

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2019.05.001

# 两级垛式悬臂挡土墙结构特性数值分析

刘 泽<sup>1,2</sup>, 黄天棋<sup>1,2</sup>, 蒋梅东<sup>1,2</sup>, 何 砚<sup>1,2</sup>

(1. 湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201;

2. 湖南科技大学 岩土工程稳定控制与健康监测湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

**摘 要:** 采用FLAC<sup>3d</sup>建立两级装配式悬臂挡土墙和相同墙高的扶臂式挡墙分析模型, 通过对比两者的应力与变形, 研究了两级悬臂式挡墙垛式装配使用的可行性与受力变形特点, 并讨论了上、下级墙之间水平距离、上级墙基底埋深以及填土强度指标对挡土墙结构的影响。研究表明, 将两级悬臂式挡墙垛式装配使用是可行的; 增大上、下级墙的水平间距有利于减小挡墙侧向变形和基底应力; 上级墙基底埋深对挡墙的变形影响较小; 随着填土黏聚力和内摩擦角的增加, 挡墙侧向变形减小, 基底竖向应力稍有增大。

**关键词:** 垛式装配; 悬臂式挡土墙; 结构特性; FLAC<sup>3d</sup>; 数值分析

**中图分类号:** TU476<sup>+.4</sup>

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2019)05-0001-07

**引文格式:** 刘 泽, 黄天棋, 蒋梅东, 等. 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.

## A Numerical Analysis of the Structure Characteristics of Two-Stage Stacked Cantilever Retaining Walls

LIU Ze<sup>1, 2</sup>, HUANG Tianqi<sup>1, 2</sup>, JIANG Meidong<sup>1, 2</sup>, HE Fan<sup>1, 2</sup>

(1. School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan 411201, China;

2. Hunan Province Key Laboratory of Geotechnical Engineering Stability Control and Health Monitoring, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan 411201, China)

**Abstract:** FLAC<sup>3d</sup> is used to establish the analytical model of two-stage cantilever retaining wall and arm retaining wall with the same wall height. Based on the comparison of the stresses and deformations of the two-stage cantilever retaining walls, a research has been carried out on the feasibility of assembling the two-stage cantilever retaining wall and the characteristics of stress and deformation, followed by a tentative inquiry into the effects of horizontal distance between the upper and lower walls, the depth of the upper wall basement and the strength index of the filling on the structure of the retaining wall. The results verifies the feasibility of the assembly of the two-stage stacked cantilever retaining walls. An increase of the horizontal spacing between the upper and lower walls helps to reduce the lateral deformation and stress of the retaining wall; the depth of the upper wall basement has little effect on the deformation of the retaining wall; with the increase of cohesion and internal friction angle of the filling soil, the lateral deformation of the retaining wall decreases while the vertical stress of the basement increases slightly.

**Keywords:** stacking assembly; cantilever retaining wall; structural characteristics; FLAC<sup>3d</sup>; numerical analysis

收稿日期: 2018-07-05

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(2017JJ2087), 浙江省交通科技基金资助项目(2016041, 2017033)

作者简介: 刘 泽(1975-), 男, 湖南攸县人, 湖南科技大学教师, 博士, 硕士生导师, 主要从事支挡结构与地基处理方面的教学与研究, E-mail: csuzeliu@163.com

## 1 研究背景

挡土墙是公路、铁路、水利、市政等工程领域常见的构筑物。目前,挡土墙的结构形式已非常丰富,有各种以片石、块石砌筑而成的重力式挡土墙;也有钢筋混凝土结构的悬臂式、扶臂式挡土墙;还有以土工格栅为加筋补强材料的加筋土挡土墙等。这些挡土墙为抵抗墙后的土压力、维护墙后土体与工程结构的稳定性发挥了重要作用。随着工程建设“高效低耗、生态环保”理念的发展,支挡结构的类型将进一步丰富,其应用的场合也将进一步拓宽。

