

Guangdong Mountainous Area Highway Soft Soil Physical and Mechanical Characteristics and Correlation Analysis

Yonghua Han

Guangdong Pingxing Expressway Co., Ltd., Meizhou Guangdong
Email: 953499434@qq.com

Received: Jun. 14th, 2017; accepted: Jul. 1st, 2017; published: Jul. 4th, 2017

Abstract

By sorting a large number of indoor soil test results, we analyzed the physical and mechanical characteristics of mountain soft soil in Pingxing highway and the differences between the Pearl River Delta plain soft soil on this basis, summarized the empirical relationship between the several physical and mechanical indexes of the mountain soft soil in Pingxing highway, to help improve understanding of the mountain soft soil and master their physical and mechanical properties, thereby contributing to the quality of survey and design work.

Keywords

Mountain Soft Soil, Pingxing Highway, Physical and Mechanical Properties

广东山区高速公路软土物理力学特性及相关性分析研究

韩永华

广东平兴高速公路有限公司, 广东 梅州
Email: 953499434@qq.com

收稿日期: 2017年6月14日; 录用日期: 2017年7月1日; 发布日期: 2017年7月4日

摘要

本文通过汇总分析平兴高速公路大量室内土工试验结果, 分析了山区软土的物理力学特点及与珠三角平

原软土的区别,并在此基础上,归纳了山区软土多项物理力学指标之间相互关系的经验公式,有助于提高对山区软土的认识及对其物理力学指标的掌握,从而促进勘察设计工作质量。

关键词

山区软土,平兴高速,物理力学性质

Copyright © 2017 by author 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. 前言

目前广东省已建的高速公路大部分位于珠江三角洲地区,沿线多为软土地基路段,经过多年的工程实践和理论研究,工程界对这类地区软土的工程特性与加固技术已了解较深,而对于分布于山间谷地的山区软土了解甚少。

山区软土因形成环境、组成成份、成因多样化,其物理力学性质与认知度较高的平原软土性质差异较大,为确保山区软土处理设计与施工的可靠性、经济性和安全性,必须准确掌握山区软土的工程特性。本文旨在通过分析平兴高速公路山区软土特性及其相关性,以求进一步提高对山区软弱土的认识。

2. 工程概况

济南至广州国家高速公路平远(赣粤界)至兴宁段全长 99.544 km,全线设计速度 100 km/h,路基宽度 26 m,路桥比为 0.75:0.25,最大路基填高 31 m,全线路基填高 20 m 以上的路段多达 47 处[1]。

沿线软土主要分布于冲积平原区、河流谷地及山间洼地,主要由第四系沼泽相淤泥质粉质粘土及淤泥组成,其中平原区软土呈片状分布,山间洼地(或鱼塘塘底)软土呈点状或带状随机分布。全线主线软土分布共 144 路段,累计长度为 16.6 km。软土的厚度一般为 0.4~5.95 m,局部达到 7.2~8.10 m,上层覆盖层一般为耕植土、素填土及粉质粘土,厚度为 0~9.40 m [2]。

针对软土分布厚度、埋深、路基高度的具体情况,综合采用了清淤换填、直接预压、袋装砂井堆载预压、水泥搅拌桩、CFG 桩和管桩复合地基等方法进行软基处理。

3. 山区软土形成机理

广东区域山区软土基本处于亚热带季风型气候地带,是南亚热带和中亚热带气候区的过渡带,受海洋季风的影响明显,气候温和潮湿,雨量充沛,雨季长,夏季湿热,多台风暴风雨。平兴高速公路软土的形成,主要是由于当地的泥灰岩、页岩、泥岩的风化产物和有机物质,受到雨水的影响,经水流搬运沉积于原始地形低洼处(如冲沟、谷地、河流阶地等洼地),长期泡水软化的结果,其成因以坡洪积、湖积、冲积三种为主。

4. 平兴高速公路软土物理力学特性

平兴高速沿线孔隙比 $e \geq 1.0$ 、液性指数 $I_L \geq 1.0$ 的软土物理力学统计如表 1 所示。据表可见,平兴山区软土含水量、孔隙比、压缩模量、直接快剪黏聚力与内摩擦角平均值分别为 54.1%、1.5、2.6 MPa、10.0 kPa、 7.4° ,渗透系数平均值为 $2.48E-06$ cm/s,具有高含水量、高压缩性、低强度、低渗透性的特点。

