

既有重力式挡土墙在新增荷载作用下的承载特性试验研究

缪 昕, 韩高孝

兰州交通大学, 土木工程学院, 甘肃 兰州

收稿日期: 2022年2月17日; 录用日期: 2022年3月10日; 发布日期: 2022年3月17日

摘 要

论文以实际工程为背景, 通过室内模型试验研究了既有重力式挡土墙在新增荷载作用下的承载特性。研究表明, 墙背土压力随着施加荷载的增大而增大, 且墙底最大、墙中最小; 墙体位移较小并伴有绕墙趾转动的趋势; 墙背土压力介于静止土压力与主动土压力之间的弹性状态, 保持稳定。

关键词

重力式挡土墙, 新增荷载, 承载性能, 模型试验

Experimental Study on Bearing Characteristics of Existing Gravity Retaining Wall under New Load

Xin Miao, Gaoxiao Han

School of Civil Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou Gansu

Received: Feb. 17th, 2022; accepted: Mar. 10th, 2022; published: Mar. 17th, 2022

Abstract

The thesis is based on practical engineering. The bearing characteristics of existing gravity retaining wall under new load are studied by indoor model test. The results show that the earth pressure behind the wall increases with the increase of the applied load, and the earth pressure at the bottom of the wall is the largest and the middle is the smallest. The wall displacement is small and has a tendency to rotate around the toe of the wall. The elastic state of the earth pressure,

keeping stable, behind the wall is between the static earth pressure and the active earth pressure.

Keywords

Gravity Retaining Wall, New Load, Bearing Characteristics, Model Test

Copyright © 2022 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

近年来,随着我国铁路建设的不断推进,涌现了大量的既有线改扩建工程。在改扩建工程中,为了节约建设成本,应尽可能的利用原有结构。那么,既有结构在新增荷载作用下的服役性能就成为了改扩建工程重点关注的内容。作为常见的挡土结构,既有重力式挡墙在新增荷载作用下的承载性能研究是判断既有挡墙服役性能的前提。

重力式挡土墙的承载特性与墙背土压力和墙体位移有关。目前最常用的土压力计算方法是库伦土压力理论和朗肯土压力理论,但李遐[1]认为经典土压力理论的不足是由于岩土结构本身的复杂性,使土压力问题至今难以精准表达。Change [2]认为这两种经典土压力理论存在不足,没有考虑墙体位移模式、大小和墙后土体的强度特性、土体材料对于墙背土压力大小和分布的影响。因此,国内外众多学者提出了一些新的计算理论和研究方法。如:Terzaghi [3]通过模型试验以及现场实测发现土压力与位移有关。陈页开[4]通过制作试验箱对无粘性土时挡土墙不同位移情况下的土压力大小和分布进行了试验研究。陆培毅[5]通过室内实验对粘性土和非粘性土的土压力进行研究,得到土压力沿墙呈非线性分布。

通过以上可见,围绕重力式挡土墙承载特性的研究很多,但是对于既有挡墙在新增荷载作用下的承载特性的研究很少,对于既有重力式挡墙的研究大多是关于挡墙的安全质量检测以及提前布设仪器测量。如:刘瑛[6]提出了一种系统的重力式挡土墙的综合检测标准。范瑛[7]通过现场实测对高填方路基多级挡土墙进行研究,得出墙后土压力分布。本文以实际工程为背景,通过室内模型试验研究既有挡墙在新增荷载作用下的承载特性,以期类似工程提供技术依据。

2. 工程概况

中兰客运专线引入兰州枢纽是中卫至兰州铁路同期建设的配套工程,新建三四线正线从福利区站引出,上跨既有兰新铁路与柳家营货线后,下穿兰新高铁引入既有兰州西站。其中DK7+831.755~DK10+133.64段路基工程位于兰州市七里河区崔家崖,总长2301.88 m。

