

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2019.01.034

桩基础和隔离桩在控制路堤对 桥基影响中的应用研究

张中行¹, 高 林¹, 吴龙生¹, 杜 杰²

(1. 中国电建集团 海南电力设计研究院有限公司, 海南 海口 570100;

2. 东南大学 土木工程学院, 江苏 南京 210096)

摘 要: 以苏通大桥为工程背景, 针对路堤穿越既有桥梁的工况, 采用有限元软件 PLAXIS 3D 建立三维模型, 对比分析了路堤下设置桩基础和路堤边缘设置隔离桩两种措施对减小桥基影响的效果。结果表明: 路堤下设置桩基础和路堤边缘设置隔离桩都可以减小因路堤穿越对桥基产生的影响, 且在一定范围内桩长越长, 控制效果就越好。当存在软弱土层时, 宜选用桩基础, 且桩底应落在较好的持力层中。在竖向沉降和桩身内力方面, 桩基础的控制效果较好, 而在桥基水平位移控制方面, 隔离桩的控制效果较好, 且隔离桩越靠近路堤边缘, 效果就越好。

关键词: 桩基础; 隔离桩; 桥基; PLAXIS 3D; 内力; 位移

中图分类号: TU473.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2019)01-0190-06

Application of Pile Foundation and Isolation Pile in Controlling the Influence of Embankment on Bridge Foundation

ZHANG Zhonghang¹, GAO Lin¹, WU Longsheng¹, DU Jie²

(1. Power China Hainan Electric Power Design and Research Institute Co., Ltd., Haikou, Hainan 570100, China;

2. Department of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210096, China)

Abstract: Taking Sutong Bridge as the engineering background, the finite element software PLAXIS 3D is used to establish a three-dimensional model for the condition that embankment crosses the existing bridge. The effects of pile foundation under the embankment and the isolation pile at the edge of the embankment are compared and analyzed. The results show that the pile foundation under the embankment and the isolation pile at the edge of the embankment can reduce the impact of the embankment crossing on the bridge foundation, and the longer the pile length in a certain range, the better the control effect. When there is a soft soil layer, the pile foundation should be selected, and the pile bottom should fall in a better bearing layer. In terms of vertical settlement and pile internal force, the control effect of the pile foundation is better. In terms of the horizontal displacement of the bridge foundation, the control effect of the isolation pile is better, and the closer the isolation pile is to the edge of the embankment, the better the effect.

Keywords: pile foundation; isolation pile; bridge foundation; PLAXIS 3D; internal force; displacement

后期新建路堤产生的荷载会对既有桥梁基础(多数是桩基础)产生不利的影响, 如造成桩身挠曲甚至断裂、不均匀沉降、桥台倾斜等, 因此必须采取必要措施来控制这一影响。

已有研究中, 大多基于工程背景采用数值模拟的方法来研究。刘静等^[1]和朱彬等^[2]分别结合工程背景建立数值模型研究了地铁隧道对既有桥梁基础的影响。岳齐贤等^[3]采用数值模拟的方法研究了沉

收稿日期: 2018-09-19

修稿日期: 2018-11-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(51578145)

作者简介: 张中行(1987—), 男, 海南儋州人, 主要从事岩土工程方面的研究工作。E-mail: 493777511@qq.com

通讯作者: 杜 杰(1994—), 男, 安徽淮南人, 硕士研究生, 研究方向为岩土工程。E-mail: 1252849901@qq.com

井施工对既有桥基的影响。周勇等^[4]利用 PLAXIS 3D 软件建立三维模型分析了地铁施工对临近桩基的影响。此外,隧道开挖对既有桩基的影响方面已有不少研究^[5-8],也有涉及基坑施工对既有桩基影响的研究^[9-10]。在路堤填筑方面,郑健龙等^[11]通过数值模拟研究了软土地基条件下桥头路基填筑对桥台桩的影响。上述研究中多以影响分析为主,且多数是关于隧道和基坑开挖对既有桩基础的影响分析。

