P222/65
035742

地基与基础译文集

2

土的应力-应变与强度特性

中国建筑工业出版社

地基与基础译文集

2

土的应力-应变与强度特性

《地基与基础译文集》 编委会

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国建筑工业出版社

本集27篇论文选译自一九七七年《第九届国际土力学与基础工程会议会议录》的第一部分。主要介绍土的性状、计算技术与模型试验、土的各参数的评价等方面各国的一些最新研究成果。

本书可供土工科研、勘察、设计技术人员参考。

《地基与基础译文集》编委会名单（按姓氏笔划排列）

王钟琦　　刘　颖　　胡　定

俞调梅　　秦宝玖　　贾永昌

唐念慈　　曾国熙　　潘千里

地基与基础译文集

2

土的应力-应变与强度特性

《地基与基础译文集》　编委会

*

中国建筑工业出版社出版（北京西郊百万庄）

新华书店北京发行所发行　各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：10 3/4 字数：262 千字

1979年11月第一版　1979年11月第一次印刷

印数：1—9,190 册　　定价：1.15元

统一书号：15040·3660

出 版 说 明

我国地基与基础工程技术，解放以来有了很大的发展，取得了一些可喜的成就，但是整个说来技术水平还是比较低的，也是建筑工程中的一个薄弱环节，还不能适应四个现代化的要求。无论是工程地质勘察、地基土的测试技术与评价、基础工程的设计与施工、地基处理、土力学与岩体力学理论等，跟国外先进技术相比，许多方面仍有差距。为了改变这种状况，努力提高我们的科学技术水平，要继续坚持独立自主、自力更生的方针，要学习国外的先进技术。学习先进，才有可能赶超先进。为了给大家提供学习参考资料，我们特组织出版《地基与基础译文集》丛书。

译文集按专题分册出版。本集27篇文章均选自《第九届国际土力学与基础工程会议会议录》（《Proceedings of the Ninth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering》）的第一部分“Stress-Deformation and Strength Characteristics”。第一部分原有73篇文章，主要围绕着土的性状、计算技术与模型试验、各种参数的评价等问题，介绍了各国的一些最新研究成果，反映了目前国际土力学理论水平的一些概况。但由于国际会议论文篇幅有限，所以有些文章过于简略。

参加本集选编工作的有同济大学俞调梅、成都工学院胡定、国家建委建研院黄熙令、潘千里、铁道部科学研究院周镜、北京市地质地形勘测处张国霞、陕西省建筑科学研究所陈传榕等同志，对他们的热情支持，特表示感谢。

中国建筑工业出版社编辑部

1978年12月

目　录

出版说明
成层土抗剪强度的各向异性…… 1
自动钻进式横向触探仪…… 5
砂土的临界密度……10
从地基破坏事故评价强度试验……16
一种很软粘土的不排水强度……24
一种准前期固结粘土模型……29
十字板试验述评……34
修建防渗墙的自凝泥浆和塑性混凝土……44
单向固结中的侧向应力……50
前期固结粘土的应力-应变关系……56
残余强度—新的试验方法与微结构……62
高岭粘土的组构对其强度和变形的影响……65
砂与重塑粘土的破坏条件……76
粘土中打桩引起的土的断裂……83
粘土变形和强度的微观研究……88
动力压实土的强度……93
安卡拉粘土的膨胀问题……99
膨胀压力与固结压力……104
不排水应力-应变性状的塑性模型……109
裂隙硬粘土的应力-应变性状……117
旁压仪、触探仪及固结仪试验……122
土的一种通用应力-应变关系式……129
用螺旋板原位试验测定软土的压力-沉降-时间关系……134
砂土-粘土的三维变形规律……143
超固结粘土的各向异性性状……151
粘土临近破坏时的性状……159
硬粘土性质的原位测试……162

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

成层土抗剪强度的各向异性

[希腊] A.G.Anagnostopoulos　　B.P.Papadopoulos

提　要

在一个褐煤的明挖稳定分析中，考虑到与沉积面成不同倾角的各平面上的抗剪强度特征，必须解决各向异性的问题，即需要估计不同斜面上的抗剪强度，并表达其上每一点的剪应力或实有的抗剪强度。

对各向异性材料按莫尔-库伦准则的莫尔圆来表达抗剪强度的困难在于以下事实，即莫尔圆的每一点相应于一个“不同的包络线”，而它又是相应平面的抗剪强度特性（φ、c）的函数。在此情况中，用极座标来表达剪应力与抗剪强度，并表明所考虑平面对沉积面的倾斜。

利用上法能估算并表达与沉积面成不同倾角的平面上的无侧限压缩试验与直剪试验的成果。

引　言

在一个天然土坡的稳定分析中，估算土体的各向异性有特殊重要性，尤其对于成层土的抗剪强度特性须加考虑。在一褐煤矿中，此材料是水平成层者，对其明挖的天然边坡稳定分析需要考虑与沉积面成不同倾角的抗剪强度的估算问题。此方法可以引伸到其他成层土情况。可以对土样进行不同倾斜方向的直剪试验与无侧限抗压试验。对另一些褐煤试样作了固结不排水三轴试验，使其层次方向平行于沉积面者。其试验成果用极坐标图估算。并纳入上法的分析之中。

