维普资讯 http://www.cqvip.com

第29卷 第1期
2007年3月

西 北 地 震 学 报
NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL

Vol. 29 No. 1
March. 2007

灵敏度在土结构性定量化研究中的应用

杨 艳[1,2]，齐吉琳[2]，宋春霞[1,2]，李 宁[1]

(1. 西安理工大学岩土工程研究所，陕西 西安 710048；
2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所，甘肃 兰州 730000)

摘 要：根据近年来土结构性定量化研究中的新进展，定义了土在变形过程中的两种灵敏度——应力灵敏度和应变灵敏度。以西安黄土为研究对象，分别制备不同深度的原状和重塑饱和试样进行固结试验，得到规律性相对比较稳定的两种灵敏度。对两种灵敏度曲线的形态及其对应的土在变形过程中的结构性的变化进行了分析，初步认为无论从求取的方便性还是规律的稳定性来说，应变灵敏度具有更大的优越性。

关键词：黄土；结构性；灵敏度

中图分类号：P642.11+3；TU411 **文献标识码**：A **文章编号**：1000－0844(2007)01－0026－04

Experimental Study on the Application of Sensitivity in Quantitative Study of Soil Structure

YANG Yan[1,2], QI Ji-lin[2], SONG Chun-xia[1,2], LI Ning[1]

(1. *Institute of Geotechnical Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China*;
2. *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China*)

Abstract: According to the recent advancements in quantitative study on soil structure, two sensitivities, of clay in conventional soil mechanics, stress sensitivity and strain sensitivity, are explicitly defined in this paper. Taking Xi'an loess as the study subject, both undisturbed and reconstituted saturated samples from different depths are prepared for 1-D consolidation testing. Through the trial calculations, two sensitivities are obtained from the $e-\log P$ coordinates which are have relatively stable changing tendency. Contrasting with the stress sensitivity, the strain sensitivity has obvious advantages from the points of view of calculation and changing tendency.

Key words: Loess; Structure; Sensitivity

0 引言

土的结构性是土力学性质的重要控制因素，其重要性历来受到重视，然而至今对其研究还很不完善。谢定义等总结了以往结构性定量化研究的三种途径，即微观形态分析法、固体力学法和土力学法，认为前两种方法尽管可以对某些结构要素给出定性和定量的描述，从相应的侧面上反映土的结构性，但企图将这些要素按其对结构性的影响来揭示它们之间的规律，综合做出结构性的定量反映是非常困难的。如果再把荷载的影响考虑进去可能不会有前景。因此土力学方法应当是最有前途的[1-2]。

土的结构性在土力学中其实早有体现，结构强度和粘土的灵敏度都是描述结构性的参数。但这两个参数都是基于强度概念的，不能反映结构性在变形过程中的逐渐体现。粘性土的灵敏度给出了扰动对土结构的影响，显示了土的联结特征。与黄土的湿陷系数联系起来，文献[1]同时用扰动和加水使土既显示出结构的联结特征，又显示出结构的排列特征，并以压缩试验为基础，利用相同应力下不同结构

收稿日期：2006-05-12
基金项目：中科院"百人计划"项目；陕西省黄土力学与工程重点实验室访问学者基金
作者简介：杨 艳(1985－)，女(汉族)，陕西汉中人，硕士研究生，主要从事土结构性方面的研究.

维普资讯 http://www.cqvip.com

性的土样发生的变形定义了综合结构势。邵生俊等则基于以上框架,转而以变形过程中达到不同应变时所需要的应力来定义结构性参数[3]。Baudet 和 Stallebrass 则通过试验定义了土在变形过程中的"灵敏度"[4],与文献[3]相同,实际上是原状土和重塑土达到某一变形所需应力的比,并建立了这个灵敏度与塑性应变之间的关系,通过增加三个用常规土力学方法就可以得到的参数,应用到修正剑桥模型中去反映土在变形过程中结构的渐进破坏。

可以看出,近年来研究者不约而同地采用了"灵敏度"的概念来描述变形过程中结构性的变化:文献[1]采用的是不同应力所对应的应变,而文献[3]、[4]则是用达到相同应变所需要的应力来考察土结构性的影响。本文以西安黄土为研究对象,从应力和应变两个方面来定义土变形过程中的灵敏度,并检验了这两个灵敏度的稳定性。

