

DOI: 10.11779/CJGE201408022

考虑回淤的沉管隧道基础层压缩模型试验研究

魏 纲¹, 裘慧杰², 杨泽飞¹, 王栋迪¹, 邢建见²

(1. 浙江大学城市学院土木工程系, 浙江 杭州 310015; 2. 浙江大学岩土工程研究所, 浙江 杭州 310058)

摘 要: 实测数据统计结果表明, 沉管隧道施工期间的沉降占到总沉降的 50% 以上, 而施工期间沉降主要由基础层压缩引起。以舟山沈家门港海底沉管隧道为原型, 取纵向 30 m 建立 1:10 缩尺寸模型, 试验重点模拟海水环境下注砂基础层形成过程, 并研究其在不同回淤条件下的整体压缩过程, 评估回淤对压缩的影响。研究表明: 无回淤条件下砂石基础层整体压缩模量为 3.41 MPa, 表明沉管隧道基础层的压缩性能较差; 夹杂不同浓度的回淤层后, 基础层整体压缩模量在 1.54~3.89 MPa 区间, 集中在 2.34 MPa 附近, 约为无回淤条件的 0.69 倍; 回淤起到类似润滑剂的作用, 增加了砂石的交错重叠量和垫层整体的塑性, 会延长压缩稳定时间, 增加基础层的压缩量, 放大压缩区域的不均匀性。

关键词: 沉管隧道; 模型试验; 基础层; 回淤; 压缩

中图分类号: TU411

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2014)08-1544-09

作者简介: 魏 纲(1977-), 男, 浙江杭州人, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事地下隧道施工对周边环境的影响及风险评估与控制等方面的研究。E-mail: weig@zucc.edu.cn。

Model tests on compression of base layer of immersed tube tunnels considering siltation

WEI Gang¹, QIU Hui-jie², YANG Ze-fei¹, WANG Dong-di¹, XING Jian-jian²

(1. Department of Civil Engineering, Zhejiang University City College, Hangzhou 310015, China; 2. Institute of Geotechnical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: The measured statistical results show that the settlement of immersed tube tunnels during construction accounts for more than 50% of the total one and is mainly caused by compression of the base layer. Based on the prototype of Shenjiamen Port immersed tube tunnel in Zhoushan, a 1:10 scale shrinkage model is established for the longitudinal length of 30 m focusing on the formation process of sand base layer in marine environment to study its compression process under different deposition conditions and to assess the impact of back silting. The results shows under no silt gravel, the compressibility modulus of the overall base layer is 3.41 MPa, indicating the poor compression performance of base layer. Under different concentrations of back silting, the compressibility modulus of the base layer ranges from 1.54 to 3.89 MPa, mainly about 2.34 MPa, about 0.69 times that without back silting. The silting acts like lubricant which increases the interleave of sand and gravel, extends the compression settling time, increases the compression amount of base layer and enlarges the regional inhomogeneity.

Key words: immersed tube tunnel; model test; base layer; back silting; compression

0 引 言

沉管隧道是一种跨越江、河、海峡等水域的大型水底隧道, 目前正在世界各大都市、沿海城市广泛使用^[1]。通过对国内外 19 座沉管隧道沉降实测数据的统计分析, 结果表明沉管隧道施工期间沉降量平均值为 53 mm, 约为总沉降的 55.9%^[2]。邵俊江等^[3]指出沉管隧道施工期间沉降主要由基础层的调整和初步压缩造成。邵俊江等^[4]认为沉管隧道基础层压缩性能甚至比基底原状地基土还要差, 在隧道荷载作用下基础层将产生较大的压缩变形。潘永仁等^[5]指出位于砂基础和基槽原状土之间的淤泥, 是引起管段绝对沉降量大的

主要原因, 保证基础密实度和充满度以及减少回淤对基础的影响, 是沉管隧道压砂法基础处理的难点。

对沉管隧道基础层压缩特性的研究需要进行模型试验^[4]。目前国内外许多学者针对沉管隧道展开了一系列的模型试验。黎志均^[6-7]和陈韶章等^[8]结合广州珠江沉管隧道工程, 在国内第一次进行砂流法灌砂大比例尺模型试验, 研究主要围绕砂盘充满度、灌砂孔出

基金项目: 国家自然科学基金项目(51178428); 浙江省自然科学基金项目(LZ12E08001); 浙江省本科院校中青年学科带头人学术攀登项目(pd2013454)。

收稿日期: 2014-01-06

口压力与砂盘扩展半径的关系、浮托力与砂盘扩展半径的关系展开,并测定了砂盘相对密度和沉降量。郑爱元等^[9]、吴鸿军等^[10]、王光辉等^[11]对广州市生物岛—大学城沉管隧道进行 1:5 的实物缩尺相似模拟模型试验,对灌砂配合比、设计与施工方案进行验证分析,以确定合理的施工参数。袁伟耀^[12]、莫海鸿等^[13-14]、房营光等^[15]以广州市洲头咀变截面沉管隧道为依托,建造砂流法足尺寸试验模型,对不同砂水比、边界条件、基槽间隙和板底粗糙度下沙盘的形成和扩展规律展开了研究。沈永芳^[16]、宋光猛^[17]以舟山沈家门港海底沉管隧道工程为依托,进行了等比例现场注浆模型试验和 1:10 相似模型试验,对不同条件下的注浆规律进行了研究。

上述研究中,对基础层注浆注砂的工艺及各个控制参数的影响有了比较清晰的结论,但对于水环境下灌注完成之后基础层的压缩特性均没有深入涉及,也没有考虑回淤对基础层压缩的影响。因此,很有必要采用模型试验对沉管隧道基础层的压缩性能进行研究,同时重点分析回淤对基础层压缩的影响。本文采用 1:10 缩尺寸模型试验,模拟海水环境下通过注砂法形成基础层的施工过程,通过实测数据研究基础层的沉降规律。又对比了四种不同回淤条件下基础层的压缩情况,来定量的研究回淤对海底沉管隧道基础层压缩的影响。

