

トンネルにおける走行特性に関する共同研究報告書

平成10年12月

建設省土木研究所
阪神高速道路公団

Copyright © (1998) by P.W.R.I.

All right 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。

トンネルにおける走行特性に関する共同研究報告書

建設省土木研究所

道路部 部長

中村 亮

道路研究室長

山田 晴利^{*1}

道路研究室長

大下 武志^{*2}

道路研究室研究員

池原 圭一

*1：現 通産省工業技術院総務部技術開発官

*2：現 材料施工部施工研究室長

阪神高速道路公団

計画部 部長

三好 逸二^{*3}

部長

吉谷 進^{*4}

計画第一課長

大志万和也^{*5}

計画第一課長補佐

雪本 雄彦^{*6}

計画第一課長補佐

坂下 泰幸^{*7}

計画第一課計画第一係長

立石 泰三^{*8}

計画第一課計画第二係長

関本 宏^{*9}

計画第一課計画第三係長

木代 穰^{*10}

計画第一課

石原 洋^{*11}

計画第一課

川上 泉

*3：現 (社) 土木学会専務理事

*4：現 中部国際空港株式会社参与

*5：現 総務部企画調整室長

*6：現 京都建設事務所調査設計課長

*7：現 大阪建設局建設企画部調査課長

*8：現 (財) 大阪湾^パエリア開発推進機構企画調査部
審議役

*9：現 神戸第一建設部山手工事事務所専門役

*10：現 神戸管理部保全第一課長補佐

*11：現 神戸第一建設部北神工事事務所

要 旨

本報告は、建設省土木研究所と阪神高速道路公団との共同研究として平成8年度から平成9年度まで実施した、「トンネルにおける走行特性に関する共同研究」の成果をとりまとめたものである。

本共同研究は、道路走行模擬装置を利用してトンネル部などの走行環境をコンピュータグラフィックスで再現し、①明かり部とトンネル部の走行特性の比較検討と、②トンネル坑口形状の違いが走行性に与える影響について検討したものである。

キーワード：ドライビングシミュレータ、長大トンネル

目 次

第1章 総論	1
1. 1 共同研究の目的	1
1. 2 共同研究の内容	1
第2章 道路走行シミュレータの概要	2
2. 1 システムの概要	2
2. 2 システムの構成と機能	3
第3章 トンネル進入時の走行性	5
3. 1 実験用コースデータの概要	5
3. 2 実験の概要	9
3. 3 実験結果	11
3. 4 まとめと今後の課題	43
第4章 トンネル内走行時の走行性検討	45
4. 1 実験概要	45
4. 2 トンネル内走行に関する実験結果	51
4. 3 まとめ	75

第1章 総論

1.1 共同研究の目的

一般にトンネル部は、ドライバーに圧迫感や不安感などを与え、速度や距離の感覚を誤らせると言われている。特に都市部のトンネルでは、利用交通量も多く、道路線形も厳しい上に、分合流部を有するなど複雑な構造となっているため、渋滞や交通事故が発生しやすい条件にあり、走行安全性、快適性、円滑性の低下が危惧される。

本共同研究では、道路走行模擬装置（道路走行シミュレータ）を利用してトンネル部などの走行環境をコンピュータグラフィックスで再現し、トンネルにおける走行特性について、車両挙動（車両走行データ）と運転挙動（運転操作データ）などをもとに分析を行い、今後の都市部でのトンネル計画に役立てることを目的とする。

1.2 共同研究の内容

本共同研究では、トンネルにおける走行特性を主にトンネル進入時とトンネル内走行時に分けて検討を行った。トンネル進入時の検討では、主に坑口形状の違い、内装板の有無による走行特性の違いについて検討を行い、また、トンネル内走行時の検討では、車間距離と反応時間等を明かり部と比較検討することで、トンネル部の道路構造について検討を行った。

共同研究の研究項目、研究分担については、表-1.1に示すとおりである。

表-1.1 研究項目および研究分担

研 究 項 目	実 施 年 度		研 究 分 担	
	8 年 度	9 年 度	土木研究所	阪神公団
(1)トンネル進入時の走行性検討				
・ 実験用コースデータ(CG)の作成			◎	○
・ トンネル進入時の走行性実験			◎	○
(2)トンネル内走行時の走行性検討				
・ 実験用コースデータ(CG)の作成			○	◎
・ 明かり部／トンネル内の走行性実験			○	◎

◎：主担当、○：副担当を示す。

第2章 道路走行シミュレータの概要

2.1 システムの概要

道路走行シミュレータは、ドライバーに運転している状況を模擬的に体験させるためのものであり、道路環境の生成と車両挙動の計算を同時に行う装置である。この装置の目的は、再現された道路状況とその時のドライバーの運転操作量や車両挙動との相関関係から、走りやすい道路構造などを検討することである。この装置を利用することにより、道路状況をコンピュータグラフィックスで再現しているため、実験時に豊富な条件を設定することができる。また、ドライバーの安全性が確保されていることから、実車による実験では踏み込めない領域の実験を行うことも可能である。

道路走行シミュレータの外観と運転席から見える画像の一例を写真-2.1～ 2.2に示す。

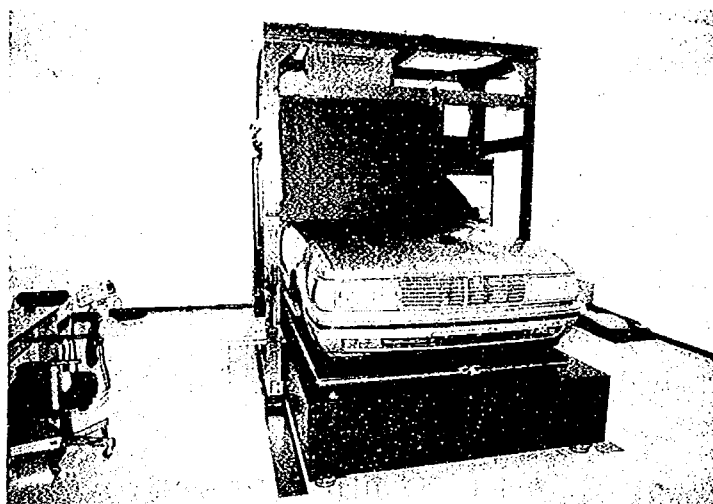


写真-2.1 道路走行シミュレータの外観

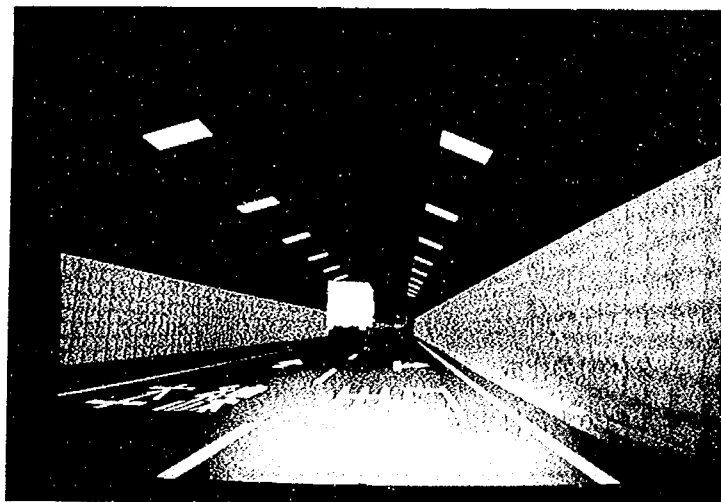


写真-2.2 運転席から見た画像

2.2 システムの構成と機能

道路走行シミュレータの構成とそれぞれの機能について、図-2.1、表-2.1に示す。

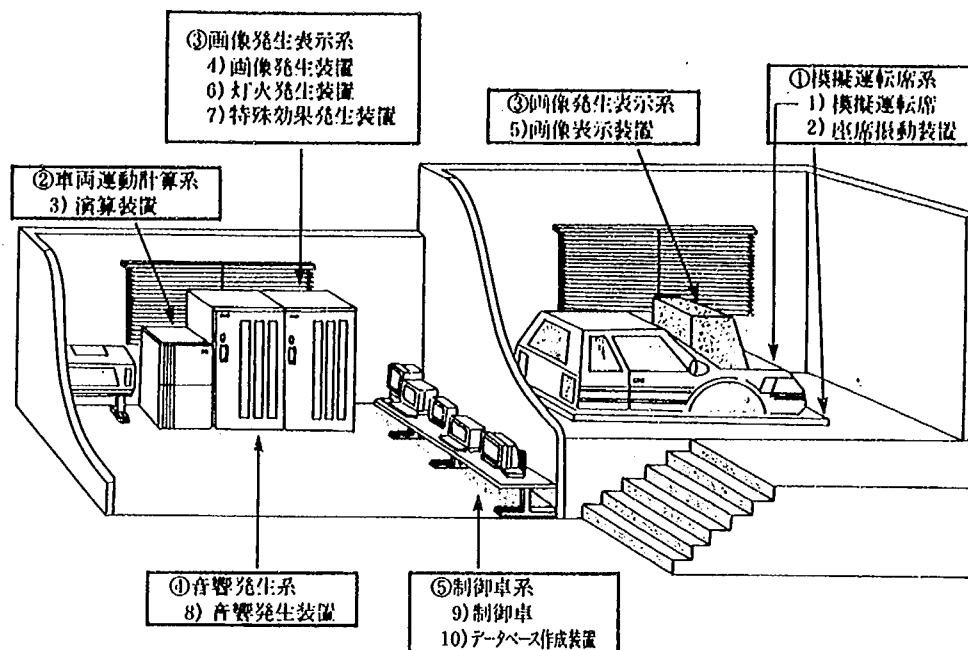


図-2.1 道路走行シミュレータの構成概要

表-2.1 道路走行シミュレータの概略機能

構 成	機 器	概 略 機 能
①模擬運転席系	1) 模擬運転席 (実車両を改造する)	・ 作動模擬 (ハンドル、ブレーキ、アクセル、方向指示器等) ・ 計器表示 (速度計、回転数計等)
	2) 座席振動装置	・ 10~30Hz程度の振動模擬
②車両運動計算系	3) 演算装置	・ 道路状況、運転操作に応じた車両運動模擬 ・ 車両運動計算周期30回/秒、遅延時間 150ms ・ データベース容量 5000平面
③画像発生表示系	4) 画像発生装置	・ 画像更新1/30秒 ・ 画面表示能力 500平面 ・ 他車4台程度発生可能
	5) 画像表示装置 (無限遠結像CRT方式)	・ 視野角 H40° × V30° ・ 輝度 4ft・L(=13.7cd/m²) ・ 走査線 1000×1280画素/画面 (解像度約3分程度)
	6) 灯火発生装置	・ 昼間、薄暮、夜間を再現可能
	7) 特殊効果発生装置	・ テクスチャ模様付加
④音響発生系	8) 音響発生装置	・ エンジン音、ブレーキ音など ・ 50Hz~3kHz、100dB程度
⑤制御卓系	9) 制御卓	・ システム全体の制御機能、監視機能、緊急停止機能 ・ 任意時刻の画像再生およびプレイバック機能
	10) データベース作成装置	・ データベースの作成および変更を行う装置

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)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2），1992.
- 3)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3），1995.
- 4)建設省土木研究所：道路走行シミュレータの開発と運用について，土木研究所資料第3482号，1997.

第3章 トンネル進入時の走行性

3.1 実験用コースデータの概要

トンネルに進入する際の走行性に影響を与える主な要因としては、①坑口の形状、②照明の明るさ、③内装板の有無が考えられる。しかし、②照明の明るさについては、道路走行シミュレータは映像をコンピュータグラフィックスで再現していることから、トンネル内の現実的な明るさを満足に再現することができなく、また、明かり部とトンネル部での明暗の差を再現することも不可能である。そのため、今回は明かり部は路面を黒くして路面との境となる側壁や路面上の区画線を極力明るい色を使用することでメリハリのある配色とし、一方のトンネル部は全体的に赤みがかった暗めの同系色にすることで、明暗の差を擬似的に再現した。しかし、現実的な明るさの再現には至っていないため、今回の実験条件としては、②照明の明るさの要因を除いた①坑口の形状と③内装板の有無による影響について検証することを目的とした。

実験で設定したコース数は、実験の繰り返しによる被験者の疲労と慣れによる影響を少なくするため、6コースを設定した。各コースの概要は、以下に示すとおりである。

- 1)コース1 : type1 (面壁状の坑口) / 内装板なし……写真-3.1
- 2)コース2 : type1 (面壁状の坑口) / 内装板あり……写真-3.2
- 3)コース3 : type2 (大坑口) / 内装板なし……写真-3.3
- 4)コース4 : type2 (大坑口) / 内装板あり……写真-3.4
- 5)コース5 : type3 (竹割り状の坑口) / 内装板なし……写真-3.5
- 6)コース6 : type3 (竹割り状の坑口) / 内装板あり……写真-3.6

これらは、現状の阪神高速道路にならって道路構造令の2種2級、設計速度60km/hの基準で作成した。なお、コース1～6の道路構造は、すべて図-3.1～3.2に示す道路線形と幅員構成で作成しており、コース毎の違いは、上記の坑口の違いと内装板の有無のみである。

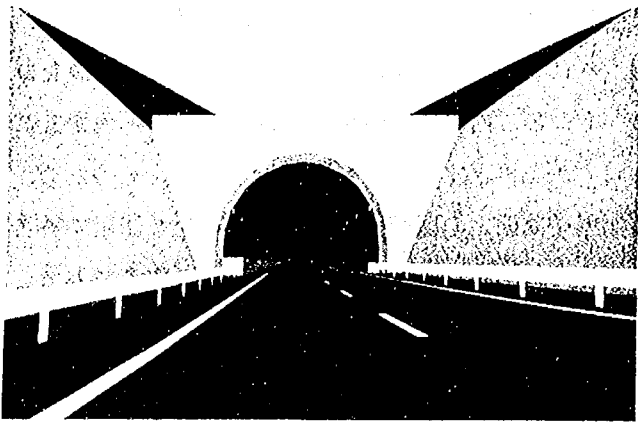


写真-3.1 ｺｰｽ1:type1(面壁状の坑口)/内装板なし

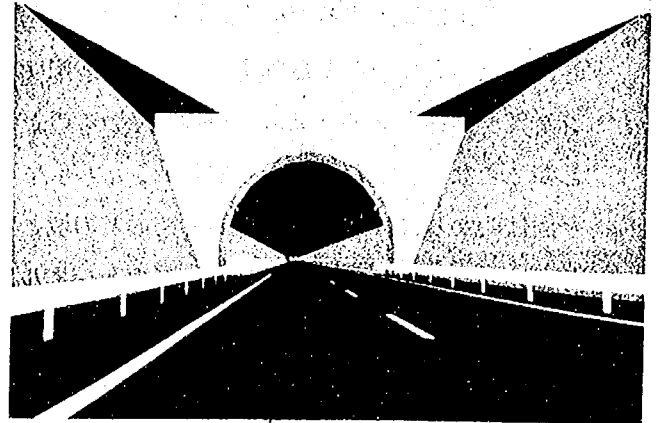


写真-3.2 ｺｰｽ2:type1(面壁状の坑口)/内装板あり

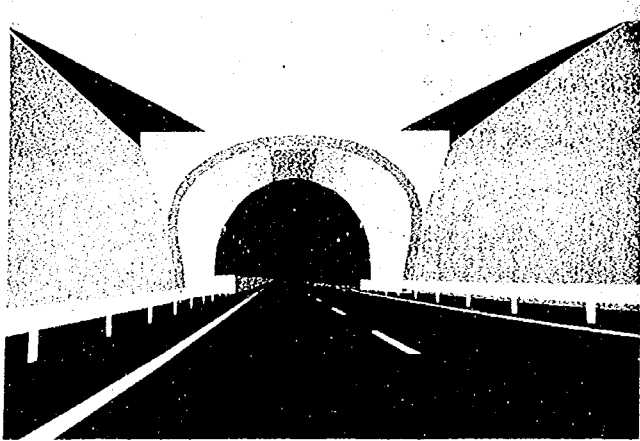


写真-3.3 ｺｰｽ3:type2(大坑口)/内装板なし

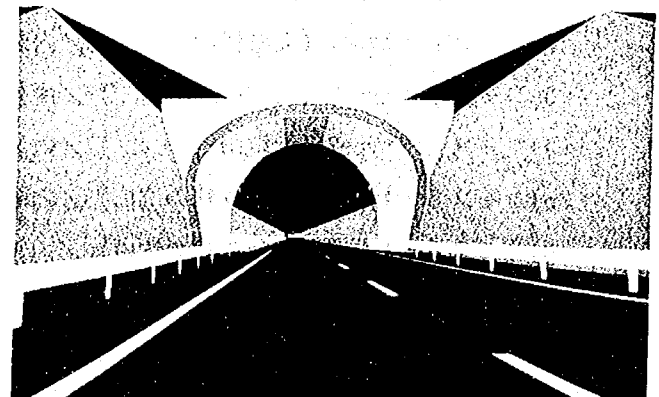


写真-3.4 ｺｰｽ4:type2(大坑口)/内装板あり

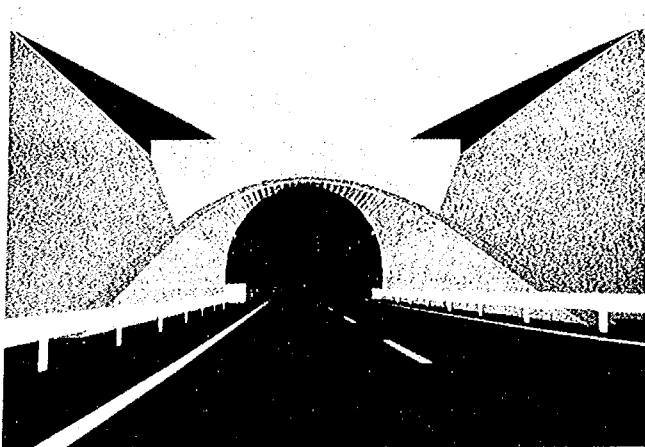


写真-3.5 ｺｰｽ3:type3(竹割り状の坑口)/内装板なし

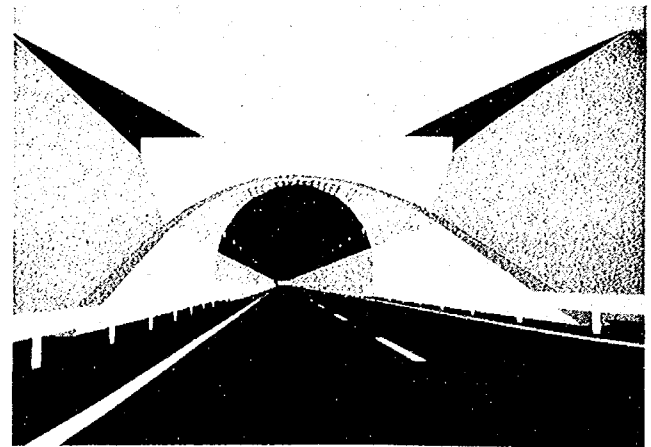


写真-3.6 ｺｰｽ4:type3(竹割り状の坑口)/内装板あり

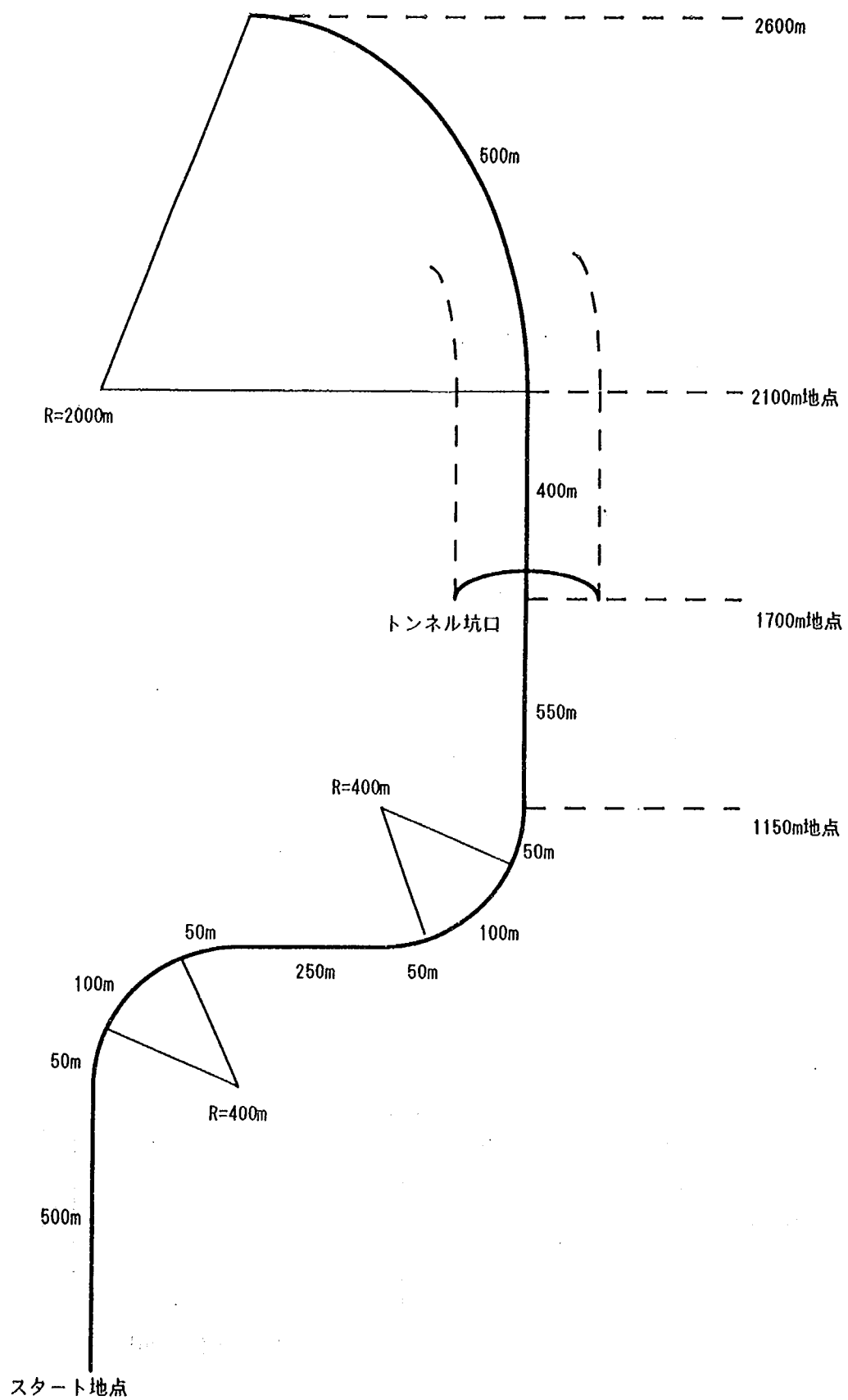


図-3.1 実験コースの道路線形

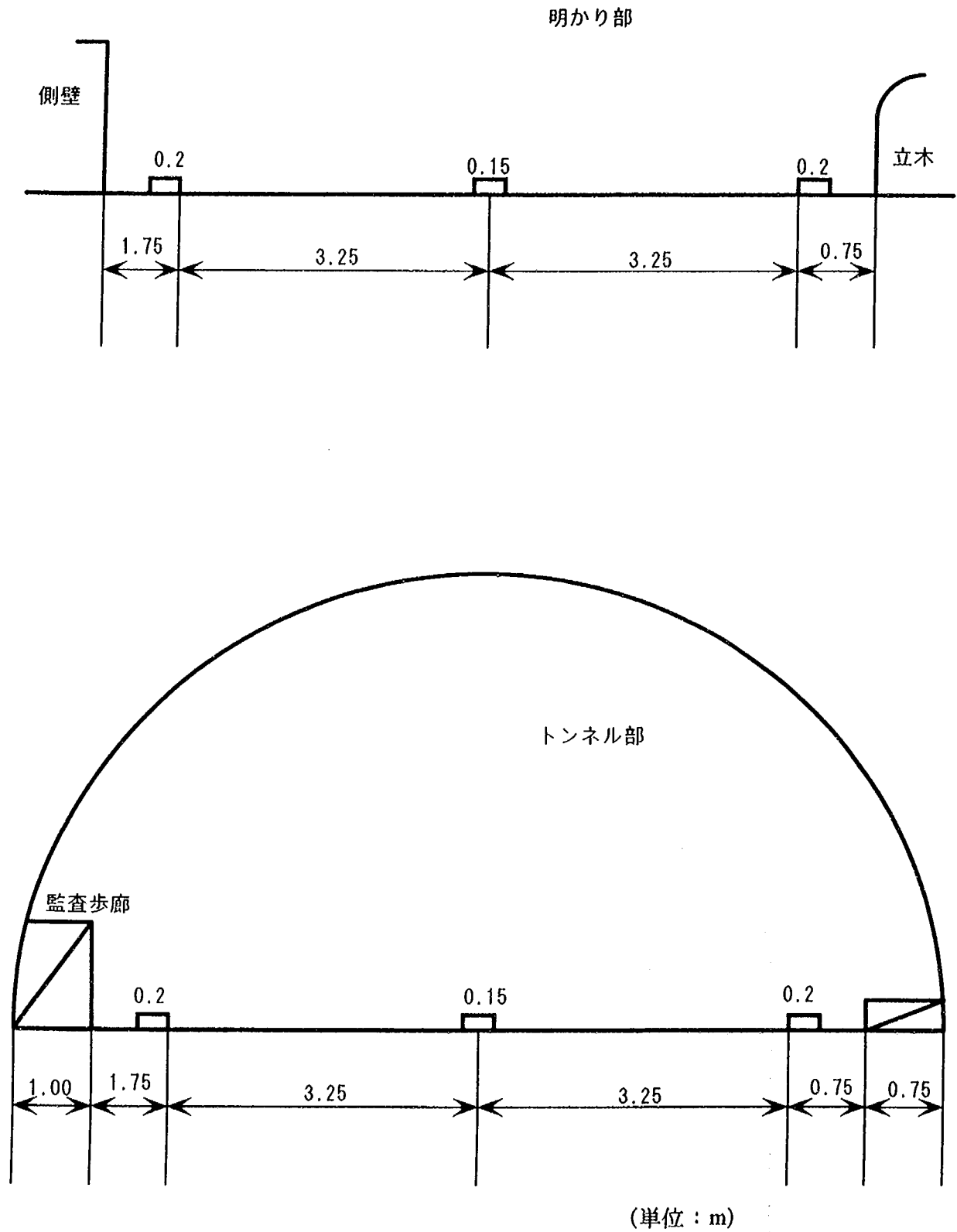


図-3.2 実験コースの幅員構成

3.2 実験の概要

実験は、前記の6コースを用いて18名の被験者で行った。また、実験の順序効果をなくすために被験者毎に実験コースの順序を変えて行った。被験者の属性は表-3.1に示すとおりであるが、20～50歳代の運転経験が豊富なドライバーを対象に行っている。なお、道路走行シミュレータでの実験にあまり慣れていない被験者については（概ね、実験回数が1ないし2回目の被験者）、これまでの実験結果から、速度の感覚等にズレがあるため、実験開始前に練習走行を行った。

表-3.1 被験者の属性

年齢層	被験者数	備考
20歳代	10名（うち女性3名）	実験回数： 1回目の人：5名 2回目の人：6名 3回目の人：3名 4回目の人：3名 7回目の人：1名 運転頻度： 全ての人がほとんど毎日運転している
30歳代	7名	
50歳代	1名	
合計	18名	

実験回数とは、道路走行シミュレータでの実験に携わった回数を示す。

被験者への実験内容の説明は、以下の要点についてのみ説明を行った。

- 今回の実験は、6種類のトンネルをアンケートにより評価を行ってまいります。
- 走行回数は6回です。各回の走行後にアンケートに答えて下さい。
- アンケートの内容は、トンネル坑口付近の走行性などについてと、トンネル内の走行性などについてです（アンケート内容を表-3.2に示す）。
- 走行の際は走行車線（左側車線）を走行し、走行速度は60～100km/hまでの好きな速度で走行して下さい。ただし、6回の走行ともなるべく同じ速度で走行して評価を行って下さい。

