

# Experimental Study on the Characteristics of Subsoil Engineering in Northern Coastal Roadbed

Jianxin Gao<sup>1</sup>, Litao Zhang<sup>2</sup>, Jian Pan<sup>2</sup>, Zhao Wang<sup>2</sup>, Zhiwei Zhang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Road and Bridge Engineering, Dalian Maritime University, Dalian Liaoning

<sup>2</sup>China Railway Construction Bridge Engineering Bureau 1st Engineering Co., Ltd., Dalian Liaoning  
Email: gaojxnefuchn@sina.com

Received: Apr. 18<sup>th</sup>, 2018; accepted: May 7<sup>th</sup>, 2018; published: May 14<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

Because the north coastal embankment environment is complex, with specific design and construction beyond the status quo of the standard and experience, research on the northern coastal related properties of subgrade soil has important engineering significance. A series of geotechnical tests were carried out for the northern coastal subgrade soil, and a series of indicators reflecting the physical and mechanical properties of soil were measured. The research shows that some northern coastal embankments are coarse grained soils with high water content, low shear strength, good permeability, poor compressibility and fast consolidation. It can provide the basis for the improvement and reinforcement of the northern coastal subgrade soil, and also the calculation of the settlement of the northern coastal subgrade and the calculation of the bearing capacity of the subgrade.

## Keywords

The Northern Coastal Subgrade-Soil Soil Test, Physical and Mechanical Properties

---

# 北方沿海路基土工程特性试验研究

高建新<sup>1</sup>, 张立涛<sup>2</sup>, 潘健<sup>2</sup>, 王钊<sup>2</sup>, 张志伟<sup>2</sup>

<sup>1</sup>大连海事大学道路与桥梁工程研究所, 辽宁 大连

<sup>2</sup>中铁建大桥工程局集团一公司, 辽宁 大连

Email: gaojxnefuchn@sina.com

收稿日期: 2018年4月18日; 录用日期: 2018年5月7日; 发布日期: 2018年5月14日

## 摘要

针对北方沿海路基所处环境复杂,在具体设计和施工时超出既有规范与经验的现状,研究北方沿海路基土的相关特性有着重大的工程意义。取北方沿海路基土为试样进行一系列土工试验,测出土体一系列反映土体物理力学性质的指标。研究表明,部分北方沿海路基土属于粗粒土,含水量高,抗剪强度低,透水性好,压缩性差,固结速度较快。可为北方沿海路基土的改良、加固提供依据,也为北方沿海路基沉降的计算,路基承载力的计算奠定了基础。

## 关键词

北方沿海路基土土工试验,物理力学性质指标

Copyright © 2018 by authors 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

丹东大东港疏港高速公路路基处于北方沿海区域,易受到腐蚀的影响。该区域的特殊土主要类型为季节性冻土、填筑土、淤泥质土、软土及浅部松散砂土[1]。路基工程主要面临地基承载力及地基稳定性问题,整体沉降、不均匀沉降及侧向位移问题,渗透问题,特殊不良基础的改良问题等。刘怡林[2]通过对公路路基承载特性及破坏形式研究,指出地基路基地基的破坏模式主要与内摩擦角和弹性模量有关,研究表明路基地基的破坏模式主要与内摩擦角和弹性模量有关,内摩擦角较小时,地基破坏模式为整体剪切破坏和局部剪切破坏,内摩擦角较大时,地基破坏模式为局部剪切破坏和冲剪破坏;陈明珠[3]指出土体的渗透性与其矿物成分有着重要关系。研究表明不同地区的土体,矿物成分,土的成因等因素影响着土体的性质。北方沿海路基所处环境更为复杂,超出既有规范与经验,为了保证北方沿海公路路基稳定,以及为北方沿海公路路基修建提供理论与经验,研究北方沿海路基土的相关特性有着重大的工程意义。为了进行工程的具体设计和施工,必须做定量的计算,首先就需要确定土的一系列物理性质指标,例如土的含水率,土的界限含水率,颗粒级配分析,液限、塑限,最佳含水率等。测出土样的渗透系数,抗剪强度,土的固结系数等参数,进一步了解北方沿海地区路基土的性质。

