

黄土基坑卸荷影响深度的试验研究及工程应用

崔广芹¹, 马晨光², 徐亚利³

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 西北综合勘察设计院, 陕西 西安 710003;
3. 皖西学院建筑与土木工程学院, 安徽 六安 237012)

摘要:通过不同固结压力的常规固结回弹试验模拟了黄土基坑大面积卸荷回弹, 分析了不同深度土体的卸荷回弹特征, 分别得到了卸荷比与回弹率、卸荷比与回弹模量的关系曲线, 并由此得出了西安黄土的临界卸荷比和极限卸荷比, 间接确定了回弹变形的最大影响深度和强回弹区范围, 为计算黄土基坑底回弹变形量提供了理论依据. 最后, 综合西安某黄土基坑的现场实测数据及理论计算结果, 证明了本文研究结论的可行性.

关键词:黄土基坑; 回弹变形; 卸荷比; 固结-回弹试验; 影响深度

中图分类号: TU444

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2012)06-0824-05

1 引言

目前对基坑工程的变形研究, 尤其是对基坑基底回弹隆起变形的研究也多以软土为研究对象, 积累了较多的工程经验, 形成了一定的理论基础^[1]. 黄土地区的基坑工程理论来自于传统土力学理论和软土地区的工程经验, 由于黄土结构的特殊性, 黄土基坑的变形性状不同于一般粘性土和软土. 近年来, 随着西部建设开发规模和力度不断加大, 黄土深基坑也越来越多, 因此, 研究黄土基坑基底回弹变形理论和计算具有重要意义^[2-3].

基坑开挖是一个卸荷过程, 开挖卸荷引起下部土体中自重应力减小, 势必引起基坑土体回弹变形, 基底回弹是基坑隆起的主要原因之一. 正确估算基底回弹量, 对有效预测建筑物沉降变形和控制基坑稳定有重要作用. 因此, 研究基坑回弹变形规律并估算回弹量对地下结构设计和施工具有重要指导作用. 本文通过不同固结压力的常规固结回弹试验模拟了黄土基坑大面积卸荷回弹, 得出了西安黄土的临界卸荷比和极限卸荷比, 间接确定了回弹变形的最大影响深度和强回弹区范围.

2 黄土基坑卸荷影响深度试验研究

潘林有和胡中雄采用常规的固结回弹试验模拟大面积卸荷, 间接测定了基坑开挖卸荷影响深度, 其试验土样来自温州地区浅层原状粉质粘土. 本文试验土样取自西安地区典型黄土, 亦采用常规固结回弹试验模拟坑底土体不同深度处的受力特征, 寻求土体卸荷回弹变形规律, 从而间接测出黄土基坑卸荷影响深度.

2.1 试验仪器

试验采用南京土壤仪器厂生产的固结仪, 试验模型如图 1.

2.2 试验土样

试验土样取自小雁塔宾馆工程, 取样深度分别为 8 m、15 m 和 20 m, 为了将土样的扰动程度降到最低, 本次取样使用黄土薄壁取土器采取压入法取样^[4]. 土样物理力学性质指标

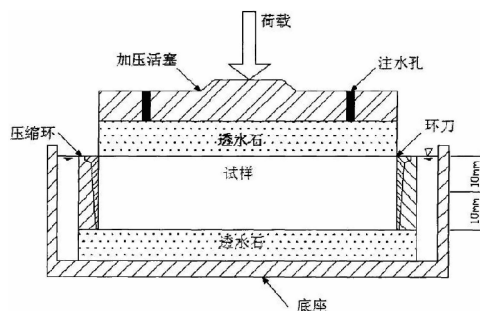


图 1 试验模型

Fig. 1 Test model

收稿日期: 2012-08-20 修改稿日期: 2012-11-20

基金项目: 安徽省高校优秀青年人才基金项目(2012SQRL195)

作者简介: 崔广芹(1985-), 女, 山东菏泽人, 博士, 主要从事岩土工程领域的研究工作.

