

The Research about the Stability of Reinforced Soil Retaining Wall in Operating Period

Zhanyong Yao, Zhengchao Zhang, Hongguang Jiang, Junyan Yu

School of Civil Engineering, Shandong University, Jinan Shandong
Email: 1044053629@qq.com

Received: Mar. 12th, 2017; accepted: Mar. 28th, 2017; published: Mar. 31st, 2017

Abstract

Reinforced soil retaining wall in the course of deformation often occurs instability, so this paper combines specific engineering to research the effect of reinforcement material creep on the stability of reinforced soil retaining wall. First, the distribution characteristics of lateral deformation of 5 typical sections of the retaining wall are obtained through field monitoring. After 8 years of operation, it is found that the maximum lateral displacement of retaining wall is 13.5 cm, and the lateral displacement/wall height is 0.87%. Secondly, through the establishment of a two-dimensional finite element model of reinforced earth retaining wall site, it analyzes of lateral deformation of retaining wall, the earth pressure behind the wall, stress and strain of reinforcement and overall stability of retaining wall under the deformation. Numerical results show: because of the increase of lateral deformation of retaining wall, the overall safety factor of reinforced retaining wall is reduced from 1.85 to 1.28 at the time of completion, and it exists risk of instability. Therefore, it is necessary to take the corresponding reinforcement measures for the dangerous section of the retaining wall, and improve the drainage structure of retaining wall.

Keywords

Reinforced Soil Retaining Wall, Site Monitoring, Numerical Analysis, Lateral Displacement, Stability

服役期内模块式加筋土挡墙稳定性研究

姚占勇, 张正超, 蒋红光, 于君彦

山东大学土建与水利学院, 山东 济南
Email: 1044053629@qq.com

收稿日期: 2017年3月12日; 录用日期: 2017年3月28日; 发布日期: 2017年3月31日

摘要

针对加筋土挡墙在服役期内出现的变形过大甚至失稳问题, 本文结合某高速公路实际工程, 研究筋带蠕变导致的墙面变形对挡墙稳定性的影响。首先, 通过现场监测获得了该挡墙5处典型断面的侧向变形分布特征, 发现经过8年的服役, 挡土墙的最大侧向位移为13.5 cm, 侧向位移/墙高值为0.87%。其次, 通过建立现场加筋土挡墙的二维有限元模型, 分析了在该变形量下挡墙侧向位移、墙后土压力、筋带应力应变及挡墙整体稳定性。数值结果表明: 由于挡墙侧向变形的增大, 加筋土挡墙的整体安全系数由竣工时的1.85降低至1.28, 存在失稳的危险。因此, 有必要对该挡土墙的危险断面采取相应的工程加固措施, 并改善挡土墙的防排水结构布置。

关键词

加筋土挡土墙, 现场监测, 数值分析, 侧向位移, 稳定性

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

加筋土挡土墙因其造价低廉、对地基条件适应性大、造型美观及较高的抗震性能等优点得到迅速发展[1]。加筋土挡土墙变形及受力特性较为复杂, 其稳定性影响因素较多[2] [3] [4]。加筋土挡土墙的变形是地基沉降、墙体上部荷载、墙背土压力、筋材蠕变、填土压实度、筋材布置方式等的综合反映[5]-[10]。处于服役期的加筋土挡土墙需要对其变形程度、变形趋势、工作性态进行监测和评估, 以评价其在运营过程中的安全程度, 同时进行危险断面预警, 并提出合理的加固方案[11] [12] [13]。

目前, 对于加筋土挡土墙的常规变形监测方法主要由测角法、水准法、GPS法、地震波速法等[14] [15], 但这些方法都存在工作量大、自动化程度不高以及监测精度不高等问题, 本项目采用高精度的索佳 NET05 对挡墙的水平位移、高程变化进行现场跟踪监测, 通过对变形数据的处理分析了该挡墙实际变形情况及变形机理。

