

3.2 トンネル照明

3.2.1

トンネル照明とは

1. トンネル照明の目的

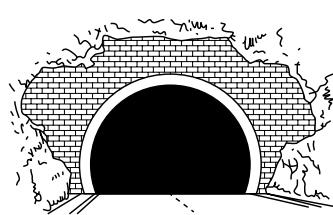
トンネル照明の目的は、昼間の明るい屋外から暗いトンネル内へと入る時に、運転者が安全かつ快適に走行できるようにすることです。この計画においては、トンネル内部に必要とされる明るさが屋外の明るさ(野外輝度)によって異なるため、トンネル付近の地形や方位、接続道路の線形、車両の走行速度などを正確に把握することが重要です。また、トンネルは密閉された空間であるため、天井や壁の輝度が運転者の視覚情報を確保するうえで大きな影響を与えます。そのため、路面だけではなく天井や壁を含めた明るさのバランスを適切にし、良好な視環境を作り出す必要があります。

2. トンネル付近の視環境

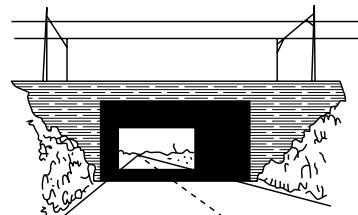
屋間のトンネル付近では、道路とは異なる視覚条件が存在するため特別な対策が必要です。この章では、運転者が道路からトンネルに接近し、トンネルを通過し、再び道路に出るまでの一連の過程における、主な視覚的な問題点について説明します。

2.1 ブラックホール現象とブラックフレーム現象

屋間、野外の道路を走行してきた車両がトンネルの入口に近づいたとき、運転者にはトンネルが図2.1のような黒い穴、又は黒い枠に見え内部の詳細を識別できないことがあります。これが「ブラックホール現象」、又は「ブラックフレーム現象」と呼ばれる現象です。人間は、その時に順応している明るさ(順応輝度)の0.5%以下の輝度値である対象物が一様に暗黒に見え、区別することができなくなります。このような現象を回避するためにトンネル照明の設置が必要です。



(a)ブラックホール現象(長いトンネル)



(b)ブラックフレーム現象(短いトンネル)

図2.1 ブラックホール現象とブラックフレーム現象

2.2 順応の遅れ現象

屋間に車両がトンネルに進入すると、しばらくの間、運転者はトンネル内が非常に暗く見え、詳細を識別することが難しくなることがあります。これは、明るい場所から急に暗い場所に移ると、目が暗い場所に順応するまでに時間がかかるためで、この現象は「順応の遅れ現象」と呼ばれています。トンネル内では、車両の進行時間と順応の関係に応じた十分な照明が設置されていない場合にこの現象が起こります。

2.3 フリッカ現象

車両がトンネル内を走行しているときに、車両の室内や先行する車両の背面が明るくなったり暗くなったりすることを繰り返し、不快な感じを受けることがあります。これがトンネル照明における「フリッカ現象」です。フリッカ現象は、照明器具が一定の間隔に取付けられ、かつ、その取付高さが低い場合(4.5 m前後)に起こります。

ただし、フリッカ現象による不快感は、このような照明器具の設置条件によって必ずしも生ずるとはいはず、車両の走行速度に左右されます。明暗の周波数の他、明暗の輝度比、明暗の時間比などの組合せが影響します。これらを適切な範囲に維持すれば、ちらつきによる視覚の不安定な印象(フリッカ現象)を抑えることができます。

2.4 透過率の低下

交通状況に対してトンネル内の換気が不十分であると、車両の排気ガスがトンネル内に充満し、空気中の光の透過率が低下して視認性が悪くなることがあります。このような透過率の低下は、障害物の視認性に影響するため、透過率を一定以上に維持できるように、換気設備を設けるなどの対策が必要です。なお、この視認性は、光源によっても異なります。

2.5 ホワイトホール現象

昼間に車両がトンネルの出口に近づくと、照明の不十分なトンネルでは、暗いトンネル内に目が順応した運転手にとって、出口がまぶしく白い穴のように見えて、外の詳細を識別することが難しくなることがあります。これが「ホワイトホール現象」です。



図2.2 ホワイトホール現象

3. トンネル照明の構成

トンネル照明の構成は以下のとおりです。構成の例を図2.3に示します。

- ・基本照明
- ・入口部照明
- ・出口部照明
- ・特殊構造部の照明
- ・停電時照明
- ・接続道路の照明

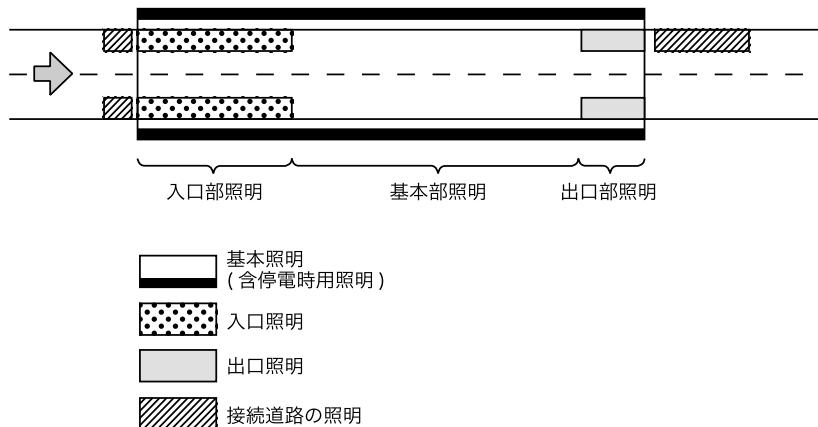


図2.3 トンネル照明の構成例(一方通行の例)
(参考文献 (公社)日本道路協会 :道路照明施設設置基準・同解説(2007))

3.1 基本照明

基本照明は、トンネル内を走行する運転者が前方の障害物を安全な距離から視認するのに必要な明るさを確保するための照明です。原則としてトンネル全長にわたり、灯具を一定間隔で配置します。基本照明のみの区間を「基本部照明」といいます。

3.2 入口部照明

入口部照明は、ブラックホール(フレーム)現象及び順応の遅れ現象を緩和するために設置されます。入口部には基本部よりも高いレベルの照明施設が必要となります。入口照明はトンネル入口部で基本照明に付加される照明であり、入口部照明は基本照明に入口照明を加えたものです。

3.3 出口部照明

出口部照明は、ホワイトホール現象を緩和するために設置され、基本照明に出口照明を加えたものです。

3.4 特殊構造部の照明

トンネル内の分合流部、非常駐車帯、歩道部及び避難通路に設置する照明のことです。

3.4.1 分合流部の照明

分合流付近の状況を示し、分合流する車両の存在を把握させるために設置する照明のことです。

3.4.2 非常駐車帯の照明

本線を走行中の車両から非常駐車帯の位置が視認でき、本線車道から非常駐車帯に待避している車両の存在が確認できるように設置する照明のことです。

3.4.3 歩道部の照明

歩道を有するトンネルにおいて、歩行者などが安全に歩行できるように設置する照明のことです。

3.4.4 避難通路の照明

非常に避難するのに必要な視環境を確保するために設置する照明のことです。

3.5 停電時照明

トンネル内が突然停電すると、走行中の運転者は極めて危険な状態に遭遇します。このような危険を防止するために設ける照明を停電時照明といい、基本照明の一部を兼用することが一般的です。停電時の電源を供給する方法として、予備発電設備、又は無停電電源装置(蓄電池とインバータ)があります。

