

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。

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報告書

建設省土木研究所	トンネル研究室室長	猪熊 明*
	トンネル研究室研究員	石村 利明
	トンネル研究室研究員	松原 哲也**
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	宮川 勝海
	保全施設部電気通信課班長	篠崎 俊光
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
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、道路トンネルの新しい照明方式としてカウンタービーム照明を適用するため、平成5年度に実施した照明器具の開発、障害物の視認性、走行時の安全性等についての検討結果を取りまとめたものである。

キーワード：道路トンネル、カウンタービーム照明、視認性、輝度対比、グレア

(*現 通産省工業技術院研究開発官, **現 中部地建沼津工事事務所)

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た。

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、平成5年度に実施した照明器具の開発、障害物の視認性、走行時の安全性等についての検討結果を取りまとめたものである。

目次

はじめに

1. カウンタービーム照明の概要	1
1.1 カウンタービーム照明の概念	1
1.2 カウンタービーム照明のCIEにおける定義	1
1.3 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	2
2. 研究の概要	4
2.1 研究目的	4
2.2 研究項目	5
3. カウンタービーム用照明器具の開発	6
3.1 海外におけるカウンタービーム用照明器具の実状	6
3.2 照明器具の開発	11
4. 実験施設の照明設計	14
4.1 設計条件	14
4.2 照明計算	16
4.3 基本照明器具の配置	26
4.4 入口照明の実施輝度	27
5. 照明特性の把握	39
5.1 入口部照明の明るさ	39
5.2 コントラスト係数	56
5.2.1 路面別測定結果	56
5.2.2 測定方式別測定結果	71
5.3 平均照度換算係数	78
5.4 路面の特性	86
5.5 照明器具からのグレア(TI値)	91
5.6 輝度対比	104
5.6.1 人工照明下での輝度対比	104
5.6.2 自然光下での輝度対比	118
5.6.3 自然光の射し込みによる影響	125
5.6.4 照明条件別の輝度対比の比較	130
5.7 野外輝度と観測距離の関係	135
5.8 まとめ	138
5.8.1 照明方式の特徴を表す係数と路面の特性	138
5.8.2 照明器具からのグレア	138
5.8.3 輝度対比	138

6. 障害物の視認性実験（静止実験）	1 4 0
6.1 実験概要	1 4 0
6.1.1 実験方法	1 4 0
6.1.2 障害物	1 4 1
6.1.3 測定機器	1 4 1
6.1.4 被験者	1 4 1
6.2 実験結果	1 4 3
6.2.1 静止実験時の野外輝度及び野外水平面・鉛直面照度	1 4 3
6.2.2 障害物の輝度対比	1 4 6
6.2.3 被験者による見え方の評価	1 5 1
6.2.4 障害物の輝度対比と見え方の評価	1 5 9
6.3 まとめ	1 6 7
7. 障害物の視認性実験（走行実験）	1 6 8
7.1 実験概要	1 6 8
7.1.1 実験方法	1 6 8
7.1.2 障害物	1 6 9
7.1.3 測定機器	1 6 9
7.1.4 被験者	1 6 9
7.2 実験結果	1 7 1
7.2.1 走行実験時の野外輝度及び野外水平面・鉛直面照度	1 7 1
7.2.2 障害物の輝度対比	1 7 3
7.2.3 視認距離及び確認距離の測定結果	1 8 0
7.2.4 視認距離及び確認距離と輝度対比の関係	1 8 0
7.2.5 可視度による見え方の評価	1 8 0
7.2.6 アンケート結果	2 0 1
7.3 まとめ	2 0 8
8. 先行車の視認性実験（走行実験）	2 0 9
8.1 実験概要	2 0 9
8.1.1 実験方法	2 0 9
8.1.2 被験者	2 1 0
8.2 実験結果	2 1 2
8.2.1 先行車の視認性実験時の野外輝度及び野外水平面・鉛直面照度	2 1 2
8.2.2 トンネル進入前後の先行車の見え方	2 1 4
8.2.3 先行車が存在した場合のトンネルへの進入の難易	2 1 8
8.2.4 照明器具からのグレア	2 1 9
8.3 まとめ	2 2 8

9. まとめと今後の課題	229
おわりに	

1.1 カウンタービーム照明の概念

照明器具

車両進行方向

障害物

この面には照明器具からの光が直接当たる

(a) 対称照明 (従来方式)

照明器具

車両進行方向

障害物

この面には照明器具からの光が直接当たらない

(b) カウンタービーム照明

図-1.1 カウンタービーム照明と対称照明（従来方式）のイメージ図

カウンタービーム照明についてCIE（国際照明委員会）では次のように定義している。

[illegible]

高い路面輝度と低い鉛直面照度となる照明方式は、路上のほとんどの障害物に対して比較的高い輝度対比（コントラスト）を得ることが出来る。このような照明方式は、照明器具の配光がトンネル縦断方向に非対称で自動車の運転手側に光が向かうときのみ達成される。このような照明方式が「カウ

ンタービーム照明」と呼ばれている。

照明方式の定義の実際は、図－１．２における各グリッドで得られた路面輝度 L_r と鉛直面照度 E_v の比の最小値で定義される。鉛直面照度は自動車の運転手側から見える面の路面上 0.10 m を対象とし、 L_r/E_v の計算に関して考慮される照明器具は、計算地点より前方では照明器具取付高さの 5 倍分、後方では取付高さの 1.2 倍分の区間が含まれる。鉛直面照度の計算については直接光と間接光の両方を考慮することが大切である。

表－１．１ カウンタービーム照明と対称照明の定義

照明方式	L_r/E_v
対称照明	≤ 0.2
カウンタービーム照明	≥ 0.6

表－１．１の定義により、カウンタービーム照明と認められた照明施設については C I E の勧告では表－１．２のようにトンネル境界部の設計輝度を対称照明より引き下げる事が可能としている。表中から、境界部で必要な平均路面輝度は、 L_r/E_v に関して次表に示された境界部の輝度 L_{th} とトンネル坑口から視距だけ離れた地点から 20° 視野の輝度計で測定した L_{zo} の比、 L_{th}/L_{zo} (この値を k とする。) から導くことができる。

表－１．２ 境界部輝度 L_{th} と野外輝度 L_{zo} の勧告比率

	対称照明 ($L_r/E_v \leq 0.2$)	カウンタービーム照明 ($L_r/E_v \geq 0.6$)
停止距離	L_{th}/L_{zo}	L_{th}/L_{zo}
60 m	0.05	0.04
100 m	0.06	0.05
160 m	0.10	0.07

注：

$0.2 < L_r/E_v < 0.6$ の照明方式はまれである。このような照明は、対称照明について推奨される k の値を採用する。

高い L_r/E_v 比率をもつ設備（カウンタービーム照明）に関する国際的な経験が限定されているのと、カウンタービーム照明設備のすべての面で国際的な合意が欠如している為、カウンタービーム照明設備には比較的高い L_{th}/L_{zo} の値が示されている。

1.3 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²⁾

カウンタービーム照明を国内にトンネル照明として導入するためには、以下のいくつかの点について開発・検討する事が重要である。

①照明器具の開発

カウンタービーム照明を実現するためには、特殊な配光を有する照明器具が必要となる。このための器具の開発が必要となる。

②障害物等の視認性

障害物等の視認性について確認する事が重要である。

③対面交通時のカウンタービーム照明の適用の仕方

カウンタービーム照明は通常一方通行時に使用される。従って、対面交通の場合の照明方式の適用の仕方を検討する必要がある。なお、出口部では追跡照明方式となる。

④照明器具からのグレア（眩しさ）

カウンタービーム照明は運転者側へ光を照射する方式のために運転者に対するグレアの程度が課題となる。

⑤先行車の見え方

昼間連続して自動車が走行する場合、先行車がトンネル内に入った直後に先行車の視認性が悪化する可能性がある。これは先行車の後部がある程度の輝度に見えていたものがトンネル内にはいると同時にその輝度が急に低下し、運転者からの見え方が悪くなる。特にカウンタービーム照明は自動車後部に直射光が照射されないためその影響が考えられる。

⑥大型車による遮光の影響

照明器具からの光が大型車等によって遮光される車両後部は路面輝度が低下し障害物の視認性が低下する可能性がある。特に、交通量が多く、かつ大型車が車頭間隔をつめて連続走行するような交通形態の時の視認性・安全性を確認する必要がある。

⑦基本部照明との連続性の確保

野外輝度との関係で、適切な入口部照明を設計する必要があるが、さらに基本部照明との連続性を確保する必要がある。

⑧路面の種類による効率

路面の種類・その仕上げの状況によりカウンタービーム照明の効率が異なる。また、路面が湿潤した状態での効果を確認する必要がある。

⑨自然光がトンネル内部に差し込む時および自動車のヘッドライトの影響

自然光のさし込みおよび自動車のヘッドライトなどによりカウンタービーム照明器具からの照射方向と反対側からの光の影響で効果が低下する。

【参考文献】

- 1) CIE Publication No.26/2 "GUIDE FOR THE LIGHTING OF ROAD TUNNELS AND UNDERPASS"(1988)
- 2) 猪熊 明、石村 利明、松原 哲也、永井 渉「道路トンネルのカウンタービーム照明実験」
土木技術資料 第35号巻 第10号 1993年10月

2. 研究の概要

2.1 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を従来から採用し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、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照明の明るさは、諸外国に比べて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、本数は飛躍的に増加しており、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、道路トンネルの合理化を図る必要がある。

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、効率よくドライバーに光を導くことで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、省エネルギーの可能性があるとともに、対称照明に比べて視認性が向上する、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を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、及び設計マニュアル（案）の作成を目標に実施しているものである。平成5年度は、1.3の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で示した課題の中の以下の項目について開発・確認することを目的とした。

- ①照明器具の開発
- ②障害物等の視認性
- ③照明器具からのグレア（眩しさ）
- ④先行車の見え方
- ⑤路面の種類による効率
- ⑥自然光の影響

2.2 研究項目

カウンタービーム照明を国内の交通状況に適した新しい照明方式として導入するにあたり、平成5年度は前記の①から⑥の項目について検討を行った。研究の方法は、カウンタービーム照明用の照明器具の開発・試作を実施した後、その照明器具を用いて建設省土木研究所内にある実大トンネル実験施設に設置し、カウンタービーム照明の照明特性の把握（光学測定）、障害物の視認性実験（静止実験）、障害物の視認性実験（走行実験）、先行車の視認性実験（走行実験）を行った。表－2.1に検討概要を示す。

表－2.1 研究項目と概要

研究項目	概 要
照明器具の開発	既に実績のあるスイス等で使用されている配光等を参考として効率の高いカウンタービーム用の照明器具を開発する。
照明特性の把握 （光学測定）	実大トンネル実験施設及び照明器具（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、対称照明及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を行い、照明方式を定義するコントラスト係数（L_r/E_v）の確認、平均照度換算係数、照明器具からの眩しさの程度（$T I$値）、障害物と背景路面の輝度対比等について求め、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（眩しさ） ・ 路面の種類による効率 ・ 自然光の影響
障害物の視認性実験 （静止実験）	実大トンネル実験施設及び照明器具（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、対称照明及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見え方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及び照明器具（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、対称照明及びカウンタービーム照明の両照明方式下で、小型車を速度60km/hの状態です定速走行させ、トンネル内に提示した障害物の見え方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、照明器具からのグレア、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 ・ 照明器具からのグレア（眩しさ）
先行車の視認性実験 （走行実験）	実大トンネル実験施設及び照明器具（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、対称照明及びカウンタービーム照明の両照明方式下で、大型車及び小型車を先行車として速度60km/hの状態です定速走行させ、被験者によりトンネル突入前後の先行車の視認性についてアンケート調査を実施し、以下の検討を行う。 ・ 先行車の見え方

3. カウンタービーム用照明器具の開発

3.1 海外におけるカウンタービーム用照明器具の実状

スイスの道路トンネル入口部照明として使用されているカウンタービーム用照明器具の設置例¹⁾及び、照明器具の外形図・配光例²⁾をいくつか以下に示す。

これらをまとめると、スイスにおけるカウンタービーム用照明器具は高圧ナトリウムランプ100～400Wを使用し、トンネルの天井面に取り付け、前面ガラスは10度程度傾斜させ、鉛直角50～60度にピークのある狭角の配光を持ち、灯体はステンレス又は、アルミニウム製が多いことが判る。

Luminaire GEDRAL

Objectif:

Le tunnel du Saint-Gothard doit être muni d'un système d'éclairage asymétrique pour la zone de transition et d'un système d'éclairage symétrique à lampes fluorescentes pour la zone centrale.

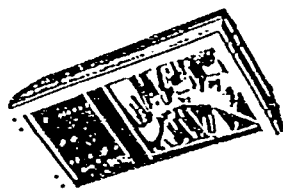
Les spécifications du client sont les suivantes:

- possibilité de réduire le flux lumineux de la lampe fluorescente (écart: 100-50-30%) grâce à l'installation de baffles permettant de compenser toute réduction du flux lumineux causée par des lampes usées ou encrassées.
- matériel de qualité élevée
- haut degré de fiabilité, etc.

Application:

le tunnel du Saint-Gothard

Le tunnel du Saint-Gothard, le plus long en Europe, est le point central de l'une des plus importantes routes transversales nord-sud. Le tube construit en béton a une longueur de 16,9 km et présente une section de forme rectangulaire. Deux voies à circulation bidirectionnelle permettent aux conducteurs de traverser les Alpes en toute sécurité.



La solution de STR

Le projet à grande échelle retenu pour le tunnel routier du Saint-Gothard n'a pas seulement lancé un grand défi aux ingénieurs des travaux publics – les conditions d'environnement extrêmes ont mis à l'épreuve l'ensemble du matériel utilisé.

Pour l'éclairage de la zone centrale, STR a choisi les luminaires GEDRAL installés sur un côté, formant une bande fluorescente continue. Les zones de transition à l'entrée et à la sortie du tunnel sont éclairées par des luminaires OPDRAL et GEDRAL montés des deux côtés et équipés d'un réflecteur asymétrique et de lampes de sodium à haute pression.

Les luminaires GEDRAL et OPDRAL sont conçus de manière à satisfaire intégralement aux exigences posées par l'éclairage de tunnels:

- forme compacte
- résistance aux conditions défavorables telles que fluctuations de température, corrosion par sel en hiver, émissions excessives de gaz d'échappement occasionnées par une densité de trafic élevée, etc.

Données techniques relatives au luminaire GEDRAL

Boîtier: en fonte d'aluminium pressée AlSi13.

Protection IP65

Suspension: variable

Verre de sécurité: collé; fermetures à levier

avec joint silicone; à rabattement

Composants élect.: plaque rabattable avec fermeture rapide portant le matériel électrique

Réflecteur: aluminium pur, poli brillant, en technique sym., asym. ou de contresens

Lampes possibles:

- lampes à vapeur de sodium à haute pression: 50, 70, 100, 150, 250, 400 Watt
- lampes à vapeur de sodium à basse pression: 35, 55 Watt
- lampes à vapeur de mercure: 125, 250, 400 Watt

Les luminaires GEDRAL sont recommandés pour tunnels, routes et halles d'industrie équipés de réflecteurs symétriques.

Les services de STR pour ce contrat:

Lors de la réalisation de ce projet à grande échelle, STR a non seulement été responsable de l'installation de l'éclairage, mais a aussi effectué l'ensemble des travaux préliminaires tels que élaboration des concepts, choix du matériel et de l'équipement, développement du système de commande, mise au point du schéma électrique, détermination de la disposition appropriée des luminaires.

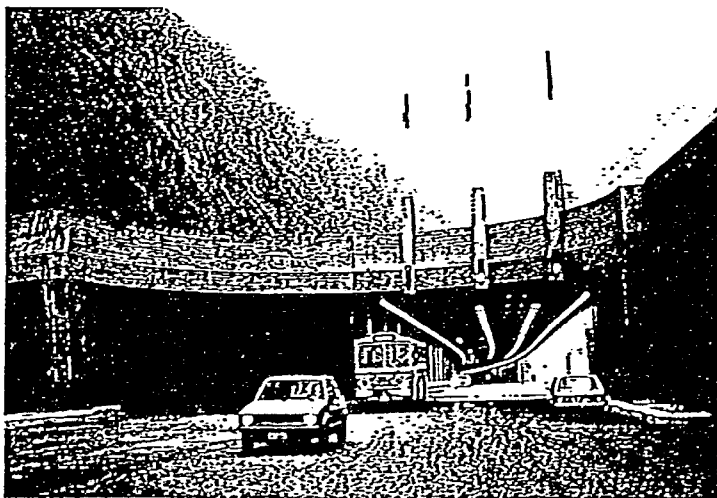
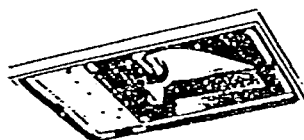


図-3.1 カウンタービーム照明器具設置例(1)

Luminaire STB

Objectif:

Il s'agit de réaliser en technique de contresens l'éclairage d'adaptation du tunnel de Beckenried. Les luminaires sont à encastrer dans la dalle de couverture.



La solution de STR

L'éclairage de la zone de transition est assurée par deux rangées de luminaires STB encastrés dans la dalle de couverture. Afin d'offrir une qualité d'éclairage élevée – en dépit de l'encastrement – le luminaire utilisé doit disposer d'un réflecteur particulièrement grand et précis. Celui-ci, performant, tiendra beaucoup de place et exigera en conséquence un luminaire aux dimensions appropriées. Logé dans un boîtier spacieux, le luminaire STB apporte donc la solution idéale à ce problème.

Son cadre, en profilés extrudés d'aiguillage, est doté de glissières de guidage facilitant le montage.

Données techniques relatives au luminaire STB

Boîtier: Aluman avec profilés extrudés, Protection IP65

Suspension: variable

Verre de sécurité: à fermeture rapide

Composants électriques: montés sur une plaque de base, amovibles sans outils spéciaux

Réflecteur: aluminium pur, poli brillant, en technique symétrique, asymétrique ou de contresens

Lampes possibles:

lampes à vapeur de sodium à haute pression: 50, 2 x 70, 70, 100, 150, 250, 400 Watt

Les luminaires STB sont recommandés pour les tunnels et les halles d'industrie équipés de réflecteurs symétriques.

Les services de STR pour ce contrat:

STR a déterminé les valeurs lumineuses ainsi que le positionnement des luminaires à l'aide de logiciels développés par des ingénieurs de STR.

Application: le tunnel de Beckenried

Comme les tunnels de Eich et du Saint-Gotthard, le tunnel de Beckenried, qui porte le nom d'un village situé au bord du lac des quatre cantons, fait également partie de la route nationale N2. Les deux sens de circulation possèdent leur propre tube construit à partir d'unités préfabriquées. Les tubes ont une longueur de 350 m et présentent une section rectangulaire. Deux voies et une bande d'arrêt d'urgence sont prévues pour chaque sens de circulation.

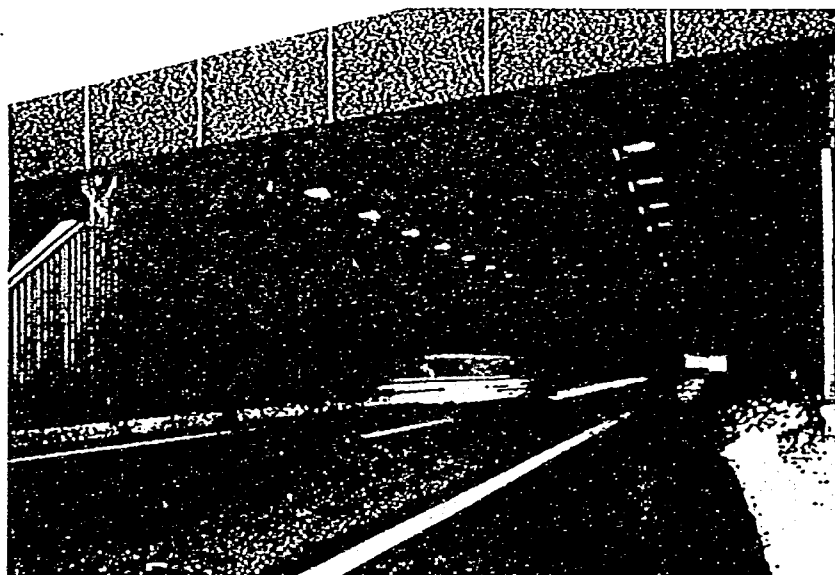


図 - 3. 2 カウンタービーム照明器具設置例(2)

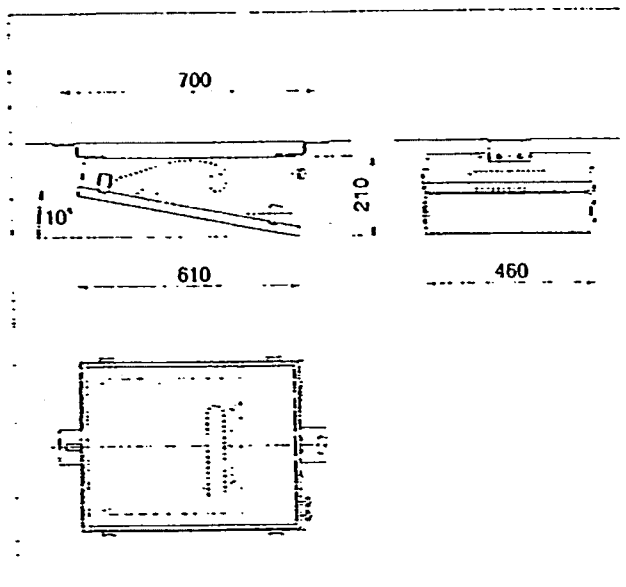
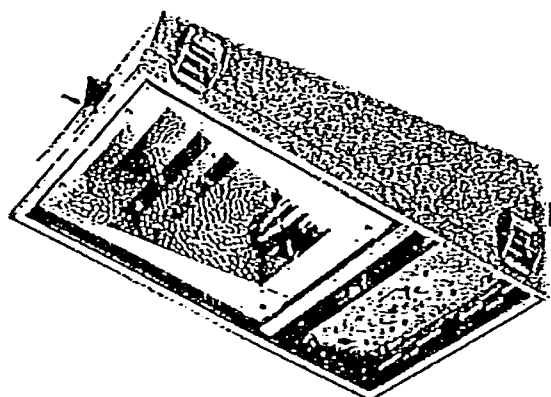
BAG TURGI

BAG TURGI
CH-5300 Turgu
Tel: 055-330111
Fax: 055-233070



ADALUX-G

IP65 ◆ ▲ ▲



Tunnel luminaire ADALUX-G
Stainless steel V4A (1.4435)
or Aluminium
Asymmetrical

Tunnel luminaire for transition zones

Housing of stainless steel sheet
V4A (1.4435) or aluminium,
welded, enamelled or rough

Frame around glass cover of stainless steel
V4A (1.4435), enamelled or rough

Asymmetrical light distribution for counteract
lighting

Reflector of mirror-finish anodised
high purity aluminium

Lamps: high-pressure sodium HST (NaH-T)
100W, 150W, 250W, 400W
Power reduction possible

Servicing: quick-release catches

Tool-less relamping

Tool-less interchangeable electrical gear unit

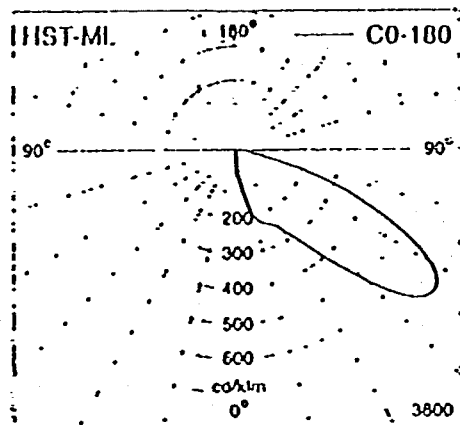
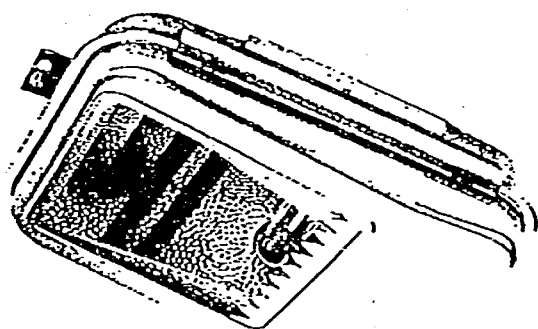
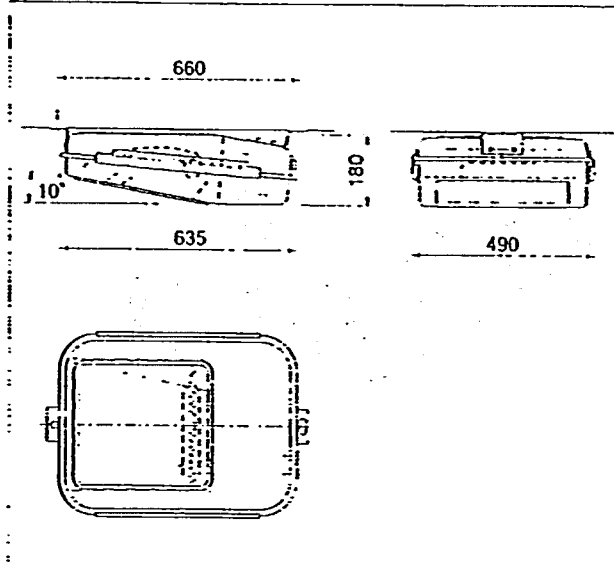


図 - 3.3 カウンタービーム照明器具外形図・配光例(1)

1993



IP65   



Tunnel luminaire for transition zones

Servicing: quick-release catches
Tool-less relamping
Tool-less interchangeable electrical gear unit

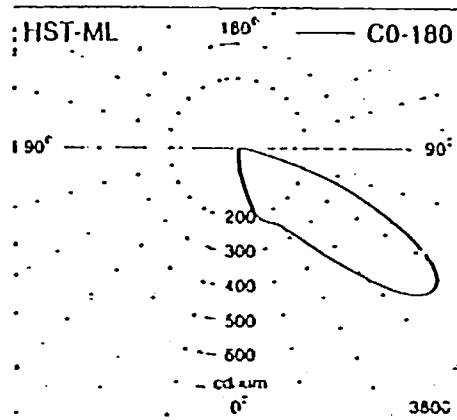
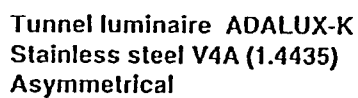


図-3.4 カウンタービーム照明器具外形図・配光例(2)

BAG TURGI
CH-5300 Turgi
Tel 056 - 33 01 11
Fax 056 - 23 30 70



IP65   



- 10 -

3.2 照明器具の開発

カウンタービーム用照明器具を新規に開発するにあたって、当該照明方式の施工について実績のあるスイスより道路トンネルに関する文献等を収集した結果をもとに、鉛直角 60° 程度にピークのある配光を目標とし、自動車の運転者に対する視線誘導効果等を考慮して、前面ガラスを傾斜させることとした。

また、カウンタービーム照明では、照明器具後方へ光が照射されると照明としての質が低下するため、出来るだけ後方への光をカットしなければならない。そこで、ランプからの直射光は反射鏡によってほぼカットをしているが、ガラス面での2次反射により後方へ光が漏れるため、これを反射鏡に遮光板を設置することで解消した。また、直射光をカットすることにより器具直下で生じる影を路面に投影させないために反射鏡端に山形の遮光板を追加した。これら反射鏡や遮光板等の形状・大きさについては収集した資料をもとに独自の検討を行った上で採用する事とした。

上記のように検討・試作された照明器具を用い、実大トンネル実験施設において、配光のピーク角度、照明器具からのグレア、視線誘導効果、照明の効率、カウンタービーム照明に求められる照明の特性、路面の照明状況等について実験を行い最終的な確認を行った。なお、将来的には維持管理の自動化を考慮した器具を開発することが望ましい。

実験に使用した照明器具の照明率・配光曲線・外形図を以下の図-3.6より図-3.8に示す。

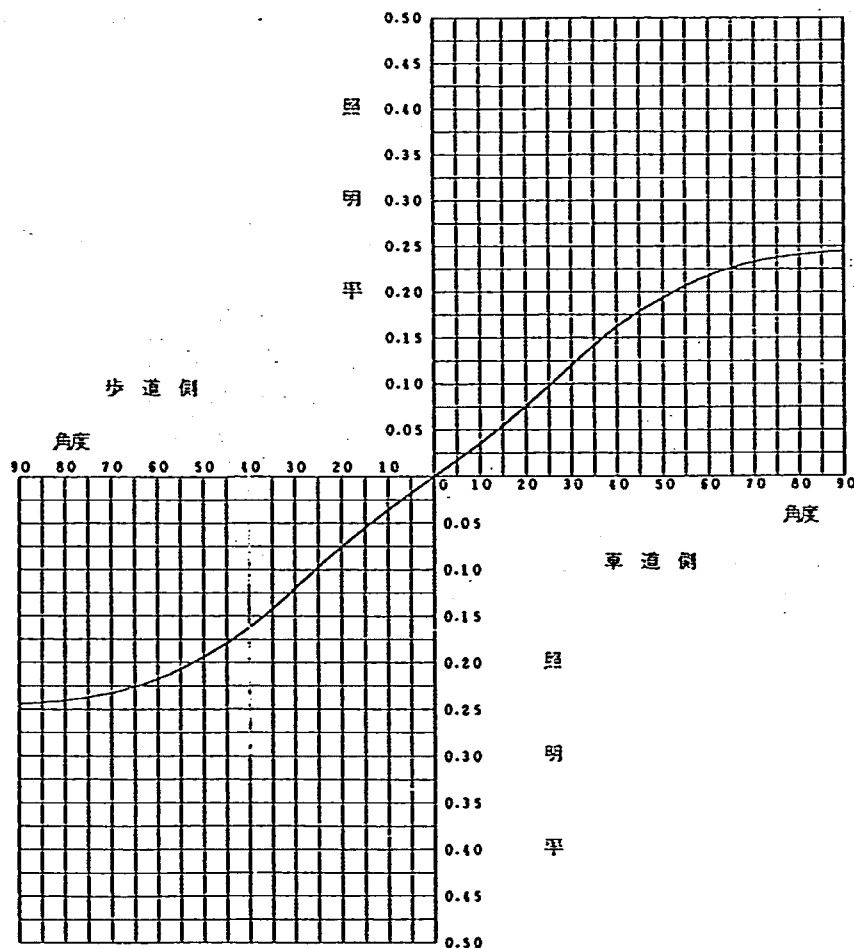
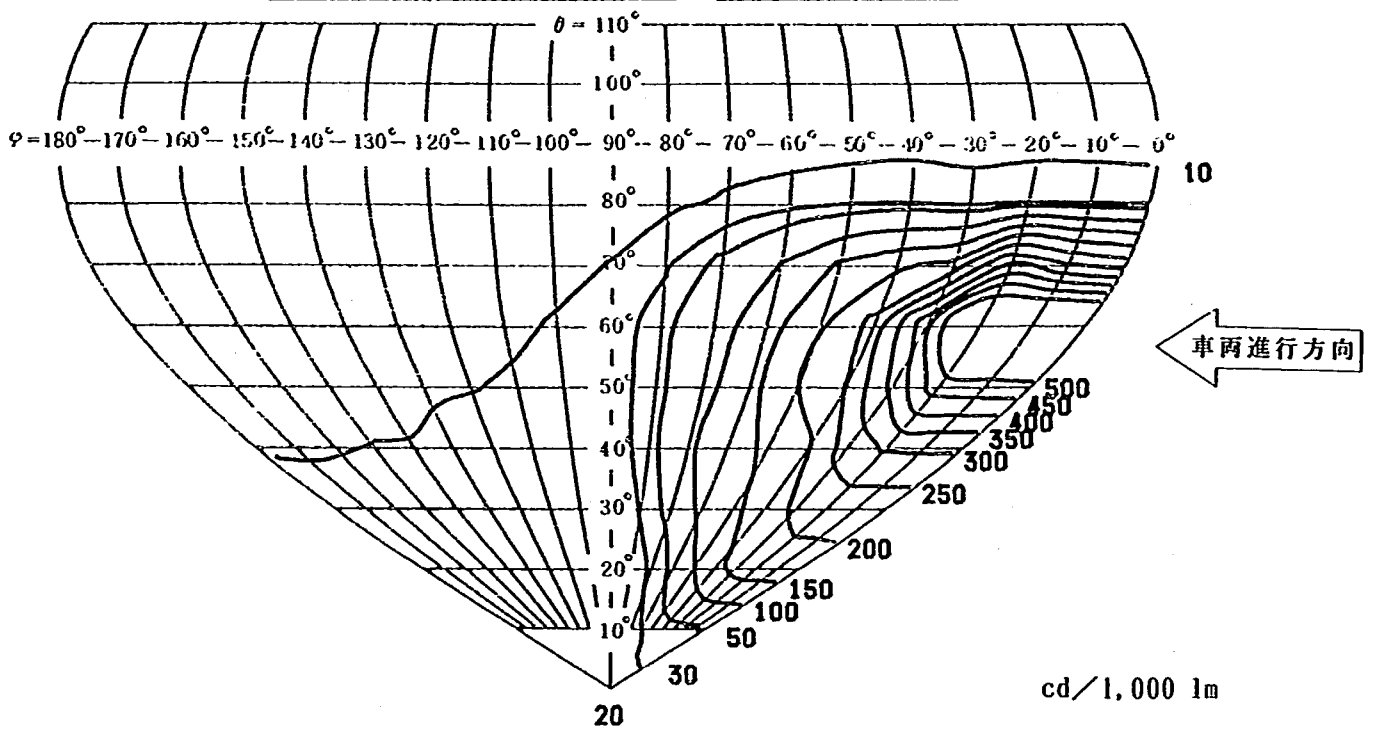


図-3.6 実験に使用した照明器具照明率曲線

等光度曲線

器具傾斜角 0°



等光度曲線；光源あるいは照明器具の測光中心を中心とする仮想球面上に、水平角と鉛直角でできる網目を作り、これに等高度の点を結んでできた球面を平面に展開した配光図である。

(解説図として下図参照)

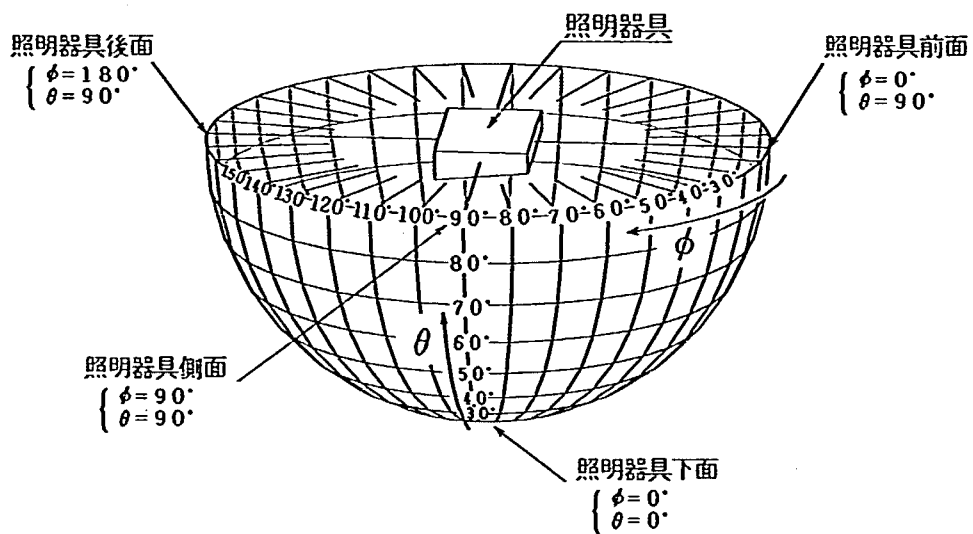


図-3.7 実験に使用した照明器具配光曲線

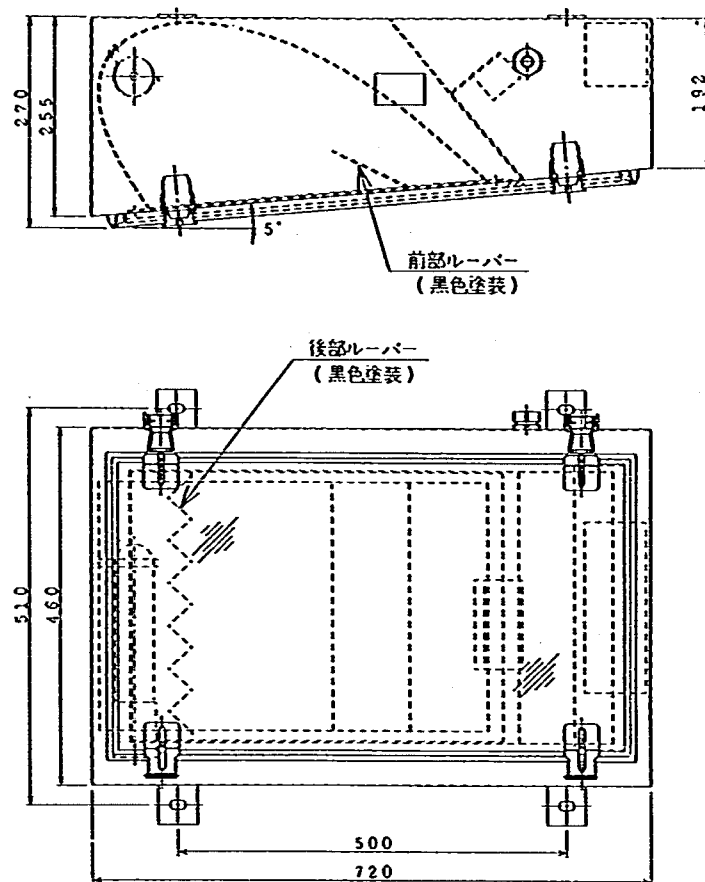


図-3.8 実験に使用した照明器具外形図

【参考文献】

- 1) Standard Telephon und Radio AG社照明カタログ
- 2) BAG TURGI社照明カタログ

4. 実験施設の照明設計

4.1 設計条件

本トンネル照明の照明計画は基本照明及び入口照明について計画する。

照明設計は以下の諸基準を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¹⁾ (社) 日本道路協会
- (ロ) トンネル照明設計指針²⁾ (財) 高速道路調査会
- (ハ) トンネル照明器材仕様書³⁾ (社) 建設電気技術協会
- (ニ) 共同研究報告書「道路トンネルのカウンタービーム照明設計ガイドライン(暫定版)」
検討資料案

1) 設計条件

トンネル構成

延 長 700 m (照明設計区間は355 m)

車道幅員 7.0 m (3.5 m × 2車線)

2) 反射率

トンネル内の天井及び壁面は反射率は25%とする。

(注) トンネル内は一部仕上げが異なるが、反射率は一律25%とする。

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

60 km/h

4) 光源の選定

光源は以下のとおりとする。

基本照明：対称照明	低圧ナトリウムランプ
入口照明：対称照明	高圧ナトリウムランプ+低圧ナトリウムランプ
カウンタービーム照明	高圧ナトリウムランプ

5) 照明器具

照明器具は以下のとおりとする。

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
カウンタービーム照明	非対称配光を有する照明器具

6) 器具取付高さ

器具取付高さは以下のとおりとする。

基本照明：4.4 m	
入口照明：対称照明	4.4 m
カウンタービーム照明	4.9 m

7) 保守率

対称照明に用いる照明器具は既設のものなので0.9とし、カウンタービーム照明に用いる照明器具は新設なので1.0とする。

8) 基本照明

(1) 平均路面輝度

平均路面輝度は次の通りとする。

表-4.1 平均路面輝度

設計速度 (km/h)	平均路面輝度 (cd/m ²)
60	2.3

(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を使用し、50%調光して点灯する。

9) 入口部照明

(1) 野外輝度の設定

表-4.2 設定野外輝度

坑口	野外輝度
実大トンネル南側	4,000 cd/m ²

(2) 入口部照明路面輝度

入口部照明は境界部、移行部、緩和部から構成され各部の路面輝度及び長さは「道路照明施設設置基準・同解説」P69¹⁾、表5-2の値が基準となる。

表-4.3 入口部照明基準輝度

設計速度 (km/h)		境界部	移行部	緩和部	計	野外輝度 4,000cd/m ² の場合
	路面輝度 (cd/m ²)	58.0	35.0	2.3	—	
60	長さ (m)	25.0	65.0	135.0	225.0	

10) 平均照度換算係数

平均照度換算係数は「道路照明施設設計基準・同解説」P91¹⁾及び「道路トンネルのカウンタービーム照明設計ガイドライン(暫定版)」検討資料より次の値とする。〔コンクリート路面〕

表-4.4 平均照度換算係数

対称照明	1 cd/m ² = 13 lx
カウンタービーム照明	1 cd/m ² = 12 lx (路肩近傍取付)
カウンタービーム照明	1 cd/m ² = 11 lx (車線中央取付)

4.2 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」P124¹⁾の照明率の求め方による。

$$U = U_4' + \frac{W}{W_0} \{ A_1 U_1 + A_2 U_2 + A_3 U_3 + (A_4 - 1) U_4 \} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

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线图
对称照明

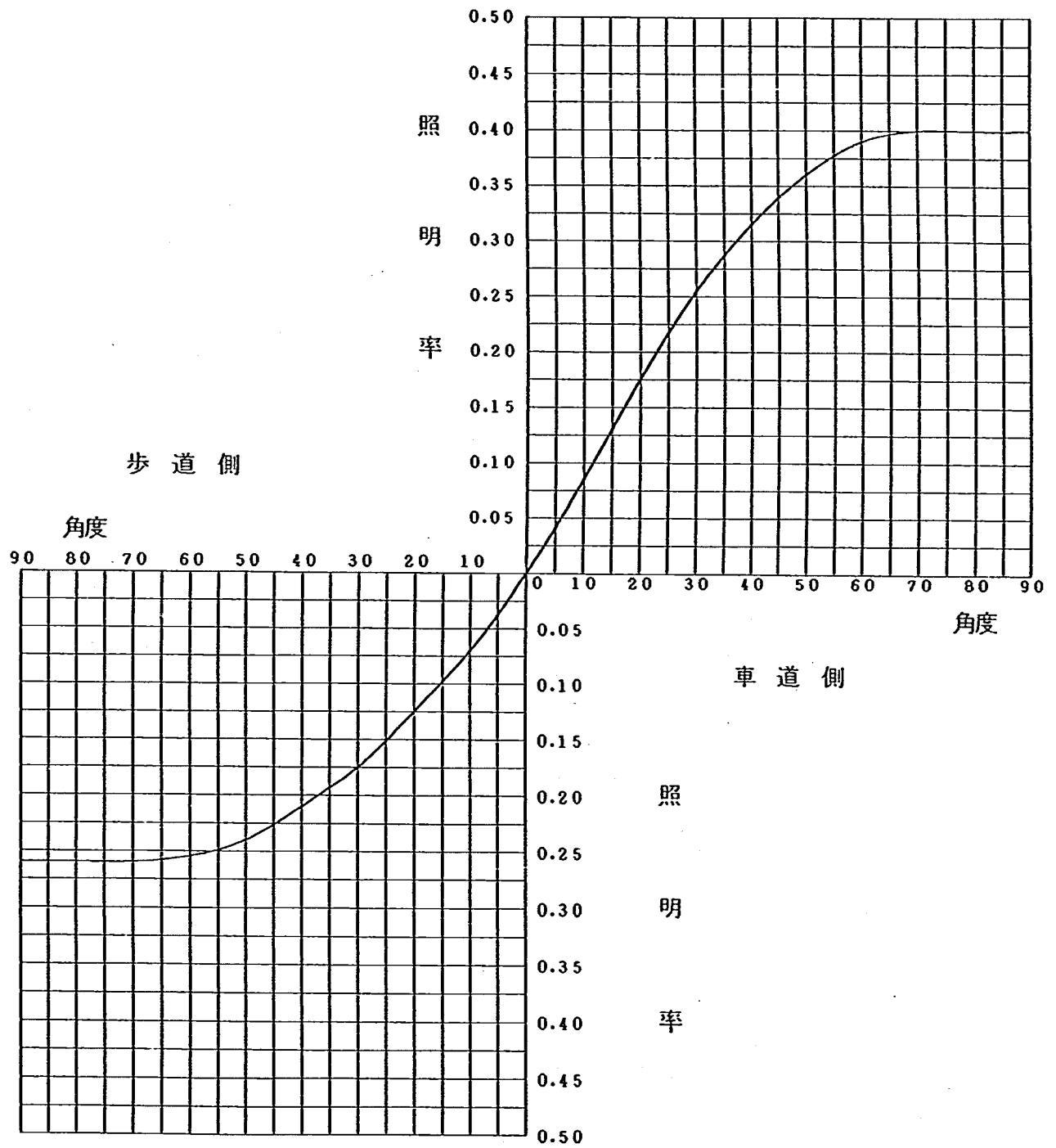


図 - 4.1 基本照明器具照明率曲线图 (对称照明)

入口照明器具照明率曲線圖
對 稱 照 明

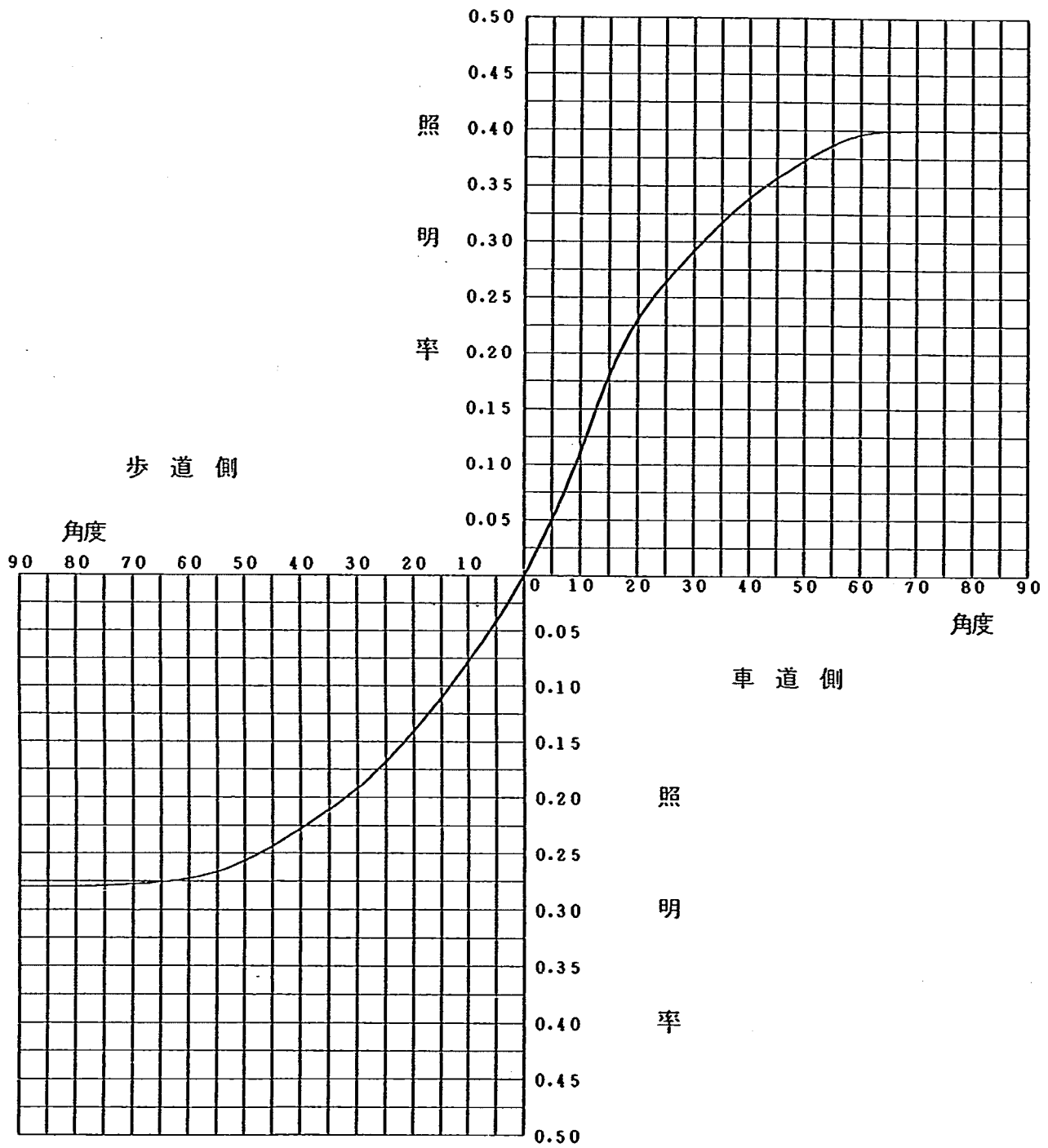


圖-4.2 入口照明器具照明率曲線圖 (對稱照明)

入口照明器具照明率曲線図
カウンタービーム照明

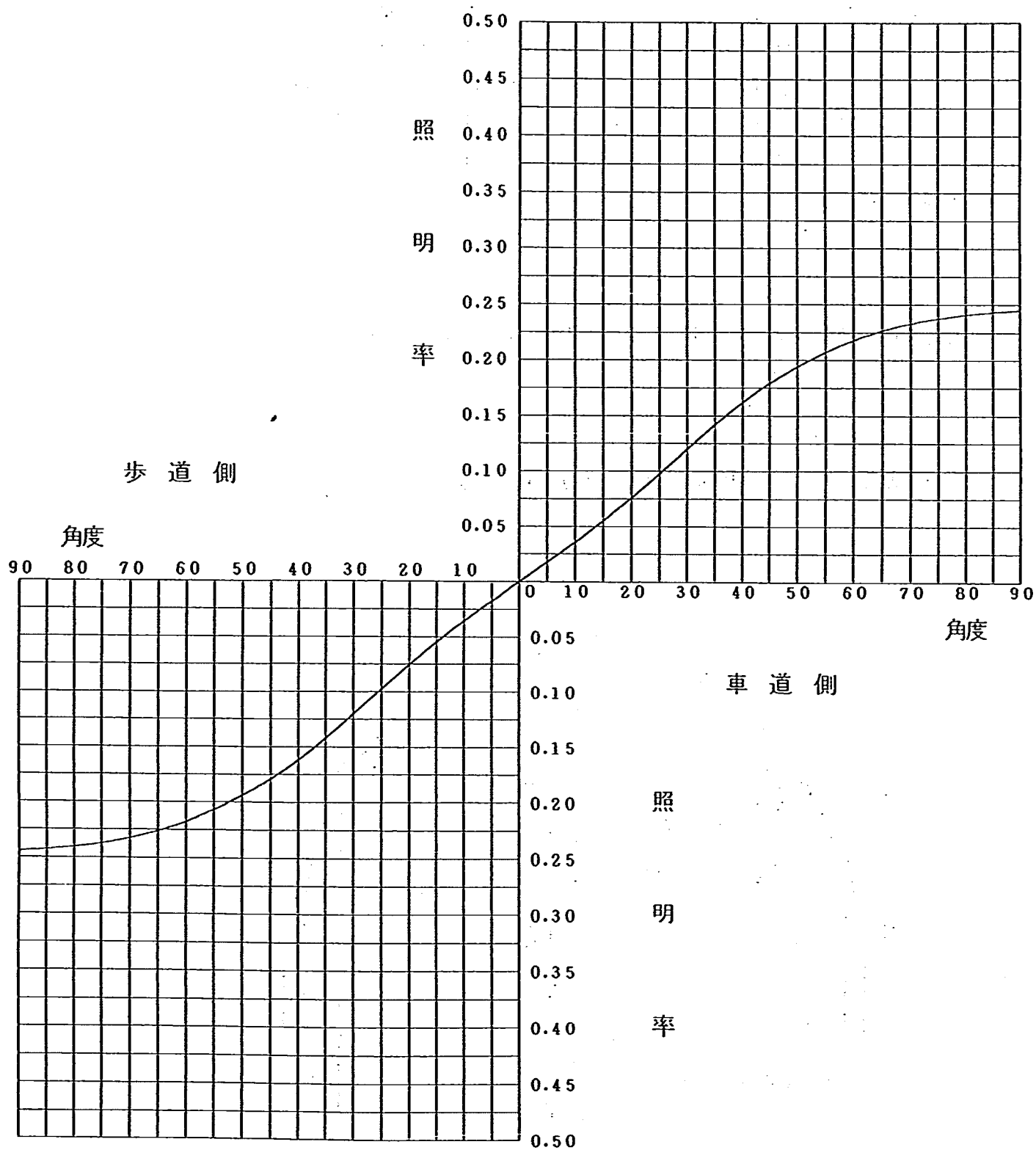


図-4.3 入口照明器具照明率曲線図（カウンタービーム照明）

2) 直射照明率の算出

(1) 基本照明器具・対称照明(ランプ: NX55) ※

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。

$$U_1 = U(90.0^\circ) - U(45.0^\circ) = 0.400 - 0.338 = 0.062$$

$$U_2 = U(-90.0^\circ) - U(-52.6^\circ) = 0.260 - 0.244 = 0.016$$

$$U_3 = U(45.0^\circ) - U(15.9^\circ) = 0.338 - 0.138 = 0.200$$

$$U_4 = U(-52.6^\circ) + U(15.9^\circ) = 0.244 + 0.138 = 0.382$$

$$U_4' = U(-42.9^\circ) + U(13.4^\circ) = 0.219 + 0.116 = 0.335$$

各部の係数

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

「設置基準・同解説」P124¹⁾より各部の係数は次の値になる。

$$A_1 = 0.170$$

$$A_2 = A_3 = 0.122$$

$$A_4 = 1.037$$

※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。

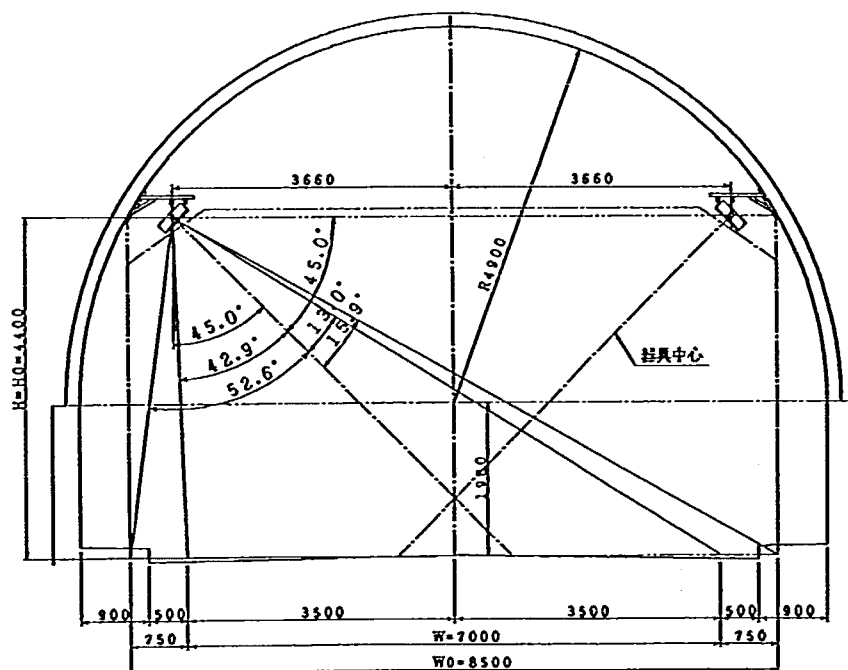


図-4.4 照明器具取付図(対称照明)

(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。

$$U_1 = U(90.0^\circ) - U(45.0^\circ) = 0.400 - 0.356 = 0.044$$

$$U_2 = U(-90.0^\circ) - U(-52.6^\circ) = 0.280 - 0.261 = 0.019$$

$$U_3 = U(45.0^\circ) - U(15.9^\circ) = 0.356 - 0.181 = 0.175$$

$$U_4 = U(-52.6^\circ) + U(15.9^\circ) = 0.261 + 0.181 = 0.442$$

$$U_4' = U(-42.9^\circ) + U(13.4^\circ) = 0.236 + 0.151 = 0.387$$

各部の係数

$$\frac{W_o}{H_o} = \frac{8.5}{4.4} = 1.93$$

「設置基準・同解説」P124より各部の係数は次の値になる。

$$A_1 = 0.170$$

$$A_2 = A_3 = 0.122$$

$$A_4 = 1.037$$

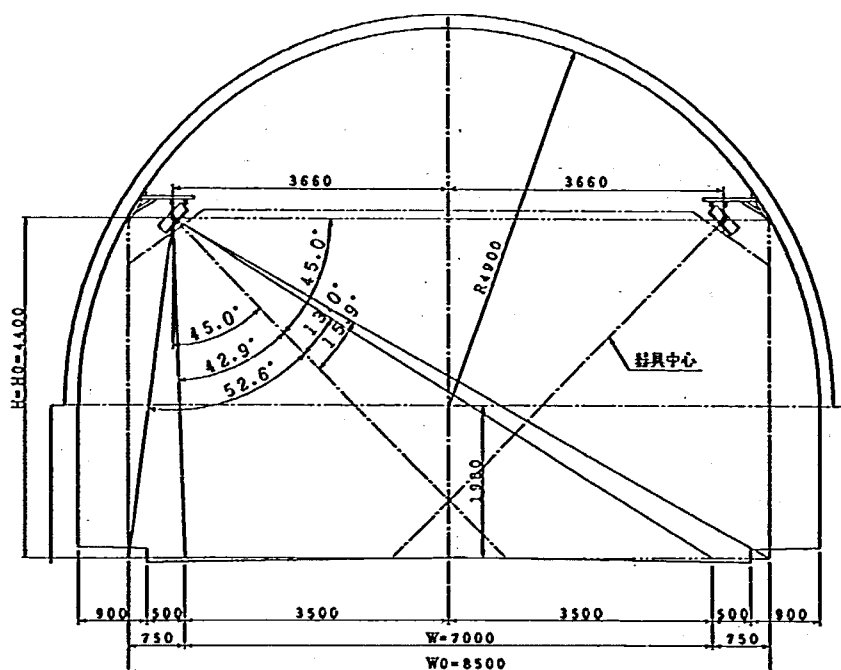


図-4.5 照明器具取付図（対称照明）

(3) 入口照明器具・カウンタービーム照明（ランプ：NHT220L, NHT180L, NHT110L）

（路肩近傍取付）

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。

$$U_1 = U(90.0^\circ) - U(90.0^\circ) = 0.243 - 0.243 = 0.000$$

$$U_2 = U(-90.0^\circ) - U(-14.3^\circ) = 0.257 - 0.059 = 0.198$$

$$U_3 = U(90.0^\circ) - U(55.9^\circ) = 0.243 - 0.209 = 0.034$$

$$U_4 = U(-14.3^\circ) + U(55.9^\circ) = 0.059 + 0.209 = 0.268$$

$$U_4' = U(-5.8^\circ) + U(53.0^\circ) = 0.024 + 0.202 = 0.226$$

各部の係数

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

「設置基準・同解説」P124¹⁾より各部の係数は次の値になる。

$$A_1 = 0.162$$

$$A_2 = A_3 = 0.117$$

$$A_4 = 1.035$$

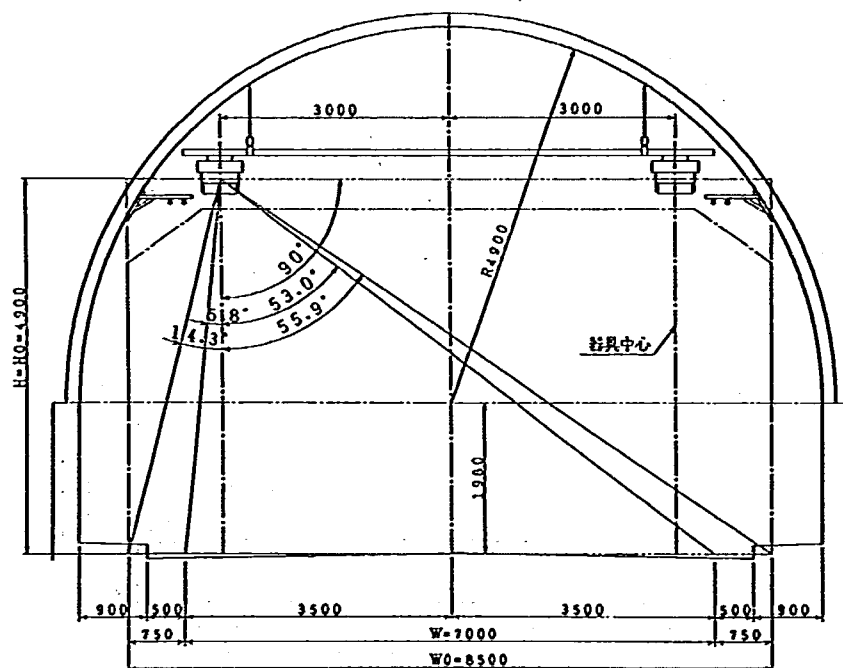


図-4.6 照明器具取付図（カウンタービーム照明・路肩近傍取付）

(4) 入口照明器具・カウンタービーム照明（ランプ：NHT220L, NHT180L, NHT110L）
（車線中央取付）

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。

$$U_1 = U(90.0^\circ) - U(90.0^\circ) = 0.243 - 0.243 = 0.000$$

$$U_2 = U(-90.0^\circ) - U(-27.0^\circ) = 0.257 - 0.112 = 0.145$$

$$U_3 = U(90.0^\circ) - U(50.8^\circ) = 0.243 - 0.197 = 0.046$$

$$U_4 = U(-27.0^\circ) + U(50.8^\circ) = 0.112 + 0.197 = 0.309$$

$$U_4' = U(-19.7^\circ) + U(47.0^\circ) = 0.082 + 0.185 = 0.267$$

各部の係数

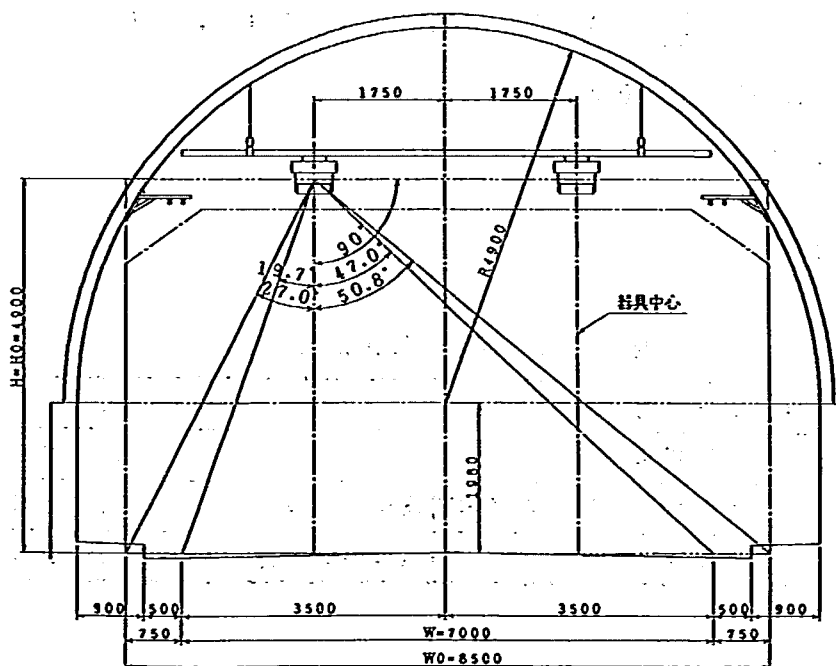
$$\frac{W_o}{H_o} = \frac{8.5}{4.9} = 1.73$$

「設置基準・同解説」P124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－4.7 照明器具取付図（カウンタービーム照明・車線中央取付）

3) 照明率の算出

各値を(4.1)式に代入して照明率を求める。

(1) 基本照明器具・対称照明

$$\begin{aligned} U &= 0.335 + \frac{7.00}{8.50} \{0.170 \times 0.062 + 0.122 (0.016 + 0.200) \\ &\quad + (1.037 - 1) 0.382 \} \\ &= \underline{0.377} \end{aligned}$$

(2) 入口照明器具・対称照明

$$\begin{aligned} U &= 0.387 + \frac{7.00}{8.50} \{0.170 \times 0.044 + 0.122 (0.019 + 0.175) \\ &\quad + (1.037 - 1) 0.442 \} \\ &= \underline{0.426} \end{aligned}$$

(3) 入口照明器具・カウンタービーム照明(路肩近傍取付)

$$\begin{aligned} U &= 0.226 + \frac{7.00}{8.50} \{0.162 \times 0.000 + 0.117 (0.197 + 0.034) \\ &\quad + (1.035 - 1) 0.268 \} \\ &= \underline{0.256} \end{aligned}$$

(4) 入口照明器具・カウンタービーム照明(車線中央取付)

$$\begin{aligned} U &= 0.267 + \frac{7.00}{8.50} \{0.162 \times 0.000 + 0.117 (0.145 + 0.046) \\ &\quad + (1.035 - 1) 0.309 \} \\ &= \underline{0.294} \end{aligned}$$

(5) 照明率のまとめ

表-4.5 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・カウンタービーム(照明路肩近傍取付)	0.256
入口照明器具・カウンタービーム(照明車線中央取付)	0.294

4) 基本照明器具間隔の算出

器具取付間隔は、光束法の次式により計算する。

$$S = \frac{F \cdot U \cdot N \cdot M}{W \cdot K \cdot L} \dots\dots\dots (4.2)$$

ここで、S : 器具取付間隔 (m)

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)

M : 保守率

W : 車道幅員 (m)

K : 平均照度換算係数 (lx / cd/m²)

L : 基準輝度 (cd/m²)

基本照明の光源には低圧ナトリウムランプ 55 W を使用して 50 % 調光して点灯。

この時の照明器具間隔は、

$$S = \frac{7600 \times 0.5 \times 0.377 \times 2 \times 0.9}{7.0 \times 13 \times 2.3} = 12.3 \text{ m}$$

照明器具間隔は取付け高さ及び均斉度を考慮して 10 m とする。

この時の路面輝度を計算すれば次のようになる。

$$L = \frac{F \times U \times N \times M}{W \times S \times K} = \frac{7600 \times 0.5 \times 0.377 \times 2 \times 0.9}{7.0 \times 10 \times 13} = 2.83 \text{ cd/m}^2$$

4.3 基本照明器具の配置

設計延長355mについて、下図のように向き合わせ配列で配置すれば使用器具台数は72台となる。

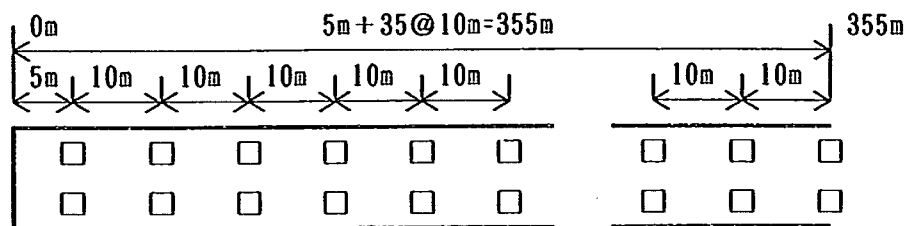


図-4.8 設計区間基本照明器具配置図

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。
(355m～695m)

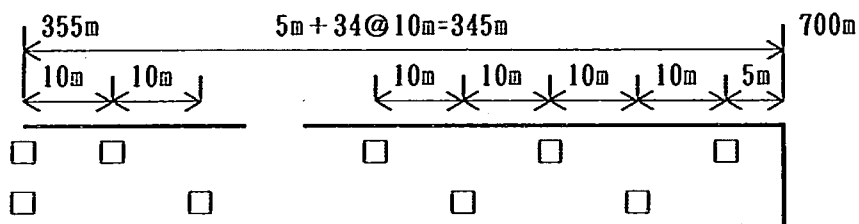


图-4.9 一般走行区間基本照明器具配置图

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35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。

4.4 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示す。 計算式は次式による。

$$L = \frac{F \cdot N \cdot U \cdot M}{W \cdot S \cdot K} + \text{基本照明実施輝度 (2.83 cd/m}^2\text{)} \dots\dots (4.3)$$

1) 対称照明

A 区間 5m ~ 55m 50m 区間 NHT220L × 30台※

$$L = \frac{26,500 \times 30 \times 0.426 \times 0.9}{7 \times 50 \times 13} + 2.83 = 69.82 \text{ cd/m}^2$$

B 区間 55m ~ 95m 40m 区間 NHT220L × 16台

$$L = \frac{26,500 \times 16 \times 0.426 \times 0.9}{7 \times 40 \times 13} + 2.83 = 47.49 \text{ cd/m}^2$$

C 区間 95m ~ 115m 20m 区間 NHT180L × 8台

$$L = \frac{19,000 \times 8 \times 0.426 \times 0.9}{7 \times 20 \times 13} + 2.83 = 34.85 \text{ cd/m}^2$$

D 区間 115m ~ 135m 20m 区間 NX55 × 12台

$$L = \frac{7,600 \times 12 \times 0.377 \times 0.9}{7 \times 20 \times 13} + 2.83 = 19.83 \text{ cd/m}^2$$

E 区間 135m ~ 155m 20m 区間 NX55 × 8台

$$L = \frac{7,600 \times 8 \times 0.377 \times 0.9}{7 \times 20 \times 13} + 2.83 = 14.16 \text{ cd/m}^2$$

F 区間 155m ~ 175m 20m 区間 NX55 × 4台

$$L = \frac{7,600 \times 4 \times 0.377 \times 0.9}{7 \times 20 \times 13} + 2.83 = 8.50 \text{ cd/m}^2$$

G 区間 175m ~ 215m 40m 区間 NX55 × 4台

$$L = \frac{7,600 \times 4 \times 0.377 \times 0.9}{7 \times 40 \times 13} + 2.83 = 5.66 \text{ cd/m}^2$$

※A 区間は配置の都合により 28 台とする。

2) カウンタービーム照明・路肩近傍取付

A区間 10m ~ 50m 40m 区間 NHT220L × 28台

$$L = \frac{26,500 \times 28 \times 0.256 \times 1.0}{7 \times 40 \times 12} + 2.83 = 59.36 \text{ cd/m}^2$$

B区間 50m ~ 90m 40m 区間 NHT220L × 24台

$$L = \frac{26,500 \times 24 \times 0.256 \times 1.0}{7 \times 40 \times 12} + 2.83 = 51.29 \text{ cd/m}^2$$

C区間 90m ~ 130m 40m 区間 NHT220L × 16台

$$L = \frac{26,500 \times 16 \times 0.256 \times 1.0}{7 \times 40 \times 12} + 2.83 = 35.13 \text{ cd/m}^2$$

D区間 130m ~ 170m 40m 区間 NHT180L × 12台

$$L = \frac{19,000 \times 12 \times 0.256 \times 1.0}{7 \times 40 \times 12} + 2.83 = 20.20 \text{ cd/m}^2$$

E区間 170m ~ 230m 60m 区間 NHT110L × 12台

$$L = \frac{10,400 \times 12 \times 0.256 \times 1.0}{7 \times 60 \times 12} + 2.83 = 9.16 \text{ cd/m}^2$$

3) カウンタービーム照明・車線中央取付

A区間 10m ~ 50m 40m 区間 NHT220L × 22台

$$L = \frac{26,500 \times 22 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 40 \times 11} + 2.83 = 58.48 \text{ cd/m}^2$$

B区間 50m ~ 90m 40m 区間 NHT220L × 18台

$$L = \frac{26,500 \times 18 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 40 \times 11} + 2.83 = 48.36 \text{ cd/m}^2$$

C区間 90m ~ 130m 40m 区間 NHT220L × 12台

$$L = \frac{26,500 \times 12 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 40 \times 11} + 2.83 = 33.18 \text{ cd/m}^2$$

D区間 130m ~ 170m 40m 区間 NHT180L × 8台

$$L = \frac{19,000 \times 8 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 40 \times 11} + 2.83 = 17.34 \text{ cd/m}^2$$

E区間 170m ~ 230m 60m 区間 NHT110L × 12台

$$L = \frac{10,400 \times 12 \times 0.294 \times 1.0}{7 \times 60 \times 11} + 2.83 = 10.77 \text{ cd/m}^2$$

4.5 照明器具使用台数

各照明パターンごとの照明器具の使用台数は以下の通りとなる。

注) 基本照明器具は、各パターンとも共通となる。

表-4.6 照明方式別照明器具算出結果

		対 称 照 明	カウンター・照明 路肩近傍取付	カウンター・照明 車線中央取付
基本照明	設計区間	NX55 × 72台 (調光)		
	一般走行区間	NX55 × 35台 (非調光)		
基本照明合計		108台		
入口照明		NHT220L × 44台	NHT220L × 68台	NHT220L × 52台
		NHT180L × 8台	NHT180L × 12台	NHT180L × 8台
		—————	NHT110L × 12台	NHT110L × 12台
		NX55 × 28台	—————	—————
入口照明合計		80台	92台	72台

表-4.7 照明方式別入口部照明器具算出結果

	対 称 照 明	カウンター・照明 路肩近傍取付	カウンター・照明 車線中央取付
A 区 間	5m ～ 55m NHT220L × 28台	10m ～ 50m NHT220L × 28台	10m ～ 50m NHT220L × 22台
B 区 間	55m ～ 95m NHT220L × 16台	50m ～ 90m NHT220L × 24台	50m ～ 90m NHT220L × 18台
C 区 間	95m ～ 115m NHT180L × 8台	90m ～ 130m NHT220L × 16台	90m ～ 130m NHT220L × 12台
D 区 間	115m ～ 135m NX55 × 12台	130m ～ 170m NHT180L × 12台	130m ～ 170m NHT180L × 8台
E 区 間	135m ～ 155m NX55 × 8台	170m ～ 230m NHT110L × 12台	170m ～ 230m NHT110L × 12台
F 区 間	155m ～ 175m NX55 × 4台	—	—
G 区 間	175m ～ 215m NX55 × 4台	—	—

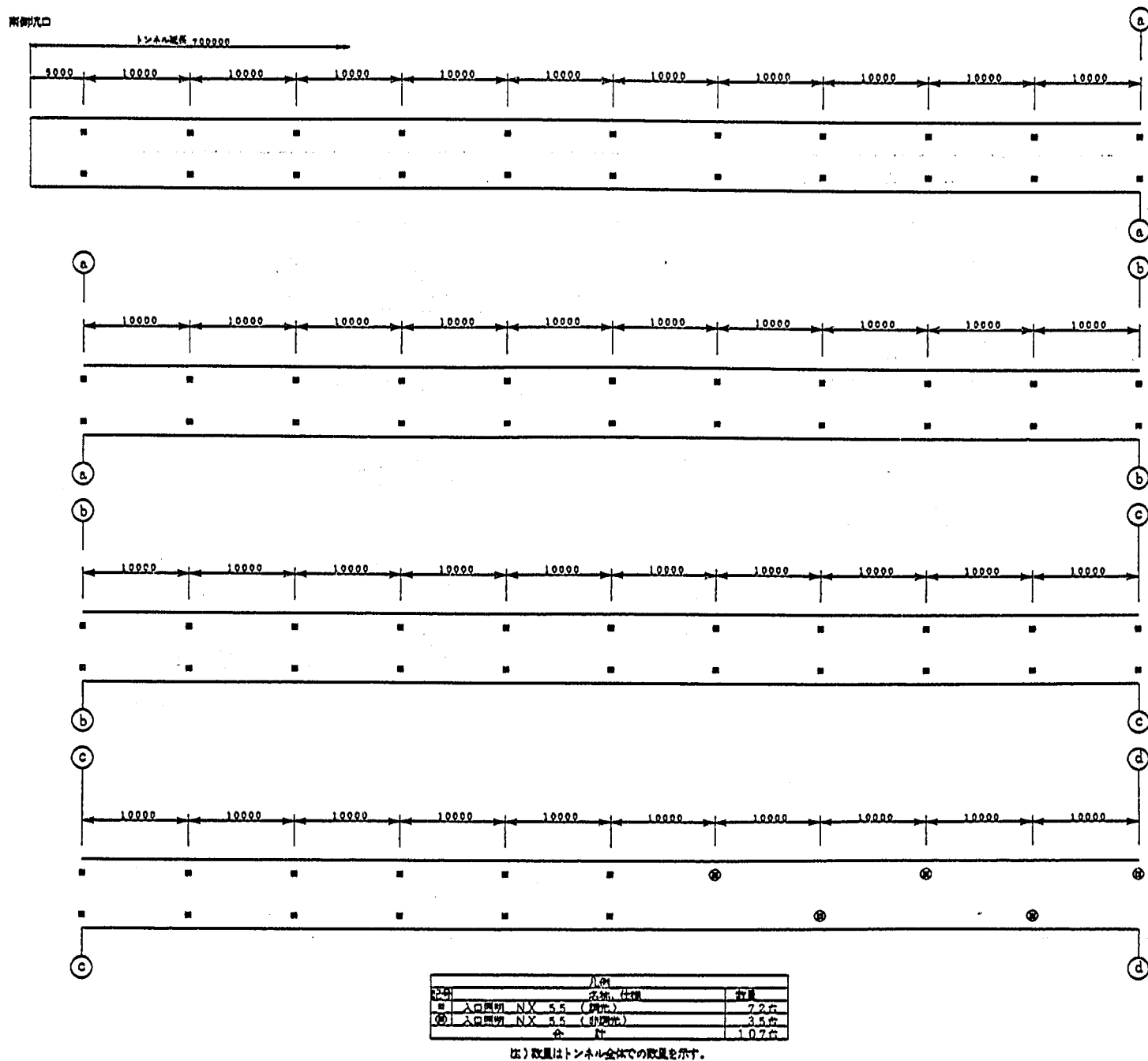


図 - 4.10 基本照明器具配置図 1

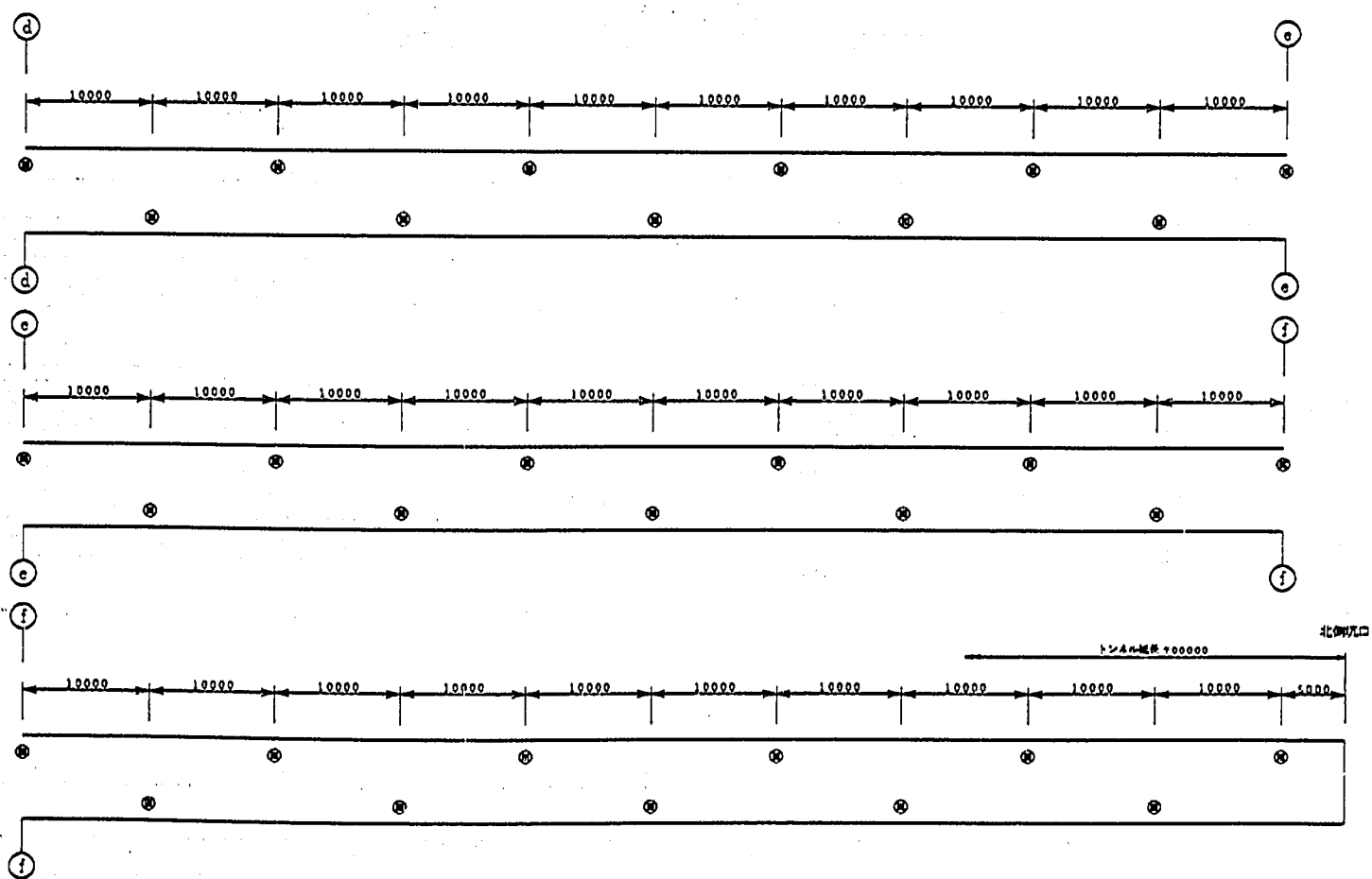


図-4.1.1 基本照明器具配置図 2

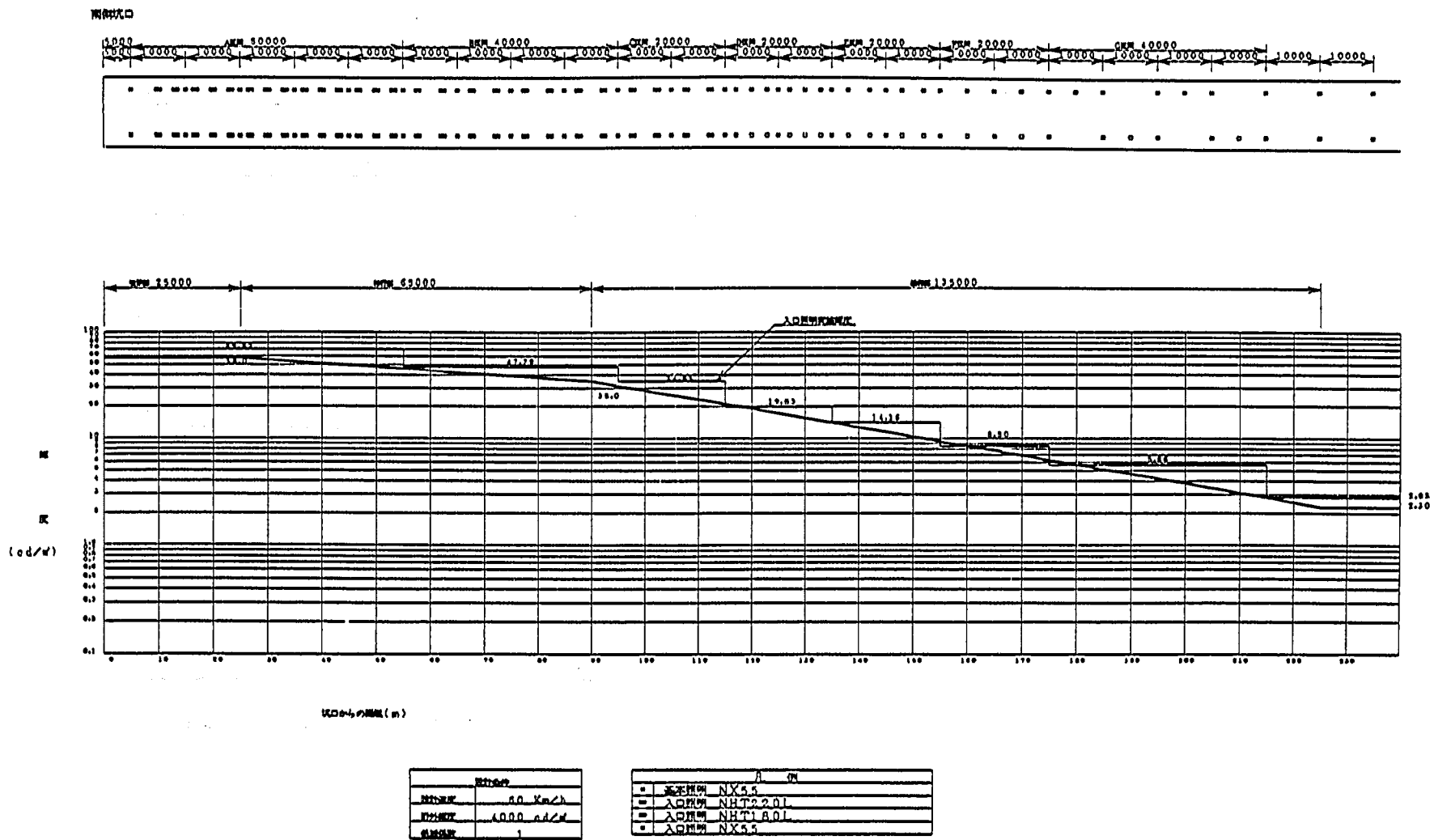


图-4.12 入口照明器具配置图(对称照明)

