



# 软土地基上失稳围堤修复措施研究

方伟, 陈越, 丁洁

(中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

**摘要:** 软土地基上的临时围堤, 通常由于地质条件差、加荷速率过快等多种因素会影响围堤的整体稳定, 从而易发生失稳事故。介绍了某工程临时围堤失稳所采取的修复措施, 并对地基承载力及围堤整体稳定性的分析, 探讨了软土地基上失稳围堤修复措施的关键因素, 对预防失稳发生及在失稳发生后宜采用的修复措施提出了一些建议, 为今后类似工程提供参考。

**关键词:** 软土地基; 临时围堤; 地基承载力; 整体稳定; 修复措施

中图分类号: TU 447

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)12-0134-05

## Restoration measure for unstable causeway on soft clay foundation

FANG Wei, CHEN Yue, DING Jie

(Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

**Abstract:** Instability accidents of temporary causeways on soft clay ground easily occur due to a variety of factors such as poor geological conditions, excessive rate of loading, etc., which affect the overall stability. This paper describes the repair measures taken in instability accidents of temporary causeways in a project. Based on the analysis of the bearing capacity of foundation and overall stability of causeway, this paper probes into the key facts of repair measures for instability causeway on soft clay ground. Some proposals are put forward on preventive and repair measures in instability accidents to provide reference for similar projects in the future.

**Key words:** soft clay ground; temporary causeways; bearing capacity of foundation, overall stability; restoration measure

在不受风浪影响的滩涂地区实施吹填及软基处理工程, 需在吹填施工之前建筑临时围堤作为吹填施工和维护设施。地基处理结束后, 临时围堤作用消失。因此临时围堤有着建筑材料省、施工速度快和仅满足临时稳定的特点。但是滩涂地区多为软弱土质, 工程地质条件差, 受后方吹填施工的影响, 围堤较易发生失稳事故。

某吹填及软基处理工程位于已建围区内, 工程区内滩面由东向西逐渐变深, 高程范围为1.0~3.3 m, 为露滩。工程采用先吹填后地基处理的方式形成土地, 根据交地要求, 吹填高程为5.5 m, 吹填材料采用疏浚土。为满足吹填施工的

围护需要, 新建临时围堤。在施工过程中, 部分堤段发生了滑移失稳。

## 1 围堤原设计及失稳过程

### 1.1 工程特点

由于工程位于已形成的围区内部, 不受潮汐、风浪影响, 且常年露滩, 新建的临时围堤外侧无水位变动的影 响。故其稳定性主要受地基承载力及后方吹填荷载的影响。

本工程地基土体表层约40 m深度范围内土质基本为浮泥、淤泥及淤泥质黏土层, 同时具有含水量高、孔隙比大、压缩性高、力学强度低等

收稿日期: 2012-10-24

作者简介: 方伟(1964—), 男, 博士, 高级工程师, 从事港航工作。

特性, 属软土地基, 工程地质条件差、承载力有限; 其次, 围堤是进行吹填和地基处理等后续施工的前提条件。尽快为吹填作业提供工作面, 在实际施工中, 筑堤时间较短、施工速率较快, 这也在很大程度上影响了围堤的稳定性。

### 1.2 围堤原结构设计

针对以上特点, 围堤采用塘渣+通长砂被斜坡式结构形式, 围堤结构设计通过砂被加筋来提高地基承载力, 并通过设置合适的反压层以保持堤身的整体稳定。见图1。

首先, 铺设一层高强度机织布袋体砂被作

为加筋垫层, 以保证地基承载力; 其次, 设置合适的反压层, 保持堤身整体稳定。为减少塘渣用量, 利用吹填土作为堤身的外侧反压层。具体做法是在堤脚处设置袋装砂小棱体, 形成一个蓄泥库镇脚, 镇脚宽度根据稳定计算确定。当主堤身棱体加高至小棱体等高时进行合拢, 围区内开始吹填, 吹至一定高度时, 采用小泵将围区内的吹填土泵送至小棱体和堤身之间的区域作为反压。

