

文章编号: 1000-7598 (2010) 03-0863-07

无法向荷载推剪试验的解析与应用

张年学, 李 晓, 赫建明, 顾金略

(中国科学院地质与地球物理研究所 工程地质力学重点实验室, 北京 100029)

摘 要: 推剪试验常在滑坡现场勘探中采用, 获取抗剪强度。工程地质手册中推剪试验的现有数据分析处理方法存在一些缺点, 应加以改进。研究无法向荷载刚体模型的推剪试验数据处理方法, 假设模型受压面在 Y 轴方向不受约束。推导出该模型推剪试验的微分方程, 解析出求 c 、 ϕ 值与破坏面曲线方程组公式。根据原位试验发生的压缩现象, 分析了试体受压面附近存在局部先期破坏。对新公式进行了算例与实例的分析, 解释了影响破坏面曲线变形的原因是: 推剪受压面必须满足 Y 方向不受约束, 该面应安装能垂直滑动或转动的承压板。对受压面被约束的试验, 可根据局部破坏面斜率推测破坏体长度, 进行 c 、 ϕ 值计算。此外, 还提出了推剪试验必须注意的几个问题。

关 键 词: 推剪试验; 解析; 应用; 抗剪强度; 破坏面曲线

中图分类号: O 24

文献标识码: A

Analysis of push shear test without normal loading and its application

ZHANG Nian-xue, LI Xiao, HE Jian-ming, GU Jin-lue

(Key Laboratory of Engineering Geomechanics, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: Push shear tests have often been used to determine shear strength of rocks or soils in investigation of landslides. However current analytical methods for a push shear test recommended in Handbook of Engineering Geology could not adequately derive parameters of the shear strength and should be improved. Data processing method is presented for the push shear test without normal loading based on the assumption of model's rigid body and no constraints along Y axis. A differential equation is established to represent the push shear test; and a set of equations is then derived for solving cohesion c , friction angle ϕ and curves of the shear failure surface. A case study is used to examine new formulas developed. Based on observed compression phenomena during in-situ test, the localized initial failure near the compression surface is analyzed. Causes for variation of the shear failure surface are explained. It is required that no constraints are applied to the compression surface along Y axis. In addition, the compression surface should be oriented perpendicular to the sliding or rotating surface. At the end, several issues related to push shear test are also discussed.

Key words: push shear test; analytical solution; application; shear strength; failure surface curve

1 前 言

岩土体的抗剪强度、主要由室内与现场试验结果获得, 室内小样试件的代表性较差, 分散性大, 通常需要做多组试验、获取较多样本, 用回归方法获得平均值与方差, 或者进行可靠度分析^[1-2]。对含较大或较多碎砾石的土, 小试件试验基本不适用。对岩体强度, 通常用小试件岩样强度指标, 经过某些方法的分析计算得到比较接近实际的岩体强度^[3-6]。现场大剪试验对岩土体的代表性较好, 可

避免上述缺点, 但在探井或探洞中试验条件较差、或者试坑中法向加载比较困难, 不是重大的工程不经常采用。一种简化的方法是在试坑中进行无法向荷载的大型推剪试验, 用单试件即能得到抗剪强度 c 、 ϕ 值, 试验结果虽然在应用上有一定局限性, 但在许多情况下仍然可以满足一些工程的应用。

本文研究无法向加载大型推剪试验的 c 、 ϕ 值计算方法。现有的计算方法有两种^[7-8], 它们都是利用试验破坏面曲线进行条分的近似计算方法、试验要进行两次施压, 一次求得最大水平破坏推力, 一

收稿日期: 2008-10-13

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973) (No. 2009CB724605, 2010CB731501); 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (No. KJ CX3-SW-L1); 中国科学院科研装备研制项目 (No. YZ200912)。

第一作者简介: 张年学, 男, 1936 年生, 研究员, 主要从事工程地质与地质灾害方面的研究工作。E-mail: Zhangnianxue@yahoo.com.cn

次求得破坏后的摩擦(最小)推力。由于试体破坏后土体位移较大,又难于复原位,所测摩擦推力一般偏小,计算结果的精度与可信度难于判断。本文对图 1 的推剪模型进行解析分析,获得数学上的精确解,对其进行了算例与实例的对比分析,并讨论了应用条件。