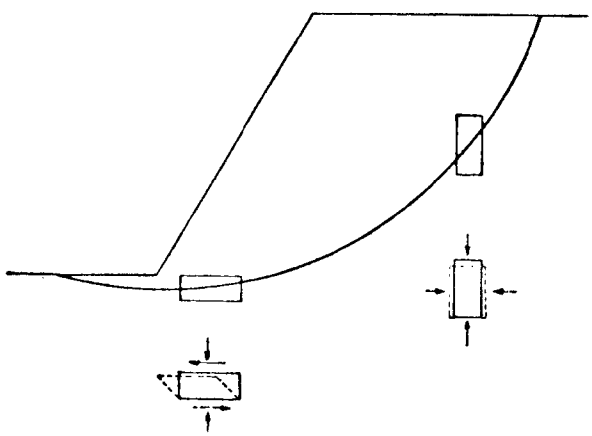


图 1　室内抗剪强度与野外抗剪强度的对比

土坡稳定分析

图 1（按 Bjerrum 1972）表示沿假设滑动面上所考虑之点的位置以确定抗剪强度特性所必需进行的试验。

对于直剪试验、无侧限压缩试验或三轴压缩试验中计算抗剪参数的情况，考虑到试样的成层条件的成果估算方法如下。

各试验的成果估算

1.实有抗剪强度与所受剪应力的表达法

在图2中用极坐标表示的每个平面上实有的抗剪强度（作为该相应平面上的抗剪参数的函数者）与所受剪应力。在其破坏时，图2中两曲线在某一点相遇，它就相当于此破坏平面。从莫尔圆的表达法中，上述方式可更形象地表示于图3，其中每一个点以及相应平面都对应于一个“不同包络线”。

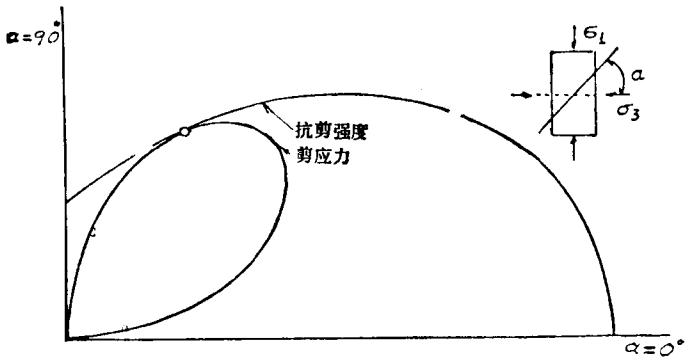


图 2

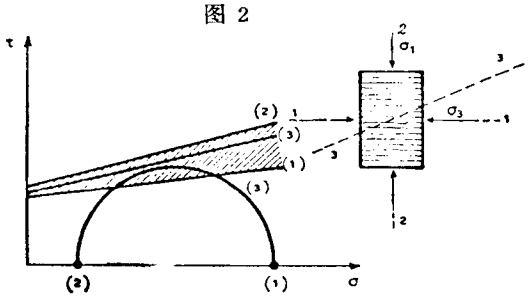


图 3

2.直剪试验成果的估算

图4 *a* 表示具有不同ϑ角的试样的直剪试验成果，其中ϑ为$\tau-\sigma$正交坐标中成层面与剪切方向之间的夹角。

图4 *b* 以极坐标分别给出二个抗剪强度参数，即粘聚力 *c* 和$S_\varphi=1\cdot\varepsilon\varphi\varphi$（对$\sigma=1\text{kg/cm}^2$的摩擦分量），它是$\alpha$角的函数。显然在带$\alpha$角时，对一法向应力$\sigma$的抗剪强度为

$$\tau=c+\sigma\cdot S_\varphi$$

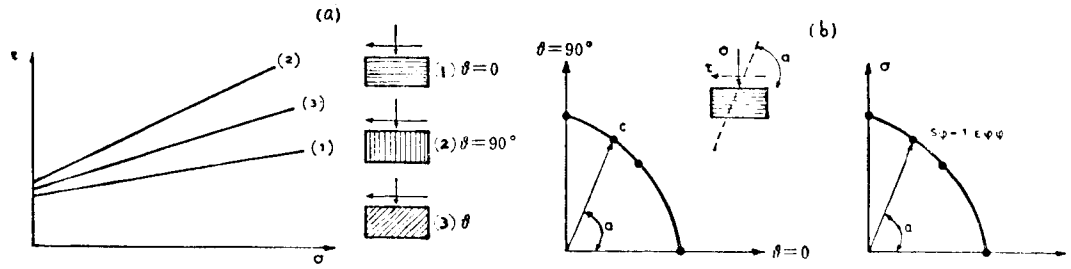


图 4

3.不排水三轴压缩试验成果的估算

图5 *a* 表示在极坐标系中，与主应力σ_1垂直的平面成ϑ角的倾斜面的不排水三轴压缩试验的成果，其中τ为任一平面也包括破坏平面上的剪应力。对于脆性破坏的试样，从一组试验中可能量测其破坏平面的倾角，并确定一个平均值。在图5 *b* 中也以极坐标分别表示二个抗剪分量 *c* 与$S_\varphi=1\cdot\varepsilon\varphi\varphi$是在不同倾角$\vartheta$的一组试验的$\alpha$角的函数。在所考虑平面

