

# 临河软土路基稳定性影响因素研究与应用

文 / 梁 彬 苏州交投华设计有限公司

周 洋 苏州交投华设计有限公司

**摘要:** 采用三维有限差分软件FLAC<sup>3D</sup>对临河路基稳定性进行模拟, 分析各因素对稳定性的影响。计算结果表明, 随着道路距河道距离的增加、路基高度的降低、路基宽度的减小、河道深度的减小、水位的上升以及软土厚度的减小, 能够提高路基的稳定性, 其中路基高度、软土厚度对路基稳定性影响最大; 因此在道路工程设计过程中, 选线尽量远离河道并合理选择路桥分界高度, 并需以枯水期间来评判路基稳定性。在此基础上, 对苏州吴江某临河道路进行数值仿真, 在不进行处理的情况下, 路基稳定安全系数不足, 而结合特殊路基处理则后能够保证道路的稳定。

**关键词:** 临河路基; 稳定性; 软土地层; 数值模拟

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.06.057

## 引言

随着城镇道路的快速的发展, 沿河而建的道路也越来越多, 或作为河道治理防洪道路, 或作为景观公园道路而建设, 因其位置的特殊性, 常发生道路失稳坍塌的现象, 不仅给民众带来不便, 还给社会造成经济损失<sup>[1]</sup>。

赵炼恒<sup>[2]</sup>通过理论公式计算表明, 水位的变化对路基的稳定性影响较大, 水位较高更利于路基的稳定性; 张铁军<sup>[3-4]</sup>利用瑞典条分法计算分析临河路基稳定性影响因素; 张莹<sup>[5]</sup>利用理论公式计算以及数值模拟表明, 车辆荷载对临河公路路基稳定性存在一定影响。其他学者<sup>[6-7]</sup>则采用了排桩进行临边支护或者对路基进行特殊路基处理能够较好的提高路基稳定性, 延长道路的使用寿命。

长江三角洲冲积平原区因其成因, 区域内软土层较厚且顶层埋深较浅, 苏州吴江地区软土层埋深及层厚变化较大, 经常地质情况发生变化, 通常在埋深以下50m范围内分布软土层, 厚度可达20~30m, 其软土多为淤泥质粉质黏土, 含水量大, 一般在30%~50%之间, 且抗剪强度低、灵敏度高、承载力低, 一般道路路基在设计施工中需着重考虑路基的稳定性, 而临河路段, 更需考虑其稳定性, 防止发生坍塌事故。

本文利用FLAC<sup>3D</sup>对临河路基的稳定性进行模拟, 模拟结果较好地体现了软土地层中各因素对临河路基稳定性变化影响规律。在此基础上, 对苏州某道路工程进行模拟分析。

## 一、计算模型及参数

如图1所示, 河道顶部宽度B, 河深为h, 水位设置

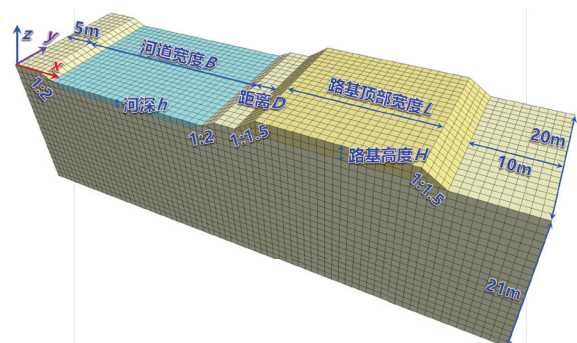


图1 数值模型 (单位: m)

于地表以下1m, 河道坡度为1:2, 距离路基坡底距离D, 路基宽度为L, 路基高度H, 路基底边坡度1:1.5。整个模型尺寸为河顶边5m, 路基底边坡外10m, 深度设置21m深, 道路长度为20m。

以河道宽度B=30m, 河深h=2m, 距离D=3m, 路基宽度为L=20m, 路基高度H=2m为基础模型。

本文以软土为研究对象, 土体参数见表1, 采用Mohr-Coulomb模型进行数值分析。

表1 软土参数

$\gamma / (\text{kN/m}^3)$	E/MPa	$c' / \text{kPa}$	$\phi' / (^\circ)$	$\nu$
17.5	3.72	10	9	0.35

硬土层采用苏州常见土层粉质黏土, 其参数以及路基土体参数详见表2。

表2 土层参数

土层	$\gamma / (\text{kN/m}^3)$	E/MPa	$c' / \text{kPa}$	$\phi' / (^\circ)$	$\nu$
粉质黏土	1900	8.9	35	15	0.3
路基	2000	30	35	25	0.25

