

# 電子計算機による高速道路の照明設計

大阪大学工学部 宮 脇 一 男  
 電気試験所大阪支所 中 村 圭 二 郎  
 佐 土 根 範 次  
 栗 岡 豊

## 1. ま え が き

最近、電子計算機が広く理工学分野に応用され、従来繁雑で不可能視されていた問題の解決に有効に利用されるようになった。照明工学の各分野においても、電子計算機技術は、測光、測色、あるいは、照明設計などに威力を発揮しつつある。<sup>1)2)3)4)</sup>筆者らは、電子計算機応用の第1段階として、最近都市間交通量の激増から脚光を浴びている高速道路の照明設計に電子計算機の利用を試み、プログラムを作成し、さらには、実例について計算を行なった。

現在、照明の設計には、光源を点と考え、光源より発散する全光束のうち被照面に達する部分光束を被照面の面積で除して、被照面の平均的な照度を計算する方式がよく用いられている。このような方式は、計算が簡単という利点があるので、あまり経費や照明の質を問題としない場合には、十分有効な方式である。しかしながら、高速道路の場合には、照明の施行される距離は非常に長く、たとえば、名神高速道路は約200kmにも及び、照明器具の取付間隔を40mごととしても、取付個数は約5000個を要し、取付間隔の適正化によつて多額の経費を節約できる。また、夜間の交通量を増大し、走行車の速度を上昇せしめた場合にも、運転者の安全性を高く保持するために、道路面照度の最低限および均一性が厳密に規定されている<sup>5)</sup>。

したがって、電子計算機のように非常に有効な武器を得るに至った現在、今までの経験に重きを置く設計方式を再検討する必要があると考える。筆者らは、電子計算機の特長を活かし、被照面の照度を逐点的に詳細に計算する方針をとつた。この結果、照度の最高および最低の点を正確に求めることができ、照明器具の試作からその性能の評価までの時間を非常に短縮することができた。

## 2. 計算の方法

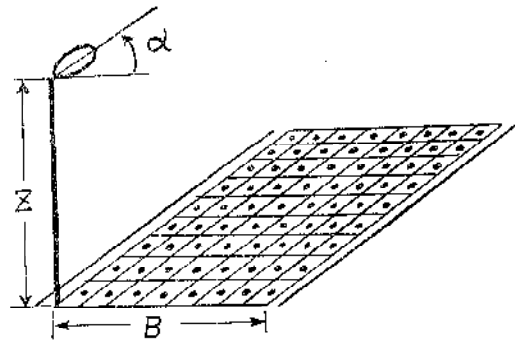
道路照明施工後の特性値として

- 1) 道路巾  $B$
- 2) 道路面上の平均照度  $\bar{E}$

3) 道路面上の照度の均斉度  $\bar{E}/E_{\min}$   
 および

4) 照明器具の  $10^\circ$  ごとの水平、垂直配光の測定データを計算機の入力として与え、照明器具の取付け条件に関する要因

- 1) 照明器具の取付け傾き角  $\alpha$



第 1 図

- 2) 照明器具の取付け高さ  $Z$
- 3) 照明器具の取付け間隔  $S$

を計算機出力として決定するようなプログラムを作成した。

最適な要因水準の決定方法として、統計的実験計画法の Box Wilson 法のように cut and try に最適値に近づく方法も考えられるが、十分な精度を得るには計算時間が長くなるので、以下のような方法によつた。

まず、第1図のように、器具を1個だけ、道路の片側に、高さ  $Z$  の位置に取付けた場合を考える。道路面を仮想的に、長さ方向および巾方向各1mごとの細かい網目に区切り、その網目の中心の照度を計算する。

第1段階として、取付け高さ  $Z$  をある水準  $Z_1$  に固定し、器具の傾き角  $\alpha$  の水準を  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  と順次変化させて、道路面上の網目の照度を逐点的に計算し、その平均照度が最大となるような角度  $\alpha_{opt}(Z_1)$  を推定する。

