

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

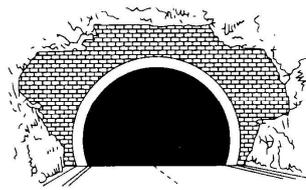
トンネル照明の目的は、主に昼間時の明るい屋外から暗いトンネル内に入る時に、安全かつ快適に走行できるようにすることです。したがって、照明設備は屋外の明るさ(野外輝度)に応じたトンネル内部の明るさを得る必要があります。トンネル付近の地形、方位、接続道路の線形、車の走行速度等を把握することが重要になります。また、トンネルは密閉された空間であり、天井、壁の輝度が走行する運転者の視覚情報の確保に大きな影響を与えるため、運転者が安全かつ快適に走行するためには路面だけでなく天井、壁をも含めた明るさのバランスを適切にし、良好な視環境をつくる必要があります。

2. トンネル付近の視環境

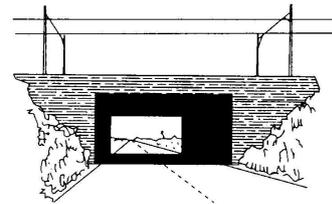
昼間のトンネル付近における視覚条件は、一般部の道路と著しく異なっている点があり、特別な対策が必要になります。トンネル付近で起こる主要な視覚的問題点の概要を、一般部の道路からトンネルに接近し、トンネルを通過したのち再び一般部の道路に出るまでの時間的経過に従って示します。

2.1 ブラックホール現象とブラックフレーム現象

昼間、野外の道路を走行してきた車両が、照明の不完全なトンネルの入口に接近した時、運転者にはトンネルが図2.1のような黒い穴、または黒い枠に見え内部の詳細を識別できなくなることがあります。これがブラックホール現象、またはブラックフレーム現象と呼ばれる現象です。人間の目はその時に順応している輝度(順応輝度)より、はるかに低い(0.5%以下)輝度の対象物に対しては一律に暗黒に見え、区別することができなくなります。



(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

昼間、車両が照明の不完全なトンネルに進出した直後、しばらくの間、運転者にはトンネル内が非常に暗く見え、その詳細を識別できなくなることがあります。これが、順応の遅れ現象と呼ばれるものです。明るい視野に順応している人間の目が、急に暗い視野を見た時、暗い視野に順応するために若干の時間的経緯を必要とするため、自動車の進行に伴う経過時間と順応変化の関係に対応できるだけの照明がトンネル内に設置されていない時に発生します。

2.3 フリッカ現象

昼間、車両がトンネル内を走行している時、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、一種のちらつきを生じて不快感を与えることがあります。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ており、かつ、その取付高さが低い場合(4.5m前後)に起こります。この時、照明器具の直下付近では明るく、照明器具と器具の間で暗くなります。

ただし、それだけで必ずしも不快感を生ずるとは言えず、照明器具の取付間隔と車両の走行速度の関係によって決まる、ちらつきの周波数の他、明暗の輝度比、明暗の時間比などの組み合わせが影響しますので、これらを適切な範囲に維持すれば、ちらつきによる不快感を防ぐことができます。

2.4 透過率の低下

トンネルの交通状況に対してトンネル内の換気が不十分であると、自動車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低下することがあります。通常、このような透過率の低下は、衛生的見地からもできるだけ避けなければなりません。実際のトンネルでは、たとえ衛生的に許容し得る状態であっても、障害物の視認が困難となる場合がしばしばあるので、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。空気の透過率が低下した場合の視認性は、路面輝度の他、照明に使用する光源の光色によっても強く影響されます。

2.5 ホワイトホール現象

昼間、車両がトンネルの出口に接近した時、照明の不完全なトンネルだと暗いトンネル内に目が順応した運転手には、出口が眩しく白い穴に見え坑外の詳細を識別できな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

トンネル照明は、上記で述べた視覚的問題点を軽減するために図2.3に示す4つの照明から構成されています。

- ・基本照明
- ・入口部照明
- ・出口部照明
- ・接続道路の照明

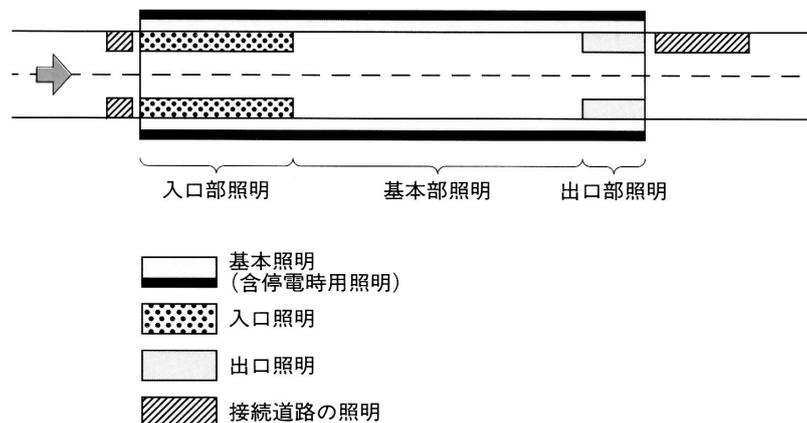


図2.3 トンネル照明の構成例(一方通行の例)

