基坑流变效应的工程实例分析

袁静　　刘兴旺　施祖元　益德清
（浙江大学岩土工程研究所，杭州，310027）　（浙江省建筑设计研究院，杭州，310006）

提　要　本文根据杭州凯悦酒店基坑工程长达一年多的监测资料，得到基坑施工全过程的水平位移变化规律，认为软土深基坑的流变效应非常明显，流变的空间效应也较显著。

一　概　述

杭州凯悦酒店(国际大酒店)座落在著名西湖风景区东岸，西临湖滨路，北傍学士路，东靠东坡路，南依平海路，占地面积21400m²，总建筑面积85400m²。基坑四周道路繁华，地下管线复杂。基坑形状接近梯形，最大边长约 162m，最小边长达 98m，平面面积约17700m²，四周均建有二层临时施工用房及店面。

该酒店拥有规模较大的地下楼层建筑，西半侧宾馆部分三层，开挖深度为 14.3m；东半侧公寓部分两层，开挖深度为 12.3m。本工程±0.0 标高相当于绝对标高 8.6m；地下一层楼面标高有三种，分别为-4.1m、-5.1m、-6.0m；地下二层楼面标高为-8.00m。

该工程自地表以下的土层分布依次为①号土层，厚 3~7m 左右；②-1 号粉土及②-2 号粉质粘土分布厚度不均匀，层厚在 4~16m 之间变化；③号淤泥质粘土层属于高压缩性、高灵敏度、低强度、弱头水性软土，分布厚度达 20m，对围护体系的内力及变形控制极为不利；该层下面为土性较好的粘土层。地下水位受大气降水及西湖水位影响。

二　基坑围护的设计方案、施工及监测

1. 设计方案和实施

该工程基坑平面尺寸大，开挖深度深，地质条件差，周围环境复杂，最后确定的围护方案是：0.8m 厚地下连续墙作为临时挡土结构兼永久结构地下室外墙，墙底深度达到-26.5m 至-32.5m，基底以下布设工程桩，桩上插承重钢立柱，钢立柱顶端到达店面楼板的梁底高程；采用逆作法施工，以地下室各楼层作为主要支撑并辅以各种临时支撑，具体步骤为：

(1)地下连续墙、竖向临时支撑及降水井施工。

(2)地下墙顶部压顶梁施工。

(3)第一阶段盆式挖土即±0.00 结构楼层施工。

(4)地下墙周边土方开挖及地下一层楼板施工，同时开始施工地上一、二层结构。

(5)地下二层土方开挖、楼层施工，同时施工地上三层结构。

(6)最后阶段土方开挖、临时支撑架设及基础底板施工，施工地上第四至第八层结构。

各阶段挖土顺序为：基坑中间首先挖土至相应标高，保留地下墙周边土方，进行中心范围楼板或基础底板施工；中心范围楼板或基础底板混凝土达到一定强度后，若是楼板遂进行周边土方的开挖，若是基础底板，还要架设临时支撑，一端支于底板上，另一端支于地下墙标高-11.5 和-8.5m 处；地下墙周边土方开挖按“分段、对称、限时”的原则，逐步进行，并马上进行现有段的楼板或基础底板施工。

2. 施工监测

为施工控制、质量保证以及快速决策的需要，施工中进行地下连续墙的受力变形监测十分必要。该工程的监测内容有墙体水平位移监测，监测孔共 16 个，编号 D1—D16；连续墙墙顶位移及沉降监测与墙外地表位移即沉降监测；此外还有墙体钢筋应力监测、墙体土压力及渗水应力监测等，各测点的布置见图 1。

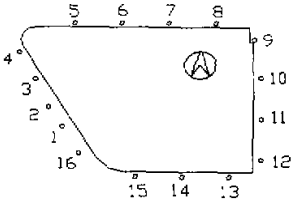
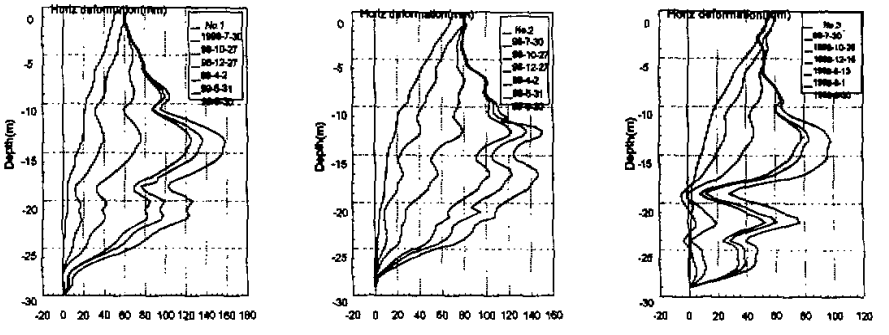