当卸荷比 R 小于 0.25 时,回弹率 $\delta \approx 0$;当 $R > 0.75$ 时,回弹率 δ 迅速增大.因此,可以把 $R = 0.25$ 和 $R = 0.75$ 分别作为临界卸荷比和极限卸荷比,可分别按此确定回弹变形下限影响深度和强回弹区范围.

② 卸荷比 R 与卸荷回弹模量 E_r 的关系(见图 6).

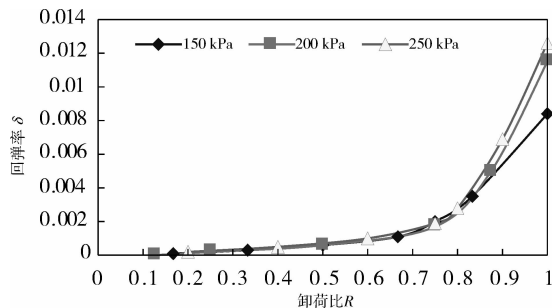


图 5 回弹 R - δ 关系曲线

Fig. 5 R - δ curve

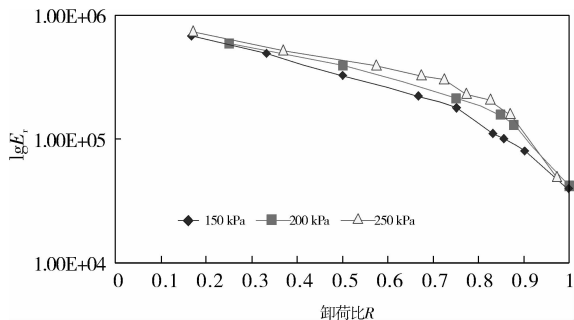


图 6 卸荷回弹 R - $\lg E_r$ 曲线

Fig. 6 R - $\lg E_r$ curve

由图 6 的 R - $\lg E_r$ 的关系曲线可知,在三种预压荷载 150 kPa、200 kPa 和 250 kPa 情况下,卸荷比 R 与回弹模量 E_r 在半对数坐标上均呈折线关系.当 R 大于 0.75 时, E_r 均迅速减小;当 $R < 0.75$ 时, E_r 随 R 的减小而直线增大.因此,对于黄土地区基坑,可以把 $R = 0.75$ 作为极限卸荷比,与回弹 R - δ 关系曲线所得结论一致,这与潘林有和胡中雄^[8]采用温州地区浅层原状粉质粘土所得的 R 为 0.8 差别不是很大.

3 工程应用

以西安小雁塔宾馆基坑为例,采用卸荷比法对基坑基底回弹量进行计算,并与实测值对比验证.

3.1 基坑工程参数

西安小雁塔宾馆基坑尺寸为 $25 \text{ m} \times 65 \text{ m}$,基坑开挖深度为 8 m,地下水位埋深 5.20~8.15 m.地基土的一般物理力学性质指标见表 3,各压力段下回弹模量见表 4.

表 3 地基土的一般物理力学性质指标

Tab. 3 The main physical mechanics property index of soil

层序	土层名称	平均厚度 /m	含水量 ω /%	重度 r / $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	孔隙比 e
①	黄土	4.3	26.2	17.4	0.912
②	黄土	2.5	30.1	18.0	0.921
③	古土壤	3.2	26.4	18.5	0.772
④	黄土	4.1	24.3	17.8	0.699
⑤	黄土	3.0	26.8	19.1	0.757
⑥	古土壤	3.4	24.7	19.5	0.696
⑦	黄土	以下	24.0	19.6	0.682

表 4 地基土各压力段回弹模量

Tab. 4 Rebound modulus of soil under different pressure

层序	地层名称	试验压力段/MPa			
		0.0~0.15	0.025~0.20	0.075~0.25	0.15~0.30
②	黄土	97.5	126.8	171.5	180.3
③	古土壤				
④	黄土	171.5	180.3	197.67	
⑤	黄土				
⑥	古土壤	180.3	197.67		
⑦	黄土				

