

包裹式加筋土挡墙在城墙修复中的应用

周爱兆, 卢廷浩, 王 伟

(河海大学 岩土工程科学研究所, 南京 210098)

摘 要: 以南京市建宁路至挹江门段明城墙修复工程为例, 介绍了包裹式加筋土挡墙在城墙修复中的应用。阐述了包裹式加筋土挡墙的作用机理、施工方法, 并分析了作用效果。工程实例说明, 在城墙内侧场地狭小、地基情况较差的情形下, 采用包裹式加筋土挡墙护坡设计方案能够取得良好效果。

关 键 词: 包裹式加筋土挡墙; 城墙修复; 稳定分析

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

Application of packaged reinforced soil retaining wall to maintenance engineering of city wall

ZHOU Ai-zhao, LU Ting-hao, WANG Wei

(Research Institute of Geotechnical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: With the example of maintenance of Ming Dynasty city wall between Jianning Road and Yijiang City Gate in Nanjing, the application of the packaged reinforced soil retaining wall to city wall maintenance is introduced. Its working mechanism and construction art are analyzed. With small site and poor foundation of city wall inner side, this project shows that good maintenance result of the city wall can be obtained by the use of packaged reinforced soil retaining wall.

Key words: packaged reinforced soil retaining wall; maintenance of city wall; stability analysis

1 前 言

拟修复的城墙段, 位于南京市下关区绣球公园内, 全长约 370 m, 原为依山而筑的包山墙。其中 0+290 段至 0+330 段由于历史变迁、城市开发取土等因素, 其现状已不完全为包山墙。现城墙顶部宽窄不等, 局部只有 1~2 m, 部分城墙墙体疏松, 产生膨胀, 城墙有一定的外倾, 顶部有多处坍塌, 如图 1 所示。工程地质情况如图 2 所示, 层 1 为浅部杂填土覆盖层, 广泛分布, 厚薄不均, 物质组成复杂, 结构松散, 强度低, 稳定性差, 工程性质差; 层 2 为晚更新世沉积土层, 粉质粘土, 含水量少, 压缩性低, 强度较高, 工程地质性质较好; 层 3 及以下, 为凝灰岩, 其上部为强风化凝灰岩, 其下是中风化及弱风化岩。

根据景观设计 & 结构安全方面要求, 顶部坍塌

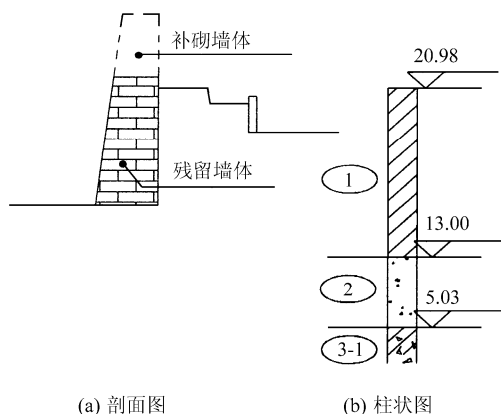
墙体需拆至稳定层后重砌到一定高度, 城墙内侧需回填一定高度的土体, 设置护坡, 防止墙体向内侧倾斜, 恢复其包山墙原貌。面临的主要问题有以下几个方面: (1) 墙体内侧场地狭小, 仅 6 m 左右, 且有多座住宅, 缺乏施工场地, 拟回填土较厚, 约 6 m, 护坡不可能做成缓坡形式, 属高陡边坡, 存在自身的稳定要求; (2) 要尽量减小对墙体的土压力作用, 提高墙体的稳定性; (3) 城墙不同于一般的建筑物, 具有文物特性, 维修时需遵循真实性原则及最小维修原则。真实性原则即“不改变城墙性状, 整旧如旧”; 尊重前人在各时期的维修成果。最小维修原则即两害相交取其轻, 在矛盾不可避免的情况下要做到最小维修原则。基于以上两大原则以及所面临的问题, 许多方法的使用受到限制, 如打锚、打桩等都不宜采用, 因为它们不可避免地要产生一些扰动, 甚至对原有墙体产生一定的破坏作用。

经综合考虑,护坡采用包裹式加筋土挡墙^[1,2]设计方案。



图1 城墙破损状况

Fig.1 Destroyed city wall



(a) 剖面图

(b) 柱状图

图2 城墙地质情况(单位: m)

