

大型钢吊箱封底混凝土与钢护筒共同作用研究

孙英学¹, 陈志坚¹, 冉昌国²

(1. 河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 中交第二公路勘察设计研究院, 湖北 武汉 430052)

摘要 通过监测钢护筒和混凝土的应变, 换算封底混凝土与钢护筒接触面的黏结强度, 同时观测封底混凝土与钢护筒的相对位移, 用于反演封底混凝土和钢护筒接触面的计算参数, 进而反馈于封底混凝土与钢护筒共同作用的三维数值模拟计算分析, 以获得封底混凝土与钢护筒接触面的平均极限摩擦强度. 试验结果表明, 在未浇注封底混凝土之前, 观测期间承台混凝土发挥的最大握裹力为 0.07 MPa. 数值模拟计算分析结果表明, 在线性阶段封底混凝土与钢护筒接触面的平均单位摩阻力可达到 0.28 MPa. 当平均单位摩阻力达到 0.37 MPa 时, 局部区域接触面达到屈服强度.

关键词 钢吊箱; 封底混凝土; 钢护筒; 监测

中图分类号: TU745 文献标识码: A 文章编号: 1000-198X(2005)05-0552-05

近年来, 长江下游河段的桥梁建设规模日趋增大, 其中斜拉桥的跨径已经突破千米, 居世界之最. 在江阔、水深、流急的条件下, 钢吊箱作为形成承台干施工环境的临时围水结构物, 同时作为承台混凝土浇筑的侧面模板, 其施工规模也是空前的, 封底施工难度很大^[1]. 采用超大型群桩基础的特大型桥梁建设的关键在于基础施工, 基础施工的关键在于基桩和承台施工, 承台施工的关键首先在于封底混凝土施工. 由于索塔桩基础的主体位于长江水面之下, 且承台体积巨大, 当排空钢吊箱内的江水时, 承台封底混凝土将承受巨大的浮力^[2,3], 而封底混凝土与钢护筒的接触面光滑, 因此, 封底混凝土与钢护筒的共同作用问题相当突出. 本文对该问题进行了研究.

1 监测方法及监测系统的建立

1.1 监测方法

封底混凝土与钢护筒共同作用的问题主要包括两方面: (a) 封底期间封底混凝土实际发挥的黏结强度问题; (b) 封底混凝土与钢护筒接触面的平均极限摩擦强度问题. 封底混凝土与钢护筒接触面的黏结强度可通过分别观测封底混凝土与钢护筒的应变进而换算获得. 同时采用静力水准测试技术观测封底混凝土与钢护筒的相对位移, 用于反演封底混凝土和钢护筒的计算参数, 进而反馈于封底混凝土与钢护筒共同作用的三维数值模拟计算分析, 以获得封底混凝土与钢护筒接触面的平均极限摩擦强度.

苏通大桥主 2[#] 墩钢吊箱^①侧壁壁体厚 1 m, 底厚 0.4 m. 钢吊箱内口长边 43.2 m, 短边 19.3 m; 外形长边 45.2 m, 短边 21.3 m, 底标高 -3.5 m, 顶标高 +3.0 m, 采用 1200 t 起吊船吊安. 封底混凝土标号 C35, 厚 1.5 m, 方量约 1001 m³, 封底一次浇注完成. 项目选择了 H7, H10, H13 这 3 根监测桩位, 其中 H7, H10 监测桩位各安装了 2 只表面应变计和 1 只混凝土应变计, 分别用于观测钢护筒和混凝土的应变, 同时安装了 4 点静力水准系统, 用于观测封底混凝土与钢护筒的相对位移. H13 监测桩位仅安装了 2 点静力水准系统. 监测桩位及仪器布置如图 1 所示.

1.2 钢护筒应变监测

采用振弦式表面应变计测试技术, 通过在钢护筒外表面焊接表面应变计, 监测钢护筒的应变, 仪器采用美国基康公司生产的 4000 型钢护筒表面应变计.