3.6 接続道路の照明

夜間、入口部においてトンネル入口付近の幅員の変化を運転者に把握させるため、あるいは出口部においてトンネル内から出口に続く道路の状況を把握するために設置する照明のことです。

3.2.2

トンネル照明設計

1. トンネル照明の設計手順

トンネル照明の設計は、図2.4に示す手順で行います。

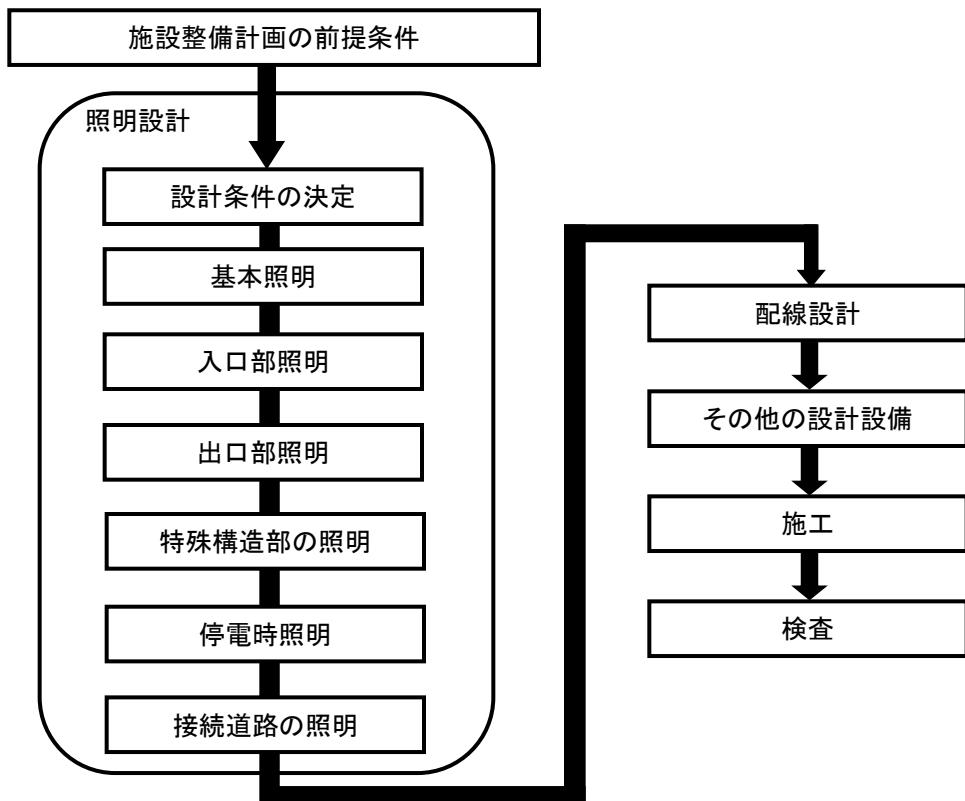


図2.4 トンネル照明の設計手順

2. 設計条件の設定

トンネル照明を設計するにあたり、まず、トンネル照明を構成する各照明要素ごとの所要輝度や区間長などを設定する必要があります。これらの条件は道路照明と同様に「道路照明 施設設置基準・同解説」に示されています。

2.1 基本照明

トンネル内の平均路面輝度は、表2.1の値を標準としています。

表2.1 平均路面輝度

設計速度 km/h	平均路面輝度 cd/m ²
100	9.0
80	4.5
70	3.2
60	2.3
50	1.9
40 以下	1.5

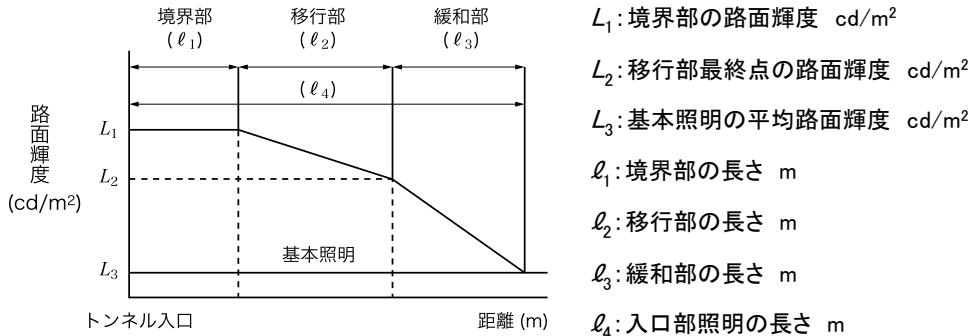
(参考文献 (公社)日本道路協会 :道路照明施設設置基準・同解説(2007))

なお基本照明には、上記の平均路面輝度の他に輝度均齊度(総合均齊度:0.4以上、車線軸均齊度:0.6以上(推奨値))、視機能低下グレア(15%以下)、誘導性といった性能指標も要求されます。

また、「フリッカ現象(ちらつき)」や「路面と壁面の輝度比」にも配慮を要する必要があります。

2.2 入口部照明

入口部照明は図2.5に示すように構成されており、各区間の平均路面輝度と長さは表2.2のように定められています。



(参考文献 (公社)日本道路協会 :道路照明施設設置基準・同解説(2007))

表2.2 入口照明各区間の輝度と長さ(野外輝度 $\times 3,300 \text{ cd}/\text{m}^2$ の場合)

設計速度 km/h	路面輝度 cd/m^2			長さ m			
	L_1	L_2	L_3	l_1	l_2	l_3	l_4
100	95	47	9	55	150	135	340
80	83	46	4.5	40	100	150	290
70	70	40	3.2	30	80	140	250
60	58	35	2.3	25	65	130	220
50	41	26	1.9	20	50	105	175
40	29	20	1.5	15	30	85	130

※野外輝度とは、トンネル入口手前150 m の地点、路上1.5 m からトンネル坑口を見た時の、トンネル坑口を中心とした20度視野の平均輝度のことといいます。

(参考文献 (公社)日本道路協会 :道路照明施設設置基準・同解説(2007))

また、基本照明と同様に「路面と壁面の輝度比」にも配慮する必要があります。

2.3 出口部照明

出口部照明は、以下の条件が重なるような場合に設置します。

- ・設計速度が80 km/h 以上
- ・出口付近の野外輝度が5,000 cd/m^2 以上
- ・延長が400 m 以上

なお、トンネル出口部照明の路上高さ0.7 mの鉛直面照度は、トンネル内から見たトンネル出口付近の野外輝度の12%の値(例:野外輝度が5,000 cd/m^2 ならば600 lx)とし、照明区間は80 m とされています。

2.4 特殊構造部の照明

トンネルの特殊構造部の明るさとして、以下の推奨値が示されています。

- | | | |
|--------|-------|---|
| ・分合流部 | | 路面輝度は基本照明の1.5倍～2倍。 |
| ・非常駐車帯 | | 夜間減灯時においても基本照明と併せて路面照度50lx以上。ただし、本線照度が50lx以上の場合は、本線照度と同等の明るさを保つ必要があります。 |
| ・歩道部 | | 夜間減灯時においても基本照明と併せて路面照度5lx以上。 |
| ・避難通路 | | 避難連絡坑は路面照度を20lx以上、避難坑及び避難口には路面照度10lx以上。 |