## 二、影响因素分析

### (一) 路基坡底距河道距离 D

路基稳定安全系数K的变化如图2所示, 距离D的变化对路基稳定性影响较大。安全系数随着距离D的增加, 安全系数呈近似线型增大, 当D从1m增加到19m时, 安全系数从1.58增加到2.46, 增幅达55.7%。研究表明, 增大路基坡底距河道距离有利于路基的稳定性。

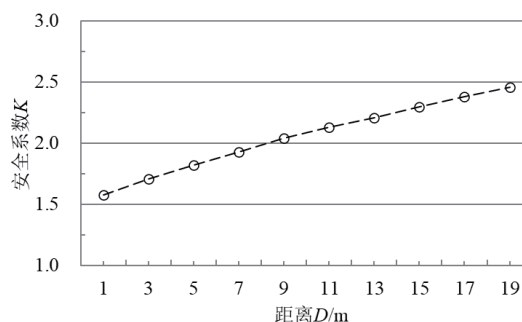


图2 路基坡底距河道距离 D 对路基稳定性影响

### (二) 路基高度 H

如图3所示, 路基高度H的变化对路基稳定性影响显

著。路基稳定安全系数随着路基高度 $H$ 的增大而非线性下降,当路基高度从1m增高至2m时,安全系数从2.26下降至1.7,下降约24.8%,而继续增大至5m时,安全系数为1.13,下降幅度达50%。研究表明,路基高度的变化对路基稳定性影响大,控制路基高度能够有效的提高路基稳定性。

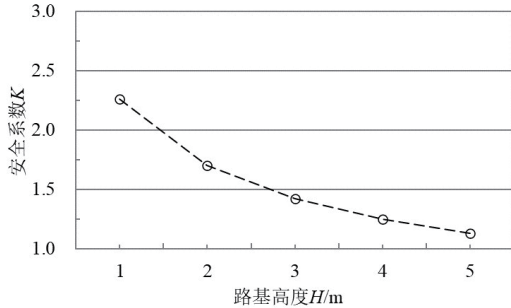


图3 路基高度 H 对路基稳定性影响

### (三) 路基宽度 L

如图4所示,随着路基宽度 $L$ 的增大,对路基稳定性的影响先减小后趋于稳定,当路基宽度 $L$ 达到8m以上时,路基稳定安全系数维持在1.69,主要由于滑动圆弧位于路基宽度范围内。研究表明,路基增宽至一定宽度后对稳定性影响无影响。

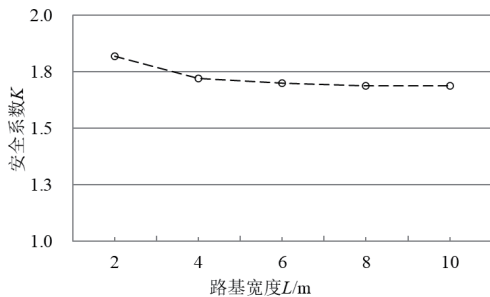


图4 路基宽度 L 对路基稳定性影响

### (四) 河深 h

如图5所示,河道深度 $h$ 对路基稳定性影响较大,随着河道深度 $h$ 的增加,路基稳定性逐渐减小。当河道深度 $h$ 从2m增加至5m时,安全系数从1.71下降至1.3,下降约24%;从5m增加至8m时,安全系数从1.3下降至1.11,下降约14.6%。研究表明,河道深度对临河路基稳定性影响较大,随着河道深度的增加,稳定性逐渐下降。

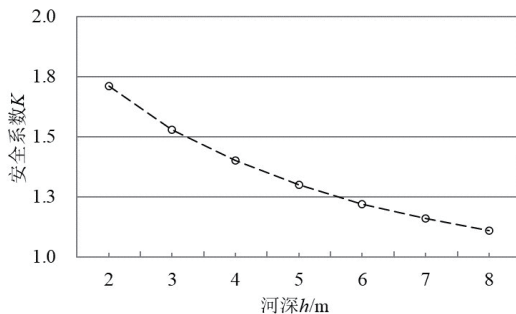


图5 河深 h 对路基稳定性影响

### (五) 水深

取河道深度 $h=7m$ 进行研究。如图6所示,水深的变化对路基稳定性影响较大。路基稳定安全系数随着河道水深的下降而下降,当水深从6m下降至1m时,安全系数从1.16下降至0.93,下降约19.8%。研究表明,水位的变化对路基稳定性影响较大,随着水位的下降,路基稳定性逐渐减小。

