

土工织物的加筋加固研究回顾

施建勇 赵维炳[√] 曾三平

(河海大学岩土工程研究所 南京 210098)

摘要 本文在分析近十年来国内外有关土工织物的力学性能测试、土工织物加筋加固的室内模型试验与现场原型观测、加筋加固机理的有限元法分析以及工程实用设计计算等四个方面研究成果的基础上,结合笔者前期所做的工作,对土工织物加筋加固的研究现状进行了综述,并提出了一些设想。

关键词 土工织物 力学性能 加筋 加固 模型试验 原型观测 综述

土工织物(Geotextile, Geofabric)是近三十年才发展起来的一种新型岩土工程材料。1963年,法国的Henri-Vidal将这种新型材料作为挡土墙筋材进行了研究,并提出了相应的设计计算理论;1986年,在维也纳召开的第三届国际土工织物学术研讨会上J. P. Giroud做了题为:“From Geotextiles to Geosynthetics: a Revolution in Geotechnical”的报告;同年年底,在天津召开的第一届全国土工织物研讨会上,黄文熙院士预言“土工织物将引起岩土工程的一场革命”。此后,我国又先后在沈阳(1989)、仪征(1992)召开了第二、三届土工织物学术研讨会。在国内外岩土工程重大学术会议上,有相当数量的论文代表土工织物研究的前沿;在岩土工程中使用土工织物的领域得到迅速扩大,对其作用机理的研究也取得了长足的进展。

1 土工织物的力学性能测试

土工织物的力学性能包括土工织物的拉伸力学特性和土与土工织物界面力学特性,测试工作是获取工程设计参数的主要手段。文献[1~4]介绍了土工织物几种典型的拉伸试验方法以及由此得到的本构模型。就拉

伸试验而言可以分成两类:一是不考虑土约束作用的自由拉伸^[1~2];另一类是考虑这一因素的拉伸^[2~4]。其中大多数试验仪器是由直剪仪改装而成的^[2],也有用三轴压力室来施加填土约束的,为了消除填土对土工织物的摩擦影响,文献[2]还介绍了用水压来模拟土工织物的上覆土压。通过试验,确定的本构模型有双曲线型^[3]和多项式型^[2,4]两种。文献[2, 3, 6]介绍了研究土工织物与填土界面相互作用特性的方法,通过试验可以得到界面上的剪应力与相对位移的关系曲线,由此确定土与土工织物界面特性。在土工织物力学特性研究方面,笔者曾做过一些探讨,提出了土工织物在考虑填土约束作用下的本构模型和土工织物与填土相互作用的力学模型,之后又有人在此基础上做了更全面、更深入的研究。目前国内外在这一方面的研究已取得许多公认的成果,其中,当填料与土工织物界面有大于6mm的相对位移时,界面的剪切应力将达到其抗剪强度。

土工织物的力学性能测试,无论是自由拉伸还是考虑填土的有约束拉伸,都与土工织物在实际工程中的力学性状有差别。自由拉伸没有考虑填土的约束作用;有约束拉伸

由于测试仪器的尺寸效应和边界的影响,使量测结果偏于不安全。若用现场的拉拔试验来寻求土工织物与土共同作用下的力学参数,再在量测方法上采取相应的改进措施,就可得到工程上实用的土工织物力学参数。

2 室内模型试验和野外原型观测

模型试验能在室内模型上观测到与实际工程相近的一些性状,也可以对计算采用的理论和数学物理模型进行验证。探讨土工织物加固机理的模型试验可以分成静力模型试验和离心模型试验两种。静力模型试验是按一定的几何比例设计模型,再在外荷作用下观测模型的变化。文献[1]根据引起边坡失稳的原因,把失稳分成四大类,并用静力模型试验验证了这四种破坏形式的可能性。文献[2]介绍了通过加筋挡墙以及斜(边)坡的静力模型试验,测出筋材上的最大拉力及其位置、破坏面的位置、墙面侧位移等一系列重要数据。另一些文献^[6]着重介绍了土工织物对地基承载力影响机理的研究。国内外已有文献^[6~10]介绍了利用离心模型试验技术在这一领域的研究工作,但在土工织物模拟材料选取方面有较大的差异,文献[7]主张模拟材料的强度应为原型材料的 $1/N$ (N 是模型率);文献[8]进行的试验中采用一种超薄无纺布作为模拟材料;文献[9]中的试验是按相似准则进行选材的;也有人认为无须考虑强度及其它参数的折减而取原型材料;文献[10]以拉伸刚度相似为准则进行选材,对土工织物的加筋机理进行了较为系统的试验研究。离心模型试验加深了对土工织物作用机理的认识。

虽然模型试验具有重要的作用,但仍存在不少问题。对静力模型试验,由于模型与原型几何尺寸的差异,在模型中的应力场与原型中的应力场差距甚远,对以自重为主要荷载的土工织物来说,这是一个最大的问题。