2.5 停電時照明

トンネル内は、停電時においても、次に示す明るさを確保する必要があります。

- ・予備発電設備により電源供給する場合は、平均路面輝度の低減の有無に関わらず、基本照明のおおむね1/4以上の明るさ。
- ・無停電電源装置により照明する場合は、平均路面輝度の低減の有無に関わらず、基本照明のおおむね1/8以上の明るさ。

2.6 接続道路の照明

明確な設計基準はありませんが、入口付近では1～2基程度の灯具を設置している事例が多く見られます。なお、トンネル出口付近の道路線形が急激に変化している場合には、光学的誘導効果によって道路の線形が予知できるよう灯具を配置する必要があります。

3.2.3

基本照明設計

1. 光源及び灯具の選定

1.1 光源の選定

発光ダイオード(LED光源)もしくは放電ランプ(高圧ナトリウムランプ、蛍光ランプ、メタルハライドランプ、セラミックメタルハライドランプ)を対象に、以下の要件に考慮して選定します。

- ・エネルギー消費効率が高く寿命が長いこと
- ・周囲温度の変動に対して、出力が安定していること
- ・光色と演色性が適切であること

1.2 トンネル照明の器具

トンネル照明器具は、トンネルの側壁上部(隅角部)又は天井部の建築限界外に取付けます。このため、トンネル構造に適した取付方法が採用できる灯具の選定が必要です。また、トンネル清掃作業の際に水の直接噴射を受ける場合は、噴流に対して保護されている(IP*5)灯具を使用し、その他の状況では防水形の灯具を選択します。さらに灯具の配光は、路面、壁面、天井面に対して光束が適切に配分されるよう取付位置に応じて選定することが求められます。

現在は、直付形で防噴流構造の、耐食性に優れた軽量かつコンパクトなアルミきょう体の灯具が主流です。

1.3 トンネル照明器具の例

トンネル照明器具の例を示します。



LED アルミきょう体照明器具



LED SUSプレスキょう体照明器具

2. 灯具の照明方式

トンネルの照明方式は、以下に示す3種類から選定します。

- ・対称照明方式
- ・カウンタービーム照明方式
- ・プロビーム照明方式

2.1 対称照明方式

縦断方向にほぼ対称な配光を有する灯具を、隅角部に取付けることを「対称照明方式」といいます。この照明方式は、基本照明や入口照明に用いられます。

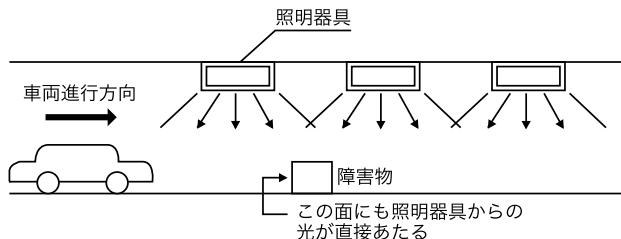


図2.6 対称照明方式

2.2 カウンタービーム照明方式

走行する車両の進行方向とは逆方向を主に照明する灯具を、隅角部に取付けることを「カウンタービーム照明方式」といいます。この照明方式は、交通量の少ないトンネルの入口照明に適しています。路面輝度が高く、障害物の正面が暗くなることから、路面と障害物の輝度対比が得やすい特徴があります。

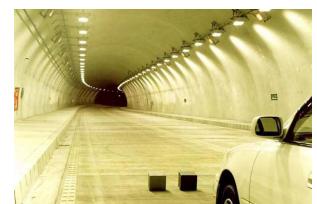
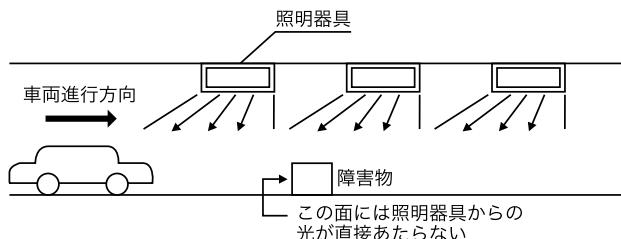


図2.7 カウンタービーム照明方式

2.3 プロビーム照明方式

走行する車両の進行方向を主に照明する灯具を、隅角部に取付けることを「プロビーム照明方式」といいます。この照明方式は、先行車の背面が明るくなるので、交通量の多いトンネルに適しています。

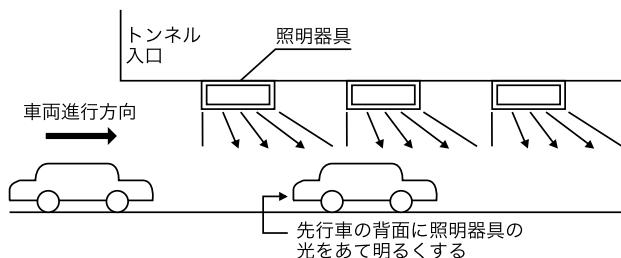
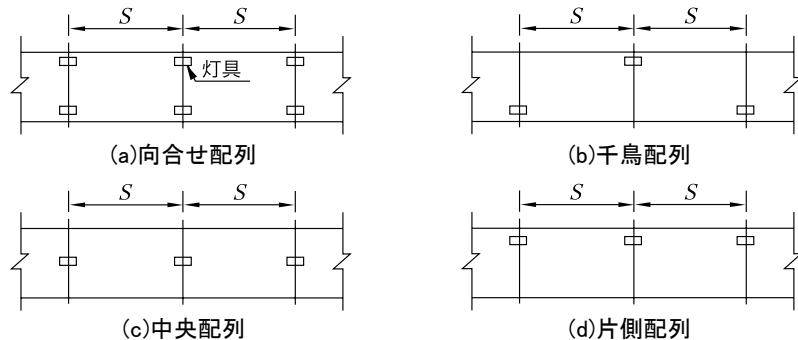


図2.8 プロビーム照明方式

3. トンネル照明の配列方式

トンネル照明の配列方式は、図2.9に示すように4種類あり、灯具の配光や路面の輝度分布、視線誘導効果、保守及び経済性などに配慮して選定します。



S : 灯具間隔

図2.9 配列方式

(参考文献 (公社)日本道路協会 :道路照明施設設置基準・同解説(2007))

4. 灯具の取付高さ

灯具の取付高さは、原則として4～5m程度とします。これにより、路面の輝度分布を比較的均一に保つと同時に、灯具のグレアを少なくする効果が見込めます。

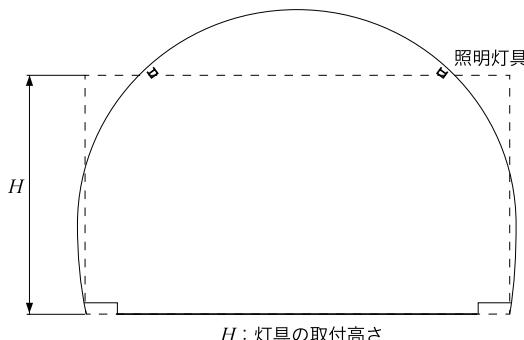


図2.10 灯具の取付高さ

5. 保守率の決定

路面輝度(照度)は、光源の光束低下や灯具の汚れ、及び壁面反射率の低下など経年変化によって設置当初より減少します。この減少の程度を設計時点で見込む係数を保守率といいます。この減少の程度は、道路構造や交通状況はもとより、光源の累積点灯時間や灯具の清掃頻度などによって異なります。

