

桥梁拓宽中新旧桥沉降差异化研究

杨吉新, 陈一赫, 梁亚兰, 杨蒋鹤立

(武汉理工大学, 湖北 武汉 430063)

摘要: 以武汉三环线竹叶海互通立交为例, 采用 Mohr-Coulomb 本构模型, 以有限元软件 ABAQUS 为手段, 分别建立新旧桥在原有地基基础下的模型, 提取旧桥在沉降完成后地基土体的应力及相关土力学参数, 分析新桥在原地基条件下的沉降性状; 建立在旧桥环境影响下的新桥模型, 分析新桥在旧桥作用、旧桥地基条件下沉降性状的差异。结果表明, 新桥在旧桥地基条件下的沉降呈现一定衰减, 沉降总过程趋于缓慢。

关键词: 桥梁; 拓宽; 桩基; 沉降差异

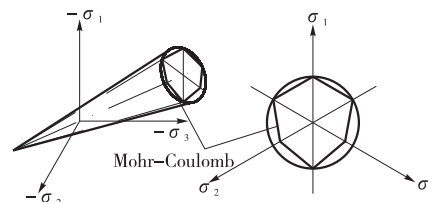
中图分类号: U445.6

文献标志码: A

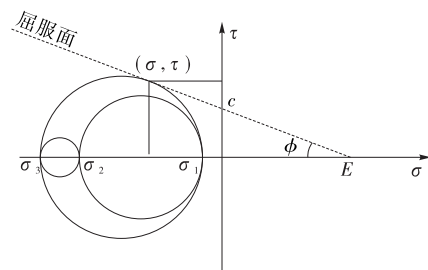
文章编号: 1671-2668(2018)04-0126-04

交通量的迅猛增长必定带来原有桥梁的改造拓宽。桥梁加宽中, 新桥会受到旧桥的应力场作用, 且旧桥在施工完成及长时间运营后对原地基土体的力学参数有一定影响。目前对于桩基沉降已有较多研究, 并根据不同计算方法有相应的解析解及数值解。但对桥梁拓宽中旧桥对新桥沉降综合性状的研究较少。陈景星通过 MARC 对新桥在旧桥影响下的性状进行了数值分析, 王天雄等提出了相应解析解, 但其实用性及普遍性还有待提高。新桥在旧桥高应力状态影响下的沉降表现均小于在原有土体上的直接固结, 且旧桥产生的不规则初始应力场、旧桥状态下地基土的排水固结程度均直接影响新桥的沉降性状。该文运用通用有限元软件 ABAQUS 对桥梁拓宽中新旧桥沉降差异进行模拟分析。

的数据。



(a) Mohr-Coulomb在 π 平面的屈服面



(b) Mohr-Coulomb模型

图1 Mohr-Coulomb 本构模型

1 分析方法

1.1 土体模型

黏性固结土体的模拟在本构关系的选取上通常有 Cam-clay 及 Mohr-Coulomb 两种。Cam-clay 依靠完整的三轴试验取得初始等向固结曲线、临界状态线及对数体积模量, 试验条件要求较高, 能较好地模拟固结土的相关力学表现。Mohr-Coulomb 准则忽略中间主应力 σ_2 对研究土体强度的影响, 而岩土材料在实际发生破坏时会受到 σ_2 的影响, 但这个影响很微弱, 在较低应力水平内与实测数据很相近, 故 Mohr-Coulomb 准则具有足够的精度。两种模型均不涉及反复的加、卸荷载, 均能完成相应的工程控制要求。该文采用 Mohr-Coulomb 模型(见图1), 所用参数来自工程地质勘探报告中