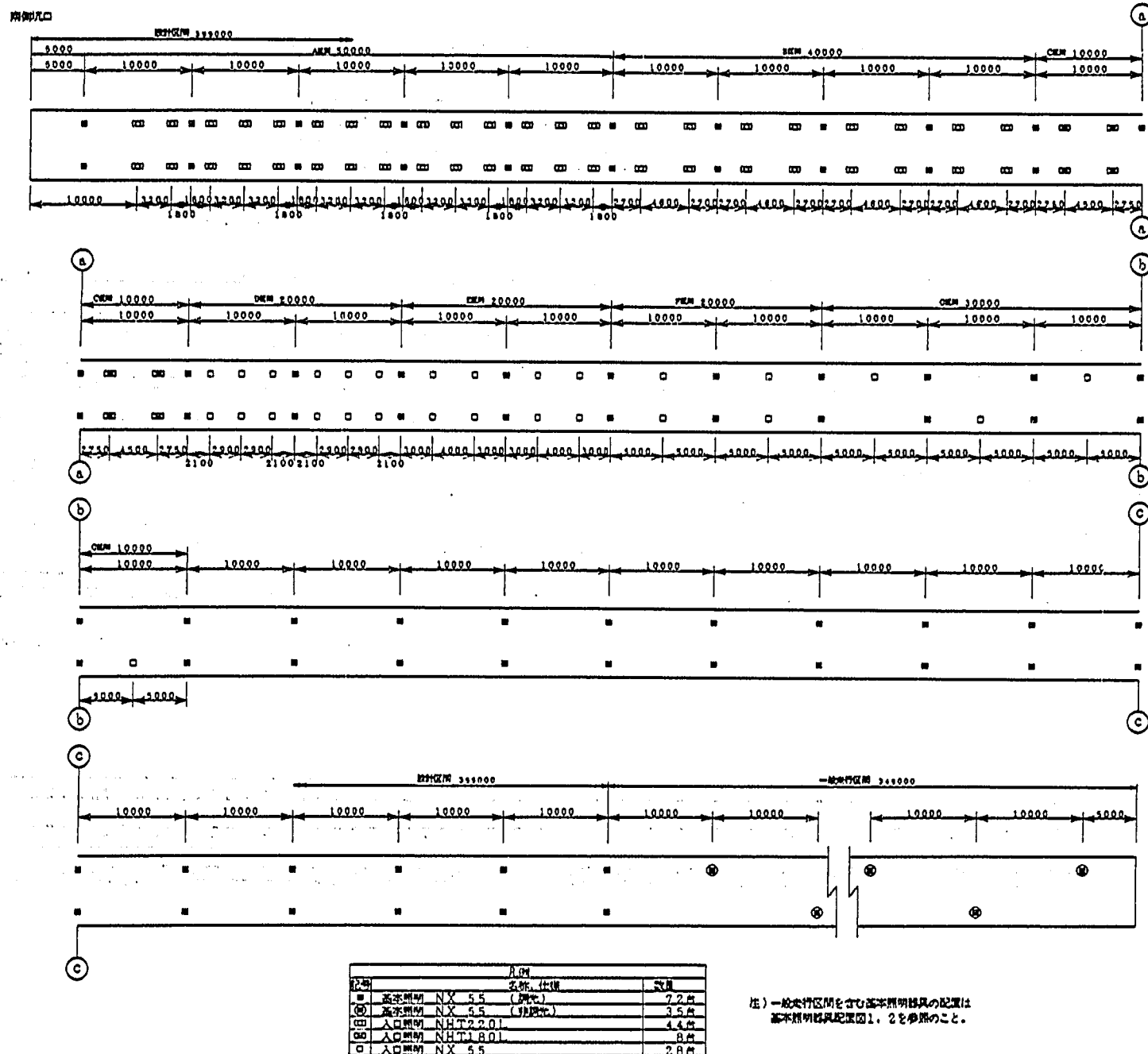


図-4.13 照明器具配置図(対称照明)

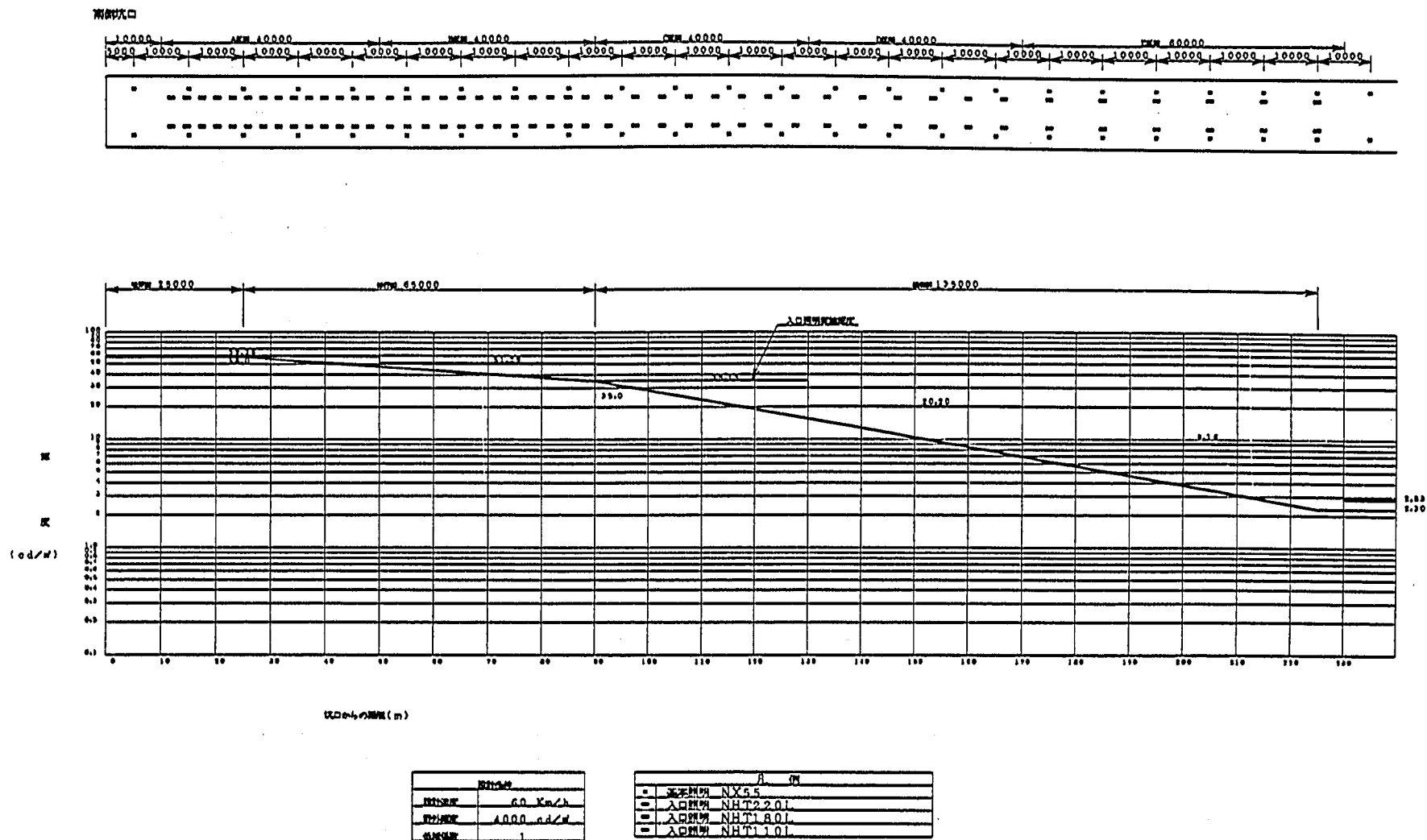


図-4.14 入口照明器具配置図（カウンタービーム照明 路肩近傍取付）

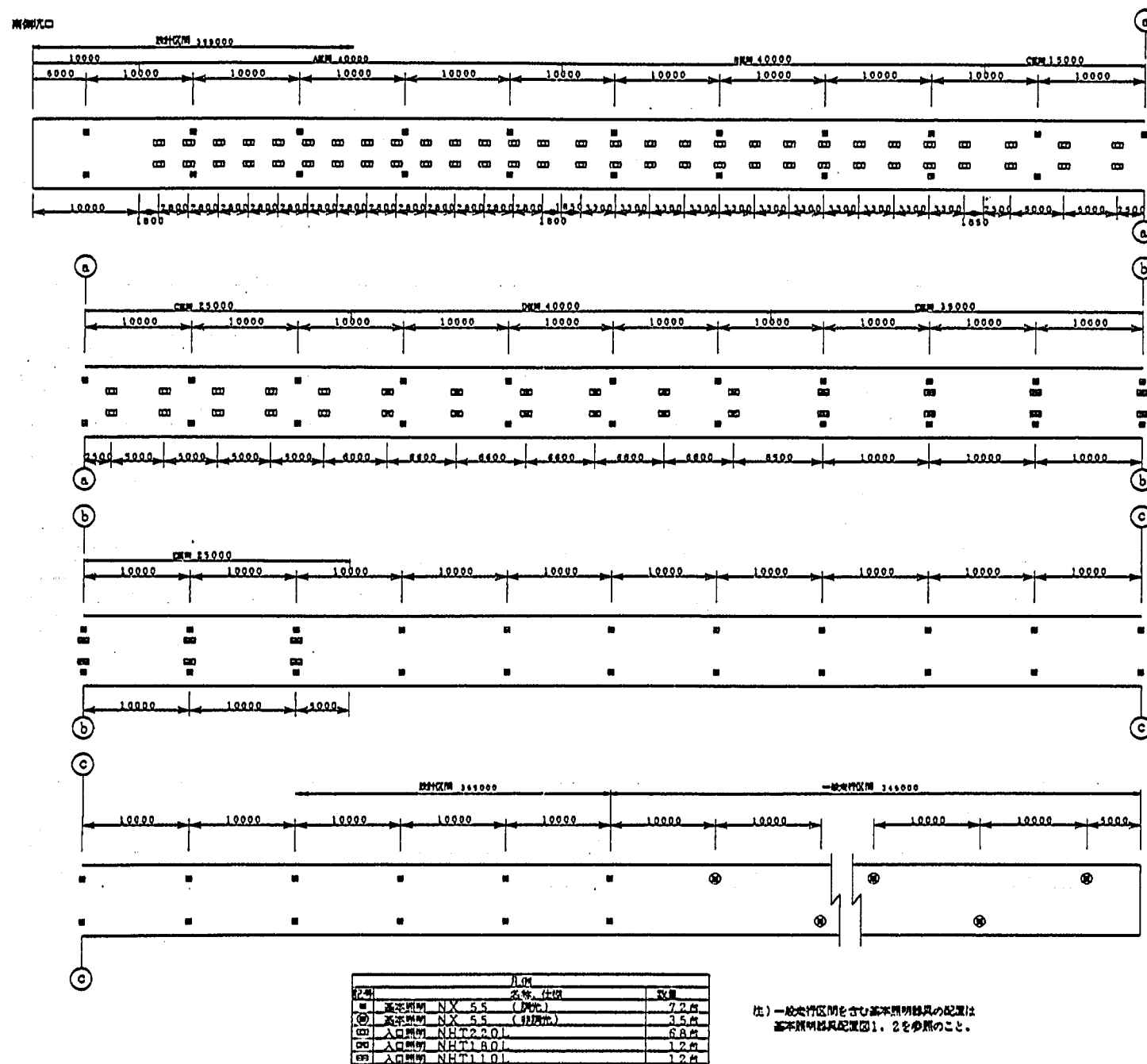


図-4.15 入口照明器具配置図(カウンタービーム照明 路肩近傍取付)

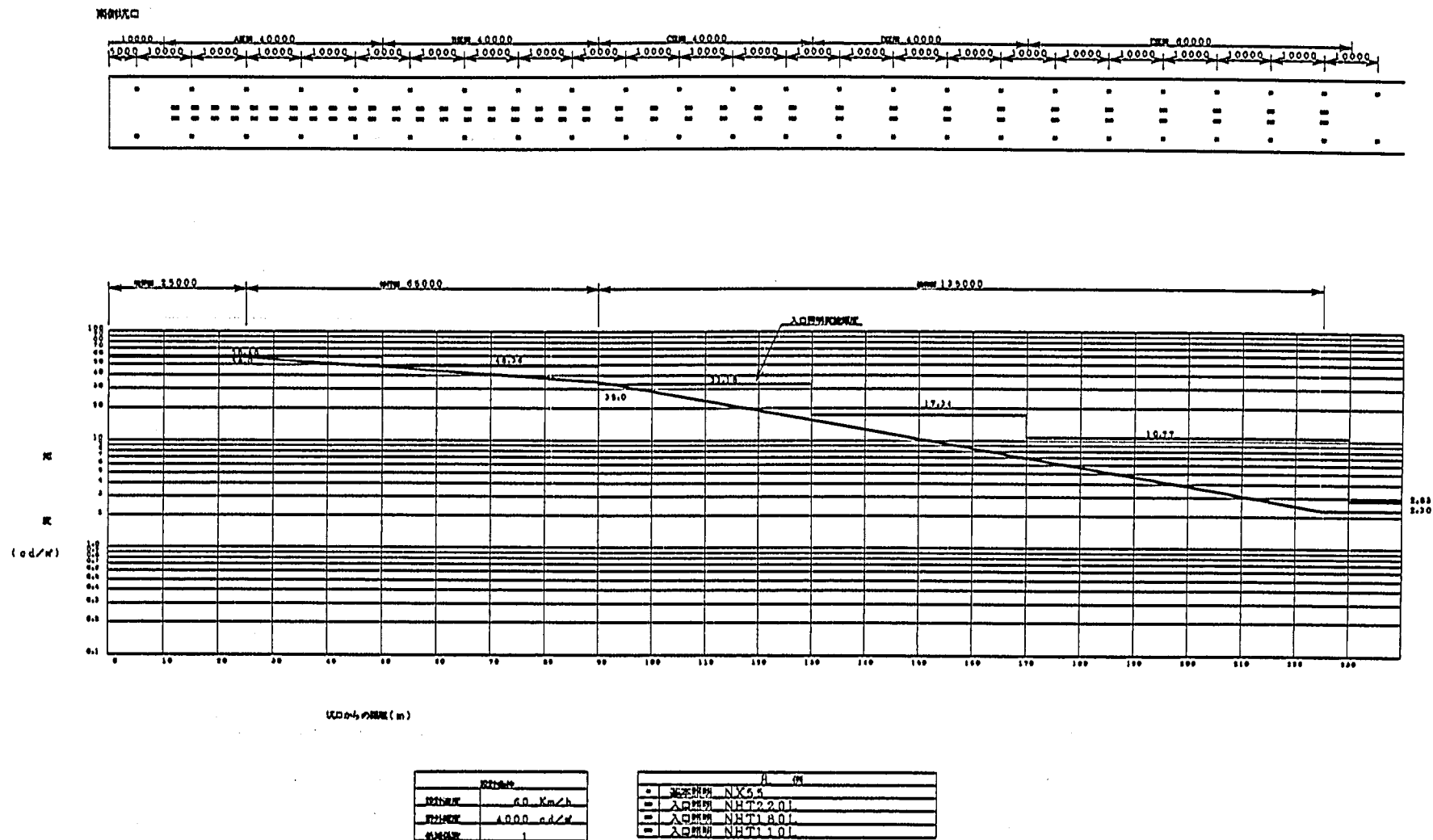


図-4.16 入口照明器具配置図 (カウンタービーム照明 車線中央取付)

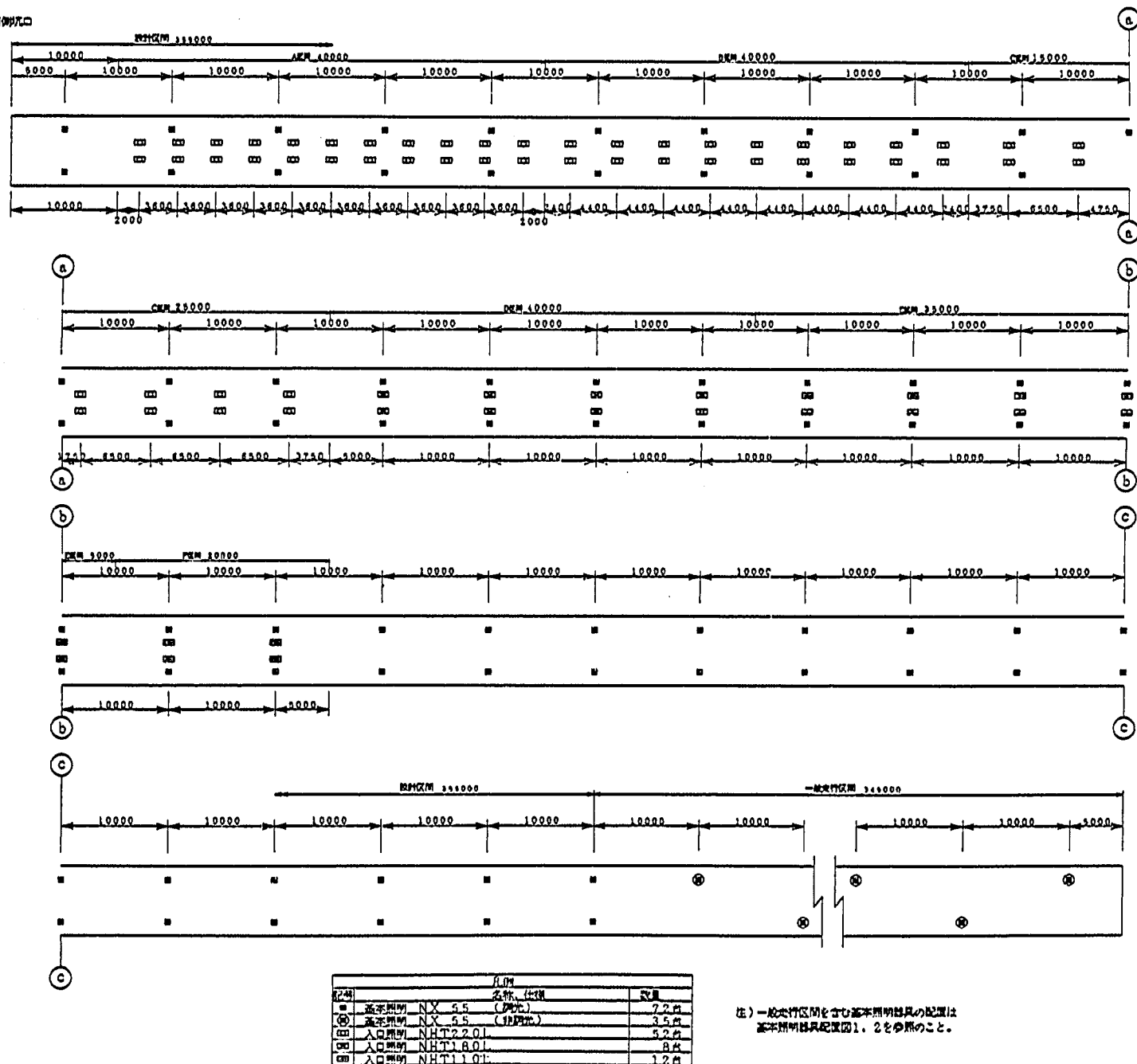


図-4.17 入口照明器具配置図(カウンタービーム照明 車線中央取付)

【参考文献】

- 1) 道路照明施設設置基準・同解説 (社)日本道路協会 昭和56年4月
- 2) トンネル照明設計指針 (財)高速道路調査会 平成2年3月
- 3) トンネル照明器材仕様書 (社)建設電気技術協会 昭和62年3月

5. 照明特性の把握

5.1 入口部照明の明るさ

1) 測定項目

測定は、下記の項目とする。

照明方式	測定の種類
カウンタービーム照明 (車線中央)	水平面照度 路面輝度
カウンタービーム照明 (路肩近傍)	水平面照度 路面輝度
対 称 照 明	水平面照度 路面輝度

測定結果より入口部照明全線における平均照度換算係数についても算出を行う。

2) 測定区間

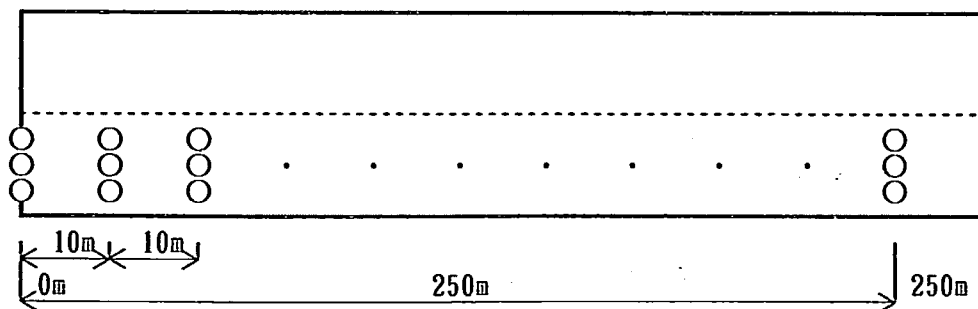
測定区間は下記のとおりとする。

水平面照度：南側坑口 0 m ～ 250 m。

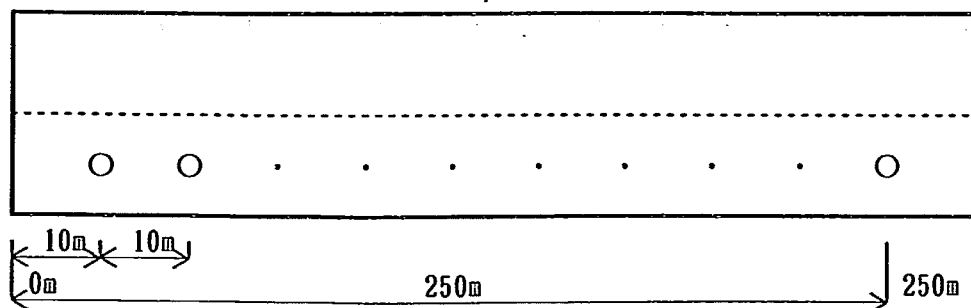
路面輝度：南側坑口 10 m ～ 250 m。

3) 測定位置

測定位置は、下図のとおりとする。



図－5.1 水平面照度測定ポイント



図－5.2 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。

測定は図-5.3のとおりとする。(輝度測定)

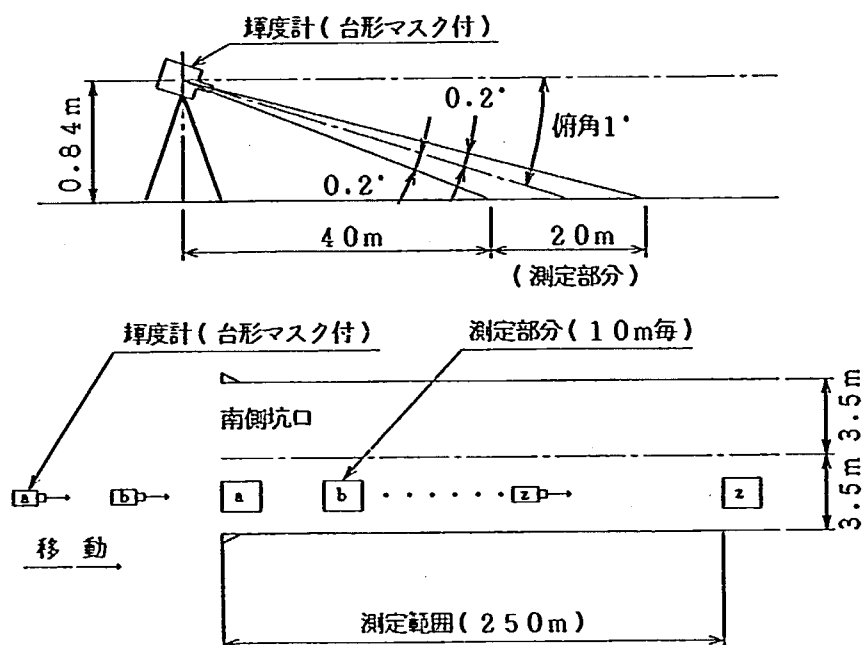


図-5.3 路面輝度測定法

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

これらの測定結果を表-5.1～表-5.7及び図-5.4～図-5.11に示す。

表-5.1 水平面照度測定結果・照明方式：カウンタービーム照明（車線中央）

単位：lx

	0 m	1 0 m	2 0 m	3 0 m	4 0 m	5 0 m	6 0 m	7 0 m	8 0 m	9 0 m
センターラインより	63.6	744.0	791.0	728.0	875.0	776.0	724.0	551.0	608.0	589.0
東側車線中央	61.3	670.0	668.0	581.0	760.0	680.0	680.0	455.0	513.0	492.0
東側車線路肩	56.4	536.0	534.0	485.0	592.0	515.0	523.0	380.0	414.0	385.0
平均照度	60.7	655.0	665.3	593.8	746.8	662.8	651.8	460.3	512.0	489.5
	1 0 0 m	1 1 0 m	1 2 0 m	1 3 0 m	1 4 0 m	1 5 0 m	1 6 0 m	1 7 0 m	1 8 0 m	1 9 0 m
センターラインより	332.0	427.0	307.0	298.0	302.0	298.0	310.0	184.0	169.0	159.5
東側車線中央	292.0	385.0	265.0	261.0	231.0	250.0	276.0	142.0	104.0	131.0
東側車線路肩	245.0	317.0	217.0	220.0	178.0	195.0	217.0	119.7	109.0	108.0
平均照度	290.3	378.5	263.5	260.0	235.5	248.3	269.8	146.9	121.5	132.4
	2 0 0 m	2 1 0 m	2 2 0 m	2 3 0 m	2 4 0 m	2 5 0 m				
センターラインより	184.0	175.0	164.0	33.1	30.6	29.2				
東側車線中央	159.0	153.0	132.5	29.1	26.4	25.0				
東側車線路肩	135.0	129.0	108.0	23.1	20.4	20.0				
平均照度	159.3	152.5	134.3	28.6	26.0	24.8				

表-5.2 水平面照度測定結果・照明方式：カウンタービーム照明（路肩近傍）

単位：lx

	0 m	1 0 m	2 0 m	3 0 m	4 0 m	5 0 m	6 0 m	7 0 m	8 0 m	9 0 m
センターラインより	71.4	597.0	680.0	747.0	705.0	713.0	682.0	681.0	681.0	499.0
東側車線中央	69.8	681.0	684.0	700.0	699.0	740.0	683.0	681.0	680.0	506.0
東側車線路肩	57.2	617.0	634.0	668.0	658.0	700.0	645.0	633.0	649.0	470.0
平均照度	67.1	644.0	670.5	703.8	690.3	723.3	673.3	669.0	672.5	495.3
	1 0 0 m	1 1 0 m	1 2 0 m	1 3 0 m	1 4 0 m	1 5 0 m	1 6 0 m	1 7 0 m	1 8 0 m	1 9 0 m
センターラインより	414.0	399.0	421.0	291.0	228.0	268.0	225.0	149.0	128.0	139.0
東側車線中央	448.0	418.0	415.0	282.0	222.0	280.0	206.0	137.0	125.0	122.0
東側車線路肩	424.0	405.0	384.0	265.0	210.0	254.0	188.0	123.0	107.0	104.0
平均照度	433.5	410.0	408.8	280.0	220.5	270.5	206.3	136.5	121.3	121.8
	2 0 0 m	2 1 0 m	2 2 0 m	2 3 0 m	2 4 0 m	2 5 0 m				
センターラインより	140.0	138.0	129.0	34.1	31.5	29.4				
東側車線中央	141.0	137.0	120.0	29.3	27.2	25.1				
東側車線路肩	132.0	123.0	108.0	24.5	21.2	19.3				
平均照度	138.5	133.8	119.3	29.3	26.8	24.7				

表-5.3 水平面照度測定結果・照明方式：対称照明

単位：lx

	0 m	1 0 m	2 0 m	3 0 m	4 0 m	5 0 m	6 0 m	7 0 m	8 0 m	9 0 m
センターラインより	65.2	784.0	1063.0	1081.0	1065.0	1036.0	787.0	710.0	727.0	746.0
東側車線中央	68.2	870.0	1093.0	1181.0	1085.0	1104.0	858.0	741.0	770.0	748.0
東側車線路肩	57.9	573.0	761.0	917.0	853.0	892.0	643.0	594.0	518.0	627.0
平均照度	64.9	774.3	1002.5	1090.0	1022.0	1034.0	786.5	696.5	696.3	717.3
	1 0 0 m	1 1 0 m	1 2 0 m	1 3 0 m	1 4 0 m	1 5 0 m	1 6 0 m	1 7 0 m	1 8 0 m	1 9 0 m
センターラインより	615.0	605.0	320.0	280.0	218.0	212.0	142.0	137.0	82.8	95.0
東側車線中央	587.0	631.0	284.0	241.0	186.0	182.0	123.0	121.0	66.6	90.6
東側車線路肩	482.0	424.0	221.0	198.0	145.0	145.0	98.8	96.5	47.3	84.0
平均照度	567.8	572.8	277.3	240.0	183.8	180.3	121.7	118.9	65.8	90.1
	2 0 0 m	2 1 0 m	2 2 0 m	2 3 0 m	2 4 0 m	2 5 0 m				
センターラインより	81.6	82.4	35.6	31.4	31.2	29.3				
東側車線中央	62.3	83.0	30.2	27.3	27.4	25.7				
東側車線路肩	42.5	59.2	22.1	21.8	21.4	19.3				
平均照度	62.2	76.9	29.5	27.0	26.9	25.0				

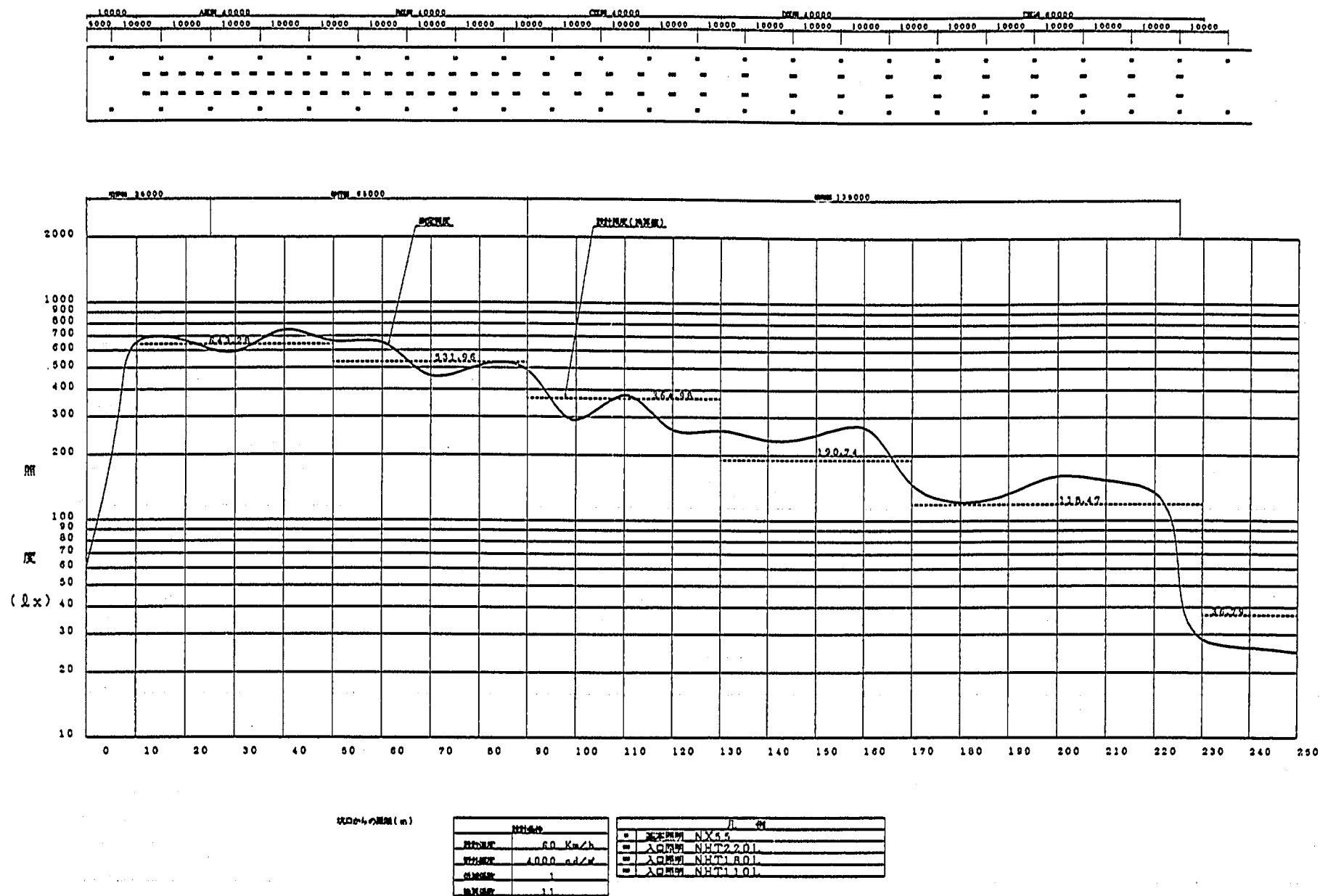
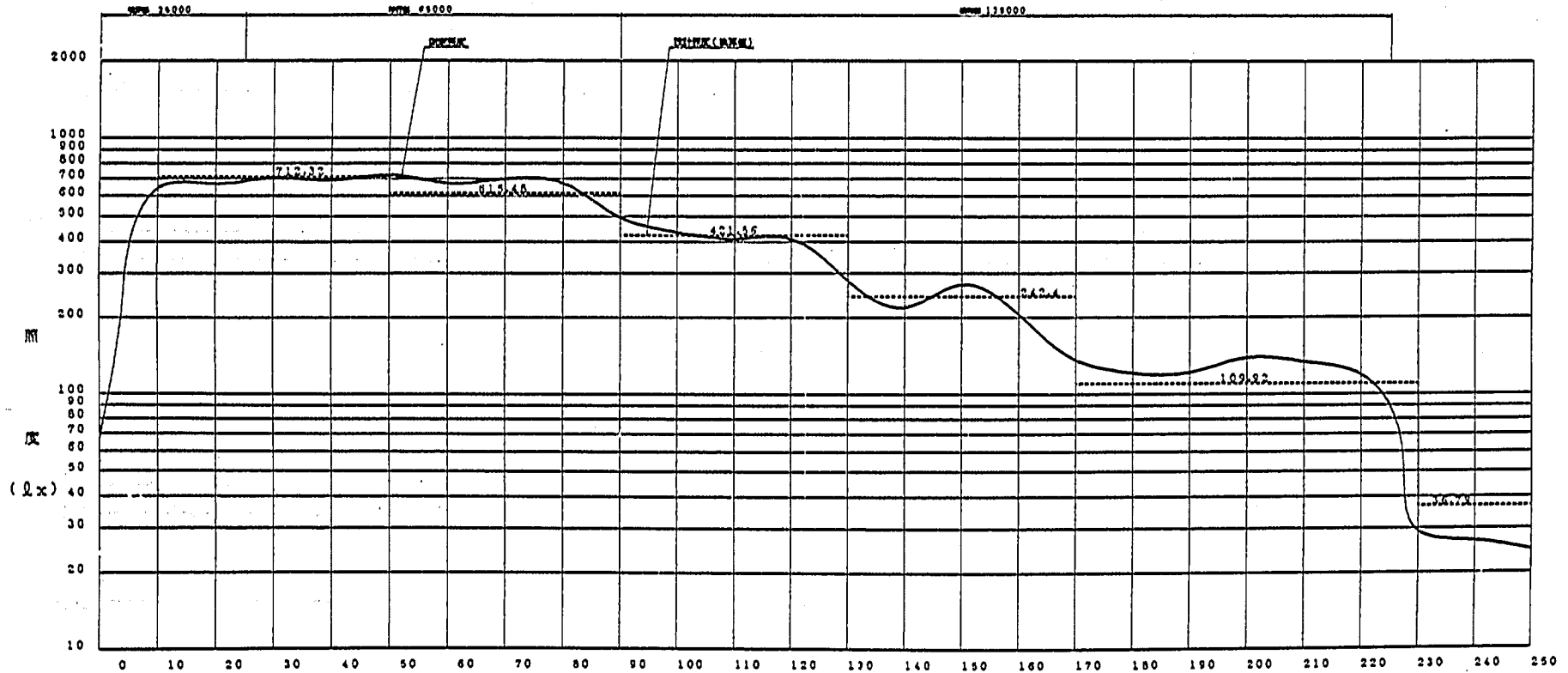
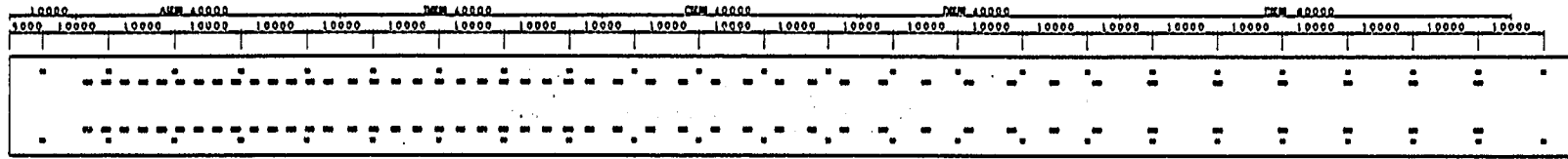


図-5.4 照度測定結果(カウンタービーム照明・車線中央取付)

南側入口



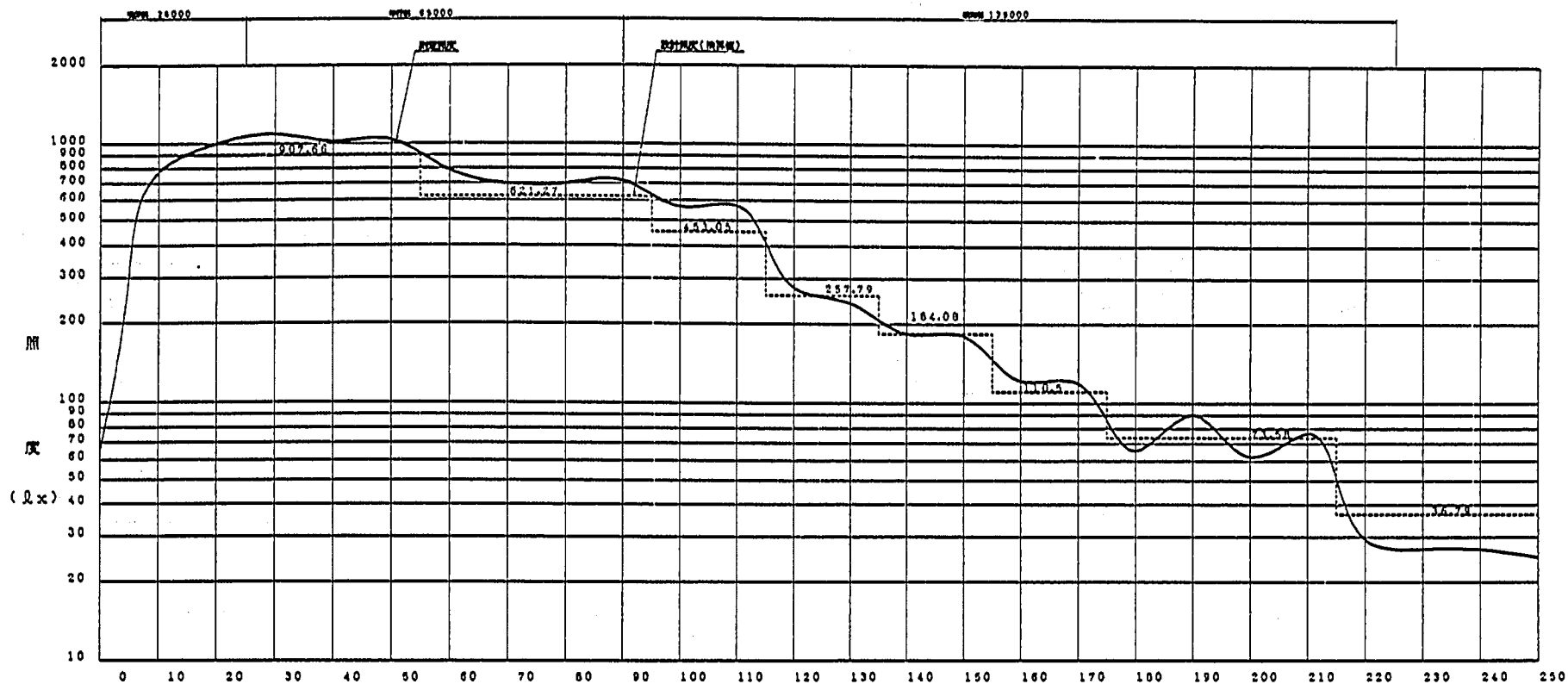
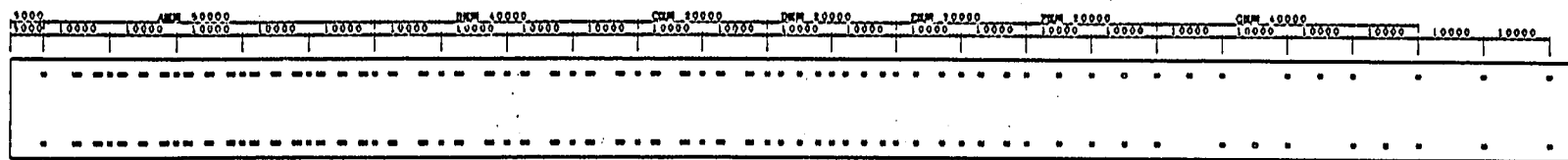
入口からの距離 (m)

測定条件	
走行速度	60 Km/h
計測高度	1.000 m
計測位置	1
計測回数	10

用 器	
光源	LED照明 NX55
受光器	NHT2201
制御器	NHT1801
受光器	NHT1101

図-5.5 照度測定結果 (カウンタービーム照明・路肩近傍取付)

南側坑口



坑口からの距離 (m)

設計条件	
設計速度	50 Km/h
設計照度	1000 cd/m ²
設置回数	1
設置間隔	1.1

凡 例	
●	基本照明 NX5.5
■	入口照明 NHT22.01
■	入口照明 NHT18.01
●	入口照明 NX5.5

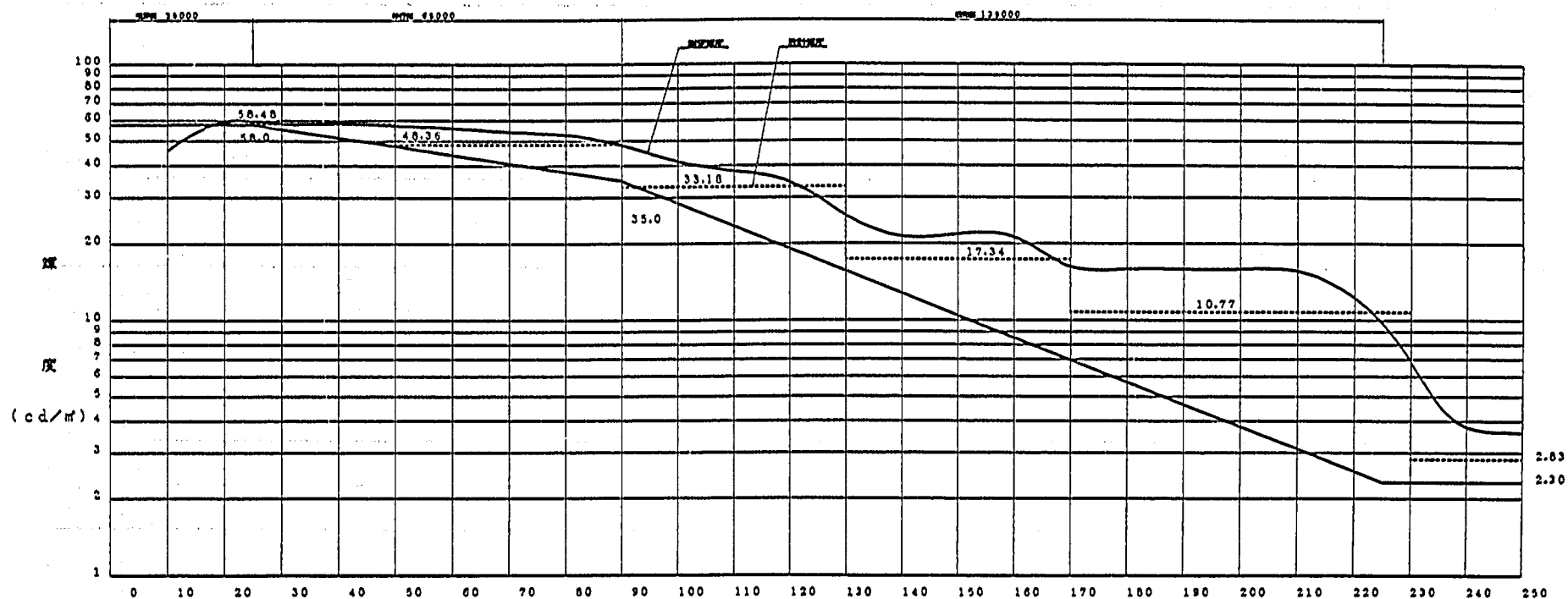
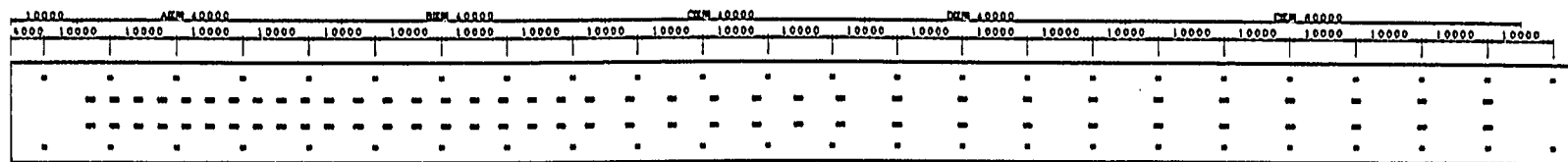
図 - 5.6 照度測定結果 (対称照明)

表-5.4 路面輝度測定結果

単位: cd/m²

カウンタースタイル照明 車線中央		0 m	1 0 m	2 0 m	3 0 m	4 0 m	5 0 m	6 0 m	7 0 m	8 0 m	9 0 m
	路面輝度	—	45.7	59.6	58.5	58.7	57.5	56.3	54.4	52.9	48.0
		1 0 0 m	1 1 0 m	1 2 0 m	1 3 0 m	1 4 0 m	1 5 0 m	1 6 0 m	1 7 0 m	1 8 0 m	1 9 0 m
	路面輝度	41.5	38.1	34.6	25.7	21.3	21.7	21.2	16.3	15.9	15.9
		2 0 0 m	2 1 0 m	2 2 0 m	2 3 0 m	2 4 0 m	2 5 0 m				
	路面輝度	15.9	15.6	12.3	6.9	3.8	3.6				
カウンタースタイル照明 路周近傍		0 m	1 0 m	2 0 m	3 0 m	4 0 m	5 0 m	6 0 m	7 0 m	8 0 m	9 0 m
	路面輝度	—	48.3	61.8	56.6	56.3	55.6	56.0	56.6	54.6	47.9
		1 0 0 m	1 1 0 m	1 2 0 m	1 3 0 m	1 4 0 m	1 5 0 m	1 6 0 m	1 7 0 m	1 8 0 m	1 9 0 m
	路面輝度	41.6	37.9	35.1	29.5	24.8	24.9	22.5	15.9	13.1	13.5
		2 0 0 m	2 1 0 m	2 2 0 m	2 3 0 m	2 4 0 m	2 5 0 m				
	路面輝度	13.3	12.6	10.1	6.0	3.1	3.0				
対称照明		0 m	1 0 m	2 0 m	3 0 m	4 0 m	5 0 m	6 0 m	7 0 m	8 0 m	9 0 m
	路面輝度	—	34.9	69.0	70.8	69.2	70.3	66.0	56.8	54.1	53.6
		1 0 0 m	1 1 0 m	1 2 0 m	1 3 0 m	1 4 0 m	1 5 0 m	1 6 0 m	1 7 0 m	1 8 0 m	1 9 0 m
	路面輝度	44.6	40.6	31.1	21.5	16.4	14.7	11.2	8.4	7.3	6.7
		2 0 0 m	2 1 0 m	2 2 0 m	2 3 0 m	2 4 0 m	2 5 0 m				
	路面輝度	6.5	5.6	4.5	3.0	2.8	2.7				

南側入口



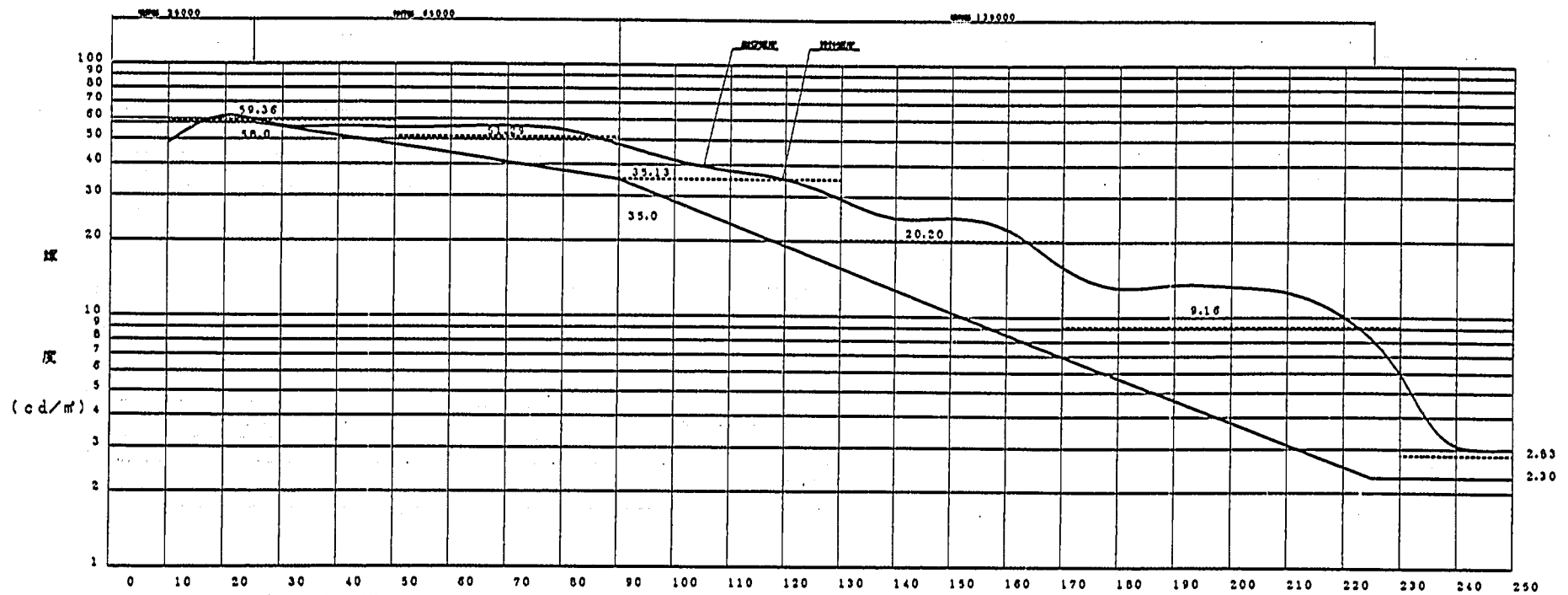
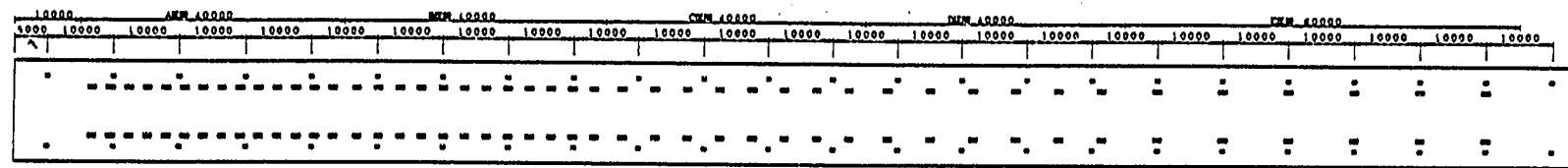
入口からの距離 (m)

設計条件	
設計速度	60 Km/h
設計照度	1.000 cd/m²
減衰係数	1

照明器具	
光源種類	NX55
入射照度	NHT2201
入射照度	NHT1801
入射照度	NHT1101

図-5.7 路面輝度測定結果(カウンタービーム照明・車線中央取付)

南側坑口



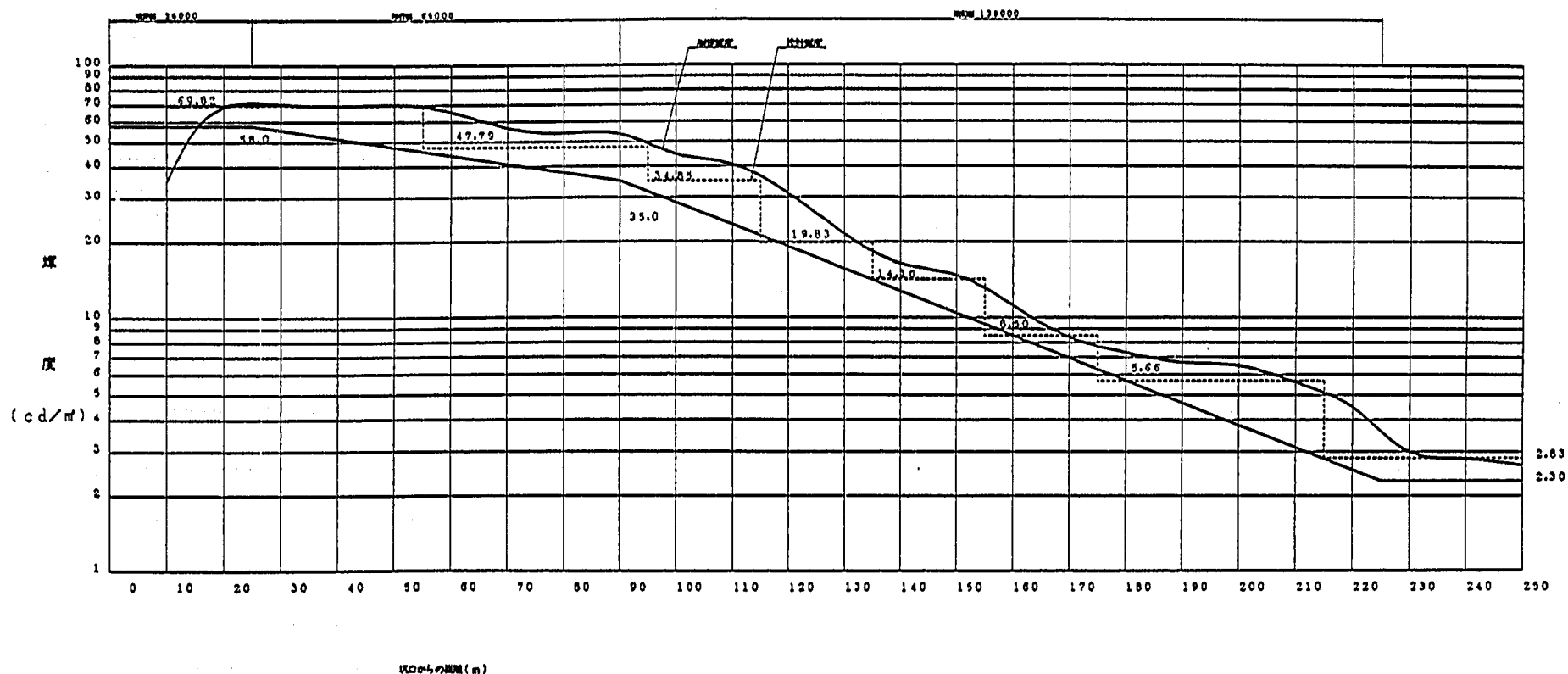
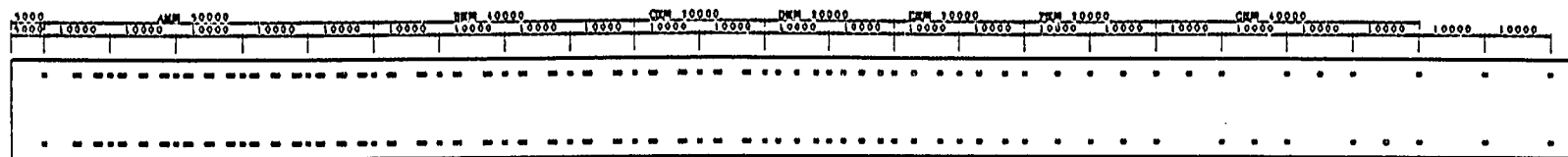
坑口からの距離 (m)

測定条件	
走行速度	60 Km/h
計測速度	1000 cd/m
計測距離	1

凡 例	
●	基本照明 NX55
○	入口照明 NHT220L
△	入口照明 NHT180L
×	入口照明 NHT110L

図-5.8 路面輝度測定結果(カウンタービーム照明・路肩近傍取付)

南側坑口



設計条件	
設計速度	80 Km/h
設計照度	1000 cd/m ²
減衰係数	1

照明器具	
・ 高圧水銀灯	NX5.5
・ 入口照明	NHT2201
・ 入口照明	NHT1801
・ 入口照明	NX5.5

図 - 5.9 路面輝度測定結果 (対称照明)

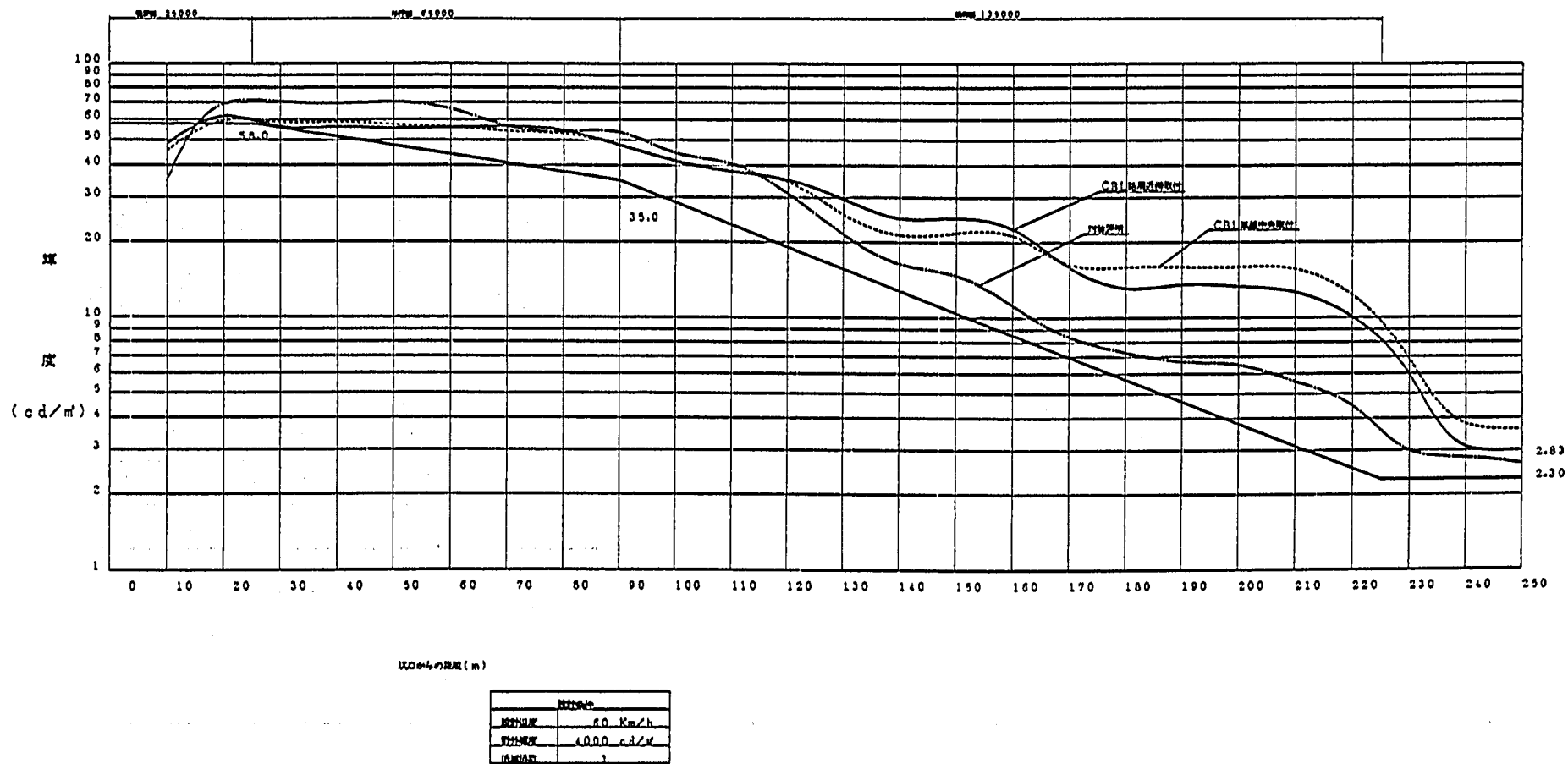


図-5.10 路面輝度測定結果（照明方式別）

表-5.5 入口部照明換算係数算出結果・照明方式：カウンタービーム照明（車線中央）

	0 m	1 0 m	2 0 m	3 0 m	4 0 m	5 0 m	6 0 m	7 0 m	8 0 m	9 0 m
水平面照度・平均	60.7	655.0	665.3	593.8	746.8	662.8	651.8	460.3	512.0	489.5
路面輝度	—	45.7	59.6	58.5	58.7	57.5	56.3	54.4	52.9	48.0
換算係数	—	14.3	11.2	10.2	12.7	11.5	11.6	8.5	9.7	10.2
	1 0 0 m	1 1 0 m	1 2 0 m	1 3 0 m	1 4 0 m	1 5 0 m	1 6 0 m	1 7 0 m	1 8 0 m	1 9 0 m
水平面照度・平均	290.3	378.5	263.5	260.0	235.5	248.3	269.8	146.9	121.5	132.4
路面輝度	41.5	38.1	34.6	25.7	21.3	21.7	21.2	16.3	15.9	15.9
換算係数	7.0	9.9	7.6	10.1	11.1	11.4	12.7	9.0	7.6	8.3
	2 0 0 m	2 1 0 m	2 2 0 m	2 3 0 m	2 4 0 m	2 5 0 m				
水平面照度・平均	159.3	152.5	134.3	28.6	20.4	20.0				
路面輝度	15.9	15.6	12.3	6.9	3.8	3.6				
換算係数	10.0	9.8	10.9	4.1	5.4	5.6				

表-5.6 入口部照明換算係数算出結果・照明方式：カウンタービーム照明（路肩近傍）

	0 m	1 0 m	2 0 m	3 0 m	4 0 m	5 0 m	6 0 m	7 0 m	8 0 m	9 0 m
水平面照度・平均	67.1	644.0	670.5	703.8	690.3	723.3	673.3	669.0	672.5	495.3
路面輝度	—	48.3	61.8	56.6	56.3	55.6	56.0	56.6	54.6	47.9
換算係数	—	13.3	10.8	12.4	12.3	13.0	12.0	11.8	12.3	10.3
	1 0 0 m	1 1 0 m	1 2 0 m	1 3 0 m	1 4 0 m	1 5 0 m	1 6 0 m	1 7 0 m	1 8 0 m	1 9 0 m
水平面照度・平均	433.5	410.0	408.8	280.0	220.5	270.5	206.3	136.5	121.3	121.8
路面輝度	41.6	37.9	35.1	29.5	24.8	24.9	22.5	15.9	13.1	13.5
換算係数	10.4	10.8	11.6	9.5	9.2	10.9	9.2	8.6	9.3	9.0
	2 0 0 m	2 1 0 m	2 2 0 m	2 3 0 m	2 4 0 m	2 5 0 m				
水平面照度・平均	138.5	133.8	119.3	29.3	26.8	24.7				
路面輝度	13.3	12.6	10.1	6.0	3.1	3.0				
換算係数	10.4	10.6	11.8	4.9	8.6	8.2				

表-5.7 入口部照明换算系数算出结果・照明方式：对称照明

	0 m	1 0 m	2 0 m	3 0 m	4 0 m	5 0 m	6 0 m	7 0 m	8 0 m	9 0 m
水平面照度・平均	64.9	774.3	1002.5	1090.0	1022.0	1034.0	786.5	696.5	696.3	717.3
路面輝度	—	34.9	69.0	70.8	69.2	70.3	66.0	56.8	54.1	53.6
换算系数	—	22.2	14.5	15.4	14.8	14.7	11.9	12.3	12.9	13.4
	1 0 0 m	1 1 0 m	1 2 0 m	1 3 0 m	1 4 0 m	1 5 0 m	1 6 0 m	1 7 0 m	1 8 0 m	1 9 0 m
水平面照度・平均	567.8	572.8	277.3	240.0	183.8	180.3	121.7	118.9	65.8	90.1
路面輝度	44.6	40.6	31.1	21.5	16.4	14.7	11.2	8.4	7.3	6.7
换算系数	12.7	14.1	8.9	11.2	11.2	12.3	10.9	14.2	9.0	13.4
	2 0 0 m	2 1 0 m	2 2 0 m	2 3 0 m	2 4 0 m	2 5 0 m				
水平面照度・平均	62.2	76.9	29.5	27.0	21.4	19.3				
路面輝度	6.5	5.6	4.5	3.0	2.8	2.7				
换算系数	9.6	13.7	6.6	9.0	7.6	7.1				

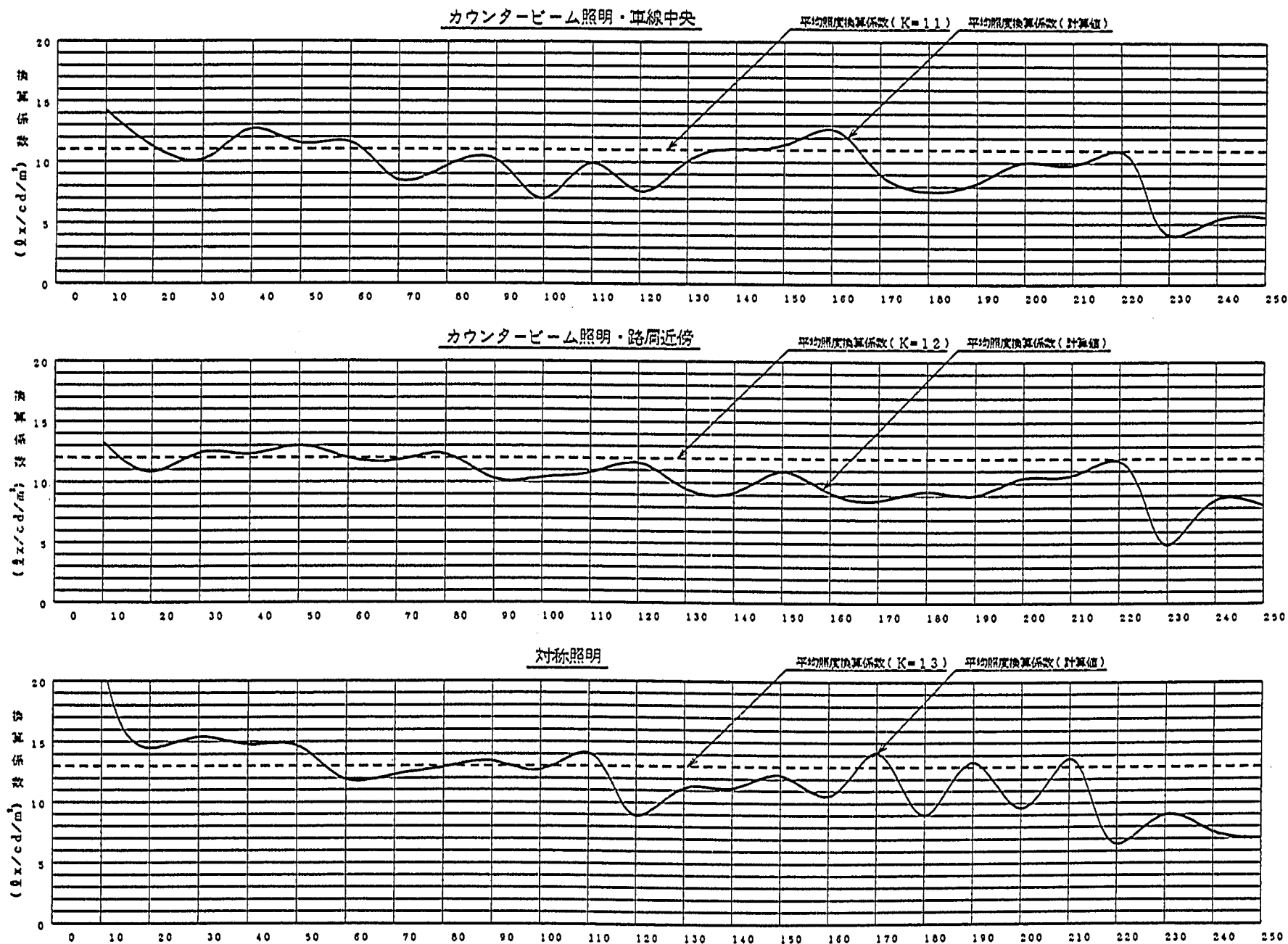


図-5.11 平均照度換算係数(照明方式別)

5.2 コントラスト係数

5.2.1 路面別測定結果

1) 測定項目

測定は、下記の項目とする。

照明方式	路面の種類	測定の種類
カウンタービーム照明 (車線中央)	コンクリート舗装	測定1～4
	半たわみ性舗装	測定1～3
	アスファルト舗装	測定1～3
カウンタービーム照明 (路肩近傍)	コンクリート舗装	測定1～4
	半たわみ性舗装	測定1～4
	アスファルト舗装	測定1～4
対 称 照 明	コンクリート舗装	測定1～3
	半たわみ性舗装	測定1～3
	アスファルト舗装	測定1～3

注1) 路面の種類でコンクリート舗装は実大トンネル実験施設の舗装路面、半たわみ舗装・アスファルト舗装は表面研磨加工したサンプル板(寸法: 90 cm×180 cm)を使用。

注2) 測定1: 鉛直面照度測定(直射光のみ) 測定2: 鉛直面照度測定(反射光含む)
測定3: 路面輝度測定(進行方向) 測定4: 路面輝度測定(逆方向)

2) 測定区間

測定区間は、下図のとおりとする。基本照明器具3灯目～4灯目(25m～35m)

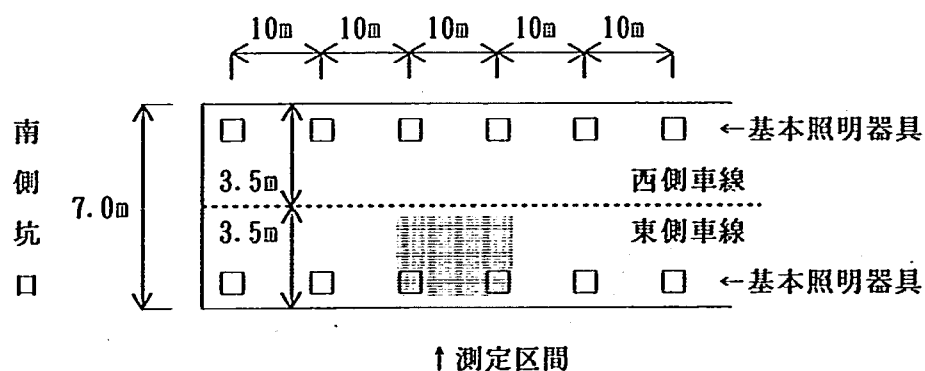
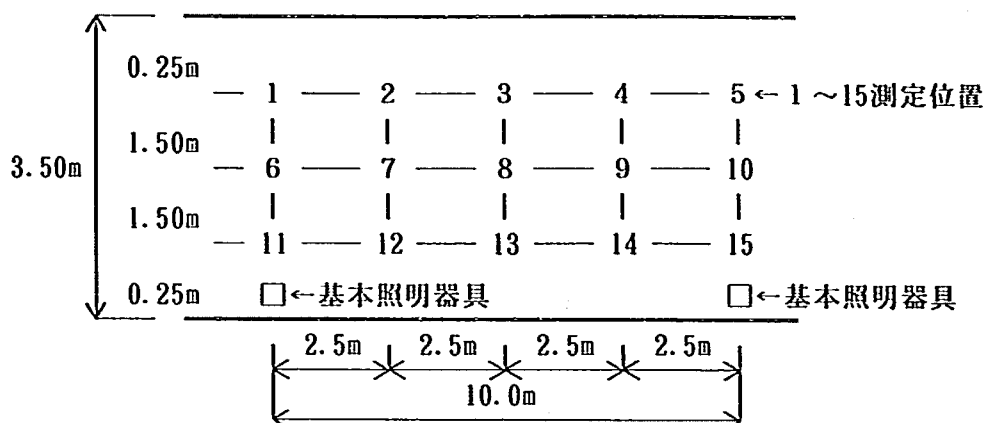


図-5.12 測定区間

3) 測定位置

測定位置は、下図のとおりとする（東側車線拡大図）



図－5.13 測定位置

測定1～4の項目は、図－5.13の位置で測定を行う。

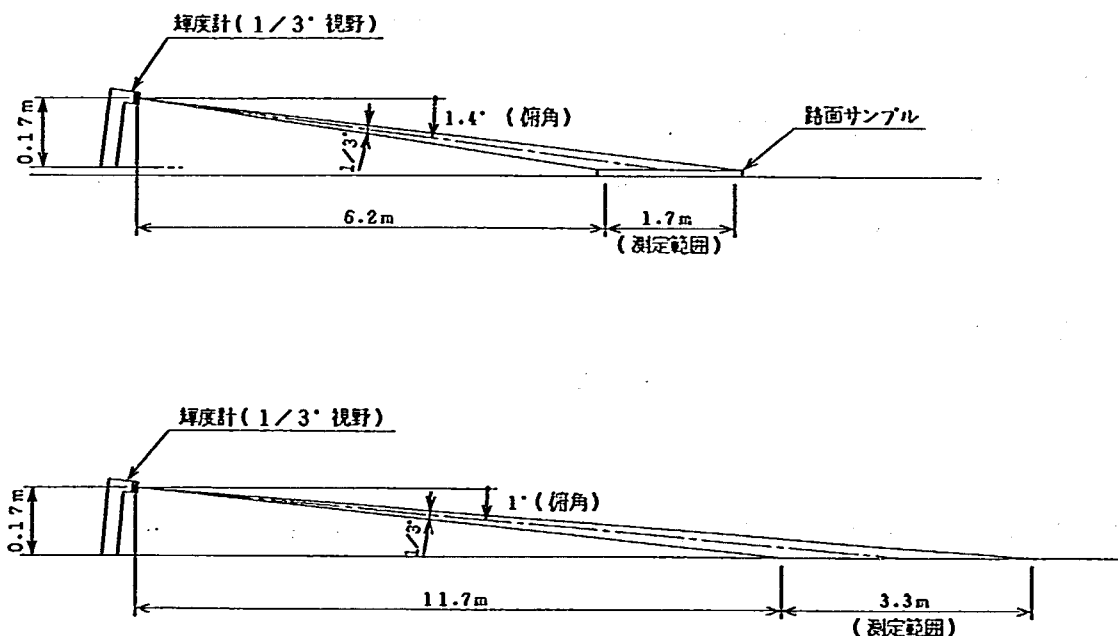
4) 測定方法

鉛直面照度測定は、直射光のみの場合と路面からの反射光を含めた場合の2条件を測定。

直射光のみの場合は、黒色無反射板を照度計受光部の前方路面に設置する。

路面輝度測定は、俯角を 1° に保ち進行方向（順方向）と逆方向（カウンター方向）の2方向について行う。

測定は図－5.14のとおりとする。（輝度測定）



図－5.14 路面輝度測定法

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：ミノルタ LS-110

6) サンプル板

サンプル板の仕様は次のとおりである。

寸法：90cm×180cm（厚さ4cm程度）

種類：半たわみ性舗装、アスファルト舗装

表-5.8 施工方法

	半たわみ性舗装	アスファルト舗装
1	混合物敷き均し	混合物敷き均し
2	ハンドガイドローラによる転圧	ハンドガイドローラによる転圧
3	ビブロプレートによる仕上げ転圧	ビブロプレートによる仕上げ転圧
4	水/ホウソウエースを45%でグラウト混合	
5	舗装体にグラウトを12ℓ/m ² 散布しビブロプレートで振動注入	