表2.3は設計に用いる保守率の推奨値を示したものです。保守率の設定に際しては、交通量、車種構成、道路周辺状況及び維持管理を勘案のうえ適切な値を採用する必要があります。

表2.3 保守率の推奨値

区分	保守率
トンネル照明	0.50～0.75

(参考文献 (公社)日本道路協会 :道路照明施設設置基準・同解説(2007))

6. 照明率の算出

6.1 車道幅員の照明率

図2.11に示すトンネル断面の車道幅員の照明率(相互反射成分を含む)は、式-1、式-2から求めます。

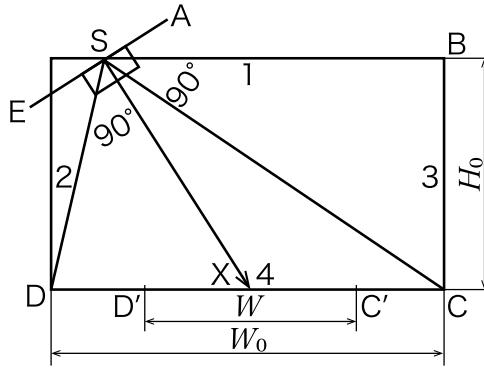


図2.11 トンネル断面例

(参考文献 (一社)建設電気技術協会 :電気通信施設設計要領・同解説(電気編)(2017))

全路面幅員 W_0 の照明率: U_4

$$U_4 = A_{41} \times U_{10} + A_{42} \times U_{20} + A_{43} \times U_{30} + A_{44} \times U_{40} \quad (\text{式-1})$$

車道幅員 W の照明率: $U_{4'}$

$$U_{4'} = U_{40'} + \frac{W}{W_0} \times (U_4 - U_{40}) \quad (\text{式-2})$$

ここで

- $U_{4'}$: 車道幅員の照明率
- U_4 : 全路面幅員の照明率
- U_{10} : 天井面に対する直射照明率
- U_{20} : 灯具に近い壁面に対する直射照明率
- U_{30} : 灯具に遠い壁面に対する直射照明率
- U_{40} : 全路面幅員に対する直射照明率
- $U_{40'}$: 車道幅員に対する直射照明率
- $A_{41} \sim A_{44}$: 照明率を求めるための係数(伝達係数)
- W : 車道幅員 m
- W_0 : 全路面幅員 m

6.2 壁面の照明率

トンネル断面の路面上1.0 mの壁面 H_m に対する照明率は、式-3～式-7にて求めます(図2.11 参照)。

全壁面 H の照明率(灯具に近い壁面の場合): U_2

$$U_2 = A_{21} \times U_{10} + A_{22} \times U_{20} + A_{23} \times U_{30} + A_{24} \times U_{40} \quad (\text{式-3})$$

全壁面 H の照明率(灯具に遠い壁面の場合): U_3

$$U_3 = A_{31} \times U_{10} + A_{32} \times U_{20} + A_{33} \times U_{30} + A_{34} \times U_{40} \quad (\text{式-4})$$

計算範囲 H_m の照明率(灯具に近い壁面の場合): $U_{2'}$

$$U_{2'} = U_{20'} + \frac{H_m}{H} \times (U_2 - U_{20}) \quad (\text{式-5})$$

計算範囲 H_m の照明率(灯具に遠い壁面の場合): $U_{3'}$

$$U_{3'} = U_{30'} + \frac{H_m}{H} \times (U_3 - U_{30}) \quad (\text{式-6})$$

壁面の照明率: U

$$U = \frac{U_{2'} + U_{3'}}{2} \quad (\text{式-7})$$

なお、トンネル断面が非対称又は、左右の照明器具の取付角度が異なる場合には、左右それぞれの灯具からの U_2 、 U_3 を算出する必要があります。

ここで

U_2	: 全壁面(灯具に近い壁面)の照明率
U_3	: 全壁面(灯具に遠い壁面)の照明率
$U_{20'}$: 計算範囲 H_m (灯具に近い壁面)に対する直射照明率
$U_{30'}$: 計算範囲 H_m (灯具に遠い壁面)に対する直射照明率
$A_{21} \sim A_{34}$: 照明率を求めるための係数(伝達係数)
H	: 全壁面高さ m
H_m	: 計算対象とする壁面高さ m

6.3 壁面輝度比の算出

路面と壁面の輝度比 (L_w/L_r) は、式-8にて求めます。

$$\frac{L_w}{L_r} = K \cdot \frac{\rho_w}{\pi} \cdot \frac{W}{H_m} \cdot \frac{U}{U_{4'}} \quad (\text{式-8})$$

ここで

L_w/L_r	: 壁面輝度比
K	: 平均照度換算係数 $\ell \times \text{cd}^{-1} \cdot \text{m}^2$
ρ_w	: 壁面の反射率
π	: 円周率
W	: 車道幅員 m
H_m	: 計算対象とする壁面高さ m
U	: 壁面照明率
$U_{4'}$: 車道の照明率

6.4 照明率を求めるための係数

照明率を求めるための係数 ($A_{41} \sim A_{44}, A_{21} \sim A_{34}$) は、道路照明施設設置基準・同解説の付録2に掲載されている表から求めることができます。その一例を表2.4に示します。