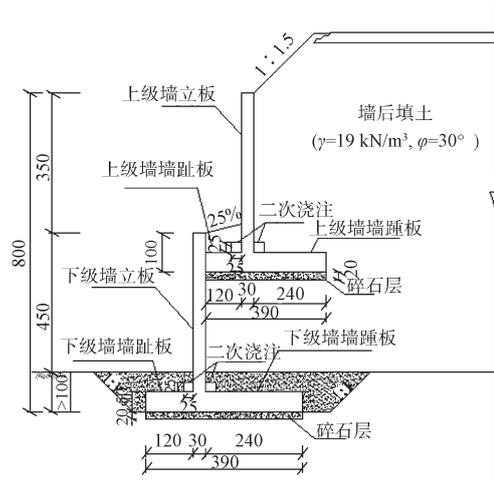
悬臂式挡土墙是一种轻型支挡结构<sup>[1]</sup>,一般采用钢筋混凝土浇筑而成,具有结构简单、材料消耗少、自重轻、对地基承载力要求低等优点,且没有肋板对施工机械的限制,墙后填土碾压方便,压实度有保障,近年来深受工程技术人员的青睐,甚至成为装配式挡墙的基础墙型<sup>[2]</sup>。但悬臂式挡土墙一般适用于墙高不大于5 m的场合,当墙高大于5 m后,材料消耗量会大幅增加而使其经济性下降<sup>[3]</sup>。因此,如何突破墙高的限制是充分发挥悬臂式挡土墙优势的关键点。如将多个挡土墙沿高度方向上进行垛式装配使用是其探索方向之一。梁波等<sup>[4-6]</sup>采用数值分析探讨了两级悬臂式挡墙垛式装配使用时的强度特性,认为两级悬臂式挡墙垛式使用时,上级墙会使下墙负荷减轻、墙底的应力也会有所减小。梁桥等<sup>[7]</sup>通过理论分析探讨了两级垛式悬臂式挡土的土压力计算方法。毛海君<sup>[8]</sup>开展了对小比例的两级悬臂式挡土墙地震台试验研究,试验结果表明,两级垛式悬臂式挡土墙比单级挡土墙有更好的抗震性能。傅志明<sup>[9]</sup>、贾喜翠等<sup>[10-11]</sup>对两级悬臂式挡土的土压力计算方法进行了探讨。

为了进一步分析这种结构的可行性与稳定性影响因素,本文采用FLAC<sup>3d</sup>分别建立了两级悬臂式挡土墙垛式使用和相同墙高的扶臂式挡土墙数值分析模型,通过对比两者的应力与变形,探讨了两级悬臂式挡土墙垛式装配使用的可行性和受力变形特性,并讨论了上、下级墙间水平距离、上级墙基底埋深以及填土强度指标对挡土墙结构的影响。

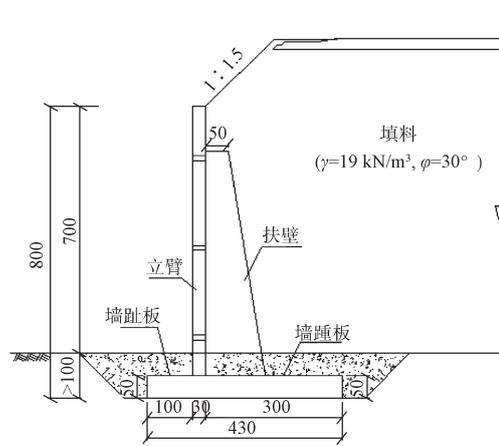
## 2 模型的建立

为了收缩坡脚、减少土地占用,并探讨装配式挡土墙的可行性,建金高速K2455+705~+740路段路基拟采用两级装配悬臂式挡土墙进行支挡,结合现场填料条件(砂性土,内摩擦角 $\varphi=30^\circ$ ,重度 $\gamma=19\text{ kN/m}^3$ ),确定路基支挡方案设计见图1a:挡土墙

总高8 m,由上、下两级悬臂式挡土墙组成,两级挡土墙墙高均为4.5 m,上、下级墙埋深均为1 m,墙趾板长1.2 m,墙踵板长2.4 m,墙身厚0.3 m。墙底板总长3.9 m,厚0.5 m。为了对比分析这一方案的可行性,K2455+580~+650路段采用相同墙高的扶臂式挡土墙(图1b)进行支挡,扶臂式挡土墙的底板长4.3 m(其中墙趾板长1 m,墙踵板长3 m),厚0.5 m,肋板高7 m,宽0.5 m。



a) 两级悬臂装配式挡土墙



b) 扶臂式挡土墙

图1 挡土墙设计图

Fig. 1 Design of the retaining wall

由图1可建立如图2所示的两级垛式悬臂挡墙和扶臂式挡土的数值分析模型。地基、挡墙及填后填土均采用实体单元模拟,其中两级垛式悬臂挡土墙(图2a)模型中包含1 096个单元、1 809个网格节点,扶臂式挡土墙(图2b)模型中包含5 110个单元以及6 182个网格节点。