土体中的筋材在长期承受拉应力作用下, 产生的蠕变将会引起加筋土结构内部应力状态的改变, 甚至影响结构物的稳定性或产生较大变形。本文结合现场监测数据, 采用 PLAXIS 有限元软件, 对考虑筋材蠕变作用下该挡墙的侧向变形、工作形态进行了数值模拟, 计算分析了不同变形断面的挡墙侧向变形、墙背土压力、筋材应力与应变、整体稳定性等工作性态规律, 以便为服役期加筋土挡土墙运营状态评价提供一定指导。

2. 工程概况

本工程所在地区处于鲁中南山地丘陵区南端, 为侵蚀、剥蚀构造低山丘陵, 地面起伏较大, 山体较为陡峭, 基岩出露, 风化剥蚀强烈, 有丰富的基岩裂隙岩溶水, 发育有岩溶。山脉之间被断陷盆地切割, 村庄密集, 道路网四通八达, 土质主要为粘土、亚粘土、亚砂土等, 基岩以石灰岩为主, 间杂有砂岩及泥岩层。

项目依托挡墙工程面板形式为钢筋混凝土模块式面板, 筋材采用 CPE3020 型钢塑复合拉筋带, 挡土墙高度 7.5 m~15 m, 填料采用砂性土, 挡墙北侧紧邻一村庄, 东侧连接大桥, 挡墙如果发生失稳将引发极大的安全问题(如图 1 所示)。通过该加筋土挡土墙工程长期现场跟踪监测及现场调研, 发现该挡

墙存在墙体外鼓、伸缩缝老化、墙体裂缝、墙顶开裂、墙面渗水、墙体顶部路面车辙与裂缝等病害。墙体存在 5 个侧向变形较大(最大变形量超过 6 cm)的典型断面(如下图 2 所示), 其中断面 1 距离东侧桥台 12.5 m, 墙高 15 m, 最大变形量 13.5 cm; 断面 2 位于桥台左侧 5 m, 墙高 14.5 m, 最大变形量 8.5 cm; 断面 3 位于桥台左侧 25 m, 墙高 14.5 m, 最大变形量 9.7 cm; 断面 4 距离东侧桥台 45.5 m, 墙高 14 m, 最大变形量 13 cm; 断面 5 距离东侧桥台 85.5 m, 墙高 12 m, 最大变形量 8.5 cm。典型断面 2、4、5 呈现中间侧向位移偏大的“鼓肚型”断面, 而典型断面 1、3 则为上部侧向位移偏大的“倾覆型”断面。

本工程现场使用索佳 NET05 全站仪对全挡墙进行跟踪监测, 典型断面所得监测结果如下图 3 所示。

观测数据表明, 墙体在典型断面处存在较大的不均匀变形, 在典型断面 4 处最大侧向位移已达 13 cm, 典型断面 5 处最大侧向位移已达 13.5 cm。典型断面 2、3 靠近桥头, 采用双向加筋, 最大变形量分别为 8.5 cm 和 9.7 cm, 变形接近且小于其他几个断面; 断面 1、4 和 5 位于挡墙两侧, 采用单向加筋, 挡墙变形受墙高、筋材布置方式等因素影响, 变形形态各异。

3. 有限元数值计算

目前用于岩土工程的有限元模拟软件有很多, 如 Abaqus、Ansys、Adina、PLAXIS 等, 这些软件有不同的适用情况。PLAXIS 是由荷兰 PLAXIS B.V. 公司推出的一款通用岩土有限元计算软件, 目前在各种岩土工程中都得到了广泛的应用。



Figure 1. Lateral displacement of the wall

图 1. 墙体外鼓

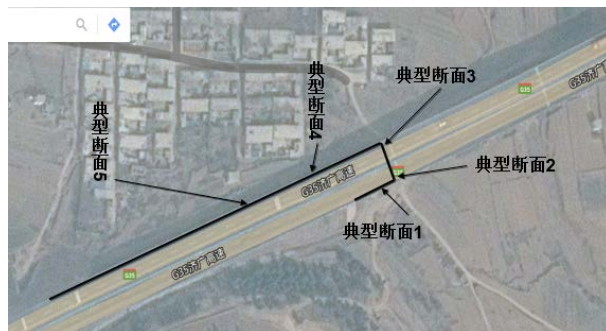


Figure 2. Typical section (Source: Google Map)

