

# 深水软基快速处理方法在海堤工程中的应用

陶松垒<sup>1</sup>, 潘超平<sup>2</sup>, 郑锐锋<sup>1</sup>, 张子和<sup>2</sup>, 姜葆梅<sup>3</sup>

(1. 浙江科技学院 建筑工程学院, 浙江 杭州 310023; 2. 浙江省围海建设股份有限公司, 浙江 宁波 315051;  
3. 浙江科技学院 外国语学院, 浙江 杭州 310023)

**摘 要:** 海上堤坝快速建筑的关键点和难点是水下软基的快速处理。为了能快速加固海洋软弱地基, 采用塑料排水法加固深水软基技术与设备, 研制深水插板作业船, 配以施工工艺技术和质量控制方法, 并结合某工程, 对深水港软基海堤工程施工进行分析, 采用软基快速筑堤方法和设备, 成功解决了深水塑料排水板插设工程施工中遇到的问题。

**关键词:** 深水软基; 塑料排水板; 水上定位; 施工技术设备

中图分类号: U656.314

文献标识码: A

文章编号: 1671-8798(2005)02-0114-04

## Application of method of disposing for quick dike building on undersaturated weakground

TAO Song-lei<sup>1</sup>, PAN Chao-ping<sup>2</sup>, ZHENG Rui-feng<sup>1</sup>, ZHANG Zi-he<sup>2</sup>, JIANG Bao-mei<sup>3</sup>

(1. School of Architecture and of Civil Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China; 2. Zhejiang Provincial Reclaiming Engineering CO, Zhejiang Ningbo 315000, China; 3. School of Foreign Languages, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** The difficult and the key point of quilk building on the sea is the quick dispatching of soft foundations underwater. To quickly strengthen underwater soft foundations in sea, plastic drainage plates and the relevant equipment are adopted, and a ship for inserting underwater plastic drainage plates, together with the corresponding construction technique and quality control, is studied. In accordance with the reality, this paper analyzes the dike construction of harbor bridge conjunction segment in deep water. With the method and equipment of undersaturated weakground quick building. We have resolved all the problems in inserting underwater plastic drainage plates.

**Key words:** underwater weakground; plastic drainage; fixing position on the water; the equipment and technique of construction

21 世纪是人类面向海洋进军的世纪, 海上堤坝快速建筑技术的突破, 势必为开发海洋带来新的契机。海上堤坝快速建筑的关键点和难点是水下软基的快速处

理。根据不同的地质条件和工程要求, 采用塑料排水板法<sup>[1]</sup>、爆破挤淤法<sup>[2]</sup>和爆破夯实法<sup>[3]</sup>, 都是行之有效的方法。本文介绍的某海堤工程采用塑料排水板法快速

收稿日期: 2004-11-09

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(59957); 浙江省自然科学基金项目(M503164)

作者简介: 陶松垒(1957—), 男, 浙江宁海人, 教授级高级工程师, 浙江省突出贡献的中青年科技专家, 从事海岸工程、工程机械的教学与研究。

加固水下软基取得明显效益的实例,是该技术成果在深水中应用的一次新的实践和检验。

## 1 概况

### 1.1 工程概况

某跨海大桥,上部为双向六车道的高等级公路。港桥连接段海堤工程,位于两岛之间(以下简称A岛和B岛)。总长1 220 m,轴线略为弧形。本工程采用抛石斜坡式结构,内外两侧用2T和7T扭王体护面;顶部两侧为反弧形挡浪墙结构,挡浪墙顶高程达到黄海▽11.5 m高程(85国家高程,以下同)。

### 1.2 地质条件

该海堤大部分泥面比较平坦,一般标高为▽-7~▽-10 m,但在两岛的边缘,因海流受岛的阻挡,冲刷较深,近A岛侧泥面标高▽-17~▽-23 m。淤泥质黏土层较厚,仅在两岛边缘黏土层较薄。整个海堤地基土质主要由粉砂夹粉质黏土、淤泥质黏土和灰色黏土组成,堤轴线上地质分层及土性指标见表1。

表1 地质资料

项目土层	层厚/m	W/%	$\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	C/kPa	$\phi/(\circ)$
粉砂夹粉质黏土	6~9	31.7	19.7	47	21.7
淤泥质黏土	23~26	57.3	17.5	13.6	12.5
灰色黏土	9.4~28.8	32.3	18.8	38	17

