

Handbook for Civil Engineers in China

中国

孙更生 朱照宏 孙 钧
杨祖东 江欢成 杨文渊 等编著



土木工程师

手册

中册

上海科学技术出版社

中国土木工程师手册

(中 册)

Handbook for Civil Engineers in China

(Volume Two)

孙更生 朱照宏 孙 钧 等编著
杨祖东 江欢成 杨文渊

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国土木工程师手册. 中册 / 孙更生等编著. —上海:
上海科学技术出版社, 2001. 11

ISBN 7-5323-5845-3

I. 中... II. 孙... III. 土木工程—技术手册
IV. TU-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 082662 号

上海科学技术出版社出版发行

(上海瑞金二路 450 号 邮政编码 200020)

上海新华印刷厂印刷 新华书店上海发行所经销

2001 年 11 月第 1 版 2001 年 11 月第 1 次印刷

开本 787×1092 1/16 印张 92 插页 4 字数 2177 千

印数 1—3 000 定价: 160.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向本社出版科联系调换

目 录

(中 册)

第 九 篇	房屋结构	9.1 ~ 9.216
第 十 篇	特种工程结构	10.1 ~ 10.145
第十一篇	土力学与基础工程	11.1 ~ 11.334
第十二篇	隧道与地下工程	12.1 ~ 12.214
第十三篇	道路工程	13.1 ~ 13.208
第十四篇	交通工程	14.1 ~ 14.152
第十五篇	机场工程	15.1 ~ 15.89
第十六篇	铁道工程	16.1 ~ 16.104

Contents

(Volume Two)

Section 9	Building Structure	9.1 ~ 9.216
Section 10	Special Structure	10.1 ~ 10.145
Section 11	Soil Mechanics and Foundation Engineering	11.1 ~ 11.334
Section 12	Tunnel and Underground Engineering	12.1 ~ 12.214
Section 13	Highway Engineering	13.1 ~ 13.208
Section 14	Traffic Engineering	14.1 ~ 14.152
Section 15	Airport Engineering	15.1 ~ 15.89
Section 16	Railway Engineering	16.1 ~ 16.104

第十一篇 土力学与基础工程

宝钢工程指挥部顾问委员会顾问

上海市地铁工程指挥部技术顾问

孙更生

原中国建筑学会地基基础学术委员会副主任

原中国工程建设标准化协会地基基础委员会副主任

上海现代建筑设计集团资深总工程师,教授级高级工程师

上海市建设委员会科技委地基基础与地下工程学术委员会主任

黄绍铭

上海市力学学会常务理事,上海市土木工程学会理事

中国建筑学会地基基础学术委员会委员

中国土木工程学会土力学与基础工程学会第四届理事会理事

目 录

第一章 土中应力计算	11.5
第一节 土的自重应力	11.5
第二节 基底压力	11.5
第三节 地基附加应力	11.6
第二章 土的压缩性指标和天然地基沉降计算	11.37
第一节 土的压缩性指标	11.37
第二节 天然地基最终沉降量计算	11.40
第三节 地基变形验算及容许变形值	11.56
第三章 土的抗剪强度	11.59
第一节 土抗剪强度基本原理	11.59
第二节 土体极限平衡理论	11.60
第三节 软粘土地基在荷载下强度变化	11.62
第四章 浅基础的地基承载力	11.64
第一节 载荷试验确定地基容许承载力	11.64
第二节 根据地基承载力理论公式确定地基容许承载力	11.64
第三节 按设计规范确定地基容许承载力	11.69
第五章 土压力计算与挡土墙设计要点	11.75
第一节 土压力的类型	11.75
第二节 静止土压力计算	11.75
第三节 朗金土压力理论	11.77
第四节 库仑土压力理论	11.81
第五节 挡土墙设计要点	11.88
第六章 土坡稳定分析	11.91
第一节 砂性土的土坡稳定分析	11.91
第二节 粘性土的土坡稳定分析	11.91
第三节 土坡稳定分析若干问题	11.102
第七章 天然地基上浅基础设计	11.105
第一节 基础底面尺寸的确定	11.105
第二节 刚性基础	11.107
第三节 扩展基础	11.108
第四节 柱下梁式基础	11.111
第五节 片筏基础	11.123
第六节 箱形基础	11.128

