

某地下车库上浮事故鉴定分析与处理

刘 勇¹, 梁玉国^{1,2}

(1. 河北省建筑科学研究院 天津分院, 天津 300384; 2. 河北省建筑科学研究院有限公司, 河北 石家庄 050000)

摘要:上浮导致的结构损伤会降低结构的使用寿命,甚至会影响结构的整体安全,因此对上浮事故的分析与处理具有重要意义。某地下车库受暴雨影响发生局部上浮事故,为了解上浮事故对车库结构的影响,文章对事故现场的基本情况 & 工程相关资料进行了调查并对主要构件的损伤及变形情况进行检查。根据现场调查结果,分析了引起车库上浮的原因及车库内结构构件的损伤机理。根据检查及分析结果,分别对车库上浮及构件损伤针对性的提出了相应的加固处理措施。最终处理结果表明:本文采取的加固措施可以有效保证车库的安全及正常使用。本文结果可为同类工程提供参考。

关键词:地下车库;上浮;原因分析;损伤机理;处理措施

中图分类号:TU926

文献标识码:A

文章编号:1673-8993(2024)08-0079-06

doi:10.13402/j.gcjs.2024.08.110

Identification analysis and treatment of a floating accident in an underground garage

LIU Yong¹, LIANG Yuguo^{1,2}

(1. Tianjin Branch of Hebei Academy of Architectural Sciences, Tianjin 300384, China;

2. Hebei Academy of Architectural Science Co., Ltd., Shijiazhuang 050000, Hebei, China)

Abstract: Structural damage caused by uplift will reduce the service life of the structure, even affect the overall safety of the structure, and it is of great significance to the analysis and treatment of floating accidents. Local floating accident was happened in an underground garage affected by rainstorm. In order to understand the influence of floating accident on garage structure, the basic situation of the accident site and relevant engineering data were investigated, the damage and deformation of structural members were checked. According to the field investigation results, the causes of the floating of the garage and the damage mechanism of the structural components in the garage were analyzed. Based on the inspection and analysis results, corresponding reinforcement measures were proposed for the floating and damaged components of the garage. The final treatment results showed that the reinforcement measures adopted in this paper can effectively ensure the normal use and safety of the garage. Through the analysis of the actual cases, the analysis and treatment methods of the floating accidents were briefly described, which can provide reference for similar projects.

Key words: underground garage; floating; causes analysis; damage mechanism; treatment measures

随着城市建设的发展及经济生活水平的提高,在规定的规划区域内,地面空间的利用已经几近饱和,对地下空间的探索及开发利用要求越来越高。由于能够充分合理地利用地下空间,大面积

的地下车库得到了广泛应用。根据场地特征及地下车库埋深的不同,大量地下车库基础埋深位于地下水位线以下,需要考虑到地下水浮力对车库的影响。建筑物基础的抗浮计算在相关规范中已

收稿日期: 2023-11-16

作者简介: 刘 勇(1988—),男,工程师,从事结构鉴定与加固工作。

做出明确规定,在设计的工作下,一般均可满足抗浮稳定性要求,不会发生上浮事故。但是,施工环境和施工过程远比设计工况要复杂且多变,在施工过程中或者主体结构竣工后,由于种种原因可能导致地下车库发生上浮事故。地下车库上浮会导致车库结构出现一定的损伤,轻者出现构件开裂现象,影响结构的使用功能,降低结构的使用寿命,严重的会造成主要结构构件失去承载能力,从而影响结构的整体安全。

为了保证地下车库使用功能及整体安全,大量的学者及相关工程技术人员围绕着如何预防、分析及处理地下车库上浮事故展开了大量的研究与实际应用。黄广华等^[1]以某一上浮事故为案例,介绍了此类项目检测鉴定的方法,以沉降观测数据为依据结合计算,分析了地下车库上浮的原因。卢著辉等^[2]针对某一地下车库上浮事故,分析了结构的破坏机理,指出车库构件的损坏为剪切破坏。付占明等^[3]详细介绍了某地下车库上浮特殊事故的现场检测、抗浮稳定验算、加固处理的方法,总结了防止地下车库上浮的有效措施,并拓展论述管理、设计、施工、监理等部门应注意的问题。

