

冲击钻孔桩施工对临近建筑影响的数值模拟分析

罗鸿¹, 丁艳超², 周银^{2*}, 唐小清²

(1. 云南省公路工程监理咨询有限公司, 云南 昆明 650021; 2. 重庆交通大学 土木工程学院)

摘要:以某一大跨径连拱旧桥下进行冲击钻孔桩施工为例,介绍冲击钻冲击荷载的数学模型,提出一种基于有限元的数值模拟方法评估冲击钻孔施工对临近建筑的影响。通过影响区域三维实体精细仿真模拟,并采用弹性-阻尼边界控制三维实体仿真范围,以三角形模型模拟冲击钻冲击荷载,实测数据表明该方法具有较高的准确度和工程应用价值。

关键词:冲击钻孔桩; 时程分析; 冲击荷载; 有限元数值模拟

冲击钻孔施工工法的主要能量源为冲击钻头的重力势能,冲击钻头接触岩层的一瞬间产生强大冲击波,冲击波沿着岩层传播到临近建筑基础,造成临近建筑产生受迫振动。对于老旧建筑,必须对冲击振动影响进行可靠评估,为冲击钻孔施工中实时监测提供数据支撑。利用 Midas/GTS 丰富的岩层材料本构关系和强大的非线性时程分析功能,可较为真实地模拟冲击过程造成的影响,预判冲击钻孔施工对临近建筑的影响。

1 工程概况

重庆某大桥桥型为 $(4 \times 60 + 2 \times 120 + 40)$ m 的钢筋混凝土连拱桥,修建于 1994 年(图 1)。由于近年来经济快速发展,该桥的交通量远远超过设计承受范围,在大桥各个部位均出现了较为严重的裂缝,承载能力

降低,为一座待拆除的危桥。现拟在大桥原址重建一座新桥,新桥的基础工作完成后再拆除老桥。在老桥主跨正下方将进行新桥桩基施工,钻孔施工高度不能满足要求,拟采用冲击钻孔施工工法,新桥桩基距老桥桥墩最短距离为 31 m。

2 冲击影响数值模拟

2.1 建模原则

2.1.1 材料处理

根据地勘资料,桥址下方岩层依次为卵石、泥岩、砂岩层,各层的材料特性不同,需要对各层单独划分网格并赋予对应的材料参数。岩土材料本构关系采用德鲁克-普拉格准则,该准则较摩尔-库仑准则能够计入静水压力和主应力的影响,使得材料屈服面与实际更为接近。计算土层主要参数见表 1。

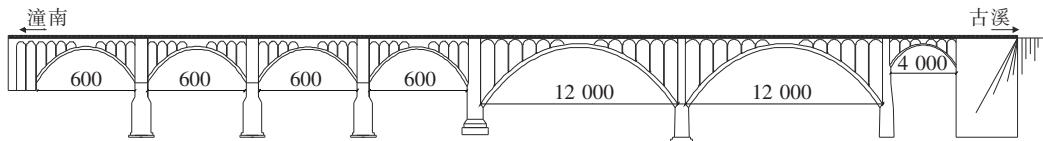


图 1 某大桥桥型布置图(单位:cm)

2.1.2 边界处理

实际的岩层为半无限大,需通过边界条件来缩减有限元模拟区域。在无限大岩层中,冲击波沿四周传播并逐渐衰减为零,当有限元区域边界处理不当时,冲击波会在边界反射产生噪声。模型的侧面及底面采用

面弹性支撑,支撑刚度等效于实际岩体刚度,并且赋予较大的阻尼,使得冲击波传递到边界上反射过程中迅速衰减。模型建立区域为主要影响区域并向外延伸 50 m,经验证冲击波在传播到边界并反射,反射波振动幅值大幅降低,对计算结果影响较小。

收稿日期:2019-09-12

作者简介:罗鸿,男,工程师, E-mail:2864601532@qq.com

* 通信作者:周银,男,博士研究生, E-mail:296052600@qq.com

表 1 土层参数

岩性	弹性模量/ MPa	泊松比	天然密度/(g· cm ⁻³)	承载力容许 值/kPa	<i>c</i> / kPa	<i>φ</i> / (°)	岩层 厚度/ m
卵石层	500.0	0.1	2.10	800	—	25	5.8
泥岩层	1 321.0	0.21	2.49	800	650	31	17.8
砂岩层	2 483.6	0.12	2.40	1 100	1 200	36	6.4

