

文章编号: 1674—8247(2018)05—0011—06

双排桩基悬臂式挡土墙参数影响研究分析

姚裕春¹ 李安洪¹ 李井元¹ 周 珩²

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 西南交通大学, 成都 610031)

摘 要:针对传统悬臂式挡土墙不能用于软土地基、发生不均匀沉降的填方体地基、以及地震烈度较高的地震区等工况,并对挡土墙的使用高度进行了限制,论文作者提出了一种双排桩基悬臂式挡土墙结构,大大拓展了传统悬臂式挡土墙的应用范围,开展双排桩基悬臂式挡土墙的结构参数影响分析,对工程实践具有重要的指导意义。研究结论:(1)双排桩基横向排间距宜为 3~4 倍桩径或桩宽,且不宜超过 6 m;(2)双排桩基上部悬臂式挡土墙的悬臂高度与底板宽度比值宜在 1.6~2.0 范围内选取;(3)悬臂式挡土墙底板厚度变化对桩基受力及结构变形影响较小,过大的底板厚度不利于底板受力;(4)在软土地基工况下,结构设计时应注意底板与悬臂连接处、底板与桩基连接处、桩顶处以及桩基锚固点等截面的安全检算;(5)为改善结构受力和有效控制结构变形量,地基软土较厚时应对软土地层进行复合地基加固;(6)该研究成果可为工程实践提供重要的指导借鉴作用。

关键词:双排桩基;悬臂式挡土墙;参数影响

中图分类号:U213

文献标志码:A

11

Analysis on Parameter Influence of Double-Row Pile Foundation Cantilever Retaining Wall Structure

YAO Yuchun¹ LI Anhong¹ LI Jingyuan¹ ZHOU Heng²

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;

2. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Due to the traditional cantilever retaining wall has the following disadvantages: unavailable to be used in the soft ground, the filling foundation with uneven settlement, and in the strong earthquake area, and also the applied height limitation of retaining wall, the use of traditional cantilever retaining wall is limited. In order to enlarge application range of the cantilever retaining wall, the author proposes a double-row pile foundation cantilever retaining wall structure, and the analysis of the influence of the structural parameters has an important guiding significance for the engineering practice. Research Conclusions: (1) The optimal range of transverse space of double-row piles is 3~4 times of the pile diameter and should not exceed 6m; (2) The ratio of the height of the cantilever to the width of the floor should be selected within the range of 1.6~2.0; (3) The height of the cantilever's floor has little influence to the stress and deformation. Thicker floor has disadvantage to the stress of the floor; (4) Under the soft soil foundation conditions, safety inspection to the sections like the joints of the bottom plate and the pile cantilever, the joints of the bottom plate and the pile foundation, the pile top and anchor point of pile foundation should be paid attention in structure design; (5) In order to improve structural rigidity and control structure deformation, the composite foundation should be taken

收稿日期:2018-06-27

作者简介:姚裕春(1974-),男,教授级高级工程师。

基金项目:中铁二院工程集团有限责任公司科研基金资助(院计划 13164062)

引文格式:姚裕春,李安洪,李井元,等. 双排桩基悬臂式挡土墙参数影响研究分析[J]. 高速铁路技术,2018,9(5):11-16.

YAO Yuchun, LI Anhong, LI Jingyuan, et al. Analysis on Parameter Influence of Double-Row Pile Foundation Cantilever Retaining Wall Structure [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(5): 11-16.

when the soft soil is thicker; (6) The research results can provide important guidance for engineering practice.

Key words: double-row pile foundation; cantilever retaining wall; parameter influence

悬臂式和扶壁式挡土墙是一种轻型支挡结构物,其外观形式较好、自重轻、经济指标好,地基承载力要求不高,在工程建设中应用广泛。但悬臂式、扶壁式挡土墙也有其应用条件限制,如使用高度、适用地质条件等进行了限制和规定^[1-4]。

在实际工程中,很多情况下需要对悬臂式和扶壁式挡土墙进行拓展,以充分发挥其优越性,例如:山区高速铁路车站建设中出现了大量的高填方车站,因场地或下沉式站房设置的需要,常常要求在填筑体之上设置直立收坡结构,且对工程外观要求较高,采用传统支挡收坡结构其悬臂高,外观差,会产生不均匀变形;在低承载力软土地基上需要设置外观形式较好的悬臂式和扶壁式挡土墙时,地基的差异沉降极易造成挡墙出现应力集中,从而影响其使用,采用传统支挡结构收坡,结构受低承载力软土厚度影响非常明显,悬臂会明显增大,其常常难以满足支挡结构变形控制要求;在高烈度地震区,如何有效解决悬臂式和扶壁式挡墙抗滑、抗倾覆问题是其能得到拓展应用的关键。

