

某地下室底板上浮开裂原因及加固方法

郭新新, 杨 可, 王 迅, 刘运烁, 李维明

(青岛理正建设科技有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要:某地下室底板上浮开裂, 导致与其相连的部分挡土墙和砌体墙开裂。通过地勘资料调查、沉降监测、现场实体检测及计算分析, 总结出该地下室底板上浮的主要原因, 并对基础、混凝土构件和砌体墙分别提出了相应的加固处理方法。实践证明: 到目前为止, 地下室底板没有再发生过开裂上浮现象, 该加固方法行之有效。本文成果可为类似工程提供了较好的解决方法和处理思路。

关键词:地下室底板; 上浮开裂; 开裂原因; 模型计算; 加固方案

中图分类号: TU93

文献标识码: A

文章编号: 1673-8993(2024)09-0070-09

doi: 10.13402/j.gcjs.2024.09.124

Causes of floating and cracking of a basement floor and the reinforcement method

GUO Xinxin, YANG Ke, WANG Xun, LIU Yunshuo, LI Weiming

(Qingdao Lizheng construction Technology Co., Ltd., Qingdao 266033, Shandong, China)

Abstract: The floating and cracking of a basement floor caused cracks in some of the retaining walls and masonry walls connected to it. Through the investigation of geological survey data, settlement monitoring, on-site entity detection and calculation analysis, the main reasons for the floating of the basement floor are summarized, and the corresponding reinforcement treatment methods are proposed for the foundation, concrete components and masonry wall. So far, the basement floor has not cracked and floated again, and practice has proved that the reinforcement method is effective. The results of this paper can provide a good solution and treatment ideas for similar projects.

Key words: basement floor; floating and cracking; cause of cracking; model calculation; reinforcement scheme

近年来, 我国城市化进程发展迅速, 为充分利用地下空间, 出现了大量带有地下室、地下车库以及地下商场的建筑^[1]。然而地下室底板上浮开裂的现象时有发生^[2], 不仅影响正常的使用功能, 而且造成了巨大的经济损失。地下室底板开裂一般是由设计失误、施工质量、恶劣天气以及周边建筑施工等造成^[3-4]。常用的加固方法是先降水降压, 然后对破坏的构件进行系统加固。本文针对某地下室底板上浮开裂事故展开分析^[5], 通过加固前后模型计算结果的对比分析, 提出经

济可行的加固处理措施, 以期类似问题的分析和处理提供借鉴和参考。

1 工程概况及上浮现状调查

1.1 工程概况

某地下室所在建筑于2003年竣工, 主楼地上28层(地下二层, 埋深为8.45 m), 上部结构形式为板柱-剪力墙体系, 下部结构形式为桩基础(端承桩, 中风化花岗岩为持力层)+防水板(厚度为400 mm)。该建筑南侧有一工程(以下简称1

收稿日期: 2024-02-19

作者简介: 郭新新(1991—), 女, 工程师, 从事建筑检测鉴定工作。

号工程)在施工。该工程因原有基坑建设时间较早，止水帷幕渗漏严重，建设单位根据现场实际情况采用循环钻灌法对其进行灌浆加固处理。1 号工程的基坑与该建筑地下结构之间的最近水平距离为 7 m，两者的位置关系如图 1 所示。2023 年 1 月，1 号工程基坑开始进行基坑加固施工；2023 年 1 月 18 日，该建筑地下二层防水板出现渗水冒浆现象；根据相关人员提供的信息，防水板渗水冒浆最早开始于该建筑地下二层西南角区域。

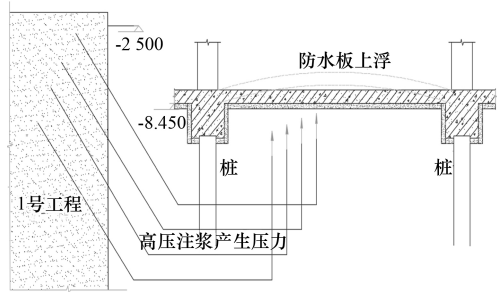


图 1 位置关系 m

1.2 上浮现状调查

现场对该地下室底板上浮后建筑现状进行了详细的检查，发现该地下室结构性损伤主要集中在地下二层西南角区域，地下二层西南角局部结构布置如图 2 所示。其中 A ~ B、① ~ ⑥为轴号。

