線光源による壁面照明について

正 会 員 三 浦 道 雄*

Illumination of Vertical Wall by Linear Lightsource

By Mitio Miura (Member)

(National Diet Library)

ABSTRACT

To illuminate the vertical wall, if we set two long linear lightsource in front of the top and bottom lines of the wall parallel to them, the distance for the most efficient illumination will be given by the half height of the wall.

1. 概 説

人工光源のうち現在使われているものは電灯であって、これはその形によって点光源、線光源、面光源の三つに分けることができる。線光源は管型白熱球、けい光放電管、スリムライン等のように、ある長さをもった線状をなした光源であって、連結することによって任意の長さとなし得られるものである。

博物館の展示物の中にはけい光灯をもって照明することにより、変質変色するのではないかという心配から、これを好まぬ場合もあるというが、けい光灯そのものは日進月歩するものであるから、ここではけい光放電管による壁面の照明について検討して見たい。

線光源であるけい光灯は、広い面積を均等に照明しようとする際には点光源よりも都合がよく、光の質がやわらかで良い感じを与え、また使用電力量が少量で済み、経済的でもあるから、今後の照明は博物館といえども大いにこれを利用する傾向になろう。けい光灯の欠点であるとされているチラツキも逐次改良されようし、また光の質も一層よくなろうから、今後ますます盛んに使用されることになろう。

2. 長い線光源による照度

既知の事実であるが話の順序として無限長光源による照明について記そう。今第1図において点Oを紙面に垂直に無限にのびている線光源とし、Pを線光源の中心軸Oから距離 r_0 を有する一点とする。今この線光源Oによる点Pの照度を求めるに、第2図においてOxを線光源とし、PQを線光源Oと点Pとを含む平面

第1図

第2図

上の交線とする。線光源の単位の長さ当り法線光度を I とすれば、原点Oから x の距離にあるA点附近の dx なる微小長の光源の法線光度は $I dx$ であって、それをPから見れば dx の長さは $dx \cos \theta$ の長さに見えるから、P点の方向への光度は $I dx \cos \theta$ である。よってP点の水平面照度 dE は

$$dE = \frac{I dx}{r^2} \cos^2 \theta \quad \dots \dots \dots (1)$$

$dx = r_0 \sec^2 \theta d\theta$, $r = r_0 \sec \theta$ であるから (1) は、

$$dE = \frac{I}{r_0} \cos^2 \theta d\theta$$

これを $\theta = -\frac{\pi}{2}$ から $\theta = \frac{\pi}{2}$ まで積分することによって無限の長さの線光源OによるP点の照度が得られる。すなわち

$$\begin{aligned} E &= \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} dE = \frac{I}{r_0} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos^2 \theta d\theta \\ &= \frac{I}{2r_0} \left[\theta + \frac{1}{2} \sin 2\theta \right]_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{I}{r_0} \quad \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

光度 I を(cd/m), r_0 を(m)とすれば、P点の照度 E は $\frac{\pi}{2} \cdot \frac{I}{r_0}$ (lx)であらわされる。

* 国立国会図書館建築部

線光源が O 点の一方にのみあるとき、すなわち半無限長直線光源であるときには、P 点の照度 $E_{1/2}$ は (2) 式の dE を $\theta=0$ から $\theta=\frac{\pi}{2}$ まで積分することとなり

$$E_{1/2} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{I}{r_0} \dots\dots\dots (2')$$

で示される。

光源と壁面との距離 r_0 に比較して光源の長さが充分長いときは、壁面の照度は光源が無限に長いものと考えて、中央部では式 (2) により、端部では式 (2') によって計算して差支えない。

3. 短い線光源による照度

線光源が短いとき、例えば第3図のように $L=2r_0$ である場合には次のようになる。

第 3 図

中心点 P では、

$$E = \frac{I}{2r_0} \left[\theta + \frac{1}{2} \sin 2\theta \right]_{-\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{4}} = 2.57 \frac{I}{2r_0} \dots\dots\dots (3)$$

Q 点および R 点においては、

$$E = \frac{I}{2r_0} \left[\theta + \frac{1}{2} \sin 2\theta \right]_0^{\tan^{-1} 2} = 1.504 \frac{I}{2r_0} \dots\dots (4)$$

S 点および T 点においては、

$$E = \frac{I}{2r_0} \left[\theta + \frac{1}{2} \sin 2\theta \right]_{-\tan^{-1} \frac{1}{2}}^{\tan^{-1} \frac{3}{2}} = 2.32 \frac{I}{2r_0} \dots\dots\dots (5)$$

これを図示すれば第4図のようになる。これによって見ると両端の照度は中央のその 58.5% 程度となり、中央部の半分よりは大きくなっている。光源が充分長くて無限の長さと考えて差支えない場合には、照度曲線は基線に平行な直線で表わされ、照度は均一になる。第4図上部の破線はこの照度を示すものである。

第 4 図

長い壁面に絵画などを並べて展示する場合には相当長いけい光灯の連設ができるから、その場合には中央部では線光源が無限に長いものとして照度を計算し、また両端においては線光源が一方にだけ無限に長い半無限長直線光源として計算して差支えない。

