

文章编号: 1001-4888(2011)04-0447-10

分布式光纤传感测试系统(BOTDA) 用于 H 型钢梁变形监测的实验研究^{*}

郝英奇¹, 丁勇², 何宁²

(1. 安徽建筑工业学院 土木工程学院, 安徽合肥 230022; 2. 南京水利科学研究院, 江苏南京 210029)

摘要: 介绍了分布式光纤传感测试系统(BOTDA)的应变测量原理, 并应用 BOTDA 技术对 H 型钢梁加载后的应变分布进行了测量。试验表明, BOTDA 的应变测量结果与电阻应变片的测量结果及理论值具有良好的一致性。光纤测量的数据是连续的, 因而更加适用于那些需要测试连续变形的结构。由 BOTDA 的实测应变分布推算出的 H 型钢梁的弯矩和挠度, 与理论分析结果高度吻合。作为先进的监测技术手段, 分布式光纤传感测试系统应用于 SMW 工法桩施工监测是完全可行的。

关键词: 分布式光纤传感测试系统(BOTDA); 地基连续墙(SMW)工法; H 型钢梁; 施工监测

中图分类号: TU91

文献标识码: A

0 引言

在基坑支护工程施工过程中, Soil Mixing Wall (简称 SMW) 工法桩主要用于地下明挖基坑的围护结构。SMW 工法是利用多轴搅拌机就地钻进切削土体, 同时在钻头端部将水泥浆液注入土体, 经充分搅拌混合后, 再将 H 型钢插入搅拌桩体内, 形成地下连续墙体, 利用该墙体直接作为挡土和止水结构。其主要特点是构造简单, 止水性能好, 工期短, 造价低, 环境污染小, 特别适合城市中的深基坑工程^[1-2]。作为基坑围护体系的一部分, SMW 工法桩被竖直沉入基坑边缘的水泥搅拌桩内, 在基坑开挖过程中支撑基坑外部土体向内的滑移。因此, SMW 工法桩主要承受水平方向上的土压力作用, 以及少量的桩身侧摩擦力; 在此作用下, 桩身最大弯矩点的位置随着施工进度逐渐下移, 桩身也将随之发生中性面位置未知的复杂受弯变形^[3]。SMW 工法桩施工监测工作具有工作量巨大、范围广、要求高和周期长等特点, 所以在监测过程中要求监测人员能及时掌握动态监测信息, 并将信息反馈于施工生产, 以利及时调整施工参数, 从而协调施工对周边环境的影响, 保证施工生产安全。常规监测方法(测斜仪、应变片、全站仪、数字近景摄影方法等)只能定点、定时对 SMW 工法桩工程进行监测, 而不能满足其动态、连续过程^[4-5]。在综合基坑主要失效形式以及传统监测方法基础上, 建立以 BOTDA 技术为基础, 通过在 SMW 工法桩翼缘及翼缘与腹板夹角处布设分布式传感光纤方法, 对普通 SMW 工法桩进行智能化改造, 使之能够在基坑开挖过程中自动获取相应的应变数据, 然后通过一定的算法计算出桩身弯矩、挠度等受力变形数据, 使用计算机成像等先进监测技术进行实时监测, 为进一步开拓基坑工程监测领域打下了基础。本次进行的 H 型钢梁室内受弯变形试验, 目的在于确定分布式传感光纤测量的应变值与 H 型钢真实应变值之间的相关性, 探寻光纤铺设方案, 论证分布式光纤传感系统应用于 SMW 工法桩施工

^{*} 收稿日期: 2011-03-21; 修回日期: 2011-06-10

基金项目: 安徽建筑工业学院 2008 年教学研究项目(2008jx02)

通讯作者: 郝英奇(1972-), 男, 硕士, 讲师, 主要从事结构检测与施工监测的教学研究。E-mail: haoyingqi1972@163.com

监测的可行性。

1 BOTDA 分布式光纤传感技术用于 H 型钢梁变形监测的理论基础

世界上第一根光纤 Bragg 光栅(FBG)诞生于 1978 年,由加拿大通信研究中心的 Hill 等发明。从 1992 年 Prohaska 等首次将光纤光栅埋入到土木结构中测量应变之后,引起了国内外学者对光纤光栅传感器在土木工程中应用的广泛关注^[6-9]。BOTDA 分布式光纤传感测试系统最显著的优点就是可以准确地测出光纤沿线任一点上的应变、温度、振动和损伤等丰富信息,因而成为光纤传感测试系统研究及工程应用中的前沿阵地。在大型结构系统安全性监测中,典型的应用有大坝的温度监测、渗漏监测,隧道火灾预警预报和渗漏探测,桥梁和路面等一些土木工程结构的健康监测等^[10-14]。在基坑监测工程实践中,利用分布式光纤传感监测系统,通过对围护体系内力、水平位移、土层锚杆、排桩内力和变形、相邻地下管线和周边环境进行实时、在线监测分析,可准确地反映基坑变形的发展动态,对基坑失稳破坏进行预警^[15-18]。

1.1 理论算法分析

BOTDA 的工作原理是分别从光纤两端注入脉冲光和连续光,产生布里渊放大效应(受激布里渊),根据光信号布里渊频移与光纤温度和轴向应变之间的线性变化关系(见公式(1)),在温度补偿(或应变补偿)条件下得到光纤的应变变化量(或温度变化量)。

$$\Delta\nu_B = C_{\epsilon} \cdot \Delta t + C_{\epsilon} \cdot \Delta\epsilon \quad (1)$$

