

# 天津软土物理力学性质的相关性研究

李玉朋<sup>1,2</sup> 郭进京<sup>1,2</sup> 余辉<sup>1,2</sup>

(1. 天津城市建设学院土木工程学院, 天津 300384; 2. 天津市软土特性与工程环境重点实验室, 天津 300384)

**【摘要】** 为探究天津软土各物理力学性质间的相关性, 利用最小二乘法原理对土样的各测定指标进行统计。结果表明: 初始孔隙比与压缩系数、压缩系数与含水量、含水量与孔隙比之间均有很好的相关性, 可以用天然含水量估算软土的一些物理力学性质指标; 液限与塑性指数的回归方程为:  $I_p = 0.43(\omega_L - 10.8)$ 。与其它各地的塑性图相比有一定的差异性; 同时, 这些塑性图和卡氏塑性图中的  $I_p = 0.73(\omega_L - 20)$  也存在一定差异, 因此进行土的分类时应考虑土体的区域性。

**【关键词】** 软土; 物理力学性质; 相关关系

**【中图分类号】** 441.2

**【文献标识码】** B

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2012.06.009

## Correlation Study of Physical and Mechanical Properties of Soft Soil in Tianjin

Li Yupeng<sup>1,2</sup> Guo Jinjing<sup>1,2</sup> Yu Hui<sup>1,2</sup>

(1. Department of Civil Engineering, Tianjin Institute of Urban Constuction, Tianjin 300384, China;

2. Tianjin Key Lab of Soft Soil Characteristic and Engineering Environment, Tianjin 300384, China)

**【Abstract】** Method of least squares was used to determine the relevance among physical and mechanical properties of soft soil in Tianjin. The results showed that there were good relevance among initial void ratio, coefficient of compressibility and water content; natural water content and void ratio, so, water content can be used to estimate certain physical and mechanical properties. The regression equation between liquid limit and plastic index was:  $I_p = 0.43(W_L - 10.8)$ , which is different from other plasticity charts. Meanwhile, it is different from Casagrande's plasticity chart which can be described as  $I_p = 0.73(W_L - 20)$ . Soil region should be taken into consideration during soil classification.

**【Key words】** soft soil; physical and mechanical properties; correlativity

### 0 引言

我国东部沿海地区, 软土分布广泛, 许多沿海城市建设中遇到的工程地质问题都与软土有关<sup>[1]</sup>。软土工程是土体工程研究中的重要领域。东部沿海地区, 随着社会的发展, 工程建设等对软土理论的研究提出了更高的要求。天津是典型滨海软土地区, 随着天津城市的发展建设需要, 工程建筑类型越来越多, 工程建筑规模越来越大, 对建筑物地基的强度和变形要求越来越高, 软土工程问题已经成为天津开发与建设中面临的主要工程问题, 因此深入研究天津软土工程特性意义重大。

本文从软土的物理力学性质的各指标间的相关性出发, 通过对各指标间的相关关系进行分析, 以期

对以后软土的科学研究的提供一定的参考。

### 1 实验材料与实验方案

#### 1.1 实验材料

本次实验土样取自天津市临港区内, 位于天津市市区东南端, 地势较为平坦, 取样时长满荒草。取样深度从 5~20 m 不等。

#### 1.2 实验方案

对所取土样进行了系统的物理力学性质实验, 实验项目有: 含水量实验、天然密度实验、液限、塑限实验、直剪实验、固结实验。实验依据《土工实验方法标准》(GBT5012321999) 进行。