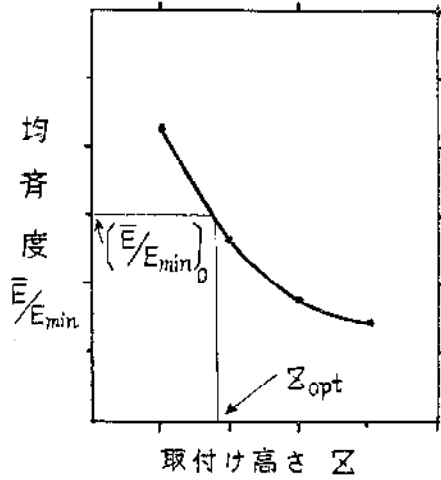
つぎに、最適傾き角度  $\alpha_{opt}$  での道路面の照度パターンおよび平均照度  $\bar{E}$  を計算し、道路面上の平均照度が与えられた値  $\bar{E}$  になるよう、器具の取付け間隔  $S(Z_1)$  を決定する。さらに、先に計算した1個の器具の呈する

\*尼崎市若玉寺16

照度パターンを重ね合わせて、器具の取付け間隔  $S(Z_1)$  を求める。

第2段階として、取付け高さ  $Z$  を水準  $Z_2, Z_3, \dots, Z_m$  と変化させて、同様の方法により  $\alpha_{opt}(Z_j)$ , 取付け間隔  $S(Z_j)$ , 均斉度  $[\bar{E}/E_{min}](Z_j)$  (ただし  $j=2, 3, \dots, m$ ) を計算する。

以上の結果、均斉度と取付け高さの関係が第2図のように得られたとすると、計算機内蔵のプログラムによつて、与えられた均斉度  $[\bar{E}/E_{min}]_0$  に対応する取付け高さ  $Z$  の内挿が行なわれ、 $Z_{opt}$  が決定される。なお、この  $Z_{opt}$  に対応する  $\alpha_{opt}(Z_{opt})$ ,  $S(Z_{opt})$  および照度パターンが計算機出力として得られる。



第 2 図

### 3. 計算式

#### 1) 各点の照度の計算

第3図のように、傾き角  $\alpha$  で器具を取付けた場合、道路面上の網目の中心の1点  $P(x, y, z)$  における水平面照度は

$$E(X, Y, Z) = I(\theta, \varphi) \frac{\cos \beta}{\gamma^2}$$

ただし、

$$\gamma = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{Z \cos \alpha + X \sin \alpha}{(x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{y}{X \cos \alpha - Z \sin \alpha}$$

$$\beta = \cos^{-1} \frac{Z}{(x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}}$$

で表わされる。

#### 2) $I(\theta, \varphi)$ の内挿

配光測定データは、 $\theta, \varphi$  各  $10^\circ$  ごと の値であるから、任意の  $\theta, \varphi$  に対しては、 $\theta, \varphi$  各  $10^\circ$  ごと のデータより内挿する必要がある。独立変数が2つの場合には種々の内挿法があるが、ここでは次の式を用いた。すな

わち、 $\theta, \varphi$  の  $10^\circ$  ごと の値をそれぞれ  $[\theta], [\varphi]$  とすると

$$I(\theta, \varphi) = I([\theta] + \Delta\theta, [\varphi] + \Delta\varphi)$$

$$= \frac{\Delta\theta}{10} I([\theta] + 10, [\varphi])$$

$$+ \frac{\Delta\varphi}{10} I([\theta], [\varphi] + 10) + \phi I([\theta], [\varphi])$$

ただし、

$$\phi = I - \frac{\Delta\varphi}{10} - \frac{\Delta\theta}{10}$$

#### 3) 平均照度の計算

$$\bar{E}'(z, \alpha) = \sum_x \sum_y E(x, y, z) / N$$

ここで、 $N$  は網目の数である。

#### 4) $\alpha_{opt}$ の計算

$Z$  が一定のとき  $\bar{E}'(z, \alpha)$  の最大値に対応する  $\alpha$ , および  $\alpha \pm 10^\circ$  の3点で  $\bar{E}'(z, \alpha)$  に2次曲線をあてはめ、その2次曲線の最大値に対応する  $\alpha_{opt}$  を求める。

