保　存　用

共同研究報告書
整理番号第176号

トンネル内の新照明方式に関する共同研究報告書

カウンタービーム照明に関する研究(その４)報告書

平成９年３月

建設省土木研究所
トンネル研究室
日本道路公団
首都高速道路公団
岩崎電気株式会社
建電設備株式会社
小糸工業株式会社
東芝ライテック株式会社
松下電器産業株式会社

Copyright © (1997) 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。

共同研究報告書
第176号1997年3月

トンネル内の新照明方式に関する共同研究報告書

カウンタービーム照明に関する研究(その4)報告書

建設省土木研究所	トンネル研究室室長	真下英人
	トンネル研究室研究員	石村利明
日本道路公団	施設部施設建設課	相馬隆治
	施設部施設企画課	稲見寛昭
首都高速道路公団	保全施設部電気通信課課長補佐	浅見真一
	保全施設部電気通信課	武田裕之
岩崎電気株式会社	技術開発室	内田和夫
	技術開発室営業技術部課長	赤坂人司
建電設備株式会社	東京支店技術部担当部長	関口芳夫
	大阪支店技術部次長	乗松幸生
小糸工業株式会社	電気営業本部室理事	荒井弘志
	照明技術部次長	森永晃
	照明技術部	永井渉
	照明技術部	角建志
東芝ライテック株式会社	セールスエンジニアリングセンター部長代理	大山敬
	セールスエンジニアリングセンター	皆川考司
松下電器産業株式会社	照明研究所主席研究員	坂本正悦
	照明研究所	山中泰彦
	東京エンジニアリングセンター課長	大橋利彦

要旨

近年，道路トンネルの供用本数・総延長が急速に増加しており，これに伴う維持管理費も増加してきている。今後，快適性，経済性の面から道路トンネルの合理化を図って行くためには照明効率の高い照明方式について検討する必要がある。本共同研究報告書は，カウンタービーム照明を国内に適用するため，実大トンネル実験施設を用いて設計速度50km/h，60km/h，80km/hを対象としてカウンタービーム照明の照明レベルを対称照明の約2割低減した条件下で，両照明方式において障害物の視認性，先行車の視認性，照明器具からのグレア，煤煙中の視認性の検討を行うとともに，実供用路面の平均照度換算係数調査，適用トンネルでのアンケート調査，照明方式の違いによる経済性の検討を行った結果を報告するものである。

キーワード：カウンタービーム照明，視認性，煤煙中の視認性，経済比較

はじめに

道路トンネルは、トンネル利用者に対して安全で快適な空間を確保するために、換気・照明設備が設けられている。近年、道路トンネルの総延長、本数が増加しており、これに伴って道路トンネルの換気・照明施設にかかる費用、維持管理費も増加する傾向にある。今後は、これらの諸施設に対する省エネルギー化への対応とともに、快適性の面、あるいは交通の高速化に対応するため、効率的かつ合理的な道路トンネルの照明について検討が必要となってきている。

本共同研究「トンネル内の新照明方式に関する研究」は、海外の一部で実用化が図られているカウンタービーム照明を我が国において新しい照明方式として採用するため、国内での適用性、照明器具の開発、照明器具の設置方法、必要照明レベル等の検討および設計ガイドライン（案）の作成を目標に、平成５年度から平成７年度の３カ年で実施したものである。

本共同研究報告書は、実大トンネル実験施設を用いて設計速度50km/h, 60km/h, 80km/hを対象としてカウンタビーム照明の照明レベルを対称照明の約２割低減した条件下で、両照明方式において障害物の視認性、先行車の視認性、照明器具からのグレア、煤煙中の視認性の検討を行うとともに、実供用路面の平均照度換算係数調査、適用トンネルでのアンケート調査、照明方式の違いによる経済性の検討を行った結果を報告するものである。

目 次

はじめに

1.研究の概要…… 1
1.1研究目的 …… 1
1.2研究項目 …… 3
2.実験施設の照明設計 …… 4
2.1設計条件 …… 4
2.2照明計算 …… 10
2.3基本照明器具の配置 …… 19
2.4入口照明の実施輝度 …… 20
2.5入口照明の設計輝度の確認 …… 34

3.照明特性の把握 …… 35
3.1入口部照明の明るさ …… 35
3.2照明器具からのグレア（TI値） …… 79
3.2.1目的 …… 79
3.2.2測定項目 …… 79
3.2.3測定結果 …… 83
3.2.4考察 …… 84
3.2.5まとめ …… 101
3.3輝度対比 …… 102
3.3.1人工照明下での輝度対比 …… 102
3.3.2自然光の射し込みによる影響 …… 118
3.3.3照明条件別の輝度対比の比較 …… 124
3.4まとめ …… 124

4.障害物の視認性実験（静止実験） …… 129
4.1実験概要 …… 129
4.1.1実験方法 …… 129
4.1.2実験条件 …… 129
4.1.3測定項目および測定方法 …… 132
4.2実験結果 …… 135
4.2.1静止実験時の野外条件 …… 135
4.2.2障害物の輝度対比 …… 138
4.2.3被験者による見え方の評価 …… 141
4.2.4障害物の輝度対比と見え方の関係 …… 148
4.3まとめ …… 150

5.障害物の視認性実験（走行実験） …… 151
5.1実験概要 …… 151
5.1.1実験方法 …… 151
5.1.2実験条件 …… 151
5.1.3測定項目および測定方法 …… 152
5.2実験結果 …… 155
5.2.1走行実験時の野外条件 …… 155
5.2.2障害物の輝度対比 …… 158

5．2．3 視認距離および視認距離の測定結果 …… 162
5．2．4 視認距離と確認距離の関係 …… 162
5．2．5 視認距離と輝度対比の関係 …… 170
5．2．6 自然光の射し込みが同一の場合における視認距離の推定 …… 170
5．2．7 アンケート結果 …… 177
5．3 まとめ …… 182

6．先行車の視認性実験（静止実験） …… 183
6．1 実験概要 …… 183
6．1．1 実験方法 …… 183
6．1．2 実験条件 …… 183
6．1．3 測定項目および測定方法 …… 186
6．2 実験結果 …… 188
6．2．1 視認性実験時の野外条件 …… 188
6．2．2 先行車後部の輝度 …… 191
6．2．3 先行車の視認性評価 …… 193
6．2．4 先行車の視認性と先行車の輝度の関係 …… 198
6．2．5 先行車の視認性と輝度比の関係 …… 203
6．2．6 照明方式による先行車の輝度 …… 207
6．3 まとめ …… 212

7．煤煙中での視認性実験 …… 213
7．1 実験概要 …… 213
7．1．1 実験目的 …… 213
7．1．2 実験場所 …… 213
7．2 実験方法 …… 213
7．2．1 実験条件 …… 213
7．2．2 測定項目および測定方法 …… 217
7．2．3 観測実験 …… 218
7．3 実験結果 …… 220
7．3．1 光学測定 …… 220
7．3．2 障害物の視認性実験（静止実験）結果 …… 231
7．3．3 障害物の視認性実験（徒歩実験）結果 …… 231
7．4 考察 …… 258
7．4．1 入口照明下での光幕輝度と視認性 …… 258
7．4．2 基本照明下での光幕輝度と視認性 …… 263
7．4．3 煤煙の性状 …… 275
7．4．4 煤煙透過率と等価光幕輝度との関係 …… 275
7．4．5 評点の平均値と確認距離の関係 …… 276
7．4．6 可視度による評価 …… 277
7．5 まとめ …… 282

8．路面の平均照度換算係数の調査 …… 284
8．1 供用中のトンネルでの平均照度換算係数 …… 284
8．1．1 調査方法 …… 284
8．1．2 対象トンネルの路面状況 …… 285
8．1．3 平均照度換算係数結果 …… 290
8．1．4 平均照度換算係数と路面状況の関係 …… 291

8．2サンプル路面による平均照度換算係数 …… 293
8．2．1測定方法 …… 293
8．2．2平均照度換算係数結果 …… 295
8．3まとめ …… 297

9．実トンネルにおけるカウンタービーム照明のアンケート調査 …… 301
9．1概要 …… 301
9．2アンケート調査結果（自動車等の利用） …… 306
9．2．1アンケート回答数 …… 306
9．2．2アンケート回答者の属性 …… 310
9．2．3アンケート結果 …… 313
9．3アンケート調査結果（自転車・徒歩等の利用） …… 324
9．3．1アンケート回答数 …… 324
9．3．2アンケート結果 …… 324
9．4まとめ …… 326

10．照明方式の違いによる経済比較の試算 …… 327
10．1経済比較の試算方法 …… 327
10．1．1試算方法 …… 327
10．1．2試算条件の設定 …… 327
10．2試算結果 …… 333
10．2．1初期設備費の比較 …… 333
10．2．2維持管理費の比較 …… 334
10．3入口部照明の路面輝度を変更する場合の比較 …… 343
10．3．1初期設備費の比較 …… 343
10．3．2維持管理費の比較 …… 343
10．4試算結果の集計 …… 347
10．4．1路面輝度を従来どおりとした場合 …… 347
10．4．2路面輝度を変更した場合 …… 347
10．5まとめ …… 350

11．まとめと今後の課題 …… 352

おわりに

1．研究の概要

1．1　研究目的

現在の国内の道路トンネルの照明は、照明器具から道路軸方向に対称に配光する、いわゆる対称照明と呼ばれている方式が従来から採用され整備されてきている。また、トンネル照明の明るさの基準は、諸外国に比べてトンネル内部を対象とした基本照明の明るさは大きな差異はないものの、入口部を対象とした入口部照明の明るさは、低く設定されているのが現状である。

一方、トンネルの総延長、本数が増加しており、これに伴って道路トンネルの換気・照明施設にかかる費用、維持管理費も増加する傾向にある。今後は、これらの諸施設に対する省エネルギー化への対応とともに、快適性の面、あるいは交通の高速化に対応するため、効率的かつ合理的な道路トンネルの照明について検討する必要がある。

カウンタービーム照明は、自動車の進行方向と逆方向に光を照射し、比較的少ない光束で高い路面輝度が得られる方式であり、省エネルギーの観点からも有効な照明であるとともに、対称照明に比べて障害物等の視認性の向上、視線誘導効果の向上等が期待できる照明方式である。今後、我が国でこの照明を採用していくには、照明方式の基本的な特性を把握するとともに、国内の交通状況等に適した新しい合理的な照明方式として開発する必要がある。

本研究は、これらに対応するため、カウンタービーム照明の国内での適用性、照明器具の開発、照明器具の設置方法、必要照明レベル等の検討および設計ガイドライン（案）の作成を目的として平成５年度より平成７年度まで実施したものであり、本共同研究報告書は平成７年度に実施した検討結果を示すとともに、これまで得られた結果を含めて最後の章に取りまとめたものである。

これまで、平成５年度はカウンタービーム照明を国内に導入するにあたっての課題を整理するとともに、カウンタービーム照明用の照明器具の開発を行い、実大トンネル実験施設において主に設計速度６０km/hを対象としたカウンタービーム照明および対称照明の両方式（設定野外輝度は４，０００cd/m²を想定）についての基本的特性を各種の測定により把握した。また、被験者による静止状態及び走行状態での障害物の観測実験、アンケート調査を行い、カウンタービーム照明の有効性について示した[1)2)]。

平成６年度は、４０km/h、６０km/h、８０km/hの各設計速度に対応した照明レベル（設計速度６０km/hの路面輝度は１／２低減）を対象としたカウンタービーム照明および対称照明（いずれも設定野外輝度は４，０００cd/m²を想定）について適用性の検討を行うとともに、カウンタービーム照明の合理的な設計を行うための各種の路面における平均照度換算係数、コントラスト係数などの光学特性の調査を供用中の４トンネルの現場で実施した。その結果、両照明方式ともに坑口付近では坑口から射し込む自然光の影響により障害物の見え方（輝度対比）が大きく変化し、設計速度の低い場合（設計速度４０km/h）はその影響が大きいこと等が明らかとなった[3)]。

平成７年度は、設計速度５０km/h、６０km/h、８０km/hを対象としてカウンタービーム照明の照明レベルを対称照明より約２割低減した場合の障害物の視認性及び先行車の視認性、照明器具からのグレアの検討を

行うとともに、カウンタービーム照明下の煤煙中の視認性実験を行った。また、平成６年度に実施した各種の実供用路面における平均照度換算係数のデータを充実させるために新たに７トンネルの現場で調査を行うとともに、１１枚のサンプル路面による調査を実施した。さらに、平成７年２月に国内で最初のカウンタービーム照明を適用した新与那トンネルで一般利用者を対象としたアンケート調査を行った。また、照明方式の違いによる経済性について、ある条件を設定したときの比較を行った。

なお、本年度の実験条件としてカウンタービーム照明のレベルを対称照明に比べて低減した条件としたのは、これまでの成果からカウンタービーム照明は障害物の視認性が高く、ある視認性を確保するための照明レベルは対称照明より低減できる可能性が明らかとなったことによるものである。照明レベルの低減の程度はトンネル入口部照明（入口照明＋基本照明）の境界部輝度を約２割程度とし、移行部・緩和部の照明レベルも同程度の低減を行った。この低減の割合は、海外の基準（ＣＩＥ[4]、ＣＥＮ[5]）を参考として設定した。なお、入口部照明の一部を構成する基本照明の低減は行っていない。

1．2　研究項目

平成７年度に実施した検討項目とその概要を表－１．１に示す。２章以降に実大トンネル実験施設の照明設計について示すとともに、検討結果を示す。

表－１．１ 研究項目と概要

研究項目	概　　要
照明特性の把握 （光学測定）	実大トンネル実験施設および照明器具（従来の対称照明用の器具とカウンタービーム用の器具）を用いて、対称照明およびカウンタービーム照明の両照明方式下で、種々の照度測定あるいは輝度測定、照明器具からのグレア（ＴＩ値）、障害物と背景路面の輝度対比について求め、以下の項目について検討する。 ・障害物等の視認性 ・照明器具からのグレア ・自然光の射し込みの影響
障害物の視認性実験 （静止実験）	実大トンネル実験施設および照明器具（従来の対称照明用の器具とカウンタービーム用の器具）を用いて、対称照明およびカウンタービーム照明の両照明方式下で、静止状態で反射率の異なる障害物の視認性について被験者によるアンケート調査を実施し、以下の項目について検討する。 ・障害物等の視認性
障害物の視認性実験 （走行実験）	実大トンネル実験施設および照明器具（従来の対称照明用の器具とカウンタービーム用の器具）を用いて、対称照明およびカウンタービーム照明の両照明方式下で、小型車を所定の速度で定速走行させ、トンネル内に提示した障害物の視認性について被験者によるアンケート調査を実施する。併せて、トンネル坑口の見え方、トンネル内への進入の難易、照明器具からの眩しさ、トンネル内の視環境についてアンケート調査を行い、以下の項目について検討する。 ・障害物等の視認性 ・照明器具からの眩しさ
先行車の視認性実験 （静止実験）	実大トンネル実験施設および照明器具（従来の対称照明用の器具とカウンタービーム用の器具）を用いて、対称照明およびカウンタービーム照明の両照明方式下で、小型車を先行車として所定の位置に置き、被験者により先行車の見え方についてアンケート調査を実施する。また、観測時の先行車の輝度、周辺の輝度を測定する。 ・先行車の輝度 ・先行車の視認性
煤煙中での視認性実験	実大トンネル実験施設内に煤煙を対流させてある煤煙透過率の状態で対称照明およびカウンタービーム照明の両照明方式下での光幕輝度の測定、障害物の見え方評価を行い煤煙中の視認性を検討する。また、基本照明への適用性について検討を加える。 ・光幕輝度の測定 ・煤煙中の障害物の視認性
路面の平均照度換算係数の調査	実大トンネル実験施設内において実大トンネルのコンクリート舗装、実供用路面（アスファルト舗装、半たわみ性舗装）のサンプル板（30×40cm）を用いて平均照度換算係数について検討する。また、供用中のトンネル内にカウンタービーム用の照明器具を仮設し、コントラスト係数（Ｌｒ／Ｅｖ）、平均照度換算係数の検討を行う。 ・路面の種類による平均照度換算係数
実トンネルにおけるカウンタービーム照明のアンケート調査	国内で最初にカウンタービーム照明を適用した新与那トンネル（沖縄総合事務局：一般国道58号）において、一般利用者に対して照明に関するアンケート調査を実施した。 ・アンケート調査
照明方式の違いによる経済比較の試算	照明方式による違いによる経済性について、ある設定条件を仮定して経済比較を行う。 ・対称照明およびカウンタービーム照明の経済性の検討

2．実験施設の照明設計

2．1 設計条件

本トンネルの照明計画は、基本照明および入口照明について計画する。照明設計は、以下の諸基準に準拠して計画するものとする。

（イ）道路照明施設設置基準・同解説　　昭和56年　（社）日本道路協会

（ロ）トンネル照明設計指針　　平成2年　（財）高速道路調査会

（ハ）トンネル照明器材仕様書　　平成5年　（社）建設電気技術協会

（1）設計条件

トンネル構成

延　長　700 m　（照明設計区間は355m）　※設計速度50km/h時のみ359mまで設計

車道幅員　7.0 m　（3.5mX2車線）

（2）反射率

トンネル内の天井および壁面の反射率は25%とした。

（注）トンネル内の仕上げは一部異部分があるが、反射率は一律25%とした。

路面はコンクリート舗装とし反射率は25%とする。

（3）設計速度

50km/h、60km/h、80km/hの3種類とする。

（4）光源の選定

基本照明：対 称 照 明　低圧ﾅﾄﾘｳﾑﾗﾝﾌﾟ

入口照明：対 称 照 明　高圧ﾅﾄﾘｳﾑﾗﾝﾌﾟ＋低圧ﾅﾄﾘｳﾑﾗﾝﾌﾟ

ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明　高圧ﾅﾄﾘｳﾑﾗﾝﾌﾟ

（5）照明器具

基本照明：対称配光を有する照明器具

入口照明：対 称 照 明　対称配光を有する照明器具

ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明　非対称配光を有する照明器具

（6）器具取付高さ

基本照明：4.4m

入口照明：対 称 照 明　4.4m

ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明　4.9m

（7）保守率

対称照明に用いる照明器具は既設なので0.9とし、カウンタービーム照明に用いる照明器具は平成6年度

に新設しているため、1.0とする。

（8）基本照明

1）平均路面輝度

平均路面輝度は表－2．1のとおりとする。ただし、設計速度50㎞/hについては基準値がないため、40㎞/hと60㎞/hの内挿法によって算出した値である。

表－2．1　平均路面輝度

設計速度 (㎞/h)	平均路面輝度 (cd/m²)
50	1．9
60	2．3
80	4．5

2）灯具の配列

灯具の配列は向き合わせ配列とする。光源には、低圧ナトリウムランプ55Wを使用する。ただし、設計速度80㎞/hの時は向き合わせ配列で調光無しで点灯、60㎞/hの時は向き合わせ配列で調光して点灯、50㎞/hの時は千鳥配列で調光して点灯する。

（9）入口部照明

1）野外輝度の設定

表－2．2　設定野外輝度

坑　口	野外輝度 L_{20}(cd/m²)
実大トンネル南側	4,000/1.5

従来設計に用いられていた、全視野を対象とした野外輝度ではなく、20° 視野内の輝度を用いて設計を行う。入口照明の明るさは、トンネルに近づく自動車の運転者の眼の順応輝度（La）によって決定される。この順応輝度（La）と野外輝度（Lo）の間には、一定の関係（La＝1.5Lo）があるため従来設計に用いていた値を1.5で割った値を野外輝度として設計に用いるものとする。

2）入口部照明路面輝度

入口部照明については、最近の眼の順応理論に関する研究成果を考慮して下記の方法で設計を行うものとする。トンネルに近ずく運転者の眼の順応輝度は中心窩順応輝度によって影響を受け、トンネル内を注視することによって中心窩順応輝度が低下すると考えられてきたが、最近の研究で、昼間のトンネル入口においては中心窩順応輝度よりも等価光幕輝度の影響が支配的であることが明らかにされている。順応輝度は、トンネル入口に接近するにつれて漸次低下する。坑口からの距離と各地点の順応輝度との間には、2．1式の関係がある。

$$La = 0.606 \times Log_{10} D - 0.32 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.1)$$

D　：トンネル坑口からの距離（m）

La：順応輝度に対する相対値（150㎞を1とする。）

各設計速度ごとに計算すれば、下記のようになる。

50km/h　$L_a = 0.606 \times Log_{10} 60 - 0.32 = 0.76$

60km/h　$L_a = 0.606 \times Log_{10} 75 - 0.32 = 0.82$

80km/h　$L_a = 0.606 \times Log_{10} 110 - 0.32 = 0.92$

境界部の目的は、トンネル坑口から視距だけ離れた場所から、トンネル坑口にある障害物を識別できるような背景をつくることが、その目的であるため境界部の輝度は、設計速度に対応した視距だけ離れた地点の順応輝度をもとに決定される。各設計速度毎に順応輝度を計算すれば下記のとおりとなる。

50km/h　$L_{20} = (4000 / 1.5) \times 0.76 = 2030$ cd/m²

60km/h　$L_{20} = (4000 / 1.5) \times 0.82 = 2190$ cd/m²

80km/h　$L_{20} = (4000 / 1.5) \times 0.76 = 2450$ cd/m²

この時の順応輝度と現行基準の境界部の値とを比較すれば下記のとおりとなる。

50km/h　$L_r / L_{20} \times 100 = (45 / 2030) \times 100 = 2.2\%$

60km/h　$L_r / L_{20} \times 100 = (58 / 2190) \times 100 = 2.7\%$

80km/h　$L_r / L_{20} \times 100 = (83 / 2450) \times 100 = 3.4\%$

トンネル坑口から視距だけ離れた位置の順応輝度と路面輝度の間には、上記のような関係にあることとなる。カウンタービーム照明は、対称照明に比べて輝度対比が向上し、視認距離が長く確保でき安全であると考えられているため、この順応輝度と路面輝度の関係を対称照明方式よりも約20%の低減となる0.5 ポイント低減して設計を行うものとする。

カウンタービーム照明の境界部の輝度を求めると以下のようになる。

50km/h　$L_1 = L_{20} \times (2.2 - 0.5)\% = 2030 \times 1.7\% = 35$cd/m²

60km/h　$L_1 = L_{20} \times (2.7 - 0.5)\% = 2190 \times 2.2\% = 48$cd/m²

80km/h　$L_1 = L_{20} \times (3.4 - 0.5)\% = 2450 \times 2.9\% = 71$cd/m²

この時の境界部の長さは、各設計速度毎に次のとおりとする。

50km/h　$l_1 = 30$m

60km/h　$l_1 = 40$m

80km/h　$l_1 = 50$m

移行部の輝度と長さは、以下のとおりとする。移行部の始点の輝度は境界部の輝度とし、終点の輝度は境界部の輝度の85%とする。

50km/h	対称照明	: L_2=境界部輝度×0.85= 38cd/m²	$l_2 = 25$m
	カウンタービーム照明	: L_2=境界部輝度×0.85= 30cd/m²	$l_2 = 25$m
60km/h	対称照明	: L_2=境界部輝度×0.85= 49cd/m²	$l_2 = 35$m
	カウンタービーム照明	: L_2=境界部輝度×0.85= 41cd/m²	$l_2 = 35$m
80km/h	対称照明	: L_2=境界部輝度×0.85= 71cd/m²	$l_2 = 60$m
	カウンタービーム照明	: L_2=境界部輝度×0.85= 60cd/m²	$l_2 = 60$m

緩和部の輝度と長さは、以下のとおりとする。緩和部の始点の輝度は移行部の輝度とし、終点の輝度は基

本部の輝度とする。緩和部の長さは２．２式によってそれぞれ求めて算出する。

$$l_3 = (Log_{10}L_2 - Log_{10}L_3) \times V / 0.55 \quad (m) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.2)$$

V：設計速度（km／h）

L_2：緩和部始点輝度（cd・m^2）

L_3：緩和部終点輝度（cd　m^2）

50km/h　　対称照明：

$l_3 = (Log_{10}37 - Log_{10}1.9) \times 50 \quad 0.55 = 117m$

カウンタービーム照明：

$l_3 = (Log_{10}30 - Log_{10}1.9) \times 50 \quad 0.55 = 109m$

60km/h　　対称照明：

$l_3 = (Log_{10}49 - Log_{10}2.3) \times 60 \quad 0.55 = 145m$

カウンタービーム照明：

$l_3 = (Log_{10}41 - Log_{10}2.3) \times 60 \quad 0.55 = 136m$

80km/h　　対称照明：

$l_3 = (Log_{10}71 - Log_{10}4.5) \times 80 \quad 0.55 = 174m$

カウンタービーム照明：

$l_3 = (Log_{10}60 - Log_{10}4.5) \times 80 \quad 0.55 = 164m$

計算結果をまとめると、表－２．３および図－２．１のとおりとなる。

表－ ２．３　入口部照明基準輝度

	設計速度		境界部	移行部	緩和部	計
対称照明	50km/h	路面輝度　(cd/m²)	45	37	1.9	——
		長　さ　(m)	30	25	118	172
	60km/h	路面輝度　(cd/m²)	58	49	2.3	——
		長　さ　(m)	40	35	145	220
	80km/h	路面輝度　(cd/m²)	83	71	4.5	——
		長　さ　(m)	50	60	174	284
カウンタービーム照明	50km/h	路面輝度　(cd/m²)	35	30	1.9	——
		長　さ　(m)	30	25	109	164
	60km/h	路面輝度　(cd/m²)	48	41	2.3	——
		長　さ　(m)	40	35	136	211
	80km/h	路面輝度　(cd/m²)	71	60	4.5	——
		長　さ　(m)	50	60	164	274

（１０）平均照度換算係数

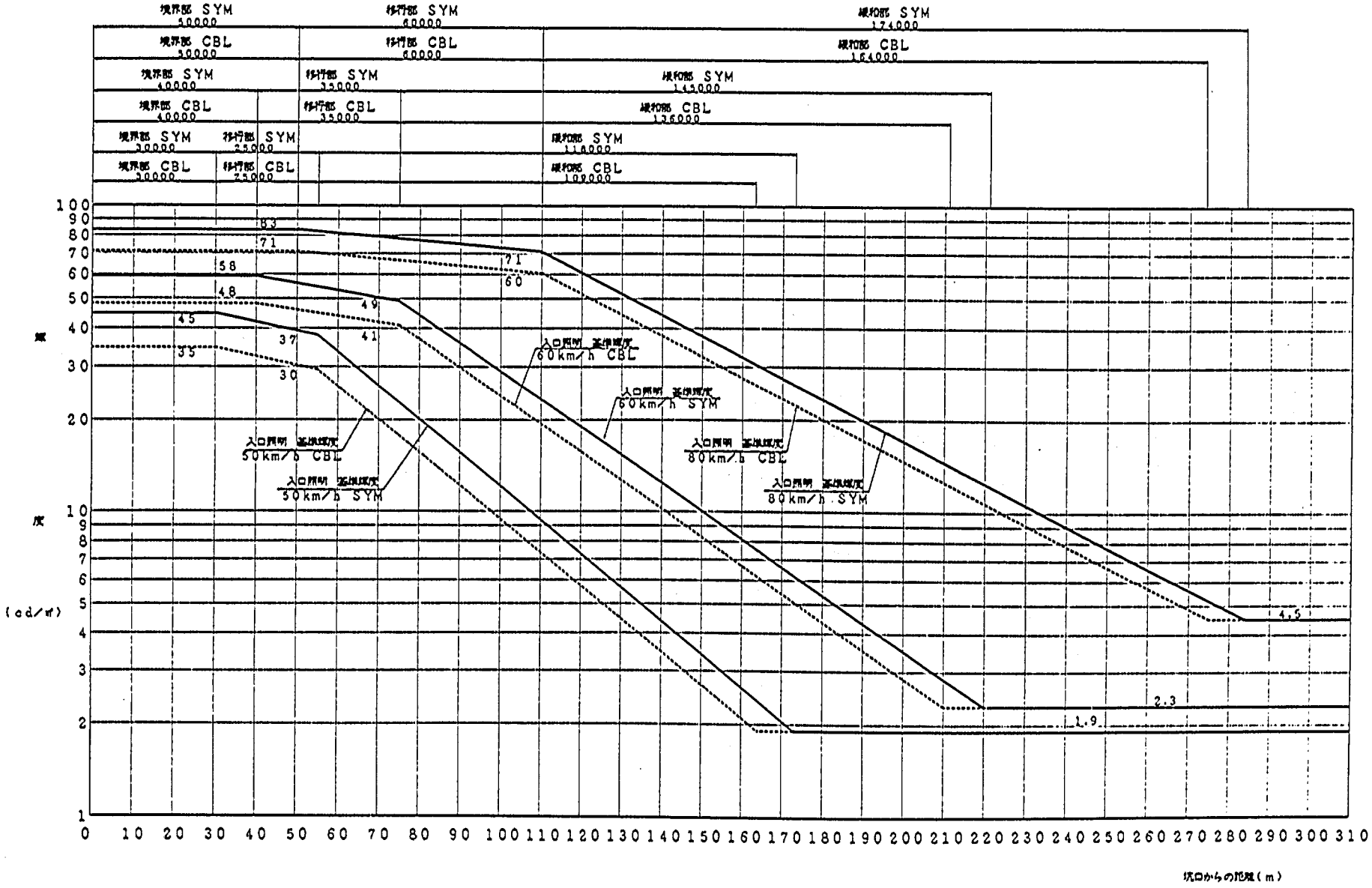
平均照度換算係数は「道路照明施設設置基準・同解説」および「カウンタービーム照明に関する研究報告書」[1]より表－２．４の値を参考とするが、実大トンネル実験施設のトンネル全体の路面の状況を考慮して換算係数の値は適宜使い分けることとする。設計に用いた値は以下のとおりである。

対称照明　　：　１３～１４　ℓｘ／ｃｄ／ｍ²

カウンタービーム照明：　９～１１　ℓｘ／ｃｄ／ｍ²

表－２．４　平均照度換算係数

対称照明	１３　ℓｘ／ｃｄ／ｍ²
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明	１１　ℓｘ／ｃｄ／ｍ²　（車線中央取付）



図－2.1　入口照明基準輝度（８０，６０，５０km／h）

2．2 照明計算

（1）照明率の算出式

照明率Uは「道路照明施設設置基準・同解説」の照明率の求め方による。

$$U = U_4' + \frac{W}{W_0} \{A_1U_1 + A_2U_2 + A_3U_3 + (A_4 - 1)U_4\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.3)$$

ここで、U_4'：車道幅員に対する直射照明率

W_0：路面全幅員（m）

W：車道幅員（m）

A_1：照明率を求めるための係数（天井面）

A_2：照明率を求めるための係数（器具に近い壁面）

A_3：照明率を求めるための係数（器具に遠い壁面）

A_4：照明率を求めるための係数（路面）

U_1：天井に対する直射照明率

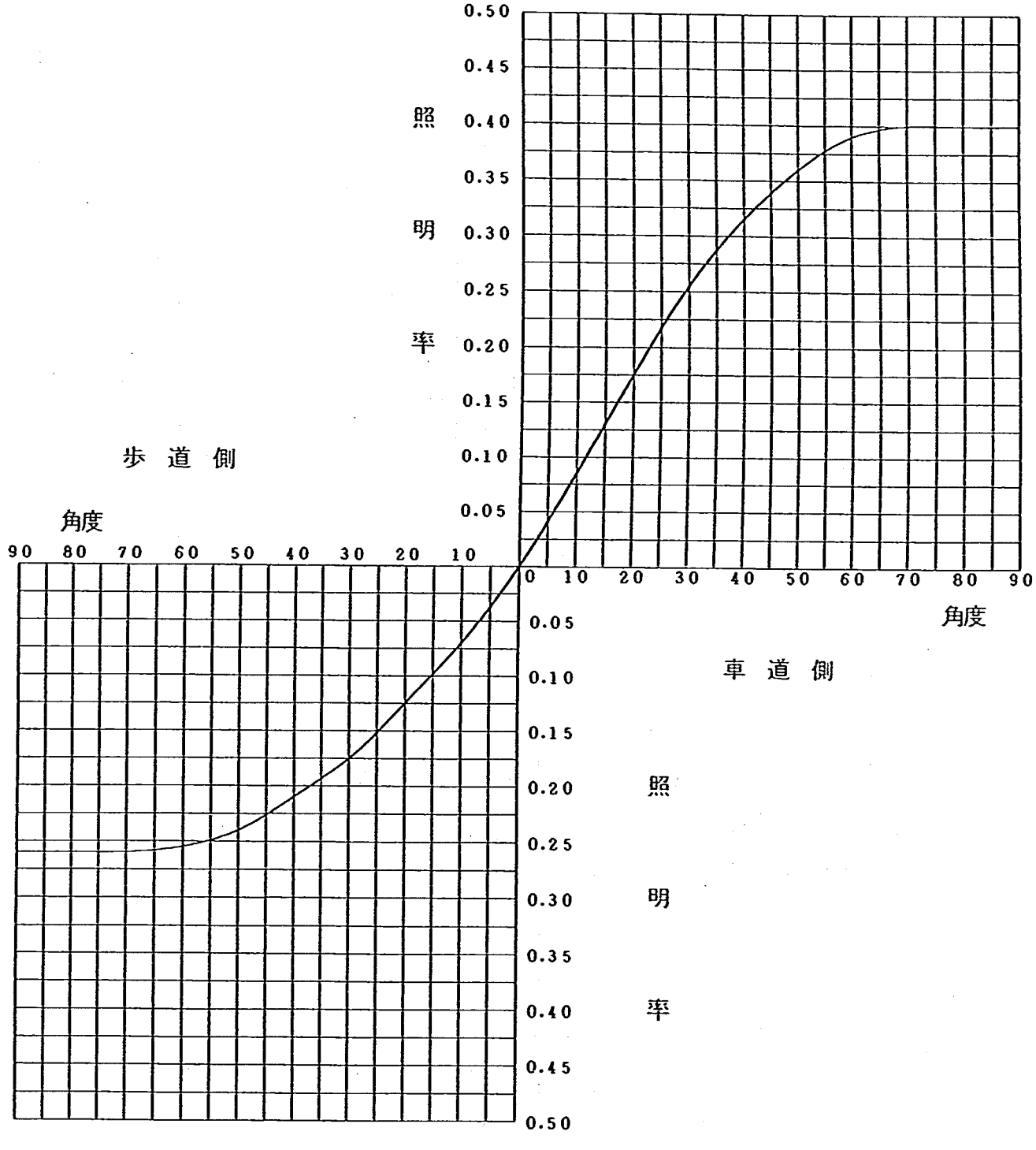
U_2：器具に近い方の壁面に対する直射照明率

U_3：器具に遠い方の壁面に対する直射照明率

U_4：路面全幅員に対する直射照明率

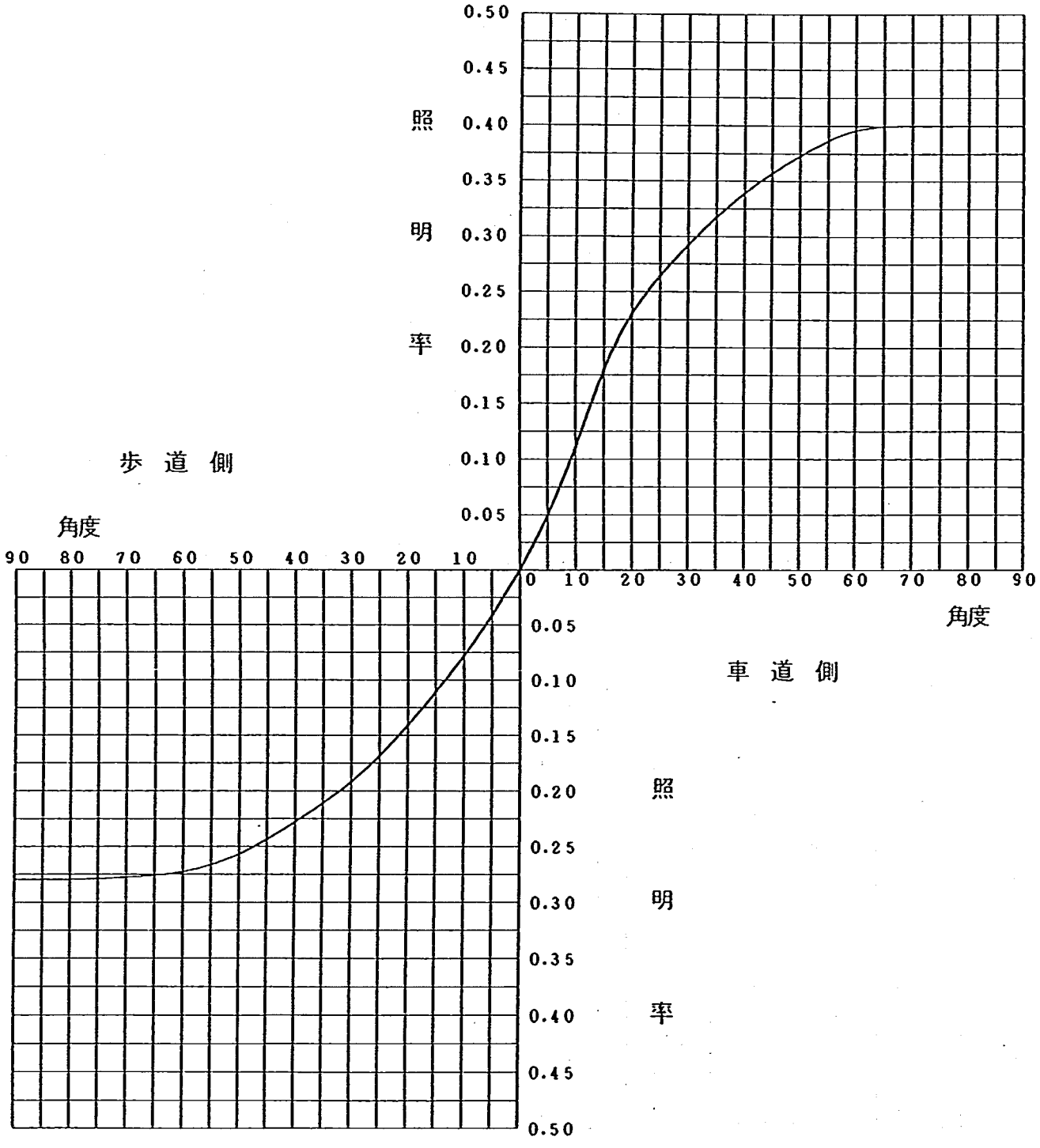
トンネル断面図より器具中心と車道幅員、路面全幅員、壁面、天井面とのなす角度を求めて、照明率曲線図より各直射照明率を読みとる。

基本照明器具照明率曲線図
対 称 照 明



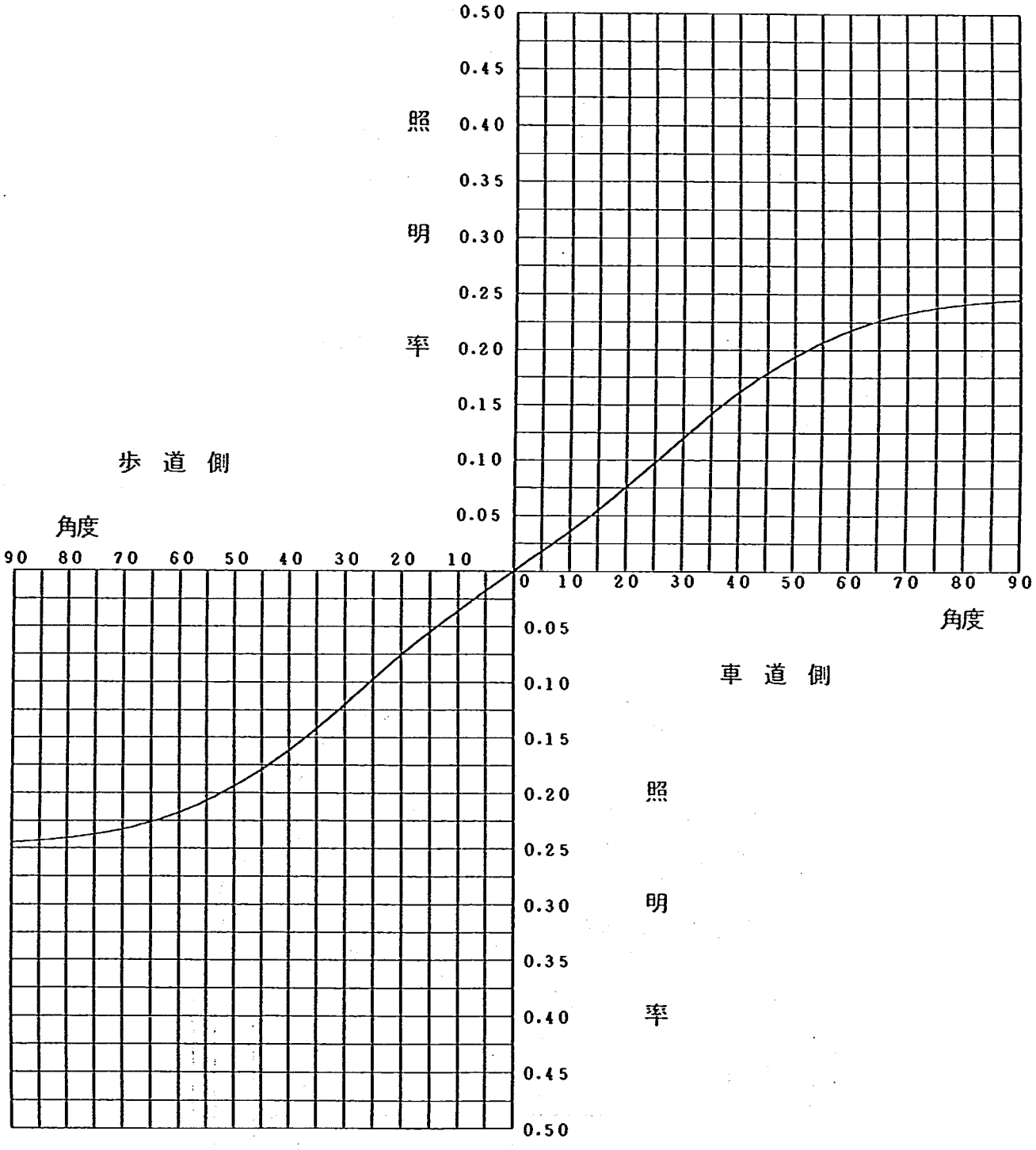
図－2.2　基本照明器具照明率曲線図（対称照明）

入口照明器具照明率曲線図
対 称 照 明



図－2.3　入口照明器具照明率曲線図（対称照明）

入口照明器具照明率曲線図
カウンタービーム照明



図－2.4　入口照明器具照明率曲線図（ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明）

（２）直射照明率の算出

１）基本照明器具・対称照明（ランプ：NX55(この照明器具は、対称照明の入口照明器具としても使用する)）

車道幅員、路面全幅員、壁面及び天井面に対する直射照明率を求める。

$U_1 = U(90.0°) - U(45.0°) = 0.400 - 0.338 = 0.062$

$U_2 = U(-90.0°) - U(-52.6°) = 0.260 - 0.244 = 0.016$

$U_3 = U(45.0°) - U(15.9°) = 0.338 - 0.138 = 0.200$

$U_4 = U(-52.6°) + U(15.9°) = 0.244 + 0.138 = 0.382$

$U_4' = U(-42.9°) + U(13.4°) = 0.219 + 0.116 = 0.335$

各部の係数

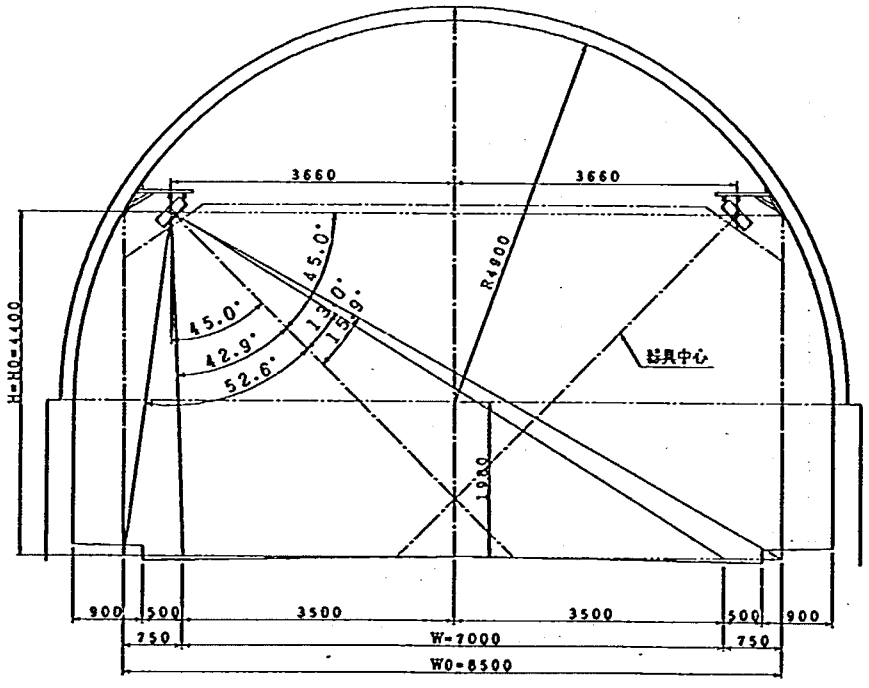
$$\frac{W_0}{H_0} = \frac{8.5}{4.4} = 1.93$$

「道路照明施設設置基準・同解説」の124ページより各部の係数は次の値になる。

A_1 0.170

$A_2 = A_3 = 0.122$

$A = 1.037$



図－２．５　照明器具取付図（対称照明）

2）入口照明器具・対称照明（ランプ：NHT220L, NHT180L）

車道幅員、路面全幅員、壁面及び天井面に対する直射照明率を求める。

U_1 ＝U（ 90.0° ）－U（ 45.0° ）＝0.400 －0.356 ＝0.044

U_2 ＝U（−90.0° ）－U（−52.6° ）＝0.280 －0.261 ＝0.019

U_3 ＝U（ 45.0° ）－U（ 15.9° ）＝0.356 －0.181 ＝0.175

U_4 ＝U（−52.6° ）＋U（ 15.9° ）＝0.261 ＋0.181 ＝0.442

U_4' ＝U（−42.9° ）＋U（ 13.4° ）＝0.236 ＋0.151 ＝0.387

各部の係数

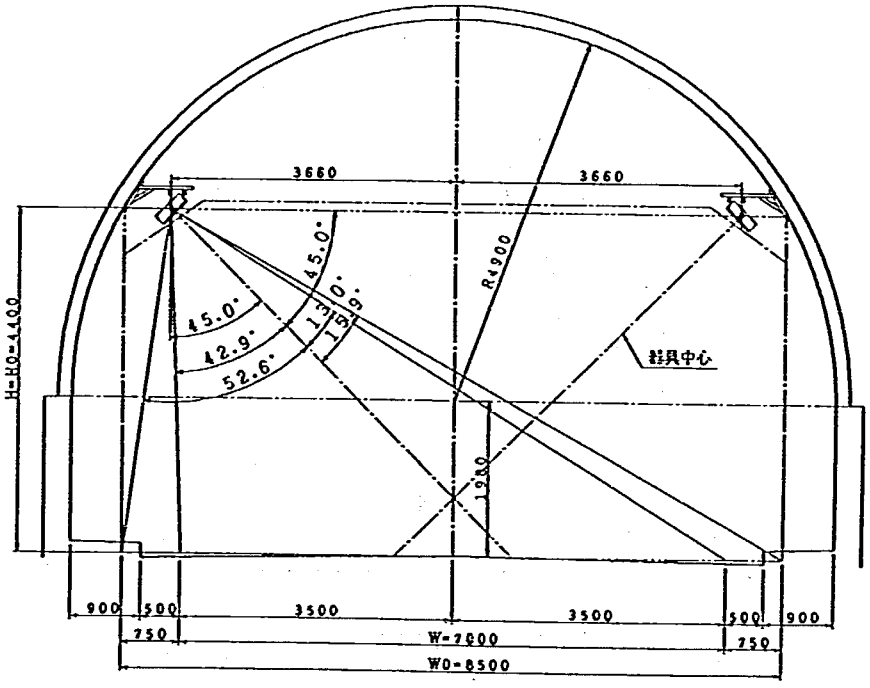
$$\frac{W_0}{H_0} = \frac{8.5}{4.4} = 1.93$$

「道路照明施設設置基準・同解説」の124ページより各部の係数は次の値になる。

A_1 ＝0.170

A_2 ＝A_3 ＝0.122

A_4 ＝1.037



図－2．6　照明器具取付図（対称照明）

3）入口照明器具・ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明（ランプ：NHT270L, NHT220L, NHT180L, NHT110L）

車道幅員、路面全幅員、壁面及び天井面に対する直射照明率を求める。

U_1 ＝U（ 90.0° ）－U（ 90.0° ）＝0.243 －0.243 ＝0.000

U_2 ＝U（−90.0° ）－U（−27.0° ）＝0.257 －0.112 ＝0.145

U_3 ＝U（ 90.0° ）－U（ 50.8° ）＝0.243 －0.197 ＝0.046

U_4 ＝U（−27.0° ）＋U（ 50.8° ）＝0.112 ＋0.197 ＝0.309

U_4' ＝U（−19.7° ）＋U（ 47.0° ）＝0.082 ＋0.185 ＝0.267

各部の係数

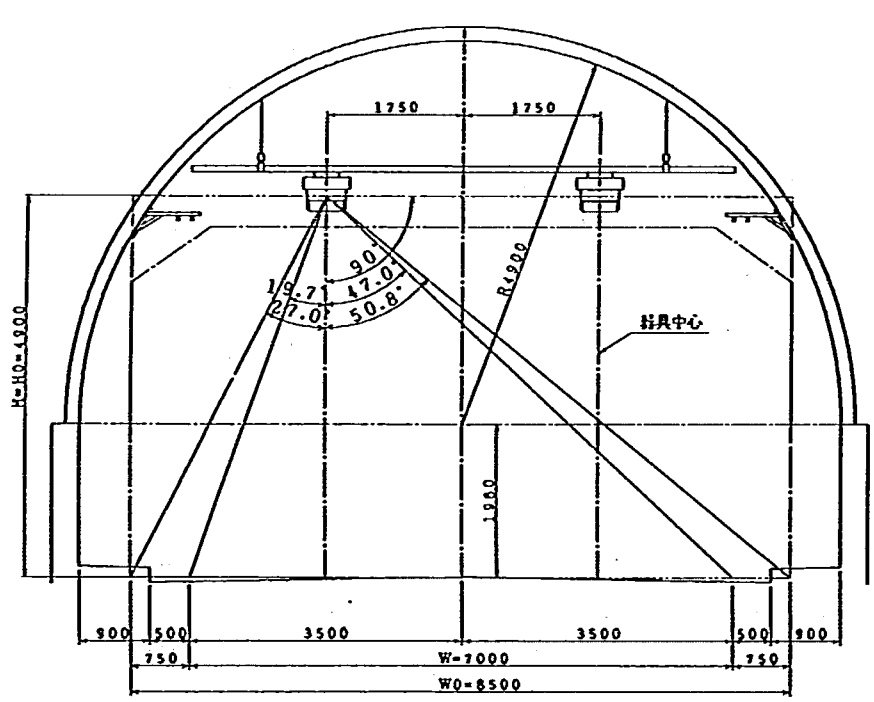
$$\frac{W_0}{H_0} = \frac{8.5}{4.9} = 1.73$$

「道路照明施設設置基準・同解説」の124ページより各部の係数は次の値になる。

A_1 ＝0.162

A_2 ＝A_3 ＝0.117

A_4 ＝1.035



図－2．7　照明器具取付図（ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明）

（3） 照明率の算出

各値を（2．3）式に代入して照明率を求める。

1）基本照明器具・対称照明

$$U = 0.335 + \frac{7.00}{8.50}\{0.170 \times 0.062 + 0.122(0.016 + 0.200) + (1.037 - 1)0.382\}$$

$$= \underline{0．377}$$

2）入口照明器具・対称照明

$$U = 0.387 + \frac{7.00}{8.50}\{0.170 \times 0.044 + 0.122(0.019 + 0.175) + (1.037 - 1)0.442\}$$

$$= \underline{0．426}$$

3）入口照明器具・ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明

$$U = 0.267 + \frac{7.00}{8.50}\{0.162 \times 0.000 + 0.117(0.145 + 0.046) + (1.035 - 1)0.309\}$$

$$= \underline{0．294}$$

4）照明率のまとめ

表－2．5 照明率算出結果

基本照明器具・対称照明	0．377
入口照明器具・対称照明	0．426
入口照明器具・ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明	0．294

（4）基本照明器具間隔

基本照明器具間隔は表－2．6のとおりとする。配列および点灯状態は表－2．7のとおりとする。

表－2．6　照明器具間隔

設計速度	照明器具間隔
50km／h	6m
60km／h	10m
80km／h	10m

表－2．7 配列および点灯状態

	器具配列	点灯状態
設計速度50km／h	千鳥配列	調光
設計速度60km／h	向き合わせ配列	調光
設計速度80km／h	向き合わせ配列	非調光

この時の路面輝度は2．4式にて求めることができる。

$$L = \frac{F \cdot U \cdot N \cdot M}{W \cdot S \cdot K} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.4)$$

ここで、L：　基準輝度（cd／m²）
F：　ランプ光束（ℓm）
U：　照明率
N：　灯具の配列による係数　（向き合わせ配列　N＝2）
（千鳥配列　N＝1）
M：　保守率
W：　車道幅員（m）
S：　器具取付間隔（m）
K：　平均照度換算係数（ℓx／cd／m²）

設計速度毎に路面輝度を計算すれば以下のとおりである。

50km/h時

$$L = \frac{7600 \times 0.5 \times 0.377 \times 1 \times 0.9}{7.0 \times 6.0 \times 13} = 2.4\ cd/m^2$$

60km/h時

$$L = \frac{7600 \times 0.5 \times 0.377 \times 2 \times 0.9}{7.0 \times 10.0 \times 13} = 2.8\ cd/m^2$$

80km/h時

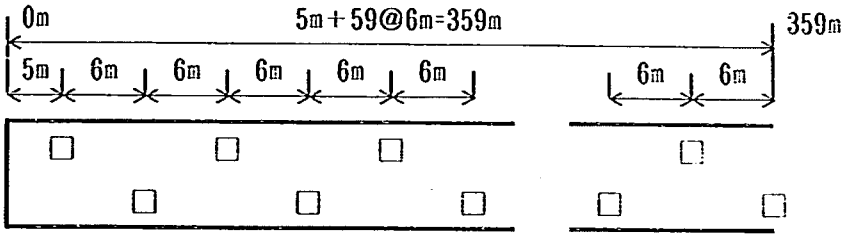
$$L = \frac{7600 \times 1.0 \times 0.377 \times 2 \times 0.9}{7.0 \times 10.0 \times 13} = 5.7\ cd/m^2$$

２．３　基本照明器具の配置

各設計速度毎に照明器具を配置すれば図－２．８～図－２．１０のようになる。

設計速度50㎞/h

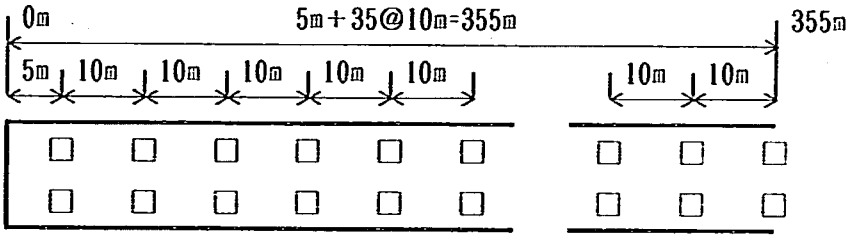
照明器具使用台数　60台



図－２．８　設計区間基本照明器具配置図

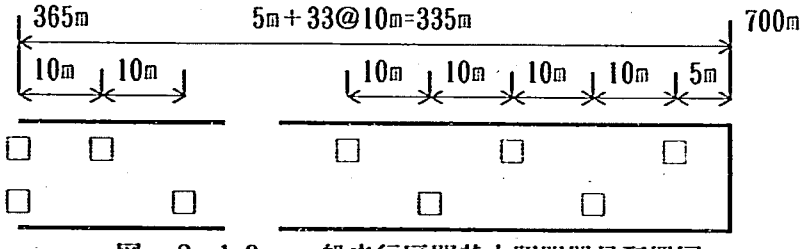
設計速度60㎞/h、80㎞/h

照明器具使用台数　72台



図－２．９　設計区間基本照明器具配置図

設計区間以降については、トンネル内を安全に走行出来るように10m間隔で照明器具を配置する。(365m～695m)



図－２．１０　一般走行区間基本照明器具配置図

この区間は、照明器具を千鳥配列で配置すれば照明器具は34台使用する。なお、一般走行区間の照明器具は調光を行わない。

2．4 入口照明の実施輝度

入口照明の実施輝度を照明方式ごとに以下に示す。また、50、60、80km/h時の各入口照明設計輝度分布図を図－2．11～図－2．13に示す。各照明条件毎の照明器具配置図を図－2．14～図－2．19に示す。

$$L = \frac{F \cdot N \cdot U \cdot M}{W \cdot S \cdot K} + \text{基本照明実施輝度}$$

（1）50km／h

対称照明

A区間　10m ～ 36m　26m 区間　NHT220L ×14台

$$L = \frac{26500 \times 14 \times 0.426 \times 0.9}{7 \times 26 \times 14} + 2.4 = 58.2 \text{ cd/m}^2$$

B区間　36m ～ 66m　30m 区間　NHT220L ×12台

$$L = \frac{26500 \times 12 \times 0.426 \times 0.9}{7 \times 30 \times 14} + 2.4 = 43.9 \text{ cd/m}^2$$

C区間　66m ～ 84m　18m 区間　NHT180L × 8台

$$L = \frac{19000 \times 8 \times 0.426 \times 0.9}{7 \times 18 \times 14} + 2.4 = 35.4 \text{ cd/m}^2$$

D区間　84m ～114m　30m 区間　NHT180L × 6台

$$L = \frac{19000 \times 6 \times 0.426 \times 0.9}{7 \times 30 \times 13} + 2.4 = 18.4 \text{ cd/m}^2$$

E区間 114m ～132m　18m 区間　NX35 × 5台

$$L = \frac{7600 \times 5 \times 0.426 \times 0.9}{7 \times 18 \times 13} + 2.4 = 11.3 \text{ cd/m}^2$$

F区間 132m ～168m　36m 区間　NX55 × 9台（調光）

$$L = \frac{3800 \times 9 \times 0.426 \times 0.9}{7 \times 36 \times 13} + 2.4 = 6.4 \text{ cd/m}^2$$

（2）50km／h

カウンタービーム照明

A区間　10m ～ 55m　45m 区間　NHT220L ×16台

$$L = \frac{26500 \times 16 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 45 \times 11} + 2.4 = 38.4 \text{ cd/m}^2$$

B区間　55m ～ 75m　20m 区間　NHT220L × 4台

$$L = \frac{26500 \times 4 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 20 \times 9} + 2.4 = 27.1 \text{ cd/m}^2$$

C区間　75m ～ 95m　20m 区間　NHT180L × 4台

$$L = \frac{19000 \times 4 \times 0.294 \times 1.0}{} + 2.4 = 20.1 \text{ cd/m}^2$$

$$7\times20\times9$$

D区間　95m ～115m　　20m 区間　　NHT110L × 4台

$$L=\frac{10400\times\ 4\times0.294\ \times1.0}{7\times20\times9}+2.4\ =\ 12.1\ cd/m^2$$

E区間 115m ～135m　　20m 区間　　NHT110L × 4台（調光）

$$L=\frac{5200\times\ 4\times0.294\ \times1.0}{7\times20\times11}+2.4\ =\ 6.4\ cd/m^2$$

F区間 135m ～175m　　40m 区間　　NHT110L × 4台（調光）

$$L=\frac{5200\times\ 4\times0.294\ \times1.0}{7\times40\times11}+2.4\ =\ 4.4\ cd/m^2$$

（3）６０ｋｍ／ｈ

対称照明

A区間　10m ～ 55m　　45m 区間　　NHT220L ×28台

$$L=\frac{26500\times28\times0.426\ \times0.9}{7\times45\times14}+2.8\ =\ 67.3\ cd/m^2$$

B区間　55m ～ 85m　　30m 区間　　NHT220L ×16台

$$L=\frac{26500\times16\times0.426\ \times0.9}{7\times30\times14}+2.8\ =\ 58.1\ cd/m^2$$

C区間　85m ～105m　　20m 区間　　NHT220L × 8台

$$L=\frac{26500\times\ 8\times0.426\ \times0.9}{7\times20\times13}+2.8\ =\ 47.5\ cd/m^2$$

D区間 105m ～125m　　20m 区間　　NHT180L × 6台

$$L=\frac{19000\times\ 6\times0.426\ \times0.9}{7\times20\times13}+2.8\ =\ 26.8\ cd/m^2$$

E区間 125m ～155m　　30m 区間　　NHT180L × 6台

$$L=\frac{19000\times\ 6\times0.426\ \times0.9}{7\times30\times13}+2.8\ =\ 18.8\ cd/m^2$$

F区間 155m ～185m　　30m 区間　　NX55 × 6台

$$L=\frac{7600\times\ 6\times0.426\ \times0.9}{7\times30\times13}+2.8\ =\ 9.2\ cd/m^2$$

G区間 185m ～225m　　40m 区間　　NX55 × 8台（調光）

$$L=\frac{3800\times\ 8\times0.426\ \times0.9}{7\times40\times13}+2.8\ =\ 6.0\ cd/m^2$$

（4）６０ｋｍ／ｈ

カウンタービーム照明

A区間　10m ～ 55m　　45m 区間　　NHT220L ×22台

$$L = \frac{26500 \times 22 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 45 \times 11} + 2.8 = 52.3 \text{ cd/m}^2$$

B区間　55m ～ 75m　　20m 区間　　NHT220L × 8台

$$L = \frac{26500 \times 8 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 20 \times 9} + 2.8 = 52.3 \text{ cd/m}^2$$

C区間　75m ～ 95m　　20m 区間　　NHT220L × 6台

$$L = \frac{26500 \times 6 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 20 \times 9} + 2.8 = 39.9 \text{ cd/m}^2$$

D区間　95m ～115m　　20m 区間　　NHT220L × 4台

$$L = \frac{26500 \times 4 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 20 \times 9} + 2.8 = 27.5 \text{ cd/m}^2$$

E区間 115m ～135m　　20m 区間　　NHT180L × 4台

$$L = \frac{19000 \times 4 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 20 \times 11} + 2.8 = 17.3 \text{ cd/m}^2$$

F区間 135m ～155m　　20m 区間　　NHT110L × 4台

$$L = \frac{10400 \times 4 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 20 \times 11} + 2.8 = 10.7 \text{ cd/m}^2$$

G区間 155m ～175m　　20m 区間　　NHT110L × 4台（調光）

$$L = \frac{5200 \times 4 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 20 \times 11} + 2.8 = 6.8 \text{ cd/m}^2$$

H区間 175m ～215m　　40m 区間　　NHT110L × 4台（調光）

$$L = \frac{5200 \times 4 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 40 \times 10} + 2.8 = 5.0 \text{ cd/m}^2$$

（5）　８０ｋｍ／ｈ

対称照明

A区間　10m ～ 55m　　45m 区間　　NHT220L ×36台

$$L = \frac{26500 \times 36 \times 0.426 \times 0.9}{7 \times 45 \times 14} + 5.7 = 88.6 \text{ cd/m}^2$$

B区間　55m ～ 85m　　30m 区間　　NHT220L ×24台

$$L = \frac{26500 \times 24 \times 0.426 \times 0.9}{7 \times 30 \times 14} + 5.7 = 88.6 \text{ cd/m}^2$$

C区間　85m ～125m　　40m 区間　　NHT220L ×24台

$$L = \frac{26500 \times 24 \times 0.426 \times 0.9}{7 \times 40 \times 13} + 5.7 = 72.7 \text{ cd/m}^2$$

D区間 125m ～145m　20m 区間　NHT220L × 8台

$$L = \frac{26500 \times 8 \times 0.426 \times 0.9}{7 \times 20 \times 13} + 5.7 = 50.4 \text{ cd/m}^2$$

E区間 145m ～165m　20m 区間　NHT180L × 8台

$$L = \frac{19000 \times 8 \times 0.426 \times 0.9}{7 \times 20 \times 13} + 5.7 = 37.7 \text{ cd/m}^2$$

F区間 165m ～185m　20m 区間　NHT180L × 6台

$$L = \frac{19000 \times 6 \times 0.426 \times 0.9}{7 \times 20 \times 13} + 5.7 = 29.7 \text{ cd/m}^2$$

G区間 185m ～235m　50m 区間　NHT180L ×10台

$$L = \frac{19000 \times 10 \times 0.426 \times 0.9}{7 \times 50 \times 13} + 5.7 = 21.7 \text{ cd/m}^2$$

H区間 235m ～285m　50m 区間　NX55 ×10台

$$L = \frac{7600 \times 10 \times 0.426 \times 0.9}{7 \times 50 \times 13} + 5.7 = 12.1 \text{ cd/m}^2$$

（6）８０ｋｍ／ｈ

カウンタービーム照明

A区間　10m ～ 55m　45m 区間　NHT270L ×28台

$$L = \frac{33500 \times 28 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 45 \times 11} + 5.7 = 85.3 \text{ cd/m}^2$$

B区間　55m ～105m　50m 区間　NHT220L ×30台

$$L = \frac{26500 \times 30 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 50 \times 9} + 5.7 = 79.9 \text{ cd/m}^2$$

C区間 105m ～125m　20m 区間　NHT220L ×10台

$$L = \frac{26500 \times 10 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 20 \times 9} + 5.7 = 67.5 \text{ cd/m}^2$$

D区間 125m ～145m　20m 区間　NHT220L × 8台

$$L = \frac{26500 \times 8 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 20 \times 11} + 5.7 = 46.2 \text{ cd/m}^2$$

E区間 145m ～165m　20m 区間　NHT220L × 6台

$$L = \frac{26500 \times 6 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 20 \times 11} + 5.7 = 36.1 \text{ cd/m}^2$$

F区間 165m ～185m　20m 区間　NHT220L × 4台

$$L = \frac{26500 \times 4 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 20 \times 9} + 5.7 = 30.4 \text{ cd/m}^2$$

G区間 185m ～215m　30m 区間　NHT180L × 6台

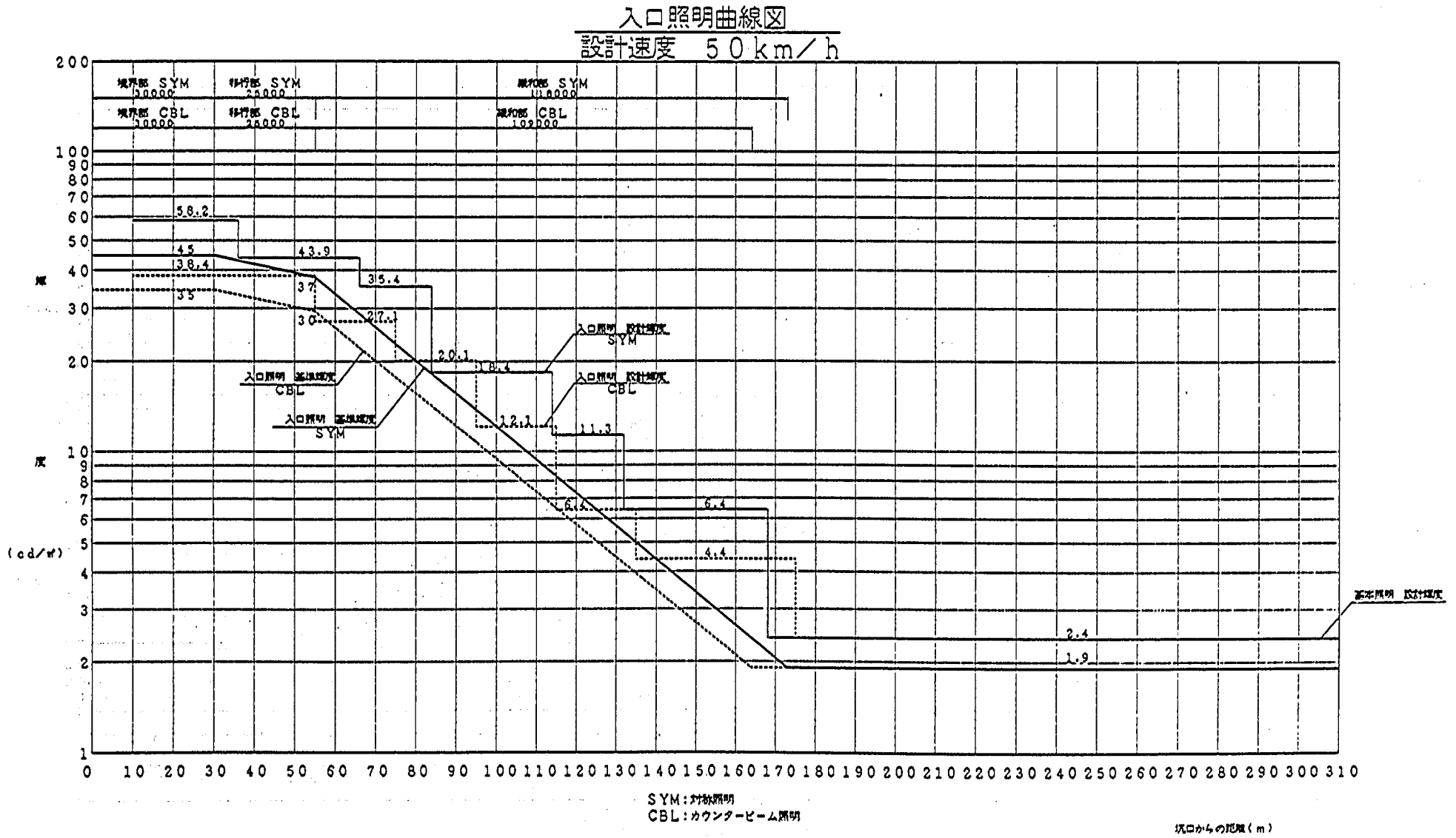
$$L = \frac{19000\times\ 6\times 0.294\ \times 1.0}{7\times 30\times 10} + 5.7 = 21.7\ cd/m^2$$

H区間 215m ～245m　30m 区間　NHT110L × 6台

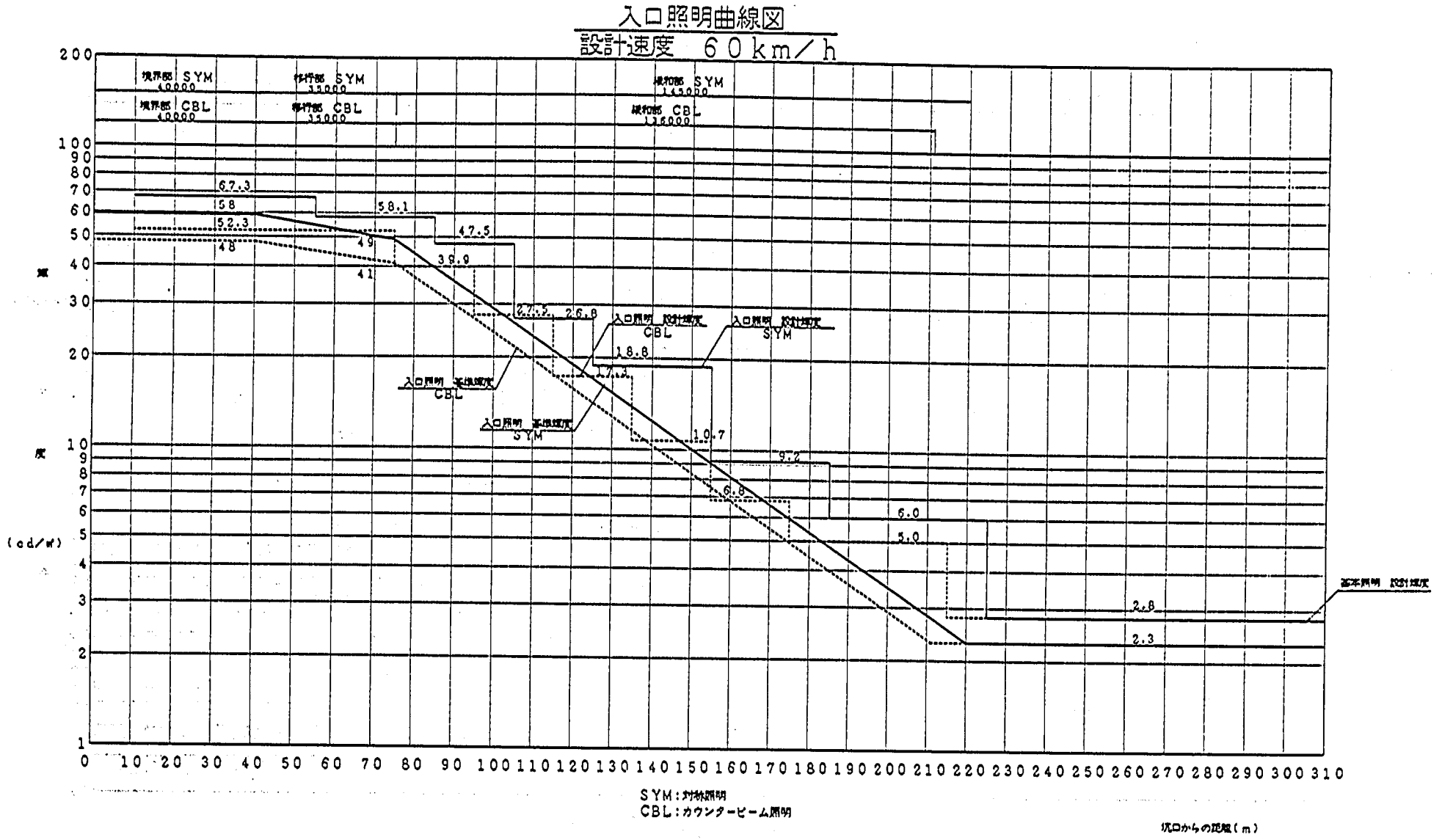
$$L = \frac{10400\times\ 6\times 0.294\ \times 1.0}{7\times 30\times 10} + 5.7 = 14.4\ cd/m^2$$

I 区間 245m ～285m　40m 区間　NHT110L × 8台（調光）

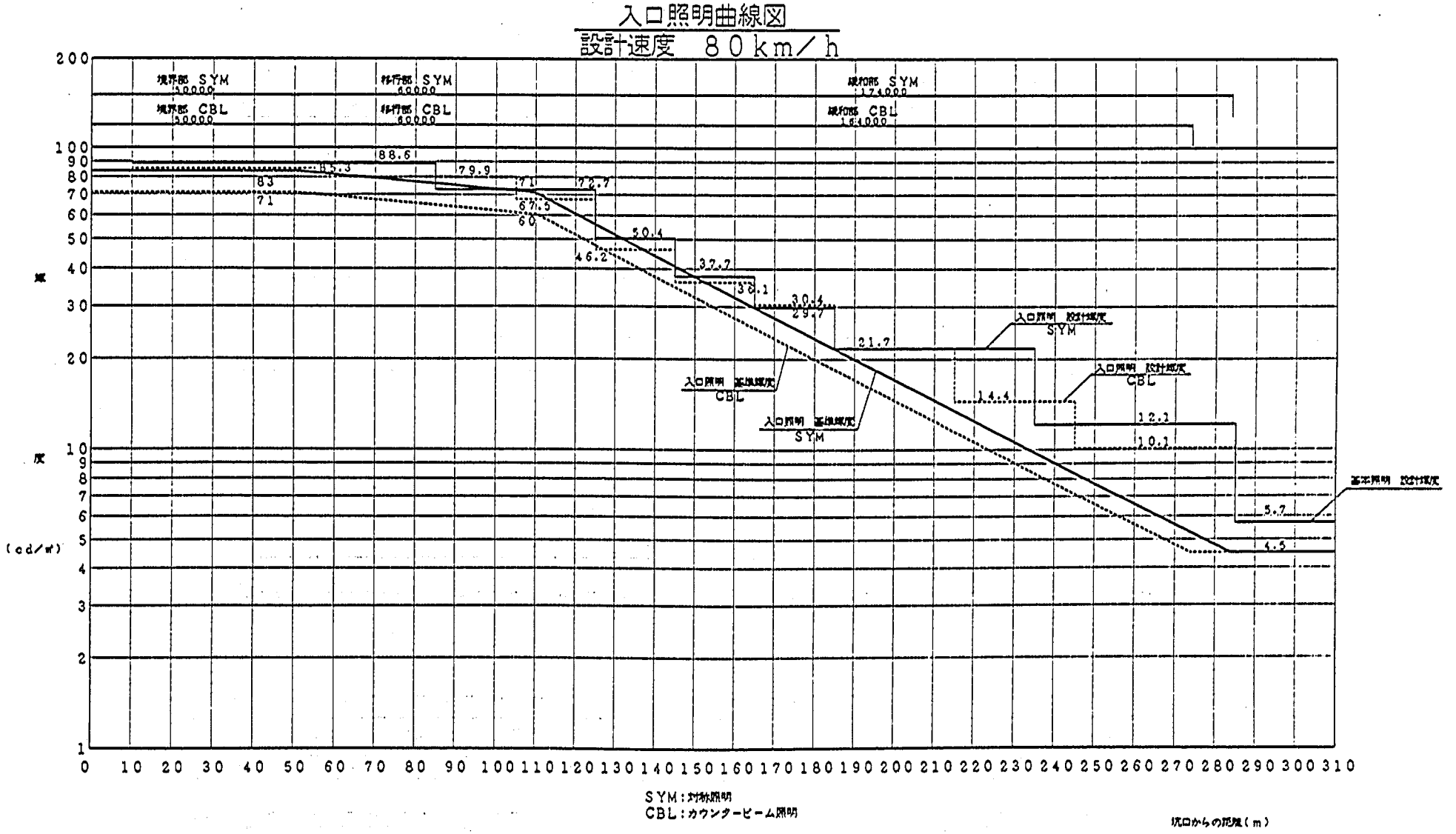
$$L = \frac{5200\times\ 8\times 0.294\ \times 1.0}{7\times 40\times 10} + 5.7 = 10.1\ cd/m^2$$



図－２.１１　入口照明設計輝度（５０ｋｍ／ｈ）



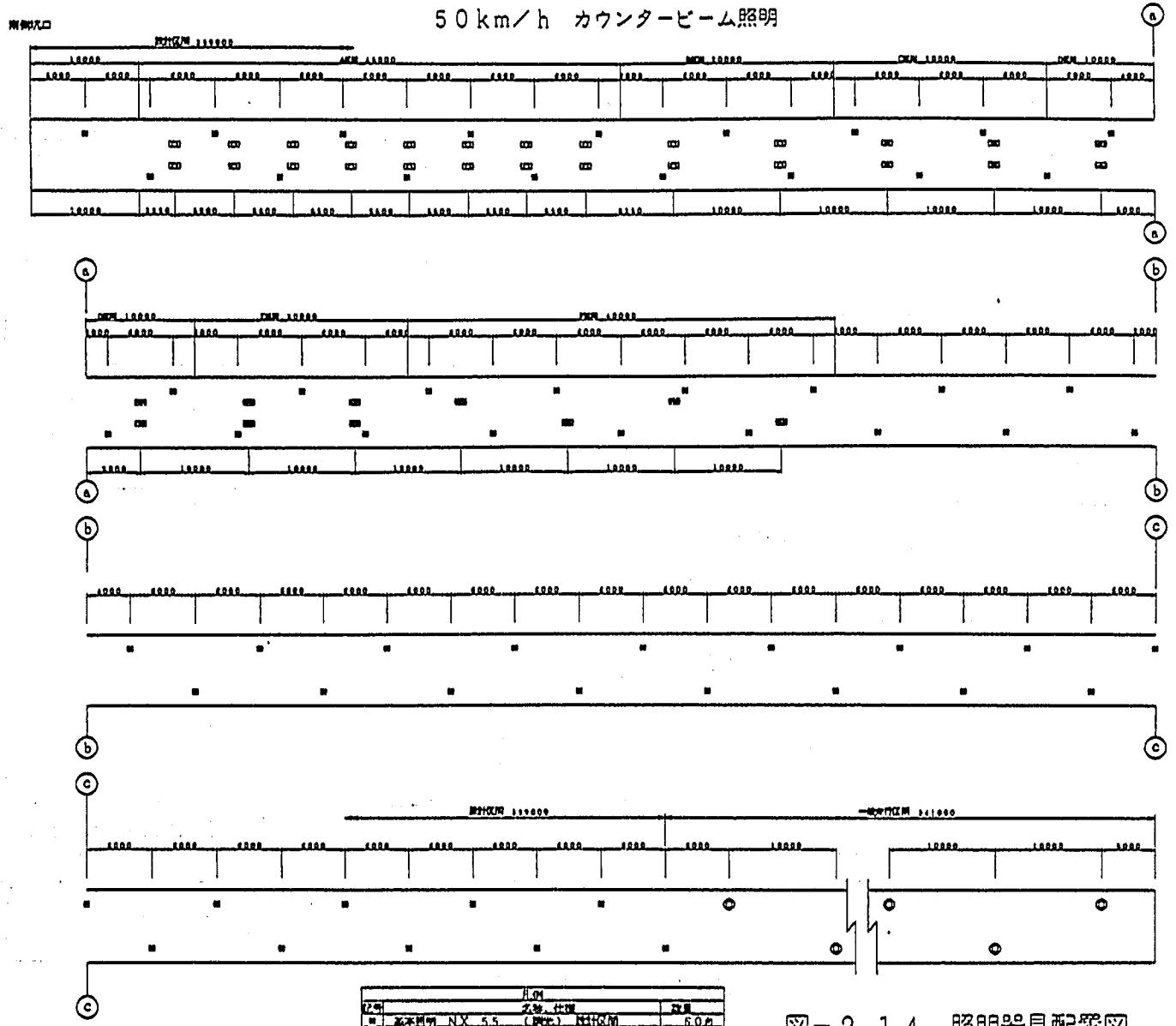
図－２．１２　入口照明設計輝度（６０ｋｍ／ｈ）



図－２.１３　入口照明設計輝度（８０ｋｍ／ｈ）

照明器具配置図

５０ｋｍ／ｈ　カウンタービーム照明

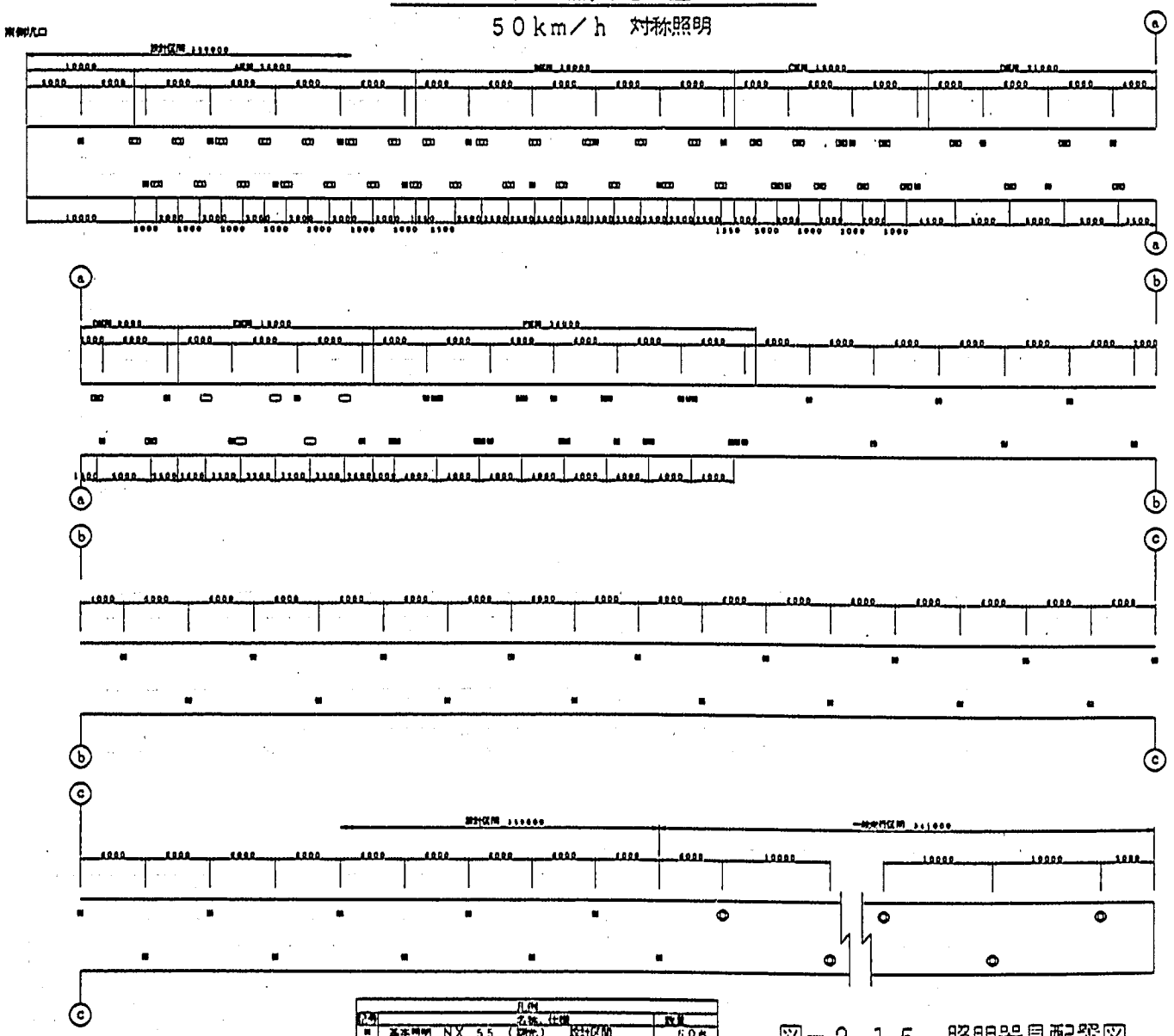


記号	名称、仕様	数量
■	基本照明 NX 55 （調光） 設計区間	60台
○	基本照明 NX 55 一般走行区間	
CB3	入口照明 NHT220L 設計区間	22台
CB2	入口照明 NHT160L 設計区間	4台
CB1	入口照明 NHT110L 設計区間	4台
CB0	入口照明 NHT110L（調光） 設計区間	0台

図－２．１４　照明器具配置図
（５０ｋｍ／ｈ　カウンタービーム照明）

照明器具配置図

５０ｋｍ／ｈ　対称照明

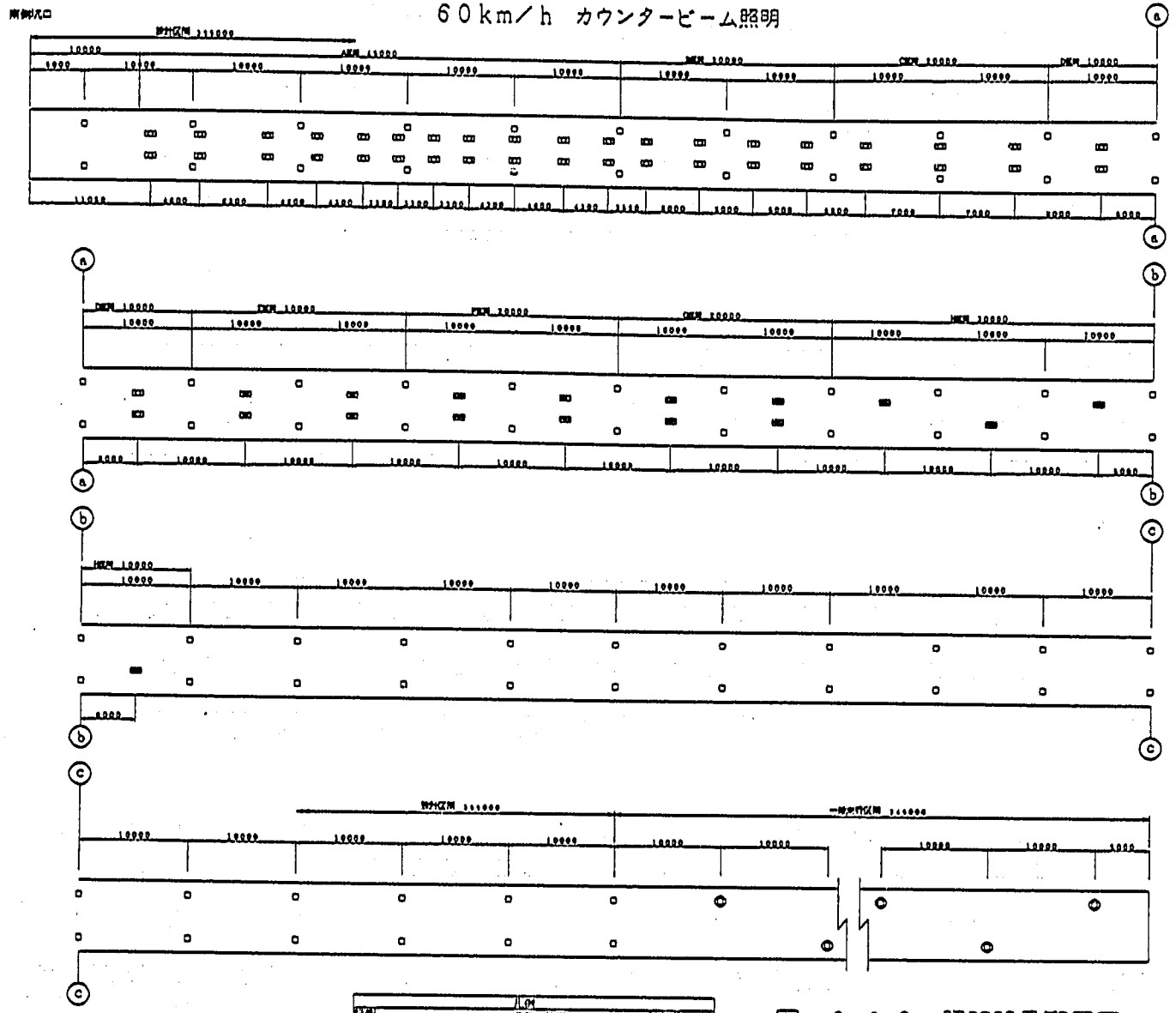


凡例	名称、仕様		数量
A	基本照明　NX 5.5 (防水)	設計区間	60本
C	高架照明　NX 5.5	一般部区間	
D	入口照明　NHT220L	設計区間	26本
E	入口照明　NHT180L	設計区間	14本
D	入口照明　NX 5.5	設計区間	9本
E	入口照明　NX 5.5 (防水)	設計区間	9本

図－２．１５　照明器具配置図
（５０ｋｍ／ｈ　対称照明）

照明器具配置図

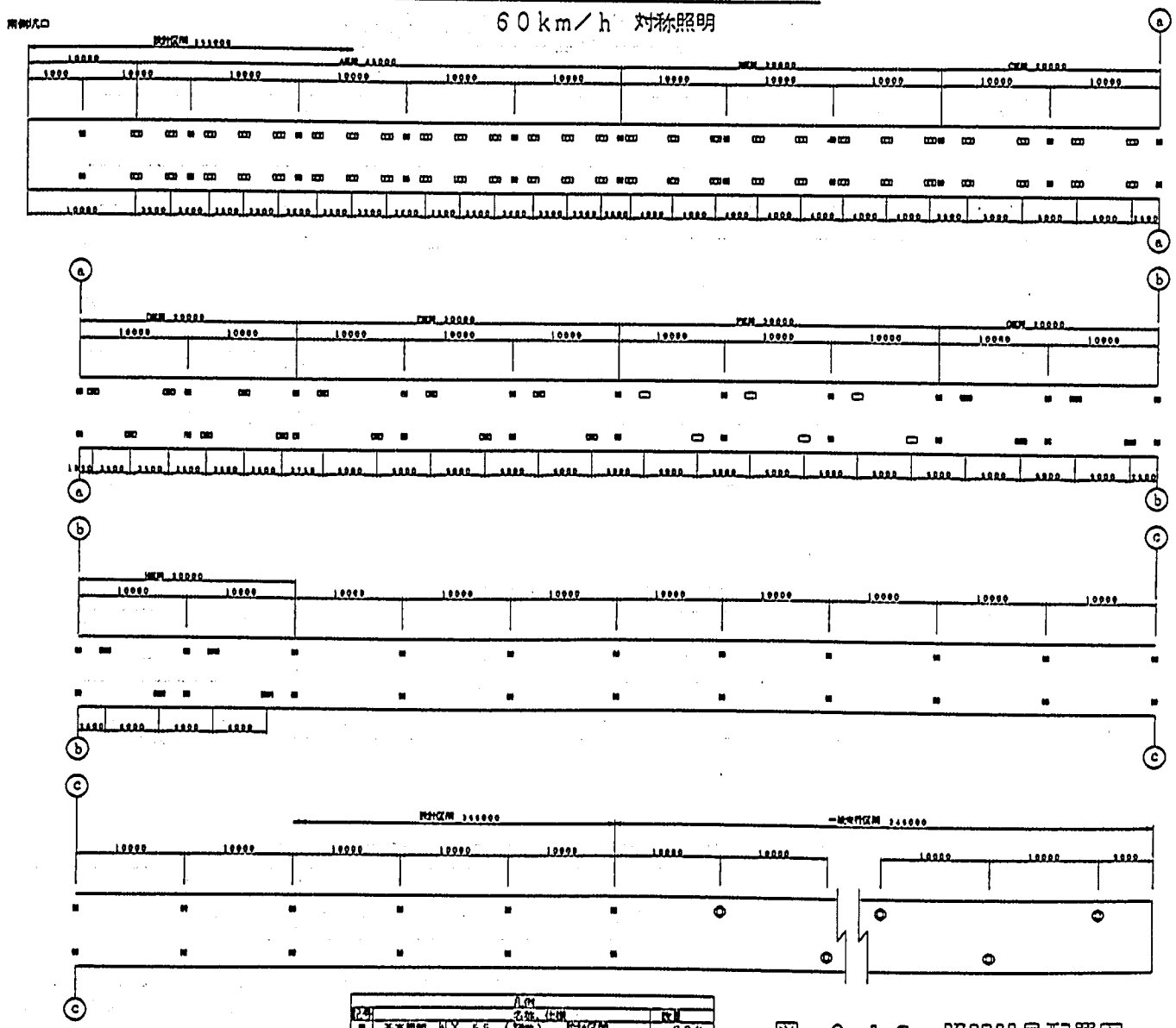
60km／h　カウンタービーム照明



図－2.16　照明器具配置図
（60km／h　カウンタービーム照明）

照明器具配置図

60km／h　対称照明

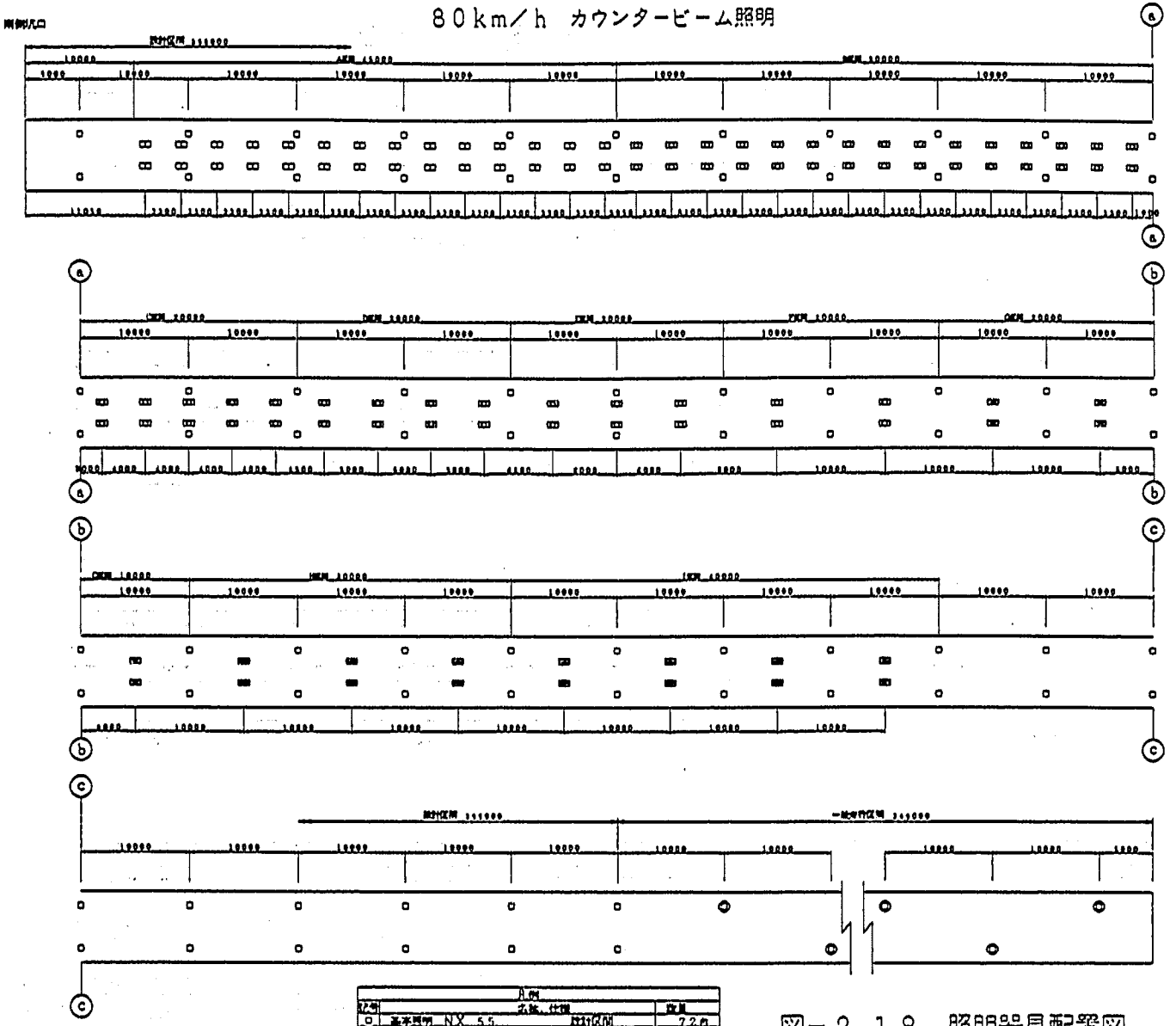


記号	名称（仕様）	数量
■	基本照明　NX 55（対称）	224
◇	基本照明　NX 55	
㊂	入口照明　NHT220	32
㊁	入口照明　NHT180	12
□	入口照明　NX 55	6
▬	入口照明　NX 55（対称）	8

図－2.17　照明器具配置図
（60km／h　対称照明）

照明器具配置図

80km／h カウンタービーム照明

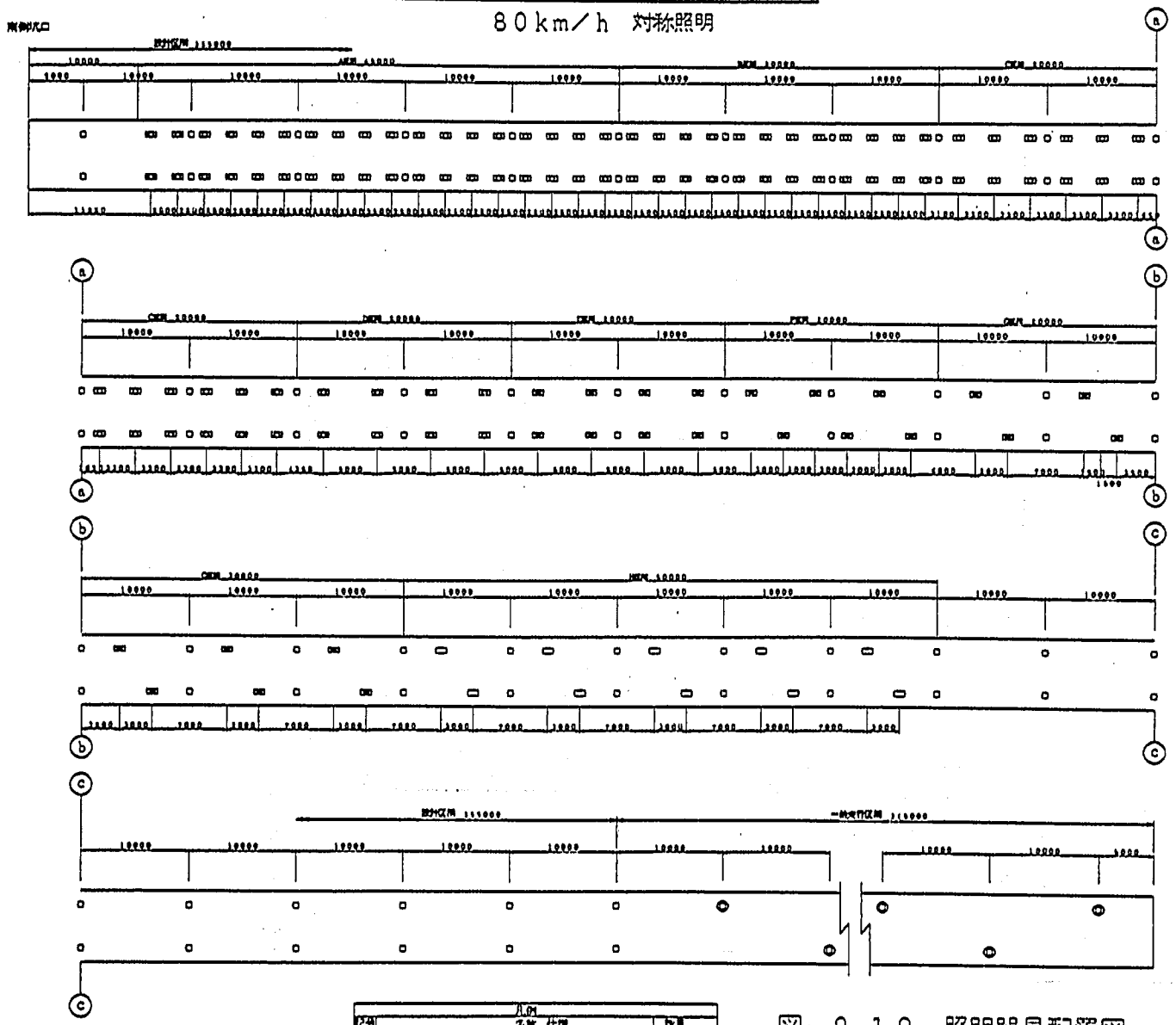


記号	名称・仕様		数量
○	基本照明 NX-55	設計区間	72灯
◇	基本照明 NX-55	一般走行区間	
□	入口照明 NHT270L	設計区間	28灯
▭	入口照明 NHT220L	設計区間	58灯
▭	入口照明 NHT180L	設計区間	6灯
▭	入口照明 NHT110L	設計区間	6灯
▭	入口照明 NHT110L(両面)	設計区間	8灯

図－2.18 照明器具配置図
（80km／h カウンタービーム照明）

照明器具配置図

８０ｋｍ／ｈ　対称照明



凡例			
記号	名称、仕様		数量
□	高木照明　NX 55	対称区間	72台
◇	高木照明　NX 55	一般交通区間	
⊡	入口照明　NHT220L	対称区間	92台
⊡	入口照明　NHT180L	対称区間	24台
▭	入口照明　NX 55	対称区間	10台

図－２．１９　照明器具配置図
（８０ｋｍ／ｈ　対称照明）

２．５ 入口照明の設計輝度の確認

入口照明の基準輝度は、対称照明とカウンタービーム照明では境界部の輝度について0.5ポイントの差を設定して設計をおこなっている。本設計においてこの差が確保されているか確認を行うものとする。表－２．８に各照明・設計速度毎の境界部輝度値および野外輝度に対する比率を示す。

表－２．８　境界部設計値比較表

	対称照明		カウンタービーム照明	
	輝度値 cd/m²	比率 %	輝度値 cd/m²	比率 %
50km/h	58.2(45.0)	2.9(2.2)	38.5(35.0)	1.9(1.7)
60km/h	67.3(58.0)	3.1(2.7)	52.3(48.0)	2.4(2.2)
80km/h	88.6(83.0)	3.6(3.4)	85.3(71.0)	3.5(2.9)

（注意：カッコ内の数値は設計基準値を示す。）

野外輝度に対する比率は、下記のように求めた。

50km/h	対称照明	58.2÷2030X100=2.9%
	カウンタービーム照明	38.4÷2030X100=1.9%
60km/h	対称照明	67.3÷2190X100=3.1%
	カウンタービーム照明	52.3÷2190X100=2.4%
80km/h	対称照明	88.6÷2450X100=3.6%
	カウンタービーム照明	85.3÷2450X100=3.5%

設計速度毎に両照明方式の差を求めれば表－２．９のようになる。

表－２．９　対称照明に対するカウンタービーム照明の比較

	輝度 cd/m²	比率 %
50km/h	19.8(10.0)	1.0(0.5)
60km/h	15.0(10.0)	0.7(0.5)
80km/h	3.3(12.0)	0.1(0.5)

（注意：カッコ内の数値は設計基準値を示す。）

表－２．９に示したように、カウンタービーム照明は対称照明に比べて0.1～1.0ポイント境界部で低い値となっていることが分かる。

3．照明特性の把握

3．1入口部照明の明るさ

入口部照明区間において、所要の明るさが得られているかを確認するために下記の項目について測定を行った。

（1）測定項目

測定は、下記の項目とする。測定は設計速度50km/h、60km/h、80km/hの3種類について行った。

照明方式	測定の種類
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明	水平面照度 路面輝度 鉛直面照度
対称照明	水平面照度 路面輝度 鉛直面照度

（2）測定区間

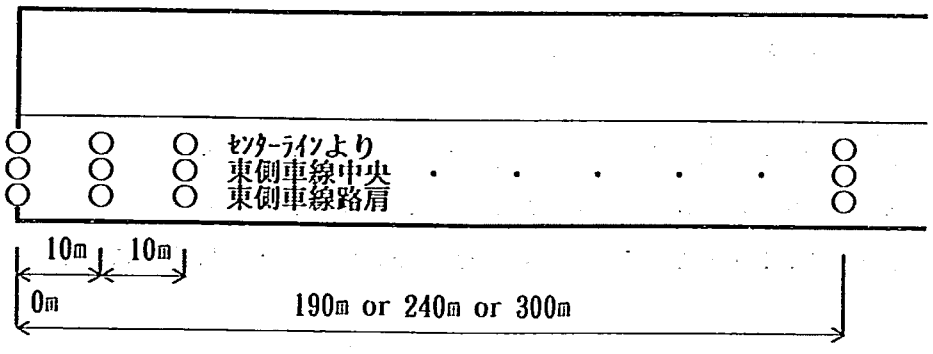
測定区間は表－3．1のとおりとする。

表－3．1　測定区間

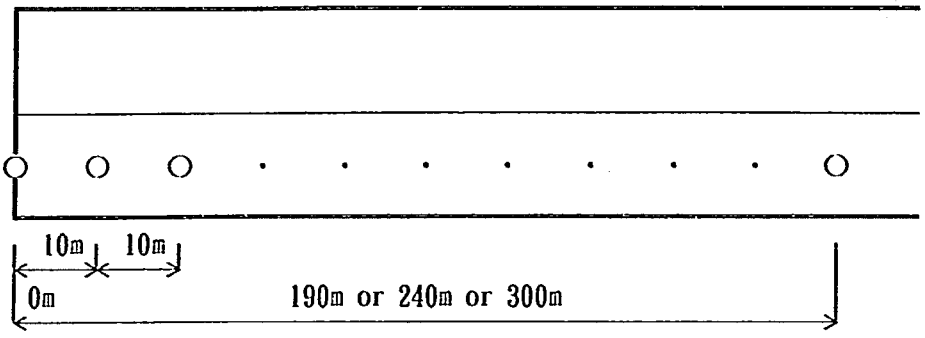
50km／h	水平面照度	南側坑口　0m～190m
	路面輝度	
	鉛直面照度	南側坑口　0m～185m
60km／h	水平面照度	南側坑口　0m～240m
	路面輝度	
	鉛直面照度	南側坑口　0m～250m
80km／h	水平面照度	南側坑口　0m～300m
	路面輝度	
	鉛直面照度	南側坑口　0m～300m

（3）測定位置

測定位置は、図－3．1および図－3．2のとおりとする。なお、鉛直面照度の測定は坑口より1mピッチで測定区間を測定する。



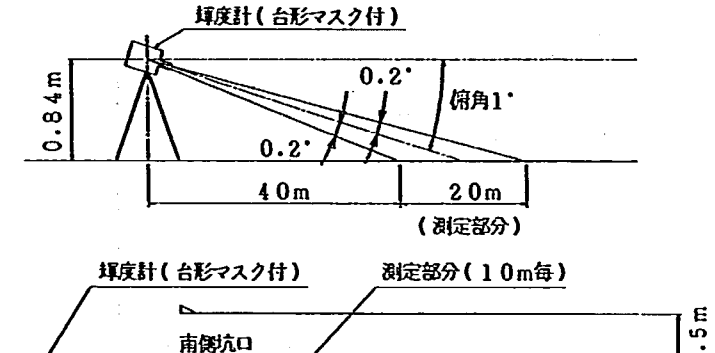
図－3．1 水平面照度測定ポイント



図－３．２　路面輝度測定ポイント

（４）測定方法

水平面照度は、東側車線でｾﾝﾀｰﾗｲﾝより、車線中央、路肩の3点で受光部が水平になるようにして行う。路面輝度測定は、俯角を1°に保ち、車線中央部で10m毎に測定する。輝度測定方法は図－３．３のとおりとする。鉛直面照度の測定は、東側車線で車線中央を1mピッチで地上10cmの高さで受光部が鉛直になるようにして、南坑口側の方向の鉛直面照度を測定する。



図－３．３　路面輝度測定方法

（５）測定機器

測定機器は次のとおりとする。

照度計：トプコン　ＩＭ－３形

輝度計：トプコン　ＢＭ－３形（改造・台形マスク付）

（６）測定結果

水平面照度の測定結果を、表－３．２～表－３．７および図－３．４～図－３．６に示す。

路面輝度の測定結果を、表－３．８～表－３．１３および図－３．７～図－３．９に示す。

鉛直面照度の測定結果を、表－３．１４～表－３．１９および図－３．１０～図－３．１５に示す。

表－３．２　水平面照度測定結果・照明方式：カウンタービーム照明　　設計速度：50ｋｍ／ｈ　　単位：ｌｘ

	０ｍ	１０ｍ	２０ｍ	３０ｍ	４０ｍ	５０ｍ	６０ｍ	７０ｍ	８０ｍ	９０ｍ	１００ｍ
ｾﾝﾀｰﾗｲﾝ より	60.5	496.0	472.0	465.0	475.0	488.0	211.0	172.1	156.0	140.5	102.2
東側車線中央	60.2	444.0	404.0	401.0	421.0	459.0	206.0	162.7	143.0	130.7	91.2
東側車線路肩	44.5	369.0	338.0	334.0	340.0	343.0	173.0	138.1	115.0	108.2	76.5
平均照度	56.4	438.3	404.5	400.3	414.3	437.3	199.0	158.9	139.3	127.5	90.3
	１１０ｍ	１２０ｍ	１３０ｍ	１４０ｍ	１５０ｍ	１６０ｍ	１７０ｍ	１８０ｍ	１９０ｍ		
ｾﾝﾀｰﾗｲﾝ より	82.0	68.9	59.2	53.3	54.1	55.2	43.9	54.6	38.1		
東側車線中央	74.8	66.9	55.3	46.9	47.0	42.1	39.7	52.8	36.0		
東側車線路肩	61.9	56.5	47.1	39.6	36.4	35.0	30.4	48.9	29.7		
平均照度	73.4	64.8	54.2	46.7	46.1	43.6	38.4	52.3	35.0		
ｾﾝﾀｰﾗｲﾝ より											
東側車線中央											
東側車線路肩											
平均照度											

表－３．３　平面照度測定結果・照明方式：対称照明　　設計速度：50ｋｍ／ｈ　　単位：ｌｘ

	０ｍ	１０ｍ	２０ｍ	３０ｍ	４０ｍ	５０ｍ	６０ｍ	７０ｍ	８０ｍ	９０ｍ	１００ｍ
ｾﾝﾀｰﾗｲﾝ より	29.5	593.0	887.0	947.0	838.0	825.0	745.0	648.0	616.0	325.0	310.0
東側車線中央	34.0	627.0	953.0	946.0	886.0	858.0	760.0	650.0	642.0	348.0	319.0
東側車線路肩	31.0	362.0	636.0	638.0	608.0	536.0	546.0	430.0	427.0	253.0	234.0
平 均 照 度	32.1	552.3	857.3	869.3	804.5	769.3	702.8	594.5	581.8	318.5	295.5
	１１０ｍ	１２０ｍ	１３０ｍ	１４０ｍ	１５０ｍ	１６０ｍ	１７０ｍ	１８０ｍ	１９０ｍ		
ｾﾝﾀｰﾗｲﾝ より	320.0	181.0	136.0	98.2	108.0	120.0	63.7	58.6	38.8		
東側車線中央	331.0	167.0	112.0	82.3	93.5	95.8	54.9	57.5	37.4		
東側車線路肩	222.0	130.0	83.7	65.0	73.5	74.2	39.6	48.2	30.2		
平 均 照 度	301.0	161.3	110.9	82.0	92.1	96.5	53.3	55.5	36.0		
ｾﾝﾀｰﾗｲﾝ より											
東側車線中央											
東側車線路肩											
平 均 照 度											

表－３．４　水平面照度測定結果・照明方式：カウンタービーム照明　　設計速度：60ｋｍ／ｈ　　単位：ｌｘ

	０ｍ	１０ｍ	２０ｍ	３０ｍ	４０ｍ	５０ｍ	６０ｍ	７０ｍ	８０ｍ	９０ｍ	１００ｍ
ｾﾝﾀｰﾗｲﾝ より	94.7	575.0	572.0	687.0	717.0	655.0	712.0	525.0	389.0	442.0	209.0
東側車線中央	90.0	504.0	511.0	574.0	656.0	549.0	615.0	478.0	348.0	416.0	193.0
東側車線路肩	69.2	398.0	420.0	468.0	555.0	446.0	483.0	388.0	284.0	321.0	158.0
平　均　照　度	86.0	495.3	503.5	575.8	646.0	549.8	606.3	467.3	342.3	398.8	188.3
	１１０ｍ	１２０ｍ	１３０ｍ	１４０ｍ	１５０ｍ	１６０ｍ	１７０ｍ	１８０ｍ	１９０ｍ	２００ｍ	２１０ｍ
ｾﾝﾀｰﾗｲﾝ より	150.0	154.9	134.4	104.3	78.0	66.9	55.8	50.3	53.7	44.5	39.3
東側車線中央	137.2	145.4	126.6	96.7	73.3	62.4	50.3	44.0	48.1	38.4	35.1
東側車線路肩	114.3	118.3	106.3	82.1	62.9	52.1	42.4	35.7	35.6	31.3	28.5
平　均　照　度	134.7	141.0	123.5	95.0	71.9	61.0	49.7	43.5	46.4	38.2	34.5
	２２０ｍ	２３０ｍ	２４０ｍ								
ｾﾝﾀｰﾗｲﾝ より	33.7	31.9	32.1								
東側車線中央	29.5	27.3	27.7								
東側車線路肩	22.6	21.6	23.5								
平　均　照　度	28.8	27.0	27.8								

表－３．５　水平面照度測定結果・照明方式：対称照明　　設計速度：60ｋｍ／ｈ　　単位：ｌｘ

	０ｍ	１０ｍ	２０ｍ	３０ｍ	４０ｍ	５０ｍ	６０ｍ	７０ｍ	８０ｍ	９０ｍ	１００ｍ
ｾﾝﾀｰﾗｲﾝ より	68.9	774.0	1095.0	1099.0	1096.0	1147.0	986.0	910.0	945.0	815.0	727.0
東側車線中央	68.2	870.0	1114.0	1187.0	1122.0	1302.0	1010.0	941.0	958.0	782.0	770.0
東側車線路肩	50.9	589.0	875.0	910.0	917.0	743.0	680.0	666.0	708.0	591.0	516.0
平均照度	64.1	775.8	1049.5	1095.8	1064.3	1123.5	921.5	864.5	892.3	742.5	695.8
	１１０ｍ	１２０ｍ	１３０ｍ	１４０ｍ	１５０ｍ	１６０ｍ	１７０ｍ	１８０ｍ	１９０ｍ	２００ｍ	２１０ｍ
ｾﾝﾀｰﾗｲﾝ より	486.0	412.0	314.0	286.0	298.0	132.8	127.1	110.6	80.0	75.1	73.3
東側車線中央	514.0	409.0	339.0	290.0	332.0	116.1	108.7	94.0	68.4	64.3	59.9
東側車線路肩	357.0	250.0	214.0	189.0	180.0	87.0	87.1	72.7	49.4	49.3	44.1
平均照度	467.8	370.0	301.5	263.8	285.5	113.0	107.9	92.8	66.6	63.3	59.3
	２２０ｍ	２３０ｍ	２４０ｍ								
ｾﾝﾀｰﾗｲﾝ より	65.5	35.0	32.1								
東側車線中央	55.1	29.7	26.6								
東側車線路肩	41.9	21.6	21.3								
平均照度	54.4	29.0	26.7								

表－３．６　水平面照度測定結果・照明方式：カウンタービーム照明　　設計速度：80ｋｍ／ｈ　　単位：ｌｘ

	０ｍ	１０ｍ	２０ｍ	３０ｍ	４０ｍ	５０ｍ	６０ｍ	７０ｍ	８０ｍ	９０ｍ	１００ｍ
ｾﾝﾀｰﾗｲﾝ より	133.0	899.0	903.0	950.0	977.0	889.0	746.0	728.0	790.0	835.0	800.0
東側車線中央	132.0	793.0	809.0	856.0	831.0	842.0	667.0	637.0	665.0	720.0	690.0
東側車線路肩	105.0	613.0	645.0	704.0	740.0	724.0	563.0	536.0	558.0	586.0	606.0
平均照度	125.5	774.5	791.5	841.5	844.8	824.3	660.8	634.5	669.5	715.3	696.5
	１１０ｍ	１２０ｍ	１３０ｍ	１４０ｍ	１５０ｍ	１６０ｍ	１７０ｍ	１８０ｍ	１９０ｍ	２００ｍ	２１０ｍ
ｾﾝﾀｰﾗｲﾝ より	651.0	644.0	599.0	516.0	524.0	405.0	208.0	182.0	158.0	157.0	132.0
東側車線中央	614.0	545.0	541.0	472.0	442.0	375.0	193.0	162.0	144.0	153.0	122.0
東側車線路肩	518.0	453.0	446.0	393.0	371.0	277.0	157.0	130.0	115.0	125.0	100.0
平均照度	599.3	546.8	531.8	463.3	444.8	358.0	187.8	159.0	140.3	147.0	119.0
	２２０ｍ	２３０ｍ	２４０ｍ	２５０ｍ	２６０ｍ	２７０ｍ	２８０ｍ	２９０ｍ	３００ｍ		
ｾﾝﾀｰﾗｲﾝ より	116.0	119.0	97.5	89.9	91.6	86.9	68.6	55.0	61.2		
東側車線中央	112.0	109.0	86.9	80.2	82.2	77.4	61.4	47.3	52.3		
東側車線路肩	88.7	89.5	79.1	68.4	67.5	65.2	53.0	40.1	41.8		
平均照度	107.2	106.6	87.6	79.7	80.9	76.7	61.1	47.4	51.9		

表－３．７　水平面照度測定結果・照明方式：対称照明　　設計速度：80ｋｍ／ｈ　　単位：ｌｘ

	０ｍ	１０ｍ	２０ｍ	３０ｍ	４０ｍ	５０ｍ	６０ｍ	７０ｍ	８０ｍ	９０ｍ	１００ｍ
ｾﾝﾀｰﾗｲﾝ より	54.5	771.0	1356.0	1466.0	1387.0	1452.0	1431.0	1390.0	1463.0	1282.0	1125.0
東側車線中央	54.1	834.0	1419.0	1536.0	1482.0	1567.0	1536.0	1430.0	1612.0	1318.0	1176.0
東側車線路肩	43.5	589.0	1032.0	1116.0	1144.0	1112.0	1171.0	1136.0	1103.0	1019.0	851.0
平均照度	51.6	757.0	1306.5	1413.5	1373.8	1424.5	1418.5	1346.5	1447.5	1234.3	1082.0
	１１０ｍ	１２０ｍ	１３０ｍ	１４０ｍ	１５０ｍ	１６０ｍ	１７０ｍ	１８０ｍ	１９０ｍ	２００ｍ	２１０ｍ
ｾﾝﾀｰﾗｲﾝ より	1047.0	1063.0	753.0	740.0	693.0	569.0	467.0	429.0	349.0	336.0	338.0
東側車線中央	1070.0	1147.0	830.0	827.0	785.0	577.0	471.0	440.0	358.0	348.0	326.0
東側車線路肩	841.0	766.0	559.0	577.0	551.0	382.0	345.0	284.0	237.0	236.0	221.0
平均照度	1007.0	1030.8	743.0	742.8	703.5	526.3	438.5	398.3	325.5	317.0	302.8
	２２０ｍ	２３０ｍ	２４０ｍ	２５０ｍ	２６０ｍ	２７０ｍ	２８０ｍ	２９０ｍ	３００ｍ		
ｾﾝﾀｰﾗｲﾝ より	329.0	304.0	115.0	142.0	151.0	145.0	142.0	60.6	61.9		
東側車線中央	301.0	293.0	105.0	121.0	103.0	122.0	118.0	52.4	52.3		
東側車線路肩	248.0	223.0	91.0	103.0	106.0	102.0	97.8	44.4	40.6		
平均照度	294.8	278.3	104.0	121.8	115.8	122.8	119.0	52.5	51.8		

表－３．８　路面輝度測定結果・照明方式：カウンタービーム照明　　設計速度：50ｋｍ／ｈ　　単位：ｃｄ／ｍ²

	０ｍ	１０ｍ	２０ｍ	３０ｍ	４０ｍ	５０ｍ	６０ｍ	７０ｍ	８０ｍ	９０ｍ	１００ｍ
路面輝度	10.3	28.2	43.5	42.8	41.0	36.5	29.9	27.1	24.0	20.8	16.5
	１１０ｍ	１２０ｍ	１３０ｍ	１４０ｍ	１５０ｍ	１６０ｍ	１７０ｍ	１８０ｍ	１９０ｍ	２００ｍ	
路面輝度	12.5	7.8	6.2	5.4	5.5	4.9	4.6	3.7	3.1	3.0	
路面輝度											

表－３．９　路面輝度測定結果・照明方式：対称照明　　設計速度：50ｋｍ／ｈ　　単位：ｃｄ／ｍ²

	０ｍ	１０ｍ	２０ｍ	３０ｍ	４０ｍ	５０ｍ	６０ｍ	７０ｍ	８０ｍ	９０ｍ	１００ｍ
路面輝度	11.0	25.9	51.6	60.2	61.1	58.8	52.5	46.5	38.8	31.4	23.2
	１１０ｍ	１２０ｍ	１３０ｍ	１４０ｍ	１５０ｍ	１６０ｍ	１７０ｍ	１８０ｍ	１９０ｍ	２００ｍ	
路面輝度	19.9	14.2	9.2	7.3	7.0	7.1	5.6	4.3	3.3	2.7	
路面輝度											

表－3.10　路面輝度測定結果・照明方式：カウンタービーム照明　　設計速度：60ｋｍ／ｈ　　単位：ｃｄ／ｍ²

	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	100m
路面輝度	24.5	48.7	61.4	62.1	60.7	58.1	53.6	41.3	36.8	34.4	29.5
	110m	120m	130m	140m	150m	160m	170m	180m	190m	200m	210m
路面輝度	25.4	22.1	18.8	14.1	11.1	8.4	6.7	5.9	6.2	5.2	4.9
	220m	230m	240m								
路面輝度	3.1	3.2	3.1								

表－3.11　路面輝度測定結果・照明方式：対称照明　　設計速度：60ｋｍ／ｈ　　単位：ｃｄ／ｍ²

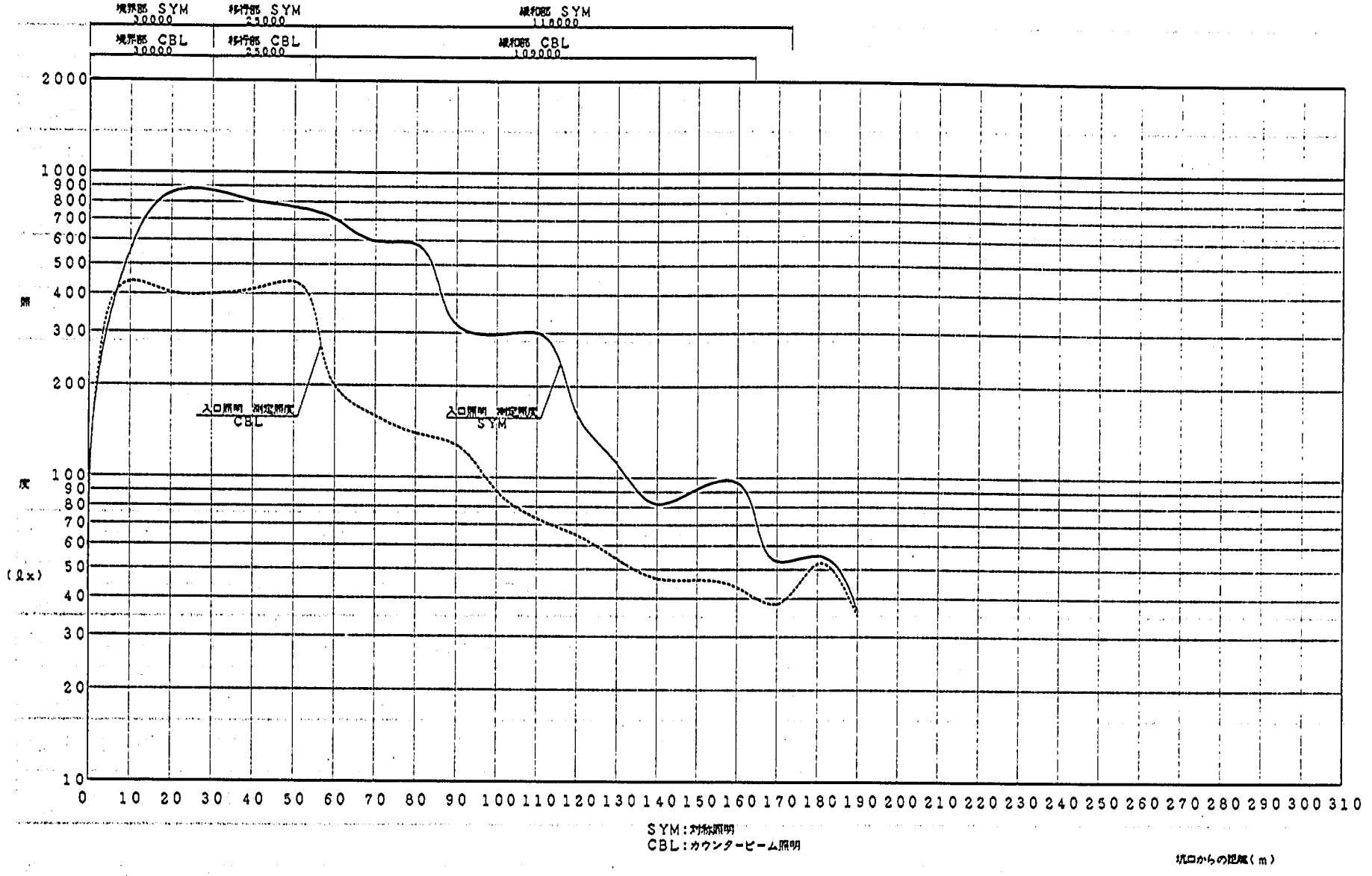
	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	100m
路面輝度	16.5	41.0	63.0	72.7	72.4	74.7	76.3	69.5	64.5	61.8	49.7
	110m	120m	130m	140m	150m	160m	170m	180m	190m	200m	210m
路面輝度	37.4	29.3	24.9	22.0	19.5	13.5	10.3	8.4	7.7	6.2	5.9
	220m	230m	240m								
路面輝度	5.1	4.6	3.4								

表－３．１２　路面輝度測定結果・照明方式：カウンタービーム照明　　設計速度：80ｋｍ／ｈ　　単位：ｃｄ／ｍ²

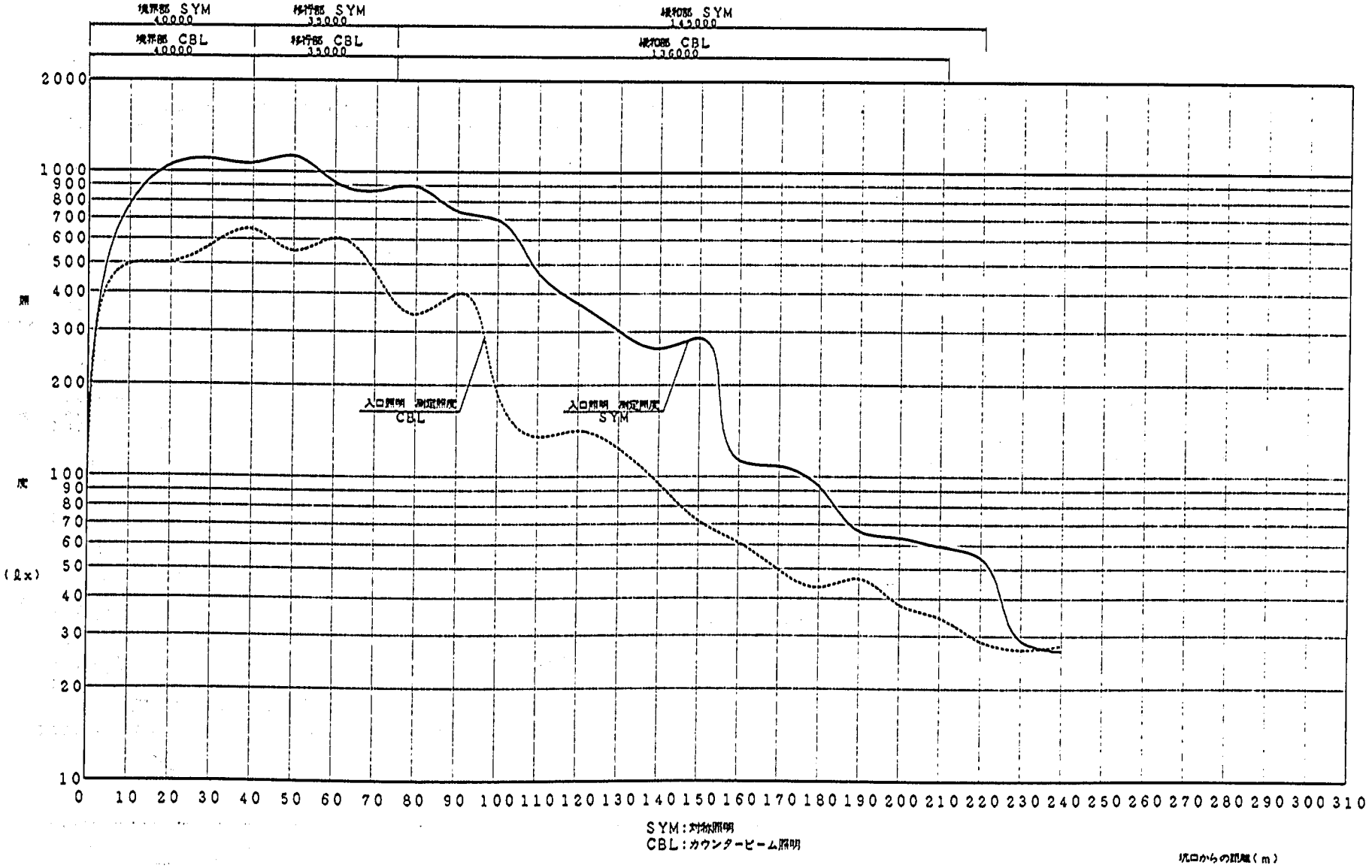
	0ｍ	10ｍ	20ｍ	30ｍ	40ｍ	50ｍ	60ｍ	70ｍ	80ｍ	90ｍ	100ｍ
路面輝度	24.3	79.1	87.2	85.8	89.4	83.3	75.1	74.2	78.5	87.7	82.6
	110ｍ	120ｍ	130ｍ	140ｍ	150ｍ	160ｍ	170ｍ	180ｍ	190ｍ	200ｍ	210ｍ
路面輝度	73.7	68.5	55.2	49.1	47.1	41.4	32.5	31.3	29.0	27.8	25.5
	220ｍ	230ｍ	240ｍ	250ｍ	260ｍ	270ｍ	280ｍ	290ｍ	300ｍ	310ｍ	
路面輝度	19.6	18.5	14.4	12.7	11.9	10.1	8.2	5.5	4.9	4.6	

表－３．１３　路面輝度測定結果・照明方式：対称照明　　設計速度：80ｋｍ／ｈ　　単位：ｃｄ／ｍ²

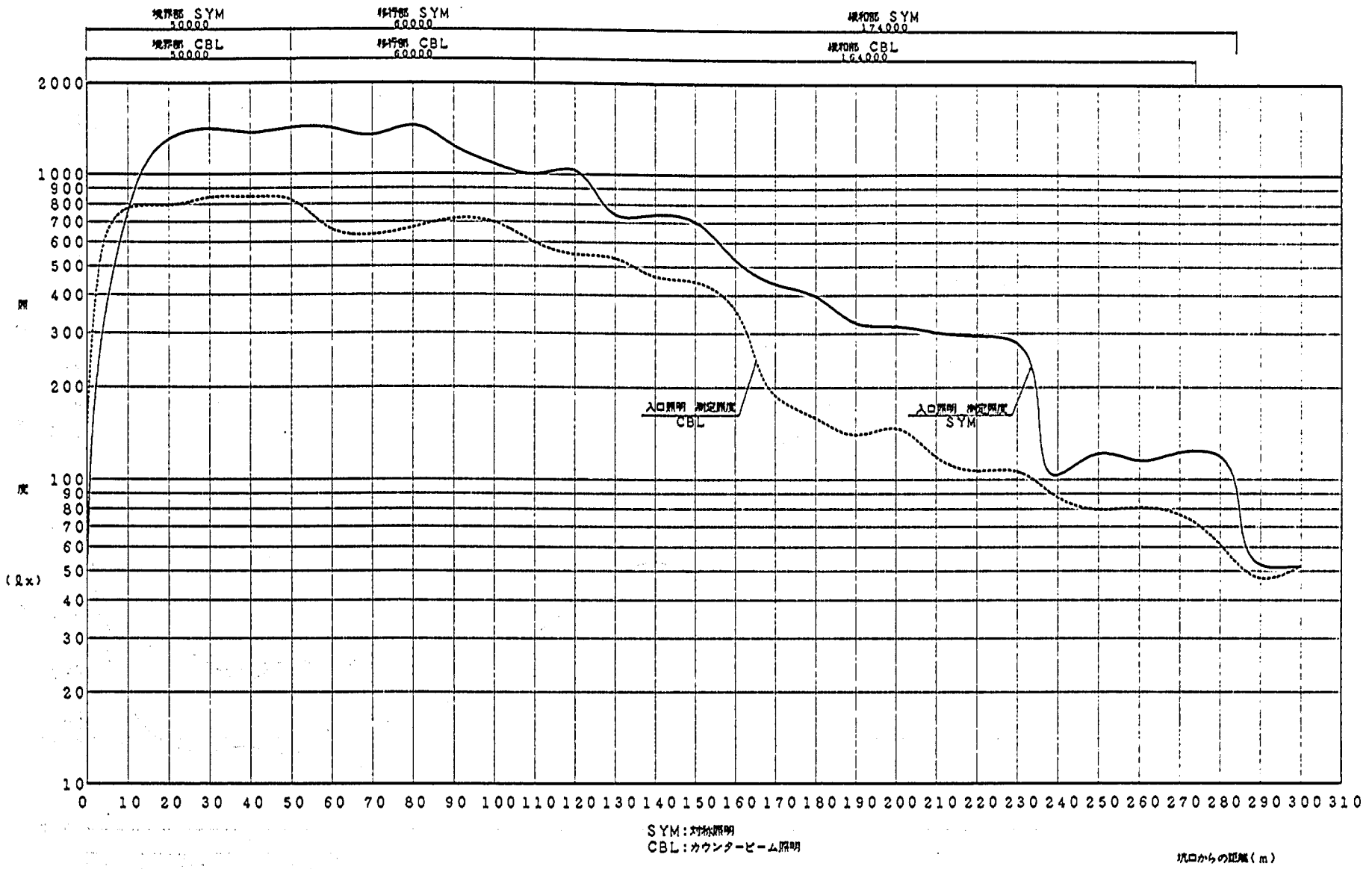
	0ｍ	10ｍ	20ｍ	30ｍ	40ｍ	50ｍ	60ｍ	70ｍ	80ｍ	90ｍ	100ｍ
路面輝度	7.6	36.3	74.4	93.1	96.7	98.8	103.8	103.2	103.9	104.8	88.2
	110ｍ	120ｍ	130ｍ	140ｍ	150ｍ	160ｍ	170ｍ	180ｍ	190ｍ	200ｍ	210ｍ
路面輝度	80.6	73.0	64.8	58.9	58.4	45.6	37.8	33.2	30.8	26.5	24.4
	220ｍ	230ｍ	240ｍ	250ｍ	260ｍ	270ｍ	280ｍ	290ｍ	300ｍ	310ｍ	
路面輝度	23.0	20.4	15.4	10.7	10.9	10.3	9.2	6.7	4.9	4.4	



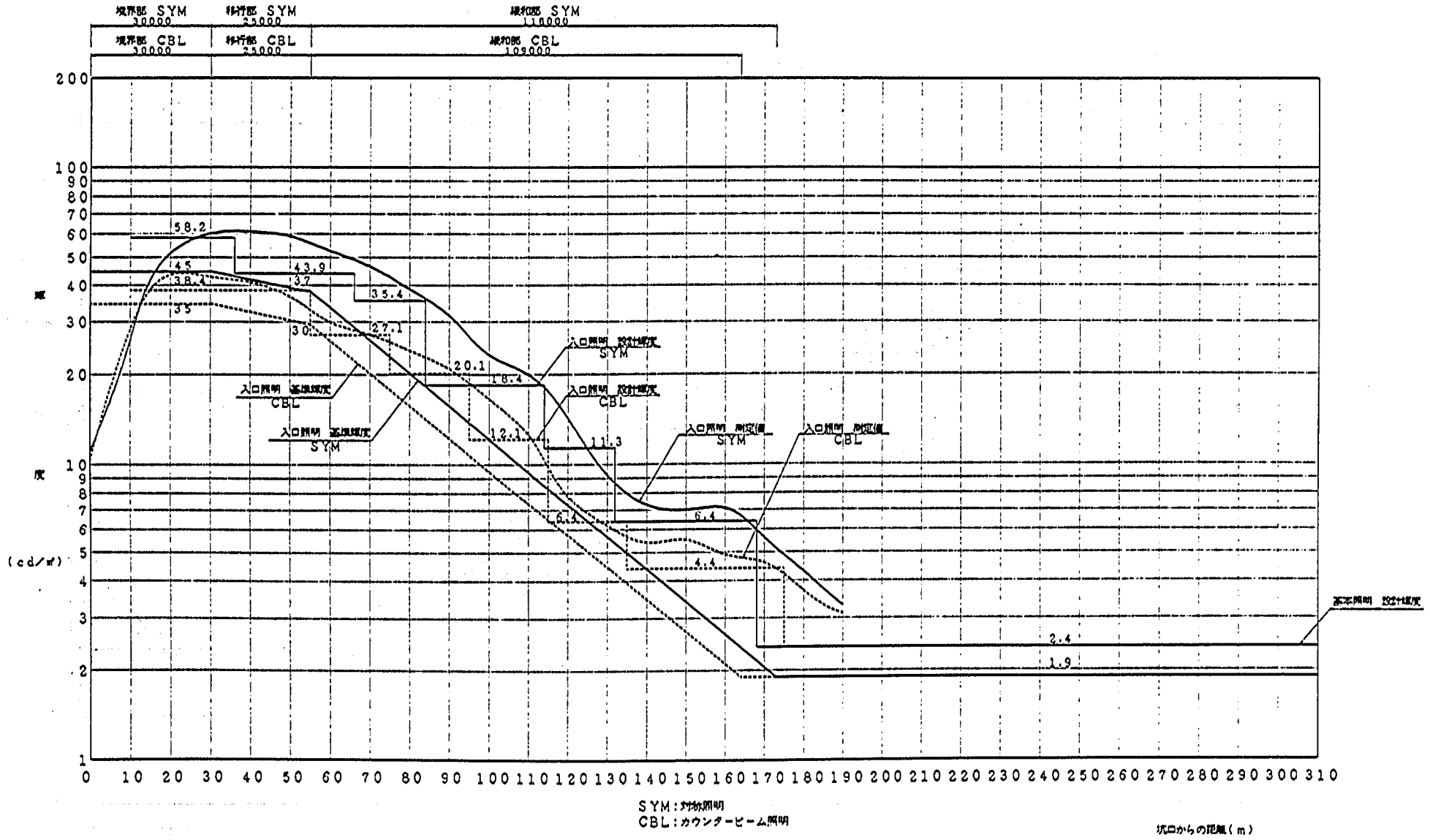
図－３．４　水平面照度測定結果（５０ｋｍ／ｈ）



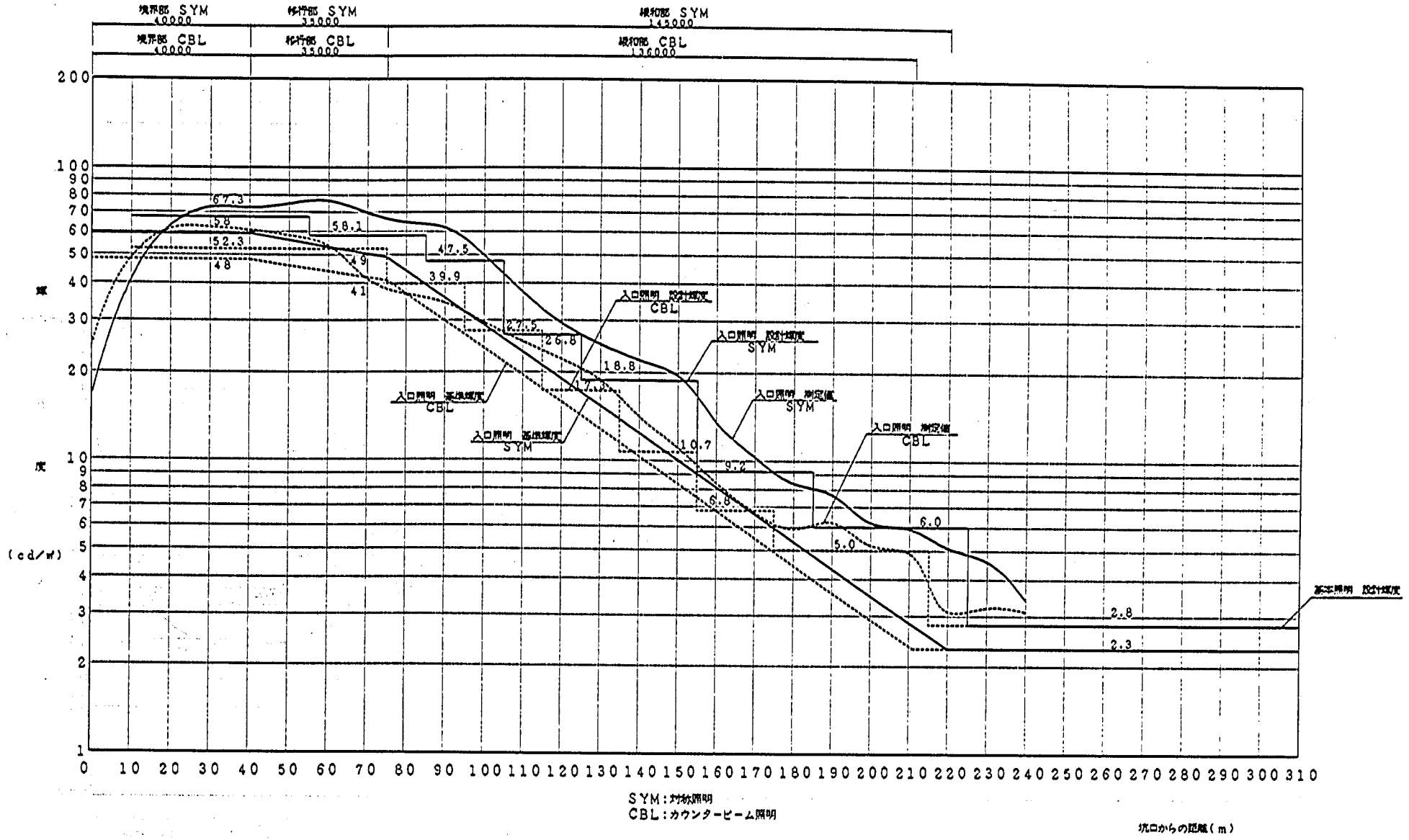
図－３．５　水平面照度測定結果（６０ｋｍ／ｈ）



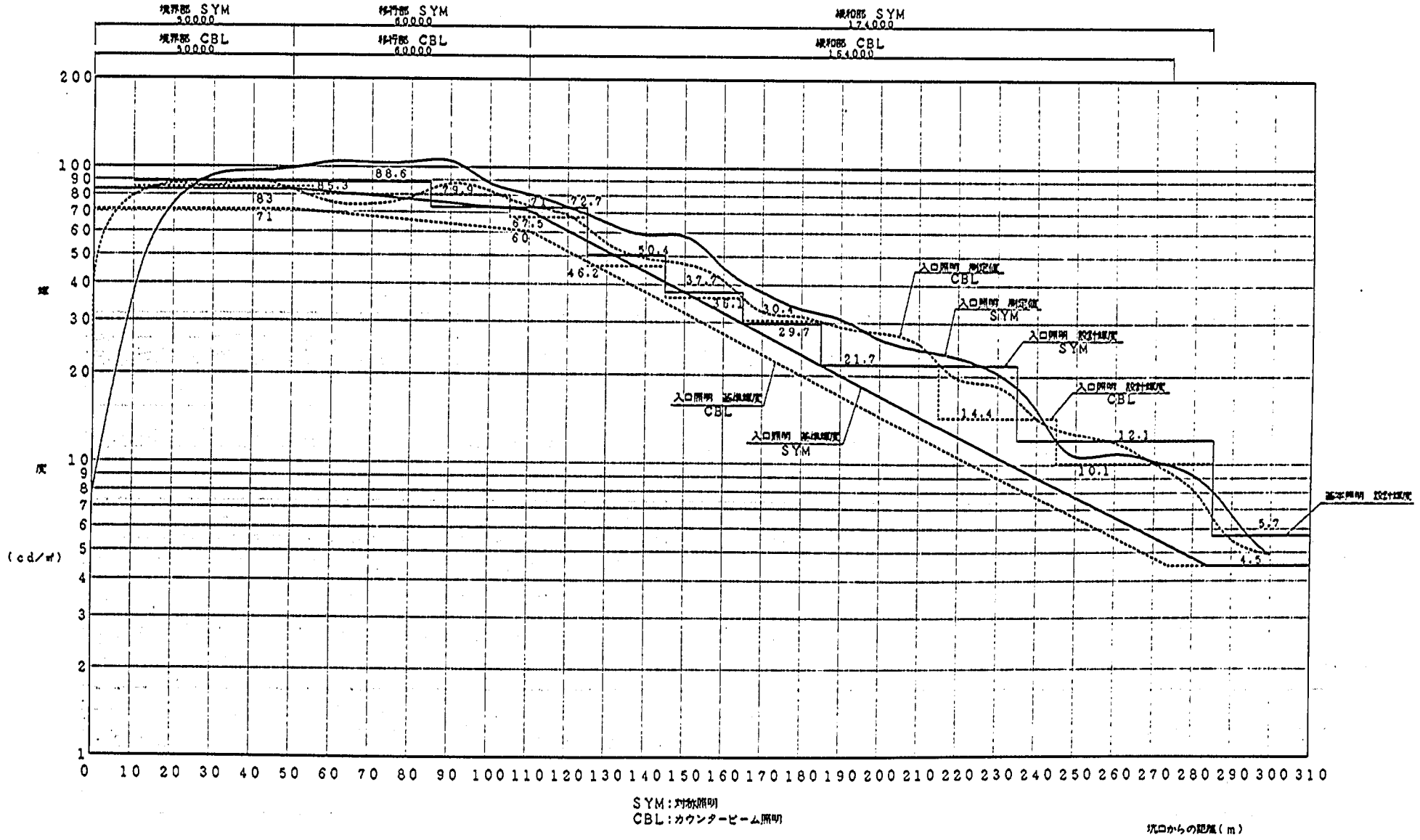
図－3.6　水平面照度測定結果（８０ｋｍ／ｈ）



図－3.7　路面輝度測定結果（５０ｋｍ／ｈ）



図－3.8　路面輝度測定結果（６０ｋｍ／ｈ）



図－３．９　路面輝度測定結果（８０ｋｍ／ｈ）

表－３．１４（１）　鉛直面照度測定結果（東側車線中央）
カウンタービーム照明　　設計速度　80km/h

坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]	坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]	坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]
0	3.9				
1	14.2	51	172.0	101	172.0
2	22.1	52	179.0	102	179.0
3	25.7	53	175.4	103	155.0
4	43.9	54	160.3	104	152.0
5	56.7	55	172.1	105	164.0
6	82.2	56	169.4	106	167.0
7	103.6	57	165.2	107	150.0
8	120.4	58	167.9	108	158.0
9	140.1	59	167.3	109	165.0
10	141.8	60	150.2	110	156.0
11	130.7	61	156.3	111	136.8
12	151.0	62	162.4	112	130.0
13	166.0	63	147.2	113	146.2
14	149.4	64	140.7	114	142.3
15	152.4	65	160.6	115	131.3
16	183.6	66	157.8	116	143.6
17	183.5	67	150.0	117	165.2
18	192.0	68	159.1	118	164.1
19	183.0	69	163.9	119	143.6
20	190.0	70	143.8	120	136.9
21	157.0	71	150.2	121	141.7
22	172.0	72	154.6	122	137.1
23	171.0	73	139.1	123	116.4
24	159.0	74	152.0	124	119.7
25	162.0	75	168.7	125	128.4
26	186.0	76	164.5	126	148.0
27	175.0	77	172.8	127	137.1
28	177.0	78	168.8	128	127.6
29	190.0	79	190.0	129	129.6
30	189.0	80	173.0	130	136.0
31	164.0	81	173.0	131	128.5
32	176.0	82	174.0	132	105.2
33	174.0	83	163.0	133	103.4
34	167.0	84	161.0	134	107.3
35	178.0	85	172.0	135	119.4
36	208.0	86	190.0	136	131.9
37	201.0	87	193.0	137	122.2
38	200.0	88	202.0	138	119.8
39	214.0	89	197.0	139	124.0
40	209.0	90	178.0	140	129.5
41	193.0	91	180.0	141	123.3
42	195.0	92	187.0	142	99.2
43	203.0	93	169.0	143	94.3
44	189.0	94	171.0	144	104.5
45	188.0	95	180.0	145	113.7
46	205.0	96	182.0	146	119.1
47	190.0	97	188.0	147	129.6
48	183.0	98	206.0	148	127.1
49	210.0	99	200.0	149	108.0
50	192.0	100	178.0	150	110.0

