文章编号:1004 —5716(2005)09 —0008 —02　　中图分类号:TU447　文献标识码:B

# 滨海软土工程特性及其加固效果分析

刘俊洪,陈　斌
(广东省地质物探工程勘察院,广东 广州 510800)

**摘　要**:深圳市宝安区淤泥土层次稳定,厚度较小,具有含水量高、压缩性大、强度低、易受扰动等工程地质特征,属结构性土,快速填土将引起其强度降低。通过对宝安新中心开发区道路软土地基处理效果分析,论述了动力排水固结法、粉喷桩法和强夯块石墩法在加固处理滨海软土地基在技术上是可行的。

**关键词**:软土地基;工程地质特征;加固处理;效果

深圳市目前有三个区域可以开发的土地:龙岗区、深圳湾和宝安区。龙岗区是丘陵地区,深圳湾需围海吹填造陆,只有宝安区是滩涂鱼塘填土即能成陆。宝安区滨海滩涂地带沉积了一层淤泥,其厚度 4～6m,含水量约 80%,压缩系数 $a_{1-2}$ > 2.0MPa$^{-1}$,强度 $C_u$ < 10kPa,天然地基需经加固处理才能满足建筑物对地基强度和变形的要求。以宝安新中心开发区为例,全面分析宝安淤泥土的性质,根据其特性,结合场地使用要求以及类似已建工程经验,寻求较经济合理的处理方法作一些探讨。

## 1　淤泥土的工程地质特征

### 1.1　空间分布特征

根据钻孔揭露,淤泥在整个场地均有分布,层厚度一般为 4～6m,总体上由东北向西南方向增厚。其顶板标高约 1.0m;底板由东北向西南以 4%坡度微倾斜,东北侧标高 - 2.6～ - 2.8m,西南侧约 - 4.7m;在铅垂方向上,局部表层为因干燥脱水作用形成的硬壳层;接近底部为一富含贝壳碎片的砂砾层,该层有利于淤泥的排水固结;中间淤泥性质较均一,比贯入阻力一般在 50～230kPa 之间。

淤泥厚度小,变化不大,而且性质均一,很有利于加固处理,处理后不会出现过大的剩余沉降和差异沉降,这与珠江三角洲其它地方的软土有较大的差别。

### 1.2　天然强度特征

十字板剪切试验结果表明,一般在 3～10kPa,表层硬壳及底部强度大于 10kPa。表 1 为典型测试点结果汇总,并对比了填土前后强度值的变化,填土后 10 天淤泥十字板强度值比天然地基低 20%左右。这是由于空架结构的土,在快速加载下,结构遭到破坏,强度降低。

表 1　快速填土引起土的强度降低

| 深度 (m) | 新湖路 k0 + 720 | | | 甲岸路 k0 + 590 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 十字板强度(kPa) | | | | | |
| | 天然状态 | 填土后 10 天 | 降低百分数 | 天然状态 | 填土后 10 天 | 降低百分数 |
| 1.0 | 3.11 | 2.65 | 14.8 | 15.89 | 13.54 | 14.8 |
| 2.0 | 2.95 | 2.18 | 26.1 | 5.73 | 4.37 | 23.7 |
| 3.0 | 4.10 | 3.06 | 25.4 | 6.26 | 5.24 | 13.6 |
| 4.0 | 8.53 | 5.68 | 33.4 | 11.79 | 5.68 | 52 |

### 1.3　淤泥土的特征

表 2 为宝安淤泥室内土工试验成果汇总表,其物理力学性质主要特征如下:

(1)高含水量,高压缩性。含水量一般在 60%～95%之间,远大于液限,呈流塑状态;压缩系数为 1.3～2.4MPa$^{-1}$。这些数据表明,淤泥土在荷载作用下,将会发生很大的沉降。

