



# 深中通道桥梁下方填筑东人工岛的 变形控制关键技术研究

胡鹏, 唐一夫, 刘强

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

**摘要:** 深中通道项目东人工岛作为隧道与广深沿江高速桥梁的大型互通的基础, 其位置位于已建沿江高速桥梁的正下方。沿江高速共有41个桥墩位于岛内, 受到人工岛填筑施工影响。为保证沿江高速的正常运营, 在施工过程和人工岛完工后桥墩墩顶水平位移控制和竖向位移控制值均要求控制在5 mm以内。针对人工岛建设面临的桥梁变形控制难点, 人工岛设计方案中采取了加强岛壁结构基础、设置桥墩隔离保护桩、分区回填及地基处理、合理控制回填高差等关键措施, 采用岩土领域通用有限元分析软件midas GTS NX-2017, 分析人工岛填土过程和岛壁结构施工过程对桥台变形的影响, 并对桥梁沉降和位移进行了实时监测以指导施工, 最终顺利在沿江高速桥下形成东人工岛, 保证了深中通道的顺利建成和沿江高速的正常运营, 对其他工程建设具有一定借鉴意义。

**关键词:** 深中通道; 桥梁下方填筑人工岛; 变形控制; 关键技术

中图分类号: U61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)04-0236-09

## Key technologies for deformation control of the Eastern Artificial Island reclamation beneath a bridge in Shenzhen-Zhongshan Link project

HU Peng, TANG Yifu, LIU Qiang

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

**Abstract:** The East Artificial Island of the Shenzhen-Zhongshan Link serves as the foundation for the large interchange between the tunnel and the Guangzhou-Shenzhen coastal expressway bridge, and it is located directly beneath the existing coastal expressway. A total of 41 piers of the expressway are situated within the island and are affected by the construction of the artificial island filling. To ensure the normal operation of the coastal expressway, both the horizontal and vertical displacement control values at the pier tops must be maintained within 5 mm during construction and after the completion of the artificial island. In response to the challenges of bridge deformation control during the construction of the artificial island, key measures such as strengthening the foundation of the island-wall structure, setting up isolation protection piles for piers, backfilling in sections with proper foundation treatment, and reasonably controlling the backfill height difference are adopted in the design scheme of the artificial island. The geotechnical finite element analysis software midas GTS NX-2017 is used to analyze the influence of the island filling process and island wall structure construction of the artificial island on the deformation of the abutments. Real-time monitoring of bridge settlement and displacement is conducted to guide the construction process. These measures successfully facilitated the formation of the East Artificial Island under the coastal expressway bridge, ensuring the smooth completion of the Shenzhen-Zhongshan Link and the normal operation of the coastal expressway, which provides reference significance for other engineering constructions.

**Keywords:** Shenzhen-Zhongshan Link; artificial island reclamation beneath a bridge; deformation control; key technologies

收稿日期: 2025-07-11 录用日期: 2025-09-25

作者简介: 胡鹏(1979—), 高级工程师, 从事水工结构、平面设计工作。

深圳至中山跨江通道(简称“深中通道”)地处珠江中游核心区域,位于虎门大桥下游约30 km,距离港珠澳大桥上游约40 km,连接深圳经济特区和中山市、江门市。项目东接机荷高速,西至中山马鞍岛,与规划的中开、东部外环高速对接,项目全长约24 km,其中跨海段长约22.4 km。

深中通道项目集“超大跨海桥梁、大型人工岛、超宽超长海底隧道、水下枢纽互通立交”于一体,是继港珠澳大桥项目后世界上综合建设难度最高的跨海集群工程之一,为满足桥隧转换需要,共设置两座人工岛。西人工岛位于珠江口伶仃航道与矾石水道之间,水域开阔,建设环境相对较好,东人工岛位于深圳机场附近,已建广深沿江高速(简称“沿江高速”)正下方,建设环境复杂,技术挑战大,安全风险高<sup>[1-6]</sup>。

为避免东人工岛施工过程以及完成后对沿江高速的运营产生较大影响,在施工过程和人工岛完工后桥墩墩顶水平位移控制和竖向位移控制值均要求控制在5 mm以内。针对人工岛建设面临的桥梁变形控制难点,人工岛设计方案中采取了加强岛壁结构基础、设置桥墩隔离保护桩、分区回填及地基处理、合理控制回填高差等关键措施,并进行了数值模拟和现场实时监测,以指导现场施工,为桥梁下人工岛填筑控制桥梁变形积累了经验,旨在为其他工程建设提供一定的借鉴意义。

## 1 东人工岛平面布置

东人工岛的主要功能是实现主线隧道和桥梁以及各匝道隧道和桥梁之间的功能转化,因此岛型根据机场涡轮型互通的外轮廓确定。同时为了节约用海、尽量减少海域使用面积,人工岛外边线紧贴已建沿江高速,为工程实施带来了巨大的难度。

根据项目总体布置,东人工岛面积34.38万m<sup>2</sup>,岛壁长度3178 m,陆域使用高程4.9 m。东人工岛上新建8条匝道(包括桥梁、隧道两种结构形式)与已建沿江高速衔接,满足互通要求,沿江高速共有41个桥墩位于岛内,受到人工岛填筑施工

