

固结沉降计算程序*

苏世灼

(华侨大学建筑设计院, 泉州 362011)

摘要 在各种条形垂直分布荷载和多个矩形均布荷载同时作用下, 该程序能计算地基中任意指定点的固结沉降量, 因而适用于海堤工程及房屋浅基础的沉降计算。

关键词 计算程序, 固结沉降, 附加应力, 分层总和法

分类号 TU 311.41

1 程序功能

本程序是利用 BASIC 语言编制的分层总和法计算固结沉降量的计算机应用程序。它符合现行国家规范, 并采用国际单位制。在已知地基计算深度范围内各土层的天然容重(水下用浮容重)和压缩性指标情况下, 本程序可以计算多个矩形均布荷载和多个平行的条形荷载共同作用下任意指定的地面点的固结沉降量, 并绘制该点下的附加应力分布曲线。

地基土的压缩性指标可以从压缩试验得出的一组 e_i, P_i 值; 也可以是从 $e-\log P$ 曲线上算取的回弹指数 C_r 、压缩指数 C_c 和先期固结压力 P_c 及其对应的孔隙比 e_c ; 还可以利用弹性模量 E_s 进行计算。条形荷载可以是条形均布荷载, 也可以是条形三角形分布荷载或条形梯形分布荷载及其组合。矩形荷载可有不同的埋深、不同的平面尺寸、不同的荷载值和不同的旋转角。

2 主要计算公式

2.1 总固结沉降公式^[1]

(1) 采用孔隙比指标计算的总固结沉降量为

$$S_c = \sum_{i=1}^{N_1} \frac{e_{0i} - e_{1i}}{1 + e_{0i}} \Delta Z_i, \quad (1)$$

式中 e_{0i} 为第 i 计算层加载前的孔隙比; e_{1i} 为第 i 计算层加载后的孔隙比; Z_i 为第 i 计算层的土层厚度; N_1 为计算分层数(大于或等于实际土层数 M , 由计算精度要求确定)。

(2) 采用弹性模量指标计算的总固结沉降量为

$$S_c = \sum_{i=1}^{N_1} \frac{\Delta P_i \Delta Z_i}{E_{s_i}}, \quad (2)$$

式中 E_{s_i} 为各土层的 E_s 值。

* 本文 1996-04-06 收到

2.2 孔隙比计算公式

(1) 采用 $e-\log P$ 曲线.

$$\left. \begin{aligned} e &= e_c + C_c(\log P_c - \log P) & (P \geq P_c), \\ e &= e_0 + C_s(\log P_c - \log P) & (P < P_c), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中 P 为计算点加载前的有效自重应力 P_0 或加载后的总有效应力 $P_0 + \Delta P$; e 为对应 P 的孔隙比 e_0 或 e_1 .

(2) 采用 $e-P$ 曲线. 利用拉格朗日公式, 可得

$$Y = \sum_{k=1}^{N_2} \left[\prod_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n (X - X_i) / (X_k - X_i) \right] Y_k, \quad (4)$$

式中 X_i, Y_i 为在 $e-P$ 曲线上算取的 k 个已知点 (e, P) .

2.3 地基附加应力计算公式⁽²⁾

(1) 条形三角形分布荷载作用下的地基附加应力为

$$\begin{aligned} \sigma_{y1} &= \frac{P}{|M-L|\pi} \left[(L-X) \operatorname{arctg} \frac{L-X}{Y} \right. \\ &\quad \left. - (L-X) \operatorname{arctg} \frac{M-X}{Y} + \frac{(M-X)Y(M-L)}{(M-X)^2 + Y^2} \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

(2) 条形均布荷载作用下的地基附加应力为

$$\sigma_{y2} = \frac{P}{\pi} \left[\operatorname{arctg} \frac{N-X}{Y} - \operatorname{arctg} \frac{M-X}{Y} + \frac{(N-X)Y}{(N-X)^2 + Y^2} - \frac{(M-X)Y}{(M-X)^2 + Y^2} \right]. \quad (6)$$

(3) 条形直角梯形荷载作用下的地基附加应力为

$$\sigma_{y3} = \sigma_{y1} + \sigma_{y2}, \quad (7)$$

式中 X 为计算点的横坐标(m); Y 为计算点的纵坐标(m); L 为直角梯形锐角点的横坐标(m); M 为直角梯形钝角点的横坐标(m); N 为直角梯形直角点的横坐标(m); P 为直角梯形荷载的荷载值(kPa).

