

文章编号: 0451-0712(2006)08-0001-04

中图分类号: TU411.7

文献标识码: A

三轴压缩条件下裂隙性黄土的变形特征

卢全中, 彭建兵, 范 文, 高晓辉

(长安大学地质工程与测绘工程学院 西安市 710054)

摘 要: 通过对裂隙性黄土样的侧壁标记网格, 量测、描述了不同含水量、不同裂隙空间形态的土样在不同试验围压下经过三轴压缩后的变形及其特征, 总结了其变形规律。试验结果显示, 裂隙性黄土的整体变形分为轴向变形、弯曲变形、旋转变形和扭转变形 4 种方式, 其变形方式与土样的含水量、原裂隙的空间形态及性质、试验围压等因素密切相关, 土样的变形方式决定了土样的破坏方式。

关键词: 三轴压缩; 裂隙性黄土; 变形量测; 变形特征; 变形规律

黄土中存在大量不同规模、不同成因、不同力学性质、不同产状、不同尺度和不同时期的裂隙(缝)^[1], 其中在黄土地区分布最广泛、最发育的是地裂缝^[2], 这些地裂缝所到之处, 房屋开裂甚至倒塌、路面变形沉陷、管线破损断裂、桥涵受损、水井失效、水库渗漏、水坝溃决、地下工程结构破裂和漏水, 严重影响工程的正常使用和运行。由于地裂缝都呈线状延伸, 有些工程不可避免要穿过地裂缝带, 由此也就带来了相应的危害或灾害, 如西安~铜川高速公路穿越三原双槐地裂缝的地段, 每到降水集中年份, 都会引起路面的变形甚至开裂, 严重影响公路的正常运行。规划中的西安市地铁 2 号线通过 11 条地裂缝, 解决地裂缝带的结构和防水措施成为西安市地铁设计的关键问题之一。位于裂缝带中的黄土, 属于裂隙性黄土, 认识其变形特征, 掌握其变形规律, 有助于黄土地区裂缝带的路基或地基的正确处理, 也有助于位于裂缝带的工程结构和防水措施的优化设计。

1 试样的制备与试验方法

1.1 试样的采集与制备

本次试验土样采用三原双槐地裂缝不同裂缝带和不同深度的裂隙性黄土, 以及三原楼底离石黄土(Q_2)中的构造节理裂隙性黄土, 共计土样 46 件。其中, 取自双槐地裂缝探槽 TC10 和 TC11 中的土样分别为 7 件和 12 件, 这些裂隙性黄土的性质较接近, 都处于同一沉陷带中, 土样埋深 2.2~3.3 m, 含水量

相对较大, 裂缝宽 3~8 mm, 裂隙面粗糙不平, 充填物为浅黄色粉质粘土, 可塑、松软, 属于近 1、2 年内活动时的充填物, 局部未充填, 裂隙壁含有一层厚 1 mm 左右的泥膜, 裂缝由于近期活动使其充填物较新。双槐地裂缝平洞 PD2 中的土样 14 件, 埋深 9.5~10.0 m, 含水量较小, 裂缝宽 4~9 mm, 裂隙面粗糙不平, 充填物为灰黄色粉质粘土, 含水量较少, 硬塑, 稍有胶结, 近 50 年内未活动, 形成时间相对较早, 裂缝多期活动性明显, 充填物较老。三原楼底 Q_2 中的构造节理裂隙性黄土样(编号为 LD)13 件, 取样深度为 12.6~13.4 m, 裂隙面平直光滑, 局部擦脊明显, 含有一层黑色有机质薄膜, 裂隙宽度一般为 2~10 mm, 裂隙充填物为浅黄色粉质粘土, 可塑—硬塑。

由于裂隙宽度及土样尺寸对黄土的性质影响较大, 当试样的直径或高度大于 4 倍裂缝间距时, 试样尺寸对其强度的影响才基本消失^[3], 故本次三轴试验采用较大的试样尺寸($\phi 61.8 \times 125$ mm)。为揭示试样中原裂隙的不同角度及其位置对土样变形及强度的影响, 在试样制备过程中将土样削成原裂隙与土样轴线夹角呈 0°、15°、30°、35°、40°、45°、50°、60°、75°和 90°的圆形土柱, 并使原裂隙处在土样的不同高度。文中的土样原裂隙角度均指裂隙与土样轴线的夹角, 此后不再说明。