3.2 卸荷比法

3.2.1 确定最大回弹层厚度

由 $R = 0.25$ 确定坑底极限回弹层厚度:

$$R = \frac{\alpha \gamma_1 D}{\gamma_2 (D + z)} \leq 0.25$$

式中: α 为矩形面积上均布荷载作用下基坑中点下附加应力系数; γ_1 为基坑开挖范围内土层的加权平均重度,经计算, $\gamma_1 \approx 17.82 \text{ kN/m}^3$; γ_2 为地表至回弹层底面范围内土层的加权平均重度(地下水位以下采用浮重度); D 为基坑开挖深度, $D = 8 \text{ m}$; z 为回弹层厚度.

经验算,当回弹层厚度 $z_{\max} = 20.5 \text{ m}$ 时, $\gamma_2 = 11.86 \text{ kN/m}^3$,查附加应力系数表得 $\alpha = 0.61$, $R = 0.25$.

3.2.2 确定强回弹层厚度

由 $R \geq 0.75$ 计算强回弹层厚度 z_k , 强回弹层厚度较小, 可近似取 $\alpha = 1$, 经验算当 $z_k = 4.5 \text{ m}$ 时, $R = 0.75$.

3.2.3 基底回弹量计算

(1) 强回弹区回弹量计算

将强回弹区分两层计算, 第一层为 2 m 厚的 ③- 古土壤层, 第二层为 2.5 m 厚 ④- 黄土层.

③- 古土壤层回弹量 S_1 采用式(4) 计算:

$$S_1 = \frac{P_{\max}}{E_{r1}} R_1 H_{01} \quad (4)$$

式中: E_{r1} 为对应加卸荷压力下的回弹模量, 由表 4 可知, 取 97.5 MPa ; H_{01} 为回弹层厚度; P_{\max} 为初始上覆荷载; R_1 为回弹层中部的卸荷比.

经计算 2 m 厚的 ③- 古土壤层回弹量 S_1 为 3.0 mm ; 同样可以求得 2.5 m 厚 ④- 黄土层回弹量 S_2 为 2.83 mm ; 因此, 强回弹层总回弹量:

$$S = S_1 + S_2 = 3.0 + 2.83 = 5.83 \text{ mm}$$

(2) 弱回弹区回弹量计算

弱回弹区回弹量同样可根据式(4) 计算, 弱回弹区涉及到的土层有 ④- 黄土、⑤- 黄土、⑥- 古土壤 ⑦- 黄土, 计算求得弱回弹区回弹量为:

$$S' = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 1.59 + 2.48 + 2.26 + 3.88 = 10.21 \text{ mm}$$

因此基坑基底总回弹量为:

$$S_{\text{总}} = S + S' = 5.83 + 10.21 = 16.04 \text{ mm}$$

3.3 计算结果分析对比

为研究小雁塔宾馆基坑在开挖过程中基坑卸荷后基坑底面的回弹变形, 在基坑平面范围内纵横中轴上共埋设 9 个回弹测试标点(以下简称回弹标 T1~T9). 在基坑开挖刚结束后测得这 8 个(其中 T7 数据异常)点的回弹量为 $7.7 \sim 11.7 \text{ mm}$, 在基坑开挖结束后 45 d 内测得这 8 个点的回弹量为 $12.7 \sim 16.6 \text{ mm}$, 基坑开挖完成初期的回弹变形量仅占总回弹量的 $50\% \sim 60\%$.

采用上述卸荷比法计算所得基坑基底回弹量为 16.04 mm , 与实测结果相差不大, 因此, 结合卸荷影响深度试验, 采用卸荷比法所求得的基坑基底回弹量比较符合实际.

3 结论及建议

(1) 对于西安黄土地区基坑, 可以把 $R=0.75$ 作为极限卸荷比, 可按此确定强回弹区, 把 $R=0.25$ 作为临界卸荷比, 按此确定回弹变形下限影响深度.

