

# 昆明某地软土静动力特性分析研究

黄英,符必昌

(昆明理工大学 电力工程学院,云南 昆明 650051)

**摘要:** 对比分析了昆明某地软土的静力特性和动力特性.研究表明:昆明某地软土的应力-应变曲线及其归一化曲线都呈典型的双曲线型,应力-应变关系的归一性较差,受围压的影响较大.在动荷载作用下,其动强度大幅度降低,远远低于其静强度,最后稳定在一较低值上.因而,作为地基和路基的软土,在工程建设中应采取相应的防震措施.

**关键词:** 昆明某地软土;应力-应变关系;归一性;动力特性

**中图分类号:** TU447 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2003)01-0045-04

## Analytical Study on the Static and Dynamic Properties of the Soft Soil in Kunming Area

HUANG Ying, FU Bi-chang

(Faculty of Electric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 6500051, China)

**Abstract:** This paper analyzes the static and dynamic properties of the soft soil in Kunming area. The research results show that the stress-strain curve and normalized curve are both hyperbolic, and the normalization of the stress-strain relationship is low, but is large in suffering the influence of all round pressure. There is a much bigger decrease in the dynamic strength, even far lower than the static strength, and finally stabilizes in a lower value. The precautions against earthquakes should be taken when the soft is taken as the foundation and road foundation in engineering construction.

**Key words:** the soft soil in kunming area; stress-strain relationship; normalization; dynamic properties

### 0 引言

淤泥质土和泥炭质土是一种典型的具有不良工程地质性质的软土,它广泛分布在地表浅层,是许多工业与民用建筑、道路、桥梁等工程的重要场所.这种土的特点是含水量高、孔隙比大、压缩性大、渗透性弱、抗剪强度低、灵敏度高,在荷载的作用下,地基的承载力较低,引起地基的沉降变形较大,达到沉降稳定的时间较长,会危及到建筑物的安全稳定.因此对软土进行深入研究,具有非常重要的实际意义.对其它地区的软土已进行了较多的研究,取得了较多的研究成果<sup>[1-4]</sup>,而昆明地区分布的浅层软土研究较少,尤其是作为地基和路基的昆明浅层软土,由于有机质含量高、压缩性强,具有不同于其它地区软土的特性.本文针对昆明某地软土,初步探讨其应力-应变特性、归一性和动力特性,旨在为进一步研究软土的工程地质特性奠定基础.

### 1 昆明某地软土的静力特性

#### 1.1 固结不排水条件下的应力-应变关系

昆明某地软土在围压  $\sigma_3 = 50 \sim 300$  kPa范围内的固结不排水静三轴试验的应力-应变曲线见图1.可以看出,昆明某地软土的应力-应变关系具有典型的康德的纳的双曲线关系,是一种硬化材料,与其他地区

收稿日期:2002-08-28.

第一作者简介:黄英(1963~),女,硕士,副教授;主要研究方向:岩土工程及特殊土.

的软土相似<sup>[1]</sup>.值得注意的是,该地软土在围压200 kPa以内,各级压力下试样的主应力差增长较慢,应力-应变曲线提高不大;而当围压达到300 kPa时,应力-应变曲线明显提高,试样的主应力差明显增大.这是由于软土的孔隙较大,在低应力作用下,主要引起的是孔隙体积减小,压缩变形增大,因而承载能力不高;当围压达到一定值时,土体中的孔隙减小到一定程度,导致土体中的微结构重新调整,颗粒重新排列靠拢,土体骨架较坚硬,使其承载能力增大.其固结不排水静三轴抗剪强度指标为:凝聚力  $c = 18.5$  kPa,内摩擦角  $\phi = 20^\circ$ .

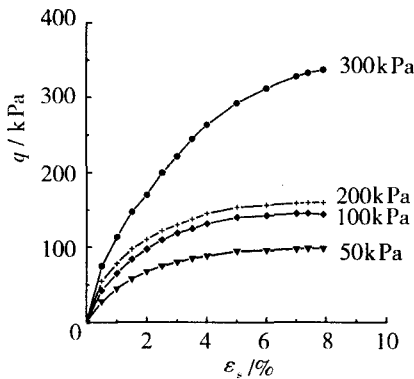


图1 昆明软土的应力-应变曲线

该地软土应力-应变关系的双曲线方程可表示为:

$$q = \frac{\epsilon_a}{a + b\epsilon_a} \tag{1}$$

式中:  $q$ —试样的主应力差, kPa;  $\epsilon_a$ —试样的轴向应变, %;  $a, b$ —双曲线参数, 可由变换的直线关系  $\epsilon_a/q \sim \epsilon_a$  求取, 见表1所示(表中  $R$  代表相关系数). 表明随着围压  $\sigma_3$  的增大, 双曲线参数  $a, b$  逐渐减小.