表面研磨加工

半たわみ性舗装

表面研磨加工は、研磨機に金属ブラシを取り付け研磨を行った。

アスファルト舗装

表面研磨加工は、溶剤を1ℓ/m²塗布し、1時間程度養生。

その後、研磨剤を200mg/m²散布し、研磨機に金属ブラシを取り付け研磨。

仕上げに高圧洗浄機により清掃。

7) 黒色無反射板

仕様：約100cm×70cm（N=3相等色）

8) 測定結果

これらの測定結果を表-5.9～表-5.18及び図-5.15～図-5.16に示す。

表-5.9. 路面別測定結果

照明方式：カウンタービーム照明（車線中央）				
舗装の種類：コンクリート舗装				
鉛直面照度測定結果（直射光のみ・黒色無反射板使用） 平均値 87.3 単位：lx				
① 92.5	② 98.4	③ 95.5	④ 90.2	⑤ 84.1
⑥ 85.9	⑦ 96.2	⑧ 90.0	⑨ 88.2	⑩ 81.3
⑪ 75.3	⑫ 87.9	⑬ 81.7	⑭ 83.5	⑮ 78.7
鉛直面照度測定結果（反射光含む・黒色無反射板無し） 平均値 133.5 単位：lx				
① 159.0	② 147.0	③ 129.0	④ 145.0	⑤ 140.0
⑥ 143.0	⑦ 139.0	⑧ 127.0	⑨ 139.0	⑩ 127.0
⑪ 126.0	⑫ 126.0	⑬ 114.0	⑭ 123.0	⑮ 118.0
路面輝度測定結果（進行方向 →） 平均値 56.5 単位：cd/m ²				
① 66.2	② 68.9	③ 70.5	④ 68.7	⑤ 74.6
⑥ 59.7	⑦ 59.0	⑧ 57.8	⑨ 58.1	⑩ 61.2
⑪ 36.7	⑫ 39.5	⑬ 38.6	⑭ 40.9	⑮ 48.7
路面面度測定結果（逆方向 ←） 平均値 50.2 単位：cd/m ²				
① 66.4	② 62.8	③ 61.1	④ 50.6	⑤ 47.9
⑥ 51.3	⑦ 50.3	⑧ 47.9	⑨ 52.8	⑩ 51.3
⑪ 41.2	⑫ 41.9	⑬ 41.7	⑭ 39.6	⑮ 45.6

表-5.10 路面別測定結果

照明方式：カウンタービーム照明（車線中央）				
舗装の種類：半たわみ性舗装				
鉛直面照度測定結果（直射光のみ・黒色無反射板使用） 平均値 83.3 単位：lx				
① 90.7	② 87.6	③ 86.6	④ 85.4	⑤ 79.9
⑥ 88.5	⑦ 99.1	⑧ 84.2	⑨ 81.6	⑩ 83.0
⑪ 78.0	⑫ 80.7	⑬ 75.5	⑭ 71.9	⑮ 76.5
鉛直面照度測定結果（反射光含む・黒色無反射板無し） 平均値 129.6 単位：lx				
① 161.0	② 140.6	③ 127.7	④ 143.6	⑤ 131.1
⑥ 149.0	⑦ 140.3	⑧ 116.6	⑨ 127.9	⑩ 129.7
⑪ 121.8	⑫ 116.2	⑬ 104.0	⑭ 120.2	⑮ 114.2
路面輝度測定結果（進行方向 →） 平均値 113.1 単位：cd/m ²				
① 136.8	② 122.5	③ 115.6	④ 85.7	⑤ 123.8
⑥ 139.0	⑦ 133.3	⑧ 123.0	⑨ 129.4	⑩ 132.1
⑪ 95.7	⑫ 86.9	⑬ 76.2	⑭ 83.6	⑮ 112.5
路面面度測定結果（逆方向 ←） 単位：cd/m ²				
① ———	② ———	③ ———	④ ———	⑤ ———
⑥ ———	⑦ ———	⑧ ———	⑨ ———	⑩ ———
⑪ ———	⑫ ———	⑬ ———	⑭ ———	⑮ ———

表-5.11 路面別測定結果

照明方式：カウンタービーム照明（車線中央）				
舗装の種類：アスファルト舗装				
鉛直面照度測定結果（直射光のみ・黒色無反射板使用） 平均値 82.8 単位：lx				
① 89.4	② 95.0	③ 89.2	④ 85.9	⑤ 81.6
⑥ 82.6	⑦ 87.7	⑧ 85.5	⑨ 85.5	⑩ 81.8
⑪ 68.5	⑫ 78.9	⑬ 74.2	⑭ 78.4	⑮ 77.3
鉛直面照度測定結果（反射光含む・黒色無反射板無し） 平均値 91.8 単位：lx				
① 100.6	② 107.4	③ 99.9	④ 99.2	⑤ 93.3
⑥ 93.0	⑦ 105.1	⑧ 85.5	⑨ 97.1	⑩ 89.8
⑪ 80.0	⑫ 83.5	⑬ 78.0	⑭ 81.2	⑮ 84.0
路面輝度測定結果（進行方向 →） 平均値 67.2 単位：cd/m ²				
① 83.2	② 73.4	③ 70.2	④ 77.4	⑤ 80.9
⑥ 77.1	⑦ 71.3	⑧ 67.1	⑨ 71.5	⑩ 72.6
⑪ 52.3	⑫ 51.3	⑬ 45.6	⑭ 55.7	⑮ 57.9
路面面度測定結果（逆方向 ←） 単位：cd/m ²				
① ———	② ———	③ ———	④ ———	⑤ ———
⑥ ———	⑦ ———	⑧ ———	⑨ ———	⑩ ———
⑪ ———	⑫ ———	⑬ ———	⑭ ———	⑮ ———

表-5.12 路面別測定結果

照明方式：カウンタービーム照明（路肩近傍）				
舗装の種類：コンクリート舗装				
鉛直面照度測定結果（直射光のみ・黒色無反射板使用） 平均値 107.9 単位：lx				
① 102.7	② 117.8	③ 114.9	④ 101.6	⑤ 101.6
⑥ 105.4	⑦ 119.5	⑧ 112.8	⑨ 101.6	⑩ 101.4
⑪ 108.2	⑫ 116.3	⑬ 111.1	⑭ 102.9	⑮ 100.9
鉛直面照度測定結果（反射光含む・黒色無反射板無し） 平均値 159.3 単位：lx				
① 163.0	② 177.0	③ 150.6	④ 160.0	⑤ 156.9
⑥ 154.8	⑦ 175.0	⑧ 166.5	⑨ 161.0	⑩ 151.9
⑪ 156.6	⑫ 165.0	⑬ 153.4	⑭ 147.4	⑮ 151.0
路面輝度測定結果（進行方向 →） 平均値 56.3 単位：cd/m ²				
① 54.6	② 56.0	③ 56.0	④ 58.8	⑤ 59.1
⑥ 57.7	⑦ 58.7	⑧ 57.2	⑨ 59.6	⑩ 63.9
⑪ 50.6	⑫ 50.0	⑬ 52.3	⑭ 49.5	⑮ 60.8
路面面度測定結果（逆方向 ←） 平均値 56.0 単位：cd/m ²				
① 66.1	② 66.5	③ 56.0	④ 55.7	⑤ 50.8
⑥ 58.7	⑦ 59.3	⑧ 57.8	⑨ 61.4	⑩ 61.3
⑪ 49.6	⑫ 47.6	⑬ 47.9	⑭ 48.7	⑮ 52.2

表-5.13 路面別測定結果

照明方式：カウンタービーム照明（路肩近傍）				
舗装の種類：半たわみ性舗装				
鉛直面照度測定結果（直射光のみ・黒色無反射板使用） 平均値 107.8 単位：lx				
① 104.2	② 118.2	③ 112.3	④ 103.8	⑤ 99.5
⑥ 105.2	⑦ 120.6	⑧ 111.8	⑨ 102.5	⑩ 99.7
⑪ 110.2	⑫ 116.6	⑬ 111.4	⑭ 101.7	⑮ 99.5
鉛直面照度測定結果（反射光含む・黒色無反射板無し） 平均値 161.8 単位：lx				
① 161.0	② 179.0	③ 167.0	④ 159.5	⑤ 152.0
⑥ 160.0	⑦ 179.0	⑧ 164.0	⑨ 158.9	⑩ 151.8
⑪ 161.0	⑫ 171.0	⑬ 162.0	⑭ 153.2	⑮ 147.7
路面輝度測定結果（進行方向 →） 平均値 115.8 単位：cd/m ²				
① 103.7	② 106.9	③ 106.0	④ 104.6	⑤ 103.0
⑥ 113.4	⑦ 117.8	⑧ 113.5	⑨ 113.9	⑩ 112.5
⑪ 126.1	⑫ 126.2	⑬ 125.2	⑭ 133.4	⑮ 131.1
路面面度測定結果（逆方向 ←） 平均値 62.8 単位：cd/m ²				
① 66.0	② 65.2	③ 69.3	④ 68.3	⑤ 61.3
⑥ 64.5	⑦ 63.1	⑧ 58.6	⑨ 66.7	⑩ 61.5
⑪ 54.5	⑫ 60.7	⑬ 56.8	⑭ 62.0	⑮ 63.0

表-5.14 路面別測定結果

照明方式：カウンタービーム照明（路肩近傍）				
舗装の種類：アスファルト舗装				
鉛直面照度測定結果（直射光のみ・黒色無反射板使用） 平均値 105.4 単位：lx				
① 100.7	② 115.7	③ 110.3	④ 101.1	⑤ 99.5
⑥ 106.1	⑦ 114.8	⑧ 111.0	⑨ 100.8	⑩ 98.7
⑪ 103.7	⑫ 115.5	⑬ 104.4	⑭ 100.6	⑮ 97.8
鉛直面照度測定結果（反射光含む・黒色無反射板無し） 平均値 117.0 単位：lx				
① 113.5	② 128.3	③ 122.1	④ 113.8	⑤ 111.5
⑥ 117.5	⑦ 127.8	⑧ 121.6	⑨ 113.0	⑩ 110.4
⑪ 114.6	⑫ 126.6	⑬ 114.1	⑭ 111.9	⑮ 108.6
路面輝度測定結果（進行方向 →） 平均値 69.5 単位：cd/m ²				
① 67.3	② 62.3	③ 64.5	④ 67.7	⑤ 65.2
⑥ 70.2	⑦ 70.1	⑧ 68.8	⑨ 72.9	⑩ 69.2
⑪ 74.4	⑫ 73.1	⑬ 68.8	⑭ 74.5	⑮ 73.4
路面面度測定結果（逆方向 ←） 平均値 42.4 単位：cd/m ²				
① 45.7	② 45.2	③ 45.7	④ 45.3	⑤ 42.1
⑥ 43.5	⑦ 46.4	⑧ 41.2	⑨ 42.8	⑩ 41.5
⑪ 37.7	⑫ 42.3	⑬ 39.5	⑭ 39.2	⑮ 37.5

表－ 5. 1 5 路面別測定結果

照明方式：対称照明				
舗装の種類：コンクリート舗装				
鉛直面照度測定結果（直射光のみ・黒色無反射板使用） 平均値 429.3 単位：lx				
① 446	② 452	③ 445	④ 441	⑤ 457
⑥ 440	⑦ 467	⑧ 482	⑨ 463	⑩ 469
⑪ 378	⑫ 363	⑬ 363	⑭ 374	⑮ 399
鉛直面照度測定結果（反射光含む・黒色無反射板無し） 平均値 499.0 単位：lx				
① 529	② 528	③ 500	④ 514	⑤ 539
⑥ 519	⑦ 546	⑧ 566	⑨ 532	⑩ 542
⑪ 438	⑫ 423	⑬ 417	⑭ 431	⑮ 461
路面輝度測定結果（進行方向 →） 平均値 65.4 単位：cd/m ²				
① 66.6	② 70.2	③ 64.1	④ 67.5	⑤ 69.9
⑥ 73.2	⑦ 73.6	⑧ 73.3	⑨ 68.7	⑩ 66.9
⑪ 55.4	⑫ 57.5	⑬ 55.7	⑭ 59.4	⑮ 59.0
路面面度測定結果（逆方向 ←） 単位：cd/m ²				
① ———	② ———	③ ———	④ ———	⑤ ———
⑥ ———	⑦ ———	⑧ ———	⑨ ———	⑩ ———
⑪ ———	⑫ ———	⑬ ———	⑭ ———	⑮ ———

表-5.16 路面別測定結果

照明方式：対称照明				
舗装の種類：半たわみ性舗装				
鉛直面照度測定結果（直射光のみ・黒色無反射板使用） 平均値 447.0 単位：lx				
① 455	② 477	③ 467	④ 469	⑤ 473
⑥ 462	⑦ 484	⑧ 512	⑨ 504	⑩ 498
⑪ 373	⑫ 353	⑬ 369	⑭ 383	⑮ 426
鉛直面照度測定結果（反射光含む・黒色無反射板無し） 平均値 535.6 単位：lx				
① 549	② 561	③ 555	④ 560	⑤ 560
⑥ 568	⑦ 582	⑧ 612	⑨ 601	⑩ 591
⑪ 450	⑫ 422	⑬ 454	⑭ 467	⑮ 502
路面輝度測定結果（進行方向 →） 平均値 102.0 単位：cd/m ²				
① 100.4	② 106.9	③ 105.4	④ 103.1	⑤ 102.0
⑥ 106.8	⑦ 113.2	⑧ 116.0	⑨ 112.0	⑩ 104.0
⑪ 88.1	⑫ 85.8	⑬ 92.9	⑭ 94.9	⑮ 97.8
路面面度測定結果（逆方向 ←） 単位：cd/m ²				
① ———	② ———	③ ———	④ ———	⑤ ———
⑥ ———	⑦ ———	⑧ ———	⑨ ———	⑩ ———
⑪ ———	⑫ ———	⑬ ———	⑭ ———	⑮ ———

表-5.17 路面別測定結果

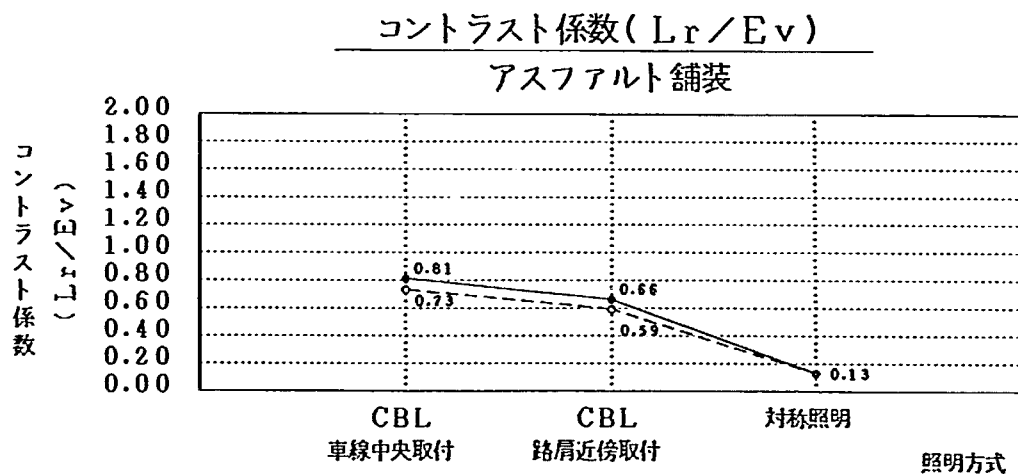
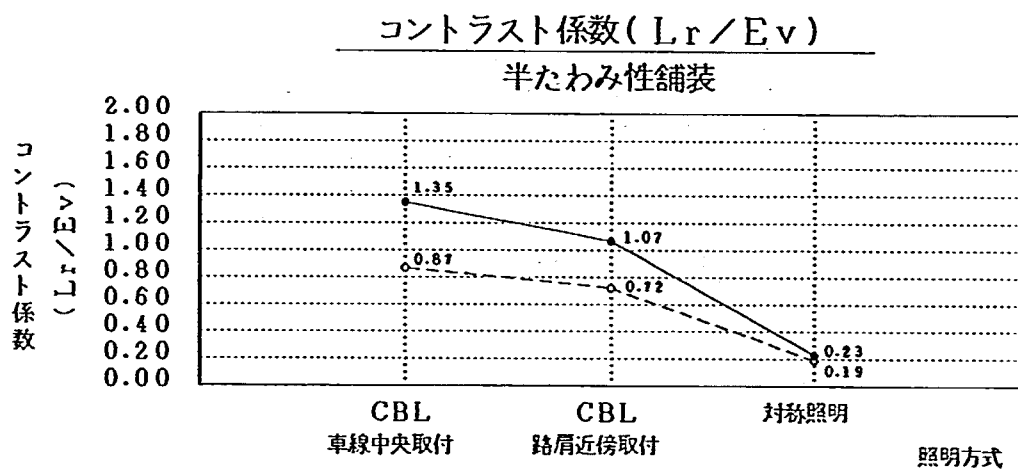
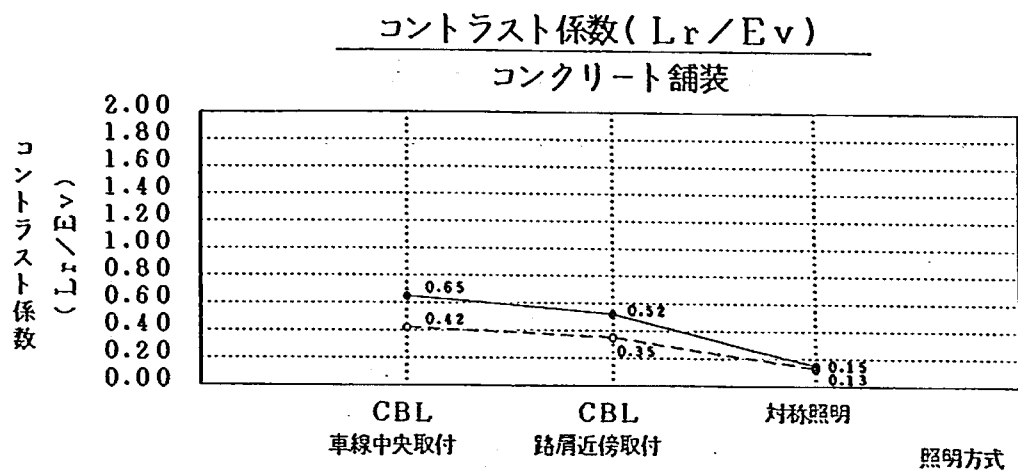
照明方式：対称照明				
舗装の種類：アスファルト舗装				
鉛直面照度測定結果（直射光のみ・黒色無反射板使用） 平均値 444.0 単位：lx				
① 462	② 460	③ 453	④ 458	⑤ 468
⑥ 466	⑦ 495	⑧ 519	⑨ 491	⑩ 495
⑪ 382	⑫ 377	⑬ 355	⑭ 382	⑮ 397
鉛直面照度測定結果（反射光含む・黒色無反射板無し） 平均値 451.9 単位：lx				
① 474	② 469	③ 462	④ 468	⑤ 473
⑥ 471	⑦ 506	⑧ 532	⑨ 502	⑩ 508
⑪ 384	⑫ 378	⑬ 367	⑭ 381	⑮ 403
路面輝度測定結果（進行方向 →） 平均値 59.7 単位：cd/m ²				
① 62.7	② 64.5	③ 60.8	④ 58.2	⑤ 56.1
⑥ 71.5	⑦ 68.9	⑧ 64.5	⑨ 63.8	⑩ 59.1
⑪ 51.6	⑫ 49.0	⑬ 54.2	⑭ 55.6	⑮ 55.2
路面面度測定結果（逆方向 ←） 単位：cd/m ²				
① ———	② ———	③ ———	④ ———	⑤ ———
⑥ ———	⑦ ———	⑧ ———	⑨ ———	⑩ ———
⑪ ———	⑫ ———	⑬ ———	⑭ ———	⑮ ———

表-5.18 路面別測定結果まとめ

項目		路面	コンクリート舗装	半たわみ性舗装	アスファルト舗装
カウンタ車 1線 ビ中 1央 ム 照明	鉛直面照度	Ev■	87.3	83.3	82.8
	鉛直面照度	Ev□	133.5	129.6	91.8
	路面輝度	Lr→	56.5	113.1	67.2
	路面輝度	Lr←	50.2	—	—
	コントラスト係数	Lr→/Ev■	0.65	1.35	0.81
	コントラスト係数	Lr→/Ev□	0.42	0.87	0.73
カウンタ路 1肩 ビ近 1傍 ム 照明	鉛直面照度	Ev■	107.9	107.8	105.4
	鉛直面照度	Ev□	159.3	161.8	117.0
	路面輝度	Lr→	56.3	115.8	69.5
	路面輝度	Lr←	56.0	62.8	42.4
	コントラスト係数	Lr→/Ev■	0.52	1.07	0.66
	コントラスト係数	Lr→/Ev□	0.35	0.72	0.59
対 称 照 明	鉛直面照度	Ev■	429.3	447.0	444.0
	鉛直面照度	Ev□	499.0	535.6	451.9
	路面輝度	Lr→	65.4	102.0	59.7
	路面輝度	Lr←	—	—	—
	コントラスト係数	Lr→/Ev■	0.15	0.23	0.13
	コントラスト係数	Lr→/Ev□	0.13	0.19	0.13

注) Ev■: 鉛直面照度(直射光のみ・板有り)、Ev□: 鉛直面照度(反射光含む・板無し)

Lr→: 路面輝度(進行方向)、Lr←: 路面輝度(逆方向)



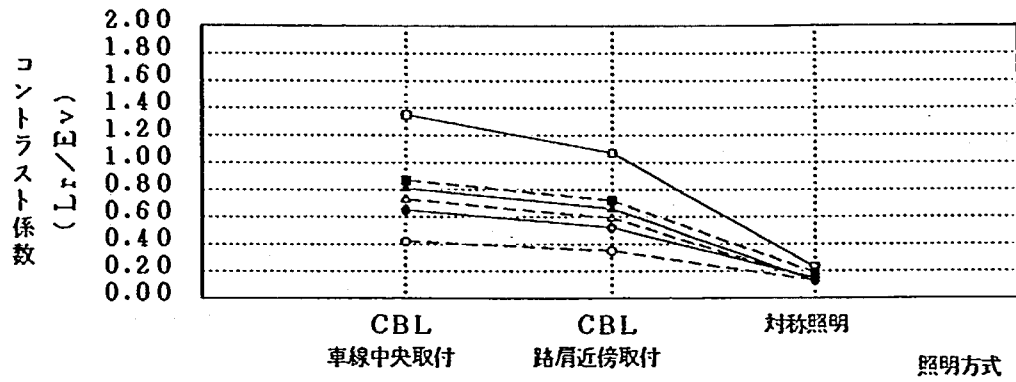
注1) 路面輝度 (L_r) は進行方向の測定値を用いた。

注2) ●—● : L_r/E_v (直射光のみ)

○---○ : L_r/E_v (反射光含む)

図-5.15 コントラスト係数算出結果

コントラスト係数 (L_r/E_v)



注1) 路面輝度 (L_r) は進行方向の測定値を用いた。

注2) ●——● : L_r/E_v (直射光のみ) ・コンクリート舗装
 ○——○ : L_r/E_v (反射光含む) ・コンクリート舗装
 ■——■ : L_r/E_v (直射光のみ) ・半たわみ性舗装
 □——□ : L_r/E_v (反射光含む) ・半たわみ性舗装
 ▲——▲ : L_r/E_v (直射光のみ) ・アスファルト舗装
 △——△ : L_r/E_v (反射光含む) ・アスファルト舗装

図-5.16 コントラスト係数まとめ

5.2.2 測定方式別測定結果

1) 測定項目

コントラスト係数の測定方式は、C I E方式とスイス方式の2種類が存在する。

この2種類の方式の違いを確認するため、2方式で測定を行う。基本照明の影響を考慮して基本照明のON/OFFの2条件についても測定を行う。

測定は、下記の項目とする。なお、照明方式はC B L（車線中央）、路面はコンクリート舗装とする。

測定方式	基本照明	測定の種類
C I E	O N	路面輝度
		鉛直面照度
	O F F	路面輝度
		鉛直面照度
ス イ ス	O N	路面輝度
		鉛直面照度
	O F F	路面輝度
		鉛直面照度

2) 測定区間

測定区間は、下記のとおりとする。

C I E方式：南側坑口より、185m～195mの10m区間。

スイス方式：南側坑口より、175m～205mの30m区間。

3) 測定位置

測定位置は、図-5.17～図-5.18のとおりとする（東側車線拡大図）

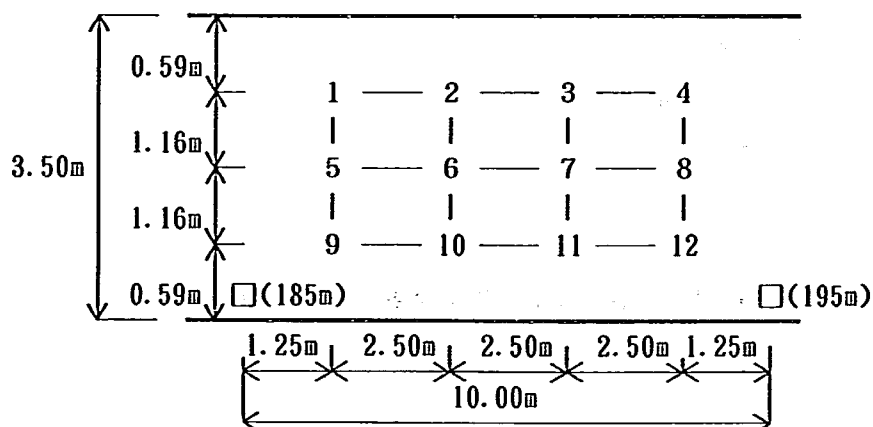
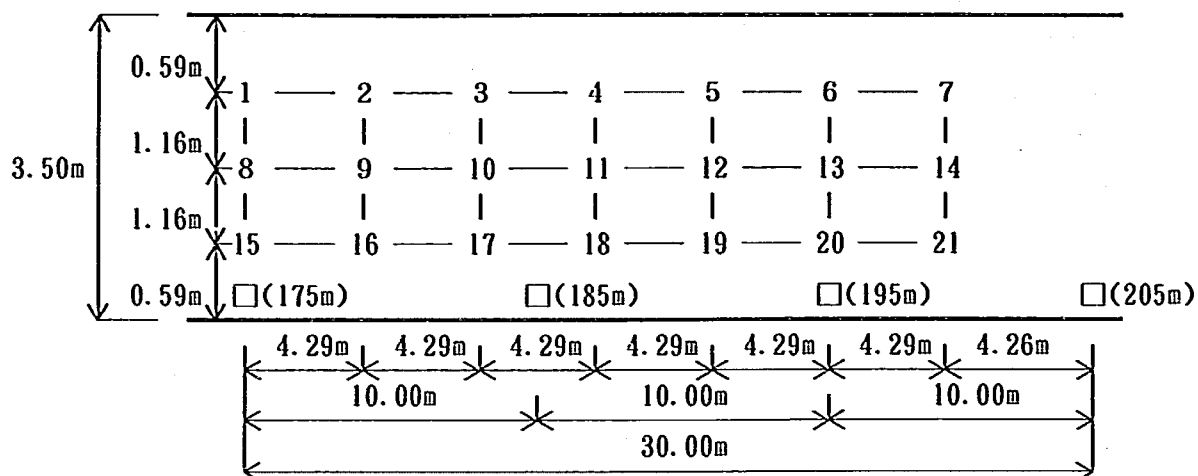


図-5.17 C I E方式測定法



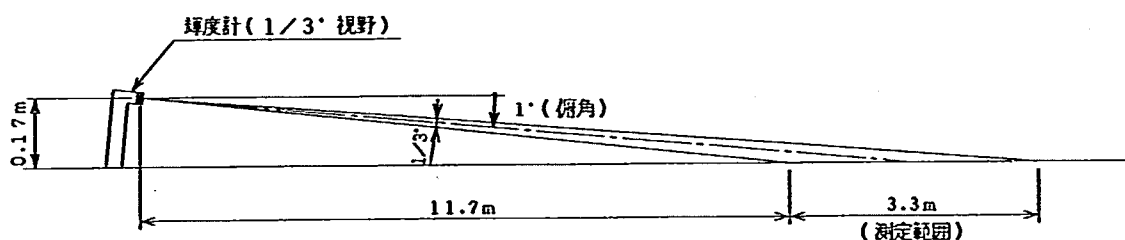
図－5.18 スイス方式測定法

4) 測定方法

鉛直面照度測定は、路面からの反射光を含めた場合の測定を行う。

路面輝度測定は、俯角を 1° に保ち進行方向（順方向）について行う。

測定は図－5.19のとおりとする。（輝度測定）



図－5.19 路面輝度測定法

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：ミノルタ LS-110

6) 測定結果

これらの測定結果を図－5.20～図－5.23及び表－5.19に示す。

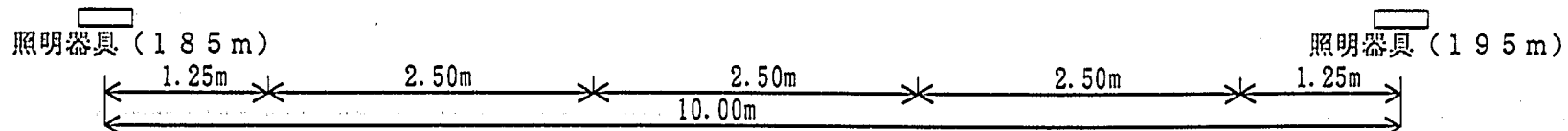
CIE方式

測定区間（185m～195m） 測定位置（東側車線） 基本照明：点灯時

鉛直面照度測定結果（平均値：43.3lx）

単位：lx

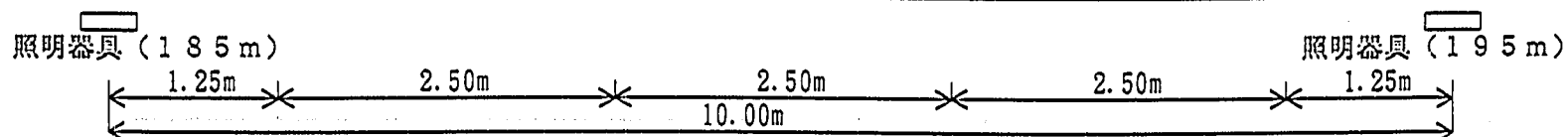
47.2	52.6	42.6	44.1	0.59m
46.7	47.9	39.5	42.5	1.16m
41.2	41.6	36.9	36.4	1.16m
				0.59m



路面輝度測定結果（平均値：14.8cd/m²）

単位：cd/m²

16.3	17.3	15.9	15.1	0.59m
15.4	16.1	15.3	14.4	1.16m
12.4	12.9	13.0	13.3	1.16m
				0.59m



備考： 照明器具取付：カウンタービーム照明（車線中央）

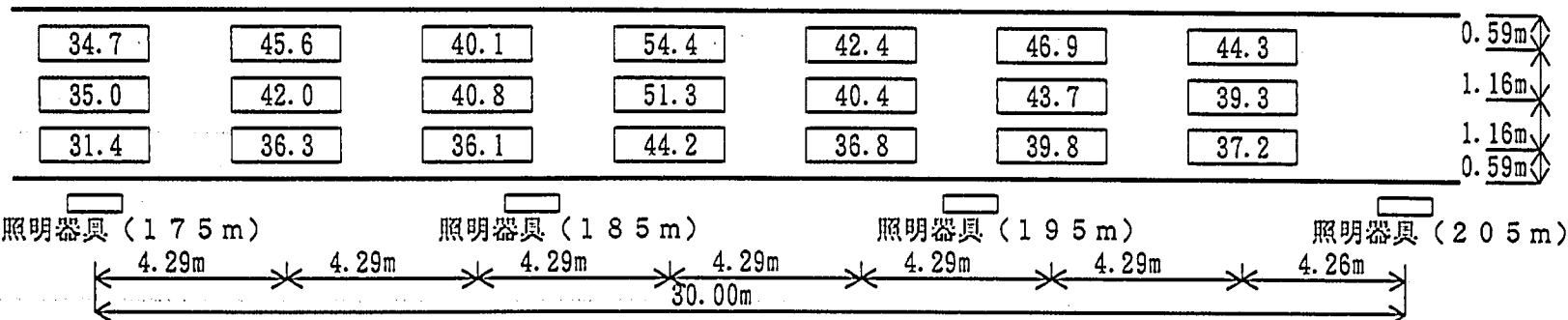
図-5.20 測定方式別測定結果

スイス方式

測定区間 (175m~205m) 測定位置 (東側車線) 基本照明 : 点灯時

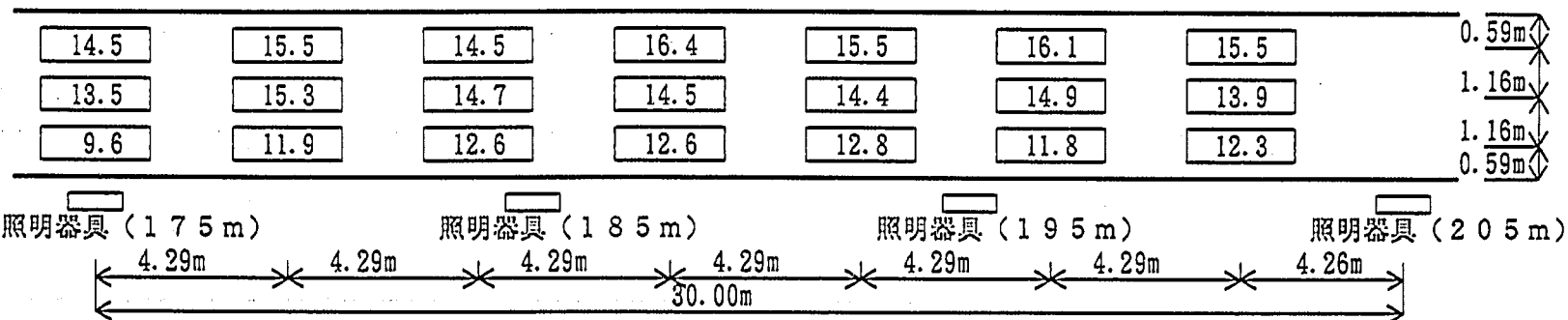
鉛直面照度測定結果 (平均値 : 41.1 lx)

単位 : lx



路面輝度測定結果 (平均値 : 13.9 cd/m²)

単位 : cd/m²



備考 : 照明器具取付 : カウンタービーム照明 (車線中央)

図 - 5.21 測定方式別測定結果

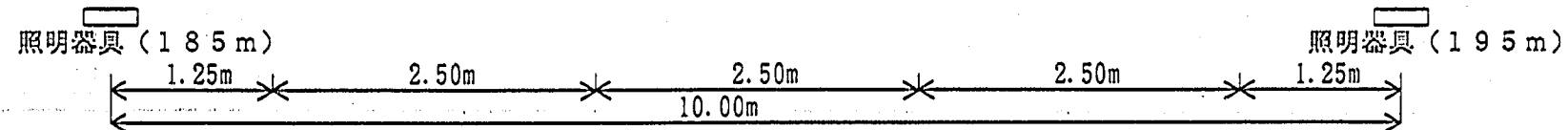
CIE方式

測定区間（185m～195m） 測定位置（東側車線） 基本照明：消灯時

鉛直面照度測定結果（平均値：21.7 lx）

単位：lx

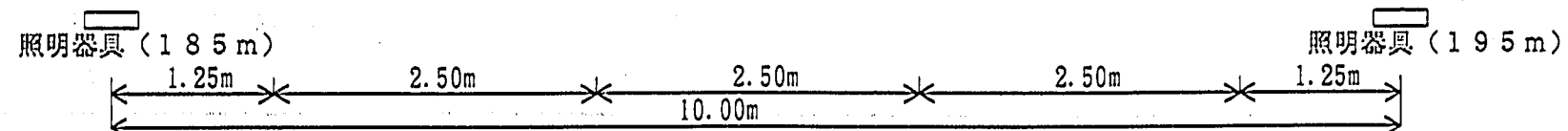
21.0	21.3	17.7	27.0	0.59m
22.1	21.5	20.1	26.9	1.16m
19.8	19.1	20.1	23.2	1.16m
				0.59m



路面輝度測定結果（平均値：11.5 cd/m²）

単位：cd/m²

12.1	13.7	13.1	12.6	0.59m
11.9	11.6	11.9	12.1	1.16m
9.4	10.0	9.7	9.7	1.16m
				0.59m



備考： 照明器具取付：カウンタービーム照明（車線中央）

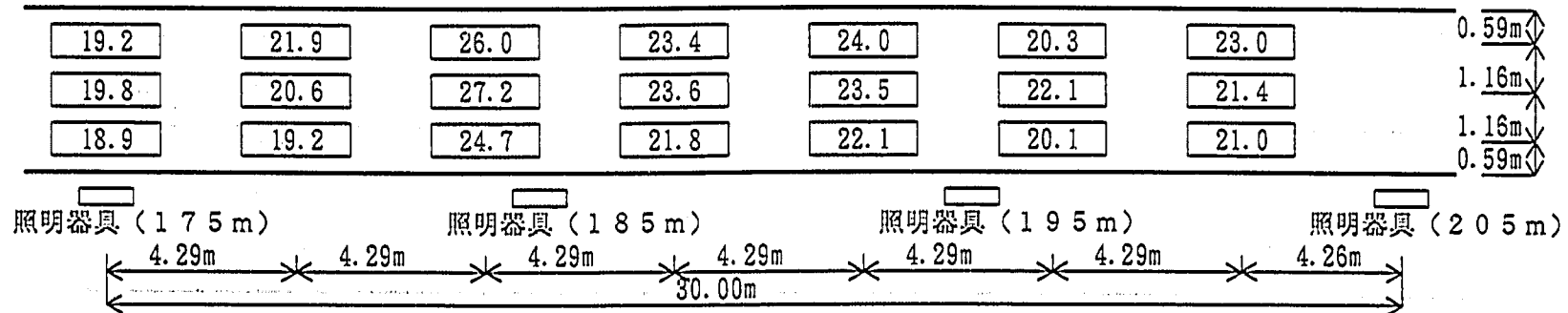
図－5.22 測定方式別測定結果

スイス方式

測定区間（175 m～205 m） 測定位置（東側車線） 基本照明：消灯時

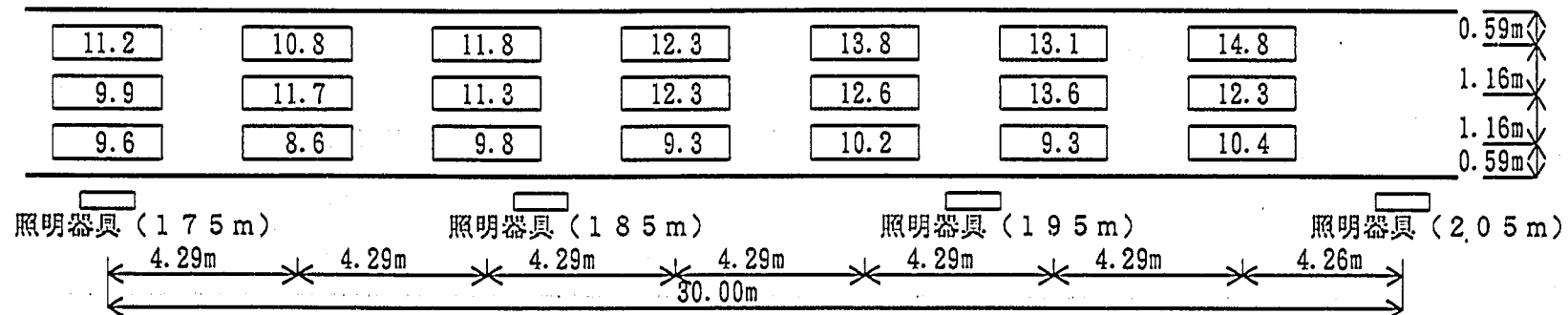
鉛直面照度測定結果（平均値：22.1 lx）

単位：lx



路面輝度測定結果（平均値：11.4 cd/m²）

単位：cd/m²



備考： 照明器具取付：カウンタービーム照明（車線中央）

図－5.23 測定方式別測定結果

表-5.19 測定方式別測定結果まとめ

	基 本 照 明	
	O N	O F F
C I E 方式	$L_r = 14.8$	$L_r = 11.5$
	$E_v = 43.3$	$E_v = 21.7$
	$L_r/E_v = 0.34$	$L_r/E_v = 0.53$
ス イ ス 方式	$L_r = 13.9$	$L_r = 11.4$
	$E_v = 41.1$	$E_v = 22.1$
	$L_r/E_v = 0.34$	$L_r/E_v = 0.52$

注) 測定方法

L_r ・路面輝度 : 進行方向より俯角1度で測定。

E_v ・鉛直面照度 : 反射光含む測定。

(参考)

CIE及びスイスでは、照明方式の定義を下表のように定めている。

表-5.20 コントラスト係数の定義

C I E	対称照明	$L/E_v \leq 0.2$
	カウンタービーム照明	$L/E_v \geq 0.6$
ス イ ス	対称照明	$L/E_v < 0.3$
	カウンタービーム照明	$L/E_v \geq 0.5$

注) L : 路面輝度 (cd/m^2)

E_v : 鉛直面照度 (lx)

5.3 平均照度換算係数

1) 測定項目

測定は、下記の項目とする。

照明方式	路面の種類	測定の種類
カウンタービーム照明 (車線中央)	- コンクリート舗装	測定 1, 2
	- 半たわみ性舗装	測定 1, 2
	- アスファルト舗装	測定 1, 2
カウンタービーム照明 (路肩近傍)	- コンクリート舗装	測定 1, 2
	- 半たわみ性舗装	測定 1, 2
	- アスファルト舗装	測定 1, 2
対 称 照 明	- コンクリート舗装	測定 1, 2
	- 半たわみ性舗装	測定 1, 2
	- アスファルト舗装	測定 1, 2

注) 測定 1 : 水平面照度測定

測定 2 : 路面輝度測定 (進行方向)

2) 測定区間

測定区間は、図 - 5.24 のとおりとする。基本照明器具 3 灯目 ~ 4 灯目 (25m ~ 35m)。

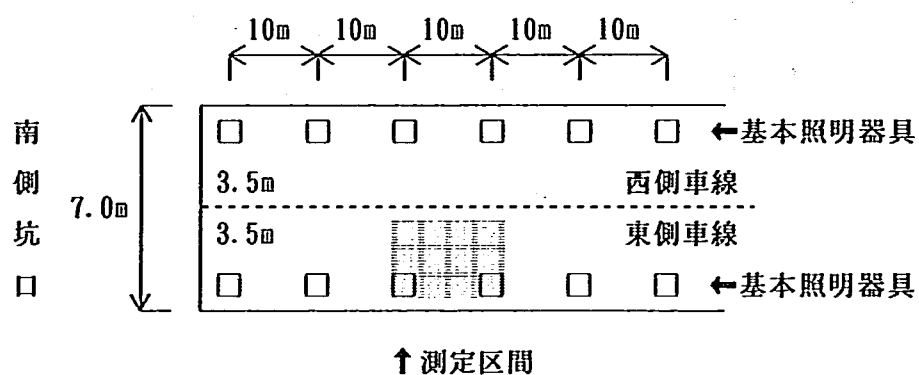
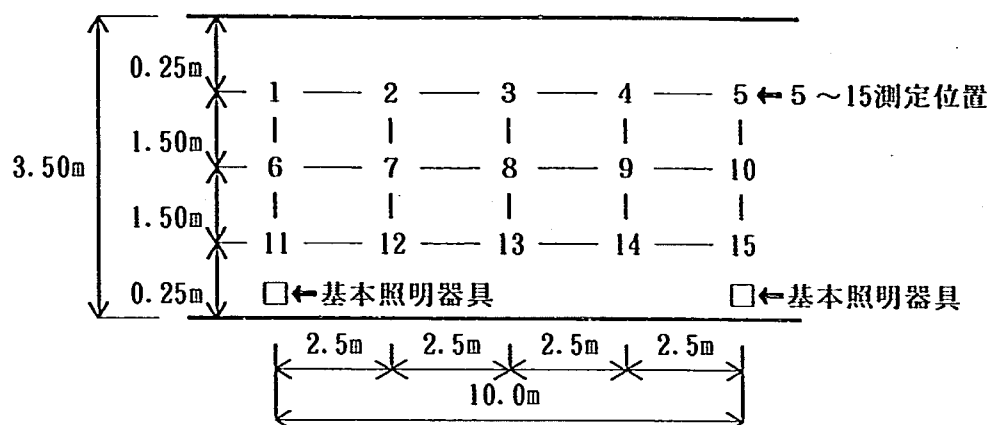


図 - 5.24 測定区間

3) 測定位置

測定位置は、下図のとおりとする（東側車線拡大図）



図－5.25 測定位置

測定1～5の項目は、図－5.25の位置で測定を行う。

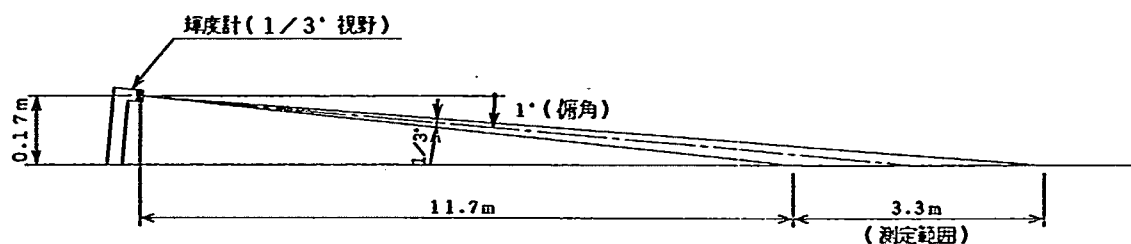
4) 測定方法

鉛直面照度測定は、直射光のみの場合と、路面からの反射光を含めた場合の2条件の測定を行う。

直射光のみの場合は、黑色無反射板を照度計受光部の前方路面に設置する。

水平面照度測定は、受光部が水平になるよう注意して行う。

路面輝度測定は、俯角を 1° に保ち進行方向（順方向）と逆方向（カウンター方向）の2方向について行う。測定は図－5.26のとおりとする。（輝度測定）



図－5.26 路面輝度測定法

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：ミノルタ LS-110

6) 測定結果

これらの測定結果を表-5.21～表-5.24及び図-5.27に示す。

表-5.21 平均照度換算係数算出結果・カウンタービーム照明（車線中央）

舗装の種類：コンクリート舗装				
水平面照度測定結果 平均値 656.5				単位：lx
① 897	② 757	③ 695	④ 809	⑤ 554
⑥ 755	⑦ 667	⑧ 564	⑨ 693	⑩ 674
⑪ 610	⑫ 551	⑬ 470	⑭ 540	⑮ 775
路面輝度測定結果（進行方向 →） 平均値 56.5				単位：cd/m ²
① 66.2	② 68.9	③ 70.5	④ 68.7	⑤ 74.6
⑥ 59.7	⑦ 59.0	⑧ 57.8	⑨ 58.1	⑩ 61.2
⑪ 36.7	⑫ 39.5	⑬ 38.6	⑭ 40.9	⑮ 47.8
舗装の種類：半たわみ性舗装				
水平面照度測定結果 平均値 702.2				単位：lx
① 946	② 760	③ 715	④ 760	⑤ 790
⑥ 800	⑦ 705	⑧ 595	⑨ 710	⑩ 740
⑪ 630	⑫ 894	⑬ 469	⑭ 573	⑮ 585
路面輝度測定結果（進行方向 →） 平均値 113.1				単位：cd/m ²
① 136.8	② 122.5	③ 115.6	④ 85.7	⑤ 123.8
⑥ 139.0	⑦ 133.3	⑧ 123.0	⑨ 129.4	⑩ 132.1
⑪ 95.7	⑫ 86.9	⑬ 76.2	⑭ 83.6	⑮ 112.5
舗装の種類：アスファルト舗装				
水平面照度測定結果 平均値 666.4				単位：lx
① 894	② 770	③ 700	④ 850	⑤ 800
⑥ 754	⑦ 670	⑧ 600	⑨ 710	⑩ 700
⑪ 615	⑫ 530	⑬ 440	⑭ 555	⑮ 580
路面輝度測定結果（進行方向 →） 平均値 67.2				単位：cd/m ²
① 83.2	② 73.4	③ 70.2	④ 77.4	⑤ 80.9
⑥ 77.1	⑦ 71.3	⑧ 67.1	⑨ 71.5	⑩ 72.6
⑪ 52.3	⑫ 51.3	⑬ 45.6	⑭ 55.7	⑮ 57.9

表-5.22 平均照度換算係数算出結果・カウンタービーム照明（路肩近傍）

舗装の種類：コンクリート舗装				
水平面照度測定結果 平均値 708.8				単位：lx
① 730	② 747	③ 719	④ 762	⑤ 720
⑥ 658	⑦ 729	⑧ 695	⑨ 754	⑩ 716
⑪ 613	⑫ 695	⑬ 661	⑭ 693	⑮ 666
路面輝度測定結果（進行方向 →） 平均値 56.3				単位：cd/m ²
① 54.6	② 56.0	③ 56.0	④ 58.8	⑤ 59.1
⑥ 57.7	⑦ 58.7	⑧ 57.2	⑨ 59.6	⑩ 63.9
⑪ 50.6	⑫ 50.0	⑬ 52.3	⑭ 49.5	⑮ 60.8
舗装の種類：半たわみ性舗装				
水平面照度測定結果 平均値 736.9				単位：lx
① 739	② 782	③ 743	④ 772	⑤ 740
⑥ 735	⑦ 762	⑧ 722	⑨ 782	⑩ 734
⑪ 688	⑫ 715	⑬ 675	⑭ 730	⑮ 683
路面輝度測定結果（進行方向 →） 平均値 115.8				単位：cd/m ²
① 103.7	② 106.9	③ 106.0	④ 104.6	⑤ 103.0
⑥ 113.4	⑦ 117.8	⑧ 113.5	⑨ 113.9	⑩ 112.5
⑪ 126.1	⑫ 126.2	⑬ 125.2	⑭ 133.4	⑮ 131.1
舗装の種類：アスファルト舗装				
水平面照度測定結果 平均値 730.1				単位：lx
① 736	② 757	③ 732	④ 769	⑤ 732
⑥ 730	⑦ 760	⑧ 712	⑨ 780	⑩ 730
⑪ 670	⑫ 723	⑬ 657	⑭ 732	⑮ 680
路面輝度測定結果（進行方向 →） 平均値 69.5				単位：cd/m ²
① 67.3	② 62.3	③ 64.5	④ 67.7	⑤ 65.2
⑥ 70.2	⑦ 70.1	⑧ 68.8	⑨ 72.9	⑩ 69.2
⑪ 74.4	⑫ 73.1	⑬ 68.8	⑭ 74.5	⑮ 73.4

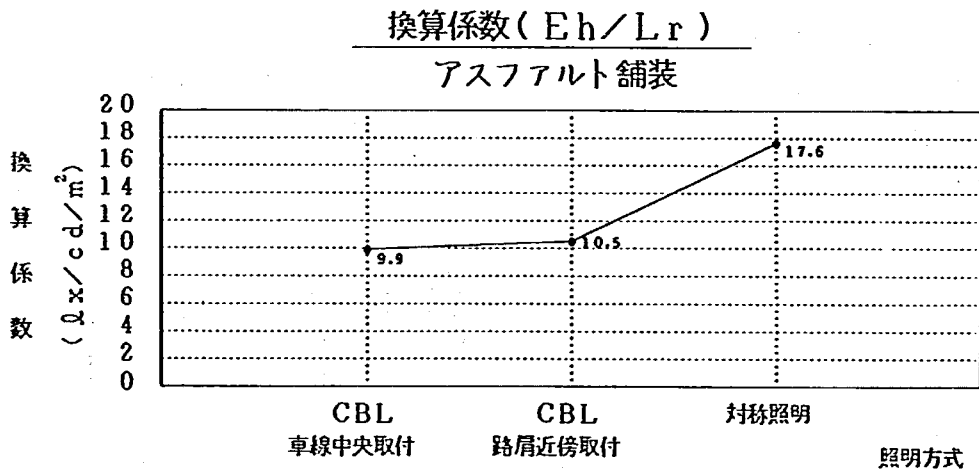
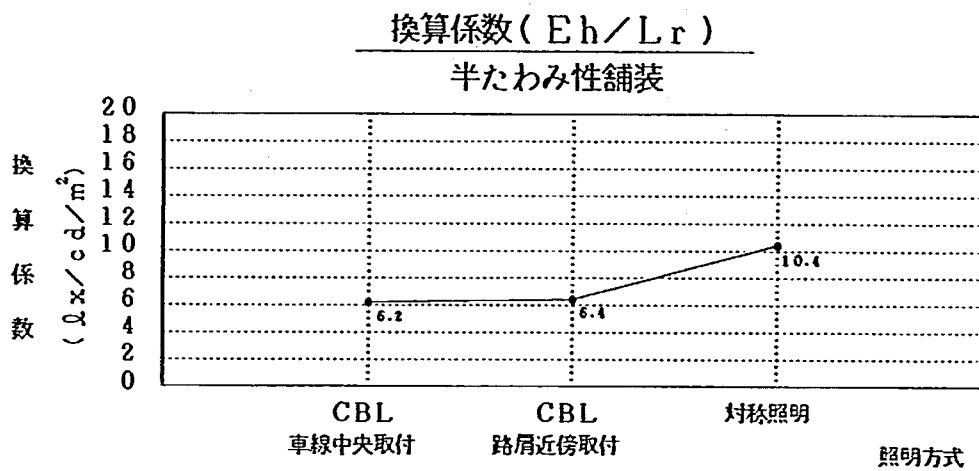
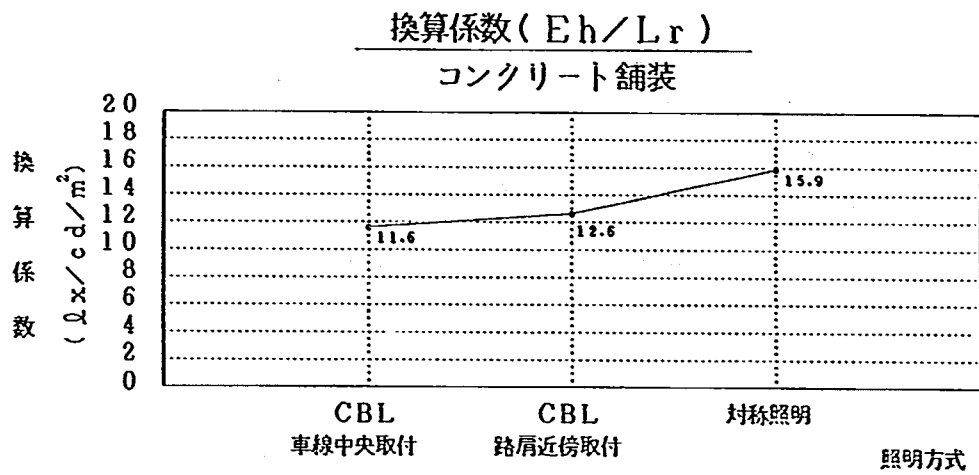
表-5.23 平均照度換算係数算出結果・対称照明

舗装の種類：コンクリート舗装				
水平面照度測定結果 平均値 1040.2				単位：lx
① 1092	② 1099	③ 1074	④ 1049	⑤ 1033
⑥ 1155	⑦ 1183	⑧ 1169	⑨ 1118	⑩ 1073
⑪ 883	⑫ 889	⑬ 937	⑭ 900	⑮ 893
路面輝度測定結果（進行方向 →） 平均値 65.4				単位：cd/m ²
① 66.6	② 70.2	③ 64.1	④ 67.5	⑤ 69.9
⑥ 73.2	⑦ 73.6	⑧ 73.3	⑨ 68.7	⑩ 66.9
⑪ 55.4	⑫ 57.5	⑬ 55.7	⑭ 59.4	⑮ 59.0
舗装の種類：半たわみ性舗装				
水平面照度測定結果 平均値 1062.5				単位：lx
① 1100	② 1120	③ 1090	④ 1070	⑤ 1040
⑥ 1230	⑦ 1215	⑧ 1200	⑨ 1180	⑩ 1110
⑪ 900	⑫ 805	⑬ 930	⑭ 980	⑮ 940
路面輝度測定結果（進行方向 →） 平均値 102.0				単位：cd/m ²
① 100.4	② 106.9	③ 105.4	④ 103.1	⑤ 102.0
⑥ 106.8	⑦ 113.2	⑧ 116.0	⑨ 112.0	⑩ 104.0
⑪ 88.1	⑫ 85.8	⑬ 92.9	⑭ 94.9	⑮ 97.8
舗装の種類：アスファルト舗装				
水平面照度測定結果 平均値 1051.5				単位：lx
① 1110	② 1090	③ 1090	④ 1060	⑤ 1040
⑥ 1180	⑦ 1210	⑧ 1230	⑨ 1150	⑩ 1100
⑪ 905	⑫ 910	⑬ 850	⑭ 920	⑮ 880
路面輝度測定結果（進行方向 →） 平均値 59.7				単位：cd/m ²
① 62.7	② 64.5	③ 60.8	④ 58.2	⑤ 56.1
⑥ 71.5	⑦ 68.9	⑧ 64.5	⑨ 63.8	⑩ 59.1
⑪ 51.6	⑫ 49.0	⑬ 54.2	⑭ 55.6	⑮ 55.2

表-5.24 換算係数算出結果

項目 \ 路面		コンクリート舗装	半たわみ性舗装	アスファルト舗装
力照 ウ明 ン・ タ車 |線 ビ中 |央 ム	水平面照度 Eh	656.5	702.2	666.4
	路面輝度 Lr→	56.5	113.1	67.2
	路面輝度 Lr←	50.2	—	—
	換算係数 Eh/Lr→	11.6	6.2	9.9
	換算係数 Eh/Lr←	13.1	—	—
力照 ウ明 ン・ タ路 |肩 ビ近 |傍 ム	水平面照度 Eh	708.8	736.9	730.1
	路面輝度 Lr→	56.3	115.8	69.5
	路面輝度 Lr←	56.0	62.8	42.4
	換算係数 Eh/Lr→	12.6	6.4	10.5
	換算係数 Eh/Lr←	12.7	11.7	17.2
対 称 照 明	水平面照度 Eh	1040.2	1062.5	1051.5
	路面輝度 Lr→	65.4	102.0	59.7
	路面輝度 Lr←	—	—	—
	換算係数 Eh/Lr→	15.9	10.4	17.6
	換算係数 Eh/Lr←	—	—	—

注) Lr→: 路面輝度 (進行方向)、Lr←: 路面輝度 (逆方向)



注) 路面輝度 (L_r) は進行方向の測定値を用いた。

図 - 5.27 換算係数算出結果

5.4 路面の特性

コントラスト係数を算出するために、鉛直面照度を測定したが、その際に路面の特性を考慮して鉛直面照度測定地点の前方に黒色無反射板を設置して行った。

この時の値と、黒色無反射板を撤去して測定を行った値を比較すると表-5.25のとおりとなる。

表-5.25 鉛直面照度比較結果

		コンクリート 舗 装	半たわみ性 舗 装	アスファルト 舗 装
カウンタービーム照明 車線中央	鉛直面照度Ev■	87.3	83.3	82.8
	鉛直面照度Ev□	133.5	129.6	91.8
	Ev□/Ev■ 比	1.53	1.56	1.11
カウンタービーム照明 路肩近傍	鉛直面照度Ev■	107.9	107.8	105.4
	鉛直面照度Ev□	159.3	161.8	117.0
	Ev□/Ev■ 比	1.48	1.50	1.11
対称照明	鉛直面照度Ev■	429.3	447.0	444.0
	鉛直面照度Ev□	499.0	535.6	451.9
	Ev□/Ev■ 比	1.16	1.20	1.02

注) 鉛直面照度Ev■：(直射光のみ・板有り)

鉛直面照度Ev□：(反射光含む・板無し)

比較の結果はカウンタービーム照明で、コンクリート舗装、半たわみ性舗装では黒色無反射板有りに対して無しの場合、鉛直面照度は約50%増加となる。

アスファルト舗装の場合は、鉛直面照度は約10%増加となる。

対称照明では、コンクリート舗装、半たわみ性舗装では黒色無反射板有りに対して無しの場合、鉛直面照度は約20%増加となる。アスファルト舗装の場合は、ほとんど差が生じていない。

表-5.26に増加率を示す。

表-5.26 鉛直面照度増加率

	コンクリート 舗 装	半たわみ性 舗 装	アスファルト 舗 装
カウンタービーム照明 車線中央	約50%増加		約10%増加
カウンタービーム照明 路肩近傍			
対称照明	約20%増加		

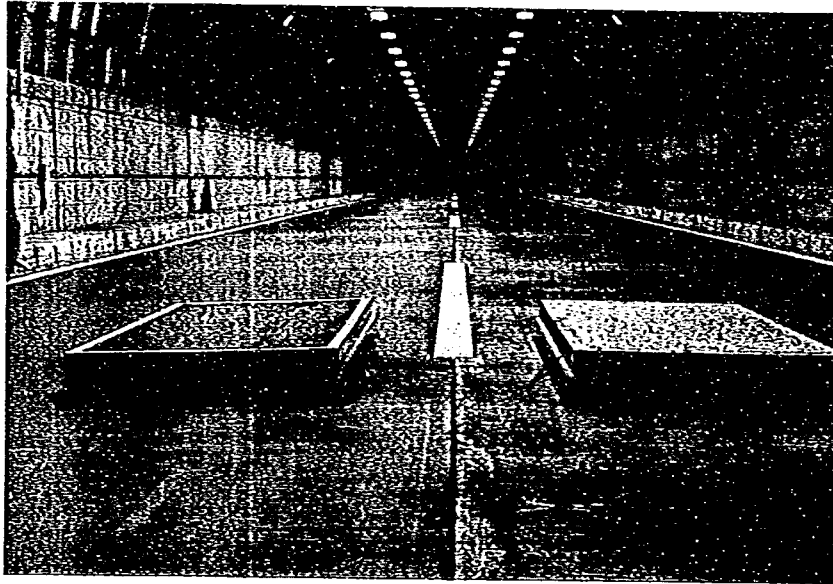
これを見れば路面特性が及ぼす鉛直面照度の影響は、カウンタービーム照明の場合に顕著に現れると考えられる。

すなわち高い輝度対比により、障害物の視認性が向上すると考えられるカウンタービーム照明は、路面の反射特性によりその機能を低下させてしまうおそれがあることがわかる。

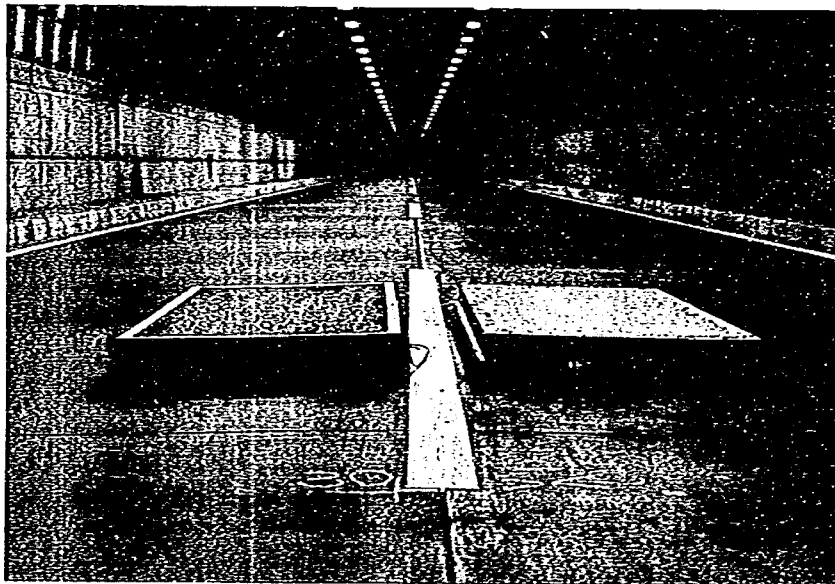
今回の測定では、上記のような結果となったがサンプル板は表面を人工的に研磨したものであり、実際に車両の通行によって摩耗したものと異なるので半たわみ性舗装及びアスファルト舗装については更に多くの調査を行いより正確な路面特性の把握が必要である。サンプル板の仕様については、5.2 コントラスト係数、6) サンプル板の項目に詳細を示した。

なお、コンクリート舗装は、建設省土木研究所の実大トンネル実験施設の路面であり表面の仕上げは粗面仕上げとなっている。

写真－5.1～写真－5.3に各路面の状況を示す。



照明器具の真下付近

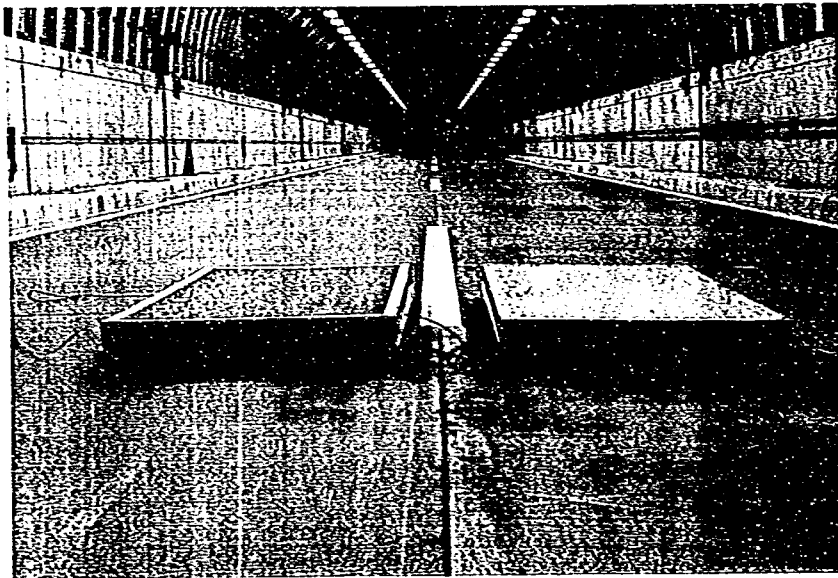


照明器具取付間隔の中間付近

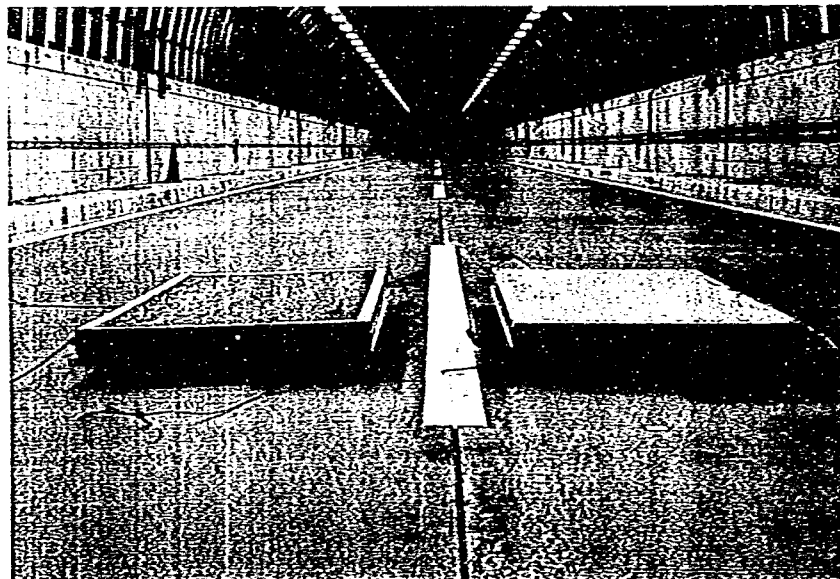
照明方式：カウンタービーム照明（車線中央）

路面の種類及び位置	アスファルト舗装 | 半たわみ性舗装
	コンクリート舗装（土研トンネル路面）

写真－５．１ 路面特性写真



照明器具の真下付近



照明器具取付間隔の中間付近

照明方式：カウンタービーム照明（路肩近傍）

路面の種類及び位置	アスファルト舗装 | 半たわみ性舗装
	コンクリート舗装（土研トンネル路面）

写真－ 5. 2 路面特性写真

5.5 照明器具からのグレア（T I 値）

視機能低下グレアは、眼球内の散乱を定量的に表わす等価光幕輝度 $L_{s.e.q}$ をもとに、ドライバーから見た道路上の対象物と背景路面との間の輝度差の識別閾値の増加を算出して表わす。相対閾値増加（Threshold Increment：T I）は、グレアのある条件下とグレアのない条件下における閾値の差を、グレアのないときの閾値に対するパーセントで表わしたもので、路面輝度 L_{road} と等価光幕輝度 $L_{s.e.q}$ より次式で計算することができる。

$$T I = \frac{95 \cdot L_{s.e.q}}{L_{road}^{1.05}} (\%) \quad (L_{road} > 5 \text{ cd/m}^2) \dots\dots\dots (5.1)$$

$$T I = \frac{65 \cdot L_{s.e.q}}{L_{road}^{0.8}} (\%) \quad (0.05 < L_{road} \leq 5 \text{ cd/m}^2) \dots\dots\dots (5.2)$$

等価光幕輝度及び路面輝度は、乗用車の運転者の目の高さ（地上高さ1.2 m）に測定機器を設置し、測定範囲をトンネル内部10～250 m、測定間隔を10 m、測定位置を東側車線中央として測定した。路面輝度は測定位置の前方60 mの路面を測定した。また測定中、自然光の影響を受けないように、坑口のシャッターは閉鎖した。自然光の影響をほとんど受けないトンネル内部では、一部、シャッターを開放した状態で測定した。等価光幕輝度計を写真－5.4に、路面輝度測定用の輝度計を写真－5.5に示す。

各照明方式における路面輝度、等価光幕輝度の測定結果及びT I 値の算出結果を照明方式ごとに表－5.27～表－5.29に示す。表中の測定位置は、坑口からの距離で示しており、（）内は路面輝度の測定対象となる路面の位置（測定位置の60 m前方）である。

表－5.27～表－5.29を見ると、入口照明が設置されている10～220 mの区間において、カウンタービーム照明が、車線中央、路肩近傍ともに対称照明に比べT I 値が大きくなり、視機能低下グレアが大きいことがわかる。カウンタービーム照明の車線中央と路肩近傍の比較では、路肩近傍のほうが若干、T I 値が大きくなる傾向がみられる。

また、カウンタービーム照明の170～220 mの区間のT I 値がほぼ30%以上と非常に大きな値となった。これは、測定位置が170 mより内部では、入口照明が設置されていない230 mより内部の路面輝度を測定することから、路面輝度測定値が非常に小さくなったためである。

今回の実験では、トンネル入口照明の終端と基本照明との照明レベルの差が大きく（約4倍）、路面輝度が急激に変化したためT I 値が極端に大きくなったが、入口照明終端と基本照明との照明レベルの差を小さくすればT I 値は小さくなると考えられる。

また上記測定とは別に、P. B l a s e r 氏の提案による測定方法でトンネル入口照明の等価光幕輝度の測定を行なった。この方法は以下の通りである（図－5.28参照）。

- ・測定位置は、地上からの高さを1.2 mとし、入口照明曲線に従って照明レベルが段階的に変化する部分の最初の照明器具を仰角20度で見る位置とする。

- ・仰角 20 度より手前、上方の光を遮光する。
- ・等価光幕輝度計の視線方向は、俯角 1 度の前方路面とする。

この方法による等価光幕輝度の測定結果と、表-5.27～表-5.29の路面輝度から T I 値を算出した結果を表-5.30に示す。なお対称照明の場合は、等価光幕輝度の測定位置に最も近い位置での路面輝度を用いて T I 値を算出した。

この結果によれば、カウンタービーム照明の T I 値は 9 % 以下となり、全ての測定位置において対称照明の T I 値よりも低い値となった。表-5.27～表-5.29と比較すると、対称照明の T I 値は大きな変化が見られないが、カウンタービーム照明では、仰角 20 度より手前、上方の光を遮光したことにより、T I 値が非常に小さくなった。カウンタービーム照明の中央配列と路肩近傍の比較では、路肩近傍のほうが車線中央に比べ若干 T I 値が大きく、表-5.27～表-5.28の傾向と一致した。

今回、照明器具の視機能低下グレアの評価に T I 値を用いたが、上記二つの測定方法の比較を含め今後検討していく必要がある。

アクセス道路及びトンネル入口部照明区間において、各照明方式ごとに乗用車の助手席から等価光幕輝度及び路面輝度を測定した。測定区間は、トンネル手前 100 m からトンネル内部 250 m まで、測定間隔は 10 m とし、測定位置は東側車線の中央とした。測定結果を表-5.31～表-5.36に示す。各照明方式ごとの測定時の天候と測定回数は、以下のとおりであった。

カウンタービーム照明中央配列：うす曇り、曇天、晴天（3 回）

カウンタービーム照明路肩近傍：曇天～晴天（1 回）

対称照明：晴天、曇天（2 回）

なお、トンネル内部で自然光の影響が小さい場合については、表-5.27～表-5.29に示す測定と重なることから、省略した。

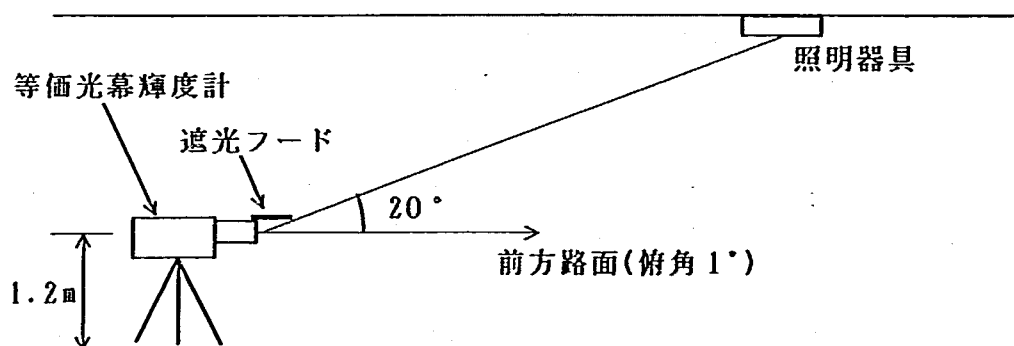


図-5.28 P. Blasler 氏提案の等価光幕輝度の測定方法

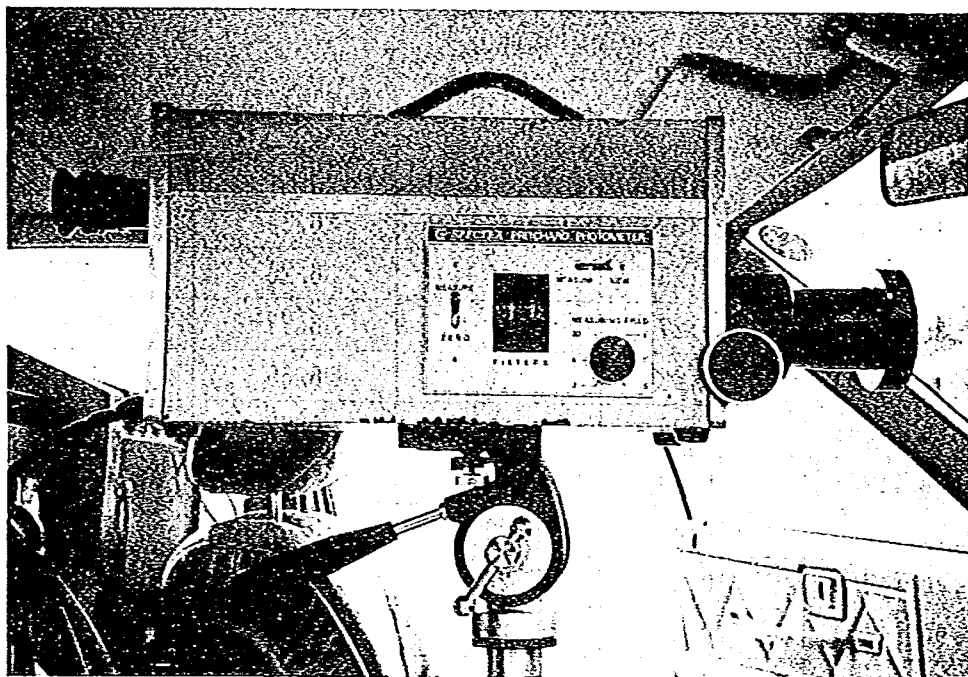


写真-5.4 等価光幕輝度計



写真-5.5 路面輝度計

表-5.27 照明器具によるT I 値

照明方式：カウンタービーム照明（車線中央）

測定日：1994年3月7日、9日

測定位置 [m]	時刻	路面輝度 [cd/m ²]	等価光幕輝度 [cd/m ²]	T I 値 [%]
10 (70)	3/9 10:22	46	6.38	10.9
20 (80)	10:26	43	6.26	11.5
30 (90)	10:27	42	6.77	12.7
40 (100)	10:28	36	6.65	14.7
50 (110)	10:29	35	5.27	11.6
60 (120)	10:30	28	5.95	17.1
70 (130)	10:31	26	5.42	16.8
80 (140)	10:32	23	5.13	18.1
90 (150)	10:34	22	3.76	13.9
100 (160)	3/7 15:40	16	3.74	19.3
110 (170)	15:41	13	2.63	16.9
120 (180)	15:41	11	3.38	25.9
130 (190)	15:42	12	2.70	18.9
140 (200)	15:43	12	2.33	16.3
150 (210)	15:45	12	2.42	16.9
160 (220)	15:49	13	2.49	16.0
170 (230)	15:50	4	1.53	32.8
180 (240)	15:52	3	1.39	37.5
190 (250)	15:53	4	1.43	30.7
200 (260)	15:54	3	1.74	47.0
210 (270)	15:54	3	1.56	42.1
220 (280)	15:55	3	1.42	38.3
230 (290)	15:56	2	0.143	5.34
240 (300)	15:57	3	0.172	4.64
250 (310)	15:58	2	0.152	5.67

(注) 測定位置100～250mは、坑口のシャッターを開放した状況での測定結果である。
測定位置の()内は、路面輝度の測定対象とした路面の位置である。

表-5.28 照明器具によるT I 値

照明方式：カウンタービーム照明（路肩近傍）

測定日：1994年3月15日

測定位置 [m]	時刻	路面輝度 [cd/m ²]	等価光幕輝度 [cd/m ²]	T I 値 [%]
10 (70)	16:04	46	7.77	13.3
20 (80)	16:05	45	7.09	12.4
30 (90)	16:06	42	7.17	13.5
40 (100)	16:06	39	6.78	13.8
50 (110)	16:07	33	6.02	14.6
60 (120)	16:07	32	6.49	16.2
70 (130)	16:08	25	5.92	19.2
80 (140)	16:08	25	5.92	19.2
90 (150)	16:09	23	3.94	13.9
100 (160)	16:10	21	3.54	13.8
110 (170)	16:10	15	3.32	18.4
120 (180)	16:11	13	3.30	21.2
130 (190)	16:11	12	2.59	18.1
140 (200)	16:12	11	2.75	21.1
150 (210)	16:12	12	1.85	12.9
160 (220)	16:13	10	2.22	18.8
170 (230)	16:14	4	1.37	29.4
180 (240)	16:14	4	1.20	25.7
190 (250)	16:15	3	1.16	31.3
200 (260)	16:15	3	1.38	37.2
210 (270)	16:16	3	1.33	35.9
220 (280)	16:16	3	1.21	32.7
230 (290)	16:17	3	0.165	4.45
240 (300)	16:18	2	0.151	5.64
250 (310)	16:19	2	0.146	5.45