## 2. 土工试验及土的各项指标

路基土的基本物理性质和力学性质决定了路基的工程性质,研究路基土的基本特性是进一步研究处置技术的基础。为了进行工程的具体设计和施工做定量的计算,本项目首先针对北方沿海路基工程进行取土,研究其相关基本性质,包括颗粒级配、界限含水率、最佳含水率、强度、压缩模量等。上述指标为路基填料的压实、改性,路基的变形和承载力计算提供了基础。

### 2.1. 土的含水率

含水率是土的基本物理指标之一,它反映土的干湿状态,它随着土的不同状态而发生变化;同时,它是计算土的干密度、孔隙比、塑液限等各项指标的依据,是检测土工构筑物施工质量的重要指标。按照《公路土工试验规程》(JTG E40-2007) [4]中烘干法测土的含水率的试验操作步骤要求,取试样放入称

量盒内,盖好盒盖后称质量。揭开盒盖后,将称量盒与试样放入恒温烘箱内烘干,烘箱温度在 105℃~110℃,烘干时间不得少于 8 h。烘干时间结束后,将称量盒与试件放在干燥器内冷却,盖好盒盖称质量。

天然含水率的计算公式如下:

$$\omega = \frac{m - m_s}{m_s} \times 100 \quad (1)$$

式中:  $\omega$ ——含水率(%),  $m$ ——湿土质量(g),  $m_s$ ——干土质量(g)

三盒土样的含水率分别为 21.2%, 20.3%, 18.5%。计算出平均含水率是 20.0%, 属于略湿土。

## 2.2. 土的界限含水率

黏性土由含水率大小不同分为四个状态,分别为:固态、半固态、可塑态和流动固态。黏性土从一种状态转到另一种状态的分界含水率称为界限含水率。液限和塑限是表征黏性土物理性质的重要指标,液限是可塑态的上限  $\omega_L$ , 而下限就是塑限  $\omega_p$ , 塑性指数是  $I_p$ 。

界限含水率试验根据《公路土工试验规程》(JTG E40-2007) [4]中液限和塑限联合测定法(T 0118—2007)进行测定。取具有代表性的风干土进行试验,若土中有大于 0.5 mm 的土颗粒,用带橡皮头的研杵研碎,过 0.5 mm 的筛。分别配制三种含水率土样,分别控制在液限,略大于塑限和二者的中间状态,采用数码式液塑限联合测定仪,采用 100 g 锥做液塑限试验,重复试验。试验结束后将土样在 105℃~110℃烘箱中烘干,求其含水率(表 1)。

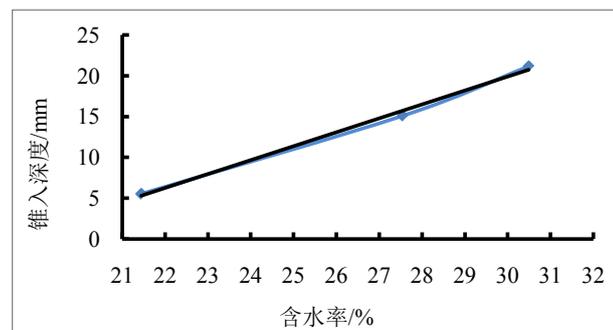
用直线连接三点,如图 1 锥入深度与含水率关系图,可见三点并不理想的在同一条直线上,这是实验误差所允许的,不影响观测液塑限的规律。本实验用锥为 100 g 锥,查得纵坐标入土深度  $h = 20$  mm 所对应的横坐标含水率  $\omega$  为该土样的液限  $\omega_L = 30.1\%$ , 入土深度  $h = 4$  mm 所对应的含水率即为该土样的塑限  $\omega_p = 20.67\%$ , 塑性指数  $I_p = \omega_L - \omega_p = 9.43\%$ 。

