

# 复合地基面积置换率的计算方法

代庆礼

(青海有色地质工程勘察院, 青海 西宁 810007)

**摘要:**从复合地基单桩面积置换率的定义出发,计算大面积规则布桩、不规则布桩以及实体基础下的面积置换率,用简单的方法来解决实际复合地基设计、注册岩土工程师考试中的面积置换率的计算问题,较规范中的等效圆面积折算方法更符合实际、更简单、更高效。

**关键词:**面积置换率;地基处理;复合地基;布桩形式

**中图分类号:** TU473.1    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-7428(2015)05-0046-04

**Calculation Method of Area Replacement Ratio of Composite Foundation/Dai Qing-li** (Qinghai Institute of Nonferrous Marine Geological Engineering Explorations, Xining Qinghai 810007, China)

**Abstract:** Starting from the definition of single pile area replacement ratio of composite foundation, the area replacement ratio of large-area regular pile arrangement, irregular pile arrangement and solid foundation are calculated with simple method, which can be used for composite foundation design and the area replacement ratio calculation in examination of registered geotechnical engineer and is more practical, simpler and more efficient than equivalent circle area conversion method in the "Technical Code for Ground Treatment of Buildings".

**Key words:** area replacement ratio; foundation treatment; composite foundation; pile arrangement

## 0 引言

复合地基面积置换率在《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012)中没有具体的定义,仅在复合地基的计算公式中出现,并解释了其计算公式,采用了等效圆直径的计算方法。但在复合地基设计中,面积置换率是一个比较重要的设计参数,用以确定复合地基承载力特征值。

面积置换率的定义:在复合地基中,一根桩和它所承担的桩间土体为一复合土体单元,在这一复合土体单元中,桩的断面面积和复合土体单元面积之比,称为面积置换率。从定义可知,桩端面采用成桩后的桩端面,非成孔端面;复合土体单元面积即桩所分担处理土体的面积;在2013—2014年注册岩土工程考试中出现频率较多。

《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012)中采用等效圆直径的方法计算复合地基面积置换率的公式是一种舍近求远的方法,在实际应用中对非正三角形布桩、非正方形布桩带来许多麻烦。本文从面积置换率的定义出发,在各种不规则布桩形式中寻求出一定的规律,即一种布桩计算方式在整个场

地中可重复出现或重复的图形布满整个场地,用这种重复性规律来解决实际问题。本文提出的方法,用来解决复合地基设计及注册岩土工程师考试中的问题,计算过程显得更简单、实用、明了。

## 1 大面积规则布桩面积置换率计算

大面积规则布桩主要形式有:正三角形布桩、正方形布桩、矩形布桩、等腰三角形布桩等形式,这些布桩形式,面积置换率计算方发较多,下面介绍一种比规范简单的计算方法。

### 1.1 大面积正三角形布桩

正三角形布桩如图1所示,三角形阴影部分所表示计算面积置换率的两种规律,三角形为3个相

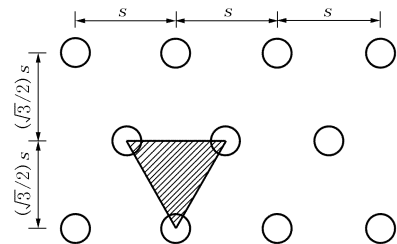


图1 正三角形布桩

收稿日期:2014-11-19; 修回日期:2015-04-27

作者简介:代庆礼,男,汉族,1974年生,工程师,硕士,从事岩土工程勘察、设计及地质灾害勘察、设计、治理等领域的工作,青海省西宁市金和路36号,359894656@qq.com。

邻复合桩中心连线所形成,而且这种三角形可以有规律的布满整个处理场地,它具有一定的代表性,所以这种三角形就是一种规律,其包含半个复合桩截面面积(注:一根桩为 360°,而三角形为 180°)和半根桩所分担的桩间土的面积。

桩截面面积为半根桩的面积:

$$A = (1/2)(1/4)\pi d^2 = (1/8)\pi d^2 \quad (1)$$

半根桩所分担的面积:

$$A_e = (1/2)s(\sqrt{3}/2)s = (\sqrt{3}/4)s^2 \quad (2)$$

面积置换率计算公式:

$$m = \frac{A}{A_e} = \frac{(1/8)\pi d^2}{(\sqrt{3}/4)s^2} = \frac{\pi d^2}{2\sqrt{3}s^2} \approx \frac{1.05d^2}{s^2} \quad (3)$$