（注）測定位置の（）内は、路面輝度の測定対象とした路面の位置である。

表-5.29 照明器具によるT I 値

照明方式：対称照明

測定日：1994年3月8日

測定位置 [m]	時刻	路面輝度 [cd/m ²]	等価光幕輝度 [cd/m ²]	T I 値 [%]
10 (70)	12:55	49	3.84	6.13
20 (80)	12:57	43	3.66	6.70
30 (90)	12:58	42	3.66	6.87
40 (100)	12:59	43	3.38	6.19
50 (110)	13:01	29	2.86	7.92
60 (120)	13:02	33	2.57	6.21
70 (130)	13:03	18	2.31	10.6
80 (140)	13:03	16	2.23	11.5
90 (150)	13:04	12	2.04	14.3
100 (160)	13:05	11	1.54	11.8
110 (170)	13:06	8	1.24	13.3
120 (180)	13:07	7	0.969	11.9
130 (190)	13:08	5	0.707	12.7
140 (200)	13:09	5	0.673	12.1
150 (210)	13:10	5	0.529	9.49
160 (220)	13:11	4	0.449	9.63
170 (230)	13:12	2	0.349	13.0
180 (240)	13:13	2	0.335	12.5
190 (250)	13:13	1	0.337	21.9
200 (260)	13:14	1	0.250	16.3
210 (270)	13:15	1	0.214	13.9
220 (280)	13:16	1	0.202	13.1
230 (290)	13:17	1	0.187	12.2
240 (300)	13:18	1	0.182	11.8
250 (310)	13:19	1	0.156	10.1

(注) 雨天のため、測定時に若干の光幕が存在した。

測定位置の()内は、路面輝度の測定対象とした路面の位置である。

表-5.30 P. Blaser氏提案の方法による等価光幕輝度の
測定結果と照明器具によるT I 値

照明方式	等価光幕輝度 測定位置 [m]	等価光幕輝度 [cd/m ²]	路面輝度 測定位置 [m]	路面輝度 [cd/m ²]	T I 値 [%]
カウンタービーム照明 車線中央取付	40	2.47	40(100)	36	5.45
	80	1.78	80(140)	23	6.29
	120	0.989	120(180)	11	7.58
	160	0.663	160(220)	13	4.26
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	2	3.32	---	46	---
	40	3.21	40(100)	39	6.51
	80	2.40	80(140)	25	7.76
	120	1.38	120(180)	13	8.87
	160	0.734	160(220)	10	6.21
対称照明	1	2.80	---	49	---
	46	3.28	50(110)	29	9.08
	86	2.26	90(150)	12	15.8
	106	1.51	110(170)	8	16.2
	126	0.850	130(190)	5	15.3
	146	0.610	150(210)	5	10.9
	166	0.408	170(230)	2	15.2
	206	0.230	210(290)	1	15.0

(注) 路面輝度は、等価光幕輝度の測定位置に最も近い位置での測定値を表-5.27～表-5.29
から抽出したものである。
路面輝度測定位置の()内は、測定対象とした路面の位置である。

表-5.31 等価光幕輝度・路面輝度測定結果

照明方式：カウンタービーム照明（車線中央）

測定日：1994年3月7日

天候：うす曇り

測定条件：トンネル外～トンネル内

測定位置 [m]	時刻	路面輝度 [cd/m ²]	等価光幕輝度 [cd/m ²]
-100 (-40)	15:20	799	85.6
-90 (-30)	15:21	781	81.8
-80 (-20)	15:22	752	76.7
-70 (-10)	15:23	709	72.8
-60 (0)	15:24	660	71.2
-50 (10)	15:25	193	68.0
-40 (20)	15:26	182	63.9
-30 (30)	15:27	143	56.8
-20 (40)	15:28	125	45.6
-10 (50)	15:31	105	27.2
0 (60)	15:32	62	9.18
10 (70)	15:33	44	7.82
20 (80)	15:34	41	7.38
30 (90)	15:35	40	7.23
40 (100)	15:36	33	7.07
50 (110)	15:37	30	5.81
60 (120)	15:37	29	5.97
70 (130)	15:38	22	5.02
80 (140)	15:39	19	4.86
90 (150)	15:39	18	3.11
100 (160)	15:40	16	3.74
110 (170)	15:41	13	2.63
120 (180)	15:41	11	3.38
130 (190)	15:42	12	2.70
140 (200)	15:43	12	2.33
150 (210)	15:45	12	2.42
160 (220)	15:49	13	2.49
170 (230)	15:50	4	1.53
180 (240)	15:52	3	1.39
190 (250)	15:53	4	1.43
200 (260)	15:54	3	1.74
210 (270)	15:54	3	1.56
220 (280)	15:55	3	1.42
230 (290)	15:56	2	0.143
240 (300)	15:57	3	0.172
250 (310)	15:58	2	0.152

(注) 測定位置の () 内は、路面輝度の測定対象とした路面の位置である。

表－５．３２ 等価光幕輝度・路面輝度測定結果

照明方式：カウンタービーム照明（車線中央）

測定日：１９９４年３月７日

天候：曇天

測定条件：トンネル外～坑口付近

測定位置 [m]	時刻	路面輝度 [cd/m ²]	等価光幕輝度 [cd/m ²]
-100 (-40)	16:28	318	31.1
-90 (-30)	16:28	304	30.8
-80 (-20)	16:29	290	28.9
-70 (-10)	16:30	271	27.0
-60 (0)	16:31	244	26.0
-50 (10)	16:32	92	23.5
-40 (20)	16:33	106	21.1
-30 (30)	16:34	78	18.0
-20 (40)	16:35	61	14.0
-10 (50)	16:36	53	8.11
0 (60)	16:38	44	4.08
10 (70)	16:39	43	6.41
20 (80)	:		
30 (90)	:		
40 (100)	:		
50 (110)	:		
60 (120)	:		
70 (130)	:		
80 (140)	:		
90 (150)	:		
100 (160)	:		
110 (170)	:		
120 (180)	:		
130 (190)	:		
140 (200)	:		
150 (210)	:		
160 (220)	:		
170 (230)	:		
180 (240)	:		
190 (250)	:		
200 (260)	:		
210 (270)	:		
220 (280)	:		
230 (290)	:		
240 (300)	:		
250 (310)	:		

（注）測定位置の（）内は、路面輝度の測定対象とした路面の位置である。

表-5.33 等価光幕輝度・路面輝度測定結果

照明方式：カウンタービーム照明（車線中央）

測定日：1994年3月11日

天候：晴天

測定条件：トンネル外～坑口付近

測定位置 [m]	時刻	路面輝度 [cd/m ²]	等価光幕輝度 [cd/m ²]
-100 (-40)	15:19	1279	91.1
-90 (-30)	15:20	1371	96.2
-80 (-20)	15:21	1354	98.6
-70 (-10)	15:22	1394	92.3
-60 (0)	15:23	1118	83.1
-50 (10)	15:24	348	76.3
-40 (20)	15:25	242	69.4
-30 (30)	15:26	178	59.0
-20 (40)	15:27	135	44.8
-10 (50)	15:28	130	31.1
0 (60)	15:29	90	12.8
10 (70)	15:30	50	7.06
20 (80)	15:31	43	6.94
30 (90)	15:32	39	7.00
40 (100)	:		
50 (110)	:		
60 (120)	:		
70 (130)	:		
80 (140)	:		
90 (150)	:		
100 (160)	:		
110 (170)	:		
120 (180)	:		
130 (190)	:		
140 (200)	:		
150 (210)	:		
160 (220)	:		
170 (230)	:		
180 (240)	:		
190 (250)	:		
200 (260)	:		
210 (270)	:		
220 (280)	:		
230 (290)	:		
240 (300)	:		
250 (310)	:		

(注) 測定位置の（）内は、路面輝度の測定対象とした路面の位置である。

表－5.34 等価光幕輝度・路面輝度測定結果

照明方式：カウンタービーム照明（路肩近傍）

測定日：1994年3月15日

天候：曇天～晴天

測定条件：トンネル外～トンネル内

測定位置 [m]	時刻	路面輝度 [cd/m ²]	等価光幕輝度 [cd/m ²]
-100 (-40)	12:36	1865	160
-90 (-30)	12:36	3014	196
-80 (-20)	12:40	1552	143
-70 (-10)	12:41	1480	132
-60 (0)	12:42	404	160
-50 (10)	12:43	395	126
-40 (20)	12:43	320	113
-30 (30)	12:44	298	143
-20 (40)	12:45	256	124
-10 (50)	12:45	259	85.0
0 (60)	12:46	192	28.6
10 (70)	12:46	50	9.55
20 (80)	12:47	45	7.50
30 (90)	12:47	40	7.29
40 (100)	12:48	33	7.04
50 (110)	12:49	31	6.02
60 (120)	12:49	31	6.66
70 (130)	12:50	25	5.81
80 (140)	12:50	22	5.78
90 (150)	12:51	21	4.05
100 (160)	12:51	17	3.45
110 (170)	12:52	14	3.33
120 (180)	12:52	12	3.52
130 (190)	12:53	11	2.52
140 (200)	12:54	12	2.82
150 (210)	12:55	11	1.87
160 (220)	12:55	10	2.20
170 (230)	12:56	4	1.37
180 (240)	12:57	4	1.22
190 (250)	12:57	3	1.16
200 (260)	12:58	3	1.40
210 (270)	12:58	3	1.36
220 (280)	12:59	3	1.15
230 (290)	13:00	2	0.180
240 (300)	13:00	2	0.174
250 (310)	13:01	2	0.154

(注) 測定位置の（）内は、路面輝度の測定対象とした路面の位置である。

表-5.35 等価光幕輝度・路面輝度測定結果

照明方式：対称照明
 測定日：1994年3月14日
 天候：晴天
 測定条件：トンネル外～トンネル内

測定位置 [m]	時刻	路面輝度 [cd/m ²]	等価光幕輝度 [cd/m ²]
-100 (-40)	15:09	1515	116
-90 (-30)	15:11	1688	134
-80 (-20)	15:12	1689	121
-70 (-10)	15:13	1607	110
-60 (0)	15:13	346	104
-50 (10)	15:13	388	89.1
-40 (20)	15:14	236	84.2
-30 (30)	15:15	273	68.0
-20 (40)	15:15	177	51.3
-10 (50)	15:16	183	36.4
0 (60)	15:16	142	13.9
10 (70)	15:17	57	4.12
20 (80)	15:17	47	3.66
30 (90)	15:18	42	3.42
40 (100)	15:18	38	3.16
50 (110)	15:19	32	2.54
60 (120)	15:20	33	2.23
70 (130)	15:20	19	1.98
80 (140)	15:21	16	2.07
90 (150)	15:21	12	1.75
100 (160)	15:22	9	1.38
110 (170)	15:23	8	1.14
120 (180)	15:23	7	0.867
130 (190)	:		
140 (200)	:		
150 (210)	:		
160 (220)	:		
170 (230)	:		
180 (240)	:		
190 (250)	:		
200 (260)	:		
210 (270)	:		
220 (280)	:		
230 (290)	:		
240 (300)	:		
250 (310)	:		

(注) 測定位置の () 内は、路面輝度の測定対象とした路面の位置である。

表－ 5. 3 6 等価光幕輝度・路面輝度測定結果

照明方式：対称照明

測定日：1994年3月14日

天候：曇天

測定条件：トンネル外～トンネル内

測定位置 [m]	時刻	路面輝度 [cd/m ²]	等価光幕輝度 [cd/m ²]
-100 (-40)	11:41	917	99.8
-90 (-30)	11:43	759	97.2
-80 (-20)	11:45	717	94.2
-70 (-10)	11:47	601	84.8
-60 (0)	11:48	264	85.5
-50 (10)	11:50	363	80.6
-40 (20)	11:53	263	77.2
-30 (30)	11:55	165	69.9
-20 (40)	11:57	129	57.8
-10 (50)	11:59	123	30.9
0 (60)	12:01	72	9.71
10 (70)	12:02	43	4.51
20 (80)	12:04	41	3.42
30 (90)	12:06	37	3.28
40 (100)	12:08	32	3.30
50 (110)	12:09	23	2.41
60 (120)	12:11	18	2.15
70 (130)	12:12	12	1.97
80 (140)	12:14	11	1.99
90 (150)	12:16	10	1.70
100 (160)	12:17	8	1.32
110 (170)	12:19	7	1.11
120 (180)	12:20	5	0.874
130 (190)	12:21	5	0.697
140 (200)	12:23	4	0.581
150 (210)	12:24	4	0.468
160 (220)	:		
170 (230)	:		
180 (240)	:		
190 (250)	:		
200 (260)	:		
210 (270)	:		
220 (280)	:		
230 (290)	:		
240 (300)	:		
250 (310)	:		

(注) 測定位置の () 内は、路面輝度の測定対象とした路面の位置である。

5.6 輝度対比

「運転者は前方の対象物に実際に存在する輝度対比（物理的な輝度対比）がこれを見る運転者の視覚の輝度対比閾（生理的な輝度対比）より大きい場合に限ってこれを視認することができる」¹⁾とされている。

この物理的な輝度対比（以下輝度対比と呼ぶ）を、「照明用語」²⁾では、2つの面の輝度 L_1 、 L_2 の関数として表した量として式（5.3）のように説明している。

$$C = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \quad , L_1 > L_2 \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

また通常、この輝度対比の計算は、式（5.4）に示した絶対値で表される。

$$C_o = \left| \frac{L_b - L_o}{L_b} \right| \quad \dots\dots\dots (5.4)$$

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)

しかし、この式では障害物がどのような状態で見えているかを表してはいない。そこで本報告書では、障害物の見えている状態を表すため、式（5.5）によることとした。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見えていることを意味している。

$$C_o = (L_b - L_o) / L_b \quad \dots\dots\dots (5.5)$$

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)

ここでは、照明方式による輝度対比の相違を知るため次の二つの場合に分けて障害物と背景路面の輝度及び障害物の鉛直面照度を測定する。

(1) 人工照明下による影響

(2) 自然光のみによるトンネル内への影響

5.6.1 人工照明下での輝度対比

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

(3) 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位置と背景路面との輝度対比を知るため、各照明方式毎に次の測定を行う。

- (1) 進行方向から見た障害物の輝度
- (2) 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
- (3) 障害物の鉛直面照度の測定

3) 照明方式

- (1) カウンタービーム照明（照明器具を車線中央に配置した場合）
- (2) カウンタービーム照明（照明器具を路肩近傍に配置した場合）
- (3) 対称照明（現状の照明方式）

4) 測定方法

照明方式ごとに外部からの自然光の影響を受けないようにし人工照明のみを点灯した後、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と背景路面の輝度、及び障害物の鉛直面照度を測定する。

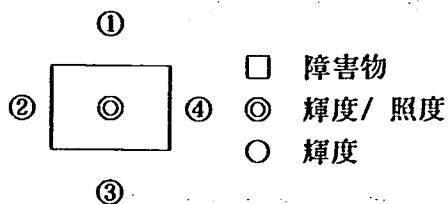
輝度の測定は、視角 1 / 3 度の輝度計を使用し、障害物の標示位置から距離 10 m 離れた点より道路照明に於ける路面輝度測定の場合と同様、俯角 1 度を維持し障害物及び障害物の周辺 4 か所の輝度を測定する。

障害物の提示位置は、各照明方式とも表-5.37に示す道路軸方向 8 か所、道路横断方向 3 か所とする。背景路面輝度の測定点と障害物との位置関係及び道路横断方向の位置は図-5.29～図-5.32に示す。

なお、障害物の反射率は、30% (N=6) とする。

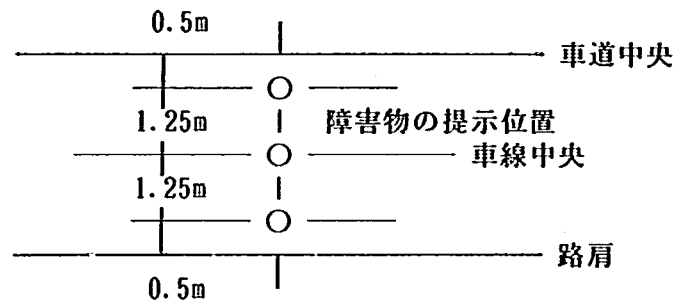
表-5.37 障害物と背景路面の輝度/障害物の鉛直面照度の測定点

道路横断方向	道 路 軸 方 向							
	0m	20m	40m	60m	80m	120m	160m	200m
路 肩	○	○	○	○	○	○	○	○
車線中央	○	○	○	○	○	○	○	○
車道中央	○	○	○	○	○	○	○	○

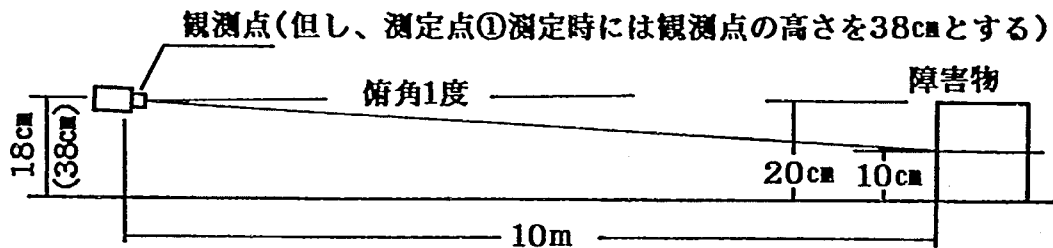


- 注) 1. 背景路面輝度は障害物周囲 4 箇所の平均値とする。
2. レーンマーク及び壁面が輝度の測定視野に入らないこと。

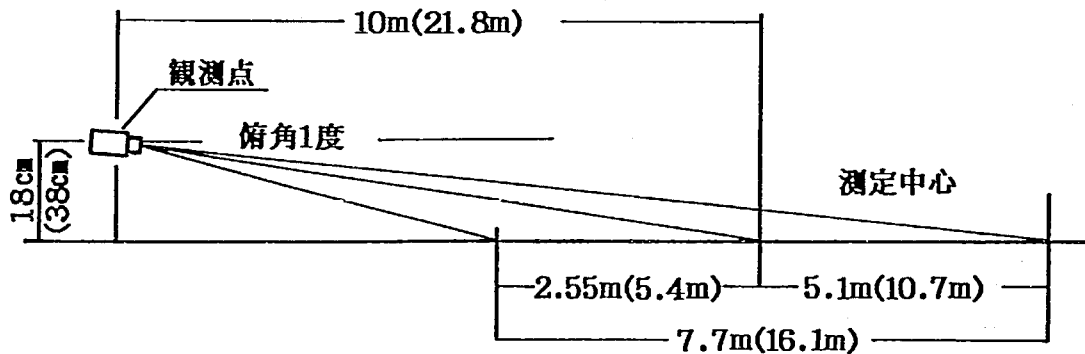
図-5.29 障害物及び背景輝度の測定点



図－ 5. 3 0 道路横断方向の障害物提示位置



図－ 5. 3 1 観測位置と障害物との関係



()内の値は、測定高さ38cmの場合を示す

図－ 5. 3 2 輝度計の測定範囲

5) 測定器

測定には次の測定器を使用した。

- (1) 輝度測定・・・ミノルタ輝度計 (LS-110 視角1/3度)
- (2) 鉛直面照度・・・トプコン照度計 (IM-3)

6) 測定結果

人工照明下における各照明方式ごとの輝度及び鉛直面照度の測定結果を表－ 5. 3 8～表－ 5. 4 0に示す。

表-5.38 カウンタービーム照明(車線中央)

測定日時 平成6年3月7日 16時20分~18時00分

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/m ²)	背景の輝度(cd/m ²)				
				①	②	③	④	平均値
0m	車道中央	2.5	0.5	33.4	10.5	2.3	14.5	15.2
	車線中央	2.3	0.6	30.5	23.5	3.0	18.5	18.9
	路 肩	2.3	0.6	30.5	16.5	1.5	12.5	15.3
20m	車道中央	141.0	15.4	50.5	69.7	72.4	65.2	64.5
	車線中央	139.0	15.2	33.3	64.3	76.5	61.4	58.9
	路 肩	125.0	13.7	32.7	51.5	51.5	43.3	44.8
40m	車道中央	180.0	20.1	36.5	78.5	72.6	65.1	63.2
	車線中央	160.0	18.3	31.2	58.5	63.1	52.9	51.4
	路 肩	130.0	14.7	27.8	45.6	51.9	45.6	42.7
60m	車道中央	153.9	15.8	35.3	60.5	56.3	59.5	52.9
	車線中央	131.4	14.6	30.2	50.4	49.2	47.8	44.4
	路 肩	126.5	13.7	22.5	43.3	39.7	33.1	34.7
80m	車道中央	113.5	14.1	17.5	60.3	51.5	57.8	46.8
	車線中央	111.3	13.1	14.7	47.5	50.7	49.5	40.6
	路 肩	103.4	12.3	16.5	42.2	38.5	35.7	33.2
120m	車道中央	69.9	8.9	13.8	38.5	40.2	27.5	30.0
	車線中央	66.8	8.4	12.7	29.3	38.4	27.4	27.0
	路 肩	66.9	7.8	10.2	25.2	27.4	24.2	21.8
160m	車道中央	60.7	7.2	8.3	23.8	19.6	22.2	18.5
	車線中央	56.9	6.7	9.4	15.2	18.0	17.5	15.0
	路 肩	50.6	5.8	7.1	15.5	13.6	14.2	12.6
200m	車道中央	44.0	5.0	6.5	16.6	14.5	14.0	12.9
	車線中央	42.3	4.7	5.5	13.5	14.0	13.7	11.7
	路 肩	38.7	4.3	4.5	12.0	11.2	10.6	9.6

表-5.39 カウンタービーム照明(路肩近傍)

測定日時 平成6年3月15日 16時50分~17時25分

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/m ²)	背景の輝度(cd/m ²)				
				①	②	③	④	平均値
0m	車道中央	3.0	1.0	55.8	39.5	2.9	39.0	34.3
	車線中央	2.7	0.9	57.5	36.5	2.6	41.3	34.5
	路 肩	3.1	0.9	57.8	41.5	2.4	42.2	36.0
20m	車道中央	161.0	18.4	56.4	55.2	57.6	61.5	57.7
	車線中央	171.1	19.2	57.8	59.9	63.6	61.2	60.6
	路 肩	159.3	18.6	55.4	57.3	65.7	53.2	57.9
40m	車道中央	174.7	19.8	52.5	62.3	59.6	55.1	57.4
	車線中央	165.4	18.2	57.9	53.5	57.9	58.1	56.9
	路 肩	149.3	16.5	56.1	58.4	66.5	61.4	60.6
60m	車道中央	156.1	17.7	51.3	52.5	48.8	57.5	52.5
	車線中央	148.4	16.6	51.2	55.4	52.9	59.1	54.7
	路 肩	141.6	15.9	47.6	55.3	50.1	46.1	49.8
80m	車道中央	159.8	17.4	35.1	53.5	50.3	55.3	48.6
	車線中央	162.2	17.9	37.1	54.2	55.3	60.5	51.8
	路 肩	155.6	17.1	36.9	53.5	52.7	51.0	48.5
120m	車道中央	103.1	11.6	23.9	32.5	34.4	33.1	31.0
	車線中央	100.4	11.2	25.0	33.7	32.3	35.9	31.7
	路 肩	97.9	11.3	23.5	33.5	32.5	31.5	30.3
160m	車道中央	71.5	7.9	12.2	20.5	23.6	19.6	19.0
	車線中央	68.0	7.5	13.2	18.9	24.6	19.1	19.0
	路 肩	63.7	7.1	12.9	18.7	25.5	18.3	18.9
200m	車道中央	45.7	5.0	8.5	10.9	11.9	12.1	10.9
	車線中央	43.5	4.8	7.5	12.6	12.7	12.8	11.4
	路 肩	38.4	4.1	6.9	11.7	11.8	11.6	10.5

表-5.40 対称照明

測定日時 平成6年3月14日 16時30分~17時00分

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/m ²)	背景の輝度(cd/m ²)				
				①	②	③	④	平均値
0m	車道中央	1.9	0.7	66.0	8.2	1.8	8.2	21.1
	車線中央	1.6	0.6	69.2	10.6	2.0	12.0	23.5
	路 肩	1.9	0.6	60.2	11.5	1.6	11.9	21.3
20m	車道中央	511.0	44.4	64.4	70.0	74.0	68.3	69.2
	車線中央	502.0	46.8	69.0	72.6	71.3	72.8	71.4
	路 肩	486.0	44.0	68.9	67.8	71.0	50.2	64.5
40m	車道中央	518.0	48.7	51.1	77.3	68.3	71.3	67.0
	車線中央	526.0	49.1	50.5	68.3	74.6	69.2	65.7
	路 肩	497.0	47.1	46.5	67.4	66.3	57.2	59.4
60m	車道中央	443.0	42.3	49.0	52.5	60.3	57.4	54.8
	車線中央	458.0	44.2	49.5	48.5	63.4	54.3	53.9
	路 肩	458.0	43.9	41.5	54.1	60.5	45.5	50.4
80m	車道中央	403.0	38.6	33.5	45.0	51.5	52.3	45.6
	車線中央	437.0	42.1	36.2	50.2	55.4	57.5	49.8
	路 肩	335.0	33.6	32.5	48.3	43.2	36.5	40.1
120m	車道中央	191.0	18.8	13.6	21.5	23.5	18.9	19.4
	車線中央	191.0	19.2	11.5	18.4	25.6	17.8	18.3
	路 肩	175.0	17.2	9.7	14.5	20.5	17.1	15.5
160m	車道中央	78.5	7.9	6.5	10.5	10.9	10.7	9.7
	車線中央	71.1	7.2	8.2	9.7	10.1	8.5	9.1
	路 肩	63.0	6.3	5.8	8.3	9.1	7.7	7.7
200m	車道中央	44.0	4.1	3.1	5.9	6.8	6.2	5.5
	車線中央	35.9	3.5	2.9	5.5	5.9	5.3	4.9
	路 肩	30.3	2.9	2.4	4.9	5.1	3.9	4.1

7) 輝度対比の計算結果

測定結果を式(5.5)にあてはめ求めた各照明方式ごとの輝度対比計算結果を表-5.41に示す。また、表-5.41よりトンネル坑口からの距離と輝度対比の変化を照明方式ごとに示したものが図-5.33~図-5.35である。

表-5.41 人工照明のみの場合の各照明方式での輝度対比比較

照明方式		カウンタービーム照明 (車線中央取付)			カウンタービーム照明 (路肩近傍取付)			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	背景の 輝度 L_b	輝度 対比 C_o	障害物 の輝度 L_o	背景の 輝度 L_b	輝度 対比 C_o	障害物 の輝度 L_o	背景の 輝度 L_b	輝度 対比 C_o
		cd/m ²	cd/m ²		cd/m ²	cd/m ²		cd/m ²	cd/m ²	
0m	車道中央	0.5	15.2	0.97	1.0	34.3	0.97	0.7	21.1	0.97
	車線中央	0.6	18.9	0.97	0.9	34.5	0.97	0.6	23.5	0.97
	路 肩	0.6	15.3	0.96	0.9	36.0	0.98	0.6	21.3	0.97
20m	車道中央	15.4	64.5	0.76	18.4	57.7	0.68	44.4	69.2	0.36
	車線中央	15.2	58.9	0.74	19.2	60.6	0.68	46.8	71.4	0.34
	路 肩	13.7	44.8	0.69	18.6	57.9	0.68	44.0	64.5	0.32
40m	車道中央	20.1	63.2	0.68	19.8	57.4	0.66	48.7	67.0	0.27
	車線中央	18.3	51.4	0.64	18.2	56.9	0.68	49.1	65.7	0.25
	路 肩	14.7	42.7	0.66	16.5	60.6	0.73	47.1	59.4	0.21
60m	車道中央	15.8	52.9	0.70	17.7	52.5	0.66	42.3	54.8	0.23
	車線中央	14.6	44.4	0.67	16.6	54.7	0.70	44.2	53.9	0.18
	路 肩	13.7	34.7	0.61	15.9	49.8	0.68	43.9	50.4	0.13
80m	車道中央	14.1	46.8	0.70	17.4	48.6	0.64	38.6	45.6	0.15
	車線中央	13.1	40.6	0.68	17.9	51.8	0.65	42.1	49.8	0.15
	路 肩	12.3	33.2	0.63	17.1	48.5	0.65	33.6	40.1	0.16
120m	車道中央	8.9	30.0	0.70	11.6	31.0	0.63	18.8	19.4	0.03
	車線中央	8.4	27.0	0.69	11.2	31.7	0.65	19.2	18.3	-0.05
	路 肩	7.8	21.8	0.64	11.3	30.3	0.63	17.2	15.5	-0.11
160m	車道中央	7.2	18.5	0.61	7.9	19.0	0.58	7.9	15.5	0.19
	車線中央	6.7	15.0	0.55	7.5	19.0	0.61	7.2	9.7	0.21
	路 肩	5.8	12.6	0.54	7.1	18.9	0.62	6.3	7.7	0.18
200m	車道中央	5.0	12.9	0.61	5.0	10.9	0.54	4.1	5.5	0.25
	車線中央	4.7	11.7	0.60	4.8	11.4	0.58	3.5	4.9	0.29
	路 肩	4.3	9.6	0.55	4.1	10.5	0.61	2.9	4.1	0.29

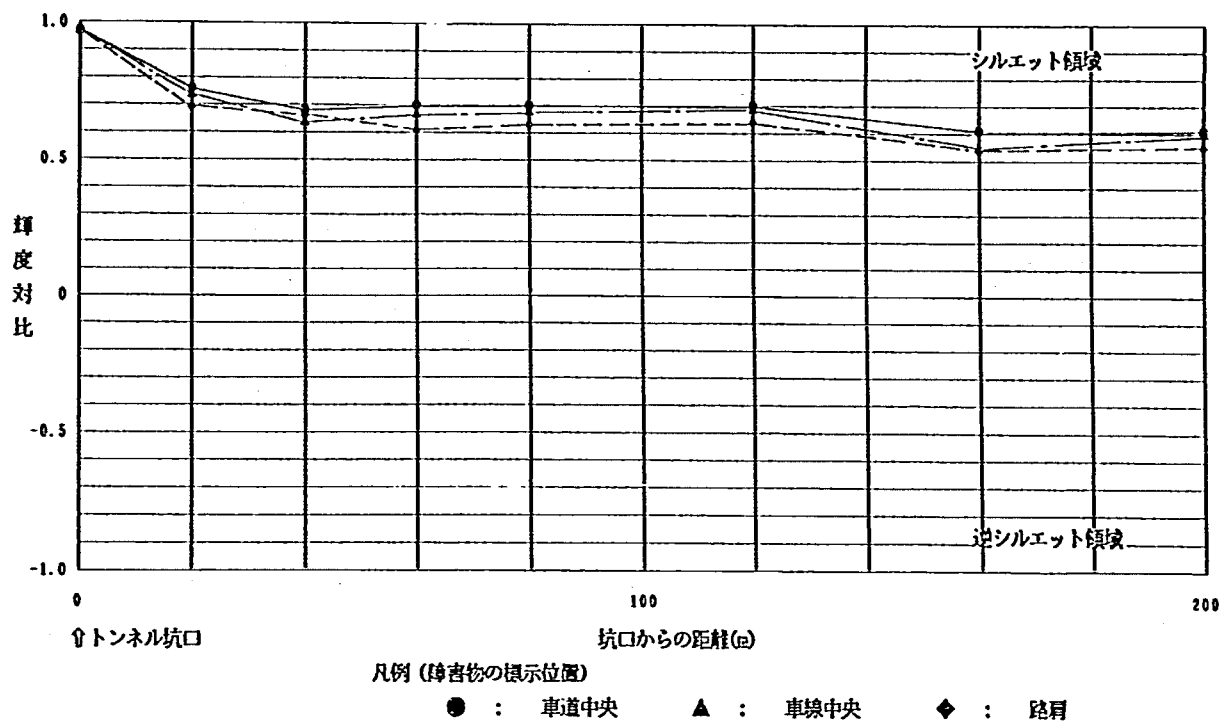


図-5.3.3 人工光による障害物の輝度対比の変化 (カウンタービーム照明・車線中央)

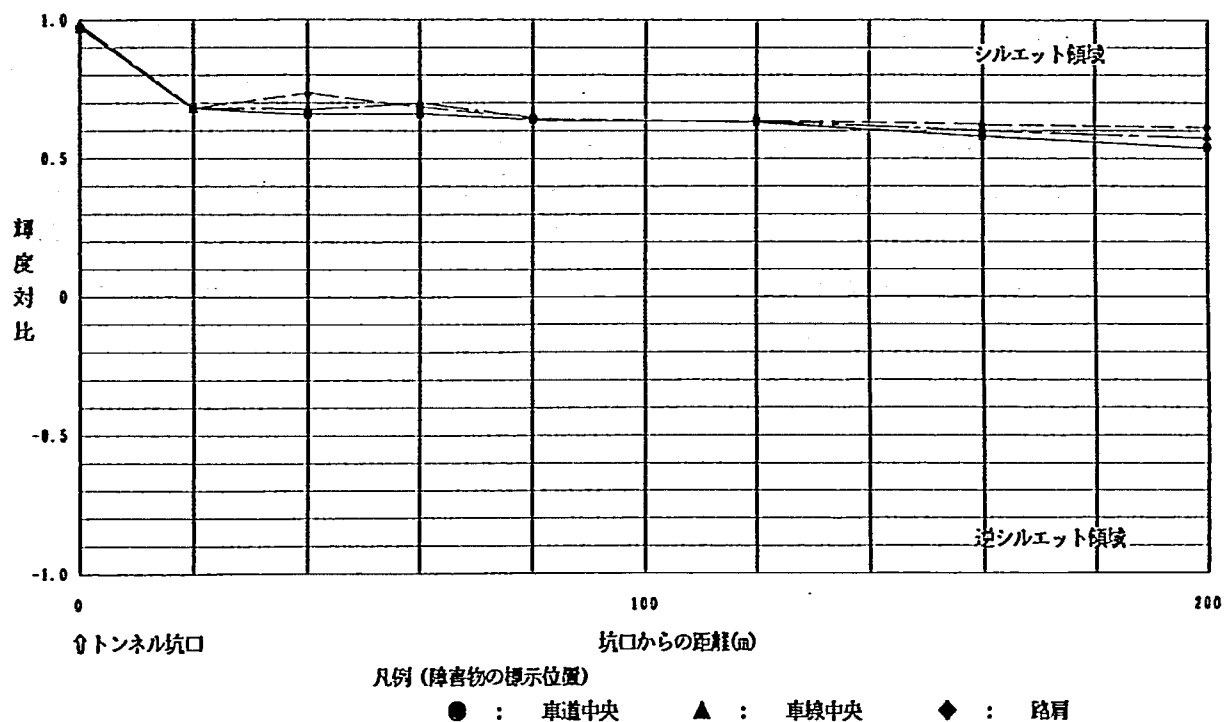


図-5.3.4 人工光による障害物の輝度対比の変化 (カウンタービーム照明・路肩近傍)

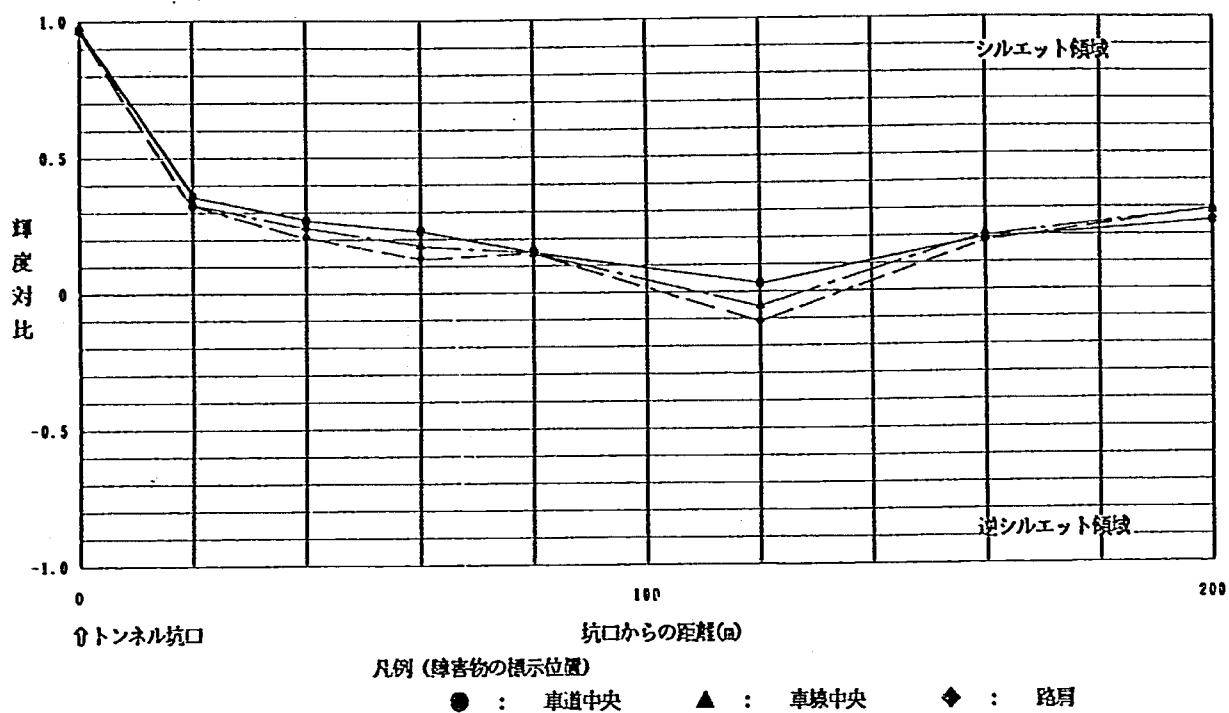


図-5.35 人工光による障害物の輝度対比の変化 (対称照明)

図-5.33～図-5.35によると、人工照明のみの場合、今回の実験に使用した照明器具の設置位置ではカウンタービーム照明での障害物と背景との輝度対比は、トンネル縦断方向の障害物位置による変化も少なく、また横断方向での変化する割合も少ない。

対称照明の場合、トンネル坑口から内部に向けて障害物と背景との輝度対比が徐々に小さくなり、トンネル坑口から120mの地点を境にして大きくなる傾向を示した。特に120mの地点では、車線中央ならびに路肩に置かれた障害物が逆シルエットとなって見える。また道路横断方向においても障害物の位置により輝度対比の変化する箇所がある。

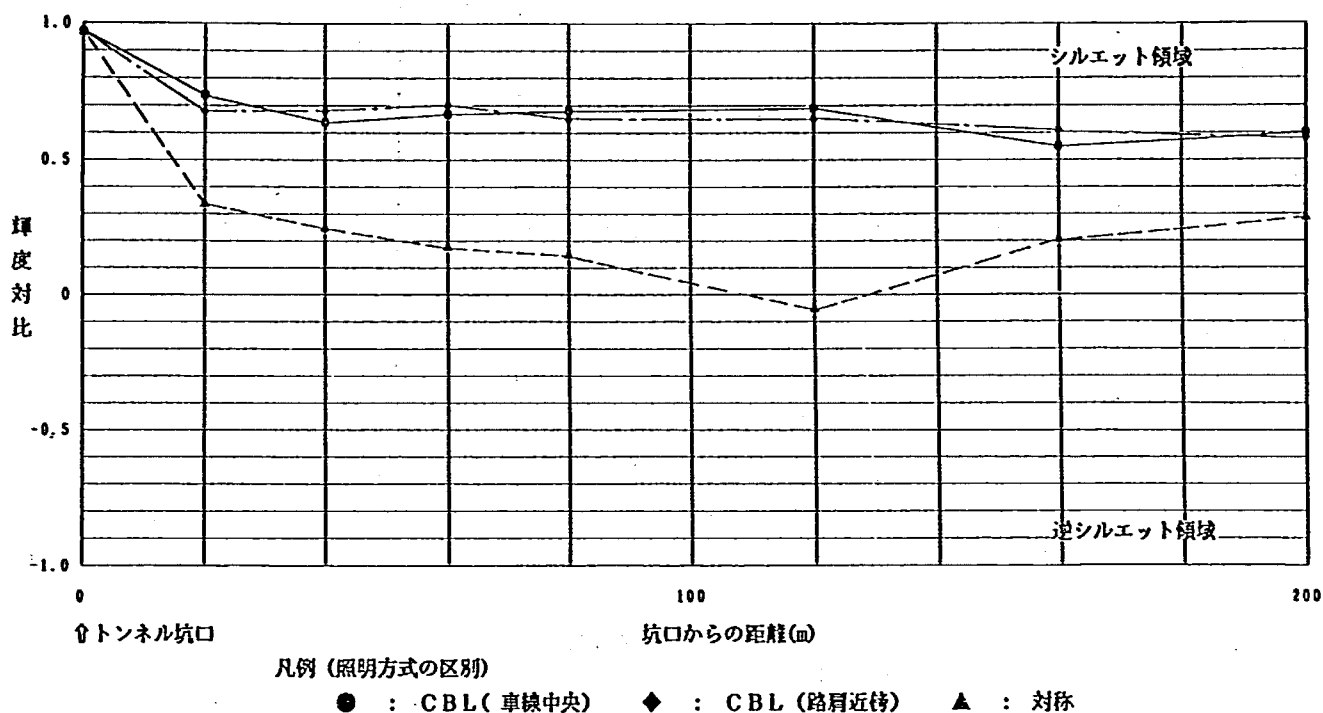
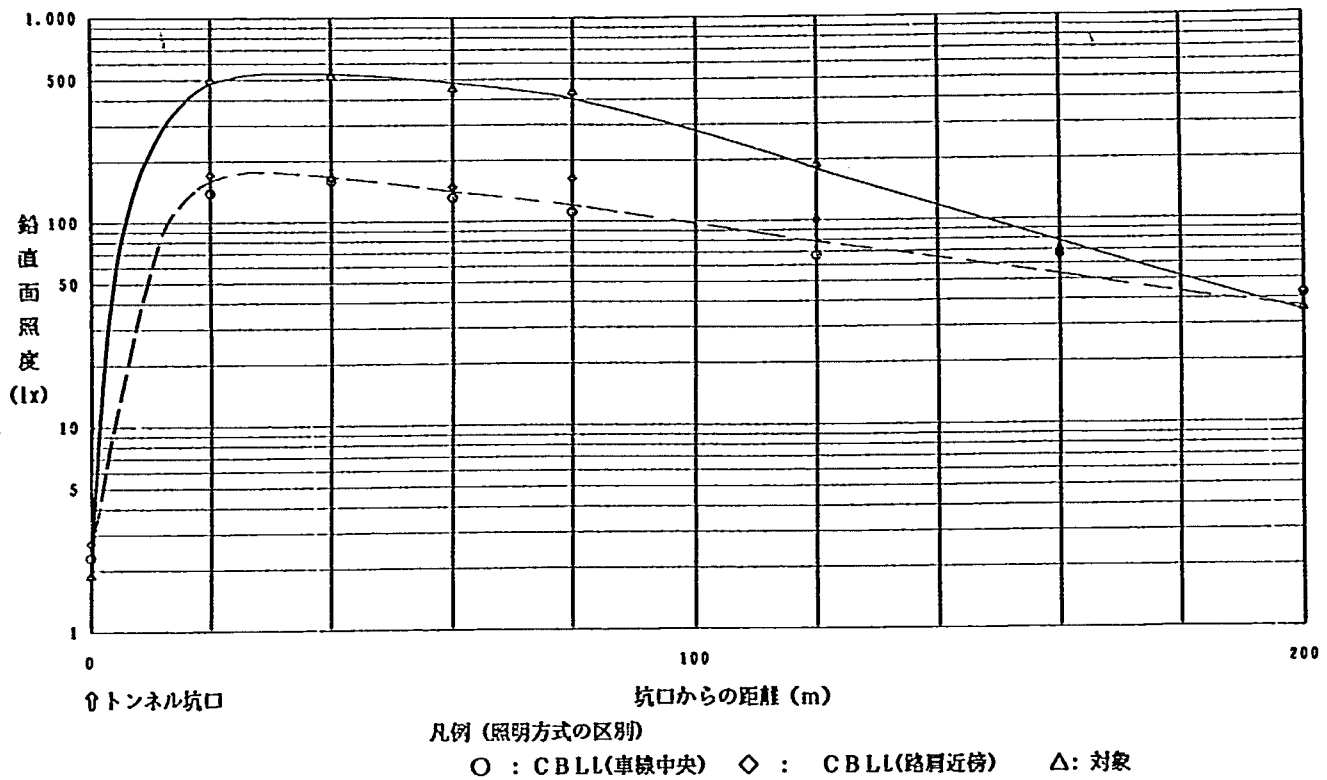


図 - 5. 3 6 照明方式による障害物の輝度対比の比較 (人工光のみの場合)

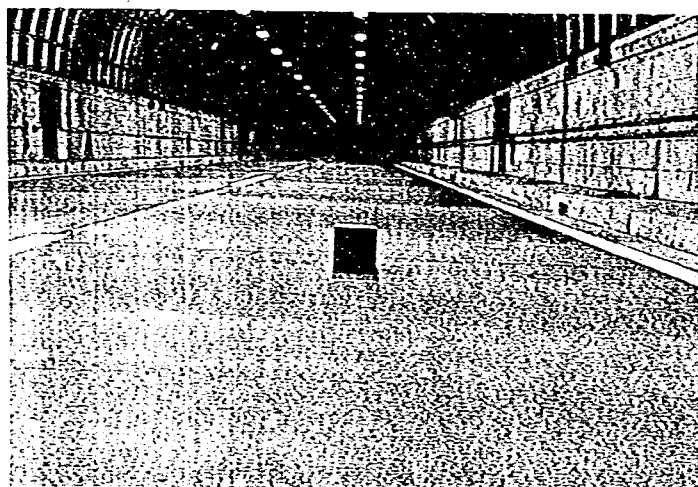
次に車線中央にある障害物を対象として作成した図 - 5. 3 6 により照明方式相互間の輝度対比を比較すると、対称照明は、カウンタービーム照明より輝度対比が入口照明部すべてで小さい値となる。特に坑口より 120 m の付近で逆シルエットになっている。これは対称照明とカウンタービーム照明とにより障害物の面に生ずる鉛直面照度を比較した図 - 5. 3 7 で判る通り、対称照明の場合、障害物の面に生ずる鉛直面照度が、カウンタービーム照明の場合より高いことが原因し、照明方式の違いが現れている。

2つの照明方式による障害物の面の鉛直面照度は、基本照明による影響で一定してはいないがトンネル坑口から 120 m 付近までの間では約 3.5 から 2 倍程度、対称照明が高い。

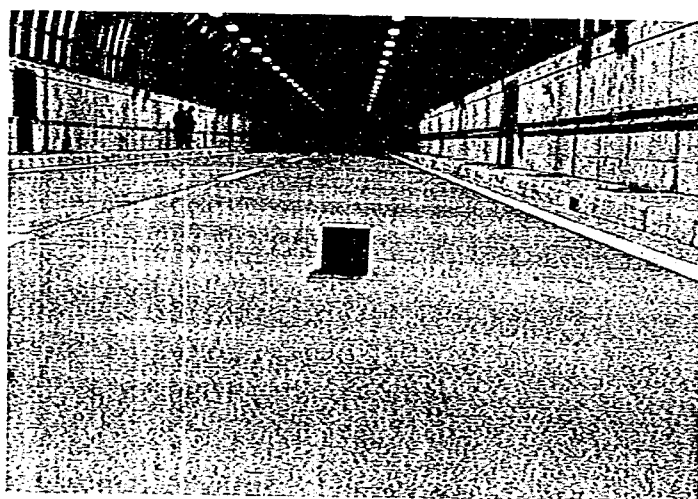


図－5.37 照明方式と障害物の鉛直面照度の比較（車線中央の障害物を対称とする）

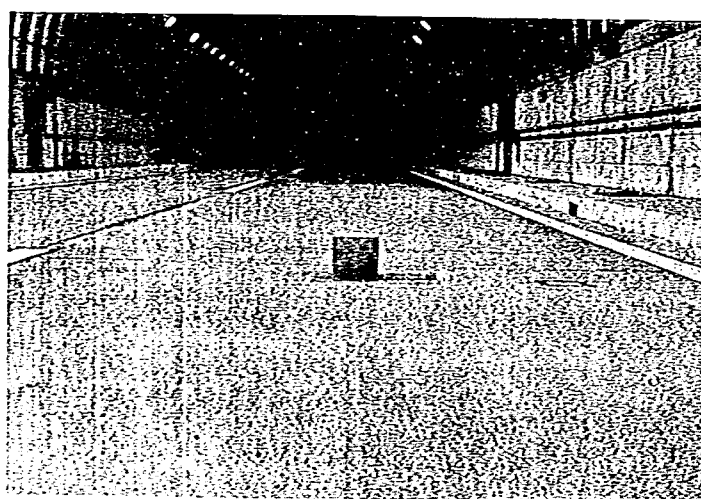
写真－5.6～写真－5.8に車線中央に標示した障害物の見え方を参考として示した。この写真は、トンネル坑口より80mから160mまでのもので、障害物から5mの距離で路面高さ70cmにセットしたカメラで撮影したもので、撮影データ（50mm, F=8, 1/8）は全て同一である。



(A) カウンタービーム照明 (車線中央)

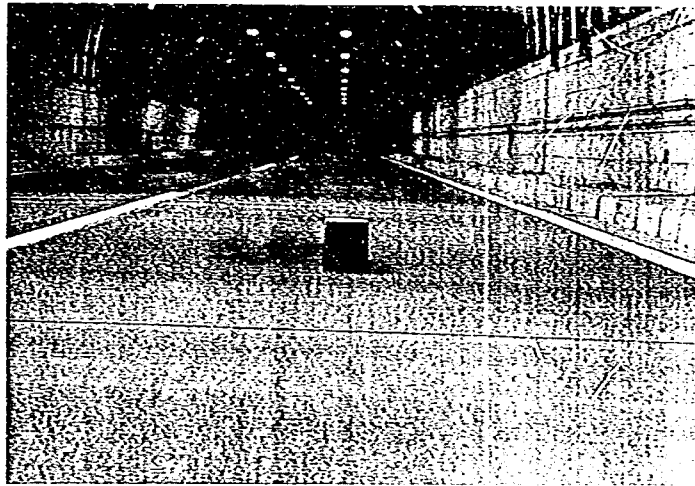


(B) カウンタービーム照明 (路肩近傍)

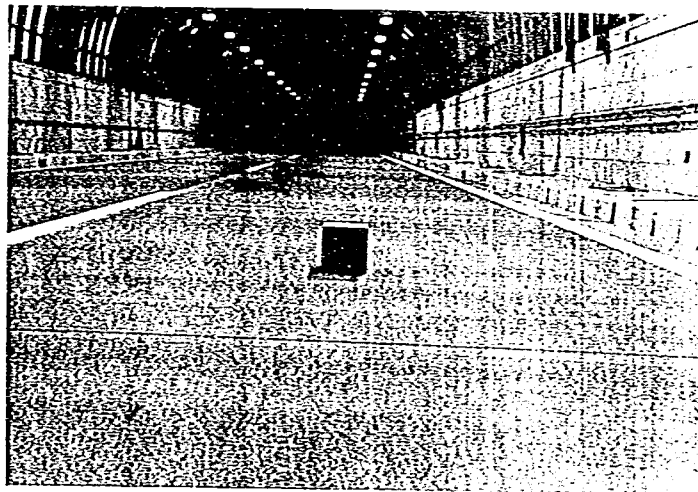


(C) 対称照明

写真-5.6 障害物の位置 坑口より80mの場合



(A) カウンタービーム照明 (車線中央)

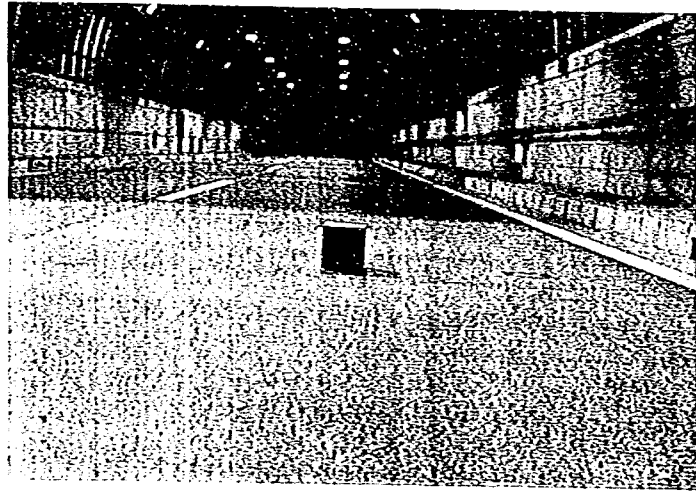


(B) カウンタービーム照明 (路肩近傍)

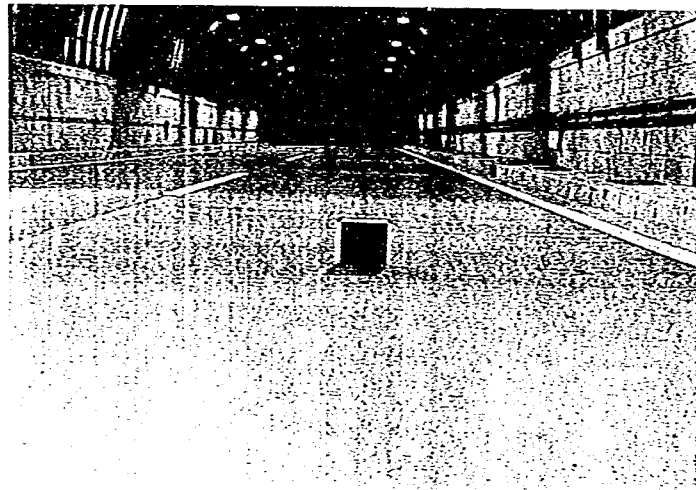


(C) 対称照明

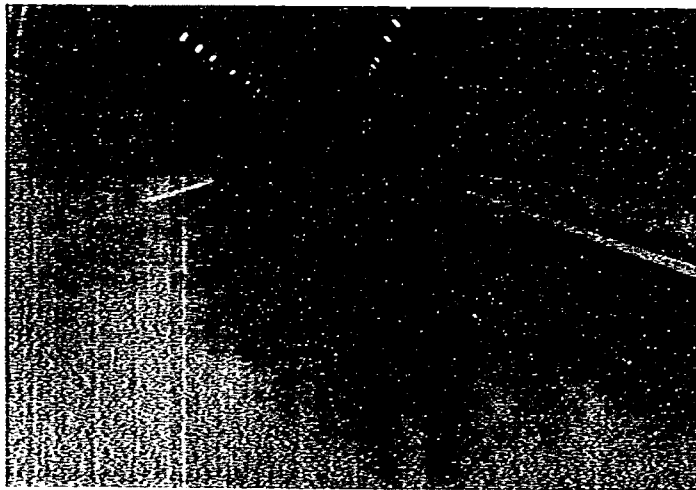
写真-5.7 障害物の位置 坑口より120mの場合



(A) カウンタービーム照明（車線中央）



(B) カウンタービーム照明（路肩近傍）



(C) 対称照明

写真－5.8 障害物の位置 坑口より160mの場合

5.6.2 自然光下での輝度対比

1) 測定項目

トンネル内への自然光の射し込みによる影響を知るために5.6.1の測定を行ったと同一な場合で次の測定を行う。

- (1) 障害物の輝度
- (2) 障害物の背景路面の輝度
- (3) 障害物の鉛直面照度

2) 測定方法

自然光の射し込みによる障害物と背景路面の輝度及び障害物の鉛直面照度を5.6.1と同様、実験車両の走行する車線の右側車線路上に障害物を提示し測定する。

輝度の測定は、視角1/3度の輝度計を使用し障害物の提示位置から10m離れた点より俯角1度を維持し、障害物及び周辺4か所の輝度を測定する。障害物の提示位置は、各照明方式とも表-5.42に示す道路軸方向6か所、道路横断方向3か所とする。なお、背景路面輝度の測定点と障害物との位置関係及び道路横断方向の位置は図-5.29～図-5.32と同様とする。

なお、天候条件は、晴天と曇天の2条件とし、トンネル内の人工照明は消灯した状態で行った。

表-5.42 障害物と背景路面の輝度/障害物の鉛直面照度の測定点(自然光)

道路横断方向	道 路 軸 方 向					
	0m	20m	40m	60m	80m	120m
路 肩	○	○	○	○	○	○
車線中央	○	○	○	○	○	○
車道中央	○	○	○	○	○	○

また、測定値の安定を図るため、太陽位置が最も高い位置にある正午から測定を行うこととした。

3) 測定器

測定には次の測定器を使用した。

- (1) 輝度測定・・・ミノルタ輝度計(LS-110 視角1/3度)
- (2) 鉛直面照度・・・トプコン照度計(IM-3)

4) 測定結果

自然光下によるトンネル内への影響を表-5.43～表-5.45に示す。

表-5.43は、曇り後晴れの天候状況であり、測定時間も14:00～14:15と比較的遅い時間帯のものであり、表-5.44は、晴天時、測定時間は12:00から12:30にかけてのものである。また表-5.45は曇りの場合の測定結果である。

表-5.4.3 自然光の射し込みによる効果の測定

(1) 測定日時 平成6年3月7日 14時05分～14時15分

(2) 測定時の天候 曇りのち晴れ

(3) 測定中の野外輝度又は照度の変化

野外輝度 3300～3850 (cd/m²) (測定時間内の最小値/ 最大値)

鉛直面照度 24000 ～29500 (lx) (測定時間内の最小値/ 最大値)

水平面照度 24500 ～31500 (lx) (測定時間内の最小値/ 最大値)

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/m ²)	背景の輝度(cd/m ²)				
				①	②	③	④	平均値
0m	車道中央	31,200.0	2,280.0	26.9	130.0	149.0	146.0	113.0
	車線中央	31,200.0	2,800.0	29.9	109.0	147.0	137.0	105.7
	路 肩	31,800.0	2,790.0	35.9	120.0	158.0	147.0	115.2
20m	車道中央	1,320.0	137.0	3.2	44.4	83.4	45.3	44.1
	車線中央	1,345.0	136.0	2.9	37.8	89.2	41.4	42.8
	路 肩	1,359.0	130.0	2.4	45.6	87.5	56.3	48.0
40m	車道中央	247.0	24.3	0.7	9.5	9.9	7.5	6.9
	車線中央	254.0	24.1	0.5	5.6	9.8	6.3	5.6
	路 肩	262.0	22.1	0.5	5.3	10.1	7.2	5.8
60m	車道中央	81.8	7.5	0.3	3.1	3.1	1.6	2.0
	車線中央	84.2	8.2	0.5	2.5	3.2	1.0	1.8
	路 肩	86.3	8.2	0.6	1.6	3.1	2.1	1.9
80m	車道中央	33.4	3.4	0.3	0.9	1.0	0.6	0.7
	車線中央	34.5	3.4	0.3	0.7	1.0	0.6	0.7
	路 肩	35.3	3.2	0.3	0.7	0.9	0.8	0.7
120m	車道中央	6.6	0.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	車線中央	6.7	0.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	路 肩	6.9	0.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

表-5.4.4 自然光の射し込みによる効果の測定

(1) 測定日時 平成6年3月11日 12時00分～12時30分

(2) 測定時の天候 晴れ

(3) 測定中の野外輝度又は照度の変化

野外輝度 3950～5900 (cd/m²) (測定時間内の最小値/ 最大値)

鉛直面照度 31500 ～82000 (lx) (測定時間内の最小値/ 最大値)

水平面照度 31500 ～89000 (lx) (測定時間内の最小値/ 最大値)

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/m ²)	背景の輝度(cd/m ²)				
				①	②	③	④	平均値
0m	車道中央	79,600.0	7,150.0	63.1	3,750.	2,950.	5,225.	2,997.
	車線中央	72,000.0	7,844.0	91.1	4,761.	2,909.	4,023.	2,946.
	路 肩	80,000.0	7,653.0	98.5	4,610.	2,880.	4,612.	3,050.
20m	車道中央	2,050.0	228.0	18.2	63.5	110.5	55.5	61.9
	車線中央	2,140.0	235.5	18.5	60.5	130.5	68.5	69.5
	路 肩	2,190.0	234.2	14.5	78.5	130.5	54.5	69.5
40m	車道中央	367.0	47.5	4.5	14.8	18.6	11.4	12.3
	車線中央	411.0	46.2	5.2	12.5	18.5	11.3	11.9
	路 肩	439.0	50.7	4.8	14.8	21.5	10.4	12.9
60m	車道中央	132.0	17.5	2.0	5.2	6.6	4.0	4.5
	車線中央	135.0	18.5	2.2	4.7	6.9	4.5	4.6
	路 肩	138.0	18.4	2.0	4.8	6.7	3.7	4.3
80m	車道中央	48.0	6.5	0.8	1.5	1.9	1.6	1.5
	車線中央	55.0	6.7	0.8	1.5	2.2	1.4	1.5
	路 肩	60.0	7.6	0.8	1.9	2.6	1.4	1.7
120m	車道中央	5.0	0.5	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
	車線中央	5.0	0.5	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
	路 肩	5.0	0.5	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2

表-5.45 自然光の射し込みによる効果の測定

(1) 測定日時 平成6年3月14日 12時30分～12時45分

(2) 測定時の天候 曇り

(3) 測定中の野外輝度又は照度の変化

野外輝度 2200～1500 (cd/m²) (測定時間内の最小値/ 最大値)

鉛直面照度 7500～10500 (lx) (測定時間内の最小値/ 最大値)

水平面照度 5500～8500 (lx) (測定時間内の最小値/ 最大値)

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/m ²)	背景の輝度(cd/m ²)				
				①	②	③	④	平均値
0m	車道中央	8,730.0	814.0	30.0	440.0	480.0	450.0	350.0
	車線中央	8,790.0	840.0	35.0	440.0	480.0	400.0	338.8
	路 肩	8,580.0	840.0	30.0	400.0	396.0	320.0	286.5
20m	車道中央	638.0	72.0	4.3	21.0	32.0	21.0	19.6
	車線中央	701.0	77.0	4.0	21.0	34.5	22.6	20.5
	路 肩	769.0	85.0	5.7	28.8	40.5	22.0	24.3
40m	車道中央	139.0	17.8	3.0	5.2	6.7	5.0	5.0
	車線中央	144.0	18.1	3.0	5.0	6.8	4.5	4.8
	路 肩	154.0	18.0	1.8	5.0	5.8	4.5	4.3
60m	車道中央	53.5	7.1	1.0	1.9	2.6	2.1	1.9
	車線中央	54.5	6.9	1.0	2.0	2.4	1.7	1.8
	路 肩	57.3	7.0	0.9	2.2	2.5	1.6	1.8
80m	車道中央	26.8	3.3	0.6	0.8	1.0	0.9	0.8
	車線中央	27.1	3.4	0.6	1.0	1.1	0.8	0.9
	路 肩	28.4	3.6	0.5	1.1	1.1	0.8	0.9
120m	車道中央	7.3	0.9	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	車線中央	7.7	1.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	路 肩	7.8	1.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

図-5.38は、3月11日(晴天)を対象としてトンネル坑口からの距離と路面及び障害物の輝度との変化を示したものである。道路横断方向に於ける障害物の標示位置の違いによる輝度の差は、少なくほぼ一様な変化を示している。この図と表-5.41とを比較すると、人工光のみによる輝度に対して自然光(晴天時)による輝度は、60m地点で背景路面輝度の約40%、80m地点で約15%、障害物に対しては、60m地点でカウンタービーム照明では約25%、対称照明では約10%、80m地点でカウンタービーム照明では12%、対称照明では5%となり、今回の実験に使用したトンネルの南坑口に於ける自然光(晴天時)のトンネル内への影響は、トンネル内80mから100m程度まで影響している。

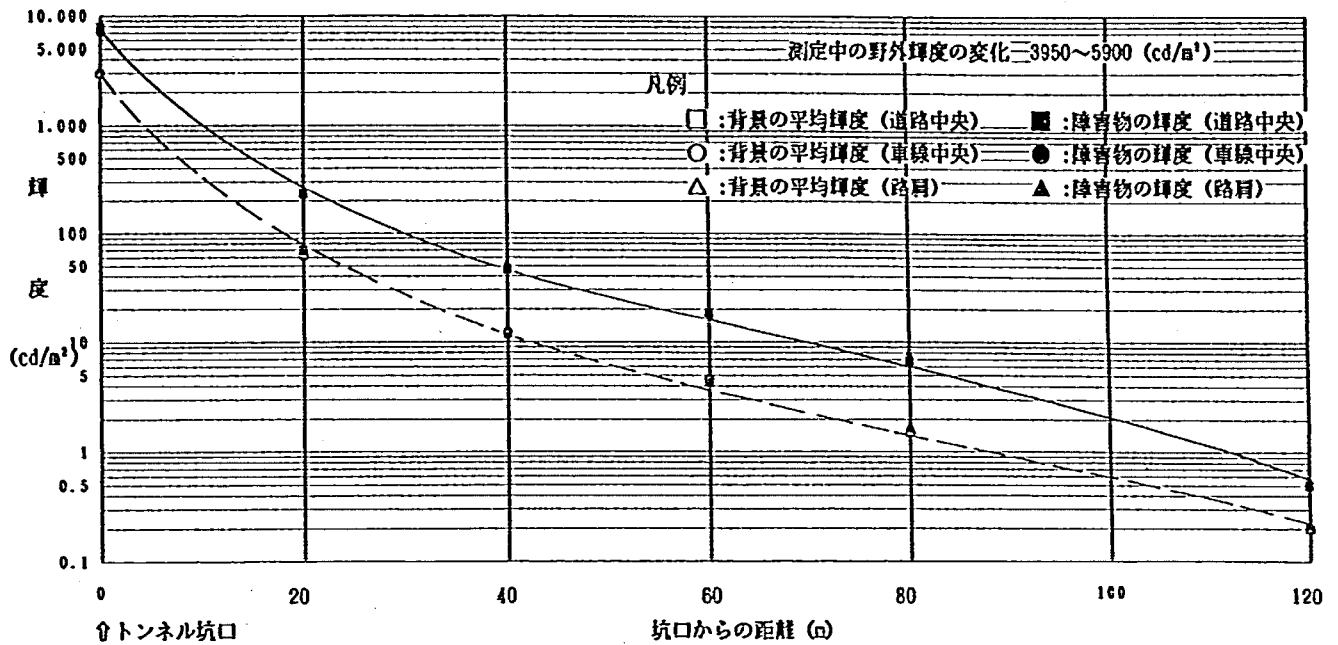


図-5.38 自然光のトンネル内への影響 (晴天時の路面・障害物の輝度変化)

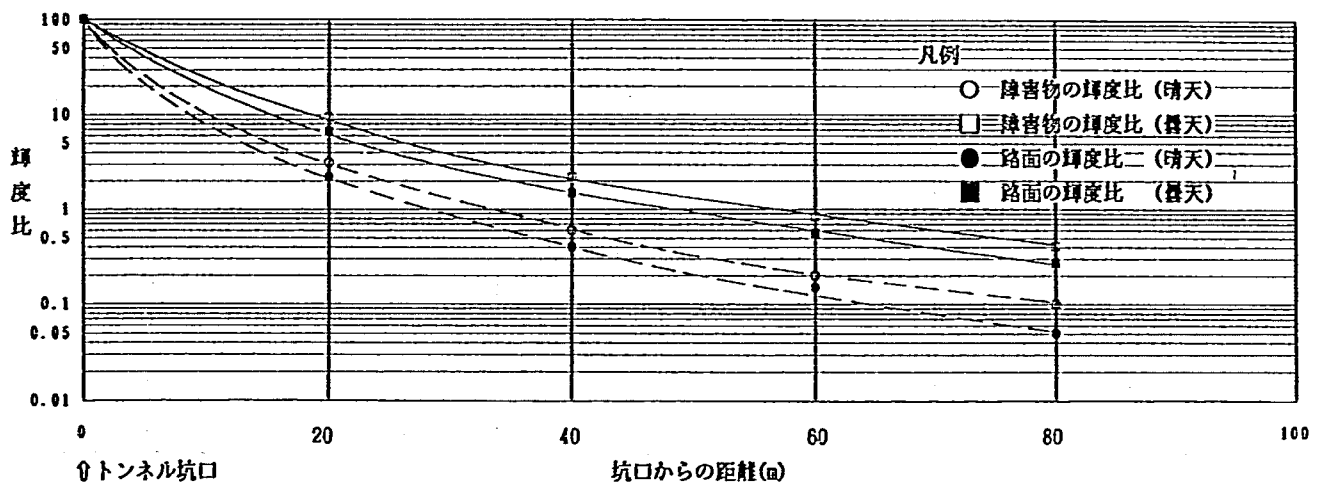


図-5.39 トンネル坑口輝度を基準とした輝度比の変化

図-5.39は、トンネル坑口0 m地点での、それぞれの輝度を基本として、障害物及び路面に生ずる輝度の距離による変化を求めたものである。図-5.39で判る通り、坑口部輝度に対するトンネル内への影響は、曇天時の方が大きい。

5) 自然光によるトンネル内輝度対比

式(5.4)を使用し、測定結果よりトンネル内での輝度対比を求めたものが表-5.46である。この表は、天候の安定していた3月11日(天候・晴れ)と3月14日(天候・曇り)を対象としたものである。

表-5.46 自然光によるトンネル内輝度対比の変化

日時(天候)		3月11日(晴れ)			3月14日(曇り)		
坑口からの距離 (m)	障害物の位置	障害物の輝度 L_o (cd/m^2)	背景の輝度 L_b (cd/m^2)	輝度対比 C_o	障害物の輝度 L_o (cd/m^2)	背景の輝度 L_b (cd/m^2)	輝度対比 C_o
0m	車道中央	7,150.0	2,997.0	-1.39	814.0	350.0	-1.33
	車線中央	7,844.0	2,946.0	-1.66	840.0	338.8	-1.48
	路 肩	7,653.0	3,050.0	-1.51	840.0	286.5	-1.93
20m	車道中央	228.0	61.9	-2.68	72.0	19.6	-2.67
	車線中央	235.5	69.5	-2.39	77.0	20.5	-2.76
	路 肩	234.2	69.5	-2.37	85.0	24.3	-2.50
40m	車道中央	47.5	12.3	-2.86	17.8	5.0	-2.56
	車線中央	46.2	11.9	-2.88	18.1	4.8	-2.77
	路 肩	50.7	12.9	-2.93	18.0	4.3	-3.19
60m	車道中央	17.5	4.5	-2.89	7.1	1.9	-2.74
	車線中央	18.5	4.6	-3.02	6.9	1.8	-2.83
	路 肩	18.4	4.3	-3.28	7.0	1.8	-2.89
80m	車道中央	6.5	1.5	-3.33	3.3	0.8	-3.13
	車線中央	6.7	1.5	-3.47	3.4	0.9	-2.78
	路 肩	7.6	1.7	-3.47	3.6	0.9	-3.0
120m	車道中央	0.5	0.2	-1.5	0.9	0.2	-3.5
	車線中央	0.5	0.2	-1.5	1.0	0.2	-4.0
	路 肩	0.5	0.2	-1.5	1.0	0.2	-4.0

図-5.40は、表-5.46の中から輝度対比の変化をまとめ、最大と最小の範囲を示したものである。

図によると自然光によりトンネル内に生ずる障害物と背景路面との輝度対比は、トンネル坑口からの距離による変化はあるが、120mの地点を除き天候による変化は比較的少ない。

さらに野外輝度に対する障害物の輝度及び背景路面の輝度との比と距離の関係を表したものが図-5.41である。この図によると実大トンネル(南坑口)では障害物や背景路面の輝度は、トンネル坑口から20m付近までは野外輝度の違いによる影響を受けるが、それ以降の距離の点ではほぼ等しいことが分かる。

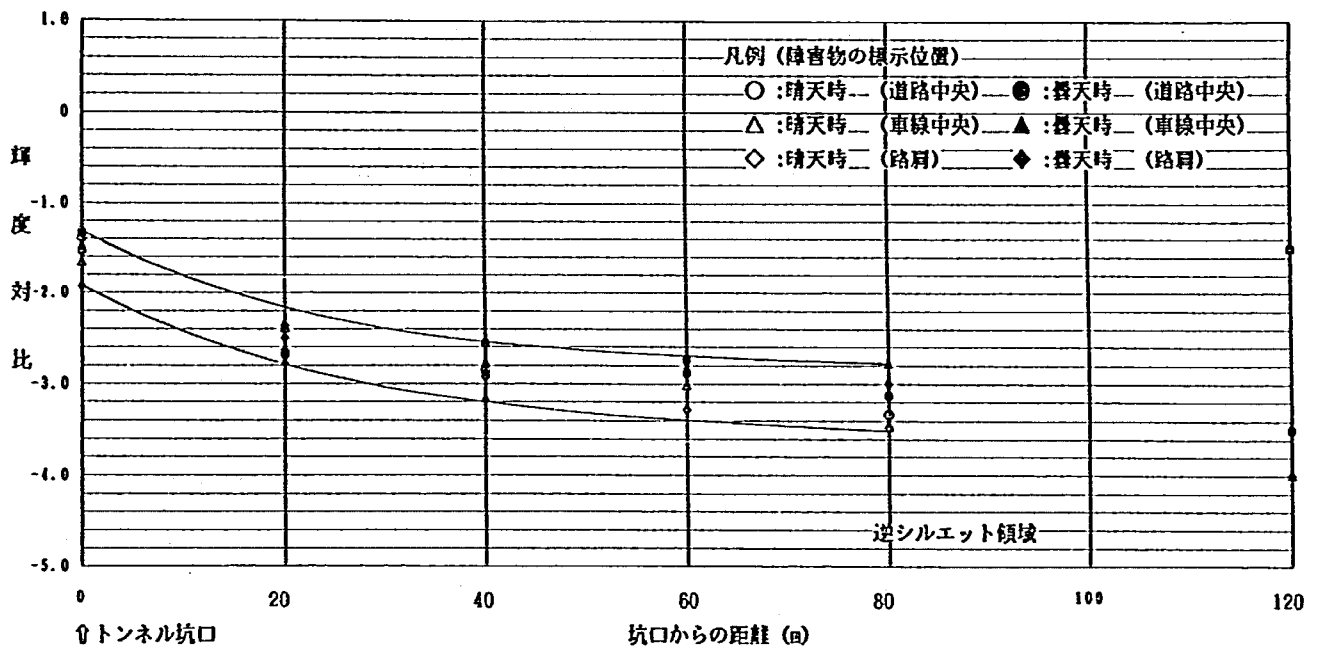


図-5.40 自然光によるトンネル内輝度対比の変化 (晴天時・曇天時)

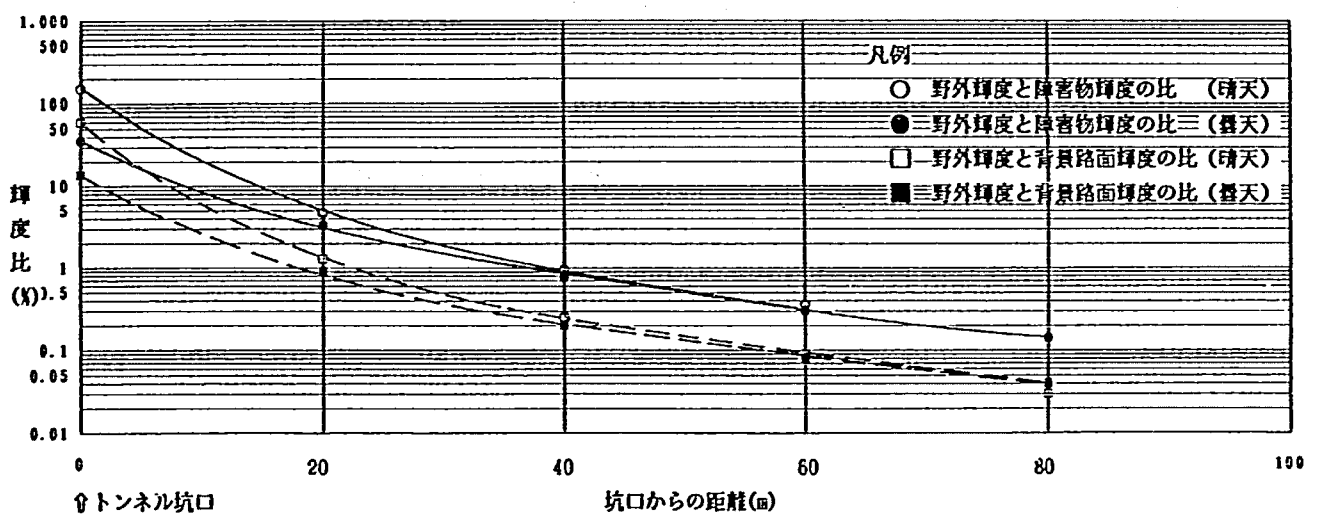


図-5.41 野外輝度に対するトンネル内障害物輝度及び背景路面輝度の比

5.6.3 自然光の射し込みによる影響

図-5.42～図-5.44は、人工照明下と自然光下での障害物の輝度と背景路面の輝度とを各照明方式毎にまとめたものである。実大トンネルでは、カウンタービーム照明の場合、照明器具の配置に関係なく自然光の影響を受け坑口から40m付近で背景路面の輝度と障害物の輝度とがほぼ等しくなり、120m付近で人工光による照明時とほぼ同じ輝度となる。また、対称照明では、60m付近でほぼ等しくなり、120m付近まではほぼ等しい輝度値が続く。このことから今回実験を行った実大トンネルの南坑口では、自然光による輝度値に対する影響の範囲は120m程度までおよんでいることが分かる。

