

某地下室框架柱压溃事故检测及原因分析

张淮森, 付晓东, 赵俊迪

(中国建筑科学研究院有限公司, 北京 100013)

摘要:某高层住宅地下室顶板在覆土施工过程中,地下室一框架柱被压溃,相邻区域梁构件出现开裂现象。为了解事故产生的原因,通过事故现场调查、混凝土强度检测、钻芯取样、超声波不密实度检测等现场检测内容,结合现场结构实际受力情况,对压溃柱在不同工况下进行了承载力计算分析。结果表明:事故产生的主要原因为该框架柱存在混凝土严重离析缺陷,次要原因为顶板覆土超载及挖掘机施工影响。本文可为今后出现类似工程事故提供一些预防借鉴。

关键词:地下室; 框架柱; 压溃; 承载力计算; 事故原因分析

中图分类号: TU94; TU323.5

文献标识码: A

文章编号: 1673-8993(2024)10-0084-06

doi: 10.13402/j.gcjs.2024.10.138

Detection and cause analysis of a basement frame column collapse accident

ZHANG Huaisen, FU Xiaodong, ZHAO Jundi

(China Academy of Building Research, Beijing 100013, China)

Abstract: During the backfilling process of the basement floor of a high-rise residential building, one of the frame columns under the basement was crushed, and adjacent beam members showed signs of cracking. In order to investigate the cause of the accident, on-site investigation, concrete strength testing, core sampling, and ultrasonic testing for poor compaction were conducted. Based on the actual load-bearing conditions of the structure on site, the bearing capacity of the crushed column under different conditions was calculated. The analysis showed that the main cause of the accident was the serious segregation defect in the concrete of the frame column, while the secondary cause was overloading of the topsoil during backfilling and the impact of the excavator during construction. This paper can provide some preventive lessons for similar engineering accidents in the future.

Key words: basement; frame column; crush; calculation of bearing capacity; cause analysis

近年来,随着建筑行业的高速发展,个别新建工程存在施工工期短、施工交叉作业且施工管理不到位等现象,导致工程事故层出不穷。引发结构裂缝、构件破坏的原因错综复杂,应系统性的通过现场检测及分析,从施工质量、结构工作实况等方面进行分析判定。肖珍等^[1]通过现场检测和承载力计算分析确定了结构破坏的根本原因

是由于施工过程中梁柱节点钢筋密集致使混凝土振捣不密实,造成了混凝土强度低、质量差,同时因覆土施工致使框架柱发生受压破坏;史永恒^[2]通过现场检查与检测发现地下室框架柱发生钢筋压屈、出现受压破坏的主要原因是由于梁柱节点钢筋密集且施工存在漏振现象,导致梁柱节点处内部混凝土存在空洞,同时由于后续覆土施

收稿日期: 2023-12-21

作者简介: 张淮森(1994—),男,助理工程师,从事检测鉴定方面的工作。

通信作者: 付晓东(1984—),男,高级工程师,一级结构工程师,注册岩土工程师,从事结构设计、检测鉴定方面的工作。

工, 柱顶荷载增大, 节点处混凝土承载力不足而发生破坏。

本文将通过某地下室框架柱压溃工程实例, 根据事故现场调查、构件材料性能检测、构件缺陷情况检测及多工况作用下构件的计算分析进行探讨, 确定框架柱发生压溃事故产生的主要原因, 以期可为今后出现类似工程的施工提供一些借鉴和参考。

1 工程概况

某住宅纯地下室为两层框架结构, 基础采用桩基础, 楼板为现浇混凝土楼板, 地下室顶板设计厚度为 180 mm, 顶板活荷载标准值为 4.0 kN/m^2 , 结构安全等级为二级, 抗震设防烈度为 7 度, 设计地震分组为第二组, 设计地震基本加速度为 $0.10g$, 设计使用年限为 50 a, 框架抗震等级为三级, 主体结构工程现已完成。

在 130 型挖掘机对纯地下室顶板进行覆土施工作业过程中, 发生如下事故: 挖掘机所处区域地下室一框架柱被压溃、纵筋压屈(或侧向弯曲), 压溃柱相邻区域梁出现开裂。为明确构件破坏及事故产生的原因, 现对其破坏区域结构进行了鉴定与分析。鉴定区域 -1 层现场照片如图 1 所示, 地下室顶板覆土及挖掘机作业示意如图 2 所示。



