

平台间距对两级装配式挡土墙结构特性的影响

陈秀平^{1*}, 刘泽^{2#}, 丁献英¹, 娄伟栋¹

¹绍兴市柯桥区交通投资建设集团有限公司, 浙江 绍兴

²湖南科技大学土木工程学院, 湖南 湘潭

收稿日期: 2023年1月10日; 录用日期: 2023年1月30日; 发布日期: 2023年2月15日

摘要

利用有限差分软件FLAC3D, 对两级装配式挡土墙的结构特性进行了分析, 并研究了平台间距对两级装配式挡土墙结构特性的影响。研究表明: 对两级装配式挡土墙而言, 一级挡土墙所受水平应力较大, 设计时可适当增大一级挡土墙的结构强度; 二级挡土墙的水平位移较大, 可在二级挡土墙底板下方增加凸榫; 无论是一级挡墙, 还是二级挡墙, 随着平台间距的增大, 挡土墙面板上的水平位移都在不断减小, 且一级挡墙面板水平位移的减小趋势比较明显; 一级挡土墙水平应力随平台间距的变化不大, 二级挡土墙水平应力随平台间距的变大而不断增加。

关键词

扶壁式挡土墙, 装配式挡土墙, 数值模拟, 平台间距

Influence of Platform Spacing on Structural Characteristics of Two-Stage Fabricated Retaining Wall

Xiuping Chen^{1*}, Ze Liu^{2#}, Xianying Ding¹, Weidong Lou¹

¹Shaoxing Keqiao Traffic Investment and Construction Group Co., Ltd., Shaoxing Zhejiang

²School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan

Received: Jan. 10th, 2023; accepted: Jan. 30th, 2023; published: Feb. 15th, 2023

Abstract

Using the finite difference software FLAC3D, the structural characteristics of a two-stage fabri-

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 陈秀平, 刘泽, 丁献英, 娄伟栋. 平台间距对两级装配式挡土墙结构特性的影响[J]. 土木工程, 2023, 12(2): 84-91. DOI: 10.12677/hjce.2023.122010

cated retaining wall are analyzed, and the influence of platform spacing on the structural characteristics of a two-stage fabricated retaining wall is studied. The results show that, for the two-stage fabricated retaining wall, the horizontal stress of the first level retaining wall is large, and the structural strength of the first level retaining wall can be appropriately increased in design; The horizontal displacement of the second retaining wall is relatively large, so the tenon can be added under the bottom plate of the second retaining wall. Whether it is the first level retaining wall or the second level retaining wall, with the increase of the platform spacing, the horizontal displacement of the retaining wall panel is decreasing, and the horizontal displacement of the first level retaining wall panel is decreasing obviously. The horizontal stress of the first level retaining wall has little change with the platform spacing, while the horizontal stress of the second level retaining wall increases with the platform spacing.

Keywords

Buttress Retaining Wall, Fabricated Retaining Wall, Numerical Simulation, Platform Spacing

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

装配式挡土墙凭借其高效、环保、经济、便捷等诸多优点俨然已成为一种新的研究热点,目前已有学者对装配式挡土墙进行了相关的研究,部分研究成果已投入工程应用[1] [2] [3]。

扶壁式挡土墙是在悬臂式挡土墙的基础上增加扶壁,既有结构轻对基础要求相对较低等优点,又增强了面板的抗剪能力[4] [5] [6],且易于分割成各个板块进行预制,因此在扶壁式挡土墙的基础上进行装配式设计是研究新型支挡结构的一个有效途径。黄天棋[7] [8] [9]以扶壁式、悬臂式挡土墙为基础,对挡土墙的装配化进行了设计,研究了螺栓、锚栓、焊接三种分割单元连接节点的力学特性,并进行了装配式挡土墙节点的特性试验,试验表明,三种连接方式下挡土墙均具有足够的荷载承受能力,螺栓连接与锚栓连接时挡土墙的初始变形略大于焊接和整体浇筑时的变形,但在保证挡土墙稳定性的前提下,采用锚栓连接时装配式挡土墙的施工方式最为方便。蒋梅东[10]以悬臂式钢筋混凝土挡土墙为基础,对其装配式应用进行了试验和数值模拟研究,获得了超负荷下两级、三级装配式挡土墙的变形规律,墙内土压力分布规律以及装配式挡土墙的失稳模式。于德湖、章宏生[11] [12]等人对扶壁式挡土墙的结构应力、挡墙位移、稳定性等进行了数值模拟研究,指出产生应力较大的区域主要位于扶壁上端和面板连接处以及扶壁前端和底板连接处。

