

# Analysis of the Cause of U Type Pile Landslide Accident in Curved Section of Fenghua River

Degang Jin, Guohua He

Ningbo Hydraulic Waterpower Planning and Designing Research Institute, Ningbo Zhejiang  
Email: nbjdg@126.com, acf0525@sina.com

Received: Feb. 20<sup>th</sup>, 2018; accepted: Mar. 6<sup>th</sup>, 2018; published: Mar. 14<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

The Fenghua River is the natural tidal river. It's bending and changeable, and its natural attribute also includes the interaction of deep pools and shoal, existence of erosion and silting-up. Especially in the upper reaches of the river, the erosion curve is more obvious because affected by flood. How to establish close coordination in the embankment construction becomes the key to the success of the project.

## Keywords

U Type Sheet Pile, Scour, Landslide

---

# 奉化江堤防弯道段U型板桩滑坡事故原因分析

金德钢, 何国华

宁波市水利水电规划设计研究院, 浙江 宁波  
Email: nbjdg@126.com, acf0525@sina.com

收稿日期: 2018年2月20日; 录用日期: 2018年3月6日; 发布日期: 2018年3月14日

---

## 摘要

奉化江为天然感潮河道, 自然属性弯曲多变, 深潭浅滩交互, 有冲有淤, 尤其是中上游河段, 受洪水影响弯道冲刷更为明显, 如何在堤防施工中实现各方密切配合, 成为工程成败的关键。

## 关键词

U型板桩, 冲刷, 滑坡

---

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.  
 This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



## 1. 工程概况

奉化江堤防整治工程(鄞州新城段)位于规划鄞州新城范围内, 左岸自鄞州大桥至绕城高速。根据奉化江现状河床情况、岸坡冲刷情况、历年抛石护脚情况以及规划情况水流变化情况, 已确定现状冲坑深至-10.0 m 以下、规划局部流速超过 2.5 m/s 的“严重冲刷段”共计 8 处, 局部最大流速超过 3.7 m/s [1]。

预制钢筋砼 U 型板桩作为本工程重点防护堤段(严重冲刷段)的主要防冲措施, 是保护奉化江堤防乃至鄞州新城的主要屏障, 其重要性不言而喻。

滑坡段位于奉化江干流转弯段的凹岸处(见图 1), 转弯冲刷段范围及局部可能最大流速见表 1。

## 2. 施工过程及滑移情况

据施工日志记载, 施工前未按设计要求对实际地形进行复测, 至 4 月 18 日完成 KR 7 + 450~7 + 700 段 12 m、15 m U 型板桩施工, 至 2014 年 4 月 25 日, 共完成 U 型板桩总段长 325 m。

2014 年 4 月 26 日凌晨 4 点左右, 潮位(北渡站)从 1.5 m 退至-0.5 m 过程中桩号 KR 7 + 723~7 + 767 段施工道路突然下沉, U 型板桩向外江侧倾斜。



Figure 1. Engineering position diagram

图 1. 工程位置图

Table 1. Analysis of water flow conditions in the scouring section

表 1. 冲刷段水流条件分析[1]

桩号	堤防长度	河道转弯半径	现状冲坑最深处高程	现状设计流量 (P = 2%)	规划设计流量 (P = 2%)	规划河道断面平均流速	规划局部可能最大流速
	m	m	m	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m/s	m/s
KR 7 + 450~KR 8 + 200	750	116	-17.7	1508	2422	1.6	3.04

施工单位立即对滑移段进行设点沉降位移观测, 设计单位马上组织力量对板桩倾斜段进行外江水下地形测量和地质补勘。

经实测 KR 7 + 723~7 + 767 段板桩向外倾斜 0.6~3.68 m, 人行道位移 15~30 cm, 路面沉降 1 cm 左右。非机动车道裂缝长度从 4 月 26 日的 5.3 m 加到至 4 月 28 日的 11.7 m, 最大缝宽从 1.8 cm 加大至 4.0 cm, 此后每天此裂缝均有展开和加长, 至 5 月 20 日左右趋于稳定, 裂缝长度达 23 m, 最宽处 24 cm (图 2~图 3)。



