

胶结面抗剪分析

贺 有 富

(珠江水利委员会勘测设计院, 广州)

【编者按】长期以来, 大坝混凝土与基岩胶结面的抗剪试验研究一直被认为是必须做的, 它所提供的抗剪强度参数历来是设计部门计算分析大坝抗滑稳定的重要依据。其重要程度可在一九八一年水利电力部颁发的岩石试验规程中略见一斑。

因此, 在许多水电工程, 尤其是在大型的水电工程中, 无论基岩的好坏, 这一项试验总是非做不可的。它所耗费的人力、物力以及工时是巨大的。从试验结果来看, 大多如作者所述, 不是在混凝土中剪断, 就是在基岩中剪断, 真正在胶结面上被剪断的却很少见。

有关这方面的试验研究, 岩石力学工作者做了不少工作, 也取得了很多宝贵的成果, 我们认为, 不妨根据这些成果对本文作者所提出的观点进行一次讨论。

诸如胶结面的抗剪试验是否应该做以及今后应该如何做的问题, 如果能够得出一个明确的结论, 并为今后的实践所验证, 这无疑对岩石力学试验的发展是有益的。同时这也将为设计部门直接提供可靠的参数, 从而大大提高试验工作的经济效益。

提 要

本文根据某些大型水利工程现场试验资料, 分析了胶结面抗剪的机理。认为混凝土与岩石胶结面抗剪试验不必进行。并提出了有关对大坝抗滑稳定设计及今后试验的意见。

一、前 言

在水利水电及其他工程中, 岩基研究的内容之一是混凝土与基岩胶结面的抗剪强度。过去认为必须向设计部门提供这项试验成果, 以作为设计上考虑和计算大坝的抗滑稳定问题的依据。这就使得胶结面抗剪试验成为一项常规试验, 因而普遍、甚至大量地在各大型工程现场进行这项试验。根据某大型水电工程现场试验成果及笔者长期的实践经验, 通过简易理论分析, 证实胶结面抗剪试验并无特殊工程意义, 因而可以免做。

这一看法不仅涉及到建筑物的抗滑稳定计算本身, 而且关系到1981年水电部颁发的岩石试验规程的某些规定。限于理论水平, 不妥之处, 请予批评指出。

二、现场试验成果的启示

(一) 工程示例之一

某大型水电工程大坝基础为前震旦系花岗岩类岩石, 完整性好。弱风化-新鲜岩石的抗压

强度为50~110MPa。曾在该类岩石上作过三种情况的抗剪试验^①。

第一种是用四种不同标号的混凝土(见表1)在同一位置上求其与新鲜岩石胶结面的抗剪强度,共作四组试验(每组5块,共20块,试件尺寸为50×60cm),试验结果见表1。由表1看出:随着混凝土强度的增加,胶结面的抗剪强度也相应地有规律地增加(见图1)^②。

表1

试验组号	混凝土标号(MPa)	混凝土/岩石抗剪断		备 注
		f 峰	c 峰(MPa)	
1	26.6	1.47	2.0	试验尺寸50×60cm,岩面粗糙度为0.5cm表2中也同
2	22.4	1.22	1.8	
3	15.3	1.13	1.5	
4	8.6	1.0	1.2	

表2

风化分带	混凝土/岩石			岩体本身		
	试验组数	抗 剪 断		试验组数	抗 剪 断	
		f 峰	c 峰(MPa)		f 峰	c 峰(MPa)
强	—	—	—	1	1.54	2.0
弱	3	0.83~1.15	1.3~1.6	2	1.67 (平均)	2.1
微	3	0.70~1.20	0.55~1.7	1	1.80	1.1

第二种是岩体本身的抗剪试验:强风化、弱风化、微风化三带的 f 值分别为1.54、1.67(平均值)、1.8(见表2)。由此可见三个风化带岩石之间存在明显的定向的差异,即随着岩石风化程度的减弱,抗剪强度有规律地增加。

第三种是在弱风化、微风化带上各作过三组相同标号——200*混凝土与岩石胶结面抗剪(每组5块,共30块),其结果见表2。由表2可见弱风化带的 f 值为0.83~1.15,微风化带 f 值为0.7~1.2。两者是很接近的。就 c 值而言两带的上限分别为1.6与1.7MPa;可见两带 c 值的上限是很接近的,(c 值下限弱风化带反而较大,微风化带较小)。原资料中,6组试验的 f , c 值,有弱风化带略大于微风化带的,也有微风化带稍大于弱风化带的,即两者的 f , c 值既无明显差异也无定向差异。考虑到试验的容许误差,则可以认为这两个风化带的混凝土与岩石胶结面抗剪强度是相同的。

