

某高速公路匝道桥非对称堆载下的安全性分析研究

贺志勇, 张浩然, 杨程, 杨永红

(华南理工大学 土木与交通学院, 广东 广州 510640)

摘要:非对称堆载会对桥梁周边土体造成一定的扰动,改变墩台基础的受力情况,从而引起桥梁沉降、倾斜甚至结构破坏,研究分析非对称堆载对桥梁安全性造成的影响具有重要意义。该文采用有限元法对堆载下的多种工况进行数值分析,模拟多层自由土体的位移变化响应以及桥梁的桩土耦合作用和结构内力分布,对某高速公路匝道桥堆载后的安全性进行评估,并对其极端状况进行研究分析。结果表明:某软土地区匝道桥附近堆载后,桥梁产生了一定的侧向位移和沉降,基础弯矩增幅 177.7%,基础轴力增幅 27.3%,主墩及上部结构内力无明显变化,仍处于安全状态;堆载造成的地基土侧向位移主要发生在软弱土层中,在较大堆载作用下,桥梁基础位移可能超出规范允许值;降低堆土高度能有效控制地基土的变形,除此之外还可通过控制堆载间距以减小沉降,控制堆载的宽度以降低桩基础的挠曲变形和桥梁的水平位移。

关键词:有限元;非对称堆载;桥梁;安全性评估

截至 2018 年年底,中国公路桥梁总数已达 85.15 万座,其中大量桥梁处于软土地区,如何确保桥梁建设质量和运营期安全非常重要。在工程结构或桥梁安全保护区域内不可避免存在堆载情况,对结构造成安全隐患。堆载的影响主要表现在对地基土原有平衡状态的破坏,造成其下方土层沉降的同时产生剪切应力,对临近地基土产生侧向推挤作用,堆载附近构筑物桩基原本的桩土耦合状态被破坏后,可能产生不均匀沉降、位移、倾斜等变化,对结构稳定性造成不利的影响。

桥梁的沉降主要受 3 个因素影响:墩台基础自身压缩变形、桩土耦合变形和桩端持力土层变形。堆载影响的因素主要是桩土耦合变形,因桩周土下沉而产生负摩阻力,桩基轴力增大,压缩而导致桥梁基础沉降;在持力层刚度不足的情况下,可能产生桩端贯入变形。在非对称堆载的情况下,可能产生额外的不均匀沉降。

桥梁的水平位移主要受两个因素影响:桥梁自身的偏心荷载和土对桩基的水平荷载。堆载影响的因素为后者,因桩周土的水平运动,桩基受到正压力与摩擦力的共同作用,产生挠曲变形、弯矩增大。对于软土地区的堆载,其影响程度更大。

关于桩土耦合变形与桩基受水平荷载影响的问

题,一些学者已经进行了多方面的研究。且在构筑物或桩基非对称堆载研究方面,对于堆载周围土层的全方位变形分析、桥梁整体的内力和位移分析、影响构筑物结构安全的堆载及其治理方案的研究较少。该文采用 Abaqus 对非对称堆载下桥梁内力与位移的变化进行数值模拟,对某匝道桥堆载后的安全性进行评估分析,并研究导致该桥出现安全隐患的不同堆载情况,据此给出桥梁安全隐患处理方案。

1 有限元数值模型

1.1 工程概况

根据桥梁竣工图,某高速公路匝道跨径组合为(16+9×20+16)m,上部结构为钢筋混凝土连续箱梁,主梁宽 9.5 m,高 1.2 m,采用 C40 混凝土,曲线半径 120 m。下部结构除 0[#]、11[#]桥台采用双柱墩双支座外,1[#]~10[#]桥墩均采用独柱墩梁固结形式,桥梁桩基采用单排桩,单排布置两个桩,桩径 1.5 m,间距 4 m,由长度×宽度×高度=6.5 m×2.5 m×1.5 m 的承台连接。桩底标高均在风化岩层上,桩长 38~46 m 不等。下部结构均采用 C30 混凝土。桥墩墩柱布置 48 根 ϕ 25 mm 主受力钢筋,单根桩基布置 20 根 ϕ 25

mm 主受力钢筋。

堆载情况:

(1) 桥梁曲线内侧存在不等高的堆土,堆土宽度 W 为 28 m,堆土边缘线到桥梁中心线距离 L 为 12 m。

(2) 0# 桥台至 4# 桥墩位置堆土高度 H 为 7 m; 4# 桥墩至 11# 桥台位置为不等厚度堆土,底层堆土高度 H 为 2 m(桥梁侧),上层堆土高度 H 由 4# 墩 7 m 渐变至 11# 台 4 m,如图 1 所示。