Figure 2. Field photos of U type sheet pile inclined section

图 2. U 型板桩倾斜段现场照片一



Figure 3. Field photos of U type sheet pile inclined section

图 3. U 型板桩倾斜段现场照片二

### 3. 工程复测和地质补勘

#### 3.1. 水下地形补测

根据 2014 年 4 月 26 日水下测量成果, 对照 2009 年施工图所采用水下地形图, 发现滑坡段外侧水下地形发生很大变化, -7.00 等深线内切至堤脚外 12 m (原地形图距离岸线 26 m), 向堤脚内靠 14 m, 板桩前沿涂面标高为 -2.23~-2.74 m, 较原设计下切 3.0 m 左右, 板桩墙悬臂高度达 5 m 左右。详见图 4、图 5。

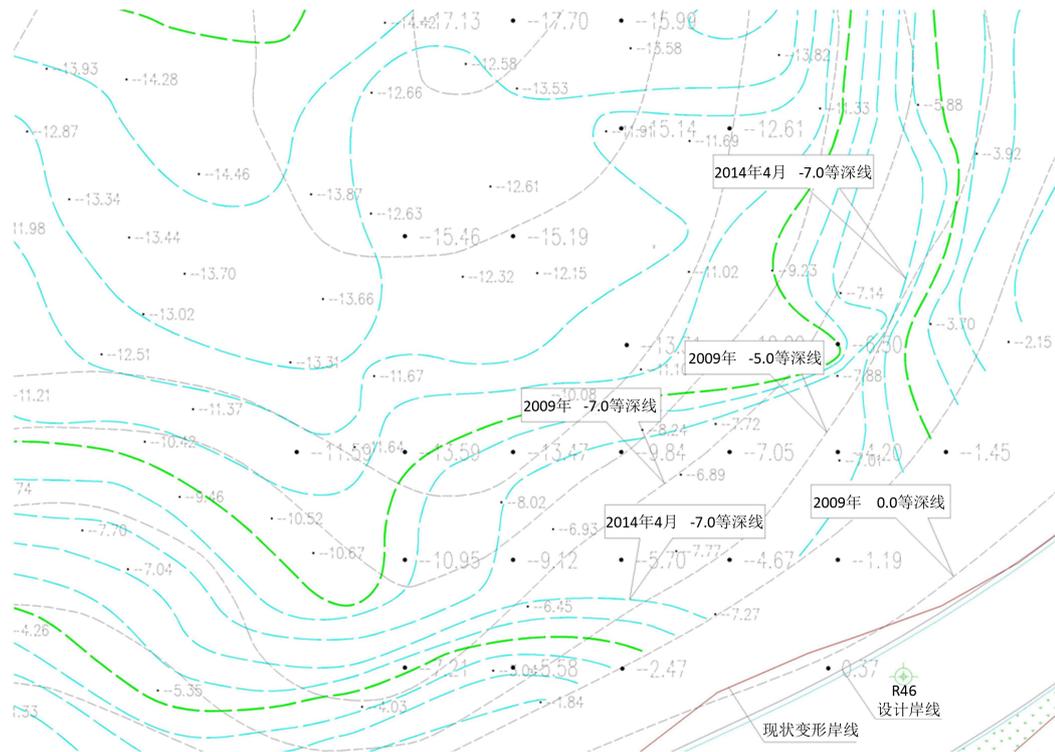


Figure 4. The measured surface contrast diagram of underwater topography  
图 4. 实测水下地形平面对比图