为便于后续分析,定义上级墙前趾板顶部到下级墙立板背面的水平距离为上、下级墙间水平距离

$H_j$ 、上级墙底板底面到上级墙前趾板上填土顶面的距离为上墙基底埋深  $H_m$ ，分别在图 2a 中标示。

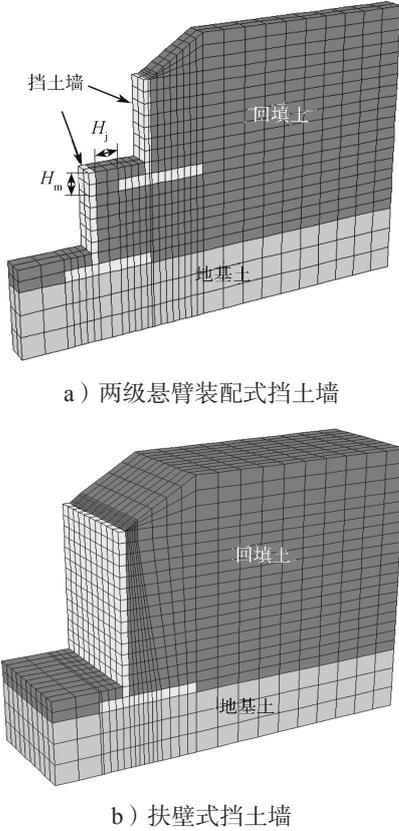


图 2 数值分析网格划分模型

Fig. 2 Numerical analysis model

挡土墙采用弹性模型，地基与墙后填土采用莫尔-库伦模型，模型各部分的参数见表 1。

表 1 模型的力学参数

Table 1 Mechanical parameters of the model

序号	模型位置	本构模型	摩擦角 / 密度 / 切变模量 / 体积模量 / ( $^{\circ}$ ) / ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) / Pa / Pa
1	挡土墙	弹性模型	- / 2 500 / $1.15 \times 10^{10}$ / $2.5 \times 10^{10}$
2	回填土	莫尔-库伦	30 / 1 900 / $5.5 \times 10^7$ / $8.4 \times 10^7$
3	地基	莫尔-库伦	42 / 2 100 / $6 \times 10^7$ / $9 \times 10^7$

考虑到挡土墙与土体之间材料性能差异很大，在挡土墙与墙后填土、地基土之间设置无厚度的接触面单元，其力学参数见表 2。

表 2 接触面的力学参数

Table 2 Mechanical parameters of the interface

摩擦角 / ( $^{\circ}$ )	法向刚度 / ( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ )	切向刚度 / ( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ )
30	$6 \times 10^{10}$	$6 \times 10^{10}$

模型底部以及四周均限制相应法线方向的位移，挡土墙外侧与顶部均为自由面。分析时先一次性建成整个模型，并将模型运行至平衡，再在墙的顶部施加  $10 \text{ kN/m}^2$  的等效交通荷载。

### 3 悬臂式挡土墙两级垛式装配的可行性分析

#### 3.1 扶壁式挡土墙的变形与应力分布规律

图 3 为扶壁式挡土墙在  $10 \text{ kN/m}^2$  等效交通荷载下的计算结果。

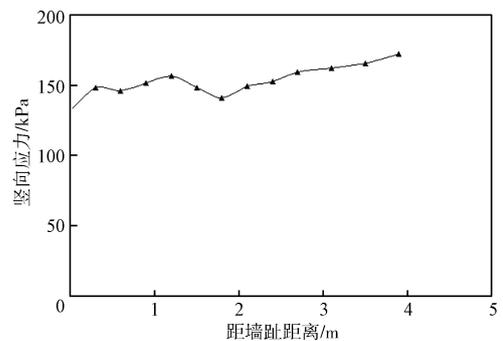
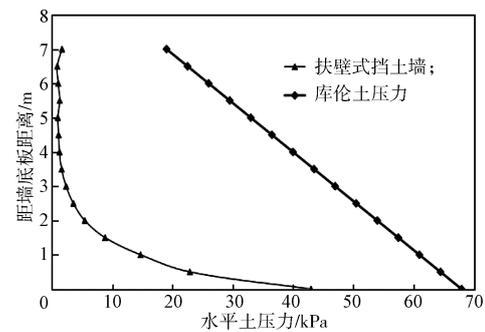
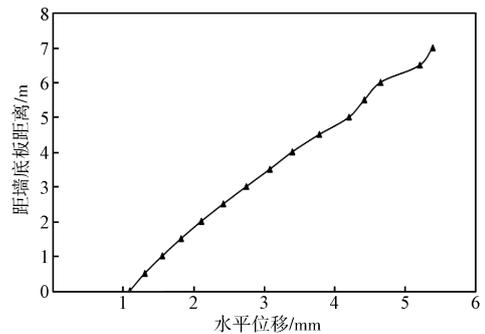
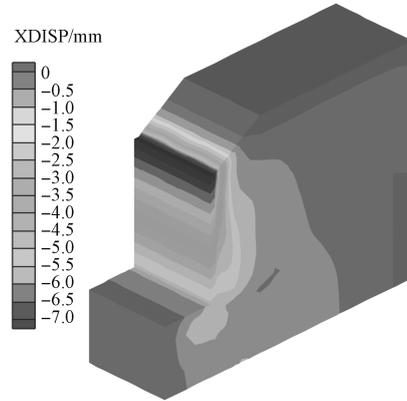


