

长短桩加筋路基在处治桥头差异沉降中的研究

章苏亚, 赵腾飞, 周洁

(上海公路桥梁(集团)有限公司, 上海市 200433)

摘要: 为了研究长短桩加筋路基在处治桥头差异沉降中的作用,应用FLAC^{3D}有限差分软件建立桥头过渡段三维模型,分析了不处治情况下桥头沉降特性,对比了等长桩和两种长短桩对沉降的影响、单一法与长短桩联合格栅法的处治效果。结果表明:不进行地基处理的桥头处存在较大纵坡差;长短桩能使沉降平稳过渡,利于行车;长短桩联合格栅不仅能减小沉降量,还能避免桩基路段结束处的跳车感;随路基高度的增加,道路沉降量随之增加,但不同处治方式的沉降规律不受路基高度的影响。

关键词: 长短桩加筋路基; 桥头; 差异沉降

1 引言

随着中国经济的高速发展,道路桥梁工程建设也有了长足进步,每年均有大量新建桥梁、高架桥投入使用。调查显示,桥头跳车现象仍较为普遍。这不仅影响行车舒适度、速度,甚至导致严重的交通事故,影响人们对公路的总体评价。

工程中,常从减小路基压缩变形、减小地基沉降等角度处治桥头差异沉降问题。李然结合天津某工程桥头水泥搅拌桩地基处理方案,应用Abaqus有限元软件,分析了处理范围、桩长变化、差异桩长设计对消除跳车与二次跳车的影响;陈胜伟采用理论分析和数值计算方法对软土路基、PHC预应力管桩、桩帽、土工格栅加筋材料等变形和应力进行了系统研究;白建明建立立体式的加筋土地基数值模型,通过改变各项加筋参数,分析影响加筋土地基承载力的各项因素,找出最优的加筋形式;马强在路桥过渡段进行了新型三向格栅加筋路堤的现场试验,并结合数值模拟,分析了加筋桥头路堤填土的有效长度和作用效果;胡卫国基于室内三轴试验,对加筋土的作用机理和力学性能进行影响分析;郑俊杰通过现场试验对桩承式加筋路堤进行监测分析,结果表明:桩承式加筋路堤通过土拱效应和张拉膜效应将路堤荷载向桩顶转移,从而可有效减小桩间土荷载;叶师鑫通过室内渗透试验、浸泡试验和无侧限抗压强度试验研究了气泡轻质填料的物理力学特

性,并基于工况,提出了采用气泡轻质填料水平引孔置换部分路堤处治已通车公路桥头跳车的方法。

蒋应军根据对已建公路的调查,对路桥过渡段沉降类型进行归类,认为不均匀沉降主要有以下几种:纵坡变化、局部沉降和过渡段横坡变化。针对不同的沉降形式,学者们提出了不同的控制标准。羊晔认为纵坡坡差容许值0.4%是合理的,并进一步分析路面纵坡坡差与地基差异沉降的关系,提出了不同路堤填高情况下路面的纵坡坡差与地基差异沉降的关系式;陈晓麟参照汽车平顺性评价方法,建立3个自由度的车辆—人体—座椅的振动模型,对台背不同差异沉降对行车舒适性的影响进行分析;Zhang建立了基于列车—轨道—桥梁耦合动力学理论的模型,研究高速铁路桥墩差异沉降与行驶速度等关系。

以往的研究大多集中在单一处治方式,该文结合实体工程,应用FLAC^{3D}软件建立三维模型,分析长短桩联合格栅处治桥头沉降问题的效果,并分析过渡段纵坡的变化。

2 工程概况

依据上海市浦东新区济阳路快速路改建工程,济阳路北起卢浦大桥引桥,南至闵行区界,全长约7.1 km,道路规划红线45~70 m。全线3.2 km范围新建高架桥,高架下部对现有地面道路进行改造,地面道路沿线经过3处河道,涉及三林北港桥、三林塘港桥和外