(参考文献 (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ために必要な明るさを確保するための照明であり、原則としてトンネル全長にわたり灯具を一定間隔に配置します。基本照明のみの区間の照明を基本部照明といいます。

3.2 停電時照明

運転者がトンネル内を走行中に突然停電にあうと、走行上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、または無停電電源装置(蓄電池とインバータ)があります。

3.3 入口部照明

入口部照明は、ブラックホール(フレーム)現象および順応の遅れ現象を緩和するための照明であるため、入口部には基本部より高いレベルの照明施設が必要となります。入口照明とは、トンネル入口部において基本照明に付加される照明であり、入口部照明とは基本照明と入口照明を加えたものをいいます。

3.4 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の照明であり、基本照明と出口照明を加えたものをいいます。

3.5 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させるために設置する照明をいいます。

3.6 特殊構造部の照明

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

3.6.1 分合流部の照明

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

3.6.2 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。

3.6.3 歩道部の照明

歩道を有するトンネルの歩道部において歩行者等が安全に歩行できるように設置する照明のことです。

3.6.4 避難通路の照明

非常時の避難や安全などを確保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. トンネル照明設計の手順

トンネル照明設計は、図2.4に示す手順で行います。

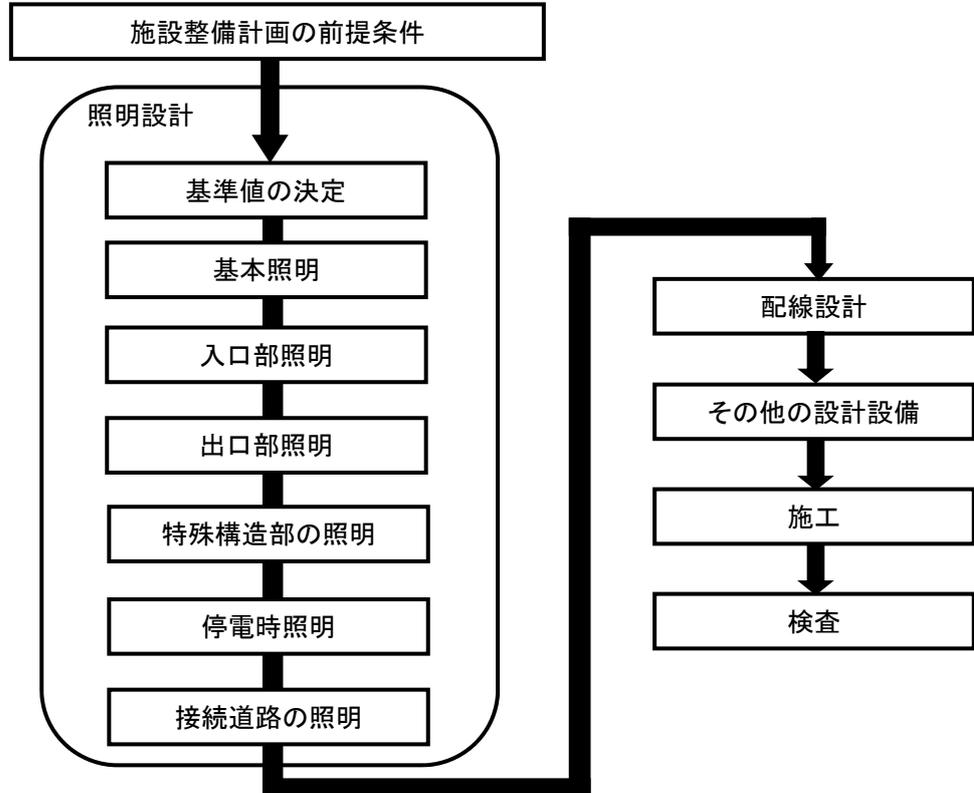


図2.4 トンネル照明の設計手順

2. 基準値の決定

トンネル照明の設計を行うにあたり、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の基準値を設定する必要があります。基準値は道路照明と同様に「道路照明 施設設置基準・同解説」に記載されています。