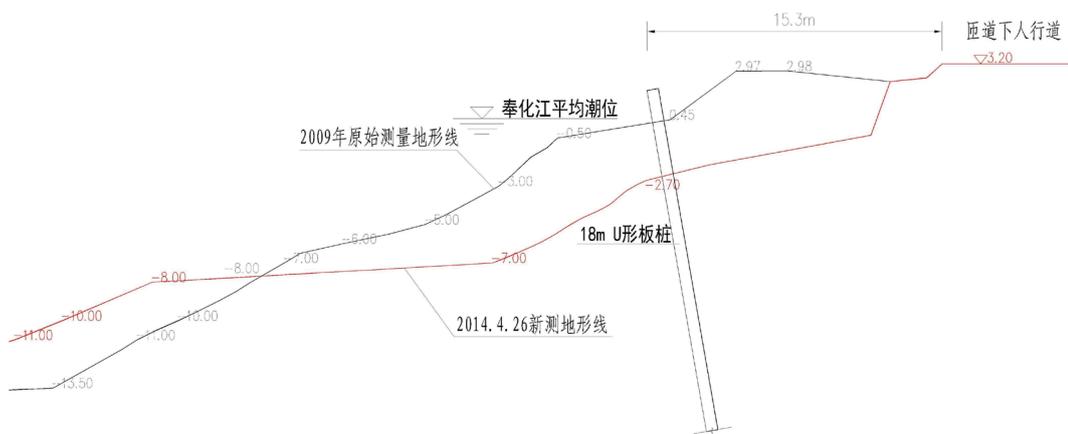


Figure 5. Contrast diagram of measured section  
图 5. 实测断面对比图

### 3.2. 地质补勘

为进一步查清该段堤基土性质, 为下一步的加固方案提供依据, 2014年4月30日, 地质钻探队马上组织进场补勘, 补勘共布置了3个钻探孔, 总孔深89m, 基本探明堤基土层分布和物理力学性质指标, 对比初步设计阶段地勘资料, 该处浅层 $I_2$ 层粘土缺失,  $II_2$ 层淤泥质粉质粘土物理力学指标较初设时稍差, 详见补勘报告, 建议值表见表2。

## 4. 设计复核

### 4.1. 原设计复核

预制钢筋砼U型板桩作为本工程重点防护堤段(严重冲刷段)的主要防冲措施, 是保护奉化江堤防乃至鄞州主城区的主要屏障, 其重要性不言而喻。依据《水工挡土墙设计规范》(SL379)、《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330)、《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120), 我们对滑坡段KR 7+450~KR 8+200段的板桩的嵌固深度及桩长进行计算明确, 并对板桩的抗弯、变形和桩身强度进行复核[2]。

根据严重冲刷段的位置、地质分布情况和堤防断面代表性, 板桩的嵌固深度计算及桩身变形验算选取最不利工况: 经设计洪水淘蚀坡脚后水位骤降至年平均低潮位工况(冲坑深度见表2)[2]; 根据《水工挡土墙设计规范》, 无锚碇板桩墙体入土深度计算简图(图6)和公式如下[3]。

Table 2. Reconnaissance geological suggestion value tablet

表 2. 补勘地质建议值表

土层代号	土层名称	含水率 $w$ %	重度 $\rho$ kN/m <sup>3</sup>	干重度 $\rho_d$ kN/m <sup>3</sup>	孔隙比 $e$	饱和度 $S_r$ %	比重 $G_s$	液限 $W_L$ %	塑限 $W_p$ %	液限指数 $I_p$ %	塑限指数 $I_L$ %	快剪		固结快剪		地基承载力特征值 kPa	钻孔灌注桩	
												粘聚力 $C$ kPa	内摩擦角 $\varphi$ °	粘聚力 $C$ kPa	内摩擦角 $\varphi$ °		侧阻力标准值 $q_{sik}$ kPa	端阻力标准值 $q_{pk}$ kPa
$II_2$	淤泥质粉质粘土	40.1	17.9	12.8	1.136	96	2.73	35.7	20.7	15.0	1.29	10.4	6.8	13.9	10.2	70	13	
$II_3$	淤泥质粘土	50.5	17.3	11.5	1.394	99	2.75	44.3	23.9	20.4	1.31	8.0	3.6	8.5	4.7	65	12	
$V_1$	粘土	27.7	19.5	15.3	0.796	96	2.74	38.5	20.5	18.0	0.39			23.0	19.1	180	50	900
$V_4$	粘土	35.3	18.6	13.7	0.993	97	2.74	40.5	22.9	17.6	0.70			15.0	11.8	120	35	

