2車線（3.5m + 3.5m）から片側3車線（3.5m + 3.0m + 3.0m）へのすりつけ例

すりつけ率 $1/L = 1/70$ の場合



D点の幅員変化量 ($DH_1 - DH_0$) は2.5mであるので、すりつけ区間長を175 m ($= 2.5m \times L = 2.5 \times 70$) にとる。E₂点 (= D), E₁点の幅員も変化するが、いずれもすりつけ始点を (変化点マイナス175 m) にとる。

5) A～O点 X, Y座標算出式

(例としてD点のX, Y座標算出式を示す)

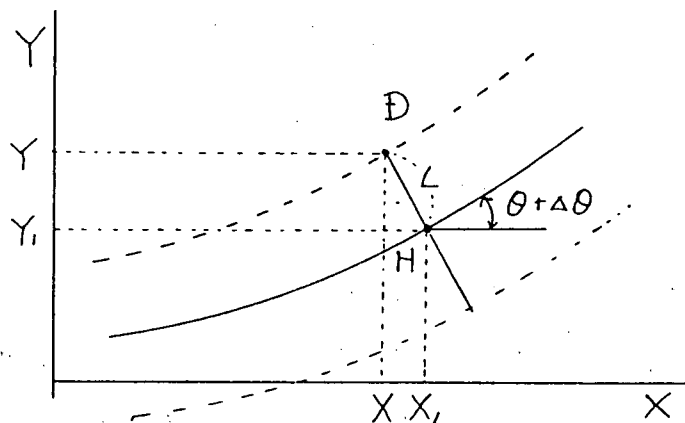
- 中心線上のH点 (X_1, Y_1, Z_1) に対応するD点の座標 (X, Y) を求める。

$$X = X_1 - L \cdot \sin(\theta + \Delta\theta)$$

$$Y = Y_1 + L \cdot \cos(\theta + \Delta\theta)$$

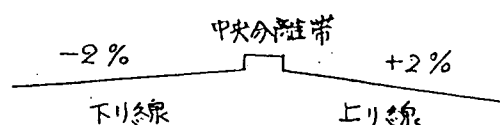
上式において、Lは点Hと点Dの距離で、算出点がA～Gの場合にプラス、I～Oの場合にマイナスをとる。

($\theta + \Delta\theta$) は2の5) で算出した、道路とX軸の間の角度



⑦. 横断勾配、片勾配変化点データの入力

- 1) 平面線形のデータに応じて、必要な片勾配を設定し、入力する。
- 2) 直線部における横断勾配は、下り線-2%、上り線+2%を標準とするが、この入力も行う。



3) 曲線半径と片勾配

道路構造令による設計速度120 km/hの片勾配は曲線半径に応じて以下のとおりである。

曲線半径 (m)	570以上 610未満	610 670	670 760	760 880	880 1030	1030 1280	1280 1600	1600 2300	2300 7500
片 勾 配 (%)	10	9	8	7	6	5	4	3	2

曲線半径7,500 m以上では片勾配を附さず横断勾配(±2%)を附す。

4) 片勾配のすりつけ

片勾配が変化する部分ではすりつけを行うが、すりつけは直線で行い、すりつけ区間長を入力する。

(緩衝縦断曲線については考慮しない。)

5) 片勾配すりつけの条件

「道路構造令の解説と運用」によると片勾配すりつけ条件は以下のように述べられている。

① 片勾配のすりつけは原則として緩和曲線の全長にわたって行う。

(ただし、排水上の③の条件から-2%から+2%へのすりつけは必ずしも全長にわたらない)

② すりつけ区間の最小必要量(LS)は下式による。

$$LS = B \cdot \Delta i / q$$

ここでLS : 片勾配すりつけ長[m]

B : 回転軸から車道縁までの幅[m]

Δi : 片勾配代数差の絶対値[m/m]

q : 所定の片勾配すりつけ率[m/m]

片勾配すりつけ率

設 計 速 度 [km/h]	120	100	80
すりつけ率 [m/m]	1/200	1/175	1/150

③ 排水のために勾配0前後の区間を極力少なくする必要があり以下のようにする。

- 直線部の横断勾配が-2%であるとき、20m区間で-2%から0迄すりつくようにする(回転軸から車道縁まで1車線幅の場合)。
- 回転軸から車道縁までの距離が1車線を超える場合には、上の規定すりつけ長に次の倍率をかけた長さをとる。

