

粘土的拉裂试验及声发射检测

余湘娟

(河海大学岩土工程研究所 南京 210098)

摘要 综述击实粘土拉裂试验的各种方法。三轴拉伸试验和周期拉压试验,用于研究静力拉裂和周期加荷拉裂的破坏,在土石坝有限元分析中判别防渗体土料拉裂和震裂的发生与发展。对试样拉裂时进行声发射检测,可研究试样拉裂破坏的过程,随着围压增大,试样由拉裂破坏而逐渐变为剪切破坏。

关键词 土力学 土工测试 粘土 拉裂试验 声发射检测, 土石坝, 333号

土石坝防渗土体发生裂缝可能引起坝坡滑坡或渗流破坏,而地震时土石坝最普遍的震害是产生裂缝。因此,如何预估地震时土石坝是否发生裂缝,发生裂缝可能的深度以及裂缝后对坝体性状的影响,都是土石坝抗震需要研究的问题。进行上述问题研究的基础是对土的拉裂特性进行研究,但要得到符合实际情况的拉裂特性,必须使试验方法符合土体受拉的应力条件。至今已有数种方法用于测试土的拉裂特性,本文简要介绍这些试验方法及主要试验成果。

1 国内外拉裂试验的现状

1.1 直接拉伸试验^[1-3]

试样两端用夹具夹紧或用胶结材料粘着施加轴向拉力,大多在无侧限压力条件下测试试样的抗拉强度,或用三轴仪增大侧限压力使试样轴向伸长代替在试样顶部施加拉力,这种试验由于对试样直接拉伸,不像间接拉伸试验需要假设试样为线弹性材料。但是由于试样两端夹紧或粘着的部位发生应力集中,拉裂破坏面往往出现在这些部位。

1.2 间接拉伸试验

间接拉伸试验不是直接在试样两端施加

拉力,而是假设应力应变关系,用理论公式计算抗拉强度。这类试验有以下几种。

1.2.1 土梁弯曲试验^[4-6]

将条状的矩形断面土梁试样在底面两端简支,在顶面上逐级增加压力,梁的底部为拉应力,顶部为压应力,裂缝先从底部拉应力最大处开始出现,然后向上扩展,其方向与拉应力方向垂直。这种方法假设土梁的横截面在弯曲后仍保持为平面,土的应力应变为线性关系,按弹性理论计算抗拉强度。

1.2.2 径向压裂试验^[4,7]

径向压裂试验也称巴西试验,最初用于测试混凝土等脆性材料的抗拉强度,后来被用于击实土的试验。圆柱状试样沿直径方向施加相反的压力将试样劈裂为两半,假设应力应变为线性关系,计算其抗拉强度。

1.2.3 轴向压裂试验^[8]

轴向压裂试验也称为无侧限冲压试验,在圆柱状试样上下两端通过小的刚性冲压垫块施加相反的轴向荷载,将试样劈裂为两半或3-4块,根据塑性理论,由破坏时的最大荷载计算其抗拉强度。

1.2.4 气压劈裂试验^[9]