图 2. 典型断面分布(来源 Google 地图)

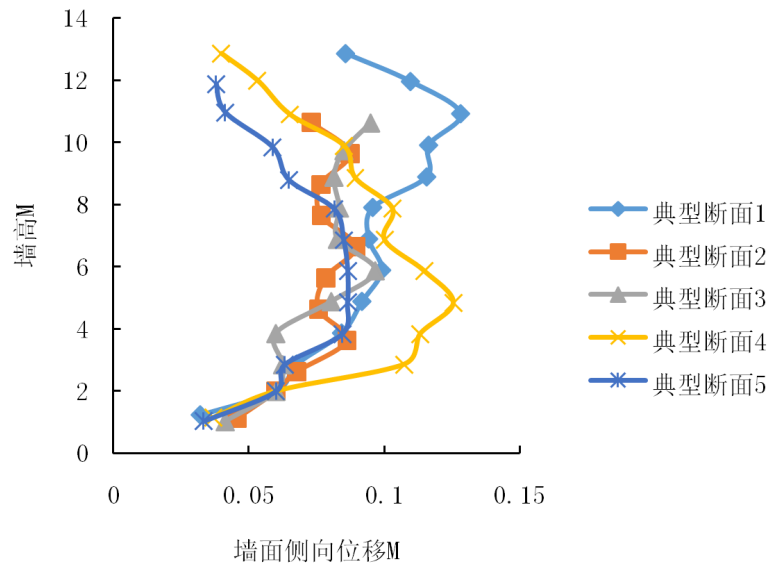


Figure 3. Measured value of the typical cross section displacement
图3. 墙体典型断面实测值

3.1. 几何模型的建立及材料参数

选取该挡墙工程侧向变形量最大的典型断面5计算分析，由于挡土墙是典型的平面应变问题，考虑对称性，选取挡墙的1/2结构进行计算分析，下图4即为计算分析几何模型。

路基宽度为30 m，挡墙高度15 m，混凝土面板大小为0.5 m × 0.5 m，筋带结点垂直及水平间距均为0.5 m，共布设30层条带式钢塑复合拉筋带(由上而下12 m长筋带10层，10 m长筋带15层，8 m长筋带5层，自下而上将筋带编号为1~30)。模型中土体单元采用Mohr-Coulomb模型，钢塑复合拉筋带及面板采用线弹性模型，筋土界面及土体与面板之间界面采用复合摩尔库伦抗剪强度准则和抗拉强度准则的理想弹塑性接触面模型。

3.2. 界面单元

模型中可使用的结构单元包括板、梁、锚杆、土工格栅以及PLAXIS特有的Embedded桩单元，土与筋材相互作用采用界面单元模拟。为模拟土体和筋材的相互作用，PLAXIS程序引入界面单元模块，筋材与土体间的应力传递取决于筋土界面强度，用参数 R_{inter} 来表示。 R_{inter} 反映了筋材与土体间的相互作用，取值范围为0.001~1.0。

3.3. 参数取值

挡土墙主要模型参数如下表所示，其中墙后填土及地基土的参数取自施工设计文件(见下表1)，筋材参数则为在施工设计文件基础上，参照德国《加筋土结构设计分析指南EBGEO》取筋带的蠕变折减系数为1.5~2.5(见下表2)。

4. 计算结果及分析

4.1. 挡土墙侧向位移

加筋土挡土墙侧向位移如图5所示，在挡墙分层填筑施工完毕后挡墙断面侧向变形呈“鼓肚型”。面板最大水平位移值为4.89 cm，位于1/3墙高处。由于采用分层填筑，顶部侧向变形较小。