图 1 基坑平面形状及测点布置图

工程监测于 98 年 4 月 18 日开始，由于各种原因基坑暴露 40 余天，6 月 30 日进行施工，7 月 21 日±0.00 结构楼层施工完毕；11 月 30 日地下一层结构施工完毕；99 年 2 月 15 日地下二层结构楼层浇筑完毕；5 月 26 日基础地表浇筑完毕。监测于当年 6 月底完成。

三 监测成果

监测得到 9 个点的水平位移变化如图 2 所示。图中的曲线从左至右依次对应着图标中由上而下的日期。第一开挖阶段最大水平位移点在基坑顶部，随着开挖面的下降，最大点的位置也逐级下移，直至基底附近。在施工第一阶段 (1998 年 7 月 30 日) 以后，顶部位移的变化不大，较稳定，而与地下各楼层对应的位置处的位移变化大。由于开始时第 8 点处的周边留土被超挖，导致基坑北边的 5、6、7、8 点空间效应不明显以外，基坑其余处的空



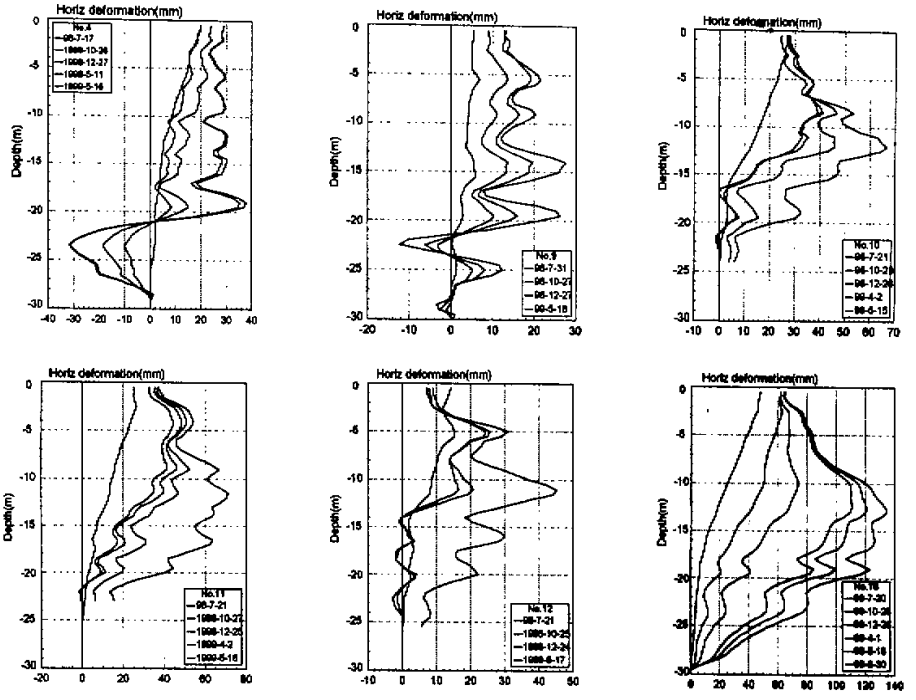


图 2　水平位移变化图

间效应较大，角部(3、4、9、12、13 点)的位移值比基坑周边中间部位的值小很多，差值最大的近 60mm。基坑的尺寸效应也很大，长边处(16, 1, 2 ,3, 4 点)不论角部还是中心位置都比短边(9, 10, 11, 12 点)大，相差 60mm。基坑的深度对水平位移的影响很大，基坑西边的 16、1、2、3、4 点与东边的 9、10、11、12 点相比，位移显然大很多。

分别截取各点 0.5m、3m、6m、9m、12m、15m、18m 深度处的位移值，得到水平位移随时间的变化关系，见图 3。由于量测工作量大，仅选取对各个施工阶段由较大影响的深度进行了跟踪测量。故图中曲线并不连续，四条竖线从从左到右分别对应着±0.00 楼层浇筑完毕、地下一层楼