第八章 土在动荷载下的力学性质及动力基础计算	11.135
第一节 土在反复循环荷载作用下的力学性质	11.135
第二节 砂土液化	11.142
第三节 动力基础计算要点	11.148
第九章 桩基础	11.159
第一节 竖向荷载作用下单桩承载力	11.159
第二节 竖向荷载作用下群桩的承载力和变形	11.168
第三节 水平荷载作用下单桩和群桩的承载力	11.173
第四节 桩基的结构设计	11.179
第五节 桩基的负摩阻力	11.187
第六节 桩的施工方法	11.190
第十章 基坑支护结构	11.194
第一节 支护结构类型	11.194
第二节 支护结构受力计算	11.202
第三节 支护结构稳定计算	11.210
第四节 支护结构的侧向位移和邻近地面沉降	11.214
第五节 斜土锚	11.217
第十一章 地基与基础处理	11.223
第一节 基本原则	11.223
第二节 换填法	11.223
第三节 预压法	11.228
第四节 强夯法	11.232
第五节 振冲法	11.234
第六节 土或灰土挤密桩法	11.238
第七节 砂石桩法	11.239
第八节 深层搅拌法	11.243
第九节 高压喷射注浆法	11.245
第十节 粉体喷搅桩法	11.247
第十一节 加筋土法	11.250
第十二节 土工聚合物法	11.257
第十三节 托换法	11.264
第十四节 基础纠偏	11.267
第十二章 特殊性岩土地基	11.274
第一节 软土地基	11.274
第二节 湿陷性黄土地基	11.292
第三节 膨胀土地基	11.309
第四节 红土(包括红粘土)地基	11.324
第五节 冻土地基	11.329
参考文献	11.332

第一章 土中应力计算

第一节 土的自重应力

假定天然地面是无限大的水平面,地面以下土质均匀,若天然土体重度为 γ ,则在天然地面下任意深度 z 处水平面的竖向自重应力 σ_z ,可取作用于该水平面上任一单位面积上的土柱重量 γz 来计算。

$$\sigma_z = \gamma z \quad (11-1-1)$$

σ_z 沿水平面均匀分布,且与深度 z 成正比。

土中除有作用于水平面上的竖向自重应力外,在竖直平面上还作用有水平的侧向自重应力 σ_x 和 σ_y ,可由下式计算:

$$\sigma_x = \sigma_y = K_0 \sigma_z \quad (11-1-2)$$

式中 K_0 ——土的侧压力系数,也称静止土压力系数,参见表 11-2-1。

天然土体往往是成层的,因此,在地面下深度 z 处竖向自重应力 σ_z 应为:

$$\sigma_z = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i \quad (11-1-3)$$

式中 n ——深度 z 范围内的土层总数;

h_i ——第 i 层土的厚度;

γ_i ——第 i 层土的重度,对地下水位以下的土层取浮重度。

第二节 基底压力

建筑物的荷载通过基础传给地基,因此,在基础底面与地基之间存在着相互作用力,这种相互作用力的分布规律相当复杂,它与基础的刚度、作用在基础上的荷载大小和分布、地基土的力学性质、以及基础的埋置深度等许多因素有关。本节主要阐述基础作用于地基上的基底压力,在实际工程中,基底压力分布通常是采用直线规律分布的简化假设进行计算的,理论、试验和工程实践结果证明,根据这种简化假设计算得到的基底压力分布,用于地基变形和稳定性分析时并不会产生明显的偏差。

中心荷载时(图 11-1-3a),假定基础底面压力为均匀分布:

$$p = \frac{Q}{F} \quad (11-1-4)$$

偏心荷载时(图 11-1-3b),假定基础底面压力可按材料力学中短柱偏心受压的公式计算:

$$p_{x,y} = \frac{Q}{F} + \frac{M_x y}{I_x} + \frac{M_y x}{I_y} \quad (11-1-5)$$

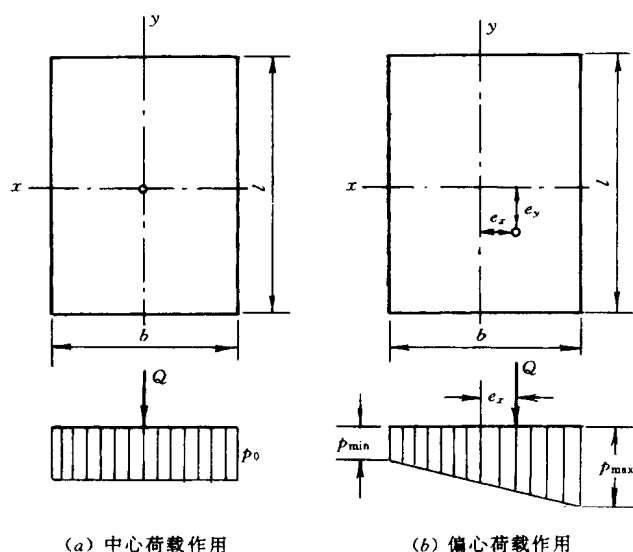


图 11-1-1 基底压力分布

式(11-1-4)和(11-1-5)中

Q ——作用于基础底面上的总荷载;