Table 1. Statistical tables of main physical and mechanical properties of soft soil
表 1. 平兴高速软土主要物理力学性质指标统计表

| 统计指标 | 含水率 $\omega/\%$ | 孔隙比 e | 饱和度 $S_r/\%$ | 液限 $\omega_L/\%$ | 塑限 $\omega_P/\%$ | 塑性指数 I_p | 液性指数 I_L | 压缩系数 $\alpha_{v1-2}/\text{MPa}^{-1}$ | 压缩模量 E_{s1-2}/MPa | 黏聚力 C/kPa | 内摩擦角 $\varphi/^\circ$ | 渗透系数 $K \text{ cm/s}$ |
|------|--------------------|------------|-----------------|---------------------|---------------------|---------------|---------------|---|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| 最小值 | 35.8 | 1.0 | 77.0 | 29.4 | 17.5 | 8.0 | 1.0 | 0.5 | 0.5 | 2.0 | 1.1 | 2.41E-08 |
| 最大值 | 98.3 | 3.1 | 100.0 | 75.7 | 52.2 | 26.2 | 4.9 | 6.1 | 4.5 | 31.0 | 27.2 | 2.10E-05 |
| 平均值 | 54.1 | 1.5 | 94.1 | 43.5 | 28.6 | 15.0 | 1.7 | 1.1 | 2.6 | 10.0 | 7.4 | 2.48E-06 |
| 样本数 | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 | 40 | 40 | 26 |
| 变异系数 | 0.31 | 0.30 | 0.06 | 0.22 | 0.26 | 0.27 | 0.46 | 0.71 | 0.30 | 0.63 | 0.76 | 2.17 |

为进一步了解平兴山区软土的特点，将其与广东省平原软土进行对比分析，如表 2、表 3 所示，其中广东省平原软土物理力学特性指标引用《广东省公路软土地基设计、施工地方规定研究》课题研究总结报告[3]。据表可知：

1) 相对平原软土，平兴山区软土的物理力学指标的变异系数普遍较大，说明山区软弱土的性质变化较大。

2) 平兴山区软土的天然状态指标与平原软土非常接近；压缩模量 E_{s1-2} 为平原软土 1.42 倍；直接快剪的黏聚力与内摩擦角分别为平原软土 1.43 倍、2.47 倍；渗透系数为平原软土的 24.3 倍。

5. 软土物理指标相关性分析

岩土的物理力学指标并非相互独立，各指标之间存在着一定的关联性[4]。通过分析大量的勘察数据，可建立各物理力学指标间的地区经验公式，对实际的工程建设具有指导性的作用。尤其是在山区软基路段勘察条件较差这种情况下，软基加固设计中各项重要软土指标更难直接获取，通过较易获得的物理力学指标来估算其它指标更具有重要意义。

采用平兴高速孔隙比 $e \geq 1.0$ 的 409 个软土样本的物理力学指标进行相关性分析，通过回归分析，物理性指标之间相关系数 ≥ 0.5 的结果如图 1~图 5 和表 4 所示。

由图 1~图 5，表 1~表 3 可知：

- 1) 含水率与孔隙比呈线性递增关系，相关系数 R 为 0.9005 ($R^2 = 0.8109$)，有良好的相关性；
- 2) 含水率与液性指数总体呈线性递增关系，相关系数 R 为 0.7715 ($R^2 = 0.5952$)，有一定的相关性；
- 3) 孔隙比与天然密度总体上呈线性递减关系，相关系数为 R 为 0.7776 ($R^2 = 0.6047$)，有一定的相关性；
- 4) 液限与塑限呈线性递增关系，相关系数 R 为 0.8290 ($R^2 = 0.6872$)，有较好的相关性；
- 5) 液限与塑性指数呈线性递增关系，相关系数 R 为 0.8125 ($R^2 = 0.6602$)，有较好的相关性。

6. 软土力学指标相关性分析

压缩系数和压缩模量分别是评价地基土的压缩性和刚度的重要指标，平兴高速软土上述两个指标之间的关系如图 6 所示，压缩系数与压缩模量存在良好的幂数关系，其相关系数 R 为 0.9663 ($R^2 = 0.9337$)，具有显著的相关性。但因直接快剪凝聚力与摩擦角这两个力学指标离散性很大，与其它力学指标之间均无明显相关性。

7. 物理与力学指标相关性分析

压缩系数是表征土体压缩性的重要指标之一，是软土加固设计时的一个非常重要指标，该指标的

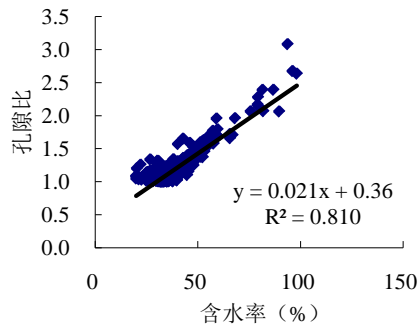


Figure 1. Correlation diagram between water content and void ratio
图 1. 含水率与孔隙比相关图