关于影响控制措施方面,宋春雨等^[12]以哈尔滨市松花江北岸滨江大道工程穿越松花江跨江大桥为研究对象,基于垂向二维有限元模型及现场监测,研究了土工格栅加筋、钻孔灌注桩隔离及注浆处理等综合措施的可行性。但平面模型存在一定的局限性,较难反映控制措施的实际应用效果。郑明新等^[13]通过理论分析了设置竖向排水体、改变桥头位置来减小路堤的填筑高度、桩式复合地基以控制路堤填筑荷载对软基桥台桩基的影响。冯胜洋等^[14]则通过数值模拟分析了竖向排水体在控制路堤填筑荷载对软基桥台桩基的影响上的作用。两者的研究针对软基桥台桩基,并不适用一般土体中的桥基,且采用的措施较为单一。

因此,关于新建路堤对既有桥基的影响控制措施分析仍有很大必要性,如何更好地优化控制措施以及不同控制措施之间效果的对比值得进一步研究。本文以苏通大桥为工程背景,通过数值模拟研究路堤下设置桩基础以及路堤边缘设置隔离桩对桥基影响的控制效果,分析不同设计参数的影响,并对比分析两种措施的控制效果。

1 模型建立与工况设定

1.1 工程背景

苏通大桥位于江苏省南通市与苏州市之间,全长 32.4 km,其中跨江部分长 8 146 m。后因规划需要,需建设路堤从苏通大桥北引桥的 46 # 和 47 # 桥墩中间穿过,拟建路堤宽为 9.6 m,位于两桥墩之间的中心位置,其中心线距两侧桥基中心线的距离为 37.5 m。路堤构造为:路堤上部主要由承台构成,承台内部含有路堤填土,填土顶部盖有路面板;承台底部由三排灌注桩所支撑,桩底标高为 -30 m,中心排桩桩身直径为 1 m,桩间距为 2.5 m,两侧排桩桩身直径为 1 m,距路堤中心 4 m,桩间距为 1.1 m。46 # 和 47 # 桥墩下各自有两个群桩,沿桥轴线对称布置,群桩承台外缘间距 6.4 m,群桩的基桩布置如图 1 所示,承台尺寸均为 12 m×11 m×3 m,桩径为 1.8 m,桩顶标高为 -2.00 m,桩底标高为 -92.00 m。

土层分布及物理力学指标如表 1 所示,其中弹性模量是根据压缩模量的三倍取得^[15]。

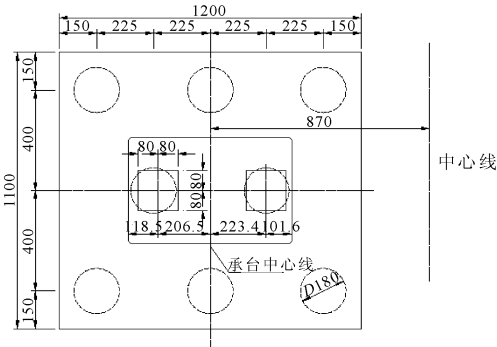


图 1 桥基设计图(俯视图)(单位:mm)

表 1 土体物理力学指标

岩土名称	层底标高 /m	重度 /(kN·m ⁻³)	黏聚力 /kPa	内摩擦角 /(°)	压缩模量 /MPa	泊松比	弹性模量 /MPa
1-1 粉砂	-11.34	19.0	10.9	33.7	10.90	0.30	32.70
1-2 亚砂土	-26.84	18.8	15.0	25.4	7.53	0.30	22.59
1-3 粉砂	-32.34	19.4	10.2	34.7	11.28	0.30	33.84
4-2 亚黏土	-58.84	18.5	21.7	12.6	4.15	0.35	12.45
5-2-1 亚砂土粉砂	-62.34	19.0	14.3	32.1	11.63	0.30	34.89
5-2 粉细砂	-78.84	19.7	13.8	33.8	14.80	0.30	44.40
6-1 中粗砂	-82.79	20.4	7.3	35.8	17.80	0.30	53.40
7 细砂	-120.00	19.8	8.0	36.1	17.98	0.30	53.94

