

文章编号:1673-9469(2024)05-0016-11

DOI:10.3969/j.issn.1673-9469.2024.05.003

## 不同种类软土与杂填土互嵌沉降试验研究

张福海<sup>1,2</sup>, 崔 贇<sup>1</sup>, 薛浩宇<sup>1</sup>, 刘峥嵘<sup>1</sup>, 黄振清<sup>1</sup>

(1. 河海大学 岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室, 江苏 南京 210098;

2. 河海大学 疏浚技术教育部工程研究中心, 江苏 常州 213022)

**摘要:** 为了研究不同种类软土与杂填土互嵌沉降的规律, 以下卧的淤泥软土为研究对象, 分别开展了不同软土种类在不同荷载及不同液性指数下与上覆杂填土的室内互嵌沉降试验。分析了不同种类软土与杂填土地基在 50, 100, 150 kPa 下总沉降、固结沉降及互嵌沉降随时间发展规律, 以及不同种类软土分别在液性指数为 0.8、1.0、1.2 与杂填土地基在 100 kPa 下总沉降、固结沉降及互嵌沉降随时间发展规律。研究表明: 三种土样互嵌沉降量与互嵌沉降完成度分别随荷载及液性指数的增大而增大, 对于不同土样来说, 高液限土的互嵌沉降大于低液限土的互嵌沉降, 互嵌沉降完成度在不同的液性指数下具有不同的变化规律。

**关键词:** 杂填土; 软土; 互嵌沉降; 液限; 液性指数

中图分类号: TU41

文献标识码: A

## Experimental Study on Mutally Embedded Settlement Between Different Kinds of Soft Soil and Miscellaneous Fill

ZHANG Fuhai<sup>1,2</sup>, CUI Yun<sup>1</sup>, XUE Haoyu<sup>1</sup>, LIU Zhengrong<sup>1</sup>, HUANG Zhenqing<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering,

Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China; 2. Engineering Research Center of

Dredging Technology, Hohai University, Changzhou, Jiangsu 213022, China)

**Abstract:** In order to study the settlement patterns of different types of soft soil and miscellaneous fill soil, indoor settlement tests were conducted on different types of soft soil and overlying miscellaneous fill soil under di-fferent loads and liquid indices, with the underlying silt soft soil as the research object. The temporal development patterns of total settlement, consolidation settlement, and mutally embedded settlement of different types of soft soil and miscellaneous fill soil foundations at 50, 100, 150 kPa, as well as the temporal development patterns of total settlement, consolidation settlement, and mutally embedded settlement of different soft soils with liquid indices of 0.8, 1.0, 1.2 and miscellaneous fill soil foundations at 100 kPa were analyzed. The research results indicate that the mutally embedded settlement and mutally embedded settlement completion of the three soil samples increase with the increase of load and liquidity index, respectively. For different soil samples, the mutally embedded settlement of high liquid limit soil is greater than that of low liquid limit soil, and the mutally embedded settlement completion has different variation patterns at different liquidity indices.

**Key words:** miscellaneous fill soil; soft soil; mutally embedded settlement; liquid limit; liquid index

在城市化建设不断推进的过程中, 产生了大量的建筑垃圾。许多城市直接将这些建筑垃圾填筑在未经处理的软土地基上, 由此便产生了结构复杂的杂填土地基。由于下卧的软土地基含水率

大, 抗剪强度低, 很容易便会挤入杂填土地基的孔隙中, 产生较大的地基沉降。且此种地基沉降的计算与常规土体的地基沉降具有明显的区别, 常规土地基沉降的计算以分层总和法为基础。如

收稿日期: 2023-11-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(517034711)

作者简介: 张福海(1970-), 男, 山东沂源人, 博士, 教授, 主要从事软土地基方面的研究。

何思明<sup>[1]</sup>认为分层总和法多采用单一的压缩模量参数,无法反映土体复杂的非线性和弹塑性特性。周殷康等<sup>[2]</sup>推导了非等体积模式下的沉降计算公式。通过实际地基沉降量计算及现场沉降监测数据对比分析,证明这一沉降计算公式更接近实际沉降量。而杂填土的地基沉降还需考虑软土挤入杂填土孔隙中所引发的地基沉降。如何分析预测此类地基沉降,是目前岩土工程领域研究的热点。

在目前的国内外研究中,与软土挤入杂填土孔隙机理较为相似的是抛石挤淤。关于抛石挤淤,相关学者根据实际情况利用不同的方法进行了分析。如闫澍旺等<sup>[3]</sup>通过抛石挤淤的模型试验和现场挤淤的数据,结合极限平衡公式推导出了抛石公式,但极限平衡状态的抛石截面与地基整体滑动面类似,而杂填土地基不存在连续的滑动面。吴敬崇<sup>[4]</sup>基于抛石基床沉降变形相等原则,提出了基床夯实等效应力的概念以及抛石基床沉降量计算方法。白杰等<sup>[5]</sup>通过现场试验得出结论:随着软基深度增大,路基沉降显著增大,而随着挤淤体厚度增大,路基沉降明显减小。焦瑞鹏<sup>[6]</sup>通过块石堆砂床混合压缩试验得到了块石堆砂床的混合散粒体的荷载与压缩位移关系,即嵌入深度随荷载增大而呈现先快后慢的增大趋势。

由上述分析可知,尽管许多学者对杂填土地基的地基沉降计算做出了不同的研究。如 Sivakumar 等<sup>[7]</sup>将城市固体废弃物地基沉降分为主要沉降、蠕变沉降和生物降解沉降三个组成部分并进行了估算。但是关于杂填土与软土互嵌所引发的地基沉降却研究甚少。张福海等<sup>[8-12]</sup>利用自制的互嵌仪,通过室内试验验证了其互嵌沉降的客观存在,同时研究了软土的含水率及杂填土的颗粒组成和级配分布对互嵌沉降的影响。但就软土的种类及其在不同的液性指数下的互嵌沉降发展规律并未做出过多的研究。本文通过室内互嵌沉降试验,从软土的角度出发,对不同种类的软土在不同荷载及不同液性指数下的互嵌沉降发展规律进行了研究分析,研究成果对今后城市发展中所产生的杂填土地基的填埋具有参考意义。

表1 试验软土基本物理性质

Tab. 1 Basic physical properties of soft soil

土样	塑限/%	液限/%	塑性指数	天然 含水率/%	干密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	土粒比重	土样类型
土样 A	38	61	22.2	66.3	1.25	2.68	高液限黏土
土样 B	25	45	20.9	51.2	1.27	2.70	低液限黏土
土样 C	19	37	17.7	41.3	1.29	2.73	低液限黏土