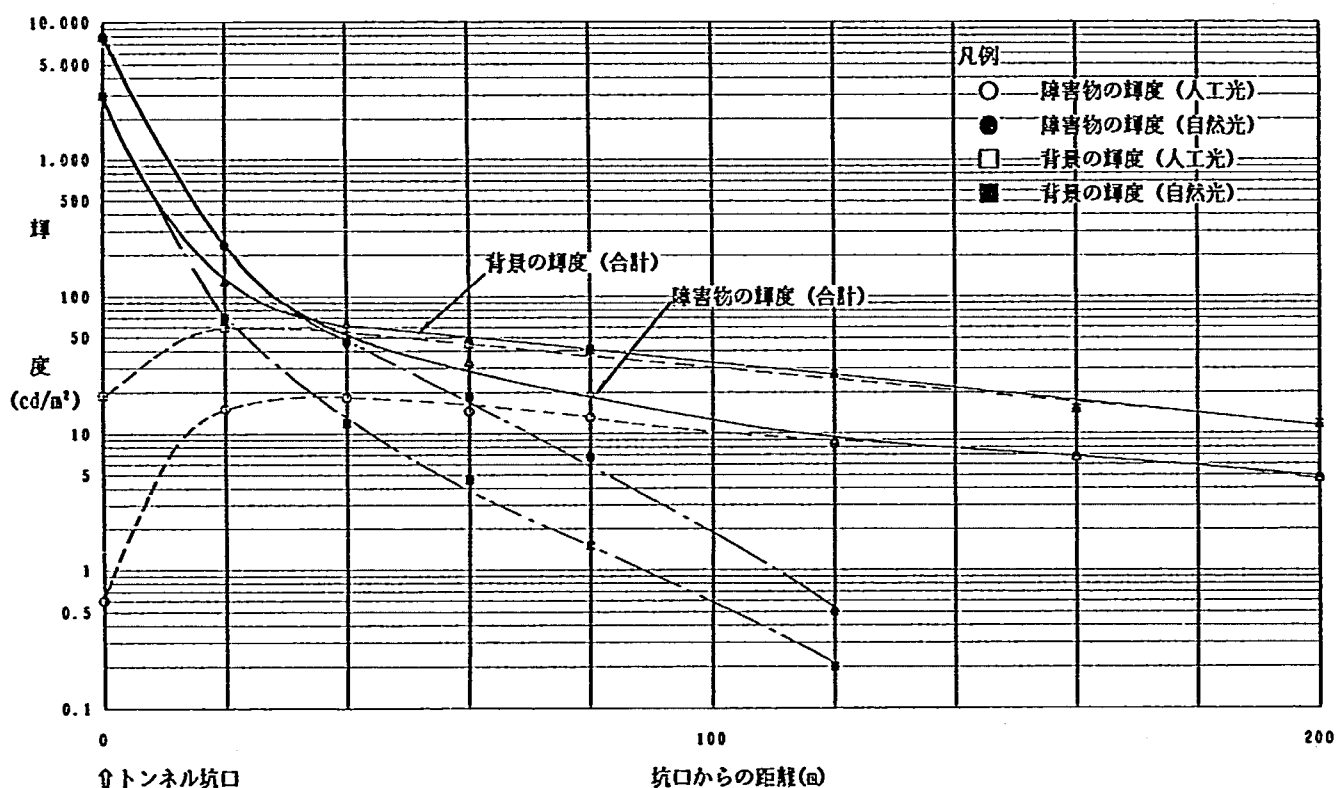


図-5.42 障害物と背景の輝度値の変化（晴天時）
（カウンタービーム照明・車線中央）

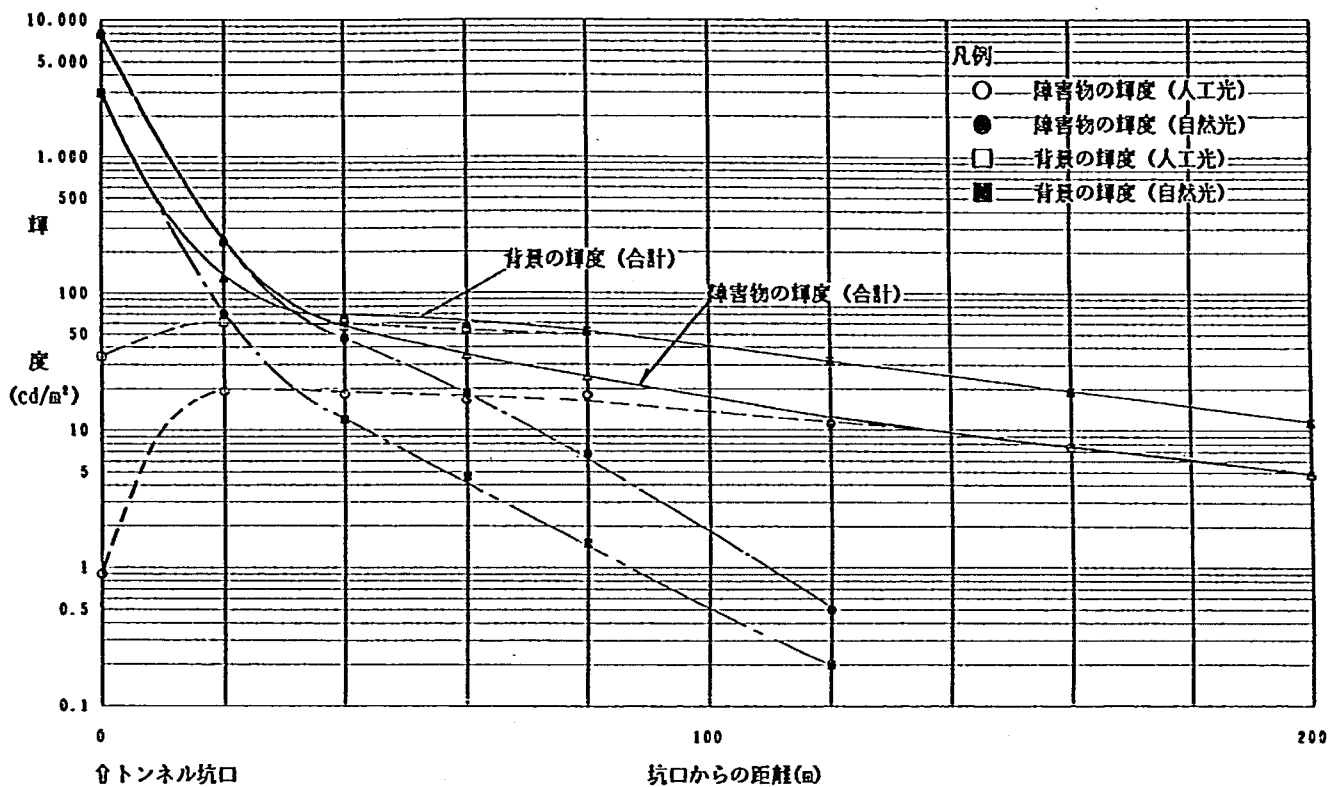


図-5.43 障害物と背景の輝度値の変化 (晴天時)
(カウンタービーム照明・路肩近傍)

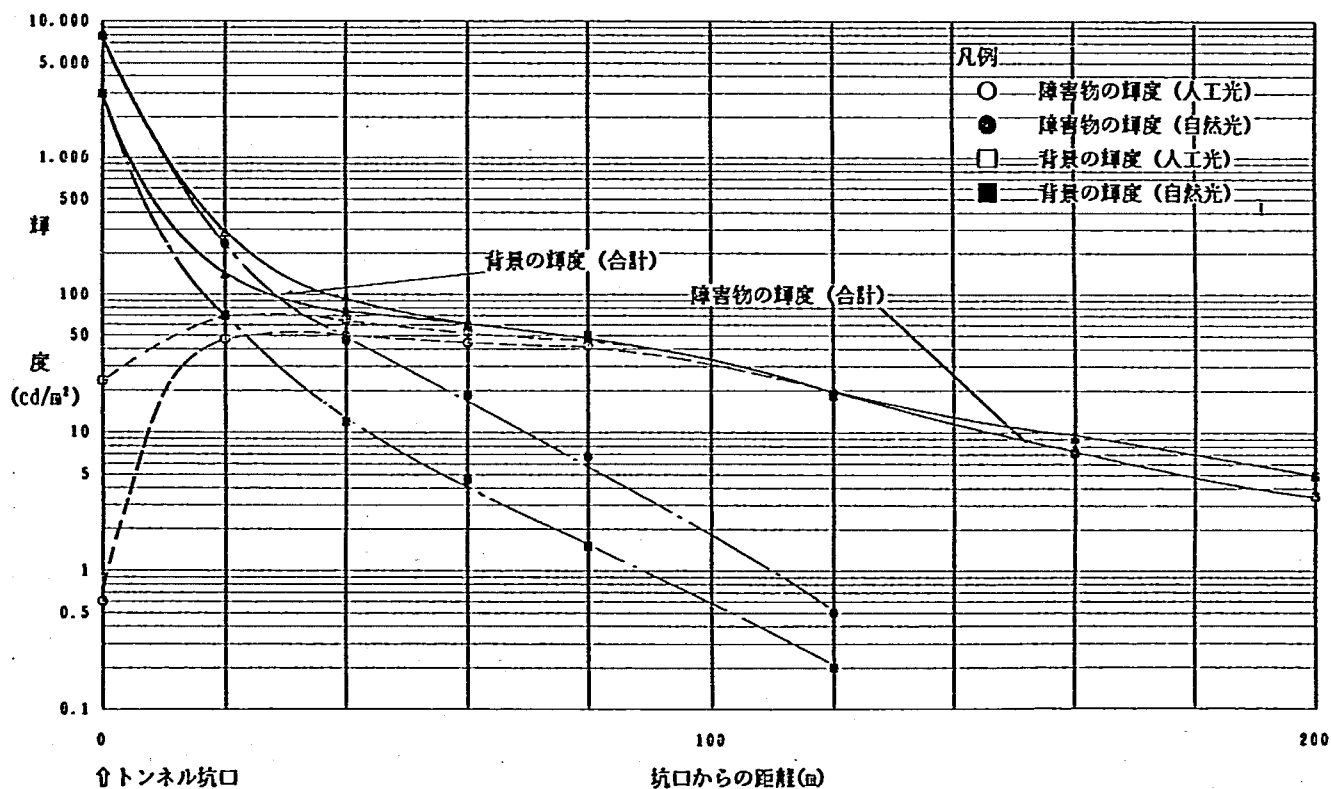


図-5.44 障害物と背景の輝度値の変化 (晴天時)
(対称照明)

次に測定結果から計算により自然光の射し込みによる影響を加味し輝度対比を求めた。計算は野外輝度が最も高くなった晴天の日（3月11日）のデータを利用し、各方式毎に自然光の影響を加味した場合の輝度対比を求め表-5.47に示した。

図-5.45～図-5.47は、表-5.47で求めた自然光の影響を加味した輝度対比に人工光による輝度対比の中、車線中央の値を追加し各照明方式別に輝度対比を表したものである。

表-5.47 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、3月11日、天候 晴れを使用)

照明方式		カウンタービーム照明 (車線中央取付)			カウンタービーム照明 (路肩近傍取付)			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/m ²	背景の 輝度 L_b cd/m ²	輝度 対比 C_o	障害物 の輝度 L_o cd/m ²	背景の 輝度 L_b cd/m ²	輝度 対比 C_o	障害物 の輝度 L_o cd/m ²	背景の 輝度 L_b cd/m ²	輝度 対比 C_o
0m	車道中央	7,150.	3,012.	-1.37	7,151.	3,031.	-1.36	7,150.	3,021.	-1.37
	車線中央	7,844.	2,965.	-1.65	7,845.	2,980.	-1.63	7,844.	2,969.	-1.64
	路 肩	7,653.	3,065.	-1.50	7,654.	3,086.	-1.48	7,653.	3,071.	-1.49
20m	車道中央	243.4	126.4	-0.93	246.4	119.6	-1.06	272.4	133.1	-1.05
	車線中央	250.7	128.5	-0.95	254.7	130.1	-0.96	282.3	140.9	-1.00
	路 肩	247.9	114.3	-1.17	252.8	127.4	-0.98	278.2	134.0	-1.08
40m	車道中央	67.6	75.5	0.10	67.3	69.7	0.03	96.2	79.3	-0.21
	車線中央	64.5	63.3	-0.02	64.4	69.0	0.07	95.3	77.5	-0.23
	路 肩	65.4	55.6	-0.18	67.2	73.5	0.09	97.8	72.2	-0.35
60m	車道中央	35.3	58.5	0.40	35.2	57.0	0.38	59.8	59.3	-0.01
	車線中央	33.1	48.4	0.32	35.1	59.2	0.41	62.7	58.2	-0.08
	路 肩	32.1	39.0	0.18	34.3	54.1	0.37	62.3	54.7	-0.14
80m	車道中央	20.6	48.2	0.57	23.9	50.0	0.52	45.1	47.0	0.04
	車線中央	19.8	42.1	0.53	24.6	53.2	0.54	48.8	51.3	0.05
	路 肩	19.9	34.9	0.43	24.7	50.2	0.51	41.2	41.8	0.01
120m	車道中央	10.5	30.4	0.65	13.2	31.4	0.58	20.4	19.8	-0.03
	車線中央	10.2	27.3	0.63	13.0	32.1	0.60	21.0	18.7	-0.12
	路 肩	9.5	22.1	0.57	13.0	30.6	0.58	18.9	15.8	-0.20
160m	車道中央	7.2	18.5	0.61	7.9	19.0	0.58	7.9	9.7	0.19
	車線中央	6.7	15.0	0.55	7.5	19.0	0.61	7.2	9.1	0.21
	路 肩	5.8	12.6	0.54	7.1	18.9	0.62	6.3	7.7	0.18
200m	車道中央	5.0	12.9	0.61	5.0	10.9	0.54	4.1	5.5	0.25
	車線中央	4.7	11.7	0.60	4.8	11.4	0.58	3.5	4.9	0.29
	路 肩	4.3	9.6	0.55	4.1	10.5	0.61	2.9	4.1	0.29

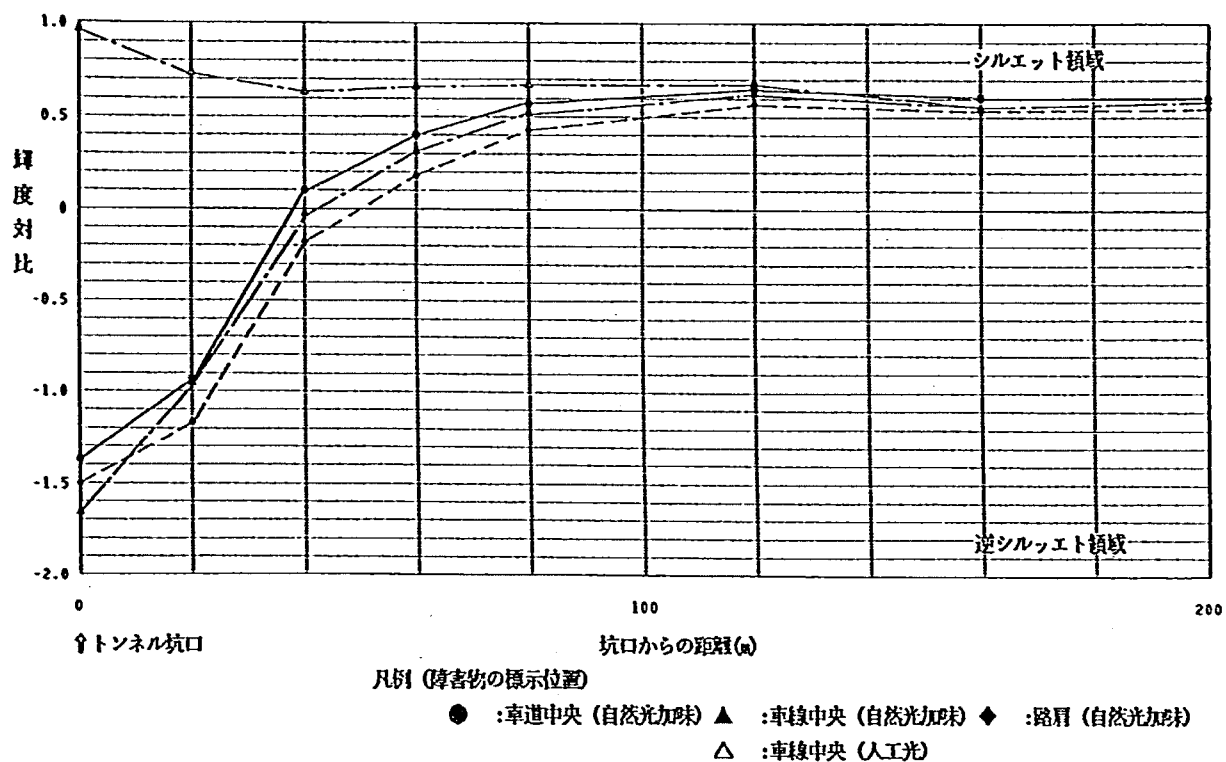


図-5.45 自然光を加えた場合の輝度対比の変化
(カウンタービーム照明・車線中央)

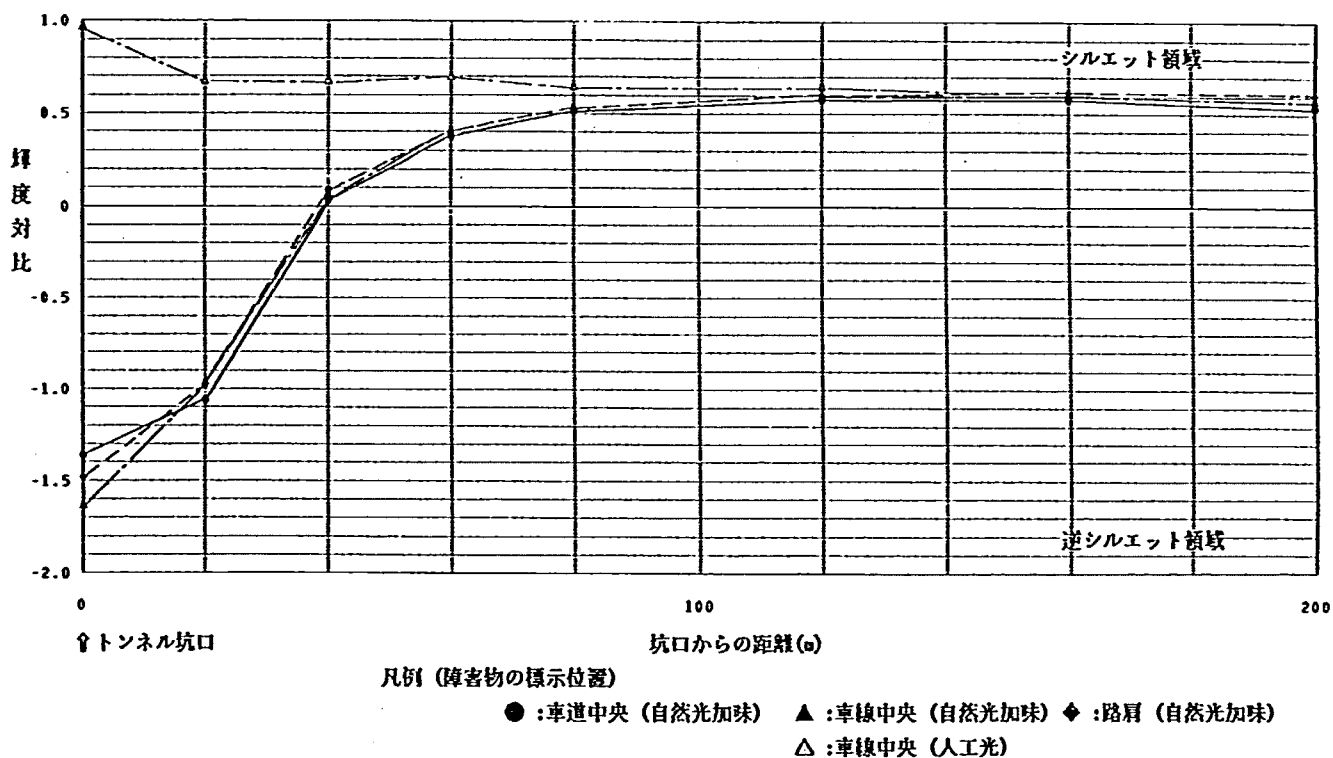


図-5.46 自然光を加えた場合の輝度対比の変化
(カウンタービーム照明・路肩近傍)

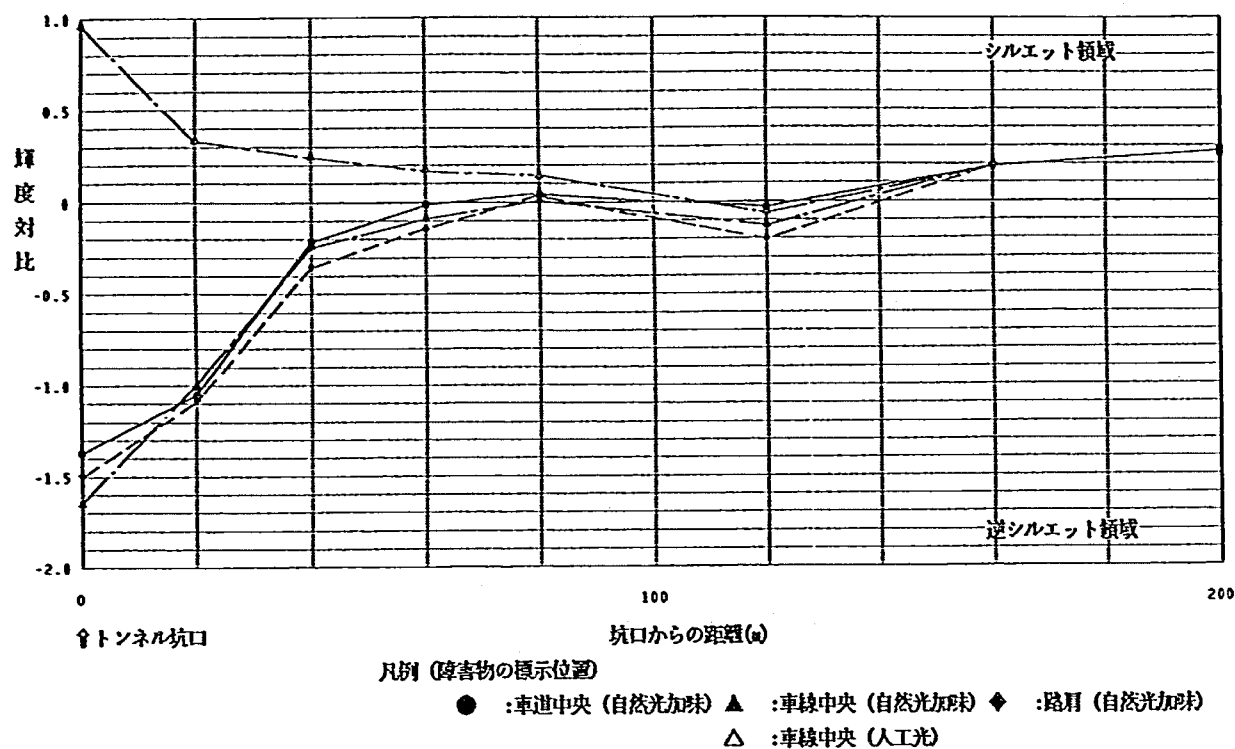


図-5.4.7 自然光を加えた場合の輝度対比の変化 (対称照明)

これらの図によると、自然光が輝度対比に影響を与える範囲は照明方式により多少異なるが、カウンタービーム照明では、0～80 m区間に影響し、特に0～40 m付近では逆シルエットとなり、また対称照明では、0～120 m区間に影響し、特に0～80 m区間では逆シルエットとなる。以上のことから自然光が加味されることで輝度対比は低下することがわかる。

5.6.4 照明条件別の輝度対比の比較

人工照明によるトンネル内の輝度対比を比較した図-5.35及び自然光を加味した場合のトンネル内の輝度対比を照明方式毎に比較した図-5.45～図-5.47より、カウンタービーム照明は、対称照明に比較し、高い輝度対比となることがわかった。人工照明のみの場合、坑口より20mの地点より200mの地点までの輝度対比は、カウンタービーム照明では $C = 0.5$ 以上の値となり、対称照明では、 $C = 0.05 \sim 0.3$ 程度の範囲に存在する。

自然光を加味した図-5.45～図-5.47の場合では、今回の実験で使用した照明器具の設置位置、障害物の反射率や標示位置ではカウンタービーム照明は、坑口から40m付近を除き、輝度対比は比較的高い値となり、輝度対比の値の変化も少ない。しかし、対称照明の場合、40m付近から輝度対比が小さくなり、160m付近まで続く、特に60m付近から120m付近までの値は小さい。

人工照明のみの場合と自然光を加味した場合とを比較すると今回の実験結果ではカウンタービーム照明の方が、対称照明より自然光の影響を受けにくいことを示しているようにも見える。

この原因の一つには、障害物の反射率が30%程度と比較的高い値に設定されていたことが関係すると思われる。

障害物の反射率について高速道路（東名高速自動車道、清水－菊川間）における路面の落下物を中心に調査した結果では、大きさが30cm以下の落下物を対象とした場合、その70%の落下物は、反射率が20%以下との報告がある³⁾。そこで障害物の反射率の影響を調べるため、障害物の反射率を20%とした場合の輝度対比を表-5.41及び表-5.47のデータを利用し求め、表-5.48及び表-5.49に示した。

表-5.48 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
(人工照明のみの表-5.41より計算により求めた)

照明方式		カウンタービーム照明 (車線中央取付)			カウンタービーム照明 (路肩近傍取付)			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	背景の 輝度 L _b	輝度 対比 C _o	障害物 の輝度 L _o	背景の 輝度 L _b	輝度 対比 C _o	障害物 の輝度 L _o	背景の 輝度 L _b	輝度 対比 C _o
		cd/m ²	cd/m ²		cd/m ²	cd/m ²		cd/m ²	cd/m ²	
0m	車道中央	0.4	15.2	0.97	0.7	34.3	0.98	0.5	21.1	0.98
	車線中央	0.5	18.9	0.97	0.6	34.5	0.98	0.4	23.5	0.98
	路 肩	0.5	15.3	0.97	0.6	36.0	0.98	0.4	21.3	0.98
20m	車道中央	10.3	64.5	0.84	12.3	57.7	0.79	29.6	69.2	0.57
	車線中央	10.1	58.9	0.83	12.8	60.6	0.79	31.2	71.4	0.56
	路 肩	9.1	44.8	0.80	12.4	57.9	0.79	29.3	64.5	0.55
40m	車道中央	13.4	63.2	0.79	13.2	57.4	0.77	32.5	67.0	0.51
	車線中央	12.2	51.4	0.76	12.1	56.9	0.79	32.7	65.7	0.50
	路 肩	9.8	42.7	0.77	11.0	60.6	0.82	31.4	59.4	0.47
60m	車道中央	10.5	52.9	0.80	11.8	52.5	0.78	28.1	54.8	0.49
	車線中央	9.7	44.4	0.78	11.1	54.7	0.80	29.5	53.9	0.45
	路 肩	9.1	34.7	0.74	10.6	49.8	0.79	29.3	50.4	0.42
80m	車道中央	9.4	46.8	0.80	11.6	48.6	0.76	25.7	45.6	0.44
	車線中央	8.7	40.6	0.79	11.9	51.8	0.77	28.1	49.8	0.44
	路 肩	8.2	33.2	0.75	11.4	48.5	0.76	22.4	40.1	0.44
120m	車道中央	5.9	30.0	0.80	7.7	31.0	0.75	12.5	19.4	0.36
	車線中央	5.6	27.0	0.79	7.5	31.7	0.76	12.8	18.3	0.30
	路 肩	5.2	21.8	0.76	7.5	30.3	0.75	11.5	15.5	0.26
160m	車道中央	4.8	18.5	0.74	5.3	19.0	0.72	5.3	9.7	0.45
	車線中央	4.5	15.0	0.70	5.0	19.0	0.74	4.8	9.1	0.47
	路 肩	3.9	12.6	0.69	4.7	18.9	0.75	4.2	7.7	0.45
200m	車道中央	3.3	12.9	0.74	3.3	10.9	0.70	2.7	5.5	0.51
	車線中央	3.1	11.7	0.74	3.2	11.4	0.72	2.3	4.9	0.53
	路 肩	2.9	9.6	0.70	2.7	10.5	0.74	1.9	4.1	0.54

表-5.49 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-5.47より計算により求めた)

照明方式		カウンタービーム照明 (車線中央取付)			カウンタービーム照明 (路肩近傍取付)			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	背景の 輝度 L _b	輝度 対比 C _o	障害物 の輝度 L _o	背景の 輝度 L _b	輝度 対比 C _o	障害物 の輝度 L _o	背景の 輝度 L _b	輝度 対比 C _o
		cd/m ²	cd/m ²		cd/m ²	cd/m ²		cd/m ²	cd/m ²	
0m	車道中央	4,767.	3,012.	-0.58	4,767.	3,031.	-0.57	4,767.	3,021.	-0.58
	車線中央	5,229.	2,965.	-0.76	5,230.	2,980.	-0.76	5,229.	2,969.	-0.76
	路 肩	5,102.	3,065.	-0.66	5,103.	3,086.	-0.65	5,102.	3,071.	-0.66
20m	車道中央	162.3	126.4	-0.28	164.3	119.6	-0.37	181.6	133.1	-0.36
	車線中央	167.1	128.5	-0.30	169.8	130.1	-0.31	188.2	140.9	-0.34
	路 肩	165.3	114.3	-0.45	168.5	127.4	-0.32	165.5	134.0	-0.24
40m	車道中央	45.1	75.5	0.40	44.9	69.7	0.36	64.1	79.3	0.19
	車線中央	43.0	63.3	0.32	42.9	69.0	0.38	63.5	77.5	0.18
	路 肩	43.6	55.6	0.22	44.8	73.5	0.39	65.2	72.2	0.10
60m	車道中央	23.5	58.5	0.60	23.4	57.0	0.59	39.9	59.3	0.33
	車線中央	22.1	48.4	0.54	23.4	59.2	0.60	41.8	58.2	0.28
	路 肩	21.4	39.0	0.45	22.9	54.1	0.58	41.5	54.7	0.24
80m	車道中央	13.7	48.2	0.72	15.9	50.0	0.68	30.0	47.0	0.36
	車線中央	13.2	42.1	0.69	16.3	53.2	0.69	32.5	51.3	0.37
	路 肩	13.3	34.9	0.62	16.5	50.2	0.67	27.5	41.8	0.34
120m	車道中央	7.0	30.4	0.77	8.8	31.4	0.72	13.6	19.8	0.31
	車線中央	6.8	27.3	0.75	8.7	32.1	0.73	14.0	18.7	0.25
	路 肩	6.3	22.1	0.71	8.7	30.6	0.72	12.6	15.8	0.20
160m	車道中央	4.8	18.5	0.74	5.3	19.0	0.72	5.3	9.7	0.45
	車線中央	4.5	15.0	0.70	5.0	19.0	0.74	4.8	9.1	0.47
	路 肩	3.9	12.6	0.69	4.7	18.9	0.75	4.2	7.7	0.45
200m	車道中央	3.3	12.9	0.74	3.3	10.9	0.70	2.7	5.5	0.51
	車線中央	3.1	11.7	0.74	3.2	11.4	0.72	2.3	4.9	0.53
	路 肩	2.9	9.6	0.70	2.7	10.5	0.74	1.9	4.1	0.54

CIEでは、トンネル入口照明（境界部の輝度の決定に関する基礎検討）の中で道路上の最も危険な障害物を代表しようとするものではないとしながら境界部の輝度を設定する際の輝度対比として、1973年のトンネル照明に対する勧告の基礎として $C = 20\%$ が選定され、さらには多分 30% 以下の輝度対比の値は勧告の基礎として最善の選択であるとしていることから⁴⁾、ここでも輝度対比 $C = 0.3$ を基本として、それぞれの場合の比を求め、車線中央の障害物についてグラフ化したものが図-5.47及び図-5.48である。

人工光のみの場合を比較した図-5.48では、対称照明の場合に障害物の反射率が 30% の場合には比1 ($C = 0.3$)を下回る地点が5箇所に存在したが、反射率 20% の場合は、比1を下回る地点は存在しない。また、反射率が低い場合にはカウンタービーム照明と対称照明との輝度対比の差は小さくなるのがわかる。

自然光を加味した場合の輝度対比の変化を示した図-5.49によると障害物の反射率が 20% の時でも対称照明では比 ($C = 0.3$) を下回る地点が発生する。

さらに表-5.49により、照明方式による輝度対比を比較したものが図-5.50である。これを障害物の反射率が 30% であった図-5.48と比較すると逆シルエットからシルエットに変化する領域が 40 m 付近から 30 m 付近へ移動すると共に対称照明の輝度対比が改善されていることが判る。

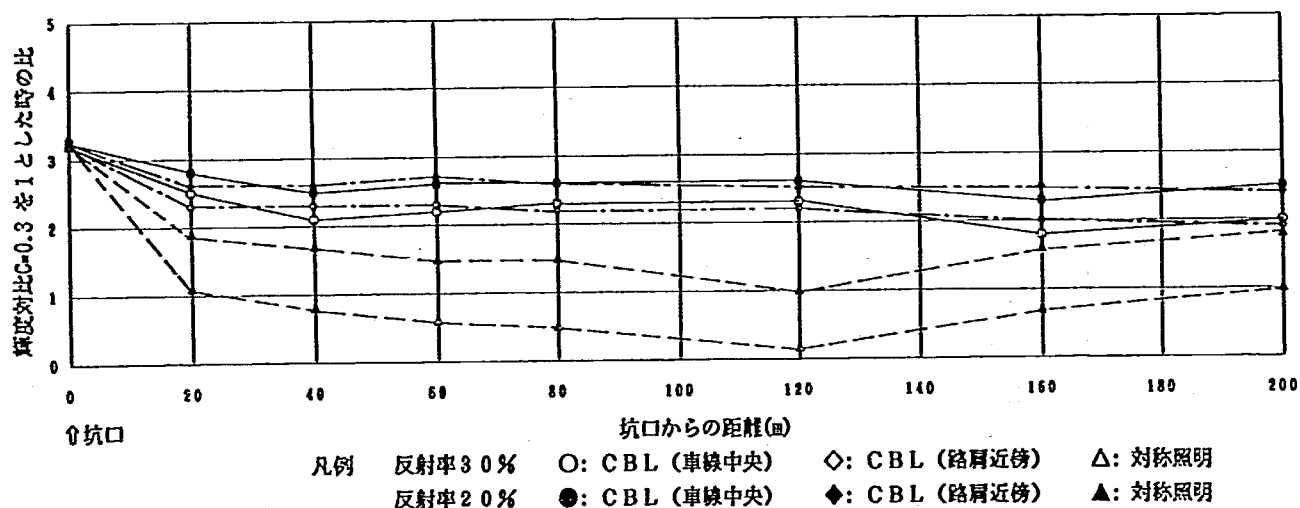


図-5.48 人工照明のみの時の照明方式と輝度対比の変化（車線中央の障害物を対象とする）
（輝度対比 $C = 0.3$ を1とした場合）

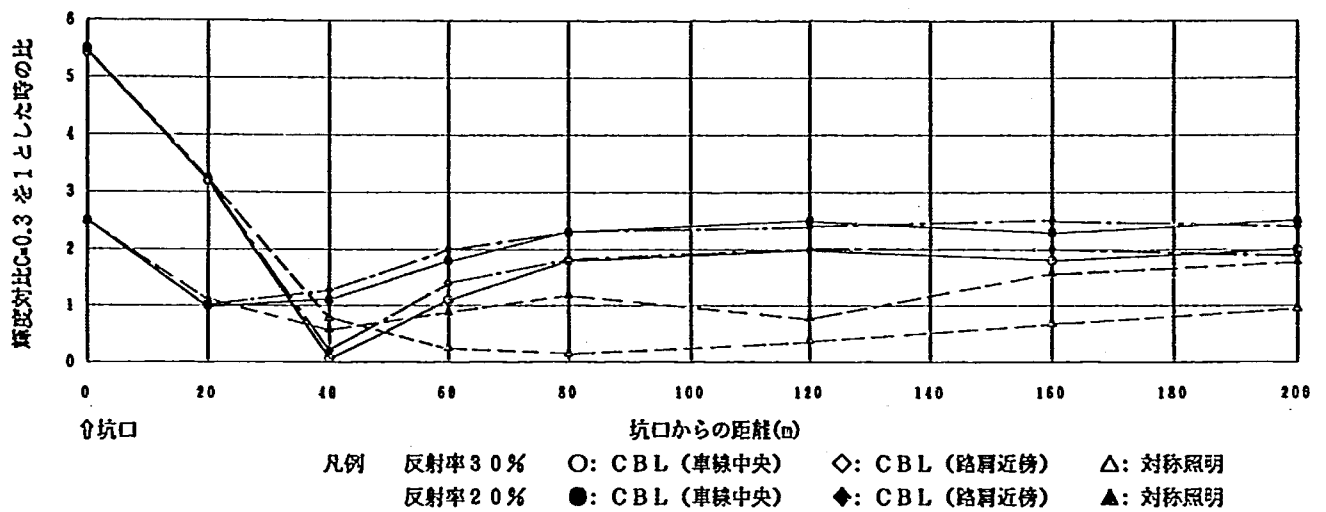


図-5.49 自然光を加味した時の照明方式と輝度対比の変化(車線中央の障害物を対象とする)
(輝度対比 $C = 0.3$ を1とした場合)

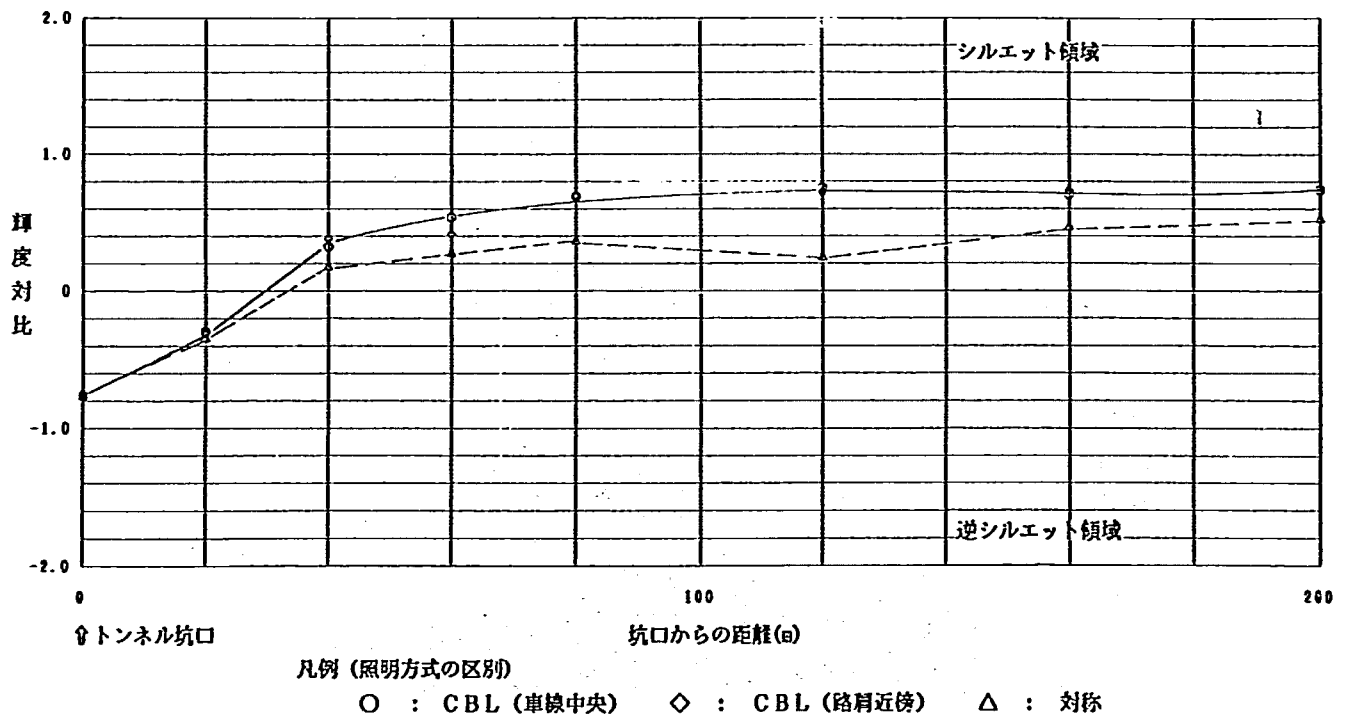


図-5.50 障害物の反射率を20%とした時の照明方式と輝度対比

5.7 野外輝度と観測距離の関係

トンネルに進入するドライバーの順応輝度が20度視野の野外輝度で表わされると考え、観測距離による野外輝度の変化を測定した。観測距離の範囲は、静止・走行実験及び先行車の視認性実験時に野外輝度のバックデータの測定を行なった105m地点（厳密には坑口より105.9m）から40m地点までとし、地上高さ1.5mに設置した輝度計により、坑口中央を視野中心とする直径20度の円形視野の平均輝度を測定した。野外輝度計を写真-5.9に示す。

雲による日射の変動があるため、測定は観測距離を変化させて計8回行った。この結果を表-5.50に示す。また105m地点の野外輝度に対する各地点の野外輝度を百分率で表わし、表-5.51に示す。

8回の測定のうち雲による変動が大きかった結果（4、5回目）を除き、野外輝度と観測距離の関係を図-5.51に示す。図-5.51によれば、雲により直射光が射していない状態（1、2、3、6回目）と、直射光が射している状態（7、8回目）とに大きく分類できるため、直射光が射している状態と、射していない状態それぞれの平均値を算出し、野外輝度と観測距離の関係を表-5.51、図-5.52に示した。

なお本節の測定は、カウンタービーム照明（路肩近傍）の場合のみで行なったが、天空の影響が非常に大きいと、照明方式による違いは小さいと考えられる。またこの結果は、土木研究所実大トンネル実験施設の南坑口での測定結果であり、一般に野外輝度と観測距離の関係は、トンネルの方位や坑口周辺の地形により異なった変化を示すと考えられる。

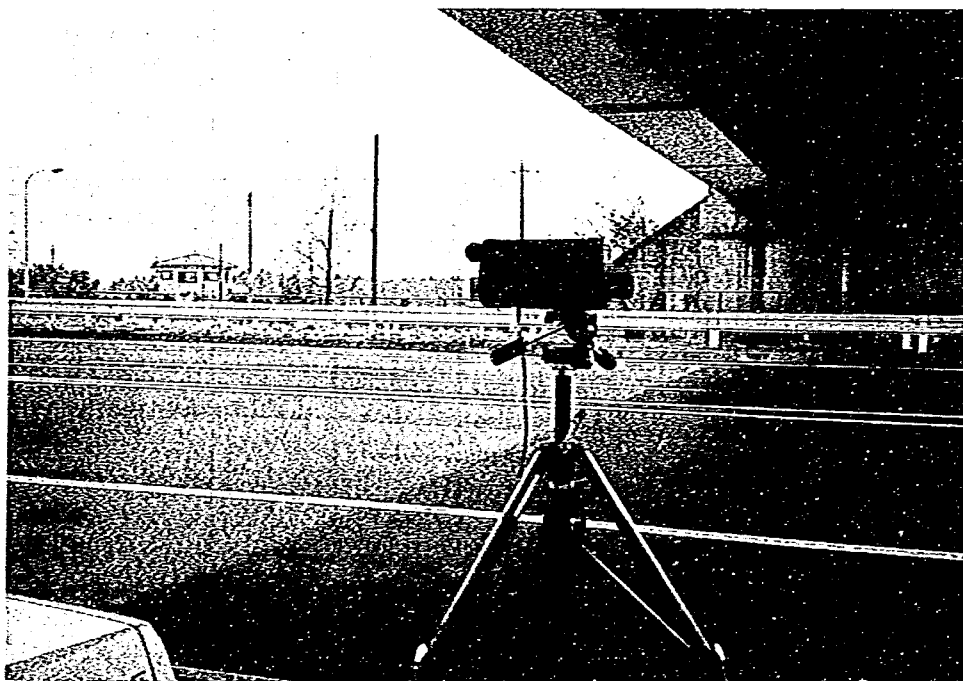


写真-5.9 野外輝度計

表-5.50 野外輝度と観測距離の関係(野外輝度の測定値)

観測距離 (m)	20度視野野外輝度 (cd/m ²)							
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目
40	1012	1020	980	980	870	870	2800	2800
60	2020	1830	2020	2050	2020	1830	3860	3510
75	2510	2360	2260	2260	2240	2040	4200	3810
80	2740	2400	2490	3000	2510	2270	4150	3960
100	2830	2680	2580	2980	2680	2620	4620	4370
105	3010	2600	2600	2560	2520	2580	4780	4470
輝度の変化	比較的安定	比較的安定	安定	変動大	変動大	安定	比較的安定	安定

注) 輝度の変化は、40～105mまで移動しながら測定を行った時間内の天候による輝度の変化の様子を示す。

表-5.51 野外輝度と観測距離の関係

観測距離 (m)	105m地点の野外輝度の対する割合 (%)									
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	1,2,3,6 の平均	7,8 の平均
40	33.6	39.2	37.7	38.3	34.5	33.7	58.6	62.6	36.0	60.6
60	67.1	70.4	77.7	80.1	80.2	70.9	80.8	78.5	71.5	79.6
75	83.4	90.8	86.9	88.3	88.9	79.1	87.9	85.2	85.0	86.6
80	91.0	92.3	95.8	117.2	99.6	88.0	86.8	88.6	91.8	87.7
100	94.0	103.1	99.2	116.4	106.3	101.6	96.7	97.8	99.5	97.2
105	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
輝度の変化	比較的安定	比較的安定	安定	変動大	変動大	安定	比較的安定	安定		

注) 輝度の変化は、40～105mまで移動しながら測定を行った時間内の天候による輝度の変化の様子を示す。

1,2,3,6回目は雲により直射光が射していない状態、7,8回目は直射光が射した状態での測定結果である。

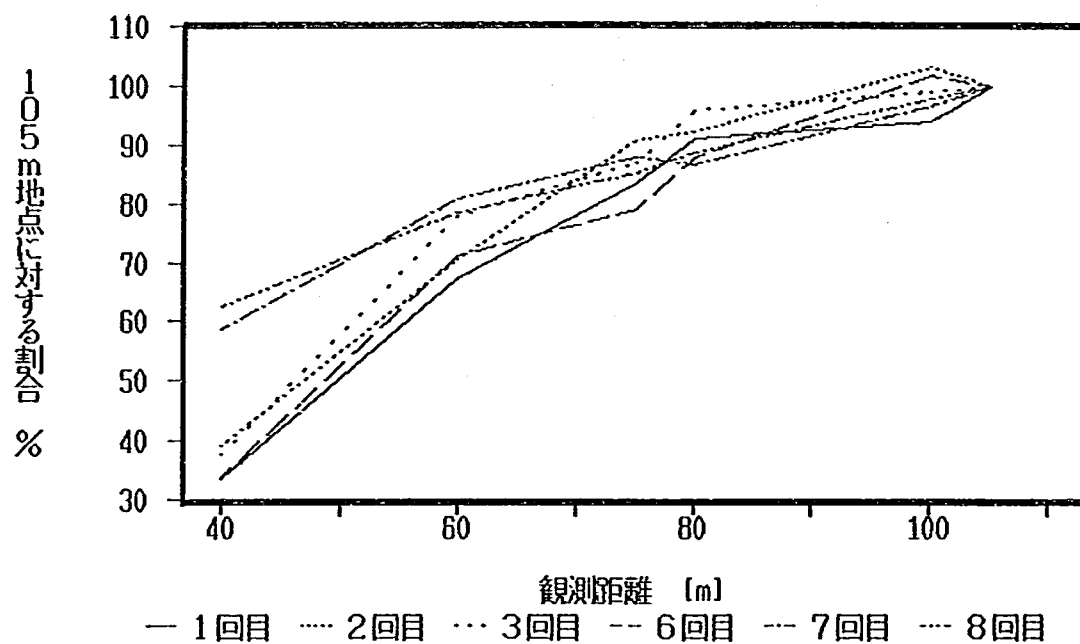


図-5.5.1 野外輝度と観測距離の関係 (各測定結果)

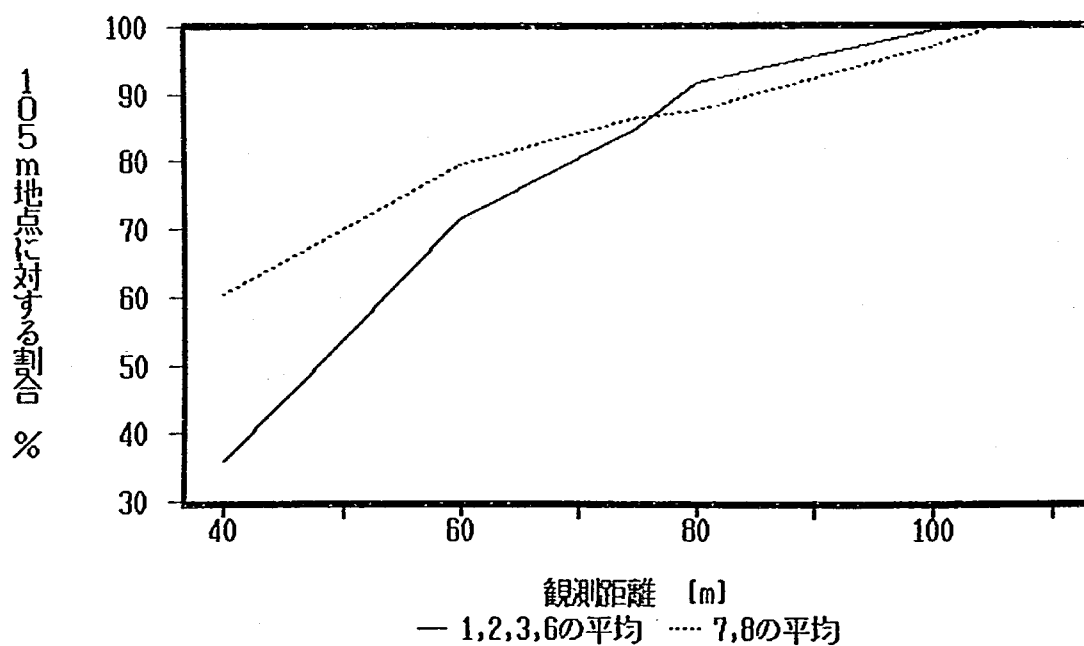


図-5.5.2 野外輝度と観測距離の関係
(直射光が射していない状態1,2,3,6と直射光が射している状態7,8の平均)

5.8 まとめ

照明特性の把握は、建設省土木研究所の実大トンネルの南坑口（コンクリート舗装（粗面仕上））に試験設置されたカウンタービーム照明施設及び対称照明施設を利用して実験を行った。

5.8.1 照明方式の特徴を表す係数と路面の特性

実大トンネルに試験設置されたカウンタービーム照明施設及び対称照明施設について、路面照度、路面輝度、鉛直面照度などの測定を行い、実大トンネルの路面（コンクリート舗装（粗面仕上））及び2種類の路面サンプル（半たわみ性舗装及びアスファルト舗装）について、カウンタービーム照明の特徴を良く表すと考えられているコントラスト係数と平均照度換算係数を計算した。

その結果、カウンタービーム照明のコントラスト係数は、対称照明に比較し、大きい値となり、路面の種類によって値が変化する。また、平均照度換算係数は、路面の種類によって変わるがカウンタービーム照明の場合、コンクリート舗装（粗面仕上げ）で $1.1 \sim 1.3 \text{ lx/cd/m}^2$ 程度の値となった。

したがって、これらの係数を取扱う場合には、照明方式や路面の種類に注意すると共に、それらの実態を良く認識しておかなければならないと考えられる。

5.8.2 照明器具からのグレア

人工照明のみを対象として地上1.2mの高さ（乗用車の運転者の目の高さ）に設置した測定器により、トンネル内10m～250m区間の等価光幕輝度及び路面の輝度（観測点の60m前方）の測定を行い、T I 値を計算により求めた。

その結果、入口照明が設置されている10～220mの区間でカウンタービーム照明は、対称照明に比べT I 値が大きく、特に170～220mの区間のT I 値は、ほぼ30%以上となった。これは観測位置が、170mより内部では、入口照明が設置されていない内部の路面輝度を測定することから生じたためである。さらにP. B l a s e r 氏提案（仰角20度より手前上方の光を遮光する）による測定方法でトンネル入口照明の等価光幕輝度を測定しT I 値を算出した。この結果では、カウンタービーム照明のT I 値は9%以下となり、全ての点で対称照明より低い値となった。

今回の実験では、入口照明の終端部と基本照明との照明レベル差が大きく、路面輝度が急激に変動したことによりT I 値が極端に大きくなったが、照明レベル差を小さくすればT I 値も小さくなると考えられるため、基本照明へすりつける方法を検討する必要があるほか2つの測定方法の比較も検討していく必要がある。

5.8.3 輝度対比

カウンタービーム照明施設及び対称照明施設に於いて人工照明のみの場合の障害物の輝度及び背景路面の輝度を測定し、計算により輝度対比を求めた。

その結果、今回の実験に使用した反射率30%の障害物が背景路面に対する輝度対比を、カウンタービーム照明の場合と対称照明の場合を比較すると、カウンタービーム照明は、大きい輝度対比を得られることがわかった。また自然光のトンネル内への入射により生ずる障害物と背景路面の輝度を

測定し、その結果を人工光のみとした時の測定値に加算した検討した結果、入口直後の区間では逆シルエットとなり、その範囲はカウンタービーム照明では40 m程度まで、対称照明では70 m程度までおよぶことが判った。さらに自然光による輝度対比の低下する範囲は、カウンタービーム照明、対称照明とも80～120 mの程度までおよぶこともわかった。

このことから今後、トンネル内での視対象物の反射率の検討やトンネル坑口方位により自然光がトンネル内へおよぼす影響の相違を調査する必要がある。

【参考文献】

- 1) CIE Technical Report No.61(1984) Tunnel Entrance Lighting
- 2) 日本工業規格 JIS Z 8113 照明用語
- 3) 「トンネル照明に関する調査研究(その2)報告書」 (財)高速道路調査会 昭和53年2月
- 4) CIE No.26 1973 International Recommendations For Tunnel Lighting

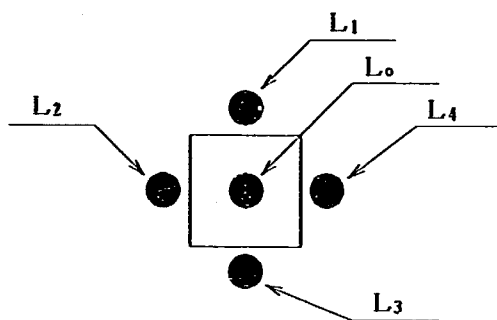
6. 障害物の視認性実験（静止実験）

6.1 実験概要

6.1.1 実験方法

実大トンネル実験施設の東側車線中央に試験車両として普通乗用車1台を停車させておき、被験者を運転席と助手席の2名を1グループとして6グループに分け交代で視対象物の見え方の観測を行った。被験者は試験車両の車内より前方75m先の路上に置かれた反射率の異なる障害物を観測し、その視認性について5段階評価による主観調査を行った。

被験者の観測条件として障害物輝度と障害物の背景路面輝度、障害物観測面の鉛直面照度を3個の障害物のうち中央の1個について各観測条件毎に行った。また、被験者の各観測位置毎の等価光幕輝度の測定も行った。



図－6.1 障害物と背景路面の輝度測定ポイント

障害物輝度と背景路面輝度は図－6.1に示したように障害物輝度測定ポイント（L0）は1点、背景路面輝度は障害物の周辺輝度4点（L1～L4）の算術平均値とした。

- ①観測距離 : 75 m（固定）
- ②障害物 : 反射率の異なる一辺20 cmの立方体 3個
- ③障害物提示位置 : 0, 20, 40, 60 mの東側車線中央
（対称照明方式、カウンタービーム照明方式路肩近傍取付）
0, 20, 40, 60, 80, 120, 160, 200 mの東側車線中央
（カウンタービーム照明方式車線中央取付）
- ④被験者数 : 12名（2名×6グループ）

6.1.2 障害物

試験車両からの観測に用いた障害物は以下のように設定した。

- ①一辺が20cmの立方体とする。
- ②表面は光沢のない灰色とする。
- ③表面の反射率は12% (N=4)、20% (N=5)、30% (N=6) 相当各1個とする。
(N値はマンセル表色系による。)

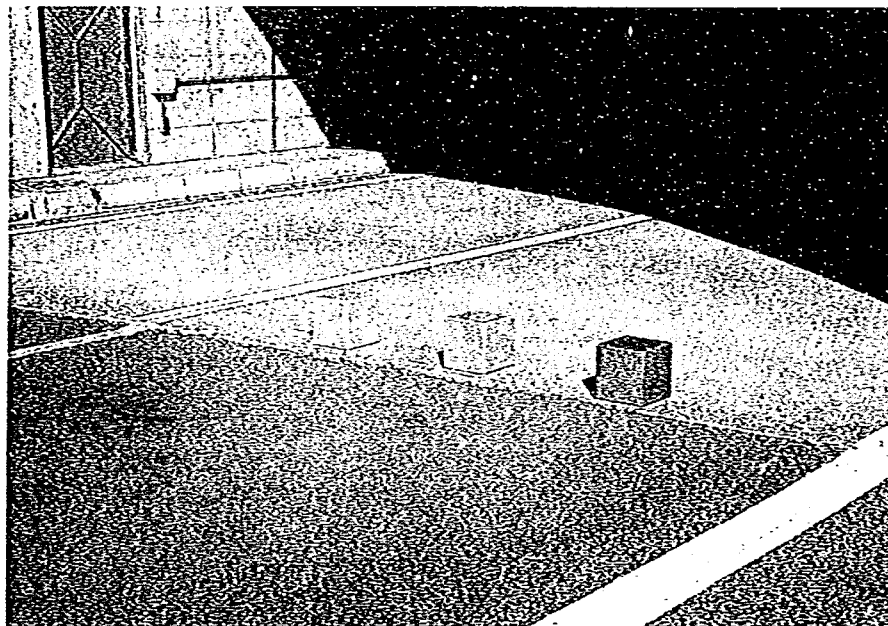


写真-6.1 観測に使用した障害物
(向かって左側より反射率30%、20%、12%)

6.1.3 測定機器

- ・輝度計 (視角1/3度) 1台 (障害物輝度、障害物の背景路面輝度測定用)
- ・照度計 1台 (障害物の観測面の鉛直面照度測定用)
- ・特殊な角特性を有するレンズを装備した輝度計
1台 (等価光幕輝度測定用)

6.1.4 被験者

被験者は各条件毎に12名とした。被験者の属性を表-6.1に示す。

表-6.1 障害物の視認性実験(静止実験)被験者一覧

氏 名	年 齢	性別	車の使用 用途	週平均の 運転日数	運転歴	よく運転 する車種	視 力			実 験 内 容				備 考
							右	左	矯正	CBL 中央	CBL 中央	対称	CBL 路肩	
Y. O	20歳	男性	通勤・通学	毎日	1年未満	普通車	1.2	1.2	有り	○	○	○		
T. I	36歳	男性	通勤・通学	毎日	10年以上	普通車	1.2	1.2	有り			○	○	
W. N	27歳	男性	レジャー等	週1~2日	5~10年	普通車	1.2	1.2	有り	○	○	○	○	
A. I	23歳	女性	レジャー等	週1~2日	1年未満	普通車	1.5	1.5	無し	○	○	○	○	
T. K	22歳	男性	レジャー等	週1~2日	1年未満	普通車	1.2	1.0	有り	○	○	○	○	
Y. H	21歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	1.2	1.2	有り	○	○	○	○	
Y. K	22歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	1.5	1.5	無し	○	○			
S. H	23歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	0.6	0.6	有り			○		両眼で0.7
T. U	42歳	男性	レジャー等	週1~2日	10年以上	普通車	1.2	0.6	有り				○	
T. I	30歳	男性	レジャー等	週1~2日	10年以上	普通車					○			
N. Y	21歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	0.9	0.8	無し				○	
T. K	20歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	0.9	0.5	有り	○	○	○	○	
K. T	21歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	0.9	1.0	有り	○	○	○	○	
K. M	48歳	男性	レジャー等	週1~2日	10年以上	普通車					○			
T. K	24歳	男性	レジャー等	毎日	5~10年	普通車	1.2	1.2	有り				○	
M. H	27歳	男性	通勤・通学	毎日	5~10年	普通車	0.5	0.5	有り	○	○			両眼で0.7
Y. S	25歳	男性	レジャー等	週5~6日	5~10年	普通車	1.0	1.2	無し			○	○	
K. O	21歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	0.6	0.9	有り	○	○	○	○	
Y. N	28歳	男性	レジャー等	週3~4日	5~10年	普通車				○				
R. S	34歳	男性	レジャー等	週1~2日	10年以上	普通車				○				
M. T	20歳	女性	通勤・通学	週5~6日	1~5年	普通車	0.8	0.9	有り			○		

6.2 実験結果

6.2.1 静止実験時の野外輝度及び野外水平面・鉛直面照度

静止実験を行なった時間帯の野外輝度及び野外での水平面・鉛直面照度をバックデータとして測定した。

測定条件は、以下の通りである。

①野外輝度

坑口手前105.9m、地上1.5mの高さ、東側車線路肩付近に輝度計を設置し、トンネル坑口中央を中心とする直径20度の円形視野の平均野外輝度を測定した。坑口手前からの距離を、野外輝度の通常の測定距離である150mとしなかったのは、坑口手前100m付近の上方に存在する高架道路が視野内に入るのを避けるためである。

②水平面照度・鉛直面照度

坑口手前112.3m地点、東側車線路肩付近において、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1.1mに受光部を設置し測定した。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等しいものと考えられる。

鉛直面・水平面照度を測定した照度計を写真－6.2に、野外輝度、鉛直面・水平面照度を連続記録したペンレコーダを写真－6.3に示す。野外輝度計は、写真－5.9に示したものを使用した。

測定結果を表－6.2に示す。

測定結果のうち、雲による輝度・照度の変動が大きい場合は、測定時刻の前後各1分程度の間の変動の中心付近と考えられる代表値と、この間の変動の幅（最小値～最大値）で表わしている。なお、変動が「非常に大きい」場合には、代表値の付近に測定値がとどまっていることはなく、代表値の意味が薄い。



写真-6.2 水平面・鉛直面照度計

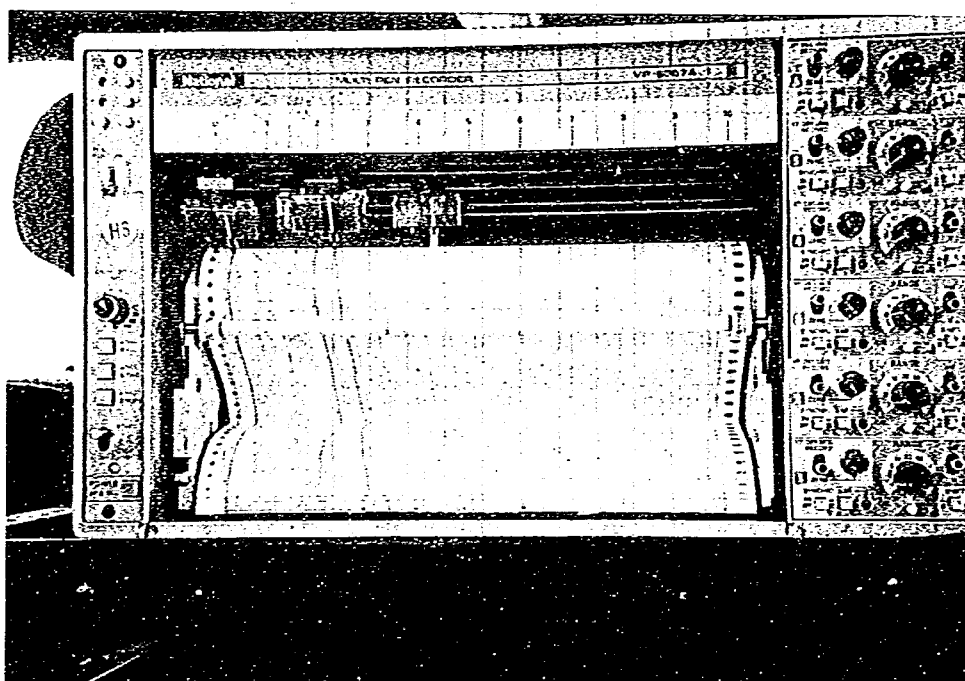


写真-6.3 ペンレコーダー

表-6.2 静止実験時の野外輝度及び野外水平面・鉛直面照度 測定結果

実験日	照明種類	実験ケース	時 間	野外輝度[cd/m ²]	水平面照度 [lx]	鉛直面照度 [lx]	輝度/照度の変動
3月10日	カウンタービーム 照明 (車線中央)	80m	9:58				
		120m	10:11				
		160m	10:17				
		200m	10:24				
3月11日	カウンタービーム 照明 (車線中央)	0m	9:40	4600	66500	74000	
		20m	9:46	4900	69500	76000	
		40m	9:52	5100	69000	75000	
		60m	9:59	4200 / 3800~4800	50000/35000~70000	50000/40000~80000	非常に大きい
		80m	10:06	3800 / 3400~4200	50000/30000~65000	50000/30000~70000	非常に大きい
		120m	10:09	4000 / 3600~5200	50000/30000~80000	50000/30000~80000	非常に大きい
		160m	10:11	4000 / 3000~4400	50000/25000~70000	45000/25000~75000	非常に大きい
		200m	10:13	4000 / 3200~4600	50000/35000~75000	60000/35000~80000	非常に大きい
3月14日	対称照明	0m	9:32	4600	64500	73500	
		20m	9:35	4700	66000	75000	
		40m	9:42	4800	68000	77000	
		60m	9:50	4800	68000	77000	
3月15日	カウンタービーム 照明 (路肩近傍)	0m	9:00	3800	55000	62500	
		20m	9:07	3800	54000	61000	
		40m	9:17	4300	63000	70000	
		60m	9:25	2600	18000	20000	

(注) 1. 3月10日は天候不良のため、終日、連続記録(野外輝度, 水平面照度, 鉛直面照度)を行っていない。

2. 「輝度/照度の変動」が「非常に大きい」「大きい」場合の輝度・照度は、「代表値(変動の中央付近と考えられる目測値)/ 変動幅」で表わしている。なお、変動が「非常に大きい」場合には、代表値の近傍に輝度・照度がとどまっていることはなく、代表値の意味は薄い。

6.2.2 障害物の輝度対比

各照明方式における障害物の視認性を確認するため、東側車線の75m前方の路上に障害物を設置し、観測を行った。

観測は東側車線中央に停車した乗用車の車内から行ない、運転席と助手席から観測を行なった。

1) 観測条件

- ・ 観測距離 : 75 m
- ・ 障害物の提示位置 : 0, 20, 40, 60 mの車線中央
(カウターライト照明(車線中央)については、80, 120, 160, 200 mを追加した)
- ・ 障害物 : 一辺20 cmの立方体で反射率の異なる3種類 (N = 4, 5, 6)

2) 測定項目

- ・ 障害物と背景路面の輝度
- ・ 障害物の鉛直面照度

但し、照度・輝度は中央に置かれたN = 5の立方体を測定した。

3) 測定器

- ・ 輝度測定 : ミノルタ輝度計 (視角1/3度)
- ・ 鉛直面照度 : トプコン照度計

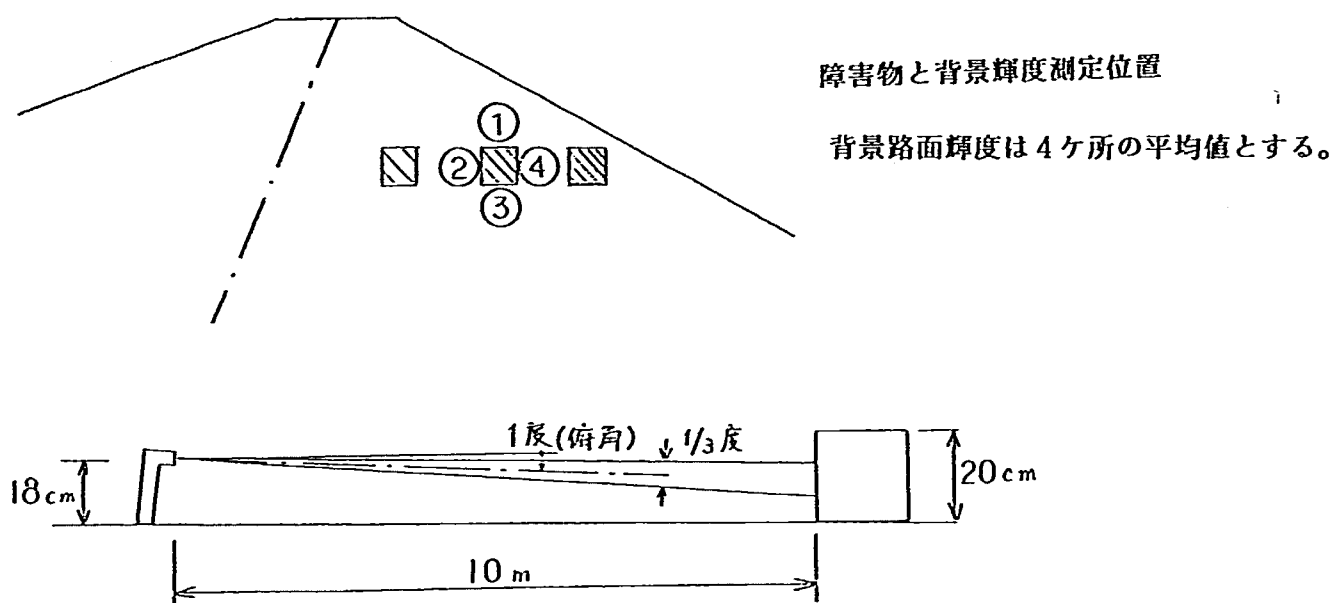
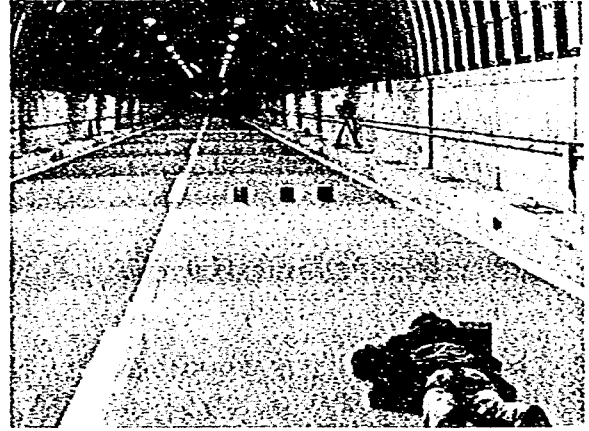
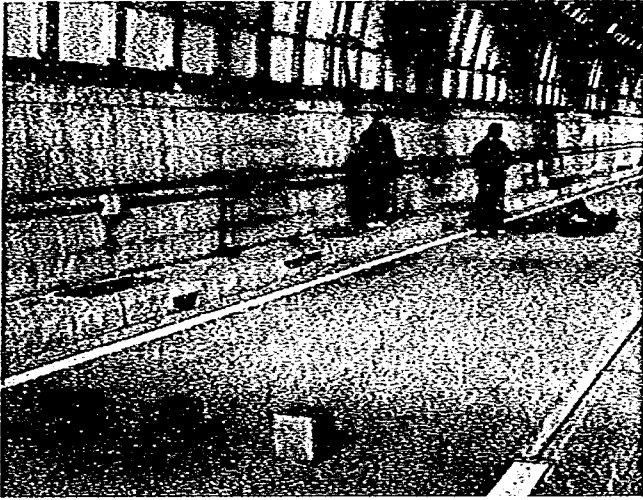


図-6.2 測定位置と障害物の関係



写真－6.4 測定状況

表-6.3 障害物の視認性実験(1) 静止実験 記録

1. 照明方式: カウンタービーム照明(車線中央)

2. 測定日時: 平成6年3月10日(木) 9:30~11:00 天候: 晴

障害物の 提示位置 (坑口から の距離)	障害物の 鉛直面照度 (lx)	障害物の 輝度 L_o (cd/m^2)	背景の輝度 (cd/m^2)					輝度対比 $C = \frac{L - L_o}{L}$	観測位置から の等価 光幕輝度
			①	②	③	④	平均 L		
0 m	59,000.0	1,430.0	75.4	229.0	498.0	308.0	277.6	-4.15	130.9
20 m	1,998.0	147.0	57.3	86.9	172.6	89.5	101.5	-0.45	119.5
40 m	519.0	42.5	43.6	61.4	81.1	55.3	60.3	0.18	108.8
60 m	261.0	20.8	37.6	55.6	51.5	52.5	49.3	0.58	74.2
80 m	171.0	15.1	29.3	43.6	53.4	43.9	42.5	0.64	10.8
120 m	78.6	6.0	19.2	21.7	35.6	23.2	24.9	0.76	6.3
160 m	62.1	4.9	14.7	13.8	27.5	13.5	14.8	0.67	3.9
200 m	43.9	3.4	7.8	13.9	13.7	13.3	12.2	0.72	1.9

1. 照明方式: 対称照明

2. 測定日時: 平成6年3月14日(月) 9:30~10:00 天候: 晴

障害物の 提示位置 (坑口から の距離)	障害物の 鉛直面照度 (lx)	障害物の 輝度 L_o (cd/m^2)	背景の輝度 (cd/m^2)					輝度対比 $C = \frac{L - L_o}{L}$	観測位置から の等価 光幕輝度
			①	②	③	④	平均 L		
0 m	76,500.0	4,678.0	92.6	238.2	2,269.0	216.0	704.0	-5.64	141.8
20 m	2,500.0	186.0	75.0	97.0	176.0	103.0	112.8	-0.65	127.7
40 m	932.0	66.0	52.0	71.0	81.0	69.0	68.3	0.03	95.7
60 m	588.0	42.0	50.0	48.0	67.0	51.0	54.0	0.22	71.1

1. 照明方式: カウンタービーム照明(路肩近傍)

2. 測定日時: 平成6年3月15日(火) 8:55~09:30 天候: 快晴

障害物の 提示位置 (坑口から の距離)	障害物の 鉛直面照度 (lx)	障害物の 輝度 L_o (cd/m^2)	背景の輝度 (cd/m^2)					輝度対比 $C = \frac{L - L_o}{L}$	観測位置から の等価 光幕輝度
			①	②	③	④	平均 L		
0 m	65,300.0	4,020.0	104.0	125.0	1,940.0	141.0	577.5	-5.96	131.1
20 m	1,990.0	149.0	70.0	80.0	149.0	97.0	99.0	-0.51	116.5
40 m	577.0	46.7	58.5	60.0	69.5	66.5	63.6	0.27	113.0
60 m	228.0	19.3	45.9	52.0	52.1	56.0	51.5	0.63	45.6

注) 測定器は、ミノルタ輝度計 視角1/3度。

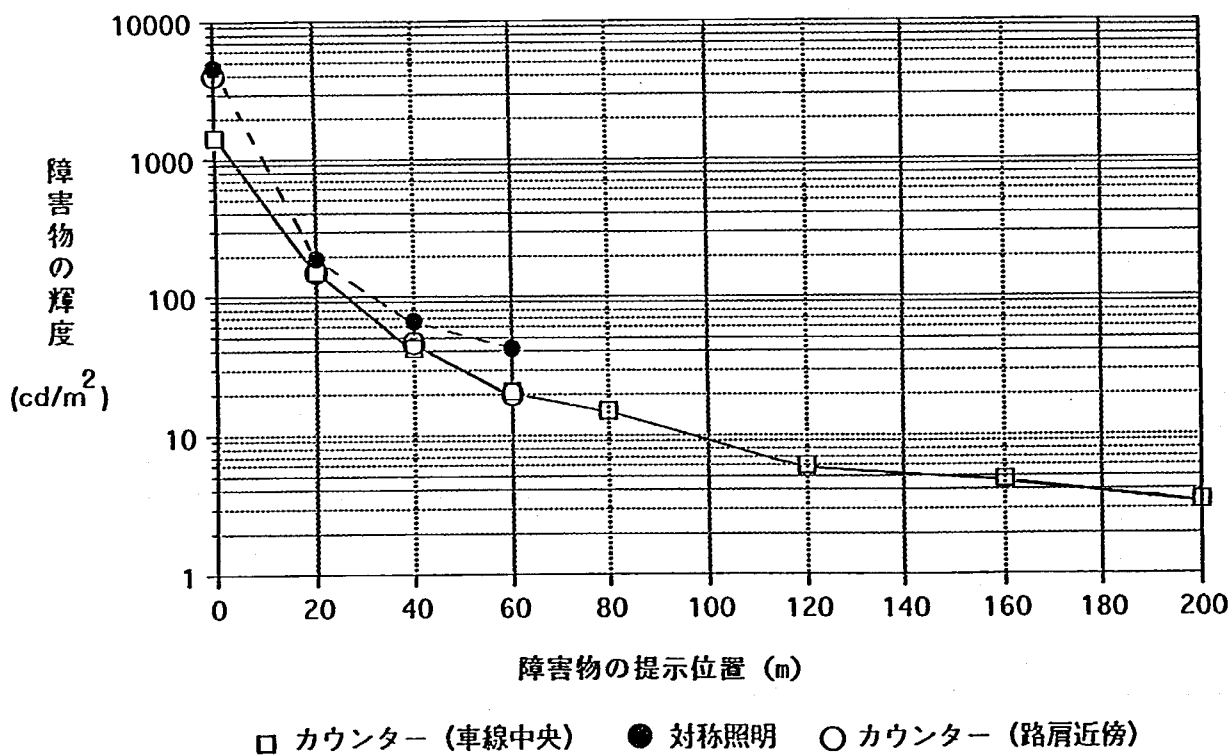
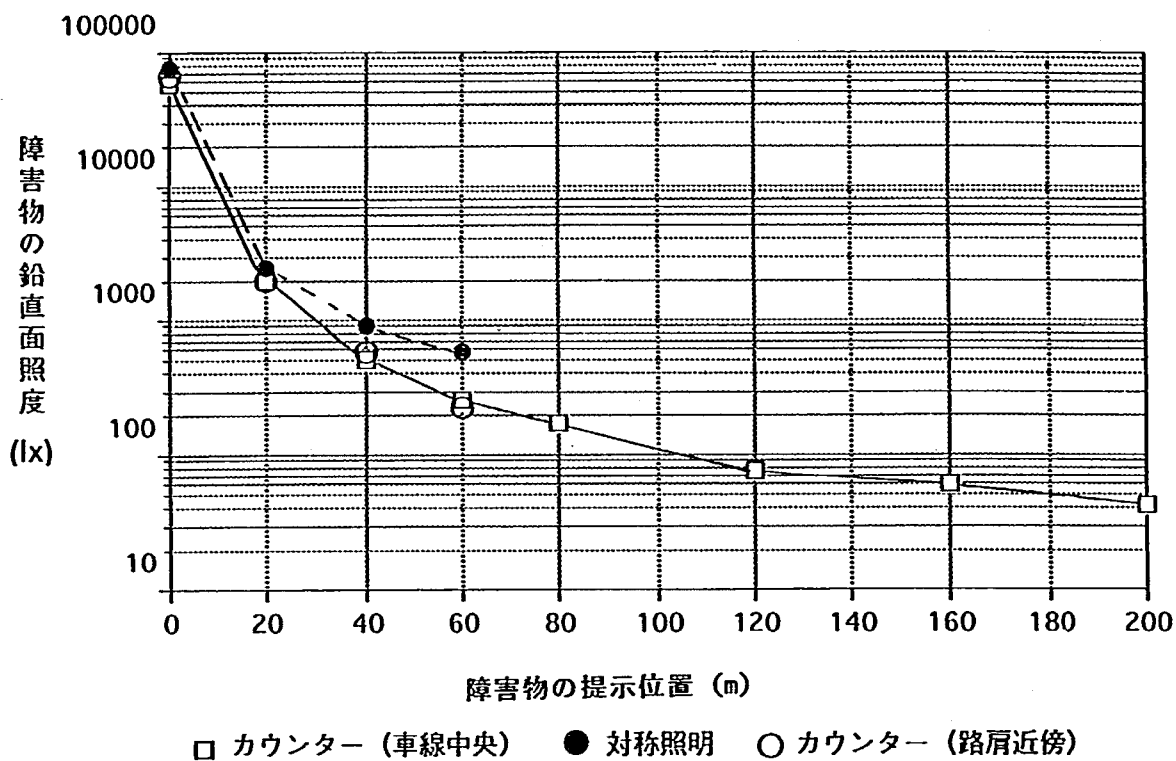