本文结合某一地下车库上浮事故工程实例,通过对其现场情况的调查及损伤检查,分析上浮事故发生的原因及主要结构构件的损伤机制,并针对性地提出了处理办法,希望能够为类似工程提供借鉴。

1 工程概况

某地下车库位于辽宁省沈阳市,设计结构形式为地下一层钢筋混凝土板柱-剪力墙结构,基础形式为筏板+下柱墩。建筑平面呈长条形分布,总体尺寸为 181.2 m×37.6 m(长×宽),建筑层高为 3.4 m,室内净高为 3.1 m。顶板厚度为 300 mm,筏板厚度为 400 mm,柱截面尺寸分别为 400 mm×500 mm、400 mm×600 mm。主要构件混凝土强度等级均为 C35。结构安全等级为二级,结构抗震设防类别为丙类,地基基础设计等级为丙级。该地下车库顶板覆土顶面标高为 53.6 m(黄海高程),覆土厚度为 1.8 m,车库顶板顶面标高为

51.8 m,底板地面标高为 48.4 m。设计抗浮水位为 50.0 m,相对室外地坪-4.6 m,地下车库底板位于设计抗浮水位以下,板底相对室外地坪为-5.6 m,地下车库结构剖面如图 1 所示。

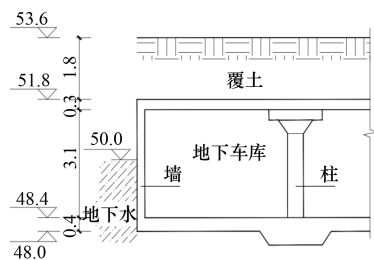


图 1 地下车库结构剖面 m

该地下车库共有 3 个标段,开工时间为 2021 年 8 月,竣工时间为 2021 年 11 月。截至 2022 年 8 月,该地下车库一标段 1-19×A-F 北侧 F-H 区域顶板已完成覆土工作,南侧 A-F 区域尚未覆土,覆土区域详见图 2 中阴影范围。

2022 年 8 月雨季期间,连续降雨导致地下水位上移,降雨期间,由于未采取有效降水措施,导致地下水瞬时水位达到 50.2 m。未覆土区域地下车库上浮,导致车库内主要混凝土构件存在不同程度的损伤及裂缝。为保证该车库安全正常使用,需要对该车库进行鉴定分析并采取措施进行加固处理。

2 现场调查及检测

为全面了解上浮事故引起的车库结构的损伤,并为分析上浮原因、损伤机理以及加固设计提供依据。现场对场地条件进行了调查,并对结构变形、构件损伤以及构件的材料强度和构件尺寸进行了详细检测。

2.1 地质资料调查

根据专业勘察单位提供勘察报告可知,拟建场地原始地貌单元为河流冲积平原,地势相对较为平坦。场地内分布的地层主要有耕植土层、第四系冲击层。与该工程相关的地层结构自上至下分布如表 1 所示。

根据勘察期间钻孔揭露情况,各钻孔均遇见地下水,主要为赋存于第四系粘性土层中的上层滞水类型,主要受大气降水及地表水补给,水量一般。勘察时,测得其初见水位埋深 1.40~4.10 m,稳定

