

考虑空间效应的狭长型沟槽基坑稳定性计算方法研究

施琦

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:给排水管道沟槽基坑开挖宽度根据管道直径及埋深确定,一般宽深比较小,基坑呈狭长型。现行的行标及地标在坑底抗隆起稳定性计算时,未考虑基坑宽度对圆弧滑动面的影响,计算结果较为保守,经济性较差。以《基坑工程技术标准》(DT/T J05-61—2018)为基础,推导了狭长形沟槽基坑考虑基坑宽度的坑底抗隆起稳定性计算公式,并分析了基坑宽度对坑底抗隆起稳定性安全系数的影响规律,以期该类工程的设计工作提供参考。

关键词:空间效应;狭长型沟槽基坑;坑底抗隆起稳定性

中图分类号: TU473.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)08-0283-03

0 引言

随着我国城市化进程不断推进,市政地下建设项目日益增多,其中之一便是各类给排水管线的敷设。给排水管道一般采用开槽埋管这一施工方式,沟槽围护根据基坑深度采用横列板、槽钢或拉森钢板桩等支护形式。管道沟槽基坑宽度一般较小,其宽深比小于1,即沟槽基坑具有狭长型这一特点。《基坑工程技术标准》(DT/T J05-61—2018)根据管道的不同直径及埋深给出了沟槽基坑一般情况下的宽度取值,当管道直径为3 m以内时,基坑宽度最大值仅为5 m。

根据现行的行业及地方规范,如《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)、《基坑工程技术标准》(DT/T J05-61—2018)(简称《标准》)、《建筑基坑工程技术规程》(DB33/T 1096—2014)等,计算基坑稳定性时都未考虑沟槽基坑宽度对计算结果的影响,即进行不同平面尺寸下的基坑稳定性计算时,若其计算剖面一致,则计算结果一致。如按照现行规范的计算方法,对前述狭长型沟槽基坑进行稳定性计算时,会忽略基坑另一侧围护桩及土体的有利作用,致使计算结果偏小,与实际不符。

汪炳鉴等^[1]考虑了基坑坑底以下围护桩对坑底土体隆起的有利作用,并以此为基础,提出了验算坑底抗隆起的方法(简称汪-夏法)。该法假定破坏土体沿着围护桩桩底产生滑动,且该滑动破坏面为

经过桩底的圆弧,即滑动破坏面的圆心为基坑坑底与围护桩的交点,半径为坑底以下围护桩的嵌入长度。《标准》在该法的基础上,将滑动破坏面圆心移至最下道支撑与围护桩的交点,滑动面半径为最下道支撑以下围护桩的长度。陈孝湘等^[2]基于强度折减法,研究了狭长型基坑坑底隆起稳定性的破坏模式,研究结果显示,狭长型基坑的滑动破坏面不再是完整的圆弧形。张飞等^[3]设计了狭长型基坑在软土地区的抗隆起离心模型试验及有限元数值模型,发现基坑最终破坏时表现为围护桩绕某一点向坑内的转动踢脚破坏。王洪新^[4]对基坑底隆起破坏模式进行了分类,并根据不同的坑底隆起破坏模式给出了对应的抗隆起稳定安全系数计算方法。