根据美国萨格兰特提出的塑性图分类,塑性图如图 2,塑性图有两条经验线,A 线以上是黏土,A 线以下是粉土,B 线以右是高液限区,B 线以左是低液限区

A 线方程  $I_p = 0.73 \times (\omega_L - 20)$       B 线方程  $\omega_L = 50\%$

**Table 1.** Liquid limit plastic limit joint test record table  
**表 1.** 液限塑限联合试验记录表

锥入深度/mm	4.21	10.06	18.47
含水率/%	21.27	26.06	29.06



**Figure 1.** Diagram of the relation between the depth of the cone penetration and the water content

**图 1.** 锥入深度与含水率关系图

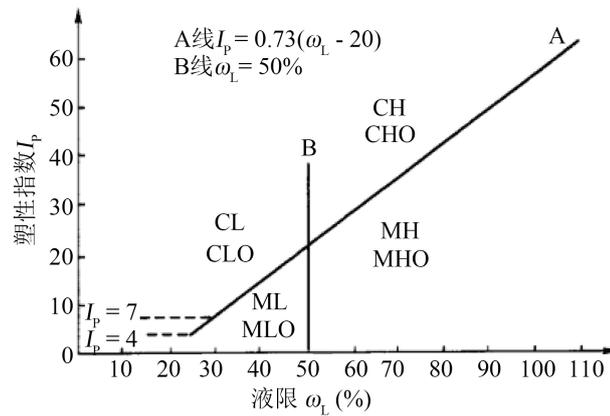


Figure 2. Plastic diagram

图 2. 塑性图

根据公式:

$$I_p = 0.73 \times (\omega_L - 20) \quad (2)$$

可以算得

$$I_p = 0.73 \times (30.1 - 20) = 7.373 < 9.43$$

所以土样位于塑性图 A 线以上,  $\omega_L = 30.1\%$ , 即  $\omega_L < 50\%$ , 位于 B 线以左。

即可得出该土为低液限黏土。

### 2.3. 颗粒级配分析试验

土的颗粒大小及其组成情况, 通常用土中各个不同粒组的相对含量来表示。土的颗粒级配影响土的工程性质, 工程界按照土的粒径将土进行分类, 并把粒径组成作为一个评判工程安全性的重要因素。颗粒级配分析试验规程依据《公路土工试验规程》[4] (JTG E40-2007) 中土的颗粒分析试验 T0115-1993 筛分法进行, 本试验法适用于分析粒径大于 0.075 mm, 小于等于 60 mm 粒径的土样。将烘干、分散后的试样放进一套标准筛的最上层, 可用摇筛机进行振摇, 振摇时间一般为 10~15 min, 筛后各级筛上和筛底土总质量与筛前试样质量之差, 不应大于 1%。筛分析结果如表 2。本试验用土均为 2 mm 以下, 抛弃原状土中粒径大于 2 mm 的土样。绘制颗粒级配曲线图 3。

试样中巨粒组土粒质量少于或等于总质量 15%, 且巨粒组土粒与粗粒组土粒质量之和多于总土质量 50% 的土称粗粒土。由上表可知, 现场取回的土为粗粒土。

不均匀系数按

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (3)$$

计算, 反应粒径分布曲线上土粒分布范围。

曲率系数按

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60}d_{10}} \quad (4)$$

计算, 反应粒径分布曲线上的土粒分布形状。

计算得不均匀系数  $C_u = 8.5$ , 曲率系数  $C_c = 1.86$ 。粒径基本分布均匀。有效粒径是 0.25 mm 的土颗粒。

Table 2. Particle analysis results

表 2. 颗粒分析结果

粒径/mm	土粒质量/g	小于某粒径的土粒质量/g	小于某粒径的土粒质量比/%
20	352	3200	100
10	544	2848	89
5	832	2304	72
2	256	1472	46
1	512	1216	38
0.5	224	704	22
0.25	320	480	15
0.074	160	160	5