ここで、評価方法については、被験者にアンケート評価を行ってもらう旨のみを説明したが、実際には表-3.3に示す車両走行データと運転操作データなどを計測した。被験者にデータの計測について説明しなかった理由は、実験に対する過度な意識と緊張を和らげ、普段どおりの運転を行ってもらうためである。

また、実験コースの設計速度は60km/hであったが、トンネル付近の平面線形は直線であり、速度が出やすい構造であるため、60～100km/hまでの速度で実験を行った。

表-3.2 アンケート評価票

○トンネル坑口付近の走行性などについて、以下のアンケートにお答え下さい。

圧迫感について

圧迫感がある やや圧迫感がある 中程度である やや開放感がある 開放感がある

明るさについて

明るい やや明るい 中程度である やや暗い 暗い

見やすさについて

はっきり見える ややはっきり見える 中程度である ややぼやけて見える ぼやけて見える

トンネルへの入りやすさについて

入りやすい やや入りやすい 中程度である やや入りにくい 入りにくい

○トンネル内の走行性などについて、以下のアンケートにお答え下さい。

圧迫感について

圧迫感がある やや圧迫感がある 中程度である やや開放感がある 開放感がある

明るさについて

明るい やや明るい 中程度である やや暗い 暗い

見やすさについて

はっきり見える ややはっきり見える 中程度である ややぼやけて見える ぼやけて見える

走りやすさについて

走りやすい やや走りやすい 中程度である やや走りにくい 走りにくい

表-3.3 実験時の計測データ

車両走行データ	運転操作データ	その他
走行距離(m)	ハンドル角(deg)	計測時間(ms)
走行速度(km/h)	アクセル踏量(mm)	マーカ信号
走行位置(m)	ブレーキ踏量(mm)	
自車のX座標(m)		
自車のY座標(m)		
自車のZ座標(m)		
ヨー角(rad)		

3.3 実験結果

3.3.1 アンケート票の集計結果

(1) データの重みづけ

アンケートによる6コース、18人分(108データ)のイメージ評価結果をもとに、それぞれのアンケート項目について評価の度合いを1～5の数値に置き換えて分散分析を行った。その結果、全体的にあまり明確な有意差がみられないため、その原因として考えられる要因をあげて検討した。考えられる要因としては、運転経験の差、年齢差、男女差、道路走行シミュレータでの実験に対する慣れの度合い

(これまでに実験に携わった回数：実験回数)などがあげられが、この中で、最も全体の結果に影響しているのは実験回数であることがわかった。他の要因については、要因内の各母集団が小さく、全体の結果にはあまり影響していなかった。

図-3.3～3.6に一例として、実験回数毎のトンネル坑口付近のイメージ評価の平均値を表す。これによると、はじめて実験を行った被験者については、明らかにそれ以外の被験者と傾向が異なっており、要因による違い(坑口形状による違い)もほとんどあらわれていないことがわかる。この原因としては、はじめて実験を行った被験者は、道路走行シミュレータという特殊な環境下での実験に慣れていなく、運転に気を取られているために、要因による違いが他の被験者よりもあらわれにくくなっていると考えられる。このことは、他のイメージ評価、また走行結果でも同じことがいえるため、以降のデータ解析は、全て以下のように実験回数をもとに重みづけすることにした。

○実験回数が1回の被験者(5名) → 重み1

○実験回数が2回の被験者(6名) → 重み2

○実験回数が3回以上の被験者(7名) → 重み3

(2) 坑口付近のアンケート結果

坑口付近のアンケート項目は、以下の4項目である。

○アンケート1：坑口付近の圧迫感／開放感

○アンケート2：坑口付近の明るさ

○アンケート3：坑口付近の見やすさ

○アンケート4：トンネルへの入りやすさ

以降に「坑口形状」と「内装板の有無」を説明変数とし、それぞれのアンケート項目を目的変数とした分散分析結果について述べる。

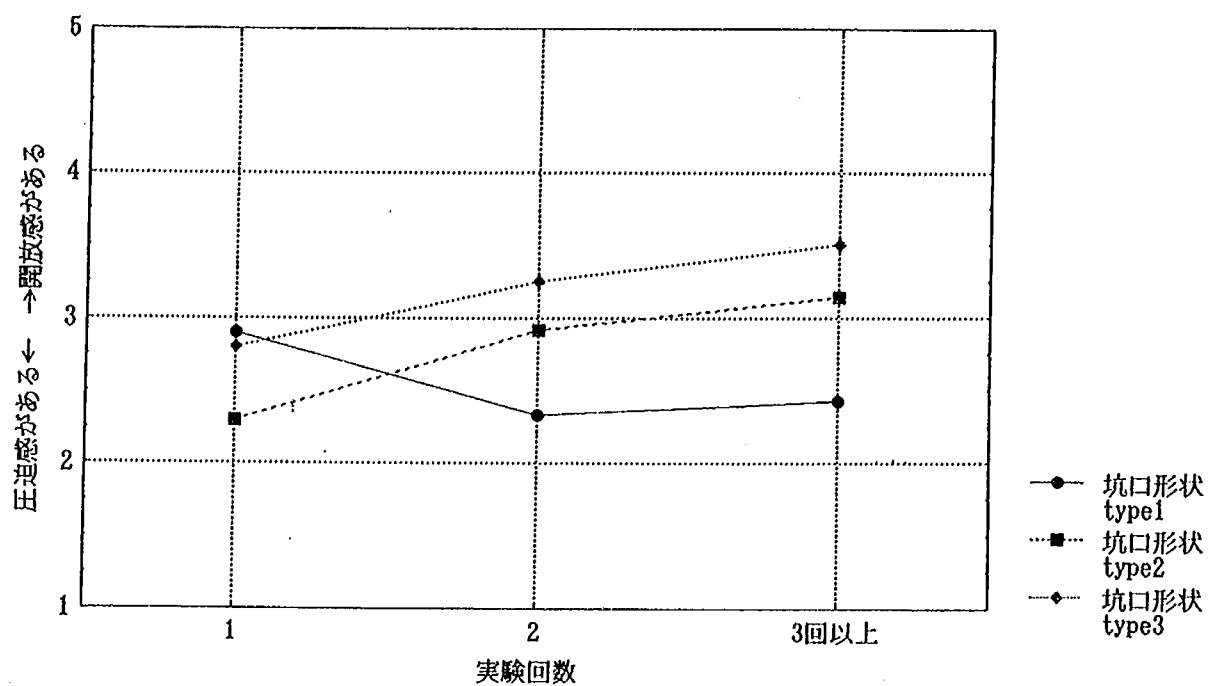


図-3.3 実験回数毎のイメージ評価の例（圧迫感／開放感）

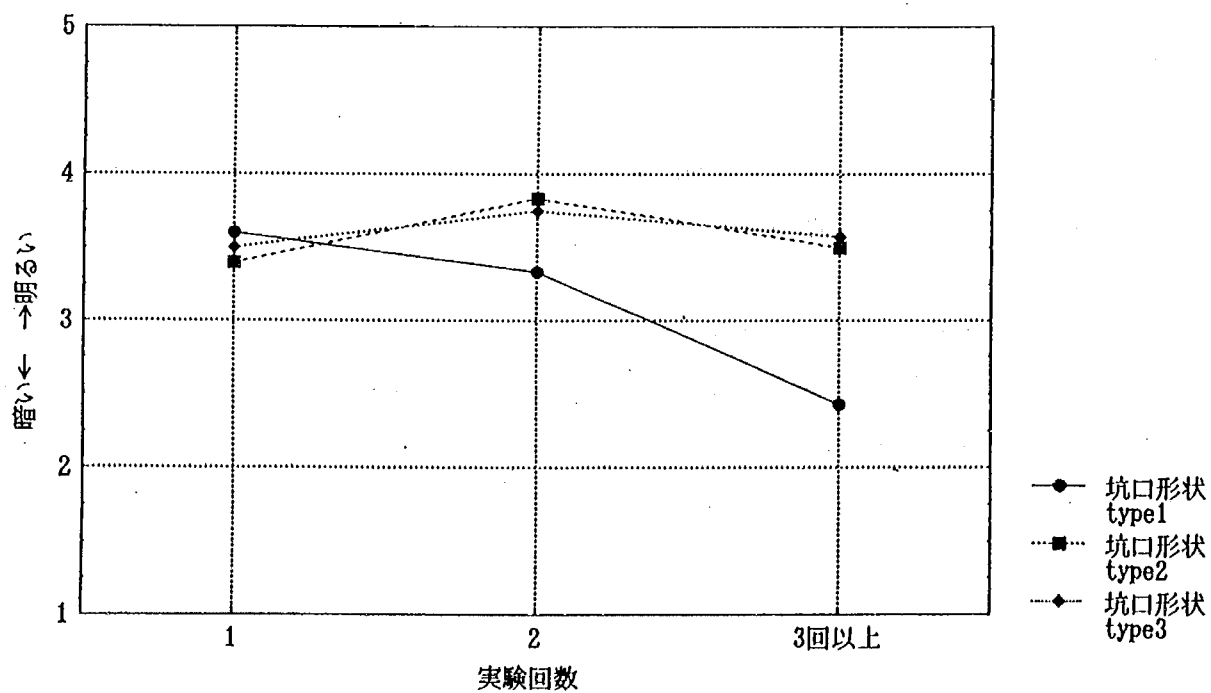


図-3.4 実験回数毎のイメージ評価の例（明るさ）

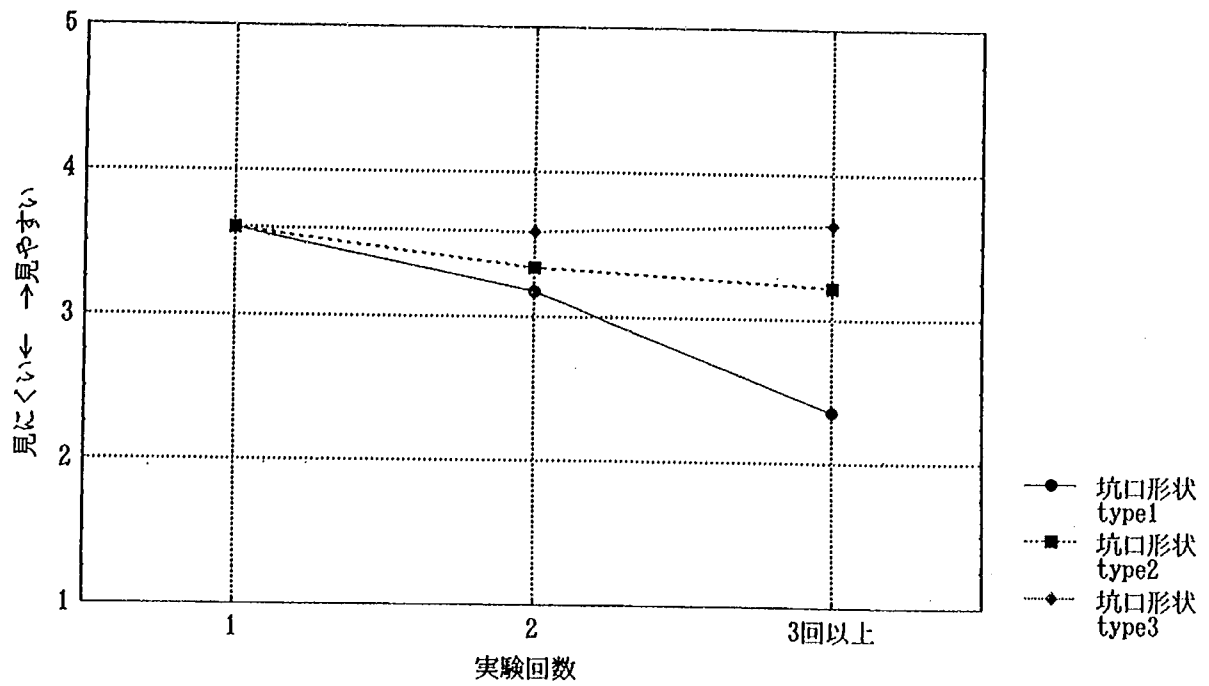


図-3.5 実験回数毎のイメージ評価の例（見やすさ）

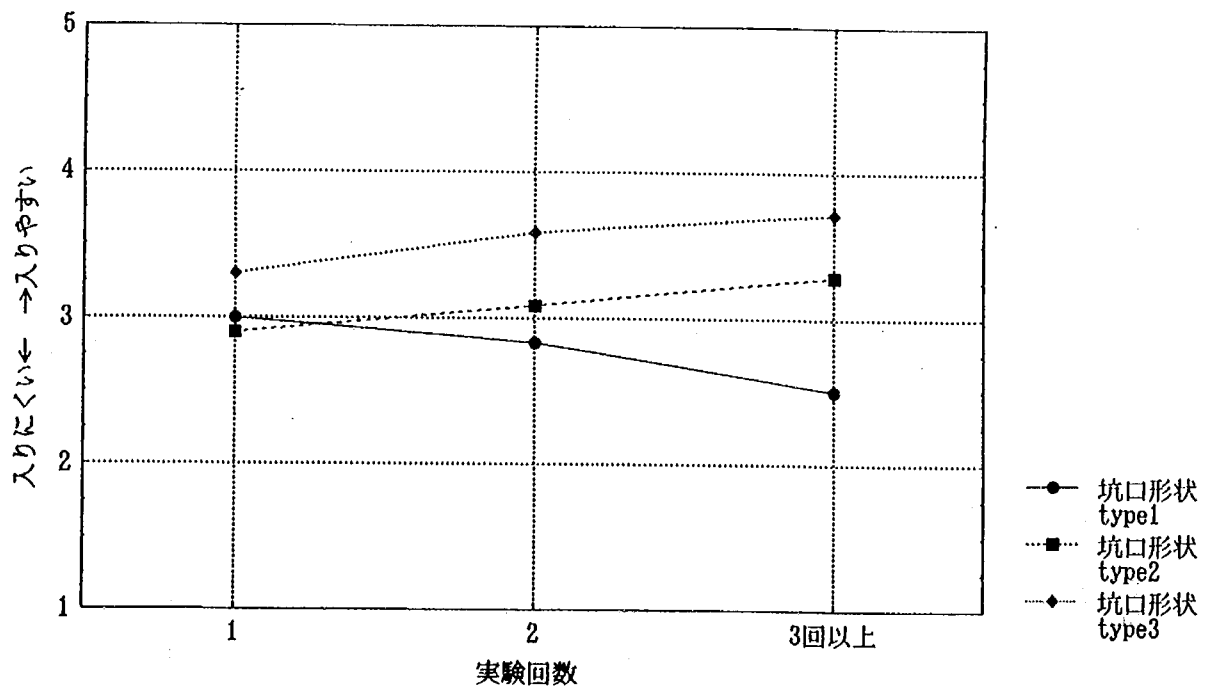


図-3.6 実験回数毎のイメージ評価の例（トンネルへの入りやすさ）

1) アンケート 1 の分散分析結果：坑口付近の圧迫感／開放感

坑口付近の圧迫感／開放感のイメージ評価の分散分析結果を表-3.4に示す。その結果、坑口形状の違いによりイメージ評価値が異なることの有意性が確認された（有意水準 5 %）。図-3.7は、坑口形状の違いによる平均の評価値をグラフ化したものである。これにより、坑口形状はtype 1 < type 2 < type 3 の順で開放的なイメージがあることが確認された。

分散分析結果の凡例

効果の欄 1：坑口形状（要因 1），2：内装板（要因 2），1 2：交互作用（要因 1 × 要因 2）
df 効果：各効果の自由度，MS 効果：各効果の平均平方，df 誤差：残差の自由度
MS 誤差：残差の平均平方

表-3.4 坑口付近の圧迫感／開放感の分散分析結果

STAT. GENERAL MANOVA	坑口付近の圧迫感／開放感 1-坑口形状, 2-内装板					
効果	df 効果	MS 効果	df 誤差	MS 誤差	F	p-値
1	2*	14.43860*	222*	.829659*	17.40306*	.000000*
2	1	.98684	222	.829659	1.18946	.276622
12	2	.68421	222	.829659	.82469	.439710

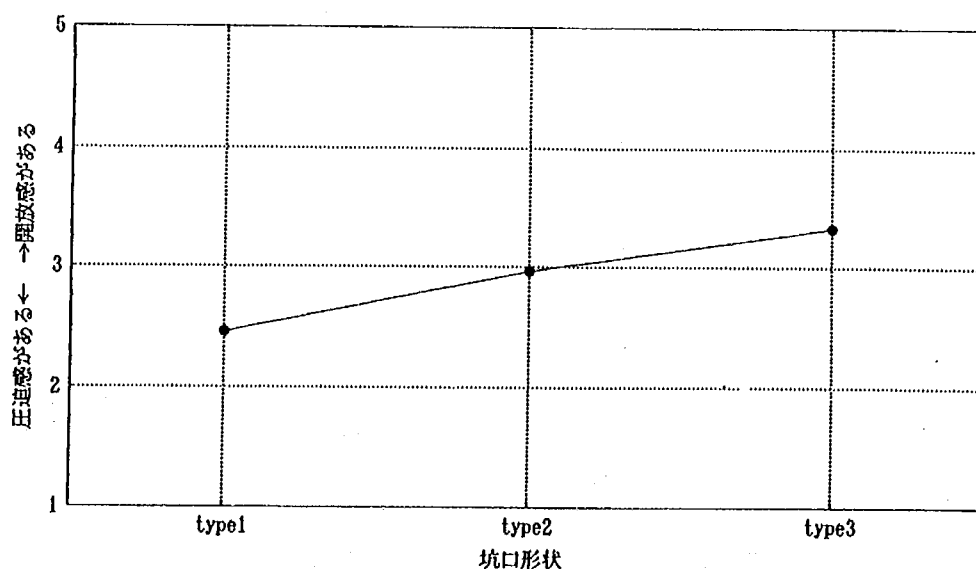


図-3.7 坑口形状と坑口付近の圧迫感／開放感の関係

2) アンケート 2 の分散分析結果：坑口付近の明るさ

坑口付近の明るさのイメージ評価の分散分析結果を表-3.5に示す。その結果、坑口形状の違いと内装板の有無によりイメージ評価値が異なることの有意性が確認された（有意水準 5 %）。図-3.8と図-3.9は、それぞれ効果のあった平均の評価値をグラフ化したものである。これにより、坑口形状はtype 1 よりも type 2 と type 3 の方が明るく感じ、また、全体として内装板があった方が明るいイメージがあることが確認された。

なお、「明るさ」のアンケート項目については、坑口形状による現実的な明るさの違いはコンピュータグラフィックス上では再現されていないため、ここでは、坑口の色づけや内装板の有無によって受けるイメージが明るさの評価値の違いにあらわれていると推測される。

表-3.5 坑口付近の明るさの分散分析結果

STAT. GENERAL MANOVA	坑口付近の明るさ 1-坑口形状, 2-内装板					
効果	df 効果	MS 効果	df 誤差	MS 誤差	F	p-値
1	2*	13.76754*	222*	.816738*	16.85675*	.000000*
2	1*	8.49123*	222*	.816738*	10.39652*	.001453*
12	2	1.58333	222	.816738	1.93861	.146333

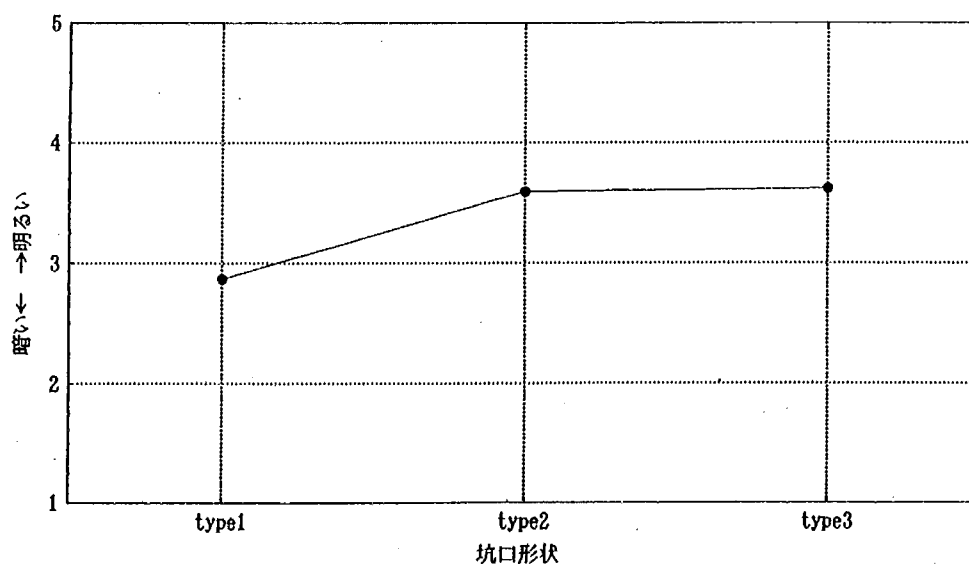


図-3.8 坑口形状と坑口付近の明るさの関係

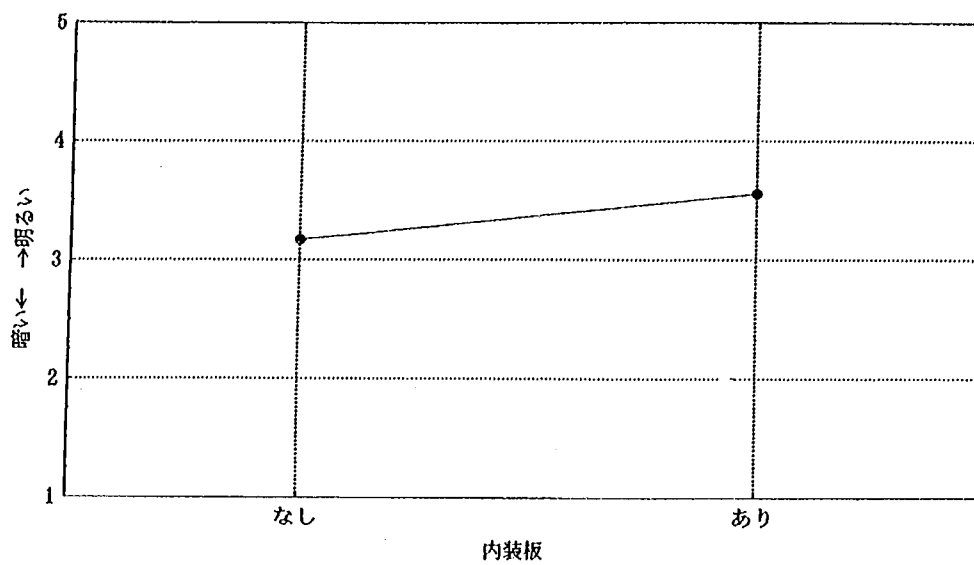


図-3.9 内装板の有無と坑口付近の明るさの関係

3) アンケート 3 の分散分析結果：坑口付近の見やすさ

坑口付近の見やすさのイメージ評価の分散分析結果を表-3.6に示す。その結果、坑口形状の違いと内装板の有無によりイメージ評価値が異なることの有意性が確認された（有意水準5%）。図-3.10と図-3.11は、それぞれ効果のあった平均の評価値をグラフ化したものである。これにより、坑口形状は type 1 < type 2 < type 3 の順に見やすく感じ、また、全体として内装板があった方が見やすいイメージがあることが確認された。

表-3.6 坑口付近の見やすさの分散分析結果

STAT. GENERAL MANOVA	坑口付近の見やすさ 1-坑口形状, 2-内装板					
効果	df 効果	MS 効果	df 誤差	MS 誤差	F	p-値
1	2*	13.75439*	222*	1.207089*	11.39468*	.000019*
2	1*	8.10965*	222*	1.207089*	6.71835*	.010176*
12	2	.54386	222	1.207089	.45055	.637856

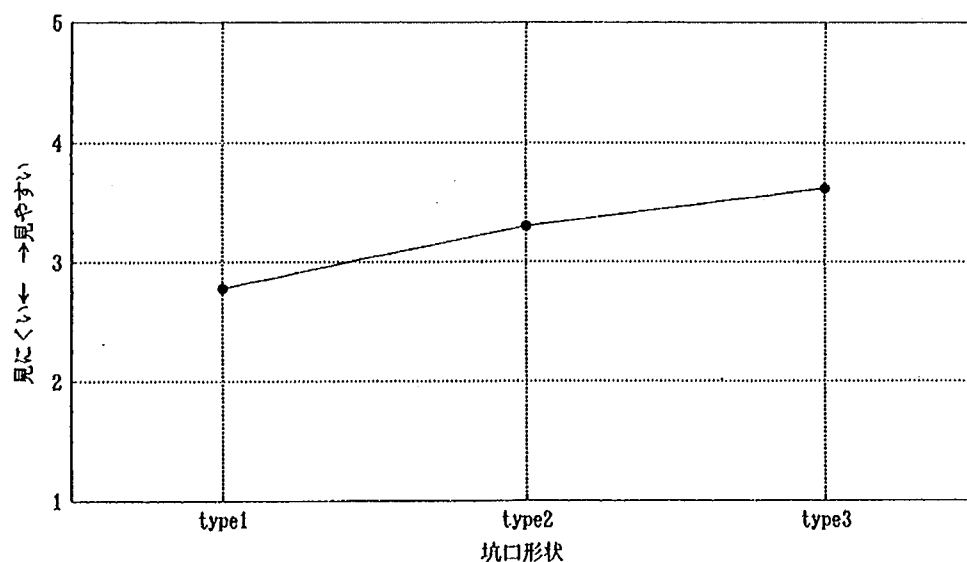


図-3.10 坑口形状と坑口付近の見やすさの関係

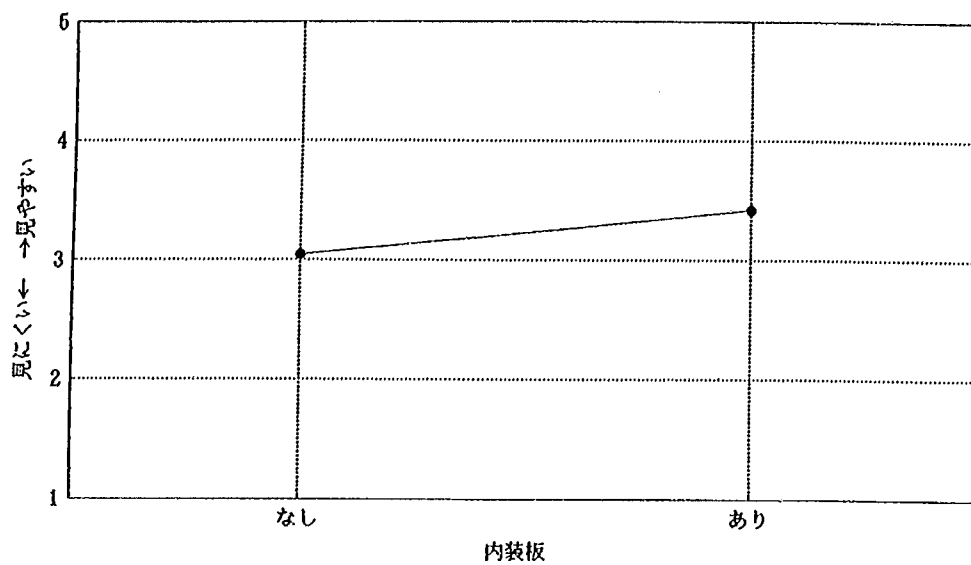


図-3.11 内装板の有無と坑口付近の見やすさの関係

4) アンケート4の分散分析結果：トンネルへの入りやすさ

トンネルへの入りやすさのイメージ評価の分散分析結果を表-3.7に示す。その結果、坑口形状の違いと内装板の有無によりイメージ評価値が異なることの有意性が確認された（有意水準5%）。図-3.12と図-3.13は、それぞれ効果のあった平均の評価値をグラフ化したものである。これにより、坑口形状はtype 1 < type 2 < type 3の順に入りやすく感じ、また、全体として内装板があった方が入りやすいイメージがあることが確認された。

