

# 矿物成分相关的黏土一维压缩特性分析

金银富<sup>1</sup>, 张爱军<sup>2</sup>, 尹振宇<sup>1\*</sup>, 朱启银<sup>1</sup>, 王建华<sup>1</sup>

(1. 上海交通大学土木工程系, 上海 200240; 2. 西北农林科技大学土木工程系, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**为了探索不同黏土矿物成分对黏土一维压缩特性的影响,采用高岭土、伊利土、蒙脱石及绿泥石,按不同质量比例混合来制备重塑土样,进行室内标准一维压缩试验。大量试验结果对比表明:①高岭土与伊利土混合土样的压缩指数( $C_c$ )和回弹指数( $C_s$ )都随伊利土含量的增加而增加;②高岭土、伊利土与蒙脱石混合土样的 $C_c$ 和 $C_s$ 随蒙脱石含量的增加而增大,且蒙脱石的作用占主导地位;③高岭土、伊利土、蒙脱石及绿泥石混合土样的 $C_c$ 和 $C_s$ 随蒙脱石与绿泥石二者含量之和的增加而增大,且蒙脱石的作用占主导地位。基于试验结果,总结出各黏土矿物成分影响的压缩指数与回弹指数的非线性表达式。此外,试验表明所有混合土样的压缩指数与回弹指数的比值( $C_c/C_s$ )介于6.1和9.1之间变化。

**关键词:**高岭土;伊利土;蒙脱石;绿泥石;压缩指数;回弹指数

**中图分类号:** TU47      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-4548(2013)01-0131-06

**作者简介:** 金银富(1988-),男,博士研究生,主要从事岩土工程方面的研究。E-mail: zhenyu.yin@gmail.com.

## One-dimensional compressibility of soft clay related to clay minerals

JIN Yin-fu<sup>1</sup>, ZHANG Ai-jun<sup>2</sup>, YIN Zhen-yu<sup>1</sup>, ZHU Qi-yin<sup>1</sup>, WANG Jian-hua<sup>1</sup>

(1. Department of Civil Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 2. Department of Civil Engineering,

Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** In order to investigate the influence of minerals on the compressibility of clay, the artificial mixtures with different weight proportions of clay minerals (i.e., kaolinite, illite, montmorillonite and chlorite) are prepared. The conventional oedometer tests are carried out on these remolded soil samples. Comparisons among the experimental results indicate that (1) for mixtures of kaolinite and illite, the compression index and rebound index increase with the increase of the content of illite; (2) for mixtures of kaolinite, illite and montmorillonite, they increase with the content of montmorillonite; and (3) for mixtures of kaolinite, illite, montmorillonite and chlorite, they increase with the content of montmorillonite and chlorite, and the montmorillonite has the dominant contribution. Based on the experimental results, two nonlinear equations are proposed for both the compression and rebound indices considering the influence of clay minerals. In addition, it is found that the value of  $C_c/C_s$  for all mixtures varies from 6.1 to 9.1.

**Key words:** kaolinite; illite; montmorillonite; chlorite; compression index; rebound index

## 0 引言

黏土矿物主要为各种硅酸盐矿物分解形成的含水铝硅酸盐矿物,如高岭土、伊利土、蒙脱石、绿泥石等。其颗粒极细,一般粒径小于5 μm,是构成黏土中黏粒的主要矿物成分。在中国沿江沿海地区广泛分布着黏土,张先伟等<sup>[1]</sup>对中国黏土矿物成分调查分析之后发现:中国黏土主要矿物成分以伊利土、高岭土,蒙脱石、绿泥石为主,除了深圳黏土中高岭土的含量大于伊利土之外,其他地区黏土的黏土矿物都以伊利土为主。对于黏土,矿物成分及其含量对其物理力学性质有着很重要的影响<sup>[2-3]</sup>。笔者在针对不同国家和地区的黏土(法国软黏土<sup>[4-5]</sup>、芬兰不同地区软黏土<sup>[6-9]</sup>、

几内亚海湾软黏土等<sup>[10]</sup>)本构关系研究中也发现矿物成分及其含量对软土力学特性有重要影响。

为了研究矿物成分及其含量对于黏土一维压缩特性的影响,Kumar等<sup>[11]</sup>分析了不同比例的高岭土和粉砂混合物的压缩特性;徐永福等<sup>[12]</sup>采用固结仪完成了膨润土及其与砂混合物的一系列膨胀变形试验并得到了蒙脱石孔隙比与上覆压力的通用表达式;Di Maio