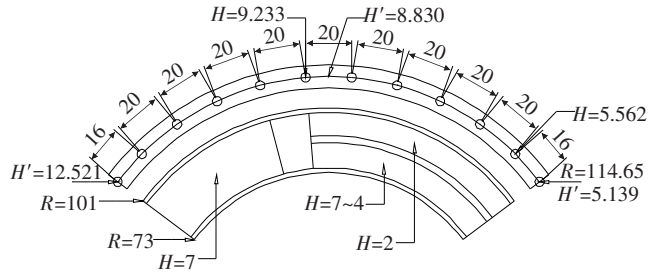


图 1 桥梁及堆土情况平面示意图(单位:m)

1.2 模型的建立

通过生死单元设置模拟新增堆载,其进程分为两步:① 初始的地应力平衡、堆载单元的“杀死”。根据土体参数计算初始地应力,以平衡因重力作用造成的变形,桥梁的桩基与墩柱同理。计算单元节点位移时应将平衡后的状态视为初始状态;② 堆载单元的重激活。应用 model change 让原本“杀死”的单元生效,即新增堆土,并模拟其平衡过程。

依托某高速公路匝道桥梁非对称堆载安全性评估项目,建立三维有限元模型并验证其安全性,依照前人的研究结论设定合理的工况,考虑堆土高度 H 、堆土宽度 W 和堆土间距 L 变化的影响进行拓展研究。

模型底部采用固定约束,侧面边界限制横向位移,顶面自由无约束。土体和桥梁结构计算单元均采用实体单元 C3D8R。采用面面接触、有限滑移的算法,以硬接触和库仑摩擦的形式模拟桩周土的正压力和摩擦力,摩擦系数取 0.3。对主墩、承台和桩基采用中性轴分网技术,最小化网格的过渡。网格划分遵循由密到疏的分网方法,距离匝道桥和堆土较远的位置网格相对较疏。

1.3 本构关系与材料属性

目前,在岩土工程领域广泛采用摩尔库仑模型(Mohr-Coulomb)进行数值模拟,其屈服准则为:使得材料屈服破坏的内力,表现为其屈服面上点的剪应力等于材料的抗剪强度。用公式表示:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (1)$$

式中: τ 为剪应力即抗剪强度; c 为土体的黏聚力; σ 为正应力; φ 为土体的内摩擦角。

有限元软件 Abaqus 提供了 Mohr-Coulomb 模型的相关算法,该模型的大部分参数都可直接设置。

根据该工程地质勘察报告,土体组成和性质指标如表 1 所示。其中风化岩层为持力层,该匝道桥对不良地质的处理方式:钻孔桩桩底标高均钻到风化岩层上,并采用填土预压减少下沉。

表 1 土体主要参数

岩土名称	厚度/ m	弹性模量/ kPa	重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	黏聚力/ kPa	内摩擦角/ ($^{\circ}$)
素填土	0.8~1.3	40 000	18	15.0	25.0
稍密细砂	6.5~11.7	30 000	18	15.0	25.0
淤泥质软土	18.8~33.8	2 453	18	11.3	8.3
残积亚黏土	3.0~5.6	5 144	18	11.2	26.7
硬塑砂土	5.3~5.6	300 000	24	45.0	35.0
风化岩	11.8~19.0	300 000	25	170.0	38.0

2 土体一般变形规律验证

为验证数值模拟土体变形的准确性,参照文献[12]中大面积堆载场地的工程概况,采用 Abaqus 模拟了无桥梁模型的软土地基变形特性,与文献[12]的现场监测结果进行对比。

地基土沉降和水平位移云图如图 2 所示。由图 2 可以看出:堆载导致其下方及附近地基土下沉,沉降量随着深度增加而减小;堆土外侧的土体有一定的水平位移分量,距离堆土较远处的土体位移较小,最大水平位移集中在 $L=0\sim 20$ m 的淤泥质软土层中。