1 狭长型沟槽基坑坑底抗隆起稳定性计算方法

本文对狭长型沟槽基坑坑底抗隆起稳定性计算方法的研究以《标准》为基础,仍假定基坑坑底隆起破坏以圆弧形为破坏面,且破坏面通过围护桩桩底。

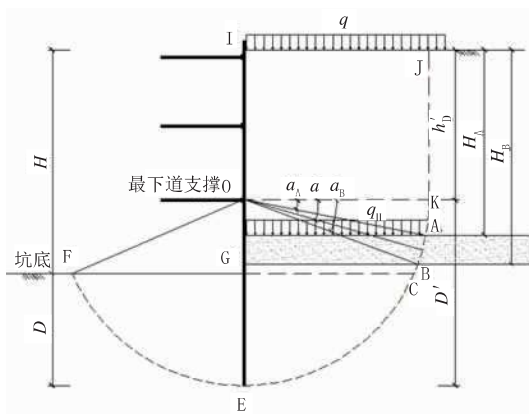
1.1 《标准》关于基坑坑底抗隆起稳定性计算方法

《标准》利用力矩平衡法对坑底土体抗隆起稳定性进行分析,并将圆心固定在最下道支撑或锚拉点处(见图1)。

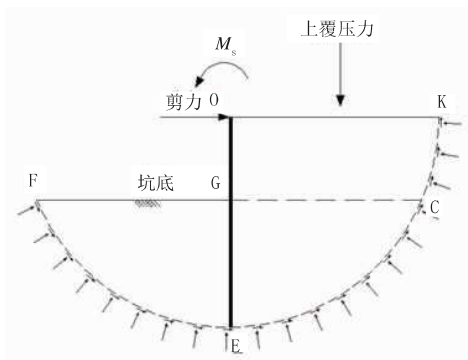
按照《标准》的假定,垂直段KJ面上的抗剪强度不考虑,基坑破坏只考虑滑动面KCEF;滑动力矩主要由以下几部分组成:JI段地面荷载产生的力矩、IJKO范围内土重产生的力矩、KCGO范围内土重产生的力矩、CEG范围内土重产生的力矩。抗滑动力矩主要由以下几部分组成:围护桩的容许力矩、EFG范

收稿日期:2021-01-08

作者简介:施琦(1990—),男,硕士,工程师,从事排水工程结构设计工作。



(a)破坏面



(b)脱离体的力平衡

图1 坑底抗隆起的圆弧滑动模式验算图示

围内土重产生的力矩、滑动面 FECK 上由土体自身抗剪强度产生的力矩。其中 CEG 范围内土重产生的滑动力矩与 EFG 范围内土重产生的抗滑动力矩相抵消。抗倾覆力矩项中围护桩的容许力矩 M_{sk} 相对于抗剪强度产生的抗滑动力矩而言其数值可忽略不计,且一般在分析时 M_{sk} 还是未知数,因此在计算时可忽略其作用。最后将抗滑动力矩之和与滑动力矩之和相除,即可求得基坑的坑底抗隆起稳定性安全系数。

1.2 考虑基坑宽度影响的狭长型沟槽基坑坑底抗隆起稳定性计算方法

对于基坑宽度较小的狭长型沟槽基坑,若按照前述规范的计算方法对坑底抗隆起进行验算,由于滑动破坏面半径 R 将大于基坑宽度 L ,则另一侧的围护桩将与破坏面相交(见图2)。

而由于另一侧围护桩及土体的约束作用,破坏面不会穿过墙体,同时根据汪-夏法的圆弧假定,土体沿着围护桩桩底底面滑动破坏,且破坏面为圆弧。为满足以上2点,则破坏面圆心 O 将下移至 O' ,圆弧半径 $O'E=D'=L$ (见图3)。