1.2 接触单元

桩土的接触单元设置为面面接触, 模型中, $C_s = C_p M_u$, $C_p = C_t F_{kn}$, $F_{kn} = M_u P_{res} / S_{lto}$ (C_s 、 C_p 、 C_t 分别为桩土间的接触摩擦力、接触压力和接触渗透值; F_{kn} 、 M_u 、 P_{res} 、 S_{lto} 分别为接触单元的法向接触刚度、摩擦系数、接触压力和最大滑移因子)。其中包括切向行为及法向行为, 切向通常采用 Penalty, 摩擦系数设置为 0.312; 法向采用 hard contact。接触设置采用小滑移模式, 建立接触关系的主从面节点, 以得到较高的计算速度, 减少计算资源占用。

1.3 单元属性

武汉三环线竹叶海互通立交结构形式为 25 m 简支梁, 桩基为单排摩擦桩, 在纵向范围内桩与桩之

间的影响很小,可忽略不计,故采用 2D 形式简化计算。桩土单元均以实体均质的平面单元建立,网格以四边形为基准扫描。桩单元采用平面应力单元 CPS4 等参单元,为弱化边界条件的影响,采用完全积分形式;土单元采用孔隙流体应力单元 CPE4P,同样采用完全积分形式。

2 模型建立及结果分析

2.1 工程概况

武汉三环线竹叶海互通立交拓宽工程下部结构设计为柱式墩、桩基础,与老桥下部结构不连接。桩基参数如下:旧桥桩体为直径 1.2 m 钻孔单排桩,桩长 40 m;新桥桩体为直径 1.3 m 钻孔单排桩,桩长与旧桥相同,弹性模量为 3.00×10^4 N/mm²,泊松比为 0.2。地基分布及桩基布置见图 2、图 3,建模所用土体参数见表 1,岩石单轴极限抗压强度试验结果见表 2。

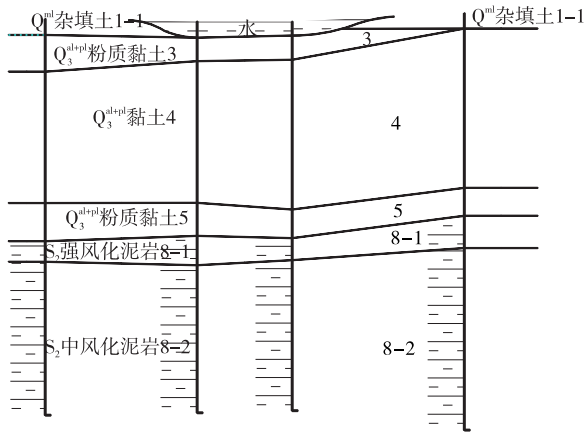


图 2 武汉三环线竹叶海互通立交拓宽工程地基土示意图

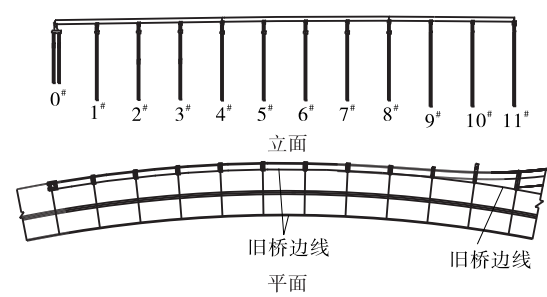


图 3 武汉三环线竹叶海互通立交拓宽工程桩位示意图

土体两侧为水平约束、竖向自由,计算土体需有足够的宽度,以降低土体边界约束对计算模型的影响。模型桩基两侧土体宽度取为桩径的 10 倍。根据现有研究成果,桩侧地表沉降随着与受荷桩中心的距离的增加而快速衰减,在 5 倍桩径处沉降为中心的 3%,取桩径的 10 倍满足计算要求。

2.2 新旧桥在原有地基上的计算结果

要得到新桥的沉降曲线,需对地基土在旧桥作用下的性状进行分析,提取旧桥作用下地基土体固结状态。单独对旧桥桩土结构建立模型,计算得到地基土在旧桥状态下的应力状态及桩顶位移—时间曲线(见图 4)。从中可见,在一定时间范围内,土体的固结程度随时间的延长快速衰减,排水固结过程趋于平缓。