表－３．１４（２）　鉛直面照度測定結果（東側車線中央）
カウンタービーム照明　　設計速度　80km/h

坑口からの距離〔m〕	鉛直面照度〔lx〕	坑口からの距離〔m〕	鉛直面照度〔lx〕	坑口からの距離〔m〕	鉛直面照度〔lx〕
151	112.0	201	62.6	251	43.0
152	118.0	202	65.1	252	40.5
153	120.9	203	61.7	253	38.8
154	116.4	204	56.6	254	35.7
155	95.2	205	56.7	255	39.0
156	103.2	206	61.7	256	39.9
157	121.2	207	68.6	257	59.0
158	126.8	208	77.1	258	61.5
159	122.4	209	69.6	259	56.0
160	111.0	210	53.2	260	47.9
161	85.6	211	51.3	261	43.4
162	81.7	212	55.1	262	40.9
163	83.4	213	49.7	263	38.3
164	83.4	214	45.0	264	35.8
165	82.6	215	46.2	265	38.4
166	91.3	216	54.9	266	47.6
167	98.7	217	62.1	267	54.7
168	107.5	218	66.7	268	59.0
169	103.1	219	62.3	269	54.8
170	82.3	220	48.9	270	46.2
171	77.8	221	45.3	271	41.7
172	78.3	222	46.7	272	39.4
173	78.1	223	46.6	273	36.8
174	73.5	224	44.8	274	35.1
175	74.0	225	50.4	275	37.6
176	85.9	226	62.0	276	45.5
177	94.5	227	73.5	277	54.4
178	99.8	228	80.7	278	58.1
179	93.7	229	75.0	279	55.0
180	73.5	230	60.4	280	45.7
181	69.6	231	56.0	281	40.5
182	71.9	232	54.2	282	36.7
183	72.1	233	52.1	283	33.0
184	66.6	234	47.8	284	29.6
185	64.3	235	47.0	285	31.5
186	68.0	236	53.9	286	39.4
187	75.0	237	61.9	287	44.6
188	83.2	238	67.2	288	45.4
189	76.2	239	61.2	289	42.7
190	62.4	240	51.2	290	37.9
191	60.2	241	46.8	291	32.8
192	65.4	242	46.7	292	28.7
193	65.5	243	43.2	293	27.0
194	63.3	244	38.9	294	25.7
195	66.8	245	40.9	295	28.3
196	78.6	246	51.1	296	37.4
197	89.4	247	58.0	297	46.8
198	96.2	248	61.8	298	48.1
199	87.3	249	58.6	299	45.8
200	71.4	250	50.7	300	39.4

表－３．１５（１）　鉛直面照度測定結果（東側車線中央）
カウンタービーム照明　　設計速度　60km/h

坑口からの距離〔m〕	鉛直面照度〔lx〕	坑口からの距離〔m〕	鉛直面照度〔lx〕	坑口からの距離〔m〕	鉛直面照度〔lx〕
0	2.9				
1	9.6	51	113.7	101	63.2
2	14.4	52	124.9	102	66.1
3	15.3	53	119.4	103	65.9
4	24.7	54	104.1	104	61.2
5	33.1	55	117.7	105	64.8
6	49.0	56	129.6	106	68.6
7	63.0	57	130.5	107	74.9
8	82.3	58	123.9	108	79.8
9	97.9	59	123.2	109	67.6
10	95.2	60	128.8	110	57.9
11	82.9	61	128.4	111	58.0
12	95.2	62	112.3	112	60.7
13	109.6	63	108.7	113	57.4
14	115.8	64	115.4	114	51.3
15	110.7	65	123.8	115	53.9
16	98.3	66	129.0	116	60.3
17	110.0	67	116.2	117	65.7
18	123.7	68	108.3	118	68.3
19	127.8	69	108.5	119	63.6
20	117.6	70	113.0	120	52.6
21	102.6	71	112.1	121	49.7
22	109.4	72	90.9	122	52.3
23	126.3	73	86.0	123	50.3
24	131.0	74	90.2	124	45.2
25	108.8	75	96.2	125	46.8
26	117.3	76	99.6	126	55.0
27	133.4	77	95.8	127	62.5
28	143.1	78	81.7	128	66.8
29	130.9	79	81.3	129	63.1
30	117.4	80	88.6	130	51.3
31	118.2	81	87.8	131	50.3
32	138.0	82	81.3	132	52.9
33	136.8	83	83.1	133	48.6
34	119.1	84	77.5	134	42.4
35	122.9	85	69.3	135	42.4
36	147.1	86	79.7	136	46.9
37	135.5	87	93.7	137	51.3
38	134.8	88	95.2	138	55.5
39	139.4	89	92.4	139	50.4
40	141.3	90	89.9	140	42.5
41	116.7	91	84.5	141	39.7
42	118.6	92	73.7	142	41.7
43	130.6	93	72.7	143	41.2
44	132.5	94	72.4	144	37.7
45	107.7	95	74.4	145	41.6
46	103.1	96	75.7	146	49.1
47	121.5	97	79.3	147	53.4
48	130.6	98	85.8	148	56.0
49	127.6	99	82.6	149	53.7
50	114.0	100	63.5	150	42.3

表－３．１５（２）　鉛直面照度測定結果（東側車線中央）
カウンタービーム照明　　設計速度　60km/h

坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]	坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]	坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]
151	38.5	201	23.2	251	
152	38.4	202	21.0	252	
153	36.8	203	19.5	253	
154	31.8	204	18.5	254	
155	31.4	205	21.3	255	
156	35.8	206	27.0	256	
157	40.5	207	32.3	257	
158	42.5	208	34.3	258	
159	40.2	209	32.3	259	
160	34.2	210	26.6	260	
161	31.1	211	23.2	261	
162	30.9	212	21.4	262	
163	28.9	213	19.1	263	
164	26.7	214	17.6	264	
165	30.0	215	19.1	265	
166	36.9	216	24.4	266	
167	42.5	217	29.2	267	
168	44.7	218	30.0	268	
169	42.0	219	27.5	269	
170	35.4	220	23.2	270	
171	31.2	221	20.1	271	
172	29.5	222	17.8	272	
173	27.2	223	16.3	273	
174	24.2	224	15.6	274	
175	24.7	225	19.8	275	
176	28.7	226	26.1	276	
177	33.1	227	30.7	277	
178	33.7	228	30.8	278	
179	31.4	229	28.7	279	
180	27.9	230	24.7	280	
181	24.7	231		281	
182	23.0	232		282	
183	21.9	233		283	
184	21.2	234		284	
185	24.1	235		285	
186	29.9	236		286	
187	35.6	237		287	
188	38.1	238		288	
189	36.0	239		289	
190	31.1	240		290	
191	27.9	241		291	
192	26.6	242		292	
193	24.3	243		293	
194	21.6	244		294	
195	23.6	245		295	
196	28.0	246		296	
197	31.2	247		297	
198	32.2	248		298	
199	30.1	249		299	
200	26.4	250		300	

表－３．１６（１）　鉛直面照度測定結果（東側車線中央）
カウンタービーム照明　　設計速度　50km/h

坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]	坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]	坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]
0	1.6				
1	4.9	51	72.7	101	31.1
2	7.6	52	60.4	102	36.6
3	9.1	53	62.6	103	37.0
4	14.9	54	71.2	104	35.5
5	21.5	55	74.6	105	33.8
6	26.9	56	73.4	106	34.5
7	33.2	57	77.7	107	34.7
8	41.1	58	80.7	108	39.5
9	49.3	59	76.5	109	39.5
10	57.5	60	65.0	110	33.0
11	69.7	61	65.6	111	31.5
12	79.8	62	72.8	112	31.9
13	70.6	63	69.8	113	31.5
14	79.6	64	62.3	114	29.5
15	87.9	65	62.1	115	28.5
16	91.0	66	67.6	116	29.5
17	91.8	67	71.0	117	30.1
18	82.8	68	74.5	118	30.3
19	81.0	69	74.8	119	30.9
20	94.4	70	54.1	120	29.5
21	97.4	71	52.0	121	30.4
22	98.3	72	63.4	122	31.9
23	97.7	73	64.9	123	27.7
24	89.4	74	59.8	124	24.4
25	92.0	75	54.6	125	22.8
26	103.6	76	50.7	126	23.4
27	104.2	77	52.9	127	24.3
28	95.6	78	58.2	128	25.7
29	86.8	79	54.0	129	25.4
30	80.6	80	46.8	130	22.1
31	85.8	81	47.8	131	22.1
32	97.5	82	53.4	132	24.8
33	99.4	83	55.5	133	26.2
34	101.4	84	53.8	134	24.1
35	89.5	85	54.9	135	21.6
36	94.4	86	57.7	136	19.4
37	94.5	87	58.9	137	19.1
38	105.0	88	59.4	138	20.3
39	101.7	89	56.1	139	22.4
40	87.7	90	45.2	140	22.2
41	79.3	91	46.4	141	22.4
42	84.5	92	51.7	142	22.0
43	96.5	93	49.4	143	22.6
44	97.8	94	43.9	144	25.8
45	91.2	95	41.8	145	27.2
46	75.1	96	41.0	146	26.8
47	75.8	97	43.9	147	24.7
48	79.4	98	46.9	148	22.5
49	95.3	99	39.7	149	22.0
50	92.5	100	32.8	150	21.0

表－３．１６（２）　鉛直面照度測定結果（東側車線中央）
カウンタービーム照明　　設計速度　50km/h

坑口からの距離［m］	鉛直面照度［lx］	坑口からの距離［m］	鉛直面照度［lx］	坑口からの距離［m］	鉛直面照度［lx］
151	22.0	201		251	
152	23.6	202		252	
153	23.4	203		253	
154	21.1	204		254	
155	21.2	205		255	
156	22.4	206		256	
157	24.6	207		257	
158	23.4	208		258	
159	20.3	209		259	
160	18.1	210		260	
161	18.5	211		261	
162	21.1	212		262	
163	21.5	213		263	
164	22.3	214		264	
165	22.7	215		265	
166	22.4	216		266	
167	23.4	217		267	
168	26.5	218		268	
169	27.3	219		269	
170	24.0	220		270	
171	21.8	221		271	
172	20.1	222		272	
173	18.5	223		273	
174	18.0	224		274	
175	19.0	225		275	
176	19.5	226		276	
177	19.8	227		277	
178	19.4	228		278	
179	21.7	229		279	
180	27.6	230		280	
181		231		281	
182		232		282	
183		233		283	
184		234		284	
185		235		285	
186		236		286	
187		237		287	
188		238		288	
189		239		289	
190		240		290	
191		241		291	
192		242		292	
193		243		293	
194		244		294	
195		245		295	
196		246		296	
197		247		297	
198		248		298	
199		249		299	
200		250		300	

表－３．１７（１）　鉛直面照度測定結果（東側車線中央）
対称照明　　設計速度　80km/h

坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]	坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]	坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]
0	2.5				
1	6.0	51	723.0	101	567.0
2	9.8	52	738.0	102	552.0
3	13.5	53	736.0	103	544.0
4	20.3	54	736.0	104	578.0
5	38.2	55	741.0	105	592.0
6	56.7	56	742.0	106	578.0
7	76.4	57	746.0	107	584.0
8	95.2	58	724.0	108	578.0
9	119.0	59	722.0	109	541.0
10	137.0	60	707.0	110	530.0
11	202.0	61	739.0	111	539.0
12	300.0	62	722.0	112	505.0
13	407.0	63	702.0	113	501.0
14	504.0	64	704.0	114	523.0
15	556.0	65	712.0	115	524.0
16	610.0	66	705.0	116	527.0
17	646.0	67	715.0	117	556.0
18	672.0	68	699.0	118	560.0
19	688.0	69	723.0	119	543.0
20	665.0	70	689.0	120	550.0
21	659.0	71	693.0	121	567.0
22	684.0	72	686.0	122	558.0
23	659.0	73	677.0	123	529.0
24	676.0	74	689.0	124	540.0
25	678.0	75	687.0	125	532.0
26	714.0	76	705.0	126	514.0
27	745.0	77	739.0	127	477.0
28	726.0	78	740.0	128	469.0
29	752.0	79	772.0	129	465.0
30	757.0	80	805.0	130	464.0
31	728.0	81	804.0	131	412.0
32	758.0	82	781.0	132	371.0
33	746.0	83	773.0	133	399.0
34	768.0	84	745.0	134	441.0
35	765.0	85	710.0	135	451.0
36	765.0	86	690.0	136	440.0
37	758.0	87	657.0	137	425.0
38	777.0	88	629.0	138	451.0
39	762.0	89	589.0	139	484.0
40	749.0	90	577.0	140	480.0
41	734.0	91	590.0	141	434.0
42	725.0	92	566.0	142	395.0
43	716.0	93	565.0	143	399.0
44	733.0	94	577.0	144	434.0
45	702.0	95	565.0	145	422.0
46	704.0	96	563.0	146	396.0
47	717.0	97	577.0	147	360.0
48	705.0	98	587.0	148	360.0
49	733.0	99	552.0	149	376.0
50	717.0	100	555.0	150	370.0

表－３．１７（２）　鉛直面照度測定結果（東側車線中央）
対称照明　　設計速度　80km/h

坑口からの距離［m］	鉛直面照度［lx］	坑口からの距離［m］	鉛直面照度［lx］	坑口からの距離［m］	鉛直面照度［lx］
151	345.0	201	171.0	251	71.5
152	323.0	202	192.0	252	72.7
153	324.0	203	205.0	253	73.4
154	330.0	204	196.0	254	71.3
155	330.0	205	180.0	255	72.4
156	305.0	206	159.0	256	78.4
157	333.0	207	131.0	257	79.2
158	315.0	208	114.0	258	78.5
159	341.0	209	120.0	259	74.6
160	327.0	210	131.0	260	72.2
161	304.0	211	146.0	261	70.5
162	284.0	212	171.0	262	74.8
163	295.0	213	185.0	263	76.8
164	315.0	214	184.0	264	75.2
165	319.0	215	171.0	265	73.2
166	307.0	216	151.0	266	78.1
167	297.0	217	132.0	267	79.5
168	314.0	218	116.0	268	78.2
169	332.0	219	116.0	269	74.7
170	335.0	220	122.0	270	70.1
171	332.0	221	130.0	271	66.4
172	319.0	222	155.0	272	69.9
173	293.0	223	174.0	273	72.0
174	278.0	224	175.0	274	71.8
175	262.0	225	168.0	275	72.5
176	254.0	226	159.0	276	74.6
177	270.0	227	141.0	277	78.4
178	278.0	228	128.0	278	75.9
179	266.0	229	129.0	279	73.2
180	256.0	230	132.0	280	68.4
181	238.0	231	145.0	281	68.9
182	221.0	232	163.0	282	70.7
183	234.0	233	181.0	283	71.4
184	239.0	234	177.0	284	68.0
185	230.0	235	163.0	285	66.7
186	212.0	236	142.0	286	68.5
187	183.0	237	120.0	287	69.5
188	150.0	238	102.0	288	64.3
189	147.0	239	91.9	289	56.8
190	158.0	240	84.5	290	49.5
191	162.0	241	79.5	291	41.8
192	197.0	242	81.3	292	35.9
193	215.0	243	81.8	293	32.8
194	214.0	244	80.5	294	30.4
195	199.0	245	82.4	295	32.3
196	181.0	246	85.5	296	42.4
197	156.0	247	85.6	297	49.5
198	137.0	248	83.2	298	53.9
199	140.0	249	77.5	299	49.5
200	151.0	250	75.3	300	42.1

表－３．１８（１）　鉛直面照度測定結果（東側車線中央）
対称照明　　設計速度　60km/h

坑口からの距離〔m〕	鉛直面照度〔lx〕	坑口からの距離〔m〕	鉛直面照度〔lx〕	坑口からの距離〔m〕	鉛直面照度〔lx〕
0	1.3				
1	4.7	51	608.0	101	353.0
2	7.1	52	597.0	102	330.0
3	9.4	53	589.0	103	366.0
4	19.1	54	611.0	104	400.0
5	30.7	55	620.0	105	391.0
6	50.6	56	625.0	106	376.0
7	71.5	57	642.0	107	360.0
8	93.1	58	616.0	108	326.0
9	113.6	59	555.0	109	296.0
10	164.3	60	521.0	110	290.0
11	261.0	61	531.0	111	284.0
12	350.0	62	515.0	112	266.0
13	397.0	63	477.0	113	258.0
14	461.0	64	468.0	114	233.0
15	492.0	65	488.0	115	220.0
16	508.0	66	512.0	116	210.0
17	519.0	67	475.0	117	223.0
18	541.0	68	468.0	118	231.0
19	520.0	69	479.0	119	227.0
20	519.0	70	477.0	120	220.0
21	520.0	71	453.0	121	208.0
22	522.0	72	445.0	122	191.0
23	491.0	73	457.0	123	186.0
24	541.0	74	473.0	124	196.0
25	537.0	75	458.0	125	211.0
26	523.0	76	435.0	126	219.0
27	535.0	77	463.0	127	215.0
28	545.0	78	486.0	128	212.0
29	555.0	79	484.0	129	201.0
30	564.0	80	487.0	130	193.0
31	560.0	81	484.0	131	186.0
32	566.0	82	481.0	132	181.0
33	552.0	83	469.0	133	193.0
34	554.0	84	442.0	134	201.0
35	555.0	85	453.0	135	192.0
36	536.0	86	467.0	136	166.0
37	516.0	87	447.0	137	139.6
38	525.0	88	453.0	138	136.1
39	512.0	89	479.0	139	143.0
40	524.0	90	467.0	140	144.3
41	540.0	91	433.0	141	149.9
42	530.0	92	386.0	142	146.3
43	510.0	93	381.0	143	158.2
44	551.0	94	400.0	144	175.1
45	544.0	95	389.0	145	180.0
46	540.0	96	371.0	146	164.0
47	530.0	97	336.0	147	152.0
48	570.0	98	361.0	148	162.0
49	582.0	99	373.0	149	181.0
50	580.0	100	378.0	150	201.0

表－３．１８（２）　鉛直面照度測定結果（東側車線中央）
対称照明　　設計速度　60km/h

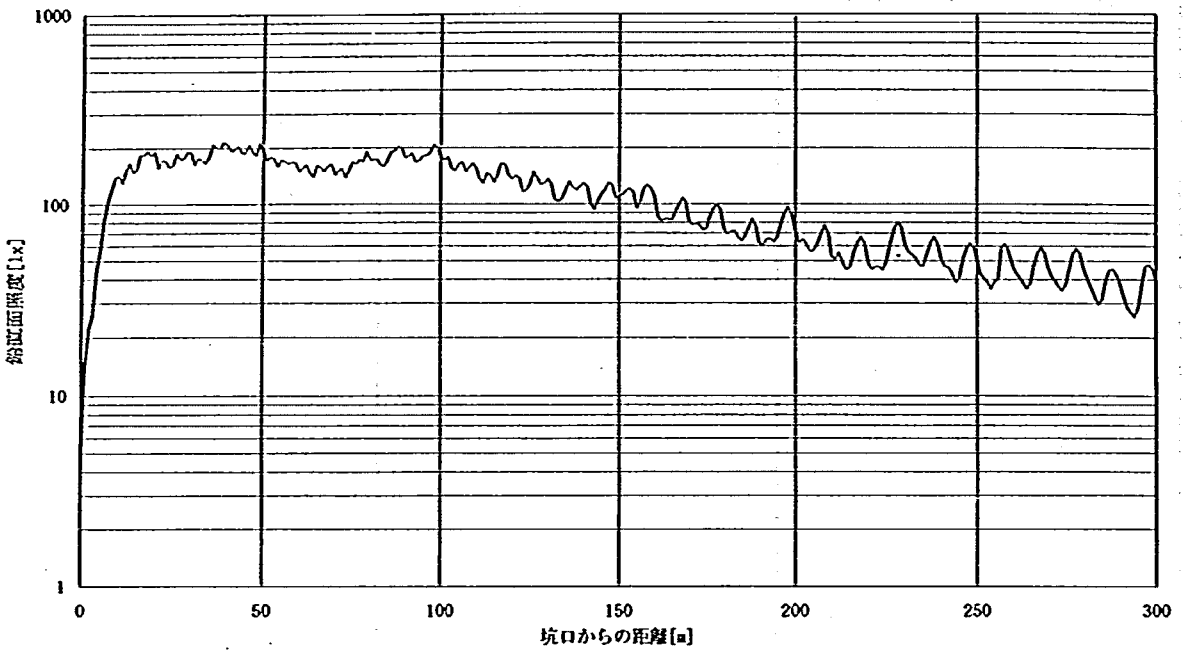
坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]	坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]	坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]
151	192.0	201	40.1	251	
152	186.0	202	38.4	252	
153	195.0	203	38.1	253	
154	207.0	204	38.6	254	
155	192.0	205	40.7	255	
156	164.0	206	43.6	256	
157	128.6	207	45.2	257	
158	104.2	208	45.0	258	
159	92.4	209	44.0	259	
160	84.8	210	41.0	260	
161	77.2	211	37.5	261	
162	70.5	212	35.1	262	
163	68.5	213	34.4	263	
164	68.3	214	35.2	264	
165	67.1	215	36.7	265	
166	68.3	216	39.6	266	
167	69.4	217	42.5	267	
168	69.8	218	42.4	268	
169	69.6	219	40.3	269	
170	67.0	220	36.6	270	
171	63.4	221	33.3	271	
172	61.2	222	30.8	272	
173	64.1	223	31.2	273	
174	66.7	224	31.5	274	
175	67.6	225	34.0	275	
176	66.9	226	36.3	276	
177	65.0	227	38.4	277	
178	64.0	228	36.7	278	
179	62.3	229	32.6	279	
180	61.6	230	27.5	280	
181	57.8	231	24.0	281	
182	55.9	232	20.7	282	
183	57.4	233	18.2	283	
184	58.5	234	16.4	284	
185	59.2	235	17.1	285	
186	60.4	236	21.0	286	
187	59.1	237	24.4	287	
188	58.7	238	25.0	288	
189	55.3	239	23.3	289	
190	51.4	240	21.0	290	
191	46.7	241	18.0	291	
192	43.2	242	16.4	292	
193	41.7	243	15.3	293	
194	41.2	244	14.4	294	
195	42.5	245	16.2	295	
196	44.2	246	20.7	296	
197	45.0	247	24.3	297	
198	45.8	248	25.2	298	
199	43.5	249	23.4	299	
200	41.9	250	20.8	300	

表－３．１９（１）　鉛直面照度測定結果（東側車線中央）
対称照明　　設計速度　50km/h

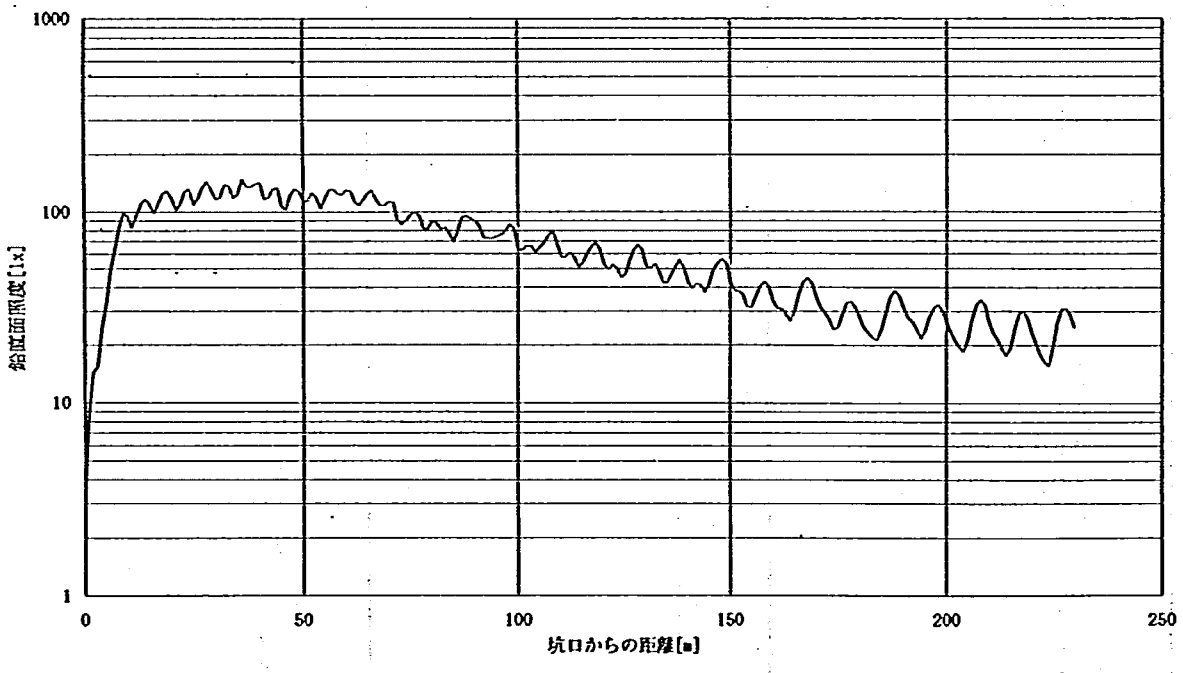
坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]	坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]	坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]
0	1.3				
1	4.4	51	419.0	101	150.0
2	7.1	52	440.0	102	166.0
3	8.6	53	451.0	103	184.0
4	15.3	54	437.0	104	180.0
5	24.7	55	425.0	105	158.0
6	34.9	56	420.0	106	134.0
7	47.4	57	426.0	107	131.0
8	62.5	58	418.0	108	149.0
9	86.9	59	386.0	109	155.0
10	131.8	60	366.0	110	157.0
11	190.6	61	370.0	111	156.0
12	281.0	62	386.0	112	174.0
13	359.0	63	386.0	113	190.0
14	409.0	64	360.0	114	185.0
15	417.0	65	347.0	115	156.0
16	437.0	66	361.0	116	127.0
17	441.0	67	363.0	117	103.0
18	447.0	68	350.0	118	92.0
19	449.0	69	327.0	119	88.0
20	453.0	70	297.0	120	91.0
21	456.0	71	296.0	121	95.0
22	467.0	72	311.0	122	93.0
23	467.0	73	321.0	123	87.0
24	482.0	74	340.0	124	84.0
25	482.0	75	353.0	125	81.0
26	492.0	76	353.0	126	83.0
27	479.0	77	352.0	127	84.0
28	465.0	78	351.0	128	83.0
29	443.0	79	361.0	129	81.0
30	470.0	80	372.0	130	76.0
31	461.0	81	356.0	131	74.0
32	467.0	82	346.0	132	73.0
33	514.0	83	343.0	133	69.0
34	527.0	84	324.0	134	65.0
35	521.0	85	287.0	135	61.0
36	539.0	86	258.0	136	57.0
37	537.0	87	231.0	137	53.0
38	549.0	88	205.0	138	51.0
39	516.0	89	192.0	139	52.0
40	505.0	90	181.0	140	51.0
41	494.0	91	175.0	141	50.0
42	472.0	92	189.0	142	49.0
43	451.0	93	206.0	143	50.0
44	431.0	94	202.0	144	53.0
45	420.0	95	174.0	145	53.0
46	415.0	96	157.0	146	52.0
47	424.0	97	153.0	147	48.0
48	432.0	98	152.0	148	46.0
49	424.0	99	154.0	149	47.0
50	408.0	100	156.8	150	48.0

表－３．１９（２）　鉛直面照度測定結果（東側車線中央）
対称照明　　設計速度　50km/h

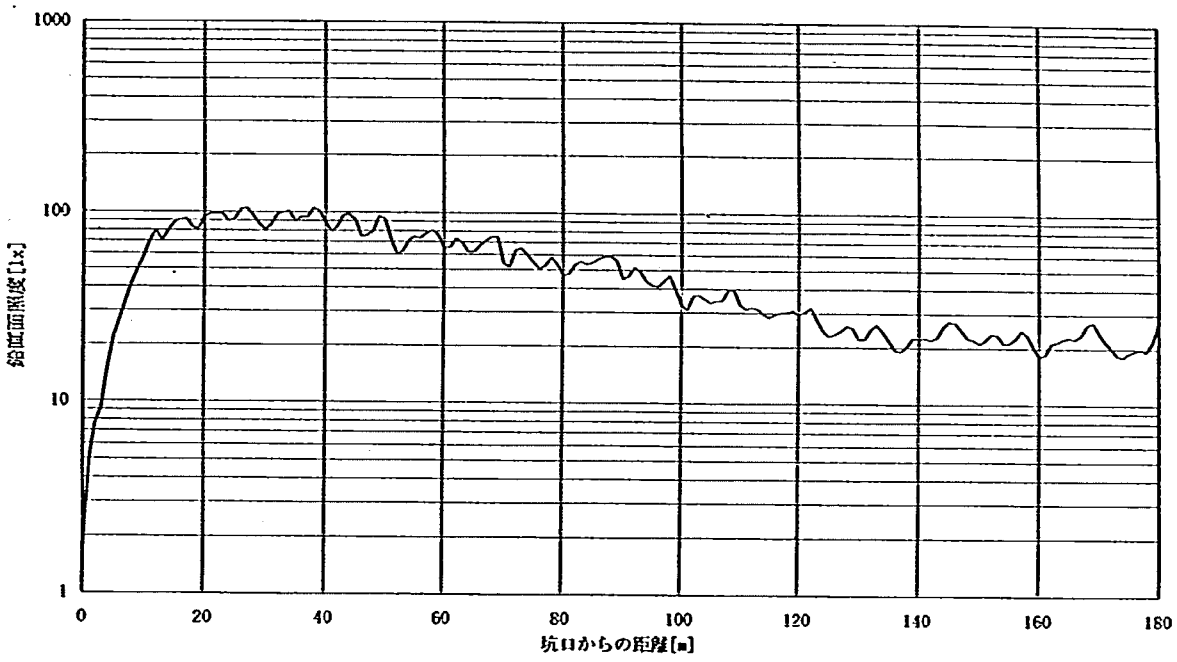
坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]	坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]	坑口からの距離[m]	鉛直面照度[lx]
151	51.0	201		251	
152	52.0	202		252	
153	51.0	203		253	
154	51.0	204		254	
155	54.0	205		255	
156	59.0	206		256	
157	62.0	207		257	
158	62.0	208		258	
159	64.0	209		259	
160	63.0	210		260	
161	61.0	211		261	
162	58.0	212		262	
163	57.0	213		263	
164	55.0	214		264	
165	51.0	215		265	
166	50.0	216		266	
167	51.0	217		267	
168	52.0	218		268	
169	51.0	219		269	
170	45.0	220		270	
171	39.0	221		271	
172	33.0	222		272	
173	30.0	223		273	
174	30.0	224		274	
175	31.0	225		275	
176	31.0	226		276	
177	31.0	227		277	
178	28.0	228		278	
179	30.0	229		279	
180	35.0	230		280	
181	36.0	231		281	
182	35.0	232		282	
183	31.0	233		283	
184	27.0	234		284	
185	25.0	235		285	
186		236		286	
187		237		287	
188		238		288	
189		239		289	
190		240		290	
191		241		291	
192		242		292	
193		243		293	
194		244		294	
195		245		295	
196		246		296	
197		247		297	
198		248		298	
199		249		299	
200		250		300	



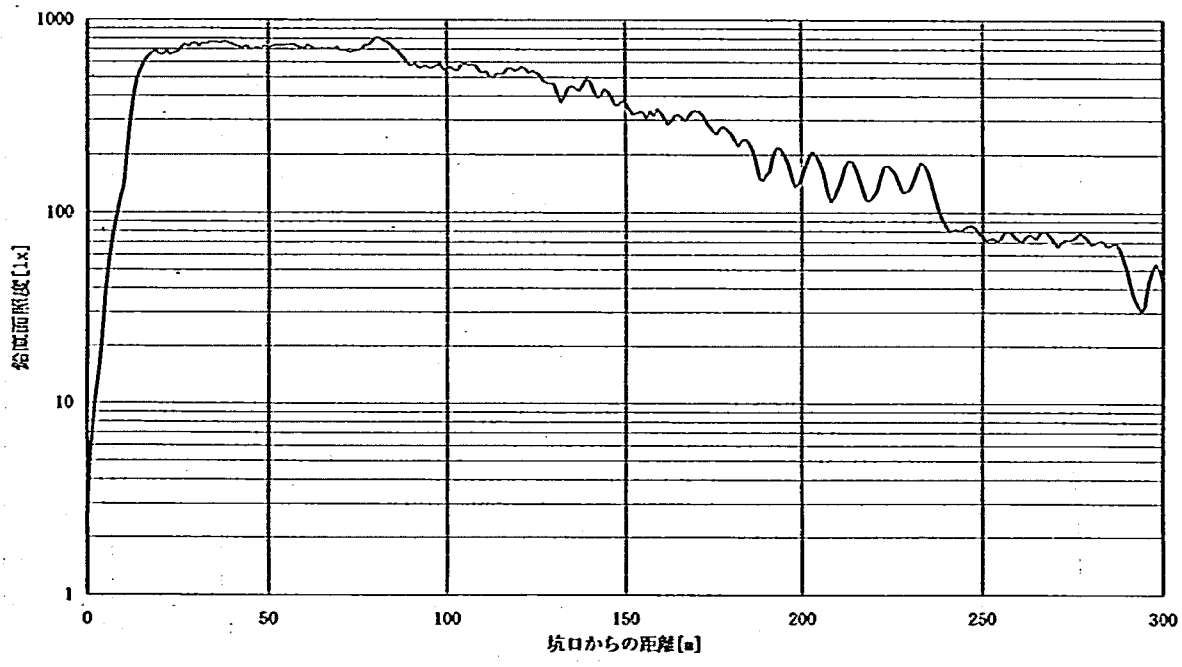
図－３．１０ 鉛直面照度測定結果（東側車線中央）
カウンターービーム照明　設計速度　80km/h



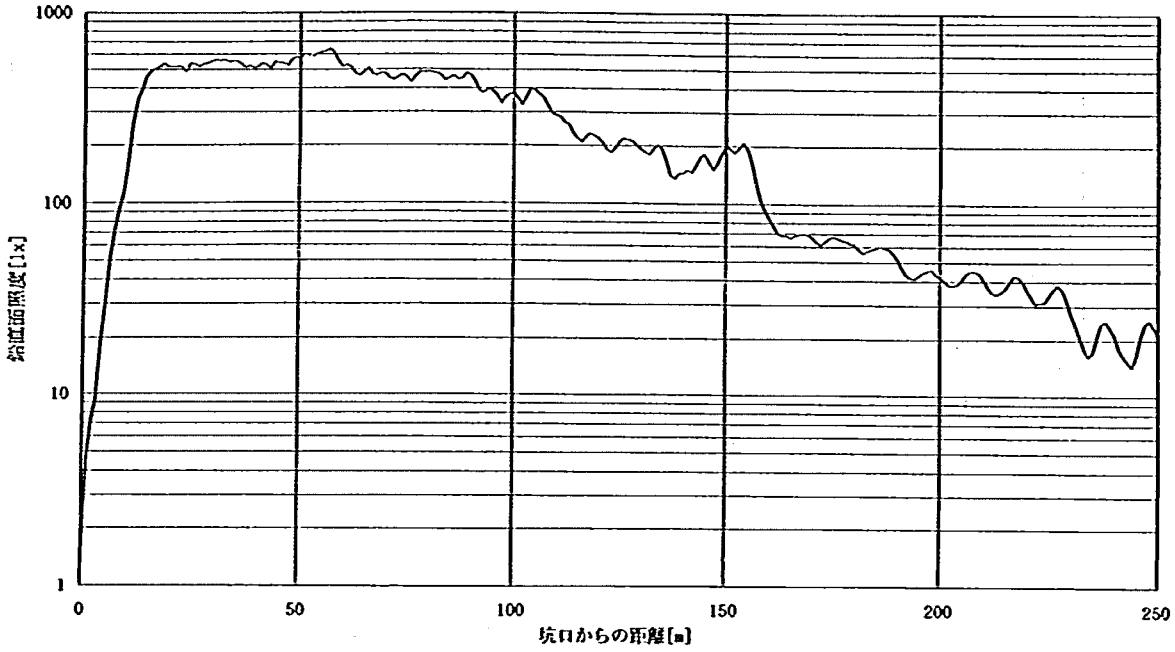
図－３．１１ 鉛直面照度測定結果（東側車線中央）
対称照明　設計速度　50km/h



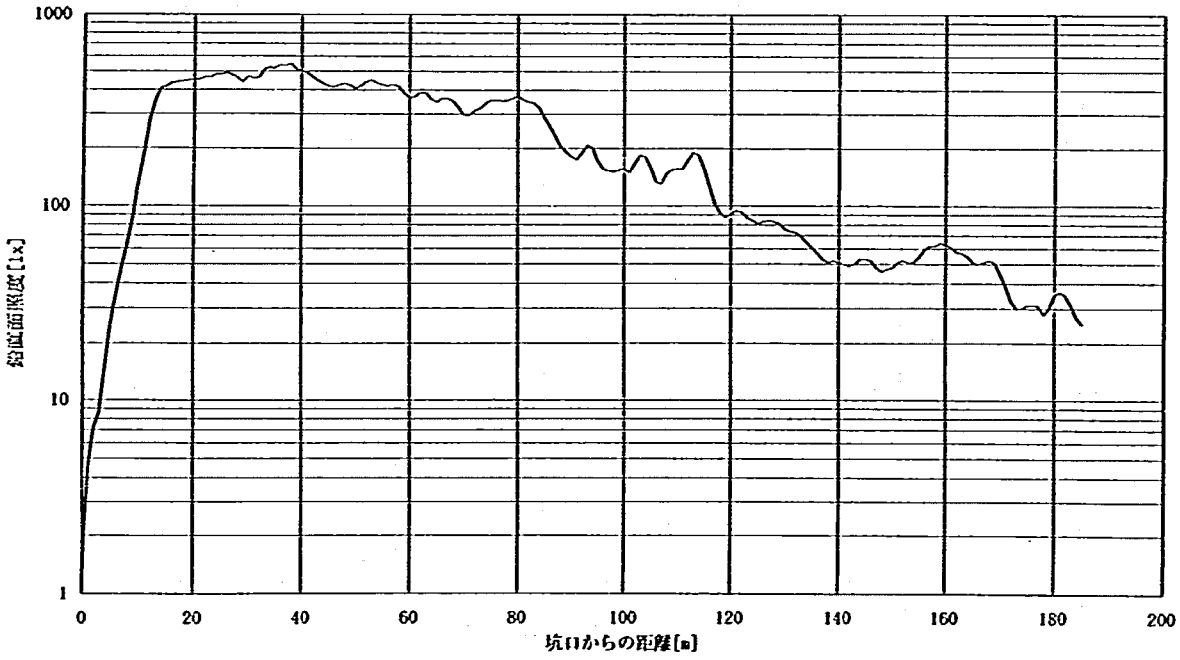
図－３．１２　鉛直面照度測定結果（東側車線中央）
カウンタービーム照明　設計速度　60km/h



図－３．１３　鉛直面照度測定結果（東側車線中央）
対称照明　設計速度　60km/h



図－３．１４　鉛直面照度測定結果（東側車線中央）
カウンタービーム照明　設計速度　80km/h



図－３．１５　鉛直面照度測定結果（東側車線中央）
対称照明　設計速度　80km/h

（7）測定結果の検討

照明設計において、対称照明とカウンタービーム照明では境界部の輝度について0.5ポイントの差を設定して設計を行っているが、実際の設備で路面輝度が野外輝度に対してどのような比率になり、対称照明とカウンタービーム照明でどの程度のポイント差があったかを比較した。比較は3．3式により行った。

$$\text{比率の差} = (L_{r\,SYM} \div L_{20} \times 100) - (L_{r\,CBL} \div L_{20} \times 100) \cdots\cdots (3.3)$$

$L_{r\,SYM}$：対称照明時の路面輝度（cd／m²）

$L_{r\,CBL}$：カウンタービーム照明時の路面輝度（cd／m²）

L_{20}：各設計速度毎の野外輝度

境界部で設定した0.5ポイントの差は入口部照明の終点に向かっていくにしたがって、路面輝度（所要輝度）が低くなるため対称照明とカウンタービーム照明の野外輝度（L_{20}）に対する比率の差が小さくなると考えられる。そこで、照明設計上の比率の差と、実際の設備における比率の差を求めて比較を行った。この比較の結果を表－3．20～表－3．23に示した。比較の結果、理論上の比率の差を上回った区間は、下記の通りであった。

50km/h：30m～190m

60km/h：30m～240m

80km/h：50m～90m、130m～170m、220m～240m、270m～300m

上記の比較の結果を図－3．16に示す。図中の直線は照明設計上の比率の差を示し、曲線は実際の設備における比率の差を示す。この直線よりも曲線が上回った部分が上記に示す範囲である。これらのことにより、今回の実験施設の多くの区間において、対称照明よりもカウンタービーム照明の方が比率の低い部分が多かったことが分かる。ただし、設計速度80km/h時においては対称照明よりもカウンタービーム照明の方が比率の差が高い部分は約半分程度であった。坑口付近および坑口から10～20mのポイントでカウンタービーム照明の条件で路面輝度が若干高い部分があったが、概ね当初計画した輝度となっていることが分かった。

また、路面輝度と水平面照度の測定結果より、平均照度換算係数を求めた結果を表－3．26～表－3．31に示し、平均照度換算係数の比較を図－3．17に示す。平均照度換算係数は本来、ある任意の区間を測定した値の平均値を求めて水平面照度を路面輝度の値で割って求めるが、今回算出した値はポイント測定の結果を用いた値であるが、参考までに示した。

表－３．２０　野外輝度に対する路面輝度の比率（測定値）　　設計速度：50ｋｍ／ｈ　　単位：所要輝度（ｃｄ／ｍ²）

	０ｍ	１０ｍ	２０ｍ	３０ｍ	４０ｍ	５０ｍ	６０ｍ	７０ｍ	８０ｍ	９０ｍ	１００ｍ
ＳＹＭ　測定輝度	11.0	25.9	51.6	60.2	61.1	58.8	52.5	46.5	38.8	31.4	23.2
比率　Lr/L20×100	0.54	1.28	2.54	2.97	3.01	2.90	2.59	2.29	1.91	1.55	1.14
ＣＢＬ　測定輝度	10.3	28.2	43.5	42.9	41.0	36.5	29.9	27.1	24.0	20.8	16.5
比率　Lr/L20×100	0.51	1.39	2.14	2.11	2.02	1.80	1.47	1.33	1.18	1.02	0.81
比率の差　SYM-CBL	0.03	-0.11	0.40	0.86	0.99	1.10	1.12	0.96	0.73	0.53	0.33
	１１０ｍ	１２０ｍ	１３０ｍ	１４０ｍ	１５０ｍ	１６０ｍ	１７０ｍ	１８０ｍ	１９０ｍ		
ＳＹＭ　測定輝度	19.3	14.2	9.2	7.3	7.0	7.1	5.6	4.3	3.3		
比率　Lr/L20×100	0.98	0.70	0.45	0.36	0.34	0.35	0.28	0.21	0.16		
ＣＢＬ　測定輝度	12.5	7.8	6.2	5.4	5.5	4.9	4.6	3.7	3.1		
比率　Lr/L20×100	0.62	0.38	0.31	0.27	0.27	0.24	0.23	0.18	0.15		
比率の差　SYM-CBL	0.69	0.32	0.14	0.09	0.07	0.11	0.05	0.03	0.01		
ＳＹＭ　測定輝度											
比率　Lr/L20×100											
ＣＢＬ　測定輝度											
比率　Lr/L20×100											
比率の差　SYM-CBL											

（注意１）：比率の差が－（マイナス）の場合はＣＢＬの輝度がＳＹＭの輝度を上回った場合を示す。
（注意２）：ＳＹＭは対称照明、ＣＢＬはカウンタービーム照明を示す。
（注意３）：比率は路面輝度（測定輝度）÷L_{20}（50km/h:2030cd/m²）×１００

表－３．２１　野外輝度に対する路面輝度の比率（測定値）　　設計速度：60ｋｍ／ｈ　　単位：所要輝度（ｃｄ／ｍ²）

	０ｍ	１０ｍ	２０ｍ	３０ｍ	４０ｍ	５０ｍ	６０ｍ	７０ｍ	８０ｍ	９０ｍ	１００ｍ
ＳＹＭ 測定輝度	16.5	41.0	63.0	72.7	72.4	74.7	76.3	69.5	64.5	61.8	49.7
比率 Lr/L20×100	0.75	1.87	2.88	3.32	3.31	3.41	3.48	3.17	2.95	2.82	2.27
ＣＢＬ 測定輝度	24.5	48.7	61.4	62.1	60.7	58.1	53.6	41.3	36.8	34.4	29.5
比率 Lr/L20×100	1.12	2.22	2.80	2.84	2.77	2.65	2.45	1.89	1.68	1.57	1.35
比率の差 SYM-CBL	-0.37	-0.35	0.08	0.48	0.54	0.76	1.03	1.28	1.27	1.14	0.92
	１１０ｍ	１２０ｍ	１３０ｍ	１４０ｍ	１５０ｍ	１６０ｍ	１７０ｍ	１８０ｍ	１９０ｍ	２００ｍ	２１０ｍ
ＳＹＭ 測定輝度	37.4	29.3	24.9	22.0	19.5	13.5	10.3	8.4	7.7	6.2	5.2
比率 Lr/L20×100	1.71	1.34	1.14	1.00	0.89	0.62	0.47	0.38	0.35	0.28	0.27
ＣＢＬ 測定輝度	25.4	22.1	18.8	14.1	11.1	8.4	6.7	5.9	6.2	5.2	4.9
比率 Lr/L20×100	1.16	1.01	0.86	0.64	0.51	0.38	0.31	0.27	0.28	0.24	0.22
比率の差 SYM-CBL	0.55	0.33	0.28	0.36	0.38	0.24	0.16	0.11	0.07	0.04	0.05
	２２０ｍ	２３０ｍ	２４０ｍ								
ＳＹＭ 測定輝度	5.1	4.6	3.4								
比率 Lr/L20×100	0.23	0.21	0.16								
ＣＢＬ 測定輝度	3.1	3.2	3.1								
比率 Lr/L20×100	0.14	0.15	0.14								
比率の差 SYM-CBL	0.09	0.06	0.02								

（注意１）：比率の差が－（マイナス）の場合はＣＢＬの輝度がＳＹＭの輝度を上回った場合を示す。
（注意２）：ＳＹＭは対称照明、ＣＢＬはカウンタービーム照明を示す。
（注意３）：比率は路面輝度（測定輝度）÷L_{20}（60km/h:2190cd/m²）×１００

表－３．２２　野外輝度に対する路面輝度の比率（測定値）　　設計速度：80ｋｍ／ｈ　　単位：所要輝度（ｃｄ／ｍ²）

	０ｍ	１０ｍ	２０ｍ	３０ｍ	４０ｍ	５０ｍ	６０ｍ	７０ｍ	８０ｍ	９０ｍ	１００ｍ
ＳＹＭ　測定輝度	7.6	36.3	74.4	93.1	96.7	98.8	103.8	103.2	103.9	104.9	88.2
比率　Lr/L20×100	0.31	1.48	3.04	3.80	3.95	4.03	4.24	4.21	4.24	4.28	3.60
ＣＢＬ　測定輝度	24.3	79.1	87.2	85.8	89.4	83.3	75.1	74.2	78.5	87.7	82.6
比率　Lr/L20×100	0.99	3.23	3.56	3.50	3.65	3.40	3.07	3.03	3.20	3.58	3.37
比率の差　SYM-CBL	-0.68	-1.75	-0.52	0.30	0.30	0.63	1.17	1.18	1.04	0.70	0.23
	１１０ｍ	１２０ｍ	１３０ｍ	１４０ｍ	１５０ｍ	１６０ｍ	１７０ｍ	１８０ｍ	１９０ｍ	２００ｍ	２１０ｍ
ＳＹＭ　測定輝度	80.6	73.0	64.8	58.9	58.4	45.6	37.8	33.2	30.8	26.5	24.4
比率　Lr/L20×100	3.29	2.98	2.64	2.40	2.38	1.86	1.54	1.36	1.26	1.08	1.00
ＣＢＬ　測定輝度	73.8	68.5	55.2	49.1	47.1	41.4	32.5	31.3	29.0	27.8	25.5
比率　Lr/L20×100	3.01	2.80	2.25	2.00	1.92	1.69	1.33	1.28	1.18	1.13	1.04
比率の差　SYM-CBL	0.28	0.18	0.39	0.40	0.46	0.17	0.21	0.08	0.08	-0.05	-0.04
	２２０ｍ	２３０ｍ	２４０ｍ	２５０ｍ	２６０ｍ	２７０ｍ	２８０ｍ	２９０ｍ	３００ｍ		
ＳＹＭ　測定輝度	23.0	20.4	15.4	10.7	10.9	10.3	9.2	6.7	4.9		
比率　Lr/L20×100	0.94	0.83	0.63	0.44	0.44	0.42	0.38	0.27	0.20		
ＣＢＬ　測定輝度	19.6	18.5	14.4	6.6	11.9	10.1	8.2	5.5	4.9		
比率　Lr/L20×100	0.80	0.76	0.59	0.52	0.49	0.41	0.33	0.22	0.20		
比率の差　SYM-CBL	0.14	0.09	0.04	-0.08	-0.05	0.01	0.05	0.00	0.00		

（注意１）：比率の差が－（マイナス）の場合はＣＢＬの輝度がＳＹＭの輝度を上回った場合を示す。
（注意２）：ＳＹＭは対称照明、ＣＢＬはカウンタービーム照明を示す。
（注意３）：比率は路面輝度（測定輝度）÷L_{20}（80km/h:2450cd/m²）×１００

表－３．２３　野外輝度に対する路面輝度の比率（基準値）　　設計速度：50ｋｍ／ｈ　　単位：所要輝度（ｃｄ／ｍ²）

	０ｍ	１０ｍ	２０ｍ	３０ｍ	４０ｍ	５０ｍ	６０ｍ	７０ｍ	８０ｍ	９０ｍ	１００ｍ
ＳＹＭ　所要輝度	45.0	45.0	45.0	45.0	41.6	38.5	32.6	25.4	19.7	15.3	11.3
比率　Lr/L20×100	2.22	2.22	2.22	2.22	2.05	1.90	1.61	1.25	0.97	0.75	0.59
ＣＢＬ　所要輝度	35.0	35.0	35.0	35.0	32.9	30.9	26.4	20.5	15.9	12.4	9.6
比率　Lr/L20×100	1.72	1.72	1.72	1.72	1.62	1.52	1.30	1.01	0.78	0.61	0.47
比率の差　SYM-CBL	0.50	0.50	0.50	0.50	0.43	0.38	0.31	0.24	0.19	0.14	0.12
	１１０ｍ	１２０ｍ	１３０ｍ	１４０ｍ	１５０ｍ	１６０ｍ	１７０ｍ	１８０ｍ	１９０ｍ		
ＳＹＭ　所要輝度	9.3	7.2	5.6	4.4	3.4	2.6	2.0	1.9	1.9		
比率　Lr/L20×100	0.46	0.35	0.28	0.22	0.17	0.13	0.10	0.09	0.09		
ＣＢＬ　所要輝度	7.5	5.8	4.5	3.5	2.7	2.1	1.9	1.9	1.9		
比率　Lr/L20×100	0.37	0.29	0.22	0.17	0.13	0.10	0.09	0.09	0.09		
比率の差　SYM-CBL	0.09	0.06	0.06	0.05	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00		
ＳＹＭ　所要輝度											
比率　Lr/L20×100											
ＣＢＬ　所要輝度											
比率　Lr/L20×100											
比率の差　SYM-CBL											

（注意１）：比率の差が－（マイナス）の場合はＣＢＬの輝度がＳＹＭの輝度を上回った場合を示す。
（注意２）：ＳＹＭは対称照明、ＣＢＬはカウンタービーム照明を示す。
（注意３）：比率は路面輝度（所要輝度）÷L_{20}（50km/h:2030cd/m²）×１００

表－３．２４　野外輝度に対する路面輝度の比率（基準値）　　設計速度：60ｋｍ／ｈ　　単位：所要輝度（ｃｄ／ｍ²）

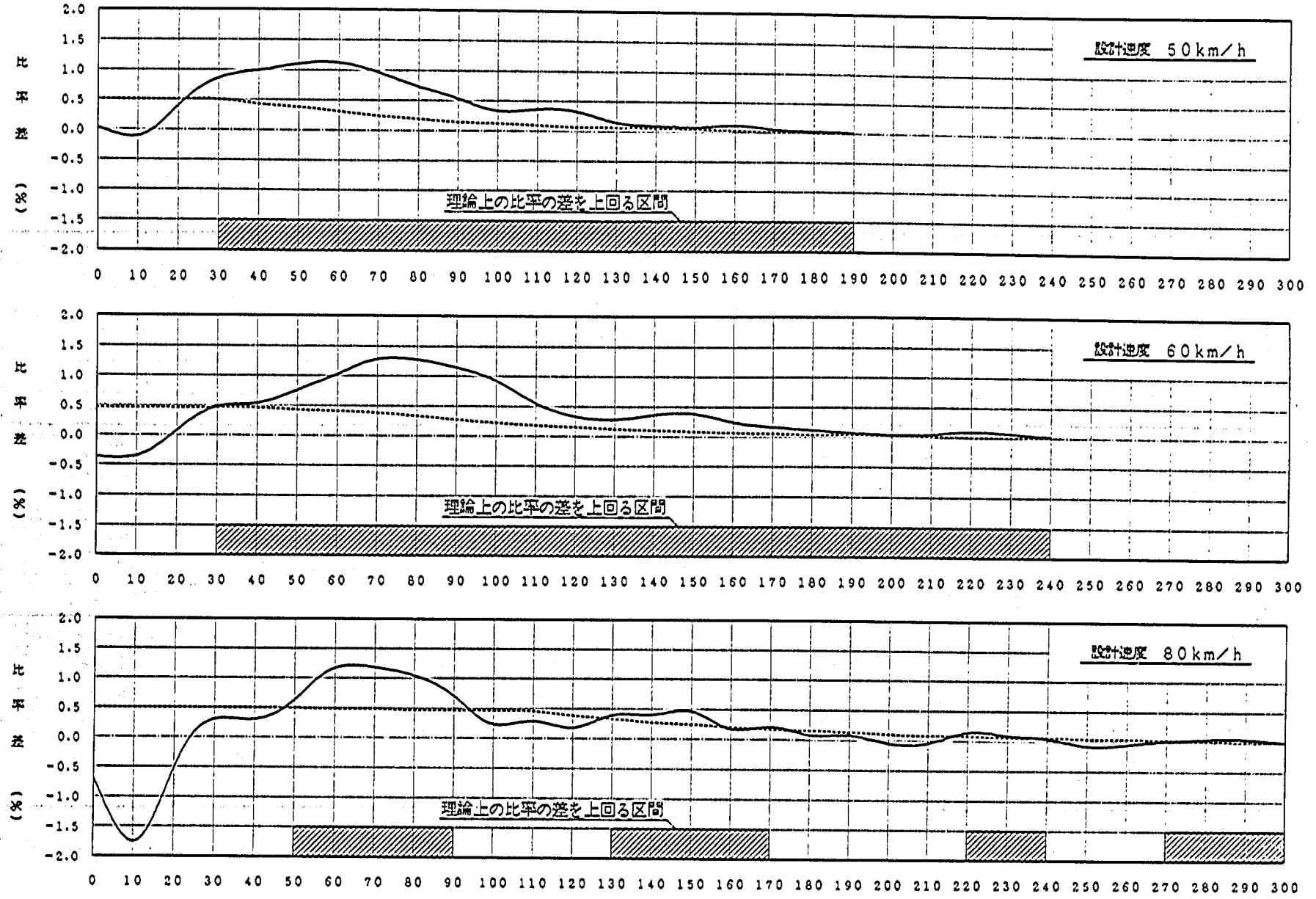
	０ｍ	１０ｍ	２０ｍ	３０ｍ	４０ｍ	５０ｍ	６０ｍ	７０ｍ	８０ｍ	９０ｍ	１００ｍ
ＳＹＭ　所要輝度	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0	55.3	52.7	50.2	44.1	35.7	28.9
比率　Lr/L20×100	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.53	2.41	2.29	2.01	1.63	1.32
ＣＢＬ　所要輝度	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	45.9	43.9	41.9	36.9	29.8	24.1
比率　Lr/L20×100	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.10	2.00	1.91	1.68	1.36	1.10
比率の差　SYM-CBL	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.43	0.41	0.38	0.33	0.27	0.22
	１１０ｍ	１２０ｍ	１３０ｍ	１４０ｍ	１５０ｍ	１６０ｍ	１７０ｍ	１８０ｍ	１９０ｍ	２００ｍ	２１０ｍ
ＳＹＭ　所要輝度	23.4	19.0	15.4	12.4	10.1	8.2	6.6	5.3	4.3	3.5	2.8
比率　Lr/L20×100	1.07	0.87	0.70	0.57	0.46	0.37	0.30	0.24	0.20	0.16	0.13
ＣＢＬ　所要輝度	19.5	15.8	12.8	10.3	8.4	6.8	5.5	4.4	3.6	2.9	2.3
比率　Lr/L20×100	0.97	0.72	0.58	0.47	0.38	0.31	0.25	0.20	0.16	0.13	0.11
比率の差　SYM-CBL	0.18	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02
	２２０ｍ	２３０ｍ	２４０ｍ								
ＳＹＭ　所要輝度	2.3	2.3	2.3								
比率　Lr/L20×100	0.11	0.11	0.11								
ＣＢＬ　所要輝度	2.3	2.3	2.3								
比率　Lr/L20×100	0.11	0.11	0.11								
比率の差　SYM-CBL	0.00	0.00	0.00								

（注意１）：比率の差が－（マイナス）の場合はＣＢＬの輝度がＳＹＭの輝度を上回った場合を示す。
（注意２）：ＳＹＭは対称照明、ＣＢＬはカウンタービーム照明を示す。
（注意３）：比率は路面輝度（所要輝度）÷L_{20}（60km/h:2190cd/m²）×１００

表－3．25　野外輝度に対する路面輝度の比率（基準値）　　設計速度：80ｋｍ／ｈ　　単位：所要輝度（ｃｄ／ｍ²）

	0ｍ	10ｍ	20ｍ	30ｍ	40ｍ	50ｍ	60ｍ	70ｍ	80ｍ	90ｍ	100ｍ
ＳＹＭ　所要輝度	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	80.9	78.8	76.8	74.8	72.9
比率　Lr/L20×100	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	3.30	3.22	3.13	3.05	2.98
ＣＢＬ　所要輝度	71.0	71.0	71.0	71.0	71.0	71.0	69.0	67.1	65.3	63.4	61.7
比率　Lr/L20×100	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.82	2.74	2.67	2.59	2.52
比率の差　SYM-CBL	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.48	0.48	0.46	0.46	0.46
	110ｍ	120ｍ	130ｍ	140ｍ	150ｍ	160ｍ	170ｍ	180ｍ	190ｍ	200ｍ	210ｍ
ＳＹＭ　所要輝度	71.0	60.6	51.7	44.1	37.7	32.1	27.4	23.4	20.0	17.0	14.5
比率　Lr/L20×100	2.90	2.47	2.11	1.80	1.54	1.31	1.12	0.96	0.82	0.69	0.59
ＣＢＬ　所要輝度	60.0	51.2	43.7	37.4	31.9	27.2	23.3	19.9	17.0	14.5	12.4
比率　Lr/L20×100	2.45	2.09	1.78	1.53	1.30	1.11	0.95	0.81	0.69	0.59	0.51
比率の差　SYM-CBL	0.45	0.38	0.33	0.27	0.24	0.20	0.17	0.15	0.13	0.10	0.08
	220ｍ	230ｍ	240ｍ	250ｍ	260ｍ	270ｍ	280ｍ	290ｍ	300ｍ		
ＳＹＭ　所要輝度	12.4	10.6	9.0	7.7	6.6	5.6	4.8	4.5	4.5		
比率　Lr/L20×100	0.51	0.43	0.37	0.31	0.27	0.23	0.20	0.18	0.18		
ＣＢＬ　所要輝度	10.6	9.0	7.7	6.6	5.6	4.8	4.5	4.5	4.5		
比率　Lr/L20×100	0.43	0.37	0.31	0.27	0.23	0.20	0.18	0.18	0.18		
比率の差　SYM-CBL	0.08	0.06	0.06	0.04	0.04	0.03	0.02	0.00	0.00		

（注意１）：比率の差が－（マイナス）の場合はＣＢＬの輝度がＳＹＭの輝度を上回った場合を示す。
（注意２）：ＳＹＭは対称照明、ＣＢＬはカウンタービーム照明を示す。
（注意３）：比率は路面輝度（所要輝度）÷L_{20}（80km/h:2450cd/m²）×１００



注1）グラフは野外輝度に対する路面輝度の比率の差を示す。
注2）比率の差が（－）マイナスの部分はCBLの値がSYMを上回った場合を示す。

図－3.16　路面輝度に対する野外輝度の比率の差の比較

表－３．２６　実測値より求めた換算係数　カウンタービーム照明　設計速度：５０ｋｍ／ｈ

	０ｍ	１０ｍ	２０ｍ	３０ｍ	４０ｍ	５０ｍ	６０ｍ	７０ｍ	８０ｍ	９０ｍ	１００ｍ
路面輝度　cd/m²	10.3	28.2	43.5	42.8	41.0	36.5	29.9	27.1	24.0	20.8	16.5
水平面照度　lx	56.4	438.3	404.5	400.3	414.3	437.3	199.0	158.9	139.3	127.5	90.3
換算係数　Lr/Eh	5.5	15.5	9.3	9.4	10.1	12.0	6.7	5.9	5.8	6.7	5.5
	１１０ｍ	１２０ｍ	１３０ｍ	１４０ｍ	１５０ｍ	１６０ｍ	１７０ｍ	１８０ｍ	１９０ｍ		
路面輝度　cd/m²	12.5	7.8	6.2	5.4	5.5	4.9	4.6	3.7	3.1		
水平面照度　lx	73.4	64.8	54.2	46.7	46.1	43.6	38.4	52.3	35.0		
換算係数　Lr/Eh	5.9	8.3	8.7	8.6	8.4	8.9	8.3	14.1	11.3	3.5	
路面輝度　cd/m²											
水平面照度　lx											
換算係数　Lr/Eh											

表－３．２７　実測値より求めた換算係数　　対称照明　設計速度：５０ｋｍ／ｈ

	０ｍ	１０ｍ	２０ｍ	３０ｍ	４０ｍ	５０ｍ	６０ｍ	７０ｍ	８０ｍ	９０ｍ	１００ｍ
路面輝度　cd/m²	11.0	25.9	51.6	60.2	61.1	58.8	52.5	46.5	38.8	31.4	23.2
水平面照度　lx	32.1	552.3	857.3	869.3	804.5	796.3	702.8	594.5	581.8	318.5	295.5
換算係数　Lr/Eh	2.9	21.3	16.6	14.4	13.2	13.5	13.4	12.8	15.0	10.1	12.7
	１１０ｍ	１２０ｍ	１３０ｍ	１４０ｍ	１５０ｍ	１６０ｍ	１７０ｍ	１８０ｍ	１９０ｍ		
路面輝度　cd/m²	19.9	14.2	9.2	7.3	7.0	7.1	5.6	4.3	3.3		
水平面照度　lx	301.0	161.3	110.9	82.0	92.1	96.5	53.3	55.5	36.0		
換算係数　Lr/Eh	15.1	11.4	12.1	11.2	13.2	13.6	9.5	12.9	10.9		
路面輝度　cd/m²											
水平面照度　lx											
換算係数　Lr/Eh											

表－３．２８　実測値より求めた換算係数　カウンタービーム照明　設計速度：６０ｋｍ／ｈ

	０ｍ	１０ｍ	２０ｍ	３０ｍ	４０ｍ	５０ｍ	６０ｍ	７０ｍ	８０ｍ	９０ｍ	１００ｍ
路面輝度　cd/m²	24.5	48.7	61.4	62.1	60.7	58.1	53.6	41.3	36.8	34.4	29.5
水平面照度　lx	86.0	495.3	503.5	575.8	646.0	549.8	606.3	467.3	342.3	398.8	188.3
換算係数　Lr/Eh	3.5	10.2	8.2	9.3	10.6	9.5	11.3	11.3	9.3	11.6	6.4
	１１０ｍ	１２０ｍ	１３０ｍ	１４０ｍ	１５０ｍ	１６０ｍ	１７０ｍ	１８０ｍ	１９０ｍ	２００ｍ	２１０ｍ
路面輝度　cd/m²	25.4	22.1	18.8	14.1	11.1	8.4	6.7	5.9	6.2	5.2	4.9
水平面照度　lx	134.7	141.0	123.5	95.0	71.9	61.0	49.7	43.5	46.4	38.2	34.5
換算係数　Lr/Eh	5.3	6.4	6.6	6.7	6.5	7.3	7.4	7.4	7.5	7.3	7.0
	２２０ｍ	２３０ｍ	２４０ｍ								
路面輝度　cd/m²	3.1	3.2	3.1								
水平面照度　lx	28.8	27.0	27.8								
換算係数　Lr/Eh	9.3	8.4	9.0								

表－３．２９　実測値より求めた換算係数　　対称照明　設計速度：６０ｋｍ／ｈ

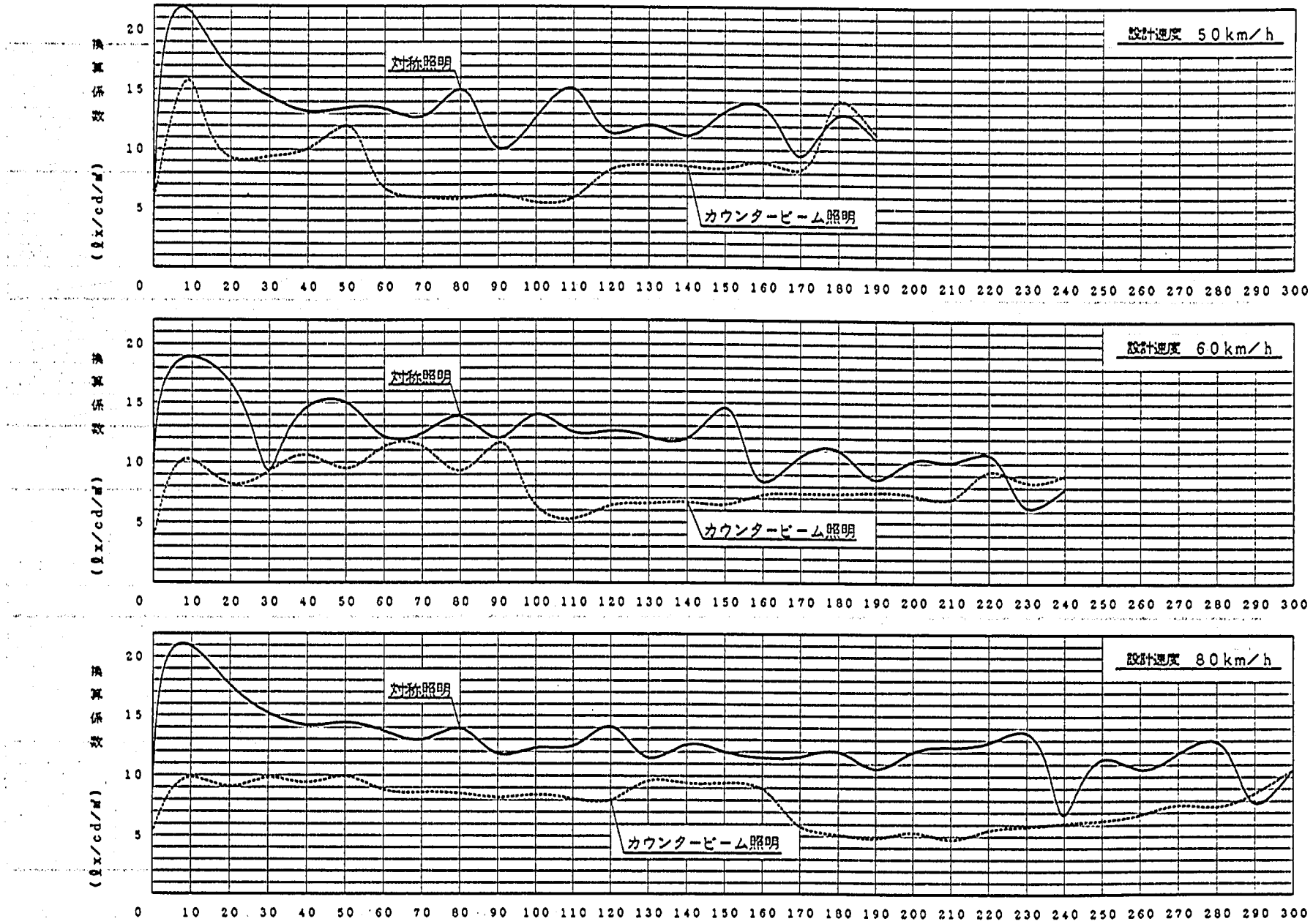
	０ｍ	１０ｍ	２０ｍ	３０ｍ	４０ｍ	５０ｍ	６０ｍ	７０ｍ	８０ｍ	９０ｍ	１００ｍ
路面輝度　cd/m²	16.5	41.0	63.0	72.7	72.4	74.7	76.3	69.5	64.5	61.8	49.7
水平面照度　lx	64.1	775.8	1049.5	1095.8	1064.3	1123.5	921.5	864.5	892.3	742.5	695.8
換算係数　Lr/Eh	3.9	18.9	16.7	15.1	14.7	15.0	12.1	12.4	13.8	12.0	14.0
	１１０ｍ	１２０ｍ	１３０ｍ	１４０ｍ	１５０ｍ	１６０ｍ	１７０ｍ	１８０ｍ	１９０ｍ	２００ｍ	２１０ｍ
路面輝度　cd/m²	37.4	29.3	24.9	22.0	19.5	13.5	10.3	8.4	7.7	6.2	5.2
水平面照度　lx	467.8	370.0	301.5	263.8	285.5	113.0	107.9	92.8	66.6	63.3	38.2
換算係数　Lr/Eh	12.5	12.6	12.1	12.0	14.6	8.4	10.5	11.0	8.6	10.2	7.3
	２２０ｍ	２３０ｍ	２４０ｍ								
路面輝度　cd/m²	5.1	4.6	3.4								
水平面照度　lx	54.4	29.0	26.7								
換算係数　Lr/Eh	10.7	6.3	7.9								

表－３．３０　実測値より求めた換算係数　カウンタービーム照明　設計速度：８０ｋｍ／ｈ

	０ｍ	１０ｍ	２０ｍ	３０ｍ	４０ｍ	５０ｍ	６０ｍ	７０ｍ	８０ｍ	９０ｍ	１００ｍ
路面輝度　cd/m²	24.3	79.1	87.2	85.8	89.4	83.3	75.1	74.2	78.5	87.7	82.6
水平面照度　lx	125.5	774.5	791.5	841.5	844.8	824.3	660.8	634.5	669.5	715.3	696.5
換算係数　Lr/Eh	5.2	9.8	9.1	9.8	9.4	9.9	8.8	8.6	8.5	8.2	8.4
	１１０ｍ	１２０ｍ	１３０ｍ	１４０ｍ	１５０ｍ	１６０ｍ	１７０ｍ	１８０ｍ	１９０ｍ	２００ｍ	２１０ｍ
路面輝度　cd/m²	73.7	68.5	55.2	49.1	47.1	41.4	32.5	31.3	29.0	27.8	25.5
水平面照度　lx	599.3	546.8	531.8	463.3	444.8	358.0	187.8	159.0	140.3	147.0	119.0
換算係数　Lr/Eh	8.1	8.0	9.6	9.4	9.4	8.6	5.8	5.1	4.8	5.3	4.7
	２２０ｍ	２３０ｍ	２４０ｍ	２５０ｍ	２６０ｍ	２７０ｍ	２８０ｍ	２９０ｍ	３００ｍ		
路面輝度　cd/m²	19.6	18.5	14.4	12.7	11.9	10.1	8.2	5.5	4.9		
水平面照度　lx	107.2	106.6	87.6	79.7	80.9	76.7	61.1	47.4	51.9		
換算係数　Lr/Eh	5.5	5.8	6.1	6.3	6.8	7.6	7.5	8.6	10.6		

表－３．３１　実測値より求めた換算係数　対称照明　設計速度：８０ｋｍ／ｈ

	０ｍ	１０ｍ	２０ｍ	３０ｍ	４０ｍ	５０ｍ	６０ｍ	７０ｍ	８０ｍ	９０ｍ	１００ｍ
路面輝度　cd/m²	7.6	36.3	74.4	93.1	96.7	98.8	103.8	103.2	103.9	104.9	88.2
水平面照度　lx	51.6	757.0	1306.5	1413.5	1373.8	1424.5	1418.5	1346.5	1447.5	1234.3	1082.0
換算係数　Lr/Eh	6.8	20.9	17.6	15.2	14.2	14.4	13.7	13.0	13.9	11.8	12.3
	１１０ｍ	１２０ｍ	１３０ｍ	１４０ｍ	１５０ｍ	１６０ｍ	１７０ｍ	１８０ｍ	１９０ｍ	２００ｍ	２１０ｍ
路面輝度　cd/m²	80.6	73.0	64.8	58.9	58.4	45.6	37.8	33.2	30.8	26.5	24.4
水平面照度　lx	1007.0	1030.8	743.0	742.8	703.5	526.3	438.5	398.3	325.5	317.0	302.8
換算係数　Lr/Eh	12.5	14.1	11.5	12.6	12.0	11.5	11.6	12.0	10.6	12.0	12.4
	２２０ｍ	２３０ｍ	２４０ｍ	２５０ｍ	２６０ｍ	２７０ｍ	２８０ｍ	２９０ｍ	３００ｍ		
路面輝度　cd/m²	23.0	20.4	15.4	10.7	10.9	10.3	9.2	6.7	4.9		
水平面照度　lx	294.8	278.3	104.0	121.8	115.8	122.8	119.0	52.5	51.8		
換算係数　Lr/Eh	12.8	13.6	6.8	11.4	10.6	11.9	12.9	7.8	10.6		



図－3.17　換算係数の比較

3．2 照明器具からのグレア（ＴＩ値）

3．2．1 目的

トンネル入口照明部において、設計速度に対応し想定したカウンタービーム照明の照明レベルを対称照明より低減し、観測高さおよび観測方法（車内と車外測定、遮光角と形状）などを変え、路面輝度や等価光幕輝度を測定し算出したＴＩ値から、照明方式の比較検討を目的に実験を行った。

照明器具からのグレアには、視機能低下グレアと不快グレアがあり、観測者の眼の順応状態と照明器具の光学特性により変化する。

視機能低下グレアは、相対閾値増加（Threshold Increment:ＴＩ）で表され、観測者の順応状況すなわち路面輝度L_{road}と眼球内の散乱を定量的に表す等価光幕輝度L_{seq}を測定することにより、式３．２または式３．３より求めることができる。

$$TI = \frac{95 \cdot L_{seq}}{L_{road}^{1.05}} \ (\%) \qquad (\ L_{road} > 5\,cd/m^2\ ) \quad \cdots\cdots (3.2)$$

$$TI = \frac{65 \cdot L_{seq}}{L_{road}^{0.8}} \ (\%) \qquad (0.05 < L_{road} \leqq 5\,cd/m^2\ ) \quad \cdots\cdots (3.3)$$

3．2．2 測定項目

（１）測定場所

測定場所及び舗装を次に示す。

①場所　　建設省　土木研究所　実大トンネル

②トンネル坑口の方位　　南坑口

③舗装の種類　　コンクリート舗装（粗面仕上げ）

（２）測定条件

①照明方式

カウンタービーム照明（ＣＢＬ）　　（照明器具を車線中央に配置した場合）

対称照明（ＳＹＭ）　　（照明器具を隅角に配置する従来からの照明）

②入口照明のレベル（野外輝度4,000 cd/m²）

入口照明のレベルを表－３．３２に示す。カッコ無しの数値は対称照明を、カッコ付の数値はカウンタービーム照明の基準輝度を示す。

表－３．３２ 入口照明のレベル

設計速度 (Km/h)	路面輝度 (cd/m²)			入口部照明の長さ (m)		
	境界部	移行部最終点	緩和部最終点	境界部	移行部	緩和部
80	83.0(71.0)	71.0(60.0)	4.5 (4.5)	50(50)	60(60)	174(164)
60	58.0(48.0)	49.0(41.0)	2.3 (2.3)	40(40)	35(35)	145(136)
50	45.0(35.0)	37.0(30.0)	1.9 (1.9)	30(30)	25(25)	118(109)

③実験に使用した車両　　ＲＶ車（ランドクルーザー・トヨタ製）

（３）測定用計器

測定には次の測定器を使用した。

①等価光幕輝度測定……等価光幕輝度計（岩崎電気㈱製　２０ＤＰ形）

②路面輝度測定　　……輝度計（トプコンＢＭ－３形　視角 0.2度 ）

（４）測定方法

①等価光幕輝度の測定

等価光幕輝度の車内測定は、運転者の眼の高さ相当の地上から約1.5mにあわせて設けられた取付け台に、輝度計の受光角を俯角約１度に設定した測定器を設置し、表－３．３３に示した各観測位置で等価光幕輝度を測定した。なお、車外測定も同様の条件設定にて、等価光幕輝度の測定を行った。測定中は坑口のシャッターを閉鎖し、人工照明のみで照明されている状態にして測定を行った。

遮光板の先端形状と遮光角を変えた場合（遮光角を約10°、約15°および約20°、遮光板の先端形状を四角形と丸形に変化）、ＴＩ値にどのような影響を与えるかを把握するため、以下に示す地点の等価光幕輝度を測定した。（図－３．１７、写真－３．１参照）

イ）カウンタービーム照明（80km/hの照明レベル）：　坑口から20m地点、280m地点の測定

（ＣＢＬ照明）　（60km/hの照明レベル）：　坑口から20m地点、160m地点の測定

（50km/hの照明レベル）：　坑口から20m地点、140m地点の測定

ロ）対　称　照　明　（80km/hの照明レベル）：　坑口から20m地点、200m地点の測定

（ＳＹＭ照明）　（60km/hの照明レベル）：　坑口から20m地点、160m地点の測定

（50km/hの照明レベル）：　坑口から20m地点、140m地点の測定

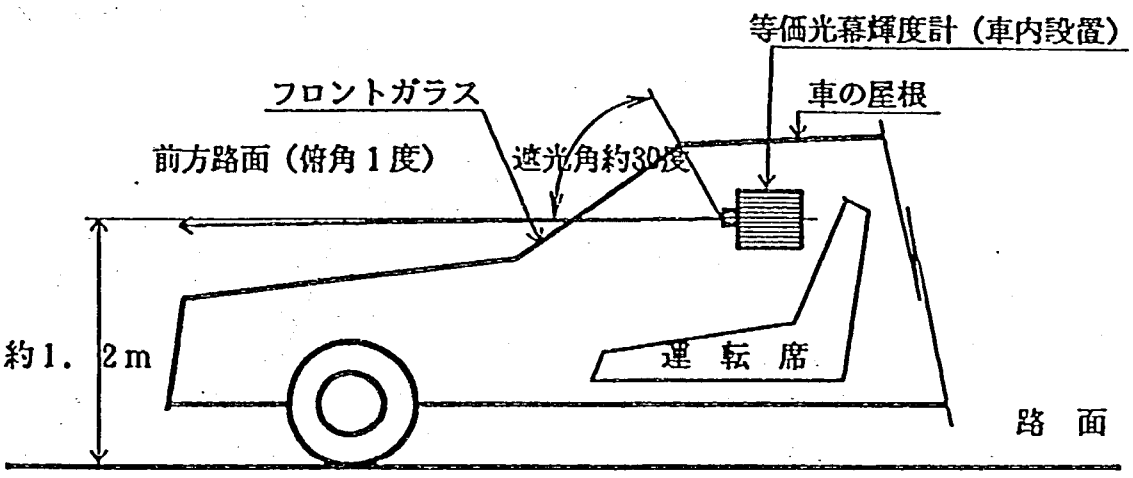
②路面輝度の測定

平均路面輝度の測定は、等価光幕輝度の測定と同様、表－３．３３に示す観測地点でＲＶ車を使用し、車内の運転者の眼の高さ相当の地上から1.5mにあわせて設けた取付け台に測定器を設置し、輝度計の受光角を俯角約１度に設定した距離に概ね等しい地点（ＲＶ車の場合には60m前方）の路面輝度を測定した。

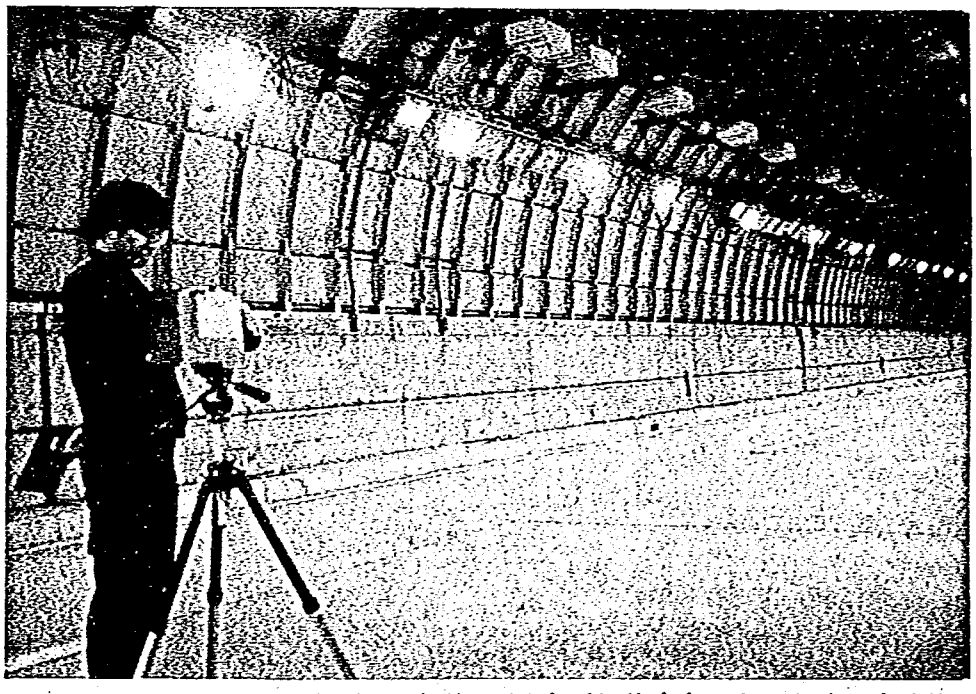
なお、カウンタービーム照明、設計速度80Km/h（測定高さ1.5m）の路面輝度測定では、フロントガラスの影響を考慮し、各測定地点ごとに車内および車外から測定を行った。（図－３．１８、写真－３．２参照）

表－３．３３　測定位置一覧表

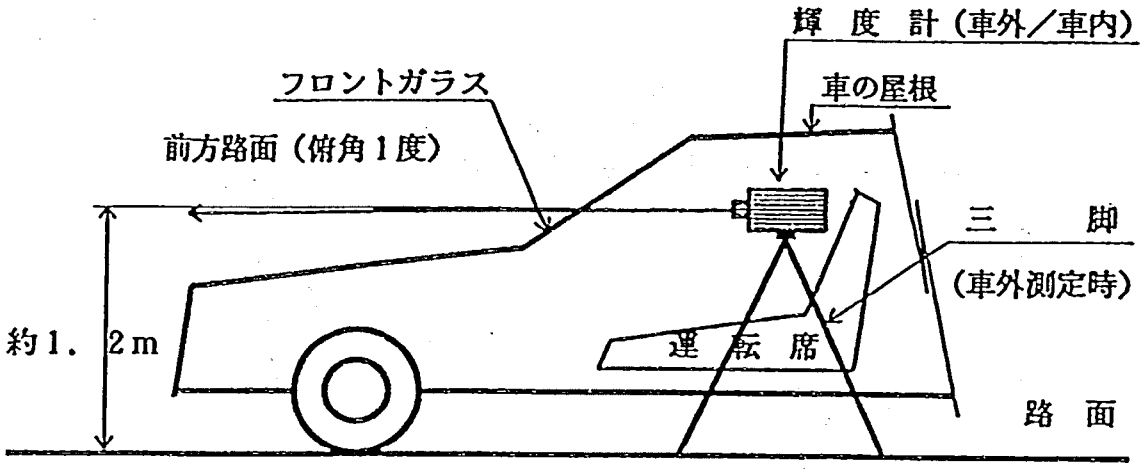
照明方式	設計速度（Km/h）	実験に使用した車両	観測点範囲（m）	観測点間隔（m）
カウンタービーム照明（ＣＢＬ）	８０	ＲＶ車	０～２８０まで	２０
	６０	〃	２０、１６０	２０
	５０	〃	２０、１４０	２０
対称照明（ＳＹＭ）	８０	ＲＶ車	２０、２００	２０
	６０	〃	２０、１６０	２０
	５０	〃	２０、１４０	２０



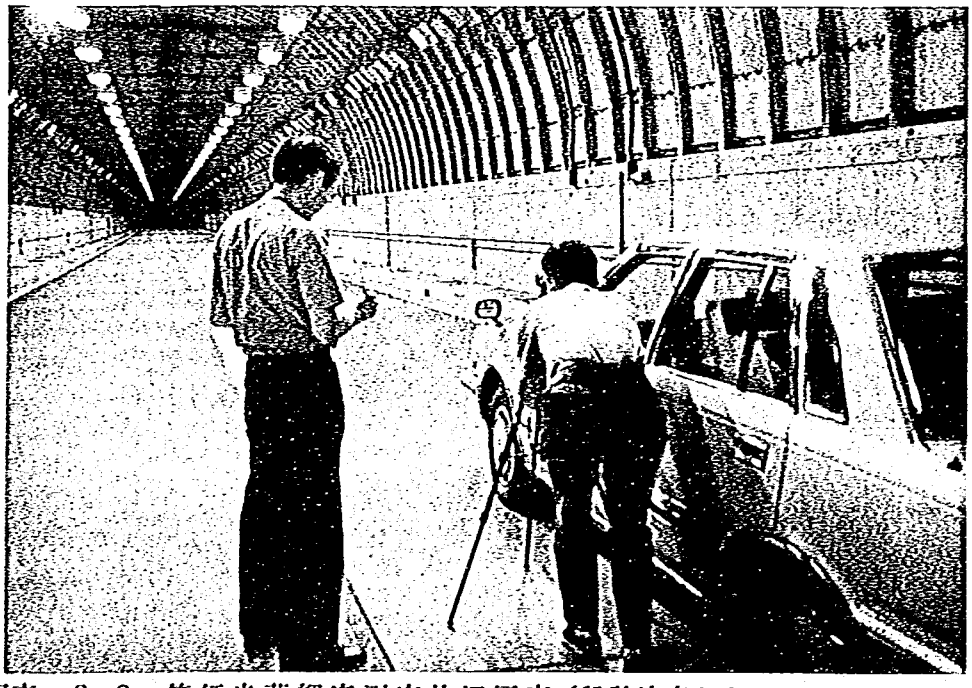
図－３．１７　等価光幕輝度の車内測定図（車の屋根による遮光の影響あり）



写真－３．１　等価光幕輝度測定状況写真（設計速度８０Km/h時の実験状況）



図－３．１８　等価光幕輝度の車内測定図（車内／車外測定）



写真－３．２　等価光幕輝度測定状況写真（設計速度８０Km/h時の実験状況）

（5） 測定器

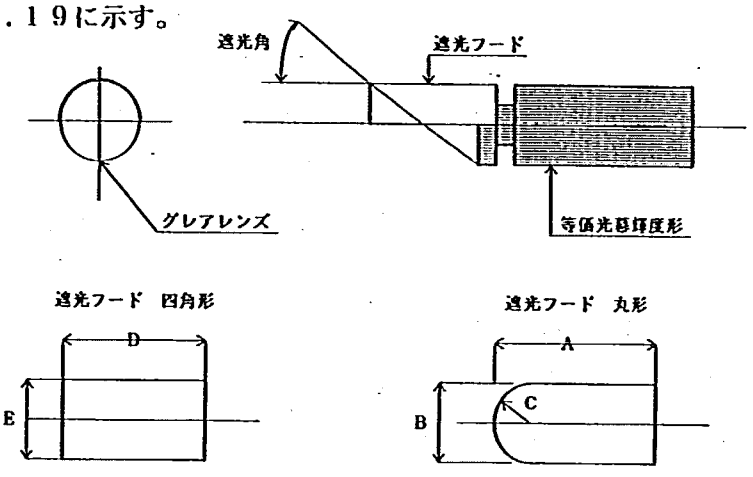
測定には、次の測定器を使用した。

イ）輝度測定 …… 輝度計（ミノルタ LS-110 視角 1/3 度）

ロ）鉛直面照度 …… 照度計（トプコン IM-3 ）

（6） 遮光フード

遮光フードの形状を図－3．19に示す。



図－3．19 遮光フード図

表－3．34 遮光フード寸法表

遮光フード	寸法記号	遮光角		
		約10°	約15°	約20°
先端形状 丸形	A	240	158	115
	B	135	135	135
	C	135／2	135／2	135／2
先端形状 四角形	D	240	158	115
	E	135	135	135

単位：mm

3．2．3 測定結果

路面輝度および等価光幕輝度の測定を、各設計速度、照明方式別に行い、その結果をもとにＴＩ値を算出した。その算出結果を、表－3．35～表－3．52に示す。ただし、測定範囲末端部の路面輝度は、本実験の設定基準に従って照明設備を変更した路面の範囲外となるため、ＴＩ値の計算上の路面輝度は（ ）内の設計基準値4．5cd/㎡ にて処理を行った。また、トンネル入口部付近において、濡れた路面の路面輝度および等価光幕輝度の測定を行った。その測定結果をもとにＴＩ値を算出し、表－3．53～表－3．54に示す。

測定高さの違いによるＴＩ値の変化を、測定結果を基に算出し、各設計速度別に図－3．20から図－3．25に示す。なお、相対閾値増加ＴＩ値は、測定結果をもとに式3．2および式3．3より算出した。

遮光角および遮光フードの形状の違いによるＴＩ値の変化を、測定結果を基に算出し、各設計速度別に図－3．26から図－3．28に示す。また、測定方法の違い（車内測定／車外測定）によるＴＩ値の比較を、

測定結果を基に算出した設計速度80km/hについて、図－３．２９に示す。

３．２．４　考察

（１）測定高さの変化に対するＴＩ値への影響

測定高さの変化に対するＴＩ値への影響の程度を、照明方式および設計速度別に、遮光角（約１０度および約20度）一定にて同一位置より観測、比較した図－３．２０～図－３．２５より以下のことが分かった。

測定高さ1.5mのＴＩ値を基準とした場合、1.2mおよび2mの高さの時のＴＩ値との増減は2~3%程度以内に収まることが分かった。測定高さの変化に対するＴＩ値への影響の程度は、本実験結果の範囲内において、カウンタービーム照明、対称照明ともに僅かであることが分かった。なお、測定高さとＴＩ値の関係を、カウンタービーム照明、対称照明の同一条件にて比較したが、有為な差は見られなかった。

（２）遮光角度の変化に対するＴＩ値への影響

遮光角度の変化に対するＴＩ値への影響の程度を、照明方式および設計速度別に、測定高さ一定にて同一位置より観測、比較した図－３．２６～図－３．２８より以下のことが分かった。

遮光角度の変化に対するＴＩ値への影響の程度は、各設計速度および観測位置において、両照明方式とも、遮光角が大きくなるほどＴＩ値は増加することが判った。また、遮光角度を一定とした場合のＴＩ値は、今回の照明実験条件において、両照明方式とも、設計速度が低くなるほど増加することが分かった。これは、トンネル入口部照明の長さは設計速度が高くなるほど長く、観測する路面輝度も設計速度が高い方が高くなり、設計速度が低くなるほど等価光幕輝度と路面輝度の比は高くなることによるものと考えられる。なお、遮光角度とＴＩ値の関係を、カウンタービーム照明と対称照明の同一条件で比較すると、測定位置（坑口から140mから280m）から観測した対称照明のＴＩ値が突出している。このことは、等価光幕輝度の観測において、前方の照明器具との位置関係が、カウンタービーム照明より対称照明の方が、よりグレアに影響を与える位置にあること。および、トンネル入口照明部は、路面輝度を階段状に段落としを行い、入口照明曲線（基準輝度）にすり付けを行っている。今回の場合、観測位置周辺と測定路面の輝度比が、カウンタービーム照明より対称照明の方が大きくなる位置関係となったため、等価光幕輝度と路面輝度の比も大きくなったことが考えられる。対称照明の緩和部周辺で測定したＴＩ値が、カウンタービーム照明より突出しているのは、これらによるものと推測される。

（３）遮光フード先端形状の違いによるＴＩ値への影響

遮光フードの先端形状の違いによるＴＩ値への影響の程度を、照明方式別に、同一条件にて比較した図－３．２６～図－３．２８より以下のことが分かった。

遮光フードの先端形状が変化することによるＴＩ値への影響の程度は、両照明方式、各設計速度において、遮光フードの先端形状が四角形より、丸形の遮光フードのＴＩ値の割合が、約５%ほど高くなることが分かった。なお、遮光フードの形状（四角形および丸形）は、図－３．１９および表－３．３４のとおりである。

（4）測定方法の違い（車内／車外測定）によるＴＩ値への影響

測定方法が変化することによるＴＩ値への影響の程度を、設計速度80km/hのカウンタービーム照明、対称照明について、図－３．２９より以下のことが分かった。

測定方法（車内測定／車外測定）の違いによるＴＩ値への影響の程度は、本実験結果の範囲内では、カウンタービーム照明、対称照明とも僅かであることが分かった。これは、等価光幕輝度と路面輝度の車内および車外測定においては、等価光幕輝度および路面輝度とも、概ね同じ割合でフロントガラスの影響を受けることによるものと推測される。

（5）湿潤路面のＴＩ値

カウンタービーム照明の湿潤路面のＴＩ値は、乾燥した路面のＴＩ値より、約1.5倍ほど高くなることが分かった。一方、対称照明における濡れた路面のＴＩ値は、乾燥路面のＴＩ値と、ほぼ同じ値を示すことが分かった。濡れた路面では、等価光幕輝度、路面輝度とも増加するが、カウンタービーム照明の場合、増加する割合が路面輝度より等価光幕輝度の方が大きいことが言える。これは、カウンタービーム照明器具の配光は、対称照明のように丸みのある配光と違い、車両の進行方向と逆方向に（60度）、対称照明と比較すると鋭角的な光軸の最大値を持つことにより、等価光幕輝度は増加する。一方、路面が濡れることにより鏡面性を持つことにより、拡散反射から正反射特性に変わることにより、路面輝度も増加するが、等価光幕輝度の増加割合ほどにならないためと考えられる。

表－３．３５　測定位置（車内／車外の違いによるＴＩ値

・測定日時：1995年10月30日　19:30～20:00
・測定条件：車内測定：乗用車、車外測定：遮光角約15°、測定高さ：1.5m
・設計速度：80km/h
・照明方式：カウンタービーム照明

測定位置（m）	路面輝度(cd/m²)		等価光幕輝度(cd/m²)		TI値(%)	
	車内測定	車外測定	車内測定	車外測定	車内測定	車外測定
0（60）	54	70	4.26	3.96	6.1	4.3
20(80)	67	77	4.61	4.34	5.3	4.3
40(100)	63	74	4.45	4.04	5.5	4.2
60(120)	47	57	3.88	3.76	6.5	5.1
80(140)	39	43	3.45	3.44	7.0	6.3
120(180)	27	27	2.52	2.28	7.5	6.8
160(220)	16	17	1.26	1.29	6.5	6.3
200(260)	11	11	0.75	0.82	5.7	6.3
250(310)	4(4.5)	3(4.5)	0.44	0.43	8.6	8.4
280(340)	1(4.5)	1(4.5)	0.27	0.22	5.3	4.3

注）・測定位置欄の（　）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。
　　・路面輝度欄の括弧なしの数値は、実測値を示し、（　）内の数値は設計基準値を示す。

表－３．３６　遮光角の違いによるTI値

・測定日時：1995年10月30日　19:30～20:00
・測定条件：車外測定、測定高さ：1.2m
・設計速度：80km/h
・照明方式：カウンタービーム照明

測定位置	遮光フード		路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	ＴＩ値 (%)
	角度（度）	先端形状			
20(80)	15	四角形	77	4.34	4.3
		丸形	77	4.42	4.4

注）・測定位置欄の（　）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。

表－３．３７ 遮光角の違いによるTI値

・測定日時：1995年10月30日　19:30～20:00
・測定条件：車外測定、測定高さ：1.5m
・設計速度：80km/h
・照明方式：カウンタービーム照明

測定位置	遮光フード		路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	TI値 (%)
	角度（度）	先端形状			
20(80)	10	四角形	77	4.01	4.0
		丸形	77	3.95	3.9
	15	四角形	77	4.46	4.4
		丸形	77	4.51	4.5
	20	四角形	77	5.40	5.4
		丸形	77	5.44	5.4
160(220)	10	四角形	1.0(4.5)	0.23	4.5
		丸形	1.0(4.5)	0.24	4.7
	15	四角形	1.0(4.5)	0.25	4.9
		丸形	1.0(4.5)	0.26	5.1
	20	四角形	1.0(4.5)	0.29	5.7
		丸形	1.0(4.5)	0.30	5.9

注）・測定位置欄の（　）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。
・路面輝度欄の括弧なしの数値は、実測値を示し、（　）内の数値は設計基準値を示す。

表－３．３８ 遮光角の違いによるTI値

・測定日時：1995年10月30日　19:30～20:00
・測定条件：車外測定、測定高さ：2.0m
・設計速度：80km/h
・照明方式：カウンタービーム照明

測定位置	遮光フード		路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	TI値 (%)
	角度（度）	先端形状			
20(80)	10	四角形	77	4.38	4.3
		丸形	77	4.41	4.4
	15	四角形	77	4.20	4.2
		丸形	77	4.81	4.8
	20	四角形	77	5.39	5.3
		丸形	77	5.41	5.4
160(220)	10	四角形	1.0(4.5)	0.24	4.7
		丸形	1.0(4.5)	0.25	4.9
	15	四角形	1.0(4.5)	0.26	5.1
		丸形	1.0(4.5)	0.27	5.3
	20	四角形	1.0(4.5)	0.29	5.7
		丸形	1.0(4.5)	0.30	5.9

注）・測定位置欄の（　）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。
・路面輝度欄の括弧なしの数値は、実測値を示し、（　）内の数値は設計基準値を示す。

表－３．３９ 遮光角の違いによるTI値

・測定日時：1995年11月 7日　17:00～18:00
・測定条件：車外測定、測定高さ：1.2m
・設計速度：80km/h
・照明方式：対称照明

測定位置	遮光フード		路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	TI値 (%)
	角度（度）	先端形状			
20(80)	10	四角形	89.5	4.2	4.0
		丸形	89.5	4.2	3.9
	15	四角形	89.5	4.3	4.4
		丸形	89.5	4.3	4.5
	20	四角形	89.5	4.5	5.4
		丸形	89.5	4.7	5.4
200(260)	10	四角形	10.5	8.0	4.5
		丸形	10.5	8.1	4.7
	15	四角形	10.5	8.4	4.9
		丸形	10.5	8.6	5.1
	20	四角形	10.5	8.7	5.7
		丸形	10.5	9.3	5.9

注）・測定位置欄の（　）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。
・路面輝度欄の括弧なしの数値は、実測値を示し、（　）内の数値は設計基準値を示す。

表－３．４０ 遮光角の違いによるTI値

・測定日時：1995年11月 7日　17:00～18:00
・測定条件：車外測定、測定高さ：1.5m
・設計速度：80km/h
・照明方式：対称照明

測定位置	遮光フード		路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	TI値 (%)
	角度（度）	先端形状			
20(80)	10	四角形	89.5	4.83	4.1
		丸形	89.5	4.90	4.2
	15	四角形	89.5	4.91	4.2
		丸形	89.5	5.05	4.3
	20	四角形	89.5	5.27	4.5
		丸形	89.5	5.37	4.6
160(220)	10	四角形	10.5	0.95	7.6
		丸形	10.5	0.96	7.7
	15	四角形	10.5	0.98	7.9
		丸形	10.5	1.06	8.5
	20	四角形	10.5	1.05	8.4
		丸形	10.5	1.10	8.8

注）・測定位置欄の（　）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。
・路面輝度欄の括弧なしの数値は、実測値を示し、（　）内の数値は設計基準値を示す。

表－３．４１ 遮光角の違いによるTI値

・測定日時：1995年11月 7日　17:00～18:00
・測定条件：車外測定、測定高さ：2.0m
・設計速度：80km/h
・照明方式：対称照明

測定位置	遮光フード		路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	TI値 (%)
	角度（度）	先端形状			
20(80)	10	四角形	89.5	4.30	3.6
		丸形	89.5	4.35	3.7
	15	四角形	89.5	4.55	3.8
		丸形	89.5	4.60	3.9
	20	四角形	89.5	4.75	4.0
		丸形	89.5	5.10	4.3
200(260)	10	四角形	10.5	0.70	5.6
		丸形	10.5	0.72	5.8
	15	四角形	10.5	0.77	6.2
		丸形	10.5	0.79	6.4
	20	四角形	10.5	0.82	6.6
		丸形	10.5	0.86	6.9

注）・測定位置欄の（ ）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。
・路面輝度欄の括弧なしの数値は、実測値を示し、（ ）内の数値は設計基準値を示す。

表－３．４２ 遮光角の違いによるTI値

・測定日時：1995年11月 7日　18:00～18:30
・測定条件：車外測定、測定高さ：1.2m
・設計速度：80km/h
・照明方式：対称照明

測定位置	遮光フード		路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	TI値 (%)
	角度（度）	先端形状			
20(80)	15	四角形	80.1	4.5	4.3
		丸形	－	－	－
160(220)	15	四角形	9.8	0.9	7.7
		丸形	--	－	－

注）・測定位置欄の（ ）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。
・路面輝度欄の括弧なしの数値は、実測値を示し、（ ）内の数値は設計基準値を示す。

表－３．４３ 遮光角の違いによるTI値

・測定日時：1995年11月 9日 10:50～11:30
・測定条件：車外測定、測定高さ：1.2m
・設計速度：60km/h
・照明方式：カウンタービーム照明

測定位置	遮光フード		路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	TI値 (%)
	角度（度）	先端形状			
20(80)	10	四角形	36.0	2.55	5.6
		丸形	36.0	2.57	5.7
	15	四角形	36.0	2.87	6.3
		丸形	36.0	2.90	6.4
	20	四角形	36.0	3.48	7.7
		丸形	36.0	3.50	7.7
160(220)	10	四角形	3.1	0.29	7.6
		丸形	3.1	0.30	7.9
	15	四角形	3.1	0.30	7.9
		丸形	3.1	0.32	8.4
	20	四角形	3.1	0.34	8.9
		丸形	3.1	0.35	9.2

注）・測定位置欄の（ ）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。
・路面輝度欄の括弧なしの数値は、実測値を示し、（ ）内の数値は設計基準値を示す。

表－３．４４ 遮光角の違いによるTI値

・測定日時：1995年11月 9日 10:50～11:30
・測定条件：車外測定、測定高さ：1.5m
・設計速度：60km/h
・照明方式：カウンタービーム照明

測定位置	遮光フード		路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	TI値 (%)
	角度（度）	先端形状			
20(80)	10	四角形	36.0	4.83	5.4
		丸形	36.0	4.90	5.5
	15	四角形	36.0	4.91	6.2
		丸形	36.0	5.05	6.4
	20	四角形	36.0	5.27	7.3
		丸形	36.0	5.37	7.3
160(220)	10	四角形	3.1	0.95	7.4
		丸形	3.1	0.96	7.6
	15	四角形	3.1	0.98	7.9
		丸形	3.1	1.06	8.2
	20	四角形	3.1	1.05	8.7
		丸形	3.1	8.9	8.8

注）・測定位置欄の（ ）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。
・路面輝度欄の括弧なしの数値は、実測値を示し、（ ）内の数値は設計基準値を示す。

表－３．４５ 遮光角の違いによるTI値

・測定日時：1995年11月 9日　10:50～11:30
・測定条件：車外測定、測定高さ：2.0m
・設計速度：60km/h
・照明方式：カウンタービーム照明

測定位置	遮光フード		路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	TI値 (%)
	角度（度）	先端形状			
20(80)	10	四角形	36.0	2.40	5.3
		丸形	36.0	2.39	5.3
	15	四角形	36.0	2.83	6.2
		丸形	36.0	2.90	6.4
	20	四角形	36.0	3.41	7.5
		丸形	36.0	3.50	7.7
160(220)	10	四角形	3.1	0.27	7.1
		丸形	3.1	0.28	7.4
	15	四角形	3.1	0.30	7.9
		丸形	3.1	0.31	8.2
	20	四角形	3.1	0.36	9.5
		丸形	3.1	0.38	10.0

注）・測定位置欄の（　）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。
・路面輝度欄の括弧なしの数値は、実測値を示し、（　）内の数値は設計基準値を示す。

表－３．４６ 遮光角の違いによるTI値

・測定日時：1995年11月13日　15:00～16:00
・測定条件：車外測定、測定高さ：1.2m
・設計速度：60km/h
・照明方式：対称照明

測定位置	遮光フード		路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	TI値 (%)
	角度（度）	先端形状			
20(80)	10	四角形	53.3	3.55	5.2
		丸形	53.3	3.58	5.2
	15	四角形	53.3	3.78	5.5
		丸形	53.3	3.85	5.6
	20	四角形	53.3	3.93	5.7
		丸形	53.3	4.06	5.9
160(220)	10	四角形	3.6	0.42	9.8
		丸形	3.6	0.44	10.3
	15	四角形	3.6	0.45	10.5
		丸形	3.6	0.46	10.7
	20	四角形	3.6	0.50	11.6
		丸形	3.6	0.53	12.4

注）・測定位置欄の（　）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。
・路面輝度欄の括弧なしの数値は、実測値を示し、（　）内の数値は設計基準値を示す。

表－３．４７ 遮光角の違いによるTI値

・測定日時：1995年11月13日　15:00～16:00
・測定条件：車外測定、測定高さ：1.5m
・設計速度：60km/h
・照明方式：対称照明

測定位置	遮光フード		路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	ＴＩ値 (%)
	角度（度）	先端形状			
20(80)	10	四角形	53.3	3.58	5.2
		丸形	53.3	3.62	5.3
	15	四角形	53.3	3.69	5.4
		丸形	53.3	3.76	5.5
	20	四角形	53.3	3.97	5.8
		丸形	53.3	4.09	6.0
160(220)	10	四角形	3.6	0.42	9.8
		丸形	3.6	0.44	10.3
	15	四角形	3.6	0.44	10.3
		丸形	3.6	0.46	10.7
	20	四角形	3.6	0.50	11.7
		丸形	3.6	0.53	12.4

注）・測定位置欄の（　）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。
・路面輝度欄の括弧なしの数値は、実測値を示し、（　）内の数値は設計基準値を示す。

表－３．４８ 遮光角の違いによるTI値

・測定日時：1995年11月13日　15:00～16:00
・測定条件：車外測定、測定高さ：2.0m
・設計速度：60km/h
・照明方式：対称照明

測定位置	遮光フード		路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	ＴＩ値 (%)
	角度（度）	先端形状			
20(80)	10	四角形	53.3	3.03	4.4
		丸形	53.3	3.07	4.5
	15	四角形	53.3	3.27	4.8
		丸形	53.3	3.36	4.9
	20	四角形	53.3	3.56	5.2
		丸形	53.3	3.65	5.3
160(220)	10	四角形	3.6	0.39	9.1
		丸形	3.6	0.40	9.3
	15	四角形	3.6	0.38	8.9
		丸形	3.6	0.41	9.6
	20	四角形	3.6	0.44	10.3
		丸形	3.6	0.48	11.2

注）・測定位置欄の（　）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。
・路面輝度欄の括弧なしの数値は、実測値を示し、（　）内の数値は設計基準値を示す。

表－３．４９ 遮光角の違いによるTI値

・測定日時：1995年11月21日　11:00～11:30
・測定条件：車外測定、測定高さ：1.2m
・設計速度：50km/h
・照明方式：カウンタービーム照明

測定位置	遮光フード		路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	TI値 (%)
	角度（度）	先端形状			
20(80)	10	四角形	21.1	1.77	6.8
		丸形	21.1	1.77	6.8
	15	四角形	21.1	2.00	7.7
		丸形	21.1	2.13	8.2
	20	四角形	21.1	2.35	9.1
		丸形	21.1	2.50	9.7
140(200)	10	四角形	2.7	0.25	7.3
		丸形	2.7	0.26	7.6
	15	四角形	2.7	0.26	7.6
		丸形	2.7	0.27	7.9
	20	四角形	2.7	0.31	9.1
		丸形	2.7	0.32	9.4

注）・測定位置欄の（　）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。
・路面輝度欄の括弧なしの数値は、実測値を示し、（　）内の数値は設計基準値を示す。

表－３．５０ 遮光角の違いによるTI値

・測定日時：1995年11月21日　11:00～11300
・測定条件：車外測定、測定高さ：1.5m
・設計速度：50km/h
・照明方式：対称照明

測定位置	遮光フード		路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	TI値 (%)
	角度（度）	先端形状			
20(80)	10	四角形	21.1	1.80	6.9
		丸形	21.1	1.90	7.3
	15	四角形	21.1	2.13	8.2
		丸形	21.1	2.15	8.3
	20	四角形	21.1	2.70	10.4
		丸形	21.1	2.57	9.9
140(200)	10	四角形	2.7	0.25	7.3
		丸形	2.7	0.25	7.3
	15	四角形	2.7	0.25	7.3
		丸形	2.7	0.28	8.2
	20	四角形	2.7	0.31	9.1
		丸形	2.7	0.33	9.7

注）・測定位置欄の（　）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。
・路面輝度欄の括弧なしの数値は、実測値を示し、（　）内の数値は設計基準値を示す。

表－３．５１ 遮光角の違いによるTI値

・測定日時：1995年11月21日　11:00～11:30
・測定条件：車外測定、測定高さ：2.0m
・設計速度：50km/h
・照明方式：カウンターピーム照明

測定位置	遮光フード		路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	TI値 (%)
	角度（度）	先端形状			
20(80)	10	四角形	21.1	1.73	6.7
		丸形	21.1	1.76	6.8
	15	四角形	21.1	2.03	7.8
		丸形	21.1	2.08	8.0
	20	四角形	21.1	2.62	10.1
		丸形	21.1	2.65	10.2
140(200)	10	四角形	2.7	0.22	6.5
		丸形	2.7	0.23	6.8
	15	四角形	2.7	0.24	7.0
		丸形	2.7	0.25	7.3
	20	四角形	2.7	0.44	12.9
		丸形	2.7	0.45	13.2

注）・測定位置欄の（　）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。
・路面輝度欄の括弧なしの数値は、実測値を示し、（　）内の数値は設計基準値を示す。

表－３．５２ 遮光角の違いによるTI値

・測定日時：1995年11月28日　13:00～13:30
・測定条件：車外測定、測定高さ：1.2m
・設計速度：50km/h
・照明方式：対称照明

測定位置	遮光フード		路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	TI値 (%)
	角度（度）	先端形状			
20(80)	10	四角形	34.0	3.09	7.2
		丸形	34.0	3.05	7.1
	15	四角形	34.0	3.22	7.5
		丸形	34.0	3.28	7.7
	20	四角形	34.0	3.39	7.9
		丸形	34.0	3.61	8.5
140(200)	10	四角形	2.3	0.38	12.7
		丸形	2.3	0.36	12.0
	15	四角形	2.3	0.40	13.4
		丸形	2.3	0.42	14.0
	20	四角形	2.3	0.45	15.0
		丸形	2.3	0.49	16.4

注）・測定位置欄の（　）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。
・路面輝度欄の括弧なしの数値は、実測値を示し、（　）内の数値は設計基準値を示す。

表－３．５３ 遮光角の違いによるTI値

・測定日時：1995年11月28日　13:30～14:00
・測定条件：車外測定、測定高さ：1.5m
・設計速度：50km/h
・照明方式：対称照明

測定位置	遮光フード		路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	TI値 (%)
	角度（度）	先端形状			
20(80)	10	四角形	34.0	3.08	7.2
		丸形	34.0	3.03	7.1
	15	四角形	34.0	3.14	7.4
		丸形	34.0	3.25	7.6
	20	四角形	34.0	3.43	8.0
		丸形	34.0	3.51	8.2
140(200)	10	四角形	2.3	0.34	11.4
		丸形	2.3	0.35	11.7
	15	四角形	2.3	0.37	12.4
		丸形	2.3	0.40	13.4
	20	四角形	2.3	0.42	13.7
		丸形	2.3	0.43	14.3

注）・測定位置欄の（　）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。
・路面輝度欄の括弧なしの数値は、実測値を示し、（　）内の数値は設計基準値を示す。

表－３．５４ 遮光角の違いによるTI値

・測定日時：1995年11月28日　14:00～14:30
・測定条件：車外測定、測定高さ：2.0m
・設計速度：50km/h
・照明方式：対称照明

測定位置	遮光フード		路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	TI値 (%)
	角度（度）	先端形状			
20(80)	10	四角形	34.0	2.75	6.4
		丸形	34.0	2.76	6.5
	15	四角形	34.0	2.90	6.8
		丸形	34.0	3.01	7.1
	20	四角形	34.0	3.04	7.1
		丸形	34.0	3.23	7.6
140(200)	10	四角形	2.3	0.34	11.4
		丸形	2.3	0.35	11.7
	15	四角形	2.3	0.36	12.0
		丸形	2.3	0.39	13.0
	20	四角形	2.3	0.41	13.7
		丸形	2.3	0.44	14.6

注）・測定位置欄の（　）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。
・路面輝度欄の括弧なしの数値は、実測値を示し、（　）内の数値は設計基準値を示す。

表－３．５５ 湿潤路面時のＴＩ値

・測定日時：1995年11月21日　14:50～15:30
・測定条件：車外測定、測定高さ：1.5m、遮光角約15°
・設計速度：50km/h
・照明方式：カウンタービーム照明

測定位置 (m)	路面状態	路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	ＴＩ値 (%)
20(80) 坑内方向を見た時	乾燥路面	22.0	2.2	8.1
	湿潤路面	44.7	7.5	13.2

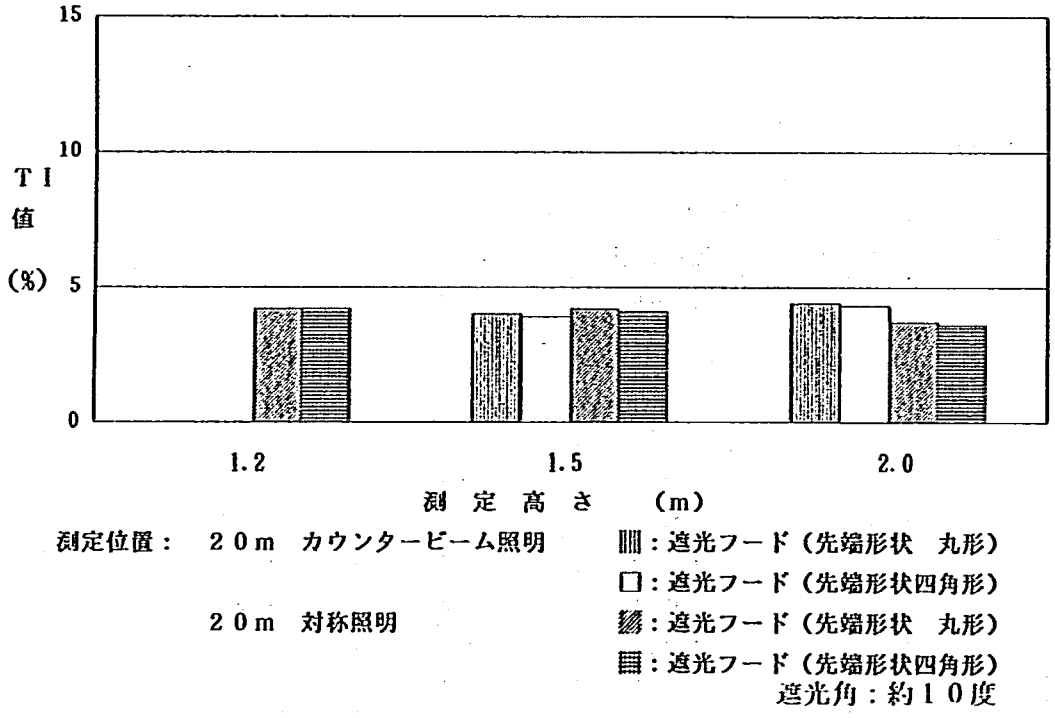
注）・測定位置欄の（　）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。

表－３．５６ 湿潤路面時のＴＩ値

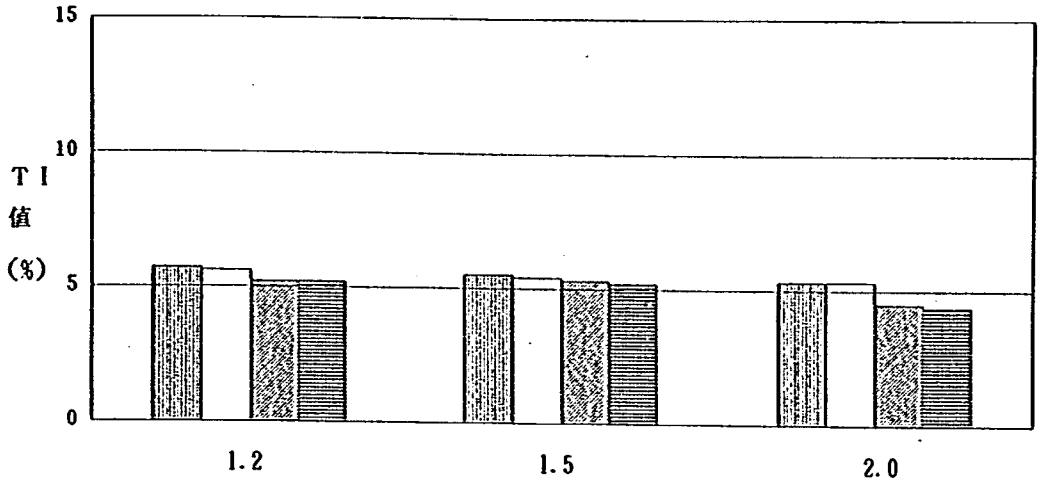
・測定日時：1995年11月28日　14:30～15:00
・測定条件：車外測定、測定高さ：1.5m、遮光角約15°
・設計速度：50km/h
・照明方式：カウンタービーム照明

測定位置 (m)	路面状態	路面輝度 (cd/m²)	等価光幕輝度 (cd/m²)	ＴＩ値 (%)
20(80) 坑内方向を見た時	乾燥路面	34.0	3.14	7.5
	湿潤路面	30.6	2.50	6.5

注）・測定位置欄の（　）内の数値は、路面輝度の測定対象の路面の位置を示す。

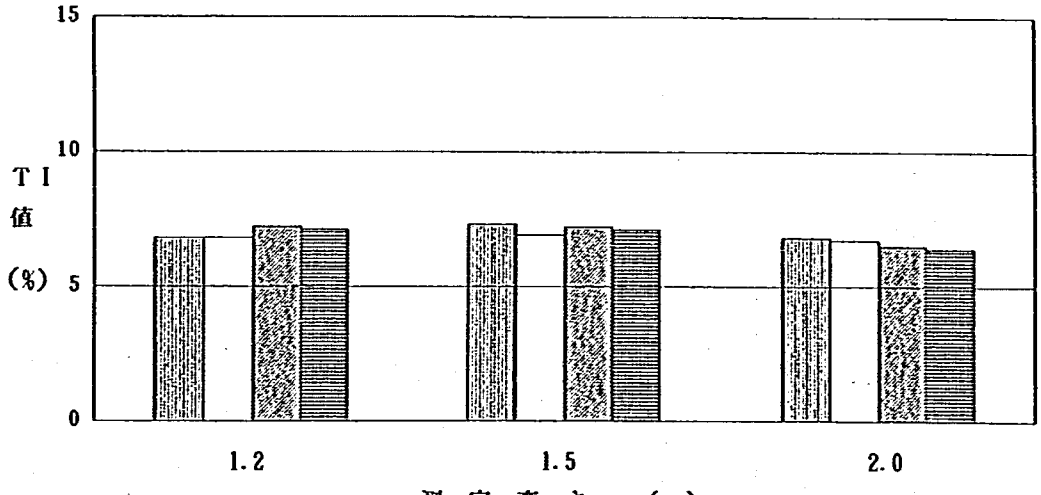


図－３．２０　測定高さ・遮光形状の違いによるＴＩ値の比較　（設計速度：８０Km/h）



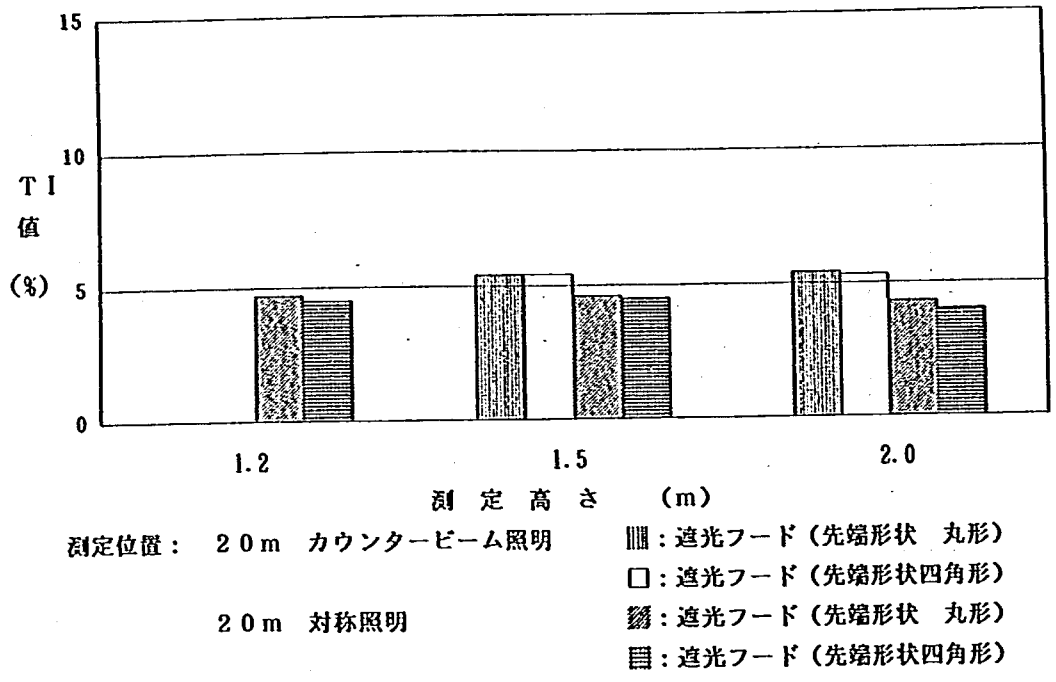
測定位置： ２０ｍ カウンタービーム照明　　▥：遮光フード（先端形状 丸形）
□：遮光フード（先端形状四角形）
２０ｍ 対称照明　　▨：遮光フード（先端形状 丸形）
▤：遮光フード（先端形状四角形）
遮光角：約１０度

図－３．２１ 測定高さ・遮光形状の違いによるＴＩ値の比較 （設計速度：６０Km/h）

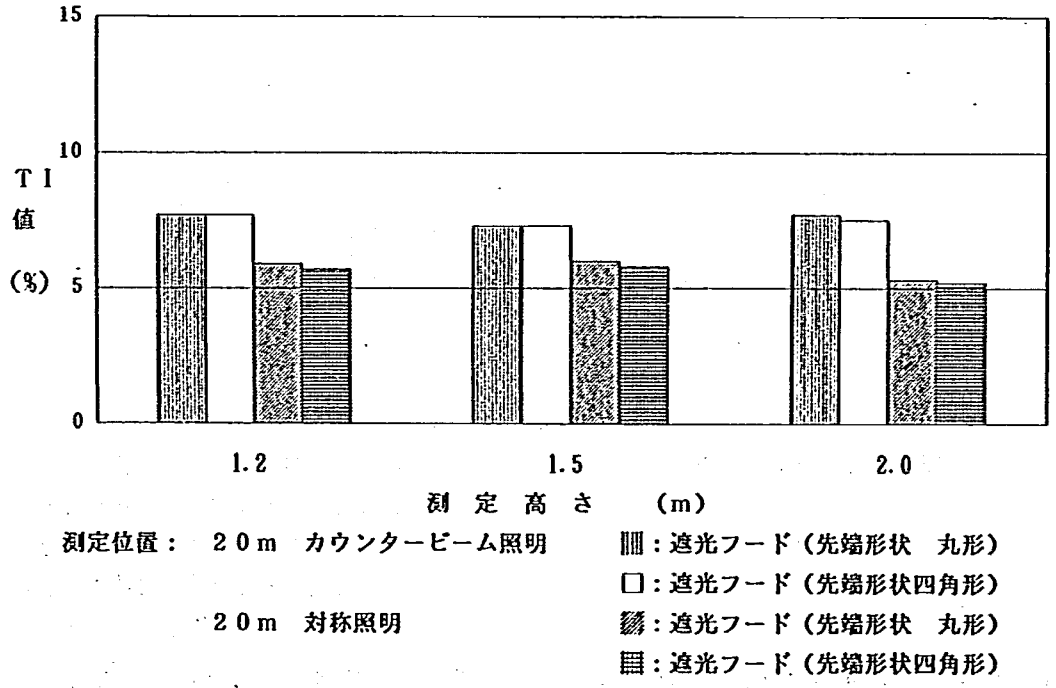


測定位置： ２０ｍ カウンタービーム照明　　▥：遮光フード（先端形状 丸形）
□：遮光フード（先端形状四角形）
２０ｍ 対称照明　　▨：遮光フード（先端形状 丸形）
▤：遮光フード（先端形状四角形）
遮光角：約１０度

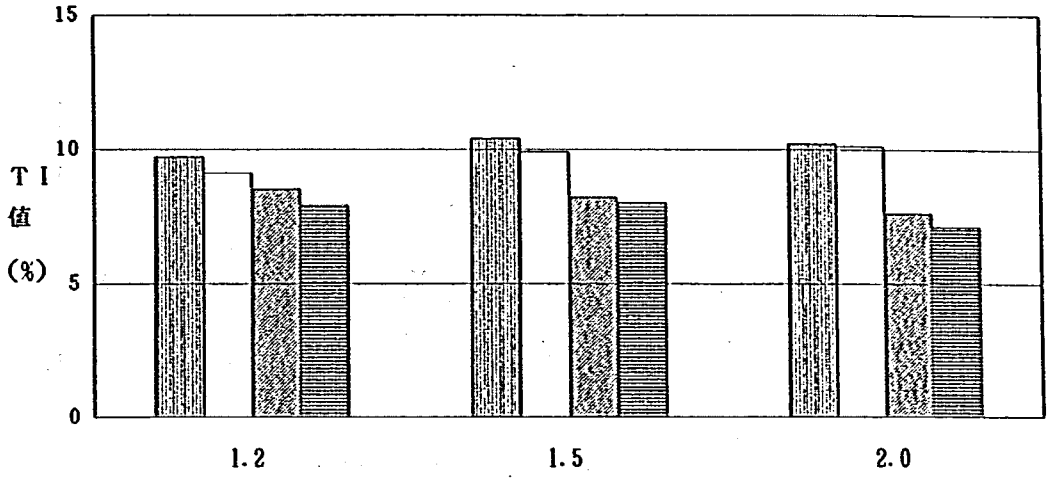
図－３．２２ 測定高さ・遮光形状の違いによるＴＩ値の比較 （設計速度：５０Km/h）



図－３．２３ 測定高さ・遮光形状の違いによるＴＩ値の比較



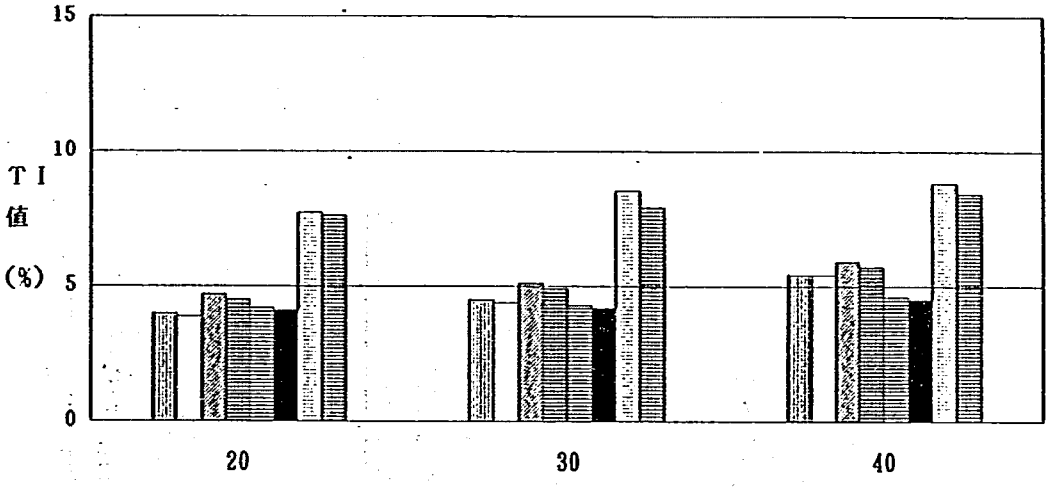
図－３．２４ 測定高さ・遮光形状の違いによるＴＩ値の比較



測定位置： ２０ｍ カウンタービーム照明
：遮光フード（先端形状 丸形）
：遮光フード（先端形状四角形）
２０ｍ 対称照明
：遮光フード（先端形状 丸形）
：遮光フード（先端形状四角形）

遮光角：約２０度
（設計速度：５０Km/h）

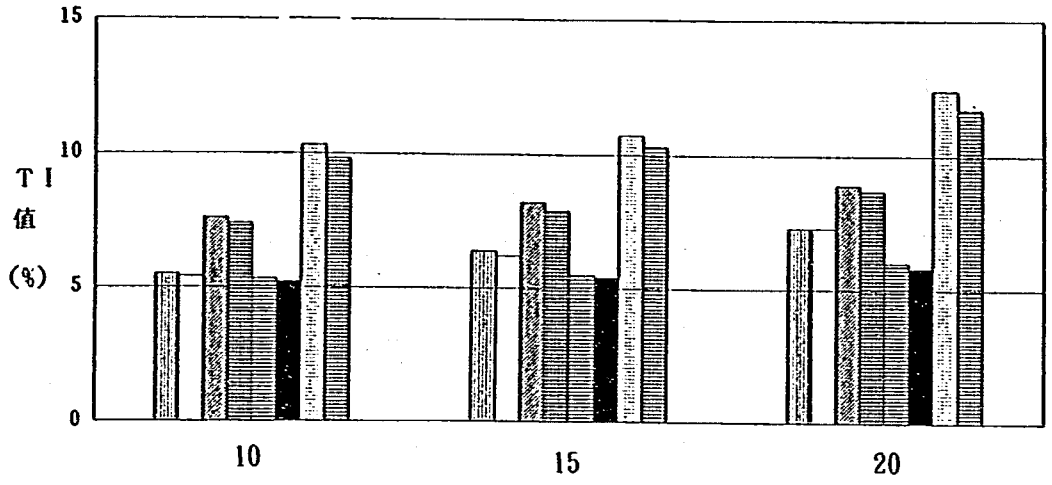
図－３．２５ 測定高さ・遮光形状の違いによるＴＩ値の比較



測定位置： ２０ｍ カウンタービーム照明
：遮光フード（先端形状 丸形）
：遮光フード（先端形状四角形）
１６０ｍ カウンタービーム照明
：遮光フード（先端形状 丸形）
：遮光フード（先端形状四角形）
２０ｍ 対称照明
：遮光フード（先端形状 丸形）
：遮光フード（先端形状四角形）
１６０ｍ 対称照明
：遮光フード（先端形状 丸形）
：遮光フード（先端形状四角形）

測定高さ：１．５ｍ

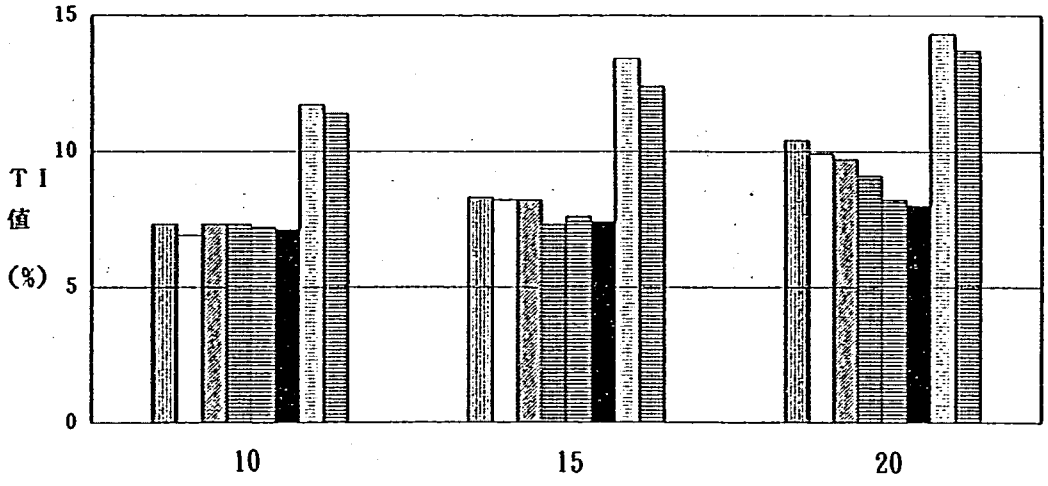
図－３．２６ 遮光角・形状の違いによるＴＩ値の比較 （設計速度：８０Km/h）



測定位置：　２０ｍ　カウンタービーム照明　　：遮光フード（先端形状　丸形）
：遮光フード（先端形状四角形）
１６０ｍ　カウンタービーム照明　　：遮光フード（先端形状　丸形）
：遮光フード（先端形状四角形）
２０ｍ　対称照明　　：遮光フード（先端形状　丸形）
：遮光フード（先端形状四角形）
１６０ｍ　対称照明　　：遮光フード（先端形状　丸形）
：遮光フード（先端形状四角形）

測定高さ：１．５ｍ

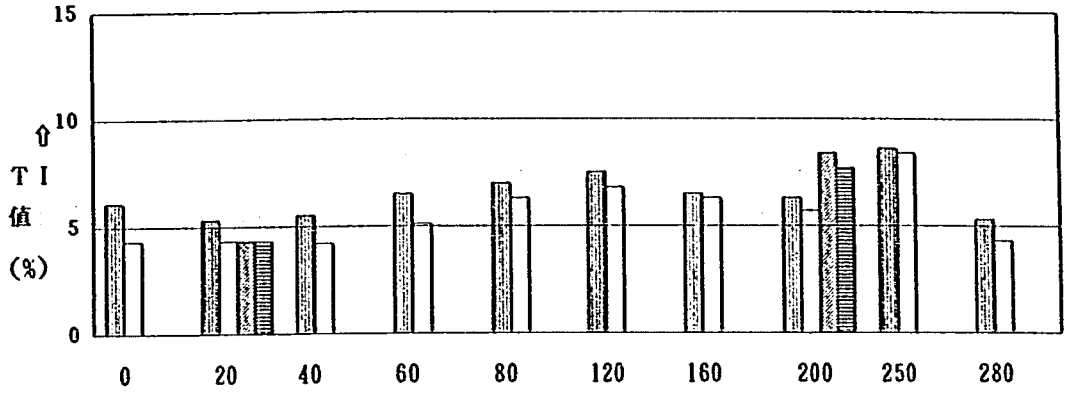
図－３．２７　遮光角・形状の違いによるＴＩ値の比較　（設計速度：６０Km/h）



測定位置：　２０ｍ　カウンタービーム照明　　：遮光フード（先端形状　丸形）
：遮光フード（先端形状四角形）
１４０ｍ　カウンタービーム照明　　：遮光フード（先端形状　丸形）
：遮光フード（先端形状四角形）
２０ｍ　対称照明　　：遮光フード（先端形状　丸形）
：遮光フード（先端形状四角形）
１４０ｍ　対称照明　　：遮光フード（先端形状　丸形）
：遮光フード（先端形状四角形）

測定高さ：１．５ｍ

図－３．２８　遮光角・形状の違いによるＴＩ値の比較　（設計速度：５０Km/h）



カウンタービーム照明　▥：車内測定　□：車外測定（路面輝度・等価光幕輝度）
遮光角：３０度、測定高さ：H＝１．５m

対称照明　▨：車内測定　▤：車外測定（路面輝度・等価光幕輝度）
遮光角：３０度、測定高さ：H＝１．２m

遮光角：約１５度、路面高さ：１．２m

図－３．２９　測定方法（車内測定／車外測定の違いによるTI値の比較（設計速度：８０Km/h）

３．２．５　まとめ

（１）測定高さの変化に対するＴＩ値への影響の程度は、各設計速度において、カウンタービーム、対称照明とも僅かである。

（２）遮光角度の変化に対するＴＩ値への影響の程度は、各設計速度において、カウンタービーム、対称照明とも、遮光角度が大きくなるほど増加する。

（３）遮光フードの先端形状の変化に対するＴＩ値への影響の程度は、遮光フードの先端形状が四角形より、丸形遮光フードのＴＩ値の方が約５ポイントほど高くなる。

（４）測定方法（車内／車外測定）の違いによるＴＩ値への影響の程度は、本実験結果の範囲内においては僅かであった。

3．3　輝度対比

3．3．1　人工照明下での輝度対比

（1）目的

本実験は、トンネル入口部照明において、設計速度に対応しカウンタービーム照明の照明レベルを対称照明より低減し、障害物、背景路面の輝度および障害物の鉛直面照度を測定し、照明方式による輝度対比の相違を知ることを目的に行った。

（2）測定方法

1）測定場所

測定場所および舗装は次に示す。

（イ）場所　　建設省土木研究所　実大トンネル実験施設

（ロ）トンネル坑口の方位　　南坑口

（ハ）舗装の種類　　コンクリート舗装（粗面仕上げ）

2）測定項目

人工照明のみで照明した場合に生ずる障害物の位置と背景路面との輝度対比を知るため、各照明方式ごとに次の測定を行う。

（イ）進行方向から見た障害物の輝度

（ロ）障害物の輝度測定と同様な方向から見た障害物の背景路面の輝度

（ハ）障害物の鉛直面照度の測定

3）照明方式

（イ）カウンタービーム照明　（車線中央：照明器具を車線中央に配置した場合）

（ロ）対称照明

4）測定方法

各照明方式とも外部からの自然光の影響を受けないようにした後、人工照明のみを点灯した状態にし、実験車両の走行する車線の右側車線路上に提示した障害物の輝度、背景路面の輝度および障害物の鉛直面照度を測定する。

背景路面の輝度測定は、視角1/3度の輝度計を使用し、障害物の提示位置から距離10m離れた点より道路照明に於ける路面輝度の測定の場合と同様、俯角約1度を維持し障害物の周辺4か所の輝度を測定した。

障害物の提示位置は、実験車両の走行する車線の右側車線中央、測定間隔は20mを基本とし、設計速度および照明方式別に、次に示す範囲内とした。

（イ）設計速度50Km/h：　カウンタービーム照明ではトンネルの坑口から200m
　　対称照明ではトンネルの坑口から200m

（ロ）設計速度60Km/h：　カウンタービーム照明ではトンネルの坑口から250m
　　対称照明ではトンネルの坑口から280m

（ハ）設計速度80Km/h：　カウンタービーム照明ではトンネルの坑口から340m
　　対称照明ではトンネルの坑口から300m

背景路面輝度の測定点、障害物との位置関係および道路横断方向の位置は、図－３．３０～図－３．３３に示す。また、障害物の反射率は30%(N6)とする。

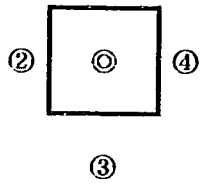
障害物輝度、背景路面の輝度および障害物の鉛直面照度の測定状況を、写真－３．３～写真－３．４に示す。なお、通常、輝度対比Ｃｏは絶対値で表されるが、本報告書では、障害物の見えている状態も示すため式３．４により測定結果を処理することとした。この場合、「負」の輝度対比は逆シルエットの状態で障害物が見えていることを意味し、「正」の輝度対比はシルエットの状態で障害物が見えていることを意味している。本文中では、見え方の状態をシルエットおよび逆シルエットとする。

$$C_o = (L_b - L_o) / L_b \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3.4)$$

ここで　C_o ：　輝度対比

L_b ：　背景の輝度　(cd/m^2)

L_o ：　障害物の輝度 (cd/m^2)