表-3.7 トンネルへの入りやすさの分散分析結果

STAT. GENERAL MANOVA	坑口付近の入りやすさ 1-坑口形状, 2-内装板					
効果	df 効果	MS 効果	df 誤差	MS 誤差	F	p-値
1	2*	17.07018*	222*	.987553*	17.28532*	.000000*
2	1*	11.40790*	222*	.987553*	11.55167*	.000802*
12	2	1.42105	222	.987553	1.43896	.239377

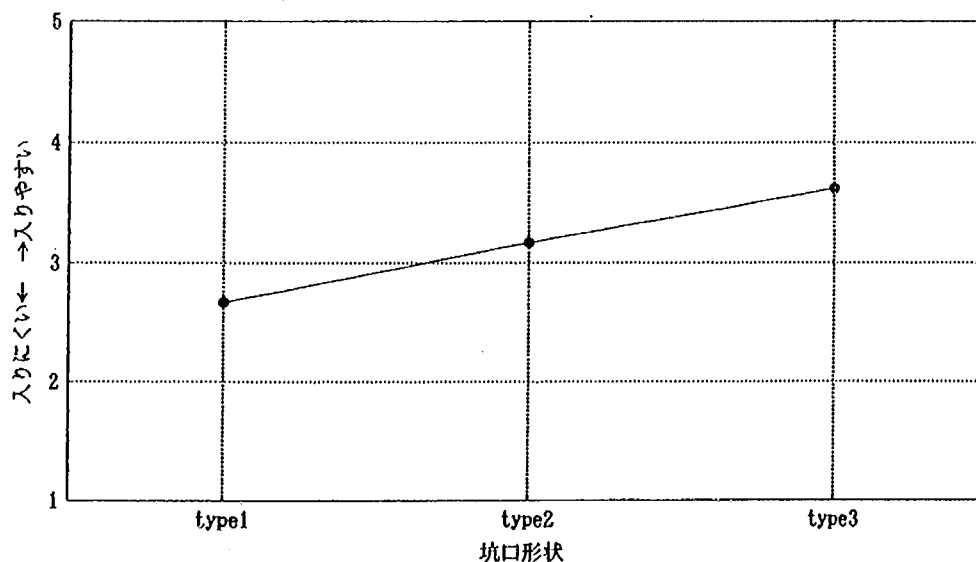


図-3.12 坑口形状とトンネルへの入りやすさの関係

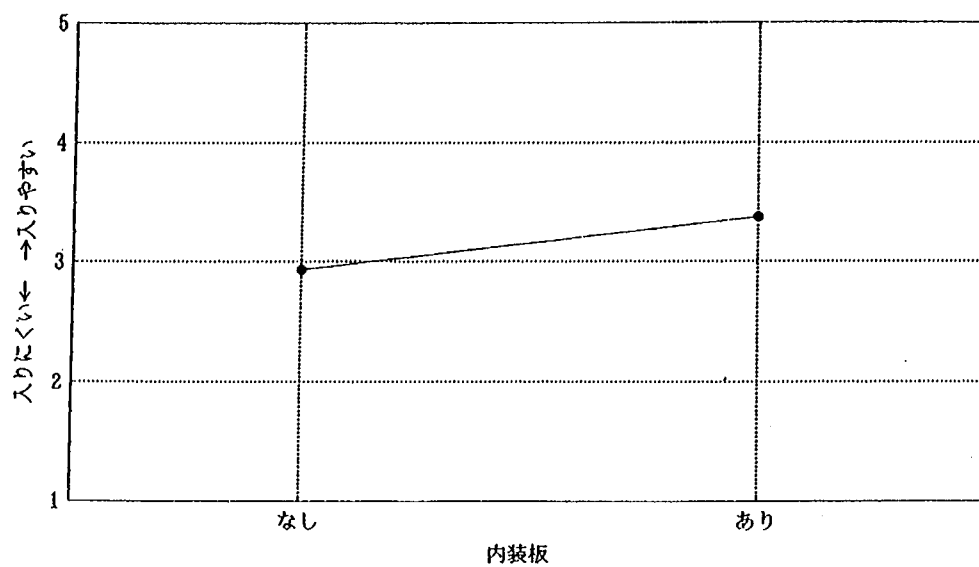


図-3.13 内装板の有無とトンネルへの入りやすさの関係

5) 坑口付近のアンケート結果のまとめ

以上のアンケート結果により、全体としては坑口形状がtype 1 < type 2 < type 3 の順に良いイメージが高まり、また内装板があった方が良いイメージがあることがわかった。

次に、アンケート項目のなかで総合評価的な項目であるトンネルへの入りやすさ（目的変数）について、その他のアンケート項目（説明変数）との相関関係を分析した結果を表-3.8に示す。さらに、重回帰分析を行った結果、決定係数 R^2 が増加する説明変数を選択すると、「圧迫感／開放感」と「見やすさ」であった（表-3.9）。このことから、トンネルに進入する際の走行性を高めるためには、第一に開放的に、第二に見やすい坑口にすることが必要といえる。ただし、この結果はあくまで道路走行シミュレータで得た結果であり、前述のように「明るさ」の要因については満足な再現がされていないことから、今後は実車走行による検証が必要である。

表-3.8 各変数間の相関係数

	圧迫感／開放感	明 る さ	見 や す さ	入りやすさ
圧迫感／開放感	1.000	0.440	0.556	0.762
明 る さ	0.440	1.000	0.721	0.524
見 や す さ	0.556	0.721	1.000	0.710
入りやすさ	0.762	0.524	0.710	1.000

表-3.9 入りやすさの重回帰分析結果

変 数	重相関係数 R	重相関係数 R^2	F 値	p 値
x_1 : 圧迫感／開放感	0.762	0.580	312.556	0.000
x_2 : 見 や す さ	0.836	0.700	89.216	0.000
回 帰 式 : $y = 0.5918x_1 + 0.3892x_2 + 0.1693$ $R = 0.836$, $R^2 = 0.700$, $R^2(\text{調整済}) = 0.697$ $F(2, 225) = 261.89$, $p < 0.000$				

(3)トンネル内のアンケート結果

トンネル内のアンケート項目は、以下の4項目である。

○アンケート1：トンネル内の圧迫感／開放感

○アンケート2：トンネル内の明るさ

○アンケート3：トンネル内の見やすさ

○アンケート4：トンネル内の走りやすさ

以降に「内装板の有無」を説明変数とし、それぞれのアンケート項目を目的変数とした分散分析結果について述べる。

1)アンケート1～4の分散分析結果

各アンケートのイメージ評価をもとに行った分散分析結果を表-3.10～3.13に示す。その結果、すべての項目で内装板の有無によりイメージ評価値が異なることの有意性が確認された（有意水準5％）。図-3.14は、一例として内装板の有無と走りやすさの平均の評価値をグラフ化したものである。これにより、内装板があることにより走りやすくなることが確認できる。この傾向は、他の項目についても同様の結果が得られた。

分散分析結果の凡例

効果の欄 1：内装板（要因1）
 df効果：各効果の自由度 ， MS効果：各効果の平均平方 ， df誤差：残差の自由度
 MS誤差：残差の平均平方

表-3.10 トンネル内の圧迫感／開放感の分散分析結果

STAT. GENERAL MANOVA	トンネル内の圧迫感／開放感 1-内装板					
効果	df 効果	MS 効果	df 誤差	MS 誤差	F	p-値
1	1*	26.68421*	226*	.622496*	42.86644*	.000000*

表-3.11 トンネル内の明るさの分散分析結果

STAT. GENERAL MANOVA	トンネル内の明るさ 1-内装板					
効果	df 効果	MS 効果	df 誤差	MS 誤差	F	p-値
1	1*	96.07018*	226*	.620245*	154.8906*	.000000*

表-3.12 トンネル内の見やすさの分散分析結果

STAT. GENERAL MANOVA	トンネル内の見やすさ 1-内装板					
効果	df 効果	MS 効果	df 誤差	MS 誤差	F	p-値
1	1*	120.8596*	226*	.873467*	138.3678*	.000000*

表-3.13 トンネル内の走りやすさの分散分析結果

STAT. GENERAL MANOVA	トンネル内の走りやすさ 1-内装板					
効果	df 効果	MS 効果	df 誤差	MS 誤差	F	p-値
1	1*	83.52631*	226*	.663639*	125.8610*	.000000*

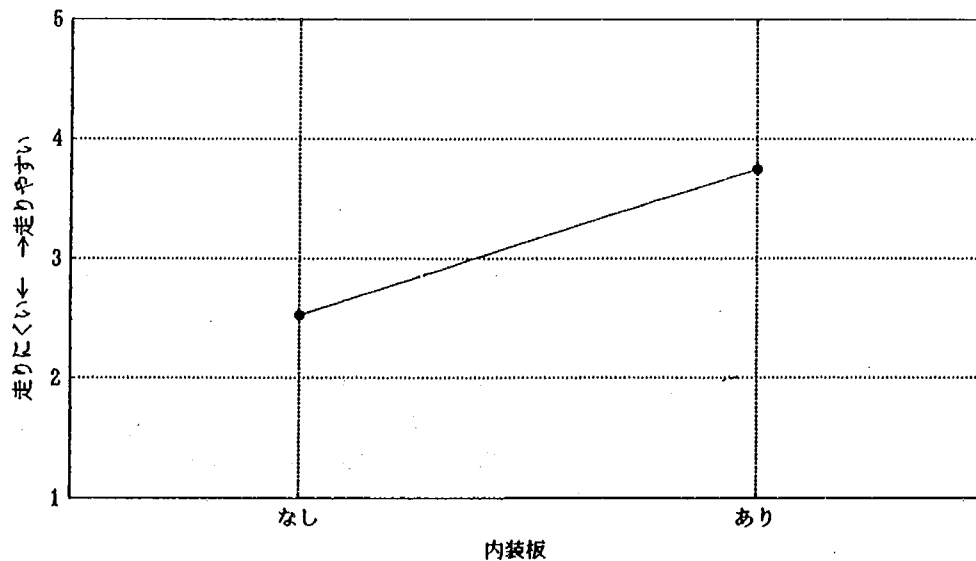


図-3.14 内装板の有無とトンネル内の走りやすさの関係

2) トンネル内のアンケート結果のまとめ

以上のアンケート結果により、全体として内装板があった方が良いイメージがあることがわかった。

次に、アンケート項目のなかで総合評価的な項目であるトンネル内の走りやすさ（目的変数）について、その他のアンケート項目（説明変数）との相関関係を分析した結果を表-3.14に示す。さらに、重回帰分析を行った結果、決定係数 R^2 が増加する説明変数を選択すると、「見やすさ」、「圧迫感／開放感」、「明るさ」とすべての変数が選択された（表-3.15）。このことから、トンネル内の走行性を高めるためには、第一に見やすくすることが必要であり、ついで開放的にかつ明るいイメージにすることが必要といえる。ただし、この結果はあくまで道路走行シミュレータで得た結果であり、前述のように「明るさ」の要因については満足な再現がされていないことから、今後は実車走行による検証が必要である。

表-3.14 各変数間の相関係数

	圧迫感／開放感	明 る さ	見 や す さ	走りやすさ
圧迫感／開放感	1.000	0.638	0.586	0.593
明 る さ	0.638	1.000	0.772	0.656
見 や す さ	0.586	0.772	1.000	0.869
走りやすさ	0.593	0.656	0.869	1.000

表-3.15 走りやすさの重回帰分析結果

変 数	重相関係数 R	重相関係数 R^2	F 値	p 値
x_1 : 見 や す さ	0.869	0.755	696.936	0.000
x_2 : 圧迫感／開放感	0.875	0.766	10.413	0.001
x_3 : 明 る さ	0.878	0.770	4.060	0.045
回 帰 式 : $y = 0.7364x_1 + 0.1881x_2 - 0.108x_3 + 0.827$ $R = 0.878$, $R^2 = 0.770$, $R^2(\text{調整済}) = 0.767$ $F(3, 224) = 250.15$, $p < 0.000$				

3.3.2 車両走行データ、運転操作データの解析結果

(1) 解析項目の検討

トンネルの坑口形状の違いと内装板の有無による走行性について、有効な比較項目を検討するため、代表的な2人分の走行結果をグラフ化した(図-3.15~3.26)。

ここで、図中の横軸に対応した道路構造と道路線形は、

- 0~1,150m : 明かり部 : 曲線
- 1,150m~1,700m : 明かり部 : 直線
- 1,700m~2,100m : トンネル部 : 直線
- 2,100m~ : トンネル部 : 曲線

となっている(図-3.1)。被験者A、Bで若干走り方に差があるため(トンネル前の速度変化など)、これらを考慮して以下の項目と内容で解析を行うことにした。

1) トンネル坑口付近の走行性についての比較項目

① トンネル坑口前後の速度差

被験者Bのようにトンネル前の直線で加速する場合があるため、トンネル前の速度はある区間の平均速度とし、一方のトンネル内は最低速度を集計した。

(1,300~1,600m間の平均速度) - (1,700~2,000m間の最低速度)

② トンネル坑口前後の減加速度

坑口形状type3のようにトンネル坑口付近で加速してる場合があるため、まず1,600mと1,800m地点の速度を比較し、その結果から以下のように集計した。

○ -3km/h以上の減速があるとき、

$$\left((1,600\sim 1,700\text{m間の最大速度}) - (1,700\sim 2,000\text{m間の最低速度}) \right) / (\text{その間に要した時間})$$

○ 減速度が3km/h以下のとき、

$$\left((1,600\text{m地点の速度}) - (1,800\text{m地点の速度}) \right) / (\text{その間に要した時間})$$

③ トンネル坑口前後の走行位置差

グラフでは示さなかったが、トンネルに進入する際にトンネル内壁による心理的負担から右側による可能性があるため、坑口前後の走行位置差を以下のように集計した。

(1,400~1,700m間の平均走行位置) - (1,700~2,000m間の平均走行位置)

④ アクセルをゆるめる地点から坑口までの距離

トンネル前で減速しているデータを対象に、アクセルをゆるめる地点からトンネル坑口までの距離を集計した。

1,700m - (1,300~1,700m間でアクセルをゆるめはじめる地点の距離)

⑤トンネル坑口前後のアクセル操作時間

トンネル前で減速しているデータを対象に、トンネル前でアクセルをゆるめてからトンネル内でアクセル踏量が一定に戻るまでの時間を集計した。

－（1,300～1,700m間でアクセルをゆるめはじめる地点の時間）－（1,700～2,000m間でアクセル踏量が一定に戻る地点の時間）

2)トンネル内の走行性についての比較項目

①速度回復時間

トンネル前後で－3 km/h以上減速しているデータを対象に、トンネル内の最低速度がトンネル前の平均速度に回復するまでの時間を集計した。

－（1,700～2,000m間の最低速度地点の時間）－（1,700～2,000m間で（1,300～1,600m間の平均速度）と同じ速度に回復する地点の時間）

②トンネル内カーブ区間の速度

内装板の有無による速度の違いを比較するため、トンネル内の平均速度をもとめる。しかし、トンネル内の直線部は、トンネルに進入する際の速度低下を回復させるために加速している傾向がみられるため、カーブ区間の平均速度を集計した。

（2,200～2,300m間の平均速度）

データの解析は、上記の比較項目を目的変数とし、「坑口形状」と「内装板の有無」を説明変数とした分散分析により行った。以降にその結果について述べる。

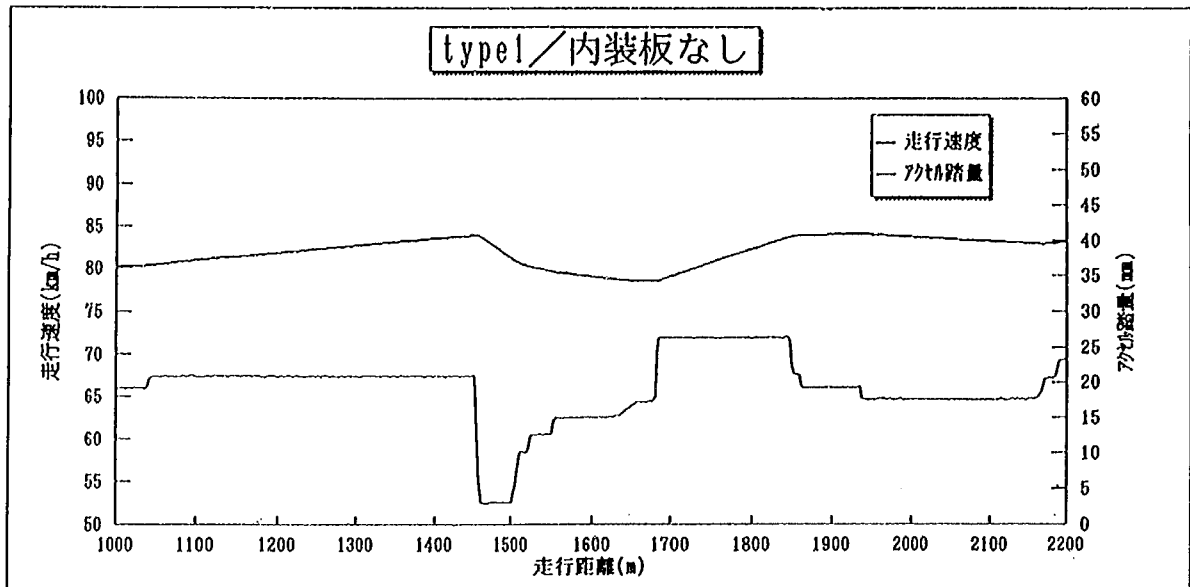


図-3.15 被験者Aの走行結果 (コース1)

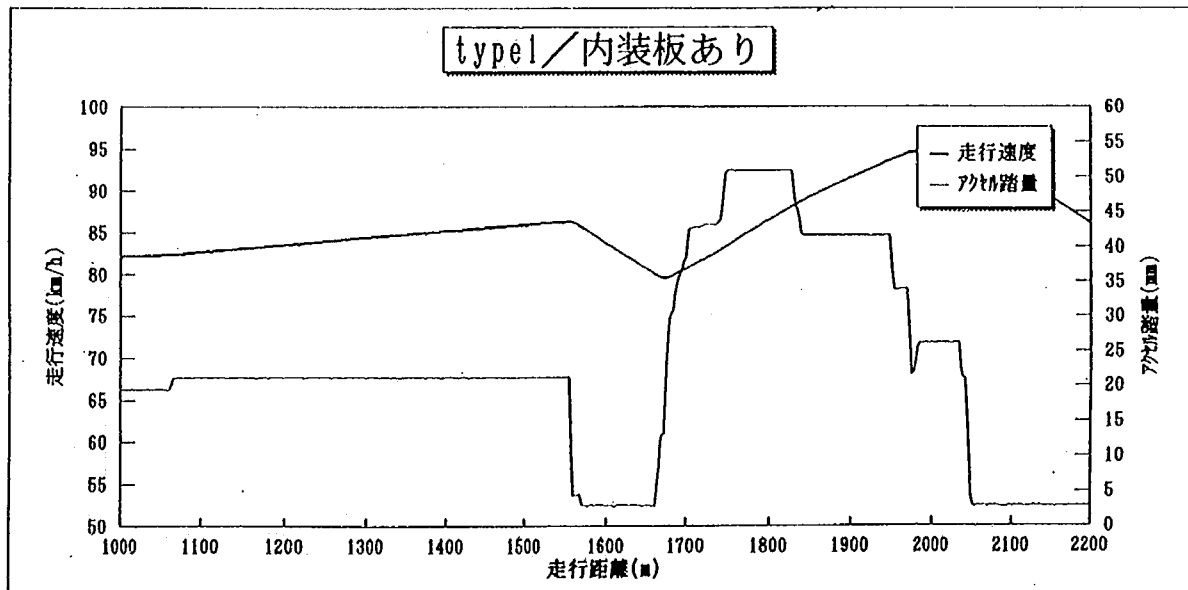


図-3.16 被験者Aの走行結果 (コース2)

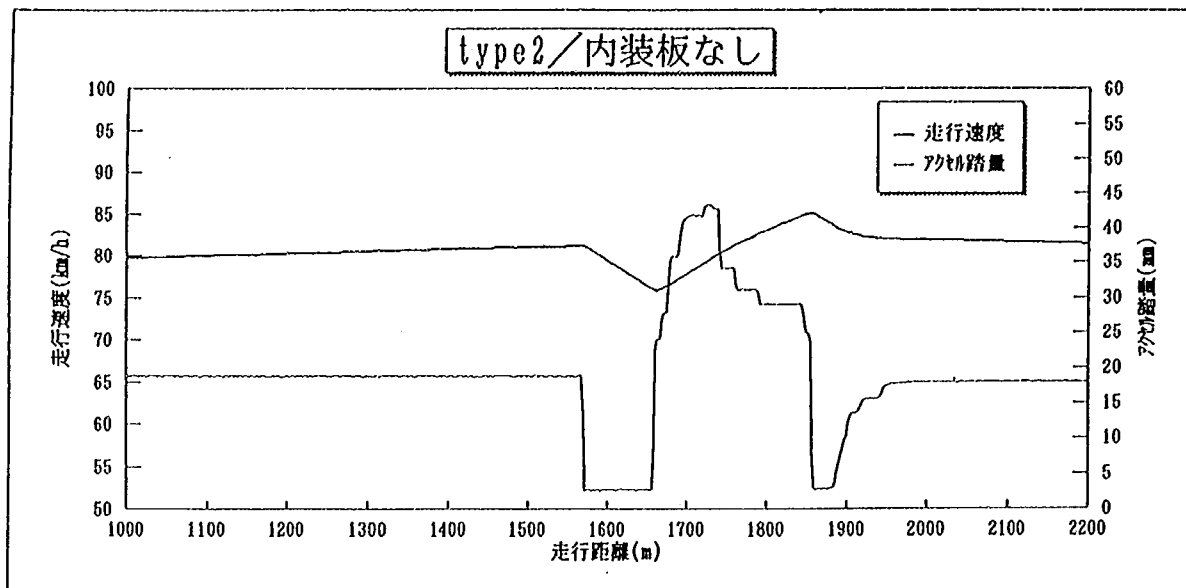


図-3.17 被験者Aの走行結果（コース3）

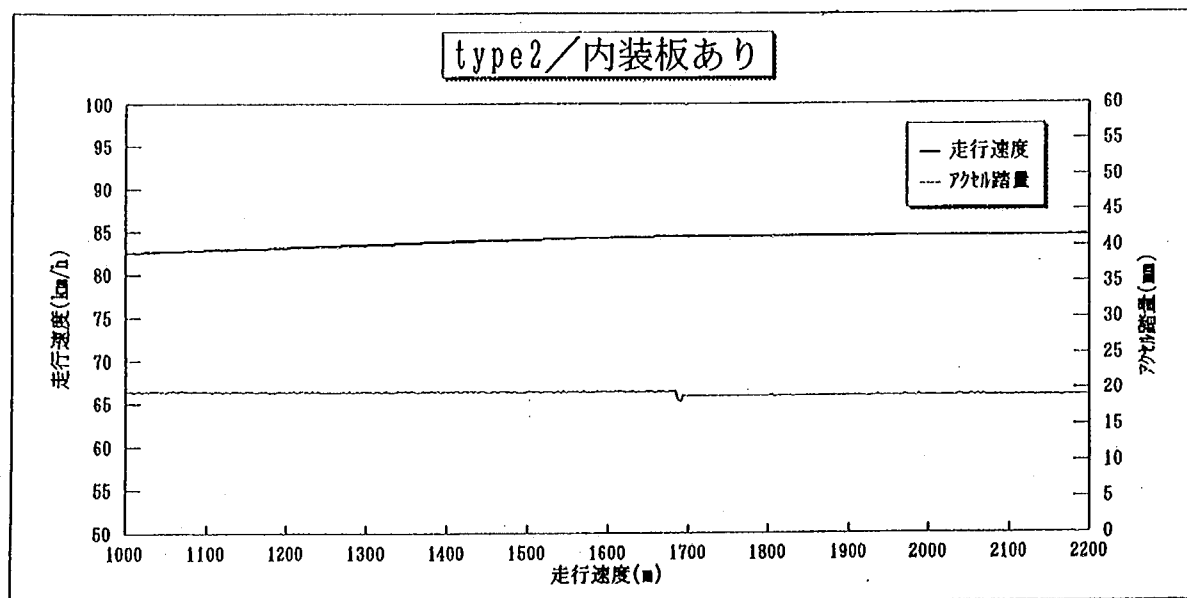


図-3.18 被験者Aの走行結果（コース4）

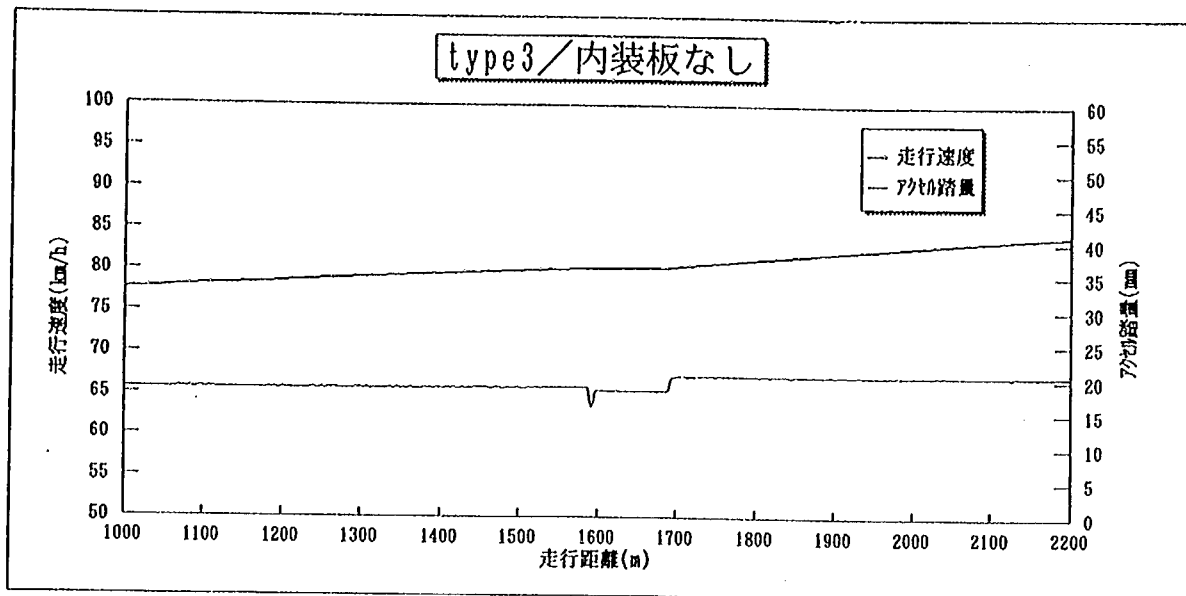


図-3.19 被験者Aの走行結果（コース5）

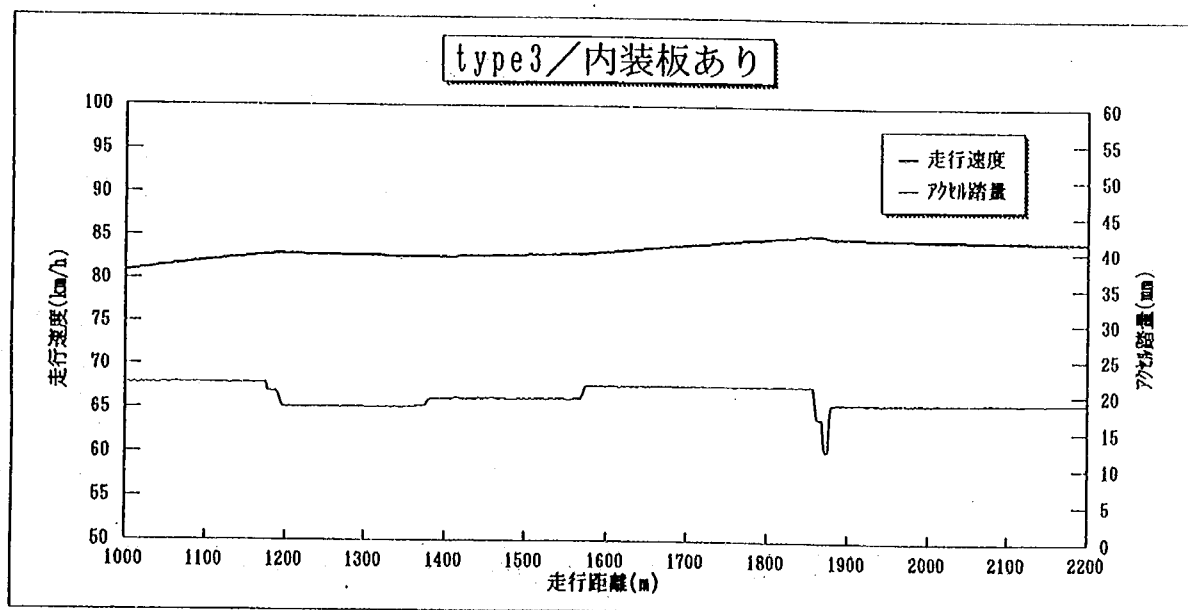


図-3.20 被験者Aの走行結果（コース6）

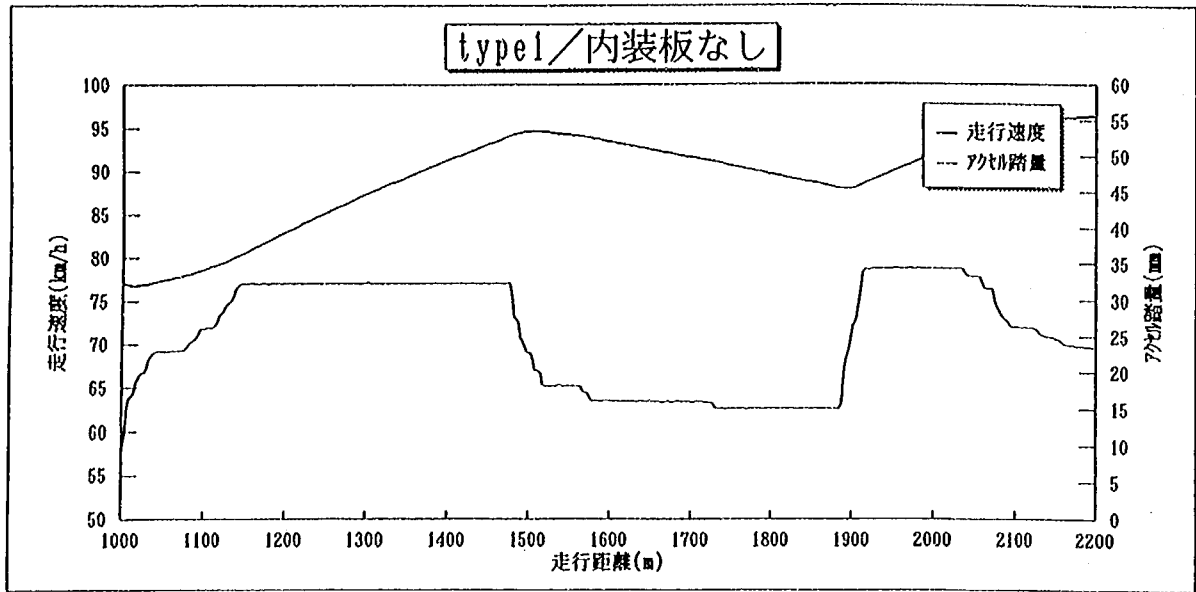


図-3.21 被験者Bの走行結果 (コース1)

