

文章编号: 1000-7598-(2004) 04-0663-04

复合地基桩间土承载力折减系数的分析与取值

叶洪东

(河北建筑科技学院 资源系, 河北 邯郸 056038)

摘 要: 在多项工程的单桩和复合地基静载荷试验对比资料基础上, 经过理论分析计算, 针对不同地基土质条件, 提出邯郸市粉喷桩复合地基桩间土承载力折减系数的取值标准, 可为复合地基设计提供参考。

关 键 词: 粉喷桩; 复合地基; 载荷试验; 承载力; 折减系数

中图分类号: TU 473.1⁺¹ 文献标识码: A

Analysis and find a result about efficiency factor of bearing capacity of soil around piles in composite foundation

YE Hong-dong

(Hebei Institute of Architectural Science & Technology, Handan 056038, China)

Abstract: On the basis of static loading test of pile and composite ground for different soil conditions, a method for determining the efficiency factor of the soil bearing capacity among piles in Handan city is presended by analysing and calculating. The results can be used for the design of composite ground.

Key words: powder-spray pile; composite ground; loading test; bearing capacity; reduction factor

1 引 言

粉喷桩复合地基加固技术具有工艺简单, 技术可靠, 加固效果好, 成本低廉, 施工速度快, 无环境污染等特点, 因此在软土地区得到了广泛应用。粉喷桩复合地基设计主要是确定粉喷桩的置换率和桩长。其中置换率 m 根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2002)^[1], 按下列公式 (1) 求得:

$$f_{\text{spk}} = m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1-m)f_{\text{sk}} \quad (1)$$

式中符号意义详见文献[1]。计算置换率 m 与桩间土承载力折减系数 β 有着密切关系。文献[1]规定了系数 β 的取值: 当桩端土未经修正的承载力特征值大于桩周土的承载力特征值的平均值时, 可取 0.1~0.4, 差值大时取低值; 当桩端土的未经修正的承载力特征值小于或等于桩周土的承载力特征值的平均值时, 可取 0.5~0.9, 差值大时或设置褥垫层时均取高值。由于 β 的取值变化幅度很大, 不易实际操

作。再者“差值大”与“差值小”难于严格区分, “平均值”是算术平均值还是厚度加权平均值, 这都给人一个模糊的概念, 很难准确把握, 故取值大小因人而异, 往往同一工程场地设计出的置换率或桩数相差较大, 给工程造成浪费, 或埋下隐患。为此, 本文试图根据场地的粉喷桩单桩和复合地基静载试验资料的对比分析, 采用反算 β 值的方法, 给出邯郸市不同条件下 β 值的取值标准, 供复合地基设计参考。

2 复合地基受力特性分析

复合地基的受力特性是复合地基承载力计算、变形计算及桩间土承载力发挥的先决条件。在荷载作用下, 粉喷桩具有一般桩的特性, 即依靠摩擦力和端承力承受桩顶荷载。为使刚度相差较大的粉喷桩与桩间土构成复合地基, 让桩、土共同工作, 通常在刚性基础与桩和桩间土顶面铺设褥垫层, 以调节桩土的受力与相对变形 (图 1a)。若上部结构荷

载和基础及回填土的重量在基底面产生的基底应力为 P_{sp} , P_{sp} 通过褥垫层传递到桩与桩间土, 由桩顶应力 P_p 和桩间土顶面的应力 P_s 共同承担, 则根据静力平衡条件有

$$P_{sp}A = P_pA_p + P_sA_s \quad (2)$$

式中 A , A_p , A_s 分别为基础的底面积、桩截面积及桩间土的面积, 且 $A=A_p+A_s$ 。

由式 (2) 得:

$$P_{sp} = P_p m + (1-m)P_s \quad (3)$$

式中 m 为面积置换率, $m = A_p / A$ 。

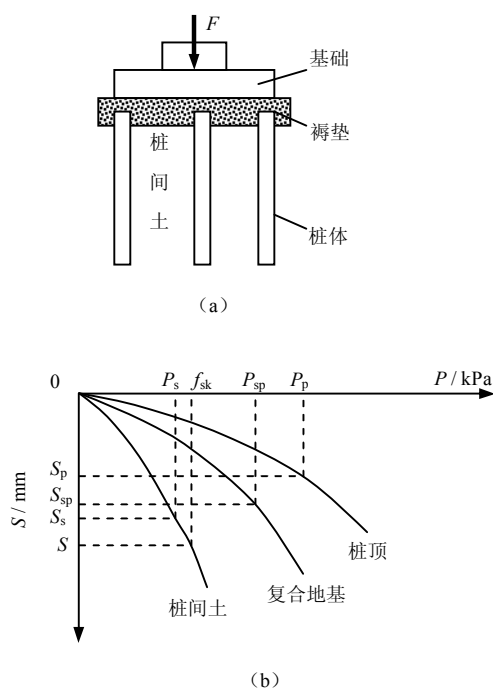


图 1 复合地基结构与受力特性示意图

Fig.1 Composition and stress characteristic of the composite ground

对比式 (1) 和式 (3), 在载荷试验中, 当承压板上作用的应力为 $f_{spk} = P_{sp}$ 时, 有 $R_a / A_p = P_p$, $\beta f_{sk} = P_s$, 这时桩与桩间土及复合地基的压力及对应变形如图 1(b) 所示。由图可见, 粉喷桩复合地基中, 因褥垫层的存在, 受力特点不同于桩基础。在荷载作用下, 基础、桩顶和桩间土表面变形量各不相同。桩顶变形和桩间土表面变形两者存在变形差 $S_s - S_p$, 即通过褥垫层的调节, 桩顶沉降小于桩间土的沉降变形 (桩顶存在着向垫层刺入变形), 而复合地基的变形值介于二者之间。此时, 桩顶应力 $P_p (= R_a / A)$ 、桩间土表面应力 $P_s (= \beta f_{sk})$ 和复合地基承受的平均应力 $P_{sp} (= f_{spk})$ 三者也达到相对稳定的平衡

状态。当选用不同的复合地基沉降量 S_{sp} 时, 桩与桩间土上的应力 (P_p , P_s) 与变形 (S_p , S_s) 均随之改变但总有 $S_p < S_{sp} < S_s \leq S$ 。又因 f_{sk} 是定值, 由 $P_s = \beta f_{sk}$, 则 β 也随之改变。 S_{sp} 值可按规范^[1]取值或根据建筑物的允许变形值确定。

3 β 值的影响因素与分析

桩间土承载力折减系数 β 是反映桩间土承载力发挥程度及桩土共同工作的一个重要参数。 β 值的确定是各种复合地基所遇到的一个复杂问题。因为 β 的取值不仅与桩间土、桩端土及桩周土的强度和变形性质有关, 还受桩身强度与变形、桩长、桩的密度、褥垫层厚度等多种因素的影响。桩间土的变形模量低, 易变形, 在桩顶沉降较小时就很难发挥承载作用。桩端土软硬关系到桩本身的变形。而桩顶沉降越大, 桩间土变形越大, 作为大变形体的桩间土承载力越易发挥出来。 β 与桩的绝对沉降值有关^[2], 桩的沉降越大, 桩周软土承载力越能发挥。文献[3]给出了 β 随单桩沉降 s 的变化关系曲线 (图 2), 即随单桩沉降量的增大 (这时桩间土沉降量也增大), 折减系数 β 逐渐增大。褥垫层厚度可调整桩和桩间土的荷载分担比及地基变形^[4]。垫层厚度过小, 桩顶集中的应力很大, 桩间土承载能力同样不能充分发挥。此外, β 的取值还应根据建筑物对沉降的要求而定, 当沉降要求较高时, 即使桩端是软土, β 也应取小值, 这样较安全; 反之则可取大值, 以降低造价。