与不考虑基坑宽度影响的圆弧滑动面相比,该圆弧滑动面的主要变化为:(1)半圆段 $CE\hat{N}$ 抗滑动面弧长减小;(2)CF段抗滑动面土体摩擦角按《标

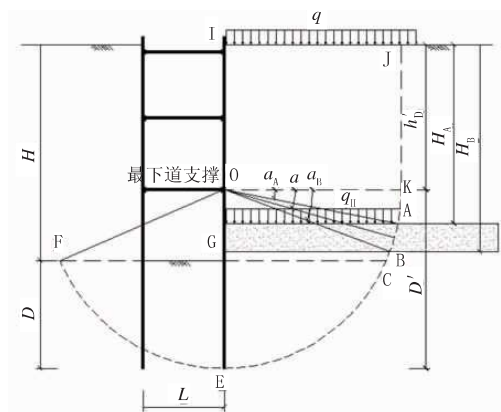


图2 狭长型沟槽基坑坑底抗隆起的圆弧滑动模式验算图示

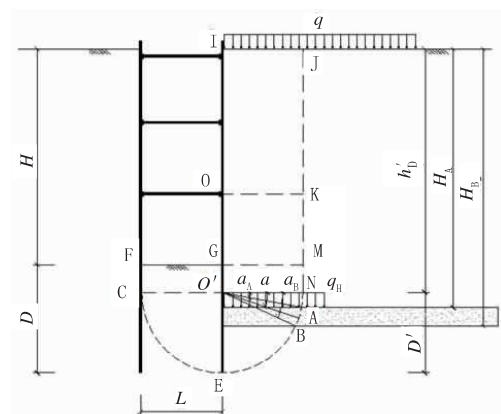


图3 改进后的狭长型沟槽基坑坑底抗隆起的圆弧滑动模式验算图示

准》考虑围护桩的影响;(3)滑动面 IJGM 范围内产生滑动力矩的坑外土体截面积减小,且相对于(1)、(2)中抗滑动力矩的减小值,该滑动力矩的减小值较大。

由图3可知,在该工况下,滑动力矩主要由 II 段地面荷载产生的力矩、IJMG 范围内土重产生的力矩、GMNO' 范围内土重产生的力矩、O'NE 范围内土重产生的力矩组成。抗滑动力矩主要由围护桩的容许力矩、GFCO' 范围内土重产生的力矩、O'CE 范围内土重产生的力矩,滑动面 MN、NEC、CF 上由土体自身抗剪强度产生的力矩组成。其中 GMNO'、O'NE 范围内土重产生的滑动力矩与 GFCO'、O'CE 范围内土重产生的抗滑动力矩相抵消。抗滑动力矩项中不考虑基坑开挖面以上 JK、KM 面上的作用。

土体抗剪强度按照摩尔库伦强度理论,按 $\tau_k = \sigma_k \tan \varphi_k = c_k$ 进行计算。法向应力 σ 主要包含两部分作用,分别为土重在破坏面法向上的分力和作用点处土的侧向压力在破坏面法向上的分力。该情况下侧向土压力的取值大小在主动土压力与静止土压力之间,因此近似取值为 $\sigma_k = \gamma z \tan^2(\pi/4 - \varphi_k/2)$,而不再减去 $2c_k \tan(\pi/4 - \varphi_k/2)$ 。

在《标准》关于基坑坑底抗隆起稳定性计算公式

的基础上,考虑基坑宽度影响的狭长型沟槽基坑坑底抗隆起稳定性计算公式调整为:

$$\gamma_s M_{SLk} \leq M_{SLk} / \gamma_{RL} \quad (1)$$

$$M_{RLk} = M_{Sk} + \sum_{j=1}^{n_4} M_{RLkj} + \sum_{m=1}^{n_4} M_{RLkm} + \sum_{x=1}^{n_2} M_{RLkx} + \sum_{y=1}^{n_3} M_{RLky} \quad (2)$$

$$M_{SLk} = M_{SLkq} + \sum_{i=1}^{n_1} M_{SLki} \quad (3)$$

$$M_{RLki} = \int_{\alpha_A}^{\alpha_B} [(q_{1k} + \gamma D' \sin \alpha - \gamma H_A + \gamma h'_0) \sin^2 \alpha \tan \varphi_k + (q_{1k} + \gamma D' \sin \alpha - \gamma H_A + \gamma h'_0) \cos^2 \alpha K_a \tan \varphi_k + c_k] D'^2 d\alpha \quad (4)$$

$$M_{RLkm} = \int_{\alpha_A}^{\alpha_B} [(q_{2k} + \gamma D' \sin \alpha - \gamma H_A + \gamma h'_0) \sin^2 \alpha \tan \varphi_k + (q_{2k} + \gamma D' \sin \alpha - \gamma H_A + \gamma h'_0) \cos^2 \alpha K_a \tan \varphi_k + c_k] D'^2 d\alpha \quad (5)$$

$$M_{RLkx} = \int_{H_A}^{H_B} (\gamma h K_a \tan \varphi_k + c_k) D' dh \quad (6)$$

$$M_{RLky} = \int_{H_A}^{H_B} (\gamma h K_a \tan \delta_k + c_k) D' dh \quad (7)$$

$$M_{SLkq} = \frac{1}{2} q_k D'^2 \quad (8)$$

$$M_{SLki} = \frac{1}{2} \gamma D'^2 (H_B - H_A) \quad (9)$$

$$K_a = \tan^2(\pi/4 - \varphi_k/2) \quad (10)$$

$$\alpha_A = \arctan \left[\frac{H_A - h'_0}{\sqrt{D'^2 - (H_A - h'_0)^2}} \right] \quad (11)$$

$$\alpha_B = \arctan \left[\frac{H_B - h'_0}{\sqrt{D'^2 - (H_B - h'_0)^2}} \right] \quad (12)$$