1.2 模拟方法

采用 PLAXIS 3D 软件建立三维模型,土体采用 Mohr - Coulomb 屈服准则的理想弹塑性模型,各土层的设置参数见表 1,这种本构模型在岩土数值模拟

中十分常见,能够较好地模拟土体的受力变形特征。桩基础采用 Embedded 桩来模拟,桩与土之间的界面行为采用弹 - 塑性模型来描述,采用这种桩土接触模型能够较方便地读出桩身轴力及桩土摩擦力,且

计算简便。桩与承台为混凝土材料,其弹性模量取 30 GPa,泊松比为 0.2,重度为 25 kN/m³。路堤高 6 m,填土重度 20 kN/m³。考虑对称性,取四分之一模型建模,通过试建模型可知,取平面尺寸为 100 m × 100 m,深度方向取 120 m 时,模型各侧面的法向位移及底面的各向位移接近 0,则此时可约束四个侧面边界的法向位移,完全约束底面,顶面则自由无约束,模型如图 2 所示。

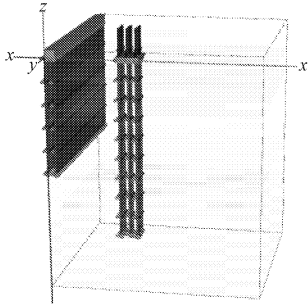


图 2 模型结构图

1.3 工况设置

为分析控制措施的效果,首先分析无控制措施工况下新建路堤对既有桥基的影响;然后考虑不同的桩长和桩间距,模拟研究路堤下设置 3 排桩基础的控制效果;再考虑不同的桩长、桩间距和距离路堤边缘距离,模拟研究路堤边缘设置 1 排隔离桩的控制效果;最后对比分析两种措施的控制效果。工况中桩长的变化是结合土层的变化设定的,即桩端持力层的选择;桩间距的选择是结合承台下各基桩的受力特性(边桩受力大、中间桩受力小)和常用桩距而定。具体工况如表 2 和表 3 所示。

表 2 路堤下桩基础的工况设置

序号	桩长/m	桩间距/m	外排桩 中排桩
1	30	1.1	2.5
2	40	1.1	2.5
3	50	1.1	2.5
4	60	1.1	2.5

表 3 路堤边缘隔离桩的工况设置

序号	桩长/m	桩间距/m	距路堤边 缘距离/m
1	30	2	1
2	40	2	1
3	50	2	1
4	60	2	1
5	60	2	5
6	60	2	20

2 计算结果与分析

对于桩基水平位移,取远离路堤方向为正,靠近路堤方向为负;对于桩基竖向位移,规定位移方向向下为正,因此桩基沉降全为正值;对于桩基轴力,规定压力为正,拉力为负。计算结果显示,路堤荷载作用下 8 根桥梁基桩的变形和内力变化规律相同,仅数值上有差异,为节省篇幅,本文选取受影响最大的基桩作为分析对象。

2.1 路堤下设置桩基的控制效果研究

图 3 是路堤下不同桩长对桥基水平位移的影响曲线,从图 3 中可以看出,路堤下设置桩基后,桥台桩基水平位移得到了明显的控制,且随着桩长的增加,桥台桩基水平位移不断降低,特别是当桩长达到 60 m 时,正负方向水平位移均有大幅下降,最大水平位移比路堤下无桩基时降低了约 40%。路堤下无桩工况下桥基最大水平位移发生在标高 - 36 m 左右处,方向远离路堤方向,设置隔离桩后桥基最大水平位移发生在桩顶位置,方向偏向路堤一侧。

