

陡坡地段公路桥梁桩基施工现场监测与性状分析

严飞淞 汪益敏 陈页开

(华南理工大学 交通学院 广州市 510640)

摘要 陡坡地段桥梁桩基的稳定性问题是桥梁工程安全的一个重要问题。通过对广东省某高速公路建造在陡坡地段的桥梁桩基从施工到通车全过程开展监测,分析了在施工荷载作用下桥梁桩基和陡坡土体的位移分布和变化规律。然后利用弹塑性有限元建模,分析了桩身位移的分布规律,并与监测结果进行了比较,得出有限元建模能较好的模拟桩土之间的相互作用;分析了在坡顶荷载作用下桩身弯矩随深度的变化情况和桩身最大弯矩随荷载大小的变化情况。

关键词 陡坡 桥梁桩基 有限元 侧向荷载

Analyses and Monitoring of Highway Bridge Piles Constructed on Steep Slopes

Yan Feisong Wang Yimin Chen Yekai

(College of Communications and Transportation, South China University of Technology)

Abstract Full-height piled bridge abutments constructed on steep slope are probed to soil-structure interaction effects. A series of monitoring methods have been undertaken on a bridge of this type in Guangdong Province and an accompanying series of finite element analyses are studied. The monitoring stages started from construction of piles, construction of upper structures and ended 6 months after whole bridge opened to traffic. The monitoring contents include embedded soil pressure sensor, embedded reinforced concrete strain sensor and buried displacement measuring pipe and a series of response data related to the piles have been collected. FEM method is used to analyze deformation and bending moment of piles and slope's entire deformation under the effects of construction load and traffic load. The results show that FEM is a proper method to imitate field situations.

Keywords steep slope; bridge pile; FEM; lateral load

1 引言

在山谷和丘陵地区,公路桥梁的基础多采用桩基础的形式,由于需要跨越谷地,不少桥梁桩基打在陡坡上。这些桩基一方面要承受从上部结构传来的垂直荷载,另一方面由于打桩时破坏了坡体原有的天然稳定结构,它又要受到桩周土体在自重或外荷载作用下发生变形或移动而引起的侧向压力。在桥梁施工的过程中,桩基上方斜坡上经常要铺设施工便道和架设重型的施工设备。由于施工车辆多为重型货车,满载后车重可达 50 吨以上,这样更增加了桩基上方边坡土体的下滑力,加大了土体作用在

桩基上的侧压力。因此,对此类桥梁桩基在土侧压力作用下的性状进行分析是十分必要的。

针对被动桩的受力特点,我们对广东省某高速公路建造在陡坡地段的桥梁桩基从施工到通车全过程开展了监测。并将监测结果与有限元计算结果进行了比较分析,由此探索此类桥梁桩基的受力和变形规律,为陡坡地段的桥梁桩基设计提供参考。

2 现场试验

2.1 工程概况

水坑大桥位于广东省龙川县境内,为一座跨山间谷地,并连接两山腰的大桥,主线大致北东~南西走向。桥台两端地势陡峻,为山麓斜坡,山坡植被发育;桥中段为山间谷地,现为居民住宅区,谷底为水

作者简介:严飞淞,1982年生,硕士生,主要从事边坡塌滑与治理的研究工作。

收稿日期:2005-11-25

坑河,流向自北西至南东汇入东江。场区属剥蚀丘陵地貌,呈“V”形状,地形起伏大,山顶高程约209.70m,山间谷地地面高程约84.40m,高差125.30m。

本文以水坑大桥7号桥墩桩基为研究对象。7

号桥墩建立在南西向坡体之上,桩基承台尺寸为3.0m×3.0m×3.0m,承台下为一根长38m,直径2m的人工挖孔灌注桩。边坡土层分布及其主要物理力学性质指标如表1所示。

表1 土的主要物理力学指标

土层名称	土层厚度 /m	干重度 /($kN \cdot m^{-3}$)	天然重度 /($kN \cdot m^{-3}$)	泊松比	弹性模量 /MPa	压缩模量 /MPa	内聚力 /MPa	内摩擦角 /($^{\circ}$)
粉质粘土	1.6~6.0	16	19.2	0.30	-	8	23.40	13.60
强风化变余砂岩	0.7~26.2	17	21	0.28	350	-	3	25
弱风化变余砂岩	0.8~25.2	21	22.5	0.2	1200	-	7	28

