

DOI: 10.16285/j.rsm.2015.04.006

条形基础下水平布置纤维增强聚合物 筋材地基试验研究

白崇喜, 张中昊, 邵新妍

(东北农业大学 水利与建筑学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要: 纤维增强聚合物 (FRP) 具有耐腐蚀、耐水、耐高温、高强度、高弹性模量、质量轻等优点, 将其用作加筋材料不仅能显著提高加筋地基的加筋效果, 还能有效解决传统加筋材料的耐久性问题。分别对纯砂和 5 种水平加筋方式进行了加筋地基模型试验, 测试了各级荷载下的地基沉降、FRP 的应变及土压力数值, 并初步探讨了 FRP 加筋的作用机制。试验结果表明, 加筋能显著提高地基承载力和减小地基沉降, 特别是双层水平加筋方式的加筋效果更加明显, 而锚固件的设置对加筋效果的影响并不大, 水平 FRP 筋材主要起到了土压力扩散作用。

关 键 词: 条形基础; 水平纤维增强聚合物加筋; 承载力; 沉降

中图分类号: TU 472

文献标识码: A

文章编号: 1000-7598 (2015) 04-0953-05

An experimental study of strip foundation on the grounds reinforced with horizontal FRP

BAI Chong-xi, ZHANG Zhong-hao, SHAO Xin-yan

(School of Water Conservancy and Building, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: Fiber reinforced polymer (FRP) has good performance such as corrosive resistance, water resistance, high temperature resistance, high strength, high elastic modulus, light weight and so on. FRP materials can be used to enhance reinforcement effects significantly and improve durability of traditional reinforcements. A series of tests was conducted on pure sand and five types of horizontal reinforcement. Settlement, FRP strain and earth pressure were measured under different load levels, and the mechanism of FRP reinforcement was discussed. The testing results show that reinforcement can significantly improve the bearing capacity of the ground and reduce the settlement of foundation. In particular, the effect of double-layered horizontal reinforcement is pronounced, while the influence of anchor installation on the reinforcement is insignificant, and the horizontal FRP reinforcement mainly contributes to distributing the earth pressure.

Keywords: strip foundation; horizontal FRP reinforcement; bearing capacity; settlement

1 引 言

加筋地基主要通过土体中铺设适量的拉筋材料, 它可以扩散土体的应力、增加土体模量、传递拉应力、限制土体的侧向变形, 从而达到地基处理的目的。纤维增强聚合物 (FRP) 所具有的高强度和良好耐久性优势, 使其在工程中的应用日益广泛, FRP 加筋地基的加筋效果也会因为 FRP 的优势而更加明显。

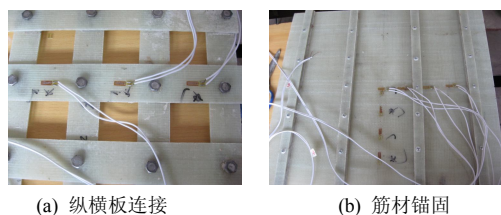
近年来, 加筋地基的加固机制已成为国内外学者的研究热点问题。Yamamoto 等^[1-2]对铝棒加筋地基开展了研究, 结果表明, 加筋机制为筋-土之间的相互作用, 并据此建立了地基承载力的计算公式;

魏丽敏等^[3]的研究结果表明, 筋带的形状受砂粒运动趋势的影响而呈曲线形状, 因此, 筋带内力分布呈多峰值现象; Huang 等^[4-5]进行了一系列加筋砂土地基模型试验研究, 地基破坏模式表明, 加筋机制有扩散层机制和深基础机制两种情况, 并且筋材的长度、间距和刚度决定地基会发生哪种破坏模式; 黄仙枝^[6]认为, 加筋机制为筋-土界面摩擦作用产生的应力扩散加筋机制, 并分析了加筋垫层厚度及加筋参数对加筋垫层应力扩散作用的影响; 徐超等^[7]通过土工格栅加筋土地基平板载荷试验得到结论: 加筋可改善地基的承载性能, 土工格栅的强度和拉伸模量相比, 后者对加筋土地基承载力的贡献更大。针对加筋材料的耐久性问题及沿水平方向布筋