围堤堤顶宽度根据通车要求确定, 堤顶高程设为6.0 m。内、外坡坡度为1:1.25。由于不受波浪作用, 不设置护面。

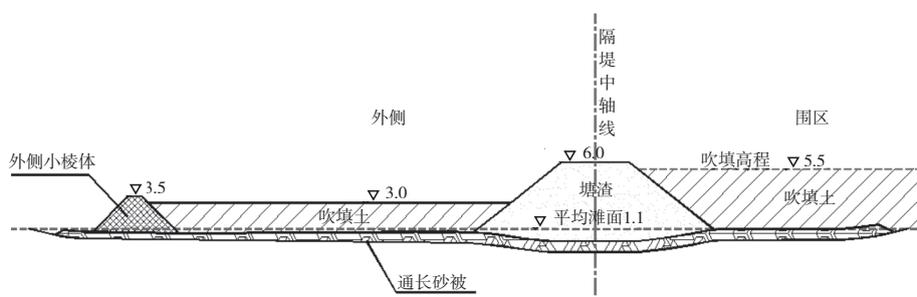


图1 临时围堤原结构设计

### 1.3 围堤失稳过程

在施工过程中, 发生围堤底层加筋砂被老化, 吹填至约4.1 m时, 外侧小棱体出现了偏大的侧向位移, 其后未采取措施并仍继续吹填, 造成约250 m长的堤段发生坍塌变形。发生变形时, 临时围堤塘渣堤身高程约4.5 m, 外侧小棱体高程约3.5 m, 反压吹填高程约3.5 m。变形后, 围内泥面高程降为3.5 m左右, 最大变形处塘渣堤身高程由4.5 m降至3.0~4.0 m, 并对外滑移约10 m。吹填泥反压层水位约3.0 m。外侧小棱体最大位移约9 m, 高程基本不变。底层砂被已断裂。同时, 小棱体外侧滩面隆起, 最大隆起处约2 m。见图2。

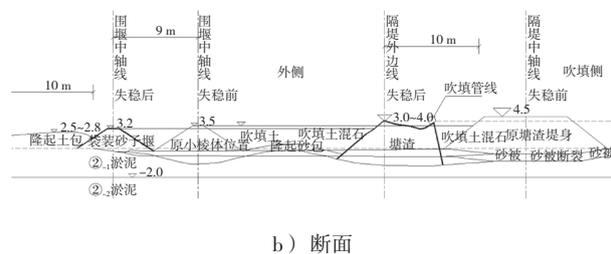
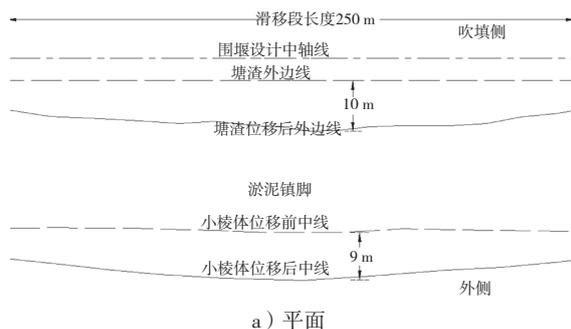


图2 临时围堤失稳示意图

## 2 围堤失稳原因分析

### 2.1 现场表现推测

根据施工记录可知, 施工期通长砂被袋体老化破损, 其加筋效果将大为减低, 致使外侧小棱体地基承载力不足。根据现场观测资料显示, 后方吹填至约3.5 m, 反压层吹填至3.0 m时, 堤身外侧小棱体出现了侧向位移偏大的数据, 约20 mm/d。在小棱体外侧未实施反压加固措施的情况下, 后方仍继续实施吹填迅速增加水平荷载的作用, 将使小棱体发生局部变形。由于小棱体变形过程中地基土体受挤压致使小棱体前方地基稍有隆起, 形成天然镇脚, 使得外侧小棱体处于一种临界失