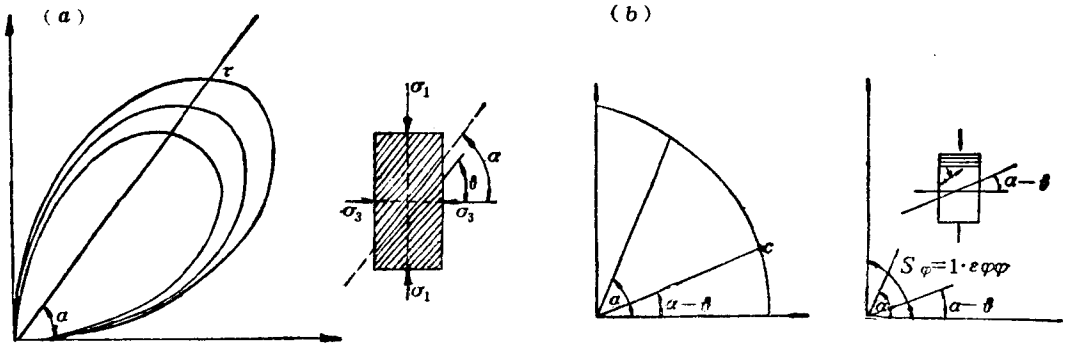


图 5

上的 α 角情况的抗剪强度与法向应力 σ 的关系式将为

$$\tau=c+\sigma\cdot S_{\varphi}$$

图 6 分别表示对于无侧限压缩试验的特殊情况的结果。

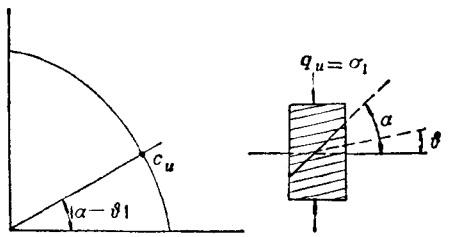


图 6

应　　用

按照上述建议，为了估算明挖矿区天然边坡的稳定性，可从直剪试验、不排水三轴及无侧限压缩试验来估算梅加洛波利斯矿区的褐煤试样。这些褐煤试样为泥质软化及成层的。在整个矿区内都有很多水平层次。试样的天然含水量约为150～180%（对于60°C烘干的恒量者），在其天然状态下饱和，其容重为1.15 gr/cm³。其颜色由褐色变黑，当它与空气接触时。与别种褐煤比较，其含量分析成果为：挥发物60～54%；固态炭26～40%。

图 7 a 表示沿 3 个方向的褐煤试样的直剪试验成果。图 7 b 表示如直剪试验成果的估算的沿不同方向的粘聚力与摩擦分量 $S_{\varphi}=1\cdot\varepsilon\varphi\varphi$。图 8 以极坐标表示沿三个方向加荷的褐煤试样的无侧限压缩试验成果。图 9 以极坐标表示褐煤试样抗剪强度作为施加主应力（或法向应力）与沉积层方向间的倾斜角函数的变化。

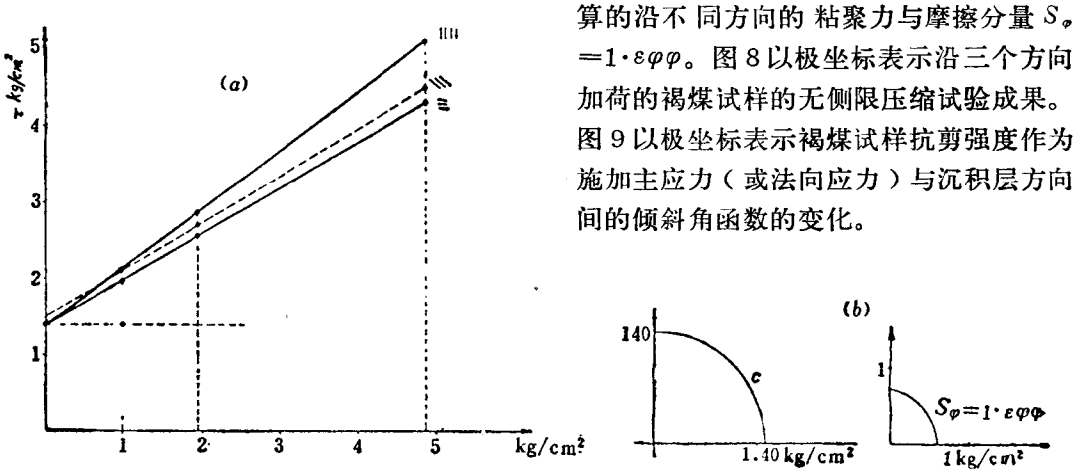


图 7

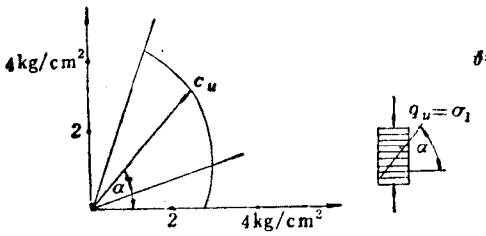


图 8

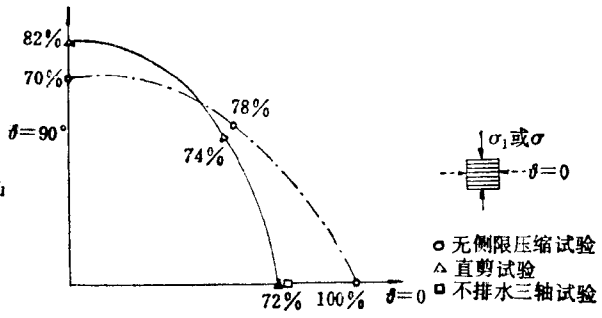


图 9

结　论

在计算滑动面的安全系数中，对于一种成层各向异性材料，考虑到与其沉积面成某一倾角 α 的每一平面的实有抗剪强度，上述表达方法能给出直接应用的准确图式。利用此法可以得到该材料沿不同方向的抗剪强度各向异性的简单而有代表性的图式。

参 考 资 料

[1] Bjerrum L.1972: Embakments on soft ground.

[2] Anagnostopoulos A.G. (Unpublished) Mechanical properties of Megalopolis lignites.