由表1可见,夹层淤泥质黏土抗剪指标较低,不能作为高等级海堤公路的持力层,需进行软基处理。塑料排水板排水固结法是快速处理该类软弱夹层基础最为有效的方法之一。地基采用塑料排水板堆载预压排水法加固,排水板插设深度为-38~-40 m。软基处理为本工程的关键环节。

### 1.3 施工条件

1.3.1 设计水位 设计高潮位:▽2.15 m;极端高潮位:▽3.35 m(50年一遇)。设计低潮位:▽-1.83 m;极端低潮位:▽2.83 m(50年一遇)。百年一遇设计高水位:▽3.46 m。

1.3.2 波浪 设计高潮位时,NE向50年一遇的 $H_{13\%}=4.31$  m, $T=7.6$  s, $l=72.9$  m。

1.3.3 水流 设计实测涨潮分层最大流速为1.46 m/s,最大垂线平均流速为1.24 m/s;落潮最大流速为1.57 m/s,最大垂线平均流速为1.45 m/s。流向基本平行于坝轴线。

### 1.4 施工难点

一是工期短,工程量大。总工期为6个月,插板数量为91 217根,262万m。二是地质情况复杂,软土层软弱而深厚,对插设深度提出了更高的要求。三

是由于地处无限风区的开敞海域,水深流急、风浪大,年可施工日120~150 d,不但工期紧迫,给船舶定位也增加难度。四是施工质量要求高。水平误差小于等于20 cm,垂直度误差小于等于1.5%,回带长度小于等于50 cm。这些都对施工造成了一定程度的制约。因此,传统的水上排水板施工设备和工艺显然不能满足该工程的施工需要。

## 2 施工方案

按照工程的设计要求,根据工程特点,要保证排水板插设的高质高效,必须解决三个主要问题:①有一艘近乎于自动化的适合深水插设作业的工作船。该设备必须将塑料排水板从平均潮位▽-8 m的海涂面打设到▽-40 m的淤泥层,间距为1.2 m,有较强的抗风浪能力,在较大的流速中能照常施工;有精确的定位系统,能确保每一个施工区域乃至每一根排水板施工插设位置都能准确定位;有水下自动剪板功能和能重复使用的装靴装置。②有一套能够充分发挥施工设备优越性的施工工艺。③在自动化的水下隐蔽施工过程中,有一套质量监控方法和及时解决质量问题的系统。为了解决这些技术上的瓶颈问题,改装了2艘中滩涂的水下软基处理船<sup>[4]</sup>,建造了1艘深水插板船,以适应深水海区使用。共3艘插板船投入施工,最终使该工程保质保量按期完成。

## 3 施工设备

为满足以上要求,根据以往经验,对原设备进行了改造,并研制出一艘深水塑料排水板船。该船由船体、塑料排水板插设装置、GPS定位系统、水下剪板和装靴装置、电脑记录装置等组成,并具有以下特点。

(1)该船为自航式双体作业船,总长61 m,总宽22 m,型深3.8 m,总功率550 kW,航速9级。船体内有效施工尺寸为32 m×12 m,每船一次定位可在384 m<sup>2</sup>的长方形空间内,插设间距为1.2 m×1.2 m的排水板260根。每插一根的时间为3 min左右。配备有4台10 t起锚机作为定位移动船舶,锚重3 t。以满足能够在水深30 m以内、流速2~3 m/s、潮差9 m以内、8级风2 m浪高的环境中施工。

(2)塑料排水板插设装置为独立塔架式打设机,安放于作业船上,在施工空间内可进行纵向和横向移动。沉桩方式为振动沉桩。由塔架、横向行走小车、纵向行走平台、振动锤、卷扬机等组成。其总高度为50 m,总长度为9 m,跨度为21 m,振动锤功率为

40 kW。能满足插入涂面以下 45 m 的深度要求。为补偿船体倾斜度,设计时采用塔架的后支撑螺杆进行前后倾斜调节。整个架子可放倒在船上,作业时将其竖起。这样当大风或台风来时可迅速将其放倒,降低船体重心,提高船体稳定性,也符合调遣要求。