2.2 现场监测布置及监测方法

现场埋设的监测仪器包括用于测量桩周土压力的电阻应变式土压力盒,用于测量桩身混凝土应变的混凝土应变计以及用于测量桩身水平位移和土体深层位移的深孔测斜管,各监测元件的分布如图1所示。

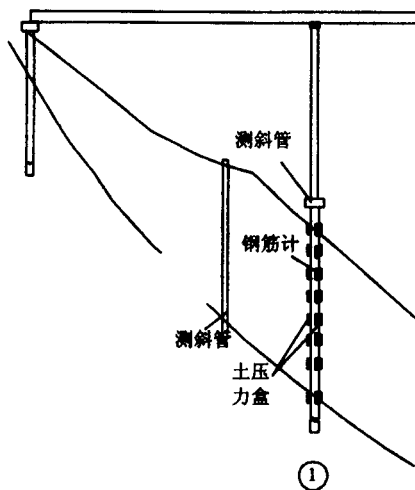


图1 监测断面布置

土压力盒和混凝土应变计的布置为沿桩身深度方向每3m设置一组,每组在主动土压力区设置一个土压力盒,在被动土压力区设置一个土压力盒和一个混凝土应变计,设置范围为由桩顶直到桩底。

用于测量桩身水平位移的测斜管埋设在桩体内部,沿桩的深度走向由桩顶直到桩底;用于测量桩基上方边坡土体深层位移的测斜管埋设在桩位上方3m的边坡体内部,深度与桩深等同。

2.3 现场监测试验结果及分析

2.3.1 桩身及边坡土体位移

在桥梁承台、桥墩、盖梁等主体结构施工过程中,对桩身位移进行了持续的监测,监测结果如图2所示。图中为近六个月的施工阶段中桩身位移随深

度的变化曲线,桩身位移的整体变化趋势为随深度增大逐渐减小,同一深度处的位移则随着施工阶段的不断推进逐渐变大。

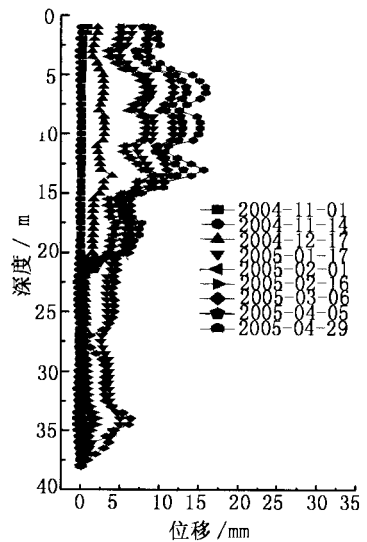


图2 桩身位移监测结果

由监测结果也可以看出,在桥梁上部结构施工进行到后期时,桥梁桩基位移的变化值明显减小。通过相等时间间隔(14d)的观测,发现在桥梁的盖梁和T型主梁施工阶段(2005年1~2月期间),实测值与14d前相比,桩基在9.5m深处的位移值达到了6.23mm。但在主梁铺设完毕后的桥面铺装阶段(2005年4月期间),实测值与14d前相比,桩基在同一深度处(9.5m)的位移值仅为2.24mm。

由现场记录可知,在主梁施工阶段坡顶的施工便道上经常会行驶满载的货车,并且设有造桥机等重型设备。在桥面铺装阶段,便道上货车数量明显减少,重型施工设备也已经撤离。由此可知,坡顶荷载的减小,直接导致了坡体中桥梁桩基位移的减小。

测量边坡土体位移的测斜管是在桥梁主梁架设完成后埋设的,监测结果显示在桥梁主体结构施工

末期土体位移变化不显著,平均位移的变化值小于1mm。这也表明在桥梁主体结构施工结束后边坡土体处于一个比较稳定的状态。

2.3.2 桩身混凝土应变及桩周土压力

桩身混凝土应变和桩周土压力的变化都不明显,主要有如下两方面原因:其一,边坡土层为薄层状风化砂岩,与边坡面呈反倾向,作用在桩身的土侧压力较小;其二,土压力盒与混凝土应变计是在人工挖孔灌注桩的混凝土护壁施工完后,打穿护壁进行埋设的,土压力盒四周用标准砂和泥浆回填。受现场条件限制,土压力盒较难按要求紧密接触边坡土体和混凝土灌注桩,导致测量结果受到一定影响,在施工各个阶段监测结果数值变化不大。