针对上述问题,文章应用创新思维与创新方法分析,提出了一种双排桩基悬臂式挡土墙结构,并申请了国家专利^[5-7],双排桩基悬臂式挡土墙结构是一种组合式新结构,开展该结构的参数影响及规律研究分析,对于工程实践具有重要的指导意义。

1 计算分析及工点概况

论文双排桩基悬臂式挡土墙结构参数影响分析采用ABAQUS有限元分析软件,通过建立双排桩基悬臂式挡土墙结构的三维模型,分析双排桩基横向桩间距变化、不同挡土墙悬臂高度与底板宽度比、不同挡土墙底板厚度及地基软土厚度变化对该组合结构内力分布及变形的影响^[8],通过研究为该结构的工程应用提供可靠的理论支撑。

模拟分析选取某高速铁路车站软土地基工点为原型进行计算,工点情况为:双排桩基悬臂式挡土墙结构中墙高9.5 m,桩基长度20 m,软土层厚度6 m,桩基直径1.5 m,横向间距4.8 m,纵向间距3.5 m,内外排桩沿底板中轴线对称布置,其计算模型如图1所示,计算参数如表1所示。

2 双排桩基横向桩间距影响分析

双排桩基悬臂式挡土墙结构双排桩的设计有效起

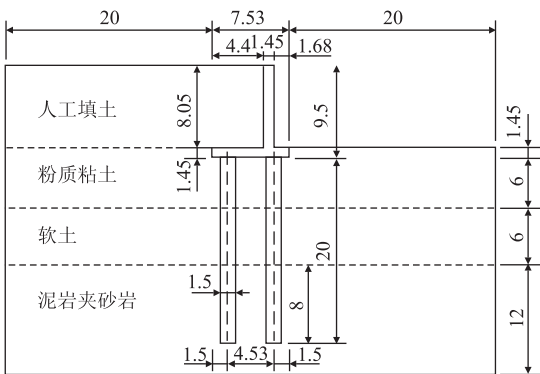


图1 计算工点模型示意图(m)

表1 模拟计算参数取值

土石名称	密度 /(kg/m ³)	弹性模量 /(N/m ²)	凝聚力 /kPa	内摩擦角 /(°)
人工填土(Q ₄ ^{ml})	2 000	2 × 10 ⁷	25	25
粉质黏土(Q ₄ ^{pl})	1 980	2 × 10 ⁷	25.6	24
软土(Q ₄ ^{dl+pl})	1 910	1 × 10 ⁷	15.6	8.2
泥岩夹砂岩(J _{2s})	2 200	7 × 10 ⁹	200	35
C40 混凝土	2 500	3.25 × 10 ¹⁰	-	-

到了保证结构稳定、控制路基变形等作用,由于该结构主要沿横断面发生变形,双排桩横向桩间距将直接影响结构的内力分布与变形。为研究桩间距对结构的影响,在上部挡墙结构尺寸与桩基布置形式不变的前提下,以底板中轴线为 midpoint 对称布置内外排桩,分别取横向桩间距为3 m、4.5 m、6 m与7.5 m(对应2~5倍桩间距与桩径比 α)。

图2是双排桩基弯矩和剪力随桩间距与桩宽之比 α 的变化情况,从桩基内力极值变化趋势曲线可知,当桩间距为3~4倍桩宽时,内外排桩基剪力极值与弯矩极值出现交汇点,桩基结构内力出现最小值。

图3是悬臂挡土墙底板弯矩极值随桩间距与桩宽之比 α 的变化情况,由图可知当桩间距为3~4倍桩宽时,底板弯矩出现最小值,过大或过小的桩间距都会导致底板弯矩极值剧烈增长。

