

渠式切割装配式地下连续墙设计与施工技术

刘兴旺¹, 潘黎芳^{*2}, 李 瑛¹, 龚晓南³, 江正兵⁴, 张金红¹

(1. 浙江省建筑设计研究院, 浙江 杭州 310006; 2. 浙江理工大学, 浙江 杭州 310018; 3. 浙江大学 滨海和城市岩土工程研究中心, 浙江 杭州 310058; 4. 浙江吉通地空建筑科技有限公司, 浙江 杭州 310015)

摘要: 渠式切割装配式地下连续墙 (TAD) 是在渠式切割水泥土连续墙 (TRD) 内插入混凝土预制板材, 且预制板材间可靠连接, 形成集挡土与截水功能于一体的新型钢筋混凝土地下连续墙。在设计和施工要点依次说明后, 现场试验被用于验证该墙的可行性和性能, 且设计要点包括墙体、预制板材和连接及构造等三部分。垂直度控制和连接可靠性是施工关键, 直接决定墙体受力性能和止水能力。现场试验表明该墙充分利用水泥土连续墙止水可靠和钢筋混凝土连续墙刚度大的优点, 土体变形较小, 可进一步应用。

关键词: 装配式地下连续墙; 渠式切割; 混凝土预制板材; 水泥土连续墙; 深基坑

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 2096 - 7195(2019)03 - 0053 - 05

作者简介: 刘兴旺 (1969 -), 男, 江苏兴化人, 博士, 正高级工程师, 主要从事建筑结构及岩土工程的设计与科研工作。E-mail: liuxingwang@ziad.cn。

Design and construction technology of trench cutting assembled diaphragm wall

LIU Xing-wang¹, PAN Li-fang^{*2}, LI Ying¹, GONG Xiao-nan³, JIANG Zheng-bing⁴, ZHANG Jin-hong¹

(1. Zhejiang Institute of Architectural Design and Research, Hangzhou 310006, China;

2. Zhejiang University of Technology and Science, Hangzhou 310018, China;

3. Research Center of Coastal and Urban Geotechnical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China;

4. Zhejiang Jitong Underground Construction Technology Limited Company, Hangzhou 310015, China)

Abstract: Trench cutting Assembled Diaphragm wall (TAD) is a new type of reinforced-concrete diaphragm wall with the function of retaining soil and intercepting water. It is constructed by inserting pre-fabricated reinforced-concrete slabs into Trench cutting Re-mixing Deep wall (TRD) and the prefabricated slabs are reliably connected. After design and construction essentials are explained, a field test was introduced to verify the feasibility and performance of TAD wall. Therefore, verticality control and connectivity reliability are the key to construction technology and directly determine the mechanical performance and water stopping capacity of the wall. The field test results show that the TAD wall makes full use of the cement-soil diaphragm wall to ensure its water interception and the rigidity to the reinforced concrete. Hence the soil deformation is small and TAD wall can thus be applied.

Key words: assembled diaphragm wall; trench cutting; prefabricated reinforced-concrete slab; cement-soil diaphragm wall; deep excavation

0 引 言

地下连续墙广泛应用于软土地区地铁车站、大型地下城市综合体等的深大基坑工程, 近年来, 随着我国绿色低碳的发展理念逐步落实, 建筑工业化的发展策略不断推进, 地下连续墙应用中的各种问题日益凸显:

(1) 成槽过程需要采用大量泥浆护壁, 废弃泥浆排放困难, 形成较大环境保护压力;

(2) 现场施工工序复杂, 需要较大施工场地,

施工时间长;

(3) 成墙施工过程中对邻近地基具有一定的扰动, 当邻近既有建筑物或地铁盾构隧道等敏感设施施工时, 成槽时间越长、墙体越深、墙厚越大, 环境保护的难度越大;

(4) 水下灌注混凝土的质量控制难, 处理不当易形成接缝渗漏水隐患。

基金项目: 浙江省科技计划项目重点研发计划 (2017C03020)

收稿日期: 2019 - 10 - 22

*通讯作者: 潘黎芳 (E-mail: lifpan2000@163.com)

