

上海软土冻结加固冻胀防治技术的模拟试验研究*

吕善国,岳丰田

(中国矿业大学 建筑工程学院,江苏 徐州 221008)

摘 要 结合上海地铁建设工程实际,采用模拟试验的方法,分别对预留管拔除法和热盐水循环法抑制冻胀的机理、防治冻胀的效果以及影响冻胀的相关因素进行综合分析和试验研究,从而为上海软土冻结加固冻胀的防治提供了理论依据和有关的参考数据。

关键词 冻胀;防治技术;模拟试验

中图分类号:TU445

文献标识码:A

文章编号:1671-532X(2005)01-0056-04

众所周知,土层的人工冻结过程,伴有明显的冻胀现象。对于煤矿井筒或其它一些野外冻结工程,冻结对周围土体的影响不甚重要。但在城市中施工则不同,地铁车站、隧道等一般都位于繁华地段。由于冻胀作用,势必对周围土体在一定范围内产生影响,危及建筑物和管线的安全。

目前,国内许多学者对冻结过程中冻胀的产生机理做了许多研究^[1],但对城市软土冻结工程冻胀防治技术的研究却少见。为了填补这一空白,本文结合上海地铁建设工程实际,采用模拟试验的方法,分别对预留管拔除法和热盐水循环法抑制冻胀的机理、防治效果及其影响因素进行综合分析研究,为软土冻结加固冻胀的防治提供了理论依据和有关的参考数据。

1 原型工程简介

原型工程为上海市地铁一号线上体馆车站与明珠线二期上体场车站的换乘站“U-U”型水平冻结施工。该换乘站结构由并列的上行线隧道、换乘通道和下行线隧道三部分组成,横截面尺寸高约 5.8 m,宽 21.45 m。换乘长度 21.7 m。换乘顶板标高 -10.08 m,底板底标高为 -15.82 m。换乘段之顶板即是一号线上体馆站的底板,其上方地面为立交桥。该区的地质状况大致为:换乘段开挖的土层为④₂ 层砂质粘土夹粉质砂土,含水

量 32.2%,渗透系数大,属于强冻胀土层,层厚约 4.82 m。该土层的上方为厚约 9.37m 的④₁ 的灰色淤泥质粘土,下方为⑤₁₋₁ 粘土厚约 4.32 m,均属于强冻胀土层,其冻结过程中将伴随有较大的冻胀力和冻胀变形。为了防止冻胀使一号线地铁车站底板产生较大的变形,必须严格做好冻胀的防治工作。为此,对冻胀防治技术的模拟试验研究就显得尤为必要。

2 冻胀防治技术的模拟试验

2.1 模拟设计

以温度场相似为基础的冻结模拟试验诸多影响因素中,长度、时间、温度、热量和质量等为基本物理量,其它为导出量。根据函数式和 π 项式,可得到几个主要相似准则^[2]:

① 几何缩比:

现场冻结管直径 $\phi 108$ mm,模型冻结管直径 $\phi 14$ mm, $C_1 = \frac{108 \text{ mm}}{14 \text{ mm}} = 7.714$ 按 C_1 设计冻结系统

② 温度准则:

根据柯索维奇准则:

$$K_0 = \frac{Q}{tc} = \frac{Q'}{t'c'} \quad \text{即} \quad \frac{C_Q}{C_t C_c} = 1$$

其中: Q - 岩土释放潜热; t - 温度; c - 比热。

由于模型试验用的土与原模型一样, C_Q 、 C_c

* 收稿日期 2004-10-15

作者简介:吕善国(1978-),男,江苏盐城人,中国矿业大学硕士研究生,主要研究方向为城市地下工程人工冻结方案设计与施工监测。

均等于 1 ,所以 $C_l = 1$,即模型各点与原模型各点相应温度值相等。

③ 傅立叶准则：

$$F_0 = \frac{\alpha \tau}{l^2} = \frac{\alpha' \tau'}{l'^2} \quad \frac{C_\alpha C_\tau}{C_l^2} = 1$$

其中： α —导热系数； τ —时间； l —距离。

因为 $C_\alpha = 1$,所以 $C_\tau = C_l^2 = 7.714^2 \cong 59.51$,即模型试验 1 个单元时间过程相当于原模型 59.51个单元时间过程。

④ 应力相似准则：

$$\pi = \frac{E}{\sigma} = \frac{E'}{\sigma'} \quad \frac{C_l}{C_\sigma} = 1$$

由于取原型土 ,其弹性模量相等 ,所以原型与模型相应点应力相等。

2.2 模拟试验台

模拟试验采用单一“U”型 ,根据模拟试验台的工作目的和功能要求 ,试验台由箱体构架、加载系统、冻结工作系统和测试系统组成。

2.2.1 箱体构架

箱体构架是试验台的主骨架 ,呈长方体 ,长 2.4 m ,宽 1.2 m ,高 1.2 m ,顶部敞口 ,为模拟现场周围环境对冻土变形的约束 ,还设计反力架加载装置 ,见图 1。