和《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012)计算结果一致,当需要单根桩所分担的处理面积  $A_p$  时,  $A_e$  取 2 倍即可,即:

$$A_p = 2A_e = (\sqrt{3}/2)s^2 \quad (4)$$

### 1.2 正方形和矩形布桩

如图 2 所示,小正方形和大正方形均可有规律的布满整个场地,所以这 2 种正方形也是一种计算规律。

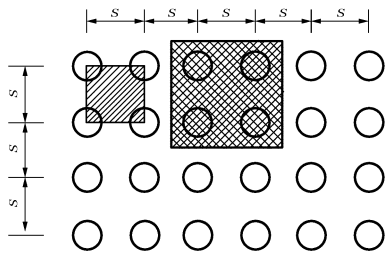


图 2 正方形布桩

小正方形布桩面积置换率计算:

$$m = \frac{(1/4)\pi d^2}{ss} = \frac{\pi d^2}{4s^2} \quad (5)$$

大正方形布桩面积置换率计算:

$$m = \frac{4(1/4)\pi d^2}{2s \cdot 2s} = \frac{\pi d^2}{4s^2} \quad (6)$$

从结果可以看出,同一场地虽然选取的计算正方形大小及所包含的桩及面积不同,面积置换率的计算结果是一致的。

如图 3 所示为矩形布桩。小矩形布桩面积置换率计算:

$$m = \frac{(1/4)\pi d^2}{s_1 s_2} = \frac{\pi d^2}{4s_1 s_2} \quad (7)$$

大矩形布桩面积置换率计算:

$$m = \frac{(1/4)\pi d^2 \times 4}{s_1 s_2} = \frac{\pi d^2}{4s_1 s_2} \quad (8)$$

## 2 大面积不规则布桩面积置换率计算

所谓不规则布桩,是相对正三角形、正方形及矩形布桩外的各种形式。自然界中许多问题都存在不同的规律,同样在复合地基面积置换率问题中,也存在规律,只要能找出各种规律,问题也就不难解决了。

### 2.1 等腰三角形布桩

图 4 中所表示的等腰小三角形,可以重复性布满整个场地。

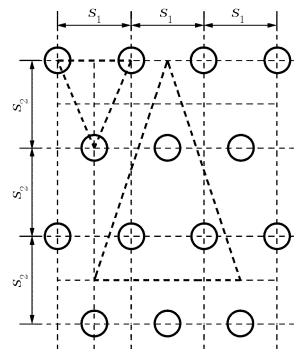


图 3 矩形布桩

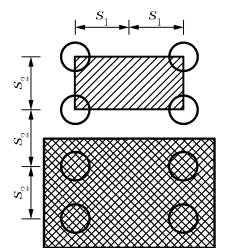


图 4 等腰三角形布桩

小等腰三角形内部复合桩计算面积为半根桩的面积(注:三角形内部角度总和为 180°,一个圆为 360°):

$$A = (1/2)(1/4)\pi d^2 = (1/8)\pi d^2 \quad (9)$$

小等腰三角形内半根桩所分担的处理面积为三角形所包围的面积:

$$A_e = (1/2)s_1 s_2 \quad (10)$$

面积置换率计算如下:

$$m = \frac{A}{A_e} = \frac{(1/8)\pi d^2}{(1/2)s_1 s_2} = \frac{\pi d^2}{4s_1 s_2} \quad (11)$$

图 4 中大三角形布桩形式,也可重复性布满整个场地。

大等腰三角形内部复合桩基面积为 3 根桩,其截面积的和为:

$$A = 3(1/4)\pi d^2 = (3/4)\pi d^2 \quad (12)$$

大等腰三角形内 3 根复合单桩所分担的处理面积:

$$A_e = (1/2) \times 2 \times s_1 \times 3 \times s_2 = 3s_1 s_2 \quad (13)$$

面积置换率计算如下:

$$m = \frac{A}{A_e} = \frac{(3/4)\pi d^2}{3s_1 s_2} = \frac{\pi d^2}{4s_1 s_2} \quad (14)$$