不过,如果结构物以粘性土为主,且重力场所起的作用需要经过较长时间才能体现出来的情况下,静力模型试验结果是有一定意义的。对离心模型试验,在理论上,几乎所有的岩土工程问题都能用离心模型试验来模拟,但由于模型与原型土体结构的差别、边界条件处理不当、量测手段的不完善等因素,加上某些复杂的工程问题,难以满足所有的相似准则,有时仅能以主要指标满足相似准则来进行模型设计,因此模型与原型之间还是有些差别的。如果处理得当,离心模型试验是可以提供指导工程实际定量数据的。

文献[12~13]介绍了实际工程现场观测,主要对结构的位移和加筋材料的工作性状进行了量测。在国内,钱塘江工程管理局^[12]、同济大学^[13]等许多单位对土工织物加固的堤坝、路基、加筋的边坡进行了现场观测,得到了不少对理论分析极为重要的数据,但理论分析工作仍需进一步加强。

3 有限元法分析

有限元分析法是诸多计算分析法中最能适应各种复杂因素的方法之一。有限元数值方法在这方面的功能可归结为:一是可以利用有限元法的计算结果对土工织物的加固机理进行探讨;二是利用有限元法计算与常规计算方法的某种联系,由有限元法计算结果编制图表,以供工程设计采用,这样可以提高常规计算的精度,全面合理地考虑土工织物的作用。文献[1, 2, 4, 14]介绍了土工织物及其与填土界面的各种模拟方法。一种处理手段是将土工织物作为杆单元,认为土与土工织物在各点的变形是协调的;另一种方法是在土工织物的两侧各设一接触面单元,土工织物用线单元或四边形薄层单元来模拟;文献[11]还介绍了一种方法,即在土与土工织物界面上各设结点,当结点间的剪应力不超过其抗剪强度时,变形是协调的,

反之, 结点之间有错动。文献 [14] 提出了影响有限元法, 并用于分析土与土工织物界面的相互作用特性, 该法能较合理地模拟两者之间的相互作用。

有限元法用于岩土工程的数值分析已经有相当长的历史。目前, 有限元法不仅用来进行数值分析, 还可用来进行参数反演, 是数值分析方法中较为成熟的方法, 但在土工织物的加固机理探讨方面, 尽管前人已经做了许多尝试, 却有不少人不无遗憾地承认, 目前的分析方法难以正确评价土工织物的加固效果。因此有限元法在土工织物加固机理的研究方面, 仍有许多工作亟待去做。

4 工程实用设计计算

工程实用设计计算以其简单明了且满足使用和经验要求而在工程设计中得到了广泛运用。文献 [1, 15] 介绍了以试验结果为基础, 并引入相应的假设进行推导, 得到了一些有实用价值的经验公式。以古典的常规计算分析方法为基础, 引入了土工织物加固项后进行新的分析方法可参见文献 [15、16]。用有限元法计算出各种影响因素(如结构的几何参数与材料的力学参数)与工程设计参数之间的关系曲线, 由曲线查得设计参数后进行设计, 如文献[17]所述。此外, 还有专门用于加筋挡墙设计的“位移法”^[18], 关于土工织物加固地基的沉降计算, 文献 [19] 介绍了改进的分层总和法, 将有土工织物加固的地基进行分层, 在织物上、下一定范围内土的指标 E 和 μ 由三轴试验确定, 这一范围以外土的指标仍采用原来的指标。文献 [20] 介绍了文克尔地基上土工织物受荷的计算方法。

在由理论推导得到的加筋挡墙实用设计计算方法中, 通常都假设结构体系为均质线弹性体或刚塑性体, 还有的引入了织物面上的正应力为上覆土重的假设, 通过引进假设

可以导出设计计算公式, 但这些假设在实际工程中是难以满足的, 土工织物的存在也使许多古典计算理论的假设得不到满足, 如果仍引进这些假设, 所得结果就难以令人相信其准确性, 而工程设计所需要的正是这类实用计算方法, 因此仍需继续完善这方面的研究工作。

5 结 语

土工织物加筋加固技术是一门新兴技术, 经过众多学者几十年的艰苦努力, 在其加筋加固机理的研究方面取得了公认的成果, 但我们所做工作的最终目标是为了能设计出安全合理的工程, 因此仍需要在将研究成果转变成生产型成果方面做艰苦细致的工作。