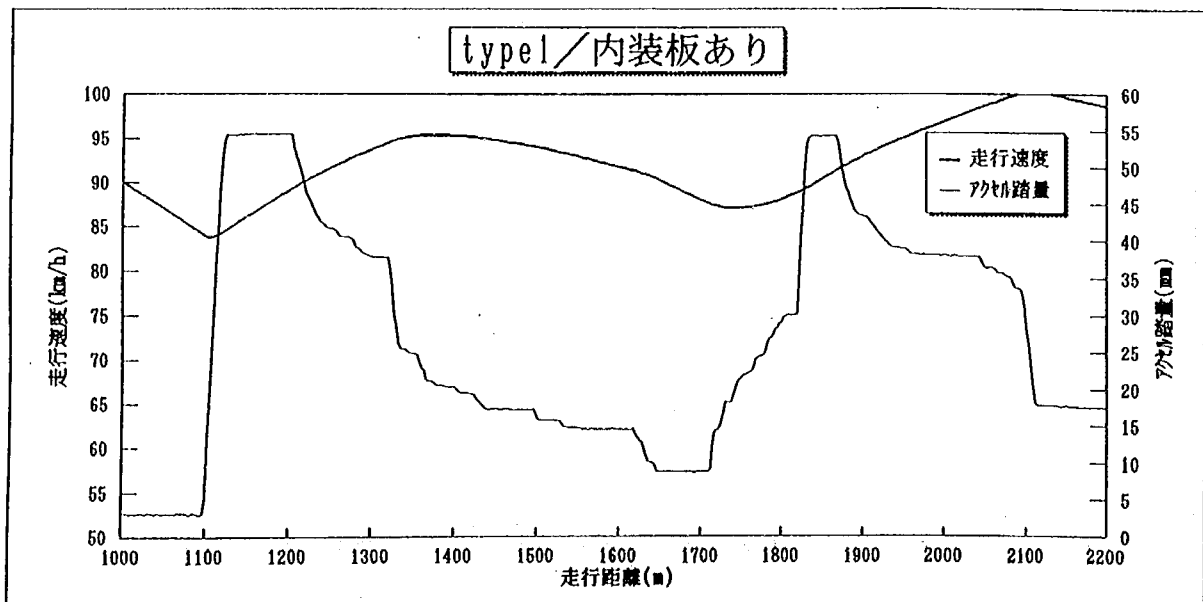


図-3.22 被験者Bの走行結果 (コース2)

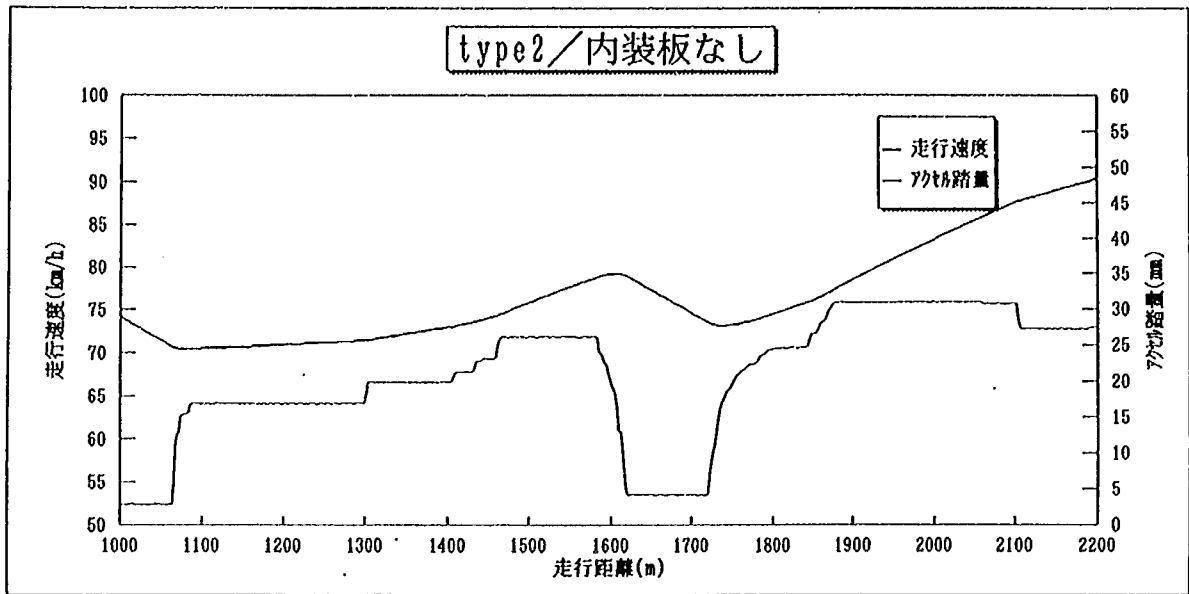


図-3.23 被験者Bの走行結果 (コース3)

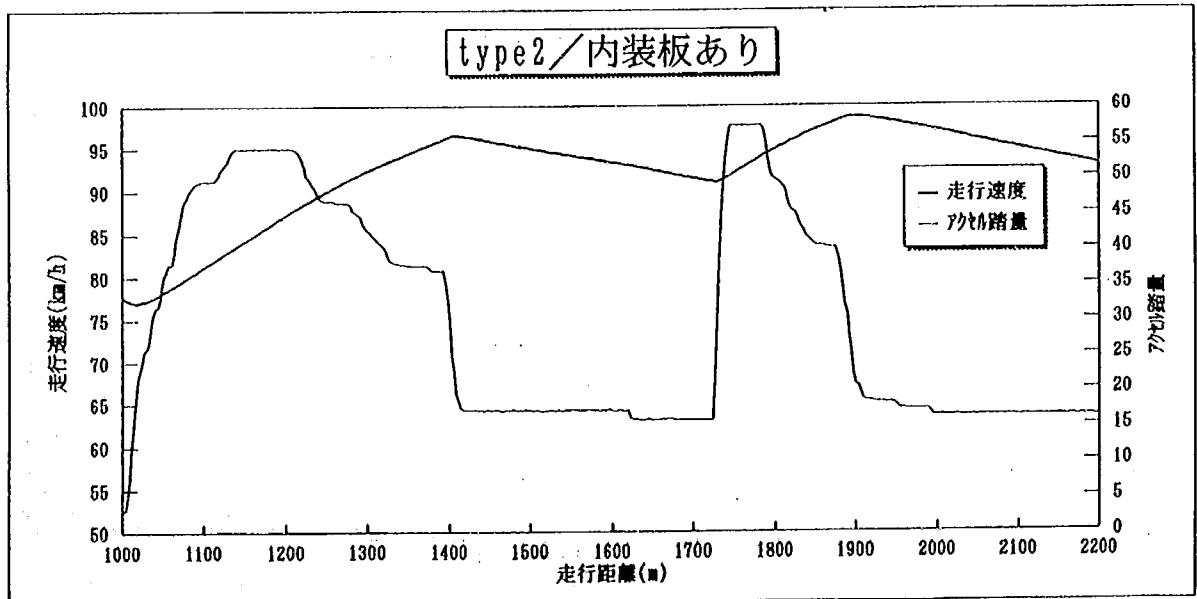


図-3.24 被験者Bの走行結果 (コース4)

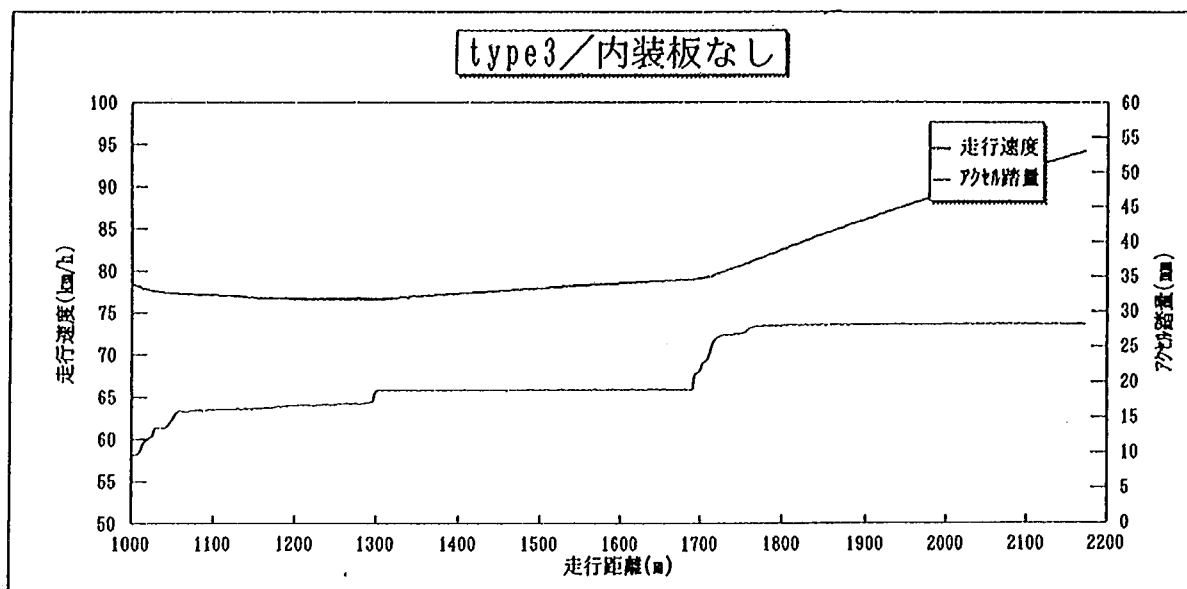


図-3.25 被験者Bの走行結果 (コース5)

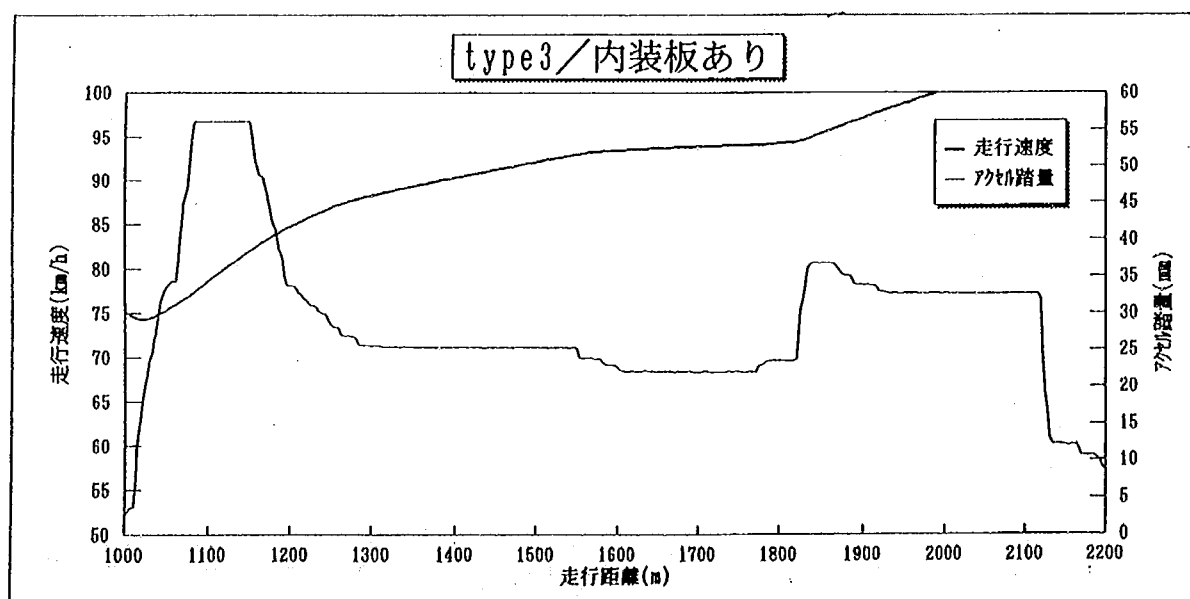


図-3.26 被験者Bの走行結果 (コース6)

(2)トンネル坑口付近の走行特性

1)トンネル坑口前後の速度差

トンネル坑口前後の速度差についての分散分析結果を表-3.16に示す。その結果、坑口形状、坑口形状と内装板の交互作用により速度差が異なることの有意性が確認された（有意水準5%）。図-3.27と図-3.28は、それぞれ効果のあった関係をグラフ化したものである。これにより、坑口形状がtype1とtype2は-2.5~3.0km/h程度の速度低下があるのに対し、type3はほとんど速度低下がみられないことが確認された。しかし、交互作用のグラフ（図-3.28）をみると、type2については内装板があることにより速度低下が減少していることがわかる。

分散分析結果の凡例

効果の欄 1：坑口形状（要因1），2：内装板（要因2），12：交互作用（要因1×要因2）
df効果：各効果の自由度，MS効果：各効果の平均平方，df誤差：残差の自由度
MS誤差：残差の平均平方

表-3.16 トンネル坑口前後の速度差の分散分析結果

STAT. GENERAL MANOVA	トンネル坑口前後の速度差 1-坑口形状, 2-内装板					
効果	df 効果	MS 効果	df 誤差	MS 誤差	F	p-値
1	2*	125.8369*	222*	15.41289*	8.164396*	.000379*
2	1	39.9927	222	15.41289	2.594759	.108639
12	2*	76.7763*	222*	15.41289*	4.981303*	.007652*

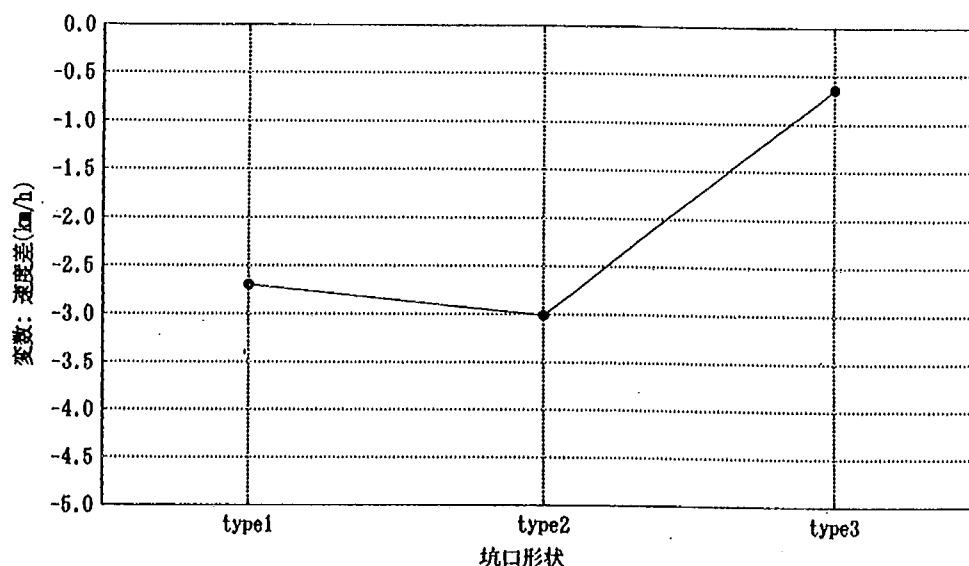


図-3.27 坑口形状と速度差の関係

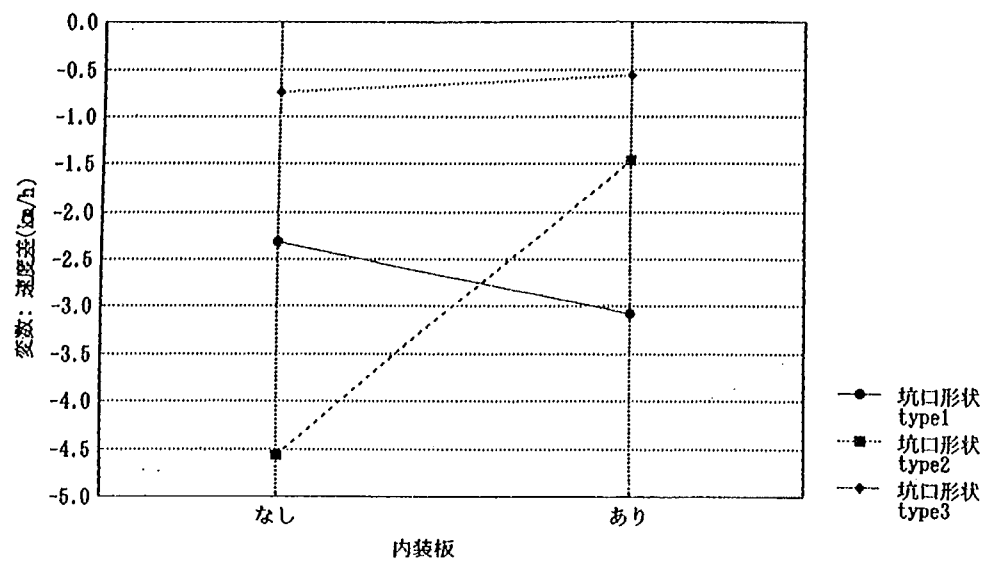


図-3.28 坑口形状×内装板と速度差の関係

2) トンネル坑口前後の減加速度

トンネル坑口前後の減加速度についての分散分析結果を表-3.17に示す。その結果、坑口形状の違いにより減加速度が異なることの有意性が確認された（有意水準5％）。図-3.29は、効果のあった関係をグラフ化したものである。これにより、坑口形状がtype1とtype2は -0.08m/s^2 程度の減加速度であるのに対し、type3では減加速度がみられないことが確認された。

表-3.17 トンネル坑口前後の減加速度の分散分析結果

STAT. GENERAL MANOVA	トンネル坑口前後の減加速度 1-坑口形状, 2-内装板					
効果	df 効果	MS 効果	df 誤差	MS 誤差	F	p-値
1	2*	.196059*	222*	.020703*	9.469930*	.000113*
2	1	.007346	222	.020703	.354799	.552016
12	2	.059022	222	.020703	2.850846	.059914

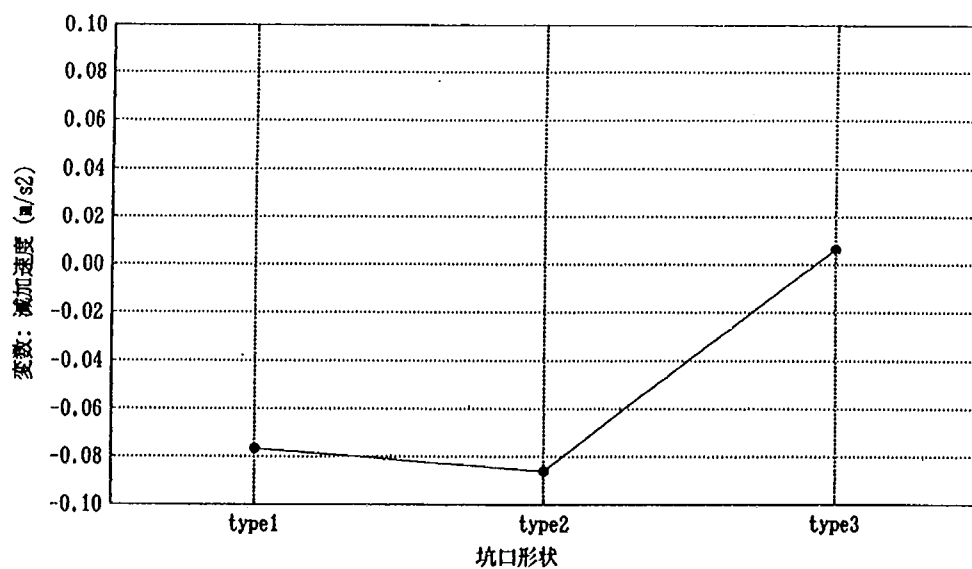


図-3.29 坑口形状と減加速度の関係

3) トンネル坑口前後の走行位置差

トンネル坑口前後の走行位置差についての分散分析結果を表-3.18に示す。今回の結果からは、走行位置差と坑口形状、内装板の違いともに有意性が確認されなかった（有意水準5％）。しかしこの結果は、道路走行シミュレータの特性から、横方向の安定性があまりないことが有意性があらわれないことの原因であると思われる。また、道路走行シミュレータでの車線内の平均的な走行位置は、ドライバーが自分自身を車線の中央において運転する傾向があるため、その結果、車両の走行位置が左に寄ってしまうことも影響していると考えられる。

表-3.18 トンネル坑口前後の走行位置差の分散分析結果

STAT. GENERAL MANOVA	トンネル坑口前後の走行位置差 1-坑口形状, 2-内装板					
効果	df 効果	MS 効果	df 誤差	MS 誤差	F	p-値
1	2	.089214	222	.033193	2.687749	.070248
2	1	.003250	222	.033193	.097915	.754640
12	2	.031228	222	.033193	.940787	.391871

4) アクセルをゆるめる地点から坑口までの距離

解析の前に、トンネル坑口前後で減速しているデータを抽出した。ここで、減速の度合いは -3km/h 以上を基準にし全108データのうち38データを抽出した。このデータは、1)トンネル坑口形状の速度差の解析結果からも明らかであるが、坑口形状がtype1とtype2のデータが主体であり、type3のデータはほとんど含まれていなかった。よってtype3のデータを除き、さらに坑口前後でなだらかなアクセル操作がされているデータとトンネル内で減速がはじまっているデータを除いた21データを用いて解析を行った。

アクセルをゆるめる地点から坑口までの距離についての分散分析結果を表-3.19に示す。その結果、坑口形状の違いによりアクセルをゆるめる地点が異なることの有意性が確認された（有意水準5%）。図-3.30は、効果のあった関係をグラフ化したものである。これにより、坑口形状がtype1の場合は、140m付近、type2の場合は200m付近でアクセルをゆるめはじめていることがわかる。

表-3.19 アクセルをゆるめる地点から坑口までの距離の分散分析結果

STAT. GENERAL MANOVA	アクセルをゆるめる地点から坑口までの距離 1-坑口形状, 2-内装板					
効果	df 効果	MS 効果	df 誤差	MS 誤差	F	p-値
1	1*	45166.40*	50*	5772.126*	7.824915*	.007297*
2	1	18719.21	50	5772.126	3.243036	.077760
12	1	1733.00	50	5772.126	.300235	.586173

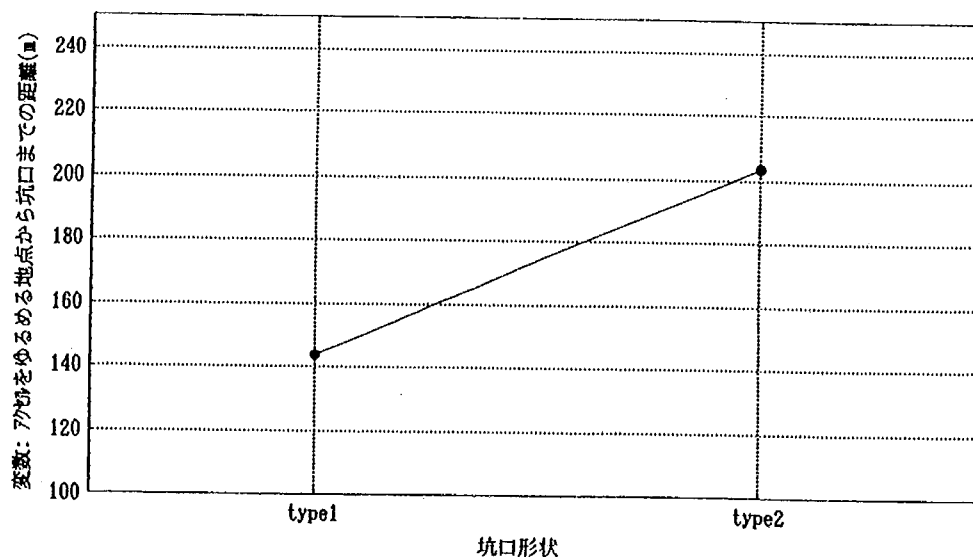


図-3.30 坑口形状とアクセルをゆるめる地点から坑口までの距離の関係

5)トンネル坑口前後のアクセル操作時間

解析に使用したデータは、4)アクセルをゆるめる地点から坑口までの距離で用いた21データを対象にした。

トンネル坑口前後のアクセル操作時間についての分散分析結果を表-3.20に示す。今回の結果からは、アクセル操作時間と坑口形状、内装板の有無ともに有意性が確認されなかった（有意水準5％）。

表-3.20 トンネル坑口前後のアクセル操作時間の分散分析結果

STAT. GENERAL MANOVA	トンネル坑口前後のアクセル操作時間 1-坑口形状, 2-内装板					
効果	df 効果	MS 効果	df 誤差	MS 誤差	F	p-値
1	1	2.28349	50	32.72523	.069778	.792747
2	1	.68331	50	32.72523	.020880	.885687
12	1	60.42614	50	32.72523	1.846470	.180293

(3)トンネル内の走行特性

1)速度回復時間

解析の前に、トンネル坑口前後で減速しているデータを抽出した。ここで、減速の度合いは -3km/h 以上を基準にし全108データのうち38データを抽出した。さらに、トンネル内の最低速度がトンネル前の平均速度まで回復しているデータを抽出すると16データであった。非常に少ないデータであるが、このデータを使用して分析を行った。