在有侧限压力或无侧限压力下对圆柱状

作者简介:余湘娟,女,副教授,从事土动力学研究,曾发表《土石坝防渗体土料的震裂试验研究》等论文。

试样的内壁增大压力,使试样发生切向拉裂破坏,假设应力应变为线性关系,计算其抗拉强度。

以上各种拉裂试验试样的示意图如图1所示。

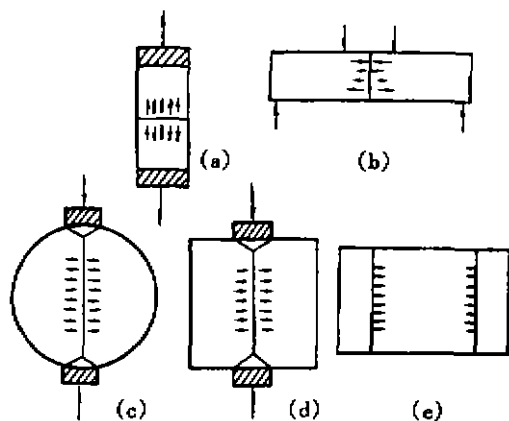


图1 各种拉裂试验方法示意图

(a)直接拉伸;(b)土梁弯曲;(c)径向压裂;
(d)轴向压裂;(e)气压劈裂

从发表的一些击实土拉裂试验成果来看,可知以下几点。

a. 土的抗拉强度在小于最优含水率时随着含水率的增大和塑性指数的增大而增大,超过最优含水率则随含水率的增大而下降^[10]。拉裂时的拉伸应变随着含水率的增大而增大^[11]。

b. 各种试验方法测得的抗拉强度各不相同,土梁弯曲法测得的最大,压裂与气压法测得的最小,直接拉伸法居中。

c. 无侧限抗压强度与抗拉强度的比值随土的塑性指数和含水率的增大而减小。对于低塑性土,含水率的影响更为显著^[8]。根据文献报导的测试数据汇总,在最优含水率或略低于最优含水率时,无侧限抗压强度与各种方法所测得的抗拉强度的比值随塑性指数的变化如图2所示。图中塑性指数是用碟式仪测定的液限计算的。

d. 拉伸试验的加荷速率对测试土的抗拉强度和拉裂应变都有很大的影响,但是发生最小抗拉强度和最小拉裂应变的加荷速率因土而异,也随含水率而变^[11]。

e. 试样达到抗拉强度和拉裂应变时退荷再重复加荷,抗拉强度和拉裂应变都将降低,表明抗拉强度削减,裂缝容易延伸^[12]。

f. Griffith 准则^[13]和修正的 Griffith 准则^[14]能解释某些土的拉裂破坏,但不是所有的土都适用。由这两种理论计算的无侧限抗压强度和抗拉强度的比值与试验实测值不一致。

上述研究所得的实测资料,对了解击实土的抗拉强度和拉伸应力应变关系都是重要的参考,可以作为土石坝抗震裂研究的借鉴。但是根据土石坝地震时受力的特点,试验时应考虑两个重要的方面:①土的抗拉强度和拉裂应变大多是在无固结压力作用下测试的,而土石坝的自重压力是主要荷载,裂缝从表层开展向下延伸,需要有不同应力状态时的抗拉强度或拉裂应变,即需建立可用于不同应力时的拉裂破坏标准,这种试验用三轴仪做拉伸试验可实现。②地震等动荷载加荷速率和加荷次数都不同于静荷载,对土的强度和变形都有影响,在实用上常把地震力简化为等幅的周期荷载作用,测试土的动力性质。对于震裂试验也应采用周期加荷的方法。但是通常的周期加荷三轴试验只能在试样轴向增减压应力,没有反向应力(拉应力)发生,而反向应力对土的强度和变形性质影响很大,对震裂试验尤其不能忽视。因此,采用能施加反向力的周期拉压力三轴试验是必要的。此外,为了通过试验得出判别拉裂的

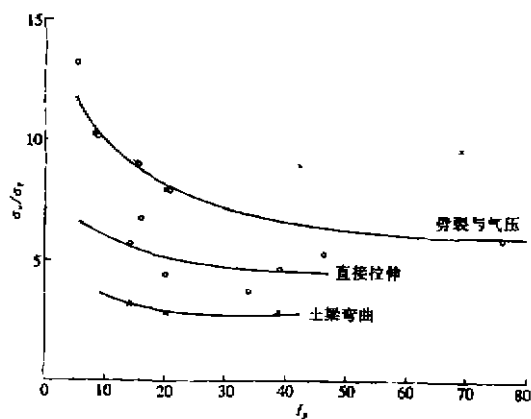


图2 无侧限抗压强度与抗拉强度的比值随塑性指数的变化

破坏标准,有必要了解拉裂破坏的过程及应力状态的影响,采用新的探测技术,监测试样受拉时的变化。

2 拉裂试验的设备

为了进行上述两个方面的研究,需要改装和制作一些仪器设备。

a. 能施加轴向拉力与压力的三轴仪。在三轴仪压力室内的试样帽上增加勾拉装置,压力室活塞杆与试样帽用球面连接,当试样不均匀变形时能适应土的变形,对试样只传递轴力而不产生弯矩。