图 1 鉴定区域 -1 层现场照片

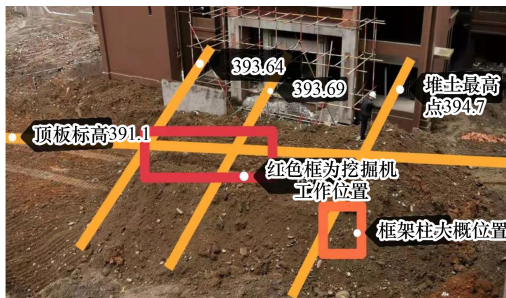


图 2 地下室顶板覆土及挖掘机作业示意

2 检测鉴定情况

2.1 事故现场调查

经现场调查并查阅设计资料发现: 地下室顶板设计覆土高度为 1.5 m, 现场实际覆土高度远高于原设计覆土, 压溃柱周边顶板平均覆土高度为 3.18 m。经现场施工人员反映当挖掘机作业至相关位置处发生地下室压溃事故, 该挖掘机自重为 15 t。

根据原结构设计图纸对该地下室部分结构体系进行核查, 鉴定范围内地下室为两层框架结构、楼板均采用混凝土现浇楼盖。建筑结构平面、竖向布局较规则, 竖向构件连续贯通, 结构构件传力途径明确。结构构件布置、轴线尺寸、层高均与原结构设计图纸一致。

2.2 结构构件外观缺陷与损伤检查

对鉴定区域内混凝土构件外观缺陷与损伤进行检查。检查结果如下: 部分混凝土梁存在局部蜂窝现象, 如图 3 所示; 压溃柱中下部混凝土出现压溃, 纵筋压屈现象, 如图 4 所示; 检测区域 2 取芯验证局部混凝土出现严重离析现象, 如图 5 所示; 压溃柱从底板起 990 mm 处外观完好, 压溃柱现场情况及检测区域示意图, 如图 6 所示; 压溃柱相邻梁构件出现斜向开裂现象, 裂缝为贯穿裂缝, 最大裂缝宽度为 0.206 mm, 如图 7 所示; 梁裂缝分布示意如图 8 所示。



图 3 混凝土梁局部蜂窝现象



图 4 压溃柱中下部混凝土压溃及纵筋压屈



图 5 压溃柱检测区域 2 混凝土严重离析现象

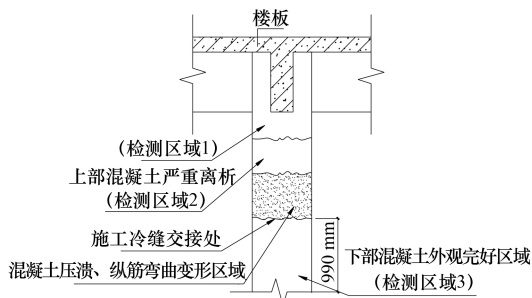


图 6 压溃柱现场情况及检测区域示意

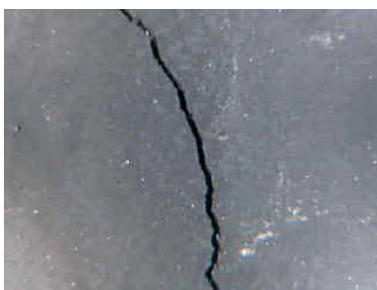


图 7 梁斜向裂缝

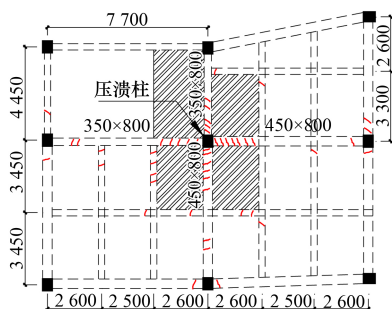


图 8 梁裂缝分布示意

mm

2.3 混凝土构件强度检测

按照《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23—2011)和《钻芯法检测混凝土强度技术规程》(JGJ/T 384—2016)相关规定,对框架柱和梁的混凝土强度进行回弹法检测,并钻芯修正。所检测框架柱构件混凝土强度推定区间为 45.8 ~ 48.5 MPa,满足设计强度 C30 的要求,检测梁混凝土强度推定区间为 44.6 ~ 48.2 MPa,满足设计