收稿日期: 2014-04-30

基金项目: 黑龙江省博士后资助经费项目(No. LBH-Z12043); 东北农业大学博士启动基金项目(No. 2012RCB33)。

第一作者简介: 白崇喜, 男, 1981 年生, 博士, 副教授, 主要从事软土地基处理技术方面的教学及研究工作。E-mail: bcxzc@163.com

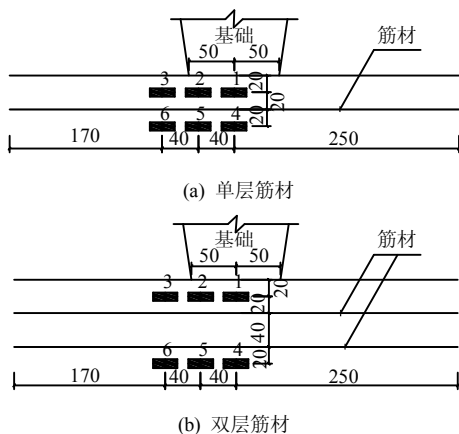


(a) 纵横板连接

(b) 筋材锚固

图4 纵横板连接及筋材锚固

Fig.4 Connection of vertical and horizontal plates and reinforcement anchorage



(a) 单层筋材

(b) 双层筋材

图5 FRP 筋材及微型土压力计的布置 (单位: mm)

Fig.5 Reinforcement locations and earth pressure gauges (in mm)

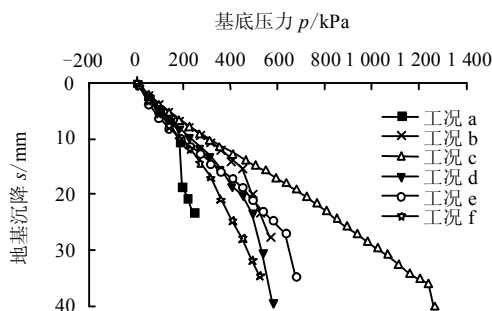


图6 基底压力-地基沉降曲线

Fig.6 Pressure at foundation bottom vs. foundation settlement

工况 a、d 卸载后地基表面变形情况的对比如图 7 所示, 远离基础的筋材因筋材偏短而未受到足够的锚固, 致使筋材的两端产生了如图 7(b)所示的裂缝。因此, 加筋地基出现了筋材挤出破坏和土体剪切破坏的破坏模式; 未加筋地基出现了土体剪切破坏的破坏模式。图 8 所示为工况 a、d 在地基破坏时的变形情况, 图中第 1、2 条染色砂距基底分别为 10 cm 和 30 cm, 这两个工况的第 2 条染色砂变形均很小, 而第 1 条染色砂变形均较明显, 且工况 d 的第 2 条染色砂变形明显大于工况 a 的第 2 条染色砂变形。由图 8 可知, 加筋地基破坏时的地基沉降、隆起大小和范围均较非加筋地基大, 工况 d 的第 1 条染色砂变形可间接反映 FRP 筋材的变形情况。试

验结束后将 FRP 筋材取出, 各加筋工况的筋材均未断裂, 而只有较小的塑性变形。

3.2 FRP 筋材应变分布

加筋地基模型试验中, FRP 筋材各测点的应变值与基底压力的关系曲线如图 9 所示, 图中工况 c 的 1~4 测点布置于上层板中, 其布置位置如图 3 所示, 5~8 测点布置于下层板中, 位于 1~4 测点的正下方。对于未设置锚固端的 FRP 筋材, 应变片位于筋材的上表面; 对于设置锚固端的 FRP 筋材, 应变片位于筋材的下表面。工况 e 中 1 和 2 测点的应变值在加载后期溢出, 导致应变读数不完整。