このような場合、中央壁面の同高の場所の照度は一定である。そこで今度は壁面の高さによる照度の変化を観察しよう。

4. 線光源 1 本による壁面の照度

第5図において垂直な壁面を PQ とし、その高さを H とする。P の前方 r_0 の距離にある O 点において壁面に平行でかつ水平な線光源があって、その長さが充分長くその単位長さ当りの法線光度を I とすれば、P 点の照度 E_0 は式 (2) によって

$$E_0 = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{I}{r_0}$$

である。

第 5 図

第 6 図

次に P 点から下方 y の位置にある A 点の照度 E_y は、

$$E_y = \frac{\pi}{2} \frac{I}{r_y} \cos \theta, \quad \cos \theta = \frac{r_0}{r_y} \text{ であるから,}$$

$$E_y = \frac{\pi I}{2} \cdot \frac{r_0}{r_y^2} = \frac{\pi I}{2_0} \cdot \frac{r_0^2}{r_0^2 + y^2}$$

$$= \frac{r_0^2}{r_0^2 + y^2} E_0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

いま $H=2r_0$ として H の四分点について壁面の照度を求めれば、

$$y=0 \quad E = \frac{\pi I}{2r_0}$$

$$y = \frac{r_0}{2} \quad E_{r_0/2} = \frac{\pi I}{2_0} \cdot \frac{r_0^2}{r_0^2 + \frac{r_0^2}{4}} = \frac{\pi I}{2_0} \times 0.8$$

$$= 0.8 E_0$$

$$y=r_0 = \frac{H}{2} \quad E_{r_0} = \frac{\pi I}{2r_0} \cdot \frac{r_0^2}{r_0^2 + r_0^2} = \frac{\pi I}{2_0} \times 0.5$$

$$= 0.5 E_0$$

$$y = \frac{3}{2} r_0 \quad E_{3/2 r_0} = \frac{\pi I}{2r_0} \cdot \frac{r_0^2}{r_0^2 + \frac{9}{4} r_0^2}$$

$$= \frac{\pi I}{2r_0} \times 0.308 = 0.308 E_0$$

$$y=2r_0=H \quad E_{2r_0} = \frac{\pi I}{2_0} \cdot \frac{r_0^2}{r_0^2 + 4 r_0^2}$$

$$= \frac{\pi I}{2_0} \times 0.2 = 0.2 E_0$$

これを図に表せば第6図のようになる。

5. 線光源 2 本による壁面の照度

第 7 図

第7図に示すように壁面の上下両端 P, Q の前方の距離に線光源 O, O' を取り付けると、A 点の照度 E_y は式 (6) から

O によるもの

$$E_1 = \frac{\pi I}{2r_0} \cdot \frac{r_0^2}{r_0^2 + y^2}$$

O' によるもの

$$E_2 = \frac{\pi I}{2_0} \cdot \frac{r_0^2}{r_0^2 + y'^2}$$

ここに $y+y'=H$

よって

$$E_y = E_1 + E_2 = \frac{\pi I}{2r_0} \left(\frac{r_0^2}{r_0^2 + y^2} + \frac{r_0^2}{r_0^2 + (H-y)^2} \right) \quad \dots\dots\dots (7)$$

E_y のうち 極小のものを求めるために $\frac{dE}{dy} = 0$ とおけば

$$\frac{y}{(r_0^2 + y^2)^2} = \frac{H-y}{\{r_0^2 + (H-y)^2\}^2} \quad \dots\dots\dots (8)$$

が得られ、 $y=H/2$ のときに式 (8) が満足されて $\frac{dE}{dy} = 0$ となり、壁面の高さの中央において照度が最小になるこ

とがわかる。

今 $H=2r_0$ 、すなわち $r_0 = \frac{H}{2}$ とすれば、式(7)から

$$E_y = \frac{\pi}{4} \cdot IH \left(\frac{1}{\frac{H^2}{4} + y^2} + \frac{1}{\frac{H^2}{4} + (H-y)^2} \right) \quad \dots (9)$$

第 1 表

y	E_y	y	E_y
0	3.76 I/H	0.6 H	3.21 I/H
0.1 H	3.825 I/H	0.7 H	3.37 I/H
0.2 H	3.6 I/H	0.8 H	3.6 I/H
0.3 H	3.37 I/H	0.9 H	3.825 I/H
0.4 H	3.21 I/H	H	3.76 I/H
0.5 H	3.14 I/H

H の十分点について E_y の値を式 (9) から求めれば第1表のようになり、これを図示すれば第8図のようになる。これによれば、上下両端から少し中央よりのところ ($y=0.05H$ および $y=0.95H$) に極大点があり、中央が極小となる。極大と極小との差の割合は大略

$$\frac{3.825 - 3.141}{3.825} \times 100 = 17.8\%$$

第 8 図

であって、大差はなく、

全体はほぼ均等の照度と言ってよい。

壁面の中央は観賞者の眼からの距離が近く、また視線と壁面とのなす角度が直角に近いためによく見え、上端および下端は眼からの距離が遠く、また視線と壁面とのなす角度が小さいから見にくくなるので、照度の分布が第8図のように上下端に行くにしたがって増大していることはけだし合理的といつてよい。