强度 C30 的要求,其中压溃柱上部离析部位混凝土强度实测值为 46.2 MPa。

2.4 混凝土构件钢筋配置及截面尺寸检测

按照《混凝土结构现场检测技术标准》(GB/T 50784—2013)和《混凝土中钢筋检测技术标准》(JGJ/T 152—2019)相关规定对混凝土构件钢筋配置及截面尺寸进行检测。所检测构件的钢筋配置及截面尺寸均符合设计要求。

2.5 混凝土超声波不密实度检测

按照 GB/T 50784—2013 相关规定对压溃柱分检测区域进行超声波不密实度检测,检测区域示意如图 6 所示,超声波不密实度检测结果如表 1 所示。检测结果表明:检测区域 1 存在个别声时异常点位,如图 9 所示;检测区域 2 存在多处声时和幅度异常点位,如图 10 所示;检测区域 3 存在个别声时异常点位,如图 11 所示。结合结构构件外观缺陷与损伤检查结果可知:施工冷缝以下区域(检测区域 3)混凝土质量较为完好;压溃位置上部相邻区域(检测区域 2)混凝土质量存在严重缺陷;检测区域 3 混凝土质量较为完好。

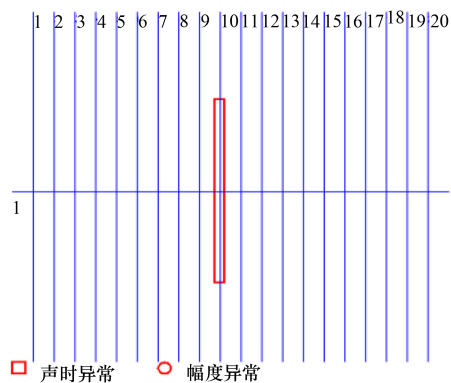


图 9 检测区域 1 异常点

mm

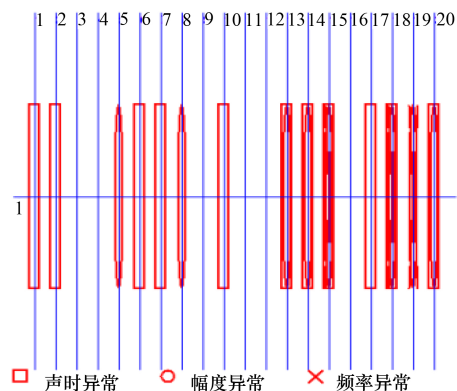


图 10 检测区域 2 异常点

mm

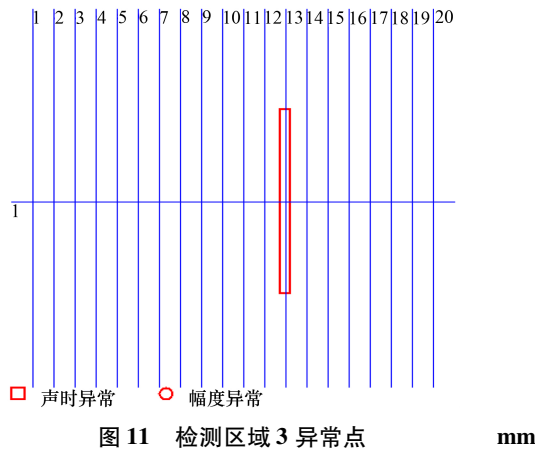


图 11 检测区域 3 异常点

3 结构承载力分析

根据现场检测鉴定结果可知：事故现场顶板覆土荷载远超设计荷载，同时伴有挖掘机施工作业影响；压溃柱自身存在严重质量缺陷，检测区域其他构件无明显质量缺陷；事故现场未见其他不利因素影响。考虑现场超载工况及压溃柱施工质量为主要成因。对其进行不同工况