3 悬臂式挡土墙参数影响分析

3.1 悬臂高度与底板宽度比影响分析

在双排桩基悬臂式挡土墙结构的设计中,首先假定的是上部挡土墙结构尺寸,挡土墙高度与踵板宽度之比(简称高宽比 β)将影响整个结构的受力与变形。

当高宽比过大时,结构受到较大的倾覆弯矩,特别

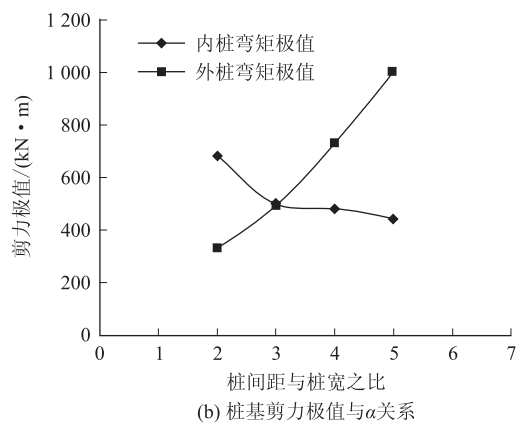
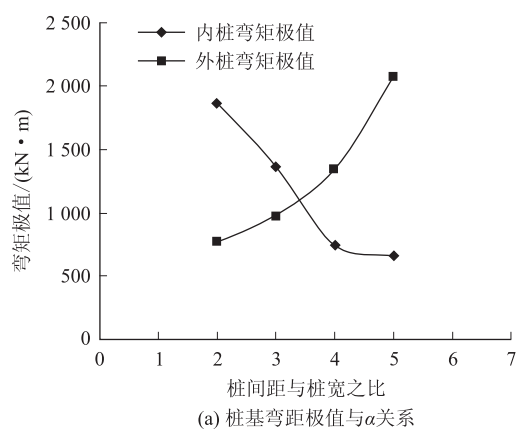
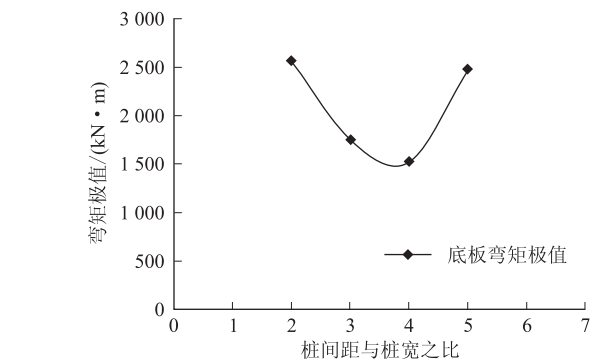
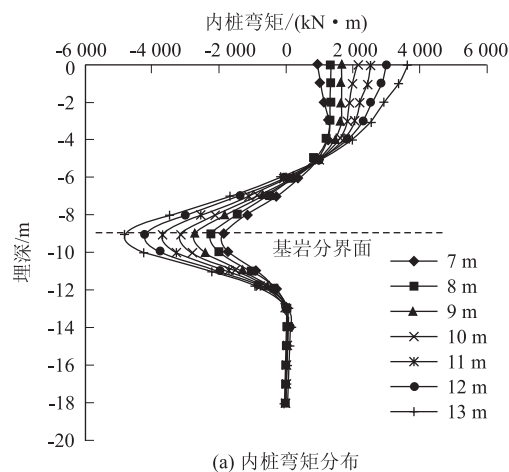


图2 双排桩基受力极值与 α 关系图

是结构应用于软弱土地基时易发生倾覆破坏,且过窄的踵板不利于双排桩的布置;当高宽比过小时,结构受到较大的竖向力,将极大增加挡土墙底板与桩基的受力,且过宽的踵板会导致挡土墙底板产生较大的挠曲



变形,不满足挡土墙底板相对刚度的假定。

为研究高宽比的合理取值范围,在假定踵板宽度为 5 m,且下部桩基宽度与布置型式不变的前提下,分别取挡墙高度 $h=7\text{ m}$ 、 8 m 、 9 m 、 10 m 、 11 m 、 12 m 与 13 m (即高宽比 β 为 1.4、1.6、1.8、2.0、2.2、2.4 与 2.6),主要分析对比组合结构中内桩、外桩、底板的弯距和剪力变化及结构的水平变形。

3.1.1 受力影响分析结果

由桩基弯矩分布曲线(见图 4)可知,桩基弯矩随着挡土墙高度的增加而增长,内外排桩基弯矩变化趋势基本一致,最大正负弯矩分别位于桩顶处与锚固点处,因此桩顶与锚固点附近为结构设计的控制截面。

