某开口悬臂支护事故处理及计算建议

陈正光
（温州市建设工程质量监督站，　温州，325000）

提　要　本文针对开口悬臂支护事故的处理，提出其设计及计算的建议

温州某开口悬壁支护结构在挖土过程中突然内移并危及工程桩，造成工期和费用较大损失。笔者直接参与了该事故处理，经加固后顺利地完成施工任务，现已投入使用。因加固效果良好，故将加固情况介绍如下，并提出开口端支护设计时，几种组合支护的补强计算的建议，作为同行们参考。

一　工程概述

该工程位于车站大道，平面呈八字形，高十三层，地下室一层。基坑开挖深度 5.65m，地下室的地梁埋深 0.7m，北侧在暗塘之上，素填土达 3.5 米，整个场地淤泥层厚约 25m。

地质条件如下：

数	土类型	层　厚	平均层厚(m)	容重 γ (kN/m³)	Φ(°)	C(kPa)
①	填　土	0.3~1.6	0.85	19.0	9.1	20
②	淤　泥	13.7~14.9	14.3	15.7	3.4	9
③	淤　泥	8.4~11.2	9.80	16.4	4.2	11

为节省费用，支护设计成开口型，分两个施工段。第 I 施因场地空旷采用放坡（1：1.5）开挖；第 II 施工段因离道路较近、管线多而采用Φ600@750，长 10.8m 的钢筋混凝土钻孔灌注桩支护，外加一排 Φ600 水泥搅拌桩止水帷幕，支护平面总长为 68m，详见图 1。支护桩的设计实际施工及配筋见图 2。

二　基坑开挖情况

第 I 施工段放坡开挖时，天气好，开挖进展顺利，使第 I 施工段土建结构按时完成，未出现任何事故征象。继而进行第 II 施工段的土方开挖，开挖在支护开口端开始(1997 年 12 月底)，采用一控到底的方法，当即发现支护桩及附近的工程桩向基坑内侧有不同程度的倾斜，支护桩的水平位移速率达每小时 30mm。因施工外侧挖土卸荷及管井降水，在支护内侧采用临时加撑和堆放砂包等综合措施，至 1 月底支护桩和工程桩的位移终于稳定下来。经测量，支护桩向内及开口端两方向的位移最大为 102cm，工程桩(空心予制桩)最大水平位移

为 70cm,支护桩外侧未挖土体最大垂直下沉为 60cm,放坡开挖部分的土体也产生滑移，土坡上有三条宽为 20-50mm 的水平通裂,采用卸土减荷,至使坡度改变为 1：4 左右,才趋稳定。

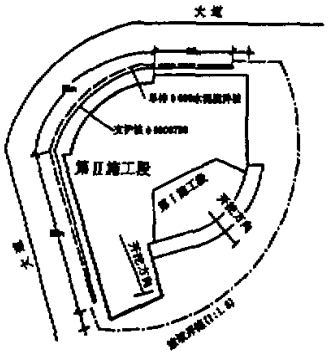
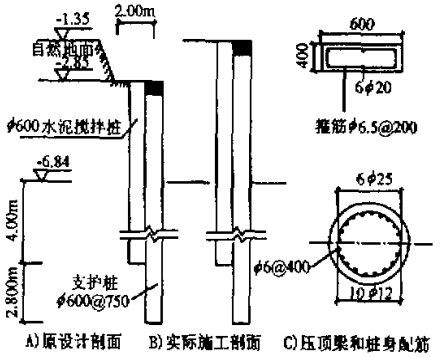


图 1 支护平面布置图



A)原设计剖面 B)实际施工剖面 C)压顶梁和桩身配筋
图2 基坑剖面及支护桩的配筋

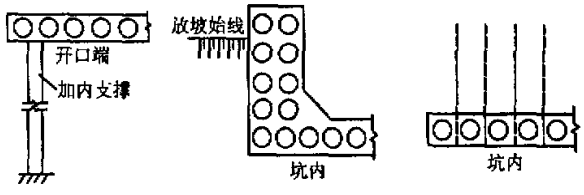
三 事故分析

1. 设计原因

查阅原设计计算书，按悬臂梁设计，采用等效摩擦角，据主、被动土体平衡求得桩长 0.8m，最大弯矩 M_{max}=349kN·m/m,又根据等效矩形形法计算配筋,得 φ600@750,8 φ25,而实际配筋为 8 φ25+10 φ12,在计算中未发现变形计算,这与 JGJ120-99 规程 3.1.4 和 3.1.6 条文不符,特别是对于开口端的支护计算未作任何试算或构造上的加固措施。