図 - 6.10 障害物の鉛直面照度、輝度

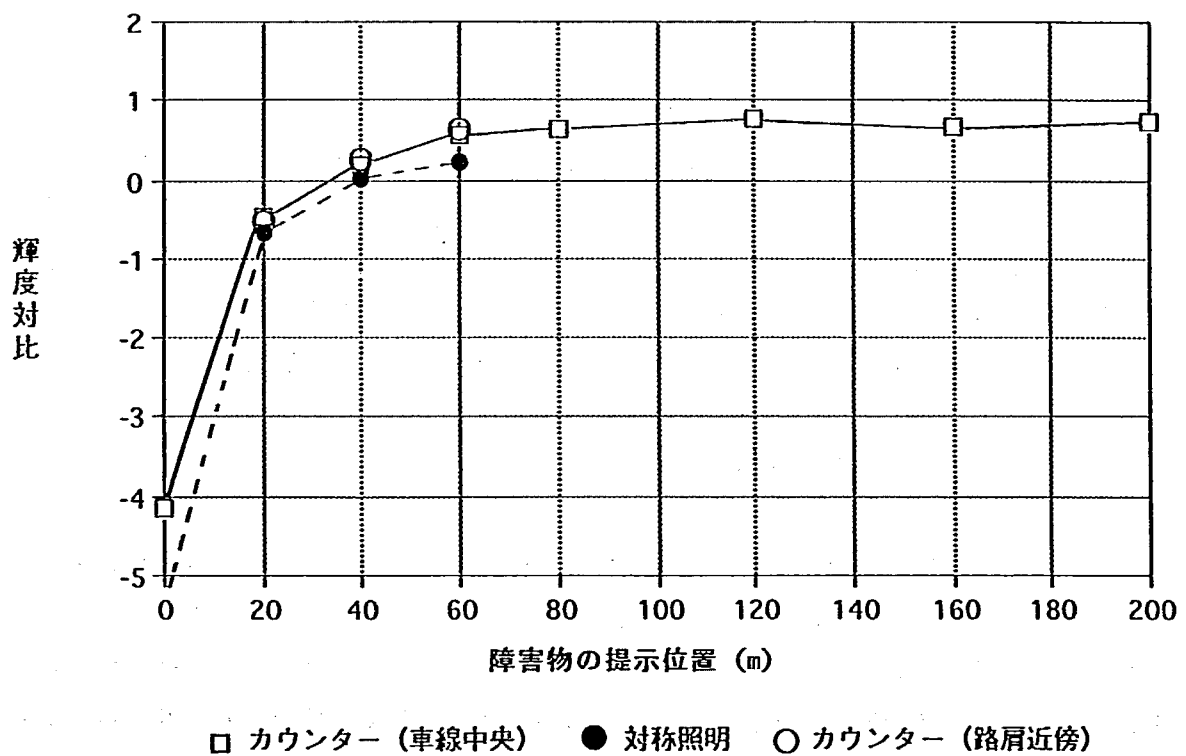
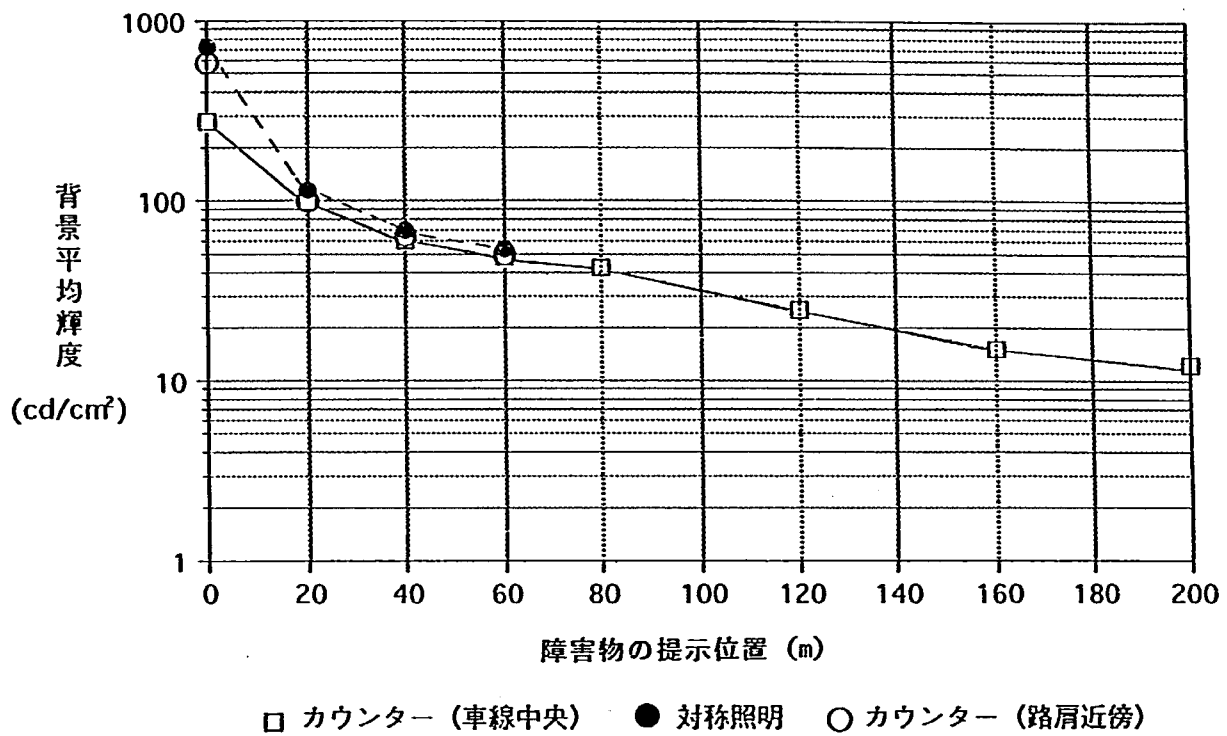


図-6.11 背景平均輝度、輝度対比

6.2.3 被験者による見え方の評価

被験者にそれぞれの障害物の視認性について以下の項目について回答してもらい、その結果を一番良い状態で見えた結果を5として評点に換算し照明方式別の評価を行った。

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

表-6.4に被験者の観測結果(評点)一覧、図-6.5から図-6.7に被験者の観測結果(評点)を全体に占める割合で表した。

実験結果を障害物の反射率別で整理すると、対称照明では「まったく見えない」、「かろうじて見えた」といった「よく見えない」状態と「ふつうに見えた」といういわゆる「みえる」という評点2と3の境界に注目すると反射率が高くなるにつれて「よく見えない」という状態が坑口よりトンネル内部に移動してきている状態が良くわかる。しかし、これがカウンタービーム照明の車線中央取付ではその傾向が少なくなってきており「よく見えない」という範囲は坑口より20m、40m位のところで安定している。カウンタービーム照明の路肩近傍取付では「よく見えない」範囲は微妙に坑口より奥に移動しているがその傾向は顕著ではない。

次に、照明方式毎に整理すると対称照明及びカウンタービーム照明の車線中央取付ではN=4では坑口より20m地点が、また、N=5では40m地点が最も評価が低くなっている。また、対称照明のN=6では「まったく見えない」回答したものが約65%と極めて評価が低くなった。

表-6.5に提示位置毎の観測結果の平均値の一覧表、図-6.8に障害物の提示位置毎の観測結果の評点の平均値の推移を示した。評点の平均値で見ると、全体的な傾向として障害物の反射率・提示位置に関係なく対称照明に比べてカウンタービーム照明が高い評価である。ここで特徴的なことはカウンタービーム照明車線中央取付、路肩近傍取付は反射率の異なるどの障害物に対しても「かろうじて見えた」以上の評価を得ているのに対し、対称照明では反射率の変化によって障害物の見え方に大きな影響を与えているということが分かった。

観測結果の障害物提示位置毎の評点の平均値の推移の傾向は、提示位置毎の輝度対比の推移の結果とも傾向が同様であり、障害物の輝度対比と見え方評価(アンケート結果)にはそれぞれ相関関係があることを表しているものと思われる。なお、図-6.9は障害物の提示位置における評点の平均値(N=4、N=5、N=6の結果)を表したものである。傾向として、坑口より40m付近が障害物を視認しづらいことが言える。特に対称照明では、60m付近が最も視認しづらいことがわかる。

表-6.4 障害物の視認性実験(静止実験) アンケート結果一覧

照明方式	障害物提示位置	障害物反射率	評 価 内 容					評 価 の 割 合 (%)				
			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	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
対称照明	0m	30%	0	0	1	1	10	0.00	0.00	8.33	8.33	83.33
		20%	0	0	3	3	8	0.00	0.00	8.33	25.00	66.67
		12%	0	0	3	3	6	0.00	0.00	25.00	25.00	50.00
	20m	30%	0	1	4	7	0	0.00	8.33	33.33	58.33	0.00
		20%	0	4	6	2	0	0.00	33.33	50.00	16.67	0.00
		12%	1	10	1	0	0	8.33	83.33	8.33	0.00	0.00
	40m	30%	0	10	2	0	0	0.00	83.33	16.67	0.00	0.00
		20%	4	8	0	0	0	33.33	66.67	0.00	0.00	0.00
		12%	0	6	6	0	0	0.00	50.00	50.00	0.00	0.00
	60m	30%	8	4	0	0	0	66.67	33.33	0.00	0.00	0.00
		20%	2	10	0	0	0	16.67	83.33	0.00	0.00	0.00
		12%	0	6	6	0	0	0.00	50.00	50.00	0.00	0.00
カウンタビーム中央	0m	30%	0	0	0	0	12	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
		20%	0	0	0	2	10	0.00	0.00	0.00	16.67	83.33
		12%	0	0	2	5	5	0.00	0.00	16.67	41.67	41.67
	20m	30%	0	2	3	7	0	0.00	16.67	25.00	58.33	0.00
		20%	0	3	7	2	0	0.00	25.00	58.33	16.67	0.00
		12%	2	7	3	0	0	16.67	58.33	25.00	0.00	0.00
	40m	30%	0	10	2	0	0	0.00	83.33	16.67	0.00	0.00
		20%	1	9	2	0	0	8.33	75.00	16.67	0.00	0.00
		12%	1	8	3	0	0	8.33	66.67	25.00	0.00	0.00
	60m	30%	0	4	7	1	0	0.00	33.33	58.33	8.33	0.00
		20%	0	2	9	1	0	0.00	16.67	75.00	8.33	0.00
		12%	0	2	9	1	0	0.00	16.67	75.00	8.33	0.00
	80m	30%	0	0	4	5	3	0.00	0.00	33.33	41.67	25.00
		20%	0	0	6	3	3	0.00	0.00	50.00	25.00	25.00
		12%	0	0	5	2	4	0.00	8.33	41.67	16.67	33.33
	120m	30%	0	0	5	4	3	0.00	0.00	41.67	33.33	25.00
		20%	0	0	7	2	3	0.00	0.00	58.33	16.67	25.00
		12%	0	1	5	3	3	0.00	8.33	41.67	25.00	25.00
	160m	30%	0	1	6	3	2	0.00	8.33	50.00	25.00	16.67
		20%	0	1	5	4	2	0.00	8.33	41.67	33.33	16.67
		12%	0	2	5	4	1	0.00	16.67	41.67	33.33	8.33
	200m	30%	0	1	7	3	1	0.00	8.33	58.33	25.00	8.33
		20%	0	1	7	3	1	0.00	8.33	58.33	25.00	8.33
		12%	1	2	5	3	1	8.33	16.67	41.67	25.00	8.33
カウンタビーム路肩	0m	30%	0	0	0	0	12	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
		20%	0	0	0	1	11	0.00	0.00	0.00	8.33	91.67
		12%	0	0	0	4	7	0.00	0.00	8.33	33.33	58.33
	20m	30%	0	0	7	3	2	0.00	0.00	58.33	25.00	16.67
		20%	0	4	5	1	2	0.00	33.33	41.67	8.33	16.67
		12%	1	8	1	2	0	8.33	66.67	8.33	16.67	0.00
	40m	30%	2	9	0	0	0	16.67	75.00	8.33	0.00	0.00
		20%	1	7	3	0	0	8.33	58.33	25.00	8.33	0.00
		12%	0	7	3	2	0	0.00	58.33	25.00	16.67	0.00
	60m	30%	0	0	3	8	1	0.00	0.00	25.00	66.67	8.33
		20%	0	0	3	7	2	0.00	0.00	25.00	58.33	16.67
		12%	0	0	1	8	3	0.00	0.00	8.33	66.67	25.00

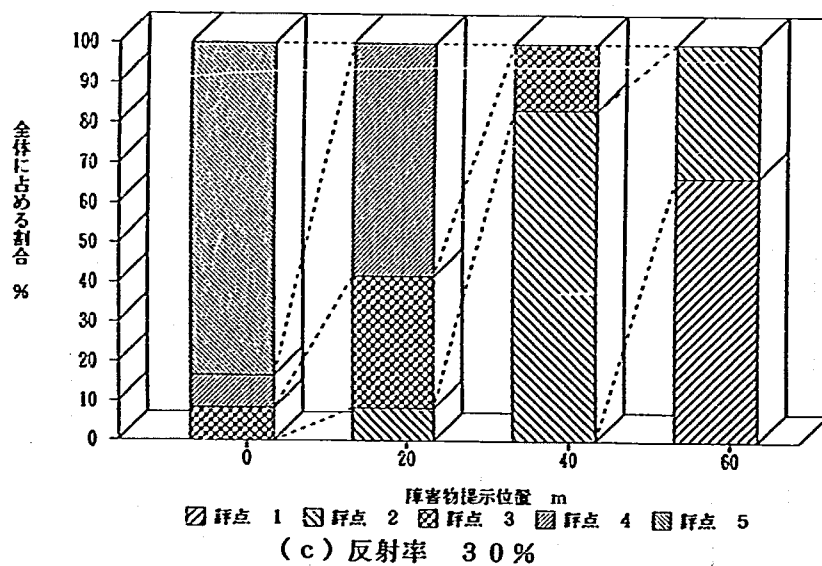
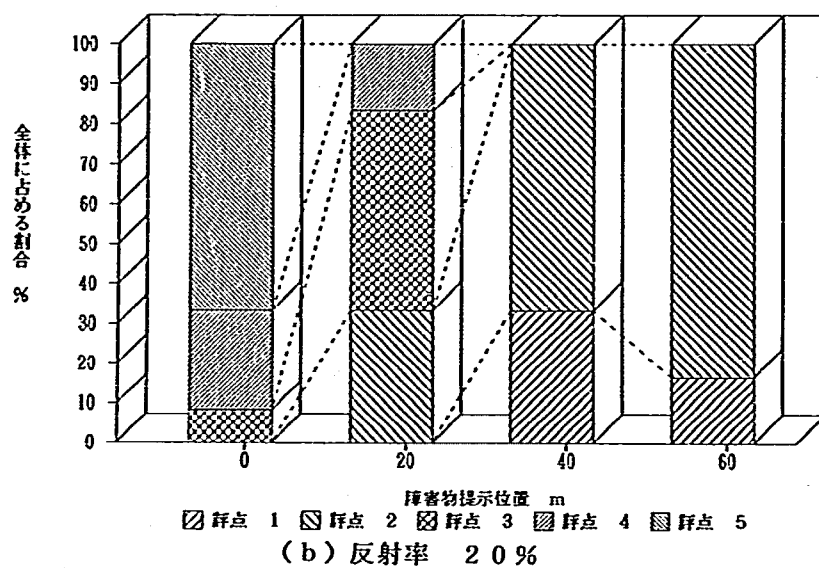
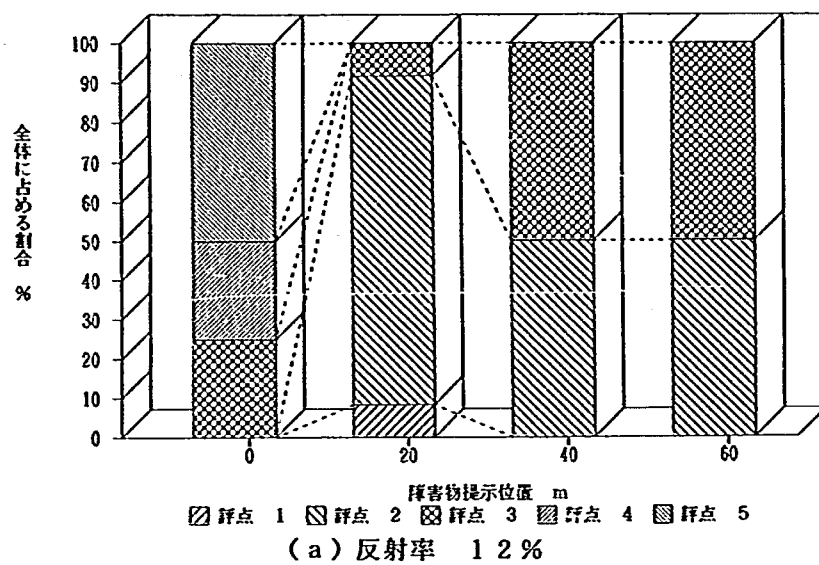


図-6.5 障害物の視認性実験(静止実験)アンケート結果(対称照明)

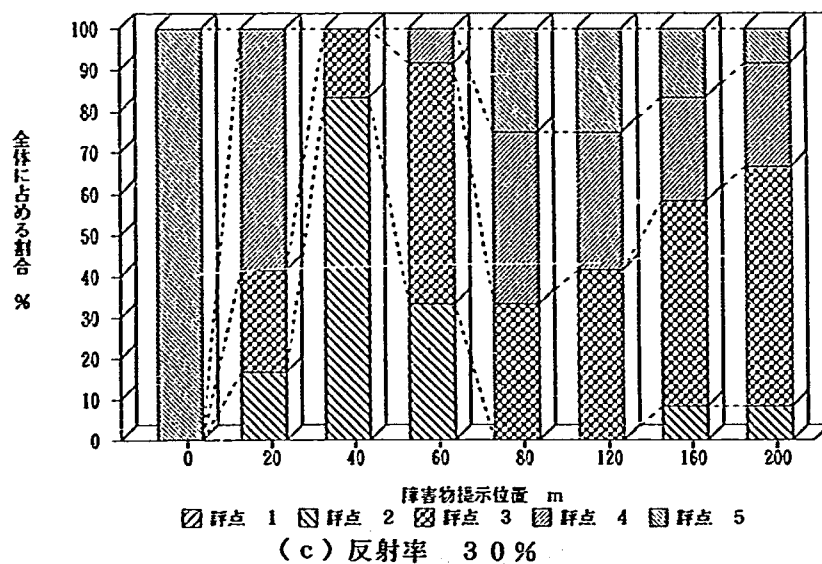
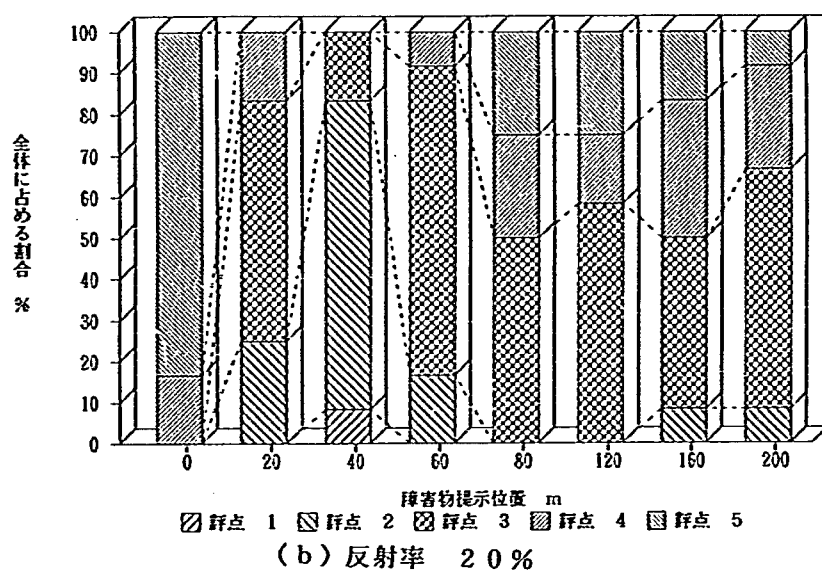
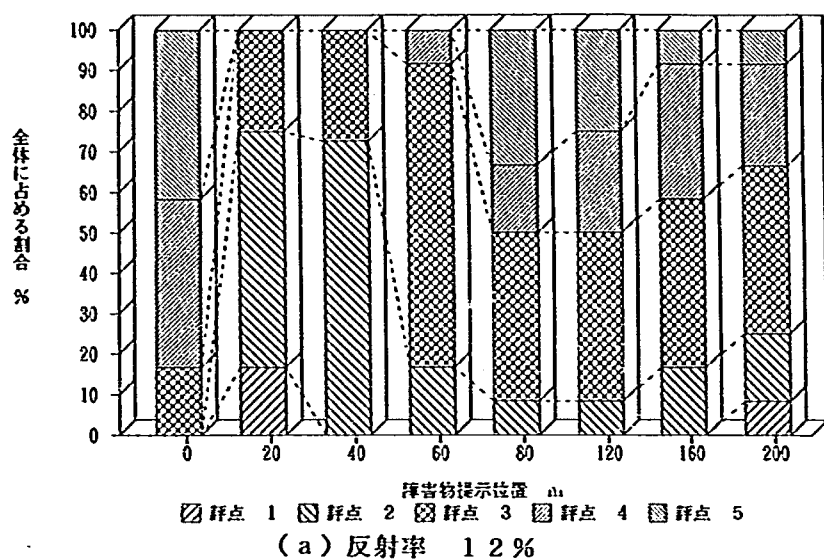


図-6.6 障害物の視認性実験(静止実験)アンケート結果
(カウンタービーム照明 車線中央取付)

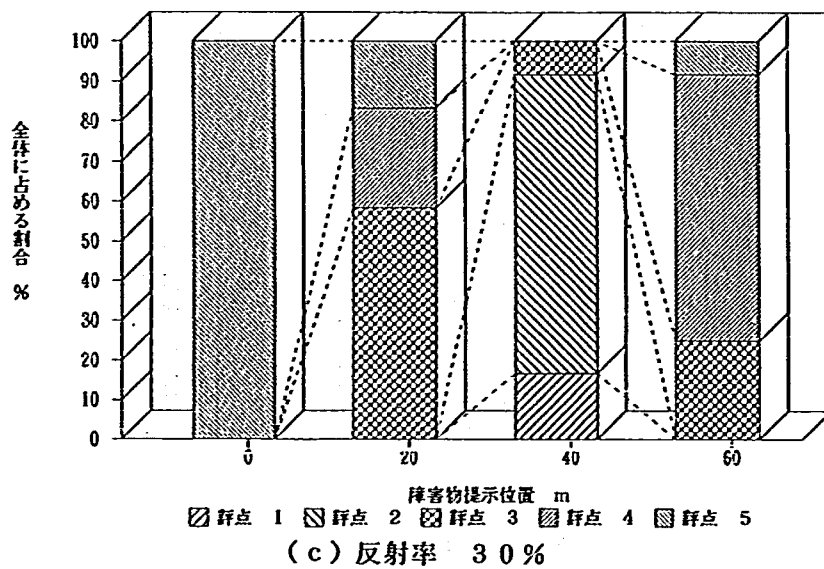
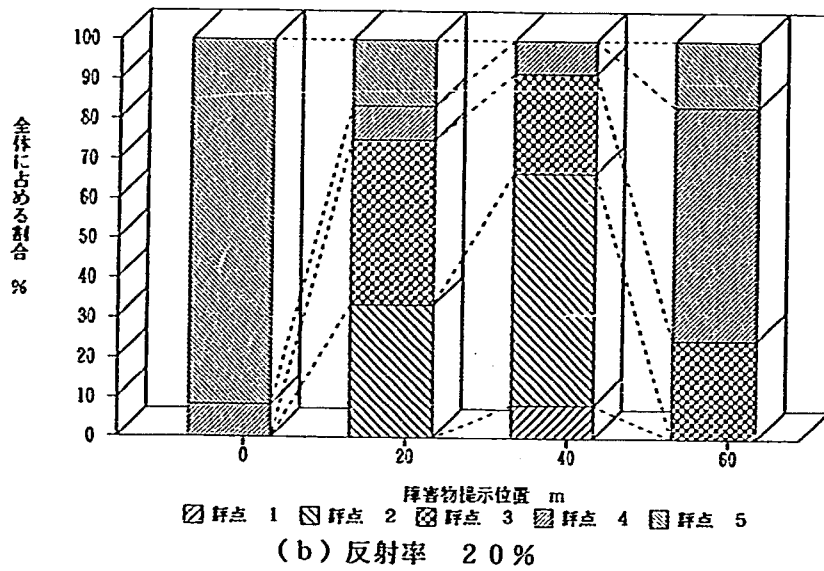
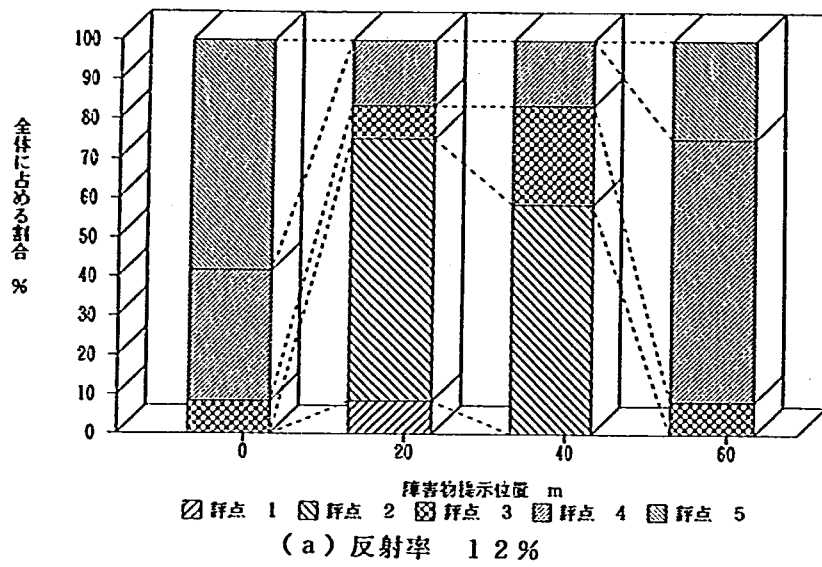


図-6.7 障害物の視認性実験(静止実験)アンケート結果
(カウンタービーム照明 路肩近傍取付)

表-6.5 障害物提示位置毎の評点の平均値

反射率 12% (N = 4)

障害物提示位置 (m)	0	20	40	60	80	120	160	200
対称照明	4.3	2.0	2.5	2.5				
カウンタービーム照明 車線中央取付	4.3	2.1	2.3	2.9	3.8	3.7	3.3	3.1
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	4.5	2.3	2.6	4.2				

反射率 20% (N = 5)

障害物提示位置 (m)	0	20	40	60	80	120	160	200
対称照明	4.6	2.8	1.7	1.8				
カウンタービーム照明 車線中央取付	4.8	2.9	2.1	2.9	3.8	3.7	3.6	3.3
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	4.9	3.1	2.3	3.9				

反射率 30% (N = 6)

障害物提示位置 (m)	0	20	40	60	80	120	160	200
対称照明	4.8	3.5	2.2	1.3				
カウンタービーム照明 車線中央取付	5.0	3.4	2.2	2.8	3.9	3.8	3.5	3.3
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	5.0	3.6	1.9	3.8				

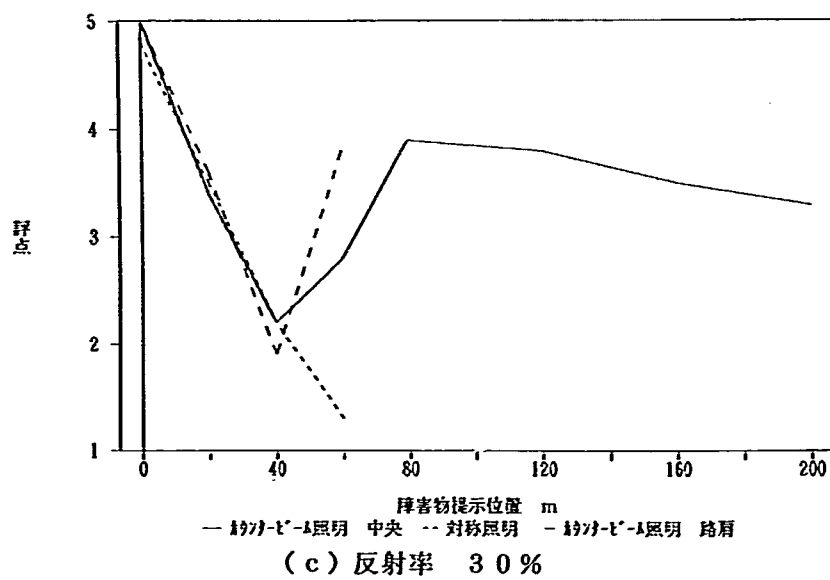
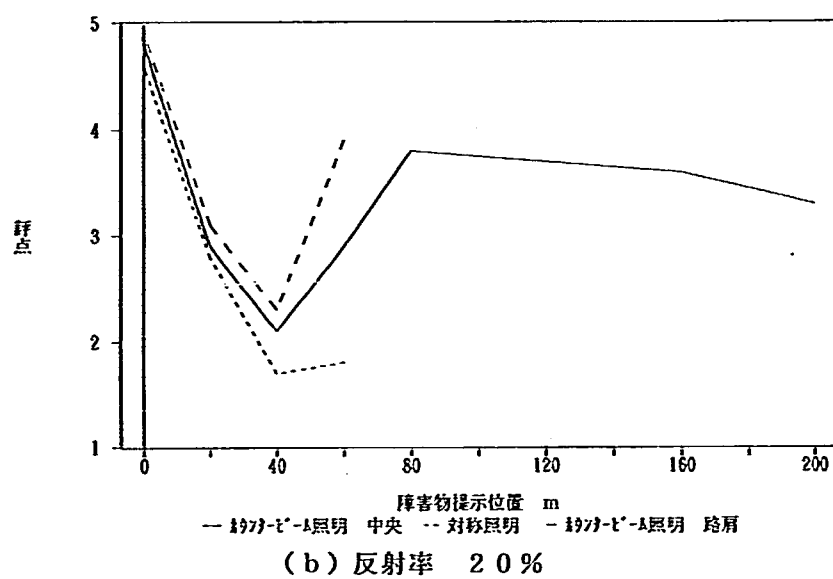
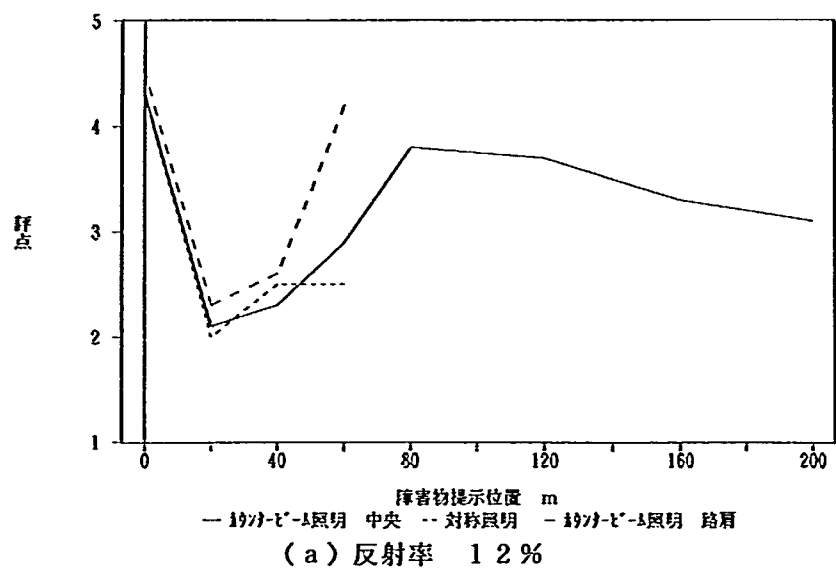


図-6.8 障害物の視認性実験(静止実験)アンケート結果の推移

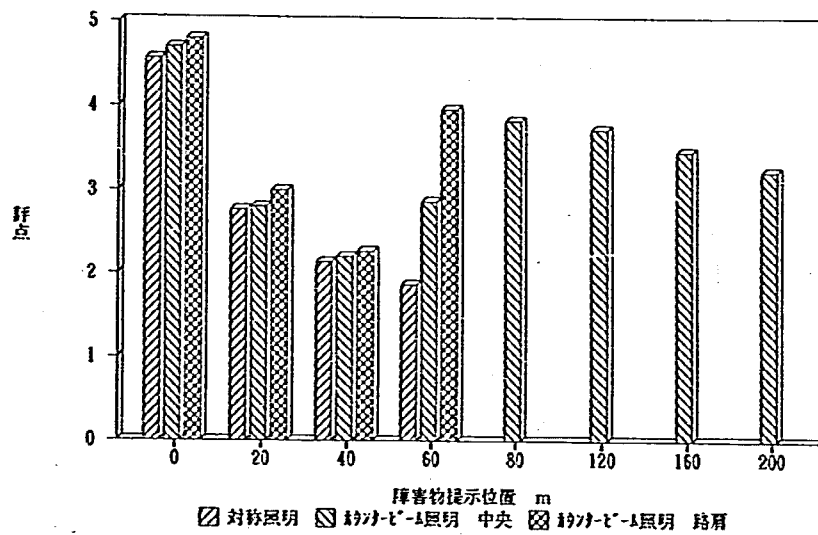


図-6.9 障害物の視認性実験（静止実験）アンケート結果（平均点）

6.2.4 障害物の輝度対比と見え方の評価

これまでの実験結果を基に検討を重ねていくと障害物の輝度対比と見え方評価（アンケート結果）にはそれぞれ相関関係があることが予想される。そこで表-6.6及び図-6.10に評点の平均値と輝度対比の関係を図に示した。これより、被験者により行った主観評価と輝度対比はばらつきがあるものの、比較的良い相関があることがわかる。なお、相関係数は0.67であった。

また、図-6.11に障害物の反射率毎に各照明方式別に分類した同様のグラフを示す。これより、照明方式毎の若干の差はあるが、それぞれ比較的良い相関がある。この図から、見え方の度合いの「かろうじて見えた」、「ふつうに見えた」の評点2及び3を得るための輝度対比を求めると表-6.7のとおりとなる。

表-6.7より、「ふつうに見えた」以上の評点を得るためには0.65以上の輝度対比が、「かろうじて見えた」以上の評価を得るためには0.18以上の輝度対比が必要となる。ここで、表-6.8～表-6.10及び図-6.12（障害物提示位置と輝度対比の関係）障害物の輝度対比の結果と上記の結果から次のことが考えられる。すなわち、「かろうじて見えた」の評価を確保するためには0.18以上の輝度対比が必要となることから、それ以下の評点では「見えない」と判断される。今、「見えない」領域について考慮すると、N=4の場合は、各照明方式とも坑口から20m付近の2～5m前後で「見えない」という領域となり、比較的差はないが、N=5の場合では、カウンタービーム照明の25～35m付近の約10mに対して、対称照明の35～60m付近の約25mと「見えない」領域が広がっている。さらに、N=6の場合では、カウンタービーム照明はN=5の場合と同様であるが、対称照明で「見えない」領域がさらに広がる傾向がうかがえる。

表-6.6 障害物提示位置毎のアンケート評点の平均値・輝度対比

反射率 12% (N = 4)

障害物提示位置 (m)		20	40	60	80	120	160	200
対称照明	輝度対比	0.2	0.5	0.6				
	アンケート評点	2.0	2.5	2.5				
カウンタービーム照明 車線中央取付	輝度対比	0.2	0.7	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9
	アンケート評点	2.1	2.3	2.9	3.8	3.7	3.3	3.1
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	輝度対比	0.2	0.7	0.8				
	アンケート評点	2.3	2.6	4.2				

反射率 20% (N = 5)

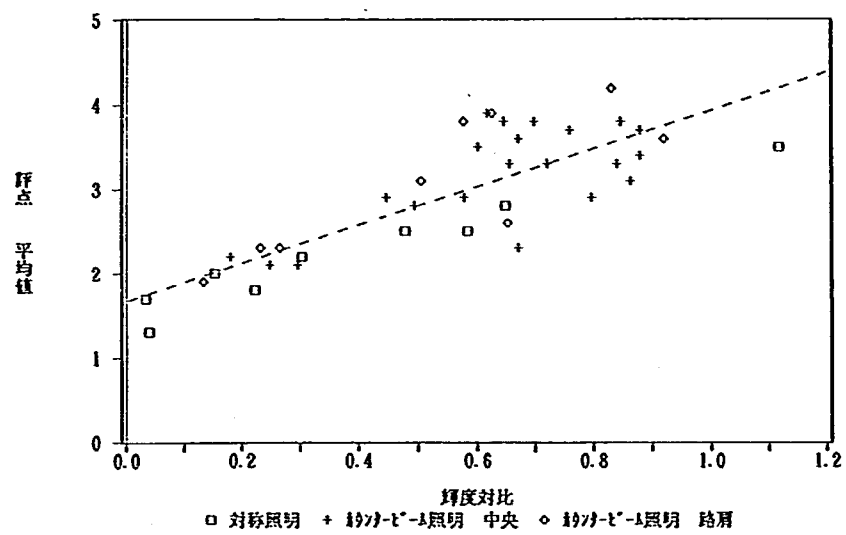
障害物提示位置 (m)		20	40	60	80	120	160	200
対称照明	輝度対比	0.6	0.0	0.2				
	アンケート評点	2.8	1.7	1.8				
カウンタービーム照明 車線中央取付	輝度対比	0.4	0.3	0.6	0.6	0.8	0.7	0.7
	アンケート評点	2.9	2.1	2.9	3.8	3.7	3.6	3.3
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	輝度対比	0.5	0.3	0.6				
	アンケート評点	3.1	2.3	3.9				

反射率 30% (N = 6)

障害物提示位置 (m)		20	40	60	80	120	160	200
対称照明	輝度対比	1.1	0.3	0.0				
	アンケート評点	3.5	2.2	1.3				
カウンタービーム照明 車線中央取付	輝度対比	0.9	0.2	0.5	0.6	0.7	0.6	0.7
	アンケート評点	3.4	2.2	2.8	3.9	3.8	3.5	3.3
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	輝度対比	0.9	0.1	0.6				
	アンケート評点	3.6	1.9	3.8				

表-6.7 見え方の度合いから求めた輝度対比

見え方の度合い	照 明 方 式	輝 度 対 比				
		N = 4	N = 5	N = 6	平均	全 体
かろうじて見えた (評点 2)	対称照明	0.14	0.25	0.28	0.22	0.18
	カウンタービーム照明 車線中央取付	0.29	0.23	0.0003	0.17	
	カウンタービーム照明 路肩近傍取付	0.19	0.21	0.057	0.15	
ふつうに見えた (評点 3)	対称照明	0.94	0.78	0.82	0.85	0.65
	カウンタービーム照明 車線中央取付	0.72	0.53	0.46	0.57	
	カウンタービーム照明 路肩近傍取付	0.56	0.49	0.50	0.52	



図－6.10 障害物の視認性実験（静止実験）アンケート結果平均点と輝度対比の関係

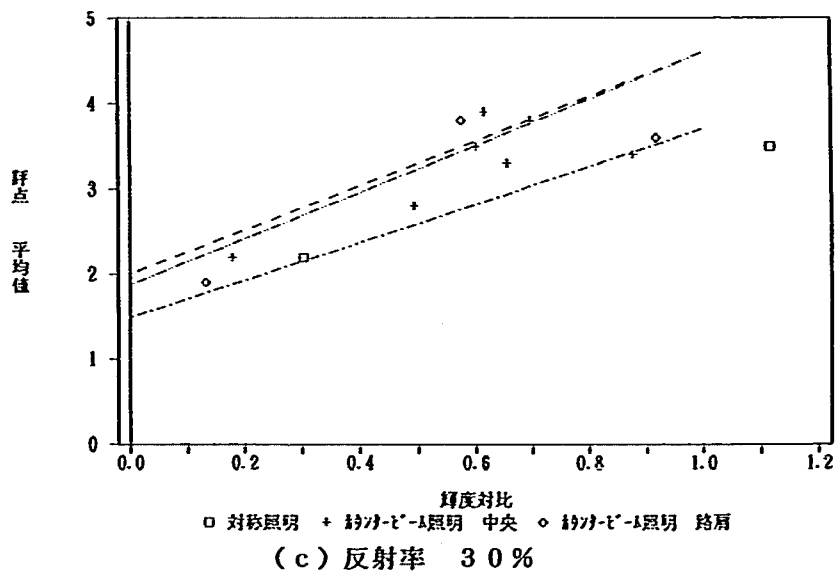
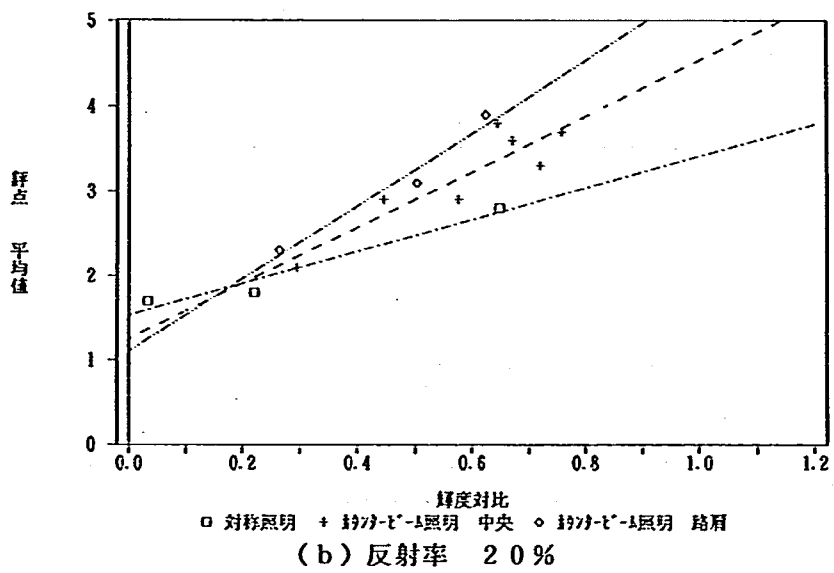
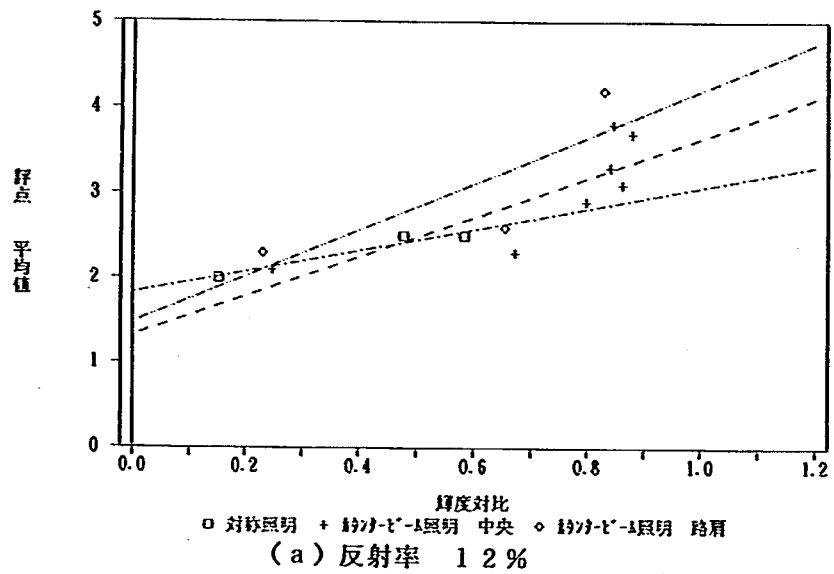


図-6.11 静止実験のアンケート結果平均点と輝度対比の関係

表-6.8 障害物提示位置と輝度対比(対称照明)

反射率 12% (N = 4)

障害物提示位置 (m)	0	20	40	60	80	120	160	200
E_v (lx)	76500	2500	932	588				
L_o (cd/m ²)	2923.6	95.5	35.6	22.5				
L_r (cd/m ²)	704.0	112.8	68.3	54.0				
C	-3.2	0.2	0.5	0.6				

反射率 20% (N = 5)

障害物提示位置 (m)	0	20	40	60	80	120	160	200
E_v (lx)	76500	2500	932	588				
L_o (cd/m ²)	4678.0	186.0	66.0	42.0				
L_r (cd/m ²)	704.0	112.8	68.3	54.0				
C	-5.6	-0.6	0.0	0.2				

反射率 30% (N = 6)

障害物提示位置 (m)	0	20	40	60	80	120	160	200
E_v (lx)	76500	2500	932	588				
L_o (cd/m ²)	7308.9	238.9	89.0	56.2				
L_r (cd/m ²)	704.0	112.8	68.3	54.0				
C	-9.4	-1.1	-0.3	0.0				

表-6.9 障害物提示位置と輝度対比 (カウンタービーム照明 車線中央取付)

反射率 12% (N = 4)

障害物提示位置 (m)	0	20	40	60	80	120	160	200
E_v (lx)	59000	1998	519	261	171	78.6	62.1	43.9
L_o (cd/m ²)	2254.8	76.4	19.8	10.0	6.5	3.0	2.4	1.7
L_r (cd/m ²)	277.6	101.6	60.4	49.3	42.6	24.9	14.9	12.2
C	-7.1	0.2	0.7	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9

反射率 20% (N = 5)

障害物提示位置 (m)	0	20	40	60	80	120	160	200
E_v (lx)	59000	1998	519	261	171	78.6	62.1	43.9
L_o (cd/m ²)	1430.0	147.0	42.5	20.8	15.1	6.0	4.9	3.4
L_r (cd/m ²)	277.6	101.6	60.4	49.3	42.6	24.9	14.9	12.2
C	-4.2	-0.4	0.3	0.6	0.6	0.8	0.7	0.7

反射率 30% (N = 6)

障害物提示位置 (m)	0	20	40	60	80	120	160	200
E_v (lx)	59000	1998	519	261	171	78.6	62.1	43.9
L_o (cd/m ²)	5636.9	190.9	49.6	24.9	16.3	7.5	5.9	4.2
L_r (cd/m ²)	277.6	101.6	60.4	49.3	42.6	24.9	14.9	12.2
C	-19.3	-0.9	0.2	0.5	0.6	0.7	0.6	0.7

表-6.10 障害物提示位置と輝度対比（カウンタービーム照明 路肩近傍取付）

反射率 12% (N = 4)

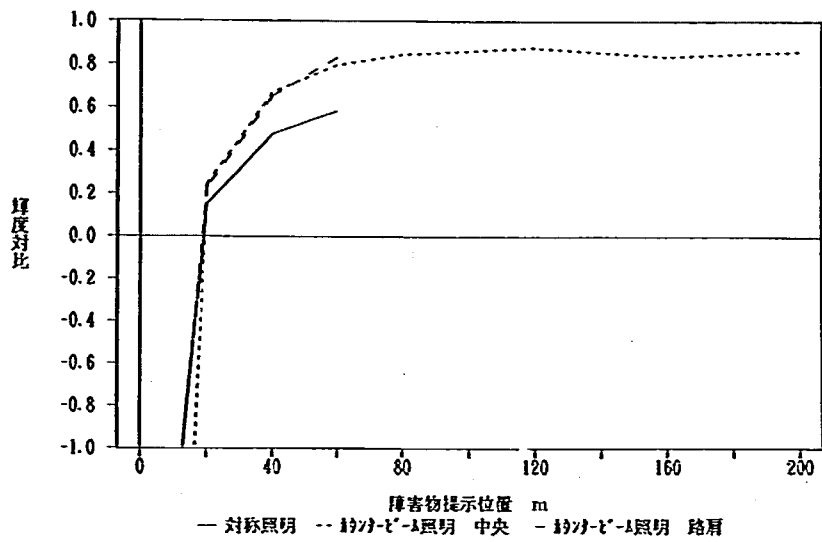
障害物提示位置 (m)	0	20	40	60	80	120	160	200
E_v (lx)	65300	1990	577	228				
L_o (cd/m ²)	2495.5	76.1	22.1	8.7				
L_r (cd/m ²)	577.5	99.0	63.6	51.5				
C	-3.3	0.2	0.7	0.8				

反射率 20% (N = 5)

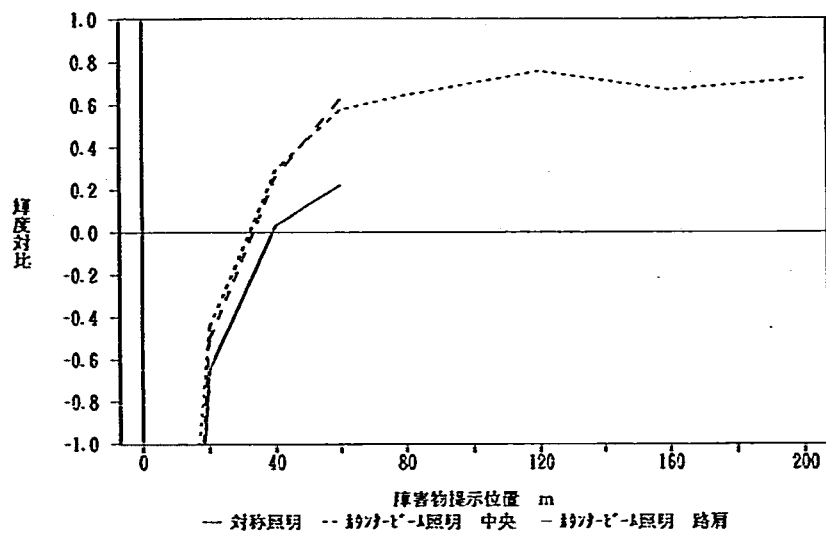
障害物提示位置 (m)	0	20	40	60	80	120	160	200
E_v (lx)	65300	1990	577	228				
L_o (cd/m ²)	4020.0	149.0	46.7	19.3				
L_r (cd/m ²)	577.5	99.0	63.6	51.5				
C	-6.0	-0.5	0.3	0.6				

反射率 30% (N = 6)

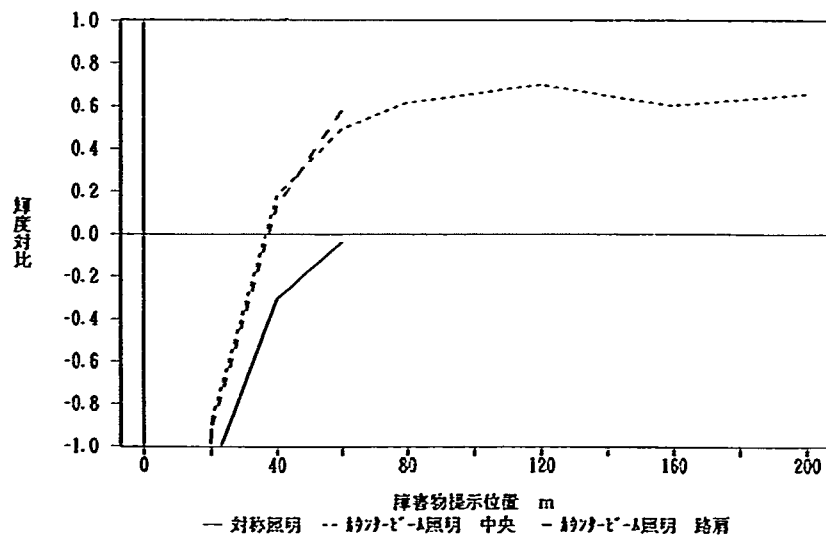
障害物提示位置 (m)	0	20	40	60	80	120	160	200
E_v (lx)	65300	1990	577	228				
L_o (cd/m ²)	6238.9	190.1	55.1	21.8				
L_r (cd/m ²)	577.5	99.0	63.6	51.5				
C	-9.8	-0.9	0.1	0.6				



(a) 反射率 12%



(b) 反射率 20%



(c) 反射率 30%

図-6.12 障害物提示位置における輝度対比の推移

6.3 まとめ

実験は設計速度 60 km/h 時の視距 (75 m) だけ離れた位置の試験車両の車内から、反射率の異なる障害物を観測することにより、照明方式の違いが視認性にどのように影響するかを静止実験によって行った。障害物は反射率 12、20、30% の一辺 20 cm の立方体を使用し、見え方の程度は 5 段階の主観評価を行った。

障害物の視認性実験 (静止実験) の被験者による見え方の評価により、静止状態での障害物の見え方は、対称照明及びカウンタービーム照明のいずれの照明方式においても昼間、坑口から 20 ~ 60 m の位置が自然光の差し込みにより見えにくいことが分かった。これは、障害物の輝度対比測定結果ともよく整合した。障害物の見え方の状態は、いずれの照明方式でも入射する太陽光の影響によりトンネル坑口付近では負の輝度対比で逆シルエットの状態で見え、坑口から 20 ~ 60 m 付近で正の輝度対比へと変化する。すなわち、負の輝度対比から正の輝度対比に変化する付近では輝度対比が 0 に近くなり非常に見えにくい状態となることによる。なお、対称照明では反射率 30% の障害物では 60 m の位置での見え方がきわめて悪い結果となった。

本実験条件下での見え方の評価と輝度対比の関係から「かろうじて見える」という評価を得るために必要な輝度対比は 0.18 となった。この「かろうじて見える」という最低の輝度対比 0.18 が確保できない、いわゆる「障害物が見えない」領域を障害物の輝度対比測定結果から推定すると、対称照明の場合には障害物の反射率が高くなるに従いその“領域”が増加する傾向にある。これに対し、カウンタービーム照明でのその“領域”は、対称照明と比較して狭いことが明らかとなった。

7. 障害物の視認性実験（走行実験）

7.1 実験概要

7.1.1 実験方法

実大トンネル実験施設の南側坑口手前500mの試走路上から試験車両4台を40秒毎に発進させ、トンネル坑口100m手前よりトンネル内部300mまでを試験区間として設定し、試験区間を時速60km/hで定速走行させトンネル入口照明区間の東側車線中央の任意の位置に置かれた障害物を試験車両に乗車している被験者に観測させた。

各被験者は次の各項目により観測を行う。

- ①トンネル内の路上に形状は不明だが何らかの障害物の存在を発見した時点（視認時）
- ②存在している障害物の形状まで認識できた時点（確認時）
- ③その障害物の真横を通過した時点

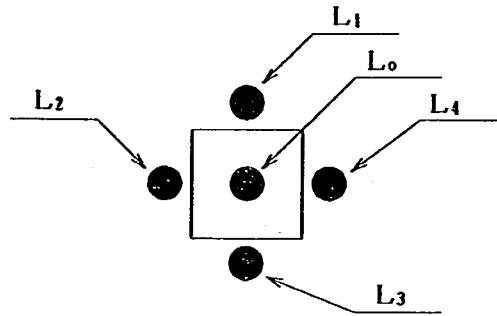
それぞれの項目に相当する状態と思われた時点で各被験者の手元の押しボタンスイッチを直ちに押すように指示した。各被験者の押しボタンスイッチにより入力された実験結果は試験車両に搭載された記録計により連続記録される。

なお、各被験者にはあらかじめトンネル内の東側車線中央にある形状の障害物が走行毎に1つだけ提示されることだけを伝えておき、障害物提示位置については走行毎に提示位置を変更し被験者には知らされていない状態で実験を行った。

実験を終えた試験車両は実大トンネル実験施設を通過し試験走路を走行し出発地点へと復帰する。

実大トンネル実験施設は直線形状のため南北両坑口を開放するとトンネル出口側の坑口が被験者の視野内に入るため本実験ではトンネル内試験区間終了後の位置に遮光幕を設置し試験中の被験者から直接トンネル坑口を注視できないようにした。

被験者の観測条件として障害物の輝度と障害物の背景路面輝度（図-7.1）、障害物の背景路面輝度、障害物観測面の鉛直面照度の測定を一走行毎に測定した。また、被験者の各走行毎の等価光幕輝度も試験車両に搭載された輝度計により連続記録をした。



図－7.1 障害物と背景路面の輝度測定ポイント

- ①障害物 : 立方体と円盤どちらか1個
- ②障害物提示位置 : 実大トンネル実験施設南側坑口より20, 40, 80, 120, 160mの東側車線中央
- ③被験者数 : 12名(試験車両は4台とする。)
- ④繰り返し回数 : 2回

7.1.2 障害物

試験車両からの観測に用いた障害物は以下のように設定した。

- ①一辺20cmの立方体
- ②直径23cmの円盤 (ほぼ立方体との見かけの面積を等しくした。)
- ③それぞれ表面は光沢のない灰色とする。
- ④それぞれ表面の反射率は30%相当(N値は6)とし、各1個とする。

7.1.3 測定機器

- ・輝度計(視角1/3度) 1台(障害物輝度、障害物の背景路面輝度測定用)
- ・照度計 1台(障害物の観測面の鉛直面照度測定用)
- ・特殊な角特性を有するレンズを装備した輝度計 1台(等価光幕輝度測定用)

7.1.4 被験者

被験者は各条件毎に12名とした。被験者の属性を表－7.1に示す。

表-7.1 障害物の視認性実験(走行実験)被験者一覧

氏 名	年 齢	性 別	車の使用 用途	週平均の 運転日数	運転歴	よく運転 する車種	視 力			実 験 内 容			備 考
							右	左	矯正	CBL 中央	対称	CBL 路肩	
Y. O	20歳	男性	通勤・通学	毎日	1年未満	普通車	1.2	1.2	有り	○	○		対称ではNo.10
T. I	36歳	男性	通勤・通学	毎日	10年以上	普通車	1.2	1.2	有り		○	○	
W. N	27歳	男性	レジャー等	週1~2日	5~10年	普通車	1.2	1.2	有り	○	○	○	
A. I	23歳	女性	レジャー等	週1~2日	1年未満	普通車	1.5	1.5	無し	○	○	○	
T. K	22歳	男性	レジャー等	週1~2日	1年未満	普通車	1.2	1.0	有り	○	○	○	
Y. H	21歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	1.2	1.2	有り	○	○	○	
Y. K	22歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	1.5	1.5	無し	○			
S. H	23歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	0.6	0.6	有り		○		両眼で0.7
T. U	42歳	男性	レジャー等	週1~2日	10年以上	普通車	1.2	0.6	有り			○	
T. I	30歳	男性	レジャー等	週1~2日	10年以上	普通車				○			
Y. H	21歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	1.0	1.5	有り		○		
N. Y	21歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	0.9	0.8	無し			○	
T. K	20歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	0.9	0.5	有り	○	○	○	
K. T	21歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	0.9	1.0	有り	○	○	○	
K. M	48歳	男性	レジャー等	週1~2日	10年以上	普通車				○			
T. K	24歳	男性	レジャー等	毎日	5~10年	普通車	1.2	1.2	有り			○	
M. H	27歳	男性	通勤・通学	毎日	5~10年	普通車	0.5	0.5	有り	○			両眼で0.7
Y. S	25歳	男性	レジャー等	週5~6日	5~10年	普通車	1.0	1.2	無し		○	○	
K. O	21歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	0.6	0.9	有り	○	○	○	

7.2 実験結果

7.2.1 走行実験時の野外輝度及び野外水平面・鉛直面照度

走行実験を行なった時間帯の野外輝度及び野外での水平面・鉛直面照度をバックデータとして測定した。測定条件は、6.2.1で示した静止実験時の測定と同様である。

測定結果を表-7.2に示す。

表-7.2 走行実験時の野外輝度及び野外水平面・鉛直面照度 測定結果

実験日	照明種類	実験ケース	時 間	野外輝度[cd/m ²]	水平面照度 [lx]	鉛直面照度 [lx]	輝度/照度の変動
3月11日	カウンタービーム 照明 (車線中央)	1-1	10:18~10:20	5000 / 3400~5600	75000/35000~85000	75000/40000~90000	非常に大きい
		1-2	10:29~10:31	4500 / 3800~5600	50000/35000~80000	50000/40000~80000	非常に大きい
		2-1	10:40~10:42	5000 / 3600~5600	80000/30000~85000	80000/30000~90000	非常に大きい
		2-2	10:50~10:52	5000 / 4000~5800	50000/35000~90000	50000/35000~90000	非常に大きい
		3-1	11:00~11:02	3500	28500	28500	
		3-2	11:09~11:11	4500 / 4000~5500	65000/40000~90000	70000/45000~85000	非常に大きい
		4-1	11:18~11:20	5000 / 4000~5600	70000/45000~88000	80000/45000~90000	非常に大きい
		4-2	11:28~11:30	4500 / 3400~5200	70000/35000~85000	70000/35000~85000	非常に大きい
		5-1	11:38~11:40	4000 / 3500~4500	45000/30000~60000	40000/30000~90000	非常に大きい
		5-2	11:48~11:50	5000 / 3800~5400	75000/40000~90000	70000/35000~85000	非常に大きい
3月14日	対称照明	1-1	10:13~10:15	4900	75000	78000	
		1-2	10:23~10:25	5300	78000	82000	
		2-1	10:33~10:35	5600	86000	86000	
		2-2	10:42~10:44	4100 / 4000~4200	45000/41000~51000	50000/45000~54000	大きい
		3-1	10:51~10:53	3400 / 3300~3400	29000/27000~31000	33000/31000~36000	大きい
		3-2	10:58~11:00	3400	30000/27000~32000	35000/30000~38000	大きい
		4-1	11:05~11:07	4500 / 4200~4700	58000/50000~65000	58000/53000~66000	大きい
		4-2	11:13~11:15	5500	81000	78000	
		5-1	11:20~11:22	4500 / 4400~4600	53000/48000~65000	55000/50000~64000	大きい
		5-2	11:27~11:29	3300	21500	25000	
3月15日	カウンタービーム 照明 (路肩近傍)	1-1	9:39~9:41	2800	15000	16500	
		1-2	9:48~9:50	3500 / 3200~4200	35000/25000~66000	35000/25000~65000	非常に大きい
		2-1	9:55~9:57	3200	20000	23000	
		2-2	10:03~10:05	4900 / 4700~5000	67000/47000~69000	68000/51000~71000	大きい
		3-1	10:10~10:12	4200	65000	67000	
		3-2	10:18~10:20	3200	23000	26500	
		4-1	10:25~10:27	5300	70000/56000~77000	70000/56000~76000	大きい
		4-2	10:33~10:35	5300	77500	76000	
		5-1	10:40~10:42	5500	80000	78500	
		5-2	10:48~10:50	5200 / 4600~5600	60000/34000~80000	55000/34000~79000	非常に大きい

(注) 「輝度/照度の変動」が「非常に大きい」「大きい」場合の輝度・照度は、「代表値(変動の中央付近と考えられる目測値)/変動幅」で表わしている。なお、変動が「非常に大きい」場合には、代表値の近傍に輝度・照度がとどまっていることはなく、代表値の意味は薄い。

7.2.2 障害物の輝度対比

各照明方式における障害物の視認性を確認するため、東側車線中央の路上に障害物を設置し、実験車を60 km/hで定速走行し観測させた時の、障害物の輝度対比を測定した。

1) 実験条件

- ・ 障害物 : 一辺20 cmの正方形または直径23 cmの円盤 (N = 6、反射率30%)
- ・ 障害物の提示位置 : 坑口より内部に20, 40, 80, 120, 160 m

2) 測定項目

- ・ 障害物と背景路面の輝度
- ・ 障害物の鉛直面照度

3) 測定器

- ・ 輝度測定 : ミノルタ輝度計 (視角1/3度)
- ・ 鉛直面照度 : トプコン照度計

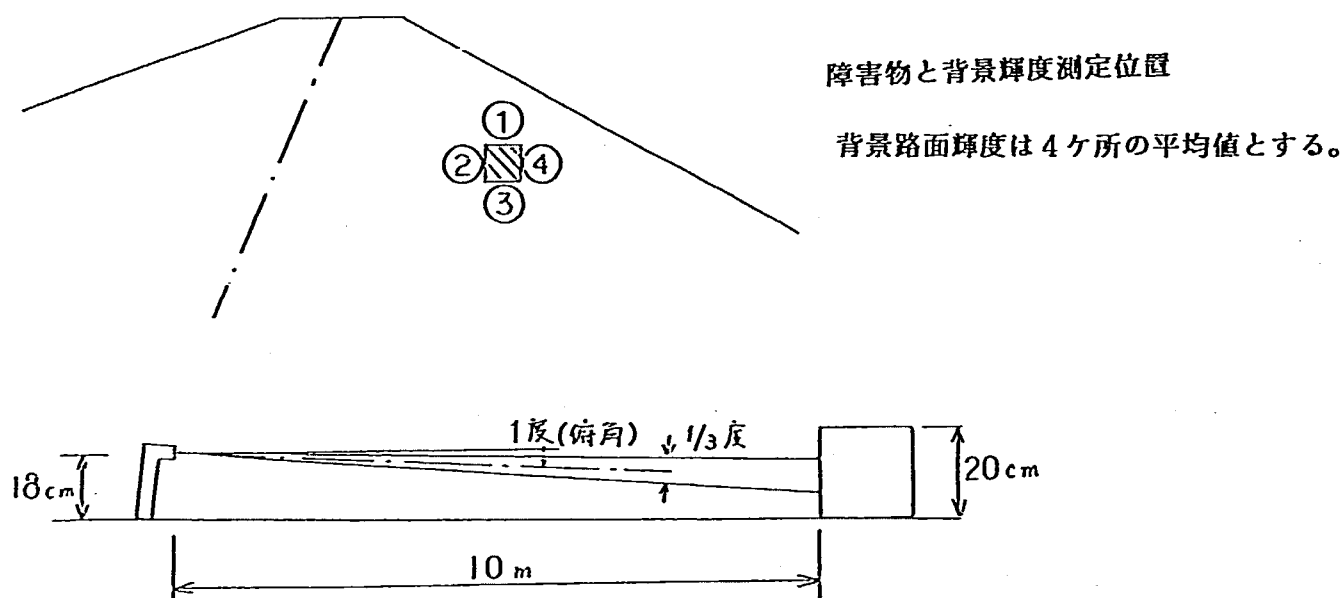


図-7.2 測定位置と障害物の関係



写真－7.1 測定状況

表-7.3 障害物の視認性実験(2) 走行実験 記録

1. 照明方式: カウンタービーム照明(車線中央)

2. 測定日時: 平成6年3月11日(金) 10:00

天候: 晴

障害物の 形状・位置 (坑口から の距離)	障害物の 鉛直面照度 (lx)	障害物の 輝度Lo (cd/m ²)	背景の輝度 (cd/m ²)					輝度対比 $C = \frac{L - L_o}{L}$
			①	②	③	④	平均 L	
● 20m	2,270.0	201.0	57.8	88.4	184.6	86.2	104.2	-0.93
■ 120m	82.2	9.0	19.3	33.7	35.5	21.2	24.6	0.63
● 80m	167.5	17.0	30.2	40.1	54.4	37.5	40.6	0.58
■ 20m	1,554.0	173.0	59.7	84.2	148.8	8.18	96.3	-0.85
■ 40m	473.0	48.8	49.8	62.3	72.6	55.1	59.9	0.19
● 160m	63.6	6.7	14.6	13.0	15.6	11.6	13.7	0.51
● 120m	83.5	9.0	18.8	20.3	37.1	18.5	23.7	0.62
● 40m	563.0	53.1	49.0	64.8	79.7	56.7	62.5	0.15
■ 160m	62.4	6.3	14.2	13.1	16.8	15.5	14.9	0.58
■ 80m	175.0	18.1	33.6	44.1	54.9	43.4	44.0	0.59

1. 照明方式: 対称照明

2. 測定日時: 平成6年3月14日(月) 10:15~11:35 天候: 晴

障害物の 形状・位置 (坑口から の距離)	障害物の 鉛直面照度 (lx)	障害物の 輝度Lo (cd/m ²)	背景の輝度 (cd/m ²)					輝度対比 $C = \frac{L - L_o}{L}$
			①	②	③	④	平均 L	
■ 40m	1,005.0	102.0	51.0	68.0	86.0	77.0	70.5	-0.45
● 160m	75.1	7.4	6.1	7.5	9.3	7.3	7.6	0.03
● 120m	200.0	19.0	10.5	16.5	25.2	14.8	16.8	-0.13
● 40m	824.0	80.0	51.0	62.0	76.9	73.2	65.8	-0.22
■ 160m	75.3	7.8	6.3	8.3	9.4	7.6	7.9	0.01
■ 80m	466.0	45.0	37.7	49.3	55.5	47.5	47.5	0.05
● 20m	2,270.0	223.0	63.5	76.3	146.0	81.5	91.8	-1.43
■ 120m	202.0	19.3	13.2	16.4	24.4	15.2	17.3	-0.12
● 80m	480.0	44.6	30.6	45.1	55.3	46.5	44.4	-0.005
■ 20m	1,730.0	177.0	75.3	86.2	127.0	85.0	93.4	-0.90

1. 照明方式: カウンタービーム照明(路肩近傍)

2. 測定日時: 平成6年3月15日(火) 09:35~10:55 天候: 晴~曇り

障害物の 形状・位置 (坑口から の距離)	障害物の 鉛直面照度 (lx)	障害物の 輝度Lo (cd/m ²)	背景の輝度 (cd/m ²)					輝度対比 $C = \frac{L - L_o}{L}$
			①	②	③	④	平均 L	
● 80m	194.0	19.8	35.0	40.0	51.3	46.2	43.1	0.54
■ 20m	1,250.0	137.0	56.5	81.4	115.0	77.0	82.5	-0.66
■ 40m	442.0	46.5	56.8	57.9	63.6	61.2	59.9	0.22
● 160m	73.0	7.3	12.8	14.6	23.0	14.7	16.3	0.55
● 120m	106.0	11.0	21.8	27.3	30.8	38.2	27.0	0.59
● 40m	478.0	48.5	56.7	56.7	72.5	61.0	61.7	0.21
■ 160m	73.0	7.3	12.8	16.5	22.0	18.3	17.4	0.58
■ 80m	206.0	22.2	35.5	46.2	50.6	47.0	44.8	0.50
● 20m	1,500.0	162.0	62.5	71.2	133.0	75.0	85.4	-0.90
■ 120m	111.0	11.3	25.0	30.7	32.3	30.0	29.5	0.61

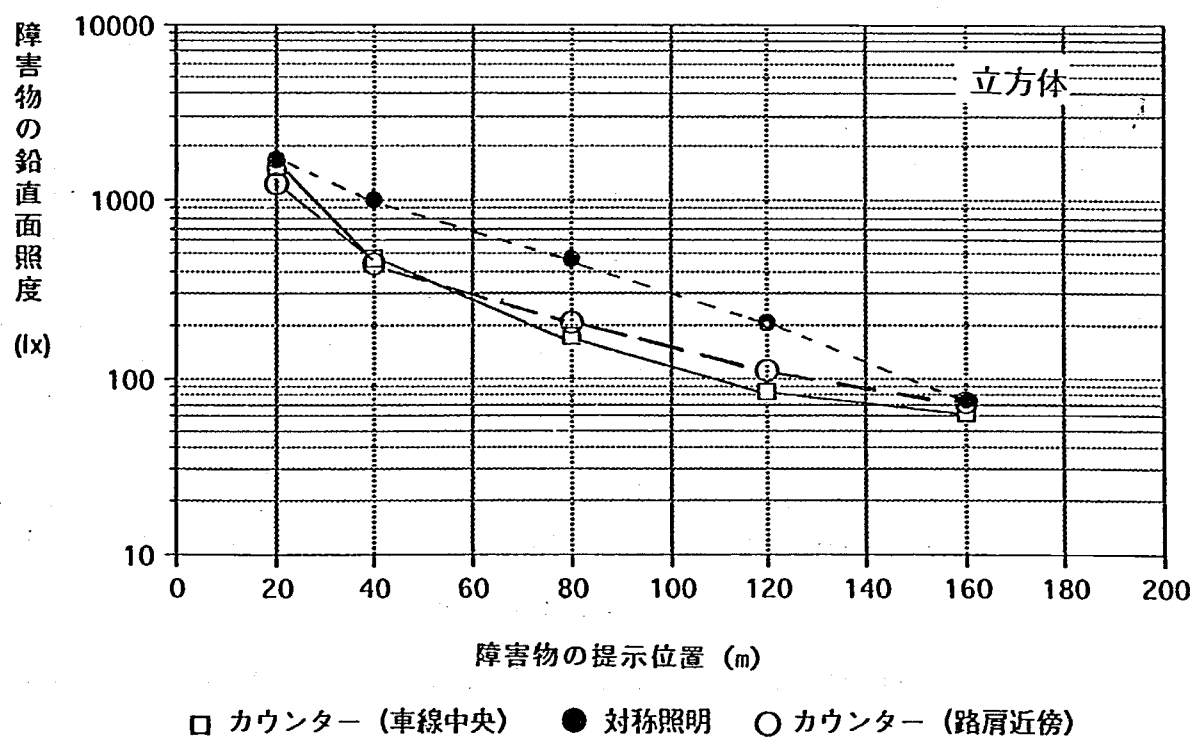
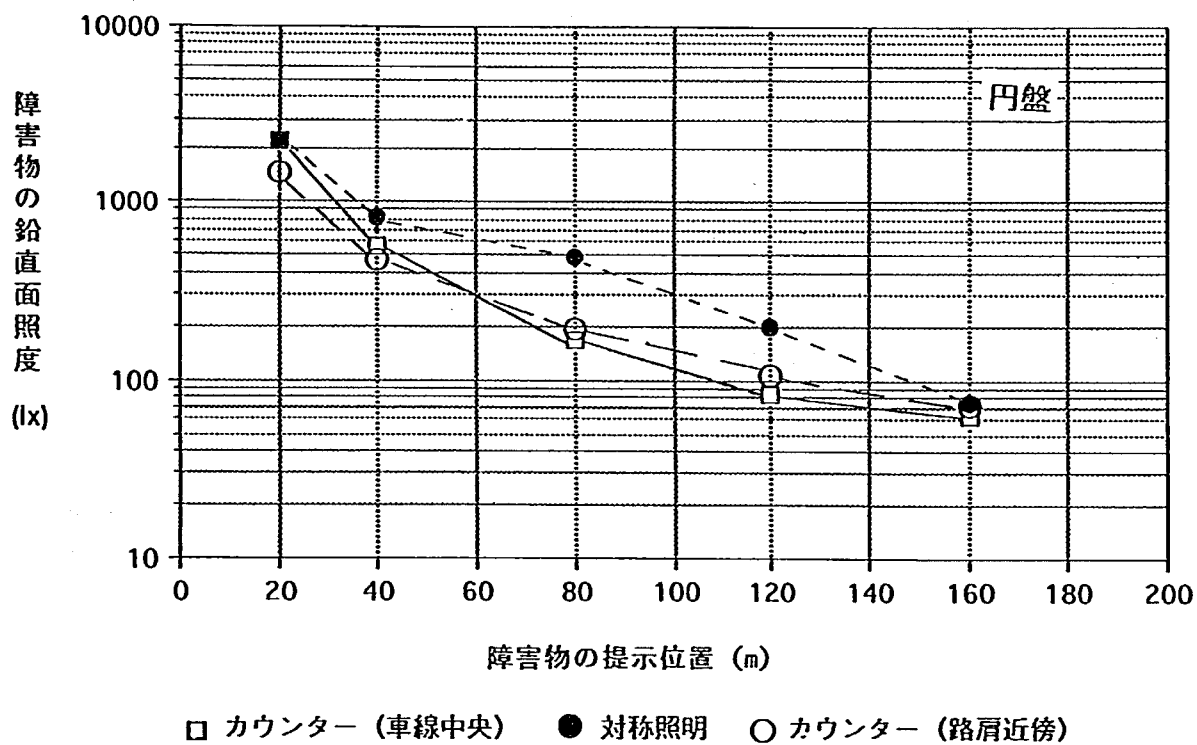


図-7.3 障害物の鉛直面照度

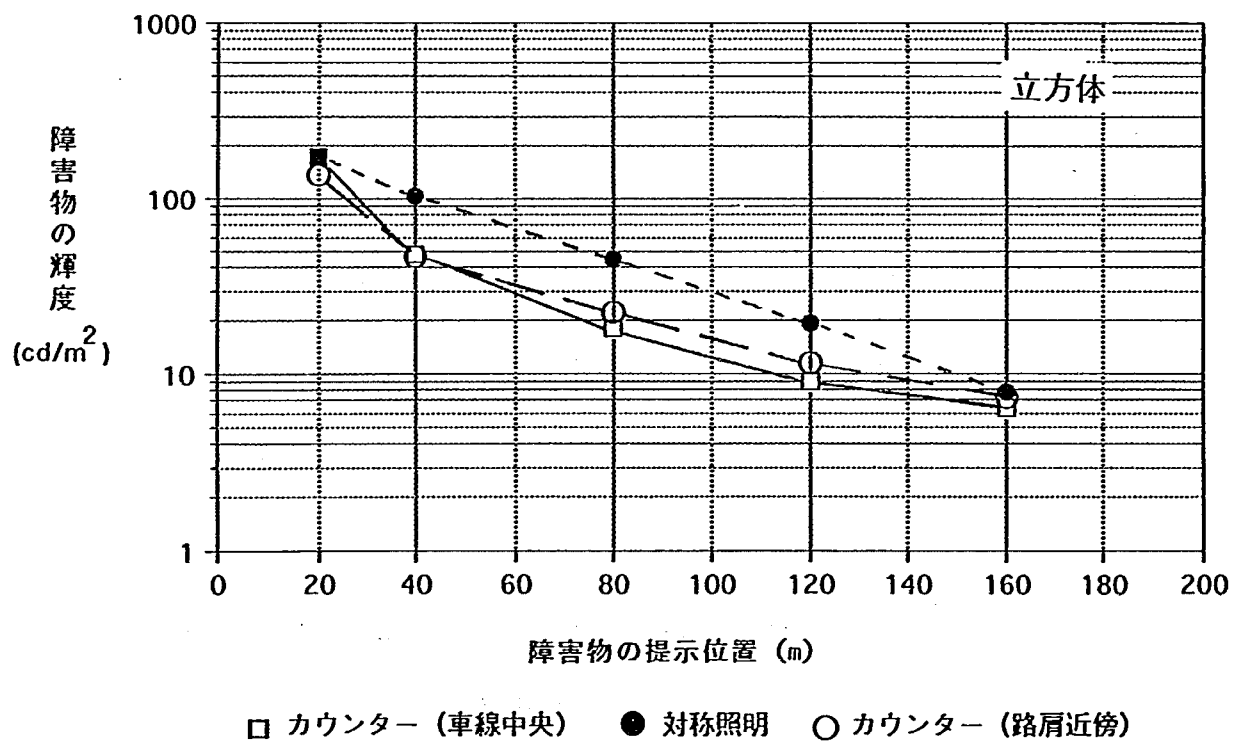
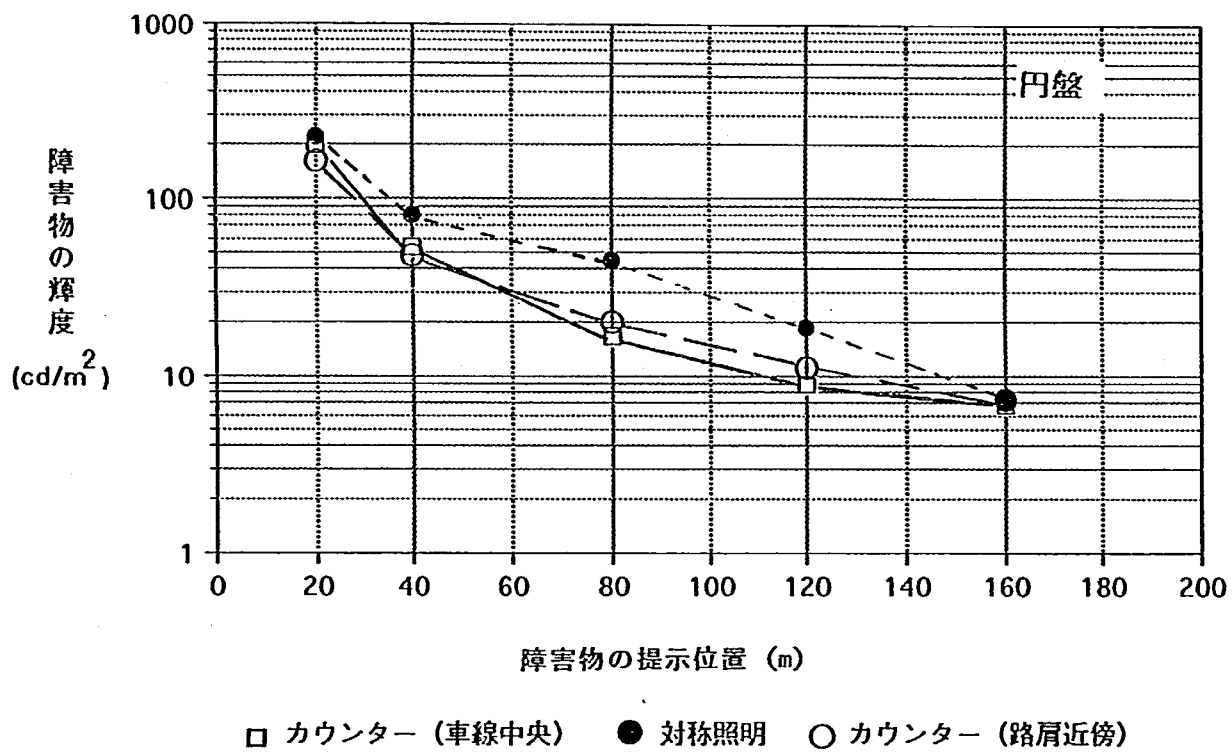