1 模型试验过程

1.1 模型介绍

本文依托浙江舟山沈家门港海底沉管隧道工程,限于篇幅,具体工程概况、基础层设计等参见文献[18]。取 30 m 长的隧道作为研究对象,试验模型按照实际的 1:10 制备。模型主要构件为水箱模型和管节模型,都由钢板焊接而成,钢板厚度 10 mm。图 1 为模型照片。



图 1 模型试验工作图

Fig. 1 Photo of model tests

(1) 水箱模型

水箱模型尺寸为 3.6 m(长)×1.6 m(宽)×0.5 m(高),一端连有一个尺寸为 0.5 m(长)×0.3 m(宽)×0.3 m(高)的循环水箱。水箱模型主要作为试验场所,模拟沉管隧道施工海底基槽。循环水箱的主要作用是使模型水箱与灌砂系统形成水循环,而不对模型实验造成影响。

(2) 管节模型

管节模型尺寸为 3 m(长)×1.15 m(宽)×0.6 m(高),因实验后续需要通过在管节内注水来对管节施加荷载,为了保持管节模型的稳定性,在模型中间连接了三根槽钢加固。管节模型底部开了 17 个注砂孔,用来灌注砂。注砂孔位置根据单独砂盘实验测得的规律布置。具体布孔位置见图 2。

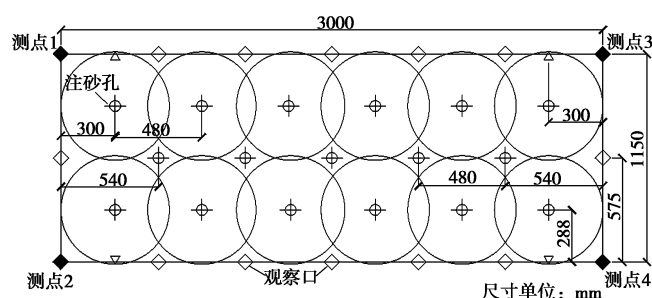


图 2 灌砂孔与观察口位置示意图

Fig. 2 Layout of sand filling holes and observation holes

(3) 测量系统

测量系统由测量架、百分表、磁性表座、钢尺和卷尺组成。测量架高 85 cm,跨宽 180 cm,由 L 型钢焊接而成;百分表量程 0.3 mm,精度 0.01 mm;钢尺长 30 cm;卷尺长 2 m。在沉管模型的四个角点处共布置 4 个沉降测试点,点号及对应位置见图 2。

(4) 控制系统

控制系统由千斤顶、垫块和龙门架组成。其中千斤顶初始高度为 4.1 cm,行程 0.7 cm,最大顶升高度 4.8 cm;垫块高 5.4 cm,长 12 cm,宽 8 cm;龙门架高 2.5 m,跨宽 2 m,最大起吊重 1 t。

(5) 注砂系统

注砂系统由砂泵、水泵、注砂管和单向阀组成。其中砂泵功率 1.5 kW;水泵功率 125 W,最大流量 35 L/min;注砂管内径 2.1 cm,外径 2.4 cm;单向阀内径 2.1 cm。

1.2 试验材料

试验材料包括细砂、碎石、盐水和淤泥。根据相似关系确定细砂和碎石的粒径。其中细砂的组成:粒径 0.6~0.3 mm 占总重的 5.73%,粒径 0.3~0.15 mm 占总重的 4.68%,粒径小于 0.15 mm 占总重的 89.59%;碎石选取正常连续级配碎石,粒径 16~5 mm;采用工业用盐,配置比重为 1.09 g/ml 的盐水;淤泥选取沈

家门港地区回淤土。

1.3 试验工况

本文共进行了 4 组试验, 其中 1 组试验不考虑回淤, 另外 3 组试验采用不同回淤浓度的基础层进行研究。各工况设计的碎石层与灌注层层厚按沈家门港海底沉管隧道工程实际尺寸 1:10 缩小。实际厚度为取点测量的平均值, 砂层灌注满预留夹层空间。

具体工况: ①试验 1, 铺设平均 5.74 cm 厚的碎石层, 灌注 4.29 cm 厚的砂层组成基础层; ②试验 2, 铺设平均 6.37 cm 厚的碎石层, 灌注 3.44 cm 厚的砂层组成基础层, 层间人工均匀布设 10 kg 淤泥; ③试验 3, 铺设平均 5 cm 厚的碎石层, 灌注 4.98 cm 厚的砂层组成基础层, 层间人工均匀布设 15 kg 淤泥; ④试验 4, 铺设平均 5.3 cm 厚的碎石层, 灌注 4.7 cm 厚的砂层组成基础层, 层间人工均匀布设 50 kg 淤泥。

试验所加荷载根据计算管节施工荷载按 1:10 缩小, 取近似值 3.5 kPa 作为最终荷载。模拟具体施工过程, 采用分级加载, 分别为 1.5, 2.0, 2.5, 3.5 kPa。

1.4 试验过程

以工况 2 为例, 模型试验具体操作步骤如下:

(1) 前期准备。在水箱模型底部铺设设计厚度的碎石层, 并测量平均厚度; 垫块和千斤顶就位; 人工均匀布设回淤溶液, 静置后形成回淤层; 龙门架吊装管节模型, 放置在千斤顶上; 管节模型周身采用碎石进行封闭; 关闭单向阀, 水箱放进 1.09 g/mL 的盐水。

(2) 模拟注砂。砂泵调试就绪; 注砂管连接单向阀, 按设计比例加入砂水, 灌注砂浆; 注意注砂孔处的砂盘扩散情况, 检查邻近观察口的砂浆溢出情况; 在单孔注满后继续注下一孔, 直至所有观察口均有砂浆溢出。注砂孔和观察口分布见图 2。试验砂泵提供 20 kg/cm² 的灌注压力, 设计砂水配比体积比为 3.4:10, 质量比约为 1:1。