环南河桥共 3 座跨河桥。该文选取道路横断面为 8.5 m,单向双车道,道路部分均为新建路基路面工程,路桥交界处的桥头部分为落地梁结构。

3 模型建立

3.1 几何模型及荷载条件

应用 FLAC^{3D} 软件建立有限差分网格模型如图 1 所示,主要分为地基、路基、路面和桥头结构 4 个部分。其中地基土层参考济阳路地质勘察报告进行划分,共 22 m,包括 2 m 黏土、7 m 淤泥质黏土、2 m 黏质粉土、5 m 淤泥质粉质黏土、2 m 粉质黏土、4 m 杂填土,其他地下土层土质较好,认为对沉降影响小,故不予考虑。为减小模型网格复杂度,提高计算效率,将落地梁结构简化为一个长方体桥头结构,并固定结构底部竖向位移,模拟下部地基层中工程桩的作用。结合城市道路实际情况,路基层设定为 1 m 的矮路基。为消除边界对模拟结果的影响,将纵断面取为 60 m,桥头一侧原地基取 15 m。路面层自上而下分为沥青面层、水泥稳定碎石基层和级配碎石垫层,其中面层 0.2 m,基层 0.5 m,垫层 0.3 m。

模型边界条件设置为:在下边界 $z=0$ 平面上约束 z 向位移,即位移 $u_z=0$;在侧边界 $x=-15\text{ m}$ 和 $x=60\text{ m}$ 平面上约束 y 方向位移,即位移 $u_y=0$;在侧边界 $y=0$ 和 $y=8.8\text{ m}$ 平面上约束 x 方向位移,即位移 $u_x=0$ 。

假设有两列汽车行驶在各自车道上,两轮间距为 2 m,车轮与地面的接触面宽 0.5 m,以双轮组单轴 100 kN 为标准轴载,轮胎压力 0.7 MPa。同时,认为车辆荷载沿道路纵断面连续不断,为通长布置的条形荷载,此设置是考虑城市道路车流量较大,对不确定性很大

的荷载的简化,明显稍大于实际的情况,但不影响分析差异沉降的规律。

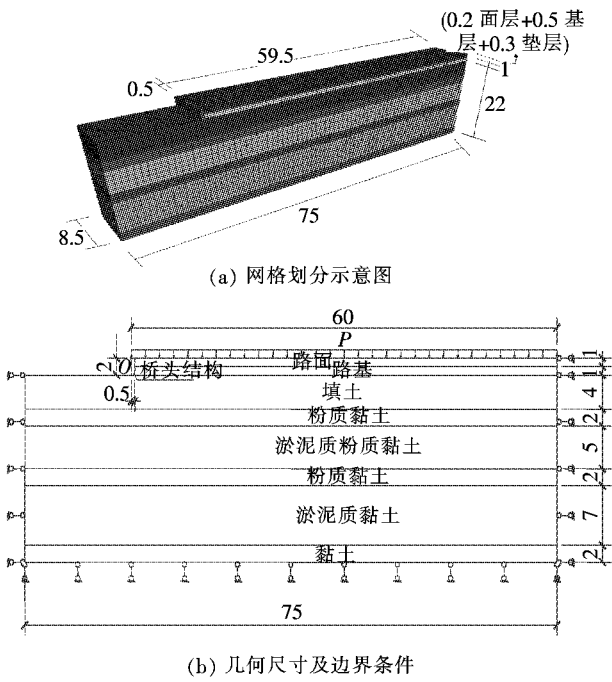


图 1 计算模型示意图(单位:m)

3.2 材料参数

选择 FLAC^{3D} 软件中不同本构关系模拟各部分材料特性,采用 Mohr-Coulomb 的模型来模拟地基和路基土层,而采用线弹性模型模拟具有良好连续性、均匀性和各向同性的桥头结构和道路面层,各实体单元参数取值见表 1。

采用软件内置的 Geogrid 和 Pile 结构单元分别模拟土工格栅和桩基的特性,模型中桩径为 0.5 m、间距为 1.5 m,其中第一根桩在距桥头结构 1 m 的地方布置,土工格栅铺设两层,分别在地基路基交界处、路基中间层(距地基 0.5 m),各结构单元参数取值见表 2。