2 推剪试验的试体制备与要求

图 1 所示为试体的推剪模式^[9-13], DE 为自由面,加载面为 OD , 由于水平推压破坏体是斜向上位移,在 OD 面会受到端部纵向摩擦约束,因此、要求 OD 受压面最好装上滚珠或能转动的承压板用以减少摩擦约束。受压面高度为 H , 宽度为 B 。为尽量减少两侧边界摩擦效应影响, B/H 应大于或等于 2。试体两侧面应抹平,外侧用光滑木板或铁皮做侧限板,其间抹上滑润剂以减少侧向摩擦阻力。推力加载面与反力座用木板或铁板承压。双千斤顶推力重心在 $H/3$ 高度处。 OE 曲线为剪断破坏面,试体平均破坏长度为 $DE=L$ 。若破坏时总推力为 T ,则单位面积推力 $P=T/(H \times B)$ 。

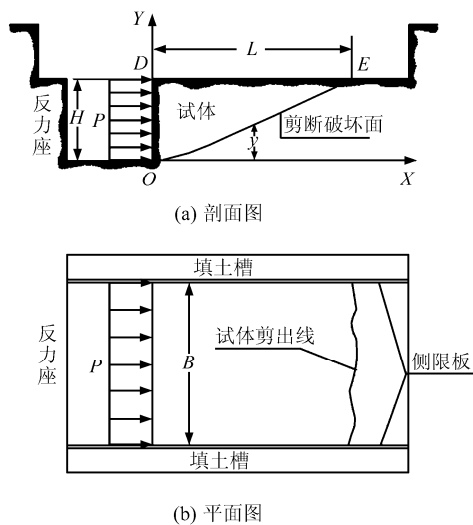


图 1 推剪试验试体模型平、剖面图

Fig.1 Plan and cross-section of a test body model for the push shear test

3 基本微分方程

选取图 1 (a) 中的坐标,在剪断破坏面上取一微分单元如图 2, 宽为 dx 、高为 dy 、斜边剪切面长为 ds 。在剪切面上作用的力为: 剪力 $d\tau_s$ 、由两部分组成: 推力 $d\sigma_y$ 与微分单元试体自重 $d\sigma_x$ 在 ds 方向分力的合力为

$$d\tau_s = d\sigma_y \cos \alpha - d\sigma_x \sin \alpha \quad (1)$$

法向反力 $d\sigma_s$ 也由两部分组成: $d\sigma_y$ 与 $d\sigma_x$ 在剪切面法向上的合力为

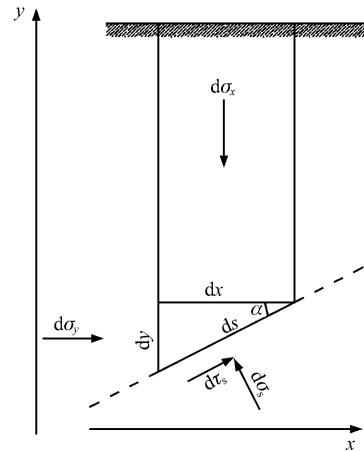


图 2 微分单元受力图

Fig.2 Forces acting on the representative differential element

$$d\sigma_s = d\sigma_y \sin \alpha + d\sigma_x \cos \alpha \quad (2)$$

当微分单元剪切面达到破坏时、应用莫尔-库仑定律有

$$d\tau_s = d\sigma_s \tan \varphi + dC_s \quad (3)$$

式中: dC_s 为 ds 微分段的黏聚力。

把 (1) (2) 式代入 (3) 有

$$d\sigma_y \cos \alpha - d\sigma_x \sin \alpha = (d\sigma_y \sin \alpha + d\sigma_x \cos \alpha) \tan \varphi + dC_s \quad (4)$$

假定在破坏时施加的单位面积推力 P 作用在单宽微分单元 dy 面上的作用力

$$d\sigma_y = P dy \quad (5)$$

作用在 ds 面上微分体重力为

$$d\sigma_x = \gamma(H-y)dx \quad (6)$$

$$\text{且 } dC_s = C ds, \cos \alpha = \frac{dx}{ds}, \sin \alpha = \frac{dy}{ds} \quad (7)$$

式中: γ 为岩土体的重度; c 为试验岩土体的黏聚力。

把式 (5) ~ (7) 代入式 (4) 有

$$P \frac{dx}{ds} dy - \gamma(H-y) \frac{dy}{ds} dx = P \tan \varphi \frac{dy}{ds} dy + \gamma(H-y) \tan \varphi \frac{dx}{ds} dx + c ds \quad (8)$$