图 3 扶臂式挡土墙的计算结果

Fig. 3 Calculation results of the arm retaining wall

由图 3a 和图 3b 可知,在墙后填土重力和墙顶交通荷载的作用下,挡墙的侧向变形总体上是上部大下部小。侧向变形由两部分组成:一是约 1.1 mm 的整体水平位移;二是立板的挠曲变形,由于立板后面存在肋板,具有较好的抗弯拉作用,立板下部的变形曲线近似为直线。挡墙侧向变形最大值为 7.2 mm,立板挠曲变形为挡墙侧向变形的主要来源。图 3c 为扶壁式挡土墙墙背水平土压力沿墙高的分布曲线。由于数值模拟时挡土墙未能达到极限状态,且墙背填料被假定为连续介质,与库仑土压力理论假定墙背土体为理想颗粒性材料也有一定的区别,因而由数值分析获得的土压力分布曲线与库仑土压力理论计算值(图 3c)有较大的区别:一是数值分析解小于库仑土压力理论解;二是曲线分布形态不同。数值分析解为非线性分布,并以距底板 3.5 m 高处为界,分界线以上的土压力基本相同,均为 3 kPa 左右;分界线以下的土压力随埋深的增加迅速增大,在立板底部达最大,最大值为 43.36 kPa,但土压力总体上还是挡土墙上部小下部大,而库仑土压力理论计算值为上小下大的线性分布。图 3d 为挡土墙基底竖向应力沿底板长度方向的变化曲线。挡土墙基底竖向应力总体上呈趾板侧小、踵板侧大,但变化较小,最大值出现在墙踵板末端,最大值为 171.93 kPa。

### 3.2 两级悬臂式挡土墙的变形与应力分布规律

图 4 为两级悬臂式挡土墙垛式装配使用时的计算结果(墙顶同样作用有 10 kN/m<sup>2</sup> 等效交通荷载)。

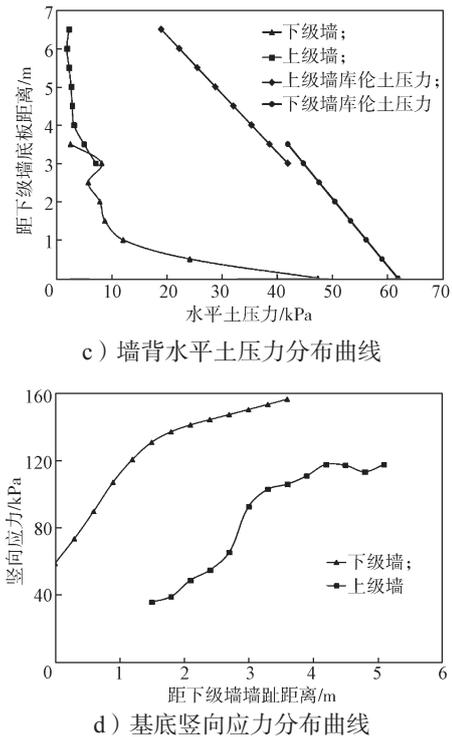
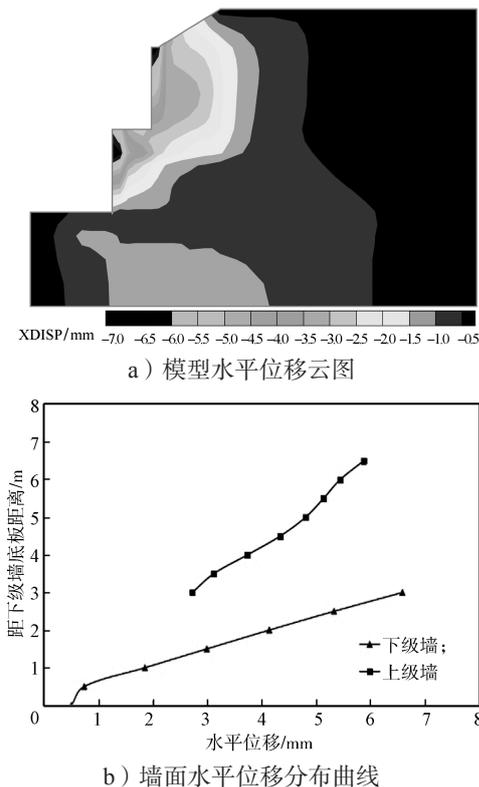


