

坝基混凝土防渗墙与泥皮接触面试验研究

傅 华, 章为民

(南京水利科学研究院, 南京 210029)

摘 要: 通过对不同厚度的泥皮和不同粗糙程度的混凝土接触面的大型剪切试验研究, 得出不同的强度和变形指标, 试验结果表明, 在同样的泥皮厚度条件下, 混凝土接触面越粗糙能够得到较高的强度和变形指标; 在相同的接触面粗糙条件下, 泥皮厚度越薄越能得到较高的强度和变形指标。对于上述不同试验条件下强度和变形指标产生差异的原因进行分析, 试验中考虑泥皮的存在是合适的。

关 键 词: 混凝土防渗墙; 泥皮厚度; 强度和变形

中图分类号: TU44 **文献标识码:** A

Test study on shear strength between mudcake and impermeable wall

FU Hua, ZHANG Wei-ming

(Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: Through large scale shear test study on the contact face between the mudcake with different thicknesses and concrete with different roughnesses, various strength and deformation indices have been obtained. The test results show that under the mudcake with the same thickness, the rougher the contact face of concrete, the larger the strength and deformation indices; under the contact face with the same roughness, the thinner the mudcake, the larger the strength and deformation indices. Causes for the above differences among the strength and deformation indices under different test conditions are analyzed. It is appropriate to take into account the existence of mudcake during the tests.

Key words: concrete impermeable wall; thickness of mudcake; strength and deformation

1 引 言

随着土石坝工程的日益发展, 我国混凝土防渗墙技术积累了丰富的经验, 不论在科学研究, 勘测设计和施工技术现代化管理方面都获得了很大进展。随着近几年来深厚覆盖层上高坝的兴建, 作为坝体防渗系统关键部位的混凝土防渗墙成为工程界比较关心的问题。防渗墙在受到水荷载和上覆坝体荷载的双重作用时, 由于与覆盖层材料性质相差悬殊, 通常会表现出不同的剪切滑移、脱开分离等现象, 再设计上通常通过数值分析对防渗墙的设计进行验证, 在对接触面单元进行数值分析中, 工程界常用无厚度的Goodman单元来模拟, 但对于计算参数的选取常通过工程类比来确定, 国内开展接触面

的试验研究较少, 如何合理地描述接触面的力学特性成为广泛关注的问题。本文通过室内大型接触面剪切试验, 研究防渗墙与覆盖层之间接触面的力学特性, 在试验中考虑泥皮厚度和防渗墙粗糙度的影响。测定不同法向应力下接触面的剪应力—剪应变的关系曲线, 确定其抗剪强度指标及其变形特性参数, 为覆盖层与混凝土防渗墙相互作用分析计算提供合理的基础参数。

2 试验研究

2.1 试验仪器及试验内容

试验在大型直剪仪上进行, 直剪仪上、下剪切盒尺寸均为 300 mm×300 mm×300 mm。上剪切盒放置养护龄期为 28 d 的混凝土试块, 为了模拟防渗

墙面的不同粗糙的影响,混凝土试块分普通光面混凝土和人工增糙面混凝土两种情况进行,其中人工增糙面的凿毛起伏差不大于 5 mm,下剪切下部充填覆盖层砂砾料,砂砾料制样干密度控制为 2.10 g/cm^3 ,级配曲线见图 1,在覆盖层砂砾料的上部分别制备 1, 3, 5 cm 三种厚度的泥皮,泥皮材料为高塑性黏性土,制样干密度控制为 1.50 g/cm^3 。试样均采用人工击实法进行装填,试样装置好后采用静水头法对试样进行饱和。待试样饱和后,按要求对试样施加垂直应力,垂直应力采用液压系统施加,精度控制为 0.5 % 自动补偿。对每种泥皮厚度,分别进行 0.5, 1.0, 1.5 MPa 和 2.0 MPa 四个不同法向应力下的剪切试验。由于泥皮的压缩变形较大,在不同垂直应力状态下控制泥皮的厚度完全一致较为困难,为此,采取了如下的控制方法,即控制试样垂直变形稳定后的泥皮厚度分别是 1, 3, 5 cm。在试样垂直变形稳定后,调整并复核施加水平剪力的千斤顶位置,然后施加水平剪力。试验过程中,试样每移动 2 mm,记录一次水平剪力,直到试样变形达到 15 % 时停止。每级垂直应力下的试验完成后,重复上述装样过程进行下一级垂直应力状态下的试验研究。