Fig.2 Geological profile of the city wall(unit: m)

2 设计及施工

包裹式加筋土挡墙高度按 $H=6\text{ m}$ 设计,加筋构件的间距取 0.75 m ,筋材选用有纺编织类,极限抗拉强度 $T_f=80\text{ kN/m}$ 。考虑到既要确保自身稳定又要减小对墙体的土压力作用,筋材两端都包裹,布置如图3所示。

这种加筋土挡墙墙面由土工合成材料形成,它与土体内部的加筋构件连成整体,自身就是一个稳定墙体,对城墙几乎不施加压力。其施工顺序是首先将原地面找平,铺设 200 mm 厚的碎石或其它粗骨料,主要用于排水,再在上面铺设一层土工合成

物,在端部堆上4个沙袋,然后回填土料并压实,在第一层回填土压实的情况下,土工合成物绕着沙袋的边缘向上卷起到顶部,然后用沙土填充城墙与加筋挡土墙之间的空隙,再在其上铺设第二层合成物,回填土料并压实,如此层层铺设上卷至预定高度。其中,每层填土厚度为 75 cm ,按施工规范要求分两层压实,填料的含水量控制在 $w_{op}\pm 2\%$ (w_{op} 为最优含水率),压实度不得低于 90% ,平整度需满足工程要求。考虑保护土工合成材料及美观要求,在加筋土表面铺填 30 cm 厚耕植土,在填土表面喷播草籽,进行草地护坡。

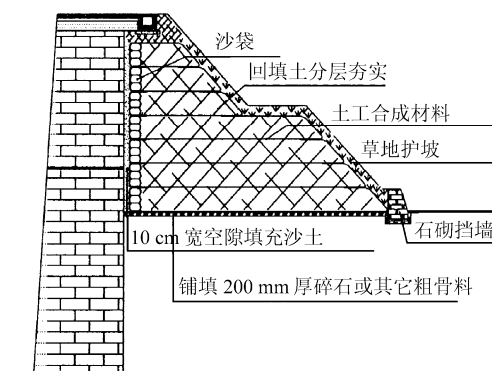


图3 包裹式加筋土挡墙

Fig.3 The packaged reinforced soil retaining wall

3 作用机理分析

普通土坡单元体能承受一定的抗力,具有一定的抗剪强度。在自重或竖向荷载作用下,单元土体产生压缩变形,侧向发生弹性膨胀,随着外部荷载的增加和时间的延长,竖向和侧向的弹性变形越来越大,直至土体开始产生塑性变形,当塑性变形超过一定限度时,土体开始部分破坏失稳。加筋土单元体通过筋材与土颗粒之间的摩擦作用,将引起侧向变形的拉力传递给筋材,由于筋材拉伸模量较大,因此土单元体的侧向变形受到了一定的限制。加筋后的土体就好像在单元土体的侧向施加了一个侧向荷载一样,并且随着竖向应力的增加,侧向限制荷载也在成比例递增。在同样大小的竖向荷载作用下,包裹式加筋土单元体达不到破坏应力,只有当填土与筋材之间的摩擦失效或筋材被拉断后,土坡单元体才有可能发生破坏^[3]。

根据以上分析可知,采用包裹式加筋土挡墙后,土体的承压能力得到提高,侧向位移受到限制,

从而减小对城墙的土压力作用，限制城墙的侧向变形，提高墙体的稳定性。

4 作用效果分析

采用非线性及弹塑性比奥固结平面有限元程序，对采取包裹式加筋土挡墙后城墙的受力及变形进行计算。在未采取任何措施，直接填土情况下城墙所受的土压力为 250.3 kN/m，新填土底面处墙体水平最大位移近 8 cm。采取包裹式加筋土挡墙方案设计后，城墙所受土压力为 157.7 kN/m，减少近 40%，主要是由于包裹式挡墙使得填土的侧向位移减小，从而土压力减小，效果比较明显。根据有限元计算所得的土压力结果，进行城墙的抗滑、抗倾覆稳定性验算，抗滑稳定安全系数及抗倾覆稳定安全系数分别为 1.68，3.58，满足工程要求^[4]。