将式(8)两端乘以 $\frac{ds}{(dx)^2}$ 得到:

$$P \frac{dy}{dx} - \gamma(H-y) \frac{dy}{dx} = P \tan \varphi \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 + \gamma(H-y) \tan \varphi + c \left(\frac{ds}{dx} \right)^2$$

由于 $\left(\frac{ds}{dx} \right)^2 = \frac{(dx)^2 + (dy)^2}{(dx)^2} = 1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2$, 由上式导得

$$(P \tan \varphi + C) \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 - [P - \gamma(H-y)] \frac{dy}{dx} + \gamma(H-y) \tan \varphi + c = 0 \quad (9)$$

$$\text{令 } \tau_p = P \tan \varphi + c \text{ 以及 } y' = \frac{dy}{dx} \quad (10)$$

代入式(9)有:

$$\tau_p y'^2 - [P - \gamma(H-y)] y' + \gamma(H-y) \tan \varphi + C = 0 \quad (11)$$

式(11)就是图1、2力学模式的基本微分方程, 是一个非齐次非线性方程。上述模型并未考虑试体的变形, 因此, 是一个刚体模型, 且加载面为未考虑摩阻的自由面, 应用于易变形的土体, 具有一定近似性, 要进行具体分析。

4 微分方程的解析解

$$\text{假设 } y' = t, y = \varphi(t) = \varphi(y') \quad (12)$$

$$\text{即有 } y' = \varphi'(t) = \psi(t) = t \quad (13)$$

$$\text{因为 } y' = \frac{dy}{dx} \text{ 以及根据式(12)有 } \frac{dy}{dt} = \varphi'(t),$$

$$\text{所以 } dx = \frac{dy}{y'} = \frac{\varphi'(t) dt}{t} = \frac{\varphi'(t) dt}{\psi(t)}, \text{ 从而有}$$

$$x = \int \frac{\varphi'(t)}{\psi(t)} dt + C_e \quad (14)$$

式中: C_e 为积分常数。

把 $y' = t$ 代入式(11)并对 y 解出为

$$y = \frac{\tau_p t^2 - (P - \gamma H)t + \gamma H \tan \varphi + c}{\gamma(\tan \varphi + t)} \quad (15)$$

式(15)对 t 微分得

$$y' = \frac{\tau_p(t^2 + 2t \tan \varphi - 1)}{\gamma(\tan \varphi + t)^2} \quad (16)$$

把 $y' = \varphi'(t)$ 与 $\psi(t) = t$ (见式(13))代入式(14)

得:

$$x = \frac{\tau_p}{\gamma} \int \frac{t^2 + 2t \tan \varphi - 1}{t(\tan \varphi + t)^2} dt + C_e \quad (17)$$

积分上式得

$$x = \frac{\tau_p}{\gamma} \left[\ln(\tan \varphi + t) + \frac{1}{\tan^2 \varphi} \ln \frac{\tan \varphi + t}{t} - \frac{\tan^2 \varphi + 1}{\tan \varphi(\tan \varphi + t)} \right] + C_e \quad (18)$$

把 $y' = t$ 代入式(11), 并对 t 解出

$$t = \frac{P - \gamma(H-y)}{2\tau_p} \pm \sqrt{\left[\frac{P - \gamma(H-y)}{2\tau_p} \right]^2 - \frac{\gamma(H-y) \tan \varphi + C}{\tau_p}} \quad (19)$$

t 为试验破坏面曲线的斜率, 而式(19)为二次方程的解, 存在几种情况, 故需判断符合物理意义条件的根及其条件。若

$$b^2 - 4ac = \left[\frac{P - \gamma(H-y)}{\tau_p} \right]^2 - 4 \left[\frac{\gamma(H-y) \tan \varphi + c}{\tau_p} \right] \geq 0 \quad (20)$$

存在两实根或两等根。对式(20)解出 P 有

$$P \geq \gamma(H-y)(1 - 2 \tan^2 \varphi) + 2c \tan \varphi \pm$$

$$\sqrt{\left[\gamma(H-y)(1 - 2 \tan^2 \varphi) + 2C \tan \varphi \right]^2 - \gamma^2(H-y)^2 + 4C[\gamma(H-y) \tan \varphi + C]} \quad (21)$$