(3)采用了 GPS 全球实时差分定位系统,由 1 台 GPS 岸台(基准站)和 2 台 GPS 接收机(移动站)组成。在作业船上设置 2 台 GPS 接收机,接受卫星发送的信号,结合地面基准站发送坐标差分信号,准确实时地输入计算机,解算出差分的精确位置坐标。预先在计算机上按设计坐标设定好所需插设的区域位置,由 2 台接收机 2 个点的坐标形成船体施工区域矩形图,根据船体施工区域划分海堤平面几何图。用 4 台锚机进行调节,将移动坐标和设定坐标几何图形影重合,说明定位准确可进行施工作业。详见图 1。

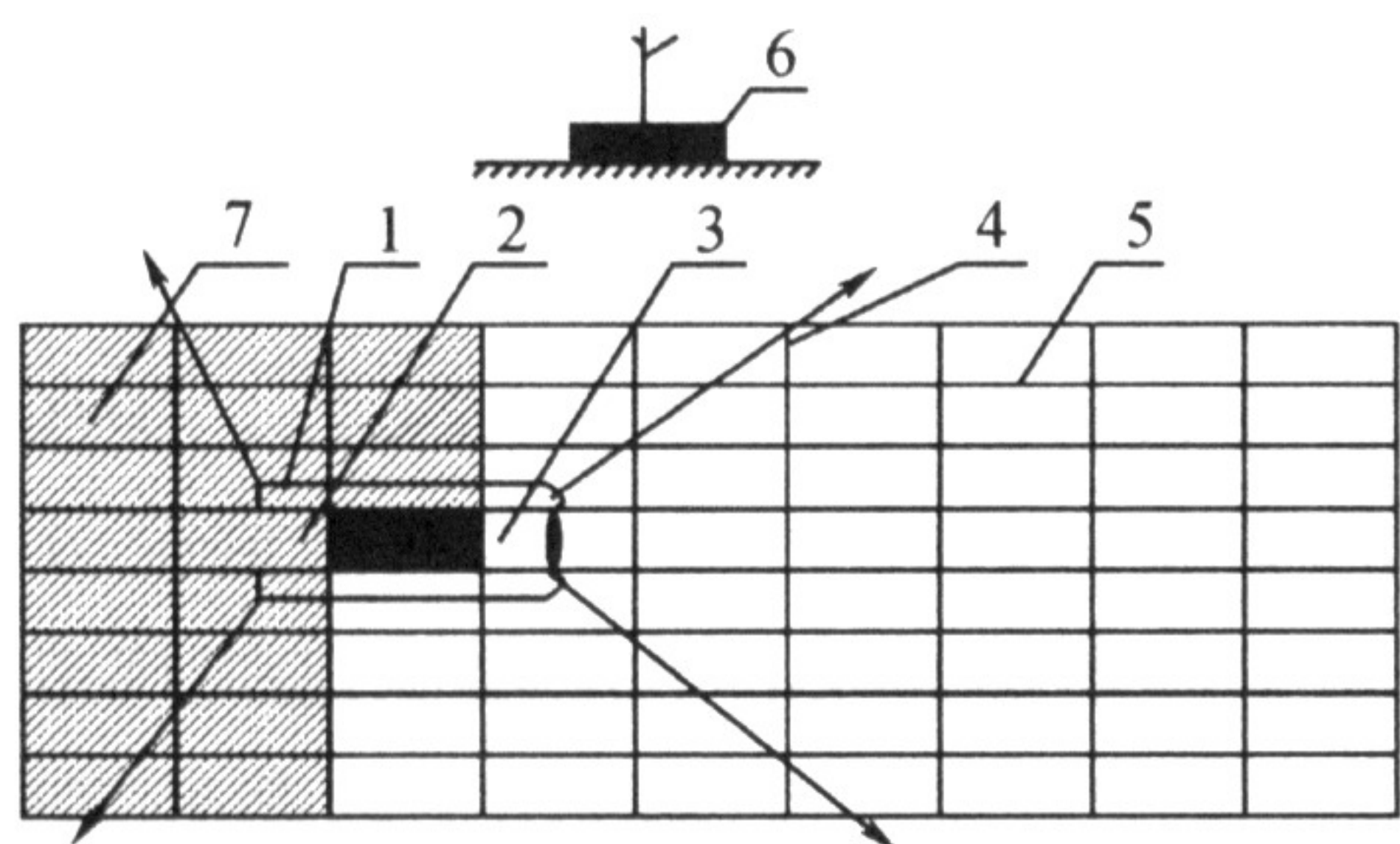


图 1 作业船计算机屏幕定位示意

1 船体;2 船尾 GPS(移动站);3 船首 GPS(移动站);4 定位锚索;  
5 未施工区域;6 岸站 GPS(基准站);7 已施工区域

(4)水下剪板装置与装靴装置,由剪刀管和剪刀箱、剪刀片、桩头、测深仪及液压设备等组成,其主要功能是保证塑料排水板进行水下切剪和装靴,以提高工作效率,节约材料损耗。靴头为往复式自动回位靴头,一只靴头能重复使用。

(5)电脑自动记录检测装置,由数字测深仪、桩管插深传感器、进带传感器、报警器和电脑等组成。根据施工技术参数,编制成电脑自动控制软件。由桩管插深传感器和进带传感器及水深测深仪、GPS 测绘仪分别传输数据给电脑进行运算、存储,当完成一定数量后,即可打印记录,并可随时进行观察。同时,一旦超过设计允许的误差范围,便会自动报警,提示施工人员及时纠正。

## 4 施工工艺

在“深水插板作业船”改装和研制成功后,还必须有一套与之匹配的施工工艺流程,才能使施工正常进行,并能确保施工质量。为此,通过大量的探讨

和实践,结合这一区域的海况特点,确定了工艺流程:划分施工区域→插板施工定位→塑料排水板插设→剪板和装靴→检测记录→移动进行下一循环。

### 4.1 划分施工区域

首先在岸上选一坐标点,在其上固定一台 GPS 接收机,然后在电脑上输入施工区域平面图及控制点的实地坐标和船舶施工空间尺寸,根据每船的施工空间进行船位划分,并直接显示在电脑屏幕上。

### 4.2 施工定位

4.2.1 插设作业船船体定位 船体定位是施工中一项关键工作,它直接影响到工程质量。用 4 台锚机绞动船舶移动船位时,当施工空间(即显示船形)与划分的船位重合,说明船舶已准确就位。如果显示器上显示的船位与船形不重合,说明位置发生了变化应进行调整。具体定位方法和系统设备组成见图 1。该系统能在白天、黑夜、雨天作业,其定位精度达到  $\pm 10$  cm,既能满足全天候施工的要求,又达到快、准、稳的性能特点。