- ・基本照明
- ・入口部照明
- ・出口部照明
- ・特殊構造部の照明(歩道部、非常駐車帯部、他)
- ・停電時照明
- ・接続道路の照明

2.1 基本照明

基準値は、表2.1のように定められています。

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 (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斉度(総合均斉度:0.4以上、車線軸均斉度(推奨値):0.6以上)、視機能低下グレア(15%以下)、誘導性といった性能指標が存在します。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、各区間の輝度と長さは表2.2のように定められています。

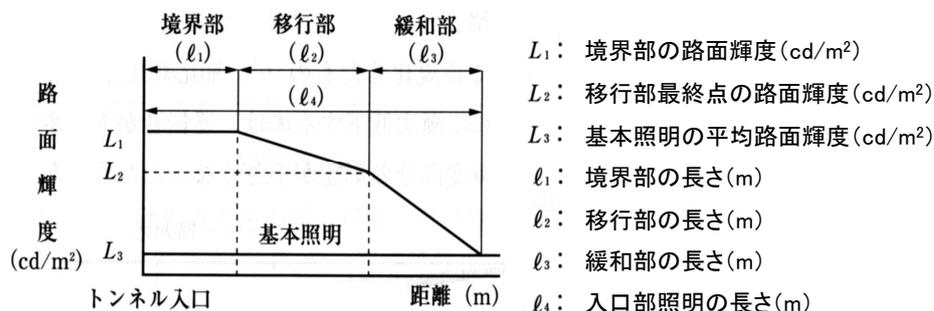


図2.5 入口照明の構成

(参考文献 (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*3300cd/m²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をいいます。

(参考文献 (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」にも配慮を要する必要があります。

2.3 出口部照明

出口部照明は以下に示す条件が重なる時に設置します。

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

なお、トンネル出口部照明の基準値は昼間時の鉛直面照度で設定することになっており、その値は出口部の野外輝度の数値の12(%)、照明区間は $80(\text{m})$ とします。

2.4 特殊構造部の照明

トンネルの特殊構造部は、以下の各々について推奨値が示されています。

- ・分合流部……………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 $50(\text{lx})$ 以上。ただし、本線照度が $50(\text{lx})$ 以上の場合には、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 $5(\text{lx})$ 以上。
- ・避難通路……………避難連絡坑は水平面照度を $20(\text{lx})$ 以上、避難坑および避難口には水平面照度 $10(\text{lx})$ 以上。

2.5 停電時照明

次に示す明るさを満たす必要があります。

- ・予備発電装置により照明する場合の照明レベルは、基本照明の概ね $1/4$ 以上
- ・無停電電源装置により照明する場合の照明レベルは、基本照明の概ね $1/8$ 以上

2.6 接続道路の照明

明確な基準はありませんが、入口付近に1～2基程度設置され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時には、灯具の配置に十分な注意を払い、器具の光学的誘導効果によって道路の線形が予知できるようにする必要があります。

3.2.3

基本照明設計

1. 光源および灯具の選定

1.1 光源の選定

光源はLEDを標準として、以下の要件を考慮して選定します。

- ・効率が高く寿命が長いこと
- ・周囲温度の変動に対して安定していること
- ・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)または天井部の建築限界外に取り付けます。このため、トンネル構造に適した取付方法ができる器具を選択する必要があります。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、器具の構造を防噴流形とし、それ以外の場合は防雨形とします。更に、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な器具を取付位置に応じて選択する必要があります。

現在は、直付形で防噴流構造のものが使用され、耐食性に優れ、軽量・コンパクトなアルミ筐体照明器具が主流となっています。

1.3 トンネル照明器具の例

トンネル照明器具の例を以下に示します。



LED アルミ筐体照明器具



LED SUSプレス筐体照明器具

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

対称照明方式とは、隅角部に照明器具を取り付け、道路横軸に対して対称配光の照明器具を使用する照明方式のことをいい、基本照明および入口照明に用いられます。

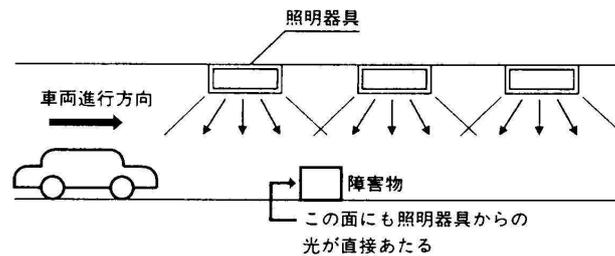


図2.6 対称照明方式

2.2 カウンタービーム照明方式

カウンタービーム照明方式とは、隅角部に照明器具を取り付け、走行する車両の進行方向と逆方向に照明する照明方式です。この方式は、交通量の少ないトンネルの入口照明に適しており、運転者側への高い路面輝度と障害物正面が暗くなることから、路面と障害物に高い輝度対比を得やすい特徴があります。