表1 应力-应变关系参数表

围压 $\sigma_3$ /kPa	$\frac{\epsilon_a}{q} = a + b\epsilon_a$			$\frac{\epsilon_a}{\eta} = m + f\epsilon_a$						
	$a$ $\times 10^{-4}$ /kPa <sup>-1</sup>	$b$ $\times 10^{-2}$ /kPa <sup>-1</sup>	$R$	$E_i$ /kPa	$q_{ult}$ /kPa	$m$ $\times 10^{-2}$	$f$	$R$	$E_{i归-}$	$\eta_{ult}$
50	1.2909	0.8345	0.9988	7746	119.8	0.6520	0.7490	0.9996	153.4	1.34
100	0.8816	0.5639	0.9984	11343	177.3	0.8879	0.8964	0.9994	112.6	1.12
200	0.7091	0.5273	0.9993	14102	189.6	1.4217	1.3896	0.9996	70.3	0.72
300	0.6841	0.2091	0.9962	14618	478.2	2.0350	0.9638	0.9984	49.1	1.04

根据参数  $a, b$  可求得应力-应变曲线的初始切线模量  $E_i$  和主应力差的渐近值  $q_{ult}$ :

$$E_i = \frac{1}{a} \quad q_{ult} = \frac{1}{b}$$

进一步研究表明:双曲线参数  $a, b$ 、初始切线模量  $E_i$  和主应力差渐近值  $q_{ult}$  都随围压  $\sigma_3$  而变化,  $a, E_i$  与围压呈指数关系,  $b, q_{ult}$  与围压呈线性相关关系, 见图2、图5和表2所示.

### 1.2 昆明某地软土的归一化性状

将图1的纵坐标  $q$  除以各自的平均主应力  $p = (\sigma_1 + 2\sigma_3)/3$ , 即得应力比  $\eta = q/p$ , 作出归一化曲线  $\eta - \epsilon_a$  关系, 如图3所示. 表明昆明某地软土在围压  $\sigma_3 = 50 \sim 300$  kPa 范围内, 其归一化曲线受围压的影响较大, 各级压下归一化试验点的离散性较大, 不能归一在一起, 说明昆明某地软土在低压力下的归一性较差.

按简布经验公式<sup>[5]</sup>:

$$E_i = cP_a \left(\frac{\sigma_3}{P_a}\right)^d \tag{2}$$

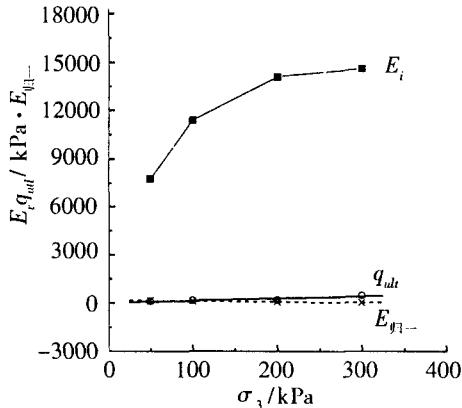


图2  $E_i, q_{ult}$  和  $E_{i归-}$  与围压拟和关系

式中:  $E_i$ — 应力 - 应变曲线的初始切线模量, kPa;  $P_a$ — 大气压力, kPa;  $c, d$ — 拟和参数.

文献[5]指出,对于符合归一化性状的土, (2) 式中的指数  $d$  必须等于 1.0, 偏离 1.0 越大, 其归一性越差. 而昆明某地软土的  $d = 0.3584$ , 远远偏离 1.0, 因而其归一性差, 低于其它地区软土的归一性<sup>[1]</sup>.