下的结构承载力分析。

结构承载力计算在不考虑构件损伤及质量缺陷的情况下进行。依据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)(2015 年版)对压溃柱进行正截面受压计算。在考虑钢筋作用和不考虑钢筋作用的两种工况下分别按照设计强度 C30 和实测强度为 46.2 MPa 的取值计算柱承载力。将以上 4 种组合计算的柱承载力与现场压溃柱实际所受荷载进行对比，探究在不同工况下自身承载力是否满足现场实际荷载作用。

3.1 计算工况

按照《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)的规定,混凝土构件考虑抹灰作用自重按照 26 kN/m³取值,覆土容重按照 18 kN/m³取值,梁板柱混凝土设计强度均为 C30,负一层层高为 3.65 m,柱主筋为 HRB400 级钢筋, $f_y = 360 \text{ N/mm}^2$,压溃柱纵向受压钢筋配筋总面积为 3 974 mm²,楼板厚度为 160 mm,130 型挖掘机自重按照 15 t 取值,柱截面

表 1 超声波不密实度检测结果

检测位置	声速/(km·s ⁻¹)	幅度/dB	频率/kHz
检测区域 1 最大值	4.388	80.600	46.390
检测区域 1 最小值	4.169	67.660	40.280
检测区域 1 平均值	4.282	72.295	45.400
检测区域 1 标准差	0.042	3.724	0.728
检测区域 1 离差系数	0.009	0.052	0.016
检测区域 1 临界值 1	4.213	66.150	44.200
检测区域 1 临界值 2	4.230	67.640	44.900
检测区域 2 最大值	4.747	91.490	50.050
检测区域 2 最小值	3.947	52.410	40.890
检测区域 2 平均值	4.668	85.185	46.600
检测区域 2 标准差	0.041	4.359	1.414
检测区域 2 离差系数	0.008	0.051	0.030
检测区域 2 临界值 1	4.600	77.992	44.270
检测区域 2 临界值 2	4.616	79.735	44.830
检测区域 3 最大值	5.158	88.810	50.050
检测区域 3 最小值	4.382	49.740	41.500
检测区域 3 平均值	4.803	67.676	45.380
检测区域 3 标准差	0.135	14.559	2.738
检测区域 3 离差系数	0.028	0.212	0.060
检测区域 3 临界值 1	4.579	44.653	40.860
检测区域 3 临界值 2	4.633	50.477	41.960

尺寸为 $b = 480 \text{ mm}$, $h = 620 \text{ mm}$, 梁截面尺寸形式有 $450 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$ 、 $350 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$, 设计覆土厚度为 1.5, 实况下平均覆土厚度为 3.18, 压溃柱上部离析部位混凝土强度实测值为 46.2 Pa 。

4 种工况组合下的压溃柱承载力计算如下:

$$A = b \times h = 480 \text{ mm} \times 620 \text{ mm} = 297\,600 \text{ mm}^2 \quad (1)$$

$$l_0 = 1.0H = 1.0 \times 3.65 \text{ m} = 3.65 \text{ m} \quad (2)$$

$$l_0/b = 3\,650/480 = 7.6 \leq 8.0 \quad (3)$$

$$N \leq 0.9\varphi(f_c A + f_y' A_s') \quad (4)$$

式中: f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值, N/mm^2 ; f_y' 为普通钢筋抗拉强度设计值, N/mm^2 ; A 为构件截面面积, mm^2 ; A_s' 为全部纵向普通钢筋的截面面积, mm^2 ; l_0 为柱计算长度, m ; b 为柱截面短边尺寸, mm ; h 为柱截面长边尺寸, mm ; H 为层高, m ; N 为柱轴向压力, kN ; φ 为钢筋混凝土构件稳定系数。

(1) 压溃柱考虑钢筋作用下, 混凝土强度按照 C30 设计值取值计算, $f_c = 14.3 \text{ N/mm}^2$, $N_1 \leq 0.9\varphi(f_c A + f_y' A_s') = 0.9 \times 1.0 \times (14.3 \text{ N/mm}^2 \times 297\,600 \text{ mm}^2 + 360 \text{ N/mm}^2 \times 3\,974 \text{ mm}^2) = 5\,117.7 \text{ kN}$ 。

