

# 对复合地基桩间土承载力折减系数 $\beta$ 值的探讨

李保恒

(邯郸市安达岩土工程有限公司)

《岩土工程界》2004年第6期刊登了李广信教授的“说三道四”议规范(三)一文,李教授列举一例,经地基处理后的复合地基承载力比不处理的地基承载力小了近50%,出现这一问题主要原因是如何选择 $\beta$ 值的问题;《岩土工程界》2003年第7期刊登了高大钊教授的《如何理解规范——两位工程师的对话》一文,也涉及到 $\beta$ 的取值,我想 $\beta$ 值的选取可能是一个热点问题,为了响应《岩土工程界》杂志的号召,笔者对 $\beta$ 值的选取进行了粗浅探讨。

## 一 $\beta$ 值的实质

强度和变形是进行地基基础设计的两个方面,桩间土天然地基承载力折减系数 $\beta$ 值是反映桩土共同作用的一个参数<sup>[1]</sup>。桩土共同工作的实质是假定在相对刚性基础下,桩和桩间土共同分担上部荷载并协调变形(包括剪切变形)<sup>[2]</sup>。在复合地基设计中, $\beta$ 值有强度和变形两方面的含义。叶书麟主编《地基处理工程实例应用手册》<sup>[2]</sup>一书中式(1-12), $\beta$ 值定义为沉降折减系数,其数学表达式为:

$$\beta = 1/(1 + m \times n - m) = s'/s \quad \text{..... (1)}$$

式中:  $m$ —为置换率;

$n$ —为桩土应力比;

$s'$ —为处理后的沉降量;

$s$ —为天然地基沉降量;

在《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-2002)<sup>[3]</sup>中,符号 $\beta$ 值定义为桩间土承载力折减系数,那么沉降折减系数和桩间土承载力折减系数是否在某一特定的条件下在理论上相等呢?经证明,它们之间在理论数值上是相等的,证明过程如下:

假设桩体和桩间土的变形均在线性变形范围内,对于水泥土桩复合地基来说,桩体在荷载作用下,相对于天然地基,在较小的变形条件下 $S \sim P$ 曲线即出现比例界限,而天然地基在较大的变形之后才出现比例界限,破坏应变较大。假定在相对刚性基础的基底压力的作用下,桩端没有发生刺入变形,

桩端以下的地基土没有变形(即假定桩端以下为基岩),此时,加固区复合地基的沉降量等于桩的沉降量;同时,桩间土的承载力还没有完全发挥,如图1所示:

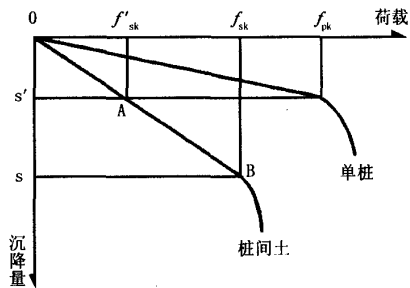


图1 单桩与桩间土承载力关系

当桩的承载力达到比例界限时,此时的复合地基承载力特征值为:

$$f_{spk} = m \times f_{pk} + (1 - m) \times f'_{sk} \quad \text{..... (2)}$$

式中:  $f_{spk}$ —复合地基承载力特征值(kPa);

$m$ —置换率;

$f_{pk}$ —桩体承载力特征值(kPa);

$f'_{sk}$ —桩间土发挥的承载力(kPa)。

设桩间土的强度折减系数 $\beta = f'_{sk}/f_{sk}$ ,代入(2)式,则得:

$$f_{spk} = m \times f_{pk} + \beta \times (1 - m) \times f_{sk} \quad \text{..... (3)}$$

式中:  $f_{sk}$ —天然地基承载力特征值(kPa);

其它符号同于(2)式。

在上式(3)中, $\beta$ 值的含义为强度折减系数,那么强度折减系数和沉降折减系数是否是一回事呢?由图1可知,根据相似原理<sup>[4]</sup>, $s'/s = OA/OB$ ;同理得: $f'_{sk}/f_{sk} = OA/OB$ ;故 $s'/s = f'_{sk}/f_{sk} = \beta$ 。即沉降折减系数和强度折减系数在数值上是相等的。

