灌浆法处理某住宅楼填土地基

邱红胜　郑俊杰
（华中理工大学，武汉，430074）

提　要　本文介绍了中南冶金研究所2#住宅楼工程对填土进行灌浆处理的设计、施工和检测过程。工程实践表明，对填土地基进行灌浆处理，可取得较好的技术效果。

二　工程概况

中南冶金地质研究所拟在院内兴建两栋七层砖混住宅楼，其中2#住宅楼长51.00m,宽13.80m，建筑面积4200m²，四单元，共计56户。该工程地质勘察报告揭示，该地段为第四系堆积物，堆积物自上而下为：①近期填土，厚为2.5m左右，由黄褐色粘土、夹孵砾石砖渣等建筑垃圾物组成，疏松。②粉细砂层或淤泥质粘土层，厚0.1~0.2m，粉细砂层见于补1孔，深灰色，松散。淤泥质粘土，分布于补2、补3孔，可见水平纹理。③孵砾石土，灰黄色粘土，含孵砾石约20%-30%，稍密。④粉质粘土层，厚3~4m之间，黄褐色，可塑—硬塑。含铁锰质结核物。⑤粉土层，厚6~7 m，褐色，湿，部分地段因含粉砂量较多而呈粉细砂。⑥孵砾石层，稍密—中密，基底为白垩系五龙组砂岩。

该报告指出2#楼西端回填土层厚达6~7m左右，故建议地基处理采取“填土垫层局部处理及相应结构措施处理”。经多种方案比较、研究及咨询，认为采用桩基或换土垫层方法处理，不仅费用大而且工期长，初步提出对回填土进行灌浆补强。基础形式为条基,其下填土层经压力灌浆处理后，欲作为基础持力层。为此，对2#楼西端回填土进行重新勘察，为回填土灌浆补强提供有关数据。

根据建筑物轮廓范围，在原控制孔之间插孔布置试点钻孔4个，测试范围以回填土为主要对象，采用连续动力触探法(补1孔以控制层位为主)，终点为粉质粘土层(详见图1)。

该地段回填土可细分为三部分：

1．0~2.5 m 填土疏松，为近期填土，触探在3击以下，承载为标准值(f_k)100kPa。

2．2.5~2.8m之间夹有一层厚约20~30cm粉细砂或者是淤泥质粘土，性状较差。

3．2.8~3.5m为较长期填土层，主要为孵砾质土，稍密，但均匀性差，承载力标值(f_k)140~200kPa。

回填土之下为粉质粘土，工程性质好，触探7~9击，标准贯入7击(30cm)，承载力标准值在200kPa，是良好的持力层。

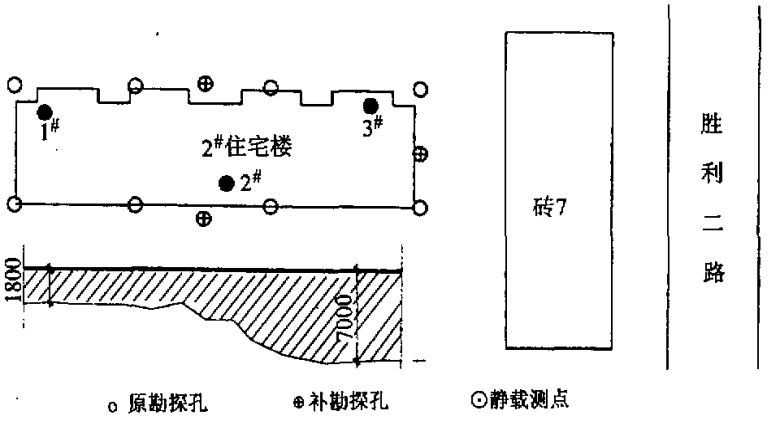


图1 2#住宅楼勘探孔及静载测点平面布置图

三 灌浆补强设计与施工

根据勘察资料，该地段适当灌浆补强后采取浅基础处理地基，可节约投资和提高工效。需要处理补强地基土主要为填土，为保持地基的一致性和开挖量相对较小，确定基底置于自然地面下1.50m。基础开挖到设计标高后，浇注20cm厚的垫层，以作为灌浆段的盖面。采用打入花管或成孔法灌浆，也就是通过钻孔向填土层中压入浓灰浆，在压浆点周围形成泡形空间，使浆液对地基土起到挤压作用，从而改善地基土的物理化学性质，以提高填土层的承载力。