(2)高塑性,低强度。淤泥土塑性指数达 23,远大于 17;无侧限抗压强度平均值只有 12.73kPa。

(3)淤泥土渗透系数大都在 $10^{-6}$cm/s 数量级,表明淤泥土的排水固结尚好。

表 2　宝安淤泥主要物理力学指标汇总表

| 统计指标 | 含水量 W (%) | 重度 ρ (g/cm$^2$) | 孔隙比 e | 塑性指数 $I_P$ (%) | 压缩系数 $a_{1-2}$ (MPa$^{-1}$) | 压缩模量 Es (MPa) | 固结系数 ($10^{-4}$数 cm$^2$/s) | 渗透系数 K($10^{-6}$ cm/s) | 无侧限抗压强度 $q_u$ (kPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 统计数 | 53 | 50 | 48 | 53 | 48 | 48 | 48 | 16 | 30 |
| 最大值 | 95.30 | 1.72 | 2.55 | 28.10 | 2.41 | 4.45 | 9.93 | 82.60 | 33.90 |
| 最小值 | 53.20 | 1.49 | 1.52 | 12.70 | 1.36 | 1.03 | 2.75 | 0.16 | 6.40 |
| 平均值 | 78.04 | 1.57 | 2.10 | 23.33 | 1.979 | 1.42 | 4.44 | 17.00 | 12.23 |
| 标准差 | 10.01 | 0.05 | 0.26 | 3.38 | 0.310 | 0.62 | 1.43 | | 5.58 |
| 变异系数 | 12.82 | 3.00 | 12.18 | 14.50 | 15.66 | 43.66 | 32.25 | | 43.82 |

淤泥土的上述特征都是新近沉积淤泥典型特征。根据深圳地区取样进行 $C^{14}$ 测定,该层淤泥沉积时间均在 2000 年左右。由于沉积时间晚,淤泥固结时间短,在历史上受荷又小,因而形成絮凝状(空架式)结构,粒间连接微弱,在较小的荷载作用下,结构就容易破坏而产生变形。在宏观上表现为高含水量、孔隙比大、高压缩性和结构强度低。

综上所述,宝安新中心区淤泥具有如下几个重要特征:

①具有含水量高,压缩性大,强度低,但渗透性尚好的特点;

②厚度小,而且稳定,一般淤泥厚度仅 5m,总沉降量不大,不会产生过大的剩余沉降量和差异沉降的问题;

③强度极低,而且易受扰动,便于采用挤淤置换处理。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

对于上述淤泥土地基上的道路工程,充分利用淤泥土的特性,会有助于选择经济合理、技术可行,施工方便的处理方案。

## 2　宝安新区软土地基加固方法及加固效果分析

宝安新中心区拟建城市道路 7 条,宽 50～70m,设计填土高约 4m,要求地基承载力大于 100kPa,工后沉降小于 15cm,弯沉盆差 < 1/1000。天然地基淤泥含水量 80 %,承载力仅 30kPa,按规范计算,5m 厚淤泥地基总沉降量为 40cm,达到 90 %固结度需经 17.93 年。天然地基经加固处理才能满足工程对地基强度和变形的要求。第一期工程采用动力排水固结法、粉喷桩法、强夯块石墩法进行加固处理。

### 2.1　排水固结法

排水固结法处理软土是古典的方法。而动力排水固结法是排水法其中一种,其作用机理都是利用软土在外荷载作用下,将孔隙水排出,超静孔隙水压力转化为粒间有效应力,从而达到加固软土的目的。众所周知,动力排水固结法能加快土体的固结排水。珠江三角洲一带高速公路,如深汕、广珠东线高速公路,深圳机场、福田保税区等一大批重大工程都采用了静载预压排水固结法。采用合理的加荷计划,地基稳定性和加固后地基承载力都能满足要求。

基于宝安滨海淤泥的上述特征,预压排水固结法已足够满足工程要求。按固结理论计算,预压 180 天就能满足设计要求。考虑到实际固结比理论计算快 2～3 倍,因此,采用静载预压排水能满足工程要求。例如,罗田路填过渡层及砂垫层 1.0m 就开始有大量水排出,待填 2～3m 厚时,堆载将近一个月,固结沉降量就有 10cm。可见,在本工程条件下,采用砂井或塑料板堆载预压法是合理的。

### 2.2　粉喷桩

粉喷桩是将水泥与粘土就地搅拌,制成水泥粘土柱用作道路地基加固,水泥土桩体与桩间土形成复合地基,因桩体有较桩间土大得多的强度和变形模量,承受较大荷载,从而提高地基承载力,减少沉降量,达到加固目的。