影响,东人工岛平面布置及与相邻工程关系见图1。

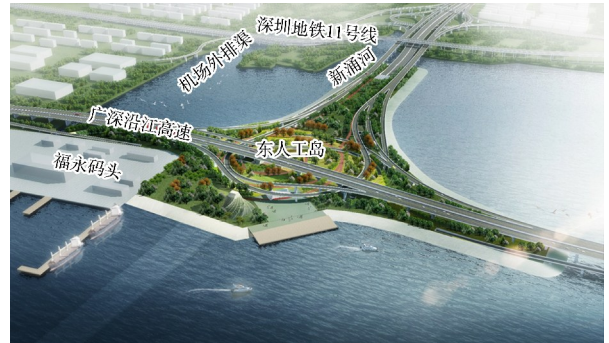


图1 东人工岛效果图

Fig. 1 Rendering of the East Artificial Island

## 2 人工岛填筑关键技术研究

### 2.1 加强岛壁结构基础

通过岛壁结构地质适应性、施工难度、工期、耐久性、使用期可维护性、防撞性能、造价等方面综合比选后,岛壁结构采用抛石斜坡式结构,远离沿江高速的岛壁结构基础,采用开挖换填法,靠近沿江高速的岛壁结构基础,采用水泥搅拌桩法进行加强处理,以防止开挖换填或岛壁回填施工过程中对沿江高速桥墩产生影响,分区范围见图2。

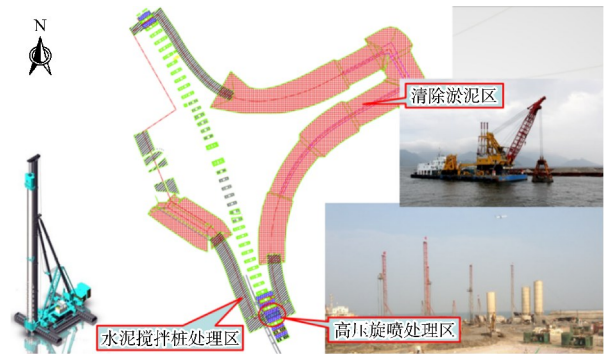


图2 岛壁结构基础分区处理图

Fig. 2 Zoning treatment of the island wall structure foundation

具体方案如下:

- 1) 沿江高速东西两侧,距离桥墩较远、具备开挖条件的区域,采用开挖换填方式进行处理,具有施工简便、造价低的优点。
- 2) 距离沿江高速较近,岛壁结构施工对沿江高速影响较大的区域,采用水泥搅拌桩处理软土

层加强基础刚度，使岛壁结构重力通过复合地基传递至深层硬土层，避免岛壁结构产生侧向挤压导致桥墩位移。水泥搅拌桩直径 0.55 m，正方形布置，桩距 1.0 m，置换率 24%，水泥用量经现场典型施工确定为 95 kg/m。

3) 岛壁结构在沿江高速两跨桥墩间(中心距仅 30 m)穿过，对桥墩结构形成较大的偏载作用，

为满足桥墩侧向位移不大于 5 mm 的控制要求，需对结构基础进一步加强。另一方面由于桥下作业空间有限，基础采用高压旋喷桩复合地基处理。高压旋喷桩直径 0.8 m，正方形布置，桩距 0.75 m，搭接宽度取 0.05 m，置换率提升至 89%，水泥用量经现场典型施工确定为 400 kg/m<sup>[7-8]</sup>。

近沿江高速的岛壁结构典型断面见图 3、4。

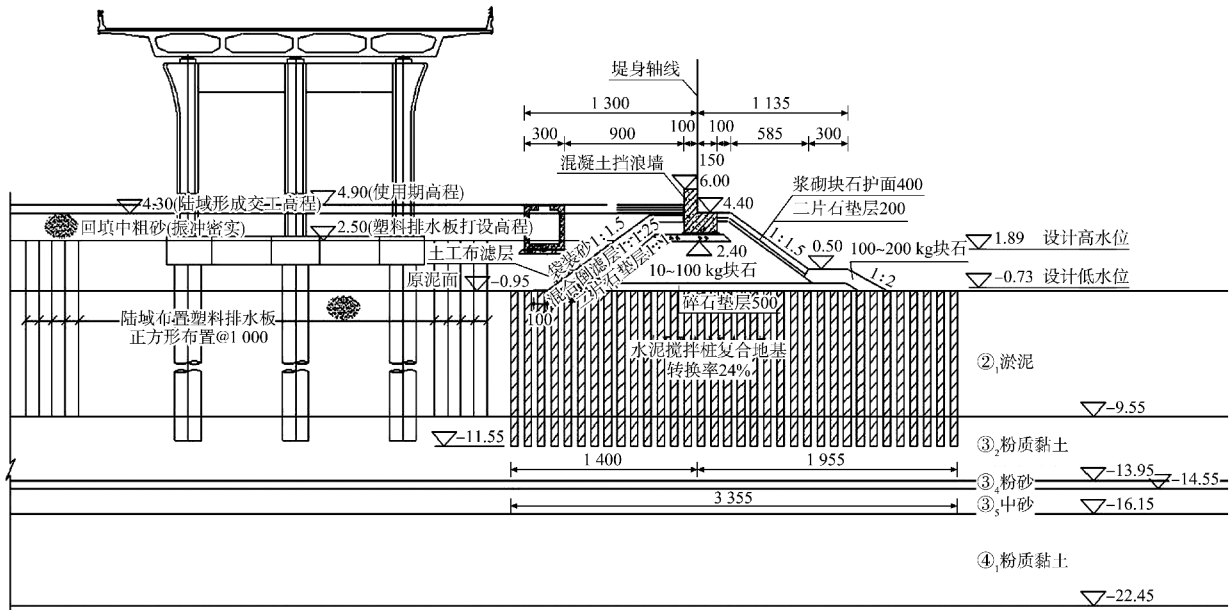


图 3 东人工岛近沿江高速的岛壁结构典型断面(尺寸:mm;高程:m)