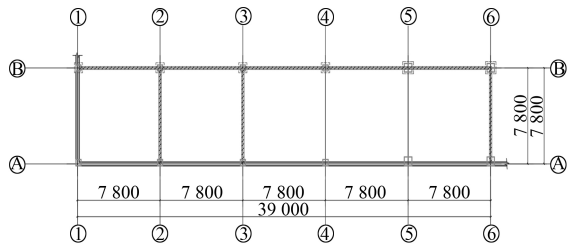


图 2 地下二层西南角局部结构布置 mm

上浮后建筑现状检查结果如下。

- (1) 地下室外墙：1) 地下二层轴 1/(A - B) 混凝土挡土墙出现多条竖向裂缝，东低西高，长度均约 1.5 m，裂缝最大宽度为 0.2 mm；2) 地下二层轴(3 - 2)/A 混凝土挡土墙出现斜向开裂现象，东低西高，现场针对裂缝已注胶；3) 地下二层轴(5 - 4)/A 混凝土挡土墙出现多条竖向裂缝。
- (2) 填充墙：1) 地下二层轴(2 - 1)/B 砌体墙开裂、墙体破坏，裂缝现状为斜向贯通，底部出现水平开裂；2) 地下二层轴 2/(B - A) 砌体墙出现横向裂缝，最大裂缝宽度为 2 cm；3) 地下二

层轴(3 - 2)/B 砌体墙出现开裂现象；4) 地下二层轴 6/(A - B) 砌体墙出现斜向裂缝，裂缝最大宽度为 0.3 cm，长度约为 2 m。

- (3) 防水板：1) 地下二层轴(3 - 2)/(A - B) 防水板起鼓开裂，裂缝最大宽度为 3 mm；2) 地下二层轴 3/B 柱根部防水板的钢筋出现外露锈蚀现象；3) 地下二层轴(3 - 2)/A 区域防水板出现钢筋外露锈蚀的现象；4) 防水板在地下二层轴 2/B、5/B 柱周边约 40 cm 处出现环形开裂，裂缝最大宽度为 0.2 cm。

- (4) 其他结构构件：1) 地下二层轴 6/B 柱表面装饰层出现竖向裂缝，裂缝最大宽度为 0.1 cm；2) 地下二层顶梁柱节点处、墙梁节点处混凝土表面平整、坚实，未出现开裂及变形现象；3) 地下 1 层及以上结构构件未出现明显的结构性损伤及变形。

竖向构件变形检测结果如表 1 所示。由表 1 可知：构件的倾斜度均小于 0.3%，未超过规范限值。

表 1 竖向构件变形检测结果 %

构件编号	倾斜度	倾斜方向
3/B 柱	0.15	东向
5/A 柱	0.17	东向
(3 - 2)/A 墙	0.20	北向
1/(A - B) 墙	0.19	北向

2 现场检测结果与原设计承载能力分析

2.1 材料强度检测

依据《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23—2011)，采用回弹法对地下室一层及二层梁、柱、剪力墙构件的混凝土抗压强度进行检测，结果如表 2 所示。由表 2 可知：地下室所抽检梁、柱、剪力墙构件混凝土抗压强度推定区间为 36.2 ~ 37.0 MPa，混凝土抗压强度等级可评定为 C35，满足原设计要求。

依据《钻芯法检测混凝土强度技术规程》(JGJ/T 384—2016)，采用钻芯法对地下室防水板混凝土强度进行检测，结果如表 3 所示。由表 3 可知：地下二层所抽检的防水板混凝土抗压强度等级可评定为 C35，满足原设计要求。

表 2 回弹法检测结果

						MPa
楼层	构件类型	强度最小值	强度平均值	强度标准差	强度推定值	修正后强度推定值
地下一层	剪力墙	40.6	42.0	0.79	40.8	37.9
	柱	40.1	41.7	1.05	40.0	37.2
	梁	40.1	41.9	1.04	40.2	37.4
地下二层	剪力墙	40.4	42.0	1.06	40.0	37.2
	柱	40.2	41.4	0.98	39.8	37.0
	梁	40.1	42.2	1.35	40.0	37.2

表 3 钻芯法检测结果

芯样编号	芯样破坏荷载/kN	抗压强度/MPa	抗压强度平均值/MPa
1	340.32	43.3	39.2
2	294.77	37.5	—
3	289.89	36.9	—

