一様照度用ツインビーム形反射がさ 設計のための速算図†

専門会員 角 取 猛 司*

1. はじめに

最低 1 lx を確保するよう規定されている非常照明装置や、ある範囲内に水平面照度を一様に分布させたいとき、照明器具の配光は DIN 5040 (ドイツ工業規格) の A 3 形^{†)} になる。グレア対策として考えられたツインビーム器具に似た配光である。

このような反射がさの断面を設計するための速算図を報告する。

2. 配光の要求

図 1 のような場合、作業面上 P 点の水平面照度は

$$E_h = \frac{I(\theta)}{h^2} \cos^3 \theta \dots \dots \dots (1)$$

図 1 水平面照度と配光

ここで光源 S の直下から、ある範囲に水平面照度が一様に分布しているとは、この式の E_h が、 θ が変わっても一定なことから、それは光源の配光が

$$I(\theta) = E_h \cdot h^2 / \cos^3 \theta$$

いいかえれば、直下への光度を $I(0)$ とかくと

$$I(\theta) = I(0) / \cos^3 \theta \dots \dots \dots (2)$$

ということであって、配光曲線は図 2 のようになる。

一般には、裸ランプのままでこのような配光をもつものはないので、照明器具、特に鏡面反射がさの力を借り

図 2 一様な水平面照度を与える配光

ることになる。裸ランプの直射光にかさからの反射光を加え、その和がツインビーム形になるようにする。

3. 反射がさによる配光の変換²⁾

ランプおよびかさの配光は軸対称のものとする。その軸を Ox 軸 (下方を正方向) にとり、ランプは大きさを無視して点光源とし、これを座標の原点とする。また、かさの軸断面を図 3 のように RR とする。

図 3 かさによる反射

† Ready Reckoner for Designing a Twin-Beam Reflecting Lamp Shade with Uniform Illumination.

* 照明計画研究所

Takeshi Katori

ランプから鉛直角 θ の方向に出た光が、反射面上の一点 $P(x, y)$ で反射して、鉛直角 θ' の方向に向かうとする。

入射前の光度は $I(\theta)$ であるが、反射直後に $\rho I(\theta)$ となる。

ここに、 ρ は反射面の材料によって決まる反射率である。

さらに器具の構造上の損失 α もあるから、反射光は $\rho(1-\alpha)I(\theta)$ となり、これが θ' という方向に出るので、照明器具としての θ' への合成光度は

$$I'(\theta') = I(\theta') + \rho(1-\alpha)I(\theta) \quad \dots\dots\dots(3)$$

これが一様照度分布の要求から、式(2)の右辺の形の式 $I'(0)/\cos^3 \theta'$ に等しくなければならない。すなわち

$$I(\theta') + \rho(1-\alpha)I(\theta) = I'(0)/\cos^3 \theta' \quad \dots\dots\dots(4)$$

$I(\theta')$ や $I(\theta)$ は、角 θ' 、 θ に応じ、ランプの配光で与えられる。したがって θ か θ' のどちらか一方を決めれば、ランプの配光データと、この式との助けにより、残りのほうを求めることができる。

図3で鏡面RR上の点 $P(x, y)$ におけるRRへの接線が Ox 軸となす角を τ とすると、正反射の法則と三角形の性質とから

$$\tau = \frac{\theta - \theta'}{2} \quad \dots\dots\dots(5)$$

ここで、 θ 、 θ' は正負の区別があるが、今は絶対値だけに注目することにしておく。

配光の要求から、 θ に対する θ' 、あるいは逆に θ' に

対する θ が出れば、式(5)により反射点におけるかさの断面曲線の傾きが求められる。

反射がさを設計する場合、その寸法は高さとか開口部の直径が大体決まっているので、図3の断面曲線RR上のどこか一点をおさえることができる。これを出発点 $P_0(x_0, y_0)$ とする。この点の座標から、ここを通る光の方向 θ_0 が次式で求められる。

$$\tan \theta = y/x \quad \dots\dots\dots(6)$$

これに対応する反射光の方向 θ'_0 は、上記 (θ, θ') の関係から決まるので、式(5)によって τ が求まり、 P_0 から Ox 軸に τ だけ傾いた直線を引けば、これが P_0 におけるRRへの接線である。これをあまり長く延ばさないで適な寸法に区切れば、それがRR上の次の点 P_1 になる。あとは P_1 について同様の手続きを行ない、次の点 P_2 を求め、以下 $P_3, P_4, \dots, P_h$ と順を追って、光源またはソケットにじゃまされる所で止めて、 P_h までのかさの断面を描くことができる。

4. 速 算 図

以上のように理屈は簡単であるが、P点をたくさんとるために計算量が多い上、途中で三角関数表を始終引かなければならず手間がかかる。図4の速算図はこれを避けるためのもので、A、B、Cの図表からなる。

以下、設計例によって、まず使用法を説明する。

A図表 前節で説明したとおり、式(6)の $\tan \theta = y/x$ から θ を求めるためのもので、 x を曲線の番号とし、

図4 ツィンビーム反射がきの速算図

y は横軸に目盛りであり、 θ が縦軸から読み取られる。

たとえば、口径 120 mm で、 $\theta' = 50^\circ$ までを一樣な照度範囲とする反射がさを設計するとしよう³⁾。

まず、 $y_0 = 120/2 = 60$ 、 $\theta_0 = 50^\circ$ であるから、図 5 のように $y_0 = 60$ 、 $\theta_0 = 50^\circ$ の点を通る曲線の番号から $x_0 = 50$ mm になる。次に、 $y = 60$ mm に対して $\Delta x = -10$ mm とすれば、 $x_1 = 40$ mm で、図表から $\theta = 56^\circ$ がただちにわかる。

