维普资讯 http://www.cqvip.com

对“基于水压率讨论土中孔隙水压力及有关问题”一文的讨论

李广信
（清华大学）

拜读了贵刊2007年第5期刊登的方玉树先生的“基于水压率讨论土中孔隙水压力及有关问题”一文（以下简称“方文”），他通过猜想而提出了新颖而大胆的模型和论点，并在所提模型的基础上，对于经典土力学学科的主要课题都进行了系统地改造，正如恩格斯所说；“不动则已，一动至少就要创造一个完整的体系。”[1]。

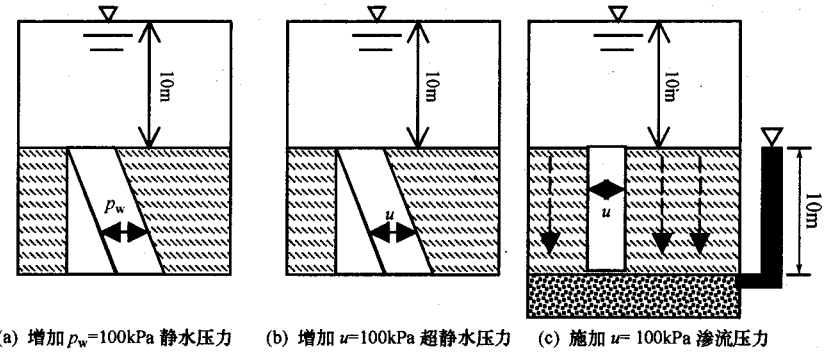
方文的核心是其公式（1），即孔隙水压力需要折减：

$$u = \xi\gamma_w h \qquad (1)$$

其中，ξ 为单位土体截面上自由水所占的面积。

其物理模型的基础是“结合水不能传递静水压力，也不能流动。”

关于土中水的静水压力、超静水压力和方文中所说的“动水头”的水压力，其实质是相同的，很难严格区分[2]，正如方文所说“当土体能传递静水压力时，在不同位置可以形成压力水头差，当压力水头差造成总水头差时水就会流动。”可见以他的观点，所谓的静水压力与动水头的压力是没有区别的。另外，所谓静水压力与超静水压力也是没有严格区别的。在图1中，如果在10m厚的饱和粘土体以上增加10m深的静水，按静水压力计算，是在土中增加静水压力100kPa（图1（a））；如果将100kPa作为外加荷载，孔压系数 $B=1$，在土中产生的100kPa也可以看作是超静孔隙水压力 u（图1（b））；而在透水的饱和粘土下部存在透水砂层时，100kPa也就可以是所谓的“动水头”压力。因而方文的模型也可以理解为“结合水不能传递水压力，也不能流动”。



（a）增加 p_w=100kPa 静水压力　（b）增加 u=100kPa 超静水压力　（c）施加 u= 100kPa 渗流压力

图1　静水压力、超静水压力与渗流水压力

深入理解方文的“模型”，似乎可以叫做“石榴模型”。亦即在饱和粘性土中，一切与水有关的部分都是自由水的事情。结合水（包括强、弱结合水）都是围绕在固体的石榴籽外围的“胶团”（也是我们食用的部分），它既不流动，也不能传递水压力。

所谓液限是粘性土流塑态的含水量下限。有人将各种矿物的粘土的液限含水量用式（2）估算[3]：

$$W_L = 19 + 0.56A_s(\pm 20\%) \qquad (2)$$

其中 A_s 为粘土颗粒的比表面积，m^2/g。这一公式对于不同的粘土矿物都是适用的，亦即可认为在粘土表面大约相当于6kPa的吸力下，单位面积粘土颗粒的表面吸附的结合水膜厚度是相同的。例如蒙特石矿物组成的粘土，其比表面积大约为700～840m^2/g，其液限含水量约为300%以上[3]因而通常认为式（2）中的系数0.56表示了颗粒表面吸附结合水的能力，所以也可以说粘土的液限含水量基本上是（弱）结合水的上限。所以一般粘土在 $I_L \approx 0.75 \sim 1.0$，饱和土中就基本没有自由水了，根据方文的理论，土体成为一个实体的石榴。由于结合水不能流动和排出，可怜的粘土固体颗粒们如天鹰座中的牛郎与天琴座的织女一样，只能遥遥相望，而永不得接近。

维普资讯 http://www.cqvip.com

可是,科学研究及其成果应当遵照以下一些基本原则:

(1) 正确性(accuracy):观测、试验、推理、运算精确可靠;

(2) 确证性(verifiability):亦即可重复性,其他人在规定的条件下也可以得到相同的结果;

(3) 客观性(objectivity):不以主观意见为转移,是完全客观的固有存在和规律;