□ 障害物

◎ 輝度／照度

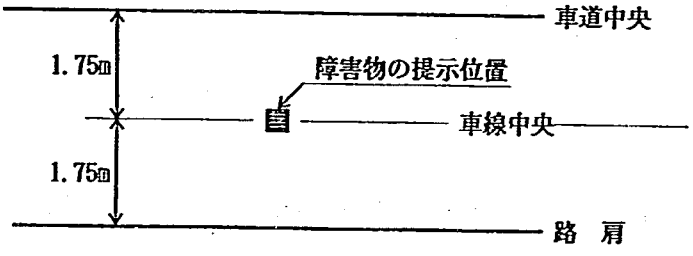
○ 輝度

注）

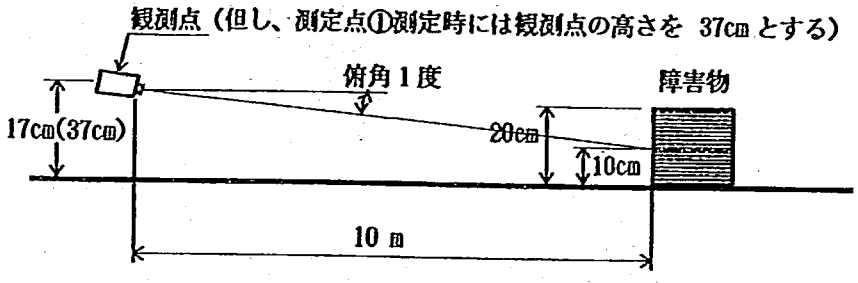
1．背景路面輝度は、障害物の周囲４か所の平均値とする。

2．ﾚｰﾝﾏｰｸおよび壁面が輝度の測定視野に入らないこと。

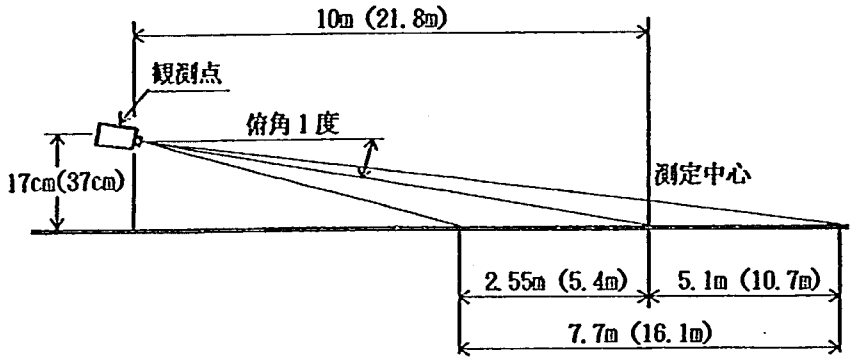
図－３．３０　障害物および背景輝度の測定



図－３．３１　道路横断方向の障害物提示位置

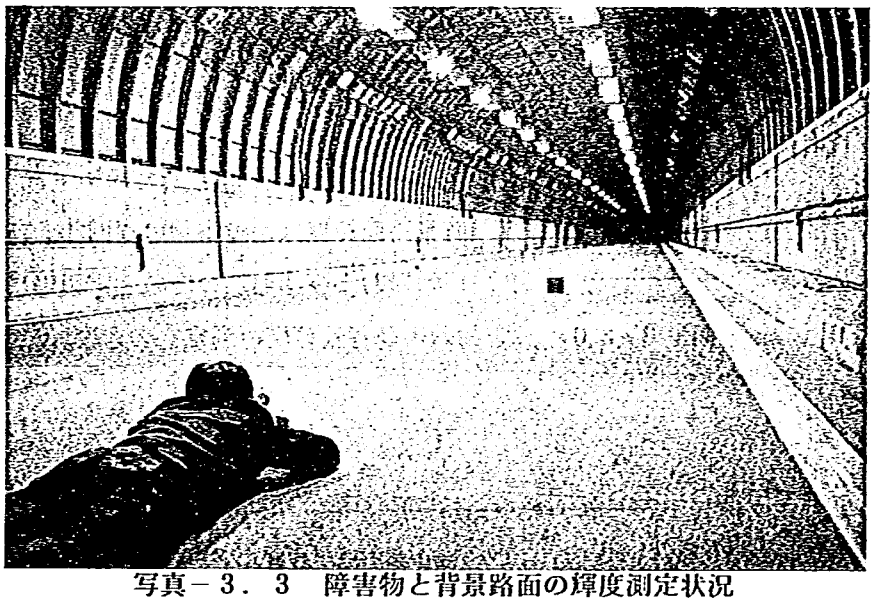


図－３．３２　観測位置と障害物との関係

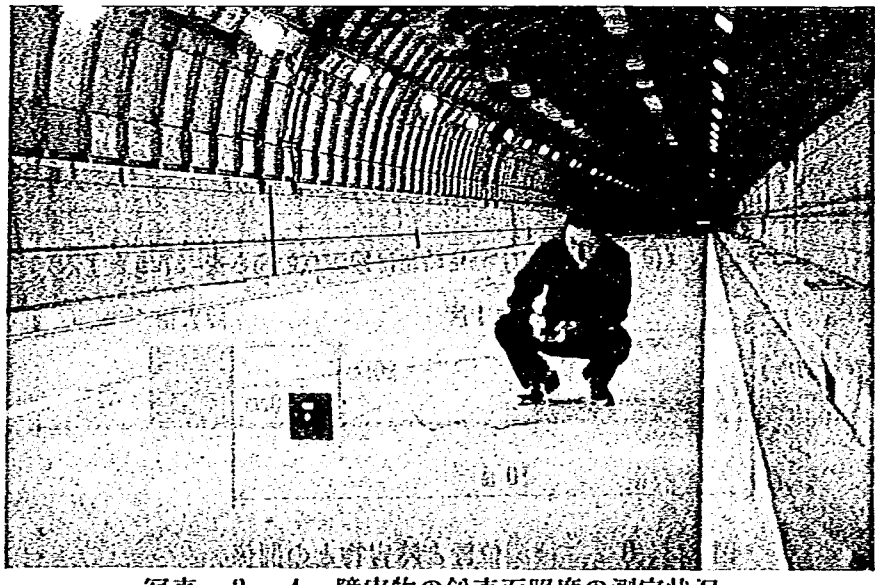


( ) 内の値は、測定高さ 37cm の場合を示す。

図－３．３３　輝度計の測定範囲



写真－３．３　障害物と背景路面の輝度測定状況



写真－３．４　障害物の鉛直面照度の測定状況

5）測定器

測定には、次の測定器を使用した。

(1) 輝度測定　・・・輝度計（ミノルタ LS-110　視角 1/3度）

(2) 鉛直面照度・・・照度計（トプコン IM-3 ）

（3）測定結果

人工照明下における各照明方式別の測定結果を設計速度別に表－３．５７～表－３．７５に示す。鉛直面照度の分布を図－３．３４～図－３．３６に示す。また、本測定結果をもとに、各設計速度別に、トンネル坑口からの距離と輝度対比Ｃ。との変化を求めた結果を表－３．７６～表－３．７８に示す。なお、輝度対比Ｃ。は、測定結果をもとに式３．４より算出した。トンネル坑口からの距離と輝度対比の変化を示したものを、図－３．３７～図－３．３９に示す。

表－３．５７　障害物と背景路面の輝度・障害物の鉛直面照度値

・測定日時：　１９９５年　１０月３０日　１９時００分　～１９時３０分
・測 定 条 件：　人工照明のみ
・照 明 方 式：　カウンタービーム照明
・設 計 速 度：　８０　（ Km/h ）

坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の鉛直面照度（ Lx ）	障害物の輝度（cd/m²）	背景の輝度　（cd/m² ）				
				①	②	③	④	平均
0	車線中央	25	1.2	84.5	64.3	7.6	53.7	52.5
２０	車線中央	190	17.8	90.7	87.6	85.1	81.8	86.3
４０	車線中央	200	19.1	74.4	81.0	78.8	79.4	78.4
６０	車線中央	143	13.8	82.3	77.7	65.8	67.7	73.4
８０	車線中央	166	15.5	84.2	82.2	75.7	72.8	78.7
１２０	車線中央	133	12.7	49.0	54.7	58.7	50.3	53.2
１６０	車線中央	110	9.7	32.1	32.5	36.9	31.9	33.4
２００	車線中央	69	5.9	18.8	24.4	29.3	23.6	24.0
２５０	車線中央	49	4.1	10.2	10.2	10.9	9.3	10.2
２８０	車線中央	44	3.6	4.8	6.0	7.9	6.8	6.4
３００	車線中央	42	3.4	3.8	4.0	5.0	4.7	4.4
３４０	車線中央	5.7	0.5	1.2	1.0	0.8	0.8	0.9

表－３．５８　障害物と背景路面の輝度／障害物の鉛直面照度値

・測定日時：　１９９５年１０月３０日　２０時００分　～　２０時１５分
・測定条件：　人工照明のみ
・測定範囲：　坑口より２５ｍ　～　３５ｍ
・照明方式：　カウンタービーム照明
・設計速度：　８０　（Km/h）

坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の鉛直面照度（Lx）	障害物の輝度（cd/㎡）	背景の輝度　（cd/㎡）				
				①	②	③	④	平均
25.0	車線中央	169	15.1	90.0	82.0	72.2	67.6	78.0
27.5	車線中央	174	16.5	92.7	82.7	78.0	71.2	81.2
30.0	車線中央	195	19.2	86.1	92.7	79.2	81.9	85.0
32.5	車線中央	190	16.7	85.3	83.1	77.7	74.8	80.2
35.0	車線中央	181	16.3	79.6	80.0	72.4	75.4	76.9

表－３．５９　障害物と背景路面の輝度／障害物の鉛直面照度値

・測定日時：　１９９５年１０月３０日　１９時４５分　～２０時００分
・測定条件：　人工照明のみ
・測定範囲：　坑口より１６５ｍ　～　１７５ｍ
・照明方式：　カウンタービーム照明
・設計速度：　８０　（Km/h）

坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の鉛直面照度（Lx）	障害物の輝度（cd/㎡）	背景の輝度　（cd/㎡）				
				①	②	③	④	平均
165.0	車線中央	75	7.0	28.4	29.0	26.1	26.7	27.6
168.5	車線中央	100	8.0	27.4	28.5	34.0	28.5	29.6
170.0	車線中央	78	7.0	28.4	23.8	29.1	24.2	26.4
172.5	車線中央	75	6.9	29.0	27.7	22.2	25.9	26.2
175.0	車線中央	65	6.2	28.7	31.7	30.0	29.6	30.0

表－３．６０　障害物と背景路面の輝度／障害物の鉛直面照度値

・測定日時：　１９９５年１０月３０日　１９時３０分　～１９時４５分
・測定条件：　人工照明のみ
・測定範囲：　坑口より２８５ｍ　～　２９５ｍ
・照明方式：　カウンタービーム照明
・設計速度：　８０　（Km/h）

坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の鉛直面照度（Lx）	障害物の輝度（cd/㎡）	背景の輝度　（cd/㎡）				
				①	②	③	④	平均
285.0	車線中央	31	2.3	4.2	5.0	5.0	5.2	4.8
287.5	車線中央	45	3.5	4.2	4.7	5.3	5.0	4.8
290.0	車線中央	43	3.5	4.3	5.0	6.5	5.8	5.4
292.5	車線中央	26	2.3	4.0	4.2	3.8	4.4	4.1
295.0	車線中央	23	2.0	3.7	5.3	5.0	5.4	4.8

表－３．６１　障害物と背景路面の輝度／障害物の鉛直面照度値

・測定日時：　１９９５年１１月　７日　１６時１０分　～１７時００分
・測 定 条 件：　人工照明のみ
・照 明 方 式：　対 称 照 明
・設 計 速 度：　８０　（Km/h）

坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の鉛直面照度（Lx）	障害物の輝度（cd/㎡）	背景の輝度　（cd/㎡）				
				①	②	③	④	平均
0	車線中央	2.6	0.8	35.4	74.7	0.65	86.4	49.3
２０	車線中央	683	53.1	59.3	76.9	54.6	79.7	67.6
４０	車線中央	757	58.5	78.8	86.9	91.4	94.9	88.0
６０	車線中央	720	58.1	99.6	69.7	53.4	88.6	77.8
８０	車線中央	822	67.9	78.6	75.2	98.7	75.2	81.9
１２０	車線中央	533	42.4	56.8	50.4	56.8	50.6	53.6
１６０	車線中央	325	26.7	29.3	32.4	39.2	29.0	32.4
２００	車線中央	165	14.3	14.1	19.1	17.8	21.2	18.1
２５０	車線中央	76	6.5	7.3	9.3	8.4	7.5	8.1
２８０	車線中央	72	5.9	6.6	7.6	9.6	5.5	7.3
３００	車線中央	44	3.9	3.3	3.7	3.1	3.4	3.4

表－３．６２　障害物と背景路面の輝度／障害物の鉛直面照度値

・測 定 日 時：　１９９５年　１１月　９日　１３時００分　～１４時００分
・測 定 条 件：　人工照明のみ
・照 明 方 式：　カウンタービーム照明
・設 計 速 度：　６０　（Km/h）

坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の鉛直面照度（Lx）	障害物の輝度（cd/㎡）	背景の輝度　（cd/㎡）				
				①	②	③	④	平均
0	車線中央	2.9	0.6	65.0	44.0	4.1	35.0	37.0
２０	車線中央	111.9	10.9	60.7	68.3	52.2	57.3	59.6
４０	車線中央	141.0	11.8	52.9	58.4	55.8	52.6	54.9
６０	車線中央	129.0	10.8	36.5	44.9	47.8	43.5	43.1
８０	車線中央	87.1	7.6	29.7	33.3	29.6	32.9	31.4
１２０	車線中央	51.7	4.4	12.3	18.9	22.3	19.4	18.2
１６０	車線中央	32.9	2.7	6.6	8.4	8.5	8.1	7.9
２００	車線中央	24.8	2.0	3.0	6.4	5.2	6.5	5.3
２５０	車線中央	21.8	1.8	2.6	3.4	2.8	2.8	2.9

表－３．６３　障害物と背景路面の輝度／障害物の鉛直面照度値

・測定日時：　１９９５年１１月　９日　１７時００分　～　１７時１５分
・測定条件：　人工照明のみ
・測定範囲：　坑口より２５ｍ　～　３５ｍ
・照明方式：　カウンタービーム照明
・設計速度：　６０　（Km/h）

坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の鉛直面照度（Lx）	障害物の輝度（cd/m²）	背景の輝度　（cd/m²）				
				①	②	③	④	平均
25.0	車線中央	126.7	11.0	53.8	60.3	59.2	52.8	56.5
27.5	車線中央	148.4	12.6	50.3	61.8	60.2	55.3	56.9
30.0	車線中央	120.8	10.2	55.8	65.3	58.3	59.2	59.6
32.5	車線中央	139.2	11.5	57.0	65.7	56.0	60.5	59.8
35.0	車線中央	102.7	9.1	60.1	71.3	64.2	60.5	64.0

表－３．６４　障害物と背景路面の輝度／障害物の鉛直面照度値

・測定日時：　１９９５年１１月　９日　１６時４５分　～１７時００分
・測定条件：　人工照明のみ
・測定範囲：　坑口より１６５ｍ　～　１７５ｍ
・照明方式：　カウンタービーム照明
・設計速度：　６０　（Km/h）

坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の鉛直面照度（Lx）	障害物の輝度（cd/m²）	背景の輝度　（cd/m²）				
				①	②	③	④	平均
165	車線中央	22.5	1.8	5.1	6.3	5.0	5.4	5.4
168.5	車線中央	27.6	2.3	5.2	5.1	4.6	5.5	5.1
170.0	車線中央	33.2	2.7	5.3	4.7	8.1	4.5	5.6
172.5	車線中央	41.3	3.3	6.9	6.0	8.3	5.2	6.6
175.0	車線中央	27.5	2.3	6.9	6.4	8.2	5.7	6.8

表－３．６５　障害物と背景路面の輝度／障害物の鉛直面照度値

・測定日時：　１９９５年１１月　９日　１６時３０分　～１６時４５分
・測定条件：　人工照明のみ
・測定範囲：　坑口より２２５ｍ　～　２３５ｍ
・照明方式：　カウンタービーム照明
・設計速度：　６０　（Km/h）

坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の鉛直面照度（Lx）	障害物の輝度（cd/m²）	背景の輝度　（cd/m²）				
				①	②	③	④	平均
225.0	車線中央	15.5	1.2	2.9	3.0	2.7	2.6	2.7
227.5	車線中央	23.4	1.8	3.1	3.0	3.2	2.7	3.0
230.0	車線中央	23.4	1.9	3.0	3.1	2.9	2.7	2.9
232.5	車線中央	18.2	1.6	2.8	2.9	2.7	3.0	2.8
235.0	車線中央	15.4	1.3	2.9	3.0	2.7	2.8	2.8

表－３．６６　障害物と背景路面の輝度／障害物の鉛直面照度値

・測定日時：　１９９５年　１１月１３日　１７時００分　～１７時３０分
・測定条件：　人工照明のみ
・照明方式：　対称照明
・設計速度：　６０　（Km/h）

坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の鉛直面照度（L_x）	障害物の輝度（cd/m²）	背景の輝度　（cd/m²）				
				①	②	③	④	平均
0	車線中央	1.8	0.6	66.7	35.4	1.9	37.6	35.4
２０	車線中央	464.0	37.5	68.2	67.2	74.1	69.4	69.7
４０	車線中央	485.0	37.9	67.7	74.1	62.1	71.2	68.8
６０	車線中央	493.0	37.5	62.3	57.7	75.0	62.0	64.2
８０	車線中央	473.0	35.0	48.9	52.5	64.2	58.2	55.9
１２０	車線中央	205.0	15.5	21.1	23.0	27.7	23.5	23.8
１６０	車線中央	81.5	6.9	8.0	9.1	12.2	8.9	9.5
２００	車線中央	41.6	3.5	5.1	5.6	6.1	5.4	5.5
２５０	車線中央	20.7	1.7	2.7	3.4	3.1	3.2	3.1
２８０	車線中央	19.6	1.6	2.0	2.5	2.8	2.6	2.5

表－３．６７　障害物と背景路面の輝度／障害物の鉛直面照度値

・測 定 日 時：　１９９５年１１月１３日　１７時００分　～　１７時１５分
・測 定 条 件：　人工照明のみ
・測 定 範 囲：　坑口より２５ｍ　～　３５ｍ
・照 明 方 式：　対称照明
・設 計 速 度：　６０　（Km/h）

坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の鉛直面照度（Lx）	障害物の輝度（cd/m²）	背景の輝度　（cd/m²）				
				①	②	③	④	平均
25.0	車線中央	464.0	37.3	72.2	67.8	71.6	68.9	70.1
27.5	車線中央	475.0	38.4	71.0	63.5	67.3	68.1	67.5
30.0	車線中央	492.0	38.3	72.3	63.4	69.5	67.1	68.1
32.5	車線中央	500.0	40.1	74.2	64.2	72.4	68.7	69.8
35.0	車線中央	511.0	39.7	72.7	68.5	70.5	69.5	70.3

表－３．６８　障害物と背景路面の輝度／障害物の鉛直面照度値

・測 定 日 時：　１９９５年１１月１３日　１６時４５分　～１７時００分
・測 定 条 件：　人工照明のみ
・測 定 範 囲：　坑口より１６５ｍ　～　１７５ｍ
・照 明 方 式：　対称照明
・設 計 速 度：　６０　（Km/h）

坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の鉛直面照度（Lx）	障害物の輝度（cd/m²）	背景の輝度　（cd/m²）				
				①	②	③	④	平均
165.0	車線中央	62.6	5.2	7.5	8.4	9.2	8.1	8.3
168.5	車線中央	65.0	5.4	7.5	8.4	9.5	8.5	8.4
170.0	車線中央	62.3	5.1	6.3	8.7	8.8	8.5	8.1
172.5	車線中央	58.5	4.8	6.2	7.9	8.4	7.5	7.5
175.0	車線中央	63.0	5.2	6.0	7.9	9.1	7.9	7.7

表－３．６９　障害物と背景路面の輝度／障害物の鉛直面照度値

・測 定 日 時：　１９９５年１１月１３日　１６時３０分　～１６時４５分
・測 定 条 件：　人工照明のみ
・測 定 範 囲：　坑口より２２５ｍ　～　２３５ｍ
・照 明 方 式：　対称照明
・設 計 速 度：　６０　（Km/h）

坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の鉛直面照度（Lx）	障害物の輝度（cd/m²）	背景の輝度　（cd/m²）				
				①	②	③	④	平均
225.0	車線中央	16.3	1.3	3.0	2.7	3.3	2.7	2.9
227.5	車線中央	23.0	1.9	3.1	3.0	3.3	2.9	3.0
230.0	車線中央	22.9	1.9	2.9	3.0	3.0	2.9	2.9
232.5	車線中央	18.0	1.5	2.9	3.0	2.8	2.7	2.8
235.0	車線中央	15.6	1.2	2.8	2.9	3.0	2.8	2.8

表－３．７０　障害物と背景路面の輝度／障害物の鉛直面照度値

・測定日時：　１９９５年　１１月２１日　１３時１０分　～１４時００分
・測定条件：　人工照明のみ
・照明方式：　カウンタービーム照明
・設計速度：　５０　（Km/h）

坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の鉛直面照度（Lx）	障害物の輝度（cd/m²）	背景の輝度　（cd/m²）				
				①	②	③	④	平均
0	車線中央	1.6	0.5	42.6	32.0	1.7	31.2	26.9
２０	車線中央	99.3	8.3	44.1	49.0	43.8	41.2	44.5
４０	車線中央	92.7	7.8	27.8	35.4	42.7	37.5	35.9
６０	車線中央	63.8	5.4	22.7	29.6	30.2	27.6	27.5
８０	車線中央	48.5	4.1	13.4	17.9	22.8	22.4	19.1
１２０	車線中央	28.8	2.4	5.5	6.4	8.4	6.7	6.8
１６０	車線中央	18.6	1.6	3.1	5.1	3.9	5.0	4.3
２００	車線中央	18.1	1.4	2.1	2.4	2.5	2.3	2.3

表－３．７１　障害物と背景路面の輝度／障害物の鉛直面照度値

・測定日時：　１９９５年１１月２１日　１４時００分　～１４時２０分
・測定条件：　人工照明のみ
・測定範囲：　坑口より２５ｍ　～　３５ｍ
・照明方式：　カウンタービーム照明
・設計速度：　５０　（Km/h）

坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の鉛直面照度（Lx）	障害物の輝度（cd/m²）	背景の輝度　（cd/m²）				
				①	②	③	④	平均
25.0	車線中央	93.5	8.2	39.5	50.1	51.9	42.2	45.9
27.5	車線中央	102.2	8.7	35.7	48.5	37.4	43.8	41.3
30.0	車線中央	85.9	7.6	31.4	48.2	43.9	44.7	42.1
32.5	車線中央	103.7	8.6	29.6	42.7	41.9	41.8	39.0
35.0	車線中央	92.7	8.4	30.2	40.2	40.8	38.1	37.3

表－３．７２　障害物と背景路面の輝度／障害物の鉛直面照度値

・測定日時：　１９９５年１１月２１日　１４時２０分　～１４時４０分
・測定条件：　人工照明のみ
・測定範囲：　坑口より１６５ｍ　～　１７５ｍ
・照明方式：　カウンタービーム照明
・設計速度：　５０　（Km/h）

坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の鉛直面照度（Lx）	障害物の輝度（cd/m²）	背景の輝度　（cd/m²）				
				①	②	③	④	平均
165.0	車線中央	22.5	1.7	2.8	4.4	5.1	4.9	4.3
167.5	車線中央	24.6	1.9	2.9	2.7	5.1	2.9	3.4
170.0	車線中央	24.7	2.0	2.7	2.9	5.6	2.6	3.5
172.5	車線中央	18.6	1.6	2.4	2.7	2.8	2.6	2.6
175.0	車線中央	18.5	1.4	2.4	3.0	2.8	3.5	2.9

表－３．７３　障害物と背景路面の輝度／障害物の鉛直面照度値

・測定日時：　１９９５年　１１月２８日　　９時３０分　～　１０時３０分
・測定条件：　人工照明のみ
・照明方式：　対称照明
・設計速度：　５０　（Km/h）

坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の鉛直面照度（Lx）	障害物の輝度（cd/m²）	背景の輝度　（cd/m²）				
				①	②	③	④	平均
0	車線中央	1.3	0.4	44.0	1.9	1.0	1.3	12.1
２０	車線中央	431.0	30.3	51.3	49.5	49.2	52.4	50.6
４０	車線中央	462.0	33.0	43.6	46.5	44.8	48.1	45.8
６０	車線中央	335.0	24.2	34.6	40.0	41.4	39.1	38.8
８０	車線中央	352.0	23.6	17.8	37.6	37.7	37.5	32.7
１２０	車線中央	84.2	6.2	6.3	9.2	8.9	9.0	8.4
１６０	車線中央	59.1	4.3	3.6	6.0	6.2	5.8	5.4
２００	車線中央	17.6	1.4	2.0	2.2	1.9	2.1	2.1

表－３．７４　障害物と背景路面の輝度／障害物の鉛直面照度値

・測定日時：　１９９５年１１月２８日　１０時３０分　～　１１時００分
・測定条件：　人工照明のみ
・測定範囲：　坑口より２５ｍ　～　３５ｍ
・照明方式：　対称照明
・設計速度：　５０　（Km/h）

坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の鉛直面照度（Lx）	障害物の輝度（cd/m²）	背景の輝度　（cd/m²）				
				①	②	③	④	平均
25	車線中央	437	30.5	44.4	50.4	49.5	50.1	48.6
27.5	車線中央	432	30.6	44.0	50.1	44.2	50.9	47.3
30.0	車線中央	422	29.4	43.0	51.9	45.5	50.4	47.7
32.5	車線中央	467	31.6	42.8	53.3	50.0	52.4	49.6
35.0	車線中央	495	33.3	43.6	52.6	48.2	51.6	49.0

表－３．７５　障害物と背景路面の輝度／障害物の鉛直面照度値

・測定日時：　１９９５年１１月２８日　１０時３０分　～　１１時００分
・測定条件：　人工照明のみ
・測定範囲：　坑口より１６５ｍ　～　１７５ｍ
・照明方式：　対称照明
・設計速度：　５０　（Km/h）

坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の鉛直面照度（Lx）	障害物の輝度（cd/m²）	背景の輝度　（cd/m²）				
				①	②	③	④	平均
165.0	車線中央	50.4	3.7	3.4	5.3	5.1	5.2	4.8
167.5	車線中央	48.4	3.6	3.0	4.3	4.6	4.4	4.1
170.0	車線中央	44.5	3.3	2.7	4.0	4.6	4.3	3.9
172.5	車線中央	29.5	2.3	2.4	3.3	3.4	3.4	3.1
175.0	車線中央	29.0	2.2	2.4	3.2	3.0	3.1	2.9

表－３．７６　人工照明のみの場合の各照明方式での輝度対比比較

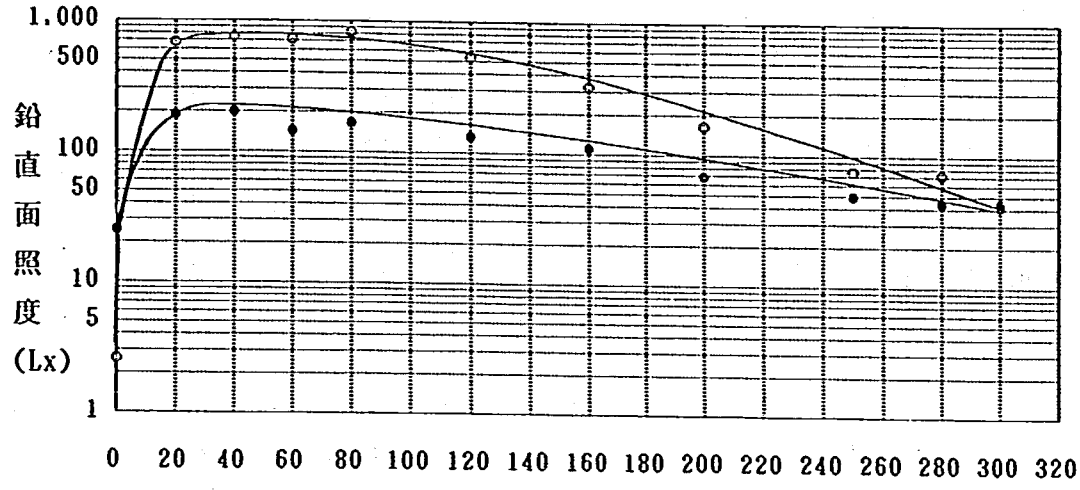
設計速度		80 Km/h					
照明方式		カウンタービーム照明			対称照明		
坑口からの距離(m)	障害物の位置	障害物の輝度 L_o cd/m²	背景の輝度 L_b cd/m²	輝度対比 Co	障害物の輝度 L_o cd/m²	背景の輝度 L_b cd/m²	輝度対比 Co
0	車線中央	1.2	52.5	0.98	0.8	49.3	0.98
20	車線中央	17.8	86.3	0.79	53.1	67.6	0.21
40	車線中央	19.1	78.4	0.76	58.5	88.0	0.34
60	車線中央	13.8	73.4	0.81	58.1	77.8	0.25
80	車線中央	15.5	78.7	0.80	67.9	81.9	0.17
120	車線中央	12.7	53.2	0.76	42.4	53.6	0.21
160	車線中央	9.7	33.4	0.71	26.7	32.4	0.18
200	車線中央	5.9	24.0	0.75	14.3	18.1	0.21
250	車線中央	4.1	10.2	0.60	6.5	8.1	0.20
280	車線中央	3.6	6.4	0.44	5.9	7.3	0.19
300	車線中央	3.4	4.4	0.23	3.9	3.4	-0.14

表－３．７７　人工照明のみの場合の各照明方式での輝度対比比較

設計速度		60 Km/h					
照明方式		カウンタービーム照明			対称照明		
坑口からの距離(m)	障害物の位置	障害物の輝度 L_o cd/m²	背景の輝度 L_b cd/m²	輝度対比 Co	障害物の輝度 L_o cd/m²	背景の輝度 L_b cd/m²	輝度対比 Co
0	車線中央	0.6	37.0	0.98	0.6	35.4	0.98
20	車線中央	10.9	59.6	0.82	37.5	69.7	0.46
40	車線中央	11.8	54.9	0.79	37.9	68.8	0.45
60	車線中央	10.8	43.1	0.75	37.5	64.2	0.42
80	車線中央	7.6	31.4	0.76	35.0	55.9	0.37
120	車線中央	4.4	18.2	0.76	15.5	23.8	0.35
160	車線中央	2.7	7.9	0.66	6.9	9.5	0.27
200	車線中央	2.0	5.3	0.62	3.5	5.5	0.36

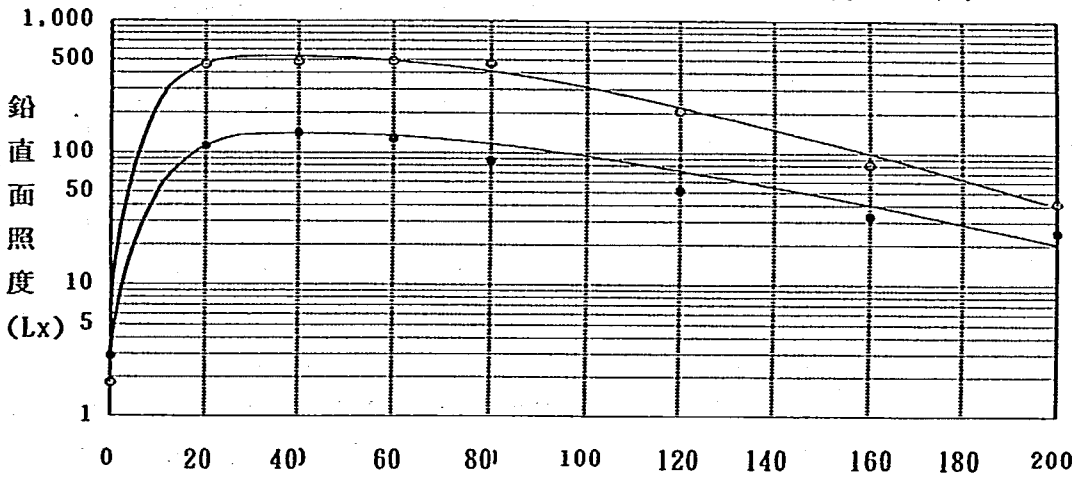
表－３．７８　人工照明のみの場合の各照明方式での輝度対比比較

設計速度		50 Km／h					
照明方式		カウンタービーム照明			対称照明		
坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の輝度 L_o cd/m²	背景の輝度 L_b cd/m²	輝度対比 C_o	障害物の輝度 L_o cd/m²	背景の輝度 L_b cd/m²	輝度対比 C_o
0	車線中央	0.5	26.9	0.98	0.4	12.1	0.97
20	車線中央	8.3	44.5	0.81	30.3	50.6	0.40
40	車線中央	7.8	35.9	0.78	33.0	45.8	0.28
60	車線中央	5.4	27.5	0.80	24.2	38.8	0.38
80	車線中央	4.1	19.1	0.79	23.6	32.7	0.28
120	車線中央	2.4	6.8	0.65	6.2	8.4	0.26
160	車線中央	1.6	4.3	0.63	4.3	5.4	0.20



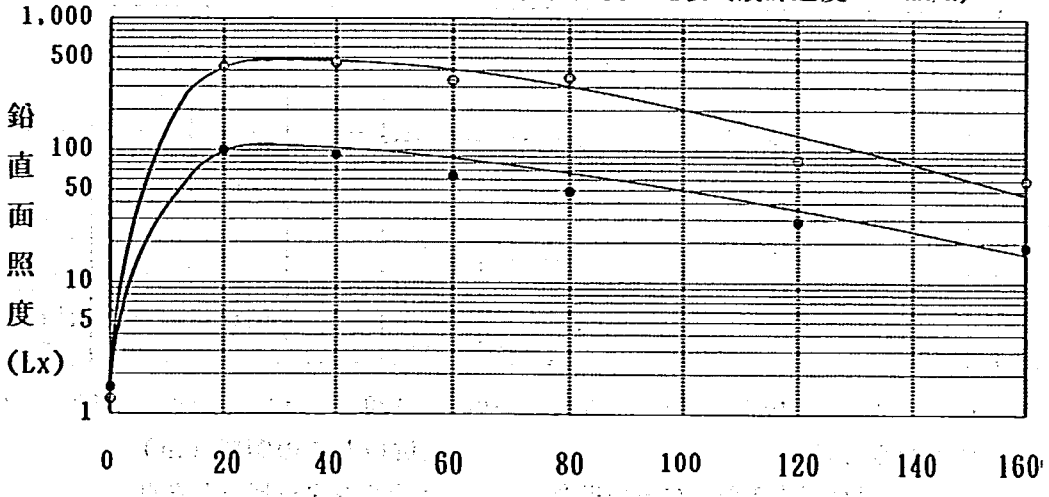
凡例（人工照明のみの場合）　○：カウンタービーム照明　●：対照照明

図－３．３４ 照明方式と障害物の鉛直面照度の比較（設計速度８０km/h）



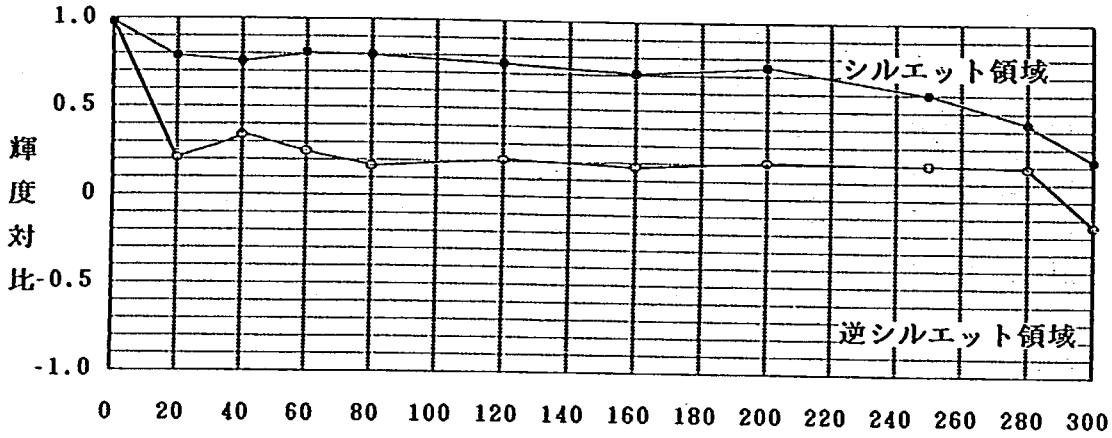
凡例（人工照明のみの場合）　○：カウンタービーム照明　●：対照照明

図－３．３５ 照明方式と障害物の鉛直面照度の比較（設計速度６０km/h）



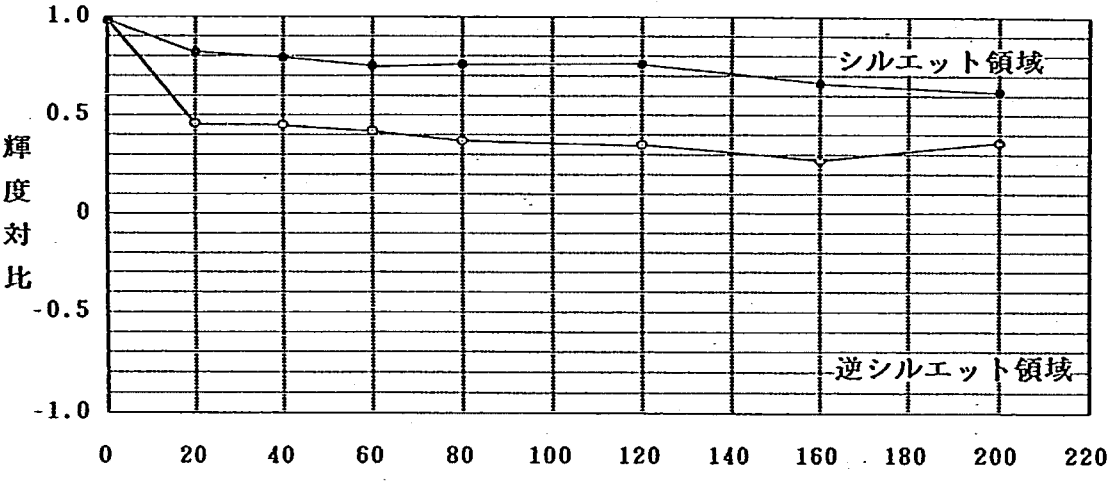
凡例（人工照明のみの場合）　○：カウンタービーム照明　●：対照照明

図－３．３６ 照明方式と障害物の鉛直面照度の比較（設計速度５０km/h）



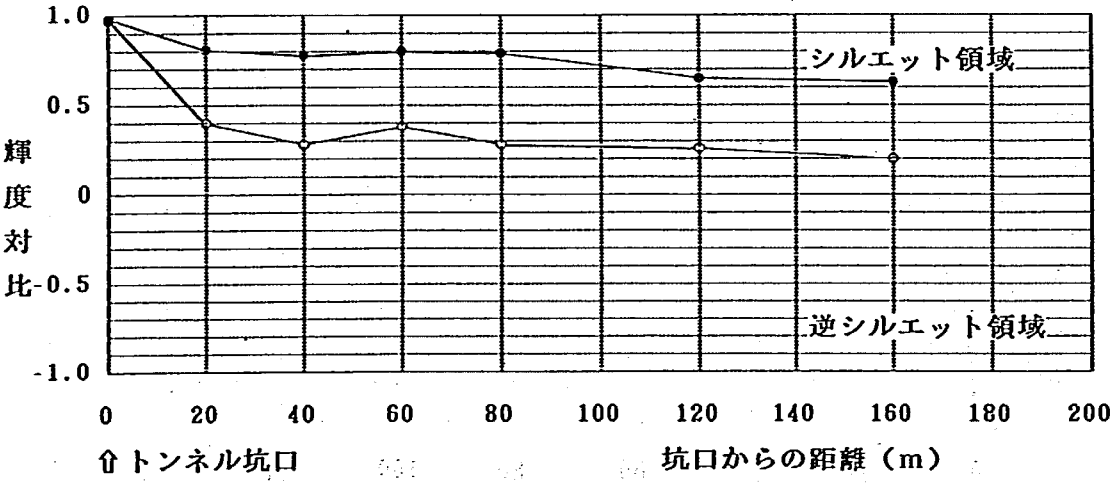
凡例（人工照明のみの場合）　○：カウンタービーム照明
●：対照照明

図－３．３７　照明方式による障害物に輝度対比の比較（設計速度８０km/h）



凡例（人工照明のみの場合）　○：カウンタービーム照明
●：対照照明

図－３．３８　照明方式による障害物に輝度対比の比較（設計速度６０km/h）



凡例（人工照明のみの場合）　○：カウンタービーム照明
●：対照照明

図－３．３９　照明方式による障害物に輝度対比の比較（設計速度５０km/h）

（4）考察

今回、実験した照明器具の設置位置における障害物と背景との輝度対比（人工照明のみの場合）は、カウンタービーム照明、対称照明とも、図－3．37～図－3．39より、各設計速度においてシルエット領域で推移し、その変化の割合も少ないことが分かった。また、カウンタービーム照明の方が対称照明より、障害物と背景との輝度対比が高いシルエット領域で推移することが分かった。これは、カウンタービーム照明器具の配光が車両の進行方向と逆方向（一方向）にだけ向かう配光であるのに対し、対称照明器具は車両の進行方向に対称な配光であることより、コントラストが確保しにくいことに起因していると思われる。このことは、対称照明およびカウンタービーム照明の障害物の面に生ずる鉛直面照度を、設計速度別に比較した図－3．34～図－3．36より、対称照明の場合、障害物の面に生ずる鉛直面照度が、カウンタービーム照明の場合と比較し、高い値になっていることにも表れている。

照明方式による障害物の鉛直面照度は、図－3．10～図－3．15に示すように設計速度や基本照明による影響で一定してはいないが、境界部付近で対称照明が約5倍程度高く、トンネル内の奥の位置にいくにしたがって1倍～2倍程度となる傾向にある。

3．3．2　自然光の射し込みによる影響

自然光の射し込みによる影響を加味した場合の輝度対比を、今回の測定結果と平成5年度および6年度に実施した測定結果の、晴天の日（平成6年8月2日：野外輝度は概ね4,700～4,800cd/㎡）および曇りの日（平成6年3月14日：野外輝度は概ね2,200～1,500cd/㎡）の自然光のみによる値をもとに、設計速度および照明方式別に求め、表－3．79～表－3．84に示す。なお、実験で使用した障害物の反射率を30%と20%に変化させ、自然光の影響を加味した場合の輝度対比を、設計速度および照明方式別に求め表－3．85～表－3．87に示す。

表より、逆シルエット領域からシルエット領域への移行は、カウンタービーム照明、対称照明とも、設計速度が高いほど早く移行することが分かる。また、対称照明よりカウンタービーム照明のほうが、各設計速度とも、逆シルエット領域からシルエット領域に移行するのが早いことが分かった。これは設計速度が高いほど、入口部照明の内でも境界部（輝度値が一定）と移行部の輝度が高く、入口照明の区間も長くなり、自然光の影響を受けづらくなることによる。

表－3．79　自然光の影響を考慮した時の各照明方式での輝度対比比較
（自然光データは、平成6年8月2日、天候　晴れ（野外輝度は概ね4,700～4,800cd/㎡）を使用）

設計速度		80 Km/h					
照明方式		カウンタービーム照明			対称照明		
坑口からの距離(m)	障害物の位置	障害物の輝度 L_o cd/㎡	背景の輝度 L_b cd/㎡	輝度対比 C_o	障害物の輝度 L_o cd/㎡	背景の輝度 L_b cd/㎡	輝度対比 C_o
0	車線中央	3715.2	1821.5	-1.04	3714.8	1818.3	-1.04
20	車線中央	154.8	129.3	-0.19	190.1	110.6	-0.72
40	車線中央	48.1	86.0	0.44	87.5	95.6	0.08
60	車線中央	24.6	76.4	0.68	68.9	80.8	0.15
80	車線中央	19.9	79.8	0.75	72.3	83.0	0.13
120	車線中央	13.8	53.5	0.74	43.5	53.9	0.19
160	車線中央	9.7	33.4	0.71	26.7	32.4	0.18
200	車線中央	5.9	24.0	0.75	14.3	18.1	0.21
250	車線中央	4.1	10.2	0.60	6.5	8.1	0.20
280	車線中央	3.6	6.4	0.44	5.9	7.3	0.19
300	車線中央	3.4	4.4	0.23	3.9	3.4	-0.14

表－３．８０　自然光の影響を考慮した時の各照明方式での輝度対比比較
（自然光データは、平成６年８月２日、天候　晴れ（野外輝度は概ね4,700～4,800cd/㎡）を使用）

設計速度		６０ Km／h					
照明方式		カウンタービーム照明			対称照明		
坑口からの距離(m)	障害物の位置	障害物の輝度 L_o cd/㎡	背景の輝度 L_b cd/㎡	輝度対比 C_o	障害物の輝度 L_o cd/㎡	背景の輝度 L_b cd/㎡	輝度対比 C_o
0	車線中央	3714.6	1806.0	-1.06	3714.6	1804.4	-1.06
２０	車線中央	147.9	102.6	-0.44	174.5	112.7	-0.55
４０	車線中央	40.8	62.5	0.35	66.9	76.4	0.12
６０	車線中央	21.6	46.1	0.53	48.3	67.2	0.28
８０	車線中央	12.0	32.5	0.63	39.4	57.0	0.31
１２０	車線中央	5.5	18.5	0.70	16.6	24.1	0.31
１６０	車線中央	2.7	7.9	0.66	6.9	9.5	0.27
２００	車線中央	2.0	5.3	0.62	3.5	5.5	0.36

表－３．８１　自然光の影響を考慮した時の各照明方式での輝度対比比較
（自然光データは、平成６年８月２日、天候　晴れ（野外輝度は概ね4,700～4,800cd/㎡）を使用）

設計速度		５０ Km／h					
照明方式		カウンタービーム照明			対称照明		
坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の輝度 L_o cd/㎡	背景の輝度 L_b cd/㎡	輝度対比 C_o	障害物の輝度 L_o cd/㎡	背景の輝度 L_b cd/㎡	輝度対比 C_o
0	車線中央	3714.5	1795.9	-1.07	3714.4	1781.1	-1.08
２０	車線中央	145.3	87.5	-0.66	167.3	93.6	-0.79
４０	車線中央	36.8	43.5	0.15	62.0	53.4	-0.16
６０	車線中央	16.2	30.5	0.47	35.0	41.8	0.16
８０	車線中央	8.5	20.2	0.58	28.0	33.8	0.17
１２０	車線中央	3.5	7.1	0.51	7.3	8.7	0.16
１６０	車線中央	1.6	4.3	0.63	4.3	5.4	0.20

表－３．８２　自然光の影響を考慮した時の各照明方式での輝度対比比較
（自然光データは、平成６年３月１４日、天候　曇り（野外輝度は概ね2,200～1,500cd/m²）を使用）

設計速度		８０　Km／h					
照明方式		カウンタービーム照明			対称照明		
坑口からの距離(m)	障害物の位置	障害物の輝度 L_o cd/m²	背景の輝度 L_b cd/m²	輝度対比 C_o	障害物の輝度 L_o cd/m²	背景の輝度 L_b cd/m²	輝度対比 C_o
０	車線中央	841.2	391.3	-1.15	840.8	388.1	-1.17
２０	車線中央	94.8	106.8	0.11	130.1	88.1	-0.48
４０	車線中央	37.2	83.2	0.55	76.6	92.8	0.17
６０	車線中央	20.7	75.2	0.72	65.0	79.6	0.18
８０	車線中央	18.9	79.6	0.76	71.3	82.8	0.14
１２０	車線中央	13.7	54.2	0.75	43.4	53.8	0.19
１６０	車線中央	9.7	33.4	0.71	26.7	32.4	0.18
２００	車線中央	5.9	24.0	0.75	14.3	18.1	0.21
２５０	車線中央	4.1	10.2	0.60	6.5	8.1	0.20
２８０	車線中央	3.6	6.4	0.44	5.9	7.3	0.19
３００	車線中央	3.4	4.4	0.23	3.9	3.4	-0.14

表－３．８３　自然光の影響を考慮した時の各照明方式での輝度対比比較
（自然光データは、平成６年３月１４日、天候　曇り（野外輝度は概ね2,200～1,500cd/m²）を使用）

設計速度		６０　Km／h					
照明方式		カウンタービーム照明			対称照明		
坑口からの距離(m)	障害物の位置	障害物の輝度 L_o cd/m²	背景の輝度 L_b cd/m²	輝度対比 C_o	障害物の輝度 L_o cd/m²	背景の輝度 L_b cd/m²	輝度対比 C_o
０	車線中央	840.6	375.8	-1.24	840.6	374.2	-1.25
２０	車線中央	87.9	80.1	-0.09	114.5	90.2	-0.27
４０	車線中央	29.9	59.7	0.50	56.0	73.6	0.24
６０	車線中央	17.7	44.9	0.61	44.4	66.0	0.33
８０	車線中央	11.0	32.3	0.66	38.4	56.8	0.32
１２０	車線中央	5.4	18.4	0.71	16.5	24.0	0.31
１６０	車線中央	2.7	7.9	0.66	6.9	9.5	0.27
２００	車線中央	2.0	5.3	0.62	3.5	5.5	0.36

表－３．８４　自然光の影響を考慮した時の各照明方式での輝度対比比較
（自然光データは、平成６年３月１４日、天候　曇り（野外輝度は概ね2,200～1,500cd/m²）を使用）

設計速度		50 Km/h					
照明方式		カウンタービーム照明			対称照明		
坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の輝度 L_o cd/m²	背景の輝度 L_b cd/m²	輝度対比 C_o	障害物の輝度 L_o cd/m²	背景の輝度 L_b cd/m²	輝度対比 C_o
0	車線中央	840.5	365.7	-1.29	840.4	350.9	-1.39
20	車線中央	85.3	65.0	-0.31	107.3	71.1	-0.51
40	車線中央	25.9	40.7	0.36	51.1	50.6	-0.01
60	車線中央	12.3	29.3	0.58	31.1	40.6	0.23
80	車線中央	7.5	20.0	0.63	27.0	33.6	0.19
120	車線中央	3.4	7.0	0.51	7.2	8.6	0.16
160	車線中央	1.6	4.3	0.63	4.3	5.4	0.20

表－３．８５　障害物の反射率を２０％とした時の各照明方式での輝度対比比較
（自然光を加味した表－３．７９より算出）

設計速度		８０ Km／h					
照明方式		カウンタービーム照明			対称照明		
坑口からの距離(m)	障害物の位置	障害物の輝度 L_o cd/m²	背景の輝度 L_b cd/m²	輝度対比 Co	障害物の輝度 L_o cd/m²	背景の輝度 L_b cd/m²	輝度対比 Co
0	車線中央	2476.8	1821.5	-0.36	2476.5	1818.3	-0.36
２０	車線中央	103.2	129.3	0.20	126.7	110.6	-0.15
４０	車線中央	32.1	86.0	0.63	58.3	95.6	0.39
６０	車線中央	16.4	76.4	0.78	45.9	80.8	0.43
８０	車線中央	13.3	79.8	0.83	48.2	83.0	0.42
１２０	車線中央	9.2	53.5	0.83	29.0	53.9	0.46
１６０	車線中央	6.5	33.4	0.81	17.8	32.4	0.45
２００	車線中央	3.9	24.0	0.83	9.5	18.1	0.48
２５０	車線中央	2.7	10.2	0.74	4.3	8.1	0.47
２８０	車線中央	2.4	6.4	0.63	3.9	7.3	0.47
３００	車線中央	2.3	4.4	0.48	2.6	3.4	0.23

表－３．８６　障害物の反射率を２０％とした時の各照明方式での輝度対比比較
（自然光を加味した表－３．８０より算出）

設計速度		６０ Km／h					
照明方式		カウンタービーム照明			対称照明		
坑口からの距離(m)	障害物の位置	障害物の輝度 L_o cd/m²	背景の輝度 L_b cd/m²	輝度対比 Co	障害物の輝度 L_o cd/m²	背景の輝度 L_b cd/m²	輝度対比 Co
0	車線中央	2476.4	1806.0	-0.37	2476.4	1804.4	-0.37
２０	車線中央	98.6	102.6	0.04	116.3	112.7	-0.03
４０	車線中央	27.2	62.5	0.56	44.6	76.4	0.42
６０	車線中央	14.4	46.1	0.69	32.2	67.2	0.52
８０	車線中央	8.0	32.5	0.75	26.3	57.0	0.54
１２０	車線中央	3.7	18.5	0.80	11.1	24.1	0.54
１６０	車線中央	1.8	7.9	0.77	4.6	9.5	0.52
２００	車線中央	1.3	5.3	0.75	2.3	5.5	0.58

表－３．８７　障害物の反射率を２０％とした時の各照明方式での輝度対比比較
（自然光を加味した表－３．８１より算出）

設計速度		５０ Km/h					
照明方式		カウンタービーム照明			対称照明		
坑口からの距離（m）	障害物の位置	障害物の輝度 L_o cd/m²	背景の輝度 L_b cd/m²	輝度対比 Co	障害物の輝度 L_o cd/m²	背景の輝度 L_b cd/m²	輝度対比 Co
0	車線中央	2476.3	1795.9	-0.38	2476.3	1781.1	-0.39
２０	車線中央	96.9	87.5	-0.11	111.5	93.6	-0.19
４０	車線中央	24.5	43.5	0.44	41.3	53.4	0.23
６０	車線中央	10.8	30.5	0.65	23.3	41.8	0.44
８０	車線中央	5.7	20.2	0.72	18.7	33.8	0.45
１２０	車線中央	2.3	7.1	0.68	4.9	8.7	0.44
１６０	車線中央	1.1	4.3	0.74	2.9	5.4	0.46

3．3．3　照明条件別の輝度対比の比較

輝度対比とトンネル坑口からの距離の関係について、照明方式、設計速度および天候（晴天の場合／曇りの場合）別に分類し、図－3．40～図－3．45に示す。また、晴天の場合（平成6年8月2日の測定で野外輝度が概ね4,700～4,800cd/m²）の障害物の反射率を30%から20%に変化させた場合の輝度対比の比較を、図－3．46～図－3．48に示す。

（1）カウンタービーム照明

カウンタービーム照明の設計速度50Km/hの場合には、設計基準の路面輝度レベルが低いため、自然光の影響を受ける度合いが大きいものの、対称照明に比べて輝度対比の低下が小さいことが分かる。一方、設計速度80Km/hの場合には、設計速度50Km/hの場合と比較して、設計基準の路面輝度レベルが高いことにより、相対的に自然光の影響を受ける度合いが小さくなることが分かる。

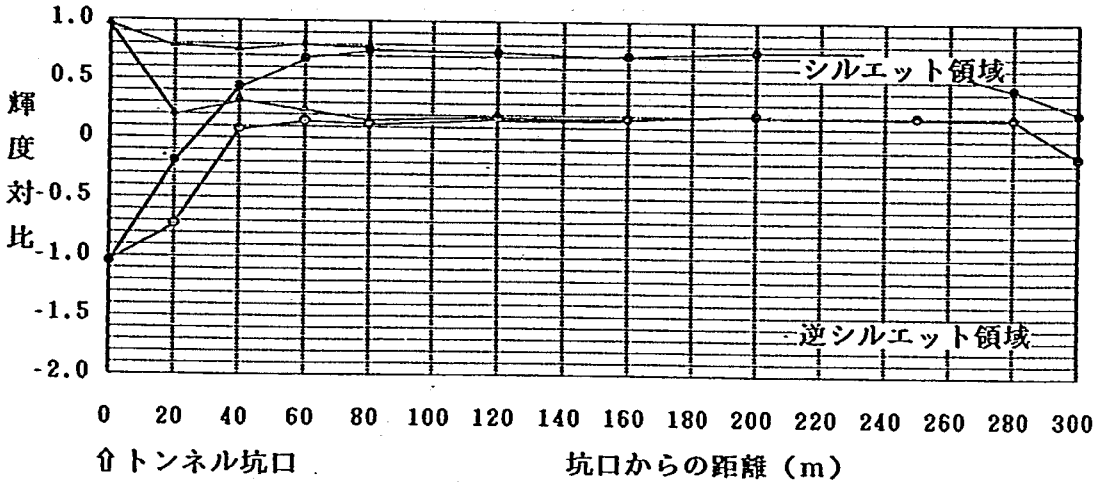
（2）対称照明

対称照明の設計速度50Km/hの場合もカウンタービーム照明と同様に設計基準の路面輝度レベルが低いため、自然光の影響を受ける度合いが大きいことが分かる。一方、設計速度80Km/hの場合には、設計速度50Km/hの場合と比較して、設計基準の路面輝度レベルが高いことにより、相対的に自然光の影響を受ける度合いが小さくなることが分かる。また、輝度対比は、設計速度が高くなるほど、より早くシルエット領域に移行する傾向にあることが分かる。また設計速度が高くなるにつれ、輝度対比の変動幅も小さくなることが分かった。対称照明は道路軸方向に対し対称配光であるため、カウンタービーム照明と比較し、障害物と背景路面間で明確なコントラストが確保しにくいため、トンネル坑口付近では自然光の射し込みの影響が特に大きいことが分かった。

3．4　まとめ

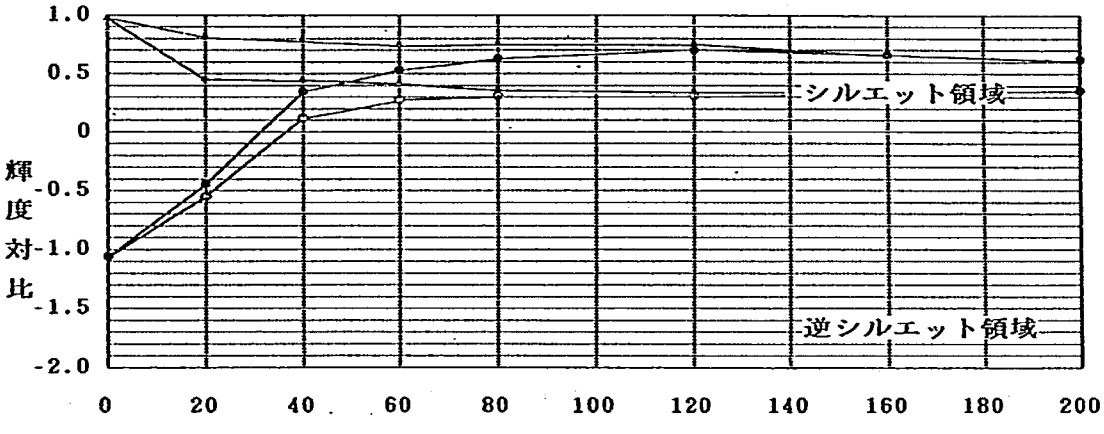
照明特性の測定結果より、照明条件の設定に関しては、概ね設計値に近い路面輝度を得ることができた。すなわち、カウンタービーム照明が対称照明に比べて約2割低い値に近い条件となった。

照明器具からのグレア（TI値）は、測定高さ、遮光フードによる影響、車内からの測定および車外からの測定による差異はあまり顕著な差は見受けられなかったが、遮光角による影響が大きいことが分かった。また、路面が湿潤状態になるとTI値は乾燥路面に比べて約1．5倍程度と高くなることが分かった。また、自然光の射し込みによる影響は、設計速度が低く照明レベルが低い条件ほど影響を受ける割合が大きくなるが、設計速度50km/h時の場合でも対称照明に比べてカウンタービーム照明のほうが輝度対比への影響は少ないことが分かった。



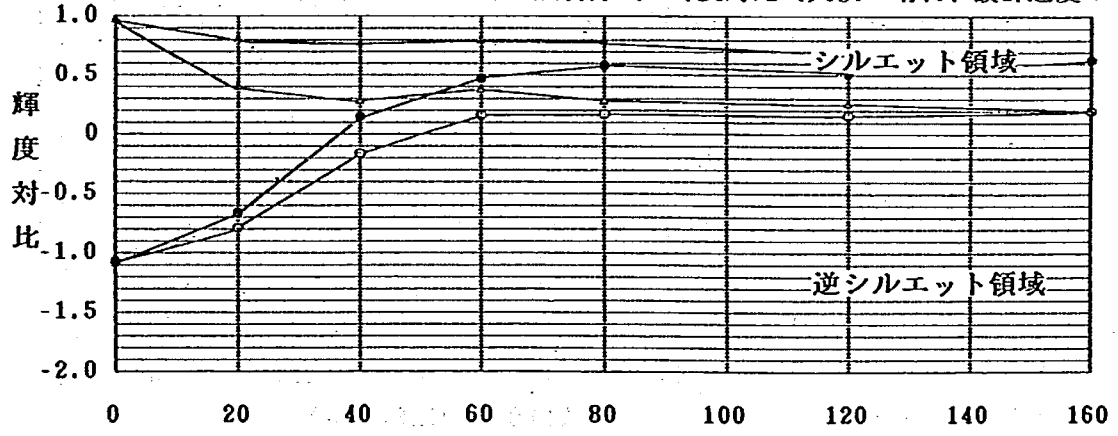
凡例
●：カウンタービーム照明（自然光加味）
○：対　称　照　明　（自然光加味）
▲：カウンタービーム照明（人工照明のみ）
△：対　称　照　明　（人工照明のみ）

図－３．４０　障害物の反射率を変化させた時の照明方式と輝度対比（天候：晴れ、設計速度８０Km/h）



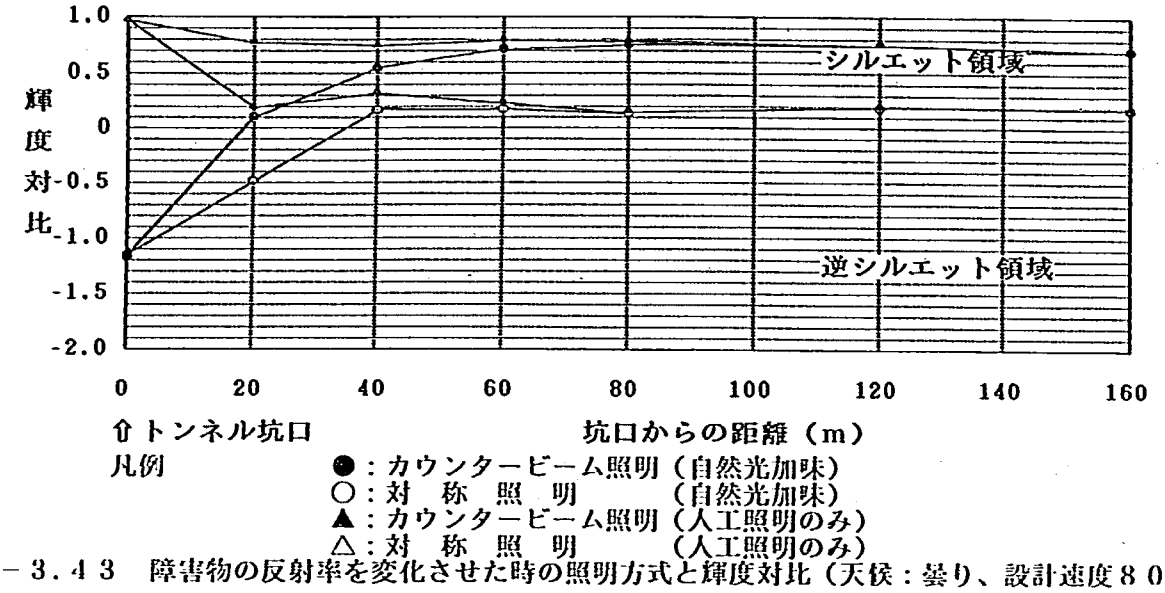
凡例
●：カウンタービーム照明（自然光加味）
○：対　称　照　明　（自然光加味）
▲：カウンタービーム照明（人工照明のみ）
△：対　称　照　明　（人工照明のみ）

図－３．４１　障害物の反射率を変化させた時の照明方式と輝度対比（天候：晴れ、設計速度６０Km/h）



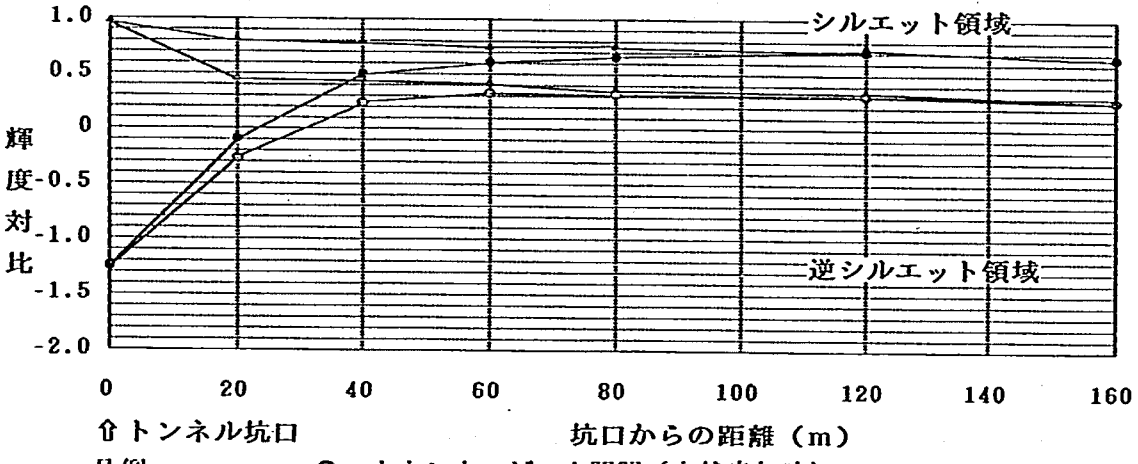
凡例
●：カウンタービーム照明（自然光加味）
○：対　称　照　明　（自然光加味）
▲：カウンタービーム照明（人工照明のみ）
△：対　称　照　明　（人工照明のみ）

図－３．４２　障害物の反射率を変化させた時の照明方式と輝度対比（天候：晴れ、設計速度５０Km/h）



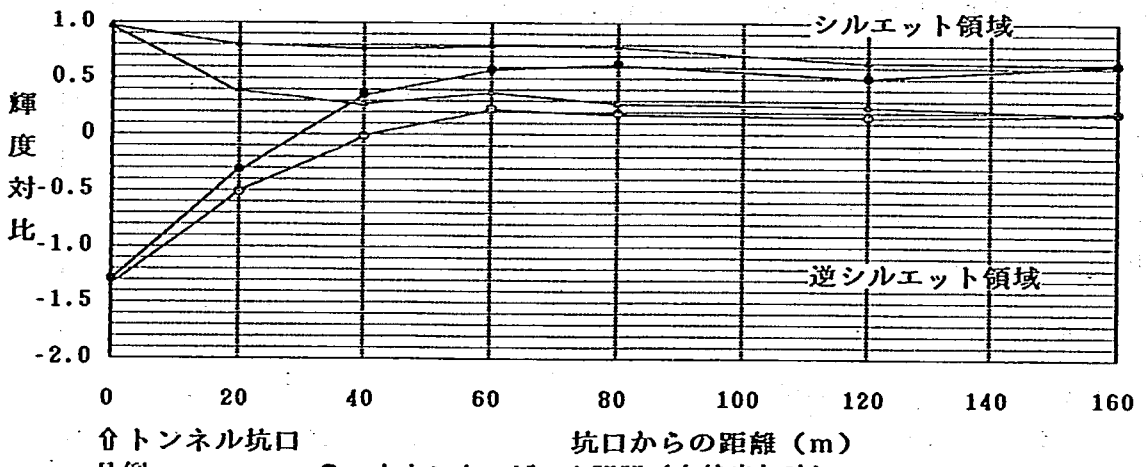
凡例
●：カウンタービーム照明（自然光加味）
○：対　称　照　明　（自然光加味）
▲：カウンタービーム照明（人工照明のみ）
△：対　称　照　明　（人工照明のみ）

図－３．４３　障害物の反射率を変化させた時の照明方式と輝度対比（天候：曇り、設計速度８０Km/h）



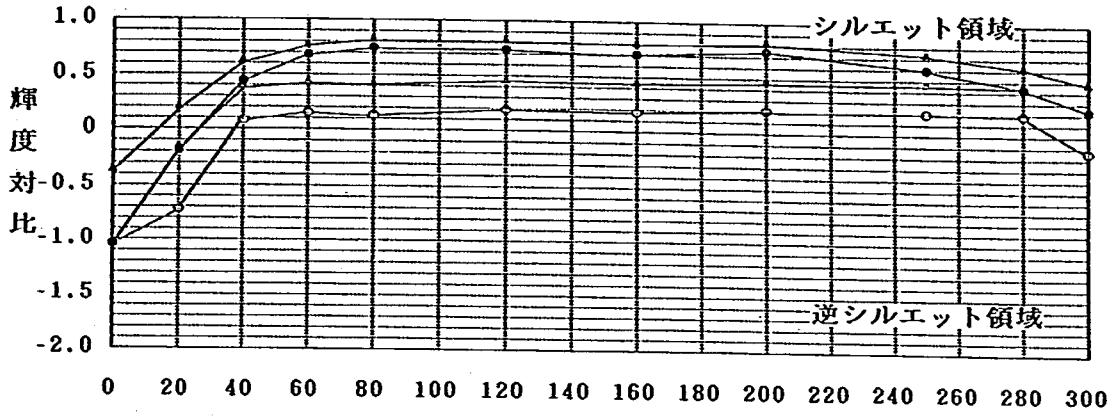
凡例
●：カウンタービーム照明（自然光加味）
○：対　称　照　明　（自然光加味）
▲：カウンタービーム照明（人工照明のみ）
△：対　称　照　明　（人工照明のみ）

図－３．４４　障害物の反射率を変化させた時の照明方式と輝度対比（天候：曇り、設計速度８０Km/h）



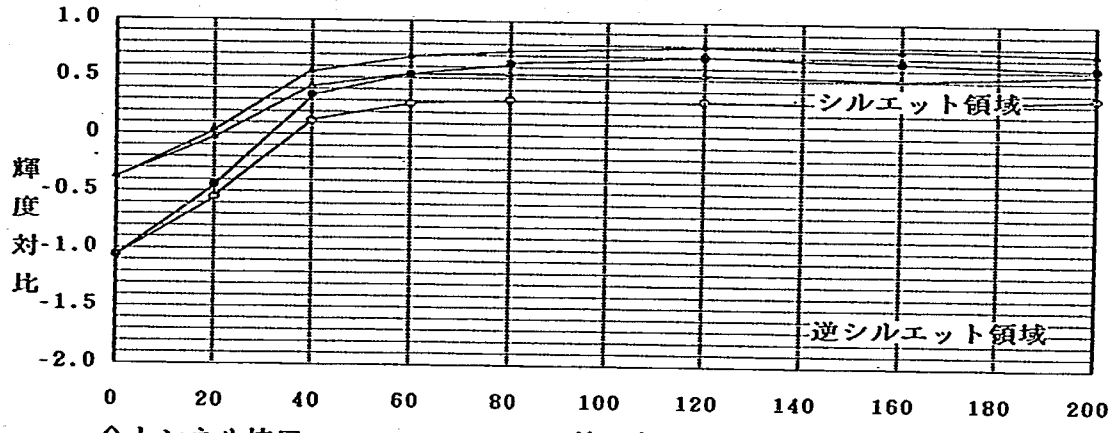
凡例
●：カウンタービーム照明（自然光加味）
○：対　称　照　明　（自然光加味）
▲：カウンタービーム照明（人工照明のみ）
△：対　称　照　明　（人工照明のみ）

図－３．４５　障害物の反射率を変化させた時の照明方式と輝度対比（天候：曇り、設計速度８０Km/h）



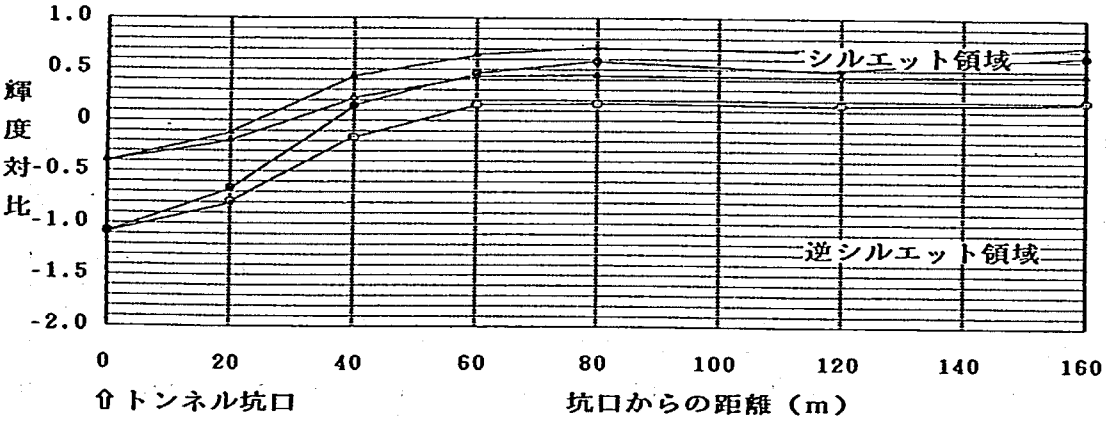
凡例　障害物の反射率３０％　●：カウンタービーム照明（自然光加味）
○：対　称　照　明　（自然光加味）
障害物の反射率２０％　▲：カウンタービーム照明（自然光加味）
△：対　称　照　明　（自然光加味）

図－３．４６　障害物の反射率を変化させた時の照明方式と輝度対比（設計速度　８０Km/h）



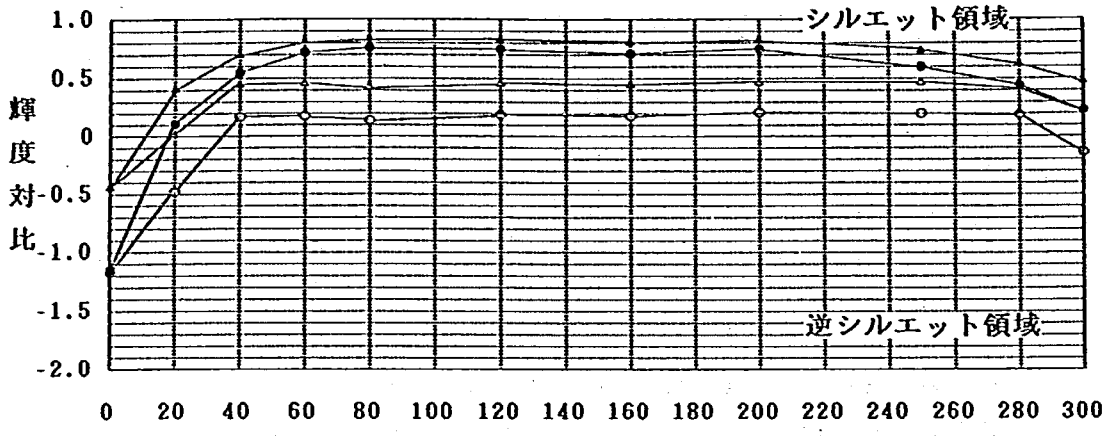
凡例　障害物の反射率３０％　●：カウンタービーム照明（自然光加味）
○：対　称　照　明　（自然光加味）
障害物の反射率２０％　▲：カウンタービーム照明（自然光加味）
△：対　称　照　明　（自然光加味）

図－３．４７　障害物の反射率を変化させた時の照明方式と輝度対比（設計速度　６０Km/h）



凡例　障害物の反射率３０％　●：カウンタービーム照明（自然光加味）
○：対　称　照　明　（自然光加味）
障害物の反射率２０％　▲：カウンタービーム照明（自然光加味）
△：対　称　照　明　（自然光加味）

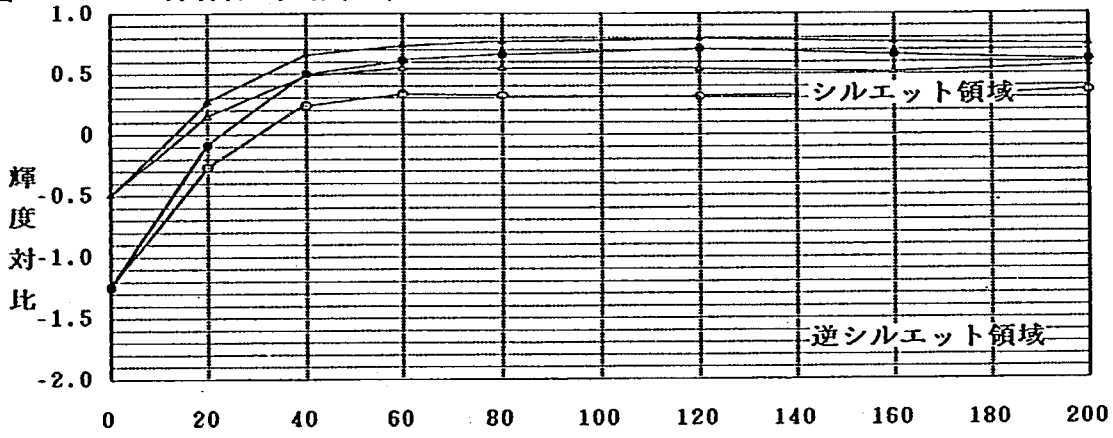
図－３．４８　障害物の反射率を変化させた時の照明方式と輝度対比（設計速度　５０Km/h）



⇧トンネル坑口　　坑口からの距離（m）

凡例　障害物の反射率３０％　●：カウンタービーム照明（自然光加味）
○：対　称　照　明　（自然光加味）
障害物の反射率２０％　▲：カウンタービーム照明（自然光加味）
△：対　称　照　明　（自然光加味）

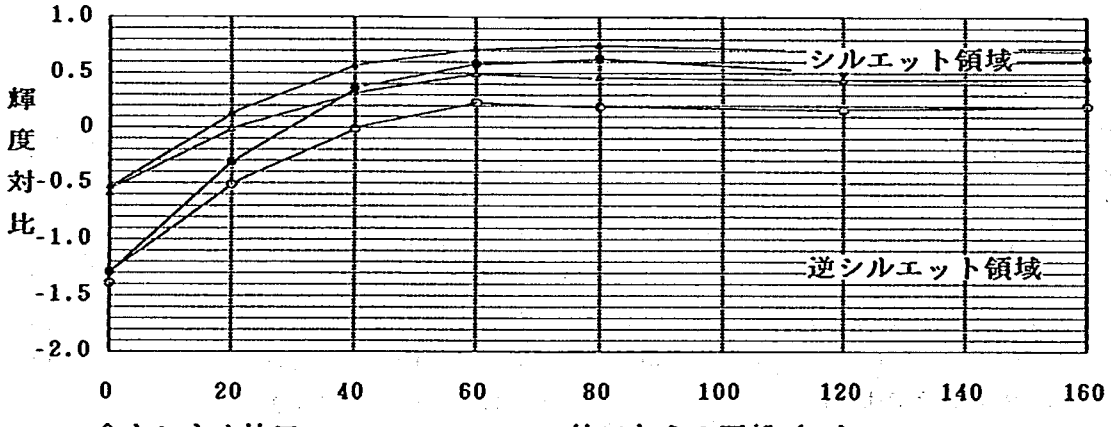
図－３．４９　障害物の反射率を変化させた時の照明方式と輝度対比（設計速度　８０Km/h）



⇧トンネル坑口　　坑口からの距離（m）

凡例　障害物の反射率３０％　●：カウンタービーム照明（自然光加味）
○：対　称　照　明　（自然光加味）
障害物の反射率２０％　▲：カウンタービーム照明（自然光加味）
△：対　称　照　明　（自然光加味）

図－３．５０　障害物の反射率を変化させた時の照明方式と輝度対比（設計速度　６０Km/h）



⇧トンネル坑口　　坑口からの距離（m）

凡例　障害物の反射率３０％　●：カウンタービーム照明（自然光加味）
○：対　称　照　明　（自然光加味）
障害物の反射率２０％　▲：カウンタービーム照明（自然光加味）
△：対　称　照　明　（自然光加味）

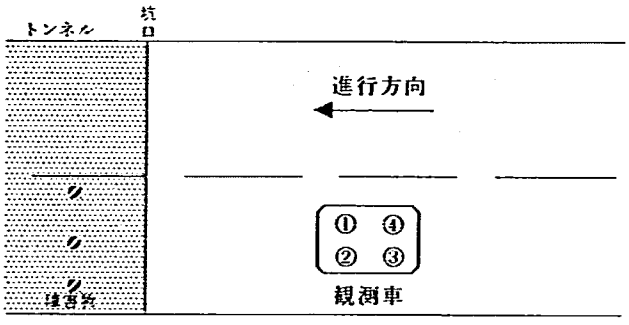
図－３．５１　障害物の反射率を変化させた時の照明方式と輝度対比（設計速度　５０Km/h）

4．障害物の視認性実験（静止実験）

4．1 実験概要

4．1．1 実験方法

実験は、実大トンネル実験施設において図－4．1に示すようにトンネル内の所定の位置に反射率の異なる3つの障害物（反射率30%、20%、12%）を提示し、各設計速度に応じた視距だけ離れた観測車の中から障害物を被験者に観測させ、その視認性について5段階評価による主観調査（アンケート調査）を行った。また、野外条件として野外輝度、水平面照度、鉛直面照度を測定し、観測条件として障害物輝度、路面輝度、障害物の観測面の鉛直面照度の測定を3個の障害物のうち中央の1個（反射率20%）について各観測条件毎に行った。



図－4．1　実験配置図

4．1．2 実験条件

（1）照明方式　：カウンターピーム照明（設置位置；車線中央）
　　対称照明

（2）設計速度ル　：設計速度50km/h
　　設計速度60km/h
　　設計速度80km/h
　　入口部照明の基準輝度は表－2．3に示す。

（3）観測距離　：設計速度50km/h；　55m（視距相当）
　　設計速度60km/h；　75m（視距相当）
　　設計速度80km/h；110m（視距相当）

（4）野外輝度　：3,000cd/m²程度以上を目標とする。

（5）障害物　：反射率の異なる一辺20ｃｍの立方体；3個
　　反射率30%（N＝6）；車線左側に設置
　　反射率20%（N＝5）；車線中央に設置
　　反射率12%（N＝4）；車線右側に設置
　　（ ）内のN値はマンセル表色系による。

（6）障害物の提示位置

障害物の提示位置を各条件毎に表－4．1に示す。障害物の提示位置は、坑口からの距離を20, 40, 60, 80, 120, 160, 200, 240mの各位置を基本とし、別途実施したトンネル縦断方向の測定ピッチ1mの鉛直面照度結果を参考にその周辺の鉛直面照度の最も低い位置とした。

表－4．1 障害物の提示位置

照明方式	設計速度	障害物の提示位置：坑口からの距離（m）
カウンタービーム照明	50km/h	22、38、58、78、122
対称照明	50km/h	22、38、58、80、120
カウンタービーム照明	60km/h	19、40、60、80、118、158、198
対称照明	60km/h	18、41、57、80、118、164、198
カウンタービーム照明	80km/h	20、40、59、79、118、158、238
対称照明	80km/h	19、38、57、80、121、160、240

（7）被験者

被験者数は12名とし、その属性を表－4．2に示す。

表－4．2 被験者属性一覧表

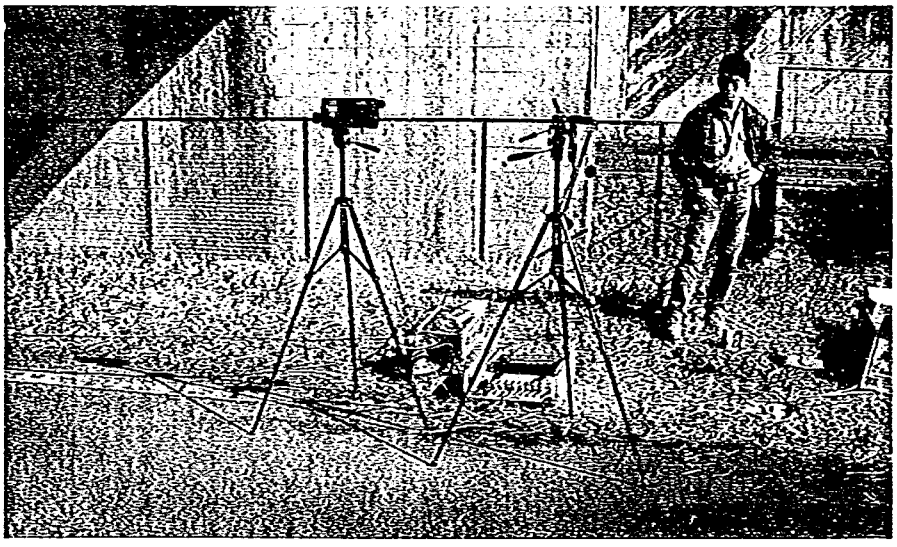
照明方式	設計速度	No.	氏 名	年齢	性別	運転歴(年)	視力 右	視力 左	使用車種	使用目的
カウンタービーム照明	50km/h	1	SO	24	男	0.7	1.0	1.2	普通車	通学
		2	MT	22	男	0.5	1.0	1.0	普通車	通学
		3	RN	22	女	2.0	1.5	1.5	普通車	レジャー
		4	TU	23	男	3.0	1.0	1.0	普通車	ショッピング
		5	YN	23	男	4.0	1.0	1.0	普通車	アルバイト
		6	KI	23	男	2.0	1.5	1.5	普通車	通勤
		7	YM	22	男	3.5	0.8	0.7	普通車	通勤
		8	HT	22	男	3.0	1.0	1.0	普通車	レジャー
		9	KK	22	男	4.0	1.0	0.5	普通車	ドライブ
		10	TG	23	女	1.0	1.2	1.2	普通車	通勤
		11	TO	22	女	3.0	1.5	1.5	普通車	レジャー
		12	EK	23	女	3.0	1.0	1.0	普通車	通勤
対称照明	50km/h	1	MT	22	男	0.5	1.0	1.0	普通車	通学
		2	TM	22	女	4.0	1.5	1.5	普通車	ドライブ
		3	YT	23	女	0.6	1.0	1.0	普通車	ショッピング
		4	TO	22	女	3.0	1.5	1.5	普通車	レジャー
		5	TS	21	男	2.5	1.2	1.2	普通車	通学
		6	SH	21	男	1.5	1.0	1.0	普通車	ショッピング
		7	TU	23	男	3.0	1.0	1.0	普通車	ショッピング
		8	KH	21	男	2.0	2.0	2.0	普通車	アルバイト
		9	KN	22	男	0.7	0.2	0.5	普通車	ドライブ
		10	TO	21	男	3.0	0.7	0.7	普通車	ドライブ
		11	KA	22	男	2.5	1.5	1.5	普通車	ドライブ
		12	MT	22	男	0.7	1.5	1.5	普通車	ドライブ
カウンタービーム照明	60km/h	1	YO	24	男	3.0	0.7	0.7	普通車	通学
		2	TI	23	男	4.0	1.0	1.0	普通車	通学
		3	SS	23	男	4.0	1.5	1.5	普通車	ドライブ
		4	KI	22	男	4.0	1.0	1.0	普通車	通学
		5	SN	21	男	3.0	2.0	2.0	普通車	アルバイト
		6	YK	19	女	0.2	1.2	1.2	普通車	ドライブ
		7	KH	21	男	2.0	2.0	2.0	普通車	アルバイト
		8	TS	21	男	3.0	1.2	1.2	普通車	通学
		9	NT	22	男	4.0	1.0	1.0	普通車	ドライブ
		10	TK	21	男	2.0	0.3	1.2	普通車	アルバイト
		11	YG	23	男	4.0	1.5	1.5	普通車	ドライブ
		12	HT	23	男	3.0	1.2	1.2	普通車	ドライブ
対称照明	60km/h	1	YN	23	男	4.0	1.0	1.0	普通車	アルバイト
		2	MT	22	男	0.5	1.0	1.0	普通車	通学
		3	YI	22	男	4.0	1.0	1.0	普通車	通学
		4	KS	22	男	0.6	1.0	1.0	普通車	ドライブ
		5	TS	21	男	2.5	1.2	1.2	普通車	通学
		6	MO	23	男	4.0	1.5	2.0	普通車	ドライブ
		7	JK	20	男	2.0	1.5	1.5	普通車	ドライブ
		8	KS	22	男	4.0	1.0	1.0	普通車	ドライブ
		9	YN	25	男	5.0	1.0	1.0	普通車	レジャー
		10	SN	21	男	3.0	2.0	2.0	普通車	アルバイト
		11	KH	21	男	2.0	2.0	2.0	普通車	アルバイト
		12	SI	21	男	1.5	1.0	1.0	普通車	ショッピング
カウンタービーム照明	80km/h	1	YN	23	男	4.0	1.0	1.0	普通車	アルバイト
		2	SN	21	男	3.0	2.0	2.0	普通車	アルバイト
		3	NM	23	男	0.5	1.0	1.0	普通車	ドライブ
		4	TK	21	男	2.0	0.3	1.2	普通車	アルバイト
		5	MT	22	男	0.5	1.0	1.0	普通車	通学
		6	KS	22	男	4.0	1.0	1.0	普通車	ドライブ
		7	MO	23	男	4.0	1.5	2.0	普通車	ドライブ
		8	TO	22	女	4.0	1.5	1.5	普通車	ドライブ
		9	HN	25	男	5.0	1.0	1.0	普通車	レジャー
		10	TS	21	男	2.5	1.2	1.2	普通車	通学
		11	TM	22	女	4.0	1.5	1.5	普通車	ドライブ
		12	KU	23	男	3.0	1.2	1.2	普通車	ドライブ
対称照明	80km/h	1	KK	22	男	4.0	1.0	0.5	普通車	ドライブ
		2	YK	19	女	0.2	1.2	1.2	普通車	ドライブ
		3	TO	22	女	3.0	1.5	1.5	普通車	レジャー
		4	HT	23	男	3.0	1.2	1.2	普通車	ドライブ
		5	KN	21	男	3.0	1.0	1.0	普通車	ドライブ
		6	SS	22	男	3.0	1.2	1.2	普通車	ドライブ
		7	YI	22	男	4.0	1.0	1.0	普通車	通学
		8	TH	21	男	3.0	0.7	0.7	普通車	ドライブ
		9	HT	22	男	3.0	1.0	1.0	普通車	ドライブ
		10	YG	23	男	4.0	1.5	1.5	普通車	ドライブ
		11	MM	22	男	3.0	1.0	1.0	普通車	ドライブ
		12	KS	22	男	4.0	1.0	1.0	普通車	ドライブ

4．1．3 測定項目および測定方法

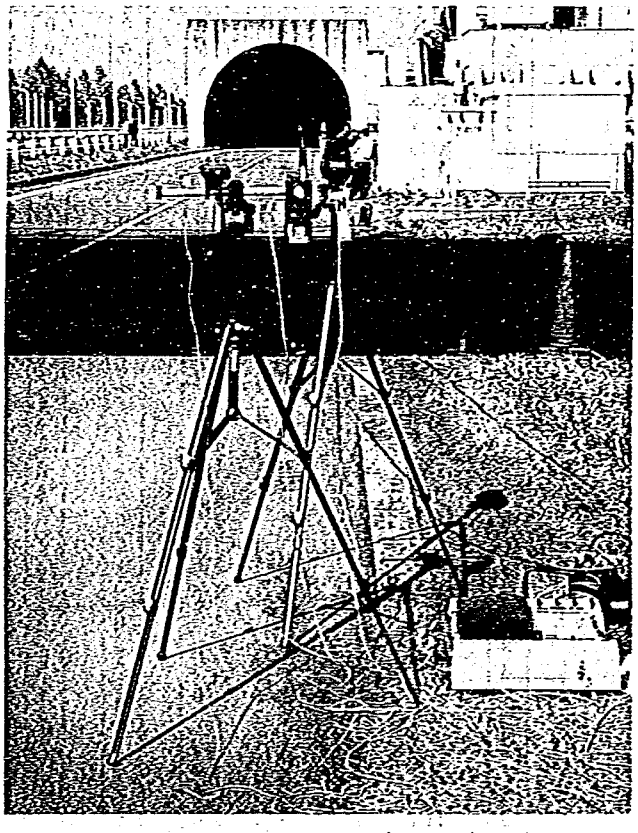
各観測毎に、以下に示す項目について測定を行った。

（1）野外条件

野外輝度は、視野角20°の輝度計を用いて、トンネル坑口手前105.9m、路上高さ1.5mから測定を行った（写真－4．1）。また、同じ場所で水平面照度、鉛直面照度の測定を行った（写真－4．2）。



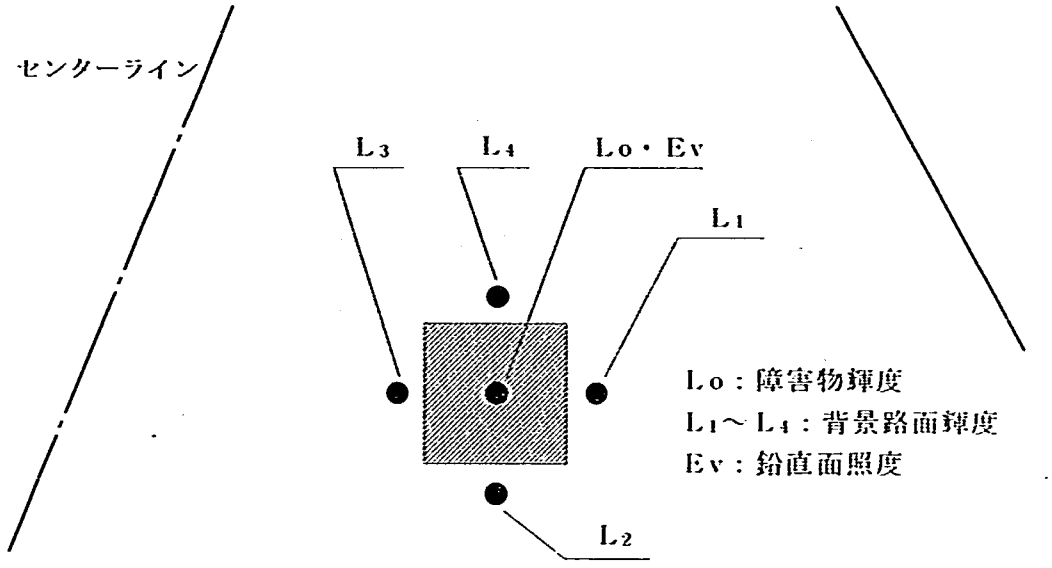
写真－4．1 野外輝度測定状況



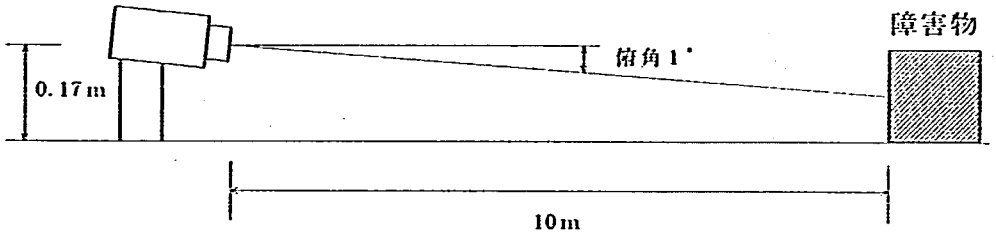
写真－4．2 水平面照度・鉛直面照度測定状況

（２）障害物輝度・路面輝度・鉛直面照度

図－４．２に示すように、障害物輝度（L_o）、鉛直面照度（Ev）１点と路面輝度（L_1～L_4）４点の測定を反射率20%の障害物について実施した。障害物輝度の測定方法は図－４．３に示す通りであり、俯角１°となるように障害物から10m離れた位置から測定を行った。背景輝度のL_4については、輝度計の高さを障害物の高さ分に相当する20cmをさらに上げた37cmの高さから測定した。



図－４．２ 障害物輝度・路面輝度・鉛直面照度の測定ポイント



図－４．３ 障害物輝度の測定方法

（3）視認性に関するアンケート調査

各照明条件における照明方式（カウンタービーム照明，対称照明）の違いによる障害物の視認性を確認するため、以下の表－4．3に示すアンケート調査用紙を用い、障害物の見え方を5段階評価を実施した。

表－4．3 アンケート調査用紙

入口部照明の視認性に関するアンケート調査
障害物視認性実験（静止実験）

氏名＿＿＿＿＿＿＿＿年齢＿＿＿＿男・女　　実験日時＿＿＿＿月＿＿＿＿日＿＿＿＿時

車両番号＿＿＿＿番　乗車位置＿＿＿＿番

照明方式　カウンタービーム照明・対称照明　　照明レベル　50km/h　60km/h　80km/h

障害物		評価内容					備考
提示位置（m）	反射率（%）	まったく見えない	かろうじて見えた	ふつうに見えた	よく見えた	非常によく見えた	
＿＿	30(左側)						
	20(中央)						
	12(右側)						
＿＿	30(左側)						
	20(中央)						
	12(右側)						
＿＿	30(左側)						
	20(中央)						
	12(右側)						
＿＿	30(左側)						
	20(中央)						
	12(右側)						
＿＿	30(左側)						
	20(中央)						
	12(右側)						
＿＿	30(左側)						
	20(中央)						
	12(右側)						
＿＿	30(左側)						
	20(中央)						
	12(右側)						

もし、お気づきの点がありましたら下記に御記入をお願いします．

＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

4．2 実験結果

4．2．1 静止実験時の野外条件

静止実験時の観測時間帯の野外輝度および水平面・鉛直面照度を連続測定した。表－4．4、図－4．4に測定結果を示す。

（1）野外輝度

トンネル坑口手前105.9m、地上1.5mの高さ、観測車線路肩付近（実験車の走行に影響しない位置）にトンネルを中心とする直径20°の円形視野の野外輝度計を設置し、野外輝度を測定した。ここでいう野外輝度は、設計時の設定野外輝度（トンネル坑口手前150mからトンネルを中心とした全視野の野外輝度）とは観測距離、視角が異なるものであり、4章以降に記述している全ての野外輝度は特にことわらない限り設定野外輝度とは異なるものである。なお、測定時の距離を150mとしていない理由は、トンネル坑口手前100m付近の上方に存在する高架道路が輝度計の視野内に入るのを避けたためである。以下に各設計条件毎の観測時の野外輝度の状態について示す。

①設計速度50km/hの場合

カウンタービーム照明実験時1,800cd/m²～2,200cd/m²、対称照明実験時4,600cd/m²～4,800cd/m²で観測しており、カウンタービーム照明実験時が対称照明実験時のほぼ1/2の条件であった。

②設計速度60km/hの場合

カウンタービーム照明実験時4,100cd/m²～4,800cd/m²、対称照明実験時4,600cd/m²～4,800cd/m²で観測しており、両照明実験時ともほぼ同じ条件であった。

③設計速度80km/hの場合

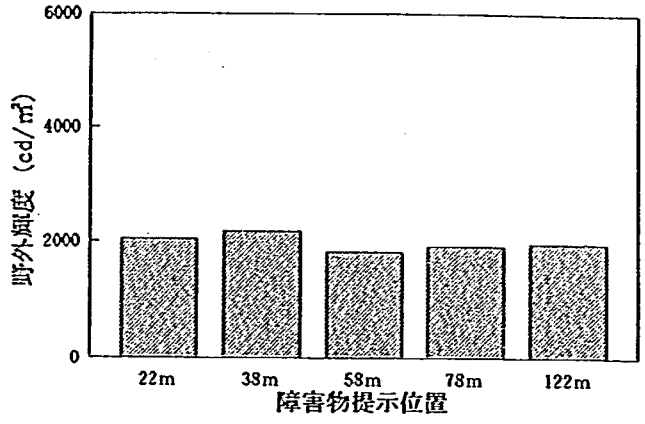
カウンタービーム照明実験時3,000cd/m²～4,500cd/m²、対称照明実験時3,800cd/m²～4,000cd/m²で観測しており、両照明実験時の条件としては、ほぼ同じと考えられる。

（2）水平面・鉛直面照度

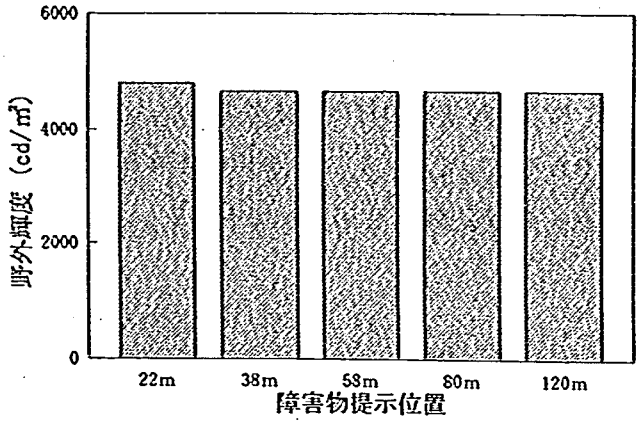
トンネル坑口手前105.9m、観測車線路肩付近（実験車の走行に影響しない位置）において、水平面照度は地上高さ1.4m、鉛直面照度はトンネル坑口と反対側に受光部を向け地上高さ1.3mに設置し測定した。なお、鉛直面照度の測定結果はトンネル坑口での鉛直面照度とほぼ等しいものと考えられる。

表－4．4 障害物視認性実験（静止実験）時の野外条件測定結果

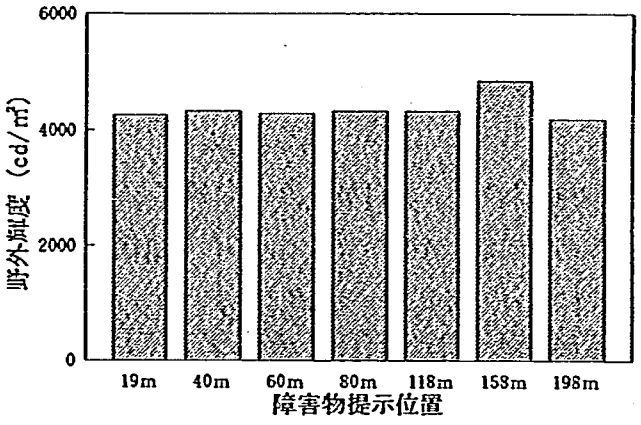
照明方式	設計速度	障害物提示位置(坑口からの距離)	野外輝度 (cd/m^2)	水平面照度 (lx)	鉛直面照度 (lx)	時間	備考
カウンタービーム照明	50km/h	22m	2042	10310	9926	10:10	
		38m	2176	9862	13379	10:20	
		58m	1820	9414	8632	10:25	
		78m	1909	8069	4747	10:30	
		122m	1954	8517	7768	10:35	
対称照明	50km/h	22m	4798	5600	85531	10:05	
		38m	4665	5600	86910	10:30	
		58m	4665	5600	88290	10:17	
		80m	4665	5600	86910	10:21	
		120m	4665	5600	85531	10:25	
カウンタービーム照明	60km/h	19m	4261	61125	87413	09:44	
		40m	4330	65200	88737	09:52	
		60m	4284	65200	90062	09:58	
		80m	4330	65200	90062	10:04	
		118m	4330	57050	90062	10:08	
		158m	4836	65200	90062	10:14	
		198m	4191	65200	90062	10:17	
対称照明	60km/h	18m	4462	77239	55291	10:00	
		41m	4600	86250	58450	10:05	
		57m	4600	88825	56081	10:10	
		80m	4600	88825	60820	10:13	
		118m	4646	88825	61610	10:17	
		164m	4600	88825	70293	10:20	
		198m	4600	90112	62400	10:25	
カウンタービーム照明	80km/h	20m	4530	72000	84100	11:40	
		40m	4440	70000	82000	11:48	
		59m	4120	71000	79500	11:55	
		79m	4220	54000	74400	12:01	
		118m	3040	56000	62100	12:08	
		158m	4380	71000	79500	12:14	
		238m	4050	62000	71300	12:21	
対称照明	80km/h	19m	3970	61700	80700	10:45	
		38m	3970	62986	80700	10:53	
		57m	3877	64271	80700	10:59	
		80m	4016	64271	76857	11:05	
		121m	4016	64271	80700	11:09	
		160m	4062	64271	80700	11:15	
		240m	4062	65556	80700	11:18	



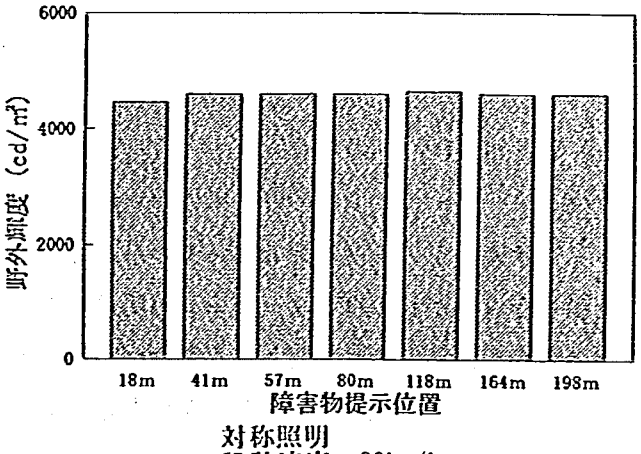
カウンタービーム照明
設計速度：50km/h



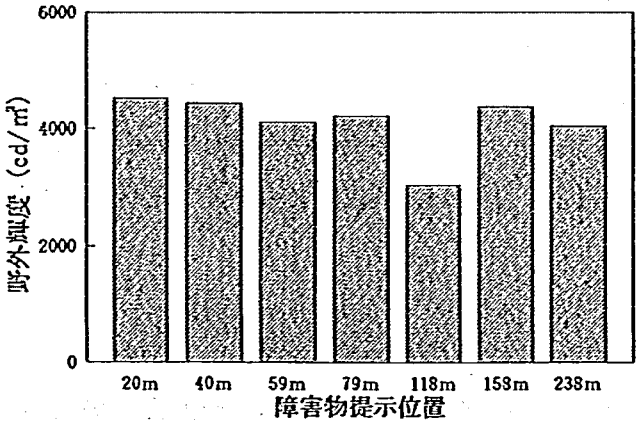
対称照明
設計速度：50km/h



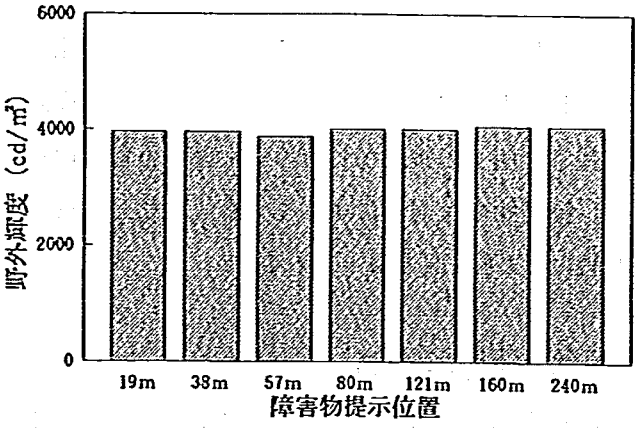
カウンタービーム照明
設計速度：60km/h



対称照明
設計速度：60km/h



カウンタービーム照明
設計速度：80km/h



対称照明
設計速度：80km/h

図－４．４　障害物視認性実験（静止実験）時の野外輝度測定結果

4．2．2 障害物の輝度対比

障害物の視認性を確認するため、反射率20%の障害物について、障害物輝度、路面輝度を測定し、式（4．1）により障害物の輝度対比を求めた。また、測定を行っていない反射率12%、20%については、完全拡散面であるとして式（4．2）を用いて障害物の輝度を算出し、その輝度値から輝度対比を求めた。表－4．5～表－4．7、図－4．5に結果を示す。

$$C = (L - L_o) / L \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4．1)$$

C ：輝度対比

L ：背景の輝度（平均値）（cd/㎡）

L_o：障害物の輝度（cd/㎡）

$$L_o = (\rho \times Ev) / (100 \times \pi) \cdots\cdots\cdots (4．2)$$

ρ ：反射率（%）

Ev：鉛直面照度（lx）

（1）設計速度50㎞/hの場合

カウンタービーム照明時の野外条件が比較的低い条件で実施したため、坑口から20㎜の位置でも障害物はシルエット状態の正の輝度対比となっている。野外輝度が両照明方式によって異なっているため直接比較することはできないが、カウンタービーム照明は障害物の反射率によって輝度対比の変動が対称照明に比べて少ないことが分かる。それに対して、対称照明は、障害物の反射率によって坑口付近ではシルエット、逆シルエット（負の輝度対比）のいずれの条件も存在することが分かる。

（2）設計速度60㎞/hの場合

両照明方式ともに、坑口付近の逆シルエット状態の負の輝度対比からトンネル内の奥にいくにしたがって正の輝度対比側へ移行している。輝度対比の変化は、設計速度50㎞/hの場合とほぼ同様な傾向であり、カウンタービーム照明は障害物の反射率によって輝度対比の変動が対称照明に比べて少なく、トンネル内60㎜以降でも基本照明への接続部付近の約200㎜の位置での輝度対比を除き約0.5～0.7の高い値を示している。対称照明は、障害物の反射率によって大きく変化し、反射率30%では、トンネル内60㎜以降での輝度対比が非常に小さく約0.2以下程度となっている。

（3）設計速度80㎞/hの場合

設計速度60㎞/hの場合とほぼ同様な傾向を示している。すなわち、カウンタービーム照明実験時の輝度対比が対称照明に比べて比較的高い。特に、対称照明の反射率30%の障害物ではトンネル内80m以降で輝度対比が非常に小さい値となっている。

表－４．５　障害物の輝度対比（設計速度：50km/h）

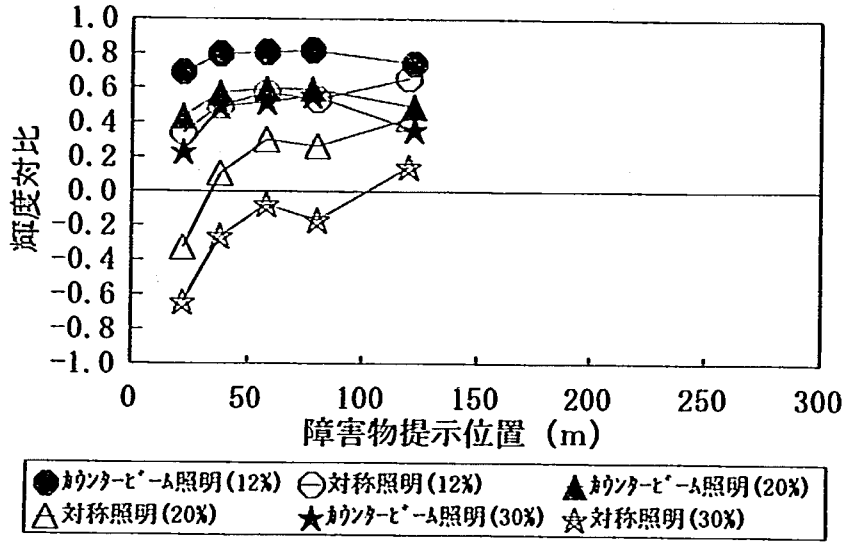
照明方式	設計速度	障害物提示位置(坑口からの距離)(m)	鉛直面照度 Ev (lx)	障害物輝度 L0 (cd/m²)	路面輝度 (cd/m²)					輝度対比
					L1	L2	L3	L4	平均：L	C=(L-L0)/L
カウンターピーム照明	50km/h	22	478.0	33.5	52.9	57.1	63.1	63.2	59.1	0.433
		38	207.0	16.6	43.5	32.5	23.3	55.3	38.7	0.571
		58	112.6	9.1	23.4	18.5	16.8	30.4	22.3	0.591
		78	66.6	5.8	12.5	12.5	13.5	18.4	14.2	0.592
		122	29.0	2.2	4.6	1.8	4.3	6.5	4.3	0.488
対称照明	50km/h	22	2140.0	165.1	91.9	118.4	175.7	111.1	124.3	-0.328
		38	1052.0	71.2	54.3	76.8	106.8	80.6	79.6	0.106
		58	632.0	39.3	48.2	53.9	69.6	52.6	56.1	0.299
		80	401.0	24.2	23.9	27.4	54.8	25.2	32.8	0.262
		120	99.0	6.3	7.9	10.5	15.8	9.9	11.0	0.427

表－４．６　障害物の輝度対比（設計速度：60km/h）

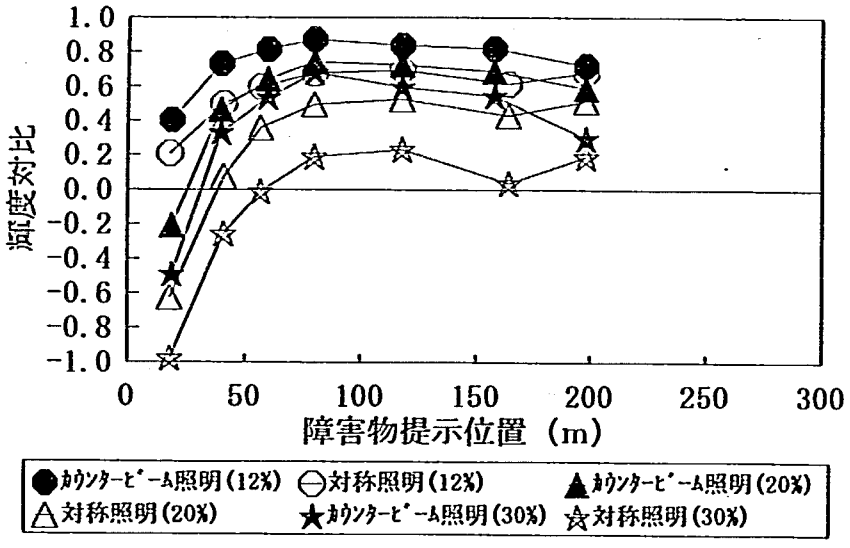
照明方式	設計速度	障害物提示位置(坑口からの距離)(m)	鉛直面照度 Ev (lx)	障害物輝度 L0 (cd/m²)	路面輝度 (cd/m²)					輝度対比
					L1	L2	L3	L4	平均：L	C=(L-L0)/L
カウンターピーム照明	60km/h	19	2160.0	166.9	85.1	130.8	195.5	141.7	138.3	-0.207
		40	553.0	42.3	69.9	78.4	83.4	84.3	79.0	0.464
		60	267.0	19.6	43.5	48.7	65.8	61.4	54.8	0.642
		80	129.0	9.9	32.9	39.3	36.8	43.8	38.2	0.742
		118	82.7	5.4	15.6	16.9	29.1	16.8	19.6	0.723
		158	40.4	2.6	6.5	8.9	9.4	9.1	8.5	0.688
		198	35.3	2.0	3.3	4.5	7.1	4.3	4.8	0.589
対称照明	60km/h	18	4010.0	315.0	105.0	134.0	400.0	135.0	193.5	-0.628
		41	1043.0	73.0	53.0	86.0	115.0	63.0	79.3	0.079
		57	854.0	52.0	64.0	80.0	112.0	67.0	80.8	0.356
		80	503.0	30.0	42.0	55.0	73.0	67.0	59.3	0.494
		118	203.0	12.0	16.0	26.0	34.0	25.0	25.3	0.525
		164	132.0	7.5	8.0	10.5	23.5	10.5	13.1	0.429
		198	48.7	2.8	4.5	5.5	7.5	5.5	5.8	0.513

表－４．７　障害物の輝度対比（設計速度：80km/h）

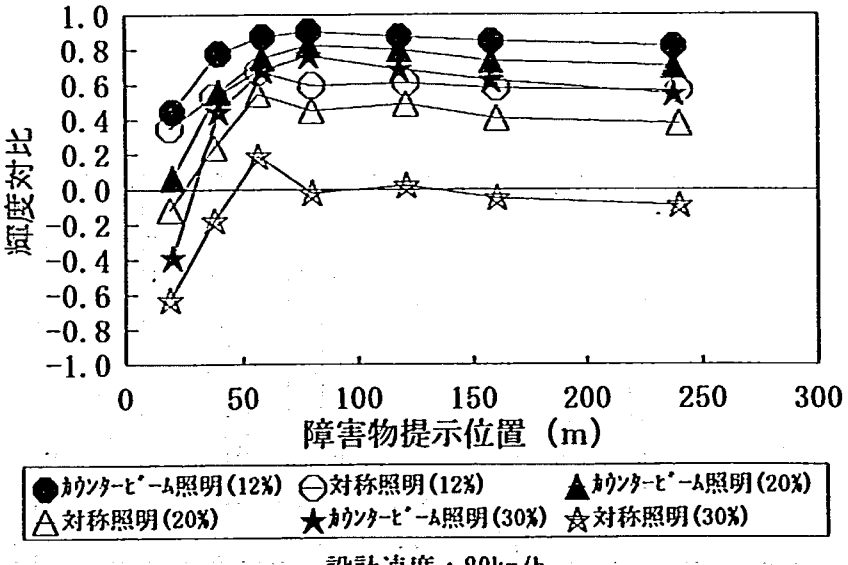
照明方式	設計速度	障害物提示位置(坑口からの距離)(m)	鉛直面照度 Ev (lx)	障害物輝度 L0 (cd/m²)	路面輝度 (cd/m²)					輝度対比
					L1	L2	L3	L4	平均：L	C=(L-L0)/L
カウンターピーム照明	80km/h	20	2400.0	154.1	120.8	155.9	213.6	170.0	165.1	0.066
		40	635.0	48.6	93.7	109.6	119.8	113.7	109.2	0.555
		59	300.0	22.5	99.9	85.2	76.4	99.8	90.3	0.751
		79	226.0	16.1	74.9	97.5	85.8	107.4	91.4	0.824
		118	182.0	11.0	46.6	51.9	61.6	59.9	55.0	0.799
		158	123.1	8.3	27.1	28.1	36.9	32.8	31.2	0.734
		238	61.7	3.8	11.8	11.5	16.0	12.4	12.9	0.706
対称照明	80km/h	19	3240.0	211.8	214.8	177.3	195.7	170.6	189.6	-0.117
		38	1304.0	80.7	111.8	123.6	83.4	104.6	105.9	0.238
		57	1000.0	53.6	105.9	111.9	136.6	116.4	117.7	0.545
		80	814.0	41.9	45.5	71.1	99.2	89.9	76.4	0.452
		121	608.0	30.4	56.5	58.9	68.2	54.5	59.5	0.489
		160	317.0	17.1	33.7	30.9	16.5	34.3	28.9	0.407
		240	89.6	4.9	7.0	7.5	5.3	11.6	7.9	0.376



設計速度：50km/h



設計速度：60km/h



設計速度：80km/h

図－4．5 障害物の輝度対比

4．2．3 被験者による見え方の評価

5段階評価による障害物の視認性についてのアンケート結果を表－4．8～表－4．13、図－4．6～図－4．8に示す。評価の整理にあたっては、以下に示すように評価内容の回答で一番良い評価を5として評点に換算し、評価した。

まったく見えない …… 評点1
かろうじて見えた …… 評点2
ふつうに見えた …… 評点3
よく見えた …… 評点4
非常によく見えた …… 評点5

（1）設計速度50km/hの場合

図－4．6は反射率毎の障害物の提示位置と評点の平均値を示したものである。図より、カウンタービーム照明では一部を除き、どの反射率も各提示位置において比較的高く安定した評価結果となっている。一方、対称照明の反射率20、30%の障害物では提示位置の違いによって評価結果に違いが見られる。これは、輝度対比の変動が大きいこと、カウンタービーム照明実験時の野外輝度が対称照明実験時の約半分程度であったことも影響していると考えられる。また、各評価の標準偏差はカウンタービーム照明で0.26～0.86（平均値0.57）、対称照明で0.49～1.00（平均値0.78）で若干対称照明が大きくなっているが、評価点で1以内に収まっていた。

（2）設計速度60km/hの場合

図－4．7は反射率毎の障害物の提示位置と評点の平均値を示したものである。図より、カウンタービーム照明と対称照明では評価結果はそれほど大きな差がないことがわかる。各評価の標準偏差は、カウンタービーム照明で0.00～0.99（平均値0.65）、対称照明で0.28～0.95（平均値0.54）であった。

視認性の評価は、障害物の反射率によって異なり、坑口20m付近では反射率12%の比較的暗い障害物の評価が悪く、反射率30%の比較的明るい障害物が評価が高くなっている。これは、坑口付近では自然光の射し込みにより比較的明るい障害物は鉛直面照度・輝度がさらに高くなり、比較的暗い背景路面輝度との輝度対比が高くなることによる。

通常、坑口付近のトンネル内では、障害物の見え方が逆シルエット状態（負の輝度対比）からシルエット状態（正の輝度対比）に移行する間の輝度対比がゼロ付近となり、見えにくくなる区間がある。その傾向が反射率30%の時のトンネル内40,60m付近で顕著に現れている。他の反射率では対称照明で若干の傾向は認められるが大きな変化は現れていない。

（3）設計速度80km/hの場合

図－4．8は反射率毎の障害物の提示位置と評点の平均値を示したものである。図より、カウンタービーム照明が対称照明を若干上回っている。各評価の標準偏差は、カウンタービーム照明で0.41～0.86（平均値

0.63）、対称照明で0.00～1.11（平均値0.59）で設計速度50,60km/hの場合と大差はなかった。

視認性の評価は、設計速度60km/hの場合と同様に反射率によって異なり、坑口20m付近では反射率12%の比較的暗い障害物の評価が悪く、反射率30%の比較的明るい障害物の評価が高くなっている。

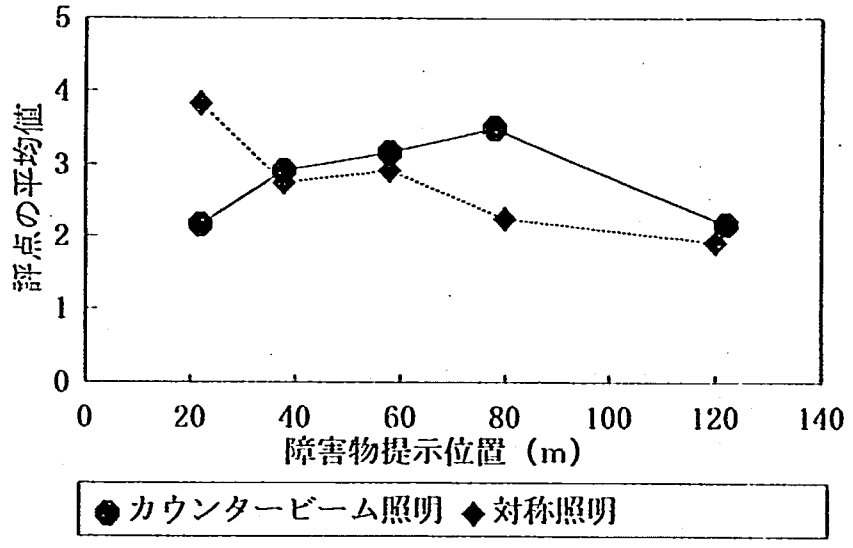
カウンタービーム照明ではトンネル内40m付近で、トンネル坑口付近の障害物の見え方の逆シルエット状態（負の輝度対比）からシルエット状態（正の輝度対比）に移行する間の輝度対比がゼロ付近となっていると考えられ評価が低くなっている。対称照明は、40m～80m付近で一部評価が低下する傾向にあり、この付近での輝度対比が低下していると考えられる。設計速度60km/hの場合と比較すると、照明レベルが高くなった分、自然光の影響を受けにくく、障害物の視認状態（シルエットか逆シルエットか）が変化する位置が坑口付近に移動していると考えられる。

表－4.8 障害物の視認性実験（静止実験）アンケート結果
（カウンタービーム照明、設計速度50km/h）

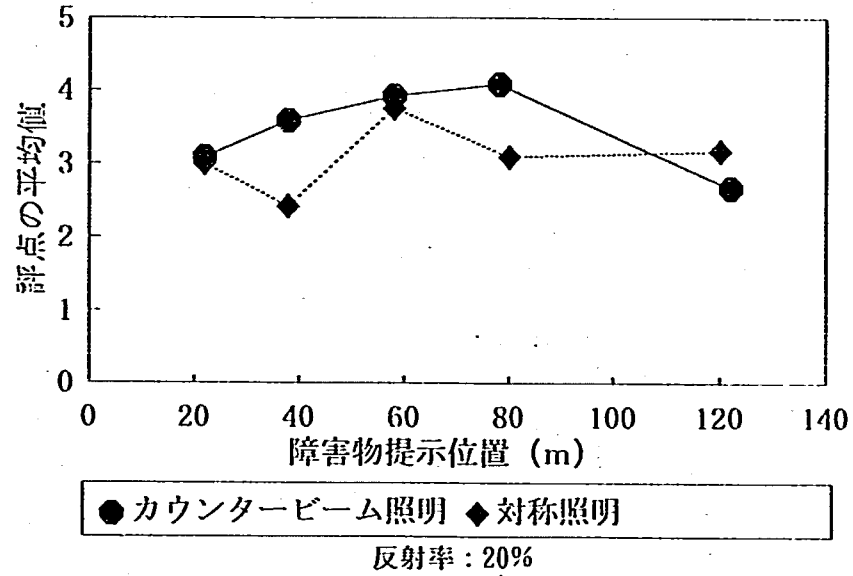
照明方式	設計速度	障害物		評価内容						全体に占める割合 (%)						評点の平均値	評点の標準偏差	備考
		提示位置	反射率	1	2	3	4	5	合計	1	2	3	4	5	合計			
カウンタービーム照明	50km/h	22m	30%	0	10	2	0	0	12	0	83	17	0	0	100	2.17	0.37	
			20%	0	0	11	1	0	12	0	0	92	8	0	100	3.08	0.28	
			12%	0	0	6	6	0	12	0	0	50	50	0	100	3.50	0.50	
		38m	30%	0	2	9	1	0	12	0	17	75	8	0	100	2.92	0.49	
			20%	0	0	6	5	1	12	0	0	50	42	8	100	3.58	0.64	
			12%	0	0	4	5	3	12	0	0	33	42	25	100	3.92	0.43	
		58m	30%	0	1	8	3	0	12	0	8	67	25	0	100	3.17	0.55	
			20%	0	1	1	8	2	12	0	8	8	67	17	100	3.92	0.76	
			12%	0	0	1	7	4	12	0	0	8	58	33	100	4.25	0.60	
		78m	30%	0	1	5	5	1	12	0	8	42	42	8	100	3.50	0.76	
			20%	0	1	1	6	4	12	0	8	8	50	33	100	4.08	0.85	
			12%	0	0	1	7	4	12	0	0	8	58	33	100	4.25	0.60	
		122m	30%	0	10	2	0	0	12	0	83	17	0	0	100	2.17	0.37	
			20%	0	5	6	1	0	12	0	42	50	8	0	100	2.67	0.62	
			12%	0	2	7	3	0	12	0	17	58	25	0	100	3.08	0.64	

表－4.9 障害物の視認性実験（静止実験）アンケート結果
（対称照明、設計速度50km/h）

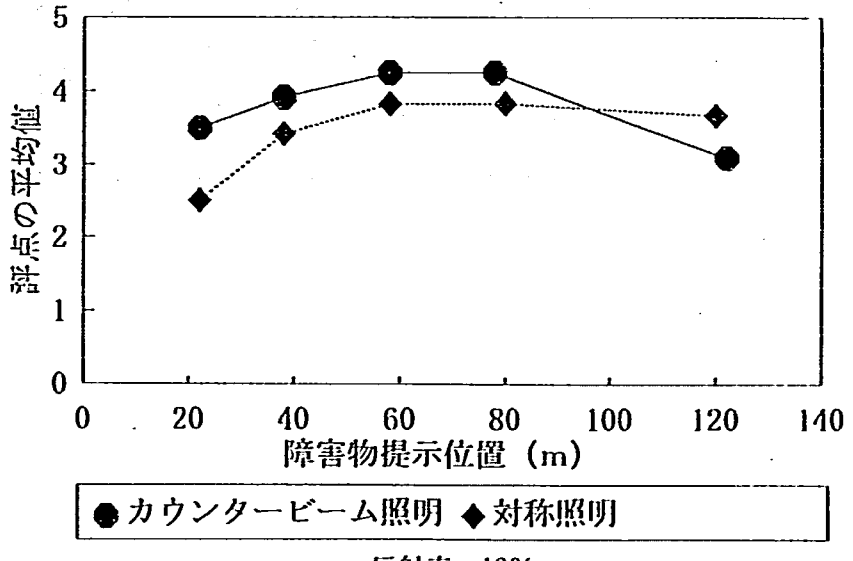
照明方式	設計速度	障害物		評価内容						全体に占める割合 (%)						評点の平均値	評点の標準偏差	備考
		提示位置	反射率	1	2	3	4	5	合計	1	2	3	4	5	合計			
対称照明	50km/h	22m	30%	0	0	6	2	4	12	0	0	50	17	33	100	3.83	0.90	
			20%	0	5	3	3	1	12	0	42	25	25	8	100	3.00	1.00	
			12%	0	7	4	1	0	12	0	58	33	8	0	100	2.50	0.65	
		38m	30%	0	5	5	2	0	12	0	42	42	17	0	100	2.75	0.72	
			20%	0	7	5	0	0	12	0	58	42	0	0	100	2.42	0.49	
			12%	0	1	5	6	0	12	0	8	42	50	0	100	3.42	0.64	
		58m	30%	0	4	6	1	1	12	0	33	50	8	8	100	2.92	0.86	
			20%	0	0	5	5	2	12	0	0	42	42	17	100	3.75	0.72	
			12%	0	0	4	6	2	12	0	0	33	50	17	100	3.83	0.69	
		80m	30%	2	6	3	1	0	12	17	50	25	8	0	100	2.25	0.83	
			20%	0	3	5	4	0	12	0	25	42	33	0	100	3.08	0.76	
			12%	0	1	3	5	3	12	0	8	25	42	25	100	3.83	0.90	
		120m	30%	4	6	1	1	0	12	33	50	8	8	0	100	1.92	0.86	
			20%	0	3	4	5	0	12	0	25	33	42	0	100	3.17	0.80	
			12%	0	2	2	6	2	12	0	17	17	50	17	100	3.67	0.94	



反射率：30%



反射率：20%



反射率：12%

図－4．6 障害物の視認性実験（静止実験）アンケート結果（設計速度：50km/h）

表－４．１０ 障害物の視認性実験（静止実験）アンケート結果

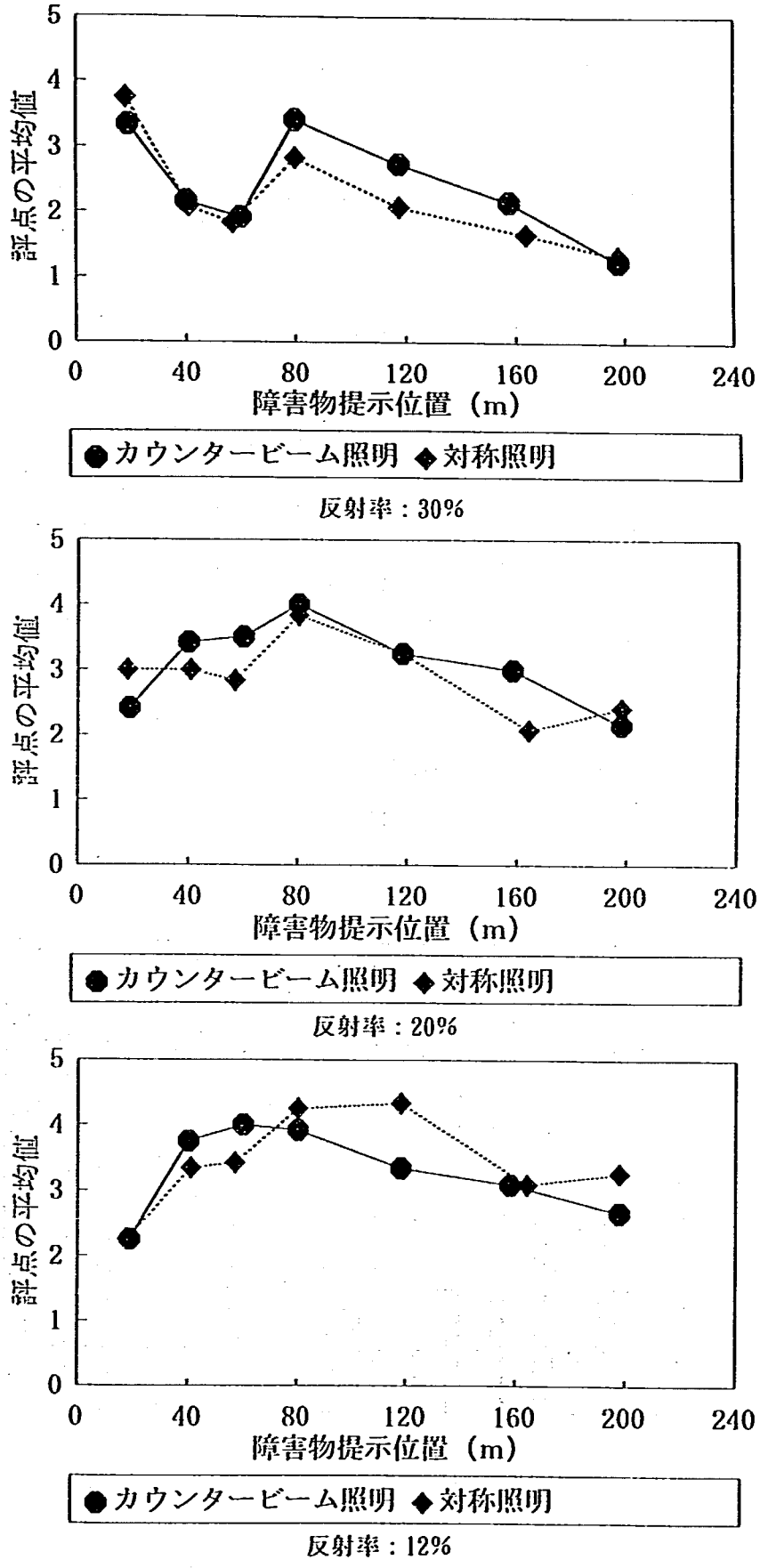
（カウンタービーム照明、設計速度60km/h）

照明方式	設計速度	障害物		評価内容						全体に占める割合 (%)						評点の	評点の	備考
		提示位置	反射率	1	2	3	4	5	合計	1	2	3	4	5	合計	平均値	標準偏差	
カウンタービーム照明	60km/h	19m	30%	0	2	6	2	2	12	0	17	50	17	17	100	3.33	0.94	
			20%	0	8	3	1	0	12	0	67	25	8	0	100	2.42	0.64	
			12%	0	9	3	0	0	12	0	75	25	0	0	100	2.25	0.64	
		40m	30%	0	10	2	0	0	12	0	83	17	0	0	100	2.17	0.43	
			20%	0	0	8	3	1	12	0	0	67	25	8	100	3.42	0.37	
			12%	0	1	3	6	2	12	0	8	25	50	17	100	3.75	0.83	
		60m	30%	0	8	4	0	0	12	0	67	33	0	0	100	1.92	0.47	
			20%	0	0	8	4	0	12	0	0	67	33	0	100	3.50	0.91	
			12%	0	1	2	5	4	12	0	8	17	42	33	100	4.00	0.91	
		80m	30%	0	0	7	5	0	12	0	0	58	42	0	100	3.42	0.99	
			20%	0	0	0	12	0	12	0	0	0	100	0	100	4.00	0.00	
			12%	0	0	4	5	3	12	0	0	33	42	25	100	3.92	0.76	
		118m	30%	0	4	7	1	0	12	0	33	58	8	0	100	2.75	0.60	
			20%	0	0	5	6	1	12	0	0	42	50	8	100	3.25	0.62	
			12%	0	2	4	6	0	12	0	17	33	50	0	100	3.33	0.75	
		158m	30%	1	8	3	0	0	12	8	67	25	0	0	100	2.17	0.55	
			20%	0	2	8	2	0	12	0	17	67	17	0	100	3.00	0.58	
			12%	1	0	8	3	0	12	8	0	67	25	0	100	3.08	0.76	
		198m	30%	9	3	0	0	0	12	75	25	0	0	0	100	1.25	0.87	
			20%	0	10	2	0	0	12	0	83	17	0	0	100	2.17	0.37	
			12%	1	3	7	1	0	12	8	25	58	8	0	100	2.67	0.75	

表－４．１１ 障害物の視認性実験（静止実験）アンケート結果

（対称照明、設計速度60km/h）

照明方式	設計速度	障害物		評価内容						全体に占める割合 (%)						評点の	評点の	備考
		提示位置	反射率	1	2	3	4	5	合計	1	2	3	4	5	合計	平均値	標準偏差	
対称照明	60km/h	18m	30%	0	0	5	5	2	12	0	0	42	42	17	100	3.75	0.72	
			20%	0	2	8	2	0	12	0	17	67	17	0	100	3.00	0.58	
			12%	0	9	3	0	0	12	0	75	25	0	0	100	2.25	0.58	
		41m	30%	1	10	0	1	0	12	8	83	0	8	0	100	2.08	0.43	
			20%	0	1	10	1	0	12	0	8	83	8	0	100	3.00	0.41	
			12%	0	2	5	4	1	12	0	17	42	33	8	100	3.33	0.85	
		57m	30%	1	10	1	0	0	12	8	83	8	0	0	100	1.83	0.41	
			20%	0	2	10	0	0	12	0	17	83	0	0	100	2.83	0.37	
			12%	1	0	5	5	1	12	8	0	42	42	8	100	3.42	0.95	
		80m	30%	0	2	10	0	0	12	0	17	83	0	0	100	2.83	0.37	
			20%	0	0	3	8	1	12	0	0	25	67	8	100	3.83	0.55	
			12%	0	0	2	5	5	12	0	0	17	42	42	100	4.25	0.72	
		118m	30%	1	9	2	0	0	12	8	75	17	0	0	100	2.08	0.49	
			20%	0	0	9	3	0	12	0	0	75	25	0	100	3.25	0.43	
			12%	0	0	1	6	5	12	0	0	8	50	42	100	4.33	0.62	
		164m	30%	4	8	0	0	0	12	33	67	0	0	0	100	1.67	0.47	
			20%	0	11	1	0	0	12	0	92	8	0	0	100	2.08	0.28	
			12%	0	2	7	3	0	12	0	17	58	25	0	100	3.08	0.64	
		198m	30%	8	4	0	0	0	12	67	33	0	0	0	100	1.33	0.47	
			20%	0	7	5	0	0	12	0	58	42	0	0	100	2.42	0.49	
			12%	0	0	9	3	0	12	0	0	75	25	0	100	3.25	0.43	



図－４．７ 障害物の視認性実験（静止実験）アンケート結果（設計速度：60km/h）

表－４．１２ 障害物の視認性実験（静止実験）アンケート結果

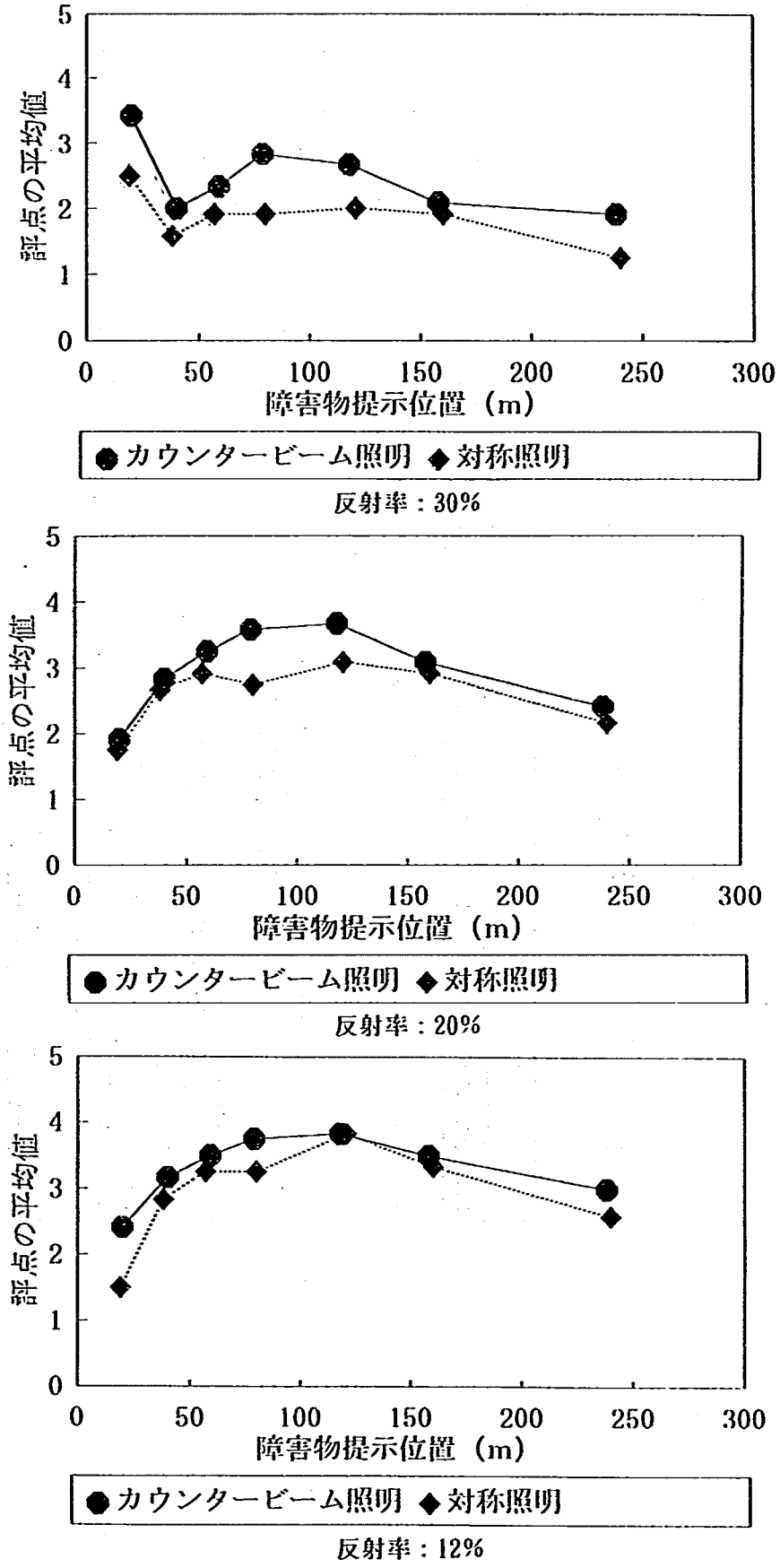
（カウンタービーム照明、設計速度80km/h）

照明方式	照明レベル	障害物		評価内容						全体に占める割合（%）						評点の	評点の	備考
		提示位置	反射率	1	2	3	4	5	合計	1	2	3	4	5	合計	平均値	標準偏差	
カウンタービーム照明	80km/h	20m	30%	0	2	4	5	1	12	0	17	33	42	8	100	3.42	0.86	
			20%	2	9	1	0	0	12	17	75	8	0	0	100	1.92	0.49	
			12%	1	5	6	0	0	12	8	42	50	0	0	100	2.42	0.64	
		40m	30%	1	10	1	0	0	12	8	83	8	0	0	100	2.00	0.41	
			20%	0	4	6	2	0	12	0	33	50	17	0	100	2.83	0.69	
			12%	0	2	6	4	0	12	0	17	50	33	0	100	3.17	0.69	
		59m	30%	0	9	2	1	0	12	0	75	17	8	0	100	2.33	0.62	
			20%	0	1	7	4	0	12	0	8	58	33	0	100	3.25	0.60	
			12%	0	1	4	7	0	12	0	8	33	58	0	100	3.50	0.65	
		79m	30%	0	3	8	1	0	12	0	25	67	8	0	100	2.83	0.55	
			20%	0	0	5	7	0	12	0	0	42	58	0	100	3.58	0.49	
			12%	0	0	5	5	2	12	0	0	42	42	17	100	3.75	0.72	
		118m	30%	0	5	6	1	0	12	0	42	50	8	0	100	2.67	0.62	
			20%	0	0	5	6	1	12	0	0	42	50	8	100	3.67	0.62	
			12%	0	0	4	6	2	12	0	0	33	50	17	100	3.83	0.69	
		158m	30%	2	7	3	0	0	12	17	58	25	0	0	100	2.08	0.64	
			20%	0	2	7	3	0	12	0	17	58	25	0	100	3.08	0.64	
			12%	0	1	5	5	1	12	0	8	42	42	8	100	3.50	0.76	
		238m	30%	2	9	1	0	0	12	17	75	8	0	0	100	1.92	0.49	
			20%	0	8	3	1	0	12	0	67	25	8	0	100	2.42	0.64	
			12%	0	3	6	3	0	12	0	25	50	25	0	100	3.00	0.71	

表－４．１３ 障害物の視認性実験（静止実験）アンケート結果

（対称照明、設計速度80km/h）

照明方式	照明レベル	障害物		評価内容						全体に占める割合（%）						評点の	評点の	備考
		提示位置	反射率	1	2	3	4	5	合計	1	2	3	4	5	合計	平均値	標準偏差	
対称照明	80km/h	19m	30%	0	7	4	1	0	12	0	58	33	8	0	100	2.50	0.65	
			20%	3	9	0	0	0	12	25	75	0	0	0	100	1.75	0.43	
			12%	7	4	1	0	0	12	58	33	8	0	0	100	1.50	0.65	
		38m	30%	5	7	0	0	0	12	42	58	0	0	0	100	1.58	0.49	
			20%	0	4	8	0	0	12	0	33	67	0	0	100	2.67	0.47	
			12%	0	3	8	1	0	12	0	25	67	8	0	100	2.83	0.55	
		57m	30%	1	11	0	0	0	12	8	92	0	0	0	100	1.92	0.28	
			20%	0	3	7	2	0	12	0	25	58	17	0	100	2.92	0.64	
			12%	0	3	4	4	1	12	0	25	33	33	8	100	3.25	0.92	
		80m	30%	1	11	0	0	0	12	8	92	0	0	0	100	1.92	0.28	
			20%	0	3	9	0	0	12	0	25	75	0	0	100	2.75	0.43	
			12%	0	1	7	4	0	12	0	8	58	33	0	100	3.25	0.60	
		121m	30%	0	12	0	0	0	12	0	100	0	0	0	100	2.00	0.00	
			20%	0	1	9	2	0	12	0	8	75	17	0	100	3.08	0.49	
			12%	0	0	5	4	3	12	0	0	42	33	25	100	3.83	0.80	
		160m	30%	3	8	0	1	0	12	25	67	0	8	0	100	1.92	0.76	
			20%	0	4	5	3	0	12	0	33	42	25	0	100	2.92	0.76	
			12%	0	3	5	1	3	12	0	25	42	8	25	100	3.33	1.11	
		240m	30%	10	1	1	0	0	12	83	8	8	0	0	100	1.25	0.60	
			20%	1	8	3	0	0	12	8	67	25	0	0	100	2.17	0.55	
			12%	1	6	2	3	0	12	8	50	17	25	0	100	2.58	0.95	



