

黄土震陷初判指标的界定研究

徐舜华, 王兰民, 袁中夏

(中国地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要:通过对宝鸡和兰州地震小区划中所获得黄土震陷数据的统计,对黄土震陷的影响因素如含水量、孔隙比、干密度、初始弹性模量进行了分析,得出了对震陷初判更实用、更为具体的多项指标标准,并对弹性模量应用于黄土震陷的判断进行了探讨。

关键词:地震小区划;黄土震陷;影响因素;初判指标

中图分类号: P315.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2006)02-0140-04

Study On Initial Judging Criteria of Loess Seismic Subsidence

XU Shun-hua, WANG Lan-min, YUAN Zhong-xia

(Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on the statistic data of loess seismic subsidence from the seismic micro-zoning works in Lanzhou and Baoji, many influence factors on the subsidence such as water content, void ratio, dry density and initial elastic modulus are analysed, and some more available, more concrete initial judging criteria for the loess seismic subsidence are obtained. Meanwhile the application of initial elastic modulus to the judging work is discussed.

Key words: Seismic micro-zoning; Loess seismic subsidence; Influence factor; Initial judging

0 前言

自上世纪80年代初黄土震陷概念由兰州地震研究所张振中^[1]等人提出以来,众多的专家学者已对黄土震陷进行了大量的实验和研究,取得了丰富的阶段性成果。2003年王兰民根据以往研究成果,对黄土震陷的影响因素物性参数(含水量、孔隙比、干密度)、固结应力、振次、荷载类型、卓越周期和有效持时以及峰值等进行了更加全面的分析;指出了黄土震陷性与其结构特征的关系;在黄土残余应变经验公式的基础上提出了震陷量估算方法;提出了基于有限单元法的黄土震陷的二维预测方法^[2]等。

在诸多研究方向中,黄土震陷的判定,尤其黄土震陷初判指标的确定是一个重要方面。事先对黄土场地的震陷性进行判断有利于震陷的预防和治理。在工程实践当中具有重要意义。1984年李启鹤^[3]

研究了孔隙比对残余应变的影响;1986年余雄飞等^[4]研究了含水量对残余应变的影响;1987年张振中等^[5]曾从孔隙比、湿陷的起始压力及湿陷性强弱等方面讨论过震陷判别标志应用于震害预测的可能性等。但由于对黄土震陷初判物性指标的的研究尚少,缺乏系统性和针对性,对实际工程的指导意义较弱。本文利用Statistic软件对多种黄土物性指标进行了一些统计分析及探讨研究,给出了较为实用、经济、具体的黄土震陷的初判指标。所有资料都来自于宝鸡和兰州地震小区划^{①②}。

1 震陷初判指标的选择

本文根据《湿陷性黄土地区建筑规范》(2004)^[6]的湿陷性标准,对应地把震陷系数大于0.015的黄土定为震陷性黄土,其产生的震陷量可以

收稿日期:2005-07-04

基金项目:国家自然科学基金(50379049);中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC20060022

作者简介:徐舜华(1974—),男(汉族),黑龙江拜泉人,研究实习员,硕士,研究方向为黄土地震工程工作。

① 兰州地震研究所,兰州地震小区划,1992.

② 兰州地震研究所,宝鸡地震小区划,1986.

对工程场地产生影响。在一定程度上黄土的物性指标可以反映黄土的震陷性,加之这些指标易于获得,所以从黄土的物性指标中选择适当的指标作为震陷性的初判依据具有很大的实用性。

影响黄土震陷性的物性因素有很多^[1],主要包括含水量(W),孔隙比(e),干密度(γ_d),初始弹性模量(E_0)等。这些在实验室甚至在工程场地利用试验仪器都可以获得,非常经济、便利、实用。所以本文选择了含水量、孔隙比、干密度、初始弹性模量进行分析,最后给出这些初判指标的适用标准。