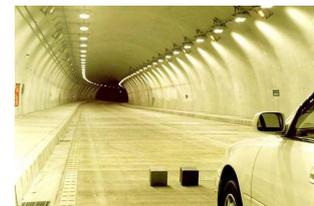
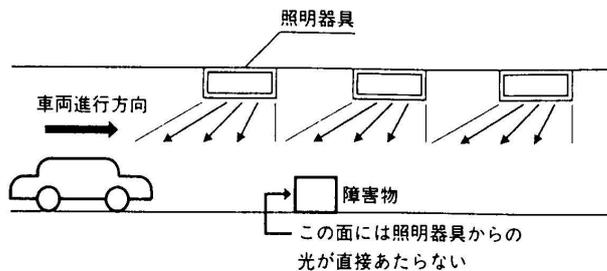


図2.7 カウンタービーム照明方式

2.3 プロビーム照明方式

プロビーム照明方式とは、隅角部に照明器具を取付け、走行する自動車の進行方向に照明する照明方式です。トンネル坑口付近に存在する先行車の背面を照明することにより、先行車に対する視認性を改善した照明方式で、交通量の多いトンネルの入口照明で補足的に用いられます。

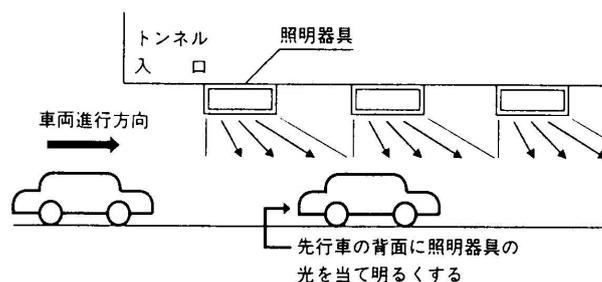


図2.8 プロビーム照明方式

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4種類の配列があり、照明器具の配光、路面の輝度分布、視線誘導効果、保守および経済性を考慮して選定します。

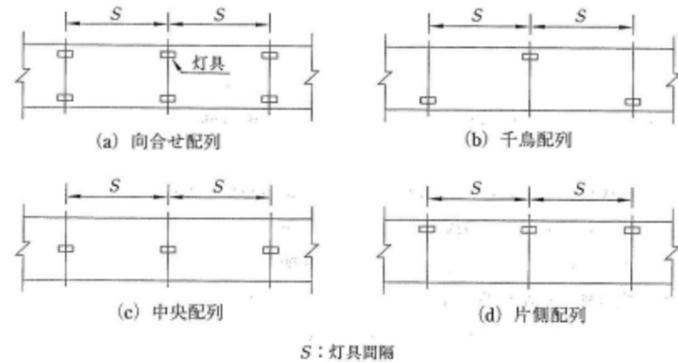


図2.9 配列方式

(参考文献 (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

路面の輝度分布の均一性を出来るだけ良好に保つと同時に、灯具のグレアによる影響をできるだけ少なくするため、灯具の取付高さHは原則として4~5m程度以上とします。

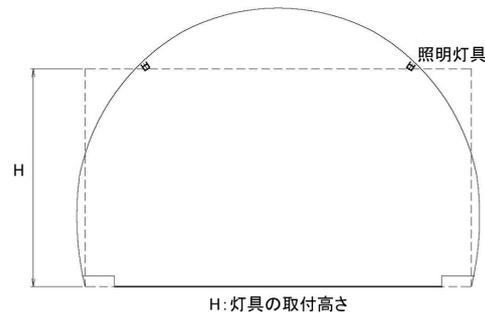


図2.10 灯具の取付高さ

5. 保守率の決定

光源の光束の低下、灯具の汚れおよび壁面反射率の低下などによって路面輝度・照度が設置当初の値より減少します。この減少の程度を設計時点で見込む係数が保守率です。

この減少の程度は、道路構造、交通状況はもとより光源の交換時間と交換方式、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 (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(相互反射加味)は、式-1、式-2にて求めます。

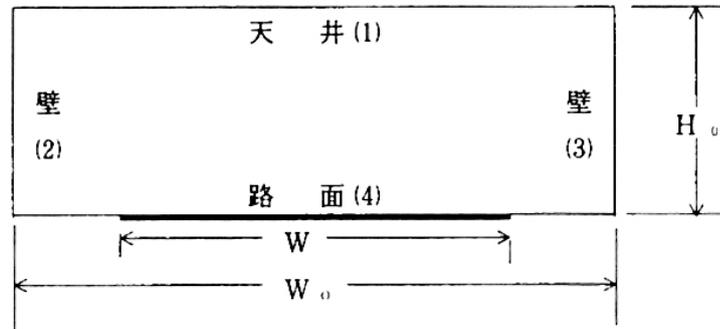


図2.11 トンネル断面例

(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_o)の照明率: U_4

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

車道幅員(W)の照明率: $U_{4'}$

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

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_o : 全路面幅員(m)

