

【新装备新工艺】

# 帽型 H 型钢组合钢板桩在软土基坑中的应用

金小荣<sup>1</sup>, 郭永<sup>2</sup>, 永津亮祐<sup>3</sup>, 奥田洋一<sup>4</sup>, 黄加利<sup>2</sup>

(1. 浙江大学建筑设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310028; 2. 杭州华蕴基础工程有限公司, 浙江 杭州 310015;  
3. 日本制铁株式会社建材开发技术部, 日本; 4. 新日铁住金咨询(北京)有限公司上海分公司, 上海 200040)

**摘要:** 本文介绍了帽型 H 型钢组合钢板桩在杭州软土基坑工程首次应用中的设计、施工和监测情况, 主要内容涉及围护体系设计、施工及监测要求等。监测数据表明, 土体水平位移值和沉降值未超过报警值, 可见该围护型式的设计和施工是成功的, 可为类似工程作借鉴之用。

**关键词:** 基坑支护; 帽型 H 型钢组合钢板桩

中图分类号: TU731

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2020)02-0176-05

## Application of H+Hat combined steel sheet pile in soft soil foundation pit

JIN Xiao-rong<sup>1</sup>, GUO Yong<sup>2</sup>, Ryosuke Nagatsu<sup>3</sup>, Yoichi Okuda<sup>4</sup>, HUANG Jia-li<sup>2</sup>

(1. The Architectural Design & Research Institute of Zhejiang University Co., Ltd., Hangzhou 310028, China;

2. Hangzhou Huayun Foundation Engineering Co., Ltd, Hangzhou 310015, China;

3. Construction Products Development Div., Nippon Steel Co., Japan;

4. Nippon Steel Consulting (Beijing) Co., Ltd. Shanghai Office, Shanghai 200040, China)

**Abstract:** This paper introduces the design, construction and monitoring of H+Hat combined steel sheet piles for the first time in Hangzhou soft soil foundation pit engineering. The main content involves the design, construction and monitoring requirements of the retaining system. The measured data showed that the horizontal displacement and settlement of the soil did not exceed the alarm value. It can be seen that the new type of retaining structure is successfully designed and constructed and can further be used as a reference for similar projects.

**Key words:** foundation pit support; H+Hat combined steel sheet pile

## 0 前言

基坑工程广泛存在于城市建筑工程、地铁工程以及地下综合管廊工程等领域。目前, 国内的基坑支护结构形式有钢板桩工法、钻孔灌注桩结构和 SMW 工法桩等, 但各工法都存在着一些问题。

钢板桩工法以其止水效果好、施工快速便捷、可重复利用等特点, 被广泛应用于铁路桥墩的临时围护、建筑基坑围护、水中止水围堰、雨污分流改造等开挖深度较浅的基坑工程中。但是目前国内市场上流通的钢板桩受截面刚度所限, 无法直接应用于开挖深度较大的基坑中。深基坑工程中的常用结构为钻孔灌注桩和 SMW 工法桩, 但由于止水帷幕的施工质量较难控制, 导致漏水和漏土现象时常发生。此外, 钻孔桩使用后被埋植于地下, 不仅对地

下环境产生较大影响, 而且还会妨碍后续工程开展。

帽型 H 型钢组合钢板桩是日本制铁株式会社研发的一种新工法。该工法是将世界上单桩幅宽最大的(900 mm)帽型钢板桩和 H 型钢组合而成的大刚度钢板桩工法, 本文阐述了该工法的特点和在实际工程中的应用, 并对螺栓连接方法进行了初步研究。

## 1 帽型 H 型钢组合钢板桩的特点

帽型 H 型钢组合钢板桩是采用腹板厚度薄、截面面积大的热轧宽幅帽型钢板桩和具有丰富规格的 H 型钢通过焊接组合而成(见图 1 和图 2)。因帽型钢板桩制造精度高, 锁口止水性能好, 故能充分发挥挡土和止水功能, 而与其组合的 H 型钢则发

收稿日期: 2020-03-06

作者简介: 金小荣(1977—), 男, 浙江萧山人, 高级工程师, 工学博士, 国家注册土木(岩土)工程师, 长期从事基坑围护和地基处理等岩土工程设计, 并参与 PC 工法桩和 IMS 工法等研发工作。E-mail: 369057407@qq.com。