为对比分析新桥在无外界影响及旧桥状态影响下的沉降差异,单独建立新桥桩土结构模型。旧桥施加荷载为其运营过程中的实际荷载,新桥施加荷载为结构拓宽后新桥的承担部分。结果见图 5。

2.3 地基在旧桥作用下的性状变化

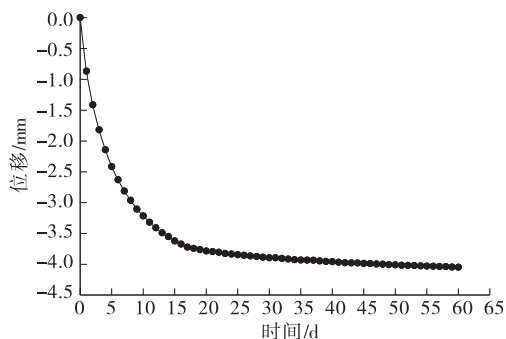
在旧桥桩土模型建立后,其地基条件发生变化,在后处理中提取相关结果,对新桥在旧桥桩基影响

表 1 各土层物理力学指标

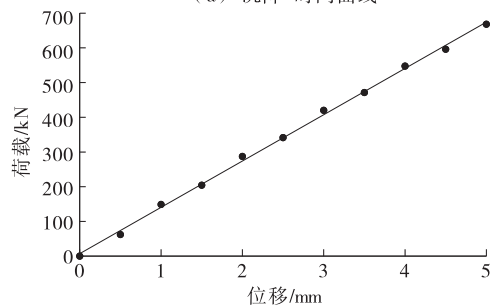
岩土名称	含水 量/%	重度/ (kN·m ⁻³)	孔隙 比	饱和 度/%	土粒 比重	液限/ %	塑限/ %	塑性 指数	液性 指数	压缩系 数/MPa ⁻¹	压缩模 量/MPa
粉质黏土	0.11	0.02	0.11	0.03	0.00	0.15	0.15	0.23	0.15	—	—
粉质黏土	0.11	0.04	0.15	0.06	0.00	0.07	0.11	0.14	0.22	0.28	0.20
黏土	0.07	0.03	0.12	0.02	0.00	0.03	0.04	0.12	0.74	0.21	0.06
粉质黏土	0.12	0.03	0.11	0.03	0.00	0.15	0.07	0.05	0.20	0.09	0.13

表 2 岩石单轴极限抗压强度试验结果

岩石名称	项目	试验次 数/次	试验结果/MPa			标准值/ MPa
			最大	最小	平均值	
中风化白云岩	饱和状态单轴抗压强度	5	119.76	68.65	95.14	81.9
中风化泥灰岩	天然状态单轴抗压强度	1	43.99	43.99	43.99	43.9
中风化泥岩	天然状态单轴抗压强度	26	5.90	3.08	4.59	4.4