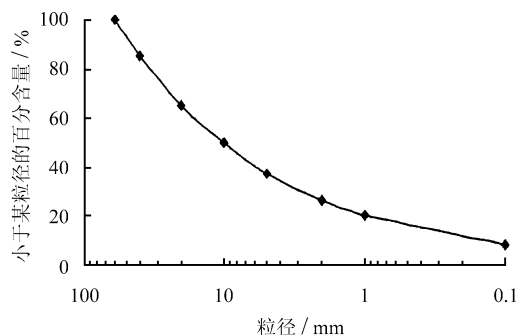


图 1 河床砂砾级配曲线
Fig.1 Curves of sand gradation

2.2 试验结果

根据剪切试验结果绘制出的剪应力与剪切位移关系曲线及相应的剪切强度峰值与垂直应力关系曲线见图 2~6; 根据剪应力-剪切位移关系曲线,整理出的 Goodman 模型参数见表 1。

$$\tau = k_s \mu, K_s = k_i \gamma_\omega \left(\frac{\sigma_n}{p_a} \right)^n \left(1 - \frac{R_f \tau}{\sigma_n \tan \varphi + c} \right)^2 \quad (1)$$

式中: R_f 为破坏比; φ 和 c 接触面上的摩擦角和凝聚力; k_i 和 n 分别为刚度系数和刚度指数。

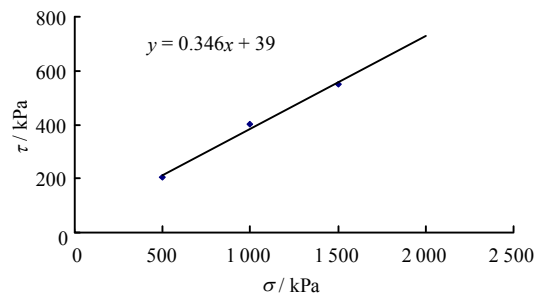
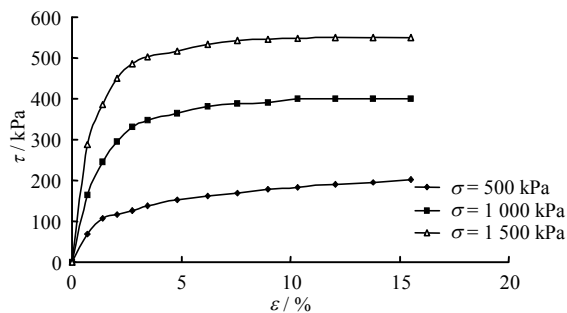


图 2 接触面剪切试验 (泥皮厚度为 1 cm)
Fig.2 Curves of shears tests on contact face (thickness of mudcake = 1 cm)

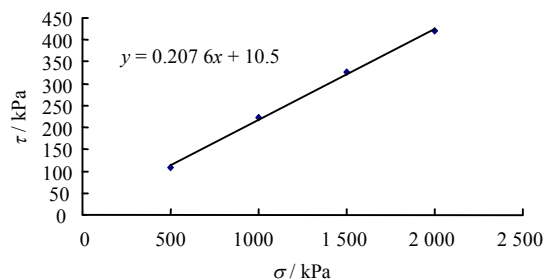
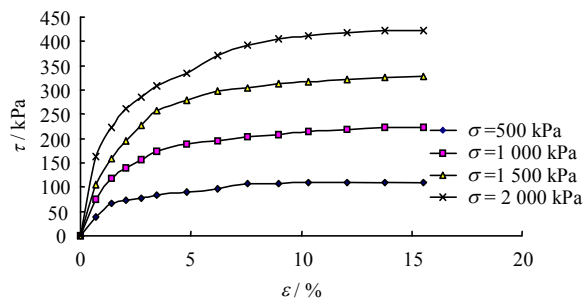


图 3 接触面剪切试验 (泥皮厚度为 3 cm)
Fig.3 Curves of shears tests on contact face (thickness of mudcake = 3 cm)

2.3 试验成果的分析

对于泥皮厚度为 1 cm 的接触面试验,在垂直应力和水平剪力的共同作用下,泥皮的压缩变形较大,在剪切过程中有较大砂砾穿透泥皮直接与混凝土面接触,使得试验结果值偏大,试验结果不能较好地反映泥皮与混凝土面接触强度特性,考虑到上述原因没有进行泥皮厚度为 1 cm 与人工筑糙混凝

