

# 跨海桥梁沉箱基础底部的多点同步注浆方法

张太科<sup>1</sup>, 管维东<sup>2</sup> 编译

(1. 广东省公路建设有限公司, 广东 广州 510623; 2. 中交公路长大桥建设国家工程研究中心有限公司)

**摘要:**大跨度桥梁建设在世界范围内持续增长。对于建立在沉箱基础上的桥梁,沉箱底部与地面的一体化非常重要。该文通过对韩国釜山—巨济跨海工程的调研,介绍一种利用多根配管同时注浆对沉箱底下的缝隙进行注浆的方法。由于在施工过程中,在大型海上结构沉箱下注浆的目视验证非常困难,为了评估注浆的流动性、抗离析性、自流平性、抗压强度和可注入性,釜山—巨济跨海工程在陆地上进行了全面的测试。此外,该工程还为海上施工制造了专用船,并开发了注浆管理系统,实现了注浆状态的实时自动监控。亦将该方法应用于釜山—巨济跨海通道工程。

**关键词:**釜山—巨济跨海工程;沉箱基础;多点同步注浆;陆地试验

## 1 引言

韩国在21世纪第一个10年建造了连接釜山和巨济的跨海桥梁和海底沉管隧道,包括两座大跨径斜拉桥,其中一座为三塔斜拉桥。斜拉桥的所有部件,如沉箱、桥墩、桥面板等,均在工厂预制,然后送到现场组装。由于基岩深度较浅,沉箱基础为桥梁的首选基础类型。但由于水下作业条件和设备精度的限制,沉箱基础的垫层处理十分困难。为使沉箱与地面紧密接触,通常采用砂砾层法、喷砂泵法和预填混凝土法。然而,这些传统的方法往往导致接触不良和承载力不足。为此,该工程提出了一种注浆方法,即在沉箱安装前先安装地基垫块,沉箱与地面之间的空隙用灰浆填充。在这种方法中,注浆逐孔进行。这可能会导致许多问题,如材料离析和不完全接触,从而导致施工质量差。针对这些问题,该文提出一种新的注浆方法,即多点同步注浆法。该工程在旱地上进行全尺寸试验,并对该方法进行大规模的现场应用,以验证其适用性。

## 2 全尺寸现场试验

通过现场试验,对注浆系统进行了验证,找出了实际施工中可能存在的问题,并提出了相应的对策。由于注浆作业是在海上进行,直接评价注浆质量比较困

难,因此采用了另一种评价质量的方法。在全尺度现场试验中,通过对现场数据的分析,对施工质量进行了评价。

测试流程如图1所示。将由两套树脂玻璃板和钢板组成的沉箱模型竖立在平台上。为了监测注浆情况,水箱底部也采用有机玻璃板制作。用砂砾(直径200 mm)模拟真实地面的粗糙表面条件。水槽的两侧用沟盖加固,以防止水泥浆的破裂,其他两侧则不加固。同时,通过不加沟槽的侧板测量了流动距离和填

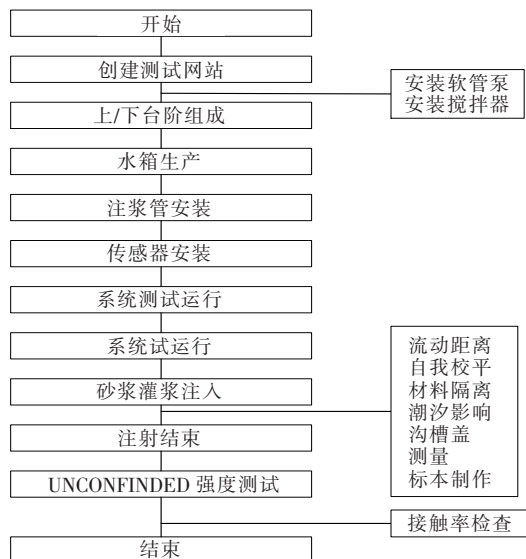


图1 全尺寸现场试验流程图

充高度。在排气口的上、下两侧分别安装两套自动监测仪表,用于检测灌装率和温度。在框架上安装了一个灌注管和 4 个水下泵,用于产生人工潮汐。浆液依次注入每个注浆孔。流动距离和流动梯度通过对附在水箱内外的水垢进行目测来测量。同时,通过自动监测系统 进行自流平和离析测量,并在水箱外进行目视测量。通过对可视化监测系统和自动监测系统的数 据比较,对充填过程进行了监测。具体实地测试关键步 骤见图 2。