## 1 研究方案

### 1.1 试验土样

#### 1.1.1 杂填土试样

杂填土多由建筑垃圾组成,结构复杂,其与软土的互嵌规律难以把握。在进行室内试验时,因为本文主要研究不同软土状态下互嵌沉降的发展规律,所以将杂填土简化为水泥圆球颗粒,颗粒粒径均为 10 mm,水泥球由橡胶模具统一制成,为确保所制成的颗粒大小相等,密度相同,在制作水泥球时,需要将其放在振动台上振动,排出物料中所含有的空气,使每个水泥球颗粒都振动密实。制样成功后,将其放在水中静置 14 d,水泥球颗粒见图 1。



图1 10 mm 粒径杂填土颗粒

Fig. 1 Miscellaneous fill particles with a size of 10 mm

#### 1.1.2 软土试样

在这项研究中,购买了不同地区的代表性淤泥质土,通过实验结果的分析与对比,最终选取了来自广东潮州、江苏盐城及江苏宿迁三个地区的淤泥质土,将其作为研究不同软土状态的试验材料。按照《土工试验方法标准》(GB/T 50123—2019),在室内条件下对不同状态的软土进行烘干处理,通过颗粒分析试验与液塑限试验对软土进行分类,并进行了基本物理性质试验。为了之后的试验方便,将其分别命名为土样 A、土样 B、土样 C,其基本物理性质如表 1 所示。

通过颗分试验测量了三种土样的粒径分布情况,图2为三种土样的粒径分布图。

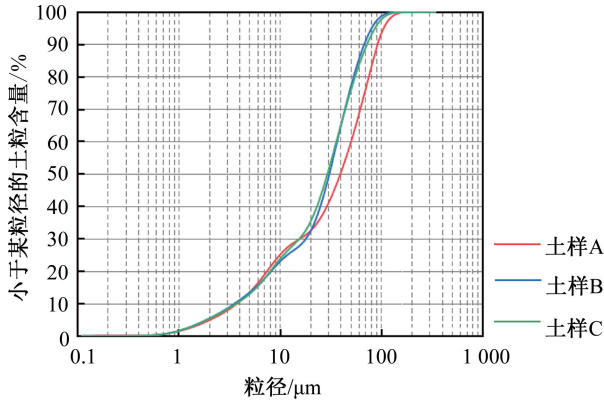


图2 不同粒径软土分布曲线图

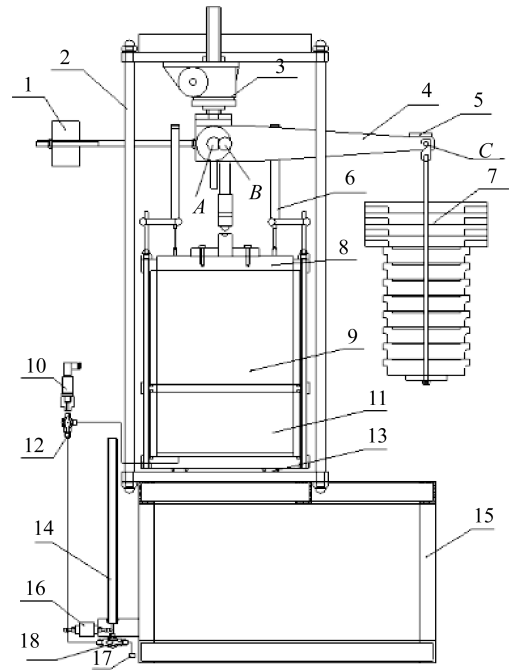
Fig. 2 Distribution curves of soft soil with different particle sizes

## 1.2 试验装置

本文采用课题组自行研发的杂填土互嵌测量装置<sup>[8]</sup>。该装置主要由容器装置、加载装置及数据采集装置三部分所组成。容器装置包括容器桶、传压板及滤水板。容器桶为圆柱形,包括上下两个容器,其直径约为300 mm,其中下容器桶用来填充淤泥质软土,上容器桶用来填充杂填土。传压板位于上容器的顶部,用来传递荷载,滤水板位于下容器底部,用来进行容器的排水。加载装置包括砝码、杠杆、手动调平机构及平衡水泡。试验过程中通过在杠杆上添加不同质量的砝码对装置进行加荷,杠杆比为17.6625:1。在试验过程中,杠杆会随着土样沉降量的增大而发生倾斜,为了保证杠杆始终处于平衡状态,在杠杆力臂上设置一平衡水泡,通过旋转调平装置使平衡水泡始终处于中间,使杠杆始终处于平衡。数据采集装置由位移传感器、孔压传感器、压差传感器及量管组成,传感器连接计算机,通过计算机对试样的排水量和位移量数据进行采集。图3、图4分别为该装置的结构设计图和实物图。

## 1.3 试验原理

关于地基沉降,常规的分层总和法是将地基进行分层,之后再分别计算各土层的沉降量,最后将其累加得到最终沉降量。但对于杂填土地基来说,其沉降除了杂填土与软土地基各自的固结沉降外,还应包括软土挤入杂填土地基的互嵌沉降。在本文中,由于杂填土颗粒被简化为具有均匀形状的水泥球,其固结沉降相对于软土的固结沉降及软土挤入杂填土孔隙中的互嵌沉降可忽略不



注:1—平衡锤,2—反力框架,3—杠杆调平机构,4—杠杆,5—平衡水泡,6—位移传感器,7—砝码,8—传压板,9—上容器,10—孔压传感器,11—下容器,12—第1三通阀,13—滚珠排,14—量管,15—机架,16—压差传感器,17—接水箱,18—第2三通阀;A—支点,B—受力点,C—加载点。

图3 试验装置结构设计图

Fig. 3 Structural design diagram of the test device



图4 试验装置实物图

Fig. 4 Physical diagram of the test device

计。因此,在不考虑杂填土固结沉降的前提下,互嵌沉降为总沉降与软土固结沉降之差<sup>[8]</sup>,公式表

示为

$$h_2 = h - h_1 \quad (1)$$

式中: $h$ 为总沉降,mm; $h_1$ 为软土固结沉降,mm; $h_2$ 为软土与杂填土的互嵌沉降,mm。

其中总沉降 $h$ 可由位移传感器直接测出,而软土的固结沉降则是通过固结过程中软土的排水量计算得出,计算公式见式(2)。

$$h_1 = \frac{V}{S} \quad (2)$$

式中: $V$ 为量管测得的排水量,mL; $S$ 为容器桶的截面面积,mm<sup>2</sup>。已知容器桶直径为300 mm,则 $S$ 可由下面公式求得:

$$S = \pi r^2 = 7.069 \times 10^4 \text{ mm}^2 \quad (3)$$

#### 1.4 试验设计

##### 1.4.1 不同软土试样在不同荷载下的互嵌沉降试验设计

由以往的研究可知,在杂填土地基互嵌过程中,软土是影响互嵌沉降的重要因素之一<sup>[8]</sup>。本试验采用来自不同地区的软土试样,即1.1.2所命名的A、B、C三种软土试样。三种软土试样具有不同的液塑限,其中A土样的液塑限最高,C土样的液塑限最低。周天宝<sup>[9]</sup>提出,在杂填土地基沉降计算中,上覆荷载的大小会显著影响软土嵌入杂填土的程度,导致最终的沉降出现明显差异。因此,本试验在进行综合考量后,将荷载大小设计为50,100,150 kPa。分析不同土样在不同荷载下的总沉降、固结沉降、互嵌沉降以及它们各自的互嵌沉降度随时间的发展变化规律。