b. 能施加轴向拉力与压力的动三轴仪。在动三轴仪压力室外的活塞杆上增加勾拉装置,对试样施加轴向静压力及周期拉压力,周期拉压力通过激震器产生。

c. 检测试样在拉压力作用时声发射信号的声发射仪。声发射检测是在试样一端埋设波导管,用与波导管相连的接收传感器检测试样因受力变形,土粒间发生摩擦、错动,引起断裂和破坏自行发射的信号。声发射信号经过处理后得到的参数反映土体状态的变化。

d. 用于拉伸试验的制样模具。为避免试样拉伸时断裂发生在分层压实制样的水平接合面上,改用接合面沿轴向分三层压实制样,为此需制作专用的模具。

3 三轴拉伸与周期拉压试验

3.1 三轴静力拉伸试验

将沿轴向分三层压实的试样用 502 胶粘在三轴剪力仪的压力室底座和试样帽之间。为了保证试验结果的可靠,试样安装时要注意两点:①试样两端和压力室底座、试样帽要粘结牢固,承受拉力时不在粘结处脱开;②活塞杆轴线、试样帽轴线、试样轴线必须重合,并垂直压力室底座且过其中心,以保证试样不受弯矩作用。安装好试样后,对试样施加某一围压进行拉伸试验,测试试样的拉伸强度。进行不同围压的拉伸试验,由此试验可得到不同围压下拉伸破坏时峰值强度与周围

压力的关系曲线以及拉伸破坏应力圆及其包络线。三轴拉伸在周围压力较小的情况下,当轴向应力达到峰值时,试样发生断裂破坏;当周围压力较大、轴向应力达到峰值时,可以观察到倾斜的剪切面慢慢形成,为脆性剪切破坏。

3.2 周期荷载作用下的拉压试验

用周期加荷的三轴拉伸试验以低于静力拉伸强度的轴向应力对试样反复拉压,可得到在不同周围压力下动力与静力拉伸强度之比值与拉压次数的关系曲线。由试验结果可知^[15],在周期荷载作用下试样的轴向拉伸强度与静力轴向拉伸强度相比可能降低 30%。由上述试验结果可整理得周期拉压破坏的应力圆及包络线。在无反向应力出现的情况下,周期拉压与静力拉伸试验的强度接近,可不考虑因动荷作用引起的强度变化,但在有拉应力情况下应考虑拉裂强度的降低。

3.3 土样拉裂的声发射检测

试样受力后发生变形以致破坏,由于内部结构变化,如土粒间相对错动、裂缝开展,引起内部积蓄的应变能释放,其中一部分以声波发射出来。不同的破坏形式有不同的声发射特征,检测和分析声发射特征可以推断内部损伤的情况。可以将声发射用于研究击实土样在受拉裂过程中的内部结构变化,观察拉裂破坏的特征。

用于反映土体状态变化的声发射信号经过声发射仪滤波器,滤掉高于和低于预定频率的声波,减少环境噪音的干扰,然后把信号放大处理,形成数字化的表示声发射信号参数。声发射参数有数种,常用的是事件计数法。事件的脉冲数可称为事件计数,单位时间的事件计数称为事件计数率。通过对试样进行无侧限压缩试验与径向压裂试验的声发射检测可知^[16],无侧限压缩试验的声发射计数率是不断出现的,累积计数逐渐增大,直至试样破坏为止;径向压裂试验是典型的拉裂破坏,声发射计数率是一次突发的,劈裂后就不再出现,声发射累积计数在劈裂前没有,