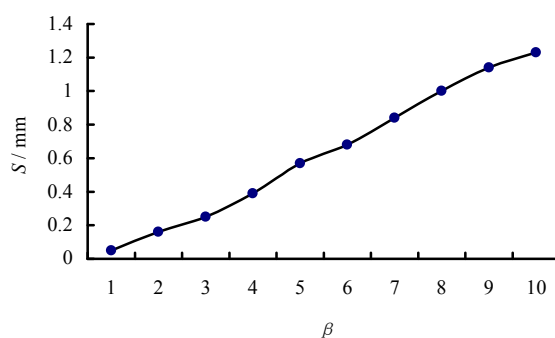


图 2 β - S 关系曲线

Fig.2 Relation curve of β and S

上述可见, β 值的影响因素很多, 要准确测定很困难。在实际工程中只有重要的或规模很大的工程才通过原型或大荷载板载荷试验来测定。为此, 笔者对邯郸市不同工程、不同土质条件场地上的单桩和单桩复合地基载荷试验资料进行了统计和对比分析计算, 初步提出了本地区承载力折减系数 β

的取值标准。在一定程度上综合反映了上述诸多因素对 β 值的影响。

4 桩周与桩端土质类型

4.1 桩周土质条件类型

邯郸地区主要使用粉喷桩加固浅部（10 m 以上）第四纪新近沉积土层，按区内土层配置关系，可将不同场地土质条件划分为3种类型^[5, 7]，见表1。

表1 桩周土质条件类型
Table 1 The type of soil around the piles

类型	桩周土质条件
①	可塑状态、中等压缩性粉质粘土、粉土
②	可塑状态粘土、高压缩性粉土
③	软塑状态、高压缩性粘性土及填土

4.2 桩端持力层类型

根据邯郸市建筑物地基的土层结构，不同工程的粉喷桩复合地基选择的桩端持力层不同，但总体上可归纳为3种类型^[7]，如表2。

表2 桩端持力层类型
Table 2 The type of bearing stratum at the pile top

类型	桩端土类型
I	较硬土层，如硬粘土层、粉砂层等。
II	软弱土层，如软塑状态、中—高压缩性的粘性土层。
III	同类土层，如桩端与桩周均为性质相近的粉土或粉质粘土层。

5 β 值的计算结果与取值标准

5.1 β 值计算结果

考虑单桩载荷试验曲线存在不同类型，本文参照文献[6]确定单桩承载力试验值；单桩复合地基承载力试验值取 $S/b = 0.006$ （ S 为变形取值， b 为承压板宽度或直径）对应的压力^[1]。根据邯郸市20多个粉喷桩工程项目的单桩静载及单桩复合地基静载试验结果，按上述方法确定单桩承载力和复合地基承载力，然后利用公式（1）求得对应条件下的桩间土承载力折减系数 β ，表3列出了部分计算结果。其中桩周土平均承载力是指桩周各土层承载力特征值的厚度加权平均值。