(2) 对于西安黄土地区基坑, 基坑开挖完成时, 初始回弹变形仅占总回弹量的 $50\% \sim 60\%$, 因此, 应尽量减少坑底暴露时间, 及时进行基础施工, 以避免基底出现过大的回弹变形量.

(3) 结合卸荷影响深度试验, 采用卸荷比法所求得的黄土基坑基底回弹量与实际比较符合.

本文的研究主要是在充分利用前人研究成果的基础上, 以常规固结回弹试验作为工作手段, 对西安黄土基坑基底回弹量计算作了进一步的分析研究. 研究结论对正确估算基底回弹量、有效预测建筑物沉降变形和控制基坑稳定有重要作用, 对地下结构设计和施工具有重要指导意义.

由于试验条件、试验场地条件等方面的限制, 所得的结论具有一定的地区局限性, 仍需要更多的现场试验和其它方法的进一步验证.

参考文献 References

- [1] 刘国彬, 侯学渊. 软土的卸荷模量[J]. 岩土工程学报, 1996, 18(6): 18-23.
LIU Guo-bin, HOU Xue-yuan. Unloading modulus of the Shanghai soft clay[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1996, 18(6): 18-23.

- [2] 刘建航,侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997.
LIU Jian-hang, HOU Xue-yuan. Excavation Engineering Manual[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1997.
- [3] 徐新跃,黄凌云. 深基坑开挖引起的环境效应及防治措施[C]//中国岩石力学与工程学会第七次学术大会论文集, 2002:719-722.
XU Xin-yue, HUANG Ling-yun. The environmental effect of excavation of deep Foundation pit and its control measures [C]//Academic essays of the seventh conference of the Chinese Society for Rock Mechanics and Engineering, 2002: 719-722.
- [4] JGJ/T87—2012, 建筑工程地质勘探与取样技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012:21.
JGJ/T87—2012, Technical specification for engineering geological prospecting and sampling of constructions[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2012:21.
- [5] 顾晓鲁,钱鸿缙,刘惠珊,等. 地基与基础[M]. 3版. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
GU Xiao-lu, QIAN Hong-jin, LIU Hui-shan, et al. Subgrade and foundation[M]. 3rd ed. Beijing: China Architecture and Building Press, 2003.
- [6] 钱力航. 高层建筑箱形与筏形基础的设计计算[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
QIAN Li-hang. The design and calculation for high-rise building with box and raft foundation[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2003.
- [7] 李建民,滕延京. 基坑开挖回弹再压缩变形试验研究[J]. 岩土工程学报,2010,32(增刊2):81-84.
LI Jin-min, TENG Yan-jing. Model test on rebound deformation in foundation pit excavation[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(S2):81-84.
- [8] 潘林有,胡中雄. 深基坑卸荷回弹问题的研究[J]. 岩土工程学报,2002,24(1): 101-104.
PAN Lin-you, HU Zhong-xiong. Experiment study on the resilience of pit under unloading[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2002, 24(1): 101-104.

Experimental study and engineering application of loess-pit excavation

CUI Guang-qin¹, MA Chen-guang², XU Ya-li³

- (1. School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;
2. Northwest Research Institute of Engineering Investigations and Design, Xi'an 710003, China;
3. Department of Architecture and Civil Engineering, West Anhui University, Lu'an 237012, China)

Abstract: Large area rebound deformation due to excavation of loess foundation pit was modeled through conventional consolidation-rebound test in this paper, and deformation characteristics of soil in different depth were studied. The critical unloading ratio and ultimate unloading ratio were derived according to the unloading ratio-rebound ratio and unloading ratio-resilience modulus relationship, and the maximum depth of unloading influence area and strong rebound area could be estimated using these two ratios, which would provide theoretical basis for determining the rebound displacement of loess foundation pit. Finally, based on the former research, the maximum rebound depth, strong rebound area and total rebound displacement of a foundation pit in Xi'an was calculated, which were similar to the in-situ test results. This verified that the method given in this paper was feasible.

Key words: loess foundation pit; rebound displacement; unloading ratio; consolidation-rebound test; influence depth