2.1.3 网格缩减处理

由于非线性时程分析的计算量远大于静力分析,根据有限元的计算原理,动力计算时网格的尺寸应小于波长,在波源与受影响的旧桥桥墩之间的岩层,网格尺寸应控制在 1 m 以内。远离主要冲击波传递最短路径的区域,网格尺寸加大至 3 m。由于主要考察旧桥的动力特性,旧桥网格尺寸为 2 m,能够较为准确地反映该桥的质量分布和刚度分布。建立有限元模型,该模型共有 221 032 个实体单元,139 221 个节点。

2.2 冲击荷载

冲击钻头与岩层冲击的过程,持续时间短,瞬间释放能量大,冲击荷载较大,由此产生的冲击波传播距离远。而冲击过程异常复杂,冲击过程本身应当进行详细的数值模拟,这将导致模型的计算规模和计算时间极大增加。为简化冲击过程计算,冲击荷载模型采用常用的三角模型(图 2),三角模型计算更为简便且时程荷载分析结果较为稳定。

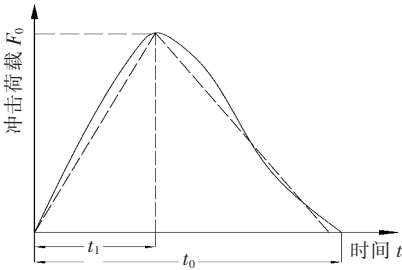


图 2 三角荷载波形图

三角荷载模型的计算表达式为:

$$F(t)=\left\{\begin{array}{ll}3.52\left(\frac{E}{1-\nu^2}\right)^{2/5} M \rho^{-1/15}(g s)^{0.6} \frac{t}{t_0} & 0 \leq t \leq t_1 \\ 3.52\left(\frac{E}{1-\nu^2}\right)^{2/5} M \rho^{-1/15}(g s)^{0.6}\left(1-\frac{t}{t_0}\right) & t_1 \leq t \leq t_0\end{array}\right. \quad (1)$$

$$t_0=2.94(2 g s)^{-0.5} \sqrt{2\left[\frac{1-\nu^2}{E}\left(M^5 \rho\right)^{1/6} g s\right]^{2/5}} \quad 0 \leq t \leq t_1 \quad (2)$$

式中:*s* 为重锤冲程;*ρ* 为重锤密度;*g* 为重力加速度;*M* 为重锤质量;*E* 为岩层的弹性模量;*ν* 为岩层的泊松比。

将表 1 中不同岩层的特性以及重锤的物理特性代入式(2)中,得到冲击时间,将冲击时间代入式(1),可得到冲击荷载波函数。其中砂岩层冲击荷载波函数图形见图 3。

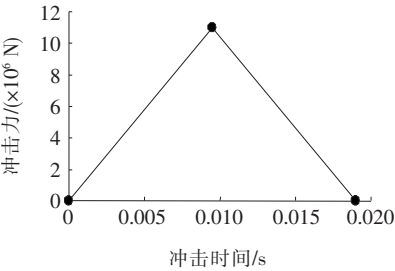


图 3 砂岩层冲击荷载波

3 实测对比分析

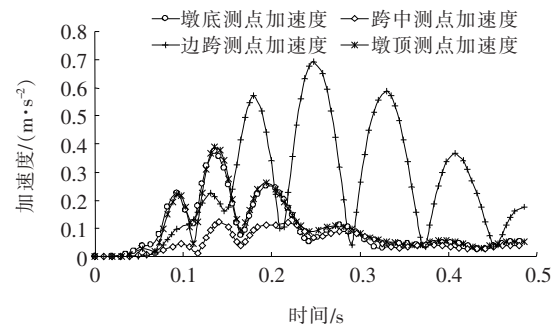
在靠近冲击影响区域的桥墩、墩顶、主跨跨中、边跨跨中布置 4 个测点,测量冲击波对旧桥机构产生的影响,有限元计算模型中同样提取实测对应点的时程曲线。图 4 为冲击钻头冲击卵石层、泥岩层以及砂岩层的有限元加速度时程曲线。图 4 表明:边跨跨中加速度峰值较其他部位更大,受冲击振动更为敏感;冲击卵石层对旧桥产生的影响最大,加速度最大峰值达到 0.7 m/s²,这是由于冲击产生波主要向四周和冲击方向传播,而桥墩主要埋入在卵石层中,所以随着冲击深度加大,冲击对旧桥产生的影响逐渐减小。

