

土工格室于砂土之承载能力及动态特性试验研究

张达德, 张家豪, 简大为, 白书维

(中原大学土木工程系, 台湾 中坻 32023)

摘要: 在沙漠地带中, 在路基材料缺乏的状况下, 利用土工格室与现场砂土可 effectively 提高沙漠道路的承载力, 并能达到经济效益与路基的设计要求。为了解土工格室于砂土路基的加筋行为, 分别进行了静态承载板载重试验与动态载重试验, 探讨土工格室加筋后的承载能力与动态特性。与未加筋砂土比较, 土工格室发挥良好之加筋效果, 其能提高砂土的承载能力; 于静态承载试验中, 承载能力随着土工格室高度增加而提升, 并有效减少沉降量之产生。在动态试验指出, 土工格室加筋于砂土受动态反复作用下, 增加土工格室高度, 并不相对能提升加筋的承载成效。以动态载重试验反应公路的反复载重条件, 对于沙漠公路设计使用土工格室加固路基时, 得以选择具有经济效益的优化方案。

关键词: 土工格室; 加筋路基; 动态载重试验

中图分类号: TU472

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2009)12-1833-05

作者简介: 张达德(1954-), 男, 博士, 教授, 主要从事岩土工程与防灾技术研究。E-mail: ttateh@cycu.edu.tw。

Bearing capacity and dynamic properties of sandy soil with confinement of geocells

CHANG Ta-teh, CHANG Chia-hao, CHIEN Ta-wei, PAI Shu-wei

(Department of Civil Engineering, Chung Yuan Christian University, Chungli 32023, China)

Abstract: In the desert area, due to the lack of qualified subgrade materials, the use of geocells with in-situ sand can improve the bearing capacity of the desert road. Also, the economic benefits and the design requirements for the subgrade layer can be achieved. In order to evaluate the reinforcement behavior of geocells, both static and dynamic loading tests are conducted to investigate the bearing capacity and dynamic behaviors. Compared with the unreinforced sand, the geocells significantly improve the performance of the sandy soil used in this study. In the static loading test, with the increasing height of the geocells, the subgrade gains have higher bearing capacity and lower total settlement. Under repeated loading condition, with the increasing height of the geocells, the bearing effect can not be relatively improved. The repeated loading pavement is simulated in the dynamic loading test, and the results show that the design of subgrade reinforced with geocells in desert area can be suggested to have optimization scheme of economic benefits.

Key words: geocell; reinforced subgrade; dynamic loading test

0 引言

于沙漠地区开拓道路, 因当地地质条件不佳而窒碍难行。现地路基皆为软弱砂土, 无法确实承载车辆; 又因碎石级配运送路程遥远, 故为了有效且经济地进行道路拓展, 最佳的方式即为利用现地砂土做为路基土壤。利用土工格室(Geocell)放置于软弱路面上, 再以砂土填满格框, 其所成的路面在承受载重时可藉由格框的束制能力, 可减少回填料之侧向位移, 进而减少沉降量, 其效果比紧密土壤的承载能力还要好。如此可有效提高砂土路基之承载力亦可进行道路拓展工程。

为了解土工格室加筋于砂土的特性, 本研究进

行静态承载板载重试验与动态载重试验, 评估土工格室加筋于砂土的承载与动态特性, 以能符合现地动态载重行为。

1 土工格室加筋机制

土工格室展开后填入砂土之类材料, 夯实后展现的功能为一般路基材料所无法达成, 可有效防止基层材料的沉降; 若结合为一层结构铺面, 因填料受限于蜂巢格框内, 密度因而增加, 承受的车辆载重受到土工格室结构影响而横向分布, 进而减少荷重压力, 增

收稿日期: 2008-08-05

强承载能力, 如图 1 所示。

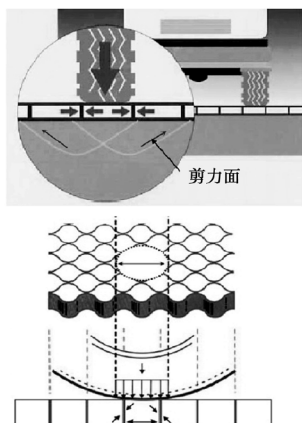


图 1 土工格室加筋于道路承载机制示意

Fig. 1 Bearing mechanism of geocells in reinforcement road

对于土工格室的加筋承载机制, Koerner 提出修正 Terzaghi 的极限承载力公式^[1]

$$p = 2\tau + cN_c\zeta_c + qN_q\zeta_q + 0.5\gamma BN_\gamma\zeta_\gamma \quad (1)$$