1　两种灵敏度的定义和研究思路

1.1　两种灵敏度的定义

土力学中对于粘土的灵敏度 S_t 或者结构强度系数 K_{en} 定义为:$S_t = K_{en} = \frac{q_u}{q'_u}$

其中,q_u 为原状粘土的无侧限抗压强度,q'_u 为重塑粘土的无侧限抗压强度。

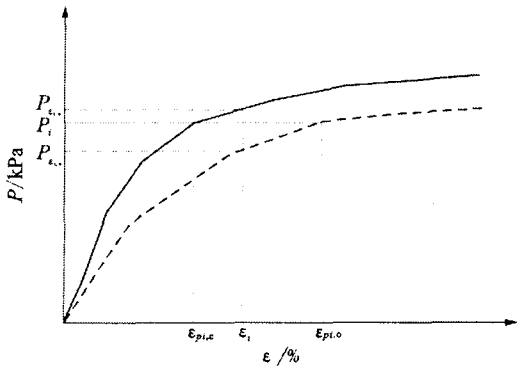


图1　应力灵敏度和应变灵敏度定义示意图

Fig. 1　Sketch of defining the stress and strain sensitivities.

表1　试验所采用的土样的物理性质

取土深度/m	试验土样初始条件		
	状态	干密度/g·cm^{-3}	含水量/%
3	原状饱和 重塑饱和	1.34	37.33
5	原状饱和 重塑饱和	1.33	37.96
7	原状饱和 重塑饱和	1.43	33.13
9	原状饱和 重塑饱和	1.38	35.63
11	原状饱和 重塑饱和	1.39	35.56

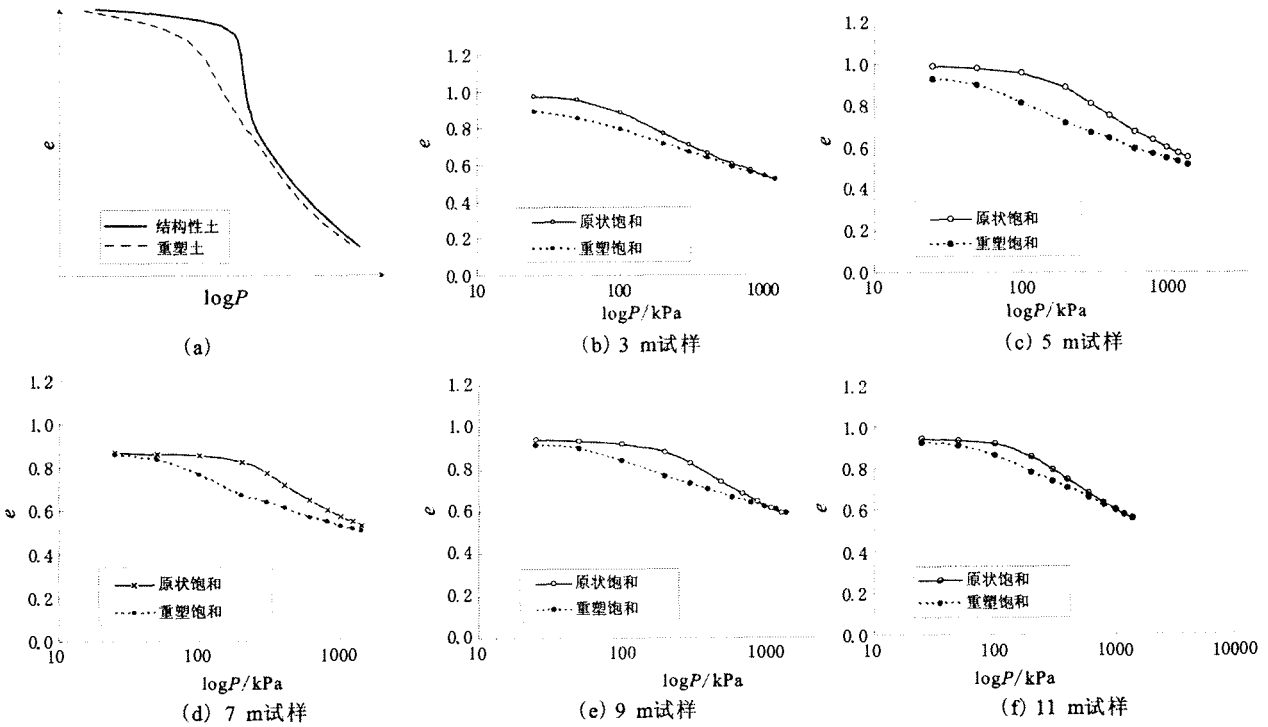
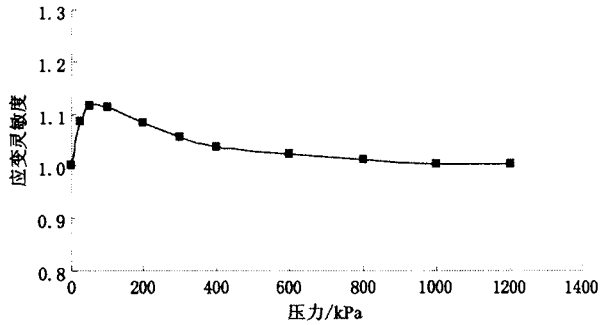


