多层复合地基房屋基础加固及扩建重量纠倾工程实践

夏才安[1]　郑永胜[1]　蔡继武[2]　邱良佐[1]
（1 浙江工业大学建工学院，杭州，310014）（2 临海市建设局，临海，317000）

提　要　本工程采用桩基托换对基础进行加固，利用房屋扩建（围建）重量对房屋进行纠倾，同时要求桩基与基础之间预留纠倾沉降量，经过八个月的施工实践已取得成功。

一　工程概述

1. 概况

某工程位于杭州西部，系六层砖混结构宿舍楼，总建筑面积为 3825m²、长 43.1m、宽 14.8m（扩建后宽 18.8m）、建筑物高 19.65m。地基为深厚软土，采用水泥搅拌桩复合地基，桩径 ϕ=500mm、桩长 13m、水泥掺入量为 15%、复喷 5.5m（湿喷）、桩距 1000×1100mm，中部局部地段为 800×1100mm，实际布桩 665 根，采用片筏基础，底板厚 350mm、基础梁断面 350×500mm，隔一开间设构造柱，每层设圈梁，建筑物整体刚度较好。

沉降观测自 1993 年 7 月 23 日开始，当时已发现有明显沉降，已将±0.00 提高 900mm，避免造成更严重后果。至 1998 年 5 月止最大沉降量已达 1292.6mm、最小沉降量 966mm，属杭州市相同地基处理方法的建筑物中沉降量最大的工程之一，其倾斜率平均值 1.40%。此外，屋面渗漏严重。但房屋结构基本完好，沉降速率已降至 0.039mm / 天。由于倾斜明显、沉降尚未稳定，宿舍不能正式启用。

加固、纠倾工作自 1998 年 9 月开始，业主要求在 1999 年 8 月以前通过加固，使建筑物沉降达到稳定，同时要求对建筑物进行扩建、改善使用功能，并限期在 1999 年 8 月份前使建筑物倾斜率降至 0.9%以下，上部结构保持完好，建筑物能正常使用并确保安全。

依据业主要求，对基础加固及倾斜采用了以下步骤：

①扩大基础，采用锚杆静压桩(北侧与南侧)与静压预制方桩进行加固(北侧，见图 1)；

②振动预制方桩辅助纠倾(南侧)；

③沉井辅助纠倾(图 1)；

④扩建重量纠倾；

⑤预应力钢索加固上部结构 4～6 层。

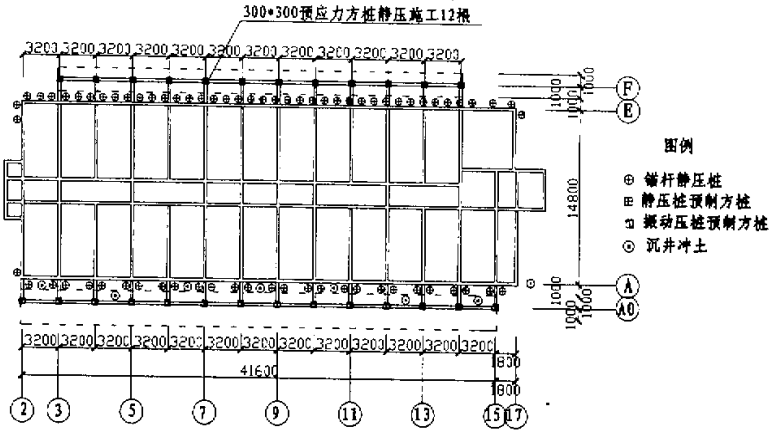


图 1　加固桩位及沉井冲土位置示意图

建筑物经加固后沉降达到稳定，并在限期内完成了扩建工作，并利用各种辅助方法及扩建重量纠倾法使倾斜率满足了业主要求（达到 0.7%）。扩建后新增宿舍 18 间，每间宿舍设置卫生间与小阳台，使建筑物能正常使用并确保安全。加固扩建纠倾后的建筑物经 7 个月的使用情况良好。

2. 工程地质概况

表 1　地层简表

地层	土名	厚度 (mm)	标准值			
			f_k (kPa)	E_s (MPa)	Q_p (kPa)	Q_s (kPa)
①	填土及塘淤泥	0～3.5		不宜利用		5～10
②	粘土	3.5～4.9	75	3	/	10
③	淤质粉质粘土	4.9～28.4	75～105	3～4.2	/	10
⑥	粉土 夹粉质粘土	28.4～30.5	130～110	6～5.2	/	12～18
⑦	粉质粘土	30.5～34.4	110～140	5.2～7.0	500～700	15～18
⑧	中细砂	34.4～37.6	250	20.0	1500	30

地层如表 1 所示，基础以下 2.5m 范围内为杂填土，土质较差、不均匀，含无规律分布的块石，块石垂直方向分布，在压桩过程中发现可深达基础以下 3m 左右，块度 >40cm。此外，建筑物基础西北角部位存在暗塘。