前接崔家崖特大桥,后接陈官营车站,路基工程场地条件受限,南侧与既有兰新线相邻,北侧紧邻西津西路。此次新建三四线左线需占用原货线位置并在右侧增建右线,由于用地宽度有限,为不影响西津西路,需要在既有支挡工程范围以内设置支挡工程收坡,与既有兰新线挡墙组成了复合支挡结构。

3. 试验设计

3.1. 模型材料

由于现场特殊岩土主要为填筑土及湿陷性黄土,模型试验填料选用黄土。墙体采用C40混凝土进行浇筑。通过轻型击实试验[8],测得了填土的最有含水量和最大干密度,见图1,填料最优含水量为14.5%,

对应最大干密度为 1.78 g/cm^3 。后续模型填筑过程的压实度参照击实试验结果进行控制。

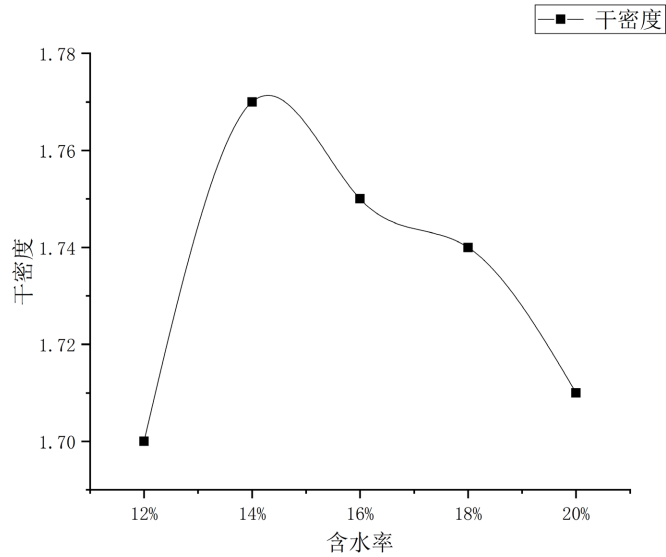


Figure 1. Results curve of indoor compaction test
图 1. 室内击实试验成果曲线

3.2. 试验方案设计

本试验所用的模型箱尺寸长、宽、高都为 120 cm，箱体四周由四块钢板通过角钢固定，顶部和底部不封闭。墙体位置如图 2。

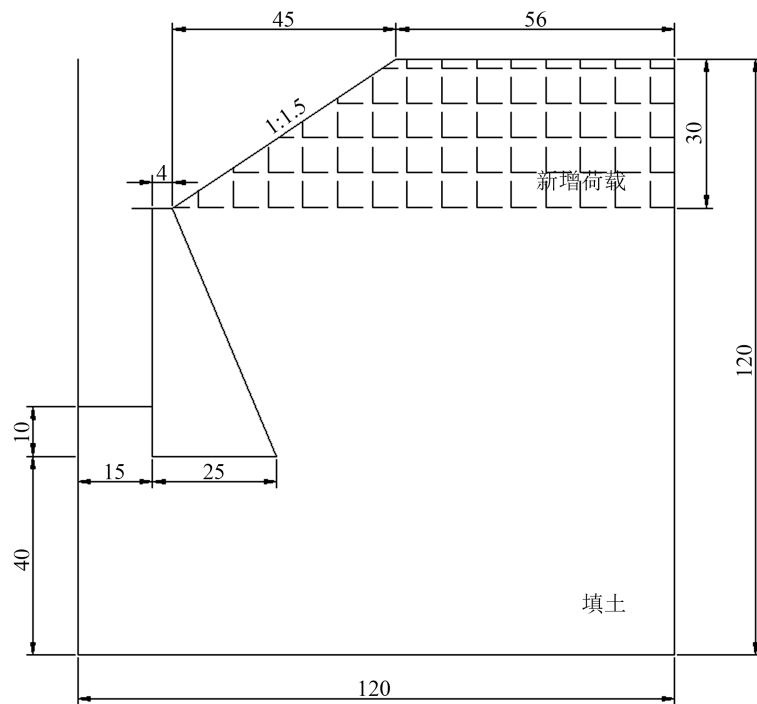


Figure 2. Model test design drawing
图 2. 模型试验设计图(cm)

