西北地震学报 NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL

Vol. 27 No. 2 June, 2005

永登震后黄土微结构特征研究

刘红玫1,2,张振中2

(1. 中国地震局地震预测研究所兰州基地,甘肃 兰州 730000;

2. 中国地震局兰州地震研究所,甘肃 兰州 730000)

摘 要:对1995年甘肃永登5.8级地震后的土样进行了电子显微镜扫描及孔隙量化处理,从黄土的 微结构角度对黄土震陷现象进行了研究,分析了微结构特征对黄土震陷性的影响,以此阐明震害形成的机理。

文献标识码:A 文章编号:1000-0844(2005)02-0174-04

Study on Microstructure Characteristics of Yongdeng Loess

LIU Hong-mei^{1,2}, ZHANG Zheng-zhong²

Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China;
 Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Through quantitative pore processing based on the SEM image of soil samples secured from the site under the effect of Yongdeng M5.8 earthquake in 1995, the seismic subsidence of loess is explained from the viewpoint of soil microstructure. And the effect of loess microstructure on the seismic subsidence of loess is discussed.

Key words: Loess; Seismic subsidence; SEM image; Soil microstructure

0 引言

黄土震陷是黄土动力学研究的主要对象之一。 由于震害实例偏少,不能取得大量的实际资料。 1995年7月22日甘肃永登发生5.8级地震,地震 区位于陇西黄土高原西缘,属黄土梁、峁丘陵区。广 泛分布有最厚约40m的晚更新世马兰黄土(Q₃)和 中更新世离石黄土(Q₂),下伏基岩为第三系和白垩 系砂岩。震区黄土梁普遍产生张性裂缝或粉碎性破 坏的酥裂现象,梁顶两侧裂缝向中间倾斜并呈梯阶 状下错,显示不均匀沉降的特征。中间部位则是粉 碎性破坏,其沉降量在30~40 cm,测得最大处为52 cm,我们认为此现象为黄土震陷所引起。学者们各 自从不同的角度对震害现象进行了研究,笔者仅从 黄土徽结构的角度对由于震陷进行研究,从而揭示 黄土震陷产生的机理。

我们以前在试验中也曾尝试能够比较黄土结构

在震陷前后的变化,但由于试验后样品出现了粉碎 性的破坏,因而没有能够得到合适的样品对其进行 研究。但这次我们采集到了部分被破坏的样品,这 对我们分析黄土微观结构对其震陷性的影响起到了 很大的作用。

1 震区黄土微结构特征

1995 年永登地震后,我们分别在位于震中区马 家山城村北、疙瘩沟村北梁上以及杨家台村进行采 样,采样地点均位于 TTE 度区内(见图 1)。所采集的 黄土样品属晚更新世马兰黄土(Q₃),是典型的干旱 和半干旱条件下风成的欠压密土。对其进行的土工 物理力学试验和压缩试验表明,是以粉粒为主(粉粒 含量>63.8%),密度较低(干密度<1.25 g/cm³), 含水量较小,具有大孔隙特征的黄土。对所采集的

收稿日期;2004-07-12

基金项目:国家自然科学基金(50379049):兰州地震研究所论文编号:LC20040047

作者简介:刘红玫(1971一),女,甘肃敦煌人,工程师,主要从事岩土、地震工程研究.

第2期

样品进行了扫描电子显微镜的观察分析,得到永登 震区黄土微结构的特征。



图 1 永登地震烈度图^① Fig. 1 The isoseismals of Yongdeng earthquake.

土结构为结构单元体的特征与其相互组合关系 的总和,土的结构对土的影响是相当复杂的问题,应 将各个要素综合起来考虑其整体对土的作用。下面 从骨架颗粒、颗粒之间的接触连接关系、排列方式与 孔隙特征方面对其进行描述。

前人曾对兰州地区马兰黄土进行过天然状态下 微观结构的研究^[5,7,8],笔者也在对黄土液化的研究 过程中对该地区马兰黄土进行过扫描电子显微镜的 分析研究^[10],结果均表明兰州地区风成的马兰黄土 具有以点接触形式的架空孔隙结构,部分含有极少 量的胶结物。图2显示震区黄土土质疏松,黄土颗 粒以单粒为主,未发现集粒存在,亦无凝块,颗粒清 晰可辨,之间几乎没有胶结物。颗粒之间的接触形 式以点一点接触形式为主,有少量的点一边和边一 边及点一面的接触形式存在,但未看到面一面的接 触关系。从图2当中可以看出,其具有典型的架空 孔隙特征,最大孔隙的最大孔径(直径)可达 202 μm。