为解决地下连续墙的上述问题,国内外已有不少专家学者开展了预制地下连续墙的研究^[1-4],但现有预制地下连续墙技术大多是在传统的地下连续墙成槽技术基础上置入预制构件。2010年以来,渠式切割混凝土连续墙(TRD墙)技术在我国得到推广应用,工程实践表明,TRD工法具有施工速度快、墙体截水性能好、环境扰动小等特点。2018年,浙江吉通地空科技有限公司、浙江省建筑设计研究院、浙江大学、浙江理工大学、建华建材(中国)有限公司等单位联合开展了渠式切割装配式地下连续墙技术研发,该技术是在渠式切割混凝土连续墙施工过程中插入混凝土预制板材,混凝土预制板材之间可靠连接,形成集挡土与截水功能于一体的钢筋混凝土地下连续墙,简称TAD墙。TAD墙具有下列特点:

(1) 节地。在TRD工法形成的混凝土连续墙中植入混凝土预制板材,挡土与截水性能集于一体。

(2) 施工高效。混凝土墙施工的同时,预制板材植入,形成TAD墙,较传统地下连续墙工艺显著节约工期。

(3) 成墙施工过程的环境影响小。TRD工法施工过程有混合泥浆护壁,其重度远大于传统地下连续墙的护壁泥浆;通过控制开放长度可进一步减小环境影响;施工过程的泥浆排放量少。

(4) 墙体性能好。挡土结构的强度和刚度主要由混凝土预制板材提供,混凝土预制板材工厂化生产,质量易控制;截水有两道防线,首道是TRD工法形成的混凝土连续墙,其优异的截水性能已在工程实践中得到验证;第二道是接缝经过防水处理的预制板材。

2019年5月,杭州大江东TAD墙现场试验取得了成功。为规范TAD墙的工程应用,做到安全可靠、技术先进、经济合理、环境保护,浙江省产品与工程标准化协会团体标准《渠式切割装配式地下连续墙技术规程》^[5]同步编制,该标准已出版。

本文介绍了地下工程中TAD墙设计和施工要点,并结合现场试验对其应用效果进行了评价。

1 设计

1.1 墙体

TAD墙适用的地基条件同TRD墙,随着渠式切割机的性能改进以及施工工艺进步,目前国内TRD墙施工深度已达到90m,结合旋挖组合施工工艺,已能在深厚碎石土层以及存在深层地下障碍

物的复杂地层施工^[6]。TAD墙的平面布置应充分考虑TRD墙的施工工艺特点,平面形状尽量简单、规则,宜采用直线布置,减少转角,圆弧段的曲率半径不宜小于60m;在转角处,为防止由于链状刀具的垂直度偏差以及边缘部位搅拌不充分等问题导致的搭接不良,双向适当延伸施工,延伸长度不宜小于2m,实际工程出现的少许渗漏水问题大多发生在转角部位。

渠式切割混凝土连续墙厚度宜取600~850mm,其设计应符合现行国家行业标准《渠式切割混凝土连续墙》JGJ 311的相关规定;混凝土预制板材应全截面位于混凝土墙内,板材外单侧混凝土厚度不应小于70mm,混凝土墙及其内插混凝土预制板材垂直度偏差不应大于1/300,且平面允许偏差不应大于30mm,墙顶标高偏差不应大于50mm。

TAD墙宜与内支撑相结合形成支护结构,支护结构计算和验算应符合现行国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120的有关规定,抗渗流稳定性按混凝土地下连续墙的深度验算,其余各项稳定性验算仅考虑混凝土预制板材的作用,不计入水泥土的影响;作用于TAD墙的弯矩、剪力全部由混凝土预制板材承担,据此验算TAD墙的抗弯强度和抗剪强度;TAD墙墙体有效截面和强度应满足工作状态下强度、变形和防渗要求。

两墙合一时,TAD墙可按单一墙或复合墙模式设计,预制板材及连接尚应满足结构抗震和耐久性性能,墙体竖向变形应与地下结构协调一致,可在混凝土预制板材底端设置型钢支腿;防水设计时,可在墙内侧设置钢筋混凝土或砌体衬墙,并采用涂贴防水材料、设置排水管、排水沟、集水井等防水、排水措施;墙体与基础底板、顶板等连接部位可根据地下结构的防水要求,设置刚性止水片、遇水膨胀止水条、预埋注浆管等措施。

1.2 混凝土预制板材

混凝土预制板材通常是在工厂采用离心法工艺制作,常用的混凝土强度等级C80,预应力钢筋采用预应力混凝土用钢棒,非预应力钢筋采用热轧带肋钢筋,箍筋采用低碳钢热轧圆盘条或混凝土制品用冷拔低碳钢丝。按照通用化、模数化、标准化的要求,以少规格、多组合的原则,实现混凝土预制板材及其连接件的系列化和多样化。预制板材的长度不宜超过14m,横截面形状宜为矩形,截面型式如图1所示,宽度不宜小于600mm,厚度不宜小于300mm,采用离心工艺制作时,最小有效壁