式中: M_{RLkj} 为坑外圆弧滑动面圆心以下第 j 层土产生的抗隆起力矩标准值, $\text{kN} \cdot \text{m/m}$; M_{RLkm} 为坑内圆弧滑动面圆心以下第 m 层土产生的抗隆起力矩标准值, $\text{kN} \cdot \text{m/m}$; M_{RLkx} 为坑外开挖面以下圆弧滑动面圆心以上第 x 层土产生的抗隆起力矩标准值, $\text{kN} \cdot \text{m/m}$; M_{RLky} 为坑内开挖面以下圆弧滑动面圆心以上第 y 层土产生的抗隆起力矩标准值, $\text{kN} \cdot \text{m/m}$; M_{SLki} 为坑外开挖面以上第 i 层土产生的隆起力矩标准值, $\text{kN} \cdot \text{m/m}$; α 为弧度; α_A 、 α_B 为计算土层层顶及层底和滑动面的交点与圆心 O' 连线的水平夹角(弧度); D' 为圆弧滑动面圆心至墙底的深度, m ; δ_k 为计算点处土与围护桩面的摩擦角标准值(弧度), 对板式支护体系围护桩可取 $\delta_k = (2/3 \sim 3/4) \varphi_k$, 且 $\delta_k \leq 20^\circ$; h'_0 为圆弧滑动面圆心至地面的距离, m ; n_1 为坑外开挖面以上的土层数; n_2 为坑外圆弧滑动面圆心以上、开挖面以下的土层数; n_3 为坑内圆弧滑动面圆心以上、开挖面以下的土层数; n_4 为坑内圆弧滑动面圆心以下至墙底的土层数; 其余未注明参数含义见《标准》。

2 狭长型沟槽基坑坑底抗隆起稳定性计算算例分析

某沟槽基坑深度 6 m, 采用长 12 m 拉深钢板桩作为围护桩, 内设 2 道支撑, 最下道支撑距坑底 3 m。为方便计算分析, 土的天然重度取 18 kN/m^3 , 黏聚力标准值取加权平均值 $c_k = 13 \text{ kPa}$, 内摩擦角标准值取加权平均值 $\varphi_k = 16^\circ$, 地面超载取 20 kPa 。不同基坑宽度的基坑坑底抗隆起稳定性安全系数计算结果见表 1。

表 1 不同基坑宽度的基坑坑底抗隆起稳定性安全系数

基坑开挖宽度 L/m	坑底抗隆起稳定性安全系数 K
不考虑基坑宽度影响 (按上海规范计算)	1.63
6	2.06
5	2.20
4	2.66
3	3.23
2	4.36
1	7.69

由表 1 可知, 当按照上海规范不考虑基坑宽度对基坑坑底抗隆起稳定性计算的影响时, 其安全系数 K 的计算结果为 1.63, 不满足基坑安全等级为 3 级时的规范要求 1.70。当基坑宽度为 6 m 时, 沟槽基坑宽深比为 1.0, 安全系数 K 为 2.06, 且随着宽度的不断减小, 安全系数 K 不断增大, 当基坑宽度为 1 m 时, 安全系数 K 为 7.69。

3 结 语

(1) 对于管道沟槽等狭长型基坑而言, 现行规范未考虑另一侧围护桩及土体的有利作用, 其计算方式较为保守。

(2) 当考虑沟槽基坑另一侧围护桩及土体对坑底抗隆起稳定性计算的影响时, 圆弧滑动面将发生变化。滑动面圆心将下移, 位置距桩底的距离为 L (L 为基坑宽度)。同时, 坑外产生滑动力矩的土体宽度由第 2 道支撑至桩底的长度减小为基坑宽度 L , 产生滑动力矩的土体截面积大大减小。

(3) 当考虑基坑宽度 L 对基坑坑底抗隆起稳定性安全系数 K 的影响时, 随着基坑宽度 L 的减小, 安全系数 K 不断增大, 且增大幅度不断增大。

(4) 下一阶段需通过试验或工程实践, 进一步论证该理论计算方法的正确性和工程应用的可行性。

(下转第 295 页)