虽然在装配式挡土墙的开发与应用方面已取得了丰富的研究成果,但是在扶壁装配式挡土墙这一领域仍有许多值得研究的地方,如多级装配式挡土墙的工程应用等,在追求品质工程的当前对扶壁装配式挡土墙进一步进行研究具有十分重要的意义。本文结合有限差分软件 FLAC^{3D},对两级装配式挡土墙的结构特性进行研究,并通过改变上下级挡墙墙趾距离来研究平台间距对装配式挡墙结构特性的影响,研究成果将对装配式挡土墙的工程实践提供理论指导。

2. 模型建立

当单级扶壁式挡土墙设计较高时,各装配式构件预制模板尺寸大、预制构件养护困难、占用空间大,且预制场一般和施工现场较远,现场施工前需要将各预制构件运输到吊装场地,运输比较困难。因此,当挡墙设计较高时,可以采用多级挡墙进行支护,如设计挡墙高度为 8 m 时,可以采用两个高度为 5 m (埋

深 1 m)的挡墙进行多级组装。图 1 为建立的两级装配式挡土墙分析模型,在所建模型中,每级装配式挡土墙底板长 4.14 m,其中面板厚 0.4 m,前趾板为 1.2 m,后踵板为 2.9 m,扶壁厚 0.5 m,扶壁上缘宽 0.4 m,下缘宽 1.9 m,装配式挡墙分割单元长 2.5 m。为便于模型计算,模型沿线路方向宽度取分割单元的宽度,为减小地基及回填土尺寸效应的影响,墙前填土宽度设置 5 m,地基厚度设置 5 m,墙后填土宽度设置 10 m。计算荷载按《公路路基设计规范》(JYG D30-2015)要求取 10 kPa 的均布荷载,模型计算前,对模型设置边界条件,模型底部所有方向节点的速度均设置为 0,模型整体前后面 x 方向节点速度设置为 0,左右侧面 y 方向节点速度设置为 0,只将装配式挡土墙墙面处及模型顶面处设置为自由面。地基、回填土的力学参数见表 1。墙体采用 C30 混凝土的力学参数。