稳的状态而保持了暂时稳定。但是地基土体受扰动、承载力下降,吹填反压作用减弱,则会导致塘渣堤身的失稳。根据现场情况,小棱体先发生滑动,随后保持了约半个月的临界稳定状况,在继续吹填加荷的情况下,塘渣堤身坍塌、移位,进而将整个围堤向外推出约9~10 m。可知,推测的失稳过程与以上情况均能较好吻合。

## 2.2 反演分析

### 1) 外侧小棱体失稳过程分析。

外侧小棱体堤身高度约2.5 m,根据工程实施前的地质勘察资料,表层②<sub>1</sub>灰黄色、灰色淤泥允许承载力仅为35 kPa,天然地基将不能满足承载力

要求。经对外侧小棱体的整体稳定验算,在底部砂被加筋作用不足且未实施反压的情况下,在后方吹填迅速加高的情况下,外侧小棱体的安全系数仅为0.909,小于规范<sup>[1]</sup>规定的安全系数1.05。结合现场破坏情况,外侧小棱体先是出现了较大的侧向位移,随后向外倾斜、发生局部变形。

由于小棱体变形过程中地基土体受挤压致使小棱体前方地基稍有隆起,形成天然镇脚,使得外侧小棱体处于一种临界失稳的状态而保持了暂时稳定。但是由于软土地基灵敏度高的特点,外侧小棱体变形过程中地基土体受扰动、承载力下降。见图3。



图3 主堤失稳前外侧小棱体稳定验算结果

### 2) 堤身整体失稳分析。

从地质条件看,地基土体表层约40 m深度范围内土质基本为浮泥、淤泥及淤泥质黏土层等软土地基,工程地质条件差劣,对围堤稳定起控制作用。引起软土地基上围堤滑动破坏的根本原因,在于软弱地基中某个面上的剪应力超过了它的抗剪强度,稳定平衡遭到破坏。主要有两方面因素:一是由于剪应力的增加,二是由于软土地基本身抗剪强度的减小<sup>[2-3]</sup>。结合本工程施工情况,一方面,堤身及后方吹填荷载的增加,水位落差产生渗流力,导致剪应力增加,将直接影响到围堤稳定,这在类似问题中都有体现<sup>[4-6]</sup>;另一方面,由于软土地基灵敏度高的特点,堤身塌陷及位移,堤基土体已严重扰动,强度下降,根据失稳后新的勘察资料,围堤区表层3~4 m土体已严重扰动,十字板剪切强度 $C_u=3.0$  kPa,抗剪强度减小。因此,在外侧小棱体变形过程中地基土体受扰动、承载力下降后,继续进行吹填施工,是

导致围堤发生整体失稳的根本原因。

在极限荷载作用下发生的整体剪切破坏形式是在土中形成连续的滑动面,土从基础两侧挤出隆起,基础发生急剧下沉或侧倾而破坏<sup>[7]</sup>。现场外坡脚处土体隆起,塘渣瞬间下沉、侧倾而破坏的现象正符合了这种破坏形式。根据上述围堤失稳过程中地基承载力变化的分析过程,结合现场情况,验算了小棱体移位、地基土体承载力下降后,塘渣堤身的稳定性。经验算,塘渣堤身安全系数为0.974,也小于规范<sup>[1]</sup>规定的安全系数。见图4。

综上所述,理论计算结果与现场情况是相吻合的。围堤失稳可以归纳为以下3个阶段的演变过程:

1) 通长砂被袋体老化破损后,加筋效果大为降低,致使外侧小棱体地基承载力不足。

2) 在小棱体外侧未实施反压加固措施的情况下,小棱体受反压吹填泥的作用,已处于临界失稳状态,后在内侧吹填土和水的作用下,出现了

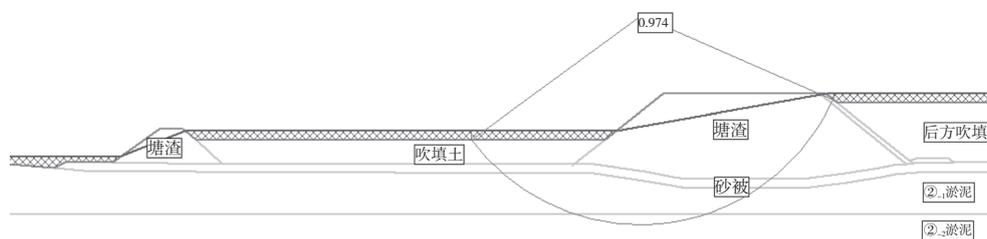


图4 吹填土反压减少后主堤稳定验算结果

滑动现象。

3) 小棱体移位后, 由于地基土体受扰动、承载力下降, 同时吹填土反压作用减小, 导致围堤发生坍塌和位移。

### 3 围堤修复措施研究

#### 3.1 关键因素分析

失稳后的围堤只是暂时形成了一个平衡状态, 若继续进行加高则会造成平衡破坏, 发生再次失稳破坏。结合上述失稳原因分析, 修复措施需依据以下3个步骤进行:

1) 保证外侧小棱体的局部稳定。

从小棱体的失稳过程分析可知, 过高的主堤镇脚压载是不利于外侧小棱体稳定的, 而外侧小棱体失稳将会再次引起主堤的滑动。故需在保证外侧小棱体局部稳定的前提下, 方可进行主堤身的修复工作。

根据上述情况分析, 由于现状围堤需进一步拓宽和加高, 故不能采用削坡、减载的方法。同时, 由于失稳塌陷后吹填泥溢出, 也不具备进行地基排水方法实施的条件。从施工工艺考虑, 坡脚压载的修复方法则较适合本工程。

2) 提高地基土体的承载力。

从堤身整体失稳过程分析可知, 引起软土地基上围堤滑动破坏的主要有两方面因素: 一是由于剪应力的增加, 二是由于软土地基本身抗剪强度的减小<sup>[2-3]</sup>。失稳过程土体受到扰动, 抗剪强度减小, 根据失稳后新的勘察资料, 围堤区表层3~4 m土体已严重扰动, 十字板剪切强度 $C_u=3.0$  kPa, 抗剪强度减小。

由此可知, 需采取措施增加地基承载力后

才能进行后续施工。为增加地基承载力及保持围堤的整体性, 可通过反压来实现。根据失稳后土体勘察资料, 在无反压层的情况下, 承载力约为24 kPa。在铺设砂垫层反压后, 承载力增至96 kPa。能够满足堤身继续加高及后方吹填施工的要求。

3) 增加整体稳定性要求

由于失稳后底层砂被断裂, 加筋作用丧失。堤身的整体性较差, 可以同时铺设两层通长砂被, 增加加筋作用, 增强围堤的整体性。结合对小棱体及塘渣堤身的阶梯式反压, 能够有效维持围堤在后续施工荷载下的稳定。

经稳定验算, 得到修复后的围堤稳定安全系数为1.140, 满足规范<sup>[1]</sup>规定的安全系数1.05的要求(图5)。

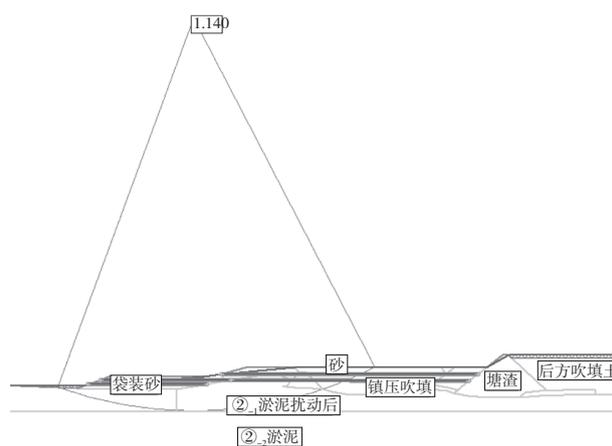


图5 临时围堤修复后稳定验算结果

#### 3.2 修复措施

本次修复的主要前提为要确保堤身及后方吹填继续加高过程中的整体稳定, 修复措施从以下3方面进行:

1) 有针对性地加密监测: 在堤身坡脚处加设测斜孔, 监测堤身整体稳定; 在小棱体坡脚处加设测斜孔, 监测外侧小棱体的堤身稳定; 后续施工应在监测数据指导下进行。

2) 滑移段围堤修复: 在外侧土包坡脚处, 铺设袋装砂补压以防土包的进一步隆起, 并在袋装砂顶铺设两层通长袋装砂。为保证良好的压载效果, 袋装砂和通长袋装砂铺设范围以宽度和高程

控制。通长袋装砂铺设后, 自小棱体轴线向外侧铺设宽8 m, 顶高程4.0 m的袋装砂压载, 向外7.5 m范围内由4.0 m以边坡1:5过渡至2.5 m。小棱体外侧反压完成后, 自现状塘渣堤身外顶边线向外侧铺设宽5 m, 顶高程4.0 m塘渣堤身。在其余反压层范围内采用吹填砂或充填土袋填充至4.0 m。在现状塘渣的基础上加高堤身, 形成顶宽1.0 m且顶高程6.0 m的子堰(图6)。

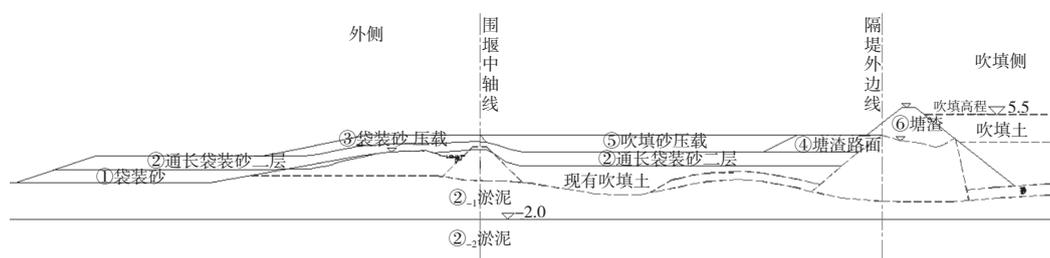


图6 临时围堤修复后断面

3) 施工措施修整: 观测孔埋设完成前不得进行主堤堤身加载和吹填施工, 后续施工在监测数据指导下进行。修复施工需严格遵循先外后内、先下后上的顺序。进行小棱体外侧补压和通长砂被铺设, 再进行滑移段塘渣堤身加宽和反压层吹填砂施工。修复施工完成后, 方可继续进行塘渣堤身加高至堤顶, 塘渣及黏土每次加高厚度不得超过50 cm。

目前围堤修复已完成并已实施后续施工, 边坡稳定, 说明本修复措施是可靠的、成功的。

#### 4 结论

软土地基上的临时围堤, 通常由于地质条件差、加荷速率过快等多种因素会影响围堤的整体稳定。在设计和施工过程中, 为有效预防失稳发生, 尤其需注意围堤满足地基承载力和堤身整体抗滑稳定性要求。一旦失稳发生, 首先分析原因, 结合现场进行理论计算反演; 其次做好勘察工作、获得扰动后的土体指标, 并根据新指标进行地基承载力和堤身整体抗滑稳定性验算, 选择

合理可行的修复设计; 最后, 根据设计进行修复施工, 并在修复区设置观测孔, 根据监测数据指导施工, 不能盲目加载, 避免围堤的再次失稳、塌陷。

#### 参考文献:

- [1] SL 435—2008 海堤工程设计规范[S].
- [2] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.
- [3] 梁颜红. 堤防工程软土地基处理的几种措施[J]. 珠江现代建设, 2009(3): 10-12.
- [4] 喻志发, 宋来中, 张健. 某码头陆域形成地基失稳分析[J]. 中国港湾建设, 2003(4): 25-26.
- [5] 陈东, 何开胜. 港口堆场的失稳滑动原因和治理方案设计[J]. 水运工程, 2005(10): 36-38.
- [6] 魏建有. 驳岸整体失稳及应急措施的理论分析[J]. 水运工程, 2001(7): 19-26.
- [7] 郑大同. 地基极限承载力计算[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1979.

(本文编辑 武亚庆)