劈裂强度比数值在一定程度上下降,造成水稳定性的不稳定。其主要原因是聚氨酯中的黏度组分可以提升材料的黏结强度,环氧丙烯酸酯可提升材料的韧性,但混合料的界面损伤修复需要的是破坏界面有机协调,比例的失稳易造成裂缝修复后耐久性降低。

5 工程应用

研究表明,0.3PU+0.2VE 调配比例下的聚合物改性修复材料能够显著促使混合料破坏界面修补粘合,二次试验表明修复材料对混合料的劈裂抗拉、抗弯拉、水稳定性具有一定性能恢复,恢复率在 80%以上。在河南某一级公路裂缝处治工程中,采用了该配比聚合物改性修复材料进行压力注胶裂缝修复,并对部分路段进行钻芯取样试验分析,试验结果如表 6 所列。

表 6 劈裂抗拉强度、抗弯拉强度试验结果一览表					
钻芯测点	1	2	3	4	5
劈裂抗拉强度 /MPa	3.85	4.02	3.95	3.94	4.05
抗弯拉强度 /MPa	6.54	6.32	6.52	6.48	6.57

相关钻芯测点试验表明,采用聚氨酯和环氧丙烯酸酯进行比列调配可生产聚合物改性裂缝修复材料,对于路面裂缝处治具有重要应用价值。

6 结 语

通过对半刚性基层沥青路面裂缝产生表象及成

因进行分析,采用聚氨酯和环氧丙烯酸酯按不同比列制备聚合物改性修复材料,分别对聚合物改性材料性能及其对带裂缝混合料试样的修复效果进行对比研究,优选出 0.3PU+0.2VE 的制备比列应用于实际路面裂缝修复中,并取得较好的裂缝修复效果。

参考文献:

[1] 张廷才.普通公路沥青路面裂缝开裂原因及修复试验研究[J].城市道桥与防洪,2020(10):62-64+12-13.

[2] 王峰.半刚性基层沥青路面裂缝成因分析及处治措施[J].城市道桥与防洪,2018(1):112-114+129+16.

[3] 王曦光.半刚性基层反射裂缝的成因及典型处置方法[J].北方交通,2019(12):44-46.

[4] 陈天峰.甘肃省高速公路沥青路面裂缝类病害不同养护方案效果分析[J].城市道桥与防洪,2019(11):35-37+9.

[5] 马建国,刘国鑫,张楠.内蒙古重载交通半刚性基层沥青路面预防性养护时机研究[J].内蒙古工业大学学报(自然科学版),2019,38(5):384-389.

[6] 王复明,李文辉,郭成超,方宏远,崔璨.基于高聚物渗透注浆的半刚性基层路面承载性能恢复研究[J].北京交通大学学报,2019,43(3):1-7.

[7] 刘芳.半刚性基层沥青路面裂缝处治技术研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2019.

[8] 刘澜波,霍光芒,蔡文才,田朋飞.浅析半刚性基层沥青路面反射裂缝处治新技术—以安徽合六叶高速为例[J].黑龙江交通科技,2019,42(11):27-28.

[9] 王超杰.半刚性基层裂缝快速识别与修补技术的研究 [D].兰州:兰州理工大学,2018.

[10] 李阿雷.高速公路半刚性基层沥青路面浅层注浆补强加固技术研究[D].西安:长安大学,2014.

(上接第 285 页)

(5)对于管道沟槽基坑等狭长型基坑,在计算坑底抗隆起稳定性安全系数时,可考虑基坑宽度的影响,适当减小围护墙的插入比,提高经济性。

参考文献:

[1] 汪炳鉴,夏明耀.地下连续墙的墙体内力及入土深度问题[J].岩土工程学报,1983,5(3):103-114.

[2] 陈孝湘,赵金飞,唐自强,等.基于强度折减法的狭长基坑坑底抗隆起稳定研究[J].地下空间与工程学报,2015,11(1):59-64.

[3] 张飞,李镜培,孙长安,等.软土狭长深基坑抗隆起破坏模式试验研究[J].岩土力学,2016,37(10):2825-2832.

[4] 王洪新.对基坑抗隆起稳定安全系数的改进[J].岩土力学,2014,35(2):30-36.