式中, p 为极限承载力; c 为黏聚力; q 为土壤载重; B 为施加压力区宽度; γ 为土壤单位重; τ 为土工格室面与充填土壤间的剪力强度; N_c , N_q , N_γ 为承载力因子; ζ_c , ζ_q , ζ_γ 为形状因子。

其假设破坏模式是产生于垂直的展开面, 如图 2 所示。

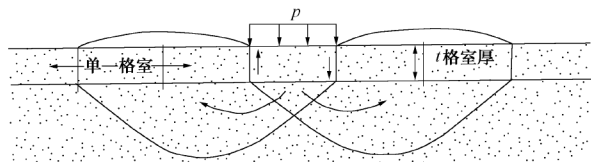


图 2 土工格室加筋砂土之承载破坏示意图

Fig. 2 Bearing capacity failure mechanism of sand with a geocell confinement system

Mhaikar 和 Dash 等人对于土工格室的承载能力主要皆以静态载重试验进行评估研究^[2-3], 指出土工格室能有效提升地盘之承载能力, 并提出土工格室的高度与宽度比。

近年来国内土工格室已逐步推广公路、铁路等工程应用上, 对于整治基床病害有其优点。相关研究文献上, 已有对于其承载机理、模型分析与现地试验有相当成果提出^[4-7]。在加筋砂土公路上, 对于格室高度的选择上则有不同的设计方案, 并选取适当高度格室作为加筋使用。谢启万等人^[8], 以 7.5 与 15 cm 的土工格室加筋于试验公路上进行比对, 试验验证采用 20 t 卡车行驶于试验路段上碾压, 以了解土工格室加筋

路基与其它路基承载力行为, 而所得结果如图 3 所示, 由结果发现较高的土工格室却产生较大的沉降量。

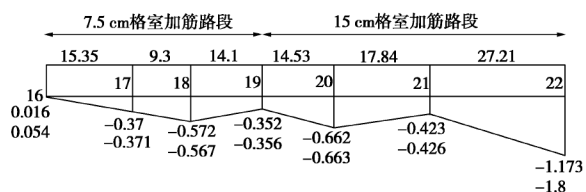


图 3 土工格室加筋路基之观测高程图

Fig. 3 Field settlement measurements of geocell system

由上述文献中除现地试验外, 主要仍以静态承载板试验进行试验分析, 但对于公路车辆反复载重用下, 静态试验并不足以完整呈现道路加筋行为机理。因此本研究以动态载重试验与静态承载板试验进行比较探讨, 以能做为公路加筋设计的参考。

2 研究规划

本研究主要是针对静态与动态加载状况下土工格室的加筋砂土成效, 分别以二种不同高度的土工格室 GCM-A (高为 7.5 cm)、GCM-B (高为 15 cm), 为模拟松软砂土路基所采用的相对密度控制于 65%。以静态承载板试验、动态承载试验结果, 探讨加筋后路基承载力变化以及材料高度对加筋影响比较。

2.1 静态承载板载重试验

静态承载板载重试验的试验盒尺寸为 150 cm × 90 cm × 87 cm。将土工格室铺设并夯实于盒内砂土中, 正向压力的施加乃利用油压千斤顶加压施力。本研究所使用的圆形承载板, 直径为 20 cm 与 30 cm。试验配置 4 支位移计以平均量测试体受压的沉降变化, 试验配置见图 4 所示。

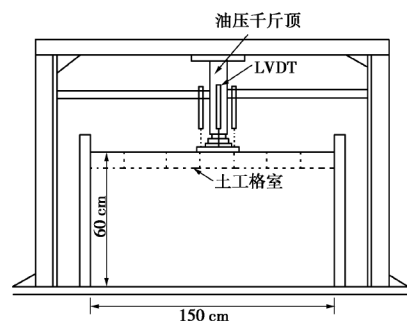


图 4 承载板载重试验配置示意图

Fig. 4 Test setup for static plate loading tests

2.2 动态载重试验

动态载重试验之试验盒以钢板组成, 其尺寸为 45.7 cm × 45.7 cm × 70 cm。正向压力的施加乃利用气压加压反复荷重直接加压于加筋砂土, 透过计算机控制继电器进而控制气压阀, 以控制打击周期、接触时