挥抵抗土压力功能, 以下介绍组合钢板桩的主要特征。

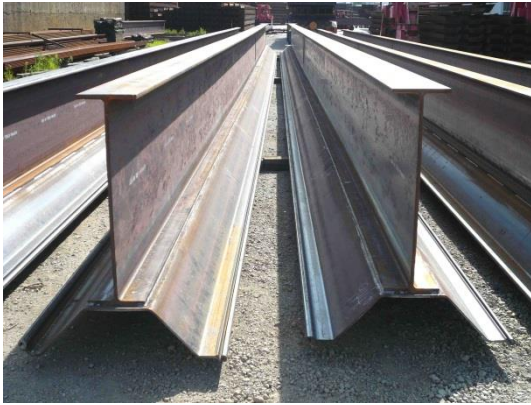


图1 帽型H型钢组合钢板桩  
Fig. 1 H+Hat combined steel sheet pile

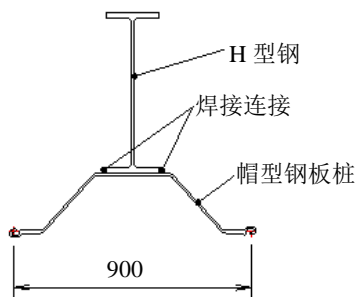


图2 帽型H型钢组合钢板桩的截面图(焊接组合后)  
Fig. 2 Section of H+Hat combined steel sheet pile (After welding)

#### (1) 大刚度及规格多样性

与U型钢板桩相比具有更大的刚度, 从而能更好的控制基坑变形。与最大规格的国产H型钢组合后, 其截面模量可达 $19\ 855\ \text{cm}^3/\text{m}^2$ , 抵抗力矩可达 $5\ 800\ \text{kN}\ \text{m}/\text{m}$  (钢板桩屈服强度 $295\ \text{N}/\text{mm}^2$ , H型钢屈服强度 $345\ \text{N}/\text{mm}^2$ )。此外, 帽型钢板桩几乎可以与国内外市场上所有规格的H型钢自由组合, 进行个性化设计。

#### (2) 优异的止水性能

本组合钢板桩采用了日本的热轧钢板桩, 由于锁口热轧成型制作精度高。因此止水效果好。图3为本组合钢板桩在武汉市某基坑支护工程中的应用实例。采用了帽型H型钢组合钢板桩和钻孔灌注桩的2种支护结构, 并对两种结构的止水性进行了比较。图4中右侧的钻孔灌注桩发生漏水, 需要另作止水处理, 而帽型H型钢组合钢板桩止水效果好, 未发生漏水现象。

#### (3) 施工方法多样、施工快速便捷

同传统钢板桩施工一样, 本组合钢板桩的施工

可采用振动锤、液压和冲击锤等方式, 此外, 相关静压设备也已被研发应用。由于本组合钢板桩采用宽幅钢板桩, 因此施工根数少、效率高, 且可以省去养护时间, 大幅缩短工期。



图3 武汉市某基坑支护工程实例  
Fig. 3 Example of a pit support project in Wuhan



图4 挡土墙止水性比较  
Fig. 4 Comparison of water retention of retaining walls

#### (4) 循环利用、经济降造、绿色环保

同一般钢板桩一样, 本组合钢板桩拔桩后可重复使用, 通过重复使用可降低总造价。以往研究表明, 该组合钢板桩与钻孔灌注桩相比, 在重复使用2次以上时可有效降低造价<sup>[1-4]</sup>。

#### (5) 可靠性高(永久结构施工实例与技术认定)

本组合钢板桩不仅可用于临时支护, 而且可用于永久结构施工, 比如, 菲律宾某河道护岸整修工程和美国某港口码头工程中都采用了该工法。此外, 本工法已获得上海市和湖北省学术委员会技术认证意见, 专家对本工法的性能进行了认证。