含水量实验采用烘干法, 电热烘箱的温度保持在 105℃~110℃。

天然密度实验采用环刀法。

液塑限实验采用液塑限联合测定仪。

在快剪实验中,采用环刀切取原状土样,每组 4 块,实验时将试样从环刀推入剪力盒后,加上相应的垂直压力,立即剪切。使试样在 3~5 min 内剪损。

若无峰值,一般剪至剪切变形达到 4 mm 为止。

### 2 实验结果与分析

#### 2.1 实验样品物理力学性质指标

对不同取样深度的样品分别测定其物理力学性质实验结果统计见表 1。

表 1 本次实验土样软土的物理力学性质指标

土样编号	取样深度/m	含水量/%	相对密度	孔隙比	液限/%	塑限/%	塑性指数	液性指数	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)	压缩系数/MPa <sup>-1</sup>	压缩模量/MPa
A1	5.6-5.8	31.69	2.73	1.05	42.11	24.34	17.77	0.713	15.2	4.89	0.79	2.58
A2	6.8-7.0	49.74	2.73	1.391	51.99	34.87	17.12	1.231	15	2.86	1.08	2
A3	7.7-7.9	24.15	2.68	0.742	26.38	20.26	6.12	0.635	7.7	26.56	0.27	6.452
A4	8.6-8.8	29.17	2.69	0.809	27.21	19.68	7.53	0.457	14.9	10.09	0.3	9.03
A5	9.2-9.4	31	2.7	0.912	31.46	22.93	8.53	0.946	15.1	15.68	0.44	10.345
A6	10.2-10.4	29.9	2.69	0.773	28.1	21.54	6.56	1.275	14.2	22.34	0.41	11.324
A7	11.0-11.2	47.44	2.72	1.227	41.05	28.76	12.29	1.319	26.3	5.76	0.75	2.97
A8	12.0-12.2	48.53	2.72	1.269	46.66	33.34	13.32	1.14	10.1	5.71	0.88	2.578
A9	13.4-13.6	43.34	2.72	1.142	42.99	30.21	12.78	1.027	17	6.08	0.91	2.354
A10	14.4-14.6	38.39	2.72	1.091	40.63	27.19	13.44	1.033	14.9	8.64	0.67	3.121
A13	17.6-17.8	24.13	2.69	0.739	22.62	16.31	6.31	0.839	10.2	18.4	0.174	9.994
A14	18.2-18.4	22.66	2.68	0.686	23.75	18.18	5.57	0.804	14.3	26.1	0.2	12.43
A15	19.0-19.2	25.92	2.68	0.638	24.77	20.33	4.44	0.759	10.56	22.87	0.136	6.397

#### 2.2 实验各物理力学指标间的相关性分析

##### 2.2.1 初始孔隙比与压缩系数 $a_{1-2}$ 的关系

通常认为土的颗粒是不可压缩的,或其压缩量很小可以忽略不计。因此初始孔隙比的大小可直接反映土的可压缩程度。一般而言,孔隙比越大,土体可压缩的空间越大,进而压缩系数越大,从实验所得初始孔隙比  $e$  与压缩系数  $a_{1-2}$  的散点图(见图 1)的分布来看,其关系符合上述规律。它们的相关关系大体呈线性相关,相关系数为 0.9347,其相关关系式见图 1。

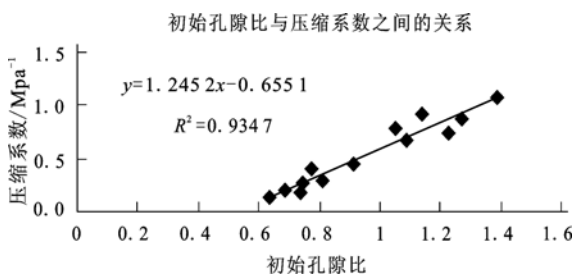


图 1 初始孔隙比与压缩系数  $a_{1-2}$  之间的关系

即  $a_{1-2} = 1.2452e - 0.6551$

##### 2.2.2 压缩系数与含水量的关系

对于饱和软土而言,压缩过程是水从土中排出的过程,含水量越大,则压缩可排出的水也就可能越多,其压缩性也应越大。实验所得含水量  $w$  与压缩系数  $a_{1-2}$  关系的散点图(见图 2)也遵循上述规律,它们的相关关系也大体呈线性相关,相关系数为 0.8381。