F ——基础底面积;

M_x, M_y ——偏心荷载对 x 和 y 轴的力矩;

I_x, I_y ——基础底面积对 x 和 y 轴的惯性矩;

x, y ——所考虑点的坐标。

在实际工程中,由于基础一般埋置在天然地面下一定深度处,该处地基土原有的自重应力由于开挖基坑而卸除,因此,应从建筑物建造后的基底总压力中扣除基底埋深处原有土的自重应力后,才是基底平面上新增加于地基、产生地基附加应力的基底压力,亦称基底附加压力。

基底附加压力 p_0 可按下式计算:

$$p_0 = p - \sigma_\alpha \quad (11-1-6)$$

式中 p ——按式(11-1-4)或(11-1-5)计算的基底压力;

σ_α ——基底埋深处土的自重应力。

第三节 地基附加应力

一、均质地基附加应力计算的空间问题

(一) 地基表面上作用竖向集中力

均质半无限空间体中任一点 $M(x, y, z)$ 处,由作用于其表面的集中力 P (图 11-1-2) 所产生的竖向正应力 σ_z 的计算公式如下:

$$\sigma_z = K \cdot \frac{P}{z^2} \quad (11-1-7)$$

式中, $K = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{1}{[1 + (r/z)^2]^{5/2}}$, 为集中力作用下的地基竖向附加应力系数, r/z 值由表 11-1-1 查得。

表 11-1-1 地基表面作用竖向集中力时, 竖向附加应力系数 K

$\frac{r}{z}$	K	$\frac{r}{z}$	K	$\frac{r}{z}$	K	$\frac{r}{z}$	K	$\frac{r}{z}$	K
0	0.4775	0.50	0.2733	1.00	0.0844	1.50	0.0251	2.00	0.0085
0.05	0.4745	0.55	0.2466	1.05	0.0744	1.55	0.0224	2.20	0.0058
0.10	0.4657	0.60	0.2214	1.10	0.0658	1.60	0.0200	2.40	0.0040
0.15	0.4516	0.65	0.1978	1.15	0.0581	1.65	0.0179	2.60	0.0029
0.20	0.4329	0.70	0.1762	1.20	0.0513	1.70	0.0160	2.80	0.0021
0.25	0.4103	0.75	0.1565	1.25	0.0454	1.75	0.0144	3.00	0.0015
0.30	0.3849	0.80	0.1386	1.30	0.0402	1.80	0.0129	3.50	0.0007
0.35	0.3577	0.85	0.1226	1.35	0.0357	1.85	0.0116	4.00	0.0004
0.40	0.3294	0.90	0.1083	1.40	0.0317	1.90	0.0105	4.50	0.0002
0.45	0.3011	0.95	0.0956	1.45	0.0282	1.95	0.0095	5.00	0.0001

图 11-1-2 中 M 点的两个水平正应力 σ_x 、 σ_y 及三个剪应力 τ_{xy} 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} 一般不常用, 其计算公式如下:

$$\sigma_x = \frac{3P}{2\pi} \left\{ \frac{x^2 z}{R^5} + \frac{1-2\mu}{3} \left[\frac{1}{R(R+z)} - \frac{(2R+z)x^2}{(R+z)^2 R^3} - \frac{z}{R^3} \right] \right\} \quad (11-1-8)$$

$$\sigma_y = \frac{3P}{2\pi} \left\{ \frac{y^2 z}{R^5} + \frac{1-2\mu}{3} \left[\frac{1}{R(R+z)} - \frac{(2R+z)y^2}{(R+z)^2 R^3} - \frac{z}{R^3} \right] \right\} \quad (11-1-9)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \frac{3P}{2\pi} \left[\frac{xyz}{R^5} - \frac{1-2\mu}{3} \frac{(2R+z)xy}{(R+z)^2 R^3} \right] \quad (11-1-10)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \frac{3P}{2\pi} \frac{yz^2}{R^5} \quad (11-1-11)$$

$$\tau_{zx} = \tau_{xz} = \frac{3P}{2\pi} \frac{xz^2}{R^5} \quad (11-1-12)$$

式中 μ ——地基土的泊松比;

其余符号见图 11-1-2。

(二) 地基表面矩形面积上作用均布竖向荷载

当均布竖向荷载 p_v 作用时, 矩形面积任一角点 C 下(图 11-1-3)任意深度 z 处竖向正应力 σ_x 的计算公式:

$$\sigma_x = \frac{p_v}{2\pi} \left[\frac{lbz}{D} \cdot \frac{l^2 + b^2 + 2z^2}{D^2 z^2 + l^2 b^2} + \arcsin \left(\frac{lb}{\sqrt{l^2 + z^2} \sqrt{b^2 + z^2}} \right) \right] \quad (11-1-13)$$