## 2 软土基坑开挖工程应用实例

### 2.1 工程概况

该项目为杭州余杭区某软土基坑新建项目，由地上5层到地下1层组成。基坑北侧为用地红线，西侧为围墙，东侧为既有建筑物（4F），南侧为主要道路。最大开挖深度约5 m。基坑周边环境见图5。

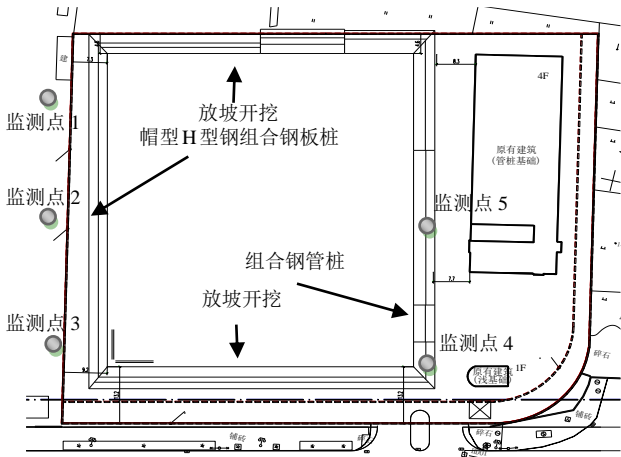


图5 基坑周边环境图

Fig. 5 Surrounding environment of foundation pit

### 2.2 工程地质条件

工程场地位于钱塘江冲积和滨海相沉积平原，地势平坦。地基呈水平分布，地面沉降等比较稳定。表层以下20 m主要由淤泥质软土构成。表层约3 m为回填土的堆积、其下层为粉质黏土夹粉砂、淤泥的堆积土。地下水位约在地表以下0.5 m。场地的地质条件如表1所示。

### 2.3 帽型H型钢组合钢板桩的设计方案

#### (1) 总体设计方案

如上所述，本基坑东西南北的周边环境条件各不相同，周边无已建建筑物的南北侧采用了放坡开挖。在场地边界存在已建围墙的西侧和存在已建建筑物的东侧，考虑到对周边环境的影响，为东西两侧分别采用组合式钢管板桩和帽型H型钢组合钢板桩支护形式，并对两者的性能进行了对比。

#### (2) 帽型H型钢组合钢板桩的设计方案

通过对支护墙体整体的稳定性、位移和材料应力等综合计算，确定采用由长度6 m的NS-SP-10H型帽型钢板桩和长度12 m的488×300×11×18国产H型钢进行组合。支护墙延长72 m，共由80根帽型H型钢组合钢板桩构成，帽型钢板桩作为止水帷幕。从经济性角度出发，设计采用了帽型钢板桩短于H型钢的形式来节省用钢量。本工程采用的帽型

H型钢组合钢板桩支护剖面图和截面图如图6和图7。

焊接加工的帽型H型钢组合钢板桩的物理及力学性能指标详见表2。

帽型H型钢组合钢板桩一般采用帽型钢板桩和H型钢焊接连接的方法。由于本工程场地位于市区，存在工厂焊接加工后现场运入和运出效率差；现场焊接加工需事先平整场地，作业繁杂质量难以保障；拔桩完毕运出时，分解需将焊接部分拆开等问题。为解决上述问题，本次工程试用了螺栓连接帽型钢板桩和H型钢的方法。连接采用了M24高强度螺栓，为保障现场螺栓连接工作进行顺利，采用了预先将螺母焊接固定于帽型钢板桩腹板上的方法。螺栓连接截面图见图7，螺栓的布置见图8。此外需注意，不同于焊接连接而成的完整组合截面，螺栓连接而成的帽型H型钢组合钢板桩无法完全满足表2所示的物理力学指标。

