

提 要

近二三十年来，随着化学工业的发展，多种土工合成材料产品相继问世。土工网格便是其中的一种。它是高密度聚乙烯塑料制品，由按一定角度交叉的两组近圆形聚合物网绳，构成孔口为菱形或矩形的一种开口合成材料。目前，国内已有十余个厂家生产。这种材料具有强度高、抗腐蚀性及老化性好、施工方便、具有一定的延伸率等优点，被广泛应用于水利、公路、铁路、海港中的坡面防护、土体加固等工程中。但其力学性质、加筋的机理及稳定分析理论等方面的课题还很不成熟，工程实践中又极待其完善和发展。基于此，结合滨州东郊水库加筋土隔坝方案，进行了试验参数的测定和计算分析。

目前，加筋土堤坝的计算分析，仍以极限平衡法最为普遍。该法在分析中不考虑土体变形，且计算中引入了过多的假定，加之布筋形式、破坏方式也不能很好的反映出来。由于对工程材料本构方程研究的日益深入，有限元法在加筋土堤坝的计算分析中发展很快。国内外的研究大多探讨加筋对坝体位移的影响，而中间没有计入孔隙水压力的作用。事实上加筋体系的位移受到孔隙水压力与筋材加筋力的共同影响。引入BIOT固结理论便能较好地反映三者的关系。

本文在加筋土结构体系的固结非线性有限元分析模式中，土和筋材分别考虑，在二者之间引入GOODMAN接触面单元，建立结构的连续性方程，统一求解。为此开展了材料的单项试验，获取了计算所需参数。

地基土和坝基土的应力---应变关系运用邓肯（1980）E---B非线性弹性模型，该模型具有通过常规三轴试验结果易于确定计算参数，各参数的物理意义明确等特点。提交有限元计算参数的同时，还就固结排水试验情况下，剪切速率对试验成果的影响进行了初步探讨，证明对于粉质粘土适当加快剪切速率（不大于0.033mm/min）是可行的。

土工网格采用只能受拉不能受压的一维柔索单元，考虑到实际工作状态中，强度多发挥在1%应变以内，故选用线弹性模型，获得了强度参数。由于土工网格拉伸试验国内尚无试验规范和权威资料可循，加之试验的宽度对本构模型具有显著的影响，故在德国产电子万能材料试验机（RSA250）上进行了土工网格CE131（泰安塑料一厂）的纵向、横向对比试验，且试样宽度又从1孔测到多孔。试验证明，采用宽为200mm宽条试验的结果的稳定性较好。

土与土工网格的界面特性采用 GOODMAN 单元模拟。并通过室内直剪试验测定了所需参数，切向剪切应力与相对滑移用双曲线可以很好的拟合。并发现网格与土体的剪切面呈凹凸不平的板状，网格沿剪切方向伸长（约为 1.5---4.0mm），且随着竖向荷载增加尤甚。故建议这种两面填土的非单面又非双面的剪切，计算剪应力时剪切面积取 1.5 倍的剪切盒面积为宜。

在参数确定的基础上，采用 FORTRAN 语言编制了固结平面问题有限元分析程序（总长 2050 句）。采用增量法对施工、蓄水加荷进行了模拟，对土体单元、网格单元、GOODMAN 单元出现破坏时进行了修正。配合自编的数据接口程序，运用图形工具软件，方便地绘制了竣工期和蓄水期两种工况下坝体的应力水平、水平位移、竖向位移等值线图，达到了计算成果的可视化目的。

为了深入探讨加筋给堤坝的变形所带来的影响，分别就坝坡（1：2.5）时不加筋、坝坡（1：1.5）时不加筋、坝坡（1：1.5）时坝底加筋、坝坡（1：1.5）时坝底和坝坡加筋四种方案进行了计算分析。还就第四种方案通过选用不同的界面模量、不同的网格模量做了对比分析。成果表明：坝坡坡度对加筋的布置具有显著的影响；加筋后对堤身的水平位移影响较大，但对竖向位移影响不大；网格的抗拉模量对坝体的应力水平、水平位移竖向位移几乎没有影响，而筋土之间的界面模量却有较大的作用；随各级荷载的施加，网格的应力分布具有先均匀后变化大的特点。这些结论对于指导工程设计及工程监测具有一定的意义。

加筋体系稳定设计及分析方法，仍是工程界探讨的重点和难点。本文用极限平衡法和基于有限元成果的极限平衡法对加筋坝体进行了稳定分析。前者基于传统的均质土体的简化 BISHOP 条分法的有效应力法计入加筋力，并考虑加筋力的方向，（并据方向的不同假定了两个模型），编制了 WSP.FOR 程序，求得了加筋坝体的安全系数。另外，此程序还可根据已知的安全系数进行加筋间距、加筋长度的反优化分析。程序还可以进行筋材拔出和筋材拉断等失稳形式判别。后者拟从传统的安全系数的概念出发，假定圆弧面，利用有限元法计算出的应力成果，提交了安全系数，编制了计算程序。此法是一有益的尝试，其工程实用性有待进一步探讨。计算分析表明，对土体若采用同一计算参数，两种方法得出的成果差异较大。因此要找到一套适用于软基上加筋土堤坝的可行性稳定分析方法仍待深入研究。