图 4 两级悬臂装配式挡土墙的计算结果

Fig. 4 Calculation results of the two-stage cantilever retaining wall

对比图 3 和图 4 可知,2 种支挡方案的变形与应力分布规律有较为明显的差别。从图 4a 可以看到,两级悬臂式挡土墙垛式装配使用时,由于上、下级挡土墙之间没有刚性联接,上、下级墙的侧向变形曲线并不连续,上级墙底部的侧向变形比下墙底部大,上、下级墙顶部均出现一个位移峰值,但两级墙的变形曲线基本上都呈线性规律,该支挡方案的侧向变形最大值为 6.05 mm,比扶壁式挡土墙方案的要稍小。主要原因为上级墙侧向变形受到下级墙的侧向变形和墙后填土沉降变形的综合影响,使上级墙在发生侧向位移的同时还存在整体沉降变形与向内旋转变位,对本应累积的侧向变形产生了抵消作用,因而上级墙的侧向变形增幅并不大。图 4c 为垛式装配后两级挡土墙墙背的水平土压力沿墙高的变化曲线。与图 3c 对比可知,两者的形态基本相同,大小也基本相同。挡土墙计算土压力和库仑土压力在墙顶与墙底位置的两个差值基本相同,均为 16 kPa 左右。另外,造成两种土压力分布曲线差异较大的原因与扶壁式挡土墙一致。虽然在上、下级墙相接处,下级墙的土压力曲线波动较大,但垛式装配后上级墙与下级墙的水平土压力曲线基本能相互衔接,而此时上、下级墙间的理论土压力分布曲线也有类似现象。图 4d 为垛式装配后上、下级墙基底竖向应力分布曲线。可见,上、下级墙基底竖向应力均为墙趾板侧小、墙踵板侧大,

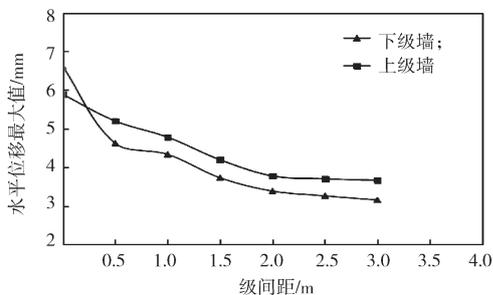
在底板长度方向上呈非线性分布。由于埋深不同, 下级墙基底竖向应力较上级墙大。与扶壁式挡土墙(图3)相比较, 两者的基底应力分布规律基本相同, 且两级装配式挡土墙的基底应力最大值较扶壁式挡土墙的要稍小一些。由此可见, 将两个悬臂式挡土墙沿墙高方向进行垛式装配组合使用是可行的。

### 4 两级垛式装配挡土墙结构特性影响因素分析

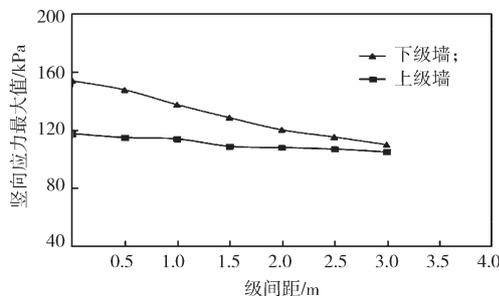
支挡结构稳定性受到多种因素的影响, 因此各种规范对挡土墙的设计与施工都有一些明确的要求。为进一步了解悬臂式挡土墙垛式装配使用时的受力特性与变形规律, 以上述模型为基础, 以模型的最大侧向变形值和最大基底竖向应力为参考, 进一步分析两级挡土墙级间水平距离、基底埋深以及墙后填土强度对挡土墙的影响。

