

考虑共同作用的超大基坑逆作法的研究

叶朝汉 袁聚云 钟邑桅

(同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092)

【摘要】 考虑到施工过程中对基坑底部回弹量和差异沉降量的明显减小, 逆作法目前取得了较广泛的应用。在基坑开挖过程中考虑基础和上部结构的共同作用, 可以有效地控制基坑变形。通过对一个特大基坑的实测分析, 简要说明了共同作用理论在逆作法施工中的具体应用。

【关键词】 逆作法; 回弹量; 共同作用; 差异沉降; 基坑

【中图分类号】 TU 470

Study on the Inverted Construction Method of Especially Big Pit Considering the Interaction Between Foundation and Structure

Ye Chaohan Yuan Juyun Zhong Yiwei

(Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092 China)

【Abstract】 Considering the obvious decrease of the pit bottom bounce capacity and differential settlement, the inverted construction method is widely used. It can validly control the distortion of pits, thinking over the interaction between foundation and up-side structure in pit digging. The applications of interaction theory in inverted construction method is indicated by analyzing one example of an especially big dip.

【Key Words】 inverted construction method; bounce capacity; interaction; differential settlement; foundation pit

0 引言

深基坑已经成为目前建筑业的一大热点和难点, 基坑开挖和支护工作变得更加困难。在国外广泛采用的逆作法设计理论和施工技术正逐渐在我国得到运用。

最早高层建筑与地基基础共同作用理论限于高层建筑与地基基础(包括天然地基和桩基), 现该理论已发展用于深基坑、港口工程和逆作法中。共同作用课题现今也成为岩土工程界研究的重点之一, 国外已经研制了原位测试仪器来测定土-基础-上部结构共同作用^[1]。对于逆作法, 就是把地下连续墙也作为承重墙, 扩展到上部结构-地下连续墙-基础共同作用。

1 共同作用理论的应用

20 世纪 70 年代, 高层建筑与地基基础共同作用的总方程式为^[2]

$$([K_b] + [K_r] + [K_{ps}])\{U_b\} = \{S_b\} + \{P_r\} \quad (1)$$

式中: $\{S_b\}$ 为上部结构(包括基础的梁、板和柱)凝聚后的等效边界荷载列向量; $[K_b]$ 为上部结构(包括基础的梁、板和柱)凝聚后的等效边界刚度矩阵; $[U_b]$ 为等效边界位移列向量; $[K_r]$ 为基础底板的整体刚度

矩阵; $[P_r]$ 为基础底板本身所受的节点力列向量。

20 世纪 90 年代, 基坑深度越来越深, 地下连续墙不但用于围护结构, 发展到两墙合一(围护+地下室墙), 三墙合一(围护+地下室+承重墙)。高层建筑与地基基础共同作用理论相应发展, 能考虑地下墙的共同作用, 因此, 式(1)中的 $[K_{ps}]$ 仅考虑桩土一项, 要加上墙的共同作用, 变为下式:

$$([K_b] + [K_r] + [K_{psw}])\{U_b\} = \{S_b\} + \{P_r\} \quad (2)$$

式中: $[K_{psw}]$ 为桩土体系(包括地下连续墙)共同作用的刚度矩阵。式(2)即为上部结构、地基基础与地下连续墙共同作用的总方程。

逆作法是一种设计和施工密不可分的过程。在逆作法中, 结构设计应考虑到上部永久柱的布置和下部中柱桩的布置。一般支承柱的中心线应该与中柱桩的中心和永久桩的中心重合。差异沉降可以通过挖土速率和上部结构荷载的调整来控制。地下连续墙采用两墙合一的方法。逆作法施工过程见图 1。由图 1 中可见当上部结构施工到某一层, 地下室的土已全部挖除, 而基础底板尚未浇筑时会导致较大的差异沉降。土方施工将在很大程度上决定结构

施工,因此土方施工是逆作法的首要问题。

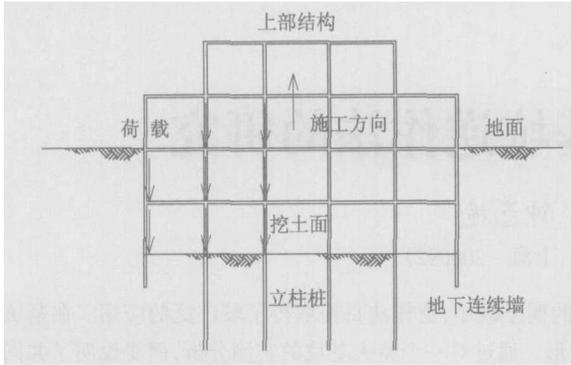


图1 逆作法施工过程

共同作用理论在逆作法中的具体表现在:

1)对于地下连续墙两侧摩擦力的处理,开挖后,地下室的开挖面以上连续墙两侧的摩擦力,只余下外侧摩擦力,处理时,将墙外侧摩擦力作为节点荷载,反向作用在墙上。

2)对于上部结构和地下室刚度的处理, n 层上部结构的刚度形成需要一定的时间, n 层荷载全部考虑,而刚度则滞后一层形成;同理,地下室 m 层的荷载全部考虑,而刚度则考虑 $m-1$ 层。