填土顶面架设千斤顶进行竖向荷载加载, 通过布设压力盒、位移百分表等测量元件和仪器, 测量挡墙位移、墙后土压力的数值, 从而分析重力式挡墙的受力特性和位移特点。

模型自下向上分层填筑, 每层填筑 10 cm, 待土铺平后进行人工夯实。在底层土填筑完成后, 按设定好的位置将挡墙模具放置, 采用 C40 混凝土进行浇筑, 并且振捣棒不得接触模具[9], 浇筑过程中对模具进行加固, 防止模具被挤压变形, 混凝土振捣完成以其平坦泛浆而不冒泡且混凝土面不下沉为准, 浇筑完成后养护 28 天, 挡墙的浇筑与养护如图 3 所示。



Figure 3. Pouring and maintenance of retaining wall
图 3. 挡墙的浇筑与养护

距离挡墙墙背中线 15 cm 两侧各布设 5 个压力盒, 每个之间间距 8 cm, 如图 4。

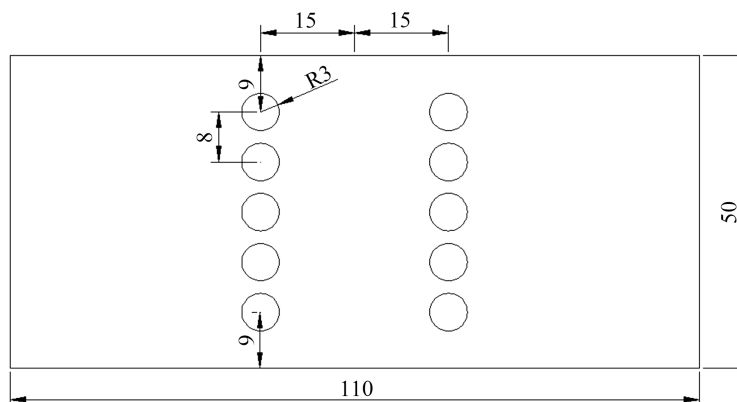


Figure 4. Elevation layout of earth pressure box cloth (cm)
图 4. 土压力盒布立面设图(cm)

再设计位置架设磁性表座, 安装百分表, 并且确保百分表水平放置, 如图 5、图 6 所示。

加载是试验成功的最关键环节, 加载方式的科学合理很关键[10] [11]。本次加载所需设备有液压千斤顶、反力架、钢板等, 加载设备布置如图 7 所示, 荷载板安放之前, 在土体表面均匀撒铺一层细沙, 其目的是确保板上集中荷载能均匀的分摊到钢板上并由钢板均匀传递给填土。为准确控制每级增加荷载量, 在反力架和千斤顶之间架设一个荷载传感器。采用静压法逐级加载, 钢板截面积 $A = 0.15 \text{ m}^2$, 每级加载 17 KPa, 即千斤顶每级加载 2.5 KN, 土压力盒每 2 min 记录保存一次数据, 百分表按每级加载后 5、15、30、45、60 分钟读数五次, 待累计位移小于 0.1 mm 时施加下一级荷载。