间等, 所设定的反复荷重的施打间隔周期为 3 s, 打击接触时间为 0.1 s/次。

由于土工格室的张开尺寸为 15 cm×25 cm, 于承载板的选择上, 为考虑避免因板尺寸过大而影响邻近的围束砂土的格室, 故本试验所使用的圆形承载板直径为 10 cm。于试验配置 2 支位移计以量测试体受压之实时沉降与回弹变化, 如图 5 所示。表 1 为本试验一系列的载重与打击次数的规划, 此步骤参考 AASHTO T292—91 (路基土壤回弹模量试验) 进行^[9]。同时, 为能模拟公路厚度设计之载重, 此假设路面结构厚度为 50 cm, 评估土工格室加筋路基上方所承受的围压为 10.5 kPa, 再以铁制平板铺设于土工格室上方, 模拟受承受的路面厚度重量。

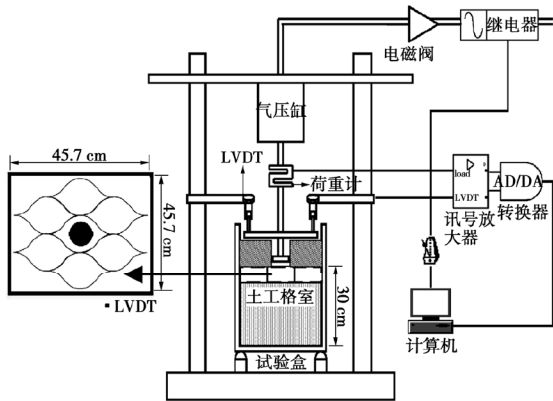


图 5 动态载重试验仪器配置示意图

Fig. 5 Test setup for dynamic loading tests

表 1 动态载重试验的试验内容

Table 1 Loading sequences used in dynamic loading tests		
试验顺序	动态载重次数	动应力/kPa
预载	1000	82.4
1	500	20.6
2	500	34.3
3	500	48.1
4	500	68.7
5	500	103.0

3 试验结果分析与探讨

3.1 静态承载板载重试验结果

土工格室 GCM-A、GCM-B 进行的各组静态载重试验, 不同土工格室与未加筋砂土的载重与沉降量关系见图 6 所示。比较土工格室未加筋与加筋后的承载力变化, 由 GCM-A 与 GCM-B 的试验结果可知, 由未加筋砂土与土工格室加筋后的承载力比较, 于载重初期各组曲线发展相似; 当载重持续加载后, 土工格室之承载力明显增加, 比较各组沉降量为 5 cm 时之载重值, GCM-A 之载重约 640 kPa, 为未加筋砂土时的

1.4 倍, GCM-B 之承载力约 780 kPa, 为未加筋砂土时的 1.7 倍。而 GCM-A 与 GCM-B 的比较显示出土工格室格框高度对承载力有明显之影响, 以静态载重试验呈现出其承载力会随土工格室格框高度增加而增加, 并有效降低沉降量。另外, 在相同加筋材对应不同承载板尺寸, 各组数据经过计算所得之载重值大约相差于 5% 以内, 显示板尺寸效应不因试验槽的尺寸影响其正向应力施加时侧向应力的传递距离。

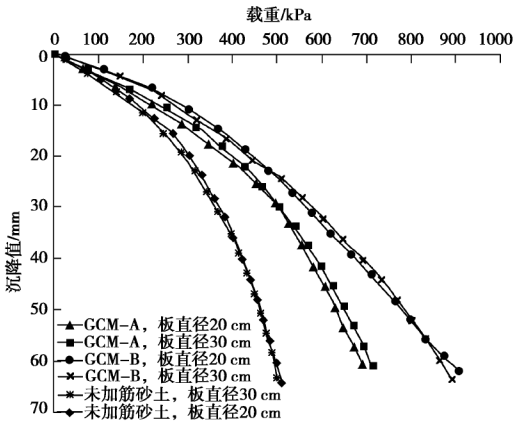


图 6 静态承载板试验之载重-沉降值关系

Fig. 6 Bearing pressure and settlement relationship from static plate loading tests