2.2 建筑倾斜度检测及沉降观测

2.2.1 建筑倾斜度检测

采用全站仪对建筑物的外墙转角处进行倾斜检测度,结果如表 4 所示。由表 4 可知:建筑的最大倾斜度为北向 0.13%,未超过建筑倾斜度的允许值,符合《民用建筑可靠性鉴定标准》(GB 50292—2015)要求。

表 4 倾斜度检测结果 %

测线	倾斜度		倾斜度平均值	
	北向	东向	北向	东向
1	-0.18	0.20	0.13	0.11
2	0.25	-0.21		
3	0.19	0.23		
4	0.25	0.22		

2.2.2 建筑沉降监测

对基坑周边的建筑物进行长期的沉降监测,

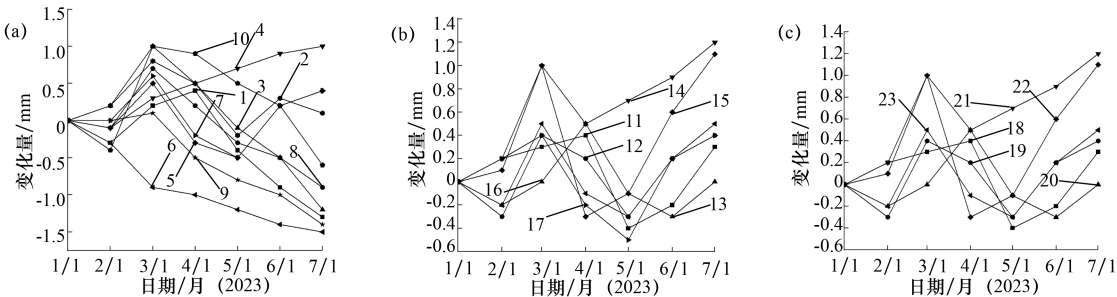
监测点位于建筑外立面,在地下室内在柱身、防水板上设置沉降观测点、墙体上黏贴裂缝观测点,监测数据汇总如图 3 所示。其中监测点 DM1~10 位于走道地面,监测点 DM11~17 位于储藏室地面,监测点 DZ1~6 位于储藏室立柱。由图 3 可知:监测点 DM1~10 累计沉降变化量为-1.5~1.0 mm;监测点 DM11~17 累计沉降变化量为 0~1.2 mm;监测点 DZ1~6 累计沉降变化量为-1.2~0.3 mm,裂缝宽度均未发生变化。

2.3 地基基础检测

经过对建筑上部结构的检查,发现建筑物主体结构未出现超限的整体倾斜,局部挡土墙和防水板存在开裂现象。经过对建筑物的长期(2023 年 1—7 月)沉降观测,沉降累积量均小于 2 mm,依据《民用建筑可靠性鉴定标准》(GB 50292—2015)的规定,建筑地基基础处于稳定状态。

2.4 原设计承载力计算分析

按照原设计抗浮水位,取自然地面下 4 m 即 0.5 m 标高,防水板底绝对标高为-3.3 m,故水深最大为 0.5+3.3=3.8 m,计算荷载为底板到抗浮设计水位的水头压力减掉防水板自重即 $3.8\times 10 -$



监测点: (a) DM1~10; (b) DM11~17; (c) DZ1~6

1—DM1; 2—DM2; 3—DM3; 4—DM4; 5—DM5; 6—DM6; 7—DM7; 8—DM8;
9—DM9; 10—DM10; 11—DM11; 12—DM12; 13—DM13; 14—DM14; 15—DM15; 16—DM16;
17—DM17; 18—DZ1; 19—DZ2; 20—DZ3; 21—DZ4; 22—DZ5; 23—DZ6。

图 3 不同监测点处的沉降变化量曲线

$0.4 \times 25 = 28$ kPa。消防水池水荷载为有利作用,模型计算中不考虑。采用倒楼盖的模型进行计算^[6],假定柱为不动支座、筏板为弹性板6。钢筋为HRB335,结构布置、构件尺寸和材料强度参照原设计图纸资料。