図-7.4 障害物の輝度

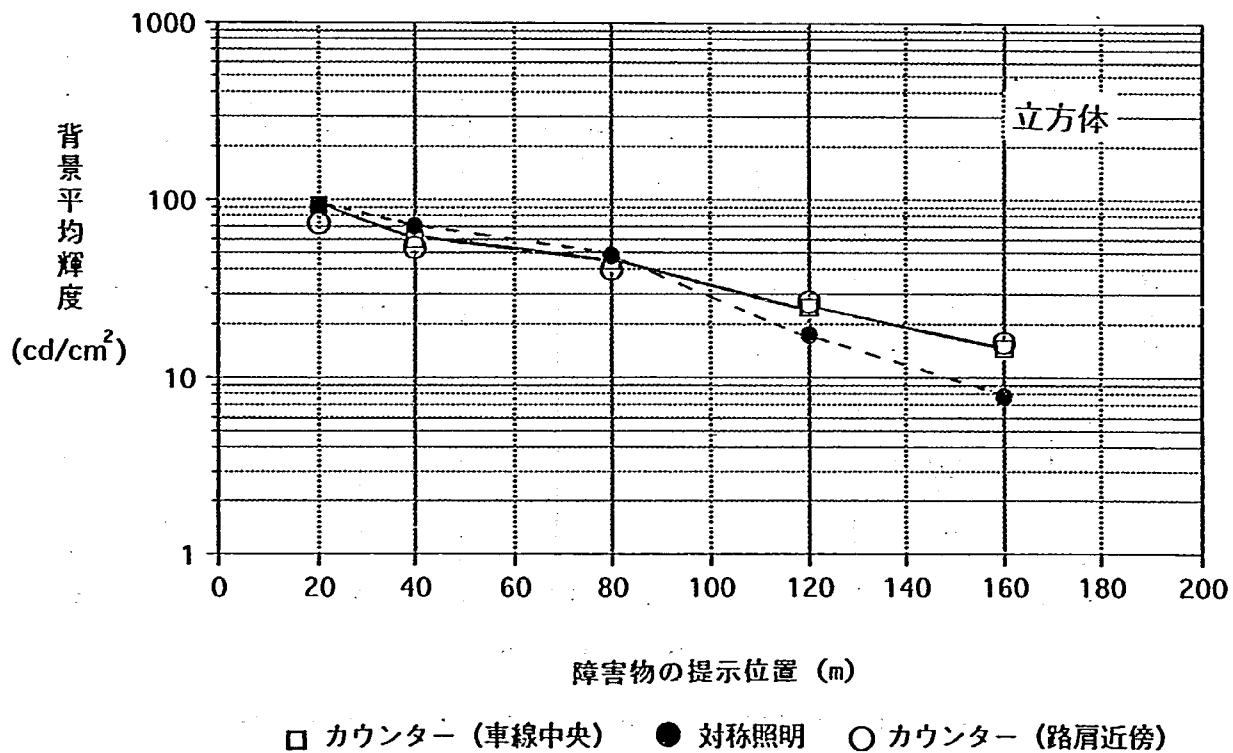
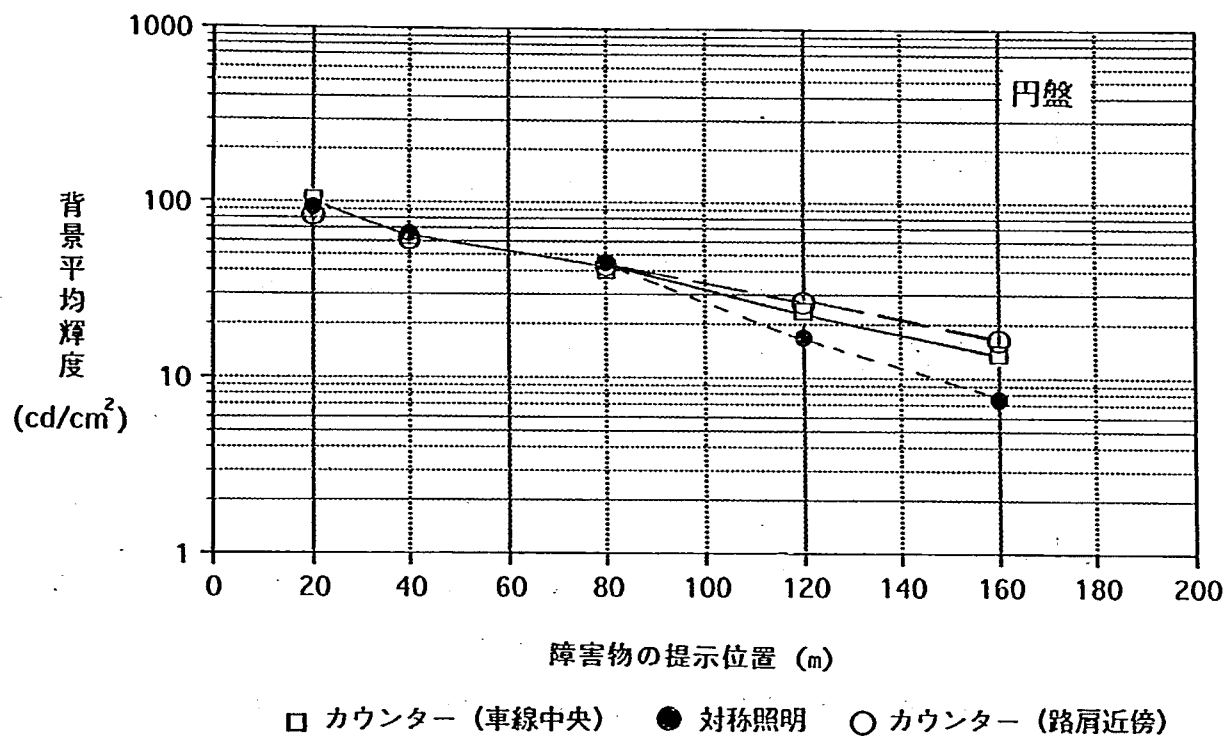


図-7.5 背景平均輝度

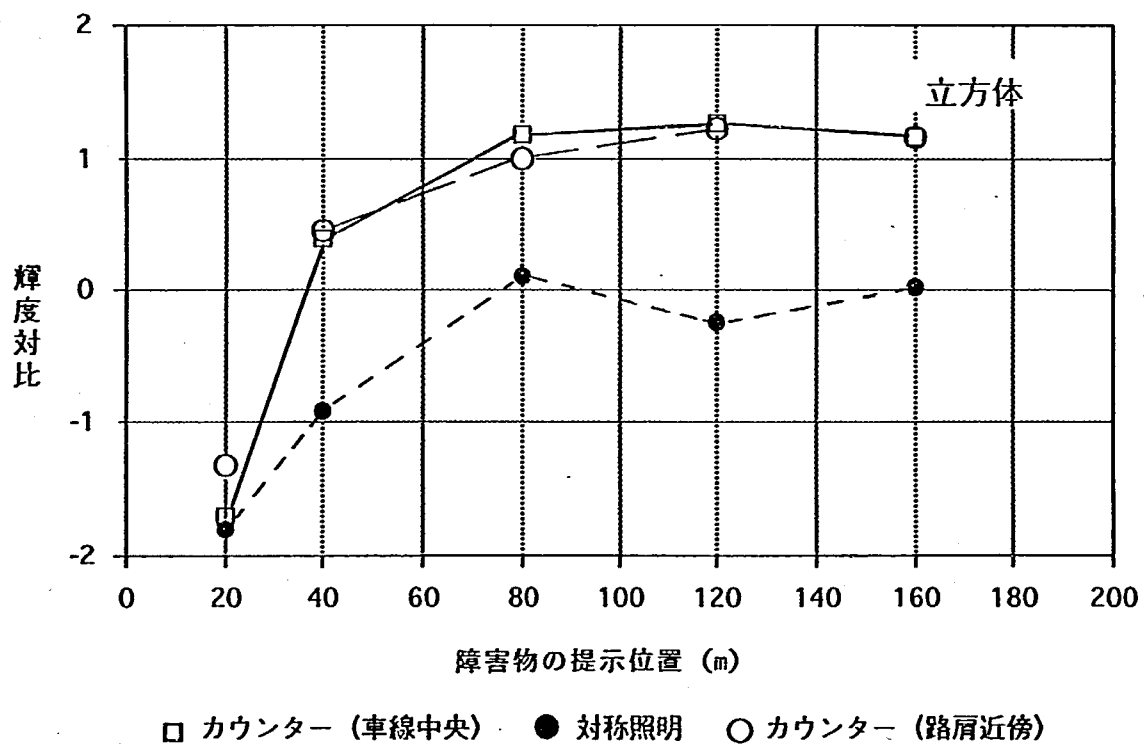
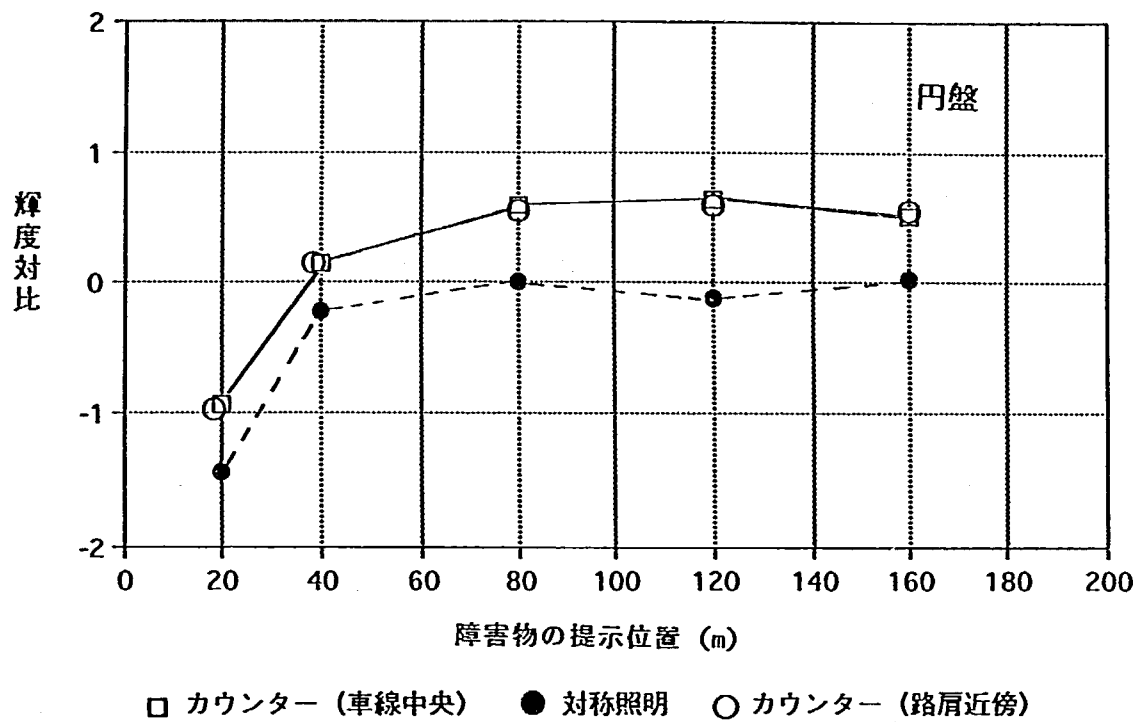


図-7.6 輝度対比

7.2.3 視認距離及び確認距離の測定結果

表-7.4、表-7.5に「形状は分からないがなにかが存在すると気づいた距離（視認距離）」「形状まではっきりと確認できたときの距離（確認距離）」の測定結果の一覧表を、図-7.7～図-7.9に視認距離と確認距離のそれぞれを自動車番号毎の12名の分散を示した。視認距離及び確認距離の調査結果は被験者の個人差により非常にばらつきが大きくなった。ここでは、平均値で見るとカウンタービーム照明は対称照明と比較して視認・確認距離ともに向上（長くなっている）している結果になっている。また、表-7.6及び図-7.10にその向上の比率を対称照明を基準として各提示位置における比を求めた値を示した。障害物提示位置40mでカウンタービーム照明車線中央取付が対称照明を下回っているが、他の位置ではすべて上回っている。80m以降の位置では、視認距離では1.5～2.5倍程度、確認距離では1.5～4倍程度の向上率となっている。

7.2.4 視認距離及び確認距離と輝度対比の関係

表-7.4、表-7.5及び図-7.11～図-7.13に障害物の視認・確認距離と輝度対比の関係を示した。図より、両者の関係は特に顕著な傾向は見いだせない。これは障害物を視認・確認する際の個人差が大きく影響し、データがばらついたためと考えられる。ただし、カウンタービーム照明の場合は比較的高い輝度対比と長い視認・確認距離が得られて、対称照明では低い輝度対比により視認・確認距離も短くなる傾向がうかがえる。

7.2.5 可視度による見え方の評価¹⁾

可視度を以下に示す方法を用いて実験時に測定した等価光幕輝度、障害物の背景輝度を利用し、障害物の75m（設計速度60km/hに対応する視距）の位置、2名の被験者の視認、確認時の可視度の算出を行った。

路上に存在する障害物を自動車の運転者が認識するためには障害物の輝度 L_o とその背景となる路面の輝度 L_r の輝度対比（コントラスト C ）が運転者の眼によって識別できる輝度対比の最小の限界、すなわち輝度対比弁別閾（ C_{min} ）を上回らなければならない。

$$C \geq C_{min} \dots\dots\dots (7.1)$$

注) 入口部照明区間のみを対象としているので今回は煤煙粒子の影響は考慮していない。

もしこれを下回った場合は人間の眼は障害物の絶対輝度如何に関わらず、背景となる路面とその路上の障害物が同じ漆黑に見える様になり、障害物と背景路面の判別が付かなくなり障害物の存在の有無を認識できず自動車の運転手にとって危険な状態となる。

ここでトンネル内の障害物の輝度を L_o 、障害物の背景となる路面輝度を L_r とすると輝度対比 C は(7.2)式で表される。

表-7.4 障害物の視認性実験(走行実験) 視認距離・輝度対比一覧

照明条件: 対称照明

実験番号	障 害 物		車両 No. 1	車両No. 2					車両No. 3				車両No. 4			平均値	最大値	最小値	標準 偏差	視 標 物 輝度対比	備考
	提示位置	形状	1	3	4	5	6	2	7	8	9	10	11	12							
1 - 1	40	□	186	110	165	140	33	15	50	40	87	89	139	18	89	186	15	56	0.45		
1 - 2	160	○	87	52	112	125		8		15	15	65	12	17	51	125	8	42	0.02		
2 - 1	120	○	108	100	102	107	10	75	63	48	104	90	100	85	83	108	10	28	0.13		
2 - 2	40	○	119	45	154	130	15	38	43	40	50		55	42	66	154	15	43	1.43		
3 - 1	160	□	19	107	97	137	10	57	97	30	23	47	102	20	62	137	10	42	0.01		
3 - 2	80	□	100	60	57	65	28	63	62	30	62	68	60	65	60	100	28	17	0.05		
4 - 1	20	○	228	169	129	187	67	135	52	75	189	185	139	105	138	228	52	53	0.22		
4 - 2	120	□	93	97	100	112	8	80	99	68	100	89	102	94	87	112	8	26	0.12		
5 - 1	80	○	56	63	60	55	37	58	37	25	53	60	68	58	53	68	25	12	0.01		
5 - 2	20	□	233	124	175	249	60	154	104	62	172	182	174	117	151	249	60	57	0.90		

照明条件: カウンタービーム照明 車線中央取付

実験番号	障 害 物		車両 No. 1	車両No. 2					車両No. 3				車両No. 4			平均値	最大値	最小値	標準 偏差	視 標 物 輝度対比	備考
	提示位置	形状	1	3	4	5	6	2	7	8	9	10	11	12							
1 - 1	20	○	141	215		119	112	135	115	261	114	48	112	97	134	261	48	55	0.93		
1 - 2	120	□	148	142	117	187	129	102	102	384	102	57	119	95	140	384	57	80	0.64		
2 - 1	80	○	126	154	99	187	89	125	130	315	139	63	125	78	136	315	63	63	0.58		
2 - 2	20	□	211	177	159	164	139	125	115	312	195	63	122	68	154	312	63	64	0.85		
3 - 1	40	□	130	44	119	67	68	80	102	259	13	22	37	20	80	259	13	65	0.19		
3 - 2	160	○	152	131	139	147	137	142	139	300	139	58	140	94	143	300	58	54	0.51		
4 - 1	120	○	141	113	110	167	110	150	142	114	155	84	117	87	124	167	84	25	0.62		
4 - 2	40	○	9	46	48	55	104	80	59	27	15	33	60	55	49	104	9	25	0.15		
5 - 1	160	□	143	149	145	160	112	147	155	80	147	28	137	87	124	160	28	38	0.58		
5 - 2	80	□	185	122	100	197	144	157	129	84	140	67	117	73	126	197	67	40	0.59		

照明条件: カウンタービーム照明 路肩近傍取付

実験番号	障 害 物		車両 No. 1	車両No. 2					車両No. 3				車両No. 4			平均値	最大値	最小値	標準 偏差	視 標 物 輝度対比	備考
	提示位置	形状	1	3	4	5	6	2	7	8	9	10	11	12							
1 - 1	80	○	214	197	197	244	239	95	127	107	215	82	170	165	171	244	82	54	0.54		
1 - 2	20	□	162	137	120	214	209	62	60	87	204	87	135	127	134	214	60	52	0.66		
2 - 1	40	□	132	150	119	154	222	105	140	77	180	35	72	97	124	222	35	49	0.22		
2 - 2	160	○	132	134	137	145	134	134	139	107	142	129	135	132	133	145	107	9	0.55		
3 - 1	120	○	132	125	155	165	247	109	140	114	159	120	144	145	146	247	109	35	0.59		
3 - 2	40	○	119	129	167	185	169	55	107	70	134	35	75	104	112	185	35	45	0.21		
4 - 1	160	□	126	137	135	144	137	117	135	92	129	129	139	115	128	144	92	14	0.58		
4 - 2	80	□	105	119	122	162	149	87	124	82	159	109	135	97	121	162	82	25	0.50		
5 - 1	20	○	128	115	175	227	220	62	139	70	209	90	109	107	138	227	62	55	0.90		
5 - 2	120	□	110	112	110	164	137	102	122	94	157	114	110	107	120	164	94	21	0.62		

表-7.5 障害物の視認性実験(走行実験)確認距離・輝度対比一覧

照明条件: 対称照明

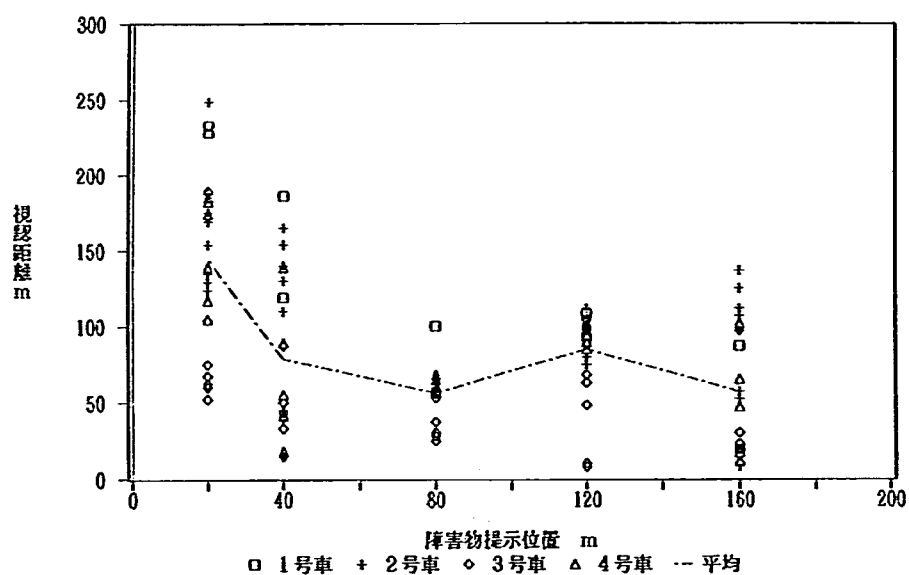
実験番号	障 害 物		車両 No. 1	車両No. 2				車両No. 3				車両No. 4				平均値	最大値	最小値	標準 偏差	視 標 物 輝度対比	備考
	提示位置	形状	1	3	4	5	6	2	7	8	9	10	11	12							
1 - 1	40	□	95	78	85	85	22	8		22	53	17	104	10	53	104	8	36	0.45		
1 - 2	160	○	15	28	15	8		7	18	8	7	10	12	7	12	28	7	6	0.02		
2 - 1	120	○	79	70	67	48	3	55	52	20	58	42	65	37	50	79	3	21	0.13		
2 - 2	40	○	47	38	30	60	10	33	27	30	25		18	23	31	60	10	13	1.43		
3 - 1	160	□	11	52	22	53	3	13	23	8	13	22	20	8	21	53	3	15	0.01		
3 - 2	80	□	57	50	27	32	10	53	38	17	35	40	28	42	36	57	10	13	0.05		
4 - 1	20	○	122	144	105	115	18	119	33	48	114	102	52	50	85	144	18	40	0.22		
4 - 2	120	□	62	80	47	67	5	73	45	17	63	47	45	52	50	80	5	21	0.12		
5 - 1	80	○	31	52	40	37	13	48	15	17	32	32	33	38	32	52	13	12	0.01		
5 - 2	20	□	130	114	117	152	48	104	57	38	105	85	95	68	93	152	38	33	0.90		

照明条件: カウンタービーム照明 車線中央取付

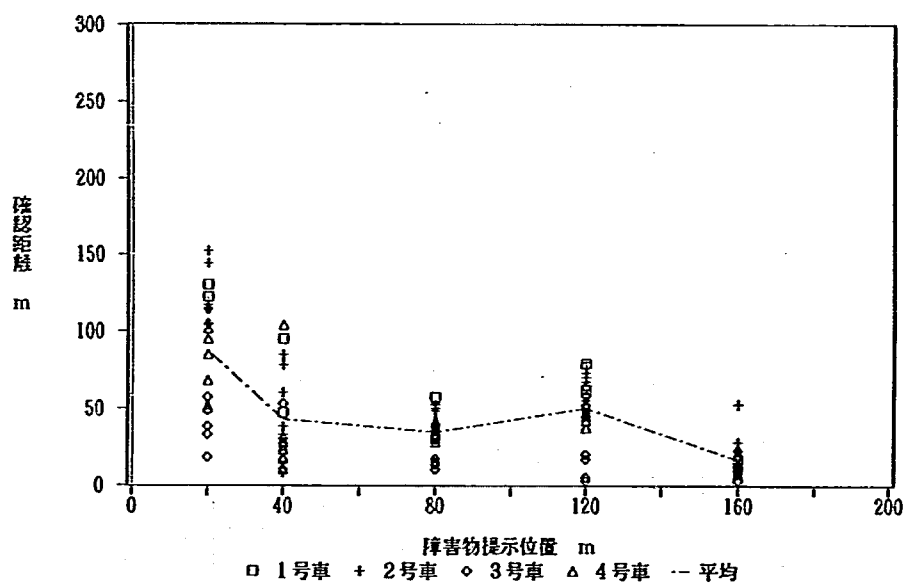
実験番号	障 害 物		車両 No. 1	車両No. 2				車両No. 3				車両No. 4				平均値	最大値	最小値	標準 偏差	視 標 物 輝度対比	備考
	提示位置	形状	1	3	4	5	6	2	7	8	9	10	11	12							
1 - 1	20	○	82	142		73	53	74	57	187	75	33	57	77	83	187	33	42	0.93		
1 - 2	120	□	98	97	89	94	75	70	69	241	60	27	67	20	84	241	20	53	0.64		
2 - 1	80	○	77	118	70	75	58	62	62	202	70	33	60	45	78	202	33	42	0.58		
2 - 2	20	□	98	149	115	105	70	90	59	232	110	37	73	47	99	232	37	50	0.85		
3 - 1	40	□	78	33	57	42	48	45	43	124	7	7	18	10	43	124	7	32	0.19		
3 - 2	160	○	110	100	100	99	82	92	67	192	65	23	73	30	86	192	23	41	0.51		
4 - 1	120	○	88	95	84	104	72	90	74	40	100	27	78	57	76	104	27	23	0.62		
4 - 2	40	○	9	30	32	40	62	40	15	8	7	12	35	27	26	62	7	16	0.15		
5 - 1	160	□	94	95	109	77	10	82	59	67	67	15	58	35	64	109	10	30	0.58		
5 - 2	80	□	92	97	68	73	73	69	64	60	67	22	70	30	65	97	22	20	0.59		

照明条件: カウンタービーム照明 路肩近傍取付

実験番号	障 害 物		車両 No. 1	車両No. 2				車両No. 3				車両No. 4			平均値	最大値	最小値	標準 偏差	視 標 物 輝度対比	備考
	提示位置	形状	1	3	4	5	6	2	7	8	9	10	11	12						
1 - 1	80	○	86	145	110	80	110	57	92	77	97	38	75	73	87	145	38	26	0.54	
1 - 2	20	□	99	119	99	127	72	45	45	35	115	55	68	53	78	127	35	31	0.66	
2 - 1	40	□	72	100	65	100	132	42	63	40	73	23	52	40	67	132	23	30	0.22	
2 - 2	160	○	50	95	112	84	87	47	60	37	85	53	48	47	67	112	37	23	0.55	
3 - 1	120	○	66	90	106	102	102	47	70	25	102	70	38	65	74	106	25	26	0.59	
3 - 2	40	○	55	94	67	99	80	30	43	32	68	27	22	40	55	99	22	25	0.21	
4 - 1	160	□	70	105	109	92	78	53	53	37	62	53	57	48	68	109	37	22	0.58	
4 - 2	80	□	67	90	72	97	105	50	67	42	63	65	63	48	69	105	42	19	0.50	
5 - 1	20	○	74	99	89	105	102	43	52	33	105	57	35	58	71	105	33	27	0.90	
5 - 2	120	□	78	84	85	110	97	63	67	28	95	68	75	58	76	110	28	21	0.62	

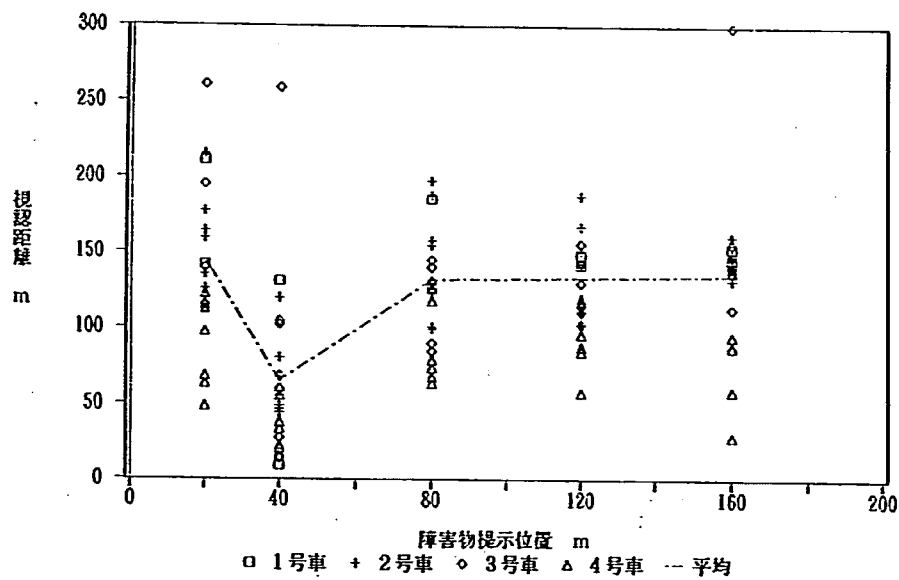


(a) 視認距離

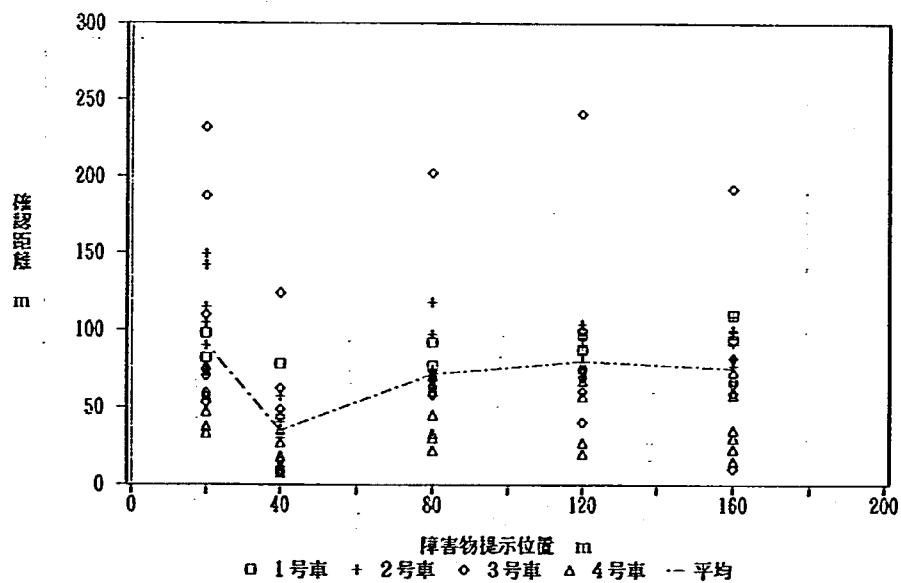


(b) 確認距離

図-7.7 障害物の視認性実験(走行実験)実験結果(対称照明)

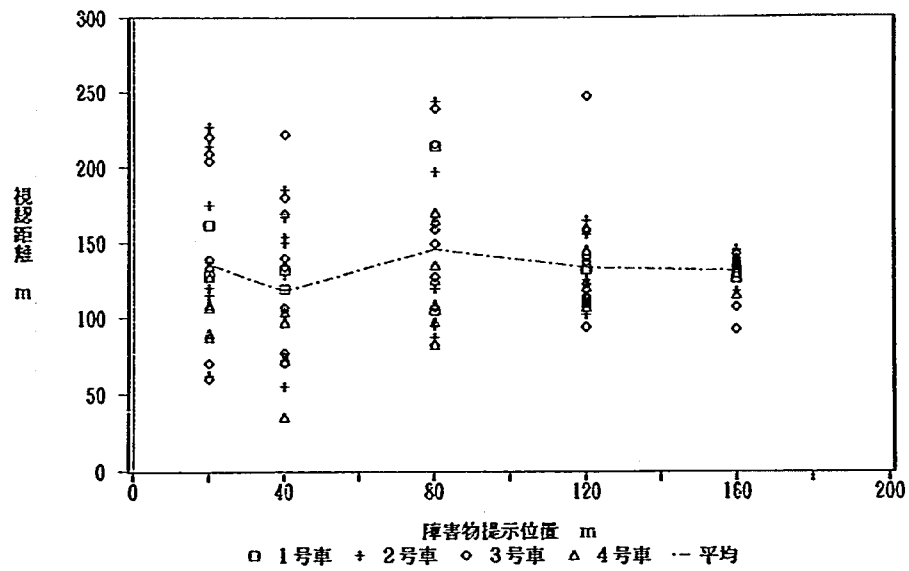


(a) 視認距離

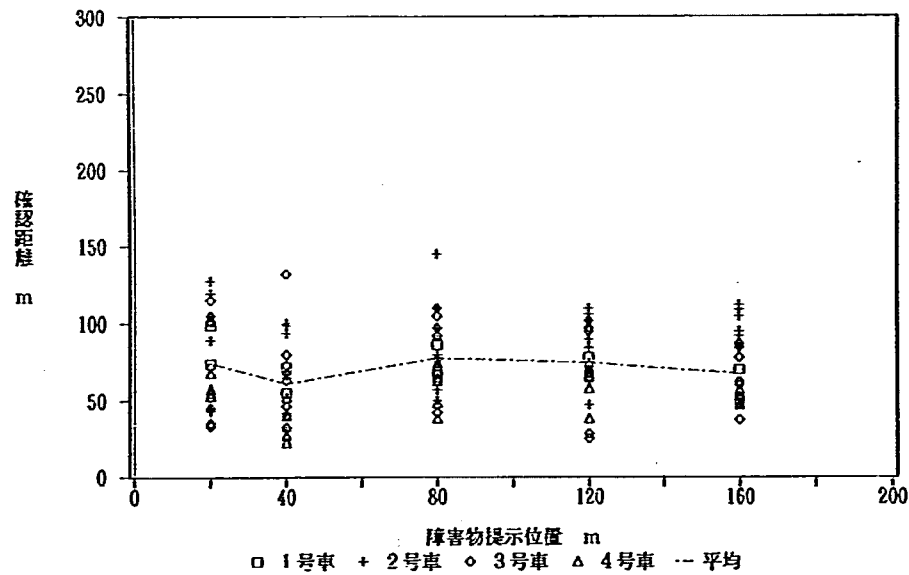


(b) 確認距離

図-7.8 障害物の視認性実験(走行実験)実験結果
(カウンタービーム照明 車線中央取付)



(a) 視認距離



(b) 確認距離

図-7.9 障害物の視認性実験(走行実験)実験結果
(カウンタービーム照明 路肩近傍取付)

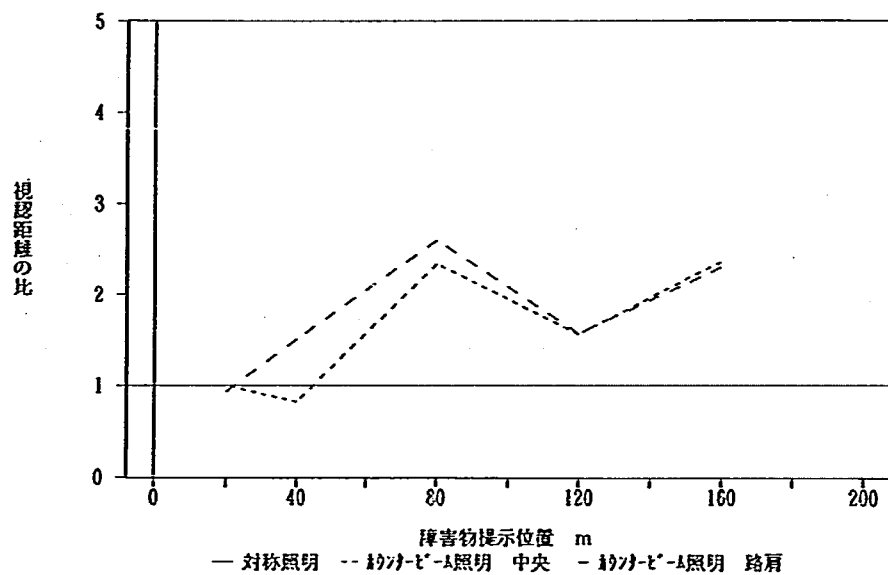
表-7.6 カウンタービーム照明方式の視認距離・確認距離の比率

対称照明方式の視認距離を1とした場合の各照明方式の視認距離の比率

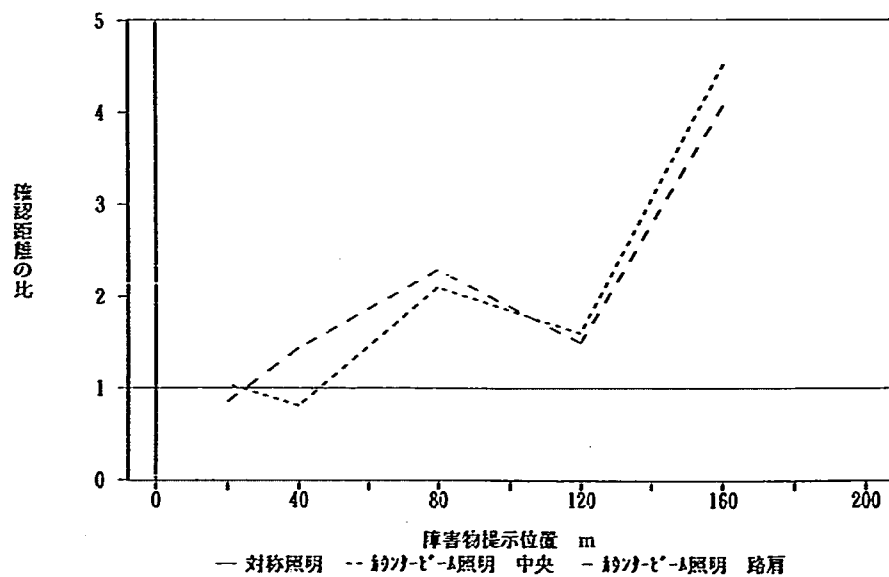
視認距離 (m)	20	40	80	120	160	全体
カウンタービーム照明 車線中央取付	1.00	0.82	2.33	1.56	2.35	1.43
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	0.94	1.51	2.59	1.57	2.29	1.57

対称照明方式の視認距離を1とした場合の各照明方式の確認距離の比率

確認距離 (m)	20	40	80	120	160	全体
カウンタービーム照明 車線中央取付	1.04	0.81	2.10	1.60	4.52	1.51
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	0.85	1.43	2.29	1.49	4.07	1.52

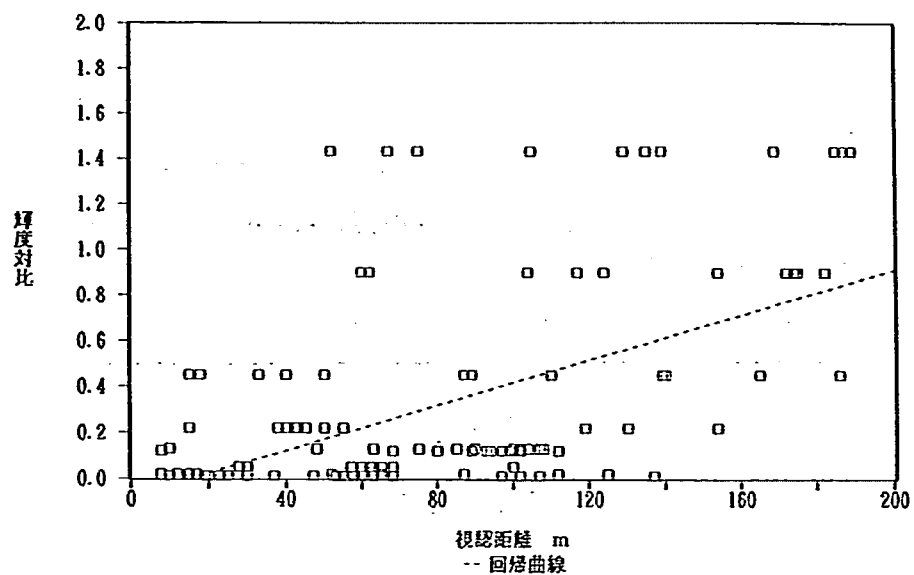


(a) 視認距離

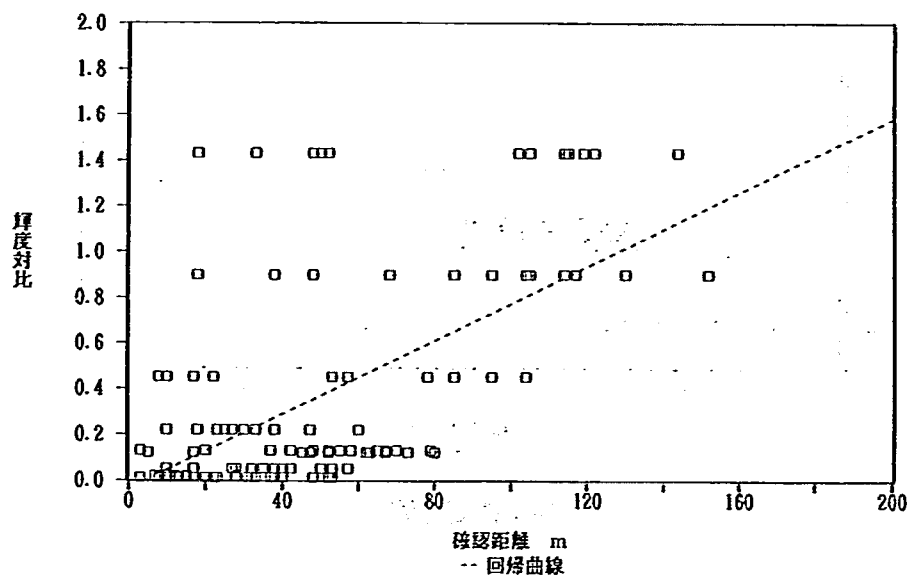


(b) 確認距離

図-7.10 カウンタービーム照明方式の視認距離・確認距離の比率



(a) 視認距離



(b) 確認距離

図-7.11 視認距離・確認距離と輝度対比の関係(対称照明)

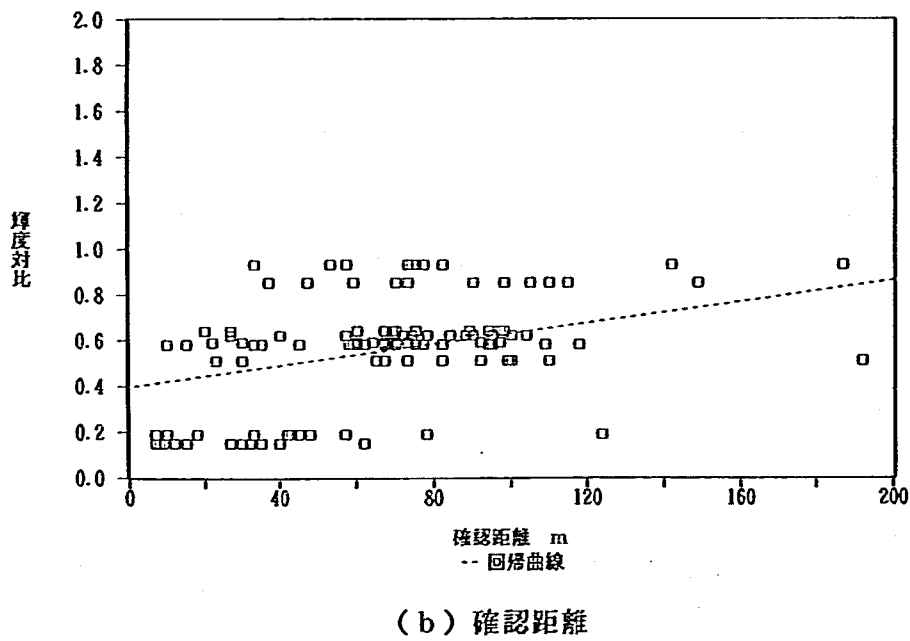
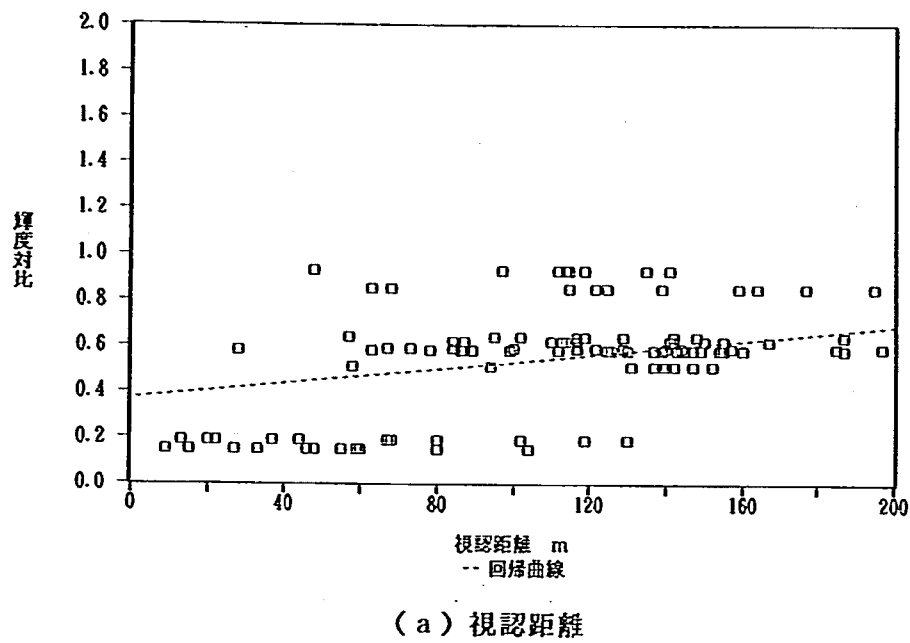
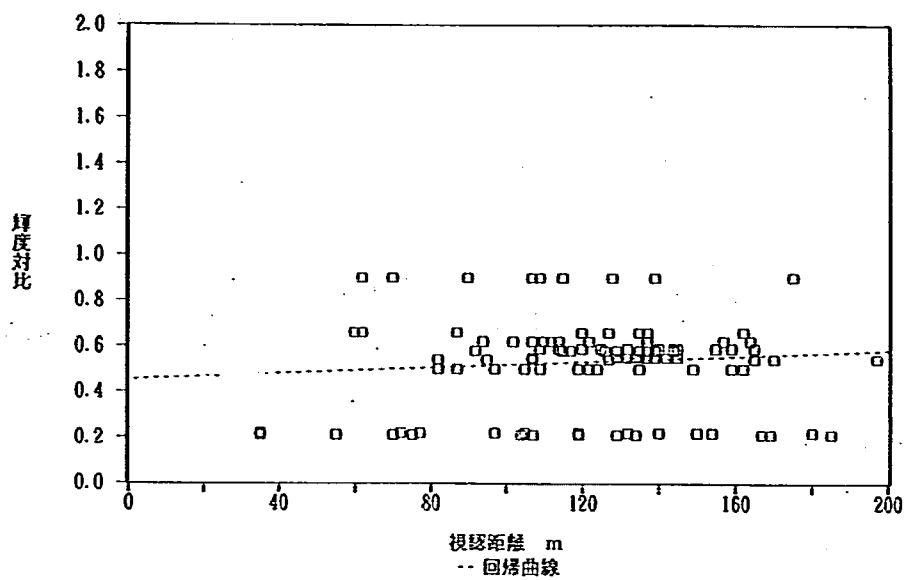
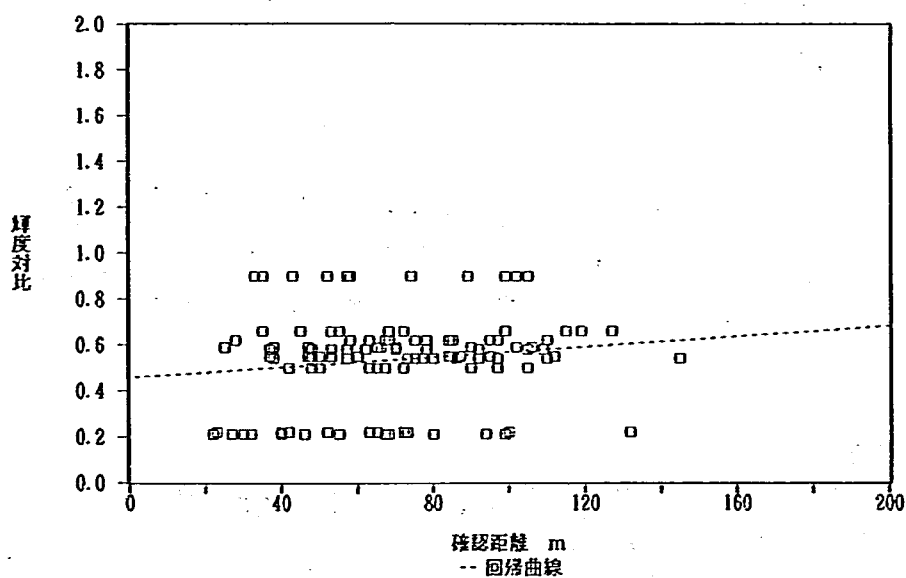


図-7.12 視認距離・確認距離と輝度対比の関係
(カウンタービーム照明 車線中央取付)



(a) 視認距離



(b) 確認距離

図-7.13 視認距離・確認距離と輝度対比の関係
(カウンタービーム照明 路肩近傍取付)

$$C = (L_r - L_o) / L_r \quad \dots\dots\dots (7.2)$$

ここで前述の運転者の眼の輝度対比弁別閾 (C_{min}) は障害物の輝度 L_o と、その背景路面輝度 L_r との差 ($L_r - L_o$) がその背景路面輝度 L_r に占める比として表される。この輝度差 ($L_r - L_o$) すなわち人間が知覚できる最小の輝度差の限界を輝度差弁別閾といい L_{min} で表す。以下に輝度対比弁別閾 C_{min} と輝度差弁別閾 L_{min} との関係を以下に示す。

$$C_{min} = L_{min} / L_r \quad \dots\dots\dots (7.3)$$

(7.3) 式から明らかなように輝度対比弁別閾 C_{min} は輝度差弁別閾 L_{min} と背景輝度 L_r より求めることが出来る。このうち輝度差弁別閾 L_{min} は主に次に述べる三つの要因によって決まる。

- ①中心窩順応輝度 (L_{ad})
- ②等価光幕輝度 (L_{eq})
- ③障害物の背景輝度 (L_r)

①運転者の眼の中心窩順応輝度 (L_{ad})

人間の眼が対象物を知覚する場合に最も重要な役割を果たす網膜の中心窩（視線中央に対応する）が順応している輝度。トンネル内を走行している自動車の運転者の眼が一定の照明環境に順応していると考えた場合、運転者の眼の中心窩順応輝度 L_{ad} はトンネル内のみかけの路面輝度に順応していると考えることが出来る。

②等価光幕輝度 (L_{eq})

周辺視野に存在する照明器具あるいは明るい壁面等から運転者の眼に入射する光が眼球内で散乱することによって生じる光幕輝度。運転者の眼に生じる等価光幕輝度 L_{eq} はグレアレンズ（光の入射方向に対して特殊な角特性を持つレンズ）を装備した輝度計を使用することによって測定が可能である。

③障害物の背景輝度 (L_r)

トンネル内を走行している自動車の運転者の眼が一定の照明環境に順応していると考えた場合、障害物の背景輝度 L_r はトンネル内の路面輝度に順応していると考えることが出来る。

輝度差弁別閾 L_{min} は上記の要因に対して個別に輝度差弁別閾 $L_{min}(1)$ 、 $L_{min}(2)$ を求め、それらを総合することによって得られる。中心窩順応輝度 L_{ad} に対応した輝度差弁別閾 $L_{min}(1)$ は図-7.9の曲線Aより求められる。また、等価光幕輝度 L_{eq} 及び背景輝度 L_r に対応した輝度差弁別閾 $L_{min}(2)$ は、等価光幕輝度 L_{eq} 及び背景輝度 L_r の和に対する値として図-7.14の曲線Bより求められる。

したがって、輝度差弁別閾 L_{min} は運転者の背景路面の輝度 L_r （中心窩順応輝度 L_{ar} ）と等価光幕輝度 L_{eq} の和によって求められる。

$$C_{min} = L_{min}(1) + L_{min}(2) \dots\dots\dots (7.4)$$

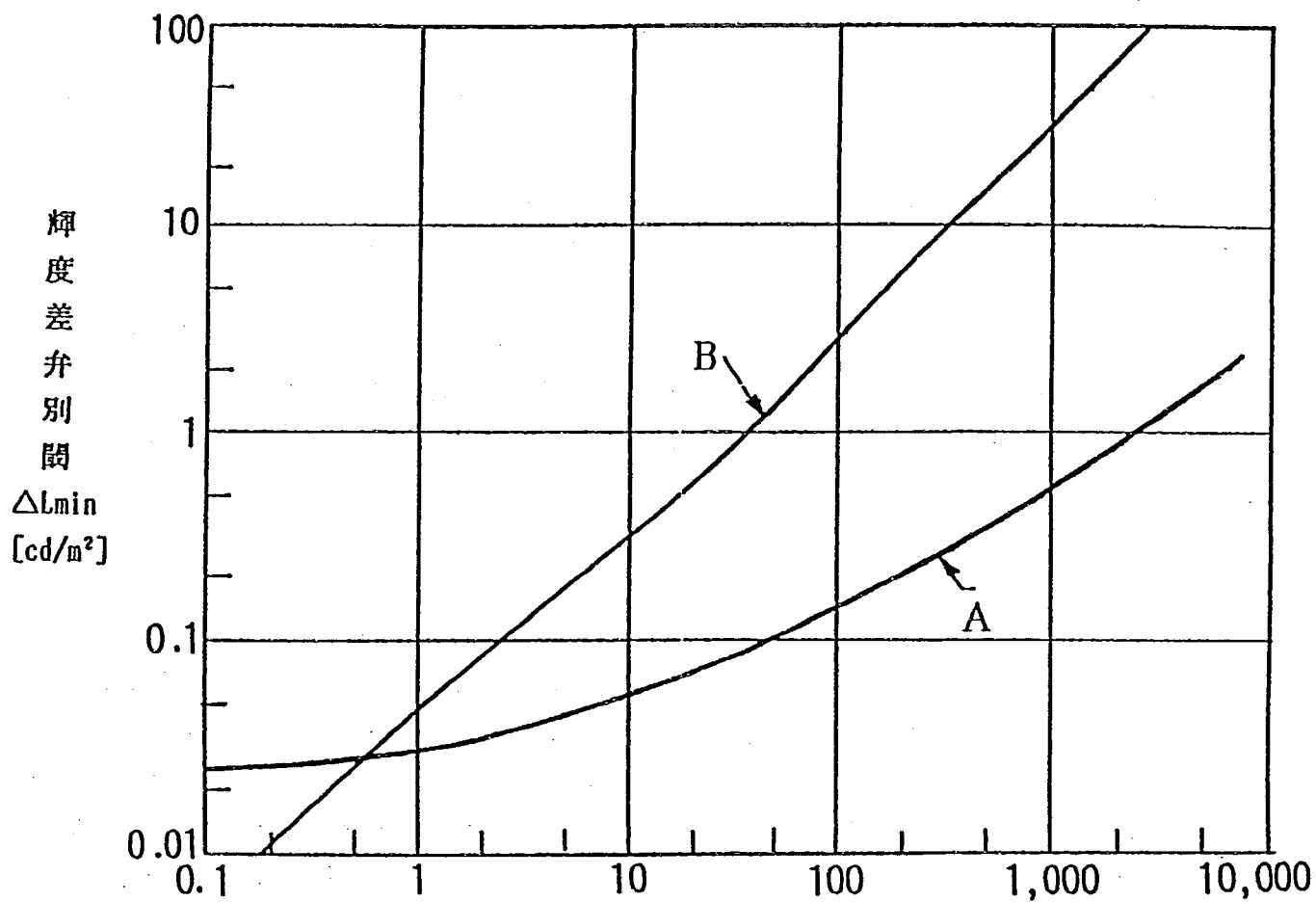
このようにして輝度差弁別閾 L_{min} が求められると輝度対比弁別閾 C_{min} は障害物の背景輝度 L_r に対する輝度差弁別閾 L_{min} の比として（7.3）式によって求めることが出来る。

また、自動車の運転者が路上に存在する障害物を認識をする状態（すなわち見え方の状態）を数量的に定量化し（7.5）式に示すように運転者が識別できる輝度対比の最小の限界である輝度対比弁別閾 C_{min} と障害物とその背景路面の輝度対比 C の比（以後これを可視度 VL という）により表すことが出来る。

$$VL = C / C_{min} \dots\dots\dots (7.5)$$

表－7.7に時速60km/hで走行実験時の障害物提示位置から視距75m離れた地点での可視度の計算結果を、図－7.15に時速60km/hで走行実験時の障害物提示位置から視距75m離れた地点での可視度の関係を示す。表－7.8から表－7.10及び図－7.16から図－7.17に12名分の視認時、確認時の障害物提示位置と可視度の関係を示す。なお、表中の輝度対比は通常絶対値で表示されるが、障害物の見え方の状態を示すため障害物の背景路面の輝度が障害物の輝度より高い状態（シルエット）をプラス表示、障害物の輝度が障害物の背景路面の輝度より高い状態（逆シルエット）をマイナス表示としている。可視度の表示も通常は絶対値で表示されるが、輝度対比の表示と同様にシルエットの状態をプラス表示、逆シルエットの状態をマイナス表示とした。これらの図からカウンタービーム照明は40mの位置を除き高い可視度を示す結果となっている。

この傾向は、各障害物提示位置における輝度対比と同様な傾向であり、見え方の状態を評価する項目としての両値の整合性が確認された。



中心窩順応輝度 L_{af} または、等価光幕輝度 L_{eq} [cd/m²]

図-7.14 中心窩順応輝度 L_{af} 、等価光幕輝度 L_{eq} と輝度差弁別閾の関係

表-7.7 障害物の提示位置と可視度の関係(障害物提示位置75m手前)

対称照明

実験番号	障害物		背景路面輝度 L_b (cd/m^2)	障害物輝度 L_o (cd/m^2)	輝度差 $L_b - L_o$	輝度対比 $C = \frac{L_b - L_o}{L_b}$	障害物より75m手前					
	提示位置	形状					等価光線輝度 L_{eq} (cd/m^2)	輝度差 弁別関 ΔL_{min} ($L_{eq} + L_b$)	輝度差 弁別関 ΔL_{min} (L_{af})	輝度差 弁別関 ΔL_{min}	輝度対比 弁別関 $C_{min} = \frac{\Delta L_{min}}{L_{min}/L_b}$	可視度 $V_L = C/C_{min}$
1-1	40	□	70.5	102.0	-31.5	-0.447	113.5	5.1701	0.1090	5.2792	0.0749	-5.9668
1-2	160	○	7.6	7.4	0.2	0.020	21.8	0.7899	0.0464	0.8363	0.1108	0.1794
2-1	120	○	16.8	19.0	-2.2	-0.134	4.4	0.5824	0.0603	0.6426	0.0383	-3.4858
2-2	40	○	65.8	80.0	-14.2	-0.216	130.9	5.5584	0.1056	5.6640	0.0861	-2.5115
3-1	160	□	7.9	7.8	0.1	0.013	2.3	0.3055	0.0470	0.3524	0.0446	0.2837
3-2	80	□	47.5	45.0	2.5	0.053	3.5	1.3513	0.0912	1.4425	0.0304	1.7331
4-1	20	○	91.8	223.0	-131.2	-1.429	139.6	6.6386	0.1237	6.7623	0.0736	-19.3979
4-2	120	□	17.3	19.3	-2.0	-0.116	5.2	0.6162	0.0609	0.6771	0.0391	-2.9539
5-1	80	○	44.4	44.6	-0.2	-0.005	43.6	2.3558	0.0885	2.4444	0.0551	-0.0920
5-2	20	□	93.4	177.0	-83.6	-0.896	130.9	6.4146	0.1248	6.5394	0.0700	-12.7879

カウンタービーム照明 車線中央取付

実験番号	障害物		背景路面輝度 L_b (cd/m^2)	障害物輝度 L_o (cd/m^2)	輝度差 $L_b - L_o$	輝度対比 $C = \frac{L_b - L_o}{L_b}$	障害物より75m手前					
	提示位置	形状					等価光線輝度 L_{eq} (cd/m^2)	輝度差 弁別関 ΔL_{min} ($L_{eq} + L_b$)	輝度差 弁別関 ΔL_{min} (L_{af})	輝度差 弁別関 ΔL_{min}	輝度対比 弁別関 $C_{min} = \frac{\Delta L_{min}}{L_{min}/L_b}$	可視度 $V_L = C/C_{min}$
1-1	20	○	104.3	201.0	-96.7	-0.928	137.0	6.9478	0.1318	7.0796	0.0679	-13.6661
1-2	120	□	24.7	9.0	15.7	0.635	7.6	0.8645	0.0596	0.9341	0.0379	16.7804
2-1	80	○	40.6	17.0	23.6	0.581	41.7	2.1968	0.0852	2.2820	0.0563	10.3197
2-2	20	□	93.6	173.0	-79.4	-0.848	19.0	3.0534	0.1249	3.1783	0.0339	-24.9744
3-1	40	□	59.9	48.8	11.1	0.186	105.7	4.6140	0.1011	4.7152	0.0787	2.3647
3-2	160	○	13.7	6.7	7.0	0.511	6.4	0.5556	0.0561	0.6117	0.0447	11.4432
4-1	120	○	23.7	9.0	14.7	0.620	7.6	0.8390	0.0685	0.9075	0.0383	16.1716
4-2	40	○	62.6	53.1	9.5	0.151	131.8	5.4870	0.1032	5.5902	0.0894	1.6905
5-1	160	□	14.9	6.3	8.6	0.577	5.5	0.5632	0.0577	0.6209	0.0417	13.8501
5-2	80	□	44.0	18.1	25.9	0.589	38.1	2.1927	0.0882	2.2809	0.0518	11.3553

カウンタービーム照明 路肩近傍取付

実験番号	障害物		背景路面輝度 L_b (cd/m^2)	障害物輝度 L_o (cd/m^2)	輝度差 $L_b - L_o$	輝度対比 $C = \frac{L_b - L_o}{L_b}$	障害物より75m手前					
	提示位置	形状					等価光線輝度 L_{eq} (cd/m^2)	輝度差 弁別関 ΔL_{min} ($L_{eq} + L_b$)	輝度差 弁別関 ΔL_{min} (L_{af})	輝度差 弁別関 ΔL_{min}	輝度対比 弁別関 $C_{min} = \frac{\Delta L_{min}}{L_{min}/L_b}$	可視度 $V_L = C/C_{min}$
1-1	80	○	43.1	19.8	23.3	0.541	1.7	1.1891	0.0874	1.2765	0.0296	18.2727
1-2	20	□	82.5	137.0	-54.5	-0.661	99.0	5.0932	0.1175	5.2107	0.0632	-10.4641
2-1	40	□	59.9	46.5	13.4	0.223	107.3	4.6599	0.1011	4.7611	0.0795	2.8092
2-2	160	○	16.3	7.3	9.0	0.552	5.8	0.6054	0.0596	0.6650	0.0409	13.4953
3-1	120	○	27.0	11.0	16.0	0.593	6.6	0.8991	0.0721	0.9712	0.0359	16.5005
3-2	40	○	61.7	48.5	13.2	0.214	99.0	4.4660	0.1025	4.5686	0.0740	2.8948
4-1	160	□	17.4	7.3	10.1	0.581	5.8	0.6339	0.0610	0.6949	0.0399	14.5350
4-2	80	□	44.8	22.2	22.6	0.505	49.5	2.5336	0.0889	2.6225	0.0585	8.6274
5-1	20	○	85.4	162.0	-76.6	-0.896	165.0	7.2380	0.1195	7.3574	0.0861	-10.4079
5-2	120	□	29.5	11.3	18.2	0.617	6.6	0.9627	0.0746	1.0374	0.0352	17.5442

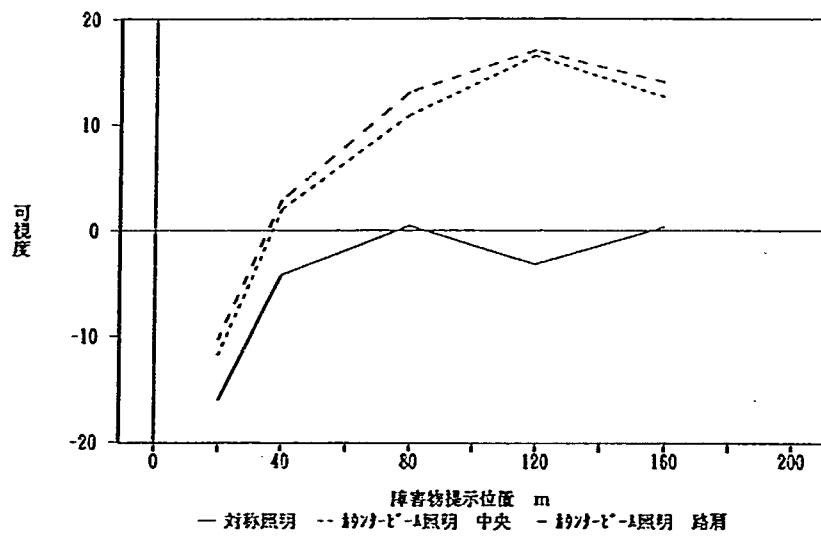


図-7.15 障害物提示位置と可視度の関係

表-7.8 障害物の提示位置と可視度の関係(視認時・確認時)(対称照明)

対称照明 被験者: 1号車

実験番号	障害物		背景路面輝度 Lb (cd/m ²)	障害物輝度 Lo (cd/m ²)	輝度差 Lb-Lo	輝度対比 C= $\frac{Lb-Lo}{Lb}$	視 認						確 認					
	提示位置	形状					等価光 源輝度 Leq (cd/m ²)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min} (Leq+Lb)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min} (Laf)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min}	輝度対比 Cmin= $\Delta L_{min}/Lb$	可視度 VL= C/Cmin	等価光 源輝度 Leq (cd/m ²)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min} (Leq+Lb)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min} (Laf)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min}	輝度対比 Cmin= $\Delta L_{min}/Lb$	可視度 VL= C/Cmin
1-1	40	□	70.5	102.0	-31.5	-0.447	157.1	6.5187	0.1090	6.6277	0.0940	-4.7528	130.9	5.7040	0.1090	5.8130	0.0825	-5.4189
1-2	160	○	7.6	7.4	0.2	0.020	21.8	0.7899	0.0464	0.8363	0.1108	0.1794	9.6	0.4813	0.0464	0.5277	0.0699	0.2842
2-1	120	○	16.8	19.0	-2.2	-0.134	26.2	1.1404	0.0603	1.2007	0.0716	-1.8656	5.2	0.6025	0.0603	0.6628	0.0395	-3.3796
2-2	40	○	65.8	80.0	-14.2	-0.216	157.1	6.3708	0.1056	6.4764	0.0985	-2.1964	96.0	4.4975	0.1056	4.6031	0.0700	-3.0903
3-1	160	□	7.9	7.8	0.1	0.013	0.9	0.2695	0.0470	0.3165	0.0401	0.3160	0.8	0.2670	0.0470	0.3139	0.0397	0.3186
3-2	80	□	47.5	45.0	2.5	0.053	4.4	1.3751	0.0912	1.4663	0.0309	1.7050	4.4	1.3751	0.0912	1.4663	0.0309	1.7050
4-1	20	○	91.8	223.0	-131.2	-1.429	183.3	8.0253	0.1237	8.1491	0.0887	-16.0969	148.4	6.9155	0.1237	7.0392	0.0767	-18.6349
4-2	120	□	17.3	19.3	-2.0	-0.116	12.2	0.7937	0.0609	0.8546	0.0494	-2.3404	4.4	0.5960	0.0609	0.6569	0.0380	-3.0447
5-1	80	○	44.4	44.6	-0.2	-0.005	32.3	2.0431	0.0885	2.1317	0.0480	-0.1056	4.3	1.2900	0.0885	1.3786	0.0311	-0.1632
5-2	20	□	93.4	177.0	-83.6	-0.896	157.1	7.2395	0.1248	7.3643	0.0789	-11.3554	122.2	6.1432	0.1248	6.2680	0.0671	-13.3416

対称照明 被験者: 2号車

実験番号	障害物		背景路面輝度 Lb (cd/m ²)	障害物輝度 Lo (cd/m ²)	輝度差 Lb-Lo	輝度対比 C= $\frac{Lb-Lo}{Lb}$	視 認						確 認					
	提示位置	形状					等価光 源輝度 Leq (cd/m ²)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min} (Leq+Lb)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min} (Laf)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min}	輝度対比 Cmin= $\Delta L_{min}/Lb$	可視度 VL= C/Cmin	等価光 源輝度 Leq (cd/m ²)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min} (Leq+Lb)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min} (Laf)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min}	輝度対比 Cmin= $\Delta L_{min}/Lb$	可視度 VL= C/Cmin
1-1	40	□	70.5	102.0	-31.5	-0.447	139.7	5.9762	0.1090	6.0853	0.0863	-5.1764	130.9	5.7040	0.1090	5.8130	0.0825	-5.4189
1-2	160	○	7.6	7.4	0.2	0.020	17.5	0.6806	0.0464	0.7271	0.0963	0.2063	11.3	0.5241	0.0464	0.5705	0.0756	0.2629
2-1	120	○	16.8	19.0	-2.2	-0.134	26.1	1.1378	0.0603	1.1981	0.0715	-1.8697	4.4	0.5824	0.0603	0.6426	0.0383	-3.4858
2-2	40	○	65.8	80.0	-14.2	-0.216	61.1	3.4653	0.1056	3.5709	0.0543	-3.9836	43.6	2.9603	0.1056	3.0659	0.0466	-4.6398
3-1	160	□	7.9	7.8	0.1	0.013	4.0	0.3488	0.0470	0.3957	0.0501	0.2527	1.8	0.2927	0.0470	0.3396	0.0430	0.2944
3-2	80	□	47.5	45.0	2.5	0.053	4.7	1.3830	0.0912	1.4742	0.0310	1.6958	4.2	1.3698	0.0912	1.4610	0.0308	1.7112
4-1	20	○	91.8	223.0	-131.2	-1.429	159.5	7.2665	0.1237	7.3902	0.0805	-17.7498	147.4	6.8840	0.1237	7.0077	0.0763	-18.7188
4-2	120	□	17.3	19.3	-2.0	-0.116	35.4	1.3963	0.0609	1.4572	0.0842	-1.3725	5.2	0.6162	0.0609	0.6771	0.0391	-2.9539
5-1	80	○	44.4	44.6	-0.2	-0.005	36.4	2.1561	0.0885	2.2446	0.0506	-0.1002	12.1	1.4965	0.0885	1.5851	0.0357	-0.1419
5-2	20	□	93.4	177.0	-83.6	-0.896	122.2	6.1432	0.1248	6.2680	0.0671	-13.3416	128.4	6.3365	0.1248	6.4612	0.0692	-12.9426

表-7.9 障害物の提示位置と可視度の関係(視認時・確認時)
(カウンタービーム照明 車線中央取付)

カウンタービーム照明 車線中央取付 被験者: 1号車

実験番号	障害物		背景路面輝度 Lb (cd/m²)	障害物輝度 Lo (cd/m²)	輝度差 Lb-Lo	輝度対比 C= $\frac{Lb-Lo}{Lb}$	視 認						確 認					
							等価光 幕輝度 Leq (cd/m²)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min} (Leq+Lb)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min} (Laf)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min}	輝度対比 弁別閾 Cmin= $\Delta L_{min}/Lb$	可視度 VL= C/Cmin	等価光 幕輝度 Leq (cd/m²)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min} (Leq+Lb)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min} (Laf)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min}	輝度対比 弁別閾 Cmin= $\Delta L_{min}/Lb$	可視度 VL= C/Cmin
	提示位置	形状																
1-1	20	○	104.3	201.0	-96.7	-0.928	144.0	7.1691	0.1318	7.3008	0.0700	-13.2519	137.0	6.9478	0.1318	7.0796	0.0679	-13.6661
1-2	120	□	24.7	9.0	15.7	0.635	107.4	3.6171	0.0696	3.6866	0.1494	4.2518	6.4	0.8339	0.0696	0.9034	0.0366	17.3502
2-1	80	○	40.6	17.0	23.6	0.581	159.5	5.6624	0.0852	5.7476	0.1417	4.0974	46.8	2.3384	0.0852	2.4236	0.0598	9.7168
2-2	20	□	93.6	173.0	-79.4	-0.848	207.4	8.8600	0.1249	8.9849	0.0960	-8.8343	24.3	3.2059	0.1249	3.3308	0.0356	-23.8309
3-1	40	□	59.9	48.8	11.1	0.186	130.1	5.3551	0.1011	5.4562	0.0910	2.0435	107.4	4.6652	0.1011	4.7664	0.0795	2.3393
3-2	160	○	13.7	6.7	7.0	0.511	34.7	1.2828	0.0561	1.3389	0.0977	5.2282	7.8	0.5909	0.0561	0.6470	0.0472	10.8189
4-1	120	○	23.7	9.0	14.7	0.620	95.4	3.2391	0.0685	3.3075	0.1397	4.4368	7.3	0.8313	0.0685	0.8998	0.0380	16.3094
4-2	40	○	62.6	53.1	9.5	0.151	7.5	1.8621	0.1032	1.9653	0.0314	4.8085	7.5	1.8621	0.1032	1.9653	0.0314	4.8085
5-1	160	□	14.9	6.3	8.6	0.577	34.7	1.3144	0.0577	1.3721	0.0921	6.2676	6.1	0.5783	0.0577	0.6361	0.0427	13.5207
5-2	80	□	44.0	18.1	25.9	0.589	128.4	4.8177	0.0882	4.9059	0.1115	5.2793	90.1	3.6764	0.0882	3.7646	0.0856	6.8800

カウンタービーム照明 車線中央取付 被験者: 2号車

実験番号	障害物		背景路面輝度 Lb (cd/m ²)	障害物輝度 Lo (cd/m ²)	輝度差 Lb-Lo	輝度対比 C= $\frac{Lb-Lo}{Lb}$	視 認						確 認					
							等価光 幕輝度 Leq (cd/m ²)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min} (Leq+Lb)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min} (Laf)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min}	輝度対比 弁別閾 Cmin= $\Delta L_{min}/Lb$	可視度 VL= C/Cmin	等価光 幕輝度 Leq (cd/m ²)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min} (Leq+Lb)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min} (Laf)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min}	輝度対比 弁別閾 Cmin= $\Delta L_{min}/Lb$	可視度 VL= C/Cmin
	提示位置	形状																
1-1	20	○	104.3	201.0	-96.7	-0.928	173.7	8.1160	0.1318	8.2477	0.0791	-11.7305	142.1	7.1089	0.1318	7.2407	0.0695	-13.3620
1-2	120	□	24.7	9.0	15.7	0.635	104.0	3.5177	0.0696	3.5873	0.1454	4.3696	6.8	0.8441	0.0696	0.9137	0.0370	17.1561
2-1	80	○	40.6	17.0	23.6	0.581	173.4	6.0927	0.0852	6.1779	0.1524	3.8120	154.4	5.5054	0.0852	5.5906	0.1379	4.2124
2-2	20	□	93.6	173.0	-79.4	-0.848	166.4	7.5429	0.1249	7.6678	0.0819	-10.3517	164.7	7.4888	0.1249	7.6137	0.0813	-10.4253
3-1	40	□	59.9	48.8	11.1	0.186	64.1	3.3831	0.1011	3.4843	0.0581	3.2001	34.7	2.5427	0.1011	2.6439	0.0441	4.2173
3-2	160	○	13.7	6.7	7.0	0.511	7.5	0.5834	0.0561	0.6394	0.0467	10.9469	6.9	0.5682	0.0561	0.6243	0.0456	11.2122
4-1	120	○	23.7	9.0	14.7	0.620	38.1	1.6383	0.0685	1.7068	0.0721	8.5978	6.6	0.8134	0.0685	0.8819	0.0373	16.6398
4-2	40	○	62.6	53.1	9.5	0.151	86.7	4.1235	0.1032	4.2267	0.0676	2.2358	36.4	2.6639	0.1032	2.7671	0.0442	3.4151
5-1	160	□	14.9	6.3	8.6	0.577	34.7	1.3144	0.0577	1.3721	0.0921	6.2676	6.2	0.5808	0.0577	0.6386	0.0429	13.4673
5-2	80	□	44.0	18.1	25.9	0.589	133.5	4.9723	0.0882	5.0605	0.1150	5.1181	121.4	4.6065	0.0882	4.6947	0.1067	5.5169

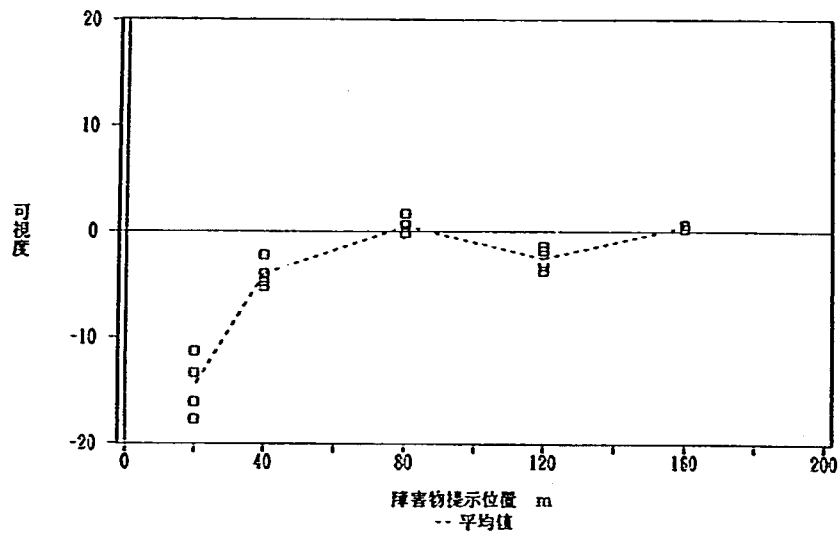
表-7.10 障害物の提示位置と可視度の関係(視認時・確認時)
(カウンタービーム照明 路肩近傍取付)

カウンタービーム照明 路肩近傍取付 被験者: 1号車

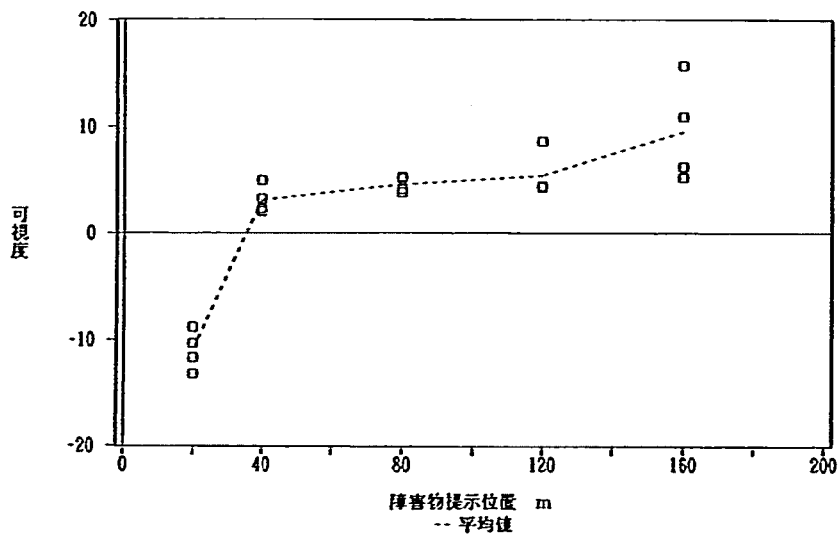
実験番号	障 害 物		背景路面輝度 Lb (cd/m ²)	障害物 輝 度 Lo (cd/m ²)	輝度差 Lb-Lo	輝度対比 C = $\frac{Lb-Lo}{Lb}$	視 認						確 認					
							等価光 幕輝度 Leq (cd/m ²)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min} (Leq+Lb)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min} (Laf)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min}	輝度対比 弁別閾 Cmin= $\Delta L_{min}/Lb$	可 視 度 VL = C/Cmin	等価光 幕輝度 Leq (cd/m ²)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min} (Leq+Lb)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min} (Laf)	輝度差 弁別閾 ΔL_{min}	輝度対比 弁別閾 Cmin= $\Delta L_{min}/Lb$	可 視 度 VL = C/Cmin
	提示位置	形状					提示位置	形状	提示位置	形状	提示位置	形状	提示位置	形状	提示位置	形状		
1-1	80	○	43.1	19.8	23.3	0.541	87.5	3.5747	0.0874	3.6621	0.0849	6.3694	43.7	2.3238	0.0874	2.4112	0.0559	9.6735
1-2	20	□	82.5	137.0	-54.5	-0.661	115.5	5.5984	0.1175	5.7159	0.0693	-9.5392	99.0	5.0932	0.1175	5.2107	0.0632	-10.4641
2-1	40	□	59.9	46.5	13.4	0.223	107.3	4.6599	0.1011	4.7611	0.0795	2.8092	99.0	4.4106	0.1011	4.5117	0.0754	2.9645
2-2	160	○	16.3	7.3	9.0	0.552	6.6	0.6256	0.0596	0.6852	0.0421	13.0975	4.1	0.5626	0.0596	0.6222	0.0382	14.4254
3-1	120	○	27.0	11.0	16.0	0.593	74.3	2.7311	0.0721	2.8032	0.1037	5.7167	6.6	0.8991	0.0721	0.9712	0.0359	16.5005
3-2	40	○	61.7	48.5	13.2	0.214	115.5	4.9640	0.1025	5.0665	0.0821	2.6103	82.5	3.9745	0.1025	4.0771	0.0661	3.2438
4-1	160	□	17.4	7.3	10.1	0.581	6.6	0.6541	0.0610	0.7151	0.0411	14.1239	4.9	0.6111	0.0610	0.6721	0.0386	15.0266
4-2	80	□	44.8	22.2	22.6	0.505	152.1	5.5661	0.0889	5.6550	0.1262	4.0009	33.0	2.0748	0.0889	2.1636	0.0483	10.4569
5-1	20	○	85.4	162.0	-76.6	-0.896	156.8	6.9786	0.1195	7.0980	0.0831	-10.7882	165.0	7.2380	0.1195	7.3574	0.0861	-10.4079
5-2	120	□	29.5	11.3	18.2	0.617	33.0	1.6578	0.0746	1.7325	0.0587	10.5052	5.8	0.9421	0.0746	1.0168	0.0345	17.8995

