

岩土工程

土工织物与土的直剪摩擦试验研究

崔 伟¹, 李华奎¹, 穆乃敏²

(1. 山东大学土建与水利学院, 济南 250061; 2. 山东建筑工程学院, 济南 250014)

[摘 要]土工织物作为一种新型的建筑材料,因经济和技术及过滤、排水、隔离、加筋、防护作用的优势,国外自 20 世纪 50 年代后期,我国自 70 年代后期广泛应用于岩土工程的各个方面。土与织物界面相互作用的机理十分复杂,室内测试目前还处于探索和完善阶段。主要介绍土工织物与土的直剪摩擦试验方面的研究。

[关键词]直剪 摩擦 土工织物 剪应力

[中图分类号]TU52 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2002)05-0094-03

土工织物作为土体加固和反滤材料,必然受到周围土体的约束,并与土体形成复合体。当复合体受力变形时,土体与织物两者之间将通过界面产生相互作用。这种作用可用图 1 所示模型来说明。假定一物体放在一平面上,其上作用一垂直压力 P ,设接触面之间的摩擦系数 f ,剪应力 τ ,垂直压力 P 与水平剪应力 τ 组成的合力 R 与接触面的法向夹角为 θ 。增加水平剪应力 τ ,使 θ 达到最大值并等于 δ 角时,物体就开始滑动。角 δ 称为内摩擦角。

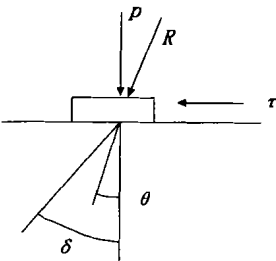


图 1 剪切模型

$$f = \tan \delta \tag{1}$$

试验证明,剪应力的极限值 τ_f 与垂直压力 P 成正比,即

$$\tau_f = c_a + P \tan \delta \tag{2}$$

式中 c_a 为粘着力。

土工织物是柔性的平面结构材料,土体与织物发生相对位移时,与非凝聚性土的强度机理相似。土与织物之间的粘着力很小,凝聚强度分量几乎小到可以忽略不计,而近似地看作只有土体颗粒面粗糙而产生的摩擦分量,可表示为:

$$f = \tan \delta = \tau / P \tag{3}$$

式中 f 为似摩擦系数。

1 试验方法

土工织物与土的直剪摩擦试验,就目前室内试验条件来看,还不可能完全模拟现场的实际状况。在条件允许的情况下,尽可能地扩大剪切盒面积,使边界条件的影响降到最低限度。

TZY-1 型土工合成材料直剪 拉拔摩擦综合测试仪备有 3 种规格剪切盒,分别为 20 cm × 20 cm、10 cm × 10 cm、6 cm × 6 cm,垂直荷载由调压阀通过气缸施加,应变式水平荷载由变速箱控制,速率可根据工程设计要求调节。测力计为拉压力传感器,配备有单板机采集数据并随机绘制打印应力应变曲线。

1.1 织物固定

剪切盒下盒放置硬木块有利于织物的固定。经过多次试验证明,采用乳胶粘贴的方法较为理想。具体操作方法是在施加水平荷载一侧木块上均匀涂上宽 2 cm 乳胶,将剪切好的土工织物对正木块粘贴,织物上部放置一平板,施加 200 N 荷载静置 24 h。粘贴好织物的硬木块至少要制备 3 ~ 4 块,便于进行不同垂直荷载下剪切试验使用。

下盒内垫硬木块并用乳胶粘贴与下盒内填土相比较,优点在于减少了剪切盒边框部分的织物延伸且提高了试验指标的稳定性。

1.2 上盒填土密度控制

剪切盒上盒填土密度应根据设计要求控制,具体操作采用分层击实法。

1) 采用 20 cm × 20 cm 剪切盒,填土厚度(击实后)5 cm 为宜,分 4 层击实,每层击数按照击实后土

[收稿日期]2002-05-09;[修订日期]2002-05-22;[责任编辑]李石梦。

[第一作者简介]崔 伟(1965 年-),男,1989 年毕业于中国地质大学,获学士学位,现主要从事水文地质与工程地质的教学、科研工作。

体体积来控制。

2) 击锤可用相对密度试验仪中的击锤,但底部承载块应改制成正方形,规格为 3.43 cm ×3.43 cm (图 2),击锤质量为 1.25 kg,落距为 15 cm。方形击锤有利于剪切盒边缘部分土样密实。

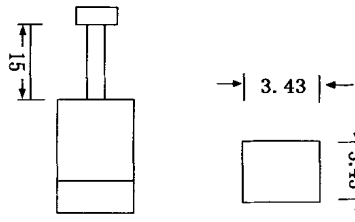


图 2 击实锤及锤地形状示意图(单位:cm)