厚不应小于 60 mm。常用规格的宽度 B (mm) \times 厚度 H (mm) 为: 600 \times 320、700 \times 350、800 \times 380、900 \times 400、1000 \times 430、1200 \times 470、1300 \times 500; 为减少自重, 宜中间留洞, 内径为 200~340 mm。混凝土预制板材的混凝土保护层厚度不应小于 35 mm, 当用于永久结构时不应小于 40 mm。基坑转角部位应设置异形截面预制板材, 异形截面预制板材应与相邻混凝土预制板材相适应。混凝土预制板材竖向连接时应在端部设置端板, 端板钢材采用 Q235B, 端板最小厚度不应小于 20 mm。混凝土预制板材两侧设置凹榫, 相邻墙幅的凹榫对齐, 其形成的空腔通过高压灌浆填实以提高接头防水性能。预制板材上生产制作时应与混凝土腰梁或钢腰梁连接的预埋钢板、与主体结构构件连接所需的预埋件。

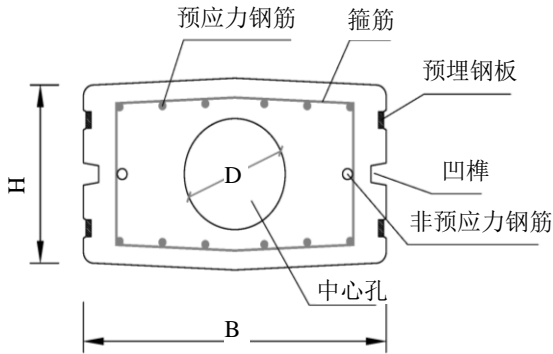


图 1 混凝土预制板材截面

Figure 1 Section of prefabricated reinforced-concrete slab

1.3 连接及构造

混凝土预制板材的竖向接头强度应满足墙体性能要求, 可采用板材端部外包钢圈、设置锚固钢筋的端板焊接、端头设置预埋套筒等连接方式。混凝土预制板材的竖向接头位置宜设置于墙身受力较小位置, 相邻板材接头位置在竖向应相互错开, 错开距离不宜小于 1 m, 并满足墙体受力性能要求。

混凝土预制板材顶部设置封闭的钢筋混凝土冠梁以增强墙体整体性, 离心形成的混凝土孔应适当灌芯, 灌芯混凝土的纵筋锚入冠梁的长度应满足受拉锚固要求, 混凝土预制板材与冠梁连接构造如图 2 所示。