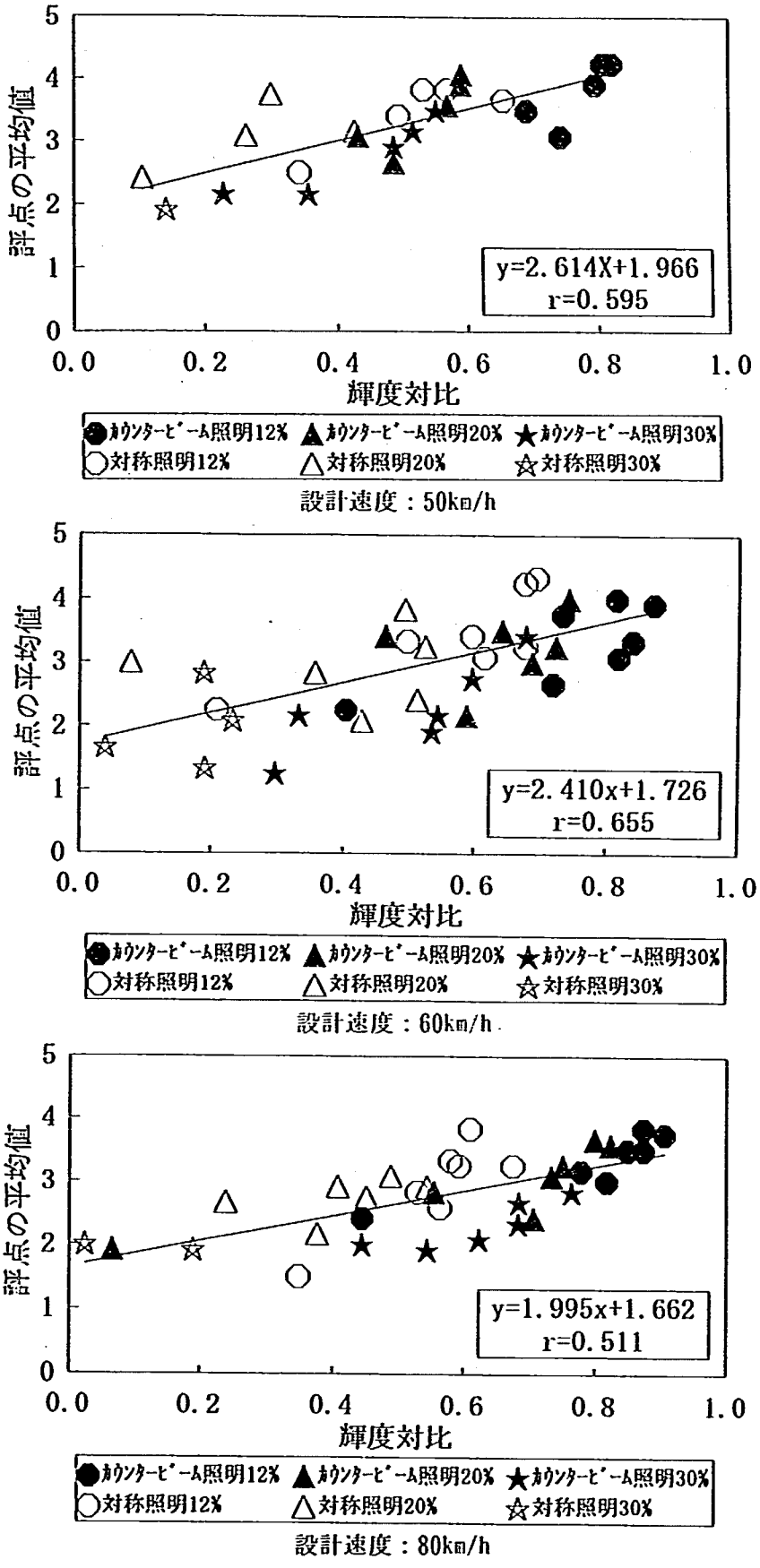
図－４．８ 障害物の視認性実験（静止実験）アンケート結果（設計速度：80km/h）

4．2．4 障害物の輝度対比と見え方の関係

表－4．14、図－4．9に障害物の見え方のアンケート結果（評点の平均値）と輝度対比の関係を示す。アンケート結果と輝度対比の関係は、各設計速度ともにカウンタービーム照明の障害物の反射率12%の輝度対比が高く、評点の平均値も良い結果となっていることがわかる。全体的な傾向は、多少ばらつきがあるものの、輝度対比が高くなると評点の平均値も高くなり、相関係数も0.50以上となった。

表－4．14 アンケート結果と輝度対比の関係

照明方式	設計速度	障害物提示位置	評点の平均値			輝度対比			備考
			12%	20%	30%	12%	20%	30%	
カウンタービーム照明	50km/h	22m	3.50	3.08	2.17	0.691	0.433	0.227	
		38m	3.92	3.58	2.92	0.795	0.571	0.489	
		59m	4.25	3.92	3.17	0.807	0.591	0.517	
		78m	4.25	4.08	3.50	0.821	0.592	0.553	
		122m	3.08	2.67	2.17	0.742	0.488	0.356	
対称照明	50km/h	22m	2.50	3.00	3.83	0.342	-0.328	-0.644	
		38m	3.42	2.42	2.75	0.495	0.106	-0.262	
		58m	3.83	3.75	2.92	0.570	0.299	-0.076	
		80m	3.83	3.08	2.25	0.533	0.262	-0.167	
		120m	3.67	3.17	1.92	0.656	0.427	0.141	
カウンタービーム照明	60km/h	19m	2.25	2.42	3.33	0.403	-0.207	-0.492	
		40m	3.75	3.42	2.17	0.733	0.464	0.332	
		59m	4.00	3.50	4.67	0.814	0.642	0.535	
		79m	3.92	4.00	3.42	0.871	0.742	0.678	
		118m	3.33	3.25	2.75	0.839	0.723	0.597	
		158m	3.08	3.00	2.17	0.818	0.688	0.544	
		198m	2.67	2.17	1.25	0.719	0.589	0.296	
対称照明	60km/h	18m	2.25	3.00	3.75	0.208	-0.628	-0.979	
		41m	3.33	3.00	2.08	0.497	0.079	-0.257	
		57m	3.42	2.83	2.00	0.596	0.356	-0.010	
		80m	4.25	3.83	2.83	0.676	0.494	0.189	
		118m	4.33	3.25	2.08	0.693	0.525	0.232	
		154m	3.08	2.08	1.67	0.616	0.429	0.040	
		198m	3.25	2.42	1.33	0.676	0.513	0.191	
カウンタービーム照明	80km/h	20m	2.42	1.92	3.42	0.445	0.066	-0.388	
		40m	3.17	2.83	2.00	0.778	0.555	0.445	
		59m	3.50	3.25	2.33	0.873	0.751	0.683	
		79m	3.75	3.58	2.83	0.906	0.824	0.764	
		118m	3.83	3.67	2.67	0.874	0.799	0.684	
		158m	3.50	3.08	2.08	0.849	0.734	0.624	
		238m	3.00	2.42	1.92	0.818	0.706	0.544	
対称照明	80km/h	19m	1.50	1.75	2.50	0.347	-0.117	-0.632	
		38m	2.83	2.67	1.58	0.529	0.238	-0.176	
		57m	3.25	2.92	1.92	0.675	0.545	0.189	
		80m	3.25	2.75	1.92	0.593	0.452	-0.017	
		121m	3.83	3.08	2.00	0.610	0.489	0.025	
		160m	3.33	2.92	1.92	0.580	0.407	-0.049	
		240m	2.58	2.17	1.25	0.564	0.376	-0.090	



図－4．9 アンケート結果と輝度対比の関係

4．3 まとめ

実大トンネル実験施設を用いて設計速度50, 60, 80km/hの各照明条件において、入口部照明を対象としてカウンタービーム照明と対称照明の両照明方式について障害物の視認性（静止実験）を行った。なお、照明レベルはカウンタービーム照明を対称照明に比べて約２割低減させて行った。本実験結果より以下のことが明らかとなった。

障害物の輝度対比は、カウンタービーム照明が対称照明に比べて障害物の反射率にあまり影響を受けず、比較的安定した高い値を示すことが分かった。

被験者による障害物の視認性のアンケート結果では、障害物の反射率が12%、20%の場合は両照明方式の大きな差異は認められないが、反射率30%の場合はカウンタービーム照明が高い評価結果となった。これは、輝度対比の結果とも整合しており被験者による視認性の評価結果と輝度対比の結果も相関係数が０．５以上となった。

以上より、野外輝度の条件が両照明方式で同程度であった設計速度60、80km/h相当では、カウンタービーム照明の照明レベルを対称照明に比べて約２割低減させた状態においても、対称照明に比べて同等もしくはそれ以上の障害物の視認性が得られていることが明らかとなった。なお、50km/h相当の実験時は両照明方式の野外輝度が大きく異なっていたため、障害物の視認性を比較するのは困難であり、別途の検討結果によって行う必要がある。

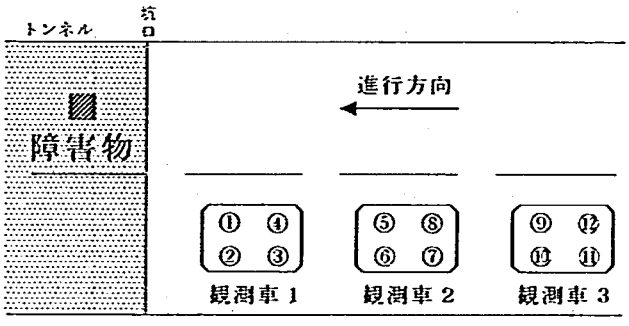
5．障害物の視認性実験（走行実験）

5．1 実験概要

5．1．1 実験方法

実験は、実大トンネル実験施設内を観測車に乗車した被験者に所定の走行速度で走行させ、トンネル内の所定の位置に提示した障害物（一辺が20cmの立方体か直径23cmの円板で反射率30%）を観測（視認、確認）させると同時に、「トンネル坑口の見え方」「トンネルの進入のしやすさ」「照明器具からのトンネル進入後の視環境」に関するアンケート調査を行った。

また、野外条件として野外輝度、水平面照度、鉛直面照度を測定し、観測条件として障害物輝度、路面輝度、障害物の観測面の鉛直面照度の測定を行った。



図－5．1　実験配置図

5．1．2 実験条件

（1）照明方式　　：カウンタービーム照明（設置位置；車線中央）
　　対称照明

（2）設計速度　　：設計速度50km/h
　　設計速度60km/h
　　設計速度80km/h
　　入口部照明の基準輝度は表－2．3に示す。

（3）野外輝度　　：3,000cd/㎡程度以上を目標とする。

（4）障害物　　：反射率30%（N値＝6）；一辺20cmの立方体
　　直径23cmの円板
　　（ ）内のN値はマンセル表色系による。

（5）障害物の提示位置および形状

障害物は、視認性実験（静止実験）の提示位置と同位置として以下に示す位置に○か□の形状の障害物を提示した。各提示位置毎に2回の提示を行った。

表－５．１　障害物の提示位置

設計速度	カウンタービーム照明			対称照明		
	提示順序	障害物		提示順序	障害物	
		提示位置	形状		提示位置	形状
50km/h	1	58m	○	1	120m	□
	2	22m	□	2	58m	○
	3	78m	○	3	22m	□
	4	38m	□	4	80m	○
	5	58m	□	5	38m	□
	6	22m	○	6	58m	□
	7	78m	□	7	22m	○
	8	122m	○	8	80m	□
	9	38m	○	9	120m	○
	10	122m	□	10	38m	○
60km/h	1	118m	□	1	118m	□
	2	198m	○	2	198m	○
	3	19m	□	3	18m	□
	4	158m	○	4	154m	○
	5	60m	□	5	57m	□
	6	80m	○	6	80m	○
	7	40m	□	7	41m	□
	8	198m	□	8	198m	□
	9	19m	○	9	18m	○
	10	118m	○	10	80m	□
	11	158m	□	11	118m	○
	12	60m	○	12	154m	□
	13	40m	○	13	57m	○
	14	80m	□	14	41m	○
80km/h	1	158m	□	1	121m	□
	2	238m	○	2	240m	○
	3	20m	□	3	19m	□
	4	80m	○	4	38m	○
	5	60m	□	5	57m	□
	6	118m	○	6	80m	○
	7	40m	□	7	160m	□
	8	80m	□	8	240m	□
	9	20m	○	9	19m	○
	10	118m	□	10	80m	□
	11	158m	○	11	121m	○
	12	238m	□	12	38m	□
	13	60m	○	13	57m	○
	14	40m	○	14	160m	○

（６）被験者

被験者は視認性実験（静止実験）と同一とした（被験者属性は表－４．２を参照）。

５．１．３　測定項目および測定方法

各観測毎に、以下に示す項目について測定を行った。

（１）野外条件

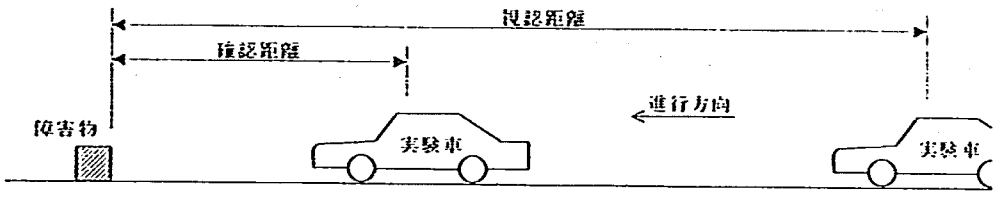
静止実験と同様に、野外輝度、水平面照度、鉛直面照度の測定を行った。野外輝度は、視野角20°の輝度計を用いてトンネル坑口手前105.9m、路上高さ1.5mから、また、同じ場所で水平面照度、鉛直面照度の測定を行った。

（２）障害物輝度・路面輝度・鉛直面照度

静止実験と同様に、トンネル内に提示した障害物の障害物輝度（L_o）、鉛直面照度（E_v）１点と路面輝度（L_1～L_4）４点の測定を行った。本測定は、障害物を提示し、被験者による観測が終了した直後に毎回実施した。

（3）視認距離・確認距離

実験は、トンネル外からトンネル内に向かって走行する観測車に乗車した被験者12名（1台に4名ずつで3台×4名=12名）に、トンネル内に提示した障害物を視認した時、確認した時、障害物を通過した時に手元のスイッチボタンを押してデータを入力させ、そのデータを観測車に搭載された記録計に記録し、記録されたデータを読み取り、計算によって視認距離、確認距離を求めた。なお、ここで言う視認とは、路面上に存在する障害物の形状がはっきりとはわからないが何か路面上に存在すると認められた時を言い、確認とは、存在する障害物の形状を確認できた時を言う。



図－5．2 視認距離及び確認距離

（4）アンケート調査

照明方式（カウンタービーム照明，対称照明）の違いによる障害物の視認性を確認するため、以下の表－5．2に示すアンケート調査用紙を用い、「トンネル坑口の見え方」「トンネルの進入のしやすさ」「照明器具からのまぶしさ」「トンネル進入後の視環境」に関するアンケートを5段階評価で実施した。

表－5．2　アンケート調査用紙

入口部照明の視認性に関するアンケート調査
障害物視認性実験（走行実験）

氏名　　年齢　　男・女　　実験日時　　月　　日　　時
車両番号　　番　乗車位置　　番
照明方式　カウンタービーム照明・対称照明　　照明レベル　50km/h　60km/h　80km/h

1．トンネル坑口の見え方

非常に暗く感じた	やや暗く感じた	どちらともいえない	やや明るく感じた	非常に明るく感じた

2．トンネルの進入のしやすさ

不安感が高く非常に進入しにくい	やや不安感があり進入しにくい	多少不安感があるが支障はない	ほとんど不安感がない	まったく不安感がない

3．照明器具からのまぶしさ

まぶしすぎて非常に運転しづらい	ややまぶしく運転しづらい	多少まぶしいが支障はない	ほとんどまぶしくない	まったくまぶしくない

4．トンネル進入後の視環境

非常に悪い	やや悪い	どちらともいえない	やや良い	非常に良い

もし、お気づきの点がありましたら下記に御記入をお願いします．

5．2 実験結果

5．2．1 走行実験時の野外条件

走行実験時の野外輝度および水平面・鉛直面照度の測定結果を表－5．3、図－5．3に示す。

（1）設計速度50km/hの場合

カウンタービーム照明実験時で660cd/m²～2,400cd/m²、対称照明実験時で3,160cd/m²～4,640cd/m²で観測されておりカウンタービーム照明実験時が観測する上で非常に有利な条件であった。

（2）設計速度60km/hの場合

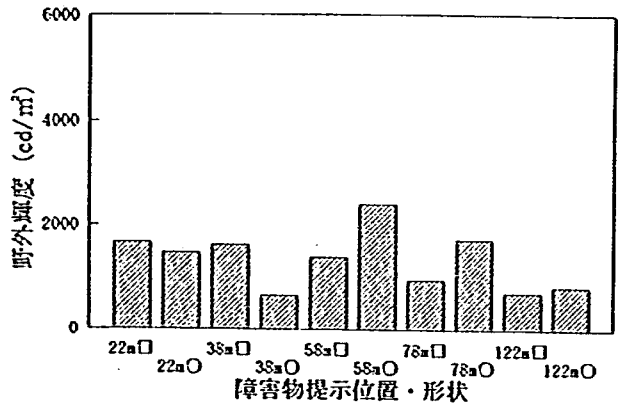
カウンタービーム照明実験時で1,360cd/m²～3,560cd/m²、対称照明実験時で2,920cd/m²～4,170cd/m²で観測されておりカウンタービーム照明実験時が若干低いものの、概ね同程度であった。

（3）設計速度80km/hの場合

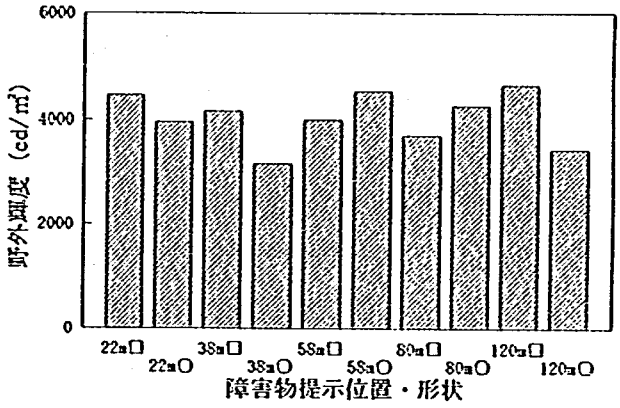
カウンタービーム照明実験時で1,630cd/m²～3,640cd/m²、対称照明実験時で2,560cd/m²～4,070cd/m²で観測されておりカウンタービーム照明実験時が若干低いものの、概ね同程度であった。

表－５．３ 障害物の視認性実験（走行実験）時の野外条件測定結果

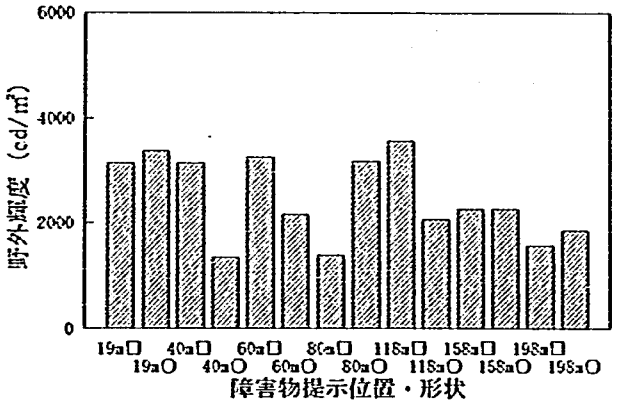
照明方式	設計速度	障害物 提示位置	障害物 形状	野外輝度 (cd/㎡)	水平面照度 (lx)	鉛直面照度 (lx)	時間	備考
カウンタービーム照明	50km/h	22m	□	1660	9000	10000	13:28	
			○	1470	6000	6600	14:05	
		38m	□	1610	9000	7500	13:47	
			○	660	2200	2400	14:36	
		58m	□	1380	9000	9200	13:55	
			○	2400	15000	14200	13:00	
		78m	□	950	4000	4300	14:16	
			○	1730	9000	9600	13:38	
		122m	□	720	2000	2000	15:00	
			○	830	3000	2900	14:25	
対称照明	50km/h	22m	□	4450	52000	67800	13:45	
			○	3960	34000	58100	14:21	
		38m	□	4150	39000	64700	14:03	
			○	3160	25000	46700	14:49	
		58m	□	4000	37000	61900	14:12	
			○	4530	45000	69900	13:36	
		80m	□	3690	32000	55700	14:31	
			○	4250	40000	66000	13:53	
		120m	□	4640	49000	74300	13:26	
			○	3430	28000	49600	14:40	
カウンタービーム照明	60km/h	19m	□	3140	42000	48500	13:06	
			○	3360	40800	49200	14:07	
		40m	□	3140	44200	55300	13:48	
			○	1360	8700	10000	14:46	
		60m	□	3250	41500	49600	13:26	
			○	2170	18500	23300	14:34	
		80m	□	1390	8800	8700	14:59	
			○	3180	48200	59000	13:37	
		118m	□	3560	48500	58400	12:49	
			○	2060	15700	17900	14:18	
		158m	□	2270	29500	35600	14:26	
			○	2270	26200	31200	13:17	
		198m	□	1570	10600	11000	13:59	
			○	1860	16600	17500	12:58	
対称照明	60km/h	18m	□	4090	71200	57300	12:47	
			○	3680	57800	47400	13:40	
		41m	□	3730	49000	60000	13:25	
			○	2920	45400	37400	14:14	
		57m	□	3930	66300	54100	13:10	
			○	2920	48700	40200	14:08	
		80m	□	3580	55100	45600	13:46	
			○	3830	63300	52100	13:17	
		118m	□	4170	73600	59000	12:30	
			○	3480	52400	43200	13:55	
		154m	□	3050	50800	41300	14:02	
			○	4000	67900	54100	12:55	
		198m	□	3730	59800	49000	13:33	
			○	4150	72900	58500	12:40	
カウンタービーム照明	80km/h	20m	□	3070	42000	48900	13:52	
			○	2570	32000	36700	14:32	
		40m	□	2790	36000	42800	14:12	
			○	1630	14000	18400	15:27	
		60m	□	3140	41000	47900	13:57	
			○	1840	17000	21000	15:17	
		80m	□	2770	33000	39400	14:22	
			○	3080	42000	48900	13:52	
		118m	□	2370	26000	31000	14:47	
			○	2950	40000	46600	14:02	
		158m	□	3640	59000	68500	12:57	
			○	2190	22000	26400	14:57	
		238m	□	2000	20000	24900	15:07	
			○	3250	45000	51700	13:37	
対称照明	80km/h	19m	□	4070	63500	74600	12:17	
			○	3460	52600	61500	13:08	
		38m	□	2620	43600	40500	13:20	
			○	3920	62100	72000	12:33	
		57m	□	3780	58200	65900	12:40	
			○	3330	46500	51400	13:36	
		80m	□	3380	48500	54700	13:14	
			○	3700	53700	62200	12:47	
		121m	□	3940	61200	77800	12:03	
			○	3220	44200	47600	13:21	
		160m	□	3580	51000	58100	12:54	
			○	2560	27300	29700	13:44	
		240m	□	3590	53300	61200	13:02	
			○	3290	54100	56900	12:08	



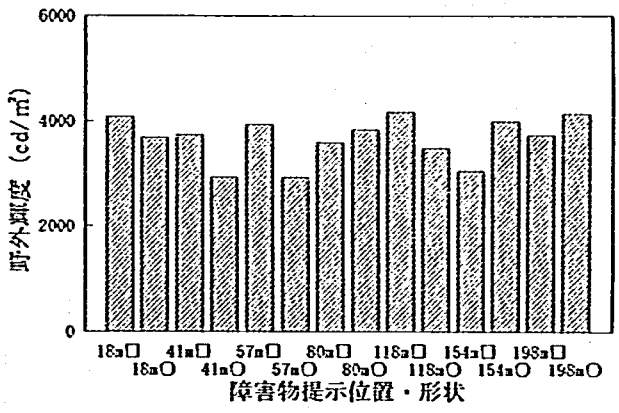
カウンタービーム照明
設計速度：50km/h



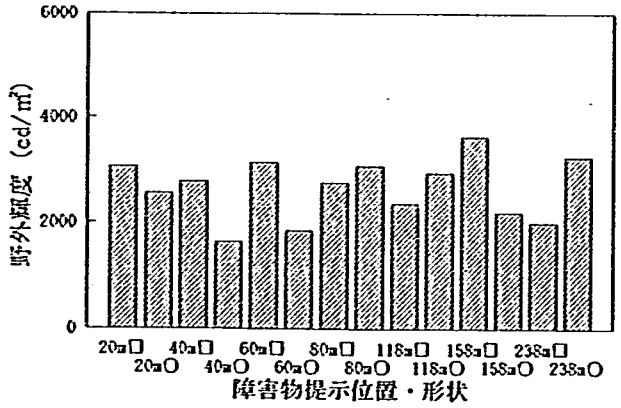
対称照明
設計速度：50km/h



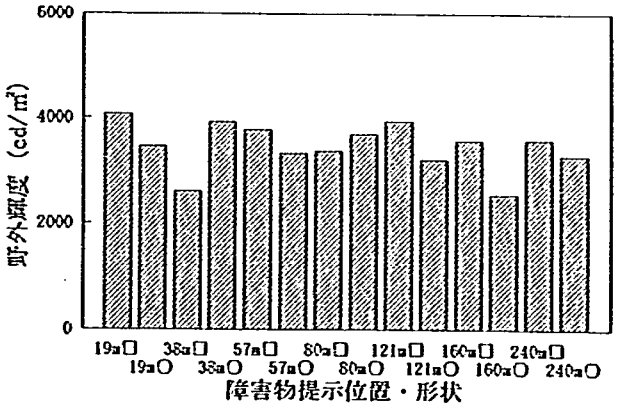
カウンタービーム照明
設計速度：60km/h



対称照明
設計速度：60km/h



カウンタービーム照明
設計速度：80km/h



対称照明
設計速度：80km/h

図－5．3　障害物の視認性実験（走行実験）時の野外輝度測定結果

5．2．2 障害物の輝度対比

観測時の障害物の視認性を確認するため、障害物輝度、路面輝度を測定し、障害物の輝度対比を求めた。表－5．4～表－5．6、図－5．4に輝度対比の結果を示す。

（1）設計速度50km/hの場合

輝度対比は立方体、円板で大きく異なった値ではない。カウンタービーム照明実験時では20m付近で0.21と低い値となっているが、その他の提示位置では0.50以上と比較的高い値を示している。一方、対称照明実験時では20mで-0.5と逆シルエットの状態、60m付近で逆シルエットからシルエットの境界付近となり、その他の提示位置では輝度対比が0付近になっている。これは、野外輝度がカウンタービーム照明が低い条件で実施したことも大きく影響していると考えられる。

（2）設計速度60km/hの場合

輝度対比は両照明方式ともに20m付近で逆シルエットの状態にあり、40m付近で逆シルエットからシルエットの境界にある。60m以降はカウンタービーム照明が0.50以上の比較的高い値を示すのに対し、対称照明は0.30以下の値を示している。

（3）設計速度80km/hの場合

輝度対比は、20mから40m付近で逆シルエットからシルエットの境界付近となっている。50m付近以降ではカウンタービーム照明実験時の値が0.50以上を示すのに対して対称照明では0.30以下の値を示している。特に立方体の50m、150m付近では0付近となっており、視認性が低下していることが予想される。

表－5．4 障害物の輝度対比（設計速度：50km/h）

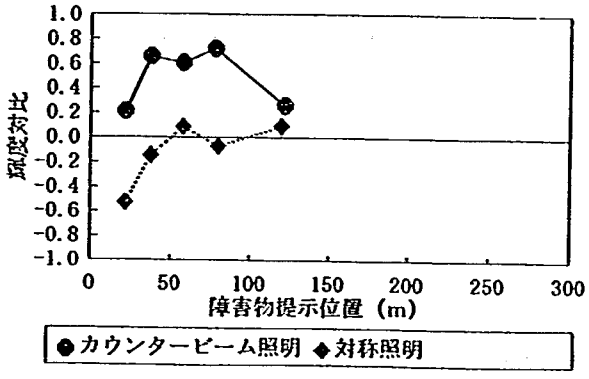
照明方式	設計速度	障害物提示位置(坑口からの距離)(m)	形状	鉛直面照度 Ev (lx)	障害物輝度 L0 (cd/m²)	路面輝度 (cd/m²) L1	L2	L3	L4	平均：L	輝度対比 C=(L-L0)/L
カウンタービーム照明	50km/h	22	□	401.0	27.9	36.5	32.0	29.3	44.0	35.5	0.213
			○	360.0	29.1	57.9	30.4	25.7	45.7	39.9	0.271
		38	□	167.0	11.5	36.3	19.8	40.6	37.5	33.6	0.657
			○	119.2	10.5	40.7	29.2	13.8	32.5	29.1	0.639
		58	□	83.9	8.1	24.7	10.9	5.9	40.5	20.5	0.605
			○	70.1	7.1	14.3	18.5	10.5	29.0	18.1	0.607
		78	□	63.9	4.7	18.0	14.6	12.4	22.7	16.9	0.722
			○	67.0	5.1	18.9	10.5	4.0	20.2	13.4	0.619
		122	□	29.6	1.9	4.1	2.1	1.7	2.4	2.6	0.262
			○	28.6	1.9	6.6	2.8	2.5	5.4	4.3	0.561
対称照明	50km/h	22	□	1329.0	129.4	60.0	81.3	118.1	79.2	84.7	-0.529
			○	1182.0	99.1	55.5	66.0	105.7	62.1	72.3	-0.370
		38	□	754.0	67.2	47.0	56.0	78.8	52.6	58.6	-0.147
			○	706.0	53.2	42.4	51.2	78.2	43.4	53.8	0.011
		58	□	439.0	41.6	34.1	43.3	58.4	46.1	45.5	0.085
			○	487.0	36.7	24.2	42.0	59.8	40.5	41.6	0.118
		80	□	362.0	30.3	19.6	22.6	47.6	23.4	28.3	-0.071
			○	383.0	27.2	13.4	22.9	48.5	22.1	26.7	-0.018
		120	□	87.5	7.9	6.6	7.2	13.2	7.9	8.7	0.095
			○	88.1	6.6	6.0	7.1	12.6	6.8	8.1	0.188

表－5．5 障害物の輝度対比（設計速度：60km/h）

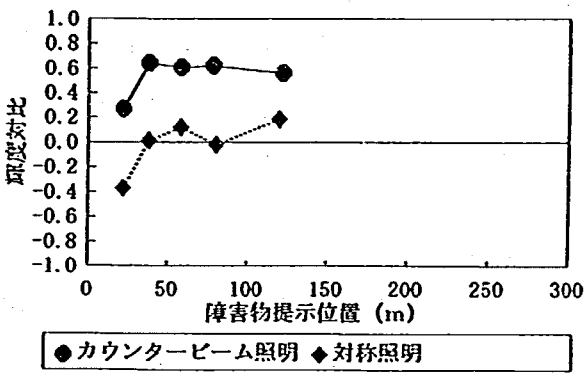
照明方式	設計速度	障害物提示位置(坑口からの距離)(m)	形状	鉛直面照度 Ev (lx)	障害物輝度 L0 (cd/m²)	路面輝度 (cd/m²) L1	L2	L3	L4	平均：L	輝度対比 C=(L-L0)/L
カウンタービーム照明	60km/h	19	□	1645.0	150.0	74.0	92.6	121.3	78.3	91.6	-0.638
			○	1499.0	99.6	65.9	96.1	133.4	79.5	93.7	-0.063
		40	□	441.0	45.7	57.0	68.2	69.5	59.7	63.6	0.281
			○	300.0	26.3	44.6	61.6	67.3	53.3	56.7	0.536
		60	□	190.2	17.5	39.1	44.7	50.7	43.9	44.6	0.608
			○	173.0	14.6	33.7	42.3	50.0	41.1	41.8	0.651
		80	□	93.3	9.0	27.3	35.9	36.6	33.4	33.3	0.730
			○	107.9	9.3	29.8	34.8	30.9	32.2	31.9	0.709
		118	□	71.9	6.8	15.1	19.3	25.8	17.1	19.3	0.648
			○	71.4	5.8	12.7	19.7	25.4	15.8	18.4	0.685
		158	□	42.2	3.6	6.2	6.6	9.1	7.2	7.3	0.505
			○	40.4	3.2	6.5	6.8	9.3	5.5	7.0	0.544
		198	□	31.6	2.7	3.2	6.4	5.1	6.4	5.3	0.488
			○	30.2	2.3	3.0	3.5	4.9	3.6	3.8	0.387
対称照明	60km/h	18	□	3190.0	330.0	85.0	103.0	225.0	104.0	129.3	-1.553
			○	2540.0	210.0	83.0	95.0	203.0	85.0	116.5	-0.803
		41	□	865.0	75.0	63.0	84.0	87.0	82.0	79.0	0.051
			○	765.0	60.0	65.0	74.5	80.0	65.0	71.1	0.156
		57	□	727.0	66.0	60.0	64.5	88.0	64.0	69.1	0.045
			○	659.0	50.0	60.0	62.0	86.0	60.0	67.0	0.254
		80	□	506.0	41.0	35.0	52.0	69.0	64.0	55.0	0.255
			○	507.0	37.0	32.0	43.0	71.0	30.0	44.0	0.159
		118	□	212.0	17.5	16.5	16.0	29.0	19.0	20.1	0.130
			○	220.0	16.5	20.0	21.5	30.0	14.0	21.4	0.228
		154	□	193.0	15.0	7.0	8.5	23.5	8.0	11.8	-0.277
			○	190.0	13.3	7.2	9.4	23.5	6.5	11.7	-0.142
		198	□	48.1	4.3	5.4	5.5	6.9	5.1	5.7	0.249
			○	43.5	3.2	3.5	3.1	6.5	3.5	4.2	0.229

表－5．6 障害物の輝度対比（設計速度：80km/h）

照明方式	設計速度	障害物提示位置(坑口からの距離)(m)	形状	鉛直面照度 Ev (lx)	障害物輝度 L0 (cd/m²)	路面輝度 (cd/m²) L1	L2	L3	L4	平均：L	輝度対比 C=(L-L0)/L
カウンターピーム照明	80km/h	20	□	2020.0	201.9	105.5	125.9	204.7	114.2	137.6	-0.468
			○	1346.0	117.4	94.3	112.4	152.7	91.2	112.7	-0.042
		40	□	445.0	44.9	74.2	94.1	96.6	87.4	88.1	0.490
			○	325.0	29.0	76.9	83.3	87.9	74.4	80.6	0.640
		60	□	250.0	26.2	76.2	74.9	67.7	63.1	70.5	0.628
			○	206.0	19.0	87.8	85.5	71.1	70.1	78.6	0.758
		80	□	193.0	19.7	69.1	87.2	73.2	77.7	76.8	0.743
			○	215.0	19.1	61.8	90.5	75.6	79.6	76.9	0.752
		118	□	152.0	15.2	45.5	54.0	60.9	47.3	51.9	0.707
			○	155.0	13.8	41.6	53.7	63.4	47.1	51.5	0.732
		158	□	118.9	11.8	30.5	30.5	38.8	28.5	32.1	0.632
			○	114.0	9.7	26.4	28.7	38.6	24.3	29.5	0.671
		238	□	59.1	5.5	12.1	12.9	17.9	11.7	13.7	0.597
			○	61.9	5.0	10.8	13.3	18.3	11.5	13.5	0.629
対称照明	80km/h	19	□	3090.0	302.3	298.7	185.9	268.0	134.0	221.7	-0.364
			○	2930.0	240.1	223.0	130.5	213.5	161.3	182.1	-0.319
		38	□	962.0	86.3	91.2	93.9	75.2	93.5	88.5	0.024
			○	1200.0	98.1	102.0	95.7	109.9	101.0	102.2	0.040
		57	□	801.0	76.2	96.5	92.5	69.1	97.2	88.8	0.142
			○	842.0	61.3	98.5	87.7	69.6	87.0	85.7	0.285
		80	□	795.0	65.9	79.4	72.6	73.1	72.5	74.4	0.114
			○	746.0	60.1	72.7	72.3	77.6	76.5	74.8	0.196
		121	□	585.0	49.6	60.0	54.2	40.2	55.7	52.5	0.056
			○	543.0	38.1	55.0	42.0	68.2	49.5	53.7	0.290
		160	□	336.0	25.0	35.7	33.8	39.7	36.6	36.5	0.314
			○	321.0	23.1	24.8	23.8	24.2	28.5	25.3	0.088
		240	□	80.3	6.9	8.8	8.8	6.2	6.7	7.6	0.095
			○	81.2	6.4	7.2	9.6	9.3	9.2	8.8	0.275

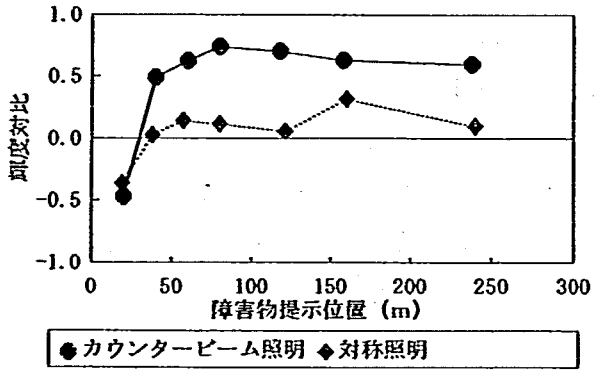


障害物：立方体

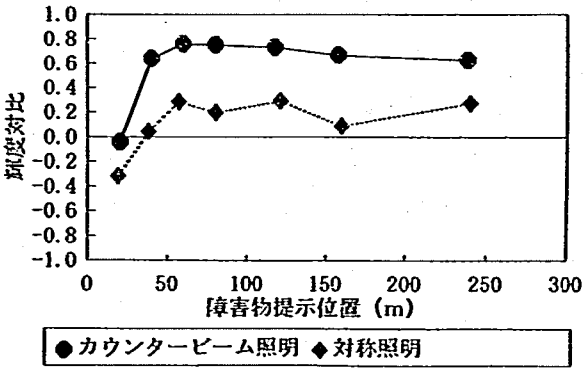


障害物：円板

設計速度：50km/h

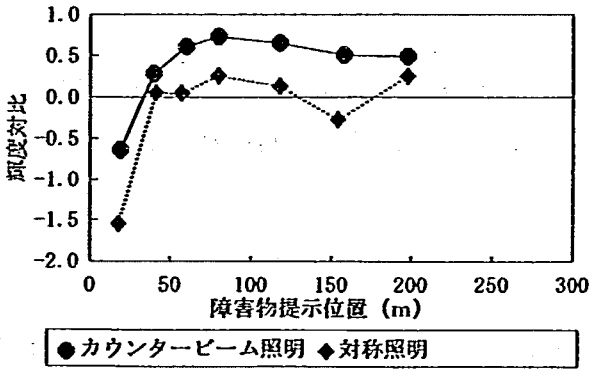


障害物：立方体

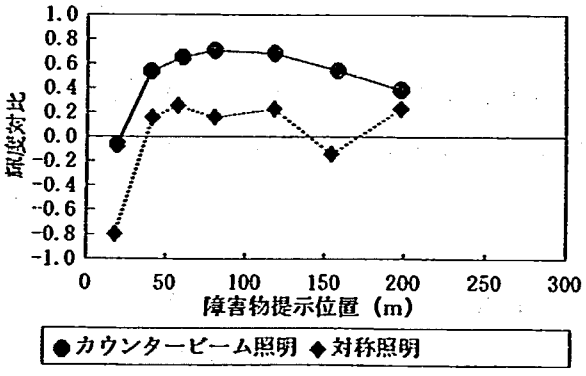


障害物：円板

設計速度：60km/h



障害物：立方体



障害物：円板

設計速度：80km/h

図－5．4 障害物の視認性実験（走行実験）時の輝度対比

5．2．3 視認距離および確認距離の測定結果

障害物提示位置と形状の違いによる視認距離および確認距離の測定結果一覧を表－5．7～表－5．18に示す。また、各照明条件時の各被験者の視認距離、確認距離の平均値を用いて障害物の提示位置との関係を図－5．5～図－5．6に示す。

（1）視認距離

図－5．5に視認距離の平均値と障害物の提示位置の関係を示す。実験時の野外条件は、設計速度50km/hの場合を除き両照明方式ともに大きな差がなかったため、そのまま比較できると考えられる。この図から、設計速度60km/h、80km/hではカウンタービーム照明時の視認距離が全体的に長いことがわかる。設計速度60km/hでは40mから120mまでの視認距離がカウンタービーム照明のほうが若干長くなっている。設計速度80km/hでは、さらに顕著な差が現れており、坑口から約60～160mまでは対称照明の視認距離に比べてカウンタービーム照明の視認距離が約1.5倍程度長くなっていることが分かる。

本実験は、反射率30%の障害物を用いており、高い輝度対比が得られにくい状態での観測であるにも関わらず、各被験者の平均的な視認距離は、各設計速度ともに概ね視距相当の視認距離が得られることが分かった。各被験者の個別の視認距離のばらつきを示す標準偏差は、カウンタービーム照明で30.7～44.9m、対称照明で23.8～34.3mであり、若干カウンタービーム照明がバラツキが大きい結果となっている。また、各観測時のの標準偏差は、カウンタービーム照明で14.9～88.3m、対称照明で6.7～54.7mの範囲でばらついていた。対称照明で若干低くなるものの、顕著な差は認められない。

（2）確認距離

図－5．6に確認距離の平均値と障害物の提示位置の関係を示す。この図から照明方式による違いは視認距離の結果に比べて差が短くなっているが、全体的にカウンタービーム照明の確認距離が長いことが分かる。

以上より、設計速度60km/h、80km/hの場合は、カウンタービーム照明のレベルを対称照明の約2割程度低減した状態でも障害物の視認性が高いことが確認できた。設計速度50km/hについては別途の検討が必要となる。

5．2．4 視認距離と確認距離の関係

図－5．7に視認距離と確認距離の関係を示す。各設計速度ともに相関係数約0.76～0.85と高い相関があることが分かる。この相関からは、確認距離は視認距離の約4割の長さとなっている。

表－５．７ 視認距離測定結果（カウンタービーム照明、設計速度50km/h）

照明方式	設計速度	障害物		視認距離 (m)																輝度対比	備考
		設置位置	形状	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	最大	最小	平均	標準偏差		
カウンタービーム照明	50km/h	22m	□	90.3	116.7	122.2	66.7	133.3	155.3	162.5	166.7	129.2	119.5	94.5	107.6	166.7	66.7	122.8	30.0	0.213	
			○	105.6	159.7	185.8	93.1	141.7	133.1	177.8	138.6	130.6	133.3	140.3	129.2	185.8	93.1	143.9	33.7	0.271	
		38m	□	132.0	138.9	154.2	119.5	108.3	97.2	123.6	154.5	159.7	136.1	125.0	159.7	154.5	97.2	137.4	25.3	0.657	
			○	107.0	119.5	136.4	86.1	129.2	133.3	125.0	138.9	122.2	100.0	116.7	101.4	138.9	86.1	117.1	14.9	0.639	
		58m	□	104.2	130.6	212.5	94.5	79.2	201.4	172.2	158.1	158.3	65.3	136.1	159.7	212.5	65.3	149.2	45.0	0.665	
			○	47.2	93.1	137.5	58.3	0.0	0.0	88.9	125.0	154.2	93.1	122.2	43.1	154.2	0.0	80.2	43.9	0.607	
		78m	□	165.6	189.7	118.1	0.0	133.3	126.4	120.8	133.3	91.7	90.3	102.8	95.8	133.3	0.0	102.3	34.1	0.722	
			○	0.0	0.0	137.5	83.3	95.8	170.8	157.0	190.3	173.6	102.8	152.8	138.9	190.3	0.0	116.9	60.8	0.619	
		122m	□	0.0	0.0	125.0	82.0	120.8	0.0	133.3	144.5	0.0	0.0	0.0	－	144.5	0.0	55.1	62.0	0.262	
			○	126.4	182.0	138.6	0.0	120.8	240.3	218.1	232.0	180.6	186.1	86.1	36.1	240.3	0.0	150.6	74.2	0.561	

注：－については、被験者が障害物に気付かなかったものか、記録紙の紙詰まりによって測定不能となったものを示す。

表－５．８ 視認距離測定結果（対称照明、設計速度50km/h）

照明方式	設計速度	障害物		視認距離 (m)																輝度対比	備考
		設置位置	形状	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	最大	最小	平均	標準偏差		
対称照明	50km/h	22m	□	94.5	225.0	63.9	8.3	66.7	79.2	61.1	116.7	38.9	58.3	109.7	65.3	225.0	8.3	82.3	51.4	-0.529	
			○	15.3	212.5	41.7	115.3	72.2	73.6	56.9	145.8	－	－	133.3	90.3	212.5	15.3	95.7	54.7	-0.370	
		38m	□	26.4	126.8	43.1	84.7	38.9	72.6	41.7	76.4	25.0	27.8	101.4	77.8	126.8	25.0	61.5	30.6	-0.147	
			○	44.4	113.9	34.7	59.7	33.3	63.9	43.6	65.3	38.9	29.2	61.1	82.0	113.9	29.2	56.3	23.1	0.011	
		58m	□	51.4	86.1	47.2	84.7	54.2	55.6	47.2	95.8	43.1	51.4	41.7	137.5	137.5	41.7	66.3	27.6	0.085	
			○	104.2	133.3	47.2	113.9	43.6	58.3	63.9	140.3	41.7	43.6	44.4	86.1	140.3	41.7	77.6	35.0	0.118	
		80m	□	75.0	129.2	69.5	111.1	61.1	79.2	80.6	93.1	30.5	58.3	70.8	77.8	129.2	30.6	78.0	24.2	-0.071	
			○	－	－	61.1	91.7	44.4	70.8	56.0	61.1	25.0	33.3	69.5	182.0	182.0	25.0	68.9	41.9	-0.013	
		120m	□	55.6	70.8	13.9	98.6	62.5	58.3	38.9	66.7	－	115.3	26.4	0.0	115.3	0.0	55.2	32.7	0.095	
			○	61.1	90.3	50.0	83.3	55.6	58.3	59.7	69.5	15.3	25.2	61.1	87.5	90.3	15.3	60.1	21.2	0.188	

注：－については、被験者が障害物に気付かなかったものか、記録紙の紙詰まりによって測定不能となったものを示す。

表－５．９ 視認距離測定結果（カウンタービーム照明、設計速度60km/h）

照明方式	設計速度	障害物		視認距離 (m)																輝度対比	備考
		設置位置	形状	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	最大	最小	平均	標準偏差		
カウンタービーム照明	60km/h	19m	□	36.7	20.0	－	51.7	125.0	100.0	103.4	96.7	16.7	101.7	108.4	83.4	125.0	16.7	76.7	36.6	-0.638	
			○	65.0	103.4	140.0	38.3	95.0	108.4	70.0	76.7	53.3	100.0	105.0	115.0	140.0	38.3	89.2	27.7	-0.053	
		40m	□	83.4	86.7	96.7	95.7	91.7	71.7	51.7	65.0	85.0	123.4	118.4	111.7	123.4	51.7	90.2	20.4	0.281	
			○	153.4	145.0	168.4	150.0	211.4	230.0	253.4	171.7	130.0	160.0	145.7	148.4	253.4	130.0	172.5	36.9	0.536	
		60m	□	103.4	61.7	150.0	131.7	168.4	150.0	155.0	155.0	146.7	156.7	116.7	148.4	168.4	61.7	137.0	28.6	0.608	
			○	136.7	125.0	133.4	151.7	173.4	118.4	0.0	173.4	150.0	165.0	118.4	156.7	173.4	0.0	133.5	44.4	0.651	
		80m	□	－	0.0	110.0	125.0	145.0	120.0	100.0	116.7	111.7	121.7	125.0	125.0	145.0	0.0	109.1	36.2	0.730	
			○	91.7	120.0	71.7	130.0	136.7	116.7	156.7	150.0	141.7	156.7	143.4	128.4	166.7	71.7	129.5	25.8	0.709	
		118m	□	116.7	98.4	120.0	115.0	240.0	180.0	171.7	236.7	140.0	166.7	173.4	175.0	240.0	98.4	161.1	43.7	0.643	
			○	100.0	106.7	106.7	108.4	130.0	123.4	158.4	88.4	121.7	116.7	131.7	128.4	158.4	88.4	118.4	17.5	0.655	
		158m	□	81.7	106.7	136.7	95.0	96.7	81.7	128.4	70.0	110.0	133.4	140.0	110.0	140.0	70.0	107.5	22.4	0.505	
			○	80.0	88.4	165.0	126.7	105.0	93.4	121.7	116.7	86.7	98.4	130.0	88.4	130.0	80.0	103.4	16.3	0.544	
		198m	□	93.4	86.7	110.0	106.7	101.7	101.7	146.7	85.0	71.7	73.3	108.4	91.7	146.7	71.7	98.1	19.1	0.438	
			○	58.3	76.7	106.7	103.4	95.0	90.0	138.4	106.7	60.0	275.1	111.7	88.4	275.1	58.3	109.2	54.4	0.387	

注：－については、被験者が障害物に気付かなかったものか、記録紙の紙詰まりによって測定不能となったものを示す。

表－５．１０ 視認距離測定結果（対称照明、設計速度60km/h）

照明方式	設計速度	障害物		視認距離 (m)																輝度対比	備考
		設置位置	形状	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	最大	最小	平均	標準偏差		
対称照明	60km/h	19m	□	150.0	161.7	118.4	43.3	118.4	203.4	183.4	158.4	123.4	173.4	220.0	133.4	220.0	43.3	152.7	45.8	-1.553	
			○	91.7	151.7	128.4	93.4	155.0	171.7	180.0	153.4	210.0	163.4	138.4	153.4	210.0	91.7	156.7	34.7	-0.803	
		41m	□	68.3	40.0	76.7	33.3	56.7	63.3	90.0	106.7	45.7	38.3	73.3	36.7	106.7	33.3	60.0	21.3	0.451	
			○	116.7	81.7	76.7	53.3	90.0	163.4	110.0	121.7	110.0	45.7	113.4	98.4	121.7	45.7	93.5	23.5	0.156	
		57m	□	40.0	41.7	38.3	33.3	45.0	38.3	45.0	60.0	41.7	35.0	35.6	43.3	60.0	33.3	41.4	6.7	0.045	
			○	115.0	103.4	58.3	86.7	76.7	101.7	63.3	125.0	96.7	38.3	90.0	90.0	125.0	38.3	87.1	23.6	0.254	
		80m	□	100.0	103.4	130.6	75.0	91.7	108.4	103.4	118.4	93.4	83.4	38.3	90.0	130.0	38.3	94.6	22.2	0.255	
			○	131.7	120.0	78.3	96.7	75.0	91.7	71.7	135.0	98.4	66.7	85.0	88.4	135.0	66.7	94.9	21.9	0.159	
		118m	□	93.4	83.4	98.4	0.0	100.0	100.0	91.7	108.4	85.0	73.3	71.7	31.7	108.4	0.0	78.1	30.4	0.130	
			○	108.4	105.0	95.0	0.0	93.4	98.4	93.4	163.4	108.4	83.4	91.7	95.0	108.4	0.0	89.6	27.9	0.228	
		154m	□	143.4	138.4	123.4	138.4	105.0	123.4	115.0	118.4	131.7	118.4	121.7	123.4	143.4	105.0	125.0	10.6	-0.277	
			○	133.4	108.4	126.7	138.4	115.0	126.7	125.0	125.0	113.4	108.4	113.4	118.4	138.4	108.4	121.0	9.3	-0.142	
		198m	□	113.4	73.3	80.0	118.4	81.7	88.4	103.4	106.7	80.0	53.3	76.7	80.0	118.4	53.3	87.9	18.1	0.249	
			○	116.7	90.0	105.0	0.0	70.0	110.0	0.0	90.0	100.0	75.0	100.0	88.4	116.7	0.0	78.8	37.5	0.229	

表－５．１１ 視認距離測定結果（カウンタービーム照明、設計速度80km/h）

照明方式	設計速度	障害物		視認距離 (m)																輝度対比	備考
		設置位置	形状	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	最大	最小	平均	標準偏差		
カウンタービーム照明	80km/h	20m	□	151.8	77.8	75.5	43.9	0.0	95.5	75.5	55.6	151.1	108.9	108.9	75.5	157.8	0.0	85.9	41.5	-0.458	
			○	37.8	37.8	62.2	108.9	0.0	26.7	93.3	95.5	73.3	26.7	0.0	164.4	164.4	0.0	60.5	45.8	-0.642	
		40m	□	97.8	95.5	126.7	97.8	104.4	126.7	171.1	160.0	191.1	102.2	166.7	146.7	191.1	95.5	132.2	32.4	0.430	
			○	157.8	133.3	228.9	220.0	157.8	222.2	200.0	228.9	140.0	162.2	195.5	204.4	228.9	133.3	187.6	33.9	0.640	
		60m	□	143.9	158.9	102.2	117.8	155.5	180.0	157.8	142.2	171.1	175.5	217.8	231.1	231.1	102.2	164.1	34.9	0.628	
			○	211.1	200.0	155.5	202.2	155.5	202.2	228.9	202.2	177.8	143.9	217.8	251.1	251.1	143.9	196.1	30.6	0.758	
		80m	□	171.1	211.1	133.3	0.0	137.8	177.8	244.4	195.5	137.8	88.9	253.3	277.8	277.8	0.0	169.1	73.8	0.743	
			○	37.8	31.1	182.2	142.2	162.2	220.0	166.7	184.4	55.6	64.4	213.3	188.9	220.0	31.1	137.4	67.2	0.752	
		118m	□	0.0	164.4	208.9	184.4	144.4	200.0	184.4	175.5	160.0	173.3	231.1	197.8	231.1	0.0	168.7	55.6	0.707	
			○	173.3	197.8	0.0	160.0	126.7	206.6	235.5	248.9	0.0	0.0	182.2	191.1	248.9	0.0	143.5	88.3	0.732	
		158m	□	151.1	144.4	184.4	171.1	153.3	142.2	184.4	208.9	182.2	151.1	213.3	224.4	224.4	142.2	175.9	27.3	0.632	
			○	157.8	168.9	133.3	155.5	155.5	162.2	168.9	202.2	197.8	144.4	182.2	215.5	215.5	133.3	172.0	24.1	0.671	
		238m	□	160.0	108.9	144.4	0.0	95.5	122.2	95.5	173.3	184.4	143.9	164.4	202.2	202.2	0.0	133.3	51.9	0.597	
			○	135.5	124.4	142.2	135.5	91.1	143.9	166.7	175.5	120.0	143.9	140.0	151.1	175.5	91.1	135.0	21.3	0.629	

表－５．１２ 視認距離測定結果（対称照明、設計速度80km/h）

照明方式	設計速度	障害物		視認距離 (m)																輝度対比	備考
		設置位置	形状	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	最大	最小	平均	標準偏差		
対称照明	80km/h	19m	□	191.1	62.2	124.4	117.8	115.5	100.0	64.4	71.1	133.3	40.0	77.8	133.3	193.3	40.0	107.6	45.7	-0.364	
			○	180.0	68.9	113.3	113.3	153.3	108.9	84.4	8.9	144.4	115.5	111.1	160.0	180.0	8.9	113.5	43.7	-0.319	
		38m	□	126.7	100.0	91.1	102.2	117.8	104.4	82.2	75.5	133.3	62.2	142.2	177.8	177.8	62.2	109.6	30.7	0.624	
			○	26.7	20.0	−	−	111.1	102.2	35.6	22.2	−	40.0	64.4	100.0	111.1	20.0	58.0	35.1	0.649	
		57m	□	95.5	82.2	20.0	93.3	71.1	26.7	91.1	31.1	104.4	77.8	120.0	155.5	155.5	20.0	80.7	38.0	0.142	
			○	120.6	126.7	120.0	120.0	133.3	91.1	106.7	48.9	122.2	113.3	124.4	146.7	146.7	48.9	114.4	23.6	0.285	
		80m	□	124.4	86.7	122.2	102.2	111.1	122.2	91.1	62.2	97.8	168.9	102.2	140.0	140.0	62.2	105.9	19.7	0.114	
			○	102.2	91.1	64.4	20.0	64.4	80.0	66.7	53.3	115.5	111.1	91.1	151.1	151.1	20.0	84.3	32.6	0.156	
		121m	□	86.7	75.5	88.9	86.7	93.3	86.7	100.0	64.4	108.9	102.2	115.5	146.7	146.7	64.4	96.3	20.2	0.056	
			○	108.9	91.1	97.8	91.1	115.5	84.4	73.3	0.0	106.7	120.0	120.0	142.2	142.2	0.0	95.9	34.0	0.290	
		160m	□	120.0	124.4	88.9	115.5	91.1	100.0	57.8	42.0	133.3	111.1	124.4	140.0	140.0	42.0	103.9	29.0	0.314	
			○	55.6	60.0	46.7	68.9	46.7	46.7	0.0	28.9	91.1	20.0	73.3	120.0	120.0	0.0	54.8	30.6	0.088	
		240m	□	97.8	88.9	60.0	117.8	131.1	106.7	71.1	40.0	137.8	131.1	91.1	164.4	164.4	40.0	103.1	34.2	0.095	
			○	120.0	102.2	102.2	91.1	106.7	104.4	53.3	55.6	128.9	82.2	113.3	186.6	186.6	53.3	103.9	33.4	0.275	

注：－については、表現者が障害物に気付かなかったものか、距離差の長過ぎによって測定不能となったものを示す。

表－５．１３ 確認距離測定結果（カウンタービーム照明、設計速度50km/h）

照明方式	設計速度	障害物 設置位置	形状	確認距離 (m) 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	最大	最小	平均	標準偏差	輝度対比	備考
カウンタービーム照明	50km/h	22m	□	41.7	65.3	62.5	40.3	63.9	69.5	58.6	68.1	40.3	61.1	63.9	50.0	98.6	40.3	60.4	15.6	0.213	
			○	62.5	52.8	111.1	59.7	68.1	79.2	119.5	79.8	51.4	86.1	58.3	52.8	119.5	51.4	72.7	21.7	0.271	
		38m	□	43.1	50.0	86.1	59.7	50.0	66.7	66.7	86.1	56.9	69.5	86.1	58.3	86.1	43.1	64.9	14.2	0.657	
			○	34.7	46.3	56.9	37.5	38.9	65.3	72.2	40.3	40.3	54.2	47.2	37.5	72.2	34.7	47.1	11.7	0.639	
		58m	□	33.3	34.7	77.8	31.9	51.4	65.3	47.2	50.0	55.6	40.3	102.8	44.4	102.8	31.9	52.9	19.8	0.665	
			○	38.9	47.2	54.2	38.9	0.0	87.5	63.9	47.2	52.8	45.8	69.5	34.7	87.5	0.0	43.4	20.4	0.667	
		78m	□	31.9	36.1	63.9	0.0	37.5	41.7	61.1	37.5	20.8	58.3	43.6	26.4	63.9	0.0	38.7	17.4	0.722	
			○	0.0	0.0	83.3	43.1	43.6	72.2	63.9	61.1	65.3	62.5	100.0	68.1	100.0	0.0	55.7	28.6	0.619	
		122m	□	0.0	0.0	95.8	54.2	55.6	0.0	63.9	59.7	0.0	0.0	0.0	–	95.8	0.0	29.9	34.4	0.262	
			○	44.4	65.3	97.2	0.0	70.8	123.6	118.1	73.6	45.8	87.5	58.3	29.2	123.6	0.0	67.8	34.3	0.561	

注：－については、被験者が障害物に気付かなかったものか、距離長の長短まりによって測定不能となったものを示す。

表－５．１４ 確認距離測定結果（対称照明、設計速度50km/h）

照明方式	設計速度	障害物 設置位置	形状	確認距離 (m) 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	最大	最小	平均	標準偏差	輝度対比	備考
対称照明	50km/h	22m	□	27.8	62.5	15.9	4.2	45.8	34.7	38.9	38.9	34.7	30.6	77.8	56.9	77.8	4.2	39.1	19.2	−0.529	
			○	12.5	61.1	19.9	100.0	44.4	27.8	38.9	70.8	–	–	100.7	77.8	100.7	12.5	56.3	31.6	−0.370	
		38m	□	18.1	47.2	17.9	43.6	23.6	34.7	11.1	38.9	19.4	15.3	61.1	25.0	61.1	11.1	30.1	15.1	−0.147	
			○	31.9	44.4	25.0	45.8	29.8	33.3	26.4	26.4	22.2	19.4	44.4	43.6	43.6	19.4	32.4	10.3	0.011	
		58m	□	44.4	43.6	18.9	51.4	40.3	37.5	27.8	43.1	37.5	23.6	29.2	50.0	51.4	18.9	37.7	10.3	0.085	
			○	43.6	43.6	14.9	56.9	36.1	36.1	40.3	58.3	26.4	19.4	26.4	59.7	59.7	14.9	39.3	14.7	0.118	
		80m	□	36.1	51.4	59.7	65.3	45.8	54.2	41.7	50.0	20.8	19.4	55.6	44.4	65.3	19.4	45.4	13.6	−0.071	
			○	–	–	16.9	56.9	31.9	43.1	26.4	38.9	19.4	13.9	44.4	58.3	58.3	13.9	35.0	15.1	−0.018	
		120m	□	30.6	34.7	13.9	36.1	25.0	29.8	19.4	29.2	–	22.2	9.7	0.0	36.1	0.0	22.0	10.5	0.095	
			○	30.6	30.6	34.7	41.7	29.2	30.6	29.2	29.2	11.1	12.5	37.5	33.3	41.7	11.1	29.2	8.6	0.138	

注：－については、被験者が障害物に気付かなかったものか、距離長の長短まりによって測定不能となったものを示す。

表－５．１５ 確認距離測定結果（カウンタービーム照明、設計速度60km/h）

照明方式	設計速度	障害物 設置位置	形状	確認距離 (m) 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	最大	最小	平均	標準偏差	輝度対比	備考
カウンタービーム照明	60km/h	19m	□	25.0	8.3	–	31.7	73.3	63.3	43.3	61.7	6.7	50.0	71.7	61.7	73.3	6.7	45.6	23.0	−0.638	
			○	45.0	45.0	78.3	33.3	68.3	75.0	26.7	40.0	18.3	75.0	73.3	68.3	78.3	18.3	53.9	20.5	−0.063	
		47m	□	36.7	61.7	43.3	56.7	45.0	45.7	28.3	43.3	31.7	73.3	75.0	60.0	75.0	28.3	50.6	14.5	0.281	
			○	36.7	71.7	81.7	71.7	78.3	115.0	96.7	96.7	38.3	73.3	83.4	65.0	115.0	36.7	75.7	21.6	0.536	
		60m	□	36.3	46.7	53.3	88.4	78.3	91.7	76.7	85.0	76.7	66.7	83.4	73.3	91.7	36.3	73.2	16.7	0.668	
			○	35.0	51.7	55.0	51.7	58.3	58.3	0.0	80.0	63.3	51.7	80.0	58.3	80.0	0.0	53.6	20.0	0.651	
		80m	□	–	0.0	63.3	75.0	68.3	68.3	60.0	66.7	66.7	70.0	68.3	61.7	75.0	0.0	60.8	19.6	0.730	
			○	40.0	65.0	55.0	73.3	68.3	66.7	43.3	61.7	51.7	65.0	76.7	56.7	76.7	40.0	60.7	10.2	0.769	
		118m	□	36.7	76.7	95.0	90.0	80.0	78.3	43.3	90.0	71.7	96.7	88.4	73.3	96.7	36.7	77.1	17.5	0.643	
			○	26.7	55.0	58.3	50.0	65.0	96.7	85.0	31.7	43.3	38.3	66.7	53.3	96.7	26.7	55.8	19.7	0.665	
		158m	□	23.3	43.3	50.0	41.7	45.0	45.0	35.0	45.0	28.3	43.3	66.7	45.0	66.7	23.3	43.1	10.5	0.565	
			○	28.3	58.3	36.7	58.3	60.0	55.0	31.7	51.7	43.3	31.7	50.0	41.7	60.0	28.3	44.3	10.6	0.544	
		198m	□	25.0	41.7	50.0	66.7	51.7	45.7	38.3	36.7	28.3	33.3	70.0	45.0	70.0	25.0	44.5	13.2	0.438	
			○	23.3	45.0	55.0	45.0	56.7	45.0	63.3	58.3	33.3	60.0	70.0	38.3	70.0	23.3	49.5	13.0	0.387	

注：－については、被験者が障害物に気付かなかったものか、距離長の長短まりによって測定不能となったものを示す。

表－５．１６ 確認距離測定結果（対称照明、設計速度60km/h）

照明方式	設計速度	障害物 設置位置	形状	確認距離 (m) 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	最大	最小	平均	標準偏差	輝度対比	備考
対称照明	60km/h	19m	□	71.7	95.0	76.7	36.7	65.0	116.7	120.0	105.4	91.7	66.7	103.4	78.3	120.0	36.7	85.9	23.5	−1.553	
			○	50.0	53.4	96.7	71.7	103.4	90.0	71.7	96.7	143.4	35.0	53.3	51.7	143.4	35.0	80.2	29.8	−0.803	
		41m	□	30.0	26.7	33.3	18.3	35.0	38.3	43.3	45.0	33.3	23.3	36.7	26.7	43.3	18.3	32.9	8.3	0.651	
			○	49.0	50.0	31.7	33.3	41.7	60.0	43.3	58.3	53.3	21.7	45.0	51.7	60.0	21.7	44.6	11.0	0.156	
		57m	□	21.7	26.7	26.7	18.3	25.0	16.7	20.0	31.7	28.3	21.7	23.3	31.7	31.7	16.7	24.3	4.7	0.645	
			○	36.7	45.7	31.7	56.7	45.0	56.7	46.0	65.0	51.7	26.7	53.3	45.7	65.0	26.7	45.4	10.7	0.254	
		80m	□	55.0	68.3	90.0	51.7	61.7	70.0	60.0	73.3	61.7	61.7	18.3	56.7	90.0	18.3	60.7	16.1	0.255	
			○	51.7	66.7	58.3	56.0	45.0	60.0	45.0	68.3	66.7	50.0	58.3	60.0	68.3	45.0	57.1	7.7	0.159	
		118m	□	45.0	51.7	45.0	0.0	55.0	78.3	61.7	71.7	56.7	35.0	45.7	10.0	78.3	0.0	45.4	21.8	0.130	
			○	45.0	45.7	38.3	0.0	53.3	43.3	41.7	51.7	56.7	30.0	41.7	43.3	56.7	0.0	41.0	14.1	0.228	
		154m	□	76.0	38.3	43.3	93.4	63.3	71.7	55.0	60.0	101.7	51.7	90.0	70.0	101.7	38.3	67.8	18.4	−0.277	
			○	35.0	31.7	43.3	80.0	38.3	38.3	43.3	45.0	43.3	33.3	60.0	26.7	80.0	26.7	44.0	13.9	−0.142	
		198m	□	33.3	31.7	35.0	40.0	45.7	41.7	45.7	40.0	41.7	25.0	38.3	28.3	45.7	25.0	37.4	6.5	0.249	
			○	28.3	30.6	50.0	0.0	43.0	21.7	0.0	28.3	58.3	26.7	43.3	43.3	58.3	0.0	31.7	17.9	0.229	

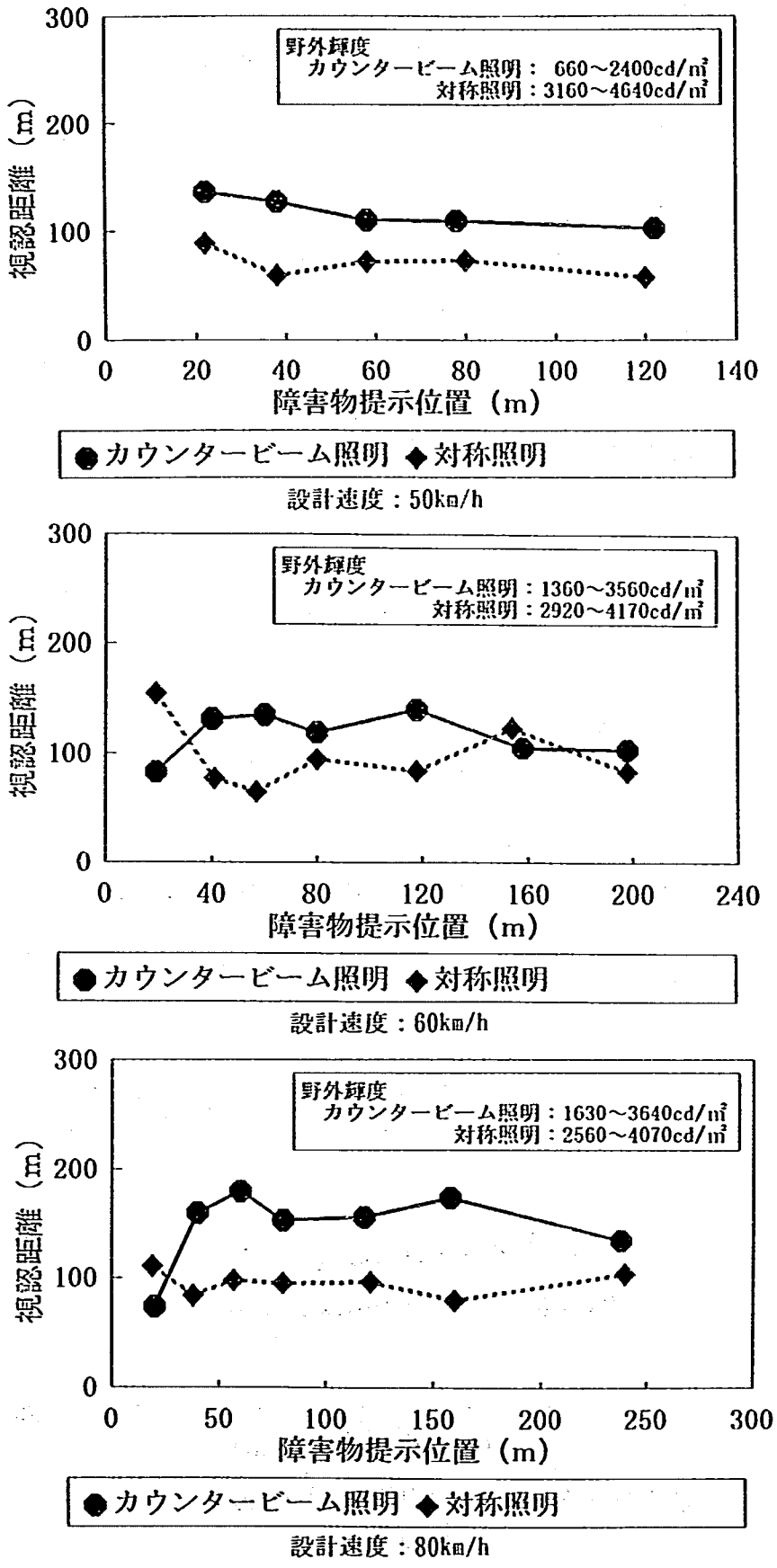
表－５．１７ 確認距離測定結果（カウンタービーム照明、設計速度80km/h）

照明方式	設計速度	障害物		確認距離 (m)																輝度対比	備考
		設置位置	形状	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	最大	最小	平均	標準偏差		
カウンタービーム照明	80km/h	20m	□	62.2	11.1	44.4	35.6	15.6	64.4	64.4	64.4	108.9	31.1	71.1	44.4	108.9	11.1	51.5	25.8	-0.458	
			○	26.7	6.7	33.3	28.9	6.7	11.1	46.7	46.7	33.3	8.9	0.0	100.0	100.0	0.0	29.1	26.3	-0.642	
		40m	□	86.7	66.7	80.0	51.1	42.2	82.2	84.4	84.4	91.1	84.4	120.0	95.5	120.0	42.2	80.7	19.4	0.430	
			○	86.7	73.3	115.5	73.3	66.7	62.2	86.7	86.7	57.8	88.9	93.3	115.5	115.5	57.8	83.9	17.8	0.649	
		60m	□	91.1	84.4	80.0	37.8	55.6	93.3	71.1	71.1	117.8	88.9	137.8	122.2	137.8	37.8	87.6	27.1	0.628	
			○	100.0	88.9	88.9	60.0	64.4	44.4	91.1	91.1	64.4	106.7	131.1	137.8	137.8	44.4	89.1	26.8	0.758	
		80m	□	115.5	133.3	84.4	0.0	64.4	71.1	106.7	106.7	64.4	51.1	100.0	142.2	142.2	0.0	86.7	37.7	0.743	
			○	26.7	24.4	100.0	100.0	53.3	75.5	75.5	75.5	42.2	48.9	133.3	82.2	133.3	24.4	69.8	31.0	0.752	
		118m	□	0.0	97.8	91.1	84.4	77.8	91.1	97.8	97.8	93.3	108.9	106.7	102.2	108.9	0.0	87.4	27.7	0.707	
			○	106.7	93.3	0.0	64.4	68.9	108.9	108.9	108.9	0.0	0.0	91.1	88.9	108.9	0.0	70.0	42.8	0.733	
		158m	□	57.8	68.9	73.3	60.0	62.2	51.1	80.0	80.0	68.9	62.2	53.3	133.3	133.3	51.1	70.9	20.9	0.632	
			○	68.9	51.1	55.6	62.2	57.8	66.7	77.8	77.8	60.0	84.4	64.4	88.9	88.9	51.1	68.0	11.4	0.671	
		238m	□	75.5	55.6	48.9	0.0	26.7	77.8	35.6	35.6	60.0	73.3	64.4	91.1	91.1	0.0	53.7	24.7	0.597	
			○	84.4	66.7	80.0	53.3	42.0	82.2	53.3	53.3	80.0	64.4	60.0	48.9	84.4	42.0	63.9	14.2	0.629	

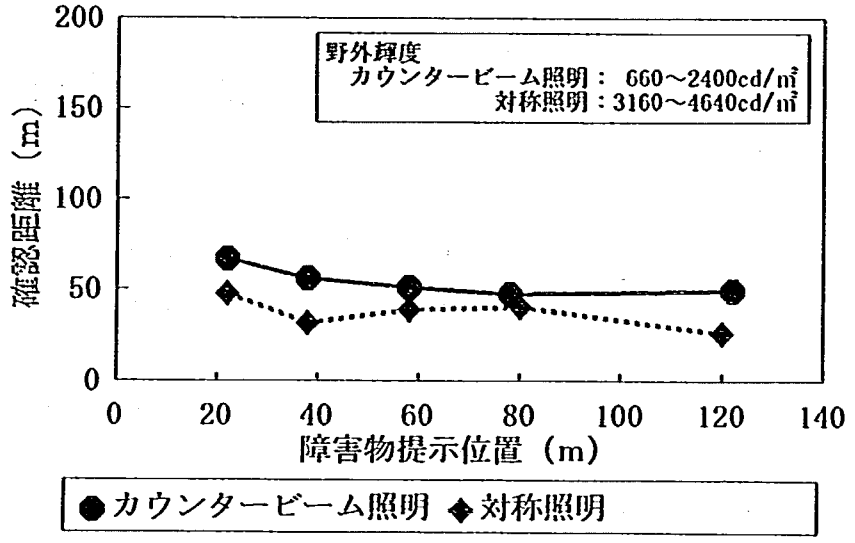
表－５．１８ 確認距離測定結果（対称照明、設計速度80km/h）

照明方式	設計速度	障害物		確認距離 (m)																輝度対比	備考
		設置位置	形状	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	最大	最小	平均	標準偏差		
対称照明	80km/h	19m	□	115.5	31.1	44.4	40.0	66.7	46.7	44.4	44.4	95.5	28.9	42.2	91.1	115.5	28.9	57.6	26.9	-0.364	
			○	86.7	37.8	60.0	46.7	51.1	42.2	51.1	2.2	102.2	88.9	57.8	75.5	102.2	2.2	58.5	25.9	-0.319	
		38m	□	55.6	51.1	60.0	48.9	77.8	42.2	42.2	44.4	84.4	44.4	46.7	80.0	84.4	42.2	56.5	14.9	0.024	
			○	11.1	13.3	－	－	80.0	62.2	13.3	11.1	－	8.9	35.6	51.1	80.0	8.9	31.8	25.2	0.040	
		57m	□	55.6	46.7	8.9	55.6	42.2	13.3	44.4	15.6	73.3	51.1	44.4	75.5	75.5	8.9	43.9	20.7	0.142	
			○	42.2	60.0	51.1	53.3	48.9	40.0	62.2	15.6	60.0	57.8	42.2	60.0	62.2	15.6	43.4	12.7	0.285	
		80m	□	57.8	46.7	60.0	53.3	73.3	77.8	60.0	33.3	62.2	57.8	48.9	73.3	77.8	33.3	58.7	12.0	0.114	
			○	57.8	64.4	31.1	8.9	44.4	46.7	40.0	20.0	68.9	55.6	42.2	82.2	82.2	8.9	45.8	19.8	0.196	
		121m	□	48.9	48.9	42.2	51.1	48.9	64.4	66.7	28.9	73.3	77.8	48.9	71.1	77.8	28.9	55.9	14.0	0.056	
			○	60.0	44.4	51.1	53.3	62.2	55.6	31.1	0.0	73.3	68.9	44.4	73.3	73.3	0.0	51.5	19.6	0.290	
		160m	□	53.3	44.4	53.3	60.0	68.9	53.3	28.9	11.1	73.3	55.6	48.9	62.2	73.3	11.1	51.1	16.3	0.314	
			○	15.6	37.8	31.1	33.3	22.2	35.6	0.0	15.6	46.7	11.1	37.8	60.0	60.0	0.0	28.9	16.0	0.088	
		240m	□	31.1	35.6	48.9	57.8	66.7	53.3	28.9	15.6	80.0	66.7	42.2	62.2	80.0	15.6	49.1	18.1	0.095	
			○	31.1	28.9	26.7	51.1	71.1	68.9	24.4	11.1	68.9	55.6	77.8	53.3	77.8	11.1	47.4	21.2	0.275	

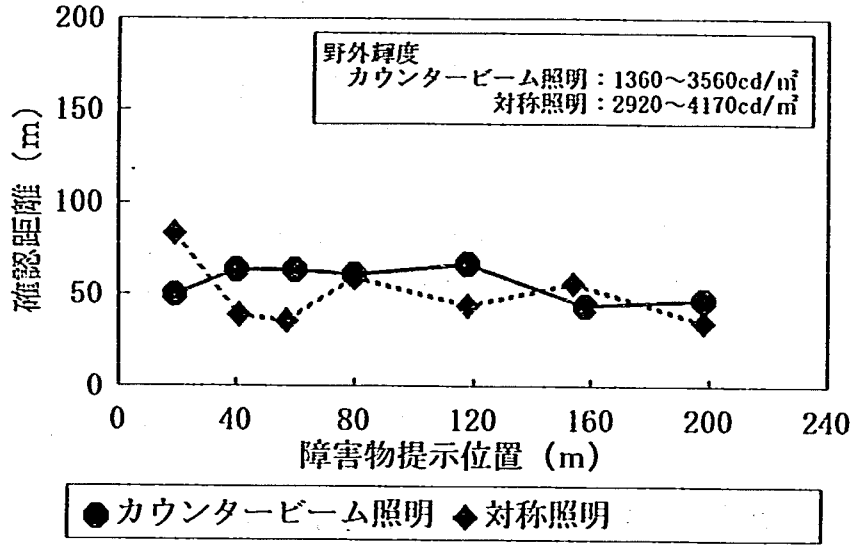
注：－については、運転者が障害物に気付かなかったものか、距離杭の表示ずれによって測定不能となったものを示す。



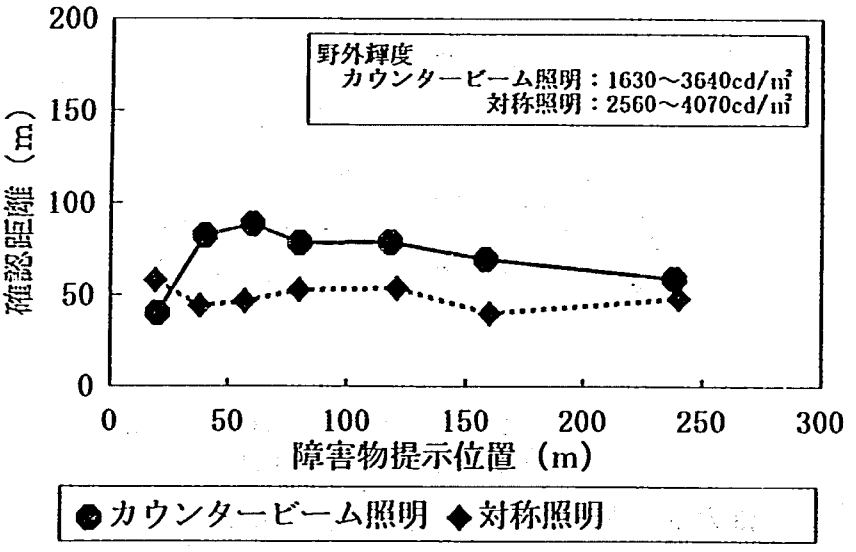
図－5．5 視認距離と提示位置との関係



設計速度：50km/h

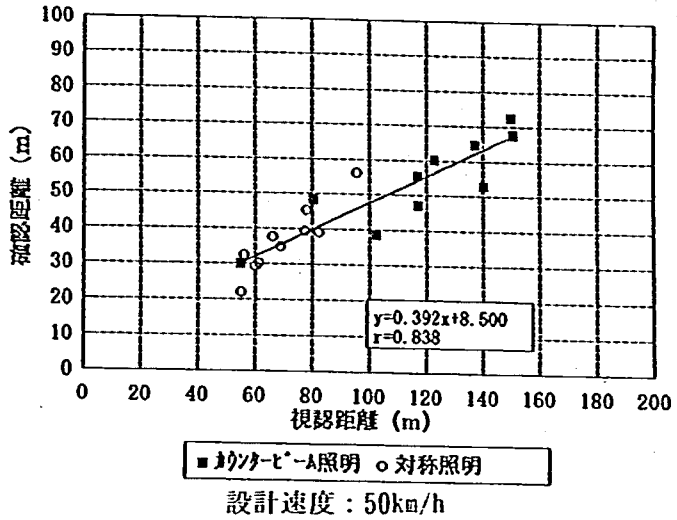


設計速度：60km/h

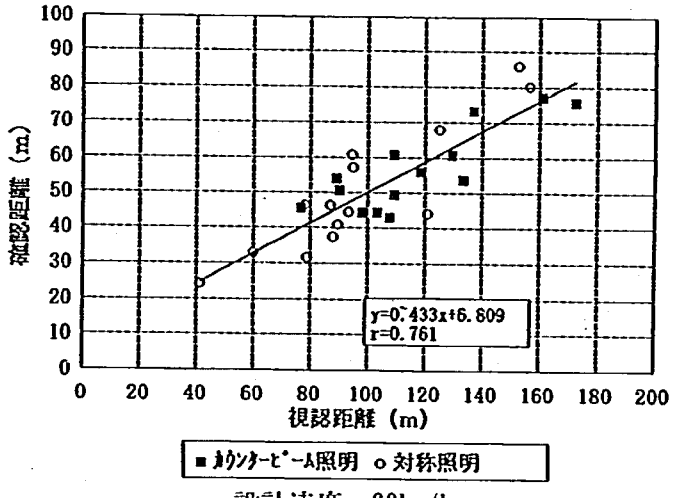


設計速度：80km/h

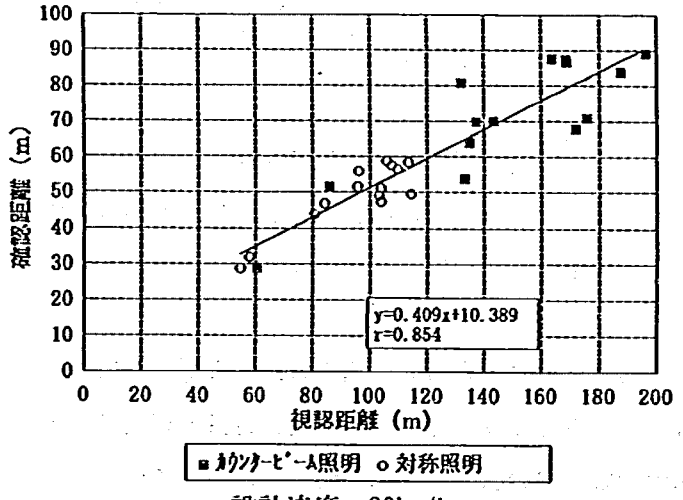
図－5．6 確認距離と提示位置との関係



設計速度：50km/h



設計速度：60km/h



設計速度：80km/h

図－5．7 視認距離と確認距離の関係

5．2．5 視認距離と輝度対比の関係

図－5．8に視認距離と輝度対比の関係について示す。設計速度50km/hと60km/hについては視認距離と輝度対比の関係がそれぞれ同様な傾向・値にあると考えられたため、2つの条件の結果を合わせて整理を行った。また、輝度対比は、それぞれ正の輝度対比の場合と負の輝度対比の場合の回帰式、相関を求めた。なお、図中で輝度対比がゼロの点では正及び負の回帰直線から求められる視認距離が理論上では同一となるが、障害物の見え方の状態の相違、実験結果のばらつき等により必ずしも一致していない。

（1）設計速度50km/h、60km/hの場合

カウンタービーム照明の設計速度50km/hでばらつきが見られるが、全体的な傾向は輝度対比が高くなると視認距離も長くなる傾向にある。しかし、正の輝度対比で相関係数が0.51、負の輝度対比で相関係数が0.44と負の相関係数があまり良い相関にあるとは言えない。平成5年度に実施した60km/hの走行実験の結果と合わせて整理すると、図－5．9に示すとおりであり、その傾向は同様な結果となることが確認された。また、相関係数も0.57、0.59と若干が上がる傾向にあることが分かった。

（2）設計速度80km/hの場合

図から、輝度対比が高くなれば視認距離も長くなる傾向がある。特に正の輝度対比の場合に顕著に現れている。また、相関係数も正の輝度対比の場合0.76、負の輝度対比の場合0.42と正の輝度対比の場合が良い傾向にある。平成6年度に実施した80km/hの走行実験と合わせて整理すると図－5．8に示すとおりであり、その傾向は同様な結果となることが確認された。相関係数は0.56、0.67と若干低下するものの、比較的高い値が得られている。

以上より、設計速度50，60km/hおよび80km/hで分類した場合、視認距離と輝度対比の関係は相関係数0.56～0.67と比較的高い相関があると考えられた。このことより、設計速度毎に応じた視認距離は、障害物の輝度対比から推定することが可能であることが分かった。

5．2．6 自然光の射し込みが同一の場合における視認距離の推定

設計速度毎に応じた視認距離が障害物の輝度対比から推定することが可能であることが分かったので、自然光が同一の場合における各照明条件下での視認距離の推定を行うこととする。視認距離の推定は、次の要領で実施した。

①昼間、比較的安定した天候状態で自然光の射し込みのみ（人工照明は消灯）の条件で、トンネル内の所定の位置において障害物の鉛直面照度、障害物の輝度、背景の輝度を測定する。

②夜間、もしくは自然光の影響がない状態で人工照明のみによる条件で、トンネル内の所定の位置において障害物の鉛直面照度、障害物の輝度、背景の輝度を測定する。

③上記の①、②で測定した各測定値を加算して、照明方式毎の輝度対比を算出する。

以上の方法により、自然光の射し込みが同一の条件下で照明方式毎の輝度対比が求められる。このように

求めた輝度対比の結果を表－５．１９に示す。なお、昼間、自然光の射し込みのみの条件における測定は、晴天時で野外輝度が4,000～6,000cd/㎡であった。この輝度対比を用いて図－５．９に示す関係から視認距離を推定した。結果を図－５．１０、図－５．１１に示す。図はそれぞれ反射率20%、30%の場合を示す。

設計速度60km/h、80km/hについては、図－５．１０の推定視認距離結果と図－５．５の走行実験時に求めた結果とほぼ同じ傾向・値を示していることから、視認距離と輝度対比の関係から視認距離を推定する方法の妥当性が確認されたものと考えられる。

障害物の反射率による視認距離の違いは、高い輝度対比を示す反射率20%が低い輝度対比を示す反射率30%に比べて長い結果となった。これは、静止実験時の視認性の評価と同様な傾向となった。すなわち、障害物の輝度対比の大小により視認性の評価（走行実験の場合は視認距離または確認距離に相当する）が決定される。したがって、本実験結果より設計速度60km/h、80km/hの各照明条件ともに、慣ね視距相当の視認距離が得られることが分かった。

また、走行実験結果から直接比較することが出来なかった設計速度50km/hの視認距離について比較すると対称照明に比べてカウンタービーム照明の方が視認距離が長くなっており、カウンタービーム照明の視認性は対称照明と比較して同等もしくはそれ以上の視認性があることが分かった。

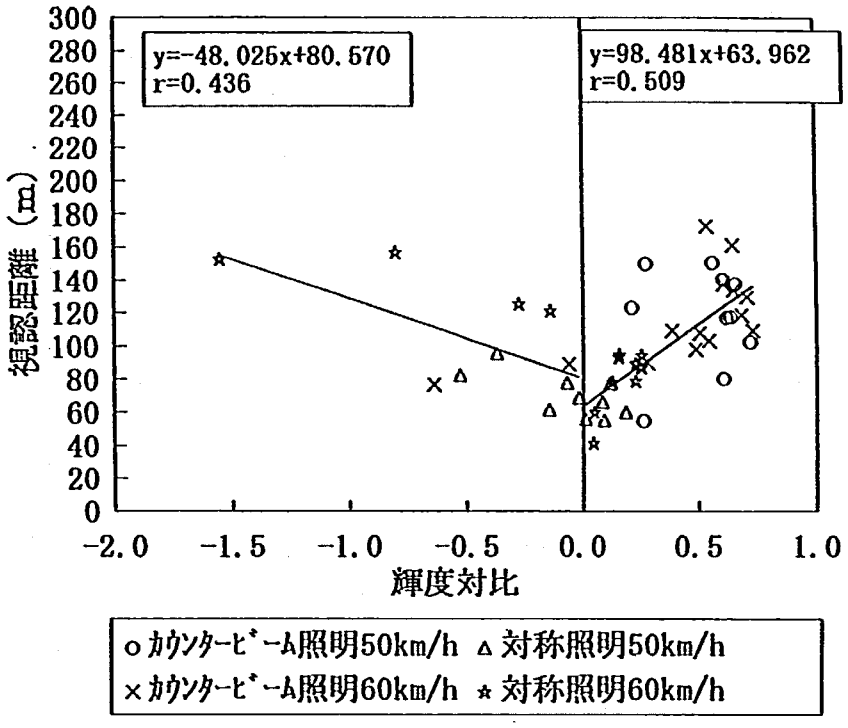
したがって、本実験条件であるカウンタービーム照明のレベルを対称照明に比べて約２割低減した状態でも50km/h、60km/h、80km/hの各設計速度における障害物の視認性は対称照明に比較して同等もしくはそれ以上の視認性が得られることが明らかとなった。

表－5．19 自然光の差込の影響を考慮した障害物の輝度対比

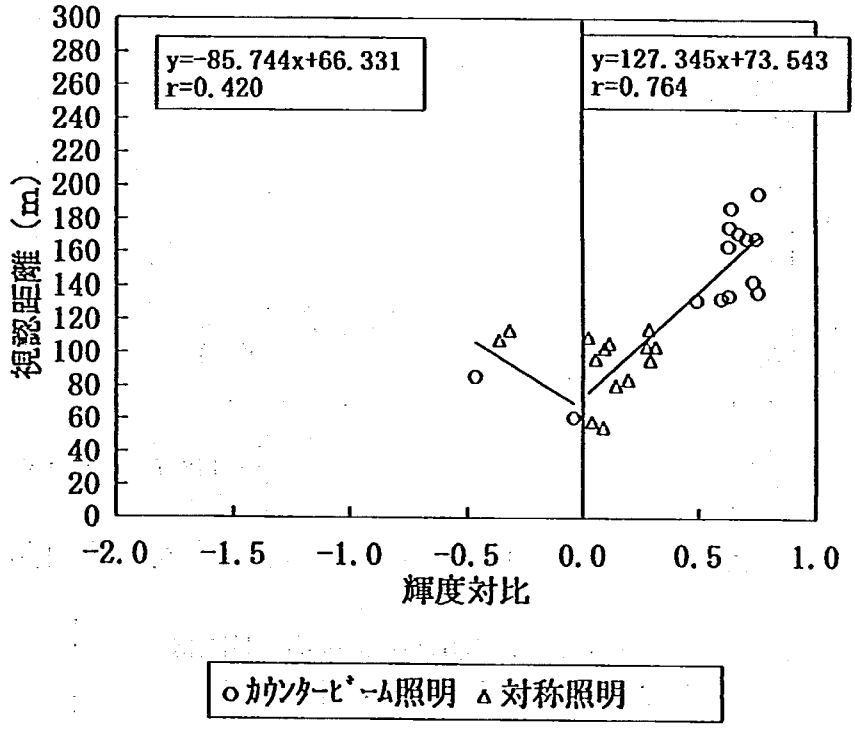
（野外輝度：4,000～6,000cd/m²の場合）

照明方式	設計速度	障害物提示位置 坑口からの距離 (m)	障害物の輝度 L0		背景の輝度 L		輝度対比 (L-L0)/L		視認距離 (m)	
			反射率20%	反射率30%	反射率20%	反射率30%	反射率20%	反射率30%	反射率20%	反射率30%
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明	50km/h	0	2476.3	3714.5	1975.9	1795.9	-0.38	-1.07	98.82	131.9
		20	96.9	145.3	87.5	87.5	-0.11	-0.66	85.85	112.3
		40	24.5	36.8	43.5	43.5	0.44	0.15	107.28	79.1
		60	10.8	16.2	30.5	30.5	0.65	0.47	127.96	110.1
		80	5.7	8.5	20.2	20.2	0.72	0.58	134.86	121.0
		120	2.3	3.5	7.1	7.1	0.68	0.51	130.92	113.9
		160	1.1	1.6	4.3	4.3	0.74	0.63	136.83	125.8
対称照明	50km/h	0	2476.3	3714.4	1781.1	1781.1	-0.39	-1.09	99.30	132.7
		20	111.5	167.3	93.6	93.6	-0.19	-0.79	89.69	118.4
		40	41.3	62.0	53.4	53.4	0.23	-0.16	86.60	88.3
		60	23.3	35.0	41.8	41.8	0.44	0.16	107.28	80.0
		80	18.7	28.0	33.8	33.8	0.45	0.17	108.27	80.9
		120	4.9	7.3	8.7	8.7	0.44	0.16	107.28	79.8
		160	2.9	4.3	5.4	5.4	0.46	0.20	109.25	84.0
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明	60km/h	0	2476.4	3714.6	1806.0	1806.0	-0.37	-1.06	98.34	131.3
		20	98.6	147.9	102.6	102.6	0.04	-0.44	67.89	101.8
		40	27.2	40.8	62.5	62.5	0.56	0.35	119.10	98.1
		60	14.4	21.6	46.1	46.1	0.69	0.53	131.90	116.3
		80	8	12.0	32.5	32.5	0.75	0.63	137.81	126.1
		120	3.7	5.5	18.5	18.5	0.80	0.70	142.74	133.2
		160	1.8	2.7	7.9	7.9	0.77	0.66	139.78	128.8
		200	1.3	2.0	5.3	5.3	0.75	0.62	137.81	125.3
対称照明	60km/h	0	2476.4	3714.6	1804.4	1804.4	-0.37	-1.06	98.34	131.4
		20	116.3	174.5	112.7	112.7	-0.03	-0.55	82.01	106.9
		40	44.6	66.9	76.4	76.4	0.42	0.12	105.31	76.2
		60	32.2	48.3	67.2	67.2	0.52	0.28	115.16	91.6
		80	26.3	39.4	57.0	57.0	0.54	0.31	117.13	94.4
		120	11.1	16.6	24.1	24.1	0.54	0.31	117.13	94.6
		160	4.6	6.9	9.5	9.5	0.52	0.27	115.16	90.9
		200	2.3	3.5	5.5	5.5	0.58	0.36	121.07	99.8
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明	80km/h	0	2476.8	3715.2	1821.5	1821.5	-0.36	-1.04	97.20	155.5
		20	103.2	154.8	129.3	129.3	0.20	-0.20	99.01	83.2
		40	32.1	48.1	86.0	86.0	0.63	0.44	153.77	129.7
		60	16.4	24.6	76.4	76.4	0.78	0.68	172.87	159.9
		80	13.3	19.9	79.8	79.8	0.83	0.75	179.24	169.1
		120	9.2	13.8	53.5	53.5	0.83	0.74	179.24	168.0
		160	6.5	9.7	33.4	33.4	0.81	0.71	176.69	163.9
		200	3.9	5.9	24.0	24.0	0.83	0.75	179.24	169.6
		250	2.7	4.1	10.2	10.2	0.74	0.60	167.78	149.7
		280	2.4	3.6	6.4	6.4	0.63	0.44	153.77	129.3
		300	2.3	3.4	4.4	4.4	0.48	0.23	134.67	102.5
対称照明	80km/h	0	2476.5	3714.8	1818.3	1818.3	-0.36	-1.04	97.20	155.8
		20	126.7	190.1	110.6	110.6	-0.15	-0.72	79.19	128.0
		40	58.3	87.5	95.6	95.6	0.39	0.08	123.21	84.3
		60	45.9	68.9	80.8	80.8	0.43	0.15	128.30	92.3
		80	48.2	72.3	83.0	83.0	0.42	0.13	127.03	90.0
		120	29	43.5	53.9	53.9	0.46	0.19	132.12	98.1
		160	17.8	26.7	32.4	32.4	0.45	0.18	130.85	95.9
		200	9.5	14.3	18.1	18.1	0.48	0.21	134.67	100.3
		250	4.3	6.5	8.1	8.1	0.47	0.20	133.40	98.7
		280	3.9	5.9	7.3	7.3	0.47	0.19	133.40	98.0
		300	2.6	3.9	3.4	3.4	0.23	-0.15	102.83	78.9

自然光データは、平成６年８月２日、天候：晴れを使用

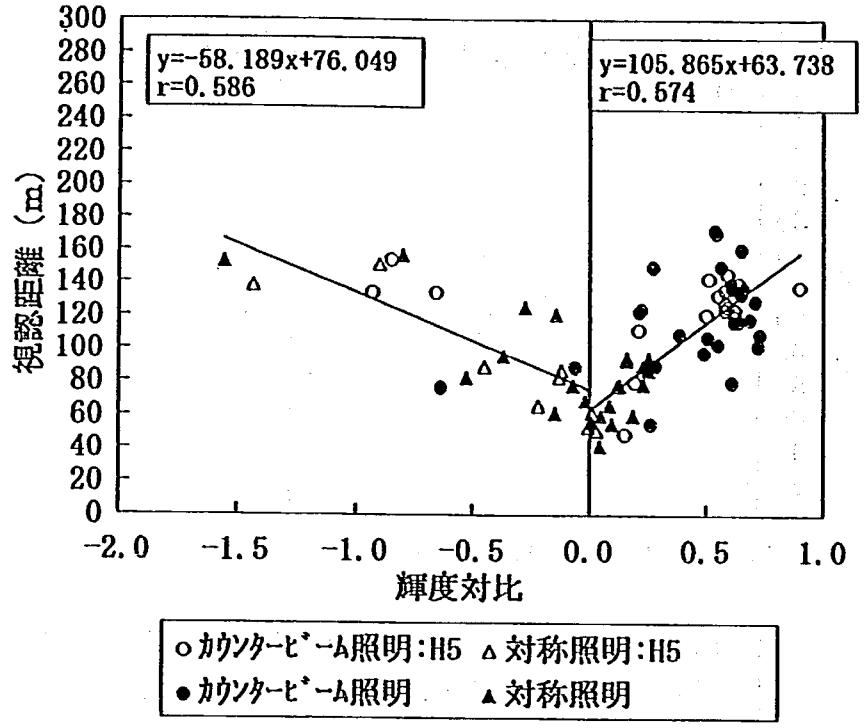


設計速度：50、60km/h

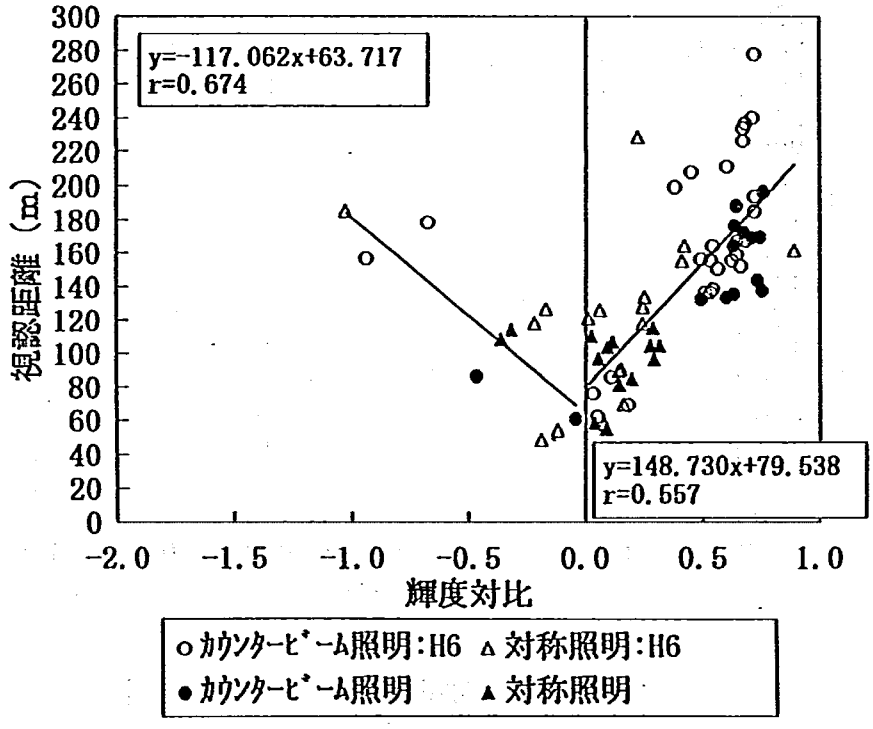


設計速度：80km/h

図－５．８ 視認距離と輝度対比の関係

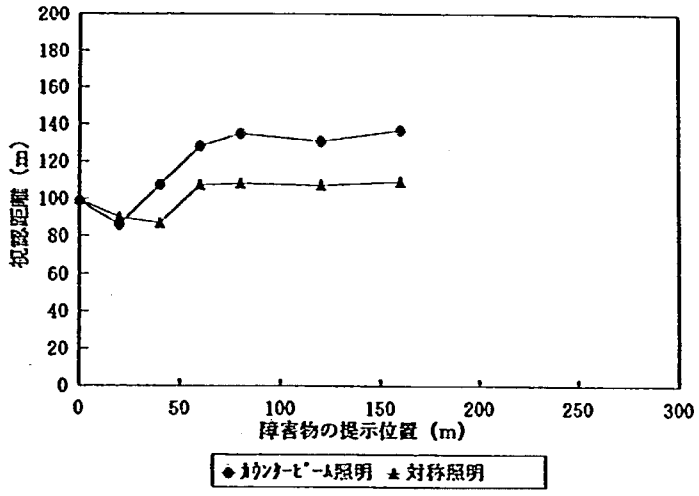


設計速度：50、60km/h

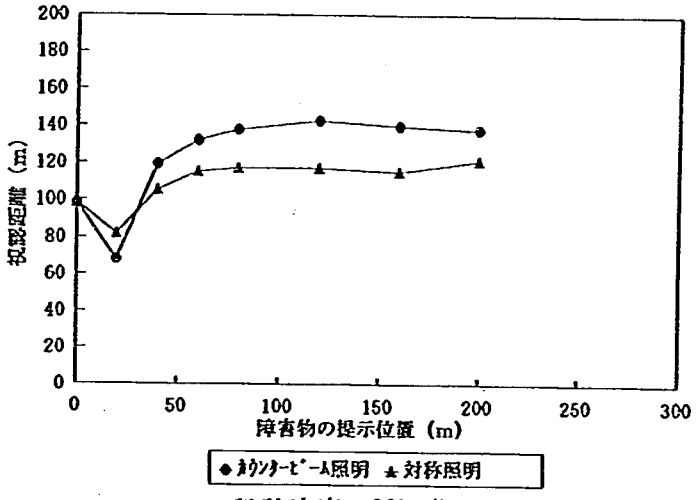


設計速度：80km/h

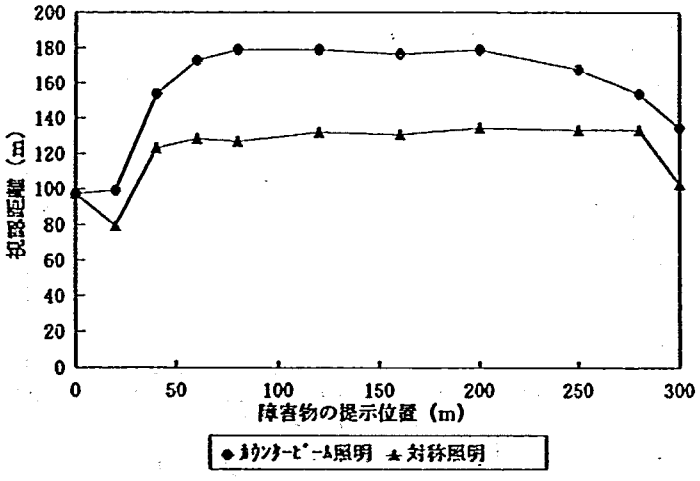
図－５．９ 視認距離と輝度対比の関係（平成5年度，6年度ﾃﾞｰﾀを含めた結果）



設計速度：50km/h

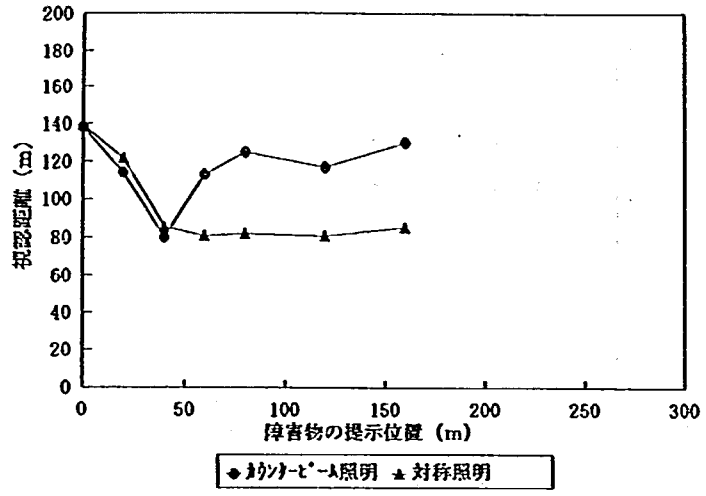


設計速度：60km/h

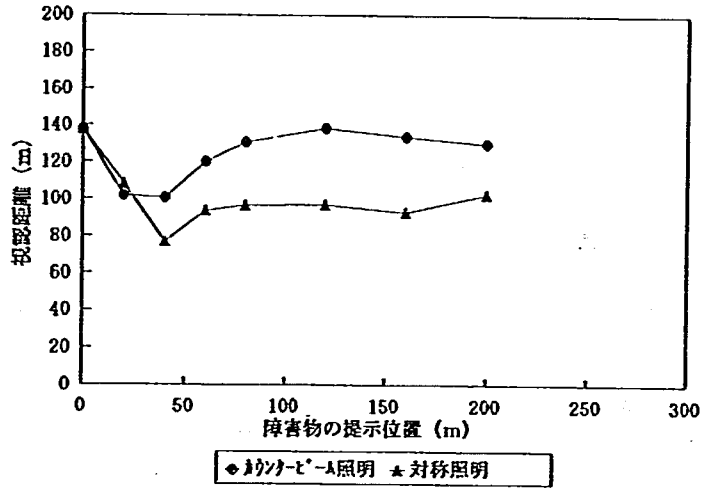


設計速度：80km/h

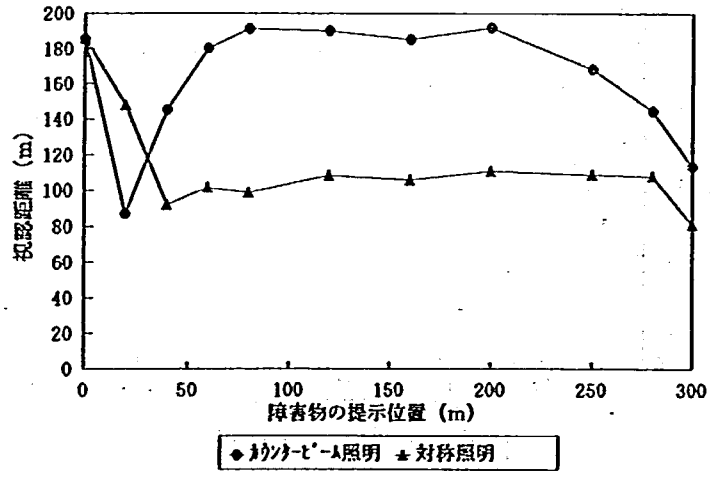
図－５．１０ 提示位置と推定視認距離の関係（障害物反射率：20%）



設計速度：50km/h



設計速度：60km/h



設計速度：80km/h

図－５．１１ 提示位置と推定視認距離の関係（障害物反射率：30%）

5．2．7 アンケート結果

照明方式（カウンタービーム照明，対称照明）の違いによる各種項目の評価を検討するため、表－5．2に示したアンケート調査用紙を用いて、「トンネル坑口の見え方」「トンネルの進入のしやすさ」「照明器具からのまぶしさ」「トンネル進入後の視環境」に関するアンケートを5段階評価で実施した。

評価の整理にあたっては、以下に示すように評価内容の回答で一番良い評価を5として評点に換算し、評価した。アンケート結果の一覧表を表－5．20に示す。また、図－5．12に各被験者の平均値で整理して示した。ただし、設計速度50km/hのアンケート結果については野外条件が両照明方式で大きく異なっていたため、結果の評価については注意する必要がある。

1．トンネル坑口の見え方

非常に暗く感じた …… 評点1
やや暗く感じた …… 評点2
どちらともいえない …… 評点3
やや明るく感じた …… 評点4
非常に明るく感じた …… 評点5

2．トンネルの進入のしやすさ

不安感が高く非常に進入しにくい …… 評点1
やや不安感があり進入しにくい …… 評点2
多少不安感があるが支障はない …… 評点3
ほとんど不安感がない …… 評点4
まったく不安感がない …… 評点5

3．照明器具からのまぶしさ

まぶしすぎて非常に運転しづらい …… 評点1
ややまぶしく運転しづらい …… 評点2
多少まぶしいが支障はない …… 評点3
ほとんどまぶしくない …… 評点4
まったくまぶしくない …… 評点5

4．トンネル進入後の視環境

非常に悪い …… 評点1
やや悪い …… 評点2
どちらともいえない …… 評点3
やや良い …… 評点4
非常に良い …… 評点5

（1）トンネルの坑口の見え方

設計速度60km/hの場合は、カウンタービーム照明、対称照明ともにトンネル坑口の見え方の平均的な評価が2.64, 2.90、標準偏差が0.72, 0.73となった。また、全体に占める評価の割合は両照明方式ともに約半数の45%以上が標点3の「どちらともいえない」と評価しており、照明方式による顕著な差は生じていないと考えられる。設計速度80km/hの場合も同様に、両照明方式の標点の平均値が3.04, 3.02、標準偏差が0.50, 0.72となっており平均的には両照明方式の顕著な差は認められない。ただし、標準偏差からばらつきはカウンタービーム照明が少なく、全体に占める割合も標点3「どちらともいえない」以上の評価が約90%となっており、対称照明の約80%より高い評価となった。ただし、実験時の野外輝度がほぼ同程度ではあったが、対称照明時が若干高かったことを考えると照明方式による差は少ないものと考えられる。

また、設計速度60km/h, 80km/hを比較すると、80km/hの評価が若干高い結果となった。実験時の野外輝度が設計速度60、80km/hともにほぼ同様な条件で実施していることを考えると、入口部照明のレベルが高い分だけ評価が上がったものと考えることができる。

（2）トンネルの進入のしやすさ

設計速度60km/hの場合は、カウンタービーム照明、対称照明ともにトンネルの進入のしやすさの平均的な評価が3.66, 3.78、標準偏差が0.81, 0.91となった。全体に占める各評価の割合は標点3の「多少不安感があるが支障はない」以上の評価がそれぞれの照明方式で95%, 90%であり顕著な差は生じていないと考えられる。設計速度80km/hの場合も同様に両照明方式の標点の平均値が3.99, 3.68、標準偏差が0.59, 0.77となっており両照明方式の顕著な差は認められない。全体に占める各評価の割合も標点3「多少不安感があるが支障はない」以上の評価はそれぞれの照明方式ともに100%、約90%と非常に高い評価となった。

（3）照明器具からのまぶしさ

設計速度60km/hの場合は、カウンタービーム照明、対称照明ともに照明器具からのまぶしさの平均的な評価が4.07, 4.05、標準偏差が0.53, 0.45と「ほとんどまぶしくない」以上の評価となった。全体に占める各評価の割合も標点3の「多少まぶしいが支障はない」以上の評価がそれぞれの照明方式で90%以上の高い評価となっており顕著な差は生じていないと考えられる。設計速度80km/hの場合も同様に両照明方式の標点の平均値が4.15, 4.14、標準偏差が0.45, 0.59となっており両照明方式の顕著な差は認められない。全体に占める各評価の割合も標点3「多少まぶしいが支障はない」以上の評価はそれぞれの照明方式ともに100%、約98%と非常に高い評価となった。

（4）トンネル進入後の視環境

設計速度60km/hの場合は、カウンタービーム照明、対称照明ともにトンネル進入後の視環境の平均的な評価が3.23, 3.36、標準偏差が0.61, 0.77の評価となった。全体に占める各評価の割合も標点3の「どちらともいえない」以上の評価がそれぞれの照明方式で90%以上の高い評価となっており顕著な差は生じていないと考えられる。設計速度80km/hの場合も同様に両照明方式の標点の平均値が3.51, 3.39、標準偏差は0.72, 0.78とな

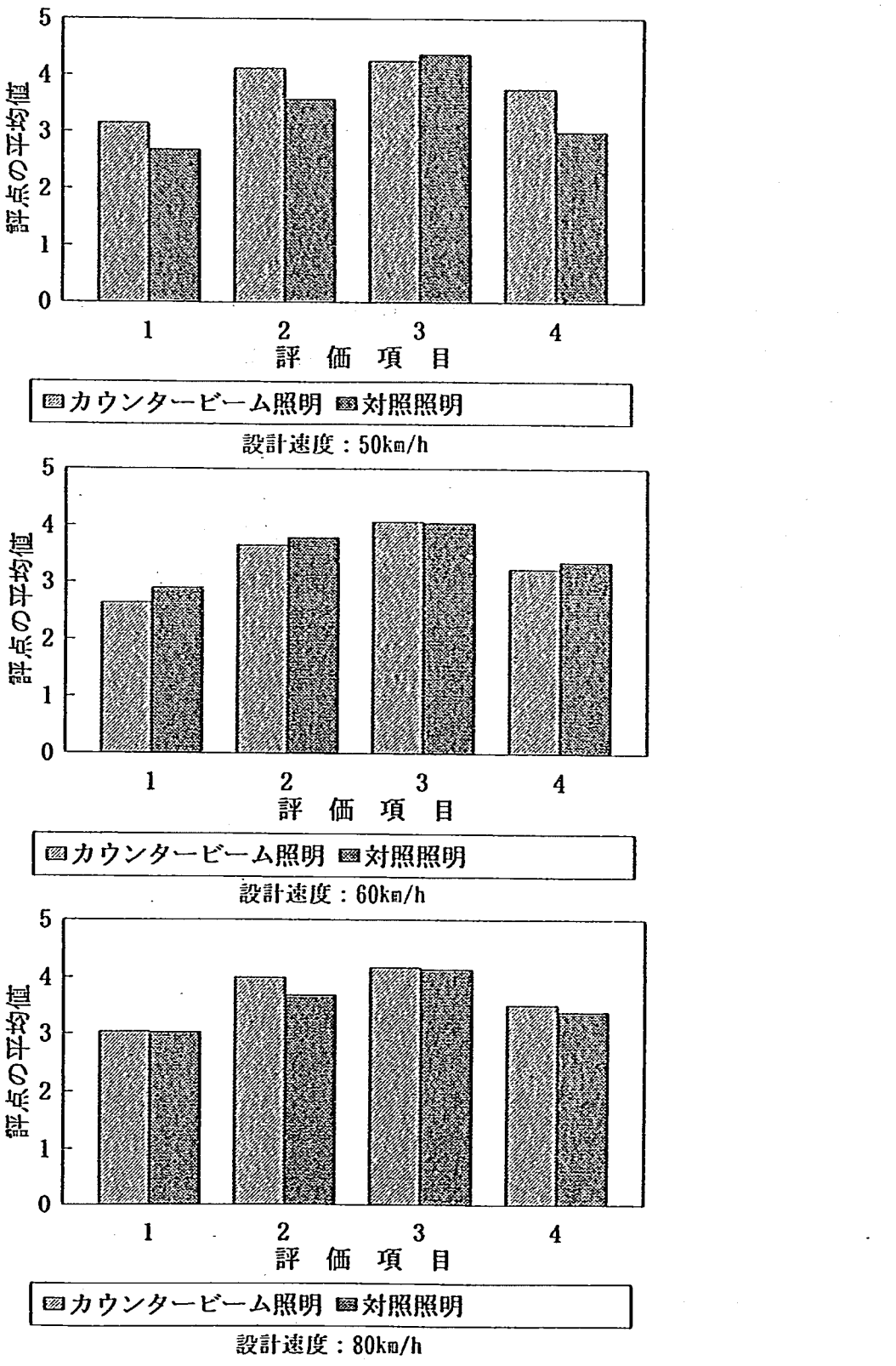
っており両照明方式の顕著な差は認められない。全体に占める各評価の割合も標点3「どちらともいえない」以上の評価はそれぞれの照明方式ともに90%と非常に高い評価となった。

以上より、アンケート調査結果からは野外輝度条件が大きく異なる設計速度50km/hは比較できないが、60km/h、80km/hについては、カウンタービーム照明の照明レベルを低減した状態においても、「トンネル坑口の見え方」、「トンネルの進入のしやすさ」、「トンネル進入後の視環境」は対称照明とほぼ同様の評価結果であり、照明方式による差は生じていないことが分かった。また、いずれの条件においても「照明器具からのまぶしさ」からは支障となるまぶしさはほとんど受けないことが分かった。これらのアンケート結果からは、本条件下での照明方式による上記の4項目に対してドライバーが感じる差異はほとんどないと考えることができる。

設計速度50km/hについては野外輝度の条件がカウンタービーム照明と対称照明で異なっていたためアンケート評価結果を直接比較する事は出来ないが、平成6年度に実施した設計速度40km/hの結果では、野外条件が対称照明時に1,030～1,760cd/㎡、カウンタービーム照明で2,400～3,700cd/㎡と対称照明の条件が観測上有利であったにもかかわらず、上記の4つのアンケート結果はカウンタービーム照明の方が若干高い評価結果であることを考えると、設計速度50km/hの場合も60,80km/hと同様に両照明方式による評価結果の差異は大きく生じることはないと考えられる。

表－５．２０ アンケート結果の一覧表

照明方式	設計速度	評価項目	評価内容						全体に占める割合 (%)						評点の平均値	評点の標準偏差	備考
			1	2	3	4	5	合計	1	2	3	4	5	合計			
カウンターピーム照明	50km/h	トンネル坑口の見え方	0	30	43	35	7	120	0	25	40	29	6	100	3.16	0.87	
		トンネルの進入しやすさ	0	0	23	59	38	120	0	0	19	49	32	100	4.13	0.70	
		照明器具からのまぶしさ	0	1	13	60	46	120	0	1	11	50	38	100	4.26	0.68	
		トンネル進入後の視環境	0	6	42	46	26	120	0	5	35	38	22	100	3.77	0.84	
対向照明	50km/h	トンネル坑口の見え方	11	44	47	8	10	120	9	37	39	7	8	100	2.68	1.02	
		トンネルの進入しやすさ	0	9	45	53	13	120	0	8	38	44	11	100	3.58	0.78	
		照明器具からのまぶしさ	0	2	14	41	63	120	0	2	12	34	53	100	4.38	0.75	
		トンネル進入後の視環境	2	38	46	25	9	120	2	32	38	21	8	100	3.01	0.94	
カウンターピーム照明	60km/h	トンネル坑口の見え方	5	68	78	16	1	168	3	40	46	10	1	100	2.64	0.72	
		トンネルの進入しやすさ	0	10	63	69	26	168	0	6	38	41	15	100	3.66	0.81	
		照明器具からのまぶしさ	0	0	18	120	30	168	0	0	11	71	18	100	4.07	0.53	
		トンネル進入後の視環境	0	12	109	43	4	168	0	7	65	26	2	100	3.23	0.61	
対向照明	60km/h	トンネル坑口の見え方	2	46	88	30	2	168	1	27	52	18	1	100	2.90	0.73	
		トンネルの進入しやすさ	1	19	29	86	33	168	1	11	17	51	20	100	3.78	0.91	
		照明器具からのまぶしさ	0	0	13	133	22	168	0	0	8	79	13	100	4.05	0.45	
		トンネル進入後の視環境	0	16	89	49	14	168	0	10	53	29	8	100	3.36	0.77	
カウンターピーム照明	80km/h	トンネル坑口の見え方	0	18	126	24	0	168	0	11	75	14	0	100	3.04	0.50	
		トンネルの進入しやすさ	0	0	30	110	28	168	0	0	18	65	17	100	3.99	0.59	
		照明器具からのまぶしさ	0	0	6	130	32	168	0	0	4	77	19	100	4.15	0.45	
		トンネル進入後の視環境	1	11	65	83	8	168	1	7	39	49	5	100	3.51	0.72	
対向照明	80km/h	トンネル坑口の見え方	4	28	99	35	2	168	2	17	59	21	1	100	3.02	0.72	
		トンネルの進入しやすさ	0	15	40	96	17	168	0	9	24	57	10	100	3.68	0.77	
		照明器具からのまぶしさ	0	3	10	116	39	168	0	2	6	69	23	100	4.14	0.59	
		トンネル進入後の視環境	0	14	92	45	17	168	0	8	55	27	10	100	3.39	0.78	



図－５．１２ 障害物の視認性実験（走行実験）アンケート結果

5.3 まとめ

入口部照明を対象としてカウンタービーム照明の照明レベルを対称照明の約2割低減させた条件で設計速度50km/h、60km/h、80km/hでの走行実験を行った結果以下のことが分かった。

各照明レベルにおいても、走行実験時の視認距離と輝度対比の関係と光学測定から求まる野外の明るさが同一条件での輝度対比を用いて視認距離を推定すると、いずれの条件でもカウンタービーム照明が対称照明に比べて視認距離が同等もしくは長くなることが分かった。すなわち、カウンタービーム照明の障害物の視認性が高いことが明らかとなった。

また、走行実験時の直後に行った「トンネル坑口の見え方」、「トンネルの進入のしやすさ」、「トンネル進入後の視環境」、「照明器具からのまぶしさ」のアンケート調査結果では、対称照明とほぼ同様な評価結果が得られた。また、観測時の野外輝度の条件が異なっていた設計速度50km/hについては、平成6年度に実施した設計速度40km/hの結果を考えると60, 80km/hと同様に照明方式による差異は生じない評価となることが考えられた。

以上より、カウンタービーム照明の照明レベルを対称照明の約2割低減しても障害物の視認性は十分得られるとともに、「トンネル坑口の見え方」、「トンネルの進入のしやすさ」、「トンネル進入後の視環境」、「照明器具からのまぶしさ」は、対称照明との評価の差異はほとんどなく、ほぼ同様な評価結果であることが分かった。

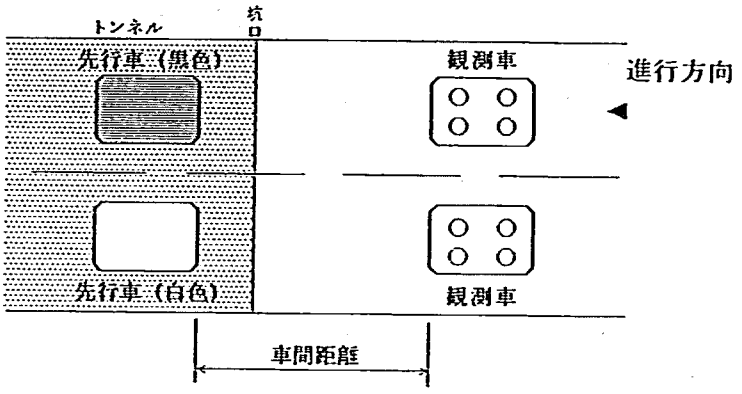
6．先行車の視認性実験（静止実験）

6．1 実験概要

6．1．1 実験方法

実験は、図－6．1に示すように実大トンネル実験施設において色の異なる２台の先行車（ライトバン）を提示し、先行車後部から所定の車間距離（２０m、４０m、１００m）だけ離れた位置から被験者に観測車の車内から先行車を観測させ、その視認性について５段階評価による主観調査（アンケート調査）を行った。

また、野外条件として坑口部の所定の位置で野外輝度、水平面照度、鉛直面照度を測定するとともに、先行車後部の輝度、背景となる箇所の輝度、先行車の水平面照度および鉛直面照度の測定を行った。



図－6．1 実験配置図

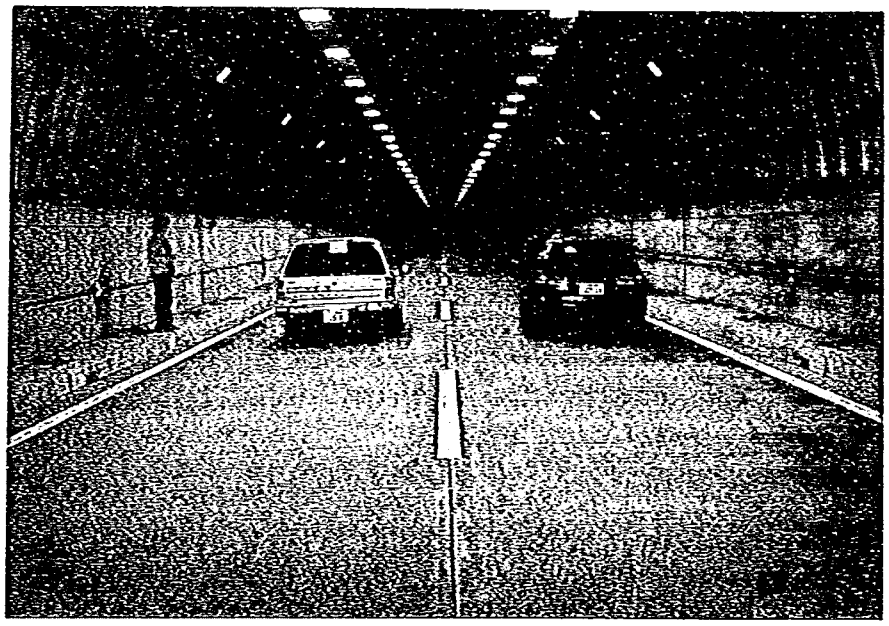
6．1．2 実験条件

（1）照明方式　：カウンタービーム照明（設置位置；車線中央）
　　対称照明

（2）設計速度　：設計速度50km/h
　　設計速度60km/h
　　設計速度80km/h
　　入口部照明の基準輝度は表－２．３に示す。

（3）野外輝度　：3,000cd/㎡程度以上を目標とする。

（4）先行車　：黒色系、白色系の２色のライトバン（写真－6．1）
　　（テールランプの有無による比較も実施）



写真－６．１　先行車

（５）先行車の提示位置および車間距離

先行車の提示位置（先行車後部の位置）および車間距離を表－６．１に示す。先行車後部の提示位置については、先行車の視認性が他の位置に比べて低下すると考えられるトンネル内の坑口付近として、３点に設定した。また、先行車までの車間距離は、各設計速度毎の視距相当に設定することも考えられるが、実際の道路での走行状態等を考慮して２０ｍ、４０ｍ、１００ｍの３種類を設定した。

表－６．１　先行車の提示位置及び車間距離

先行車の提示位置 （トンネル坑口からの距離）	車間距離 （観測距離）
20m	20、40、100m
40m	20、40、100m
80m	20、40、100m

（６）被験者

被験者数は12名とし、その属性を表－６．２に示す。

表－6．2　被験者属性一覧表

照明方式	設計速度	No.	氏名	年齢	性別	運転歴(年)	視力 右	視力 左	使用車種	使用目的
カウンタービーム照明	50km/h	1	SO	24	男	0.7	1.0	1.2	普通車	通学
		2	MT	22	男	0.5	1.0	1.0	普通車	通学
		3	RN	22	女	2.0	1.5	1.5	普通車	レジャー
		4	TU	23	男	3.0	1.0	1.0	普通車	ショッピング
		5	YN	23	男	4.0	1.0	1.0	普通車	アルバイト
		6	KI	23	男	2.0	1.5	1.5	普通車	通勤
		7	YM	22	男	3.5	0.8	0.7	普通車	通勤
		8	HT	22	男	3.0	1.0	1.0	普通車	レジャー
		9	KK	22	男	4.0	1.0	0.5	普通車	ドライブ
		10	TG	23	女	1.0	1.2	1.2	普通車	通勤
		11	TO	22	女	3.0	1.5	1.5	普通車	レジャー
		12	EK	23	女	3.0	1.0	1.0	普通車	通勤
対称照明	50km/h	1	MT	22	男	0.5	1.0	1.0	普通車	通学
		2	TM	22	女	4.0	1.5	1.5	普通車	ドライブ
		3	YT	23	女	0.6	1.0	1.0	普通車	ショッピング
		4	TO	22	女	3.0	1.5	1.5	普通車	レジャー
		5	TS	21	男	2.5	1.2	1.2	普通車	通学
		6	SH	21	男	1.5	1.0	1.0	普通車	ショッピング
		7	TU	23	男	3.0	1.0	1.0	普通車	ショッピング
		8	KH	21	男	2.0	2.0	2.0	普通車	アルバイト
		9	KN	22	男	0.7	0.2	0.5	普通車	ドライブ
		10	TO	21	男	3.0	0.7	0.7	普通車	ドライブ
		11	KA	22	男	2.5	1.5	1.5	普通車	ドライブ
		12	MT	22	男	0.7	1.5	1.5	普通車	ドライブ
カウンタービーム照明	60km/h	1	YO	24	男	3.0	0.7	0.7	普通車	通学
		2	TI	23	男	4.0	1.0	1.0	普通車	通学
		3	SS	23	男	4.0	1.5	1.5	普通車	ドライブ
		4	KI	22	男	4.0	1.0	1.0	普通車	通学
		5	SN	21	男	3.0	2.0	2.0	普通車	アルバイト
		6	YK	19	女	0.2	1.2	1.2	普通車	ドライブ
		7	KH	21	男	2.0	2.0	2.0	普通車	アルバイト
		8	TS	21	男	3.0	1.2	1.2	普通車	通学
		9	NT	22	男	4.0	1.0	1.0	普通車	ドライブ
		10	TK	21	男	2.0	0.3	1.2	普通車	アルバイト
		11	YG	23	男	4.0	1.5	1.5	普通車	ドライブ
		12	HT	23	男	3.0	1.2	1.2	普通車	ドライブ
対称照明	60km/h	1	YN	23	男	4.0	1.0	1.0	普通車	アルバイト
		2	MT	22	男	0.5	1.0	1.0	普通車	通学
		3	YI	22	男	4.0	1.0	1.0	普通車	通学
		4	KS	22	男	0.6	1.0	1.0	普通車	ドライブ
		5	TS	21	男	2.5	1.2	1.2	普通車	通学
		6	MO	23	男	4.0	1.5	2.0	普通車	ドライブ
		7	JK	20	男	2.0	1.5	1.5	普通車	ドライブ
		8	KS	22	男	4.0	1.0	1.0	普通車	ドライブ
		9	YN	25	男	5.0	1.0	1.0	普通車	レジャー
		10	SN	21	男	3.0	2.0	2.0	普通車	アルバイト
		11	KH	21	男	2.0	2.0	2.0	普通車	アルバイト
		12	SI	21	男	1.5	1.0	1.0	普通車	ショッピング
カウンタービーム照明	80km/h	1	YN	23	男	4.0	1.0	1.0	普通車	アルバイト
		2	SN	21	男	3.0	2.0	2.0	普通車	アルバイト
		3	NM	23	男	0.5	1.0	1.0	普通車	ドライブ
		4	TK	21	男	2.0	0.3	1.2	普通車	アルバイト
		5	MT	22	男	0.5	1.0	1.0	普通車	通学
		6	KS	22	男	4.0	1.0	1.0	普通車	ドライブ
		7	MO	23	男	4.0	1.5	2.0	普通車	ドライブ
		8	TO	22	女	4.0	1.5	1.5	普通車	ドライブ
		9	HN	25	男	5.0	1.0	1.0	普通車	レジャー
		10	TS	21	男	2.5	1.2	1.2	普通車	通学
		11	TM	22	女	4.0	1.5	1.5	普通車	ドライブ
		12	KU	23	男	3.0	1.2	1.2	普通車	ドライブ
対称照明	80km/h	1	KK	22	男	4.0	1.0	0.5	普通車	ドライブ
		2	YK	19	女	0.2	1.2	1.2	普通車	ドライブ
		3	TO	22	女	3.0	1.5	1.5	普通車	レジャー
		4	HT	23	男	3.0	1.2	1.2	普通車	ドライブ
		5	KN	21	男	3.0	1.0	1.0	普通車	ドライブ
		6	SS	22	男	3.0	1.2	1.2	普通車	ドライブ
		7	YI	22	男	4.0	1.0	1.0	普通車	通学
		8	TH	21	男	3.0	0.7	0.7	普通車	ドライブ
		9	HT	22	男	3.0	1.0	1.0	普通車	ドライブ
		10	YG	23	男	4.0	1.5	1.5	普通車	ドライブ
		11	MM	22	男	3.0	1.0	1.0	普通車	ドライブ
		12	KS	22	男	4.0	1.0	1.0	普通車	ドライブ

6．1．3　測定項目および測定方法

（1）野外条件

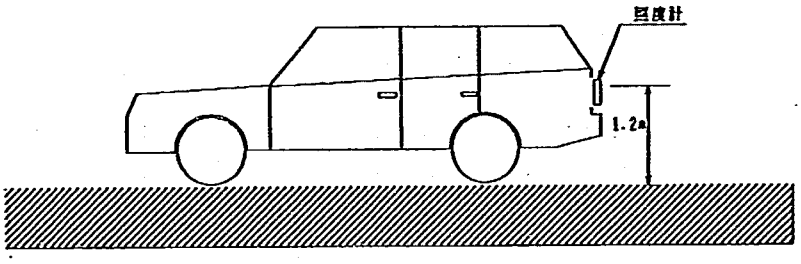
先の障害物視認性実験（静止実験・走行実験）と同様に、野外輝度はトンネル坑口手前105.9m、路上高さ1.5mから視野角20°の輝度計を用いて測定した。また、同じ場所で水平面照度、鉛直面照度の測定を行った。

（2）先行車後部の水平面照度・鉛直面照度

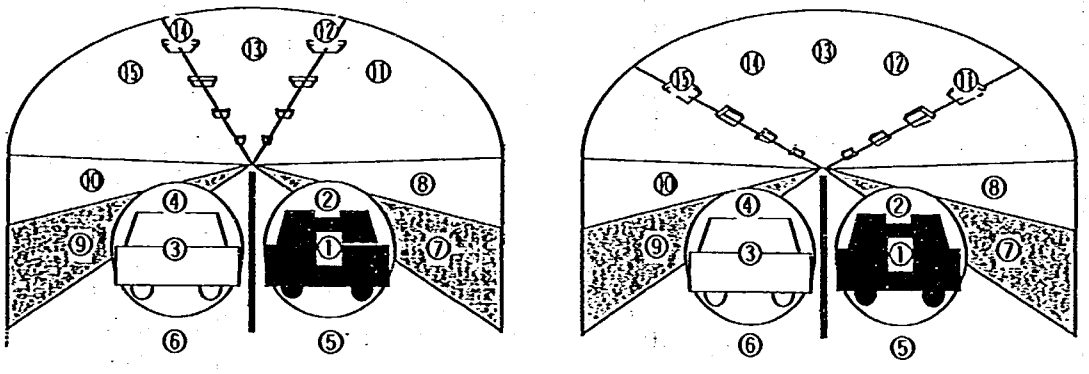
観測時の先行車後部の水平面・鉛直面照度の測定を図－6．2に示すように高さ1．2mの位置で測定した。

（3）先行車輝度と背景輝度

図－6．3に示すポイントにおいて先行車輝度（①～④）及び背景輝度（⑤～⑮）の測定を行った。先行車輝度と背景輝度の測定は特に定められた方法等がないため、本測定では先行車の部分輝度として先行車後部のガラス面とボディの境界を中心とする直径約60cmの範囲（①、③）と先行車の全体輝度として先行車全体が包含される範囲（②、④）の2種類の輝度測定をそれぞれ視野角度1°、3°の輝度計で実施した。また、背景輝度は先行車の背景と考えられる路面、壁面などの数カ所の代表的な部分の輝度として視野角度1度の輝度計で測定した。



図－6．3 先行車後部の水平面照度・鉛直面照度測定ポイント



カウンタービーム照明　　対称照明

図－6．2　先行車輝度・背景輝度測定ポイント

（3）先行車の視認性アンケート調査

照明方式（カウンタービーム照明，対称照明）の違いによる先行車の視認性を確認するため表－6．3に示すアンケート調査用紙を用い、先行車の見え方を5段階評価した。

表－6．3　アンケート調査用紙

入口部照明の視認性に関するアンケート調査
先行車視認性実験（静止実験）

氏名＿＿＿＿＿＿＿＿年齢＿＿＿＿男・女　　実験日時＿＿＿月＿＿＿日＿＿＿時

車両番号＿＿＿＿番　乗車位置＿＿＿＿番

照明方式　カウンターピーム照明・対称照明　　照明レベル　50km/h　60km/h　80km/h

先行車の提示位置	車間距離	先行車の色	評価内容				
			まったく見えない	かろうじて見えた	ふつうに見えた	よく見えた	非常によく見えた
20m	20m	白色					
		黒色					
	40m	白色					
		黒色					
	100m	白色					
		黒色					
40m	20m	白色					
		黒色					
	40m	白色					
		黒色					
	100m	白色					
		黒色					
80m	20m	白色					
		黒色					
	40m	白色					
		黒色					
	100m	白色					
		黒色					

もし、お気づきの点がありましたら下記に御記入をお願いします．

6．2 実験結果

6．2．1 視認性実験時の野外条件

先行車の視認性実験時の野外輝度及び水平面・鉛直面照度の測定結果を表－6．4に示す。また、野外輝度の分布図を図－6．4に示す。

①設計速度50km/hの場合

視認性実験は、カウンタービーム照明実験時1,680cd/m²～2,400cd/m²、対称照明実験時4,400cd/m²～5,500cd/m²で観測しており、観測上はカウンタービーム照明実験時が非常に有利な条件であった。

②設計速度60km/hの場合

視認性実験は、カウンタービーム照明実験時4,260cd/m²～4,460cd/m²、対称照明実験時3,400cd/m²～4,870cd/m²で観測しており、両照明方式ともほぼ同じ様な条件であった。

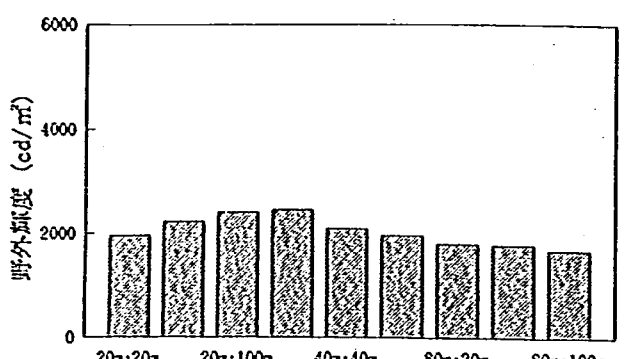
③設計速度80km/hの場合

視認性実験は、カウンタービーム照明実験時4,670cd/m²～4,920cd/m²、対称照明実験時320cd/m²～480cd/m²で観測しており、観測上は対称照明実験時が非常に有利な条件であった。

表－6．4　先行車の視認性実験（静止実験）時の野外条件

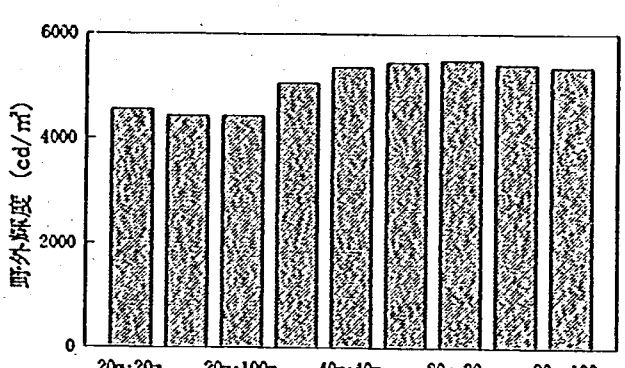
照明方式	設計速度	先行車の提示位置	車間距離	野外輝度 (cd/m²)	水平面照度 (lx)	鉛直面照度 (lx)	時間	備考
カウンターピーム照明	50km/h	20m	20m	1950	8200	6900	10:45	
			40m	2220	10000	12900	11:05	
			100m	2390	9800	9400	11:10	
		40m	20m	2440	10300	10100	11:15	
			40m	2080	9800	9400	11:30	
			100m	1950	9800	8800	11:35	
		80m	20m	1790	9600	9200	11:40	
			40m	1770	8900	7700	11:47	
			100m	1680	8900	7300	11:50	
対称照明	50km/h	20m	20m	4550	54000	91000	10:44	
			40m	4440	54000	84100	10:55	
			100m	4440	60000	91000	11:18	
		40m	20m	5060	62000	91000	11:33	
			40m	5370	62000	92400	11:38	
			100m	5460	62000	91000	11:41	
		80m	20m	5500	60000	89600	11:50	
			40m	5420	60000	89600	11:59	
			100m	5370	60000	89600	12:02	
カウンターピーム照明	60km/h	20m	20m	4460	69200	99300	10:25	
			40m	4460	69200	91300	10:30	
			100m	4370	69200	91300	10:35	
		40m	20m	4280	65200	84700	10:40	
			40m	4260	61100	88700	10:45	
			100m	4420	69200	91300	10:50	
		80m	20m	4390	71300	91300	10:55	
			40m	4460	69200	90700	11:00	
			100m	4460	73300	90000	11:05	
対称照明	60km/h	20m	20m	4620	91300	63100	10:35	
			40m	4690	91300	63100	10:40	
			100m	4870	90100	63100	10:54	
		40m	20m	4830	92600	63100	10:55	
			40m	4780	92000	64300	10:58	
			100m	3420	48900	39800	11:11	
		80m	20m	3400	75300	52100	11:12	
			40m	3540	41100	39400	11:15	
			100m	3120	33400	26400	11:24	
カウンターピーム照明	80km/h	20m	20m	4890	61000	94000	10:35	
			40m	4900	60900	94800	10:40	
			100m	4920	62600	94900	11:03	
		40m	20m	4900	62400	94700	11:05	
			40m	4850	62800	94800	11:10	
			100m	4840	62400	93700	11:15	
		80m	20m	4710	60900	90500	11:45	
			40m	4710	60800	91200	11:50	
			100m	4670	59300	89000	11:55	
対称照明	80km/h	20m	20m	600	7700	34500	15:15	
			40m	710	7700	38400	15:20	
			100m	640	7700	32600	15:25	
		40m	20m	480	5700	23000	15:30	
			40m	410	5100	23000	15:35	
			100m	360	6400	23000	15:40	
		80m	20m	320	6400	23000	15:45	
			40m	—	—	—	15:50	
			100m	—	—	—	15:55	

注：－は、記録紙の紙詰まりによって測定不可。



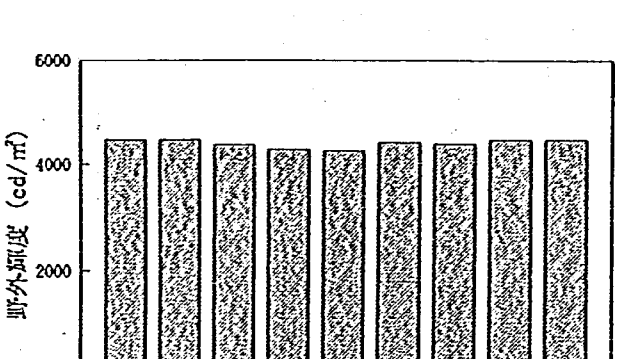
カウンタービーム照明

設計速度：50km/h



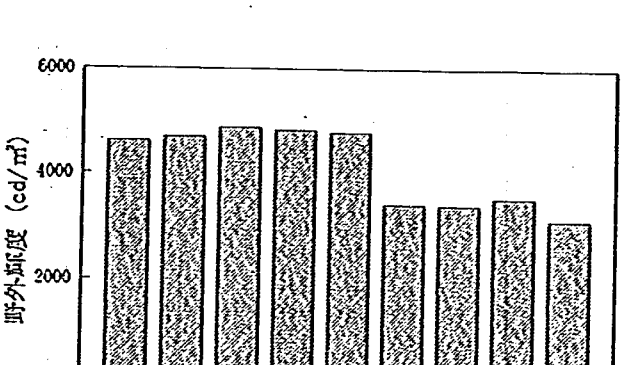
対称照明

設計速度：50km/h



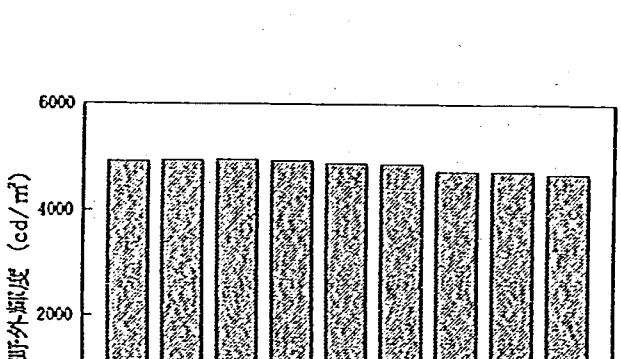
カウンタービーム照明

設計速度：60km/h



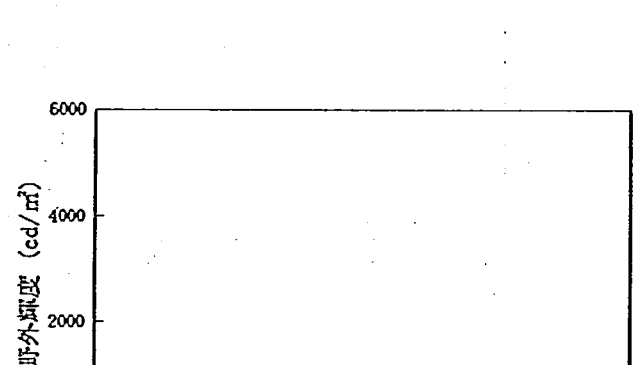
対称照明

設計速度：60km/h



カウンタービーム照明

設計速度：80km/h



対称照明

設計速度：80km/h

図－６．４ 先行車の視認性実験（静止実験）時の野外輝度測定結果

6．2．2　先行車後部の輝度

観測時の先行車の状態を把握するため、先行車輝度とその背景となる輝度を測定した。測定結果を表－6．5に示す。観測時の先行車輝度の分布図を図－6．5に示す。

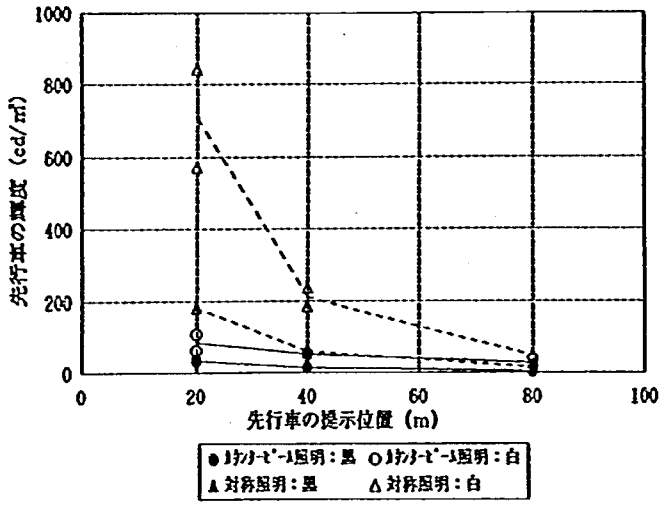
表及び図より、視野角度1°の輝度計による結果は視野角度が3°に比べて変動が大きい。これは、視野角度1°が先行車後部の部分的な輝度を測定範囲としているため、測定時の輝度測定範囲の若干のずれ等が大きく影響しているものと考えられる。一方、視野角度3°の輝度計の結果は先行車後部全体を測定範囲としており変動が小さくなっていることが分かる。先行車後部の輝度は、先行車の位置が坑口付近で高く、トンネル内の奥に行くに従って小さくなる傾向にある。これは自然光の射し込みによる影響及び照明条件の影響によるものであると考えられる。また、先行車の色別では、同じ提示位置でも白色系が高く黒色系が低い値を示しており、車の色の違いで輝度が大きく異なることが分かる。

