

主应力轴循环旋转对超固结黏土性状影响试验研究

沈 扬^{1, 2}, 周 建³, 龚晓南³, 刘汉龙^{1, 2}

(1. 河海大学岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210098;

3. 浙江大学岩土工程研究所, 浙江 杭州 310027)

摘 要: 对不同超固结比以及超固结形成条件下原状软黏土在主应力轴循环旋转条件下的孔压、应力应变关系等性状进行试验研究。研究表明, 随着超固结比的提高, 试样在主应力轴循环旋转过程中的动强度及等效瞬时刚度均有显著提高, 而其孔压开展特征则受前期超固结形成过程中反压控制条件影响: 若超固结卸载时不提供反压恒定控制条件, 试样在后续主应力轴循环旋转过程中的孔压迅速呈现负压的变化趋势, 负孔压的持续开展程度随超固结比的增大而提高; 而当超固结卸载时恒定控制反压, 土体在后续的主应力轴旋转过程中, 仅在强超固结比条件下孔压才会产生负向开展特征。但不同的反压控制条件未对土体在主应力轴循环旋转中的振次-应变关系以及动强度等特性产生显著影响。

关键词: 主应力轴循环旋转; 超固结比; 孔压

中图分类号: TU435

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2008)10-1514-06

作者简介: 沈 扬(1980-), 男, 浙江杭州人, 博士后, 主要从事土的静、动力学特性和本构理论的研究。E-mail: shenyang1998@163.com。

Influence of principal stress rotation on overconsolidated clay

SHEN Yang^{1, 2}, ZHOU Jian³, GONG Xiao-nan³, LIU Han-long^{1, 2}

(1. Key Laboratory of the Ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering, Hohai University, Nanjing 210098,

China; 2. Institute of Geotechnical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Institute of Geotechnical Engineering,

Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Experimental study on the overconsolidated clay under the cyclic principal stress rotation (CPSR) was performed. Emphasis was put on the influence of different overconsolidation conditions on the characteristics of samples during CPSR. It was found that with the increase of the over consolidation ratio, the equivalent dynamic stiffness and dynamic strength of samples during CPSR increased obviously, while these characteristics were independent of the back pressure control condition during overconsolidation. But whether or not the back pressure was kept constant greatly influenced the generation and level of development of negative pore pressure during the following CPSR stage.

Key words: cyclic principal stress rotation; over consolidation ratio(OCR); pore water pressure

0 引 言

许多岩土工程问题中, 土体所受加载力系在改变主应力幅值的同时也伴随着主应力轴方向的旋转变化。通常土体主应力轴方向的单调变化主要发生在堤坝填筑, 基坑开挖等工程问题中。而经受波浪荷载的海洋油气平台、输油管线的海床地基、以及承担车辆荷载作用的铁路、公路路基在受力时的应力路径往往表现出明显主应力轴循环旋转的典型特征。曾有研究者采用动三轴试验对上述动应力路径下的土体性状进行分析, 然而由于动三轴试验设备仅能形成主应力轴定向条件下应力幅值的渐变或者主应力轴在 90°方向

上的突变, 因而试验的结果可能与土体在真实应力路径下的性状变化存在较大差异。

随着我国经济建设的高速发展, 海洋、交通工程投入的比重以及其在国计民生中所起的作用日显重要, 因此更能贴近工程实际的应力路径的试验模拟工作越来越受到期望与重视。

目前国内外已有一些研究者就土体在主应力轴循环旋转条件下的性状进行了分析^[1-11], 主要集中于研究

基金项目: 国家自然科学基金项目(50308025); 国家自然科学基金重点项目(50639010)

收稿日期: 2007-11-16

土在主应力轴循环旋转中孔压^[1-5]、应力应变关系^[7, 11]等性状的反映以及影响动强度^[6-8, 10]等方面的研究, 试验对象多为粉砂土; 笔者也曾就杭州地区正常固结原状黏土在主应力轴循环旋转下的力学性状开展了系列试验研究^[12]。