なお、路面全幅員 W_0 / 器具取付高さ H_0 、天井反射率及び壁面反射率の値が表にない場合は、比例補完して求めます。

表2.4 反射係数一覧表の例

W_0/H_0	天井 反射率	壁面 反射率	路面 反射率	A_{41}	$A_{42} \cdot A_{43}$	A_{44}	$A_{21} \cdot A_{31}$	$A_{23} \cdot A_{32}$	$A_{22} \cdot A_{33}$	$A_{24} \cdot A_{34}$
1.0	0.10	0.25	0.25	0.047	0.086	1.017	0.036	0.114	1.020	0.086
		0.40		0.051	0.151	1.027	0.040	0.189	1.470	0.094
		0.60		0.058	0.257	1.043	0.045	0.300	1.101	0.107
	0.25	0.25	0.25	0.119	0.093	1.026	0.093	0.119	1.026	0.093
		0.40		0.131	0.164	1.037	0.102	0.199	1.057	0.102
		0.60		0.150	0.282	1.056	0.117	0.319	1.120	0.117
	0.40	0.25	0.25	0.195	0.100	1.034	0.152	0.125	1.031	0.100
		0.40		0.215	0.177	1.048	0.167	0.209	1.067	0.110
		0.60		0.249	0.308	1.071	0.194	0.340	1.141	0.128
1.2	0.10	0.25	0.25	0.052	0.093	1.018	0.033	0.101	1.018	0.078
		0.40		0.056	0.161	1.028	0.035	0.165	1.039	0.084
		0.60		0.063	0.270	1.043	0.040	0.260	1.082	0.093
	0.25	0.25	0.25	0.134	0.102	1.029	0.085	0.106	1.023	0.085
		0.40		0.145	0.176	1.040	0.092	0.175	1.048	0.092
		0.60		0.163	0.298	1.058	0.103	0.278	1.100	0.103
	0.40	0.25	0.25	0.128	0.110	1.040	0.138	0.111	1.028	0.091
		0.40		0.238	0.192	1.053	0.151	0.185	1.058	0.100
		0.60		0.271	0.329	1.075	0.172	0.298	1.119	0.114
1.4	0.10	0.25	0.25	0.057	0.099	1.019	0.030	0.090	1.015	0.071
		0.40		0.061	0.169	1.028	0.032	0.147	1.033	0.075
		0.60		0.067	0.280	1.042	0.035	0.229	1.068	0.083
	0.25	0.25	0.25	0.145	0.108	1.031	0.077	0.094	1.020	0.077
		0.40		0.156	0.187	1.042	0.083	0.156	1.042	0.083
		0.60		0.174	0.311	1.060	0.092	0.246	1.085	0.092
	0.40	0.25	0.25	0.238	0.118	1.045	0.126	0.100	1.025	0.084
		0.40		0.257	0.205	1.058	0.137	0.165	1.052	0.091
		0.60		0.289	0.345	1.079	0.153	0.264	1.103	0.102
1.6	0.10	0.25	0.25	0.061	0.104	1.020	0.028	0.081	1.014	0.065
		0.40		0.065	0.176	1.029	0.030	0.132	1.029	0.069
		0.60		0.071	0.287	1.042	0.032	0.205	1.058	0.075
	0.25	0.25	0.25	0.156	0.114	1.034	0.071	0.086	1.019	0.071
		0.40		0.167	0.195	1.045	0.076	0.141	1.038	0.076
		0.60		0.183	0.321	1.061	0.084	0.221	1.074	0.084
	0.40	0.25	0.25	0.255	0.125	1.049	0.117	0.091	1.024	0.078
		0.40		0.274	0.218	1.062	0.125	0.150	1.047	0.084
		0.60		0.304	0.358	1.082	0.139	0.237	1.091	0.093
1.8	0.10	0.25	0.25	0.064	0.107	1.021	0.026	0.074	1.013	0.060
		0.40		0.068	0.181	1.079	0.027	0.120	1.026	0.063
		0.60		0.073	0.293	1.041	0.029	0.185	1.050	0.068
	0.25	0.25	0.25	0.165	0.119	1.036	0.066	0.078	1.017	0.066
		0.40		0.175	0.202	1.046	0.070	0.128	1.034	0.070
		0.60		0.190	0.329	1.062	0.076	0.199	1.065	0.076
	0.40	0.25	0.25	0.269	0.131	1.053	0.108	0.083	1.022	0.073
		0.40		0.288	0.224	1.065	0.115	0.137	1.043	0.078
		0.60		0.316	0.369	1.084	0.127	0.215	1.081	0.085
2.0	0.10	0.25	0.25	0.067	0.110	1.021	0.024	0.067	1.012	0.055
		0.40		0.071	0.185	1.079	0.025	0.109	1.023	0.058
		0.60		0.076	0.298	1.040	0.027	0.168	1.044	0.062
	0.25	0.25	0.25	0.172	0.123	1.038	0.061	0.072	1.016	0.061
		0.40		0.182	0.207	1.048	0.065	0.117	1.031	0.065
		0.60		0.196	0.336	1.062	0.070	0.182	1.058	0.070
	0.40	0.25	0.25	0.282	0.136	1.057	0.101	0.076	1.021	0.068
		0.40		0.299	0.231	1.068	0.107	0.125	1.039	0.072
		0.60		0.326	0.377	1.086	0.116	0.197	1.073	0.079

(参考文献 (公社)日本道路協会 :道路照明施設設置基準・同解説(2007))

6.5 直射照明率の求め方

照明率の算出に必要な直射照明率($U_{10} \sim U_{40}$ 、 U_{20} 、 U_{30} 、 $U_{40'}$)は、器具の取付角度と灯具の直射照明率曲線の値を基に算出します。トンネル断面と取付角度が図2.12、灯具の直射照明率曲線が図2.13の場合、以下のように求めます。

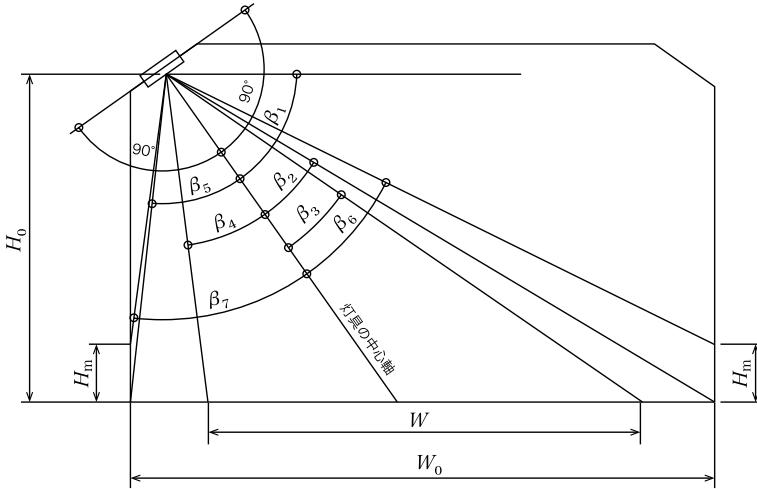


図2.12 トンネル断面例

(参考文献 (一社)建設電気技術協会 :電気通信施設設計要領・同解説(電気編)(2017))

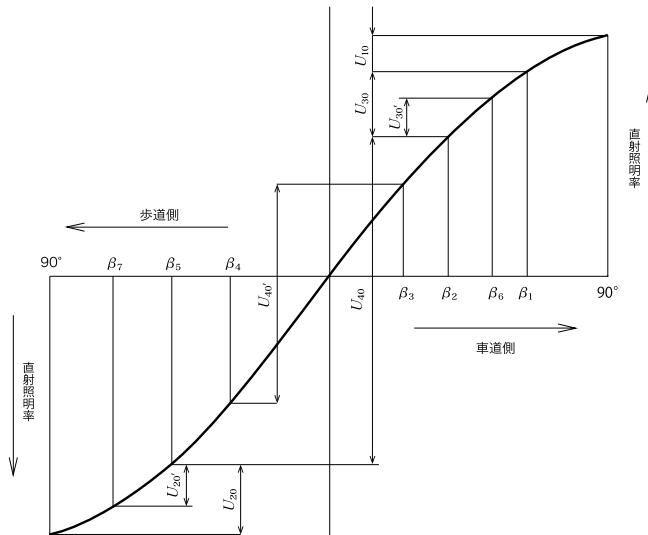


図2.13 直射照明率曲線

(参考文献 (一社)建設電気技術協会 :電気通信施設設計要領・同解説(電気編)(2017))

天井面

$$U_{10} = U(90.0^\circ) - U(\beta_1)$$

壁面(器具側)

$$U_{20} = U(-90.0^\circ) - U(-\beta_5)$$

壁面(器具と反対側)

$$U_{30} = U(\beta_1) - U(\beta_2)$$

全路面

$$U_{40} = U(\beta_2) + U(-\beta_5)$$

車道幅員

$$U_{40'} = U(\beta_3) + U(-\beta_4)$$

壁面(器具側計算範囲)

$$U_{20'} = U(-\beta_7) - U(-\beta_5)$$

壁面(器具と反対側計算範囲)

$$U_{30'} = U(\beta_6) - U(\beta_2)$$

7. 灯具間隔(路面輝度)の計算

灯具の設置間隔(路面輝度)は、式-9 を用いて求めます。

$$S = \frac{F \cdot U \cdot M \cdot N}{L_{r1} \cdot W \cdot K} \quad (\text{式-9})$$