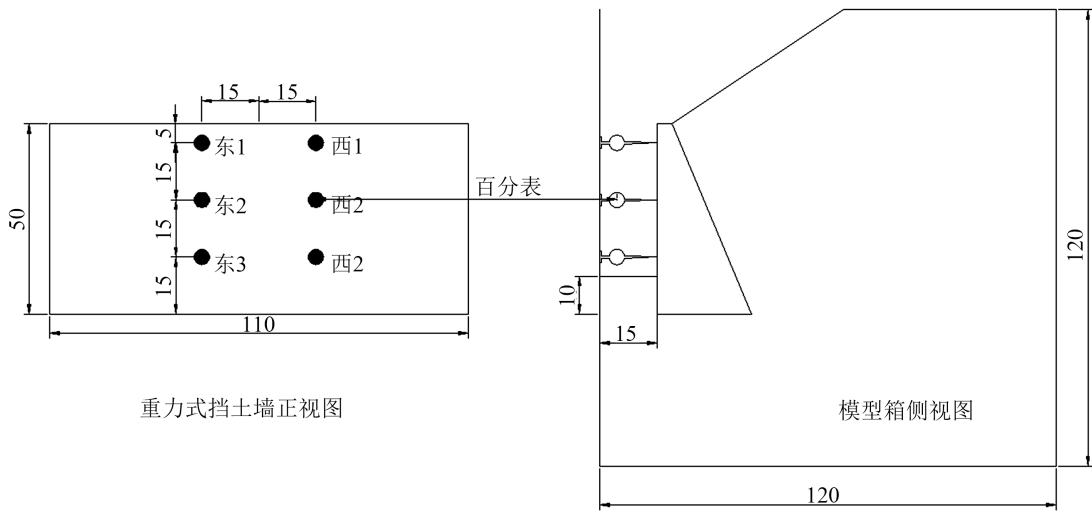


Figure 5. Dial meter erection design drawing
图 5. 百分表架设设计图



Figure 6. Dial indicator erection diagram
图 6. 百分表架设图

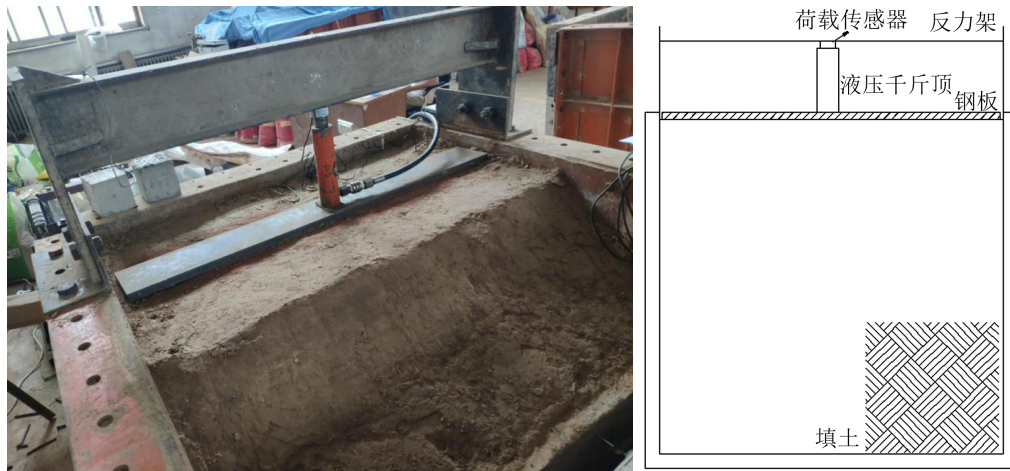


Figure 7. Loading system diagram
图 7. 加载系统示意图

4. 试验结果分析

4.1. 墙体位移分析

取东西两列百分表的平均值得图。

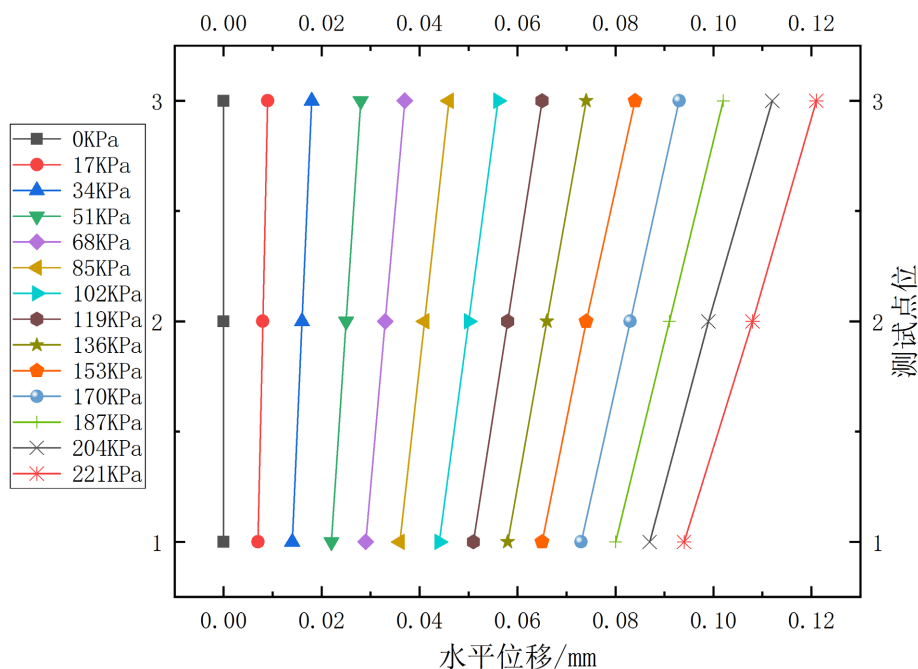


Figure 8. Wall displacement change diagram

图 8. 墙体位移变化图

由图 8 可知, 挡墙整体平行移动并伴随绕墙趾转动, 但是位移较小。其中在施加荷载为 221 KPa 时, 挡墙整体位移最大为 0.107 mm, 墙顶位移为 0.121 mm, 墙底位移为 0.094 mm, 此时挡土墙面倾斜角 $\alpha = 0.031^\circ$ 。当挡土墙位移很小时填土处于静止土压力与主动土压力状态之间的弹性阶段, 此时土压力系数与填土内摩擦角 φ 、填土表面倾角 β 、挡土墙面倾斜角 α 有关[12], 土压力系数 $K = 0.27$ 。