

潮汐作用对暗埋段道路基坑支护的影响研究

朱子睿, 钱坤林, 初相如, 姜建雄, 范宁

(温州大学建筑工程学院, 浙江 温州 325035)

摘要: 潮汐周期性涨落会影响近岸地下水位, 严重威胁滨海城市基坑工程的稳定。依托温州市某暗埋段道路基础工程项目, 综合考虑复杂地质条件, 采用有限元数值分析方法, 对潮汐作用下基坑周围孔隙水压力、基坑支护结构位移进行了深入探讨。结果表明, 潮汐作用对基坑周围孔压与基坑支护结构位移均有显著影响, 有必要充分考虑潮汐作用对基坑稳定性的不利影响。研究结果为滨海城市、特别是临近海(江)水建设区域的基坑施工与设计提供了借鉴。

关键词: 潮汐作用; 基坑; 支护; 数值模拟

中图分类号: TU753.8

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2021) 12—0139—03

1 引言

随着国家基础设施建设与海洋经济的快速发展, 滨海城市地下道路、高层建筑地下室等地下工程建设日益增多。然而, 滨海城市的地下水位埋深通常较浅^[1], 对于临近海(江)水的建设区域, 地下水位受潮汐影响十分显著, 若对地下水处治不当, 将引发基坑失稳或预留风险隐患^[2], 甚至威胁人身安全。此外, 滨海城市多位于江河入海的冲积平原上, 土质以淤泥、粉砂、卵石为主, 工程性质复杂, 加剧了潮汐引发的基础失稳问题。

潮汐作用下的基坑响应研究本质上属于基坑渗流问题。目前, 以往学者的研究主要集中于基坑外水位为常水头或地下水位稳定补给的情况, 例如: Bereslavskii 等^[3]给出了基坑板桩墙周边稳态渗流的解析解; 黄大中等^[4]利用 Fourier 变换求解了稳定渗流条件下基坑周围的孔压响应半解析解, 但对水位波动下的基坑稳定性研究相对较少^[5-6], 特别是考虑滨海城市区域复杂地质情况, 潮汐水位波动下基坑渗流规律及其对基坑性状的影响有待深入探究。

基于此, 本文依托温州市某暗埋段道路基础工程, 通过现场勘察与数值模拟手段, 对潮汐作用下滨海城市道路基坑所受影响进行研究, 为基坑施工安全方案制定提供指导。

2 潮汐作用

本文所探讨的潮汐作用主要指规律性的潮位升降引发的临近区域地下水位波动, 如图 1 所示, 潮汐作用的影响范围通常可覆盖离岸距离 90m 内的大片区域^[7], 该作用在传递时往往会随着离岸距离的增加而逐渐减弱^[1-8], 且经时间序列分析, 受潮汐影响的地下水位变化

具有一定滞后性^[9], 即地下水位峰值高度出现时刻会一定程度滞后于潮汐峰值高度时刻。

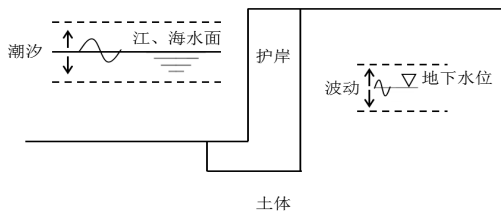


图 1 潮汐作用示意图

3 工程概况与数值模型

3.1 工程概况

温州市某临江地下道路基础工程项目的施工区段总长度为 590m (其中暗埋段长 215m, 敞开段长 375m), 本文聚焦暗埋路段展开研究。基坑剖面如图 2 所示, 基坑宽度约 21.5m, 深度 10m, 支护结构采用钻孔灌注桩加内支撑(第一道为砼支撑, 第二道和第三道为钢支撑)的形式, 支护桩外侧采用三轴水泥土搅拌桩做止水帷幕, 基坑底采用三轴水泥土搅拌桩加固。

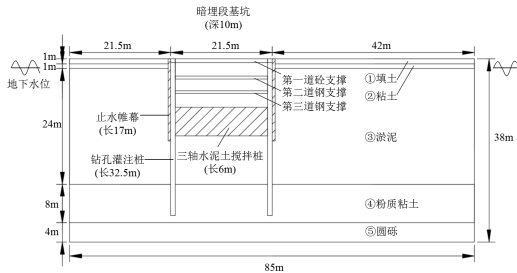


图 2 基坑剖面示意图

经勘察, 该工程区内地质条件复杂、土性较差(含深厚软弱淤泥层), 自上向下主要包括 5 个地质层, 依次为: ①填土层: 主要粒径在 2~35cm, 具有中~高压压缩性, 深度约 1m; ②粘土层: 多呈高压压缩性, 深度

约 1m；③淤泥层：具有高压缩性与高灵敏度，深度约 24m；④粉质粘土层：具有中压缩性，深度约 8m；⑤圆砾层：粒径在 2~110mm 且分布不均，具有低压缩性，深度约 4m。此外，区内地下水位埋深约 2m，水位变化幅度在 1~2m，且工程临近东海支流瓯江，水位受潮汐影响显著。本文潮汐作用下地下水位波动周期取 0.5 天与 0.2 天，波动幅度取 1m 与 2m。

