强夯法处理某山区非均匀回填土地基实践

徐维蓉　王 成　梁 旭　蔡袁强
（浙江大学，杭州，310027）

提　要　本文结合实际工程强夯法的施工和现场测试，得到了一些很有意义的结论，可以提高对强夯法处理类似地基的认识。

一　工程概况

强夯法自问世以来，就因其具有经济易行、效果显著，设备简单，施工便捷，质量易控制，使用范围广，节省材料，施工周期短等优点而受到了广泛重视。但是对于强夯加固地基的机理，目前工程界还存在着不同看法，并且因为强夯施工现场的夯击能量大，振动较强，仪器的埋设和保护较为困难，目前成功的还不多。本文作者结合某一小区非均匀回填土地基处理工程，进行强夯效果的检测，从而检验强夯处理的优点和不足，进一步发展强夯技术，并加以在类似地区强夯法的推广应用。

某山区需开发一块经济适用房小区，总占地面积约 60 亩。该小区分 A、B 两块，现就 B 小区来作为实例说明，该小区平面形状见图 1。地形地貌如下：该小区地处丘陵地段，由许多山顶标高小于 200.00m 的山体组成，B 区最高处标高 170.66m，最低处标高 150.53m，原始地形最大高差达 20m 左右。地质情况如下：I 层为素填土，近期回填而成，成分以附近山体上开挖出来的岩块、岩屑、碎石块为主，随意填积，成分含量有很大随意性，常含几百斤的块石，整体尚处于自重压密阶段，属欠固结土，不能作为直接持力层。该土层与地形有关，山坳内厚度较大，介于 5.0~9.0m 之间，山坡处多介于 3.0~6.0m 间，山顶处缺失；II 层为耕植土，厚度 0.3~0.4m，主要分布于坳地中；IIIa 层为砂质粘土，砂砾含量 25%，中细砂为主，仅分布于坳地范围内，层厚介于 0.6~1.4m 之间；IIIb 层为碎石类粘土，碎石含量多大于 45%，主要分布于山坡及坡麓地带，层厚多小于 1.0m；IV 为岩石层，承载力较高。以上土层的有关物理力学性质详见表 1。

二　强夯法处理地基方案的设计

由于填土中含有数目较多的大块石，给人工挖孔桩的施工带来了极大的困难，且大大增加了工程造价。另外，场地土质不均匀，尤其是表层填土厚度不等。据场地实际情况，经研究建议对素填土厚度相对均匀的地块采用强夯处理，并通过强夯试验来确定其加固效果。

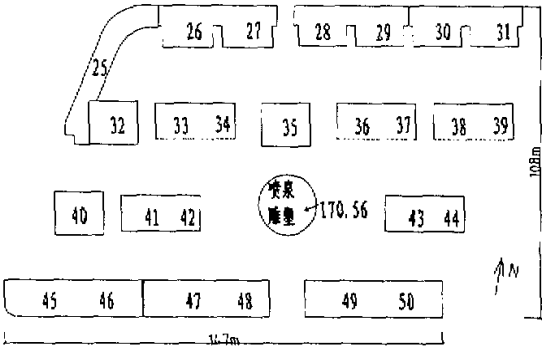


图 1　强夯现场图

表 1　场地土的物理力学指标

层号	层厚	重型（II）触探（击）	岩压抗压强度平均值（MPa）	抗压强度标准值f_{rk}（MPa）	地基承载力标准值（kPa）
(1)素填土	5.0~9.0	1.5			120
(2a)耕植土	0~0.4				
(2b)淤泥质粘土	0~1.2				
(3a)砂质粘土	0~1.4	3.0			210
(3b)碎石类粘土	0~1.0	8.0			300
(4a)强风化凝灰岩	0.5~3.0	130			500
(4b)中风化凝灰岩	0.5~2.5		18.64	6.94	1000

根据工程地质资料，决定对图 1 中的 25~33，40，41，45~48 等房屋单元所处区块进行强夯处理。对用强夯处理的房屋单元，采用整板基础，进一步提高了其整体性，其余区块维持原人工挖孔桩方案不变。

1975 年强夯法的创始人 Menard 提出了下式来估算强夯影响深度：

$$H \approx \sqrt{M \cdot h} \tag{1}$$

式中　M为夯锤重（t）；h为锤落距(m)。

国内外大量的的工程实践表明，直接采用上式计算会得出有效加固深度普遍偏大的结果，这在工程中是属于不安全的。对 Menard 公式进行修正，修正系数为α，则该式为$\alpha\sqrt{M \cdot h}$，对于本工程的碎石和砂土地基，根据工程经验，α可取值 0.7。夯锤重量为 17t，锤底面积 4.5m^2，强夯夯击三遍，每遍夯距 6m，夯点布置见图 2，每次夯击时夯锤落距 14m。第一遍强夯每点夯击 8~10 次，同时以最后两击平均夯沉量小于 10cm 控制；第二遍强夯每点夯击 6~8 次，同时以最后两击平均夯沉量小于 7.5cm 控制；第三遍每点夯击 6 次，同时以最后两击平均夯沉量小于 5cm 控制。三遍强夯结束后，须再进行满夯，满夯时夯