胡 定 译

自动钻进式横向触探仪

[法国] F.Baguelin　J.F.Jézéquel　A.Le Méhauté

提　要

本文介绍一种新的自动钻进式仪器：横向触探仪，它可以对未扰动的甚至是很硬、很密实的细粒土进行水平贯入试验。所获得的试验曲线可用来确定强度与变形参数，这些参数均已与自动钻进式旁压仪、Ménard旁压仪以及静力触探仪所测得的数据作了对比。特别是通过弹性理论比拟法定义了一个线性变形模量E，并研究了它与静力触探仪所测得的探头阻力q_c之间的关系。这个关系与Buisman经验公式$E_s=\alpha q_c$所推导出的关系进行了比较。

自动钻进式钻进，最初用于圆筒形膨胀试验，现已用于土体内的许多试验或量测工作（Baguelin, Jézéquel, 1975）。本文所介绍的是按这种原理制作的一种新仪器：自动钻进式横向触探仪（简写为PENLAT）。

1.自动钻进与自动钻进式横向触探仪

自动钻进式仪器由三部分组成：

（1）自动钻进部件，包括切削刃口、破碎土的装置及其液压驱动马达；

（2）沉送部件，用以克服仪器往下沉送时的阻力；

（3）量测部件，是可更换的，可根据情况选用旁压仪或触探仪或剪切仪等等。

对于自动钻进式横向触探仪来说，这量测部件是一根不变形的钢圆筒，圆筒上有一扇截面为圆形的小窗，水平探头可以通过这扇小窗水平地向周围土体压去（图1）。

操作程序是：

（1）自动钻进式钻进：通过自动钻进将仪器沉送至试验标高处，水平探头的端头严格位于切削刃口的延伸面上。

（2）水平贯入试验：自动钻进停止后，水平探头由液压千斤顶向周围土体压去（图2）。与此同时，用带有探头的仪器量测所需要的压力和所行进的距离。

（3）达到最大行程，水平探头缩回，探头由自动钻进沉送至新的试验标高。

所介绍仪器的特点为：

（1）自动钻进式仪器的外接圆直径为132mm。

（2）水平探头是钢制的，截面为10mm²，相应的半径为18mm，行程16mm。在底座施加压力进行试验，最大压力可达25000kPa❶。

（3）在水平探头的背面，于量测部件上设置一Glötzl总压力压力计。在进行水平贯入试验时，这个压力计内的压力从不发生变化。因而，所量测的水平探头-探头位移即为所要求得的水平探头-土体位移。

---

❶ Pa为国际单位制的压力、应力的单位，译成“帕”，1Pa=1N/m²，N为牛顿。k为国际制词冠，表示“千”（kilo）。——编者注

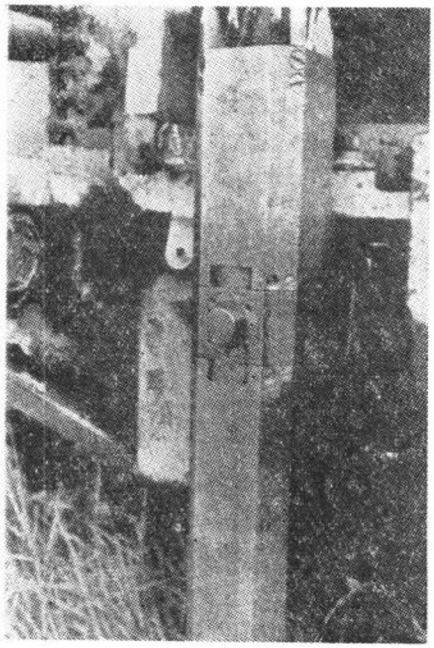


图 1　自动钻进式横向触探仪，水平探头在向仪器内退缩

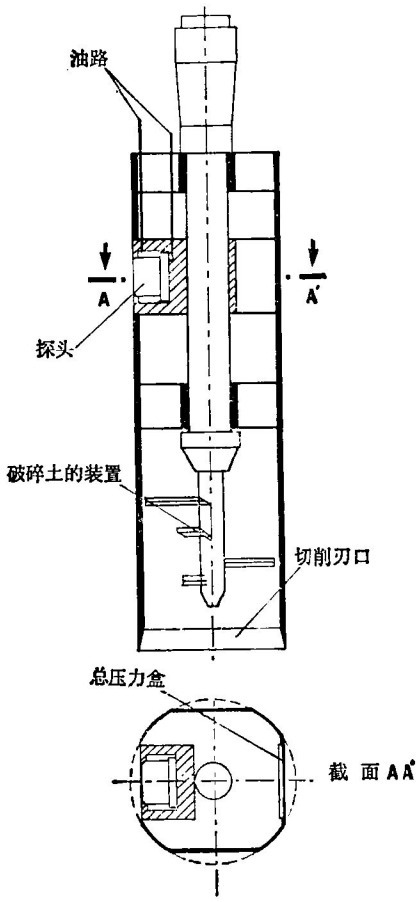


图 2　自动钻进式横向触探仪工作原理简图

2.水平贯入试验曲线形状与所测定参数的定义

一些几何数据，在经过各种校正，特别是有关仪器的内摩擦的校正之后，可用以绘出水平贯入试验曲线，给出端头压力p_q与相对位移Y/R（用%表示）之间的关系（图3）。这是一根向相对位移轴弯曲的曲线。它是规则的，无任何斜率的突变。曲线的起点为压力p_0，这是在理论上表示静止状态下土的水平总压力。当变形很大时，压力趋近于水平贯入极限强度 p_{ql}。