①据1959~1961年某大型水利工程岩体工程力学性试验报告。

②据《岩石力学与工程学报》1984年,3期

第一种试验与第三种试验都是胶结面抗剪, 从混凝土标号相近的情况作一比较, 可见第三种试验中的微风化带的抗剪强度值上限接近第一种试验(表1)中的第2组(混凝土标号为224)。同样可以看出, 因第三种试验均采用200#混凝土, 以至三组试验的抗剪强度值上限均未超过表1中第二组的数值, 但它们是非常接近的: f 值分别为1.2与1.22, c 值分别为1.7MPa与1.8MPa。

综上所述, 在该地坚硬完整岩石上所得的第一种试验结果表明: 不同混凝土与相同的岩石, 其胶结面抗剪强度不

同; 第三种试验的结果表明: 标号相近的混凝土与不同强度的岩石, 其胶结面抗剪强度相近似。也就是说, 混凝土与坚硬岩石的胶结面抗剪强度不取决于岩石的强度而取决于混凝土的强度。而据混凝土标号相近, 胶结面的抗剪强度也很接近这一点, 就可以推断, 混凝土标号相同, 胶结面的抗剪强度也相同。这表明胶结面的抗剪强度与混凝土的抗剪强度是密切相关的。

就剪断面——破坏面发生的位置而言, 上述一、三两种情况在试验后均明显见到在基岩面上普遍残留有薄层砂浆或水泥浆薄膜[见图2(a)]。这不仅在该地的花岗岩上, 而且在其他工程的坚硬岩石上(如丹江口的绿泥石片岩)也是如此。应当提及的是, 当胶结面起伏差较小时(如小于5mm), 砂浆或水泥薄膜不显眼, 有人就将此误认为剪断面是沿胶结面发生的。

过去在各地所作的混凝土与坚硬岩石胶结面抗剪试验, 尽管成果不一致, 但都给人们留下了深刻印象, 那就是 f 值大都大于1。

(二) 工程示例之二

与前述坚硬岩石上的情况相反, 在其他工程中, 如侏罗系粘土岩(四川宜宾)寒武系破碎页岩(湖北清江)等软岩上所作的胶结面抗剪, 由于混凝土强度相对较高, 其剪断面都发生在软岩中[见图2(b)], 当岩体中存在不利弱面时还会发生深层剪断[见图2(c)]。

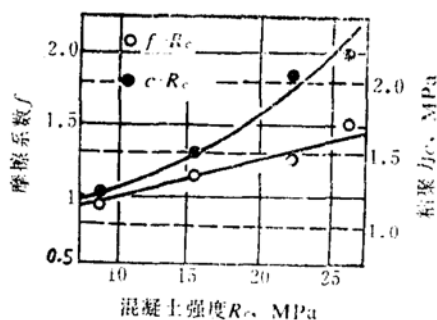


图1 $f-R_c$, $c-R_c$ 关系曲线

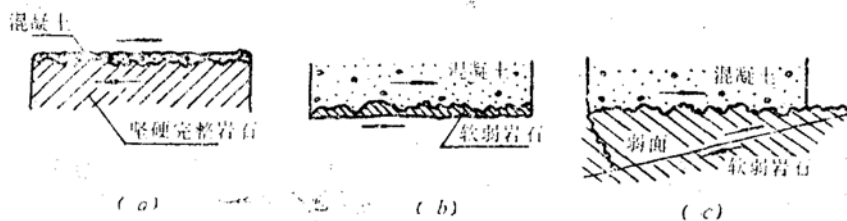


图2 混凝土与岩石胶结面抗剪试验破坏面位置图

(三)一点启示

以上所述混凝土与坚硬岩石,混凝土与软弱岩石胶结面抗剪强度值的大小及破坏面位置等方面的资料已显露出胶结面抗剪的机理。

三、胶结面抗剪能力分析

(一)形成状况

众所周知,基础表面处理的技术要求是十分严格的,松动软弱岩石皆被清除,污垢皆被洗净,十分光滑者可以凿毛,特殊情况还要特殊处理。最终形成的混凝土与基岩胶结面并非光滑面而是一个粗糙面。其起伏差由数厘米至数十厘米或更大。而水泥作为一种胶结材料在现代条件下是可以保证大部分胶结良好的。因此,混凝土与岩石之间是存在一定联结力的。正如碎石混凝土中的碎石与砂浆难于分离那样,建基面的每一个锯齿状凸起也与混凝土牢固的胶结在一起。混凝土质量的差异只会造成局部胶结较弱。