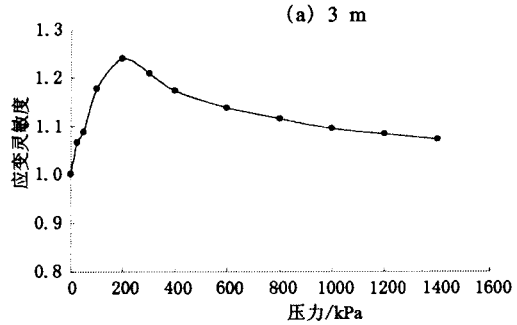
图2　不同深度土的固结曲线

Fig. 2　Conslidation curves of the soils from different depths.

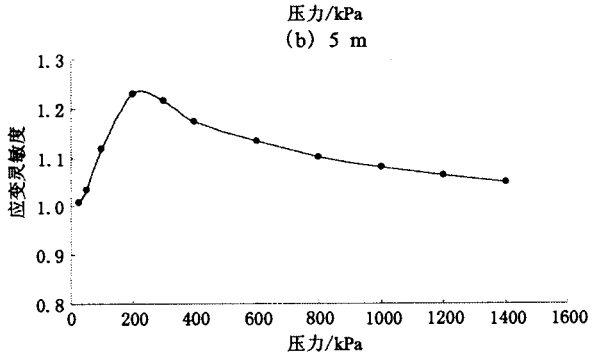
维普资讯 http://www.cqvip.com



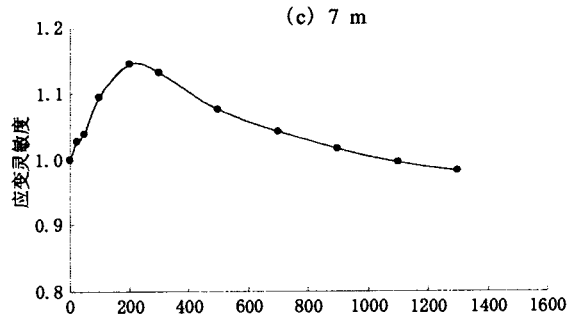
(a) 3 m



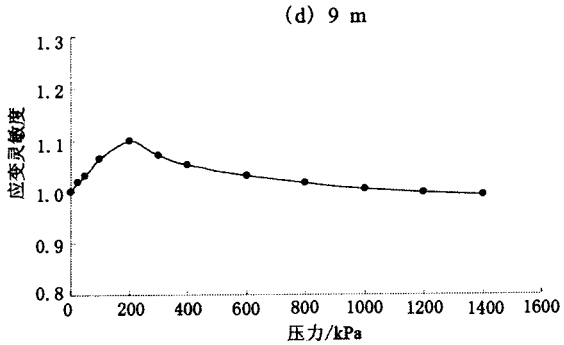
(b) 5 m



(c) 7 m



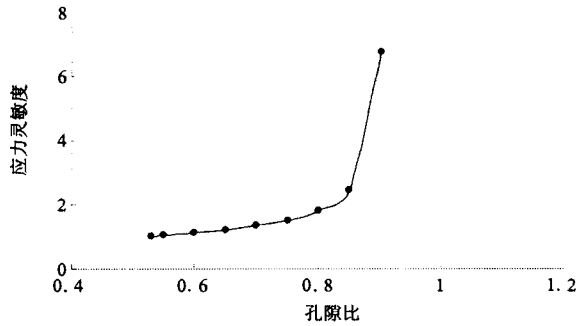
(d) 9 m



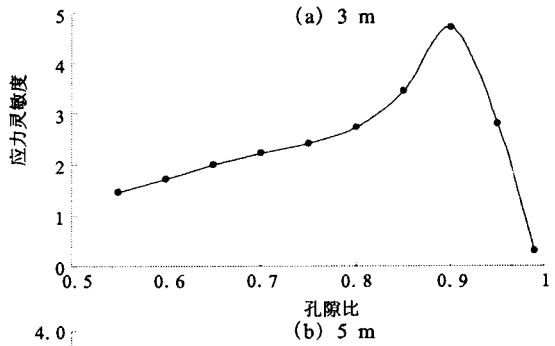
(e) 11 m

图 3 $e-\log P$ 坐标下的应变灵敏度曲线

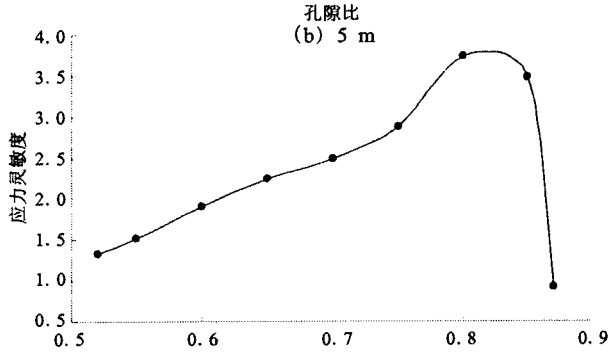