为了直接进行比较,选取对应断面的水平位移大小分析,如图 3 所示。断面上的土体侧向位移随着深

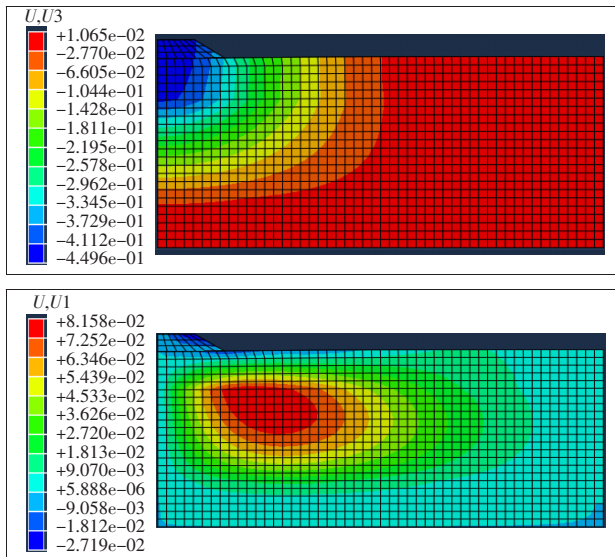


图2 地基土沉降云图(上)与水平位移云图(下)(单位:m)

度的增加而增大,在深度约 18 m 处达到峰值,随后逐步下降。该文的模拟结果与文献[12]的测量结果吻合较好。图 3 还给出了不同断面上的侧向位移曲线,其变化特征基本一致,可以看出土体最大侧向位移发生在最软弱的土层中,即该模型的淤泥质软土层,该结论与文献[12]、[13]、[17]的研究结果一致。另外,当 $L < 20$ m 时,地基土的侧向位移普遍较大;当 $L > 20$ m 时,随着 L 的增大,地基土侧向位移逐步减小,据此可认定堆载的主要影响范围。

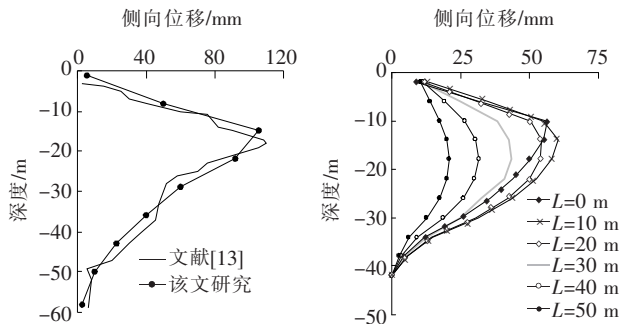


图3 侧向位移沿深度分布曲线

3 某匝道桥非对称堆载下的安全性评估分析

3.1 位移分析

为校核某匝道桥墩台基础的位移,模拟得出了匝道桥在当前水平非对称堆载影响下墩台基础的位移,如图 4 所示。

该桥单个墩台采用单排桩,单排布置两个桩,下文

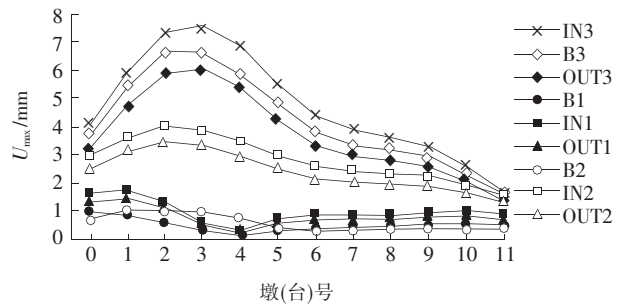


图4 匝道桥墩台基础的最大位移

将通过“B(主梁)、IN(内侧桩基)、OUT(外侧桩基)+1(顺桥向位移)、2(横桥向位移)、3(沉降)”的方式描述该桥各墩台各部分的位移变化。(注:1. 顺桥向位移:桥梁曲线任意一点的切线上的水平位移分量;2. 横桥向位移:桥梁曲线任意一点法线上的水平位移分量;3. 沉降:竖直方向的下沉量)。

从图 4 可以看出:匝道桥位移以沉降为主,横桥向位移次之,顺桥向位移较小。桥梁墩台基础的沉降呈现出内侧桩基—主墩—外侧桩基由大到小的变化规律,如图 4 曲线 IN3—B3—OUT3,可以认定不对称堆载可造成桥梁的不均匀沉降,堆土侧沉降量较大;顺桥向位移和横桥向位移同样表现为内侧桩基大于外侧桩基,如图 4 曲线 IN1—OUT1 和 IN2—OUT2,但主墩位移相对较小,如图 4 曲线 B1 和 B2,其原因为匝道桥主墩采用墩梁固结形式,除桥台外无支座、无伸缩缝,一定程度上限制了墩顶的水平位移。

将 3 个方向的位移作横向比较,可以看出堆土的高度对桥梁墩台基础的(位移变化)影响几乎是线性的,最大位移均发生在堆土高度最高的 1[#]~3[#]墩处;桥梁曲线内侧的桩基位移大于外侧桩基。以上两点特征均与文献[13]的填土试验区桩基侧移监测结论一致,即堆载高度越大,地基土变形越大,临近桥梁桩基的位移变化也越大;距离堆载较远处地基土位移较小,外侧桩基的沉降值和水平位移均小于内侧桩基。

