

嵌岩地下连续墙模型试验研究和参数测定

钟建驰¹,冯兆祥¹,刘玉涛²,徐伟²

(1.江苏省长江公路大桥建设指挥部,江苏 南京 210001;2.同济大学土木工程学院,上海 200092)

摘要 结合润扬长江公路大桥北锚碇基础工程地下连续墙设计,进行了地下连续墙承载能力和嵌岩部分基床系数测试的室内试验以及试验设计、结果误差的分析,检测了在设计荷载作用下地下连续墙的工作性态,发现其内力和变形带有深梁的特征,同时验证了基床系数设计取值的合理性。

关键词 地下连续墙;承载能力;基床系数

中图分类号:U455.45+2 文献标识码:A 文章编号:1000-1980(2004)02-0204-05

水利工程中将嵌岩地下连续墙作为防渗墙,应用较广^[1],但用于深基坑围护的还不多。在我国,已有的报道中,广东虎门大桥西锚碇基础使用了圆形嵌岩地下连续墙^[2,3],该墙外径 61 m,内径 59.4 m,墙厚 80 cm,开挖深度 12 m,平均入岩深度 1.95 m,没有内撑,只设 3 道围檩。润扬长江公路大桥北锚碇基础工程,采用了矩形嵌岩地下连续墙,该墙平面尺寸 69 m×51 m,深近 50 m,墙厚 1.2 m,内设 12 道钢筋混凝土支撑。文献[4~6]介绍了该墙的施工工艺,文献[7]介绍了该墙的数值计算结果。在国外,文献[8]列举了 62 个嵌岩支护结构,对其中的 H 型钢、水泥土、钻孔灌注桩和地下连续墙等围护形式和内撑、锚杆支撑形式进行了分类统计,对各种嵌岩支护形式所导致的挡墙水平位移、墙后土压力进行了对比,并用经实例验证的有限元程序对超挖引起的各种支护形式挡墙位移进行了敏感性分析。除上述报道外,未见其他关于嵌岩地下连续墙支护结构的报道。

润扬长江公路大桥悬索桥北锚碇地下连续墙展开图和基坑剖面如图 1 所示。墙体嵌入基岩,基坑周围为开阔地带,基本没有环境保护问题。地层分布情况大体如下:第 1 层为浅层亚粘土,层厚 1.5 m;第 2 层为淤泥质亚粘土,层厚 16.8 m;第 3 层为浅层粉细砂,层厚 18.5 m;第 4 层为深层细砂,层厚 11.2 m。基坑底以下为花岗岩。

