

# 标准贯入试验在强夯地基承载力评价中的应用

尹科<sup>1,2</sup> 李广平<sup>1</sup> 李浩年<sup>1</sup> 陈华明<sup>1</sup>

(1、广东省建筑科学研究院 广州 510500; 2、珠海市交通勘察设计院有限公司 珠海 519000)

**摘要:**通过对标准贯入试验在天然地基承载力评价中的研究,提出了参照天然地基的有关经验数据推定强夯地基的承载力,并与平板载荷试验检测的承载力进行比较,从而确定强夯地基承载力。根据工程检测实例,建立了适合于强夯地基的标贯击数  $N$  与承载力特征值  $f_{sk}$  的经验关系,为强夯地基承载力的评定提供参考。

**关键词:**标准贯入试验; 强夯; 承载力; 平板载荷试验

## 1 引言

我国规范规定强夯法适用于处理碎石土、砂土、低饱和度的粉土与粘性土、湿陷性黄土、杂填土和素填土等地基,由于具有加固效果显著、适用土类广、设备简单、施工方便、节省劳力、工期短、节约材料、施工费用低等优点,迅速在全国推广使用。但对于强夯法处理后的地基,设计往往要求提供承载力,因此正确评定强夯地基的承载力,对于强夯法的推广应用起到关键作用。

虽然强夯地基的承载力可根据平板载荷试验确定,但该试验仅反映平板宽度或直径的2倍左右深度范围内的土层,而强夯地基处理深度往往较大,尤其是高能级强夯地基处理深度达10m以上,完全采用大型平板载荷试验则检测费用过高。因此,采用标准贯入击数参照天然地基的有关经验数据推定其相应的地基承载力,并将其与平板载荷试验影响范围内的承载力进行比较,建立适合于强夯地基的有关经验关系,是很有意义的。

## 2 标准贯入检测技术

标准贯入试验(SPT)是国内外应用较广的一种现场测试手段,是利用一定的落锤能量(锤重63.5kg,落距76cm)将标准规格的贯入器贯入土中,根据打入土中30cm的锤击数( $N$ )来判别土的工程性质,适用于砂土、粉土和一般粘性土等。标准贯入试验按规范<sup>[1]</sup>进行,用于判断强夯加固效果和有效影响深度是非常直接和有效的。

### 2.1 标贯击数代表值的统计方法

按规范<sup>[1]</sup>规定,岩土参数标准值可按下式计算:

$$f_k = \gamma_s \cdot f_m \quad (1)$$

式中: $f_m$ 为岩土参数的平均值; $\gamma_s$ 为统计修正系数,可按下式估算:

$$\gamma_s = 1 \pm \left( \frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \right) \delta \quad (2)$$

式中: $n$ 为区段及层位范围内数据的个数,即数理统计中所谓的样本容量; $\delta$ 为岩土参数的变异系数。

根据规范规定,对标准贯入试验锤击数 $N$ 的修正,式中正负号按负号考虑。岩土体非均质性和非连续性往往使标贯击数离散性较大,实际工程中可用式(1)估计岩土参数的标准值。

### 2.2 标准贯入试验评定强夯地基承载力

天然地基标贯击数与承载力的关系一些规范提供了经验表格,国内一些勘察单位也分别建立了相应土类的经验公式。对于强夯地基承载力评价的研究越来越受到重视<sup>[2,3]</sup>,本文提出通过参照天然地基标贯击数与承载力的经验关系,结合平板载荷试验数据来推断强夯地基承载力。对于强夯地基深层地基承载力的评价,本文提出采用浅层载荷试验数据与标贯击数建立的相应关系,通过深层标贯击数推定其承载力。本文结合工程检测实例说明该法的应用,并建立相应的强夯地基承载力与标贯击数经验关系,为相似地质条件的强夯地基用标准贯入试验评价其承载力提供参考。

## 3 工程实例

### 3.1 深圳清华实验学校

该工程位于宝安西乡中华商贸城,由小学部、艺

术楼、综合楼等3个单项工程组成,地基土从上到下分别为:①素填土:由粘土、块碎石混合堆填而成,疏松~稍密,平均厚度5.0m;②砂质粘土或含砂粉质粘土:厚2.0m到10几米不等;③强风化混合花岗岩。采用强夯法进行处理地基,处理后地基承载力设计值为200kPa。上述3栋建筑进行平板载荷试验和标准贯入试验的测点数分别为:小学部7个和6个;艺术楼3个和4个;综合楼3个和14个,标准贯入试验的每点深度为7.0m。