(a) 工况 a

(b) 工况 d

图7 卸载后地基表面变形

Fig.7 Ground surface displacement after unloading



(a) 工况 a

(b) 工况 d

图8 地基破坏时的变形

Fig.8 Displacement of ground at failure for case a and d

图 9 中各测点的应变值可间接反映出 FRP 筋材的弯曲情况, 图中曲线表明, FRP 筋材具有相同的变形, 即在基础下产生弯曲变形并随基础及基础下的砂土一起沉降, 各测点应变值的正负及相对大小表明了 FRP 筋材在基础两侧各有 1 个反弯点。工况 c 下层板的变形并不小于上层板的变形, 说明下层板发挥着与上层板相当的加筋作用。FRP 筋材因高强度和高弹性模量及较大的截面刚度, 它所呈现的弯曲变形会对基础下的土体产生向上的作用力, 进而提高了地基承载力和减小了地基沉降。FRP 筋材与土界面的摩擦力对土体产生一个侧向约束力, 限制了土体的侧向变形, 从而增强了土体强度。

3.3 地基中土压力分布

加筋地基模型试验中各测点的土压力与基底压力的关系曲线如图 10 所示。对各工况基础中心外侧筋材顶面、底面土压力的相对大小进行对比, 结果表明, 除网格状单层板加筋方案外, 加筋发挥了很