图 5 为冲击不同岩层时,边跨跨中加速度的计算值与实测对比。

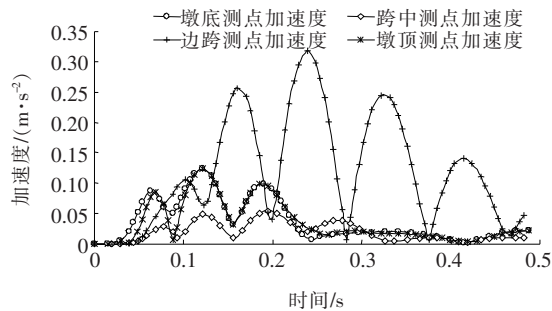
由图 5 可知:有限元计算值能够很好地描述旧桥受到的冲击影响,两者频率相同,加速度幅值实测较计算更为平滑,且实测加速度绝对幅值较计算值要小,这是由于冲击荷载等效为三角形荷载引起的。

4 结论

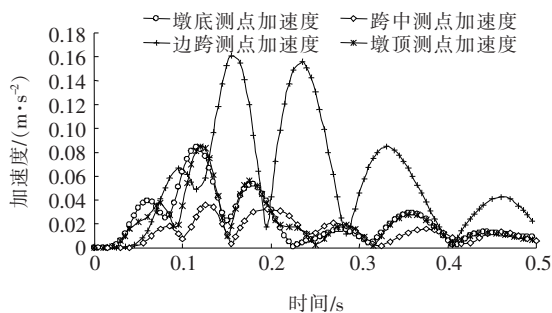
计算算例表明:利用三维实体有限元精细化建模计算冲击钻孔的冲击影响是切实有效的,通过对实际



(a) 冲击卵石层



(b) 冲击泥岩层



(c) 冲击砂岩层

图4 加速度时程曲线

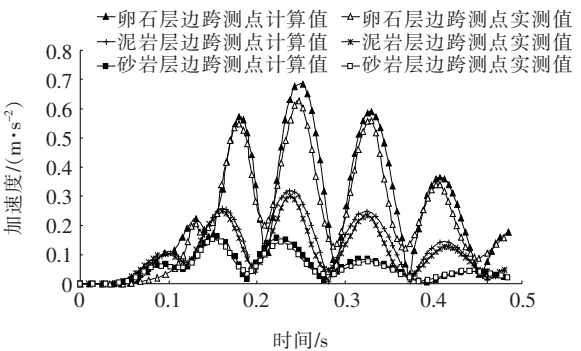


图5 边跨跨中加速度计算值与实测值对比图

载和德鲁克普拉格准则能够满足工程精度的要求。

(4) 网格的质量直接决定计算结果的真实性,在核心影响区的网格尺寸应控制在1 m以内,核心区以外可适当增大单元尺寸以减小计算规模,提高非线性的收敛速度。

参考文献:

[1] 刘毓璠,刘一鸣.桩基础对邻近场地冲击荷载的响应分析[J].岩土力学,2012(9).

[2] 潘南泉.冲击荷载作用下自由场地振动分析[D].北京交通大学硕士学位论文,2010.

[3] 刘宗贤,李玉亭.分层弹性地基中桩基础在地震与冲击荷载作用下的轴向动力反应分析[J].世界地震工程,1994(4).

[4] 余艳华,苏华友,等.桥梁桩基冲孔桩施工的微振动响应研究[J].重庆交通大学学报,2011(1).

[5] 张永亮,宁贵霞,陈兴冲.高速铁路重力式桥墩桩基础的抗震设计及研究进展[J].岩石力学与工程学报,2015(1).

[6] 张洪海.浅述地质变化对桩基础施工工艺选用的影响[J].西部交通科技,2014(12).

[7] 张永亮,王培山,陈兴冲.桥梁群桩基础抗震简化计算模型的适用性研究[J].铁道学报,2015(2).

[8] 杨敏,靳军伟.桩基础与既有地铁隧道相互影响的研究进展[J].建筑结构学报,2016(8).

[9] 周庆,郑吉成,李君,等.钻孔灌注桩施工常见故障和处理对策[J].施工技术,2012(1).

[10] 彭智勇,杨秀仁.基坑分块开挖参数对邻近地铁盾构隧道的变形影响分析[J].中外公路,2019(2).

桥梁的实时监测对比,印证了计算结果的准确性,得到以下结论:

- (1) 随着冲击位置的加深,冲击对临近建筑的影响逐渐减小。
- (2) 有限元模拟时,应当采取人工弹性阻尼边界,以减小由于有限边界产生的回波噪声。
- (3) 正确处理荷载以及材料本构关系,三角形荷