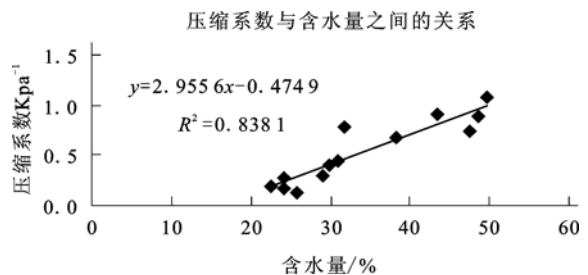


图 2 压缩系数与含水量之间的关系

相关关系式可表示为  $a_{1-2} = 2.9556\omega - 0.4749$   
国内部分地区软土压缩系数与含水量的关系如下<sup>[2]</sup>(见表 2)。

表 2 国内部分地区软土压缩系数与含水量关系

回归方程	统计地区
$a_{1-2} = 3.36\omega - 0.7$	湖北仙桃
$a_{1-2} = 4.31\omega - 1.006$	浙江沿海
$a_{1-2} = 3.62\omega - 0.808$	汕头市区
$a_{1-2} = 2.71\omega - 0.381$	珠江三角洲

经过与国内其他地区对比可以看出,天津地区软土压缩系数与含水量的关系式与国内其他地区相似,但相关直线斜率相对偏小。由此可见初始孔隙比与压缩系数,压缩系数与含水量之间均存在很好的相关性,这对工程应用方面较大的实际意义。

2.2.3 孔隙比与含水量之间的关系

含水量是土的基本指标之一,孔隙比是土的物理状态的一综合指标,它的值与含水量、土粒比重、密度有关。而软土大多为饱和土,土中的孔隙基本上被孔隙水所占据,孔隙比  $e$  是指土中孔隙体积与固体颗粒体积之比,因此饱和土孔隙比  $e$  应有随着天然含水量  $\omega$  的增大而增长的趋势。从本次实验的数据(见图 3)来看,天然含水量与天然孔隙比之间的关系与理论一致,并且它们之间存在较好的相关性(相关系数为 0.923 8)。其相关关系可用图中公式表示:

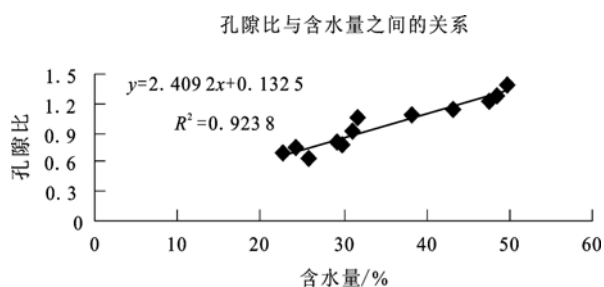


图 3 孔隙比与含水量之间的关系

即  $e = 2.4092\omega + 0.1325$

国内部分地区软土含水量与孔隙比关系如下<sup>[3-6]]</sup>:

表 3 国内部分地区软土含水量与孔隙比关系

回归方程	统计地区
$e = 2.74\omega - 0.013$	厦门港湾
$e = 2.73\omega + 0.027$	现代黄河水下三角洲
$e = 2.40\omega - 0.160$	汕头市区
$e = 2.65\omega - 0.068$	浙江沿海

上表给出了我国不同地区软土孔隙比  $e$  与天然含水量  $\omega$  之间的回归方程。不难发现它们具有很大的相似性,反映了软土的这两项基本物理性质具有显著的相关关系。

2.2.4 塑性指数与液限之间的关系

液限  $\omega_L$  与塑性指数  $I_P$  之间的关系是土壤划分状态与定名的主要指标之一,从实验得出的液限  $\omega_L$  与塑性指数  $I_P$  的数据散点图(见图 4)可以看出,两者同样有着较好的线性相关性。根据相关分析,其相关系数为 0.875 5,其相关关系如下:

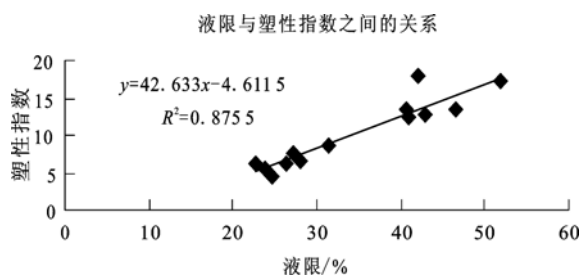


图 4 塑性指数与液限之间的关系

即  $I_P = 0.43(\omega_L - 10.8)$ ,

国内部分地区软土塑性指数与液限之间的关系见表 4<sup>[7]</sup>:

表 4 国内部分地区软土塑性指数与液限关系

回归方程	统计地区
$I_P = 0.55(\omega_L - 10.9)$	福建
$I_P = 0.78(\omega_L - 18.2)$	上海
$I_P = 0.56(\omega_L - 8.1)$	广东沿海
$I_P = 0.61(\omega_L - 12.6)$	珠江三角洲
$I_P = 0.59(\omega_L - 11.0)$	浙江沿海

卡萨格兰<sup>[8]</sup>通过统计大量实验数据,首次提出了卡氏塑性图中的  $I_p = 0.73(W_L - 20)$ ,这一结果与以上相关关系式的形式很相似,但它们之间并没有完全吻合。分析其原因一方面可能是卡萨格兰提出的公式中液限含水量是用碟式液限仪求得,而我们实际工程中的液限含水量是用锥式液塑限联合测定仪测得,这两种方法所求液限的关系也是呈线性相关关系;另一方面根据大量统计资料证实,不同地区,不同的土层因其成因和颗粒成分不同,其塑性指数与液限含水量之间存在不同的线性相关关系。因此统计公式与卡萨格兰提出的公式存在差异是可以理解的。

### 3 结论

1)初始孔隙比与压缩系数,压缩系数与含水量之间均有很好的相关性,对工程应用有较大的实际意义。

2)天然含水量与孔隙比具有良好的相关性,可以用天然含水量估算软土的一些物理力学性质指标,对工程应用有较大的实际意义。

3)液限与塑性指数的回归方程为,  $I_p = 0.43(W_L - 10.8)$ 。结合其它各地的塑性图可见,不同地区土性有一定的差异性。这些塑性图和卡氏塑性图中的  $I_p = 0.73(W_L - 20)$ 又有所区别,这

表明不同地区软土的实际塑性图并非完全相同,存在一定差异,因此进行土的分类时应考虑土体的区域性。

### 参 考 文 献

- [1] 郭进京,周长青,刘玉桥. 天津城市建设中的主要岩土工程问题与研究对策[J]. 天津城市建设学院学报,2001,7(1):6-9.
- [2] 华东水利学院土力学教研室. 土工原理与计算[M]. 北京:水利电力出版社,1981.88-96.
- [3] 雷华阳,肖树芳. 天津软土的次固结变形特性研究[J]. 工程地质学报,2002,10(4):385-389.
- [4] 王旭东,肖树芳,房后国. 天津海积软土结合水固结分析[J]. 工程地质学报,2002,10(4):390-394.
- [5] 梁国钱,张民强,俞炯奇,等. 浙江沿海地区软土工程特性[J]. 中国矿业大学学报,2002,31(5):435-441.
- [6] 陈慕杰. 汕头市区软土的工程地质特性[J]. 桂林工学院学报 1998,18(3):261-265.
- [7] JGJ 83—91 软土地区工程地质勘察规范[S].
- [8] 叶书麟,宰金璋译. 软粘土工程学[M]. 北京:中国铁道出版社,1991.

收稿日期:2012-09-20