1.2 土样的试验方法及变形量测方法

试验设备采用 TSZ30-2.0 型应变控制式三轴

仪,进行不固结不排水常规三轴压缩试验,在不同围压下量测不同含水量的裂隙性黄土试样的力学性质及裂隙的空间效应。

土样制备好后,在试样的侧面用记号笔画出正交的网格剖分线:竖直线共 8 条,沿圆柱面等间距排列,相邻 2 条竖线的圆心角为 45°;水平环线间距为 20 mm,同时标记出裂缝的位置。将土样侧面的网格

线和裂缝的位置以平面形式展示在厘米纸上,即画出土样及其裂缝的侧面展示图。待试验结束后,将压缩变形后的土样侧面网格线、原裂隙及新产生的破裂面绘制成侧面展示图(图1),这样就可以量测出土样侧面网格结点的变形和位移情况,其变形特征一目了然,能清楚地反映出新破裂面与原裂隙及土样的变形方向之间的关系。

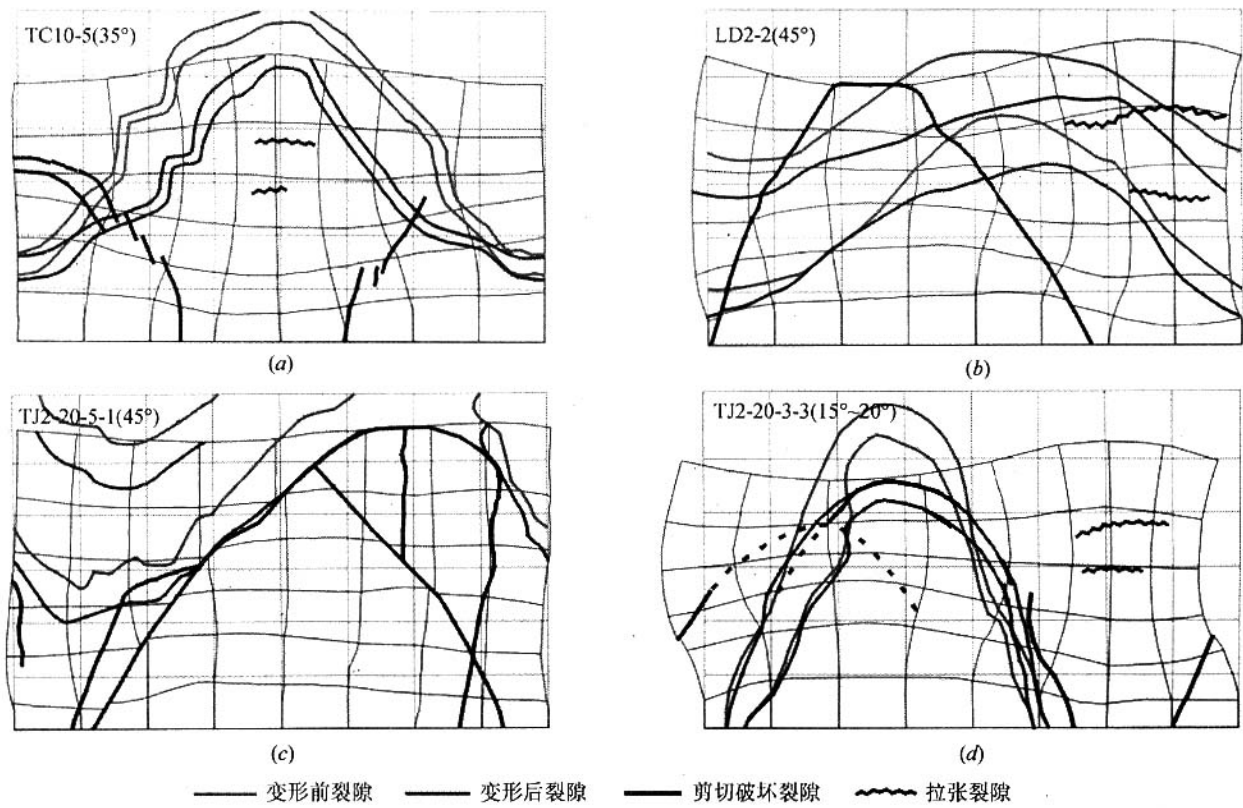


图 1 裂隙性黄土试样的侧面变形展示

2 裂隙性黄土的基本物理性质

常规物理性质指标,它们的范围值及平均值分别列于表 1。

试验之前测试了裂隙性黄土样及裂缝充填物的

表 1 裂隙性黄土样的基本物理性质

取样地点	含水量 $w/\%$		容重 $\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$		液限 $w_L/\%$		塑限 $w_P/\%$	
	范围值	平均值	范围值	平均值	范围值	平均值	范围值	平均值
TC10	16.6~20.5	18.8	15.4~17.4	16.5	23.2~28.6	25.8	14.5~18.8	16.5
TC11	17.2~21.0	19.5	15.0~18.2	16.9	22.6~24.4	23.5	13.7~17.9	15.4
PD2	9.1~13.7	11.0	15.0~16.5	15.8	24.6~28.7	27.2	17.6~21.6	19.6
LD	13.1~16.7	14.8	16.6~18.2	17.4	23.5~25.4	24.9	17.0~19.0	18.0
TC10 裂缝充填物		19.6				22.8		15.0
TC11 裂缝充填物		22.9				25.5		14.7
PD2 裂缝充填物		11.8				26.3		17.9
LD 裂缝充填物		11.5				22.2		16.8

3 裂隙性黄土的变形特征

三轴压缩条件下裂隙性黄土的整体变形可分为轴向变形、弯曲变形、旋转变形和扭转变形4种方式,各种变形方式的特征如下。

3.1 轴向变形

土样的变形主要表现为轴向变形,没有切向位移或其值很小;径向位移随土样具体情况变化,土样发生脆性破坏时径向位移小,土样塑性较强时则径向位移大,且除了裂缝带及其附近位置外,土样侧面的径向位移一般呈轴对称形。轴向变形特点是:土样变形初期呈轴对称形状,随着塑性变形的开始和增大,土样侧向鼓出,在原裂隙带及其附近可能鼓出明显,最后一直发展到土样发生剪切破坏。

3.2 弯曲变形