因程序把条形三角形分布荷载和条形均布荷载作为条形直角梯形分布荷载的特例. 所以 L, M, N 有以下规定: (1) 三角形荷载, 须取 $M=N$; (2) 均布荷载, 须取 $L=M$. 这样, 就可人为地把堤坝荷载划分为三角形、均布和直角梯形荷载的组合, 然后采用上述公式进行计算.

(4) 矩形均布荷载引起的角点下地基附加应力为

$$\begin{aligned} \sigma_{y4} &= \{ ABZ(A^2 + B^2 + 2Z^2) / [(A^2 + Z^2)(B^2 + Z^2) \sqrt{A + Z + B}] \\ &\quad + \operatorname{arctg} [A \sqrt{(A^2 + B^2 + Z^2)} / (BZ)] \} / (2\pi), \end{aligned} \quad (8)$$

说明的是, 矩形均布荷载下任意点的附加应力都可化为以该点为角点的 4 个矩形均布荷载角点下附加应力的加减组合.

3 程序说明

3.1 变元说明

$A \$$ 为工程名称; $B \$$ 为压缩指标类型, 用 $e-\log P$ 指标时, $B \$ = "C_c"$; 用 $e-P$ 指标时, $B \$ = "e-P"$; 用 E_s 指标时, $B \$ = "E_s"$; $D \$$ 见输出说明; NT 为荷载总个数; MT 为天然土层数; DZ 为分层总和法计算分层的最大厚度; $PC(I), EC(I)$ 为第 I 天然土层的先期固结应力及其

对应的孔隙比; $C(I)$ 为第 I 天然土层的压缩指数(C_c); $S(I)$ 为第 I 天然土层的回弹指数(C_s); $O(I)$ 为第 I 天然土层已知 $e-P$ 点组数; $P(I, J), E(I, J)$ 为第 I 天然土层的第 J 组 $e-P$ 值($J=1, O(I)$); $R(I)$ 为第 I 天然土层的容重; $H(I)$ 为第 I 天然土层的底面深度($I=1, M$).

TYPE \$ ($K=1, N$). (1) 当 TYPE \$ = "T" 时, 可输入条形荷载参数; $L(K), M(K), N(K)$ 为第 K 个条形荷载的位置参数, 对应式(7)的 L, M, N ; $Q(K), Z(K)$ 为第 K 个条形荷载的集度和埋深. (2) 当 TYPE \$ = "J" 时, 输入矩形荷载参数.

$Q(K), Z(K)$ 为第 K 个矩形荷载的集度和埋深; $X(K, i), Y(K, i)$ 为第 K 个矩形荷载的 4 个角点坐标($i=1, 4$), 逆时针依次输入; X, Y 为所求固结沉降的位置坐标; $DN(I)$ 为第 I 天然土层计算分层数; $DZ(I)$ 为第 I 天然土层计算分层厚度; $Z(I, J)$ 为第 I 天然土层的第 J 计算分层的底面深度; $P_0(I, J), E_0(I, J)$ 为第 I 天然土层的第 J 计算分层的上覆应力及对应的孔隙比; $DP(I, J)$ 为第 I 天然土层的第 J 计算分层底面的附加应力; $DQ(I, J)$ 为第 I 天然土层的第 J 计算分层的总应力或对应的孔隙比; $S(I)$ 为第 I 天然土层的压缩量; S 为所求点的总固结沉降量.

3.2 DATA 文件说明

(1) 当压缩指标采用 $e-P$ 曲线时, 依次输入 $A \$, B \$$ (" $e-P$ "), $D \$, NT, MT, DZ, O(1), O(2), \dots, O(MT), "T", L(1), M(1), N(1), Q(1), Z(1), \dots, "J", Q(NT), Z(NT), X(NT, 1), Y(NT, 1), \dots, X(NT, 4), Y(NT, 4), R(1), H(1), \dots, R(MT), H(MT), P(1, 1), E(1, 1), \dots, P(1, O(1)), E(1, O(1)), \dots, P(MT, 1), E(MT, 1), \dots, P(MT, O(MT)), E(MT, O(MT)), X, Y, X, Y, \dots, -1\ 000$ (多个 X, Y 最后以 $-1\ 000$ 结束).

