

文章编号: 1001-7453(1999)03-0107-06

土工织物与土相互作用的机理

王 伟, 杨尧志

(江南大学建筑工程系, 江苏无锡 214063)

摘要: 从三个方面探讨了土与土工织物相互作用机理, 即土工织物接触界面间的摩擦特征; 土与土工织物拉拔试验; 加筋土应力与应变关系三轴试验研究. 为进一步推广应用土工织物加筋软土地基提供了可靠的依据.

关键词: 土与土工织物; 试验; 作用机理

中图分类号: TU599 文献标识码: A

土工织物为柔性材料, 其优点是造价低廉、质量轻、高抗拉强度、高抗腐蚀性、整体连续性好、抗微生物侵蚀好、质地柔软且能与土很好的结合、不直接暴露抗老化性高. 由于土抗剪抗拉性能差, 在工程中把抗拉性能高的机织土工织物铺设在土体的拉伸变形区以阻止土体的变形, 恰好弥补了岩土之不足, 从而增强土体内部的强度和稳定性. 在土木工程史上, 加筋土の利用与钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土具有同等重要的意义.

土工织物为柔性纤维, 与工程上常用的钢筋和其它刚性材料加筋不同. 它只能承受拉应力, 受拉时产生较大的伸长和蠕变, 但不能承受压力. 因此利用机织土工织物加筋时, 务必注意加筋机理, 即土与土工织物相互作用规律, 合理加以利用, 使加筋达到预期的效果. 然而, 人们对土与土工织物相互作用的了解尚粗浅, 加筋技术的理论落后于实践.

1 土与土工织物的摩擦试验

1.1 试验设备及试验材料特性

直剪试验用改造的应变控制式剪切仪. 在剪切仪下盒垂直于剪切方向的两壁各配有一个压条, 用来固定土工织物. 做试验之前先把土工织物固定在下盒, 然后装上盒, 最后进行装样.

通过试验, 作出砂高度落差 h 与相对密度 d 的关系曲线. 装样时, 用图1来控制砂样的密度. 本次试验选 $d = 0.5$ 来控制装砂密度, 土工织物径向沿着剪切方向. 土工织物选用青岛麻织厂生产的机织土工织物和湖南湘淮土工织物厂生产的非机织土工织物. 试验用砂和土工织物的物理力学特性指标见表1~3.

收稿日期: 1999-01-26; 修订日期: 1999-05-27

作者简介: 王伟(1952年8月生), 女, 新疆乌鲁木齐人, 工学硕士, 副教授.

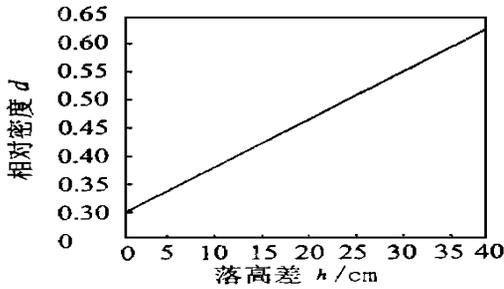


图1 相对密度 d 与落高差 h 关系曲线

表1 试验砂物理特性指标

粒径 / mm	累积含量 / %
> 2	100
2 ~ 1	99.99
1 ~ 0.75	99.98
0.75 ~ 0.5	12.1
0.5 ~ 0.4	3.3
0.4 ~ 0.25	1.8
< 0.25	0.9

注: 试验砂是平潭标准砂

表2 试验砂物理特性指标

标准分类	相对密度	有效粒径 / mm	不均匀系数	最大干重度 / (kN/m ³)	最小干重度 / (kN/m ³)	天然干重度 / (kN/m ³)
SP	2.65	0.33	1.67	17.4	14.4	15.0

注: 试验砂是平潭标准砂

表3 试验土工织物物理力学特性

土工织物	抗拉强度 / (kN/m)		握持强度 / (kN/m)		延伸率 / %	弹性模量 / (kN/m ²)	厚度 / mm	抗剪强度 / (N/m ²)
	径向	纬向	径向	纬向				
机织	50.5	50.5	82.78	61.8	38	97060	1.1	2.69
非机织	16.6	20.4	39.04	40.24	94		5.00	5.14

注: 试验砂是平潭标准砂

由杠杆施加压力, 垂直压力分别为25, 50, 75, 100 kPa.