1.5 車線	1.2 倍
2 車線	1.5 倍
3 車線	2 倍

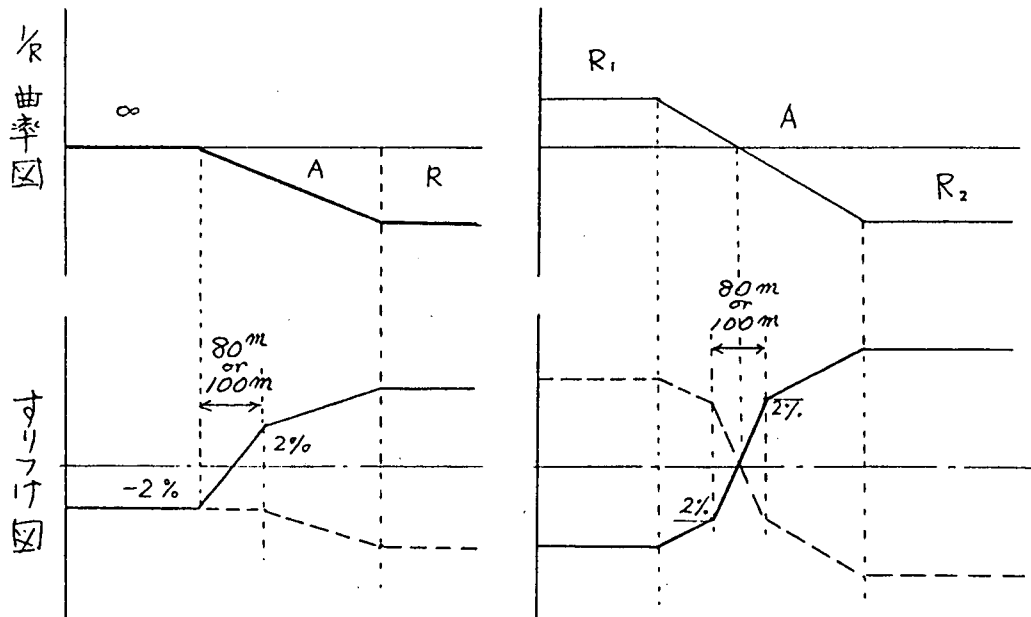
6) 仮想道路区間設計例における適用

仮想道路区間は片側2車線又は3車線で、片勾配が0付近をとる場合は

- 直線部 — 緩和曲線部 — 円曲線部
- 円曲線部 — 背向緩和曲線部 — 円曲線部

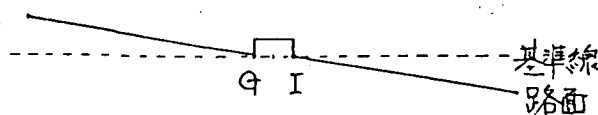
の2ケースがある。

−2%から2%までのすりつけ区間長は、5)の③に準ずる日本道路公団の規定により、2車線区間では80m、3車線区間では100mとし、下図のようにした。

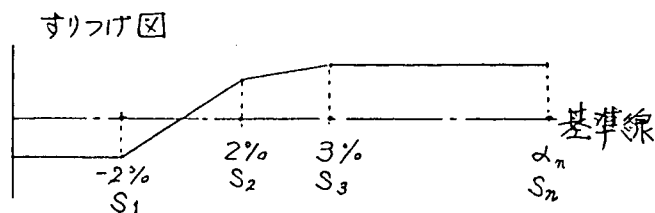


⑧ A～O点 Z座標算出

1) 横断勾配及び片勾配の基準点はG点及びI点（分離帯の基部）とする。（日本道路公団の標準による）



2) 横断・片勾配のすりつけ部区間長は条件として入力し、直線で結ぶ。



3) A～O点 Z座標算出式

4の3)で算出した点PのZ座標値(Z)を、G点、I点のZ座標値とする。

片勾配 α (%)の場合、D点のZ座標値(Z_0)は次式による。

$$Z_0 = Z + W \cdot \alpha / 100$$

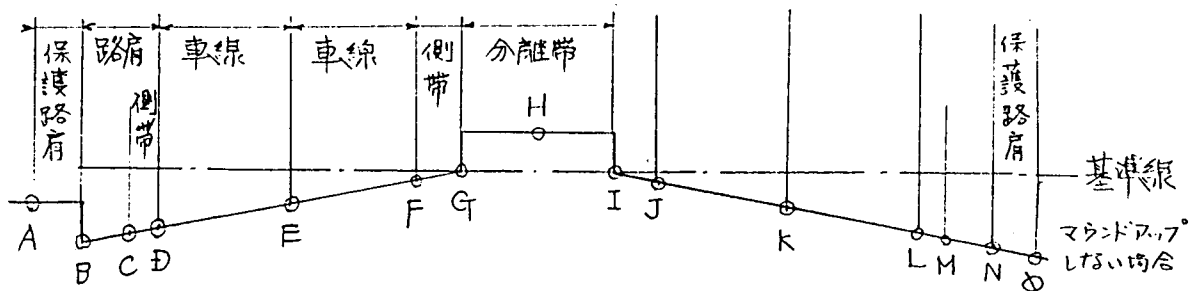
ここでWはG点とD点(A～F点)の距離、もしくはI点と(J～O点)の距離で、前者をプラス、後者をマイナスとする。

なお α については、下り方向に向かって時計回りにプラスをとる。

4) マウンドアップ

分離帯及び保護路肩については日本道路公団の標準例に準じて25cmのマウンドアップを行う。

また、Z座標は下図のポイントを示す値とする。

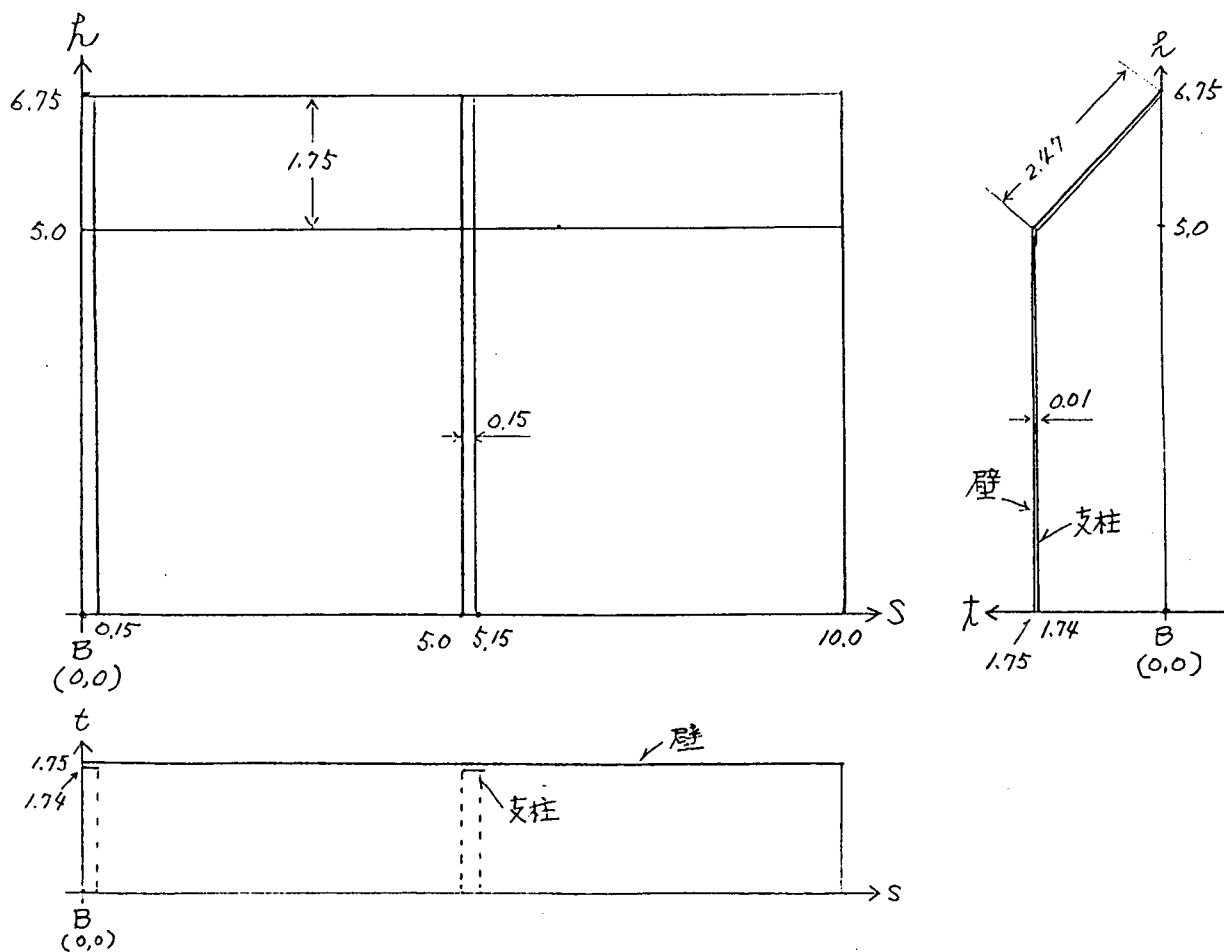


- 保護路肩面、分離帯上面は片勾配の値にかかわらず水平(横断方向)にする。
- B点G点などはZ座標が2種必要だが、路面上の点のみを算出する。

巻末資料－2 道路附属施設等の表現法

1) 遮音壁

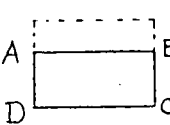
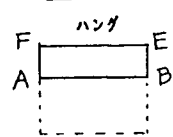
- ① 垂直な壁構造が主であるが、最近見られる上部を内側に傾けた形状とする。
- ② 上記形状は、垂直部壁高さが5 m以上の場合にとられるのでこれに準ずる。
- ③ 一般には数10mに渡って連続設置するので連続設置できるデータを作成するものとし、長さ10.0mのデータを作成する。
- ④ 壁面は一般に、車道部から1.75m離れた保護路肩部に設置しておりこれに準ずる（B点を基準点とする）。
- ⑤ 遮音板は4 m×0.5 mで4 mおきに支柱が入るが、板は表現せず、支柱を5 mおきに配置する。
- ⑥ 壁の厚み、支柱の厚みは表現しない。