考虑到现实条件中, 有些土体可能是在超固结状态下经受主应力轴旋转应力路径的, 从以往动三轴试验的研究结果可知, 动应力路径下超固结土的性状会较正常固结土发生显著的改变。为了分析超固结与主应力轴循环旋转对土体影响的耦合效应, 笔者开展了相关研究。本文介绍了此项研究的主要内容, 即以超固结的形成条件以及超固结比等因素作为研究参数, 通过系列对比试验研究了超固结黏土在主应力轴循环旋转下的性状特征。

1 引 言

1.1 土样性质及试验设备

试验土样为杭州地区的典型原状黏土, 其基本物理特性见表 1。根据室内压缩曲线测定, 其先期固结压力约为 100 kPa。采用专用切土器, 将试样制备为 200 mm×100 mm×60 mm (高×外直径×内直径) 的空心圆柱原状试样。

表 1 试验用土物理力学指标

Table 1 Physical properties of test soil

比重 G_s	孔隙比 e	含水率 $w/\%$	液限 $w_L/\%$	塑限 $w_p/\%$	黏聚力 c_{cu}/kPa	内摩擦角 ϕ_{cu}/kPa
2.74	1.234	44.3	45.0	18.3	24.8	16.0

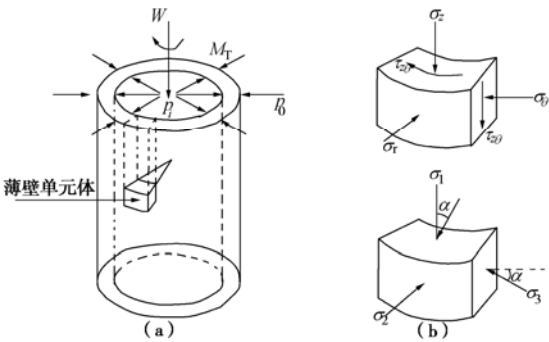


图 1 空心圆柱试样薄壁单元体受力状态

Fig. 1 Stress on an element in wall of hollow cylinder sample

试验仪器为空心圆柱仪 (ZJU-HCA), 可对空心圆柱形试样施加独立控制的外压 (p_o), 内压 (p_i), 轴力 (W) 和扭矩 (M_T)。(如图 1 (a) 所示), 从而使试样上薄壁单元体受到图 1 (b) 表示的应力分量 (竖向正应力 σ_z , 径向正应力 σ_r , 切向正应力 σ_θ , 以及横截面上的扭剪应力 τ_{zr}), 进而实现如图 1 (b) 所示的单元体上大小主应力 (σ_1, σ_3) 在垂直于试样径向 (不变的中主应力 σ_2 方向) 的切平面中旋转的复杂应力路

径, α 为大主应力方向与试样竖直方向之夹角。

1.2 超固结形成条件的说明

本文的试样在试验中将进行 3 个阶段变载: 正常固结、卸荷超固结以及动主应力轴循环旋转。由于超固结对土性的影响因素是本文考虑的一个研究重点, 因此本段对卸荷形成超固结过程的控制条件先做一简要说明。

目前室内试验将试样形成超固结状态的方法有两种, 一种针对的是采用非反压饱和法固结的试样 (如采用真空抽气法饱和), 试样在固结以及其后形成超固结状态 (即围压从 p_0 降到 p_1 的卸载) 的过程中始终关闭反压阀, 使反压室与试样隔绝 (以下简称关阀卸载法), 并定义超固结比 $OCR=(p_0-u_0)/(p_1-u_0)$ 。式中 u_0 为固结完成时的静水压力。

另一种是针对采用反压饱和法固结的试样, 试样固结过程中始终保持反压室与试样连通, 并恒定反压 p_b , 固结完成时试样孔压 u_0 与反压 p_b 相等。在土样卸载形成超固结状态 (即围压从 p_0 降到 p_1) 过程中, 仍开启反压阀, 始终保持反压 p_b 不变 (以下简称开阀卸载法), 定义超固结比亦为 $OCR=(p_0-u_0)/(p_1-u_0)$ 。

