

桥梁桩基加固设计方案探讨

黄尚

(湖南大学设计研究院有限公司, 湖南 长沙 410006)

摘要: 以某高速公路桥梁实际工程为例,介绍了桩身及桩底注浆加固、增加独立钻孔灌注桩、锚杆静压桩补强、扩大基础复合桩基 4 种桩基加固方案,并通过计算分析说明了各方案的加固效果及适用条件;经综合比选,建议该工程采用注浆加固方案。

关键词: 桥梁;桩基加固;桩身注浆;锚杆静压桩;复合桩基

中图分类号:U445.7

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2017)04-0145-04

1 工程概况

某高速公路桥梁为 2×30 m 跨径预应力钢筋混凝土连续箱梁桥,分两幅设计,单幅宽 16 m。采用桩柱式轻型桥台,盖梁高 1.2 m,桩基直径为 1.5 m,桥横向布置 3 根桩,间距 6 m,桩基长 26 m。采用桩柱式桥墩,桩基直径为 1.5 m,横向布置 2 个,间距 8 m,桩基长 32 m。

该桥地层自上而下分为 6 层,依次为:素填土(Q_4^{ml}),厚 3.70~4.50 m,摩阻力 $q_{ik}=40$ kPa;粉土(Q_4^{al}),厚 7.20~12.40 m, $q_{ik}=35$ kPa;细砂(Q_4^{sl}),厚 1.80~6.60 m, $q_{ik}=20$ kPa;卵石,厚 5.30~7.80 m, $q_{ik}=20$ kPa;强风化砂质泥岩,厚 2.0~3.0 m, $q_{ik}=80$ kPa;中分化泥质粉砂岩,厚度未揭穿, $q_{ik}=100$ kPa,单轴抗压强度 $f_{rk}=4.6$ MPa。

由于地质勘察误差及施工方未在施工过程中及时反映实际地质情况,成桩后桩基承载力不满足桥梁设计荷载要求,需进行加固处理。根据现有桩基情况,制订桩身及桩底注浆加固、增加独立钻孔灌注桩、锚杆静压桩补强、扩大基础复合桩基 4 种桩基加

固方案进行比选。

2 桩基加固方案

2.1 注浆加固

2.1.1 注浆加固原理

利用液压或气压通过注浆管把浆液注入桩周和桩底,浆液通过渗透、劈裂和挤密作用在桩基周围和桩底形成结石体,从而大幅提高桩侧摩阻力和桩端承载力。

2.1.2 注浆加固设计

(1) 注浆材料。注浆液采用水泥—水玻璃双液浆,添加一定配比的外加剂,水泥浆与水玻璃浆的体积比为 $1:1 \sim 1:0.5$ 。水泥浆采用 42.5 级水泥,水灰比为 $0.5:1 \sim 0.8:1$ 。采用中性水玻璃,水玻璃浆中水与水玻璃的体积比为 $1:0.5$ 。

(2) 注浆范围。注浆管深入桩底 50 cm,其中桥台注浆管长约 26.5 m,桥墩注浆管长约 32.5 m。为保证注浆效果,沿桩周环向布置 2 层注浆管,外层距桩基 1.8 m,共 6 根;内层距桩基 0.8 m,共 6 根(见图 1)。

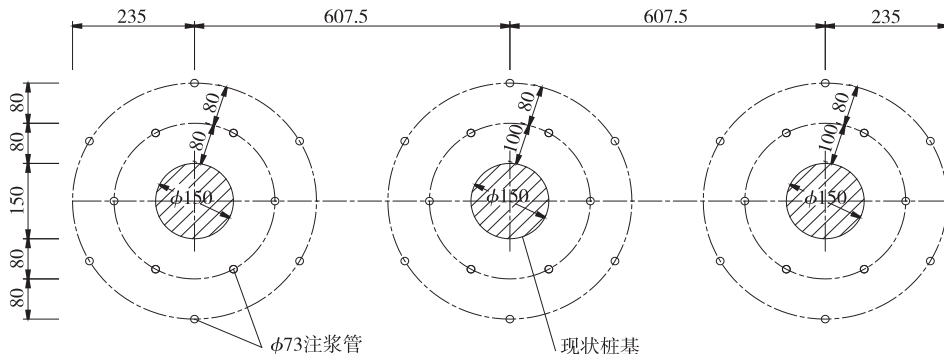


图 1 桩基注浆孔平面布置(单位:cm)

2.1.3 注浆要求

(1) 注浆压力根据不同土层的渗透系数区别对待,桩底 1 m 范围内注浆压力为 5~10 MPa,桩侧注浆压力为 0.2~1.0 MPa (粉土与黏土层适当加大)。注浆前进行注浆试验,确定扩散半径及喷浆压力。注浆孔布置及注浆压力根据试验调整。