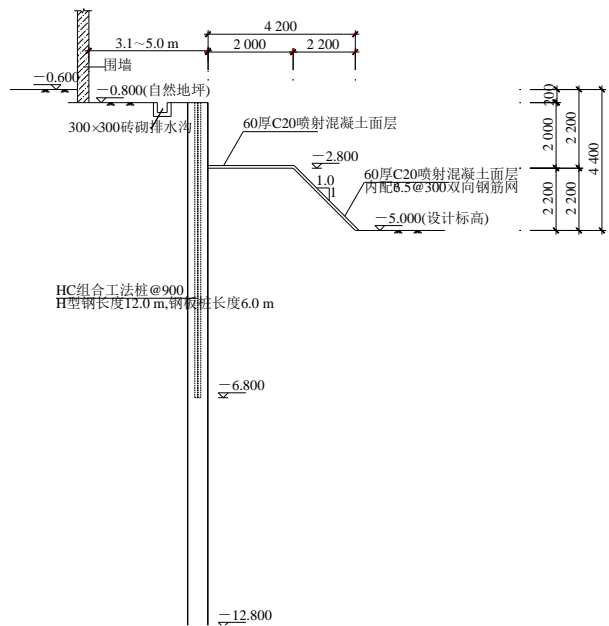


图6 帽型H型钢组合钢板桩支护剖面图

Fig. 6 Profile of H+Hat combined steel sheet pile

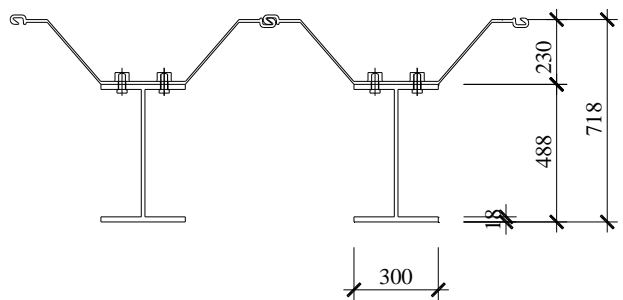


图7 帽型H型钢组合钢板桩截面

Fig. 7 Section of H+Hat combined steel sheet pile

表1 各土层物理力学指标

Tab. 1 Physical and mechanical parameters of each soil layer

土层序号	土层	层厚/m	重度/(kN/m <sup>3</sup> )	内摩擦角 $\varphi$ /°	粘聚力 $c$ /kPa
① <sub>0-1</sub>	杂填土	1.74	18.0	8.0	10.0
① <sub>0-2</sub>	素填土	1.9	18.0	10.0	10.0
① <sub>1</sub>	粉质黏土夹粉土	0.9	18.3	18.3	11.0
②	淤泥质黏土	13.0	17.3	8.5	10.9

表2 焊接加工的帽型H型钢组合钢板桩物理及力学性能指标

Tab. 2 Physical and mechanical parameters of H+Hat combined steel sheet pile

钢材规格		尺寸		每米墙身			
帽型钢板桩	H型钢	宽度/ mm	高度/ mm	截面积/ (cm <sup>2</sup> /m)	惯性矩/ (cm <sup>4</sup> /m)	截面模量/ (cm <sup>3</sup> /m)	重量/ (kg/m <sup>2</sup> )
NS-SP-10H	HM488×300×11×18	900.0	718.0	299.0	180 760	4 621	235
日标 SYW295, 6 m	国标 Q345, 12 m						



图8 螺栓连接施工  
Fig. 8 Bolted construction



图9 帽型H型钢组合钢板桩的施工  
Fig. 9 Construction of H+Hat combined steel sheet pile

2.4 帽型H型钢组合钢板桩的加工、植桩、回收

将帽型钢板桩和H型钢分别运入现场后,在施工现场进行螺栓连接加工。从构件定位到拧紧螺栓,每根连接加工时间约为30 min,可在较短时间内完成加工。

帽型H型钢组合钢板桩采用了450型机械手(臂长16.5 m、激振力35 kw)进行植桩,平均植桩时间为10 min/根。对施工流程熟练后,工程后半

每天可完成植桩30根(施工延长27 m),故可在短时期内快速构筑支护墙体。现场植桩概况如图10所示。

地下层施工完成后,进行了帽型H型钢组合钢板桩的回收。平均拔桩时间约为10 min/根,80根桩的拔除施工于2 d内完成,故可在短时期内完成对该组合桩的拔除施工。拔桩后卸下连接螺母,将帽型钢板桩和H型钢分解之后分别运出。如图11所示,拔桩后的帽型钢板桩未发生不良变形和锁口损耗等损伤,保持着可重复使用的良好状况。



(a)



(b)