桩基剪力分布曲线(见图 5)可知,内外排桩基剪力随着挡土墙高度的增加呈增长的趋势,锚固点附近为结构设计剪力检算的关键截面之一。

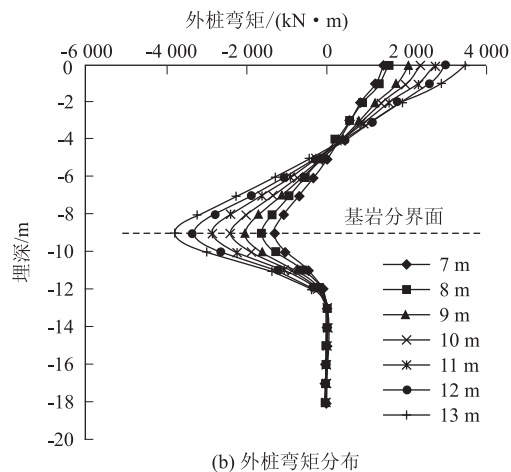


图4 桩基弯矩分布图

由底板剪力、弯矩(见图 6)可知,剪力弯矩极值均出现在底板与悬臂段或桩基的连接处附近,底板结构内力随着挡土墙高度的增加呈增长的趋势,因此底板与悬臂段、桩基顶部的连接处为结构检算的关键截面之一。

综合桩基与底板的剪力、弯矩分布情况可知,从结构内力的角度分析高宽比的影响,并未发现明显的规律,这说明该结构有良好的协调受力的特点,单纯的由悬臂高度引起的高宽比变化并未对结构内力分布产生明显影响。

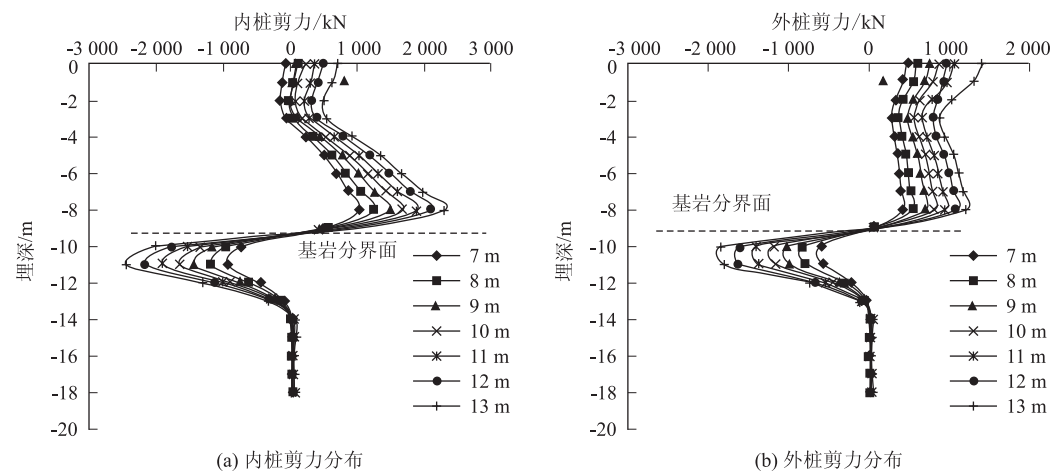


图 5 桩基剪力分布图

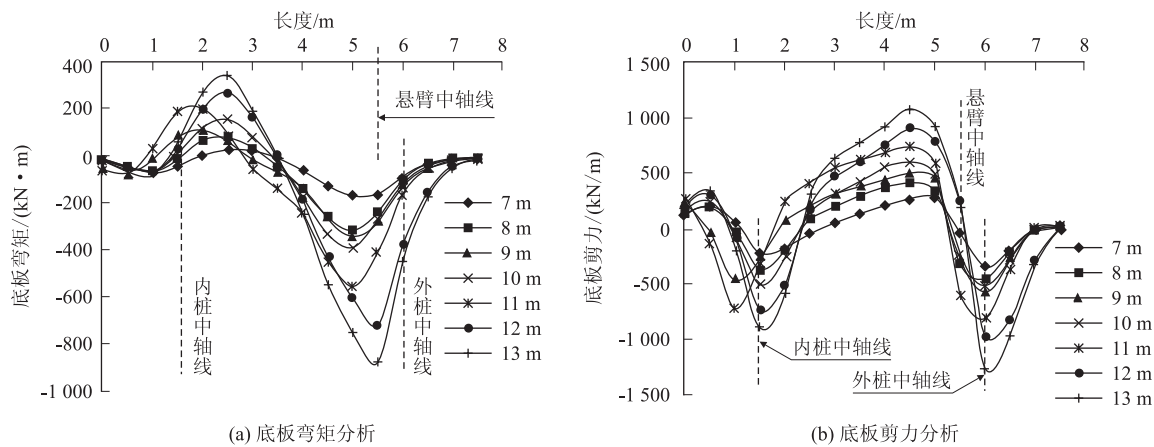


图 6 底板结构受力分布图

3.1.2 变形影响分析结果

墙顶、底板与桩顶的水平变形计算结果如图 7 所示,随着高宽比的增加,墙顶、底板与桩顶的水平位移均呈增长趋势,其中底板与桩顶的水平位移始终保持一致。墙顶的水平位移的增长趋势随高宽比的增大越发显著。