3) 击锤落点分布:第一遍击实落点不宜重叠,从第二遍开始,击实落点重叠 1/2,如图 3 所示,并严格控制,以保证剪切盒内填土的均匀性。

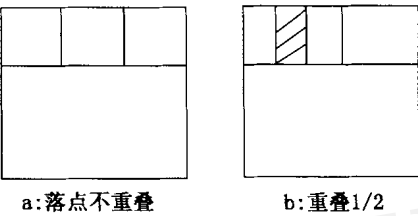


图 3 击锤落点示意图

4) 每击完一层之后土面应刨毛。最后一层击完后,用一长度稍短于剪切盒边长的刮土刀刮平土面,称其质量,准确测量填土高度,计算击实后土的密度。

1.3 剪切速率控制

目前来看,试验时对面排水条件还无法严格控制,剪切速率过大,界面孔隙水压力升高,其摩擦强度降低。对于砂性土,织物与土的导水性较好,剪切速率的影响不大,可控制在 0.5 ~ 0.8 mm/min;对于粘性土而言,速率可控制在 0.1 mm/min 左右,以减少孔隙水压力升高对界面强度的影响。

1.4 破坏值的确定

试验过程中剪切位移 $9L$ 和剪应力 τ 的变化一般呈现 3 种形态(图 4)。曲线 1 和曲线 2 有明显的峰值及稳定值,则取其峰值或稳定值作为破坏值。曲线 3 无明显峰值和破坏值,这种情况多出现在粘性土与织物的直剪摩擦试验中。就粘性土的破坏准则来讲,一是断裂(脆性破坏),二是流动(塑性破坏)。塑性破坏是在垂直荷载及水平荷载的共同作用下,随着剪切位移增加,土体加密并且与织物间的咬合力增强,在 $\tau - 9L$ 曲线上抗剪力 τ_f 呈现出逐渐增强的趋势(图 4 中曲线 3)。参照土工试验中直剪试验的取值标准,取位移量等于试样边长的 $1/15 \sim 1/10$ 所对应的抗剪力 τ_f 作为破坏值的选择标准。对于 20 cm ×20 cm 剪切盒,取剪切位移 15 mm 时的

抗剪力 τ_f 作为破坏值。

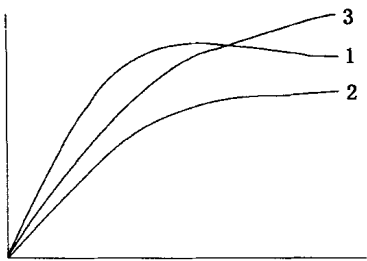


图 4 $\tau - \Delta L$ 曲线图

2 试验结果的计算

根据各级法向压力 P 及抗剪力峰值 τ_f 绘制 $\tau_f - P$ 关系曲线,近似为一直线。按下式计算土与土工织物的界面摩擦系数(或似摩擦系数) f :

$$f = \tau_f / P \tag{4}$$

3 土的粒度、密度、湿度对摩擦角的影响

试验土样为淄博新城水库筑坝土料,编号 01、02、03,按照 GB/ T50123 - 1999 进行物理力学性质试验,含水量为击实试验后最佳含水量,干密度值为最大干密度的 95%,内聚力和摩擦角是在压实度 95%时的试验指标。根据指标分类,01 号土样为低液限粉土,02 号和 03 号土样为低液限粘土。试验用土工织物为短纤针刺无纺土工布,技术指标:单位面积质量 320 g/m²,2 kPa 时厚度 2.30 mm,20 kPa 时厚度 1.89 mm,200 kPa 时厚度 1.20 mm,抗拉强度 >8.5 kN/m,渗透系数为 $(2.18 \sim 8.30) \times 10^{-4}$ cm/s,等效孔径 $O_{95} = 0.10$ mm,其他指标均达到 GB/ T17638-1998 的技术要求。

4 试验结果分析

4.1 土的颗粒组成对摩擦角的影响

土的颗粒组成是影响摩擦角大小的主要因素。图 5 是直剪摩擦试验 $\tau_f - P$ 关系图。01 号土样粘粒 (<0.005 mm) 含量 5.0%,粉粒组占 93.7%,砂粒组占 1.3%,摩擦角可达 25°。02、03 号土样粘粒含量分别达到 27.9%和 34.2%,粉粒组分别为 71.3%和 65.7%,砂粒组占 0.8%和 0.3%,其摩擦角分别降低 3.5 和 4.5°。含水量一定时,土与土工织物的摩擦角随土中砂粒及粉粒含量的增加而提高。

4.2 土的密实度对摩擦系数的影响

3 个土样中 02 号土样属于低液限粘土,具有一定代表性,重点对该土样进行不同密度与土工织物的直剪摩擦试验。试样风干碾碎并过 5 mm 筛,向土样中均匀喷水至最佳含水量,密封浸润 24 h。分别进行不同密度和不同固结时间的直剪摩擦试验。

