

# Laboratory Test of Shallow Rock and Soil in Chancheng of Foshan

Guangchao Liao<sup>1</sup>, Zhaoyuan Wu<sup>1</sup>, Hui Li<sup>1</sup>, Ruokai Lin<sup>1</sup>, Jie Li<sup>1</sup>, Haoyuan Fang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>China Coal Jiangnan Construction and Development Co., Ltd., Guangzhou Guangdong

<sup>2</sup>Guangdong University of Technology, Guangzhou Guangdong

Email: 303208730@qq.com

Received: Feb. 14<sup>th</sup>, 2019; accepted: Feb. 28<sup>th</sup>, 2019; published: Mar. 7<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

To provide reasonable parameters for engineering construction, based on indoor geotechnical test and conventional triaxial test, we select four kinds of typical shallow soil and rocks in Chancheng of Foshan: silt, mucky soil, silty clay, and completely weathered siltstone. By carrying out Experimental study on them, the natural moisture content, the density of natural, plastic limit, liquid limit, void ratio, etc. are obtained, which are the indices of physical and mechanical properties, then through the conventional triaxial test in laboratory, we attain four kinds of stress-strain relationship curve of rock and soil, which provides a reference for the subsequent study of engineering geological conditions and construction in this area.

## Keywords

Chancheng in Foshan, Geotechnical Test, Conventional Triaxial Test, Stress-Strain Relationship

---

# 佛山禅城地区浅层岩土室内试验研究

廖广超<sup>1</sup>, 伍钊源<sup>1</sup>, 黎辉<sup>1</sup>, 林若凯<sup>1</sup>, 李杰<sup>1</sup>, 方昊圆<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中煤江南建设发展有限公司, 广东 广州

<sup>2</sup>广东工业大学, 广东 广州

Email: 303208730@qq.com

收稿日期: 2019年2月14日; 录用日期: 2019年2月28日; 发布日期: 2019年3月7日

---

## 摘要

为了对工程施工提供合理的参数, 基于室内土工试验和常规三轴试验, 选取佛山禅城地区四种浅层典型

**文章引用:** 廖广超, 伍钊源, 黎辉, 林若凯, 李杰, 方昊圆. 佛山禅城地区浅层岩土室内试验研究[J]. 土木工程, 2019, 8(2): 253-261. DOI: 10.12677/hjce.2019.82031

岩土体：淤泥、淤泥质土、粉质黏土、全风化粉砂岩，对其进行试验研究，获得包括天然含水率、天然密度、塑限、液限、孔隙比等物理力学性质指标，再通过室内常规三轴试验，获得四种岩土体应力应变关系曲线，为后续针对该地区的工程地质条件研究以及建筑施工提供参考。

## 关键词

佛山禅城，土工试验，常规三轴试验，应力应变关系

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

工程建筑施工中，工程地质条件会对施工活动以及经济成本产生重要的影响。因此，在施工前期通常会对建筑场地进行钻孔勘察，根据勘察和室内试验结果所得地层参数，选择合理的施工方法，以达到更加经济、合理的目的[1][2][3]。

室内常规试验通常是指物理力学性质试验，主要包括液限、塑限、含水量、颗粒分析、压缩和抗剪强度等试验。三轴压缩试验是获得岩土体力学性质的一种重要试验方法[4]，多年来，国内外学者在三轴试验上取得了诸多进展。Nakata, A. F. L.等[5]对砂的组成矿物进行了单颗粒破碎试验，并将试验结果与分别放置在三轴样品中并进行各向同性固结和剪切试验的标记颗粒的结果进行了统计比较。Indraratna, B.等[6]采用了大型三轴设备，对两个均匀分级的宽英质玄武岩碎石进行抗剪强度和内摩擦角随粒径分布的试验研究。卢志堂等[7]利用改进的霍普金森压杆对不同围压、不同应变率下的岩样进行了试验研究，分析了其在中高应变率下的冲击响应特征与破坏模式。雷胜友[8]用三轴试验方法研究了加筋黄土的应力-应变及强度特性，得到了加筋土的强度指标与对应素土的强度指标间关系。对于新开发的地区，在施工前查明其工程地质条件，并通过试验获得其各典型地层的岩土体基本参数，具有十分重要的实际意义。

