

高速公路改扩建工程设计要点分析

段冰, 胡斌, 江建坤, 姜正晖

(浙江省交通规划设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310011)

摘要: 软基上的公路拓宽工程所涉及的因素远比新建工程复杂。为研究高速公路拓宽工程的软基处理方法, 本文依托杭金衢高速公路拓宽工程, 针对不同的设计工况对比选采用了不同的软基处理方案: 对硬壳层较厚的深埋软基路段, 采用泡沫混凝土轻质路堤换填处理; 对老路仍未沉降稳定的拓宽路基, 采用悬浮水泥搅拌桩处理; 对老路沉降基本完成的拓宽路基, 选用桩承式加筋路堤处理。通过观测仪标的埋设, 获得了拓宽路基的沉降变化规律。观测结果表明原设计合理, 沉降可控, 新老路基变形协调。

关键词: 拓宽工程; 软基处理; 泡沫混凝土; 水泥搅拌桩; 桩承式加筋路堤

中图分类号: TU472

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2020)04-0317-05

Analysis of design essentials of expressway widening project

DUAN Bing, HU Bin, JIANG Jian-kun, JIANG Zheng-hui

(Zhejiang Transportation Planning and Design Institute Co., Ltd., Hangzhou 310011, China)

Abstract: The factors involved in the expressway widening project on the soft foundation are far more complicated than those in new construction projects. In order to study the soft foundation treatment method of the expressway widening project, based on the widening project of Hang-Jin-Qu expressway, this paper adopted different soft foundation treatment schemes for different construction conditions. The scheme of light embankment with foamed concrete was adopted for the deep-buried soft foundation with thick staff overlying strata, the scheme of cement mixing pile was adopted for the widened embankment of the old road that has not achieved stable settlement, and the scheme of pile-supported reinforced embankment was adopted for the widened embankment of the old road that has basically completed the settlement. Using the buried observation instrument, the settlement changes of the widened embankment were obtained. The observation results show that the original design is reasonable, the settlement is controllable and the deformation of the new embankment is coordinated with the old embankment.

Key words: widening project; soft foundation treatment; foamed concrete; cement mixing pile; pile-supported reinforced embankment

1 工程概况^[1]

1.1 拓宽路基概况

杭金衢高速公路于 2003 年底全线建成通车, 是一条典型建在软土地基上的高速公路, 路线经过萧(山)绍(兴)冲海积、湖沼积平原软土分布区。2014 年开始杭金衢高速公路进行拓宽改建, 其中一期拓宽工程软土路段总长 31 km, 占路线长度约 21%。原杭金衢高速公路路基宽度 34.5 m, 设计速

度 120 km/h, 为双向 6 车道高速公路, 路基两侧各拼宽一个车道成为双向 8 车道, 路基宽度加宽至 42 m。

1.2 原软基处理方式及路基沉降情况

杭金衢高速公路原软基处理采用了排水固结法、水泥搅拌桩及 EPS 轻质材料等处理方式。根据《杭金衢高速公路老路检测与评估报告》(2013), 约 54% 路段沉降已基本完成, 月沉降量在 0~0.5 mm/月, 但部分路段仍以一定的速率下沉, 沉降速率介于 0.5~2.66 mm/月, 部分老路的沉降尚未稳定。

收稿日期: 2020-06-16

基金项目: 浙江省交通运输厅科技计划项目(2019058)。

作者简介: 段冰(1980—), 男, 湖北荆州人, 高级工程师, 主要从事公路工程的软基处理设计及研究工作。E-mail: duanbing@zjic.com。

2 拓宽路堤沉降理论分析^[2]

2.1 拓宽路堤应力分布规律

由于软土深度大, 拓宽路堤宽度相对较小, 软土上的拓宽是一个典型的二维问题。拓宽路堤荷载瞬时作用下地基中的竖向附加有效应力见图 1 所示。从图中可见, 软土上拓宽荷载在地基中产生的附加应力, 引起地基中应力重分布。