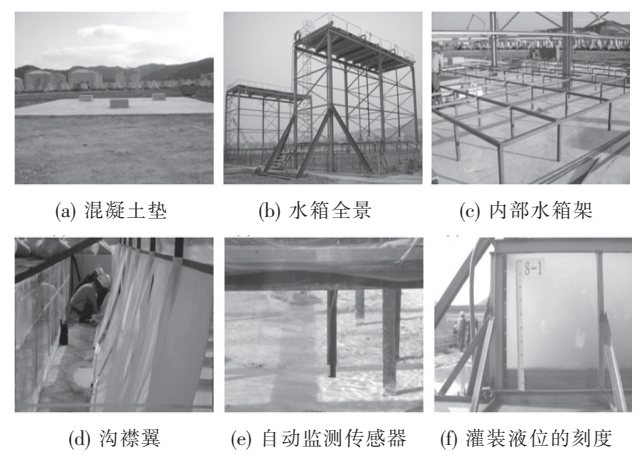


图 2 全面实地测试的关键步骤

2.1 配比设计和材料测试

材料的目标强度根据 Kora 混凝土标准设定为 15 MPa( $F_{28}$ )。为了找出最佳的混合比,进行了一系列的 试验。最终的混合方案如表 1 所示。

根据韩国土木工程师学会水下混凝土管理标准和 日本海岸开发研究所的质量标准及材料试验,表 2 给 出了抗冲砂浆的质量标准。

表 1 配比设计					kg/m <sup>3</sup>
水	水泥	砂	防冲洗剂	减水剂	
330	520	1 210	3.3	1.8	

2.2 测量计划

现场进行了两次完整的测试。在第一次测试中, 同时进行了手动和自动测量,以检查注浆的状态。为了 进行手动测量,在外部水箱的外部安装了标尺。在 13 个 检查和排气孔中的每一处都安装了两组液位传 感器和温度传感器进行自动测量。在第二项测试中安 装了额外的传感器以检测储罐底部的流动距离。为了 检测沉箱底部的向上压力,安装了 3 个孔隙水压力表。 在图 3 中,S 和 V 分别为观察尺、注浆电荷检测和温度 传感器。 $B$  为注浆传感器测量流动距离, $P$  为孔隙水 压力表。

表 2 注浆材料质量标准

泄放 比/ %	设定时间/h		无侧限抗压强度				水下跌落测试		空气 含量/ %	流量/ cm	氯化物/ (kgf·m <sup>-3</sup> )
	初始 设定 时间	最终 凝固 时间	水中试样的无侧限 强度/(kgf·cm <sup>-2</sup> )		空气固化样品与水固化 样品的抗压强度之比/%		悬浮 物/ pH 值 (mg·L <sup>-1</sup> )				
			7 d	28 d	7 d	28 d					
<0.1	>5	<30	—	>150	>60	>70	<150	<12.0	<6.0	63±5	0.3

2.3 全面现场测试的结果

如图 3 所示,以 1.5 m 的间隔( $B1 \sim B11$ )安装了 11 个液位传感器,并且仅将注浆注入 I-2 孔中,直到 被  $B8$  上的传感器检测到。到达  $B5$  点(距离为 5.5 m) 耗时 30 min,到达  $B8$  点(距离为 12 m)耗时 2 h。由对 称地安装有 I-2 孔的量规( $B1 \sim B3, B9 \sim B11$ )获得的 结果示于图 4。根据图 4,从孔口进入 4.5 m 范围内的 填充率从 50 cm/min 降低到 10 cm/min,并且在 6.0 m 范围内保持恒定为 7.5 cm/min。因此可以得出结 论,注浆具有足够的流动性。