Fig. 3 Typical cross-section of island wall structure of the east artificial island near the coastal expressway (dimension:mm;elevation:m)

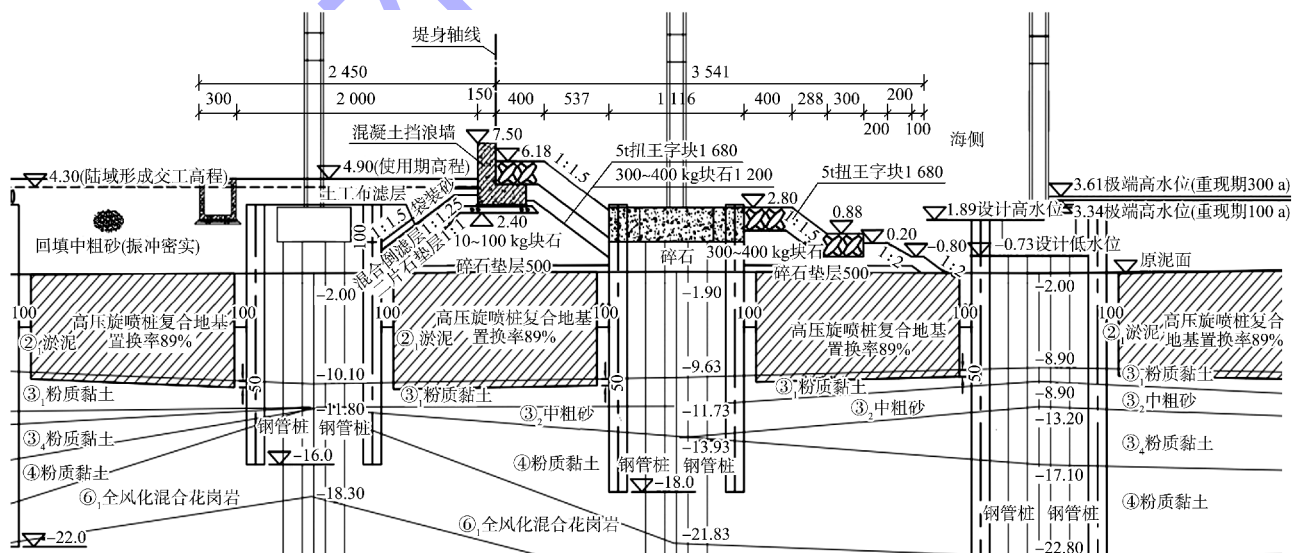


图 4 东人工岛沿江高速下岛壁结构典型断面(尺寸:mm;高程:m)

Fig. 4 Typical cross-section of island wall structure of the east artificial island under the coastal expressway (dimension:mm;elevation:m)

## 2.2 设置桥墩隔离保护桩

东人工岛回填范围内沿江高速长度约 1.1 km, 桥跨主要为 27~31 m, 局部为 60 m, 共有 41 个桥墩基础, 桥墩基础采用嵌岩灌注桩, 桩径分别为 1.6、2.5 m。

人工岛回填过程中对桥墩的影响主要包括两方面: 1) 桥墩周边的地基压缩沉降对桥墩桩基产生负摩擦, 会导致桩力加大, 桩基承载力不足时将产生桥墩沉降; 2) 回填过程中桥墩两侧的回填高差导致土压力不平衡, 产生侧向位移。

为预防这两方面的影响, 在桥墩四周设置了桥墩隔离保护桩, 见图 5。桩体采用钢板桩, 桩底穿透淤泥层进入下卧较硬土层, 内部设置横撑, 通过导梁、焊接板等与桩身连接形成整体。一方面通过钢板桩将桥墩下桩周土体与桥墩周边的土体进行物理隔离, 避免周边地基处理时的沉降对桥墩桩基产生负摩擦; 另一方面通过形成整体的钢板桩箱体承担回填过程中由于回填高差带来的侧向土压力, 降低桥墩桩基侧向位移。