二　事故原因分析

1. 上部杂填土处理不当

水泥搅拌桩复合地基施工中，由于杂填土中存在大量不均匀分布的块石，曾被迫终

止施工。对地基下 3.5m 左右深度范围内块石进行全场挖掘，造成上部 3.5m 左右土层成为欠固结松散土，并严重影响水泥搅拌桩顶部加固效果（水泥浆流失且不均）。北侧杂填土较厚，且存在暗塘（西北角）是引发沉降量大且北倾的主要原因之一。

2. 复合地基加固方案存在不足

(1)上部除受杂填土影响外，杂填土以下为淤质粘土，含有机质相对较高，不利于水泥搅拌桩加固。

(2)复合地基设计值为 140kPa，取值偏高；复合地基承载力又未经静载试验验证。

(3)基础南、北两侧的中部减少了桩数，桩距大达 3.0m 左右，缺乏依据(图 2)。

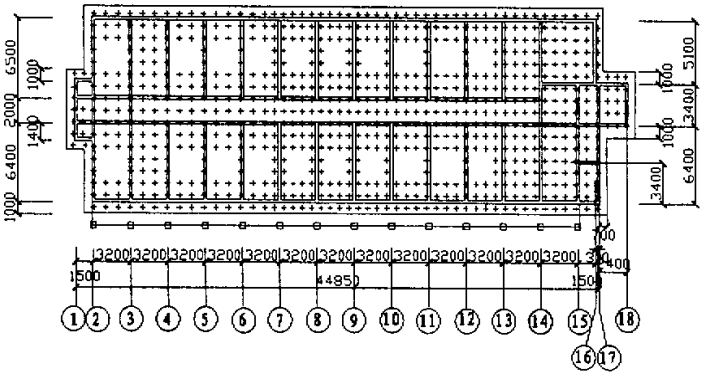


图 2 水泥搅拌桩桩位平面图（竣工图）

3. 荷载分布不均

北侧架空层有五间用填土回填，使北侧基底荷载较南侧大 15 kPa 左右，长期作用下促使房屋北倾(图 3)。

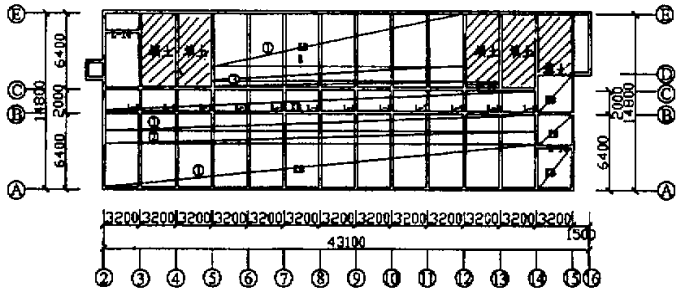


图 3 架空层填土平面分布图

4. 地质报告仅提供静力触探资料，地基处理方案缺乏综合的分析资料，带有片面性

三　基础加固及扩建重量纠倾方案

业主要求对基础进行加固，使沉降稳定。要求限期内将房屋倾斜率减少至 0.9%以下，同时要求对房屋进行扩建、改善使用功能。依据业主要求，首先在基础加固前提下，利用扩建重量进行纠倾的设计主导思想，为促使纠倾工作取得较好效果，采用了各种辅助方法改进纠倾途径。

1．基础加固(图 1 加固桩位及纠倾沉井平面位置图)

鉴于建筑物沉降尚未稳定,并向北倾斜，因此首先使北侧沉降减少达到稳定并满足新增扩建重量 7000kN 的要求。依据施工条件在原基础外侧采用锚杆静压桩（200×200×34000）加固,扩大新基础外侧采用预制方桩(300×300×31000), 使北侧加固后新增承载力达 19200kN 左右。为防止纠倾时回倾过快，南侧也预先压入锚杆桩及预制桩，可新增承载力达 15300kN，但纠倾前暂不封桩。锚杆静压桩及预制方桩取值按静载荷试验结果确定。

2．纠倾方案

由于建筑物向北倾斜，首先对北侧进行加固，待沉降稳定后采取一系列的措施进行纠倾，主要的纠倾方法是利用建筑物扩建重量进行纠倾。有关纠倾措施如下：

①振动辅助纠倾法：北侧稳定后，利用南侧预制方桩采用振动压桩法使南侧基础外侧 2m 左右的土受振动扰动,经 4 天施工使建筑物平均回倾量达 9.72mm,回倾速率达 2.43mm/天，效果明显，但激振及噪音对环境影响强烈，并危及周围管道及有关设施，被迫终止此项辅助方法。