2 初判指标的界定

2.1 含水量判定

据研究表明:含水量对黄土震陷影响非常显著,一般震陷随含水量的增加而增大(图1)。当西安黄土含水量小于15%时,震陷曲线呈直线型^[4,7];而兰州黄土发生震陷的含水量范围在缩限含水量和塑限含水量之间^[1]。

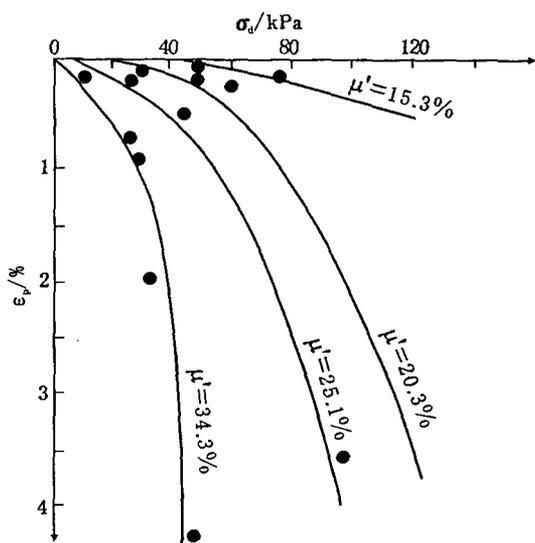


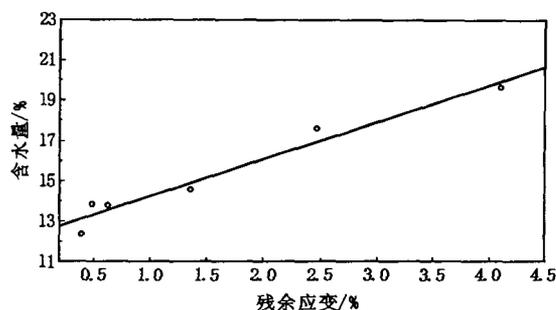
图1 含水量对黄土残余应变的影响^[4]

Fig. 1 The influence of water content on loess residual strain.

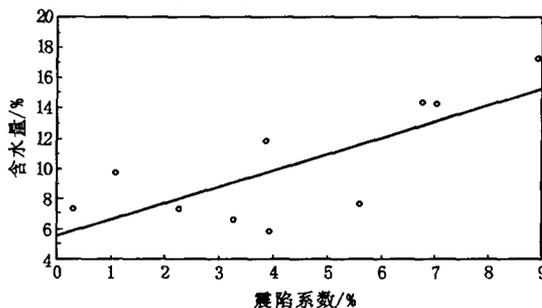
图2是根据宝鸡、兰州地震小区划震陷数据,在一定动应力作用下,取一组相近孔隙比的黄土试样所做统计分析。含水量(W)与震陷系数(ϵ_p)成一种简单的线性关系,相关系数分别为0.97、0.75(本文震陷系数取值均采用实验中前10次振次震陷结果)。从图中可以看出,在相当于VII度地震烈度的地震动作用下,含水量小于15.15%时,宝鸡黄土不显示震陷性;当含水量小于7.14%时,比较接近缩限时,兰州黄土不显示震陷性。

分析以上数据,宝鸡黄土的含水量较比兰州更

大,含水量15.15%应该是一个比较危险的临界值;相对于宝鸡,兰州黄土受含水量影响更为显著,在相同含水量条件下,相同动应力作用下,兰州黄土更易受损,含水量大于缩限即有可能发生震陷。



(a) 宝鸡黄土(140~162 kPa动应力)



(b) 兰州黄土(170 kPa动应力)

图2 一定动应力作用下宝鸡、兰州黄土含水量对残余应变的影响

Fig. 2 The influence of water content on loess residual strain under certain dynamic stress in Baoji and Lanzhou.