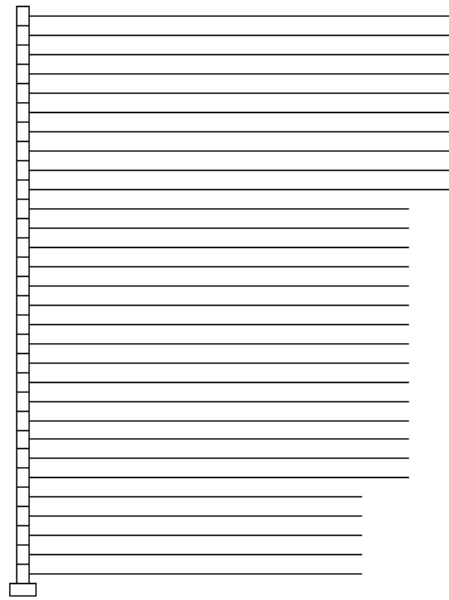


Figure 4. Geometric model diagram
图 4. 几何模型图

Table 1. Soil parameters
表 1. 土体参数

材料	参数	计算值
墙后填土	粘聚力(kpa)	20
	摩擦角(degrees)	30
	弹性模量(Mpa)	80
	弹性模量(Mpa)	300
地基土	泊松比	0.27
	重度	23

Table 2. Reinforcement parameters
表 2. 筋材取值

材料	参数	计算值	折减上线	折减下线
筋带	轴向刚度(kN/m)	1200	800	480

如图 6 所示, 考虑加筋土挡土墙在筋材蠕变作用下侧向变形的典型断面 5 的现场监测值与计算值较为吻合, 与分层填筑后竣工位移相比, 典型断面 5 的最大侧向位移值 13.5cm 比竣工时的 4.89cm 相比增大了 176%。

4.2. 墙背土压力

图 7 为墙后土压力分布。如图所示, 墙后土压力的整体分布趋势为: 沿墙高呈非线性分布, 这是由于面板之间为非刚性连接, 相互之间可以发生错动; 墙后土压力沿墙高从上而下逐渐增加, 由于筋带的存在, 在墙高 1/3 处的墙后土压力较小, 但墙高 1/3 往下墙后土压力急剧增大。