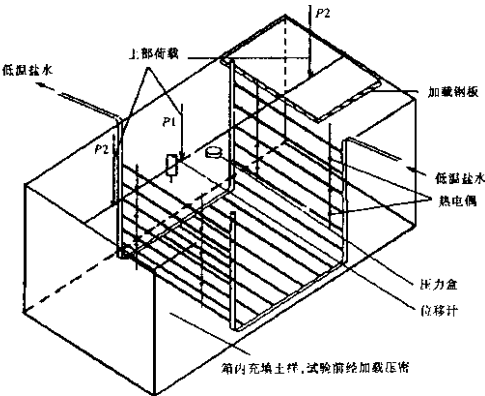


图 1 模拟试验系统及测点布置示意图
Fig.1 the system of simulative experiment and the lay of monitoring spots

2.2.2 加载系统

加载通过 300 t 反力架及 50 t 千斤顶加载。采用千斤顶分步、分区加载。将试验台分为中部和两侧 ,两侧加载 $0.8 \sim 1.3 \text{ kg/cm}^2$,中间部分加载 $0.4 \sim 1.0 \text{ kg/cm}^2$ 。以模拟现场周围土层对冻土变形的约束。

万方数据

2.2.3 冻结工作系统

实验中采用常规人工制冷技术 ,低温盐水制冷机组制备低温盐水(CaCl_2 溶液) ,通过冻结器在模拟试验台的土层中循环使之变成冻土。制冷设备采用 F-6.5 型活塞式压缩机 ,制冷工质为氟利昂(R22)。

2.2.4 测试系统

本实验测试系统由温度测试、位移测试和压力测试 3 部分组成。

2.2.4.1 温度测试

温度传感器为热电偶 ,二次仪表选用澳大利亚生产的 DATATAKER 数据采集器和微机接口形成数据自动采集和微机分析处理的自动检测系统。试验共布设 12 个测点(见图 1) ,采集精度 $0.01 \text{ }^\circ\text{C}$,采集频率设定为 1 次/10 min。

2.2.4.2 位移测试

位移测试采用电阻式位移计。4 个位移计用磁性插座固定在模拟实验箱的箱体上 ,分别测量冻土体内部的冻胀变形和模拟箱上盖钢板的向上或向下位移。二次仪表选用 YJ-26 型多点静态电阻应变仪。

2.2.4.3 压力测试

通过埋入土体的 TYJ20 钢弦式土压力计了解冻结过程中土体的冻胀力发展情况。二次仪表选用 ZXY2D 型钢弦式频率接收仪。

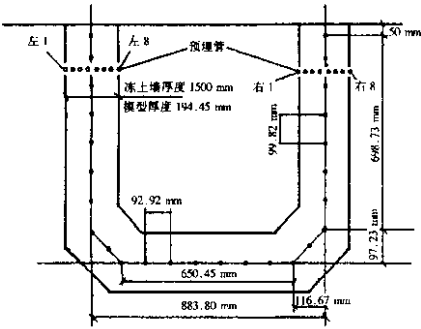


图 2 预留管布置图
Fig.2 the lay of the pipes installed ahead

2.3 预留管拔除法模拟试验

2.3.1 试验原理

随着冻土墙的形成和发展 ,逐步抽出预留管 ,其形成的空间将吸收冻土变形 ,以减少冻土向上的冻胀量 ,减低冻胀力。预留管布置如图 2。

2.3.2 抽出预留管和无预留管措施的冻胀情况对比见表 1

环能够有效的控制冻土的边界 ,同时也不会使冻土墙内部的温度升高 ,保证了冻土墙强度。

3 结语

(1)从模拟的结果来看 ,在实际冻结施工中采用预留管拔除法和热盐水循环法能够有效的控制冻胀的发展 ,起到保护一号线车站底板的目的。

(2)全拔除预留管的冻胀量和部分拔除预留

管的冻胀量较未采取措施的冻胀量分别减少了 64.4% 和 25.3%。预留管拔除的时间应选在冻土交圈前后。

(3)热盐水循环不会降低冻土墙强度。在循环时间和热盐水温度相同的情况下 ,当热盐水流量达到 $0.828\text{ m}^3/\text{h}$ 时 ,继续增加盐水流量对抑制冻胀影响不大。

参考文献 :

- [1] 徐学祖 ,何平 ,张建明 .土体冻结和冻胀研究的新进展 [J]. 冰川冻土 ,1997 ,19(3) :280 - 283.
- [2] 崔广心 .相似理论与模型试验 [M]. 徐州 :中国矿业大学出版社 ,1990.

Simulative Experiment of Technique for the Prevention and Cure of Frost Heave in a Soil Frozen Stabilization in Shanghai

Lü Shan - guo ,YUE Feng - tian

(College of Architecture and Civil Engineering ,China University of Mining and Technology ,Jiangsu Xuzhou 221008 ,China)

Abstract In the light of the practice of Shanghai subway project , using the simulative experiment , this article describes the correlative theories , results of application and the correlative influence with the methods by means of drawing the pipes installed ahead and cycling the hot saltwater. And it also provides a theoretical base and correlative data for the prevention and cure of frost heave in a soil frozen stabilization in Shanghai.

Keywords frost heave ; technique of prevention and cure ; simulative experiment