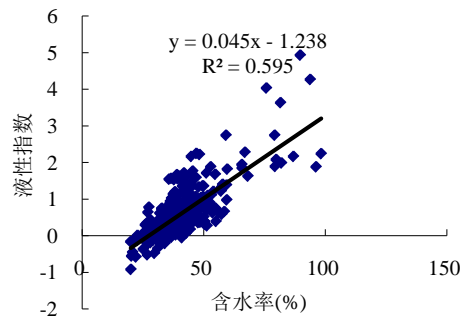


Figure 2. Correlation diagram between water content and liquid index
图 2. 含水率与液性指数相关图

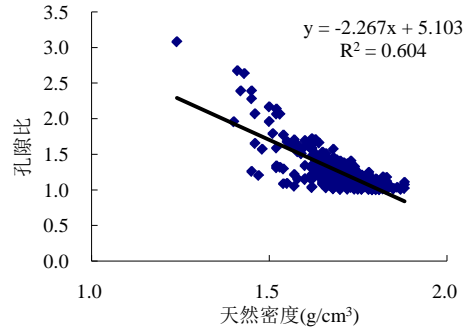


Figure 3. Correlation map of natural density and void ratio
图 3. 天然密度与孔隙比相关图

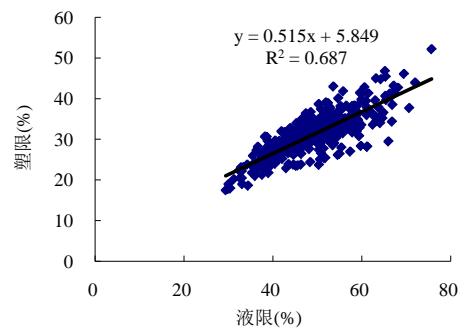


Figure 4. Diagram of liquid limit and plastic limit
图 4. 液限与塑限相关图

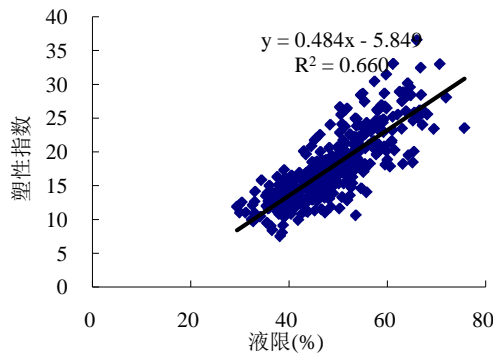


Figure 5. Diagram of liquid limit and plastic index

图 5. 液限与塑性指数相关图

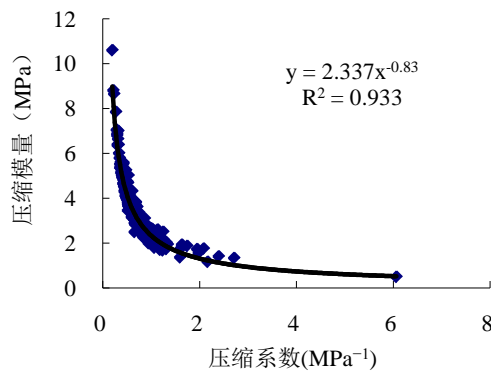


Figure 6. Correlation diagram between compression coefficient and compression modulus

图 6. 压缩系数与压缩模量相关关系图

Table 2. Statistical tables of main physical and mechanical properties of soft soil in Pearl River Delta

表 2. 珠三角软土主要物理力学性质指标统计表

| 统计指标 | 含水率 $\omega/\%$ | 密度 $\rho_s/g/cm^3$ | 孔隙比 e | 液限 $\omega_L/\%$ | 塑限 $\omega_p/\%$ | 塑性 指数 I_p | 液性 指数 I_L | 压缩系数 $\alpha_{v1.2}/MPa^{-1}$ | 压缩模量 $E_{s1.2}/MPa$ | 黏聚力 C/kPa | 内摩 擦角 $\varphi/^\circ$ | 渗透系数 $K/cm/s$ |
|------|--------------------|-----------------------|------------|---------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|------------------|
| 最大值 | 99.5 | 1.87 | 2.74 | 68.2 | 40.1 | 36 | 5.4 | 3.87 | 4.11 | 27 | 5 | 7.37E-07 |
| 最小值 | 35.8 | 1.4 | 1.01 | 23 | 14 | 6 | 0.4 | 0.51 | 0.84 | 2 | 0 | 1.21E-08 |
| 平均值 | 61.8 | 1.62 | 1.69 | 45.6 | 28.3 | 17 | 2.1 | 1.59 | 1.83 | 7 | 3 | 1.02E-07 |
| 样本数 | 317 | 317 | 317 | 317 | 317 | 317 | 317 | 317 | 317 | 317 | 317 | 84 |
| 变异系数 | 0.22 | 0.06 | 0.21 | 0.16 | 0.16 | 0.30 | 0.43 | 0.45 | 0.32 | 0.54 | 0.33 | 0.98 |