随着挡墙侧向位移的增大, 墙后土压力有明显增大的趋势, 这是由于筋材蠕变筋材强度降低, 加筋作用减弱。

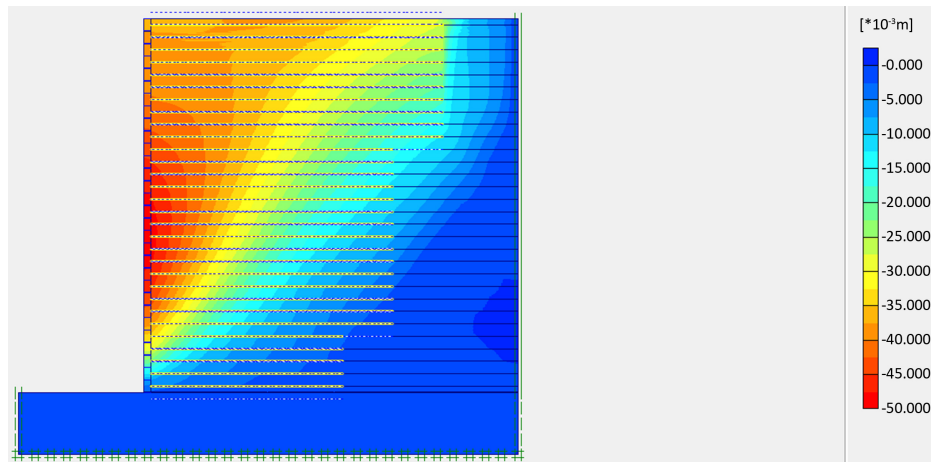


Figure 5. Lateral displacement cloud
图 5. 侧向位移云图

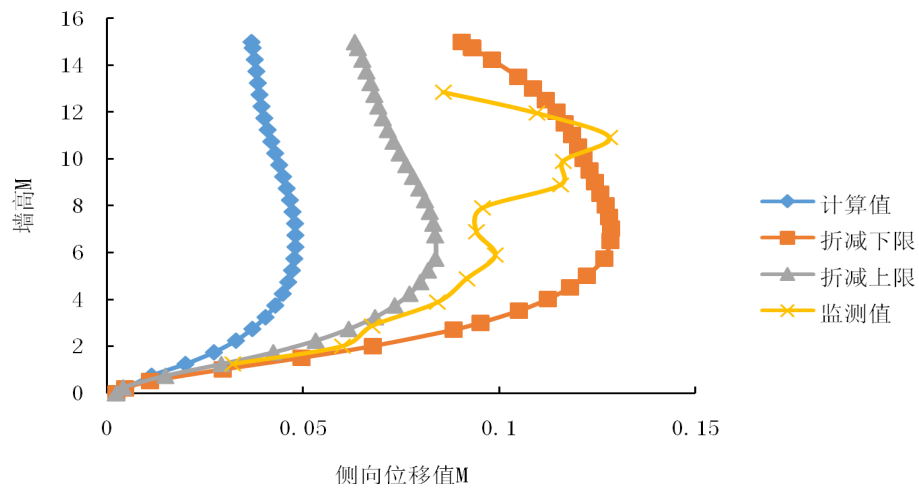


Figure 6. Comparison of the calculated values and measured values
图 6. 挡墙侧向位移计算值与实测值比较

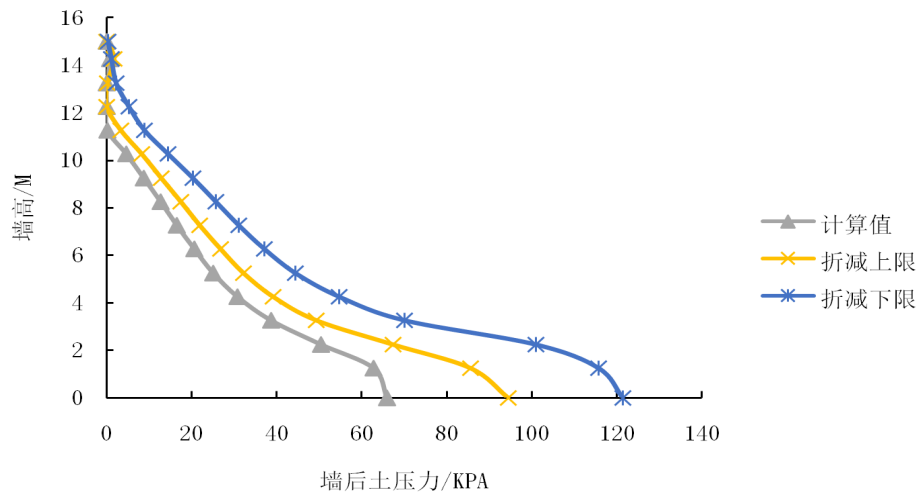


Figure 7. Distribution of earth pressure behind the wall
图 7. 墙后土压力分布

4.3. 筋材应力及应变

取该加筋土挡土墙第 5、15、25 层筋带分析：

综合图 8~图 10 所示的计算结果可知，当挡墙侧向位移增大时，筋带各节点应力相应增大，筋土界面间相互错动的趋势加大。

将筋带各节点应力除以轴向刚度即可得筋带各节点应变，其变化趋势与筋带应力相同。由计算结果可知，挡土墙中下部筋带往往存在较大的应变。当筋带的轴向刚度从 1200 kN/m 折减到 923 kN/m 时，第 5 层筋带应变最大达到 1.154%；当筋带的轴向刚度从 1200 kN/m 折减到 648kN/m 时，最大侧向位移从 4.89 cm 增大到 13.5 cm 时，第 5 层筋带最大达到 1.9%，已经接近设计文件规定的极限应变 2%，筋带有被拉断的危险。