(1) 板顶配筋计算分析。 X 、 Y 方向板顶配筋计算结果如图4所示。由图4可知:最大计算配筋值为 $1\ 130\text{ mm}^2/\text{m}$,小于设计配筋值 $1\ 272\text{ mm}^2/\text{m}$,说明原设计配筋满足原设计抗浮承载力需求。

(2) 板底配筋计算分析。 X 、 Y 方向板底配筋计算结果如图5所示,其中红色数字为大于承台底配筋 $16\text{ mm}@100\text{ mm}(2\ 011\text{ mm}^2/\text{m})$ 。由图5可知:由于承台底有大直径桩,只需考虑承台边缘计算结果。承台边缘计算配筋范围为 $2\ 260 \sim 2\ 310\text{ mm}^2/\text{m}$,考虑调幅系数0.85,承台边缘最大计算配筋值为 $1\ 964\text{ mm}^2/\text{m}$,小于承台底配筋值,说明原设计配筋满足抗浮承载力需求。

(3) 抗冲切验算分析。根据原设计图(图6),

1[#]~3[#]承台配有抗冲切弯起钢筋,其面积为 $16\text{ mm}@100\text{ mm}$,根据角度换算成抗冲切箍筋面积,为 $20.1 \times 1.118/4 = 5.6\text{ mm}^2$,大于计算抗冲切钢筋最大值 2.6 mm^2 ,满足抗冲切承载力要求。4[#]~5[#]承台因没有配弯起钢筋,不满足抗冲切承载力要求,需要配置抗冲切钢筋。

(4) 竖向变形计算分析。地下室底板竖变形云图如图7所示。由图7可知:水浮力作用下底板最大上浮变形值为 2.7 mm 。

3 地下室底板上浮开裂分析

地下室结构布置、混凝土强度及钢筋配置等均符合原设计要求,在原设防抗浮水位(自然地面下 4 m ,即绝对标高为 0.5 m)条件下,防水板抗浮承载能力符合原设计规范标准要求。依据原竣工图,该楼的桩基础持力层为⑦层中风化花岗岩,②~⑥层均含砂土,防水板下含砂土等。