6.2 壁面の照明率

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

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Hmの照明率(灯具に近い壁面の場合): $U_{2'}$

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

計算範囲Hmの照明率(灯具に遠い壁面の場合): $U_{3'}$

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

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または、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Hm(灯具に近い壁面)に対する直射照明率
$U_{30'}$: 計算範囲Hm(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)
Hm	: 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(Lw/Lr)は、式-8にて求めます。

$$\frac{Lw}{Lr} = K \cdot \frac{\rho_w}{\pi} \cdot \frac{W}{Hm} \cdot \frac{U}{U_{4'}} \quad (\text{式-8})$$

Lw/Lr	: 壁面輝度比
K	: 平均照度換算係数($\text{lx}/\text{cd}/\text{m}^2$)
ρ_w	: 壁面の反射率
π	: 円周率
W	: 車道幅員(m)
Hm	: 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($A_{41} \sim A_{44}$ 、 $A_{21} \sim A_{34}$)の求め方

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・同解説に記載されている表より求めることができます。表2.4にその1例を示します。なお、路面全幅員(W_0)/器具取付高さ(H_0)、天井反射率および壁面反射率の値が表にない場合には、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}	$\frac{A_{42}}{A_{43}}$	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 (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(U_{10} ~ U_{40} 、 U_{20} 、 U_{30} 、 U_{40})の求め方

照明率の算出に必要な直射照明率(U_{10} ~ U_{40} 、 U_{20} 、 U_{30} 、 U_{40})は、器具の取付角度と使用器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、使用器具の直射照明率曲線が図2.13のような場合、以下のように求めます。

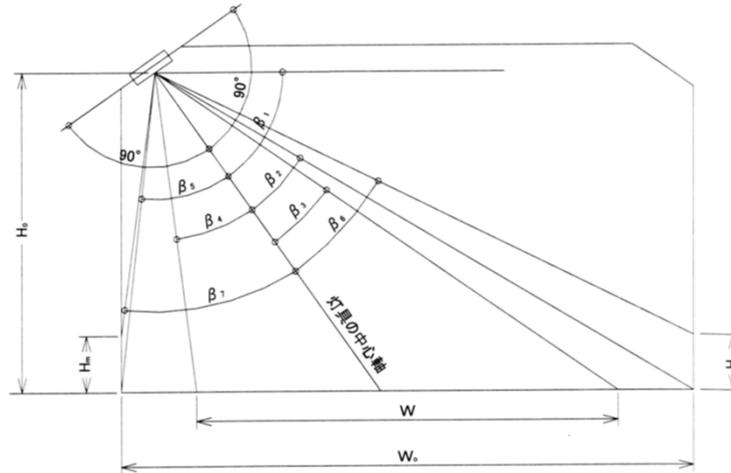


図2.12 トンネル断面例

(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))

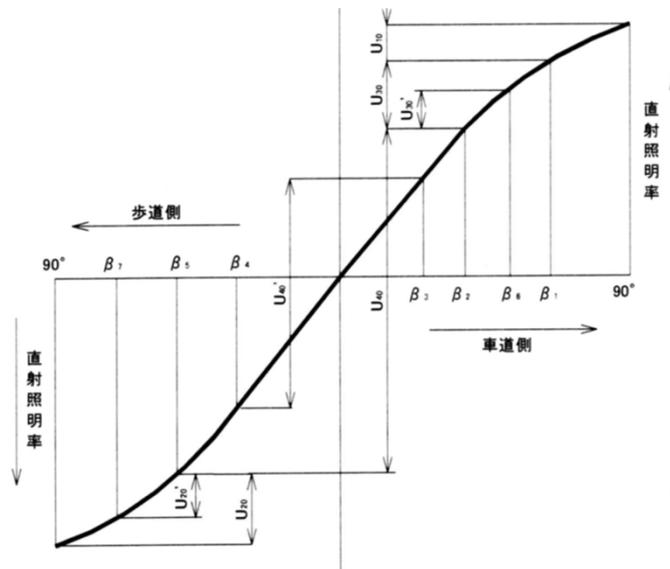


図2.13 直射照明率曲線

(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

照明灯具(路面輝度)の間隔を得るための計算は、(式-9)で行います。

$$S = \frac{F \cdot U \cdot M \cdot N}{Lr_1 \cdot W \cdot K} \quad \dots\dots(式-9)$$