基金项目:国家自然科学基金项目(41240024);上海市浦江人才计划项目(11PJ1405700);高等学校博士学科点专项科研基金(20110073120012);欧盟玛丽居里行动计划(PIAPP-GA-2011-286397)

收稿日期:2012-03-09

\*通讯作者

等<sup>[13]</sup>研究了膨润土和高岭土混合物的压缩特性并指出压缩指数随膨润土含量的增加而增加; Voltolini 等<sup>[14]</sup>分析了高岭土、伊利土与粉砂混合物在压缩条件下的各向异性; Horpibulsuk 等<sup>[15]</sup>研究了 Bangkok 黏土的压缩性, 并分别和高岭土、蒙脱石的压缩特性作了对比。综上, 国内外学者对部分黏土矿物及粉砂混合土样压缩特性做了一些研究, 也得出了一定的结论, 但是对于 4 种黏土主要矿物成分及其含量对黏土压缩性的影响研究却还不够系统、全面。

为此, 本文通过由高岭土、伊利土、蒙脱石、绿泥石按不同的质量比例混合, 分别制成单一矿物土样及“高岭土+伊利土”、“高岭土+伊利土+蒙脱石”、“高岭土+伊利土+蒙脱石+绿泥石”等混合土样, 进行室内一维压缩试验, 来分析不同矿物成分及其含量对黏土压缩和回弹特性的影响, 揭示压缩指数、回弹指数随矿物成分及其含量的变化规律。

## 1 一维压缩试验

### 1.1 试验材料及方法

试验所采用的高岭土(kaolinite)、伊利土(illite)、蒙脱石(montmorillonite)、绿泥石(chlorite)等单一及混合土样均是通过商业购买的黏土矿物粉末制备而成。其中高岭土是通过煅烧工艺制造, 粒径变化范围为 0.36~12.2 μm, 平均粒径为 1.5 μm; 伊利土的粒径变化范围为 0.36~103.2 μm, 平均粒径为 15.2 μm; 蒙脱石采用 Ca<sup>2+</sup>基蒙脱石, 粒径变化范围为 0.36~48.3 μm, 平均粒径为 10.1 μm; 绿泥石的粒径变化范围为 0.36~48.3 μm, 平均粒径为 5.6 μm。

试验的开展参照(SL237—015—1999)《土工试验规程》<sup>[16]</sup>中的固结实验。试验仪器为杠杆加压式三联常规固结仪, 土样直径为 6.18 cm, 环刀高度为 2 cm。每次试验时都在环刀内壁涂以硅脂以减少土样与环刀之间的摩擦力。所有试验均在室内环境中进行。首先将制备试样在 25 kPa 压力下预压一周时间, 以确保试样的饱和度; 之后进行室内标准固结试验, 加载卸载及再加载荷顺序为 50, 100, 200, 100, 25, 100, 200, 400, 800, 1600 kPa, 每级荷载持续时间为 1 d。

### 1.2 单一矿物土样试验及结果

首先针对单一矿物制备而成的土样进行常规物理指标试验及标准固结试验。图 1 为 4 种矿物成分制备的单一矿物土样的室内标准固结试验结果, 表 1 为 4 种黏土土样的基本物理力学指标。从表中数值可以看出蒙脱石的压缩指数最大, 高岭土的最小, 而伊利土和绿泥石的比较接近; 同样地, 对于回弹指数, 蒙脱石最大而高岭土最小, 绿泥石和高岭土比较接近。

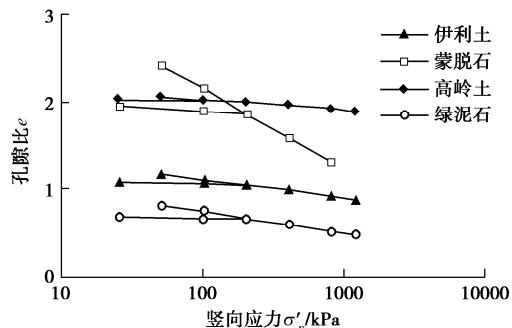


图 1 4 种矿物制备土样的室内固结试验  $e - \lg \sigma'$  曲线

Fig. 1 1D compression curves for samples of kaolinite, illite, montmorillonite and chlorite in  $e - \lg \sigma'$