(3) 加载测量。测量架和百分表首先就位, 记录初始读数; 卸载千斤顶; 通过向管节模型内注水来模拟施工荷载, 直至达到计算自重浮力后的初始荷载, 停止, 读取百分表读数; 恒载, 定时读数记录, 时间间隔分别为 5, 15, 30, 45, 60, 75, 90 min; 在各测点读数稳定后, 继续注水加载; 依次加载读数, 直至所有荷载级数加载完毕。

(4) 卸载。在最后一级荷载作用下, 沉降读数稳定后, 进行卸载; 起吊管节模型, 清理基础层, 准备下一组试验。图 3 为基础层卸载后的照片。

2 实测数据分析

2.1 回淤影响的定性分析

试验 1 中 4 个测试点在各级压力下的沉降随时间变化见图 4~7。



图 3 卸载后基础层状况

Fig. 3 Situation of base layer after unloading

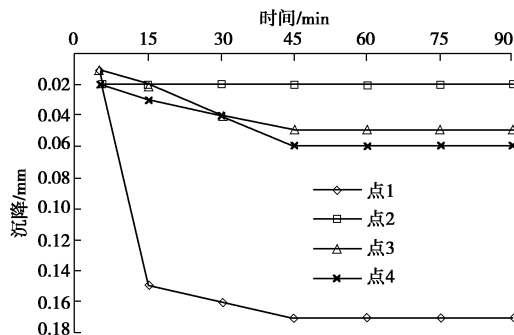


图 4 1.5 kPa 荷载下各点沉降随时间变化图

Fig. 4 Variation of settlement with time under 1.5 kPa

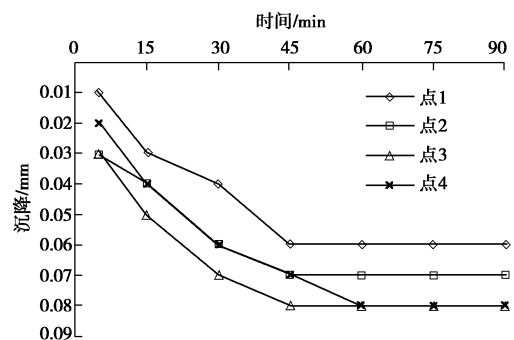


图 5 2 kPa 荷载各点沉降随时间变化图

Fig. 5 Variation of settlement with time under 2 kPa

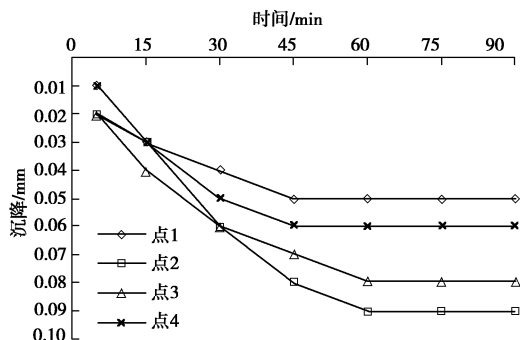


图 6 2.5 kPa 荷载各点沉降随时间变化图

Fig. 6 Variation of settlement with time under 2.5 kPa

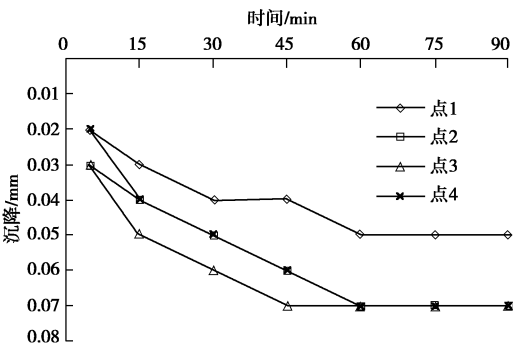


图 7 3.5 kPa 荷载各点沉降随时间变化图

Fig. 7 Variation of settlement with time under 3.5 kPa

试验 2 中第 1 号测试点在试验过程中不慎碰触, 数据失准。第 2, 第 3, 第 4 号测试点在各级压力下沉降随时间的变化见图 8~11。

试验 3 中 4 个测试点在各级压力下沉降随时间的变化见图 12~15。

试验 4 中 4 个测试点在各级压力下沉降随时间的变化见图 16~19。其中第 4 号点位在第一级荷载后不再压缩, 原因可能是沉管模型一角搁置在残留坚硬碎石层上。