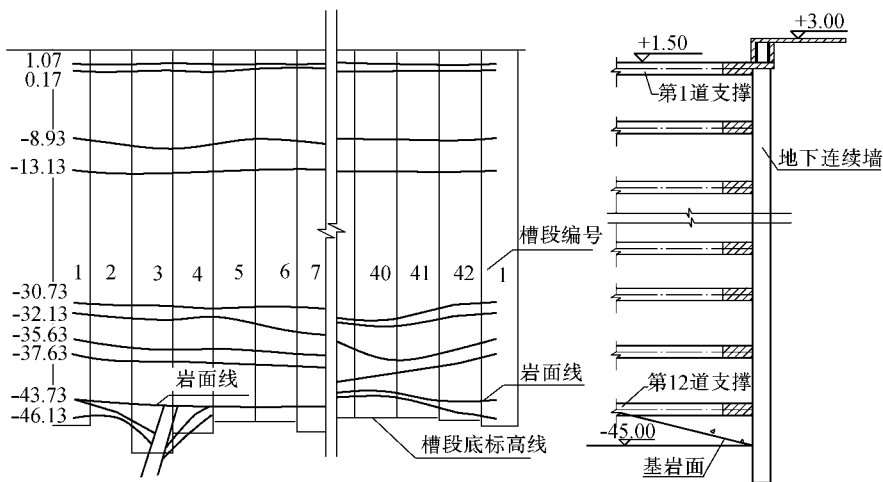


图 1 地下连续墙槽段展开和基坑剖面

Fig.1 Development of underground diaphragm wall and profile of foundation pit

基坑围护结构设计中,地下连续墙取竖向弹性地基梁模型,墙前面的土体按文克勒地基模型考虑其刚度,并按主动土压力考虑墙前土体对墙体的作用,取单位宽度地连墙作为竖向弹性地基梁进行受力和配筋计算。从结构角度看,地下连续墙简化成梁这种单向构件时,由于梁的跨高比较小(3~5),受力特性介于一般连续梁和连续深梁之间,所以地下连续墙的实际受力状态与弹性地基梁计算模式的假定不一致。墙前的岩土模拟成水平弹簧。对于基岩,设计中水平向基床系数按 m 法取值,即假定基床系数沿竖向线性分布,比例系数即为 m ,设计值分别取为 40 MN/m^4 , 100 MN/m^4 , 200 MN/m^4 ,这些取值都是根据非嵌岩支护的经验得到的,直接用于嵌岩支护的合理性尚需检验。考虑到墙体底端嵌入基岩且有很多道内支撑,整个围护壁和支撑体系质量很大,正截面按纯弯构件配筋时配筋过多且不合理,因此在设计时正截面按偏心受压构件配纵向受力筋,斜截面按受剪配箍筋,其安全性和合理性有待进一步验证。为了检验设计和参数取值的合理性,确定地下连续墙的极限承载力和破坏形式,在室内进行了嵌岩地下连续墙结构模型试验。

1 试验设计

1.1 模型设计

试验取 1 m 长墙体,采用几何尺寸 1:3 的模型。材料取设计混凝土标号和钢筋等级,各物理力学指标严格按照量纲分析法确定其相似系数。将墙体下端嵌入现场采集的岩石样中,在岩石上开洞放入专门设计的压力传感器,并在洞壁上贴应变片。将整个基岩用钢筋混凝土包住,施加预应力模拟边界的约束。墙体高度取在第 10 道支撑和第 11 道支撑中间。第 11 道、12 道围檩也按 1:3 的比例缩小。墙体内预埋 2 根伸出断面的槽钢,槽钢上施加剪力模拟断面上的剪力和弯矩,墙体轴向力直接施加在断面上。墙外主动土压力取设计荷载,并简化为均布荷载,用 4 个千斤顶分成 8 个加载点进行加载。设计 2 组试件,即一组在墙侧面直接施加土压力,未考虑墙体和砂土层的相互作用,另一组在墙体侧面布置砂层考虑墙体和砂层的相互作用,测定在这 2 种不同条件下墙体的工作性能。砂层取自工程现场,主要物理力学指标 ρ 为 1.94 g/cm^3 , c 为 6 kPa , φ 为 32° 。

1.2 加载设计

第 1 组试件模拟完成第 12 道支撑施工并已开挖到基坑底面的工况,即先在墙体断面上施加设计所取的轴力、弯矩和剪力,墙体侧面主动土压力先加到设计的预定土压力,分析加载过程中墙体的工作情况,再加大设计土压力,使墙体受力增大,直到墙体开裂和破坏,分析墙体在达到极限承载力过程中工作性能的变化并确定墙体的极限承载能力。第 2 组试件模拟基坑的开挖过程,但在模拟墙外主动土压力时,荷载并不直接施加在墙体的表面,而是在墙外铺设砂层,荷载施加在砂层上,再通过砂层传递到墙体的表面。这一方面模拟了墙体和土层的实际接触情况;另一方面可以和第 1 组试件测得的墙体极限承载力进行比较,以确定设计模式是偏于安全还是偏于危险(设计中并没有考虑结构和土体的相互作用,而是将土体单纯地当作荷载和弹簧来处理)。第 2 组试件初始状态取第 10 道支撑已施工完毕,准备开挖第 10 道支撑和第 11 道支撑之间的土,按设计工况,直到挖至基坑底。随后同第 1 组试件,逐步加大主动土压力,直到墙体极限破坏。在整个试验过程中,通过预埋的测点测定地下连续墙墙体工作性能的变化,检验墙体设计的安全程度。2 组试件的加载装置和测点布置示意如图 2、图 3 所示。