4.2.2 插设机定位 插设机定位也是定位系统的组成部分。其定位方法为机械定位,精度能控制在 1 cm 以内。施工时先根据每支桩的间距及布置形式,在  $32\text{ m} \times 12\text{ m}$  的空间范围内按设计要求和排水板间距划分出总排数(纵向)和每排的支数(横向),然后移动插设机大平台进行纵向定位。当定位指针与纵向定位刻度重合时说明定位准确,在大平台定位准确后开动小车平台进行横向单支定位。这样周而复始完成全船的设插支数后,再进行下一轮定位。

### 4.3 塑料排水板插设

塑料排水板的插设方法为振动沉桩法。因在海上施工风浪大,实际工作时间受天气影响较大,故要求设备必须有较强的抗风浪能力,而且施工必须快速,这样才能不影响施工工期的质量。为此,采用独立塔架式结构的插设机械,大大提高了抵抗左右摇摆对稳定性的影响。为控制塑料排水板的垂直度,补偿因插设机械行走引起的船体倾斜,在塔架后座设计了垂直度调节螺杆,可调节立柱垂直度,确保施工质量。当船体完成定位后,将穿好排水板的套管打入土中,至设计标高时将套管拔回。塑料排水板在泥阻作用下留在土中,这样周而复始完成插板任务。

### 4.4 水下剪板和装靴

水下剪板和装靴是实现在深水塑料排水板施工中提高效益的关键技术。因为进行水下剪板和装靴,

不但可以节约材料,而且缩短了施工空行程,加快了施工速度,极大地提高了生产效率。具体操作为:首先根据测深仪测出的水深,将剪刀管放入水中,使其前端的剪刀箱离涂面 30~50 cm。为了提高剪板速度,将剪切装置设计为双向装置,每一次动作就完成一次剪切任务。而靴头为自动回位靴头,只要排水板一被剪断,在内弹力的作用下会自动回缩,将排水板在桩尖处压住,同时,通过连动机构将排水板的外露部分进行抵挡保护,以免在穿过砂层或碎石垫层时将带头磨断。拔管时,保护活动门首先打开,而排水板和压带导柱在泥阻的作用下向外伸,并留在孔底。当套管上拔至一定高度时,导柱和套管一起拔回,而此时的塑料排水板已能完全靠泥土的阻力来固定。待拔出水面时又开始了上述动作。如果在水流较急的地方,不便使用刚性的水下剪板装置,则宜采用柔性的水下剪板办法加以解决。