- ここに
- Lr_1 : 平均路面輝度(基準値)(cd/m^2)
 - F : 灯具光束(lm)
 - U : 車道幅員の照明率
 - M : 保守率
 - N : 配列係数 (千鳥配列、片側配列 中央配列 $N=1$ 向き合せ配列 $N=2$)
 - S : 器具間隔(m)
 - W : 車道幅員(m)
 - K : 平均照度換算係数($lx/cd/m^2$)
(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. 輝度均斉度の計算

8.1 総合均斉度

総合均斉度 U_0 は式-10にて求めます。

$$U_0 = \frac{L_{min}}{Lr_2} \quad \dots\dots(式-10)$$

- ここに
- L_{min} : 最小部分輝度(cd/m^2)
 - Lr_2 : 平均路面輝度(cd/m^2)(逐点法による)

総合均斉度算出に必要な路面輝度の計算は、CIE Pub.30.2-1982に基づき図2.14の計算点(全100箇所)に対して行います。灯具の配列が千鳥配列の場合は2スパンで計算を行うため計算点は200点となります。視点位置は車線中央の高さ1.5mとし計算範囲手前から60mとします。道路横断方向に対しては、車線ごとに $W/5$ 間隔($W=3.5m$ の場合 $0.7m$)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5mを超える場合は計算点を増やして5m以内にします。また交通方式が一方交通の場合は、視点位置が走行車線からの計算のみとなります。

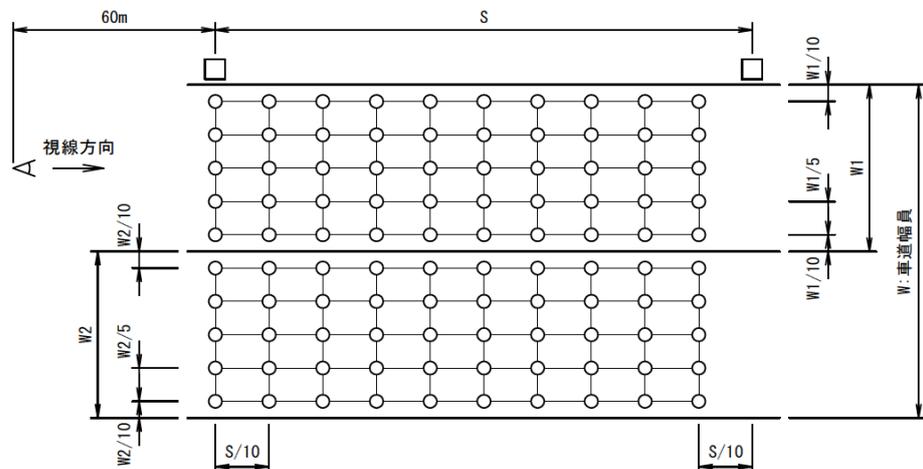


図2.14 輝度計算の計算点の例

8.2 車線軸均斉度

車線軸均斉度UIは式-11にて求めます。

$$UI = \frac{L \min(l)}{L \max(l)} \quad \dots\dots(式-11)$$

ここに Lmin(l): 車線中心線上の最小部分輝度 (cd/m²)
 Lmax(l): 車線中心線上の最大部分輝度 (cd/m²)

車線軸均斉度算出に必要な路面輝度の計算は、CIE Pub.30.2-1982に基づき図2.15の計算点(全10箇所)に対して行います。灯具の配列が千鳥配列の場合は2スパンで計算を行うため計算点は20点となります。視点位置は車線中央の高さ1.5mとし計算範囲手前から60m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5m以内にします。また交通方式にかかわらず全ての車線から計算を行います。

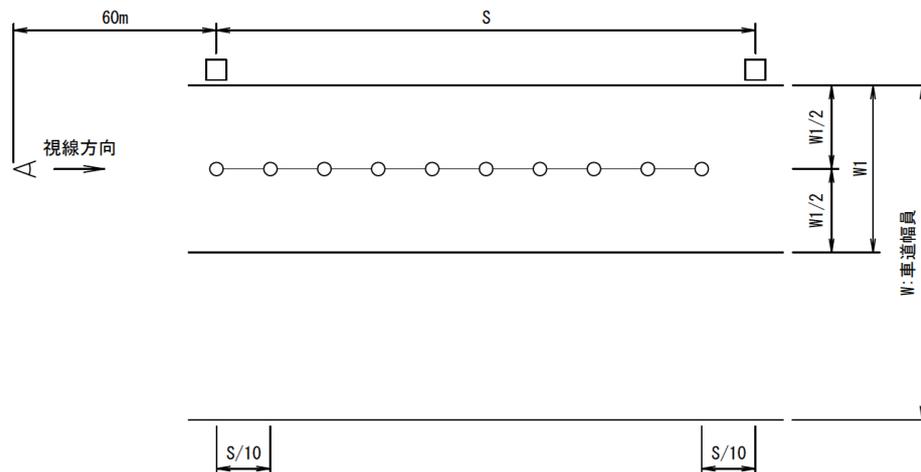


図2.15 輝度計算の計算点の例

9. 相対閾値増加TIの計算

相対閾値増加TIは式-12、式-13にて求めます。

$$L_r \leq 5 \text{ (cd/m}^2\text{) の場合} \quad TI = 65 \cdot \frac{L_v}{L_{r_3}^{0.8}} \text{ (\%)} \quad \dots\dots\text{(式-12)}$$