表－6．5 先行車後部の輝度・背景輝度測定結果

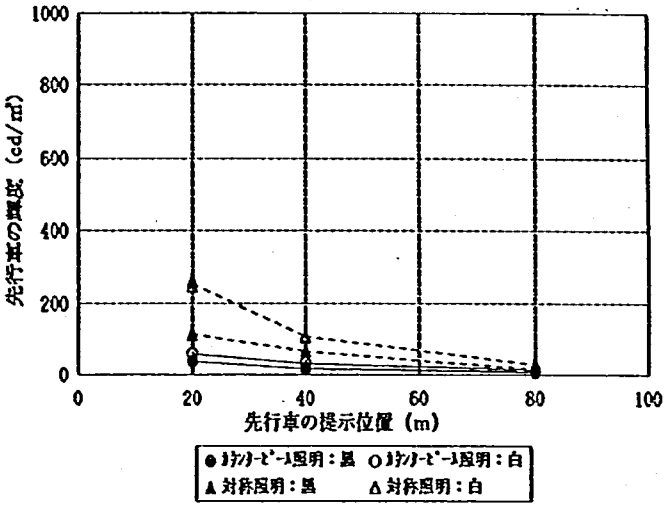
照明方式	設計速度	先行車の提示位置 (m)	車間距離 (m)	測定車線	輝度 (cd/m²)																
					先行車						壁面		壁				天井				
					①	②		③	④		⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮
						TL無	TL有		TL無	TL有											
カウンタービーム照明	50km/h	20	40	右車線	37	39	45	63	58	60	89	102	77	55	72	32	35	2037	27	1933	33
				左車線	33	38	44	110	62	65	142	147	74	45	69	38	39	1963	26	1024	34
		40	40	右車線	15	15	22	50	33	36	47	60	37	15	45	15	13	2395	8	2057	13
				左車線	14	19	24	57	33	36	47	53	40	17	38	16	11	3513	10	3026	12
		80	40	右車線	5	7	13	16	15	18	19	27	24	9	24	8	8	1430	3	1432	6
				左車線	7	8	13	40	15	18	20	24	28	8	23	7	7	1500	6	1345	8
対称照明	50km/h	20	40	右車線	186	120	124	571	246	247	687	449	130	119	123	95	271	96	89	88	163
				左車線	182	113	118	844	262	265	810	569	134	127	127	102	295	142	74	79	190
		40	40	右車線	61	67	72	187	111	113	141	143	68	57	73	52	154	52	44	51	222
				左車線	61	69	74	237	107	110	126	129	68	51	63	43	127	53	28	47	195
		80	40	右車線	16	18	23	51	31	33	43	55	20	17	22	12	368	14	6	87	15
				左車線	15	16	22	51	30	33	43	53	22	16	22	13	361	25	6	200	15
カウンタービーム照明	60km/h	20	40	右車線	159	100	105	465	210	211	281	285	120	109	89	65	60	845	61	578	60
				左車線	155	98	102	555	211	211	309	203	124	102	135	92	64	735	64	547	60
		40	40	右車線	50	40	45	188	64	66	98	89	69	34	81	38	26	692	26	474	29
				左車線	54	32	38	237	79	80	107	115	82	41	88	59	29	821	28	1562	37
		80	40	右車線	9	12	18	27	19	20	36	40	22	11	32	12	8	1302	7	980	9
				左車線	9	12	17	37	18	20	28	36	31	12	35	13	10	719	8	2225	10
対称照明	60km/h	20	40	右車線	251	160	165	355	411	412	1751	496	199	199	199	176	397	82	84	93	494
				左車線	212	151	161	807	392	409	278	453	150	130	199	116	636	95	85	78	337
		40	40	右車線	59	43	54	278	107	108	122	120	85	54	79	50	339	29	33	34	447
				左車線	63	45	51	368	107	108	135	134	92	43	78	52	427	22	24	19	415
		80	40	右車線	22	23	29	61	43	51	69	67	55	28	50	28	1282	18	14	24	1347
				左車線	22	25	30	73	45	49	62	76	53	26	56	27	456	18	10	20	558
カウンタービーム照明	80km/h	20	40	右車線	130	121	127	301	242	244	289	211	176	133	190	158	110	3234	129	2510	121
				左車線	136	116	121	330	250	253	227	157	176	124	195	176	114	2662	125	2472	112
		40	40	右車線	57	64	70	111	110	113	137	157	114	61	150	77	43	1335	45	1599	47
				左車線	57	65	72	158	119	121	143	160	139	76	156	80	53	1330	51	2300	45
		80	40	右車線	23	29	36	52	45	47	69	87	82	28	91	30	15	2656	18	2182	19
				左車線	26	31	37	74	45	49	71	87	82	29	94	28	22	2505	21	1625	17
対称照明	80km/h	20	40	右車線	52	－		150	－		114	109	92	62	96	58	693	66	27	55	560
				左車線	57	－		171	－		49	116	90	54	91	54	881	53	27	72	372
		40	40	右車線	33	－		87	－		83	98	68	37	83	41	681	57	14	61	945
				左車線	38	－		80	－		79	89	67	43	72	41	459	45	15	47	329
		80	40	右車線	30	－		88	－		84	98	73	41	81	40	786	47	13	154	377
				左車線	35	－		82	－		87	89	75	43	79	40	785	33	14	31	415

※測定距離は、②と④の測定が35m、他の測定が40mで実施した。

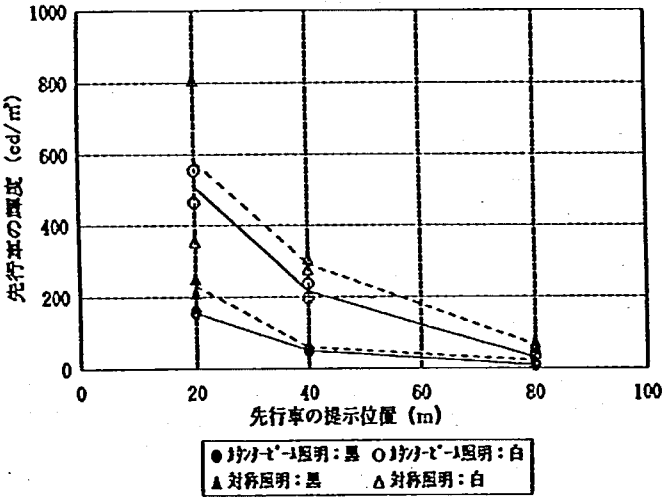
※TL無：先行車のテールランプを点灯しない状態、TL有：先行車のテールランプを点灯した状態



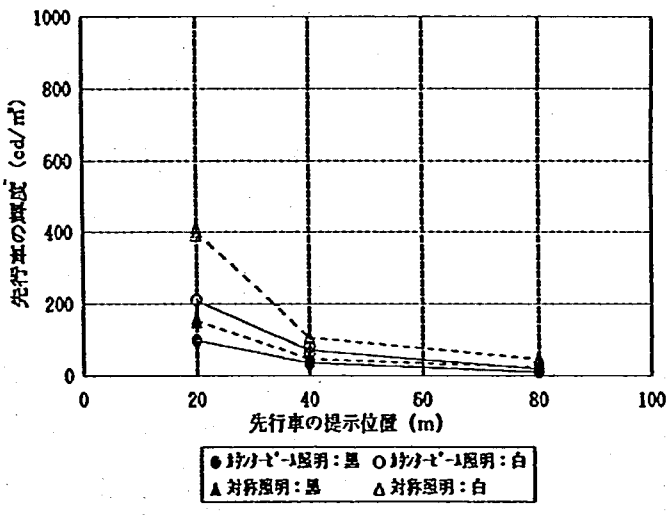
視野角度 1° 輝度計
設計速度 ：50km/h



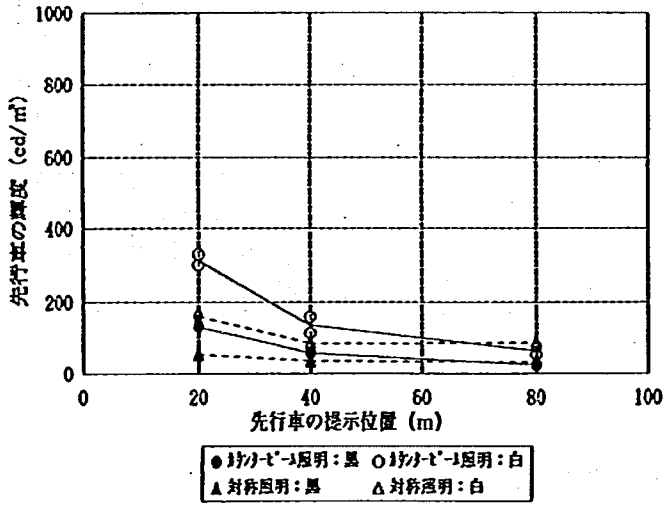
視野角度 3° 輝度計
設計速度 ：50km/h



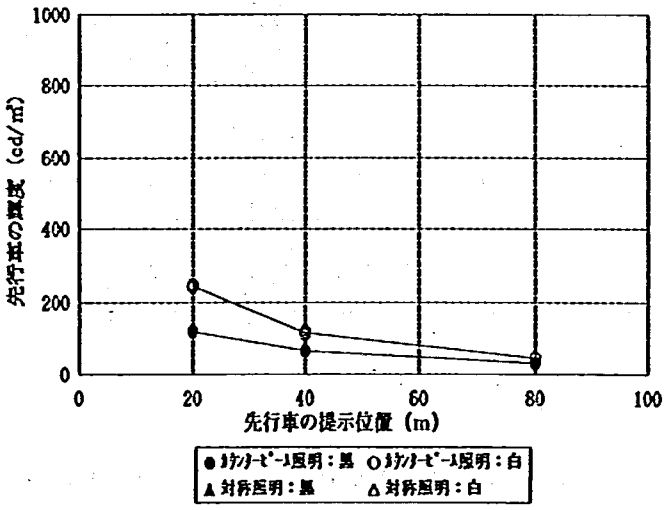
視野角度 1° 輝度計
設計速度 ：60km/h



視野角度 3° 輝度計
設計速度 ：60km/h



視野角度 1° 輝度計
設計速度 ：80km/h



視野角度 3° 輝度計
設計速度 ：80km/h

図－6．5 先行車後部の輝度測定結果

6．2．3　先行車の視認性評価

先行車の視認性について５段階評価によるアンケート調査を行った。表－６．６～表－６．１４に結果を示す。観測時の野外の条件としては、自然光の状態が刻々と変化しているためカウンタービーム照明、対称照明の両照明方式下で必ずしも同一条件で実施することが極めて困難である。本実験でも各照明方式の実験毎で野外の条件が異なっていたため、直接比較することが困難である。ここでは、野外条件がほぼ同じ様な条件で観測実験を行った設計速度60km/hの場合の評価結果を比較したものを図－６．６に示す。

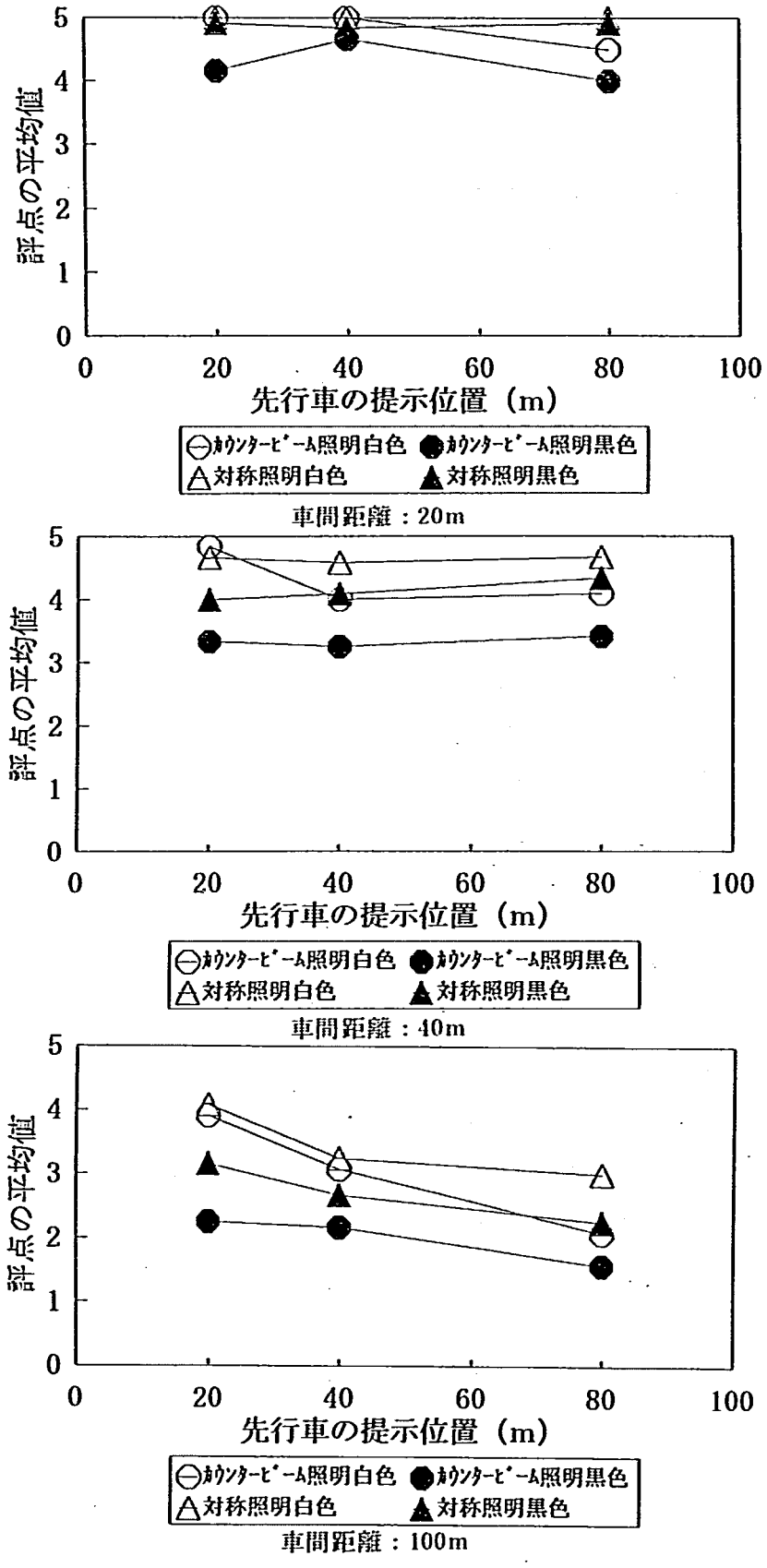
なお、評価結果の整理にあたっては回答で一番良い評価を５として評点に換算し、評価した。

まったく見えない……評点１
かろうじて見えた……評点２
ふつうに見えた……評点３
よく見えた……評点４
非常によく見えた……評点５

図より、車間距離が20mの場合は先行車の提示位置にあまり関係なく、評価４～５の「よく見えた」以上となり、先行車の視認性が照明条件で大きく影響を受けてないことが分かる。また、車間距離が40mの場合についても、先行車の提示位置にあまり関係なく評価３の「ふつうに見えた」以上の評価となっている。したがって、通常の車群を構成して自動車が走行していることを考えた車間距離が短い場合の先行車の視認性は照明方式によってあまり関係ないことが分かった。

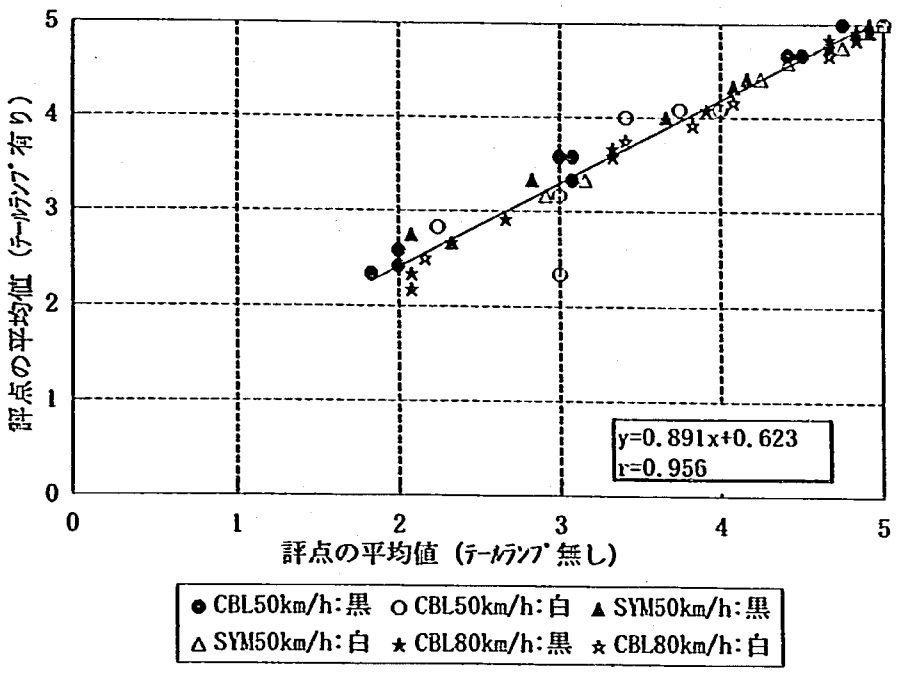
車間距離が100mの場合は、さらに評価が低下し先行車の提示位置がトンネル内の奥に行くに従って評価が下がる傾向にある。照明方式別には対称照明の方が評価が若干高くなっている。この結果によれば、先行車の色及び提示位置で評価が決定されると考えられる。すなわち、先行車の輝度が高ければ評価が高くなっているようである。

また、テールランプの有無による先行車の視認性の違いは、図－６．７に示すような関係がある。先行車の視認性の評価は相関係数0.95と高い相関があり、標点の小さい２～３の評価の時はテールランプが点灯していることにより、評価が0.5ポイント程度高くなることが分かった。これは、先行車の輝度が低く見えにくい場合はテールランプの点灯により先行車の視認性が若干改善されることによるものと考えられる。



図－6．6 先行車の視認性実験（静止実験）アンケート結果

（設計速度：60km/h、テールランプ無）



図－６．７ テールランプの有無による先行車の視認性の違い

表－６．６ 先行車の視認性実験（静止実験）アンケート結果
（照明方式：カウンタービーム照明、設計速度：50km/h、テールランプ無し）

照明方式	設計速度	先行車の提示位置	車間距離	先行車の色	評価内容						全体に占める割合（%）						評点の平均値	評点の標準偏差	備考
					1	2	3	4	5	合計	1	2	3	4	5	合計			
カウンタービーム照明	50km/h	20m	20m	黒色	0	0	0	3	9	12	0	0	0	25	75	100	4.75	0.43	
				白色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
			40m	黒色	0	1	9	2	0	12	0	8	75	17	0	100	3.08	0.49	
				白色	0	0	1	10	1	12	0	0	8	83	8	100	4.00	0.41	
			100m	黒色	0	12	0	0	0	12	0	100	0	0	0	100	2.00	0.00	
				白色	0	0	12	0	0	12	0	0	100	0	0	100	3.00	0.00	
		40m	20m	黒色	0	0	1	5	6	12	0	0	8	42	50	100	4.42	0.64	
				白色	0	0	0	1	11	12	0	0	0	8	92	100	4.92	0.28	
			40m	黒色	0	1	10	1	0	12	0	8	83	8	0	100	3.00	0.41	
				白色	0	0	3	9	0	12	0	0	25	75	0	100	3.75	0.43	
			100m	黒色	0	12	0	0	0	12	0	100	0	0	0	100	2.00	0.00	
				白色	0	9	3	0	0	12	0	75	25	0	0	100	2.25	0.43	
		60m	20m	黒色	0	0	1	4	7	12	0	0	8	33	58	100	4.50	0.65	
				白色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
			40m	黒色	0	0	11	1	0	12	0	0	92	8	0	100	3.08	0.28	
				白色	0	0	7	5	0	12	0	0	58	42	0	100	3.42	0.49	
			100m	黒色	2	10	0	0	0	12	17	83	0	0	0	100	1.83	0.37	
				白色	0	0	12	0	0	12	0	0	100	0	0	100	3.00	0.00	

表－６．７ 先行車の視認性実験（静止実験）アンケート結果
（照明方式：対称照明、設計速度：50km/h、テールランプ無し）

照明方式	設計速度	先行車の提示位置	車間距離	先行車の色	評価内容						全体に占める割合（%）						評点の平均値	評点の標準偏差	備考
					1	2	3	4	5	合計	1	2	3	4	5	合計			
対称照明	50km/h	20m	20m	黒色	0	0	0	1	11	12	0	0	0	8	92	100	4.92	0.28	
				白色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
			40m	黒色	0	0	3	5	4	12	0	0	25	42	33	100	4.08	0.76	
				白色	0	0	0	4	8	12	0	0	0	33	67	100	4.67	0.47	
			100m	黒色	0	3	8	1	0	12	0	25	67	8	0	100	2.83	0.55	
				白色	0	0	2	5	5	12	0	0	17	42	42	100	4.25	0.72	
		40m	20m	黒色	0	0	0	1	11	12	0	0	0	8	92	100	4.92	0.28	
				白色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
			40m	黒色	0	0	7	2	3	12	0	0	58	17	25	100	3.67	0.85	
				白色	0	0	1	5	6	12	0	0	8	42	50	100	4.42	0.64	
			100m	黒色	0	8	4	0	0	12	0	67	33	0	0	100	2.33	0.47	
				白色	0	2	6	4	0	12	0	17	50	33	0	100	3.17	0.69	
		60m	20m	黒色	0	0	0	2	10	12	0	0	0	17	83	100	4.83	0.37	
				白色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
			40m	黒色	0	0	1	8	3	12	0	0	8	67	25	100	4.17	0.55	
				白色	0	0	0	3	9	12	0	0	0	25	75	100	4.75	0.43	
			100m	黒色	1	9	2	0	0	12	8	75	17	0	0	100	2.08	0.49	
				白色	0	3	7	2	0	12	0	25	58	17	0	100	2.92	0.64	

表－６．８ 先行車の視認性実験（静止実験）アンケート結果
(照明方式：カウンタービーム照明、設計速度：60km/h、テールランプ無し)

照明方式	設計速度	先行車の提示位置	車間距離	先行車の色	評価内容 1	2	3	4	5	合計	全体に占める割合(%) 1	2	3	4	5	合計	評点の平均値	評点の標準偏差	備考
カウンタービーム照明	60km/h	20m	20m	黒色	0	0	0	10	2	12	0	0	0	83	17	100	4.17	0.37	
				白色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
			40m	黒色	0	0	9	2	1	12	0	0	75	17	8	100	3.33	0.62	
				白色	0	0	0	2	10	12	0	0	0	17	83	100	4.83	0.37	
			100m	黒色	0	9	3	0	0	12	0	75	25	0	0	100	2.25	0.43	
				白色	0	0	4	5	3	12	0	0	33	42	25	100	3.92	0.76	
		40m	20m	黒色	0	0	1	2	9	12	0	0	8	17	75	100	4.67	0.62	
				白色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
			40m	黒色	0	1	7	4	0	12	0	8	58	33	0	100	3.25	0.60	
				白色	0	1	2	5	4	12	0	8	17	42	33	100	4.00	0.91	
			100m	黒色	0	10	2	0	0	12	0	83	17	0	0	100	2.17	0.37	
				白色	0	1	9	2	0	12	0	8	75	17	0	100	3.08	0.49	
		80m	20m	黒色	0	0	4	4	4	12	0	0	33	33	33	100	4.00	0.82	
				白色	0	1	0	3	8	12	0	8	0	25	67	100	4.50	0.87	
			40m	黒色	0	0	7	5	0	12	0	0	58	42	0	100	3.42	0.49	
				白色	0	0	3	5	4	12	0	0	25	42	33	100	4.08	0.76	
			100m	黒色	5	7	0	0	0	12	42	58	0	0	0	100	1.58	0.49	
				白色	0	11	1	0	0	12	0	92	8	0	0	100	2.08	0.28	

表－６．９ 先行車の視認性実験（静止実験）アンケート結果
(照明方式：対称照明、設計速度：60km/h、テールランプ無し)

照明方式	設計速度	先行車の提示位置	車間距離	先行車の色	評価内容 1	2	3	4	5	合計	全体に占める割合(%) 1	2	3	4	5	合計	評点の平均値	評点の標準偏差	備考
対称照明	60km/h	20m	20m	黒色	0	0	0	1	11	12	0	0	0	8	92	100	4.92	0.28	
				白色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
			40m	黒色	0	0	1	10	1	12	0	0	8	83	8	100	4.00	0.41	
				白色	0	0	0	4	8	12	0	0	0	33	67	100	4.67	0.47	
			100m	黒色	0	0	10	2	0	12	0	0	83	17	0	100	3.17	0.37	
				白色	0	0	2	7	3	12	0	0	17	58	25	100	4.08	0.64	
		40m	20m	黒色	0	0	0	2	10	12	0	0	0	17	83	100	4.83	0.37	
				白色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
			40m	黒色	0	0	1	9	2	12	0	0	8	75	17	100	4.08	0.49	
				白色	0	0	0	5	7	12	0	0	0	42	58	100	4.58	0.49	
			100m	黒色	0	4	8	0	0	12	0	33	67	0	0	100	2.67	0.47	
				白色	0	0	9	3	0	12	0	0	75	25	0	100	3.25	0.43	
		80m	20m	黒色	0	0	0	1	11	12	0	0	0	8	92	100	4.92	0.28	
				白色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
			40m	黒色	0	0	0	8	4	12	0	0	0	67	33	100	4.33	0.47	
				白色	0	0	0	4	8	12	0	0	0	33	67	100	4.67	0.47	
			100m	黒色	0	3	3	0	0	12	0	75	25	0	0	100	2.25	0.43	
				白色	0	0	12	0	0	12	0	0	100	0	0	100	3.00	0.00	

表－６．１０ 先行車の視認性実験（静止実験）アンケート結果
(照明方式：カウンタービーム照明、設計速度：80km/h、テールランプ無し)

照明方式	設計速度	先行車の提示位置	車間距離	先行車の色	評価内容 1	2	3	4	5	合計	全体に占める割合(%) 1	2	3	4	5	合計	評点の平均値	評点の標準偏差	備考
カウンタービーム照明	80km/h	20m	20m	黒色	0	0	0	2	10	12	0	0	0	17	83	100	4.83	0.37	
				白色	0	0	0	1	11	12	0	0	0	8	92	100	4.92	0.28	
			40m	黒色	0	0	2	9	1	12	0	0	17	75	8	100	3.92	0.49	
				白色	0	0	1	2	9	12	0	0	8	17	75	100	4.67	0.62	
			100m	黒色	0	4	8	0	0	12	0	33	67	0	0	100	2.67	0.47	
				白色	0	0	3	8	1	12	0	0	25	67	8	100	3.83	0.87	
		40m	20m	黒色	0	0	0	4	8	12	0	0	0	33	67	100	4.67	0.47	
				白色	0	0	0	2	10	12	0	0	0	17	83	100	4.83	0.37	
			40m	黒色	0	0	8	4	0	12	0	0	67	33	0	100	3.33	0.47	
				白色	0	0	2	7	3	12	0	0	17	58	25	100	4.08	0.64	
			100m	黒色	0	11	1	0	0	12	0	92	8	0	0	100	2.08	0.28	
				白色	0	9	2	1	0	12	0	75	17	8	0	100	2.33	0.62	
		80m	20m	黒色	0	0	1	2	9	12	0	0	8	17	75	100	4.67	0.62	
				白色	0	0	0	2	10	12	0	0	0	17	83	100	4.83	0.37	
			40m	黒色	0	0	8	4	0	12	0	0	67	33	0	100	3.33	0.47	
				白色	0	0	7	5	0	12	0	0	58	42	0	100	3.42	0.49	
			100m	黒色	0	11	1	0	0	12	0	92	8	0	0	100	2.08	0.28	
				白色	0	10	2	0	0	12	0	83	17	0	0	100	2.17	0.37	

表－６．１１ 先行車の視認性実験（静止実験）アンケート結果
(照明方式：対称照明、設計速度：80km/h、テールランプ無し)

照明方式	設計速度	先行車の提示位置	車間距離	先行車の色	評価内容 1	2	3	4	5	合計	全体に占める割合(%) 1	2	3	4	5	合計	評点の平均値	評点の標準偏差	備考
対称照明	80km/h	20m	20m	黒色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
				白色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
			40m	黒色	0	0	0	8	4	12	0	0	0	67	33	100	4.33	0.47	
				白色	0	0	0	4	8	12	0	0	0	33	67	100	4.67	0.47	
			100m	黒色	0	0	7	5	0	12	0	0	58	42	0	100	3.42	0.49	
				白色	0	0	1	7	4	12	0	0	8	58	33	100	4.25	0.60	
		40m	20m	黒色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
				白色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
			40m	黒色	0	0	0	5	7	12	0	0	0	42	58	100	4.58	0.49	
				白色	0	0	0	3	9	12	0	0	0	25	75	100	4.75	0.43	
			100m	黒色	0	0	10	2	0	12	0	0	83	17	0	100	3.17	0.37	
				白色	0	0	4	6	2	12	0	0	33	50	17	100	3.83	0.69	
		80m	20m	黒色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
				白色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
			40m	黒色	0	0	2	4	6	12	0	0	17	33	50	100	4.33	0.75	
				白色	0	0	0	4	8	12	0	0	0	33	67	100	4.67	0.47	
			100m	黒色	0	0	12	0	0	12	0	0	100	0	0	100	3.00	0.00	
				白色	0	0	5	7	0	12	0	0	42	58	0	100	3.58	0.49	

表－６．１２ 先行車の視認性実験（静止実験）アンケート結果
(照明方式：カウンタービーム照明、設計速度：50km/h、テールランプ有り)

照明方式	設計速度	先行車の提示位置	車間距離	先行車の色	評価内容						全体に占める割合 (%)						評点の平均値	評点の標準偏差	備考
					1	2	3	4	5	合計	1	2	3	4	5	合計			
カウンタービーム照明	50km/h	20m	20m	黒色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
				白色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
			40m	黒色	0	0	8	4	0	12	0	0	67	33	0	100	3.33	0.47	
				白色	0	0	1	9	2	12	0	0	8	75	17	100	4.08	0.43	
			100m	黒色	0	5	7	0	0	12	0	42	58	0	0	100	2.58	0.49	
				白色	0	0	10	2	0	12	0	0	83	17	0	100	3.17	0.60	
		40m	20m	黒色	0	0	1	2	9	12	0	0	8	17	75	100	4.67	0.62	
				白色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
			40m	黒色	0	0	5	7	0	12	0	0	42	58	0	100	3.58	0.49	
				白色	0	0	0	11	1	12	0	0	0	92	8	100	4.08	0.28	
			100m	黒色	0	7	5	0	0	12	0	58	42	0	0	100	2.42	0.49	
				白色	0	2	10	0	0	12	0	17	83	0	0	100	2.83	0.37	
		80m	20m	黒色	0	0	0	4	8	12	0	0	0	33	67	100	4.67	0.47	
				白色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
			40m	黒色	0	0	5	7	0	12	0	0	42	58	0	100	3.58	0.49	
				白色	0	0	1	10	1	12	0	0	8	83	8	100	4.00	0.41	
			100m	黒色	0	8	4	0	0	12	0	67	33	0	0	100	2.33	0.47	
				白色	0	8	4	0	0	12	0	67	33	0	0	100	2.33	0.47	

表－６．１３ 先行車の視認性実験（静止実験）アンケート結果
(照明方式：対称照明、設計速度：50km/h、テールランプ有り)

照明方式	設計速度	先行車の提示位置	車間距離	先行車の色	評価内容						全体に占める割合 (%)						評点の平均値	評点の標準偏差	備考
					1	2	3	4	5	合計	1	2	3	4	5	合計			
対称照明	50km/h	20m	20m	黒色	0	0	0	1	11	12	0	0	0	8	92	100	4.92	0.28	
				白色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
			40m	黒色	0	0	2	4	6	12	0	0	17	33	50	100	4.33	0.75	
				白色	0	0	0	3	9	12	0	0	0	25	75	100	4.75	0.43	
			100m	黒色	1	1	5	3	2	12	8	8	42	25	17	100	3.33	1.11	
				白色	0	0	1	5	6	12	0	0	8	42	50	100	4.42	0.64	
		40m	20m	黒色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
				白色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
			40m	黒色	0	0	4	4	4	12	0	0	33	33	33	100	4.00	0.82	
				白色	0	0	0	5	7	12	0	0	0	42	58	100	4.58	0.49	
			100m	黒色	0	5	6	1	0	12	0	42	50	8	0	100	2.67	0.62	
				白色	0	0	8	4	0	12	0	0	67	33	0	100	3.33	0.47	
		80m	20m	黒色	0	0	0	1	11	12	0	0	0	8	92	100	4.92	0.28	
				白色	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00	
			40m	黒色	0	0	0	7	5	12	0	0	0	58	42	100	4.42	0.49	
				白色	0	0	0	3	9	12	0	0	0	25	75	100	4.75	0.43	
			100m	黒色	0	5	5	2	0	12	0	42	42	17	0	100	2.75	0.72	
				白色	0	0	10	2	0	12	0	0	83	17	0	100	3.17	0.37	

表－６．１４ 先行車の視認性実験（静止実験）アンケート結果
(照明方式：カウンタービーム照明、設計速度：80km/h、テールランプ有り)

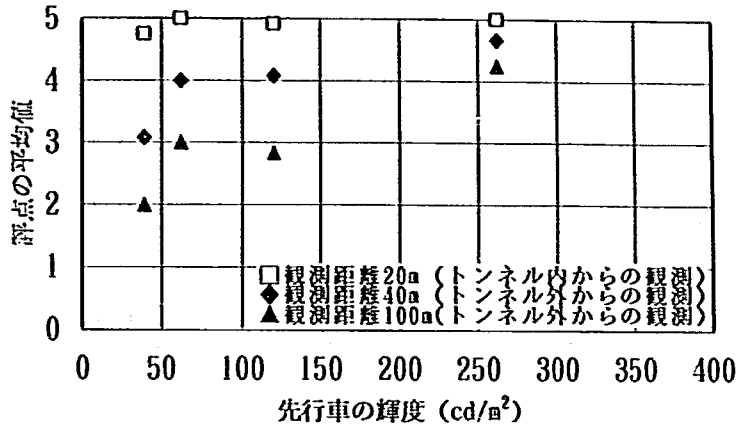
照明方式	設計速度	先行車の提示位置	車間距離	先行車の色	評価内容						全体に占める割合 (%)						評点の平均値	評点の標準偏差	備考
					1	2	3	4	5	合計	1	2	3	4	5	合計			
カウンタービーム照明	80km/h	20m	20m	黒色	0	0	0	2	10	12	0	0	0	17	83	100	4.83	0.37	
				白色	0	0	0	1	11	12	0	0	0	8	92	100	4.92	0.28	
			40m	黒色	0	0	2	7	3	12	0	0	17	58	25	100	4.08	0.64	
				白色	0	0	1	2	9	12	0	0	8	17	75	100	4.67	0.62	
			100m	黒色	0	2	9	1	0	12	0	17	75	8	0	100	2.92	0.49	
				白色	0	0	3	7	2	12	0	0	25	58	17	100	3.92	0.64	
		40m	20m	黒色	0	0	0	3	9	12	0	0	0	25	75	100	4.75	0.43	
				白色	0	0	0	1	11	12	0	0	0	8	92	100	4.92	0.28	
			40m	黒色	0	0	5	7	0	12	0	0	42	58	0	100	3.58	0.49	
				白色	0	0	2	6	4	12	0	0	17	50	33	100	4.17	0.69	
			100m	黒色	0	8	4	0	0	12	0	67	33	0	0	100	2.33	0.47	
				白色	0	5	6	1	0	12	0	42	50	8	0	100	2.67	0.62	
		80m	20m	黒色	0	0	0	2	10	12	0	0	0	17	83	100	4.83	0.37	
				白色	0	0	0	1	11	12	0	0	0	8	92	100	4.92	0.28	
			40m	黒色	0	0	4	8	0	12	0	0	33	67	0	100	3.67	0.47	
				白色	0	0	4	7	1	12	0	0	33	58	8	100	3.75	0.60	
			100m	黒色	0	10	2	0	0	12	0	83	17	0	0	100	2.17	0.37	
				白色	0	6	6	0	0	12	0	50	50	0	0	100	2.50	0.50	

6．2．4　先行車の視認性と先行車の輝度の関係

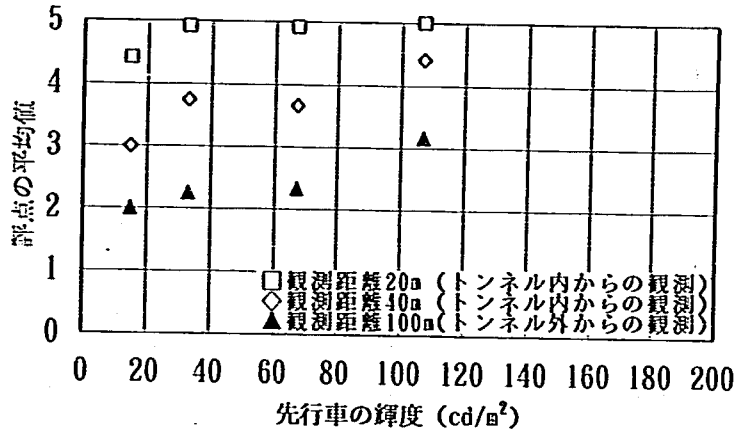
図－6．7～図－6．9に設計速度毎に先行車の提示位置毎の先行車の輝度と見え方の関係について整理した結果を示す。また、全ての結果をまとめたものを図－6．10に示す。図中の白抜きの記号で示してあるのはトンネル内から観測した条件、黒の塗りつぶしの記号で示してあるのはトンネル外から観測した条件である。

図から、先行車の視認性の評価にばらつきはあるものの、先行車の輝度が大きくなるにしたがって視認性の評価が大きくなる傾向にある。また、先行車後部の輝度が同程度であれば観測距離が短くなることによって先行車の視認性の評価も高くなることが分かる。被験者がトンネル内で先行車を観測した場合は先行車の提示位置にかかわらず「ふつうに見えた」の標点3以上の評価となっており、トンネル内の明るさに被験者の目が順応している静止状態での先行車の視認性は比較的高いことが分かった。また、先行車の提示位置が20、40、80mとトンネル坑口からトンネル内の奥の位置になると先行車後部の輝度は低下するものの、先行車の視認性の評価は大きく低下していないことが分かる。これは、被験者がトンネル坑口位置に近づくにしたがって目の視野内に占めるトンネル内の部分が大きくなり目の順応輝度が低くなったことによるものと考えられる。

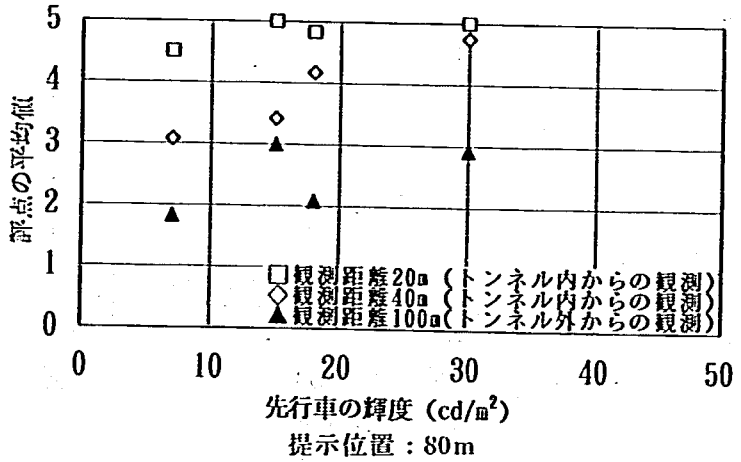
以上より、先行車の視認性は先行車後部の輝度が高いほど評価が高くなることが分かるとともに、被験者の目の順応輝度との関係で見た場合には評価が同じになると考えられる。



提示位置：20m



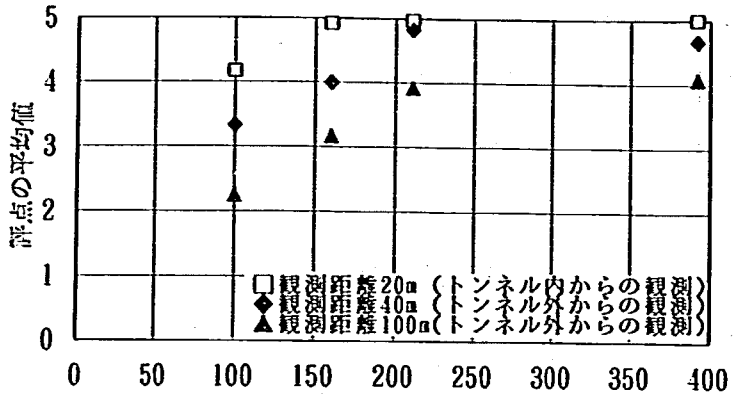
提示位置：40m



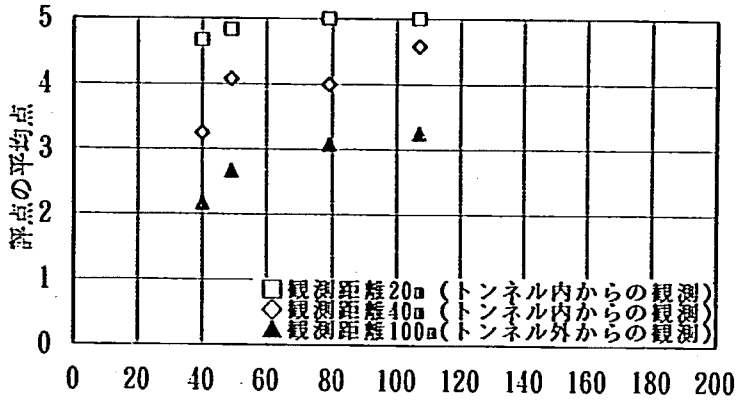
提示位置：80m

図－６．７ 先行車の見え方と先行車輝度の関係

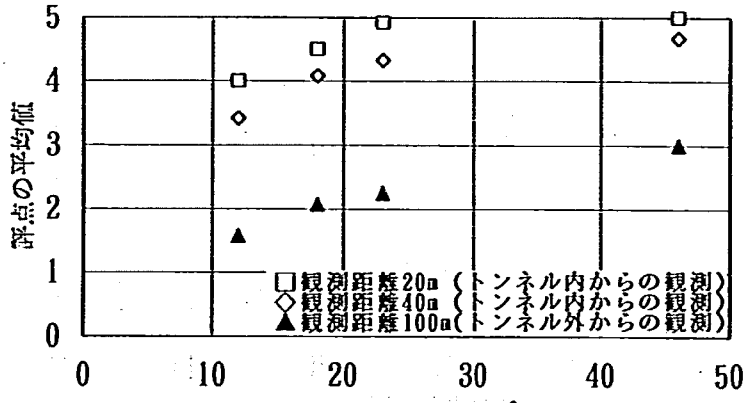
(設計速度：50km/h、視野角度３° で測定)



提示位置：20m



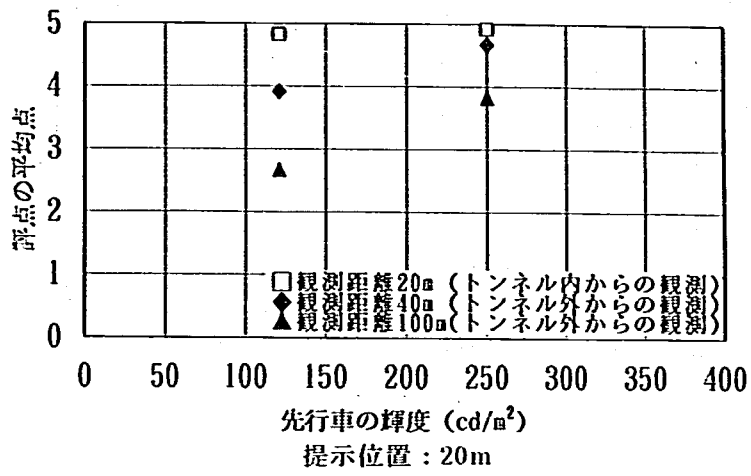
提示位置：40m



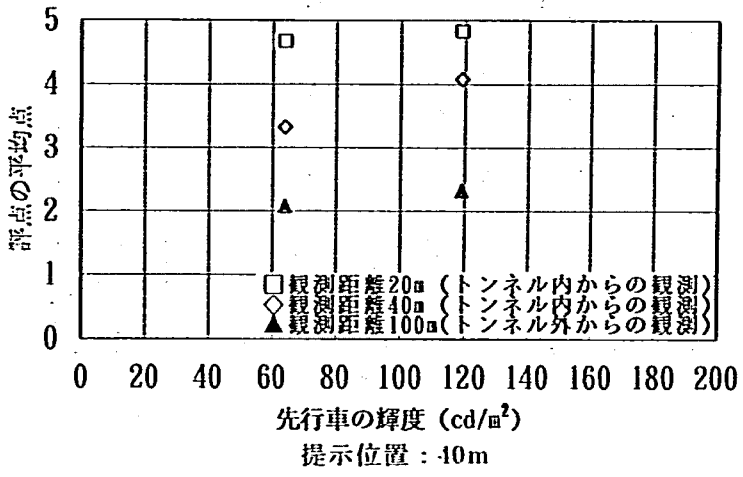
提示位置：80m

図－6．8　先行車の見え方と先行車輝度の関係

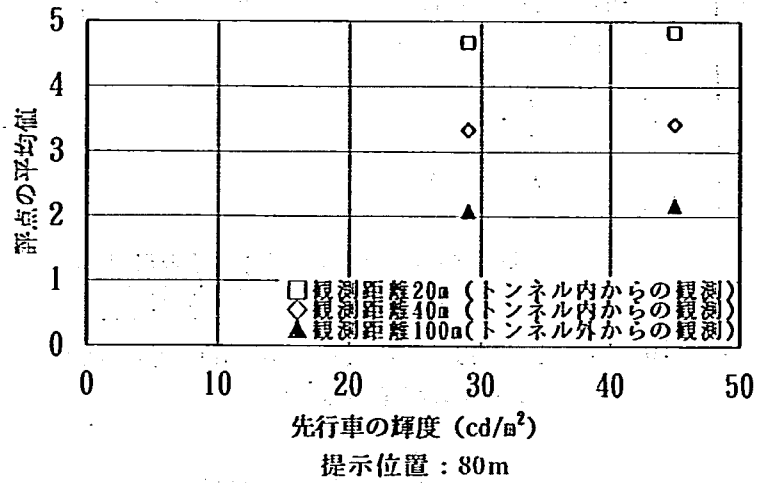
（設計速度：60km/h、視野角度3°で測定）



提示位置：20m



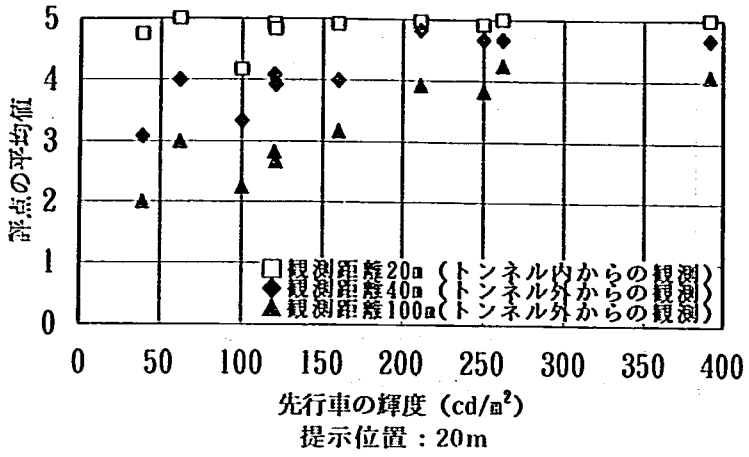
提示位置：40m



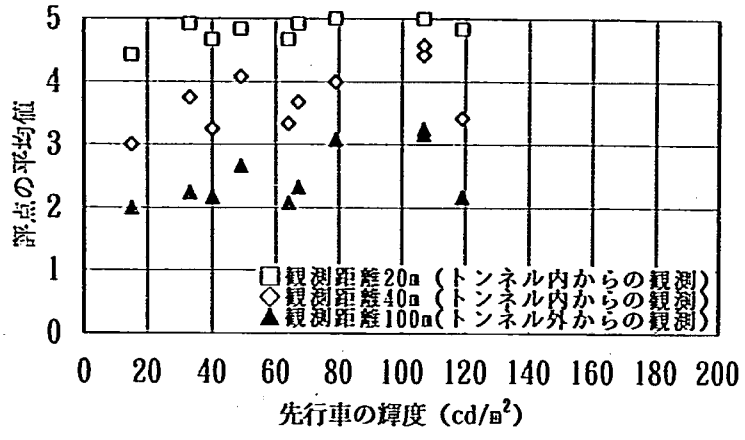
提示位置：80m

図－6．9　先行車の見え方と先行車輝度の関係

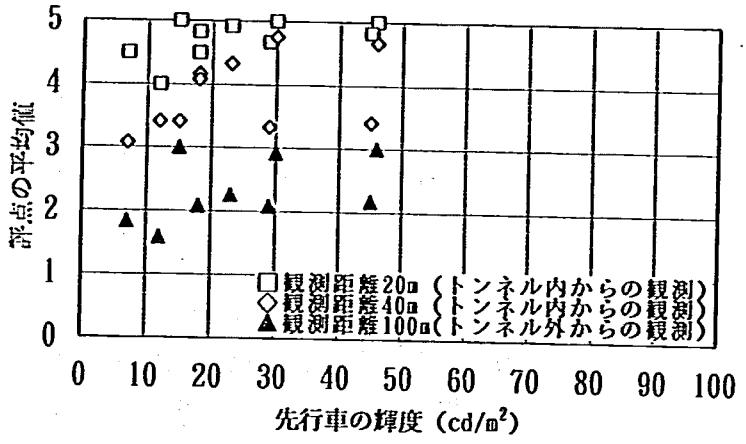
（設計速度：80km/h、視野角度3°で測定）



提示位置：20m



提示位置：40m



提示位置：80m

図－６．１０　先行車の見え方と先行車輝度の関係

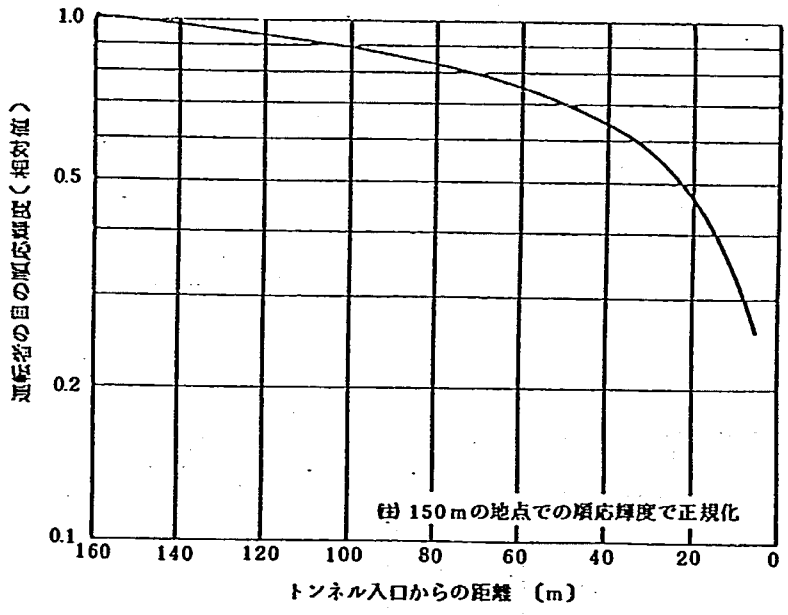
（設計速度：50、60、80km/h、視野角度３°で測定）

6．2．5 先行車の視認性と輝度比の関係

先行車の視認性が先行車後部の全体輝度の大小で変化することが分かった。そこで、被験者が先行車を各提示位置でトンネル外から観測したデータを用いて野外輝度との関係を整理を行った。

表－6．15、表－6．16に先行車の視認性評価と輝度比の関係を示した。ここでいう輝度比とは、野外輝度L_{20}と順応輝度Laに対する先行車後部の輝度をいう。ここでは、それぞれの輝度比を輝度比（先行車輝度／野外輝度）、輝度比（先行車輝度／順応輝度）と表わすこととする。先行車輝度は、測定値が安定していた視野角度3°の輝度計による値を、野外輝度は坑口手前105.9mで測定した視野角度２０°の野外輝度を用いた。順応輝度は、野外輝度から換算補正して求めた。すなわち、順応輝度Laと２０°視野の野外輝度L_{20}は式（6．1）に示す関係があること、トンネルに接近する運転者の目の順応輝度の変化が図－6．11に示す関係があることを考慮してそれぞれ表－6．15に示す換算補正を行った。

$$La = L_{20} \times 1.5 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (6.1)$$



図－6．11 トンネルに接近する運転者の目の順応輝度の変化[7]

表－6．20 野外輝度から順応輝度への換算補正

坑口手前105.9m の野外輝度 L_{20}(105.9m)	坑口手前20m の位置での順応輝度 La(20m)	坑口手前60m の位置での順応輝度 La(60m)	坑口手前80m の位置での順応輝度 La(80m)
L_{20}(105.9m)	La(20m)= L_{20}(105.9m)×1.5 ×0.47/0.9	La(60m)= L_{20}(105.9m)×1.5 ×0.75/0.9	La(80m)= L_{20}(105.9m)×1.5 ×0.83/0.9

標点の平均値と輝度比（先行車輝度／野外輝度）、輝度比（先行車輝度／順応輝度）の関係をそれぞれ図－６．１２、図－６．１３に示す。いずれも輝度比が大きくなると先行車の視認性評価も良くなる傾向にあり、各条件ともに相関係数が比較的良い傾向にある。

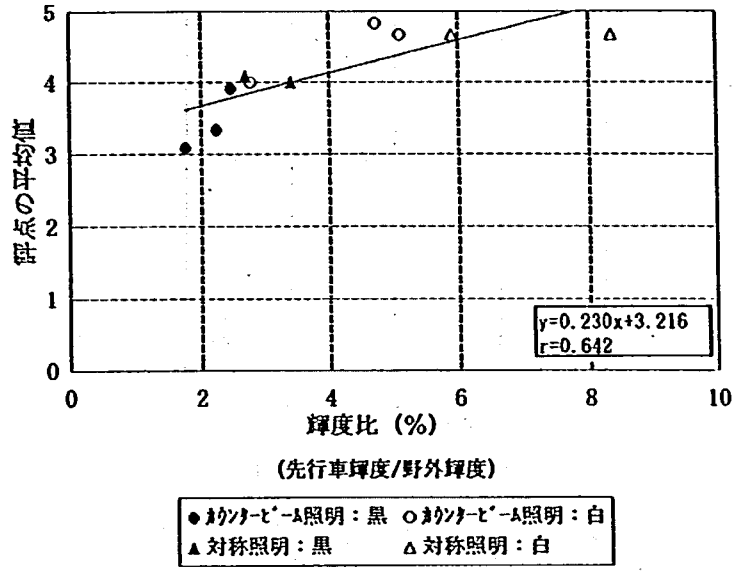
これより、先行車をトンネル外で観測した場合、先行車の輝度と野外輝度L_{20}もしくは順応輝度Laとの比が大きいほど先行車の視認性評価は良くなることが分かった。

表－６．１５　先行車の視認性評価と輝度比（先行車輝度／野外輝度）の関係

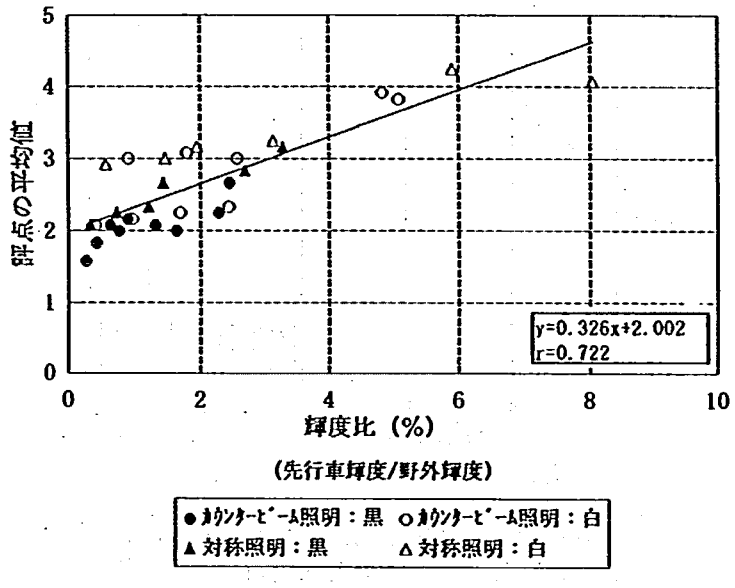
照明方式	設計速度	先行車の提示位置 (m)	車間距離 (m)	先行車の色	野外輝度 (cd/㎡)	先行車輝度 (cd/㎡)	輝度比 先行車輝度/野外輝度 (%)	評点の平均値
カウンタービーム照明	50km/h	20	40	黒	2220	39	1.761	3.08
		20	40	白	2220	62	2.770	4.00
対称照明	50km/h	20	40	黒	4440	120	2.703	4.08
		20	40	白	4440	262	5.901	4.67
カウンタービーム照明	50km/h	20	100	黒	2390	39	1.636	2.00
		20	100	白	2390	62	2.573	3.00
対称照明	50km/h	20	100	黒	4440	120	2.703	2.83
		20	100	白	4440	262	5.901	4.25
カウンタービーム照明	50km/h	40	100	黒	1950	15	0.769	2.00
		40	100	白	1950	33	1.692	2.25
対称照明	50km/h	40	100	黒	5460	67	1.218	2.33
		40	100	白	5460	107	1.952	3.17
カウンタービーム照明	50km/h	80	100	黒	1680	7	0.427	1.83
		80	100	白	1680	15	0.911	3.00
対称照明	50km/h	80	100	黒	5370	18	0.331	2.08
		80	100	白	5370	30	0.562	2.92
カウンタービーム照明	60km/h	20	40	黒	4460	100	2.242	3.33
		20	40	白	4460	211	4.731	4.83
対称照明	60km/h	20	40	黒	4690	160	3.409	4.00
		20	40	白	4690	392	8.358	4.67
カウンタービーム照明	60km/h	20	100	黒	4370	100	2.288	2.25
		20	100	白	4370	211	4.828	3.92
対称照明	60km/h	20	100	黒	4870	160	3.283	3.17
		20	100	白	4870	392	8.049	4.08
カウンタービーム照明	60km/h	40	100	黒	4420	40	0.903	2.17
		40	100	白	4420	79	1.794	3.08
対称照明	60km/h	40	100	黒	3420	49	1.442	2.67
		40	100	白	3420	107	3.135	3.25
カウンタービーム照明	60km/h	80	100	黒	4460	12	0.267	1.58
		80	100	白	4460	18	0.413	2.08
対称照明	60km/h	80	100	黒	3120	23	0.734	2.25
		80	100	白	3120	46	1.474	3.00
カウンタービーム照明	CBL80km/h	20	40	黒	4900	121	2.469	3.92
		20	40	白	4900	250	5.102	4.67
		20	100	黒	4920	121	2.459	2.67
		20	100	白	4920	250	5.081	3.83
		40	100	黒	4840	64	1.320	2.08
		40	100	白	4840	119	2.448	2.33
		80	100	黒	4670	29	0.630	2.08
		80	100	白	4670	45	0.968	2.17

表－６．１６　先行車の視認性評価と輝度比（先行車輝度／順応輝度）の関係

照明方式	設計速度	先行車の提示位置 (m)	車間距離 (m)	先行車の色	順応輝度 (cd/㎡)	先行車輝度 (cd/㎡)	輝度比 先行車輝度/順応輝度 (%)
カウンタービーム照明	50km/h	20	40	黒	1739	39	2.248
		20	40	白	1739	62	3.537
対称照明	50km/h	20	40	黒	3478	120	3.450
		20	40	白	3478	262	7.533
カウンタービーム照明	50km/h	20	100	黒	3306	39	1.183
		20	100	白	3306	62	1.860
対称照明	50km/h	20	100	黒	6142	120	1.954
		20	100	白	6142	262	4.266
カウンタービーム照明	50km/h	40	100	黒	2438	15	0.615
		40	100	白	2438	33	1.354
対称照明	50km/h	40	100	黒	6825	67	0.974
		40	100	白	6825	107	1.562
カウンタービーム照明	50km/h	80	100	黒	1316	7	0.546
		80	100	白	1316	15	1.163
対称照明	50km/h	80	100	黒	4206	18	0.423
		80	100	白	4206	30	0.718
カウンタービーム照明	60km/h	20	40	黒	3494	100	2.862
		20	40	白	3494	211	6.039
対称照明	60km/h	20	40	黒	3674	160	4.352
		20	40	白	3674	392	10.670
カウンタービーム照明	60km/h	20	100	黒	6045	100	1.654
		20	100	白	6045	211	3.490
対称照明	60km/h	20	100	黒	6737	160	2.373
		20	100	白	6737	392	5.819
カウンタービーム照明	60km/h	40	100	黒	5525	40	0.722
		40	100	白	5525	79	1.435
対称照明	60km/h	40	100	黒	4275	49	1.153
		40	100	白	4275	107	2.508
カウンタービーム照明	60km/h	80	100	黒	3494	12	0.341
		80	100	白	3494	18	0.527
対称照明	60km/h	80	100	黒	2444	23	0.937
		80	100	白	2444	46	1.882
カウンタービーム照明	CBL80km/h	20	40	黒	3838	121	3.153
		20	40	白	3838	250	6.514
		20	100	黒	6805	121	1.778
		20	100	白	6805	250	3.674
		40	100	黒	6050	64	1.056
		40	100	白	6050	119	1.959
		80	100	黒	3658	29	0.804
		80	100	白	3658	45	1.236



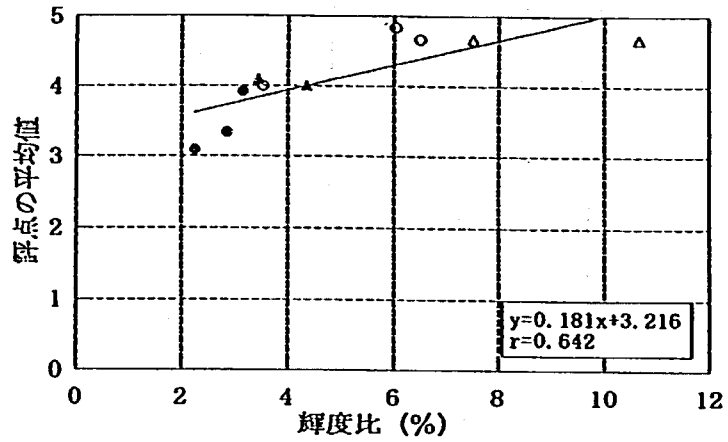
提示位置：20m、観測距離：40m



提示位置：20、40、80m、観測距離：100m

図－６．１２　先行車の視認性評価と輝度比（先行車輝度／野外輝度）の関係

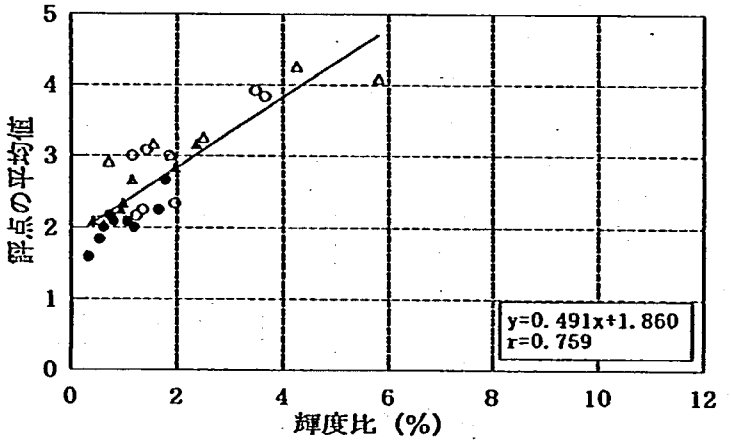
（全照明レベル）



（先行車輝度／順応輝度）

●ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明：黒　○ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明：白
▲対称照明：黒　△対称照明：白

提示位置：20m、観測距離：40m



（先行車輝度／順応輝度）

●ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明：黒　○ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明：白
▲対称照明：黒　△対称照明：白

提示位置：20、40、80m、観測距離：100m

図－６．１３　先行車の視認性評価と輝度比（先行車輝度／順応輝度）の関係
（全照明レベル）

6．2．6　照明方式による先行車の輝度

照明方式による先行車の輝度を検討するため、観測時の条件とは別に、ある野外の自然光の射し込みのみの条件で測定した先行車後部の輝度と、夜間人工照明のみの条件での先行車後部の輝度を測定した。ここで、ある野外の条件としては、トンネル坑口手前105.9mの位置から２０° 視野の野外輝度計の晴天時１（5,300～5,400cd/㎡）、晴天時２（1,900～2,700cd/㎡）、曇天時（270～510cd/㎡）の３条件で測定した。各野外条件下での先行車輝度、人工照明時の先行車輝度、それぞれを加算した時の先行車輝度の結果を表－６．１７に示すとともに、図－６．１４～図－６．１６に示す。

表、図より、野外輝度が高いほど先行車後部の輝度が高いことが分かる。また、先行車の白色系が黒色系に比べて先行車後部の輝度が高くなっている。先行車の位置による輝度の差は、トンネル内の奥にいくにしたがって先行車後部の輝度が低下する傾向にある。これは、自然光の射し込みの量とトンネル照明の設定レベルが低下することによる。先行車後部の輝度に対する自然光の射し込み量の割合は、晴天時１の場合では、先行車の位置がトンネル坑口から20mで70～90%程度、40mで40～60%程度、80mで数%～10%程度となっており、坑口付近で非常に高くなっていることが分かる。

照明方式による差は、対称照明がカウンタービーム照明に比べて若干高いものの、大きな差は生じていない。今回の照明レベルは対称照明に比べて約２割ほどカウンタービーム照明が低い設計条件になっているにもかかわらず、照明方式の違いによる先行車輝度の顕著な差は生じていないことが分かった。

以上のように、先行車後部の輝度は照明方式によって大きな差は生じないことが明らかとなった。先行車の視認性が先行車後部の輝度の大きさで評価できることを考えると、照明方式によって先行車の視認性は顕著な差は無いものと考えられる。ただし、先行車の大きさ・形状や提示位置と照明器具との位置関係等によって先行車後部の輝度も若干変化することも考えられるため、今後こうして点について確認することが重要である。

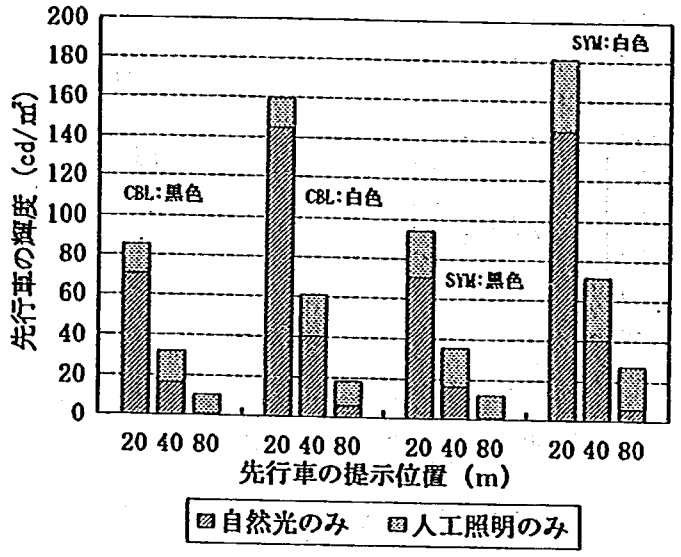
表－６．１７　先行車の輝度測定結果

車色	提示位置	自然光のみ			人工照明のみ					
					50km/h		60km/h		80km/h	
		晴天１	晴天２	曇天	CBL	SYM	CBL	SYM	CBL	SYM
黒	20m	70.50	31.80	4.33	15.13	23.90	19.00	26.50	54.20	54.60
	40m	16.60	3.12	0.11	15.62	19.11	23.30	26.10	53.50	58.80
	80m	1.20	3.12	0.00	9.23	11.30	11.70	21.90	49.10	54.00
白	20m	145.00	66.00	12.10	14.51	36.10	20.70	43.00	45.40	27.90
	40m	40.20	17.42	1.35	20.70	31.30	25.50	44.30	51.30	30.50
	80m	5.90	17.42	0.00	12.50	21.60	13.30	36.00	42.30	28.70

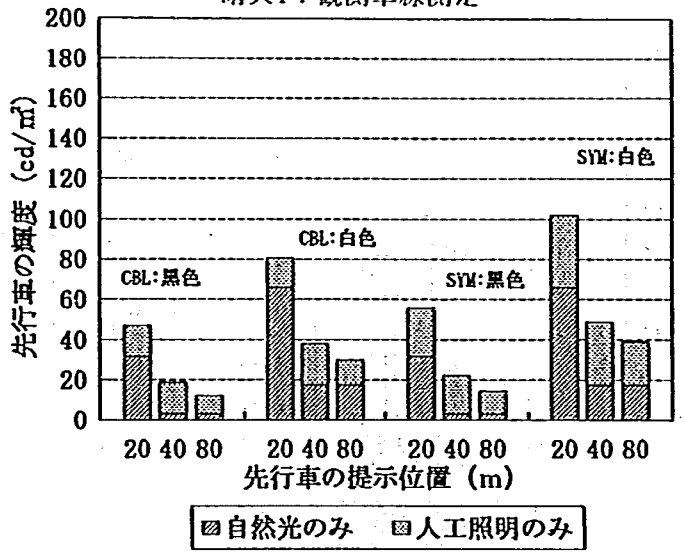
車色	提示位置	自然光＋人工照明					
		晴天１（野外の輝度5,300～5,400cd/m²）					
		50km/h		60km/h		80km/h	
		CBL	SYM	CBL	SYM	CBL	SYM
黒	20m	85.63	94.40	89.50	97.00	124.70	125.10
	40m	32.22	35.71	39.90	42.70	70.10	75.40
	80m	10.43	12.50	12.90	23.10	50.30	55.20
白	20m	159.51	181.10	165.70	188.00	190.40	172.90
	40m	60.90	71.50	65.70	84.50	91.50	70.70
	80m	18.40	27.50	19.20	41.90	48.20	34.60

車色	提示位置	自然光＋人工照明					
		晴天２（野外の輝度1,900～2,700cd/m²）					
		50km/h		60km/h		80km/h	
		CBL	SYM	CBL	SYM	CBL	SYM
黒	20m	46.93	55.70	50.80	58.30	86.00	86.40
	40m	18.74	22.23	26.42	29.22	56.62	61.92
	80m	12.35	14.42	14.82	25.02	52.22	57.12
白	20m	80.51	102.10	86.70	109.00	111.40	93.90
	40m	38.12	48.72	42.92	61.72	68.72	47.92
	80m	29.92	39.02	30.72	53.42	59.72	46.12

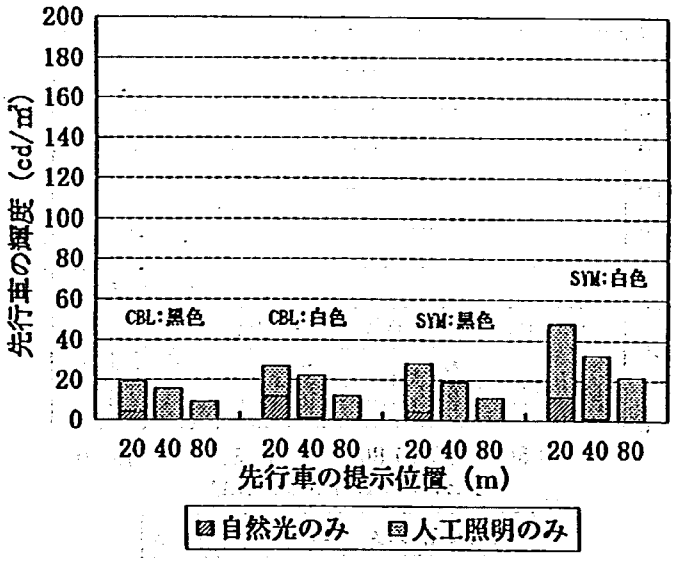
車色	提示位置	自然光＋人工照明					
		曇天（野外の輝度270～510cd/m²）					
		50km/h		60km/h		80km/h	
		CBL	SYM	CBL	SYM	CBL	SYM
黒	20m	19.46	28.23	23.33	30.83	58.53	58.93
	40m	15.73	19.22	23.41	26.21	53.61	58.91
	80m	8.78	10.85	11.25	21.45	48.65	54.00
白	20m	26.61	48.20	32.80	55.10	57.50	40.00
	40m	22.05	32.65	26.85	45.65	52.65	31.85
	80m	12.30	21.40	13.10	35.80	42.10	28.70



晴天1：観測車線測定

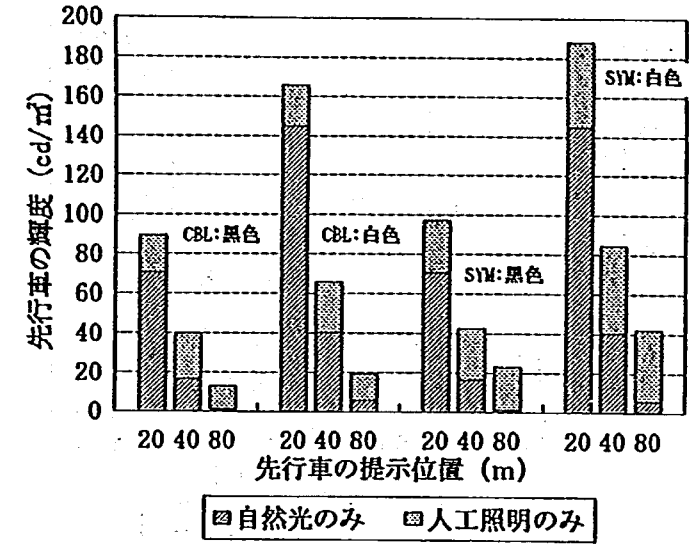


晴天2：観測車線測定

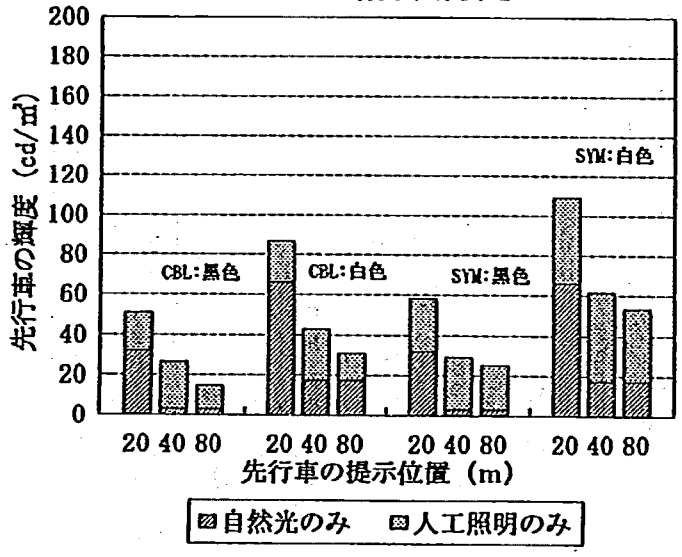


曇天：観測車線測定

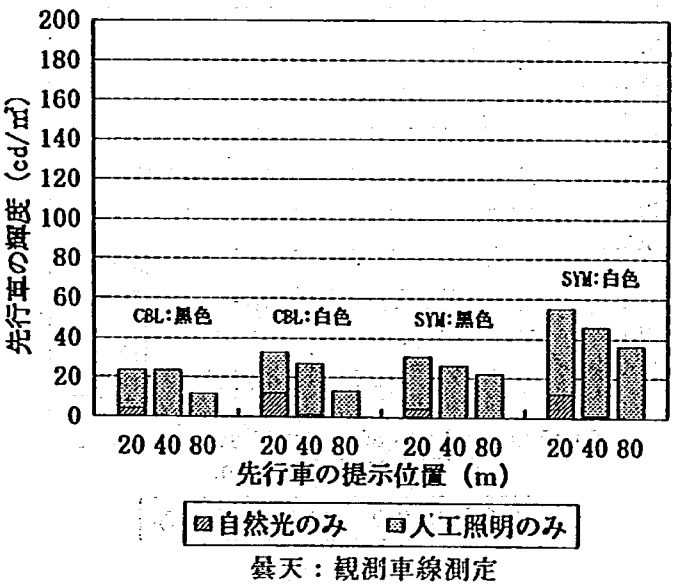
図－６．１４　先行車の輝度（設計速度:50km/h）



晴天1：観測車線測定

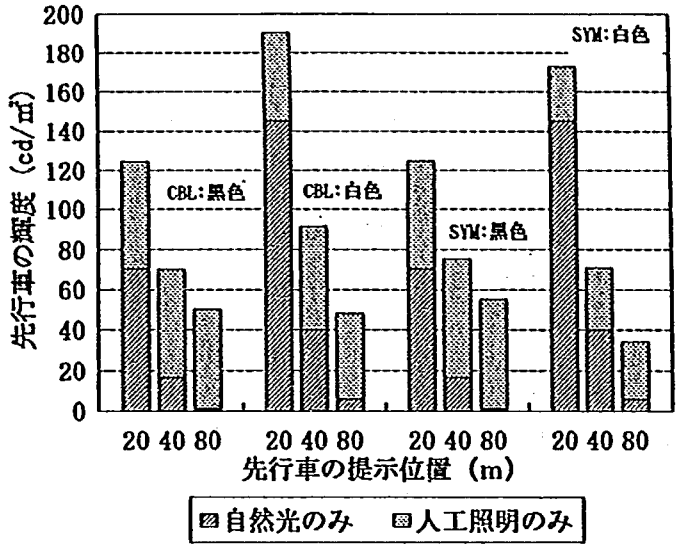


晴天2：観測車線測定

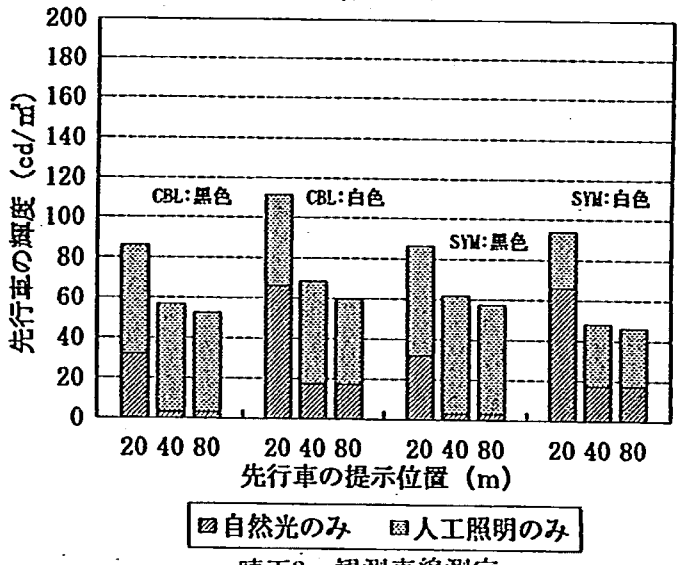


曇天：観測車線測定

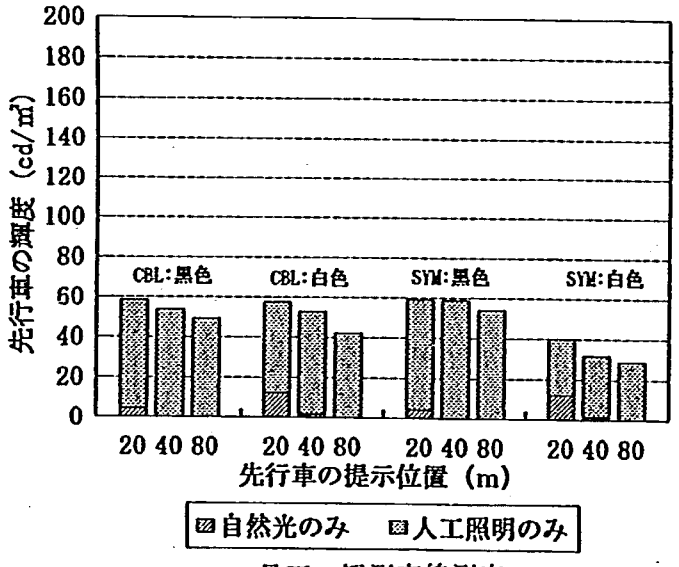
図－６．１５　先行車の輝度（設計速度:60km/h）



晴天1：観測車線測定



晴天2：観測車線測定



曇天：観測車線測定

図－６．１６　先行車の輝度（設計速度:80㎞/h）

6.3 まとめ

入口部照明を対象としてカウンタービーム照明の照明レベルを対称照明の約2割低減させた条件で坑口部周辺での先行車の視認性実験（静止実験）により以下のことが明らかとなった。

被験者による先行車の視認性の評価は、先行車の輝度が高いほど高く、野外輝度あるいは順応輝度との比で考えた輝度比（先行車輝度／野外輝度あるいは先行車輝度／順応輝度）との関係では、それぞれ輝度比が高いほど評価が高くなることが明らかとなった。また、別途実施した先行車の輝度測定によれば、車の色による先行車輝度が大きく異なることが分かった。すなわち、黒色系で先行車輝度が低く、白色系で高いことが明らかとなり、先行車輝度を大きく左右する一つの要因であることが分かった。カウンタービーム照明のレベルが対称照明に比べて約2割低減しているにもかかわらず、照明方式による先行車輝度の顕著な差は認められないことが明らかとなった。このことは、先行車輝度が先行車の視認性との関係があることを考えると、対称照明とほぼ同等の先行車の視認性が確保されていることが明らかとなった。

ただし、先行車の大きさ・形状や提示位置と照明器具との位置関係等によって先行車後部の輝度も若干変化することも考えられるため、今後こうして点について確認することが重要である。

7．煤煙中での視認性実験

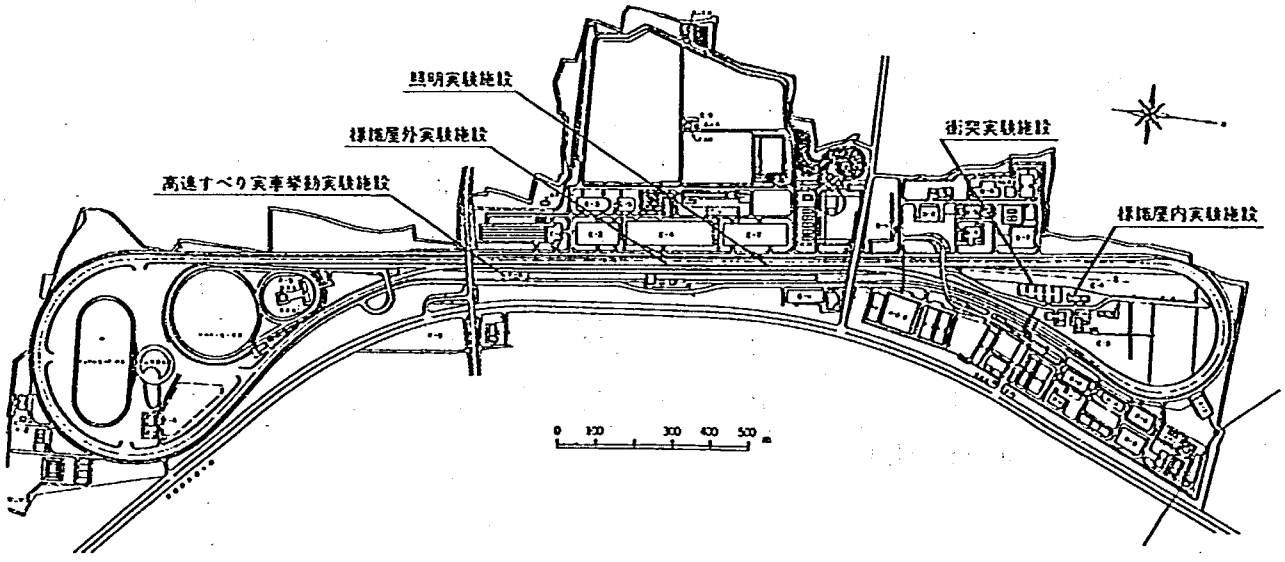
7．1　実験概要

7．1．1　実験目的

本実験の目的は、カウンタービーム照明を採用した入口照明下で煤煙がある場合の視認性の低下を確認するとともに、カウンタービーム照明の基本照明への適用の可能性を検討することを目的とする。

7．1．2　実験場所

実験は、図－7．1に示す建設省土木研究所実大トンネル実験施設で実施した。



図－7．1　実大トンネル実験施設

7．2　実験方法

7．2．1　実験条件

（1）煤煙発生条件の設定

煤煙は、ディーゼル発電機を用いて発生させた。ディーゼル発電機により発生した煤煙を実大トンネルの地下ダクトに送り込み、送風機により約３００m先のトンネル中央付近で車道に上げ、トンネルの車道と地下ダクトで閉回路を構成して循環させた。

煤煙濃度（透過率）は、ディーゼル発電機の回転数、負荷（電気抵抗）の容量および、送気パイプのバルブの開度調整により設定した。なお、運転実績は表－7．1に示すとおりである。

表－７．１　ディーゼル発電機の運転実績

月／日	時刻	作業項目	濃度調整 ﾊﾞﾙﾌﾞ開度	負荷 [A]	回転数 [rpm]	周波数 [Hz]	電圧 [V]	電流 [A]
10／31	6:30	エンジン始動						
	6:35	煤煙発生開始	50%	264	1500	51	200	270
	7:15	煤煙循環	25%	264	1500	51	200	270
	8:35	煤煙循環	70%	264	1500	51	200	270
	10:30	煤煙循環	50%	352	1500	51	200	350
	11:50	煤煙循環	25%	352	1500	51	200	350
	12:50	煤煙循環	70%	352	1500	51	200	350
	15:00	エンジン停止						
11／2	6:39	エンジン開始						
	6:44	煤煙発生開始	50%	264	1500	51	200	270
	7:24	煤煙循環	25%	264	1500	51	200	270
	8:44	煤煙循環	70%	264	1500	51	200	270
	11:05	煤煙循環	50%	352	1500	51	200	350
	11:45	煤煙循環	25%	352	1500	51	200	350
	13:20	煤煙循環	70%	352	1500	51	200	350
	14:45	エンジン停止						

（２）煤煙発生装置仕様一覧表

実験に使用した煤煙発生装置の仕様を表－７．２に示す。

表－７．２(1)　ディーゼル発電機の仕様

項　目	仕　　様	項　目	仕　　様
名　称	防音形エンジン発電機	形　式	ＤＣＡ－１５０ＳＰＭ
会社名	デンヨー株式会社		

表－７．２(2)　ディーゼル発電機の発電機部の仕様

項　目	仕　様	項　目	仕　様
名　称	ブラシレス交流発電機	形　式	ＤＢ－１６５１Ｍ
相　数	３相（４線式）	定格出力	１２５／１５０　KVA
定格電圧	200/400、220/440V	定格電流	361/180、394/197 A
周波数	５０、６０ Hz	定　格	連続
力　率	０．８	相　数	4
製造番号	３６０９１２１	重　量	２９００ kg

表－７．２(3)　ディーゼル発電機のエンジン部の仕様

項　目	仕　様	項　目	仕　様
形　式	６Ｄ２２	定格出力	153PS　1500rpm
総排気量	１１１４９　CC		183PS　1800rpm
燃　料	A重油または軽油		

表－７．２(4)　発電機負荷試験設置の仕様

項　目	仕　様	項　目	仕　様
形　式	LE－３３０	容　量	２２０／２７０　kW
電　圧	２００／２２０ｖ	周 波 数	５０／６０　Hz
電　流	２５～６４０／７７０A	力　率	１．０
総　数	３　相	時間定格	連　続
重　量	７４０　kg	１回路	１６／１７．６ A
電流調整	80/88　160/176　240/264	320/352　400/440　480/528　560/616 A	

（３）使用機材の仕様（煤煙発生装置の仕様を除く）

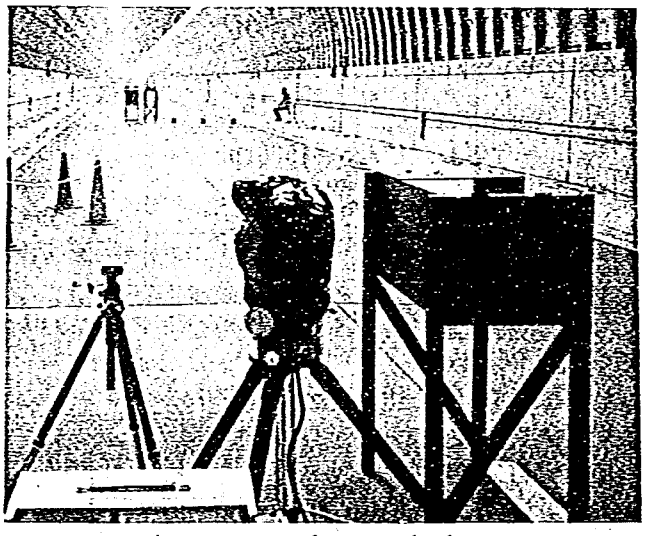
１）使用機材の仕様

実験に使用した光学測定機器を表－７．３および写真－７．１～写真－７．３に示す。

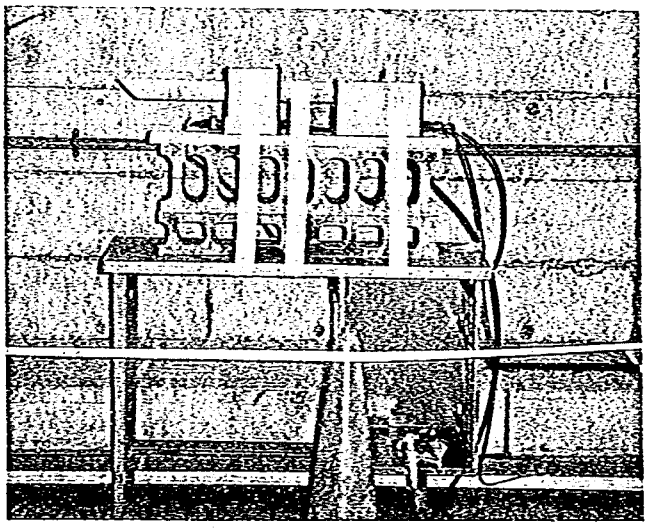
表－７．３　使用機材の仕様

機　　材	形　　式	所有者名	備　　考
ﾌﾟﾘﾁｬｰﾄﾞ輝度計	MODEL　1980A-OP	建設省土木研究所	写真－７．１
ﾌﾟﾘﾁｬｰﾄﾞ輝度計	MODEL　1980A-OP	松下電器産業株式会社	写真－７．１
照度計	ﾐﾉﾙﾀﾃﾞｼﾞﾀﾙ照度計TI型	松下電工株式会社	
透過率計	ZI-VITB-7	建設省土木研究所	写真－７．２

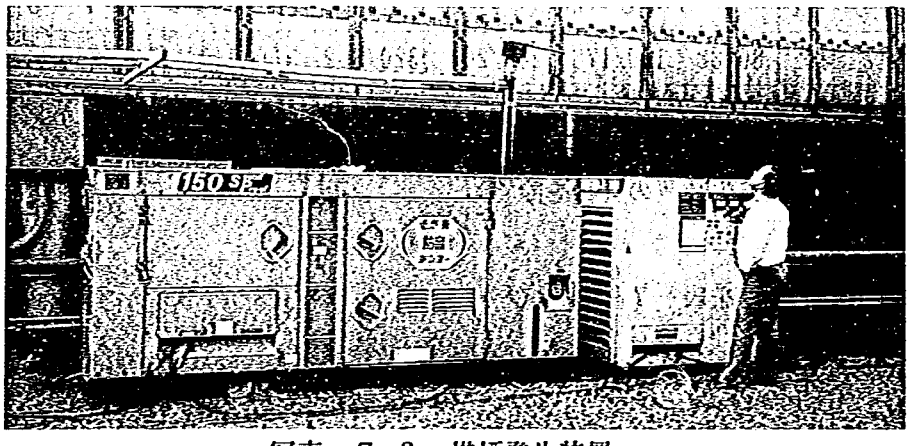
２）使用機材



写真－７．１　ﾌﾟﾘﾁｬｰﾄﾞ輝度計



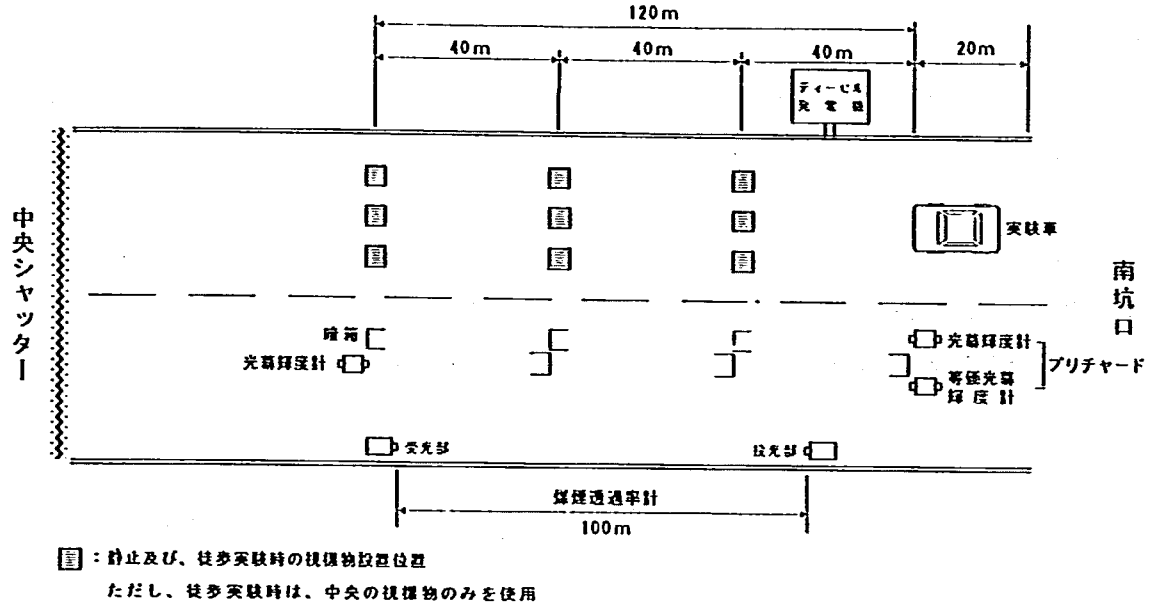
写真－７．２　煤煙透過率計



写真－７．３　煤煙発生装置

（4）測定機器設置位置

観測実験および光学測定は図－7.2に示す配置によって実施した。



図－7.2　測定機器配置図

7.2.2　測定項目および測定方法

（1）光幕輝度

西側車線に輝度計を設置し、前方に見かけの輝度がゼロとなる暗箱を設置し、2台の輝度計を使用し、道路軸方向に双方向に測定を行った。双方向の測定は、ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明の基本照明への適用を検討する際に、入口照明曲線に基づく位置による照明ﾚﾍﾞﾙの変化の影響を取り除くためである。輝度計と暗箱の位置は以下のとおりである。

表－7.4　輝度計位置と暗箱位置

	輝度計位置	暗箱位置（測定距離）
順方向（南→北）	0m	40m(40m)、80m(80m)、120m(120m)
逆方向（北→南）	120m	80m(40m)、40m(80m)、　0m(120m)

順方向は西側車線内の中央線から0.25m、逆方向は西側車線内の中央から0.75mの位置で、ともに路面高さ1mの道路軸上の光幕輝度を測定した。

（２）等価光幕輝度

特殊な特性を持つグレアレンズを輝度計の光学系に装着して測定した。輝度計は光幕輝度測定用のものと兼用し、光幕輝度と等しい測定位置において、輝度計の光軸を道路軸方向に向けて測定した。

（３）煤煙透過率

煤煙透過率は、西側車線、路肩付近の１０ｍ、１１０ｍの位置に煤煙透過率計の投光部と受光部を対向させて設置し、清浄大気中における受光部の出力が煤煙透過率τ＝１００％に相当するものとして測定した。

（４）路面輝度

西側車線中央付近において、順方向は0m位置、逆方向は120m位置から双方向に60m前方(60m位置）の路面輝度を１度視野の円形マスクの輝度計により測定した。輝度計高さは、1.5mとした。

（５）水平面照度

実験中の照明ﾚﾍﾞﾙの安定度をモニタリングする目的で、0m位置における水平面照度を測定した。

（６）光幕輝度測定光軸上の水平面照度

清浄大気中において、光幕輝度測定光軸上の水平面照度を測定した。測定区間は、0～120mで、2.5mおきに測定した。

７．２．３　観測実験

（１）障害物の視認性実験（静止）

１）実験方法

各照明条件下（ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、対称照明）で、各透過率（４０％、５０％、７５％、１００％）における煤煙中での障害物の視認性を確認するため、静止による観測を行った。反射率の異なる３種類の障害物（立方体：一辺２０cm、反射率：１２％、２０％、３０％）を、４０、８０、１２０ｍ離れた実験車内から１２名の観測者に観測させ、その見え方を５段階のアンケートにより回答させた。また、照明レベルの異なったときの障害物の視認性を確認するため、被験者に透過率（８０％、５０％、３０％）のサングラスを装着させて観測を行った。

２）実験条件

照明方式　　：カウンタービーム照明・対称照明の２方式
照明レベル　　：設計速度８０km／ｈ相当の照明レベル
ｻﾝｸﾞﾗｽの透過率：８０％、５０％、３０％
煤煙条件　　：透過率４０％、５０％、７５％、１００％の４条件

3）実験ケース

表－7.5　実験ケース

照明方式	煤煙透過率（%）	障害物提示位置
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ対称照明	１００	４０m
		８０m
		１２０m
	７５	４０m
		８０m
		１２０m
	５０	４０m
		８０m
		１２０m
	４０	４０m
		８０m
		１２０m

実験ケース合計　１２ケース×４（サングラス：なし・８０%・５０%・３０%）
×２（照明方式：ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ、対称照明）＝９６ケース

（２）障害物の視認性実験（徒歩）

1）実験方法

各照明条件下（ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、対称照明）で各透過率（４０%、５０%、７５%、１００%）における煤煙中での障害物の視認距離、確認距離を求めるため、徒歩による観測を行った。障害物（立方体：一辺２０ｃｍ、反射率：２０%）を観測者により徒歩で視認・確認できる位置、その地点から障害物の位置までの距離を測定した。また照明レベルの異なったときの障害物の視認距離、確認距離を求めるため、被験者に透過率（８０%、５０%、３０%）のサングラスを装着させて観測を行った。

2）実験条件

照明方式　　：カウンタービーム照明・対称照明の２方式
照明レベル　　：設計速度８０㎞／ｈ相当の照明レベル
ｻﾝｸﾞﾗｽの透過率：８０%、５０%、３０%
煤煙条件　　：透過率４０%、５０%、７５%、１００%の４条件

3）実験ケース

表－7.6　実験ケース

照明方式	煤煙透過率（%）	障害物提示位置
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ対称照明	１００	４０m
		８０m
		１２０m
	７５	４０m
		８０m
		１２０m
	５０	４０m
		８０m
		１２０m
	４０	４０m
		８０m
		１２０m

実験ケース合計　１２ケース×４（サングラス：なし・８０%・５０%・３０%）
×２（照明方式：ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ、対称照明）＝９６ケース

7.3　実験結果

7.3.1　光学測定

（1）煤煙透過率、光幕輝度、等価光幕輝度、路面輝度、水平面照度の測定

測定結果を表－7.7～表－7.10に示す。水平面照度については、0m位置のみにおいて測定し、表－7.7、表－7.9に示した。光幕輝度、等価光幕輝度の測定結果については、双方向の測定に使用した2台の輝度計のばらつきの補正を、光幕輝度については、さらに周辺光の影響による零点誤差の補正を加えた。補正の方法を以下に示す。

1）輝度計による測定値のばらつきの補正（光幕輝度、等価光幕輝度）

同一の輝度面を2台の輝度計により測定して、測定値の比（補正係数）を算出し、これを一方の輝度計の測定結果に乗じて、輝度計によるばらつきを補正した。同一の輝度面の測定値は、

順方向（南→北）の測定に使用した輝度計　19.1(cd/m²)

逆方向（北→南）の測定に使用した輝度計　20.5(cd/m²)

であった。逆方向の輝度計の測定結果を真値とし、順方向の輝度計の測定結果に、上記測定値の比

逆方向／順方向＝20.5／19.1＝1.07

を乗じて補正を施した。

2）周辺光の影響による零点誤差の補正（光幕輝度）

光幕輝度が無視できる位置（輝度計の前方１m）に設置した暗箱の輝度を測定し、周辺光の影響による光幕輝度の零点誤差を求めた。測定結果を表－７．１１、図－７．３に示す。図のように照明方式、測定方向および煤煙透過率に依存して零点誤差が変化するため、照明方式、測定方向ごとに煤煙透過率の関数として零点誤差を定義し、光幕輝度の測定値から零点誤差を差し引いて補正を施した。

カウンタービーム照明（順方向）　　零点誤差＝－0.028τ＋3.68

カウンタービーム照明（逆方向）　　零点誤差＝　0.96（一定）

対称照明（順方向、逆方向）　　零点誤差＝－0.013τ＋2.33

ここに、τ：煤煙透過率（%）

光幕輝度、等価光幕輝度について、上記の方法による補正を加えた結果を表－７．１２～表－７．１５に示す。表－７．１２～表－７．１５のうち、煤煙透過率と光幕輝度の関係を図－７．４～図－７．７に示す。図－７．４、図－７．５では、煤煙透過率９５%の測定結果が曲線から外れているが、これはトンネル内に残留していた煤煙による光幕の影響と考えられる。

（２）実験中の照明レベルの変動

表－７．１２、表－７．１４の水平面照度の測定結果をもとに、実験中の照明レベルの変動の程度を求め、以下に示す。

・カウンタービーム照明（１０月３１日）　平均　917(lx)

最低　881(lx)～最高　958(lx)

（平均に対する変動幅　96～104(%)）

・対称照明（１１月２日）　平均　1411(lx)

最低　1370(lx)～最高　1460(lx)

（平均に対する変動幅　97～103(%)）

この結果より、照明レベルの変動幅は±４%以内であったことが確認できる。

（３）光幕輝度測定光軸上の水平面照度

測定結果を表－７．１６～表－７．１９に示す。あわせて、光幕輝度の測定を行った各４０%区間（０～４０m、４０～８０m、８０～１２０m）の水平面照度の平均値を示す。

表－７．７　煤煙透過率、光幕輝度、等価光幕輝度、路面輝度、水平面照度の測定

（補正前）

測定条件：ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明　順方向（南→北）

測定日：平成７年１０月３１日

時刻		煤煙透過率	光幕輝度(cd/m²)			等価光幕輝度	路面輝度	路面照度
時	分	(%)	40m区間	80m区間	120m区間	(cd/m²)	(cd/m²)	(lx)
9	28	75	12.8	19.3	30.9	10.7	82	958
9	55	75	19.2	26.6	31.8	—	82	950
10	15	75	18.0	25.5	31.5	—	—	930
10	30	74	18.9	27.4	32.8	11.8	—	940
12	50	52	28.0	45.1	54.5	11.8(51%)	84	920
13	15	48	31.9	48.8	58.8	—	—	919
13	30	43	34.1	51.9	61.7	12.8(42%)	—	912
13	45	41	37.8	55.8	64.9	13.1(40%)	82	904
14	00	40	39.2	56.6	65.7	—	—	900
14	15	42	39.1	56.5	64.1	13.0	—	881
14	30	42	39.0	56.0	65.0	—	—	882
15	45	80	13.2	19.1	30.5	13.1(71%)	82	910
16	00	57	22.4	39.4	48.9	—	79	906
16	40	95	11.7	17.8	22.1	13.1	83	925

（注）等価光幕輝度の（）内は、測定時に煤煙透過率が変化していた場合の値を示す。

表－７．８　煤煙透過率、光幕輝度、等価光幕輝度、路面輝度、水平面照度の測定

（補正前）

測定条件：ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明　逆方向（北→南）

測定日：平成７年１０月３１日

時刻		煤煙透過率	光幕輝度(cd/m²)			等価光幕輝度	路面輝度
時	分	(%)	40m区間	80m区間	120m区間	(cd/m²)	(cd/m²)
9	29	75	4.35	7.9	13.2	3.9	—
9	56	75	4.15	8.26	12.1	—	—
10	15	75	4.6	8.7	12.5	—	60
10	30	74	5.0	9.38	13.5	3.4	60
12	54	51	8.2	15.5	21.5	3.8	—
13	15	46	9.0	16.0	21.2	—	48
13	30	43	9.1	16.1	22.0	3.6(42%)	47
13	45	41	9.6	16.8	22.5	3.4(40%)	—
14	00	40	9.4	16.4	22.0	—	—
14	15	42	8.8	15.8	21.4	3.6	45
14	30	42	8.8	15.5	21.0	—	46
15	45	79	6.2	8.4	10.8	3.5(71%)	—
16	00	57	6.7	12.2	16.8	—	—
16	40	95	2.6	4.5	6.6	3.9	—

（注）等価光幕輝度の（）内は、測定時に煤煙透過率が変化していた場合の値を示す。

表－７．９　煤煙透過率、光幕輝度、等価光幕輝度、路面輝度、水平面照度の測定

（補正前）

測定条件：対称照明　順方向（南→北）

測定日：平成７年１１月２日

時刻		煤煙透過率	光幕輝度(cd/m²)			等価光幕輝度	路面輝度	路面照度
時	分	(%)	40m区間	80m区間	120m区間	(cd/m²)	(cd/m²)	(lx)
9	50	72	12.8	23.8	30.8	9.8	103	1430
10	10	72	13.2	23.5	29.5	—	99	1430
10	25	73	12.6	22.0	27.0	—	—	1410
10	40	73	12.4	21.3	26.3	9.6	—	1430
11	00	73	12.0	20.2	25.6	—	94	1410
11	15	73	12.2	21.1	25.7	—	—	1430
13	05	52	21.1	34.6	42.7	9.3	84	1400
13	20	50	22.9	36.9	45.0	—	85	1410
13	35	48	23.3	37.5	45.5	—	87	1420
13	50	46	23.0	36.8	44.6	9.3	—	1390
14	20	42	23.7	37.6	45.2	8.9	79	1370
14	35	42	24.0	37.6	44.5	—	81	1390
14	50	43	22.9	36.1	42.9	—	—	1390
15	05	44	22.5	35.3	42.2	8.9	—	1390
16	25	91	2.74	3.37	3.79	9.1	103	1460

表－７．１０　煤煙透過率、光幕輝度、等価光幕輝度、路面輝度、水平面照度の測定

（補正前）

測定条件：対称照明　逆方向（北→南）

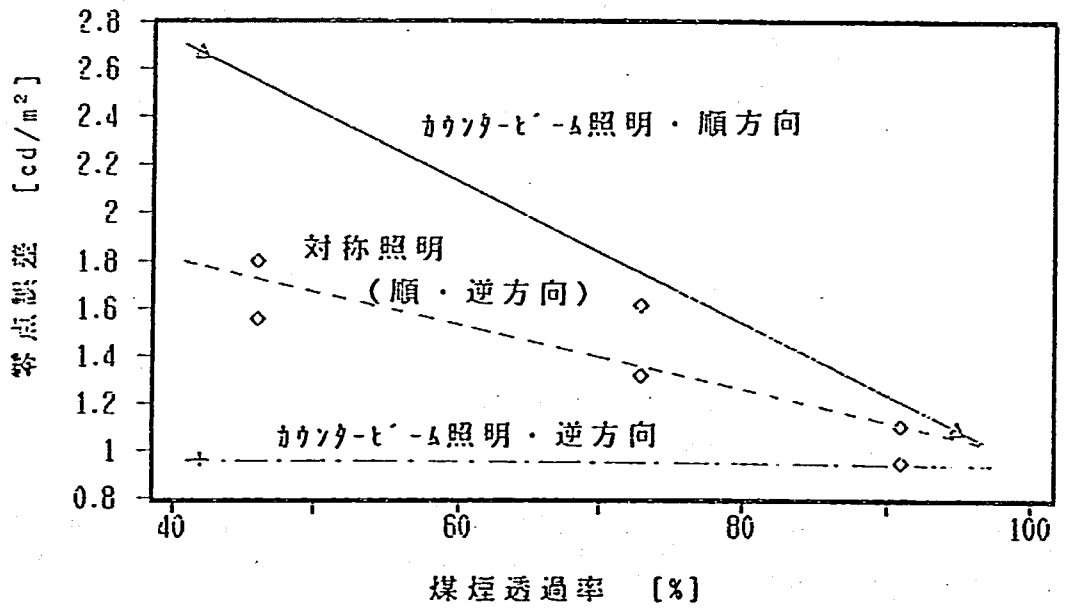
測定日：平成７年１１月２日

時刻		煤煙透過率	光幕輝度(cd/m²)			等価光幕輝度	路面輝度
時	分	(%)	40m区間	80m区間	120m区間	(cd/m²)	(cd/m²)
9	55	72	13.2	23.5	24.5	8.3	—
10	10	72	8.8	17.7	25.8	—	—
10	25	73	8.3	15.9	24.4	—	92
10	40	73	8.0	15.8	23.5	8.5	94
11	00	73	8.2	15.9	23.8	—	—
11	15	73	8.1	15.9	24.2	—	98
13	05	52	14.1	27.1	38.2	8.0	—
13	20	50	14.7	28.5	39.4	—	—
13	35	48	15.1	28.6	39.8	—	—
13	50	46	14.9	28.2	38.8	7.8	78
14	20	42	15.7	28.6	39.0	7.6	—
14	35	42	14.7	27.8	38.2	—	—
14	50	43	14.3	26.9	36.8	—	78
15	05	44	14.1	26.7	36.7	7.8	80
16	25	91	1.98	2.68	3.25	8.1	84

表－７．１１　光幕輝度測定時の零点誤差

照明方式	煤煙透過率(%)	誤差(cd/m²)
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明 順方向	42 95	2.66(2.49) 1.09(1.02)
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明 逆方向	42	0.96
対称照明 順方向	73 46 91	1.61(1.50) 1.55(1.45) 1.10(1.03)
対称照明 逆方向	73 46 91	1.32 1.80 0.95

（注）誤差の（　）内は、輝度計によるばらつきの補正前の値



図－７．３　光幕輝度測定時の零点誤差

表－７．１２　煤煙透過率、光幕輝度、等価光幕輝度、路面輝度、水平面照度の測定

（補正後）

測定条件：ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明　順方向（南→北）

測定日：平成７年１０月３１日

時刻		煤煙透過率	光幕輝度(cd/m²)			等価光幕輝度	路面輝度	路面照度
時	分	(%)	40m区間	80m区間	120m区間	(cd/m²)	(cd/m²)	(lx)
9	28	75	12.1	19.1	31.5	11.4	82	958
9	55	75	19.0	26.9	32.4	—	82	950
10	15	75	17.7	25.7	32.1	—	—	930
10	30	74	18.6	27.7	33.5	12.6	—	940
12	50	52	27.7	46.0	56.1	12.6(51%)	84	920
13	15	48	31.8	49.9	60.6	—	—	919
13	30	43	34.0	53.1	63.5	13.7(42%)	—	912
13	45	41	37.9	57.2	66.9	14.0(40%)	82	904
14	00	40	39.4	58.0	67.7	—	—	900
14	15	42	39.3	58.0	66.1	13.9	—	881
14	30	42	39.2	57.4	67.0	—	—	882
15	45	80	12.7	19.0	31.2	14.0(71%)	82	910
16	00	57	21.9	40.1	50.2	—	79	906
16	40	95	11.5	18.0	22.6	14.0	83	925

（注）等価光幕輝度の（）内は、測定時に煤煙透過率が変化していた場合の値を示す。

表－７．１３　煤煙透過率、光幕輝度、等価光幕輝度、路面輝度、水平面照度の測定

（補正後）

測定条件：ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明　逆方向（北→南）

測定日：平成７年１０月３１日

時刻		煤煙透過率	光幕輝度(cd/m²)			等価光幕輝度	路面輝度
時	分	(%)	40m区間	80m区間	120m区間	(cd/m²)	(cd/m²)
9	29	75	3.4	6.9	12.2	3.9	—
9	56	75	3.2	7.3	11.1	—	—
10	15	75	3.6	7.7	11.5	—	60
10	30	74	4.0	8.4	12.5	3.4	60
12	54	51	7.2	14.5	20.5	3.8	—
13	15	46	8.0	15.0	20.2	—	48
13	30	43	8.1	15.1	21.0	3.6(42%)	47
13	45	41	8.6	15.8	21.5	3.4(40%)	—
14	00	40	8.4	15.4	21.0	—	—
14	15	42	7.8	14.8	20.4	3.6	45
14	30	42	7.8	14.5	20.0	—	46
15	45	79	4.9	7.1	9.5	3.5(71%)	—
16	00	57	5.1	10.6	15.2	—	—
16	40	95	1.5	3.4	5.5	3.9	—

（注）等価光幕輝度の（）内は、測定時に煤煙透過率が変化していた場合の値を示す。

表－７．１４　煤煙透過率、光幕輝度、等価光幕輝度、路面輝度、水平面照度の測定

（補正後）

測定条件：対称照明　順方向（南→北）

測定日：平成７年１１月２日

時刻		煤煙透過率	光幕輝度(cd/m²)			等価光幕輝度	路面輝度	路面照度
時	分	(%)	40m区間	80m区間	120m区間	(cd/m²)	(cd/m²)	(lx)
9	50	72	12.3	24.1	31.6	10.5	103	1430
10	10	72	12.8	23.8	30.2	—	99	1430
10	25	73	12.1	22.2	27.5	—	—	1410
10	40	73	11.9	21.4	26.8	10.3	—	1430
11	00	73	11.5	20.3	26.0	—	94	1410
11	15	73	11.7	21.2	26.1	—	—	1430
13	05	52	20.9	35.4	44.1	10.0	84	1400
13	20	50	22.8	37.8	46.5	—	85	1410
13	35	48	23.2	38.4	47.0	—	87	1420
13	50	46	22.9	37.7	46.0	10.0	—	1390
14	20	42	23.6	38.5	46.6	9.5	79	1370
14	35	42	23.9	38.5	45.8	—	81	1390
14	50	43	22.7	36.9	44.1	—	—	1390
15	05	44	22.3	36.0	43.4	9.5	—	1390
16	25	91	1.8	2.5	2.9	9.7	103	1460

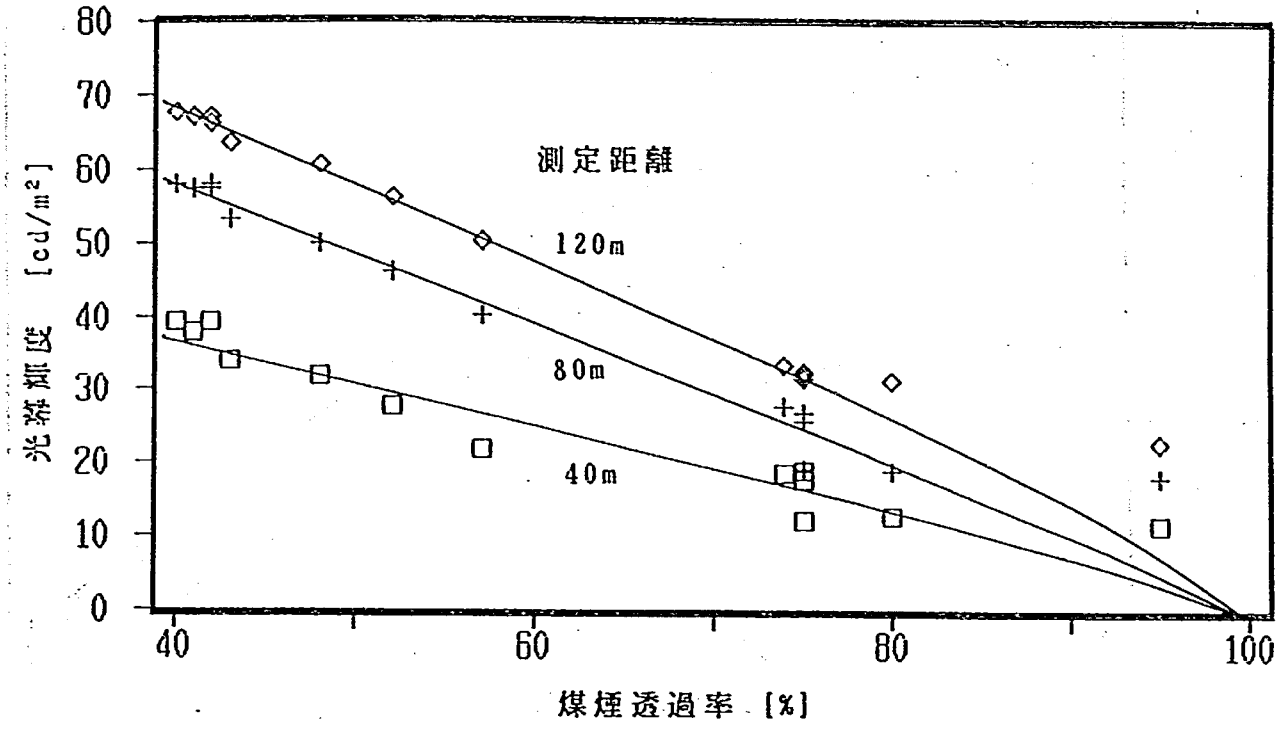
表－７．１５　煤煙透過率、光幕輝度、等価光幕輝度、路面輝度、水平面照度の測定

（補正後）

測定条件：対称照明　逆方向（北→南）

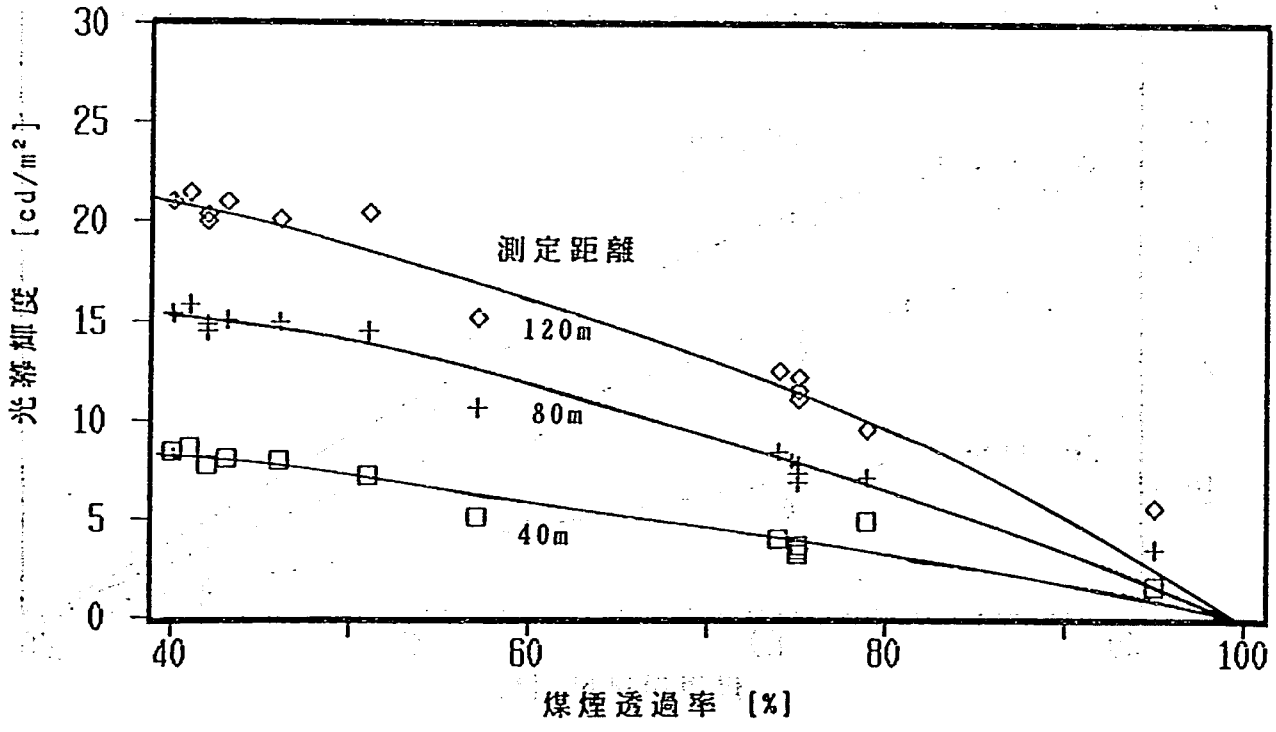
測定日：平成７年１１月２日

時刻		煤煙透過率	光幕輝度(cd/m²)			等価光幕輝度	路面輝度
時	分	(%)	40m区間	80m区間	120m区間	(cd/m²)	(cd/m²)
9	55	72	11.8	22.1	29.5	8.3	—
10	10	72	7.4	16.3	24.4	—	—
10	25	73	6.9	14.5	23.0	—	92
10	40	73	6.6	14.4	22.1	8.5	94
11	00	73	6.8	14.5	22.4	—	—
11	15	73	6.7	14.5	22.8	—	98
13	05	52	12.5	25.5	36.6	8.0	—
13	20	50	13.0	26.8	37.7	—	—
13	35	48	13.4	26.9	38.1	—	—
13	50	46	13.2	26.5	37.1	7.8	78
14	20	42	13.9	26.8	37.2	7.6	—
14	35	42	12.9	26.0	36.4	—	—
14	50	43	12.5	25.1	35.0	—	78
15	05	44	12.4	25.0	35.0	7.8	80
16	25	91	0.9	1.6	2.1	8.1	84



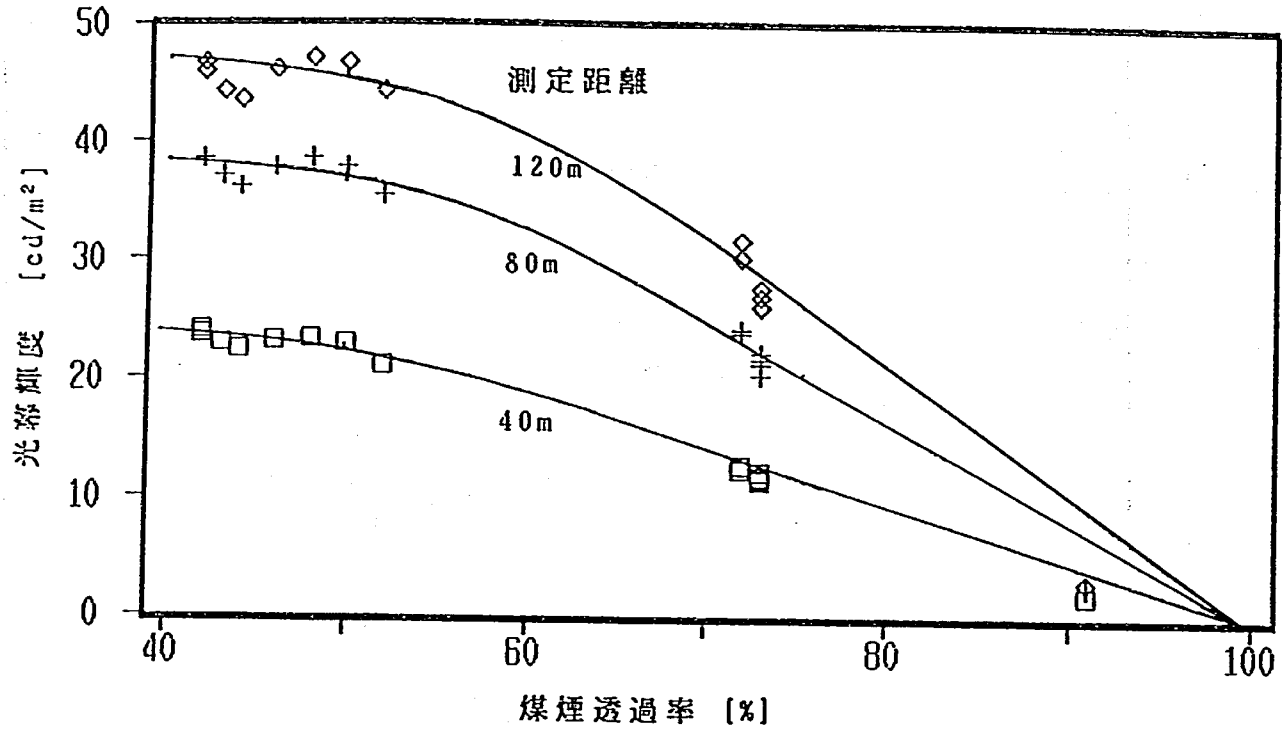
図－7.4　煤煙透過率と光幕輝度の関係

測定条件：カウンタービーム照明　順方向（南→北）



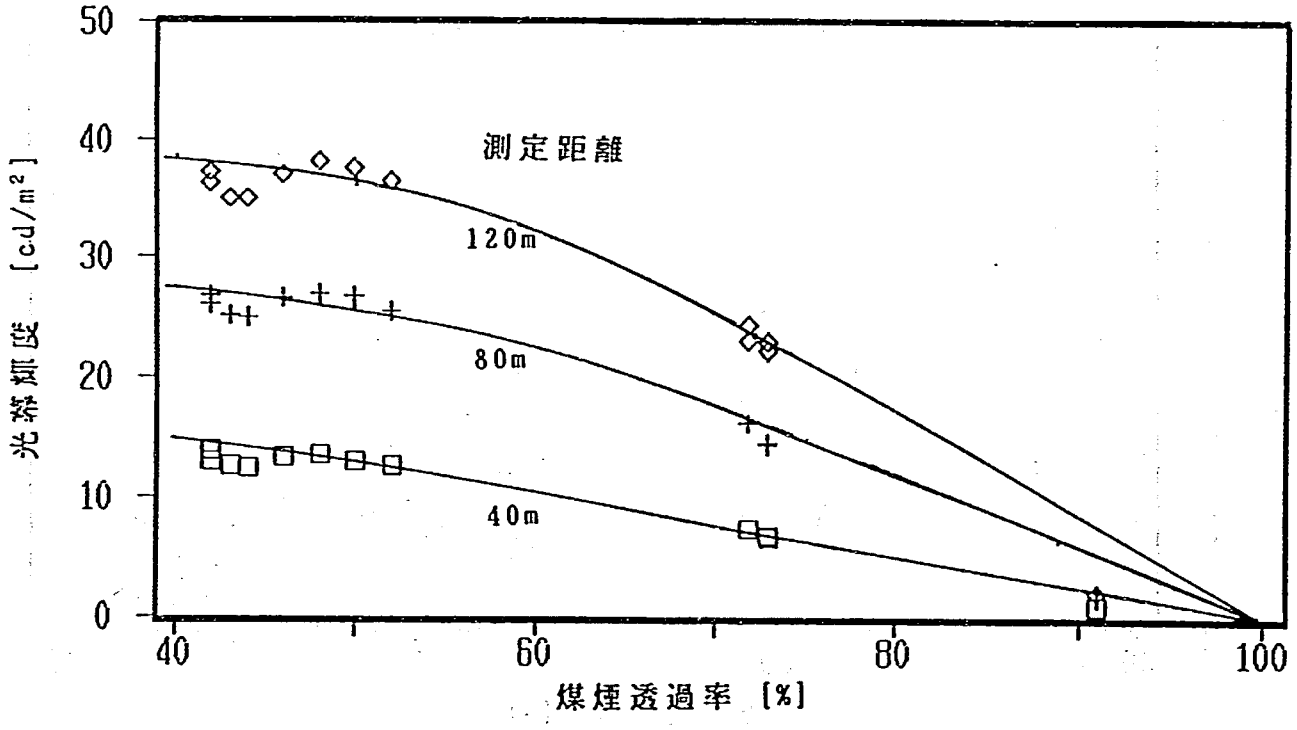
図－7.5　煤煙透過率と光幕輝度の関係

測定条件：カウンタービーム照明　逆方向（北→南）



図－７．６　煤煙透過率と光幕輝度の関係

測定条件：対称照明　順方向（南→北）



図－７．７　煤煙透過率と光幕輝度の関係

測定条件：対称照明　逆方向（北→南）

表－７．１６　光幕輝度測定光軸上の水平面照度

測定条件：ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明　順方向（南→北）

測定日：平成７年１０月３１日

位置 (m)	水平面照度 (lx)	位置 (m)	水平面照度 (lx)	位置 (m)	水平面照度 (lx)
0.0	977	40.0	702	80.0	861
2.5	1089	42.5	1018	82.5	901
5.0	1081	45.0	1011	85.0	887
7.5	895	47.5	869	87.5	714
10.0	1122	50.0	760	90.0	800
12.5	1262	52.5	907	92.5	767
15.0	1199	55.0	1119	95.0	741
17.5	1079	57.5	924	97.5	898
20.0	1142	60.0	851	100.0	752
22.5	1239	62.5	1099	102.5	707
25.0	1168	65.0	1073	105.0	837
27.5	1071	67.5	1006	107.5	578
30.0	1064	70.0	904	110.0	644
32.5	1114	72.5	1075	112.5	486
35.0	978	75.0	1197	115.0	654
37.5	773	77.5	988	117.5	511
40.0	702	80.0	861	120.0	554
平均	1056	平均	963	平均	723

表－７．１７　光幕輝度測定光軸上の水平面照度

測定条件：ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明　逆方向（北→南）

測定日：平成７年１０月３１日

位置 (m)	水平面照度 (lx)	位置 (m)	水平面照度 (lx)	位置 (m)	水平面照度 (lx)
0.0	988	40.0	752	80.0	914
2.5	1080	42.5	1030	82.5	918
5.0	1100	45.0	980	85.0	875
7.5	930	47.5	860	87.5	740
10.0	1160	50.0	767	90.0	820
12.5	1240	52.5	893	92.5	806
15.0	1190	55.0	1100	95.0	783
17.5	1100	57.5	926	97.5	900
20.0	1170	60.0	832	100.0	749
22.5	1220	62.5	1070	102.5	682
25.0	1240	65.0	1040	105.0	839
27.5	1140	67.5	985	107.5	582
30.0	1130	70.0	912	110.0	664
32.5	1140	72.5	1070	112.5	502
35.0	996	75.0	1200	115.0	653
37.5	808	77.5	1000	117.5	522
40.0	702	80.0	914	120.0	548
平均	1078	平均	961	平均	735

表－７．１８　光幕輝度測定光軸上の水平面照度

測定条件：対称照明　順方向（南→北）

測定日：平成７年１１月２日

位置 (m)	水平面照度 (lx)	位置 (m)	水平面照度 (lx)	位置 (m)	水平面照度 (lx)
0.0	1740	40.0	1860	80.0	1370
2.5	1820	42.5	1830	82.5	1470
5.0	1870	45.0	1770	85.0	1510
7.5	1800	47.5	1770	87.5	1340
10.0	1810	50.0	1780	90.0	1280
12.5	1890	52.5	1770	92.5	1380
15.0	1780	55.0	1830	95.0	1530
17.5	1760	57.5	1870	97.5	1470
20.0	1740	60.0	1850	100.0	1330
22.5	1770	62.5	1750	102.5	1220
25.0	1780	65.0	1590	105.0	1120
27.5	1900	67.5	1430	107.5	1030
30.0	1980	70.0	1340	110.0	890
32.5	2010	72.5	1340	112.5	1000
35.0	1930	75.0	1370	115.0	1010
37.5	1920	77.5	1360	117.5	1040
40.0	1860	80.0	1370	120.0	954
平均	1845	平均	1640	平均	1232

表－７．１９　光幕輝度測定光軸上の水平面照度

測定条件：対称照明　逆方向（北→南）

測定日：平成７年１１月２日

位置 (m)	水平面照度 (lx)	位置 (m)	水平面照度 (lx)	位置 (m)	水平面照度 (lx)
0.0	1600	40.0	1740	80.0	1240
2.5	1640	42.5	1700	82.5	1320
5.0	1730	45.0	1720	85.0	1330
7.5	1820	47.5	1630	87.5	1240
10.0	1850	50.0	1640	90.0	1210
12.5	1830	52.5	1640	92.5	1310
15.0	1700	55.0	1740	95.0	1410
17.5	1630	57.5	1840	97.5	1380
20.0	1610	60.0	1780	100.0	1250
22.5	1660	62.5	1650	102.5	1170
25.0	1710	65.0	1440	105.0	1060
27.5	1800	67.5	1290	107.5	980
30.0	1840	70.0	1210	110.0	826
32.5	1950	72.5	1260	112.5	980
35.0	1900	75.0	1250	115.0	977
37.5	1770	77.5	1210	117.5	1040
40.0	1740	80.0	1240	120.0	901
平均	1752	平均	1528	平均	1154

7．3．2　障害物の視認性実験（静止実験）結果

障害物の視認性実験（静止実験）におけるアンケート集計結果を表－7．20～表－7．27、図－7．8～図－7．21に示す。

（1）煤煙透過率ごとの結果

煤煙透過率ごとに障害物の視認性を見ると、障害物との距離が40mの場合、両照明方式でも評点の平均値は比較的高い値を示しているが、障害物の反射率が30%の場合、対称照明では煤煙透過率が低下することによる障害物の視認性の低下がカウンタービーム照明よりやや大きいことが分かる。また、障害物の提示位置が長くなるにしたがって両照明方式ともに視認性が低下する傾向にある。障害物の提示位置が120mの場合、各障害物の反射率で評点の平均値が若干ではあるがカウンタービーム照明の方が高い値を示している。全体的な傾向としては、障害物との距離が長くなるとともに、また、煤煙透過率が低下するとともに、評点の平均値も低下して行く傾向にある。

（2）障害物の反射率ごとの結果

カウンタービーム照明の場合、各照明レベルともに障害物の反射率に違いによる視認性への影響はほとんど見られないが、対称照明の場合、障害物の反射率による視認性への影響が顕著に現われ、反射率が最も低い12%が、同一の照明レベル、煤煙透過率で良い結果を得ている。

7．3．3　障害物の視認性実験（徒歩実験）結果

障害物の視認性実験（徒歩実験）における障害物の視認距離、確認距離の測定結果を表－7．28～表－7．31、図－7．22～図－7．25に示す。

（1）　視認距離

照明レベル100%～50%の、各煤煙透過率条件下において障害物は視認されており煤煙透過率の影響による視認性の低下は見られなかった。一方、照明レベル30%の場合カウンタービーム照明では煤煙透過率の影響による視認性の低下は見られなかったが、対称照明では障害物の提示位置が120mで多少ではあるが、煤煙透過率が低下することによる視認性の低下が現れている。

（2）　確認距離

各照明方式、照明レベルで障害物の提示位置が40m、80mの場合煤煙透過率の影響による確認距離への影響は見られないが、提示位置120mの場合煤煙透過率が低下するに従って確認距離も短くなっている。

照明方式の違いによる影響は、今回の実験ではほとんど見ることが出来なかった。

表－７．２０ 障害物の視認性実験（静止実験）のアンケート結果
（照明方式：ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、照明レベル：100%）

照明方式	煤煙透過率(%)	障害物の提示位置 観測者からの距離		評価内容 まったく見えない 1	かろうじて見えた 2	ふつうに見えた 3	よく見えた 4	非常によく見えた 5	合計人数	全体に占める割合(%) 1	2	3	4	5	合計	評点の平均値	評点の標準偏差値	備考
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ	40	40m	30%	0	0	2	8	2	12	0	0	17	67	17	100	4.00	0.58	
			20%	0	0	3	7	2	12	0	0	25	58	17	100	3.92	0.64	
			12%	0	0	3	7	2	12	0	0	25	58	17	100	3.92	0.64	
		80m	30%	0	3	9	0	0	12	0	25	75	0	0	100	2.75	0.43	
			20%	0	3	9	0	0	12	0	25	75	0	0	100	2.75	0.43	
			12%	0	3	9	0	0	12	0	25	75	0	0	100	2.75	0.43	
		120m	30%	1	11	0	0	0	12	8	92	0	0	0	100	1.92	0.28	
			20%	1	11	0	0	0	12	8	92	0	0	0	100	1.92	0.28	
			12%	1	11	0	0	0	12	8	92	0	0	0	100	1.92	0.28	
	50	40m	30%	0	0	3	7	2	12	0	0	25	58	17	100	3.92	0.64	
			20%	0	0	2	8	2	12	0	0	17	67	17	100	4.00	0.58	
			12%	0	0	3	7	2	12	0	0	25	58	17	100	3.92	0.64	
		80m	30%	0	3	8	1	0	12	0	25	67	8	0	100	2.83	0.55	
			20%	0	2	9	0	1	12	0	17	75	0	8	100	3.00	0.71	
			12%	0	2	9	1	0	12	0	17	75	8	0	100	2.92	0.49	
		120m	30%	0	12	0	0	0	12	0	100	0	0	0	100	2.00	0.00	
			20%	0	12	0	0	0	12	0	100	0	0	0	100	2.00	0.00	
			12%	0	11	1	0	0	12	0	92	8	0	0	100	2.08	0.28	
	75	40m	30%	0	0	3	6	3	12	0	0	25	50	25	100	4.00	0.71	
			20%	0	0	2	7	3	12	0	0	17	58	25	100	4.08	0.64	
			12%	0	0	3	6	3	12	0	0	25	50	25	100	4.00	0.47	
		80m	30%	0	0	11	1	0	12	0	0	92	8	0	100	3.08	0.28	
			20%	0	0	9	3	0	12	0	0	75	25	0	100	3.25	0.43	
			12%	0	0	10	2	0	12	0	0	83	17	0	100	3.17	0.37	
		120m	30%	0	10	2	0	0	12	0	83	17	0	0	100	2.17	0.37	
			20%	0	8	4	0	0	12	0	67	33	0	0	100	2.33	0.47	
			12%	0	9	3	0	0	12	0	75	25	0	0	100	2.25	0.43	
	100	40m	30%	0	0	1	5	6	12	0	0	8	42	50	100	4.42	0.64	
			20%	0	0	1	5	6	12	0	0	8	42	50	100	4.42	0.64	
			12%	0	0	1	5	6	12	0	0	8	42	50	100	4.42	0.64	
		80m	30%	0	0	4	6	2	12	0	0	33	50	17	100	3.83	0.69	
			20%	0	0	4	6	2	12	0	0	33	50	17	100	3.83	0.69	
			12%	0	0	4	6	2	12	0	0	33	50	17	100	3.83	0.69	
		120m	30%	0	2	8	2	0	12	0	17	67	17	0	100	3.00	0.47	
			20%	0	1	9	2	0	12	0	8	75	17	0	100	3.08	0.59	
			12%	0	3	7	2	0	12	0	25	58	17	0	100	2.92	0.58	

表－７．２１ 障害物の視認性実験（静止実験）のアンケート結果
（照明方式：ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、照明レベル：80%）

照明方式	煤煙透過率(%)	障害物の提示位置 観測者からの距離		評価内容 まったく見えない 1	かろうじて見えた 2	ふつうに見えた 3	よく見えた 4	非常によく見えた 5	合計人数	全体に占める割合(%) 1	2	3	4	5	合計	評点の平均値	評点の標準偏差値	備考
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ	40	40m	30%	0	0	4	6	2	12	0	0	33	50	17	100	3.83	0.69	
			20%	0	0	4	6	2	12	0	0	33	50	17	100	3.83	0.69	
			12%	0	0	4	6	2	12	0	0	33	50	17	100	3.83	0.69	
		80m	30%	0	3	9	0	0	12	0	25	75	0	0	100	2.75	0.43	
			20%	0	3	9	0	0	12	0	25	75	0	0	100	2.75	0.43	
			12%	0	4	8	0	0	12	0	33	67	0	0	100	2.67	0.47	
		120m	30%	0	12	0	0	0	12	0	100	0	0	0	100	2.00	0.00	
			20%	0	12	0	0	0	12	0	100	0	0	0	100	2.00	0.00	
			12%	1	11	0	0	0	12	8	92	0	0	0	100	1.92	0.23	
	50	40m	30%	0	0	3	7	2	12	0	0	25	58	17	100	3.92	0.64	
			20%	0	0	3	7	2	12	0	0	25	58	17	100	3.92	0.64	
			12%	0	0	5	5	2	12	0	0	42	42	17	100	3.75	0.72	
		80m	30%	0	3	8	0	1	12	0	25	67	0	8	100	2.92	0.76	
			20%	0	3	8	0	1	12	0	25	67	0	8	100	2.92	0.76	
			12%	0	5	6	1	0	12	0	42	50	8	0	100	2.67	0.62	
		120m	30%	0	12	0	0	0	12	0	100	0	0	0	100	2.00	0.00	
			20%	0	12	0	0	0	12	0	100	0	0	0	100	2.00	0.00	
			12%	0	12	0	0	0	12	0	100	0	0	0	100	2.00	0.00	
	75	40m	30%	0	0	3	6	3	12	0	0	25	50	25	100	4.00	0.71	
			20%	0	0	3	6	3	12	0	0	25	50	25	100	4.00	0.71	
			12%	0	0	3	6	3	12	0	0	25	50	25	100	4.00	0.71	
		80m	30%	0	0	8	4	0	12	0	0	67	33	0	100	3.33	0.47	
			20%	0	0	7	5	0	12	0	0	58	42	0	100	3.42	0.49	
			12%	0	0	8	4	0	12	0	0	67	33	0	100	3.33	0.47	
		120m	30%	0	10	2	0	0	12	0	83	17	0	0	100	2.17	0.37	
			20%	0	9	3	0	0	12	0	75	25	0	0	100	2.25	0.43	
			12%	0	8	4	0	0	12	0	67	33	0	0	100	2.33	0.47	
	100	40m	30%	0	0	1	5	6	12	0	0	8	42	50	100	4.42	0.64	
			20%	0	0	1	5	6	12	0	0	8	42	50	100	4.42	0.64	
			12%	0	0	1	5	6	12	0	0	8	42	50	100	4.42	0.64	
		80m	30%	0	0	4	6	2	12	0	0	33	50	17	100	3.83	0.69	
			20%	0	0	4	6	2	12	0	0	33	50	17	100	3.83	0.69	
			12%	0	0	4	6	2	12	0	0	33	50	17	100	3.83	0.69	
		120m	30%	0	2	8	2	0	12	0	17	67	17	0	100	3.00	0.58	
			20%	0	2	8	2	0	12	0	17	67	17	0	100	3.00	0.58	
			12%	0	4	6	2	0	12	0	33	50	17	0	100	2.83	0.69	

表－７．２２ 障害物の視認性実験（静止実験）のアンケート結果
（照明方式：ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、照明レベル：50%）

照明方式	煤煙透過率(%)	障害物の提示位置 観測者からの距離		評価 まったく見えない 1	かろうじて見えた 2	ふつうに見えた 3	よく見えた 4	非常によく見えた 5	合計人数	全体に占める割合(%) 1	2	3	4	5	合計	評点の平均値	評点の標準偏差値	備考
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ	40	40m	30%	0	0	5	6	1	12	0	0	42	50	8	100	3.67	0.62	
			20%	0	0	5	6	1	12	0	0	42	50	8	100	3.67	0.62	
			12%	0	0	5	6	1	12	0	0	42	50	8	100	3.67	0.62	
		80m	30%	0	5	7	0	0	12	0	42	58	0	0	100	2.58	0.49	
			20%	0	5	7	0	0	12	0	42	58	0	0	100	2.58	0.49	
			12%	0	7	5	0	0	12	0	58	42	0	0	100	2.42	0.49	
		120m	30%	1	11	0	0	0	12	8	92	0	0	0	100	1.92	0.28	
			20%	3	9	0	0	0	12	25	75	0	0	0	100	1.75	0.43	
			12%	5	7	0	0	0	12	42	58	0	0	0	100	1.58	0.49	
	50	40m	30%	0	0	3	8	1	12	0	0	25	67	8	100	3.83	0.55	
			20%	0	0	4	7	1	12	0	0	33	58	8	100	3.75	0.60	
			12%	0	0	5	6	1	12	0	0	42	50	8	100	3.67	0.62	
		80m	30%	0	3	8	0	1	12	0	25	67	0	8	100	2.92	0.76	
			20%	0	3	8	0	1	12	0	25	67	0	8	100	2.92	0.76	
			12%	0	5	6	0	1	12	0	42	50	0	8	100	2.75	1.92	
		120m	30%	0	12	0	0	0	12	0	100	0	0	0	100	2.00	0.00	
			20%	0	12	0	0	0	12	0	100	0	0	0	100	2.00	0.00	
			12%	1	11	0	0	0	12	8	92	0	0	0	100	1.92	0.28	
	75	40m	30%	0	0	3	6	3	12	0	0	25	50	25	100	4.00	0.71	
			20%	0	0	3	6	3	12	0	0	25	50	25	100	4.00	0.71	
			12%	0	0	3	6	3	12	0	0	25	50	25	100	4.00	0.71	
		80m	30%	0	1	8	3	0	12	0	8	67	25	0	100	3.17	0.55	
			20%	0	1	7	4	0	12	0	8	58	33	0	100	3.25	0.60	
			12%	0	1	7	4	0	12	0	8	58	33	0	100	3.25	0.60	
		120m	30%	0	12	0	0	0	12	0	100	0	0	0	100	2.00	0.00	
			20%	0	9	3	0	0	12	0	75	25	0	0	100	2.25	0.43	
			12%	0	9	3	0	0	12	0	75	25	0	0	100	2.25	0.43	
	100	40m	30%	0	0	1	5	6	12	0	0	8	42	50	100	4.42	0.58	
			20%	0	0	1	5	1	7	0	0	8	42	8	58	4.00	0.96	
			12%	0	0	1	5	1	7	0	0	8	42	8	58	4.00	0.96	
		80m	30%	0	0	6	4	2	12	0	0	50	33	17	100	3.67	0.95	
			20%	0	0	6	4	2	12	0	0	50	33	17	100	3.67	0.95	
			12%	0	0	6	4	2	12	0	0	50	33	17	100	3.67	0.95	
		120m	30%	0	3	7	2	0	12	0	25	58	17	0	100	2.92	0.96	
			20%	0	3	7	2	0	12	0	25	58	17	0	100	2.92	0.97	
			12%	0	4	6	2	0	12	0	33	50	17	0	100	2.83	0.93	