为保持地基的一致性，宜对全场基础范围灌浆补强，设计灌浆补强处理范围详见钻孔灌浆平面图(详见图2)。灌浆深度：据勘察资料及基坑开挖到设计标高后，西端平均灌浆深度在4.0左右，东端平均灌浆深度在2.0m左右。整个工程均系用425#普通硅酸盐水泥进行灌浆，水灰比为1:0.8，要求水泥新鲜，受潮结块不得使用，细度4900孔/cm^3，标准筛的含余量不大于5%。灌浆压力0.2MPa。

根据浆液影响半径理论推导1.2m，设计钻孔沿建筑物基础轴线中心线排列，一般轴线孔距2.0m，承重墙、跨度相对较大的轴线地基为错式双排孔，孔距1.0m，共设计钻孔246个，并设计质量检测孔2个，共布孔248孔。

设计承载力 f_k 的计算：(由于灌浆机理相近，采用旋喷桩复合地基承载力的计算公式初步估算)

由文献[1]有公式：

$$f_{sp,k}=1/A_e[R^d_k+\beta f_{s,k}(A_e-A_p)] \quad (1)$$

$$R^d_k=\eta \cdot f_{cuk} \cdot A_p \quad (2)$$

式中：f_{spk}为复合地基承载力标准值（kPa）；A_e为一根桩承担的处理面积（m^2）；β为桩间天然地基承载力折减系数，试验确定，无试验资料时，取0.2~0.6，不考虑桩间软土

作用时为零；η为强度折减系数；$f_{cu,k}$为桩身试块（边长70.7mm立方块）无侧限抗压强度平均值。

本工程中：A_e=4.52m^2, A_p=0.44m^2, $f_{cu,k}$=4.52MPa (抽样平均值),

β=0.3, η=0.4, f_{sk}=100kPa.

由(2)式：R_k^d=795.5kN

由(1)式：$f_{sp,k}$=1/4.521×[795.5+0.3×100×(4.521-70.44)]=203.6kPa

设计要求填土层经灌浆处理后承载力应达到200kPa。根据检测结果，如承载力不能满足要求，则再在相关或重点部位加密钻孔。

灌浆施工顺序，先施工四周孔，以对灌浆区起到封闭作用，如果初灌封闭不理想，可采用二次灌浆法施工，然后按轴线施工，灰浆由稀到稠。(详见图2灌浆孔位布置图)

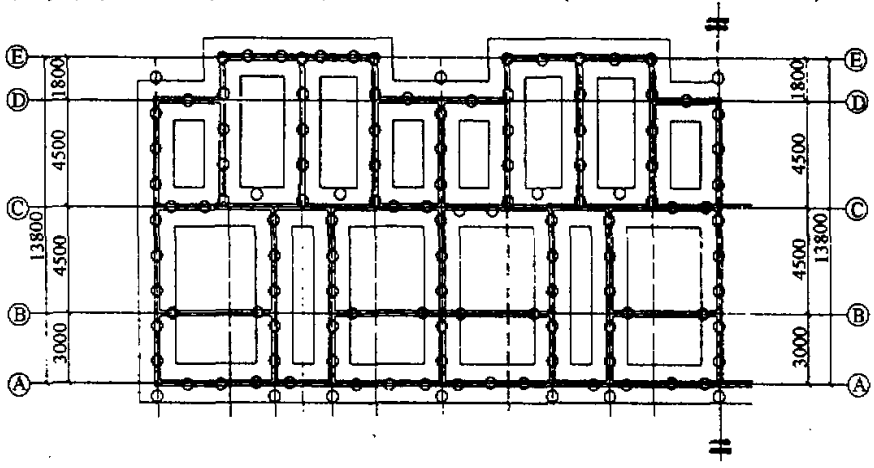


图2　灌浆孔位布置图

根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ 9-91)及有关资料选用灌浆压力为2.0kg/cm^2 (0.20MPa)，最大不超过3.0kg/cm^2 (0.30MPa)，按耗灰量降低率进而起到控制灌浆效果，施工完毕设计钻孔后，达到一定的凝期，有选择地取样分析，或采用触探试验或静载检测方法。