其中: $\Delta\nu_B$ 为布里渊频移量; C_{ϵ} 为布里渊频移温度系数; C_{ϵ} 为布里渊频移应变系数; Δt 为温度变化量; $\Delta\epsilon$ 为应变变化量。

在智能 SMW 工法桩施工监测实践中,光纤沿 H 型钢轴向共铺设了四条光纤传感回路,分别是 1-1', 2-2', 3-3' 和 4-4', 其中 1-1' 和 4-4' 是铺设在翼缘两边,而 2-2' 和 3-3' 铺设在翼缘与腹板的夹角处。以 2-2' 回路为例,光纤由桩顶开始沿 H 型钢轴向铺设,在桩底部拐弯后再沿轴向返回桩顶,从而形成一进一出的光纤传感回路如图 1 所示。

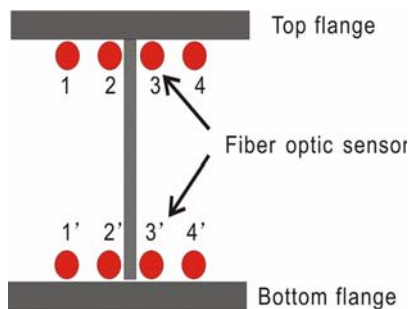


图 1 光纤布置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of fiber optic sensor arrangement

1.2 确定中性面位置

智能 SMW 工法桩由于受到桩身材料性质不均匀等因素的影响,中性面位置并不一定与腹板中心重合,因而,在不能确定其位置的情况下,必须通过数据处理的方法来回避中性面位置在计算桩身弯矩、挠度中的作用。

假定以桩身轴线为 x 轴,在桩身某截面处,如图 1 中 2 号光纤和 2' 号光纤相对于中性面的距离分别为 y_2 和 y_2' ,那么根据公式(2)和(3)可推导出公式(5):

$$M(x) = \frac{I_z E \epsilon_{2\epsilon}(x)}{y_2(x)} = \frac{I_z E \epsilon_{2'\epsilon}(x)}{y_2'(x)} \quad (2)$$

$$Y(x) = y_2'(x) - y_2(x) \quad (3)$$

其中: $M(x)$ 为某截面处桩身弯矩; I_z 为桩身截面惯性矩(桩身各截面基本一致); E 为桩身材料弹性模量(桩身各截面基本一致); $\epsilon_{2\epsilon}(x)$ 为某截面处 2 号光纤受结构作用而产生的真实应变; $\epsilon_{2'\epsilon}(x)$ 为某截面

处2'号光纤受结构作用而产生的真实应变; $Y(x)$ 为某截面处2号光纤与2'号光纤之间的距离。

$$M(x) = \frac{I_z E (\epsilon_{2'}(x) - \epsilon_{2c}(x))}{Y(x)} \quad (4)$$

因此,虽然不能确知中性面的位置,但2号光纤与2'号光纤之间的距离是可以通过精确测量得到的,从而可以计算出某截面处桩身所受的弯矩。又因为2号光纤与2'号光纤都是铺设在翼缘与腹板夹角处,两条光纤基本保持水平,因此 $Y(x)=Y$,简化成为公式(5)。

$$M(x) = \frac{I_z E (\epsilon_{2'}(x) - \epsilon_{2c}(x))}{Y} \quad (5)$$

根据公式(5)得出的弯矩分布,可以由公式(6)计算桩身挠度分布。

$$I_z E y_D(x) = - \int \left[\int M(x) dx \right] dx + Cx + D \quad (6)$$

其中 y_D 为某截面处的挠度; C 和 D 为根据边界条件所确定的参数。

1.3 温度自补偿

由公式(1)可知,BOTDA的测量值包含了温度和应变的共同影响,假定BOTDA的测量值为应变测量值,则该应变测量值由两个部分组成:

$$\epsilon_c = \epsilon_e + \epsilon_t \quad (7)$$

其中: ϵ_c 是BOTDA对光纤的应变测量值; ϵ_e 是光纤受结构变形而产生的真实应变; ϵ_t 是环境温度变化造成测量值上的假应变。因此,公式(5)可以改写成为:

$$M(x) = \frac{I_z E ((\epsilon_{2'}(x) - \epsilon_{2t}(x)) - (\epsilon_{2c}(x) - \epsilon_{2t}(x)))}{Y} \quad (8)$$

在同一个温度场环境内的不同光纤(如2号光纤和2'号光纤),虽然由于结构变形的差异而在 ϵ_e 上有所不同,但它们的 ϵ_t 是相同的。公式(8)可以改写成为:

$$M(x) = \frac{I_z E (\epsilon_{2'}(x) - \epsilon_{2c}(x))}{Y} \quad (9)$$

因此,在计算桩身弯矩时可以通过两条翼缘上光纤应变测量值的差值来进行温度补偿,而不需要另外铺设专用的温度补偿光纤,从而实现了智能SMW工法桩的温度自补偿功能。

1.4 多项式拟合

受到测量仪器算法、测量环境等多方面因素影响,分布式应变数据通常表现为连续的不平滑曲线。为了消除这种不平滑性,可以采用多项式拟合的方法对分布式应变曲线进行数据拟合:

$$s_f = p_1 x^{15} + p_2 x^{14} + p_3 x^{13} + \dots + p_n x^{16-n} + \dots + p_{15} x + p_{16} \quad (10)$$