从上述的论述中,进行复合地基设计时,设计单桩承载力特征值 $f_{pk}$ 已知, $m$ 已知,桩间土承载力特征值 $f_{sk}$ 已知,桩土应力比按 $f_{pk}/f_{sk} = n$ 确定;确定 $\beta$

值,按式 $\beta = 1/(1 + m \times n - m)$ 确定 $\beta$ 值即可。

## 二 对《建筑地基处理技术规范》(JGJ79 - 2002)中 $\beta$ 值的理解

在《建筑地基处理技术规范》(JGJ79 - 2002)中,仅振冲法的散体桩可以采用桩土应力比计算复合地基承载力。而其它工法中均不允许采用桩土应力比表示的复合地基承载力计算式,究其原因振冲法的散体桩的桩土应力比变化范围小,多在2.5~3.5之间,而其它工法的桩土应力比变化范围较大,同时影响桩土应力比的因素很多,其中有桩土的模量比、桩体的长径比、置换率以及桩间土的固结和蠕变等。按桩土应力比确定地基承载力,承载力的变化范围很大。所以在规范中水泥土桩及CFG桩复合地基的计算公式均给出了一个强度折减系数这一概念,并规定了在不同条件下的取值范围。

笔者搜集了一些专家学者研究桩土应力比变化规律的实测资料,如文献<sup>[5]</sup>中,水泥土桩的桩土应力比变化范围在(5.70~9.84)之间。在如此之大的桩土应力比变化范围内,如按(1)式计算 $\beta$ 值,置换率分别按0.1和0.2两种情况考虑, $\beta$ 值的变化范围分别在(0.53~0.69)和(0.36~0.82)范围之内。规范<sup>[3]</sup>规定:“当桩端土未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”。显然,规范<sup>[3]</sup>规定的 $\beta$ 值的取值范围为0.1~0.9。而用(1)式计算的 $\beta$ 值,是假定桩端为基岩的条件的一个参数(即桩端没有刺入变形的一个参数), $\beta$ 值的最小值为0.36,该值是比较保守的,如考虑存在桩端的刺入变形,则 $\beta$ 值的变化范围还要小。 $\beta$ 取值范围应为0.4~0.9的一个参数。这一结果与文献<sup>[6]</sup>的研究结果基本一致。

水泥土搅拌桩的特点是:充分利用原地基土,在脉冲混合(气+水泥粉)或脉冲水泥浆作用下,与原位地基土搅拌混合形成桩体,因原位地基土复杂多变,成桩质量不易控制而著称。夯实水泥土桩与CFG桩的成桩质量比水泥土搅拌桩的成桩质量易于控制,故这两种桩型的 $\beta$ 值取值范围分别为0.9~1.0和0.75~0.95,比水泥土搅拌桩的 $\beta$ 值的取值范围(0.1~0.9)小很多。笔者认为:降低 $\beta$ 值(即0.1~0.4)来评价复合地基承载力,判断地基处理的成功与否值得商榷。不如在施工中对桩体质量多加限