表－７．２３ 障害物の視認性実験（静止実験）のアンケート結果
（照明方式：ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、照明レベル：30%）

照明方式	煤煙透過率(%)	障害物の提示位置 観測者からの距離		評価 まったく見えない 1	かろうじて見えた 2	ふつうに見えた 3	よく見えた 4	非常によく見えた 5	合計人数	全体に占める割合(%) 1	2	3	4	5	合計	評点の平均値	評点の標準偏差値	備考
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ	40	40m	30%	0	0	6	5	1	12	0	0	50	42	8	100	3.58	0.64	
			20%	0	0	6	5	1	12	0	0	50	42	8	100	3.58	0.64	
			12%	0	0	6	5	1	12	0	0	50	42	8	100	3.58	0.64	
		80m	30%	0	5	7	0	0	12	0	42	58	0	0	100	2.58	0.49	
			20%	0	5	7	0	0	12	0	42	58	0	0	100	2.58	0.49	
			12%	0	7	5	0	0	12	0	58	42	0	0	100	2.42	0.49	
		120m	30%	3	9	0	0	0	12	25	75	0	0	0	100	1.75	0.43	
			20%	5	7	0	0	0	12	42	58	0	0	0	100	1.58	0.49	
			12%	7	5	0	0	0	12	58	42	0	0	0	100	1.42	0.49	
	75	40m	30%	0	0	3	6	3	12	0	0	25	50	25	100	4.00	0.71	
			20%	0	0	3	6	3	12	0	0	25	50	25	100	4.00	0.71	
			12%	0	0	3	6	3	12	0	0	25	50	25	100	4.00	0.71	
		80m	30%	0	0	10	1	1	12	0	0	83	8	8	100	3.25	0.60	
			20%	0	0	10	1	1	12	0	0	83	8	8	100	3.25	0.60	
			12%	0	0	10	1	1	12	0	0	83	8	8	100	3.25	0.60	
		120m	30%	0	11	1	0	0	12	0	92	8	0	0	100	2.08	0.28	
			20%	0	11	1	0	0	12	0	92	8	0	0	100	2.08	0.28	
			12%	0	10	2	0	0	12	0	83	17	0	0	100	2.17	0.37	
	100	40m	30%	0	0	3	5	4	12	0	0	25	42	33	100	4.08	0.76	
			20%	0	0	3	5	4	12	0	0	25	42	33	100	4.08	0.76	
			12%	0	0	4	4	4	12	0	0	33	33	33	100	4.00	0.47	
		80m	30%	0	0	7	4	1	12	0	0	58	33	8	100	3.50	0.65	
			20%	0	0	7	4	1	12	0	0	58	33	8	100	3.50	0.65	
			12%	0	0	7	4	1	12	0	0	58	33	8	100	3.50	0.65	
		120m	30%	0	4	7	1	0	12	0	33	58	8	0	100	2.75	0.60	
			20%	0	4	7	1	0	12	0	33	58	8	0	100	2.75	0.60	
			12%	0	5	6	1	0	12	0	42	50	8	0	100	2.67	0.52	

表－7.24 障害物の視認性実験（静止実験）のアンケート結果（照明方式：対称照明、照明レベル：100%）

照明方式	煤煙透過率(%)	障害物の提示位置 観測者からの距離		評価内容 まったく見えない 1	かろうじて見えた 2	ふつうに見えた 3	よく見えた 4	非常によく見えた 5	合計人数	全体に占める割合(%) 1	2	3	4	5	合計	評点の平均値	評点の標準偏差値
対称照明	40	40m	30%	0	0	9	1	2	12	0	0	75	8	17	100	3.42	0.76
			20%	0	0	2	6	4	12	0	0	17	50	33	100	4.17	0.69
			12%	0	0	1	4	7	12	0	0	8	33	58	100	4.50	0.65
		80m	30%	2	8	2	0	0	12	17	67	17	0	0	100	2.00	0.58
			20%	0	4	6	2	0	12	0	33	50	17	0	100	2.83	0.69
			12%	0	2	6	4	0	12	0	17	50	33	0	100	3.17	0.69
		120m	30%	8	4	0	0	0	12	67	33	0	0	0	100	1.33	0.47
			20%	2	10	0	0	0	12	17	83	0	0	0	100	1.83	0.37
			12%	1	10	1	0	0	12	8	83	8	0	0	99	2.00	0.41
	50	40m	30%	0	0	8	2	2	12	0	0	67	17	17	100	3.50	0.76
			20%	0	0	1	8	3	12	0	0	8	67	25	100	4.17	0.55
			12%	0	0	0	5	7	12	0	0	0	42	58	100	4.58	0.49
		80m	30%	1	8	2	1	0	12	8	67	17	8	0	99	2.25	0.72
			20%	0	2	7	2	1	12	0	17	58	17	8	100	3.17	0.80
			12%	0	1	6	3	2	12	0	8	50	25	17	100	3.50	0.87
		120m	30%	7	5	0	0	0	12	58	42	0	0	0	100	1.42	0.49
			20%	1	10	1	0	0	12	8	83	8	0	0	99	2.00	0.41
			12%	0	7	5	0	0	12	0	58	42	0	0	100	2.42	0.49
	75	40m	30%	0	0	3	6	3	12	0	0	25	50	25	100	4.00	0.71
			20%	0	0	0	4	8	12	0	0	0	33	67	100	4.67	0.71
			12%	0	0	0	2	10	12	0	0	0	17	83	100	4.83	0.47
		80m	30%	0	6	6	0	0	12	0	50	50	0	0	100	2.50	0.37
			20%	0	1	6	5	0	12	0	8	50	42	0	100	3.33	0.50
			12%	0	0	4	7	1	12	0	0	33	58	8	100	3.75	0.60
		120m	30%	4	8	0	0	0	12	33	67	0	0	0	100	1.67	0.47
			20%	1	5	6	0	0	12	8	42	50	0	0	100	2.42	0.64
			12%	0	3	9	0	0	12	0	25	75	0	0	100	2.75	0.64
	100	40m	30%	0	0	0	6	6	12	0	0	0	50	50	100	4.50	0.43
			20%	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.50
			12%	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00
		80m	30%	0	1	6	4	1	12	0	8	50	33	8	99	3.42	0.00
			20%	0	0	3	4	5	12	0	0	25	33	42	100	4.17	0.76
			12%	0	0	1	3	8	12	0	0	8	25	67	100	4.58	0.80
		120m	30%	3	7	2	0	0	12	25	58	17	0	0	100	1.92	0.64
			20%	0	5	6	1	0	12	0	42	50	8	0	100	2.67	0.62
			12%	0	3	6	3	0	12	0	25	50	25	0	100	3.00	0.71

表－7.25 障害物の視認性実験（静止実験）のアンケート結果（照明方式：対称照明、照明レベル：80%）

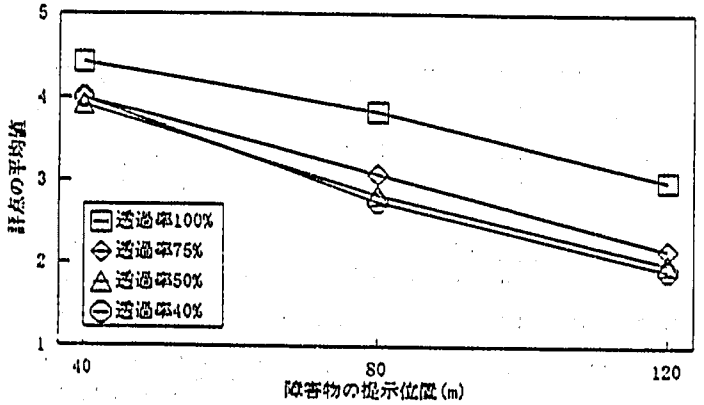
照明方式	煤煙透過率(%)	障害物の提示位置 観測者からの距離		評価内容 まったく見えない 1	かろうじて見えた 2	ふつうに見えた 3	よく見えた 4	非常によく見えた 5	合計人数	全体に占める割合(%) 1	2	3	4	5	合計	評点の平均値	評点の標準偏差値
対称照明	40	40m	30%	0	0	9	0	3	12	0	0	75	0	25	100	3.50	0.87
			20%	0	0	2	7	3	12	0	0	17	58	25	100	4.08	0.64
			12%	0	0	1	4	7	12	0	0	8	33	58	100	4.50	0.65
		80m	30%	3	7	2	0	0	12	25	58	17	0	0	100	1.92	0.64
			20%	1	3	6	2	0	12	8	25	50	17	0	100	2.75	0.83
			12%	0	2	6	4	0	12	0	17	50	33	0	100	3.17	0.69
		120m	30%	11	1	0	0	0	12	92	8	0	0	0	100	1.08	0.28
			20%	3	9	0	0	0	12	25	75	0	0	0	100	1.75	0.43
			12%	2	10	0	0	0	12	17	83	0	0	0	100	1.83	0.37
	50	40m	30%	0	0	9	1	2	12	0	0	75	8	17	100	3.42	0.76
			20%	0	0	1	9	2	12	0	0	8	75	17	100	4.08	0.49
			12%	0	0	0	5	7	12	0	0	0	42	58	100	4.58	0.49
		80m	30%	1	9	2	0	0	12	8	75	17	0	0	100	2.08	0.49
			20%	0	2	7	3	0	12	0	17	58	25	0	100	3.08	0.64
			12%	0	1	6	4	1	12	0	8	50	33	8	100	3.42	0.76
		120m	30%	7	5	0	0	0	12	58	42	0	0	0	100	1.42	0.49
			20%	2	9	1	0	0	12	17	75	8	0	0	100	1.92	0.49
			12%	1	6	5	0	0	12	8	50	42	0	0	100	2.33	0.62
	75	40m	30%	0	0	3	6	3	12	0	0	25	50	25	100	4.00	0.71
			20%	0	0	0	4	8	12	0	0	0	33	67	100	4.67	0.47
			12%	0	0	0	2	10	12	0	0	0	17	83	100	4.83	0.37
		80m	30%	1	6	5	0	0	12	8	50	42	0	0	100	2.33	0.62
			20%	0	1	5	6	0	12	0	8	42	50	0	100	3.42	0.64
			12%	0	1	3	7	1	12	0	8	25	58	8	100	3.67	0.75
		120m	30%	4	8	0	0	0	12	33	67	0	0	0	100	1.67	0.47
			20%	1	6	5	0	0	12	8	50	42	0	0	100	2.33	0.62
			12%	0	5	7	0	0	12	0	42	58	0	0	100	2.58	0.49
	100	40m	30%	0	0	0	6	6	12	0	0	0	50	50	100	4.50	0.50
			20%	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00
			12%	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	100	100	5.00	0.00
		80m	30%	0	3	4	4	1	12	0	25	33	33	8	100	3.25	0.92
			20%	0	0	3	4	5	12	0	0	25	33	42	100	4.17	0.80
			12%	0	0	1	3	8	12	0	0	8	25	67	100	4.58	0.64
		120m	30%	4	6	2	0	0	12	33	50	17	0	0	100	1.83	0.69
			20%	1	4	6	1	0	12	8	33	50	8	0	100	2.58	0.76
			12%	0	4	5	3	0	12	0	33	42	25	0	100	2.92	0.76

表－７．２６ 障害物の視認性実験（静止実験）のアンケート結果
（照明方式：対称照明、照明レベル：50%）

照明方式	煙濃度透過率(%)	障害物の提示位置 観測者からの距離		評価内容 まったく見えない 1	かろうじて見えた 2	ふつうに見えた 3	よく見えた 4	非常によく見えた 5	合計人数	全体に占める割合(%) 1	2	3	4	5	合計	評点の平均値	評点の標準偏差値
対称照明	40	40m	30%	0	0	9	0	3	12	0	0	75	0	25	100	3.50	0.87
			20%	0	0	2	7	3	12	0	0	17	58	25	100	4.08	0.64
			12%	0	0	1	4	7	12	0	0	8	33	58	100	4.50	0.65
		80m	30%	3	7	2	0	0	12	25	58	17	0	0	100	1.92	0.64
			20%	1	3	6	2	0	12	8	25	50	17	0	100	2.75	0.83
			12%	0	2	6	4	0	12	0	17	50	33	0	100	3.17	0.69
		120m	30%	11	1	0	0	0	12	92	8	0	0	0	100	1.08	0.28
			20%	3	9	0	0	0	12	25	75	0	0	0	100	1.75	0.43
			12%	2	10	0	0	0	12	17	83	0	0	0	100	1.83	0.37
	50	40m	30%	0	1	8	1	2	12	0	8	67	8	17	100	3.33	0.85
			20%	0	0	2	8	2	12	0	0	17	67	17	100	4.00	0.58
			12%	0	0	0	6	6	12	0	0	0	50	50	100	4.50	0.50
		80m	30%	1	10	0	1	0	12	8	83	0	8	0	100	2.08	0.64
			20%	0	4	7	1	0	12	0	33	58	8	0	100	2.75	0.60
			12%	0	1	8	2	1	12	0	8	67	17	8	100	3.25	0.72
		120m	30%	11	1	0	0	0	12	92	8	0	0	0	100	1.08	0.28
			20%	3	9	0	0	0	12	25	75	0	0	0	100	1.75	0.43
			12%	2	9	1	0	0	12	17	75	8	0	0	100	1.92	0.49
	75	40m	30%	0	0	7	2	3	12	0	0	58	17	25	100	3.67	0.85
			20%	0	0	0	6	6	12	0	0	0	50	50	100	4.50	0.50
			12%	0	0	0	3	9	12	0	0	0	25	75	100	4.75	0.43
		80m	30%	1	7	4	0	0	12	8	58	33	0	0	100	2.25	0.60
			20%	0	1	6	5	0	12	0	8	50	42	0	100	3.33	0.62
			12%	0	1	4	6	1	12	0	8	33	50	8	100	3.58	0.76
		120m	30%	5	7	0	0	0	12	42	58	0	0	0	100	1.58	0.49
			20%	1	8	3	0	0	12	8	67	25	0	0	100	2.17	0.55
			12%	0	7	5	0	0	12	0	58	42	0	0	100	2.42	0.49
	100	40m	30%	0	0	2	5	5	12	0	0	17	42	42	100	4.25	0.72
			20%	0	0	0	3	9	12	0	0	0	25	75	100	4.75	0.43
			12%	0	0	0	1	11	12	0	0	0	8	92	100	4.92	0.28
		80m	30%	0	3	5	3	1	12	0	25	42	25	8	100	3.17	0.90
			20%	0	0	5	3	4	12	0	0	42	25	33	100	3.92	0.86
			12%	0	0	3	3	6	12	0	0	25	25	50	100	4.25	0.83
		120m	30%	4	6	2	0	0	12	33	50	17	0	0	100	1.83	0.69
			20%	1	4	6	1	0	12	8	33	50	8	0	100	2.58	0.76
			12%	1	3	5	3	0	12	8	25	42	25	0	100	2.83	0.90

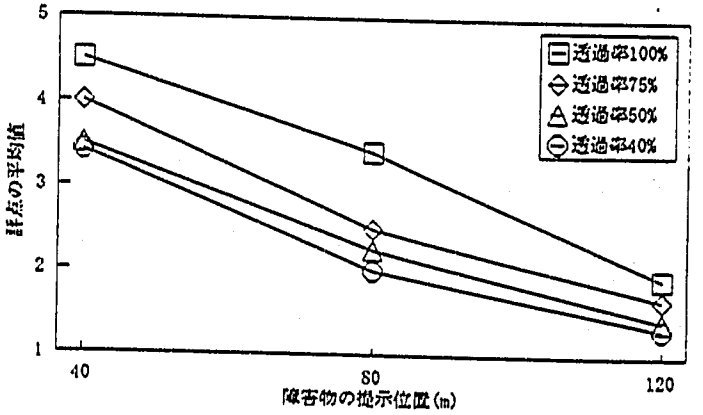
表－７．２７ 障害物の視認性実験（静止実験）のアンケート結果
（照明方式：対称照明、照明レベル：30%）

照明方式	煙濃度透過率(%)	障害物の提示位置 観測者からの距離		評価内容 まったく見えない 1	かろうじて見えた 2	ふつうに見えた 3	よく見えた 4	非常によく見えた 5	合計人数	全体に占める割合(%) 1	2	3	4	5	合計	評点の平均値	評点の標準偏差値
対称照明	40	40m	30%	0	2	7	0	3	12	0	17	58	0	25	100	3.33	1.03
			20%	0	0	5	4	3	12	0	0	42	33	25	100	3.83	0.80
			12%	0	0	2	4	6	12	0	0	17	33	50	100	4.33	0.75
		80m	30%	3	8	1	0	0	12	25	67	8	0	0	100	1.83	0.55
			20%	1	6	5	0	0	12	8	50	42	0	0	100	2.33	0.62
			12%	1	3	6	2	0	12	8	25	50	17	0	100	2.75	0.83
		120m	30%	11	0	0	0	0	11	92	0	0	0	0	92	1.00	0.00
			20%	8	4	0	0	0	12	67	33	0	0	0	100	1.33	0.47
			12%	5	7	0	0	0	12	42	58	0	0	0	100	1.58	0.49
	50	40m	30%	0	2	7	2	1	12	0	17	58	17	8	100	3.17	0.80
			20%	0	0	3	7	2	12	0	0	25	58	17	100	3.92	0.64
			12%	0	0	1	6	5	12	0	0	8	50	42	100	4.33	0.62
		80m	30%	2	10	0	0	0	12	17	83	0	0	0	100	1.83	0.37
			20%	0	5	7	0	0	12	0	42	58	0	0	100	2.55	0.49
			12%	0	2	9	1	0	12	0	17	75	8	0	100	2.92	0.49
		120m	30%	10	1	0	0	0	11	83	8	0	0	0	92	1.09	0.29
			20%	6	6	0	0	0	12	50	50	0	0	0	100	1.50	0.50
			12%	2	10	0	0	0	12	17	83	0	0	0	100	1.83	0.37
	75	40m	30%	0	1	8	2	1	12	0	8	67	17	8	100	3.25	0.72
			20%	0	0	1	8	3	12	0	0	8	67	25	100	4.17	0.55
			12%	0	0	0	6	6	12	0	0	0	50	50	100	4.50	0.50
		80m	30%	1	8	3	0	0	12	8	67	25	0	0	100	2.17	0.55
			20%	0	1	8	3	0	12	0	8	67	25	0	100	3.17	0.55
			12%	0	1	5	5	1	12	0	8	42	42	8	100	3.50	0.76
		120m	30%	8	3	0	0	0	11	67	25	0	0	0	92	1.27	0.55
			20%	1	8	3	0	0	12	8	67	25	0	0	100	2.17	0.55
			12%	1	7	4	0	0	12	8	58	33	0	0	100	2.25	0.60
	100	40m	30%	0	0	3	5	4	12	0	0	25	42	33	100	4.08	0.76
			20%	0	0	0	4	8	12	0	0	0	33	67	100	4.67	0.47
			12%	0	0	0	3	9	12	0	0	0	25	75	100	4.75	0.43
		80m	30%	0	5	5	1	1	12	0	42	42	8	8	100	2.83	0.90
			20%	0	2	4	4	2	12	0	17	33	33	17	100	3.50	0.96
			12%	0	0	4	5	3	12	0	0	33	42	25	100	3.92	0.76
		120m	30%	4	8	0	0	0	12	33	67	0	0	0	100	1.67	0.47
			20%	2	3	7	0	0	12	17	25	58	0	0	100	2.42	0.76
			12%	1	3	6	2	0	12	8	25	50	17	0	100	2.75	0.83

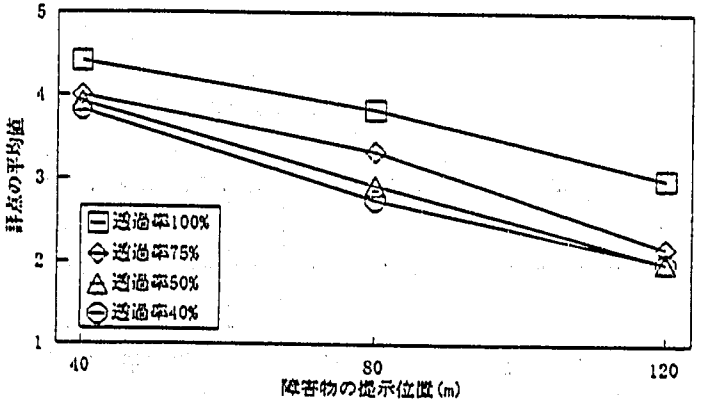


照明方式：カウンターヒ゛ーム照明
照明レヘ゛ル：100%

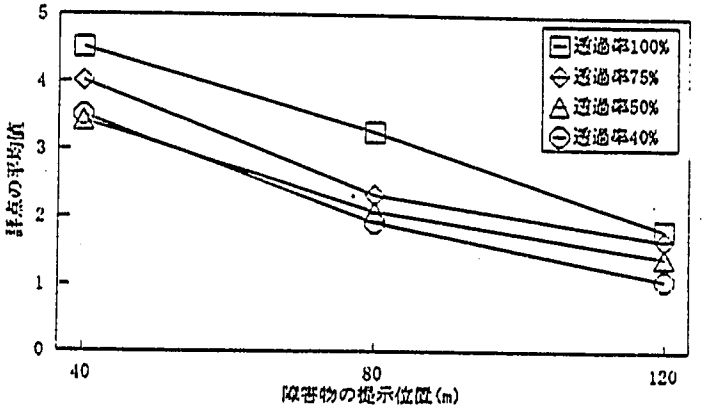
評点	評価内容
1	まったく見えない
2	かろうじて見えた
3	ふつうに見えた
4	よく見えた
5	非常に良く見えた



照明方式：対称照明
照明レヘ゛ル：100%



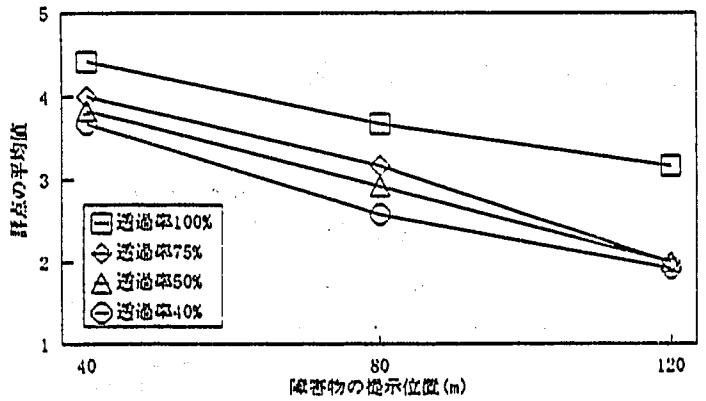
照明方式：カウンターヒ゛ーム照明
照明レヘ゛ル：80%



照明方式：対称照明
照明レヘ゛ル：80%

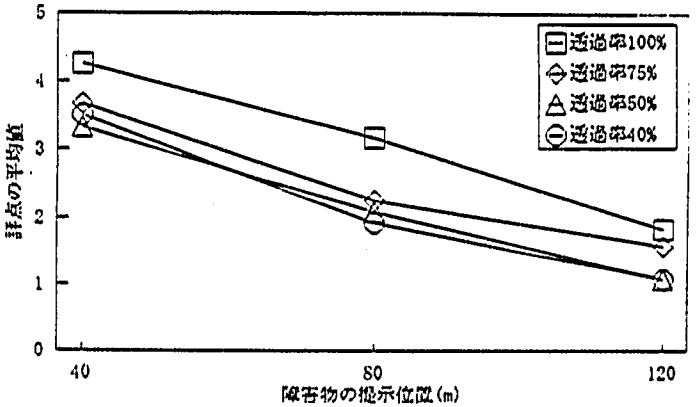
図－7.8　障害物の提示位置と評点の平均値の関係

障害物反射率：30%

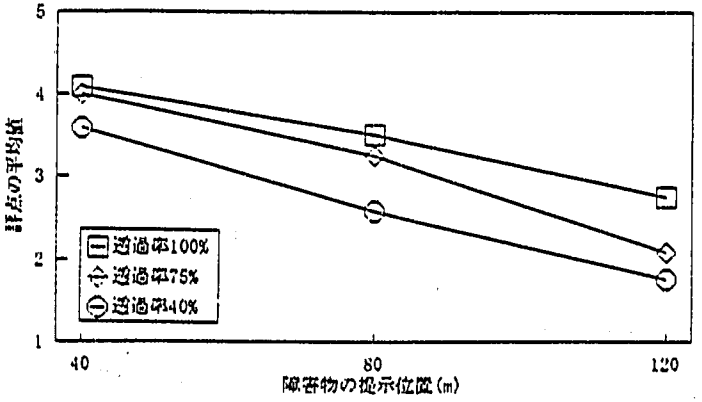


照明方式：カウンターﾋﾞｰﾑ照明
照明ﾚﾍﾞﾙ：50%

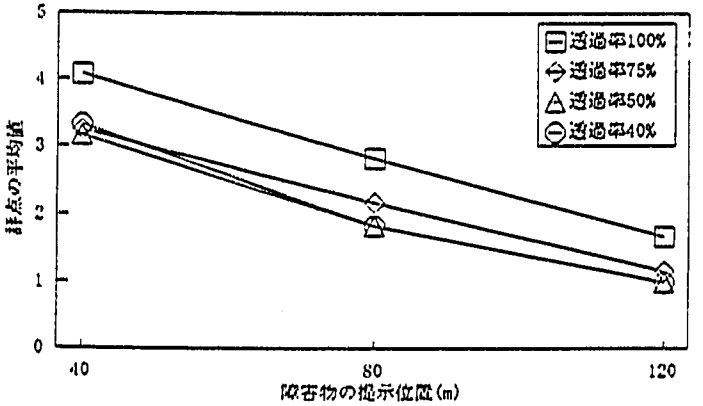
評点	評価内容
1	まったく見えない
2	かろうじて見えた
3	ふつうに見えた
4	よく見えた
5	非常に良く見えた



照明方式：対称照明
照明ﾚﾍﾞﾙ：50%



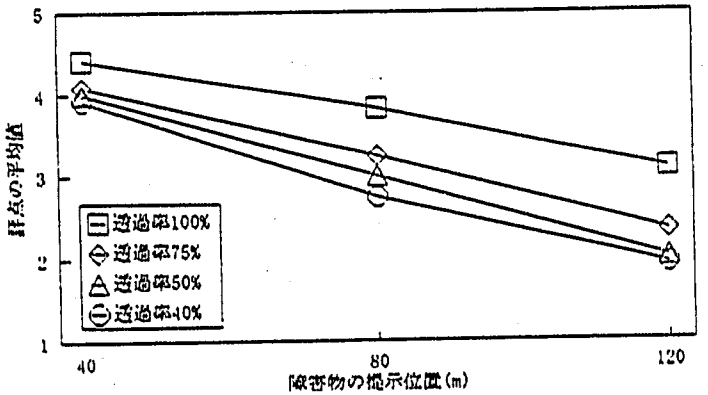
照明方式：カウンターﾋﾞｰﾑ照明
照明ﾚﾍﾞﾙ：30%



照明方式：対称照明
照明ﾚﾍﾞﾙ：30%

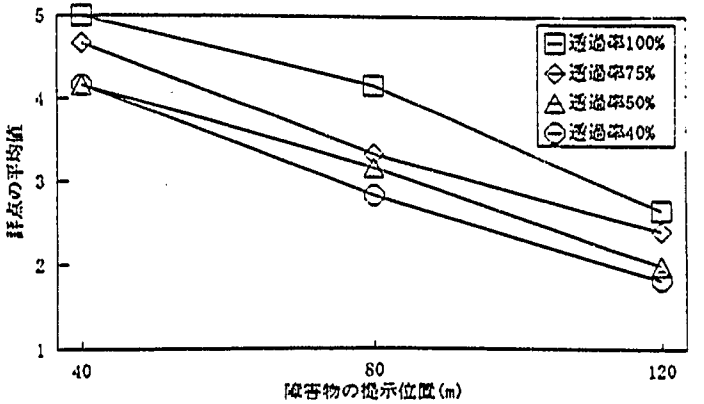
図－7.9　障害物の提示位置と評点の平均値の関係

障害物反射率：30%

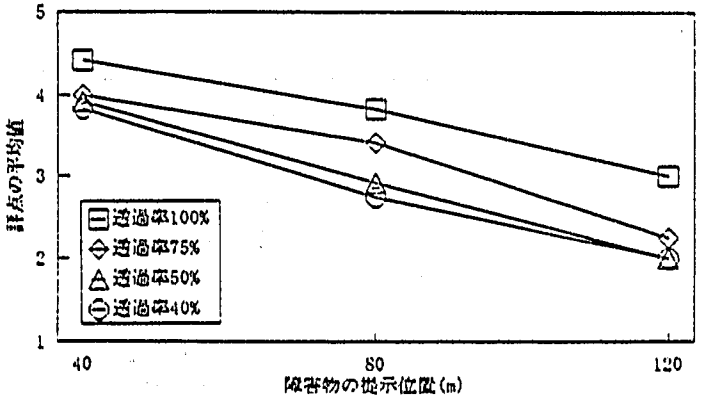


照明方式：カウンターﾋﾞｰﾑ照明
照明ﾚﾍﾞﾙ：100%

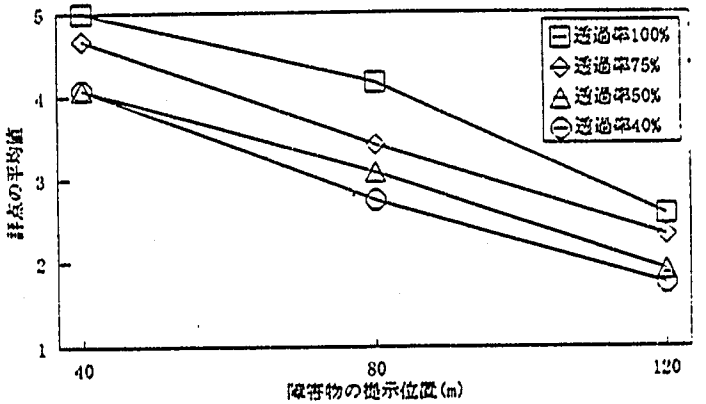
評点	評価内容
1	まったく見えない
2	かろうじて見えた
3	ふつうに見えた
4	よく見えた
5	非常に良く見えた



照明方式：対称照明
照明ﾚﾍﾞﾙ：100%



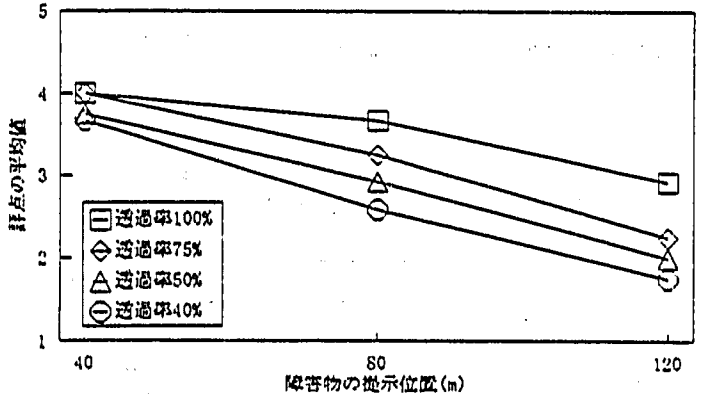
照明方式：カウンターﾋﾞｰﾑ照明
照明ﾚﾍﾞﾙ：80%



照明方式：対称照明
照明ﾚﾍﾞﾙ：80%

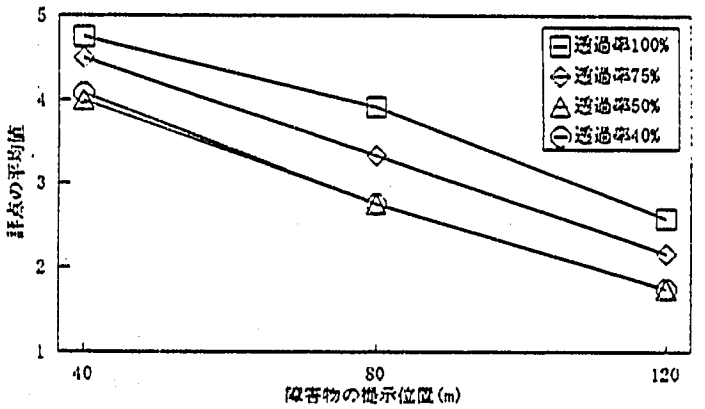
図－7.10　障害物の提示位置と評点の平均値の関係

障害物反射率：20%

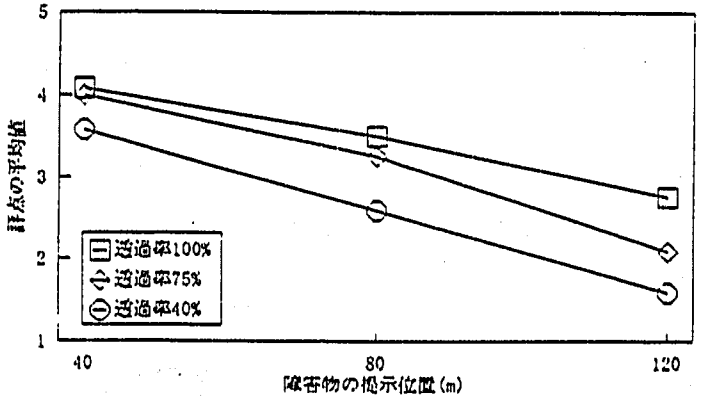


照明方式：カウンタービーム照明
照明レベル：50%

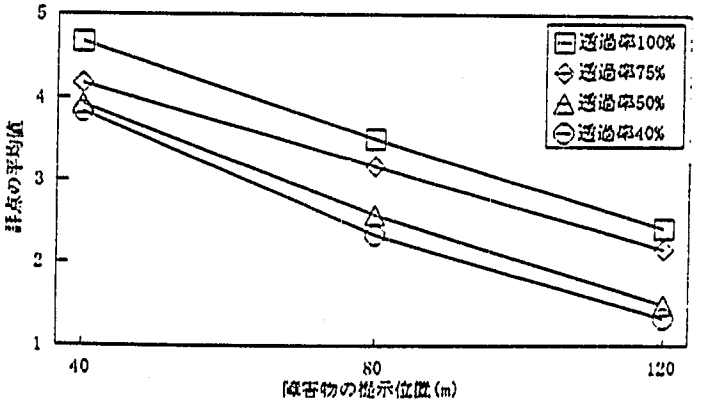
評点	評価内容
1	まったく見えない
2	かろうじて見えた
3	ふつうに見えた
4	よく見えた
5	非常に良く見えた



照明方式：対称照明
照明レベル：50%

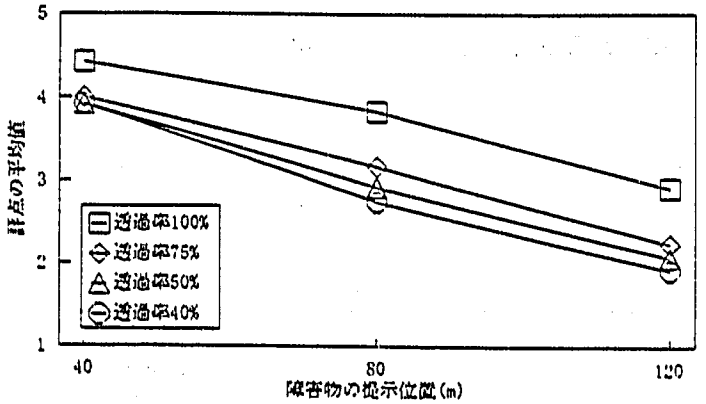


照明方式：カウンタービーム照明
照明レベル：30%



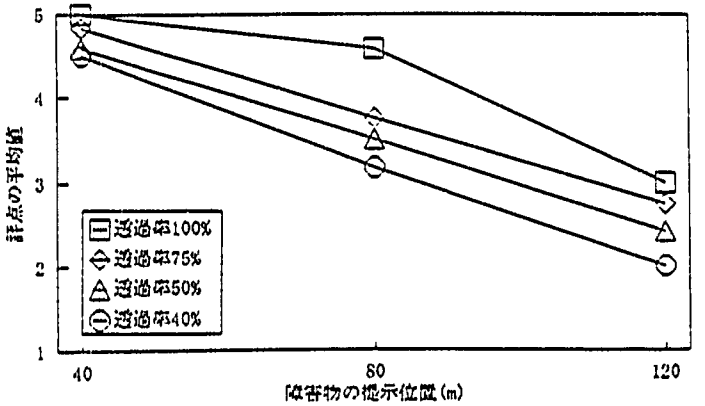
照明方式：対称照明
照明レベル：30%

図－7.11　障害物の提示位置と評点の平均値の関係
障害物反射率：20%

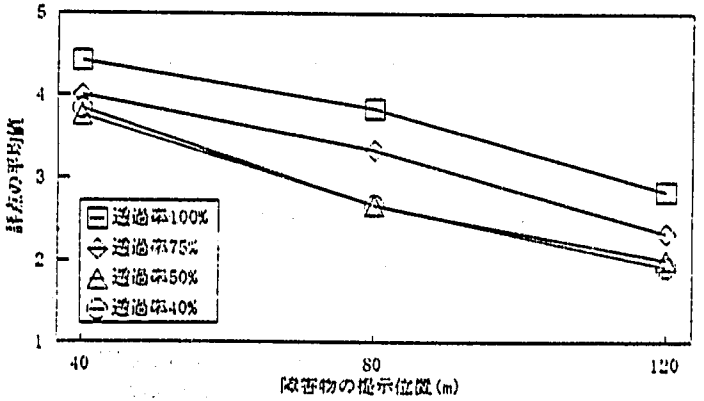


照明方式：カウンターﾋﾞｰﾑ照明
照明ﾚﾍﾞﾙ：100%

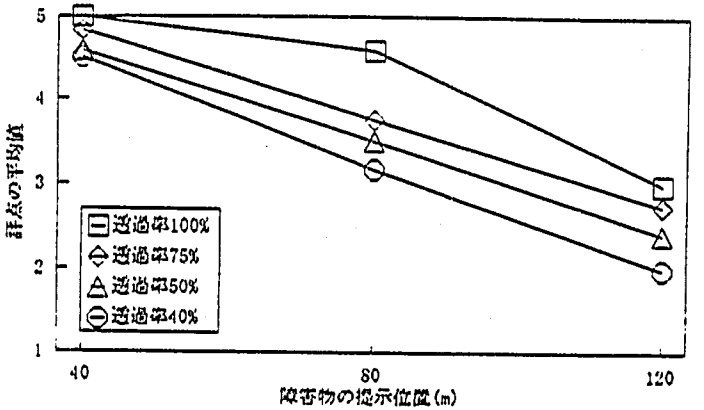
評点	評価内容
1	まったく見えない
2	かろうじて見えた
3	ふつうに見えた
4	よく見えた
5	非常に良く見えた



照明方式：対称照明
照明ﾚﾍﾞﾙ：100%



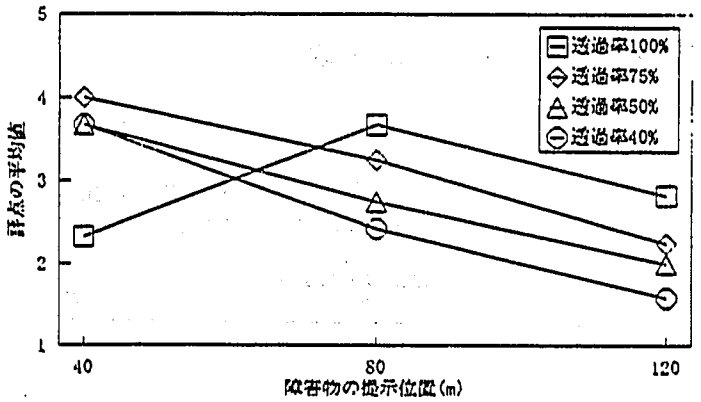
照明方式：カウンターﾋﾞｰﾑ照明
照明ﾚﾍﾞﾙ：80%



照明方式：対称照明
照明ﾚﾍﾞﾙ：80%

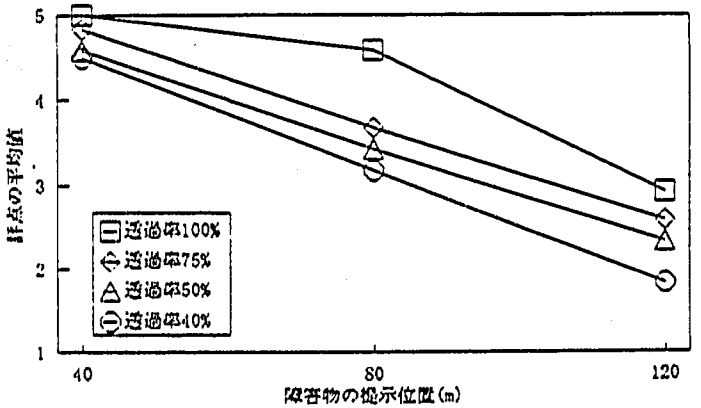
図－7.12　障害物の提示位置と評点の平均値の関係

障害物反射率：12%

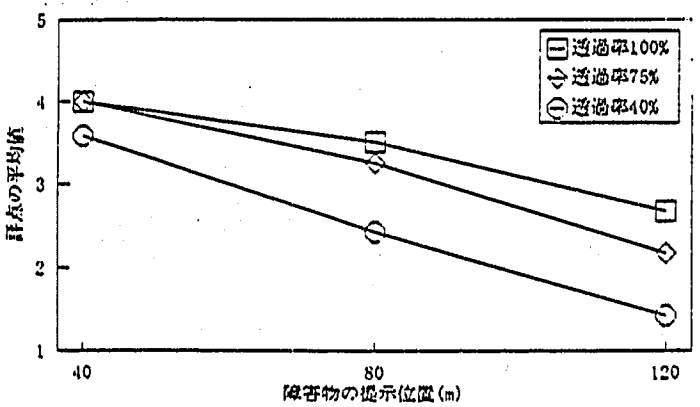


照明方式：カウンターピーム照明
照明レベル：50%

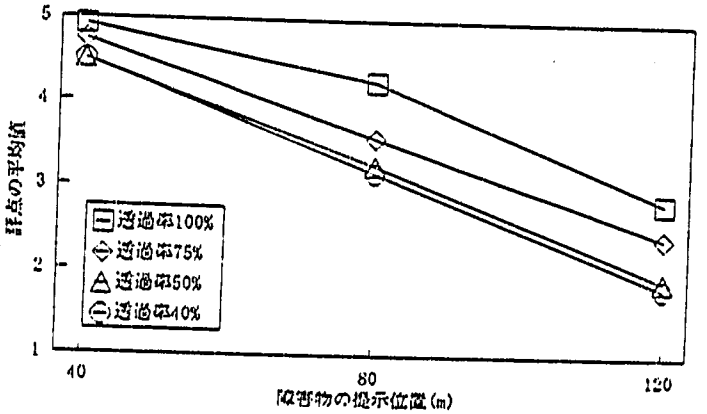
評点	評価内容
1	まったく見えない
2	かろうじて見えた
3	ふつうに見えた
4	よく見えた
5	非常に良く見えた



照明方式：対称照明
照明レベル：50%

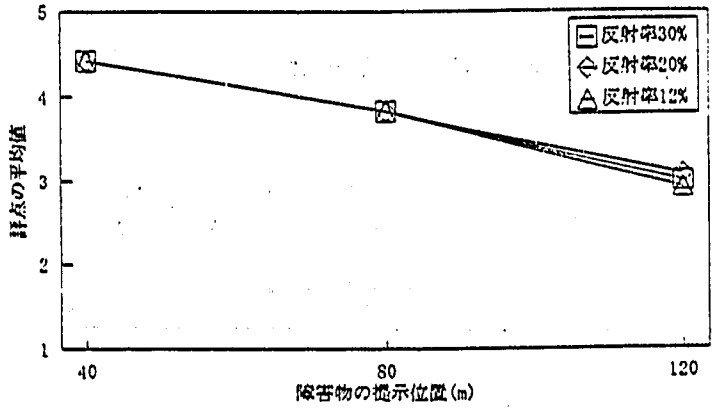


照明方式：カウンターピーム照明
照明レベル：30%



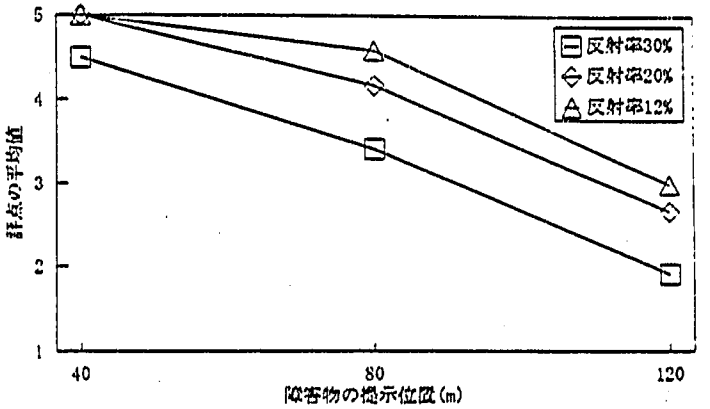
照明方式：対称照明
照明レベル：30%

図－7.13　障害物の提示位置と評点の平均値の関係
障害物反射率：12%

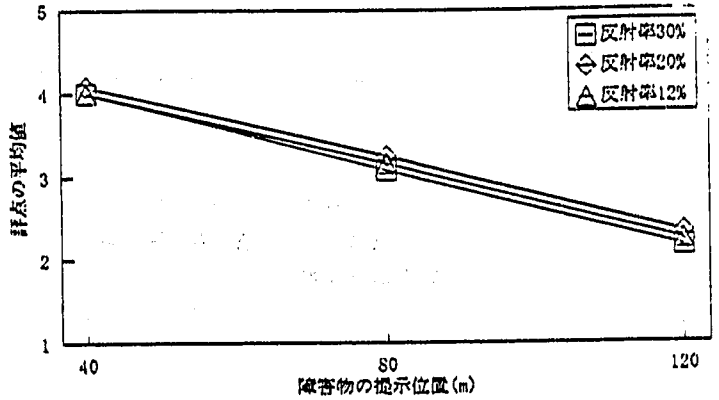


照明方式　：カウンターﾋﾞｰﾑ照明
煤煙透過率：100%

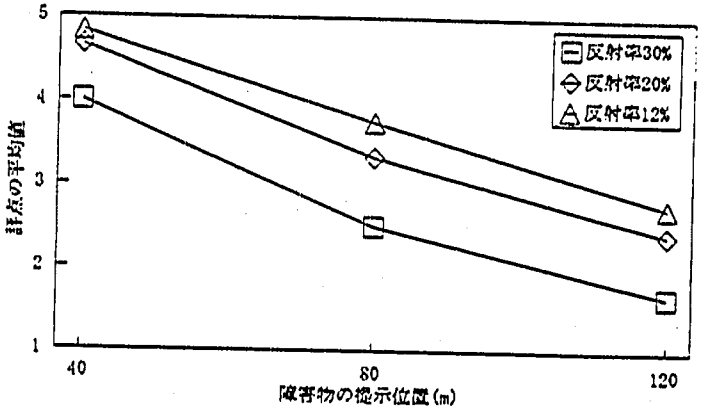
評点	評価内容
1	まったく見えない
2	かろうじて見えた
3	ふつうに見えた
4	よく見えた
5	非常に良く見えた



照明方式　：対称照明
煤煙透過率：100%

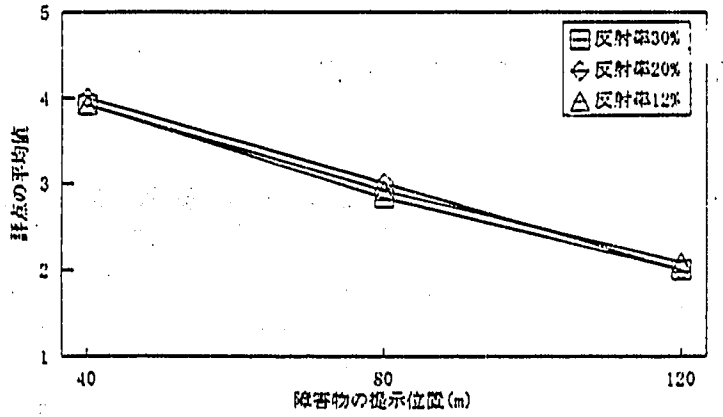


照明方式　：カウンターﾋﾞｰﾑ照明
煤煙透過率：75%



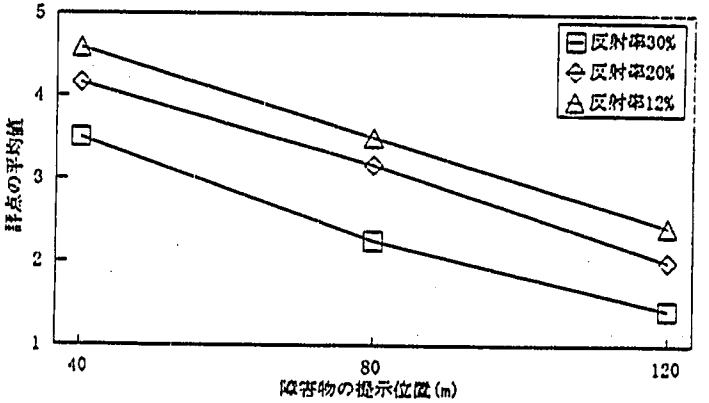
照明方式　：対称照明
煤煙透過率：75%

図－7.14　障害物の提示位置と評点の平均値の関係
照明レベル：100%

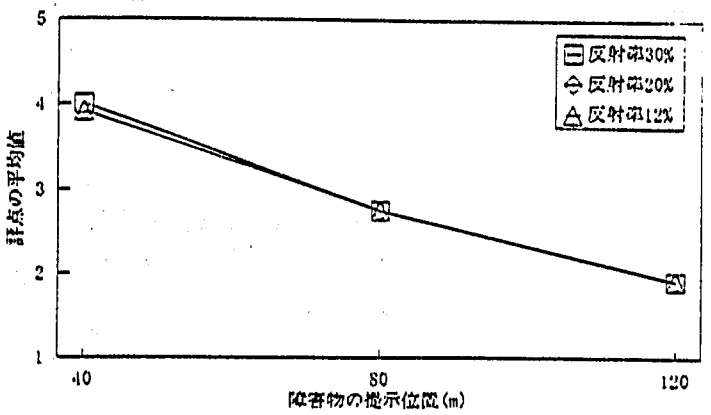


照明方式　：カウンターヒ゛ーム照明
煤煙透過率：50%

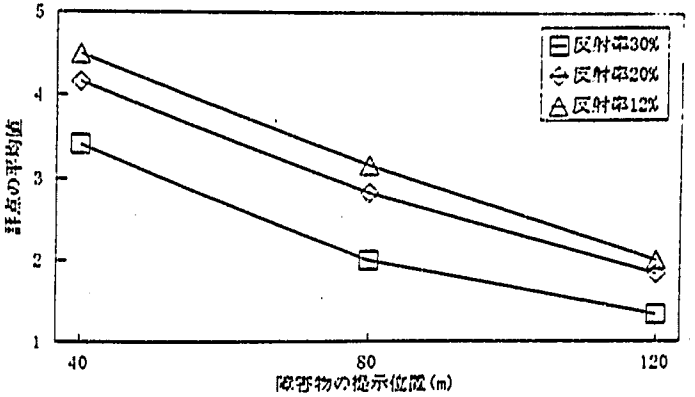
評点	評価内容
1	まったく見えない
2	かろうじて見えた
3	ふつうに見えた
4	よく見えた
5	非常に良く見えた



照明方式　：対称照明
煤煙透過率：50%

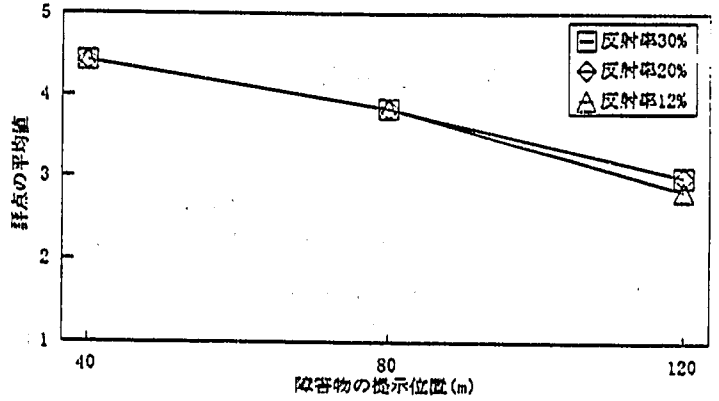


照明方式　：カウンターヒ゛ーム照明
煤煙透過率：40%



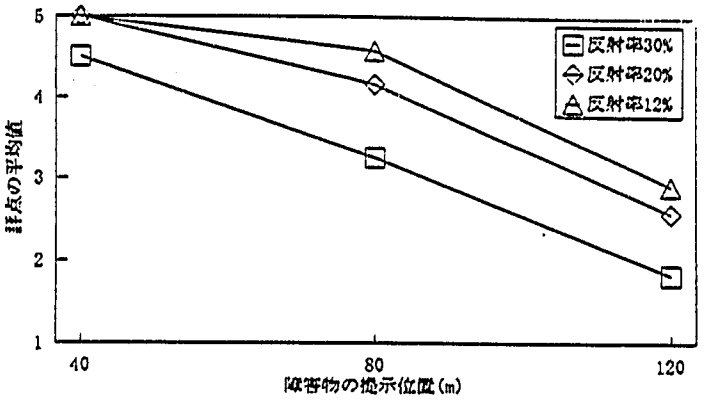
照明方式　：対称照明
煤煙透過率：40%

図－7.15　障害物の提示位置と評点の平均値の関係
照明レベル：100%

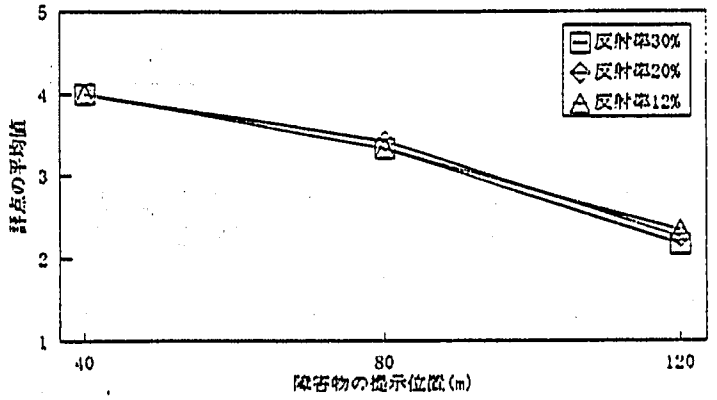


照明方式　：カウンタービーム照明
煤煙透過率：100%

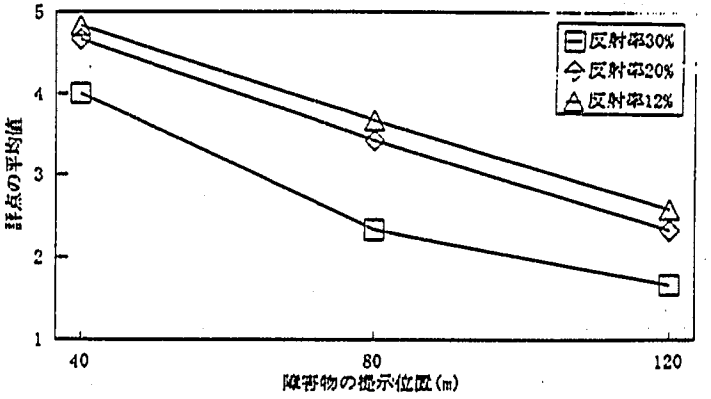
評点	評価内容
1	まったく見えない
2	かろうじて見えた
3	ふつうに見えた
4	よく見えた
5	非常に良く見えた



照明方式　：対称照明
煤煙透過率：100%

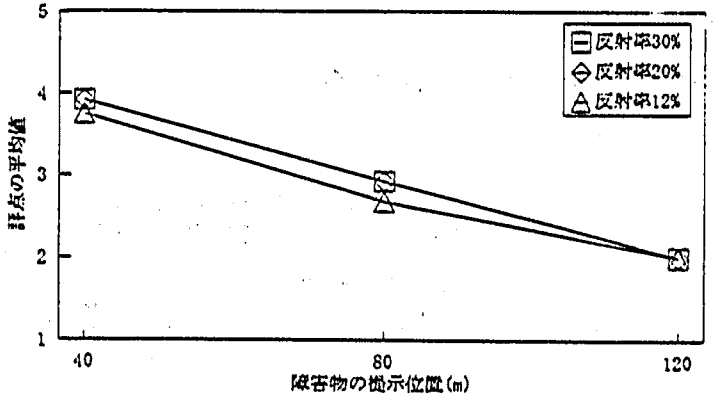


照明方式　：カウンタービーム照明
煤煙透過率：75%



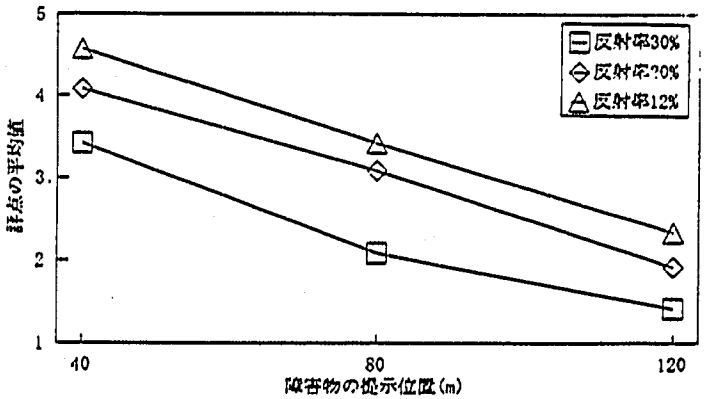
照明方式　：対称照明
煤煙透過率：75%

図－7.16　障害物の提示位置と評点の平均値の関係
照明レベル：80%

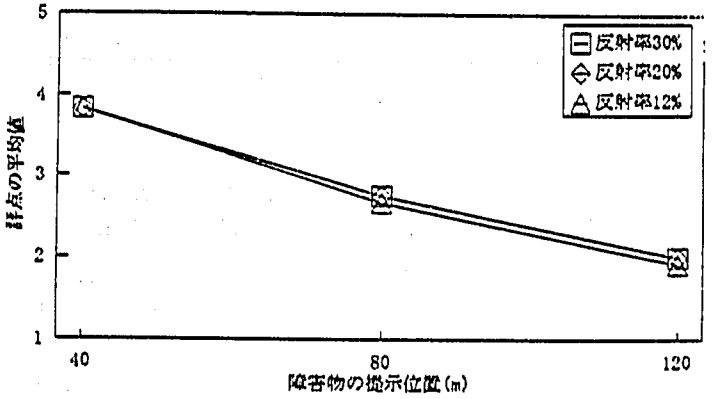


照明方式　：カウンターヒ゛ーム照明
煤煙透過率：50%

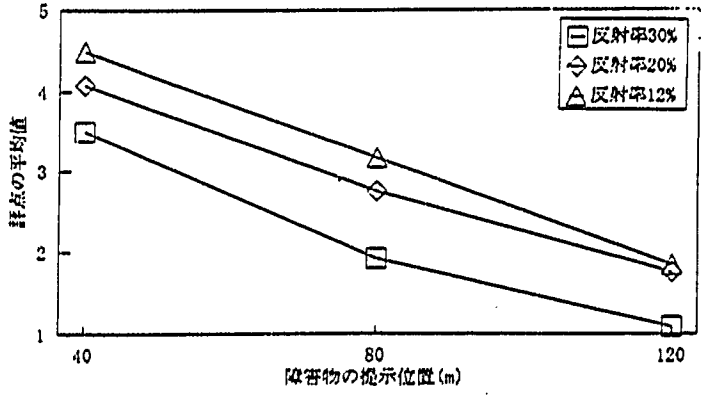
評点	評価内容
1	まったく見えない
2	かろうじて見えた
3	ふつうに見えた
4	よく見えた
5	非常に良く見えた



照明方式　：対称照明
煤煙透過率：50%

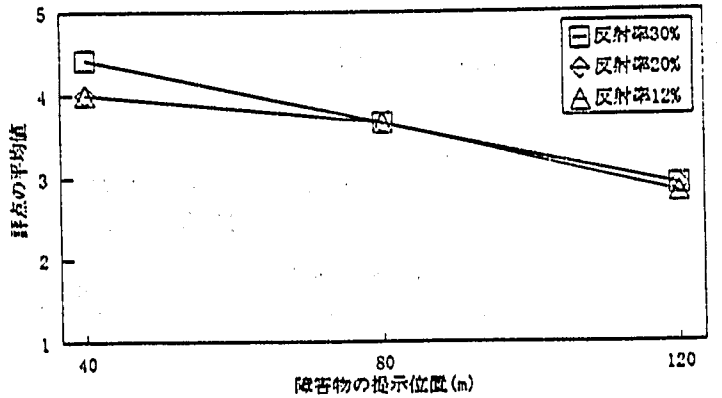


照明方式　：カウンターヒ゛ーム照明
煤煙透過率：40%



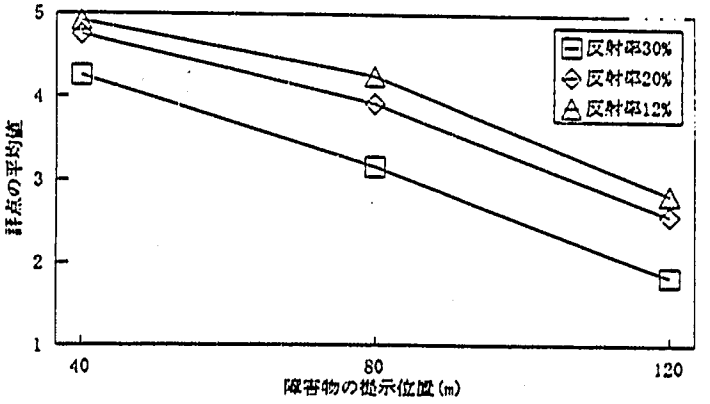
照明方式　：対称照明
煤煙透過率：40%

図－7.17　障害物の提示位置と評点の平均値の関係
照明レベル：80%

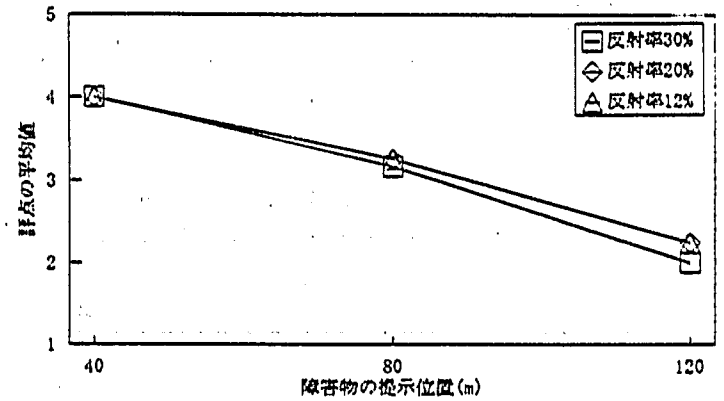


照明方式　：カウンタービーム照明
煤煙透過率：100%

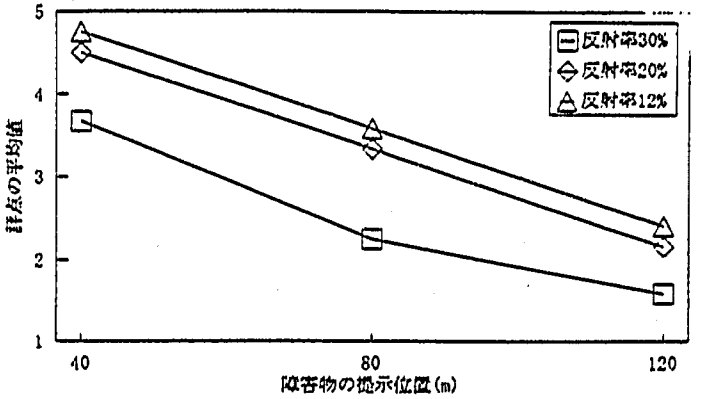
評点	評価内容
1	まったく見えない
2	かろうじて見えた
3	ふつうに見えた
4	よく見えた
5	非常に良く見えた



照明方式　：対称照明
煤煙透過率：100%

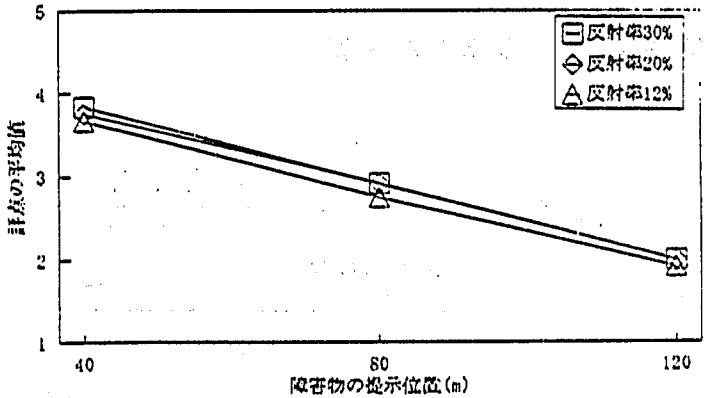


照明方式　：カウンタービーム照明
煤煙透過率：75%



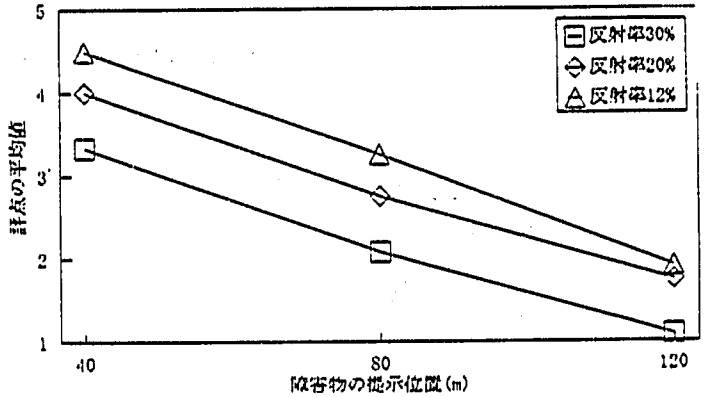
照明方式　：対称照明
煤煙透過率：75%

図－7.18　障害物の提示位置と評点の平均値の関係
照明レベル：50%

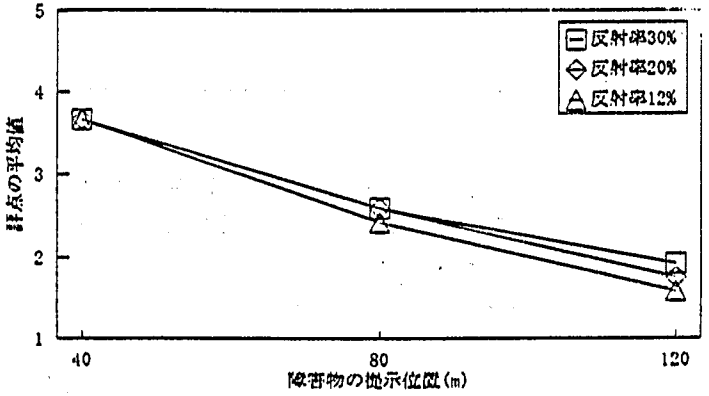


照明方式　：カウンターヒ゛ーム照明
煤煙透過率：50%

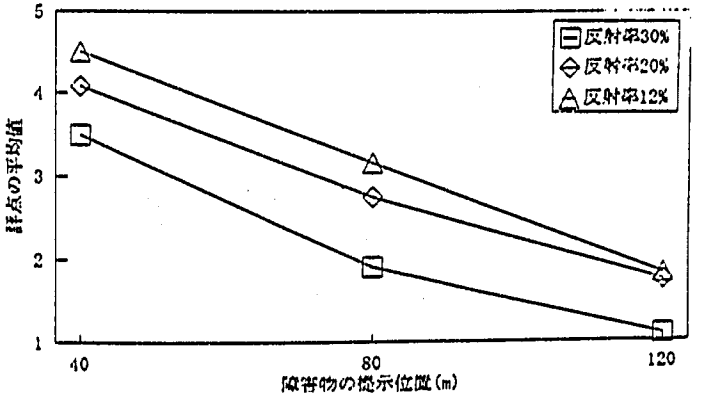
評点	評価内容
1	まったく見えない
2	かろうじて見えた
3	ふつうに見えた
4	よく見えた
5	非常に良く見えた



照明方式　：対称照明
煤煙透過率：50%

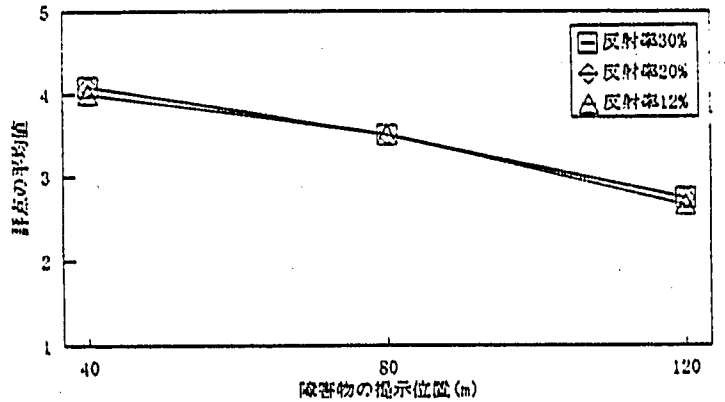


照明方式　：カウンターヒ゛ーム照明
煤煙透過率：40%



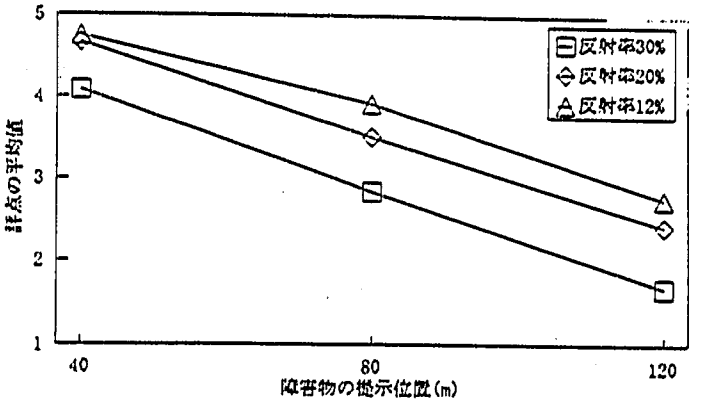
照明方式　：対称照明
煤煙透過率：40%

図－7.19　障害物の提示位置と評点の平均値の関係
照明レヘ゛ル：50%

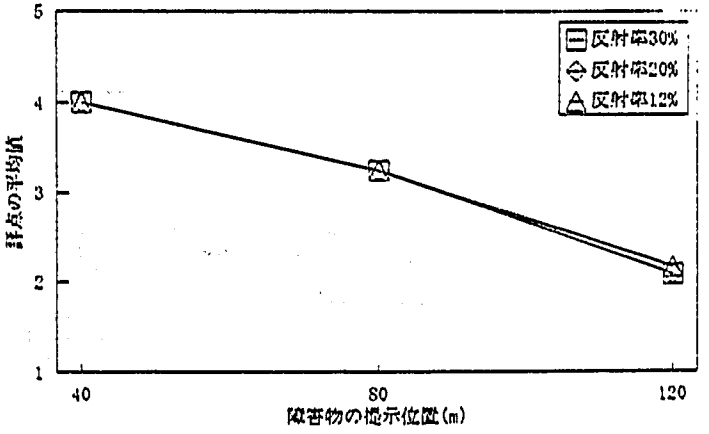


照明方式　：カウンタービーム照明
煤煙透過率：100%

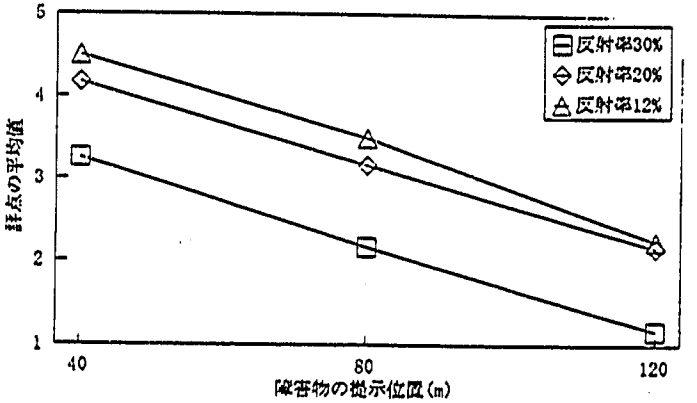
評点	評価内容
1	まったく見えない
2	かろうじて見えた
3	ふつうに見えた
4	よく見えた
5	非常に良く見えた



照明方式　：対称照明
煤煙透過率：100%

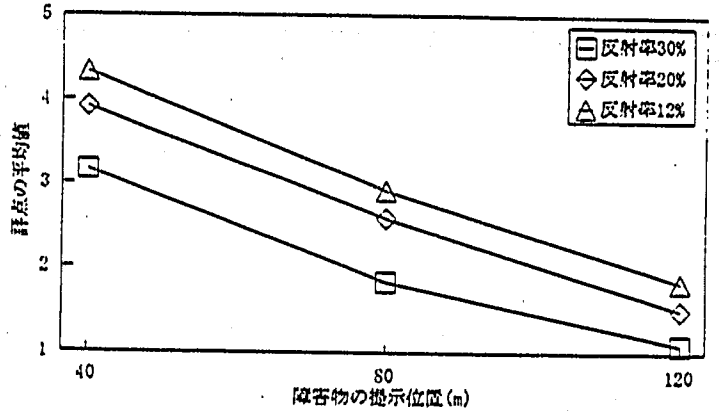


照明方式　：カウンタービーム照明
煤煙透過率：75%



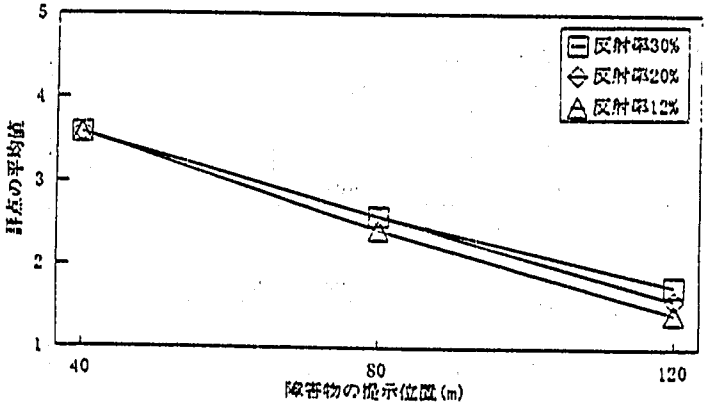
照明方式　：対称照明
煤煙透過率：75%

図－7.20　障害物の提示位置と評点の平均値の関係
照明レベル：30%

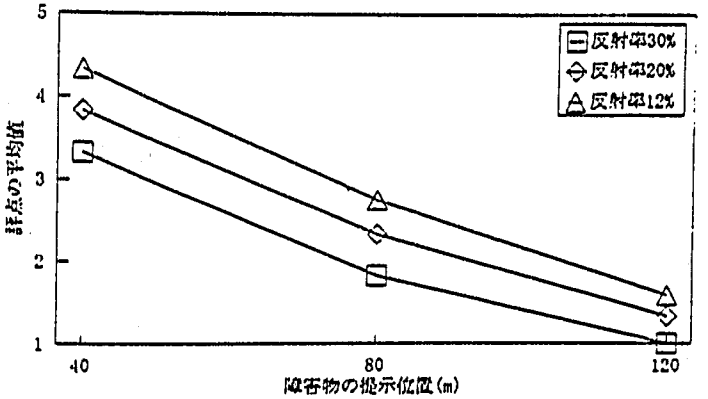


照明方式　：対称照明
煤煙透過率：50%

評点	評価内容
1	まったく見えない
2	かろうじて見えた
3	ふつうに見えた
4	よく見えた
5	非常に良く見えた



照明方式　：カウンターピーム照明
煤煙透過率：40%



照明方式　：対称照明
煤煙透過率：40%

図－7.21　障害物の提示位置と評点の平均値の関係
照明レベル：30%

表－７．２８　障害物の視認性実験（徒歩）の視認距離測定結果

照明方式：ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明

照明方式	煤煙透過率(%)	障害物の提示位置	サングラス(%)	観測距離 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	最大	最小	平均	備考
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ	100	40m	0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			20	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			70	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
		80m	0	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			20	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			50	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			70	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
		120m	0	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120.0	
			20	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120.0	
			50	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120.0	
			70	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120.0	
	75	40m	0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			20	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			70	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
		80m	0	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			20	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			50	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			70	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
		120m	0	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120.0	
			20	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120.0	
			50	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120.0	
			70	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120.0	
	50	40m	0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			20	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			70	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
		80m	0	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			20	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			50	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			70	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
		120m	0	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120.0	
			20	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120.0	
			50	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120.0	
			70	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120.0	
	40	40m	0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			20	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			70	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
		80m	0	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			20	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			50	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			70	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
		120m	0	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120.0	
			20	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120.0	
			50	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120.0	
			70	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120.0	

注）「サングラス（％）」は不透過率（１００－透過率）を表す。

表－７．２９　障害物の視認性実験（徒歩）の視認距離測定結果

照明方式：対称照明

照明方式	煤煙透過率(%)	障害物の提示位置	サングラス(%)	視測距離 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	最大	最小	平均	備考
対称照明	100	40m	0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			20	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			70	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
		80m	0	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			20	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			50	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			70	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
		120m	0	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120.0	
			20	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120.0	
			50	120	120	120	120	120	120	120	117	120	120	120	120	120	117	119.8	
			70	120	120	120	120	120	120	120	113	120	120	120	120	120	113	119.4	
	75	40m	0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			20	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			70	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
		80m	0	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			20	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			50	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			70	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
		120m	0	120	120	120	120	120	120	120	110	120	120	120	120	120	110	119.2	
			20	120	120	120	120	120	120	120	110	120	120	120	120	120	110	119.2	
			50	120	120	120	120	120	120	120	108	120	120	120	120	120	108	119.0	
			70	120	120	120	120	120	120	120	108	120	120	120	120	120	108	119.0	
	50	40m	0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			20	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			70	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
		80m	0	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			20	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			50	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			70	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
		120m	0	120	120	120	120	120	120	120	101	117	120	120	120	120	101	118.2	
			20	120	120	120	120	120	120	120	97	113	120	120	120	120	97	117.5	
			50	117	120	120	120	120	120	120	93	106	120	120	120	120	93	116.3	
			70	111	120	120	120	120	120	120	87	105	120	120	120	120	87	115.3	
	40	40m	0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			20	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			70	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
		80m	0	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			20	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			50	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			70	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
		120m	0	120	120	120	120	120	120	120	92	120	120	120	120	120	92	117.7	
			20	116	120	120	120	120	120	120	87	120	120	120	120	120	87	116.9	
			50	107	120	120	120	120	120	120	79	112	120	120	120	120	79	114.8	
			70	95	120	120	120	120	120	114	73	108	9.5	120	120	120	9.5	103.3	

注）「サングラス(%)」は不透過率(100－透過率)を表す。

表－７．３０　障害物の視認性実験（徒歩）の視認距離測定結果

照明方式：カウンタービーム照明

照明方式	煤煙透過率(%)	障害物の提示位置	サングラス(%)	視認距離 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	最大	最小	平均	備考
カウンタービーム	100	40m	0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			20	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			70	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
		80m	0	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			20	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			50	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			70	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
		120m	0	120	120	120	100	120	120	120	111	120	120	120	120	120	100	117.6	
			20	120	120	120	92	109	120	120	109	118	120	115	120	120	92	115.3	
			50	120	120	120	84	100	120	120	107	116	120	112	107	120	84	112.2	
			70	120	120	117	76	92	120	120	101	113	113	108	90	120	76	107.5	
	75	40m	0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			20	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			70	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
		80m	0	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			20	80	80	80	80	76	80	80	80	80	80	80	80	80	76	79.7	
			50	80	80	80	80	74	80	80	73	80	80	80	75	80	73	78.5	
			70	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
		120m	0	120	120	106	91	99	120	120	103	115	97	120	105	120	91	109.7	
			20	113	120	110	91	96	120	120	102	114	95	120	90	120	90	107.6	
			50	110	120	108	81	84	120	113	100	111	86	115	80	120	80	102.3	
			70	110	116	120	90	109	120	109	98	110	115	110	80	120	80	107.3	
	50	40m	0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			20	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			70	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
		80m	0	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80.0	
			20	80	80	80	72	80	80	80	80	80	80	80	80	80	72	79.3	
			50	80	80	80	65	74	80	80	80	78	74	80	70	80	65	76.8	
			70	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
		120m	0	108	120	104	74	91	104	102	98	103	94	102	95	120	74	99.6	
			20	103	120	106	78	84	105	100	92	102	85	95	80	120	78	95.8	
			50	95	120	101	69	79	98	93	88	93	76	91	74	120	69	89.8	
			70	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
	40	40m	0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			20	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			70	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
		80m	0	80	80	80	80	73	80	80	80	80	80	80	80	80	73	79.4	
			20	80	80	80	80	74	80	80	75	72	80	80	75	80	72	78.0	
			50	80	80	80	76	73	80	80	72	74	80	80	67	80	67	76.8	
			70	80	80	80	68	65	80	80	80	70	80	80	62	80	62	75.4	
		120m	0	103	120	107	75	90	104	95	88	102	99	91	70	120	70	95.3	
			20	97	115	105	69	80	101	92	85	98	97	89	65	115	65	91.1	
			50	92	110	108	67	78	89	86	72	88	95	87	51	110	51	85.3	
			70	86	101	99	63	73	80	85	68	83	97	80	50	101	50	80.4	

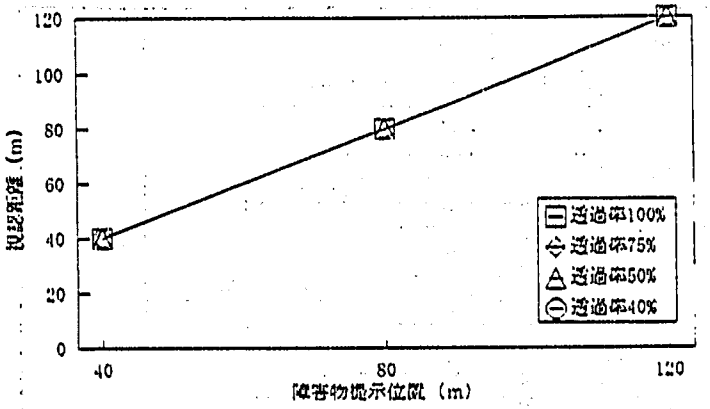
注）「サングラス（％）」は不透過率（１００－透過率）を表す。

表－７．３１　障害物の視認性実験（徒歩）の視認距離測定結果

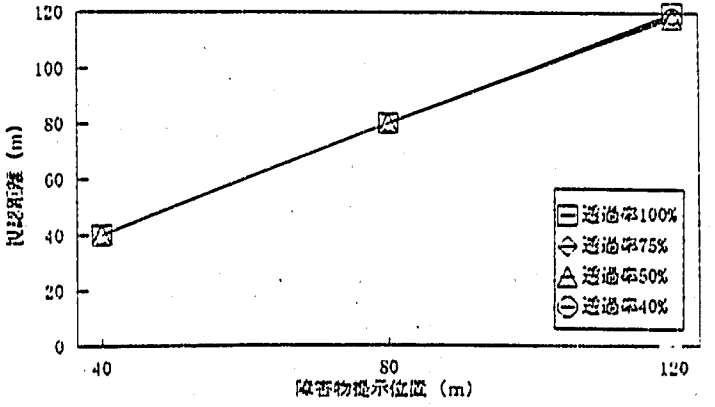
照明方式：対称照明

照明方式	煤煙透過率(%)	障害物の提示位置	サングラス(%)	視認距離 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	最大	最小	平均	備考
対象照明	100	40m	0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			20	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			70	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
		80m	0	80	80	80	80	80	80	80	71	80	80	80	80	80	71	79.3	
			20	80	80	80	80	80	80	80	69	80	80	80	80	80	69	79.1	
			50	80	80	80	80	80	80	80	65	72	80	80	80	80	65	78.1	
			70	80	80	80	80	80	80	80	61	69	80	80	75	80	61	77.1	
		120m	0	120	120	120	120	120	120	120	85	95	120	115	109	120	85	113.7	
			20	120	120	120	120	120	117	120	81	93	120	115	105	120	81	112.6	
			50	110	120	120	120	120	113	120	75	80	120	105	94	120	75	108.1	
			70	100	120	120	120	120	108	116	70	70	120	100	89	120	70	104.4	
	75	40m	0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			20	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			70	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
		80m	0	80	80	80	80	80	80	80	52	80	80	80	80	80	52	77.7	
			20	80	80	80	80	80	80	80	54	80	80	80	74.5	80	54	77.4	
			50	80	80	80	80	80	80	80	49	73	80	77	70	80	49	75.8	
			70	80	80	80	80	80	80	80	44	71	80	73	70	80	44	74.8	
		120m	0	110	120	115	120	120	100	110	60	100	120	88	80	120	60	103.6	
			20	109	120	116	120	120	95	111	60	94	120	94	78	120	60	103.1	
			50	98	120	118	120	120	92	109	50	85	120	80	71	120	50	98.6	
			70	93	120	120	120	120	92	98	40	78	120	76	60	120	40	94.8	
	50	40m	0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			20	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			70	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
		80m	0	80	80	80	80	80	80	80	60	80	80	80	80	80	60	78.3	
			20	80	80	80	80	80	80	80	51	78	80	80	80	80	51	77.4	
			50	80	80	80	80	80	80	80	50	70	80	70	72	80	50	75.2	
			70	74	80	80	80	80	80	80	45	67	80	67	70	80	45	73.6	
		120m	0	100	120	120	120	120	105	99	60	93	120	94	90	120	60	103.4	
			20	97	120	116	112	120	100	97	55	80	120	94	80	120	55	99.3	
			50	86	115	115	110	114	95	89	50	72	120	89	75	120	50	94.2	
			70	77	113	112	105	113	90	82	45	68	120	85	63	120	45	89.4	
	40	40m	0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			20	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
			70	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40.0	
		80m	0	80	80	80	80	80	80	80	61	76	80	80	80	80	61	78.1	
			20	80	80	80	80	80	80	80	55	70	80	80	76	80	55	76.8	
			50	80	80	80	80	80	80	80	43	65	80	72	67	80	43	73.9	
			70	73	80	80	80	80	74	80	41	55	80	64	62	80	41	70.8	
		120m	0	100	116	116	120	120	120	94	55	72	120	90	84	120	55	100.6	
			20	89	113	115	110	120	105	87	50	65	120	90	76	120	50	95.0	
			50	77	112	109	106	113	96	80	45	58	120	80	65	120	45	88.4	
			70	68	107	107	100	107	86	75	40	53	110.5	80	60	110.5	40	82.8	

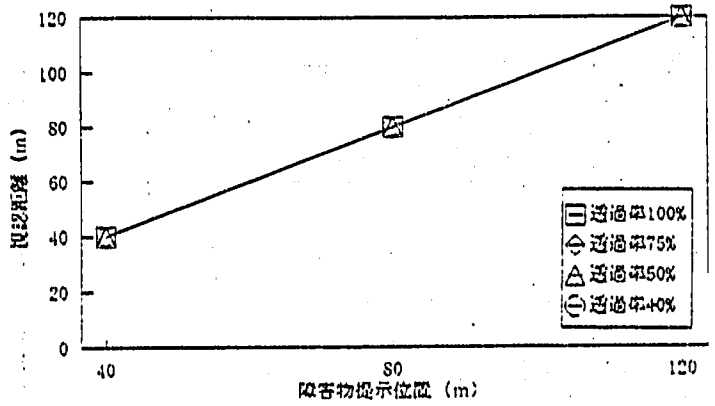
注）「サングラス(%)」は不透過率（１００－透過率）を表す。



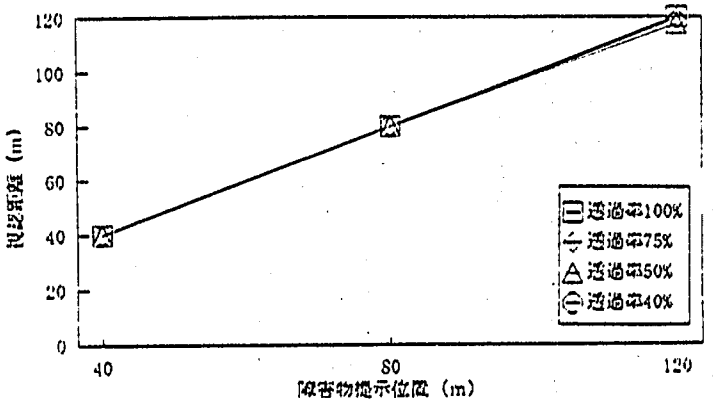
照明方式：カウンターヒ゛ーム照明
照明レヘ゛ル：100%



照明方式：対称照明
照明レヘ゛ル：100%

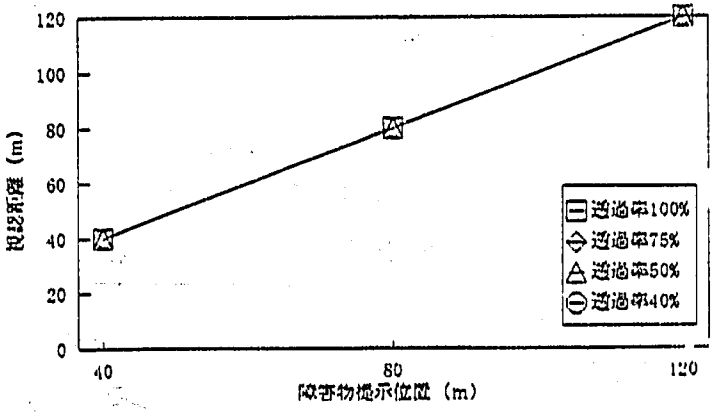


照明方式：カウンターヒ゛ーム照明
照明レヘ゛ル：80%

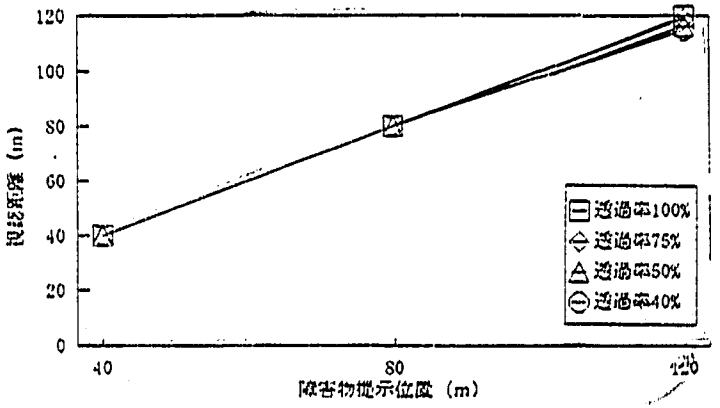


照明方式：対称照明
照明レヘ゛ル：80%

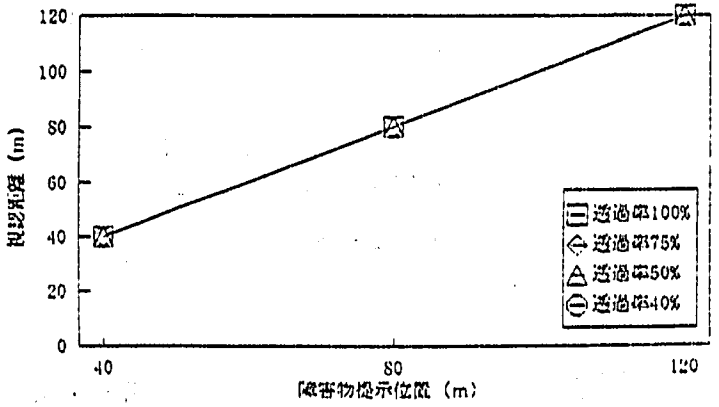
図－7.22　障害物の提示位置と視認距離の関係



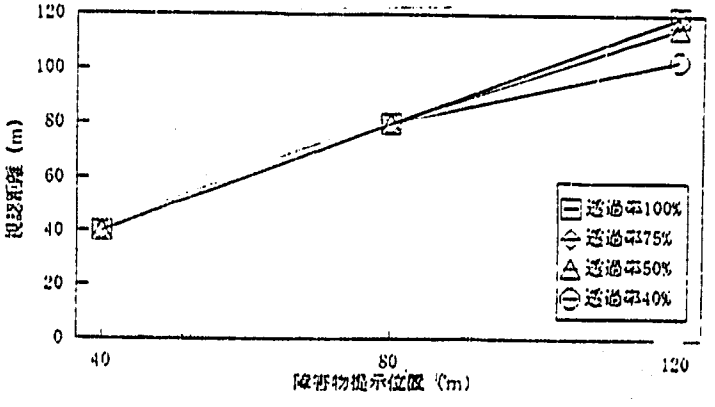
照明方式：カウンタービーム照明
照明レベル：50%



照明方式：対称照明
照明レベル：50%

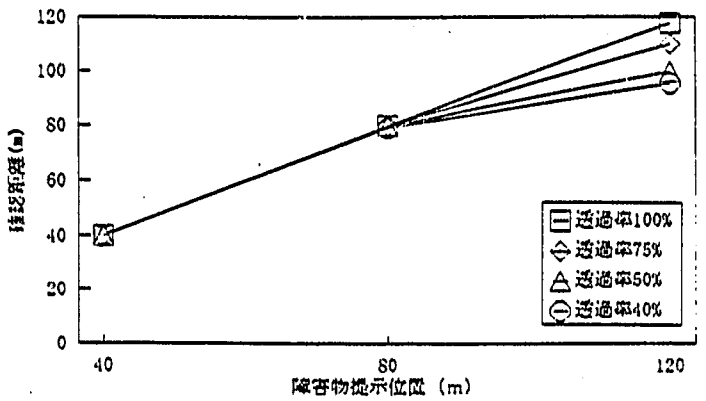


照明方式：カウンタービーム照明
照明レベル：30%

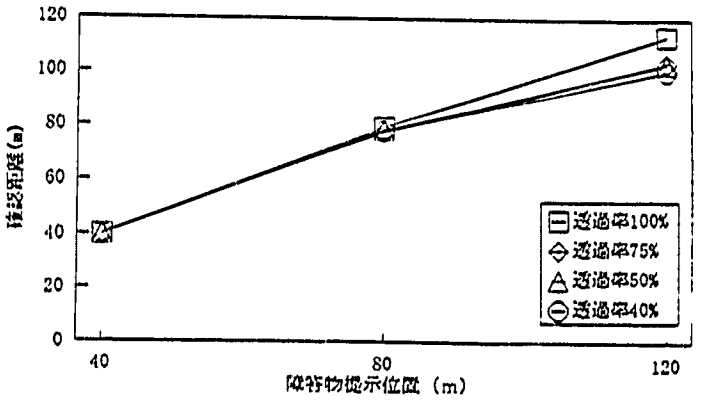


照明方式：対称照明
照明レベル：30%

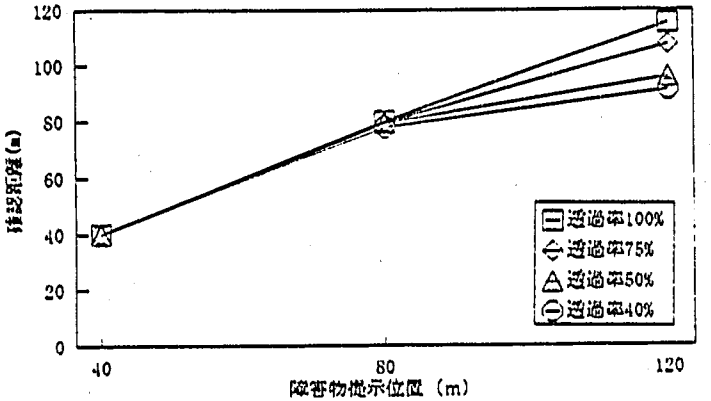
図－7.23　障害物の提示位置と視認距離の関係



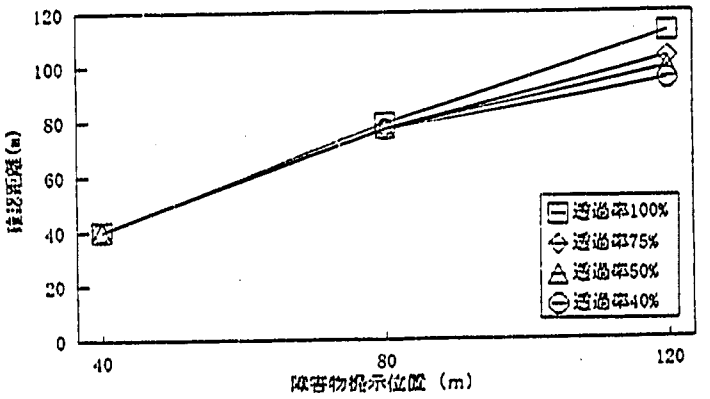
照明方式：カウンタービーム照明
照明レベル：100%



照明方式：対称照明
照明レベル：100%

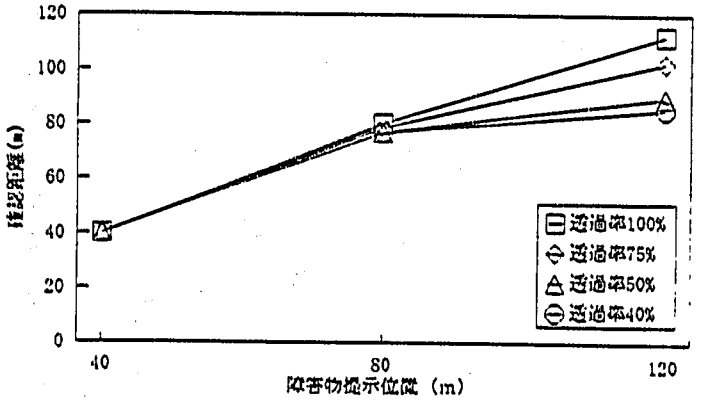


照明方式：カウンタービーム照明
照明レベル：80%

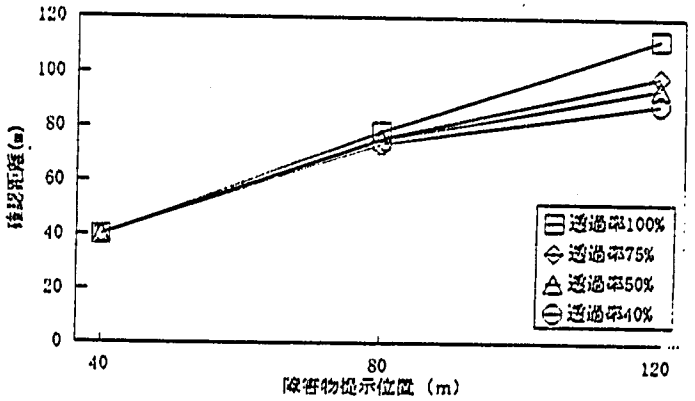


照明方式：対称照明
照明レベル：80%

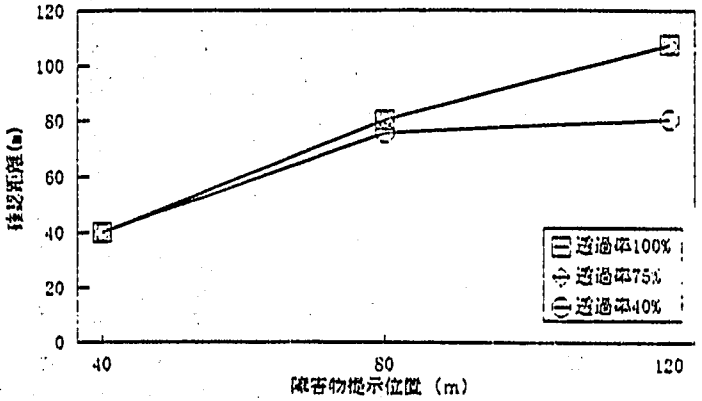
図－7.24　障害物の提示位置と確認距離の関係



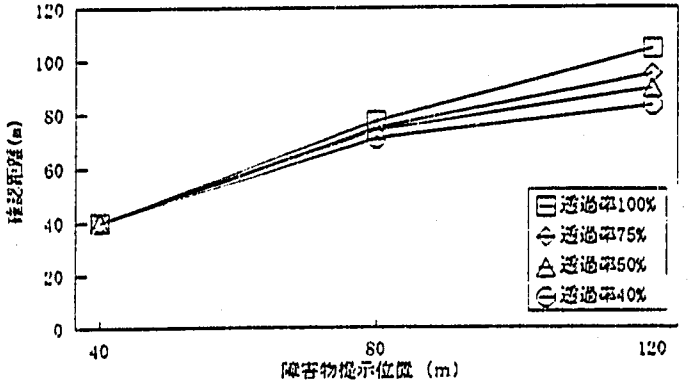
照明方式：カウンタービーム照明
照明レベル：50%



照明方式：対称照明
照明レベル：50%



照明方式：カウンタービーム照明
照明レベル：30%



照明方式：対称照明
照明レベル：30%

図－7.25　障害物の提示位置と確認距離の関係

7.4 考察

7.4.1 入口照明下での光幕輝度と視認性

（1）光幕輝度

図－7.4～図－7.7をもとに、煤煙透過率が40、50、75%の3条件の場合の照明方式ごとの光幕輝度を読み取り、煤煙透過率別に図－7.26～図－7.28に示す。図－7.26～図－7.28より、照明方式により光幕輝度が大幅に変化することが分かる。カウンタービーム照明（順方向）と対称照明（順方向）の光幕輝度を比較すると、カウンタービーム照明下での光幕輝度が対称照明下に比べ20～50%高くなっている。

（2）障害物の視認性

煤煙中での路上障害物の視認性を、障害物の見かけの輝度対比をもとに検討した。煤煙中での見かけの輝度対比 C′ は、見かけの障害物輝度Lo′ と、見かけの路面輝度Lr′ から、式7.1により算出することができる。

$$C' = (Lr' - Lo') / Lr' \quad \cdots\cdots\cdots (7.1)$$

ここに、

Lo′ ：見かけの障害物輝度　$Lo \times (\tau/100)^{l/100} + Lv$（1(m)区間）

Lr′ ：見かけの路面輝度　$Lr \times (\tau/100)^{l/100} + Lv$（1(m)区間）

Lo ：清浄大気中での障害物輝度(cd/m²)

Lr ：清浄大気中での障害物の背景となる路面輝度(cd/m²)

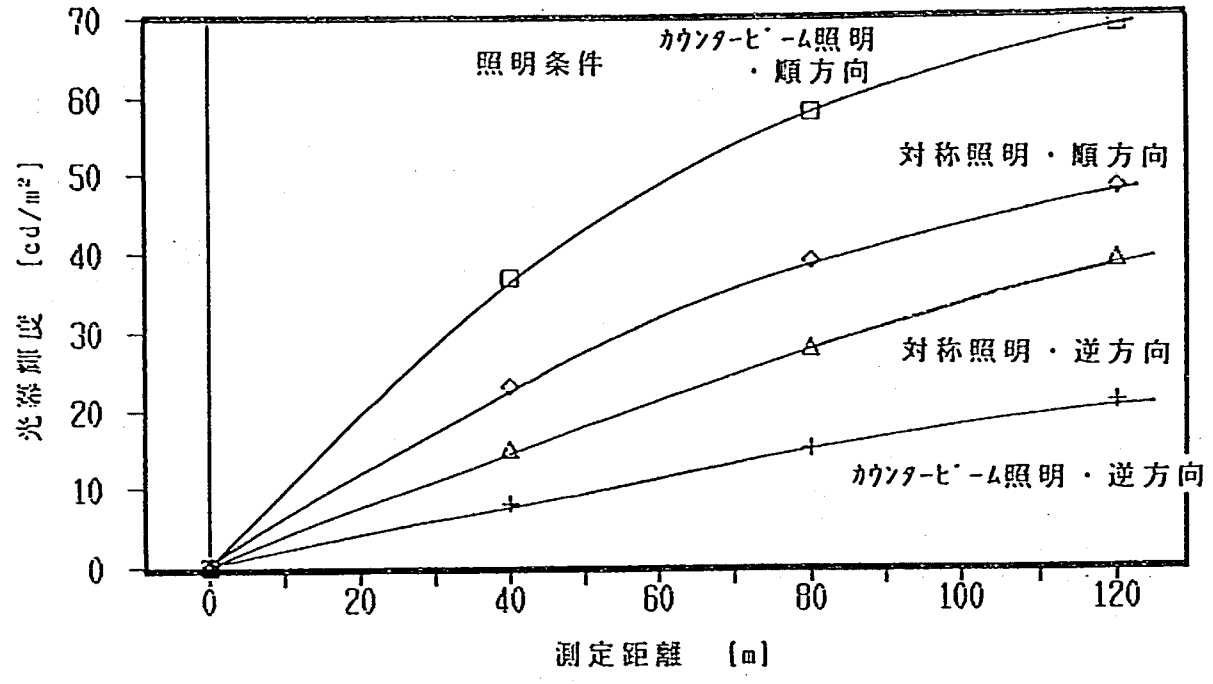
l ：測定区間(m)

τ ：100m当たりの煤煙透過率

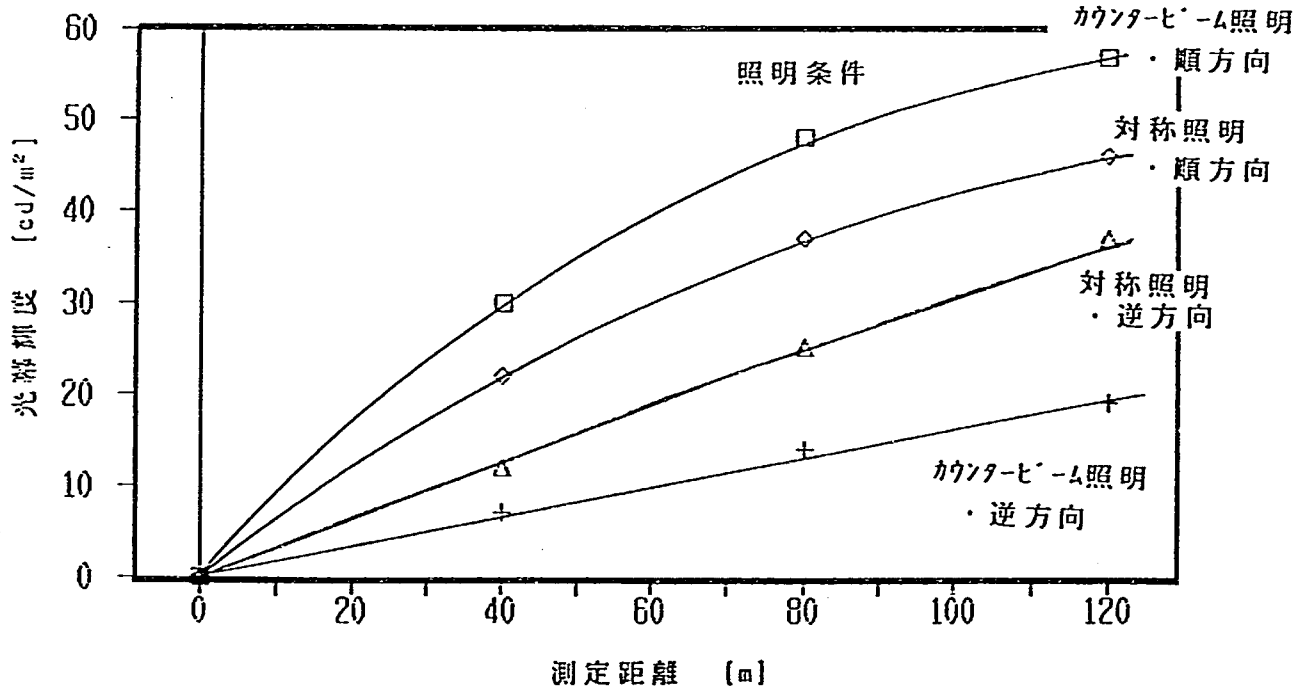
Lv（1(m)区間）：1(m)の区間の光幕輝度

このうち、障害物輝度Lo、路面輝度Lrは、障害物の静止実験（カウンタービーム照明：10月31日・晴れ、対称照明：11月2日・晴れ）における測定値とし、観測距離は、40m（坑口からの距離60m）、60m（同80m）、100m（同120m）付近の3点とした。また、光幕輝度Lv（1(m)区間）は図－7.26～図－7.27から数値を読み取り、見かけの輝度対比C′ を求めた。結果を表－7.32～表－7.33および図－7.29～図－7.31に示す。図－7.29～図－7.31のように、カウンタービーム照明、対称照明ともに煤煙透過率が低いほど障害物の見かけの輝度対比C′ が低下することが分かる。特にカウンタービーム照明は光幕輝度が高いため、対称照明に比べて見かけの輝度対比の低下の度合いが大きいことが分かる。図－7.29（観測距離40m）および図－7.31（観測距離100m）を見ると、煤煙透過率が40～50%において、両方式間の見かけの輝度対比の差が小さくなる。図－7.30（観測距離60m）では、煤煙透過率が40～50%の場合にも輝度対比の差が大きいが、これは観測距離が40m、100mに比べて清浄大気中（煤煙透過率100%）での障害物の輝度対比の差が大きいためである。

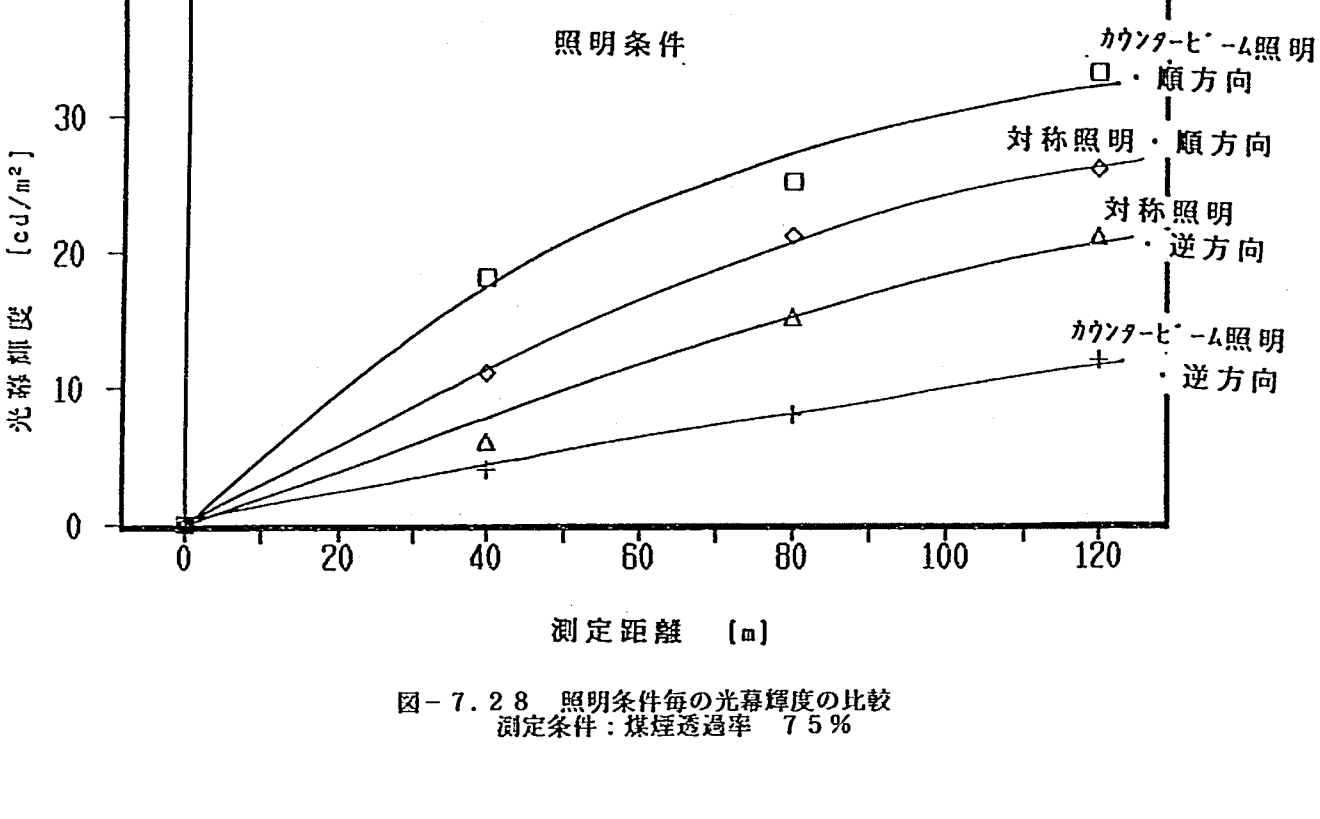
以上のように煤煙が存在する場合には、煤煙透過率の低下に伴いカウンタービーム照明の特長である高い輝度対比を維持することが困難になるものの、対称照明の輝度対比より高い値を示すことが分かった。



図－７．２６　照明条件毎の光幕輝度の比較
測定条件：煤煙透過率　４０％



図－７．２７　照明条件毎の光幕輝度の比較
測定条件：煤煙透過率　５０％



図－７．２８　照明条件毎の光幕輝度の比較
測定条件：煤煙透過率　７５％

表－７．３２　煤煙中の入口照明下での障害物の視認性

照明方式：ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明
設計速度：８０ km/h

観測距離 (m)	煤煙透過率 τ (%)	光幕輝度 Lv (cd/m²)	見かけの障害物輝度 Lo′ (cd/m²)	見かけの路面輝度 Lr′ (cd/m²)	輝度対比 C′
40	100	0	22.5	90.3	0.75
40	75	18	38.1	98.5	0.61
40	50	30	47.1	98.4	0.52
40	40	36	51.6	98.6	0.48
60	100	0	16.1	91.4	0.82
60	75	23	36.5	99.9	0.63
60	50	39	49.6	99.3	0.50
60	40	48	57.3	100.7	0.43
100	100	0	11.0	55.0	0.80
100	75	30	38.3	71.3	0.46
100	50	53	58.5	80.5	0.27
100	40	63	67.4	85.0	0.21

(障害物輝度・路面輝度は、障害物の静止実験における実測値を使用した)

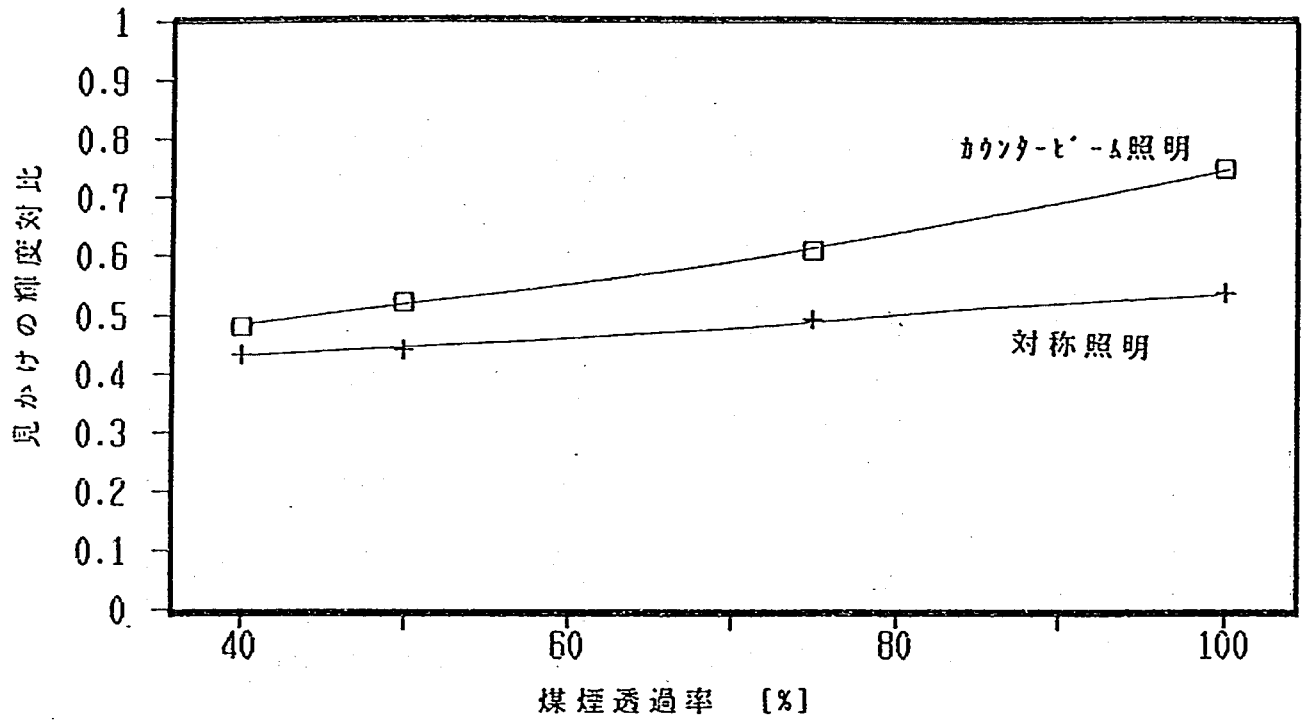
表－７．３３　煤煙中の入口照明下での障害物の視認性

照明方式：対称照明

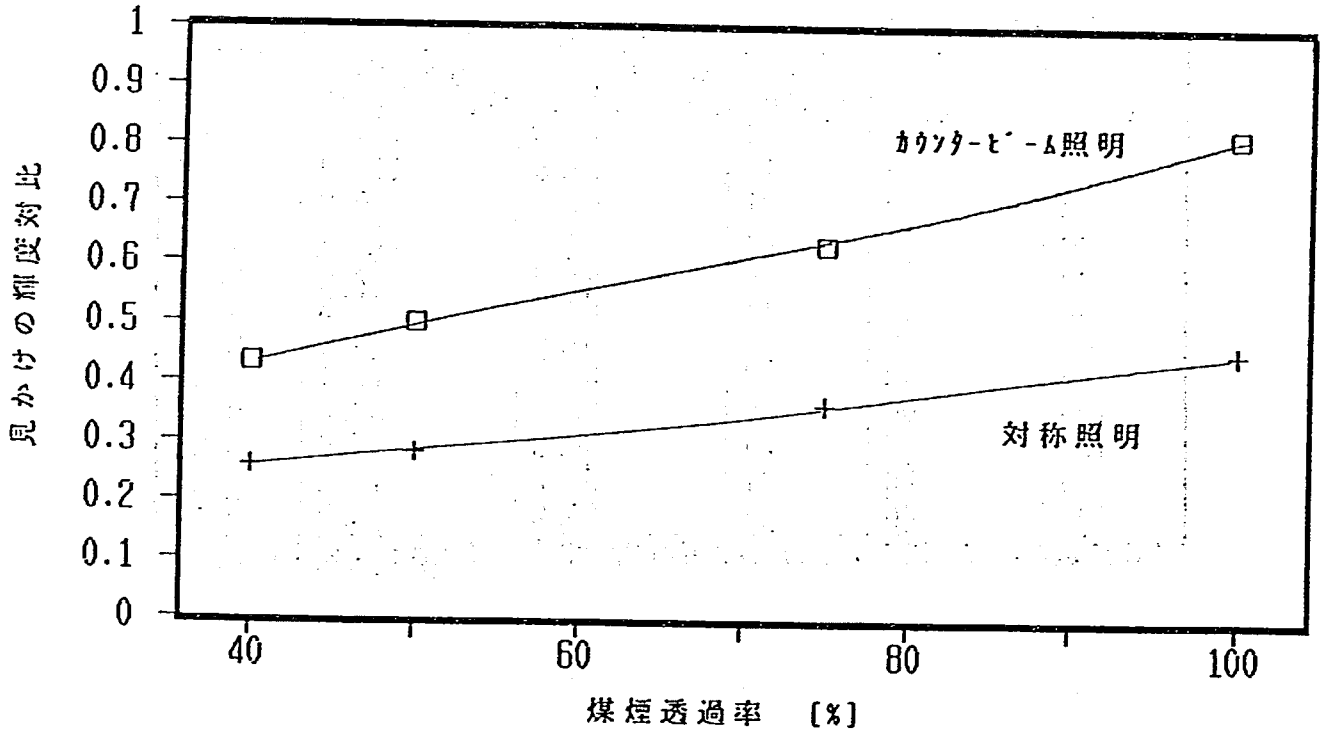
設計速度：８０ km/h

観測距離 (m)	煤煙透過率 τ (%)	光幕輝度 Lv (cd/m²)	見かけの障害物輝度 Lo′ (cd/m²)	見かけの路面輝度 Lr′ (cd/m²)	輝度対比 C′
40	100	0	53.6	117.7	0.54
40	75	11	58.8	115.9	0.49
40	50	21	61.6	110.2	0.44
40	40	22	59.2	103.6	0.43
60	100	0	41.9	76.4	0.45
60	75	17	52.3	81.3	0.36
60	50	30	57.6	80.4	0.28
60	40	32	56.2	76.1	0.26
100	100	0	30.4	59.5	0.49
100	75	24	46.8	68.6	0.32
100	50	41	56.2	70.8	0.21
100	40	43	55.2	66.8	0.17

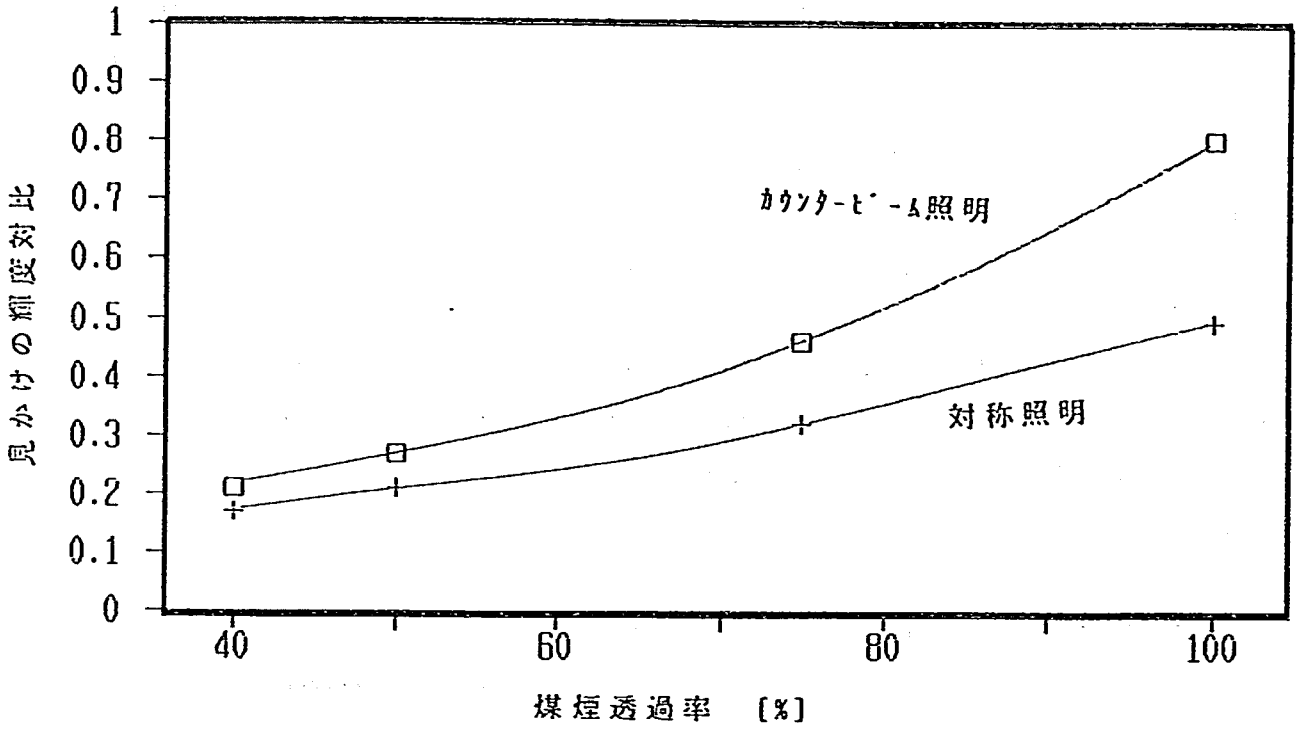
(障害物輝度・路面輝度は、障害物の静止実験における実測値を使用した)



図－７．２９　煤煙中の入口部照明下での障害物の視認性
観測距離：４０ｍ



図－７．３０　煤煙中の入口部照明下での障害物の視認性
観測距離：６０ｍ



図－７．３１　煤煙中の入口部照明下での障害物の視認性
観測距離：１００ｍ

７．４．２　基本照明下での光幕輝度と視認性

（１）光幕輝度

今回の測定は入口照明区間で行ったため、７．２．１の実験条件に示すように光幕輝度を測定した３つの区間（０～４０m、４０～８０m、８０～１２０m）ごとに、照明レベルが異なる。このため、表－７．１２～表－７．１５の光幕輝度の測定結果をもとに、単位長さ（40m）、単位水平面照度（1000lx）当たりの光幕輝度を以下の式により算出した。

$$0\sim40\text{m} \quad : \quad Lv(40\text{m区間})\ \frac{1000}{Eh(0\sim40\text{m})} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (7.2)$$

$$40\sim80\text{m} \quad : \quad \frac{Lv(80\text{m区間})-Lv(40\text{m区間})}{(\tau/100)^{40/100}} \times \frac{1000}{Eh(40\sim80\text{m})} \qquad \cdots\cdots (7.3)$$

$$80\sim120\text{m} \quad : \quad \frac{Lv(120\text{m区間})-Lv(80\text{m区間})}{(\tau/100)^{80/100}} \times \frac{1000}{Eh(80\sim120\text{m})} \qquad \cdots\cdots (7.4)$$

ここに、

Lv（40m区間）、Lv（80m区間）、Lv（120m区間）：0～40m、0～80m、0～120mの各区間の光幕輝度(cd/m²)

τ：煤煙透過率（%）

Eh(0～40m)、Eh(40～80m)、Eh(80～120m)：水平面照度の平均値(lx)

単位長さ（40m）、単位水平面照度（1000lx）当たりの光幕輝度の計算結果を表－７．３４～表－７．３７に示し、煤煙透過率と光幕輝度との関係を、図－７．３２～図－７．３４に示す。図－７．３２～図－７．３４を見ると、カウンタービーム照明の測定結果のばらつきが比較的大きいものの、測定区間（０～４０m、４０～８０m、８０～１２０m）によらず煤煙透過率と光幕輝度との間に一定の関係があることが分かる。ばらつきが比較的大きくなった原因としては、特にカウンタービーム照明において４０m区間内の煤煙の濃度ムラが大きかったこと、入口照明区間であるため位置による照度の変化が大きいことなどが考えられる。対称照明では順方向、逆方向ともほぼ等しい結果が得られた。

図－７．３２～図－７．３４をもとに煤煙透過率が４０、５０、７５％の３種類の場合の照明方式ごとの４０m当たりの光幕輝度を読み取り、これをもとに単位水平面照度（1000lx）あたりの８０m、１２０m区間の光幕輝度を前述の（７．２）式～（７．４）式の逆の過程により計算し（７．５式参照）、基本照明の路面輝度（4.5cd/m²）当たりの光幕輝度を求めた。

Lv（路面輝度Lr=4.5cd/m²当たり）＝Lv（1000lx当たり）/1000×平均照度換算係数×4.5(cd/m²)

ここに、 ……（７．５）

平均照度換算係数（Eh/Lr）：11.6（カウンタービーム照明、コンクリート舗装）

15.9（対称照明、コンクリート舗装）

平均照度換算係数は「カウンタービーム照明に関する研究報告書''（平成９年３月）」の表－５．２４の値とした。基本照明（路面輝度Lr=4.5cd/m²当たり）における光幕輝度を表－７．３８～表－７．３９に示し、煤煙透過率別に図－７．３５～図－７．３７に示す。図のように対称照明に比べ、カウンタービーム照明の光幕輝度が約２倍以上となることが分かる。

（２）障害物の視認性

７．４．１入口照明下での光幕輝度と視認性と同様に、路上障害物の視認性を、煤煙中における障害物の見かけの輝度対比をもとに検討した。清浄大気中での障害物輝度Loは、前記報告書''の表－５．１８のコントラスト係数より路面輝度4.5cd/m²当たりの鉛直面照度を求め、対象物を反射率２０％の均等拡散面として（７．６）式より算出した。

Lo（路面輝度Lr=4.5cd/m²当たり）＝4.5／コントラスト係数×ρ／π　(cd/m²)

……（７．６）

ここに、

コントラスト係数（Lr/Ev）：0.42（カウンタービーム照明、コンクリート舗装）

0.13（対称照明、コンクリート舗装）

これをもとに7．4．1入口照明下での光幕輝度と視認性と同様の方法により、見かけの輝度対比 C′ を算出し、表－7．40～表－7．41、図－7．38～図－7．40に示す。図－7．38～図－7．40より、煤煙透過率が小さいほど、また観測距離が長いほど、カウンタービーム照明の特長である高い輝度対比を確保することが困難となり、煤煙透過率が50～40％の場合には、カウンタービーム照明のもとでの障害物の見かけの輝度対比が、対称照明と同等程度となるという結果を得た。

表－７．３４　単位長さ(40m)、単位水平面照度(1000lx)当たりの光幕輝度

測定条件：ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明　順方向（南→北）
測定日：平成７年１０月３１日

煤煙透過率	光幕輝度(cd/m²)		
(%)	0～40m	40～80m	80～120m
75	11.5	8.2	21.6
75	18.0	9.2	9.5
75	16.8	9.3	11.2
74	17.6	10.7	10.2
52	26.2	24.7	23.5
48	30.1	25.2	26.6
43	32.2	27.8	28.2
41	35.9	28.7	27.4
40	37.3	27.8	27.9
42	37.2	27.5	22.4
42	37.1	26.7	26.6
80	12.0	7.2	20.2
57	20.7	23.7	21.9
95	10.9	6.9	6.6

表－７．３５　単位長さ(40m)、単位水平面照度(1000lx)当たりの光幕輝度

測定条件：ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明　逆方向（北→南）
測定日：平成７年１０月３１日

煤煙透過率	光幕輝度(cd/m²)		
(%)	120～80m	80～40m	40～0m
75	4.6	4.1	6.2
75	4.4	4.8	4.5
75	4.9	4.8	4.5
74	5.4	5.2	4.8
51	9.8	10.0	9.6
46	10.9	9.9	9.0
43	11.0	10.2	10.8
41	11.7	10.7	10.8
40	11.4	10.5	10.9
42	10.6	10.3	10.4
42	10.6	9.9	10.2
79	6.7	2.5	2.7
57	6.9	7.2	6.7
95	2.0	2.0	2.0

表－７．３６　単位長さ(40m)、単位水平面照度(1000lx)当たりの光幕輝度

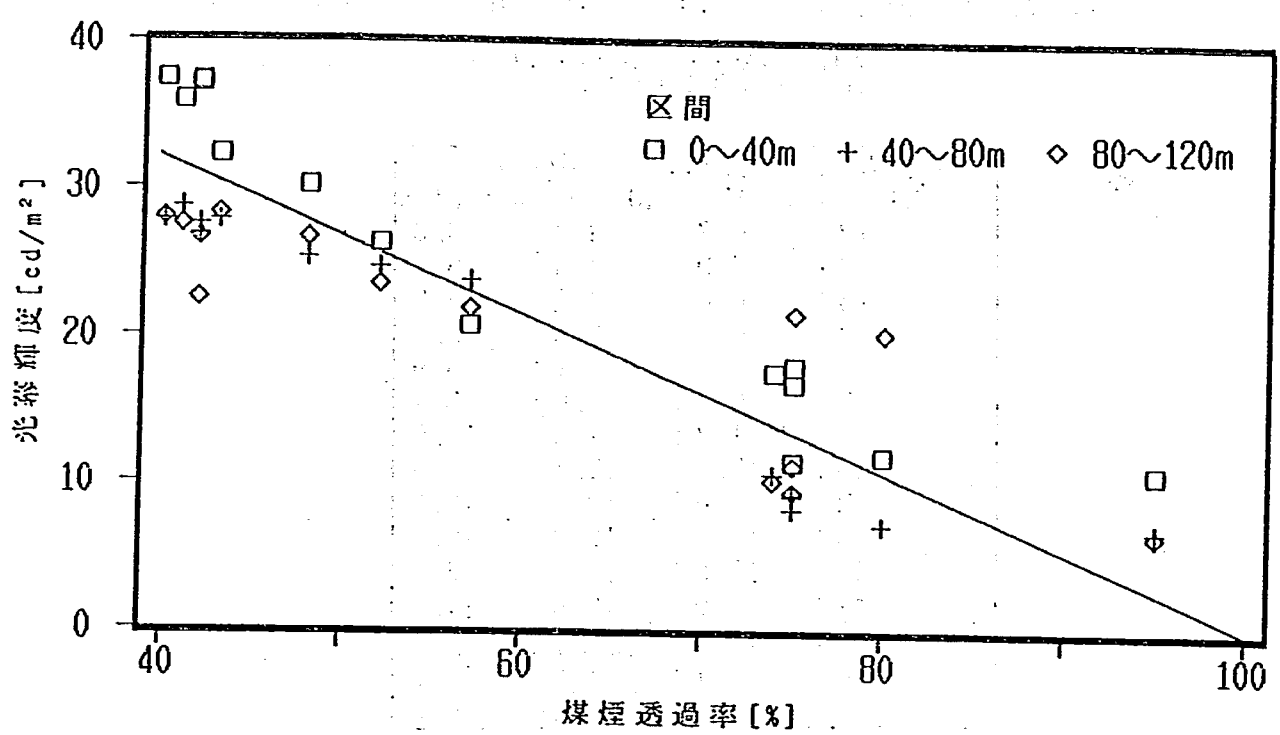
測定条件：対称照明　順方向（南→北）
測定日：平成７年１１月２日

煤煙透過率 (%)	光幕輝度(cd/m²)		
	0～40m	40～80m	80～120m
72	6.7	8.2	8.0
72	6.9	7.6	6.7
73	6.6	7.0	5.5
73	6.4	6.6	5.6
73	6.2	6.1	5.9
73	6.3	6.6	5.1
52	11.3	11.5	11.9
50	12.4	12.1	12.3
48	12.6	12.4	12.6
46	12.4	12.3	12.5
42	12.8	12.9	13.1
42	13.0	12.6	11.9
43	12.3	12.1	11.4
44	12.1	11.6	11.6
91	1.0	0.4	0.3

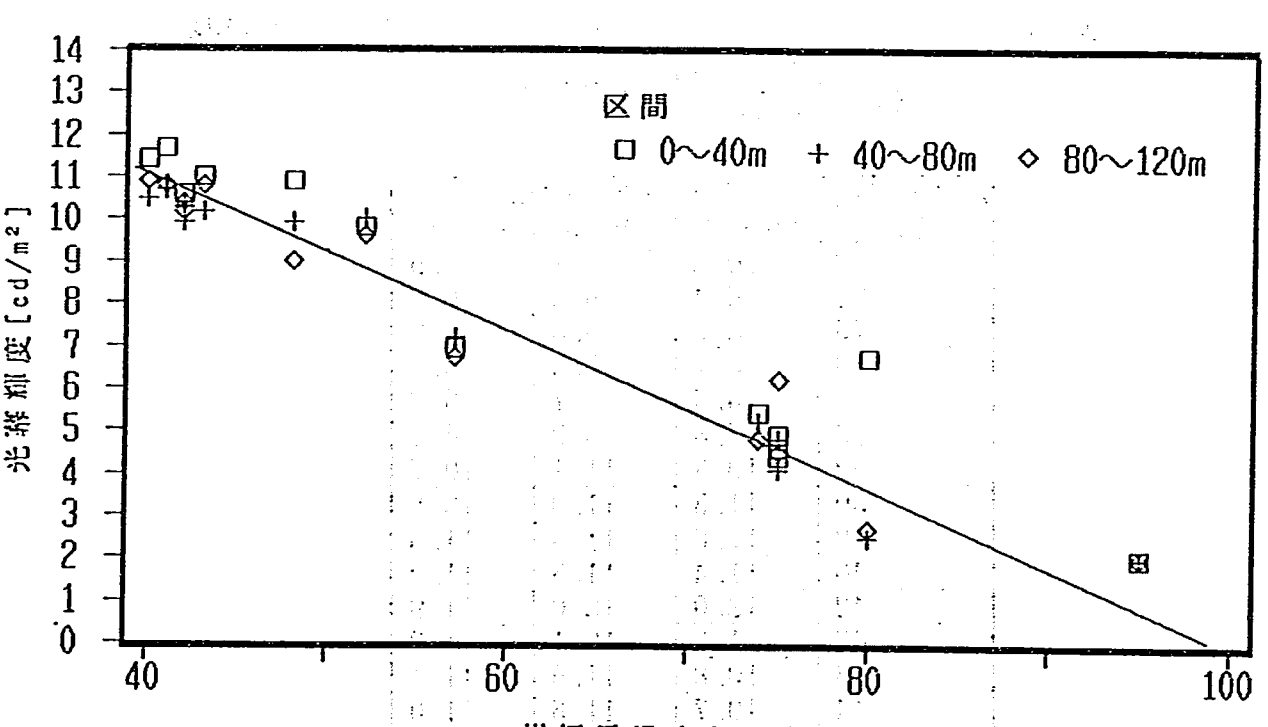
表－７．３７　単位長さ(40m)、単位水平面照度(1000lx)当たりの光幕輝度

測定条件：対称照明　逆方向（北→南）
測定日：平成７年１１月２日

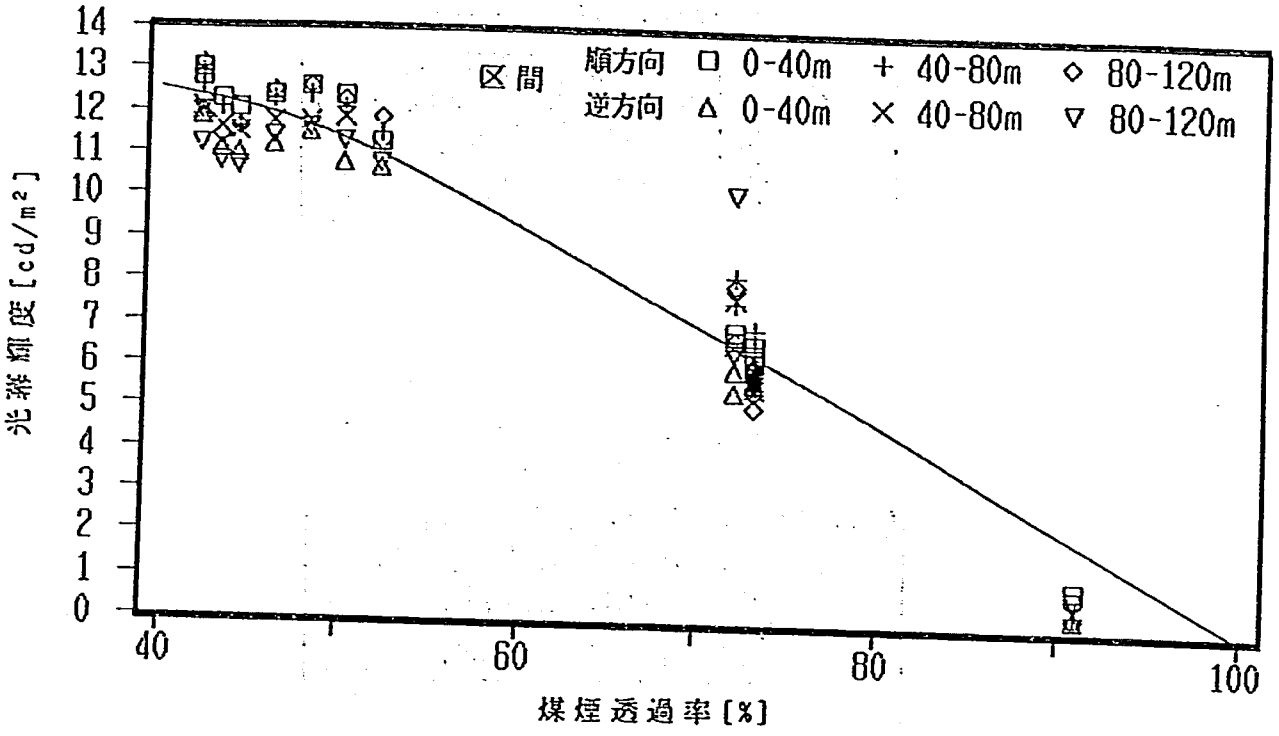
煤煙透過率 (%)	光幕輝度(cd/m²)		
	120～80m	80～40m	40～0m
72	10.2	7.7	5.5
72	6.4	6.6	6.0
73	6.0	5.6	6.2
73	5.7	5.8	5.7
73	5.9	5.7	5.8
73	5.8	5.8	6.1
52	10.8	11.1	10.7
50	11.3	11.9	10.8
48	11.6	11.8	11.5
46	11.4	11.8	11.2
42	12.0	12.0	11.9
42	11.2	12.1	11.9
43	10.8	11.6	11.1
44	10.7	11.5	11.0
91	0.8	0.5	0.3



図－７．３２　単位長さ（40m）、単位水平面照度（1000lx）当たりの光幕輝度
測定条件：カウンタービーム照明　　順方向（南→北）



図－７．３３　単位長さ（40m）、単位水平面照度（1000lx）当たりの光幕輝度
測定条件：カウンタービーム照明　　逆方向（北→南）



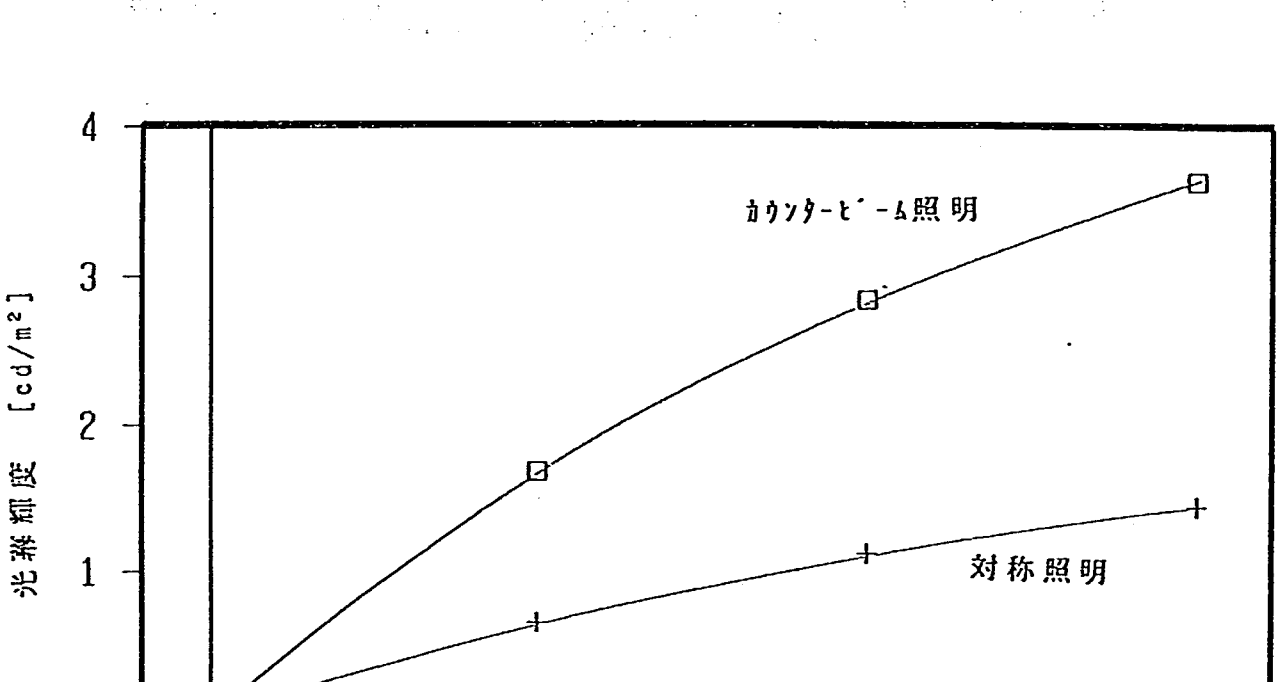
図－７．３４　単位長さ（40m）、単位水平面照度（1000lx）当たりの光幕輝度
測定条件：対称照明　　順方向・逆方向

表－７．３８　単位路面輝度(4.5cd/㎡)当たりの光幕輝度
照明条件：ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明