其中: s_f 是经过拟合的分布式应变曲线; $p_i (i=1,16)$ 是由应变测量值得到的系数。

智能SMW工法桩是在普通SMW工法桩(通常是H型钢)基础上,运用分布式光纤传感技术(BOTDA)对桩身进行智能化改造,通过分布式传感光纤测定桩身全长的应变分布,再经过算法去噪、温度自补偿等数据处理之后,计算出桩身的弯矩和挠度分布,最终形成一个能够实时感知桩身受力变形状态的智能系统。

2 室内试验

本次室内试验是对一根4m长的H型钢梁进行了加载试验。光纤沿H型钢轴向布设在翼缘以及翼缘与腹板夹角处,采用环氧树脂作为粘合剂与H型钢表面全面粘接,通过测量H型钢各部位的轴向应变分布,来分析H型钢的受弯变形状态,见图2。

本次试验加载方案为简支梁四点加载。中间两点集中荷载离H型钢中点0.430m,两点间距离0.86m;加载分4级,荷载分别为60kN, 240kN, 420kN, 600kN。为了进行对比分析,分别在1~7号断面(0.5m, 1m, 1.5m, 2m, 2.5m, 3m, 3.5m)处粘贴电阻应变片来提取相应数据,如图2所示。同时我们还通过ANSYS软件建立了工字型钢的理论分析实体模型(见图3),分别在距离两端0.1m处施加约束,加载条件与室内试验相同,之后进行计算,并提取有关结果进行分析处理。