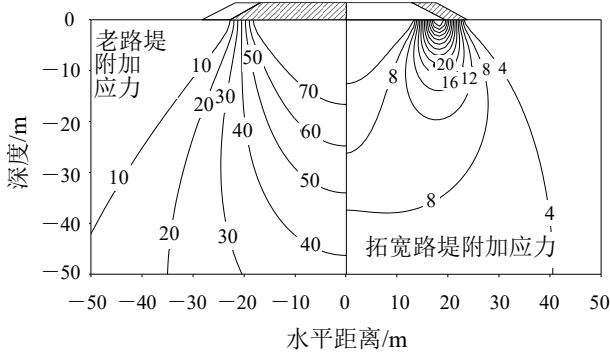


图 1 新老路堤荷载作用下应力等值线图

Fig. 1 Stress contour of load of new and old embankment

2.2 拓宽路堤沉降分布规律

软土地基上高速公路拓宽路堤沉降计算是一个非常复杂的问题。一方面, 老路堤下地基土体在上部荷载的作用下, 地基逐渐排水固结, 孔隙比减小, 强度提高。另一方面, 拓宽路堤荷载作用下, 既有瞬时沉降, 也有后续的排水固结沉降。有限元计算模拟了路堤下地基表面各点沉降随时间的变化过程, 见图 2 所示。从图中可见, 拓宽路堤可引起老路沉降持续发展, 且拓宽路堤最大沉降值约为老路路肩处沉降的 2.5 倍, 过大的差异沉降, 可能会出现老路的拉裂破坏或出现纵向裂缝, 影响公路的正常行驶。

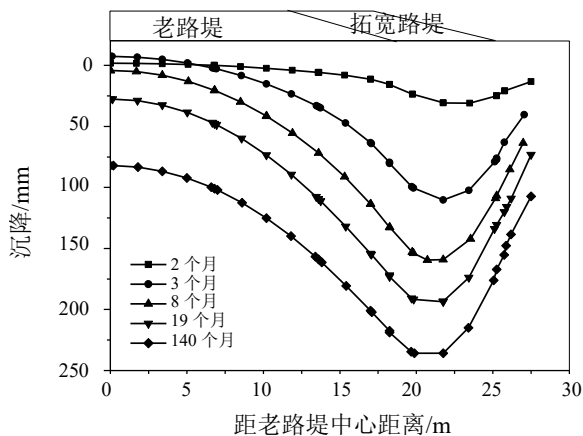


图 2 沉降随时间变化曲线

Fig. 2 Settlement varies with time

3 拓宽路堤软基处理设计

3.1 堆载预压+泡沫混凝土轻质路堤换填^[1,3]

(1) K5+183~K5+233 地质概况

K5+183~K5+233 位于萧山区双圩立交分离桥的桥头段, 桥头路堤连接段长度均为 50 m, 路堤填土高度约 6.6 m。地基上部为灰黄色粉土, 土层厚度约 10.7 m, 其下为灰色淤泥质黏土和淤泥质粉质黏土, 呈流塑状且高压缩性, 其厚度约 18.7 m, 天然含水量为 45%, 孔隙比为 1.288, 压缩模量为 2.38 MPa, 其下为灰色粉质黏土, 呈饱和软塑状。

(2) 软基处理设计

本桥头段软土具有较厚的硬壳层, 原杭金衢高速公路老路路基未进行软基处理。根据检测, 其桥头已出现了 35~52 cm 的沉降, 路基与桥头之间差异沉降明显, 路面已多次进行加铺处理。考虑到路基表层硬壳层较厚, 采用预应力管桩等刚性桩可能会出现难以施打的情况, 且原有路基仍在持续沉降, 刚性桩处理后拼接处可能因差异沉降过大出现纵向裂缝, 故设计对拓宽路堤不进行地基处理和采用泡沫混凝土轻质路堤换填这两种方案进行了计算比选。泡沫混凝土轻质路堤换填设计见图 3 所示。

沉降计算采用分层总和法, 不处理和采用泡沫混凝土轻质路堤换填的沉降计算见表 1 所示。从表中可见, 不处理其工后沉降过大, 远不能满足拓宽路基的要求, 采用轻质路堤换填后在减小拼宽路基沉降的情况下, 也减小了新老路基的差异沉降, 故设计采用了轻质路堤换填方案。