表 1 4 种黏土土样的基本物理力学指标

Table 1 Basic physical and mechanical properties of minerals

矿物名称	比重 $G_s$	液限 /%	塑限 /%	塑性 指数	压缩指数 $C_c$	回弹指数 $C_s$
高岭土(K)	2.66	76.3	60.3	16.0	0.17	0.025
伊利土(I)	2.72	48.6	22.0	28.6	0.25	0.041
蒙脱石(M)	2.69	121.9	66.6	55.3	0.92	0.099
绿泥石(C)	2.64	40.3	25.2	15.1	0.25	0.035

注:  $C_c = \Delta e / \Delta \lg(\sigma'_v)$ , 即孔隙比与有效压力对数值关系曲线上压缩直线段(200~1600 kPa)的斜率; 回弹指数  $C_s = \Delta e / \Delta \lg(\sigma'_v)$  为卸荷回弹段的斜率。

### 1.3 混合矿物土样试验方案

为了分析不同矿物成分及其含量对黏土压缩和回弹特性的影响, 特制备混合矿物土样进行室内标准固结试验, 试样采用由不同矿物按不同质量比例混合而成的重塑土样, 混合方案为: 高岭土+伊利土(方案 1)、高岭土+伊利土+蒙脱石(方案 2)、高岭土+伊利土+蒙脱石+绿泥石(方案 3)。表 2 为各混合方案中矿物成分及其质量比例的详细数据。

表 2 不同矿物质量比例的混合方案

Table 2 Clay mixtures with different proportions of minerals

(1) 高岭土+伊利土 (K+I)	K/%	20	40	60	80
	I/%	80	60	40	20
(2) 高岭土+伊利土+蒙脱石 (K+I+M; 其中对于 K+I, I 又分别占 K+I 的 20%, 40% 和 80%, 共 15 个试验)	K+I/%	90	70	50	30
	M/%	10	30	50	70
(3) 高岭土+伊利土+蒙脱石+绿泥石 (K+I+M+C; 其中 K 又占 K+I 的 40%; 对于 M+C, C 又分别占 M+C 的 20%, 40% 和 80%, 共 15 个试验)	K+I/%	90	70	50	30
	M+C/%	10	30	50	70

## 2 试验结果分析

### 2.1 压缩指数 $C_c$

#### (1) 高岭土+伊利土

图2表明压缩指数随伊利土含量的增加而增加。基于此, 可应用非线性插值函数来描述此关系:

$$C_c = C_{cK}(1-\rho_I^\alpha) + C_{cl}\rho_I^\alpha \quad (1)$$

式中  $C_{cK}$  和  $C_{cl}$  分别为纯高岭土和纯伊利土的压缩指数;  $\rho_I$  为伊利土占总量的质量百分比;  $\alpha$  为伊利土含量的指数, 其物理意义为反映相应矿物质含量的重要性的因子(下文中  $\beta$  和  $\gamma$  同)。当  $\alpha=1$  时, 公式(1)可退化成线性插值(见图2); 当  $\alpha>1$  时, 压缩指数随伊利土含量的增加先增长地较慢而后增长地较快(见图2中  $\alpha=2$ ); 当  $\alpha<1$  时, 压缩指数随伊利土含量的增加先增长地较快而后增长地较慢(见图2中  $\alpha=0.65$ )。基于试验结果, 应用最小方差控制原则可取  $\alpha=0.65$  为伊利土含量的指数。

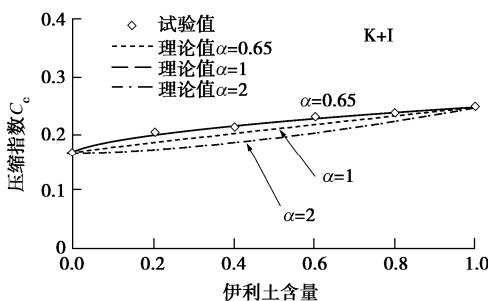


图2 K+I混合土样的压缩指数随伊利土含量的演化规律

Fig. 2 Evolution of compression index with content of illite for mixtures of kaolinite and illite