3)对基础底板刚度的处理,当基础底板浇筑前,取 $[K_r] \rightarrow 0$,此时,认为基础底板与地基土脱离。

4)当基础底板浇筑前,上部结构(包括箱或筏基)荷载主要由立柱桩和连续墙承担,刚度矩阵迭加时不考虑地基土节点的刚度,这样前面的式(2)变为

$$(K_{b(m+n-2)} + K_{pw})\{U_b\} = \{S_{m+n}\} + \{P_r'\} \quad (3)$$

式中: $[K_{b(m+n-2)}]$ 为上部结构 $n-1$ 层和地下室 $m-1$ 层结构刚度凝聚的边界刚度; $[P_{pw}]$ 为基础板下的立柱桩和连续墙体系的刚度矩阵; $\{U_b\}$ 为节点位移列向量; $\{S_{m+n}\}$ 为凝聚到基础节点上的边界荷载列向量; $\{P_r'\}$ 为立柱桩和地下连续墙的本身节点荷载列向量。

2 工程实例

按场地的工程地质条件和周边环境的差异,逆作法又分为整体逆作法、半逆作法、分层逆作法、部分逆作法、部分正作法等。具体的逆作方法选用要

根据场地条件、基坑深度和周边环境等来决定。在逆作法中考虑土体-地基-上部结构共同作用,可以使设计和施工更加经济合理。

2.1 工程概况

长峰商城是集购物、餐饮、办公、酒店等融汇一体的多功能、综合性现代建筑,位于长宁区地铁二号线中山公园站,即长宁路、汇川路和凯旋路合围处。

长峰商城主体结构为一幢60层高238m框-剪结构的超高层建筑,还有10层裙房。基础采用桩筏基础,底板面标高为-16.75m;主楼筏板厚为4.00~6.25m,裙房筏板厚2.0m;基坑开挖深度为18.95~24.00m。桩采用 $\phi 850$ 的钻孔灌注桩,桩深72.50m,有效桩长约48m;地下室外墙采用800mm和1000mm厚两墙合一的地下连续墙。主楼和裙房均设四层地下室;地面一层(-0.10m)、地下一层(-5.30m)、地下二层(-10.70m)、地下三层(-13.70m)、地下四层(-16.75m)。基坑面积为22000m²。

长峰商城环境复杂,基坑四周环路。距离南侧长宁路外墙2.5m是深为10m的地下两层地铁二号线中山公园站大厅;西侧凯旋路为新建道路,有各类管线;离西侧外墙40m处为轻轨高架车站。北侧汇川路和东侧汇川路所属原有道路也有大量管线;距北侧地下外墙40m处有一栋六层居民住宅;距东侧地下外墙30m处为国美商场(12层框架结构)。

2.2 实测资料分析

长峰商场地下连续墙某一点的水平位移实测值见图2。从图2中我们可以看出墙体的最大水平位移并不是发生在基坑上部,而是在约为基坑深度的1/2处。这是因为在逆作法中上部结构对基坑有一定的约束作用,有的文章中把这种现象解释为空间效应^[3]。

据上海基坑施工的经验,采用顺作法墙体最大位移为基坑深度 D 的0.5%左右。如长峰商城采用顺作法施工,试以基坑深度18m计,墙体的最大水平位移将为90mm。图3中在基坑开挖到18m时,墙体水平位移不到30mm,约为顺作法的1/3。

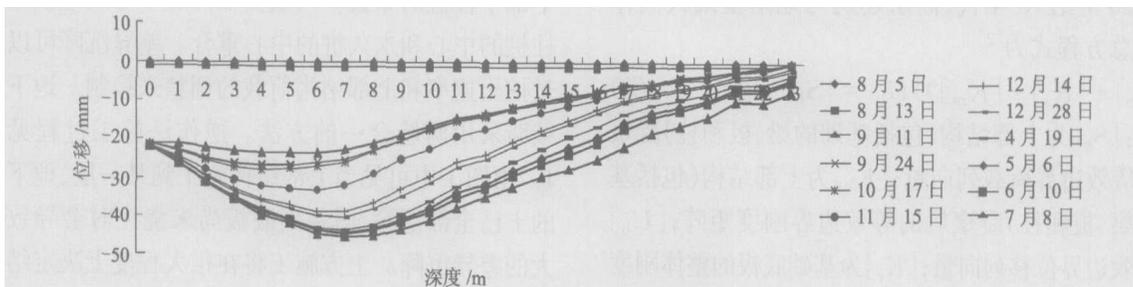


图2 CX₂₁点墙体水平位移沿深度的变化关系曲线图

基底立柱桩隆起等高线见图3。由于底板浇注后的约束作用基底隆起趋于均匀。据能量守恒的原则,墙体沿深度的水平位移所包的面积 \approx 墙后相应的沉降所包的面积 \approx 基坑底隆起所包的面积^[4]。据赵锡宏等人的经验,顺作法桩基础基底隆起约为基坑高度 D 的0.15%。从图3可见,基底最大隆起为6.5 mm,为 D 的0.036%,不到顺作法的1/3。