表 2 为 Abaqus 数值模拟位移结果与某设计院安全性验算评估报告结果对比。匝道桥的主梁位移以沉降为主,顺桥向位移与横桥向位移均较小;基础结构以沉降为主,横桥向位移次之,顺桥向位移相对较小。Abaqus 的模拟结果与报告结果吻合较好。

根据 JTG H11—2004《公路桥涵养护规范》中墩台沉降的规定,跨径以最小值 $L=25$ m 计算,匝道桥:

$$\textcircled{1} \text{ 墩台沉降值 } (U_3)_{\max} = 0.76 \text{ cm} < 2.0 \sqrt{L} = 10 \text{ cm};$$

$$\textcircled{2} \text{ 相邻墩台沉降差值 } \Delta(U_3)_{\max} = 0.19 \text{ cm} < 1.0 \sqrt{L}$$

表 2 Abaqus 模拟结果与报告结果对比

来源	基础/mm			主梁/mm		
	最大顺桥向位移	最大横桥向位移	最大沉降	最大顺桥向位移	最大横桥向位移	最大沉降
Abaqus	1.73	4.00	7.60	0.92	1.01	6.68
评估报告	2.05	3.35	6.86	0.30	0.53	7.54

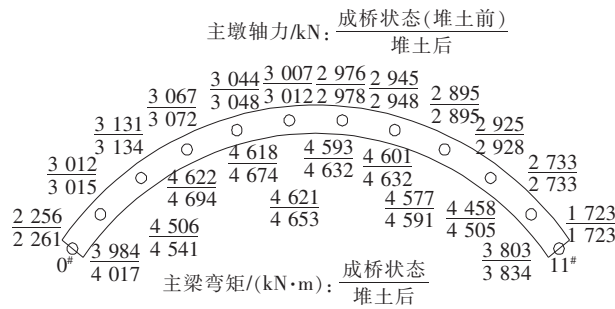
=5 cm;③墩台水平位移值 $(U_x)_{\max}=0.42\text{ cm}<0.5\times\sqrt{L}=2.5\text{ cm}$;当前非对称堆载不影响匝道桥的安全使用。

3.2 内力分析

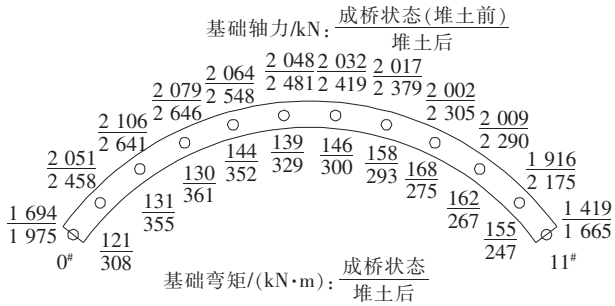
匝道桥的内力分为主墩轴力、主梁弯矩、基础轴力、基础弯矩、主墩扭矩和基础扭矩 6 部分,弯矩取绝对值,不论正负,不考虑桥台,各墩基础扭矩和弯矩均取两根桩基中的最大值。模拟结果如图 5 所示。

由图 5(a)可见:匝道桥主墩轴力基本不变,最大轴力值在 2#墩处,堆土前后分别为 3 131、3 134 kN。匝道桥主梁弯矩变化值较小,弯矩最大值在 3#墩处,堆土前后分别为 4 622、4 694 kN·m,由此可以看出堆载对匝道桥的墩柱和上部结构基本无影响。由图 5(b)可见:匝道桥成桥状态下各桩基的轴力和弯矩较为平均,堆载后最大基础轴力由 2 079 kN 增加至 2 646 kN,增幅 27.3%,位于 3#墩处;最大弯矩由 130 kN·m 增加至 361 kN·m,增幅 177.7%,位于 3#墩处。由图 5(c)可见:匝道桥堆载后各墩和桩基的扭矩增加,但扭矩值较小,远小于规范允许值。最大基础扭矩为 11.2 kN·m,位于 1#墩处。扭矩因同一盖梁或承台连接的 2 个桩基承受的水平推力不同而产生,斜交角减小时近侧桩体承受的扭矩也随之减小,该匝道桥各排桩基的斜交角均为 0,相邻桩基在水平推力方向上的扭力臂较小,故扭矩较小。该结果与文献[17]的结论一致。