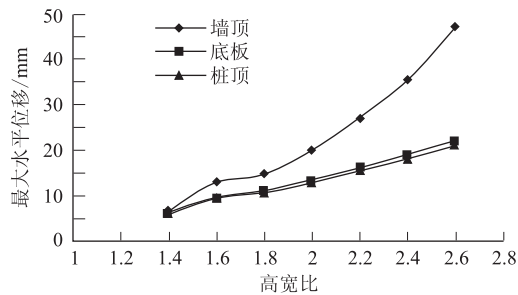


图 7 结构水平位移图

通过分析组合结构中挡墙悬臂变形与桩基变形的占比关系(见图 8)可知,当高宽比 β 小于 1.6 时,结构水平位移以桩基水平位移为主,悬臂段水平位移仅占

总位移的 10%,结构未到达悬臂式挡土墙的变形效果;当高宽比 β 大于 2 时,悬臂段水平位移占总水平位移的比重高达 43% ~ 56%,这表明挡土墙悬臂段在水平土压力的作用下变形越发明显,由于悬臂段底端为该结构的设计关键位置之一,过大的水平位移将严重威胁结构的安全性;由此提出高宽比选择建议值为 1.6 ~ 2。

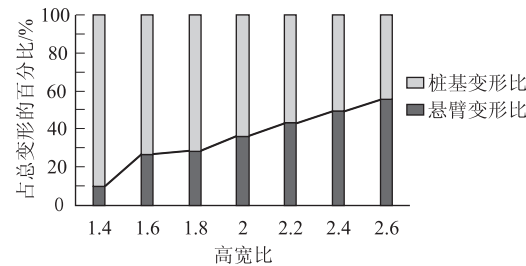


图 8 水平位移占比与高宽比的关系图

3.2 底板厚度变化影响分析

在双排桩基悬臂式挡土墙结构的设计计算中,为计算桩基受力与变形,需假定底板为不发生变形的刚

体,但实际情况下,底板会发生一定的挠曲变形。

为研究底板刚度变化对结构内力与变形的影响,设计底板厚度 $h=1\text{ m}$ 、 1.25 m 、 1.5 m 、 1.75 m 四组工况,在结构其余尺寸与材料参数不变的前提下,通过增加底板横截面积改变底板刚度,分析底板厚度对内外排桩基受力、底板受力及结构变形的影响。

3.2.1 桩基受力影响分析结果

双排桩基分析结果如图 9 所示,由桩基弯矩分布

曲线可知,桩基最大正负弯矩分别位于桩顶处与锚固点处,桩基最大剪力位于锚固点附近,桩基弯矩和剪力分布受底板厚度变化影响较小。

3.2.2 底板受力影响分析结果

底板的受分析结果如图 10 所示,由底板的内力分布曲线可知,当底板厚度增大时,底板剪力最大值有少量增长,底板最大弯矩值增长且正负弯矩差值变大,说明过大的底板厚度不利于底板受力。