收稿日期: 2005-01-07

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(2002CB412707)

作者简介: 孙英学(1973—), 男, 山东烟台人, 讲师, 博士研究生, 主要从事工程安全监控方面的研究.

① 陈志坚, 孙英学, 李筱艳, 等. 苏通长江公路大桥主 2[#] 墩封底混凝土与钢护筒共同作用监测报告. 2004.

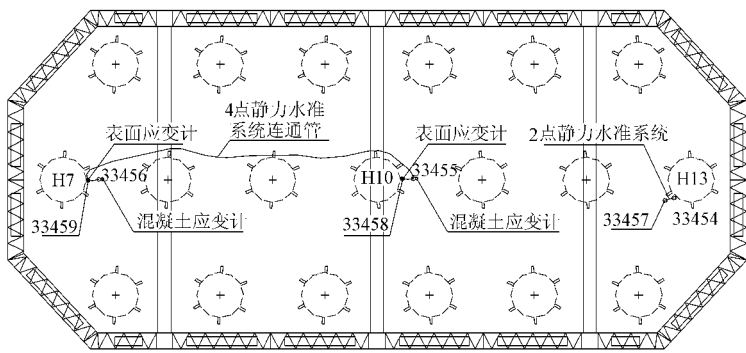


图 1 监测桩位及仪器平面布置

Fig.1 Arrangement of monitoring piles and instruments

监测点布置于主 2# 墩 H7 和 H10 监测桩(分别为边桩和中心部位的基桩),每根桩在封底混凝土段钢护筒表面布置 2 个观测断面,每个断面布置 1 个测点.2 个观测断面分别距离封底混凝土的顶、底面 20 cm. H7 监测桩安装于 - 3.3 m 高程断面的表面应变计编号为 77,安装于 - 2.2 m 高程断面的编号为 88.安装于 H10 监测桩 - 3.3 m 高程断面的表面应变计编号为 22,安装于 - 2.2 m 高程断面的编号为 44.鉴于钢护筒和钢吊箱均已施工完成,而表面应变计的水下焊接难以准确定位,故采用预先将表面应变计焊接在薄钢板上,再将安装有表面应变计的钢板在水下焊接于钢护筒上的埋设方法.

1.3 封底混凝土应变监测

采用振弦式混凝土应变计测试技术,通过在封底混凝土中预埋混凝土应变计,监测封底混凝土的应变,仪器采用美国基康公司生产的 4200 型混凝土应变计.监测点布置于钢护筒应变监测桩(H7 和 H10)外侧的封底混凝土中,每根桩的外侧布置 1 个测点,测点高程为 - 2.2 m.混凝土应变计预先固定在 1 根 $\varnothing 125$ mm 钢管(该钢管同时被作为静力水准点的引出桩)的底部,测点位置距钢管底部 1.3 m.在封底混凝土浇筑前将钢管沉放至钢吊箱底部,并用横向钢筋临时焊接固定于钢护筒上,以防止浇筑混凝土时钢管移位.

1.4 封底混凝土与钢护筒相对沉降监测

封底混凝土与钢护筒相对位移的观测采用静力水准测试技术,仪器采用美国基康公司生产的 GK 4675 静力水准系统.在 H7、H10、H13 监测桩各布置 1 对测点及 2 个静力水准仪,其中 1 个静力水准仪布置在监测桩相应的静力水准点引出钢管顶部,另 1 个布置在钢护筒表面(高程与静力水准点引出钢管顶部高程基本相同).安装于 H7、H10 监测桩的 4 个静力水准点的高程基本相同,连接为一个 4 点的封闭回路系统.安装于 H13 监测桩的 2 个监测点高程亦基本相同,连接为一个 2 点的封闭回路系统.安装于 H13 桩钢护筒表面和引出钢管顶部的静力水准点编号分别为 33454 和 33457, H7 桩、H10 桩 4 个静力水准点编号分别为 33459、33456、33458 和 33455.