(2) 当压缩指标采用 $e-\log P$ 曲线时, 可以依次输入 $A \$, B \$$ (" C_c "), $D \$, NT, MT, DZ, O(1), O(2), \dots, O(MT), "T", L(1), M(1), N(1), Q(1), Z(1), \dots, "J", Q(NT), Z(NT), X(NT, 1), Y(NT, 1), \dots, X(NT, 4), Y(NT, 4), R(1), H(1), \dots, R(MT), H(MT), C(1, 1), S(1, 1), PC(1), EC(1), \dots, C(1, O(1)), S(1, O(1)), PC(1, O(1)), EC(1, O(1)), \dots, C(MT, 1), S(MT, 1), PC(MT, 1), EC(MT, 1), \dots, C(MT, O(MT)), S(MT, O(MT)), PC(MT, O(MT)), EC(MT, O(MT)), X, Y, X, Y, \dots, -1\ 000$ (多个 X, Y 最后以 $-1\ 000$ 结束).

3.3 输出说明

(1) 当 $D \$ = "T"$ 时, 输出内容包括: (1) 工程名称; (2) 所有原始资料; (3) 各地基计算分层的底面高程, 该层土的平均上覆应力和附加应力; (4) 各个 X, Y 坐标及其正下方各天然土层的压缩量和总固结沉降量.

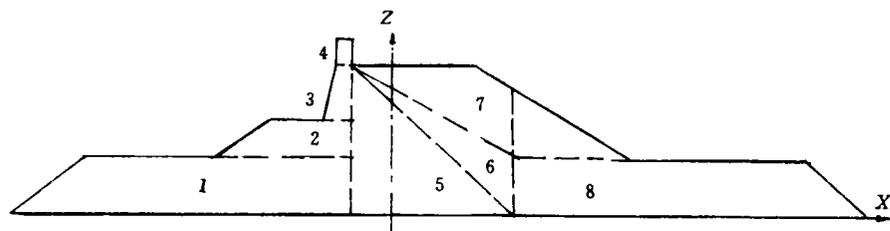
(2) 当 $D \$ = "S"$ 时, 输出内容包括: (1) 工程名称; (2) 各个 X, Y 坐标及其正下方各天然土层的压缩量和总固结沉降量.

4 例题

有一海堤, 断面如附图所示(人为划分为九个条形荷载的组合).

地基分四个天然土层如下:

深度(m)	0~2.7,	2.7~4.7,	4.7~13.7,	13.7~19.7
容重(kPa)	1.65,	1.77,	1.72,	1.65.



附图 海堤断面及荷载划分

采用 $e-P$ 曲线, 可得

P (kPa)	0	25	50	100	200	300	400	500	600
e_1	1.43	1.28	1.20	1.09	0.97	0.89	0.84	0.82	0.80
e_2	1.22	1.12	1.05	0.97	0.88	0.82	0.79	0.76	0.74
e_3	1.33	1.25	1.19	1.11	1.00	0.93	0.88	0.84	0.82
e_4	1.47	1.42	1.38	1.28	1.14	1.03	0.96	0.91	0.88