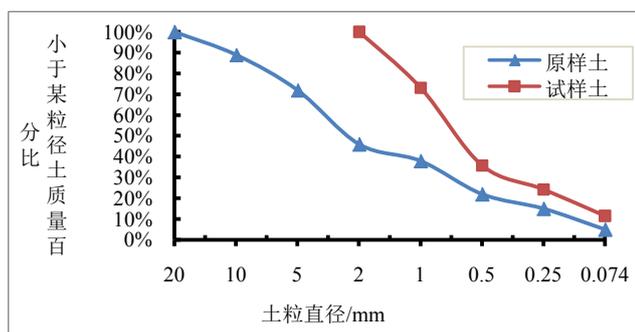


Figure 3. Grain gradation graph

图 3. 颗粒级配曲线图

#### 2.4. 最佳含水率试验

对于制定黏性土压实标准、选择施工方法和压实机械，最佳含水率都是重要指标。最大干密度反映了工程中土体的密实程度。通过试验测出土体最佳含水率和最大干密度有着重要的工程意义。依据《公路土工试验规程》(JTG E40-2007) [4]中土的击实试验来测最佳含水率和最大干密度，本次试验采用重型试验法与干土法。取 50 kg 风干土样碾碎，过 20 mm 筛，反复摇筛，将筛下的土粒搅拌均匀，做成 5 个试样，分别加入不同质量的水，使含水率以 2%~3% 递增。将试样分别以 3~5 次倒入筒内，在筒内分三层进行击实，每层土料质量大约为 800~900 g，每层击实 98 次。最后用推土器推出桶内试样，取试样中心测其含水率。

计算应加水量：

$$m_{\omega} = \frac{m}{1 + 0.01\omega_0} \times 0.01(\omega - \omega_0) \quad (5)$$

式中： $m_{\omega}$ ——土样所需加水质量，g； $m$ ——风干含水率时的土样质量，g； $\omega_0$ ——风干含水率，%； $\omega$ ——土样所要求的含水率，%。

按照下试计算击实后各试样的含水率：

$$\omega = \left( \frac{m}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (6)$$

式中： $\omega$ ——含水率，%； $m$ ——湿土质量，g； $m_d$ ——干土质量，g。

按照下式计算击实后各试样的干密度：

$$\rho_d = \frac{\rho}{1+0.01\omega} \quad (7)$$

式中  $\rho_d$ ——干密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $\rho$ ——湿密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $\omega$ ——含水率, %。

5 个试件分别以含水率为横坐标, 干密度为纵坐标, 绘制含水率与干密度的关系曲线如图 4, 取干密度最大点对应的含水率值为最佳含水率, 对应纵坐标值为最大干密度, 从数据曲线中得出该土样的最佳含水率为 20.5%, 最大干密度  $1.680 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

## 2.5. 渗透性试验

土的渗透系数变化范围很大, 本试验渗透系数的测定采用变水头渗透试验, 试验用水应采用实际作用于土中的天然水(图 5)。如有困难, 允许用纯水或经过滤的清水。在试验前必须用抽气法或煮沸法进行脱气(包括天然水)。《土工仪器的基本参数及通用技术条件》(GB/T15406-94)第一篇: 室内土工仪器包括 SD191-86《切土环刀》。SL110-95《切土环刀校验方法》。其中渗透容器由环刀、透水板、套筒及上、下盖组成。其他仪器有: 切土器、100 ml 量筒、秒表、温度计、削土刀、凡士林等。

按照以下的公式进行结果整理:

$$k_t = 2.3 \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \lg \frac{h_1}{h_2} \quad (8)$$