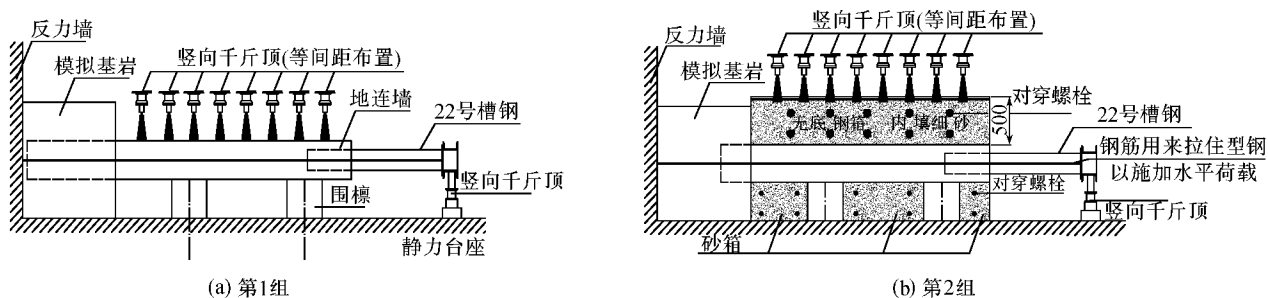


图 2 试件

Fig.2 Test pieces

出现后 2 个测点的荷载-应变曲线的非线性不如一般梁明显.这说明深梁的某一个或几个截面出现局部裂缝后,对整体工作性能的影响较一般梁为小.由于试验条件的限制,加载到 1.80 MN 时,除第 1 条斜裂缝有所发展外,在它的周围还产生了几条小裂缝.可以推断,构件的最终破坏是由于这条主裂缝贯穿截面达到极限承载能力引起的.在整个加载过程中,钢筋的应力一直呈线性增长,说明整个构件的破坏最终将是剪切破坏.

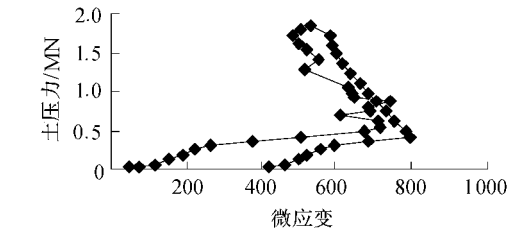


图 6 测点 2-35 混凝土表面荷载-应变曲线
Fig.6 Load-strain curve for measuring point No.2-35 on concrete surface

砂土层对构件变形有约束作用,混凝土表面的受拉变形受到墙体周围砂土层的限制,延缓了裂缝的出现.同时,根据观测,第 2 组试件裂缝出现后的发展速度没有第 1 组试件快.这说明砂层对裂缝的发展有一定的限制作用.工程设计中没有考虑这种效应,是偏安全的.这种效应在试验中得到了验证,但要定量地描述还比较困难.

将不同荷载工况下测得的基岩位移进行拟合回归,得出了各点基床系数 k 及其相应的比例系数 m ,部分结果如图 7 所示.测出的 m 值都在 177.46 MN/m^4 和 197.3 MN/m^4 之间,与设计取值比较吻合.在地下连续墙整个施工过程中以及将设计荷载放大几倍的情况下, m 值变异性较小,说明设计中嵌岩部分的工作性态能够得到保证.同时从图中可以看出,数据点是比较分散的.这反映了岩土工程问题本身的复杂性和不确定性.

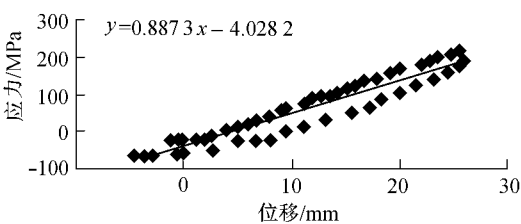
3 结 论

根据试验结果,当所加荷载达到设计值 0.54 MN 时,2 组试件都在安全范围内工作,钢筋和混凝土的应变都比较小,嵌岩节点的变形和受力控制在预定的范围内,说明在考虑所施加的轴向力后,构件的承载能力有所提高.对试件继续施加荷载,第 1 组试件当总土压力达到 1.08 MN 时,出现第 1 条裂缝,第 2 组试件总土压力达到 1.32 MN 时出现第 1 条裂缝.再继续施加荷载,当土压力达到 1.80 MN 时,除原有的裂缝继续发展外,又出现了新的裂缝,嵌岩节点也没有出现破坏,且承载力还可以继续增加.