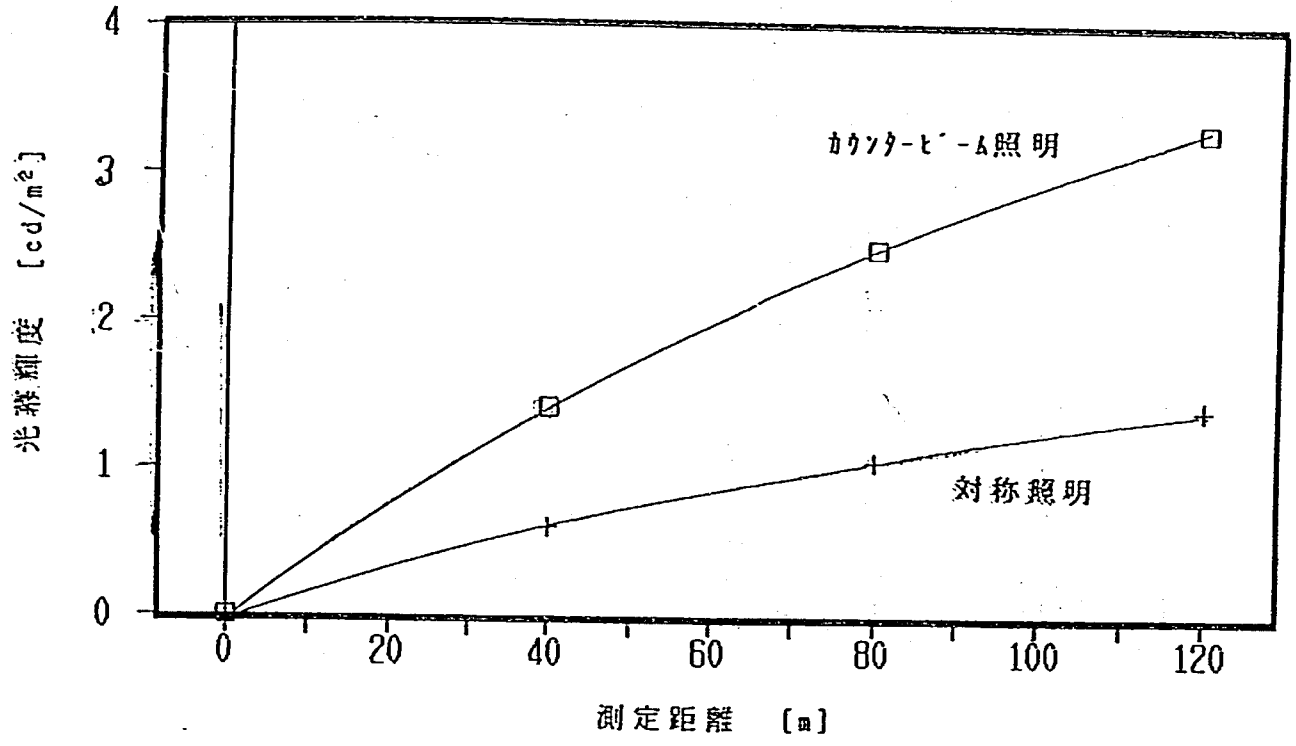
煤煙透過率 (%)	光幕輝度(cd/㎡)		
	40m区間	80m区間	120m区間
40	1.67	2.83	3.63
50	1.41	2.48	3.29
75	0.68	1.28	1.82

表－７．３９　単位路面輝度(4.5cd/㎡)当たりの光幕輝度
照明条件：対称照明

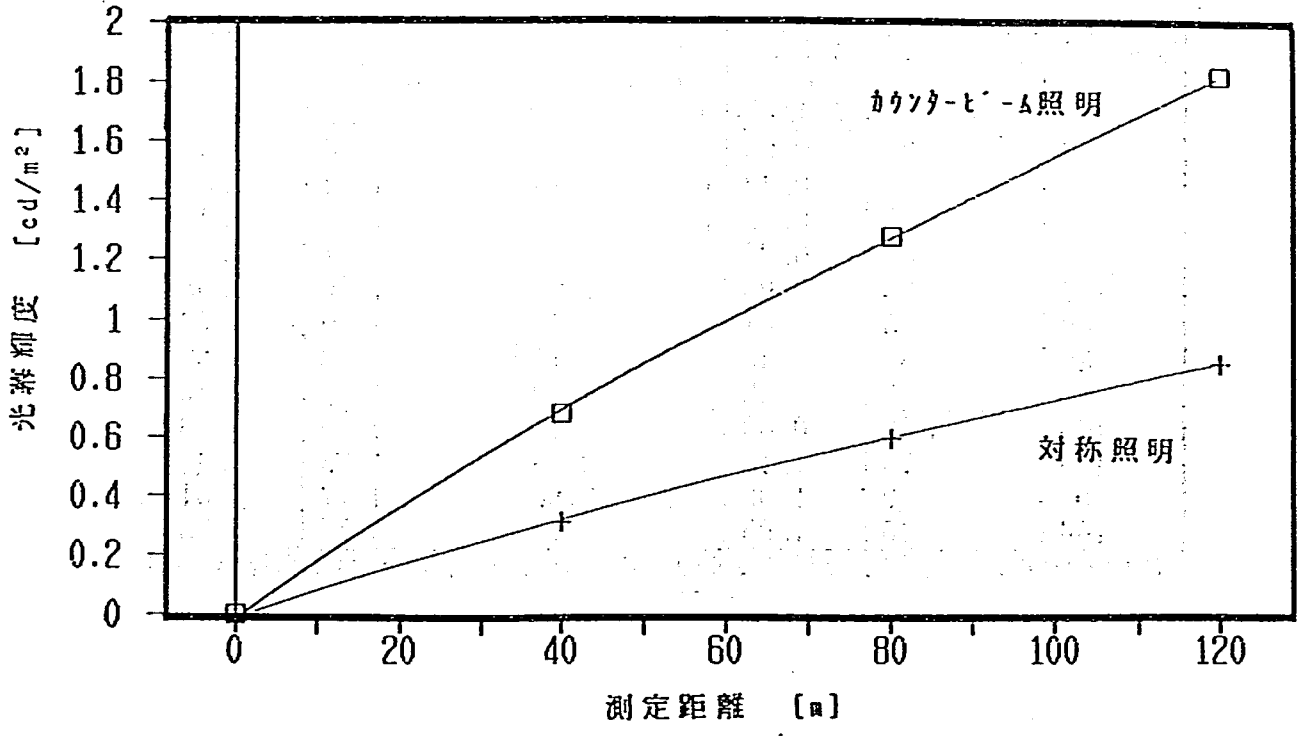
煤煙透過率 (%)	光幕輝度(cd/㎡)		
	40m区間	80m区間	120m区間
40	0.65	1.11	1.42
50	0.60	1.05	1.40
75	0.31	0.59	0.84



図－７．３５　基本照明下（路面輝度4.5cd/㎡当たり）の光幕輝度
煤煙透過率：40%



図－７．３６　基本照明下（路面輝度4.5cd/m²当たり）の光幕輝度
煤煙透過率：50%



図－７．３７　基本照明下（路面輝度4.5cd/m²当たり）の光幕輝度
煤煙透過率：70%

表－７．４０　基本照明下（煤煙中）での障害物の視認性

照明条件：ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明
設計速度：８０ ㎞/h

観測距離 (m)	煤煙透過率 τ (%)	光幕輝度 Lv (cd/m²)	見かけの障害物輝度 Lo′ (cd/m²)	見かけの路面輝度 Lr′ (cd/m²)	輝度対比 C′
40	100	0.00	0.68	4.50	0.85
40	75	0.68	1.29	4.69	0.72
40	50	1.41	1.93	4.82	0.60
40	40	1.67	2.14	4.79	0.55
80	100	0.00	0.68	4.50	0.85
80	75	1.28	1.82	4.85	0.62
80	50	2.48	2.87	5.06	0.43
80	40	2.83	3.16	4.99	0.37
120	100	0.00	0.68	4.50	0.85
120	75	1.82	2.30	5.01	0.54
120	50	3.29	3.59	5.25	0.32
120	40	3.63	3.86	5.13	0.25

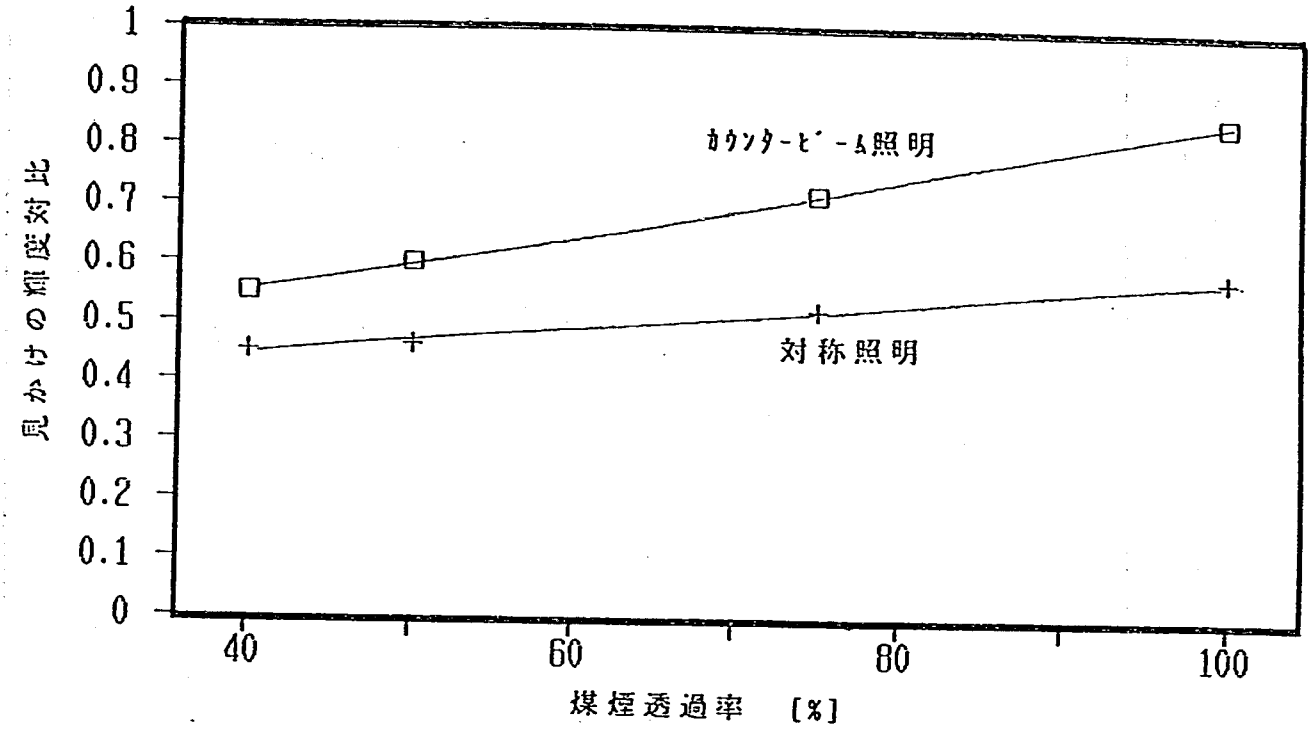
（障害物輝度は、障害物を反射率20%の均等拡散面とし鉛直面照度から算出した）

表－７．４１　基本照明下（煤煙中）での障害物の視認性

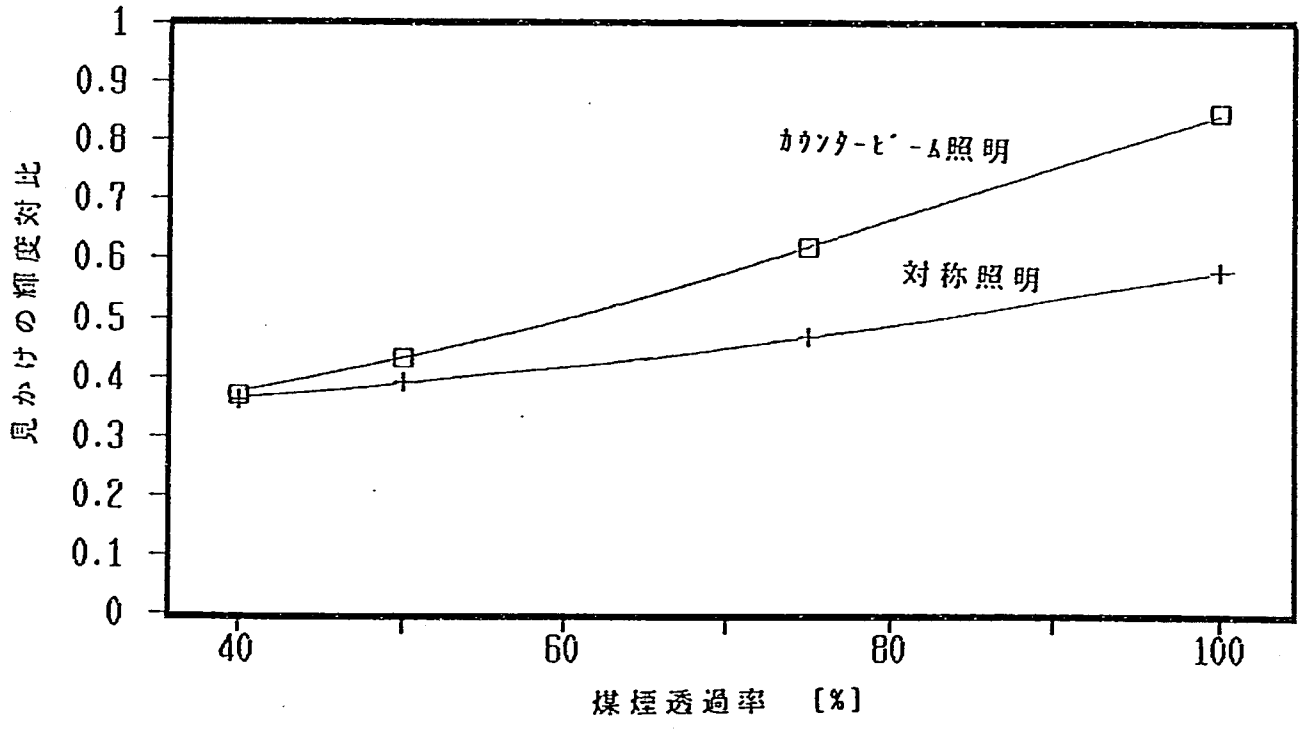
照明条件：対称照明
設計速度：８０ ㎞/h

観測距離 (m)	煤煙透過率 τ (%)	光幕輝度 Lv (cd/m²)	見かけの障害物輝度 Lo′ (cd/m²)	見かけの路面輝度 Lr′ (cd/m²)	輝度対比 C′
40	100	0.00	1.91	4.50	0.58
40	75	0.43	2.13	4.44	0.52
40	50	0.82	2.27	4.23	0.46
40	40	0.89	2.21	4.01	0.45
80	100	0.00	1.91	4.50	0.58
80	75	0.81	2.42	4.60	0.47
80	50	1.45	2.71	4.42	0.39
80	40	1.52	2.62	4.12	0.36
100	100	0.00	1.91	4.50	0.58
100	75	1.15	2.58	4.53	0.43
100	50	1.92	2.88	4.17	0.31
100	40	1.95	2.71	3.75	0.28

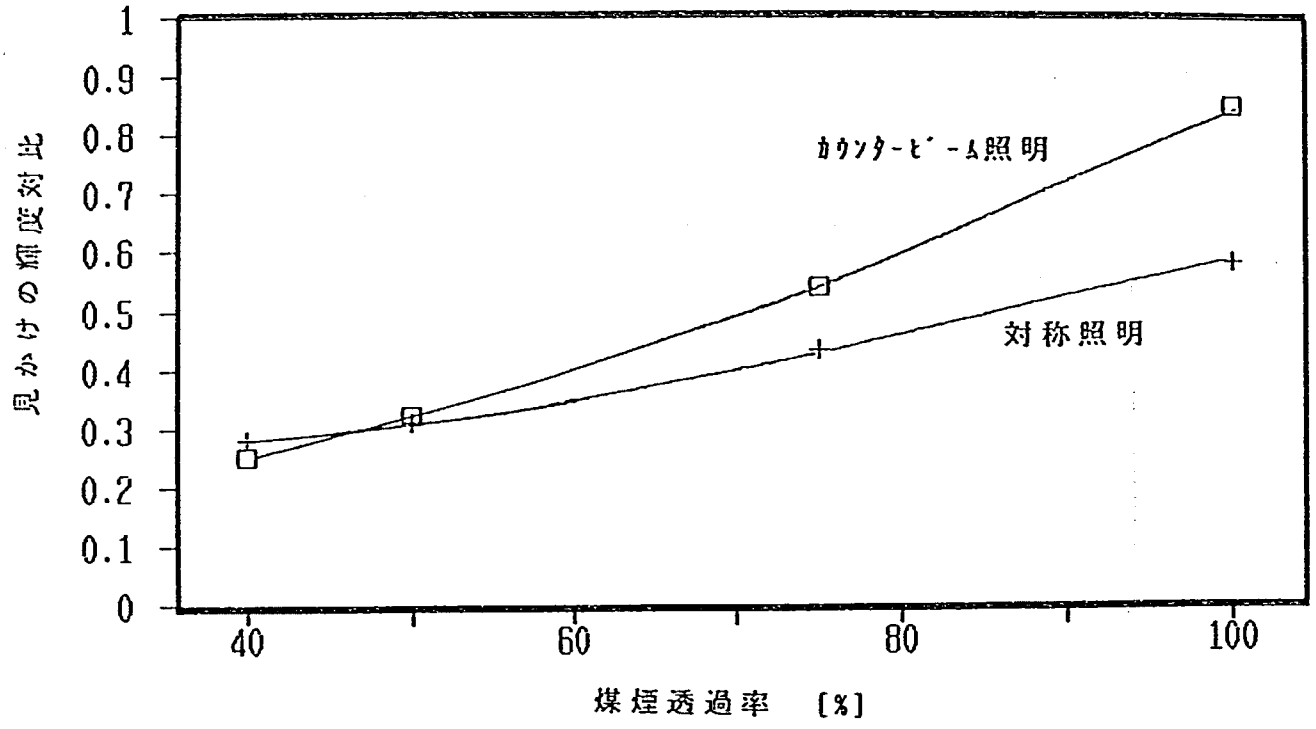
（障害物輝度は、障害物を反射率20%の均等拡散面とし鉛直面照度から算出した）



図－７．３８　煤煙中の基本照明下での障害物の視認性
観測距離：40m



図－７．３９　煤煙中の基本照明下での障害物の視認性
観測距離：80m



図－７．４０　煤煙中の基本照明下での障害物の視認性
観測距離：120m

7．4．3　煤煙の性状

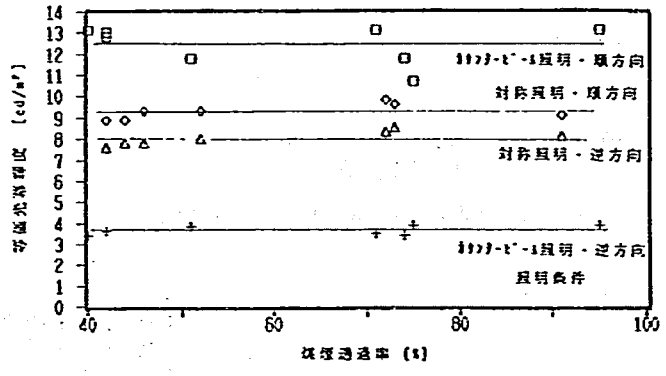
今回の実験における煤煙の性状を確認する目的で、単位水平面照度（1000lx）当たりの対称照明の光幕輝度を算出し、表－７．４２に示す。このうち観測距離１２０mの結果を以前の煤煙実験の結果と重ねて図－７．４１に示す。図より、今回の実験における煤煙は、中負荷から重負荷に相当する性状であったことが分かった。

表－７．４２　単位水平面照度(1000lx)当たりの光幕輝度
照明条件：対称照明

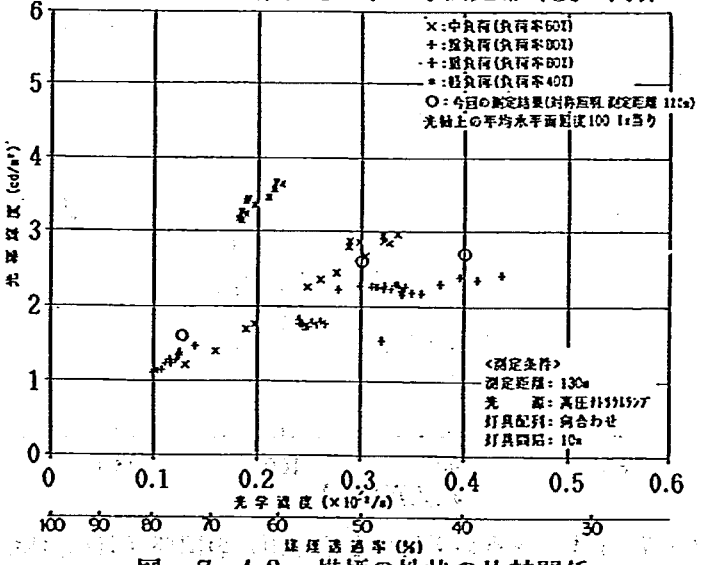
煤煙透過率 (%)	光幕輝度(cd/m²)		
	40m区間	80m区間	120m区間
40	12.5	21.2	27.2
50	11.5	20.2	26.8
75	6.0	11.3	16.1

7．4．4　煤煙透過率と等価光幕輝度との関係

煤煙透過率と等価光幕輝度との関係を図－７．４２に示す。図のように、煤煙透過率により、等価光幕輝度は、煤煙透過率に依存しないことを再確認した。



図－７．４２　煤煙透過率と等価光幕輝度の関係

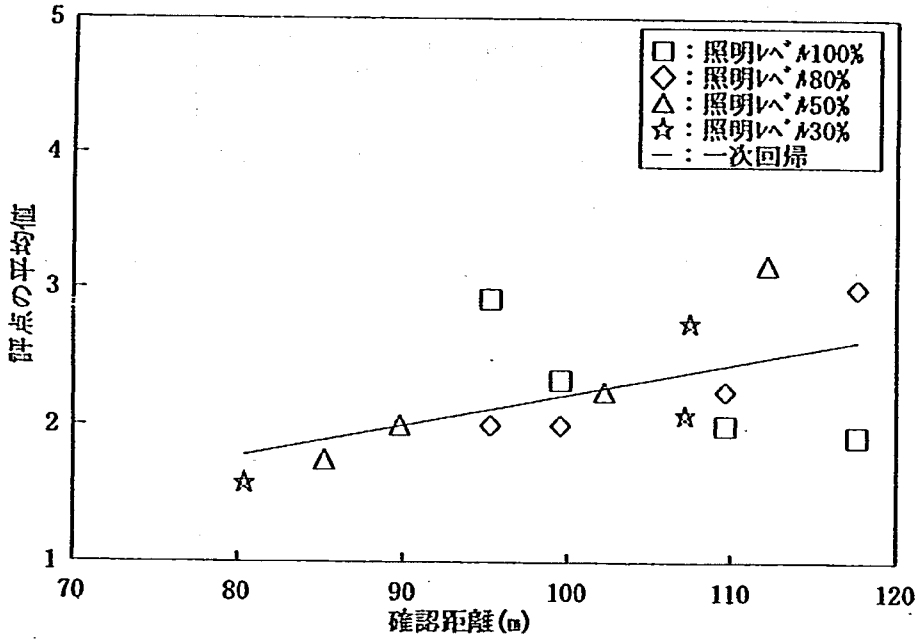


図－７．４３　煤煙の性状の比較関係

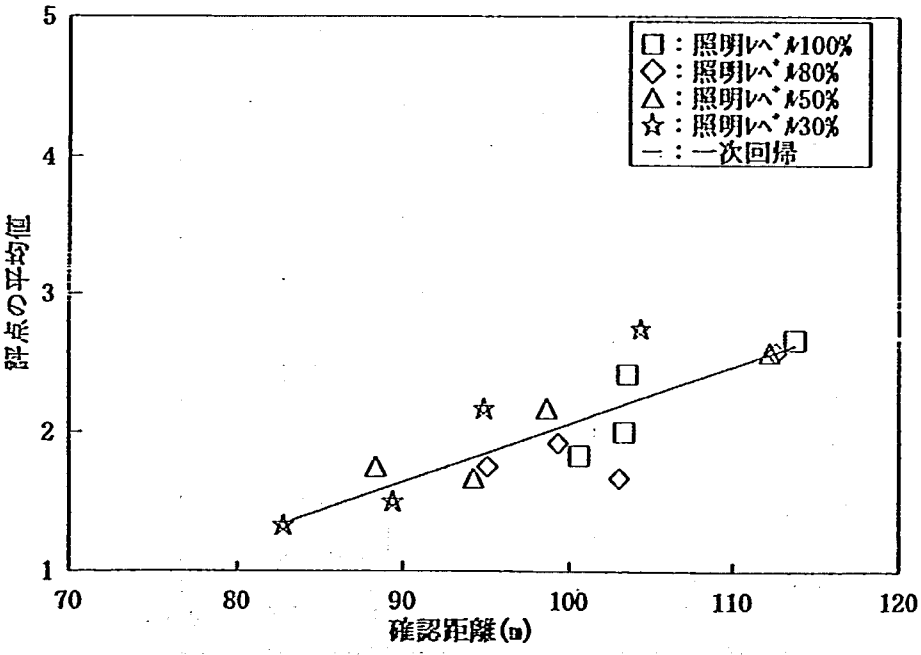
7．4．5　評点の平均値と確認距離の関係

今回の実験では、視認距離は煤煙透過率の低下による視認距離の低下は見られなかった。そこで、煤煙透過率の低下による影響が見られた確認距離の障害物提示位置１２０ｍにおいて静止実験で行ったアンケート結果（評点の平均値）と確認距離の関係について整理を行った。結果を図－７．４３、図－７．４４に示す。

図を見ると、カウンタービーム照明では両者には関係は、ほとんど見られないが、対称照明の場合ばらつきはあるものの評点の平均値と確認距離には一定の関係があることが分かった。



図－７．４３　評点の平均値と確認距離の関係（カウンタービーム照明）



図－７．４４　評点の平均値と確認距離の関係（対称照明）

7．4．6　可視度による評価

各煤煙透過率ごとに測定を行った等価光幕輝度及び3章で求めた輝度対比から可視度[2)]を求めた。その可視度を用いて視認性の評価を行った。結果を表－7．43～表－7．45、図－7．45～図－7．47に示す。

（1）各観測距離における可視度

図－7．45は各観測位置における可視度を表したものである。図を見ると、全体的な傾向としては、観測距離が伸びるほど可視度は低下する傾向にあることが分かった。ただし、観測距離が80mの時は、カウンタービーム照明では可視度が若干高い傾向を示すのに対し、対称照明は若干低い値を示す傾向にある。

（2）煤煙透過率と可視度との関係

図－7．46は煤煙透過率の変化による可視度の関係を示したものである。各障害物の提示位置でカウンタービーム照明の方が対称照明より可視度が高い値となっており、煤煙透過率100%ではその差を顕著に見ることが出来る。しかし、煤煙透過率が40%の時にはほとんど差は見られていない。このことから煤煙透過率100%では照明方式の違いによる障害物の認識には大きな差があるが、煤煙透過率40%では照明方式の違いによる障害物の認識にはほとんど差がないのではないかと予想できる。

（3）評点の平均値と可視度の関係

図－7．47は可視度と評点の平均値を示したものである。図を見ると各観測距離で可視度が高くなると評点の平均値も高くなる傾向にあることが分かる。また、その傾向は対称照明の方が顕著である。

（4）視認距離および確認距離と可視度の関係

表－7．44は視認距離、確認距離と可視度関係を示した値である。今回の実験では観測距離が短かったために視認距離は可視度に関係なく、ほとんどが観測距離で視認されているので両者の関係を見ることは出来なかった。

一方、確認距離は障害物の提示位置が80m、120mで確認距離にばらつきが見られるが、可視度との関係については、両者の関係はほとんど見ることが出来なかった。

表－7．4 3　可視度の算出結果

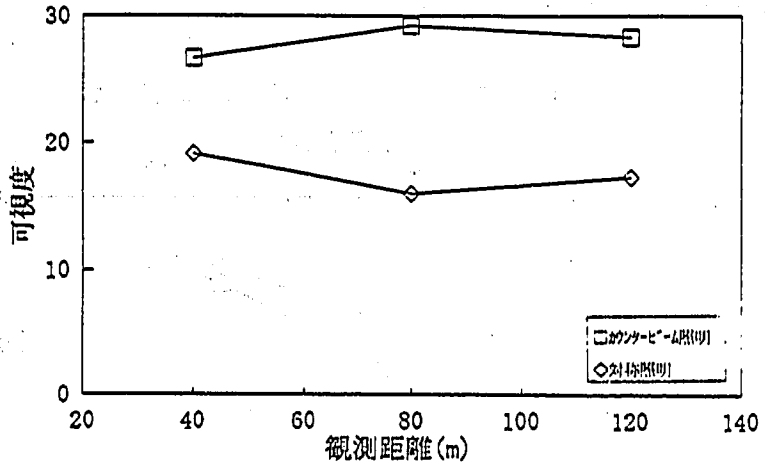
照明方式	観測距離(m)	煤煙透過率 T1	背景路面輝度 Lb (Cd/m2)	障害物輝度 L0 (Cd/m2)	輝度差 Lb－L0	輝度対比 Lb－L0/Lb	等価光幕輝度 Leq (cd/m2)	Leq&Lb 輝度差弁別閾 ΔLmin (eq+Lb)	Laf(Lb) 輝度差弁別閾 ΔLmin (af)	輝度差弁別閾 ΔLmin	輝度対比弁別閾 Cmin=ΔLmin/Lb	可視度 VL
ｼｬﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ	40	100	90.3	22.5	67.80	0.75	0.0	2.421	0.123	2.543	0.028	26.656
		75	98.5	38.1	60.40	0.61	18.0	3.165	0.128	3.293	0.033	18.343
		50	98.4	47.1	51.30	0.52	30.0	3.510	0.128	3.638	0.037	14.102
		40	98.6	51.6	47.00	0.48	36.0	3.691	0.128	3.819	0.039	12.306
	80	100	91.4	16.1	75.30	0.82	0.0	2.452	0.123	2.575	0.028	29.243
		75	99.9	36.5	63.40	0.63	23.0	3.350	0.129	3.479	0.035	18.225
		50	99.3	49.6	49.70	0.50	39.0	3.800	0.129	3.928	0.040	12.652
		40	100.7	57.3	43.40	0.43	48.0	4.107	0.129	4.237	0.042	10.244
	120	100	55.0	11.0	44.00	0.80	0.0	1.457	0.097	1.555	0.028	28.303
		75	71.3	38.3	33.00	0.46	30.0	2.730	0.110	2.840	0.040	11.620
		50	80.5	58.5	22.00	0.27	53.0	3.659	0.116	3.775	0.047	5.828
		40	85.0	67.4	17.60	0.21	63.0	4.086	0.119	4.206	0.049	4.185
対照照明	40	100	117.4	53.6	63.80	0.54	0	3.191	0.140	3.331	0.028	19.156
		75	115.9	58.8	57.10	0.49	11	3.466	0.139	3.605	0.031	15.839
		50	110.2	61.6	48.60	0.44	21	3.591	0.135	3.727	0.034	13.040
		40	103.6	59.2	44.40	0.43	22	3.428	0.131	3.559	0.034	12.474
	80	100	76.4	41.9	34.50	0.45	0	2.036	0.113	2.149	0.028	16.055
		75	81.3	52.3	29.00	0.36	17	2.646	0.117	2.762	0.034	10.499
		50	80.4	57.6	22.80	0.28	30	2.990	0.116	3.106	0.039	7.342
		40	76.1	56.2	19.90	0.26	32	2.924	0.113	3.037	0.040	6.553
	120	100	59.5	30.4	29.10	0.49	0	1.577	0.101	1.678	0.028	17.340
		75	68.6	46.8	21.80	0.32	24	2.485	0.108	2.593	0.038	8.408
		50	70.8	56.2	14.60	0.21	41	3.030	0.109	3.139	0.044	4.651
		40	66.8	55.2	11.60	0.17	43	2.972	0.106	3.079	0.046	3.768

表－7．4 4　可視度と視認・確認距離の関係

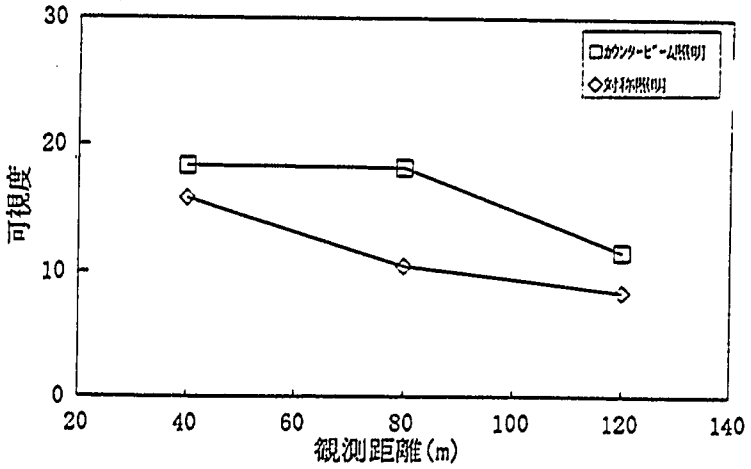
障害物提示位置 (m)	煤煙透過率 (%)	可視度		照明レベル 30% 視認距離(m)		30% 確認距離(m)		照明レベル 100% 視認距離(m)		100% 確認距離(m)		備考
		ｼｬﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ	対称照明	ｼｬﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ	対称照明	ｼｬﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ	対称照明	ｼｬﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ	対称照明	ｼｬﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ	対称照明	
40	100	26.7	19.2	40	40	40	40	40	40	40	40	
	75	18.3	15.8	40	40	40	40	40	40	40	40	
	50	14.1	13.0	40	40	—	40	40	40	40	40	
	40	12.3	12.5	40	40	40	40	40	40	40	40	
80	100	29.2	16.1	80	80	80	77.1	80	80	80	79.3	
	75	18.2	10.5	80	80	80	74.8	80	80	80	77.7	
	50	12.7	7.3	80	50	—	73.6	80	80	80	78.3	
	40	10.2	6.6	80	80	75.4	70.8	80	80	79.4	78.1	
120	100	28.3	17.3	120	119.4	107.5	104.4	120	120	117.6	113.7	
	75	11.6	8.4	120	119.0	107.3	94.8	120	119.2	109.7	103.6	
	50	5.8	4.7	120	115.3	—	89.4	120	118.2	99.6	103.4	
	40	4.2	3.8	120	103.3	80.4	82.8	120	117.7	95.3	100.6	

表－7．4 5　可視度と評点の平均値の関係

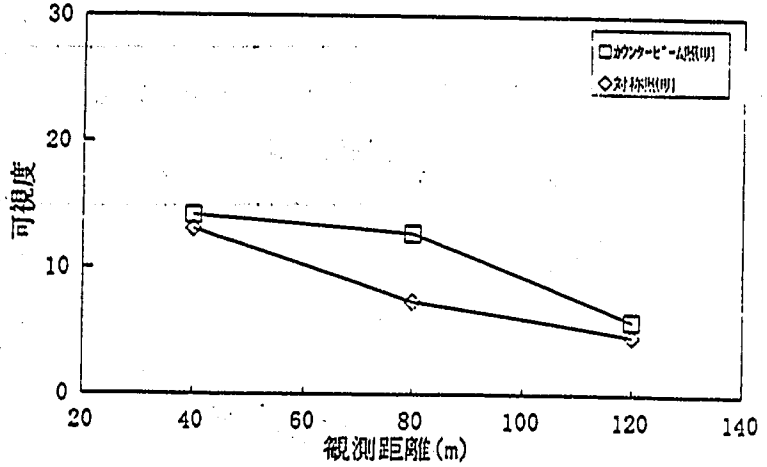
照明方式	煤煙透過率 (%)	障害物提示位置(観測距離) (m)	可視度	評点の平均値 照明レベル 100%	80%	50%	30%	備考
ｼｬﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ	100	40	26.7	4.42	4.42	2.33	4.08	
		80	29.2	3.83	3.83	3.67	3.50	
		120	28.3	3.08	3.00	2.92	2.75	
	75	40	18.3	4.08	4.00	4.00	4.00	
		80	18.2	3.25	3.42	3.25	3.25	
		120	11.6	2.33	2.25	2.25	2.08	
	50	40	14.1	4.00	3.92	3.75	—	
		80	12.7	3.00	2.92	2.92	—	
		120	5.8	2.00	2.00	2.00	—	
	40	40	12.3	3.92	3.83	3.67	3.58	
		80	10.2	2.75	2.75	2.58	2.58	
		120	4.2	1.92	2.00	1.75	1.58	
対称照明	100	40	19.2	5.00	5.00	4.75	4.67	
		80	16.1	4.17	4.17	3.92	3.50	
		120	17.3	2.67	2.58	2.58	2.42	
	75	40	15.8	4.67	4.67	4.50	4.17	
		80	10.5	3.33	3.42	3.33	3.17	
		120	8.4	2.42	2.33	2.17	2.17	
	50	40	13.0	4.17	4.08	4.00	3.92	
		80	7.3	3.17	3.08	2.75	2.58	
		120	4.7	2.00	1.92	1.75	1.50	
	40	40	12.5	4.17	4.08	4.08	3.83	
		80	6.6	2.83	2.75	2.75	2.33	
		120	3.8	1.83	1.75	1.75	1.33	



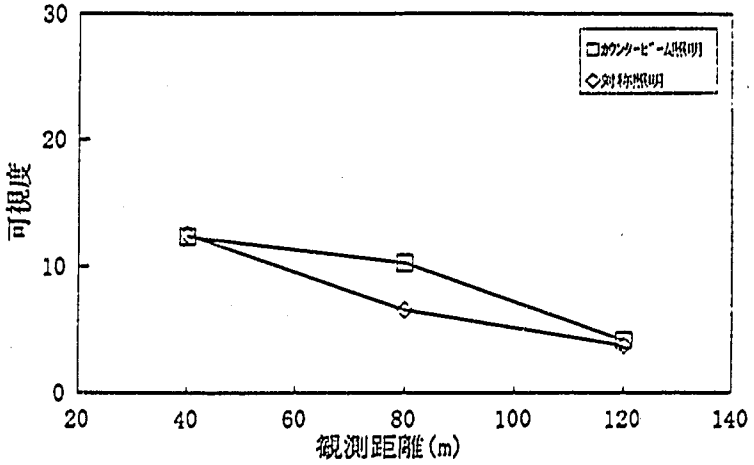
煤煙透過率：１００％



煤煙透過率：７５％

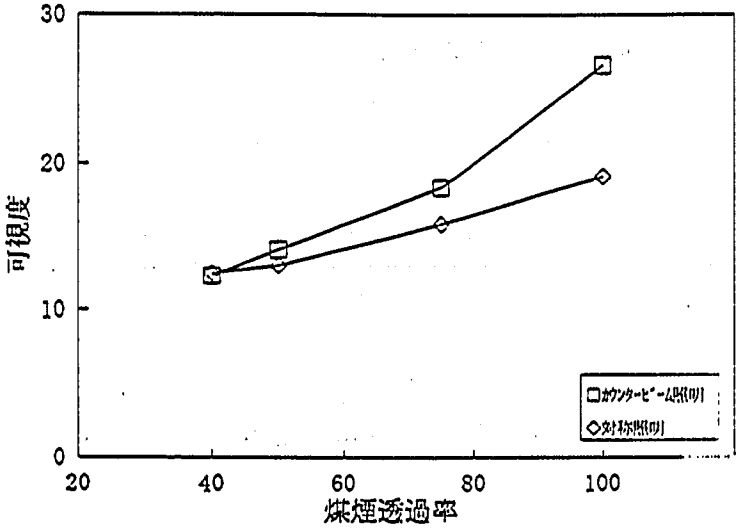


煤煙透過率：５０％

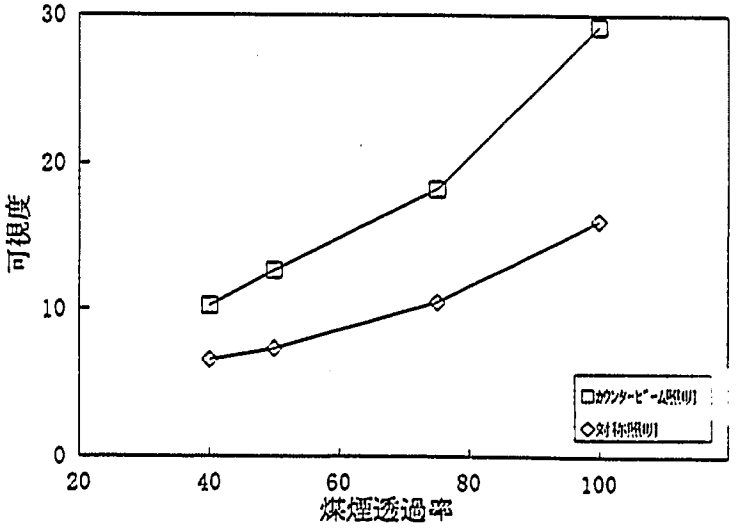


煤煙透過率：４０％

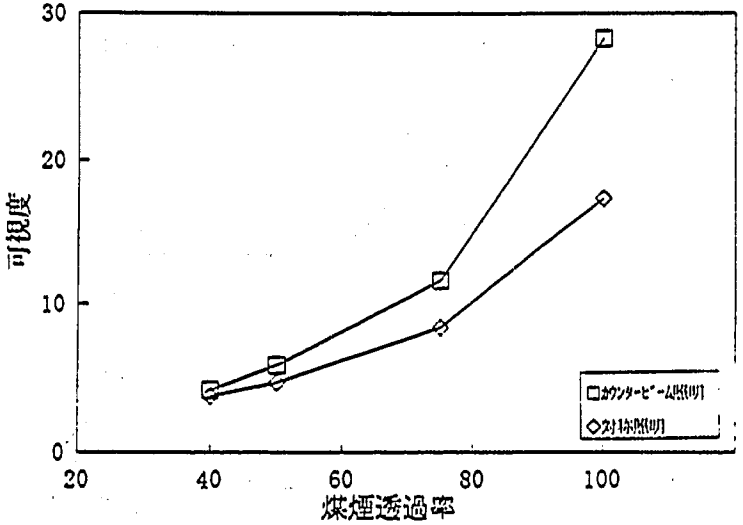
図－７．４５　観測距離（障害物の提示位置）と可視度の関係



障害物提示位置：４０ｍ

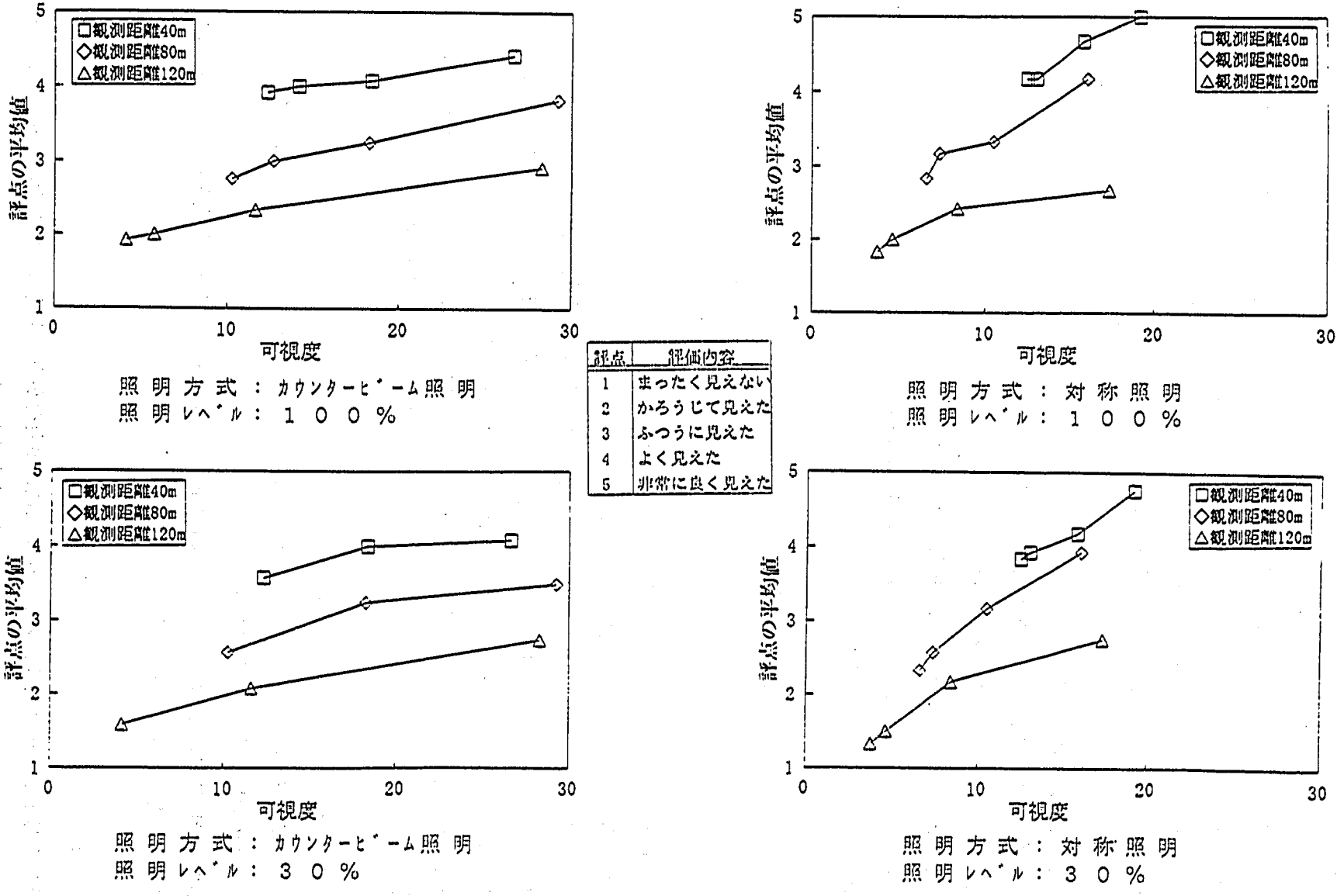


障害物提示位置：８０ｍ



障害物提示位置：１２０ｍ

図－７．４６　煤煙透過率と可視度の関係



評点	評価内容
1	まったく見えない
2	かろうじて見えた
3	ふつうに見えた
4	よく見えた
5	非常に良く見えた

図－７．４７　可視度と評点の平均値の関係

障害物反射率：２０％

7.5 まとめ

（1）入口照明下での光幕輝度と視認性

カウンタービーム照明および対称照明下において光幕輝度を測定した結果、カウンタービーム照明下では、対称照明下に比べて20～50%高い光幕輝度が発生していることが分かった。また、この光幕輝度をもとに見かけの輝度対比を計算した結果、煤煙透過率が40～50%となると両照明方式下における輝度対比の差はなくなるものの、カウンタービーム照明下での輝度対比が若干高い値を示すことが分かった。また、煤煙透過率が高い条件での輝度対比もカウンタービーム照明が高い値を示した。

（2）基本照明下での光幕輝度と視認性

上記入口照明下での光幕輝度の測定結果をもとに、基本照明下での視認性を検討した。その結果、測定距離40m区間の水平面照度1,000lx当たりの光幕輝度を求めた結果、カウンタービーム照明下の光幕輝度は対照照明下の約2倍以上となることが分かった。また、路面輝度4.5cd/m²における光幕輝度をもとに、見かけの輝度対比を計算した結果、設計速度80km/hの視距に近い観測条件（観測距離80、120m）における煤煙透過率40～50%の条件下では見かけの輝度対比が両照明方式の間で同等程度となることが分かった。

（3）障害物の視認性実験（静止実験）結果

・障害物の提示位置（観測距離）が40mの場合、両照明方式ともに評点3以上の評価が得られることが分かった。
・障害物の提示位置（観測距離）が80mの場合、煤煙透過率40～50%における両照明方式の評価に差異が生じ、カウンタービーム照明下で評点3、対称照明下で評点2の評価となった。
・障害物の提示位置（観測距離）が120mの場合、煤煙透過率40～50%における両照明方式の評価に0.5程度の差異が生じ、カウンタービーム照明下で評点2、対称照明下で評点1.5の評価となった。また、この観測距離では照明レベルが低下すると評点がさらに低下する傾向がある。
・カウンタービーム照明では、障害物の反射率に関わらず評価が安定しているが、対称照明では障害物の反射率に強く依存し、反射率が高くなるほど輝度対比が低下するため、評点が低下する。

（4）障害物の視認性実験（徒歩実験）結果

・徒歩実験によって、障害物の視認距離・確認距離を求めた結果、視認距離は障害物の提示位置と等しくなり、両照明方式の間に差異は見られなかった。
・障害物提示位置120mにおいて、煤煙透過率の低下とともに確認距離が低下する傾向が見られるが、両照明方式の間にほとんど差異は生じなかった。

（5）煤煙の性状

今回の実験における煤煙の性状は、ディーゼル発電機の負荷が中～重負荷（負荷率60～80%）に相当し、ほぼ実際のトンネルの煤煙の性状を再現できていることが分かった。

（6）煤煙透過率と等価光幕輝度の関係

透過光幕輝度は、煤煙透過率に依存しないことを再確認した。

（7）評点の平均値と確認距離の関係

可視度と障害物の視認性の評価の評点の平均値の関係は、可視度が高くなると評点の平均値も高くなる傾向にあることが分かった。確認距離と可視度との両者の関係は、確認できなかった。

（8）可視度による評価

煤煙透過率が高い場合には、両照明方式の可視度に大きな差異があり、カウンタービーム照明下において、高い可視度が得られる。しかし、煤煙透過率が40～50%においては両照明方式の可視度はほぼ等しくなることが分かった。可視度と視認性の評点との間に一定の相関があることから、煤煙透過率40～50%では両照明方式の障害物の視認性にはほとんど差がないものと推定される。

8．路面の平均照度換算係数の調査

8．1 供用中のトンネルでの平均照度換算係数

対称照明（既設照明）とカウンタービーム照明による各種舗装路面（コンクリート舗装、アスファルト舗装）の実路面における平均照度換算係数を求めるため以下の調査を行なった。

8．1．1 調査方法

調査は次に示す２つの状態で平均照度換算係数とコントラスト係数を測定し、併せて路面の平均きめ深さとすべり抵抗値を測定した。

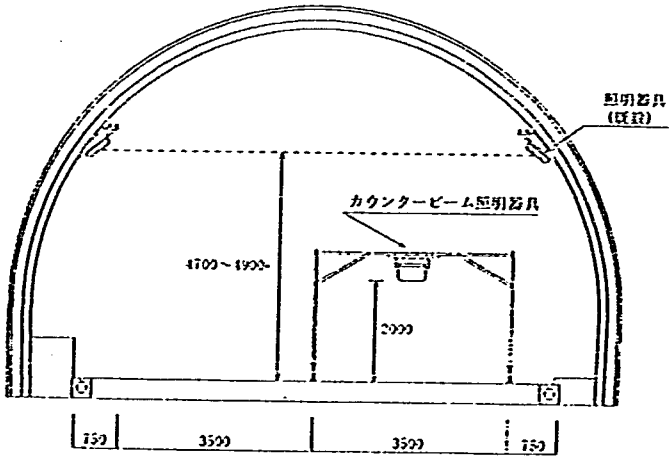
①供用中のトンネル内で既設の対称照明設備の状態

②トンネル内にカウンタービーム照明器具を４ｍ間隔に３台、路面より２ｍの高さに仮設した状態

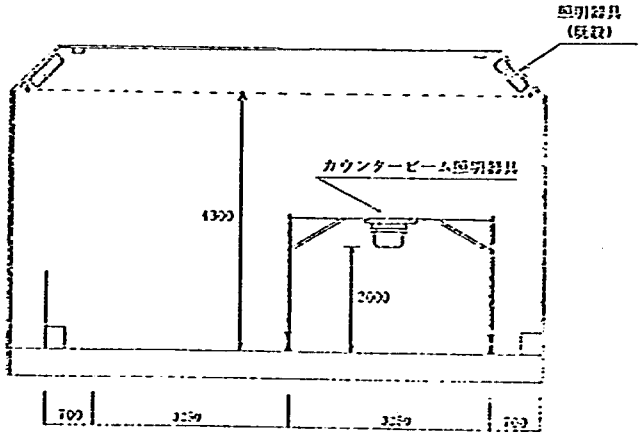
表－８．１と図－８．１および図－８．２に照明器具の設置状況を示す。

表－８．１　照明器具の設置状況

照明方式		ランプ	設置位置	設置高さ	設置間隔	点灯状態
カウンタービーム照明		NHT270・L	車線中央	2.0m	4.0m	仮設照明のみ点灯
対称照明（既設照明）	Aトンネル	NX55	路肩	4.7m	6.5m	通常の点灯
	Bトンネル	NX55	路肩	4.7m	6.5m	通常の点灯
	Cトンネル	NX55	路肩	4.8m	12.0m	通常の点灯
	Dトンネル	NX55	路肩	4.7m	12.0m	通常の点灯
	Eトンネル	NX55, NX35	路肩	4.7m	8.5m	通常の点灯
	Fトンネル	NX55, NX35	路肩	4.9m	8.5m	通常の点灯
	Gトンネル	FLR40	路肩	4.3m	5.2m	通常の点灯



図－８．１　照明器具の設置状況（Ｃ～Ｆトンネル）



図－８．２　照明器具の設置状況（Ｇトンネル）

8．1．2 対象トンネルの路面状況

（1） トンネル路面の状況

調査対象としたトンネル路面の状況を表－8．2に示す。

表－8．2 調査場所、舗装工種、表面処理、供用年数

調査場所	舗装工種	表面処理	供用年数
A トンネル	コンクリート	洗い出し	7年6ケ月
B トンネル	コンクリート	グルービング	7年6ケ月
C トンネル	コンクリート	グルービング	3年6ケ月
E トンネル	コンクリート	グルービング	9年
F トンネル	コンクリート	グルービング	9年
D トンネル	アスファルト	－	3年6ケ月
Dトンネル明り部	アスファルト	－	－
Fトンネル明り部	アスファルト	－	9年9ケ月
G トンネル	アスファルト	－	22年

（2）調査区間の交通量

調査区間の交通量の推移を表－8．3に示す。

表－8．3 年度別日交通量（上下車線） 単位：台

調査場所	年度				備考
	平成3	平成4	平成5	平成6	
A，B トンネル	25,711	26,530	27,224	28,563	4車線
C，D トンネル	5,959	6,327	6,800	7,460	2車線
E，F トンネル	7,866	8,348	8,427	8,708	2車線
G トンネル	7,745	7,751	9,604	9,454	4車線（大型車なし）

（3）調査方法及び測定項目

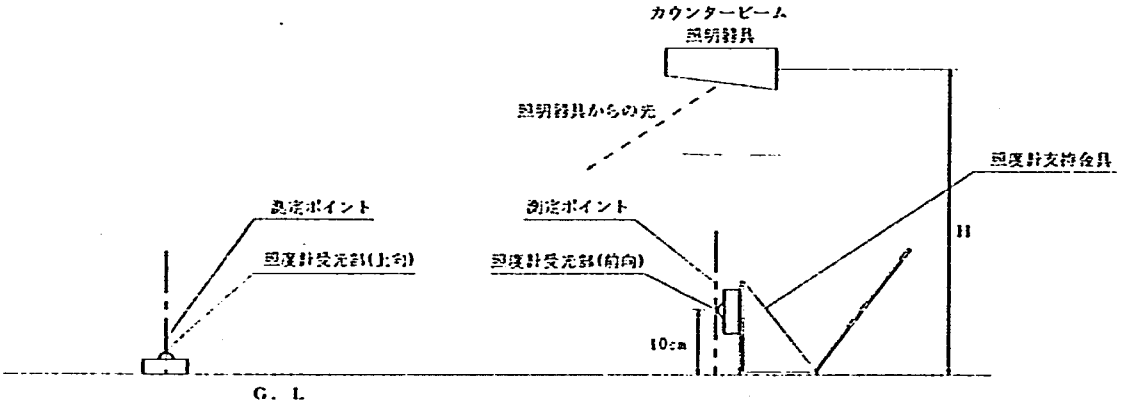
表－8．4に測定項目及び測定機器を示す。

表－8．4 測定項目及び測定機器

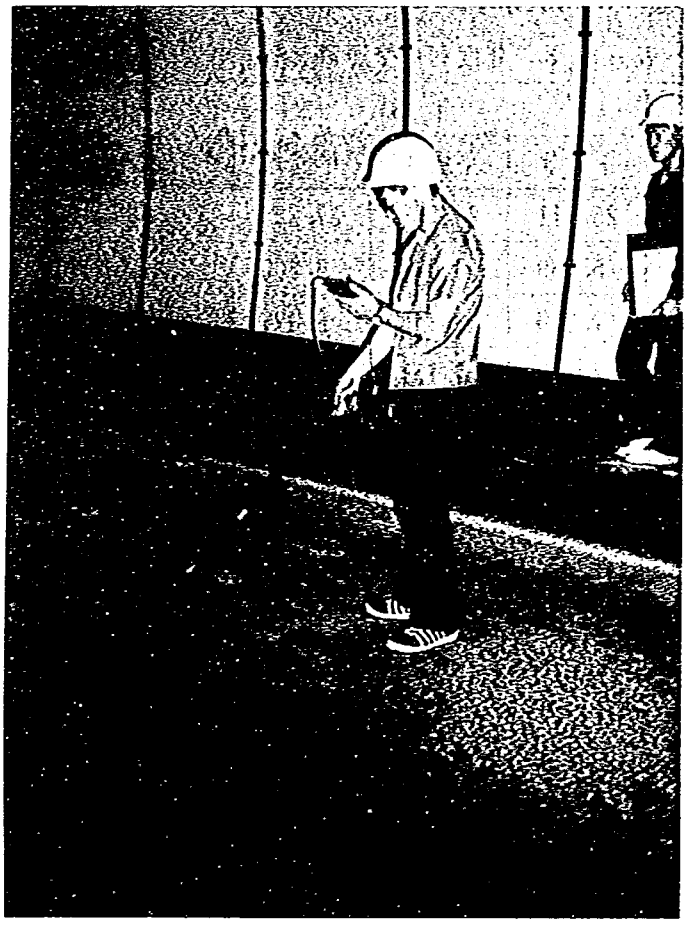
測定項目	測定機器
水平面照度	トプコン IM－3形
鉛直面照度	トプコン IM－3形
路面輝度	トプコン BM－8形（改造・台形マスク付）
路面の平均きめ深さ	路面粗さ計（土研式粗さ計）
すべり摩擦抵抗値	振子式スキッドレジスタンステスター（ポータブルテスター）

1）水平面照度、鉛直面照度の測定方法

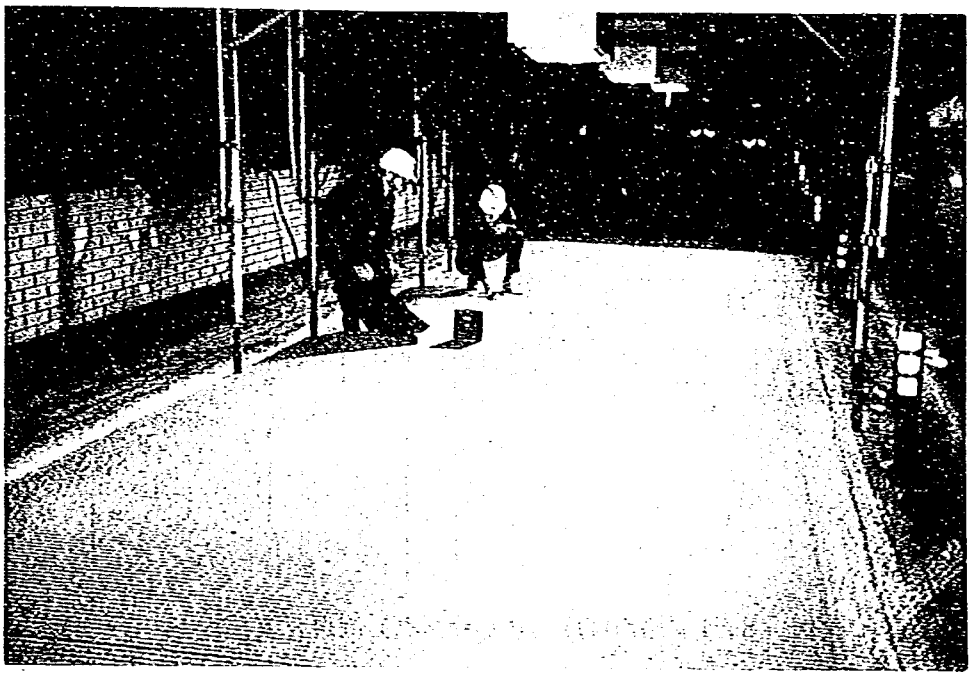
図－８．３に示す方法により、各測定点の水平面照度の測定を行なった。測定箇所は１５点及び９点について行なった。



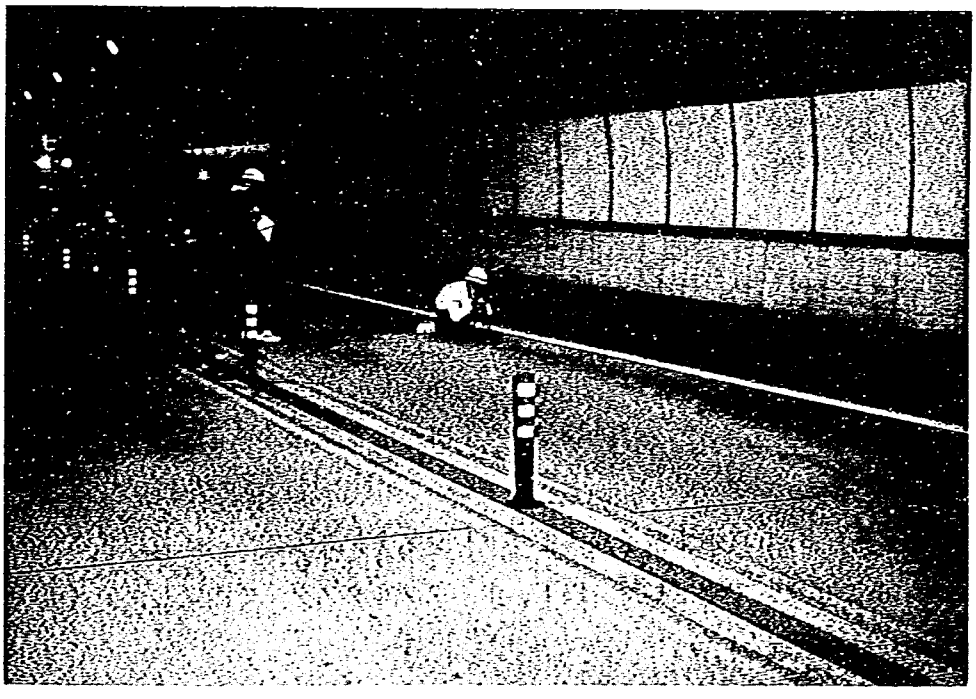
図－８．３　水平面照度及び鉛直面照度測定状況



写真－８．１　水平面照度測定状況



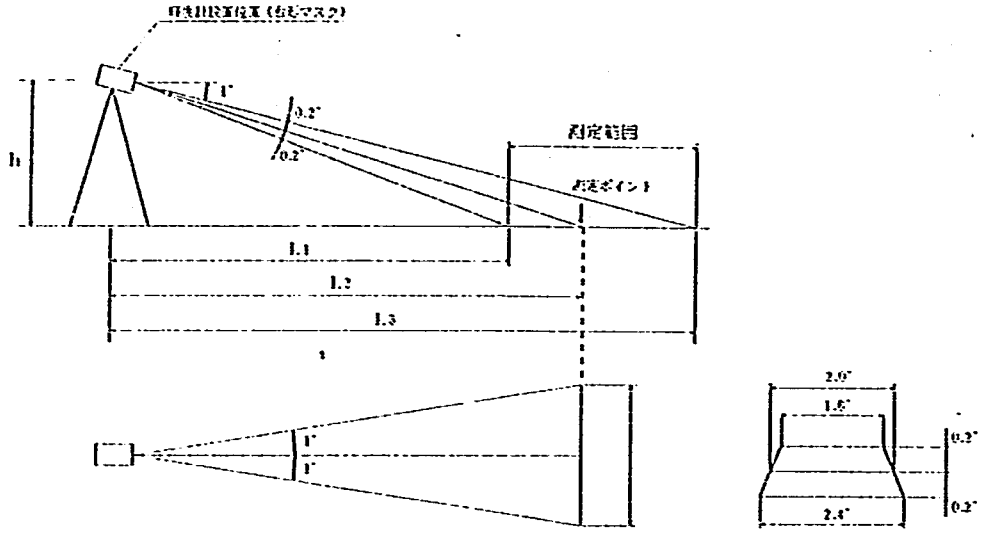
写真－８．２　鉛直面照度の測定状況



写真－８．３　路面輝度測定状況

2）路面輝度

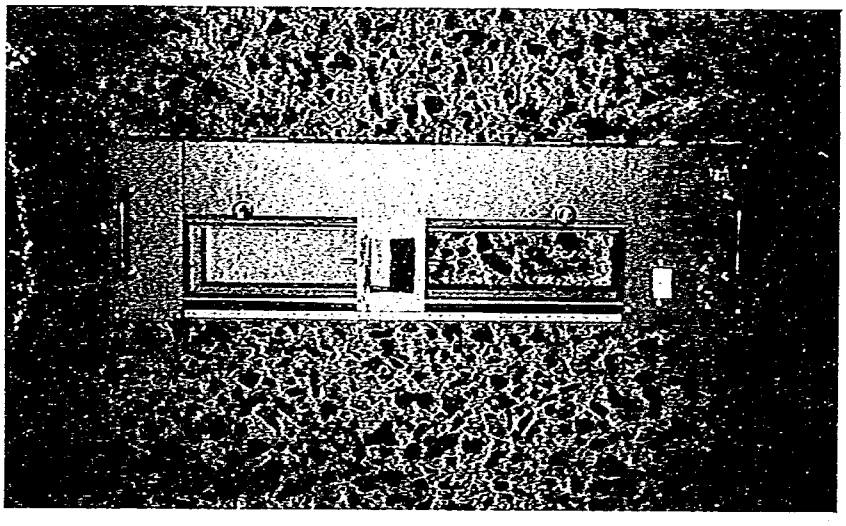
図－8．4に示す台形マスク輝度計により、トンネル縦断方向に4～6点の路面輝度を測定した。



図－8．4　路面輝度（台形マスク）測定要領

3）路面の平均きめ深さ

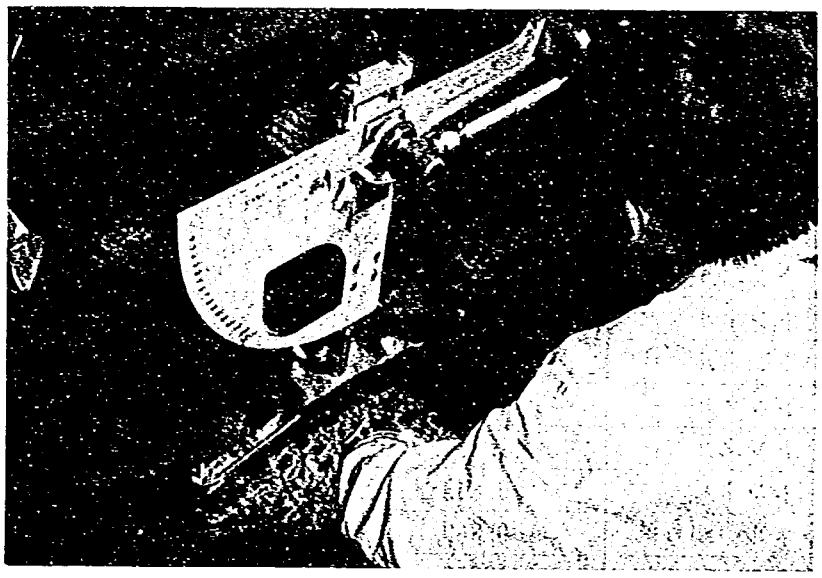
測定点（15点及び 9点）の内から代表地点6ケ所を選定し、土研式粗さ計（写真－8．4）によって路面の平均きめ深さを測定した。



写真－8．4　土研式粗さ計

4）すべり抵抗値

すべり抵抗値は、写真－8．5に示す振子式スキッドレジスタンステスター（英国式ポータブルテスター：BritishPotable Tester）によって測定した。以下、ポータブルタスターで測定した値（ポータブルナンバー：ＢＰＮ）を、すべり摩擦抵抗という。



写真－８．５　ポータブルテスター

（４）各測定値の平均値

１）水平面照度、鉛直面照度、路面輝度

各トンネルにおいて測定した照度と路面輝度の平均値を表－８．５に示す。

表８．５　各測定値の平均値

調査場所	カウンターピーム照明（乾燥路面）				対称照明（乾燥路面）			
	水平照度:Eh	鉛直照度:Ev		輝度:Lr	水平照度:Eh	鉛直照度:Ev		輝度:Lr
	(lx)	(lx)		(cd/m²)	(lx)	(lx)		(cd/m²)
A トンネル	896.6	96.2	57.2	101.6	79.0	39.5	－	4.2
B トンネル	911.3	86.8	55.0	101.6	76.9	35.1	－	3.8
C トンネル	725.1	38.3	58.9	92.8	65.3	31.9	28.1	4.3
E トンネル	910.5	87.0	61.1	101.4	52.7	24.4	23.2	3.3
F トンネル	879.8	101.8	74.1	102.0	47.1	19.5	17.4	3.5
D トンネル	721.6	58.7	38.0	120.3	63.4	27.4	25.0	3.2
D トンネル 明り部	727.3	66.2	37.2	85.9	－	－	－	－
F トンネル 明り部	872.4	65.9	52.3	76.3	－	－	－	－
G トンネル	958.7	43.7	37.6	116.4	53.7	22.1	22.0	2.4

調査場所	カウンターピーム照明（乾燥路面）			
	水平照度:Eh	鉛直照度:Ev		輝度:Lr
	(lx)	(lx)		(cd/m²)
A トンネル	887.0	51.4	-	716.0
B トンネル	-	-	-	861.0
C トンネル	720.7	71.6	44.2	394.3
E トンネル	904.3	46.6	43.5	654.0
F トンネル	914.7	55.0	49.9	662.0
D トンネル	715.6	42.2	33.6	442.7
G トンネル	983.3	34.1	37.2	71.8

注）鉛直面照度（左：間接光含む　　右：直接光のみ）

2）路面の平均きめ深さ、すべり摩擦抵抗値

各測定点において測定した路面の平均きめ深さとすべり摩擦抵抗値（ＢＰＮ）の平均値を、表－８．６に示した。

表－８．６　路面の平均きめ深さとすべり摩擦抵抗値の平均値

調査場所	路面の平均きめ深さ（ｍｍ）	すべり摩擦抵抗（ＢＰＮ）
Ａ　トンネル	0.848	86.6
Ｂ　トンネル	1.512	80.9
Ｃ　トンネル	1.179	118.2
Ｅ　トンネル	1.160	89.7
Ｆ　トンネル	1.281	94.1
Ｄ　トンネル	0.849	96.3
Ｄ　トンネル　明り部	0.868	93.3
Ｆ　トンネル　明り部	1.256	85.2
Ｇ　トンネル	0.976	73.9

８．１．３　平均照度換算係数結果

表－８．５に示した水平面照度（Ｅｈ）及び路面輝度（Ｌｒ）の平均値を用いて平均照度換算係数（Ｅｈ／Ｌｒ）を求めた。その結果を表－８．７に示す。カウンタービーム照明時の測定点が１５点のトンネルと９点のトンネルがあるため、測定点を９点とした場合の平均照度換算係数も求め（　）内に示した。測定点を９点にすると測定点１５点に比べてカウンタービーム照明の場合の乾燥路面状態で0.26～1.37、湿潤路面状態で0.05～0.53平均照度換算係数が低下する結果となっている。Ｇトンネルのカウンタービーム照明の湿潤路面では平均照度換算係数が他のトンネルに比較して高い値を示しているが、湿潤状態の路面のため鏡面性が増し測定位置によって路面輝度の差が極端に大きくなり路面輝度の平均値が低く測定されているためと考えられる。

また、２ケ所ではあるが明り部でのカウンタービーム照明の平均照度換算係数を求めたが、ほぼトンネルと同程度の係数を示していると考えられる。

表－８．７　各トンネルの照明方式別平均照度換算係数　（単位：lx/cd/m²）

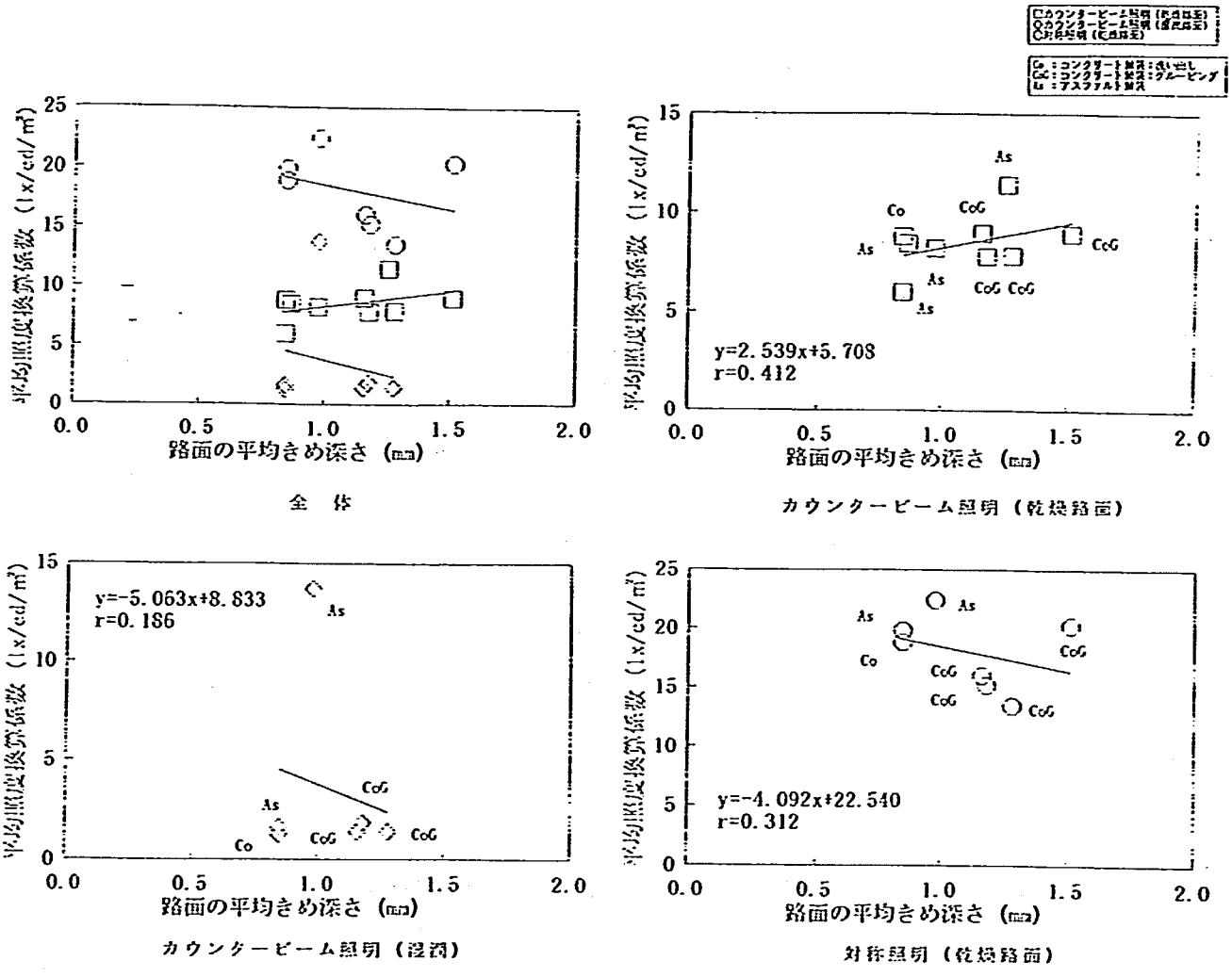
調査場所	カウンタービーム照明		対称照明
	乾燥路面	湿潤路面	
Ａ　トンネル	8.82（7.46）	1.24（1.05）	18.81
Ｂ　トンネル	8.92（7.60）	－	20.24
Ｃ　トンネル	－（7.81）	－（1.83）	15.19
Ｅ　トンネル	8.98（8.35）	1.38（1.32）	15.97
Ｆ　トンネル	7.86（7.50）	1.38（1.32）	13.46
Ｄ　トンネル	－（6.00）	－（1.62）	19.81
Ｄ　トンネル　明り部	－（8.47）	－	－
Ｆ　トンネル　明り部	11.43（11.17）	－	－
Ｇ　トンネル	8.24（7.77）	13.69（13.06）	22.38

注：（　）内は測定点を９点とした場合の値を示す。

8．1．4 平均照度換算係数と路面状況の関係

（1）路面の平均きめ深さと平均照度換算係数の関係

図－8．4は、路面の平均きめ深さと平均照度換算係数の関係を示したものである。これらの図をみると、カウンタービーム照明の場合、乾燥路面では路面の平均きめ深さが大きくなるに従って、平均照度換算係数も大きくなるが、湿潤路面では逆にきめ深さが大きくなるに従って平均照度換算係数は小さくなる傾向を示している。これは、湿潤路面のアスファルト舗装（Gトンネルの平均照度換算係数13.69）の影響によるものと考えられるが、全体的な傾向としては、相関係数も0.186～0.412と低く、路面の平均きめ深さによる影響はあまりないと考えられる。

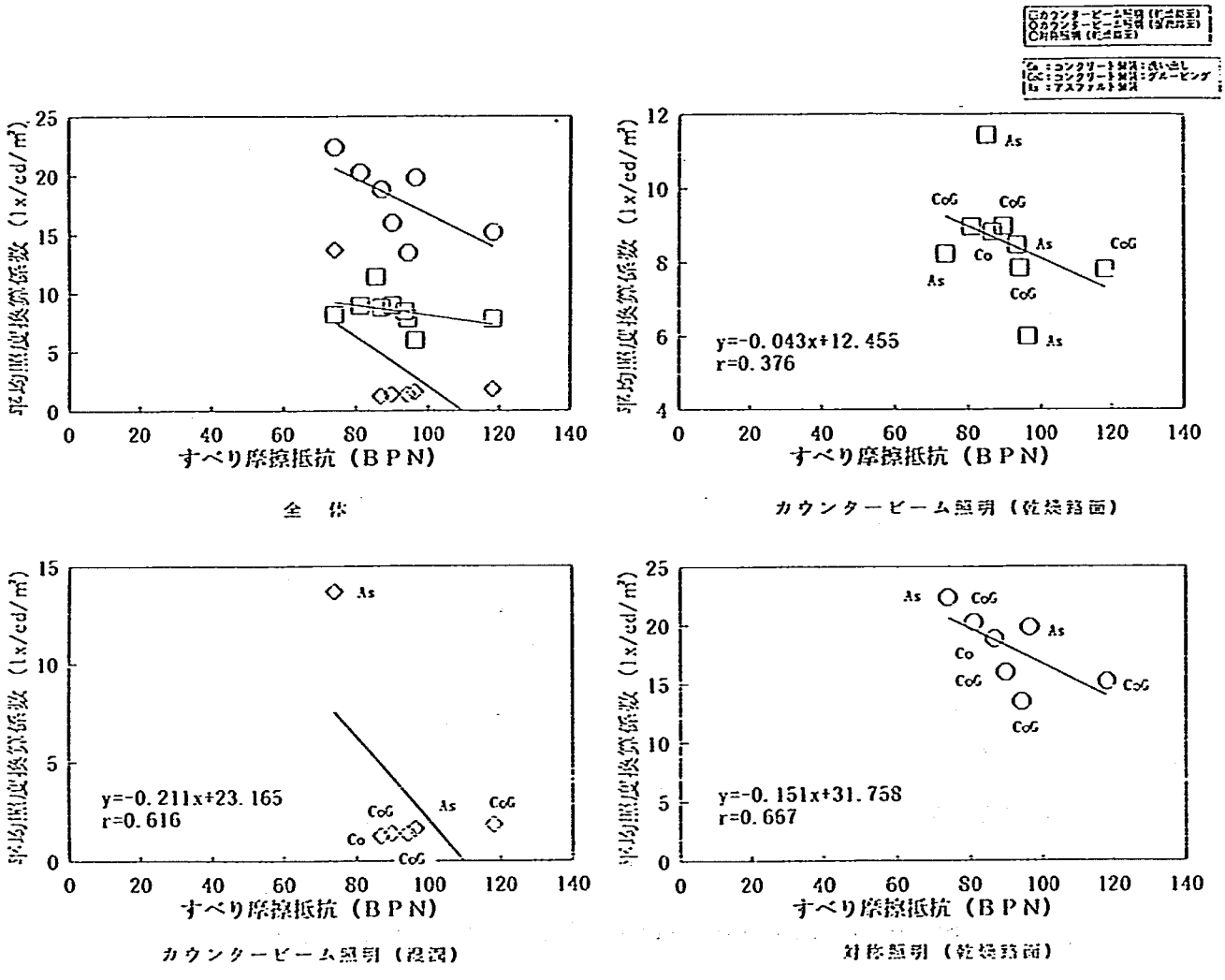


図－8．4　路面の平均きめ深さと平均照度換算係数の関係

（２）すべり摩擦抵抗と平均照度換算係数の関係

図－８．５はすべり摩擦抵抗（ＢＰＮ）と平均照度換算係数の関係を示したものである。この図でみるとすべり摩擦抵抗は、Ｇトンネルの71.1からＣトンネルの118.1の間にあり、全体に高い値を示しているが、カウンター－ビーム照明、対称照明いずれも乾燥路面では、すべり摩擦抵抗が大きくなるにしたがって平均照度換算係数は低下する傾向を示している。また湿潤路面においても、すべり摩擦抵抗が大きくなるに従って、平均照度換算係数が低下する傾向を示し、相関係数も 0.6以上となっている。しかし、これはＧトンネルの平均照度換算係数 13.69が大きく影響しているものと考えられる。この値を除くと、湿潤路面では滑り摩擦抵抗と平均照度換算係数の間には関係がほとんど無くなるものと考えられる。

全体的な傾向としては、カウンター－ビーム照明及び対称照明ともに多少ではあるが、すべり摩擦抵抗が大きくなるに従って平均照度換算係数は低下する傾向にある。



図－８．５　すべり摩擦抵抗（ＢＰＮ）と平均照度換算係数の関係

8．2　サンプル路面による平均照度換算係数

供用中の路面サンプルを取り寄せ、路面の種類と照明方式による平均照度換算係数を把握するため以下の調査を行なった。調査を行った路面サンプルは１１サンプルとした（明り部の路面１０箇所、トンネル部分の路面１箇所）。

8．2．1測定方法

（１）測定条件

測定は下記の項目について実施した。

１）照明方式

①カウンタービーム照明　車線中央取付け

②　〃　路肩近傍取付け

③　〃　路肩振向け（車線中央指向とし、水平角８．５°とする）

④対称照明

２）路面の種類

①コンクリート舗装　サンプル数　明り部　５、トンネル内　１

②アスファルト舗装　〃　明り部　４

③半たわみ性舗装　〃　明り部　１

３）測定項目

①水平面照度

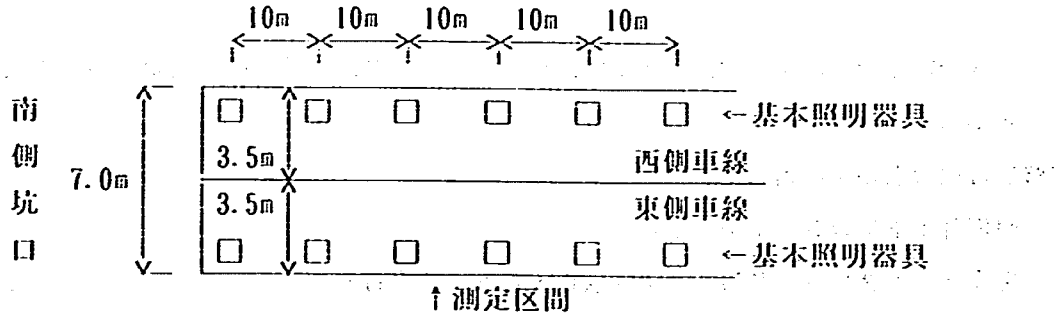
②路面輝度

（２）測定区間

測定区間は、実大トンネルの南側坑口より25m~35m及び65m~75mの２区間を使用し、図－８．６に示す東側車線で行なった

２５m～３５m区間　カウンタービーム照明路肩近傍取付け、路肩振向け

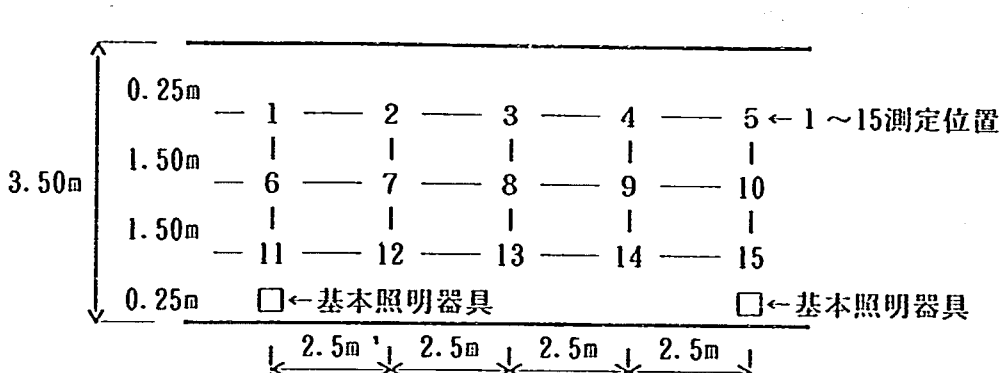
６５m～７５m区間　〃　車線中央取付け、対称照明



図－８．６　測定区間

（3）測定位置

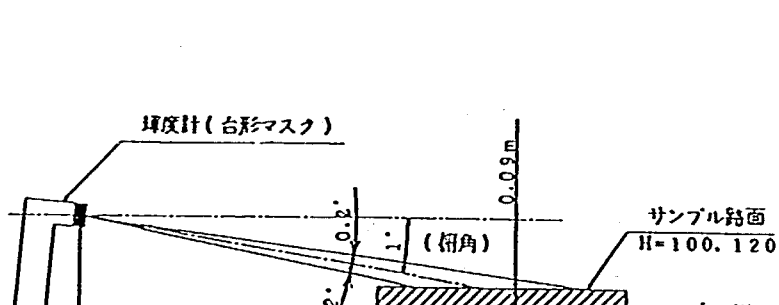
測定位置を図－8．7に示す（東側車線拡大図）。



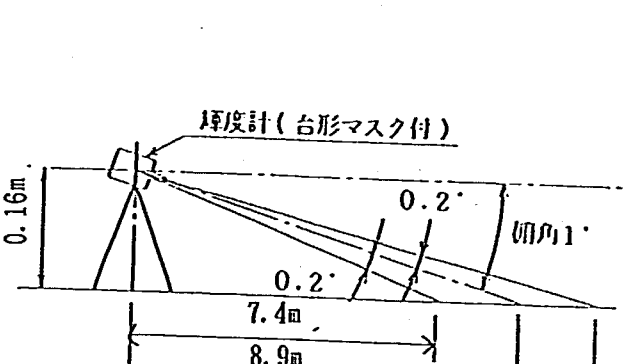
図－8．7　測定位置

（4）測定方法

各測定は図－8．7に示す1～15の測定位置にサンプル板を移動して測定した。また、カウンタービーム照明の路肩近傍取付け、路肩振向けについては実大トンネルコンクリート路面についても測定した。測定方法を図－8．8、図－8．9に示す。水平面照度測定は、路面サンプルの中心で測定し、路面輝度は俯角を1°に保ち進行方向にサンプル面上の3点を測定した。



図－8．8 路面輝度測定方法（サンプル板）



図－8．9 路面輝度測定方法（実大路面）

（5）測定機器

測定機器は次のものを使用した。

照度計：トプコン　IM－3形

輝度計：トプコン　BM－3形（改造・台形マスク付）

8．2．3 平均照度換算係数結果

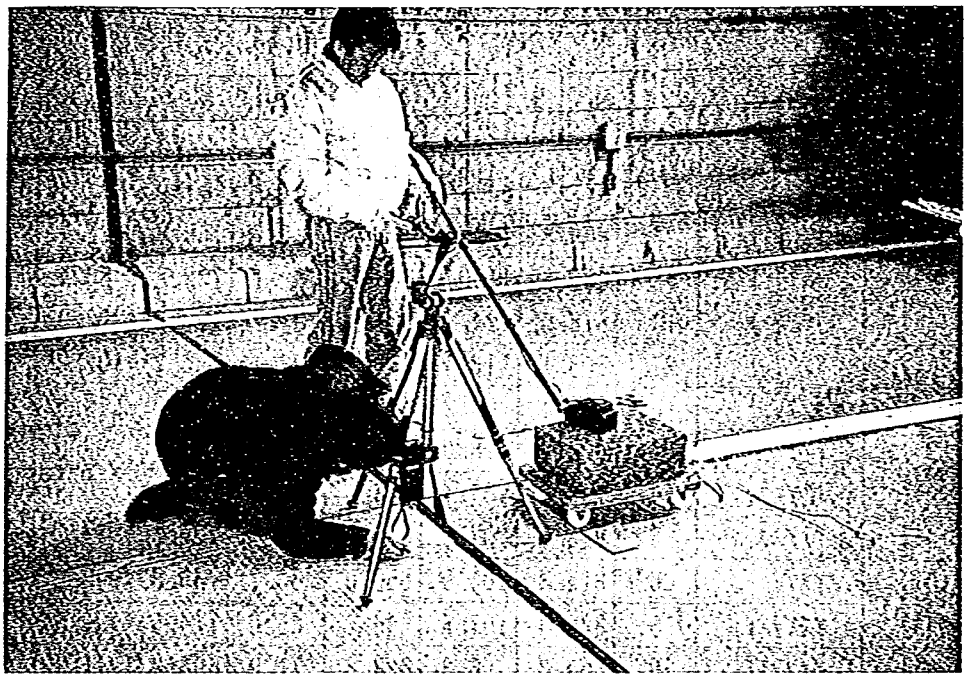
明り部のサンプル路面による測定結果（平均値）を表－8．9に示す。また、表－8．9より平均照度換算係数を求めた結果を表－8．10に示す。

表－8．9 測定結果（平均値）

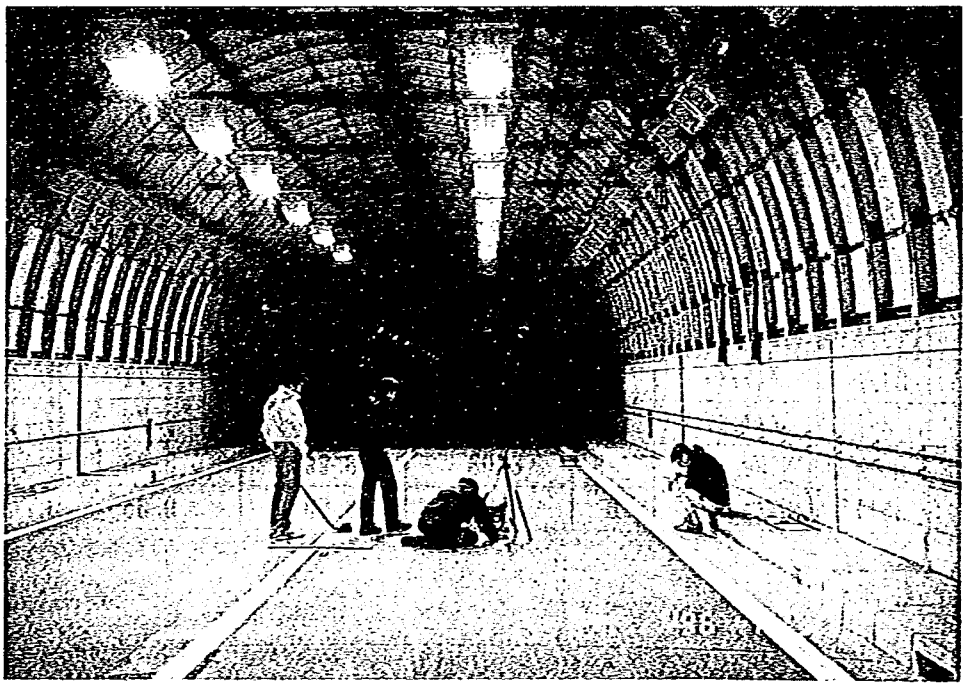
事務所	路線	舗装	供用年数(年)	車線中央		路肩取付		路肩 振向		対称照明	
				Eh lx	Lr cd/m²	Eh lx	Lr cd/m²	E lx	Lr cd/m²	Eh lx	Lr cd/m²
新潟国道	113号	ｺﾝｸﾘｰﾄ	23	869.3	110.4	619.0	81.7	706.4	82.7	73.6	6.9
滋賀国道	8号	ｺﾝｸﾘｰﾄ	32	896.3	110.4	628.8	82.7	722.8	80.4	75.8	6.3
佐賀国道	34号	ｺﾝｸﾘｰﾄ	14	878.9	124.4	631.9	93.1	700.9	92.9	76.3	7.8
長崎工事	35号	ｺﾝｸﾘｰﾄ	27	803.1	113.4	661.0	93.7	725.7	102.2	73.5	7.0
土研	実大	ｺﾝｸﾘｰﾄ	0	605.4	75.2	－	－	705.9	79.5	－	－
山形工事	13号	密粒ｱｽﾌｧﾙﾄ	4	809.6	118.0	644.6	96.1	709.3	83.6	74.0	4.9
広島国国道	2号	密粒ｱｽﾌｧﾙﾄ	14	799.8	94.1	658.6	65.7	713.6	70.8	73.8	5.8
倉吉工事	9号	密粒ｱｽﾌｧﾙﾄ	8	866.6	97.9	618.2	73.1	705.8	72.1	73.5	5.1
北九州国	10号	ｱｽﾌｧﾙﾄ	6	815.3	105.9	656.0	83.7	735.3	92.9	73.7	4.4
長崎工事	34号	ｱｽﾌｧﾙﾄ	5	829.9	107.8	646.7	85.0	714.5	92.5	74.9	5.9
熊本工事	3号	ｱｽﾌｧﾙﾄ	10	854.3	96.3	622.3	71.0	698.3	71.8	72.8	5.0
長崎工事	35号	半たわみ	6	830.6	95.2	648.1	72.6	725.3	77.6	74.5	5.1

表－8．10 平均照度換算係数の結果　　単位：lx/cd/m²

事務所	路線	舗装	供用年数	カウンタービーム照明			対称照明
				車線中央	路肩取付	路肩振向	
新潟国道	113号	ｺﾝｸﾘｰﾄ	23	7.87	7.58	8.54	10.67
滋賀国道	8号	ｺﾝｸﾘｰﾄ	32	8.12	7.60	9.00	12.03
佐賀国道	34号	ｺﾝｸﾘｰﾄ	14	7.07	6.79	7.54	9.78
長崎工事	35号	ｺﾝｸﾘｰﾄ	27	7.08	7.05	7.10	10.50
土研	実大	ｺﾝｸﾘｰﾄ	0	8.05	－	8.88	－
コンクリート路面 平均			19.2	7.64	7.26	8.21	10.75
山形工事	13号	密粒ｱｽﾌｧﾙﾄ	4	6.86	6.21	8.48	15.10
広島国道	2号	密粒ｱｽﾌｧﾙﾄ	14	8.50	10.02	10.07	12.72
倉吉工事	9号	密粒ｱｽﾌｧﾙﾄ	8	8.85	8.46	9.79	14.41
北九州国道	10号	ｱｽﾌｧﾙﾄ	6	7.70	7.84	7.91	16.75
長崎工事	34号	ｱｽﾌｧﾙﾄ	5	7.70	7.61	7.72	12.69
熊本工事	3号	ｱｽﾌｧﾙﾄ	10	8.87	8.76	9.73	14.56
アスファルト路面 平均			7.8	8.08	8.23	8.95	14.37
長崎工事	35号	半たわみ	6	8.72	8.93	9.35	14.61



写真－８．６　路面照度・輝度測定状況



写真－８．７　路面照度・輝度測定状況

8．3　まとめ

カウンタービーム照明による各種の舗装路面の違いによる平均照度換算係数を求めるため、供用中のトンネル実路面１３ケ所の測定調査とサンプル路面による測定をすることにより次のことが明らかになった。あわせて対称照明（既設照明）の平均照度換算係数も測定した。

（１）カウンタービーム照明中央取付の実路面による平均照度換算係数

供用中のトンネルにおけるこれまでの調査結果を表－８．１１、図－８．１０に示す。表中のＡ～Ｇトンネルは平成7年度に、ＨおよびＪ～Ｍトンネルは平成6年度にそれぞれ供用中の現地トンネルで実施した結果であり、Ｉトンネルはトンネル内から採取したサンプル結果を示したものである。表および図より、以下のことが分かった。

・コンクリート路面では供用年数に３．５年から２３年とひらきがあるものの、平均照度換算係数は７．９～９．０とほぼ一定していた。

・アスファルト路面のトンネルにおいてもデータ数は少ないものの、平均照度換算係数は６．０～８．８の範囲であった。

・半たわみ性舗装もアスファルト路面と同様データ数は少ないが、平均照度換算係数は７．６～７．８であった。

なお、データを充実させるため各種舗装のサンプル路面を入手し測定した場合でも、カウンタービーム照明（中央取付）の換算係数は６．８～８．９の範囲であった。

（２）カウンタービーム照明の器具取付位置による平均照度換算係数の違い

照明器具の取付位置（中央取付、路肩振向、路肩取付）の違いによる平均照度換算係数の測定は、明り部のサンプル路面による結果により検討する。各照明器具の位置毎の路面サンプルによる調査結果を表－８．１２、図－８．１１に示す。表および図より以下のことが分かった。

・測定結果から路面の種類、表面処理の方法にかかわらず平均照度換算係数は６．８～１０．１の範囲にあり、それぞれの平均をとると７～９ lx/cd/m²程度となった。

以上の結果から、カウンタービーム照明での平均照度換算係数としては、照明器具の取付位置、路面の種類、表面処理の方法にかかわらず６～９ lx/cd/m²程度であった。

表－８．１１ 実供用路面における平均照度換算係数

コンクリート路面						
調査トンネル	表面処理	測定位置	供用年数（年）	平均照度換算係数（lx/cd/m²）		備考
				ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明	対称照明	
Hトンネル	ｸﾞﾙｰﾋﾞﾝｸﾞ	ﾄﾝﾈﾙ内入口周辺	6.0	8.10	17.50	H6年調査
Eトンネル	ｸﾞﾙｰﾋﾞﾝｸﾞ	ﾄﾝﾈﾙ内入口周辺	9.0	8.89	15.97	H7年調査
Fトンネル	ｸﾞﾙｰﾋﾞﾝｸﾞ	ﾄﾝﾈﾙ内入口周辺	9.0	7.86	13.46	H7年調査
Cトンネル	ｸﾞﾙｰﾋﾞﾝｸﾞ	ﾄﾝﾈﾙ内出口周辺	3.5	7.81	15.19	H7年調査
Bトンネル	ｸﾞﾙｰﾋﾞﾝｸﾞ	ﾄﾝﾈﾙ内部	7.5	8.97	20.24	H7年調査
Iトンネル	粗面仕上げ	サンプル板	23.0	7.88	10.61	H6年調査
Aトンネル	洗い出し	ﾄﾝﾈﾙ内入口周辺	7.5	8.82	18.81	H7年調査
Jトンネル	粗面仕上げ	ﾄﾝﾈﾙ内部	6.0	7.90	19.70	H6年調査
平均			6.0	8.29	16.44	

アスファルト路面						
調査トンネル	表面処理	測定位置	供用年数（年）	平均照度換算係数（lx/cd/m²）		備考
				ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明	対称照明	
Kトンネル	黝渡、縞渡	ﾄﾝﾈﾙ内入口周辺	6.0	8.80	24.60	H6年調査
Dトンネル	ｱｽﾌｧﾙﾄ	ﾄﾝﾈﾙ内出口周辺	3.5	6.00	19.81	H7年調査
Gトンネル	ｱｽﾌｧﾙﾄ	ﾄﾝﾈﾙ内部	9.0	7.86	22.38	H7年調査
平均			22.0	7.68	22.68	

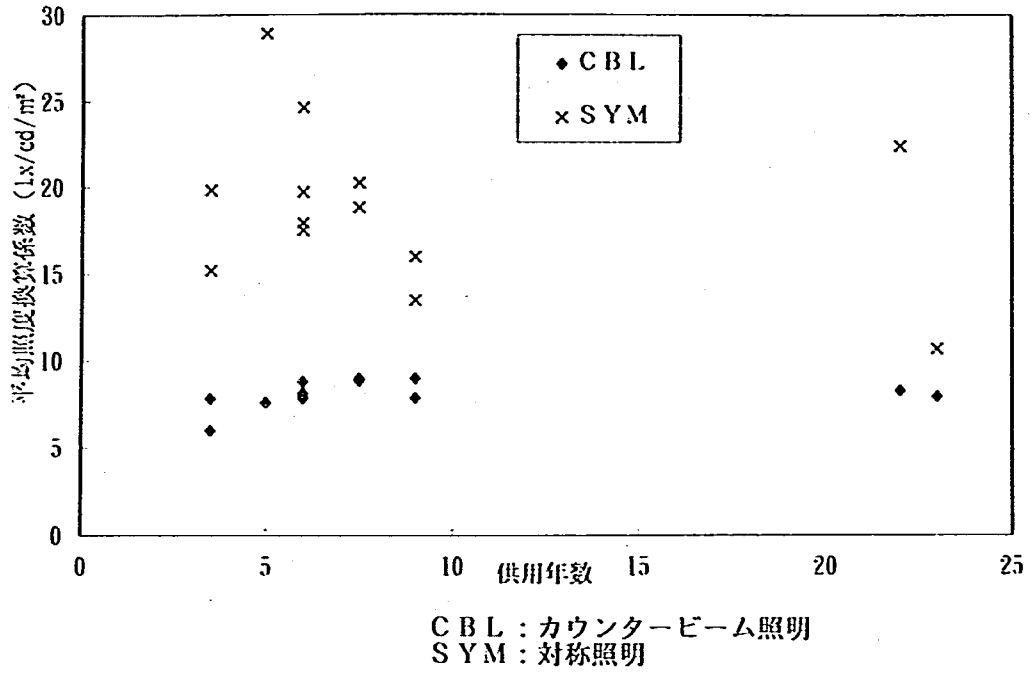
半たわみ性アスファルト路面						
調査トンネル	表面処理	測定位置	供用年数（年）	平均照度換算係数（lx/cd/m²）		備考
				ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明	対称照明	
Lトンネル	空隙24%	ﾄﾝﾈﾙ内部	5.0	8.80	28.90	H6年調査
Mトンネル	空隙24%	ﾄﾝﾈﾙ内部	6.0	7.80	17.90	H6年調査
平均			22.0	7.68	22.68	

表－８．１２ 路面サンプルにおける平均照度換算係数

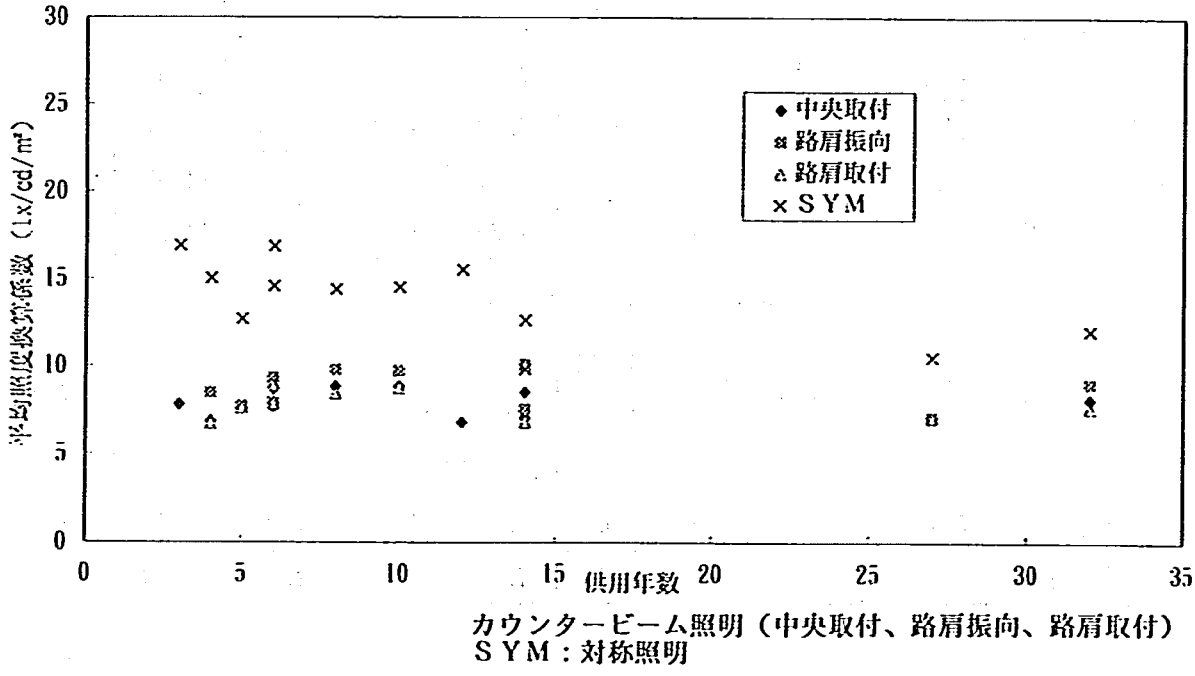
コンクリート路面								
事務所名	路線名	表面処理	供用年数（年）	平均照度換算係数（lx/cd/m²）				備考
				カウンタービーム照明			対称照明	
				中央取付	路肩片側	路肩取付		
滋賀国道	8号	粗面仕上げ	32.0	8.12	8.99	7.61	12.04	H7年調査
佐賀国道	34号	粗面仕上げ	14.0	7.07	7.54	6.79	9.84	H7年調査
長崎工事	35号	粗面仕上げ	27.0	7.08	7.10	7.06	10.52	H7年調査
平均			24.3	7.42	7.88	7.15	10.80	

アスファルト路面								
事務所名	路線名	表面処理	供用年数（年）	平均照度換算係数（lx/cd/m²）				備考
				カウンタービーム照明			対称照明	
				中央取付	路肩片側	路肩取付		
千葉国道	16号	密粒、細粒	12.0	6.80	－	－	15.50	H6年調査
東京国道	14号	密粒、細粒	3.0	7.80	－	－	16.90	H6年調査
山形工事	13号	密粒	4.0	6.86	8.48	6.71	15.02	H7年調査
広島国道	2号	密粒	14.0	8.50	10.08	10.03	12.63	H7年調査
倉吉工事	9号	密粒	8.0	8.85	9.79	8.46	14.37	H7年調査
北九州国道	10号	密粒	6.0	7.70	7.72	7.84	16.85	H7年調査
長崎工事	34号	－	5.00	7.70	7.72	7.61	12.71	H7年調査
熊本工事	3号	－	10.0	8.87	9.73	8.76	14.50	H7年調査
平均			7.75	7.89	8.95	8.24	14.81	

半たわみ性アスファルト路面								
事務所名	路線名	表面処理	供用年数（年）	平均照度換算係数（lx/cd/m²）				備考
				カウンタービーム照明			対称照明	
				中央取付	路肩片側	路肩取付		
長崎工事	35号	－	27.0	7.08	7.10	7.06	10.52	H7年調査
平均			24.3	7.42	7.88	7.15	10.80	



図－８．１０ 実供用路面における供用年数と平均照度換算係数の関係



図－８．１１ 路面サンプルにおける供用年数と平均照度換算係数の関係

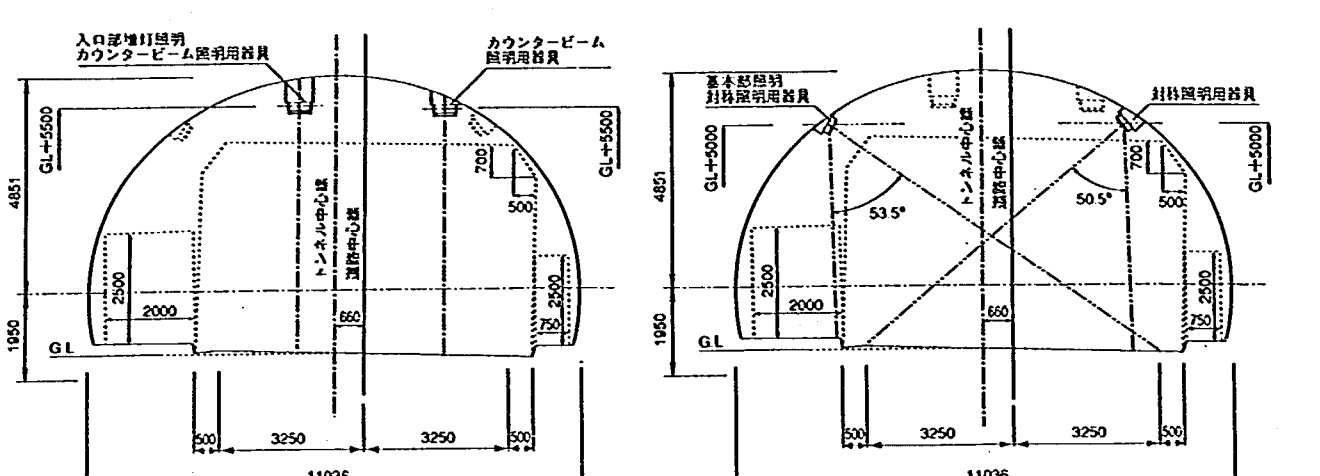
9.実トンネルにおけるカウンタービーム照明のアンケート調査

9.1 概要

カウンタービーム照明の適用トンネル（新与那トンネル）において、一般の利用者を対象としたアンケートを実施した。アンケートは表－9.1(1)～(3)に示す内容であり、調査の主な項目は「トンネル入口付近の明るさ」、「トンネルに進入するときの不安感」、「照明器具からのまぶしさ」、「トンネル進入後の走りやすさ」、「トンネル出口部での走りやすさ」、「先行車の視認性」である。カウンタービーム照明を適用したトンネルは、沖縄県内の一般国道58号線の新与那トンネル（沖縄開発庁 沖縄総合事務局 北部国道事務所）である。このトンネルは平成７年２月に供用し、アンケートは平成７年７月中旬～８月中旬に実施した。また、参考として対称照明が設置してあるウテンダトンネル(新与那トンネルの北約15km) について新与那トンネルと同様のアンケートを実施した。なお、ウテンダトンネルの照明レベルは新与那トンネルと同様に設計速度60km/hの低減係数1/2で設計・施工されているトンネルである。ただし、平成元年に供用を開始しており、照明器具、ランプ等の使用期間、トンネル内の汚れ、断面等が異なることから新与那トンネルと直接比較することには問題がある。表－9.2に両トンネルの諸条件の一覧を示す。図－9.1に新与那トンネルの照明設置断面図を示す。なお、供用直前に実施した光学測定より得られた平均路面輝度の入口照明曲線を示す。平均路面輝度は、設計値に比べて全体的に高い値となっていることが分かる。

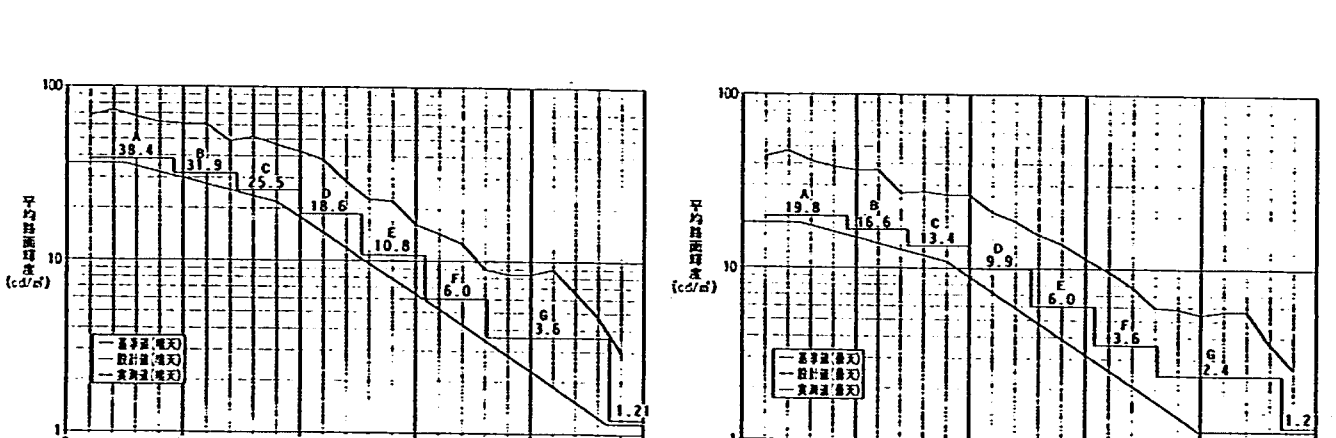
表－9.2 新与那トンネル・ウテンダトンネルの諸条件

	新与那トンネル	ウテンダトンネル
所在地	一般国道58号（沖縄県国頭郡国頭村）	一般国道58号（沖縄県国頭郡国頭村）
トンネル延長	557m	322m
設計速度	60km/h	60km/h
通行方式	２車線対面交通	２車線対面交通
照明方式	カウンタービーム照明	対称照明
照明設計ﾚﾍﾞﾙ	設計速度60km/h, 低減係数1/2 設定野外輝度:5,000cd/m²	設計速度60km/h, 低減係数1/2 設定野外輝度:4,000cd/m² （要確認）
両坑口の方位	北東、南西	北東、南西 （要確認）
トンネル幅員	10.5m	9.5m
路面の種別	転圧コンクリート舗装	コンクリート舗装
内装の有無	なし	なし



(a)カウンタービーム照明　　(b)対称照明

図－９．１ 新与那トンネルの照明設置断面図



(a)全点灯（晴天パターン時）　　(b)１／２点灯（曇天パターン時）

図－９．２ 新与那トンネルの入口照明曲線図

Ⅰ.アンケートに回答して下さる方の情報、新与那トンネル等の利用状況のアンケート

（回答は右側の□の中へ該当する番号をご記入願います。）

（1）あなたの年齢はおいくつですか？
①２０才未満　②２０代　③３０代　④４０代
⑤５０代　⑥６０代　⑦７０才以上　□

（2）性別はどちらですか？
①男性　②女性　□

（3）新与那トンネルの利用頻度はどのくらいですか？
①ほとんど毎日　②週に３～４日程度　③週に１～２日程度
④月に数回　⑤ほとんど利用しない　□

（4）ウテンダトンネルの利用頻度はどのくらいですか？
①ほとんど毎日　②週に３～４日程度　③週に１～２日程度
④月に数回　⑤ほとんど利用しない　□

（5）新与那トンネルを利用する場合の車種は何ですか？
①軽自動車　②小型・普通自動車(③の車種を除く)
③バス、大型トラック
④２輪車（原付含む）　⑤自転車及び徒歩　□

※⑤と回答した方はⅡ.のアンケートへお進み下さい。

（6）あなたの運転歴は何年ですか？
①２年未満　②２年～５年未満　③５年～１０年未満
④１０年～２０年未満　⑤２０年以上　□

（7）あなたの運転頻度はどのくらいですか？
①ほとんど毎日　②週に３～４日程度　③週に１～２日程度
④月に数回　⑤ほとんど運転しない　□

Ⅱ.自動車等（自転車及び徒歩以外）で利用される方へのアンケート

新与名トンネルおよびウテンダトンネルの入口部の照明（入口からトンネル内２００ｍ程度までの照明）について以下の回答要領に従って回答して下さい。

【アンケート回答要領】
①昼間時にトンネルを通った時の印象を答えて下さい。
②天気が晴れている時の回答をお願いしたいと考えておりますが、それ以外の天気の時でも結構です。それぞれ該当する天気の所に記入して下さい。
③トンネルの利用時の天気の状態（晴天、曇天、雨天）毎に回答できる方は、なるべく全てに回答して下さい。
④（1）のアンケートは（2）～（8）のアンケートに回答して頂いた時の天気の状態と日時等を該当する天気の欄に記入して下さい。
⑤（2）～（8）のアンケートは回答欄の該当する番号を○で囲んで下さい。
⑥利用時の状況がアンケート項目に該当しない場合は記入しなくて結構です。

【アンケート項目】
（1）以下のアンケートに答えていただく内容に該当するトンネル利用時の天気の状態と日時はいつですか？

天気の状態	(2)～(8)のアンケート回答時のトンネル利用日時（該当する箇所に○をつけ、また、進行方向の該当箇所に所要時間を記入して下さい。）	
	新与那トンネル	ウテンダトンネル
晴天時	月　日　時頃 進行方向：1.辺戸岬方向へ　2.名護方向へ	月　日　時頃 進行方向：1.辺戸岬方向へ　2.名護方向へ
曇天時	月　日　時頃 進行方向：1.辺戸岬方向へ　2.名護方向へ	月　日　時頃 進行方向：1.辺戸岬方向へ　2.名護方向へ
雨天時	月　日　時頃 進行方向：1.辺戸岬方向へ　2.名護方向へ	月　日　時頃 進行方向：1.辺戸岬方向へ　2.名護方向へ

（2）トンネル入口に接近（入口から手前７０～８０ｍ程度）した時のトンネル内の入口付近の明るさはどのように見えましたか？
①非常に暗く感じた　②やや暗く感じた
③どちらともいえない　④やや明るく感じた
⑤非常に明るく感じた

回答欄

ｱﾝｹｰﾄ項目	新与那トンネルの回答欄	ウテングトンネルの回答欄
（1）トンネル入口に接近した時のトンネル内の入口付近の明るさ	暗い ― ・ ― 明るい 晴天時 ① ② ③ ④ ⑤ 曇天時 ① ② ③ ④ ⑤ 雨天時 ① ② ③ ④ ⑤	暗い ― ・ ― 明るい 晴天時 ① ② ③ ④ ⑤ 曇天時 ① ② ③ ④ ⑤ 雨天時 ① ② ③ ④ ⑤

（３）トンネルに進入するとき、トンネル入口手前付近（入口から手前７０～８０ｍ程度の間）での不安な感じはありませんか？
①不安感が高く非常に進入しにくい
②やや不安感があり進入しにくい
③多少不安感があるが支障はない
④ほとんど不安感がない
⑤まったく不安感がない

回答欄

ｱﾝｹｰﾄ項目	新与那トンネルの回答欄	ウテンダトンネルの回答欄
（２）トンネルに進入するときに感じたことは。	不安ー・ー不安なし 晴天時 ① ② ③ ④ ⑤ 曇天時 ① ② ③ ④ ⑤ 雨天時 ① ② ③ ④ ⑤	不安ー・ー不安なし 晴天時 ① ② ③ ④ ⑤ 曇天時 ① ② ③ ④ ⑤ 雨天時 ① ② ③ ④ ⑤
理由（①、②と回答した方）：＿＿＿＿＿＿＿＿		

（４）トンネル入口から２００ｍ程度までの照明器具がまぶしくなかったですか？（普通に運転している時に）
①まぶしすぎて非常に運転しづらい
②ややまぶしく運転しづらい
③多少まぶしいが支障はない
④ほとんどまぶしくない
⑤まったくまぶしくない

回答欄

ｱﾝｹｰﾄ項目	新与那トンネルの回答欄	ウテンダトンネルの回答欄
（３）照明器具がまぶしい	まぶしいー・ーまぶしくない 晴天時 ① ② ③ ④ ⑤ 曇天時 ① ② ③ ④ ⑤ 雨天時 ① ② ③ ④ ⑤	まぶしいー・ーまぶしくない 晴天時 ① ② ③ ④ ⑤ 曇天時 ① ② ③ ④ ⑤ 雨天時 ① ② ③ ④ ⑤

（５）トンネル進入後、入口から２００ｍ程度までの走りやすさはどうですか？
①非常に悪い　②やや悪い　③どちらともいえない
④やや良い　⑤非常に良い

回答欄

ｱﾝｹｰﾄ項目	新与那トンネルの回答欄	ウテンダトンネルの回答欄
（４）トンネル進入後の走りやすさ	悪いー・ー良い 晴天時 ① ② ③ ④ ⑤ 曇天時 ① ② ③ ④ ⑤ 雨天時 ① ② ③ ④ ⑤	悪いー・ー良い 晴天時 ① ② ③ ④ ⑤ 曇天時 ① ② ③ ④ ⑤ 雨天時 ① ② ③ ④ ⑤

（６）トンネル出口部（出口手前１００ｍ程度から出口まで）での走りやすさはどうですか？
①非常に悪い　②やや悪い　③どちらともいえない
④やや良い　⑤非常に良い

回答欄

ｱﾝｹｰﾄ項目	新与那トンネルの回答欄	ウテンダトンネルの回答欄
（５）トンネル出口部での走りやすさ	悪いー・ー良い 晴天時 ① ② ③ ④ ⑤ 曇天時 ① ② ③ ④ ⑤ 雨天時 ① ② ③ ④ ⑤	悪いー・ー良い 晴天時 ① ② ③ ④ ⑤ 曇天時 ① ② ③ ④ ⑤ 雨天時 ① ② ③ ④ ⑤

（７）前に車がいるとき、前の車がトンネル内に進入した時から出るまでの間、前の車はよく見えましたか？
①非常に分かりにくい　②やや分かりにくい
③どちらともいえない　④分かりやすい
⑤非常に分かりやすいい

回答欄

ｱﾝｹｰﾄ項目	新与那トンネルの回答欄	ウテンダトンネルの回答欄
（６）前の車の見えやすさ	悪いー・ー良い 晴天時 ① ② ③ ④ ⑤ 曇天時 ① ② ③ ④ ⑤ 雨天時 ① ② ③ ④ ⑤	悪いー・ー良い 晴天時 ① ② ③ ④ ⑤ 曇天時 ① ② ③ ④ ⑤ 雨天時 ① ② ③ ④ ⑤

（７）の質問での、②と回答した方は、次のページのイ、ロにもお答え下さい。

（８）新与那トンネルの照明について何かお気付きの点等がございましたらご記入下さい。

回答欄

（８）お気付きの点があれば下記入して下さい。	

以上でアンケートを終了します。ご協力ありがとうございました。

イ.前の車が見えにくかった場所はどのあたりですか？
①入口～２０ｍ付近
②２０ｍ～６０ｍ付近
③６０～２００ｍ付近
④トンネル中央付近
⑤トンネル出口付近

回答欄

ｱﾝｹｰﾄ項目	新与那トンネルの回答欄						ウテンダトンネルの回答欄					
（７）イ 前の車が見えにくかった場所		入口付近	ー・ー			出口付近		入口付近	ー・ー			出口付近
	晴天時	① ② ③ ④ ⑤					晴天時	① ② ③ ④ ⑤				
	曇天時	① ② ③ ④ ⑤					曇天時	① ② ③ ④ ⑤				
	雨天時	① ② ③ ④ ⑤					雨天時	① ② ③ ④ ⑤				

ロ.その時の前の車との車間距離はどの程度だったですか？
①約２０ｍ
②約４０ｍ
③約６０ｍ
④約８０ｍ
⑤約１００ｍ以上

回答欄

ｱﾝｹｰﾄ項目	新与那トンネルの回答欄						ウテンダトンネルの回答欄					
（７）ロ 前の車までの距離		短い	ー	・	ー	長い		短い	ー	・	ー	長い
	晴天時	① ② ③ ④ ⑤					晴天時	① ② ③ ④ ⑤				
	曇天時	① ② ③ ④ ⑤					曇天時	① ② ③ ④ ⑤				
	雨天時	① ② ③ ④ ⑤					雨天時	① ② ③ ④ ⑤				

以上でアンケートを終了します。ご協力ありがとうございました。

Ⅲ.自転車及び徒歩で利用される方へのアンケート

新与名トンネルおよびウテンダトンネルの照明について以下の回答要領に従って回答して下さい。

【アンケート回答要領】
①アンケートは回答欄の該当する番号を○で囲んで下さい。
②利用時の状況がアンケート項目に該当しない場合は記入しなくて結構です。
（ウテンダトンネルは歩道の利用していないなどの場合はウテンダトンネルの欄に記入しなくて結構です。）

【アンケート項目】
（１）トンネルのほぼ中間あたりの明るさをどう感じましたか？
①非常に暗い　②暗い　③どちらともいえない
④明るい　⑤非常に明るい

回答欄

ｱﾝｹｰﾄ項目	新与那トンネルの回答欄	ウテンダトンネルの回答欄
（１）トンネル内の明るさ	暗い ー ・ ー 明るい ① ② ③ ④ ⑤	暗い ー ・ ー 明るい ① ② ③ ④ ⑤

（２）トンネルを通るときに不安はありませんか？
①不安感が非常にある
②やや不安感がある
③多少不安感があるが支障はない
④ほとんど不安感がない
⑤まったく不安感がない

回答欄

ｱﾝｹｰﾄ項目	新与那トンネルの回答欄	ウテンダトンネルの回答欄
（２）トンネルを通る時の不安感	不安 ー ・ ー 不安なし ① ② ③ ④ ⑤	不安 ー ・ ー 不安なし ① ② ③ ④ ⑤
理由（①、②と回答した方）：＿＿＿＿＿＿		

（３）何かお気付きの点等がございましたらご記入下さい。

回答欄

（３）お気付きの点があれば記入して下さい。	

以上でアンケートを終了します。ご協力ありがとうございました。

９．２　アンケート調査結果(自動車等の利用)

９．２．１　アンケート回答数

アンケートは全数で１３１回答数であった。ただし、照明点灯状況と整合させるためのトンネル利用日時等すべての項目が回答されていた有効なアンケート回答数は、表－９．７に示すとおりであり、新与那トンネルの晴天時、曇天時でそれぞれ36回答であった。

トンネル別、照明点灯状況（晴天パターン時、曇天パターン時）別にアンケートの結果を整理表に集計した。表－９．３～表－９．６に整理表を、表－９．７に回答数の一覧、図－９．３にアンケート回答時のトンネル利用時間、進行方向の分布図を示す。

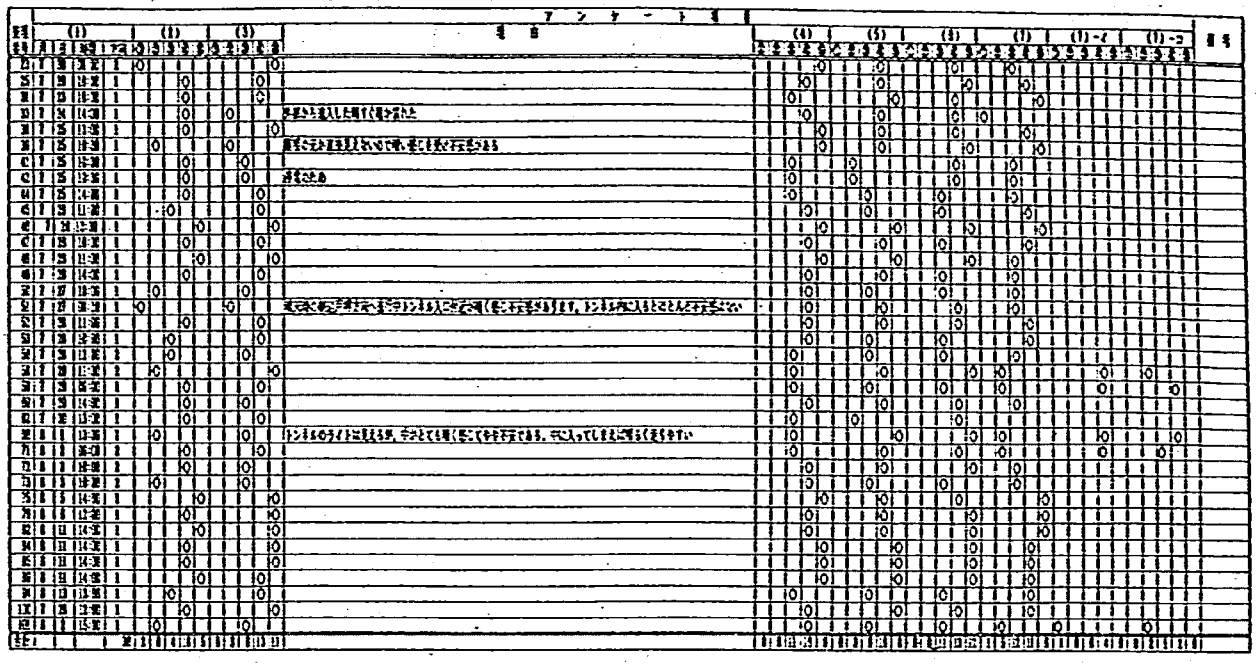
表－９．７　アンケート回答数

回答条件	照明点灯状況	アンケート回答数	
		新与那トンネル	ウテンダトンネル
完全回答	晴天時	36	55
	曇天時	36	7

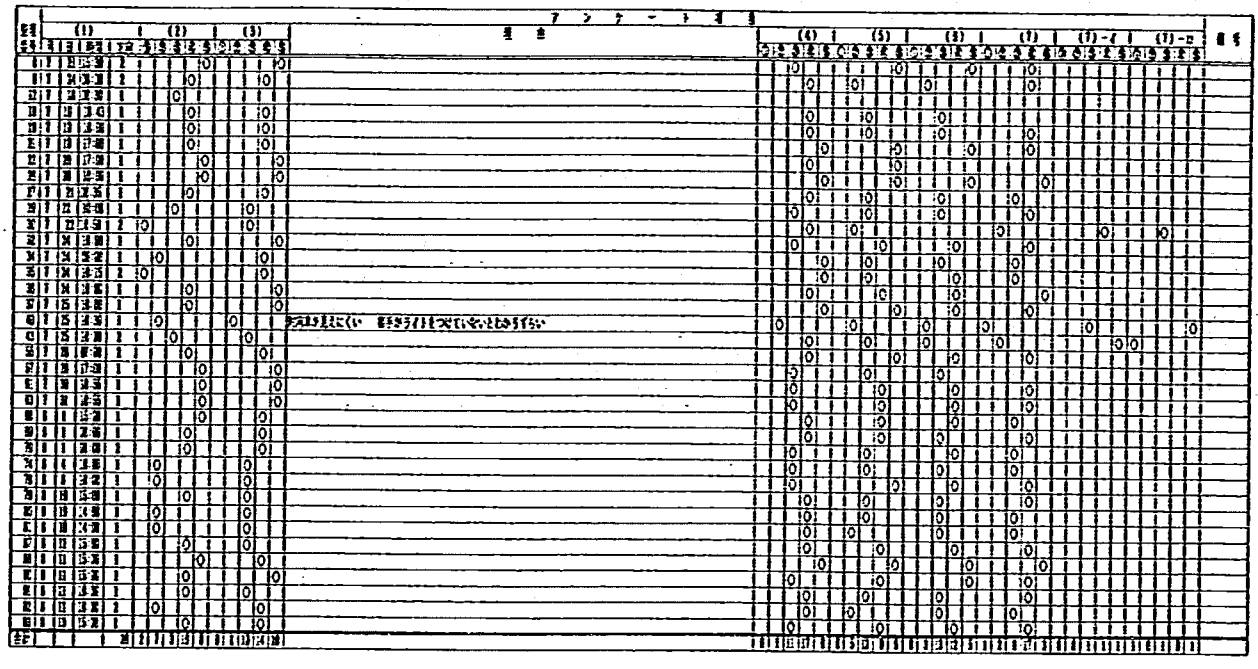
※照明点灯状況の晴天時・曇天時はそれぞれ晴天パターン（全点灯）
曇天パターン（1/2点灯）である。

図－９．３より新与那トンネルの晴天時は、概ね8時～15時台にトンネルを利用した時の回答であり、辺戸岬方面（北東方向へ進入）の利用者が85%を占めていた。また、曇天時の利用は早朝6時台～10時台、14時台～18時台に利用した時の回答が80%を占めていた。

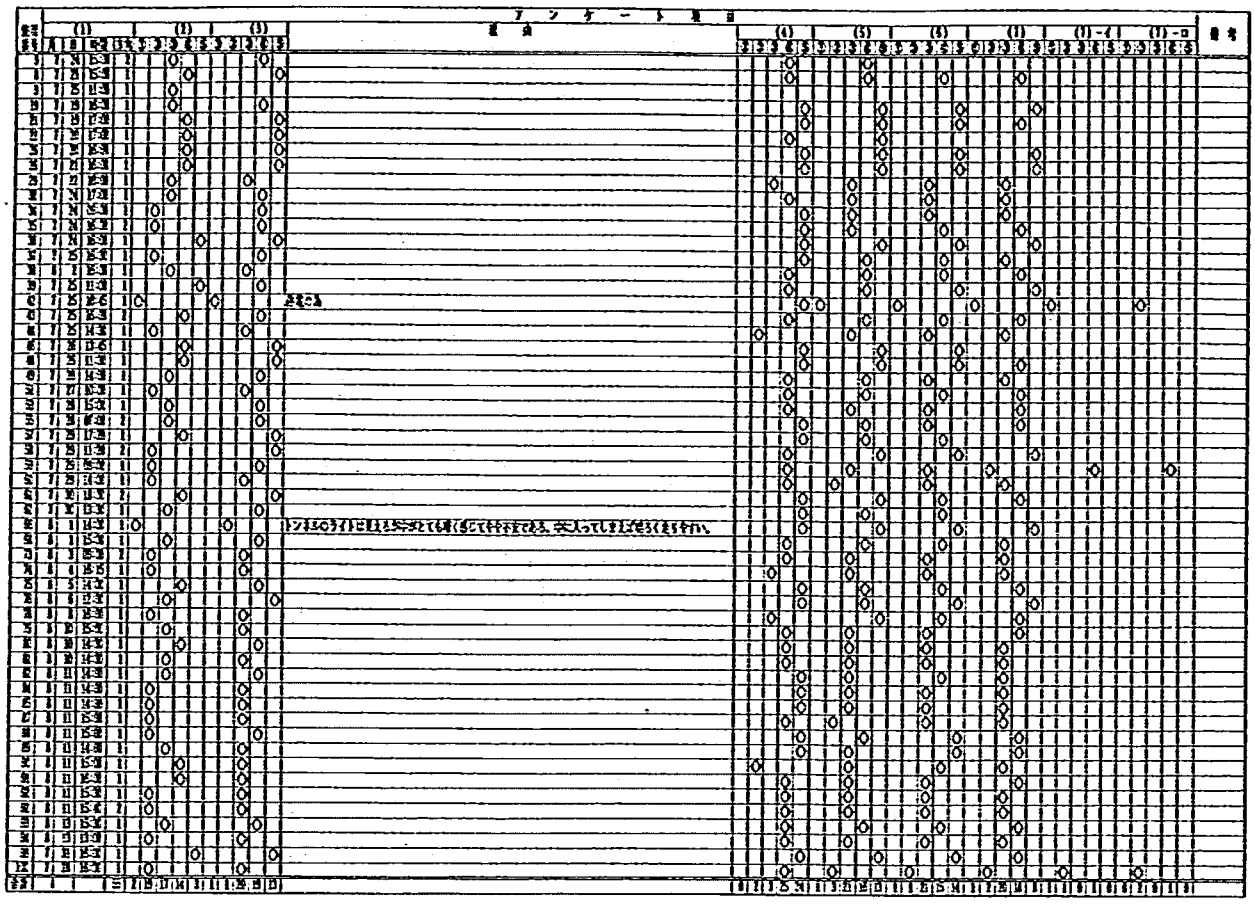
表－９．３ アンケート整理表（新与那トンネル、照明点灯状況：晴天パターン）



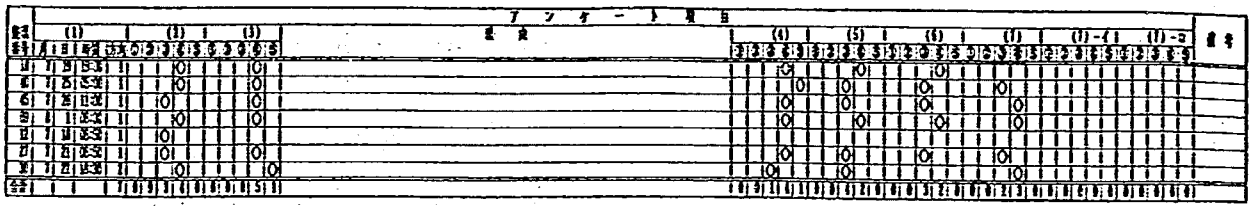
表－９．４ アンケート整理表（新与那トンネル、照明点灯状況：曇天パターン）

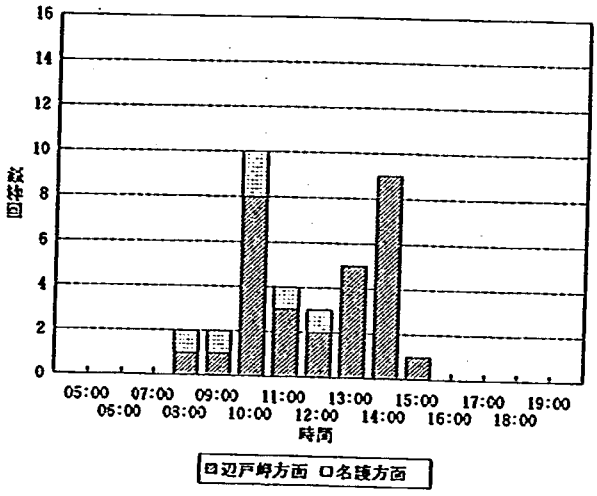


表－９．５ アンケート整理表（ウテンダトンネル、照明点灯状況：晴天パターン）

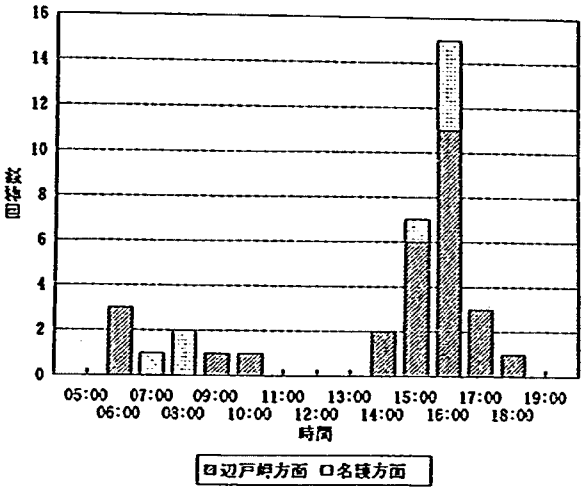


表－９．６ アンケート整理表（ウテンダトンネル、照明点灯状況：曇天パターン）

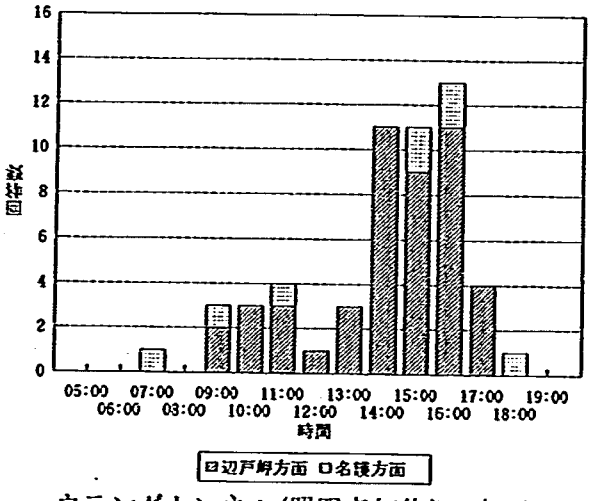




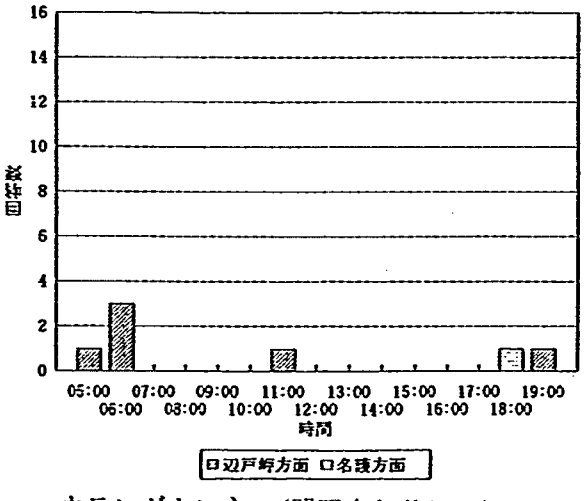
新与那トンネル(照明点灯状況:晴天)



新与那トンネル(照明点灯状況:晴天)



ウテンダトンネル(照明点灯状況:晴天)



ウテンダトンネル(照明点灯状況:晴天)

図－９．３ アンケート回答時のトンネル利用時間

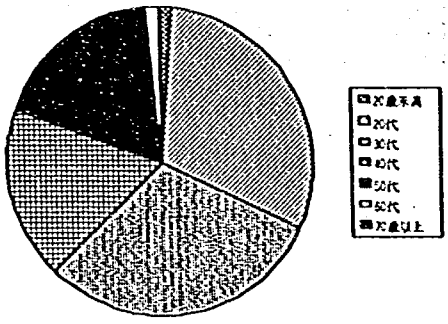
9.2.2　アンケート回答者の属性

アンケート回答者の年齢、性別、トンネルの利用頻度、利用の際の車種、運転歴について整理した。表－9.8～表－9.14、図－9.4～図－9.10に結果を示す。回答者の属性は、それぞれのトンネル、点灯状況毎に複数回答した回答者を一人分として整理しているため回答数の数とは一致していない。

アンケート回答数の年齢層は20～30代の30%程度が多く、40代、50代でそれぞれ20%程度であった。性別は男性が90%以上を占めていた。利用車種は小型・普通自動車が約74%、軽自動車が約8%と約80%が小型・普通自動車、軽自動車であった。

表－９．８　年齢

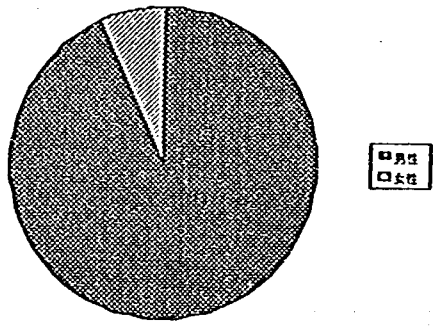
	回答数	回答割合
①20歳未満	1	1.4
②20代	22	30.6
③30代	22	30.6
④40代	13	18.1
⑤50代	13	18.1
⑥60代	1	1.4
⑦70歳以上	0	0.0
合計	72	100.0



図－９．４　年齢

表－９．９　性別

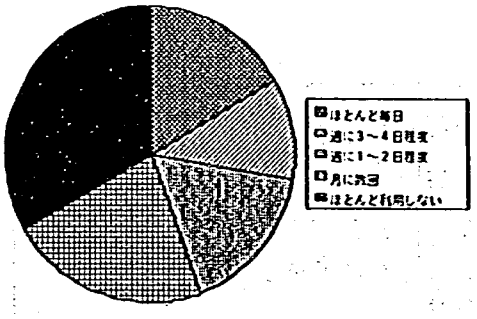
	回答数	回答割合
①男性	67	93.1
②女性	5	6.9
合計	72	100.0



図－９．５　性別

表－９．１０　新与那トンネルの利用頻度

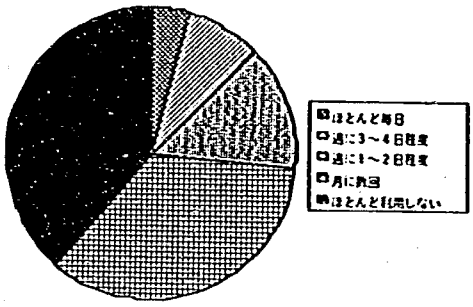
	回答数	回答割合
①ほとんど毎日	12	16.7
②週に３～４日程度	8	11.1
③週に１～２日程度	12	16.7
④月に数回	16	22.2
⑤ほとんど利用しない	24	33.3
合計	72	100.0



図－９．６　新与那トンネルの利用頻度

表－９．１１　ウテンダトンネルの利用頻度

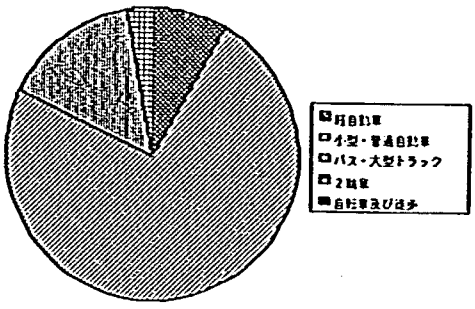
	回答数	回答割合
①ほとんど毎日	3	4.2
②週に３～４日程度	6	8.3
③週に１～２日程度	10	13.9
④月に数回	25	34.7
⑤ほとんど利用しない	28	38.9
合計	72	100.0



図－９．７　ウテンダトンネルの利用頻度

表－９．１２　新与那トンネルを利用する場合の車種

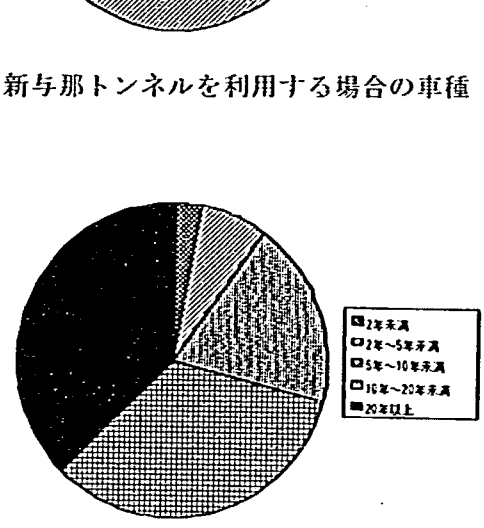
	回答数	回答割合
①軽自動車	6	8.3
②小型・普通自動車	53	73.6
③バス・大型トラック	11	15.3
④２輪車	2	2.8
⑤自転車及び徒歩	0	0.0
合計	72	100.0



図－９．８　新与那トンネルを利用する場合の車種

表－９．１３　運転歴

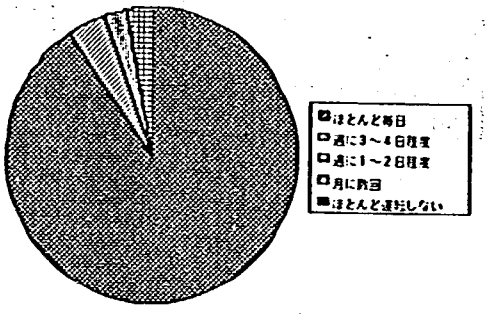
	回答数	回答割合
①2年未満	2	2.8
②2年～5年未満	5	6.9
③5年～10年未満	14	19.4
④10年～20年未満	24	33.3
⑤20年以上	27	37.5
合計	72	100.0



図－９．９　運転歴

表－９．１４　運転頻度

	回答数	回答割合
①ほとんど毎日	65	90.3
②週に３～４日程度	3	4.2
③週に１～２日程度	2	2.8
④月に数回	2	2.8
⑤ほとんど運転しない	0	0.0
合計	72	100.0



図－９．１０　運転頻度

9.2.3　アンケート結果

アンケート調査結果を表－9.15に示す項目及び内容についてトンネル別、照明点灯状況別に整理した。表－9.16、表－9.17、図－9.11～図－9.18に結果を示す。また、全体の比較として評点の平均値を図－9.19に示す。