同时, 为了减少打桩过程中的振动对桥墩产生不利影响, 钢板桩采用静压沉桩工艺。

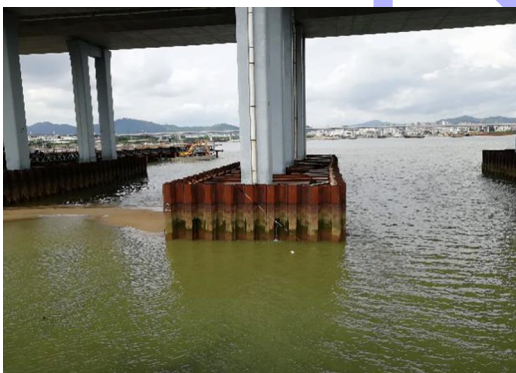


图 5 桥墩隔离保护桩

Fig. 5 Isolation protection piles for bridge piers

## 2.3 分区回填及地基处理

东人工岛陆域采用回填中粗砂形成, 回填过程中适时打设塑料排水板, 利用中粗砂自重力形成预压荷载对原地基中软弱土层进行堆载预压处理。

东人工岛回填砂工程量约 300 万  $\text{m}^3$ , 根据总体工期和回填区与桥墩的距离, 将场地划分为 3 个区, 分区进行回填, 见图 6。回填砂材料为海上运

输, 为避免倒运, 在护岸合龙前首先回填东侧区域, 回填坡脚线距离桥墩不小于 50 m, 以避免回填边坡对桥墩产生不利影响; 其次对桥下及两侧 40 m 区域进行回填, 回填顺序为从中心向两侧, 并精细控制回填高差, 以稳固桥墩基础; 最后进行剩余区域回填<sup>[9]</sup>。

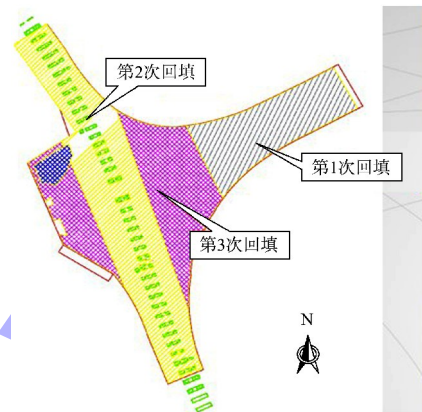


图 6 回填分区

Fig. 6 Backfilling zoning

## 2.4 合理控制回填高差

桥墩两侧回填高差过大或者回填加载过快会导致土体强度增长速率与上部荷载增加不协调, 引起边坡下地基软土侧向挤出, 影响桥墩的安全稳定。因此为控制回填过程的稳定和位移, 要求中粗砂顶高程 2.5 m 以下桥墩两侧回填高差不大于 1.0 m, 顶高程 2.5 m 以上回填高差不大于 0.5 m, 每级回填时间不少于 15 d, 回填后不少于 10 d 且监测数据满足设计要求后方可进行下一级回填施工。

## 3 变形分析计算

为了分析人工岛填土过程与岛壁结构施工过程对于桥墩变形的影响, 采用 midas GTS NX-2017 有限元分析软件对东人工岛施工过程进行了模拟计算<sup>[10-11]</sup>。

### 3.1 东人工岛岛内桥桩周围填土影响分析

#### 3.1.1 计算模型

模型土体参数由地勘报告提取, 地勘报告建议值见表 1, 桥梁结构部分混凝土材料弹性模量  $E_c = 30.0 \text{ GPa}$ , 维护结构钢材弹性模量  $E_s = 206 \text{ GPa}$ 。

表 1 人工回填模型土体参数  
Tab. 1 Soil parameters of artificial backfill model

土层	重力密度/( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ )	压缩模量/MPa	黏聚力/kPa	内摩擦角/( $^{\circ}$ )	模型
回填砂	18.0	30.0	5.0	36.2	摩尔库伦
淤泥	15.3	1.5	5.8	7.7	摩尔库伦
黏土	19.6	6.7	32.7	11.7	摩尔库伦
砂质黏土	18.7	9.6	17.1	27.1	摩尔库伦
中粗砂	20.2	10.0	31.4	22.9	摩尔库伦
全风化花岗岩	18.9	18.0	20.5	29.4	摩尔库伦
强风化花岗岩	25.0	67.2	5 000.0	36.0	摩尔库伦
中风化花岗岩	25.8	180.0	18 000.0	41.0	摩尔库伦

土体桥墩均采用实体单元建模，桩基及维护结构采用梁单元建模，并考虑桩基与土体之间的滑移与挤压，滑移刚度偏于保守按淤泥层取值为  $12.5 \text{ kN/m}^3$ 。模型平面内尺寸为  $100 \text{ m}\times 100 \text{ m}$ ，高度  $60.6 \text{ m}$ ，人工回填全过程建模情况见图 7。

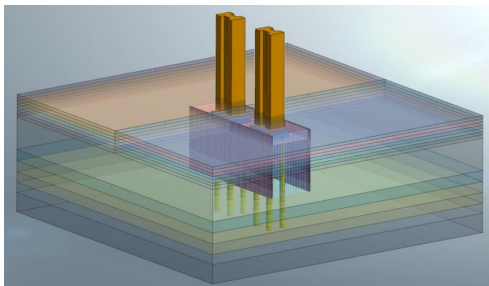


图 7 人工回填全过程模拟模型

Fig. 7 Simulation model of entire artificial backfill process

### 3.1.2 荷载与边界条件

根据沿江高速施工图，单根桩基设计荷载为  $713\sim 753 \text{ t}$ ，桩基荷载主要由承台传递而来，由于在模型中已经建立了实际的桥墩模型，依次将 4 根桩基的竖向合力直接加载在桥墩顶面，更好地模拟实际情况，人工回填荷载与边界建模情况见图 8。