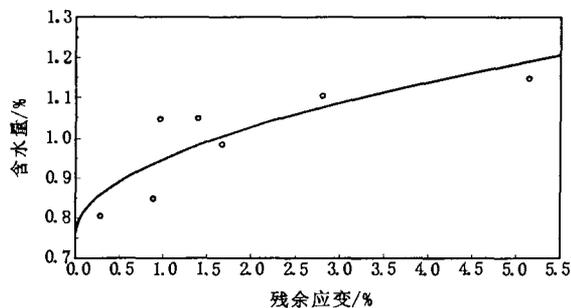
宝鸡黄土的震陷临界含水量高的原因是黄土的结构、组成、性质与兰州黄土有很大不同。兰州黄土主要是架空孔隙结构,粉粒含量大;而宝鸡黄土以粘粒含量大,凝块-镶嵌结构为主,结构强度较大。宝鸡黄土含水量较兰州大,其黄土颗粒较兰州小,孔隙较小,架空孔隙更少,而兰州黄土为干型黄土,所以其震陷性较兰州为弱。

2.2 孔隙比判定

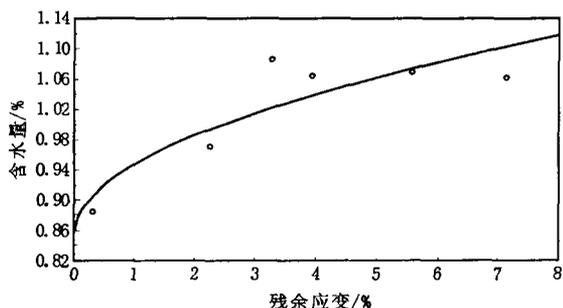
孔隙比对震陷有很大的影响,震陷是随着孔隙比的增大而增加的^[3,7]。大量的试验证明^[1],黄土孔隙比大于0.8才会有震陷的发生。

图3是根据宝鸡、兰州地震小区划数据,在一定动应力作用下,在一定的含水量条件下,所做的孔隙比随震陷系数变化曲线。可以看出,孔隙比与震陷系数的关系比含水量与震陷系数的关系复杂,但可以用一个平方根函数进行拟合,相关系数分别为0.85、0.88。考虑到黄土震陷性主要受到孔隙中架空孔隙所决定,而孔隙比中包含了各种类型孔隙的影响,本文在确定孔隙比界限值时选取了震陷性消

失(震陷系数小于零)时的孔隙比界限值。从图中可以看出:总体上震陷系数随着孔隙比的增长而增加。在相当于Ⅶ度地震烈度的地震动作用下,当孔隙比小于0.76,含水量20%时,宝鸡黄土无震陷性;当孔隙比小于0.85,含水量6%时,兰州黄土无震陷性。



(a) 宝鸡黄土(140 kPa动应力, 20%含水量)



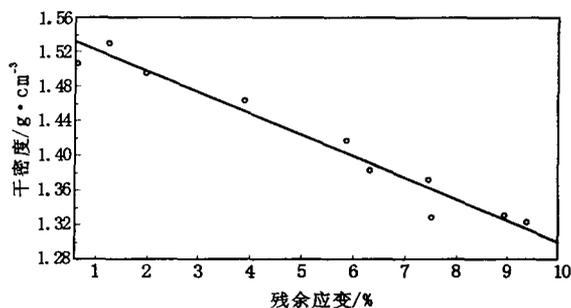
(b) 兰州黄土(160 kPa动应力, 6%含水量)

图3 一定动应力作用下宝鸡、兰州黄土孔隙比对残余应变影响

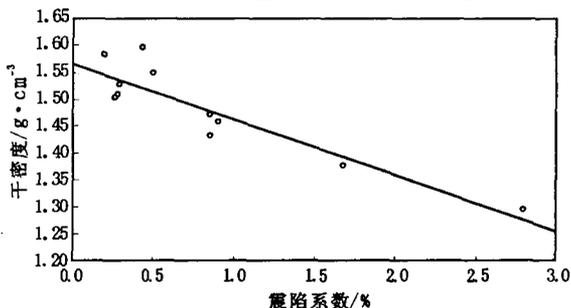
Fig.3 The influence of void ratio on loess residual strain under certain dynamic stress in Baoji and Lanzhou.

