

Study on the Stress-Resistance Effect of the Graphite Slurry Infiltrated Steel Fiber Concrete

Lei Hong, Shu-mei Wang

State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, Dalian, China
honglei_a@163.com

Abstract: The stress-resistance effects of the superimposed beams which are made of graphite slurry infiltrated steel fiber concrete (GSIFCON) and traditional concrete are studied. The results indicate the superimposed beams are monolithic quite well and GSIFCON has good effects in piezo-resistance and tension-resistance. The relative variations of the GSIFCON resistance in the tensile part are nearly 4 times of those in the pressure part. This phenomenon shows that the tension-resistance effect of GSIFCON is higher than its piezo-resistance effect. From the whole process of the destructive test, the relative variations of the GSIFCON resistance are significant correspond to load, strain and deflection.

Keywords: graphite slurry; steel fiber; stress-resistance effect

石墨水泥砂浆注浆钢纤维混凝土力—阻效应研究

洪 雷, 王淑梅

大连理工大学 海岸和近海工程国家重点实验室, 大连, 中国, 116023
honglei_a@163.com

摘 要: 研究了石墨水泥砂浆注浆钢纤维混凝土(Graphite Slurry Infiltrated Fiber Concrete, 简称 GSIFCON)与普通混凝土叠合梁中 GSIFCON 的力—阻效应。试验结果表明, GSIFCON 与普通混凝土结合的整体性良好, 且具有良好的压敏性能和拉敏性能。受拉区 GSIFCON 电阻相对变化值约为受压区的 4 倍, 说明其拉敏性能要明显高于其压敏性能。从受力破坏全过程来看, GSIFCON 电阻变化与荷载、应变及挠度具有鲜明的对应关系。

关键词: 石墨砂浆; 钢纤维; 力—阻效应

石墨水泥砂浆注浆钢纤维混凝土(Graphite Slurry Infiltrated Fiber Concrete, 简称 GSIFCON), 是一种经注浆钢纤维混凝土(Slurry Infiltrated Fiber Concrete, 简称 SIFCON)经石墨等导电组份改性的一种复合材料^[1-2]。SIFCON 与普通混凝土相比, 具有优良的高抗压、抗拉强度及韧性^[3-5]。改性后的 GSIFCON 不但保持有 SIFCON 的这些优良的力学性能, 同时具有优良的导电性能和耐久性能, GSIFCON 内钢纤维互相搭接与石墨粒子形成导电网络, 在外力作用下, GSIFCON 产生损伤时, 其电阻率会敏感地随之发生变化。利用这一原理, 将 GSIFCON 材料与结构中梁、板、柱等构件结合, 可实时有效地监控构件在使用时的损伤程度, 实现对构件机敏监控的目的。

基金项目: 建设部研究开发项目(2008-K4-31): 钢纤维混凝土导电性能研究

1 试验

1.1 试验主要原材料

水 泥: 大连小野田水泥有限公司生产的华日牌 P·II 型硅酸盐水泥, 42.5MPa。

砂 : 中砂。

石 子: 5—20cm 石灰石。

石 墨: 细度 200 目, 含碳量 $\geq 98\%$, 含硫量 $\leq 0.05\%$, 水分 $\leq 1\%$ 。

钢纤维: 异形钢纤维, 长度 32mm, 等效直径 0.64mm, 长径比 53.33。

硅 粉: SiO_2 含量 $\geq 96\%$, 比表面积 $23\text{m}^2/\text{g}$ 。

减水剂: 聚羧酸高效减剂。

阻锈剂: 自配复合阻锈剂。

电 极: 不锈钢丝网电极, 钢丝网 3.5 目, 丝径 0.7mm, 尺寸 $20 \times 20 \times 130\text{mm}$ 。

1.2 试验方法

试件为 GSIFCON 与普通混凝土 (C30) 叠合而成的梁, 尺寸 $150 \times 150 \times 550\text{mm}$, 梁上下布设 20mm GSIFCON 材料, 在 GSIFCON 中分别设置四个平行电极, 具体见图 1 (图中单位 mm, 下同)。图中阴影部分为 GSIFCON, 其他部分为 C30 混凝土, 试件采用同时浇筑方法成型。GSIFCON 注浆材料配合比见表 1, 钢纤维掺量为体积掺量 8%。

Talbe 1.The mixture proportions for slurry
表 1.注浆砂浆配合比

水胶比	砂: 水泥	硅灰 /%	石墨 /%	高效减水剂 /%	流动度 /cm
0.50	1:1	10	8	1	20.5

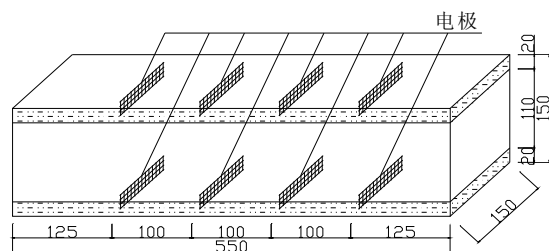


Figure 1.Location of the electrodes
图 1.试件电极布置示意图

试验采用四极法, 通过调整可调变压器维持 BC、FG 端电压在 36V, 测试电路见图 2。试验采用三分点加载, 测定三分点加载过程中, 受压区 BC 段、受拉区 FG 段 GSIFCON 电阻相对变化 $((R-R_0)/R_0)$ 与荷载、挠度及应变之间的关系。