2 监测成果分析

项目采用人工测读方式进行了 46 次钢护筒应变、混凝土应变、封底混凝土与钢护筒相对位移以及钢吊箱内外水位的联合观测,包含了钢吊箱整个抽水过程以及钢吊箱抽水结束后两个涨落潮过程.

2.1 钢护筒应变

对钢护筒应变监测结果进行分析,可以看出 (a)对比 H7 钢护筒 - 3.3 m 和 - 2.2 m 断面的应变观测结果,可以看出, - 3.3 m 断面测点应变比 - 2.2 m 断面测点要小,即靠近封底混凝土顶面的钢护筒应变要比靠近封底混凝土底面的大 (b)对比 H7 和 H10 钢护筒同一断面的应变观测结果,可以看出,中间桩钢护筒的应变比边桩钢护筒的大 (c)观测期间, H7、H10 监测桩测试段钢护筒基本处于拉伸状态 (d)单独分析 H7 钢护筒的应变可以看出,刚开始抽水阶段应变波动较大,随着时间的增长应变逐渐趋于稳定,并且测试段顶面和底面的应变逐渐一致 (e)观测阶段钢护筒的应变主要受浮力控制,表现为浮力减小,钢护筒的应变增大,浮力增大则钢护筒的应变减小.

2.2 封底混凝土应变

从封底混凝土顶面应变的监测结果来看,观测期间封底混凝土与钢护筒的应变规律是协调的,其应变也

表现出较大的波动特征,中间部位封底混凝土的应变比边桩部位的小。

2.3 封底混凝土与钢护筒的相对位移

从封底混凝土与钢护筒相对位移的监测结果可以看出 (a) 差异沉降的变化趋势与钢吊箱所受的浮力变化趋势基本吻合,浮力增大则差异沉降变大,浮力减小则差异沉降减小 (b) 即使在浮力持续下降阶段或持续增大阶段,差异沉降仍有波动,推测是水流的涡击震动引起的 (c) 边桩封底混凝土与钢护筒相对位移较中间桩大,H7、H13 监测桩封底混凝土与钢护筒相对位移分别达 4.0 mm 和 2.2 mm,而 H10 监测桩封底混凝土与钢护筒相对位移仅 0.36 mm (d) 中间部位封底混凝土的沉降比边桩小,呈现中间上凸的特点 (e) 封底混凝土相对钢护筒的垂向位移都以沉降为主,见表 2~5。

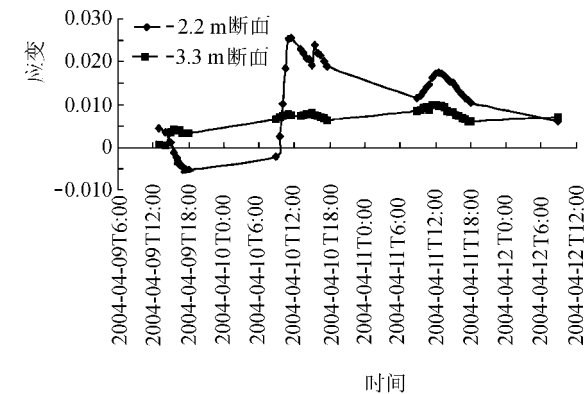


图 2 H7 钢护筒 -3.3 m、-2.2 m 断面应变变化曲线
g.2 Dynamic strain curves for sections -3.3 m and -2.2 m of steel pipe pile H7