面的试验。本次试验所得在相同的接触面的情况下，泥皮厚度由 3 cm 增至 5 cm 时，强度指标 φ 值降低了 1° ， c 值降低了 1.5 kPa。模型参数 k_i 值降低了 137.2。在相同的泥皮厚度的情况下，人工筑糙混凝土接触面的强度指标和模型参数 k_i 均产生了明显的增加。表 2 给出了国内其他工程接触面试验参数的结果。试验结果显示在考虑接触面泥皮存在的情况下接触面强度指标值为 $11.3 \sim 14.8^\circ$ ，

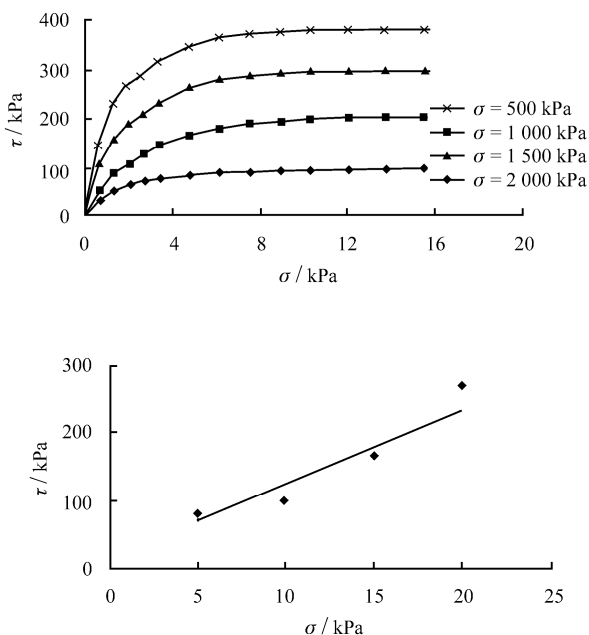


图 4 接触面剪切试验（泥皮厚度为 5 cm）

Fig.4 Curves of shears tests on contact face (thickness of mudcake = 5 cm)

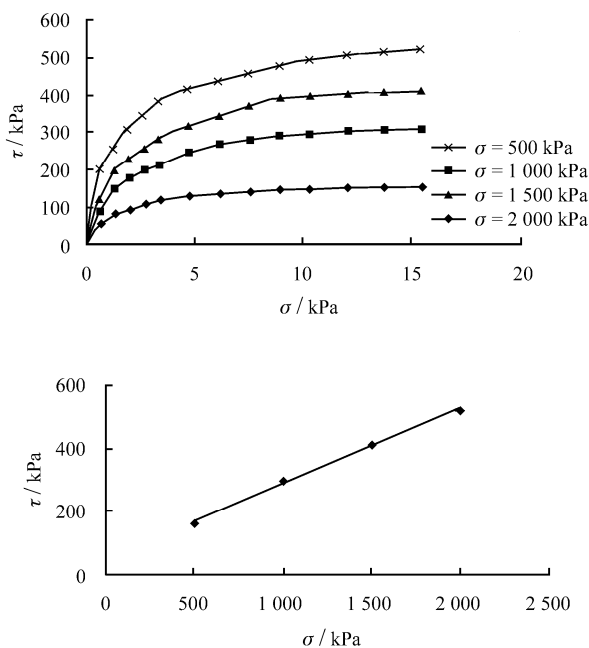


图 5 人工增糙接触面剪切强度（泥皮厚度为 3 cm）

Fig.5 Curves of shears tests on contact faces by the artificial increase of roughness (thickness of mudcake = 3 cm)

模型参数 k_i 值为 1 140~1 400。而随着接触面间泥皮的消失，接触面的强度指标和模型参数产生了大幅度的增加，本次试验在泥皮厚度为 1 cm 厚度时的剪切试验，由于砂砾穿透泥皮使得接触面变为砂砾与泥皮的混合物，试验结果较好地反映了接触面由泥皮向砂砾的变换过程。本次试验的结果比以往没有考虑泥皮的试验结果以及通常的经验值要小一些，如通常 Goodman 模型参数的 k_i 值，在考虑泥皮作用时，一般取值在 1 200~1 500 之间，本次试验却发现 k_i 值实际只有 600~1 100 左右。此外，从理论上讲，如果能够保证泥皮有一定的厚度，有泥皮的剪切试验的破坏面应当发生在泥皮中，试验结果应当和泥皮的单独剪切试验一致，从这一点来看，试验结果偏小是合理的。