由于破坏曲线上任一点都应满足式(21), 把 $x = L$ 即 $t = t_1$ 处的 $y = H$ 代入式(21)求出一个特解

$$P \geq 2C(\tan \varphi \pm \sqrt{\tan^2 \varphi + 1}) \quad (22)$$

由于单位推力 P 为正值, 而式中 $\sqrt{\tan^2 \varphi + 1} > \tan \varphi$, 故不存在相减的情况。因而只存在一种满足 P 为正的情况, 即

$$P \geq 2C(\tan \varphi + \sqrt{\tan^2 \varphi + 1}) \quad (23)$$

时, 破坏曲线的斜率为 $t = y'$ 时, 式(19)才有解, 但是破坏曲线只有一条, 即任意 y 处只有一个斜率, 因此 $b^2 - 4ac > 0$ 时, (17) 式中根式前 $\pm$ 号表示有两个实根, 即有两个斜率, 不符合实际, 而不是方程的解。只有 $b^2 - 4ac = 0$ 时的两等根 (即一个实根) 才是式(19)的解, 即要寻求满足

$$\left[\frac{P - \gamma(H - y)}{2\tau_p} \right]^2 - \frac{\gamma(H - y)\tan\varphi + C}{\tau_p} = 0 \quad (24)$$

时的 c 、 φ 值, 才能得到方程的解。因此理论上的破坏曲线斜率为

$$t = \frac{P - \gamma(H - y)}{2\tau_p} \quad (25)$$

当 $x = 0$ 时、 $y = 0$, 原点处的破坏曲线理论斜率为

$$t_0 = \frac{P - \gamma H}{2\tau_p} \quad (26)$$

当 $x = L$ 时, $y = H$, 破坏曲线端点(剪出口处)的理论斜率为

$$t_L = \frac{P}{2\tau_p} \quad (27)$$

由于利用试验数据计算 c 、 φ 值时、迭代 $b^2 - 4ac$ 只能接近 0, 所以当 $x = 0$ 时、 $y = 0$, 代入式(19)求得斜率 t_0 ,

$$t_0 = \frac{P - \gamma H}{2\tau_p} + \sqrt{\left(\frac{P - \gamma H}{2\tau_p} \right)^2 - \frac{\gamma H \tan\varphi + c}{\tau_p}} \quad (28)$$

式(28)是一个特解, 在计算 c 、 φ 值可用迭代方法, 利用满足根号中式子接近于 0 的 c 、 φ 值来求解。

求积分常数 C_e : 令 $x=0$ 与 $t=t_0$ 代入式(18)得

$$C_e = \frac{\tau_p}{\gamma} \left[\frac{\tan^2\varphi + 1}{\tan\varphi(\tan\varphi + t_0)} - \ln(\tan\varphi + t_0) - \frac{1}{\tan^2\varphi} \ln \frac{\tan\varphi + t_0}{t_0} \right] \quad (29)$$

把式(29)代入式(18), 得到

$$x = \frac{\tau_p}{\gamma} \left[\ln \frac{\tan\varphi + t}{\tan\varphi + t_0} + \frac{1}{\tan^2\varphi} \ln \frac{t_0(\tan\varphi + t)}{t(\tan\varphi + t_0)} - \frac{(\tan^2\varphi + 1)(t_0 - t)}{\tan\varphi(\tan\varphi + t)(\tan\varphi + t_0)} \right] \quad (30)$$

上面导出了由式(10)、(19)、(28)与式(30)组成的破坏面曲线方程组, 可以用于破坏面曲线计算。

同样, 在 $b^2 - 4ac$ 接近 0 的情况下, 当令 $x = L$ 时, $y = H$ 代入式(19), 得到剪出端 L 处的斜率为

$$t_l = \frac{P}{2\tau_p} + \sqrt{\left(\frac{P}{2\tau_p} \right)^2 - \frac{c}{\tau_p}} \quad (31)$$

当式(30)中 $t = t_l$ 时, $x = L$, 得到试体破坏长度公式

$$L = \frac{\tau_p}{\gamma} \left[\ln \frac{\tan\varphi + t_l}{\tan\varphi + t_0} + \frac{1}{\tan^2\varphi} \ln \frac{t_0(\tan\varphi + t_l)}{t_l(\tan\varphi + t_0)} - \frac{(\tan^2\varphi + 1)(t_0 - t_l)}{\tan\varphi(\tan\varphi + t_l)(\tan\varphi + t_0)} \right] \quad (32)$$