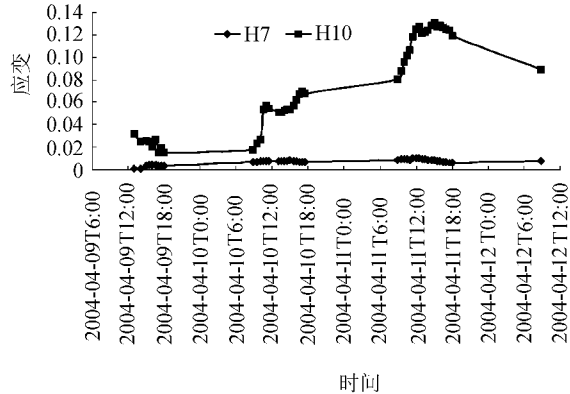


图 3 H7、H10 钢护筒 -3.3 m 断面应变变化曲线
Fig.3 Dynamic strain curves for section -3.3 m of steel pipe piles H7 and H10

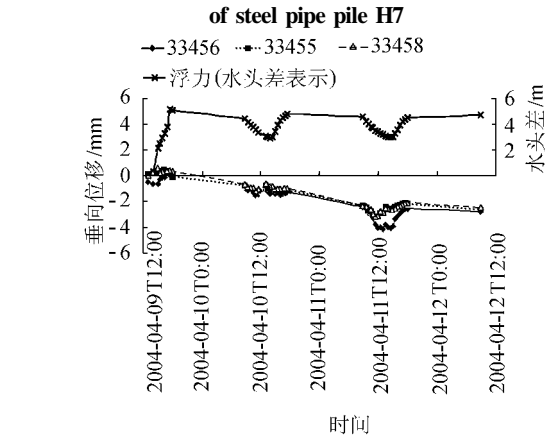


图 4 4 点静力水准系统相对垂向位移变化过程曲线 (以 33459 为参照点)
Fig.4 Dynamic curves of vertical displacement by 4-point static leveling system (refer to 33459)

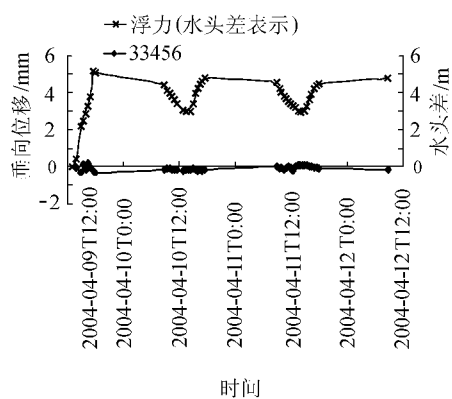


图 5 H13 静力水准点相对垂向位移变化过程曲线 (以 33454 为参照点)
Fig.5 Dynamic curves of vertical displacement of static leveling point H13 (refer to 33454)

3 封底混凝土与钢护筒共同作用的有限元分析

3.1 网格剖分

在承台封底混凝土摩阻力的计算分析中,综合考虑了钢吊箱、封底混凝土与钢管桩的相互作用。钢吊箱、封底混凝土与钢管桩采用实体单元模拟,其间设置无厚度古德曼单元。计算模型网格剖分如图 6 所示。共剖分单元 1940 个,结点 2929 个,其中接触面单元 342 个。

3.2 计算参数

钢管桩 $\rho_{\text{折算}} = 2581.6 \text{ kg/m}^3$, $E_{\text{折算}} = 0.26 \text{ TPa}$, $\mu_{\text{折算}} = 0.169$; 钢吊箱 $\rho_{\text{折算}} = 300 \text{ kg/m}^3$, $E = 0.20 \text{ TPa}$, $\mu = 0.25$; 封底混凝土 $\rho = 2449.0 \text{ kg/m}^3$, $E = 0.21 \text{ TPa}$, $\mu = 0.167$; 钢吊箱与钢护筒之间接触面参数 $\delta = 1^\circ$, $K_{rs} = 5$, $K_{sr} = 5$, $K_n = 0.10 \text{ TPa}$, $K_t = 5$, $R_f = 0.0$, $m = 0.0$, $c = 0$; 封底混凝土与钢护筒之间接触面参数 $\delta = 16.7^\circ$, $K_{rs} =$

100 , $K_{sf} = 100$, $K_n = 0.10$ TPa , $K_1 = 15\,000$, $R_f = 0.67$, $n = 0.01$, $c = 450$ kPa.