Table 3. Statistical tables of main physical and mechanical properties of soft soil in Pearl River Delta

表 3. 珠三角软土主要物理力学性质指标统计表

| 统计指标 | 天然状态指标 | | 稠度指标 | | | 固结指标 | | 直接快剪 | | 渗透系数 $K/cm/s$ | |
|------|--------------------|------------|---------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------------------------|------------------------|----------------|------------------|---------------------------|
| | 含水率 $\omega/\%$ | 孔隙比 e | 液限 $\omega_L/\%$ | 塑限 $\omega_p/\%$ | 塑性 指数 I_p | 液性 指数 I_L | 压缩系数 $\alpha_{v1.2}/MPa^{-1}$ | 压缩模量 $E_{s1.2}/MPa$ | 黏聚力 C/kPa | | 内摩 擦角 $\varphi/^\circ$ |
| 平兴软土 | 54.1 | 1.5 | 43.5 | 28.6 | 15 | 1.7 | 1.1 | 2.6 | 10 | 7.4 | 2.48E-06 |
| 平原软土 | 61.8 | 1.69 | 45.6 | 28.3 | 17 | 2.1 | 1.59 | 1.83 | 7 | 3 | 1.02E-07 |
| 比值/% | 87.5 | 88.8 | 95.4 | 101.1 | 88.2 | 81.0 | 69.2 | 142.1 | 142.9 | 246.7 | 2431.4 |

获得一般是通过室内压缩试验。因室内压缩试验结果受影响因素较多，试验结果往往离散性较大，因此，建立压缩系数与其它物理指标间的相关关系具有重要的工程实践意义。与压缩系数有一定相关性的回归分析结果见图7~图9和表5，据图表可知：

- 1) 压缩系数与含水率总体呈线性递增关系，但相关性不明显，相关系数 R 仅为 0.5839 ($R^2 = 0.3409$)；
- 2) 压缩系数与天然密总体呈线性递减关系，关系系数 R 为 0.7058 ($R^2 = 0.4981$)，有一定的相关性；
- 3) 压缩系数与孔隙比总体呈线性递增关系，相关系数 R 为 0.7343 ($R^2 = 0.5392$)，有一定的相关性。

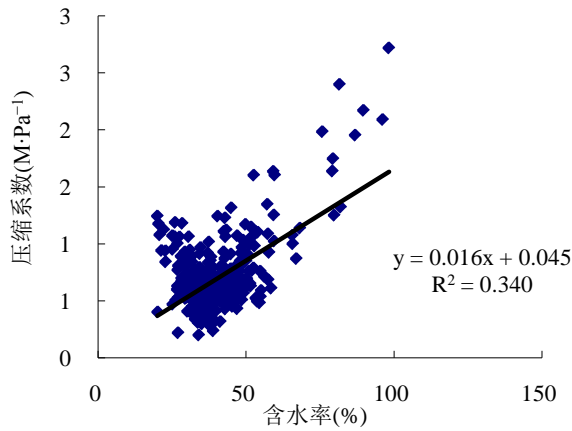


Figure 7. Relationship between compressibility and moisture content
图 7. 压缩系数与含水率相关关系图

