

# 沉管隧道最终接头基床稳定性试验研究

马宗豪, 韩小锐

(中交一航局第二工程有限公司, 山东 青岛 266001)

**摘要:** 最终接头是沉管隧道安装的最后一节, 其单位荷载不同于以往管节, 沉降问题尤为关键。以港珠澳大桥沉管隧道最终接头施工为例, 开展了基床稳定性试验, 得到了不同厚度基床条件下荷载与沉降的相关参数, 对最终接头沉降量控制有重要的指导意义。

**关键词:** 沉管隧道; 最终接头; 基床稳定性; 沉降

中图分类号: U459.5 文献标志码: A 文章编号: 2095-7874(2018)09-0035-03

doi: 10.7640/zggwjs201809008

## Experimental study on bedding stability of the final joint in immersed tube tunnel

MA Zong-hao, HAN Xiao-rui

(No.2 Engineering Co., Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266001, China)

**Abstract:** The final joint is the last segment of the installation of immersed tube tunnels, its unit load is different from the previous section, so the settlement problem is particularly critical. Taking the construction of the final joint of immersed tube tunnel in Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge as an example, we conducted the stability experiment of bedding for getting the related parameters between the settlement and the load under different bedding thickness. The data from the experiment has the important directive to the settlement control of the final joint.

**Key words:** immersed tunnel; final joint; bedding stability; settlement

### 1 工程概况

沉管隧道最终接头安装后对基床施加较大的荷载, 碎石基床会产生一定的沉降, 对隧道线形以及最终接头安装协调性和止水等都有直接的影响。为获得最终接头着床后碎石基床沉降及变形情况, 进行了碎石基床稳定性验证试验。

港珠澳大桥沉管隧道最终接头碎石基床共包括 3 条碎石垄, 基床宽 42.95 m, 采用横向垄结构, 垄顶宽 1.7 m, 垄沟宽 0.55 m, 垄中心距 2.25 m, 基床厚度为 1.3 m。

### 2 试验方案设计

#### 2.1 试验材料

碎石级配与实际施工相同, 采用能够自由散

落且未受污染、干净、耐久性良好、级配良好的碎石, 碎石含泥量严格控制, 不大于 2%, 石料饱和单轴极限抗压强度不低于 50 MPa, 碎石材料粒径及级配满足表 1 的要求<sup>[1-2]</sup>。

表 1 碎石粒径及级配指标

Table 1 Particle size and gradation index for gravel

| 筛分粒径/mm | 筛分通过率(干重)/% |
|---------|-------------|
| 63.00   | 100         |
| 31.50   | 20~35       |
| 2.36    | <8          |

#### 2.2 试验装置和方法

##### 2.2.1 场地选择和设备

选择条件合适的试验场地, 场地长 40 m, 宽 30 m, 开山体基础, 上部硬化混凝土路面。采用 50 t 吊机进行结构吊装。

收稿日期: 2017-08-03

作者简介: 马宗豪 (1983—), 男, 山东烟台人, 硕士, 工程师, 从事港口与航道工程。E-mail: 76360738@qq.com

### 2.2.2 基床整平

碎石基床按照 1.3 m、1.5 m、1.7 m 三种厚度进行铺设, 各为两条碎石垄, 垄长 9 m, 垄顶宽 1.7 m, 垄沟宽 0.55 m, 四周侧限碎石厚度为基床厚度的 2/3, 分别为 0.86 m、1 m、1.13 m, 侧限碎石肩宽为 1.5 m, 坡比为 1:1.5。

试验碎石基床采用人工整平工艺铺设。先铺设 1.0 m、1.2 m、1.4 m 厚碎石, 然后安置导轨, 导轨设置在第 1 条和第 2 条碎石垄中心处, 导轨间距 2.2 m。导轨按设计高程安置好后采用刮道铺设 0.3 m 碎石垄, 整平完成后导轨拆除。碎石基床铺设效果如图 1 所示。

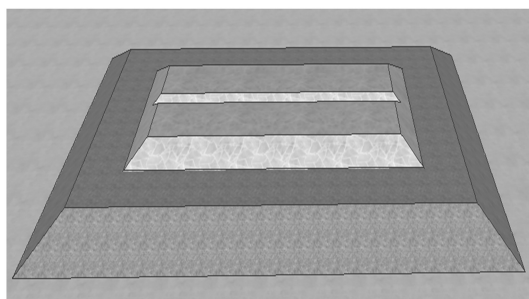


图 1 碎石基床铺设效果图

Fig. 1 Laying effect diagram of rubble bedding

### 2.2.3 加载底板制作及测量装置布设

加载底板采用钢柱焊接而成, 加载底板平面尺寸采用 4.95 m×5 m, 底板总重量为 8 t。加载底板的 4 个角点安装 4 个沉降监测点, 每个测点用角钢与钢片组合焊接。试验期间选择测点安装百分表, 对沉降监测数据进行验证。每一层压载物放置完成后, 均用水准仪测量 4 个点的沉降值。