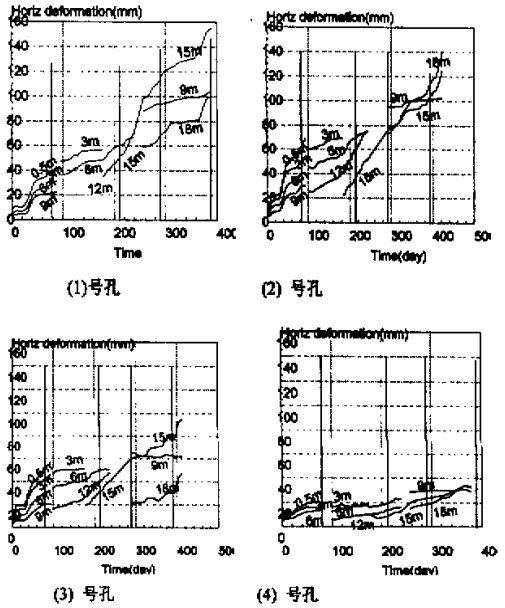


图 3　水平位移随时间的变化关系

板结构施工完毕、地下二层楼板结构浇筑完毕以及底板浇筑完毕这四个阶段。图中所有曲线在每个开挖分阶段都随时间曾增长趋势，分阶段内的曲线由两条直线组成，直线的斜率都大于零，第一段直线对应开挖阶段，第二段对应楼板收阶段。对应于每一段地下墙墙幅，即每一测点，开挖与楼板的施工时间都较短，而在开挖与楼板浇筑以及楼板浇筑完毕到下一次开挖之间的时间间隔比较长，说明停止开挖进行楼板结构浇筑时，位移仍以较大幅度增长，曾现出明显的流变效应。基坑角部点的直线斜率较坑边中间点的斜率低，表明基坑边中部位移发展快，角部的位移发展慢，同样显示出空间效应。对图 3 的数据进行处理，就可得到位移变化率随时间的关系。

图 4 即为 1 号点的分析结果。由于各个深度没有连续观测，有些曲线在施工的某一

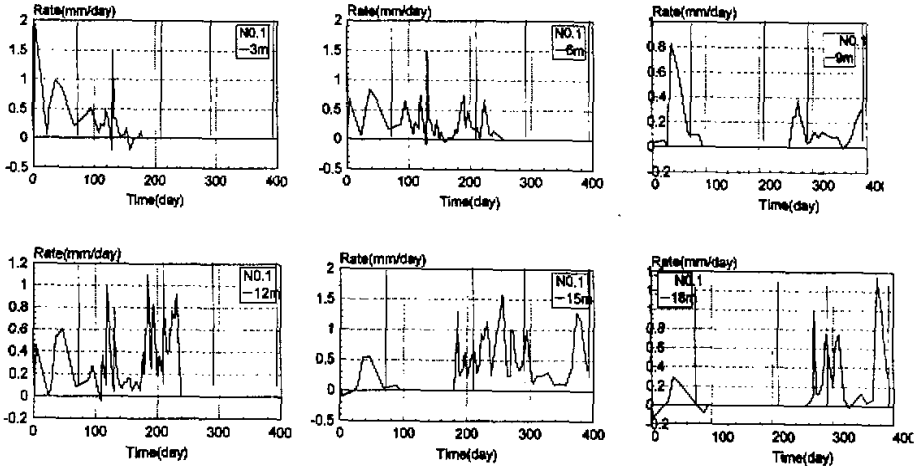


图 4　一号监测点水平位移变化率与时间的关系

阶段缺失，而不是位移变化率为零，宏观看曲线如电波一样上下振荡，这是由于施工扰动和相邻幅段开挖造成。对应于第一阶段，开挖面在 4m 处，该处附近曲线呈现出两个波峰；第二阶段开挖面在 8m 处，6m 和 12m 处的曲线同样呈现两个较大的波峰，9m 处数据缺失；第三阶段开挖面在 12m 处，15m 处曲线则有三个波峰，其余深度该阶段数据缺失；第四阶段挖至基底，15m 和 18m 处的曲线都呈现两个波峰。可见几乎每个阶段变化率都存在两个波峰，位于开始和结束两端。第一个波峰对应开挖阶段，第二个波峰对应着楼板结构浇筑完毕阶段时的混凝土收缩阶段。因此平面尺寸大时，混凝土收缩对地下墙侧向变形影响不可忽略，特别是板式支撑。15m 处曲线三个波峰的存在可能是施工扰动或其他扰动引起。

相当于每一施工段开挖期的第一个峰值达到后，变化率的值在相当长时间内并不至零，而是在一定值以上振荡，总体趋势随时间逐渐减少，一旦楼板浇筑完毕，混凝土收缩，变化率马上增大，并在一个更高值以上振荡，然后进入下一施工段，说明在整个开挖阶段，流变效应始终存在，变化率无论开挖还是支撑阶段始终大于零，只是开挖段位移变化率较大而已。因此对于软土特大型深基坑，基坑开挖时间长，就应特别考虑土的流变效应。同

时从图 2、图 3、和图 4 都可看出若底板和围护结构相接时，即使浇筑底板后，由于混凝土的收缩效应，其变形率和位移量也不可小视，切不可掉以轻心。

四 结 论

通过对杭州凯悦酒店的基坑工程的水平位移数据的分析，得到如下结论：

（1）软土深基坑流变效应明显，流变率在整个基坑施工阶段都大于零。

（2）流变率的空间效应明显，角部流变率的值小，水平位移发展慢，基坑周边中间位置的流变率值大，水平位移发展快。

（3）当支撑为板式支撑时，混凝土的收缩会引起较大的水平位移。

（4）底板浇筑后的位移变化量较大，应予以重视。

参考文献

[1]刘建航、侯学渊主编：《基坑工程手册》，中国建筑工业出版社，1997 年。

[2]刘兴旺：《地下连续墙围护和承重结构内力变形及承载机理分析》，浙江大学博士论文，1998 年。