2.对场地勘察不详细，与规程 3.2.5 条不符,因而对周围的管线污水管、暗塘等未引高度的重视,而支护最大位移处正是预埋自来水管的交接处。

3.开口端无构造措施也是造成事矿的重要原因之一,现在支护设计都按平面问题计算,但在开口端处受边界条件影响,不能按平面问题计算,在目前计算问题尚未解决前,应该采用构造措施解决,如利用第 I 施工段建筑物作为支撑的支点;也可以采用局部加强的方法,如在开口端垂直方向增加若干组排桩或锚杆或土钉和开口端支护桩组合的加强方法(见图 3)：



A)开口增加内支撑 B) 开口端垂直方向加排桩 C) 锚杆或土钉补强
图3 开口端局部加强示意图

4. 施工上的原因

(1)施工上最关键的问题在于未能按图施工，在支护桩桩顶附近宽 2m 深 1.5m 范围内

不仅未预先卸土,而且将第 I 施工段开挖的土堆在该处,使得该处的实际荷载大大超过了设计值。

(2)开挖方向和开挖速度对支护工程来说是很重要的，如本工程第 II 施工在支护的开口端一开始就一次挖到底，与规程 3.7.4 条分层开挖的规定不符,开挖速度过快,如果选择由园弧段开始向两侧开挖,或沿深度方向分二层开挖的话,就有可能不发生事故或至少事故不那么严重。

(3)放坡段的土体开裂，是由于放坡开挖后及事故的出现，斜坡暴露时间过长所致。

四　处理措施

1. 支护外侧降水

经现场测试，ϕ800 的管井，日渗水量为 60cm 高，暗塘两口井涌水量为每小时 1m 深，位于暗塘部位，每小时达 30cm 深，可见渗水量相当可观，由于温州没有井点降水的设备，故采取人工挖孔，竹笼护壁，井深至基坑底下 2m，井点间距为 7m，实施后，对阻止围护桩的位移发展起了主要作用。

2. 加设内支撑

加设支撑是控制支护变位的重要措施，从本工程实际发，在原支护桩外侧卸土并对护桩作一定的纠编后，采用了钢支撑(ϕ500 壁厚 10)三道，间距 104m(见图 4)。

3. 分段分层开挖

在上述处理的措施基础上，再将整个第 II 施工段分为个小施工段，并分层开挖。

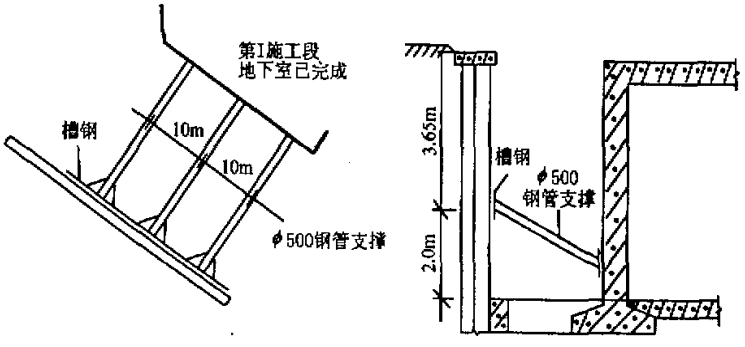


图4　加设的内支撑

经上述一系列加固及施工方法等综合措施后，基坑开挖才得到了保证，使后续施工得以顺利进行。

五　悬臂支护开口端补强的计算建议

开口悬臂排桩支护结构在开口端需要补强加固，补强计算目前仍在探索之中，因此笔者根据开口悬臂支护事故的现场观察，发现受破坏的水平长度一般为开挖深度 h 的 2.5~3.0 倍,故对开口端补强计算作如下的考虑。

1. 利用内支撑或描杆补强开口端的计算

采用单层内支撑时，取受荷宽度为 $1.5h$(h 为开挖深度)

①嵌固深度位置 h_d 仍按原悬臂支护(即规程 4.1.1-1)计算;