ここで

L_{r1} : 平均路面輝度(基準値) cd/m^2

F : 灯具光束 lm

U : 車道幅員の照度率

M : 保守率

N : 配列係数 (千鳥配列・片側配列・中央配列 $N=1$ 、向合せ配列 $N=2$)

S : 器具間隔 m

W : 車道幅員 m

K : 平均照度換算係数 $\text{lx} \cdot \text{cd}^{-1} \cdot \text{m}^2$

(対称照明方式かつ路面舗装がアスファルトの場合: 18、コンクリートの場合: 13)

8. 輝度均斎度の計算

8.1 総合均斎度

総合均斎度 U_o は式-10 にて求めます。

$$U_o = \frac{L_{\min}}{L_{r2}} \quad (\text{式-10})$$

ここで

L_{\min} : 最小部分輝度 cd/m^2

L_{r2} : 平均路面輝度 cd/m^2 (逐点法による)

総合均斎度 U_o の算出に必要な路面輝度の計算は、JIS Z 9111:2022 に基づき図2.14の計算点に対して行います。灯具の配列が千鳥配列の場合は、2スパンに対して計算を行う必要があります。視点位置は車線中央の高さ1.5 m、かつ計算範囲の手前60 mからとします。道路横断方向に対しては、車線ごとに $W/5$ 間隔 ($W=3.5 \text{ m}$ の場合0.7 m) で5点の計算点を設けます。また、道路縦断方向に対しては、手前側の灯具と同じ位置から、灯具間隔 S の1/10間隔で10点の計算点をとります。ただし、計算点の間隔が5 mを超える場合は計算点を増やして5 m以内となるように設定します。

なお、複数車線の総合均斎度 U_o は、隣り合う2車線を対象に算出するのがよいとされています。

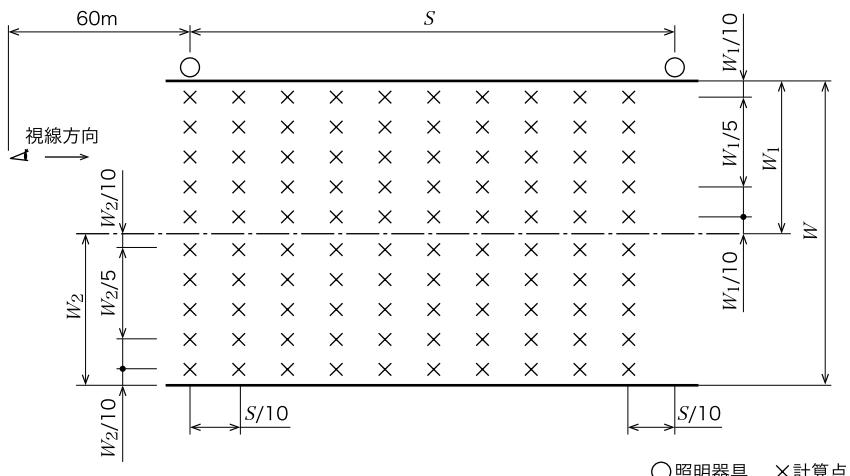


図2.14 輝度計算の計算点の例

8.2 車線軸均齊度

車線軸均齊度 U_ℓ は式-11 にて求めます。

$$U_\ell = \frac{L_{\min(\ell)}}{L_{\max(\ell)}} \quad (\text{式-11})$$

ここに $L_{\min(\ell)}$: 車線中心線上の最小部分輝度 cd/m^2
 $L_{\max(\ell)}$: 車線中心線上の最大部分輝度 cd/m^2

車線軸均齊度の算出に必要な路面輝度の計算は、JIS Z 9111に基づき、図2.15の計算点(全10か所)に対して行います。照明器具の配列が千鳥配列の場合は2スパンで計算を行うため計算点は20点となります。視点位置は計算範囲の手前60mの車線中央、高さ1.5mとします。道路横断方向に対しては車線中央1点の計算点を設けます。また、道路縦断方向に対しては、手前側の灯具と同じ位置から、灯具間隔Sの1/10間隔で10点の計算点をとります。ただし、計算点の間隔が5mを超える場合は、計算点を増やして間隔が5m以内になるよう調整します。また交通方式に関わらず全ての車線を対象に計算します。

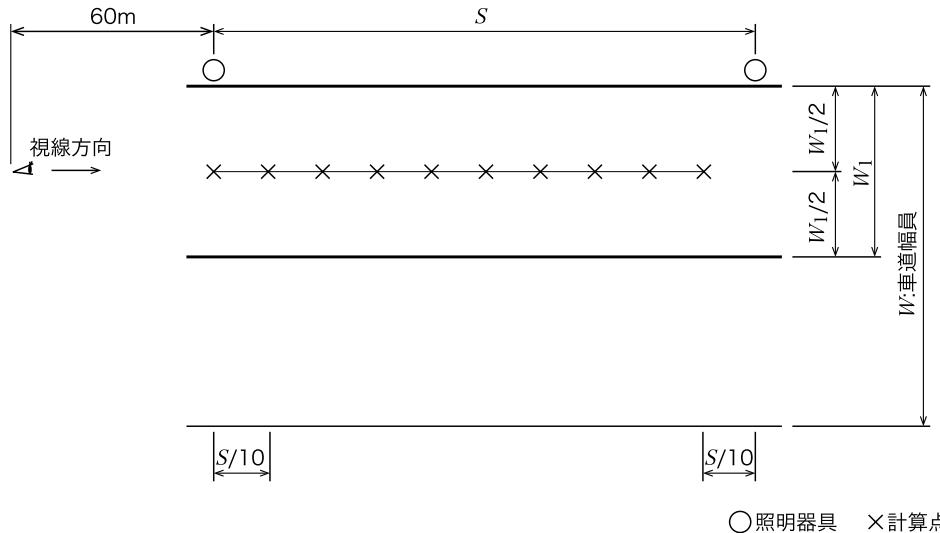


図2.15 輝度計算の計算点の例

9. 相対閾値増加率の計算

相対閾値増加率 TI は式-12、式-13にて求めます。

$$L_r \leq 5 \text{ cd/m}^2 \text{ の場合} \quad TI = 65 \cdot \frac{L_v}{L_{r3}^{0.8}} \% \quad (\text{式-12})$$

$$L_r > 5 \text{ cd/m}^2 \text{ の場合} \quad TI = 95 \cdot \frac{L_v}{L_{r3}^{1.05}} \% \quad (\text{式-13})$$

ここに L_{r3} : 平均路面輝度の計算値(初期点灯時) cd/m^2

L_v : 運転者の視野内の照明器具による等価光幕輝度 cd/m^2

等価光幕輝度は、眼球内散乱の程度を表し、図2.16に示すように、グレア源による視線と垂直な面における照度と、視線とグレア源とのなす角度によって決まります。等価光幕輝度 L_v は、照度が高く、グレア源が視線の方向に近いほど高くなります。

