

土石坝体内土工格栅加筋机理的研究*

温淑莲¹, 王克忠²

(1. 山东交通学院 土木工程系, 山东 250023; 2. 北京科技大学 土木与环境工程学院, 北京 100083)

摘要:采用大型三轴仪对粒组成分不同的两种砾料进行了固结排水试验研究,并引入了等效围压的概念,对砾石土加筋效果、加筋机理、试验围压、土料性质等因素进行了较全面的分析研究,结果表明:加筋能明显提高砾石土的强度和破坏应变,对土的破坏有延滞作用,砾石土的加筋效果与围压、砾石颗粒风化程度等有关。

关键词:加筋土; 模型试验; 土工格栅; 等效围压

中图分类号:TU432 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2005)03-0068-04

Study on Mechanism of the Reinforcing Effect of Geogrid in Soil Dam

WEN Shu-lian¹, WANG Ke-zhong²

(1. Department of Civil Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250023, Shandong, P. R. China; 2. College of Civil and Environmental Engineering, USTB, Beijing 100083, P. R. China)

Abstract: An experimental study on consolidation and drainage of two gravels with different grading was carried out using high-pressure large-scale tri-axial testing facility. A concept of equivalent surrounding pressure is introduced. An analysis was carried out on the effect and mechanism of reinforcement, experimental surrounding pressure and soil properties. Results show that the reinforcement can improve the strength and failure strain of the material and delay the failure of the soil. The effect of reinforcement of soil-gravel depends on the surrounding pressure and weathering of the gravel.

Keywords: reinforced soil; model experiment; geogrid; equivalent surrounding pressure

土工格栅加筋材料广泛应用于土石坝工程中,大大改善了土体的性能,提高了土体的强度,是一种有发展前途的土工合成材料,国内外许多学者从不同的角度对加筋土石坝进行研究^[1,2],取得了一定的研究成果。本文作者通过加筋前后土的高压大型三轴试验研究,阐述了加筋土石坝的工作机理及土石坝的变形特性。

1 试验概况

试验选用山东日照清峰岭水库坝址处的紫红色砂页岩风化物,根据其风化程度不同可分为A、B两种料,其中A料风化程度较弱,颗粒相对坚硬且粒径较大;B料大部分为砂页岩碎屑。加筋材料为青岛颐中塑料有限公司生产的单向EG3030土工格栅。各种材料基本特性见表1、表2^[1]。

表1 坝体填料的基本特性指标

砾石材料	混合比重	砾料吸水率	干密度/ g·cm ⁻³	相对密度	碾压后颗粒 破碎度/%	<5mm 含量	颗粒最大 粒径/mm
A	2.32	5.6	1.70	0.92	12.5	15	60
B	2.44	4.8	1.66	0.93	16.4	14	60

* 收稿日期:2005-02-26

作者简介:温淑莲(1965-),山东烟台人,讲师,硕士,主要从事岩土工程方面的教学与研究。

表2 土工格栅基本性质指标

材料	峰值 破坏值	延伸率/%		抗拉强度/kN·根 ⁻¹	
		格棒方向	栅肋方向	格棒方向	栅肋方向
土工格栅	峰值	6.59	8.54	1.15	0.68
	破坏值	8.21	9.12	1.21	0.73

进行了A、B两种砾石料加三层筋与不加筋的高压大型常规三轴固结排水试验,接切速率1 mm/min,试样尺寸30.2×65.5 cm,试样最大围压 $\sigma_3 = 800$ kPa;分三层均匀平铺于试样上,且3层格栅纵横格肋在水平向保持同向,试样布筋情况如图1所示。

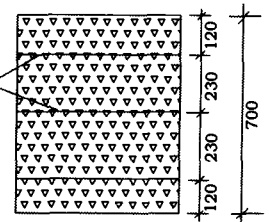


图1 加筋砾石土三轴试件布筋位置

2 加筋对砾石土强度特性的影响

研究表明:加筋后破坏应力差比不加筋时明显增大,A料比B料增加更加明显,其增长的程度可用规一化主应力差来衡量(指破坏主应力差除以围压),如图2所示,表明随着围压的增大,破坏主应力差增长的程度逐渐减小,A料的减小比B料快,且加筋与不加筋情况下的曲线逐渐接近,说明加筋效果随围压的增大而逐渐减小。