地下室的底标高为 -8.45 m (绝对标高为 $-$

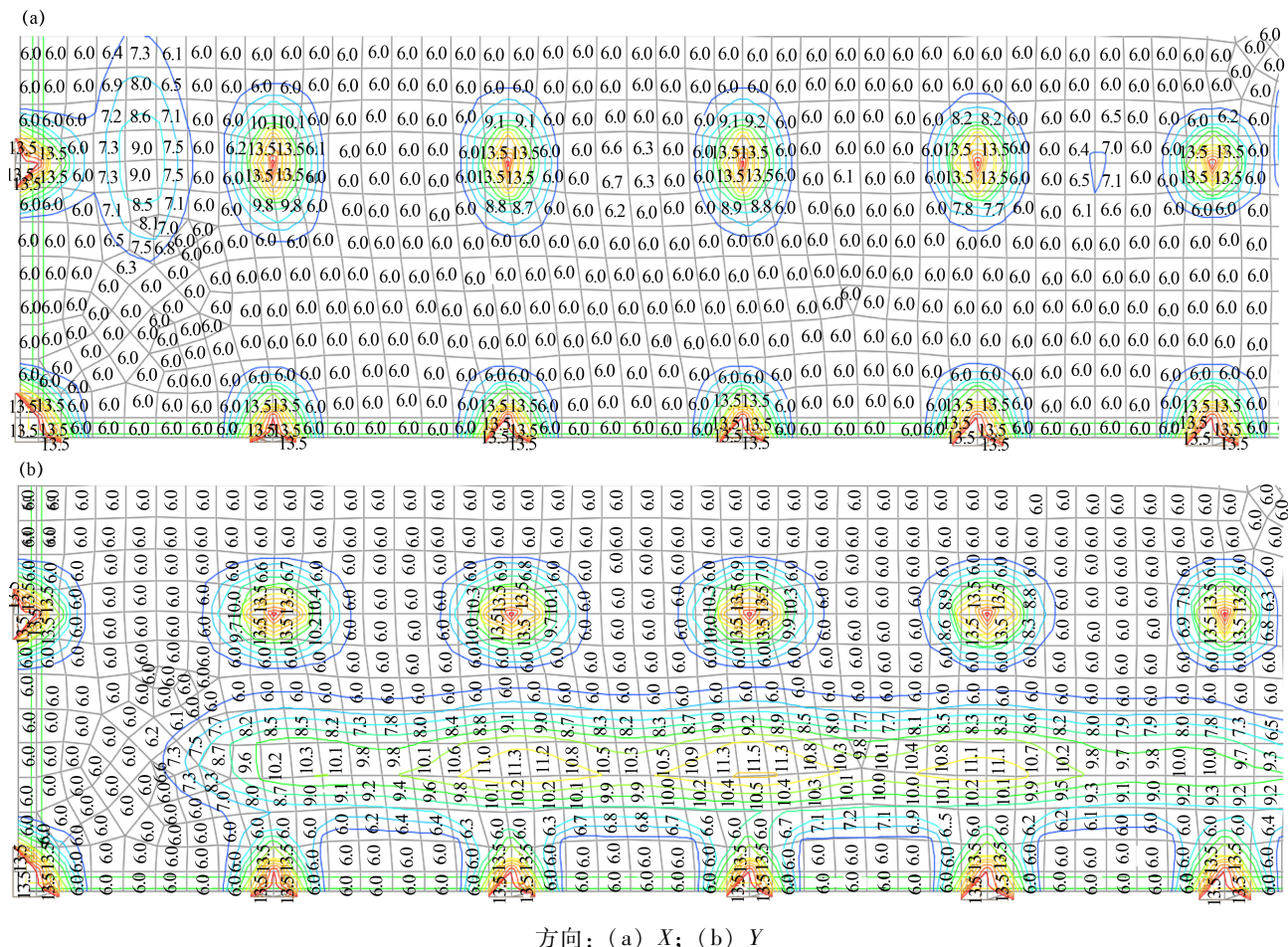