致谢: 本文曾得到上海同济大学孙钧院士的指导; 李少青博士为本文提供了部分参考文献。谨此表示感谢。

参考文献

- 1 张道宽. 土工织物加强软土路基的研究; [学位论文]. 北京: 铁道科学研究院, 1987. 11
- 2 王钊. 土工织物加筋土坡的设计与模型试验; [学位论文]. 武汉: 武汉水力电力学院, 1988. 10
- 3 EL-Fermaoui A, Nowatzki E. Effect of confining pressure on performance of geotextiles in soils. In: Proc. of the second Inter. Conf. Geotextiles, Las Vegas, USA, 1982; 799~840
- 4 Kamal Z. Tension resistant inclusions in soils. Journal of Geotechnical Engineering Division, 1980 (GT12): 1313~1326
- 5 Eigenbrod K D, Lockov J G. Determination of friction value for the design of side slopes lined of protected with Geofabric. Canadian Society for Civil Engineering Annual Conference, May 27~31, 1985; 281~300
- 6 Tatsuoka F, Tateyama M, Murata O. Earth retaining wall with a short geotextile and a rigid facing. In: Proc. of the XI Inter. Conf. Soil

- Mechanics and Foundation Engineering, Brazil, 1989
- 7 Ovesen N K, Krarap J. Centrifuge tests of embankment reinforced with geotextiles on soft clay. In: Proc. of the VIII ECSFE, 1983; 393~398
 - 8 俞仲泉, 李少青. 土工织物加固堤基的离心模型试验. 岩土工程学报, 1989, 11 (1): 67~72
 - 9 Bliret J C, Matichard Y, Delmas Ph. et al. J. Model test in centrifuge of a wall reinforced with geotextile. In: Proc. of the Third Inter. Conf. Geotextiles, Vienna, Austria, 1986; 1219~1225.
 - 10 Sih J Y, Sun J. Study on reinforcing mechanism of woven geotextile from three methods. In: Proc. of the Inter sym. on earth reinforcement practice, Fukuoka, Kyushu, Japan, 1992, 299~303
 - 11 Battelino D. Some experience in reinforced cohesive earth. In: Proc. of the VIII ECSFE, 1983; 463~468
 - 12 郑祖桢, 徐雄军. 土工织物在泰山核电厂海堤工程中的应用. 岩土工程学报, 1988, 8 (5): 66~72
 - 13 李永盛, 孙钧. 土工织物加筋围堰的结构分析与工程实用. 岩土工程师, 1990, 2 (4): 14~21
 - 14 施建勇, 孙钧. 研究土工织物加固机理的一种新方法. 同济大学学报, 1992, 20 (4): 387~393
 - 15 张师德, 吴邦颖. 加筋土结构原理及应用. 北京: 中国铁道出版社, 1986
 - 16 Der Leshchinsky, Ralphh Boedeker. Geosynthetic reinforced soil structures. Journal of geotechnical engineering, 1989, 115 (10): 1459~1477
 - 17 Kerry Rowe R. Reinforced embankments analysis and design. Journal of Geotechnical engineering, 1985, 111, 231~246.
 - 18 Gourc J P, Ratel A, Delmas Ph. Design of fabric retaining walls; the displacement methods. In: Proc. of the Third Inter. Conf Geotextiles, Vienna, Austria, 1986; 1067~1072
 - 19 Szalarkay I. Calculation method for Settlement of horizontally reinforced subsoil. In: Proc. of the Third Inter. Conf. Geotextiles, Vienna, Austria, 1986; 255~260
 - 20 施建勇. 弹性薄膜理论及其应用. 河海大学学报, 1993, 21 (1): 98~101

(收稿日期: 1994-11-14)

中东水委员会简介

1992年2月, 国际水资源协会所属国际水域委员会和联合国大学在埃及开罗共同召集了一次中东水讨论会。会议由日本 Sasakawa 和平基金会及联合国环境规划署资助, Asit K. Biswas 教授以国际水域委员会主席的身份负责召集、邀请了国际一流的有关学科专家、有关国家重要的研究人员和重要的国际组织。所有27名应邀代表均以个人的身份出席了这次会议。

继这次会议之后, 为使与会代表所明确了的需要一批著名的、有主见、真正能够从事于协调目前该地区水资源工作的国际专家直接对话, 成立了由 Sasakawa 和平基金会提供资助的这一多学科的中东水委员会, 由 Asit K. Biswas 教授(英国牛津)出任委员会主席, 委员有: John F. Kolars 博士(密歇根大学); Masahiro Murakami 博士(Nippon Kowii 日本); John Waterbnry 博士(普林斯顿大学)和 Aaron T. Wolf 博士(阿拉巴马大学)。中东水委员会的组成目的有: ①审视与水相关的各类重要的问题; ②确定对技术、政治、经济、社会与环境有影响的可能性方案并加以分析。③了解中东各国双边的和多边的可以提供大量资金的计划、实施该地区水发展工程的主要投资机构以及有广泛影响的技术宣传工具。1993年10月在圣菲举行了中东水委员会第一次会议。

(元国江 供稿)