式中 $D^2 = l_1^2 + b_1^2 + z^2$;

b_1 ——矩形半宽;

l_1 ——矩形半长,如图 11-1-3 所示。

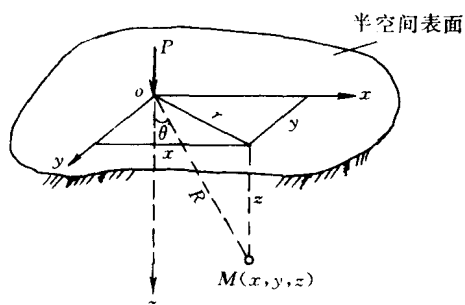


图 11-1-2 竖向集中力作用下地基中的应力

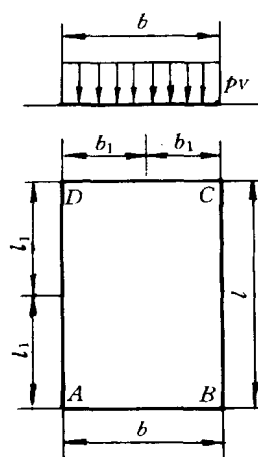


图 11-1-3 计算均布竖向矩形荷载角点下竖向应力

实际应用时将式(11-1-13)简化:

$$\sigma_z = K_c p_x \quad (11-1-14)$$

式中 K_c ——角点 C 下竖向应力系数,为 $m \left(m = \frac{l}{b} \right)$ 和 $n \left(n = \frac{z}{b} \right)$ 的函数,如已知 l, b, z 值便可算出 m, n 值,然后由表 11-1-2 查用。

表 11-1-2 均布竖向矩形荷载角点下竖向应力系数 K_c

$m = \frac{l}{b}$ $n = \frac{z}{b}$	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	10.0
0.0	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500
0.2	0.2486	0.2489	0.2490	0.2491	0.2491	0.2491	0.2492	0.2492	0.2492	0.2492	0.2492
0.4	0.2401	0.2420	0.2429	0.2434	0.2437	0.2439	0.2442	0.2443	0.2443	0.2443	0.2443
0.6	0.2229	0.2275	0.2300	0.2315	0.2324	0.2329	0.2339	0.2341	0.2342	0.2342	0.2342
0.8	0.1999	0.2075	0.2120	0.2147	0.2165	0.2176	0.2196	0.2200	0.2202	0.2202	0.2202
1.0	0.1752	0.1851	0.1911	0.1955	0.1981	0.1999	0.2034	0.2042	0.2044	0.2045	0.2046
1.2	0.1516	0.1626	0.1705	0.1758	0.1793	0.1818	0.1870	0.1882	0.1885	0.1887	0.1888
1.4	0.1308	0.1423	0.1508	0.1569	0.1613	0.1644	0.1712	0.1730	0.1735	0.1738	0.1740
1.6	0.1123	0.1241	0.1329	0.1396	0.1445	0.1482	0.1567	0.1590	0.1598	0.1601	0.1604
1.8	0.0969	0.1083	0.1172	0.1241	0.1294	0.1334	0.1434	0.1463	0.1474	0.1478	0.1482
2.0	0.0840	0.0947	0.1034	0.1103	0.1158	0.1202	0.1314	0.1350	0.1363	0.1368	0.1374
2.2	0.0732	0.0832	0.0917	0.0984	0.1039	0.1084	0.1205	0.1248	0.1264	0.1271	0.1277
2.4	0.0642	0.0734	0.0813	0.0879	0.0934	0.0979	0.1108	0.1156	0.1175	0.1184	0.1192
2.6	0.0566	0.0651	0.0725	0.0788	0.0842	0.0887	0.1020	0.1073	0.1095	0.1106	0.1116
2.8	0.0502	0.0580	0.0649	0.0709	0.0761	0.0805	0.0942	0.0999	0.1024	0.1036	0.1048
3.0	0.0447	0.0519	0.0583	0.0640	0.0690	0.0732	0.0870	0.0931	0.0959	0.0973	0.0987

(续表)