从以上数据图中可以看出, 随着加载时间增长, 基础层的沉降逐渐增大; 一开始沉降较快, 然后逐渐减缓, 直至完全稳定。

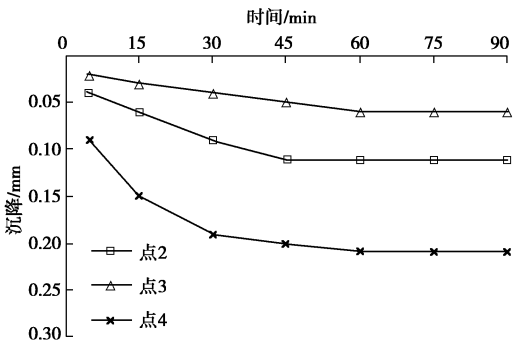


图 8 1.5 kPa 荷载各点沉降随时间变化图

Fig. 8 Variation of settlement with time under 1.5 kPa

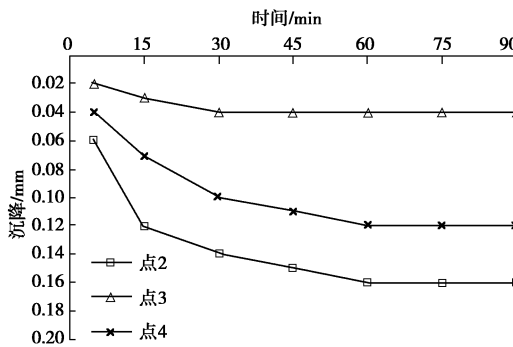


图 9 2 kPa 荷载各点沉降随时间变化图

Fig. 9 Variation of settlement with time under 2 kPa

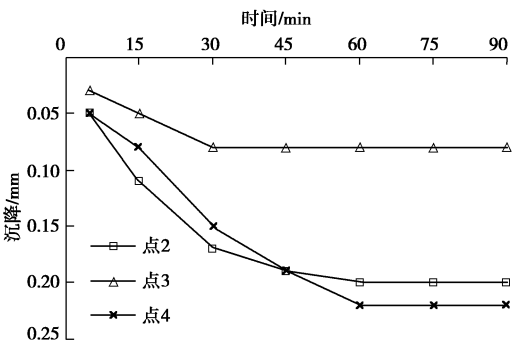


图 10 2.5 kPa 荷载各点沉降随时间变化图

Fig. 10 Variation of settlement with time under 2.5 kPa

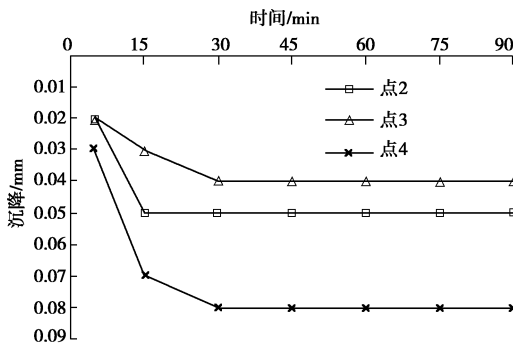


图 11 3.5 kPa 荷载各点沉降随时间变化图

Fig. 11 Variation of settlement with time under 3.5 kPa

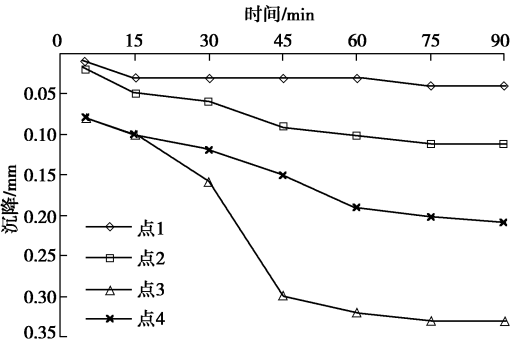


图 12 1.5 kPa 荷载各点沉降随时间变化图

Fig. 12 Variation of settlement with time under 1.5 kPa

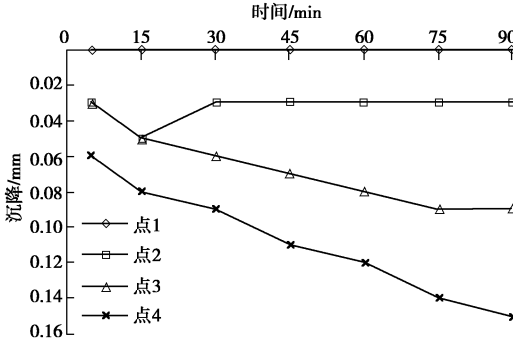


图 13 2 kPa 荷载各点沉降随时间变化图

Fig. 13 Variation of settlement with time under 2 kPa

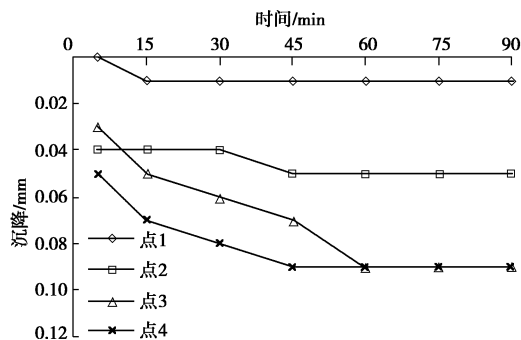


图 14 2.5 kPa 荷载各点沉降随时间变化图

Fig. 14 Variation of settlement with time under 2.5 kPa

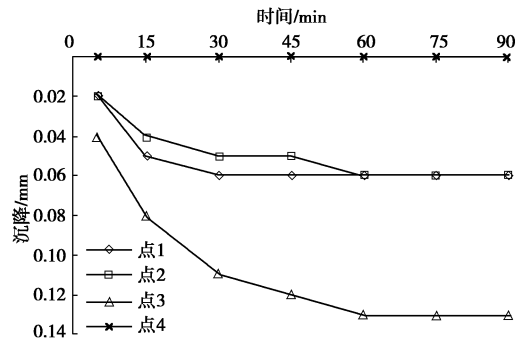


图 18 2.5 kPa 荷载各点沉降随时间变化图

Fig. 18 Variation of settlement with time under 2.5 kPa

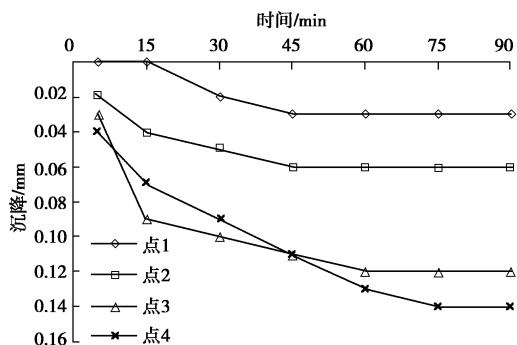


图 15 3.5 kPa 荷载各点沉降随时间变化图

Fig. 15 Variation of settlement with time under 3.5 kPa

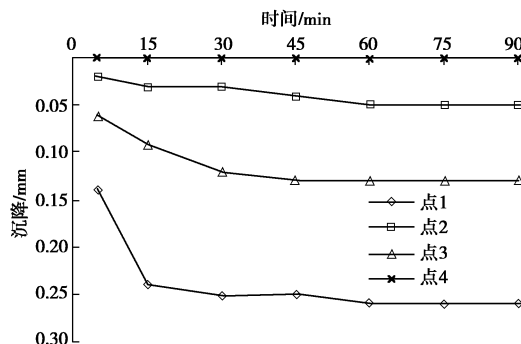


图 19 3.5 kPa 荷载各点沉降随时间变化图

Fig. 19 Variation of settlement with time under 3.5 kPa

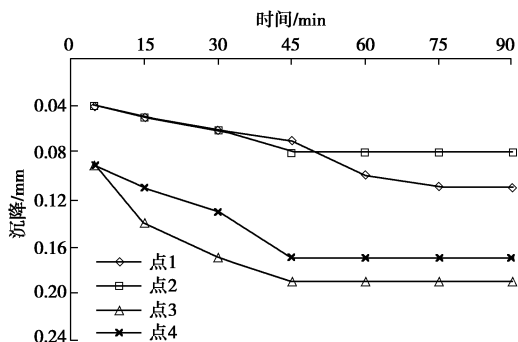


图 16 1.5 kPa 荷载各点沉降随时间变化图

Fig. 16 Variation of settlement with time under 1.5 kPa