速度回復時間についての分散分析結果を表-3.21に示す。その結果、内装板の有無、坑口形状と内装板の交互作用により速度回復時間が異なることの有意性が確認された（有意水準5%）。図-3.31と図-3.32は、効果のあった関係をグラフ化したものである。これにより、内装板がある場合の速度回復時間は5秒程度、内装板がない場合は7秒程度であり、内装板がある方が2秒程度速度がはやく回復することが確認された。この傾向を坑口形状別にみると、type2とtype3については内装板がある方が4秒程度速度がはやく回復しているが、type1については逆の結果となった。これは、type2やtype3に比べtype1は、坑口直前で坑口の広がりがないため内装板の存在が認識されにくく、その結果、内装板の有無による違いがあらわれていないと考えられる。

分散分析結果の凡例

- 効果の欄 1：坑口形状（要因1），2：内装板（要因2），12：交互作用（要因1×要因2）
df効果：各効果の自由度，MS効果：各効果の平均平方，df誤差：残差の自由度
MS誤差：残差の平均平方

表-3.21 速度回復時間の分散分析結果

STAT. GENERAL MANOVA	速度回復時間 1-坑口形状, 2-内装板					
効果	df 効果	MS 効果	df 誤差	MS 誤差	F	p-値
1	2	8.99074	36	7.389669	1.216663	.308107
2	1*	37.87261*	36*	7.389669*	5.125076*	.029706*
12	2*	43.73273*	36*	7.389669*	5.918091*	.005996*

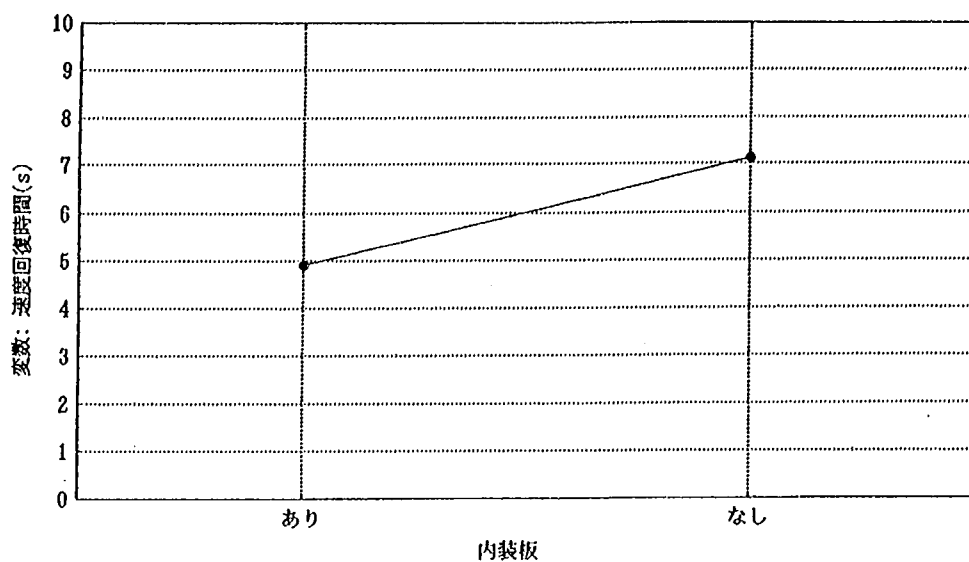


図-3.31 内装板の有無と速度回復時間の関係

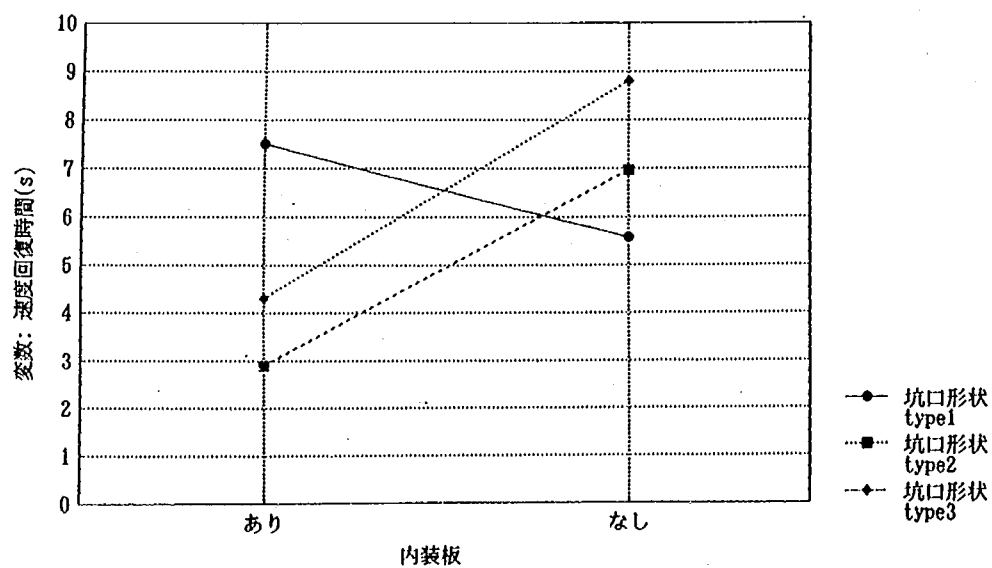


図-3.32 坑口形状×内装板の有無と速度回復時間の関係

2)トンネル内カーブ区間の速度

トンネル内カーブ区間の速度の分散分析結果を表-3.22に示す。今回の結果からは、トンネル内カーブ区間の速度と内装板の有無との有意性が確認されなかった（有意水準5％）。今後はトンネル区間を長くとり、速度が道路線形の影響をあまり受けず、一定に保たれるような状況で検証することが必要である。

表-3.22 トンネル内カーブ区間の速度の分散分析結果

STAT. GENERAL MANOVA	トンネル内カーブ区間の速度 1-内装板					
効果	df 効果	MS 効果	df 誤差	MS 誤差	F	p-値
1	1	6.403205	74	46.82180	.136757	.712583

(4)解析結果のまとめ

トンネルの坑口形状の違いと内装板の有無が走行性に与える影響について分散分析を行った結果から、効果が認められた項目について表-3.23にまとめた。

これにより、坑口形状は速度に関連した項目1)の①、1)の②に効果がみられ、一方の内装板については交互作用に効果がみられることから、坑口形状により効果があらわれるケースとあらわれないケースがあることが理解できる。具体的には、坑口形状がtype3には減速効果がみられないが、type1とtype2は坑口前後で減速効果がみられた。しかし、type2は内装板があることにより、減速効果を少なくできることがわかった。

以上のことから、トンネルに進入する際の走行性を高めるためには、たんに坑口を大きくするよりも形状としてはtype3のように構造上のすりつけを施すことにより、進入する際の一瞬の違和感を取り除く効果があるといえる。また、内装板の効果がtype1よりもtype2やtype3にみられることから、進入する際の何らかの視線誘導は坑口の手前から見やすくすることが必要といえる。

なお、今回の結果から効果があらわれなかった項目のうち、1)の③については道路走行シミュレータによる検証は難しいため、実車走行での検証が必要である。2)の②については実験用コースを再検討することにより効果が計測されると思われるので、調査の継続が必要である。

表-3.23 分散分析結果のまとめ

解 析 項 目	A:坑口形状	B:内装板有無	A×B
1)トンネル坑口付近の走行性についての比較項目			
①トンネル坑口前後の速度差	○	×	○
②トンネル坑口前後の減加速度	○	×	×
③トンネル坑口前後の走行位置差	×	×	×
④アクセルをゆるめる地点から坑口までの距離	○	×	×
⑤トンネル坑口前後のアクセル操作時間	×	×	×
2)トンネル内の走行性についての比較項目			
①速度回復時間	×	○	○
②トンネル内カーブ区間の速度	—	×	—

○：効果あり，×：効果なし，—：解析の対象外を示す。

3.4 まとめと今後の課題

今回、トンネル進入時の走行性について検討するため、坑口形状の違いと内装板の有無による影響について、アンケートによるイメージ評価と実際の走行結果（車両走行データ、運転操作データ）による評価の二側面から検討を行った。

その結果、アンケートによるイメージ評価からは、坑口形状としてはtype 1 < type 2 < type 3 の順に良いイメージが高まり、また、内装板があることにより良いイメージがあるという、これまで定性的に言われていたことの裏付けを示すことができた。さらに、今回は実際の走行結果を解析することにより、坑口形状の違いによる減速の程度、内装板の効果があらわれるケースなどについて整理できた。

今後の発展性としては、坑口付近のアンケート結果を重回帰分析した結果から言えるように、トンネルに入りやすくするためには、第一に開放的に、第二に見やすい坑口にする必要があるため、遠方からでもトンネルの存在を明確にドライバーに認識させるようなトンネル坑口のデザインや色づけについての検討や、また、トンネルに進入する際の一瞬の違和感を取り除く効果があったtype 3 の坑口部のすりつけ長についての検討が必要である。

最後に、実験用コースデータの作成や実験条件の設定にあたり、土木研究所トンネル研究室の石村研究員に貴重なご意見をいただきました。また、実験の実施やデータ集計の際には、夏期実習生であった日本大学の紺野真史氏と富井直人氏にお世話になりました。実験の被験者には、日本大学の夏期実習生の方々、セントラルコンサルタントつくば事務所の方々、土木研究所職員に協力していただきました。心から謝意を表させていただきます。

参考文献

- 1)越正毅：高速道路のボトルネック容量，土木学会論文集第371号／IV-5，1986.
- 2)越正毅ほか：高速道路のトンネル，サグにおける渋滞現象に関する研究，土木学会論文集第458号／IV-18，1993.
- 3)佐野信夫ほか：トンネル部における走行円滑性に関する一考察，高速道路と自動車第38巻第3号，1995.
- 4)吉田滋ほか：オランダの高規格高速道路トンネルにおける視環境と交通渋滞に関する調査研究，高速道路と自動車第38巻第8号，1995.
- 5)米川英雄ほか：トンネル視環境が交通容量に及ぼす影響，高速道路と自動車第38巻第11号，1995.
- 6)日本道路公団東京第二建設局：関越トンネル工事誌
- 7)東京都多摩都市整備本部：小山内裏トンネル工事誌
- 8)建設省土木研究所：道路走行シミュレータの開発と運用について，土木研究所資料第3482号，1997.
- 9)(社)日本道路協会：道路構造令の解説と運用
- 10)加藤晃、竹内伝史：土木計画学のためのデータ解析法，共立出版(株)

第4章 トンネル内走行時の走行性検討

4.1 実験概要

明かり部(昼間)とトンネル部(トンネル内)の走行特性の違いに着目し、道路走行シミュレータを用いて、同じ線形の明かり部とトンネル部の道路を被験者に走行させることにより、走行速度及び走行位置、先行車との距離感、反応遅れ時間に関する実験を行った。

4.1.1 実験方法

道路走行シミュレータを用いて、被験者に模擬設定したコース(阪神高速12号守口線の一部区間2.86km+加速区間1kmの計3.86km)を走行環境(明かり部、トンネル部)の異なる条件下において各実験項目毎に走行させた。なお、被験者には以下に示すようなインストラクションを走行前に行った。

被験者へのインストラクション

被験者の皆さんへのインストラクション

本実験は、今後道路を作るための基礎資料となるもので、皆様の運転テクニックを見るためのものではありません。従って、色々な道路条件(直線、カーブ、障害物の車両等)が出てきますが、あなたは実際に自動車で道路を走行しているつもりで普段通りの安全な運転操作を行って下さい。

1. 実験内容

○練習走行

道路走行シミュレータの操作に慣れていただくために、まずコースを走行していただきます。速度を変えたりブレーキ、アクセル、ハンドルの操作を行って運転の感覚をつかんで下さい。

○走行速度を指定した走行

走行速度を指定しますので、その速度に概ね合わせて走行して下さい。速度は70km/hですので、なるべく指定した速度で走行して下さい。但し、その際にスピードメーターをあまり気にしますと安定した走行ができずよいデータが取れませんので、スピードメーターは頻繁に見ないようにして下さい。なお、ガードレール、先行車等に追突した場合は「事故」となりますので、安全には十分注意して下さい。

○先行車がある場合の走行

あなたの車両の前を他の車両が走行します。その時は、安全な車間距離をとって走行して下さい。なお、先行車、ガードレール等に追突した場合は「事故」となりますので安全には十分注意して下さい。

2. 実験条件

○走行環境

前にあげた実験は、以下の2条件で行います。

昼間(晴天) → 4走行
トンネル内部 → 3走行

練習走行も含めて合計で8走行して頂きます。(走行方法はその都度伝えます。)

なお、待ってられる間は、お互いに実験のことについて一切話し合わないようして下さい。

(1) 走行速度

被験者に練習走行時に速度を確認させ、実験時にはスピードメーターをあまり気にしないようにさせて目標速度70km/hを被験者の速度感で走行させ、この時の走行速度を測定した。

(2) 走行位置

走行速度の実験時に走行位置を併せて測定した。走行位置の測定方法を図-4.1に示す。(幅員構成は、明かり部・トンネル部とも同様である。)

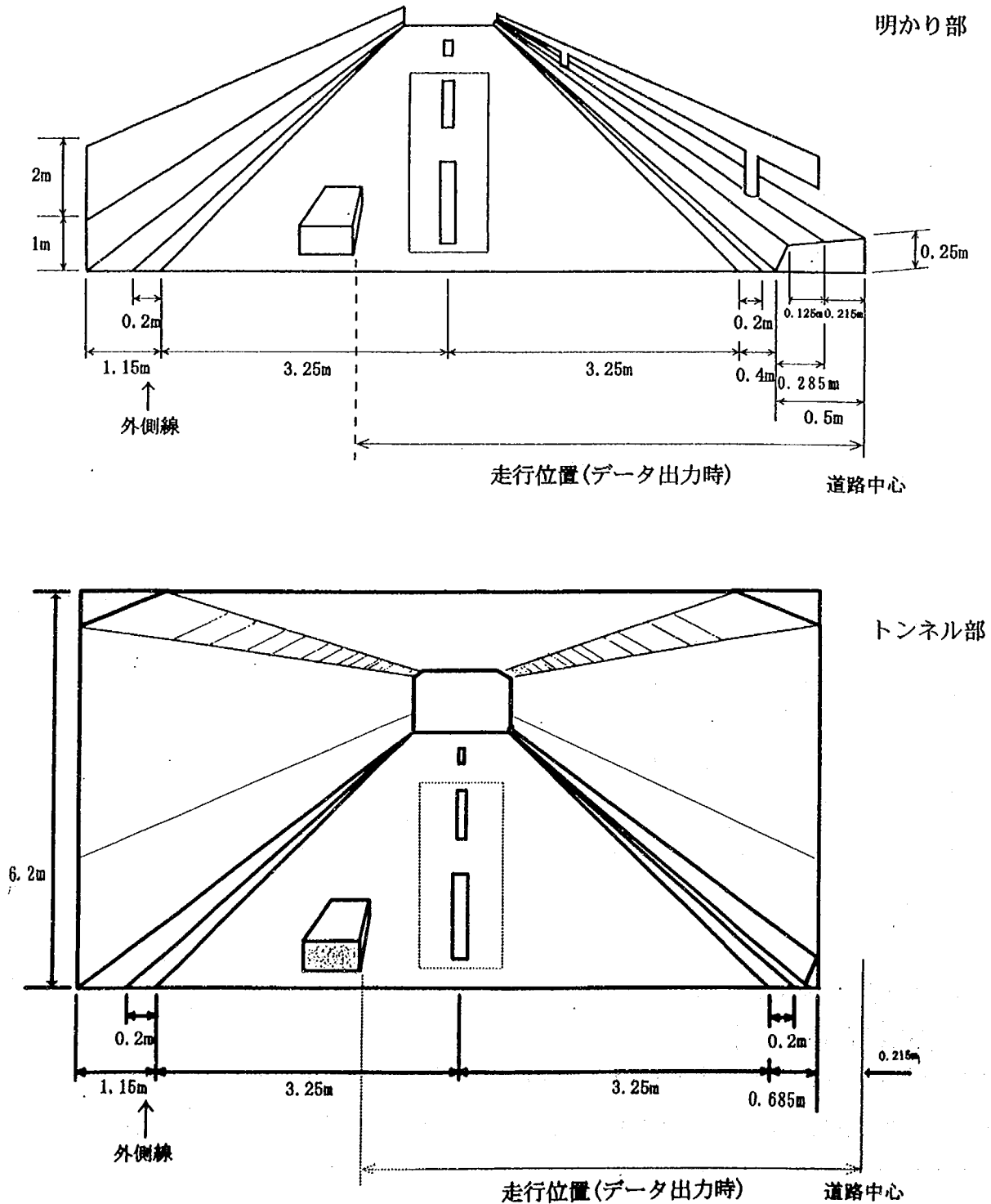


図-4.1 走行位置

(3) 先行車との距離感

試験車の前方に先行車を一定速度で走行させ、被験者には各人の距離感で安全な車間距離をとって追従走行させた。この時の先行車との車間距離を測定した。

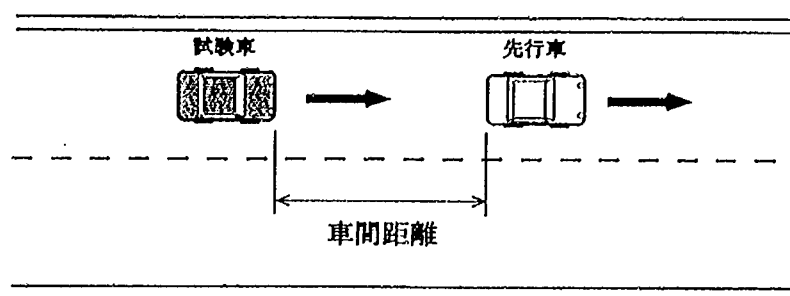


図-4.2 車間距離測定方法

(4) 反応遅れ時間

被験者に自由走行させ、走行中の前方道路上に障害物（大型バス）を発生させて、被験者がその障害物を認知し、アクセルペダルを解放してブレーキペダルを踏み始めるまでの時間を測定した。なお、障害物の発生位置は、被験者の学習効果が現れないよう、予め設定した3カ所（直線区間）の内から任意に選択した。

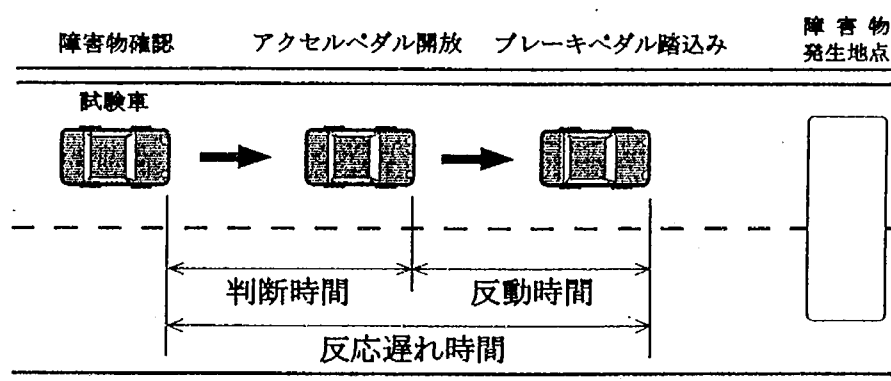


図-4.3 反応遅れ時間測定方法

(5) アンケート調査

本実験では被験者に対し、属性（性別、年齢、運転経験等）、道路走行シミュレータの特性（実車との比較）、走行環境（明かり部・トンネル部）、走行のしやすさ等について、実験後にアンケート調査用紙に記入させた。

4.1.2 実験条件

本実験は、以下の条件により行った。

表-4.1 実験条件

項 目	内 容	備 考
実 験 装 置	道路走行シミュレータ	土木研究所所有
道路走行環境	明かり部（昼間）、トンネル部	
走 行 速 度	70km/h	
走 行 回 数	1条件：1人1回	
被 験 者	合計 26名	

また実験については、12号守口線を模擬した以下の構造を有する明かり部、トンネル部のコンピュータグラフィックス（CG）を用い、道路走行シミュレータで再現することによって行った。（3.86km）

表-4.2 実験コース

区間番号	区間 (kp)	走行距離 (m)	距離 (km)	累積距離 (km)	平面線形	曲線半径 (m)	横断勾配
①	- ~ 2.97	0 ~ 1000	1.00	1.00	直線	-	1.5%
②	2.97 ~ 3.07	1000 ~ 1100	0.10	1.10	クロソイド	-	1.5% → -6%
③	3.07 ~ 3.21	1100 ~ 1240	0.14	1.24	曲線	270.0	-6%
④	3.21 ~ 3.31	1240 ~ 1340	0.10	1.34	クロソイド	-	-6% → 1.5%
⑤	3.31 ~ 3.63	1340 ~ 1660	0.32	1.66	直線	-	1.5%
⑥	3.63 ~ 3.81	1660 ~ 1840	0.18	1.84	曲線	1522.8	1.5%
⑦	3.81 ~ 3.91	1840 ~ 1940	0.10	1.94	クロソイド	-	1.5% → -4%
⑧	3.91 ~ 4.14	1940 ~ 2170	0.23	2.17	曲線	400.0	-4%
⑨	4.14 ~ 4.24	2170 ~ 2270	0.10	2.27	クロソイド	-	-4% → 1.5%
⑩	4.24 ~ 4.76	2270 ~ 2790	0.52	2.79	直線	-	1.5%
⑪	4.76 ~ 5.03	2790 ~ 3060	0.27	3.06	曲線	5824.6	1.5%
⑫	5.03 ~ 5.06	3060 ~ 3090	0.03	3.09	直線	-	1.5%
⑬	5.06 ~ 5.20	3090 ~ 3230	0.14	3.23	曲線	5824.6	1.5%
⑭	5.20 ~ 5.26	3230 ~ 3290	0.06	3.29	クロソイド	-	1.5% → 8%
⑮	5.26 ~ 5.41	3290 ~ 3440	0.15	3.44	曲線	205.3	8%
⑯	5.41 ~ 5.51	3440 ~ 3540	0.10	3.54	クロソイド	-	8% → 1.5%
⑰	5.51 ~ 5.83	3540 ~ 3860	0.32	3.86	直線	-	1.5%

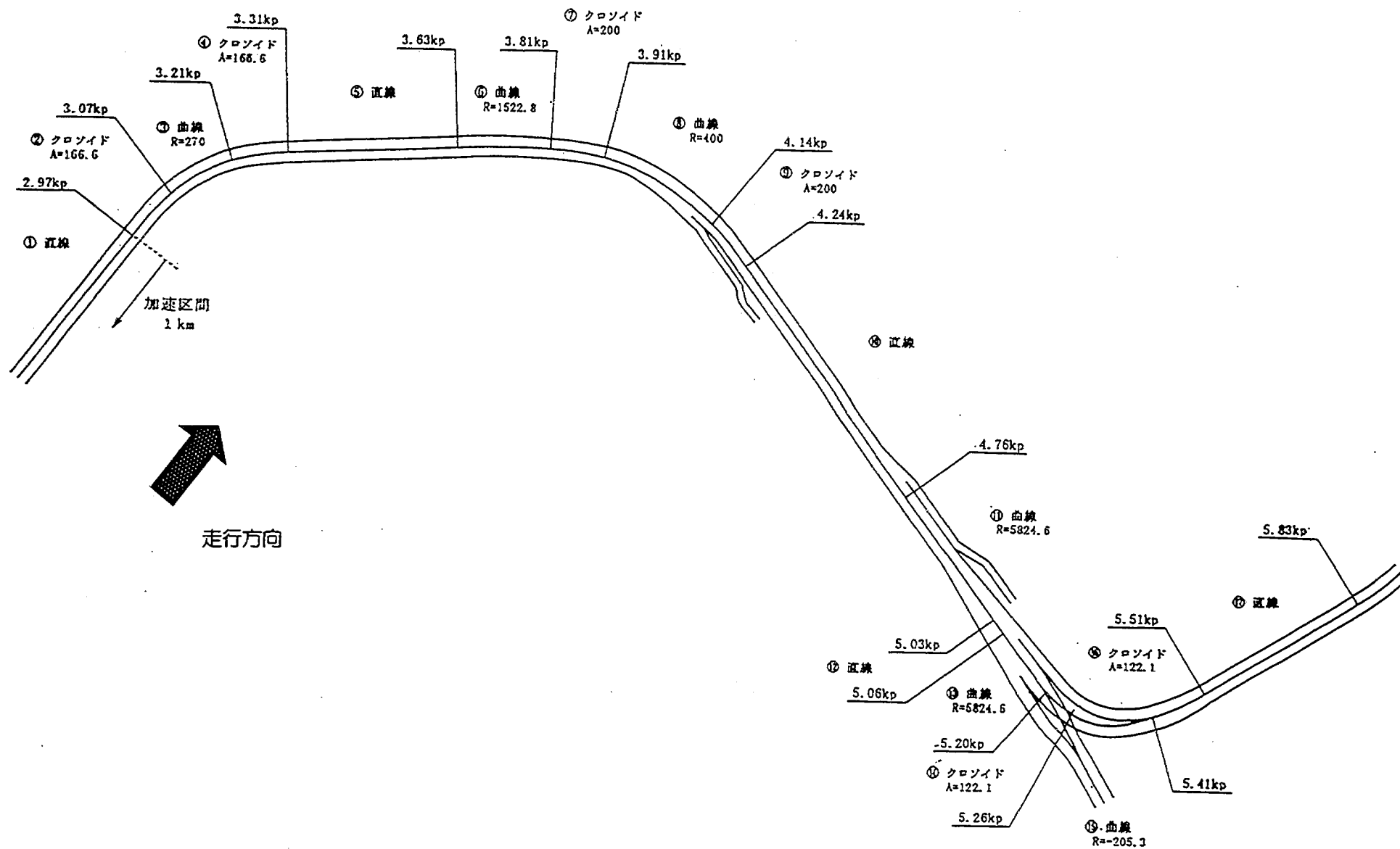


図-4.4 実験コース線形図

4.1.3 実験項目及び実験順序

実験項目と実験順序は以下に示す通りである。被験者の道路走行シミュレータに対する慣れが生じないように、ランダムに実験順序を設定した。

表-4.3 実験項目

実験項目	測定項目	明かり部 (昼間)	トンネル部
練習走行	—	26人 (T ₁)	—
走行速度の変化	走行速度, 走行位置	26人 (B ₁)	26人 (B ₂)
先行車との距離感	車間距離	26人 (C ₁)	26人 (C ₂)
反応遅れ時間	反応遅れ時間	26人 (A ₁)	26人 (A ₂)

※被験者数は、合計26名を対象とした。

表-4.4 実験順序

0	1	2	3	4	5	6	7
T ₁	A ₁	B ₁	C ₂	A ₂	C ₁	B ₂	A ₁

※道路走行シミュレータへの慣れを確認するためにA₁を2回行った。

4.2トンネル内走行に関する実験結果

全被験者26名分の実験データを総括し、走行環境（明かり部（昼間）、トンネル部）の違いによる各種要因（走行速度、走行位置、先行車との距離感、反応遅れ時間）を整理し、総合的な評価を行った。

なお、以下に示すような特異なデータは削除して整理した。

- ・安定した値を得るため、加速区間である直線区間①、及び減速区間である直線区間⑩のデータを削除。
- ・走行位置の実験途中で走行車線から追越車線へ車線変更してしまった被験者（1名）のデータを削除。
- ・先行車との距離感（車間距離）の実験で明かり部とトンネル部の差が特に著しい被験者（3名）のデータを削除。
- ・反応遅れ時間（明かり部）の実験で障害物が発生した時点で既にアクセルペダルから足を離していた被験者（2名）のデータを削除。（1回目にデータが取れなかった場合は2回目のデータを使用した。）

4. 2. 1 走行特性に関する評価

全被験者の実験結果を合わせ、走行特性各項目に関する総合的な評価を行った。各項目毎の結果を以下に示す

(1) 走行速度

各被験者の走行速度測定結果をもとに集計した結果を表-4. 5及び図-4. 5に示すとともに、参考として走行速度データを表-4. 6、被験者2名の走行速度の例を図-4. 6に示す。