基準点をB点（上り線の場合はN点）とする。

10mあたり6ポリゴン

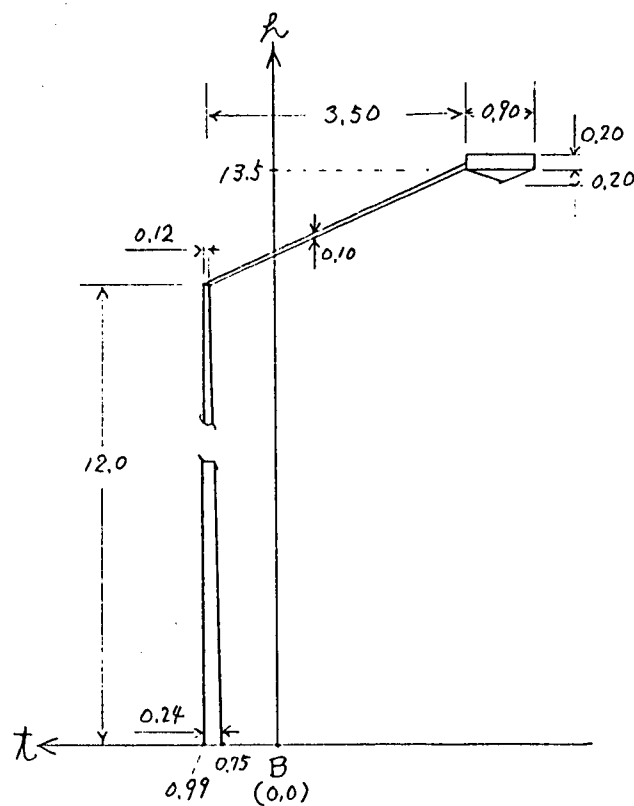
遮音壁データ

点 s t h					点 s t h						
	壁・垂直	A	0	1.75	5.0		壁・ハンダ	A	0	1.75	5.0
		B	10.0	1.75	5.0			B	10.0	1.75	5.0
		C	10.0	1.75	0			E	10.0	0	6.75
		D	0	1.75	0			F	0	0	6.75

支柱 1					支柱 2			
点 s t h					s	t	h	
	支柱	a	0	0	6.74	5.0	0	6.74
		b	0.15	0	6.74	5.15	0	6.74
		c	0.15	1.74	4.99	5.15	1.74	4.99
		d	0	1.74	4.99	5.0	1.74	4.99
		e	0	1.74	0	5.0	1.74	0
		f	0.15	1.74	0	5.15	1.74	0

2) 道路照明施設

- ① 照明柱にはテーパーポールが用いられているが、曲線の再現はしない。
- ② 灯器の高さ、配置間隔は車道幅員に左右され、路肩巾員により張出長が変わるが灯器高さ13.5m、張出長3.5 mとする。
- ③ 灯器部には、それらしい形状を付加しておく。
- ④ 車道部から0.75m離れた設置とする。(B点又はN点を基準点とする)
- ⑤ t h平面上で表現し、厚みは再現しない。

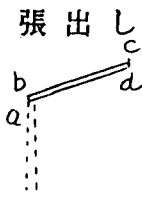


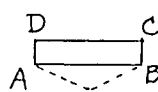
基準点をB点(上り線の場合はN点)とする。

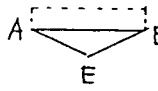
1基当り4ポリゴン

道路照明施設データ

	点	s	t	h
	a	0	0.93	12.0
	b	0	0.81	12.0
	c	0	0.75	0
	d	0	0.99	0

	点	s	t	h
	a	0	0.93	12.0
	b	0	0.93	12.1
	c	0	-2.57	13.6
	d	0	-2.57	13.5

	点	s	t	h
	A	0	-2.57	13.5
	B	0	-3.47	13.5
	C	0	-3.47	13.7
	D	0	-2.57	13.7

	点	s	t	h
	A	0	-2.57	13.5
	B	0	-3.47	13.5
	E	0	-3.02	13.5

3) 視線誘導標

① 高速自動車国道上に設置する場合の基準は下の通りである。

	色・配列	直径	設置高さ	位 置	設置間隔
本 線 左 側	白色単眼	10cm	120 cm	建築限界の	最大
中分及び右側	橙色単眼	10cm	90 cm	直 近 外 側	50m

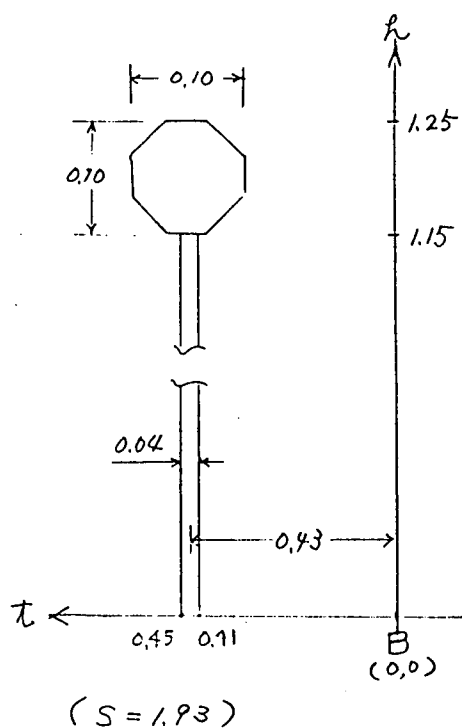
② 一般には防護柵の支柱を利用した設置が多いが単独の支柱を用いることもある。支柱は34mmφ（道路公団例）。

③ 本線左側路端の防護柵支柱に設置するものを設計する。

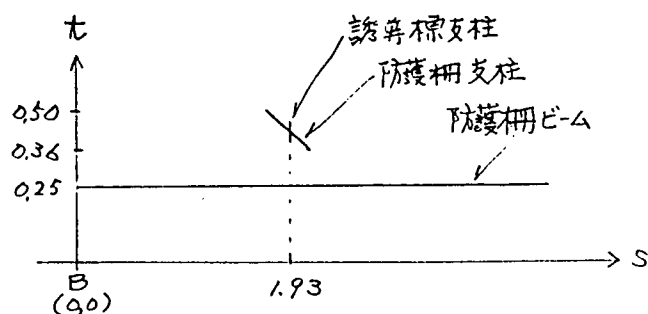
但し、必ずしも防護柵があるとは限らないので視線誘導標の支柱長は120 cm高になるように設計しておく。

④ 反射面を道路に直角に配置する。

⑤ t h 平面上で表現し厚みは再現しない。



防護柵と合体配置の場合

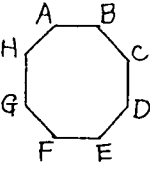


基準点をB点（上り線の場合はN点）とする。

1基あたり4ポリゴン

視線誘導標データ

	点	s	t	h
支柱	a	1.93	0.45	1.15
	b	1.93	0.41	1.15
	c	1.93	0.41	0
	d	1.93	0.45	0

	点	s	t	h
	A	1.93	0.45	1.25
	B	1.93	0.41	1.25
	C	1.93	0.38	1.22
	D	1.93	0.48	1.22
	E	1.93	0.48	1.18
	F	1.93	0.38	1.18
	G	1.93	0.41	1.15
	H	1.93	0.45	1.15