墙体整体位移随着施加荷载增大而增大, 增长速率大致呈线性增长, 由于施加荷载不断增大, 墙底受地基土摩擦力的影响位移要比墙顶小, 因此造成墙体伴有绕墙趾转动, 但是最大挡土墙面倾斜角很小基本可以忽略不计。

4.2. 重力式挡墙墙背土压力

试验测得每级荷载作用下墙后土压力如图 9。

水平土压力为负值, 负值表示土压力盒受压, 此后讨论其规律, 按其绝对值讨论。由图 9 可知, 施加下一级荷载后, 土压力不会立即作用到墙背, 而是有一个“滞后”现象, “滞后”时间大约为两分钟。各测试点的土压力变化趋势基本一致, 但是数值大小不同, 为了更好的研究土压力变化趋势, 选取各级荷载阶段土压力稳定后的数值得到图 10。

由图 10 可知, 水平土压力随着施加荷载的增大而增大, 各测试点的水平土压力增长趋势近似于线性增长并且增长速率近似相同, 增长速率 $V = 0.06$ 。当施加荷载达到第 12 级(204 KPa)后, 填土表面塌陷, 如图 11。

为研究各测试点水平土压力的不同, 纵向观察各测试点变水平土压力变化规律, 得到图 12。

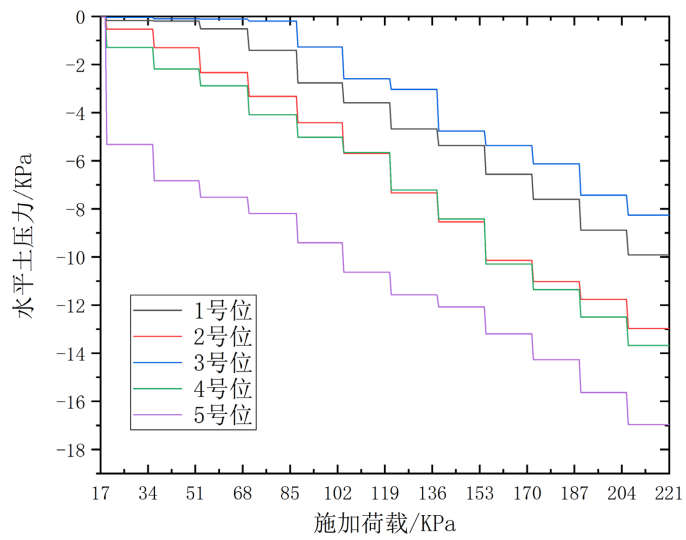


Figure 9. Diagram of horizontal earth pressure variation during load application
图 9. 荷载施加过程中水平土压力变化图