四　复合地基检测

回填土层经压力灌浆处理后，建设单位委托中南勘察设计院进行复合地基检测，完成如下工作：

1．22个重型动探孔，进尺86.8m；

2．4个一般取土孔，进尺10.9m；

3．4次标贯试验；

3．3个静载荷试验。

静载荷试验依据《建筑地基基础设计规范》(GBJ7-89)附录四及设计单位有关设计要求实施。

利用重型动探(辅以标贯试验)及静载荷试验综合检测确定。重型动探设备中，锤重63.5kg，落距76cm，在检测范围内连续锤击进尺，获取贯入指标，即每进尺10cm锤击数。

本次静载试验根据场区条件采用堆载方式。设备主要由承压板、主梁、次梁和百分表构成，其中承压板直径D为0.575m，面积0.26m，四周均匀安装四块百分表进行沉降检测。在指定位置凿开素砼垫层，面积约1.0m×1.0m，安装设备完毕，先进行预压，然后增添砂袋逐级加载，原设计加至200kPa即可，后依据规范要求及实际情况进行调整。

重型动探贯入指标(每进尺10cm锤击数)统计如下：整个场地检测深度范围内，动探击数变化很有规律。约2.0m以上动探平均击数为2~4击，以下土层的动探平均击数8~9击。静载荷试验点的试验结果，详见p-s曲线(略)。静载点1开始每级荷载40kPa，加载4级，以后静载点2，静载点3进行调整，每级荷载20kPa，加载8级，确定各试验点地基土基本值时f_0，主要以沉降量S与承压板直径D的比值S/D= 0.02 (即S=11.5mm)控制，结果如下：

静载点1承载力基本值f_0=176.0kPa,变形模量Eo=6.33 MPa;

静载点2承载力基本值f_0=168.0kPa,变形模量Eo=6.04 MPa;

静载点3承载力基本值f_0=180.0kPa,变形模量Eo=6.47 Mpa。

从以上结果看,各试验点承载力基本值f_0的极差均未超过平均值的30%。根据规范取三点承载力基本值的平均值作为地基承载力标准值f_k =174.5kPa，变形模量Eo=6.28MPa。粉质粘土层承载力标准值f_k =220kPa，压缩模量Es=11.5MPa。

综上所述，得到如下检测结果：

1．根据动探击数及静载荷试验，确定填土承载力标准值f_k =174.5kPa,变形模量Eo=6.28MPa;粉质粘土承载力标准值f_k =220kPa，压缩模量Es=11.5MPa。

2．整个场地范围内，各层土土质比较均匀。

3．由于200厚的垫层作用，经换算 f_k =17.6kPa 能满足设计提出f_k =200kPa承载力的要求。(若考虑垫层与灌浆柱体及土的综合作用，则承载力实际贡献将会更大)

4．虽然变形模量Es=6.28Mpa，但整个场地范围内，各层土土质比较均匀，因此能满足七层砖混基础的要求。

5．认为补强后的回填土可作为2#住宅楼的基础持力层。

五　结论及探讨

1.由于灌浆是可人为调节的，因此对地基的不均匀性可进行调整，以满足不同沉降要求的建筑。

2.填土灌浆补强的效果是明显的，其范围不仅局限于路基的处理、基础的加固，同时也适用于条形基础的多层建筑。

3.提出在加固土体上浇筑200mm垫层，不仅增强封浆作用，而且能使复合土体共同作用效果更加显著(垫层与灌浆柱体及土的综合作用)。

4.目前对灌浆补强的检测一般都是对土体本身加固前后的承载力和压缩模量进行比较

和检测，对本工程而言，笔者认为这种结果比实际远偏于安全。因为200厚的盖压板与加固土体所组成的组合体的实际贡献未做考虑，而这部分的实际潜力很大。

5.该工程已建成使用一年多，最大沉降为3.40cm，最大沉降差1.20cm(局部倾斜为0.0012)，均小于规范要求，收到良好的经济效益。

6.此方案比拟采用的桩基方案节约造价约40%，而且工期短，经济效益显著。

参考文献

[1]《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-91)。

[2] 熊厚金、邝显光：《化学灌浆增强复合地基的设计与实践》见《第三届全国地基处理学术讨论会议文集》，杭州，浙江大学出版社，1992。

[3] 董炳炎、叶书麟：《用注浆法对滨填土进行地基处理》，见《第五届全国地基处理学术讨论会议文集》，北京，中国建筑工业出版社，1997。