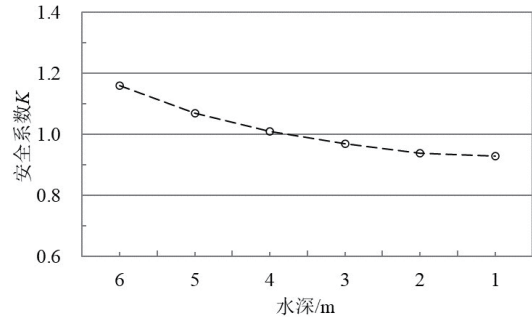


图6 水深对路基稳定性影响

### (六) 软土厚度

上部土层设为软土层,下部设为粉质黏土层。如图7所示,路基稳定性随着软土厚度的增加而快速下降,并趋于稳定。当软土厚度从1m增大至3m时,稳定安全系数从4.05减小至2.02,减小了50.1%,从3m厚度增大至7m厚度,安全系数从2.02减小至1.69,减小了16.3%。研究表明,软土厚度的变化对路基稳定性影响大,但当软土厚度达到一定深度后,路基稳定性变化不明显,路基稳定性主要受上部软土厚度的影响。

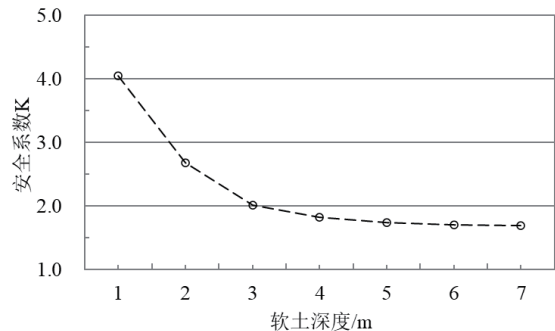


图7 软土厚度对路基稳定性影响

## 三、案例分析

### (一) 工程概况

苏州吴江某道路工程需沿河而建,河道上口宽 $B=30m$ ,河底标高为 $-2m$ ,常水位标高为 $0.6m$ ,由于受大气降水补给,水位动态随季节稍有变化,变化范围一般在 $0.0\sim 1.2m$ 间,枯水期间水位标高取 $-0.6m$ 。现状地面平均标高为 $1m$ 。道路标准为城市次干路标准,设计时速为 $40km/h$ ,宽度与规划一致, $L=30m$ 宽。为研究临河路基的最不利情况,取桥头衔接的路基为研究对象,填高 $H=4.5m$ ,按设计坡比 $1:1.5$ 放坡后,坡底距离河道 $D=1.5m$ 。

场地自上而下分布有①杂填土:呈灰色、灰褐色,为松软状态,平均厚度 $1m$ ;③淤泥质粉质黏土:呈灰

色, 为流塑状态, 平均厚度14m; ④粉土: 呈灰色, 为稍密状态、很湿, 平均厚度3m; ⑥粉质黏土: 呈灰黄色, 为稍密状态, 平均厚度10m; 土层性质见表3。

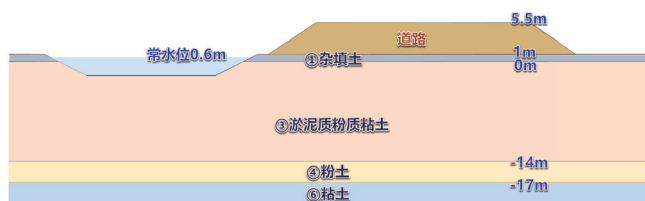


图8 工程地质情况 (单位: m)

表3 土体参数

土层	$\gamma / (\text{kN}/\text{m}^3)$	$E/\text{MPa}$	$c' / \text{kPa}$	$\phi' / (^\circ)$
①杂填土	18.0	4.4	8	10.0
③淤泥质粉质黏土	17.6	3.8	12	8
④粉土	18.6	7.7	5	23
⑥粉质黏土	19.1	9.2	36	15

考虑运营期间的车辆荷载的影响, 采用换算双列车队, 均布荷载为 $15.385\text{kN}/\text{m}^{[8]}$ 。

如图9所示。模型尺寸为 $90\text{m} \times 20\text{m} \times 21\text{m}$ , 土体采用Mohr-Coulomb模型。