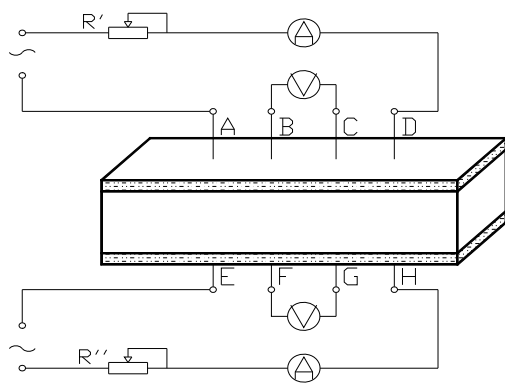


Figure 2.Circuit diagram in test
图 2.加载时的测试电路

2 试验结果与讨论

图 3 为叠合梁在受力破坏过程中, 受压区 (BC 段) 电阻相对变化 (R_{BC0} 为 BC 段原始电阻, R_{BC} 为受力过程中 BC 段电阻值, $(R_{BC}-R_{BC0})/R_{BC0}$ 为电阻相对变化变化, 下同) 及受压区 (FG 段) 电阻相对变化与相对荷载关系曲线。

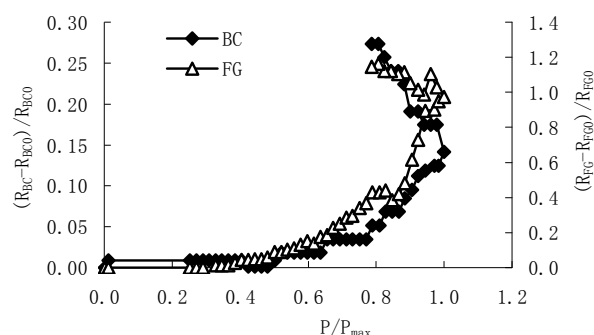


Figure 3.Curves of fractional resistance increase with loading
图 3.电阻变化与荷载的关系曲线

从图 3 可以发现, 无论是受压区 (BC 段) 还是受拉区 (FG 段), 其 GSIFCON 的电阻相对变化均随荷载的增加而增大, 从曲线的变化形式看, 受压区与受拉区 GSIFCON 电阻相对变化的同步性较好, 在达到极限荷载 ($P/P_{max}=1$) 后, 由于 GSIFCON 的作用, 叠合梁并没有发生突然的脆性断裂。在图 3 中反映出 $P/P_{max}=1$ 值达到 1 后开始下降, 而受压区与受拉区 GSIFCON 电阻相对变化继续增长, 直至叠合梁整体完全断裂破坏。

分析在整个受力破坏过程中, 受压区与受拉区 GSIFCON 电阻相对变化可以发现, 受拉区 (FG 段) GSIFCON 电阻相对变化始终大于受压区 (BC 段) GSIFCON 电阻相对变化, 前者约为后者的 4 倍。该现象表明, GSIFCON 电阻的拉敏性能要远远大于其压敏性。其主要原因是, 在 GSIFCON 中, 导电相主要为钢纤维和石墨, 在拉应力作用时, 石墨颗粒导电链及连接在钢纤维之间的“石墨桥”首先遭到破坏, 从而导致电阻值增大, 随着应力增大, 钢纤维导电链也相继发生松动、脱离破坏, 进一步导致电阻值的增大。在压应力作用下, 压应力在破坏石墨导电链及钢纤维之间“石墨桥”的同时, 也使石墨颗粒之间及石墨颗粒与钢纤维间的紧密程度有所增加, 使得纤维间的距离有所减少, 降低了钢纤维间电传导的势垒, 在破坏原有导电接触面的同时又会创造一些新的接触面, 使得试