②弯矩零点位置 h_{c1} 按规程(4.1.1-2)式计算,即 h_{c1} 由下式确定:$e_{ak}=e_{pk}$ (1)

③支点力 T_{c1} 按下式计算：

$$T_{cl}=\frac{h_{a1}\Sigma E_{ac}-h_{p1}\Sigma E_{pc}}{h_{t1}+h_{c1}} \tag{2}$$

式中：ΣE_{ac}、ΣE_{pc} 分别为 $1.5h$ 宽度内坑外各土层水平荷载标准值合力之和、坑内各土层水平抗力的标准值的合力之和。

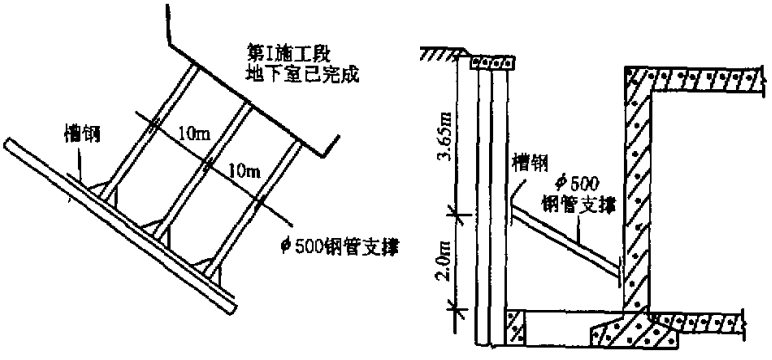


图 5　加设的内支撑

以上式中符号除说明外，均参照 JGJ120-99 规程或图 5，支撑计算按照规程要求。

2. 若采用锚桩补强时，则在 $1.5h$ 范围内布置，锚杆的根数及其总水平受力需等于或大于 T_{c1}，即 $T_{c1}\leqslant N_{ub}\cos\theta$,其中 N_{ub} 为锚杆轴向受拉承载力标准值,θ 为锚杆与水平面的倾角。因为是补强,故 T_{c1} 仍按标准值计算。

3. 利用土钉补强开口端的计算

利用若干离散的土钉加强开口端，采取适当的连接构造措施，也是一种有效的局 部加固措施。加强计算的范围也建议在开口端支护内 $1.5h$ 范围，同时土钉应均匀布置在支护上口部位以发挥有效作用。

单根土钉抗拉承载力建议利用规程（6.1.4）式并取标值，

即：　$T_{uj}=\pi d_{uj}\ \Sigma q_{sik}、L_i$ (3)

所有土钉抗力标准值对弯矩零点的力矩应大于或等于各土层荷载及抗力对弯矩堆点的力矩，即：

$$\Sigma T_{uj}\,.\,h_{uj}\geqslant h_{a1}\Sigma E_{ac}-h_{p1}\Sigma E_{pc} \tag{4}$$

上述式中 d_{uj}–第 j 根土钉直径

q_{sik}-JGJ120-99 规程表 6.1.4 极限摩阻力标准值

L_i-第 j 根土钉在第 i 层稳定土体内的长度

h_{sj}-第 j 根土钉到弯矩零点的距离

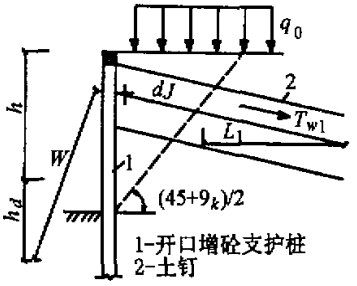


图6 土钉局部补强计算简图

六 结束语

支护设计和施工是深基坑工程非常重要的一环节，特别对于开口支护来说，目前尚未有成熟的计算方法，有待继续探索，但在开口端必须采取可靠的构造措施；对于开口端补强计算的建议供大家参考。在深基坑开挖时，必须要分析可能出现的事故，安排合理的施工方法和开挖速度，在开挖前要作好紧急处理措施的准备工作。要按照JGJI20-99 规程 3.7 节开挖的要求,进行开挖,尽量避免支护事故的发生。

参考文献

[1] 中华人民共和国行业标准：《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120-99)，1999。

[2] 杭州市建筑业管理主编：《深基础工程实践与研究》，北京，中国水利水电出版社，1999。