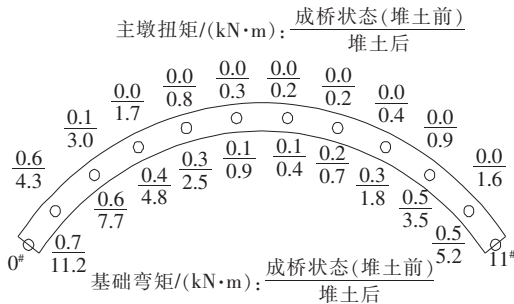
为验证桥梁桩基弯矩变化与水平位移的关系,取该桥所有桩基(弯矩变化)与水平位移作散点图如图 6 所示。考虑弯矩变化时因方向不同,取最大值相减计算变矩的方法存在一定误差,但其与水平位移基本呈正比,该规律非常符合 Poulos 等的结论,即桩身最大弯矩随侧向位移变化曲线呈线性。



(a) 主墩轴力、主梁弯矩



(b) 基础轴力、基础弯矩



(c) 主墩扭矩、基础扭矩

图 5 匝道桥最大内力模拟结果

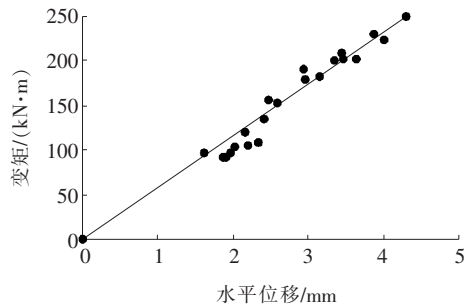


图 6 桩基变矩与水平位移的关系

根据以上分析,结合桥梁的水平位移和沉降性状,其基础弯矩增大的原因是受到了土体变形产生的水平推力,产生挠曲变形,变形越大处弯矩增幅越大;轴力

增大的原因为桩周土的下沉产生负摩阻力,桩基被压缩并发生下沉,沉降量越大处轴力增幅越大。

根据 JTG 3362—2018《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》,正截面抗压承载力设计值:

$$\gamma_0 N_d \leq N_{ud} = \alpha f_{cd} A \left[1 - \frac{\sin(2\pi\alpha)}{2\pi\alpha} \right] + (\alpha - \alpha_1) \cdot f_{sd} A_s \quad (1)$$

正截面抗弯承载力设计值:

$$\gamma_0 N_d \eta e_0 \leq M_{ud} = \frac{2}{3} f_{cd} A r \left[1 - \frac{\sin(3\pi\alpha)}{\pi} \right] + f_{sd} A_s r_s \cdot \frac{\sin(\pi\alpha) + \sin(\pi\alpha_1)}{\pi} \quad (2)$$

式中: f_{cd} 为混凝土轴心抗压强度设计值; f_{sd} 为纵向钢筋抗压强度设计值; A 为圆形截面面积; A_s 为纵向钢筋截面总面积; r 为圆形截面半径; r_s 为纵向钢筋重心所在圆周半径; α 为对应受压区域混凝土截面面积的圆心角(rad)与 2π 的比值; α_1 为纵向受拉钢筋截面面积与纵向钢筋截面总面积的比值,满足 $\alpha_1 = 1.25 - 2\alpha$ (当 α 大于 0.625 时,取 α_1 为 0)。

联立计算得无偏心荷载作用下匝道桥单桩正截面抗压承载力为 27 726 kN; 偏心荷载作用下极限抗弯承载力为 5 180 kN·m, 对应的抗压承载力为 13 038 kN。对比内力模拟结果: ①成桥状态下, 最大轴力为 2 016 kN, 最大弯矩为 182 kN·m; ②堆土状态下, 最大轴力为 2 646 kN, 最大弯矩为 361 kN·m; 均远小于极限承载力。故认为非对称堆载对匝道桥的基础有一定影响, 但桥梁仍然处于安全状态。

3.3 承载力分析

根据 JTJ 024—1985《公路桥涵地基与基础设计规范》, 该模型软土层较厚, 持力层较好, 考虑路基填土或地下水水位下降引起的负摩阻力的影响, 单桩轴向容许承载力:

$$[P] = (Ul\tau_P + A\sigma_R) / 2 \quad (3)$$

式中: U 为桩的周长; l 为有效桩长; A 为桩底的横截面积; τ_P 为桩壁土的平均极限摩阻力, 依据规范和工程地质勘察报告, 将不同土层分层计算:

$$\tau_P = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n \tau_i l_i \quad (4)$$