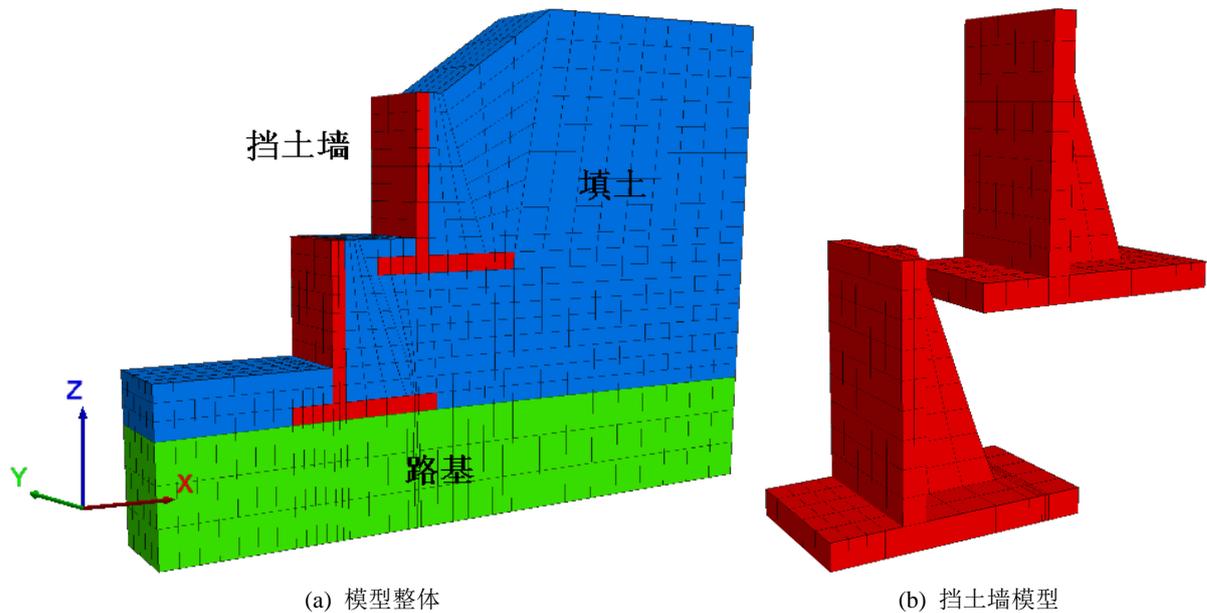


Figure 1. Numerical analysis model
图 1. 数值分析模型

Table 1. Mechanical parameters of foundation and backfill
表 1. 地基及回填土的力学参数

类型	体积模量/KPa	剪切模量/KPa	密度/kg*m ⁻³	摩擦角/(°)	黏聚力/kPa
地基	73.2	48.1	2150	41	28
回填土	62.1	36.5	1900	32	22

3. 计算结果分析

3.1. 两级装配式挡土墙结构特性分析

采用两级装配式挡土墙进行支护时,整个边坡的水平应力及竖向应力的大小关系与采用单级装配式挡土墙支护时相同,挡土墙的稳定性与挡墙所受水平应力相关,因此这里只对两级装配式挡土墙的水平位移及水平应力进行分析。图 2 为自重应力下两级挡土墙墙面及墙背的水平位移云图。可以看到,二级挡土墙的变形量大于一级挡土墙的变形量,另外,同图 3.7 相比,采用两级装配式挡土墙进行边坡支护时,一级挡土墙的最大水平位移区所在位置有所变化,一级挡土墙的最大水平位移主要产生于同二级挡土墙前趾板平行的区域,这主要是由于挡土墙自身刚度较大,并且二级挡土墙底板受到的约束力小与一

级挡土墙底板受到的约束力,在墙后填土自重荷载作用下,二级挡土墙前趾板对一级挡土墙面板上部有挤压作用,因此造成了一级挡土墙面板在此对应区域产生有较大的水平位移。

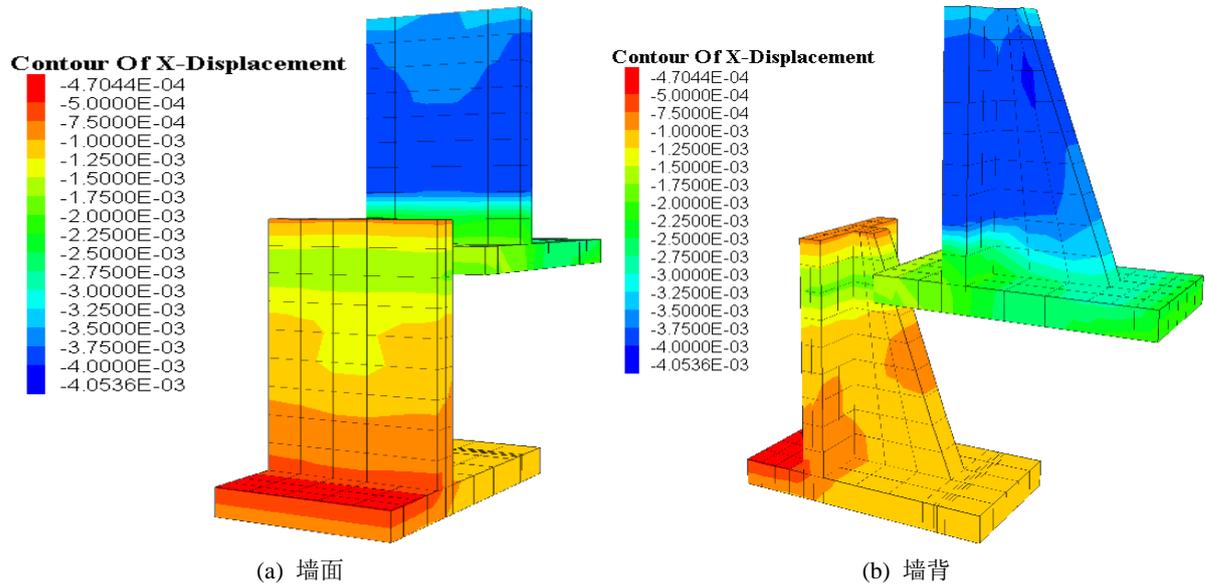


Figure 2. Cloud chart of horizontal displacement of two stage retaining wall under self weight stress
图 2. 自重应力下两级挡土墙水平位移云图