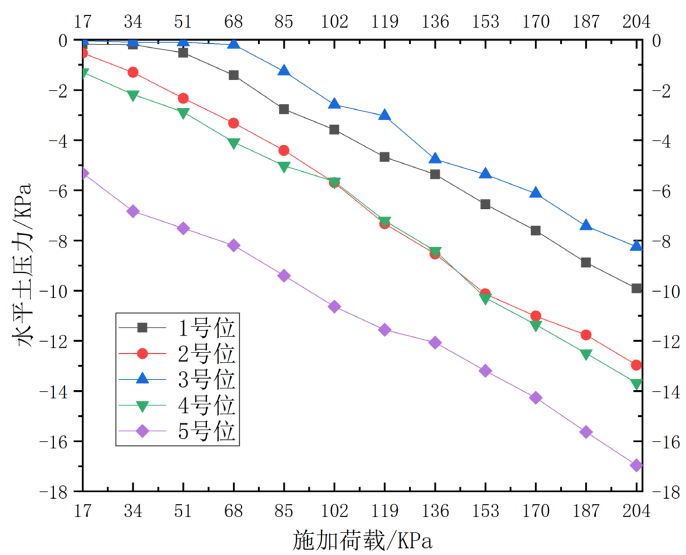


Figure 10. Horizontal earth pressure variation diagram of loads at all levels
图 10. 各级荷载水平土压力变化图



Figure 11. The surface of the fill collapsed
图 11. 填土表面塌陷

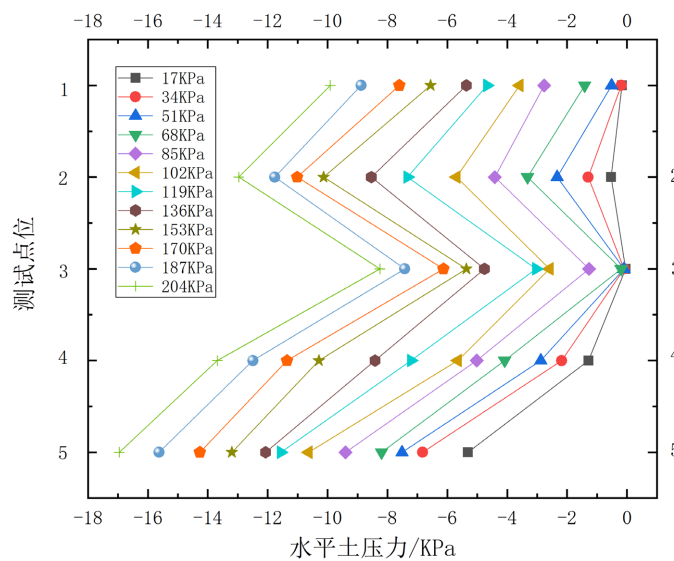


Figure 12. Diagram of earth pressure change behind wall
图 12. 墙背土压力变化图

由图 12 可知, 墙背土压力变化趋势类似于“闪电”, 从墙顶至墙底, 水平土压力数值先增大后减小再增大。墙背中间位置土压力最小, 墙底土压力最大。墙底水平土压力最大, 是由于挡墙伴有绕墙趾转动的趋势, 墙底趋附于填土, 使得墙底受压增大, 土压力增大。