昆明某地软土的归一化曲线仍然呈典型的双曲线关系:  $\eta = \frac{\epsilon_a}{m + f\epsilon_a}$  (3)

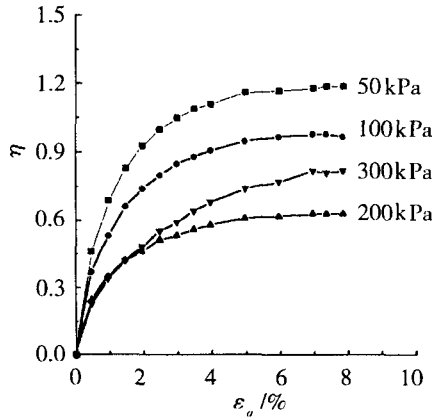


图 3 昆明软土的归一化曲线

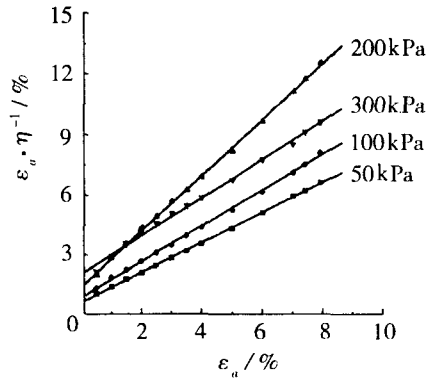


图 4 昆明软土的归一化直线

式中: 归一化参数  $m, f$  由经过变换的归一化直线  $\epsilon_a / \eta - \epsilon_a$  关系求得, 见图 4 所示, 它同样反映出该地软土的归一化直线受围压的影响, 各级围压下的归一化参数不同, 随围压的增大而增大, 见表 1 所示.

由归一化参数  $m, f$  可确定归一化曲线的初始切线模量  $E_{i归一}$  和应力比的渐近值  $\eta_{ult}$ :

$$E_{i归一} = \frac{1}{m} \quad \eta_{ult} = \frac{1}{f}$$

而归一化参数  $m, f$ 、归一化曲线的初始切线模量  $E_{i归一}$  和应力比的渐近值  $\eta_{ult}$  又随围压  $\sigma_3$  呈线性变化, 见图 5 和表 2 所示.

表 2 各双曲线参数拟和关系表

拟和方程		$b = \frac{c}{P_a} + d \frac{\sigma_3}{P_a^2}$	$q_{ult} = cP_a + d\sigma_3$	$y = c + d \frac{\sigma_3}{P_a}$				
拟和关系		$b \times 10^{-2}$ /kPa	$q_{ult}$ /kPa	$m$ $\times 10^{-2}$	$f$	$E_{i归一}$	$\eta_{ult}$	
拟和参数	$c$	0.888 9	28.361 0	0.348 9	0.790 1	162.044 1	1.278 6	
	$d$	- 0.002 2	1.309 9	0.005 5	0.001 3	- 0.404 3	- 0.001 4	
相关系数		$R$	0.946 2	0.902 7	0.998 8	0.496 7	- 0.968 1	- 0.594 1
拟和方程		$a = c \frac{1}{P_a} (\frac{\sigma_3}{P_a})^{-d}$	$E_i = cP_a (\frac{\sigma_3}{P_a})^d$	动应力 $\sigma_d$ /kPa	$\sigma_d = sP_a N^{-1}$			
拟和关系		$a \times 10^{-4}$ /kPa <sup>-1</sup>	$E_i$ /kPa	围压 $\sigma_3$ /kPa	50kPa	100kPa		
拟和参数	$c$	$4.9587 \times 10^{-4}$	2 017.6	$s$	17.241	47.463		
	$d$	0.358 6	0.358 4	$t$	0.293	0.107 4		
相关系数		$R$	- 0.969 7	0.989 8	$R$	- 0.950 8	- 0.886 7	

## 2 昆明某地软土的动力特性

昆明某地软土的动三轴试验结果见图 6 所示, 表明了该地软土的动三轴应力  $\sigma_d$  与振动次数  $N$  的关系. 可以看出, 在不同的围压  $\sigma_3$  下, 动强度随着围压的增大而增大; 在相同的围压  $\sigma_3$  下, 随着振动次数  $N$  的增大, 动强度减小. 特别是在振动初期, 动强度有大幅度衰减, 当振动次数  $N$  达到 100 次左右, 动强度衰减的幅度减弱; 当振动次数  $N$  达到 200 ~ 300 次左右, 动强度降低到最低值, 趋于稳定, 以后随着振动次数的增大, 动强度变化很小. 表明软土不会象砂土那样, 在动应力下强度会降低到零, 而发生液化现象. 同时随着

围压  $\sigma_3$  的增大, 动强度降低的幅度逐渐减小. 动应力  $\sigma_d$  与振动次数  $N$  之间的拟和关系可表示为  $\sigma_d = sP_a N^{-1}$  形式, 具体拟和参数见表 2 所示.