(4) 公正性(impartiality):对数据、参数的严肃的态度,不可任意取舍。

在改革开放的初期,有一个著名的论断:"实践是检验真理的唯一标准";黄文熙先生也有一句名言:"试验资料是永恒的。"方文的模型一个主要不足是得不到已知的试验结果的支持:

(1) 按照"石榴模型",$I_L<1.0$ 的饱和粘土,孔隙水不能传递水压力,也不能流动,在压力水头作用下,$\xi=u=0$,石榴是不透水的,那么其渗透系数 $k=0$。而大量的试验表明,这个状态粘土的渗透系数一般在 $10^{-4}\sim10^{-9}$cm/s 范围,即使是处于塑限含水量的饱和土其渗透系数也不会是0。例如一种纯的膨润土,处于液限含水量时,$W_L=330\%$,相应孔隙比 $e=9.24$,试验得到的渗透系数 $k=1.28\times10^{-7}$cm/s[3]。利用具有液限含水量的白河堡粉质粘土进行的渗透试验表明渗透系数 k 为 1.7×10^{-5}cm/s[4];即使是液性指数小于0($I_L=-0.20$)的黄淮煤矿的深层粘土,其渗透系数也可达到 7.4×10^{-11}cm/s.[5]。

(2) 根据方文所说"孔隙水压力的变化可因各层土的水压率不同而在交界处不连续",由于方文还没有发展和改造达西定律,姑且认为达西定律还适用,由于交界点孔压不连续水力坡降 $i=\infty$,根据达西定律,该点流速 $v=\infty$,如何保证水流的连续性和物质守恒?

(3) 根据方文的模型,在 $I_L<1.0$ 的饱和粘土试样中的孔隙水是不能传递静水压力的。由于试样中埋设的孔压传感器和零位计周围无自由水,则孔压系数 $B\equiv0$。可是试验表明,只要试样充分饱和施加反压,试验中 B 完全可以达到1.0。我们用 $I_L=0.64$ 的白河堡粘土进行不排水三轴试验,施加200kPa的反压,测得的孔压系数 $B>0.95$[6]。

(4) 关于浮力和渗透力,按方文提出的模型,没有自由水即没有浮力和渗透力,只有饱和含水量高于液限的粘土(流塑态)中才有浮力和渗透力,并按其水压率 ξ 折减,可是在泥浆护壁中使用密度为 $1.2g/cm^3$ 的膨润土泥浆,其含水量接近于液限,其水压率 ξ 只是稍大于0,实际上其浮力却是大于 $\gamma_w V$ 的,粘土泥浆的浮力和渗透力甚至可以把几吨的块石浮起和推移,如泥质泥石流。

(5) 按照方文的理论,由于强弱结合水都不流动,在压缩固结试验中,水既不能流出,颗粒和(结合)水本身又是不可压缩的,那么 $I_L<1.0$ 的饱和粘土的压缩模量 $E_s\to\infty$。可是对小浪底水库工程的前苇塘粘土进行的试验表明,即使是饱和含水量接近于塑限时($I_L\approx0$),其压缩模量 E_s 也在20MPa左右[7]。

(6) 正常固结粘土的内摩擦角 φ' 很大程度源于在压力下土的固结加密,颗粒间距离减小,相互吸引力增加。根据上述模型,$I_L<1.0$ 的粘土固体颗粒被囚禁,又不能排水加密,"胶团"间又是没有摩擦力的,因而这相当于不排水试验(体变为0),这样,在三轴排水试验中应 $\varphi'=0°$。而实际上饱和正常固结粘土的 $c'=0$kPa,$\varphi'\approx30°$;而对小浪底的心墙粘土现场取样(其饱和含水量接近塑限),进行的492组排水三轴试验结果表明,$c'=47.5\sim62.6$kPa,$\varphi'\approx22.0°\sim23.5°$[8]。

(7) 按照方文的模型,如果将粘土调成泥浆,加压固结,那么不管压力多大,最后也只能达到可塑状态,因为这时基本没有自由水了,而结合水既不能流动,也不能传递水压力,因而也就根本不可能存在饱和土的坚硬、硬塑等状态。而我们对小浪底水库的前苇塘饱和粘土进行高压固结试验,在3MPa压力下[7],饱和含水量达到13%,远低于其塑限含水量 $w_p=17\%$,亦即 $I_L<0$。

(8) 同样,在预压渗流固结时,根据上述模型,地基土不可能预压到含水量低于液限,更不可能达到塑限,尽管方文提出"在固结过程中,一部分弱结合水转移至相邻胶团不接触方向上使该方向上一部分弱结合水转化为自由水",似乎有弱结合水变成自由水的一线希望,但接着又指出"不会导致自由水所占面积比例增加。"这又堵死了这种可能,因为原来没有自由水的土(所占比例为0),永远不会转化出自由水来。可是实际上,强结合水也是可以被固结排出的,黄淮地区的一些煤矿深层饱和粘土其液性指数 I_L 可达 $-0.2\sim-0.4$。