式中:  $k_t$ ——水温  $t^\circ\text{C}$  时试样的渗透系数( $\text{cm}/\text{s}$ ), 计算至三位有效数字;  $a$ ——变水头管的内径面积( $\text{cm}^2$ ); 2.3—— $\ln$  与  $\lg$  的变换因数;  $L$ ——渗径, 即试样的高度( $\text{cm}$ );  $t_1$ 、 $t_2$ ——分别为测读水头的起始与终止时间( $\text{s}$ );  $h_1$ 、 $h_2$ ——起始和终止水头;  $A$ ——试样的过水面积( $\text{cm}^2$ );

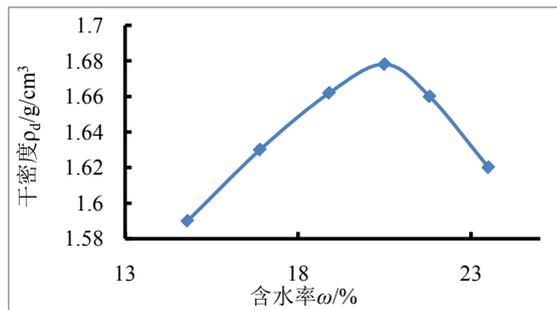
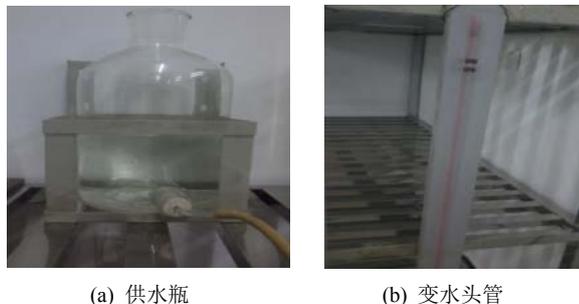


Figure 4. Relationship between  $\rho_d \sim \omega$

图 4.  $\rho_d \sim \omega$  的关系曲线



(a) 供水瓶

(b) 变水头管

Figure 5. Variable head test device

图 5. 变水头试验装置

一个试样多次测定,在所测结果中取允许差值符合规定的测值,求平均值,作为试样在某孔隙比时的渗透系数。

试验结果数据见表 3,最终计算得到土的渗透系数为  $5.56 \times 10^{-6}$  cm/s。对于黏土试样而言,该黏土的渗透性较好。

## 2.6. 直剪试验

剪切试验的原理是根据库伦定律,土的内摩擦力与剪切面上的法向压力成正比,将同一种土制备成几个土样,分别在不同的法向压力下,沿固定的剪切面直接施加水平剪力,得其剪坏时剪应力,即为抗剪强度。测定土不同压力下的抗剪强度,得出土的抗剪强度指标粘聚力  $c$  和摩擦角  $\varphi$ ,可以估算地基承载力,评价地基稳定性等。直剪试验根据《公路土工试验规程》(JTG E40-2007) [4]中土的直剪剪切试验(T 0140—1993)中方法进行测定。

直剪试验过程如下:

1) 对准剪切容器上下盒,插入固定销,在下盒内放透水石和滤纸,将带有试样的环刀刃向上,对准剪盒口,在试样上放滤纸和透水石,将试样小心地推入剪切盒内。

2) 移动传动装置,使上盒前端钢珠刚好与测力计接触,依次加上传压板、加压框架,安装垂直位移量测装置,测记初始读数。

3) 根据工程实际和土的软硬程度施加各级垂直压力,然后向盒内注水。当试样为非饱和试样时,应在加压板周围包以湿棉花。

**Table 3.** Data of variable head permeability test results

**表 3.** 变水头渗透性试验结果数据

历时 $t$			开始水头 $h_1$ (cm)	终止水头 $h_2$ (cm)	$2.3 \frac{aL}{At}$ (cm/s)	$\lg \frac{h_1}{h_2}$	水温 20℃时的渗透系数 $k_{20}$ (cm/s)
开始 $t_1$	终止 $t_2$	历时 $t$					
16:06	16:21	900	665	650	$6.86 \times 10^{-4}$	$9.91 \times 10^{-3}$	$5.66 \times 10^{-6}$
16:21	16:36	900	650	636	$6.86 \times 10^{-4}$	$9.46 \times 10^{-3}$	$5.41 \times 10^{-6}$
16:36	16:51	900	636	622	$6.86 \times 10^{-4}$	$9.67 \times 10^{-3}$	$5.53 \times 10^{-6}$
16:52	17:02	600	900	885	$1.03 \times 10^{-3}$	$7.30 \times 10^{-3}$	$6.26 \times 10^{-6}$
17:02	17:12	600	885	872	$1.03 \times 10^{-3}$	$6.43 \times 10^{-3}$	$5.52 \times 10^{-6}$
17:12	17:22	600	872	860	$1.03 \times 10^{-3}$	$6.02 \times 10^{-3}$	$5.17 \times 10^{-6}$
17:23	17:33	600	990	973	$1.03 \times 10^{-3}$	$7.52 \times 10^{-3}$	$6.45 \times 10^{-6}$
17:33	17:43	600	973	960	$1.03 \times 10^{-3}$	$5.84 \times 10^{-3}$	$5.01 \times 10^{-6}$
17:43	17:53	600	960	946	$1.03 \times 10^{-3}$	$6.38 \times 10^{-3}$	$5.47 \times 10^{-6}$
17:56	18:06	600	727	716	$1.03 \times 10^{-3}$	$6.62 \times 10^{-3}$	$5.68 \times 10^{-6}$
18:06	18:16	600	716	705	$1.03 \times 10^{-3}$	$6.72 \times 10^{-3}$	$5.77 \times 10^{-6}$
18:16	18:26	600	705	694	$1.03 \times 10^{-3}$	$6.83 \times 10^{-3}$	$5.86 \times 10^{-6}$
18:35	18:45	600	998	982	$1.03 \times 10^{-3}$	$7.02 \times 10^{-3}$	$6.02 \times 10^{-6}$
18:45	18:55	600	982	967	$1.03 \times 10^{-3}$	$6.69 \times 10^{-3}$	$5.74 \times 10^{-6}$
18:55	19:05	600	967	954	$1.03 \times 10^{-3}$	$5.88 \times 10^{-3}$	$5.04 \times 10^{-6}$
19:17	19:27	600	934	921	$1.03 \times 10^{-3}$	$6.09 \times 10^{-3}$	$5.23 \times 10^{-6}$
19:27	19:37	600	921	909	$1.03 \times 10^{-3}$	$5.70 \times 10^{-3}$	$4.89 \times 10^{-6}$
19:37	19:47	600	909	896	$1.03 \times 10^{-3}$	$6.26 \times 10^{-3}$	$5.37 \times 10^{-6}$

4) 施加垂直压力, 垂直压力的大小应根据工程要求和土的软硬状态确定, 宜按 25 kpa、50 kpa、100 kpa、200 kpa 或 100 kpa、200 kpa、300 kpa、400 kpa 施加压力。拔出固定销立即开动秒表, 以小于 0.02 mm/min 的剪切速度进行。

5) 当测力计百分表读数不变或后退时, 继续剪切至剪切位移为 4 mm 时停止, 记下破坏值。当剪切过程中测力计百分表无峰值时, 剪切至剪切位移达 6 mm 时停止。