3.2 数值模型

根据上述工程概况，采用 MIDAS/GTS 三有限元数值分析软件进行数值建模。本文数值模型的剖面尺寸见图 2，长度取 20m；由于基坑尺寸较为规则，网格划分以六面体网格为主进行映射，划分结果如图 3 所示，共划分约 1.6 万个单元，各层土体及支护结构材料参数见表 1；基本边界条件的设置采用了 MIDAS/GTS 的自动约束功能，并在左右两侧设置了动态水头边界，以模拟潮汐作用下的地下水位变化情况；此外，渗流分析从开挖后开始计算。

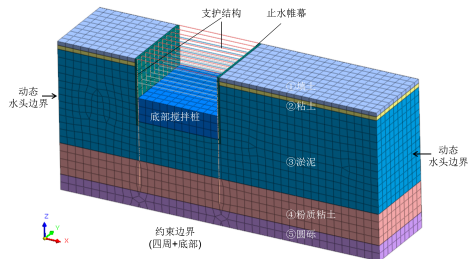


图 3 数值计算模型

表 1 各层土体基本土工参数及支护结构材料参数

名称	模型	强度参数		模量 (kPa)	渗透系数 (m/day)
		粘聚力 (kPa)	内摩擦角 (°)		
①填土	弹性体	-	-	12000	1.000
②粘土	摩尔库伦	20.8	13.3	3440	0.196
③淤泥	摩尔库伦	9.8	8.1	1490	0.039
④粉质粘土	摩尔库伦	22.1	18.4	5470	0.230
⑤圆砾	摩尔库伦	0	30.2	20000	3.000
止水帷幕	弹性体	-	-	20000	1×10^{-6}
底部搅拌桩	弹性体	-	-	20000	1×10^{-6}
砼支撑	弹性体	-	-	30000	-
钢支撑	弹性体	-	-	2.1×10^8	-

4 计算结果分析

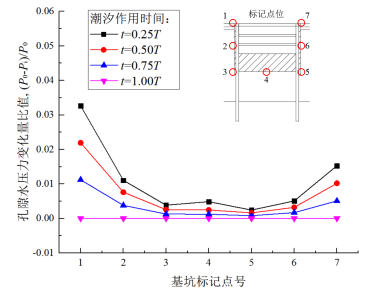
4.1 潮汐作用对基坑周围孔隙水压力的影响

为探讨潮汐水位变化对基坑周围孔压产生的影响，本文在紧邻基坑支护结构四周取 1~7 号共计 7 处位置作为研究标记点，且孔压变化 ΔP 以无量纲化的形式表示，见公式 (1)。

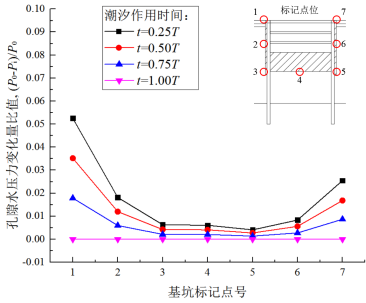
$$\Delta P = (P_0 - P_i) / P_0 \quad (1)$$

式中：P0 为初始水位对应孔压值，kPa，本文取平均水位（即埋深 2m）；Pi 为 t=i 时刻所对应的孔压值，kPa。

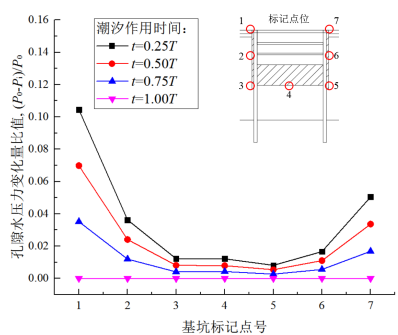
水位升降 1 个完整周期内各标记点处的孔压变化结果如图 4 所示。可见：①在潮汐水位升降变化的过程中，基坑周围各标记点处的孔隙水压力也随之改变，孔压变化量在水位峰值处（即 t=0.25T）达到最大值，在水位变化 1 个周期后（即 t=1.00T），孔压逐渐恢复至初始孔压结果；②孔压变化量沿着埋深增大而减小，即基坑底部标记点 3~5 的孔压变化量结果显著小于其他标记点结果，且基坑主动侧（标记点 1、2、3）孔压变化量比被动侧（标记点 5、6、7）大；③相比较而言，当水位波动幅度相同时（如：图 4a 与图 4b），波动周期越短，孔压变化值越高，而当波动周期相同时（如：图 4b 与图 4c），波动幅度越大，孔压变化值越高。因此，潮汐作用对基坑周围孔压有显著影响。