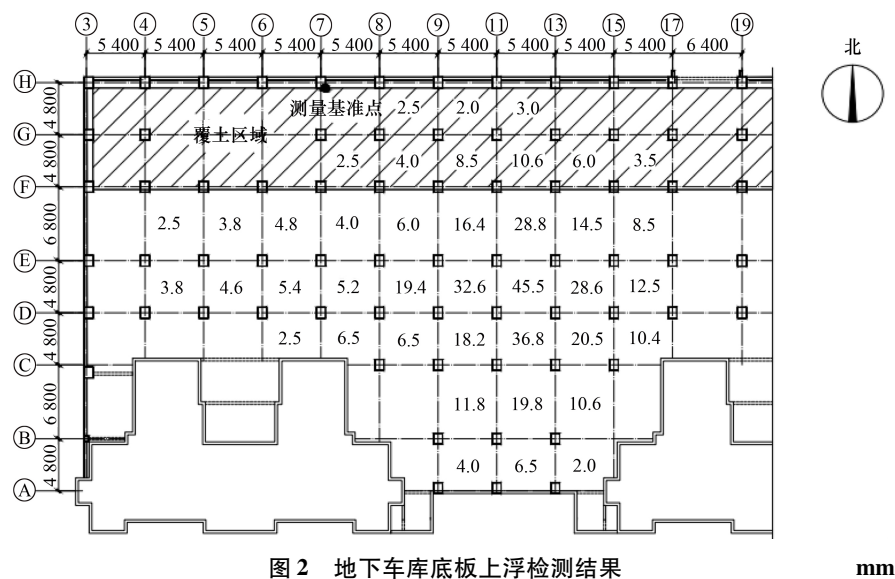


图 2 地下车库底板上浮检测结果

表 1 地层结构及分布特征

地层编号	层厚/m	层底标高/m	土层描述
人工填土①	0.50 ~ 5.50	48.28 ~ 50.86	黄褐、灰褐色, 稍湿 ~ 湿, 结构松散, 土质密度不均匀。
粉质黏土②	0.70 ~ 4.50	46.19 ~ 50.16	黄褐、灰褐色, 刀切面有光泽, 稍湿 ~ 湿, 可塑状态。
粉质黏土③	0.80 ~ 8.10	41.32 ~ 46.47	灰黄、灰 ~ 灰黑色, 刀切面稍有光泽, 湿 ~ 很湿, 软塑状态。
粉质黏土④	1.90 ~ 14.70	30.68 ~ 41.36	黄褐色, 刀切面稍有光泽, 湿, 可塑状态。

水位埋深 0.70 ~ .7. 40 m, 相当于标高 46.57 ~ 49.51 m, 据此, 确定该厂区抗浮水位标高按 50.00 m 考虑。

2.2 相对高差检测

为了解该地下车库上浮程度, 现场检测上浮区域地下车库底板相对高差, 检测结果如图 2 所示。根据检测结果, 地下车库底板上浮呈两侧低中间高的“拱形”上浮趋势, 最大相对高差为 45.5 mm, 出现在未覆土区域中间位置。地下车库典型断面^[4]底板相对高差如图 3 所示。

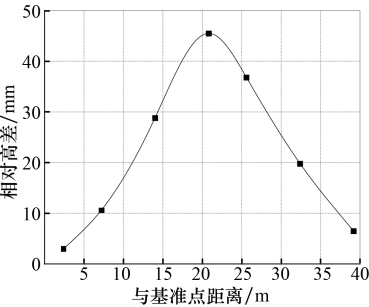


图 3 典型断面底板相对高差

2.3 构件损伤检测

经过现场对地下车库主要混凝土构件进行损伤检查, 发现地下车库上浮区域部分框架柱出现

多道沿柱身环向裂缝, 柱顶和柱底混凝土存在不同程度的混凝土压碎并伴有钢筋外露现象。最为典型的为中间区域 11 × D 位置处框架柱, 柱底混凝土严重压碎, 纵筋及箍筋严重变形, 呈“灯笼”状分布, 该柱完全失去承载能力。柱身损伤分布及典型柱破坏情况分别如图 4、5 所示。

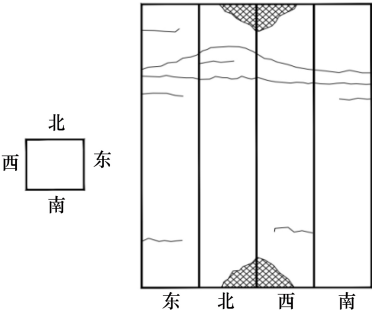


图 4 柱身损伤分布展开图



图 5 典型柱破坏情况

2.4 主要构件设计参数检测

现场对结构主要构件混凝土强度、构件截面尺寸及配筋状况进行检测。检测结果表明:构件混凝土混凝土强度满足设计要求;构件截面尺寸满足设计及相关验收规范^[5]允许偏差要求;构件纵向受力钢筋间距及保护层厚度均满足相应要求。