$m = \frac{l}{b}$ $n = \frac{z}{b}$	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	10.0
3.2	0.0401	0.0467	0.0526	0.0580	0.0627	0.0668	0.0806	0.0870	0.0900	0.0916	0.0933
3.4	0.0361	0.0421	0.0477	0.0527	0.0571	0.0611	0.0747	0.0814	0.0847	0.0864	0.0882
3.6	0.0326	0.0382	0.0433	0.0480	0.0523	0.0561	0.0694	0.0763	0.0799	0.0816	0.0837
3.8	0.0296	0.0348	0.0395	0.0439	0.0479	0.0516	0.0646	0.0717	0.0753	0.0773	0.0796
4.0	0.0270	0.0318	0.0362	0.0403	0.0441	0.0474	0.0603	0.0674	0.0712	0.0733	0.0758
4.2	0.0247	0.0291	0.0333	0.0371	0.0407	0.0439	0.0563	0.0634	0.0674	0.0696	0.0724
4.4	0.0227	0.0268	0.0306	0.0343	0.0376	0.0407	0.0527	0.0597	0.0639	0.0662	0.0692
4.6	0.0209	0.0247	0.0283	0.0317	0.0348	0.0378	0.0493	0.0564	0.0606	0.0630	0.0663
4.8	0.0193	0.0229	0.0262	0.0294	0.0324	0.0352	0.0463	0.0533	0.0576	0.0601	0.0635
5.0	0.0179	0.0212	0.0243	0.0274	0.0302	0.0328	0.0435	0.0504	0.0547	0.0573	0.0610
6.0	0.0127	0.0151	0.0174	0.0196	0.0218	0.0238	0.0325	0.0388	0.0431	0.0460	0.0506
7.0	0.0094	0.0112	0.0130	0.0147	0.0164	0.0180	0.0251	0.0306	0.0346	0.0376	0.0428
8.0	0.0073	0.0087	0.0101	0.0114	0.0127	0.0140	0.0198	0.0246	0.0283	0.0311	0.0367
9.0	0.0058	0.0069	0.0080	0.0091	0.0102	0.0112	0.0161	0.0202	0.0235	0.0262	0.0319
10.0	0.0047	0.0056	0.0065	0.0074	0.0083	0.0092	0.0132	0.0167	0.0198	0.0222	0.0280

如果拟求矩形荷载面积内部、边上或荷载面外任意点下任意深度 z 处的竖向应力时,可按下述角点法进行。先用叠加原理求得 K_C 值,再用(11-1-14)式计算。

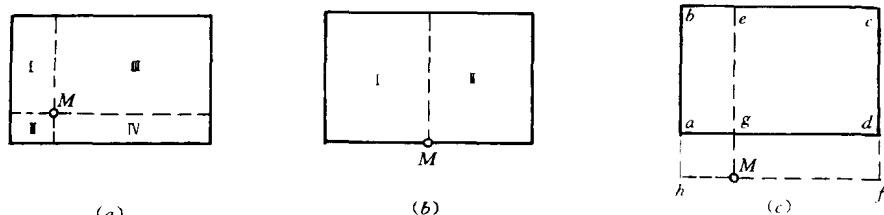


图 11-1-4 角点法计算均布竖向矩形荷载下任一点的竖向应力

(1) 求矩形荷载面积内任一点下 K_C 值:

由图 11-1-4a, $K_C = K_{CI} + K_{CII} + K_{CIII} + K_{CIV}$

(2) 求矩形荷载面积边任一点下的 K_C 值:

由图 11-1-4b, $K_C = K_{CI} + K_{CII}$

(3) 求矩形荷载面积外任意点下竖向应力:

由图 11-1-4c, 用 I, II, III, IV 分别代表矩形面 $Mhbe$, $Mfce$, $Mhag$, $Mfdg$, 则

$$K_C = K_{CI} + K_{CII} - K_{CIII} - K_{CIV}$$

(三) 地基表面矩形面积上作用三角形分布竖向荷载

作用于矩形面积上的竖向荷载,当沿荷载面的一边为三角形分布时(图 11-1-5),则在荷载强度为零的角点 A 下深度 z 处的竖向应力 σ_A 可按式计算:

$$\sigma_{zA} = K_A p_v \quad (11-1-15)$$

式中 p_v ——按三角形变化的最大荷载强度；

$$K_A = \frac{mn}{2\pi} \left[\frac{1}{\sqrt{m^2 + n^2}} - \frac{n^2}{(1+n^2)\sqrt{m^2 + n^2 + 1}} \right], \text{ 为 } m \left(m = \frac{l}{b} \right), n \left(n = \frac{z}{b} \right) \text{ 的函数, 可由表 11-1-3 查用。}$$

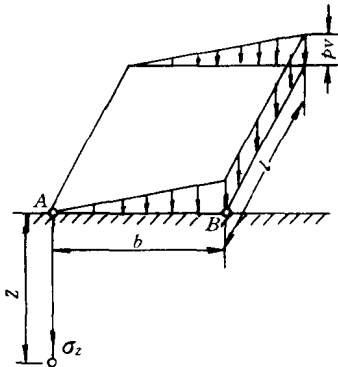


图 11-1-5 三角形分布竖向矩形荷载角点下竖向应力

同理,荷载最大值边的角点 B 下任意深度 z 处的竖向应力 σ_{zB} ,可按下式计算:

$$\sigma_{zB} = K_B p_v \quad (11-1-16)$$

系数 K_B 和 K_A 一样,均为 $m \left(m = \frac{l}{b} \right)$ 和 $n \left(n = \frac{z}{b} \right)$ 的函数,可由表 11-1-3 查用。