图 3 为自重应力下两级挡土墙墙面及墙背的水平应力云图。可以看到,一级挡土墙所受水平应力较大,墙面最大水平应力产生于前趾板与面板交界处,墙背最大水平应力产生于扶壁与后踵板交界处及扶壁端部后踵板上,最大拉应力约为 77.7 kPa。可见,采用两级装配式挡土墙进行边坡支护时,一级、二级挡土墙的结构性能表现形式不同,一级挡土墙所受水平应力较大,设计时可适当增大一级挡土墙的结构强度;二级挡土墙的水平位移较大,在施工时应注重二级挡土墙墙底基础的处理,如确保填料压实度、增大底板埋深等,必要时可在二级挡土墙底板下方增加凸榫。

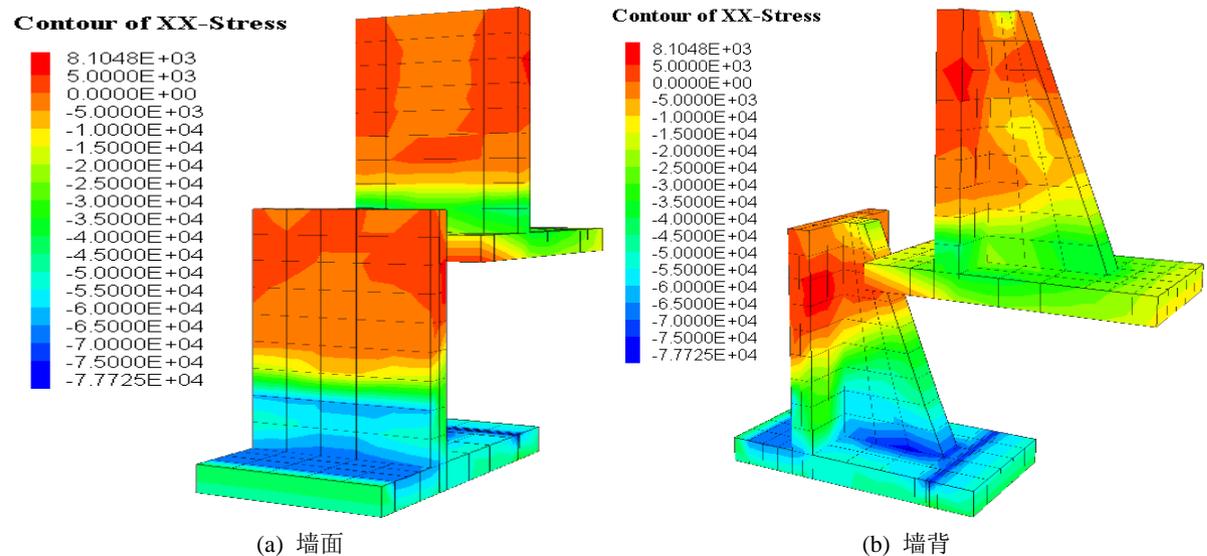


Figure 3. Cloud chart of horizontal stress of two stage retaining wall under self weight stress
图 3. 自重应力下两级挡土墙水平应力云图

3.2. 平台间距对两级装配式挡土墙水平位移的影响

如图 4 所示，多级装配式挡土墙各级挡墙之间都设计有一定距离的平台宽度，一是为了避免上级挡墙自身荷载直接作用于下级挡墙上，而是确保上级挡墙前趾板有足够的埋深及填土空间，以增强自身的抗滑移稳定。为探讨平台间距对上下两级挡土墙位移及应力的影响，这里分别对平台间距为 1.5 m、2 m、2.5 m、3 m 的两级装配式挡土墙进行了数值验算，为确保分析的目的性，所有平台间距下上级挡土墙的埋深均为 1 m。