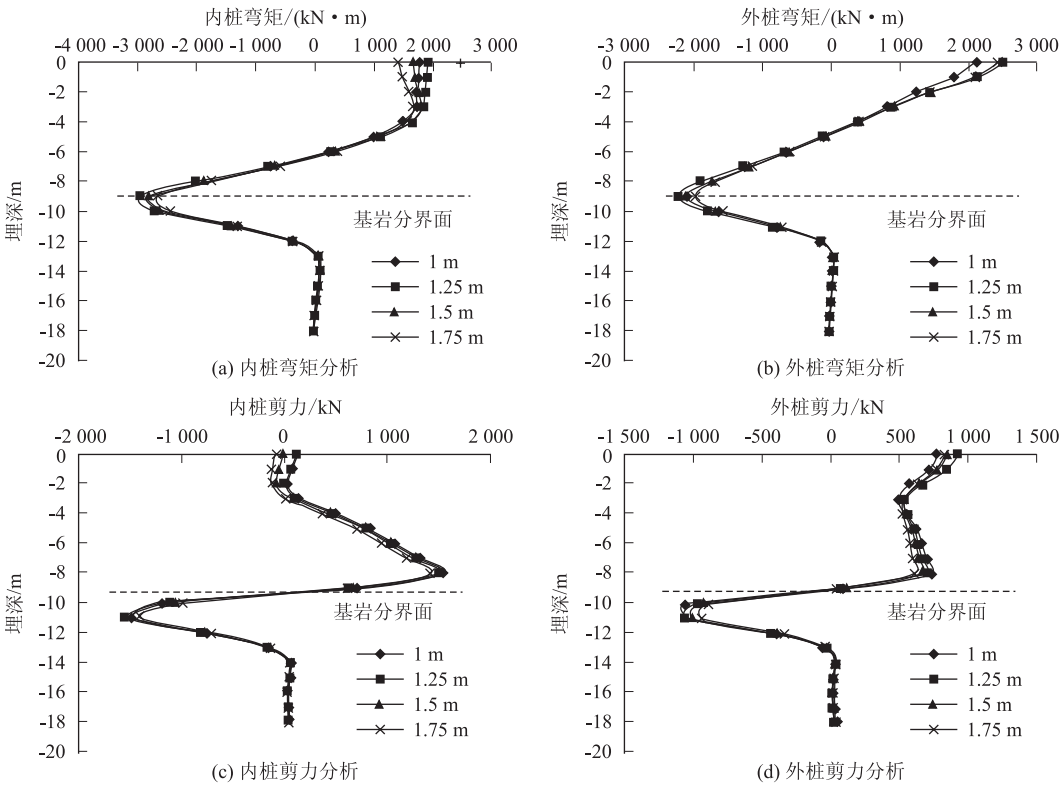


图 9 双排桩基受力分布图

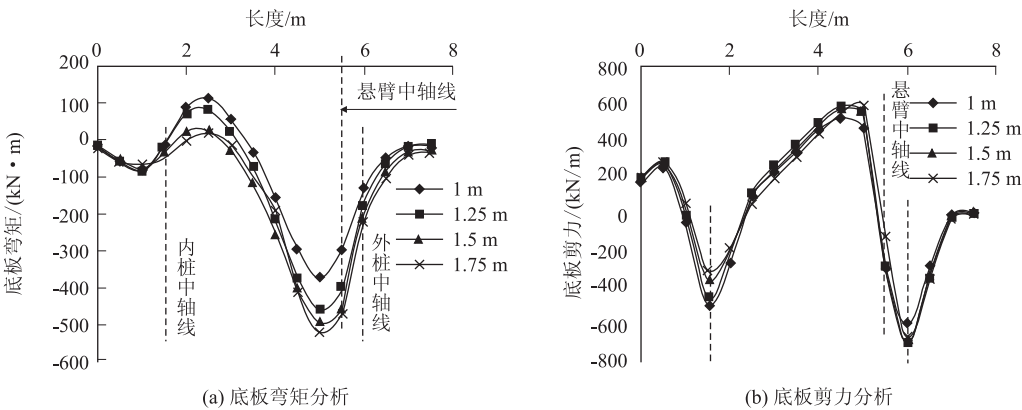


图 10 底板受力分布图

3.2.3 结构变形分析结果

结构水平位移分析结果如图 11 所示,可以看出底板厚度的增加使结构整体刚度增大,结构水平位移也

随之减小,但结构最大水平位移主要由挡土墙悬臂段高度控制,底板厚度对结构变形的影响有限。

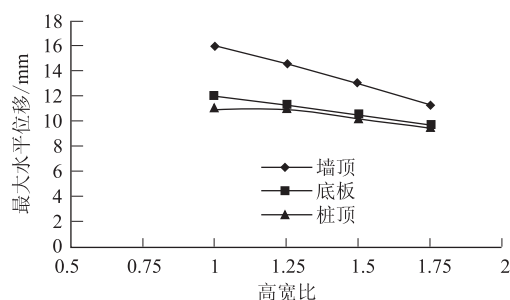
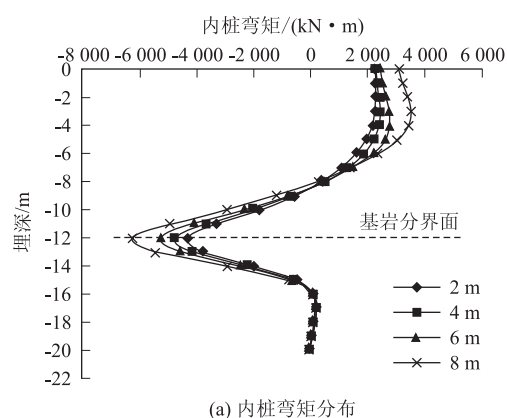