宝安新中心区新湖路南段、甲岸路、新安西路采用粉喷桩加固。水泥渗入比 15 %,桩径 0.55m,桩距 1.20m,桩长为打穿淤泥进入亚粘土层 0.5m,一般桩长 6m。经轻便触探检验,1 天龄期平均击数达 29.1 击,按经验关系推算,桩体无侧限标准抗压强度可达 1.3MPa 以上,复合地基承载力可达 100kPa。至于粉喷桩复合地基沉降量,根据室内水泥土搅拌试验,水泥土 90 天时变形模量为 30.37MPa。按复合模量法计算,被加固的淤泥层复合地基沉降仅 8.76cm。考虑到施工期能消除一些沉降以及下卧土层沉降较快,工后沉降也能满足设计要求。

### 2.3　强夯块石墩法

强夯块石墩复合地基法加固软土地基兼具强夯法和振动置换法的特点。它是利用特制的强夯机具,将块石夯入淤泥中形成墩柱体,与墩间土形成复合地基。由于块石墩有较淤泥大得多的刚度,通过上覆土块石垫层的传递作用,承担大部分荷重,减少淤泥土承受荷载,从而提高地基承载力,减少沉降量。

强夯块石墩起置换作用和一定的固结排水作用,墩体质量主要取决于墩体长度,密实度和墩间土强度。对于软土太厚(一般认为厚度 > 8.0m),墩体不易着底,墩体密实度难于保证,加固后形成的复合地基承载力和剩余沉降都达不到设计要求,特别是剩余沉降,这主要是因为强夯块石墩复合地基的沉降是由墩间淤泥土控制的。当软土厚度较小时( < 8.0m),效果较好。深圳黄田机场扩建停机坪软基加固工程采用强夯块石墩复合地基加固,墩长 5.5m,墩径 1.5m,墩间距 3.0m。经载荷试验检验,墩土应力比可达 2～3,复合地基承载力可达 140kPa。经沉降观测,复合地基沉降量主要受墩间淤泥土的固结沉降控制。其计算可由墩间淤泥土的沉降量,减去因墩体置换而减少的沉降和施工期已完成的沉降量。停机坪施工期沉降量约 3～5cm,占总沉降量的 20 %左右。强夯块石墩加固复合地基总沉降量可由(1)式计算

$$S = \Psi_s (1 - m_s) \frac{\Delta\delta}{E_s [1 + (n - 1) m_s]} \cdot H \qquad (1)$$

式中:$\Psi_s$ ——综合修正系数,可取 1.3;

$m_s$ ——块石墩面积置换率;

n ——墩土应力比,可取 3;

$\Delta\delta$ ——附加荷载;

$E_s$、H ——淤泥土的压缩模量、厚度。

宝安新中心区创业西路淤泥厚度小于 5.0m,淤泥强度又低,块石墩体易穿透淤泥层到达粘土层。按墩径 1.5m,墩间距 3.0m 设计,根据机场经验,复合地基沉降按(1)式计算可达到18.8cm,扣除施工期沉降 4～5cm,工后沉降能满足设计要求。

## 3　结束语

根据分析,可得到如下结论:

(1)宝安淤泥层次稳定,厚度小,具含水量高、压缩性大、强度低的结构性土,易受扰动,快速填土将引起其强度降低 20 %左右。

(2)动力排水固结法,粉喷桩法和强夯块石墩法处理宝安新中心区市政道路软土地基在技术上是可行的,且有能量富余。

(3)从经济合理角度考虑,建议优先采用砂井或塑料板堆载预压法,约 6 个月工期已能满足工程要求。

**Analysis on Engineering Characters of Coastal Soft Soil and Its Reinforcing Results**

LIU Jun-hong, CHEN Bin
*(Geologic & Geophysical Engineering Exploration Institute of Guangdong Province, Guangzhou Guangdong* 510800, *China)*

**Abstract:** The sludge in Bao'an in Shenzhen city is stable in gradation and fairly small in thickness. It has such engineering geology characters as high water content, great compressibility, weak intensity and easily disturbed, belonging to structural soil. Its intensity will be reduced when being filled with soil quickly. By the effect analysis of road soft soil ground treatment in Bao'an new central development district, It has been expounded that dynamic drainage consolidation, powder - jet pile and dynamic consolidation debris pier are practical technical methods of reinforcing and treating coastal soft soil ground.

**Key words:** soft soil ground; engineering geology character; reinforce and treatment; effect

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net