#### 5) 最適器具取付け間隔 $S$ の計算

$$S = \frac{2 S' \bar{E}'}{E}$$

ただし、 $S'$  は  $\bar{E}'$  の計算に使用した道路巾方向の網目の数である。

#### 6) 器具を間隔 $S$ で取付けた場合の照度パターン

器具を1個だけ取付けた場合の照度パターンは、すでに計算されている。器具を間隔  $S$  で取付けた場合には、1個の器具による基準のパターンを適当に重ね合わせるとよい。

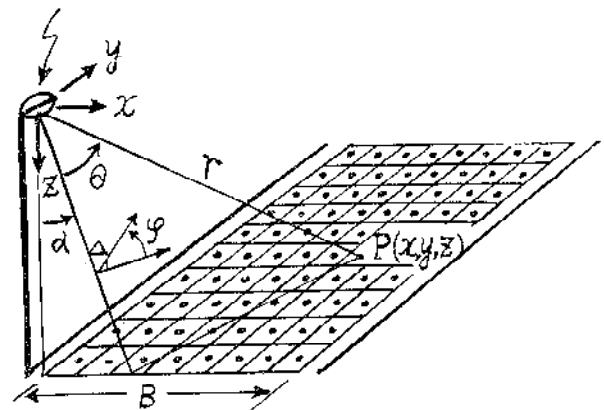
#### 7) 均斉度 $\bar{E}/E_{min}$ の計算

6) で計算したパターン中より照度最小の値を選び出し、 $\bar{E}/E_{min}$  を計算する。

#### 8) 均斉度が所定の値となるような $Z$ の内挿

7) で計算された均斉度の数列  $[\bar{E}/E_{min}]_1, [\bar{E}/E_{min}]_2, \dots, [\bar{E}/E_{min}]_k$  を用いて、所定の均斉度に対応する  $Z_{opt}$  を内挿により決定する。

照 明 器 具 (配光  $I(\theta, \varphi)$ )



第 3 図

9) 取付け高さ, 傾き角, 道路水平方向座標, 道路巾方向座標のセッティング

たとえば, 取付け高さ 6, 8, 10, 12m について計算を行なう場合, 計算機のインデックス・レジスタに取付け高さ 12 を記憶させ, まず取付け高さ 12m で, 次に記憶させた 12 から順次 2 を差引いて, 取付け高さ 10, 8, 6 m の計算を行なう。他の要因のセッティングも同様に行なう。