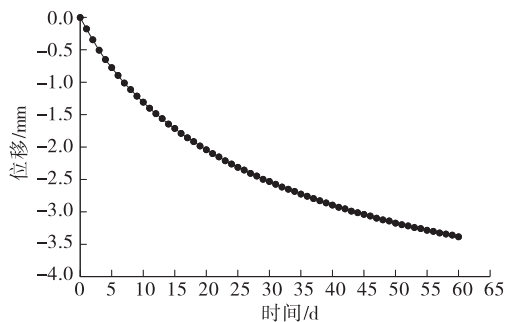


(a) 沉降-时间曲线

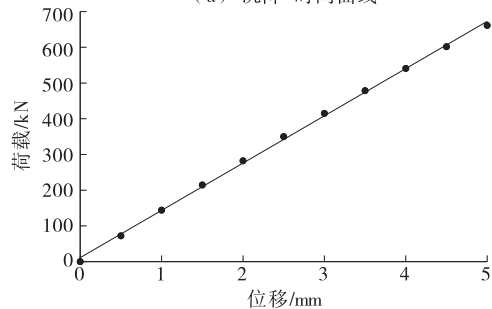


(b) 荷载-沉降曲线

图4 旧桥建模分析结果



(a) 沉降-时间曲线



(b) 荷载-沉降曲线

图5 新桥建模分析结果

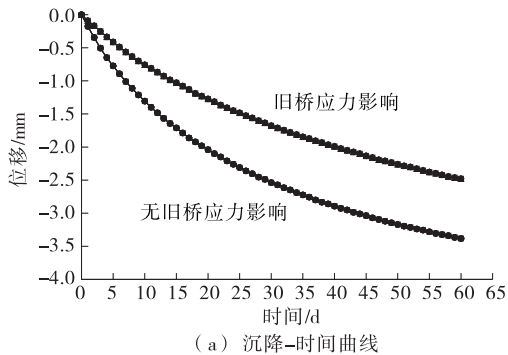
下的地基土体进行分析,距离桩中心 0.5 m 处从地表沿桩身方向的土体参数见表 3。从中可见,土体的附加应力增大,在桩身方向的位移根据土体性质的不同先增大后减小;旧桥作用后的地基土体参数,孔隙比随距桩中心距离的增大而急速衰减,距离桩中心 8 m 处其变化可忽略不计。

表3 距离桩中心 0.5 m 处土体参数变化

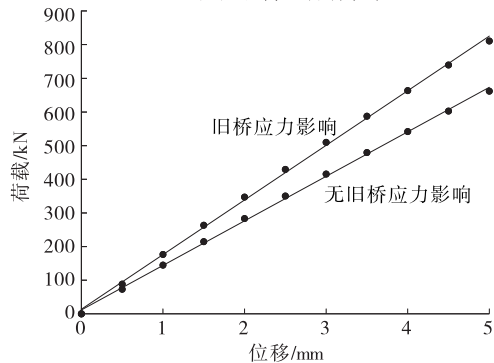
路径深度/m	应力/kPa	位移/mm	孔隙压力/kPa
0	14.08	3.987	0.00
1	11.72	4.207	0.22
5	22.08	4.064	0.53
10	41.78	3.739	0.37
15	61.76	3.455	0.31
20	80.89	3.215	0.47
25	99.55	3.018	0.71
30	119.27	2.858	0.98
35	138.62	2.723	1.29
40	157.32	2.290	1.58

2.4 新桥在旧桥地基条件下的计算结果

在得到旧桥部分的计算结果后,提取沿桩长方向的应力水平、土体孔压变化等。新旧桥桩基中心之间的距离为 8.48 m,对土体的应力水平进行一定衰减。重新建立新桥模型,在相关参数设置中导入旧桥模型计算结果。计算结果对比见图 6。由图 6 可知:在旧桥作用导致的较高应力水平影响下,新桥在土体二次排水固结的最终沉降明显减小,新桥沉降性状过程呈现一定衰减。旧桥建成并运营若干年后,土体的排水固结过程基本趋于稳定,土体相对密实,对于荷载的响应敏感度降低,固结过程的总时间也有所延长。



(a) 沉降-时间曲线



(b) 荷载-沉降曲线

图6 新桥结果对比曲线

3 结论

通过与无应力影响下新桥相关物理量的对比,得出桥梁拓宽中新旧桥的沉降差异:1)在桥梁拓宽中,新桥在旧桥地基状态下沉降量发生明显衰减,约为无应力影响下的27%,同时沉降过程更趋于平缓。主要原因是在旧桥地基状态下土体的应力水平更高,在新桥荷载作用下二次固结过程压缩余量减小,排水固结过程更慢。2)在桥梁拓宽中,新桥除沉降量发生一定衰减外,沉降达到一定程度的时间也相应增长。以武汉三环线竹叶海互通立交拓宽工程为例,新桥在无应力状态下的土体固结程度达到总固结度90%的时间是有应力状态下同等固结程度的87%,时间的缩减表示新桥在旧桥地基条件下在排水固结全过程的时间有一定程度增长,固结完成时间延后。工程实际中可根据新旧桥梁之间的沉降差异采取措施加以控制,减小上部结构可能产生的结构次内力。在实际桥梁拓宽中,预先对新桥的下部结构进行堆载预压是一个可行但还无系统理论支持的施工方案,在预压中预压荷载的确定是一个至关重要的控制因素,该文提供的理论方法可在一定程度上为堆载预压方案提供理论支持。