3 有限元计算与分析

为了进一步了解施工荷载作用下边坡土体与桩基共同作用的变形特征,本文结合现场监测结果,采用有限元法模拟计算坡顶荷载作用下边坡整体位移情况及桩身位移和弯矩分布情况。

3.1 有限元计算方法

3.1.1 桩土的等效模型

对于此类问题的有限元分析,通常采用的是一个纵向的平面应变截面作为计算分析对象。由于在边坡-桩基结构中桩周土的运动和桩的性状不符合平面应变假设,对此我们采用了等效薄壁桩墙方法^[2]进行处理,建立桩土的平面应变分析等效模型。

将垂直于截面的桩列结构表示成一种“等效薄壁桩墙”的形式(如图3所示)。此桩墙每单位宽度的抗弯刚度和其所取代的桩和土相同。通常情况下土对整体抗弯刚度的贡献非常小,一般可以忽略不计。因此,按照式(1)将桩基等效为薄壁桩墙,其中,下标p表示桩,s表示土,w表示等效桩墙, s_1 为两桩轴心之间的距离。

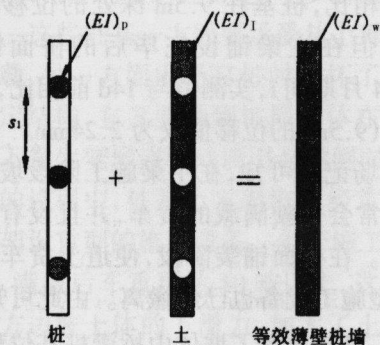


图3 等效薄壁桩墙示意

$$(EI)_p + (EI)_s = s_1(EI)_w \quad (1)$$

薄壁桩墙与土的结合可以采用“嵌入”梁单元到土体网格划分中桩列位置的方法,在桩墙与土之间再设置接触面单元,用来模拟桩土接触面的变形。

3.1.2 本构关系、边界条件与网格划分

在有限元分析中,土体本构关系采用理想弹性 Mohr-Coulomb 模型,其中土的物理力学指标如表1所示。模型左右边界X方向自由度固定,底边X,Y方向自由度均被固定,坡面和坡顶则完全自由,桩土界面采用无厚度 Goodman 单元进行模拟。坡体采用三角形六节点单元进行网格划分。根据施工现场的情况,坡顶计算范围取坡顶后100m宽,坡底则取到坡角后40m。坡顶行车荷载和桩上桥梁上部结构的荷载均按照实际情况估算得出,在施工的高峰期坡顶荷载最大值约为40kN/m²,桩顶结构约产生200kN/m²的集中荷载。几何模型和网格划分情况如图4所示。

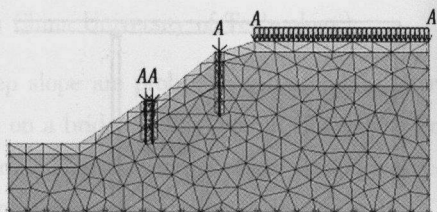


图4 几何模型和网格划分

3.2 计算结果及分析

3.2.1 桩身及边坡位移

作用在坡顶的施工荷载会引起坡顶土体的位移,桩在坡中则起到了阻止土体位移的作用,因而会产生被动的抗力。此抗力一方面改变了土体的位移模式,另一方面也导致了桩体自身的弯曲变形。图5为坡中土体位移的矢量图,从图中可以看出边坡土体的位移与土层的物理力学性质有直接的联系,土体的强度越高其位移越小。

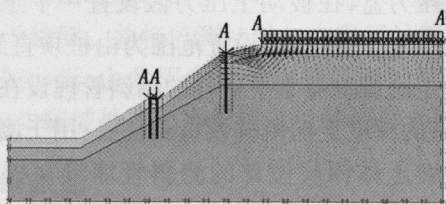


图5 土体位移的矢量

在施工荷载的作用下,陡坡土层特别是浅层软弱土层会产生较大的水平位移,会对桩身产生明显的侧向土压力的作用,同时又有部分土体从桩间流动挤出形成土的绕流。而本文采用的平面应变有限