(1) 案内標識

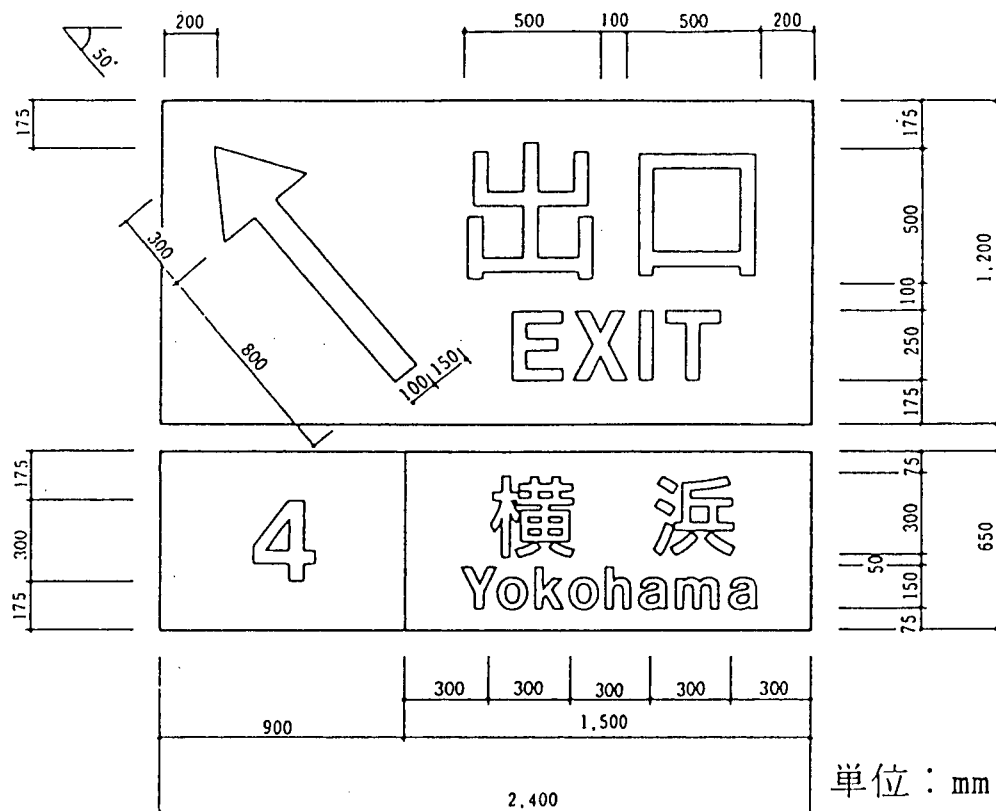
-
- Technical drawing showing the dimensions and components of a door and window assembly. The drawing includes a side elevation of the door and window, a top view of the door, and a table of dimensions.
- Dimensions:**
- Door height: 2.0
 - Door width: 2.4
 - Window height: 0.65
 - Window width: 1.5
 - Door frame width: 0.17
 - Door frame height: 1.2
 - Door frame depth: 0.27
 - Door frame offset: 0.60
 - Door frame offset: 0.20
 - Door frame offset: 0.15
 - Door frame offset: 0.05
 - Door frame offset: 0.04
- Labels:**
- 出 (EXIT)
 - 白 (White)
 - 緑 (Green)
 - 灰 (Gray)
 - 柱 (Column)
 - 梁 (Beam)
 - 板 (Plate)
 - 裏面 (Back side)
 - 表面 (Front side)
- | | 日本字 | 英字 |
|-----|------|------|
| 文字高 | 0.50 | 0.25 |
| 太さ | 0.05 | 0.04 |

1 基あたり 29 ポリゴン

文字記号 23 (矢印2、出口10、EXIT8、「4」3)

案内標識表示文字・記号の標準例

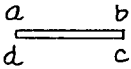
出口 (113-A)

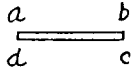


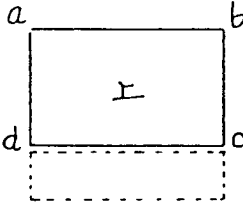
案内標識データ

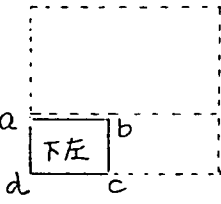
[m]

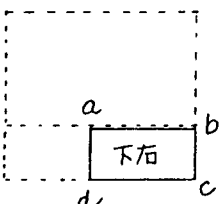
	点	s	t	h
柱 	a	0	0.87	7.0
	b	0	0.60	7.0
	c	0	0.60	0
	d	0	0.87	0

	点	s	t	h
上 梁 	a	0	0.60	6.50
	b	0	-4.0	6.50
	c	0	-4.0	6.33
	d	0	0.60	6.33

	点	s	t	h
下 梁 	a	0	0.60	5.40
	b	0	-4.0	5.40
	c	0	-4.0	5.23
	d	0	0.60	5.23

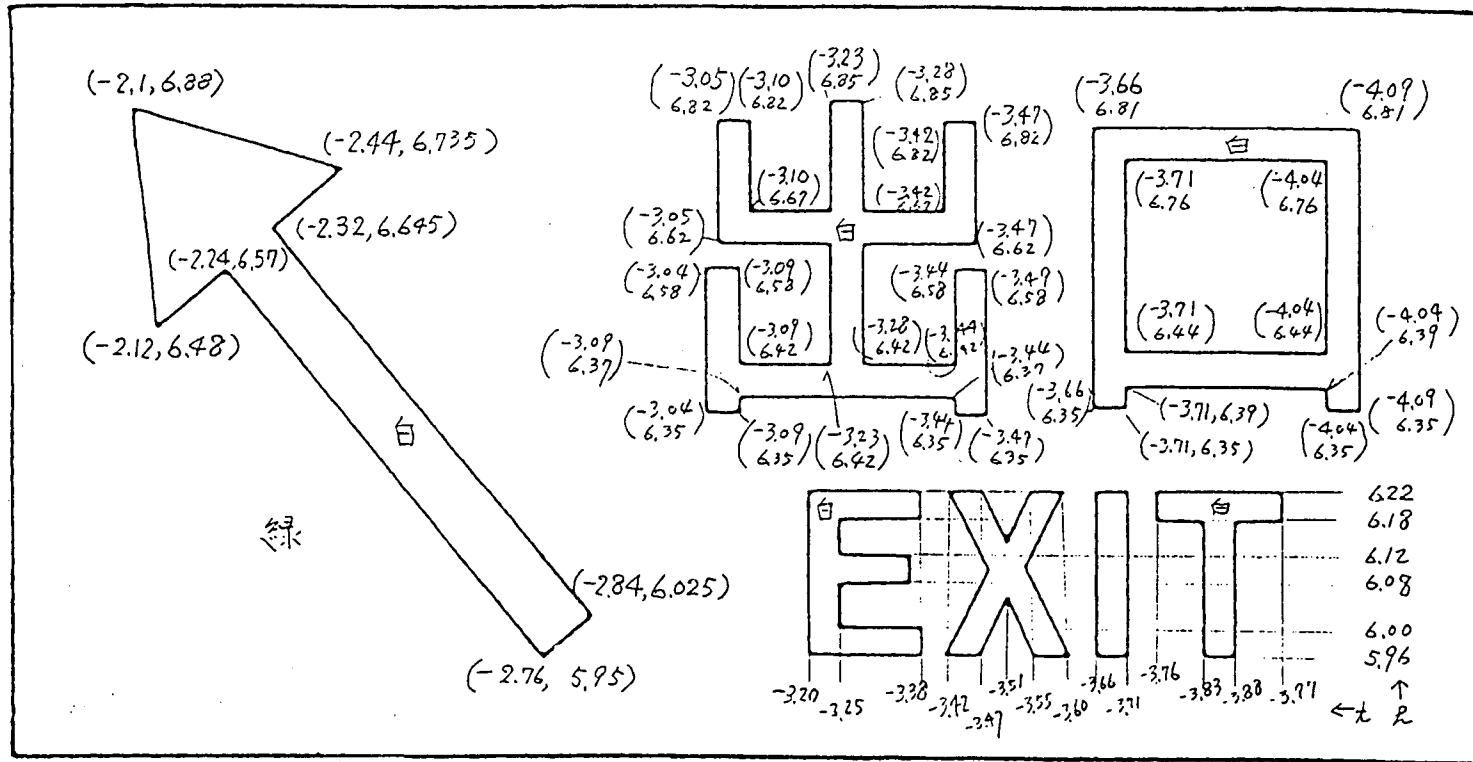
	点	s	t	h
標 示 板 上 	a	-0.2	-1.9	7.0
	b	-0.2	-4.3	7.0
	c	-0.2	-4.3	5.8
	d	-0.2	-1.9	5.8