从两者形成超固结的方法对比可见: 卸荷时试样有弹性回弹, 孔压将呈现减小趋势, 对于关阀卸载法而言, 试样在超固结过程中未进行反压恒定控制, 故对孔压的减小不作约束; 而开阀卸载法, 则由于反压控制的作用, 使得试样能够吸水, 从而保证孔压始终稳定与反压值相等; 因此对比用两种方式卸载得到的稳定状态 (通常以回弹应变稳定作为控制参数), 从严格意义上讲, 关阀卸载法的超固结比要比开阀卸载法的有效应力比小 (因为关阀导致孔压不断下降), 更为重要的是两种不同的超固结形成方式可能对土体在后续剪切过程中的性状产生影响差异。

这两种卸载法反映了一些现场的实际情况: 某些现场土 (如海洋土) 周围具有稳定的供水条件, 即使在地质作用下卸载形成超固结的过程中, 也不会发生孔压的下降, 这种情况就类似于上述的开阀卸载条件; 但也有一些土, 如地下水以上, 或设置挡水结构以内的土体, 其开挖后缺少补水条件, 在超固结形成以后的较长时间内, 土体孔隙中可能长期保持负压或减压状态^[13], 这种情况类似于上述的关阀卸载条件。

因此笔者在制定试验方案时考虑了这两种情况, 以期通过试验来做一对比探讨。

1.3 试验方案概述

试验方案在选取时考虑以下两个因素: ①对于超固结状态的研究, 以不同超固结比作为控制参数, 同时根据 1.2 节所述, 考虑了超固结形成过程中反压控制阀不同的开闭条件; ②主应力轴旋转的主要特征由

旋转时的剪应力水平以及主应力轴旋转角度所决定，因此动应力路径中以这两个变量作为主要控制参数。

表 2 试验采用应力路径特征表

Table 2 Characteristics of stress path adopted in tests						
编号	振前有效围压 p/kPa	超固结比 OCR	超固结形成条件	大主应力轴方位角 $\alpha/(\text{°})$	旋转频率 f/Hz	剪应力 q/kPa
H101	150	1	—	-45~45	1	10
H201		2	开阀卸载	-45~45	1	10
H202		2	开阀卸载	-45~45	1	16
H212		2	关阀卸载	-45~45	1	16
H213		2	关阀卸载	-45~45	1	20
H401		4	开阀卸载	-45~45	1	25
H411		4	关阀卸载	-45~45	1	25
H501		5	开阀卸载	-45~45	1	25

试样经历反压饱和、等向固结、卸载（对超固结土而言）以及不排水的动主应力轴循环旋转 4 个步骤。所有超固结试样在固结前和固结中均采用反压饱和法（饱和水头 $p_b=50\text{ kPa}$ ），但在卸载回弹过程中，有开启和关闭反压阀两种形式不同形式。开阀卸载条件下，设定反压 p_b 仍保持 50 kPa 不变，直到回弹达到稳定；关阀卸载条件下，任由试样孔压下降，直到孔压及回弹均达到稳定。表 2 列出了本文试验方案的主要应力路径特征，剪应力 q 为土体所受大小主应力形成莫尔圆的半径 $(\sigma_1-\sigma_3)/2$ 。振前有效围压 $p=p_1-p_b$ ， p_1 为卸载稳定时试样球应力（均为 200 kPa ），超固结比 $\text{OCR}=(p_0-p_b)/(p_1-p_b)$ ， p_0 为固结时试样所受球应力。

2 试验结果与分析

2.1 超固结试样与正常固结试样在主应力轴循环旋转下的应变性状及动强度特征对比

从笔者已进行的正常固结土的研究^[12]以及本文超固结试验结果可知，对本文采用的试验土样而言，在 $-45^\circ\sim45^\circ$ 的大主应力轴转幅范围内，试样所产生的各应变分量中以扭剪应变占主导地位（要高出轴向、切向、径向等应变近一个数量级），因此本文仅以扭剪应变 γ_z 作为代表性应变开展研究。