图11 结构水平位移图



(a) 内桩弯矩分布

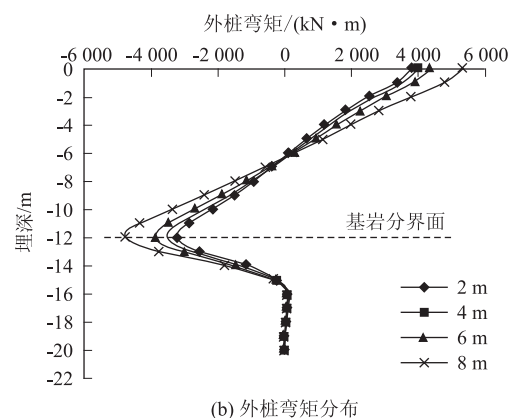
4 地基软土厚度变化影响分析

软土厚度变化模拟中采用(见图2)的计算模型,假定软土和粉质黏土的总厚度12 m不变,分别取软土层厚度为2 m、4 m、6 m、8 m,计算模拟对结构受力和变形的影响。

4.1 结构受力分析结果

4.1.1 双排桩基受力分析结果

图12为双排桩基随软土厚度增加弯矩的变化情



(b) 外桩弯矩分布

图12 内外桩弯矩分布图

16

况,结果表明双排桩弯矩均随着夹层软土厚度的增加而增长,软土厚度大于6 m后,弯矩增加幅度加大。

4.1.2 底板受力分析结果

图13为悬臂挡墙底板随软土厚度增加弯矩的变化情况,结果表明底板弯矩随软土厚度的增加呈增大的趋势,底板正负弯矩差值变大,软土厚度大于6 m后,弯矩增加幅度加大。

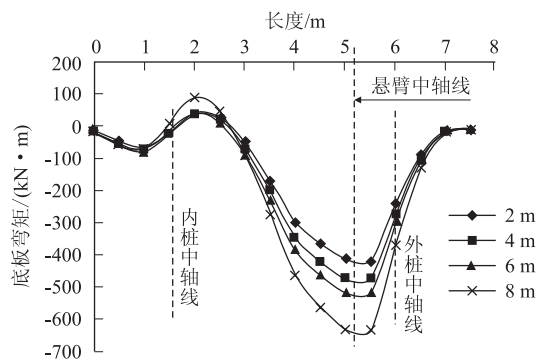


图13 底板弯矩分布图

4.2 结构变形分析结果

图14为组合结构随地基软土厚度增加水平位移的变化情况,结果表明结构水平位移随夹层软土厚度的增加呈增大的趋势,其中桩基水平位移占整体结构的水平位移90%左右,软土厚度大于6 m后,水平位移增加幅度加大,可见软土较厚时宜对地基进行加固

以有效减小桩基的水平位移。

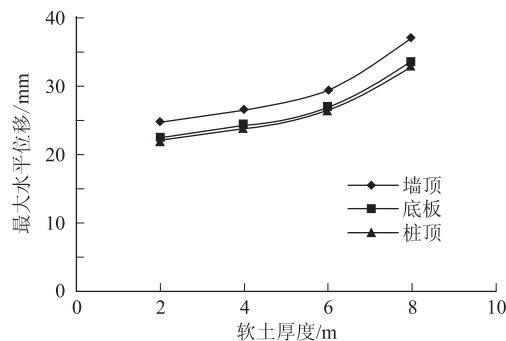


图14 结构水平位移与软土厚度的关系图

5 结论

通过对双排桩基悬臂式挡土墙组合结构中的双排桩基横向桩间距变化、不同挡土墙悬臂高度与底板宽度比、不同挡土墙底板厚度及地基软土厚度变化对该组合结构内力分布及变形的影响,得出以下结论:

(1) 双排桩基横向桩间距宜为3~4倍桩径或桩宽,且不宜超过6 m;双排桩基上部悬臂式挡土墙的悬臂高度与底板宽度比值宜在1.6~2.0范围内选取;悬臂式挡土墙底板厚度变化对桩基受力及结构变形影响较小,过大的底板厚度不利于底板受力。

(下转第37页)

参考文献：

[1] TZJ 1001 –2017 铁路基本建设工程设计概(预)算编制办法[S].
TZJ 1001 –2017 Formation Method of Budgetary Estimate (Budget)
for the Railway Basic Construction Engineering Design[S].

[2] 铁建设[2006]113 号,铁路基本建设工程设计概(预)算编制办法
[S].
TJS [2006] No. 113, Formation Method of Budgetary Estimate
(Budget) for the Railway Basic Construction Engineering Design[S].

[3] 铁建设[2009]46 号,关于铁路建设项目实施阶段材料价差调整的
指导意见[S].
TJS [2009] No. 46, Guidance on the Adjustment of Material Price
Difference in the Implementation Stage of Railway Construction Project
[S].