表－9.15　アンケート項目及び内容

アンケート項目	回答内容
(1)　天候の状態及び利用時間帯	
(2)　トンネル入口付近の明るさ	①非常に暗く感じた ②やや暗く感じた ③どちらとも言えない ④やや明るく感じた ⑤非常に明るく感じた
(3)　トンネルに進入するときの不安感	①不安感が高く非常に進入しにくい ②やや不安感があり進入しにくい ③多少不安感があるが支障はない ④ほとんど不安感がない ⑤まったく不安感がない
(4)　照明器具からのまぶしさ	①まぶしすぎて非常に運転しづらい ②ややまぶしく運転しづらい ③多少まぶしいが支障はない ④ほとんどまぶしくない ⑤まったくまぶしくない
(5)　トンネル進入後の走りやすさ	①非常に悪い ②やや悪い ③どちらとも言えない ④やや良い ⑤非常によい
(6)　トンネル出口部での走りやすさ	①非常に悪い ②やや悪い ③どちらとも言えない ④やや良い ⑤非常によい
(7)　先行車の視認性	①非常に分かりにくい ②やや分かりにくい ③どちらとも言えない ④分かりやすい ⑤非常にわかりやすい
①、②と回答した人 →イ．先行車が見えにくかった場所	①入口～20m付近 ②20m～60m付近 ③60m～200m付近 ④トンネル中央付近 ⑤トンネル出口付近
①、②と回答した人 →ロ．先行車との車間距離	①約20m ②約40m ③約60m ④約80m ⑤約100m以上
(8)　その他	

（1）トンネル入り口付近の明るさ

図－9．11にトンネル入り口付近の明るさの評価結果を示す。新与那トンネルの晴天時・曇天時の評価は、「やや暗く感じた」以下の評価が約25%の回答があったものの、「やや明るく感じた」以上の評価が共に約67%と高い評価も得られた。

一方、参考ではあるがウテンダトンネルの晴天時の「やや暗く感じた」以下の評価が約38%と比較的大きな割合を占めた。曇天時は「どちらとも言えない」以上の回答であった。

（2）トンネルに進入するときの不安感

図－9．12にトンネルに進入するときの不安感の評価結果を示す。新与那トンネルの晴天時では「ほとんど不安感がない」以上と回答した割合は約67%と高い評価となった。「多少不安感があるが支障はない」を含めると約92%と非常に高い結果となった。曇天時も同様な傾向である。

ウテンダトンネルの晴天時は、「多少不安感があるが支障はない」以上の評価が約96%と非常に高い結果であった。

（3）照明器具からのまぶしさ

図－9．13に照明器具からのまぶしさの評価結果を示す。新与那トンネルの晴天時では「ほとんどまぶしくない」と回答した割合は約69%と高く、「多少まぶしいが支障はない」の回答を含めると100%と非常に高い評価結果となった。曇天時もほぼ同様な傾向である。

ウテンダトンネルの晴天時は、「ほとんどまぶしくない」以上の評価が約91%と非常に高い結果であった。

（4）トンネル進入後の走りやすさ

図－9．14にトンネル進入後の走りやすさの評価結果を示す。新与那トンネルの晴天時では「やや良い」以上の評価の回答した割合は約67%と高く、「どちらとも言えない」の回答を含めると92%と非常に高い評価結果となった。曇天時は「やや良い」以上の評価の回答した割合は約49%となったが、「どちらとも言えない」の回答を含めると86%となった。

ウテンダトンネルの晴天時は、「やや良い」以上の評価の回答した割合は約54%となり、「どちらとも言えない」の回答を含めると約93%と高い評価結果となった。

（5）トンネル出口部での走りやすさ

図－9．15にトンネル出口部での走りやすさの評価結果を示す。新与那トンネルの晴天時では「やや良い」以上の評価の回答した割合は約67%と高く、「どちらとも言えない」の回答を含めると97%と非常に高い評価結果となった。曇天時は「やや良い」以上の評価の回答した割合は約53%となったが、「どちらとも言えない」の回答を含めると91%と高い評価結果となった。トンネル出口部での走りやすさは、出口部での照明器具からの照射方向が坑口方向となるため、出口部照明の目的の一つである先行車後部を照らす効果となっていることで評価が高くなった一つの要因と考えられる。

ウテンダトンネルの晴天時は、「やや良い」以上の評価の回答した割合は約56%となり、「どちらとも言えない」の回答を含めると約96%と高い評価結果となった。

（6）先行車の視認性

図－9．16に先行車の視認性の評価結果を示す。新与那トンネルの晴天時では「分かりやすい」以上の評価の回答した割合は約43%であり、「どちらとも言えない」の回答を含めると86%となった。「やや分かりにくい」以下の回答した割合は14%と比較的低い。曇天時も晴天時と同様に「やや分かりにくい」以下の回答した割合は13%と比較的低い。

ウテンダトンネルの晴天時は、「分かりやすい」以上の評価の回答した割合は約53%となり、「どちらとも言えない」の回答を含めると約94%と高い評価結果となった。

（7）先行車が見えにくかった場所

先行車の視認性で①「非常に分かりにくい」、②「やや分かりにくい」と回答した方に対して、先行車が見えにくかった場所についてアンケート行った。図－9．17に結果を示す。先行車の視認性で先行車が見えにくかった場所で回答があったのは新与那トンネルの晴天時・曇天時でそれぞれ6件、3件、ウテンダトンネルも同様に晴天時・曇天時でそれぞれ3件、0件と非常に少ない回答数であった。

新与那トンネルの晴天時ではトンネル入口付近で1件、中央付近で4件の回答、曇天時ではトンネル出口付近、中央付近、60～200m付近でそれぞれ1件ずつの回答であった。いずれもトンネル入口付近では先行車が見えにくい回答は非常に少なく、アンケート結果からはカウンタービーム照明による入口部での先行車の見え方は問題がないものと考えられる。

ウテンダトンネルの晴天時は、入口～20m付近、20m～60m、トンネル中央付近でそれぞれ1件ずつの回答があった。

（8）先行車との車間距離

先行車の視認性で①「非常に分かりにくい」、②「やや分かりにくい」と回答した方に対して、先行車との車間距離についてアンケート行った。図－9．18に結果を示す。新与那トンネルの晴天時では先行車の見えにくかった時の車間距離は約40m程度が2件、約60m程度が1件、約80m程度が2件、曇天時では100m以上、約60m、約20mの車間距離の時に各1件づつ先行車が見えにくかったと回答があった。

ウテンダトンネルの晴天時は、約40mで2件、約80mでそれぞれ1件の回答であった。

（9）アンケート結果のまとめと平均値

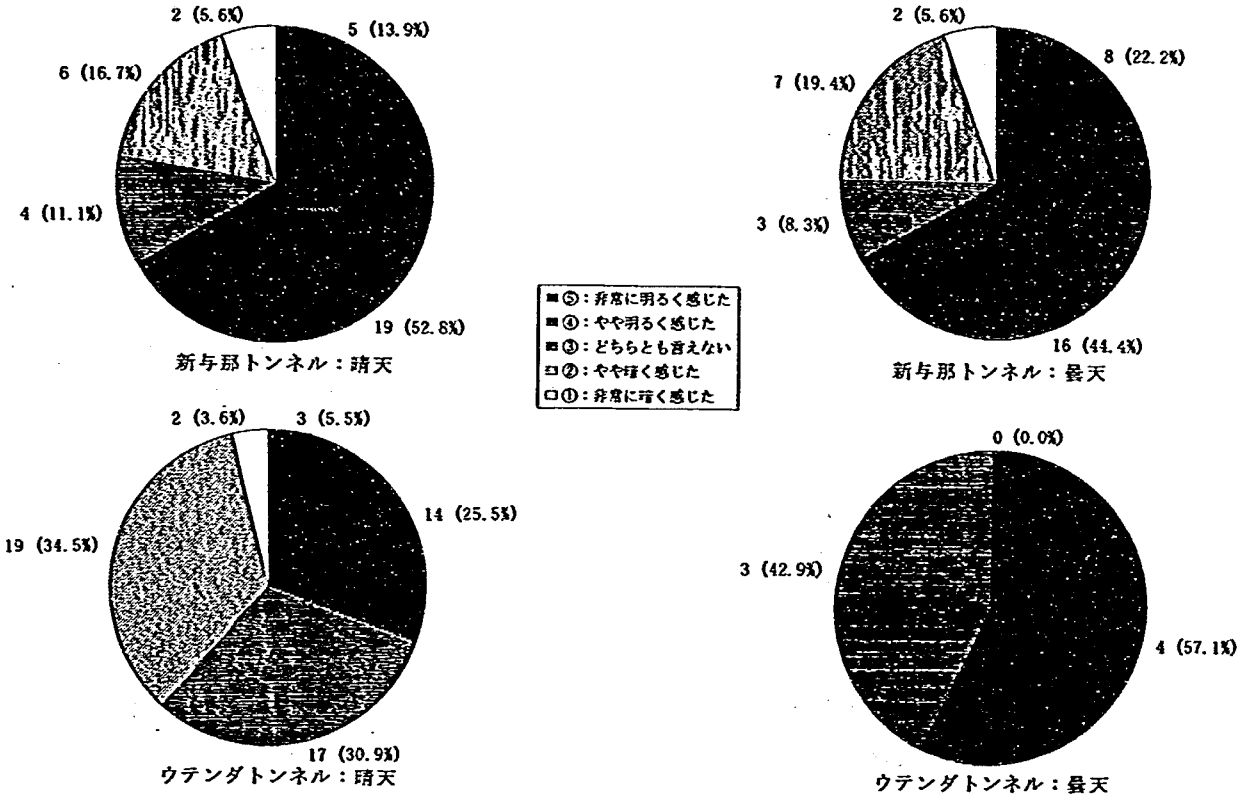
各アンケートの評価の割合をまとめたグラフを図－9．19に、アンケート結果の平均値を用いた時の分布図を図－9．20に示す。新与那トンネルは、アンケートの1～6までは標点3．5～4以上の高い評価となった。以上のようにカウンタービーム照明の適用トンネルでの評価も比較的高い結果が得られた。また、ウテンダトンネルも概ね標点約3以上の回答が得られた。

表－９．１６　新与那トンネルのアンケート結果

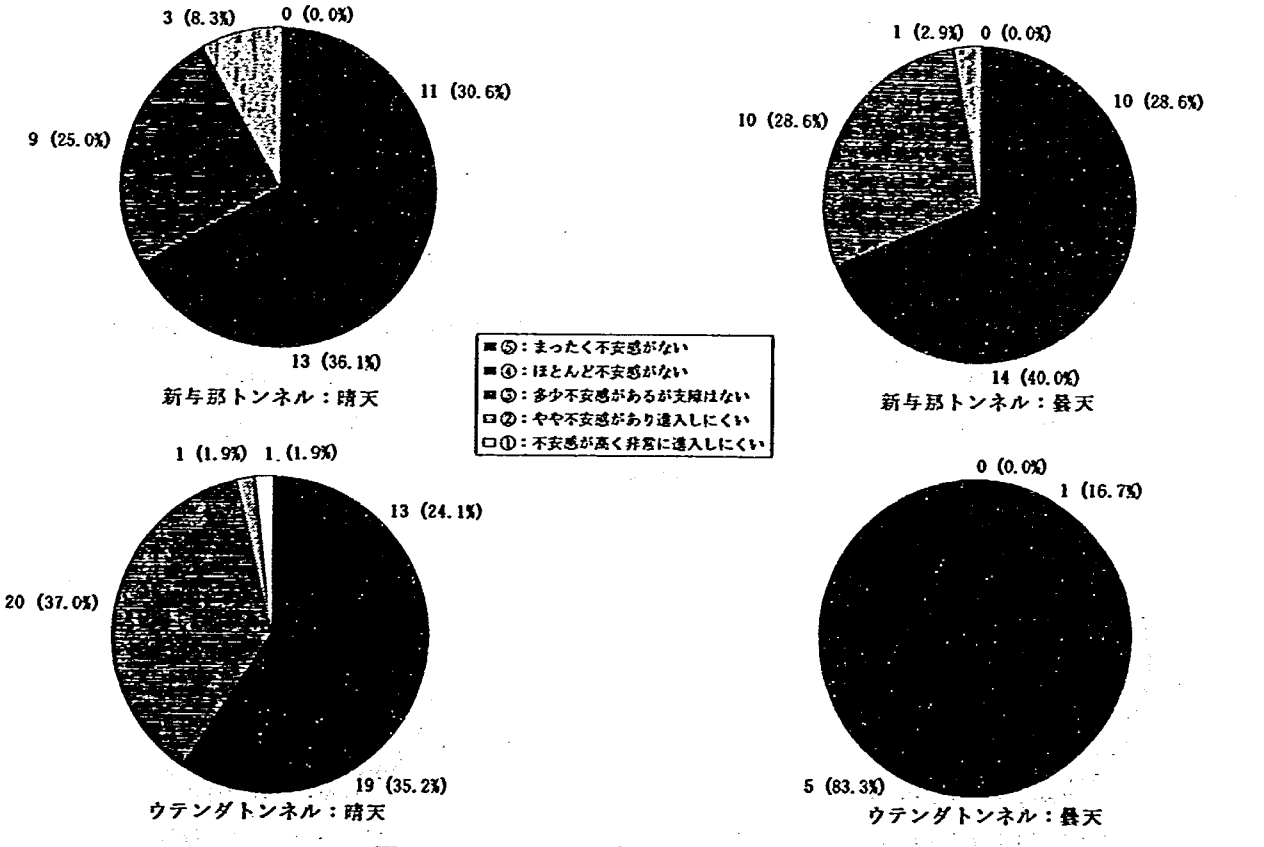
アンケート項目	照明点灯状況	回答内容 ①	②	③	④	⑤	合計	評点の平均値	備考
		暗い				明るい			
トンネル入口に接近したときのトンネル内の明るさ	晴天時	2	6	4	19	5	36	3.5	
	曇天時	2	7	3	16	8	36	3.6	
		不安				不安なし			
トンネルに進入するときの不安感	晴天時	0	3	9	13	11	36	3.9	
	曇天時	0	1	10	14	10	35	3.9	無回答1人
		眩しい				眩しくない			
照明器具のまぶしさ	晴天時	0	0	11	16	9	36	3.9	
	曇天時	0	1	11	17	6	35	3.8	無回答1人
		悪い				良い			
トンネル進入時の走りやすさ	晴天時	0	3	9	16	8	36	3.8	
	曇天時	0	5	13	9	8	35	3.6	無回答1人
		悪い				良い			
トンネル出口部での走りやすさ	晴天時	0	0	11	13	12	36	4.0	
	曇天時	0	3	13	12	5	33	3.6	無回答3人
		悪い				良い			
先行車の視認性	晴天時	1	5	12	11	6	35	3.5	無回答1人
	曇天時	1	2	9	17	3	32	3.6	無回答4人
		入口付近				出口付近			
先行車が見えにくい場所	晴天時	1	0	0	4	0	5	3.4	
	曇天時	0	0	1	1	1	3	4.0	
		短い				長い			
先行車までの距離	晴天時	0	2	1	2	0	5	3.0	
	曇天時	1	0	1	0	1	3	3.0	

表－９．１７　ウテンダトンネルのアンケート結果

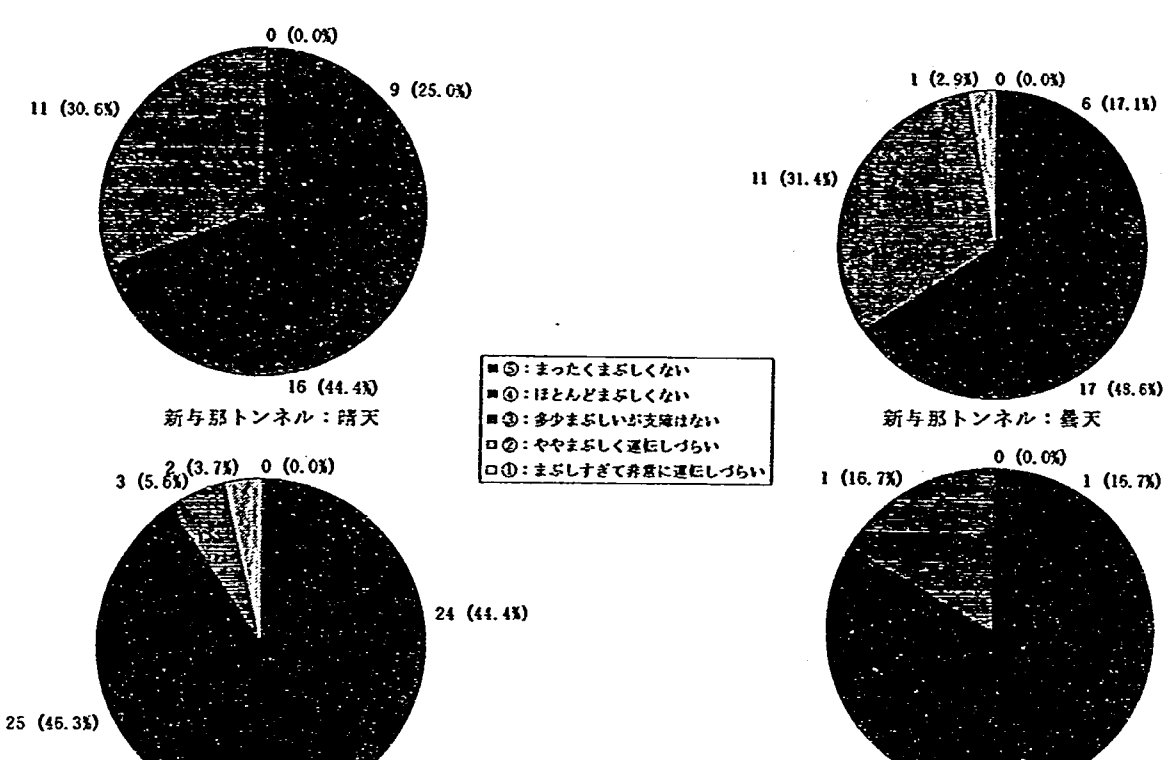
アンケート項目	照明点灯状況	回答内容 ①	②	③	④	⑤	合計	評点の平均値	備考
		暗い				明るい			
トンネル入口に接近したときのトンネル内の明るさ	晴天時	2	19	17	14	3	55	2.9	
	曇天時	0	0	3	4	0	7	3.6	
		不安				不安なし			
トンネルに進入するときの不安感	晴天時	1	1	20	19	13	54	3.8	無回答1人
	曇天時	0	0	0	5	1	6	4.2	無回答1人
		眩しい				眩しくない			
照明器具のまぶしさ	晴天時	0	2	3	25	24	54	4.3	無回答1人
	曇天時	0	0	1	4	1	6	4.0	無回答1人
		悪い				良い			
トンネル進入時の走りやすさ	晴天時	1	3	21	16	13	54	3.7	無回答1人
	曇天時	0	0	4	2	0	6	3.3	無回答1人
		悪い				良い			
トンネル出口部での走りやすさ	晴天時	1	1	21	15	14	52	3.8	無回答3人
	曇天時	0	0	3	2	0	5	3.4	無回答2人
		悪い				良い			
先行車の視認性	晴天時	1	2	20	18	8	49	3.6	無回答6人
	曇天時	0	0	2	3	0	5	3.6	無回答2人
		入口付近				出口付近			
先行車が見えにくい場所	晴天時	1	1	0	1	0	3	2.3	
	曇天時	0	0	0	0	0	0	0.0	
		短い				長い			
先行車までの距離	晴天時	0	2	0	1	0	3	2.7	
	曇天時	0	0	0	0	0	0	0.0	



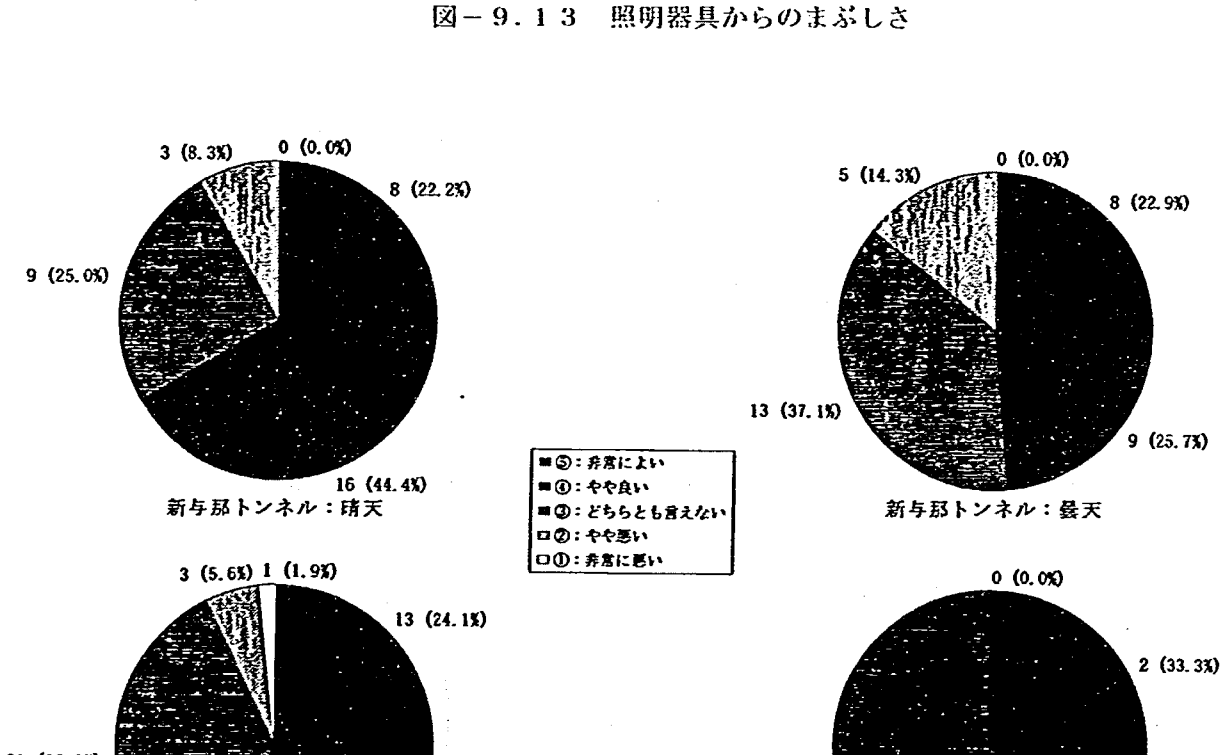
図－９．１１　トンネル入口付近の明るさ



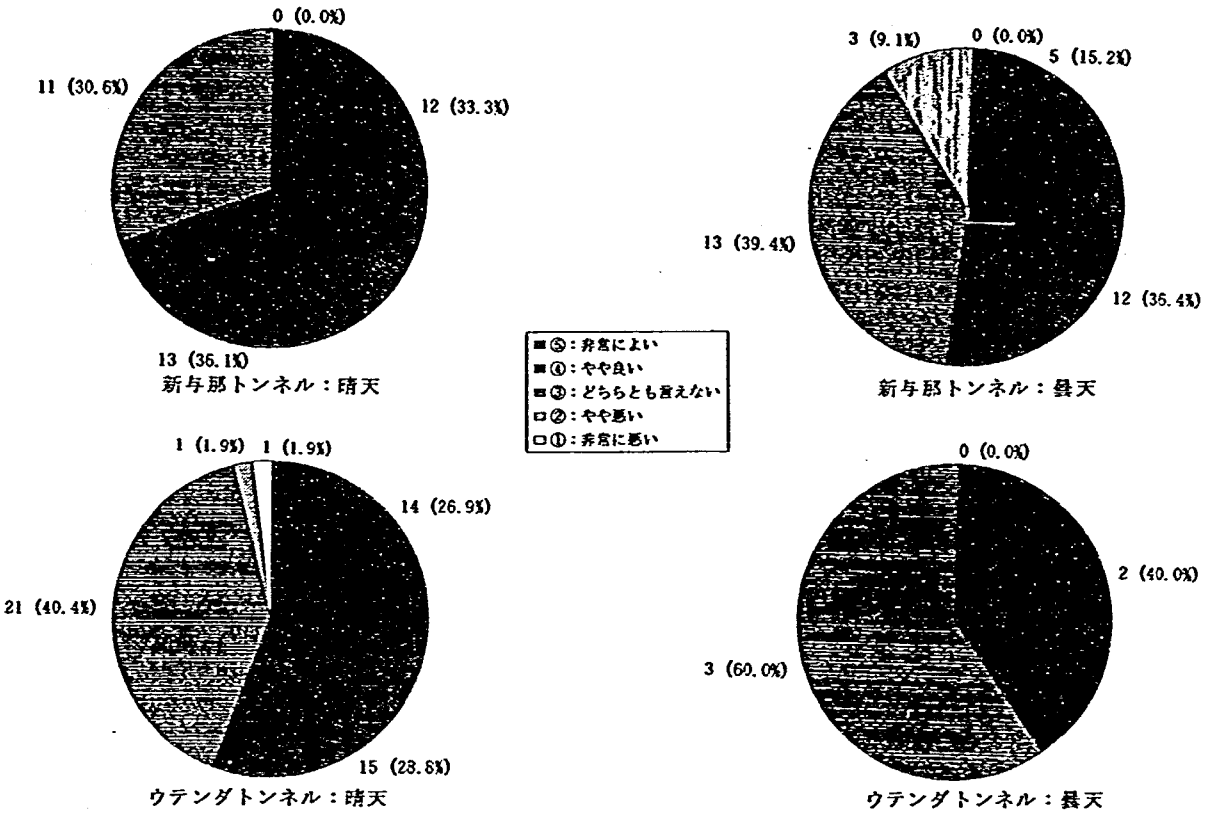
図－９．１２．トンネルに進入する時の不安感



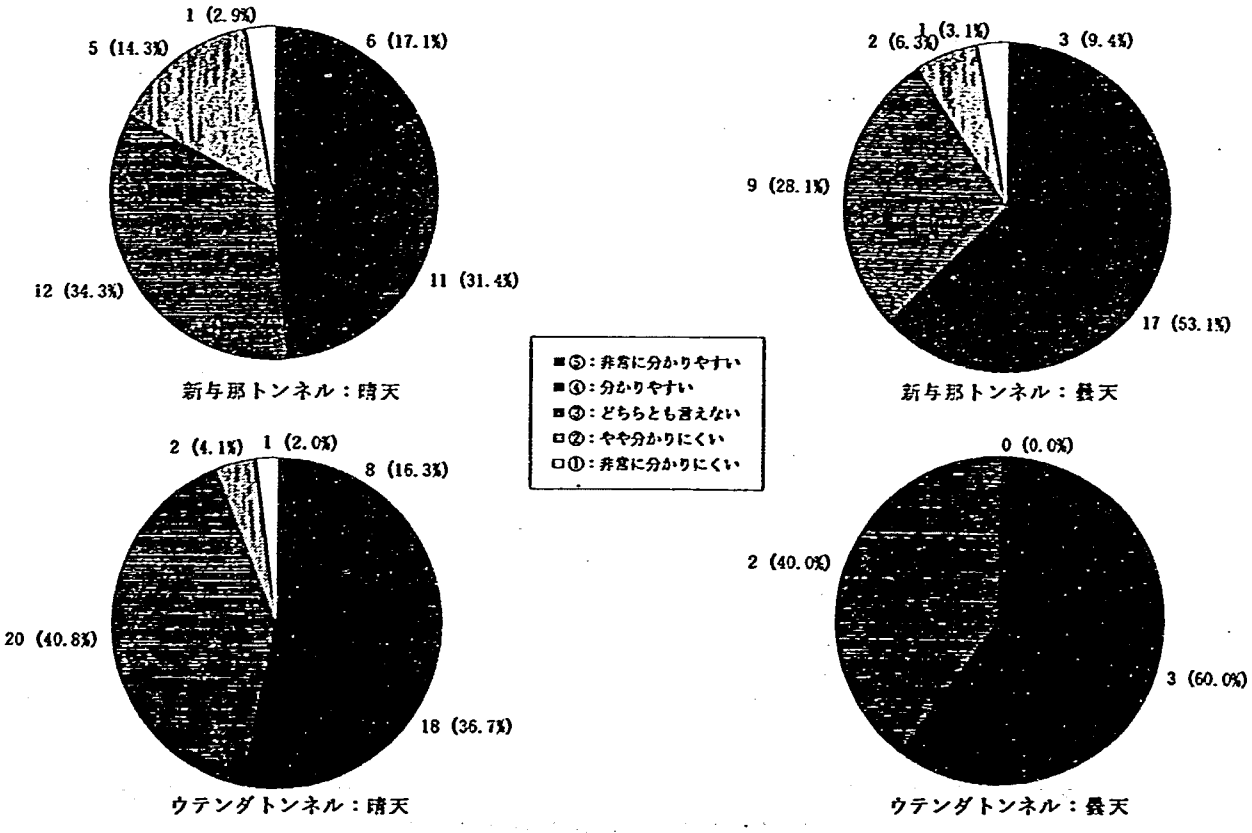
図－９．１３　照明器具からのまぶしさ



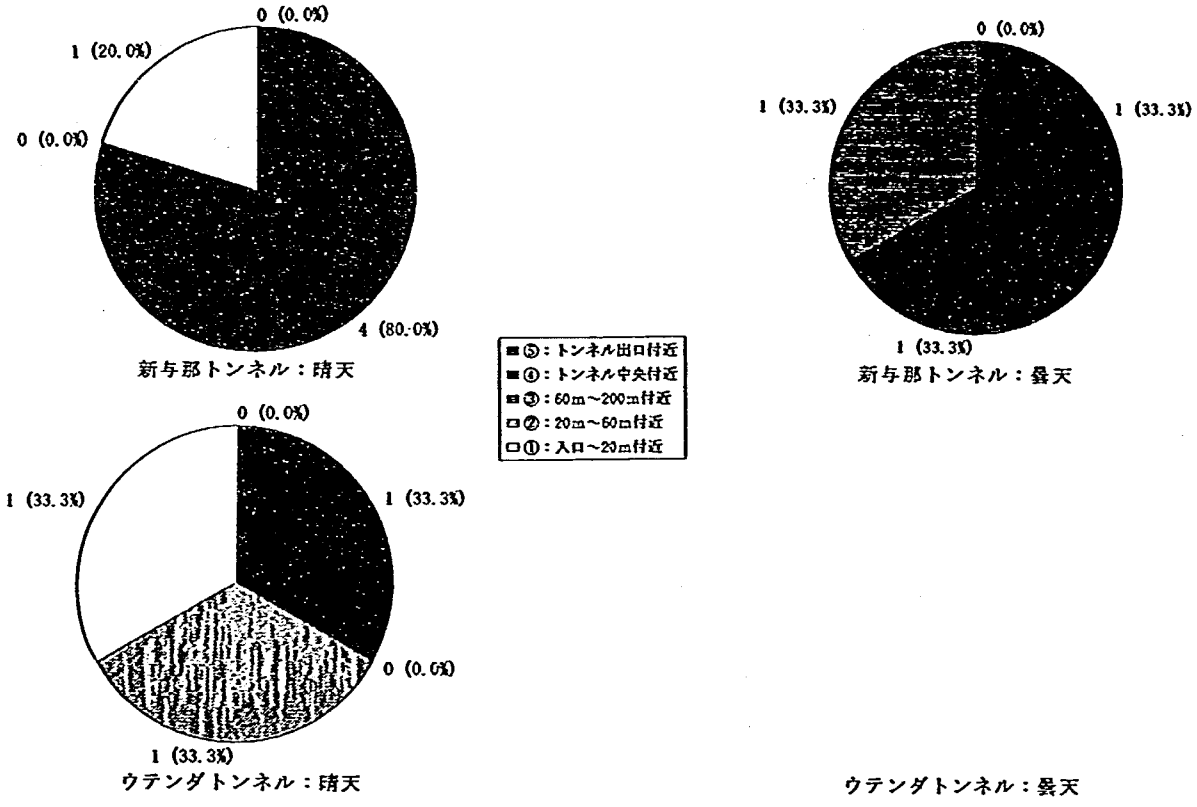
図－９．１４　トンネル進入後の走りやすさ



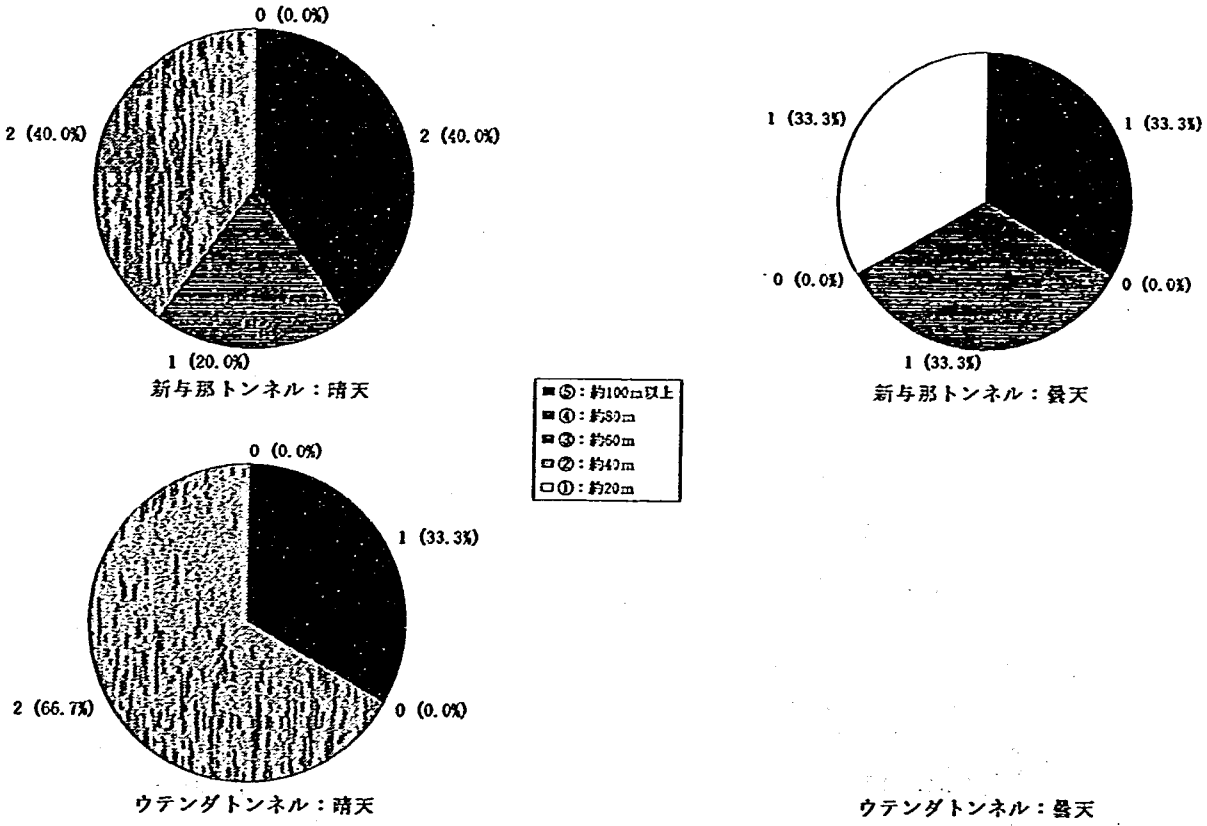
図－９．１５　トンネル出口部での走りやすさ



図－９．１６　先行車の視認性

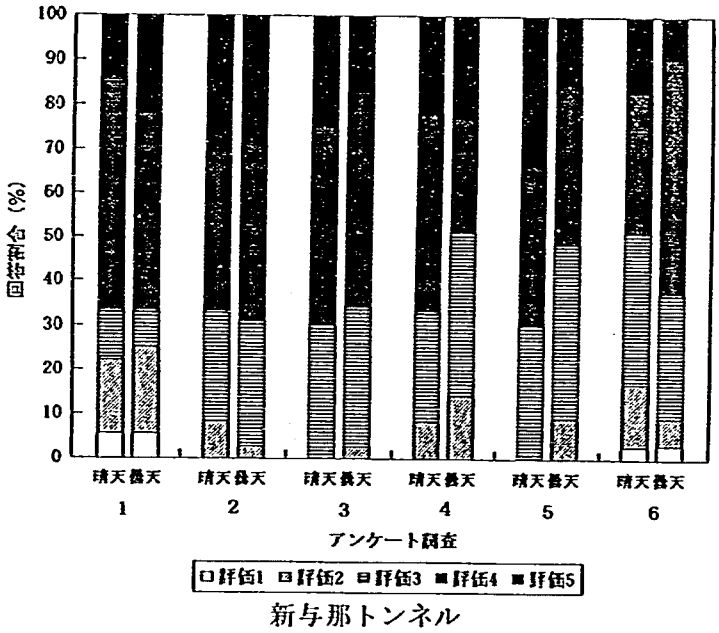


図－９．１７　先行車が見えにくかった場所

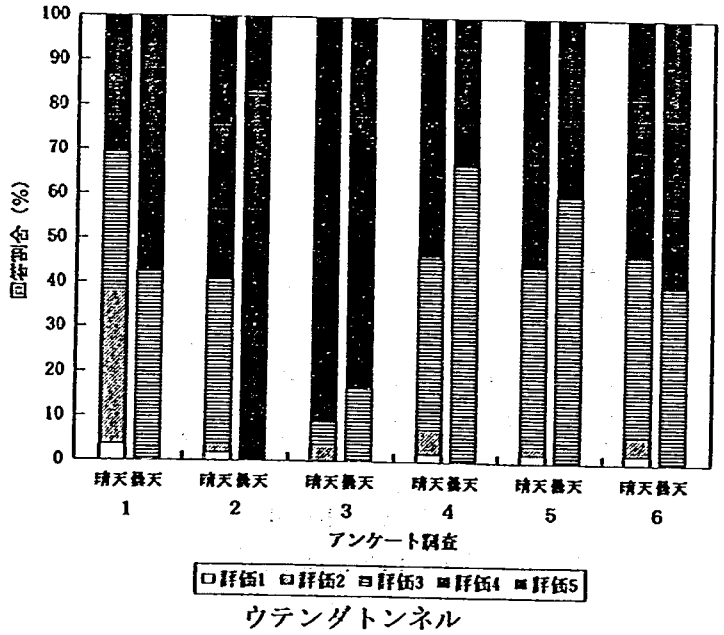


図－９．１８　先行車との車間距離

アンケート項目	評価尺度
1 トンネル入り口付近の明るさ	①非常に暗く感じた ②やや暗く感じた ③どちらとも言えない ④やや明るく感じた ⑤非常に明るく感じた
2 トンネルに進入するときの不安感	①不安感が高く非常に進入しにくい ②やや不安感があり進入しにくい ③多少不安感があるが気にならない ④ほとんど不安感がない ⑤まったく不安感がない
3 [illegible]からのまよしさ	①まよしすぎて非常に運転しにくい ②ややまよしく運転しづらい ③多少不安感があるが気にならない ④ほとんどまよしない ⑤まったくまよしくない
4 トンネル進入性の走りやすさ	①非常に悪い ②やや悪い ③どちらとも言えない ④やや良い ⑤非常に良い
5 トンネル出口部での走りやすさ	①非常に悪い ②やや悪い ③どちらとも言えない ④やや良い ⑤非常に良い
6 [illegible]行車の連続性	①非常に分かりにくい ②やや分かりにくい ③どちらとも言えない ④分かりやすい ⑤非常に分かりやすい



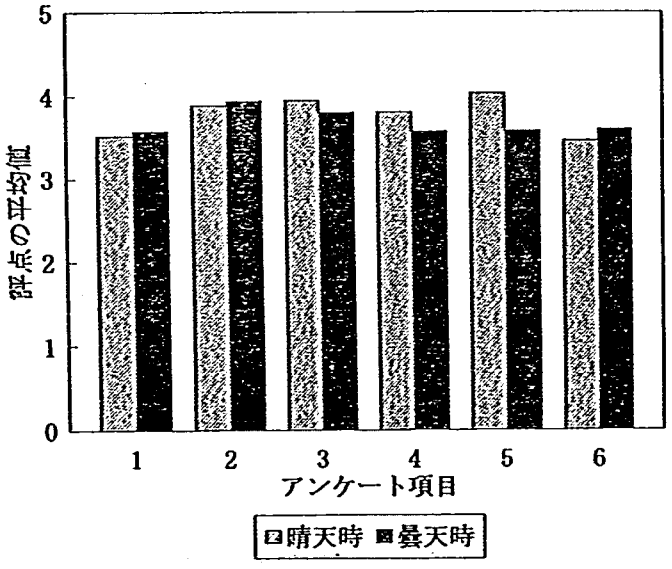
新与那トンネル



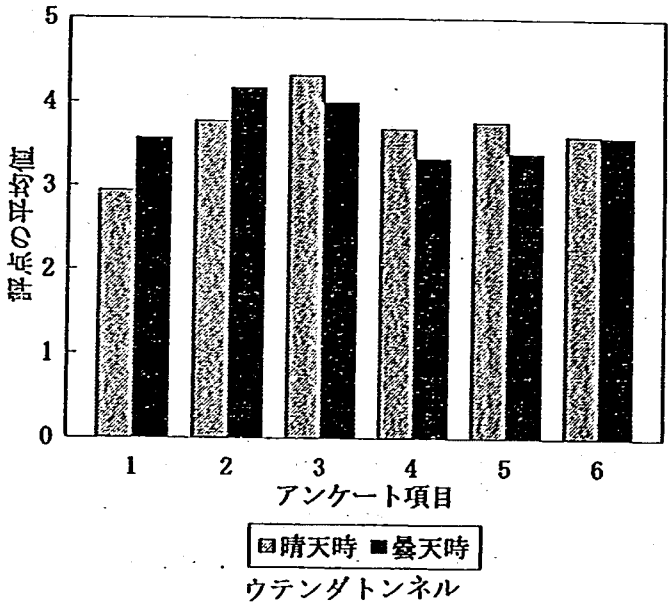
ウテングトンネル

図－９．１９　各アンケート結果の回答割合

アンケート項目	回答内容
1 トンネル入り口付近の明るさ	①非常に暗く感じた ②やや暗く感じた ③どちらとも言えない ④やや明るく感じた ⑤非常に明るく感じた
2 トンネルに進入するときの不安感	①不安感が高く非常に進入しにくい ②やや不安感があり進入しにくい ③多少不安感があるが支障はない ④ほとんど不安感がない ⑤まったく不安感がない
3 照明器具からのまぶしさ	①まぶしすぎて非常に運転しにくい ②ややまぶしく運転しづらい ③多少不安感があるが支障はない ④ほとんどまぶしくない ⑤まったくまぶしくない
4 トンネル進入後の走りやすさ	①非常に悪い ②やや悪い ③どちらとも言えない ④やや良い ⑤非常に良い
5 トンネル出口部での走りやすさ	①非常に悪い ②やや悪い ③どちらとも言えない ④やや良い ⑤非常に良い
6 先行車の視認性	①非常に分かりにくい ②やや分かりにくい ③どちらとも言えない ④分かりやすい ⑤非常に分かりやすい



新与那トンネル



ウテンダトンネル

図－９．２０　アンケート結果の標点の平均値

（１０）その他

新与那トンネルの照明について何か気づいた点等について集計した結果を表－９．１８に示す。なお、表中の意見は、１３１回答数を対象としてとりまとめた。３５人の方から意見等を頂いたが、その４割の１５人が中間地点の基本照明の区間がやや暗い感じを受けていることが分かった。これは、新与那トンネルの入口照明の路面輝度が、供用間もないことなどから路面からの光の反射が予想以上にあり、設計路面輝度に対して高い値となり、基本照明とのすりつけ区間で大きな照明レベルの差が生じたことが原因と考えられる。この点については、今後、設計時の平均照度換算係数などの見直しとともに、野外の輝度の状況を的確に把握する方法の検討とともに、その野外の輝度に必要となる入口照明の設定をどう実施していくかが課題であると考えられる。

表－９．１８ 新与那トンネルの照明について気付いた点

整理番号	内　　容	備　考
10	・光が柔らかく、全体を包む感じで良いと思う。	
13	・入口はとても見やすいが、出口付近が多少暗く感じた。	
14	・カウンタービーム方式なのでトンネルの誘導性も高く、トンネル内の線形をよく判断できるので運転しやすい。	
17	・辺戸向は上部照明が目に入りすぎるので、内側に向けてほしい（バス、大型トラック）。	
24	・中央部をもう少し明るくした方がよい。	
25	・トンネル中央部付近は照明が少ないためか暗い。出入り口付近の明るさと同じにしてほしい。	
29	・進入時の明るさはそれほど悪くはないが、トンネル中間地点での照明度が少々暗く感じる。宜名真トンネルの照明と比べた場合には数段明るさを感じる。	
32	・カウンタービームを天井から吊っている金具が細いので心理的に落ちてこないか心配になってしまう。埋め込み式だともっと良かったと思う。	
33	・昼夜を問わず運転しやすい照明となっている。	
35	・トンネル入り口付近の直射日光が強いため、両トンネルとも進入時一瞬暗く感じた。	
38	・旧与那トンネルと比べて、トンネルに進入するときトンネル入り口手前付近での不安感がだいぶ和らいでいる。	
39	・旧与那トンネルの暗さ等によって新与那トンネルのイメージまで多少のダウンがあるように思える。	
40	・外からは暗い感じがするけれど、中に入れば明るく感じる。車がとても見えにくい。	
41	・中間付近が少しくらい感じがする。	
42	・天井の照明が入口は自分の方向に向いていて眩しいが、出口側は前方に向いていてちょうど良いので入口側も進行方向側に照明を向けてほしい。中間付近も同じ程度の照明にしてほしい。	
43	・トンネル出口付近で前方の車がよく見えにくい感じを受けた。	
51	・トンネル中央付近が照明が暗く見えにくいので、照明をもっと明るくしてほしい。	
55	・中間地点付近の照明が暗い感じがする。	
56	・出入口は明るいので不安感はないが、トンネルの中央に行くとやや暗い感じがするのでもう少し明るい方がよい。	
58	・入口及び出口の照明は非常に良いが、中央部は暗いので前方の車両が分かりづらい。	
59	・入り口部分は明るい感じがした。	
60	・新しい照明が設置されているという予備知識があったせいか、新与那トンネルでは明るく感じた。新与那トンネルが明るくなったせいか、ウテンダトンネル、宜名真トンネルが多少暗く感じた。	
66	・中央付近が少々暗く感じた。出口付近（出口から150m）が暗く感じた。	
69	・良い。トンネルに進入するとき少し暗くなるといった目の錯覚がある（名護方向に行くとき）。出口のように斜めに切った方が良いのではないか。	
73	・トンネル中央付近の照明が暗い。	
77	・少し明るすぎると思う。	
78	・新与那トンネルの中間地点に来たときにやや暗い感じがして少し不安な気持ちになった。	
86	・ウテンダトンネルと比べた場合には、入口側、出口側に関しては光量が多い分走りやすいが、昼間部（基本照明のみの箇所）にさしかかると暗く、車のライトを点灯したくなる。ウテンダトンネルの場合は昼間部の基本照明もある程度あり、車のライトを点灯しなくてもストレスなく走ることが出来る。 ・新与那トンネルに関しては、中間部をもっと明るくしないとカウンタービーム照明が生かされないと思う。	
92	・中間付近で二重照明が途切れる区間があるが、その部分で暗くなる感じがする。カウンタービーム照明は、運転手側からの反射がなく良い。トンネル進入手前で暗い印象があるが、特に違和感はない。	
100	・照明の光をカクテルにして、目に優しい色にしてはどうか。	
110	・区画線が視認しにくい。	
113	・晴天時、雨天時に運転者の目に刺激みやすいように思う。	
122	・照明のバランスが悪い。	
124	・照明が真上についているので、トンネル内での運転がしやすい。	
128	・中間付近で暗く感じる場合があり、中間付近の高い路面のせいか、車種によっては走りにくい。	

9．3　アンケート調査結果(自転車･徒歩等の利用)

9．3．1 アンケート回答数

自転車･徒歩によるトンネルの利用に関するアンケートは１３１回答中の新与那トンネルで１７件、ウテンダトンネルで１５件であった。アンケートの集計表を表－９．１９、９．２０に示す。

表－９．１９ アンケート集計表（新与那トンネル）

整理番号	アンケート結果 (1)	(2)	理由（(2)で①、②と答えた人）	(3)
1	4	4		
4	4	4		
5	3	4		
10	4	3		
11	3	5		
12	3	3		
20	5	4		
32	4	4		
36	2	3		
37	4	5		
40	1	2	トンネルが壊れたら怖い	
51	3	4		新与那トンネル内水漏れに注意
65	3	4		
96	4	4		
97	4	4		
107	3	3		
111	4	4		
合計	17	17		

表－９．２０ アンケート集計表（ウテンダトンネル）

整理番号	アンケート結果 (1)	(2)	理由（(2)で①、②と答えた人）	(3)
1	3	3		
5	2	3	晴天時は、急に暗くなる。	
10	4	3		
11	4	5		
12	3	3		
32	3	3		
36	4	3		
37	2	4		
40	3	2	トンネルが壊れたら怖い	
51	3	4		
65	3	3		
96	3	3		
97	3	3		
107	2	2		
111	2	4		
合計	16	16		

9．3．2 アンケート結果

アンケート結果を表－９．２１、表－９．２２及び図－９．２１に示す。アンケートの内容は、トンネル内で最も照明レベルの低い主として中間地点付近の基本照明の印象、トンネル通るときの不安感を回答してもらうことを目的とした。アンケート回答件数が少ないが傾向として以下のことが伺える。

中間付近の明るさに関するアンケートでは、新与那トンネルで「明るい」と感じた人の割合が約50%と高く、「どちらともいえない」以上を含めた場合は約90%となり、自転車･徒歩による利用時の照明の明るさとしては暗く感じていないことが分かった。したがって、自転車･徒歩によるトンネル利用者を対象とした場合、現在の照明レベル程度で問題はないと考えられる。ウテンダトンネルについては、新与那トンネルに比べて若干の暗さを感じる人の割合が増加するものの極端に評価が低下する結果となっていない。

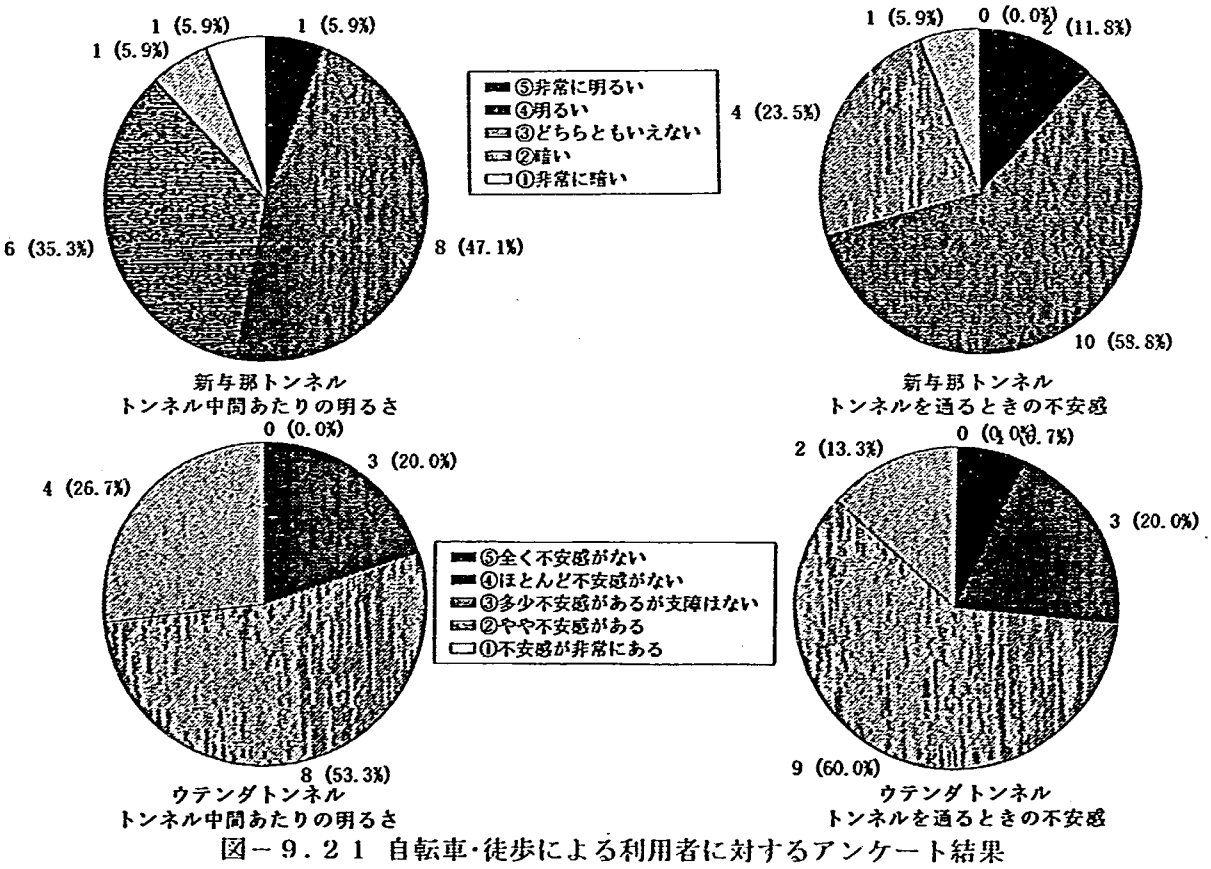
トンネルを通る時の不安感に関するアンケートでは、明るさの評価とほぼ同一の傾向にあり、トンネル内を明るいと感じた場合は不安感もないことが分かる。

表－９．２１ アンケート結果（新与那トンネル）

アンケート項目	回答内容					合計	評点の平均値	備考
	①	②	③	④	⑤			
トンネルのほぼ中間当たりの明るさ	暗い	←	・	→	明るい			
	1	1	6	8	1	17	3.4	
トンネルを通るときの不安感	不安	←	・	→	不安なし			
	0	1	4	10	2	17	3.8	

表－９．２２ アンケート結果（ウテンダトンネル）

アンケート項目	回答内容					合計	評点の平均値	備考
	①	②	③	④	⑤			
トンネルのほぼ中間当たりの明るさ	暗い	←	・	→	明るい			
	0	4	8	3	0	15	2.9	
トンネルを通るときの不安感	不安	←	・	→	不安なし			
	0	2	9	3	1	15	3.2	



図－９．２１ 自転車・徒歩による利用者に対するアンケート結果

９．４ まとめ

国内で最初のカウンタービーム照明を適用した新与那トンネルで一般利用者に対するアンケート調査を実施した。本アンケート調査結果から次のことが分かった。

自動車等による利用者に対するアンケート内容の「トンネル入口に接近したときのトンネル内の明るさ」、「トンネルに進入するときの不安感」、「照明器具からのまぶしさ」、「トンネル進入後の走りやすさ」、「トンネル出口部での走りやすさ」、「先行車の視認性」についての評価は、照明レベルが全点灯（晴天時パターン）、１／２点灯（曇天パターン時）ともに評価点３．５～４の比較的高い評価が得られ、カウンタービーム照明下のトンネル出口部では、先行車の後部に光を照射することとなり、比較的走りやすいこと、先行車の視認性も特に問題となるような評価結果とならなかった。ただし、トンネル利用者は、入口照明が比較的明るい状態に対して相対的に照明レベルの低い基本照明区間のトンネル中央部での明るさに対して暗い感じを受けていることが分かり、今後、野外の輝度に応じた適度な入口照明の照明レベルの設定方法や入口照明と基本照明とのすりつけ区間の照明レベルの設定について課題があることが考えられた。

自転車・徒歩等による利用者に対するアンケート内容の「トンネル中間付近の明るさ」、「トンネルを通る時の不安感」についての評価は、照明の明るさとしては暗く感じていないことが分かった。したがって、自転車・徒歩によるトンネル利用者を対象とした場合、現在の照明レベル程度で問題はないと考えられる。トンネルを通る時の不安感に関するアンケートでは、明るさの評価とほぼ同一の傾向にあり、トンネル内を明るいと感じた場合は不安感もないことが分かった。

１０.照明方式の違いによる経済比較の試算

１０.１　経済比較の試算方法

１０.１.１　試算方法

この経済比較の試算は、従来から実施されてきた「対称照明」と今回共同研究を行った「カウンタービーム照明」を、ある条件を設定して経済的な面から試算を行ったものである。なお、実際にトンネル照明を実施する場合には、地理的条件、予想交通量、交通方式、設計速度、トンネルの構造、延長等を考慮した検討が必要となる。

本試算を行った条件は、実在するトンネル断面をモデルとし、路面の舗装をコンクリートとアスファルトの場合について、トンネル内の照明設備工事（照明器具取り付け費、配線工事費、配管工事費）および同設備の維持費（電気料金、照明器具清掃費、ランプ交換費）の試算を行ったものである。

１０.１.２　試算条件の設定

（１）設計条件

本試算の照明計画は、基本照明及び入口照明について試算する。照明設計及び照明工事の設計は、以下の諸基準に準拠して試算するものとする。

１）	道路照明施設設置基準・同解説	昭和５６年	（社）日本道路協会
２）	トンネル照明設計指針	平成　２年	（財）高速道路調査会
３）	トンネル照明器材仕様書	平成　５年	（社）建設電気技術協会
４）	電気通信設備工事共通仕様書	平成　６年	（社）建設電気技術協会
５）	内線規程	平成　２年	（社）日本電気協会
６）	電気供給約款	平成　８年	東京電力（株）
７）	建設物価	平成　７年１２月	（財）建設物価調査会
８）	電気設備工事積算基準実務マニュアル	平成　７年版	全日出版社

（２）モデルとしたトンネルの諸元

１）トンネル延長　：　１，０００ｍ
２）車道幅員　：　７．０ｍ
３）路面全幅員　：　１２．２ｍ
４）設計速度　：　６０ｋｍ／ｈ
５）構造規格　：　３種１級
６）交通方式　：　対面交通２車線
７）予想交通量　：　１５，０００台／日
８）トンネル内仕上げ
　天井面　：　コンクリート（反射率２５％）
　壁　面　：　コンクリート（反射率２５％）

路　面　　：　コンクリート舗装 ┐
　　：　アスファルト舗装 ┘ 2種について設計

9）トンネル断面と照明器具設置位置　：図－１０．１～図－１０．３参照

（３）比較設計の種別

比較設計は、次の種別について行った

1）コンクリート舗装、対称照明

2）コンクリート舗装、カウンタービーム照明、路肩近傍取り付け

3）コンクリート舗装、カウンタービーム照明、車線中央取り付け

4）アスファルト舗装、対称照明

5）アスファルト舗装、カウンタービーム照明、路肩近傍取り付け

6）アスファルト舗装、カウンタービーム照明、車線中央取り付け

（４）照明方式諸元の決定

1）照明方式　：　基本照明　路肩近傍、向き合せ配列
　　：　入口照明　（３）比較設計の種別のとおり

2）野外輝度　：　起点側坑口　４，０００ cd/㎡
　　：　終点側坑口　４，０００ cd/㎡

3）光源　：　基本照明　低圧ナトリウムランプ
　　：　入口照明　高圧ナトリウムランプ

4）照明器具　：　直付型トンネル照明器具（鋼板製、安定器内蔵型）
　　：　対称照明用　対称配光を有する照明器具
　　：　カウンタービーム照明用　非対称配光を有する照明器具
　　：　照明器具及び光源の特性は、表－１０．１のとおりとする。

表－１０．１　照明器具及び光源の特性

用　途	照明器具	光　源	光源光束	光源寿命	摘　要
基本照明用	KNX 035B	NX 35	4,600 ℓm	9,000h	
	KNX 055B	NX 55	7,600 ℓm	9,000h	
入口照明用（対称照明）	KNH 110B	NHT 110L	10,400 ℓm	12,000h	
	KNH 180B	NHT 180L	19,000 ℓm	12,000h	
	KNH 220B	NHT 220L	26,500 ℓm	12,000h	
	KNH 270B	NHT 270L	33,500 ℓm	12,000h	
	KNH 360B	NHT 360L	47,500 ℓm	12,000h	
入口照明用（ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明）	カウンタービーム用照明器具	NHT 110L	10,400 ℓm	12,000h	
		NHT 180L	19,000 ℓm	12,000h	
		NHT 220L	26,500 ℓm	12,000h	
		NHT 270L	33,500 ℓm	12,000h	
		NHT 360L	47,500 ℓm	12,000h	

5）保守率　：　０．７

6）照明器具の配列　：　向き合わせ配列

7）低減係数　：　１．０

8）平均照度換算係数

基本照明及び対称照明：　アスファルト路面　１８ℓx／cd／m²

：　コンクリート路面　１３ℓx／cd／m²

カウンタービーム照明：　アスファルト路面　９ℓx／cd／m²

：　コンクリート路面　９ℓx／cd／m²

9）基本照明の平均路面輝度

昼間時　：　２．３　cd／m²

夜間時　：　１．１５cd／m²

10）入口部照明の平均路面輝度

：　入口部照明の平均路面輝度は、次のとおりとする。

表－１０．２　入口部照明の平均路面輝度

野外輝度	起点側坑口		終点側坑口		摘　要
	4，０００cd／m²		4，０００cd／m²		
項　目	路面輝度	延　長	路面輝度	延　長	
境界部	58.0 cd/m²	25m	58.0 cd/m²	25m	
移行部	35.0 cd/m²	65m	35.0 cd/m²	65m	
緩和部	2.3 cd/m²	135m	2.3 cd/m²	135m	

11) 入口部照明の調整

：入口部照明の調整は、次のとおりとする。

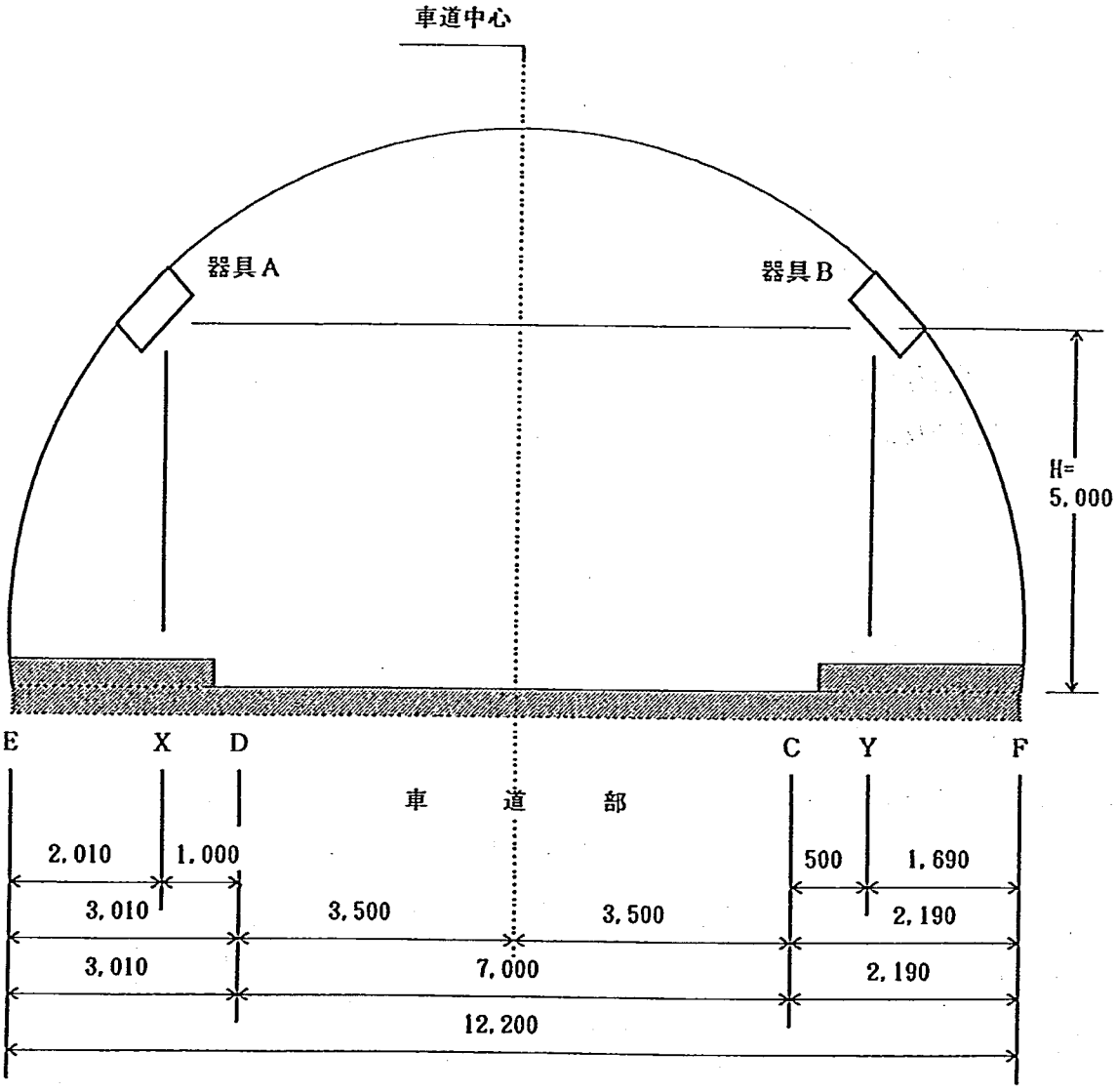
表－１０．３　入口部照明の調整

野　外　輝　度	路面輝度の割合	回　路　区　分	摘　　要
4，０００　cd/㎡	１００％	晴　　天	
2，０００　cd/㎡	５０％	曇　　天	

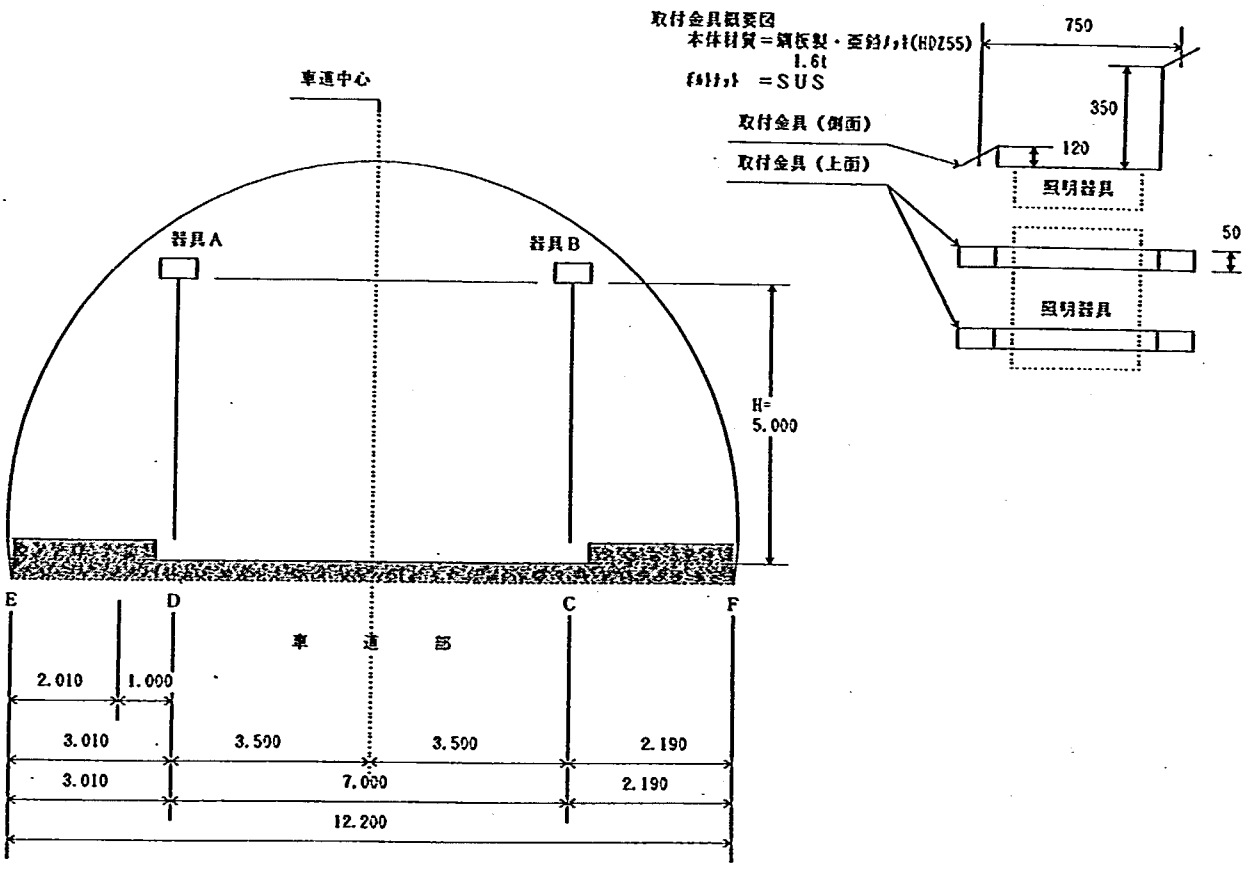
12) 照明器具の取り付け高さ

基本照明　　５．０　m

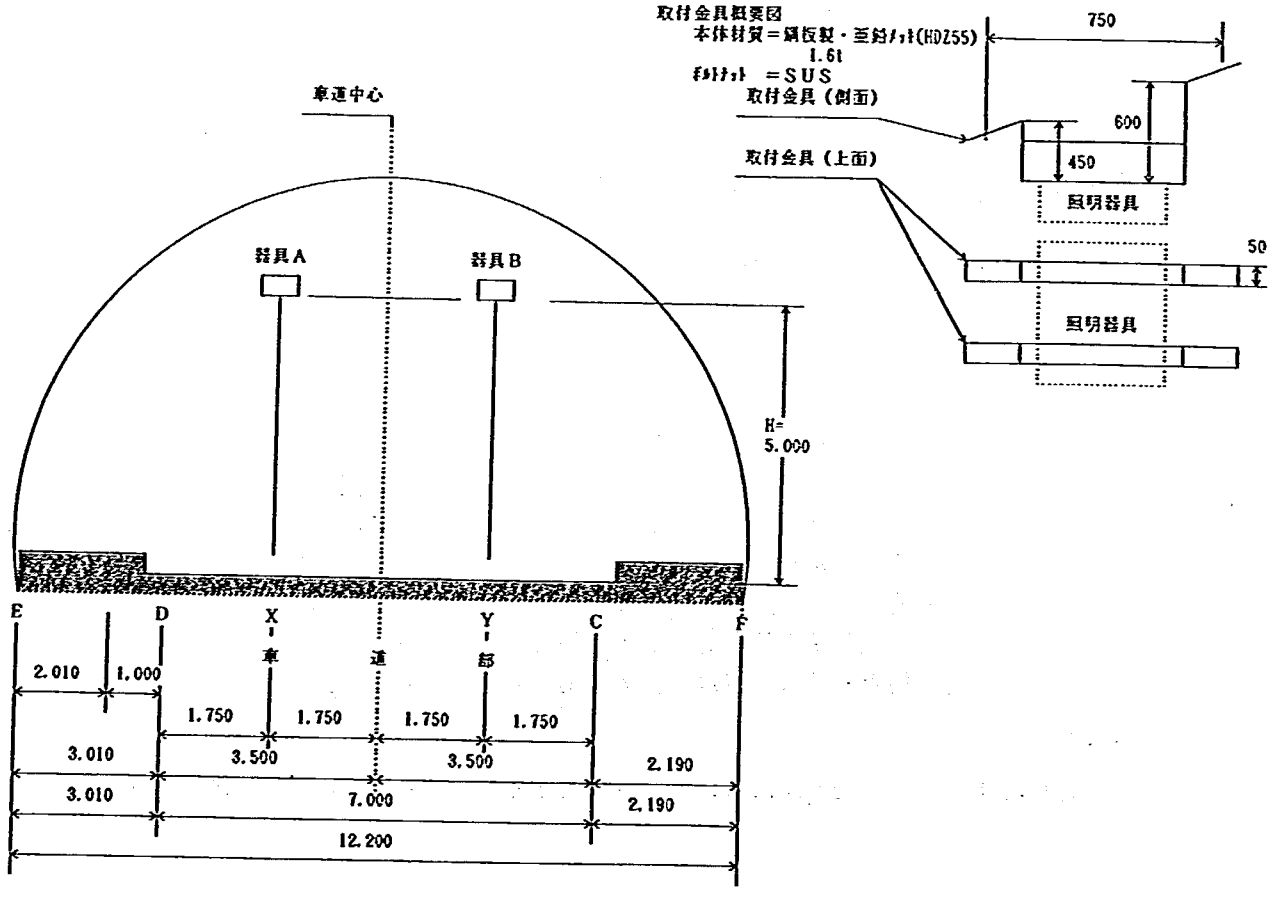
入口照明　　５．０　m



図－１０．１　トンネル断面と照明器具設置位置（１）
（基本照明及び入口照明・対称照明）



図－１０．２ トンネル断面と照明器具設置位置
（入口照明・路肩近傍取り付け・カウンタービーム照明）



図－１０．３ トンネル断面と照明器具設置位置
（入口照明・路肩近傍取り付け・カウンタービーム照明）

（5）設備費の試算方法

1）使用器具の型式

基本照明、対称照明用器具　　露出取付型、鋼板製器具とする。

カウンタービーム照明用器具　天井吊下取付型、鋼板製器具とする。

2）照度段階の考え方

① 基本照明

昼間時	全点灯	向き合わせ配列
夜間時	1／2点灯	千鳥配列（タイマー制御及びｃｄｓ制御）
非常時（停電時）	1／4点灯	電池内蔵型非常用器具

② 入口照明

晴天時	全点灯	
曇天時	1／2点灯	（ｃｄｓ制御）

3）電気方式

3相3線式　　415ボルト

4）配線方式

① 配線支持方式	幹線	ラックによる露出配線
	引き込み部	厚鋼電線管
② 配線材料	CVケーブル	接地線＝IV線

5）配線系統

配線系統は、次のように計画する。

基本照明
- 常時点灯（非常時用含む）——— 1L回路
- 常時点灯（非常時用含む）——— 1R回路
- 昼間点灯（夜間消灯　）——— 2L回路
- 昼間点灯（夜間消灯　）——— 2R回路

入口照明
- 起点側常時点灯　（昼間）——— 3L回路
- 起点側常時点灯　（昼間）——— 3R回路
- 起点側晴天時点灯（曇天時消灯）—— 4L回路
- 起点側晴天時点灯（曇天時消灯）—— 4R回路
- 終点側常時点灯　（昼間）——— 5L回路
- 終点側常時点灯　（昼間）——— 5R回路
- 終点側晴天時点灯（曇天時消灯）—— 6L回路
- 終点側晴天時点灯（曇天時消灯）—— 6R回路

6）配線設計

① 許容電圧降下　　最遠端において　6％とする。（$415^{V} \times 6\ \% = 24.9^{V}$）

② 電線断面積の算出式

$$A = \frac{30.8 \times L \times I}{1,000 \times e} \quad \cdots\cdots (10.1)$$

ここで　A ： 電線断面積（mm^2）
　　L ： 電線亘長 （ m ）
　　I ： 電　流 （ A ）
　　e ： 電圧降下 （ V ）

③ 電線亘長と電流に関する考え方

基本照明　各区間毎に負荷が集中したものとして計算する。

入口照明　各区間毎に負荷が集中したものとして計算する。

7）材料単価、労務単価

材料単価、労務単価は、建設物価（平成7年12月）を参考にして積算したが、カウンタービーム照明器具については、照明器具ﾒｰｶｰの見積書（対称照明器具に比し20%高）により積算した。

8）施工歩掛

施工歩掛は、電気設備工事積算基準実務マニュアル（平成7年版）を参考にして積算したが、カウンタービーム照明器具取付歩掛は、取付金具の取付として、電工 0.5人を計上した。

（6）維持費の試算方法

1）ランプ交換費　平均寿命により交換するものとする。

2）灯具清掃費　年2回実施するものとする。

3）電気料金　電気供給約款（東京電力）を適用する。

4）受電方式　3相3線式　6KV　契約種別は、業務用電力とする。

5）基本料金　便宜上、照明器具の全入力電力を契約電力と考え基本料金を算出する。

6）電力量料金　照明の点灯時間は、関東地方を基準に算出する。

7）照明点灯時間　晴天・曇天等の時間は、気象庁の記録から過去30年間の平均時間とした。

10.2 試算結果

10.2.1 初期設備費の比較

（1）初期設備費の比較

初期設備費の比較は、表－10.4のとおりである。

詳細計算書は、表－10.7に示すとおりである。

（2）照明器具数量一覧表

表－10.6に示すとおりである。

表－１０．４　初期設備費の比較表

照明方式		照明器具取付費	配線工事費	配管工事費	合計
コンクリート舗装	対称照明路肩取付	87,493,200.	18,193,900.	22,824,300.	128,511,400.
	ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明路肩取付	98,206,000.	18,193,900.	22,824,300.	139,224,200.
	ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明車線中央取付	94,769,600.	18,116,260.	22,824,300.	135,710,160.
アスファルト舗装	対称照明路肩取付	90,153,200.	19,547,380.	22,923,700.	132,624,280.
	ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明路肩取付	93,424,400.	18,083,200.	22,824,300.	134,331,900.
	ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明車線中央取付	91,354,400.	17,776,540.	22,824,300.	131,955,240.

１０．２．２　維持管理費の比較

（１）維持管理費の比較

維持管理費の比較は、表－１０．５に示すとおりである。

詳細計算書は、表－１０．８に示すとおりである。

表－１０．５　維持管理費の比較表

照明方式		電気料金（年間）	照明器具清掃費（年間）	ランプ交換費（年間）	合計（年間）
コンクリート舗装	対称照明路肩取付	4,695,945.	4,969,200.	2,469,730.	12,134,875.
	ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明路肩取付	4,695,945.	4,969,200.	2,469,730.	12,134,875.
	ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明車線中央取付	4,256,412.	4,821,600.	2,359,710.	11,437,722.
アスファルト舗装	対称照明路肩取付	5,906,760.	4,846,200.	2,573,650.	13,326,610.
	ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明路肩取付	4,920,645.	4,575,600.	2,448,070.	11,944,315.
	ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明車線中央取付	4,520,163.	4,501,800.	2,415,290.	11,437,253.

表－１０．６（１）　コンクリート舗装の場合の照明器具数量一覧表（各下段は、入力電力）

照明器具種別		コンクリート舗装			摘要
		対称照明	カウンターヒ゛ーム照明（路肩取付）	カウンターヒ゛ーム照明（車線中央取付）	
基本照明	ＮＸ－３５	２００台 ×0.057=11.4 KW	２００台 ×0.057=11.4 KW	２００台 ×0.057=11.4 KW	
入口照明	ＮＨＴ－２７０Ｌ	４０台 ×0.340=13.600KW	４０台 ×0.340=13.600KW	４４台 ×0.340=14.960KW	
	ＮＨＴ－２２０Ｌ	８４台 ×0.285=23.940KW	８４台 ×0.285=23.940KW	４８台 ×0.285=13.680KW	
	ＮＨＴ－１８０Ｌ	４８台 ×0.240=11.520KW	４８台 ×0.240=11.520VA	３６台 ×0.240= 8.640KW	
	ＮＨＴ－１１０Ｌ	３２台 ×0.150= 4.800KW	３２台 ×0.150= 4.800KW	６４台 ×0.150= 9.600KW	
合計	入力電力計	65.260KW	65.260KW	58.280KW	

表－１０．６（２）　アスファルト舗装の場合の照明器具数量一覧表（各下段は、入力電力）

照明器具種別		アスファルト舗装			摘要
		対称照明	カウンターヒ゛ーム照明（路肩取付）	カウンターヒ゛ーム照明（車線中央取付）	
基本照明	ＮＸ－５５	１８２台 ×0.077=14.014KW	１８２台 ×0.077=14.014KW	１８２台 ×0.077=14.014KW	
入口照明	ＮＨＴ－３６０Ｌ	６０台 ×0.455=27.300KW			
	ＮＨＴ－２７０Ｌ	６０台 ×0.340=20.400KW	６０台 ×0.340=20.400KW		
	ＮＨＴ－２２０Ｌ	２４台 ×0.285= 6.840KW	８４台 ×0.285=23.940KW	１１２台 ×0.285=31,920KW	
	ＮＨＴ－１８０Ｌ	４０台 ×0.240= 9.600KW	１６台 ×0.240= 3.840KW	４０台 ×0.240= 9.600KW	
	ＮＨＴ－１１０Ｌ	２８台 ×0.150= 4.200KW	３０台 ×0.150= 4.500KW	３２台 ×0.150= 4.800KW	
合計	入力電力計	82.354KW	66.694KW	60.334KW	

表－１０．７　初期設備費の比較表（詳細計算書）

照明方式	初期設備費			
	照明器具取り付け費	配線工事費	配管工事費	計
ｺﾝｸﾘｰﾄ舗装 対称照明	基本照明器具 NX-35 150台×157,500.=23,625,000. NX-35（非常用電池内蔵型） 50台×261,900.=13,095,000. 入口照明器具 NHT-270 40台×261,000.=10,440,000. NHT-220 84台×250,500.=21,042,000. NHT-180 48台×247,500.=11,880,000. NHT-110 32台×231,600.= 7,411,200. 照明器具計 87,493,200.	ケーブル工事 CV 14㎟-3 3,312m×2,340.= 7,750,080. CV 8㎟-3 716m×1,770.= 1,267,320. CV 5.5㎟-3 5,120m×1,500.= 7,680,000. IV 5.5㎟ 2,050m× 730.= 1,496,500. ケーブル工事計 18,193,900.	ケーブルラック 1,980m×10,750.=21,285,000. 配管工事 28㎜ 210m× 4,150.= 871,500. 22㎜ 210m× 3,180.= 667,800. 配管工事計 22,824,300.	128,511,400.
ｺﾝｸﾘｰﾄ舗装 ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明 路肩取付け	基本照明器具 NX-35 150台×157,500.=23,625,000. NX-35（非常用電池内蔵型） 50台×261,900.=13,095,000. 入口照明器具 NHT-270 40台×313,900.=12,556,000. NHT-220 84台×302,100.=25,376,400. NHT-180 48台×299,100.=14,356,800. NHT-110 32台×287,400.= 9,196,800. 照明器具計 98,206,000.	ケーブル工事 CV 14㎟-3 3,312m×2,340.= 7,750,080. CV 8㎟-3 716m×1,770.= 1,267,320. CV 5.5㎟-3 5,120m×1,500.= 7,680,000. IV 5.5㎟ 2,050m× 730.= 1,496,500. ケーブル工事計 18,193,900.	ケーブルラック 1,980m×10,750.=21,285,000. 配管工事 28㎜ 210m× 4,150.= 871,500. 22㎜ 210m× 3,180.= 667,800. 配管工事計 22,824,300.	139,224,200.
ｺﾝｸﾘｰﾄ舗装 ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明 車線中央取付け	基本照明器具 NX-35 150台×157,500.=23,625,000. NX-35（非常用電池内蔵型） 50台×261,900.=13,095,000. 入口照明器具 NHT-270 44台×316,900.=13,943,600. NHT-220 48台×305,100.=14,644,800. NHT-180 36台×302,100.=10,875,600. NHT-110 64台×290,400.=18,585,600. 照明器具計 94,769,600.	ケーブル工事 CV 14㎟-3 3,064m×2,340.= 7,169,760. CV 8㎟-3 1,000m×1,770.= 1,770,000. CV 5.5㎟-3 5,120m×1,500.= 7,680,000. IV 5.5㎟ 2,050m× 730.= 1,496,500. ケーブル工事計 18,116,260.	ケーブルラック 1,980m×10,750.=21,285,000. 配管工事 28㎜ 210m× 4,150.= 871,500. 22㎜ 210m× 3,180.= 667,800. 配管工事計 22,824,300.	135,710,160.
ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装 対称照明	基本照明器具 NX-55 136台×170,200.=23,147,200. NX-55（非常用電池内蔵型） 46台×275,200.=12,659,200. 入口照明器具 NHT-360 60台×271,500.=16,290,000. NHT-270 60台×261,000.=15,660,000. NHT-220 24台×250,500.= 6,012,000. NHT-180 40台×247,500.= 9,900,000. NHT-110 28台×231,600.= 6,484,800. 照明器具計 90,153,200.	ケーブル工事 CV 22㎟-3 1,104m×3,120.= 3,444,480. CV 14㎟-3 2,960m×2,340.= 6,926,400. CV 5.5㎟-3 5,120m×1,500.= 7,680,000. IV 5.5㎟ 2,050m× 730.= 1,496,500. ケーブル工事計 19,547,380.	ケーブルラック 1,980m×10,750.=21,285,000. 配管工事 36㎜ 140m× 4,860.= 680,400. 28㎜ 70m× 4,150.= 290,500. 22㎜ 210m× 3,180.= 667,800. 配管工事計 22,923,700.	132,624,280.
ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装 ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明 路肩取付け	基本照明器具 NX-55 136台×170,200.=23,147,200. NX-55（非常用電池内蔵型） 46台×275,200.=12,659,200. 入口照明器具 NHT-270 60台×313,900.=18,834,000. NHT-220 84台×302,100.=25,376,400. NHT-180 16台×299,100.= 4,785,600. NHT-110 30台×287,400.= 8,622,000. 照明器具計 93,424,400.	ケーブル工事 CV 14㎟-3 3,006m×2,340.= 7,034,040. CV 8㎟-3 1,058m×1,770.= 1,872,660. CV 5.5㎟-3 5,120m×1,500.= 7,680,000. IV 5.5㎟ 2,050m× 730.= 1,496,500. ケーブル工事計 18,083,200.	ケーブルラック 1,980m×10,750.=21,285,000. 配管工事 28㎜ 210m× 4,150.= 871,500. 22㎜ 210m× 3,180.= 667,800. 配管工事計 22,824,300.	134,331,900.
ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装 ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明 車線中央取付け	基本照明器具 NX-55 136台×170,200.=23,147,200. NX-55（非常用電池内蔵型） 46台×275,200.=12,659,200. 入口照明器具 NHT-220 112 台×305,100. =34,171,200. NHT-180 40台×302,100.=12,084,000. NHT-110 32台×290,400.= 9,292,800. 照明器具計 91,354,400.	ケーブル工事 CV 14㎟-3 2,468m×2,340.= 5,775,120. CV 8㎟-3 1,596m×1,770.= 2,824,920. CV 5.5㎟-3 5,120m×1,500.= 7,680,000. IV 5.5㎟ 2,050m× 730.= 1,496,500. ケーブル工事計 17,776,540.	ケーブルラック 1,980m×10,750.=21,285,000. 配管工事 28㎜ 210m× 4,150.= 871,500. 22㎜ 210m× 3,180.= 667,800. 配管工事計 22,824,300.	131,955,240.

表－１０．８（１）　維持管理費積算表

「電気料金（ｺﾝｸﾘｰﾄ舗装、対称照明）」（昼間＝4,000 h/年、晴天＝1,900 h/年）

	基本料金	電力量料金	合計
	基本照明用(200*0.057=11.4 KW) 11.4 KW ×1,560 ¥/KW=17,784 17,784 ¥/M×12 M=213,408¥/Y = 213,408 円／年	1.1L& 1R (100*0.057KW* 24 H*365 D=49,932 KW) 49,932 KWH/Y×15.00 ¥/KWH = 748,980 円／年 2.2L& 2R (100*0.057KW* 4,000 H/Y =22,800 KW) 22,800 KWH/Y×15.00 ¥/KWH = 342,000 円／年 1+2= 1,090,980 円／年	1,304,388
	入口照明用(40*0.34+84*0.285+48*0.24+32*0.15= 53.86KW) 53.86 KW× 1,560 ¥/KW =84,021 84,021 ¥/M×12 M=1,008,252¥/Y = 1,008,252 円／年	3.3L.5L &3R.5R (20*0.34+42*0.285+24*0.24+16*0.15) *4.000 H *15 ¥/KWH =1,615,800円／年 4.4L.6L &4R.6R (20*0.34+42*0.285+24*0.24+16*0.15) *1.900 H *15 ¥/KWH = 767,505円／年 3+4= 2,383,305 円／年	3,391,557
計	1,221,660.円／年	3,474,285. 円／年	4,695,945.円／年

表－１０．８（２）　維持管理費積算表

「電気料金（ｺﾝｸﾘｰﾄ舗装、ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、路肩取付）」（昼間＝4,000 h/年、晴天＝1,900 h/年）

	基本料金	電力量料金	合計
	基本照明用(200*0.057=11.4 KW) 11.4 KW ×1,560 ¥/KW=17,784 17,784 ¥/M×12 M=213,408¥/Y = 213,408 円／年	1.1L& 1R (100*0.057KW* 24 H*365 D=49,932 KW) 49,932 KWH/Y×15.00 ¥/KWH = 748,980 円／年 2.2L& 2R (100*0.057KW* 4,000 H/Y =22,800 KW) 22,800 KWH/Y×15.00 ¥/KWH = 342,000 円／年 1+2= 1,090,980 円／年	1,304,388
	入口照明用(40*0.34+84*0.285+48*0.24+32*0.15= 53.86KW) 53.86 KW× 1,560 ¥/KW =84,021 84,021 ¥/M×12 M=1,008,252¥/Y = 1,008,252 円／年	3.3L.5L &3R.5R (20*0.34+42*0.285+24*0.24+16*0.15) *4.000 H *15 ¥/KWH =1,615,800円／年 4.4L.6L &4R.6R (20*0.34+42*0.285+24*0.24+16*0.15) *1.900 H *15 ¥/KWH = 767,505円／年 3+4= 2,383,305 円／年	3,391,557
計	1,221,660.円／年	3,474,285. 円／年	4,695,945.円／年

表－１０．８（３）　維持管理費積算表

「電気料金（ｺﾝｸﾘｰﾄ舗装、ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、車線中央取付）」（昼間＝4,000 h/年、晴天＝1,900 h/年）

基本料金	電力量料金	合計
基本照明用(200*0.057=11.4 KW) 11.4 KW ×1,560 ¥/KW=17,784 17,784 ¥/M×12 M=213,408¥/Y = 213,408 円／年	1. 1L& 1R (100*0.057KW* 24 H*365 D=49,932 KW) 49,932 KWH/Y×15.00 ¥/KWH = 748,980 円／年 2. 2L& 2R (100*0.057KW* 4,000 H/Y =22,800 KW) 22,800 KWH/Y×15.00 ¥/KWH = 342,000 円／年 1+2= 1,090,980 円／年	1,304,388
入口照明用(44*0.34+48*0.285+36*0.24+64*0.15= 46.88KW) 46.88 KW× 1,560 ¥/KW =73,132 73,132 ¥/M×12 M= 877,584¥/Y = 877,584 円／年	3. 3L. 5L &3R. 5R (22*0.34+24*0.285+18*0.24+32*0.15) *4.000 H *15 ¥/KWH =1,406,400円／年 4. 4L. 6L &4R. 6R (22*0.34+24*0.285+18*0.24+32*0.15) *1.900 H *15 ¥/KWH = 668,040円／年 3+4= 2,074,440 円／年	2,952,024
計	1,090,992. 円／年	3,165,420. 円／年	4,256,412. 円／年

表－１０．８（４）　維持管理費積算表

「電気料金（ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装、対称照明）」（昼間＝4,000 h/年、晴天＝1,900 h/年）

基本料金	電力量料金	合計
基本照明用(182*0.077=14.01KW) 14.01 KW×1,560 ¥/KW=21,855 21,855 ¥/M×12 M=262,260¥/Y = 262,260 円／年	1. 1L& 1R (91*0.077KW* 24 H*365 D=61,381 KWH 61,381 KWH/Y×15.00 ¥/KWH = 920,715 円／年 2. 2L& 2R (91*0.077KW* 4,000 H/Y =28,028 KW) 28,028 KWH/Y×15.00 ¥/KWH = 420,420 円／年 1+2= 1,341,135 円／年	1,603,395
入口照明用(60*0.455+60*0.34+24*0.285+40*0.24+28*0.15=68.34KW 68.34 KW× 1,560 ¥/KW =106,610 106,610 ¥/M ×12 M=1,279,320 ¥/Y = 1,279,320 円／年	3. 3L. 5L &3R. 5R (30*0.455+30*0.34+12 *0.285+20*0.24+14*0.15)*4,000*15¥/KWH =2,050,200円／年 4. 4L. 6L &4R. 6R (30*0.455+30*0.34+12 *0.285+20*0.24+14*0.15)*1,900*15¥/KWH = 973,845円／年 3+4= 3,024,045 円／年	4,303,365
計	1,541,580. 円／年	4,365,180. 円／年	5,906,760. 円／年

表－１０．８（５）　維持管理費積算表

「電気料金（ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装、ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、路肩取付）」（昼間＝4,000 h/年、晴天＝1,900 h/年）

基本料金	電力量料金	合計
基本照明用(182*0.077=14.01[KW]) 14.01 [KW]×1,560 [¥/KW]=21,855 21,855 [¥/M]×12 [M]=262,260[¥/Y] = 262,260 円／年	1.1L& 1R (91*0.077[KW]* 24 [H]*365 [D]=61,381 [KWH] 61,381 [KWH/Y]×15.00 [¥/KWH] = 920,715 円／年 2.2L& 2R (91*0.077[KW]* 4,000 [H/Y] =28,028 [KW]) 28,028 [KWH/Y]×15.00 [¥/KWH] = 420,420 円／年 1+2= 1,341,135 円／年	1,603,395
入口照明用(60*0.34+84*0.285+16*0.24+30*0.15)=52.68 [KW] 52.68 [KW]× 1,560 [¥/KW] = 82,180 82,180 [¥/M]×12 [M]= 986,160[¥/Y] = 986,160円／年	3.3L.5L &3R.5R (30*0.34+42*0.285+ 8*0.24+15*0.15)* 4,000*15.00 [¥/KWH] =1,580,400 円／年 4.4L.6L &4R.6R (30*0.34+42*0.285+ 8*0.24+15*0.15)* 1,900*15.00 [¥/KWH] = 750,690 円／年 3+4= 2,331,090 円／年	3,317,250
計 1,248,420.円／年	3,672,225. 円／年	4,920,645.円／年

表－１０．８（６）　維持管理費積算表

「電気料金（ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装、ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、車線中央取付）」（昼間＝4,000 h/年、晴天＝1,900 h/年）

基本料金	電力量料金	合計
基本照明用(182*0.077=14.01[KW]) 14.01 [KW]×1,560 [¥/KW]=21,855 21,855 [¥/M]×12 [M]=262,260[¥/Y] = 262,260 円／年	1.1L& 1R (91*0.077[KW]* 24 [H]*365 [D]=61,381 [KWH] 61,381 [KWH/Y]×15.00 [¥/KWH] = 920,715 円／年 2.2L& 2R (91*0.077[KW]* 4,000 [H/Y] =28,028 [KW]) 28,028 [KWH/Y]×15.00 [¥/KWH] = 420,420 円／年 1+2= 1,341,135 円／年	1,603,395
入口照明用(112*0.285+40*0.24+32+0.15)=46.32 [KW] 46.32 [KW]× 1,560 [¥/KW] = 72,259 72,259 [¥/M]×12 [M]= 867,108[¥/Y] = 867,108円／年	3.3L.5L &3R.5R (56*0.285+20*0.24 +16+0.15) * 4,000*15.00 [¥/KWH] =1,389,600 円／年 4.4L.6L &4R.6R (56*0.285+20*0.24 +16+0.15) * 1,900*15.00 [¥/KWH] = 660,060 円／年 3+4= 2,049,660 円／年	2,916,768
計 1,129,368.円／年	3,390,795. 円／年	4,520,163.円／年

表－１０．８（７）維持管理費積算表

「照明器具清掃費、ﾗﾝﾌﾟ交換費、ｺﾝｸﾘｰﾄ舗装、対称照明」

照明器具清掃費	ラ ン プ 交 換 数 量		ランプ交換費
基本照明用 200 台 ┐ 404 入口照明用 204 台 ┘ 台 照明器具清掃費 = 6,150／台 6,150. ×404 台×2 回 = 4,969,200 ／年	NX-35 100台× 8,760./9,000=97 ┐ 141 NX-35 100台× 4,000./9,000=44 ┘ 台／年 NHT-270 20台× 4,000./12,000= 7 ┐ 10 NHT-270 20台× 1,900./12,000= 3 ┘ 台／年 NHT-220 42台× 4,000./12,000=14 ┐ 21 NHT-220 42台× 1,900./12,000= 7 ┘ 台／年 NHT-180 24台× 4,000./12,000= 8 ┐ 12 NHT-180 24台× 1,900./12,000= 4 ┘ 台／年 NHT-110 16台× 4,000./12,000= 5 ┐ 8 NHT-110 16台× 1,900./12,000= 3 ┘ 台／年		141 ×5,270 = 743,070. 10 ×15,700 = 157,000. 21 ×15,500 = 325,500. 12 ×14,600 = 175,200. 8 ×11,700 = 93,600.
ランプ交換工費= 5,080 ／台×192 台 = 975,360. ﾗﾝﾌﾟ材料費 = 1,494,370. ランプ交換費合計 2,469,730. ／年		ランプ交換数量 計 192 台	ランプ材料費 計 1,494,370.

表－１０．８（８）維持管理費積算表

「照明器具清掃費、ﾗﾝﾌﾟ交換費、ｺﾝｸﾘｰﾄ 舗装、ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ 照明、路肩取付」

照明器具清掃費	ラ ン プ 交 換 数 量		ランプ交換費
基本照明用 200 台 ┐ 404 入口照明用 204 台 ┘ 台 照明器具清掃費 = 6,150／台 6,150. ×404 台×2 回 = 4,969,200 ／年	NX-35 100台× 8,760./9,000=97 ┐ 141 NX-35 100台× 4,000./9,000=44 ┘ 台／年 NHT-270 20台× 4,000./12,000= 7 ┐ 10 NHT-270 20台× 1,900./12,000= 3 ┘ 台／年 NHT-220 42台× 4,000./12,000=14 ┐ 21 NHT-220 42台× 1,900./12,000= 7 ┘ 台／年 NHT-180 24台× 4,000./12,000= 8 ┐ 12 NHT-180 24台× 1,900./12,000= 4 ┘ 台／年 NHT-110 16台× 4,000./12,000= 5 ┐ 8 NHT-110 16台× 1,900./12,000= 3 ┘ 台／年		141 ×5,270 = 743,070. 10 ×15,700 = 157,000. 21 ×15,500 = 325,500. 12 ×14,600 = 175,200. 8 ×11,700 = 93,600.
ランプ交換工費= 5,080 ／台×192 台 = 975,360. ﾗﾝﾌﾟ材料費 = 1,494,370. ランプ交換費合計 2,469,730. ／年		ランプ交換数量 計 192 台	ランプ材料費 計 1,494,370.

表－１０．８（９）維持管理費積算表

「照明器具清掃費、ﾗﾝﾌﾟ交換費、ｺﾝｸﾘｰﾄ 舗装、ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ 照明、車線中央肩取付」

照明器具清掃費	ラ ン プ 交 換 数 量		ランプ交換費
基本照明用 200 台 ┐ 392 入口照明用 192 台 ┘ 台 照明器具清掃費 = 6,150／台 6,150. ×392 台×2 回 = 4,821,600.／年	NX-35 100台× 8,760./9,000=97 ┐ 141 NX-35 100台× 4,000./9,000=44 ┘ 台／年 NHT-270 22台× 4,000./12,000= 7 ┐ 10 NHT-270 22台× 1,900./12,000= 3 ┘ 台／年 NHT-220 24台× 4,000./12,000= 8 ┐ 12 NHT-220 24台× 1,900./12,000= 4 ┘ 台／年 NHT-180 18台× 4,000./12,000= 6 ┐ 9 NHT-180 18台× 1,900./12,000= 3 ┘ 台／年 NHT-110 32台× 4,000./12,000=11 ┐ 16 NHT-110 32台× 1,900./12,000= 5 ┘ 台／年		141 ×5,270 = 743,070. 10 ×15,700 = 157,000. 12 ×15,500 = 186,000. 9 ×14,600 = 131,400. 16 ×11,700 = 187,200.
ランプ交換工費= 5,080 ／台×188 台 = 955,040. ﾗﾝﾌﾟ 材料費 = 1,404,670. ランプ交換費合計 2,359,710.／年	ランプ交換数量 計 188 台		ランプ材料費 計 1,404,670.

表－１０．８（10）維持管理費積算表

「照明器具清掃費、ﾗﾝﾌﾟ交換費、ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装、対称照明」

照明器具清掃費	ラ ン プ 交 換 数 量		ランプ交換費
基本照明用 182 台 ┐ 394 入口照明用 212 台 ┘ 台 照明器具清掃費 = 6,150／台 6,150. ×394 台×2 回 = 4,846,200 ／年	NX-55 91台× 8,760./9,000=89 ┐ 129 NX-55 91台× 4,000./9,000=40 ┘ 台／年 NHT-360 30台× 4,000./12,000=10 ┐ 15 NHT-360 30台× 1,900./12,000= 5 ┘ 台／年 NHT-270 30台× 4,000./12,000=10 ┐ 15 NHT-270 30台× 1,900./12,000= 5 ┘ 台／年 NHT-220 12台× 4,000./12,000= 4 ┐ 6 NHT-220 12台× 1,900./12,000= 2 ┘ 台／年 NHT-180 20台× 4,000./12,000= 7 ┐ 10 NHT-180 20台× 1,900./12,000= 3 ┘ 台／年 NHT-110 14台× 4,000./12,000= 5 ┐ 7 NHT-110 14台× 1,900./12,000= 2 ┘ 台／年		129 ×6,610 = 852,690. 15 ×16,000 = 240,000. 15 ×15,700 = 235,500. 6 ×15,500 = 93,000. 10 ×14,600 = 146,000. 7 ×11,700 = 81,900.
ランプ交換工費= 5,080 ／台×182 台 = 924,560. ﾗﾝﾌﾟ 材料費 = 1,649,090. ランプ交換費合計 2,573,650.／年	ランプ交換数量 計 182 台		ランプ材料費 計 1,649,090.

表－１０．８（11）維持管理費積算表

「照明器具清掃費、ﾗﾝﾌﾟ交換費、ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装、ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、路肩取付」

照明器具清掃費	ラ ン プ 交 換 数 量		ランプ交換費
基本照明用 182 台 ┐ 372 入口照明用 190 台 ┘ 台 照明器具清掃費 ＝ 6,150／台 6,150. ×372 台×2 回 ＝ 4,575,600 ／年	NX-55 91台× 8,760./9,000=89 ┐ 129 NX-55 91台× 4,000./9,000=40 ┘ 台／年 NHT-270 30台× 4,000./12,000=10 ┐ 15 NHT-270 30台× 1,900./12,000= 5 ┘ 台／年 NHT-220 42台× 4,000./12,000=14 ┐ 21 NHT-220 42台× 1,900./12,000= 7 ┘ 台／年 NHT-180 8台× 4,000./12,000= 3 ┐ 4 NHT-180 8台× 1,900./12,000= 1 ┘ 台／年 NHT-110 15台× 4,000./12,000= 5 ┐ 7 NHT-110 15台× 1,900./12,000= 2 ┘ 台／年		129 ×6,610 ＝ 852,690. 15 ×15,700 ＝ 235,500. 21 ×15,500 ＝ 325,500. 4 ×14,600 ＝ 58,400. 7 ×11,700 ＝ 81,900.
ランプ交換工費＝ 5,080 ／台×176 台 ＝ 894,080. ﾗﾝﾌﾟ 材料費 ＝ 1,553,990. ランプ交換費合計 2,448,070.／年		ランプ交換数量 計 176 台	ランプ材料費 計 1,553,990.

表－１０．８（12）維持管理費積算表

「照明器具清掃費、ﾗﾝﾌﾟ交換費、ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装、ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、車線中央肩取付」

照明器具清掃費	ラ ン プ 交 換 数 量		ランプ交換費
基本照明用 182 台 ┐ 366 入口照明用 184 台 ┘ 台	NX-55 91台× 8,760./9,000=89 ┐ 129 NX-55 91台× 4,000./9,000=40 ┘ 台／年		129 ×6,610 ＝ 852.690.
照明器具清掃費 ＝ 6,150／台 6,150. ×366 台×2 回 ＝ 4,501,800 ／年	NHT-220 56台× 4,000./12,000=19 ┐ 28 NHT-220 56台× 1,900./12,000= 9 ┘ 台／年 NHT-180 20台× 4,000./12,000= 7 ┐ 10 NHT-180 20台× 1,900./12,000= 3 ┘ 台／年 NHT-110 16台× 4,000./12,000= 5 ┐ 8 NHT-110 16台× 1,900./12,000= 3 ┘ 台／年		28 ×15,500 ＝ 434,000. 10 ×14,600 ＝ 146,000. 8 ×11,700 ＝ 93,600.
ランプ交換工費＝ 5,080 ／台×175 台 ＝ 889,000. ﾗﾝﾌﾟ 材料費 ＝ 1,526,290. ランプ交換費合計 2,415,290.／年		ランプ交換数量 計 175 台	ランプ材料費 計 1,526,290.

１０．３　入口部照明の路面輝度を変更する場合の比較

入口部照明にカウンタービーム照明を採用する場合に、本報告書第１章及び第２章に示すとおり、入口部照明の路面輝度を対称照明より低減できるとの考え方があり、この考え方による設計を行った場合についての試算を次に示す。

この試算は、前節で行った試算のうち、１０．１．２（３）比較設計種別項目「１）コンクリート舗装、対称照明」と「２）コンクリート舗装、カウンタービーム照明、路肩近傍取り付け」について行ったものである。また、入口部路面輝度は、第２章（２）入口部路面輝度によった。

１０．３．１　初期設備費の比較

（１）初期設備費の比較

初期設備費の比較は、表－１０．９のとおりである。

詳細計算書は、表－１０．１２に示すとおりである。

（２）照明器具数量一覧表

表－１０．１１参照

表－１０．９　初期設備費の比較表（路面輝度変更）

照明方式		照明器具取付費	配線工事費	配管工事費	合計
コンクリート舗装	対称照明 路肩取付	89,749,200.	18,299,140.	22,824,300.	130,872,640.
	ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明 路肩取付	94,062,000.	17,766,100.	22,824,300.	134,652,400.

１０．３．２　維持管理費の比較

（１）維持管理費の比較

維持管理費の比較は、表－１０．１０のとおりである。

詳細計算書は、表－１０．１３に示すとおりである。

表－１０．１０　維持管理費の比較表（路面輝度変更）

照明方式		電気料金（年間）	照明器具清掃費（年間）	ランプ交換費（年間）	合計（年間）
コンクリート舗装	対称照明 路肩取付	4,922,637.	5,067,600.	2,491,510.	12,481,747.
	ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明 路肩取付	4,319,382.	4,821,600.	2,383,410.	11,524,392.

表－１０．１１　照明器具数量一覧表（路面輝度変更）

照明器具種別		コンクリート鋪装		摘要
		対称照明	カウンタービーム照明（路肩取付）	
基本照明	NX－３５	２００台 ×０．０５７＝１１．４０KW	２００台 ×０．０５７＝１１．４０KW	
入口照明	NHT－２７０L	６４台 ×０．３４０＝２１．７６KW		
	NHT－２２０L	６８台 ×０．２８５＝１９．３８KW	１１２台 ×０．２８５＝３１．９２KW	
	NHT－１８０L	４８台 ×０．２４０＝１１．５２KW	４４台 ×０．２４０＝１０．５６KW	
	NHT－ト１０L	３２台 ×０．１５０＝　４．８０KW	３６台 ×０．１５０＝　５．４０KW	
合計		６８．８６KW	５９．２８KW	

表－１０．１２　初期設備費の比較表（詳細計算）（路面輝度変更）

照明方式	初期設備費			
	照明器具取り付け費	配線工事費	配管工事費	計
ｺﾝｸﾘｰﾄ鋪装 対称照明	基本照明器具 NX-35 150台×157,500.=23,625,000. NX-35（非常用電池内蔵型） 50台×261,900.=13,095,000. 入口照明器具 NHT-270 64台×261,000.=16,704,000. NHT-220 68台×250,500.=17,034,000. NHT-180 48台×247,500.=11,880,000. NHT-110 32台×231,600.= 7,411,200. 照明器具計　89,749,200.	ケーブル工事 CV 14 ㎟-3 3,360m×2,340.= 7,862,400. CV 8 ㎟-3 712m×1,770.= 1,260,240. CV 5.5㎟-3 5,120m×1,500.= 7,680,000. IV 5.5㎟ 2,050m× 730.= 1,496,500. ケーブル工事計 18,299,140.	ケーブルラック 1,980m×10,750.=21,285,000. 配管工事 28 ㎜ 210m× 4,150.= 871,500. 22 ㎜ 210m× 3,180.= 667,800. 配管工事計　22,824,300.	130,872,640.
ｺﾝｸﾘｰﾄ鋪装 ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明 路肩取付け	基本照明器具 NX-35 150台×157,500.=23,625,000. NX-35（非常用電池内蔵型） 50台×261,900.=13,095,000. 入口照明器具 NHT-220 112 台×302,100. =33,835,200. NHT-180 44台×299,100.=13,160,400. NHT-110 36台×287,400.=10,346,400. 照明器具計　94,062,000.	ケーブル工事 CV 14 ㎟-3 2,400m×2,340 = 5,616,000. CV 8 ㎟-3 1,680m×1,770.= 2,973,600. CV 5.5㎟-3 5,120m×1,500.= 7,680,000. IV 5.5㎟ 2,050m× 730.= 1,496,500. ケーブル工事計 17,766,100.	ケーブルラック 1,980m×10,750.=21,285,000. 配管工事 28 ㎜ 210m× 4,150.= 871,500. 22 ㎜ 210m× 3,180.= 667,800. 配管工事計　22,824,300.	134,652,400.

表－１０．１３(1) 維持管理費積算表

「電気料金（コンクリート舗装、対称照明）」（路面輝度変更）（昼間＝4,000 h/年、晴天＝1,900 h/年）

基本料金	電力量料金	合計
基本照明用(200*0.057=11.4 KW) 11.4 KW ×1,560 ¥/KW=17,784 17,784 ¥/M×12 M=213,408¥/Y = 213,408 円／年	1. 1L& 1R (100*0.057KW* 24 H*365 D=49,932 KW) 49,932 KWH/Y×15.00 ¥/KWH = 748,980 円／年 2. 2L& 2R (100*0.057KW* 4,000 H/Y =22,800 KW) 22,800 KWH/Y×15.00 ¥/KWH = 342,000 円／年 1+2= 1,090,980 円／年	1,304,388
入口照明用(64*0.34+68*0.285+48*0.24+32*0.15= 57.46KW) 57.46 KW× 1,560 ¥/KW =89,637 89,637 ¥/M×12 M=1,075,644¥/Y = 1,075,644 円／年	3. 3L. 5L &3R. 5R (32*0.34+34*0.285+24*0.24+16*0.15) *4.000 H *15 ¥/KWH =1,723,800円／年 4. 4L. 6L &4R. 6R (32*0.34+34*0.285+24*0.24+16*0.15) *1.900 H *15 ¥/KWH = 818,805円／年 3+4= 2,542,605 円／年	3,618,249
計 1,289,052. 円／年	3,633,585. 円／年	4,922,637. 円／年

表－１０．１３(2) 維持管理費積算表

「電気料金(ｺﾝｸﾘｰﾄ舗装、ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、路肩取付」（路面輝度変更)(昼間＝4,000 h/年、晴天＝1,900 h/年）

基本料金	電力量料金	合計
基本照明用(200*0.057=11.4 KW) 11.4 KW ×1,560 ¥/KW=17,784 17,784 ¥/M×12 M=213,408¥/Y	1. 1L& 1R (100*0.057KW* 24 H*365 D=49,932 KW) 49,932 KWH/Y×15.00 ¥/KWH = 748,980 円／年 2. 2L& 2R (100*0.057KW* 4,000 H/Y =22,800 KW) 22,800 KWH/Y×15.00 ¥/KWH = 342,000 円／年	1,304,388
= 213,408 円／年 入口照明用(112*0.285+44*0.24+36*0.15= 47.88 KW) 47.88 KW× 1,560 ¥/KW =74,692 74,692 ¥/M×12 M= 896,304¥/Y = 896,304 円／年	1+2= 1,090,980 円／年 3. 3L. 5L &3R. 5R (56*0.285+22*0.24+18*0.15) * 4.000 H *15 ¥/KWH =1,436,400円／年 4. 4L. 6L &4R. 6R (56*0.285+22*0.24+18*0.15) * 1,900 H *15 ¥/KWH = 682,290円／年 3+4= 2,118,690 円／年	3,014,994
計 1,109,712. 円／年	3,209,670. 円／年	4,319,382. 円／年

表－１０．１３(3) 維持管理費積算表

（路面輝度変更）「照明器具清掃費、ﾗﾝﾌﾟ交換費、ｺﾝｸﾘｰﾄ舗装、対称照明」

照明器具清掃費	ラ ン プ 交 換 数 量	ランプ交換費
基本照明用 200 台 ┐ 412 入口照明用 212 台 ┘ 台 照明器具清掃費 =6,150. ／台 6,150. ×412 台×2 回 = 5,067,600. ／年	NX-35 100台× 8,760./9,000=97 ┐ 141 NX-35 100台× 4,000./9,000=44 ┘ 台／年 NHT-270 32台× 4,000./12,000=11 ┐ 16 NHT-270 32台× 1,900./12,000= 5 ┘ 台／年 NHT-220 34台× 4,000./12,000=11 ┐ 16 NHT-220 34台× 1,900./12,000= 5 ┘ 台／年 NHT-180 24台× 4,000./12,000= 8 ┐ 12 NHT-180 24台× 1,900./12,000= 4 ┘ 台／年 NHT-110 16台× 4,000./12,000= 5 ┐ 8 NHT-110 16台× 1,900./12,000= 3 ┘ 台／年	141 ×5,270 = 743,070. 16 ×15,700 = 251,200. 16 ×15,500 = 248,000. 12 ×14,600 = 175,200. 8 ×11,700 = 93,600.

ランプ交換工費= 5,080 ／台× 193 台 = 980,440. ランプ材料費 = 1,511,070. ランプ交換工費合計 = 2,491,510. ／年	ﾗﾝﾌﾟ交換数量 計 193 台	ﾗﾝﾌﾟ 材料費 計 1,511,070.

表－１０．１３(4) 維持管理費積算表

（路面輝度変更）「照明器具清掃費、ﾗﾝﾌﾟ交換費、ｺﾝｸﾘｰﾄ舗装、ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、路肩取付」

照明器具清掃費	ラ ン プ 交 換 数 量	ランプ交換費
基本照明用 200 台 ┐ 392 入口照明用 192 台 ┘ 台	NX-35 100台× 8,760./9,000=97 ┐ 141 NX-35 100台× 4,000./9,000=44 ┘ 台／年	141 ×5,270 = 743,070.
照明器具清掃費 =6,150. ／台 6,150. ×392 台×2 回 = 4,821,600. ／年	NHT-220 56台× 4,000./12,000=19 ┐ 28 NHT-220 56台× 1,900./12,000= 9 ┘ 台／年 NHT-180 22台× 4,000./12,000= 7 ┐ 10 NHT-180 22台× 1,900./12,000= 3 ┘ 台／年 NHT-110 18台× 4,000./12,000= 6 ┐ 9 NHT-110 18台× 1,900./12,000= 3 ┘ 台／年	28 ×15,500 = 434,000. 10 ×14,600 = 146,000. 9 ×11,700 = 105,300.

ランプ交換工費= 5,080 ／台× 188 台 = 955,040. ランプ材料費 = 1,428,370. ランプ交換工費合計 = 2,383,410. ／年	ﾗﾝﾌﾟ交換数量 計 188 台	ﾗﾝﾌﾟ 材料費 計 1,428,370.

１０．４　試算結果の集計

１０．４．１　路面輝度を従来どおりとした場合

路面輝度を従来通りとした場合、初期設備費と維持管理費（１５年）を加味して集計すると、表－１０．１４経済比較集計表（路面輝度を従来通りとした場合）のとおりとなった。

表－１０．１４　経済比較集計表（路面輝度を従来通りとした場合）　　単位＝円

照明方式		初期設備費 (A)	維持管理費 (B)＝1年	維持管理費 (C)＝(B)×15年	合計 (A)＋(C)
コンクリート舗装	対称照明 路肩取付	128,511,400. (100.00)	12,134,875.	182,023,125. (100.00)	310,534,525. (100.00)
	ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明 路肩取付	139,224,200. (108.34)	12,134,875.	182,023,125. (100.00)	321,247,325. (103.45)
	ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明 車線中央取付	135,710,160. (105.60)	11,437,722.	171,565,830. (94.25)	307,275,990. (98.95)
アスファルト舗装	対称照明 路肩取付	132,624,280. (100.00)	13,326,610.	199,899,150. (100.00)	332,523,430. (100.00)
	ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明 路肩取付	134,331,900. (101.29)	11,944,315.	179,164,725. (89.63)	313,496,625. (94.28)
	ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明 車線中央取付	131,955,240. (99.50)	11,437,253.	171,558,795. (85.82)	303,514,035. (91.28)

注：（　）の数字は、対称照明の経費を 100とした時のカウンタービーム照明の割合

１０．４．２　路面輝度を変更した場合

路面輝度を変更した場合、初期設備費と維持管理費（１５年）を加味して集計すると、表－１０．１５経済比較集計表（路面輝度を変更した場合）のとおりとなった。

表－１０．１５　経済比較集計表（路面輝度を変更した場合）　　単位＝円

照明方式		初期設備費 (A)	維持管理費 (B)＝1年	維持管理費 (C)＝(B)×15年	合計 (A)＋(C)
コンクリート舗装	対称照明 路肩取付 ※－1	130,872,640. (100.00)	12,481,747.	187,226,205. (100.00)	318,098,845. (100.00)
	ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明 路肩取付 ※－1	134,652,400. (102.89)	11,524,392.	172,865,880. (92.33)	307,518,280. (96.67)
	ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明 車線中央取付 ※－2	131,338,200. (100.36)	10,889,640.	163,344,600. (87.24)	294,682,800. (92.64)
アスファルト舗装	対称照明 路肩取付 ※－2	135,151,400. (100.00)	13,727,030.	205,905,450. (100.00)	341,056,850. (100.00)
	ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明 路肩取付 ※－2	129,986,600. (96.18)	11,362,640.	170,439,600. (82.78)	300,426,200. (88.09)
	ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明 車線中央取付 ※－2	127,746,400. (94.52)	10,900,350.	163,505,250. (79.41)	291,251,650. (85.40)

注：　１．（　）の数字は、対称照明の経費を 100とした時のカウンタービーム照明の割合
　　２．※－１欄の金額は、照明設計及び工事費積算を行ったものである。
　　※－２欄の金額は、※－１欄の金額から入口照明に関する部分について推定計算を行ったものである。（推定方法は、計算書－１のとおりとした）

計算書－1　（表－１０．１５）路面輝度を変更した場合の推定計算

１．初期設備費

推定計算は、表－１０．１２（路面輝度変更）に示すコンクリート舗装の対称照明及びカウンタービーム照明（路肩取付）に対応する表－１０．７（従来路面輝度）の比率により、他の照明方式の初期設備費を推定した。但し、比率算出の対称は入口照明に関する項目とし、共通項目は、（ベース）として比率算出の対象からは除外した。

１．１　カウンタービーム照明の場合

１．１．１　路肩取付の場合における（路面輝度変更／従来路面輝度）設計の比率

（１）従来路面輝度による設計工事費

Ａ：　基本照明器具取り付け費＝　36,720,000.　（ベース）
Ｂ：　入口照明器具取り付け費＝　61,486,000.
Ｃ：　配線工事費　＝　18,193,900.
Ｄ：　ｹｰﾌﾞﾙﾗｯｸ、配管工事費　＝　22,824,300.　（ベース）

（２）路面輝度変更による設計工事費

ａ：　基本照明器具取り付け費＝　36,720,000.　（ベース）
ｂ：　入口照明器具取り付け費＝　57,342,000.
ｃ：　配線工事費　＝　17,766,100.
ｄ：　ｹｰﾌﾞﾙﾗｯｸ、配管工事費　＝　22,824,300.　（ベース）

（３）入口照明器具取り付け費＋配線工事費の比率

（ｂ＋ｃ）／（Ｂ＋Ｃ）＝ 75,108,100/ 79,679,900 ≒ 0.9426

１．１．２　各照明方式毎、路面輝度を変更した場合の初期設備費計算式

Ａ＋｛（Ｂ＋Ｃ）×０.９４２６｝＋Ｄ　----------（１）

１．２　対称照明の場合

１．２．１　路肩取付の場合における（路面輝度変更／従来路面輝度）設計の比率

（１）従来路面輝度による設計工事費

Ａ：　基本照明器具取り付け費＝　36,720,000.　（ベース）
Ｂ：　入口照明器具取り付け費＝　50,773,200.
Ｃ：　配線工事費　＝　18,193,900.
Ｄ：　ｹｰﾌﾞﾙﾗｯｸ、配管工事費　＝　22,824,300.　（ベース）

（２）路面輝度変更による設計工事費

ａ：　基本照明器具取り付け費＝　36,720,000.　（ベース）
ｂ：　入口照明器具取り付け費＝　53,029,200.
ｃ：　配線工事費　＝　18,299,140.
ｄ：　ｹｰﾌﾞﾙﾗｯｸ、配管工事費　＝　22,824,300.　（ベース）

（３）入口照明器具取り付け費＋配線工事費の比率

（ｂ＋ｃ）／（Ｂ＋Ｃ）＝ 71,328,340/ 68,967,100 ≒ 1.0342

１．２．２　各照明方式毎、路面輝度を変更した場合の初期設備費計算式

Ａ＋｛（Ｂ＋Ｃ）×１.０３４２｝＋Ｄ　----------（２）

２．維持管理費

推定計算は、表－１０．１３（路面輝度変更）に示すコンクリート舗装の対称照明及びカウンタービーム照明（路肩取付）に対応する表－１０．８（従来路面輝度）の比率により、他の照明方式の維持管理費を推定した。但し、比率算出の対称は入口照明に関する項目とし、共通項目は、（ベース）として比率算出の対象からは除外した。

２．１　カウンタービーム照明の場合

２．１．１　路肩取付の場合における（路面輝度変更／従来路面輝度）設計の比率

（１）従来路面輝度による維持管理費

Ａ：　基本照明　電気料金　＝　1,304,388.　／年（ベース）
Ｂ：　入口照明　電気料金　＝　3,391,557.　／年
Ｃ：　基本照明　器具清掃費　＝　2,460,000.　／年（ベース）
Ｄ：　入口照明　器具清掃費　＝　2,509,200.　／年
Ｅ：　基本照明　ﾗﾝﾌﾟ交換費　＝　1,459,350.　／年（ベース）
Ｆ：　入口照明　ﾗﾝﾌﾟ交換費　＝　1,010,380.　／年

（２）路面輝度変更による設計工事費

ａ：　基本照明　電気料金　＝　1,304,388.　／年（ベース）
ｂ：　入口照明　電気料金　＝　3,014,994.　／年
ｃ：　基本照明　器具清掃費　＝　2,460,000.　／年（ベース）
ｄ：　入口照明　器具清掃費　＝　2,361,600.　／年
ｅ：　基本照明　ﾗﾝﾌﾟ交換費　＝　1,459,350.　／年（ベース）
ｆ：　入口照明　ﾗﾝﾌﾟ交換費　＝　925,060.　／年

（３）入口照明維持管理費の比率

（ｂ＋ｄ＋ｆ）／（Ｂ＋Ｄ＋Ｆ）＝ 6,301,654/ 6,911,137 ≒ 0.9118

２．１．２　各照明方式毎、路面輝度を変更した場合の維持管理費計算式

Ａ＋Ｃ＋Ｅ＋｛（Ｂ＋Ｄ＋Ｆ）×０.９１１８｝----------（３）

２．２　対称照明の場合

２．２．１　路肩取付の場合における（路面輝度変更／従来路面輝度）設計の比率

（１）従来路面輝度による維持管理費

Ａ：　基本照明　電気料金　＝　1,304,388.　／年（ベース）
Ｂ：　入口照明　電気料金　＝　3,391,557.　／年

C：　基本照明　器具清掃費　＝　2,460,000.　／年（ベース）
D：　入口照明　器具清掃費　＝　2,509,200.　／年
E：　基本照明　ﾗﾝﾌﾟ交換費　＝　1,459,350.　／年（ベース）
F：　入口照明　ﾗﾝﾌﾟ交換費　＝　1,010,380.　／年

（２）路面輝度変更による設計工事費

a：　基本照明　電気料金　＝　1,304,388.　／年（ベース）
b：　入口照明　電気料金　＝　3,618,249.　／年
c：　基本照明　器具清掃費　＝　2,460,000.　／年（ベース）
d：　入口照明　器具清掃費　＝　2,607,600.　／年
e：　基本照明　ﾗﾝﾌﾟ交換費　＝　1,459,350.　／年（ベース）
f：　入口照明　ﾗﾝﾌﾟ交換費　＝　1,032,160.　／年

（３）入口照明維持管理費の比率

（ｂ＋ｄ＋ｆ）／（Ｂ＋Ｄ＋Ｆ）＝ 7,258,009/ 6,911,137 ≒ 1.0502

2.2.2　各照明方式毎、路面輝度を変更した場合の維持管理費計算式

Ａ＋Ｃ＋Ｅ＋｛（Ｂ＋Ｄ＋Ｆ）× 1.0502｝----------（４）

3.各照明方式毎推定計算

3.1　初期設備費

3.1.1　コンクリート舗装、カウンタービーム照明、車線中央取り付け

（１）式より　36,720,000＋｛（58,049,600＋18,116,260）× 0.9426｝＋22,824,300

＝ 131,338,200.

3.1.2　アスファルト舗装、対称照明、路肩近傍取り付け

（２）式より　35,806,400＋｛（54,346,800＋19,547,380）× 1.0342｝＋22,923,700

＝ 135,151,400.

3.1.3　アスファルト舗装、カウンタービーム照明、路肩近傍取り付け

（１）式より　35,806,400＋｛（57,618,000＋18,083,200）× 0.9426｝＋22,824,300

＝ 129,986,600.

3.1.4　アスファルト舗装、カウンタービーム照明、車線中央取り付け

（１）式より　35,806,400＋｛（55,548,000＋17,776,540）× 0.9426｝＋22,824,300

＝ 127,746,400.

3.2　維持管理費

3.2.1　コンクリート舗装、カウンタービーム照明、車線中央取り付け

（３）式より　1,304,388＋2,460,000 ＋1,459,350 ＋｛（2,952,024 ＋2,361,600 ＋900,360）

× 0.9118｝＝ 10,889,640.

3.2.2　アスファルト舗装、対称照明、路肩近傍取り付け

（４）式より　1,603,395＋2,238,600 ＋1,508,010 ＋｛（4,303,365 ＋2,607,600 ＋1,065,640）

× 1.0502｝＝ 13,727,030.

3.2.3　アスファルト舗装、カウンタービーム照明、路肩近傍取り付け

（３）式より　1,603,395＋2,238,600 ＋1,508,010 ＋｛（3,317,250 ＋2,337,000 ＋940,060）

× 0.9118｝＝ 11,362,640.

3.2.4　アスファルト舗装、カウンタービーム照明、車線中央取り付け

（３）式より　1,603,395＋2,238,600 ＋1,508,010 ＋｛（2,916,768 ＋2,263,200 ＋907,280）

× 0.9118｝＝ 10,900,350.

１０．５　まとめ

経済比較の試算方法によって試算した結果をまとめると、以下のとおりとなった。この試算結果を考察すると、カウンタービーム照明が対称照明に比べて、初期設備費が割高となるのは照明器具価格、取付金具、取付費が高くなるためであり、維持管理費（15年間）を加味した場合は割安となるのは、照明の効率が良くなり、照明器具数量が少なく済むため、電気料金、照明器具清掃費、ランプ交換費が低くなるためである。

（１）　路面輝度を従来通りとした場合

１）路面をコンクリート舗装とした場合

路面をコンクリート舗装とした場合の経済比較は、表－１０．１６のとおりとなり、初期設備費は対称照明が経済的であり、維持管理費（15年間）を加味した場合は、ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明の車線中央取付が経済的となる。

表－１０．１６　経済比較表（路面輝度を従来通りとした場合、コンクリート舗装）　単位＝%

照　明　方　式	初期設備費	維持管理費（15年間）	合　計
対称照明、路肩取付	100.00	100.00	100.00
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、路肩取付	108.34	100.00	103.45
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、車線中央取付	105.60	94.25	98.95

２）路面をアスファルト舗装とした場合

路面をアスファルト舗装とした場合の経済比較は、表－１０．１７のとおりとなり、初期設備費は略同様となり、維持管理費（15年間）を加味した場合は、ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明が経済的となる。

表－１０．１７　経済比較表（路面輝度を従来通りとした場合、アスファルト舗装）　単位＝%

照　明　方　式	初期設備費	維持管理費（15年間）	合　計
対称照明、路肩取付	100.00	100.00	100.00
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、路肩取付	101.29	89.63	94.28
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、車線中央取付	99.50	85.82	91.28

（２）　路面輝度を変更した場合

入口部照明にカウンタービーム照明を採用する場合に、本報告書第１章及び第２章に示すとおり、入口部照明の路面輝度を対称照明より低減できるとの考え方があり、この考え方により経済比較を行った結果は次のとおりとなった。

１）　路面をコンクリート舗装とした場合

路面をコンクリート舗装とした場合の経済比較は、表－１０．１８のとおりとなり、初期設備費は対称照明が経済的であるが、維持管理費（15年間）を加味した場合は、ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明が取付位置に係わらず対称照明に比して経済的となる。

表－１０．１８　経済比較表（路面輝度を変更した場合、コンクリート舗装）　　単位＝%

照　明　方　式	初期設備費	維持管理費（15年間）	合　計
対称照明、路肩取付	100.00	100.00	100.00
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、路肩取付	102.89	92.33	96.67
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、車線中央取付	100.36	87.24	92.64

（２）　路面をアスファルト舗装とした場合

路面をアスファルト舗装とした場合の経済比較は、表－１０．１９のとおりとなり、初期設備費はｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明が経済的となる。次に維持管理費（15年間）を加味した場合は、ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明が 15%程度経済的となる。

表－１０．１９　経済比較表（路面輝度を変更した場合、アスファルト舗装）　　単位＝%

照　明　方　式	初期設備費	維持管理費（15年間）	合　計
対称照明、路肩取付	100.00	100.00	100.00
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、路肩取付	96.18	82.78	88.09
ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、車線中央取付	94.52	79.41	85.40

１１．まとめと今後の課題

本研究は、カウンタービーム照明の国内での適用性、照明器具の開発、照明器具の設置方法、必要照明レベル等の検討および設計ガイドライン（案）の作成を目的として平成５年度から平成７年度まで実施したものである。本報告書は、平成７年度に実施した設計速度５０km/h、６０km/h、８０km/hを対象としてカウンタービーム照明の照明レベルを対称照明より約２割低減した場合の障害物の視認性および先行車の視認性、照明器具からのグレアの検討を行うとともに、カウンタービーム照明下の煤煙中の視認性実験等を行ったものである。ここでは、各検討項目についてのまとめを行うとともに、平成５年度から平成７年度まで実施した各検討項目の主な成果の大要および今後の課題について表－１１．１に示す。

（１）照明特性の把握

１）障害物の視認性（輝度対比）

カウンタービーム照明下での障害物の輝度対比は、対称照明下における輝度対比に比べて全体的に高い輝度対比が得られることが明らかとなった。特に、対称照明下では障害物の反射率によってその輝度対比が大きく変化するのに対してカウンタービーム照明の場合は反射率の影響をほとんど受けずに安定していることが分かった。

２）照明器具からのグレア（ＴＩ値）

路面輝度および等価光幕輝度から求められる照明器具からのグレア（ＴＩ値）は、測定高さ、遮光フードの形状による影響、車内測定および車外測定による影響よりも遮光角度による影響が大きいことが分かった。すなわち、車内の運転席から前方を見た場合の車両の天井部による遮光を考慮しない場合は、条件によってＣＩＥおよびＣＥＮでそれぞれ規定している１５％未満および３０％未満に対して高い値を示すものの、車両の天井部による遮光を考慮するとＴＩ値は低くなる傾向にあることが分かった。ＣＩＥ等で規定している１５％および３０％の値は、計算結果の規制値であり、その計算条件として視点高さ１．５mから遮光角度２０°の状態で俯角１°により求まる路面輝度、等価光幕輝度により計算した結果で評価するものである。これまでの測定結果等から、計算時の条件に相当する場合のＴＩ値は、路面輝度が低くなる基本照明とのすり付け部付近等の一部区間で部分的にＣＩＥで規定している１５％を超える場合があるが、その他は概ね１５％程度に収まっており、また、ＣＥＮで規定している３０％未満に対しては十分満足することが分かった。したがって、今回開発した照明器具を用いて照明設計する場合のグレアは、ほぼ満足しているものと考えられる。

３）自然光の射し込みの影響

トンネル坑口付近における輝度対比は、両照明方式ともに自然光の射し込みの影響を受け、輝度対比が変化することが分かった。自然光の射し込みによる影響は、設計速度が低く照明レベルが低い条件ほど影響を受ける割合が大きくなるが、設計速度５０km/h時の場合でも対称照明に比べてカウンタービーム照明のほうが輝度対比への影響は少ないことが分かった。

（２）障害物の視認性実験（静止実験）

障害物の輝度対比は、カウンタービーム照明が対称照明に比べて障害物の反射率にあまり影響を受けず、比較的安定した高い値を示すことが分かった。被験者による障害物の視認性アンケート結果では、障害物の反射率が１２%、２０%の場合は両照明方式の大きな差異は認められないが、反射率３０%の場合はカウンタービーム照明のほうが高い評価結果が得られた。実験時の野外輝度が両照明方式でほぼ同程度であった設計速度６０km/h、８０km/hの条件では、カウンタービーム照明の照明レベルを対称照明に比べて約２割低減させた条件下でも対称照明と同等程度もしくはそれ以上の障害物の視認性が得られていることが明らかとなった。

（３）障害物の視認性実験（走行実験）

設計速度５０km/h、６０km/h、８０km/hの各照明レベルともに、走行実験時の視認距離はカウンタービーム照明が対称照明に比べて視認距離が同等程度もしくは長くなることが分かり、カウンタービーム照明の視認性が高いことが明らかとなった。また、走行実験時の直後に実施した「トンネル坑口の見え方」、「トンネル進入のしやすさ」、「トンネル進入後の視環境」、「照明器具からのまぶしさ」のアンケート調査結果では対称照明とほぼ同様な評価結果が得られた。

以上より、カウンタービーム照明の照明レベルを対称照明の約２割低減しても障害物の視認性は十分得られているとともに、アンケート結果も対称照明とほぼ同程度の評価が得られることが分かった。

（４）先行車の視認性実験（静止実験）

被験者による先行車の視認性の評価は、先行車の輝度が高いほど高く、野外輝度あるいは順応輝度との比で考えた輝度比（先行車輝度／野外輝度あるいは先行車輝度／順応輝度）との関係では、それぞれ輝度比が高いほど評価が高くなることが明らかとなった。今回実施した先行車の輝度測定結果によれば、車の色により先行車輝度が大きく異なることが分かり、先行車輝度を大きく左右する一つの要因であることが分かった。先行車の輝度は、カウンタービーム照明の照明レベルが約２割低減している照明条件にも拘わらず、照明方式による顕著な差は認められない結果が得られており、先行車輝度が先行車の視認性と関係があることを考えると対称照明と同程度の視認性が確保されているものと考えられる。ただし、先行車の輝度は、先行車の色のほか、形状や提示位置と照明器具との位置関係によって若干変化することも考えられるため、今後こうした点について確認することが重要である。

（５）煤煙中での視認性実験（静止実験）

煤煙中におけるカウンタービーム照明下の障害物の視認性を確認するため、光学測定および視認性実験を行い以下に示す結果が得られた。カウンタービーム照明下では、対称照明に比べて光幕輝度の発生の程度が約２０～５０%高くなり、その結果、障害物の見かけの輝度対比の低下の割合が高いことが明らかとなった。しかし、煤煙透過率が４０～５０%の条件においても見かけの輝度対比は概ね対称照明と同程度以上が確保されていることから、煤煙中における障害物の視認性は十分確保されていることが分かった。また、被験者による障害物の視認性実験では、両照明方式ともに観測距離が長くなると障害物の視認性は低下する傾向にあるが、カウンタービーム照明下の視認性は対称照明と同程度以上の見え方の評価となったことから煤煙中における視認性は特に問題とならないと考えられる。

また、基本照明への適用の可能性の検討結果からは、路面輝度４．５cd/m²における光幕輝度をもとに、見

かけの輝度対比を計算した結果、設計速度８０km/hの視距に相当する観測距離での見かけの輝度対比は煤煙透過率４０～５０%程度で両照明方式ともに同程度であることが分かり、今後、カウンタービーム照明の基本照明への適用性も考えられた。

（６）路面の平均照度換算係数の調査

実供用路面における調査、サンプル板を用いた測定結果から、カウンタービーム照明下での平均照度換算係数は供用前後で変化するものの、舗装路面、照明器具の取り付け位置にあまり影響されず、供用後数年でほぼ安定した値を示すことが分かった。測定結果から、カウンタービーム照明の設計に用いる平均照度換算係数としては、９lx/cd/m²を用いることが妥当であると考えられた。また、今後、合理的な設計を行うためには、カウンタービーム照明の適用トンネルにおける継続的な調査を行いさらに検討を行うことが重要である。

（７）実トンネルにおけるカウンタービーム照明のアンケート調査

実供用トンネルへのカウンタービーム照明の適用に伴い一般利用者に対するアンケートを実施した結果は、概ね良好な評価が得られた。また、出口部付近の走行性が比較的高いことが分かった。これは、照明器具からの配光が出口方向へ照射していることから、先行車の後部の輝度が比較的高くなることから比較的高い評価となったと考えられた。

（８）照明方式の違いによる経済比較の試算

設計速度６０km/hの２車線断面、延長1,000mの条件で照明レベルを同一となるように設計した場合、カウンタービーム照明の照明レベルを対称照明に比べて約２割低減した場合の２つの条件について初期設備費および１５年を想定した維持管理費の試算を行い経済比較を行った。その結果、照明レベルを同一にした場合は、カウンタービーム照明の車線中央取り付けの場合のコンクリート舗装で初期設備費が対称照明に比べて106%と高くなるが、維持管理費を考慮するとほぼ同程度となることが分かった。また、アスファルト舗装では、初期設備費が同程度であり、維持管理費を考慮すると約8%経済的となることが分かった。

カウンタービーム照明の照明レベルを低減した場合は、車線中央取り付けの場合のコンクリート舗装では初期設備費が対称照明に比べて同程度となり、維持管理費を考慮すると約7%経済的となることが分かった。また、アスファルト舗装では、初期設備費で約5%、維持管理費を考慮すると約15%経済的となることが分かった。上記の試算は、ある仮定に基づき行ったものであり、トンネル断面や諸条件、カウンタービーム照明器具の価格等、条件により異なってくるが、現在のところ対称照明に比べて初期設備費は若干高くなるが維持管理費は経済的になるものと考えられる。

表－１１．１　カウンタービーム照明に関する研究の成果の大要と今後の課題

項　目	結　果	今後の課題
照明器具の開発	・CBL用の照明器具（適合ﾗﾝﾌﾟ NHT270L、NHT220L、NHT180L、NHT110L）を開発した。	・照明器具の小型化 ・高効率化
障害物の輝度対比と視認性	・CBLがSYMに比べて全体的に高い輝度対比が得られる。 ・トンネル坑口付近において、障害物の輝度対比が負の輝度対比(逆ｼﾙｴｯﾄ状態)から正の輝度対比(ｼﾙｴｯﾄ状態)に転換する始点が存在することが明らかとなった。 ・負の輝度対比から正の輝度対比に転換する勾配は、CBLのほうがSYMより高く、輝度対比がゼロ付近となる区間が短くなる。 ・反射率の相違による障害物の視認性は、SYMで大きく影響するが、CBLはほとんど影響を受けない。 ・大型車の後方に存在する障害物の視認性は、遮光による影響はほとんどない。 ・障害物の視認性は、静止・走行状態での視認性実験からSYMよりCBLのほうが優れている。	・自然光の射し込みによる障害物の輝度対比の変化等を考慮した新しい照明設計方法の検討が重要である。 ・静止実験、走行実験結果の整合性を確認することが重要である。
照明器具からのグレア、まぶしさ	・TI値(相対閾値増加)は、グレアレンズを装着した特殊な輝度計により1.5mの高さから仰角20'の等価光幕輝度、俯角1°の路面輝度の測定値から計算により求めることができる。TI値は基本照明とのすり付け部付近でCIEで推奨する15%を上回る箇所があるが、CENで規定している30%以下に概ね収まることが分かった。 ・TI値は、測定高さによる影響、車内測定と車外測定による影響よりも遮光角度の影響が大きく、遮光角度が大きくなると高くなる傾向を示す。 ・走行実験によるアンケートでは照明器具からのまぶしさはほとんど気にならない。	
先行車の視認性	・先行車相当の大きさの反射率約20%の視標を対象としたﾌﾞﾗｲﾄﾈｽによる見え方評価では、CBLのその光の照射方向から視標の輝度が低くなることよりCBLよりSYMの見え方が優れている。 ・小型のﾗｲﾄﾊﾞﾝを用いた先行車の視認性実験からは、CBLとSYMの顕著な見え方の差はない。 ・走行実験による先行車の視認性実験からは、CBLとSYMの顕著な見え方の差はない。 ・坑口付近を対象とした小型のﾗｲﾄﾊﾞﾝを用いた先行車後部の輝度は、白色系で高く黒色系で低く、照明方式による差異は小さい。	・種々の車両を対象とした先行車の見え方について検討する必要がある。
煤煙中の障害物の視認性	・SYM、CBLともに煤煙中における障害物の見かけの輝度対比は低くなり、その低下の割合はCBLで高い。 ・煤煙透過率が40～50%程度以上では、SYMに比べてCBLの見かけの輝度対比が高く、煤煙中でもCBLの視認性が優れている。 ・基本照明への適用の可能性は煤煙透過率が50%程度以上では、SYMに比べてCBLの見かけの輝度対比が高いことから、煤煙中でもCBLの視認性が優れており、適用の可能性があることが分かった。	
平均照度換算係数およびコントラスト係数	・CBLの設計に用いる平均照度換算係数は、今回開発したCBL用の照明器具または同等の仕様の器具を用いる場合を想定したとき、一般にトンネル内舗装として通常用いられているｺﾝｸﾘｰﾄ舗装、ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装(半たわみ性舗装含む)は供用後数年で約9 lx/cd/m²程度に安定する。 ・ｺﾝﾄﾗｽﾄ係数(L_t/E_v)は、路面の状態によって変化するが、以下に示す値程度とすることでｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明の効果が確保できる。 CBLのｺﾝﾄﾗｽﾄ係数≧0.5	・平均照度換算係数の数多くの長期的な推移データによりさらに適切な係数とすることが重要である。 ・路面輝度の設計において間接光を考慮した逐点設計法の確立が望まれる。 ・設計時におけるｺﾝﾄﾗｽﾄ係数の計算方法の確立が必要である。
実トンネルへの適用	・実トンネルでの一般利用者に対するアンケート結果から概ね良好な評価が得られた。また、対面交通の場合の出口部での走行性が高いことが分かった。	・適用トンネルでの効果を検証することが重要である。
経済比較の試算	・設計速度60km/hの２車線断面の場合で照明ﾚﾍﾞﾙを同一で設計した場合の初期設備費、維持管理費(15年を想定)は、SYMを100としたとき、ｺﾝｸﾘｰﾄ舗装のCBLの路肩取付が103、車線中央で99、ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装のCBLの路肩取付が94、車線中央で91となる。 ・CBLの入口照明の照明ﾚﾍﾞﾙをSYMに比べて約２割程度低減して設計した場合の初期設備費、維持管理費(15年を想定)は、SYMを100としたとき、ｺﾝｸﾘｰﾄ舗装のCBLの路肩取付が97、車線中央が93となる。	
カウンタービーム照明の適用条件	・入口部照明を対象とする。原則として入口照明区間が重複しない設計速度50km/h以上のトンネルに適用できる。但し、平均路面輝度の基準値を交通量により1/2低減する場合は、設計速度50km/hのトンネルには適用しないこととする。また、設計速度40km/hの場合は、照明方式に限らず自然光の影響を受けやすく、一部の条件で対称照明のほうが障害物の視認性が高くなる場合もあるが、トンネル坑口の見え方、トンネルの進入の容易、視線誘導性等を考慮して効果があると判断される場合に適用できる。 ・設計速度が高く恒常的に先行車に追従するような極めて交通量が多いトンネルは、障害物の視認性の他、先行車の視認性も重要であると考えられるため、配光特性上、先行車の背面後部の鉛直面照度が高くなる対称照明を適用するのが望ましい。	
照明レベルの低減の可能性	・障害物の視認性実験、先行車の視認実験、被験者によるアンケート結果から設計速度50、60、80km/hではCBLの照明レベルを現状の照明レベルのSYMに比べて約２割程度低減して支障がないことが明らかとなった。 ・基本照明へある程度スムーズにすり付けるためには、入口照明の緩和部の末端の輝度を基本部の輝度の３倍以内の照明レベルとすることが必要である。	・坑口周辺の野外輝度（明るさ）に応じた路面輝度が確保できるような適切な制御方法とすることが重要である。

CBL:ｶｳﾝﾀｰﾋﾞｰﾑ照明、SYM:対称照明

【参考文献】

1）建設省土木研究所ほか、「トンネル内の新照明方式に関する共同研究報告書」－カウンタービーム照明に関する共同研究報告書－、土木研究所共同研究報告書第173号、平成9年3月

2）建設省土木研究所ほか、「トンネル内の新照明方式に関する共同研究報告書」－カウンタービーム照明に関する共同研究報告書（その２）－、土木研究所共同研究報告書第174号、平成9年3月

3）建設省土木研究所ほか、「トンネル内の新照明方式に関する共同研究報告書」－カウンタービーム照明に関する共同研究報告書（その３）－、土木研究所共同研究報告書第175号、平成9年3月

4）CIE, Publication No. 26/2"GUIDE FOR THE LIGHTING OF LOAD TUNNELS AND UNDERPASS", 1988

5）CEN/TC169/WG6, Stundard for the lighting of road trffic tunnels. February. 1944

6）（財）高速道路調査会：「トンネル照明設計指針」、平成２年３月

おわりに

本研究は、道路トンネルの入口照明として新しい照明方式としてカウンタービーム照明を国内に適用するにあたっての適用性、走行時の安全性等の検討を平成５年度から平成７年度まで実施したものである。

平成７年度は、これまで実施した検討によりカウンタービーム照明は障害物の視認性に優れていることが確認されたことより路面輝度を現行の照明方式である対称照明の約２割低減した設計速度５０km/h、６０km/h、８０km/hの各照明条件下において障害物の視認性、先行車の視認性、照明器具からのグレア、煤煙中の視認性等の走行時の安全性に関する検討を行った。また、現場における平均照度換算係数の調査、実トンネルにおける供用後のアンケートおよび経済比較を行った。本報告書は、平成７年度の成果について報告したものであり、これまでの一連の成果をあわせて１１章に成果の大要について取りまとめたものである

最後に、本報告書が今後のカウンタービーム照明の参考となれば幸いである。