图 2 展示了各试样在主应力轴循环旋转中扭剪应变分量 γ_z 与旋转周数 N 之间的关系（应变以循环一周周期中的波峰波谷值为代表）。由图可见，试样的扭剪应变 γ_z 在某一旋转周数下将有显著激增，定义该激增拐点对应的状态为试样的破坏时刻，而相应的扭剪应变和旋转周数即为临界破坏扭剪应变和破坏转数。

试样 H101 与 H201 在主应力轴开始循环旋转前的围压水平以及剪应力条件均相同，但从图 2 可见，由于 OCR 不同，两者在旋转中的性状呈现显著差异。OCR=1 的 H101 在主应力轴循环旋转 1300 次左右时 γ_z 即出现显著拐点，导致破坏，而 H201 在经历了 20000 次旋转后， γ_z 发展仍很小，且趋于动态平衡，

因此 10 kPa 的剪应力对于 H201 而言仅是低于安全极限应力^[12]的安全剪应力。而试样 H401(OCR=4)，H501(OCR=5) 的剪应力已达到 25 kPa ，远大于 H101 的 10 kPa 剪应力值，而破坏所需的主应力轴循环旋转次数已达到了 1800 和 9000 次，远多于 H101 的破坏转数。换言之，随着超固结比的提高，试样在主应力轴循环旋转下的临界破坏剪应力水平（亦即动强度）有了显著提高。

此外，由图 2 可见，不论是超固结还是正常固结黏土试样，其临界破坏应变通常只有 1% 左右，与以往一些采用砂土进行的试验研究中得到 5% 以上的破坏应变有着显著差异。

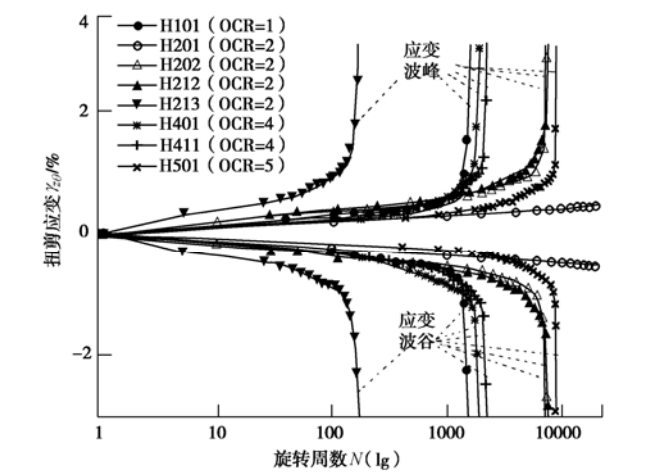


图 2 经历不同固结条件的试样在主应力轴循环旋转下扭剪应变与旋转周数关系

Fig. 2 Relationship between strain and vibration times under different amplitudes of principal stress rotation

考虑到主应力轴循环旋转过程中，反映土体大、小主应力构成莫尔圆尺寸的剪应力 q 始终保持常数；而以主应变构成的应变体系较能反映出主应力轴旋转条件下各应变分量均有不同程度开展的特征，本文特定义与主应力和主应变相关的瞬时等效刚度 E_{13} ，来进一步研究超固结比对试样动应力 - 应变关系的影响：

$$E_{13} = q/(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)_{\max} \quad , \quad (1)$$

式中， E_{13} 表示主应力轴循环旋转每一周期中的瞬时等效刚度， $(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)_{\max}$ 表示每一循环周期中，大小主应变之差的峰值。

图 3 展示了各试样等效瞬时刚度随主应力轴循环旋转周数的变化情况。由图中对比可见，随着超固结比的提高，试样进行主应力轴循环旋转的动刚度也明显提升（如对比 H101，H201，H401 和 H501）。而在同一超固结比下，随着剪应力水平的提高，试样刚度也会出现明显下降（如分别对比 H201 和 H202；H212