与桥台桩基水平位移的变化规律相似,图 4 中呈现的桥台桩基竖向沉降变化规律显示,路堤下设置桩基后,桥基竖向沉降得到控制,路堤下基桩桩长

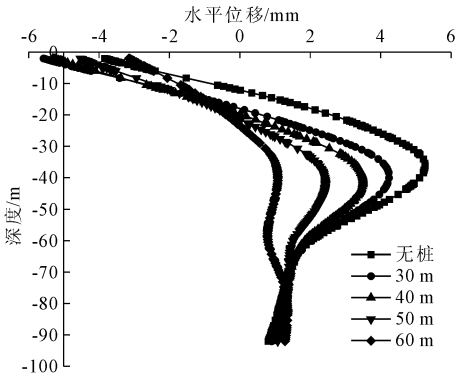


图 3 不同桩长工况下桥基的水平位移曲线

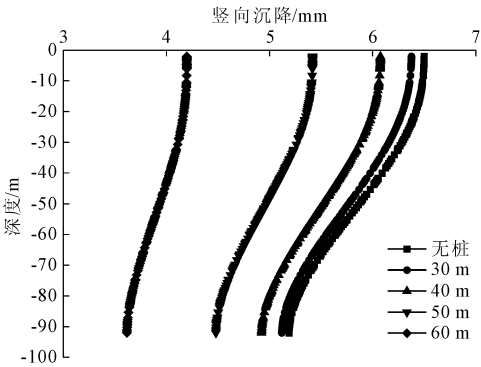


图 4 不同桩长工况下桥基的竖向沉降曲线

越长,桥台桩基沉降越小,当桩长达到 60 m 时桥基

沉降控制效果最好,相比路堤下无桩基的工况竖向沉降从 6.5 mm 减小到 4.2 mm,降低了 35.4%。

之所以出现桩长达到 60 m 时,控制效果显著提升,其原因是地基土中存在一相对软弱土层,即 4-2 亚黏土层(标高 -32.34 m ~ -58.84 m)。图 5 是不同桩长时土体的侧向变形云图,可以发现,虽然随着桩的设置及桩长的增大,土体侧向变形不断减小,但当桩底标高未超过 -60 m 时(桩基未穿过 4-2 层),由于第四层土强度指标低、弹性模量小,土体的

最大侧向变形集中在 4-2 层,桩基无法将路堤荷载对土体的影响传递至更深的土层,进而侧向挤压桥基。当桩底标高达 -60 m 时,桩端已穿越 4-2 层,此时持力层为工程性质较好的 5-2-1 层,土体变形主要是桩端开始近似呈 45°角向斜下方扩散,桩基将路堤荷载对土体的影响传递至更深的土层,从而显著降低了路堤对邻近桥基的影响。桥基竖向沉降随桩长的变化规律,其原理与水平变形的原理是一致的。