上面由式(10)、(26)、(28)、(31)和式(32)组成的方程组即为根据试验数据求 c 、 φ 值的解析公式, 由于它们对 c 、 φ 都不是显函数, 因此, 只能用逐次迭代计算寻求同时最接近式(24)与式(32)条件的 c 、 φ 值, 即要求该 c 、 φ 值按解析解计算的 L 值与实际破坏长 L 值接近。

用式(28)、(31)计算这些组合的 t_0 与 t_l 值, 再用式(32)、对这些组合迭代计算最接近或等于试验破坏体长度 L 的 c 、 φ 值即是试验求得的 c 、 φ 值。这个过程的实质是笔者对上述计算过程编制了计算机程序, 几分钟即能获得结果。也可由试验破坏面量得的某 x 与对应的 y 值替代 L 与 H 值、用相同方法求解 c 和 φ 。

5 算例和实例分析与讨论

5.1 算例分析

为了解析解的性质与特点, 以使实际试验能符合解析解的要求, 图3是3种均质土(采用同一重度)的3组抗剪强度参数、3种试体高度, 共9个算例的破坏面曲线, 试验土体的高度 H 分别为 0.4、0.3、0.2 m; 3对 c 、 φ 值分别为 100 kPa、40°; 40 kPa、30° 和 30 kPa、20°。

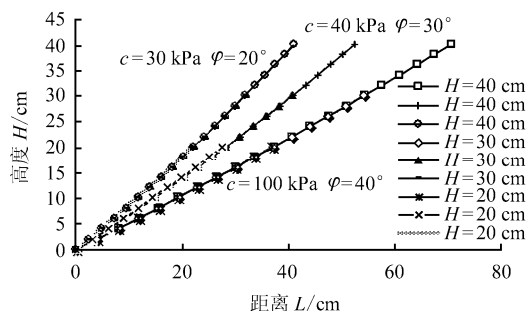


图3 3组抗剪强度参数 c 、9个算例的破坏面曲线比较图
Fig.3 Comparison of 3 groups of shear strength parameter c and shear failure curves of 9 calculated examples

由图3看出：试体相同高度时， c 、 φ 值越大，其破坏体长度 L 越大； c 、 φ 值越小， L 越小；相同 c 、 φ 值时、高度 H 越大，破坏体长度越大，而且破坏面曲线相同或重叠。破坏面曲线形态略为下弯，原点 O 的斜率小于端点 E 的斜率。例如 $H=0.4\text{ m}$ 时、3组 c 、 φ 值（从大到小）3条破坏曲线原点与端点处的斜率分别为：0.475（25.4°）、0.621（31.8°）；0.589（30.5°）、0.872（41.1°）；0.732（36.2°）、1.130（48.5°）。表明 c 、 φ 值越小，原点与端点的斜率差值越大，即曲线弯曲度越大， c 、 φ 越大则相反。因此，试验的强度和可靠性也可由破坏体的长度、破坏面的形态或弧度等定性判断大小。

5.2 实例分析

本节引用笔者在三峡库区白衣庵滑坡区做过的几个无法向荷载水平推剪试验^[12]，由于都是易变形的土体试验，在试体受压面与加载板之间没有安装滚珠，承压面是受到约束的非自由面，这些与本文刚体模型及无摩擦假设存在差别，因此，要视具体情况进行分析。试验表明，试体受压面一侧变形达到30~50 mm才发生整体贯穿的破坏面，而接近受压面处则因先被压密，先于整体破坏面发生了局部破坏，其破坏面斜率大于整体破坏面平均斜率。现举两例计算其 c 、 φ 值，并与现有方法^[6]对比和分析。

实例 1(J1)

岩性为坡积层碎石土，含石率占重量的59%，体积的54%。碎石为灰岩和泥灰岩，次棱角状，表面光滑。填充土质为砂黏土，天然湿度、稍干。受压推剪面积 $B \times H = 0.6\text{ m} \times 0.3\text{ m}$ 。受压面位移约30 mm时试体剪断。试验已知数据 H 、 P 、 L 、与 γ 见表1，破坏面曲线见图4。

表1 推剪试验的试验数据与计算结果比较

Table 1 Push shear test data and comparison of calculated results using different methods