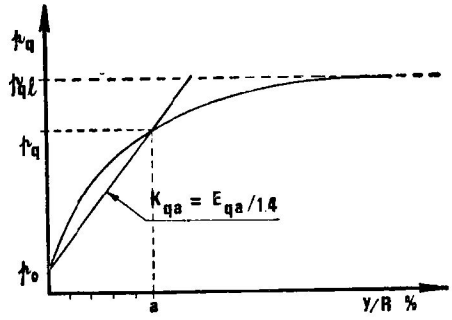


图 3　典型的水平贯入试验曲线。所测得诸特征值的定义

在负载的起始阶段，定义水平贯入模量K_{qa}为：

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

$$K_{q_a}=\frac{p_q-p_0}{a}$$

式中 a 为对应于压力p_q的相对变形Y/R。

也可按布西奈斯克理论算出线性变形模量：

$$E_{q_a}=\frac{\pi}{2}(1-\nu^2)K_{q_a}\cong 1.4K_{q_a}$$

（由于通常取$\nu=0.33$）。

3. 试 验 结 果 分 析

这里介绍三个工地所取得的结果，土层的常规特性如表 1 所示。

试验工地土层特性的平均值　　表 1

工　地	土　质	物理性指标				三轴试验	$\varphi°$	静力触探试验
		w	I_p	w_l	γ	c_u(kPa)		q_c(kPa)
Caudan	天然砾	18	NP	30	1.95	—	42°	5000～10000
St-Jean-de-la-Croix	卢瓦尔(Loire)砂	24	NP	—	1.90	—	33°	3000～8000
Poigny	普罗万(Provins)粘土	27	70	100	1.90	150	20°	10000～18000

（1）与自动钻进式旁压仪 PAFSOR 的比较

图 4 为 ST-JEAN-DE-LA-CROIX 工地于 7.00m 深处所测得的两条曲线。从这两条曲线可以看出，自动钻进式横向触探仪所测得曲线的曲率远较自动钻进式旁压仪所测得的为小，即，对某一给定的相对变形来说，水平贯入压力远较圆筒膨胀压力为大。这个结果已为所有的试验工地所证实。自动钻进式横向触探仪所测得的变形模量E_q通常比用自动钻进式旁压仪按下式求得的变形模量 E_p 几乎大一倍：

$$E_p=(1+\nu)\frac{p-p_0}{\varepsilon_0}$$

式中 ε_0为圆筒穴周边圆周的变形，ν 为泊松比，通常取0.33（表 2）。

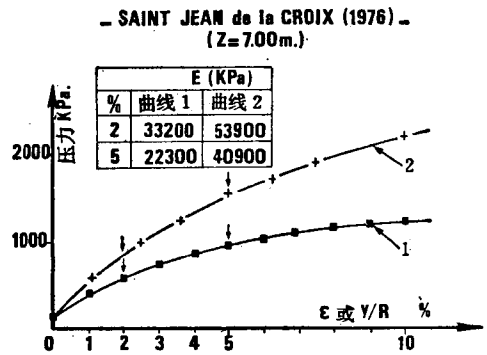


图 4　ST-JEAN-DE-LA-CROIX工地。自动钻进式旁压仪与自动钻进式横向触探仪所测得应力-应变曲线的比较

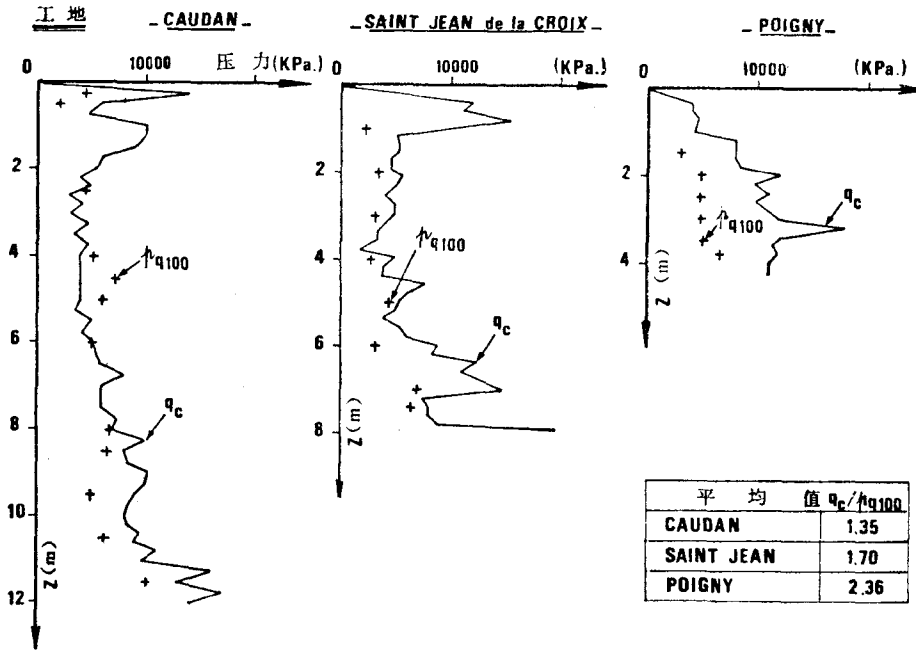
曲线1：自动钻进式旁压仪；曲线2：自动钻进式横向触探仪

（2）与静力触探的比较

对于最大的可能变形，假定是 100%，用静力触探（圆锥截面为 10cm²，贯入速度为 2 cm/sec）所测得的圆锥阻力 q_c 与用自动钻进式横向触探仪所测得的 p_q 进行了对比。其结果如图 5 所示。应当指出，除了 Caudan 工地的几个试验之外，在这种变形下的水平贯入强度均远较q_c为低，相差的大小与土的性质有关。但是，也不能得出结论就说q_c一定比 p_{q_l} 大，因为 ST-JEAN-DE-LA-CROIX 工地和 Poigny 工地所测得的曲线没有一条是有渐近线的（图 6）。而 Caudan 工地却相反，所有的曲线在相对变形为 80% 或100%时