(a) 水位涨落幅度 1m，涨落周期 0.5 天



(b) 水位涨落幅度 1m，涨落周期 0.2 天



(c) 水位涨落幅度 2m，涨落周期 0.2 天

图 4 不同时刻基坑周围孔压变化情况

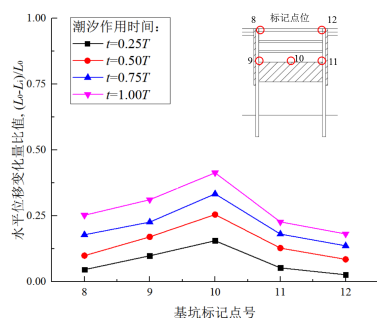
4.2 潮汐作用对支护结构受力变形特性的影响

进一步, 基坑内壁四周取 8~12 号共计 5 处位置作为研究标记点, 且仅讨论支护结构水平位移, 见公式(2)。

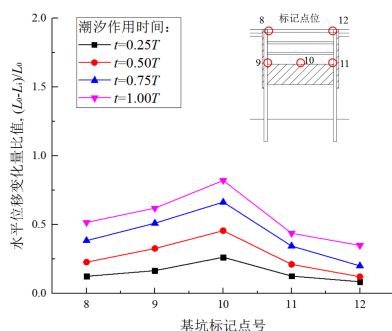
$$\Delta L = (L_0 - L_i) / L_0 \quad (2)$$

式中: L_0 为初始水位对应的水平位移值, mm; L_i 为 $t=i$ 时刻所对应的水平位移值, mm。

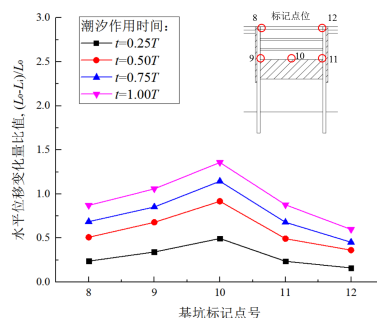
水平位移变化如图 5 所示: ①随着潮汐水位升降变化, 支护结构水平位移变化量逐渐增加, 呈现出累积特点; ②水平位移变化量沿着埋深增加而增大, 即基坑底部位移量高于顶部, 且基坑主动侧(标记点 8、9)水平位移变化量大于被动侧(标记点 11、12); ③潮汐作用越强(波动幅度大、波动周期短), 对应水平位移变化量越大。因此, 潮汐作用对基坑支护结构受力变形特性的影响同样显著。



(a) 水位涨落幅度 1m, 涨落周期 0.5 天



(b) 水位涨落幅度 1m, 涨落周期 0.2 天



(c) 水位涨落幅度 2m, 涨落周期 0.2 天

图 5 不同时刻基坑支护结构位移变化情况

5 结论

(1) 对于临近海(江)水的城市道路基坑工程而言, 潮汐作用会使得地下水位周期性波动, 进而导致基坑周围孔隙水压力随之变化, 结果表明: 水位变化至波峰时出现最大的孔压变化值, 而变化一个周期后, 孔压恢复至平稳孔压值; 基坑主动侧孔压变化量高于被动侧; 且潮汐作用越强, 孔压变化量比值越大, 最高可达约 10%。

(2) 潮汐作用对基坑支护结构受力变形特性的影响同样显著, 随着潮汐水位升降, 支护结构的水平位移变化量比值逐渐增加, 呈现出累积特点; 此外, 基坑支护结构位移程度随着潮汐作用强度的增强而增加, 且主动侧位移程度高于被动侧。

(3) 根据上述潮汐作用影响规律, 在滨海城市道路基坑施工及支护方案设计时, 特别是感潮强烈区域及月份, 有必要充分考虑潮汐作用对基坑稳定性的不利影响。

参考文献:

- [1] 焦志亮, 符亚兵, 曹会, 等. 潮汐波动带深基坑降水设计分析[J]. 港工技术, 2018, 55(2): 106-110.
- [2] 周念清, 夏明亮, 王燕. 潮汐波动带深基坑降水数值计算与方案优化[J]. 勘察科学技术, 2006(6): 21-24.
- [3] Bereslavskii E.N. The flow of ground waters around a Zhukovskii sheet pile[J]. Journal of Applied Mathematics and Mechanics, 2011, 75(2): 210-217.
- [4] 黄大中, 谢康和, 应宏伟. 渗透各向异性土层中基坑二维稳定渗流半解析解[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2014, 48(10): 1802-1808.
- [5] 应宏伟, 聂文峰, 黄大中. 地下水位波动引起重力式挡墙基坑周围地基土孔压变化及对挡墙稳定性的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(11): 2370-2376.
- [6] 应宏伟, 聂文峰, 黄大中. 地下水位波动下基坑周围地基土的孔压响应半解析解[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(6): 1012-1019.
- [7] 丁学武, 杨永康. 潮汐对人工岛地下水水位波动动态观测研究[J]. 工程与建设, 2019, 33(3): 327-330.
- [8] Michael E. Determining the mean hydraulic gradient of ground water affected by tidal fluctuations[J]. Ground Water, 1991, 29(4): 549-555.
- [9] 苏乔, 徐兴永, 陈广泉, 等. 潮汐作用对莱州湾南岸冬季地下水位的影响研究[J]. 海洋科学进展, 2017, 35(04): 134-144.