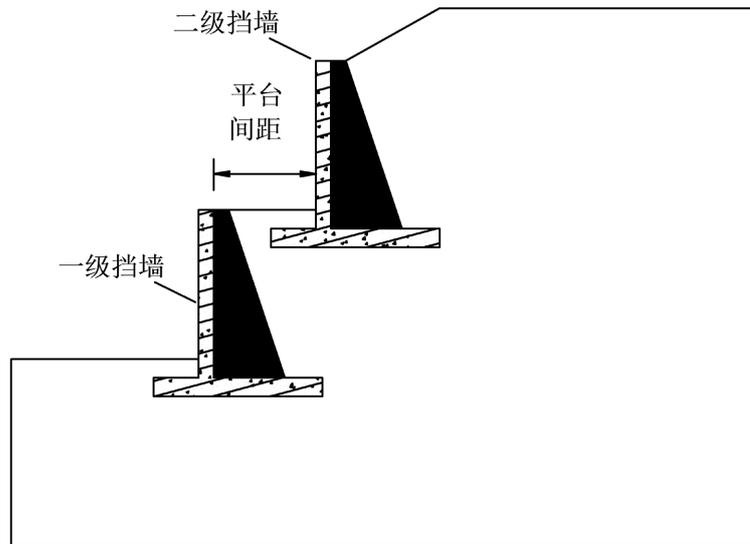


Figure 4. Schematic diagram of platform spacing of two-stage fabricated retaining wall

图 4. 两级装配式挡土墙平台间距示意图

图 5 为不同平台间距下挡土墙水平位移云图。可以看到，随着平台间距的增大，一级、二级挡土墙面板处的水平位移都在发生变化，一级挡土墙面板处的最大水平位移区由二级挡土墙前趾板平行位置逐渐向下移动，这是由于二级挡土墙前趾板距一级挡土墙面板距离较远时，二级挡土墙前趾板前方填土宽度增加，二级挡土墙前趾板对一级挡土墙面板的集中作用力变弱，随着平台间距的不断增大，一级挡土墙面板水平位移的分布形态逐渐与单级挡墙支护时的情况相近。

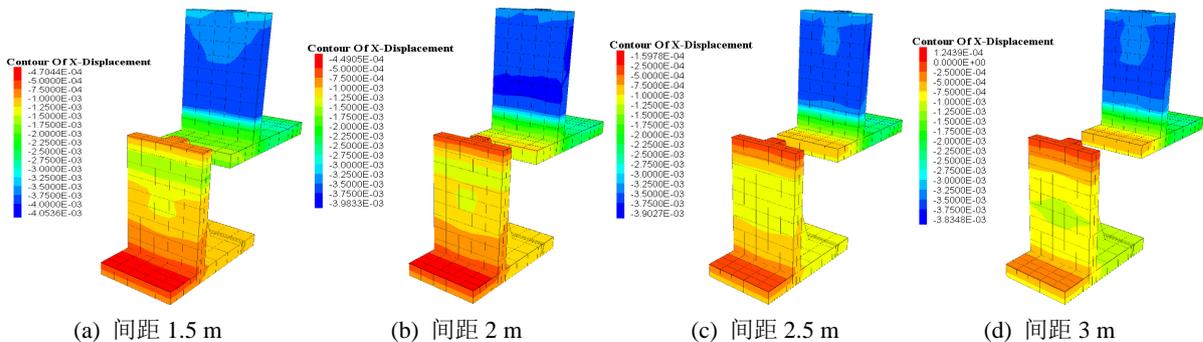


Figure 5. Horizontal displacement cloud chart of retaining wall with different platform spacing

图 5. 不同平台间距下挡土墙的水平位移云图

图 6 为不同平台间距下挡土墙水平位移沿面板高度分布曲线。可以看到，对一级挡土墙而言，当平

台间距为 1.5 m、2 m 时，水平位移沿面板高度呈上大下小的分布规律，最大水平位移约产生于 7/9 面板高度处，当平台间距为 2.5 m、3 m 时，水平位移沿面板高度分布规律为两端大中间小，最大水平位移约产生于 4/9 面板高度处；就二级挡墙而言，各种平台间距下，面板的最大水平位移均产生于面板中上部，且中上部水平位移值要比下部值大。