ST-JEAN-DE-LA-CROIX工地。自动钻进式横向触探仪所测定的模量E_q，圆锥阻力q_c与自动钻进式旁压仪和Ménard试验所测定的模量之间的关系（压力以10^5Pa为单位） 表 2

深度 (m)	静力触探 q_c	自动钻进式横向触探 E_{q2}	自动钻进式横向触探 E_{q5}	自动钻进式旁压仪 E_{p2}	Ménard仪 E_M	比 E_{q2}/q_c	比 E_{q5}/q_c	比 E_{p2}/q_c	比 E_M/q_c
1	57	245	126	199	63	4.3	2.2	3.5	1.1
2	54	420	269	182	45	7.8	5.0	3.4	0.8
3	44	455	266	173	36	10.3	6.0	3.9	0.8
4	32	315	190	199	33	9.8	6.0	6.2	1
5	73	525	308	—	51	7.2	4.2		0.7
6	83	434	266	282	68	5.2	3.2	3.4	0.8
7	76	700	437	332	84	9.2	5.7	4.4	1.1
7.4	65	406	269	—	—	6.2	4.1		
平均	60	438	266	228	54	7.5	4.6	4.1	0.9



平均值	q_c/q_{100}
CAUDAN	1.35
SAINT JEAN	1.70
POIGNY	2.36

图 5 当相对变形为100%时，圆锥阻力q_c与水平贯入强度p_q的比较

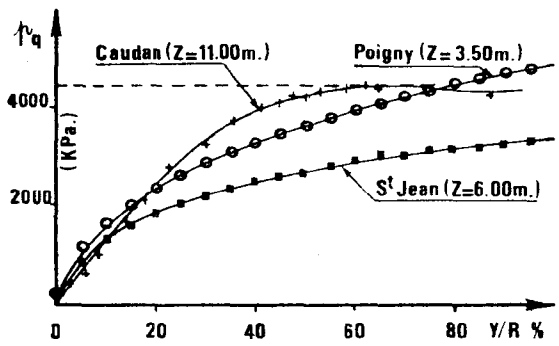


图 6 各试验工地所测得水平贯入试验曲线的比较

均有一渐近值。两个参数之比1.35，可能是考虑到一种物理现象，也可能是考虑到这个工地十分明显的不均匀性。应当指出，ST-JEAN-DE-LA-CROIX 工地只有一条触探试验曲线，而q_c/p_{q100}却是以五条相近的触探试验曲线取得 q_c 的平均值后求得的。对三个工地取平均值求得的 E_{q5}/q_c 与援用 Buisman 关系式$E_s=\alpha q_c$，从 q_c 求得的E_s也进行了对比。E_s 称作线性变形模量，通常用固结仪测定。

Buisman 给定的系数 α，最初等于1.5，接着就随土的性质而异（Sangelerat, 1972; Mitchell et Gardner, 1975）。其结果如表 3 所示。可以验证，对于考虑到不均匀性的砂土地基是合适的。对于 Poigny 粘土地基却有差异，不仅在平均值上，而且在单独取的数值上：可以看到，E_{q5}/q_c 在深度为0.6～1.50m与3～4m之间与深度呈直线关系，而q_c却变化不大（从 8000 到 12000kPa）。然而，这些结果可认为是有代表性的，因为试验地段是很均匀的。

自动钻进式横向触探仪所测定的水平贯入模量E_{q5}与用Buisman关系式所算得的q_c的比较（压力的单位为10^5Pa） **表 3**

工　地	q_c平均值(10^5Pa)	E_{q5}/q_c	$\alpha=E_s/q_c$
Caudan	75(探测两次)	2	1～3.5
St-Jean	60(探测五次)	4.4	1～3.5
Poigny	110(探测两次)	1.7	3～7

结　论

新仪器自动钻进式横向触探仪可用以测定原位土水平贯入试验的压力与变形关系。该仪器所确定的线性变形模量E_q比用自动钻进式旁压仪或 Ménard 旁压仪所测定的为大。与静力触探试验进行对比可以发现：

（1）对于因土质不同而变化很大的诸变形 Y/R 百分数（最小为100%），可以求得水平贯入的极限强度。

（2）自动钻进式横向触探仪所测定的线性变形模量E_{q5}，与不同作者用 Buisman 公式对砂土建议的模量 E_s 相差不大。但在粘土地基中却相反，这两个值的差别是很大的。

另一种自动钻进式横向触探仪现正处于制作过程中。水平探头的截面积为10cm²，最大行程 Y/R 为400%。该仪器也可用更大截面的水平探头进行水平贯入试验。

参 考 资 料

Baguelin F. et Jézéquel J.F. (1972),"Le pressiomètre autoforeur", Annales de l'ITBTP, série SF/97, Supp. n° 307-308, pp. 134-160, Paris.

Baguelin F. et Jézéquel J.F. (1975),"Further Insights on the Self-boring Technique Developed in France", Proc. Conf. in Situ Measurement of Soil Properties, Am. Soc. Civ. Engrs, Raleigh, North Carolina, June, Vol. 2, pp. 231-243.