强的土压力扩散作用。FRP 筋材因具有较大截面刚度和高弹性模量特点而相当于一个刚性层, 该刚性层能有效地扩散和均化地基中的土压力。网格状单

层板加筋方案因 FRP 筋材的平面面积小于其他单层板加筋方案, 致使该方案基本没有发挥土压力扩散作用。

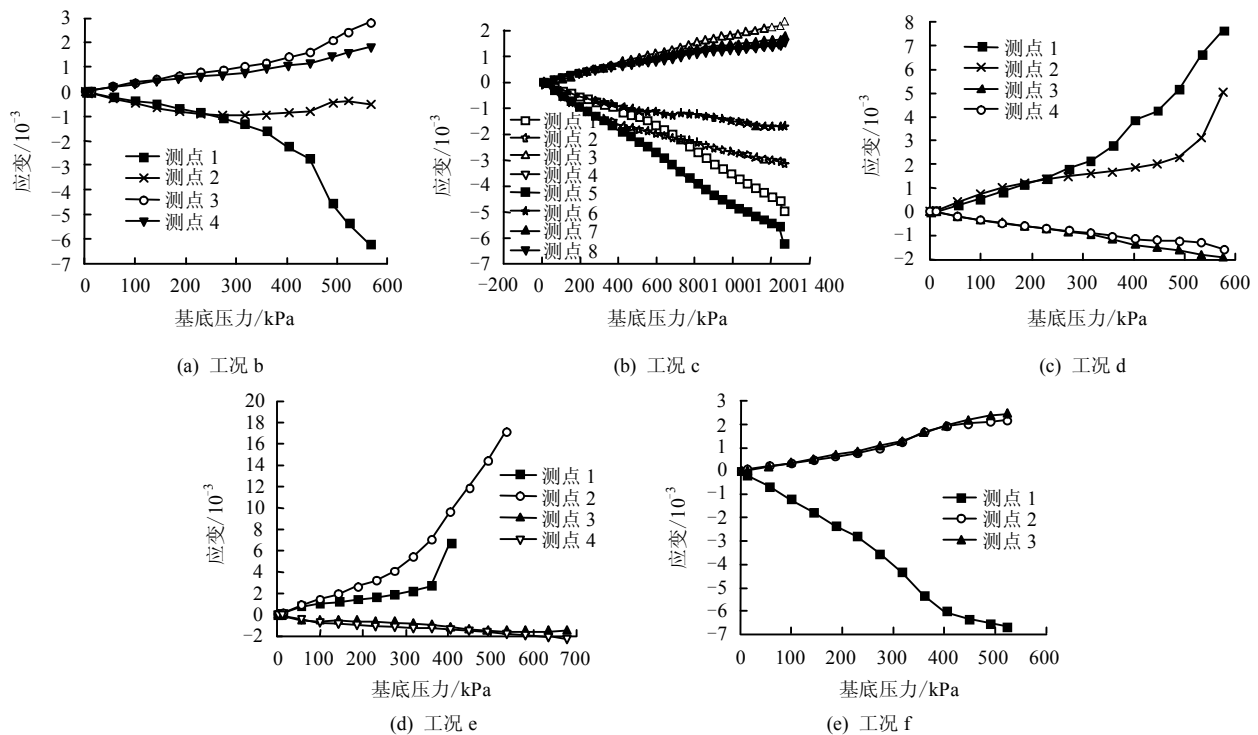


图 9 基底压力-FRP 应变曲线
Fig.9 Pressure at foundation bottom vs. FRP strain

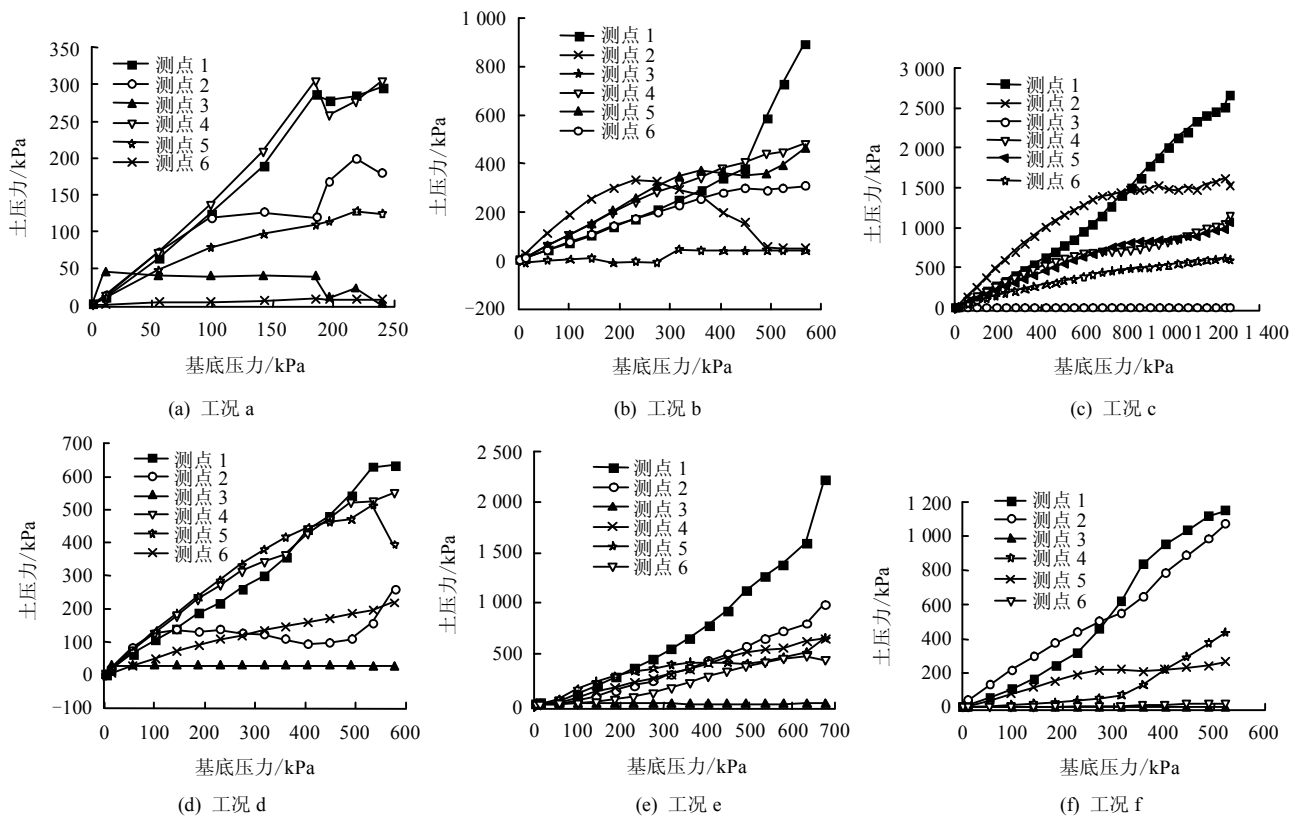


图 10 基底压力-土压力曲线
Fig.10 Pressure at foundation bottom vs. earth pressure

3.4 加筋机制分析

综合考虑 FRP 筋材的变形、内力及其材料特点与截面属性可知,筋材能有效地扩散和均化地基中的土压力,改变了地基土体破裂面产生的位置和形状;筋材的弯沉变形对基础下部的土体施加一个向上的作用力,同时对基础两侧的土体施加一个向下的作用力;筋-土界面的摩擦力在一定程度上约束了土体的侧向变形。以上因素致使 FRP 加筋能显著提高地基承载力和减小地基沉降,而最主要的因素是 FRP 筋材的土压力扩散作用。

4 结 论

(1) FRP 加筋的加筋效果显著,双层板加筋的加筋效果更加突出,设锚固端的单层板加筋地基方案中锚固端的作用没有发挥出来,可根据工程需要首选单层板或双层板加筋地基方案。

(2) 未加筋地基的破坏模式为土体剪切破坏,加筋地基的破坏模式为筋材挤出破坏和土体剪切破坏。

(3) FRP 筋材受力后产生较大弯沉变形,双层板加筋方案的下层板具有与上层板相当的变形。

(4) FRP 筋材可很好地扩散和均化地基土压力,双层板加筋方案的这种作用更加明显,而网格状单层板加筋方案基本没有发挥这种作用。

(5) 水平 FRP 筋材主要起到了土压力扩散作用,同时也起到了张力膜作用和约束土体侧向变形的作用。

参 考 文 献

- [1] YAMAMOTO K, OTANI J. Bearing capacity and failure mechanism of reinforced foundations based on rigid-plastic finite element formulation[J]. *Geotextiles and Geomembranes*, 2002, 20: 367—393.
- [2] YAMAMOTO K, KUSUDA K. Failure mechanisms and bearing capacities of reinforced foundations[J]. *Geotextiles and Geomembranes*, 2001, 19(3): 127—162.