## 2. 工程地质条件

佛山市禅城区坐落于珠江三角洲西北处，上覆厚度约为 20 m 的第四系松散沉积物，绿岛湖地块位于禅城区西侧，场地地势开阔，根据现场钻孔揭露，场地地层有人工填土层( $Q_4^{ml}$ )、第四系冲积层( $Q_4^{al}$ )、第四系残积层( $Q_4^{el}$ )，下伏基岩为新生界下第三系( $E$ )地层，具体地层状况自上而下为：

1) 人工填土层( $Q_4^{ml}$ )：主要包含由砂、碎石等组成的素填土，褐黄色，松散~稍压实，厚度约为 4.30~6.50 m；

2) 第四系冲积层( $Q_4^{al}$ )：包括淤泥质粉质黏土( $Q_4^{al}$ )、中粗砂( $Q_4^{al}$ )、淤泥( $Q_4^{al}$ )。淤泥质粉质黏土( $Q_4^{al}$ )主要呈深灰、黑色，流塑状、韧性差，质纯，手捻具滑腻感，切面稍光泽，干强度低，层厚约为 1.80~4.90 m；中粗砂( $Q_4^{al}$ )层主要呈深灰色、灰白色，稍密~中密，主要成分为石英颗粒，级配差，层厚约为 1.40~4.20 m；淤泥( $Q_4^{al}$ )主要呈深灰色、黑色，饱和，流塑状，其他性状与淤泥质粉质黏土相似，层厚约为 1.75~6.80 m；

3) 第四系残积层( $Q_4^{el}$ )：主要为灰黄褐色，局部坚硬，干强度和韧性高的粉质黏土，局部含粉细砂，层厚约为 2.20~8.30 m；

4) 新生界下第三系( $E$ )地层：根据风化程度可划分为全、强风化两个带，主要包含全风化泥质粉砂岩、

强风化泥质粉砂岩和中风化泥质粉砂岩。

全风化泥质粉砂岩：灰白色，灰黄色，岩芯风化强烈，岩芯多呈土状，遇水易软化，手易折断，风干易裂，岩石坚硬程度为极软岩，完整程度属破碎，岩体基本质量等级为Ⅴ级。场地内各钻孔均有揭露，层厚 0.80~7.50 m。

3. 基本物理力学性能试验

3.1. 试验指标

对所选取的土层进行常规试验，所测基本物理力学试验指标主要包括：天然含水率、天然密度、塑限、液限、孔隙比、比重、颗粒分析(限于砂性土)；压缩系数、压缩模量、剪切试验(直剪与常规三轴测 C、 $\varphi$  值，以常规三轴为准)等。

3.2. 试验方案

1) 土工试验方案

对所选取的四种岩土体进行室内常规土工试验，具体试验方案见表 1。

Table 1. Four kinds of rock and soil geotechnical test schemes

表 1. 四种岩土体土工试验方案

| 土样               |       | 淤泥质土 | 粉质黏土 | 淤泥 | 全风化泥质粉砂岩 |
|------------------|-------|------|------|----|----------|
| 试<br>件<br>数<br>量 | 含水率   | 5    | 5    | 5  | 5        |
|                  | 密度    | 1    | 1    | 1  | 1        |
|                  | 比重    | 1    | 1    | 1  | 1        |
|                  | 界限含水率 | 3    | 3    | 3  | 3        |
|                  | 无侧限压缩 | 1    | 1    | 1  | 1        |
|                  | 固结直剪  | 3    | 3    | 3  | 3        |
|                  | 常水头试验 |      | 3    |    | 2        |

2) 常规三轴试验方案

对四种岩土体进行室内常规三轴验，具体试验方案见表 2。

Table 2. Four kinds of rock and soil conventional triaxial test schemes

表 2. 四种岩土体土工试验方案

| 土样       | 常规三轴 CU 试验 |             |
|----------|------------|-------------|
|          | 围压/kPa     | 深度          |
| 粉质黏土     | 100        | 18~18.2     |
|          | 150        | 18~18.2     |
|          | 200        | 18~18.2     |
|          | 100        | 21.50~21.70 |
| 全风化泥质粉砂岩 | 150        | 21.50~21.70 |
|          | 200        | 18.9~19.4   |
|          | 100        | 6.2~6.7     |
| 淤泥质土     | 150        | 6.2~6.7     |
|          | 200        | 7.2~7.7     |
|          | 100        | 11.8~12.3   |
| 淤泥       | 150        | 11.8~12.3   |
|          | 200        | 11.8~12.3   |