(二)运行条件

在建筑物运行期间,由于胶结面处于建筑物根部,除周边部分受大气温度变化影响外,可以说大型建筑物与基岩绝大部分接触面的温度变幅是很小的。例如混凝土重力坝与基岩的胶结面处于水下负重的境地,几乎终年被置于恒温状态。因此,不会由于两者温度系数的差异引起彼此脱离。经过丹江口、葛洲坝等工程的检验,即在坝体内钻入基岩的钻孔中得到的资料,尽管钻探过程中有扭转、冲击、振动作用,仍然见到半数或相当一部分混凝土与基岩联成整体的岩芯。假若二者是无胶结的,就不可能有整体岩芯;如果只是小范围有胶结,钻探的扰动亦会使整体岩芯少见。因此整体岩芯接近半数这一事实证实了一般情况下或接触的大部分是胶结良好的,是具有一定胶结力的。

(三)力学分析

混凝土与岩石胶结面的胶结力具体表现在有一定的抗振动能力、抗拉强度、抗剪强度等方面。抗振动能力则是承受钻探过程中的振动,水流过坝的振动等;抗拉强度约可达数千Pa至数十万Pa;抗剪强度就更可观。老式的光面摩擦试验,其 f 值可达0.6~0.8。水电部1981年颁布的岩石试验规程规定,混凝土与岩石胶结面抗剪试验的岩面起伏差不得超过边长的2%。在长江流域所作的试验(笔者所参加的),其面积为 $50 \times 60\text{cm}$,容许起伏差为1~1.2cm,实际上一般现场试验所采用的起伏差为0.5~1cm。可见现场试验所采用的粗糙度也较光面摩擦的大若干倍。而前述的实际胶结面是参差不齐的咬合面,其粗糙度较之光面摩擦的要大许多倍,所以其抗剪强度必然有显著的增加。

粗糙度是关键因素,其起伏差值的变化是否会引起胶结面抗剪特性本质上的变化呢?

我们来剖析胶结面剪切破坏机理。首先将胶结面简化成图3所示的形状,然后取 a 、 b 、 c 、 d 四个水平切面,分析各切面的抗剪强度。因混凝土抗剪强度是已知或易知的,同一种标号的混凝土有同等的抗剪强度,故假定混凝土抗剪强度为 K ,并假定岩石的抗剪强度为 x ;

1.当 $K < x$ 时, a 、 b 、 c 三个切面的抗剪强度,由图3可见 a 切面全部是岩石, b 切面

岩石和混凝土各占一半, c 切面全部为混凝土, 显然有:

$$\tau_a > \tau_b > \tau_c$$

由于剪应力不仅选择弱的路径而且选择捷径, 故剪断面——破坏面不会发生在 a 切面, 也不会沿凸凹不平的胶结面的 b 切面发生, 而必然发生在强度最小的 c 切面——混凝土中。这就是前述某大型水利工程的不同风化带的花岗岩与相同标号混凝土胶结面的多组试验成果近似相等、且破坏面发生在混凝土中的内在原因。在图 3 中, 乍一看来, 破坏面仍在胶结面附近, 而我们探讨的问题是

是与 c 切面相距任意距离 y 的 d 切面, c 、 d 两个切面具有同等的抗剪强度——等于混凝土的抗剪强度。在做抗剪

试验时, 原意是控制沿 b 切面剪断, 而实际上是沿靠作用力较近的 c 切面剪断。也就是说所谓胶结面的抗剪强度实际上等于混凝土的抗剪强度。本文所引用的六十年代的成果所揭示的这一规律性已为新近八十年代的试验成果所证实。

$K < x$ 的情况, 包括全部完整性好的坚硬岩石和中等强度岩石, 可简称为好岩石, 上述剪切破坏的机理表明欲提高混凝土与好岩石胶结面的抗剪强度, 提高混凝土的标号是可靠的方法之一。