## (2) 高岭土+伊利土+蒙脱石

图3为高岭土+伊利土+蒙脱石混合土样的压缩指数随蒙脱石含量变化曲线: 压缩指数随蒙脱石含量的增加而增加。基于此, 拓展为

$$C_c = C_{cK}(1-\rho_I^\alpha - \rho_M^\beta) + C_{cl}\rho_I^\alpha + C_{cM}\rho_M^\beta, \quad (2)$$

式中,  $C_{cM}$  为纯蒙脱石的压缩指数,  $\rho_M$  为蒙脱石占总量的质量百分比,  $\beta$  为蒙脱石含量的指数。基于试验结果, 应用最小方差控制原则可取  $\beta=0.8$  为蒙脱石含量的指数。

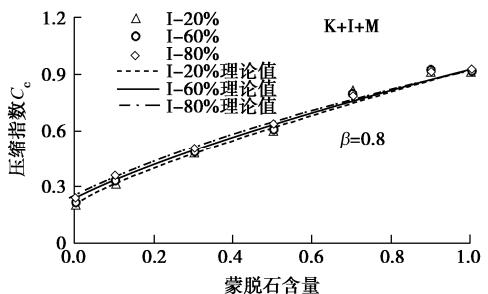


图3 K+I+M混合土样的压缩指数随蒙脱石含量的演化规律

Fig. 3 Evolution of compression index with content of montmorillonite for mixtures of kaolinite, illite and montmorillonite

图3表明在同一蒙脱石含量下  $C_c$  随伊利土含量的

增加变化幅度较小。这主要是因为蒙脱石是高压缩性土, 其压缩指数大约是高岭土的5倍、伊利土的4倍左右, 因而对混合土样的压缩性起主导作用, 因此黏土中蒙脱石的含量非常重要。

## (3) 高岭土+伊利土+蒙脱石+绿泥石

图4为高岭土+伊利土+蒙脱石+绿泥石混合土样的压缩指数  $C_c$  随绿泥石+蒙脱石含量之和的变化曲线: 压缩指数随绿泥石+蒙脱石含量之和的增加而增大, 而增加的幅度(即斜率)随绿泥石含量的增加而减小。基于此, 拓展为

$$C_c = C_{cK}(1-\rho_I^\alpha - \rho_M^\beta - \rho_C^\gamma) + C_{cl}\rho_I^\alpha + C_{cM}\rho_M^\beta + C_{cc}\rho_C^\gamma, \quad (3)$$

其中  $C_{cc}$  为纯绿泥石的压缩指数,  $\rho_C$  为绿泥石占总量的质量百分比,  $\gamma$  为绿泥石含量的指数。基于试验结果, 应用最小方差控制原则可取  $\gamma=0.8$  为绿泥石含量的指数。

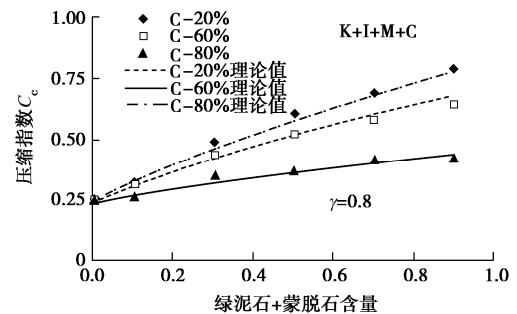


图4 K+I+M+C混合土样的压缩指数随蒙脱石和绿泥石含量之和的演化规律

Fig. 4 Evolution of compression index with content of montmorillonite and chlorite for mixtures of kaolin, illite, montmorillonite and chlorite

## 2.2 回弹指数 $C_s$

### (1) 高岭土+伊利土

图样5表明高岭土+伊利土混合土样的回弹指数随伊利土含量的增加而增加。基于此, 同压缩指数一样应用非线性插值函数来描述此关系:

$$C_s = C_{sK} \times (1 - \rho_I^\alpha) + C_{sl} \times \rho_I^\alpha. \quad (4)$$

式中  $C_{sK}$  和  $C_{sl}$  分别为纯高岭土和纯伊利土的回弹指数;  $\rho_I$  为伊利土占总量的质量百分比;  $\alpha$  为伊利土含量的指数。基于试验结果, 应用最小方差控制原则可取  $\alpha=2.3$  为伊利土含量的指数。