应当指出,采用上述均布和三角形分布的矩形荷载面角点下的竖向应力系数表 11-1-2 和表 11-1-3,即可用角点法求出基底压力为均布、三角形及梯形分布时地基中任意点的竖向应力。

(四) 地基表面圆形面积上作用均布竖向荷载

设圆形荷载面积的半径为 r_0 ,作用于地基表面的均布竖向荷载为 p_v ,则圆形荷载面积中点和周边下任意深度 z 处的竖向应力 σ_{z0} 和 σ_{zx} 可分别按以下两式计算:

$$\sigma_{z0} = K'_0 p_v \quad (11-1-17)$$

表 11-1-3 三角形分布竖向矩形荷载角点下竖向应力系数 K_A 和 K_B

n	m		0.2		0.4		0.6		0.8		1.0		1.2		1.4	
	K_A	K_B	K_A	K_B	K_A	K_B	K_A	K_B	K_A	K_B	K_A	K_B	K_A	K_B	K_A	K_B
0.0	0.0000	0.2500	0.0000	0.2500	0.0000	0.2500	0.0000	0.2500	0.0000	0.2500	0.0000	0.2500	0.0000	0.2500	0.0000	0.2500
0.2	0.0223	0.1821	0.0280	0.2115	0.0296	0.2165	0.0301	0.2178	0.0304	0.2182	0.0305	0.2184	0.0305	0.2185	0.0305	0.2185
0.4	0.0269	0.1094	0.0420	0.1604	0.0487	0.1781	0.0517	0.1844	0.0531	0.1870	0.0539	0.1881	0.0543	0.1886	0.0543	0.1886
0.6	0.0259	0.0700	0.0448	0.1165	0.0560	0.1405	0.0621	0.1520	0.0654	0.1575	0.0673	0.1602	0.0684	0.1616	0.0684	0.1616
0.8	0.0232	0.0480	0.0421	0.0853	0.0553	0.1093	0.0637	0.1232	0.0688	0.1311	0.0720	0.1355	0.0739	0.1381	0.0739	0.1381
1.0	0.0201	0.0346	0.0375	0.0638	0.0508	0.0852	0.0602	0.0996	0.0666	0.1086	0.0708	0.1143	0.0735	0.1176	0.0735	0.1176
1.2	0.0171	0.0260	0.0324	0.0491	0.0460	0.0673	0.0546	0.0807	0.0615	0.0901	0.0664	0.0962	0.0698	0.1007	0.0698	0.1007
1.4	0.0145	0.0202	0.0278	0.0386	0.0392	0.0540	0.0483	0.0561	0.0554	0.0751	0.0606	0.0817	0.0644	0.0864	0.0644	0.0864
1.6	0.0123	0.0160	0.0238	0.0310	0.0339	0.0440	0.0424	0.0547	0.0492	0.0628	0.0545	0.0696	0.0586	0.0743	0.0586	0.0743
1.8	0.0105	0.0130	0.0204	0.0254	0.0294	0.0363	0.0371	0.0457	0.0435	0.0534	0.0487	0.0596	0.0528	0.0644	0.0528	0.0644
2.0	0.0090	0.0108	0.0176	0.0211	0.0255	0.0304	0.0324	0.0387	0.0384	0.0456	0.0434	0.0513	0.0474	0.0560	0.0474	0.0560
2.5	0.0063	0.0072	0.0125	0.0140	0.0183	0.0205	0.0236	0.0265	0.0284	0.0318	0.0326	0.0365	0.0362	0.0405	0.0362	0.0405
3.0	0.0046	0.0051	0.0092	0.0100	0.0135	0.0148	0.0176	0.0192	0.0214	0.0233	0.0249	0.0270	0.0280	0.0303	0.0280	0.0303
5.0	0.0018	0.0019	0.0036	0.0038	0.0054	0.0056	0.0071	0.0074	0.0088	0.0091	0.0104	0.0108	0.0120	0.0123	0.0120	0.0123
7.0	0.0009	0.0010	0.0019	0.0019	0.0028	0.0029	0.0038	0.0038	0.0047	0.0047	0.0056	0.0056	0.0064	0.0066	0.0064	0.0066
10.0	0.0005	0.0004	0.0009	0.0010	0.0014	0.0014	0.0019	0.0019	0.0023	0.0024	0.0028	0.0028	0.0033	0.0032	0.0033	0.0032