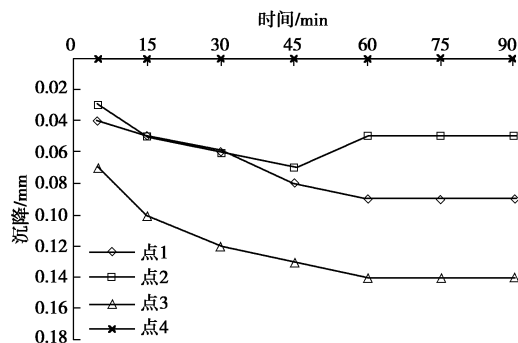


图 17 2 kPa 荷载各点沉降随时间变化图

Fig. 17 Variation of settlement with time under 2 kPa

考虑到试验过程没有理论上那么均匀, 试验初期的回淤初始分布情况也会有所区别。虽然注砂过程相同, 但注砂对回淤分布的影响是不可预测的。因此取各级荷载下压缩量最大的点位列表分析, 数据见表 1。表中累计压缩量数据是取前面单级荷载下的最大压缩量的总和, 不代表实际情况, 仅反映回淤影响情况; ①②③④表示沉降测试点点号。

由表 1 中数据可得:

(1) 在无回淤条件下, 各测点的压缩稳定时间基本为 45 min。在不同浓度的回淤条件下, 各测点的压缩稳定时间有明显延长, 基本在 60 min, 且压缩稳定时间与回淤浓度没有线性关系。表明回淤能够对砂石压缩的过程产生某种影响, 且与回淤的量没有明显关系。

(2) 在无回淤条件下, 统计单级荷载下最大压缩的点位, 4 点均有涉及, 表明各点压缩比较均匀。在薄回淤条件下 (试验 2 和 3), 最大压缩点位集中在 2 个点。而在厚回淤条件下 (试验 4), 最大压缩点位基本集中 1 点。这表明回淤能对均布荷载下各区域的压缩分布产生影响, 能产生或者放大原本压缩的不均匀性, 且回淤量越大、影响越大。

表 1 各单级荷载下最大压缩统计表

Table 1 Maximum compression statistics under each single-stage load

工况	压缩稳定 时间/min	单级荷载下的最大压缩量/mm				累计压缩量 /mm
		1.5 kPa	2.0 kPa	2.5 kPa	3.5 kPa	
试验 1：无回淤	45	0.15①	0.08③④	0.09②	0.07②③④	0.39
试验 2：10 kg 淤泥	45~60	0.21④	0.16②	0.22②	0.08④	0.67
试验 3：15 kg 淤泥	60~75	0.33③	0.15④	0.09③④	0.14④	0.71
试验 4：50 kg 淤泥	60	0.19③	0.19③	0.13③	0.26①	0.77

(3)对比 4 组试验下各级荷载最大压缩量的累计值,可以发现:回淤量越大,累计压缩量越大;且无回淤条件(试验 1)与薄回淤条件(试验 2)的累计压缩量有明显区别;无回淤条件(试验 1)的累计压缩量与极限回淤条件(试验 4)的累计压缩量约为两倍关系。

在无回淤条件下,基础层(砂石垫层)的压缩量主要由砂层和碎石层的自身压缩以及双层的交错重叠(即砂在荷载作用下要嵌入、填充碎石的孔隙)两部分组成。而不同回淤条件下的荷载是相同的,砂层和碎石层自身的压缩量差异非常小,因此不同回淤条件下得到的压缩量的不同,主要原因是回淤对砂层和碎石层这两层的重叠交错产生了一些影响。

笔者分析认为,这主要是由于回淤层会受到注砂的影响,淤泥会出现未明的渗透、排挤、转移,使得水下情况更加复杂。可以认为回淤起到了类似润滑剂的作用,使砂在上部荷载作用下,更容易嵌入、填充碎石的孔隙,导致砂填充的范围更深。因此回淤的存在增加了垫层整体的塑性,延长了砂石重叠交错的时间,增加了砂石的交错重叠量,导致沉降稳定时间和沉降量均增加。同时由于回淤的这种作用,区域压缩的不均匀性也被增加放大。回淤影响的机理见图 20。