1.2 试验结果分析

图2和图3分别表示无土工织物和有土工织物在不同法向应力 σ 作用下的剪应力 τ 与剪切位移 δ 的关系曲线. 图4分别表示了纯砂、砂与非机织土工织物和砂与机织土工织物的剪应力 τ 与剪切位移 δ 的关系曲线, 测得内摩擦角 φ 、 φ 和凝聚力 C , 见表4.

表4 剪切试验结果

土工织物	φ	φ	C / kPa
机织	33°	31.2°	7
非机织	33°	31.5°	9

注: φ —— 砂的内摩擦角
 φ —— 砂与土工织物的内摩擦角
 C —— 砂与土工织物的凝聚力

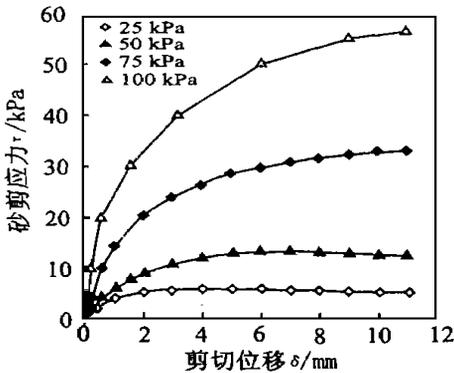


图2 砂剪应力与剪切位移关系曲线

从试验结果分析砂与土工织物接触面的剪切特性:

在相同条件下, 不管是机织还是非机织, 土工织物与砂的界面摩擦角 φ 均小于砂本身的摩擦角 φ . 但在砂土中放置土工织物后, 产生了界面凝聚力 C .

在剪切过程中拉伸模量大的土工织物纤维剪切强度作用发挥快. 机织土工织物在小应变时强度比非机织土工织物高得多, 所以砂与机织土工织物界面强度作用发挥得早. 机织与非机织的相比, 机织土工织物具有高强度和相应的低延伸率,

而非机织土工织物则有高的延伸率及相应的低强度.

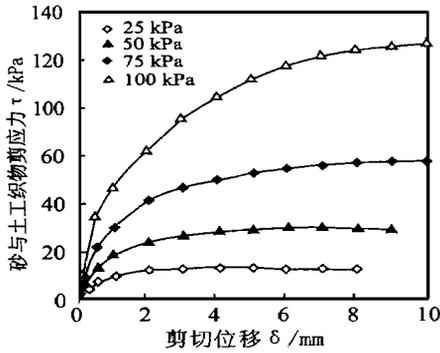


图3 砂与土工织物剪应力与剪切位移关系曲线

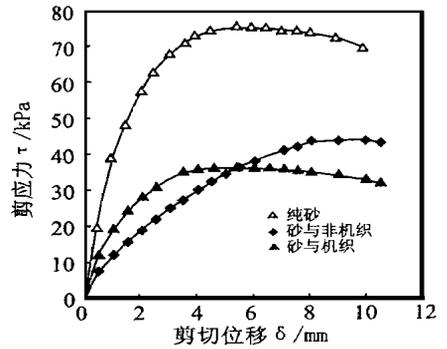


图4 剪应力与剪切位移关系曲线

2 土与机织土工织物拉拔试验

2.1 试验方法

模型槽室内拉拔试验比较接近实际情况。

将裁好的机织土工织物粘接在拉拔板上,干砂用撒砂器均匀撒入试验槽,分层并控制密实度,然后整平,将机织土工织物铺在砂面上,再撒砂直到与槽顶部齐平,固定上盖,通过气囊施加预定压力,稳定0.5 h后,对机织土工织物施加水平拉拔力,每2 min加一级荷载,用百分表记录端点位移量,直至机织土工织物被破坏为止。