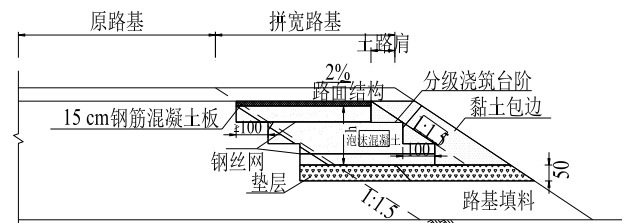


图 3 泡沫混凝土轻质路堤设计图

Fig. 3 Design drawing of lightweight embankment with foamed concrete

表 1 泡沫混凝土轻质路堤沉降计算表

Tab. 1 Calculated settlement of lightweight embankment with foamed concrete

不处理			换填处理(换填厚度 4.5~5 m)		
总沉降/ mm	工后沉降/ mm	差异沉降/ mm	总沉降/ mm	工后沉降/ mm	差异沉降/ mm
830	670	223	340	50	16

(3) 沉降观测

为及时全面地掌握路堤填筑期间的路基沉降, 有效控制填筑速度, 检验设计的处理效果, 设置原位观测仪器仪标, 见图 4 所示。

本段路基从 2015 年 11 月开始填筑, 至 2016 年 3 月基本填筑到位, 在此期间路基沉降速率较大, 随后路基沉降仍持续发展, 但速率有所收敛。2016 年 6 月开始施工路面, 路基沉降突然增加, 至 2016 年 7 月完成路面施工, 路基变形基本保持稳定。填筑期断面沉降随时间变化情况见图 5 所示, 经换填处理后至路面施工完成, 路基最大沉降值约 70 mm, 工后沉降满足设计要求。

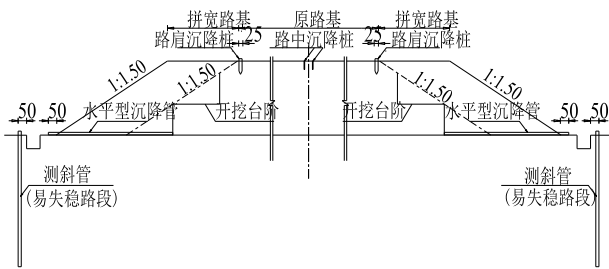


图 4 观测断面 (I) 仪器仪标埋设图

Fig. 4 Instrument layout of monitoring section (I)

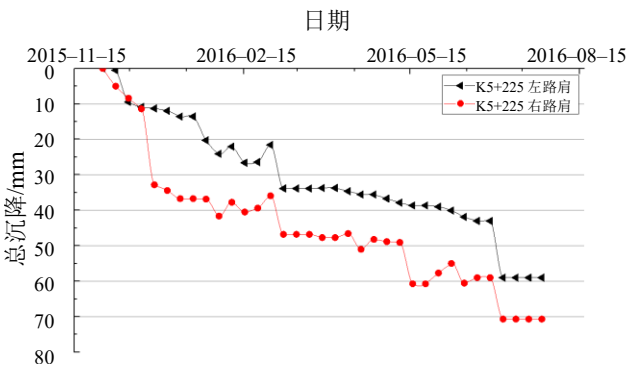


图 5 观测断面 (I) 沉降曲线图

Fig. 5 Settlement curves of monitoring section (I)

3.2 水泥搅拌桩复合地基^[1,4-5]

(1) K9+801.4~K10+016 地质概况

K9+801.4~K10+016 位于一般路段, 路基长度 214.6 m, 路堤填土高度约 3.5~4.2 m, 本段地势平坦, 路基两侧坡脚设置了矮挡墙。地基上部为灰黄色可塑粉质黏土, 土层厚度约 1.8 m, 其下为灰色淤泥质粉质黏土和淤泥, 饱和, 流塑, 部分含有机质, 其厚约 16.6 m, 天然含水量为 46%~55%, 孔隙比为 1.3~1.5, 压缩模量为 1.9~2.1 MPa, 其下为灰色可塑状黏土、粉土。