由于其接触面小,且颗粒之间无胶结,在连接点 处平均应力大,在地震作用下连接点处是极易被破 坏的。

在图 3 中,虽然黄土颗粒依然为单粒、无胶结, 但其接触关系和孔隙特征已经发生了较明显的变 化:颗粒之间的接触排列形式由原来的点一点为主 的形式转化为以面一面的接触形式为主,土中孔隙 也由架空孔隙转为具有狭长形态的粒间微裂隙。



图2 永登黄土中的架空孔隙





由于震区黄土中多为架空孔隙,而这类孔隙是 土体中最不稳定的孔隙,也正是造成黄土震陷的直 接原因。在一定动强度的作用下,其架空孔隙点接 触的骨架被破坏,由于土中架空孔隙远远大于组成 骨架的这些单粒,破坏后的骨架颗粒落入孔中,形成 一新的排列组合形式,即落入孔中的颗粒变为相对 较稳定的面接触方式,从而形成了架空孔隙向粒间 孔隙的转化过程。

再来看图 4。照片中同时存在大的未被地震作 用破坏的粗颗粒和被地震作用破坏的颗粒的碎屑。 尤其在图 4(a)中,几乎已经看不到以支架结构形式 存在的架空孔隙结构,而以粒间孔隙为主。通过观 察分析认为该图反映的是已被破坏的结构,颗粒与 颗粒之间的接触形式多为面接触,孔隙微结构多为 镶嵌结构形式。图 4(b)中,同时存在着架空孔隙结

① 中国地震局兰州地震研究所.永登地震考察报告, 1995.

构和粒间孔隙结构,但在数量上已经与图 2 和图 3 有着明显的不同(后面附有相关的测量结果)。未被 破坏的地方颗粒间相互接触的方式还有粒点接触形 式,被地震作用破坏的地方,接触方式转为面接触形 式,有部分是楔入状结构。孔隙也变为以粒间孔隙 为主。

2 孔隙微结构测量结果分析

我们对位于WI度区内的三个地点的样品共进行 了 40 多张照片的分析,下面挑选较典型的一些照片



进行了孔隙面积的测量,结果见表 1。表中中孔指 0.008 mm<孔隙直径<0.032 mm,大孔隙指孔隙 直径>0.032 mm 的孔隙,用各类孔隙面积所占总 面积或视野面积(亦即不同放大倍数的每张照片所 表示的黄土面积)的百分比来表示。

我们在采样过程中发现杨家台的样品非常疏松,在电镜观察时发现其微结构是部分已被破坏的结构,表1中的 Y4-7、Y4-1 均为采自杨家台的样品。



图 4 含有部分被震碎结构的永登黄土

Fig. 4 Images showing partially structure damage during seismic subsidence in Yongdeng loess.

照片编号	孔隙总面积	大孔面积	大中孔面积	视野总面积	总孔视	大孔视	大中孔	大孔/	备注
	$/\mu m^2$	$/\mu m^2$	$/\mu m^2$	$/\mu m^2$	野/%	野/%	/视野%	总孔/%	
Y 2-5	40 184.32	37 004.21	39 864.76	91 870.87	43.74	40.28	43.39	92.09	架空孔隙
Y2-7	22 781.75	15 470.93	20 948.82	91 861.90	24.8	16.84	22.80	67.91	架空孔隙
Y2-9	28 032.44	21 281.35	26 564	103 364.45	27.12	20.59	25.70	75.92	架空孔隙
Y 3-1	42 064.45	37 476.39	40 242.94	103 377.86	40.69	36.25	38.93	89.09	架空孔隙
Y 3-5	41 183.01	36 073.56	39 311.7	105 583.46	39.84	34.17	37.23	87.59	架空 孔隙
¥3-7	26 236.43	21 810.85	24 943.04	103 374.43	25.38	21.10	24.13	83.13	架空 孔隙
平均					33.60	28.21	32.03	82.62	
Y4-7	15 004.03	3 648.064	12 268.37	103 404.76	14.51	3.52	11.866	24.31	部分破坏
Y4 -1	9 492.897	1 169.637	7 084.139	103 408.46	9.18	1.13	6.85	12.32	部分破坏
Y2-10	11 008.33	1 446.538	10 297.73	91 889.23	11.98	1.57	11.21	13.14	部分破坏
					11.89	2.07	9.98	16.59	