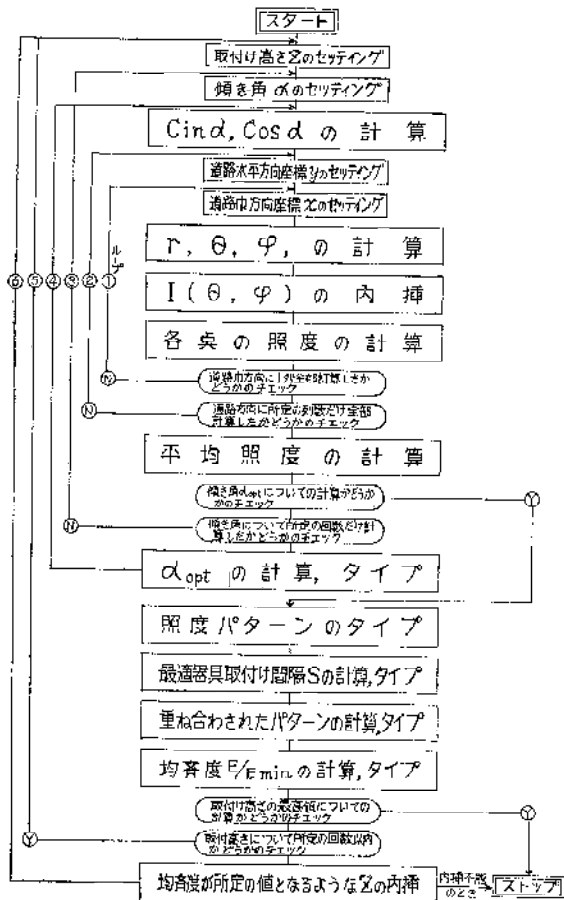
10)  $\sin\alpha$ ,  $\cos\alpha$  の計算

計算機は, 原理的に, 加算のみしか行なえないので, 超越函数の計算は級数展開法を用いる。また, 計算機に附属して, 超越函数を計算するサブルーティン (補助のプログラム) が組まれるのが普通である。

### 4. フローチャート

以上のような計算方針, 計算式に従って, 第 4 図のようなフローチャートを作成した。

まず, 取付け高さ  $Z$  および傾き角  $\alpha$  のセッティングを行ない,  $\sin\alpha$  および  $\cos\alpha$  の計算を行なう。つぎに, 道路方向座標  $Y$  および道路巾方向座標  $X$  のセッティングを行ない,  $r, \theta, \varphi, I(\theta, \varphi)$  の内挿および照度の計算を開始する。器具の取付け位置から最も離れた網目より



第 4 図 道路照明度設計のフローチャート

始め, 道路巾方向に照度の計算を進め, 道路巾方向の 1 列が終ると, 隣の列に移り, しだいに器具の取付け位置に近づいてくる。

道路面上の網目全部について, 照度の計算が終ると網目全部の平均照度が求められる。つぎに, 傾き角  $\alpha$  のセッティングを順次変えて, 網目の平均照度を計算し, 平均照度の最大となる傾き角  $\alpha_{opt}$  を求め, この角度に対応する道路面上の照度パターンのタイプ・アウト, 器具の最適取付け間隔  $S$  の決定, および最適器具間隔で取付けが行なわれた場合の照度パターン, 均斉度 ( $\bar{E}/E_{min}$ ) の計算値のタイプ・アウトが行なわれる。以下, 取付け高さ  $Z$  の水準を変化して同様な計算の繰返しを行ない, 計算機入力として与えられた均斉度 ( $\bar{E}/E_{min}$ ) に対応する取付け高さ  $Z_{opt}$  が内挿される。なお, 最適な高さ  $Z_{opt}$  に対しても, 同時に  $\alpha_{opt}(Z_{opt}), S(Z_{opt})$  が計算され, 照度パターンがプリント・アウトされる。

### 5. 計算の実例

計算機入力として, 道路巾  $B=16m$ , 道路面上の平均照度  $\bar{E}=15lx$ , 道路面上の照度の均斉度  $(\bar{E}/E_{min})_0=3$ , 松下電工製器具 YA-34054, HF-400 の水平角  $\varphi$ , 鉛直角  $\theta$  各  $10^\circ$  ごとの配光データを与えた場合, 得られた計算機出力の一部を第 5 図に示す。図の上半は, 1 個の照明器具による道路面上の照度パターンで, 器具の真下から道路方向 60m, 道路巾方向 16m の区域内の 1 m 平方の網目の中心の照度 (lx) が, 右下部を座標の原点として示されている。器具を千鳥型に配列した場合, 最適な取付け高さ  $Z_{opt}=7.311m$ , 器具間隔  $S=26.005m$ , 傾き角  $\alpha_{opt}=0.4568rad$  と計算され, そのような要因の水準で照明工事を実施した場合, 道路面上の照度パターンも, 道路方向, 道路巾方向それぞれ 1 m 巾の網目で図の下半にプリント・アウトされている。(数字の最初の 2 桁は指標で, たとえば,  $Z 517311$  は  $Z=0.7311 \times 10^1$  を意味する。なお, 1 個の器具による道路面の照度パターン中では, 印刷用紙の巾の制約から, 指標中の 5 を省略した)。また巾ほどの  $S 26.005$  の上の 513250 は 1 個の器具による道路方向 60m, 道路巾方向 16m の網目の平均照度  $\bar{E}'(3.250lx)$ , 最後の数字 521500, 514774, 523552 はそれぞれ工事施工後の道路面上の平均照度 (15.00lx), 最低照度 (4.774lx), 最高照度 (35.52lx) を表わす。