图 6 有限元网格剖分
Fig.6 Mesh for calculation

3.3 计算工况

计算模拟了 4 种工况 (a)封底混凝土浇筑完成并达到设计强度 ,钢吊箱外水位在高程 2.93 m (b)在工况(a)的基础上 ,抽空钢吊箱内的水 ,即内部水位降到高程 - 2.0 m ,钢吊箱外水位仍在高程 2.93 m (c)在工况(b)的基础上 ,钢吊箱内无水 ,钢吊箱外水位由高程 2.93 m 降到设计低水位 - 1.21 m (d)在工况(c)的基础上 ,钢吊箱内无水 ,钢吊箱外水位在低水位 - 1.21 m 情况下 ,在钢吊箱内模拟浇筑 4.0 m 厚的流态混凝土.

3.4 计算结果分析

各特征部位(图 7)封底混凝土的垂向位移特征如表 1 所示.

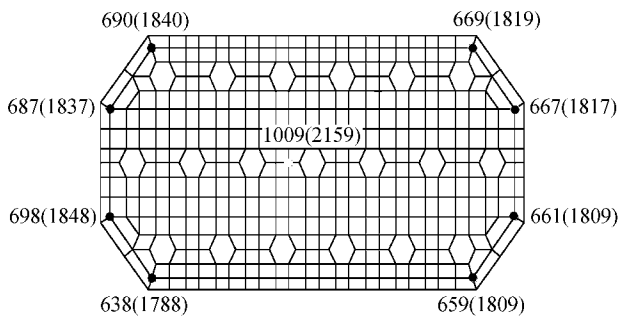


图 7 各特征部位对应结点编号示意图
Fig.7 Nodes of representative parts

部荷载 ,绘制计算过程中接触面单元最大位移与接触面总摩阻力的关系曲线 ,以推求极限摩阻力(见图 8).

在线性阶段 ,平均单位摩阻力可达到 0.28 MPa. 当平均单位摩阻力达到 0.37 MPa 时 ,局部区域接触面达到屈服强度 .从安全角度出发 ,建议封底混凝土平均极限单位摩阻力不宜超过 0.37 MPa.

4 结 论

综合封底混凝土与钢护筒共同作用的现场监测结果和三维数值模拟分析结果可知 ,封底混凝土在实测阶段处于弹性工作状态 ,模拟浇注第一层混凝土过程中封底混凝土也处于弹性工作状态^[4] .实测值与数值

表 1 封底混凝土上下表面特征点竖向位移值

Table 1 Vertical displacement of feature points on upper and lower surfaces of subsealing concrete

点位	结点号	位移值/mm			
		工况一	工况二	工况三	工况四
上表面角点	1788	- 0.63	0.53	- 0.45	- 4.48
	1809	- 0.63	0.53	- 0.45	- 4.48
	1811	- 0.66	0.50	- 0.46	- 4.49
	1817	- 0.66	0.50	- 0.46	- 4.49
	1819	- 0.63	0.53	- 0.45	- 4.48
	1840	- 0.63	0.53	- 0.45	- 4.48
	1837	- 0.62	0.53	- 0.44	- 4.45
	1848	- 0.66	0.50	- 0.46	- 4.49
顶面中点	2159	- 0.61	0.49	- 0.40	- 4.36
下表面角点	638	- 0.63	0.53	- 0.45	- 4.47
	659	- 0.63	0.53	- 0.45	- 4.47
	661	- 0.66	0.50	- 0.46	- 4.49
	667	- 0.66	0.50	- 0.46	- 4.49
	669	- 0.63	0.53	- 0.45	- 4.48
	690	- 0.63	0.53	- 0.45	- 4.48
	687	- 0.62	0.53	- 0.44	- 4.45
	698	- 0.66	0.50	- 0.46	- 4.49
顶面中点	1009	- 0.60	0.49	- 0.40	- 4.35