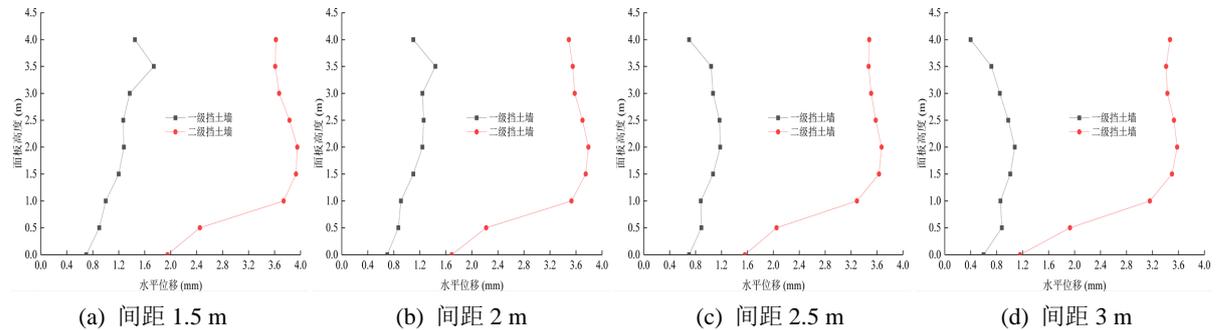


Figure 6. Distribution curve of horizontal displacement of retaining wall along panel height under different platform spacing
图 6. 不同平台间距下挡土墙水平位移沿面板高度的分布曲线

图 7 为各级挡土墙水平位移沿面板高度分布曲线。对曲线分析可知，无论是一级挡墙，还是二级挡墙，随着平台间距的增大，挡土墙面板上的水平位移都在不断减小，二者不同的是，一级挡墙面板水平位移的减小趋势比较明显，相比之下平台宽度对二级挡土墙水平位移的影响较小。另外，进一步分析可知，对二级挡墙而言，在同样的平台宽度变化值域内(0.5 m)，平台间距由 1.5 m 变化至 2 m 时面板水平位移变量大于 2 m 至 2.5 m 的变量大于 2.5 m 至 3 m 的变量，也就是说，当平台宽度为 2.5 m 时，不仅一级挡墙面板水平位移的分布形态开始与单级挡墙支护时的分布形态相近，二级挡墙面板水平位移受平台宽度的影响也开始变小。

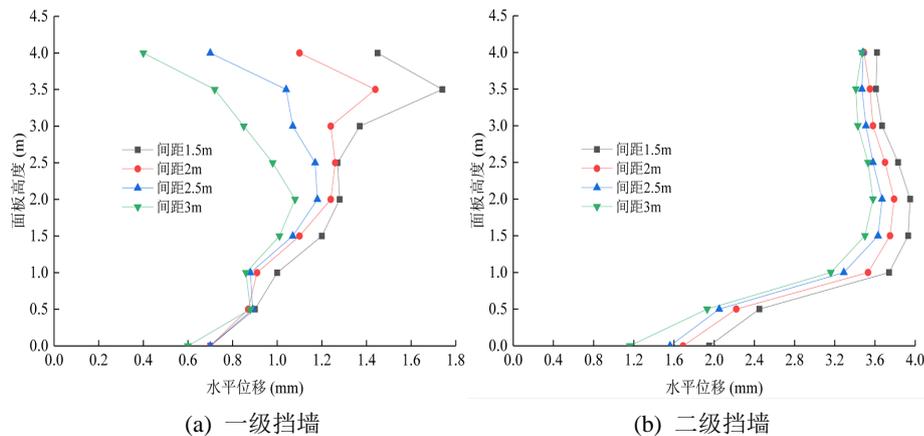


Figure 7. Horizontal displacement distribution curve of retaining walls along the panel height
图 7. 挡土墙水平位移沿面板高度分布曲线

3.3. 平台间距对两级装配式挡土墙水平应力的影响

图 8 不同平台间距下挡土墙水平应力云图。由应力云图可知，一级挡土墙水平应力受平台间距的影响不是特别明显，在各种平台间距下，一级挡墙的最大水平应力均产生于面板与前趾板及扶壁与后踵板交界处。平台间距变化时，二级挡墙的水平应力有明显的变化，当平台间距为 3 m 时，二级挡墙面板与前趾板处开始形成比较大的应力作用区。