该强夯地基土压板面积为2.0m×2.0m,最大加荷量1200kN,经对各测点检测结果进行统计,其结果为:小学部264kPa,艺术楼258kPa,综合楼241kPa,三者平均值为254kPa。此处特征值为按相对变形确定,由于未试验至土层破坏,特征值未满足不大于最大荷载50%的有关规定。

根据现场记录,经深度修正后的标贯击数 $N$ 按分层统计,其结果如下:在0~4m内,上述3个工程的 $\bar{N}=11.9$ ,参照天然地基经验数据<sup>[4,5-6]</sup>,可计算或查表得地基承载力特征值,分别为:①按照SJG 1-88(深圳市标准)《建筑地基基础设计试行规程》,砾质粘土和砂质粘土的 $f_{ak}=315,265\text{kPa}$ ;②按照DBJ 15-31-2003(广东省标准)《广东省建筑地基基础设计规范》,一般粘性土和花岗岩残积土 $f_{ak}=442\text{kPa}$ 。

相同类土质的天然地基计算承载力比强夯地基实测值的254kPa偏大,这是由于检测试验未加载至土层破坏,使承载力特征值偏小。结合本工程的地质条件,根据载荷试验和标贯试验数据,对含碎石粘性土强夯地基承载力与标贯击数关系近似为:

$$f_{ak}=15.3N$$

根据载荷试验反映的浅层地基承载力与标贯击数的关系,在深层4~7m内,上述3个单项工程标贯击数 $\bar{N}=12.0$ ,按关系式推算得 $f_{ak}=182\text{kPa}$ ,此值为评价深层地基承载力提供参考。

### 3.2 深圳创维科技工业园

该工程分为4个区,为协鹏一、二期和工勘一、二期。场地土层分别为:①素填土:主要由砾质粘性土堆填而成,稍湿,厚0.6~12.1m;②砾质粘性土,厚7.4~20.0m。采用强夯处理地基,强夯处理后地基承载力设计值为160kPa。各区进行平板载荷试验和标准贯入试验的测点数分别为:协鹏一期8个和35个;协鹏二期6个和28个;工勘一期13个和62个;工勘二期5个和23个。

该强夯地基土设计承载力为160kPa,压板面积为2.0m×2.0m,最大加荷量为1280kN。从各测点平板载荷试验曲线(略)可见,由于未试验至土层破坏,压力~沉降曲线平缓光滑,承载力特征值按相对变形确定,该工程测点的承载力特征值都大于320kPa。为安全起见,该工程取强夯地基土承载力特征值为320kPa,未能满足不大于最大试验荷载50%的规定。

根据现场原始记录,经深度修正后的标贯击数按分层统计,各单项工程的标贯击数统计结果表明,在0~4m内,4个区的标贯击数 $\bar{N}=9.3$ ,根据此值并参照天然地基有关经验数据<sup>[4-6]</sup>,可计算或查表得地基承载力特征值,见表1。

强夯地基实测承载力254kPa比相同类土质天然地基计算承载力要大。结合本工程的地质条件,根据载荷试验和标贯试验数据,对含砾质粘性土强夯地基承载力与标贯击数关系近似为:

$$f_{ak}=34.4N$$

根据载荷试验反映的浅层地基承载力与标贯击数的关系,深层4~7m内,4个区的标贯击数 $\bar{N}=10.2$ ,按本例浅部实际检测结果推算为351kPa,此值为评价深层地基承载力提供参考。

## 4 结论

4.1 标准贯入试验是一种试验费用低、速度快、适用范围广的一种有效的原位测试方法,具有良好的应用前景,其关键问题是在保证试验质量的前提下,对成果进行科学合理的统计和分析。

4.2 在参照天然地基有关经验关系的基础上,提出根据标贯击数确定强夯地基承载力特征值,并与平板载荷试验结果进行比较的地基评价方法。根据工程检测实例,建立适合于不同地质条件的强夯地基的有关经验关系,为强夯地基承载力的评定提供参考。

(下转第17页)

表1 各经验关系计算的承载力特征值

经验公式	土类及 $f_{ak}$ 计算值(kPa)
SJG 1-88	砾质粘土:232;砂质粘土:206;粘性土:194
DBJ15-31-2003	一般粘性土和花岗岩残积土:246
冶金部成都勘察公司	一般粘性土、粉土:103
武汉市建筑规划设计院等	一般性粘土:268
WBJ 1-1-92*	武汉地区粘性土:257

注) WBJ 1-1-92为《武汉建筑软弱地基基础设计规定》。

若想减小铁塔的自振周期,可采用2种方法,一是减少铁塔上天线平台的数量,即相当于减小了上式中的  $m$  值;二是增大铁塔塔脚的根开,即相当于增大了上式中的  $k$ 。