σ_R 为桩尖处土的极限承载力, 按式(5)计算:

$$\sigma_R = 2m_0 \lambda \{ [\sigma_0] + k_2 \gamma_2 (h - 3) \} \quad (5)$$

式中: σ_0 为桩尖处土的容许承载力; h 为桩尖埋置深度(超过 40 m 按规范以最大值计算); k_2 为地面土容许承载力随深度变化修正系数; γ_2 为桩尖以上土的重

度; λ 为修正系数; m_0 为清底系数。

联立上式 $[P] = [4.71 \times (45 \times 7.5 + 20 \times 25 + 60 \times 5) + 1.77 \times 2 \times 0.85 \times 0.72 \times (2\,500 + 1.8 \times 6 \times 37)] / 2 = 5\,820$ kN

在进行桩基的计算时, 假定承台以上的竖向荷载全部由桩基承受, 单桩轴向容许承载力 $[P] = 5\,820$ kN $> FZ_{\max} / 2 = 1\,567$ kN, 故桥梁安全。

4 极端非对称堆载条件下匝道桥安全性分析

根据以上结论, 非对称堆载对该匝道桥的内力和位移的影响主要为桩基础部分。下面将根据表 3 设置的工况, 主要对比分析不同堆载荷载下匝道桥的基础水平位移和沉降, 比较基础轴力和基础弯矩的变化, 并验证其安全性。

表 3 计算参数

组别	堆土宽度 W/m	堆土间距 L/m	堆土高度 H/m
1	60	10	8
	50	20	8
	40	30	8
	30	10, 20, 30, 40	8
2	20, 30, 40, 50, 60	10	8
3	60	20, 40	10, 15, 20, 25

注: 组 3 考虑不同 L 和 H 自由组合, 该组共计 $2 \times 4 = 8$ 个算例。

4.1 位移分析

4.1.1 堆土间距影响分析

图 7 为由堆土到桥梁方向上的自由土体及桥梁桩基的位移方向, 可以看出堆载下方的地基土以沉降为主, 随着 L 的增大, 地基土位移方向逐步由竖向沉降转变为水平位移, 受桩周土位移的影响, 桥梁桩基也可能存在两个位移方向比重变更的情况, 为研究堆土间距 L 的影响, 以组 1 为算例进行模拟, 模拟结果如图 8 所示。

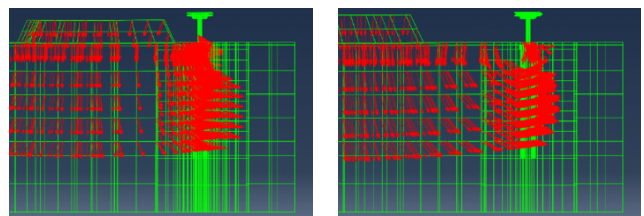


图 7 $L=10$ m 和 $L=40$ m 时匝道桥 5# 墩剖面地基土及桩基础位移矢量图

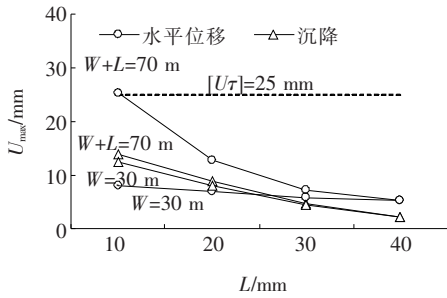


图 8 桩基最大位移与 L 的关系

由图 8 可知:从曲线总体趋势看,填土对桩基位移影响明显,距离填土越近,影响越大,堆土间距 L 越大,位移越小,该规律与文献[13]的填土试验区桩基侧移监测结论一致。该组工况验证了位移比重变更的情况,当堆土宽度 W 恒定为 30 m 时,随着 L 的增大,桩基水平位移逐渐减小,而沉降值下降较快,在 $L=10$ m 处以沉降为主, $L=40$ m 处沉降值明显小于水平位移,桩基以侧向位移为主。在实际工程中较少出现堆土宽度 W 恒定的情况,常见清理桥梁侧堆土,另一侧堆土不作处理,该处理方法可视为 $W+L$ 的值固定,清理堆土后 L 增大, W 减小。因此图 8 中还验证了匝道桥 70 m 范围内存在堆土的情况,如曲线 $W+L=70$ m 的水平位移和沉降。

根据 JTG H11—2004《公路桥涵养护规范》,该匝道桥的墩台沉降值应小于 10 cm;墩台水平位移值应小于 2.5 cm,可见组 1 各工况基础沉降均在规范允许范围内,工况 $L=10$ m, $W=60$ m 时最大水平位移为 25.17 mm,超过规范极限值,存在安全隐患。