(2) 从外至内、跳孔间隔实施注浆。

(3) 从下至上分段实施注浆,加固厚度为注浆管带孔部分长度上下各 25% 的加固半径(初步拟定

加固半径为 1 m),待浆液达到初凝后再进行下一段注浆。

(4) 注浆孔终压标准为正常规定注浆压力下耗浆量小于 0.4 L/min,持续时间在 10 min 以上。

2.1.4 注浆加固计算

根据 JTG D63—2007《公路桥涵地基与基础设计规范》,注浆后黏性土、粉砂、细砂、砾砂侧阻力增强系数分别取 1.3、1.5、1.5、1.6,粉砂桩端阻力增强系数取 1.8。注浆加固后地基承载力见表 1。

表 1 注浆加固后桩基承载力

桩基编号	计算桩长/m	桩基容许承载力/kN		最大荷载效应/kN	差值/kN	富余百分比/%
		加固前	加固后			
0# 台	25	3 312.4	4 631.1	3 802.8	828.3	21.8
1# 墩	30	7 620.3	9 007.3	8 138.0	869.3	10.7
2# 台	25	3 008.6	4 679.3	3 802.8	876.5	23.0

注:不考虑桥墩中风化岩层注浆提高效果;差值=加固后容许承载力-最大荷载效应;富余百分比=差值/最大荷载效应 $\times 100\%$ 。

2.1.5 注浆加固适用条件

注浆加固后地基承载力计算结果表明,在渗透性较好的黏土、细砂等土层中注浆加固效果较好。考虑到注浆质量受地下土层物理指标的影响,离散性及不确定性较大,在正式施工前应进行室内浆液配比试验和现场注浆试验,确定注浆参数及施工方法;施工中由第三方单位对注浆过程进行动态监测。

2.2 钻孔灌注桩方案

2.2.1 钻孔灌注桩加固原理

在原桥台与桥墩桩基外侧增加一根钻孔灌注桩,而后通过新增桩基承台使新增桩基与原桩基一同承受上部荷载,从而提高桩基承载力。

2.2.2 钻孔灌注桩加固设计

由于该桥上部主梁已施工完成,为保证钻孔桩基的施工空间,新增桩基布置在上部结构边线外。桥台及桥墩两侧各增加一根直径 1.5 m、长 32 m 的桩基,桩基进入中风化岩层。北侧新增桥台桩基与原桩基中心间距为 3.0 m,新增桥墩桩基与原桩基中心间距为 5.0 m,处于两幅桥中央分隔带中间;南

侧桥台新增桩基与原桩基中心间距为 3.5 m,新增桥墩桩基与原桩基中心间距为 5.5 m,离桥梁结构边线 0.5 m。在桩顶新增一根宽 2.5 m、高 2.0 m 的承台,承台与原桩基通过钢抱箍焊接抗剪栓钉及植筋的方式连接(见图 2)。

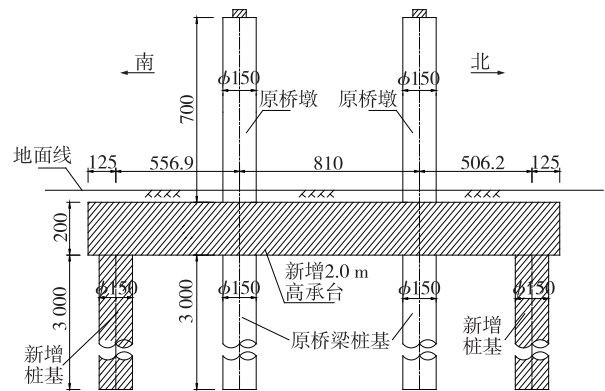


图 2 桥墩新增桩基示意图(单位:cm)

2.2.3 钻孔灌注桩加固计算

上部荷载通过承台传至桩基,荷载在各桩基之

表 2 灌注桩加固后桩基承载力

桩基编号	计算桩长/m	桩基容许承载力/kN	荷载效应/kN		差值/kN	富余百分比/%
			加固前	加固后		
0# 台	25	3 008.6	3 802.8	3 067.8(2 642.8)	-59.2(365.8)	-2.0(13.8)
1# 墩	30	7 620.3	8 138.0	6 938.0(5 535.8)	682.3(2 084.5)	9.8(37.7)
2# 台	25	3 312.4	3 802.8	3 067.8(2 642.8)	244.6(669.6)	7.9(25.3)

注:括号内为考虑中桩 5 mm 沉降后的数据;差值=桩基容许承载力-加固后荷载效应;富余百分比=差值/加固后荷载效应 $\times 100\%$ 。

点为新增承台与桩基的连接、计反力装置的设置。

2.4 扩大基础方加固方案

2.4.1 扩大基础加固原理

在原桩基顶增设承台,通过新增承台形成扩大基础与原桩基共同承受上部荷载。

2.4.2 扩大基础加固设计

在桥台及桥墩处增设 $16\text{ m} \times 3\text{ m} \times 2\text{ m}$ 承台扩大基础,承台上下层钢筋通过植筋与桩基连接,同时对承台段的桩基设置钢抱箍,在钢抱箍上焊接抗剪栓钉。