本试验采用A、B、C三组不同的软土试样,软土的液性指数均为1.0,分别在50、100、150 kPa三组荷载下进行室内互嵌沉降试验。荷载采用一次施加的方式,杂填土颗粒统一用10 mm的水泥球颗粒代替。

##### 1.4.2 不同软土试样在不同液性指数下的互嵌沉降试验设计

由于含水率会对杂填土地基的互嵌沉降产生影响,互嵌沉降随着含水率的增大而增大<sup>[8]</sup>。当含水率较小时,软土的液性指数较小,流动性较弱,在荷载作用下,软土不易挤入杂填土孔隙中,互嵌沉降不明显;但当含水率较大时,软土的液性指数较大,软土接近于流塑状态,此时的杂填土很容易挤穿软土,到达容器底部,导致试验失败。因此,在综合考虑不同软土的液塑限及含水率对塑性指数的影响后,按照公式(4)<sup>[13]</sup>配置液

性指数为0.8、1.0、1.2的软土。分析不同土样在不同液性指数下的总沉降、固结沉降、互嵌沉降以及它们各自的互嵌沉降度随时间的发展变化规律。

$$I_L = \frac{\omega - \omega_p}{\omega_L - \omega_p} \quad (4)$$

式中, $\omega$ 为含水率,%; $\omega_p$ 为塑限; $\omega_L$ 为液限; $I_L$ 为液性指数。

本试验采用A、B、C三组不同软土试样,分别在0.8、1.0、1.2三种不同的液性指数下进行室内互嵌沉降试验。软土的荷载均为100 kPa,荷载采用一次施加的方式,杂填土颗粒统一用10 mm的水泥球颗粒代替。

#### 1.5 试验步骤

##### 1.5.1 软土制样

本文采用重塑土,依照《土工试验方法标准》(GB/T 50123—2019),利用公式(4),按照液性指数公式求出各土样相应的含水率,根据试样所要求的干密度和含水率,将土样击实到所需密度,用推土器将其推出,按照标准制备软土试样。之后将制备好的土样静置12 h,保证试样水分分布均匀。配置好的软土试样如图5所示。



图5 配置完成的软土样

Fig. 5 Prepared soft soil sample

##### 1.5.2 软土装样

在装样前,首先在容器底部铺上一层土工布,防止在试验和加载时,土颗粒堵住底部的排水板,再在容器侧壁贴上一层用水浸润过的滤纸,使下层软土可以充分排水,减少由于软土排水不畅所导致的试验误差。将适量的水注入量筒,排出量

筒中的空气,待量筒水位不发生变化后,关闭排水阀门,将软土试样填入下容器中。填充过程中应遵循分层填充,且先填充容器四周,再填充容器中间,并在填土过程中适量振捣,排出装样时软土的空气,使得试样厚度分布均匀。当填土高度达到下容器底部时,轻轻抹平其表面,完成软土层装样,如图6所示。

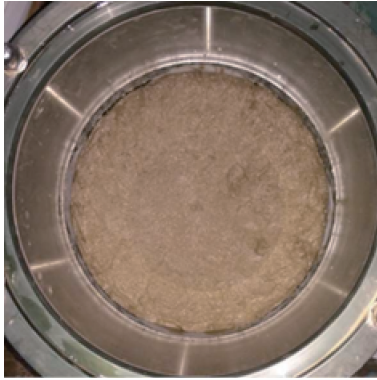


图6 软土试样装样完成图

Fig. 6 Completion diagram of soft soil sample loading

### 1.5.3 杂填土装样

在装样前,首先将容器侧壁清理干净,之后在容器侧壁涂上一层凡士林,减小侧壁摩擦阻力,防止水泥球颗粒与容器侧壁的摩擦对互嵌的结果产生影响。在水泥球颗粒装样前,需要把水泥球表面的水分擦拭干净,防止水泥球表面的水分对软土固结沉降的测量产生影响。按照由四周到中间,分层填入的规则,缓慢地填入水泥球颗粒,使其分层、紧密、均匀地填入上容器中,装载完成后,盖上容器加载板,完成杂填土装样,如图7所示。



图7 杂填土试样装样完成图

Fig. 7 Sample loading completion diagram for miscellaneous fill soil samples

### 1.5.4 试样加载

杂填土颗粒装样完成后,放置传压板并将其

调整至水平,安装好位移传感器。由于水泥球和加载板的自重也会造成互嵌沉降,因此为了试验数据的准确性,在加载前,应首先打开仪器下方排水阀,静置12 h,进行自重平衡。当排水阀不再由于水泥球和加载板的自重而继续排水时,将传感器上的位移与排水量清零。将所需的砝码缓慢放置在加载杆上,同时打开计算机进行位移、孔隙水压力和排水量的试验数据采集。由于在加载过程中会发生土层沉降,使得杠杆缓慢地发生倾斜,因此在试验过程中,需通过摇动转轮而使杠杆保持平衡,避免造成试验误差,如图8所示。



图8 试验加载过程图

Fig. 8 Experimental loading process diagram

## 2 试验结果及分析

### 2.1 不同软土试样在不同荷载下的沉降结果与分析

#### 2.1.1 不同软土试样在不同荷载下的总沉降、固结沉降及互嵌沉降随时间发展变化规律

由图9—图11可以看出,总沉降、固结沉降及互嵌沉降随时间的变化规律基本一致,均是在加载初期,沉降增加较为迅速,随后逐渐减缓,最终达到稳定状态。同种土样在不同荷载作用下,随着荷载的增大,总沉降与互嵌沉降均逐渐增大。对于不同土样来说,在同种荷载条件下,总沉降、固结沉降及互嵌沉降的大小关系为:A类土>B类土>C类土。当荷载为50 kPa时,A、B、C三类土的互嵌沉降差别较小,但当荷载为150 kPa时,A类土的互嵌沉降要显著大于B类土和C类土。同时由图10可以看出,对于不同的土样来说,A类土达到最终固结稳定的时间要显著大于B类土和C类土。