3.2 土工格室加筋变形评估

于路基工程上应用时, 地盘产生的永久变形量亦为一重要考虑因素。依据 Mandal (1992) 研究, 将载重与沉降比之关系曲线图作一应用比较, 定义出沉降递减率 PRS (percentage reduction in settlement):

$$PRS = (S_0 - S_r) / S_0 \quad (2)$$

式中, S_0 为未加筋砂土的极限承载力对应的沉降量, S_r 为加筋后砂土的极限承载力对应的沉降量。引用上述观念, 于各组曲线中, 以未加筋砂土最终的极限承载力 500 kPa 对应的沉降比来定义出沉降递减率

$$PRS^* = (S_{q0} - S_{qr}) / S_{q0} \quad (3)$$

式中, S_{q0} 为当载重 500 kPa 时未加筋砂土的承载力对应之沉陷比, S_{qr} 为当载重 500 kPa 时加筋后砂土的承载力对应的沉降比。计算结果如表 2 所示。

表 2 500 kPa 载重下之沉降递减率

Table 2 Percentage reduction in settlement under 500 kPa			
型式	承载板尺寸 B/cm	沉降比 S/B /%	沉降递减率 PRS* /%
未加筋砂土	20	29.7	—
	30	21.0	—
GCM-A	20	14.5	51.2
	30	9.6	54.3
GCM-B	20	12.0	59.6
	30	7.8	62.9

以变形量评估土工格室之加筋效果,于施加载重后加筋后之砂土其变形量较为未加筋砂土小,当载重于 500 kPa 时,使用 GCM-A 加筋后之沉降比减少约为 2 倍,GCM-B 加筋后之沉降比减少约为 2.5 倍;而以沉降降减率来看,GCM-B 之沉降递减率也较 GCM-A 高出约为 1.2 倍,这也显示出 GCM-B 拥有较佳之加筋效果。对于土工格室加筋于砂土上有良好的抵抗沉降能力。

3.3 动态承载板载重试验结果

基于路面路基土壤是受到动态载重的条件,因此加筋路基试验以相似的动态条件进行评估有其必要性,以探讨土工格室加筋路基砂土的动态特性,评估土工格室动态地基反力系数与动应力及永久变形量的关系。动态地基反力系数 k' 计算式如下:

$$k' = \frac{\sigma_d}{\delta} \quad (4)$$

式中, σ_d 动应力, δ 为动载变形量。试验过程,经由预打程序后,砂土已达到紧密状态,动态地基反力系数的计算是以打击次数 200~500 下的沉降稳定后的平均值计算所得。

由图 7 的动态地基反力系数与荷重关系可见,与未加筋砂土比较,土工格室加筋砂土明显提高动态地基反力系数。于第 1~2 动应力循环阶段(动应力为 20.6 kPa 与 34.3 kPa)时,GCM-A 与 GCM-B 的动态地基反力系数相近,显示于初期阶段皆具有良好的抗沉降变形能力;但于第 3 应力循环阶段后,GCM-B 的动态地基反力系数则开始明显低于 GCM-A,随着动应力的增加,动态地基反力系数有下降的趋势。这显示在反复动态荷重作用下,较高的土工格室产生较多的沉降,使其动态地基反力系数略低。以未加筋与加筋砂土的动态地基反力系数之比值,来定义其有效加筋比 R_k ,其计算结果如表 3 所示。由此结果可知,土工格室在动态载重作用下,有效加筋比为 1.24~1.32。GCM-A 于动载作用后其发挥较佳的加筋能力。

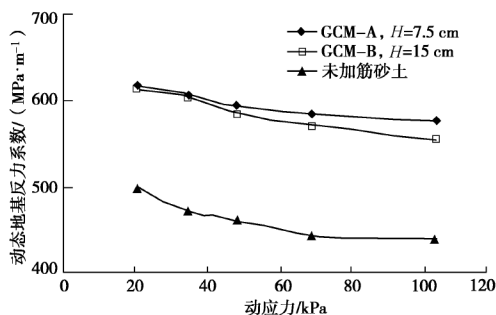


图 7 动态地基反力系数结果

Fig. 7 Dynamic coefficients of subgrade reaction from dynamic loading tests

表 3 动态载重下有效加筋比

Table 3 Effective reinforced ratio by dynamic loading

动应力 /kPa	$R_k/\%$	
	GCM-A	GCM-B
20.6	1.24	1.23
34.3	1.28	1.28
48.1	1.29	1.27
68.7	1.32	1.29
103.0	1.31	1.26