在垂直压力为20, 40, 60, 80, 100 kPa 情况下,分别进行上述试验。

2.2 试验结果分析

图5为不同压力下的拉拔曲线,其中4条曲线分别表示垂直压力为20, 40, 60, 80 kPa。图6为断裂强度与断裂变形所受压力的关系曲线。分析试验结果,可得如下结论:

1) 土的压力越大,单宽断裂强度 τ_r 越高,断裂时的变形 δ_r 越大。由于机织土工织物的张拉变形,拉拔阻力随着机织土工织物试样拉拔端位移的增加而增大。

2) 机织土工织物延伸率小,变形模量大,拉拔阻力随着土工织物本身的变形,从拉拔端沿织物长度方向传递得快,导致拉拔阻力较快的增长。

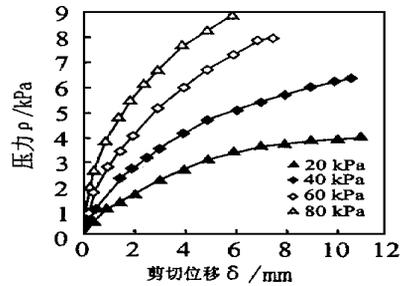


图5 不同压力下的水平拉拔曲线

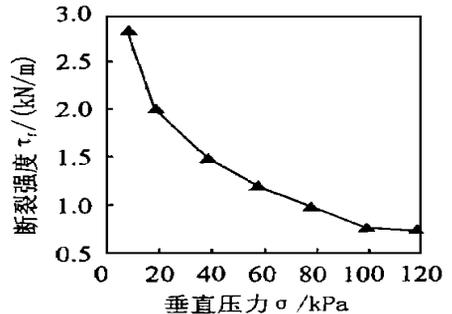
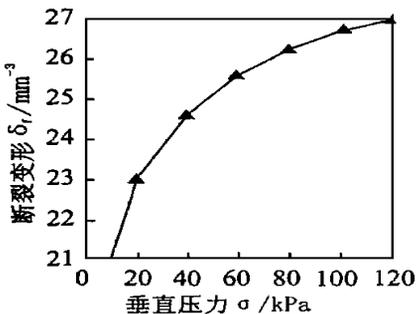


图6 断裂强度 τ_r 、断裂变形 δ_r 与应力关系曲线

3 加筋土三轴剪切试验

3.1 试验结果

- 1) 主应力差($\sigma_1 - \sigma_3$)与轴向应变 ϵ 的关系曲线见图7.
- 2) 主应力比(σ_1/σ_3)与轴向应变 ϵ 的关系曲线见图8.

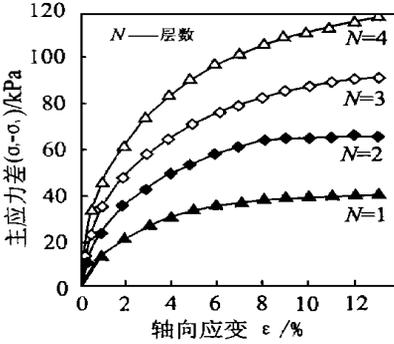


图7 三轴试验 $\sigma_1 - \sigma_3$ 与 ϵ 关系曲线

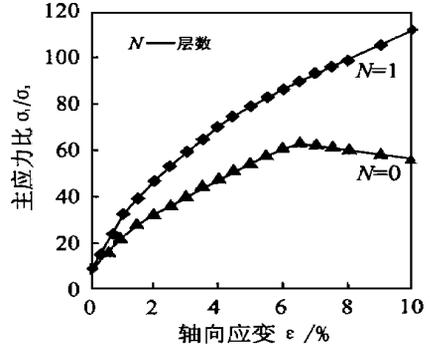
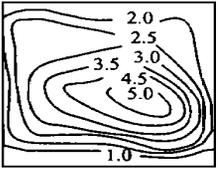
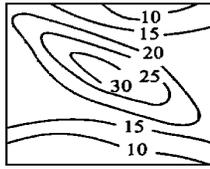


图8 三轴试验 σ_1/σ_3 与 ϵ 关系曲线

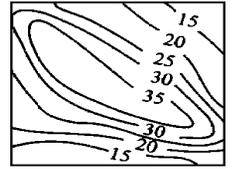
- 3) 砂平面应变剪切最大剪应变 γ_{max} 的等值线见图9.