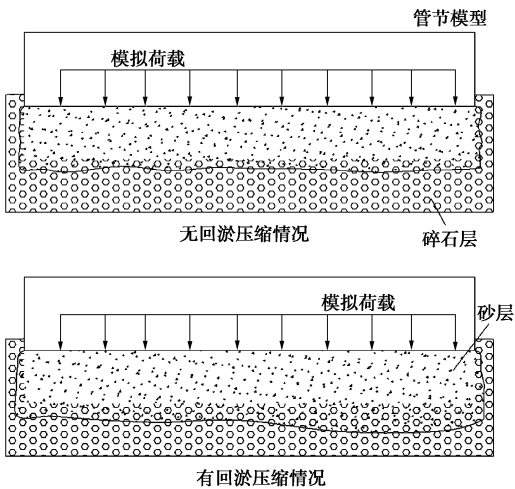


图 20 回淤影响示意图

Fig. 20 Influence of silting

图 21~24 为 4 组试验条件下各测试点的最大沉降

量随荷载增长的变化曲线。如图所示,可以发现规律基本与前文所述吻合,即回淤条件下压缩量被增加,且各点位的压缩量差异明显被扩大。

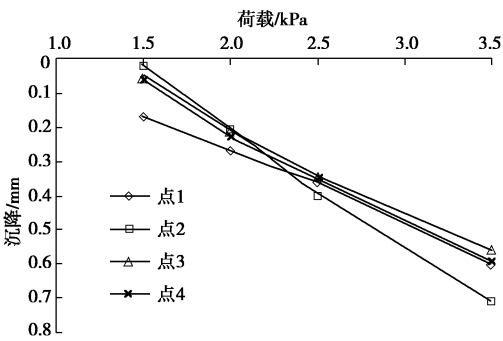


图 21 试验 1 工况下各点沉降随荷载变化图

Fig. 21 Variation of settlement with load of experiment 1

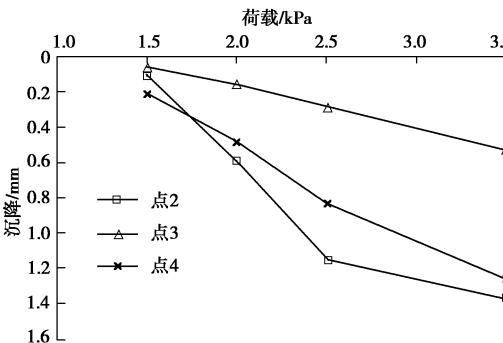


图 22 试验 2 工况下各点沉降随荷载变化图

Fig. 22 Variation of settlement with load of experiment 2

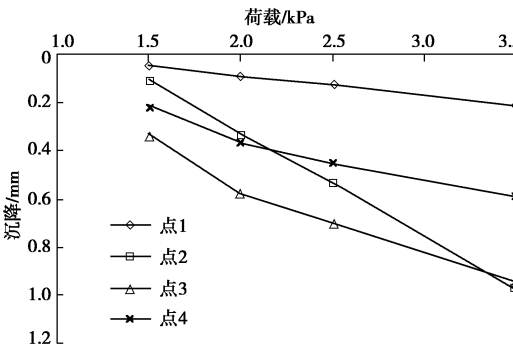


图 23 试验 3 工况下各点沉降随荷载变化图

Fig. 23 Variation of settlement with load of experiment 3

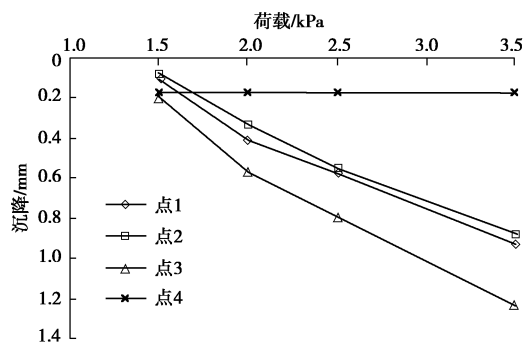


图 24 试验 4 工况下各点沉降随荷载变化图

Fig. 24 Variation of settlement with load of experiment 4

2.2 回淤影响的定量评估

基础层沉降的计算,最关键确定基础层压缩模量的取值。本文根据实测数值和缩尺寸比例,取测量点位附近的夹层厚度作为压缩厚度,测量点位的测量压缩量作为计算模量的压缩量,计算了基础层的实际压缩模量。图 25 为 4 组试验过程中各个点位的压缩模量数据,说明:①试验 2 有一测点试验过程中由于碰触导致数据遗失;②试验 3 的 1 号测点和试验 4 的 4 号测点这两个测点的数值特别大,明显与图中其他数据有较大差异。发现试验过程中这两个测点的数据变化非常小,原因可能是由于局部较坚硬的碎石搁置,无法判断是否是由于回淤的影响。因此这两个数据未放入图中。

由图 25 可得:①对比 4 组试验的压缩模量分布曲线,试验 1 (无回淤) 的曲线要明显比其他曲线平稳,且总体模量要大于其他曲线,试验 1 曲线的平均值为 3.405 MPa;②试验 2, 3, 4 中 4 个测点的压缩模量计算值相对于试验 1 有不同程度的增减。相对于试验 1 的平均值,有一个数据增大,增幅为 1.14 倍,达到 3.887 MPa;其余数据均减小,最大减幅 0.46 倍,为 1.540 MPa。最小减幅 0.98 倍,为 3.339 MPa。平均减幅 0.628 倍,平均值为 2.140 MPa。

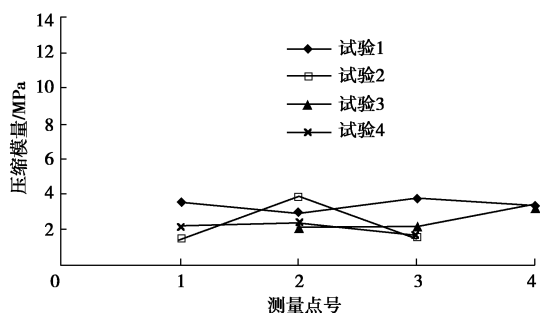


图 25 4 个工况下各测量点压缩模量分布图

Fig. 25 Distribution of compressibility modulus under four experiment conditions

但从整体来看,回淤起到的主要作用还是减小了

基础层压缩模量。取平均值来评价回淤的定量影响,得到回淤条件下基础层压缩模量为同等没有回淤的 0.69 倍,实际参考取值为 2.335 MPa。即回淤条件下基础层沉降是没有回淤的 1.46 倍。