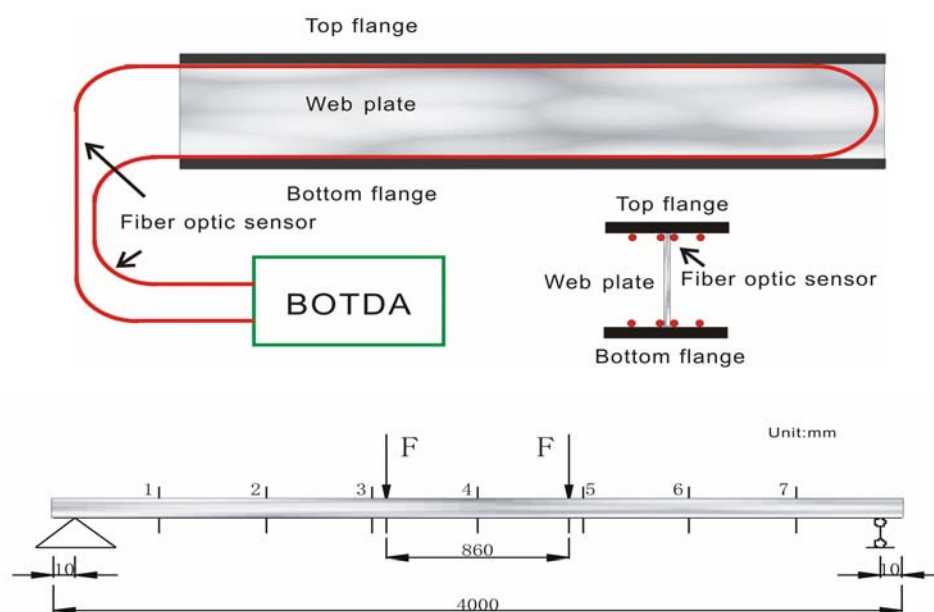


图 2 室内 H 型钢试验

Fig. 2 Laboratory test of H steel beam

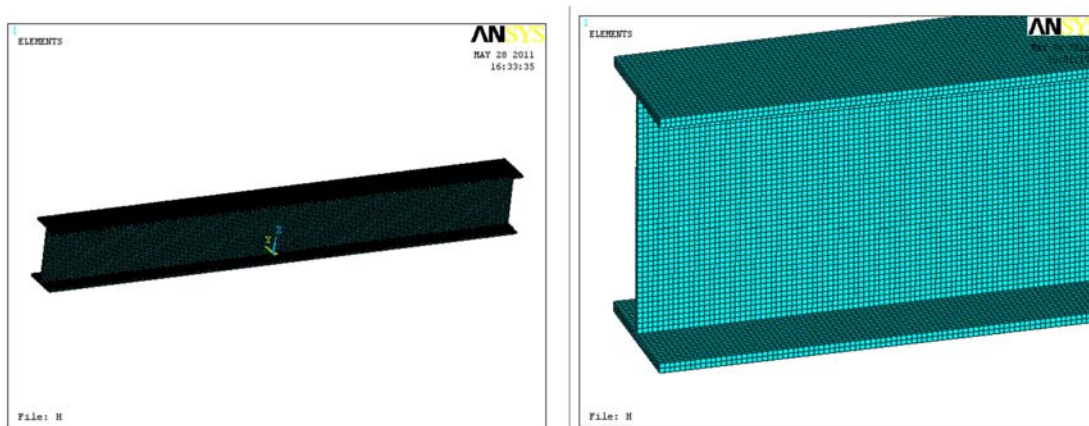


图 3 有限元模型网格划分

Fig. 3 Mesh generation of finite element model

3 数据分析

3.1 光纤测量数据与应变片测量数据对比分析

应变测量数据显示(见图4),在240kN、420kN荷载作用下光纤所测量的H型钢应变与电阻应变片的测量值非常接近,两者在同一位置处测量值相差在 $50\mu\epsilon$ 以下。在600kN荷载作用下第5截面处的应变片与光纤测量值的差异较大。对该处应变片的测量值进行分析,发现与附近应变片的变形规律不一致,且与理论值有较大差别,因此这种差异应该是由于应变片测量误差甚至应变片失效所致。在60kN小荷载作用下光纤应变测试结果阶跃性较大,这主要是受制于光纤测试系统的应变测试精度($10\mu\epsilon$),也是BOTDA系统应用于小型结构测试研究的瓶颈之一。

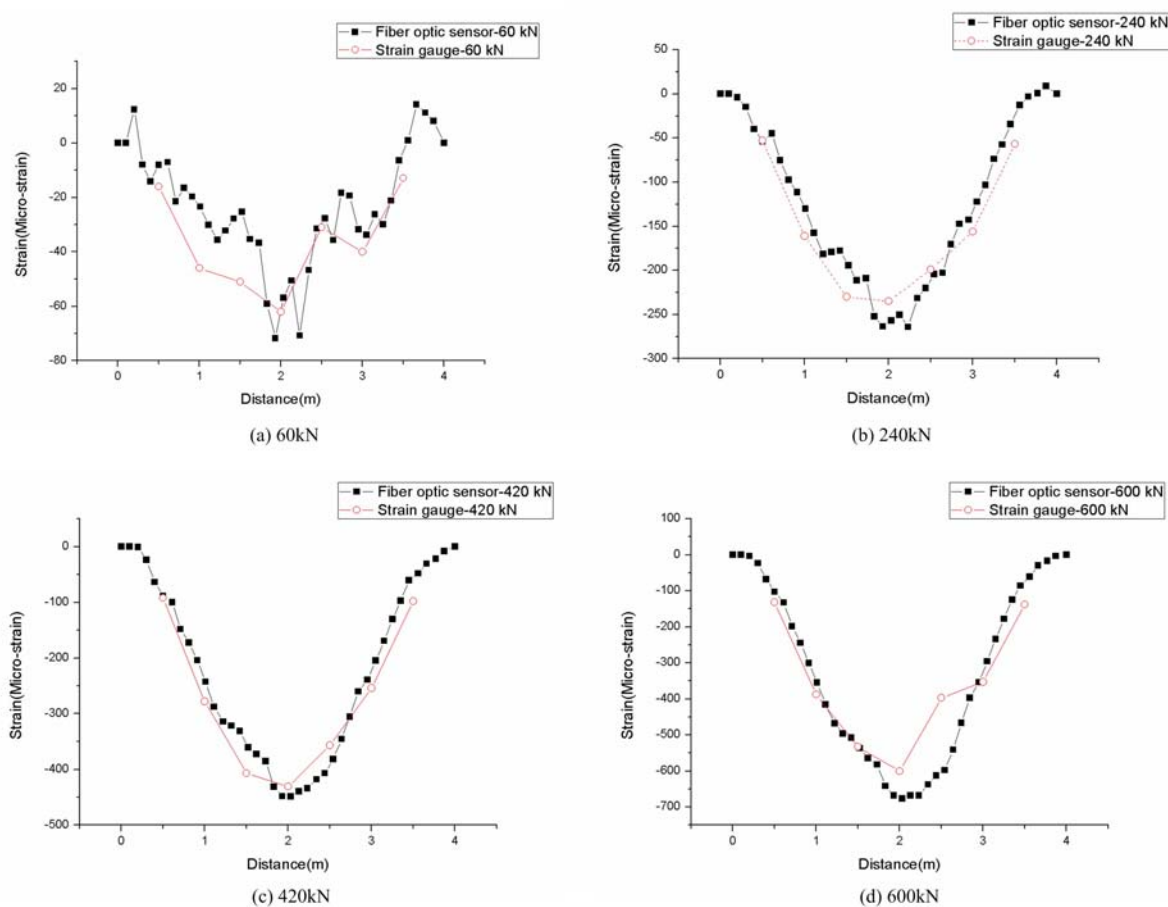


图4 光纤应变数据与电阻应变测量值的对比

Fig. 4 Optical fiber strain data vs strain gauges measured values

为了验证光纤应变测试数据与电阻应变数据的准确性,特提取了截面1-4电阻应变片处(光纤2沿线)各级荷载作用下应变理论值进行对比分析(见表1),可以看出,与应变片测量数据相比,光纤的测量数据与理论值更为接近,变化比较稳定,反映的信息更加丰富,更加符合H型钢梁变形规律。且应变片的测量数据是点式的,而光纤测量的数据是连续的,光纤测量更加适用于一些变形连续稳定的结构。

表 1 各级荷载作用下应变测试值与理论值比较表

Tab. 1 The test strain results compared with the theoretical value under the load at all levels