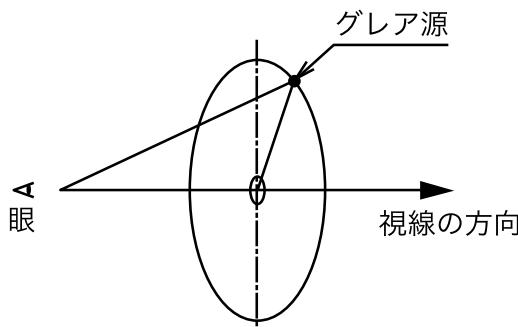


図2.16 等価光幕輝度の概念図

(参考文献 (公社)日本道路協会 :道路照明施設設置基準・同解説(2007))

等価光幕輝度の計算範囲は、千鳥配列の場合2S(2スパン)とし、それ以外の配列の場合は灯具間隔S(1スパン)とします。計算点は図2.17に示すように視点の位置を基点として、灯具間隔Sの1/10間隔で10点の計算点をとります。ただし、計算点の間隔が5 mを超える場合は計算点を増やして5 m以内にします。

全ての計算点のうち、等価光幕輝度が最大となる位置の TI 値を式-12、式-13にて求めます。

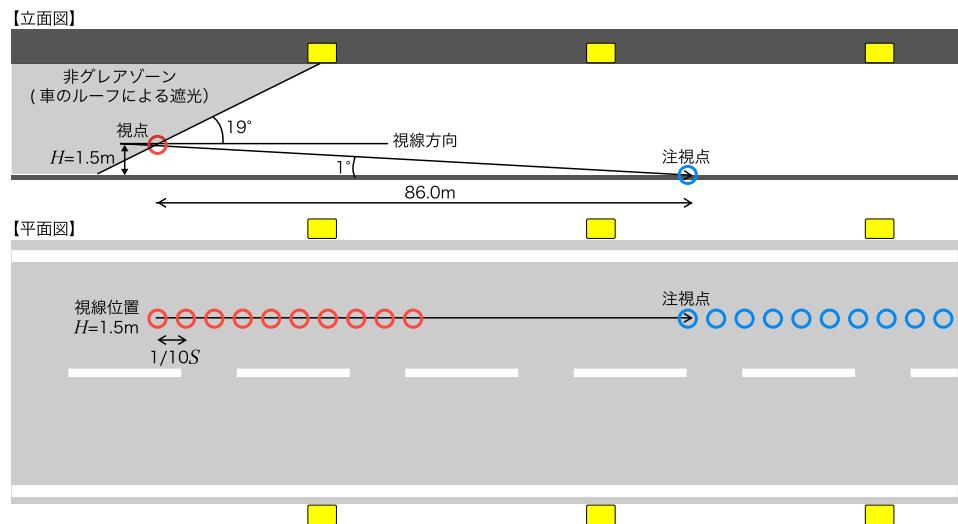


図2.17 視機能低下グレアを計算する視点の位置

3.2.4

計算例(基本照明)

1. 設計条件

設計条件を表2.5に示します。

表2.5 設計条件

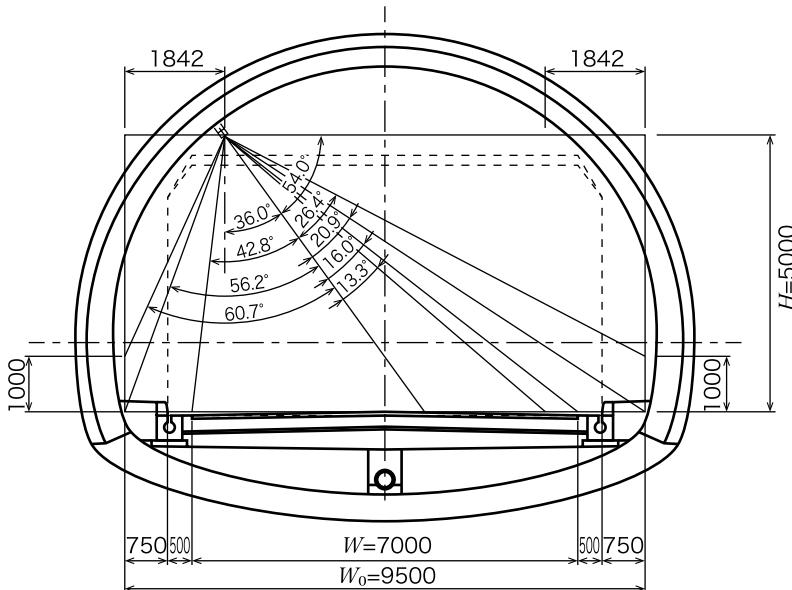
交通方式	対面交通
設計速度	50 km/h
車道幅員	7.0 m
全車道幅員	9.5 m
反射率	天井、壁面、路面 25 %
路面舗装	コンクリート
平均照度換算係数	13 $\ell_x \cdot cd^{-1} \cdot m^2$
灯具取付高さ	5.0 m
配列方式	向合せ
保守率	0.60
灯具取付角度	36.0°
灯具間隔	19.0 m
光束	4,100 ℓ_m

2. 性能指標の決定

性能指標は表2.6とします。計算に使用するトンネル断面図は図2.18とします。

表2.6 性能指標

平均路面輝度	1.90 cd/m ²
総合均齊度	0.4 以上
車線軸均齊度	0.6 以上
視機能低下グレア	15%以下



3. 灯具の直射照明率曲線

設計に使用する照明灯具の直射照明率を図2.19とします。

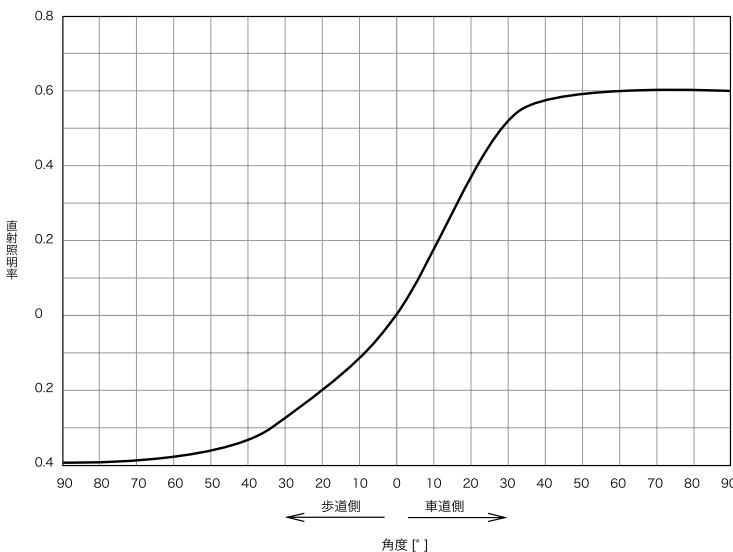


図2.19 直射照明率曲線の例

4. 照明率の算出

照明率の算出例を以下に示します。

4.1 照明率を求めるための係数($A_{41} \sim A_{44}$)を算出

表2.4を用いて($A_{41} \sim A_{44}$)を求めます。

$W_o/H_o=1.9$ 、天井反射率 0.25、壁面反射率 0.25、路面反射率 0.25 より

$$A_{41} = 0.168 \quad A_{42} = 0.121 \quad A_{43} = 0.121 \quad A_{44} = 1.037 \quad \text{となります。}$$