土样在发生轴向变形的同时,还存在明显的弯曲变形,其特点是过土样中轴线且与土样弯曲方向平行的直立面上的所有点只有径向位移,切向位移量为0或很小,而其他点均存在径向位移和切向位移。弯曲变形有4种情况:土样的弯曲方向(即土样顶面的倾向)与原裂隙倾向一致(图1(a));弯曲方向与原裂隙倾向刚好相反;弯曲方向与原裂隙倾向斜交,且交角大多数在 45° 左右;弯曲方向与原裂隙倾向正交或接近 90° (图1(b))。弯曲变形明显的土样,一般在外凸一侧出现横向拉张裂隙。另外,按土样的弯曲形态可分为3种类型:侧向弯曲(土样的中轴线向一侧弯曲,且从下至上的侧向位移逐渐增大);弧形弯曲(土样的中轴线向一侧弯曲,且从下至上的侧向位移逐渐增大后又逐渐减小);“S”形弯曲(土样的中轴线呈“S”形或反“S”形)。

3.3 旋转变形

土样的变形先表现为弯曲方向与原裂隙倾向正交或接近正交,随着变形的发展,在原裂隙走向的两边侧面的变形幅度不一,在某一中性点的上部和下部的变形方向相反,出现类似于沿原裂隙的旋转变形(图1(c))。

3.4 扭转变形

扭转变形时一般是土样前期发生弯曲变形,随着变形的加大而出现剪切变形时,先期的潜在剪切面由上而下发展并可能与土样底座相交,但由于土样底座的刚度较大,其剪切变形受阻而逐渐向底座以外方向偏移,从而形成后期破坏面。先期的潜在剪切面可以是向一侧发生偏移,也可以是整体迁移。

本次试验共有2件土样发生扭转变形,其前期

弯曲变形对应应有2种不同方式:一种是弯曲方向与原裂隙倾向接近一致,土样编号为TC10-9(45°),施加的围压 $\sigma_3=200$ kPa;另一种是弯曲方向与原裂隙倾向相反(图1(d)),土样为TJ2-20-3-3($15^\circ\sim 20^\circ$), $\sigma_3=200$ kPa。此时的土样内凹中心段弧形长度较其他土样要大些。

4 裂隙性黄土的变形规律

(1)含水量相对较小的裂隙性黄土样易发生剪切破坏。一些轴向变形很大时仍未发生破坏的土样,其含水量都较大。

(2)以轴向变形为主,且发生剪切破坏的裂隙性土样,都是含水量相对较小、裂隙形成较早的土样。

裂隙性黄土样的轴向变形量有较大差别,可分为轴向变形量较小(≤ 5 mm)和轴向变形量较大(≥ 13 mm)2种类型。轴向变形量较小的土样呈脆性破坏,共有2件,分别为LD1-6和TJ2-20-6-1,2件土样中的裂隙与其轴向夹角均是 30° ,试验时的围压为100 kPa,剪切破坏面与原裂隙完全重合或沿原裂隙边界发展。因此,含水量相对较小、原裂隙的角度与破坏面的角度接近(即有利于土样破坏的角度)、试验的围压较小时,裂隙性黄土样就会在轴向变形量较小时发生脆性破坏。轴向变形量较大的土样,当存在有利于土样破坏的角度时,试验围压较大;含水量较大时,受裂隙角度和试验围压的影响不明显,其塑性变形较大;含水量较小时,裂隙角度和试验围压共同作用才能促使土样主要发生轴向变形,存在有利于土样破坏的裂隙角度时试验围压要大些,不利于土样破坏的裂隙角度则试验围压可小些。