	点	s	t	h
標 示 板 下左 	a	-0.2	-1.9	5.65
	b	-0.2	-2.8	5.65
	c	-0.2	-2.8	5.0
	d	-0.2	-1.9	5.0

	点	s	t	h
標 示 板 下右 	a	-0.2	-2.8	5.65
	b	-0.2	-4.3	5.65
	c	-0.2	-4.3	5.0
	d	-0.2	-2.8	5.0

(-1.9, 7.0)

(-4.3, 7.0)



案内標識表示部データ

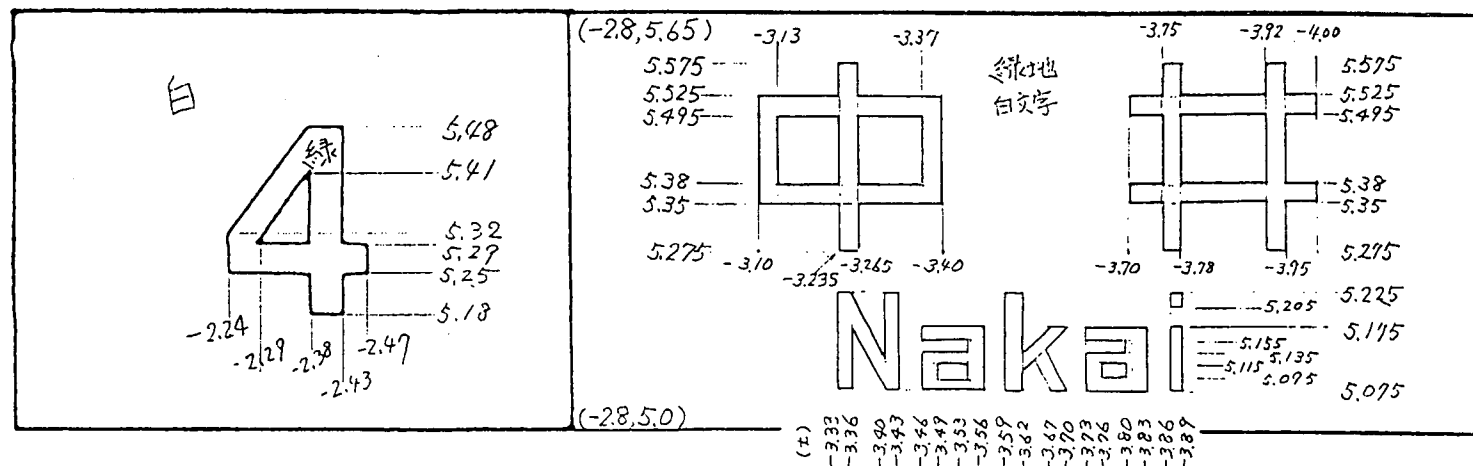
-39-

(-1.9, 5.8)

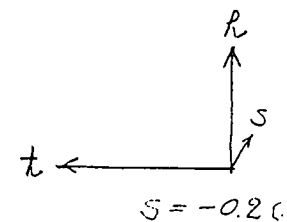
(-4.3, 5.8)

(-1.9, 5.65)

(-4.3, 5.65)



(t, R) または (R, t) を示す

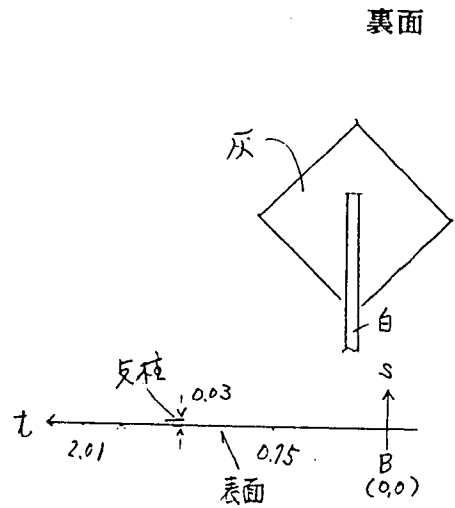
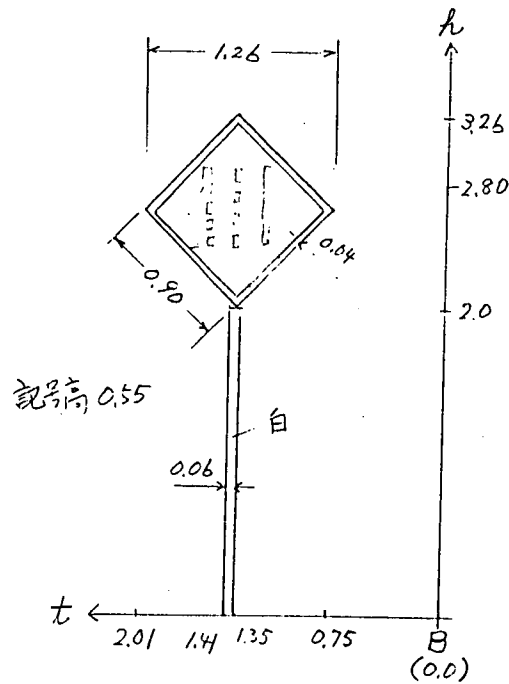


(-1.9, 5.0)

(-4.3, 5.0)

(2) 警戒標識「車線数減少(211)」

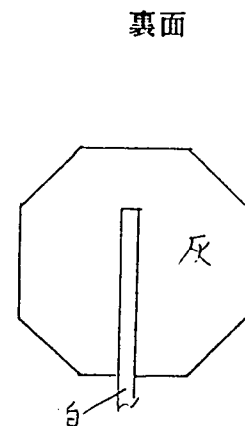
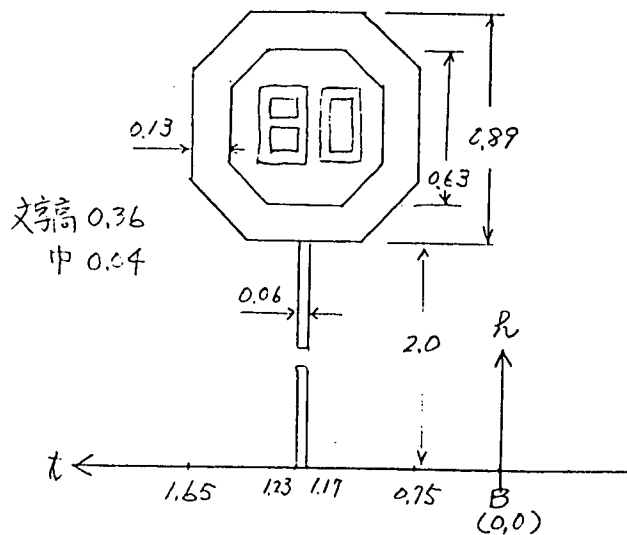
- ① 路側式、板下高2.0 m、拡大率2.0 を用いる。(道公基準)
- ② 防護柵より0.5 m外側に標示板を設置しており、これに準ずる。