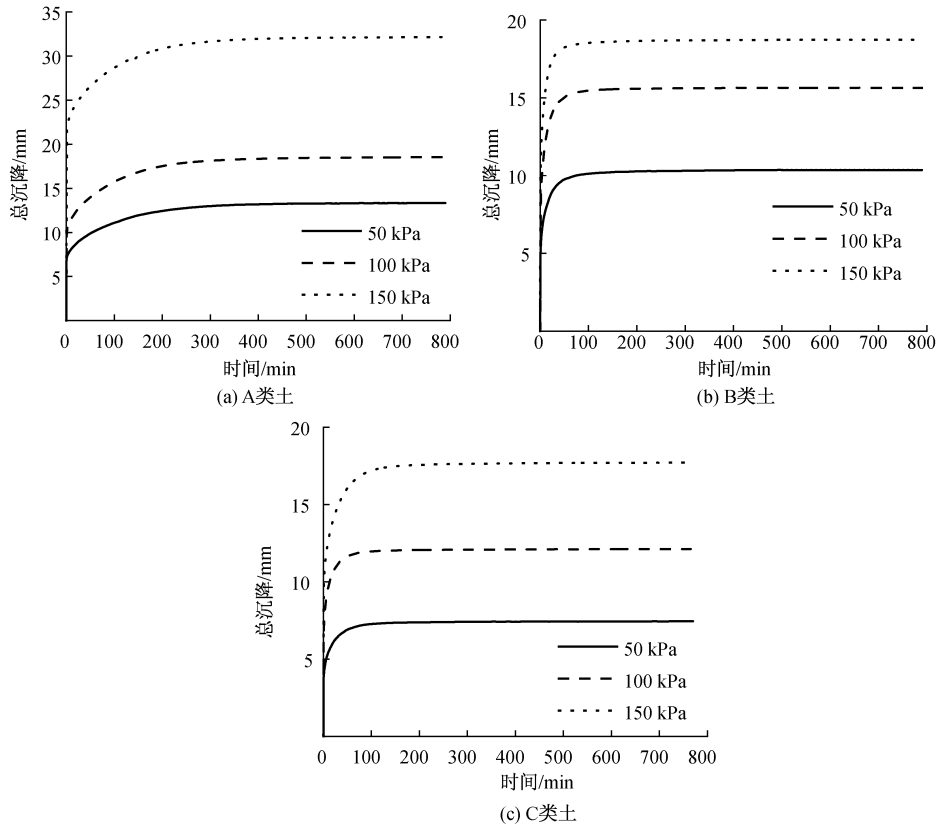


图 9 不同荷载下各土样总沉降发展时程曲线

Fig. 9 Time history curves of total settlement development of each soil sample under different loads

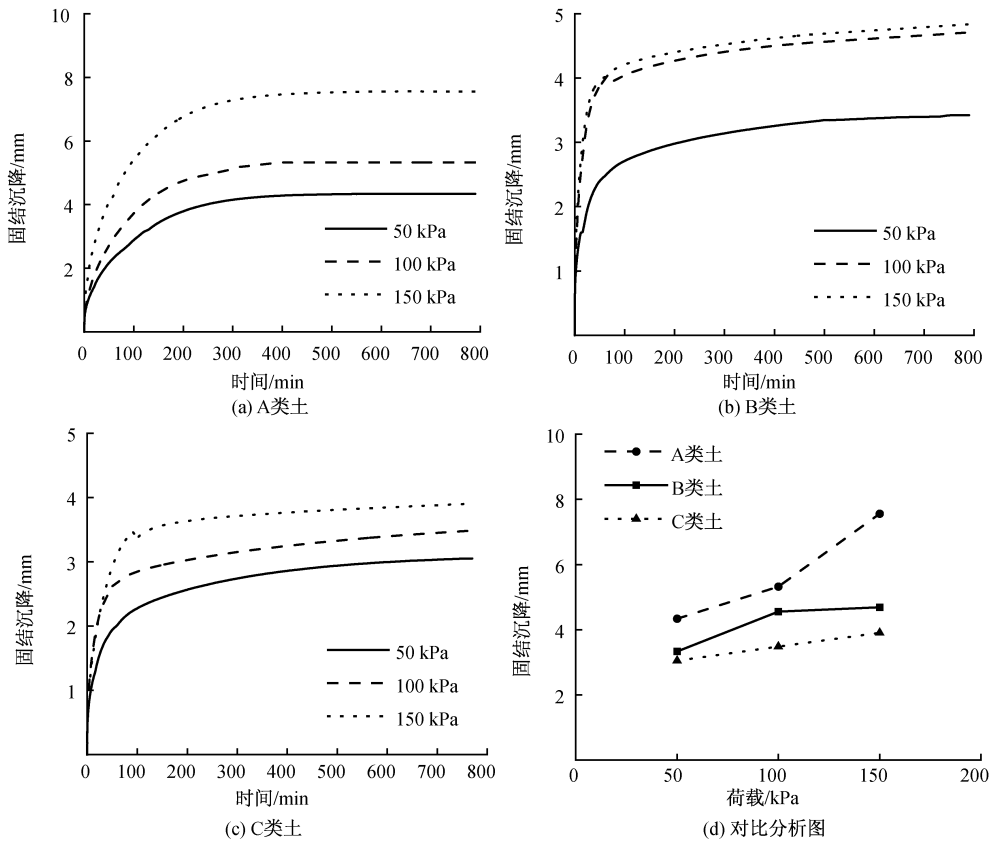


图 10 不同荷载下各土样固结沉降发展时程曲线

Fig. 10 Time history curves of consolidation settlement and settlement development of various soil samples under different loads