(3)不同湿度、不同原裂隙角度和不同试验围压下都可以发生弯曲方向与原裂隙倾向斜交(在此简称为斜交弯曲变形)或正交的变形(正交弯曲变形)。发生正交弯曲变形的土样有10件,原裂隙角度主要介于 $20^\circ\sim 45^\circ$ 之间,此时有利于破坏的角度土样的含水量和试验围压都较大。斜交弯曲变形的土样有4件,原裂隙的角度一般 $<20^\circ$ 或 $\geq 45^\circ$ 。

(4)土样的弯曲变形方向与原裂隙的倾向相反时,原裂隙的角度都在 $30^\circ\sim 50^\circ$ 范围内,裂隙的位置一般位于土样的上部或中上部。

(5)土样的弯曲变形方向与原裂隙的倾向相同时,对于含水量较大的土样,不受原裂隙的角度和试验围压的影响。含水量较小时,原裂隙的角度一般为

不利于破坏的较稳定角度,如发生该种变形的 LD 土样的裂隙角度 $\geq 60^\circ$, TJ2 土样中的裂隙角度都为 15° 。该种变形情况下的土样含大角度裂隙时,裂隙位置一般位于土样的中部或下部。

(6)发生扭转变形时,土样中的原裂隙角度一般 $\leq 45^\circ$,含水量都较大或试验围压较小。

(7)裂隙性黄土的变形方式与土样的含水量、原裂隙的空间形态(角度、位置等)及性质、试验围压等因素密切相关,裂隙性黄土的变形方式决定了土样的破坏方式。

5 结语

(1)通过在试样的侧面画出网格剖分线,描出压缩前后土样侧面网格线、原裂隙和新破裂面的侧面展示图,可以量测出土样侧面网格结点的变形和位移情况,能清楚地反映出其变形和破坏特征。

(2)三轴压缩条件下裂隙性黄土的变形可分为轴向变形、弯曲变形、旋转变形和扭转变形 4 种方式。

(3)裂隙性黄土的弯曲变形有 4 种情况:土样的弯曲方向与原裂隙倾向一致;弯曲方向与原裂隙倾

向刚好相反;弯曲方向与原裂隙倾向斜交;弯曲方向与原裂隙倾向正交或接近 90° 。土样的弯曲形态可分为侧向弯曲、弧形弯曲和“S”形弯曲 3 种类型。

(4)裂隙性黄土的变形方式与土样的含水量、原裂隙的空间形态(角度、位置等)及性质、试验围压等因素密切相关,裂隙性黄土的变形方式决定了土样的破坏方式。

以上结论是基于本次有限的裂隙性黄土样常规三轴压缩试验结果的认识,其变形规律还有待于进一步对大量的不同含水量、不同的裂隙空间形态的裂隙性土样在不同试验围压作用下的试验结果的总结和论证。

参考文献:

- [1] 卢全中,等. 黄土高原地区黄土裂隙发育特征及其规律研究[J]. 水土保持学报,2005,19(5).
- [2] 王景明,等. 地裂缝及其灾害的理论与应用[M]. 陕西科学技术出版社,2000.
- [3] 沈珠江,陈铁林. 岩土破损力学-结构类型与荷载分担[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(13).

Deformation Characteristics of Fissured Loess in Triaxial Compression Tests

LU Quan-zhong, PENG Jian-bing, FAN Wen, GAO Xiao-hui

(Geology Engineering and Surveying Department, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: After triaxial compression to fissured loess samples with different moisture content and different angle and position of fissure in samples under different confining pressures, deformations are measured by means of mesh lines marked in side face of fissured loess samples. The deformation characteristics are described and deformation rules are generalized. Results of tests show that there are 4 types of deformation which are axial deformation, bending deformation, rotation deformation and torsion deformation. Deformation types are related to such actors as moisture content, angle and position of fissure in samples and confining pressures of tests. And the deformation types have direct influence on failure modes of fissured loess.

Key words: triaxial compression; fissured loess; deformation measuring; deformation characteristics; deformation rule