Fig. 3 Strain sensitivity curves under $e-\log P$ coordinates



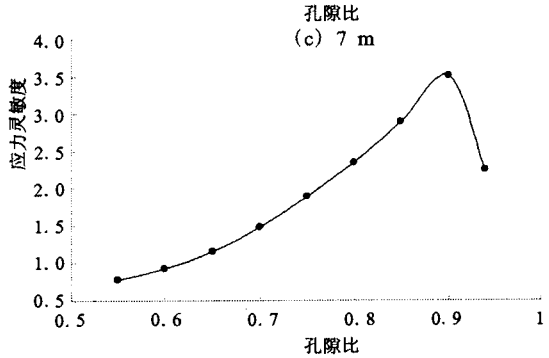
(a) 3 m



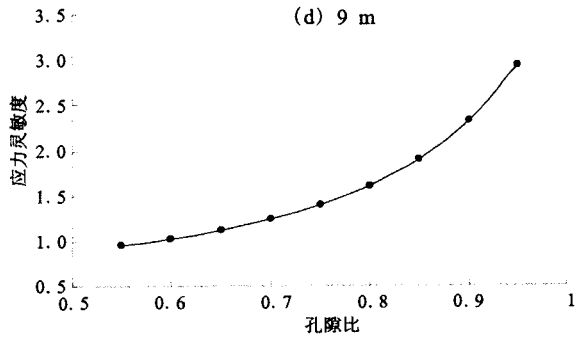
(b) 5 m



(c) 7 m



(d) 9 m



(e) 11 m

图 4 $e-\log P$ 坐标下的应力灵敏度曲线

Fig. 4 Stress sensitivity curves under $e-\log P$ coordinates。

维普资讯 http://www.cqvip.com

可见灵敏度反映了粘性土的抗压强度由于土的结构受到破坏而削弱的程度,从一个侧面反映了土的结构性的强弱,即在一定应力状态(单轴)下的最终结构,但它不能反映土在变形过程中结构性的演化。本文基于灵敏度的框架,定义"应变灵敏度"和"应力灵敏度",以原状土和重塑土为研究对象,前者定义为应力应变曲线上达到某一应变所需的应力的比;后者是某一应力水平下产生的变形的比,如图1所示。