②沉井冲土辅助纠倾：沉井位置见图 1 所示，井深 7m。冲土过程中发现水泥搅拌桩竣工图的桩位分布与实际位置不符,此外施工工艺也存在缺陷。冲土后平均纠倾量为 24.0mm，回倾率为 0.267mm/天，效果不理想。

③扩建重量纠倾： 利用扩建重量纠倾，首先应分析建筑物结构特征，对结构薄弱部位进行加固。利用扩建重量进行纠倾，具体步骤如下：

(a)上部结构预应钢索力加固：由于南、北侧连接部位较为薄弱（图 4，2～6 层结构平面图），分别对上部 4、5、6 层采用预应力钢索进行加固，共计 26 根钢索，每根拉力为 120kN，确保了上部结构在扩建重量纠倾过程中保持完好。

(b)纠倾沉降量预留：利用扩建重量纠倾，原设计先扩建南侧房屋，扩建前预先在桩与底板间预留沉降量 12cm 左右，桩受力后可形成 2～3cm 的沉降量，总计预留沉降量约 14cm 左右。但实际实施过程中，业主要求必须在 4 个月内完成扩建工作，必须南北两侧同时施工。南侧超前一层的扩建重量进行纠倾,使原方案的纠倾效果明显减弱,预留沉降量减为 80mm。通过扩建重量纠倾沉降量达 80.5mm，平均纠倾速率为 0.335mm / 天。

④扩建重量纠倾与其它辅助纠倾方法比较，见表 2。

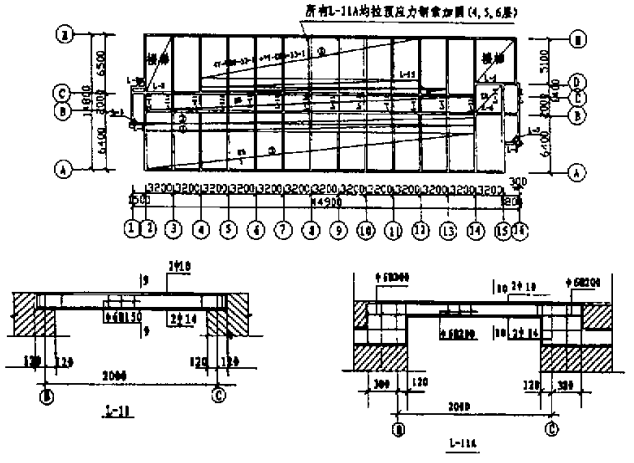


图 4 标准层楼面布置

表 2 纠倾效果对比表

纠倾方法及性质	纠倾时间	平均沉降量（回倾速率）	纠倾情况说明
扩建重量纠倾	240 天	80.5mm（0.335mm/天）	由于扩建期限限制，未能按原设计纠倾，扩建顺序更改，扩建纠倾重量相对减少，因此纠倾效果降低。
沉井冲土辅助纠倾法	90 天	24.0mm（0.267mm/天）	竣工图所表示的水泥搅拌桩桩位与实际桩位不符，冲土工艺存在缺陷，效果不明显，仅作辅助方法，有利于扩建重量纠倾。
振动辅助纠倾法	4 天	9.72（2.43mm/天）	振动纠倾效果明显，但对周围环境及管道、构筑物有严重影响，也缺乏施工经验，难以控制纠倾量而被迫停止。

四 经验及教训

1．经验

(1)采用扩建重量纠倾，必须充分考虑建筑物结构特性、沉降及倾斜特点、工程地质条件，预估纠倾沉降量。回倾一侧应先扩建纠倾、后加固稳定。情况特殊时可采用截桩或预留沉降量纠倾。

(2)基础加固使沉降稳定是使沉降稳定及纠倾的前提。对加固方式、采用手段、加固效果应有成熟经验或充分依据。

(3)纠倾工作应充分利用各种辅助方法进行综合治理，不断总结工程经验，依据不同条件更合理地运用各种纠倾方法和手段，取得较好效果。

2．教训

(1)各种纠倾方法应充分注意使用条件，综合考虑对环境的影响及方法本身的可靠性，合理、灵活运用各种纠倾方法。

(2)加固纠倾工程是一项施工技术要求较高，工艺要求较严的项目，而目前有些工艺还不够成熟，因此对施工队伍的选择十分重要，否则将延误工期、事倍功半。

五　结束语

本工程地基为深厚软土地基，由于地基处理不当引发较大沉降及倾斜。但方案加固纠倾分析较符合实际情况，采用方法有针对性，并大胆采用了扩建重量纠倾的创新方案，保证上部结构保持完好，沉降达到稳定，并在限期内将倾斜率从 1.4%减少至 0.7%。扩建后新增宿舍 18 间，使用功能改善，美化了建筑外观，确保了房屋的正常使用和安全。

惟一不足之处是受纠倾限期制约，未能将倾斜率纠至 0.5%以下。