### (2) 高岭土+伊利土+蒙脱石

从图6可以看出高岭土+伊利土+蒙脱石混合土样的回弹指数  $C_s$  随蒙脱石含量的增加而增大。基于此, 将式(4)拓展为

$$C_s = C_{sK} (1 - \rho_I^\alpha - \rho_M^\beta) + C_{sl} \rho_I^\alpha + C_{sM} \rho_M^\beta, \quad (5)$$

式中,  $C_{sM}$  为纯蒙脱石的回弹指数,  $\rho_M$  为蒙脱石占总量的质量百分比,  $\beta$  为蒙脱石含量的指数。基于试验结果, 应用最小方差控制原则可取  $\beta=0.8$  为蒙脱石含量的指数。图6还表明在同一蒙脱石含量下,  $C_s$  随伊

利土含量的增加而增加, 这种趋势在蒙脱石含量较低时比较明显。

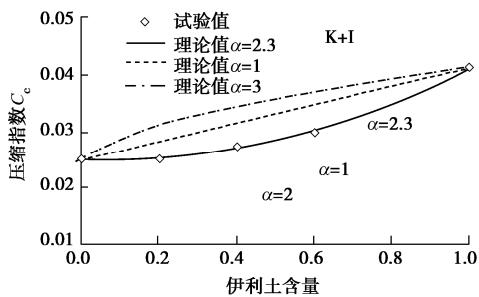


图 5 K+I 混合试样的回弹指数随伊利土含量的演化规律

Fig. 5 Evolution of rebound index with content of illite for mixtures of kaolinite and illite

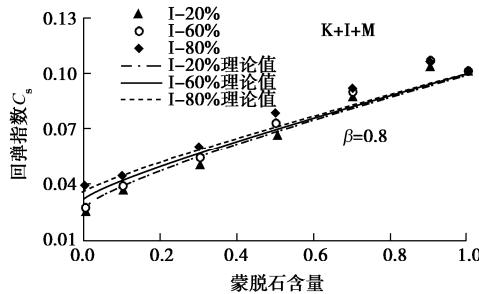


图 6 K+I+M 混合土样的回弹指数随蒙脱石含量的演化规律

Fig. 6 Evolution of rebound index with content of montmorillonite for mixtures of kaolinite, illite and montmorillonite

### (3) 高岭土+伊利土+蒙脱石+绿泥石

图 7 为高岭土+伊利土+蒙脱石+绿泥石混合土样的压缩指数 \$C\_s\$ 随绿泥石+蒙脱石含量之和的变化曲线: 回弹指数随绿泥石+蒙脱石含量之和的增加而增大, 而增加的幅度(即斜率)随绿泥石含量的增加而减小。基于此, 将式(5)拓展为

$C_s = C_{sK}(1 - \rho_I^\alpha - \rho_M^\beta - \rho_C^\gamma) + C_{sI}\rho_I^\alpha + C_{sM}\rho_M^\beta + C_{sC}\rho_C^\gamma$ , (6)

式中, \$C\_{sC}\$ 为纯绿泥石的回弹指数, \$\rho\_C\$ 为绿泥石占总质量百分比, \$\gamma\$ 为绿泥石含量的指数。基于试验结果, 应用最小方差控制原则可取 \$\beta=0.8\$ 为绿泥石含量的指数。

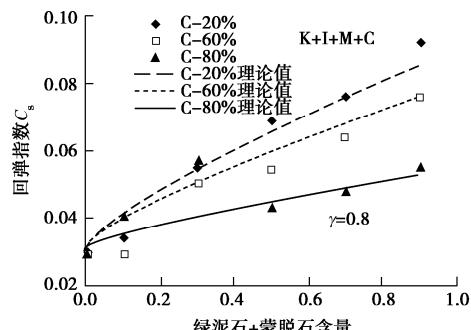


图 7 K+I+M+C 混合土样的回弹指数随蒙脱石和绿泥石含量之和的演化规律

Fig. 7 Evolution of rebound index with content of montmorillonite and chlorite for mixtures of kaolinite, illite, montmorillonite and chlorite