(2) 软基处理设计

本路段硬壳层较薄, 其下软土深厚, 老路路基采用塑料排水板+堆载预压处理, 处理深度约 19 m,

根据检测, 本路段沉降仍在持续发展, 月沉降速率为 0.47~1.18 mm/月, 路面已多次进行加铺处理。受软土次固结及蠕变等的影响, 本路段老路仍未完全沉降稳定。若采用预应力管桩等刚性桩处理, 虽然基本可消除拼宽侧的工后沉降, 但老路沉降仍在发展, 可能导致新老路面因差异沉降出现的纵向裂缝, 故设计对采用老路的地基处理方案(塑料排水板+堆载预压)和悬浮水泥搅拌桩方案进行了比较。塑料排水板采用改进高木俊介法计算, 水泥搅拌桩采用复合压缩模量计算, 具体计算结果见表 2。

表 2 软基处理沉降计算表

Tab. 2 Calculated settlement of soft foundation after treatment

项目	塑料排水板+堆载预压	搅拌桩长度/m				
		8	10	12	14	16
总沉降/mm	890	303	248	208	178	165
工后沉降/mm	110	91	75	62	53	50

从表中可见, 采用塑料排水板+堆载预压处理导致老路出现过大的附加沉降, 不可避免的会导致拼宽路面出现纵向裂缝。采用水泥搅拌桩不打穿软土层的方案总沉降基本可控, 不会引起施工期老路过大的附加沉降, 并可协调新老路基的工后沉降, 故设计采用水泥搅拌桩复合地基处理, 搅拌桩长度取为 10 m。具体设计见图 6 所示。

(3) 沉降观测

本段路基从 2015 年 11 月开始填筑, 至 2016 年 5 月基本填筑到位, 在此期间路基沉降速率较大, 随后逐渐收敛。2016 年 6 月开始施工路面, 至 2016 年 7 月完成路面施工, 路基变形基本保持稳定。断面沉降随时间变化情况见图 7 所示。从图上可见, 采用水泥搅拌桩不打穿软土层的方案路基施工期间沉降略大, 但后期沉降基本稳定, 可满足设计要求。

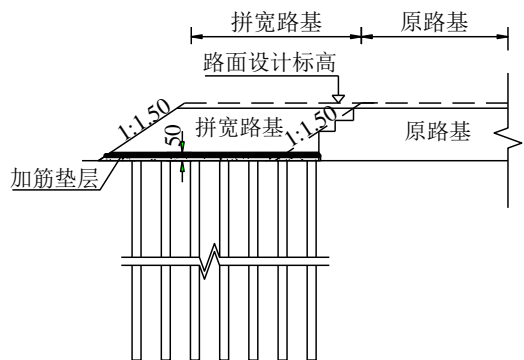


图 6 水泥搅拌桩横断面图

Fig. 6 Cross section of cement mixing pile

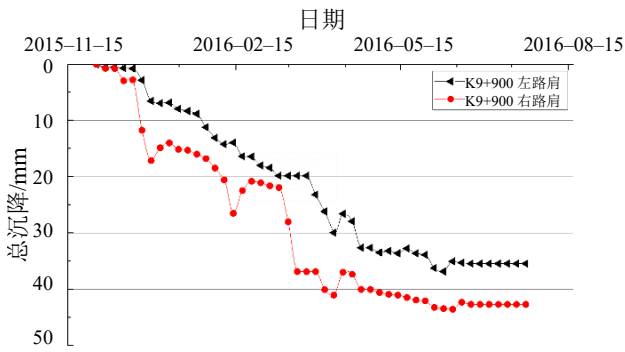


图7 观测断面(II)沉降曲线图

Fig. 7 Settlement curves of monitoring section (II)

3.3 桩承式加筋路堤^[1,5-7]