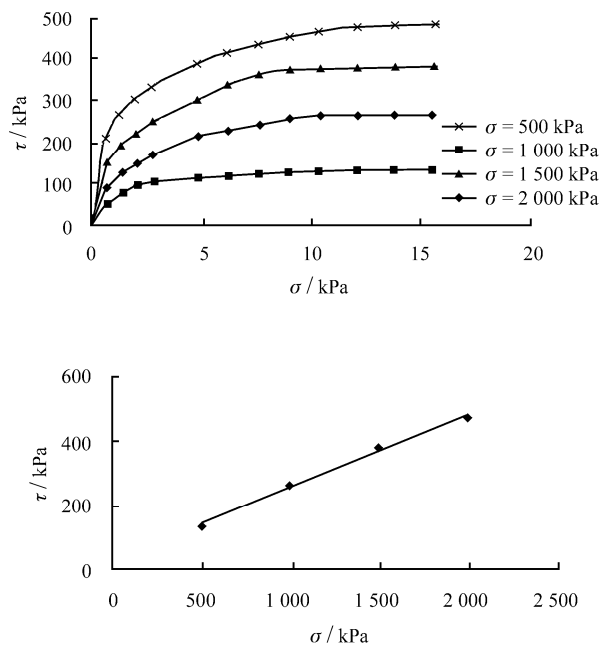


图 6 人工增糙接触面剪切试验（泥皮厚度为 5 cm）

Fig.6 Curves of shears tests on contact faces by the artificial increase of roughness (thickness of mudcake = 5 cm)

表 1 接触面试验结果

Table 1 Test results of contact face

接触面	泥皮 厚度 /cm	φ /($^\circ$)	c /kPa	k_i	n	R_t
混凝土/泥皮 /河床砂砾	1	19.1	39.0			
混凝土/泥皮 /河床砂砾	3	11.7	10.5	756.7	0.86	0.89
混凝土/泥皮 /河床砂砾	5	10.7	9.0	619.5	0.85	0.90
人工筑糙混凝土 /泥皮/河床砂砾	3	13.7	38.5	1075.6	0.79	0.89
人工筑糙混凝土 /泥皮/河床砂砾	5	13.0	23.5	848.6	0.87	0.86

表 2 国内其它工程接触面试验结果

Table 2 Test results on contact face of some cases in China

工程 名称	接触面 类型	试样 状态	φ /(°)	c /kPa	k_i	n	R_t
小浪底	粗糙混凝土/泥浆/砂砾石	饱和	14.8	10.0	1140	0.84	0.67
	自然混凝土/泥浆/砂砾石	饱和	14.0	5.0	1500	0.94	0.85
	混凝土/泥浆	饱和	11.3	0.0	1400	0.66	0.62
铜街子	混凝土/卵碎石夹砂	饱和	25.0	25.0	4500	0.75	0.91
葛洲坝上游围堰	混凝土/砂砾石	饱和	30.0	25.0	7500	0.65	0.75
碧口	混凝土/砂砾石	饱和	32.2	0.0	4000	0.65	0.75

结合工程实际情况,覆盖层在防渗墙施工造孔过程中因采用泥浆固壁,在墙周围会形成一层泥皮,在防渗墙施工结束,运行过程中受到水荷载和上覆坝体荷载的作用,墙体和覆盖层的不均匀变形是否会有覆盖层材料越过泥皮与防渗墙直接接触,

根据长江科学院李青云等在三峡工程二期深水高土石围堰拆除过程中,对堰体和防渗墙对 5 个观测面进行了观测和调查,上下游面普遍存在泥皮,泥皮厚度范围在 1~5 cm 之间,一般为 2~3 cm,泥皮附着在防渗墙墙面上,防渗墙后的泥皮和风化砂之间有清晰的界线,属薄膜型泥皮。因此,在试验中考虑了泥皮的作用是合适的。

3 结 语

(1) 对于覆盖层中防渗墙设计时应考虑到接触面的力学指标力学指标,因此通过试验模拟就尤为重要,通过对不同厚度的泥皮与不同粗糙程度的混凝土面剪切试验研究,对试验成果进行了总结,从不同试验条件下所得试验结果对比分析表明,本文选用的试验途径是合理的,在试验中考虑泥皮的存在是合适的。

(2) 本次接触面试验研究是在直剪仪中进行,试样受力状态与实际情况会有一定的差异,对于试验状态的模拟以及设备的完善还有待于进一步探讨。