### 3.3. 试验结果

室内试验所得四种岩土体物理力学性质指标见表 3。

**Table 3.** Four kinds of rock and soil general physical and mechanical properties  
**表 3.** 四种岩土体常规物理力学性质指标

| 土样       |                                  | 淤泥质土  | 粉质黏土                  | 淤泥   | 全风化泥质粉砂岩              |
|----------|----------------------------------|-------|-----------------------|------|-----------------------|
| 天然状态指标   | 天然密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.73  | 1.91                  | 1.62 | 2.09                  |
|          | 土粒比重 $G_s$                       | 2.68  | 2.72                  | 2.67 | 2.73                  |
|          | 含水率 $\omega$ (%)                 | 43.22 | 32.6                  | 72.4 | 21.3                  |
|          | 孔隙比 $e$                          | 1.19  | 0.83                  | 1.81 | 0.58                  |
|          | 渗透系数 $k$ (cm/s)                  | -     | $3.47 \times 10^{-6}$ | -    | $6.94 \times 10^{-4}$ |
| 稠度       | 液限 $\omega_L$ (%)                | 40.9  | 39.1                  | 55.4 | 31.2                  |
|          | 塑限 $\omega_p$ (%)                | 26.8  | 27.2                  | 36.2 | 19.9                  |
|          | 塑性指数 $I_p$                       | 14.1  | 12.9                  | 19.2 | 11.3                  |
|          | 液性指数 $I_L$                       | 1.16  | 0.18                  | 1.89 | 0.12                  |
|          | 压缩系数 $a_v$ (MPa <sup>-1</sup> )  | 0.93  | 0.32                  | 1.56 | 0.19                  |
| 固结压缩     | 压缩模量 $E_s$ (MPa)                 | 2.97  | 4.89                  | 1.8  | 8.34                  |
|          | 粘聚力 $c$ (kPa)                    | 24.6  | 19.09                 | 9.4  | 34.3                  |
| 固结快剪     | 内摩擦角 $\varphi$ (°)               | 10.7  | 12.4                  | 5.9  | 17.9                  |
|          | 粘聚力 $c$ (kPa)                    | 12.4  | 34.2                  | 11.0 | 24.1                  |
| 三轴压缩(CU) | 内摩擦角 $\varphi$ (°)               | 9.80  | 7.50                  | 6.10 | 22.15                 |

## 4. 常规三轴试验及结果分析

### 4.1. 试验概述

常规三轴试验是土工试验的一种基本方法，基本配置可进行常规应力应变式 UU、CU、CD 等压缩剪切试验[9] [10] [11]。若配备不同的试验容器和控制模块还可以进行 Ko 固结、静止侧压力系数、多种应力路径等等试验。其测试土样静态压缩剪切指标较直接剪切试验指标具有相对较强的客观性，对于重要工程与研究项目的土样强度参数测试通常采用该手段进行。试验借助于常规三轴仪(TKA 三轴仪)进行土样静态强度参数(黏聚力与内摩擦角)测试。

### 4.2. 试验原理

常规三轴试验采用圆柱形试样，对试样的空间三个坐标方向上施加压力。试验时先通过压力室内的有压液体，使试样在三个轴向受到相同的周围压力  $\sigma_3$ ，并维持整个试验过程不变。然后向试样施加垂直轴向压力，直到试样剪坏。若轴向所施加的试样破坏时的压力强度为  $q = \sigma_1 - \sigma_3$  (偏应力)，小主应力是周围压力，中主应力  $\sigma_2$  和  $\sigma_3$  相等。则由一个试样所得的  $\sigma_1$  和  $\sigma_3$ ，可以绘制一个极限应力圆。对同一种土，另取几个试样，改变围压  $\sigma_3$ ，试样剪坏时所加的轴压力  $\sigma_1$  也会改变，从而又可绘制另几个极限应力圆。这样，在不同周围压力下试验，就可得到一组(最少三个试样)极限应力圆。作这些应力圆的公切线，便是土的抗剪强度包线，由此包线可求得抗剪强度指标内摩擦角  $\varphi$  和黏聚力  $c$ 。