表 1 实体单元参数

材料名称	弹性模量/MPa	泊松比	密度/(kg·m ⁻³)	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)
桥头结构	33 450.00	0.17	2 550	—	—
面层	1 200.00	0.35	2 500	—	—
水泥稳定碎石基层	1 500.00	0.25	2 200	—	—
级配碎石垫层	50.00	0.30	1 800	—	—
路基	50.00	0.33	2 000	24	30.0
填土	16.14	0.20	1 910	24	19.5
粉质黏土	15.42	0.32	1 890	22	19.5
淤泥质粉质黏土	9.75	0.40	1 780	12	17.0

续表 1

材料名称	弹性模量/MPa	泊松比	密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	黏聚力/kPa	内摩擦角/($^{\circ}$)
黏质粉土	26.55	0.30	1 870	6	31.0
淤泥质黏土	6.54	0.40	1 680	11	11.5
黏土	9.00	0.40	1 740	13	12.5

表 2 结构单元参数

材料名称	弹性模量/MPa	泊松比	密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
土工格栅	20 000	0.33	2 000
桩	30 000	0.30	2 500

4 计算结果分析

4.1 不处治分析

由于桥梁部分由工程桩控制沉降,而道路在荷载作用下沉降较大,桥头的差异沉降常是无法避免的,尤其在软土地基地区。当差异沉降较小时,桥头跳车现象不明显,不会影响正常行车,因此为了控制跳车,保持行车的平顺性,需要对路桥过渡段的沉降进行控制。许多学者提出了不同的控制指标,主要有 3 类:容许工后沉降、容许纵坡坡差、容许台阶高度。

图 2、3 分别为道路纵断面中心线上竖向沉降量和纵坡变化曲线,桥头结构与道路交界处产生一定错台高度,由于此模型设置路基较矮,使得错台高度较小,对行车舒适度影响较小,认为满足容许台阶高度的要求。通过计算得到各点的纵坡值发现,道路纵坡坡差较大,桥头处纵坡达到 1.4% 左右,而桥面段认为无纵坡变化,车辆经过桥头行车极不舒适,会有明显的跳车感,需要进行桥头地基处理,控制沉降变化速率。在距桥头结构约 20 m 处沉降达到最大且趋于平稳,由此认为沉降过渡段长度为 20~25 m,对此路段的软土地