		60kN	240kN	420kN	600kN
截面 1	理论值	-19.439	-53.588	-100.631	-133.942
	光纤测试值	-10.2	-50.5	-99.3	-136.7
	应变片测试值	-18.3	-53.2	-99.5	-141.1
截面 2	理论值	-42.84	-140.29	-257.67	-375.67
	光纤测试值	-22.6	-135.2	-250.6	-365.7
	应变片测试值	-48.4	-168.4	-286.5	-401.2
截面 3	理论值	-67.254	-218.95	-370.12	-572.44
	光纤测试值	-30.4	-200.8	-362.8	-550.1
	应变片测试值	-50.1	-231.7	-410.7	-549.5
截面 4	理论值	-70.529	-282.12	-483.39	-691.25
	光纤测试值	-71.3	-275.4	-450.6	-690.8
	应变片测试值	-62.6	-237.1	-440.4	-610.5

3.2 上下翼缘应变测量值分析

铺设在翼缘与腹板夹角处的光纤应变分布,上下翼缘的应变测量值以 $y=0$ 为对称轴,波形相互对称,符合 H 型钢梁受四点弯作用的变形规律。此处上下光纤的应变测量值之间的差异在 $50\mu\epsilon$ 左右,在误差范围之内,见图 5。铺设在翼缘与腹板夹角处的 2 根光纤位置相邻且上下对称,测试结果就应该相近或趋势相同,光纤测量值也反映了此规律,因而也验证了光纤测量的准确性。

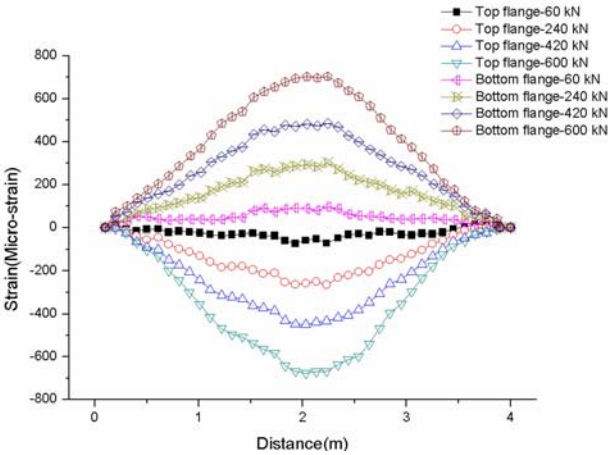


图 5 翼缘与腹板夹角处的光纤应变测量值

Fig. 5 Optical fiber strain data in the angle at the flange and web

图 6 显示的是铺设在翼缘上的光纤应变分布,上翼缘的应变测量值波形不规则,且不能与下翼缘的应变测量值相对称,两者测量值之间的差异在 $70\mu\epsilon$ 左右,这主要是因为截面 3 上翼缘附近在集中荷载作用下产生复合应力,发生了横向附加变形,进而影响到轴向应变值发生局部突变(见图 7)。光纤测量值能直接反映出此种变化,这更加说明了光纤对变形的敏感性,以及其在测量结构变形时的准确性。