#### 4.1 上、下级墙间水平距离的影响

上级墙墙趾距下级墙立板背面水平距离(图2a中的 $H_j$ )是影响两级挡土墙装配使用的关键参数之一。图5为两级挡土墙水平位移最大值和基底竖向应力随上、下级墙水平距离 $H_j$ 变化的曲线(上级墙基底埋深相同,  $H_m=1.0\text{ m}$ )。



a) 最大水平位移



b) 最大基底竖向应力

图5 上下级墙间水平距离的影响

Fig. 5 Horizontal distance between the upper and lower walls

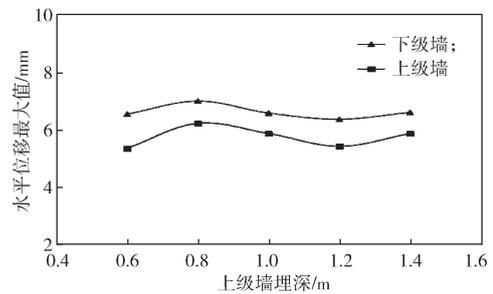
由图5a可知, 随着上、下级墙水平距离 $H_j$ 的增加, 上、下级墙的变形都呈递减状态。当上、下级墙水

平距离为 $H_j=0\text{ m}$ 时, 上级墙墙趾紧靠下级墙墙背, 上、下级墙的水平位移都达最大值, 且下级墙的侧向变形大于上级墙的侧向变形。当上、下级墙水平间距增加到 $H_j=0.5\text{ m}$ 时, 下级墙侧向变形迅速减小, 并小于上级墙的侧向变形。当上、下级墙水平距离 $H_j$ 大于 $2.0\text{ m}$ 时, 两级墙水平位移最大值随级间距离的增大变化较小, 曲线近似水平线。两级墙基底竖向应力最大值随级间距的变化趋势与挡墙水平位移变化相似(图5b), 随着 $H_j$ 的增加, 两级墙的竖向应力最大值均下降, 但下级墙的减小幅度较上级墙更大。可见, 增大挡土墙级间距离有助于减小挡土墙的侧向变形和基底应力, 但会降低挡土墙收缩坡脚、节约占地的效果。

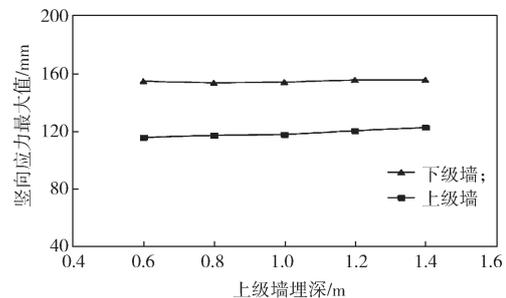
#### 4.2 上级墙基底埋深的影响

《公路路基设计规范》(JTG D30—2015)要求: 挡土墙基底最小埋置深度不应小于 $1.0\text{ m}$ 。为了充分利用挡土墙收缩坡脚的效果, 选取上墙墙趾紧贴下级墙墙身的工况( $H_j=0\text{ m}$ )为基础工况, 将上级墙基底埋深 $H_m$ 分别设为 $0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4\text{ m}$ , 讨论上级墙基底埋深 $H_m$ 对挡土墙的影响。

图6为上级墙基底取不同埋深时的墙背水平位移和基底竖向应力最大值的变化曲线。



a) 最大水平位移



b) 最大基底竖向应力

图6 上级墙基底埋深的影响

Fig. 6 Buried depth of the upper wall

由图6a可知, 随上级墙埋深由 $0.6\text{ m}$ 增加到 $1.4\text{ m}$ , 墙背水平位移最大值变化比较小, 呈小幅波动状态, 在 $H_m=0.8\text{ m}$ 时曲线达最大值, 为 $6.23\text{ mm}$ , 在 $H_m=1.2\text{ m}$ 时曲线达最小值, 为 $5.36\text{ mm}$ , 各工况之

间的最大值差距不大,即上级墙基底埋深对挡土墙侧向变形的影响较小。与前者类似,随着上级墙基底埋深的增加,上、下级墙基底竖向应力变化也比较小,曲线近似为水平线。由此可见,在墙高一定的情况下,上级墙埋深对整个挡土墙结构的影响较小,两级悬臂式挡土墙垛式装配使用时,可将其视为一个整体,上级墙的埋深可以小于1.0 m的要求,但也不宜直接将上级墙设置在下墙填土顶面。