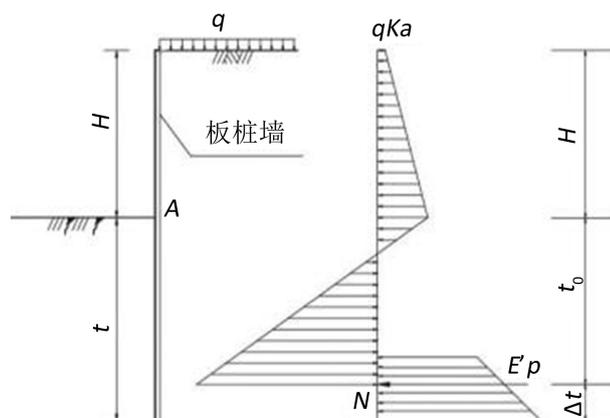


Figure 6. Calculation diagram of soil depth of wall

图 6. 无锚碇板桩墙体入土深度计算简图

$$t = t_0 + \Delta t \tag{1}$$

$$\Delta t = \frac{E'_p}{2\gamma t_0 (K_p - K_a)} \tag{2}$$

式中:  $t$ ——墙体入土深度(m);

$t_0$ ——墙体入土点至理论转动点 N 的深度(m);

$\Delta t$ ——N 点以下的墙体深度(m);

$E'_p$ ——主动和被动土压力作用下对 N 点以上墙体求矩至 N 点合力矩为零时的合力(kN/m);

$K_a$ ——主动土压力系数;

$K_p$ ——被动土压力系数。

无锚碇的板桩式挡土墙的墙顶水平位移计算简图(图 7)和公式如下:

$$\Delta = \chi_0 + \phi_0 H + \chi_1 \tag{3}$$

式中:  $\Delta$ ——无锚碇的板桩式挡土墙墙顶水平位移(m);

$\chi_0$ 、 $\phi_0$ ——板桩式挡土墙入土点的水平变位(m)和转角变位(rad), 可按“m”法或其他竖向弹性地基梁法计算;

$H$ ——挡土高度(m);

$\chi_1$ ——假定墙体为悬臂梁(入土点为固端)时的墙顶水平变位(m), 可按材料力学方法计算。

根据以上公式对滑坡段断面的无锚碇的板桩式挡土墙进行极限平衡嵌固深度验算及板桩自身变形计算, 计算结果见表 3。

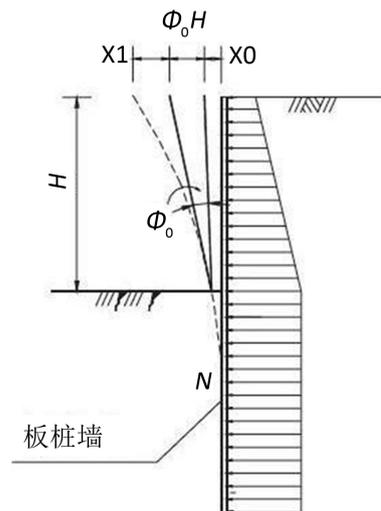


Figure 7. Calculation diagram of wall top horizontal displacement

图 7. 无锚碇的板桩式挡土墙的墙顶水平位移计算简图

Table 3. Scour section represents the calculation results of the broken panel pile wall

表 3. 冲刷段代表断面板桩墙计算成果表[1]

严重冲刷段范围	典型断面桩号	岸线外 5 m 内	堤岸冲刷	板桩墙	墙前地面至	墙体入	拟定桩长	墙顶水平
		平均河床高程	深度计算	墙顶高程	桩顶高度 H	土深度 t		
		m	m	m	m	m	m	mm
KR 7 + 450~KR 8 + 200	KR7+750	-0.5	1.94	2.6	5.04	11.14	18	49.9

整体稳定根据《堤防设计规范》(GB50286)及冲刷成果, 考虑水位变化从平均高潮位 1.19 m 降至平均低潮位-0.19 m, 未考虑施工车辆荷载, 计算最小安全系数 1.263 [1]。

根据计算结果可选用先张法 U 形预应力混凝土板桩(图集号 ZPZ-QG-BZ001 2010)中的 U-CS-600-III [4]能满足要求。顶点位移的控制采用桩顶浇筑钢筋砼帽梁将成排数桩锁定, 以 20 m 为一个单元, 合 20 根板桩为一体, 可有效减小桩顶变形量至 2 cm 以内, 满足规范要求。