混凝土预制板材与内支撑通过腰梁连接时, 腰梁应与内支撑形成整体, 混凝土预制板材与混凝土腰梁、钢腰梁的连接构造分别如图 3 和如图 4 所示。

TAD 墙与主体结构楼板、底板交接处宜设置贯通的边梁, 与主体结构构件可通过墙内预埋钢筋、锚板、剪力槽等方式连接。

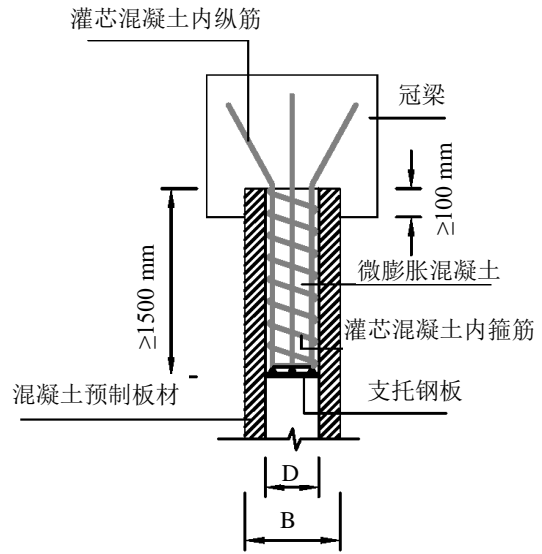


图 2 混凝土预制板材与冠梁连接构造

Figure 2 Joint between prefabricated reinforced-concrete slab and top beam

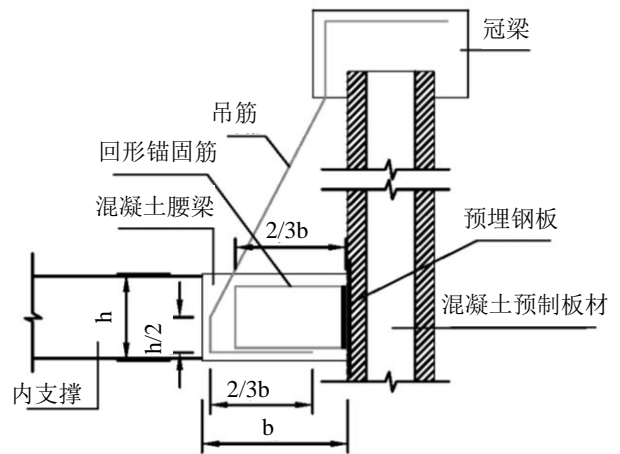


图 3 混凝土预制板材与混凝土腰梁连接构造

Figure 3 Joint between prefabricated reinforced-concrete slab and concrete waist beam

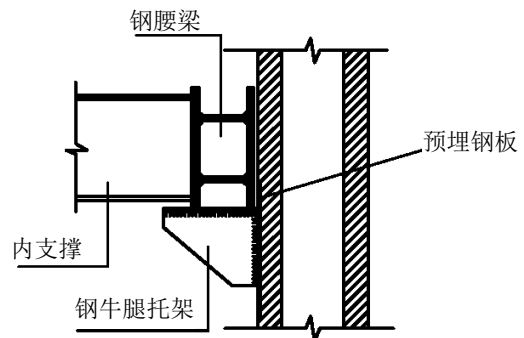


图 4 混凝土预制板材与钢腰梁连接构造

Figure 4 Joint between prefabricated reinforced-concrete slab and steel waist beam

2 施 工

TAD 墙施工前应调查场地条件、环境条件以及

地下障碍物情况，正式施工前应进行试成墙试验，并据此确定施工设备、施工工艺和施工参数。施工前应进行场地平整，场地地基承载力应满足设备作业的要求，必要时进行地基处理。TAD 墙施工流程如图 5 所示。

混凝土预制板材插入水泥土连续墙应采用定位导向架，插入后应采取固定措施保证墙顶标高满足设计要求，混凝土预制板材起吊应满足构件抗裂要求。

TAD 墙成墙、基坑开挖和地下结构施工过程中，应对支护结构和周边环境进行监测。施工产生的废弃泥浆和置换土应在自然固结或参加化学物质后外运，参加的化学物质应满足环保要求。

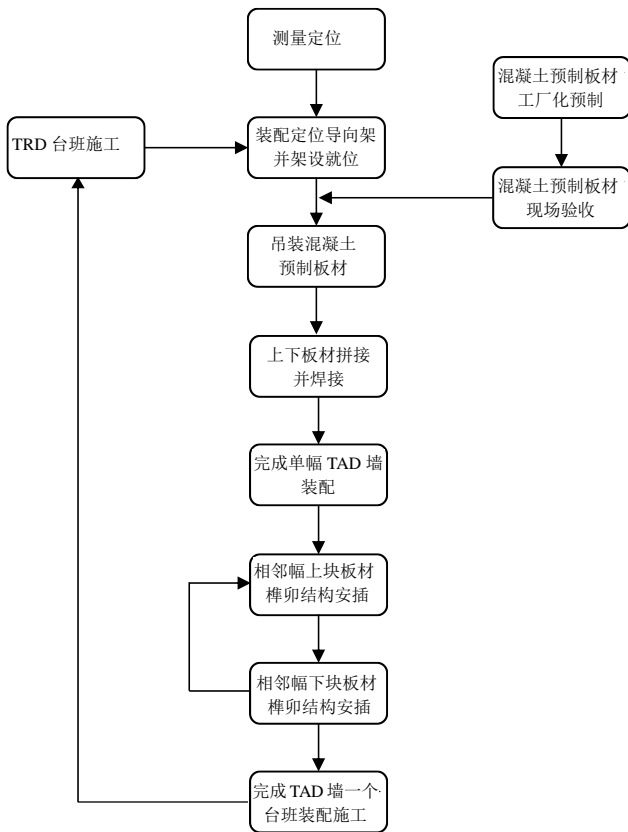


图 5 TAD 墙施工流程

Figure 5 Construction process of TAD wall

3 现场试验

为评价以上所述的 TAD 墙设计方法及施工技术可行性，验证墙体受力与截水性能。课题组在杭州市钱塘新区大江东工业园区开展了现场试验，试验模拟综合管廊基坑，基坑平面尺寸为 7.2 m × 5.0 m，开挖深度为 5.0 m，采用 TAD 墙悬臂支护。采用的 TAD 墙为在厚度 650 mm 的渠式切割水泥土连续墙内插入截面尺寸为 600 mm × 320 mm 的混凝土预制板材，水泥土墙长度为 8.5 m，预制板材长度为 10.0 m（露出地面 1.50 m）。