(1) K15+948~K16+001 地质概况

K15+948~K16+001 位于萧山区下岸王桥的桥头段,路堤填土高度约 4.3~4.8 m,路基左侧坡脚设置了矮挡墙。地基上部为灰色软塑状粉质黏土,土层厚度约 7.0 m,其下为灰色淤泥质黏土,饱和,流塑,高压缩性,含有机质及少量腐殖质,其厚约 11 m,天然含水量为 48%~54%,孔隙比为 1.69~1.74,压缩模量为 1.9~2.2 MPa,为第一软土层,其下为含砾粉质黏土,灰褐色,可塑状,中等压缩性,厚度为 4.2 m。粉质黏土以下为第二软土层,为灰色淤泥质黏土,饱和,流塑,具有较高压缩性,厚度为 6.9 m,其下为圆砾层。

(2) 软基处理设计

本路段硬壳层较薄,其下软土深厚,本段路基原设计采用塑料排水板+真空预压进行软基处理。根据检测情况,其软基沉降已基本完成,月沉降速率为 0~0.2 mm/月,路基与桥头之间无明显差异沉降。考虑到 K15+948~K16+001 段软基沉降已基本完成,拼宽路基的软基处理可选用对老路影响较小的桩承式加筋路堤方案,预应力管桩外径采用 400 mm,壁厚 60 mm,桩间距为 2.2 m,平面上采用平行四边形布置;桩帽采用 100 cm×100 cm×35 cm C30 现浇混凝土,桩帽与管桩之间设置连接钢筋,在桩帽顶铺设 0.5 m 的土工合成材料加筋土垫层。

设计采用改进的 Hewlett 极限状态理论计算桩体及桩间土体承担的路堤荷载,桩体荷载分担比约为 75%,采用考虑桩径影响的 mindlin 公式计算桩端平面以下的附加应力^[4],同时采用 Boussinesq 解计算桩间土承担的荷载引起的附加应力,将两者叠加按分层总和法计算沉降。具体计算结果见表 3。

本路段有 2 层软土层,第一软土层底深度约 18 m,其附加应力约为自重应力的 15%,故桩长打穿第一软土层其总沉降已可控,从计算结果来看也

是如此,故设计桩长以第一软土层底部的粉质黏土层作为持力层,考虑到桩端进入持力层的深度要求,设计桩长选用 20 m。具体设计见图 8 所示。

(3) 沉降观测

本段路基从 2015 年 11 月开始填筑,至 2016 年 3 月基本填筑到位,在此期间路基沉降速率较大,随后沉降基本保持稳定。断面沉降随时间变化情况见图 9 所示。从图上可见,采用管桩处理后沉降收敛快,总沉降及工后沉降均较小,满足设计要求。

表 3 桩承式加筋路堤沉降计算表

Tab. 3 Calculated settlement of pile-supported reinforced embankment

项目	预应力管桩长度/m				
	10	14	16	18	20
总沉降/m	0.184	0.153	0.136	0.065	0.058
工后沉降/m	0.146	0.121	0.108	0.050	0.044

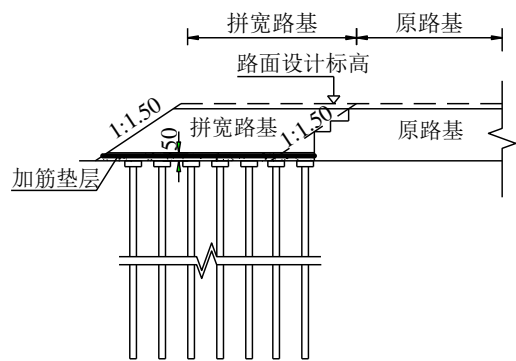


图8 桩承式加筋路堤横断面图

Fig. 8 Cross section of pile-supported reinforced embankment

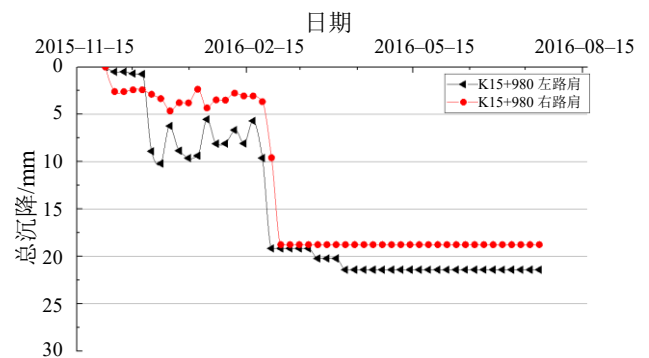


图9 观测断面(III)沉降曲线图

Fig. 9 Settlement curves of monitoring section (III)