1基当り 14 ポリゴン
(内記号 11ポリゴン) ● B点 (N点) 基準

(3) 規制標識

- ① 路側式、板下高2.0 m、拡大率1.5 を用いる (道公基準)。

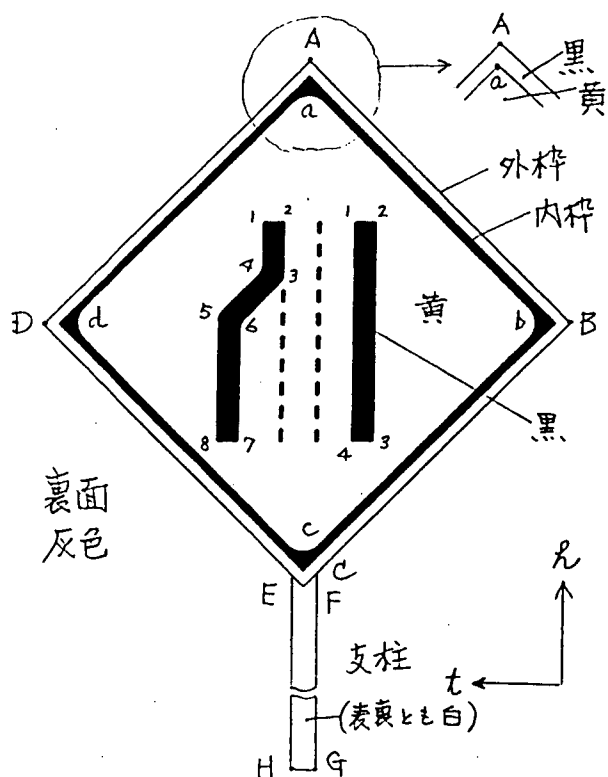


1基当り 12 ポリゴン
(内文字 5ポリゴン)

● B点 (N点) 基準

車線数減少 (211) データ

[m]

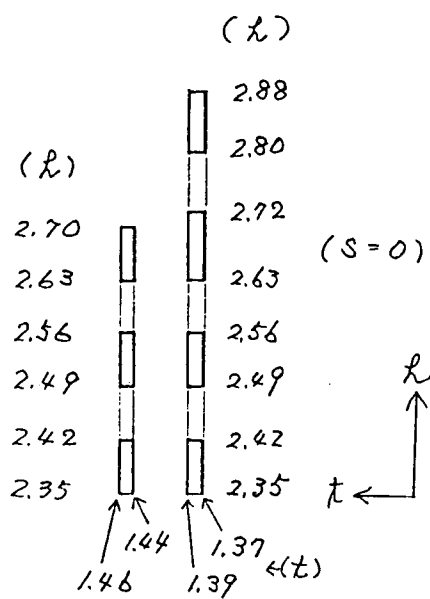


	点	s	t	h
外	A	0	1.38	3.26
	B	0	0.75	2.63
	C	0	1.38	2.00
	D	0	2.01	2.63
枠	a	0	1.38	3.21
	b	0	0.80	2.63
	c	0	1.38	2.05
	d	0	1.96	2.63
支	E	0.03	1.41	2.80
	F	0.03	1.35	2.80
	G	0.03	1.35	0
	H	0.03	1.41	0

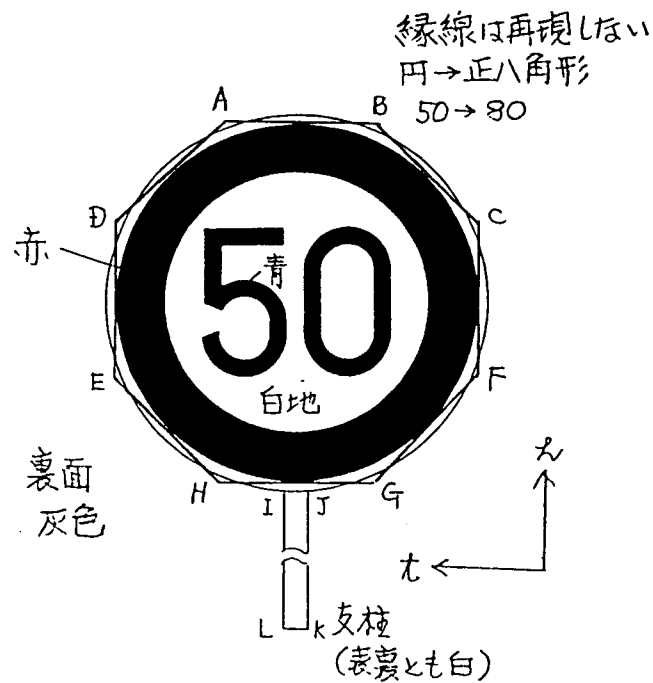
標示記号

	点	s	t	h
右 線	1	0	1.28	2.88
	2	0	1.22	2.88
	3	0	1.22	2.35
	4	0	1.28	2.35
左 線	1	0	1.50	2.88
	2	0	1.44	2.88
	3	0	1.44	2.72
	4	0	1.50	2.74
	5	0	1.62	2.65
	6	0	1.56	2.63
	7	0	1.56	2.35
	8	0	1.62	2.35

車線境界線は下図のように省略



最高速度（323）データ



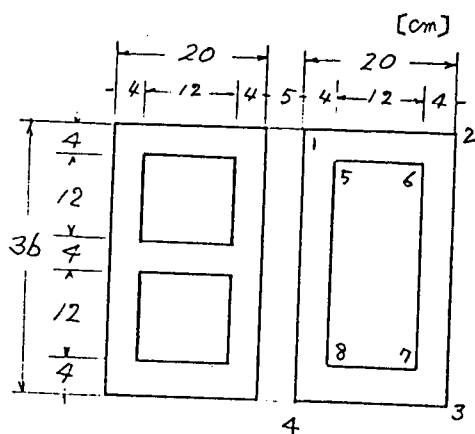
[m]

	点	s	t	h
支	I	0.03	1.225	2.63
	J	0.03	1.165	2.63
	K	0.03	1.165	0
柱	L	0.03	1.225	0

	点	s	t	h
外 円	A	0	1.38	2.89
	B	0	1.01	2.89
	C	0	0.75	2.63
	D	0	1.64	2.63
	E	0	1.64	2.26
	F	0	0.75	2.26
	G	0	1.01	2.00
	H	0	1.38	2.00

	点	s	t	h
内 円	a	0	1.325	2.76
	b	0	1.065	2.76
	c	0	0.88	2.575
	d	0	1.51	2.575
	e	0	1.51	2.315
	f	0	0.88	2.315
	g	0	1.065	2.13
	h	0	1.325	2.13

最高速度、標示記号 (80) データ



[m]

	点	s	t	h
	1	0	1.17	2.62
	2	0	0.97	2.62
	3	0	0.97	2.26
	4	0	1.17	2.26
	5	0	1.13	2.58
	6	0	1.01	2.58
	7	0	1.01	2.30
	8	0	1.13	2.30