- [3] 魏丽敏, 华祖焜. 加筋土地基筋带内力量测与分析[J]. *岩土工程学报*, 1997, 19(1): 15—21.
WEI Li-min, HUA Zu-kun. Measurement and analysis of reinforcement tension for earth foundation[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 1997, 19(1): 15—21.
- [4] HUANG C C, TATSUOKA F. Bearing capacity of reinforced horizontal sandy ground[J]. *Geotextiles and Geomembranes*, 1990, 9(1): 51—82.
- [5] HUANG C C, MENQ F Y. Deep-footing and wide-slab effects in reinforced sandy ground[J]. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 1997, 123(1): 30—36.
- [6] 黄仙枝. 加筋地基土压力测试与机理分析[J]. *岩土工程学报*, 2012, 34(9): 1691—1694.
HUANG Xian-zhi. Measurement of soil pressure in geobelt-reinforced foundation and analysis of reinforcement mechanism[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2012, 34(9): 1691—1694.
- [7] 徐超, 胡荣, 贾斌. 土工格栅加筋土地基平板载荷试验研究[J]. *岩土力学*, 2013, 34(9): 2515—2520.
XU Chao, HU Rong, JIA Bin. Experimental study of geogrid-reinforced soil foundation by plate load test[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2013, 34(9): 2515—2520.
- [8] ACI Committee 440. Recommended test methods for FRP rods and sheet[S]. [S. l.]: [s. n.], 2001.