元分析是用等效的板桩墙代替桩体及桩周土的,其抗弯刚度等于桩土的平均抗弯刚度,由于这种近似方法忽略了桩间土的错移和绕流,相当于因土体水平位移而产生的压力全部作用在了等效板桩上,这会使得有限元计算出的桩身水平位移值比实测值略大,而土体水平位移计算值则会偏小。图6为桩身水平位移沿深度的变化曲线。从图中可以看出,位移实测值与计算值的基本变化趋势是一致的,桩身位移都随深度的增大而减小。在桩顶部<5m深处,位移值与计算值有一定差别,主要是因为有限元建模中桩顶为自由端,整桩表现出悬臂桩的特征,但在实际工程中,桥梁上部结构对桩顶会产生一定的侧向约束作用,从而抑制了桩顶的位移。

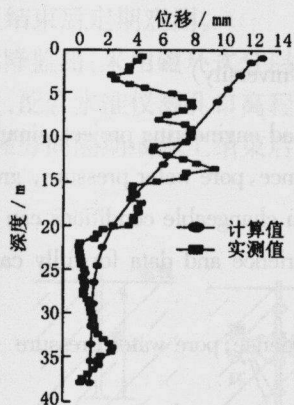


图6 桩身水平位移沿深度分布特征

3.2.2 桩身弯矩

在土侧压力作用下桥梁桩基会发生弯曲变形从而在桩体内部产生弯矩,桩身弯矩的大小直接影响到了桥梁的安全性,也是判断桥梁桩基稳定性的一个重要指标。

在 40kN/m^2 的坡顶荷载作用下桥梁桩基的弯矩分布如图7所示。

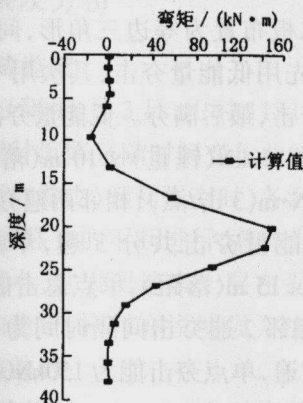


图7 桩身弯矩沿深度分布特征

图7中弯矩的最大值为 $148\text{kN}\cdot\text{m}$ 出现在约20m深处,根据现场钻探资料20m深处为两土层的交界面,由于上下土层的强度差别较大就导致了交界面处桩身上的应力集中,从而在该处产生了最大弯矩。通过在有限元中改变坡顶荷载的大小,可以发现桩身最大弯矩随荷载的增大而增大。

桩身除受到土侧压力外还会受到桩上部结构所产生的轴向压力,随着施工的进行轴压力会不断增大。通过在有限元模型中改变轴压力的大小可以发现轴力的变化对桩身弯矩和位移的影响均较小。

4 结语

本文通过现场监测与有限元计算,对某高速公路陡坡地段桥梁桩基在施工荷载作用下的工程性状进行了分析。可以得出如下几点结论。

1) 桩身及边坡土体的位移均随施工荷载的变化而变化,桩身位移的最大值出现在桩顶处。边坡土体的位移与土层本身的性质有关,土层强度越高,位移就越小。

2) 桩身最大弯矩发生在两土层的交界面处,并随着坡顶施工荷载的增大而增大。

3) 有限元方法可以较好的模拟桩土之间的相互作用,可以较好的分析侧向荷载作用下桩基的性状,是一种比较理想的辅助设计方法。

本文为施工荷载作用下桥梁桩基的性状分析积累了数据和经验,也可为进一步分析桥梁在施工过程中的安全性提供参考。

参考文献

- 1 Ellis E A, Springman S M. Modeling of soil-structure interaction for a piled bridge abutment in plan strain FEM analysis. *Computer and Geotechnics*, 2001, 28: 79 ~ 98
- 2 Stewart D P, Jewell R J & Randolph M F. Numerical modeling of piled bridge abutments on soft ground. *Computer and Geotechnics*, 1993, 15: 21 ~ 46
- 3 桩基工程手册编委会. 桩基工程手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995
- 4 张建勋, 陈福全, 黄建华. 受堆载超载影响下的桩基性状分析研究. *福建工程学院学报*, 2003, 1(4)
- 5 李仁平. 软土地基中被动桩与土体的相互作用及其工程应用. [学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2001
- 6 严人觉. 被动桩群的足尺试验. 见: 王钟奇, 等. 第四届土力学及基础工程会议论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986