### 4.3. 仪器设备

TKA 三轴仪集机械、电子技术、自动控制技术、传感器自动检测技术及计算机技术于一体，是一机多用的土样常规三轴仪。基本配置可进行常规应力应变式 UU、CU、CD 等压缩剪切试验。若配备不同

的试验容器和控制模块还可以进行  $K_0$  固结、静止侧压力系数、多种应力路径三轴试验、拉伸试验、弹性模量试验、承载比试验等，若配备固结模块，还可做分级加荷、连续加荷等固结试验。

主要技术指标：

- 1) 围压：0~1 MPa，分辨率：1 kPa；
- 2) 反压：0~1 MPa，分辨率：1 kPa；
- 3) 体变测量范围：0~50 ml，分辨率 0.001 ml；
- 4) 最大轴力：10 kN。

#### 4.4. 试验步骤

试验主要分为以下几个步骤：

- 1) 试验饱和，即设置围压/反压以及相应加载时间；
- 2) 检测试样饱和度是否达到要求(通常为 95%以上)以及超孔隙水压力是否消散；
- 3) 固结，该阶段根据所需的固结压力，设置相应的围压；
- 4) 剪切，对试样施加轴向压力增量，进行剪切。剪切完成后将压力室复位，并注意清理压力室内杂质，防止堵塞管路。

#### 4.5. 试验结果

常规三轴压缩剪切试验数据整理及分析可通过一定操作，由 TKA 三轴仪自带软件完成。以下给出相关各土的三轴压缩剪切试验两种基本结果：1) 主应力差与轴向应变曲线；2) 三种不同侧压(100 kPa, 150 kPa, 200 kPa)固结不排水(CU)下剪切强度包络线及强度参数。

图 1 给出了不同围压下淤泥主应力差与轴向应变关系曲线，如图所示，三个围压下，试样的轴向应变随着主应力差的增大而增大，在达到峰值强度后，试验产生破坏，应变减小；从图中开可以看到，当围压在 100、150、200 kPa 时，峰值强度分别为 160、190、230 kPa。由图 2 可知，淤泥的粘聚力  $c = 11.00$  kPa，内摩擦角  $\varphi = 6.10^\circ$ 。

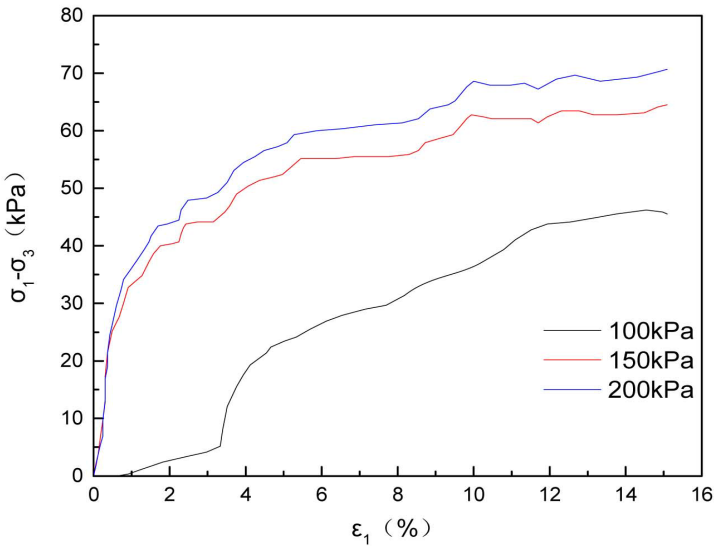
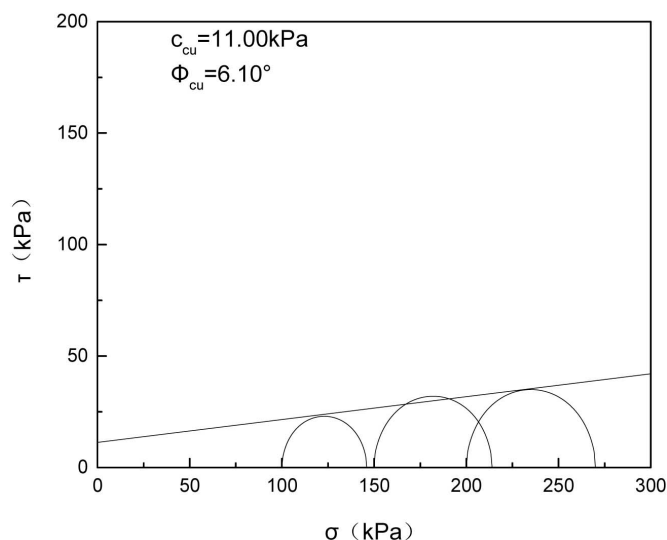