制,提高桩体成桩质量的可控性,如变参数施工等,因篇幅所限,在本文不作论述。

## 三 工程实例

某工程因地基强度不满足要求,采用水泥土搅拌桩加固,地质条件为基底以下为褐黄色的粉质粘土,可塑~软塑状态,塑性指数 $I_p = 12.0$ ,土的天然容重为 $19.6 \text{ kN/m}^3$ , (静载试验相对变形确定)地基承载力特征值 $f_{ak} = 100 \text{ kPa}$ ;桩端为稍密~中密的中粗砂,承载力较高,地基承载力特征值为 $160 \text{ kPa}$ ;设计情况是:桩径 $0.5 \text{ m}$ ,正方形布桩,桩距为 $1.02 \text{ m}$ ,置换率 $m = 0.19$ ,有效桩长 $6.5 \text{ m}$ ,水泥的掺入量为 $13\%$ ,设计单桩承载力 $\geq 120 \text{ kN}$ ,桩体材料的无侧限抗压强度 $\geq 2.0 \text{ MPa}$ , $\beta = 0.3$ ,要求处理后的复合地基承载力特征值 $\geq 140 \text{ kPa}$ ,共施工了726根桩。施工完毕28天后分别进行了单桩承载力和单桩复合地基承载力的载荷试验,各有3个试验点,单桩承载力的检测结果为 $106 \text{ kN}$ 、 $96 \text{ kN}$ 、 $115 \text{ kN}$ ,所对应的沉降量分别为 $6.82 \text{ mm}$ 、 $7.15 \text{ mm}$ 、 $6.6 \text{ mm}$ ;而单桩复合地基承载力的检测结果分别为 $162 \text{ kPa}$ 、 $171 \text{ kPa}$ 、 $159 \text{ kPa}$ 。从上述结果可以明确的看出,如果用单桩承载力的检测结果代入(3)式,按规范规定的 $\beta = 0.3$ 计算复合地基承载力,则分别为 $126 \text{ kPa}$ 、 $116 \text{ kPa}$ 、 $139 \text{ kPa}$ ,复合地基承载力特征值 $f_{spk} = 127 \text{ kPa}$ ,不满足设计要求;而检测单桩复合地基承载力特征值的结果为 $f_{spk} = 164 \text{ kPa}$ ,却远远大于 $140 \text{ kPa}$ ,满足设计要求。

笔者根据上述工程实例的三根单桩承载力的载荷试验结果,按两种不同方法,对 $\beta$ 值进行了选取,我们如果按实测的单桩承载力与天然地基承载力的比值作为桩土最优应力比( $n = f_{pk}/f_{ak}$ )代入式(1)确定 $\beta$ 值, $\beta$ 值分别为:0.54、0.57、0.52,然后用式(3)计算复合地基承载力则分别得:146kPa、139kPa、153kPa,复合地基承载力特征值 $f_{spk} = 146 \text{ kPa}$ ,满足设计要求。

水泥土桩复合地基在上部荷载的作用下,由于桩体的模量较大,桩体的承载力特征值全部发挥的情况下,桩间土的承载力特征值还未完全发挥,所以,确定复合地基的承载力特征值时,应以桩顶的沉降量为准。因此,如果按单桩的沉降量 $s'$ 与天然地基的沉降量 $s$ ( $11.97 \text{ mm}$ ,该值为静载荷试验圆形承载板直径的0.015倍,即 $s = 0.015 d$ )的比值确定为 $\beta$ 值分别得:( $6.82/11.97 = 0.56$ )、( $7.15/11.97 = 0.59$ )、( $6.6/11.97 = 0.55$ ),然后代入(3)式计算

复合地基承载力分别得: 148kPa、142kPa、156kPa。复合地基承载力特征值 $f_{spk} = 149\text{kPa}$ , 同样也满足设计要求。

通过上述对 $\beta$ 值按两种不同方法(公式法、单桩与天然地基沉降量比值法)确定, 按单桩承载力检测结果确定的复合地基承载力值与单桩复合地基载荷试验确定的承载力值较为一致。从上述实例分析可以看出, 该工程的 $\beta$ 值在0.52~0.59范围之内。并非因为桩端土是承载力较高的中粗砂而取0.3。而规范规定:“当桩端土未经修正的承载力特征值大于桩周土承载力特征值时, 可取0.1~0.4, 差值大时取低值”; 这种“按桩端土的软硬这一单一因素确定 $\beta$ 值”的取值原则, 笔者认为值得商榷。否则可能会出现经地基处理后的复合地基承载力比不处理的地基承载力小的情况。

#### 四 结论

1. 《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-2002)中的强度折减系数和《地基处理工程实例应用手册》中的沉降折减系数在数值上是相等的。

2. 规范中规定的 $\beta$ 取值范围(0.1~0.9)太大, 确定 $\beta$ 值时, 不宜按桩端土的软硬这一单一因素考虑。

3. 进行复合地基设计时, 设计单桩承载力特征值 $f_{pk}$ 已知,  $m$ 已知, 桩间土承载力特征值 $f_{sk}$ 已知, 桩土应力比按 $f_{pk}/f_{sk} = n$ 确定; 确定 $\beta$ 值, 按式 $\beta = 1/(1 + m \times n - m)$ 确定 $\beta$ 值即可; 复合地基承载力检测时, 按实测的单桩载荷试验的沉降