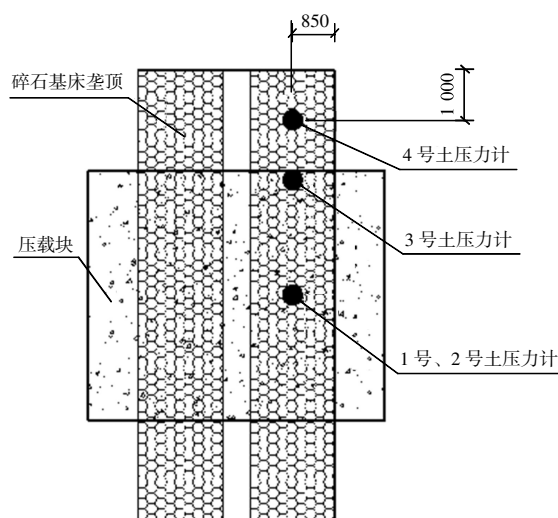
碎石基床垫层压力监测采用振弦式土压力计, 碎石垫层中布置 4 支土压力计, 1 号、2 号测点布置于垄顶压载区域中间位置, 3 号布置于压载区域边缘, 4 号布置于压载区域外部。测点位置如图 2 所示。每次荷载变化时记录工况, 并采集一次土压力计读数。

### 2.2.4 压载块加载

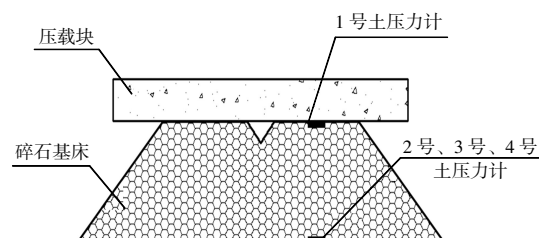
底板上部的压载块分为 3 层, 第 1 层载荷约 60 t, 第 2 层载荷约 70 t, 第 3 层载荷约 60 t。每一层载荷加完后逐点进行沉降观测, 直至沉降稳定后进入下一层加载<sup>[3-4]</sup>。

## 3 碎石基床稳定性分析

碎石基床按照 1.3 m、1.5 m、1.7 m 三种厚度进行铺设为 1 个组, 为使试验更准确, 排除偶然



(a) 平面图



(b) 剖面图

图 2 土压力盒布置图

Fig. 2 Layout of soil pressure cell

因素影响, 共铺设 3 组。在每层荷载进行压载后, 每隔 10 min 进行一次沉降观测, 共观测 4 次 (40 min) 并记录其沉降量。

根据试验得出的数据对碎石基床的沉降速度、沉降值和基床压力传递等进行分析。

### 3.1 基床沉降速度与沉降量分析

通过试验收集的数据, 分别以每组压载试验时间和沉降量大小为轴做折线图如图 3 所示。

由图 3 可看出, 每层荷载施加完成后 30~40 min 沉降基本达到稳定, 沉降速度较快, 主要集中在 10~20 min 内, 沉降量在 10~20 mm 范围内。在每组沉降试验中可以看出, 在厚度 1.3~1.7 m 范围内, 基床厚度与沉降量无显著对应关系, 基床累计沉降量范围为 25~40 mm。

### 3.2 基床荷载分析

在每层荷载加载后, 监测每个压力计数值并记录。各点所测得压力值, 在每组压力监测中各点的受力变化相似, 取第 2 组压力监测值并分析, 如图 4 所示<sup>[5]</sup>。