(a) $\epsilon = 1.5\%$ $\sigma_1/\sigma_3 = 4.1$



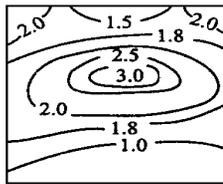
(b) $\epsilon = 7.4\%$ $\sigma_1/\sigma_3 = 8.9$



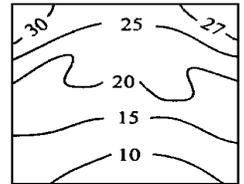
(c) $\epsilon = 11.7\%$ $\sigma_1/\sigma_3 = 7.6$

图9 砂平面最大剪应变 γ_{max} 等值线

- 4) 砂与一层机织土工织物平面应变剪切最大剪应变 γ_{max} 的等值线见图10.



(a) $\epsilon = 1.5\%$ $\sigma_1/\sigma_3 = 5.9$



(b) $\epsilon = 11.7\%$ $\sigma_1/\sigma_3 = 18.9$

图10 砂和一层机织土工织物平面最大剪应变 γ_{max} 等值线

- 5) 三轴试样破坏形态见图11.

3.2 试验结果分析

- 1) 由图8可见,当轴应变很小时,其加筋应力—应变关系曲线与

无筋应力—应变关系曲线互相靠近,曲线的初始切线模量差异不大,也就是说这时机织土工织物的加筋作用没有发挥出来.随着轴向应变的增大,曲线明显分散,加筋发挥了作用.

- 2) 由图7可见,随着轴向应变的增大,曲线明显分散,加筋层数越多(但加筋层数有一个限制),曲线的斜率越大,即切线模量越大,加筋抵抗变形能力越强,表现出了抵抗变形的潜在能力.

- 3) 从图9,10可看出土工织物对应力的均化作用^[1].土体的破坏总是由一点开始,然后应力不断增大,伴随着应力的迁移,不断向周围扩散,因而应力迁移的过程就是破坏发展的过程.未加筋砂最初试样中部的剪应力最大,这时试样中部的侧向位移大.随着压力的增大,

剪应变增大,并沿着自左上角至右下角($45^\circ \mp \varphi/2$)破裂剪切带裂缝剪破。

4 土与机织土工织物相互作用的加筋机理

4.1 内聚力效应

试验结果表明,加筋土的内摩擦角 φ 和无筋土的 φ 基本一样,但出现了内聚力 C 。机织土工织物能提高土体的整体性和连续性,在外荷作用下机织土工织物的变形增强了整个平面的摩擦和粘结作用;又由于机织土工织物的嵌固作用,使土体得以极大的挤密,增强了整个内部的联结力,通过它与周围土的界面摩擦与咬合,限制土体的侧胀变形,加筋使土的周围约束力增大,加筋的抗拉强度越大,则产生的周围约束力就越大。

4.2 加筋的波纹效应

当轴向应变较小时,砂与机织土工织物的相互作用主要受它们之间的摩擦特性所控制。但随着轴向应变增大,机织土工织物在较大的周围压力作用下会出现波纹,因而土与土工织物发生绕曲变形,土工织物犹如一条张紧的薄膜,约束土体的变形,改变土体的应力状况。土工织物约束作用使土体承载力间接得以提高,这就是所谓的“波纹效应”。

波纹效应可概括为波内约束和波外约束。当荷载作用时,机织土工织物是波浪形变形,如图11,这从室内模型槽试验的透明有机玻璃板可清楚地观察到。在荷载以外部分的土工织物呈反向曲线,产生一个向下的压力,它约束土体的隆起而形成超载效应。荷载下的土工织物在土体承受荷载后有一个向外离散的趋势,此时机织土工织物约束土颗粒,给土体提供了抗拉能力,相应约束了土体的水平位移。与此同时,机织土工织物张力的竖向分力在荷载作用下可起到减载作用,而在荷载作用以外起到加载作用,最终的效应限制土体塑性流动,由图11中的变化,也很清楚地看出加筋后所产生的波纹效应。