4.1.2 堆土宽度影响分析

为研究堆土宽度 W 的影响,以组 2 为算例进行模拟,模拟结果如图 9 所示。

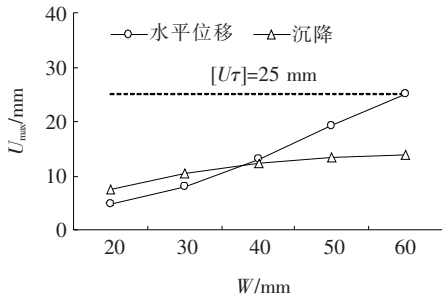


图 9 桩基最大位移与 W 的关系

由图 9 可见:堆土宽度的增加会导致临近桩基位移增大,其中对水平位移影响显著,而沉降值变化较小。该特征与组 1 中的表现一致,如图 8 中的水平位移曲线,随着 W 的减小,曲线 $W+L=70$ m 与曲线 W

$=30$ m 的差值迅速减小,即受堆载宽度的影响水平位移变化明显;沉降值受堆载宽度影响较小,对应曲线 $W+L=70$ m 与曲线 $W=30$ m 基本重合,差值较小。

根据规范,组 2 各工况基础沉降均小于允许值 10 cm,工况 $L=10$ m, $W=60$ m 时最大水平位移为 25.17 mm,超过规范极限值 2.5 cm,存在安全隐患。

4.1.3 堆土高度影响分析

为研究堆土高度 H 的影响,以组 3 为算例进行模拟,对比堆土间距 L 分别为 20、40 m 时,堆土高度 H 变化对临近桩基位移的影响,模拟结果如图 10 所示。

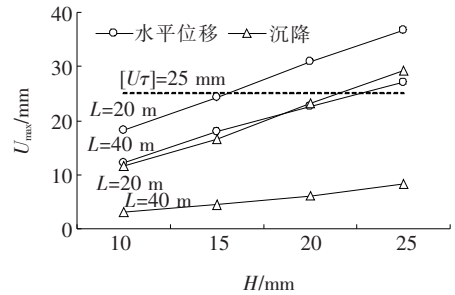


图 10 桩基最大位移与 H 的关系

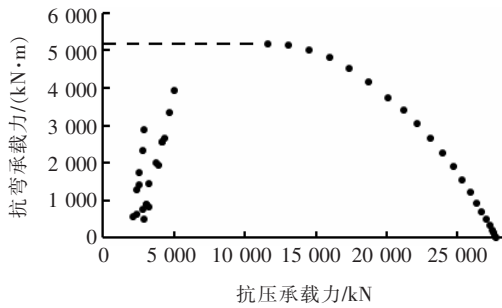
从图 10 可以看出:填土高度对桩基的水平位移即沉降影响均很明显,桩基位移随着 H 的增大而增大,该影响近乎是线性的,与文献[13]的结论一致。对比 $L=20,40$ m 的位移曲线,桩基位移因堆载间距的减小有明显增大,同样满足组 1 对于堆载间距 L 的分析。

根据规范,组 3 各工况基础沉降均小于允许值 10 cm,部分工况基础水平位移超过极限值,其中 $L=20$ m, $H=25$ m 时桩基最大水平位移为 36.63 mm,存在安全隐患。

4.2 内力分析

为校核匝道桥内力安全状态,根据 JTG 3362—2018《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》,联立式(1)与式(2),根据偏心受压情况选取对应的 α 值,得到抗压承载力与抗弯承载力关系曲线(下文简称 $N-M$ 曲线),各工况的最大基础轴力与基础弯矩与匝道桥 $N-M$ 曲线的表现如图 11 所示。

由图 11 可知:所有工况均在曲线范围以内,其中轴力远小于使桩基受压破坏的极限值 27 726 kN,组 3 中 $L=20$ m, $H=25$ m 时的基础弯矩最大,弯矩值为 3 924 kN·m,小于极限抗弯承载力 5 180 kN·m;堆载对桩基的弯矩影响较大,弯矩值随着基础水平位移的增大而增大,该特征与 Poulos 等学者的结论一致,即桩身变矩随侧向位移变化呈线性变化。