走行速度については特に顕著な傾向が見られず、何れのケースもほぼ同程度の速度であった。この結果を見る限り、明かり部と比較してトンネル部の方が若干バラツキが大きい程度であり、むしろ被験者によるバラツキの方が大きいと考えられる。(アンケート結果からも、明かり部とトンネル部の速度感に違いはないとの回答が得られた。また、明かり部・トンネル部とも曲線半径の小さいカーブにおいて若干速度が低下するが、他区間とほぼ同程度の速度である。)

明かり部とトンネル部との相関を別途見た結果からも、有意な関係はなかった。

以上のことから、走行速度は被験者個人の走行の仕方(特性)によるところが大きく、同様の幾何構造であれば、走行環境(明かり部・トンネル部)の違いによる大きな速度差は見られないものと考えられる。

表-4. 5 走行速度測定結果総合表

	区間	走行速度 (km/h)								備 考
		明 か り 部 (昼 間)				ト ン ネ ル 部				
		最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差	
全 体	直線区間⑤	86.80	66.10	73.52	5.08	96.10	60.70	74.11	6.53	
	直線区間⑩	103.70	61.20	73.92	6.32	105.10	64.10	74.29	6.12	
	直線区間⑫	101.90	68.00	75.20	5.76	95.20	64.60	74.36	7.10	
	直線区間全体	103.70	61.20	73.82	5.88	105.10	60.70	74.22	6.31	
	曲線区間③	88.60	62.70	74.14	5.42	89.80	57.60	74.24	6.43	R=270
	曲線区間⑥	90.00	65.70	72.59	5.66	92.40	61.00	72.93	6.08	R=1522.8
	曲線区間⑧	93.30	64.00	72.67	5.44	99.80	62.20	73.01	6.09	R=400
	曲線区間⑪	101.40	68.40	74.45	5.49	94.80	61.80	73.32	5.96	R=5824.6
	曲線区間⑬	103.70	66.10	74.33	5.85	96.00	62.70	73.61	6.13	R=5824.6
	曲線区間⑮	99.50	63.00	71.26	6.49	94.00	62.20	72.07	5.64	R=205.3
	曲線区間全体	103.70	62.70	73.28	5.80	99.80	57.60	73.18	6.08	
	コース全体	103.70	61.20	73.52	5.84	105.10	57.60	73.63	6.20	

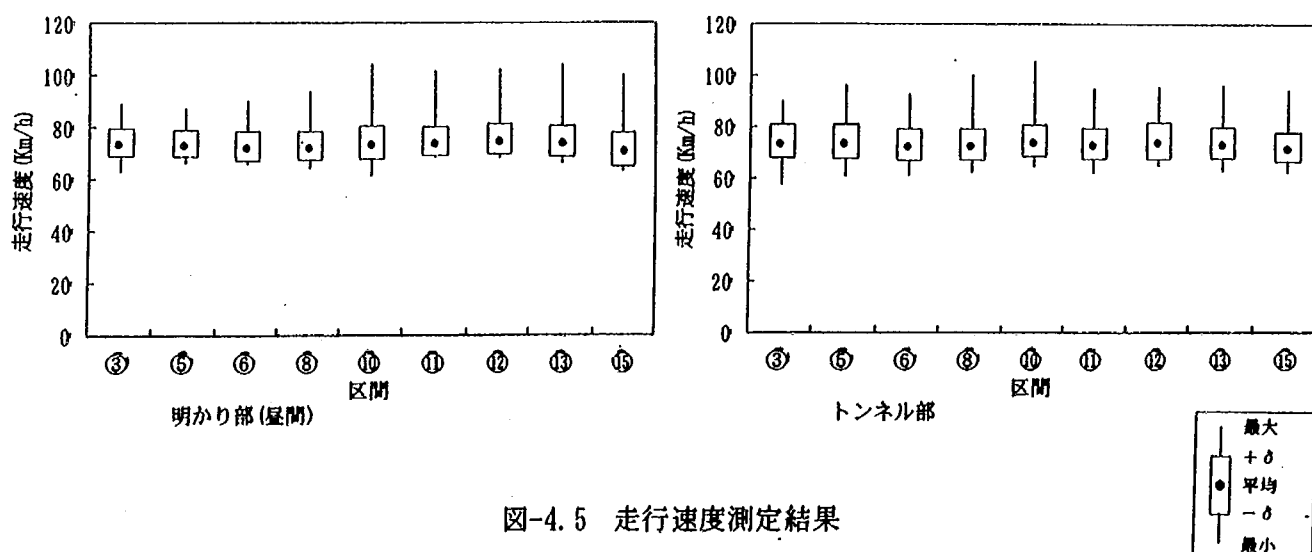


図-4. 5 走行速度測定結果

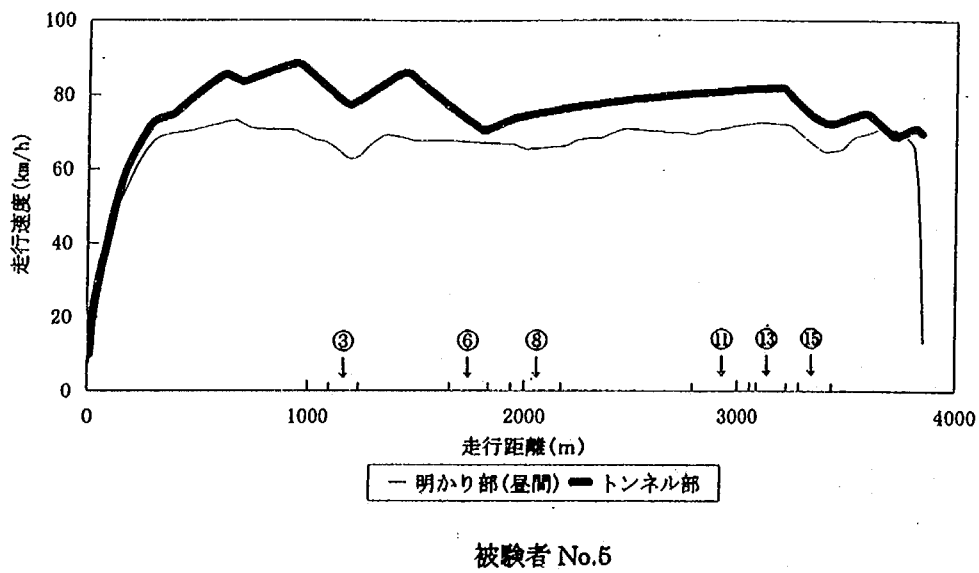
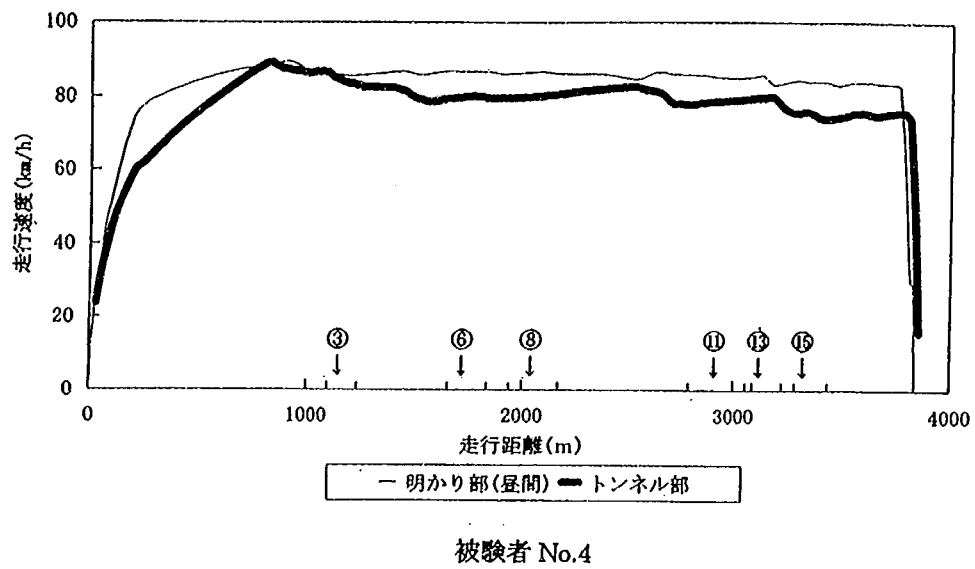
〔走行速度データ〕

表-4.6 走行速度測定結果

	区間	走行速度 (km/h)								備 考
		明 か り 部 (昼 間)				ト ン ネ ル 部				
		最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差	
全 体	直線区間⑤	86.80	66.10	73.52	5.08	96.10	60.70	74.11	6.53	
	直線区間⑩	103.70	61.20	73.92	6.32	105.10	64.10	74.29	6.12	
	直線区間⑫	101.90	68.00	75.20	5.76	95.20	64.60	74.36	7.10	
	直線区間全体	103.70	61.20	73.82	5.88	105.10	60.70	74.22	6.31	
	曲線区間③	88.60	62.70	74.14	5.42	89.80	57.60	74.24	6.43	R=270
	曲線区間⑥	90.00	65.70	72.59	5.66	92.40	61.00	72.93	6.08	R=1522.8
	曲線区間⑧	93.30	64.00	72.67	5.44	99.80	62.20	73.01	6.09	R=400
	曲線区間⑪	101.40	68.40	74.45	5.49	94.80	61.80	73.32	5.96	R=5824.6
	曲線区間⑬	103.70	66.10	74.33	5.85	96.00	62.70	73.61	6.13	R=5824.6
	曲線区間⑮	99.50	63.00	71.26	6.49	94.00	62.20	72.07	5.64	R=205.3
	曲線区間全体	103.70	62.70	73.28	5.80	99.80	57.60	73.18	6.08	
コース全体	103.70	61.20	73.52	5.84	105.10	57.60	73.63	6.20		
グループⅠ	直線区間⑤	86.80	67.10	74.41	7.08	96.10	68.30	80.15	7.72	
	直線区間⑩	103.70	68.10	78.60	10.58	105.10	72.60	82.25	7.98	
	直線区間⑫	101.90	68.00	78.13	11.00	95.20	75.50	84.59	7.10	
	直線区間全体	103.70	67.10	76.98	9.64	105.10	68.30	81.56	7.94	
	曲線区間③	86.30	62.70	73.81	7.36	89.80	71.00	79.62	6.27	R=270
	曲線区間⑥	90.00	67.00	74.88	8.70	92.40	67.90	77.60	7.66	R=1522.8
	曲線区間⑧	93.30	65.30	75.36	9.36	99.80	70.10	79.91	8.39	R=400
	曲線区間⑪	101.40	68.70	78.10	10.41	94.80	75.20	81.95	6.07	R=5824.6
	曲線区間⑬	103.70	66.10	78.07	12.19	96.00	74.60	82.42	6.55	R=5824.6
	曲線区間⑮	99.50	64.60	75.56	11.56	94.00	72.10	79.45	7.13	R=205.3
	曲線区間全体	103.70	62.70	76.08	10.11	99.80	67.90	80.22	7.29	
コース全体	103.70	62.70	76.48	9.92	105.10	67.90	80.80	7.61		
グループⅡ	直線区間⑤	84.30	66.20	73.53	4.29	83.90	60.70	72.89	5.22	
	直線区間⑩	84.30	69.00	74.87	3.68	81.70	64.30	71.85	3.55	
	直線区間⑫	80.80	70.40	74.93	2.71	77.40	67.40	71.21	2.69	
	直線区間全体	84.30	66.20	74.38	3.95	83.90	60.70	72.21	4.26	
	曲線区間③	81.90	67.80	74.26	3.63	81.90	57.60	73.12	6.71	R=270
	曲線区間⑥	80.40	66.20	72.73	4.73	84.40	61.00	71.54	5.59	R=1522.8
	曲線区間⑧	81.50	69.30	73.84	3.36	81.60	62.20	71.48	4.08	R=400
	曲線区間⑪	83.40	68.40	74.11	3.54	77.10	66.30	70.82	2.78	R=5824.6
	曲線区間⑬	80.10	68.70	73.31	2.14	78.50	64.30	71.59	3.10	R=5824.6
	曲線区間⑮	75.60	63.00	69.20	3.44	76.20	65.80	70.92	2.51	R=205.3
	曲線区間全体	83.40	63.00	73.09	3.93	84.40	57.60	71.47	4.30	
コース全体	84.30	63.00	73.65	3.99	84.40	57.60	71.79	4.30		
グループⅢ	直線区間⑤	84.00	66.10	73.09	4.63	92.90	66.20	72.75	5.67	
	直線区間⑩	77.10	61.20	70.81	3.79	81.90	64.10	73.48	4.26	
	直線区間⑫	76.10	69.70	73.89	2.04	82.70	64.60	72.31	5.13	
	直線区間全体	84.00	61.20	71.75	4.24	92.90	64.10	73.17	4.88	
	曲線区間③	88.60	65.40	74.18	5.90	88.90	68.50	73.01	4.73	R=270
	曲線区間⑥	82.10	65.70	71.30	4.10	85.50	68.20	72.31	4.52	R=1522.8
	曲線区間⑧	77.60	64.00	70.22	3.45	84.10	66.30	71.56	4.29	R=400
	曲線区間⑪	77.20	69.50	73.11	2.09	82.30	61.80	72.36	5.08	R=5824.6
	曲線区間⑬	80.90	69.60	73.76	2.64	82.70	62.70	72.07	5.09	R=5824.6
	曲線区間⑮	81.30	64.10	71.43	4.38	83.10	62.20	69.95	4.48	R=205.3
	曲線区間全体	88.60	64.00	72.18	4.02	88.90	61.80	71.91	4.79	
コース全体	88.60	61.20	71.99	4.12	92.90	61.80	72.46	4.87		

※実験は、Ⅰ～Ⅲグループの3回に分けて行った。
 (グループⅠ：10名、グループⅡ：11名、グループⅢ：5名)

〔各被験者の走行速度測定結果の例〕



グループ I

図-4.6 走行速度測定結果 (被験者2名分)

(2) 走行位置

各被験者の走行位置測定結果をもとに集計した結果を表-4.7及び図-4.7に示すとともに、参考として走行位置データを表-4.8、2名の被験者の走行位置の例を図-4.8に示す。

走行位置については、明かり部、トンネル部とも曲線半径の小さいカーブにおいて多少カーブの内側に寄る傾向がある。(若干トンネルの方がより内側に寄っているが、その差は僅少である。) これは被験者が普段の運転でカーブを走行する際、極力小さく曲がろうとする習慣が現れているものと考えられる。(アンケート結果では、トンネルの方が多少カーブが走行しにくい、壁面が近く感じるとの回答が得られたが、影響は現れていない。)

しかしながら全体的には、走行環境(明かり部・トンネル部)による走行位置の顕著な差は見られなかった。また相関関係を別途見た結果からも有意な関係は見られなかった。

表-4.7 走行位置測定結果総合表

	区間	走行位置 (m)								備 考
		明 か り 部 (昼)				ト ン ネ ル 部				
		最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差	
全 体	直線区間⑤	7.28	5.20	6.05	0.40	7.00	5.44	6.09	0.31	
	直線区間⑩	7.20	5.34	6.00	0.34	6.74	3.74	5.99	0.33	
	直線区間⑫	6.74	5.64	6.12	0.31	7.02	5.51	6.13	0.30	
	直線区間全体	7.28	5.20	6.03	0.36	7.02	3.74	6.03	0.32	
	曲線区間③	6.97	4.86	6.08	0.41	6.93	5.33	6.04	0.32	R=270
	曲線区間⑥	6.92	5.17	5.98	0.38	6.90	5.21	6.04	0.31	R=1522.8
	曲線区間⑧	6.74	4.84	5.89	0.41	6.74	4.92	5.87	0.32	R=400
	曲線区間⑪	6.93	4.97	6.03	0.33	6.85	5.26	6.08	0.28	R=5824.6
	曲線区間⑬	6.89	5.28	5.99	0.34	6.83	5.40	6.02	0.27	R=5824.6
	曲線区間⑮	8.40	5.81	6.74	0.40	7.72	5.38	6.85	0.38	R=205.3
	曲線区間全体	8.40	4.84	6.09	0.46	7.72	4.92	6.12	0.43	
	コース全体	8.40	4.84	6.06	0.42	7.72	3.74	6.08	0.39	

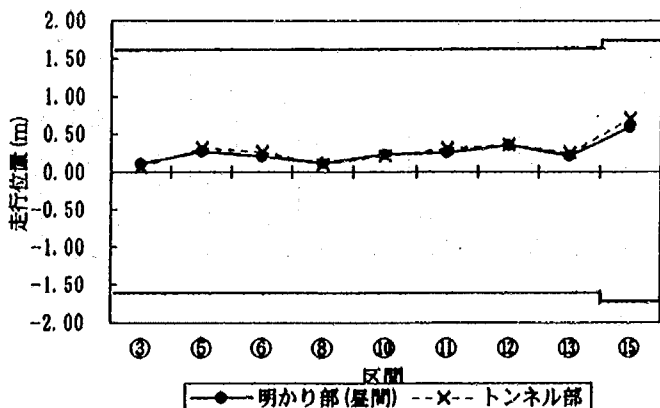
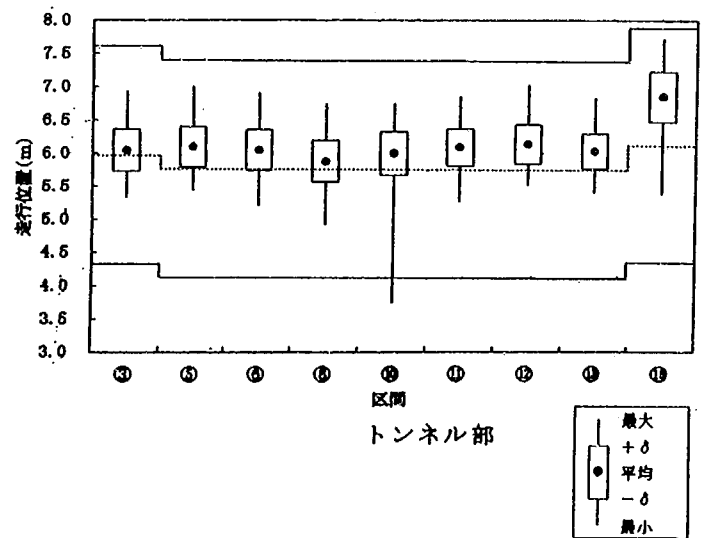
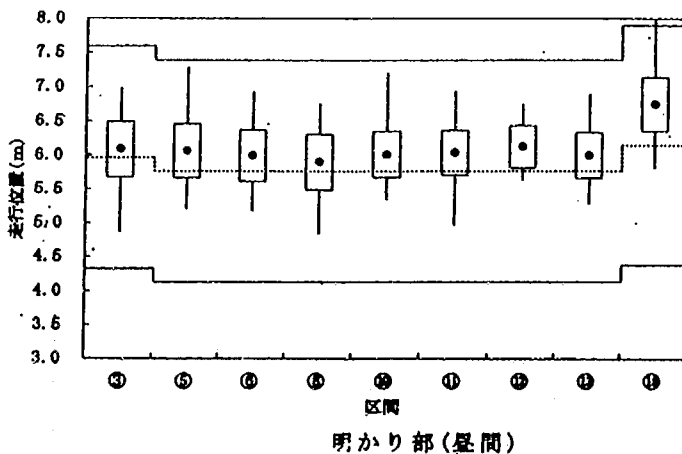


図-4.7 走行位置測定結果

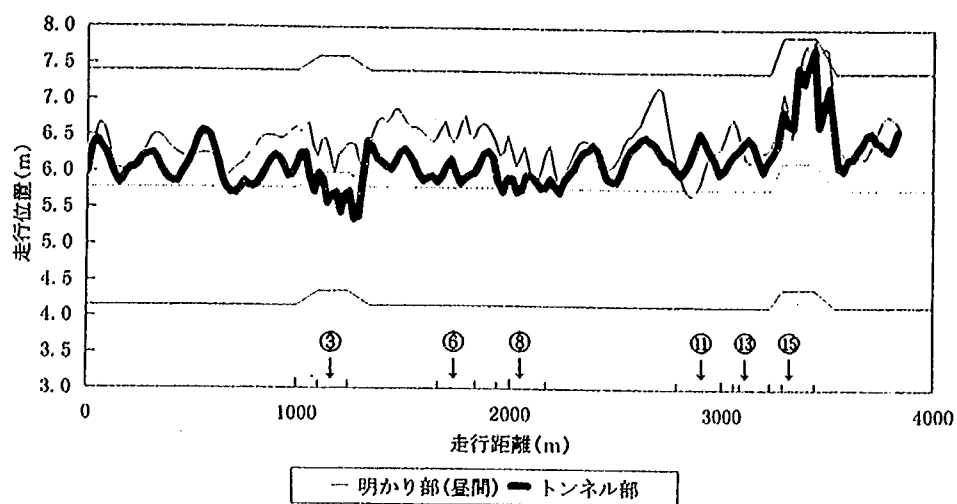
表-4.8 走行位置測定結果

	区間	走行位置 (m)								備 考
		明 か り 部 (昼)				ト ン ネ ル 部				
		最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差	
全 体	直線区間⑤	7.28	5.20	6.05	0.40	7.00	5.44	6.09	0.31	
	直線区間⑩	7.20	5.34	6.00	0.34	6.74	3.74	5.99	0.33	
	直線区間⑫	6.74	5.64	6.12	0.31	7.02	5.51	6.13	0.30	
	直線区間全体	7.28	5.20	6.03	0.36	7.02	3.74	6.03	0.32	
	曲線区間③	6.97	4.86	6.08	0.41	6.93	5.33	6.04	0.32	R=270
	曲線区間⑥	6.92	5.17	5.98	0.38	6.90	5.21	6.04	0.31	R=1522.8
	曲線区間⑧	6.74	4.84	5.89	0.41	6.74	4.92	5.87	0.32	R=400
	曲線区間⑪	6.93	4.97	6.03	0.33	6.85	5.26	6.08	0.28	R=5824.6
	曲線区間⑬	6.89	5.28	5.99	0.34	6.83	5.40	6.02	0.27	R=5824.6
	曲線区間⑮	8.40	5.81	6.74	0.40	7.72	5.38	6.85	0.38	R=205.3
	曲線区間全体	8.40	4.84	6.09	0.46	7.72	4.92	6.12	0.43	
	コース全体	8.40	4.84	6.06	0.42	7.72	3.74	6.08	0.39	
グループⅠ	直線区間⑤	6.99	5.46	6.16	0.42	6.79	5.58	6.12	0.32	
	直線区間⑩	7.20	5.43	6.10	0.41	6.74	5.30	6.09	0.33	
	直線区間⑫	6.74	5.73	6.22	0.40	6.37	5.51	5.96	0.33	
	直線区間全体	7.20	5.43	6.13	0.42	6.79	5.30	6.09	0.33	
	曲線区間③	6.97	5.36	6.24	0.42	6.80	5.43	6.10	0.36	R=270
	曲線区間⑥	6.92	5.17	6.12	0.48	6.72	5.57	6.09	0.35	R=1522.8
	曲線区間⑧	6.63	4.86	5.97	0.49	6.52	4.98	5.87	0.36	R=400
	曲線区間⑪	6.93	5.33	6.11	0.40	6.59	5.26	6.10	0.34	R=5824.6
	曲線区間⑬	6.56	5.28	5.95	0.46	6.67	5.55	6.01	0.31	R=5824.6
	曲線区間⑮	7.86	5.81	6.85	0.48	7.72	6.02	7.05	0.43	R=205.3
	曲線区間全体	7.86	4.86	6.18	0.53	7.72	4.98	6.17	0.51	
	コース全体	7.86	4.86	6.16	0.49	7.72	4.98	6.13	0.44	
グループⅡ	直線区間⑤	7.28	5.25	6.00	0.38	7.00	5.58	6.12	0.32	
	直線区間⑩	6.89	5.35	5.98	0.30	6.67	5.49	6.04	0.28	
	直線区間⑫	6.40	5.64	6.03	0.25	7.02	5.99	6.26	0.27	
	直線区間全体	7.28	5.25	5.99	0.33	7.02	5.49	6.07	0.30	
	曲線区間③	6.90	5.47	6.16	0.37	6.93	5.60	6.20	0.30	R=270
	曲線区間⑥	6.65	5.50	5.99	0.31	6.90	5.63	6.17	0.28	R=1522.8
	曲線区間⑧	6.73	5.08	5.95	0.36	6.74	5.27	5.97	0.30	R=400
	曲線区間⑪	6.49	5.32	6.00	0.26	6.85	5.59	6.17	0.24	R=5824.6
	曲線区間⑬	6.56	5.40	5.88	0.28	6.83	5.40	6.08	0.29	R=5824.6
	曲線区間⑮	7.68	5.90	6.64	0.34	7.45	6.16	6.83	0.31	R=205.3
	曲線区間全体	7.68	5.08	6.08	0.39	7.45	5.27	6.21	0.38	
	コース全体	7.68	5.08	6.04	0.37	7.45	5.27	6.15	0.35	
グループⅢ	直線区間⑤	6.71	5.20	6.05	0.38	6.67	5.44	6.04	0.27	
	直線区間⑩	6.83	5.34	5.98	0.34	6.56	3.74	5.91	0.35	
	直線区間⑫	6.69	5.64	6.15	0.29	6.54	5.54	6.11	0.27	
	直線区間全体	6.83	5.20	6.01	0.36	6.67	3.74	5.96	0.33	
	曲線区間③	6.72	4.86	5.89	0.38	6.23	5.33	5.83	0.20	R=270
	曲線区間⑥	6.73	5.17	5.90	0.38	6.29	5.21	5.88	0.24	R=1522.8
	曲線区間⑧	6.74	4.84	5.79	0.39	6.29	4.92	5.77	0.27	R=400
	曲線区間⑪	6.70	4.97	6.02	0.35	6.48	5.32	5.96	0.26	R=5824.6
	曲線区間⑬	6.89	5.72	6.13	0.26	6.51	5.43	5.97	0.23	R=5824.6
	曲線区間⑮	8.40	5.82	6.80	0.40	7.57	5.38	6.79	0.39	R=205.3
	曲線区間全体	8.40	4.84	6.06	0.49	7.57	4.92	6.00	0.41	
	コース全体	8.40	4.84	6.04	0.44	7.57	3.74	5.98	0.38	

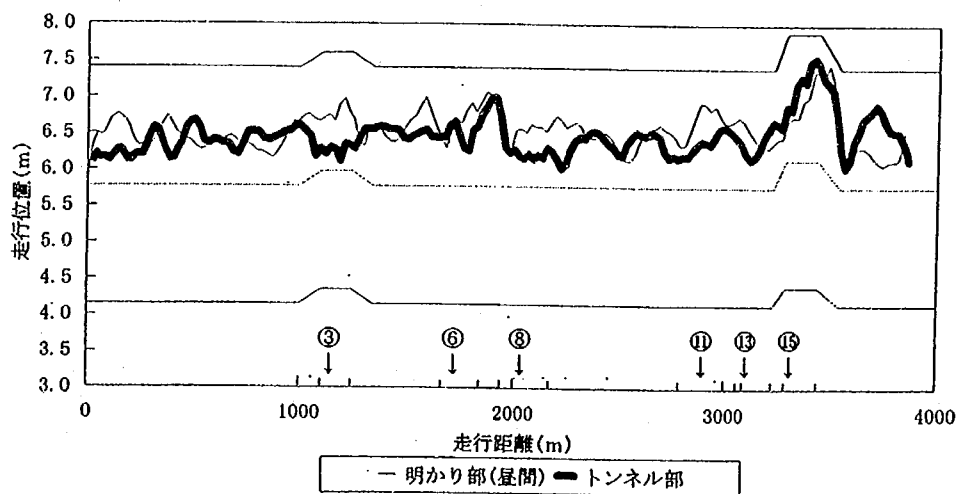
※実験は、Ⅰ～Ⅲグループの3回に分けて行った。

(グループⅠ：10名、グループⅡ：11名、グループⅢ：5名)

[各被験者の走行位置測定結果の例]