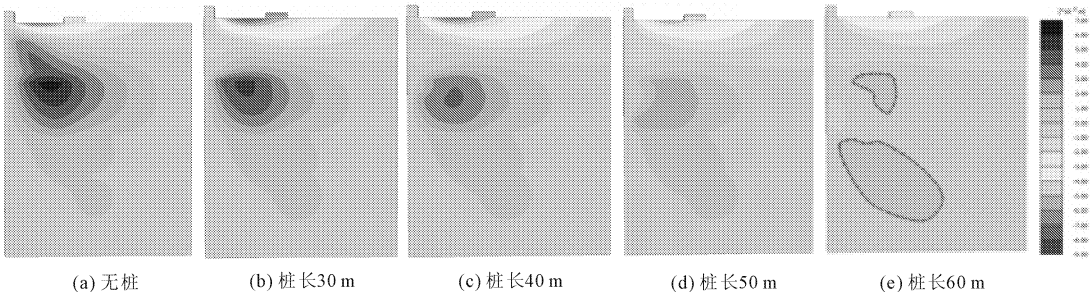


图 5 土体侧向变形云图

桥基桩身弯矩随桩长的变化如图 6 所示,从图 6 中可以看出,当桩长只有 30 m 或 40 m 时,路堤下设置桩基对桥基桩身的弯矩并无明显改善效果,甚至在局部位置还略有增大,但当桩长为 50 m 和 60 m 时,桥基桩身最大弯矩明显减小,且桩长越长桥基桩身大弯矩越小。相比于无桩工况,路堤下桩长为 60 m 时桩身最大弯矩降低了约 16%。

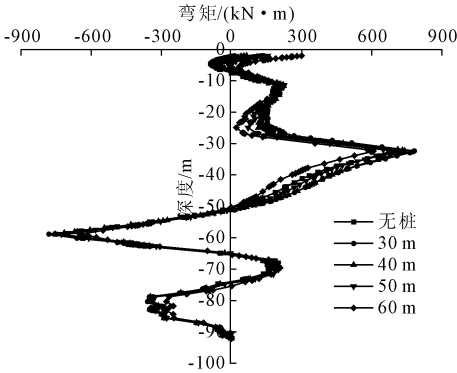


图 6 不同桩长工况下桥基桩身弯矩变化曲线

2.2 路堤边缘设置隔离桩的控制效果研究

2.2.1 隔离桩桩长的不同对邻近桥基的影响

在路堤两侧各设置 1 排隔离桩,隔离桩距路堤边缘 1 m,桩间距 2 m,考虑桩长分别为 30 m、40 m、50 m 和 60 m 四种工况。

不同隔离桩桩长下桥梁桩基水平位移变化曲线如图 8 和图 9 所示,从图中可以看出,与路堤下设置桩基的规律一致,设置隔离桩后,随着隔离桩桩长增

图 7 是桩身轴力随桩长的变化曲线,从图 7 中可以看出,除桩长为 60 m 的工况外,其余工况下桥基桩身都出现了负摩阻力,且桩长为 30 m ~ 50 m 之间时,桩身最大轴力比路堤下无桩时更大。只有路堤下桩基的桩长达到 60 m 时,桩身才无负摩阻力,桩身轴力明显减小。

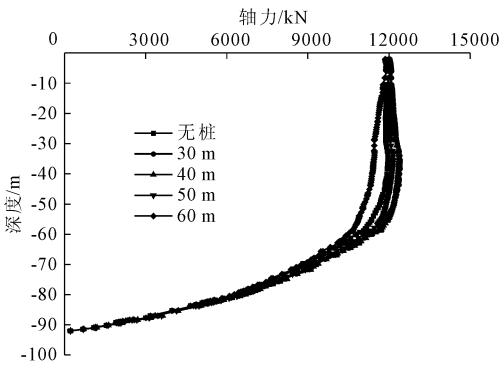


图 7 不同桩长工况下桥基桩身轴力变化曲线

加,桩基最大水平位移不断降低。当桩长为 60 m 时,对桥基水平位移的控制效果显著增强,相比于无隔离桩工况最大水平位移降低了 55.3%。桥梁桩基的竖向沉降方面也是一样,设置隔离桩可显著降低桥梁桩基的竖向沉降,并且隔离桩越长,对桥基竖向沉降的调控作用越有效,隔离桩桩长为 60 m 时桥基竖向沉降比无隔离桩工况降低了 34.2%。隔离桩桩长为 60 m 时控制效果明显提升的原因与 2.1 节中描述的相同。