如图 11 所示，将所计算 30 层不同高度筋带的最大应力点连接起来，即可得到挡墙的潜在危险破裂面，破裂面倾斜角度接近 $45^\circ + \varphi/2$ 。当挡墙侧向位移增大时，危险破裂面有以墙趾为原点朝向墙面转动的趋势。

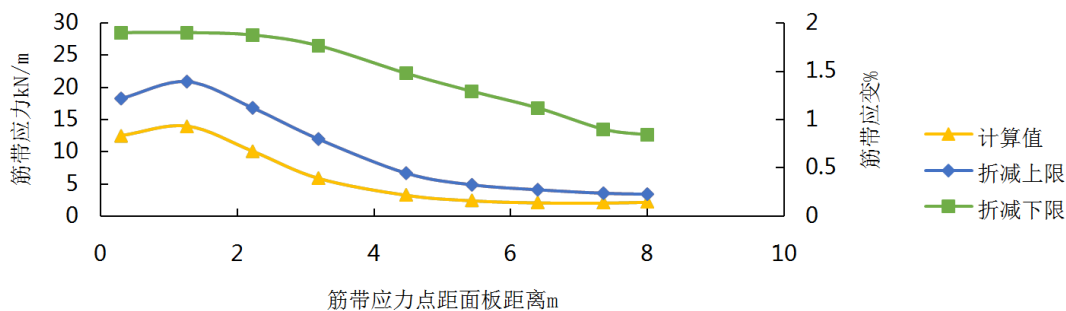


Figure 8. The stress and strain of the 5th layer

图 8. 第 5 层筋带应力应变

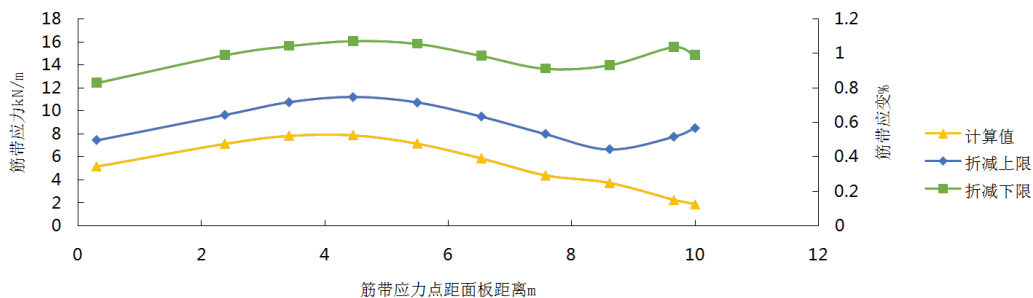


Figure 9. The stress and strain of the 15th layer

图 9. 第 15 层筋带应力应变

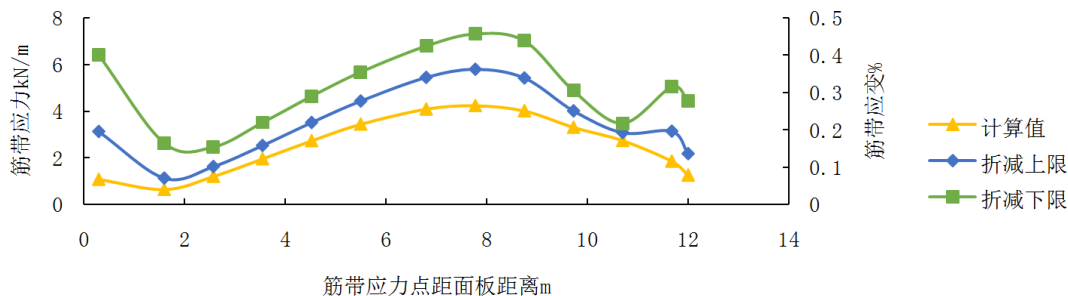


Figure 10. The stress and strain of the 25th layer

