

# 西安某地裂缝两侧黄土物理力学性质试验

胡志平, 赵振荣, 朱启东, 马玉平

(长安大学 建筑工程学院, 陕西 西安 710061)

**摘要:** 概述了西安地裂缝的成因、分布规律和活动速率等特征, 然后对某条地裂缝特定地段附近的  $Q_3$  黄土及其下面第一层古土壤进行了原状土样的常规土工试验和重塑土样的三轴流变试验。常规土工试验表明, 以地裂缝为中心, 越靠近地裂缝土样的天然密度、含水量、液塑限越大, 孔隙比、内聚力和内摩擦角越小, 均以地裂缝为中心近乎呈对称分布。重塑土样的三轴流变试验表明, 地裂缝带内土的三轴流变特性较地裂缝附近黄土的流变特性明显的多。这从另一角度证明了地裂缝为一宏观不连续软弱结构面, 为从力学角度研究地裂缝对工程结构的影响分析研究提供参考。

**关键词:** 地裂缝; 试验研究; 黄土; 物理力学性质

**中图分类号:** P642.13<sup>+</sup>1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2009)01-0085-04

## Experimental Study on Physical Mechanic Property of Loess Near Ground Fissur in Xi'an

HU Zhi-ping, ZHAO Zhen-rong, ZHU Qi-dong, MA Yu-ping

(School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China)

**Abstract** The origin and distribution character and activity rate of ground fissure in Xi'an is represented. Furthermore, the natural soil sample of  $Q_3$  loess and its first buried fossil soil near and within a ground fissure are sampled. The routine soil mechanics test of natural soil sample and the triaxial rheological test of remoulded soil sample are accomplished. The indoor test result shows that the natural density, moisture content, liquid limit and plastic limit become higher near the ground fissure, but the porosity ratio, cohesive force, internal friction angle become lower near the ground fissure, which all is nearly symmetric to the ground fissure. The triaxial rheological test of remoulded soil sample shows that the rheological character of the ground fissure soil is more explicit than that of the loess near the ground fissure. The experimental study shows that the physical and mechanical properties of soil near and within ground fissure are very different. Therefore, the ground fissure is a discontinuous weak structural plane in the soil. The laboratory test has valuable reference to the influence analysis study of ground fissure on the engineering structure from the viewpoint of mechanics.

**Key words:** ground fissure; experimental study; loess; physical mechanic property

## 0 引言

地裂缝是一种比较特殊的地质灾害, 对城市道路、桥梁、建筑结构、供水排水管道、天然气管道等造成的损坏<sup>[1-5]</sup>是很严重的(西安城区尤为突出), 因此受到广泛关注。

许多专家通过地质调查、监测、地质力学模

型、多种探测手段等方法, 对西安地裂缝的成因<sup>[1-7]</sup>、特征<sup>[8-9]</sup>、演化规律<sup>[10]</sup>、发展趋势<sup>[11-13]</sup>等进行了比较深入地研究, 并且获得了许多重要的研究成果。虽然对地裂缝的认识比较深入, 但是, 对地裂缝的研究大多数还是从定性、地质调查分析研究的角度开展的, 较少从力学角度就地裂缝对工程结构的影响机理进行定量研究。不管是采用

收稿日期: 2008-04-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(40602033)

作者简介: 胡志平<sup>[1-5]</sup>, 男, 湖南益阳人, 副教授, 工学博士, 从事地下结构设计理论与岩土工程研究。E-mail: huzhiping@chd.edu.cn

© 1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

物理模型实验还是数值模拟实验对此问题进行研究,地裂缝(带)中土体相对于两侧土体的各种力学性质差异都是实验所需的准备工作,笔者就是在这样的背景下进行了初步探索,并获得了一些具有参考价值的成果。

## 1 西安地裂缝特征

### 1.1 西安地裂缝分布特征

通过对西安市已有地裂缝实地调查和已有资料<sup>[3,8]</sup>的研究,西安市已发育 13 条地裂缝,分布面积约 155 km<sup>2</sup>,地裂缝在平面上具有明显的方向性、成带性、似等间距性、位错同步性和多级性以及剖面上结构组合形式多样性等展布规律。