3 鉴定分析

3.1 上浮原因分析

取地下车库典型计算单元,依据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)^[6]第 5.4.3 条规定,按照公式(1)进行抗浮承载力验算:

$$\frac{G_k}{N_{w,k}} \geq K_w \quad (1)$$

式中: G_k 为建筑物自重及压重之和, kN; $N_{w,k}$ 为浮力作用值, kN; K_w 为抗浮稳定安全系数,取 1.05。

(1) 按设计工况,地下室建成并完成覆土。

1.8 m 覆土:

$$18 \text{ kN/m}^3 \times 1.8 \text{ m} = 32.4 \text{ kN/m}^2$$

300 mm 混凝土顶板:

$$25 \text{ kN/m}^3 \times 0.3 \text{ m} = 7.5 \text{ kN/m}^2$$

柱:

$$25 \text{ kN/m}^3 \times 0.4 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} / (5.8 \text{ m} \times 5.4 \text{ m}) = 0.4 \text{ kN/m}^2$$

柱帽:

$$25 \text{ kN/m}^3 \times 2.2 \text{ m} \times 2.2 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} / (5.8 \text{ m} \times 5.4 \text{ m}) = 2.3 \text{ kN/m}^2$$

400 mm 混凝土底板:

$$25 \text{ kN/m}^3 \times 0.4 \text{ m} = 10 \text{ kN/m}^2$$

G_k :

$$32.4 \text{ kN/m}^2 + 7.5 \text{ kN/m}^2 + 0.4 \text{ kN/m}^2 + 2.3 \text{ kN/m}^2 + 10 \text{ kN/m}^2 = 52.6 \text{ kN/m}^2$$

$N_{w,k}$:

$$10 \text{ kN/m}^3 \times (50.2 \text{ m} - 48.0 \text{ m}) = 22 \text{ kN/m}^2$$

$$G_k/N_{w,k} = 52.6/22 = 2.39 > 1.05, \text{ 满足抗浮要求。}$$

(2) 按实际情况,地下室建成未覆土。

300 mm 混凝土顶板

$$25 \text{ kN/m}^3 \times 0.3 \text{ m} = 7.5 \text{ kN/m}^2$$

柱:

$$25 \text{ kN/m}^3 \times 0.4 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} / (5.8 \text{ m} \times 5.4 \text{ m}) = 0.4 \text{ kN/m}^2$$

柱帽:

$$25 \text{ kN/m}^3 \times 2.2 \text{ m} \times 2.2 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} / (5.8 \text{ m} \times 5.4 \text{ m}) = 2.3 \text{ kN/m}^2$$

400 mm 混凝土底板

$$25 \text{ kN/m}^3 \times 0.4 \text{ m} = 10 \text{ kN/m}^2$$

G_k :

$$7.5 \text{ kN/m}^2 + 0.4 \text{ kN/m}^2 + 2.3 \text{ kN/m}^2 + 10 \text{ kN/m}^2 = 20.2 \text{ kN/m}^2$$

$N_{w,k}$:

$$10 \text{ kN/m}^3 \times (50.2 \text{ m} - 48.0 \text{ m}) = 22 \text{ kN/m}^2$$

$$G_k/N_{w,k} = 20.2/22 = 0.918 < 1.05, \text{ 不满足抗浮要求。}$$

根据抗浮验算结果,结合现场调查情况可以推断出造成地下车库上浮是由多种原因综合引起的结果。

(1) 地下车库顶板未及时覆土。根据抗浮验算结果可知,建筑物自重及上部压重直接影响着地下车库的抗浮稳定性,由于在地下车库主体结构施工完成后,未能及时覆土,导致建筑物上部压重不足,建筑物本身自重不能抵抗由地下水位上涨引起的浮力的增加,从而导致地下车库上浮,造成车库内部结构构件损伤。

