

软土路段新旧路基沉降计算与分析

胡志康

(浙江数智交院科技股份有限公司, 浙江 杭州 310030)

摘要: 伴随着交通工程的不断建设,改扩建项目不断推进,软土路段新旧路基差异沉降分析越来越重要。针对某沿海高速改扩建工程,结合老路设计资料及现场工程勘察资料,分析计算老路剩余沉降。并通过理正-软土路堤计算模块计算新建路基沉降,计算得到水泥搅拌桩+泡沫混凝土换填、管桩+堆载预压均能有效控制新旧路基差异沉降,避免后期路面纵向裂缝的产生,其中水泥搅拌桩+泡沫混凝土换填的方法可以更好的应对拼宽渐变段三角区不易压实的情况,可为今后软土路段拼宽方案提供参考。

关键词: 改扩建工程;软基;沉降差异

中图分类号: U416.1;TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)03-0145-03

Calculation and Analysis on Settlement of New and Old Subgrades in Soft Soil Sections

HU Zhikang

(Zhejiang Institute of Communications Co., Ltd., Hangzhou 310030, China)

Abstract: With the continuous construction of transportation projects and the steady advancement of reconstruction and expansion projects, the analysis of differential settlement between new and old subgrades in soft soil sections has become increasingly important. For the reconstruction and expansion project of a coastal expressway, and combined with the design data of the old roads and the on-site engineering investigation data, the residual settlement of the old roads is analyzed and calculated. And the settlement of the newly-built subgrade is calculated by using the Lizheng-Soft Soil Embankment Calculation Module. The calculation results show that both the “cement mixing pile + foam concrete replacement” method and the “pipe pile + surcharge preloading” method can effectively control the differential settlement between the new and old subgrades and prevent the occurrence of longitudinal cracks in the pavement at a later stage, in which the “cement mixing pile + foam concrete replacement” method can better deal with the situation where the triangular area of the widened gradient section is not easy to be compacted, which can provide a reference for the widening scheme of soft soil sections in the future.

Keywords: reconstruction and expansion project; soft soil foundation; differential settlement

0 引言

伴随着我国经济的发展,交通工程的不断建设,改扩建项目已成高速公路建设的重要方向,对提升高速公路的通行能力,带动周边经济发展起到重要作用。软土作为一种天然含水量高、天然孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低、固结系数小、固结时间长、灵敏度高、扰动性大、透水性差、土层状分布复杂、各层之间物理力学性质相差较大的土体^[1]。在公路建设中需引起必要的重视。而对于老路软基沉降的分析研究,可以对拼宽部分的设计起到指导作

用,结合必要的工程措施,有效减少后期可能存在因新旧路基不均匀沉降引起的纵向裂缝问题。

针对老路基的沉降问题不少学者提出了自己的研究方向,如王明帅^[2]等对比不同数值模型对新路基在天然地基上的沉降计算值进行修改,提出考虑新老路基相互作用的软土地区高速公路改扩建地基沉降计算方法及差异沉降预测方法。张磊^[3]分析了新老路基的差异沉降机制,随后依托某高速公路改扩建项目,探讨了拓宽路基差异沉降规律及填料弹性模量对路基沉降的影响。朱东林^[4]等针对软土区高速公路路基改扩建工程,开展大型模型试验,分析新老路基的沉降变形、水平位移以及路基固结特性的变化规律。本文以某沿海高速改扩建工程为例,经现场钻孔调查,结合老路地质及设计资料,对老路

收稿日期: 2025-08-13

作者简介: 胡志康(1994—),男,硕士,工程师,从事路基路面设计工作。

沉降进行分析,最终采用水泥搅拌桩对拼宽路基进行处理,减少后期因差异沉降引起的纵向裂缝问题,可为相关工程提供参考。

1 工程概况

某高速于 2005 年正式通车运营,距今已有 20 年。原设计参照《公路工程技术标准》(JTJ001—97)标准执行,设计速度为 120 km/h,双向四车道宽度为 26.0 m。

1.1 老路概况

现状老路软土地基设计采用塑料排水板+堆载预压,塑料排水板截面积为 100 mm×4.5 mm,处理深度为 10~16 m,预压期为 6~9 个月。老路设计时受软基处理方式、材料及施工工艺的影响,目前仍在沉降。老路养护期间曾经历多次加铺处理。