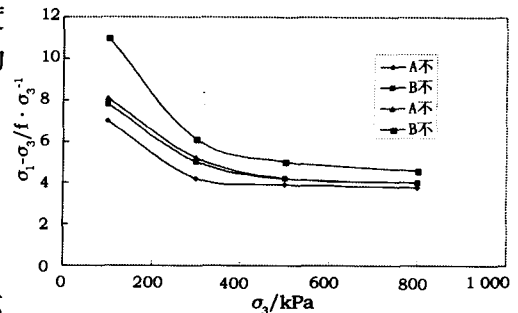


图2 加筋与不加筋砾石土破坏应力差与围压关系

3 加筋对应变特性的影响

3.1 加筋对砾石土的破坏有延滞作用

图3给出了不同围压下A料加筋前后的应力-应变-体变与围压关系,表明不管加筋与否,随着围压的增大,破坏轴应变 ϵ_{11} 逐渐加大,加筋后的破坏轴应变比不加筋时明显加大,说明了加筋对砾石土的破坏有延缓作用,且A料的延滞作用大于B料;而加筋后的破坏体应变 ϵ_v 相差很小,说明加筋对破坏轴应变的影响明显大于对体应变的影响。由于B料比A料风化强,在外力作用下易碎,故B料比A料的破坏轴应变和体应变都大,归一化结果表明(图4):随着围压的增大,破坏轴应变的增长程度逐渐减小,且加筋与不加筋情况下的曲线逐渐接近,说明加筋对土的破坏延滞作用随围压的增大而减弱,规一化体应变基本重合在一起,说明体应变增长程度受围压影响很小^[2,3]。

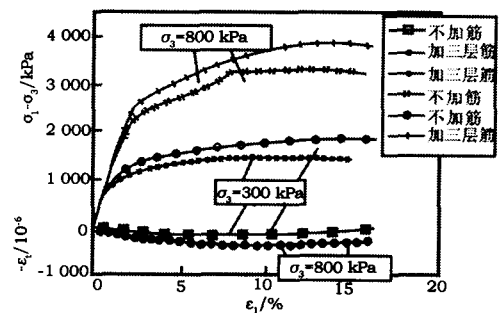


图3 A 砾石料加筋前后应力应变体变关系

3.2 加筋提高了砾石土的刚度

试验结果表明:在相同的围压下,加筋后达到与不加筋相同破坏应力时所需要的轴应变和侧应变都明显减小,A料更明显,说明加筋提高了试样的强度和刚度。达到破坏应力差时的轴应变和侧应变也随着围压的增大而逐渐增大,增大的程度随围压的增加而逐渐减小,说明加筋抑制试样变形的能力随围压的增大而逐渐减小,见图5、6。

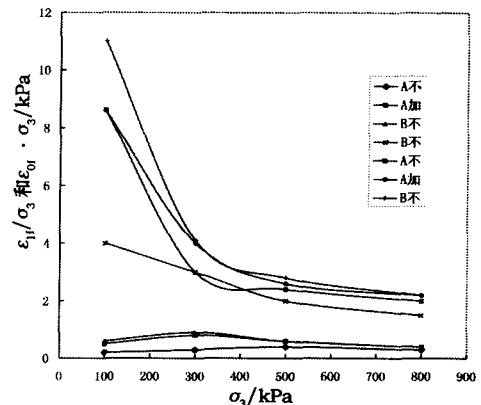


图4 归一化破坏轴应变、体应变与围压关系

4 加筋机理探讨

将加砾石土圆柱土样与未加筋的砾石土圆柱土样进行大型三轴对比试验就会发现,未加筋土在 σ_1 和 σ_3 的共同作用下达到极限平衡,而加筋砾石土在同样大小的 σ_1 和 σ_3 作用