参数		试验编号		J2 改正破
		J1	J2	坏体长 L
试验体高度 H/m		0.3	0.3	0.3
单位面积推力 P/kPa		195.33	153.56	153.56
土的重度 γ/kN		23.14	21.97	21.97
破坏体长度 L/m		0.600	0.600	0.375 [*]
解析解计算长度 L_j/m		0.596	0.561	0.375
长度误差 $E/\%$		0.75	6.57	0.01
一机部公式	c/kPa	29.2	32.8	
计算结果	$\Phi/(^{\circ})$			
水电部公式	c/kPa	32	37	
计算结果	$\Phi/(^{\circ})$	50.3	34.4	
解析解公式	c/kPa	26.24	20.69	42.58
计算结果	$\Phi/(^{\circ})$	49.8	48.2	26.1

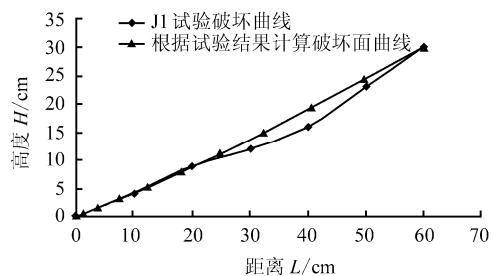


图4 J1实例破坏面与解析解破坏面曲线比较图

Fig.4 Comparison between observed and calculated shear failure surfaces for the case J1

由表1看出，一机部求 φ 值公式可能有误，得到的 φ 值大于90°而不合理，未列入。用解析法求得 c 、 φ 值均比上述两种方法得到的为小， φ 值与水电部方法较为接近。解析法计算的破坏曲线与试验破坏面曲线比较见图4：破坏体计算长度与实际破坏长度非常接近，误差只有0.75%左右；计算的破坏面在距原点25 cm内与实际破坏面非常吻合，但25 cm之后实际破坏面下弯，低于计算破坏面。

造成实际破坏面后部下弯的原因分析如下：水平推剪初期首先是靠近承压板附近土体被压缩，由于碎石土是松软介质对力的传递是在压密后才能完全进行，而压密需要时间，但试验施压是逐级持续进行的，所以一定范围之外压密度不够，施压初期尚达不到破坏压力，而近承压板附近已压密土体首先发生局部破坏，这时的破坏尚未受承压面约束较大的影响，破坏面能反映土的真实剪应力轨迹。因为试验在施压面上没有安装能滑动或转动的滚珠承压板，当进一步压缩时，剪力使受剪部分土体斜向上推挤，受到承压板与土体间向下的摩擦阻力影响，从而使剪应力迹线方向改变，造成破坏曲线下弯。从此例看，近承压板段破坏面能反映土体的强度，而解析解得到的破坏长度如果与实际长度接近一致，求得的 c 、 φ 值也是可信的。对比结果，此例表明已有两种计算方法结果可能偏大。

实例 2(J2)

试体岩性为滑带土，处于滑动面含砾土上部，含有不超过15%的碎石，其成分为粉砂岩、砂质泥岩，次圆或次棱角状，粒径小于3 cm。土为粉质粘土，较密实，天然湿度大，并经水浸泡一夜，湿度接近饱和。试验已知参数 H 、 P 、 L 、 γ 见表1。承压板位移约50 mm发生贯穿破坏。实际破坏面曲线见图5。曲线形态与J1试验类似，中后部下弯较大。解析解的破坏面曲线与实际破坏面差别较大，且计算破坏长度小于实际破坏长度，误差达6.6%，由此

两点判断, 根据实际破坏长度用解析解计算结果不好。计算的 c 、 φ 与已有两种方法的差别较大。

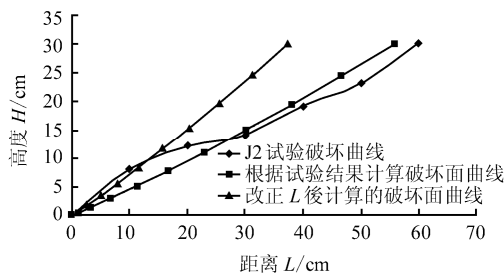


图5 J2实例破坏面与计算破坏面及改正 L 后破坏面曲线比较

Fig.5 Comparison between observed and calculated shear failure surfaces as well as those calculated with modified L for case J2