(2) 压溃柱考虑钢筋作用下, 混凝土强度按照实测强度设计值取值计算, $f_c = 22.5 \text{ N/mm}^2$, $N_3 \leq 0.9\varphi(f_c A + f_y' A_s') = 0.9 \times 1.0 \times (22.5 \text{ N/mm}^2 \times 297\,600 \text{ mm}^2 + 360 \text{ N/mm}^2 \times 3\,974 \text{ mm}^2) = 7\,314.0 \text{ kN}$ 。

(3) 压溃柱不考虑钢筋作用下, 混凝土强度按照 C30 设计值取值计算, $f_c = 14.3 \text{ N/mm}^2$, $N_5 \leq 0.9\varphi(f_c A + f_y' A_s') = 0.9 \times 1.0 \times (14.3 \text{ N/mm}^2 \times 297\,600 \text{ mm}^2) = 3\,830.1 \text{ kN}$ 。

(4) 压溃柱不考虑钢筋作用下, 混凝土强度按照实测强度设计值取值计算, $f_c = 22.5 \text{ N/mm}^2$, $N_7 \leq 0.9\varphi(f_c A + f_y' A_s') = 0.9 \times 1.0 \times (22.5 \text{ N/mm}^2 \times 297\,600 \text{ mm}^2) = 6\,026.4 \text{ kN}$ 。

对压溃柱实际所受荷载进行计算: 附加荷载按照平均覆土高度及挖掘机自重考虑, 自重荷载按照与压溃柱相邻梁板构件自重取值计算。计算区域示意如图 7 阴影部分所示。

梁自重: $[0.45 \text{ m} \times 0.8 \text{ m} \times (3.45 \text{ m} + 2.6 \text{ m}) + 0.35 \text{ m} \times 0.8 \text{ m} \times (2.6 \text{ m} + 4.45 \text{ m})] \times 26 \text{ kN/m}^3 = 107.95 \text{ kN}$ 。

板自重: $(0.26 \text{ m} \times 3.45 \text{ m} \times 2 + 3.3 \text{ m} \times 2.6 \text{ m} + 2.6 \text{ m} \times 4.45 \text{ m}) \times 0.16 \text{ m} \times 26 \text{ kN/m}^3 = 91.29 \text{ kN}$ 。

覆土重: $3.18 \text{ m} \times 18 \text{ kN/m}^3 \times (2.6 \text{ m} \times 3.45 \text{ m} \times 2 + 3.3 \text{ m} \times 2.6 \text{ m} + 2.6 \text{ m} \times 4.45 \text{ m}) = 2\,180.27 \text{ kN}$ 。

挖机自重: 150 kN 。

实际所受荷载为 $2\,180.27 \text{ kN} + 107.95 \text{ kN} + 91.28 \text{ kN} + 150 \text{ kN} = 2\,529.5 \text{ kN}$ 。

3.2 计算结果对比分析

4 种工况下对压溃柱承载力计算结果和实际覆土情况下的承载力进行对比, 如表 2 所示。由对比结果可知: 对压溃柱在考虑钢筋作用和不考虑钢筋作用下进行正截面受压承载力计算时, 按照设计强度 C30 和实测强度为 46.2 N/mm^2 的取值计算, 柱承载力均超过实际工况下的荷载效应。

表 2 压溃柱承载力验算对比结果

工况号	承载力/kN	实际覆土情况 下柱轴力/kN
工况一	5 117.7	
工况二	7 313.9	2 529.5
工况三	3 830.1	
工况四	6 026.4	

4 原因分析与建议

4.1 原因分析

根据现场检测鉴定结果及承载力验算分析结果, 该地下室一框架柱被压溃、纵筋发生侧向弯曲变形, 相邻区域梁出现开裂现象的原因如下。

(1) 据调查了解, 房屋修建至今, 该区域内未发生过地震, 故排除地震作用下导致的构件破坏。压溃柱的破坏形式为混凝土被压溃、纵筋严重弯曲变形, 现场破坏位置发生在柱中部水平施工冷缝交接处, 施工冷缝以上破坏区域混凝土存在严重离析现象; 通过压溃柱受压承载力计算分析可知, 框架柱在质量完好的情况下其自身承载力满足实际工况下的荷载效应, 导致框架柱发生破坏的主要原因是其自身存在严重的质量缺陷致使该部分混凝土抗压强度严重不足, 进而大幅度降低了构件承载力。压溃柱相邻跨梁主要在支座加密区出现多条斜向贯穿裂缝, 大部分裂缝位于梁中下部且裂缝之间呈现相互平行的趋势, 根据