Figure 1. Relationship curve between main stress difference and axial strain of silt

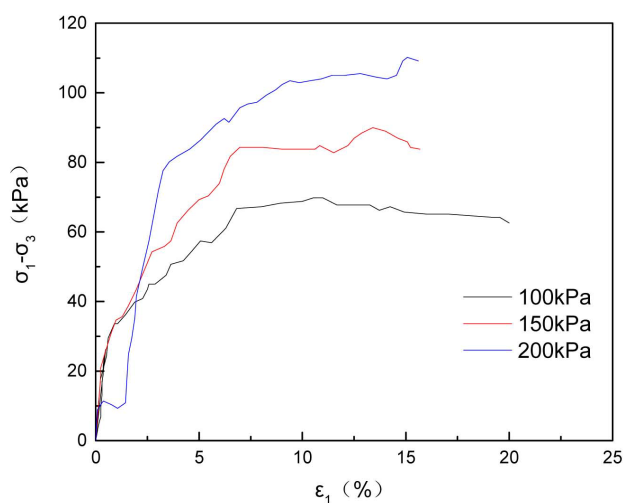
图 1. 淤泥主应力差与轴向应变关系曲线



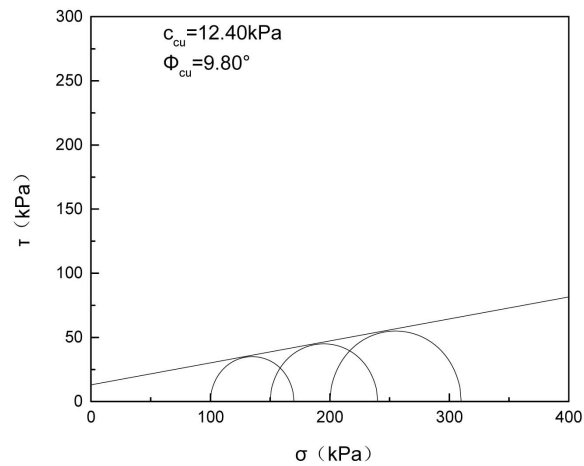
**Figure 2.** Consolidation of undrained shear strength cladding line of silt  
**图 2.** 淤泥固结不排水剪强度包线

图 3 给出了不同围压下淤泥质土主应力差与轴向应变关系曲线, 如图所示, 三个围压下, 试样的轴向应变随着主应力差的增大而增大, 在达到峰值强度后, 试验产生破坏, 应变减小; 从图中可以看到, 当围压在 100、150、200 kPa 时, 峰值强度分别为 70、90、110 kPa, 在初始变形阶段, 围压对轴向应变的影响相对较小, 随着主应力差的增大, 应变之差越来越大由图 4 可知, 淤泥质土的粘聚力  $c = 12.40$  kPa, 内摩擦角  $\varphi = 9.80^\circ$ 。

图 5 给出了不同围压下粉质黏土主应力差与轴向应变关系曲线, 如图所示, 三个围压下, 试样的轴向应变随着主应力差的增大而增大, 在达到峰值强度后, 试验产生破坏, 应变减小; 从图中可以看到, 当围压在 100、150、200 kPa 时, 峰值强度分别为 160、190、230 kPa, 在初始变形阶段, 围压对轴向应变的影响相对较小, 随着主应力差的增大, 应变之差越来越大。由图 6 可知, 粉质黏土的粘聚力  $c = 34.20$  kPa, 内摩擦角  $\varphi = 7.50^\circ$ 。