分析形成实际破坏面形态的原因: 因为试验没有安装滚珠滑动承压板, 应与 J1 实例相同。由于浸水滑带土湿度与黏性较大, 土质细软, 变形大, 对力的传递比较差, 受压面的摩阻力使强度较低的滑带土剪应力轨迹线受到更大的影响, 使破坏面下弯度增大, 从而造成更大的破坏长度, 该长度当然不反映土体的破坏性质与强度, 因此, 利用这个实际 L 值由解析法计算的 c 、 φ 值也不反映土的真实强度。因此, 为了消除试体端部受压面约束的影响, 要用解析法求 c 、 φ 值, 最好装上滑动或转动承压板。

为获得可靠结果, 根据前述破坏体左边初始段破坏曲线能反映真实破坏面的性质, 在 10 cm 处的破坏面高度为 8 cm 计算斜率, 得到改正的破坏体长度 L 值, 计算破坏面曲线与 c 、 φ 值, 认为它能反映滑带土的真实破坏面及其强度, 因为计算 L 值与改正值有极好的符合 (见表 1)。当破坏面只有很小起伏较为平滑时, 可利用不同的 x 与 h 计算出一组 c 、 φ 值, 根据前面算例, 此组 c 、 φ 值应该非常接近, 此时可取它们的平均值作为试验结果。

6 结 论

解析法的优点是: 凡是符合其假设条件的试验, 试验结果的精度较高。与已有的量测法相比, 只需测出最大破坏推力和破坏体长度, 无需测最小摩擦推力, 若破坏面是下弯且较平滑的曲线, 也无需测量。缺点是必须用计算机进行计算。要应用解析法, 应按下述条件与试验方法进行试验。

(1) 解析法推导的条件在受压面是无摩阻约束的自由面, 因此, 应在试体受压面安装滚珠滑动或转动承压板, 减少摩阻对剪应力迹线与剪破坏面形态的影响。如果不这样, 由于摩阻的影响, 将使推

力增加才能剪断试体, 增加了破坏推力将使计算的 c 、 φ 值增大而不符合实际。同时应尽量减少试体侧胀摩阻的影响, 放置光滑侧限板与抹上滑润剂, 外侧填土不能太紧, 以减小侧胀压力, 如不考虑这些因素、试验获得的破坏压力与破坏体长度会偏大, 从而影响强度结果偏大。

(2) 土体试验, 由于要经过压密才能很好传递压力, 而压密需要时间, 因此, 推剪试验施压速率不能太快, 每级压力增量不能太大, 要等到位移基本稳定、即一定范围压密后, 再施加下一级压力。

(3) 对未安装滚珠承压板的试验, 可采用上述实例 2 的方法: 即根据近受压面端的破坏面曲线真实反映土体强度, 利用该段斜率来校正破坏体长度 L 或采用该段长度 x 与高度 h 进行 c 、 φ 值计算。

(4) 解析解的推导是假定试体是均质的, 实际土体可能不均质, 导致剪出口呈曲、折线状, 破坏体长应采用均值。若土体不均匀, 破坏面在不同区域或局部有起伏, 采用两侧面画垂线、对错位点测量高度取均值、或在中线钻孔填入石灰的方法, 均不能很好反映破坏面曲线, 因其测量点有限。最好是做一个滑尺移动量测工具, 对试体剪断面每一纵断面进行多点测量, 取平均值作为破坏面曲线高度, 用这样的破坏面曲线来校核解析解计算曲线。

(5) 太湿、太软的土体, 由于压缩变形量大, 不能很好进行力的传递, 因此, 并不适用推剪试验方法, 推剪试验主要适用于含水率较低, 性质不太软的土体。对于部分较软土体, 可用上述初段斜率校正 L 的方法也能得到较为可信的结果。

(6) 根据前面算例, 抗剪强度相同时、剪断面曲线相同或重叠, 只是试体高度不同, 破坏长度不同, 因此, 推剪试验并不需要追求试件越大越有代表性, 只要判断其大小能代表工程区岩土性质就可以, 笔者认为, 试体高度一般 30~40 cm 即可。

(7) 本方法适用于相对均质的土体, 不适用节理岩体。由于无节理的均质岩体更接近刚性, 理论上更合适, 但尚应经岩体试验的检验。

参 考 文 献

- [1] 杨强, 陈新, 周维垣. 抗剪强度指标可靠度分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(6): 868—873.
YANG Qiang, CHEN Xin, ZHOU Wei-yuan. Reliability analysis on shear strength parameters[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(6): 868—873.
- [2] 秦四清. 深基坑工程优化设计[M]. 北京: 地震出版社, 1998: 7—12.