## 5 地震荷载计算分析

在地震灾区,通信是抢险救灾的必要手段,因此通信铁塔要求比一般建(构)筑物具有更强的抗震能力。建筑物上加建铁塔的地震力计算与独立铁塔的计算有所不同,它不仅与铁塔的自身性能有关,而且与建筑物的抗震性能有关,历次地震震害表明,地震作用下屋顶上的铁塔地震反应强烈,即使在主体结构无震害或震害很轻的情况下,铁塔也会发生较严重的破坏,产生显著的“鞭梢效应”,因此应对铁塔在地震作用下的反应作出必要的验算。

由于铁塔属于柔性的高耸结构,在进行建筑物顶的铁塔抗震设计时,不可采用类似于屋顶楼梯间、天面水箱的计算方法,简单地将铁塔视为突出屋面的一个质点,再乘以一个地震效应增大系数。

根据 GB 50011-2001《建筑抗震设计规范》的相关规定,对于屋面上加建的铁塔,抗震设计时应采用楼面反应谱计算方法。采用第二代楼面谱计算,可综合考虑铁塔与建筑物的质量比、谐振、阻尼比不同性等因素,反映出铁塔与建筑物的相互动力作用,从而较为准确地计算出屋顶铁塔的地震效应。采用此法时,铁塔受到的水平地震作用力可按下式计算:

$$F = \gamma \eta \beta_s G \quad (2)$$

式中: $F$ 为沿最不利方向作用于铁塔的水平地震力标准值; $\gamma$ 为铁塔结构功能系数,反映铁塔的重要性; $\eta$ 为铁塔结构类别系数,反映铁塔的动力特性对地震反应的影响; $\beta_s$ 为铁塔的楼面反应谱值,取决于设防烈度、场地条件、铁塔与建筑物之间的周期比、质

\*\*\*\*\*

(上接第19页)

4.3 平板载荷试验仅反应平板宽度或直径2倍左右深度范围内的土层,强夯地基处理深度往往较大,本文提出采用浅层载荷试验数据与标贯击数建立的相应关系,通过深层标贯击数推定其承载力。

## 参 考 文 献

- [1] GB 50021-2001 岩土工程勘察规范[S]
- [2] 熊丽芳,张景德. 深圳龙岗中心花园填土地基强夯加固

量比和阻尼,以及铁塔在建筑物的支撑位置、数量和连接性质等; $G$ 为铁塔的重力。

通过地震荷载计算,并与风荷载、活荷载等计算结果进行组合,对塔身的各构件进行应力及变形的复核,确保塔顶的位移变形不超过相关规范的限值要求,并获取塔脚处的集中力,可用于进行铁塔基础的设计。

## 6 结 语

6.1 在已有建筑物顶上加建通信铁塔,由于通信铁塔在使用功能上的重要性,在方案可行性判断阶段必须谨慎分析和科学验算,充分考虑建筑物的安全。

6.2 在设计阶段应采取合理布置通信铁塔在建筑物平面的位置、优化铁塔塔身结构等措施,尽量减小铁塔在风荷载、地震荷载作用下产生的塔脚力,也可在塔脚设计时采取一些耗能减震措施,从而减小对已有建筑物的影响。

6.3 对于铁塔—建筑物结合体这种相对特殊的结构体系,在铁塔抗震设计时应充分考虑已有建筑物对通信铁塔造成的地震效应放大作用,从而准确计算铁塔的地震反应。

## 参 考 文 献

- [1] GB 50009-2001 建筑结构荷载规范[S]
- [2] GB50011-2001 建筑抗震设计规范[S]
- [3] 赵西安. 带塔楼高层建筑在地震时的动力反应[J]. 建筑结构学报,1987(4)
- [4] 陈道政. 高楼顶钢结构塔楼的简化计算及设计建议[J]. 特种结构,2004(2)
- [5] 何益斌. 高层框架结构加设铁塔后抗震性能分析[J]. 特种结构,1999(1)

- 效果及承载力的确定[J]. 桂林工学院学报,2001(3)
- [3] 李广平,徐天平等. 强夯地基承载力与变形模量综合评定方法的探讨[C]. 地基基础工程技术新进展. 江西南昌;知识产权出版社,2006
- [4] SJG 1-88 深圳地区建筑地基基础设计试行规程[S]
- [5] DBJ 15-31-2003 广东省建筑地基基础设计规范[S]
- [6] 林宗元. 岩土工程试验监测手册[M]. 北京;中国建筑工业出版社,2005