6) 剪切结束, 吸去盒内积水, 退剪切力和垂直压力, 移动压力框架, 取出试样, 测定含水率。

结果整理: 剪切位移按下式计算:

$$\Delta L = 20n - R \quad (9)$$

式中:  $\Delta L$ ——剪切位移(0.01 mm), 计算至 0.1;  $n$ ——手轮转数;  $R$ ——百分表读数。剪应力按下式计算:

$$\tau = CR \quad (10)$$

式中  $\tau$ ——剪应力(kpa), 计算至 0.1;  $C$ ——测力计校正系数(kpa/0.01mm)。

以剪应力  $\tau$  为纵坐标, 剪切位移  $\Delta L$  为横坐标, 绘制  $\tau - \Delta L$  的关系曲线, 如图 6 所示。选取  $\tau - \Delta L$  关系曲线上剪应力的峰值或稳定值作为抗剪强度  $s$ 。无明显峰值时, 取剪切位移 4 mm 对应的剪应力作为抗剪强度。

以垂直压力  $p$  为横坐标, 抗剪强度  $S$  为纵坐标, 将每一试样的抗剪强度点绘在坐标纸上, 并连成一直线。此直线的倾角为摩擦角, 纵坐标上的截距为凝聚力  $c$ , 如图 7 所示。由摩尔库伦强度理论  $S = c + \sigma \tan \phi$ , 解出  $c = 16$  kpa,  $\phi = 11.3^\circ$ 。

一定条件下  $c$  和  $\phi$  值越大, 土体抗剪强度越大。根据经验值判断试样土体抗剪强度低。

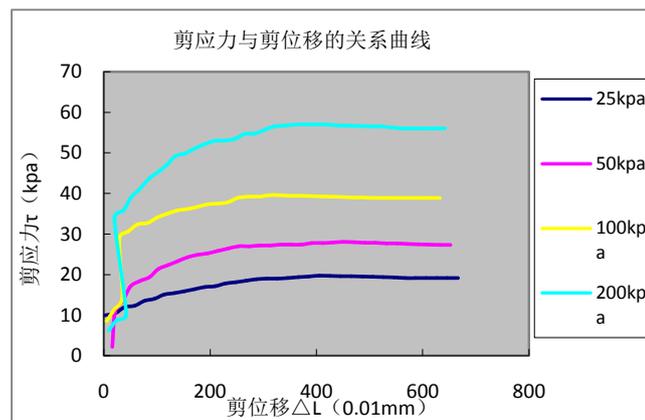


Figure 6. Relationship of shear stress vs. shear displacement  
图 6. 剪应力与剪切位移的关系曲线

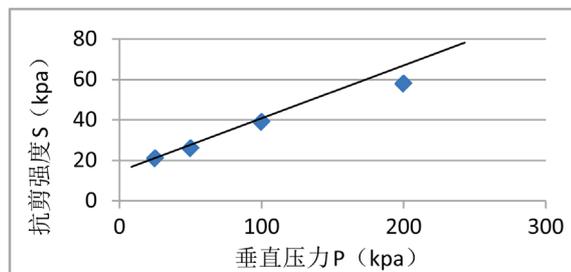


Figure 7. Relationship between shear strength  $s$  and vertical pressure  $p$   
图 7. 抗剪强度  $S$  与垂直压力  $p$  关系曲线

## 2.7. 土的固结实验

试验的目的是测定试样在侧限与轴向排水条件下的变形和压力，或孔隙比和压力的关系，变形和时间的关系，以便计算土的压缩系数  $a_v$ 、压缩指数  $C_c$ 、回弹指数  $C_s$ 、压缩模量  $E_s$ 、固结系数  $C_v$  等。