(续表)

$n \backslash m$	1.6		1.8		2.0		3.0		4.0		6.0		8.0		10.0	
	K_A	K_B	K_A	K_B	K_A	K_B	K_A	K_B	K_A	K_B	K_A	K_B	K_A	K_B	K_A	K_B
0.0	0.0000	0.2500	0.0000	0.2500	0.0000	0.2500	0.0000	0.2500	0.0000	0.2500	0.0000	0.2500	0.0000	0.2500	0.0000	0.2500
0.2	0.0306	0.2185	0.0306	0.2185	0.0306	0.2185	0.0306	0.2186	0.0306	0.2186	0.0306	0.2186	0.0306	0.2186	0.0306	0.2186
0.4	0.0545	0.1889	0.0546	0.1891	0.0547	0.1892	0.0548	0.1894	0.0549	0.1894	0.0549	0.1894	0.0549	0.1894	0.0549	0.1894
0.6	0.0690	0.1625	0.0694	0.1630	0.0696	0.1633	0.0701	0.1638	0.0702	0.1639	0.0702	0.1640	0.0702	0.1640	0.0702	0.1640
0.8	0.0751	0.1396	0.0759	0.1405	0.0764	0.1412	0.0773	0.1423	0.0776	0.1424	0.0776	0.1426	0.0776	0.1426	0.0776	0.1426
1.0	0.0753	0.1202	0.0766	0.1215	0.0774	0.1225	0.0790	0.1244	0.0794	0.1248	0.0795	0.1250	0.0796	0.1250	0.0796	0.1250
1.2	0.0721	0.1037	0.0738	0.1055	0.0749	0.1069	0.0774	0.1096	0.0779	0.1103	0.0782	0.1105	0.0783	0.1105	0.0783	0.1105
1.4	0.0672	0.0897	0.0692	0.0921	0.0707	0.0937	0.0739	0.0973	0.0743	0.0982	0.0752	0.0986	0.0752	0.0987	0.0753	0.0987
1.6	0.0616	0.0780	0.0639	0.0806	0.0656	0.0826	0.0697	0.0870	0.0708	0.0882	0.0714	0.0887	0.0715	0.0888	0.0715	0.0889
1.8	0.0560	0.0681	0.0585	0.0709	0.0604	0.0730	0.0652	0.0782	0.0666	0.0797	0.0673	0.0805	0.0675	0.0806	0.0675	0.0808
2.0	0.0507	0.0596	0.0533	0.0625	0.0553	0.0649	0.0607	0.0707	0.0624	0.0726	0.0634	0.0734	0.0636	0.0736	0.0636	0.0738
2.5	0.0393	0.0440	0.0419	0.0469	0.0440	0.0491	0.0504	0.0559	0.0529	0.0585	0.0543	0.0601	0.0547	0.0604	0.0548	0.0605
3.0	0.0307	0.0333	0.0331	0.0359	0.0352	0.0380	0.0419	0.0451	0.0449	0.0482	0.0469	0.0504	0.0474	0.0509	0.0476	0.0511
5.0	0.0135	0.0139	0.0148	0.0154	0.0161	0.0167	0.0214	0.0221	0.0248	0.0256	0.0283	0.0290	0.0296	0.0303	0.0301	0.0309
7.0	0.0073	0.0074	0.0081	0.0083	0.0089	0.0091	0.0124	0.0126	0.0152	0.0154	0.0186	0.0190	0.0201	0.0207	0.0212	0.0216
10.0	0.0037	0.0037	0.0041	0.0042	0.0046	0.0046	0.0066	0.0066	0.0084	0.0083	0.0111	0.0111	0.0128	0.0130	0.0139	0.0141