锤锤印必须互相搭接 1/2，每点三击。强夯时处理范围超过基础外缘宽度 3m。因为地处山区，地下水水位较深，夯击时可以连续作业,不考虑孔隙水压力消散的影响。

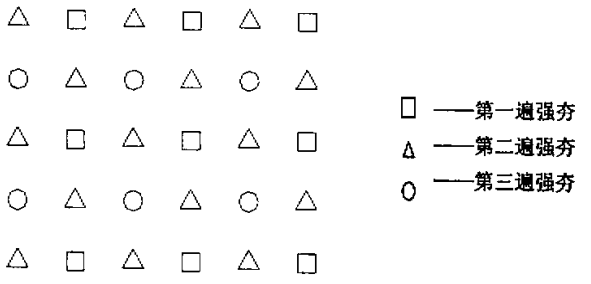


图 2 夯点布置图

三 加固效果检测和分析

1. 动力触探

采用钻孔与重（II）动力触探相结合的方法，在 45~48 单元内任意选择了 4 个点进行检测。结果表明，重（II）型动力触探锤击数标准值为 8.9 击，查表可得强夯处理后地基的承载力标准值 $f_k \geq 200\text{kPa}$，而强夯处理之前 $f_k = 120\text{kPa}$，说明强夯后地基的的承载力有了较大程度的提高。

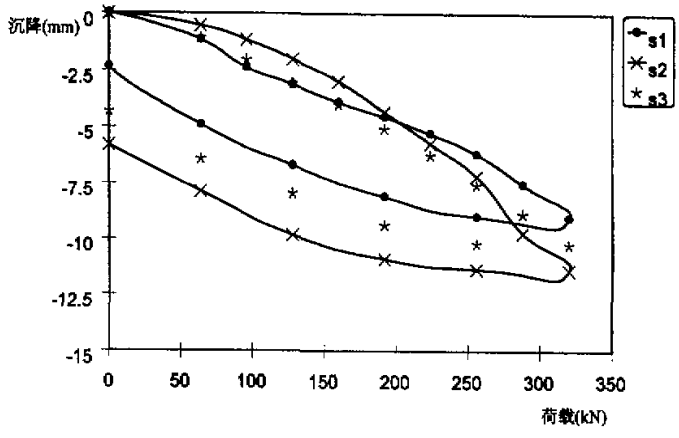


图 3 静载荷试验 *Q-S* 曲线

2.静载荷试验

地基处理，在 28~31 房屋单元所处地块间任取 3 点进行静载荷试验，试验采用砂包堆载一反力架装置，荷载板尺寸 1m×1m，并用慢速维持荷载法试验。加荷过程中，如荷载达到 320kPa，还未到达极限状态，则满足要求，开始卸荷。在 3 个载荷板试验所得结果中，荷载加至 320kPa 时，板顶沉降量分别为 9.03mm,11.39mm,10.2mm,极限承载力均超过了 320kPa 说明强夯加固效果非常显著。

四 结 论

根据现场测试得到的数据分析，强夯使土体侧向挤压和竖向夯实，静载荷试验平均极限承载力大于 320kPa，动探所得的地基承载力标准值 $f_k \geqslant 200$kPa。处理后地基承载力比处理前大大提高，整个场地处理费用比全部采用人工挖孔桩方案节约造价 300 万元左右，并且工期比原计划缩短 3 个月，收到了极佳的经济效果。可以认为，山区的地基处理中，可以考虑采用强夯法处理地基，不仅可以达到相近的加固效果，还可以节约投资，缩短工期。

参考文献

[1] 《地基处理手册》编写委员会：《地基处理手册》，北京，中国建筑工业出版社，1993。

[2] 王铁宏：《全国重大工程项目地基处理工程实录》北京，中国建筑工业出版社，1998。

[3] 叶书麟，韩杰，叶观宝：《地基处理与托换技术》(第二版)．北京，中国建筑工业出版社，1995。

[4] 张永钧，平涌潮，孔繁峰，张峰(中国建筑科学研究院地基所)：《强夯法处理大块抛石地基的试验研究》，见《第三届全国地基处理学术讨论会论文集》，1992。

[5] 左名麟，朱树森：《用强夯法处理废渣填石地基》，见《1980 年地基处理学术会议论文选集》，1980。