综上, 各黏土基本矿物对于黏土一维压缩特性的影响可由非线性插值函数表达(式(3)、(6)), 各基本矿物成分相关的参数值总结于表 3, 具有一定的实用价值。针对压缩和回弹指数的矿物含量指数相同与否可表明其压缩和回弹控制机理的相同与否。

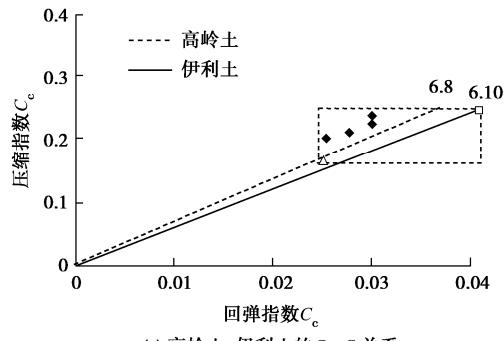
表 3 对应于式(3)、(6)的矿物成分相关的参数值

Table 3 Values of parameters related to clay minerals according to Equations (3) and (6)

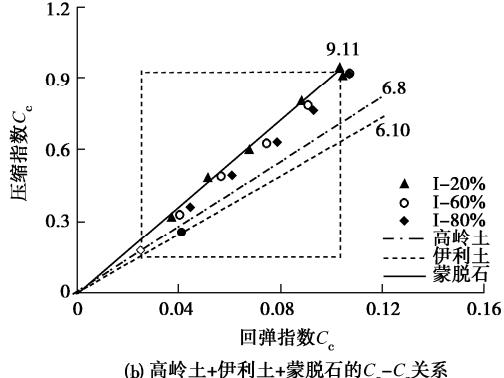
相关压缩特性	伊利土相关 \$\alpha\$	蒙脱石相关 \$\beta\$	绿泥石相关 \$\gamma\$
对于压缩指数	0.65	0.8	0.8
对于回弹指数	2.3	0.8	0.8

### 2.3 \$C\_c\$ 和 \$C\_s\$ 的关系

综合上述试验结果, 可以进一步分析不同矿物混合土样的 \$C\_c\$ 和 \$C\_s\$ 的关系: ①图 8(a) 表明, 高岭土+伊利土混合土样的 \$C\_c/C\_s\$ 比值均略大于纯高岭土(6.8)和纯伊利土(6.1), 而并不在两者中间差值; 但混合土样的 \$C\_c\$, \$C\_s\$ 值始终处于由纯高岭土和纯伊利土的 \$C\_c\$, \$C\_s\$ 值组成的矩形范围内变化, 较为合理。需要补充说明的是, 伊利土的压缩指数和回弹指数比值均大于纯高岭土和伊利石, 可能为导致混合土样不在纯黏土土样之间的原因。②图 8(b) 表明, 高岭土+伊利土+蒙脱石混合土样的 \$C\_c/C\_s\$ 的值基本介于纯蒙脱石(9.1)和纯伊利土(6.1)之间; 且混合土样的 \$C\_c\$, \$C\_s\$ 值基本上处于由纯高岭土和纯蒙脱石的 \$C\_c\$, \$C\_s\$ 值组成的矩形范围内变化。③图 8(c) 表明, 高岭土+伊利土+蒙脱石+绿泥石混合土样的 \$C\_c/C\_s\$ 的值也基本介于纯蒙脱石(9.1)和纯伊利土(6.1)之间; 且混合土样的 \$C\_c\$, \$C\_s\$ 值均处于由纯高岭土和纯蒙脱石的 \$C\_c\$, \$C\_s\$ 值组成的矩形范围内变化。



(a) 高岭土+伊利土的 \$C\_c-C\_s\$ 关系



(b) 高岭土+伊利土+蒙脱石的 \$C\_c-C\_s\$ 关系

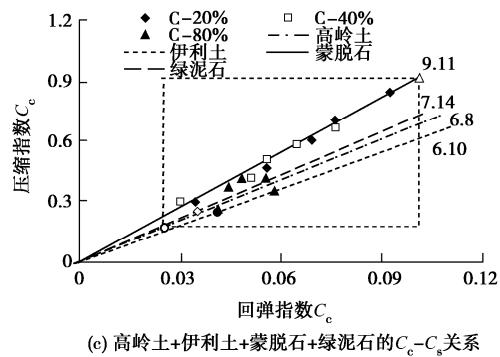
图 8 多种矿物质混合土样的  $C_c$ - $C_s$  关系

Fig. 8 Relationship between  $C_c$  and  $C_s$  for samples with different contents of clay minerals