件的电阻在增大的同时又有一定的减小，抵消了一部分电阻的增大，从而表现出来的电阻相对变化要比在拉应力作用下的电阻相对变化缓慢。

图4是叠合梁受拉区电阻相对变化、应变及荷载的关系曲线。从图中可以清楚地看到，整个受力过程，电阻的相对变化与荷载及应变之间具有较鲜明的对应关系。

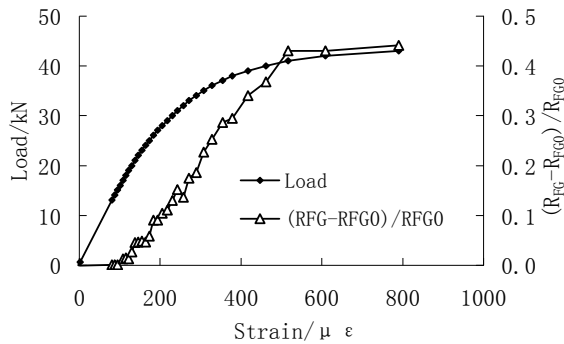


Fig.4.Relationship between load、fractional resistance and strain in tensile part

图4.受拉区(FG段)荷载、电阻相对变化与应变关系

图5是叠合梁的受压区和受拉区电阻相对变化与挠度的关系曲线。从图中可以看到，在开始加载时，数据点间隔很小，几乎挤在一起，此时挠度发展的很慢，电阻变化也比较微弱，说明此时梁处于弹性阶段。随着荷载的增大，挠度的发展开始加快，电阻变化也开始明显加大，电阻变化与挠度间呈现出较好类似线性的对应关系，此时梁处于裂缝稳定扩展阶段；在接近极限荷载和达到极限荷载的阶段，梁挠度和上、下层GSIFCON出现裂缝且裂缝宽度逐渐加大，电阻的

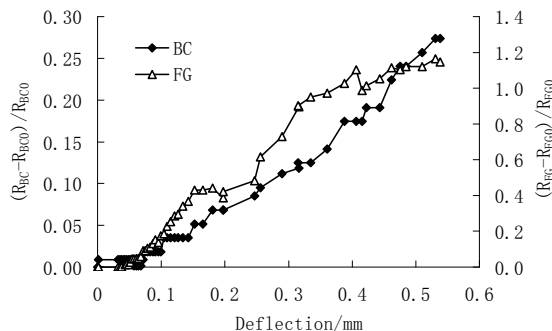


Fig. 5.Fractional resistance of beams vs deflection

图5.梁的电阻变化与挠度的关系

现象，这是由于普通混凝土与GSIFCON材料叠合作用的结果，从受拉区及受压区GSIFCON电阻相对变化规律也可清楚地反映出这一现象。GSIFCON电阻相对变化与挠度变化有比较好的对应关系，说明GSIFCON电阻相对变化具有对挠度良好的感知能力。

3 结论

(1) SIFCON材料与普通混凝土分层同时浇筑，其材料的整体性能良好，在试件的整个受力破坏过程中未发生分层现象。

(2) GSIFCON具有明显的压敏性能和拉敏性能，无论是受压区还是受拉区，其电阻的相对变化与荷载、应变及挠度之间具有鲜明的对应关系，比较来看，其拉敏性能要高于压敏性能。

(3) GSIFCON材料在荷载作用下其电阻的相对变化，即其力-阻效应明显高于碳纤维水泥基材料的力-阻效应^[6-7]。

4 致谢

感谢建设部为本实验研究提供大力支持。

References (参考文献)

- [1] Hong Lei. Study on the electric heating property of cement based graphite steel fiber concrete[P].China Patent: ZL2005102007576. 2007-12-18
洪雷.水泥基碳纤维复合导电材料制备方法[P].中国专利:ZL2005102007576. 2007-12-18
- [2] Hong Lei, Song Yupu. Study on Conductive Properties of Graphite Slurry Infiltrated Fiber Concrete[J]. Journal of Building Materials,2006,(6):649-653.
洪雷,宋玉普.石墨水泥砂浆注浆碳纤维混凝土导电性能研究[J]. 建筑材料学报, 2006, (6): 649—653.
- [3] Zhao Guofan, Huang Chengkui. the Research and Application of Fiber Reinforced Concrete[M].Beijing: China Architecture & Building Press, 2002
赵国藩,黄承逵.纤维混凝土的研究与应用[M].北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [4] Hong Lei, Sun Weicai, Huang Yuanyuan, Experimental study on the characteristics of GSIFCON and its capacity for supervising the damages of reinforced concrete beams[J]. China Civil Engineering Journal, 2008, 41(7): 7-13
洪雷,孙维才,黄园园. GSIFCON 材料特性及对钢筋混凝土梁损伤监控试验研究[J]. 土木工程学报, 2008, 41 (7): 7-13
- [5] V.S.Parameswaran, T.S.Krishnamoorthy, K. Balasubramanian. Behaviour of High Bolume Fiber Cement Mortar in Flexure [J]. Cement and Concrete Composites. 1990, (12):34-38.
- [6] Yao Wu. Green Concrete[M].Beijing: Chemical Industry Press, 2006
姚武.绿色混凝土[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [7] Yao Wu, Chen Bing. Study of Smart Characteristics of Carbon Fiber Reinforced Cement-Based Materials[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2002,19(2):49-53
姚武,陈兵,吴科如.碳纤维水泥基材料的机敏特性研究[J].复合材料学报, 2002,19 (2): 49-53