1.2 地质条件

根据地质勘察资料本项目位于海积平原,地势较平缓,现状上部为农田,顶部为耕植土,其下分布第四系全新统海积粉质黏土,层厚 0.0~0.8 m,第四系全新统海积淤泥,②₂为软土层,层厚约 11.6~12.3 m;下伏冲积及冲洪积圆砾、卵石,局部夹黏性土。

为查明老路路基土固结度、剩余沉降情况,分别在不同路段老路路面及外侧钻孔,其中 GJZKC1、3、5 为老路路面钻孔编号,GJZKC2、4、6 为对应位置老路外侧钻孔编号。钻孔所得参数统计见表 1。

表 1 软土主要物理力学性质一览表

位置	含水率/%	孔隙比	c/kPa	φ/(°)	压缩系数/ MPa ⁻¹	压缩系数/MPa
老路路面	48.4	1.34	12.6	2.3	1.00	2.16
老路外侧	56.7	1.59	8.6	1.7	1.39	1.65

1.3 老路沉降计算

本次计算将采用老路外侧钻孔土质参数作为老路修建之前沉降计算的初始孔隙比,路堤计算参数见表 2。

表 2 路堤参数一览表

路基高度/m	路基宽度/m	边坡坡率	平均重度/ (kN·m ⁻³)	路面荷载/ kPa
2.75	26.0	1.5	23	17.5

最终计算所得路基底部宽度为 35 m,底部附加压力为 68 kPa。

附加应力计算采用扩散角法计算,计算公式为 $p = \frac{F}{[b + z \tan(\theta)]}$,扩散角通过线形差值计算得到,见表 3。

表 3 附加应力计算一览表(GJZKC2 孔附加应力计算)

z/b	应力扩散角	附加应力/kPa	平均应力/kPa
0.097	0	68	68
0.182	0	68	68
0.268	7.262	66.657	67.328
0.411	16.977	62.649	64.653
0.442	19.114	66.662	64.655
0.068	0	68	68
0.125	0	68	68
0.182	0	68	68
0.240	0	68	68
0.297	9.205	66.875	67.437
0.354	13.091	66.350	66.613
0.411	16.977	65.817	66.084
0.494	22.611	63.716	64.767
0.068	0	68	68
0.125	0	68	68
0.182	0	68	68
0.24	0	68	68
0.297	9.205	66.875	67.437
0.354	13.091	66.350	66.613
0.411	16.977	65.817	66.084
0.480	21.640	64.599	65.208

最终计算得附加应力平均值为 67 kPa。

采用分层总和法计算最终沉降计算公式为 $s = \sum_{i=1}^n s_i = \sum_{i=1}^n \frac{e_0 - e_i}{1 + e_i} H_i$, H_i 为计算土层厚度, e_0 为土体天然孔隙比, e_i 为土体在附加应力作用下孔隙比, s_i 为第 i 层土的沉降值, s 为总沉降值, e_i 可通过室内侧限压缩试验进行线形差值得到。老路目前沉降采用 $s = \frac{\bar{e}_i - \bar{e}_0}{1 + \bar{e}_0} H$, $\bar{e}_i$ 为老路淤泥土层天然平均孔隙比, $\bar{e}_0$ 为外侧土层天然平均孔隙比。

老路固结度计算、沉降、剩余沉降计算见表 4。

表 4 老路固结度计算、沉降、剩余沉降计算一览表

钻孔编号	软土厚度/ m	固结度	总沉降/ m	已沉降/ m	剩余沉降/ m
GJZKC1、2	12.9	0.875	1.439	1.260	0.179
GJZKC3、4	15.7	0.875	1.752	1.534	0.218
GJZKC5、6	15.2	0.875	1.696	1.485	0.211

依据上述计算可知老路剩余 20 年沉降为 0.2 m 左右,老路已处于基本稳定状态。

2 拼宽路基处理

2.1 设计方案

本次拼宽处理主要位于老路互通区桥头范围,最大填土高度为 6.1 m。具体位置见图 1。

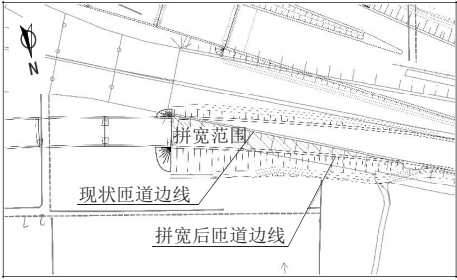


图1 拼宽位置示意图

结合经济指标、施工安全及施工工期要求,拟采用水泥搅拌桩+泡沫混凝土路基换填、管桩+等载预压两种拼宽方案对老路软基路段进行拼宽处理。

(1)水泥搅拌桩+泡沫混凝土换填处理。

拼宽部分采用水泥搅拌桩处理,处理宽度 8 m,桩径 0.5 m,桩间距 1.1 m,呈三角形布置,桩长 14 m,打穿现状软基范围。路基拼宽部分采用泡沫混凝土换填处理,减轻土体自重。