和 H213)。

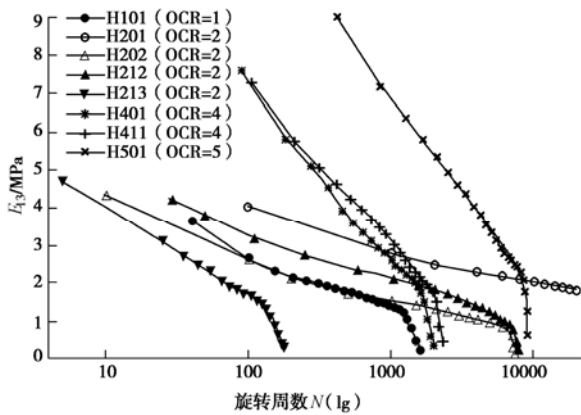


图 3 主应力轴循环旋转下 E_{13} 随振次衰减情况

Fig. 3 Attenuation of E_{13} with cycles during cyclic principal stress rotation

以上分析了不同超固结比对试样在后续动循环过程以及临界状态下应力-应变关系、动强度等性状的影响。由于方案中超固结试样在超固结形成中的条件并不相同, H201, H202, H401, H501 采用开阀卸载; 而 H212, H213 和 H411 采用关阀卸载, 因此下面再分析超固结形成条件对土体后续动力路径下性状演变的影响。

从图 2, 3 可见, 相同超固结比以及动应力路径条件的试样 H202 和 H212 以及 H401、H411 彼此具有相近的临界破坏振次、临界破坏应变以及等效瞬时动刚度的变化特征。这些试验现象表明, 黏土样在超固结形成时是否有反压恒定控制条件, 对于其主应力轴循环旋转过程中的刚度特性以及临界振次、临界应变的开展程度上的影响均较弱。

2.2 超固结试样与正常固结试样在主应力轴循环旋转下的孔压开展特征对比

图 4 展示了各试样在主应力轴循环旋转时的孔压发展情况, 孔压的取值来自试样顶部与底部孔压测定点读数的平均值。由于试样在超固结形成过程中存在不同的反压控制条件, 导致开始循环剪切时的孔压并不相同, 因此图中统一采用了孔压比概念, 即以主应力轴循环旋转开始起算的孔压增量值 u 与振前有效围压 p 之比作为研究对象。为了能更清晰的比较孔压在各旋转阶段的开展特征, 图 4 (a)、(b) 图中旋转周数分别采用了的对数和常规坐标轴来表示。

从图中可见, 试样在超固结形成过程中的反压控制条件明显影响了试样在其后主应力轴循环旋转过程中的孔压开展特征。

正常固结试样 H101 在主应力轴的循环过程中, 孔压不断开展, 但发生破坏的临界孔压比较低, 同时

在每一主应力轴循环旋转过程中孔压恢复程度有限, 基本上持续开展, 这些都反映了黏性土由于渗透系数低等原因造成的动应力路径下孔压开展滞后特性。

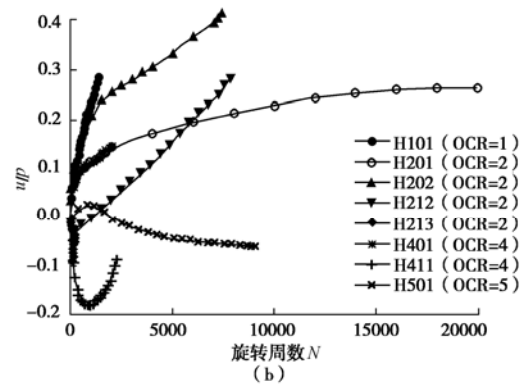
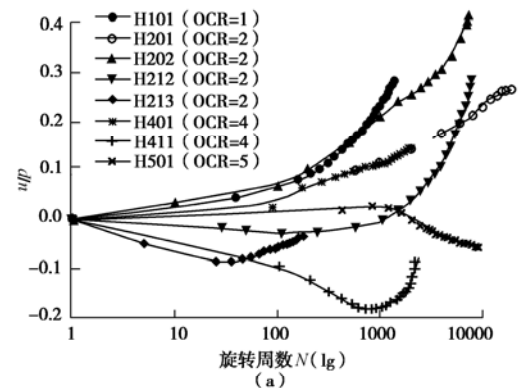