出现劈裂后就不再增大。这两种试验的检测结果说明了剪切与拉裂具有两种完全不同的声发射特征。

对击实粘土试样在不同围压时轴向拉裂试验与压缩试验进行声发射检测,从声发射特征可知,随着围压增大,拉裂破坏轴向应力从拉应力减小变为压应力增大,没有突变的内部结构变化,即可以通过不同围压下的拉裂试验与压缩试验,确定按应力或应变判别的破坏标准,不需寻求拉裂与剪切破坏的分界点。

参考文献

- 1 Haefeli R. Investigation and measurements of shear strength of saturated cohesive soils. *Geotechnique*, 1951, 2(3): 186 ~ 208
- 2 Tschebotarioff G P, Ward E R, Dephillippe A A. The tensile strength of disturbed and recompacted soils. In: *Proceedings of the Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1953. 207 ~ 210
- 3 Bishop A W, Garga V K. Drained tension test on London clay. *Geotechnique*, 1969, 19(3): 310 ~ 313
- 4 Ingles O G, Frydman S. An examination of some methods for strength measurement in soil. In: *Proceedings of the Fourth Australian-New Zealand Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1963. 213 ~ 219
- 5 Leonards G A, Narain J. Flexibility of clay and cracking of earth dams. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 1963, 89(SM2): 47 ~ 98
- 6 Ajaz A, Parry R H G. Stress-strain behaviour of two compacted clays in tension and compression. *Geotechnique*, 1975, 25(3): 495 ~ 512
- 7 Narain J, Rawat P C. Tensile strength of compacted soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 1970, 96(SM6): 2185 ~ 2190
- 8 Fang H Y, Fernandez J. Determination of tensile strength of soils by unconfined-penetration test. *Laboratory Shear Strength of Soil, ASTM STP 740*, 1981. 130 ~ 144
- 9 Al-Hussaini M. Tensile properties of compacted soils. *Laboratory Shear Strength of Soil, ASTM STP 740*, 1981. 207 ~ 225
- 10 Favaretti M. Tensile strength tests on cohesive compacted soils. *Proceedings of the 9th Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1991. 37 ~ 40
- 11 Krishnappa A V G, Eiseinstein Z, Morgenstern N R. Behavior of compacted soil in tension. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 1974, 100(GT9): 1051 ~ 1061
- 12 黄文熙. 土的工程性质. 北京: 水利电力出版社, 1983. 138 ~ 139
- 13 Griffith A A. The theory of rupture. In: *Proceedings of First International Congress on Applied Mechanics*. 1924. 55 ~ 62
- 14 McClintock F A, Walsh J B. Friction on Griffith crack in rocks under pressure. In: *Proceedings of the Fourth United States National Congress on Applied Mechanics*, 1962. 1015 ~ 1021
- 15 余湘娟等. 土石坝防渗体土料的震裂试验研究. *河海大学学报*, 1996, 24(3): 68 ~ 75
- 16 李国维. 粘性土拉裂的声发射检测. 见: *中国土木工程学会第七届土力学及地基工程学术会议论文集*. 西安: 中国建筑工业出版社, 1994. 75 ~ 79

(收稿日期: 1996-03-14 编辑: 许宇鹏)

新书简介

《Management and Development of Major Rivers》——Management and Development of Major Rivers = 世界主要河流的管理与开发/A. Shady, M. El-Moattassen 等主编. ——英国牛津大学出版社, 1996年8月, 469 P, \$ 35, ISBN 0-1956-3470-5

近10多年来,人们逐步认识到淡水资源利用率及其水质问题是与环境保护分不开的,因此水资源综合管理是必不可少的重要一环。1992年在里约热内卢召开的世界首脑会议和此后召开的有关水与环境国际会议上对这一问题都展开了讨论。本书是从1992年在开罗召开的保护和开发尼罗河及其他大河流域国际研讨会的论文中选出100篇论文编纂而成。书中论述的主要河流有: 尼罗河、密西西比河、圣劳伦斯河、布拉马普特拉河、印度河、恒河和黄河。(熊莉芸供稿)