#### 4.3 墙背回填土强度参数的影响

土压力是挡土墙的主要荷载,而墙背回填土的性质对土压力有重要影响,因而也将影响到两级悬臂式挡土墙垛式装配使用时的结构特性。分别取墙背填土的黏聚力  $c$  为 15, 20, 25, 30, 35 kPa, 内摩擦角  $\phi$  为 25, 30, 35, 40, 45°, 分析墙背回填土强度对挡土墙的影响。图 7 为墙背回填土的黏聚力  $c$  由 15 kPa 增加到 35 kPa 时挡土墙侧向变形和基底竖向应力最大值的变化曲线。

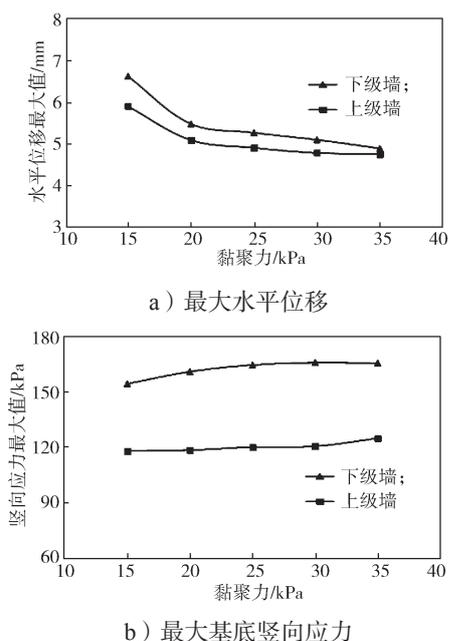


图 7 填料黏聚力的影响

Fig. 7 Influence of the filling cohesion

分析图 7 可知,上、下级墙的水平位移最大值均随着黏聚力  $c$  的增加而减小(图 7a)。当黏聚力  $c$  从 15 kPa 增加至 20 kPa 时,水平位移最大值明显减小,继续增大黏聚力  $c$ ,挡土墙水平位移减小的速率变小并趋于稳定。而挡土墙基底竖向应力主要源自填土的自重,与填土黏聚力  $c$  关系较小,因而在不同黏聚力  $c$  条件下挡土墙的基底竖向应力变化较小(图 7b)。

图 8 所示为墙背回填土内摩擦角  $\phi$  由 25° 增加到 45° 时,挡土墙侧向变形和基底竖向应力最大值的变化曲线。

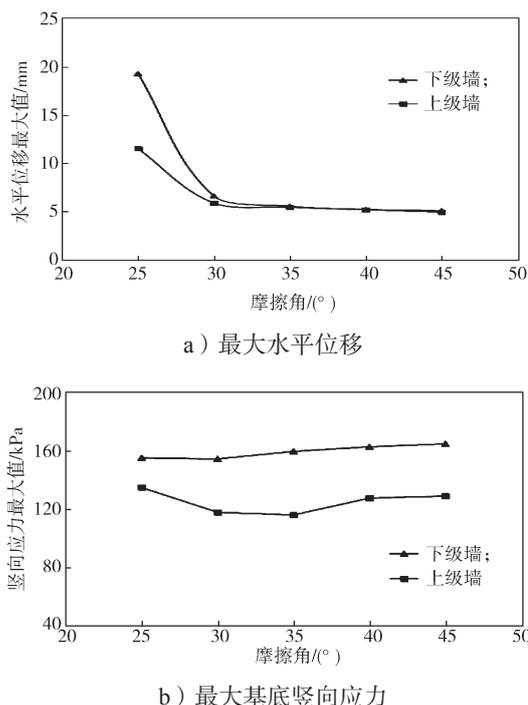


图 8 填料内摩擦角的影响

Fig. 8 Influence of the filling friction angle

由图 8a 可知,当墙背回填土内摩擦角  $\phi$  由 25° 增加到 30° 时,上、下级墙的水平位移最大值分别减小了 48.9% 和 65.7%,其后随着摩擦角  $\phi$  进一步增大,挡土墙的侧向变形变化减小,曲线趋于平缓。由图 8b 所示不同填土内摩擦角  $\phi$  时上、下级墙基底竖向应力最大值的变化曲线可知,随着填土内摩擦角  $\phi$  的增大,上、下级墙的基底竖向应力最大值均有所增大,但变化也比较小。

## 5 结论

将悬臂式挡土墙进行垛式装配使用可以拓宽悬臂式挡土墙的应用范围,避免扶壁式挡土墙因肋板造成墙后填土压实的困难。课题组通过数值分析对这一构思的可行性及其影响因素进行了探讨,得出的主要结论如下:

1) 在相同条件下,两级悬臂式挡土墙垛式装配使用时的应力和变形与扶壁挡土墙基本相同。这表明将两级悬臂式挡土墙进行垛式装配使用是可行的。

2) 挡土墙的侧向变形与基底竖向应力随上、下级墙间水平距离的增加而减小。即增加挡土墙之间水平距离有利于提高挡土墙的安全性,但会降低挡土墙收缩坡脚,节约占地面积。

3) 在总高不变的情况下,调整上级墙基底埋深对结构的应力与位移影响不大,而且会增加基底埋深,从而增大上、下级挡土墙重叠部分的高度,降低

挡土墙的经济性。

4) 挡土墙侧向变形随回填土黏聚力和内摩擦角的增加而减小,而基底竖向应力则随回填土黏聚力和内摩擦角的增加稍有增大。实际工程中宜采用内摩擦角较大的颗粒性材料进行墙背回填压实。

#### 参考文献:

- [1] 陈忠达.公路挡土墙设计[M].北京:人民交通出版社,1999:28-36  
CHEN Zhongda. Design of Highway Retaining Wall[M]. Beijing: People's Communications Press, 1999: 28-36.
- [2] 张程宏.装配式挡土墙设计特点及其在市政道路中的应用[J].城市道桥与防洪,2012(4):30-32,270.  
ZHANG Chenghong. Design Characteristics of Assembled Retaining Wall and Its Application in Municipal Road[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2012(4): 30-32, 270.
- [3] 中华人民共和国交通运输部.公路路基设计规范:JTG D30—2015[S].北京:人民交通出版社,2015:38-42.  
Ministry of Transport of the People's Republic of China. Specifications for Design of Highway Subgrades: JTG D30—2015[S]. Beijing: People's Communications Press, 2015: 38-42.
- [4] 梁波,王家东,严松宏.垛式新型悬臂式挡墙的数值分析及应用探讨[J].岩石力学与工程学报,2006,25(增刊1):3174-3180.  
LIANG Bo, WANG Jiadong, YAN Songhong. Discussion on Numerical Analysis and Application of New Structure of Cantilever Retaining Wall[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(S1): 3174-3180.
- [5] 王景环,傅绍娟.二级新型悬臂式挡土墙有限元分析[J].山西建筑,2010,36(13):79-80.  
WANG Jinghuan, FU Shaojuan. Finite Element Analysis of Two-Grade Arm Blocked Wall[J]. Shanxi Architecture, 2010, 36(13): 79-80.
- [6] 苏利亚.二级悬臂式挡土墙的力学分析[J].黑龙江交通科技,2017,40(5):10-11.  
SU Liya. A Dissereation on Two-Stage Mechanical Analysis of Cantilever Retaining Wall[J]. Communications Science and Technology Heilongjiang, 2017, 40(5): 10-11.
- [7] 梁桥,陈翔,周文权.二级垛式新型悬臂式支挡结构分析探讨[J].湖南工程学院学报(自然科学版),2016,26(3):76-80.  
LIANG Qiao, CHEN Xiang, ZHOU Wenquan. Analysis and Discussion on Counterfort Cantilever Retaining Wall[J]. Journal of Hunan Institute of Engineering(Natural Science Edition), 2016, 26(3): 76-80.
- [8] 毛海君.二级垛式悬臂式挡土墙地震反应分析试验研究及数值模拟[D].兰州:兰州交通大学,2014.  
MAO Haijun. Test Study and Numerical Analysis on Seismic Response of Two-Step Cantilever Retaining Walls[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiatong University, 2014.
- [9] 傅志明.二级垛式悬臂式挡土墙主动土压力分析[J].江西理工大学学报,2015,36(3):51-57.  
FU Zhiming. Study on Dynamic Earth Pressure of Two-Step Cantilevered Retaining Wall[J]. Journal of Jiangxi University of Science and Technology, 2015, 36(3): 51-57.
- [10] 贾喜翠,马学宁,张龙.地震作用下二级悬臂式挡土墙土压力计算的探讨[J].世界地震工程,2016,32(2):196-203.  
JIA Xicui, MA Xuening, ZHANG Long. Discussion of Calculation of Earth Pressure for Secondary Cantilever Retaining Wall Under Earthquake[J]. World Earthquake Engineering, 2016, 32(2): 196-203.
- [11] 王景环,卢义玉,郭建强,等.二级新型悬臂式挡土墙主动土压力计算方法[J].煤炭学报,2013,38(增刊1):82-87.  
WANG Jinghuan, LU Yiyu, GUO Jianqiang, et al. Active Earth Pressure Calculation Method of Two Level New Structure of Cantilever Retaining Wall[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(S1): 82-87.

(责任编辑:申剑)