### 3 结 论

本文通过对 4 种黏土基本矿物(高岭土、伊利土、蒙脱石、绿泥石)按不同比例制备而成的混合土样进行标准一维压缩试验, 分析了各黏土基本矿物对于黏土一维压缩特性的影响, 并得出以下 6 点结论。

(1) 对于单矿物黏土, 蒙脱石的压缩指数和回弹指数均最大, 高岭土的均最小, 而伊利土和绿泥石的比较接近。

(2) 对于高岭土和伊利土的混合土样, 其压缩指数和回弹指数都随伊利土含量的增加而增加, 并符合指数非线性插值。

(3) 对于高岭土、伊利土和蒙脱石的混合土样, 其压缩指数和回弹指数都随蒙脱石含量的增加而增大; 与高岭土和伊利土相比, 蒙脱石的作用占主导地位。

(4) 对于高岭土、伊利土、蒙脱石和绿泥石的混合土样, 其压缩指数与回弹指数均随蒙脱石与绿泥石含量之和的增加而增大, 增加的幅度随蒙脱石含量的增加而增加。

(5) 各黏土基本矿物对于黏土一维压缩特性的影响可由非线性插值函数表达, 并基于试验结果确定了各基本矿物成分相关的参数值, 具有实用价值。

(6) 所有混合土样的压缩指数与回弹指数的比值( $C_c/C_s$ )介于 9.1(对应于纯蒙脱石)和 6.1(对应于纯伊利土)之间; 且混合土样的压缩指数与回弹指数均处于由单矿物黏土的值所组成的矩形范围内变化。

此次试验的土样由 4 种黏土基本矿物按不同比例混合而成, 与大部分天然黏土相比尚缺乏石英粉砂的影响分析。但是本次试验结果及分析能够很好的反映黏土基本矿物成分对于黏土一维压缩特性的影响,

对于土的本构理论研究和工程设计都有一定的实用价值。

### 参考文献:

- [1] 张先伟, 王常明, 李忠生, 等. 不同地区结构性黏土基本性质的对比研究[J]. 工程勘察, 2010, 38(5): 6 - 10. (ZHANG Xian-wei, WANG Chang-ming, LI Zhong-sheng, et al. Contrasting study on fundamental properties of structural soft clay in different areas[J]. Geotechnical Investigation and Surveying , 2010, 38(5): 6 - 10. (in Chinese))
- [2] 徐则民, 黄润秋, 唐正光, 等. 黏土矿物与斜坡失稳[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(5): 729 - 740. (XU Ze-min, HUANG Run-qiu, TANG Zheng-guang, et al. Clay minerals and failure of slopes[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(5): 729 - 740. (in Chinese))
- [3] 张云, 薛禹群, 吴吉春, 等. 江苏太仓浅部淤泥质土层的工程地质特征[J]. 水文地质工程地质, 2010, 37(4): 43 - 47. (ZHANG Yun, XUE Yu-qun, WU Ji-chun, et al. Engineering geological characteristics of shallow mucky soil in Taicang area, Jiangsu Province[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2010, 37(4): 43 - 47. (in Chinese))
- [4] YIN Z Y, HICHER P Y. Identifying parameters controlling soil delayed behaviour from laboratory and in situ pressuremeter testing[J]. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 2008, 32(12): 1515 - 1535.
- [5] YIN Z Y, CHANG C S, KARSTUNEN M, et al. An anisotropic elastic viscoplastic model for soft soils[J]. International Journal of Solids and Structures, 2010, 47(5): 665 - 677.
- [6] YIN Z Y, CHANG C S, HICHER P Y, et al. Micromechanical analysis of kinematic hardening in natural clay[J]. International Journal of Plasticity, 2009, 25(8): 1413 - 1435.
- [7] YIN Z Y, CHANG C S. Non-uniqueness of critical state line in compression and extension conditions[J]. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 2009, 33(10): 1315 - 1338.
- [8] KARSTUNEN M, YIN Z Y. Modelling time-dependent behaviour of Murro test embankment[J]. Géotechnique, 2010, 60(10): 735 - 749.
- [9] YIN Z Y, KARSTUNEN M, CHANG C S, et al. Modeling time-dependent behavior of soft sensitive clay[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 2011, 137(11): 1103 - 1113.
- [10] YIN Z Y, HATTAB M, HICHER P.Y. Multiscale modeling of a sensitive marine clay[J]. International Journal for

- Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 2011, **35**(15): 1682 - 1702.
- [11] KUMAR G, WOOD D M. Fall cone and compression tests on clay-gravel mixtures[J]. *Géotechnique*, 1999, **49**(6): 727 - 739.
- [12] 徐永福, 孙德安, 董平. 膨润土及其与砂混合物的膨胀试验[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, **22**(3): 451 - 455. (XU Yong-fu, SUN De-an, DONG Ping. Swelling tests on bentonite and sand-bentonite mixture[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2003, **22**(3): 451 - 455. (in Chinese))
- [13] DI MAIO C, SANTOLI L, SCHIAVONE P. Volume change behaviour of clays: the influence of mineral composition, pore fluid composition and stress state[J]. *Mechanics of Materials*, 2004, **36**(5/6): 435 - 451.
- [14] VOLTOLINI M, WENK H R, MONDOL N H, et al. Anisotropy of experimentally compressed kaolinite-illite-quartz mixtures[J]. *Geophysics*, 2009, **74**(1): 13 - 23.
- [15] HORPIBULSUK S, YANGSUKKASEAM N, CHINKULKIJNIWAT A, et al. Compressibility and permeability of Bangkok clay compared with kaolinite and bentonite[J]. *Applied Clay Science*, 2011, **52**(1/2): 150 - 159.
- [16] SL237—1999 土工试验规程[S]. 1999. (SL237—1999 Specification of soil test[S]. 1999. (in Chinese))

### 2013 年第六届国际环境振动学术研讨会

2013 年 11 月 8~10 日, 中国 上海

第六届国际环境振动学术研讨会将于 2013 年 11 月 8~10 日在同济大学举办。本届会议致力于环境振动的预测、控制和减振技术措施研究, 旨在为环境振动的研究、发展和应用提供一个良好的国际学术交流平台。作为一个系列召开的国际学术会议, 前五届分别由浙江大学(杭州, 2003)、日本冈山大学(冈山, 2005)、台湾大学(台北, 2007)、北京交通大学(北京, 2009)、西南交通大学(成都, 2011)主办。会议将特邀国内外著名专家作最新研究成果和工程应用的报告。

**会议主题:** 地基中波的传播; 土 - 结构动力相互作用; 土动力学和土 - 结构动力相互作用的数值模拟; 环境振动的预测和模拟; 环境振动的现场试验和监测; 铁路轨道和车辆的动力学模拟; 振动引起的沉降; 地基、地下结构和高架桥等的振动分析; 车辆等引起的结构振动的监测、评价和控制; 减小移动车辆等引起的环境振动影响的措施; 铁路、地铁、地面道路和人行天桥的结构安全性及适用性评价。

**征文要求:** 提交 300 字的英文摘要, 包括题目、作者姓名、单位、联系方式、论文的主要内容和结论。为便于审稿, 要求全文和摘要以电子邮件方式提交。所有录用论文均安排会议发言。摘要截止日期: 2013 年 2 月 10 日, 摘要录用日期: 2013 年 3 月 10 日, 论文提交日期: 2013 年 5 月 30 日, 全文录用日期: 2013 年 6 月 30 日, 会议日期: 2013 年 11 月 8~10 日。

论文摘要发至 E-mail: [isev2013@gmail.com](mailto:isev2013@gmail.com)。此次会议的论文集将公开发行, 所有录用论文将送 ISTP 检索。有关本次会议的详细信息请查看网站 <http://geotec.tongji.edu.cn/isev2013> 的论文征集通知。

#### ISEV2013 组委会

会议主席: 高广运教授, 联合主席: Tutumluer E. 教授, 陈云敏教授, 秘书长: 冯世进教授, 同济大学土木工程学院地下建筑与工程系, 上海四平路 1239 号, 邮编 200092, 电话: 021-65988575, 传真: 021-65985210。

(会议组委会 供稿)