计算各级压力下固结稳定后的孔隙比  $e_i$ ：

$$e_i = e_0 - (1 + e_0) \frac{\Delta h_i}{h_0} \quad (11)$$

式中  $e_i$  ——某级压力下的孔隙比；  $\Delta h_i$  ——某级压力下试样高度变化，cm；  $h_0$  ——试样初始高度，cm。

计算某一压力范围内的压缩系数  $a_v$

$$a_v = \frac{e_i - e_{i+1}}{p_{i+1} - p_i} \quad (12)$$

式中  $p_i$  ——某一压力值，kPa；

计算某一压力范围内的压缩模量  $E_s$  和体积压缩系数  $m_v$

$$E_s = \frac{1 + e_0}{a_v} \quad (13)$$

$$m_v = \frac{1}{E_s} = \frac{a_v}{1 + e_0} \quad (14)$$

以孔隙比  $e$  为纵坐标，压力  $p$  为横坐标，绘制孔隙比与压力的关系曲线。计算压缩指数  $C_c$ 、回弹指数  $C_s$ ：

$$C_c \text{ 或 } C_s = \frac{e_i - e_{i+1}}{\lg p_{i+1} - \lg p_i} \quad (15)$$

计算压力下的固结系数  $C_v$

$$C_v = \frac{0.848(\bar{h})^2}{t_{90}} \quad (16)$$

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2}{4} \quad (17)$$

$\bar{h}$  ——最大排水距离，等于某压力下试样初始与终了高度的平均值之半，cm。

$t_{90}$  ——固结度达到 90% 所需时间 s。

压缩指数  $C_c$  值越大，土的压缩性越高，由表 4 可看出压缩指数  $C_c$  值小于 0.2，为低压缩性土。固结系数  $C_v$  是估算沉降速率的指标，固结系数越大(表 5)，土固结越快，根据黏土的固结系数经验值可以判断，该黏土试样固结速度较快[5][6][7][8]。

## 3. 小结

本试验主要是测取北方沿海路基土的基本参数、物理系数，路基土的基本物理性质和力学性质决定了路基的工程性质，研究路基土的基本特性是进一步研究处置技术的基础，研究表明：

1) 部分北方沿海路基土属于粗粒土，含水量高，试验粘土天然含水率为 20%，最佳含水率为 20.5%，液限为 30.1%，塑限为 20.67%，塑性指数为 9.43%，不均匀系数为 8.5，曲率系数为 1.86，最大干密度  $1.680 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，黏土的干密度为  $1.604 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。可为北方沿海路基土进行沉降计算提供数据参考。

**Table 4.** Compression index under various pressures**表 4.** 各压力下的压缩指数

	0 kPa	25 kPa	50 kPa	100 kPa	200 kPa	400 kPa
$e_i$	0.73	0.70	0.69	0.67	0.64	0.59
$C_c$ 或 $C_s$	0.0215	0.0332	0.0664	0.0997	0.166	

**Table 5.** Coefficient of consolidation under various pressures**表 5.** 各压力下的固结系数

$p$ kPa	$h_1$ (cm)	$h_2$ (cm)	$\bar{h}$ (cm)	$t_{90}$ (s)	$C_v$ ( $10^{-3}$ cm <sup>2</sup> /s)
25	2	1.9688	0.992	60	13.85
50	1.9688	1.9562	0.981	60	13.60
100	1.9562	1.933	0.972	60	13.30
200	1.933	1.8953	0.957	60	13.02
400	1.8953	1.8481	0.936	60	12.49

2) 部分北方沿海路基土抗剪强度低, 透水性好, 压缩性差, 固结速度较快。可为沿海路基土的改良、加固等提供参考。

## 基金项目

国家自然科学基金资助项目(51678101)。

## 参考文献

- [1] 江宗斌. 沿海路基变形特性试验与数值模拟研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2013.
- [2] 刘怡林, 黄茂松. 公路路基地基承载特性及破坏模式[J]. 地下空间与工程学报, 2010, 6(1): 84-89.
- [3] 陈明珠, 阎长虹, 王玉英, 詹启伟, 郭军辉, 郑军, 陈喜. 土体渗透性影响因素——以普定陈旗堡为例[J]. 水文地质工程地质, 2008(4): 66-70.
- [4] JTG E40-2007. 公路土工试验规程[S].
- [5] 刘红军. 土质学与土力学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2013.
- [6] 龚晓楠. 高等级公路地基处理设计指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2015: 4-5.
- [7] 卢廷浩. 土力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [8] 松岡元. 土力学[M]. 罗汀, 姚仰平, 编译. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.

### 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)