4.2 直射照明率($U_{10} \sim U_{40}$ 、 $U_{40'}$)を算出

図2.12、図2.13、図2.18、図2.19より直射照明率($U_{10} \sim U_{40}$ 、 $U_{40'}$)を求めます。

$$\text{天井面} \quad U_{10} = (90.0^\circ) - (54.0^\circ) = 0.606 - 0.591 = 0.015$$

$$\text{壁面(器具側)} \quad U_{20} = (-90.0^\circ) - (-56.2^\circ) = 0.394 - 0.377 = 0.017$$

$$\text{壁面(器具と反対側)} \quad U_{30} = (54.0^\circ) - (20.9^\circ) = 0.591 - 0.383 = 0.208$$

$$\text{全路面} \quad U_{40} = (20.9^\circ) + (-56.2^\circ) = 0.383 + 0.377 = 0.760$$

$$\text{車道幅員} \quad U_{40'} = (16.0^\circ) + (-42.8^\circ) = 0.286 + 0.342 = 0.628$$

4.3 車道の照明率を算出

式-1、式-2より車道の照明率を求めます。

全路面幅員の照明率

$$U_4 = 0.168 \times 0.015 + 0.121 \times 0.017 + 0.121 \times 0.208 + 1.037 \times 0.760 = 0.817$$

車道幅員の照明率

$$U_{4'} = 0.628 + \left(\frac{7}{9.5} \right) \times (0.817 - 0.760) = 0.670$$

以上より、車道の照明率は 0.670 となります。

5. 壁面照明率の算出

壁面の照明率算出例を以下に示します。

5.1 照明率を求めるための係数($A_{21} \sim A_{34}$)の算出

表2.4 より($A_{21} \sim A_{34}$)を求めます。

$$\begin{array}{llll} A_{21} = 0.063 & A_{22} = 1.016 & A_{23} = 0.075 & A_{24} = 0.063 \\ A_{31} = 0.063 & A_{32} = 0.075 & A_{33} = 1.016 & A_{34} = 0.063 \end{array}$$

5.2 直射照明率($U_{10} \sim U_{40}$ 、 U_{20} 、 U_{30})の算出

図2.12、図2.13、図2.18、図2.19より直射照明率($U_{10} \sim U_{40}$ 、 U_{20} 、 U_{30})を求めます。

$$\text{天井面} \quad U_{10} = (90.0^\circ) - (54.0^\circ) = 0.606 - 0.591 = 0.015$$

$$\text{壁面(器具側)} \quad U_{20} = (-90.0^\circ) - (-56.2^\circ) = 0.394 - 0.377 = 0.017$$

$$\text{壁面(器具と反対側)} \quad U_{30} = (54.0^\circ) - (20.9^\circ) = 0.591 - 0.383 = 0.208$$

$$\text{全路面} \quad U_{40} = (20.9^\circ) + (-56.2^\circ) = 0.383 + 0.377 = 0.760$$

$$\text{壁面(器具側計算範囲)} \quad U_{20'} = (-60.7^\circ) - (-56.2^\circ) = 0.382 - 0.377 = 0.005$$

$$\text{壁面(器具と反対側計算範囲)} \quad U_{30'} = (26.4^\circ) - (20.9^\circ) = 0.473 - 0.383 = 0.009$$

5.3 全壁面の照明率の算出

式-3、式-4 より壁面の照明率を求めます。

全壁面の照明率

$$U_2 = 0.063 \times 0.015 + 1.016 \times 0.017 + 0.075 \times 0.208 + 0.063 \times 0.760 = 0.081$$

$$U_3 = 0.063 \times 0.015 + 0.075 \times 0.017 + 1.016 \times 0.208 + 0.063 \times 0.760 = 0.261$$

5.4 計算範囲の壁面照明率の算出

式-5、式-6 より壁面の照明率を求めます。

計算範囲の壁面の照明率

$$U_{2'} = 0.005 + \left(\frac{1}{5} \right) \times (0.081 - 0.017) = 0.017$$

$$U_{3'} = 0.090 + \left(\frac{1}{5} \right) \times (0.261 - 0.208) = 0.100$$

5.5 壁面照明率の算出

式-7 より壁面の照明率を求めます。

壁面の照明率

$$U = \left(\frac{0.017 + 0.100}{2} \right) = 0.058$$

6. 壁面輝度比の算出

式-8より壁面輝度比を求めます。

壁面輝度比

$$\frac{L_w}{L_r} = 13 \times \left(\frac{0.25}{\pi} \right) \times \left(\frac{7.0}{1.0} \right) \times \left(\frac{0.058}{0.670} \right) = 0.63$$

以上より上記の条件での壁面輝度比は、0.63 となります。

7. 基本照明の平均路面輝度の算出

式-9より平均路面輝度を算出します。

$$L_r = \frac{4100 \times 0.670 \times 0.60 \times 2}{19 \times 7.0 \times 13} = 1.90$$

8. 輝度均齊度の計算

逐点法及び式-10、式-11によって総合均齊度及び車線軸均齊度を計算します。

8.1 総合均齊度の計算

表2.7 逐点法による輝度計算の結果

単位 cd/m²

m	0	1.9	3.8	5.7	7.6	9.5	11.4	13.3	15.2	17.1
6.65	1.89	1.8	1.86	1.95	1.91	1.84	1.82	1.82	1.68	1.67
5.95	2.1	2.14	2.21	2.3	2.28	2.21	2.22	2.15	2.02	1.99
5.25	2.16	2.4	2.43	2.43	2.5	2.44	2.42	2.26	2.23	2.23
4.55	2.19	2.55	2.54	2.48	2.53	2.5	2.42	2.29	2.29	2.39
3.85	2.06	2.53	2.45	2.41	2.53	2.52	2.42	2.16	2.22	2.38
3.15	2.06	2.54	2.46	2.42	2.55	2.52	2.42	2.18	2.22	2.38
2.45	2.2	2.57	2.56	2.52	2.56	2.52	2.45	2.31	2.31	2.4
1.75	2.18	2.42	2.46	2.46	2.52	2.46	2.45	2.27	2.24	2.23
1.05	2.1	2.14	2.21	2.29	2.27	2.21	2.21	2.14	2.02	1.99
0.35	1.89	1.79	1.84	1.93	1.88	1.81	1.8	1.81	1.67	1.67

$$U_o = \frac{L_{\min}}{L_{r2}} = \frac{1.67}{2.23} = 0.748$$

8.2 車線軸均齊度の計算

表2.8 逐点法による輝度計算の結果

単位 cd/m²

m	0	1.9	3.8	5.7	7.6	9.5	11.4	13.3	15.2	17.1
5.25	2.16	2.40	2.43	2.43	2.50	2.44	2.42	2.26	2.23	2.23

$$U_\ell = \frac{L_{\min(\ell)}}{L_{\max(\ell)}} = \frac{2.16}{2.50} = 0.864$$

9. 相対閾値増加TI値の計算

逐点法及び式-12によって等価光幕輝度を算出します。

表2.9 逐点法による等価光幕輝度の計算結果

単位 cd/m²

m	-9.617	-7.717	-5.817	-3.917	-2.017	-0.117	1.783	3.683	5.583	7.483
5.25	0.340	0.013	0.015	0.018	0.022	0.031	0.047	0.074	0.125	0.214

$$TI = 65 \cdot \frac{L_v}{L_{r3}^{0.8}} = 65 \cdot \frac{0.340}{3.16^{0.8}} = 8.8 \%$$