- [3] HOEK E, BROW E T. Empirical strength criterion for rock mass[J]. **Geotechnical Engineering Div., ASCE**, 1980, 106(79): 1013—1035.
- [4] HOEK E. An empirical strength criterion and its use in designing slopes and tunnels in heavily jointed weathered rock[C]//Proceedings of Sixth Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Taipei: [s. n], 1980.
- [5] BIENIAWSKI Z T. Estimating the strength of rock materials[J]. **South African Institute of Mining and Metallurgy**, 1974, 74: 312—320.
- [6] HOEK E, BRAY J W. 岩石边坡工程[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1983.
- [7] 《工程地质手册》编写委员会. 工程地质手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992.
- [8] 吴振君, 葛修润. 求解边坡矢量和安全系数的条分法[J]. 岩土力学, 2009, 30(8): 2337—2342.
WU Zhen-jun, GE Xiu-run. Solving vector sum factor of safety of slope by method of slices[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2009, 30(8): 2337—2342.
- [9] 徐扬, 高谦, 李欣, 等. 土石混合体渗透性现场试坑试验研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(3): 855—858.
XU Yang, GAO Qian, LI Xin, et al. In-situ experimental study of permeability of rock and soil aggregates[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2009, 30(3): 855—858.
- [10] 王钟琦. 岩土工程测试技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986.
- [11] 余光富. 梯形试体三向千斤顶直剪试验法[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(5): 562—564.
YU Guang-fu. The direct shear test on the trapezoidal specimen by means of tri-direction-jack[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2000, 22(5): 562—564.
- [12] 油新华, 汤劲松. 土石混和体野外水平推剪试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(10): 1537—1540.
YOU Xin-hua, TANG Jin-song. Research on horizontal push-shear in-situ test of soil and rock mixture[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2002, 21(10): 1537—1540.
- [13] 李晓, 廖秋林, 赫建明, 等. 土石混合体力学特性的原位试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(12): 2377—2384.
LI Xiao, LIAO Qiu-lin, HE Jian-ming, et al. Study on in-situ tests of mechanical characteristics[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2007, 26(12): 2377—2384.

第十六届全国反应堆结构力学会会议征文通知

中国力学学会反应堆结构力学专业委员会定于2010年10月在深圳召开第十六届全国反应堆结构力学会会议, 会议由中国力学学会反应堆结构力学专业委员会主办, 中广核工程有限公司负责承办。此次会议是反应堆结构力学领域进行学术交流、学习、展示科研和工程成果的盛会, 热烈欢迎核工业界各设计院、研究院、大专院校、核电厂、有关核设备制造厂和核安全监督机构的反应堆结构力学专业人士踊跃投稿。

征文内容: (1) 结构动力学、抗震分析、设计与鉴定; (2) 温度场、流场、流固耦合及分析与实验; (3) 设备失效分析技术; (4) 实验力学; (5) 断裂力学及缺陷评定; (6) 老化管理与寿命评估; (7) 核设备设计及优化问题; (8) 金属材料性能及破坏模式; (9) 安全壳和其它结构的相关力学问题; (10) 运行核电厂的运行检查及维护; (11) 先进轻水堆和其它新堆中的力学问题。

征文要求: 论文应有较高的学术水平和工程应用前景, 内容新颖、观点明确、数据真实, 结果可靠, 并未在国内外其它会议或学术刊物上发表过。征文稿件应注明作者姓名、单位、联系方式(包括地址、电话、电子邮箱等)。

论文摘要和全文用 WORD 排版后以打印稿(同时附磁盘)邮寄或直接发电子邮件以电子文档的形式递交。

本次会议将评选优秀会议论文, 拟出版于《核动力工程》会议增刊。

重要日期: 2010年3月30日前递交500字以内的论文摘要; 2010年4月30日前通知作者论文是否被录用, 录用者需提交论文全文; 2010年6月30日递交论文全文截止。

会议具体日期和地点另行通知。

联系人: 陈彩云 电话: 0755-84435360, E-mail: cychen1230@yahoo.com.cn; 金挺 电话: 0755-84435048

联系地址: 广东省深圳市龙岗区大鹏镇大亚湾核电基地 BM2223 中国力学学会反应堆结构力学专业委员会; 中广核工程有限公司 CSMiRT16 组委 邮编 518124