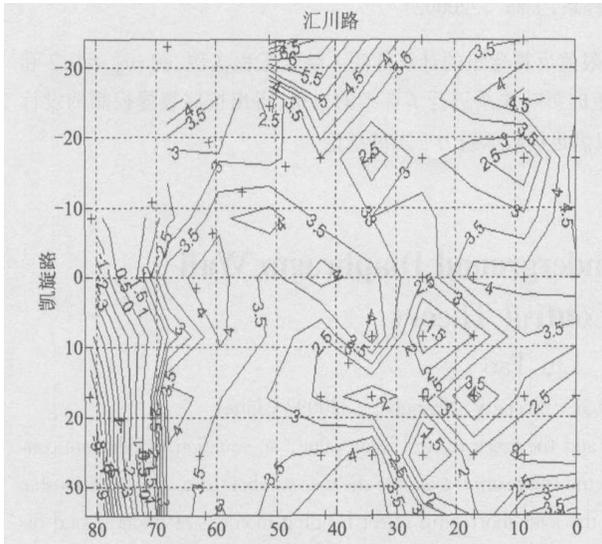


图3 基底立柱桩隆起等高线图

土压力沿深度的变化关系见图4。从图4中可见实测值比静止土压力值和水土分算值要小很多。可见,朗肯土压力理论对于逆作法施工的基坑存在很大的偏差,只能作为一个参考。在北京的好土地区实测主动土压力为朗肯主动土压力的1/3,实测被动土压力为朗肯被动土压力的1/2^[5]。由此可见,对于逆作法基坑的土压力还需进一步的研究。

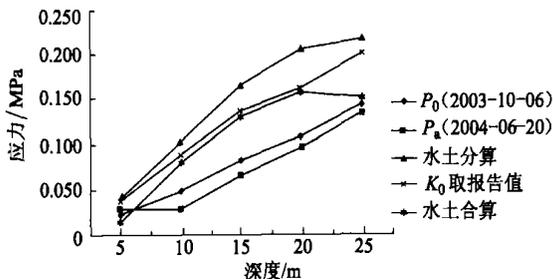


图4 土压力沿深度的变化关系图

墙体钢筋应力沿深度变化规律见图5。由图5中可见墙体应力随着深度的增加而降低,最大应力不超过1300 kPa,远小于钢筋的容许应力。约在基坑深度1/2处的钢筋应力也是比较大的。由此可见,在逆作法基坑中,基坑深度1/2处是最危险的地区,在施工设计时应该引起高度重视。

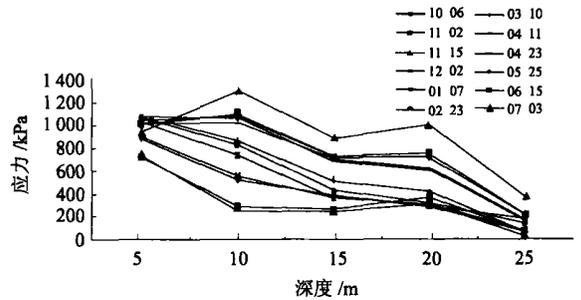


图5 墙体钢筋应力沿深度变化图

由于上部结构的作用刚度明显增大,底板的弯矩比顺作法减小很多,这里就不详细列出。由实测资料可知,逆作法的明显特点:地下室的结构刚度比之顺作法的临时支撑刚度大得多,强有力地抵抗墙体的水平位移;立柱始终与桩连成一体,始终抵抗着土体的向上隆起力。此外,兼作承重墙的地下连续墙,也能分担部分结构荷载,有利于减少立柱桩的受力。

3 结论

1)采用共同作用理论设计逆作法施工与一般的顺作法施工其优点主要体现在一个“小”字:位移小,差异沉降小,隆起小,应力小,弯矩小等;

2)通过实测资料结合经验得出墙体位移和基地隆起约为顺作法的1/3的估计;

3)分析了朗肯土压力理论在逆作法中存在的问题,建议设计中采用太沙基理论并与施工过程中的实测值相比较。

共同作用理论应用在逆作法施工中是一个趋势,对基坑工程的设计施工改进有促进作用。

参 考 文 献

- [1] Jonathan P. Stewart, Daniel H. Whang, John W. Wallace, et al. Field Testing Capabilities of the NEES @UCLA. Equipment Site for Soil-Structure Interaction Applications. pg. NA, (doi 10.1061/40779(158)2).
- [2] 董建国,赵锡宏. 高层建筑与地基基础/共同作用理论与实践[M]. 上海:同济大学出版社,1997. 43-47.
- [3] 陈页开,徐日庆. 基坑开挖的空间效应分析[J], 建筑结构. 2001,31(10):42-44.
- [4] 赵锡宏,陈志明,胡中雄. 高层建筑深基坑围护工程实践与分析[M]. 上海:同济大学出版社,1996. 176-177.
- [5] 徐至钧,赵锡宏. 逆作法设计与施工[M]. 北京:机械工业出版社,2002. 102-103.