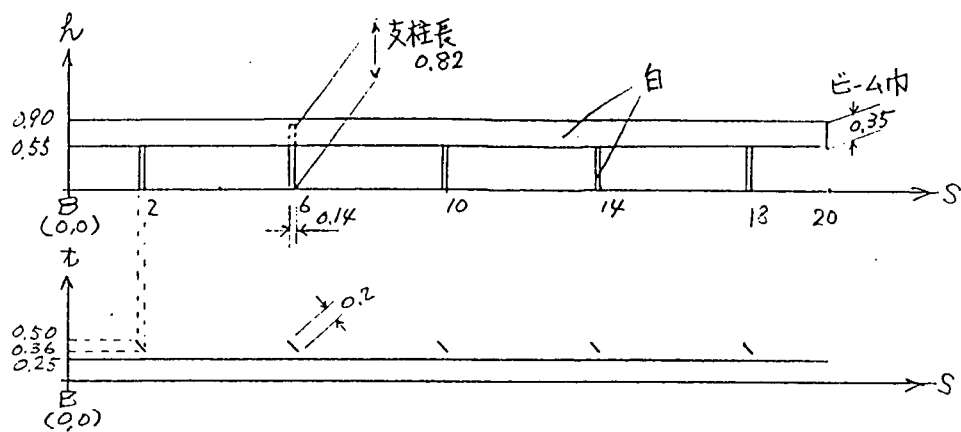
	点	s	t	h
	1	0	1.42	2.62
	2	0	1.22	2.62
	3	0	1.22	2.26
	4	0	1.42	2.26

	点	s	t	h
	1	0	1.38	2.58
	2	0	1.26	2.58
	3	0	1.26	2.46
	4	0	1.38	2.46
	5	0	1.38	2.42
	6	0	1.26	2.42
	7	0	1.26	2.30
	8	0	1.38	2.30

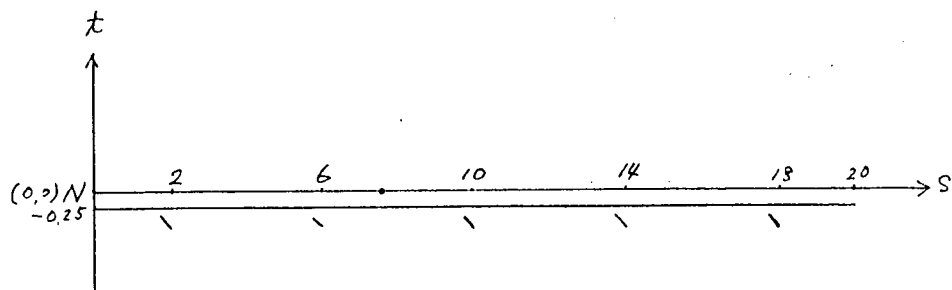
5) 防護柵

- ① 路側用、分離帯用、歩道用の3用途、ガードレール、ガードパイプ、ガードケーブル、ボックスビーム、オートガードの5形式があり、各形式にそれぞれ数タイプが設定されているが、作成対象は路側用ガードレールのAタイプとする。
- ② データは、下り線に設置する場合と上り線に設置する場合の2セットを作成する。(距離程の増える方向に向かって設置したとき、ビームが支柱の右側にくるものと左側にくるもの。)
- ③ 一般には数100 mに連続設置するので、連続設置できるデータを作成する。
- ④ したがって端末処理は行わない。
- ⑤ 支柱間隔は標準4.0 m(最大4 m)であるので4 m間隔とする。
- ⑥ 連続設置できるよう、張長20mのデータを作成する。(20m毎に設置すること)
- ⑦ ビームのコルゲーションは、画像表示時に陰影処理を行う場合には表現できるが、陰影処理しないため無意味であり、ポリゴン数を減らすよう、平板なものとする。
- ⑧ 支柱(円柱)は、ポリゴンを節約し、かつ遠方曲線部の見え方を考慮し、長方形で表現し、角度(45°)をつけておく。このため②の2セットを要する。
- ⑨ ビームは4 m毎のつなぎ合わせだが、継ぎ目、ボルトナットは表現しない。

下り線路側用



上り線路側用



(注) 20m配置のため、曲線部ではつながらず、くい違いが生ずるが無視する。

くい違い量は、500 Rで20cm、300 Rで4cm (h軸方向)

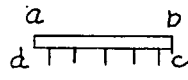
基準点をB点(上り線の場合はN点)とする。

ポリゴン数: 20mあたり6ポリゴン

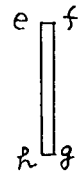
防護柵データ (20m)

下り線路側用

[m]

	点	s	t	h
	a	0	0.25	0.90
	b	20.0	0.25	0.90
	c	20.0	0.25	0.55
	d	0	0.25	0.55

支柱 (5本) の t, h 座標は共通
s 座標 (S2~S18) を示す。

	点	s 2	s 6	s10	s14	s15	t	h
	e	1.86	5.86	9.86	13.86	17.86	0.50	0.82
	f	2.00	6.00	10.00	14.00	18.00	0.36	0.82
	g	2.00	6.00	10.00	14.00	18.00	0.36	0
	h	1.86	5.86	9.86	13.86	17.86	0.50	0

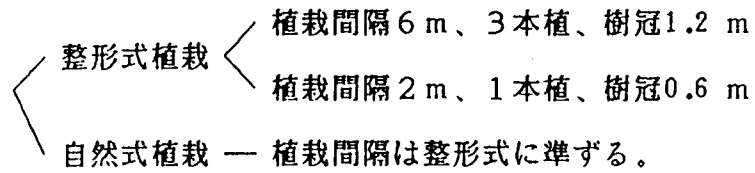
上り線路側用

	点	s	t	h
ビーム	a	0	-0.25	0.90
	b	20.0	-0.25	0.90
	c	20.0	-0.25	0.90
	d	0	-0.25	0.90

	点	s 2	s 6	s10	s14	s15	t	h
支柱	e	s 座標は下り線と同じ					-0.36	0.82
	f						-0.50	0.82
	g						-0.50	0
	h						-0.36	0

6) 植樹帯（中央分離帯）

① 日本道路公団の基準は以下のとおり。

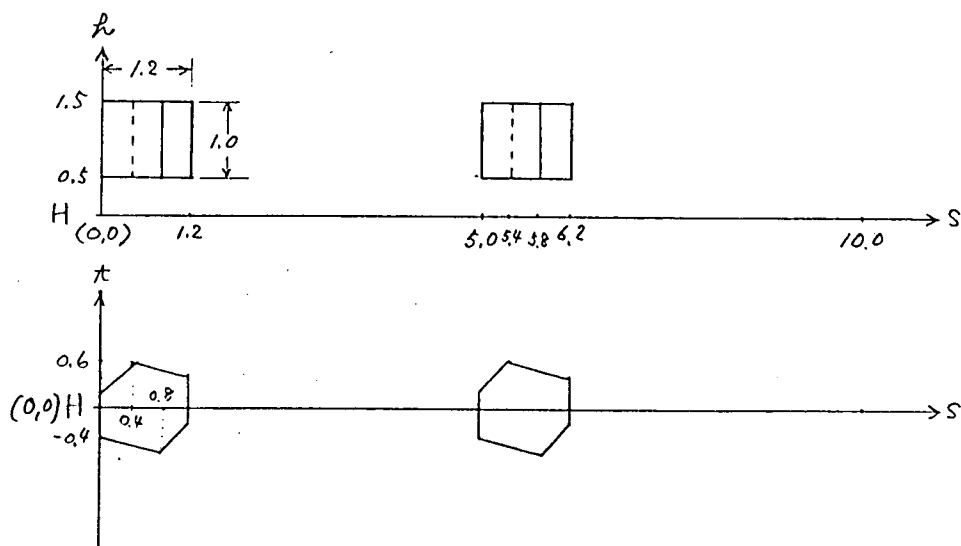


樹高は標準 1.5 m、通常区間では中央分離帯（巾員 3 m）の中心線に沿って植樹。

② 使用平面数を増やさぬため以下を想定する。

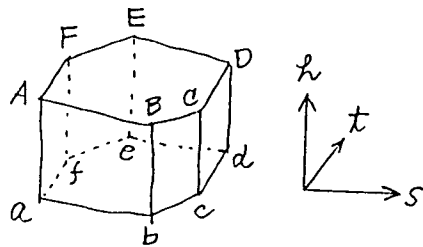
- 植栽間隔 5 m、樹冠 1.2 m、樹高 1.5 m の整形式植栽
- 底部の面及び樹幹は見えないので表示しない。