なお, 傾き角  $\alpha$  の計算には長時間を要するため, ここでは  $\alpha_{opt}$  として経験的な値を与えて計算した。次の機会には  $\alpha_{opt}$  を計算する場合のみ網目の数を少なくし, また照度パターンのプリント・アウトは  $Z_{opt}$  で最適取付け間隔の場合に限るなどの簡略化を行ないたい。その場合には, 計算時間約 2 時間半, 精度約 3% の計算が可能と思われる。

第 5 図 計 算 機 出 力

Z	517311	504568							
Y	59.5								
	0113	9999	9987	9974	9960	9944	9927.....	9782	9760
Y	58.5								
	0119	0105	0104	0103	0101	0100	9983.....	9826	9802
Y	57.5								
	0126	0112	0111	0109	0108	0106	0104.....	9873	9847
.....									
.....									
.....									
Y	02.5								
	1201	1247	1305	1380	1478	1619	1773.....	2269	2254
Y	01.5								
	1208	1256	1319	1403	1510	1649	1822.....	2291	2284
Y	00.5								
	1217	1269	1335	1442	1537	1687	1873.....	2323	2313
	513250								
S	26.005								
Y	25.5								
	521449	521207	521026	518658	517411	516367	515540	514815	
Y	24.5								
	521380	521157	519858	518454	517286	516264	515475	514774	
Y	23.5								
	521320	521115	519637	518265	517194	516276	515500	514817	
	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	
	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	
	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	
Y	02.5								
	521625	521974	522378	522674	523052	522960	522938	522781	
Y	01.5								
	521676	521989	522456	522857	521380	523337	523159	523073	
Y	00.5								
	521804	522137	522617	523052	523467	523552	523478	523368	
	521500	514774	523552						

以上の計算には、NEAC-2203電子計算機を使用した。

## 6. む す び

高速道路の照明を電子計算機を使用して設計するため入力として道路の平均照度と均斉度、および器具の配光データを与え、出力として最適な取付け高さ、器具の間隔、傾き角を得るプログラム、およびその計算の事例について述べた。

照明設計の分野では、上記の道路照明設計の問題のほか、スポーツ照明、作業場照明の問題など、多くの分野において電子計算機の利用が切望されている。また、特性値も、照度の一様性から一步進んで、作業者あるいは行動者の環境の快適化が窮極の目的である。電子計算機のプログラムの研究により、このような難問題も近き将来解決せられるものと思う。

最後に、道路照明の設計に関して種々御教示をたまわ

つた松下電器照明研究所・岡田喜義氏、大阪大学計算機センタの利用に際して御助言をいただいた城研究室の牧之内助教授、また、在学時協力を得た中原堅司氏に深謝する。

## 参 考 文 献

- 1) G.H. Horton & P.A. Zaphyr : Automatic Processing of Photo'metric Test Data for Street Lighting Luminaires ; Illum. Eng., June, 1958.
- 2) A.B. Gough : Programming the IBM 704 Computer for Photometric Data Reduction, Documentation and Application ; Illum. Eng., April, 1960.
- 3) P.F. O'Brien : Lighting Coluculation for thirty-five thousands rooms ; Illum. Eng., April, 1960.
- 4) 中路幸謙 : 円筒型黒体の黒さの精密数値計算 ; 照学誌, No.11, 1959.
- 5) 道路照明委員会 : 交通道路の照明基準 (案) ; 照学誌, No.8, 1961.