量 $s'$ 与天然地基载荷试验的沉降量 $s$ 的比值确定为 $\beta$ 值( $\beta = s'/s$ ), 更接近于实际复合地基工作情况。

4. 按沉降量比值法, 即实测的单桩载荷试验的沉降量 $s'$ 与天然地基载荷试验的沉降量 $s$ 的比值确定的 $\beta$ 值, 解决了桩土应力比难以测定, 确定复合地基承载力困难问题, 适用于水泥土桩及CFG桩复合地基。按(1)式确定 $\beta$ 值只适用于复合地基设计阶段。

5.  $\beta$ 值有以下名称: 沉降折减系数、强度折减系数、应力减小系数、应力修正系数等, 虽然名称不同, 但它的物理意义和理论数值上是相等的。

以上是笔者对 $\beta$ 值的粗浅认识, 不当之处, 恳请同行专家批评指正。

#### 参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国行业标准. 建筑地基处理技术规范(JGJ79-91). 北京: 中国计划出版社, 2000
- [2] 叶书麟. 地基处理工程实例应用手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [3] 中华人民共和国行业标准. 建筑地基处理技术规范(JGJ79-2002). 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [4] 惠德兴主编. 当代工程师手册. 沈阳: 辽宁科学技术出版社出版, 1987
- [5] 叶观宝, 等. 桩土应力比曲线的机理分析. 勘察科学技术. 2004, 3.
- [6] 秦建庆, 等. 水泥土桩复合地基桩土分担荷载的试验研究. 工程勘察. 2000, 1

作者通讯地址 河北省邯郸市展览路一号院安达岩土工程有限公司  
邮编 056001


## 华宁系列软件

- |                    |             |
|--------------------|-------------|
| ● 华宁岩土工程勘察软件包      | HNCAD 16.0版 |
| ● 华宁土工试验程序         | HNTGCS 6.0版 |
| ● 华宁岩石试验程序         | HNYSYS      |
| ● 南自土工试验自动采集数据处理系统 | NZTGCS 6.0版 |

中煤国际工程集团南京设计研究院  
邮 编: 210031  
联系人: 杨立生  
手 机: 013705176387  
网 站: www.hncad.com

地 址: 江苏省南京市浦东路20号  
电 话: (025)58862095  
传 真: (025)85046600  
E-MAIL: hncad@126.com  
Http://surveys.vip.myrice.com

# 对复合地基桩间土承载力折减系数 $\beta$ 值的探讨

作者: [李保恒](#)  
作者单位: [邯郸市安达岩土工程有限公司](#)  
刊名: [岩土工程界](#)   
英文刊名: [GEOTECHNICAL ENGINEERING WORLD](#)  
年, 卷(期): 2005, 8(8)  
被引用次数: 2次

## 参考文献(6条)

1. 秦建庆 [水泥土桩复合地基桩土分担荷载的试验研究](#)[期刊论文]-[工程勘察](#) 2000
2. 叶观宝 [桩土应力比曲线的机理分析](#)[期刊论文]-[勘察科学技术](#) 2004(3)
3. 惠德兴 [当代工程师手册](#) 1987
4. JGJ79-2002. [建筑地基处理技术规范](#) 2002
5. 叶书麟 [地基处理工程实例应用手册](#) 1997
6. JGJ79-1991. 中华人民共和国行业标准. [建筑地基处理技术规范](#) 2000

## 引证文献(2条)

1. 林奕禧, 张伟丽, 黄良机, 蔡健 [水泥土搅拌桩复合地基承载力折减系数  \$\alpha\$  和  \$\beta\$  的试验研究](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2009(z2)
2. 郑俊杰, 韩超, 王仙芝 [求解多元复合地基承载力发挥系数的新方法](#)[期刊论文]-[华中科技大学学报\(城市科学版\)](#) 2007(3)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_ytgcj200508014.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_ytgcj200508014.aspx)