图 4 经历不同固结条件的试样在主应力轴循环旋转下孔压与旋转周数关系

Fig. 4 Relationship between pore pressure and vibration times under different consolidation conditions

而在超固结试样中, 在一个周期内, 孔压波动不显著的特征仍然存在, 但孔压整体变化却由于超固结形成时反压的控制条件不同而呈现显著差异。

首先对 OCR 均等于 2 的 4 个超固结试样 H201, H202, H212, H213 在主应力轴循环旋转时孔压开展特征进行对比。

H201 在卸载时开启反压阀, 保持反压恒定, 进而使试样在卸载时孔压始终不变。从图 4 可见该样在主应力轴循环旋转过程中孔压开展特征和等剪应力值 ($q = 10 \text{ kPa}$) 的正常固结试样 H101 一样呈现增长趋势, 只是因对 OCR=2 的试样而言该级剪应力属于低剪应力水平, 因此孔压发展较慢, 并且最终趋于平缓。而 H202 同样采用开启反压阀卸载, 剪应力提高到 16 kPa, 其孔压向正向开展特征更为显著。

而 H212 试样, 其与 H202 试样虽属同一剪应力水平 ($q = 16 \text{ kPa}$), 但采用关闭反压阀卸载, 从图 4 可见, 试样在进行主应力轴循环旋转过程中孔压呈现先负后正的开展趋势; 而 H213 试样, 也是关阀卸载,

主应力轴旋转时剪应力 (20 kPa) 高于 H212 (16 kPa), 其产生的相应孔压也向负压方向开展, 且负压开展程度大于 H212。

综合上述 4 个试样的对比结果, 在 $OCR=2$ 的条件下, 若试样形成超固结时采用开启反压阀法卸载, 则其在后续主应力轴循环旋转过程中孔压开展仍为正, 且随着剪应力的提高, 孔压开展的速率 (相同主应力轴旋转周数下的孔压增量) 亦随之提高; 而当试样采用关闭反压阀卸载时, 其后续主应力轴旋转过程中的孔压开展会有向负方向开展的趋势, 且随着剪应力提高, 负压开展的程度越加明显。笔者认为发生上述现象的一个重要原因是试样在卸载时产生吸水势, 关阀卸载由于无法提供水头补充, 从而将吸水势予以积累, 直到后续的动主应力轴循环旋转过程中, 这种吸水势随着振动而被释放, 造成土中负压的持续开展, 而开阀卸载, 则由于在卸载时, 向试样提供了必要的水头补充, 从而平衡了吸水势, 在后续的动应力路径下, 土体也就不会表现出明显的负压开展态势。

为了研究上述结论的适用范围, 进一步对更高超固结比试样开展分析。

对比 $OCR=4$ 的 2 个超固结试样 H401, H411 的试验结果可见, 开阀法卸载试样 H401 的孔压开展始终为正, 而关阀法卸载试样 H411 的孔压开展也依然为负。即表明, $OCR=4$ 以下, 不同反压阀关闭条件对超固结土在后续主应力轴循环旋转过程中的孔压开展特征产生不同影响的结论仍是适用的。