如图 5 所示,在尺子上的每 10 cm 填充高度处以及 在外部水箱的每个角的填充孔处测量填充时间。在  $S-7, S-8, S-9, S-10, S-11$  的位置比较了注浆相

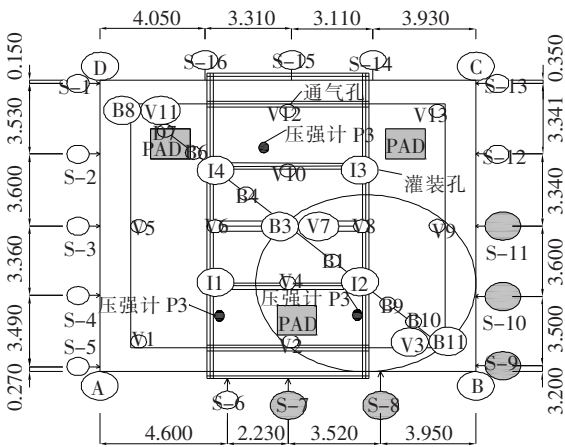


图 3 自动监控系统的布置和组成(单位:m)

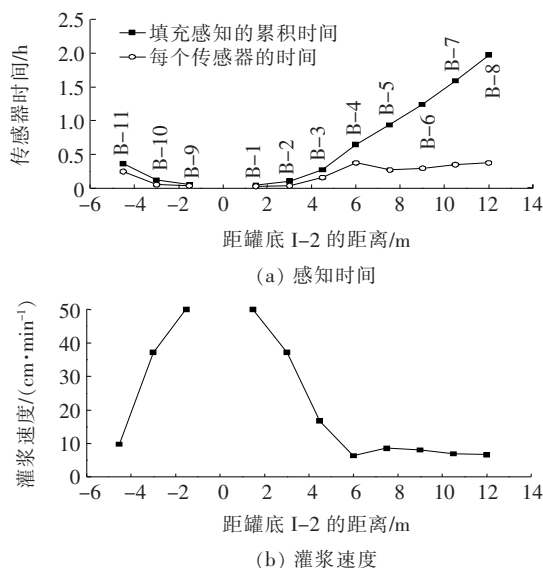


图 4 随距 I-2 注入孔的距离变化感知时间、填充速度变化曲线

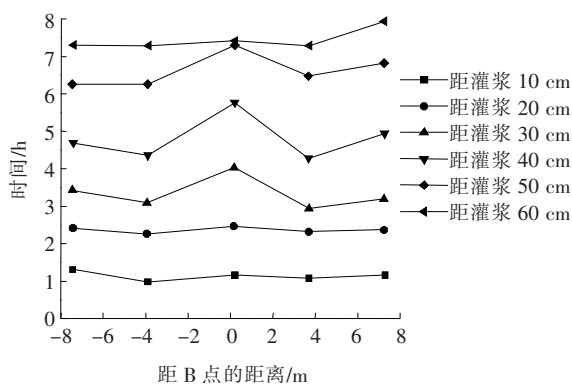


图 5 随距 B 点的距离变化填充时间变化曲线

对于时间的高度(图 6)。图 6 表明:如果距 I-2 位置的距离相同,则达到 60 cm 高度的填充时间也相同。目标强度如图 7 所示:满足 15 MPa,有芯样品在 20 d 的最小抗压强度为 16.6 MPa,浸没混合样品在 28 d 的最小抗压强度为 23.7 MPa。