2.4.3 扩大基础加固计算

(1) 承载力计算。以 0# 台为例,单根桩基承载力至少需提高 794.2 kN,按照 JGJ 94—2008《建筑桩基技术规范》,考虑承台效应的复合桩基承载力按下式计算:

$$R = R_a + \eta_c f_{ak} A_c \quad (1)$$

式中: R_a 为单桩容许承载力; η_c 为承台效应系数,该项目考虑在桥台处增设 $16\text{ m} \times 3\text{ m} \times 2\text{ m}$ 承台扩大基础,该系数取 0.25; f_{ak} 为承台下 1/2 承台宽度且不超过 5 m 深度范围内各层土地基承载力特征值按厚度加权的平均值; A_c 为扣除桩基截面的承台底净面积。

0# 台单根桩基承载力需提高 794.2 kN,所需地基承载力为:

$$f_{ak} = (R - R_a) / (\eta_c A_c) = (F + G) / (\eta_c A_c) = (794.2 + 25 \times 42.7) / (0.25 \times 42.7) = 174.40\text{ kPa}$$

式中: $F = 794.2\text{ kN}$; G 为承台自重。

(2) 地基沉降计算。按分层总和法计算地基沉降,公式为:

$$s = \varphi_s s_0 = \varphi_s \sum_{i=1}^n \frac{p_0}{E_{si}} (z_i \bar{a}_i - z_{i-1} \bar{a}_{i-1}) \quad (2)$$

式中: φ_s 为沉降计算经验系数,根据《建筑地基基础设计规范》表 5.3.5,取 0.2; p_0 为准永久组合时承台底面处的附加压力,取 $174.4 - 25 \times 2 = 124.4\text{ kPa}$;

E_{si} 为承台底面第 i 层土的压缩模量,该项目加固后土层均取 20 MPa; z_i 、 z_{i-1} 分别为承台底面至第 i 、第 $i-1$ 层土底面的距离; \bar{a}_i 、 \bar{a}_{i-1} 分别为承台底面计算点至第 i 、第 $i-1$ 层土底面范围内平均附加应力系数。

分层计算深度 $Z_n = b(2.5 - 0.4 \ln b) = 6.18\text{ m}$,按 6 m 计算,得 $z_1 = 0$, $\bar{a}_1 = 1.0$, $z_2 = 6$, $\bar{a}_2 = 4 \times 0.391 = 1.564$,代入式(2),得: $s = 11.55\text{ mm}$ 。

2.4.4 扩大基础加固适用条件

根据变形协调理论,承台扩大基础承载力发挥的前提是允许桩基发生较大沉降。经计算,该桥如要全部发挥承台的承载力,将产生 11.55 mm 沉降,则桥面存在开裂的风险。因此,扩大基础加固方案要求地质条件较好、无软弱下卧层。同时,为保证扩大基础尽早参与受力,可采用承台底后注浆加固。

3 结语

上述 4 种桩基加固方案均具有较强的操作性及可行性,综合对比,该项目地层存在较厚的细砂与卵石层,注浆条件较好,同时注浆加固对周围环境影响小,且造价低廉,故推荐采用注浆加固方案。

参考文献:

- [1] 胡建春.灌注桩后压浆技术的加固机理及在铁路桥梁桩基上的应用[J].铁道标准设计,2009(4).
- [2] 郑庆平.锚杆静压桩在桥梁桩基加固中的应用[J].公路交通技术,2004(5).
- [3] JTG D63—2007,公路桥涵地基与基础设计规范[S].
- [4] JGJ 94—2008,建筑桩基技术规范[S].
- [5] 陈文.某危桥加固设计研究[J].公路与汽运,2016(3).
- [6] 岳学林.考虑桩—土相互作用的桩基础桥墩抗震性能研究[D].兰州:兰州交通大学,2014.
- [7] 于哲.城市高架桥梁基础约束刚度识别及桥墩抗震性能评估研究[D].长沙:中南大学,2010.

收稿日期:2017-02-17

(上接第 144 页)

- [6] 顾萍,颜兆福,盛博.正交异性钢桥面板栓焊接头疲劳性能[J].同济大学学报:自然科学版,2013,41(6).
- [7] 宋永生,丁幼亮,王高新.正交异性钢桥面板疲劳性能的局部构造效应[J].东南大学学报:自然科学版,2013,43(2).
- [8] 赵佃龙,方兴,白玲.正交异性钢桥面板构造细节改进

的探讨[J].铁道建设,2011(2).

- [9] 陶晓燕.正交异性钢桥面板开口肋空孔形式疲劳优化分析[J].铁道建筑,2008(1).
- [10] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].

收稿日期:2017-04-07