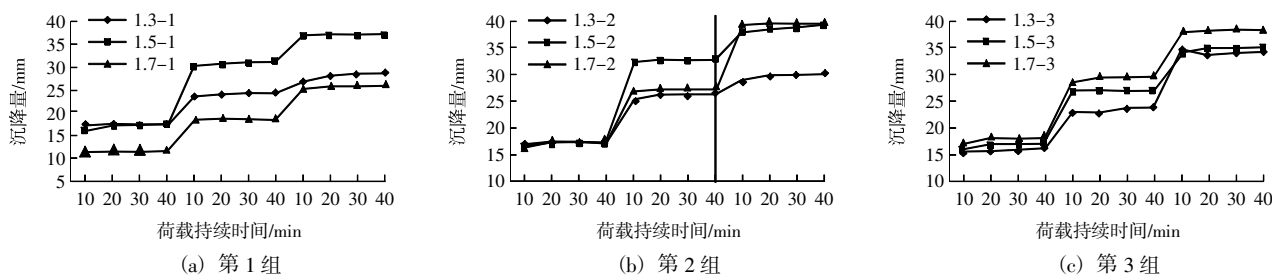


图3 压载试验沉降监测

Fig. 3 Settlement monitoring of loading experience

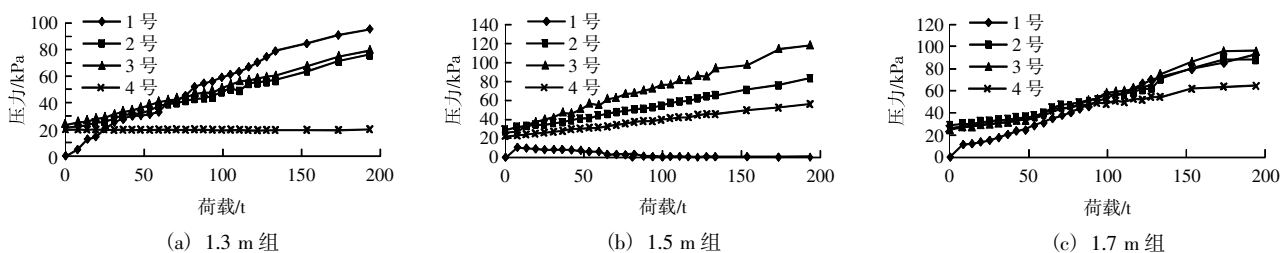


图4 土压力计监测结果

Fig. 4 Monitoring results of soil pressure cell

可以看出, 试验期间土压力盒监测到最大压力值为厚度 1.5 m 的第 2 组试验中 3 号测点 118.4 kPa。设定碎石应力扩散角为  $38^\circ$ , 碎石垫层重度为  $16\ 000\ \text{N/m}^3$ , 计算最终加载至 199 t 时, 厚度 1.3 m 基床底面应力为 68.6 kPa, 厚度 1.5 m 基床底面应力为 66.4 kPa, 厚度 1.7 m 基床底面应力为 66.5 kPa。在厚度 1.3 m 基床试验中, 底面应力扩散范围约为 1 m, 因此 4 号测点没有监测到压力随加载变化的影响<sup>[6]</sup>。

#### 4 结语

通过最终接头碎石基床稳定性试验, 对监测数据进行对比分析。

1) 在每层加载后, 10~20 min 出现瞬时沉降, 在 30~40 min 范围内基床沉降基本结束, 且较大沉降过程均集中在前 20 min 内。

2) 根据沉降监测数据, 基床厚度为 1.3 m、1.5 m、1.7 m 的加载试验中, 3 种基床的最终沉降量与基床厚度无显著的关联性规律。

3) 最终加载完成后, 监测到最大压力值达到 118.4 kPa, 与理论计算值 116.47 kPa 相近, 监测精度达到预期效果。对比不同厚度基床加载试验中 4 号监测点的压力值, 可知碎石应力扩散范围约为  $38^\circ$ , 厚度为 1.3 m 的基床地面应力扩散范围约为 1 m。

通过最终接头碎石基床稳定性试验, 得到了

基床加载与碎石基床的沉降量、沉降速度等参数的对应关系及规律, 对后续类似工程具有重要的借鉴意义。

#### 参考文献:

- [1] 张建军, 尚乾坤. 沉管安装碎石回填质量控制[J]. 中国港湾建设, 2015, 35(7): 113-115.  
ZHANG Jian-jun, SHANG Qian-kun. Quality control of gravel backfill for immersed tube installation[J]. China Harbour Engineering, 2015, 35(7): 113-115.
- [2] 姚楠. 高速铁路路基基床表层级配碎石施工技术[J]. 大众科技, 2014(6): 42-46.  
YAO Nan. Gravel construction technology of high-speed railway subgrade bed graded[J]. Popular Science & Technology, 2014(6): 42-46.
- [3] JTJ 221—98, 港口工程质量检验评定标准[S].  
JTJ 221—98, Standard of quality inspection and assessment for port engineering construction[S].
- [4] 港珠澳大桥管理局. 港珠澳大桥施工及质量验收标准[S]. 2013.  
Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge Authority. Construction and quality acceptance criteria for Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge[S]. 2013.
- [5] 卿三惠. 红层软岩地区高速铁路软基路堤沉降控制研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2007.  
QING San-hui. Study on settlement control of embankment and soft foundation of high-speed railway in red rock area[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2007.
- [6] 许俊超. 高速铁路软土地基沉降控制及路基结构动力分析[D]. 南京: 东南大学, 2006.  
XU Jun-chao. Settlement control of soft soil and dynamic analysis of high-speed[D]. Nanjing: Southeast University, 2006.