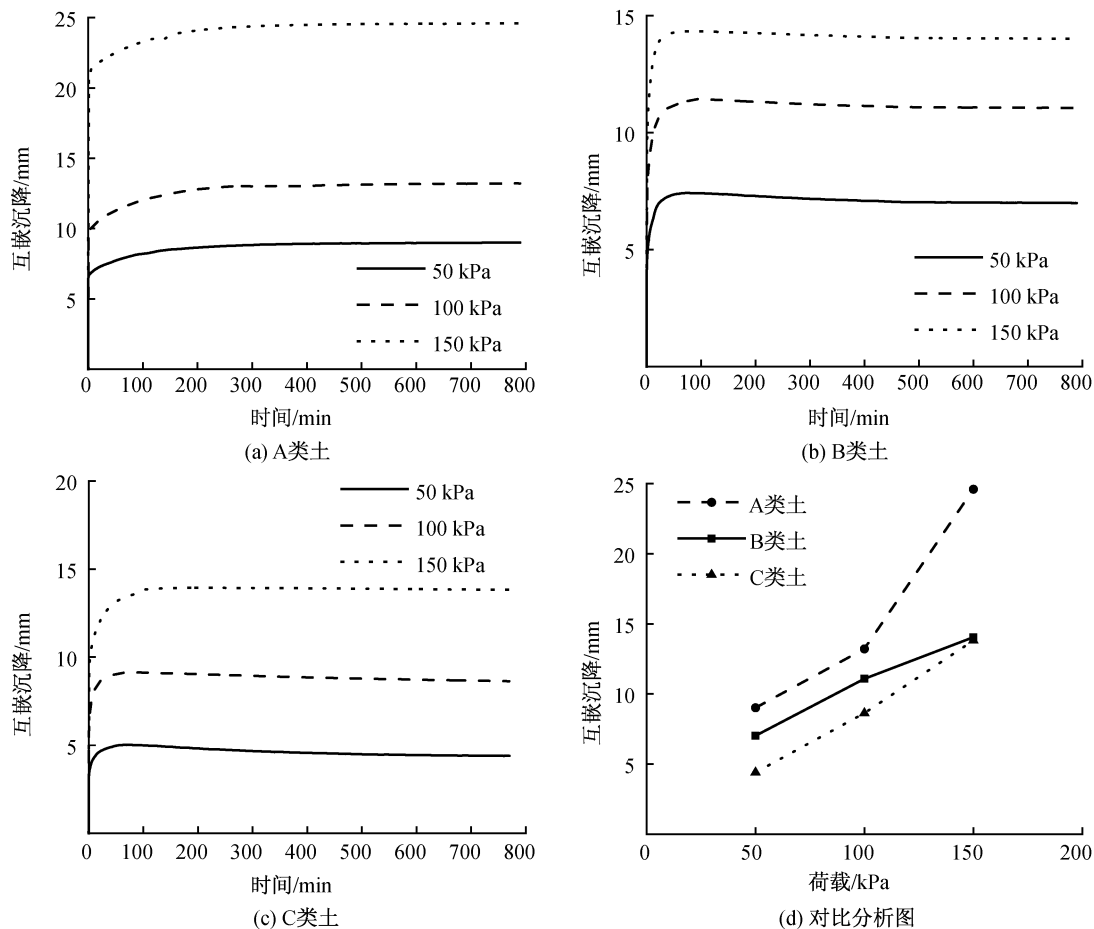


图 11 不同荷载下各土样互嵌沉降发展时程曲线

Fig. 11 Time history curves of mutually embedded settlement development of soil samples under different loads

分析原因可能是由于在相同的液性指数下,由于液限不同,A类土的含水率要明显高于B类土和C类土。而总沉降、固结沉降和互嵌沉降随着软土含水率的升高而不断增长<sup>[8]</sup>。同时,由于含水率的增大使得土粒间自由水随之增多,土粒间的黏结力和摩擦力随之减小<sup>[14]</sup>,所以在同种荷载条件下,总沉降、固结沉降及互嵌沉降的大小关系为:A类土>B类土>C类土。当荷载为50 kPa时,荷载大部分用于软土的固结沉降,只有少部分用于软土挤入杂填土孔隙的互嵌沉降,所以对于不同类型的土样来说,即使液限及含水率相差较大,其所表现出的互嵌沉降差别并不明显。但当荷载为150 kPa,此时用于软土挤入杂填土孔隙的荷载显著增大,对于A类土来说,由于液塑限较高,含水率较大,软土大量挤入杂填土的孔隙中,所以其互嵌沉降远大于B类土和C类土。而对于A类土达到最终固结稳定的时间要显著大于B类土和C类土,分析原因可能是由于高液限的土的粘性大、渗透系数小,水分子渗出的时间长,因此

其固结过程就十分缓慢。所以A类土达到最终固结稳定的时间要显著大于B类土和C类土。

### 2.1.2 不同软土试样在不同荷载下互嵌沉降完成度随时间发展变化规律

由上述分析可知,软土嵌入杂填土孔隙中,是个动态发展的过程。为了更好地分析不同软土试样在不同荷载下互嵌沉降随时间发展变化的规律,本文引入互嵌沉降度的概念,定义为某一时间内互嵌沉降与最终互嵌沉降稳定值的比值。该变量能够较好地反映出互嵌沉降随时间发展变化的规律,故采用时间的对数形式为横坐标,沉降稳定时的互嵌沉降完成度为纵坐标。图12为不同荷载下各土样互嵌沉降完成度随时间变化发展情况。

由图12可知,在受到不同荷载的作用下,尽管土样不同,杂填土与软土的互嵌沉降随时间的发展变化规律基本一致,均分为前期快速增长阶段和后期稳定阶段。且不同土样在不同荷载作用下,前期快速增长阶段的互嵌沉降度均能达到50%以上。说明本试验的互嵌完成度较好,软土均