## 4.2. 实际工况复核

按照实测地形资料, 板桩位置地形高程由-0.5 调整为-2.5 m, 与考虑冲刷深度后地面基本一致, 地质按照补勘成果, 考虑实际外侧水位从 1.5 m 退至-0.5 m, 考虑施工车辆荷载, 计算本段堤防整体稳定最小安全系数为 0.88, 不满足规范和稳定要求。

## 5. 原因分析

### 5.1. 岸线前涂面下切影响

奉化江河床受 2012 年“海葵台风”洪水和 2013 年“菲特”台风特大洪水冲击, 外江水下地形变化剧烈, 深泓线向东摆动, 深坑下移并增多, 施工段流态复杂, 近岸冲刷严重, 根据两次地形测量, 板桩前沿涂面由 0.50 下降至-2.50, 出事堤段涂面下切达 3 m, -7.00 等深线内切至堤脚外 12 m (原地形图距离岸线 26 m), 向堤脚内靠 14 m, 造成 U 型板桩墙悬臂高度达到 5 m 左右, 达到原设计情况, 但在墙前尚无抛石防护, 板桩墙冠梁未连为一体的情况下, 板桩本身变形将达到 49.9 mm, 超过规范要求。地形变化导致整体稳定上已不能满足稳定要求。因此, 可以判断, 地形变化是导致本次滑坡事件的主要因素。

### 5.2. 施工放样的重要性

设计单位在施工交底时强调施工前应复测地形, 一方面有利控制工程量, 另一方面可及时发现问题, 及时复核修正设计, 防止发生意外滑坡。本工程施工时未进行地形复测, 导致设计无法及时掌握第一手资料, 导致意外发生。

### 5.3. 板桩打设对土体的扰动

板桩采用振动锤打设, 板桩施工时不可避免的会产生短期挤土影响和土体扰动, 之后经土体重塑过程达到新的平衡, 此刻土体外在条件的影响反应最为灵敏, 若结构自生处于临界状态, 一个潮位涨落变化就会造成外侧土体的滑动, 陡坡将更为明显。

但对比缓坡段 KR 7 + 450~7 + 700 段已施工的 U 型板桩完好无形变, 说明板桩打设对土体的扰动影响不是事故主要原因。

### 5.4. 地形受限

此段冲刷段最深深坑(深至-17.70), 由于机场路南延工程匝道直接做到江边, 外面就是河槽最陡的地方, 留给堤防的宽度最窄处只有 13 m, 施工交通不得不布置在狭窄的堤防施工范围内, 导致施工临时荷载增加, 影响整体堤防稳定。经计算在考虑施工车辆荷载后最小安全系数为 1.15, 与不考虑车辆荷载 1.263 相差较大。

## 6. 结语

1) 根据以上分析, 本次奉化江堤防 U 型板桩倾斜事故原因分析如下:

- ① 河床演变, 深泓线向近岸逼近;

- ② 打桩对土体扰动;
- ③ 出险正值退潮, 水位骤降;
- ④ 地形受限, 无法退堤, 施工车辆荷载影响。

2) 施工过程中应注意问题:

U 型板桩打设前应进行放样测量, 发现水深异常, 应及时与设计单位联系, 确保工程安全。

## 参考文献

- [1] 宁波市水利水电规划设计研究院. 奉化江堤防整治工程(鄞州新城区段)初步设计报告[R]. 宁波: 宁波市水利水电规划设计研究院, 2012.
- [2] 沈霞, 金德钢, 何国华. U 型板桩在奉化江抗冲刷设计中的应用[J]. 水利建设与管理, 2016, 36(4): 21-25.
- [3] 水利水电出版社. SL379-2007. 水工挡土墙设计规范[S]. 北京: 水利水电出版社, 2007.
- [4] 上海中技桩业股份有限公司. U 型板桩在水利, 航道和海涂围垦的应用说明[R]. 上海: 上海中技桩业股份有限公司, 2011.

### 知网检索的两种方式:

- 1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
- 2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [hjce@hanspub.org](mailto:hjce@hanspub.org)