该文在研究方法及范围上还有一定不足。在旧桥地基性状模拟中,土体的性状变化是一个相当复杂的问题,新旧桥之间的相互影响也并非单向,而是

存在耦合作用,新桥的荷载对旧桥的地基土体同样有一定扰动,关于新旧结构之间的应力耦合状态还有待深入研究。

参考文献:

- [1] 王忠瑾.考虑桩—土相对位移的桩基沉降计算及桩基时效性研究[D].杭州:浙江大学,2013.
- [2] Mesri G, Febres-condem E, Shields D R, Castro a shear stress-strain-time behavior of clays[J]. Geotechnique, 1981, 31(4).
- [3] 曾庆有,周健,屈俊童.考虑应力应变时间效应的桩基长期沉降计算方法[J].岩土力学,2005,26(8).
- [4] 贺武斌.静荷载下单桩沉降的时间效应研究[D].杭州:浙江大学,2003.
- [5] 陈晶.考虑固结的摩擦型单桩 ABAQUS 数值模拟[J].河南科学,2010,28(11).
- [6] 陈景星.高速公路梁桥加宽桩基础沉降差异控制技术[D].西安:长安大学,2013.
- [7] 王天雄,龙明,刘雄刚.新旧桥连接中桩基沉降时域分析[J].山西建筑,2016,42(34).
- [8] 周葆春,王靖涛,杨晓东.武汉粘土修正剑桥模型参数研究[J].武汉理工大学学报,2007,29(3).
- [9] 盛志强,石玉成,孙军杰,等.基于 ABAQUS 的竖向荷载下三维桩土沉降变形分析[J].岩土工程学报,2013,35(增刊1).

收稿日期:2018-01-09

(上接第70页)

(4) 每个纤维掺量对应一个最佳沥青用量,文中试验条件下最佳纤维掺量为0.4%,对应的最佳油石比为10.388%。

(5) 防水抗裂层是一种沥青混合料功能层,可起到防水与抗裂的作用。

参考文献:

- [1] 高丹盈,黄春水,汤寄予.纤维沥青混合料最佳纤维掺量试验研究[J].公路,2009(2).
- [2] 任旭.纤维沥青混合料性能室内试验研究[D].长沙:长沙理工大学,2012.
- [3] 陈晶宇.玄武岩纤维沥青混合料路用性能与应用研究[D].长沙:长沙理工大学,2012.
- [4] 曾志远.玄武岩纤维沥青混合料路用性能及结构分析[D].杭州:浙江大学,2013.
- [5] DB13/T 1506-2012,公路沥青路面防水抗裂层设计

施工技术规范[S].

- [6] 黄春水.纤维沥青混凝土力学性能及计算方法[D].郑州:郑州大学,2014.
- [7] JTG E20-2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [8] 翟少华.多碎石沥青混合料的级配设计及水稳定性试验研究[D].郑州:郑州大学,2009.
- [9] 刘福军.玄武岩纤维沥青混合料路用性能研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.
- [10] 仰建岗,刘燕,林天发.玄武岩纤维沥青混凝土路用性能研究[J].筑路机械与施工机械化,2015,32(1).
- [11] 曾俊标,孙长新.湿热地区矿物纤维沥青混合料中的掺量比选与性能评价[J].公路,2008(3).
- [12] 王安.玄武岩纤维 SMA-13 的路用性能研究与应用[D].长沙:长沙理工大学,2013.
- [13] JTG F40-2011,公路沥青路面施工技术规范[S].

收稿日期:2017-11-07