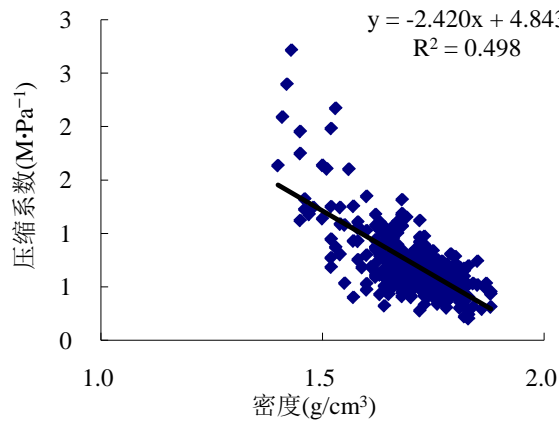


Figure 8. Correlation diagram of compressibility and density
图 8. 压缩系数与密度相关关系图

Table 4. Relationship between physical indexes of soft soil

表 4. 平兴高速公路软土物理指标相关关系

| 编号 | 统计关系 | 样本容量 | 回归方程 | 相关系数 R |
|----|----------------|------|-------------------------------|--------|
| 1 | $e - \omega$ | 409 | $e = 0.0213\omega + 0.3600$ | 0.9005 |
| 2 | $I_L - \omega$ | 409 | $I_L = 0.0452\omega - 1.2385$ | 0.7715 |
| 3 | $e - \rho$ | 409 | $e = -2.2676\rho + 5.1033$ | 0.7776 |
| 4 | $w_p - w_L$ | 409 | $w_p = 0.5153 w_L + 5.8499$ | 0.8290 |
| 5 | $I_p - w_L$ | 409 | $I_p = 0.4847 w_L - 5.8499$ | 0.8125 |

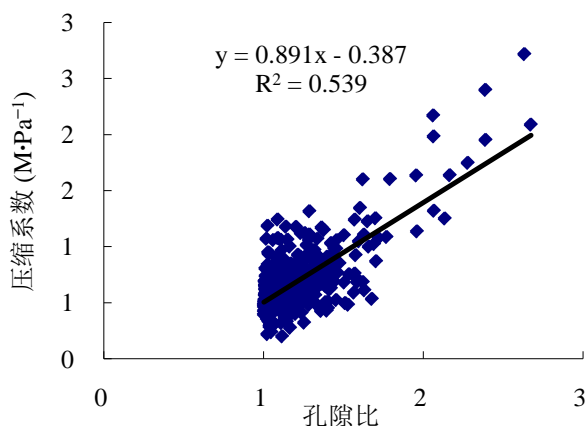


Figure 9. Relationship between compressibility and void ratio
图 9. 压缩系数与孔隙比相关关系图

Table 5. Correlation between compressibility and other physical indexes

表 5. 压缩系数与其它物理指标相关关系

| 编号 | 统计关系 | 样本容量 | 回归方程 | 相关系数 R |
|----|---------------------|------|-------------------------------------|--------|
| 1 | $\alpha_v - \omega$ | 409 | $\alpha_v = 0.0161\omega + 0.0458$ | 0.5839 |
| 2 | $\alpha_v - \rho$ | 409 | $\alpha_v = -2.4206\omega + 4.8432$ | 0.7058 |
| 3 | $\alpha_v - e$ | 409 | $\alpha_v = 0.8911\omega - 0.3876$ | 0.7343 |

8. 结语

由于山区的地形、地貌较平原和沿海地区有很大差异，故在山区公路建设中会遇到山区软土地基处理的问题。本文对平兴高速公路软土物理力学试验指标的对比及相关分析发现，其物理力学指标具有以下特点：

1) 相对平原软土，平兴山区软土的物理力学指标的变异系数普遍较大，充分表明山区软土的物理力学指标变化较大。

2) 平兴山区软土的天然状态指标与平原软土非常接近；压缩模量 E_{s1-2} 为平原软土 1.42 倍；直接快剪的黏聚力与内摩擦角分别为平原软土 1.43 倍、2.47 倍；渗透系数为平原软土的 24.3 倍。

3) 平兴山区软土的物理指标中，含水率与孔隙比、含水率与液性指数、天然密度与孔隙比、液限与塑限、液限与塑性指数具有一定的相关性，其余物理指标之间并无明显的相关性。

4) 平兴山区软土的力学性质指标中，压缩系数与压缩模量存在良好的幂数关系，其相关系数为 0.9663，其它力学性质指标之间无明显的相关性。

5) 平兴高速公路软土的物理与力学性质指标之间，压缩系数与天然密度、压缩系数与孔隙比具有一定的相关性，其它物理指标与力学指标之间并未有明显的相关性。

通过大量的勘察资料分析了平兴山区软土的工程特性，得出了该地区的土性指标及其之间的相互关系，为平兴高速软土地基处理提供了可靠的依据。

参考文献 (References)

- [1] 广东省公路勘察规划设计院股份有限公司. 济南至广州国家高速公路平远(赣粤界)至兴宁段施工图设计[R]. 2012.
- [2] 广东省公路勘察规划设计院股份有限公司. 济南至广州国家高速公路平远(赣粤界)至兴宁段详细工程地质勘查

报告[R]. 2011.

[3] 广东省航盛建设集团有限公司.广东省公路软基地基设计、施工地方规范研究[R]. 2012.

[4] 刘吉福, 高玉峰. 广东软粘土物理力学指标相关性分析[J]. 路基工程, 2013(2): 47-52.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

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

期刊邮箱: ojtt@hanspub.org