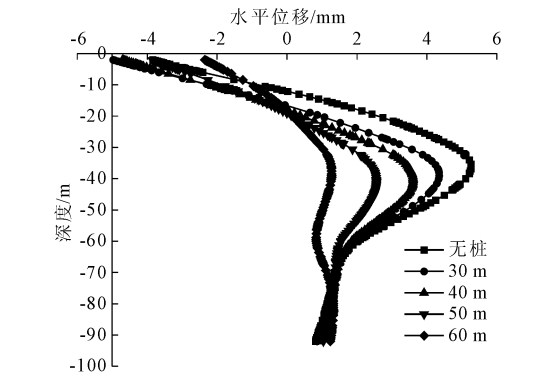


图 8 不同隔离桩桩长工况下桥基桩身水平位移曲线

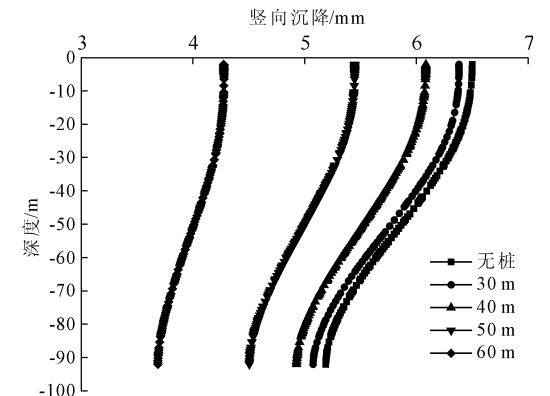


图 9 不同隔离桩桩长工况下桥基竖向沉降曲线

不同隔离桩桩长下桥基桩身弯矩和轴力变化曲线分别如图 10 和图 11 所示。从图 10 中可以看出,当隔离桩桩长为 30 m 和 40 m 时,无法对桩身弯矩起到控制作用,甚至在桩长为 40 m 时,桩身弯矩反而增大了,这是因为桩长不够长时,基桩将路堤荷载更多地传递到靠近相对软弱层,而正向最大弯矩就是发生在土层 1-3 和 4-2 的交界面处。当隔离桩桩长达到 60 m 时,可有效降低桩身最大弯矩。与无隔离桩工况相比,设置 60 m 长的隔离桩后桥基桩身最大弯矩降低了 13.8%。从图 11 中可以看出,当隔离桩桩长在 50 m 范围内时,桥基桩身在深度 40 m 左右都出现了负摩阻力,只有当桩长达到 60 m 时,负摩阻力才消失,即桩身轴力明显减小。这是因为隔离桩未穿越 4-2 层土时,由于隔离桩的设置反而把路堤荷载更多地传递到 4-2 层土中,这样 4-2 层土的自身压缩量比桩身下沉量反而更大,因此产生负摩阻力。

2.2.2 隔离桩距路堤边缘对邻近桥基的影响

将长为 60 m 的隔离桩分别设置在距路堤边缘为 1 m、5 m 和 20 m 的位置处,分析桥基的变形和内力变化规律。桥基桩身水平位移和竖向沉降变化如图 12 和图 13 所示,从图中可以看出,随着隔离桩距路堤边缘的距离增大,桥基桩身的最大水平位移和竖