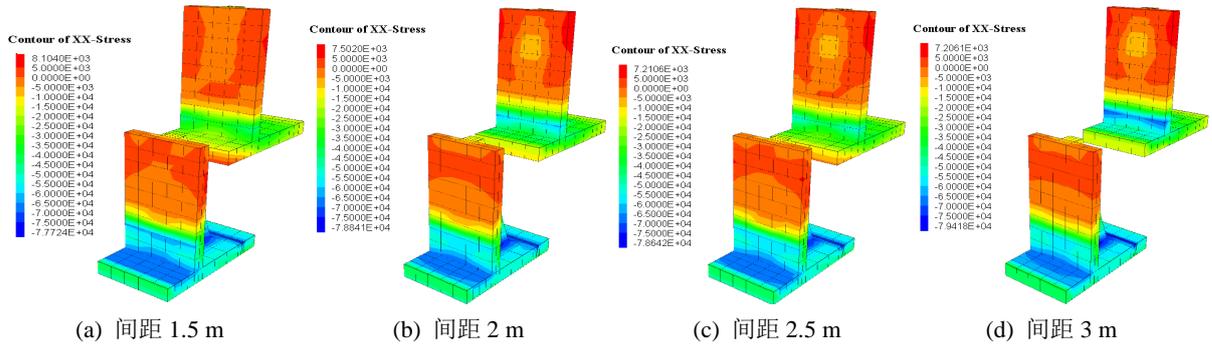


Figure 8. Cloud chart of horizontal stress of retaining wall at different platform spacing
图 8. 不同平台间距下挡土墙水平应力云图

图 9 为不同平台间距下挡土墙水平应力沿面板高度分布曲线。图 10 为各级挡土墙水平应力沿面板高度分布曲线。分析可知，一级挡土墙水平应力随平台间距的变化不大，二级挡土墙水平应力随平台间距的变大而不断增加。另外还可以看到，当平台间距小于 2 m 时，一级挡墙沿面板高度各处的水平应力明显要比二级挡墙的水平应力大，当平台间距大于 2.5 m 时，上下级挡土墙的水平应力值大小逐渐开始接近。这主要是因为，随着平台间距的增大，上下级挡土墙之间的相互影响逐渐变弱，每级挡土墙开始逐渐表现为各自的单级支护模式，因此上下级挡土墙的水平应力值也开始逐渐接近。

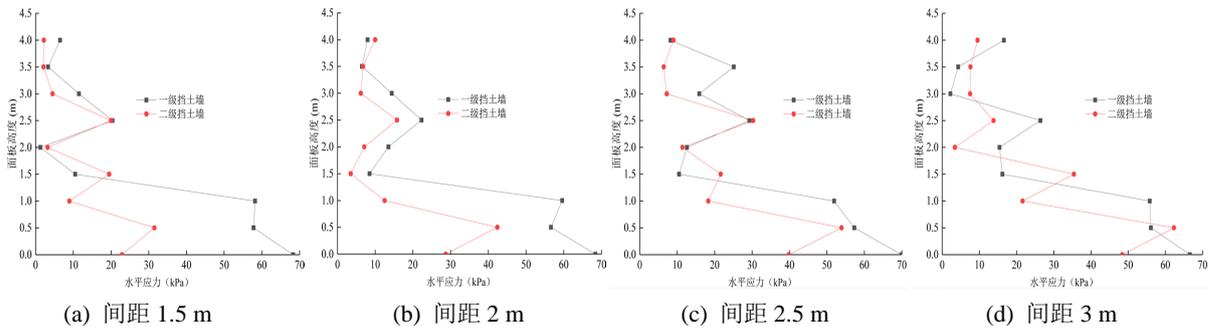


Figure 9. Horizontal displacement distribution curve of retaining wall along the panel height under different platform spacing
图 9. 不同平台间距下挡土墙水平位移沿面板高度分布曲线