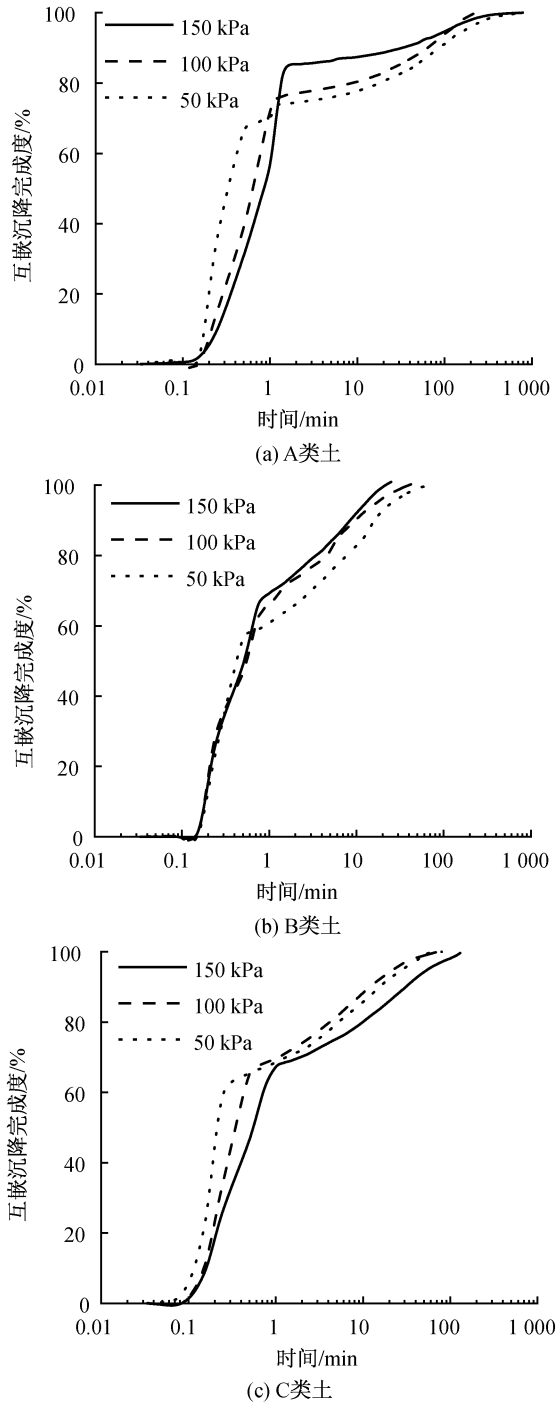


图 12 不同荷载下各土样互嵌沉降完成度随时间变化发展情况

Fig. 12 Development of the degree of completion of mutually embedded settlement of soil samples with time under different loads

能较好地嵌入到杂填土的孔隙中。对于同种土样而言,随着荷载的增大,互嵌沉降完成度逐渐增大。对于不同土样而言,在相同荷载作用下,互嵌沉降度的大小关系为:A 类土>B 类土>C 类土。因为对于 A、B、C 三种土样来说,A 类土的液限最高,

在相同的液性指数下,其含水率最高,软土的流动状态更强,更容易嵌入杂填土的孔隙中,形成较大的互嵌沉降。

## 2.2 不同软土试样在不同液性指数下的沉降结果与分析

### 2.2.1 不同软土试样在不同液性指数下的总沉降、固结沉降及互嵌沉降随时间发展变化规律

由图 13—图 15 可以看出,总沉降、固结沉降及互嵌沉降随时间的变化规律与上述发展规律一致,均是在加载初期,沉降增加较为迅速,随后逐渐减缓,最终达到稳定状态。同种土样,随着液性指数的增大,总沉降、固结沉降与互嵌沉降均逐渐增大。在相同的液性指数下,总沉降、固结沉降及互嵌沉降的大小关系为:A 类土>B 类土>C 类土。同时,由图 14 可以看出,A 类土固结沉降的发展时间要显著大于 B 类土和 C 类土。其原因与 2.1.1 所述相同。

对于同种土样,随着液性指数的增大,其含水率逐渐增大,总沉降、固结沉降和互嵌沉降随着软土含水率的升高而不断增长。对于同一液性指数下的不同土样来说,由于 A 类土是高液限土,其流动性较大,与 2.1.1 的原因类似,其产生的互嵌沉降大于 B 类土和 C 类土。同时,高液限土还具有孔隙比大,压实度低的特性,在相同的荷载下,其软土会具有更大的固结沉降。所以,在相同的液性指数下,总沉降、固结沉降及互嵌沉降的大小关系为:A 类土>B 类土>C 类土。

### 2.2.2 不同软土试样在不同液性指数下互嵌沉降完成度随时间发展变化规律

由图 16 可以看出,各土样在不同的液性指数下互嵌沉降完成度随时间的发展变化规律与上述相同,均分为前期快速增长阶段和后期稳定阶段。且不同土样在不同荷载作用下,前期快速增长阶段的互嵌沉降度均能达到 50% 以上。对于同种土样来说,其互嵌沉降完成度随着液性指数的增大而逐渐增大。对于不同土样来说,当液性指数为 0.8 时,互嵌沉降完成度的大小关系为:C 类土>B 类土>A 类土;当液性指数为 1.0 时,互嵌沉降完成度的大小关系为:B 类土>C 类土>A 类土;当液性指数为 1.2 时,互嵌沉降完成度的大小关系为:A 类土>B 类土>C 类土。且对于 C 类土来说,其互嵌沉降完成度随液性指数的增大,变化并不明显。

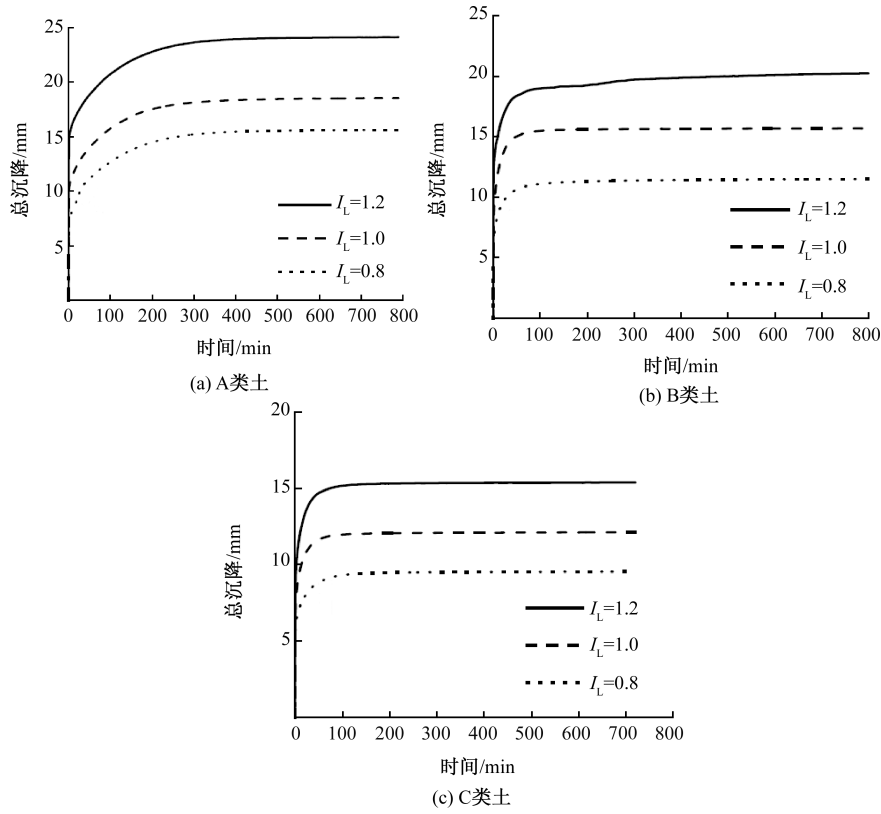


图 13 不同液性指数下各土样总沉降发展时程曲线

Fig. 13 Time history curves of total settlement development of each soil sample under different liquid indices