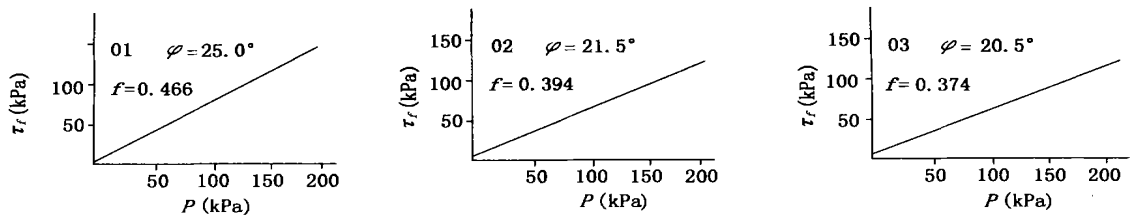


图 5 直剪摩擦 τ_f - P 关系图

图 6 是干密度 ρ_d 与摩擦系数 $c f$ 的关系。当压实度由 80 %提高至 90 %时,其摩擦系数逐渐增加且较为平缓;当压实度由 90 %提高至 100 %时,摩擦系数显著提高。压实度在 90 %以下土与土工织物的界面咬合作用相对较弱,压实度超过 90 %时这种咬合作用愈来愈大,其摩擦系数就随之增大。由曲线可以看出,试验时每级荷载固结 24 h 进行剪切,摩擦系数比固结 15min 时要高。曲线没有明显转折点,说明压实土在荷载作用下进固结,其界面摩擦力提高。

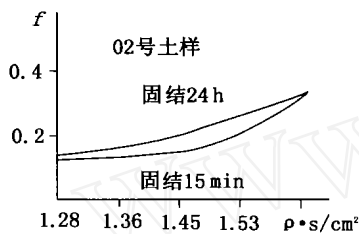


图 6 摩擦系数与干密度关系

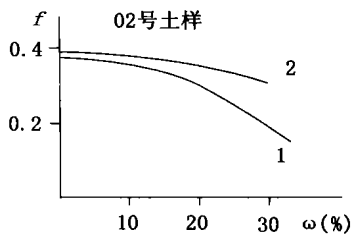


图 7 摩擦系数 f 与含水量 w 关系

4.3 含水量对摩擦系数的影响

试验中控制土的干密度为最大干密度的 90 %,

因为当含水量超过最佳含水量一定范围后其干密度降低。图 7 是通过试验得到的两条摩擦系数 f 与含水量 w 关系曲线,曲线 1 是不经过固结的直剪试验曲线;曲线 2 是固结 24 h 后的直剪试验曲线,说明固结后摩擦系数有一定提高,当含水量大于最佳含水量时更为显著。

5 结 语

通过试验研究可得出以下几点结论: 土工织物边缘粘贴固定方法得当,效果理想,试验过程中织物延伸符合工程实际。填土密度击实控制符合工程中填土最大干密度采取击实试验确定的要求。在含水量和密度变化不大的情况下,土的颗粒组成是决定界面摩擦系数大小的主要因素,施工中应把土的颗粒组成作为选择土场的主要条件。施工中对填土的含水量要严格控制在最佳含水量或稍低于最佳含水量,含水量过高,一是土与织物界面增加了润滑作用,摩擦系数降低,二是填土难以压实。含水量过低时虽能够提高其摩擦系数,但同样难以压实。

[参考文献]

- [1] 马梅英.土工合成材料测试手册[M].北京:水利电力出版社,1991.
- [2] 水利部. SL//5 - 1999,土工合成材料测试规程[M].北京:水利水电出版社,1999.
- [3] 龚 宜,盛树馨,马梅英.土工实验室测定技术[M].北京:水利电力出版社,1987.
- [4] 水利部科技教育.水利工程土工织物设计指南[M].北京:水利电力出版社,1993.

FRICITION EXPERIMENT RESEARCH OF DIRECT SHEAR BETWEEN GEOSYNTHETICS AND SOIL

Cui Wei¹,LI Hua - luan¹,MU Naimin²

(1. School of Civil Engineering, Shandong Univ, Jinan, Shandong Province 250061;

2. Shandong Institute of Architecture and Engineering, Jinan, Shandong Province 250014)

Abstract :Geosynthetics is a new kind of building material. It is economic and it has filtration, drainage, isolation, reinforcing, protection and other technical advantages. It is broadly used in every part of rock and soil engineering since the late of 1950. the interaction between geosynthetics and soil is very complex. The experiments of the interaction is being searched and completed. The paper has introduced friction experiment research of direct shear between geosynthetics and soil.

Key words :Direct shear, Friction, Geosynthetics, building material, Shearing stress