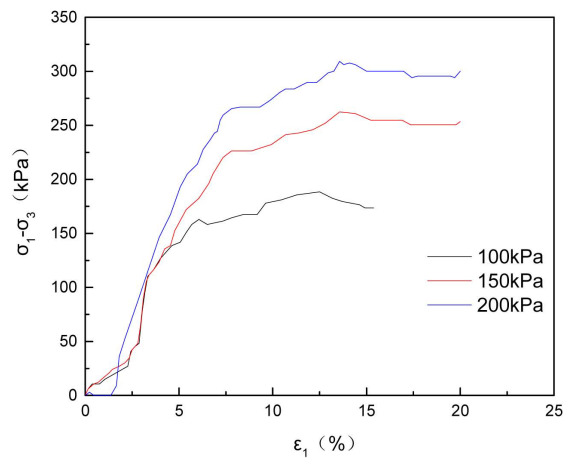


**Figure 3.** Relationship curve between main stress difference and axial strain of mucky soil  
**图 3.** 淤泥质土主应力差与轴向应变关系曲线



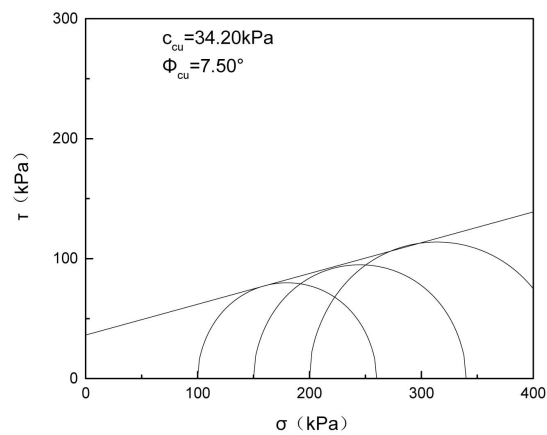
**Figure 4.** Consolidation of undrained shear strength cladding line of mucky soil

**图 4.** 淤泥质土固结不排水剪强度包线



**Figure 5.** Relationship curve between main stress difference and axial strain of silty clay

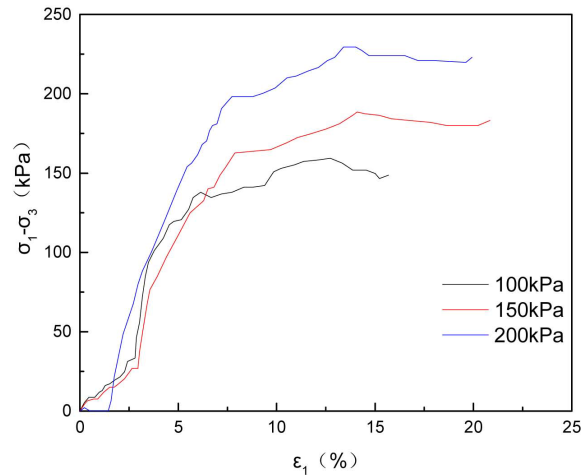
**图 5.** 粉质黏土主应力差与轴向应变关系曲线



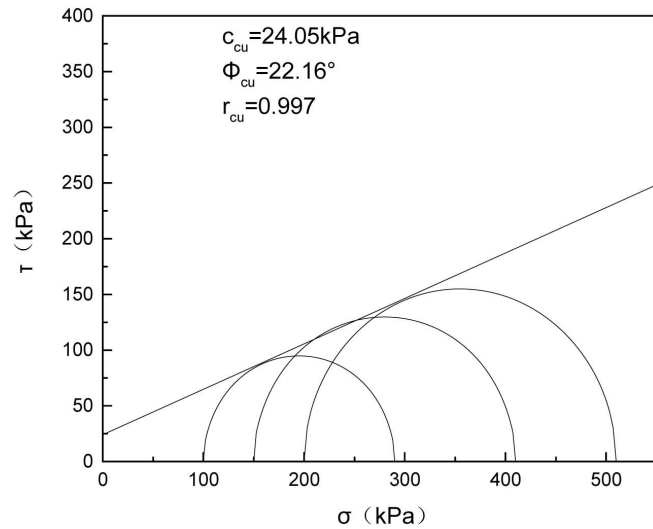
**Figure 6.** Consolidation of undrained shear strength cladding line of silty clay