$$L_r > 5 \text{ (cd/m}^2\text{) の場合} \quad TI = 95 \cdot \frac{L_v}{L_{r_3}^{1.05}} \text{ (\%)} \quad \dots\dots\text{(式-13)}$$

ここに L_{r_3} : 平均路面輝度 (cd/m²) の計算値 (初期点灯時)

L_v : 運転者の視野内の照明器具による等価光幕輝度 (cd/m²)

等価光幕輝度は、眼球内散乱の程度を表し、図2.16の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、照度が高く角度が小さいほど高くなります。

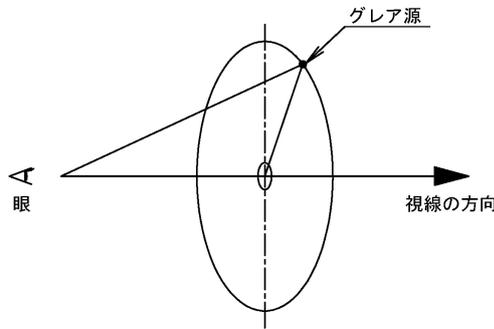


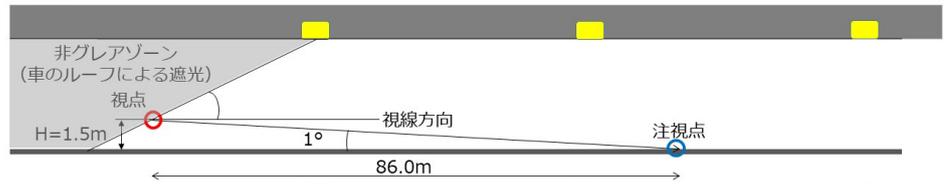
図2.16 等価光幕輝度の概念図

(参考文献 (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の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5mを超える場合は計算点を増やして5m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。

【立面図】



【平面図】

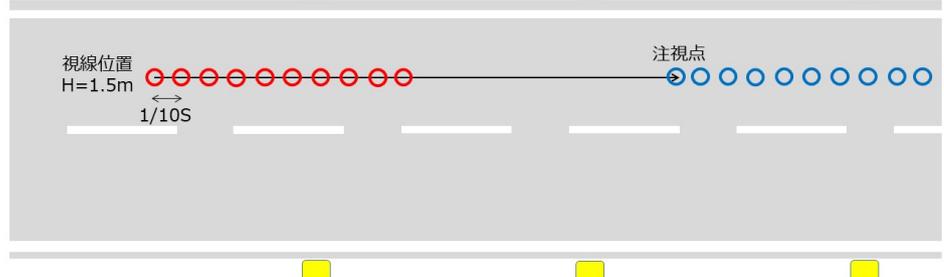


図2.17 視機能低下グレアを計算する視点の位置

3.2.4

計算例(基本照明)

1. 設計条件

表2.5に示す設計条件にて計算します。計算に使用するトンネル断面図を 図2.18に示します。

表2.5 設計条件

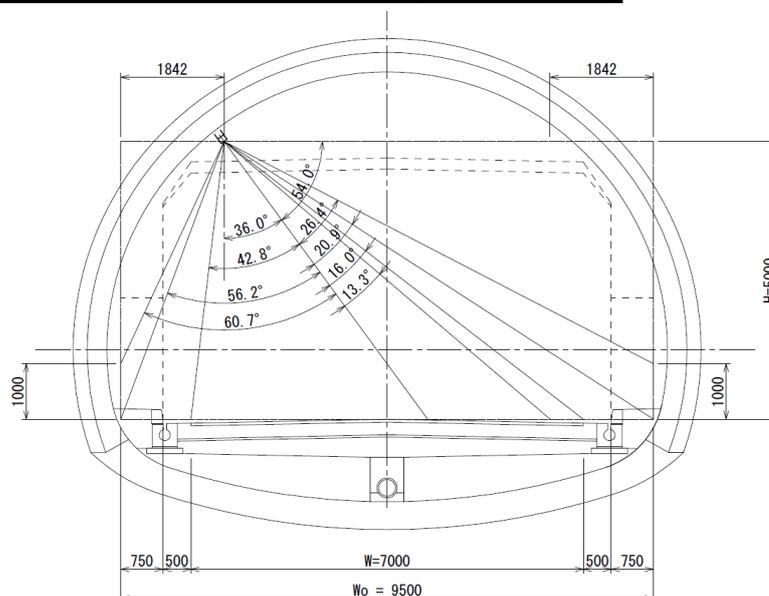
交通方式	対面交通
設計速度	50(km/h)
車道幅員	7.0(m)
全車道幅員	9.5(m)
反射率	天井、壁面、路面 25(%)
路面舗装	コンクリート
平均照度換算係数	13($lx/cd/m^2$)
灯具取付高さ	5.0(m)
配列方式	向き合わせ
保守率	0.60
灯具取付角度	36.0°
灯具間隔	19.0(m)
光束	4100(lm)