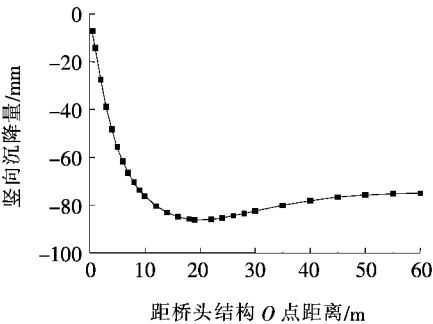


图 2 不处治时沉降曲线

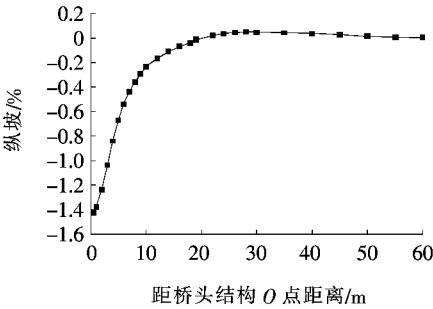


图 3 不处治时纵坡曲线

基和新建路基部分分别设置竖向增强体一桩、水平增强体一土工格栅,控制错台高度和纵坡坡差。其中桩的布置长度为 21 m,格栅的布置长度为 30 m。

4.2 等长桩与长短桩对比分析

在保证总桩长相同的情况下,采用软件内置的 Pile 单元模拟桩基,比较等长桩与长短桩对过渡段差异沉降的影响。桩的平面及立面布置见图 4。

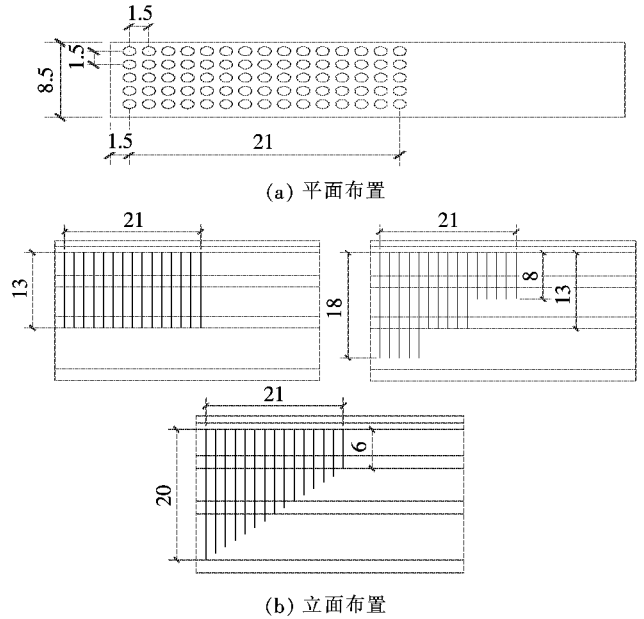


图 4 桩的布置图(单位:m)

图 5、6 分别为不同桩类下路桥过渡段沉降量曲线和纵坡变化曲线。从图 5 可以看出:① 桩的设置大幅度减小了前 25 m 的沉降量,桥头处的沉降减小率接

近 100%，纵坡也有较大程度的减小，曲线“凹陷”部分被“拉直”，处治效果明显；② 长短桩与等长桩相比，长短桩的竖向沉降量曲线变化更加平稳，而等长桩曲线则呈现出“陡—平—陡”的趋势，多次较大的变坡可能会使行车有颠簸感；③ 比较两种不同类型的长短桩，沉降曲线几乎重合，认为两种方式对处治桥头问题效果接近，使用阶梯形长短桩有利于提高施工效率，且能达到直线递减形长短桩的作用。

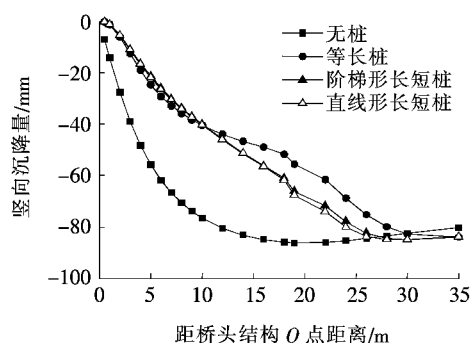


图 5 不同桩类下沉量曲线

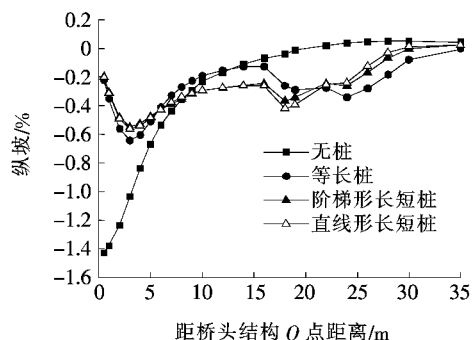


图 6 不同桩类下纵坡曲线

由图 6 可知：从路桥交接点的纵坡看，等长桩、阶梯形长短桩、直线形长短桩的纵坡分别为 0.224%、0.198%、0.204%，可见桩对原来不处治的 1.4% 的纵坡改变较大，且 3 种类型桩对此处纵坡的影响接近，其中阶梯形作用相对更好。从距桥头 25 m 道路范围内的纵坡曲线看，等长桩处治后最大纵坡变化率达到 0.52%，而两种长短桩最大纵坡变化率为 0.30%，可见长短桩对提高整个过渡段行车舒适度比等长桩的效果更好，沉降平稳渐变，利于行车。