表3 折减系数 β 反算结果
Table 3 Back calculation results of reduction factors

工程编号	桩长 / m	桩径 / mm	置换率 / %	桩周土类型及平均承载力 / kPa	桩端土类型及承载力 / kPa	桩间土承载力 / kPa	单桩承载力试验值 / kN	复合地基承载力 / kPa	反算 β 值
1#	8.0	500	18.0	① 110	II 90	110	138	178	0.57
2#	8.5	500	17.8	① 105	II 95	115	120	165	0.61
3#	8.0	500	17.5	① 100	II 90	115	125	169	0.60
4#	8.5	500	20.0	③ 91	I 115	110	144	175	0.33
5#	8.0	500	19.5	③ 90	I 110	120	134	169	0.36
6#	7.5	500	19.7	③ 87	I 115	120	153	186	0.34
7#	7.0	500	16.9	② 107	I 130	115	120	137	0.34
8#	7.5	500	17.2	② 104	I 125	110	145	156	0.32
9#	7.0	500	17.9	② 101	I 130	90	152	161	0.31
10#	5.0	500	15.4	③ 95	III 100	95	115	130	0.49
11#	6.5	500	16.1	③ 100	III 100	85	98	117	0.50
12#	5.5	500	14.9	③ 105	III 105	100	105	125	0.53
13#	8.0	500	21.0	③ 85	I 120	100	130	154	0.18
14#	7.5	500	20.1	③ 80	I 130	100	122	146	0.19
15#	8.5	500	21.7	③ 85	I 125	95	111	137	0.23
16#	7.0	500	20.8	③ 90	I 120	105	134	163	0.25

5.2 β 的取值标准

根据桩间土折减系数 β 的反算结果，考虑 β 的影响因素，结合该地区粉喷桩工程应用情况和笔者对复合地基的设计经验，综合提出邯郸市范围不同情况下粉喷桩复合地基桩间土承载力折减系数 β 的取值标准，如表4。

表4除根据规范^[1]要求，把桩端土分为3种类型外，还引入了端周承载比这一概念。端周承载比是指桩端土未经修正的承载力特征值与桩周各土层

表4 邯郸市粉喷桩承载力折减系数（ β ）

Table 4 The bearing capacity reduction factor of the powder-spray piles in Handan city

桩端土类型	桩周土类型	端周承载比	β 值
I：较硬土层	③	1.3~1.5	0.3~0.2
	②	1.1~1.3	0.4~0.3
III：同类土层	③	0.9~1.1	0.5~0.4
II：较软土层	①	0.7~0.9	0.6~0.5
	①	0.5~0.7	0.7~0.6

承载力特征值厚度加权平均值的比值。利用端周承载比的大小分别给出对应的 β 值,提高了 β 取值的针对性和可操作性。使用时还应考虑建筑物对地基沉降的要求选定。限于邯郸市地基条件和实际工程中使用的粉喷桩设计参数,表 4 未能给出 β 值的全部取值范围。

6 结 论

(1) 桩间土承载力折减系数是复合地基设计的重要参数,受诸多因素的影响。 β 值的准确确定是复合地基设计的一个复杂问题。

(2) 根据单桩和复合地基静载荷试验结果,利用复合地基承载力公式可反算不同情况下桩间土承载力折减系数 β 值,从而初步提出邯郸市范围 β 值的取值标准。

(3) 本文给出的 β 取值标准是基于邯郸市范围内的地基条件和粉喷桩复合地基特点提出的,具有一定的地区局限性。加之参与计算的场地数量有限,因此表 4 仅作为一种取值参考。

参 考 文 献

- [1] JGJ 79—2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [2] 地基处理手册编写委员会. 地基处理手册(第二版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000. 449—453.
- [3] 吴永红, 刘树林, 翁鹿年. 水泥粉喷桩加固深厚软土地基实例分析[J]. 工程勘察, 1997, (3): 25—27.
- [4] 张利新, 吴金维, 王亚东. 复合地基褥垫层技术的工程应用实例[J]. 地基处理, 1999, (3): 76—77.
- [5] 张建新, 杜海金, 吴东云. 邯郸地区水泥搅拌桩复合地基承载力的确定[J]. 大坝观测与土工测试, 1999, 23(4): 40—42.
- [6] 杜海金. 载荷试验确定粉喷桩承载力的标准探讨[J]. 工程勘察, 2001, (1): 17—19.
- [7] 叶洪东, 要明伦. 水泥粉喷桩在邯郸市的推广应用[J]. 地基处理, 1997, 29(4): 47—51.
- [8] 张东刚. 复合地基成桩及受力特性的分析[J]. 岩土工程师, 1999, (1): 1—4.