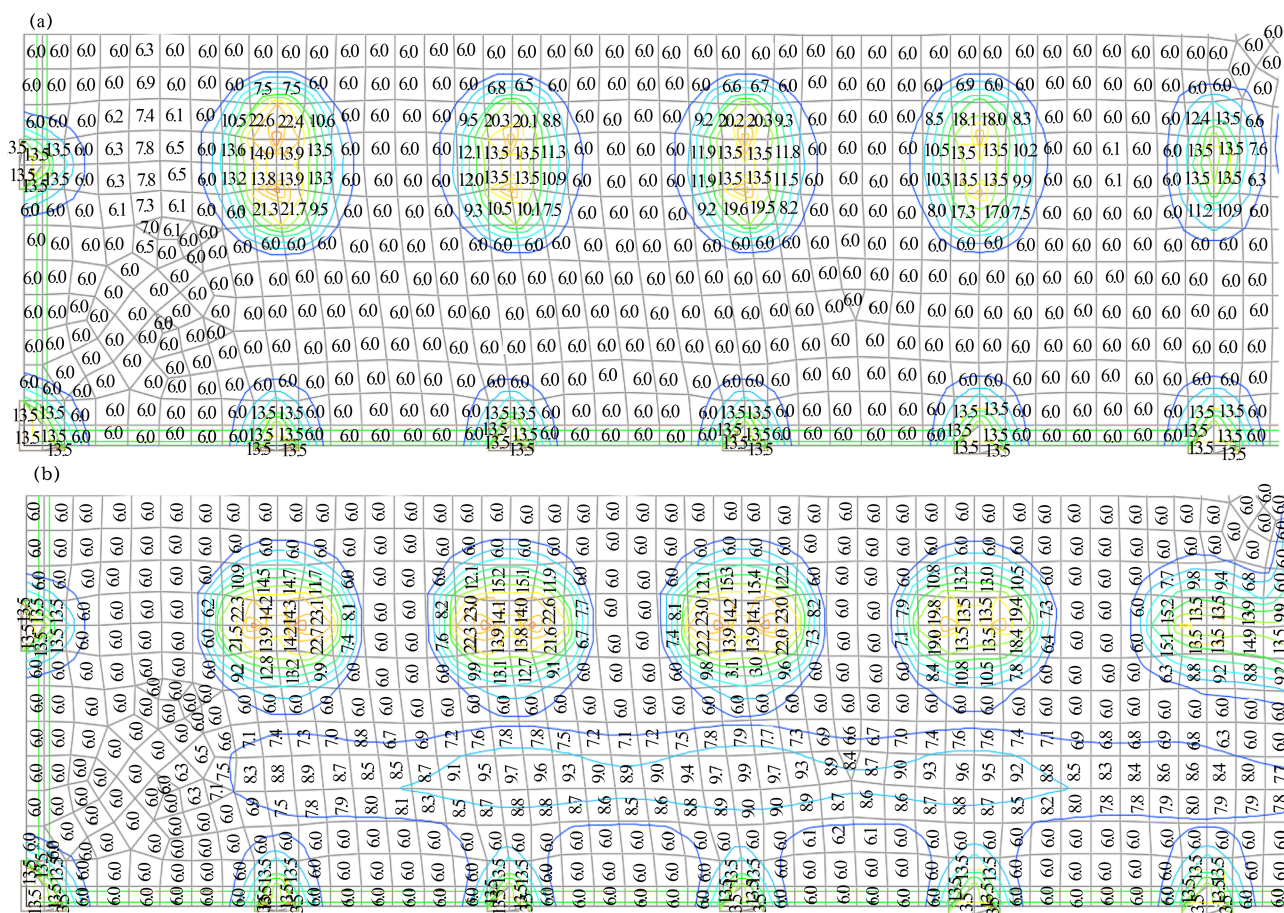