而从试样 H501 的试验结果发现, 当 $OCR=5$ 时, 试样即使在卸载时采用恒定反压控制, 在其后的主应力轴循环旋转过程中孔压只会出现细微的增加, 进而减小, 甚至出现负值, 直到破坏。这一试验现象说明, 对本文研究的杭州软黏土而言, 当超固结比达到一定程度时, 不论卸载时的反压 (孔压) 控制条件如何, 在后续的主应力轴循环旋转中都可能产生负孔压。这也与以往的一些有关动三轴试验中, 得到超固结黏土可能在较高的超固结比下表现处剪胀特性, 从而在不排水动应力路径下产生负孔压的现象是符合的。

3 结 语

本文开展了系列试验, 对原状软黏土在经历不同超固结条件后进行主应力轴循环旋转时的性状特征进行了对比研究。得到以下结论:

(1) 随着超固结比的增加, 试样在主应力轴循环旋转过程中的动强度、等效瞬时刚度均有显著提高。这一性状不受试样在超固结过程中是否存在反压恒定控制条件的影响。

(2) 若试样在超固结过程中不提供反压以保证试样孔压恒定, 则试样在后续主应力轴旋转过程中将产生显著负孔压开展趋势, 且产生负压的程度受超固结比和主应力轴旋转时剪应力水平的影响。

(3) 若试样在超固结过程中提供反压以保证试样孔压恒定, 则对超固结比较小的试样而言, 其在后续主应力轴旋转过程中孔压仍正向开展; 而当试样超固结比较大时, 其在后续旋转过程中可能产生负孔压开展趋势, 不同超固结比条件下孔压正向和负向开展的速率均随主应力轴旋转时的剪应力水平的提高而增加。

上述结论表明, 在实际工程中, 只有充分考虑包括超固结比以及超固结形成条件在内的多个因素影响, 才能对超固结土在动荷载作用下的各种性状的演变特征做出合理分析与预测。

参考文献:

- [1] ISHIHARA K, TOWHATA I. Sand response to cyclic rotation of principal stress directions as induced by wave loads[J]. Soils and Foundations, 1983, 23(4): 11 - 26.
- [2] TOWHATA I, ISHIHARA K. Undrained strength of sand undergoing cyclic rotation of principal stress axes[J]. Soils and Foundations, 1985, 25(2): 135 - 147.
- [3] 刘元雪, 郑颖人. 含主应力轴旋转的土体本构关系研究进展[J]. 力学进展, 2000, 30(4): 597 - 604. (LIU Yuan-xue, ZHENG Ying-ren. Research development of soils constitutive relation involving principal stress axes rotation[J]. Advances in Mechanics, 2000, 30(4): 597 - 604. (in Chinese))
- [4] 付 磊, 王洪瑾, 周景星. 主应力偏转角对砂砾料动力特性影响的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(4): 435 - 440. (FU Lei, WANG Hong-jin, ZHOU Jing-xing. Effect of the initial rotation angle of principal stress on the dynamic properties of soil[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2000, 22(4): 435 - 440. (in Chinese))
- [5] 郭 莹, 栾茂田, 何 杨, 等. 复杂应力条件下饱和松砂孔隙水压力增长特性的试验研究[J]. 地震工程与工程振动, 2004, 24(3): 139 - 144. (GUO Ying, LUAN Mao-tian, HE Yang, et al. Experimental study on development pattern of shaking-induced pore water pressure of saturated loose sand under complex loading[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2004, 24(3): 139 - 144. (in Chinese))
- [6] 沈瑞福, 王洪瑾, 周景星. 动主应力轴连续旋转下砂土的动强度[J]. 水利学报, 1996(1): 27 - 33. (SHEN Rui-fu, WANG Hong-jin, ZHOU Jing-xing. Dynamic strength of sand under cyclic rotation of principal stress directions[J].