3.3 加强型光纤与普通光纤测量值对比

在实际工程应用中,普通光纤因极易损坏而必须通过增加加强护套等进行保护(见图 8)。

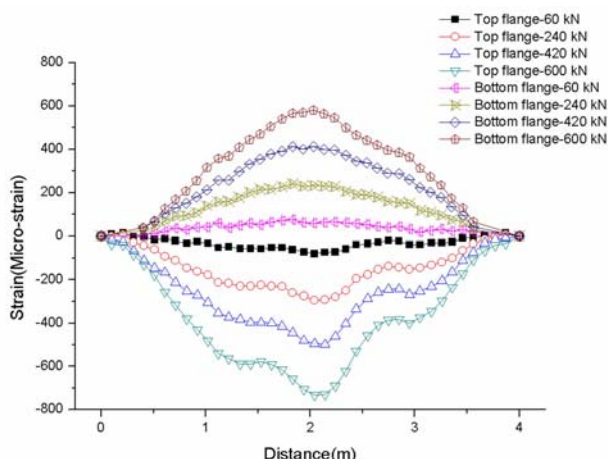


图6 翼缘处的光纤应变测量值

Fig. 6 Optical fiber strain data in the flange of H beam

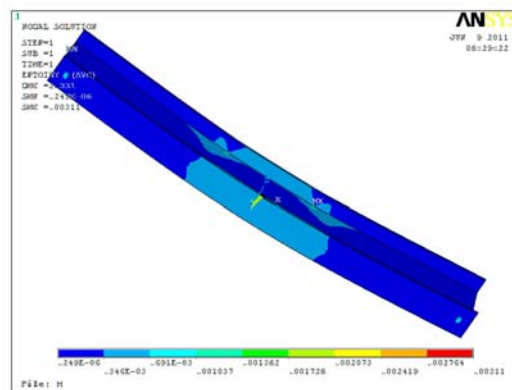


图7 上翼缘处的应变云图

Fig. 7 Strain cloud on the flange

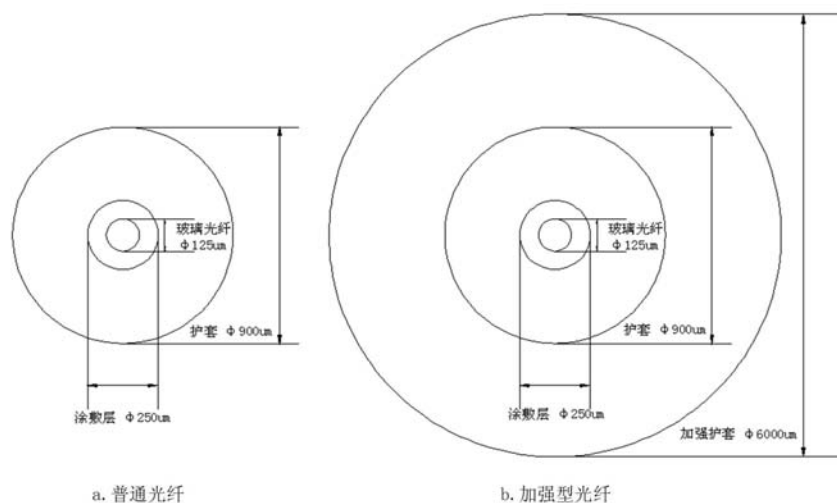


图8 普通光纤和加强型光纤结构示意图

Fig. 8 The structural diagram of ordinary optical fiber and reinforced optical fiber

在不受到翼缘附加变形干扰的情况下,加强型光纤和普通光纤在翼缘与腹板夹角处的测量值非常接近,两者之间的测量值在 $30\mu\epsilon$ 之间,虽然加强型光纤比传统光纤多了外侧的保护层,但是由于两种光纤都是通过环氧树脂与结构紧密的贴合在一起,这就保证了光纤与结构变形的同步性,所以两种光纤测量数据相差不大,加强型光纤并没有因为外层保护而失去其应变测量的敏感性,见图9。说明光纤的保护结构对测量结果影响不大。

3.4 实测弯矩和挠度曲线与理论曲线的对比

通过普通型光纤和加强型光纤的应变测量值,可以计算出弯矩和挠度,与理论计算弯矩和挠度曲线均很接近。

在跨中处,加强型光纤应变计算出的弯矩测量值与理论值的差异大概在2.5%左右,普通型光纤应变计算出的弯矩测量值与理论值的差异大概在3.8%左右(见图10)。

在跨中处,加强型光纤应变计算出的挠度测量值与理论值的差异大概在1.4%左右,普通型光纤应变计算出的挠度测量值与理论值的差异大概在2.8%左右(见图11)。

产生上述差异的主要原因是理论计算时的 y 值用的是翼缘外边缘到腹板中心处的距离,而实际上由于光纤外层护套厚度的影响, y 值会因此而减小,这就导致了试验值与理论值的差异。通过计算,因

为 y 值而产生的弯矩和挠度差异与上述误差相近,这也说明了光纤测试结果的准确性。

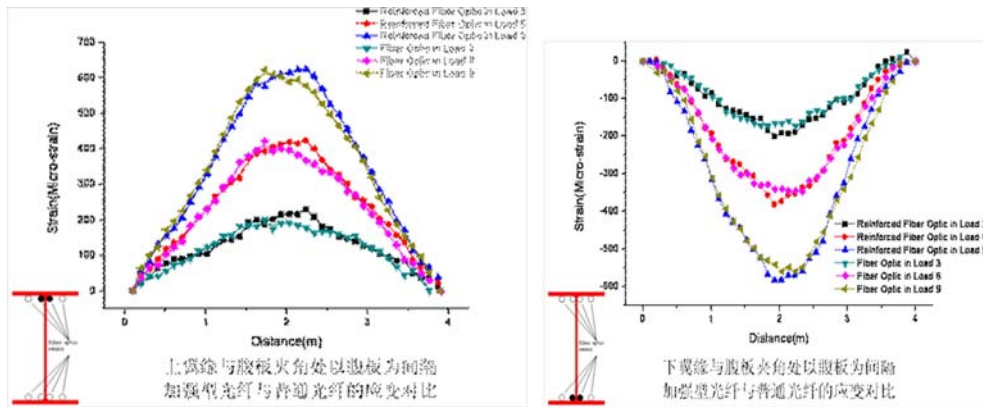


图 9 加强型光纤与普通光纤的应变数据对比

Fig. 9 The strain data of reinforced optical fiber compared with which of ordinary optical fiber

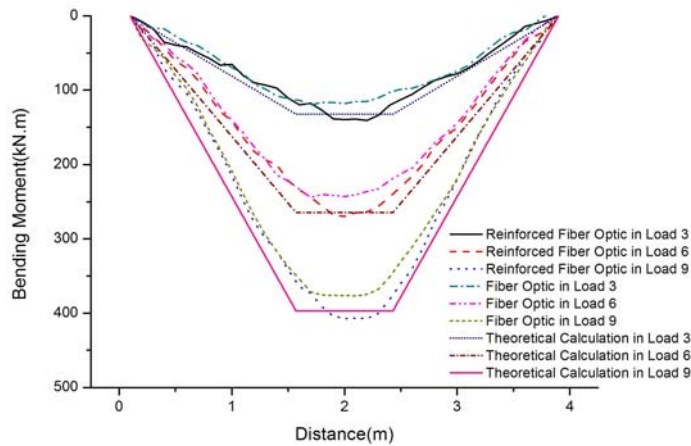


图 10 实测应变值换算后得到的弯矩与理论计算的弯矩值对比

Fig. 10 The moment value obtained by experimental strain vs that by the theoretical calculation