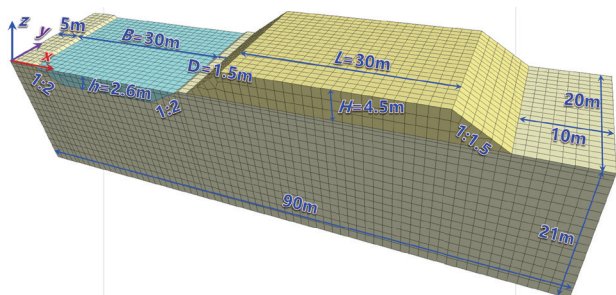


图9 数值模型 (单位: m)

## (二) 数值分析

数值计算位移云图如图10所示, 在常水位的情况下路基稳定安全系数为1.07, 临河道路稳定安全系数不满足规范1.3的要求<sup>[9]</sup>, 而在枯水期的时候, 路基稳定安全系数下降至1.02, 下降了约4.7%, 增大了路基坍塌的风险, 因此在设计中需以枯水期间的路基稳定安全系数与规范要求作对比。

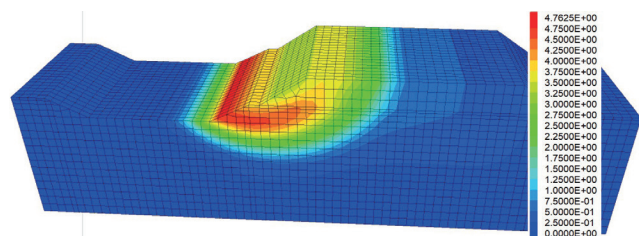


图10 数值计算位移云图 (单位: m)

考虑本项目道路为满足城市次干路的工后沉降要求, 需进行特殊路基处理, 采用水泥搅拌桩进行地基

加固, 搅拌桩桩长16m, 数值模拟中采用线性结构单元进行模拟, 弹性模量 $E=110\text{MPa}$ , 泊松比 $\nu=0.2$ , 桩径 $\Phi=0.5\text{m}$ , 计算常水位时路基稳定安全系数为1.7, 枯水期路基稳定安全系数为1.6, 皆能够满足规范要求, 计算表明在特殊路基处理后能够保证路基的稳定性。

## 结论

(1) 通过数值计算表明随着道路距河道距离的增加、路基高度的降低、路基宽度的减小、河道深度的减小、水位的上升以及软土厚度的减小, 能够提高路基的稳定性, 其中路基高度、软土厚度对路基稳定性影响最大;

(2) 在实际工程设计施工过程中, 由于规范<sup>[10]</sup>要求, 受洪水位、地面高程、路基临界高度、工作区深度等控制, 存在路基最小高度, 因此在公路选线过程中尽量远离河道; 而在市政工程中, 由于前期规划已确定设计红线, 因此在满足路基最小高度的情况下, 临河道路路基的高度不宜设置过高, 在满足路基稳定性的情况下, 可结合造价合理选择路桥分界高度;

(3) 临河路基设计施工过程中, 需以枯水期间来评判路基稳定性, 而不可采用常水位的路基稳定性来判断; 当稳定性不满足要求时, 需采取措施进行处理, 可结合道路工后沉降要求, 与特殊路基设计一并设计考虑处理, 以节省造价。

## 参考文献

- [1] 安爱军. 水毁路基的稳定性及修复技术研究[D]. 中南大学, 2008.
- [2] 赵炼恒, 罗强, 李亮, 等. 水位升降和流水淘蚀对临河路基边坡稳定性的影响[J]. 公路交通科技, 2010, 27(6): 8.
- [3] 张铁军. 软土地基对路基稳定性的影响规律研究[J]. 现代交通技术, 2013, 10(6): 4.
- [4] 张铁军. 临河路段路基边坡稳定性影响分析和处理研究[J]. 黑龙江交通科技, 2023, 46(1): 14-16.
- [5] 张莹. 兼作公路的临河堤防的稳定性研究[D]. 扬州大学, 2019.
- [6] 王华荣. 排桩支护在市政道路临河填方边坡设计中的应用[J]. 运输经理世界, 2021(002): 23-24.
- [7] 彭孝超. 临河市政道路路基稳定性保障措施的研究与应用[J]. 交通科技与管理, 2024, 5(16): 91-93.
- [8] 黄晓明. 路基路面工程[M]. 东人民交通出版社, 2018.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. CJJ 194-2013城市道路路基设计规范[M]. 中国建筑工业出版社, 2013.
- [10] 中华人民共和国交通运输部. JTG D30-2015公路路基设计规范[M]. 人民交通出版社, 2015.

作者简介: 梁彬(1981.9-), 男, 汉族, 江苏苏州, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 道路工程设计。

周洋(1994.2-), 男, 汉族, 江苏苏州, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 道路工程设计。