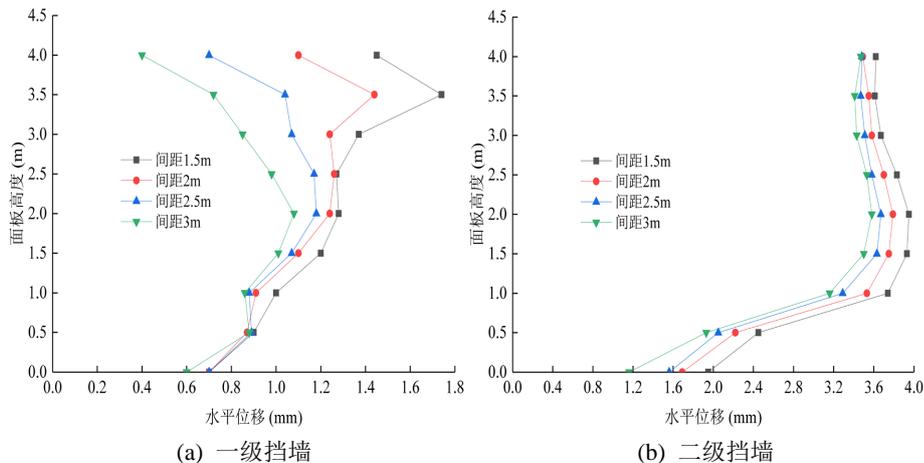


Figure 10. Distribution curve of horizontal stress of retaining wall along the panel height
图 10. 挡土墙水平应力沿面板高度的分布曲线

4. 结论

1) 采用两级装配式挡土墙进行边坡支护时, 一级挡土墙所受水平应力较大, 因此设计时可适当增大一级挡土墙的结构强度。二级挡土墙的水平位移较大, 因此必要时可在二级挡土墙底板下方增加凸榫。

2) 无论是一级挡墙, 还是二级挡墙, 随着平台间距的增大, 挡土墙面板上的水平位移都在不断减小, 二者不同的是, 一级挡墙面板水平位移的减小趋势比较明显, 相比之下平台宽度对二级挡土墙水平位移的影响较小。

3) 一级挡土墙水平应力随平台间距的变化不大, 二级挡土墙水平应力随平台间距的变大而不断增加。当平台间距小于 2 m 时, 一级挡墙沿面板高度各处的水平应力明显要比二级挡墙的水平应力大, 当平台间距大于 2.5 m 时, 上下级挡土墙的水平应力值大小逐渐开始接近。

致 谢

感谢国家自然科学基金资助项目(项目编号: 50902110)。

基金项目

浙江省交通科技项目(2020004), 湖南省自然科学基金项目(2022JJ30257)。

参考文献

- [1] 曹立峰, 李坚强, 吴云飞, 朱岩. 新型组合式挡土墙的研究与应用[J]. 市政技术, 2018, 36(3): 21-22.
- [2] 李志利, 王璐佳. 底板分段设置的装配式悬臂挡土墙研究及应用[J]. 建筑技术开发, 2019, 46(14): 148-150.
- [3] 刘景涛, 王亮, 丁平, 李森林, 杨智谋. 预制装配式挡土墙施工关键技术研究[J]. 城市道桥与防洪, 2019(7): 201-204+25.
- [4] 叶逢春. 扶壁式挡墙结合桩锚复合支挡结构的设计与分析[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2014, 32(5): 683-686.
- [5] 贺鹏. 通辽铁路枢纽峰下立交扶壁式挡土墙的应用[J]. 路基工程, 2012(2): 131-133.
- [6] 丁燕, 高徐军, 葛苗苗, 韩文斌. 扶壁式挡土墙控制工况探讨[J]. 西北水电, 2015(2): 37-43.
- [7] 黄天棋. 装配式挡墙节点特性试验研究与工程应用[D]: [硕士学位论文]. 湘潭: 湖南科技大学, 2018.
- [8] 刘泽, 黄天棋, 蒋梅东, 何矾. 两级垛式悬臂挡土墙结构特性数值分析[J]. 湖南工业大学学报, 2019, 33(5): 1-7.
- [9] 徐健, 刘泽, 黄天棋, 陈丽. 装配式挡土墙设计与施工的关键问题研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018(6): 88-91.
- [10] 蒋梅东. 装配式挡土墙结构设计及试验研究[D]: [硕士学位论文]. 湘潭: 湖南科技大学, 2017.
- [11] 于德湖, 李善娇, 杨淑娟, 杨忠年. 扶壁式挡土墙受力特性及有限元分析[J]. 低温建筑技术, 2017, 39(11): 123-124+128.
- [12] 章宏生, 沈振中, 徐力群, 周志杰, 叶兴成, 刘益志. 新型装配扶壁式挡土墙结构特性有限元分析[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(3): 145-150+189.