根据动三轴抗剪强度指标的求取方法, 可得到该地软土的动三轴抗剪强度指标为: 当振动次数  $N = 10$  次时, 动凝聚力  $c_d = 3.5$  kPa, 动内摩擦角  $\phi_d = 9.2^\circ$ . 与静三轴抗剪强度指标 ( $c = 18.5$  kPa,  $\phi = 20^\circ$ ) 比较, 可见软土的动三轴强度远远低于静三轴强度. 说明该地软土的抗震性能较差, 作为地基和路基的浅层软土, 在强大的震动的作用下, 将产生较大的压缩变形, 地基和路基的抗震强度和承载力极度降低, 引起地基和路基失稳. 因而在实际工程中, 应予高度重视.

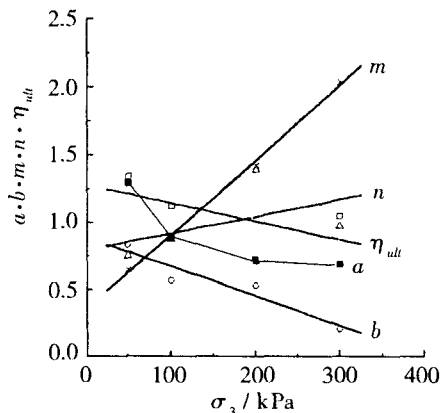


图 5 各双曲线参数与围压拟和关系

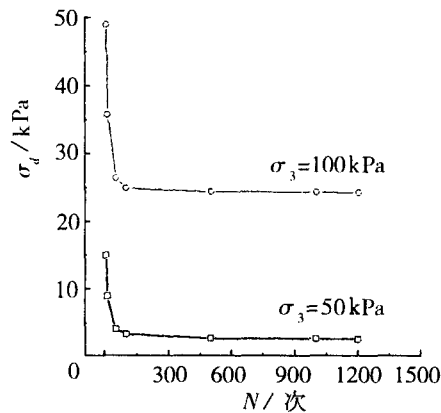


图 6 软土的动应力与振动次数的关系

### 3 结论

(1) 昆明某地软土在固结不排水条件下的应力 - 应变关系呈典型的双曲线关系, 其双曲线参数随围压而变化. 在小于 200 kPa 的围压作用下, 强度增长较慢; 当围压超过 200 kPa 达到 300 kPa 时, 强度有较大幅度的增长;

(2) 昆明某地软土应力 - 应变关系的归一性较差, 其归一化程度低于其它地区的软土. 归一化曲线呈典型的双曲线关系, 各级围压下的归一化试验点离散性较大, 不能归一在一起, 归一化双曲线参数也随围压而变化;

(3) 在振动作用下, 软土的动强度随着围压的增大而相应增大. 但随着振动次数的增多, 软土的动强度大幅度降低, 最后稳定在一较低的应力值上, 远远低于其静强度. 因而在工程建设中, 应采取相应的防震措施;

关于昆明某地软土应力 - 应变关系的其它特性有待于进一步研究.

#### 参考文献:

- [1] 杜建成, 张利民. 广州地区软土应力 - 应变特性研究[J]. 四川联合大学学报(工程科学版), 1997, (1): 24 ~ 28.
- [2] 陈慕杰. 汕头市区软土的工程地质特性[J]. 桂林工学院学报, 1998, (3): 261 ~ 264.
- [3] 陈永福, 曹名葆. 上海地区软粘土的卸荷 - 再加荷变形特性[J]. 岩土工程学报, 1990, (2): 9 ~ 18.
- [4] 温耀霖, 潘健等. 珠江三角洲软土的微观结构与力学特性[J]. 华南理工大学学报(自然版), 1995, (1): 144 ~ 152.
- [5] 李作勤. 粘土归一化性状的分析[J]. 岩土工程学报, 1987, (5): 60 ~ 64.