#### 4.5 自动记录检测

自动检测系统主要是为控制质量服务。它主要是通过检测桩深、水深、带深和实际的涂面高程,换算出回带长度。一般回带长度控制在 30~50 cm。如果超过这个范围说明这根板插设不合格,必须进行补插。一般情况下,如果在沉桩过程中,距离桩底目标高程大于 50 cm 就拔回时,其深度报警器会报警提醒,指示操作人员再往下沉桩,并对每打一根塑料排水板进行记录,显示序号、桩深、水深、带深、露带、船位和插设日期,而且可以随时进行查看和打印。

#### 4.6 移位

当在一个船位内完成所有的插设根数后,就可启动四台绞锚机进行移位,进行下一个船位循环施工。

### 5 质量控制

施工中实行了严格的质量监控,并严格要求贯彻三检制,实行责任人会签制,很好地解决和克服了施工过程中的困难和障碍。

#### 5.1 控制插板船有精确的定位

插板作业船上配有 GPS 定位系统和 4 台足以保证作业船不发生位移的锚机,但因插板偏差指标为  $\pm 10$  cm,精度要求较高,海面上风力、风向和潮流的变化总会给作业船产生一定程度的影响使之移位,为此,利用显示在电脑上的船位进行监控,适时用锚机调整船位,将船位平面误差控制在  $\pm 10$  cm 以内。

#### 5.2 控制每一根排水板的插设质量

具体包括插板深度、垂直度、回带长度和留带长度,这一系列质量要求的主要技术指标和具体控制方案如表 2 所示,如果发现插设指标不符合技术要求,则一律予以重插、补插。

表 2 质量指标及控制方案

项目	质量指标	控制方案
1 插板底 高程	$\nabla -28.0$ m $\nabla -40.0$ m	动态实时测量水位,确保打设深度
2 垂直度	$\leq 1.5\%$	用铅锤法进行检测,利用平衡仓和套管液压装置调节套管垂直度
3 回带长度	$\leq 50$ cm	根据记录仪及时观察进板速度
4 留带长度	$\geq 30$ cm	根据测深仪及时调整剪板高度
5 接带长度	$\geq 20$ cm	人工每根检测控制

#### 5.3 电脑记录数据可靠

采用电脑记录消除了很多人为因素,使数据真实可靠。

### 6 施工效果分析

在该工程的整个塑料排水板施工过程中,该套施工设备及施工工艺克服了多种不利的施工环境影响,单船插板最高日产量可达到 15 km,按时完成了施工计划,实现了施工目标。各插板单元工程经验收后质量情况令人满意,插板单元工程优良率达到 89%。该项目经过排水板施工后 6 个月,抛石至  $\nabla 0.0$  高程时,抛石总高度已达 8~10 m,经观察每天均匀沉降 1.0 cm 左右,最大达 2 cm。沉降较为稳定。现已进行钻孔检测,地基钻孔检查沉降和观测沉降基本相符。各项指标均符合设计要求。

实践证明,深水塑料排水板施工技术和设备成功地解决了深水软弱地基快速处理问题,探索出一套较为成熟的施工工艺及质量控制方法,解决了深水插板工程所遇到的一系列问题。

#### 参考文献:

- [1] 陶松垒,张志建,邱春芳. 塑料排水板加固水下软基的方法及设备[J]. 港工技术,2001,149(4):38-40.
- [2] 陶松垒,李未材. 防波堤基础的爆破处理方法及应用[J]. 爆破与冲击,2003,23(5):475-480.
- [3] 陶松垒,李祖兴,张子和,等. 爆破夯实法处理海堤抛石基床[J]. 爆破器材 1999,28(6):24-30.
- [4] 陶松垒,冯全宏,张志建. 水下软基处理船[J]. 船舶工程,2000,128(5):22-25.