2. 当 $K > x$ 时, a 、 b 、 c 三个切面的抗剪强度大小, 也显然有

$$\tau_a < \tau_b < \tau_c$$

同理, 其剪断面不会发生在 c 切面, 亦不会沿 b 切面发生, 必然发生在 a 切面。过去在软岩上所作的混凝土与岩石胶结面抗剪, 其剪断面多发生在岩石中, 其强度是因岩而异的, 这也证明了当 $K > x$ 时破裂面必然发生在 a 切面的机理。值得注意的是, 图 2(b) 对图 2(a) 所示的情况是一种反证, 因从地质眼光来看, 混凝土只不过是近期的人造岩石, 较之亿万年天然形成的花岗岩只能是一种软弱岩石、即使运行数十年也只能跨入半坚硬岩石的行列。故混凝土和坚硬岩石较量, 破裂面必然发生在混凝土中, 正如软弱岩石和混凝土较量, 破裂面一定发生在软岩中。

$K > x$, 指的仅仅是软弱岩石, 若一般大坝的混凝土以 200#~250# 计, 则“软岩”作为筑坝的岩石基础是少见的。值得强调的是由于软岩表层易于受损, 难于洗净, 甚至附有泥膜而使混凝土与软岩胶结面胶结不良, 往往会使其抗剪强度小于软岩本身的抗剪强度, 因此软岩建基面更需严格执行施工规范。优良的施工质量才能保证胶结质量。

3. 应该特别提出的是, 岩体中常有缓倾角弱面, 胶结面的抗滑稳定问题很可能被岩体中的弱面抗滑稳定问题所代替。因此, 必须认真研究岩体中软弱结构面的抗剪强度特性。

推而广之, 一种胶结材料与另一种材料胶结面在承受剪切时, 当胶结面具有足够的粗糙

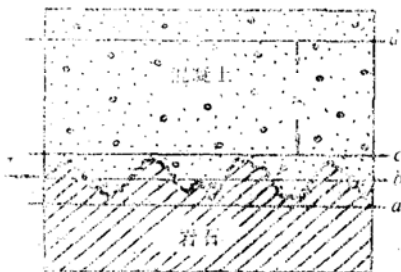


图3 胶结面抗剪强度分析

度,或者说达到某一粗糙度时,胶结面抗剪性能就出现质的变化,其抗剪强度取决于弱者的强度,也即等于弱者的抗剪强度,其破坏面发生在弱者之中。据此,可用高强混凝土与软弱破碎岩石的胶结面进行抗剪以获得岩体本身的抗剪强度。这将大大减少现场岩体大型抗剪试验的开挖量,从而加速试验进程。

四、结 语

1.开展多年的混凝土与基岩胶结面抗剪试验,实质上是一种胶结材料与另一种材料之间胶结面的抗剪试验,当胶结面达到某一粗糙度时,其抗剪强度等于弱者的抗剪强度,其破坏面也只会发生在弱者之中。其中在坚硬和半坚硬岩石上所作的胶结面抗剪,实质上求得的都是混凝土自身的抗剪强度参数;在软弱岩石上所作的胶结面抗剪,实质上所获得的是软岩本身的抗剪强度参数。因此,岩基试验中混凝土与岩石胶结面抗剪试验是没有意义的,今后不必进行。

2.当岩石的强度远大于工程混凝土的强度且岩体中无不利弱面时,坝体与岩基胶结面抗剪的问题归结到坝体上,即其抗滑稳定取决于混凝土的强度,因此,过去设计规范中采用所谓胶结面抗剪试验数据是不合理的。今后设计计算中应当采用混凝土本身的抗剪强度参数。为此需在现场和室内开展混凝土抗剪强度试验,取得成果后就可以“一劳永用”,即把常用混凝土的抗剪强度参数当做常数应用。如能在坝体底层采用较高标号的混凝土,则能提高坝体的抗滑稳定性,这样就有可能节省工程量。如果坝体底部配筋,则需将它们延伸到基岩表面。而当基岩为软弱岩石时,提高混凝土标号或采取加强措施是无益的。

3.岩体存在不利弱面或岩石强度小于混凝土时,胶结面抗剪问题转移到基础岩体。与混凝土大坝抗滑稳定有关的现场及室内抗剪试验其主要内容是岩体本身抗剪和弱面抗剪。也就是说大坝抗滑稳定的研究就成了基岩抗滑稳定的研究。基础稳固了,大坝就是安全的。

Analysis of Shear Test on Cemented Surface

He Youfu

(Investigation and Design Institute, Pearl River Water Resources Commission, Guangzhou)

Abstract

This paper describes the mechanism of shear strength on the cemented surface on the basis of the in-situ test results obtained from a large hydroelectric project, and suggests that it will not need performing shear test on cemented surface between concrete and bedrock. Also opinions on slide-resistance stability design for dams and some considerations of associated tests to be performed in future are presented.