通过计算挡墙的抗滑移稳定性安全系数判断既有挡墙的稳定性的
 其中, 墙重

$$G = \frac{1}{2}(a+b)h \cdot \gamma = \frac{1}{2}(0.04+0.25) \times 0.5 \times 25 = 1.8 \text{ KN}$$

挡墙墙背倾角

$$\alpha = \arctan \frac{0.5}{0.25-0.04} = 67^\circ$$

墙背土压力

$$E = \frac{1}{2} Ph$$

$$E_x = E \cos(90^\circ - \alpha)$$

$$E_z = E \sin(90^\circ - \alpha)$$

则各施加荷载作用下既有挡墙的抗滑稳定性安全系数如表 1。

Table 1. Safety factor of anti-sliding stability under each applied load

表 1. 各施加荷载下的抗滑稳定性安全系数

施加荷载/KPa	Kc	施加荷载/KPa	Kc
17	1.9	119	1.1
34	1.6	136	1.1
51	1.5	153	1.0

Continued

68	1.4	170	1.0
85	1.3	187	0.9
102	1.2	204	0.9

由表 1 可知, 在施加荷载为 102 KPa 时, 既有挡墙的抗滑移稳定性安全系数不满足要求, 即对于室内模拟试验的既有重力式挡土墙的极限荷载为 85 KPa。结合图 12 可知, 即使施加荷载达到极限荷载, 墙背土压力的变化趋势也没有明显变化。

5. 结论

本文通过室内模型试验, 分析了既有重力式挡土墙在施加荷载产生变化过程中的土压力变化以及位移变化, 得出以下结论:

- 1) 当施加荷载增大时, 土压力不会立即反应到墙背, 有“滞后”现象;
- 2) 墙背土压力由墙顶到墙底呈现“闪电”型变化趋势, 墙中土压力较小, 墙底土压力较大。并且随着施加荷载的增大, 墙背土压力随之增大, 处于静止土压力与主动土压力状态之间的弹性阶段;
- 3) 随着施加荷载的增大, 墙体水平位移较小并伴随绕墙趾转动的趋势;
- 4) 填土表面没有明显变化时土压力分布状态也不会有明显变化, 因此既有重力式挡土墙后填土承受荷载产生变化时, 在达到路基承载极限之前, 挡墙依旧稳定。

参考文献

- [1] 李遐. 基于有限元法重力式挡土墙后土压力分析[J]. 湖南水利水电, 2020(4): 34-38.
- [2] Chang, M.F. (1997) Lateral Earth Pressures behind Rotating Walls. *Canadian Geotechnical Journal*, **34**, 498-509. <https://doi.org/10.1139/t97-016>
- [3] Terzaghi, K. (1934) Large Retaining Wall Tests II-Pressure of Saturated Sand. *Engineering News Record*, **112**, 259-262, 316-318.
- [4] 陈页开. 挡土墙上土压力的试验研究的数值分析[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2001.
- [5] 陆培毅, 严驰, 顾晓鲁. 砂土基于室内模型试验土压力分布形式的研究[J]. 土木工程学报, 2003, 2(10): 84-88.
- [6] 刘瑛, 方建龙, 姜啸. 重力式挡土墙综合质量检测方法研究[J]. 科学技术创新, 2020(28): 90-92.
- [7] 范瑛, 雷洋. 多级重力式挡土墙土压力分布试验研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(10): 3125-3129.
- [8] 杜瑞锋, 裴向军, 张晓超, 李爱君, 张振义. 土工击实试验数据处理方法[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(9): 19-24.
- [9] 张连祥. 公路边坡重力式挡土墙施工技术[J]. 交通世界, 2014(14): 115-116.
- [10] 张强勇, 张绪涛, 向文, 陈旭光, 曹冠华, 许孝滨. 不同洞形与加载方式对深部岩体分区破裂影响的模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(8): 1564-1571.
- [11] 李广信, 黄锋, 帅志杰. 不同加载方式下桩的摩阻力的试验研究[J]. 工业建筑, 1999(12): 19-21+67.
- [12] 尉希成, 周美玲. 支挡结构设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.