(2) 连续降雨导致地下水位升高。根据现场调查了解,地下车库主体结构施工完成后,施工单位提前停止了降水,且地下车库周围并未完成回填土施工工作。在遭遇连续降雨的时候,地下水在地下车库基坑内不能有效排出,导致地下水位在短时间内连续上升,浮力逐渐增大至结构自重不足以抵抗,造成地下车库上浮。

3.2 损伤机理分析

根据现场对地下车库的相对高差检测,结合图 3 所示的典型断面底板相对高差,可以绘制地下车库受浮力影响的变形^[7]如图 6 所示。从图中可以看出,地下车库在北侧顶板覆土及住宅楼的压重约束下,相关区域未发生明显上浮现象。未覆土区域出现明显的起拱变形。此时,在覆土与未覆土交接区域、地下车库与住宅楼交接区域,由于局部压重和地下室的不均匀上浮,会导致在板柱节点位置处产

生不平衡弯矩, 在不平衡弯矩的作用下, 柱上下两端节点处发生同向弯曲, 柱两端出现偏心受压, 导致柱两端产生环向裂缝, 两端混凝土压碎。对应不平衡弯矩的为柱上下两端的附加剪力, 由于附加剪力的存在且超过柱抗剪承载能力, 导致柱发生剪切破坏, 柱身出现斜裂缝。

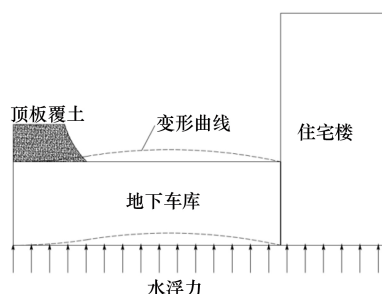


图 6 地下车库变形示意

4 处理措施

地下车库上浮事故处理方式^[8-9]可分为整体层面的抗浮处理和构件层面的损伤处理。

4.1 车库上浮处理措施

结合地下车库抗浮稳定性计算模型, 可知地下车库的抗浮稳定性就是上部压重和下部水浮力之间的关系。因此地下车库的整体上浮处理措施可以从以下 3 个方面入手。

(1) 增加上部结构压重。根据现场调查情况可知, 地下车库上浮期间, 部分顶板上部覆土尚未开始, 直接导致上部结构压重不足, 从而引起上浮。因此, 在不超过设计要求的前提下, 逐步平均的进行覆土工作, 增加结构的上部压重。

(2) 降低板底地下水压力。由于连续降雨, 导致地下水位骤增, 地下车库底板板底水压力在水头差的增加下增加较快, 从而引起明显上浮。因此采用在底板钻孔泄压的方式, 从地下车库内部排出地下水, 降低地下水压力。现场分别选取 6 处上浮高差较大的位置, 进行钻孔泄压。

(3) 地下车库外侧降水。在增加压重和室内底板的泄压的基础之上, 在地下车库外侧增加降水点持续降水, 使周围地下水位降低, 待地下水位降低至设计抗浮水位、地下车库整体结构基本回落时, 及时对车库四周进行回填。

在上述 3 种方法的配合处理下, 地下车库上浮问题得到有效处理, 车库基本回落至原位。

4.2 构件损伤处理措施

待地下车库整体上浮得到处理, 地下车库整体基本回落到原位后, 对上浮引起损伤的构件进行加固处理。

(1) 地基加固处理。待车库基本回落后, 为保证筏板与地基土紧密结合, 提高地基承载能力, 采用板底注浆的方式进行加固处理。注浆孔直径为 75 mm, 采用 32.5 MPa 普通硅酸盐水泥浆及水玻璃双液注浆, 注浆孔间距为 4 m。施工中应采用隔孔注浆方法, 严禁连片连块施工注浆。成孔应采用先外排孔后内排孔, 且间隔跳大的方法成孔, 以控制注浆时对建筑物产生的附加沉降。