表1 永登黄土孔隙微结构分析结果

为了比较两种结构的差异,将具有骨架架空孔 隙照片和含有部分被破坏的结构照片各类孔隙占视 野总面积的平均值绘制在图 5 中。从图 5 看出,具 有架空孔隙的样品照片中孔隙面积占样品总面积的 平均值为 33.6%,而在已被部分破坏的样品照片 中,孔隙面积占样品总面积的平均值下降为 11.89%;在含有架空孔隙的样品照片中,大孔隙多 数占到了 85%以上,平均值为 82.62%,而在部分已 被破坏的样品中,大孔比例显著下降,最高的仅为 24.31%,平均值减小为16.59%。

3 黄土微结构特征与震陷的关系

黄土的震陷过程是土体中骨架颗粒的分解和重 新排列的过程。碎屑颗粒在外力的作用下,其结构 方式由支架接触向镶嵌接触过渡。起先由粒点接触 的架空孔隙由于在每个接触点上所承受的力较大, 在地震作用下这些接触点产生错位,使得土骨架产 生崩溃性的破坏。同时一些颗粒在地震力的作用下 变得粉碎,落入原先的大孔当中。因此这一过程也 表现为大、中孔隙被破坏变形,小孔隙增多,空隙比 减小的过程。此外黄土由无胶结颗粒组成也有助于 震陷发生。



Fig. 5 The pore ratios of two kinds microstructure in Yongdeng loess.

随着地震力的进一步作用,颗粒之间的接触愈加紧密,最后就变为较稳定的以面接触形式为主的 表现为粒间孔隙的结构形式。通过这一系列的变 化,产生了残余应变,使土体变得更为密实,容观上 表现为塌陷或地面的沉陷酥裂现象。

震陷性黄土最重要的特征是具有架空孔隙结构,这是产生震陷的基本内因。可以说凡是震陷性强的黄土都具有明显的架空孔隙结构。这类黄土在 震陷试验中显示出很低的临界动应力。并不是所有 黄土的结构都具有这种架空排列的结构,只有在干 早、半干旱气候条件下才能形成和保存下来。我们 所研究的永登震区黄土就属于典型的这种风成黄 土,由于结构疏松,震陷灾害较为明显。 4 结论

(1)本次所测得的永登黄土震后孔隙微结构包括了由单粒点接触形式所构成骨架的架空孔隙、以面接触为主的镶嵌孔隙以及被地震作用震碎的黄土碎屑颗粒现象。

(2) 扫描电镜照片的孔隙面积实测结果显示黄 土震陷时孔隙比大量减小,反映了其内部微结构的 变化。

(3) 以粒状架空孔隙结构为主的黄土,具有较强的震陷性。粗颗粒以点接触构成的架空孔隙是引起黄土震陷的主要原因。

[参考文献]

- [1] 高国瑞. 黄土显微结构分类与湿陷性[J]. 中国科学(B辑), 1980,(12): 1203-1208.
- [2] 张振中.黄土地震灾害预测[M].北京:地震出版社,1999.
- [3] 林崇义,黄土基本性质研究[M],北京,科学出版社,1961.1-10.
- [4] 高国瑞.兰州黄土显微结构和湿陷机理的探讨[J].兰州大学 学报(自然科学版),1979,(2):123-134.
- [5] 《工程地质手册》编写组、《工程地质手册》(第二版)[M].北 京:中国建筑工业出版社,1982.
- [6] 王永焱、兰州黄土的物质成分与结构特征[J]. 西北大学学报 (自然科学版),1978,(2):1-27.
- [7] 冯连昌,郑晏武.中国湿陷性黄土[M].北京,中国铁道出版社, 1982.
- [8] 雷祥义. 西安附近黄土孔隙特征[J]. 水文地质工程地质,1984,
 (4):34-37.
- [9] 赵景波. 黄土的孔隙与湿陷性研究[J]. 工程地质学报,1994,12 (2),76-82.
- [10] 刘红玫,王兰民. 饱和黄土液化的孔隙微结构特征研究[J]. 西 北地震学报,2002, 24(2):135-139.