图10 帽型H型钢组合钢板桩支护墙

Fig. 10 Supporting wall of H+Hat combined steel sheet pile



图 11 回收分解后的帽型钢板桩

Fig. 11 Recycling of the decomposed Hat pile

## 2.5 现场监测结果和分析

如图 5 所示,在基坑外侧布置了若干监测点,监测侧向位移和沉降。从图 12 侧向位移的监测结果中可以看出,帽型 H 型钢组合钢板桩支护的最大侧向位移约 25 mm,与组合钢管板桩支护的位移值相等,远小于设计规定的监测警戒值 45 mm,与北侧放坡开挖部分出现较大变形相比,帽型 H 型钢组合钢板桩控制变形的效果更为显著。

表 3 沉降监测结果显示,开挖后第 21 天的最大沉降为 1 mm,非常微小,这表明该支护结构对周边环境的影响得到了很好的控制。

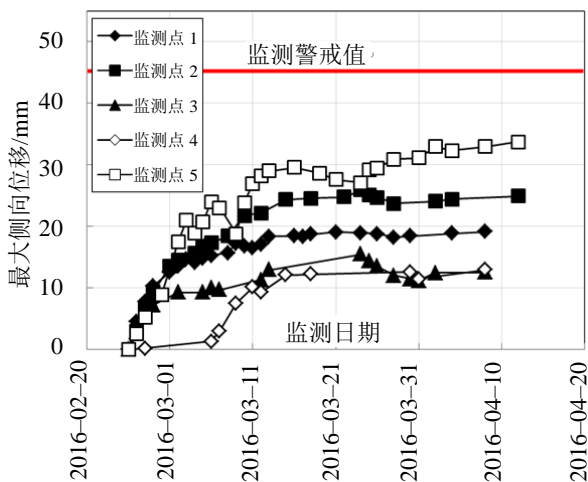


图 12 深层水平位移的监测结果

Fig. 12 Monitoring results of deep horizontal displacement

## 3 结 论

通过帽型 H 型钢组合钢板桩的应用,得出以下

表 3 沉降监测结果

Tab. 3 Monitoring results of settlement		累计沉降/mm		
维护墙形式	编号	2016-03-01	2016-03-04	2016-03-22
		帽型 H 型钢组合钢板桩	监测点 1	0.0
	监测点 2	0.0	-1.0	-1.0
	监测点 3	0.0	1.0	1.0
钢管板桩	监测点 4	0.0	0.0	0.0
	监测点 5	0.0	-2.0	-2.0

主要结论:

(1) 帽型 H 型钢组合钢板桩作为基坑支护结构应用于城市基坑工程是安全有效的。因其刚度大,与传统的 U 型钢板桩相比,变形控制效果更佳。

(2) 采用螺栓连接方法,可在现场将帽型钢板桩和 H 型钢连接组合,操作简单,能大大提高运输效率。由于此案例为该组合结构螺栓连接形式的初次应用尝试,对于其性能评价方法及其他未知方面,还需通过进一步研究和更多应用进行阐明验证。

(3) 与传统基坑支护方案相比,本工法具有施工快速便捷、可重复使用,对周围环境影响小及经济性好等优势。

(4) 本工法应用于城市基坑支护的推广尚存在着连接标准化等问题。通过今后基坑开挖工程中对该工法的设计、施工、监测及分析的不断积累,这些问题有望得到更好解决。

## 参考文献

- [1] 赵海丰, 桂树强, 樊金平, 等. H+Hat 组合型钢板桩在基坑工程的适用性研究[J]. 人民长江, 2012, 43(10): 27-31.
- [2] 赵海丰, 永津亮祐, 项伟, 等. H+Hat 组合型钢板桩结构性能研究[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(8): 114-120.
- [3] 肖玉成, 朱小友, 陈斌, 等. 静力沉拔 H+Hat 组合桩墙支护技术及工程应用[R]. 武汉岩土工程学会第八届岩土工程新技术学术交流大会, 2015.
- [4] 龙田昌毅, 丰岛径, 松井延行, 等. Approach for developing overseas construction steel product market in civil engineering field[P]. 新日铁住进技报第 403 号, 2015.