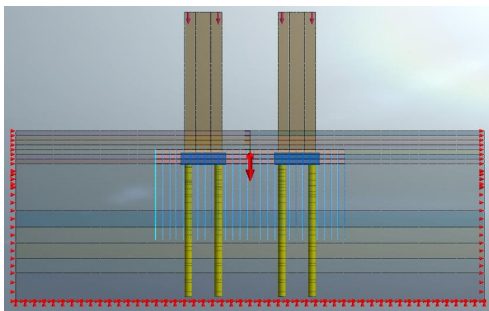


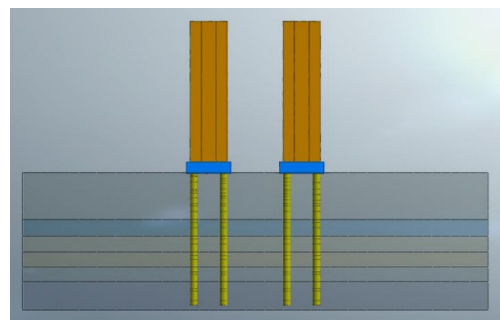
图 8 人工回填模型荷载与边界

Fig. 8 Loads and boundaries of the artificial backfill model

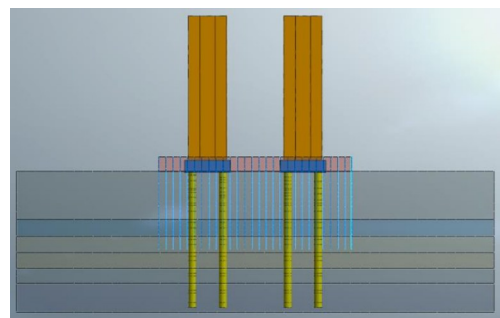
### 3.1.3 施工过程

施工过程一共分为 16 步，每步填砂厚度均为  $1.0 \text{ m}$ 。在填土模拟中，始终假设左侧填土先于右侧完成，以模拟土体可能发生的塑性破坏，获取回填完成后承台可能存在的永久变形。同时，两侧的填土进度与桥桩中心线的距离之差一直保持在  $25 \text{ m}$  以内，人工回填施工步骤建模情况见图 9。

由于桥桩顺桥向(南北向)和横桥向(东西向)桩布置存在差异，计算过程中也对顺桥向填土和横桥向填土进行了对比分析，计算结果显示横桥向填土对于控制桥墩位移更为有利。



a) Step1: 土体原始状态



b) Step2: 维护桩内填砂压实

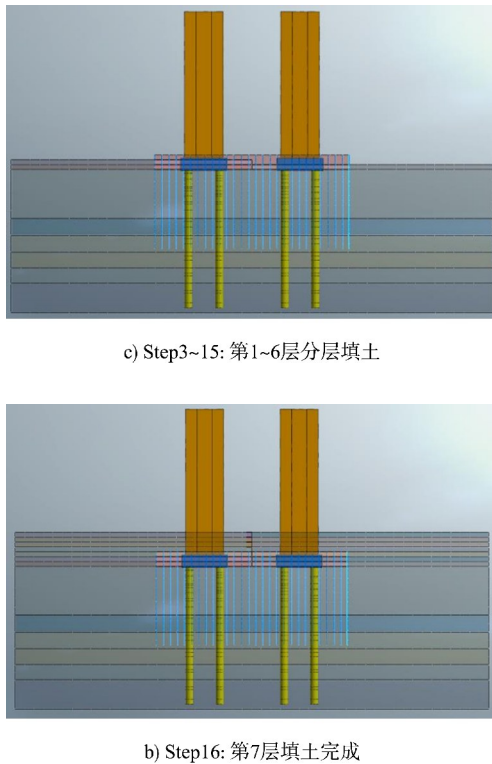


图 9 人工岛回填施工步骤

Fig. 9 Construction steps for the artificial island backfill

3.1.4 计算结果

桥墩变形的主要计算结果见表 2。

表 2 岛内回填过程桥墩及围护结构主要计算结果

Tab. 2 Main calculation results for piers and retaining structures during in-island backfill process

计算工况	承台最大水平变形/mm	桩基最大竖向变形/mm
Step1: 土体原始状态	0	0
Step2: 维护桩内填砂压实	0.1	-1.4
Step3~4: 第 1 层不均匀回填	2.9	-1.8
Step5~6: 第 2 层不均匀回填	3.1	-2.1
Step7~8: 第 3 层不均匀回填	3.3	-2.5
Step9~10: 第 4 层不均匀回填	3.4	-3.3
Step11~12: 第 5 层不均匀回填	3.6	-4.1
Step13~14: 第 6 层不均匀回填	3.8	-4.7
Step15~16: 第 7 层不均匀回填	4.0	-4.9

表 3 人工岛岛壁模型复合地基土体参数

Tab. 3 Soil parameters of composite foundation for artificial island-wall model

土层	重力密度/(kN·m <sup>-3</sup> )	压缩模量/MPa	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	泊松比	模型
淤泥(上)	15.3	100	70	28	0.30	摩尔库伦
淤泥(中)	15.3	54	42	21	0.34	摩尔库伦
淤泥(下)	15.3	36	27	15	0.36	摩尔库伦
黏土	19.6	13.4	65.4	23.4	0.30	摩尔库伦