カウンタービーム照明 路肩近傍取付 被験者: 2号車

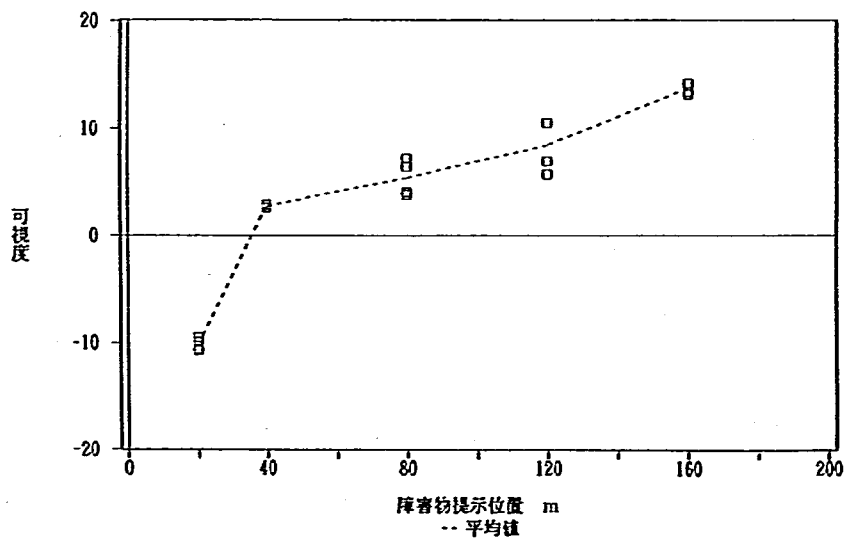
実験番号	障害物		背景路面輝度 Lb (cd/m²)	障害物輝度 Lo (cd/m²)	輝度差 Lb - Lo	輝度対比 C = $\frac{Lb - Lo}{Lb}$	視 認						確 認					
							等価光源輝度 Leq (cd/m²)	輝度差弁別閾 ΔL_{min} (Leq + Lb)	輝度差弁別閾 ΔL_{min} (Laf)	輝度差弁別閾 ΔL_{min}	輝度対比弁別閾 Cmin = $\Delta L_{min} / Lb$	可視度 VL = C / Cmin	等価光源輝度 Leq (cd/m²)	輝度差弁別閾 ΔL_{min} (Leq + Lb)	輝度差弁別閾 ΔL_{min} (Laf)	輝度差弁別閾 ΔL_{min}	輝度対比弁別閾 Cmin = $\Delta L_{min} / Lb$	可視度 VL = C / Cmin
	提示位置	形状	提示位置	形状	提示位置	形状	提示位置	形状	提示位置	形状	提示位置	形状	提示位置	形状	提示位置	形状		
1 - 1	80	○	43.1	19.8	23.3	0.541	73.4	3.1655	0.0874	3.2529	0.0754	7.1705	92.7	3.7270	0.0874	3.8144	0.0884	6.1150
1 - 2	20	□	82.5	137.0	-54.5	-0.661	96.2	5.0080	0.1175	5.1255	0.0621	-10.6380	104.9	5.2732	0.1175	5.3907	0.0654	-10.1147
2 - 1	40	□	59.9	46.5	13.4	0.223	103.2	4.5366	0.1011	4.6377	0.0775	2.8840	118.8	5.0080	0.1011	5.1091	0.0853	2.6179
2 - 2	160	○	16.3	7.3	9.0	0.552	66.5	2.2114	0.0596	2.2710	0.1395	3.9521	62.9	2.1119	0.0596	2.1715	0.1334	4.1330
3 - 1	120	○	27.0	11.0	16.0	0.593	57.7	2.2654	0.0721	2.3375	0.0865	6.8556	6.8	0.9043	0.0721	0.9763	0.0361	16.4138
3 - 2	40	○	61.7	48.5	13.2	0.214	115.4	4.9609	0.1025	5.0634	0.0820	2.6119	113.7	4.9093	0.1025	5.0119	0.0812	2.6387
4 - 1	160	□	17.4	7.3	10.1	0.581	6.6	0.6541	0.0610	0.7151	0.0411	14.1239	6.6	0.6541	0.0610	0.7151	0.0411	14.1239
4 - 2	80	□	44.8	22.2	22.6	0.505	162.7	5.8933	0.0889	5.9822	0.1335	3.7821	115.4	4.4510	0.0889	4.5399	0.1013	4.9836
5 - 1	20	○	85.4	162.0	-76.6	-0.896	175.1	7.5589	0.1195	7.6783	0.0899	-9.9729	227.6	9.2496	0.1195	9.3690	0.1097	-8.1732
5 - 2	120	□	29.5	11.3	18.2	0.617	33.0	1.6578	0.0746	1.7325	0.0587	10.5052	6.6	0.9627	0.0746	1.0374	0.0352	17.5442



(a) 対称照明

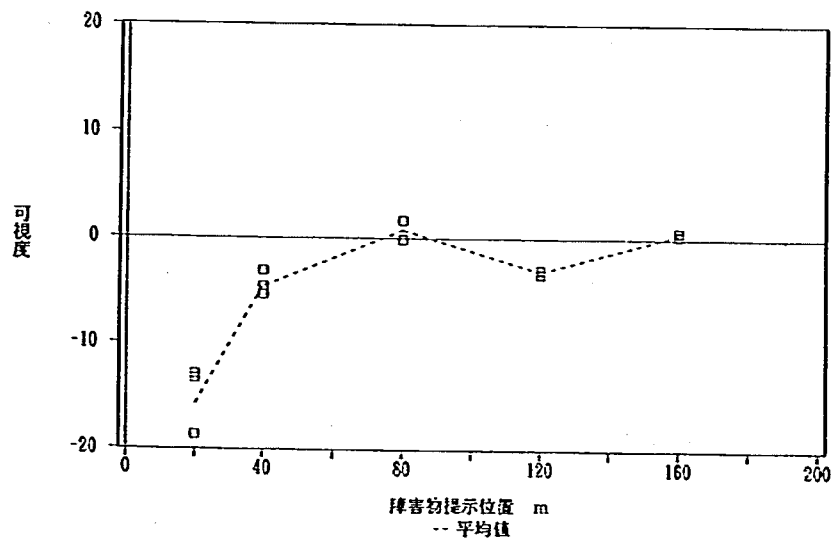


(b) カウンタービーム照明 車線中央取付

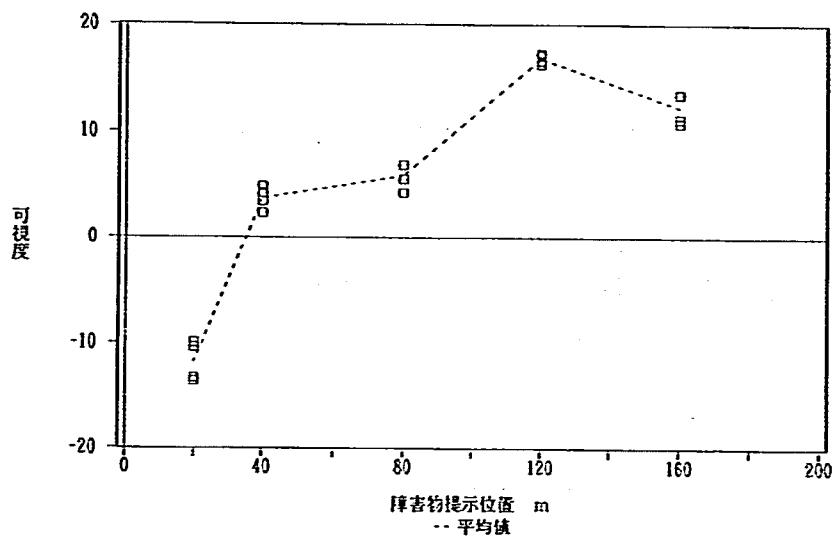


(c) カウンタービーム照明 路肩近傍取付

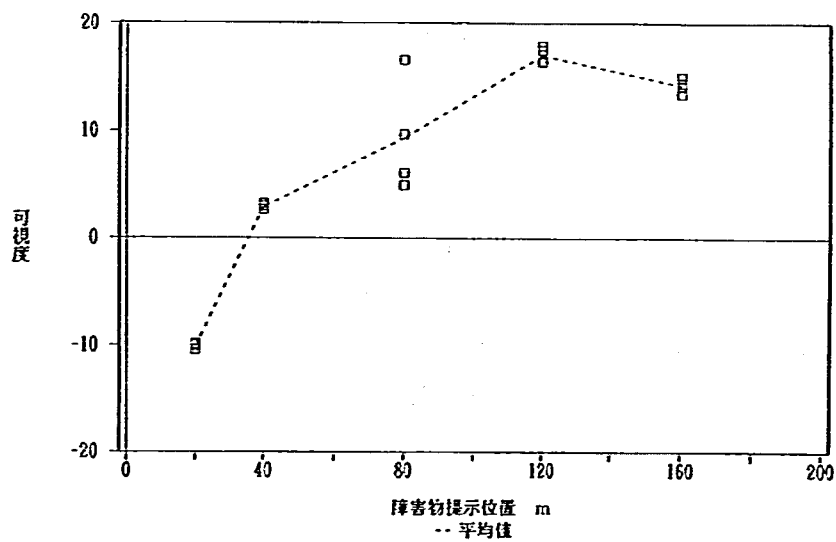
図-7.16 障害物提示位置と可視度の関係(視認時)



(a) 対称照明



(b) カウンタービーム照明 車線中央取付



(c) カウンタービーム照明 路肩近傍取付

図-7.17 障害物提示位置と可視度の関係 (確認時)

7.2.6 アンケート結果

走行実験毎に次に示す4種類のアンケート調査を被験者に対して実施した。

①トンネル坑口の見え方

トンネルに進入しつつある自動車の運転者から見たトンネルの坑口の見え方（ブラックホール現象を感じるかどうか）についてのアンケート。

②トンネル進入の難易

トンネルに進入しつつある自動車の運転者から見たトンネルに進入する際の難易（トンネル進入に不安感を感じるか）についてのアンケート。

③照明器具からのグレア

トンネルに進入しつつある自動車の運転者がトンネルに設置された照明器具からのグレア（まぶしさを感じるかどうか）についてのアンケート。

④トンネル進入後の視環境

トンネルを通過する自動車の運転者がトンネル内に進入した後の視環境（トンネルの走りやすさ）についてのアンケート。

以上のアンケート結果を静止実験と同様に以下に示すように評点に換算して以下の項目で整理を行った。表-7.11にアンケート結果の一覧を示す。

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トンネルへの進入の難易

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

表-7.11 障害物の視認性実験（走行実験）アンケート結果一覧

対称照明

視 認 状 況	評 価 内 容						評 価 の 割 合 (%)					
	1	2	3	4	5	合計	1	2	3	4	5	合計
①トンネル坑口の見え方	4	76	27	13	0	120	3.3	63.3	22.5	10.8	0.0	100.0
②トンネル進入の難易	0	38	51	29	2	120	0.0	31.7	42.5	24.2	1.7	100.0
③照明器具からのグレア	0	0	13	59	48	120	0.0	0.0	10.8	49.2	40.0	100.0
④トンネル進入後の視環境	5	38	55	21	1	120	4.2	31.7	45.8	17.5	0.8	100.0

カウンタービーム照明 車線中央取付

視 認 状 況	評 価 内 容						評 価 の 割 合 (%)					
	1	2	3	4	5	合計	1	2	3	4	5	合計
①トンネル坑口の見え方	3	25	53	36	2	119	2.5	21.0	44.5	30.3	1.7	100.0
②トンネル進入の難易	0	7	42	66	4	119	0.0	5.9	35.3	55.5	3.4	100.0
③照明器具からのグレア	0	1	27	71	20	119	0.0	0.8	22.7	59.7	16.8	100.0
④トンネル進入後の視環境	1	4	27	78	9	119	0.8	3.4	22.7	65.6	7.6	100.0

カウンタービーム照明 路肩近傍取付

視 認 状 況	評 価 内 容						評 価 の 割 合 (%)					
	1	2	3	4	5	合計	1	2	3	4	5	合計
①トンネル坑口の見え方	2	19	46	53	0	120	1.7	15.8	38.3	44.2	0.0	100.0
②トンネル進入の難易	0	1	24	83	12	120	0.0	0.8	20.0	69.2	10.0	100.0
③照明器具からのグレア	0	0	12	88	20	120	0.0	0.0	10.0	73.3	16.7	100.0
④トンネル進入後の視環境	0	3	15	81	21	120	0.0	2.5	12.5	67.5	17.5	100.0

③照明器具からのグレア

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) トンネル坑口の見え方

図－7.18にトンネル坑口の見え方のアンケート結果を照明方式毎に示す。これより、「非常に暗く感じた」と回答した率はいずれの照明方式においてもの5%程度以下であり比較的良好な結果となった。ただし、対称照明では「やや暗く感じた」と回答した率が60%程度あり、他の照明方式と比べて若干坑口が暗く感じた人が多かった。実験時の野外輝度は、ぼらつきはあるものの各照明方式の平均値で約4,300～4,600cd/m²であることから、これらの差は照明方式による坑口の見え方が現れたものだと考えられる。このことから、カウンタービーム照明は、対称照明に比べて坑口がやや明るく感じる照明方式であることが考えられる。

2) トンネル進入の難易

図－7.19にトンネル進入の難易のアンケート結果を照明方式毎に示す。これより、「やや不安感が高く進入しにくい」と回答した率は坑口の見え方の結果の傾向と同様に対称照明が30%程度と他の照明方式の10%程度に比べてやや高い結果となった。したがって、トンネル内への進入に関して、カウンタービーム照明が対称照明に比較して特に課題となることは考えられない。

3) 照明器具からのグレア

図－7.20はトンネルに設置された照明器具からのグレア（まぶしさ）のアンケート結果を照明方式毎に示す。これにより、いずれの照明方式ともに「ほとんどまぶしくない」「まったくまぶしくない」と回答した率は80～90%と高い結果となった。当初はグレアが予想されたカウンタービーム照明下でも車線中央取付の場合に「ややまぶしく運転しづらい」と回答した率が数%と非常に少ないことから、照明器具からのグレアが特に問題となることは考えられない。

4) トンネル進入後の視環境

図－7.21にトンネル進入時の視環境のアンケート結果を照明方式毎に示す。これより、視環境についても対称照明に比べてやや良好な結果となった。

以上のアンケート調査項目を評点の平均値で示すと図－5.22のとおりである。アンケート結果はトンネル坑口の見え方、トンネルへの進入の難易、トンネル進入後の視環境とも対称照明と比較してカウンタービーム照明車線中央取付、路肩近傍取付の双方とも良好な結果が得られている。また、今後の検討課題の一つとされていた照明器具からのグレアについても対称照明より若干評点は減少するがそれも評点 4（ほとんどまぶしくない）付近でわずかな差異しか認められず、特に今回の実験では問題となることはなかった。

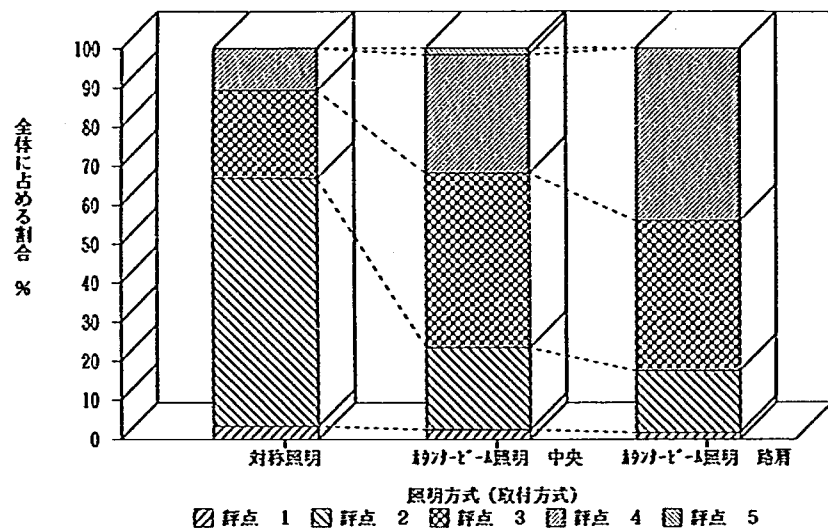


図-7.18 障害物の視認性実験（走行実験）アンケート結果一覧
（トンネル坑口の見え方）

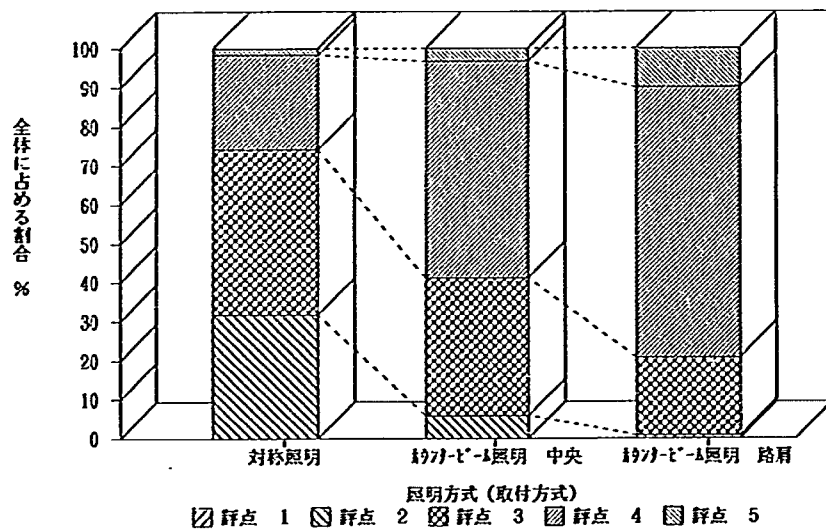


図-7.19 障害物の視認性実験（走行実験）アンケート結果一覧
（トンネル侵入の難易）

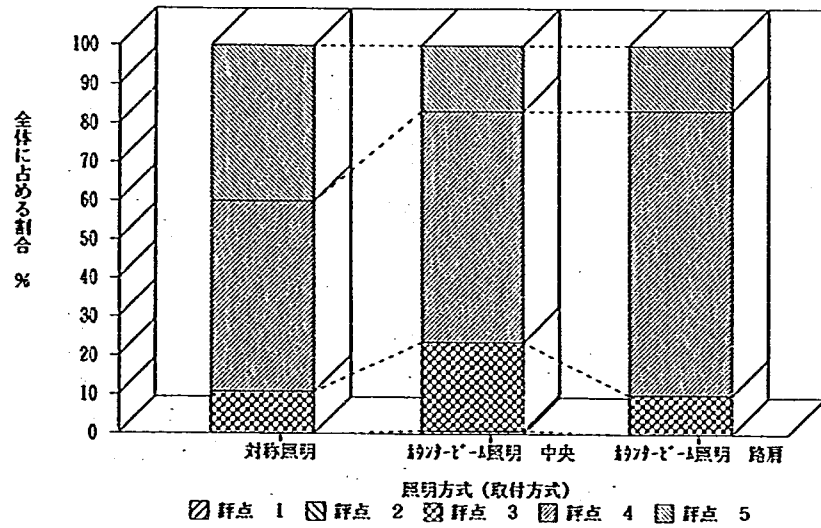


図-7.20 障害物の視認性実験（走行実験）アンケート結果一覧
（照明器具からのグレア）

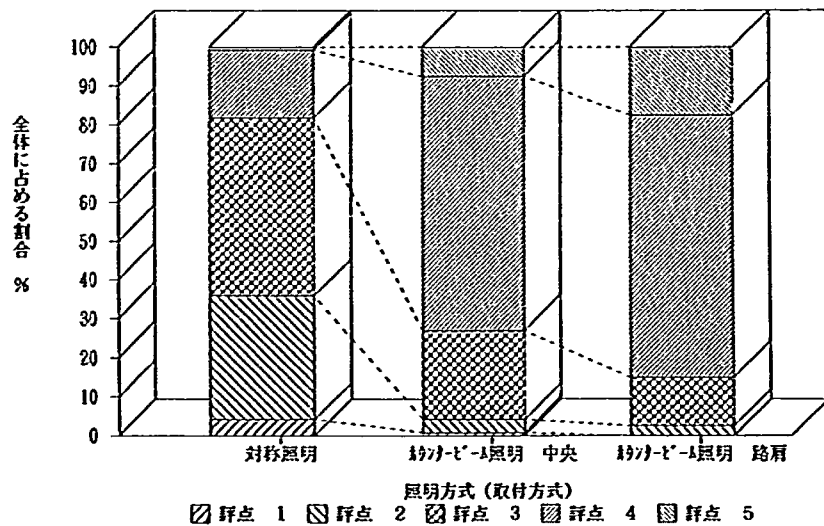
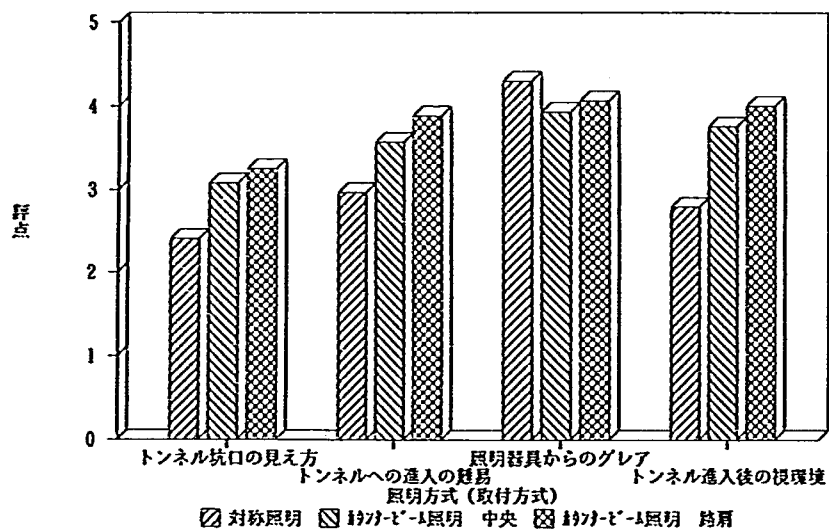


図-7.21 障害物の視認性実験（走行実験）アンケート結果一覧
（トンネル侵入後の視環境）



図－7.22 障害物の視認性実験（走行実験）アンケート結果一覧
（評点の平均値）

7.3 まとめ

障害物の視認性実験（走行実験）での視認距離（トンネル内の路上に形状は不明だが、何らかの障害物の存在を発見した距離）および、確認距離（存在している障害物の形状まで認識できた距離）の測定結果からは、各々被験者によって大きくばらついているものの、全体の平均値で比較すると対称照明の場合のそれぞれの結果を基準とした比率を求めてみると一部の位置でわずかに対称照明を下回っているものの、それ以外の位置においてはカウンタービーム照明が上回っていた。また、同時に実施した障害物の輝度対比測定結果からも対称照明下での輝度対比は低い（見えにくい）値を示していたことから整合が取れていた。また、障害物の見え方の状態の指標の一つである可視度の点からも同様なことが言える。静止実験の結果と合わせると静止・走行状態に関わらず障害物の視認性についてはカウンタービーム照明が対称照明と比較して高いことが確認された。

一方、被験者に対して実施した照明器具からのグレアについてのアンケート結果より、本実験条件下でのグレアはいずれの照明方式においても「ほとんどまぶしくない」「まったくまぶしくない」と回答した被験者の率が全体の80%～90%にもおよび、カウンタービーム照明下で当初予想されていた照明器具からの問題となるグレアは生じていないことが明らかになった。また、その他のアンケート項目であるトンネル坑口の見え方、トンネルへの進入の難易、トンネル進入後の視環境とも、対称照明と比較してカウンタービーム照明が良好な評価であった。

今後の課題としては、設計速度の高い条件下での障害物等の視認性の確認とともに、走行時の安全性等についての検討が重要である。

【参考文献】

- 1) 猪野原 誠、吉村 義典、竹内 徹二「輝度差弁別いきに及ぼす網膜順応輝度と対称物の背景輝度の影響」 National Technical Report Vol.27 No.3 JUNE 1981

8. 先行車の視認性実験（走行実験）

8.1 実験概要

8.1.1 実験方法

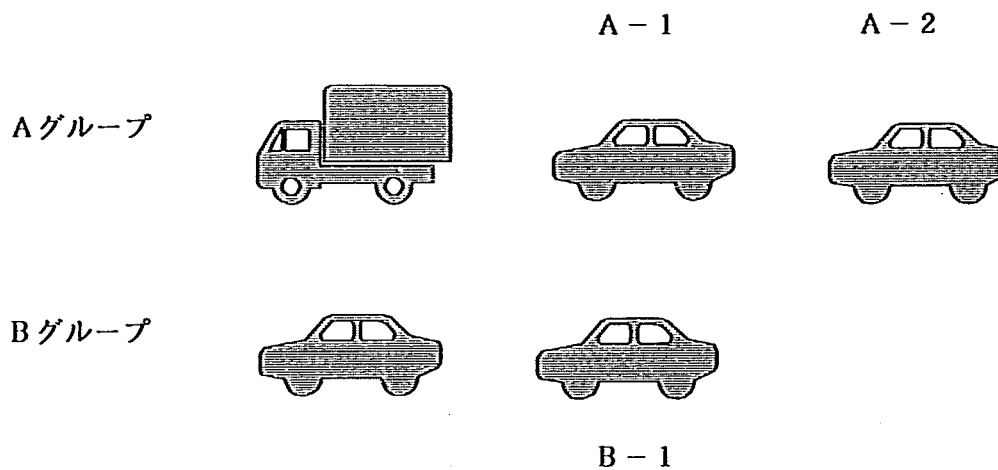
試験車両を図－8.1のような2種類のグループに分け実大トンネル実験施設の南側坑口手前500mの試走路上から各グループ毎に決められた車間距離を保持し走行させ、トンネル坑口手前に設定された車間距離確認区間で車間距離と走行速度（時速60km/h）を確認しつつ、トンネル内部300mまでの試験区間を定速走行させ、トンネル進入前後の先行車の視認性について後続の試験車両（A－1、A－2、B－1）に乗車している被験者に観測させた。

各被験者はA－1、A－2、B－1それぞれの走行位置で観測できるように計画した。これは各位置により次に示す3つの視認性を評価するためである。

①一定距離前方を走行する大型車の視認性

②一定距離前方を走行する小型車の視認性

③複数の先行車が存在する場合の大型車後方の小型車の視認性



Aグループ 大型車の後方に2台の試験車両（小型車）が追従する。
Bグループ 小型車の後方に1台の試験車両（小型車）が追従する。

図－8.1 実験方法の概念図

なお、各被験者は次の各項目により観測をし、主観評価を各走行条件毎に行った。

- ①トンネル坑口に進入する以前の先行車の視認性
- ②トンネル坑口に進入した直後の先行車の視認性
- ③トンネル坑口に進入後からトンネル内部300m付近までの先行車の見え方
- ④先行車が存在した場合のトンネル坑口への進入の難易

走行実験を終えた試験車両は、実大トンネル実験施設を通過し試験走路を走行し出発地点へ復帰する。

本走行実験においては、実大トンネル実験施設が直線形状のため南北両坑口を開放するとトンネル出口側の坑口が被験者の視野内に入るため、トンネル内の試験区間終了後の位置に遮光幕を設置し試験中の被験者から直接トンネル坑口を注視できないようにした。

なお、その他の実験条件は次に示すとおりである。

- ①先行車 : 大型車または、小型車（すべて前照灯を点灯）
- ②車間距離 : 20, 40, 80 m
- ③被験者数 : 12名（試験車両は3台とする。）
- ④繰り返し回数 : 3回（各被験者がそれぞれのグループの位置で観測できるようにした。）

8.1.2 被験者

被験者は各条件毎に12名とした。被験者の属性を表-8.1に示す。

表-8.1 先行車の視認性実験 被験者一覧

氏 名	年齢	性別	車の使用 用途	週平均の 運転日数	運転歴	よく運転 する車種	視 力			実 験 内 容			備 考
							右	左	矯正	CBL 中央	対称	CBL 路肩	
W. N	27歳	男性	レジャー等	週1~2日	5~10年	普通車	1.2	1.2	有り	○	○	○	
A. I	23歳	女性	レジャー等	週1~2日	1年未満	普通車	1.5	1.5	無し	○	○	○	
T. K	22歳	男性	レジャー等	週1~2日	1年未満	普通車	1.2	1.0	有り	○	○	○	
Y. H	21歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	1.2	1.2	有り	○	○	○	
Y. K	22歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	1.5	1.5	無し	○			
S. H	23歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	0.6	0.6	有り		○		両眼で0.7
T. U	42歳	男性	レジャー等	週1~2日	10年以上	普通車	1.2	0.6	有り			○	
T. I	30歳	男性	レジャー等	週1~2日	10年以上	普通車				○			
Y. I	21歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	1.0	1.5	有り		○		
N. Y	21歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	0.9	0.8	無し			○	
T. K	20歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	0.9	0.5	有り	○	○	○	
K. T	21歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	0.9	1.0	有り	○	○	○	
Y. O	20歳	男性	通勤・通学	毎日	1年未満	普通車	1.2	1.2	有り	○	○		対称ではNo.10
T. I	36歳	男性	通勤・通学	毎日	10年以上	普通車	1.2	1.2	有り		○	○	
K. M	48歳	男性	レジャー等	週1~2日	10年以上	普通車				○			
T. K	24歳	男性	レジャー等	毎日	5~10年	普通車	1.2	1.2	有り			○	
M. H	27歳	男性	通勤・通学	毎日	5~10年	普通車	0.5	0.5	有り	○			両眼で0.7
Y. S	25歳	男性	レジャー等	週5~6日	5~10年	普通車	1.0	1.2	無し		○	○	
K. O	21歳	男性	通勤・通学	毎日	1~5年	普通車	0.6	0.9	有り	○	○	○	

8.2 実験条件

8.2.1 先行車の視認性実験時の野外輝度及び野外水平面・鉛直面照度

先行車の視認性実験を行なった時間帯の野外輝度及び野外での水平面・鉛直面照度をバックデータとして測定した。測定条件は、6.2.1で示した静止実験時の測定と同様である。

測定結果を表－8.2に示す。

表-8.2 先行車の視認性実験時の野外輝度及び野外水平面・鉛直面照度 測定結果

実験日	照明種類	実験ケース	時 間	野外輝度[cd/m ²]	水平面照度 [lx]	鉛直面照度 [lx]	輝度/照度の変動
3月11日	カウンタービーム 照明 (車線中央)	20m-1	13:30~13:31	4700	71600	63500	
		20m-2	13:35~13:36	4600	69500	61500	
		20m-3	13:45~13:46	4500	67500	59000	
		40m-1	13:56~13:57	4400	64500	56000	
		40m-2	14:05~14:06	4250	60000	52000	
		40m-3	14:15~14:16	4100	56000	57500	
		80m-1	14:25~14:26	3900	52500	44500	
		80m-2	14:30~14:31	3800	50000	42000	
		80m-3	14:35~14:36	3600	47500	39500	
		20m-1	14:45~14:46	3500	43500	36000	
3月14日	対称照明	20m-1	13:28~13:29	3100	17000	20000	
		20m-2	13:33~13:34	3100	16500	18500	
		20m-3	13:40~13:41	3200	16000	19000	
		40m-1	13:47~13:48	3000	16000	21500	
		40m-2	13:53~13:54	3400 / 3200~3700	25000/23000~42000	30000/26000~40000	大きい
		40m-3	13:59~14:00	4300	57500	52000	
		80m-1	14:06~14:07	4400	57000	52000	
		80m-2	14:12~14:13	4600	62500	53000	
		80m-3	14:19~14:20	4400	57500	50000	
3月15日	カウンタービーム 照明 (路肩近傍)	20m-1	11:04~11:05	3800	34000	34000	
		20m-2	11:11~11:12	4400 / 4000~5400	45000/35000~73000	50000/31000~71000	非常に大きい
		20m-3	11:18~11:19	4000 / 3900~4200	47000/40000~60000	47000/40000~60000	非常に大きい
		40m-1	11:25~11:26	3400	24000	26000	
		40m-2	11:32~11:33	3100	17000	21000	
		40m-3	11:39~11:40	3100	16500	20000	
		80m-1	11:46~11:47	2900	18000	21000	
		80m-2	11:52~11:53	2700	15000	17500	
		80m-3	11:58~11:59	3000	19000	19000	

(注) 「輝度/照度の変動」が「非常に大きい」「大きい」場合の輝度・照度は、「代表値(変動の中央付近と考えられる目測値)/ 変動幅」で表わしている。なお、変動が「非常に大きい」場合には、代表値の近傍に輝度・照度にとどまっていることはなく、代表値の意味は薄い。

8.2.2 トンネル進入前後の先行車の見え方

トンネル進入前後の先行車の見え方についてのアンケート調査項目と換算評点は以下の通りである。

①先行車がトンネル坑口に進入する以前

非常に見えにくい	……………	評点	1
やや見えにくい	……………	評点	2
ふつうに見えた	……………	評点	3
やや見えやすい	……………	評点	4
非常に見えやすい	……………	評点	5

②先行車がトンネル坑口に進入した直後

非常に見えにくい	……………	評点	1
やや見えにくい	……………	評点	2
ふつうに見えた	……………	評点	3
やや見えやすい	……………	評点	4
非常に見えやすい	……………	評点	5

③先行車がトンネル進入後から約300m

非常に見えにくい	……………	評点	1
やや見えにくい	……………	評点	2
ふつうに見えた	……………	評点	3
やや見えやすい	……………	評点	4
非常に見えやすい	……………	評点	5

上記の換算評点に基づき、各アンケートの平均点を算出した。表－8.3から表－8.5にアンケート結果の一覧を示す。

表－8.6及び図－8.2に先行車がトンネル坑口に進入する以前の先行車の視認性の平均値と車間距離の関係を示す。図についてはアンケート結果は、先行車が坑口に進入する前なので、照明方式による差異は考えられないので野外輝度による影響により多少のばらつきが出たものと思われる。

表－8.7及び図－8.3に先行車がトンネル坑口に進入した直後の先行車の視認性の平均値と車間距離の関係を示す。図については、坑口進入直後の先行車の背面の輝度が野外の非常に高い輝度からトンネル内の輝度へと急激に減少する状態である。特にカウンタービーム照明の場合は、先行車の後部に照明器具からの直射光が当たらないため、対称照明と比較し輝度の減少が激しくトンネル進入直後の先行車の視認性が著しく悪化すると当初予想されていた。しかし、今回の実験の結果は、そう言

表-8.3 先行車の見え方実験のアンケート結果一覧(対称照明)

車間距離	走行位置	設 問 項 目		評 価 内 容					
				1	2	3	4	5	合計
20 m	A-1	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	1	2	4	5	12
			トンネル進入直後	0	4	3	5	0	12
			進入後300m	0	1	4	5	2	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		1	3	6	1	1	12
		照明器具からのグレア		0	0	1	7	4	12
	A-2	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	3	4	5	12
			トンネル進入直後	0	2	5	5	0	12
			進入後300m	0	1	4	4	2	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	1	4	4	2	12
		照明器具からのグレア		0	0	0	9	3	12
	B-1	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	4	3	5	12
			トンネル進入直後	0	6	2	3	1	12
			進入後300m	0	2	4	4	2	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	2	4	3	3	12
		照明器具からのグレア		0	2	4	3	3	12
40 m	A-1	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	4	3	5	12
			トンネル進入直後	0	6	3	3	0	12
			進入後300m	0	1	7	3	1	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	4	3	4	1	12
		照明器具からのグレア		0	0	1	8	3	12
	A-2	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	4	3	5	12
			トンネル進入直後	0	4	4	4	0	12
			進入後300m	0	1	8	1	2	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	2	1	7	1	12
		照明器具からのグレア		0	0	0	8	4	12
	B-1	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	4	3	5	12
			トンネル進入直後	0	5	3	4	0	12
			進入後300m	0	2	7	2	1	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	2	2	7	1	12
		照明器具からのグレア		0	0	0	8	4	12
80 m	A-1	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	3	4	5	12
			トンネル進入直後	5	2	5	0	0	12
			進入後300m	0	4	7	0	1	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	1	4	3	4	12
		照明器具からのグレア		0	0	0	9	3	12
	A-2	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	2	5	5	12
			トンネル進入直後	1	5	4	2	0	12
			進入後300m	0	2	7	1	2	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	1	3	2	6	12
		照明器具からのグレア		0	0	0	8	4	12
	B-1	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	3	4	5	12
			トンネル進入直後	4	5	3	0	0	12
			進入後300m	0	4	6	2	0	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	2	4	2	4	12
		照明器具からのグレア		0	0	1	7	4	12

表-8.4 先行車の見え方実験のアンケート結果一覧
(カウンタービーム照明 車線中央取付)

車間距離	走行位置	設 問 項 目		評 価 内 容					合計
				1	2	3	4	5	
20 m	A-1	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	3	1	8	12
			トンネル進入直後	0	3	6	3	0	12
			進入後300m	0	1	3	7	1	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		1	1	4	6	0	12
		照明器具からのグレア		0	0	2	8	2	12
	A-2	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	1	2	1	8	12
			トンネル進入直後	0	2	7	3	0	12
			進入後300m	0	0	6	5	1	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	0	5	7	0	12
		照明器具からのグレア		0	0	2	8	2	12
	B-1	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	2	3	7	12
			トンネル進入直後	0	2	4	6	0	12
			進入後300m	0	1	3	7	1	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	0	3	7	2	12
		照明器具からのグレア		0	0	2	8	2	12
40 m	A-1	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	2	2	8	12
			トンネル進入直後	0	6	3	3	0	12
			進入後300m	0	2	5	4	1	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	2	5	4	0	12
		照明器具からのグレア		0	0	3	7	2	12
	A-2	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	2	2	8	12
			トンネル進入直後	0	3	6	3	0	12
			進入後300m	1	0	3	7	1	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	0	3	6	2	11
		照明器具からのグレア		0	1	2	6	2	11
	B-1	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	2	2	8	12
			トンネル進入直後	0	4	6	2	0	12
			進入後300m	0	0	6	4	2	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	0	3	8	1	12
		照明器具からのグレア		0	0	3	7	2	12
80 m	A-1	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	3	2	7	12
			トンネル進入直後	3	8	1	0	0	12
			進入後300m	1	1	5	5	0	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	1	3	4	4	12
		照明器具からのグレア		0	0	3	7	2	12
	A-2	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	3	3	6	12
			トンネル進入直後	2	6	3	1	0	12
			進入後300m	1	1	5	5	0	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	0	3	5	4	12
		照明器具からのグレア		0	0	8	2	2	12
	B-1	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	3	2	7	12
			トンネル進入直後	1	8	2	1	0	12
			進入後300m	0	1	8	3	0	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	1	3	4	4	12
		照明器具からのグレア		0	0	3	7	2	12

表- 8. 5 先行車の見え方実験のアンケート結果一覧
(カウンタービーム照明 路肩近傍取付)

車間距離	走行位置	設 問 項 目		評 価 内 容					
				1	2	3	4	5	合計
20 m	A-1	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	3	1	8	12
			トンネル進入直後	0	0	6	6	0	12
			進入後300m	0	1	5	3	3	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	1	3	8	0	12
		照明器具からのグレア		0	0	0	10	2	12
	A-2	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	2	2	8	12
			トンネル進入直後	0	0	6	6	0	12
			進入後300m	0	0	5	4	3	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	0	3	7	2	12
		照明器具からのグレア		0	0	1	8	3	12
	B-1	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	3	2	7	12
			トンネル進入直後	0	1	3	8	0	12
			進入後300m	0	1	3	6	2	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	0	1	11	0	12
		照明器具からのグレア		0	0	0	10	2	12
40 m	A-1	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	3	1	8	12
			トンネル進入直後	0	3	5	4	0	12
			進入後300m	0	0	8	3	1	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	0	4	7	1	12
		照明器具からのグレア		0	0	0	10	2	12
	A-2	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	4	1	7	12
			トンネル進入直後	0	4	3	4	0	11
			進入後300m	0	1	6	4	1	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	0	4	6	2	12
		照明器具からのグレア		0	0	0	10	2	12
	B-1	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	4	1	7	12
			トンネル進入直後	0	4	5	3	0	12
			進入後300m	0	0	8	4	0	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	0	3	8	1	12
		照明器具からのグレア		0	0	0	10	2	12
80 m	A-1	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	4	2	6	12
			トンネル進入直後	2	7	2	1	0	12
			進入後300m	0	5	5	2	0	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	0	6	5	1	12
		照明器具からのグレア		0	0	0	10	2	12
	A-2	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	4	2	6	12
			トンネル進入直後	1	8	2	1	0	12
			進入後300m	0	5	5	2	0	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	0	3	6	2	11
		照明器具からのグレア		0	0	0	9	2	11
	B-1	トンネル進入 前後の見え方	トンネル進入以前	0	0	4	2	6	12
			トンネル進入直後	1	6	4	1	0	12
			進入後300m	0	5	5	2	0	12
		先行車が存在する場合の進入の難易		0	0	4	6	2	12
		照明器具からのグレア		0	0	2	7	3	12

った問題が起きることはなかったという事は人工照明による車両後部への直射光の影響が比較的少ないことと考えられる。なお、カウンタービーム照明路肩近傍取付が対称照明よりも平均点が高い理由としては野外輝度が対称照明と比較し1割程度低いのが影響したものと考えられる。

表－8.8及び図－8.4に先行車がトンネル進入後から約300m地点における先行車の視認性の平均値と車間距離の関係を示す。図－8.1に示すA－1の位置では、対称照明は車頭間隔が開くほど静止実験の障害物の輝度対比と同じく視認性は悪化していく傾向が認められる。カウンタービーム照明の場合は、車頭間隔に関わらず視認性に大きな変化は認められなかった。そのほかの位置では特に対称照明とカウンタービーム照明での有意な差異は認められなかった。

以上のことから今回の実験条件下では各位置、各車頭間隔においても対称照明とカウンタービーム照明で先行車の視認性は有意な差異は認められなかった。

8.2.3 先行車が存在した場合のトンネルへの進入の難易

先行車が存在した場合のトンネルへの進入の難易についてのアンケート調査項目と換算評点は以下の通りである。

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

上記の換算評点に基づきアンケート調査の平均値を算出した。

表－8.9及び図－8.5はそれぞれの走行位置（A－1、A－2、B－1）からの先行車が存在した場合のトンネルへの進入の難易の平均値と車間距離の関係を示す。図－8.5よりトンネル坑口への進入の難易は、先行車が存在するために障害物の視認性実験時に行ったアンケート結果とは多少結果が異なり対称照明とカウンタービーム照明がほぼ等しくなった。これは、被験者が先行車の視認性について注視している等により照明方式による顕著な差違が現れなかったものと考えられる。

8.2.4 照明器具からのグレア

トンネル内に設置された照明器具からのグレアについてのアンケート調査項目と換算評点は以下の通りである。

まぶしすぎて非常に運転しづらい	……………	評点	1
ややまぶしくて運転しづらい	……………	評点	2
多少まぶしいが運転に支障はない	……………	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

上記の換算評点に基づきアンケート調査の平均値を算出した。

表－8.10及び図－8.6にそれぞれの走行位置（A－1、A－2、B－1）における照明器具からのグレアの評点の平均値と車間距離の関係を示す。表－8.3～表－8.5のアンケート結果一覧より、対称照明の車間距離20m、走行位置B－1においてアンケートの結果が「評点 2」と回答しているケースがあるが、全体としてはほとんどまぶしくないと評価されており、評価結果からはいずれの照明方式でも照明器具からのグレアについては問題ないと考えられる。

表－8.6 先行車の見え方のアンケート結果一覧（坑口進入以前）

先行車の視認性（坑口進入以前） 平均値 A－1			
先行車との車間距離（m）	20	40	80
対称照明	4.08	4.08	4.17
カウンタービーム照明 車線中央取付	4.42	4.50	4.33
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	4.42	4.42	4.17

先行車の視認性（坑口進入以前） 平均値 A－2			
先行車との車間距離（m）	20	40	80
対称照明	4.17	4.08	4.25
カウンタービーム照明 車線中央取付	4.33	4.50	4.25
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	4.50	4.25	4.17

先行車の視認性（坑口進入以前） 平均値 B－1			
先行車との車間距離（m）	20	40	80
対称照明	4.08	4.08	4.17
カウンタービーム照明 車線中央取付	4.42	4.50	4.33
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	4.33	4.25	4.17

表－8.7 先行車の見え方のアンケート結果一覧（坑口進入直後）

先行車の視認性（坑口進入直後） 平均値 A－1			
先行車との車間距離（m）	20	40	80
対称照明	3.08	2.75	2.00
カウンタービーム照明 車線中央取付	3.00	2.75	1.83
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	3.50	3.08	2.17

先行車の視認性（坑口進入直後） 平均値 A－2			
先行車との車間距離（m）	20	40	80
対称照明	3.25	3.00	2.58
カウンタービーム照明 車線中央取付	3.08	3.00	2.25
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	3.50	3.00	2.25

先行車の視認性（坑口進入直後） 平均値 B－1			
先行車との車間距離（m）	20	40	80
対称照明	2.92	2.92	1.92
カウンタービーム照明 車線中央取付	3.33	2.83	2.25
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	3.58	2.92	2.42

表- 8. 8 先行車の見え方のアンケート結果一覧 (トンネル進入後300m)

先行車の視認性 (進入後300m) 平均値 A-1			
先行車との車間距離 (m)	20	40	80
対称照明	3.67	2.75	2.00
カウンタービーム照明 車線中央取付	3.67	3.33	3.17
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	3.67	3.42	2.75

先行車の視認性 (進入後300m) 平均値 A-2			
先行車との車間距離 (m)	20	40	80
対称照明	3.64	3.33	3.25
カウンタービーム照明 車線中央取付	3.58	3.58	3.17
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	3.83	3.42	2.75

先行車の視認性 (進入後300m) 平均値 B-1			
先行車との車間距離 (m)	20	40	80
対称照明	3.50	3.70	2.83
カウンタービーム照明 車線中央取付	3.67	3.67	3.17
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	3.75	3.33	2.75

表- 8. 9 先行車の見え方のアンケート結果一覧
(先行車が存在する場合の坑口進入の難易)

先行車が存在する場合の坑口進入の難易 平均値 A-1			
先行車との車間距離 (m)	20	40	80
対称照明	2.83	3.17	3.83
カウンタービーム照明 車線中央取付	3.25	3.18	3.92
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	3.58	3.75	3.58

先行車が存在する場合の坑口進入の難易 平均値 A-2			
先行車との車間距離 (m)	20	40	80
対称照明	3.64	3.64	4.08
カウンタービーム照明 車線中央取付	3.58	3.91	4.08
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	3.92	3.83	3.91

先行車が存在する場合の坑口進入の難易 平均値 B-1			
先行車との車間距離 (m)	20	40	80
対称照明	3.58	3.58	3.67
カウンタービーム照明 車線中央取付	3.92	3.83	3.92
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	3.92	3.83	3.83

表-8.10 照明器具からのグレアのアンケート結果一覧

照明器具からのグレア 平均値 A-1

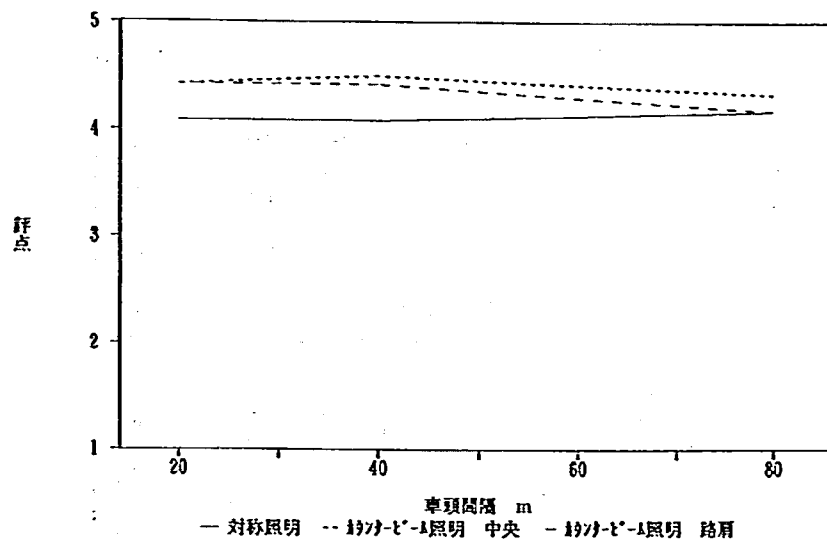
先行車との車間距離 (m)	20	40	80
対称照明	4.25	4.17	4.25
カウンタービーム照明 車線中央取付	4.00	3.92	3.92
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	4.17	4.17	4.17

照明器具からのグレア 平均値 A-2

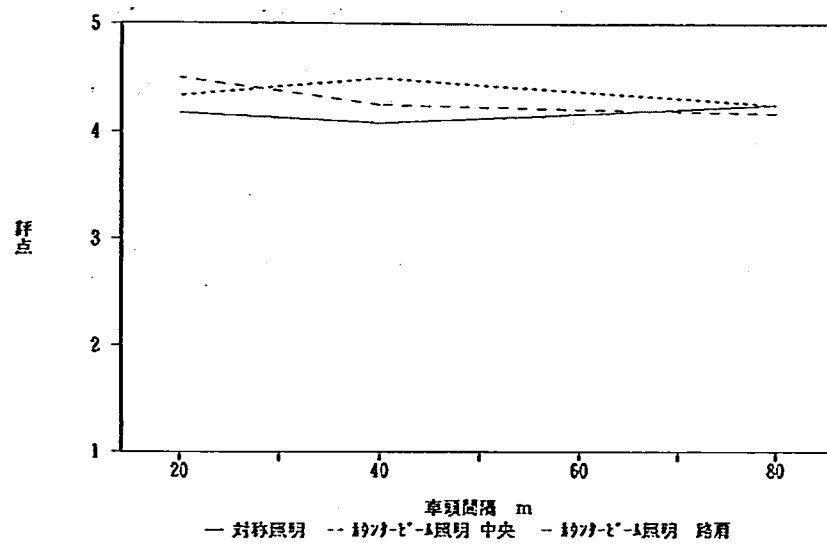
先行車との車間距離 (m)	20	40	80
対称照明	4.25	4.33	4.33
カウンタービーム照明 車線中央取付	4.00	3.50	3.50
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	4.17	4.17	4.18

照明器具からのグレア 平均値 B-1

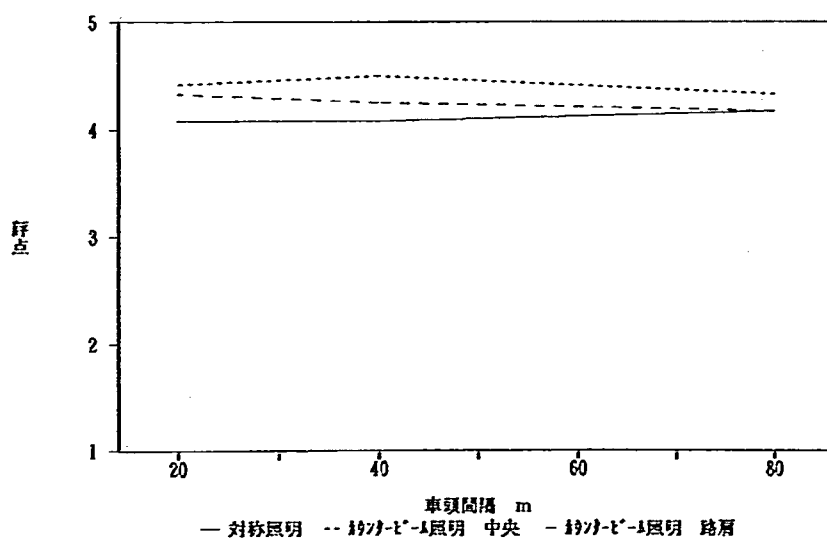
先行車との車間距離 (m)	20	40	80
対称照明	3.25	4.35	4.33
カウンタービーム照明 車線中央取付	4.00	3.92	4.92
カウンタービーム照明 路肩近傍取付	4.17	4.17	4.14



(a) A-1

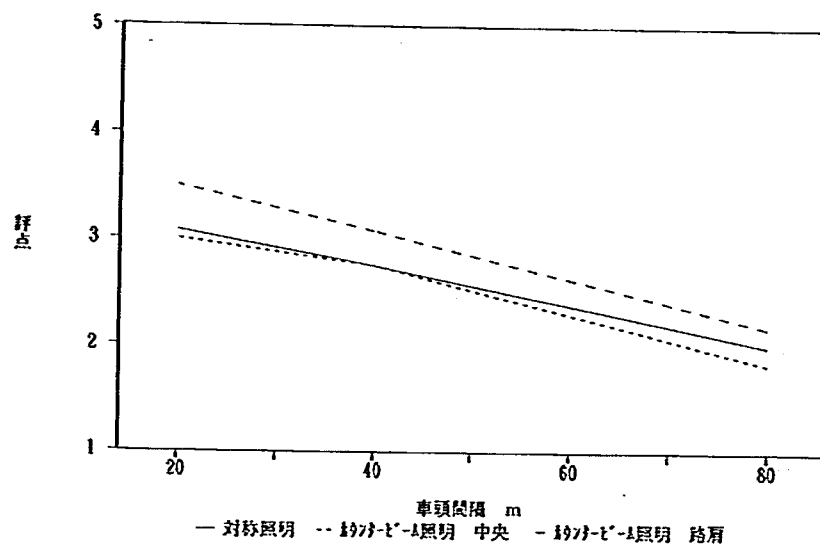


(b) A-2

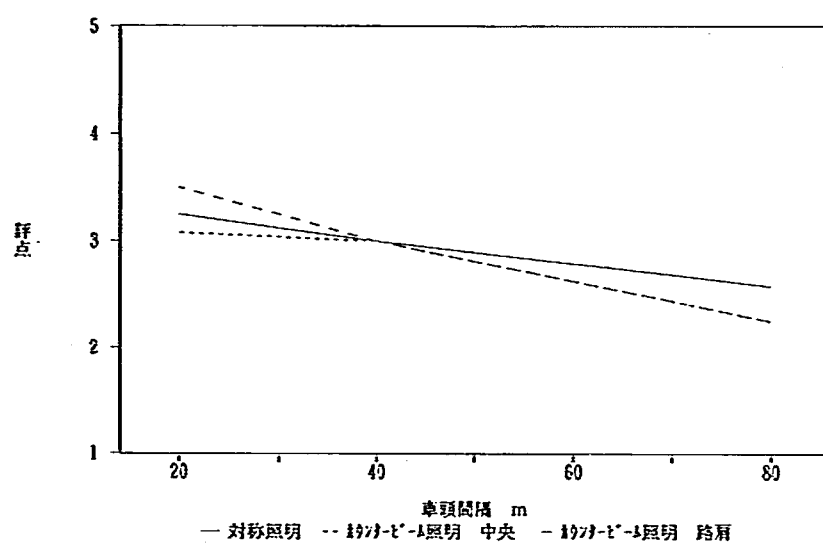


(c) B-1

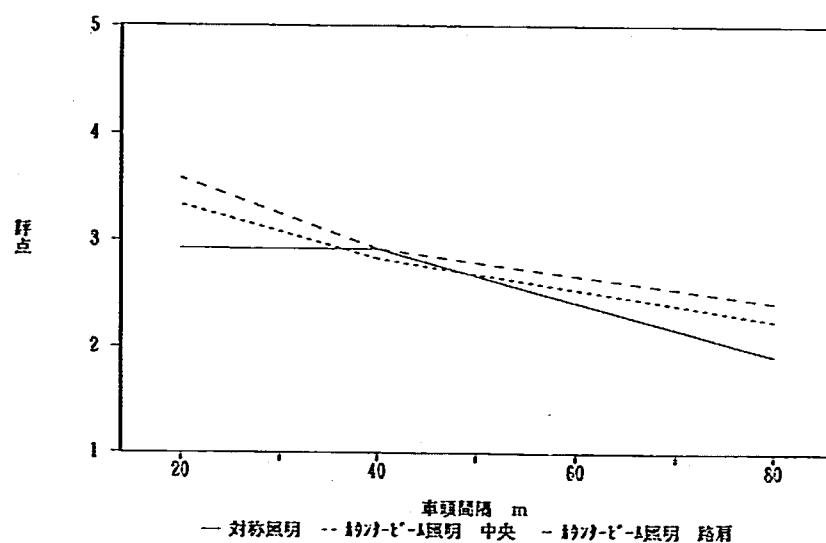
図-8.2 先行車の見え方実験アンケート結果(坑口進入前)



(a) A-1



(b) A-2



(c) B-1

図-8.3 先行車の見え方実験アンケート結果(坑口進入直後)

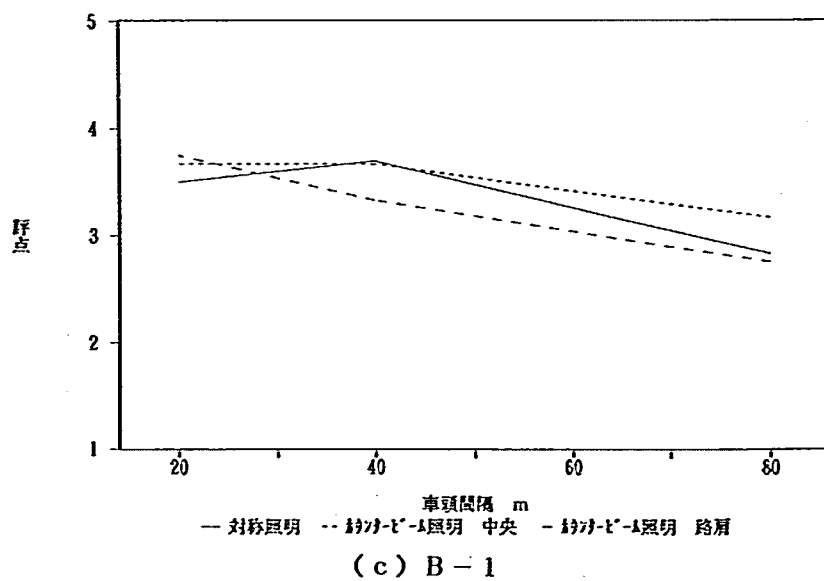
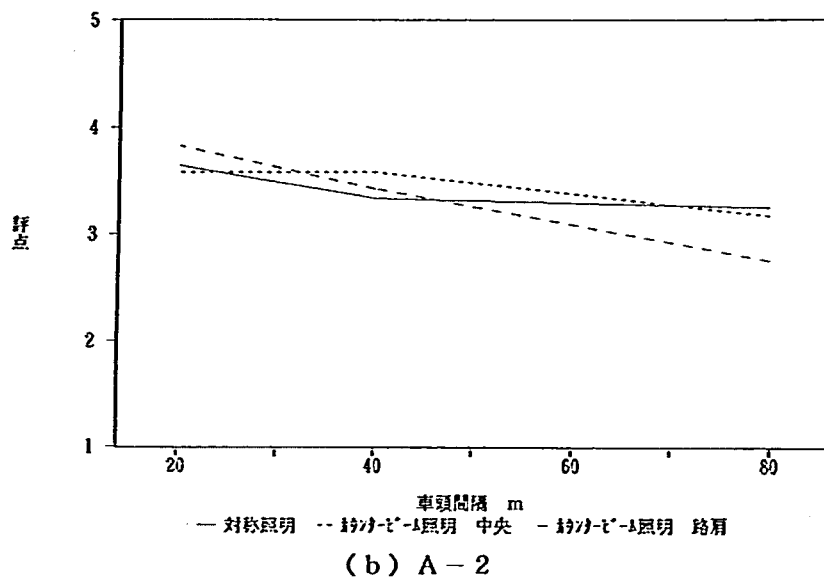
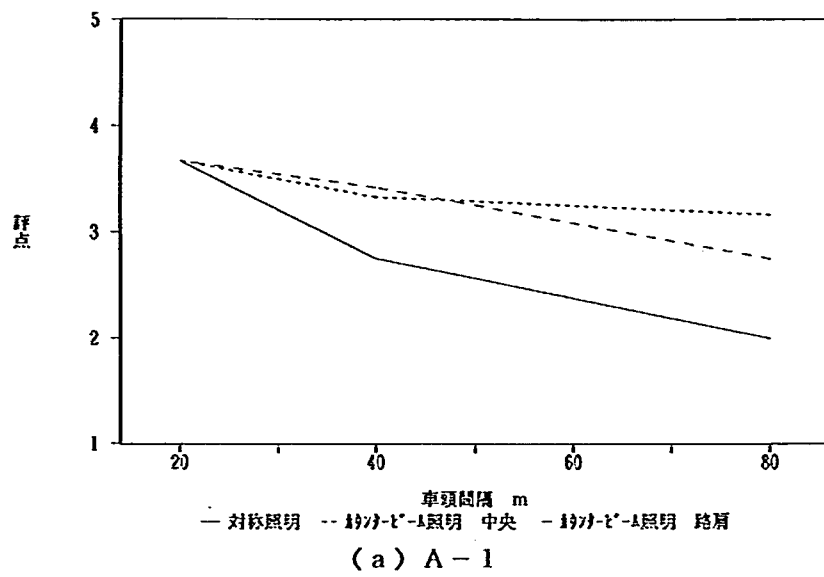
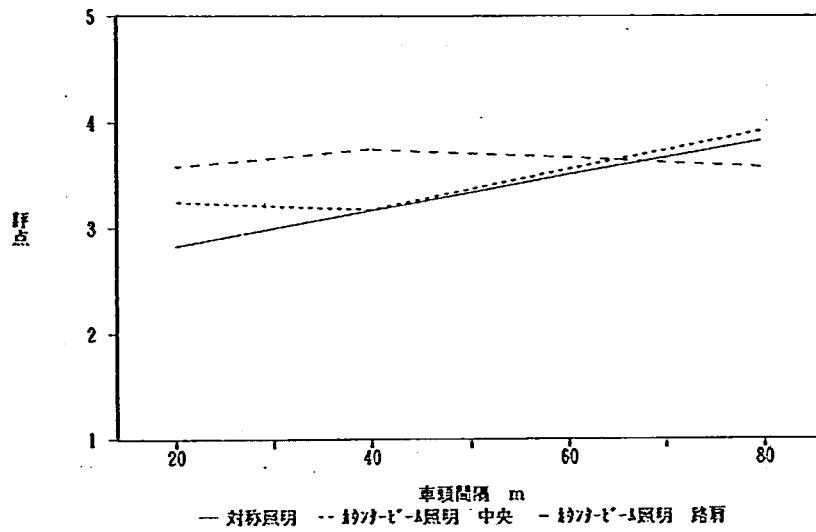
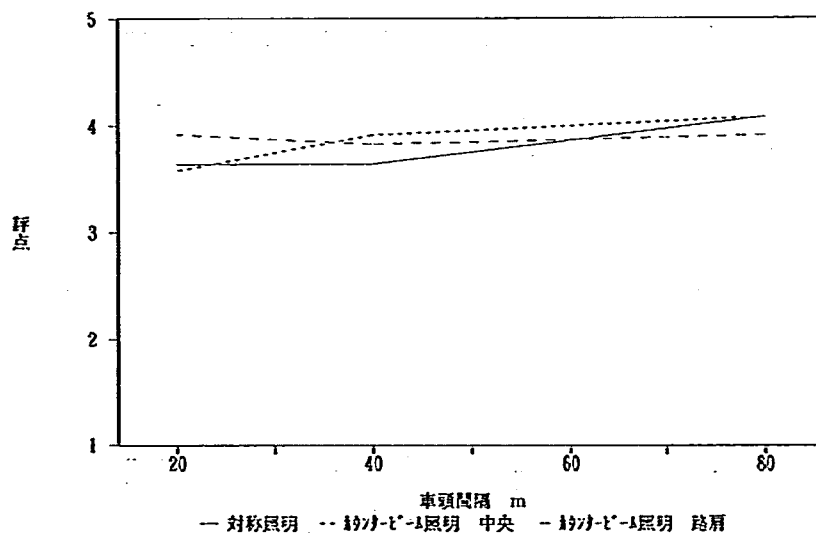


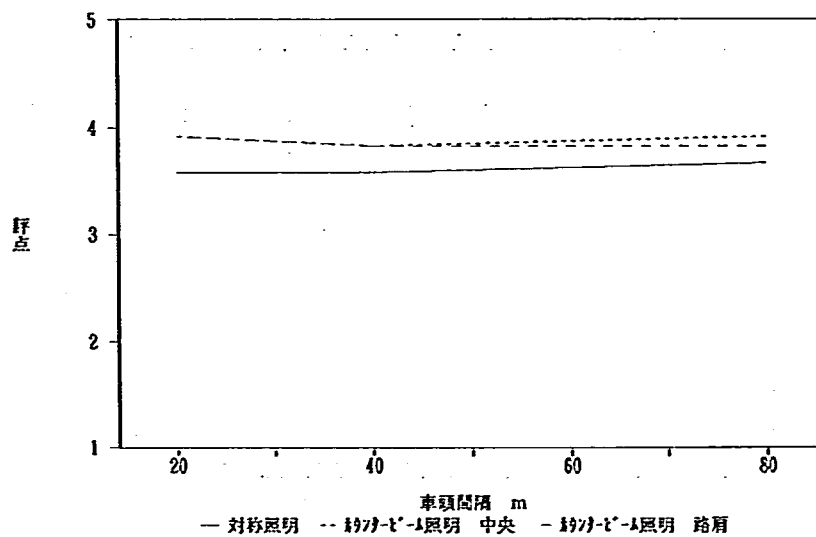
図-8.4 先行車の見え方実験アンケート結果 (トンネル内部)



(a) A-1

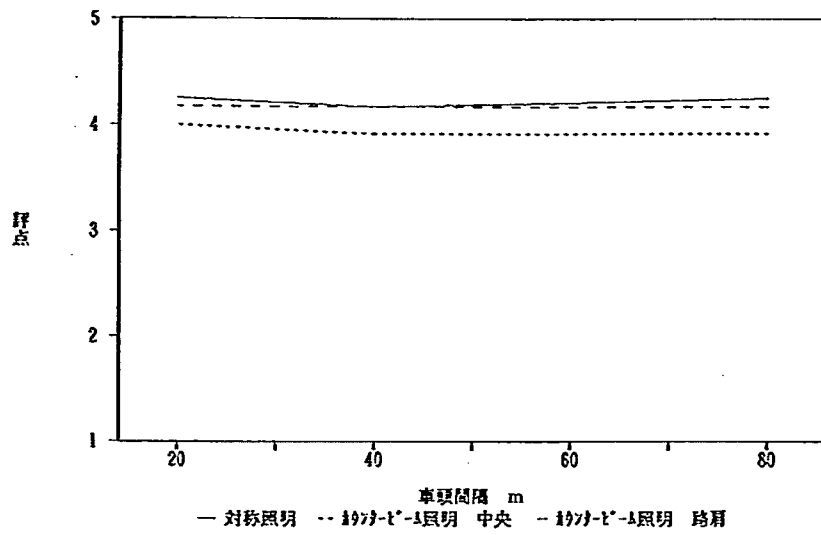


(b) A-2

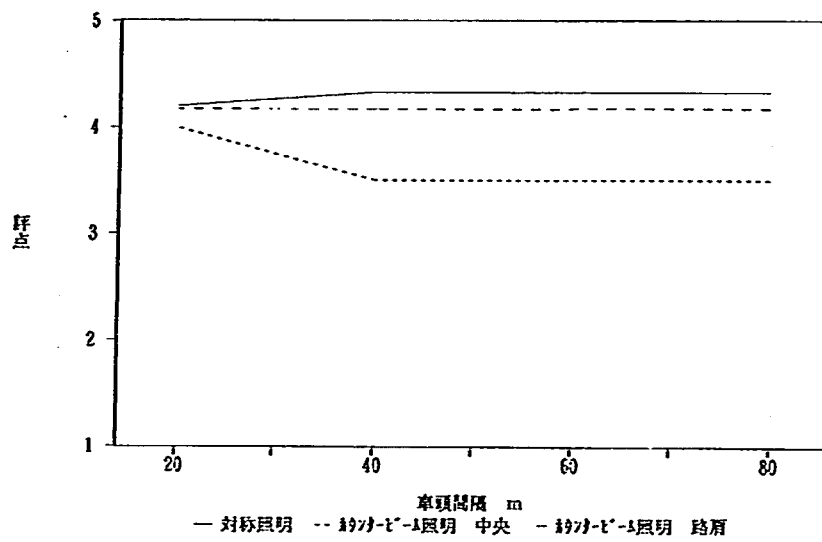


(c) B-1

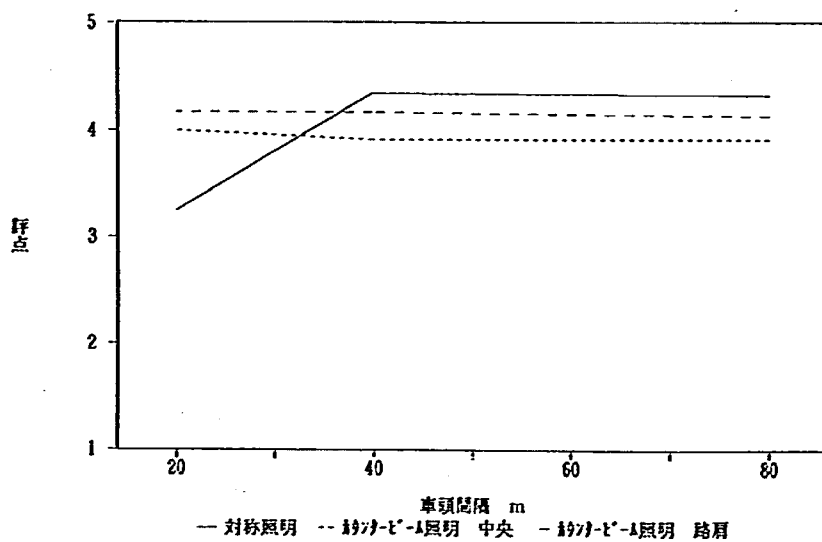
図-8.5 先行車の見え方実験アンケート結果
(先行車が存在する場合の坑口進入の難易)



(a) A-1



(b) A-2



(c) B-1

図-8.6 先行車の見え方実験アンケート結果 (照明器具からのグレア)

8.3 まとめ

カウンタービーム照明は、自動車と逆の方向に優先的に配光をコントロールすることにより高い効率と高い視認性を実現させる照明方式のため、先行車に追従してトンネルに進入する場合この先行車の後部に照明器具からの直射光が当たらないために対称照明と比較して先行車の見え方が低下する事が予想される。本実験は上記の課題に対して先行車の視認性が照明方式の違いによりどの程度異なるのかを明らかにすることを目的とした。被験者による先行車の視認性のアンケート結果から、先行車の見え方は対称照明と比較して顕著な評価の差として現れる事はなかった。

今後の課題としては、先行車の見え方を光学的な測定により評価し、照明方式の違いの影響の程度を定量的に把握することが重要である。

9. まとめと今後の課題

1) 照明器具の開発

カウンタービーム照明用照明器具の開発に当っては、当該照明方式の設計・施工について実績のあるスイスのカウンタービーム照明に関する文献・資料等を収集し、反射鏡や遮光板等の形状・大きさ等について独自の検討を加え、新たにカウンタービーム照明用の照明器具を開発した。

さらに試作した照明器具を使用し、配光のピーク角度、照明器具からのグレア、視線誘導効果、照明効率、その他カウンタービーム照明に求められる照明特性、路面の状況等について、建設省土木研究所・実大トンネル実験施設において確認実験を行ない、開発した照明器具によって、ほぼ所期の特性が得られることを確認した。

2) トンネル照明施設

照明設計は、実大トンネル実験施設（延長700m）を対象とし、設定野外輝度4,000 cd/m²、設計速度60km/hとして行なった。照明施設を設置後、照明測定を行なった結果、測定値がほとんどの区間で設計値を満足することを確認した。

(1) 入口照明緩和部の末端の設計

カウンタービーム照明用としては低出力の光源（高圧ナトリウムランプ110W未満）がまだ開発されていないため、対称照明に比べ、入口照明の緩和部の末端において設計値が基準輝度を大きく上回る結果となった。

その理由として、輝度分布の均一性を保つことを目的に、照明器具の設置間隔Sを取付高さHの2倍以下としたことが挙げられる（これは、カウンタービーム照明の設計ガイドライン（暫定版）に準拠したものである）。本来、この部分（緩和部の末端）の輝度は、基本照明の基準輝度の約3倍以下に設計することが望ましいので、S/Hを2倍以下としながら基準輝度が達成できるよう、低ワットの照明器具の開発を行なう必要がある。また、照明手法（調光点灯、片側/千鳥配列）の検討も行なう必要がある。

3) 実験結果

(1) 照明特性

・コントラスト係数

コントラスト係数（ L_r/E_v ）については、鉛直面照度として直射光のみを対象とした場合と、路面からの反射光を含んだ場合の2つのケースについて検討した。

表-9.1から明らかなように、コンクリート舗装（粗面仕上げ）と半たわみ性舗装では路面からの反射の影響が約50%程度であるのに対し、アスファルト舗装では10%程度であることがわかった。カウンタービーム照明を採用するトンネルの路面として推奨されているアスファルト舗装では、何れの照明方式でもCIEの定義するコントラスト係数（カウンタービーム照明：0.6以上、対称照明：0.2以下）を満たしている。半たわみ性舗装でも同様に所要のコントラスト係数が得られるが、コンクリート舗装（粗面仕上げ）では、カウンタービーム照明において

所要のコントラスト係数を下回ることがわかった。

なお、CIE方式とスイス方式によるコントラスト係数を比較したが、両方式による測定結果は良く一致した。

表-9.1 コントラスト係数

	コンクリート舗装 (粗面仕上げ)	半たわみ性舗装	アスファルト舗装
カウンタービーム照明 (路肩近傍取付)	0.35(0.52)	0.72(1.07)	0.59(0.66)
カウンタービーム照明 (車線中央取付)	0.42(0.65)	0.87(1.35)	0.73(0.81)
対 称 照 明	0.13(0.15)	0.19(0.23)	0.13(0.13)

注) 表のカッコ内の数値は直射光のみによるコントラスト係数を示す。

・平均照度換算係数

カウンタービーム照明及び対称照明の平均照度換算係数はそれぞれ以下のとおりであった(路面はコンクリート舗装粗面仕上げ)。

表-9.2 平均照度換算係数

	設 計 値	測 定 値
カウンタービーム照明 (路肩近傍取付)	12.0	12.6
カウンタービーム照明 (車線中央取付)	11.0	11.6
対 称 照 明	13.0	15.9

このようにカウンタービーム照明では、ほぼ設計どおりの平均照度換算係数が得られたが、対称照明では測定値の方が大きくなった。対称照明において設計基準の値(13 lx/cd/m²)どおりの平均照度換算係数が得られる路面であれば、カウンタービーム照明でも、もう少し小さな平均照度換算係数が得られるものと考えられる。

舗装の種類別・照明方式別の平均照度換算係数については、壁面の相互反射や路面及び壁面の経年変化を含んだ検討が必要と考えられる。

・照明器具からのグレア

照明器具からのグレアをT I 値で計算した結果、カウンタービーム照明の方が対称照明よりもT I 値が大きいこと、特に坑口から170～220 mのT I 値が30%以上となることが明らかになった。

また、ブレーザー氏の提案（仰角20度より手前上方の光を遮光する）による方法で等価光幕輝度を測定してT I 値を計算した結果、カウンタービーム照明のT I 値は対称照明よりも低く、何れも9%以下となった。これら二つの方法の何れを採用するかについては、今後、さらに検討する必要がある。

・障害物と背景（路面）との輝度対比

今回の実験に使用した反射率30%の障害物においては、自然光の入射を考慮した場合に、一部で逆転現象はあるものの、カウンタービーム照明の方が対称照明よりも大きな輝度対比が得られることがわかった。

また、自然光のトンネル内への入射を考慮すると、入口直後では逆シルエットとなり、カウンタービーム照明では坑口から40 m程度まで、対称照明では70 m程度まで自然光の影響が及ぶことがわかった。

（2）障害物などの視認性

・障害物の視認性（静止実験）

静止状態における障害物の見え方と、障害物とその背景との輝度対比との間に高い相関が得られた。何れの照明方式においても、トンネル入口付近では自然光の射込みにより障害物が「逆シルエット」に見え、特に坑口から20～60 mの位置において輝度対比が低下し、見え方が劣ることがわかった。これは、坑口から20～60 mの間で逆シルエットからシルエットに転換するため、輝度対比がゼロとなる場所が生ずるためである。

本実験の結果から、「かろうじて見える」という評価を得るために必要な輝度対比として0.18を得、この輝度対比を下回る区間は、対称照明よりもカウンタービーム照明の方が短いことがわかった。

・障害物の視認性（走行実験）

走行実験の結果得られた視認距離・確認距離の何れについても、カウンタービーム照明の方が対称照明よりも良好な値（長い距離）が得られた。この見え方実験の結果は、静止実験と同様、輝度対比と良好な相関を示した。

照明器具からのグレアについては、観測者の80～90%から「ほとんどまぶしくない」、「まったくまぶしくない」との回答が得られ、特に問題は指摘されなかった。また、トンネル坑口の見え方、トンネル進入の難易、トンネル進入後の視環境とも、カウンタービーム照明の方が対称照明よりも良好な結果を得た。

- ・先行車の視認性（走行実験）

先行車の視認性に関する走行実験の結果、カウンタービーム照明と対称照明との間に顕著な評価の差異は現われなかった。

（３）実験手法

- ・障害物のサイズ、反射率

視認性を検討する際の障害物のサイズとしては、基本的に20cmを採用してきているが、先行車の視認性を検討する場合には実際の車両を用いている。これらのサイズの相違により、視認性の評価方法も自ずと区別する必要があると考えられる。20cmの大きさの障害物の場合にはその背景は路面と考えられるが、先行車の場合の背景には壁面や天井も含まれるうえ、それ自体の明るさも重要な要素である。

障害物の反射率については30%を基本に検討してきたが、シルエット視の場合には反射率を低くとるほど輝度対比は大きくなり、視認性は向上する。したがって、視認性を検討する場合の反射率としては20～30%の範囲で幅をもたせて考えることが望ましい。

- ・視認性の評価（静止実験／走行実験）

障害物の視認性の評価は、静止実験においては5段階の主観評価、走行実験においては視認・確認距離の測定、先行車の視認性の評価は5段階の主観評価によった。このように、3つの実験における評価方法が同一でないため、これらの得失について比較検討しておく必要がある。特に先行車の視認性の実験において採用した、走行実験が終了した後に記憶に頼った形で回答させる方法は、精度の面で今後検討の余地がある。

- ・路面サンプルの選択

今回は3種類の路面を検討対象とした。実大トンネル実験施設の路面である筋目入りコンクリートの他、半たわみ性アスファルト、およびアスファルトの路面サンプルであった。これら2種類の路面サンプルについては研磨機に金属ブラシを取り付けて表面研磨を施したが、必ずしも実際の道路において経年変化した路面の特性と同一とは言えないため、今後、さらに検討する必要がある。具体的には現場測定か、路面サンプルを現場から採集する等の方法が考えられる。

- ・計算と測定の整合

コントラスト係数を計算するうえで必要な路面上の鉛直面照度について、照明器具からの直射光のみを対象とした場合と、路面からの反射光を含めた場合との比較測定を行なった結果、約10～50%程度の差異があることがわかった。また、壁面からの反射については、路面の照明率には考慮しているものの、路面の輝度計算は直射光のみを対象としているのが実情である。

これら路面及び壁面からの反射光を、計算と測定においてどの程度考慮するかについて整理しておく必要がある。少なくとも計算においては、現場において発生する現象およびそれを裏付ける測定との一致性を確保する必要がある。

・野外輝度条件

土木研究所の実大トンネル実験施設は、構内の平地に建設されているため、野外輝度が通常よりも高くなる傾向がある。今回の実験においても設計に用いた野外輝度（ $2,700\text{ cd/m}^2$ 、設定野外輝度は $4,000\text{ cd/m}^2$ ）の $1.5\sim 2$ 倍の野外輝度が発生していた。通常のトンネルにおける野外輝度の条件で実験を行えば、今回の結果が多少、異なることも考えられるため、今後、留意する必要がある。

4) 未検討の課題

・高い設計速度での視認性の確認

今回は設計速度 60 km/h におけるカウンタービーム照明の適用性について検討を行なったが、さらに高い設計速度（ 80 km/h 以上）においても同様の特性が得られるかどうかについて検討する必要がある。

・自然光の影響の設計上の考慮

今回の検討により、自然光の影響が坑口から 100 m 前後まで及ぶことが明らかになった。今回の実験は南坑口で実施したため、北坑口など方位の異なる場合の自然光の影響の程度について検討しておく必要がある。

また、現在のトンネル照明設計理論では、自然光の影響を考慮に入れずに所要輝度（入口照明曲線）を決定しているため、今回の結果をどのように反映していくかは今後の検討課題である。

・路面湿潤時の照明特性

路面の湿潤時には路面の鏡面性が増加するため、乾燥路面とは路面上の輝度分布が異なるものと予想される。また、この場合の路面からのグレアの増加についても検討する必要がある。

・先行車の視認性、特に大型車による遮光の影響

先行車の視認性については、光学特性の測定を行なって実験結果を確認する必要がある。特に、大型車の後続車両については、交通量との関連において車間距離等の前提条件を整理したうえ、視認性を検討する必要がある。

おわりに

本研究は、現行の照明方式である対称照明とカウンタービーム照明の両照明条件下において、その特性を把握し、運転者に対する影響等の実験結果をとりまとめたものである。今後のカウンタービーム照明の研究の参考となれば幸いである。