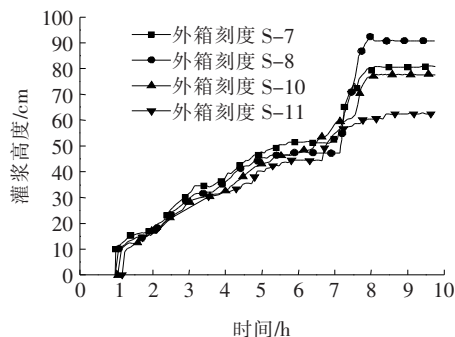


图 6 传感器填充高度

注浆在沟渠瓣之间以类似的形状膨胀。内部比外部高约 10 cm。

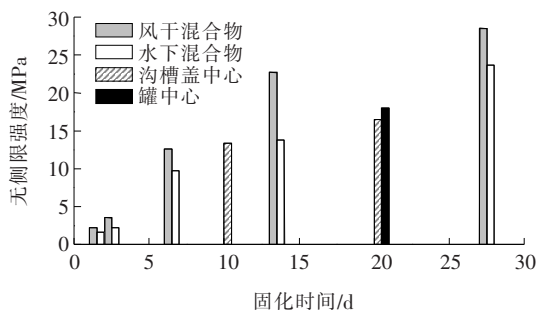


图 7 固化时间引起的无侧限抗压强度

### 3 新注浆方法的应用

#### 3.1 注浆条件

釜山—巨济跨海通道工程有 11 种不同尺寸的沉箱板,尺寸从  $11 \text{ m} \times 17.5 \text{ m}$  到  $41.0 \text{ m} \times 20.25 \text{ m}$  不等。沉箱和地面之间的最大间隙约为 65 cm,如图 8、9 所示。注浆混合物的初始凝固时间不小于 13 h,最大填充空间为  $672 \text{ m}^3$ 。

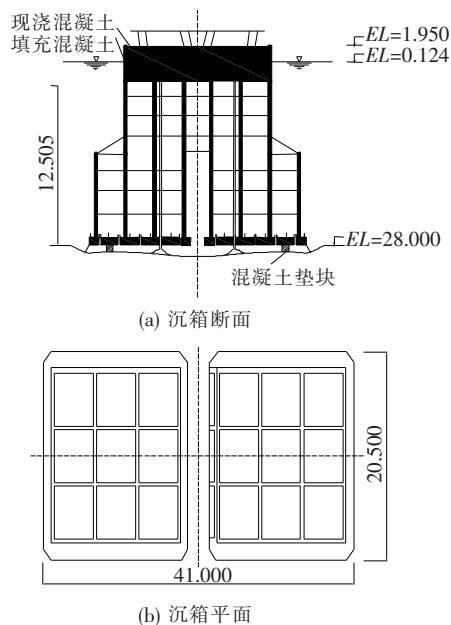


图 8 沉箱断面及平面(编号 LOT2-P5)(单位:m)

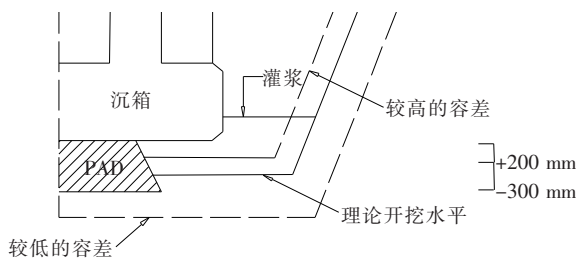


图 9 沉箱下注浆的横截面

### 3.2 多点喷射系统

该工程提出的注浆系统,克服了既有注浆方法(如离析法和施工延迟法)的局限性。在新系统中,注入是在几个点上同时完成。为了成功地在初凝时间内完成大量的注浆任务,将具有多点注浆能力的注浆船与成批生产船相结合。注浆船配备有振动筛、配浆机、搅拌器、软管泵、吊车、发电机和多根配浆管。将配料船准备的浆液通过一个孔转移到注浆船。将输送的浆液通过振动筛进行分配,再输送到搅拌器中。最后,通过软管泵、多分配器和喷射器来填充沉箱与地面之间的空间。

### 3.3 注浆实时监控系统

在全尺寸试验的基础上,开发了一种采用填充传感器和温度传感器的新型输入控制系统。该系统能够实时监控注浆和自流平的状态。此外,还可以通过无线通信在办公室和外地进行监测。使现场工程师能够决定施工是继续还是停止。