(9) 方文关于基坑突涌(流土)的公式是原文中的式(15):

$$H_{cr}=\xi\gamma_w h_0/(\gamma-\xi\gamma_w) \qquad (3)$$

式中,H_{cr} 是临界深度;h_0 为坑底处的压力水头;γ 为

维普资讯 http://www.cqvip.com

含水层顶板重度;其实所谓的突涌或者流土完全是一个静力平衡问题,正如方文所说:"基坑底突涌总是从含水层顶板的底面开始",这种静力平衡与材料透水与否无关,见图3,亦即:

$$\gamma H_{cr} = \gamma_w (h_0 + H_{cr}) \quad (4)$$

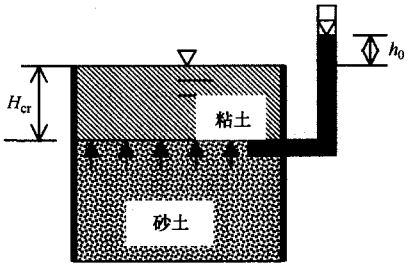


图3 土的突涌(流土)示意图

而根据式(3),如粘土的"压水率"$\xi=0$,则粘土底面发生突涌的临界厚度 $H_{cr}=0$,亦即只需一张纸的厚度就可抵抗不管多么高的水头 h_0。

关于方文及其模型,还有不少不解之处,例如 ξ 到底是"单位土体截面上自由水所占的面积",还是"自由水所占面积与孔隙所占面积之比"?因为土的孔隙度 n 远小于1.0,二者是不等的。而"自由水所占面积与孔隙所占面积之比"又怎么能够会在"忽略了各向异性时接近于 V_w/V_v"?如果自由水体积 V_w 占孔隙总体积 V_v 为1/27,各向同性时,三个方向尺度自由水占孔隙长度的1/3,"自由水所占面积与孔隙所占面积之比"似乎是1/9。可见作者定义的水压率是相当矛盾与模糊的概念。

另外,粘土具有复杂的组构,常常是以粒组、粒团的形式组成一级结构,然后它们又形成另一级结构[9],如图4所示。重塑土与原状土结构是很不相同的,土中的离子浓度和价位也严重影响结合水的形态与含量,如何定量确定自由水的比例?

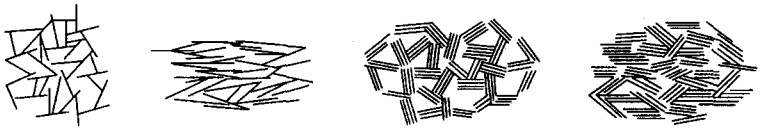


图4 粘土的几种结构形式

方文所提出的关于粘土中水土关系的某些问题,在工程实践中确实存在,这些问题尚待从微观到宏观的深入研究,方文提出的水压率设想也不失为一种探索,但是所提出的水压性、水压率这样一些极为模糊的概念,既无物理力学基础,也不具有任何可操作性于事无补。理论应当基于试验,不能有悖于常识和长期工程实践已经证明的事实,不能有悖于基本的数学物理定律,土力学是一门实践性很强的学科,试验是揭示规律和机理,取得参数,验证理论与进行计算的极其重要的环节,不从事,不熟悉试验,没有掌握基本的丰富的土工试验成果,就很难对土力学基本理论有正确和深入的理解。

参 考 文 献

[1] 恩格斯.反杜林论.人民出版社,1970年第一版.

[2] 李广信.土体、土骨架、土中应力及其他.岩土工程界,2005,8(7):13-17.

[3] J. K. Mitchell. Fundamentals of Soil Behavior. John Wiley & Sons, Inc., New York 1993.

[4] 宋 磊.粘土基坑支挡结构水土压力研究.清华大学硕士论文,2003.

[5] 刘 正.深部粘土性质及土层疏水对矿井井壁受力变形影响的研究.清华大学硕士论文,2005.

[6] 吴佳晔.Kc固结粘土特性研究及其边值问题的有效应力分析.清华大学博士论文,1995.

[7] 管 馨.小浪底水库前苇塘土料的常规和高压三轴试验研究,1988,清华大学水利工程系报告.

[8] 陈立宏.土石坝固结和稳定的风险与可靠度分析.清华大学博士论文,2003.

[9] 李广信主编.高等土力学.北京:清华大学出版社,2004年第一版.

第一作者通讯地址:清华大学 **邮编:**100084