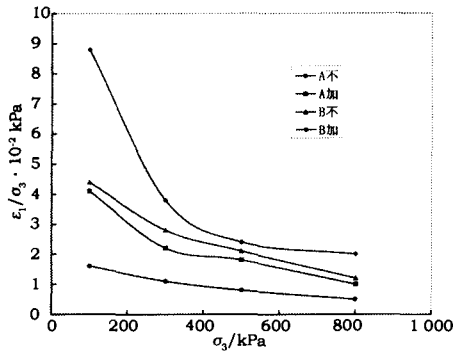


图5 达到与不加筋砾石土相同破坏应力差时的归一化轴应变与围压关系

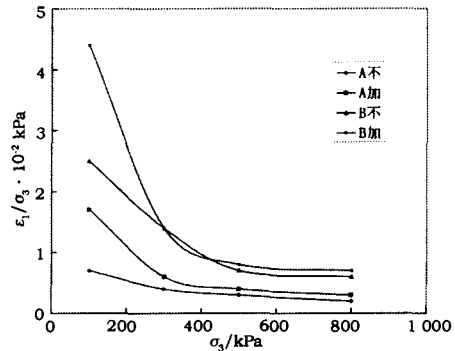


图6 达到与不加筋砾石土相同破坏应力差时的归一化轴应变与围压关系

下却达不到极限平衡状态,仍然处于弹性平衡状态,如图7所示,这说明加筋砾石土的强度提高了^[4,5]。如果在试验中对加筋砾石土仍施加 σ_3 并保持不变,则欲使试样达到新的极限平衡状态,必须要将 σ_1 增大至 σ_{1f} 。假定加筋前后土体的 φ 值保持不变,根据摩尔-库仑破坏准则,由图8可以得到试样处于新的极限平衡状态下的数学表达式

$$\sigma_{1f} = \sigma_3 \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) + 2c \cdot \tan(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \tag{1}$$

式中: σ_{1f} 为加筋土样破坏时的最大主应力; σ_3 为作用于土样侧面的最小主应力; φ 为未加筋土的内摩擦角; c 为加筋土样的“似粘聚力”。

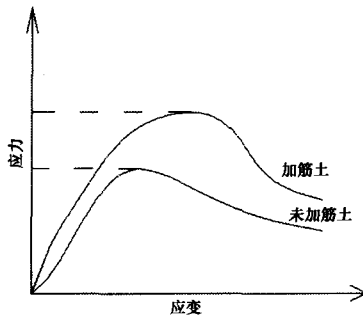
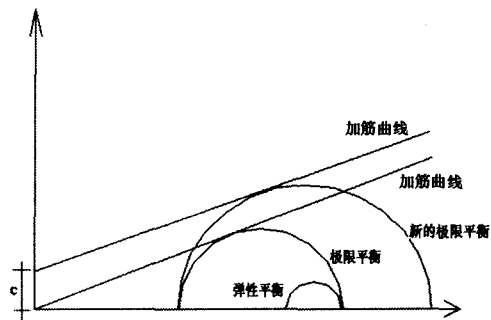


图7 加筋土与未加筋土应力应变关系比较曲线



1. 极限平衡;2. 弹性平衡;3. 新的极限平衡

图8 加筋土与未加筋土的应力圆分析

将式(1)和未加筋土样(土样为砾石土)的极限平衡条件相比,加筋砾石土中多了一项由 C 所引起的承载力,这种现象可以这样来解释,加筋土力学性质的改善是由于新的复合土体(即加筋砾石土)具有某种“粘聚力 C ”的缘故,这种粘聚力不是原来的砾石土所具有的,而是加筋的结果。由于所铺设的加筋材料与土之间的相互作用,相应地对原来的土件产生一种侧向的约束,就像钢筋混凝土中的箍筋一样,限制了土体的侧向变形,就相当于在原来的土体小单元中提供了一个侧压力增量 $\Delta\sigma_3$,提高了土体的抗压强度,这种侧压力增量在式(1)中用“粘聚力”来代替了。因此,我们称这个“粘聚力”为“似粘聚力”,它反映了加筋土这种复合结构的材料特性。似粘聚力可以通过下述关系来推导:

将加筋土看作是未加筋土,欲使其达到极限平衡状态有

$$\sigma_{1f} = (\sigma_3 + \Delta\sigma_3) \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \tag{2}$$

式(2)又可以写作

$$\sigma_{1f} = \sigma_3 \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) + \Delta\sigma_3 \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \tag{3}$$

式中: $\Delta\sigma_3$ 为因加筋而产生的侧向应力增量。

比较(1)和(3)可得

$$2c \cdot \tan(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) = \Delta\sigma_3 \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \quad (4)$$

$$c = \frac{\Delta\sigma_3 \sqrt{k_p}}{2} \quad (5)$$

式中: k_p 为被动侧压力系数, $k_p = \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$

式(4)中的等效应力增量 $\Delta\sigma_3$ 由于是加筋土中的拉筋产生的,无法直接测量,按下式计算

$$\Delta\sigma_3 = \sigma_3 \left(\frac{\Delta\sigma_V}{\sigma_1} \right) \quad (6)$$

式中: σ_1 为未加筋土试样破坏时的最大主应力, $\Delta\sigma_1$ 为加筋土试样破坏时的最大主应力增量, $\Delta\sigma_V = \sigma_V - \sigma_1$;

由式(5)和(6)可得似粘聚力

$$c = \frac{\sigma_3 \frac{\sigma_V}{\sigma_1} \sqrt{k_p}}{2} \quad (7)$$

摩擦加筋理论^[6,7]认为,土工格栅加筋土石坝,土与土工格栅表面的相互作用所形成的摩擦剪阻力可分为两部分(1)土颗粒与土工格栅之间的摩擦剪力;(2)土颗粒与土工格栅之间的咬合力(包括土颗粒与土工格栅的横向格棒之间的承端力和土工格栅孔内的土颗粒与土工格栅孔外的土颗粒之间的摩擦剪力)。其中(1)是土工格栅加筋材与其它加筋材相同的地方,而(2)是土工格栅区别于其它加筋材料的地方,也是土工格栅加筋性能优越及加筋效果较好的原因。准确具体单独描述两种相互作用非常困难,因此,通常把两种相互作用笼统概括为土与土工格栅之间的摩擦力,限于篇幅,这里不再赘述。

5 结论

1) 在三轴剪应力状态($\sigma_3 = c$)下,加筋能明显提高砾石土强度和破坏轴应变,对土的破坏有延滞作用,但对破坏体应变的影响较小;

2) 加筋提高了砾石土的刚度,加筋后达到与不加筋相同破坏应力差时的水平轴应变和侧应变比不加筋时明显减小,尤为对侧应变的影响更为明显;

3) 砾石土本身材料性质对加筋效果有较大影响,本试验中,A料岩块风化弱,强度高,故加筋效果优于B料。

4) 加筋土力学性质的改善是由于新的复合土体(即加筋砾石土)具有某种“粘聚力”的缘故,这种粘聚力不是原来的砾石土所具有的,而是加筋的结果。

参考文献:

- [1] 李广信. 加筋土应力变形计算的新途径[J]. 岩土工程学报, 1994, 16(3): 46-53.
- [2] Farragk, Acar Y B, Jouan I. Pullout Resistance of geogrid reinforcement[A]. Geotextiles and geomembrances[C]. 1993: 33-159.
- [3] 赵川. 塑料土工格栅加筋碎石土强度及其应力应变特性的试验研究[M]. 昆明: 云南工业大学, 1998.
- [4] 介玉新, 李广信. 纤维加筋土的新算法[J]. 工程力学, 1999, 16(3): 81-89.
- [5] 陈永辉. 土工织物加筋堤坝地基计算理论和方法研究[D]. 南京: 河海大学, 2000.
- [6] 王震鸣. 复合材料力学和复合材料结构力学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991.
- [7] 徐立新. 土工织物加筋垫层的复合分析[D]. 杭州: 浙江大学, 1990.