被験者No.1



被験者No.4

グループ I

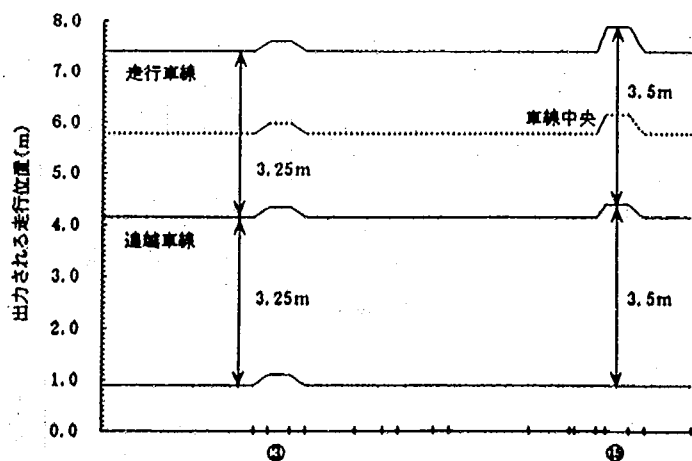


図-4.8 走行位置測定結果 (被験者2名分)

(3) 先行車との距離感

各被験者の先行車との距離感（車間距離）の測定結果をもとに集計した結果を表-4.9及び図-4.9に示すとともに、参考として車間距離データを表-4.10、2名の被験者の走行位置の例を図-4.10に示す。

先行車との距離感（車間距離）については、走行環境（明かり部・トンネル部）や道路構造よりもむしろ被験者個人の属性によるバラツキが大きいと考えられる。

大差はないもののトンネル部の方がバラツキは小さく、車間距離は平均的に短い傾向がある。これはトンネル部では先行車が見えにくく、また閉塞的な空間であることから被験者が前方を注視していたためであるとも考えられる。（アンケート結果では、トンネル部の方が前方が見にくいとの回答が得られている。）

しかしながら、全体的には走行環境（明かり部・トンネル部）による明確な傾向は確認されなかった。

表-4.9 車間距離（先行車との距離感）測定結果総合表

	区間	車間距離 (m)								備 考
		明 か り 部 (昼)				ト ン ネ ル 部				
		最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差	
全 体	直線区間⑤	136.25	8.59	60.86	31.31	158.14	15.24	66.80	39.31	
	直線区間⑩	186.54	12.31	71.95	41.10	143.30	17.41	60.64	34.96	
	直線区間⑫	188.46	17.55	70.89	45.82	119.69	17.23	65.53	32.83	
	直線区間全体	188.46	8.59	67.81	38.32	158.14	15.24	63.05	36.65	
	曲線区間③	140.09	14.74	68.07	31.57	155.03	17.49	81.49	39.97	R=270
	曲線区間⑥	159.30	10.56	64.05	33.99	141.69	19.38	65.76	37.49	R=1522.8
	曲線区間⑧	181.82	13.64	76.79	38.16	155.75	22.31	67.15	36.90	R=400
	曲線区間⑪	189.00	15.90	68.54	41.49	120.27	16.31	62.50	33.05	R=5824.6
	曲線区間⑬	191.76	17.70	69.13	41.93	118.84	18.33	64.21	31.63	R=5824.6
	曲線区間⑮	192.41	18.37	77.16	43.38	128.63	24.96	67.35	31.50	R=205.3
	曲線区間全体	192.41	10.56	70.68	39.11	155.75	16.31	67.22	35.64	
	コース全体	192.41	8.59	69.43	38.79	158.14	15.24	65.39	36.15	

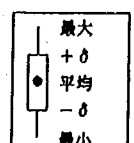
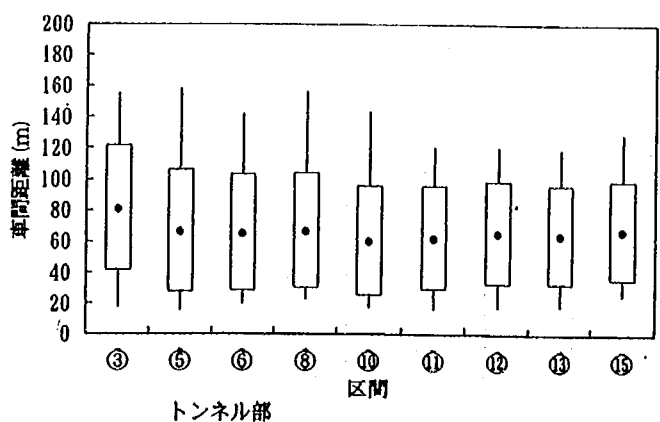
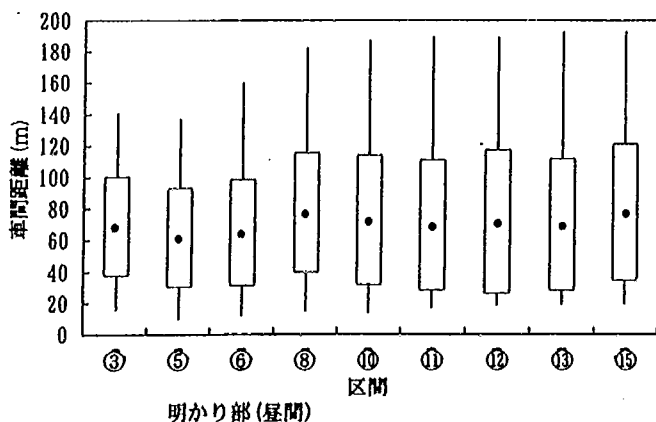


図-4.9 車間距離（先行車との距離感）測定結果

(車間距離 (先行車との距離感) データ)

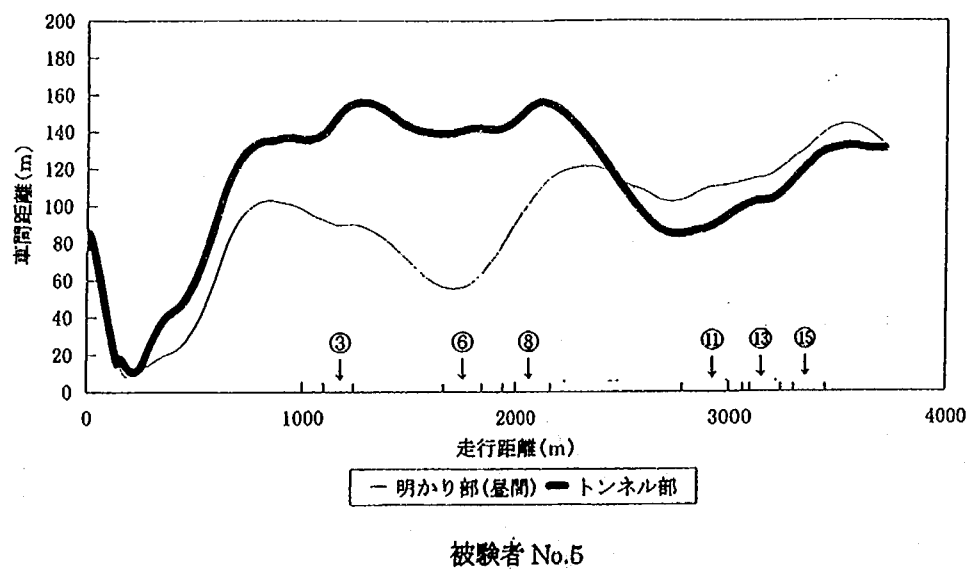
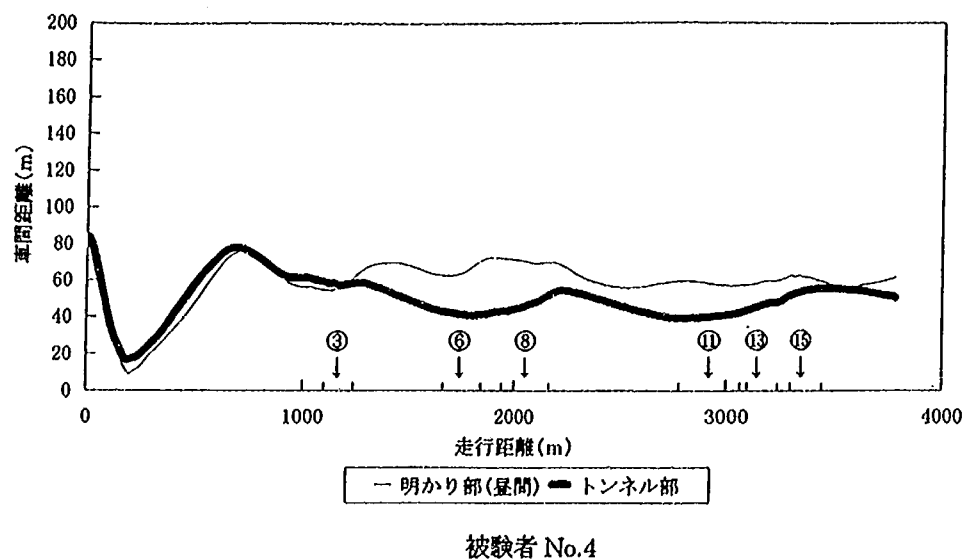
表-4.10 車間距離 (先行車との距離感) 測定結果

	区間	車間距離 (m)								備 考
		明 か り 部 (昼)				ト ン ネ ル 部				
		最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差	
全 体	直線区間⑤	136.25	8.59	60.86	31.31	158.14	15.24	66.80	39.31	
	直線区間⑩	186.54	12.31	71.95	41.10	143.30	17.41	60.64	34.96	
	直線区間⑫	188.46	17.55	70.89	45.82	119.69	17.23	65.53	32.83	
	直線区間全体	188.46	8.59	67.81	38.32	158.14	15.24	63.05	36.65	
	曲線区間③	140.09	14.74	68.07	31.57	155.03	17.49	81.49	39.97	R=270
	曲線区間⑥	159.30	10.56	64.05	33.99	141.69	19.38	65.76	37.49	R=1522.8
	曲線区間⑧	181.82	13.64	76.79	38.16	155.75	22.31	67.15	36.90	R=400
	曲線区間⑪	189.00	15.90	68.54	41.49	120.27	16.31	62.50	33.05	R=5824.6
	曲線区間⑬	191.76	17.70	69.13	41.93	118.84	18.33	64.21	31.63	R=5824.6
	曲線区間⑮	192.41	18.37	77.16	43.38	128.63	24.96	67.35	31.50	R=205.3
	曲線区間全体	192.41	10.56	70.68	39.11	155.75	16.31	67.22	35.64	
コース全体	192.41	8.59	69.43	38.79	158.14	15.24	65.39	36.15		
グループⅠ	直線区間⑤	84.58	8.59	43.12	26.22	152.85	29.89	65.65	44.64	
	直線区間⑩	121.31	12.31	52.45	37.66	143.30	22.68	54.74	30.89	
	直線区間⑫	113.83	17.55	41.10	35.42	101.35	27.39	57.59	28.92	
	直線区間全体	121.31	8.59	48.72	34.24	152.85	22.68	58.77	36.72	
	曲線区間③	91.48	20.86	52.46	24.46	155.03	53.44	82.76	41.47	R=270
	曲線区間⑥	70.53	10.56	40.60	22.60	141.69	31.63	64.44	46.29	R=1522.8
	曲線区間⑧	114.88	13.64	53.17	35.73	155.75	26.43	64.75	49.41	R=400
	曲線区間⑪	113.17	15.90	53.35	37.35	99.27	27.89	53.40	23.30	R=5824.6
	曲線区間⑬	119.20	17.70	54.31	39.00	106.34	27.60	57.78	27.92	R=5824.6
	曲線区間⑮	139.57	18.37	61.58	46.41	128.63	32.64	65.44	35.01	R=205.3
	曲線区間全体	139.57	10.56	52.28	35.67	155.75	26.43	63.44	39.39	
	コース全体	139.57	8.59	50.74	35.10	155.75	22.68	61.43	38.34	
	グループⅡ	直線区間⑤	136.25	52.48	83.15	21.78	158.14	29.80	82.49	40.27
直線区間⑩		186.54	40.73	97.58	41.32	127.32	26.55	86.60	29.85	
直線区間⑫		188.46	32.79	101.82	48.15	119.69	39.60	87.51	26.62	
直線区間全体		188.46	32.79	92.34	36.31	158.14	26.55	85.14	33.96	
曲線区間③		140.09	39.12	81.99	26.94	153.82	38.73	98.82	35.89	R=270
曲線区間⑥		159.30	55.95	90.67	27.58	141.24	27.40	82.52	35.88	R=1522.8
曲線区間⑧		181.82	58.91	102.75	34.81	135.56	29.45	89.31	29.87	R=400
曲線区間⑪		189.00	33.74	93.75	43.52	120.27	29.28	87.14	27.40	R=5824.6
曲線区間⑬		191.76	31.98	92.64	45.57	118.84	38.80	86.82	24.70	R=5824.6
曲線区間⑮		192.41	40.53	102.03	42.82	117.90	41.33	86.98	22.44	R=205.3
曲線区間全体		192.41	31.98	94.56	38.40	153.82	27.40	88.20	30.11	
コース全体		192.41	31.98	93.59	37.51	158.14	26.55	86.85	31.91	
グループⅢ		直線区間⑤	101.58	14.71	43.54	26.11	99.35	15.24	49.88	26.62
	直線区間⑩	97.72	19.36	51.99	22.02	84.59	17.41	34.54	16.25	
	直線区間⑫	80.46	19.24	51.34	20.77	98.18	17.23	41.07	20.64	
	直線区間全体	101.58	14.71	48.81	23.94	99.35	15.24	40.33	22.01	
	曲線区間③	110.75	14.74	58.91	32.78	112.35	17.49	62.20	34.33	R=270
	曲線区間⑥	85.89	17.69	45.43	22.60	91.54	19.38	47.12	23.11	R=1522.8
	曲線区間⑧	91.95	19.29	58.89	22.14	82.78	22.31	43.39	16.62	R=400
	曲線区間⑪	79.68	19.01	47.77	21.13	98.10	16.31	39.57	22.02	R=5824.6
	曲線区間⑬	83.36	19.48	49.41	20.29	98.10	18.33	42.99	22.37	R=5824.6
	曲線区間⑮	105.56	21.03	56.48	24.65	102.52	24.96	47.42	24.54	R=205.3
	曲線区間全体	110.75	14.74	52.42	24.30	112.35	16.31	45.87	24.46	
	コース全体	110.75	14.71	50.85	24.21	112.35	15.24	43.43	23.57	

※実験は、Ⅰ～Ⅲグループの3回に分けて行った。

(グループⅠ：10名、グループⅡ：11名、グループⅢ：5名)

〔各被験者の車間距離測定結果の例〕



グループ I

図-4.10 車間距離測定結果(被験者2名分)

(4) 反応遅れ時間

各被験者の反応時間測定結果及び集計結果を表-4.11及び図-4.11に示す。

反応遅れ時間については、多少ではあるがトンネル部の方がバラツキは小さく、短い傾向がある。これは、トンネル部での運転を行う際に被験者の緊張感、あるいは集中力が高まっているためであるとも考えられる。(トンネル部の方が安全側にはたらく要素ではあるが、場合によっては緊張した走行が運転者に与える心理的な影響もあるとも考えられる。)

ただし全体的には、走行環境(明かり部・トンネル部)による大きな違いは見られず、また相関を別途見た結果からも有意な関係は見られなかった。

表-4.11 反応遅れ時間測定結果総合表

被験者NO		反応遅れ時間(秒)		備 考
		明かり部(昼間)	トンネル部	
全 体	最大値	2.50	1.90	
	最小値	0.80	0.70	
	平均値	1.21	1.07	
	標準偏差	0.40	0.23	
グループⅠ	No1	1.10	1.20	
	No2	0.80 *	1.10	
	No3	0.80 *	1.00	
	No4	1.20	1.10	
	No5	1.10	1.00	
	最大値	1.20	1.20	
	最小値	0.80	1.00	
	平均値	1.00	1.08	
	標準偏差	0.17	0.07	
グループⅡ	No1	2.50	1.00	
	No2	2.20	1.30	
	No3	1.10	1.00	
	No4	1.20	1.10	
	No5	0.80 *	1.00	
	No6	-	1.10	
	No7	1.20	0.90	
	No8	1.30	1.00	
	No9	1.00 *	0.90	
	No10	1.10	0.90	
	No11	1.20	1.20	
	最大値	2.50	1.30	
	最小値	0.80	0.90	
	平均値	1.36	1.04	
	標準偏差	0.52	0.12	
グループⅢ	No1	1.10	0.80	
	No2	0.90 *	1.90	
	No3	0.90	0.70	
	No4	-	1.30	
	No5	1.50	0.80	
	No6	1.10	1.10	
	No7	1.40	1.20	
	No8	1.60	1.20	
	No9	0.80	0.80	
	No10	1.20	1.10	
	最大値	1.60	1.90	
	最小値	0.80	0.70	
	平均値	1.17	1.09	
	標準偏差	0.27	0.34	

*は、2回目のデータを適用した被験者を示す。(1回目に何らかの理由のより、障害物が発生する前にアクセルペダルから足を離していた被験者については2回目のデータを適用。)

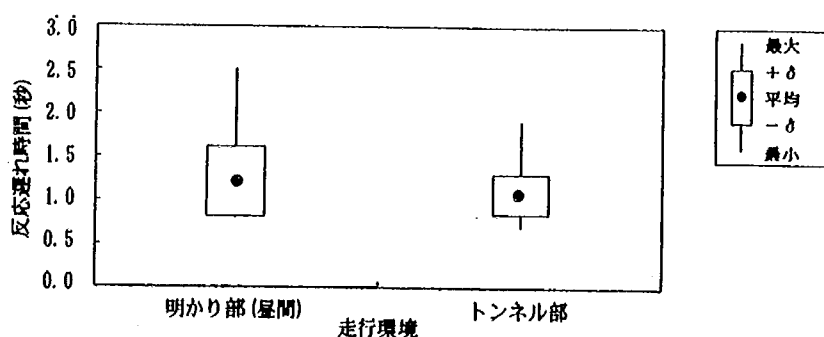


図-4.11 反応遅れ時間測定結果

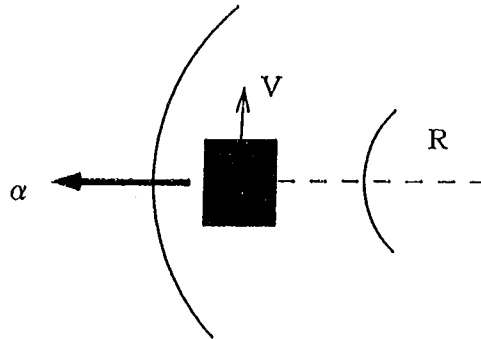
4.2.2 走行の安全性に関する考察

(1) 曲線部の走行安全性に関する考察

曲線部走行時の横加速度について各被験者毎に整理することにより、曲線部の走行安全性について検証を行った。結果を以下に示す。

なおデータ整理に当たっては、今回の実験で計測した各被験者毎の走行速度、走行位置による次式を用いた。

$$\text{※横加速度 } \alpha = V^2 / 127R \quad R : \text{曲線半径 (m)、} V : \text{走行速度 (km/h)} \\ (\text{m/s}^2)$$



最も曲線半径が小さい区間⑮に着目した場合、明かり部と比較してトンネル部の横加速度が大きくなる被験者は26人中12人であった。(ただしその差はわずかであり、計算上、横滑り等を起こすようなことはない。)

総じて明かり部とトンネル部との間の差はほとんどなく、曲線部の走行安全性についても問題はないものと考えられる。(ただし道路走行シミュレータ上では横加速度が感じられないため、今後実車での検証が必要と考えられる。)

〔参考〕

- ・参考として、80km/hの速度で区間⑮を走行した場合の α は0.25であるが、これを超過するような被験者は明かり部・トンネル部とも3人であった。
- ・明かり部・トンネル部とも横加速度0.3（運転者が受ける横加速度の限界）を超える1名を除いては、特に安全性について問題が確認されなかった。また走行環境（明かり部・トンネル部）による差についてもほとんど見られなかった。(この1名については速度が高いことが要因となっていた。)

表-4.12 各被験者の曲線区間⑮における横加速度（算出結果）

曲線区間⑮における横加速度						
		明かり部（昼間）		トンネル部		
		⑮205.3m		⑮205.3m		
被験者NO						
I	1	0.21		0.29※		↑
	2	0.17		0.21		↑
	3	0.39※		0.33※		
	4	0.28※		0.22		
	5	0.17		0.22		↑
II	1	0.21		0.23		↑
	2	0.17		0.20		↑
	3	0.18		0.18		
	4	0.19		0.22		↑
	5	0.21		0.21		
	6	0.17		0.19		↑
	7	0.20		0.19		
	8	0.20		0.20		
	9	0.19		0.20		↑
	10	0.17		0.19		↑
	11	0.21		0.20		↑
III	1	0.19		0.20		
	2	0.20		0.26※		↑
	3	—		0.19		
	4	0.26※		0.19		
	5	0.19		0.22		↑
	6	0.17		0.17		
	7	0.18		0.17		
	8	0.23		0.22		
	9	0.19		0.19		
	10	0.23		0.18		

↑：区間⑮でトンネルの方が横加速度が大きい被験者

※：区間⑮で0.25を上回る被験者

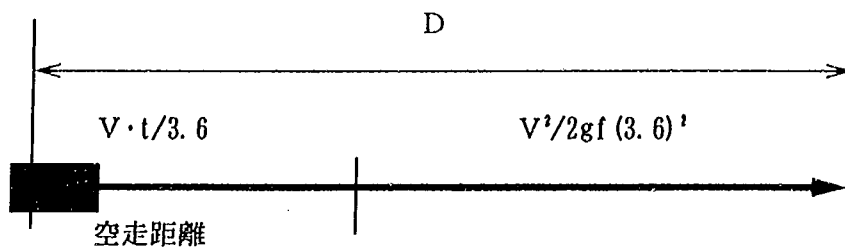
(2) 制動停止の安全性に関する考察

制動停止距離について各被験者毎に整理し、さらに減速度別に求めた制動停止距離と対比することにより、制動停止の安全性について検証を行った。結果を以下に示す。

なおデータ整理に当たっては、今回の実験で計測した各被験者毎の速度、反応遅れ時間による次式を用いた。

$$\text{※制動停止距離 } D = V \cdot t / 3.6 + V^2 / 2gf (3.6)^2 \quad (\text{m})$$

V : 初速度 (km/h)、 f : すべり摩擦係数、 t : 反応遅れ時間 (s)、
 g : 重力加速度 (9.8m/s^2)



コンピュータグラフィックス上で障害物に衝突した被験者は、明かり部24人中10人 (42%)、トンネル部26人中9人 (35%) であった。

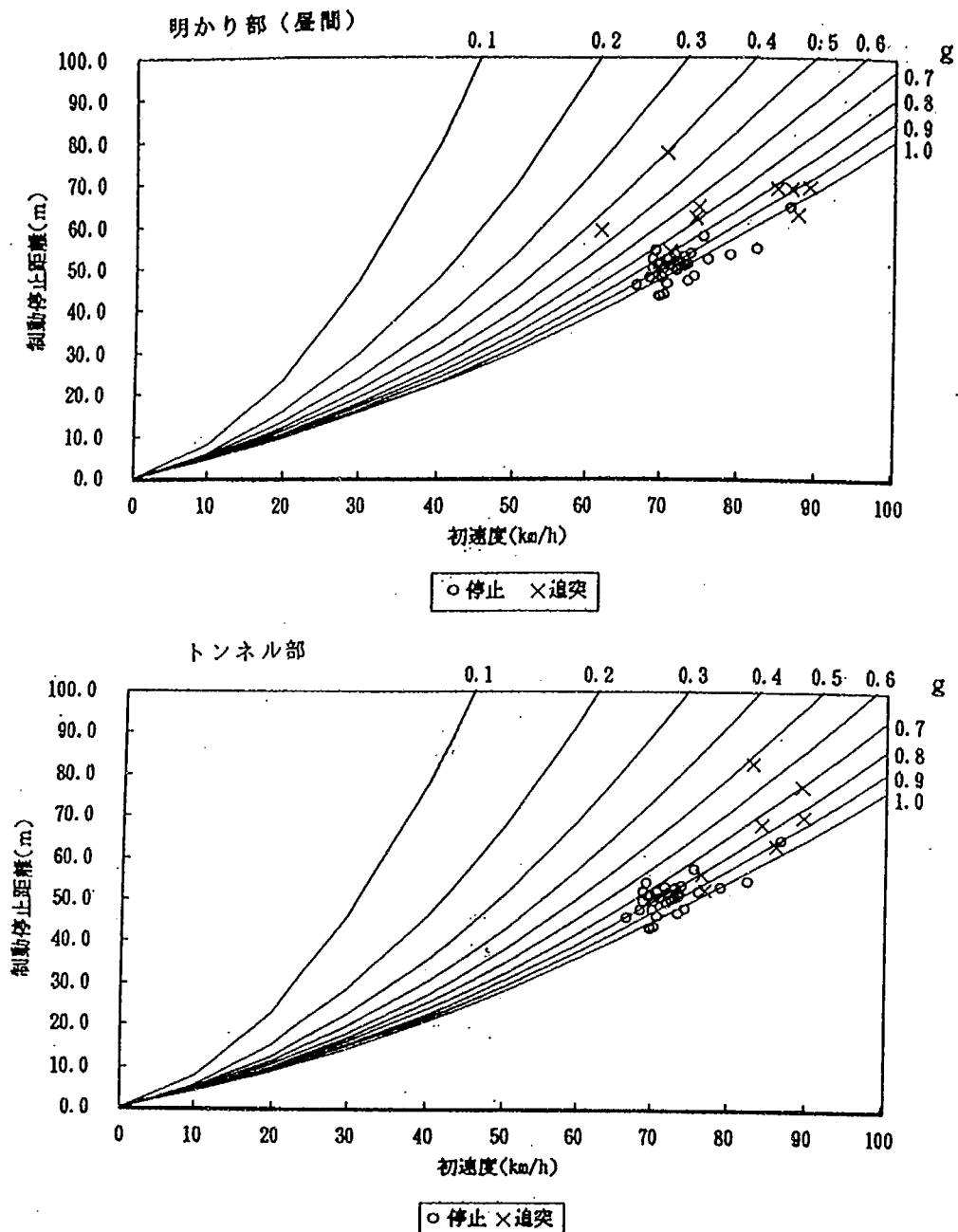
空走距離 (速度と反応遅れ時間による $V \cdot t / 3.6$) が明かり部よりもトンネル部の方が長い被験者は、26人中6人であった。

試算による制動停止距離と減速度別の制動停止距離とを対比した結果からは、全体的に明かり部の方が比較的大きい減速度で停止しなければならないことになる。(明かり部では $1.0g$ を超える減速度を要する被験者が多く見られる。)

制動停止の安全性に関しては、反応遅れ時間がトンネル部の方が短かったことが影響し、明かり部と比較してトンネル部の方が危険となるような状況は確認されなかった。ただし何れもかなり高い減速度を要することになるため、反応遅れ時間を短縮することが不可能であるとすれば、安全な速度を保持することが重要になるといえる。

表-4.13 各被験者の空走距離（算出結果）

空走距離		明かり部空走距離 (m)	トンネル部空走距離 (m)
被験者NO			
I	1	22.61	23.63 ↑
	2	16.53	21.79 ↑
	3	19.51	24.89 ↑
	4	23.37	20.41
	5	20.93	20.33
II	1	49.10	20.22
	2	37.77	24.95
	3	21.54	20.06
	4	23.93	22.21
	5	17.58	19.53 ↑
	6	—	22.46
	7	23.27	19.23
	8	25.64	20.42
	9	24.78	21.53
	10	22.34	19.05
	11	28.37	28.10
III	1	26.58	15.56
	2	17.73	43.86 ↑
	3	21.75	16.08
	4	—	32.32
	5	30.96	15.51
	6	21.27	23.38 ↑
	7	27.03	25.20
	8	33.24	23.00
	9	16.33	15.64
	10	23.23	22.12