## 2.2 平行四边形布桩

图5中小平行四边形、大平行四边形,也可重复性布满整个场地,所以也为一种计算规律。

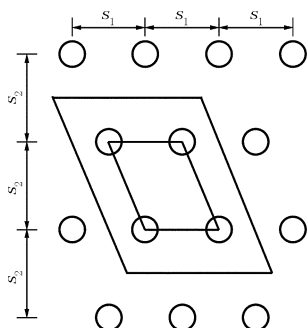


图5 平行四边形布桩

小平行四边形内部复合桩的面积为—根桩的面积(平行四边形内部度数为 $360^\circ$ ):

$$A = (1/4)\pi d^2 \quad (15)$$

小平行四边形内部—根桩所分担的处理面积为:

$$A_e = s_1 s_2 \quad (16)$$

面积置换率为:

$$m = \frac{(1/4)\pi d^2}{s_1 s_2} = \frac{\pi d^2}{4s_1 s_2} \quad (17)$$

大平行四边形内部共有4根复合桩,其总面积为:

$$A = 4(1/4)\pi d^2 = \pi d^2 \quad (18)$$

大平行四边形内部4根复合桩基所分担的处理面积为:

$$A_e = 2s_1 \times 2s_2 = 4s_1 s_2 \quad (19)$$

面积置换率计算如下:

$$m = \frac{\pi d^2}{4s_1 s_2} \quad (20)$$

## 2.3 梯形布桩

图6所示布桩方式和前面所述的布置形式是一样的,只是计算中所用规律不一样,在此写出来,就是要说明一个问题,采用不同规律的方法来验证同一个布桩形式的结果,同样在注册岩土工程师考试中也出现这种计算的方法的可能性。

梯形中所包含复合桩的面积为—根半桩的面积:

$$A = 1.5(1/4)\pi d^2 = (3/8)\pi d^2 \quad (21)$$

梯形内—根半复合桩所分担的处理面积为梯形的面积:

$$A_e = (s_1 + 2s_1)s_2(1/2) = (3/2)s_1 s_2 \quad (22)$$

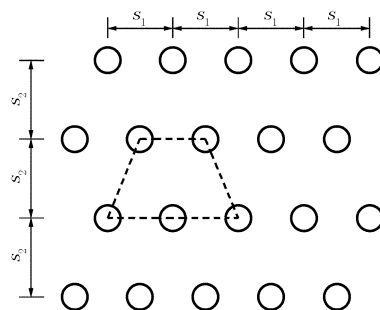


图6 梯形布桩(一)

面积置换率计算如下:

$$m = \frac{(3/8)\pi d^2}{(3/2)s_1 s_2} = \frac{\pi d^2}{4s_1 s_2} \quad (23)$$

结果也验证了以上各种方法计算的结果。

图7所示这种布桩形式在一般复合地基设计中,出现概率很小,但在注册岩土工程师考试中有可能出现,对此种形式布桩也得找出一定的规律,有了规律,计算方法也就简单了。

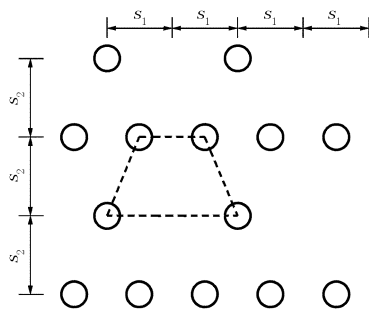


图7 梯形布桩(二)

像图7中梯形部分表示也为一种重复出现的规律,按此规律计算如下。

梯形内复合桩的面积刚好为—根桩面积(梯形内部角度刚好也为 $360^\circ$ );

$$A = (1/4)\pi d^2 \quad (24)$$

梯形内部复合桩基所承担的面积 of 梯形所包含的面积:

$$A_e = (s_1 + 2s_1)s_2(1/2) = (3/2)s_1 s_2 \quad (25)$$

面积置换率计算如下:

$$m = \frac{(1/4)\pi d^2}{(3/2)s_1 s_2} = \frac{\pi d^2}{6s_1 s_2} \quad (26)$$

## 3 实体基础下的复合基桩面积置换率

### 3.1 条形基础形式

图8为2014年注册岩土工程师考试试题,题中主要问题是计算面积置换率,只要计算出面积置换

率,其他问题就简单了。该题面积置换率计算准确的人不多,许多考生按三角形或其他布桩方式计算出了面积置换率,是一种不准确的方法。

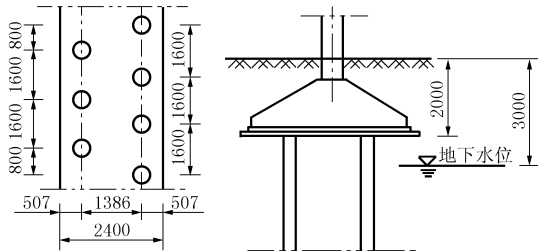


图 8 条形基础下布桩

实体基础的面积置换率问题不能按规范提供的公式计算,因为实体基础面积大于或小于基础内大面积复合桩基所分担的面积,等于的情况很少,尤其这种考试不可能出现等于的情况。对于该题面积置换率按下面方法计算。

取基础长方向 4.8 m 为计算对象( $d=0.4\text{ m}$ ),该段基础中包含 5 根全断面桩和 2 个半截面的桩,桩的截面积计算:

$$A = 6 \times (1/4) \pi d^2 = 1.5 \pi d^2 = 0.7536\text{ m}^2$$

该段基础的面积为:

$$A_e = lb = (3 \times 1.6) \times (2 \times 0.507 + 1.386) = 11.52\text{ m}^2$$

面积置换率为:

$$m = (A/A_e) = (0.7536/11.52) = 0.0654$$

### 3.2 独立基础形式

图 9 所示这种情况比条形基础计算相对容易,但还是不能按三角形计算置换率。因为已经给出处理基础的面积,故按面积置换率定义计算尤为简单:

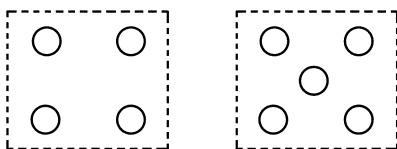


图 9 独立基础下布桩

$$m = nA/A_e \quad (27)$$

式中: $m$ ——面积置换率; $n$ ——实体基础内的总桩数; $A$ ——单桩的截面积; $A_e$ ——实体基础的总面积。

### 4 多桩型复合地基面积置换率计算

图 10 所示也为 2014 年注册岩土工程师考试上、下午试题中均出现的一道题,题中主要问题还是计算面积置换率,该题搅拌桩不应按正方形布桩计

算。

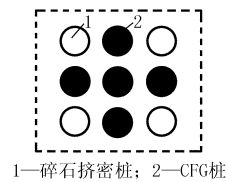


图 10 多桩型布桩

对于这种新式布桩分别按上面独立基础的方法计算即可。

### 5 结论

(1)等效圆的直径与井间距的折算,来自于砂井预压固结,因为要把水平向的渗透固结按轴对称处理,必须经过这种折算,而在复合地基的单桩分担面积方面,没必要先折算成圆,再计算面积,这是一种舍近求远的方法。这种方法使不规则布桩的面积置换率计算变得更复杂。

(2)本文提出了从面积置换率定义出发计算各种布桩形式下的置换率计算公式,提高工程技术人员及注册岩土工程师考试人员对面积置换率计算的认识,从而避免按规范计算公式直接计算而导致的错误,引起工程质量事故和工程造价增加的问题。

(3)复合地基设计中出现的布桩形式大多是正三角形、正方形、矩形的形式,对于本文给出的等腰三角形、梯形较少,只是为了加深工程设计人员及注册岩土工程师考试的考生更好地理解面积置换率的计算。

### 参考文献:

- [1] JGJ 79—2012, 建筑地基处理技术规范[S].
- [2] 杜绪,王建兴. 组合地基处理法在湿陷性黄土地区的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(4): 58-60.
- [3] 龚晓南. 地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [4] 张小礼. 复合地基中桩土面积置换率的理解及应用[J]. 土工基础, 2012, 26(3): 81-82.
- [5] 秦景,等. 复合地基中桩土面积置换率的确定及计算方法[J]. 施工技术, 2013, 42(12).
- [6] 王东会,马孝春,付宇. 地基处理优化技术的发展与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(6): 66-71.
- [7] 何世鸣. CFG 短桩复合地基技术用于高层建筑地基处理的探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 1999, (4): 16-19.
- [8] 刘建伟. 水泥搅拌桩在高层建筑地基处理中的设计与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(6): 59-61, 75.