图 10. 第 25 层筋带应力应变

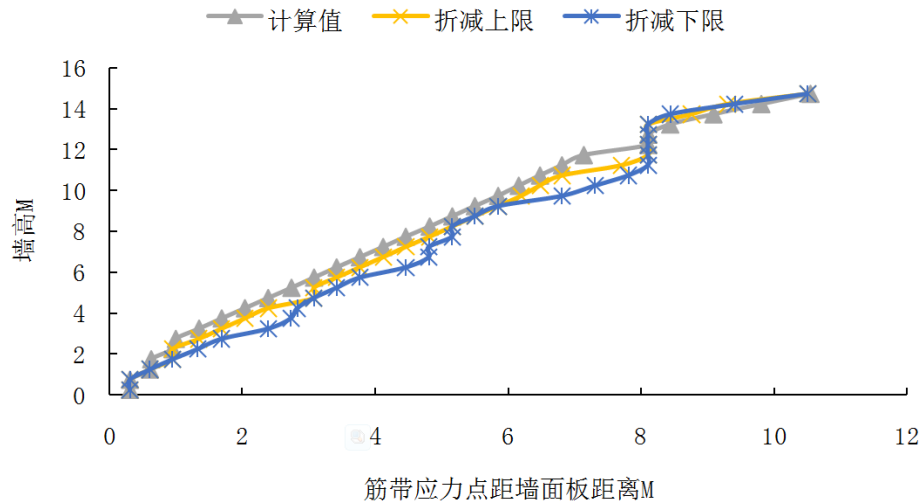


Figure 11. In different lateral deformation under the location of dangerous rupture surface
图 11. 在不同侧向变形下危险破裂面位置

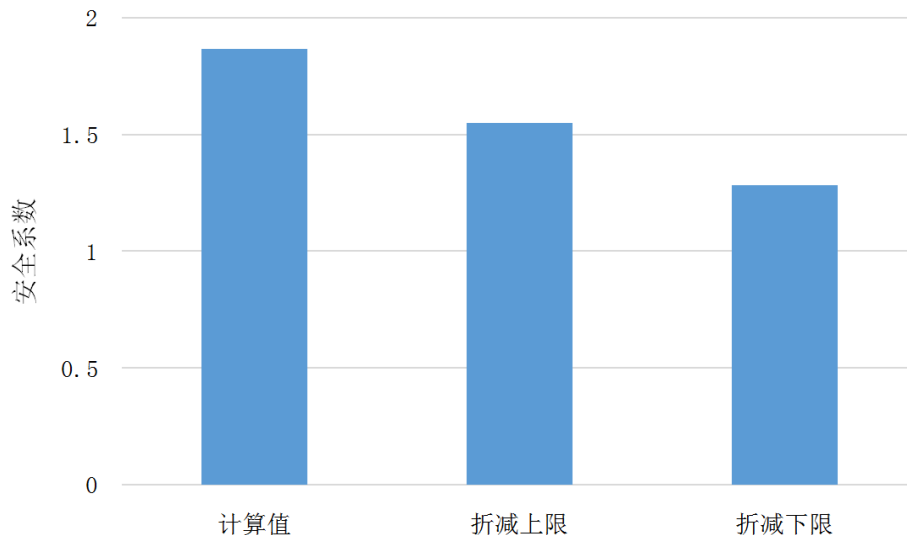


Figure 12. The overall safety factor of the lower wall under different lateral deformation
图 12. 不同侧向变形下挡墙整体安全系数

4.4. 安全系数

随着墙后填土含水率的变化，填土的粘聚力、内摩擦和界面摩擦系数均有不同程度的变化，使用 PLAXIS 软件的折减 ϕ/c 方法，计算该挡墙在不同工况下的整体安全系数，见下图 12。