数据进行统计分析时,没有考虑含水量的影响,含水量的影响被忽视了,但是实际上含水量的影响是存在的;三是不同地区黄土的震陷性具有一定的差异。

干密度越大,其压实程度越高,颗粒排列越紧密,孔隙越少,黄土的震陷性就越差。根据宝鸡黄土震陷数据得出的干密度临界值偏小,说明其结论是在原状黄土条件下得出的,未受到密实处理,原有黄土的结构强度还在;而兰州黄土正相反,其黄土震陷数据是从重塑样中得来,原有黄土的结构强度已遭到破坏,所以干密度临界值较高。



(a) 兰州黄土(151~163 kPa动应力)



(b) 宝鸡黄土(150 kPa动应力)

图4 一定动应力作用下兰州、宝鸡黄土干密度对残余应变影响

Fig.4 The influence of dry density on loess residual strain under certain dynamic stress in Lanzhou and Baoji.

总体来讲,震陷系数是随着孔隙比的增加而增加。但孔隙比与震陷系数的关系更为复杂,不是一种简单的直线关系,这主要是因为孔隙比主要为黄土的微结构所决定,孔隙比的大小只能反映黄土孔隙的多少,而黄土的震陷性主要是由其微结构的类型和颗粒间胶结强度以及中大孔隙的含量所控制。

2.3 震陷的干密度判定

黄土的干密度排除了孔隙量的干扰,与震陷系数的关系是非常密切的。试验证明,兰州、宝鸡黄土在相近动应力作用下,震陷系数与干密度之间成负线性增长关系,其相关系数分别为0.98、0.92,震陷系数随干密度的增大而减小(图4)。从图中可以看出,相当于地震烈度Ⅶ度时,当干密度大于1.52 g/cm³时,兰州原状黄土不显示震陷性;当干密度值大于1.40 g/cm³时,宝鸡原状黄土不显示震陷性。

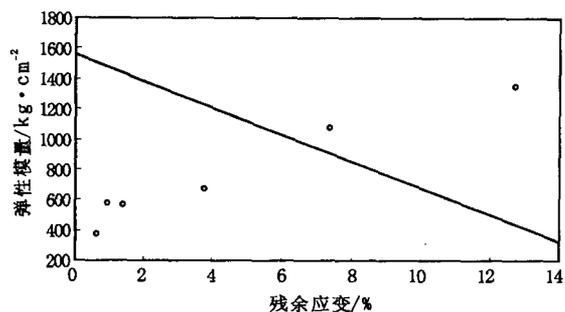
宝鸡黄土震陷性不显著的干密度值较低,可能有三个原因:一是宝鸡黄土动应力较小;二是对黄土

2.4 弹性模量判定

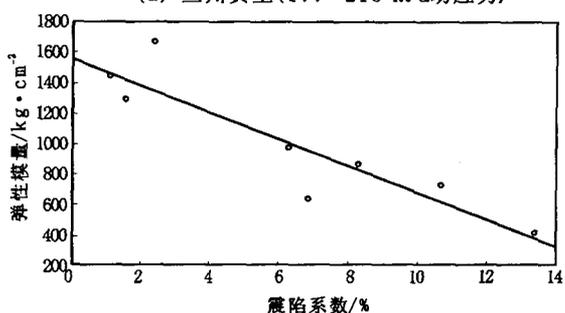
黄土的初始弹性模量的大小是反映黄土强度大小的一个物理量,黄土初始弹性模量越大,塑性变形则较难。本文认为,黄土的初始弹性模量的大小也是反映黄土震陷难易的一个内部因素,初始弹性模量越大,黄土震陷则较难,反之则会较易。

图5是根据兰州(a)、宝鸡(b)地震小区划的数据资料,所做的在一定动应力作用下,黄土震陷系数(30次)随初始弹性模量变化曲线,震陷系数与初始弹性模量为简单的线性关系,相关系数同为0.91,震陷系数随初始弹性模量的增加而减小。从图中可以看出,在相当于Ⅶ~Ⅷ度地震烈度地震动作用下,当初始弹性模量大于1435 kg/cm²时,兰州黄土不