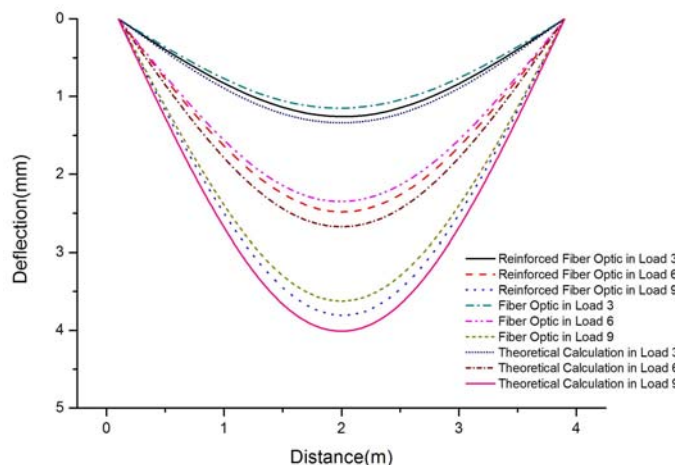


图 11 实测应变值换算后得到的挠度值与理论计算的挠度值对比

Fig. 11 The Deflection obtained by experimental strain vs that by the theoretical calculation

4 结论

(1) 室内试验的应变测量数据显示,在各级荷载作用下光纤所测量的 H 型钢应变与电阻应变片的测量值非常接近,且光纤测量值更加符合 H 型钢变形规律。因其连续分布、由点到线,分布式光纤传感

系统更加适用于一些变形连续稳定的结构应变测试、变形监测中。

(2) 在未受翼缘附加变形干扰的情况下,加强型光纤和普通光纤测量数据相差不大,加强型光纤并没有因为外层保护而失去其应变测量的敏感性,说明两种光纤均可以有效适用于实际结构。而加强型光纤在施工现场的复杂环境下对整个测试系统的安全保护作用,更能显示出其独特的优势。

(3) 由光纤的应变测量值计算出的弯矩和挠度值,与 ANSYS 理论分析结果非常接近,说明了光纤测量数据的高度可靠性。

(4) 从 SMW 工法桩光纤布线施工、监测过程的稳定性及光纤保护角度来看,分布式传感光纤铺设的最佳位置应在翼缘与腹板夹角处,翼缘部位由于变形影响因素复杂而适宜作为传感光纤的补充、备用铺设位置。

(5) 以 BOTDA 技术为基础,通过布设分布式传感光纤方法,对普通 SMW 工法桩(受力芯材为 H 型钢)进行智能化改造,可以在基坑开挖过程中自动获取 SMW 工法桩翼缘及翼缘与腹板夹角处应变。室内试验证明,其应变数值与理论分析结果非常吻合。然后通过一定的算法计算出 SMW 工法桩桩身弯矩、挠度等相关数据即可作为施工过程中动态监测数据。作为先进的监测技术手段,分布式光纤传感系统应用于 SMW 工法桩施工监测是完全可行的,相关的工程实践成果将另文阐述。

参考文献:

- [1] 葛汉明,魏劲松. 用于深基坑围护的 SMW 工法施工技术[J]. 建筑施工, 2008, 30(12):1107—1120 (GE Hanming, WEI Jinsong. Construction technology of smw method for bracing deep foundation pit excavation [J]. Building Construction, 2008, 30(12):1107—1120 (in Chinese))
- [2] 周乐敏. SMW 工法围护与钢、混凝土混合支撑体系在大型深基坑施工中的应用[J]. 建筑施工, 2008, 30(2):91—94 (ZHOU Lemin. Application of SMW construction method with steel and concrete combined supporting system to large and deep foundation pit construction [J]. Building Construction, 2008, 30(2):91—94 (in Chinese))
- [3] 余跃心,刘汉龙,高玉峰. 基于有限元的 SMW 支护结构基坑开挖施工模拟[J]. 四川建筑科学研究, 2002, 28(2):26—28 (SHE Yuexin, LIU Hanlong, GAO Yufen. Imitation of excavation and SMW shoring structure based on finite element [J]. Building Science Research of Sichuan, 2002, 28(2):26—28 (in Chinese))
- [4] 王健. 上海某基坑 SMW 围护的实测与分析[J]. 工业建筑, 2001, 31(2):27—30 (WANG Jian. Measurement and analysis of internal forces and deformations for a certain deep excavation SMW supporting structure in shanghai [J]. Industrial Buildings, 2001, 31(2):27—30 (in Chinese))
- [5] 张忠苗,赵玉勃,吴世明,王博. 过江隧道深基坑中 SMW 工法加钢支撑围护结构现场监测分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(6):1270—1278 (ZHANG Zhongmiao, ZHAO Yubo, WU Shiming, WANG Bo. In-situ monitoring analysis of retaining structures of SWM piles plus steel support in deep foundation pit of a river-crossing tunnel [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(6):1270—1278 (in Chinese))
- [6] Hill K O, Fujii Y, Johnson D C, et al. Photosensitization in optical fiber waveguide: application to reflection fiber fabrication[J]. Appl Phys Lett, 1978, 32(10):647—649.
- [7] Prohaska J D, Snitze E, Chen B, et al. Fiber optic Bragg grating strain sensor in large scale concrete structures [C]. Fiber Optic Smart Structures and Skins V, Proceedings of SPIE, Boston, 1993, 1798:286—294.
- [8] Li Hongnan, Zhou Guangdong, Ren Liang, et al. Strain transfer analysis of embedded fiber Bragg gratingsensor under nonaxial stress[J]. Optical Engineering, 2007, 46(5):054402.
- [9] Tam H Y, Liu S Y, Guan B O, et al. Fiber Bragg grating sensors for structural and railway applications[C]. Advanced Sensor Systems and Applications II, Proceedings of SPIE. Beijing, China, 2005, 5634:85—97.
- [10] 蔡德所,戴会超,蔡顺德,何薪基. 分布式光纤传感监测三峡大坝混凝土温度场试验研究[J]. 水利学报, 2003(5):88—91 (CAI Desuo, DAI Huichao, CAI Sunde, HE Xinji. Monitoring the temperature in concrete structure of Three Gorges dam by using distributed optical fiber sensor[J]. Shuli Xuebao, 2003(5):88—91 (in Chinese))
- [11] 李笃权,赵保军,张莉. 拉西瓦拱坝混凝土温度监测中的分布式光纤技术应用研究[J]. 西北水电, 2009(3):56—60 (LI Duquan, ZHAO Baojun, ZHANG Li. Research on application of distributed optical fiber technology in monitoring concrete temperature of Laxiwa hydropower project [J]. Xibei Shuidian, 2009(3):56—60 (in Chinese))