向沉降都随之增大,特别是隔离桩距路堤边缘 5 m 增大到 20 m 时,桥基桩身位移和沉降都显著增大。

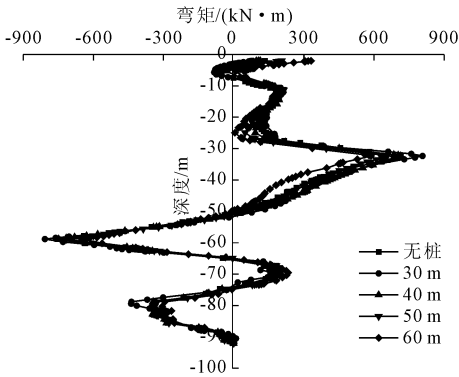


图 10 不同隔离桩桩长工况下桥基桩身弯矩变化曲线

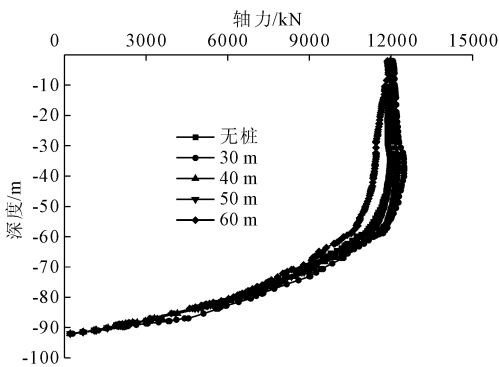


图 11 不同隔离桩桩长工况下桥基桩身轴力变化曲线

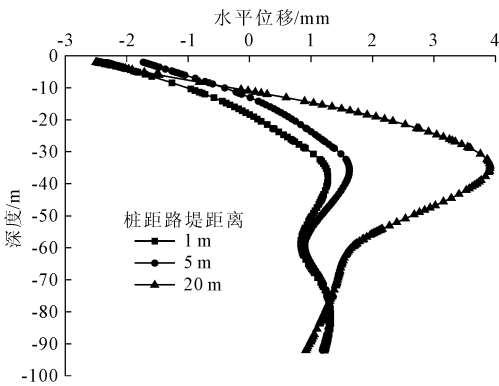


图 12 不同隔离桩距离工况下桥基桩身水平位移曲线

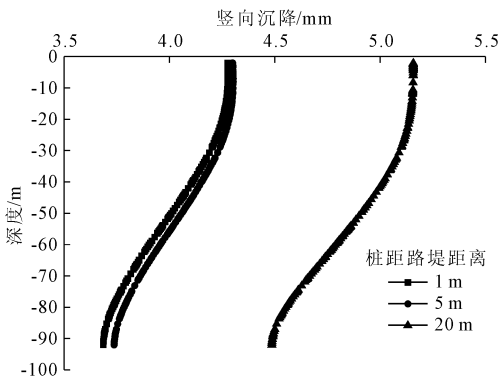


图 13 不同隔离桩距离工况下桥基竖向沉降曲线

桥基桩身弯矩和轴力的变化曲线如图 14 和图 15 所示,从图中可以看出,隔离桩与路堤边缘距离从 1 m 增大到 5 m 的工况下,桥基桩身弯矩和轴力略有增大,但当距离增大到 20 m 时,桥基桩身内力有明显的增大。因此,不论从变形还是内力的角度而言,隔离桩都应尽可能设置在路堤边缘处。