### 1.2 地裂缝成因

据已有资料和大量监测资料<sup>[1-5]</sup>,西安地裂缝的成因还未取得完全统一认识。目前,以隐伏断裂构造的发育为基础、过量开采地下水为诱因的成因观点占主要地位。

### 1.3 地裂缝活动速率

根据 1960 年以来各条地裂缝年平均垂直活动速率的监测资料<sup>[11,13]</sup>,西安市地裂缝具有较明显的活动速率不均匀性、活动方式一致性和位错同步性等特性。

现有监测资料表明,地裂缝活动速率在时空上

分布不均,西安市东南郊一带活动速率高,一般为 5~30 mm/a,西北郊相对较弱,为 1~10 mm/a。近几年来,有些地裂缝(如 F<sub>7</sub>、F<sub>8</sub>)的西南段活动性明显增强,并向西南继续扩展。1996 年西安市大批量地关闭水井以后,地裂缝的活动速率明显减缓。地裂缝带基本具有统一的三维空间运动变形特征,即南倾南降的垂直位移、水平张引和水平扭动。其中以垂直位移量为最大,南北拉张量次之,而水平错动量则很小。根据西影路地裂缝监测结果,地裂缝确实具有明显地垂直位移、水平张引和水平扭动的三维运动特征。

## 2 地裂缝两侧黄土的常规土工试验

为了研究地裂缝附近黄土的物理力学性质差异,在 F<sub>7</sub> 地裂缝东段(铁炉庙附近)南北两侧对称取原状样进行常规土工试验,结果显示,以地裂缝为中心,土样天然密度、含水量、液塑限均是越接近地裂缝数值越大,近乎呈对称分布;天然孔隙比、内聚力和内摩擦角越接近裂缝数值越小,以地裂缝为中心近乎呈对称分布(表 1),各物理力学指标与距地裂缝的关系分别见图 1~7。

两种土相比,对于相同位置的内聚力、内摩擦角、塑限,古土壤比 Q<sub>3</sub> 黄土要大;但对于含水率, Q<sub>3</sub> 黄土较大。

表 1 地裂缝两侧土的常规土工试验结果

Tab. 1 Routine Laboratory Test of Soil Adjacent Ground Fissure

土样编号	名称	深度/m	天然密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	含水率/%	塑限/%	液限/%	孔隙比	内聚力/kPa	内摩擦角/(°)
TC-S-1	Q <sub>3</sub> 黄土	4.20	1.53	20.82	18.10	29.41	1.16	25.00	30.54
TC-S-2	Q <sub>3</sub> 黄土	4.20	1.57	21.01	17.20	29.39	1.09	18.75	30.33
TC-S-3	Q <sub>3</sub> 黄土	4.20	1.63	22.50	17.90	30.60	1.01	25.00	29.11
TC-M-1	地裂缝土	7.50	1.81	22.91	18.90	30.81	0.84	6.25	28.10
TC-N-3	Q <sub>3</sub> 黄土	4.20	1.84	21.80	17.40	30.01	0.88	28.13	28.94
TC-N-2	Q <sub>3</sub> 黄土	4.20	1.59	20.51	16.60	29.02	1.06	31.25	30.22
TC-N-1	Q <sub>3</sub> 黄土	4.20	1.61	20.90	17.10	30.90	1.04	40.63	29.56
TC-S-1'	古土壤	9.30	1.51	18.40	19.80	29.21	1.11	40.63	32.19
TC-S-2'	古土壤	9.30	1.51	17.30	19.00	29.00	1.11	36.38	30.63
TC-S-3'	古土壤	9.30	1.77	19.22	21.40	29.42	0.86	40.63	32.31
TC-M-1'	地裂缝土	9.30	1.78	21.80	22.50	31.20	0.82	18.75	27.92
TC-N-3'	古土壤	9.30	1.58	20.51	19.20	30.01	0.97	37.50	29.11
TC-N-2'	古土壤	9.30	1.69	19.40	15.80	29.12	1.05	33.04	29.02
TC-N-1'	古土壤	9.30	1.72	17.81	19.00	29.40	1.04	35.01	32.62