显示震陷性;在相当于Ⅶ度烈度地震动作用下,当初始弹性模量大于 $1\ 910\ \text{kg}/\text{cm}^2$ 时,宝鸡黄土不显示震陷性。



(a) 兰州黄土(177~215 kPa动应力)



(b) 宝鸡黄土(127~153 kPa动应力)

图5 一定动应力作用下兰州、宝鸡
初始弹性模量对残余应变影响

Fig. 5 The influence of initial elastic modulu on loess
residual strain under certain dynamic stress
in Lanzhou and Baoji.

相比较兰州地区黄土对发生震陷的初始弹性模量要求更低。这与2.1节中说明了同一个问题,宝鸡黄土的结构及颗粒含量与兰州黄土有较大不同,结构强度大于兰州黄土,不易产生残余应变。

值得注意的是,因为以往黄土初始弹性模量的数据并没有应用于震陷判断,结论是否准确,还需要更多的工程实践来检验。

3 小结

(1) 在一定动应力作用下,利用建立含水量与震陷系数的关系来判断影响工程场地黄土震陷的临界含水量是可行的。本文得出:在Ⅶ度烈度地震动作用下宝鸡黄土产生震陷的临界含水量为15.15%;

兰州黄土的临界含水量为7.14%,接近缩限含水量,兰州黄土震陷受到水的作用影响更加显著。

(2) 在一定动应力作用下,利用建立孔隙比与震陷系数的关系来判断黄土震陷的是否发生是可行的。在相当于Ⅶ度地震烈度的地震动作用下,当宝鸡黄土的孔隙比大于0.76时,兰州黄土孔隙比大于0.85时,开始出现震陷。

(3) 在相当于Ⅶ度地震烈度的地震动作用下,当宝鸡原状黄土干密度大于 $1.40\ \text{g}/\text{cm}^3$ 时,兰州密实处理黄土干密度大于 $1.52\ \text{g}/\text{cm}^3$ 时,不显示震陷性。

(4) 在相当于Ⅶ~Ⅷ度地震烈度的地震动作用下,当兰州黄土初始弹性模量大于 $1\ 435\ \text{kg}/\text{cm}^2$ 时;在相当于Ⅶ度地震烈度的地震动作用下,当宝鸡黄土初始弹性模量大于 $1\ 910\ \text{kg}/\text{cm}^2$ 时,不显示震陷性。

(5) 由于所采用资料数据都来自于宝鸡、兰州地震小区划。在宝鸡、兰州地震小区划过程中,许多专家学者做了大量、踏实、细致的工作,所样品数量巨大,且在各个地区里分布基本合理,所以本文所做统计分析具有普遍意义。

[参考文献]

- [1] 张振中. 黄土地震灾害预测[M]. 北京:地震出版社,1999. 68-70.
- [2] 王兰民. 黄土动力学[M]. 北京:地震出版社,2003. 48-52.
- [3] 李启鹤,程显尧,蔡东艳. 地震荷载下黄土的动力特性[R]. 西安冶金建筑学院,1984.
- [4] 余雄飞,谢定义. 原状黄土的增湿结构弱化特性对动荷载下变形特性的影响[A]. 见:全国土工建筑物及地基抗震学术讨论会论文集[C]. 1986. 225-228.
- [5] 张振中,段汝文. 黄土震陷研究与震害预测[J]. 西北地震学报,1987,9(增刊):14-18.
- [6] 《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB50025-2004). 北京:中国建筑工业出版社. 2004.
- [7] 王兰民,张振中. 地震时黄土震陷量的估算方法[J]. 自然灾害学报,1993,2(3):85-94.
- [8] 段汝文,王峻,李兰. 黄土的物理力学指标与黄土易损性分析研究[J]. 西北地震学报,1997,19(3),81-85.