假设某一应力 P_i 的作用下,原状土和重塑土的变形量分别为 $\varepsilon_{pi,o}$ 和 $\varepsilon_{pj,r}$;到达某一变形 ε_i 原状土和重塑土所需要的应力分别为 $P_{\varepsilon i,o}$ 和 $P_{\varepsilon i,r}$,那么受力变形过程中的应变灵敏度和应力灵敏度分别定义为

$$S_{(pi)} = P_{\varepsilon i,o}/P_{\varepsilon i,r}, S_{(\varepsilon i)} = \varepsilon_{pi,o}/\varepsilon_{pi,r} \qquad (1)$$

由于我们定义应变灵敏度为应变的比值,应力灵敏度为应力的比值,因此式(1)中的 $S_{(pi)}$ 在下文中表示为 S_ε,而 $S_{(\varepsilon i)}$ 则表示为 S_P。

1.2 试验对象和试验方法

本文采用的试验对象为西安黄土,取土深度为3,5,7,9和11 m。土的液限和塑限分别为35.4%和21.7%,塑性指数 I_P 为13.7,按照美国统一分类标准(United Soil Classification System)定名为CI。试验所采用的试样的物理性质见表1。

将同一深度上的土制备两个试样用于固结试验,其中一个为饱和原状土样,制备原状土样过程中的残余土制备一个饱和重塑土样,其干重度与原状土样相同。固结试验的压力等级为25、50、100、200、300、400、500、600、800、1 000、1 200 kPa。

2 试验结果和分析

重塑土的 $e-\log P$ 曲线应当大致为一条折线,其拐点对应于前期固结压力。结构性土与相同物理状态下重塑土的压缩曲线具有一定的距离,强结构性土的固结曲线的超固结段则具有超出正常变化趋势的特征(overshooting),如图2(a)中的实线所示。图2(b)—(f)为不同深度原状和重塑土的固结曲线,可以看出两种固结曲线之间具有一定的距离,而这两条曲线之间的面积大致随深度增加而增大,说明土样结构性具有随深度增加而增大的趋势。

根据式(1)的定义,我们试算了不同深度的应力灵敏度和应变灵敏度,发现在 $e-\log P$ 坐标中得到的灵敏度具有较好的规律性。图3和图4分别为不同深度的土样的两种灵敏度曲线。可以看出,应变灵敏度都有随着压力的增大首先上升,达到一个最大值之后又下降的规律。这是由于在较低的应力作用下,原状土和重塑土的变形都是以弹性变形为主,也就是只有骨架系统的弹性压缩;随着压力的增大,原状土的结构性逐渐显示出来,在 $e-\log P$ 曲线上表现在与重塑土的压缩曲线之间的距离渐渐增大,而应变灵敏度也逐渐增大;到达某一压力的时候,原状土的结构性大部分被破坏,应变灵敏度达到最大值,两种土的压缩曲线又开始接近。而图4的应力灵敏度在部分深度也显示了同样的规律性,但是其稳定性远没有应变灵敏度好,如深度为3 m和11 m的应力灵敏度曲线的趋势就不同于其他三个深度。同时,在求取应力灵敏度的时候,要得到两种土达到相同应变所对应的应力有时很困难,会出现奇异值。因此我们初步认为应变灵敏度更具有优越性。

3 结论

本文从粘土的灵敏度概念出发定义了应变和应力两种灵敏度。验算表明,由 $e-\log P$ 坐标下的固结曲线中求得的两种灵敏度的变化规律较好,应变灵敏度无论在求取的方便性还是规律的稳定性方面都具有优越性。

本研究所采用的仅为固结试验,仍需要在更为复杂的应力条件下进行试验对比,以期得到更为广泛的结论,并能应用于本构关系中去。

[参考文献]

[1] 谢定义,齐吉琳.土结构性及其定量化参数研究的新途径[J].岩土工程学报,1999,21(6):651-656.

[2] 齐吉琳,谢定义,石玉成.土结构性的研究方法和现状[J].西北地震学报,2001,23(1):99-102.

[3] 邵生俊,周飞飞,龙吉勇.原状黄土结构性及其定量化参数研究[J].岩土工程学报,2004,26(4):5311-5316.

[4] Baudet B, Stabllebrass S. A constitutive model for structured clays[J]. Geotechnique, 2004,54(4):269-278.