図 5 A の図表 ($\tan \theta = \frac{y}{x}$)

B 図表 $\theta' = 30 \sim 60^\circ$ の間、 5° おきの一樣照度範囲の各々について、入射光線方向 θ と反射光線方向 θ' との関係を示すものである。

上の例では一樣照度範囲が 50° であるから、上から 3 番目の曲線を使う。図 6 に示すように $\theta = 56^\circ$ に対する θ' は 49° である。

図 6 B の図表

なお θ' の目盛の左に $s/(2H)$ という目盛がある。 $\theta' = 50^\circ$ では $S/(2H) = 1.2$ 、すなわち取付け間隔 $S = 2.4H$ まで一樣照度分布ということである。

C 図表 θ 、 θ' から式 (5) で τ を求め、表で $\tan \tau$ を探す代わり、直接これが求められる図表である。図 7 の

図 7 $\tan \tau$ を求める図

ように $\theta' = 45^\circ, 50^\circ$ の間に 49° の曲線を想像し、これと $\theta = 56^\circ$ の水平直線との交点を目分量で求めて、 $\tan \tau = 0.061$ 、 $\Delta x = -10$ であるから $\Delta y = -10 \times 0.061 = -0.61$ 、したがって点 P_1 の座標は $x_1 = 40$ 、 $y = 59.4$

この場合、 $y_0 = 60$ mm で一樣な照度範囲 50° の反射面を設計するので、点 P_1 が 59.4 で、 $\Delta x = -10$ であるから、次の $x = 30$ mm では $\theta = 63^\circ$ 。図 6 から $\theta' = 48^\circ$ が読み取られ、図 7 で $\tan \tau = 0.132$ がわかるので、 $y = -10 \times 0.132 = -1.32$ から、 $x_2 = 30$ mm、 $y_2 = 58.08$ mm が P_2 点になる。

以上のようにして、点 P_8 まで求めた数値が表 1 であって、間をなめらかな曲線でつなげば図 8 の断面が得られる。

表 1 例題の反射がさ断面の数値

P	x (mm)	y (mm)	θ (°)	θ' (°)	$\tan \tau$	Δx	$\Delta y = \tan \tau \cdot \Delta x$
$-P_8$	-30	21.7	130	27.5	1.25	-10	-12.5
$-P_7$	-20	34.2	115	38	0.8	"	-8.0
$-P_6$	-10	42.2	100	39	0.6	"	-6.0
P_5	0	48.2	90	42.5	0.45	"	-4.5
P_4	10	52.7	80	45	0.32	"	-3.2
P_3	20	55.9	71	47	0.22	"	-2.2
P_2	30	58.1	63	48	0.132	"	-1.32
P_1	40	59.4	56	49	0.061	"	-0.61
P_0	50	60					

5. 図表の構成

A 図表は前節で説明したとおり、式 (6) を描いたもので、横軸に y 、縦軸に θ をどちらも一樣に目盛り、 x はパラメータとして付けてある。

C 図表は式 (5) を描いたものであるが、縦軸は A 図表と共通で θ 、横軸は $\tan \tau$ を、値の範囲が広いので対数目

図 8 例題による反射がさの寸法

盛りでとった。 θ' はパラメータとして曲線に付けてある。

これら 2 図表は(6), (5)という簡単な、はっきりした式を表わしているが、B 図表は少し違う。

3. で述べたとおり、照明器具としての θ' への光度は、この方向へのランプ直射光と、かさからの反射光との和である。反射光は、元とはいえば θ' の元になっている θ へ向かう電球の光から損失を差し引いたものである。

かさには上下の端がある。おのおのからの鉛直角を θ_0, θ_n とする。これに対応して、この 2 点からの反射光の方向 θ'_0, θ'_n が決まる。 (θ_0, θ_n) はかさの集光範囲であり、 (θ'_0, θ'_n) は照明範囲である。式(3), (2)は、 θ, θ'

のこの範囲内で意味をもつ。この範囲内 θ'_0 から θ' までの器具光束は $F'(\theta'_0)$ 、一ダッシュをつけたのは反射後という気持ち—ランプ直射光束は、なまだから $F(\theta'_0)$ とする。かさの反射光束も、方向は反射後の (θ'_0, θ') であるが、量としては、 (θ_0, θ) 間の、なまのランプ光束であるから $\rho(1-\alpha) F(\theta'_0)$ と書く。それで

$$F'(\theta'_0) = F(\theta'_0) + \rho(1-\alpha) F(\theta'_0) \dots \dots \dots (6)$$

$\theta = \theta_n$ のとき $\theta' = \theta'_n$ となるから、もう一つの関係

$$F'(\theta'_n) = F(\theta'_n) + \rho(1-\alpha) F(\theta'_n) \dots \dots \dots (7)$$

これらの式の右辺にある光束は電球の配光から、左辺の光束は一様照度の要求による配光、式(2)から出る。

6. お わ り に

一般に用いられている反射がさで、光を集束させる場合は放物面、発散させる場合はだ円面を用いるが、一様照度を得るツィンビーム配光の³⁾、設計資料が少ないために通常使われないことから、反射がさ断面の寸法を求める速算図を考案した。この資料作成にあたっての理論、解説は黒沢涼之助氏の援助によることを報告し、感謝申し上げます。

文 献

- (1) 大山松次郎：電灯照明講義案（昭 52）100；新編照明のデータブック（昭 43）242
- (2) 黒沢涼之助：一様な照度分布を与える反射がさの設計；照学誌 36-6（昭 27）190
- (3) 角取 猛司：非常用照明むきの配光，照学誌 59-9（昭 50）472

（受付 1978 年 3 月 13 日）