Mitchell J.K. et Gardner W.S. (1975), "In situ Measurement of Volume Change Characteristics", Proc. Conf. in Situ Measurement of Soil Properties, Am. Soc. Civ. Engrs, Raleigh, North Carolina, June, Vol. 2, pp. 279-345.

Sanglerat G. (1972), "The Penetrometer and Soil exploration", Elsevier Publishing Company.

潘千里　译

砂土的临界密度

[荷兰] H.K.S.Ph.Begemann　H.L.Koning　J.Lindenberg

提　要

本文描述干与湿的临界密度试验。两者都产生一种临界孔隙率。引入一计算模型，并借助应变控制的干试验，可以预估在不排水湿临界密度试验过程中的应力途径。在此应力途径的分析中，当在松散堆积砂土的湿试验过程中，液化是作为应力控制的激起的结果。试验所得低的液化角也与计算相适应。此外，给出最近观测的一些重要结果。本研究的动机在于推测砂土突然崩塌也可能按照一种第二型机理进行。尤其是饱和松散砂土样的应变控制、不排水试验显示了一种与此第二型机理一致的性状。

引　言

长期以来就已知道在砂土中的“流动滑移”现象及“临界密度”的有关概念。对于后者，有不同的定义。临界密度的最早的定义是由 Casagrande 提出（1938），现表示在图1中。其测定可用熟知的在常量侧压力下的三轴试验进行。Geuze 引入“转折点”作判别准则，也表示在图1内。他画出每一试验的 $\varepsilon_{vol_{max}}$ 与相应孔隙率（即 $\varepsilon_{vol_{max}} \sim n_i$）的关系曲线，并引入 $n_{临界}$ 的“上限”与“下限”的概念。这些准则比Casagrande 的严格。Geuze 的试验在干试样上以应力控制方式进行，其中 $\sigma'_V + \sigma'_H$ 保持常量。

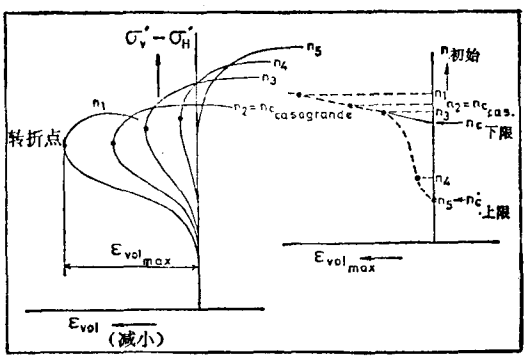


图 1　按 Casagrande 和 Geuze 的临界密度

人们认为流动滑移只能发生于下列条件，即在松散堆积的情况下，体积减小的趋势，超孔隙压力会上升到如此水平，以致有效应力几降为零，其结果是土体的反应相似于一种浓的流体。此理论的含意是在饱水的、完全排水的砂土体中，就不可能有流动滑移，并且在干的砂土体中，也肯定不会发生。

对于试样的应变控制临界密度实验

此实验包括在三轴仪中按不同的初始孔隙率作3～6个试验，变形速率用 1mm/min。在实验中 σ'_3 保持常量（应力径经 $\Delta\sigma'_H = -\frac{1}{2}\Delta\sigma'_V$）。垂直的及体积的变形对于平均试

样表面的影响都连续地予以考虑。在实验中，画出 ε_{vol} 与（$\sigma'_V-\sigma'_H$）的关系曲线。

实验结果

图2表示一个完整的干的临界密度实验的结果，其中 σ'_i=60 kN/m²（0.6kg/cm²）加于试样1，并得出 $\varepsilon_{vol_{max}}$ 与 n_i 关系曲线。

此试样为细砂，其 d_{50}约 150μm，n_{max} 约为 48.5%及 n_{min} 约为37.5%。

按照图2，$\varepsilon_{vol_{max}}$ 随着 n 的减小而减小，则干的临界密度是最高的初始孔隙率，在其时不发生体积减小者（与Geuze 的上限一致）。

实践中，当干临界密度实验的上限 $n_{c_{上限}}$（n_{cd}）被用作一安全界限时，实际上对于 σ'_i 不允许任何一点超孔隙压力。所以这是一个安全的准则。在有相当一部分粉土的更细砂的情况，就没有 $\varepsilon_{vol_{max}}$ 与 n_i 曲线和纵座标轴的明确定义的交会，其结果是 n_{cd} 不再能准确决定，而常常趋近 n_{min}（图2）。如果 n_{cd} 必须用作液化准则，后一趋近情况不大可能，也不合实际。

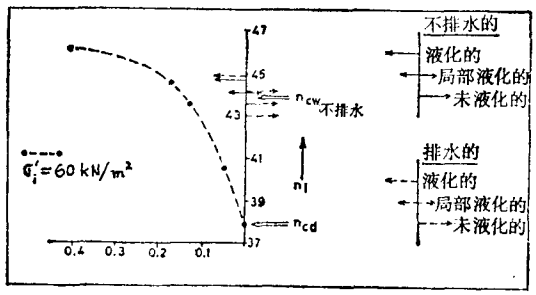


图2 包括试样1的湿临界密度试验成果的干试验的 $\varepsilon_{vol_{max}}$ 与 n_i 图

湿的临界密度实验

如前所述在干的实验中，体积减小将在饱水砂土的情况中产生超孔隙压力。若剪应力变化如此快速，以致不能造成完全排水，这种孔隙压力的改变可能引起液化。在早期的临界密度的研究中，常利用饱水试样的实验来校核之。对于实用而言，最希望有一安全准则，则不排水条件曾被选为这种湿的临界密度实验的起点。