2. 性能指標の決定

性能指標は、表2.6とします。

表2.6 性能指標

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



※断面および照明器具の位置、振向け角度は、左右対称とする。

図2.18 断面条件

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は、図2.19とします。

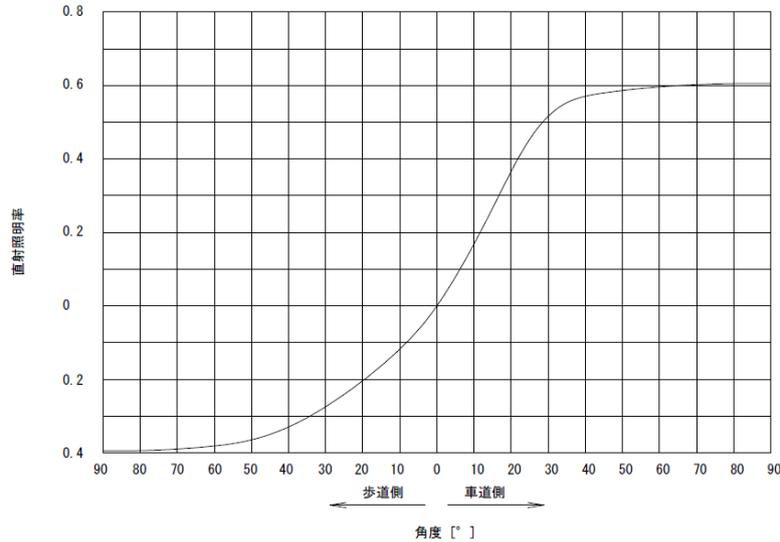


図2.19 直射照明率曲線の例

4. 車道照明率の算出

車道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($A_{41} \sim A_{44}$)の算出

表2.4より($A_{41} \sim A_{44}$)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($U_{10} \sim U_{40}$ 、 $U_{40'}$)の算出

図2.12、図2.13、図2.18、図2.19より直射照明率($U_{10} \sim U_{40}$ 、 $U_{40'}$)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 車道照明率の算出

式-1、式-2より車道照明率を求めます。

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

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

以上より車道照明率は、0.670となります。

5. 壁面照明率の算出

壁面照明率の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。

$$\begin{array}{ll} \text{天井面} & U_{10} = (90.0^\circ) - (54.0^\circ) = 0.606 - 0.591 = 0.015 \\ \text{壁面(器具側)} & U_{20} = (-90.0^\circ) - (-56.2^\circ) = 0.394 - 0.377 = 0.017 \\ \text{壁面(器具と反対側)} & U_{30} = (54.0^\circ) - (20.9^\circ) = 0.591 - 0.383 = 0.208 \\ \text{全路面} & U_{40} = (20.9^\circ) + (-56.2^\circ) = 0.383 + 0.377 = 0.760 \\ \text{壁面(器具側計算範囲)} & U_{20'} = (-60.7^\circ) - (-56.2^\circ) = 0.382 - 0.377 = 0.005 \\ \text{壁面(器具と反対側計算範囲)} & U_{30'} = (26.4^\circ) - (20.9^\circ) = 0.473 - 0.383 = 0.090 \end{array}$$

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。

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

8. 輝度均斉度の計算
逐点法および式-10、式-11によって総合均斉度および車線軸均斉度を計算します。

8.1 総合均斉度の計算

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

$$Uo = \frac{L \min}{Lr_2} = \frac{1.67}{2.23} = 0.748$$

8.2 車線軸均斉度の計算

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

$$Ul = \frac{L \min(l)}{L \max(l)} = \frac{2.16}{2.50} = 0.864$$

9. 相対閾値増加TI値の計算
逐点法および式-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

$$TI = 65 \cdot \frac{Lv}{Lr_3^{0.8}} = 65 \cdot \frac{0.340}{3.16^{0.8}} = 8.8$$