※図中の○×は、コンピュータグラフィックス上での障害物への停止・追突を示す。

図-4.12 各被験者の制動停止距離と減速度

※図中の減速度のラインは、次式に各々の値を代入し求めた。

$$S = \frac{V}{3.6} (t_0 + t_1) - \left(\frac{\alpha \times 9.8}{6} \right) t_1^2 + \left(\frac{1}{2 \times \alpha \times 9.8} \right) \times \left(\frac{V}{3.6} - \left(\frac{\alpha \times 9.8}{6} \right) t_1 \right)^2$$

S : 制動停止距離(m) V : 初速度(m/s) t_0 : 空走時間(反応遅れ時間の平均)(s)

t_1 : 減速度が最大値に達するまでの時間(0.5s) α : 減速度の最大値(m/s²)

(3) 曲線部の視距確保量に関する考察

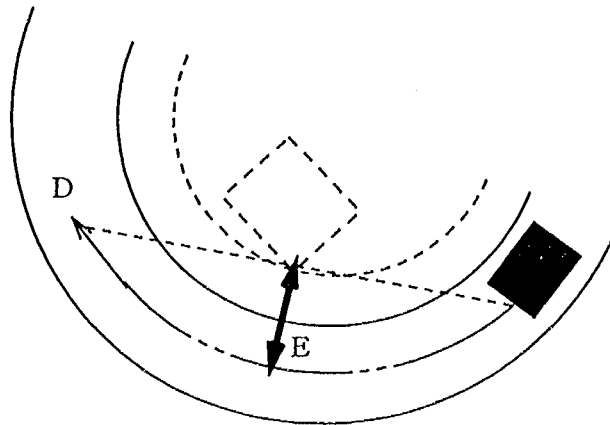
視距確保のために必要な左側の幅員（車線中心から包絡円までの距離）について各被験者毎に整理することにより、曲線部の走行における視距確保量について検証を行った。（最も視距確保が困難な区間⑮を対象として検証した。）

なおデータ整理に当たっては、今回の実験で計測した各被験者毎の走行速度、反応遅れ時間から求められる制動停止距離、及び曲線半径による次式を用いた。

$$\text{※車線中心線から包絡円までの距離 } E = D^2 / 8R$$

(m)

D：制動停止距離 (m)、R：曲線半径 (m)



視距確保のために必要となる車線中心線からの距離が、明かり部よりもトンネル部の方が大きくなるような被験者は、24人中8人であった。

コンピュータグラフィックスで設定した区間⑮の車線中心線から包絡円までの距離（3.66m）よりも、さらに幅員が必要となるような被験者は、トンネル部の1人のみであった。

上記の被験者が1人存在した以外は、走行安全上問題となるような事象は確認されず、曲線部の視距確保については十分であるといえる。

この1人に関しては比較的走行速度が高く（83km/h）、しかも反応遅れ時間が大きい（1.9sec）ことが要因となっている。

表-4. 14 視距確保のために必要な幅員 (算出結果)

明かり部 (昼間) において必要となる幅員 E						
被験者NO	初速度 (km/h)	反応遅れ時間 (秒)	制動停止距離 (m)	曲線半径 (m)	E (m)	
I	1	74.0	1.1	53.4	205.3	1.737
	2	74.4	0.8	47.7	205.3	1.383
	3	87.8	0.8	62.9	205.3	2.406
	4	70.1	1.2	51.0	205.3	1.584
	5	68.5	1.1	47.3	205.3	1.363
II	1	70.7	2.5	77.2	205.3	3.630
	2	61.8	2.2	59.2	205.3	2.137
	3	70.5	1.1	49.5	205.3	1.492
	4	71.8	1.2	52.9	205.3	1.706
	5	79.1	0.8	52.8	205.3	1.695
	6	—	—	—	—	—
	7	69.8	1.2	50.7	205.3	1.563
	8	71.0	1.3	54.0	205.3	1.775
	9	89.2	1.0	69.5	205.3	2.943
	10	73.1	1.1	52.4	205.3	1.671
	11	85.1	1.2	69.1	205.3	2.907
III	1	87.0	1.1	69.2	205.3	2.912
	2	70.9	0.9	46.0	205.3	1.288
	3	87.0	0.9	64.3	205.3	2.519
	4	—	—	—	—	—
	5	74.3	1.5	62.0	205.3	2.341
	6	69.6	1.1	48.5	205.3	1.433
	7	69.5	1.4	54.2	205.3	1.788
	8	74.8	1.6	64.7	205.3	2.550
	9	73.5	0.8	46.7	205.3	1.329
	10	69.7	1.2	50.6	205.3	1.556

トンネル部において必要となる幅員 E						
被験者NO		初速度 (km/h)	反応遅れ時間 (秒)	制動停止距離 (m)	曲線半径 (m)	E (m)
I	1	70.9	1.2	51.9	205.3	1.640
	2	71.3	1.1	50.4	205.3	1.545
	3	89.6	1.0	70.0	205.3	2.987
	4	66.8	1.1	45.5	205.3	1.261
	5	73.2	1.0	50.5	205.3	1.551
II	1	72.8	1.0	50.0	205.3	1.524
	2	69.1	1.3	51.8	205.3	1.634
	3	72.2	1.0	49.4	205.3	1.484
	4	72.7	1.1	51.9	205.3	1.642
	5	70.3	1.0	47.3	205.3	1.363
	6	73.5	1.1	52.8	205.3	1.700
	7	76.9	0.9	52.5	205.3	1.677
	8	73.5	1.0	50.8	205.3	1.571
	9	86.1	0.9	63.2	205.3	2.433
	10	76.2	0.9	51.7	205.3	1.628
	11	84.3	1.2	68.1	205.3	2.821
III	1	70.0	0.8	43.1	205.3	1.132
	2	83.1	1.9	82.7	205.3	4.164
	3	82.7	0.7	54.5	205.3	1.811
	4	89.5	1.3	77.4	205.3	3.645
	5	69.8	0.8	42.9	205.3	1.121
	6	76.5	1.1	56.3	205.3	1.929
	7	75.6	1.2	57.3	205.3	2.002
	8	69.0	1.2	49.8	205.3	1.509
	9	70.4	0.8	43.5	205.3	1.153
	10	72.4	1.1	51.6	205.3	1.621

太枠 は、視距確保量が不足していた被験者を示す。
 ↑ は、必要な視距確保量がトンネル部の方が大きい被験者を示す。

(4) 車間距離についての安全性に関する考察

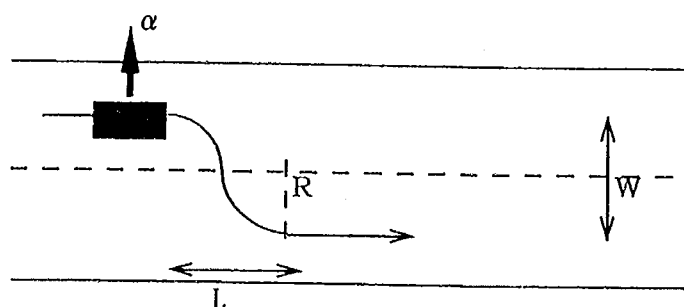
各被験者毎に、先行車を回避する手段として車線変更した場合の横加速度を整理することにより、車間距離についての安全性に関し検証を行った。

なおデータ整理に当たっては、今回の実験で計測した各被験者毎の走行速度、車間距離（車線変更距離とする）による次式を用いた。

$$\text{※横加速度 } \alpha = V^2 / 127R \quad R : \text{曲線半径 (m)、} V : \text{走行速度 (km/h)} \\ (\text{m/s}^2)$$

$$\text{車線変更時の背向曲線半径 } R = (L^2 + W^2) / 4W$$

L : 最小車線変更距離 (m)、 W : 車線幅員 (m)



横加速度が、明かり部よりもトンネル部の方が大きくなる（急な車線変更を要する）ような被験者は、23人中10人であった。

全体的にみて、明かり部とトンネル部との間の車線変更に関する走行安全性について大きな差はなかった。（ただし道路走行シミュレータでは被験者が横加速度を体感できないため、実車での検証が今後必要と考えられる。）

〔参考〕

一般的に人間が支障なく運転する場合の横加速度の限界値は0.3といわれているが、これを超過する被験者は、明かり部で23人中12人、トンネル部で23人中14人であった。（特にこれらの被験者が、比較的車間距離が短かったことが要因となっている。）

表-4.15 車線変更時に生じる横加速度 (算出結果)

車線変更時に生じる横加速度 (明かり部昼間)					
被験者NO	走行速度 (km/h)	車間距離 (m)	曲線半径 (m)	横加速度 (g)	
I	1	—	—	—	
	2	71.8	19.07	28.79	※
	3	71.2	8.59	6.49	※
	4	71.3	54.31	227.70	0.18
	5	70.2	55.36	236.56	0.16
II	1	71.5	8.59	6.49	※
	2	70.3	62.30	299.37	0.13
	3	70.1	71.30	391.87	0.10
	4	68.7	50.76	199.01	0.19
	5	72.0	95.72	705.61	0.06
	6	70.5	78.44	474.11	0.08
	7	—	—	—	
	8	71.1	130.52	1311.23	0.03
	9	71.7	39.11	118.47	0.34 ※
	10	69.9	80.37	497.68	0.08
	11	70.8	31.98	79.48	0.50 ※
III	1	70.4	31.98	79.48	0.49 ※
	2	70.6	24.28	46.16	0.85 ※
	3	70.3	20.62	33.52	1.16 ※
	4	70.7	26.66	55.49	0.71 ※
	5	71.1	15.67	19.70	2.02 ※
	6	70.9	14.71	17.46	2.26 ※
	7	71.2	19.01	28.61	1.39 ※
	8	71.7	58.94	268.04	0.15
	9	—	—	—	
	10	71.9	45.93	163.09	0.25

車線変更時に生じる横加速度 (トンネル部)					
被験者NO	走行速度 (km/h)	車間距離 (m)	曲線半径 (m)	横加速度 (g)	
I	1	—	—	—	
	2	71.7	29.89	69.54	0.58 ※
	3	71.9	22.68	40.38	1.01 ※
	4	71.5	39.03	117.99	0.34 ※ ↑
	5	71.6	84.53	550.45	0.07
II	1	72.5	22.68	40.38	1.02 ※
	2	71.9	49.00	185.50	0.22 ↑
	3	70.8	70.33	381.30	0.10 ↑
	4	72.0	26.55	55.04	0.74 ※ ↑
	5	72.5	70.92	387.71	0.11 ↑
	6	71.2	101.55	794.07	0.05
	7	—	—	—	
	8	72.8	90.38	629.16	0.07 ↑
	9	71.1	43.15	144.04	0.28
	10	71.7	56.17	243.51	0.17 ↑
	11	70.6	34.94	94.72	0.41 ※
III	1	71.1	26.55	55.04	0.72 ※ ↑
	2	72.8	24.55	47.17	0.89 ※ ↑
	3	71.9	29.72	68.76	0.59 ※
	4	70.9	40.43	126.55	0.31 ※
	5	71.3	19.96	31.46	1.27 ※
	6	70.8	15.24	18.68	2.11 ※
	7	71.1	21.07	34.96	1.14 ※
	8	72.2	69.87	376.34	0.11
	9	—	—	—	
	10	71.5	21.3	35.71	1.13 ※ ↑

↑ は、トンネル部の方が横加速度が大きくなる被験者を示す。
 ※ は、横加速度が0.3gを超える被験者を示す。

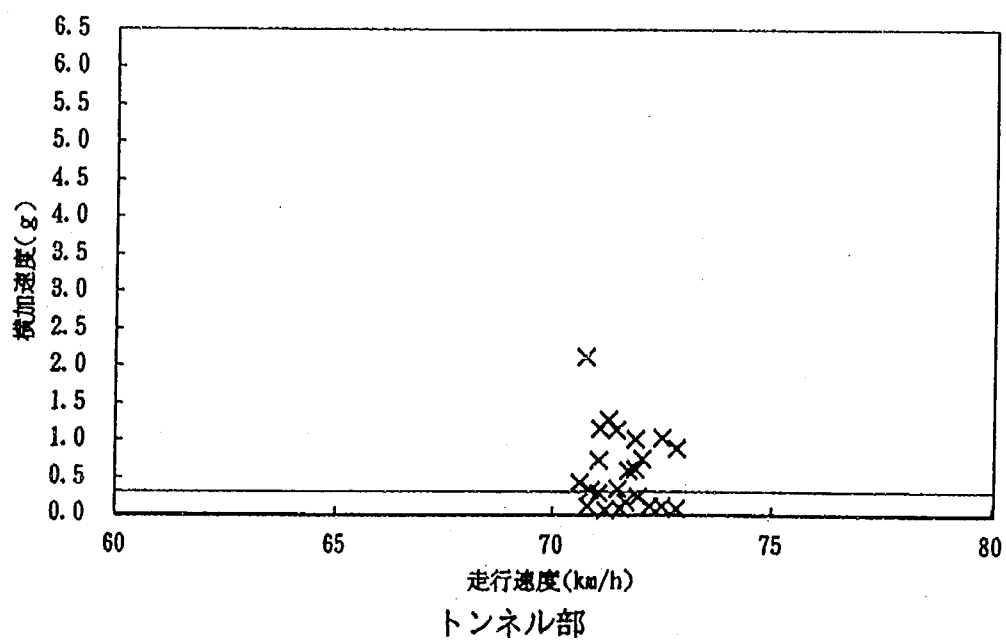
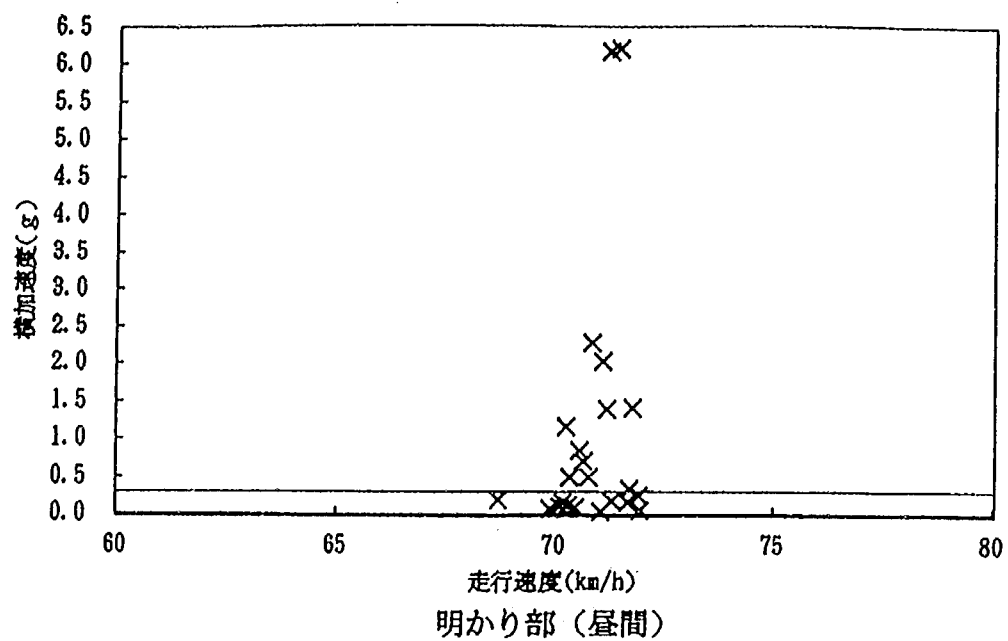


図-4.13 車線変更時に生じる横加速度

4.2.3 実験結果とアンケート結果との対比

トンネル走行による被験者の心理的要素が走行特性に与える影響の有無を把握するため、参考として、アンケートの結果と実験結果による走行特性データとを対比し整理を行った。

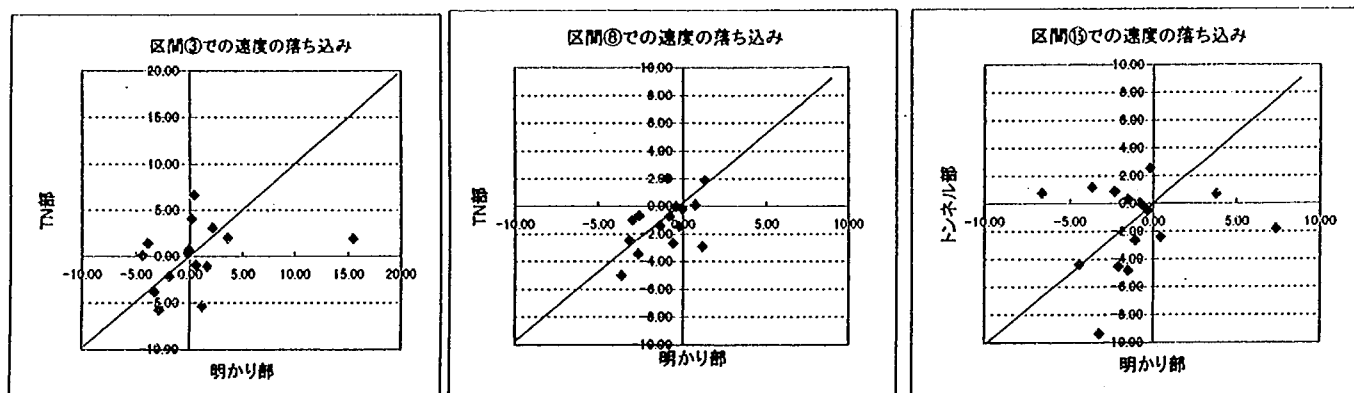
① 走行速度とアンケート結果との対比

走行速度について、各被験者毎に曲線半径の小さい区間と全区間平均との差のトンネル部と明かり部との違いを整理した。その結果、ほとんど差がないながらも、アンケートで「トンネルの方が壁が近く感じる」との回答者について、トンネル部の方が速度が落ちる傾向が見られた。（「前方が見にくい」との回答に関しては、明確な傾向が見られなかった。）

表-4.16 各回答者の走行速度の状況

走行速度 (TN部と明かり部との差)																
	全被験者				設問8-① 「TNの方が前方が見にくい」との回答者				設問8-② 「TNの方が壁が近い」との回答者				設問8-③ 「TNの方が速く感じる」との回答者			
	全体	③-平均	⑧-平均	⑬-平均	全体	③-平均	⑧-平均	⑬-平均	全体	③-平均	⑧-平均	⑬-平均	全体	③-平均	⑧-平均	⑬-平均
	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明
	平均値	0.20	-0.03	0.12	0.26	0.45	-0.65	0.12	1.09	0.60	-0.46	-0.13	-0.47	1.25	-0.34	1.13

※ ③-平均、⑧-平均、⑬-平均は、各被験者の当該区間とコース全体平均との差を示す。



「TNの方が側壁が近いと感じる」との回答者のデータ ※データは、(各曲線区間の速度) - (コース全体の平均速度)の結果。

※上図の値で、負の値が大きいほど速度の落ち込みが大きいことを示す。

図-4.14 「TNの方が壁が近く感じる」との回答者の走行速度

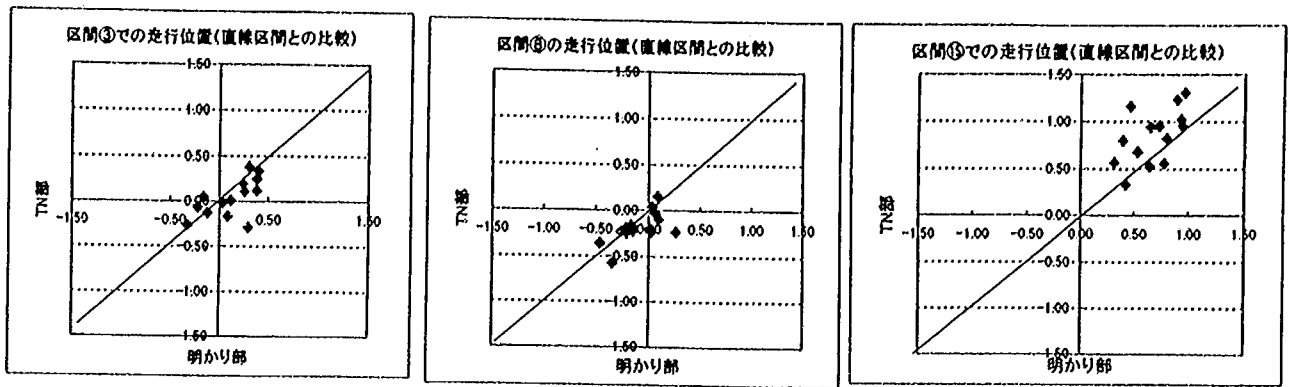
② 走行位置とアンケート結果との対比

走行位置に関して、各被験者毎の曲線半径の小さい区間と直線区間平均との差のトンネル部と明かり部との違いを整理した。その結果、アンケートで「トンネルの方が壁が近く感じる」との回答者について、若干ではあるが、トンネル部の方がカーブの内側を走行する傾向が見られた。

表-4.17 各回答者の走行位置の状況

走行位置 (TN部と明かり部との差)												
被験者	全被験者				設問8-② 「TNの方が壁が近い」との回答者				設問8-③ 「TNの方が速く感じる」との回答者			
	直線平均 ③-直線 ⑧-直線 ⑬-直線				直線平均 ③-直線 ⑧-直線 ⑬-直線				直線平均 ③-直線 ⑧-直線 ⑬-直線			
	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明	TN-明
	0.26	-0.05	-0.06	0.15	0.04	-0.08	-0.09	0.18	-0.04	-0.05	-0.09	0.10

※ ③-直線、⑧-直線、⑬-直線は、各被験者の当該区間と直線区間平均との差を示す。



「TNの方が側壁が近いと感じる」との回答者のデータ

※データは、(各曲線区間の走行位置)-(直線区間の平均走行位置)の結果。

※上図の値で、負の値が大きいほど右側へ、正の値が大きいほど左側へよっていることを示す。

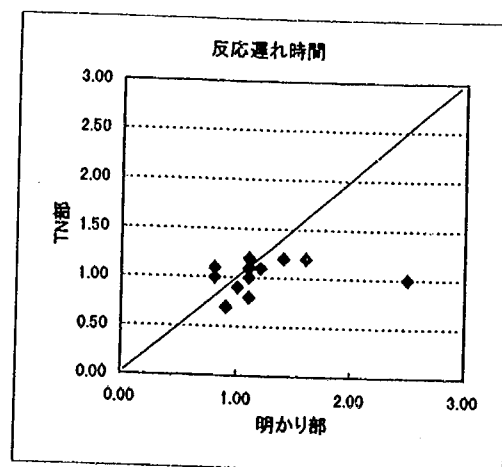
図-4.15 「TNの方が壁が近く感じる」との回答者の走行位置

③反応遅れ時間とアンケート結果との対比

反応遅れ時間に関して、各被験者のトンネル部と明かり部との違いを整理した結果、若干ではあるが、アンケートで「トンネルの方が前方が見にくい」「トンネルの方が側壁が近く感じる」との回答者について、トンネル部の方が反応遅れ時間が短い傾向があった。

表-4.18 各回答者の反応遅れ時間の状況

反応遅れ時間	(TN部と明かり部との差)			
	反応遅れ時間 TN-明	設問8-① 見にくい	設問8-② 壁が近い	設問8-③ 速く感じる
平均値	-0.17	-0.12	-0.18	-0.03



「TNの方が側壁が近いと感じる」との回答者

図-4.16 「TNの方が壁が近く感じる」との回答者の反応遅れ時間

以上より本実験での走行条件の中では、トンネル部の前方が見にくいことよりも側壁が運転者に与える圧迫感の方が、走行特性に与える影響が大きくなる可能性があると考えられる。

トンネル部の実験コースは、あえて明かり部と同等の線形・幅員にしたにもかかわらず、トンネル部の方が壁が近く感じる被験者が多かったことから、側壁がある程度心理的に影響を与えるものと推測される。

この傾向が実走行において顕著に現れるとすれば、トンネル部の特に曲線部の幅員あるいは側壁の位置については十分な注意が必要になると考えられる。

ただしアンケート結果との対比では、対象となる回答者数が限られており、また被験者の道路走行シミュレータに対する不慣れや被験者が感じる走行位置と客観的なデータ上での走行位置との相違等もあると考えられるため、検証が別途必要である。

4.3まとめ

道路走行シミュレータを用い被験者をある程度増やした実験を行い整理した結果としては、総じて、明かり部とトンネル部との走行特性の顕著な違い、あるいは走行安全性に関して問題となるような事項は確認されなかった。

本実験においては道路走行シミュレータ上のコンピュータグラフィックスで明かり部と同じ道路線形・幅員のトンネル部を設定しており、これらの結果が検証された際には、トンネル部においても極力明かり部と同等の走行条件を確保することが望ましいと考えられる。

ただし今回の実験を通して、トンネル部においては被験者の緊張感が高まっていることや側壁が圧迫感を与えている可能性もあると考えられるため、今後はこのような心理的側面からの検証も別途必要になると考えられる。

また本実験はあくまでも道路走行シミュレータ上での走行に基づくものであるため、今後において実走行による検証が行われることが望まれる。

項 目		結果（概要）
走行特性に関する実験結果	走行速度	トンネル部の方が若干バラツキが大きい程度であり、走行環境（明かり部・トンネル部）による大きな速度差は見られなかった。（明かり部・トンネル部とも曲線区間で速度が低下するが、その差は僅かである。）
	走行位置	明かり部・トンネル部とも曲線半径の小さいカーブで多少内側に寄る傾向がある。しかし全体的には走行環境（明かり部・トンネル部）による顕著な差は見られなかった。
	先行車との距離感	走行環境（明かり部・トンネル部）や道路線形よりもむしろ被験者によるばらつきが大きい。 トンネルの方がバラツキが小さく、車間距離が平均的に小さい傾向があるが大差はなく、全体的には走行環境（明かり部・トンネル部）による明確な傾向は確認されなかった。
	反応遅れ時間	多少ではあるがトンネル部の方がバラツキが小さく短い傾向がある。（トンネル部の方がドライバーの緊張感が高まっている可能性もあるため、今後留意する必要がある。）ただし全体的には走行環境（明かり部・トンネル部）による大きな違いは見られず、有意な関係も確認されなかった。

走行 安全 性 に 関 す る 考 察	曲線部の走行安全性	総じて明かり部とトンネル部との間の差はほとんどなく、曲線部の走行安全性について問題はないものと考えられた。
	制動停止の安全性	反応遅れ時間がトンネル部の方が短かったことが影響し、トンネル部の方が危険となるような状況は確認されなかった。 ただし何れの場合も高い減速度を要することになり、安全な速度を保持することが重要になると考えられる。
	曲線部の視距確保量	トンネル部で視距が不足していたと考えられた1人を除いては、走行安全上問題となるような事象は確認されず、視距確保は十分であったと考えられる。
	車間距離についての安全性	全体として明かり部とトンネル部との間の車線変更時の安全性について大きな差はなかった。(ただし道路走行シミュレータでは横加速度が体感できないため、実走行での検証が必要と考えられる。)
走行特性とアンケート結果との対比		トンネル部の側壁が被験者に与える圧迫感が、走行特性に与える影響が大きい可能性もあると考えられる。 この傾向が実走行において顕著に現れるとすれば、トンネル部の特に曲線部の幅員あるいは側壁の位置については十分注意が必要と考えられる。

今回の実験では既存資料の少ない都市高速道路トンネルでの走行特性を把握するためにデータ収集を行い、その傾向を把握するまでに至った。しかしながら道路走行シミュレータを用いた実験によるものであるため、実車での検証が必要と考えられる。

将来に向けては、以下に示す長大トンネルに関連した調査等も別途必要になると考えられ、その際には再度走行安全性に関する検討が行われることが望まれる。

- ①実車によるデータの蓄積
- ②トンネル走行による心理的な影響（時間的、距離的な限界等）
- ③トンネル内の明るさ（照明等）と走行安全性との関係
- ④トンネル内分合流部の走行安全性
- ⑤トンネル内での重大事故を避けるための避難場所確保等の設置
- ⑥トンネル内の換気施設等の設置
- ⑦トンネル内の交通システムの設置

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用
- 2) 近藤政市：基礎自動車工学，(株) 養賢堂
- 3) 林洋，上山勝，大慈弥雅博：自動車事故鑑定の方法，(株) 技術書院
- 4) 中原輝史：交通事故解析の基本と実績，(株) S.R.J