图 11 匝道桥 $N-M$ 曲线图

根据以上分析可知:在极端非对称堆载作用下,最先达到极限状态的是匝道桥桩基的水平位移。

堆土高度 H 和堆土间距 L 对桩基的水平位移和沉降均有明显的影响,其位移大小随着堆土高度的增加、堆土间距的减小而增大;堆土宽度 W 对桩基的沉降影响较小,但对桩基水平位移影响显著,水平位移大小随着堆土宽度的增加而增大。为消除非对称堆载造成的安全隐患,保障桥梁安全,可采取的控制措施有:清除桥梁附近堆土,控制堆载位于桥梁 40 m 以外;当堆载面积过大时,建议削减堆载规模,降低堆土高度、减小堆土宽度。

5 结论

非对称堆载破坏了地基土的平衡状态,引起不均匀沉降和水平位移,致使临近桥梁桩基的竖向荷载增加、挠曲变形增大,对桥梁的结构安全造成隐患。该文通过有限元模型的对比分析,得出如下结论:

(1) 自由土体在堆载影响下,沉降量大的区域主要集中在堆土下方,堆土间距大于 40 m 时沉降极小;侧向位移相对沉降较小,但影响范围较大,最大位移发生在最软弱的土层中。

(2) 某高速公路匝道桥在当前非对称堆载水平下产生了一定水平位移和沉降,但仍处于安全状态。堆载主要影响基础弯矩,相较成桥状态弯矩增幅 177.7%,基础轴力增幅 27.3%,主墩及上部结构内力无明显变化。

(3) 在较大规模堆载作用下,该桥可能因为桩基水平位移过大而破坏。堆载高度对临近桥梁的位移变化影响几乎是线性的,降低堆土高度能有效控制地基土的变形,除此之外还可通过清理桥梁附近堆土、控制堆载间距以减小沉降,控制堆载的宽度以降低桩基础的挠曲变形和桥梁的水平位移。

在进行桥梁安全性分析时,应根据桥梁不同结构

形式、类型、环境和水文地质条件等进行针对性研究。

参考文献:

- [1] JTG H11—2004 公路桥涵养护规范[S].
- [2] JTJ 024—1985 公路桥涵地基与基础设计规范[S].
- [3] JTG 3362—2018 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [4] 费康,张建伟. Abaqus 在岩土工程中的应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010.
- [5] Poulos H G, Chen L T, Hull T S. Model Tests on Single Piles Subjected to Lateral Soil Movement[J]. Soils & Foundations, 1995, 35(4): 85—92.
- [6] Stewart D P, Jewell R J, Randolph M F. Numerical Modelling of Piled Bridge Abutments on Soft Ground[J]. Soils & Foundations, 1994, 34(1): 41—51.
- [7] Stewart D P. Lateral Loading of Piled Bridge Abutments due to Embankment Construction [D]. University of Western Australia, 1992.
- [8] Miao L F, Goh A T C, Wong K S, et al. Three-Dimensional Finite Element Analyses of Passive Pile Behaviour [J]. International Journal for Numerical & Analytical Methods in Geomechanics, 2010, 30(7): 599—613.
- [9] Miao L F, Goh A T C, Wong K S, et al. Ultimate Soil Pressures for Pile Groups in Soft Clay Subjected to Lateral Soil Movements[J]. DFI Journal — The Journal of the Deep Foundations Institute, 2008, 2(1): 42—51.
- [10] 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(z1).
- [11] 陈福全, 杨敏. 地面堆载作用下邻近桩基性状的数值分析[J]. 岩土工程学报, 2005(11).
- [12] 金宗川, 顾国荣, 韩黎明, 等. 大面积堆载作用下软土地基变形特性[J]. 岩石力学与工程学报, 2005(6).
- [13] 詹金林, 水伟厚, 陈国栋, 等. 上海软土地区邻近建筑堆土地基处理实例研究[J]. 岩土工程学报, 2010(S2).
- [14] 栾茂田, 武亚军. 土与结构间接触面的非线性弹性—理想塑性模型及其应用[J]. 岩土力学, 2004(4).
- [15] 杨位洸, 杨小平, 刘叔灼. 基坑开挖中软土侧移形成的曲桩的竖向承载力[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 1995(3).
- [16] 李志伟. 软土地基邻近堆载对桥梁桩基偏位的影响研究[J]. 岩土力学, 2013(12).
- [17] 潘晓东, 应添添, 范立盛, 等. 桥侧大面积堆土致斜交梁桥倒塌事故分析[J]. 中国公路学报, 2019(8).
- [18] 骆俊晖, 米德才, 刘先林, 等. 软土工程特性研究与评价[J]. 中外公路, 2017(6).
- [19] 蔡邦国, 尹利华. 超深厚软土地基海堤与桥梁叠交区沉降及稳定监测研究[J]. 中外公路, 2017(6).