6. 壁面と光源との最適距離

線光源 O, O' と壁面との距離 r_0 が小さくなれば、壁面の上下両端は非常に明るくなるが、中央部は却って暗くなる。また r_0 が大きくなれば壁面の照度の差は少なくなるが、全体的に照度が小さくなる。よって r_0 を適当にえらぶときは、壁面の高さの中央の照度が極大となって、最適の壁面照明が得られる。この距離を線光源の

最適距離とする。

式(7)において $y = \frac{H}{2}$ とおいて壁面の高さの中央 M の照度 E_M を求めれば、

$$E_M = \frac{4\pi I r_0}{4r_0^2 + H^2} \dots\dots\dots(10)$$

E_M が極大となる r_0 の値を求めるために E_M を r_0 で微分してこれを0とおけば、

$$\frac{dE}{dr_0} = 4\pi I \frac{H^2 - 4r_0^2}{(4r_0^2 + H^2)^2}$$

$$\therefore H^2 = 4r_0^2 \text{ または } H = 2r_0 \text{ 或いは } r_0 = \frac{H}{2} \dots\dots(11)$$

よって $r_0 = \frac{H}{2}$ のときに E_M は極大になる。

式(10)に $r_0 = \frac{H}{2}$ を入れれば

$$\max. E_M = \pi \cdot \frac{I}{H} \dots\dots\dots(11')$$

となる。この場合の照度を示したのが第8図である。よって、壁面の高さの半分(上下の両線光源間隔の半分)の距離が線光源の最適距離である。

40 W けい光放電管は長さが1.198 m あって、その全光束は2,000 lm ないし2,650 lm であるから、その単

位の長さ当りの法線光度は、

$$I = 180 \text{ cd} \sim 238 \text{ cd}$$

となる。いま $H = 4 \text{ m}$, $I = 180 \text{ cd/m}$ とすれば、中央高さの照度 E_M は、

$$E_M = \pi \frac{I}{H} = \pi \times \frac{180}{4} = 143 \text{ lx}$$

また最上端および最下端の照度をそれぞれ E_P , E_Q とすれば、第8図の数式を使って、

$$E_P = E_Q = 3.76 \frac{I}{H} = 3.76 \times \frac{180}{4} = 169 \text{ lx}$$

線光源の端部においては E_M , E_P , E_Q 等の値はこれらの $\frac{1}{2}$ になることは式(2)と式(2')とから容易に理解される。また線光源が短い場合については式(3), (4), (5)の値を参照して計算すれば、それぞれの壁面位置の照度を求めることができる。

7. 結 言

以上のように線光源による壁面照明について極めて簡単な事実を報告したが、これについて諸賢の御叱正をいただくことができれば幸である。(昭31-3-27 受付)

会 員 の 声

照明普及についての愚見

正会員 松浦 正

戦後におけるけい光灯のめざましい普及によって、わが国は画期的な進歩発展を見せ、近代建築の激増に伴って、照明の黄金時代を招来したかの観がある。しかしこれは極めて皮相の観であって、一般大衆の生活とのつながりを考える場合、手ばなしの楽観はでき得ないのではないか。白熱の裸ランプ1灯という状態の住居がどの程度の割合であるか、さらに辛うじてけい光灯スタンド1灯を所持する家庭の割合を思うとき、私達はただ照明理論の研究に没頭し、大建築の進んだ照明施設に満足しているらしい学会の各先生方に、いわゆる象牙の塔を出て大衆の實際生活に飛び込んで、どうしたら照明をもっと普及することができるかを検討して貰いたいと思う。そうすることが学会の目的の一つでもあり、学会を発展せしめる基盤でもあると思われる。勿論、学会が直接大衆に接触することは至難であるかもしれないが、全国にまたがる支部と最も密接の関係にある各電力会社の照明普及事業を積極的に応援指導することこそ、当面の急務であると思料して、その実施を切望する次第である。

表紙説明

階段教室のけい光灯調光照明

—東京工業大学のモデル教室—

東京工業大学のモデル階段教室では、スライドおよび映画による授業の時、筆記その他の便利のため、新型の手動式マツダけい光灯調光器による調光照明が取り入れられた。40 W 天然白色ラビッドスタート型けい光ランプ2灯用器具18灯のうち、教壇照明用の6灯を除いては100%~0%までの範囲で完全に調光でき、また器具の中に一緒に組まれている白熱電球も必要に応じて調光できるようになっています。しかも教壇テーブルの引き出しを改造して箆め込んだ装置の同一のつまみで切換スイッチにより、けい光ランプ、電球、いずれでも自由に調光ができます。

マツダけい光ランプ調光装置は最も装置自体の電力損失の少く、故障箇所のない技術的に優れたもので、既に多くの主な劇場に採用され御好評を戴いています。その後も劇場、集会場の照明用として各地からつぎつぎと引合に接しております。

(東芝商事株式会社照明課)