由动态载重试验结果可知,于反复载重下土工格室高度影响将影响加筋效果,于加筋设计时,需取一适当的土工格室高度,以避免产生过大的沉降影响,并能符合经济效益需求。

3.4 静态承载与动态载重行为探讨

由静态承载板试验结果得知,增加土工格室高度可相对增加承载能力与沉降变形;但以动态载重试验来评估时,高度较小的土工格室则其抵抗变形能力效果显著,动态地基反力系数也随之提高,发挥良好的加筋砂土成效。同时,动态试验结果与谢启万(1999)于现地进行车载试验时,所观测的沉降行为相似(见图 3)。景宏君(2006)对于沙漠公路加固研究上,其优化方案选择亦有相似的选择^[6]。

因此,可知土工格室对于静态承载与动态载重行为并不相同,静态承载破坏如图 2, 8 所示,在受到载重时砂土受到格室侧壁的围束作用与摩擦抵抗,直至承载破坏为止,因此格室高度的增高,随之增加侧壁的摩擦抵抗力,发挥承载能力。而动态试验由反复荷重作用下,初期阶段格室内砂土开始压实产生沉降,并因荷重与打击次数增加,格室侧壁产生反复的伸张作用,使其发挥显著的束制能力;但也因格室高度不同,使得伸张变形不同产生有所差异的加固效果。



图 8 土工格室受静态承载破坏示意

Fig. 8 Bearing capacity failure of geocell from plate loading tests

4 结 论

(1) 以静态承载试验比较土工格室不同高度的加筋效果, 显示出土工格室高度增加其承载力随之增加。以静态载重试验可用于评估结构基础的加筋承载成效。

(2) 由动态载重试验结果可知, 动态地基反力系数并不随着土工格室高度增加而提高, 显示出使用土工格室于路基加筋时, 其受反复荷重下, 会因回弹沉降产生不同于静态载重试验之加筋效果。

(3) 土工格室加筋于砂土路基时, 以动态载重试验能较为接近现地道路反复载重之特性, 可藉由静态与动态载重试验搭配评估适当的土工格室高度, 以作为现地加筋设计的依据, 并能符合现场工程的经济效益。

参考文献:

- [1] KOERNER R M. Designing with geosynthetics[M]. New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- [2] MHAISKAR S Y, MANDAL J N. Soft clay subgrade stabilization using geocells[C]// Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics, Geotechnical Special Publication No.30. New York: ASCE, 1992: 1092 - 1103.
- [3] DASH S K, RAJAGOPAL K., KRISHNASWAMY N R. Strip footing on geocell reinforced sand beds with additional planar reinforcement[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2001, 19(8): 529 - 538.
- [4] 刘 柱, 潘发安, 朱 湘, 葛折圣. 土工格栅与土工格室加筋机理比较[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2004, 27(5): 567 - 569. (LIU Zhu, PAN Fa-an, ZHU Xiang, GE Zhe-sheng. Comparison between geocell and geogrid in terms of reinforcing mechanism[J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science Edition), 2004, 27(5): 567 - 569. (in Chinese))
- [5] 罗 强, 周 华, 王之健. 土工格室加固既有线铁路基床试验研究[J]. 铁道学报, 2004, 26(3): 98 - 102. (LUO Qiang, ZHOU Hua, WANG Zhi-jian. Test study on geocell-stabilized railway subgrades[J]. Journal of the China Railway Society, 2004, 26(3): 98 - 102. (in Chinese))
- [6] 景宏君, 景宏伟, 俞茂宏. 土工格室在加固沙漠高速公路路基中的应用[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2006, 26(6): 15 - 18. (JING Hong-jun, JING Hong-wei, YU Mao-hong. Application of geocell to strengthen expressway subgrade in desert[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2006, 26(6): 15 - 18. (in Chinese))
- [7] 王炳龙, 周顺华, 宫全美, 方卫民. 不同高度土工格室整治基床下沉病害的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(2): 163 - 166. (WANG Bing-long, ZHOU Shun-hua, GONG Quan-mei, FANG Wei-min. Experimental study on treatment of subgrade subsidence by geocell of different heights[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2003, 25(2): 163 - 166. (in Chinese))
- [8] 谢启万, 郭耀章, 张达德, 吴政翰. 土工蜂格网应用于路基加筋之研究[C]// 台湾第八届大地工程学术研究讨论会论文集, 1999: 1717 - 1725. (HSIEH C W, GUO Y Z, CHANG T T, WU J H. Study of geoweb used in subgrade reinforcement[C]// Proceedings of the Eighth Conference on Geotechnical Engineering in Taiwan, 1999: 1727 - 1739. (in Chinese))
- [9] AASHTO T292 - 91 Standard method of test for resilient modulus of subgrade soils and untreated base/subbase materials[S]. Washington D C: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1992.