**图 6.** 粉质黏土固结不排水剪强度包线

图 7 给出了不同围压下全风化泥质粉砂岩主应力差与轴向应变关系曲线，如图所示，三个围压下，试样的轴向应变随着主应力差的增大而增大，在达到峰值强度后，试验产生破坏，应变减小；从图中可以看到，当围压在 100、150、200 kPa 时，峰值强度分别为 190、260、310 kPa，在初始变形阶段，围压对轴向应变的影响相对较小，随着主应力差的增大，应变之差越来越大。由图 8 可知，全风化泥质粉砂岩的粘聚力  $c = 24.05 \text{ kPa}$ ，内摩擦角  $\varphi = 22.16^\circ$ 。



**Figure 7.** Relationship curve between main stress difference and axial strain of completely weathered siltstone  
**图 7.** 全风化泥质粉砂岩主应力差与轴向应变关系曲线



**Figure 8.** Consolidation of undrained shear strength cladding line of weathered siltstone  
**图 8.** 全风化泥质粉砂岩固结不排水剪强度包线

## 5. 结论

本文针对佛山禅城地区典型地层，选取淤泥、淤泥质土、粉质黏土、全风化粉砂岩四种岩土体进行室内土工试验和三轴试验研究，获得以下结果：

- 1) 通过含水率、比重、界限含水率、无侧限压缩试验、固结直剪和常水头试验，获得四种岩土体基



本物理力学性质参数, 淤泥质土、粉质黏土、淤泥、全风化泥质粉砂岩的压缩模量分别为 2.97 MPa、4.98 MPa、1.8 MPa、8.34 MPa。

2) 通过室内常规三轴试验, 获得四种岩土体主应力差与轴向应变关系和固结不排水强度包线, 可知, 淤泥的粘聚力  $c = 11.00$  kPa, 内摩擦角  $\varphi = 6.10^\circ$ ; 淤泥质土的粘聚力  $c = 12.40$  kPa, 内摩擦角  $\varphi = 9.80^\circ$ ; 粉质黏土的粘聚力  $c = 34.20$  kPa, 内摩擦角  $\varphi = 7.50^\circ$ ; 全风化泥质粉砂岩的粘聚力  $c = 24.05$  kPa, 内摩擦角  $\varphi = 22.16^\circ$ 。

3) 本文所获得参数基于现场土体和室内试验, 可为现场施工或进一步研究提供参考。

## 参考文献

- [1] 沈珠江. 理论土力学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.
- [2] James, H.G., Andrew, O., Kerton, G.P.A., *et al.* (2018) Engineering Geology of Cinder Gravel in Ethiopia: Prospecting, Testing and Application to Low-Volume Roads. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, **2018**, 1-16.
- [3] Zhang, X.W., Kong, L.W., Yin, S., *et al.* (2017) Engineering Geology of Basaltic Residual Soil in Leiqiong, Southern China. *Engineering Geology*, **220**, 196-207. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.02.002>
- [4] 韦文婧, 黄良. 浅议常规三轴试验及其参数指标的选用[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2006, 31(3): 262-264.
- [5] Nakata, A.F.L., Hyde, M. and Hyodo, H. (2001) A Probabilistic Approach to Sand Particle Crushing in the Triaxial Test. *Geotechnique*, **49**, 567-583. <https://doi.org/10.1680/geot.1999.49.5.567>
- [6] Indraratna, B., Ionescu, D. and Christie, H.D. (1998) Shear Behavior of Railway Ballast Based on Large-Scale Triaxial Tests. *Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering*, **124**, 439-449. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(1998\)124:5\(439\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(1998)124:5(439))
- [7] Zhi-Tang, L.U. and Wang, Z.L. (2016) Triaxial Tests on Dynamic Properties of Granite under Intermediate and High Strain Rates. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, **38**, 1087-1094.
- [8] 雷胜友. 加筋黄土的三轴试验研究[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2000, 20(2): 1-5.
- [9] 缪林昌, 殷宗泽, 刘松玉. 非饱和膨胀土强度特性的常规三轴试验研究[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2000, 30(1): 121-125.
- [10] 唐洪祥, 张丽娟. 平面应变试验与常规三轴试验条件下含细粒土砂力学特性比较研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2015(5): 223-227.
- [11] 李顺群, 高凌霄, 尚军. 常规三轴试验固结阶段的理论研究及试验验证[J]. 工业建筑, 2014, 44(2): 72-76.

## 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [hjce@hanspub.org](mailto:hjce@hanspub.org)