4.3 单一与联合对比分析

图 7、8 分别为单一处治与联合处治下过渡段沉降量和纵坡曲线。

由图 7 可知：① 从桥头交接点看，只采用土工格栅或只采用长短桩或两种联合，对此处的沉降处治效果都较好，沉降量接近于 0 mm，而在距桥头 30 m 范

围内沉降曲线差距较大；② 在地基中加桩的方式大幅度减小了路面的沉降量，两种增强体的联合与单一长短桩处治比较可见，联合手段沉降减小的效果增加较小，但由于格栅的铺设长度大于桩，在桩地基与一般地基交接处，沉降差变化更小，即有利于避免桩体结束处的“二次跳车”现象。

图 8 的纵坡曲线可以验证联合法的意义，长短桩加筋路基随与桥头结构距离的增加，沉降变化更平缓，道路纵坡的波动程度更小，即道路更加平顺，行车舒适度更高。

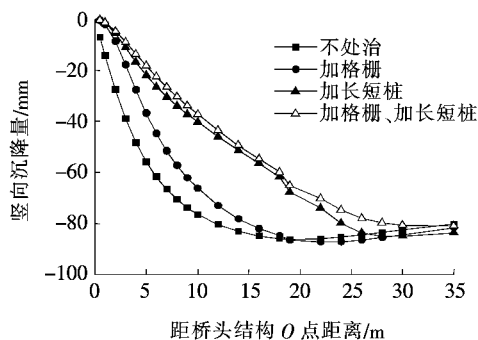


图 7 单一与联合法沉降曲线

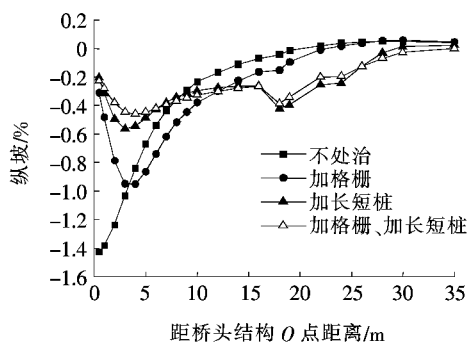


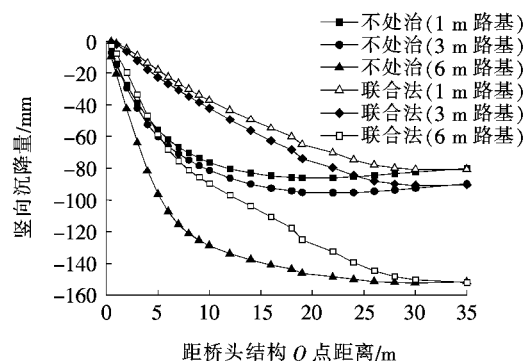
图 8 单一与联合法纵坡曲线

结合图 7、8 可知：无论是单一法还是长短桩联合加筋法都能够减小沉降量、缓和纵坡，沉降的改变量：联合法 > 长短桩 > 格栅。

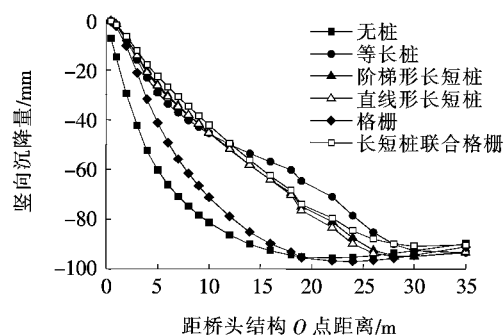
4.4 不同路基高度分析

为探究不同路基高度工况下桥头路基的沉降特性，建立不同的三维模型，通过计算得到相应监测点的竖向位移值。图 9(a) 为未处治和经长短桩联合土工格栅处治的道路沉降量曲线图。由图 9(a) 可知：无论是哪类路基，随着路基高度的增加，沉降量都在增加，这主要是因为路基自重的增加。在不同路基高度的情况下，相较于未经处治的路基，长短桩加筋路基在路桥过渡段的沉降均有明显降低，也即这种联合法适用于各种高度的路基工况。