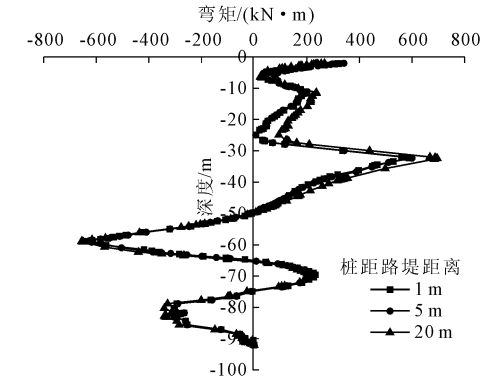


图 14 不同隔离桩距离工况下桥基桩身弯矩变化曲线

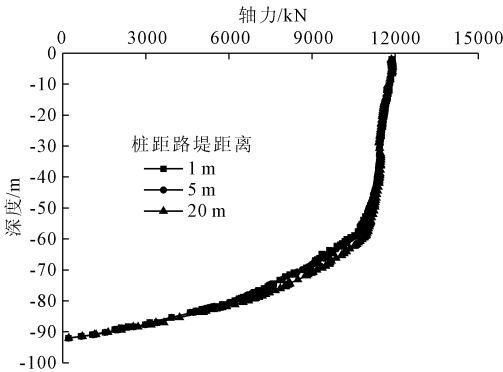


图 15 不同隔离桩距离工况下桥基桩身轴力变化曲线

2.3 两种控制措施的效果对比分析

为保证可比性,选择两种控制措施桩长皆为 60 m,隔离桩距路堤边缘 1 m 的工况。在桥基水平位移控制方面,相比于无控制措施工况下的最大水平位移降低约 55%,而路堤下设置桩基础工况下的最大水平位移降低了约 40%,显然隔离桩的控制效果更好。在桥基竖向沉降控制方面,路堤下设置桩基础工况下的竖向沉降比无控制措施工况降低了 35.4%,设置隔离桩时降低幅度为 34.2%,两者的控制效果相差很小。桥基桩身弯矩方面,路堤下设置桩基础比无控制措施降低了 15.7%,设置隔离桩时降低幅度为 13.8%,两者的控制效果相差不大。轴力控制方面,两种控制措施下桥基桩身最大轴力相差极小,可忽略不计。

3 结 论

(1) 路堤下设置桩基础和路堤边缘设置隔离桩

都可以减小因路堤穿越对桥基的影响,且桩长越长,控制效果越好,隔离桩应设置在路堤边缘。当地基土中存在软弱土层时,桩基础宜穿越软弱土层落在较好的土层之中,这样会明显提高控制效果。

(2) 本文设置工况下,设置隔离桩在桥基水平位移控制方面效果更好,但在竖向沉降和桩身内力方面控制效果略差。如果不考虑桩基对路堤沉降的控制因素,设置隔离桩更为合理。

参考文献:

[1] 刘 静,田晓艳.地铁浅埋暗挖施工对地表沉降及邻近桥基的影响[J].河南科技大学学报(自然科学版),2017,38(3):60-63,68.

[2] 朱 彬,徐 锋,李 备.地铁隧道施工引起的桥梁基础及地表变形研究[J].公路,2015,60(2):242-247.

[3] 岳齐贤,赵建立,沈水龙.泥岩地区沉井施工对土体及高铁桥基影响研究[J].地下空间与工程学报,2014,10(4):878-883.

[4] 周 勇,严登平,任永忠.明挖地铁车站对临近桩基的影响分析[J].水利与建筑工程学报,2018,16(3):81-85.

[5] 羊 鹏.大断面隧道暗挖施工对临近桩基位移影响分析[J].四川建筑,2016,36(1):148-151.

[6] 朱 彬,徐 锋,李 备.地铁隧道施工引起的桥梁基础及地表变形研究[J].公路,2015,60(2):242-247.

[7] 胡锡鹏,刘拴锭,马思伟,等.隧道施工对临近桩基影响的数值分析[J].城市轨道交通研究,2018,21(8):125-128.

[8] 凤 霞.软土中盾构隧道开挖对邻近桩基影响研究[J].上海建设科技,2018(4):16-18,21.

[9] 钟 瑾.桩基施工对临近建筑物的影响分析[J].江西建材,2017(24):59.

[10] 黄 沛,刘 铭,陈 华,等.桩基建筑物受临近深基坑施工影响的安全评估[J].岩土工程学报,2012,34(S1):347-351.

[11] 郑健龙,张军辉,李雪峰.软基桥头路基填筑对桥台桩的影响[J].中国公路学报,2013,26(2):48-55.

[12] 宋春雨,季永兴,孙 磊.高填土路堤对既有大跨度桥梁桩基的影响分析与监测[J].水利与建筑工程学报,2015,13(3):29-34.

[13] 郑明新,胡国平,褚东升,等.路堤填筑荷载作用下深厚软基桥台桩变形及处理措施分析[J].施工技术,2016,45(13):45-49.

[14] 冯胜洋,李向阳,叶勇军,等.塑料排水板堆载预压处理软土地基对临近桥梁桩基的影响研究[J].南华大学学报(自然科学版),2016,30(3):103-109.

[15] 贾 堤,石 峰,郑 刚.深基坑工程数值模拟土体弹性模量取值的探讨[J].岩土工程学报,2008,30(1):155-158.