裂缝形态及大小判定该类裂缝为剪切裂缝,主要是因为上部荷载增加致使应力加大,同时由于压溃柱发生受压破坏,进而导致梁在支座处所承受的剪应力变大所致。

(2) 压溃柱的顶板覆土超过设计覆土,并且在挖掘机的自重作用下导致柱所承受的轴力急剧增大,间接性导致存在严重质量缺陷的构件在自身承载力不足的情况下超载工作,从而加剧了破坏的发生。

4.2 建议

根据《混凝土结构加固设计规范》(GB 50367—2013)的相关规定,同时结合现场检测情况提出处理建议如下。

(1) 应立即清空顶板现有覆土,减轻顶板荷载,对受损构件加固施工完成后再根据结构实际承载力确定覆土高度或选用其他方式进行覆盖。

(2) 应对混凝土存在严重离析的部分采用比原标号高一等级的混凝土进行置换处理,然后采用外包型钢或增大截面法对柱进行加固处理;对存在蜂窝较为严重的构件应剔除外层骨料并清除灰浆,然后采用混凝土浇筑封闭,再贯入水泥砂浆封闭缝隙形成整体。

(3) 对存在裂缝且不影响构件承载力的可采用表面封闭法、注射法或注浆法进行修补,对于裂缝较大影响承载力的构件可采用粘钢法或粘贴

碳纤维进行处理。

(4) 应对未覆土部分的混凝土构件进行全面检测,对发现存在混凝土质量缺陷的构件应根据其缺陷程度及时采取相关措施进行处理。

(5) 应由具有相关资质的单位根据现场情况并结合检测数据制定可实施的加固处理方案。

5 结 语

在混凝土浇筑过程中,应避免施工冷缝交接处由于模板之间拼接不到位,导致浆液外流大量水泥浆聚集,出现离析现象;梁柱节点浇筑施工前应加强对节点处钢筋均匀分布的监督检查,避免浇筑时骨料不能均匀地分散至各处,同时进行振捣施工时应确保振捣棒能穿过钢筋层实现振捣到位,避免出现骨料分布不均匀、不密实现象出现。本文结合现场检测和不同工况下的承载力计算分析,确定了事故发生的主要原因,为后续加固处理及出现类似事故提供了重要依据和施工借鉴。

参考文献:

- [1] 肖珍,刘方亮,邹玄. 某地下室结构检测鉴定与分析[J]. 建筑安全,2020,35(10):28-31.
- [2] 史永恒. 某地下车库混凝土框架柱施工质量事故分析[J]. 混凝土与水泥制品,2019(4):92-96.

(上接第75页)

(2) 针对封闭式双坡屋面轻型门刚结构,柱间支撑风荷载计算过程中,系数 μ_w 的经验取值(0.79)与理论计算取值,对最终的计算结果影响不大,经验取值略偏为保守,在实际设计过程中可按照经验取值设计。

参考文献:

- [1] 陶林惠,何琼芳,尹谦钧. 大型燃煤电厂超长钢结构主厂房结构创新设计研究[J]. 武汉大学学报(工学版),2021,54(增刊2):103-109.
- [2] 司徒俊. 钢结构的各结构类型对比[J]. 工程建设,2017,49(4):13-15;24.

- [3] 张正鹏,王成生,田砾. 风荷载脉动对门刚梁、柱应力比影响的案例分析[J]. 工程建设,2023,55(6):12-17.
- [4] 相震东,吴耀华. 低层轻型房屋围护面板的风荷载计算[J]. 钢结构(中英文),2019,34(6):83-88.
- [5] 袁中亚,李方慧,张特,等. 龙卷风作用下高低屋面风荷载特性研究[J]. 工程建设,2023,55(7):1-6;18.
- [6] 张利军,邹安宇. 门式刚架结构风荷载放大系数需要连乘吗?[J]. 钢结构(中英文),2022,37(6):53-55.
- [7] 门式刚架轻型房屋钢结构技术规范:GB 51022—2015[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [8] 汪一骏. 新钢结构设计手册[M]. 北京:中国计划出版社,2018.