在人工回填过程中,随着回填土厚度的不断增加,不均匀回填引起的桩基侧向变形越来越大,在回填第 1 层砂时,不均匀回填引起的承台水平变形计算值为 2.9 mm,到最后一层土体不均匀回填时,承台发生的水平变形计算最大值为 4.0 mm,小于水平侧向变形预警限值 5.0 mm,满足设计要求。但在实际施工中应尽量控制回填差,尤其在回填土层厚度超过 3 m 之后,应尽可能保证回填差不超过 0.5 m,且两侧回填进度不超过 25 m 的差距。

由于桥梁桩基均为端承桩,底部嵌岩,回填引起的土体侧压力和竖向压力对竖向变形影响较小,随着回填土层厚度的增加,桩基沉降略有增加,最终计算累积沉降计算值为 4.9 mm。

3.2 东人工岛南端岛壁填筑对邻近桥桩影响分析

3.2.1 计算模型

土体加固前,模型土体参数由地勘报告提取,地勘报告建议值见表 1,土体加固后,水泥土复合地基的参数如下,考虑到施工质量差异,将淤泥层分为 3 层,参数见表 3。其他建模参数、荷载和边界条件见 3.1 节,人工岛南端岛壁结构施工全过程建模情况见图 10。

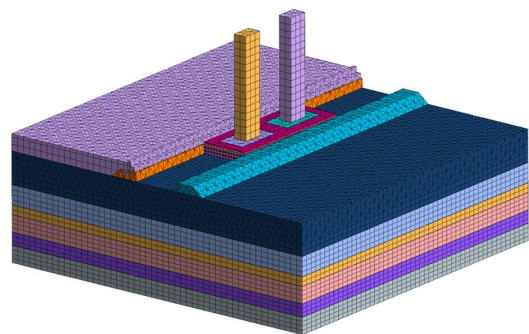


图 10 人工岛岛壁结构施工全过程模型

Fig. 10 Whole-process model of artificial island-wall structure construction

### 3.2.2 施工过程

施工过程一共分为6步，模拟人工岛岛壁结构施工全过程。假设左侧施工先于右侧施工，以

模拟施工不对称性可能引起的永久变形，人工岛岛壁结构施工过程建模情况见图11。

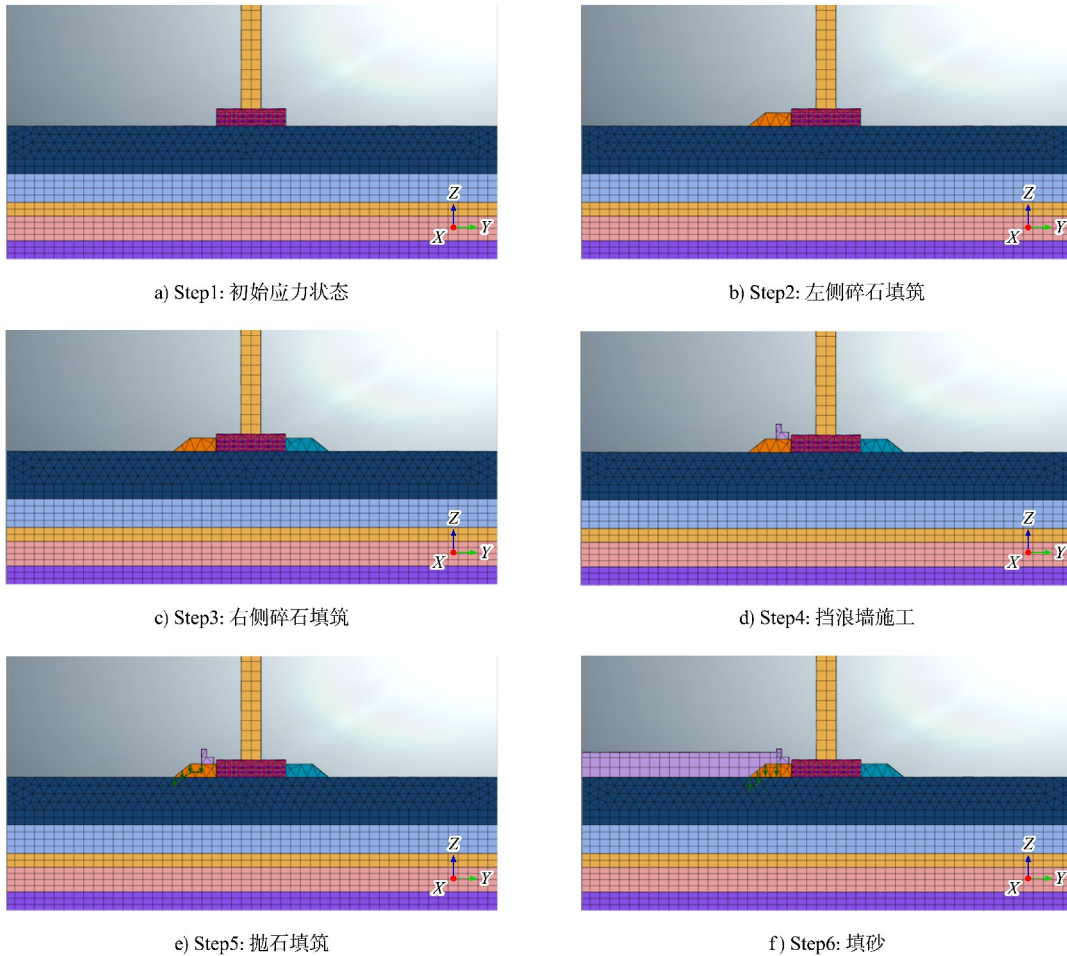


图 11 人工岛岛壁结构施工过程模拟  
Fig. 11 Simulation of construction process of artificial island-wall structure