地基层以深厚粉性土为主，自上而下分别为 ②₁ 砂质粉土，③₃ 层粉砂夹砂质粉土，③₅ 层砂质粉土夹粉砂，③₆ 层粉砂，③₈ 层砂质粉土夹淤泥质粉质粘土，⑥₁ 层淤泥质粉质粘土夹粉砂薄层，⑥₂ 淤泥质粉质粘土。

现场施工按图 5 所示流程进行。图 6 为开挖到底后的现场照片，顶部水平向结构与预制板桩的连接较弱，侧向变形控制能力较小。

图 7 为基坑长边中部深层土体位移监测曲线。曲线表明 TAD 墙控制土体侧向变形能力较强，墙身刚度也较大。



图 6 TAD 墙现场试验照片

Figure 6 Field test picture of TAD wall

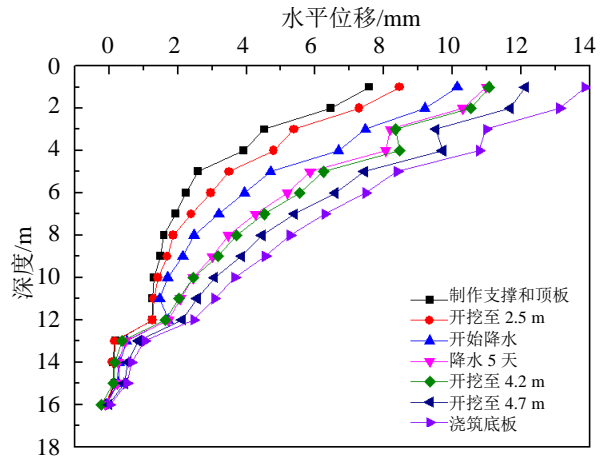


图 7 深层土体位移曲线

Figure 6 Diagram of lateral soil displacement against soil depth

4 结 语

TAD 墙为新型装配式地下连续墙，为在渠式切割水泥土连续墙内插入混凝土预制板材，充分利用了渠式切割混合泥浆护壁可靠和混凝土预制板材强度高重量轻等优点，具有方便施工、止水可靠、施工扰动小、变形控制能力强等优点，扩大了地下连续墙的使用范围，完善了深基坑围护结构型式。

预制板材垂直度控制、预制板材横向和竖向的

连接是 TAD 墙的施工关键, 直接决定其受力性能和止水能力。TAD 墙的设计与大多基坑围护结构设计原理相同, 但预制板材选用要合理, 应充分结合计算结果和工程经验。由于预制板材为预应力构件, 其余基坑水平受力构件, 如冠梁、腰梁等的连接节点也是设计的要点。

现场试验对 TAD 墙的可行性和性能进行了验证。试验模拟对象为管廊基坑, 开挖深度一般, 空间效应相对较好, 因此需进一步结合工程实践和试验对 TAD 墙的设计和施工进行完善和改进。

参考文献:

- [1] 杜民, 薛剑锋. 全预制地下连续墙的设计与施工[J]. 建筑施工, 1999(21): 14-16.
- [2] 王卫东, 邸国恩, 黄绍铭. 预制地下连续墙技术的研究与应用[J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1(4): 569-573.
- [3] 周蓉峰. 地下停车库的预制地下连续墙施工技术[J]. 建筑施工, 2010, 32(3): 225-226.
- [4] 韩银华, 罗叠峰. 新型预制地下连续墙设计与施工技术[J]. 施工技术, 2018, 47(7): 71-75.
- [5] T/ZS 0029-2019 渠式切割装配式地下连续墙技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [6] 李瑛, 邓以亮, 胡琦, 等. 卵砾地层中 TRD 工法混凝土连续墙施工方法研究[J]. 施工技术, 2018, 47(1): 28-31.