从试验数据可以看出,海底沉管隧道基础层的压缩模量几乎与淤泥质土的压缩模量相当,表明沉管隧道基础层的压缩性能甚至比基础底部的原状地基土还要差,在隧道荷载作用下基础层将产生较大的压缩变形。这与邵俊江^[4]的观点是一致的。

通过对沈家门港沉管隧道实测沉降数据分析,其中 E2 和 E3 管段由于受接头影响,沉降数据差异性较大,不具备代表性。因此选用不受接头影响的 E1 管段来进行计算分析,该管段两端均为半柔半刚性接头。得到 E1 管段的基础层厚度 H 为 1 m、平均沉降 S 为 24.33 mm、平均施工荷载 P 为 45.95 kPa^[19]。采用公式 $E_s=PH/S$ 计算得到土体的实际压缩模量 E_s 为 1.89 MPa,与本文试验结果 (2.335 MPa) 比较接近,因此本文的试验结果具有一定的可靠性。

2.3 工程建议

本文研究表明:回淤的存在能放大基础层压缩的不均匀性,回淤浓度越高造成影响越大;对基础层本身压缩模量能造成平均 0.69 倍的减幅,实际压缩模量仅为 2.335 MPa 左右。其作用机理为通过促进砂层和碎石层的交错重叠来增加压缩量。

基于以上研究成果,对工程沉降控制提出以下建议:①应及时清淤,尽量减少回淤的存在。最好能够在清淤后,做好减少回淤的保护措施,及时完成后续施工;②对于回淤情况比较严重的海河流域,最好避免使用灌砂、注砂法做基础层处理,采用注浆或者桩基础能更好的削弱回淤影响;③对存在回淤地区采用灌砂、注砂法施工的工程,应尽量减少管节接头和端部的回淤,避免隧道出现较大的不均匀沉降;④由于水下施工存在浮力作用,导致碎石层难以密实和平整,压缩性较大。建议条件允许的情况下可以采用夯实处理。

3 结 论

(1)回淤条件下沉管隧道基础层压缩模量局部被增强,大部分被削弱。无回淤条件砂石基础层压缩模量为 3.405 MPa,有回淤条件下基础层压缩模量约为无回淤条件的 0.69 倍,仅为 2.335 MPa。

(2)回淤起到了类似润滑剂的作用,会促进砂层和碎石层的交错重叠。回淤的存在增加了砂石垫层的整体塑性,会延长基础层压缩的持续时间,增加基础层的压缩量,减小基础层的压缩模量,扩大基础层压

缩的不均匀性。

(3)回淤量的多少对基础层压缩的延长时间影响不大。但回淤量越大,扩大的压缩不均匀性越大,且少量回淤就能对不均匀性产生明显影响。

(4)在回淤比较严重的地区应尽量避免采用压砂、灌砂法处理基础层。若采用,则应当注意清淤,特别是管节接头和端部附近的清淤。

参考文献:

- [1] GRANTZ W C. Immersed tunnel settlements Part 2: case histories[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2001, 16(3): 203 - 210.
- [2] 魏 纲, 裘慧杰, 魏新江. 沉管隧道施工期间与工后长期沉降的数据分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(增刊2): 3413 - 3420. (WEI Gang, QIU Hui-jie, WEI Xin-jiang. Analysis of construction and post-construction settlement data caused by immersed tunnel[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32(S2): 3413 - 3420. (in Chinese))
- [3] 邵俊江, 李永盛. 沉管隧道沉降问题分析[J]. 浙江交通科技, 2005(2): 41 - 43. (SHAO Jun-jiang, LI Yong-sheng. Analysis of immersed tunnel settlement[J]. Journal of Zhejiang Transportation Science and Technology, 2005(2): 41 - 43. (in Chinese))
- [4] 邵俊江. 沉管隧道的沉降预测及其控制研究[D]. 上海: 同济大学, 2003. (SHAO Jun-jiang. Study on prediction and control for settlements of immersed tunnel[D]. Shanghai: Tongji University, 2003. (in Chinese))
- [5] 潘永仁, 彭 俊, NAOTAKE Saito. 上海外环沉管隧道管段基础压砂法施工技术[J]. 现代隧道技术, 2004, 41(1): 41 - 45. (PAN Yong-ren, PENG Jun, NAOTAKE Saito. Technology of sand injection for the foundation of immersed tube elements on the external ring of Shanghai[J]. Modern Tunnelling Technology, 2004, 41(1): 41 - 45. (in Chinese))
- [6] 黎志均. 珠江隧道工程基础灌砂模型试验[J]. 华南港工, 1996(1): 49 - 52. (LI Zhi-jun. Model test of sand filled foundation for under water tunnel crossing pearl river[J]. South China Harbor Engineering, 1996(1): 49 - 52. (in Chinese))
- [7] 黎志均. 珠江隧道工程基础灌砂试验研究[J]. 中国港湾建设, 2001(1): 18 - 20. (LI Zhi-jun. Study and research of sand filled foundation for under water tunnel crossing pearl river[J]. China Harbor Engineering, 2001(1): 18 - 20. (in Chinese))
- [8] 陈韶章, 陈 越, 张 弥. 沉管隧道设计与施工[M]. 北京: 科学出版社, 2002. (CHEN Shao-zhang, CHEN Yue, ZHANG Mi. Immersed tube tunnel design and construction[M]. Beijing: Science Press, 2002. (in Chinese))
- [9] 郑爱元, 谭忠盛, 李治国. 沉管隧道基础灌砂模拟试验[J]. 中国工程科学, 2009(7): 81 - 85. (ZHENG Ai-yuan, TAN Zhong-sheng, LI Zhi-guo. Simulation experiment of pumped sand on immersed tunnel[J]. Engineering Science, 2009(7): 81 - 85. (in Chinese))
- [10] 吴鸿军, 李治国, 程晓明. 沉管隧道基础灌砂模拟试验[J]. 西部探矿工程, 2009(6): 155 - 157. (WU Hong-jun, LI Zhi-guo, CHENG Xiao-ming. Simulation experiment of pumped sand on immersed tunnel[J]. West-China Exploration Engineering, 2009(6): 155 - 157. (in Chinese))
- [11] 王光辉, 李治国, 程晓明, 等. 生物岛-大学城沉管隧道灌砂试验及结果分析[J]. 隧道建设, 2009(2): 176 - 180. (WANG Guang-hui, LI Zhi-guo, CHENG Xiao-ming, et al. Sand flowing experiment and experiment result analysis: case study on Shengwudao-Daxuecheng immersed tunnel[J]. Tunnel Construction, 2009(2): 176 - 180. (in Chinese))
- [12] 袁伟耀. 变截面沉管隧道基础处理物理模拟试验研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010. (YUAN Wei-yao. Research on variational section immersed tunnel foundation treatment model experiment[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010. (in Chinese))
- [13] 莫海鸿, 房营光, 黎 伟, 等. 砂流法处理沉管隧道地基的模型试验方法[J]. 广东土木与建筑, 2011(3): 14 - 17. (MO Hai-hong, FANG Ying-guang, LI Wei, et al. Model test method for the foundation of immersed tunnel tube treated by sand flow method[J]. Guangdong Architecture Civil Engineering, 2011(3): 14 - 17. (in Chinese))
- [14] 莫海鸿, 黎 伟, 房营光, 等. 沉管隧道底板面材质对砂流法地基影响的模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(7): 1452 - 1461. (MO Hai-hong, LI Wei, FANG Ying-guang, et al. Model experimental research on effect of material of immersed tunnel bottom surface on foundation formed by sand flow method[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(7): 1452 - 1461. (in Chinese))
- [15] 房营光, 黎 伟, 莫海鸿, 等. 沉管隧道地面砂流法处理的砂盘扩展规律试验与分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(1): 206 - 216. (FANG Ying-guang, LI Wei, MO Hai-hong, et al. Experiment and analysis of law of sand deposit expansion in foundation of immersed tube tunnel

- treated by sand flow method[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, **31**(1): 206 - 216. (in Chinese))
- [16] 沈永芳. 沉管隧道基础注浆效果等比例模型试验研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2012. (SHENG Yong-fang. Research on the same scale model test and evaluation of foundation grouting effect in the immersed tube tunnel[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2012. (in Chinese))
- [17] 宋光猛. 沉管隧道基础注浆效果模型试验研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2012. (SONG Guang-meng. Research on the model test and evaluation of foundation grouting effect in the immersed tube tunnel[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2012. (in Chinese))
- [18] 宁茂权. 沈家门港海底沉管隧道设计介绍[J]. 现代隧道技术, 2008, **45**(6): 61 - 69. (NING Mao-quan. Design of shenjiamengang undersea immersed tube tunnel[J]. Modern Tunnelling Technology, 2008, **45**(6): 61 - 69. (in Chinese))
- [19] 魏 纲, 朱昕光, 苏勤卫. 沉管隧道竖向不均匀沉降的计算方法及分布研究[J]. 现代隧道技术, 2013, **50**(6): 58 - 65. (WEI Gang, ZHU Xin-guang, SU Qin-wei. Calculation and distribution of vertical differential settlement induced by immersed tunnel[J]. Modern Tunnelling Technology, 2013, **50**(6): 58 - 65. (in Chinese))

第八届全国基坑工程研讨会 (第二号通知)

由中国建筑学会建筑施工分会基坑工程专业委员会和武汉土木建筑学会联合主办的“第八届全国基坑工程研讨会”将于 2014 年 11 月在湖北省武汉市召开。

会议主题: ①基坑工程设计理论与实践及其新进展; ②基坑工程施工和监测领域的新技术、新工法和新设备; ③基坑工程中的地下水问题及控制技术; ④基坑施工对周围环境的影响评估与控制技术; ⑤地铁深基坑工程中的设计、施工与监测技术; ⑥深厚软弱土层地区基坑设计与施工的关键技术; ⑦黄土、膨胀土地区基坑设计与施工的关键技术; ⑧超深基坑工程的设计、施工与监测的关键技术; ⑨基坑工程领域的信息化技术及其应用; ⑩重、大、特基坑工程的典型案例和基坑工程事故分析; ⑪基坑工程的风险分析、安全评估及管理。

对经学术委员会评审合格的论文将以《岩土工程学报》、《岩石力学与工程学报》和《岩土力学》等增刊形式出版。

论文录用通知及修改通知将在 2014 年 7 月 10 日前通知作者。

作者根据修改意见和被录用的期刊排版要求定稿, 于 2014 年 7 月 30 日前将修改稿和修改说明电子版发到会议秘书处, 同时要求寄送打印件一份至会议秘书处。

欢迎同行在本次会议上做主题报告、论文交流发言, 并敬请在 9 月 20 日前与会务组秘书处联系。

地 址: 湖北省武汉市江岸区台北路 106 号 707 室(武汉勘察设计大厦)(430015), 电话: 陈青 027-85730029, 15607102669, 赵琳 13986289363, 027-85730738(传真), E-mail: jikenghy2014@qq.com. QQ: 1971127665。

(大会组委会 供稿)