- Journal of Hydraulic Engineering, 1996(1): 27 - 33. (in Chinese))
- [7] ARTHUR J R F, CHUA K S, DUNSTAN T, et al. Principal stress rotation: a missing parameter[J]. Journal of the Geotechnical Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 1980, **106**(4): 419 - 433.
- [8] WONG R K S, ARTHUR J R F. Sand sheared by stresses with cyclic variations in direction[J]. Geotechnique, 1986, **36**(2): 215 - 226.
- [9] GRÄBE P J. Resilient and permanent deformation of railway foundations under principal stress rotation[D]. Southampton: University of Southampton, 2002.
- [10] 郭 莹 栾茂田, 许成顺, 等. 主应力方向变化对松砂不排水动强度特性影响[J]. 岩土工程学报, 2003, **25**(6): 666 - 670. (GUO Ying, LUAN Mao-tian, XU Cheng-shun, et al. Effect of variation of principal stress orientation on undrained dynamic strength behavior of loose sand[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2003, **25**(6): 666 - 670. (in Chinese))
- [11] 张晨明, 董秀竹, 郭 莹, 等. 波浪荷载作用下砂土变形特性的模拟试验研究[J]. 地震工程与工程振动, 2005, **25**(2): 155 - 159. (ZHANG Chen-ming, DONG Xiu-zhu, GUO Ying, et al. Experimental study on dynamic deformation behavior of sand under wave induced loading[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2005, **25**(2): 155 - 159. (in Chinese))
- [12] 沈 扬, 周 建, 张金良, 等. 主应力轴循环旋转下原状软黏土临界性状试验研究[J]. 浙江大学学报(工学版), 2008, **42**(1): 77 - 82. (SHEN Yang, ZHOU Jian, ZHANG Jin-liang, et al. Experimental study of critical properties of natural soft clay under cyclic principal stress rotation[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2008, **42**(1): 77 - 82. (in Chinese))
- [13] 沈珠江, 孙大伟. 超固结土变形和稳定的折减吸力算法[J]. 岩土工程学报, 2005, **27**(1): 104 - 109. (SHEN Zhu-jiang, SUN Da-wei. Deformation and stability analysis of over-consolidated soils based on reduced suction concept[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, **27**(1): 104 - 109. (in Chinese))

请订阅《岩土工程学报》

《岩土工程学报》创办于1979年,是我国水利、土木、力学、建筑、水电、振动等六个全国性学会联合主办的学术性科技期刊。由南京水利科学研究院承办,国内外公开发行。主要刊登土力学、岩石力学领域中能代表我国理论和实践水平的论文、报告、实录等。报道新理论、新技术、新仪器、新材料的研究和应用。欢迎国家自然科学基金项目及其他重要项目的研究成果向本刊投稿,倡导和鼓励有实践经验的作者撰稿,并优先刊用这些稿件。主要栏目有论文、短文、工程实录、焦点论坛、学术讨论和动态简讯等。

本刊被《中文核心期刊要目总览》连续4版确认为核心期刊,并在建筑类核心期刊中排列首位;本刊被收录为国家科技部“中国科技论文统计源期刊”(中国科技核心期刊),并被评为“百种中国杰出学术期刊”;本刊被“中国科技论文与引文数据库”、“中国期刊全文数据库”和“中文科技期刊数据库”等多个国内重要的数据库收录,并可在《中国学术期刊(光盘

版)》、《中国期刊网》、万方网和重庆维普网全文检索;本刊被美国工程索引 Ei Compendex 等国际检索系统收录。

本刊读者对象为土木建筑、水利电力、交通运输、矿山冶金、工程地质等领域中从事岩土工程及相关专业的科研人员、设计人员、施工人员、监理人员和大专院校师生。

本刊为月刊,大16开,双栏排版,160页,每月中旬出版,2009年起每期定价25元,全年300元。

本刊国际标准刊号 ISSN1000-4548,国内统一刊号 CN32-1124/TU,国内发行代号 28-62,国外发行代号 MO0520。

欢迎广大读者在全国各地邮局订购,也可在编辑部订购(不另收邮费)。编辑部订购地址:(210024)南京虎踞关34号《岩土工程学报》编辑部;联系电话:(025)85829534,85829553;传真:(025)85829555;E-mail:ge@nhri.cn。

(本刊编辑部)