计算结果表明，当挡墙侧向变形增大时，挡墙的整体安全系数减小。当筋带的轴向刚度从 1200 kN/m 折减到 800 kN/m 时，安全系数从 1.86 减小到 1.54；当筋带的轴向刚度从 1200 kN/m 折减到 480 N/m 时，安全系数减小到 1.28。可见，筋带蠕变导致的筋带强度折减会导致挡墙产生较大的侧向变形，并对挡墙整体稳定性会受到较大影响，挡墙有失稳的危险。

5. 结语

根据数值模拟计算结果及现场变形监测，得出以下结论。

(1) 运营期加筋土挡土墙的侧向变形与筋带强度变化密切相关，筋带蠕变导致的筋带强度折减会使得

挡墙的整体加筋效果降低,引起挡墙较大的侧向变形。

(2) 当某一断面处筋带的轴向刚度从设计值 1200 kN/m 折减到 800 kN/m 时,最大侧向位移由 4.89 cm 增大到 8.5 cm 时,安全系数从 1.86 降低到 1.54,此时挡墙虽仍处于稳定状态,但需要密切监控挡墙下一步变形;当某一断面处筋带的轴向刚度从设计值 1200 kN/m 折减到 480 kN/m 时,最大侧向位移由竣工时的 4.89 cm 增大到 13.5 cm 时,安全系数从 1.86 降低到 1.28,筋带应变为 1.9%,已接近设计文件规定的筋带极限应变 2%,进一步的变形筋带将会有拉断的风险,该断面处需要采取维修加固措施。

参考文献 (References)

- [1] 邢世强. 公路加筋土挡土墙施工技术[J]. 交通世界, 2016(11): 36-37.
- [2] 苏华. 桩板式挡土墙受力特性与设计分析[J]. 珠江水运, 2014(12): 95-96.
- [3] 侯卫红, 侯永峰. 悬臂式挡土墙受力分析[J]. 北方交通大学学报, 2004(4): 16-18, 26.
- [4] 张建龙, 冼家驹, 赵斌斌, 袁兵, 牛九格. 钢带式加筋挡土墙受力与变形监测研究[J]. 工程勘察, 2015(8): 21-25.
- [5] 杨广庆, 蔡英, 苏谦. 高路堤加筋土挡土墙的变形和受力研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003(2): 321-326.
- [6] Chew, S.H. (1994) Deformation Behavior of Reinforced Soil Walls. PhD Thesis, University of California, Oakland, 59-66.
- [7] 包承纲. 土工合成材料界面特性的研究和试验验证[J]. 岩石力学与工程学报, 2006(9): 1735-1744.
- [8] Rowe, K.R. and Ho, S.K. (1998) Horizontal Deformation in Reinforced Soil Wall. *Canada Geotechnical Journal*, **35**, 312-327. <https://doi.org/10.1139/t97-062>
- [9] 徐超, 罗玉珊. 加筋土挡墙设计方法对比与实例分析[J]. 水文地质工程地质, 2011(5): 43-48.
- [10] 杨广庆, 周亦涛, 周乔勇. 加筋土挡墙拉筋轴向应力分布规律研究[J]. 岩土工程学报, 2013(4): 650-654.
- [11] 吴顺川, 高永涛, 王金安. 失稳加筋土挡土墙加固方案及技术评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2007(S1): 3086-3091.
- [12] 张志增, 高永涛, 马飞. 失稳加筋土挡土墙联合加固技术[J]. 北京科技大学学报, 2006(10): 917-920.
- [13] 王松根, 高永涛, 边国强. 关于失稳加筋土挡土墙加固问题的探讨[J]. 公路交通科技, 2001(3): 6-9.
- [14] 安旭文, 侯建国, 王逢庆, 刘戈林, 华晓宾. 地质雷达在挡墙检测中的应用[J]. 武汉大学学报(工学版), 2005(2): 64-68.
- [15] 郝明, 李玮, 郭志强. 采用物探技术进行路基挡土墙质量检测的研究与应用[J]. 地球物理学进展, 2003(3): 440-444.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org