注:地裂缝南侧编号为 TC-S-1、TC-S-2、TC-S-3 和地裂缝北侧编号为 TC-N-1、TC-N-2、TC-N-3 的黄土层土样分别离地裂缝的水平距离为 3.2、1 m;地裂缝南侧编号为 TC-S-1'、TC-S-2'、TC-S-3' 和地裂缝北侧编号为 TC-N-1'、TC-N-2'、TC-N-3' 的古土壤层土样分别离地裂缝的水平距离为 3.2、1 m。

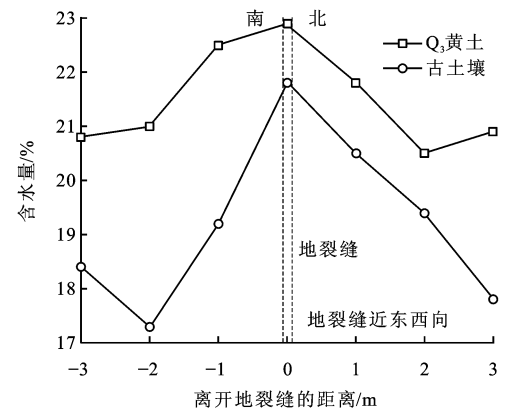


图 1 含水量与离开地裂缝距离的关系  
Fig. 1 Relationship Between Moisture Content and Departure from Ground Fissure

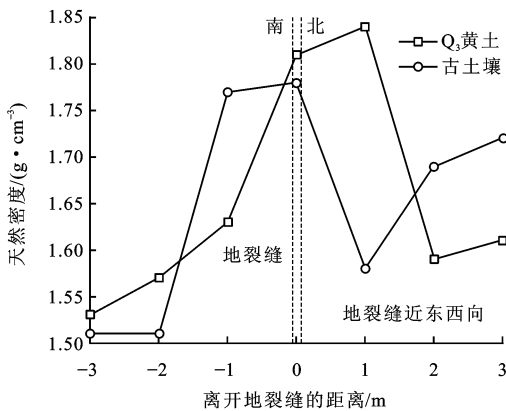


图 2 天然密度与离开裂缝距离的关系  
Fig. 2 Relationship Between Natural Density and Departure from Ground Fissure

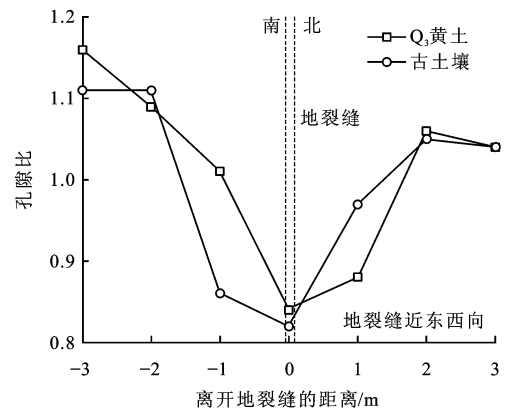


图 3 孔隙比与离开地裂缝距离的关系  
Fig. 3 Relationship Between Porosity Ratio and Departure from Ground Fissure

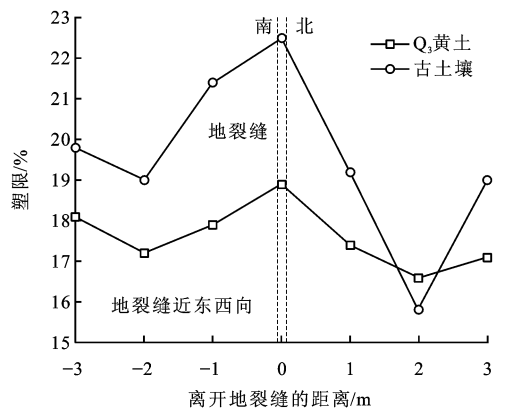


图 4 塑限与离开地裂缝距离的关系  
Fig. 4 Relationship Between Plastic Limit Content and Departure from Ground Fissure