[4] 李洛平. 铁路工程实施阶段甲控材料价差调整方法分析[J]. 铁路
工程造价管理, 2012, 27(6) :10 –12.
LI Luoping. Party A Controlled Material Price Adjustment Method
Analysis in Railway Engineering Implementation Stage [J]. Railway
Engineering Cost Management, 2012, 27(6):10 –12.

[5] 邓建华. 工程建设实施阶段材料价差调整计算方法探讨[J]. 铁路
工程造价管理, 2012, 27(6):7 –9.
DENG Jianhua. Discussion of Engineering Construction Implementation
Stage Material Price Adjustment Calculation Method [J]. Railway
Engineering Cost Management, 2012,27(6):7 –9.

[6] 张志强,胡君. C#编程兵书[M]. 北京:电子工业出版社,2013.
ZHANG Zhiqiang, HU Jun. A Book on C# Programming [M].
Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2013.

[7] 王凌波,贺拴海, 蒋培文,等. 大跨径桥梁荷载试验加载方案算法
设计[J]. 武汉理工大学学报, 2011, 33(2):77 –81.
WANG Lingbo, HE Shuanhai, JIANG Peiwen, et al. A Loading Test
Algorithms Design for Big – span Bridges [J]. Journal of Wuhan
University of Technology, 2011, 33(2): 77 –81.

[8] 李小遐. Excel VBA 在办公自动化中的应用[J]. 电子测试,2014,
47(22):105 –106.
LI Xiaoxia. Application of Excel VBA in Office Automation [J].
Electronic Test, 2014,47(22): 105 –106.

(编辑:刘会娟 白雪)

(上接第 16 页)

(2)在软土地基工况下,结构设计时应注意底板
与悬臂连接处、底板与桩基连接处、桩顶处以及桩基锚
固点等截面的安全检算;为改善结构受力和有效控制
结构变形量,地基软土较厚时应对软土地层进行复合
地基加固。

参考文献：

[1] TB 10025 –2006 铁路路基支挡结构设计规范[S].
TB 10025 –2006 Code for Design on Retaining Structures of Railway
Subgrade [S].

[2] GB 50330 –2002 建筑边坡工程技术规范[S].
GB 50330 –2002 Technical Code for Building Slope Engineering[S].

[3] 李海光. 新型支挡结构设计 with 工程实例[M]. 北京:人民交通出版
社, 2011.
LI Haiguang. Design and Engineering Example of New Type of
Retaining Structure [M]. Beijing: China Communications Press,
2011.

[4] 姚裕春,魏永幸,袁碧玉. 高速铁路斜坡路堤变形控制探讨[J]. 铁
道工程学报,2014, 31(5):16 –21.
YAO Yuchun, WEI Yongxing, YUAN Biyu. Exploration on the
Deformation and Control of Embankment Constructed on Slope
Foundation for High – speed Railways [J]. Journal of Railway

Engineering Society, 2014, 31(5):16 –21.

[5] 姚裕春,袁碧玉. 铁路高填方下沉式站房收坡结构选择创新方法
分析[J],高速铁路技术,2018,9(1):16 –20.
YAO Yuchun, YUAN Biyu. Selection of Reinforcing Structure for
Sunken Railway Station Constructed on High Embankment Based on
Innovative Methods [J]. High Speed Railway Technology, 2018,
9(1):16 –20.

[6] 姚裕春,袁碧玉. 无砟轨道铁路陡坡路基加固结构创新方法分析
[J]. 高速铁路技术,2015,6(4):31 –35.
YAO Yuchun, YUAN Biyu. Analysis on Innovative Methods for
Reinforcing Structure of Steep Slope Subgrade of Ballastless Track
Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2015,6(4):31 –35.

[7] 姚裕春,李安洪,袁碧玉,等. 桩基悬臂式、扶臂式挡土墙:中国,
201220442371.1[P]. 2013 –4 –10.
YAO Yuchun, LI Anhong, YUAN Biyu, et al. Pile Foundation
Cantilever Retaining Wall and Counterfort Retaining Wall; China,
201220442371.1 [P]. 2013 –4 –10.

[8] 姚裕春,李安洪,苏谦. 陡坡椅式桩板结构受力模式及计算方法分
析[J]. 铁道工程学报, 2016, 33(8):71 –76.
YAO Yuchun, LI Anhong, SU Qian. Analysis of Force Model and
Calculation Method of Chair-shaped Sheet-pile Structure Constructed
on Steep Slope [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2016,
33(8):71 –76.

(编辑:赵立红 白雪)