### 3.2.3 计算结果

桥墩变形的主要计算结果见表4。

表 4 岛壁结构施工过程桥墩及围护结构主要计算结果  
Tab. 4 Main calculation results of piers and retaining structures during the island-wall structure construction process

计算工况	承台最大水平变形/mm	桩基最大竖向变形/mm
Step1: 土体原始状态	0	0
Step2: 左侧碎石填筑	-0.9	-0.5
Step3: 右侧碎石填筑	0.1	-1.1
Step4: 挡浪墙施工	-0.2	-1.3
Step5: 抛石体填筑	-0.2	-1.6
Step6: 岛壁结构后方填砂	4.5	-2.4

在桥下人工岛岛壁结构施工过程中，先填筑左侧碎石会引起承台较大的水平位移，达到了-0.9 mm，在右侧碎石填筑后，位移回到了0.1 mm；挡浪墙施工使水平位移稍有增大，达到了-0.2 mm，抛石填筑对水平位移影响不大，而填砂后，水平位移增大计算值到4.5 mm，小于水平侧向变形预警限值5.0 mm，满足设计要求。

### 4 实施效果

在东人工岛地基加固、陆域形成施工期间，须周期性对东岛陆域地基及周边环境进行观测，及时发现隐患，并根据监测成果相应地及时调整施工速率，并采取相应的措施，确保广深沿江高速桥梁的

正常使用以及东岛陆域填筑施工地基的稳定。

对影响范围内的桥墩采用自动化监测的方法进行观测, 竖向位移和水平位移采用智能全站仪自动化监测系统实时监测。在广深沿江高速桥墩立柱上布设竖向位移、水平位移监测点见图 12, 监测点共计 95 个<sup>[12]</sup>。



图 12 广深沿江高速桥墩竖向、水平位移监测点布置  
Fig. 12 Layout of vertical and horizontal displacement monitoring points for piers of the Guangzhou-Shenzhen coastal expressway

以 GSD51# 桥墩为岛内桥桩周围回填典型监测案例, 其监测结果见图 13。

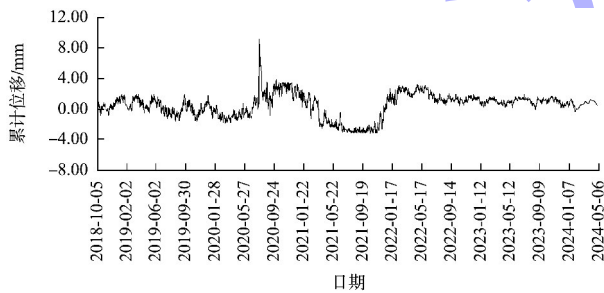


图 13 广深沿江高速桥墩水平位移(东西向) 累计值历时曲线

Fig. 13 Time-history curve of cumulative horizontal displacement (east-west direction) for piers of the Guangzhou-Shenzhen coastal expressway

东人工岛陆域填筑施工过程中, 50#、51# 墩附近位置淤泥较厚, 在 2020 年 7 月施工过程中填砂高度控制不够精细, 桥墩两侧存在不均匀荷载, 引起临近的 50#、51# 桥墩水平方向水平向产生了明显变形(期间 50# 桥墩南北向水平位移累计值最大为 8.4 mm, 东西向累计值最大 -1.4 mm; 51# 桥墩南北向累计最大 -17.8 mm, 东西向累计最大 9.2 mm), 后续施工单位在监测成果信息化

指导下, 采取在 51# 墩南侧反压砂袋、50#~51# 墩之间砂体卸载等措施, 使得 50#、51# 墩大部分变形得到明显恢复, 通过逐步纠正, 最终桥墩累计变形均控制在预警值以内, 确保了桥墩的安全。

以 GSD36# 桥墩为南端岛壁填筑对邻近桥桩影响的典型监测案例, 其监测结果见图 14。

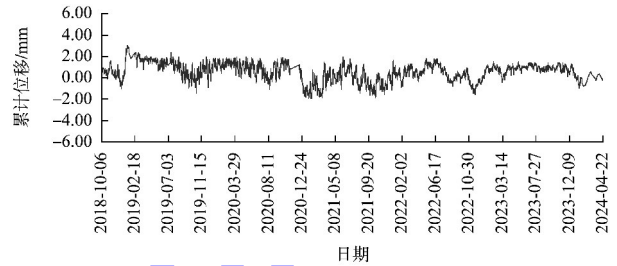


图 14 广深沿江高速桥墩水平位移(南北向) 累计值历时曲线  
Fig. 14 Time-history curve of cumulative horizontal displacement (north-south direction) for piers of the Guangzhou-Shenzhen coastal expressway