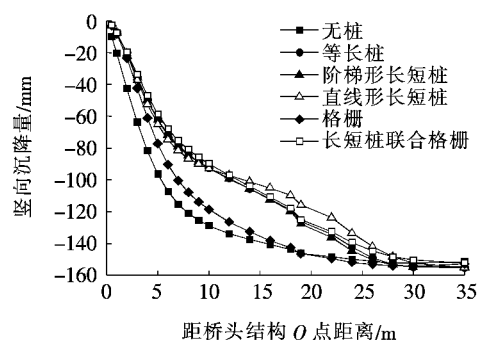
图9(b)、(c)分别为3、6 m高路基下桥头段的沉降量曲线图。结合图5、7可知:不同的路基高度下各种处治手段有相似的沉降规律,长短桩比等长桩有着更平缓的变化趋势,长短桩相较于格栅对减小桥头沉降的效果更明显,联合法比单一法更能缓和过大的沉降变化,这与前述的路基为1 m工况下所得结论相同。



(a) 不处治与联合法的对比



(b) 3 m路基下的沉降量曲线



(c) 6 m路基下的沉降量曲线

图9 不同路基高度下沉降量曲线

5 结论

以上海市济阳路高架路桥过渡段为工程背景,应用FLAC^{3D}软件建立路桥过渡段三维模型,研究长短

桩加筋路基在处治桥头问题中的效果。通过分析不处治方法下的道路沉降和纵坡变化,确定长短桩和土工格栅的处治路段长短,对比了等长桩和两种长短桩、单一法与联合法对沉降和纵坡的影响,主要结论如下:

(1) 不处治的桥头段存在明显错台和较大纵坡差,易产生桥头跳车现象。

(2) 两种长短桩效果接近,相较于等长桩,长短桩处治下,沉降和纵坡变化更小。联合法可以充分发挥两种材料的作用,同时减小地基沉降和路基压缩变形,还有利于避免“二次跳车”现象。

(3) 随着路基高度的增加,路桥过渡段沉降量增加,不同的路基高度下路基处治方式有相似的沉降规律。

(4) 长短桩能够使沉降平稳过渡,且能减小用桩成本,而土工格栅对增强土体强度、缓和有桩与无桩段的刚度差作用明显,在实际应用中在地基中布设长度渐变的桩,同时在路基中铺设格栅,通过这种新型的联合处理法,能有效解决“桥头跳车”问题。

参考文献:

- [1] Seyed Yashar Yasrobi, Kam W. Ng, Thomas V. Ed gar, et al. Investigation of Approach Slab Settlement for Highway Infrastructure[J]. Transportation Geotechnics, 2016, 6: 1-15.
- [2] 肖念婷, 杨有海, 师歌. 桥头跳车及防治措施研究综述[J]. 公路交通技术, 2008(2).
- [3] 刘汉龙. 岩土工程技术创新方法与实践[J]. 岩土工程学报, 2013(1).
- [4] 马东旭. 道路桥梁沉降段路基路面施工技术[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2015(1).
- [5] 李然, 刘润, 徐余, 等. 水泥搅拌桩法处理软土地基中桥头跳车现象的影响因素分析[J]. 岩土工程学报, 2013(S2).
- [6] 陈胜伟, 刘先林, 刘光彬. PHC桩在高速公路铅锌矿尾矿池深厚软土处理中的应用研究[J]. 中外公路, 2016(3).
- [7] 白建明, 高秀青. 加筋土地基承载力性能分析[J]. 中外公路, 2017(3).
- [8] 马强, 肖衡林, 李丽华, 等. 三向格栅加筋桥头路堤的试验和数值模拟分析[J]. 岩土工程学报, 2013(S1).
- [9] 胡卫国, 何桥敏. 土工格栅在填方路堤中的加筋作用试验研究[J]. 中外公路, 2018(1).
- [10] 郑俊杰, 张军, 马强, 等. 路桥过渡段桩承式加筋路堤现场试验研究[J]. 岩土工程学报, 2012(2).
- [11] 叶师鑫, 齐昌广, 陈庚, 等. 处治已运营公路桥头跳车的工况分析[J]. 地下空间与工程学报, 2016(S1).
- [12] 蒋应军, 武建民, 陈忠达, 等. 桥头跳车成因分析及防治技术研究[J]. 公路, 2004(7).