$$\sigma_z = K'_c p_v \quad (11-1-18)$$

式中 K'_0 和 K'_c —— z/r_0 的函数,可由表 11-1-4 查得。

表 11-1-4 均布竖向圆形荷载中点及周边下竖向应力系数 K'_0 和 K'_c

z/r_0	系 数		z/r_0	系 数		z/r_0	系 数	
	K'_0	K'_c		K'_0	K'_c		K'_0	K'_c
0.0	1.000	0.500	1.6	0.390	0.244	3.2	0.130	0.103
0.1	0.999	0.482	1.7	0.360	0.229	3.3	0.124	0.099
0.2	0.993	0.464	1.8	0.332	0.217	3.4	0.117	0.094
0.3	0.976	0.447	1.9	0.307	0.204	3.5	0.111	0.089
0.4	0.949	0.432	2.0	0.285	0.193	3.6	0.106	0.084
0.5	0.911	0.412	2.1	0.264	0.182	3.7	0.100	0.079
0.6	0.864	0.374	2.2	0.246	0.172	3.8	0.096	0.074
0.7	0.811	0.369	2.3	0.229	0.162	3.9	0.091	0.070
0.8	0.756	0.363	2.4	0.214	0.154	4.0	0.087	0.066
0.9	0.701	0.347	2.5	0.200	0.146	4.2	0.079	0.058
1.0	0.646	0.332	2.6	0.187	0.139	4.4	0.073	0.052
1.1	0.595	0.313	2.7	0.175	0.133	4.6	0.067	0.049
1.2	0.547	0.303	2.8	0.165	0.125	4.8	0.062	0.047
1.3	0.502	0.286	2.9	0.155	0.119	5.0	0.057	0.045
1.4	0.461	0.270	3.0	0.146	0.113			
1.5	0.424	0.256	3.1	0.138	0.108			

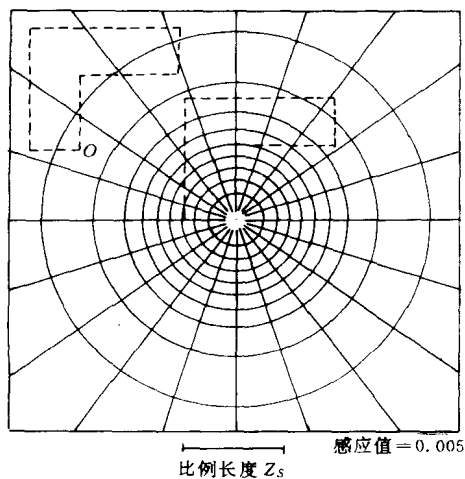


图 11-1-6 竖向附加应力感应图示意

个环形面积等分成 20 个感应面积, 这样作用于任一感应面积上的荷载 p_v 在圆心下 Z_s 处引起的附加应力都等于 $\frac{0.1}{20} p_v = 0.005 p_v$ 。

如果要计算图 11-1-6 中虚线所示的均布荷载 p 面积上某点。以下深度为 Z 处的附加应力 σ_{z0} , 则以感应图上的比例长度 Z_s 代表该深度 Z 的值, 并以此为比例尺在透明描图纸上绘出荷载面积轮廓图, 再将透明纸覆盖在感应图上, 并使荷载面积的 O 点对准感应图的圆心, 然后累计荷载面积轮廓内的感应面积数 N (不占整块者可估计大约为整块的几分之几), 按下式计算 σ_{z0} :

$$\sigma_{z0} = 0.005 N p_v \quad (11-1-19)$$

计算荷载面积的平面上其他点下同一深度处的 σ_z 时, 只要将该点移至圆心上即可; 欲求其他深度的 σ_z , 则须另作相应的荷载面积轮廓图。

(六) 地基表面矩形面积上作用均布水平荷载

均质半无限空间体中任一点 $M(x, y, z)$ 处, 由作用于其表面的水平集中力 P_H (图 11-1-7) 所产生的竖向应力 σ_z 的计算公式如下:

$$\sigma_z = \frac{3P_H}{2\pi R^5} z x^2 \quad (11-1-20)$$

式中符号意义均见图 11-1-7 所示。

在地基表面矩形面积上均布水平荷载 p_h 作用下 (图 11-1-8), 矩形面积两角点 A 、 B 下深度 z 处竖向应力 σ_z 计算公式如下:

$$\sigma_z = \mp K_h p_h \quad (11-1-21)$$

式中 $K_h = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{n}{\sqrt{m^2 + n^2}} - \frac{mn^2}{(1+n^2)\sqrt{1+m^2+n^2}} \right]$, 可由表 11-1-5 查用, $m = \frac{l}{b}$;

$$n = \frac{z}{b};$$

(五) 地基表面任意形状面积上作用均布竖向荷载

当均布竖向荷载面为任意形状时, 可用纽马克 (N. M. Newmark) 提出的应力感应图法来计算附加应力的分布。它通常以 9 个同心圆和 20 条通过圆心的均布射线把平面划成许多面积单元 (图 11-1-6), 称为应力感应面积。若预先取定一个比例长度 Z_s , 并分别取与表 11-1-4 中 $K'_0 = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, \dots$ 相应的 r_0 值作为同心圆的半径 (例如与 $K'_0 = 0.1$ 相应的半径为 $r_1 = 0.270 Z_s$, 与 $K'_0 = 0.2$ 相应的半径为 $r_2 = 0.4 Z_s, \dots$), 则在圆心下深度 Z_s 处由于作用于任意两个相邻同心圆之间的环形面积上的均布竖向荷载 p_v 所引起的竖向附加应力应为 $0.1 p_v$, 而 20 条射线又把各个