岛壁结构在桥下施工期间, 桥墩南北向产生不均匀回填, 累计最大南北向水平位移累计值最大为 3 mm, 满足桥墩的安全要求。

至监测工作结束, 广深沿江高速桥墩竖向位移累计值最大为 1.6 mm(位于 71# 桥墩), 南北向水平位移累计值最大为 1.7 mm(位于 65# 桥墩), 东西向水平位移累计值最大为 1.7 mm(位于 66# 桥墩), 均位于预警值范围内。

## 5 结语

1) 深中通道项目东人工岛作为隧道与广深沿江高速桥梁的大型互通的基础, 其位置位于已建沿江高速的正下方。在施工过程和人工岛完工后桥墩墩顶水平位移控制和竖向位移控制值均要求控制在 5 mm 以内, 因此必须采取工程措施保证沿江高速的正常运营。

2) 深中通道东人工岛建设过程中采取“加强岛壁结构基础、设置桥墩隔离保护桩、分区回填及地基处理、合理控制回填高差”的设计方案及关键措施, 能够将对桥墩基础的不利影响降低到要求范围内。

3) 通过数值模拟计算, 较好地模拟出了施工过程中桥墩的位移变化情况, 与监测结果一致性较

好。至工程结束,桥墩水平位移累计值为 1.7 mm,竖向位移累计值为 1.6 mm,顺利在沿江高速桥下形成东人工岛,保证了深中通道的顺利建成和沿江高速的正常运营,对其他工程建设具有一定借鉴意义。

#### 参考文献:

- [1] 中交水运规划设计院有限公司. 深圳至中山跨江通道初步设计[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2017. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd. Preliminary design on Shenzhen-Zhongshan Link [R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2017.
- [2] 中交水运规划设计院有限公司. 深圳至中山跨江通道施工图设计[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2017. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd. Construction drawing design on Shenzhen-Zhongshan Link [R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2017.
- [3] 徐国平, 黄清飞. 深圳至中山跨江通道工程总体设计[J]. 隧道建设(中英文), 2018, 38(4): 627-637. XU G P, HUANG Q F. General design of Shenzhen-Zhongshan River-crossing Link project [J]. Tunnel construction, 2018, 38(4): 627-637.
- [4] 徐峰俊, 张心凤, 杨莉玲. 深中通道工程防洪评价研究报告[R]. 广州: 珠江水利科学研究院, 2017. XU F J, ZHANG X F, YANG L L. Flood control assessment report of Shenzhen-Zhongshan Link [R]. Guangzhou: Pearl River Water Resources Research Institute, 2017.
- [5] 水运工程海上人工岛设计规范: JTS/T 179—2020[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2020. Design code for offshore artificial island of water transport engineering: JTS/T 179-2020[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2020.
- [6] 防波堤与护岸设计规范: JTS 154—2018[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018. Code of design for breakwaters and revetments: JTS 154-2018[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2018.
- [7] 龚晓南. 地基处理手册[M]. 3版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008. GONG X N. Foundation treatment manual [M]. 3rd ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008.
- [8] 李云超, 侯禹辰, 刘坤, 等. 海上旋喷桩施工移动作业平台研究应用[J]. 中国港湾建设, 2023, 43(7): 84-88, 99. LI Y C, HOU Y C, LIU K, et al. Research and application of mobile working platform for construction of offshore jet grouting piles [J]. China harbour engineering, 2023, 43(7): 84-88, 99.
- [9] 祝阿龙, 侯禹辰, 罗凤权, 等. 邻近既有桥梁的海域大面积筑岛填砂施工技术[J]. 水运工程, 2023(12): 165-170, 197. ZHU A L, HOU Y C, LUO F Q, et al. Construction technology of large-area island construction and sand filling in sea adjacent to existing bridges [J]. Port & waterway engineering, 2023(12): 165-170, 197.
- [10] 东南大学. 深中通道项目东人工岛和岛上隧道实施对沿江高速影响的安全性评价专题研究报告[R]. 南京: 东南大学, 2017. Southeast University. Special research report on safety evaluation of the impact of the East Artificial Island and island tunnel implementation on the coastal expressway in the Shenzhen-Zhongshan Link [R]. Nanjing: Southeast University, 2017.
- [11] 清华大学. 深中通道东人工岛施工对沿江高速影响研究[R]. 北京: 清华大学, 2018. Tsinghua University. Research on the impact of the construction of the East Artificial Island of the Shenzhen-Zhongshan Link on the coastal expressway [R]. Beijing: Tsinghua University, 2018.
- [12] 上海勘察设计研究院(集团)股份有限公司. 深圳至中山跨江通道项目岛隧、锚碇第三方施工监测总结报告(东人工岛施工监测)[R]. 上海: 上海勘察设计研究院(集团)股份有限公司, 2024. SGIDI Engineering Consulting (Group) Co., Ltd. Summary report of the third party construction monitoring of the island-tunnel and anchorages of the Shenzhen-Zhongshan Link (construction monitoring of the East Artificial Island) [R]. Shanghai: SGIDI Engineering Consulting (Group) Co., Ltd., 2024.

(本文编辑 赵娟)