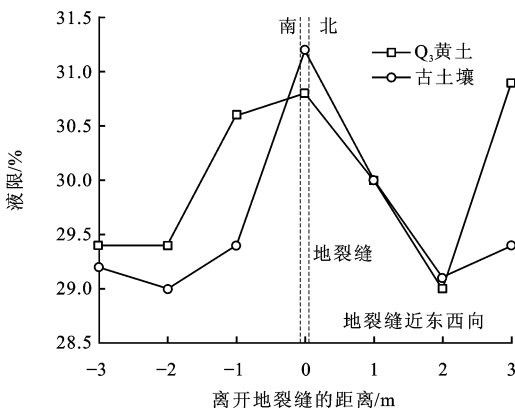


图 5 液限与离开地裂缝距离的关系  
Fig. 5 Relationship Between Liquid Limit Content and Departure from Ground Fissure

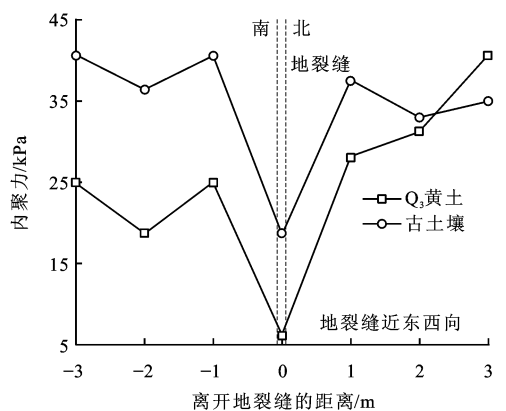


图 6 内聚力与离开地裂缝距离的关系  
Fig. 6 Relationship Between Cohesive Force and Departure from Ground Fissure

### 3 地裂缝两侧黄土的三轴流变试验

由于 F<sub>7</sub> 地裂缝东段(铁炉庙附近)南北两侧对称取回的原状样无法削取型号为 CSS-2901TS 型土

体三轴流变试验机所需流变试样, 试验时, 取出试样研成粉末状过筛后在重塑盒中重塑(重塑过程时把粉状土按 3 次装满盒子, 每次为盒子的三分之一, 且每层用落锤撞击 25 击), 然后从盒中取出圆柱状重

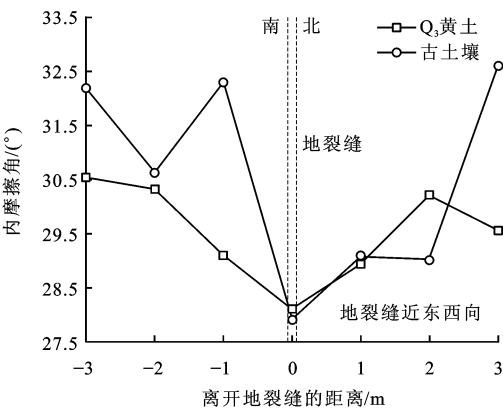


图 7 内摩擦角与离开地裂缝距离的关系

Fig. 7 Relationship Between Internal Friction Angle and Departure from Ground Fissure

塑样, 削成尺寸  $\Phi$  为 39.1 mm、 $h$  为 80 mm 的圆柱体标准土样(含水量为重塑样的实测含水量)。

埋深均为 9.30 m 处(古土壤)地裂缝南侧, 地裂缝处的两个重塑试样(TC-S-1'、TC-M-1')的含水量分别为 16.2%、24%, 其围压均为 150 kPa 下的三轴流变曲线见图 8、9。

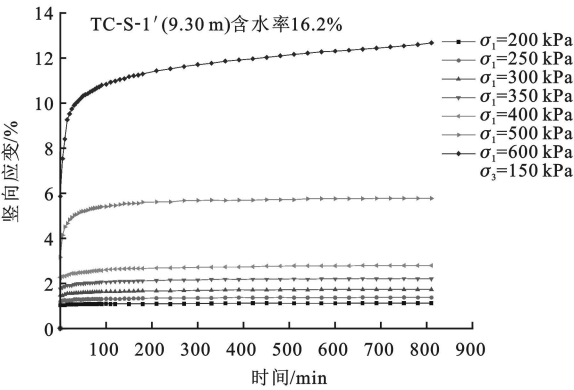


图 8 重塑古土壤的三轴流变试验曲线

Fig. 8 Triaxial Rheological Curve of Remoulded Fossil Soil

从试验曲线可以看出, 地裂缝带内土的流变特性要明显得多, 这从一个侧面说明了地裂缝带内土的性质不同于地裂缝附近的土。从工程角度来看, 地裂缝成为一个软弱结构面。

4 结语

概述了西安地裂缝的成因、基本特征、活动规律等, 对地裂缝特定地段的 Q3 黄土和其下第一层古土壤取原状样进行了常规土工试验、重塑土的三轴流变试验, 可得出以下几点认识:

(1) 以地裂缝为中心, 越接近地裂缝, 土样的天

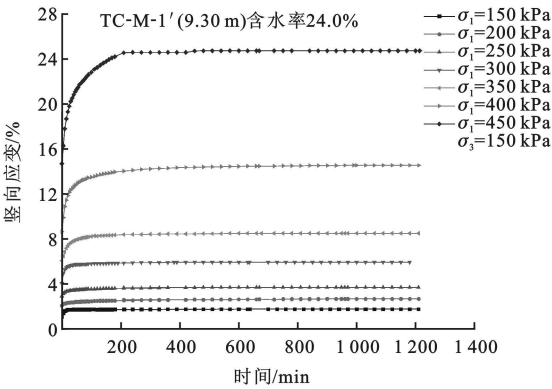


图 9 重塑地裂缝带内土的三轴流变试验曲线

Fig. 9 Triaxial Rheological Curve of Remoulded Soil Buried Ground Fissure

然密度、含水量、液塑限越大, 近乎呈对称分布; 孔隙比、内聚力和内摩擦角越接近地裂缝数值越小, 以地裂缝为中心近乎呈对称分布。

(2) 距地裂缝相同距离处古土壤的内聚力、内摩擦角和塑限指标比 Q3 黄土者大; 但对于含水率来说, Q3 黄土者较大。

(3) 地裂缝带内土的三轴流变特性较地裂缝附近黄土的流变特性明显得多。

参考文献:

[ 1 ] 李永善. 西安地裂缝及渭河盆地活断层研究[ M ]. 北京: 地震出版社, 1992.

[ 2 ] 彭建兵, 张 骏, 苏生瑞, 等. 渭河盆地活动断裂与地质灾害[ M ]. 西安: 西北大学出版社, 1992.

[ 3 ] 张家明. 西安地裂缝研究[ M ]. 西安: 西北大学出版社, 1990.

[ 4 ] 王景明. 地裂缝及其灾害的理论与应用[ M ]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2000.

[ 5 ] 李 东, 李永和, 李智文, 等. 西安某公路立交桥混凝土桥台裂缝事故分析[ J ]. 建筑结构, 2002, 32(3): 31-34.

[ 6 ] 易学发, 苏 刚, 王卫东, 等. 西安地裂缝带的基本特征与形成机制[ J ]. 地震地质, 1997, 19(4): 289-295.

[ 7 ] 李新生, 闫文中, 李同录, 等. 西安地裂缝活动趋势分析[ J ]. 工程地质学报, 2001, 9(1): 39-43.

[ 8 ] 米丰收, 张芝霞. 西安地裂缝灾害及其防治措施[ J ]. 水土保持研究, 2001, 8(1): 155-159.

[ 9 ] 高金川, 刘 娟. 西安地裂缝活动多因素影响的 GM(1, N) 数学模型[ J ]. 地壳形变与地震, 1999, 19(1): 56-64.

[ 10 ] 易学发, 苏 刚, 王卫东, 等. 用数值模拟研究西安地裂缝[ J ]. 水文地质工程地质, 1999, 26(5): 33-36.

[ 11 ] 徐光黎, 张家明, 佟永贺, 等. 西安市地裂缝的时空预测预报[ J ]. 西北地震学报, 1992, 14(4): 75-81.

[ 12 ] 冯希杰. 西安地裂缝活动成灾评估[ J ]. 西安地质学院学报, 1990, 12(4): 44-48.

[ 13 ] 孙建中, 张景昭, 彭建兵, 等. 关中活断层和地裂缝的年代学研究[ J ]. 地质力学学报, 1998, 4(4): 88-97.