(2)管桩+等载预压

拼宽部分采用管桩处理,处理宽度 8 m,桩径 0.5 m,桩间距 1.3 m,呈三角形布置,桩长 14 m,打穿现状软基范围,桩顶采用系梁链接,增加各个桩体之间的整体性。路基拼宽部分采用等载预压处理,预压期为 3 个月。

2.2 模型计算

本次计算采用理正-软土路堤计算模块,选取桥头最不利断面进行计算。根据《公路软土地基路堤设计规范》(DB33/T 904—2021)^[5]要求拼宽部分路基设计计算工后沉降,应满足桥头处不大于 0.05 m,原有路基与拼宽路基的路拱横坡度的增大值不应大于 0.5%。

2.3 参数选取

地层参数根据地质资料确定,各土层参数见表 5。

表 5 地质参数一览表

编号	层厚/m	孔隙比	液限/%	c/kPa	$\varphi/(^{\circ})$	压缩系数/ MPa^{-1}	压缩系数/ MPa
1	1.3	0.871	38.7	28.9	7.3	0.521	4.14
2	11.2	1.485	48.8	9.6	2.2	1.268	2.06
3	1.6	0.716	33.4	38.1	14.1	0.357	5.93
4	4.04	—	—	28.0	22.0	0.325	9.80

其中拼宽段泡沫混凝土重度为 7.5 kN/m^3 ,一般路基填筑土石混合料重度为 23.0 kN/m^3 。水泥搅拌桩桩土应力比为 3.5。老路路基施工期为 9 个月,新建路基荷载从第 250 个月开始,泡沫混凝土路基施工期为 4 个月,一般路基填筑施工期为 7 个月。

另新老路面均采用公路一级荷载,即路面宽度范围内采用 17.5 kN/m 均布荷载。

2.3 方案比选

如图 2 所示,计算可得,方案一水泥搅拌桩+泡沫混凝土换填处理,基准期残余沉降为 0.032 m,满足规范要求。路面竣工时地基沉降为 0.406 m,最终地基总沉降为 0.529 m,最终差异沉降为 0.077 m,现状路基与拼宽路基的路拱横坡度的增大值为 0.34 %,满足规范要求。

如图 3 所示,计算可得,方案二管桩+等载预压处理,基准期残余沉降为 0.034 m,满足规范要求。路面竣工时地基沉降为 0.406 m,最终地基总沉降为 0.532 m,最终差异沉降为 0.074 m,现状路基与拼宽路基的路拱横坡度的工后增大值为 0.32%,满足规范要求。

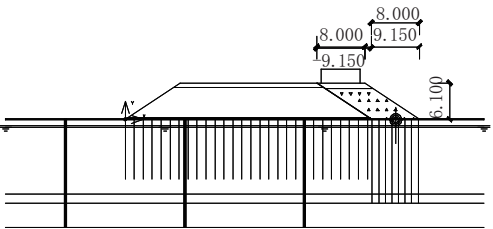


图2 水泥搅拌桩+泡沫混凝土换填计算模型(单位:m)

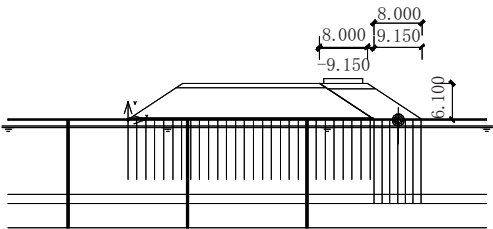


图3 管桩+等载预压处理计算模型(单位:m)

经计算分析,两个方案工后沉降及路拱横坡增大值均满足规范要求,可以有效防止软基沉降及新老路基拼接处出现纵向裂缝。考虑到本次拼宽为渐变段,存在新老路基三角区填筑,宕渣路基压实困难,且本标段为缺方标段,土石料需外购,质量参差不齐,影响路基施工质量,因此采用水泥搅拌桩+泡沫混凝土换填处理更为合理。

为进一步防止新老路基差异沉降,可采用老路开挖台阶;并于上路床部位增加土工织物等措施。

(下转第 172 页)