(2) 裂缝处理。对宽度小于 0.2 mm 的裂缝, 采用表面封闭处理的方法进行处理。对宽度不小 0.2 mm 的裂缝, 采用压力注浆的方法进行处理。压力注浆施工时应清除表面抹灰、浮渣及松散层, 将裂缝两侧处理干净并保持干燥。

(3) 底板加固处理。对上浮区域出现裂缝的底板, 采用在板顶植筋增加叠合层的方式进行加固处理, 提高底板的承载力。

(4) 框架柱加固处理。根据框架柱的损伤程度分别采用不同的加固处理方式。

对柱身仅存在裂缝的框架柱, 采用包钢的方法进行加固处理, 加固效果如图 7 所示。包钢采用钢板及型材强度等位为 Q235B。包钢加固施工, 应剔除构件表面抹灰, 清除表面油污, 对不平整部位进行打磨。钢板安装前应进行打磨除锈处理, 安装时应保证钢板与混凝土基层之间的间隙合理。

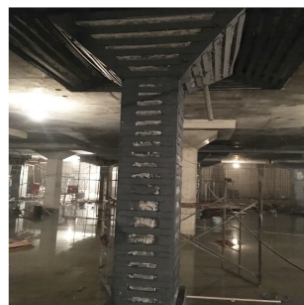


图 7 框架柱包钢加固

对柱身存在明显混凝土压碎现象的框架柱, 采用增大截面的方法进行加固处理, 加固效果如图 8 所示。为保证浇筑质量, 增大截面法采用的混凝土强度等级应比原设计强度等级提高一个标

号。增大截面加固施工,应将原混凝土构件凿毛,清楚混凝土表面灰尘并充分湿润,保证连接面的质量和可靠性。



图 8 框架柱增大截面加固

4.3 处理效果

通过采用从整体到局部、从宏观到微观的处理顺序以及对应的处理方式,该地下车库上浮问题得到有效的处理。加固完成后,该地下车库安全性及使用性均得到满足,使用过程中表现良好。

5 结 语

本文以某一车库上浮事故为案例,从现场调查、损伤检测、高差检测、上浮原因分析、损伤机理分析及加固处理措施几个方面详细的介绍了这一类事故的鉴定分析及加固方法,可为同类提

供参考。

参考文献:

- [1] 黄广华,赵云翔,王伟民,等. 地下车库上浮事故处理的检测鉴定[J]. 工程质量,2012,30(增刊2):135-136.
- [2] 卢著辉,徐正来,翁俊,等. 某地下车库上浮事故中结构破坏机理分析与加固[J]. 施工技术,2014,43(4):46-48.
- [3] 付占明,于长江. 在建地下车库上浮特殊事故分析及加固[J]. 低温建筑技术,2016,38(11):115-118.
- [4] 海明雷. 某地下车库上浮原因分析及加固处理[J]. 低温建筑技术,2017,39(7):88-90.
- [5] 混凝土结构工程施工质量验收规范:GB 50204—2015[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [6] 建筑地基基础设计规范:GB 50007—2011[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [7] 杨淑娟,牛梦娇,张同波,等. 某地下车库抗浮破坏分析及处理[J]. 青岛理工大学学报,2018,39(6):16-20;63.
- [8] 安国旗,郭治,张洁. 某地下车库上浮分析和处理[J]. 华北地震科学,2015,33(增刊1):38-42.
- [9] 王海东,周亮,曾裕林,等. 某地下车库上浮事故分析与加固处理[J]. 工业建筑,2012,42(3):154-158.

本刊编辑部版权许可声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、万方数据电子出版社、重庆维普资讯有限公司、超星学术期刊“域出版”等第三方平台在其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊编辑出版的文章。本刊不收取版面费、专家审稿费(相关著作权许可使用费与审稿费相抵,不再另行支付),对优质稿件支付稿酬。作者向本刊提交文章发表的行为视为同意上述许可声明,如有异议请来稿说明,本刊将作适当处理。