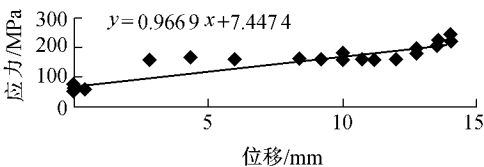
地下连续墙的竖向分布钢筋(即深梁分析中的腹板分布筋)加强了截面抗弯承载力,支座截面上实测的轴向应力和轴向应变小于按一般连续梁理论计算所得的值,变形前位于同一横截面上的测点变形后大多不在同一截面上,个别测点上横向应变与轴向应变达到了同一数量级,剪切对内力和变形的影响明显,这些都显示出了深梁的性质.一般梁计算理论中平截面假定和梁纵向纤维之间没有挤压的假定带来了明显的误差,实用上应采用有限单元法计算结果或对按一般梁理论计算值进行修正.影响地下连续墙截面抗力的主要因素有材料性能(如强度、弹性模量等),截面的几何参数(如截面尺寸、惯性矩等)和计算模式的精确度^[3].对于本试验,除上述因素外,还包括试验模拟因素.

第 2 组试件测得的混凝土和钢筋的荷载应变、荷载应力关系与第 1 组试件基本相同,具有代表性的测点 2-35 混凝土表面的应变随荷载的变化如图 6 所示.在加载的各阶段,第 2 组试件应变非线性变化没有第 1 组试件明显,其各测点钢筋应力都在弹性范围内.由于对第 2 组试件进行了基坑开挖模拟,因此荷载应变曲线不同于第 1 组试件.第 2 组试件的开裂荷载为 1.32 MN,较第 1 组试件明显偏大.其原因有 2 个:一是试验设计问题,荷载通过砂土层上传到构件上,分布比较均匀,避免了应力

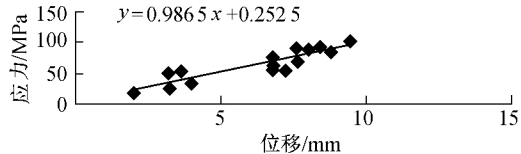
集中;二是



(a) 测点 1-12: $k=8873\text{ MN/m}^3$, $m=177.46\text{ MN/m}^4$



(b) 测点 2-6: $k=9669\text{ MN/m}^3$, $m=193.38\text{ MN/m}^4$



(c) 测点 2-8: $k=9865\text{ MN/m}^3$, $m=197.3\text{ MN/m}^4$

图 7 各测点荷载-位移关系曲线

Fig.7 Load-displacement curve for different measuring points

参考文献：

- [1] 高钟璞. 大坝基础防渗墙[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000. 1—31.
- [2] 周建军, 饶思礼. 虎门大桥西锚碇大型混合基础的设计与施工[J]. 桥梁建设, 1995 (2): 44—47.
- [3] 张有光, 关华. 虎门大桥西锚碇基础地下围水连续墙的施工技术[J]. 国外公路, 1998, 18(5): 49—51.
- [4] 冯兆祥, 钟建驰. 润扬大桥北锚碇基础地连墙成槽工艺试验研究[J]. 华东公路, 2001 (6): 35—39.
- [5] 宋康, 吕鹏. 地下连续墙嵌岩技术初探[J]. 建筑技术开发, 2002, 29(1): 37—39.
- [6] 宋康, 吕鹏, 徐伟. 我国地下连续墙施工之最——润扬大桥北锚碇超厚、超深地下连续墙嵌岩成槽工艺[J]. 建筑施工, 2002, 24(1): 4—6.
- [7] 吕凤梧, 徐伟, 刘建航. 深基坑开挖支护的弹塑性有限元数值模拟与分析[J]. 建筑技术, 2002, 33(2): 88—91.
- [8] CHUNGSIK Y. Behavior of braced and anchored walls in soil overlying rock[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2001, 127(3): 225—233.

Model test and parameter determination for rock embedded underground diaphragm wall

ZHONG Jian-chi¹, FENG Zhao-xiang¹, LIU Yu-tao², XU Wei²

(1. Jiangsu Provincial Yangtze River Highway Bridge Construction Headquarter, Nanjing 210001, China;

2. School of Civil Engineering, Tongji Univ., Shanghai 200092, China)

Abstract: In combination with the underground diaphragm wall design in north anchor project of the Runyang Yangtze River Highway Bridge, a laboratory experiment is performed for measurement of the bearing capacity of the diaphragm wall and the foundation bed modulus of the rock embedded section, and the experimental design and errors of the experimental results are also discussed. By inspection of the working behavior of the diaphragm wall under design loads, the similarity of the internal force and deformation of the diaphragm wall to those of the deep beam is found, and the rationality of the design value of the foundation bed modulus is verified.

Key words: underground diaphragm wall; bearing capacity; foundation bed modulus