图4 板顶配筋计算结果



方向: (a) X; (b) Y

图5 板底配筋计算结果

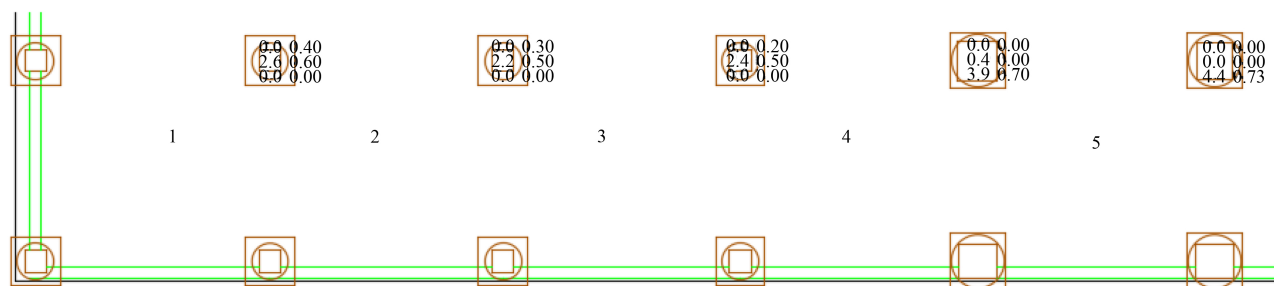


图6 抗冲切验算简图

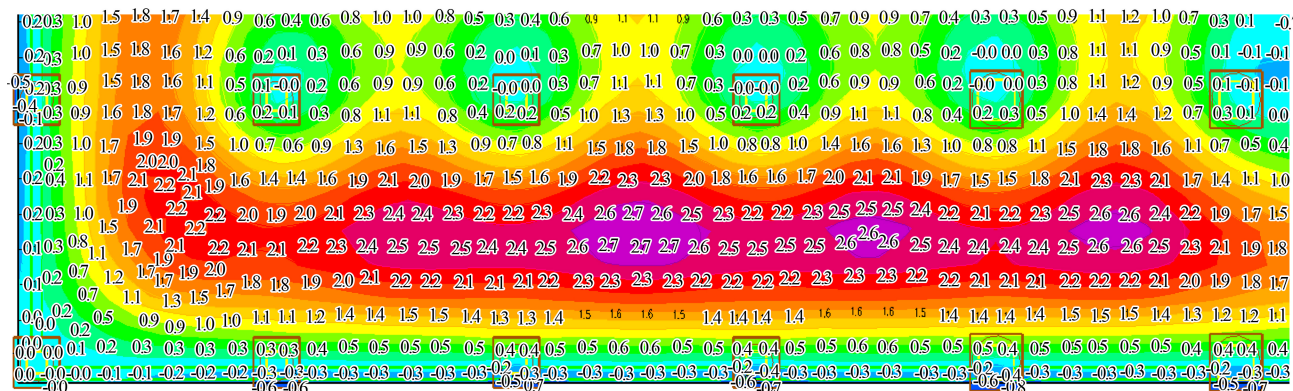


图7 竖向变形云图

3.95 m), 灌浆自 -2.5 m(绝对标高为 2.0 m) 处开始注浆。建筑地下二层西南角区域距离 1 号工程基坑距离最近, 因此高压浆体最先进入该区域的防水板下砂土中, 对防水板产生上浮力。高压灌浆产生的浮力超过防水板的承载能力, 导致其出现跨中的受弯破坏和支座处的冲切破坏。防水板在浮力作用下产生上浮, 导致其上部的填充墙及挡土墙出现变形及开裂。地下二层西南角区域防水板在开裂后出现渗水冒浆现象, 倾泻了砂土中的灌浆压力, 浆体的压力降低不再对其他区域的防水板产生影响。

4 加固方案及加固模型计算

4.1 加固方案

加固方案总体思路: 先进行降水, 将水位降低到筏板底^[7], 然后进行隔墙拆除、混凝土裂缝处理、底板加固、降水停止、隔墙维修和砌筑^[8]。

(1) 降水。采用室内开洞降水和室外降水相结合的方案, 将水位降低到基础底板以下 0.5 m。

(2) 砌体墙加固。全面检查现有砖墙, 对墙体所有开裂及外墙窗角斜裂缝部位做标记并予以记录。对于轻微裂缝, 采用压力灌浆法进行修补; 对于较宽的裂缝, 采用压力灌浆法进行修补后, 在裂缝墙体两侧设置 1.0 mm 厚钢板网, 覆盖裂缝两侧 100 mm; 对于整墙裂缝较严重(缝宽大于 5 mm)或存在贯通性裂缝的墙体, 根据情况采用局部拆除或全部拆除重建。

(3) 混凝土构件加固。彻底清查混凝土构件, 对有裂缝的构件进行修补, 具体要求: 1) 对于裂缝宽度小于 0.3 mm 的混凝土构件, 采用环氧树脂

浆进行表面封闭, 再用低黏度环氧树脂浆灌注; 对于裂缝宽度大于 0.3 mm、小于 1.0 mm 的混凝土构件, 使用环氧树脂浆灌注; 对于裂缝宽度大于 1.0 mm 的混凝土构件, 请加固设计专业团队根据情况采取加固措施; 2) 对于大面积缺损、蜂窝、孔洞宜采用 1:2 水泥砂浆或 C40 灌浆料修补; 为保证新旧混凝土之间可靠结合, 将缺陷周围凿毛, 清理干净, 并涂刷一层水泥砂浆界面剂。

(4) 基础加固。根据加固模型计算结果配置新增基础钢筋和抗冲切弯起钢筋。具体做法: 筏板加厚 200 mm, 并新增基础配筋 HRB400(16 mm @ 150 mm), 双层双向, 浇筑 C30 混凝土, 通过植筋的方式将新增配筋锚入原基础, 锚固长度为 15 d (d 为钢筋的直径, mm), 示意如图 8 所示。

(5) 承台处抗冲切加固。在柱子两边 0.6 m 范围内均匀布置 10 根 HRB400 直径为 20 mm 的弯起钢筋, 具体做法参考《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图》(03 G101—1), 示意如图 9 所示, 其中 L_a 为钢筋的锚固长度, mm。

4.2 加固模型计算

按照原设计抗浮设计水位 0.5 m 计算。在加固范围内防水板加厚为 200 mm, 计算荷载为底板到抗浮设计水位的水头压力减掉防水板自重(包含防水板加厚部分自重), 即 $3.8 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3 - 0.6 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 23 \text{ kPa}$ 。

(1) 板顶计算结果分析。 X 、 Y 方向板顶配筋计算结果如图 10 所示。由图 10 可知: 最大计算配筋值为 $1\,040 \text{ mm}^2/\text{m}$, 远小于构造配筋值。顶筋可按照构造配筋率 0.2% 配置, 即配筋 16 mm @ 150 mm($1\,340 \text{ mm}^2/\text{m}$), 加固钢筋为 HRB400。