③ 10m 置きに配置する。



- H 点を基準点とする。
- 10m あたり 16 ポリゴン

植樹帯データ



10mあたりに2個配置

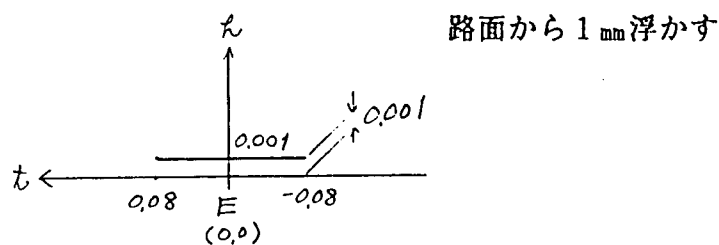
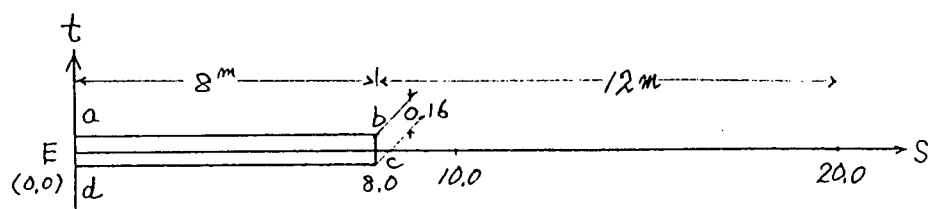
[m]				
	点	s	t	h
1	A	0	-0.4	1.5
	a	0	-0.4	0.5
	b	0.8	-0.6	0.5
	B	0.8	-0.6	1.5
	C	1.2	-0.2	1.5
	c	1.2	-0.2	0.5
	d	1.2	0.4	0.5
	D	1.2	0.4	1.5
	E	0.4	0.6	1.5
	e	0.4	0.6	0.5
2	f	0	0.2	0.5
	F	0	0.2	1.5
	A ₂	5.0	-0.4	1.5
	a ₂	5.0	-0.4	0.5
	b ₂	5.8	-0.6	0.5
	B ₂	5.8	-0.6	1.5
	C ₂	6.2	-0.2	1.5
	c ₂	6.2	-0.2	0.5
	d ₂	6.2	0.4	0.5
	D ₂	6.2	0.4	1.5
個	E ₂	5.4	0.6	1.5
	e ₂	5.4	0.6	0.5
	f ₂	5.0	0.2	0.5
	F ₂	5.0	0.2	1.5
目				

7) 区画線

- 10m区間の始終端で横断勾配が異なるときは配置できない。
- 横断勾配(α)に応じた座標変換が必要である。

(- 1) 車線境界線 (破線)

- 20mおきに配置する。(白線部8m、間隔12m)
- E点もしくはK点を基準点とする。



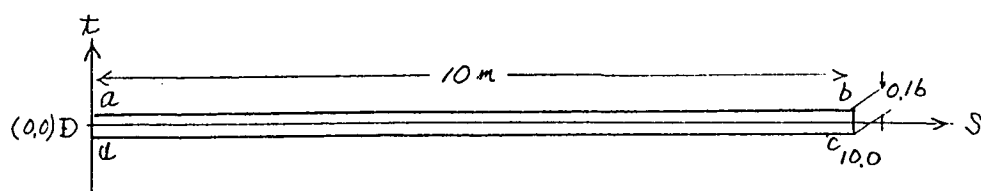
20mあたり1ポリゴン

- 横断勾配が α であるときの座標値

点	s	t	h
a	0	0.08	$0.001 + 0.08 \tan \alpha$
b	8.0	0.08	$0.001 + 0.08 \tan \alpha$
c	8.0	-0.08	$0.001 - 0.08 \tan \alpha$
d	0	-0.08	$0.001 - 0.08 \tan \alpha$

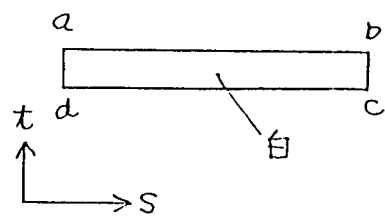
(- 2) 車道外側線 (実線)

- 10mおきに配置する。
- D点、F点、J点又はL点を基準点とする。
- 上表のb, c点のs値を10.0に変える。



10mあたり1ポリゴン

車線境界線データ（破線）

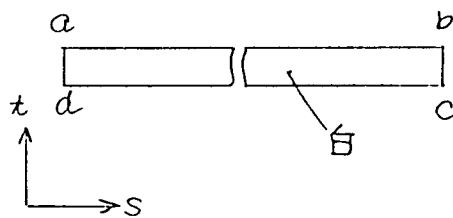


(20m あたり)

[m]

点	s	t	h
a	0	0.08	$0.001 + 0.08 \tan \alpha$
b	8.0	0.08	$0.001 + 0.08 \tan \alpha$
c	8.0	-0.08	$0.001 - 0.08 \tan \alpha$
d	0	-0.08	$0.001 - 0.08 \tan \alpha$

車道外側線データ（実線）



(10m あたり)

[m]

点	s	t	h
a	0	0.08	$0.001 + 0.08 \tan \alpha$
b	10.0	0.08	$0.001 + 0.08 \tan \alpha$
c	10.0	-0.08	$0.001 - 0.08 \tan \alpha$
d	0	-0.08	$0.001 - 0.08 \tan \alpha$

参考文献

- 1) 建設省土木研究所, 財団法人日本自動車研究所
: 道路走行シミュレータに関する共同研究報告書
(その1), 1991
- 2) モーターファン, 三栄書房, 1988~1990
- 3) 日本工業規格 : JIS C-1505-1988

道路走行シミュレータに関する
共同研究報告書（その2）

共同研究報告書第78号
平成4年3月（1992）
建設省土木研究所
（財）日本自動車研究所

要 旨： 本報告は、建設省土木研究所と（財）日本自動車研究所との共同研究として平成2年度から平成4年度までの予定で研究を進めている「道路走行シミュレータに関する研究」について、平成3年度実施分の成果をとりまとめたものである。
本共同研究は、道路走行シミュレータの開発にあたって必要となる車両運動方程式等について検討を行うものである。そこで本報告書は平成3年度実施分の研究成果として、車内騒音および車内振動の再現範囲と再現レベル、車両振動方程式の性能の検証方法、および道路の幾何構造に関する実験用データベースの基礎となる道路構造データと道路付属施設等の背景データなどについて検討した結果をとりまとめたものである。

キーワード：シミュレータ、車両、運動、道路、構造、方程式、データ、走行

郵便はがき

切手
は
を
は
て
下
さい

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

道路研究室 御中

No. 2

No. 2

配布先氏名

配布先住所

共同研究報告書第78号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印

共同研究報告書 第78号

道路走行シミュレータに関する共同研究報告書 (その2)