3.5 极限摩阻力计算研究

在完成工况(d)的基础上 ,通过不断增加上

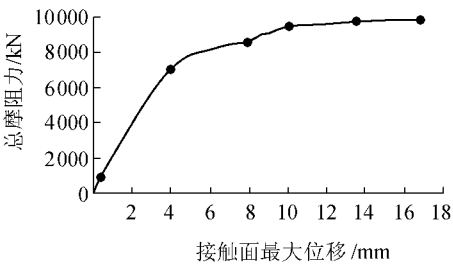


图 8 封底混凝土位移与摩阻力关系曲线
Fig.8 Relationship of displacement and frictional resistance of subsealing concrete

模拟的结论是吻合的.在未浇注封底混凝土之前,观测期间承点混凝土发挥的最大握裹力为 0.07 MPa.封底混凝土(C35)与钢护筒的平均极限摩擦强度建议取为 0.37 MPa.

参考文献:

- [1] 刘自明.桥梁深水基础[M].北京:人民交通出版社,2003.4—10.
- [2] 季祥辉.双壁吊箱钢围堰承台施工受力分析与安全评估[J].铁道建筑,2004(11):1—3.
- [3] 孙 徐伟.苏通大桥6号墩钢吊箱施工阶段有限元分析[J].施工技术,2005(1):12—14.
- [4] GB 50010—2002 混凝土结构设计规范[S].

Study on coaction of subsealing concrete and steel pipe pile for large steel suspension-box cofferdam

SUN Ying-xue¹, CHEN Zhi-jian¹, RAN Chang-guo²

(1. College of Civil Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. China Communications Second Highway Survey Design and Research Institute, Wuhan 430052, China)

Abstract The coaction of subsealing concrete and steel pipe pile is the key technology for design and construction of a large steel suspension-box cofferdam. The strain of steel pipe and subsealing concrete was converted into the bond strength of their contact surface in this test. By monitoring of the relative displacement of subsealing concrete and steel pipe, the calculation parameters of contact surface were back analyzed and then used for 3D numerical analysis of the coaction of subsealing concrete and steel pipe, so that the average ultimate frictional strength of the contact surface was educed. According to the monitoring results, the maximum bond strength of subsealing concrete was 0.07 MPa before placement of bearing subsealing concrete. The numerical analysis indicated that the average unit friction was 0.28 MPa at the elastic stage and the local contact surface came to yield when the average unit friction was 0.37 MPa.

Key words steel suspension-box cofferdam; subsealing concrete; steel pipe; monitoring

欢迎订阅《水利水电科技进展》

全国中文核心期刊 中国科技核心期刊

全国水利系统优秀期刊 华东地区优秀期刊 江苏省优秀期刊

(邮发代号 28-244, CN32-1439/TV, ISSN1006-7647, 双月刊)

《水利水电科技进展》主要刊登与水科学、水工程、水资源、水环境等学科有关的科技论文,辟有水问题论坛、研究探讨、工程技术、专题综述、国外动态、科技简讯等栏目,适合与水科学、水工程、水资源、水环境等有关的科学研究人员、工程技术人员、科技管理人员以及大专院校师生阅读。

《水利水电科技进展》由邮局发行,邮发代号:28-244,2006年全年每期定价8元6期共计48元.读者亦可直接向编辑部订阅.欢迎个人和单位直接汇款订阅或函索订单.编辑部地址:210098南京市西康路1号河海大学《水利水电科技进展》编辑部.联系电话:025-83786335, E-mail: jz@hhu.edu.cn, http://kkb.hhu.edu.cn. 汇款时务请注明“订水利水电科技进展”。