### 3.4 建设

图 10 为多点同步注浆顺序。在与沉箱底部相同深度处,在每个通气孔的底部都安装了两个填满液位传感器和一个温度计。如图 10(b)所示,在距离沉箱底部 20、10 cm 处分别安装了两个额外的填土液位传感器,以监测填土状态。

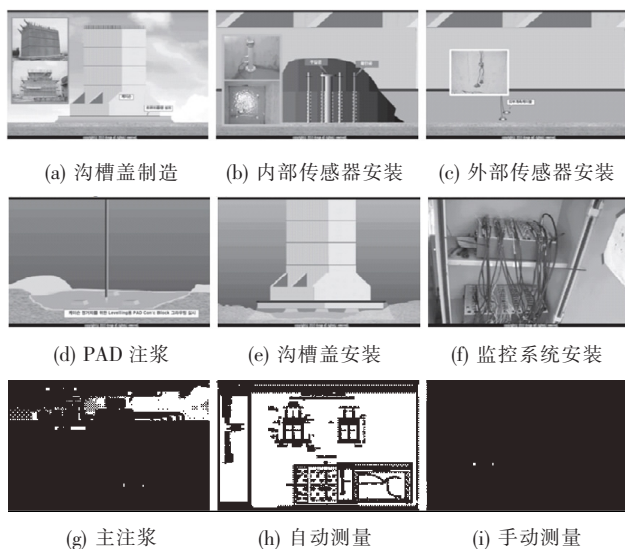


图 10 砂浆注浆顺序

在现场注浆过程中为防止沉箱边注浆受到侵蚀和渗漏,在沉箱边加装了沟盖以减小海流的影响。用吊车(在注浆驳船上安装)插入 10 cm 的注浆管。浆液由配料船的吊杆小心地输送,没有隔离到搅拌器的上部

筛管。注浆通过软管泵从沉箱中心注入到沉箱边缘,压力为 50~300 kPa。充填高度由沉箱外部的充填水平传感器和潜水员进行目视检查。充填率由检测孔和排气孔的自动监测系统进行检测。结果证实,所有的传感器都工作迅速,目测浆液分布均匀,偏移 3 cm。此外,没有观察到离析,意味着沟槽盖工作正常。

### 3.5 新注浆方法的验证

压浆过程中电压随时间的变化如图 11 所示。注浆液位传感器与注浆接触后电压下降。温度传感器的电压升高。从双传感器确定了注浆完成的准确时间。这些结果与手动测量较为一致。

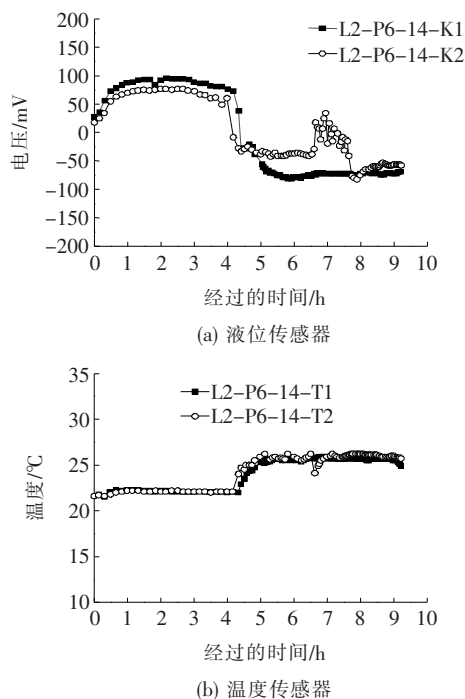


图 11 自动测量结果

对 23 个沉箱自建成以来的沉降量进行了测量,沉降量均在 5 mm 以内。由此可见,新型注浆系统具有良好的适用性。

## 4 结语

为了评价水泥浆的流动性、自流平性、水泥浆的离析性、抗压强度和沟瓣的性能,在韩国釜山—巨济跨海大桥进行了一系列的大型现场试验。

通过室内试验和全尺度模型试验,验证了多点同步注浆法的适用性。结果表明:多点同步注浆能够在初始凝结时间内容纳大量浆液。沟槽盖使用土工织物防止注浆损失非常有效。另外,利用温度传感器和填