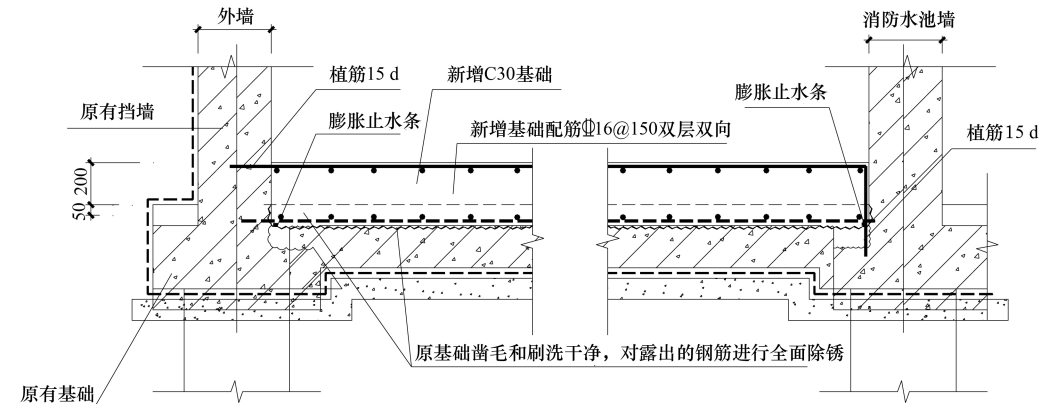


图8 筏板加厚做法示意

mm

参考文献:

- [1] 钱旭彤,陈静. 某地下室上浮原因分析及加固处理[J]. 地基处理,2021,3(5):415-419.
- [2] 王海,应晓霖,罗野,等. 某综合楼二层地下室局部上浮事故调查及原因分析[J]. 建筑结构,2022,52(增刊1):2273-2277.
- [3] 刘冬. 锚杆静压桩在地下室上浮治理中的应用[J]. 建筑结构,2022,52(S2):2051-2054.
- [4] 傅睿. 地下车库梁柱损伤成因分析及加固处理[D]. 长沙:中南林业科技大学,2020.
- [5] 顾晓星,何超. 某地下室上浮问题分析[J]. 建设科技,2020(20):77-79.
- [6] 建筑工程抗浮技术标准:JGJ 476—2019[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2020.
- [7] 杨淑娟,张同波,吕天启,等. 地下室抗浮问题分析及处理措施研究[J]. 建筑技术,2012,43(12):1067-1070.
- [8] 宗钟凌,吕凤伟. 地下室上浮事故原因分析与加固处理方法[J]. 建筑技术,2013,44(11):992-995.
- (上接第 64 页)
- [2] 严承嵩. 光弹性贴片技术及工程应用[M]. 北京:国防工业出版社,2003.
- [3] 董伟. 混凝土 I - II 复合型裂缝起裂准则的试验研究与裂缝扩展过程的数值模拟[D]. 大连:大连理工大学,2008.
- [4] 沙风焕,陈绪. 云纹干涉法在压力容器断裂分析上的应用[J]. 太原工业大学学报,1994(1):58-64.
- [5] 李禾,李仁增,王凤翔,等. 用密栅云纹法研究高温新材料的断裂力学行为[J]. 材料工程,1997(6):12-14;45.
- [6] 刘杰,罗至善,张学深. 应用云纹干涉法研究混凝土破坏机理[J]. 天津大学学报,2004(10):896-900.
- [7] 王青原,陈红鸟,袁波,等. 基于电子散斑干涉技术的混凝土裂纹扩展特性研究[J]. 水力发电学报,2018,37(4):26-35.
- [8] 黄兴震,陈红鸟,刘轶,等. 基于 ESPI 和 DIC 技术的混凝土断裂特性研究及对比分析[J]. 应用力学学报,2018,35(5):1131-1138;1191.
- [9] SHARMA R, POTNIS A, CHOURASIA V. Review of image based concrete crack detection [C]//2021 International Conference on Advances in Technology, Management & Education (ICATME). Zhengzhou: IEEE CS,2021.
- [10] FRIAS D, JOSÉ HIDALGO. A high accuracy image hashing and random forest classifier for crack detection in concrete surface images[J]. arXiv,2021(6):05755.
- [11] NON-MEMBER T Y, NON-MEMBER S N, NON-MEMBER R S, et al. Image - based crack detection for real concrete surfaces[J]. Ieee Transactions on Electrical & Electronic Engineering,2008,3(1):128-135.
- [12] YAMAGUCHI T, HASHIMOTO S. Image processing based on percolation model [J]. Ieice Transactions on Information & Systems D,2006,89(7):2044-2052.