4 结 语

(1) 软基上的拓宽工程所涉及的因素远比新建工程复杂,应针对不同的设计工况进行多方案比较,选取适合的软基处理方案。

(2) 对硬壳层较厚的深埋软基路段,采用预

应力管桩等刚性桩可能会出现难以施打的情况,采用泡沫混凝土轻质路堤换填是一种较为有效的处理方案,其工后沉降可得到有效控制。

(3)对老路仍未完全沉降稳定的拓宽路基,采用悬浮水泥搅拌桩的方案可满足设计工后沉降的要求,且总沉降基本可控,不会引起施工期新老路基过大的差异沉降,并可协调新老路基的工后沉降。

(4)对老路沉降已基本完成的拓宽路基,选用对老路影响较小的桩承式加筋路堤方案,其沉降收敛快,总沉降及工后沉降均较小,是一种行之有效的处理方式。

参考文献

- [1] 浙江省交通规划设计研究院. 浙江省杭州(红垦)至金华高速公路改扩建工程施工图设计图纸[Z]. 杭州, 2013.
- [2] 中华人民共和国交通运输部. 高速公路改扩建设计细则: JTG/T L11-2014[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.
- [3] 浙江省质量技术监督局. 公路工程泡沫混凝土应用技术规范: DB 33/T 996-2015[S]. 北京: 人民交通出版社, 2015.
- [4] 中华人民共和国交通运输部. 公路路基设计规范: JTG D30-2015[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.
- [5] 浙江省质量技术监督局. 公路软土地基路堤设计规范: DB 33/T 904-2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2014.
- [6] 中华人民共和国建设部. 建筑桩基技术规范: JGJ 94-2008[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [7] 东方毅. 杭金衢高速公路改扩建工程设计方案研究[D]. 西安: 长安大学, 2014.

DONG Fang-yi. A study on design schemes for the reconstruction and extension of Hang-jin-qu expressway[D]. Xi'an: Chang'an University, 2014.

【简 讯】

2020年第五届土木工程国际会议(ICCIVIL2020)通知

2020 第五届土木工程国际会议为广大从事土木工程相关领域的研究学者、专家提供交流平台。会议组委会诚邀全球相关领域的学者、专家参加此次国际会议,就相关主题的热点问题探讨、交流,共同促进全球土木工程的发展。

2020 第五届土木工程国际会议将于 2020 年 11 月 28—30 日在中国西安召开。西安,古称长安,陕西省省会。西安是举世闻名的世界四大文明古都之一,居中国古都之首,是中国历史上建都时间最长、建都朝代最多、影响力最大的都城。作为华夏文明的发源地,西安的历史悠久,文化的积淀非常厚重,它是著名的丝绸之路的起点。西汉时期,汉武帝派遣张骞出使西域,正式开辟了以长安为起点,联结欧亚大陆的通道“丝绸之路”。“西安文物甲天

下”,深厚的历史文化积淀和浩瀚的文物古迹遗存使西安享有“天然历史博物馆”的美称。有诸如秦始皇兵马俑、大雁塔、西安古城墙、华清池等著名旅游景点。

2020 第五届土木工程国际会议诚邀全球相关领域的学者、专家参会并投稿。本次会议接受中文及英文原创性文章。本次会议接受摘要或全文投稿。所有录用论文的在线出版时间为收到最终稿后 15~20 天。

重要日期

会议日期: 2020 年 11 月 28—30 日

录用通知: 投稿后 20~40 天

论文出版: 收到最终稿后 15~20 天

会议网址: <http://www.iccivill.org/2020/cn/home>