这种实验也在三轴仪中进行。在完全饱水的试样组上以应力控制方式作之（Skempton 的B值>0.95）。在实验中，沿着一总应力途径 $\Delta\sigma_H=-\frac{1}{2}\Delta\sigma_V$ 进行。活塞贯入压力室的问题按下方式补偿，即在快速变形中使它压力室内压力的影响减至最小。

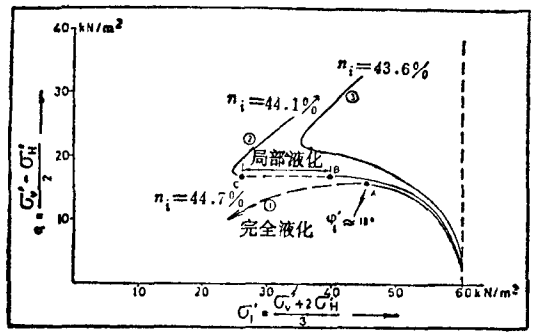


图3 对试样1的三个湿临界密度试验的各种应力途径

结果

一组完全的湿临界密度实验包括在不同孔隙率 n_i 下的几个试验。其结果以一种应力途径表达于 $q-\sigma'_i$ 曲线。图3表示对试样1的三个试验，其孔隙率分别为 n_i=43.6 %、44.1% 和 44.7%。初始的 σ_i 达到 60 kN/m²。对于 n =43.6% 的试样，其试验表示孔隙压力 u 升高，且随后又下降，造成 $\sigma'_V-\sigma'_H$ 的增大。故在此试验中没有液化。

对 $n=44.7\%$ 的试验，表明孔隙压力的较快积累。在刚到达 A 点之前，u 增加很快（此试验为应力控制者，于是 q 轴可近似表示时间轴）。近似于 A 点到达的时刻，此试样突然崩塌。它发生得太快，以致活塞跟不上试样，其结果是过 A 点后 q 迅速减小。

对于 $n=44.1\%$ 的试样，其反应大致相似，但只在较小程度上如此。刚到 B 之前，u 与 $\varepsilon_{垂直}$ 都增大得快。在 B 与 C 之间，偏应力稍有减小。然而试样又恢复些强度，而没有发生完全崩塌。这就称为“局部崩塌”。此湿的临界孔隙率 n_{cw} 就是其最高孔隙率，在该条件下不发生液化。对于试样 1，n_{cw} 在 43.6% 与 44.1% 之间。

相应于 A 点的一个显著结果是其低的瞬时 φ' 值：约为18°。为了区分高得多的实际摩擦角 φ'，这一角度称为液化角 φ'_l。

干的与湿的临界孔隙率的比较

在图 2 中，各个湿的试验的成果已用箭头表示于 $\varepsilon_{vol_{max}}$ 与 n_i 关系，包括在不排水的及排水的实验二者在内。发现对试样，其 n_{cd} 与 n_{cw} 的差异（在 $\sigma'_i=60\ \mathrm{kN/m^2}$ 者）达到大约 6 %。根据砂土类型，此差异的极端界限为0.5和 7 %，而 n_{cw} 是常高于 n_{cd}。

利用干实验的结果在不排水的湿实验中预估应力途径

在不排水的湿实验中的开始点为：

$$\Delta\varepsilon_{vol.tot}=n\Delta\varepsilon_{vol.w}=\Delta\varepsilon_{vol.comp.}+\Delta\varepsilon_{vol} \qquad (1)$$

式中 $\Delta\varepsilon_{vol.w}$=孔隙水的体积变形；

$\Delta\varepsilon_{vol.comp.}$=由于 $\Delta\sigma'_i$ 的作用使土粒骨架的体积变形；

$\Delta\varepsilon_{vol}$=由于剪应力的增加引起的体积变形。

一重要的假设是，若剪应力水平（即以 σ'_V/σ'_H 表示）改变时（在此情况为增加），ε_{vol} 才能发生变化。对于一种摩擦性材料如砂土者，我们相信此假设是一较好的开始点，若比起原假设，即 $\Delta\varepsilon_{vol}$ 只是由于 q 的增大所造成者。

以 K_w 作为孔隙水的体积模量（其中考虑空气含量的部分）和 K_g 作为土粒骨架的体积模量，可由干实验前的固结相得到（对于松散试样，可应用其卸荷值），则（1）式成为：

$$n\Delta\varepsilon_{vol.w}=\frac{n}{K_w}\Delta u=\frac{\Delta\sigma'_i}{K_g}+\Delta\varepsilon_{vol} \qquad (2)$$

如在湿实验中 $\Delta u=-\Delta\sigma'_i$ 可不变地应用，则得

$$\Delta\varepsilon_{vol}=-\left(\frac{n}{K_w}+\frac{1}{K_g}\right)\Delta\sigma'_i=-b\Delta\sigma'_i \qquad (3)$$

按照图 4，此 $\varepsilon_{vol}-(\sigma'_V-\sigma'_H)$ 趋势取决于 σ'_i 的数值，因此：

$$\Delta\varepsilon_{vol}=f[\sigma'_i,\ \sigma'_V/\sigma'_H,\ \Delta(\sigma'_V/\sigma'_H)]=-b\Delta\sigma'_i \qquad (4)$$

除了一种解析解之外，有一种图解法，可将试验的 ε_{vol}-σ'_V/σ'_H 各关系更实际地引入之。两种解法的比较表明，用图解法可以得到适当准确的结果。当在小的区间进行插入法时。

图解法例题

对于试样 1，当其在湿的临界密度实验中，在一初始等向应力 σ'_i 为60kN/m² 下的 n

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com