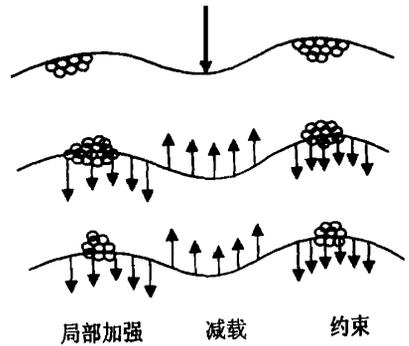


图11 土工织物受力后的波纹效应

4.3 加筋的隔离效应

机织土工织物铺在土体内起隔离作用,能增强土体的整体性和连续性,土工织物起到均化应力的作用,改变土体在荷载下的应变场和应力场,改善结构的受力状态,使土工织物间的土体得以密实。

4.4 加筋的拱效应

机织土工织物受力后要产生拉伸变形,并产生拉应力,由于这种拉应力的作用,使得每两层土工织物间的土体出现一种拱效应,从图10中 γ_{max} 的等值线看出拱效应的存在,左上角和右上角的两个局部的剪切带的出现,也正是拱效应作用的结果。由室内模型槽试验证实,随着荷载的增大而逐渐增强起来的拱桥,能够承担更大的荷载。从某种意义上说,还可起到卸载作用,如果局部出现塑性状态,那由此而新产生的 σ_x 将会改变这种力桥,调整这种状态,将一部分荷载重新让土工织物承担,最后产生的效应将阻止塑性区的扩展。

5 结 论

1) 机织土工织物具有高强度和低延伸率,相反,非机织土工织物则有高延伸率和低强

度.对加固软土地基,应选择高强度、高模量、低延伸率、界面粗糙的机织土工织物,而不宜选用非机织土工织物.

2) 在小应变时,机织土工织物的加筋作用基本上没有发挥出来,而这时大部分荷载只能由土体来承担,这样势必导致土体土一开始受荷就产生大的变形.鉴于这一点,如果对机织土工织物像对预应力筋混凝土一样,在没有受荷之前施加预应力,让其产生一定的预应变,使加筋土中的机织土工织物在受荷的初期就发挥它的作用,显示出其优势,必然可以改善整个地基的受力状态.

3) 机织土工织物与土体间的咬合镶嵌的摩阻力制约土体的侧向变形.机织土工织物具有高的粘结固结作用,与土相互嵌固的效应显示出更好的抗拉性能,高抗拉性使加筋土强度高于无筋土,并极大地提高了承受剪应力的能力.

4) 机织土工织物的隔离效应提高了土体的整体性和连续性,并起到扩散应力和均化应力的作用,恰到好处地弥补了土体的不足.

5) 机织土工织物的波纹效应和拱效应随着荷载的逐渐增大,所发挥的作用逐渐增强,并表现出极大的潜在能力.

6) 机织土工织物在加筋土体中的内聚力效应、隔离效应、波纹效应、拱效应等各种加筋效应,有些是先后依次出现的,有些是重叠交叉作用,这些重叠的复合效应,最终将改变或阻止塑性区的形成和发展.

参考文献:

[1] 王钊,陆士强.土工织物的拉伸、蠕变及加筋土的剪切特性[J].地基处理,1992,3(2):14~15

Study on the Mechanism of Soil-Geotextile Interaction

WANG Wei, YANG Yao-zhi

(Department of Civil Engineering and Architecture, Jiang Nan University, Jiangsu Wuxi 214063)

Abstract: In this paper, the mechanism of soil-geotextile interaction has been studied in three aspects: friction features for interface of soil and geotextiles, pullout tests of soil-geotextile interaction, triaxial compression tests for the stress-strain relationship of reinforced earth. Results could be used as a guidance for the application of soft soil foundation reinforced by geotextile.

Key words: soil-geotextile; tests; mechanism of interaction