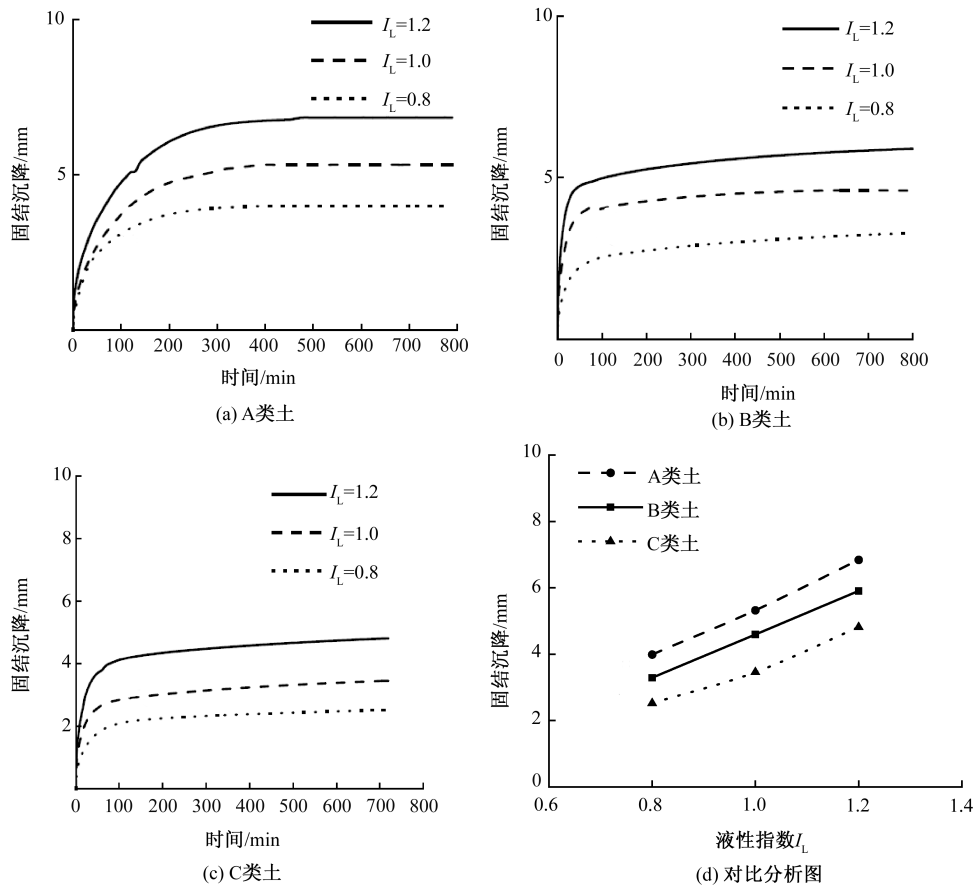


图 14 不同液性指数下各土样固结沉降发展时程曲线

Fig. 14 Time history curves of consolidation settlement development of each soil sample under different liquid indices

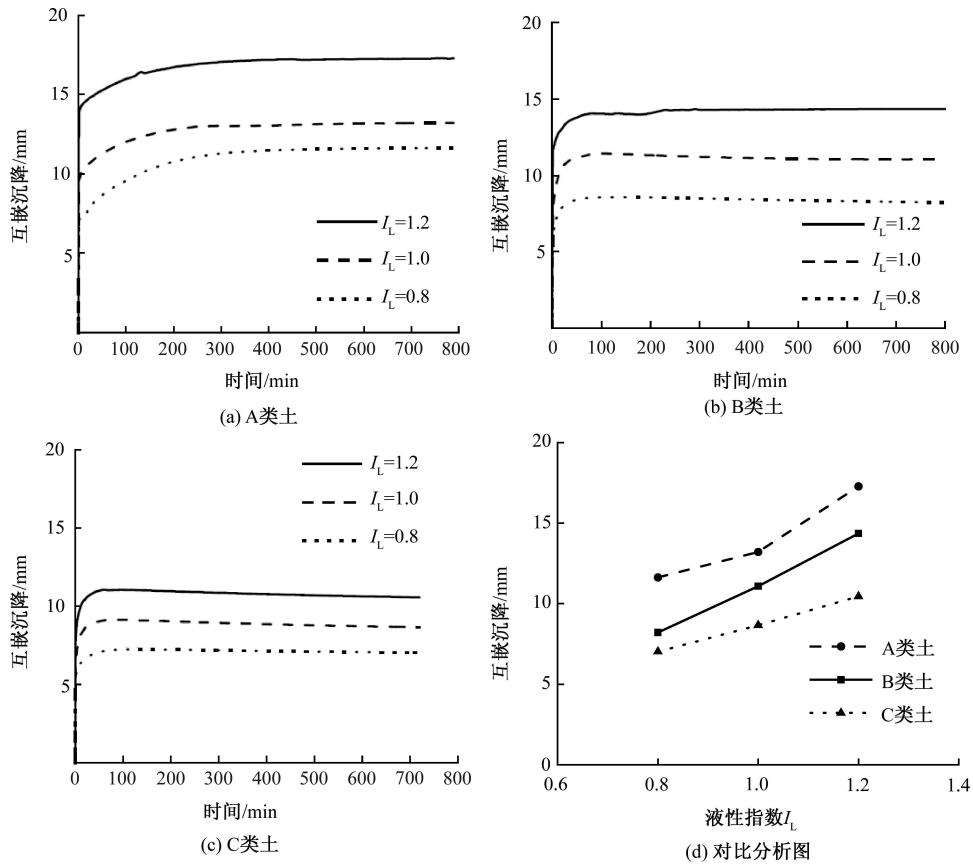


图 15 不同液性指数下各土样互嵌沉降发展时程曲线

Fig. 15 Time history of mutually embedded settlement development of soil samples under different liquid indices