欲求横断面上 X (m) 分别为 $-15, -10, -5, 0, 5, 10, 15$ 处的总固结沉降量。

本例题计算结果如下

X (m)	-15	-10	-5	0	5	10	15
S (m)	0.043	0.079	0.111	0.161	0.131	0.085	0.067

计算输入文件为“XYTGC”, “ $e-P$ ”, “1”, 9, 4, 1, 9, 9, 9, 9, “T”, -16.95, -12.95, -1.5, 3.4, 0, “T”, -6.35, -4.4, -1.5, 2.21, 0, “T”, -2, -2, -1.5, 1.7, 0, “T”, 4.366, -0.934, -1.5, 9.01, 0, “T”, -0.934, 4.366, 4.366, 4.366, 0, “T”, -0.934, 2, 4.366, 2.42, 0, “T”, 8.5, 4.366, 4.366, 3.49, 0, “T”, 18.5, 16.5, 4.366, 3.3, 0, 0, 1.65, 2.7, 1.77, 4.7, 1.72, 13.7, 1.65, 19.7, 0, 1.43, 25, 1.28, 50, 1.2, 100, 1.09, 200, 0.97, 300, 0.89, 400, 0.84, 500, 0.82, 600, 0.80, 0, 1.22, 25, 1.12, 50, 1.1, 100, 0.97, 200, 0.88, 300, 0.82, 400, 0.79, 500, 0.76, 600, 0.74, 0, 1.32, 25, 1.25, 50, 1.2, 100, 1.11, 200, 1.0, 300, 0.93, 400, 0.88, 500, 0.84, 600, 0.82, 0, 1.47, 25, 1.42, 50, 1.4, 100, 1.28, 200, 1.1, 300, 1.0, 400, 0.95, 500, 0.91, 600, 0.88, -15, 0, -10, 0, -5, 0, 0, 0, 5, 0, 10, 0, 15, 0, -1 000.

计算输出文件为

$X = -15 \quad Y = 0$

$S(1) = 1.457\ 466\ E-02$
 $S(2) = 8.510\ 304\ E-03$
 $S(3) = 1.930\ 917\ E-02$
 $S(4) = 5.991\ 259\ E-04$
 $S = 4.299\ 326\ E-02$

$X = -10 \quad Y = 0$

$S(1) = 2.890\ 554\ E-02$
 $S(2) = 1.579\ 841\ E-02$
 $S(3) = 3.330\ 245\ E-02$
 $S(4) = 8.986\ 149\ E-04$
 $S = 7.890\ 502\ E-02$

$$X = -5 \quad Y = 0$$

$$S(1) = 4.0777417 \text{ E} - 02$$

$$S(2) = 2.215946 \text{ E} - 02$$

$$S(3) = 4.771709 \text{ E} - 02$$

$$S(4) = 1.175646 \text{ E} - 03$$

$$S = 0.1118264$$

$$X = 5 \quad Y = 0$$

$$S(1) = 5.085798 \text{ E} - 02$$

$$S(2) = 2.578805 \text{ E} - 02$$

$$S(3) = 5.269375 \text{ E} - 02$$

$$S(4) = 1.24957 \text{ E} - 03$$

$$S = 0.1305894$$

$$X = 15 \quad Y = 0$$

$$S(1) = 2.713123 \text{ E} - 02$$

$$S(2) = 1.343224 \text{ E} - 02$$

$$S(3) = 2.575897 \text{ E} - 02$$

$$S(4) = 7.216598 \text{ E} - 04$$

$$S = 0.0670441$$

$$X = 0 \quad Y = 0$$

$$S(1) = 6.883119 \text{ E} - 02$$

$$S(2) = 3.119727 \text{ E} - 02$$

$$S(3) = 5.941726 \text{ E} - 02$$

$$S(4) = 1.32507 \text{ E} - 03$$

$$S = 0.1607715$$

$$X = 10 \quad Y = 0$$

$$S(1) = 0.0287939$$

$$S(2) = 1.690868 \text{ E} - 02$$

$$S(3) = 0.0380778$$

$$S(4) = 1.010265 \text{ E} - 03$$

$$S = 8.479065 \text{ E} - 02$$

参 考 文 献

- 1 中国建筑科学研究院. GBJT-89 建筑地基基础设计规范. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990
- 2 顾晓鲁, 钱鸿缙, 刘惠珊等. 地基与基础. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993. 103~193

Calculator Program for Consolidation Settlement

Su Shizhuo

(Deign. Inst. of Arch., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract A study is made on the calculator program for consolidation settlement. Under simultaneous action of stripe load in vertical distribution and multiple rectangular load in homogeneous distribution, the program is able to calculate amount of consolidation settlement at arbitrary point in the foundation. The program is thus applicable to the settlement calculation in a sea wall engineering and house shallow foundation.

Keywords consolidation settlement, subsidiary stress, calculator program, layer summation