- [12] 施斌, 徐学军, 王镒 等. 隧道健康诊断 BOTDR 分布式光纤应变监测技术研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(5):2622—2628 (SHI Bin, XU Xuejun, WANG Di, et al. Study on BOTDR-based distributed optical fiber strain measurement for tunnel health diagnosis[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(15):2622—2628 (in Chinese))
- [13] 曾铁梅, 徐卫军, 侯建国. 分布式光纤测温技术在隧道火灾和渗漏探测中的应用[J]. 防灾减灾工程学报, 2007, 27(1):52—56 (ZENG Tiemei, XU Weijun, HOU Jianguo. The application of distributed optical fiber temperature testing system in tunnel fires and leakage exploration [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2007, 27(1):52—56 (in Chinese))
- [14] 高俊启, 施斌, 张巍 等. 分布式光纤传感器用于桥梁和路面的健康监测[J]. 防灾减灾工程学报, 2005, 25(1):14—19 (GAO Junqi, SHI Bin, ZHANG Wei, et al. Application of distributed fiber optic sensor to bridge and pavement health monitoring [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2005, 25(1):14—19 (in Chinese))
- [15] 隋海波, 施斌, 张丹 等. 基坑工程 BOTDR 分布式光纤监测技术研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2008, 28(2):184—191 (SUI Haibo, SHI bin, ZHANG Dan, et al. Distributed fiber monitoring test and its application to slope deformation distributed optical fiber sensor-based monitoring for foundation pit engineering[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2008, 28(2):184—191 (in Chinese))
- [16] 刘杰, 施斌, 张丹 等. 基于 BOTDR 的基坑变形分布式监测实验研究[J]. 岩土力学, 2006, 27(7):1224—1228 (LU Jie, SHI Bin, ZHANG Dan, et al. Experimental study of foundation pit monitoring using BOTDR-based on distributed optical fiber sensor[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(7):1224—1228 (in Chinese))
- [17] 王宝军, 施斌. 边坡变形的分布式光纤监测试验研究及实践[J]. 防灾减灾工程学报, 2010, 30(1):28—33 (WANG Baojun, SHI Bin. Distributed fiber monitoring test and its application to slope deformation[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2010, 30(1):28—33 (in Chinese))
- [18] 朴春德, 施斌, 魏广庆 等. 分布式光纤传感技术在钻孔灌注桩检测中的应用[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(7):976—981 (PIAO Chunde, SHI Bin, WEI Guangqing, et al. Application of distributed fiber optic sensing techniques in bored pile detection[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2008, 30(7):976—981 (in Chinese))

Experimental Study of H Steel Beam Deformation Monitoring Based on BOTDA

HAO Ying-qi¹, DING Yong², HE Ning²

(1. College of Civil Engineering, Anhui University of Architecture, Hefei 230022, China;

2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Jiangsu 210029, China)

Abstract: Principle of strain measurement based on Brillouin optical time domain analyzer (BOTDA) is introduced and the strain distribution of a loaded H steel beam was measured by using BOTDA. Experimental results show that the strain measured by BOTDA is in good agreement with theoretical value and that measured by resistance strain gauge. Optical measurement data is continuous and therefore is more suitable for those structures that need to test their continuous deformation. The calculated bending moment and the deflection of tested beam based on the strain distribution measured by BOTDA are also in good agreement with theoretical analysis results. So, as an advanced distributed optical fiber sensing technology, BOTDA is accurate and feasible to be used in the construction monitoring of soil mixing wall technology (SMW).

Keywords: Brillouin optical time domain analyzer (BOTDA); Soil Mixing Wall (SMW); H steel beam; construction monitoring