采用瑞典条分法和 Bishop 法分别对城墙及护坡进行整体稳定性验算，城墙及护坡的整体稳定均满足工程要求^[4]，计算结果见表 1。

表 1 整体稳定计算结果
Table 1 Calculating results of total stability

地点	计算方法	
	瑞典条分法	Bishop 法
城墙	1.309	1.362
护坡	1.829	1.934

根据有限元程序计算的结果，绘制位移-应力曲线，如图 4~7 所示，由图可见：

(1) 填土后原地基土发生一定的水平位移及沉降，其中一部分水平位移及沉降是在填土过程中完成的，6 m 高填土对地基变形产生明显影响的深度范围约 8 m。墙体位移与未采取措施情况相比有显著减小。

(2) 城墙墙趾下外侧地基处应力较大，这主要是由于新填土引起墙体受偏心压力且地基应力重新分布而导致，但从应力水平看，新填土、地基及墙体均未出现破坏。

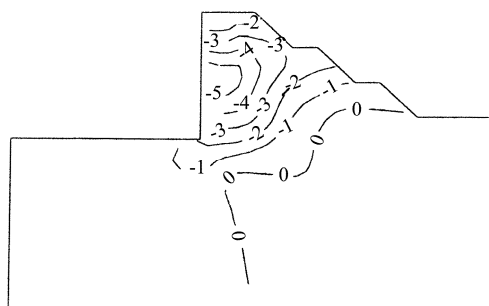


图 4 城墙及土体的水平向位移(单位: cm)
Fig. 4 Horizontal displacements of the city wall and soil(unit: cm)

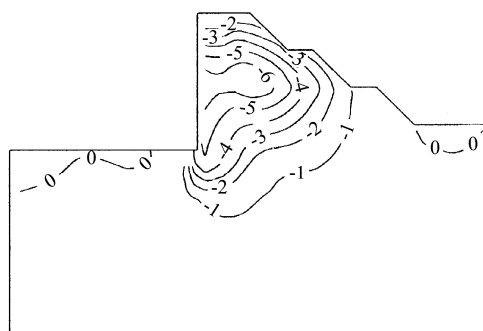


图 5 城墙及土体的竖向位移(单位: cm)
Fig. 5 Vertical displacements of the city wall and soil (unit: cm)

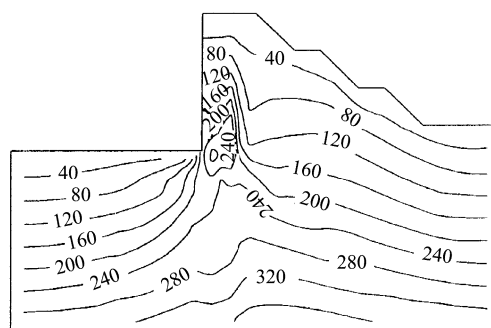


图 6 城墙及土体的大主应力等值线(单位: kPa)
Fig. 6 Major principle stress contours(unit: kPa)

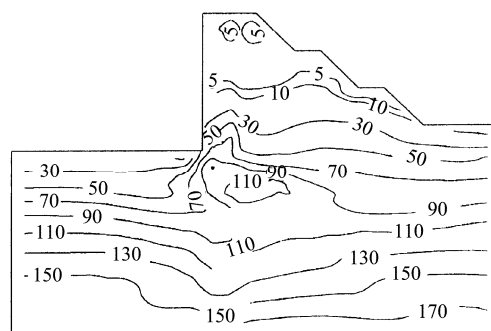


图 7 城墙及土体的小主应力等值线(单位: kPa)
Fig. 7 Minor principal stress contours of the city wall and soil (unit: kPa)

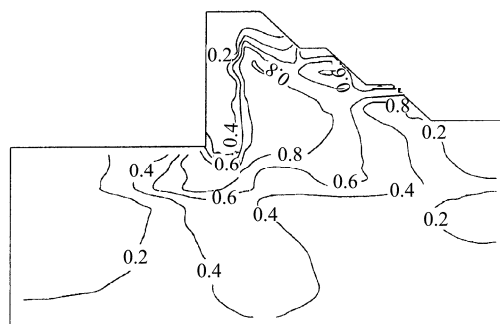


图 8 城墙及土体的应力水平等值线
Fig. 8 Stress level contours of the city wall and soil

下转第263页