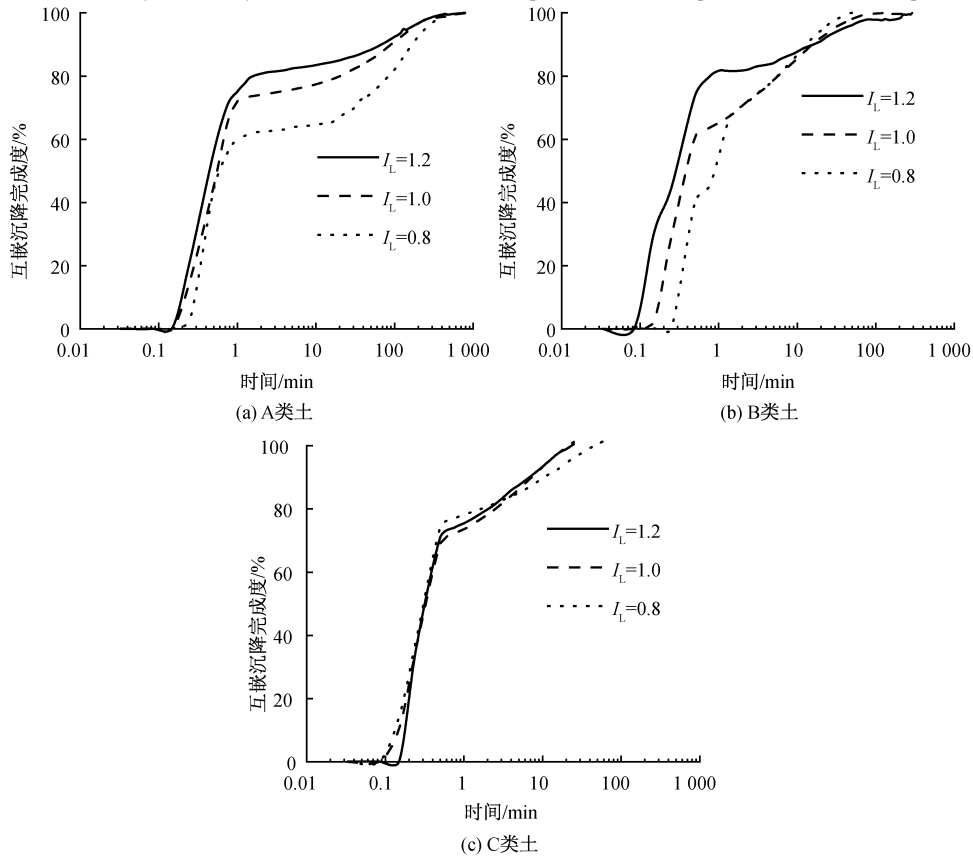


图 16 不同液性指数下各土样互嵌沉降完成度随时间变化发展情况

Fig. 16 Development of the degree of completion of mutually embedded settlement of soil samples with time under different liquid indices

对于同种土样,随着液性指数的增大,其含水率逐渐增大,软土流动性增强,更容易挤入杂填土的孔隙中,使得在相同的时间内,互嵌沉降完成度增大。而对于不同土样来说,不同的液限对应着不同的含水率。在一定的固结应力荷载作用下,高初始含水率的重塑黏土的孔隙水压力高于低初始含水量重塑黏土的孔隙水压力<sup>[15]</sup>,随着孔隙水压力的增大,软土可能会优先发生固结沉降,使得孔隙水压力逐步消散,导致在初始阶段,高含水率的软土互嵌沉降度反而较小。所以对于不同的土样来说,在不同的液性指数下,其互嵌沉降完成度体现出不同的规律。而对于C类土来说,由于液塑限较低,在较低的液性指数下就会具有较高的含水率,使得软土很容易挤入杂填土的孔隙中而发生较大的互嵌沉降,所以随着液性指数的增大,其互嵌沉降度的增加并不明显。

### 3 结论

本文选取三种不同的软土试样,在室内条件下研究了不同软土试样在不同荷载下和不同的液性指数下总沉降、固结沉降、互嵌沉降及沉降完成度的发展变化规律,其主要研究结果如下:

1)对于液限不同的土样来说,在同种荷载条件下,总沉降、固结沉降、互嵌沉降及沉降完成度随着液限的增大而增大。当荷载为50 kPa时,液塑限对土的互嵌沉降影响较小,且高液限黏土达到互嵌沉降稳定的时间要小于低液限黏土;但当荷载为150 kPa时,高液限黏土的互嵌沉降要显著大于低液限黏土,高液限黏土达到互嵌沉降稳定的时间要大于低液限黏土。

2)对于相同土样来说,随着液性指数的增大,总沉降、固结沉降与互嵌沉降均逐渐增大。在相同的液性指数下,总沉降、固结沉降及互嵌沉降的大小随着液限的增大而增大。同样的,高液限黏土固结沉降的发展时间要显著大于低液限黏土。

3)对于同种土样来说,其互嵌沉降完成度随着液性指数的增大而逐渐增大。对于不同土样来说,互嵌沉降完成度在不同的液性指数下具有不同的变化规律。

### 参考文献:

- [1] 何思明. 基于弹塑性理论的修正分层总和法[J]. 岩土力学, 2003(1): 88-92.
- [2] 周殷康, 阎长虹, 邵勇, 等. 考虑侧向变形的软土地基沉降计算方法研究[J]. 水文地质工程地质, 2015, 42(1): 95-99.
- [3] 闫澍旺, 陈静, 孙立强, 等. 抛石挤淤深度的计算方法和模型试验[J]. 岩土力学, 2015, 36(S1): 43-48.
- [4] 吴敬崇. 重力式码头抛石基床沉降变形研究[D]. 天津: 天津大学, 2023.
- [5] 白杰, 陈宇冰, 郭小龙. 厚层淤泥质软基抛石挤淤变形规律及工程应用[J]. 土木工程学报, 2021, 54(S): 42-47.
- [6] 焦瑞鹏. 深基床块石体在地基中的嵌入变形研究[D]. 天津: 天津大学, 2018.
- [7] SIVAKUMAR BABU G L, LAKSHMIKANTHAN P. Estimation of the components of municipal solid waste settlement[J]. Waste Manag Res, 2015, 33(1): 30-38.
- [8] 张福海, 薛浩宇, 刘峥嵘, 等. 含水率对杂填土与软土互嵌致沉的影响研究[J]. 河南科学, 2023, 41(2): 199-206.
- [9] 周天宝. 界面摩擦对杂填土与软土互嵌致沉的影响研究[D]. 南京: 河海大学, 2019.
- [10] 徐嘉成, 张福海, 陈宇, 等. 软土粗颗粒含量对杂填土与软土地基互嵌沉降影响的试验分析[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2023, 40(2): 27-35.
- [11] ZHANG F H, ZHANG L, ZHOU T B, et al. An experimental study on settlement due to the mutual embedding of miscellaneous fill and soft soil[J]. Advances in Civil Engineering, 2020, 2020(1): 4819605.
- [12] 陈良. 杂填土地基互嵌沉降影响因素试验研究[D]. 南京: 河海大学, 2021.
- [13] 陈希哲. 土力学地基基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- [14] ZHANG R, XIAO Y, GAO Q, et al. Effect of adsorbed water on compression behavior of high liquid limit soils[J]. Journal of Central South University, 2023, 30(2): 530-541.
- [15] YIN J, ZHANG K, GENG W, et al. Effect of initial water content on undrained shear strength of K0 consolidated clay[J]. Soils and Foundations, 2021, 61(5): 1453-1463.

(责任编辑 王利君)