

试验时,试样在压力下固结完毕后,必须先在不排水条件下卸去一定数量的固结压力(原文图4中从C卸至B),再进行不排水剪切,以得出卸荷条件下的固结不排水强度指标 $\varphi_r$ 和 $\xi$ 。文中特别强调了必须区分加、卸荷条件而采用不同的固结不排水强度指标,而不是象陈教授在讨论中指责的那样,“往往不顾土体的工况习惯于采用总强度指标 $c_{cu}$ 和 $\varphi_{cu}$ ”。

(2)在自重下已经固结的饱和粘土层中开展基坑工程时,快速开挖使坑底以下土体在不排水条件下受到卸载和剪切作用。此时,既可用土层中取出的土样进行不排水试验,以得出不排水强度指标 $c_u$ ( $\varphi_u = 0$ ),也可采用上述考虑卸荷的固结不排水试验,而得出卸荷情况下的固结不排水强度指标 $\varphi_r$ 和 $\xi$ 。它们都可用来计算基坑底面以下土体的强度和墙前被动土压力。看来这两种比拟并不互相矛盾,似乎不会导致象陈教授指出的那种“如果这种解释是正确的话,那末只有在自重下尚未固结的泥浆的强度才相当于不排水强度”的推论。

(3)在陈教授引用的文献<sup>[4]</sup>中确定列举了固结不排水试验的不少缺点。然而,其中大多是所有室内试验所共有的,例如试样的应力条件并不与原位的完全等同,以及取土扰动影响等等。只是当它指出标准的固结不排水试验结果在实际中的应用范围有限时,却有一个比较有力的理由如下。在这种标准试验中,试样固结后,其 $\sigma_3$ 保持不变而 $\sigma_1$ 增大,直至达到破坏。这相当于被动压力条件。而在相当于主动土压条件的情况下, $\sigma_3$ 减小而 $\sigma_1$ 不变,得出的结果将大大不同。因此笔者赞成陈教授关于应该考虑土体的工况而选用适当的总应力强度指标的意见,但是并不认为在基坑工程中只能采用不排水强度指标。如上所述,在此情况中,固结不排水强度指标同样也能应

用,当然必须强调考虑开挖卸载的影响。这样,至少可为设计者在考虑强度指标时提供更多的选择余地。何况,特别是对于计算土压力来说,采用固结不排水强度指标有时还比采用 $\varphi = 0$ 的不排水强度指标更为适当<sup>[2]</sup>。

(4)在自重下正常固结的饱和粘土层中取出不扰动土样而进行不排水试验,其结果基本上代表原位上的天然强度(不排水强度)。从这种强度的形成机理来看,它应该是在上复土重下固结的结果。因此,固结不排水试验原则上也可比拟这个过程。不容置疑的是,由于室内和现场的应力和固结条件不尽相同,以及取土扰动影响等等,无论用不排水试验或在上复土重下固结的固结不排水试验得出的强度都不可能与原位的天然强度完全等同。但是,两种试验结果之间的关系基本上可以用 $c_u = p \lg \varphi_{cq}$ 来表示( $\varphi = 0$ 和 $c_{cq} = 0$ ),其中 $p$ 是与原位上复有效应力相当的固结压力。这似乎也是无可非议的。即使在陈教授认为对于此式的可靠性有所怀疑的文献<sup>[4]</sup>中,也曾多次用 $c_u/p$ 的比值表示正常固结土的固结不排水试验结果,而 $c_u/p$ 实际上就相当于本文中的 $\lg \varphi_{cq}$ 。

(5)在陈教授的讨论中最后提及的水压力计算问题,笔者已在即将发表的文章<sup>[3]</sup>中进行探讨,此处不再赘述。

#### 参 考 文 献

- 1 魏汝龙. 稳定分析中的强度指标问题. 岩土工程学报, 1993, 15(5).
- 2 魏汝龙. 总应力法计算土压力的几个问题. 岩土工程学报, 1995, 17(6).
- 3 魏汝龙. 基坑内外的水压力和渗流力. 岩土工程师, 1998, 10(1).
- 4 Bishop A W, Hankel D J. The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test. Edward Arnold(Publishers), Ltd., London, 1957.

## 对“安庆城市防洪堤渗流控制”一文的讨论

葛孝椿

(安徽省水利科学研究院, 蚌埠, 233000)  
水利部淮委

本刊1997年第6期刊登了“安庆城市防洪堤渗流控制”一文(以下简称“原文”),其中的“渗透性参数有限元法反演拟合计算”和用平面有限元计算减压井(包括反分析计算)有值得磋商之处。

### 1 仅用测压管水头值进行反演分析不能得出渗透系数的唯一解

“原文”第4节为“渗透性参数的有限元法反演拟合计算”。在这里介绍的“优化反演方法”是根据断面各测压值 $p_i, i = 1, m$ ,用优化方法寻求各土层渗透系数 $k_i, i = 1, n$ 及反映井管淤塞性的 $k_{n+1}$ ,使得在相应边界条件及相应各土层渗透系数的情况下,稳定渗流中各测压管部位计算水头 $h_i, i = 1, m$ 满足

$$F(k_1, \dots, k_n, k_{n+1}) = \sum_{i=1}^m (h_i - p_i)^2 = \min$$

“原文”稳定渗流计算采用平面有限元法,由此得出各土层渗透系数及 $k_{n+1}$ 。

这样进行反演拟合很难得出可靠的结果,因为仅用测压管水头(或压力)值 $p_i, i = 1, m$ 要想通过反演拟合来求出唯一的一组渗透性参数 $k_i, i = 1, n$ 及 $k_{n+1}$ 是不可能的。仅用测压管水头值通过优化求 $k_i, i = 1, n$ 及 $k_{n+1}$ 将有无穷多组解。因此,如

此优化计算的解是不确定的。要从无穷多组解中确定唯一的一组解,必须再利用其他条件。

早在1989年,笔者曾接受有关部门的委托,分析安庆防洪堤中的汪家墩段减压井减压效果达不到设计要求的原因。分析的主要手段也是利用实测资料通过反分析确定有关渗透性参数。渗透性参数除了包括各土层渗透系数以外还包括反映淤堵情况的参数等。在分析中,首先利用长江水位较长时间稳定时段的测压管水头通过优化计算求得各土层渗透系数的相对值(绝对值有无穷多组)以及其它渗透性参数,然后再用实测的渗透流量与计算的渗透流量之比确定唯一的一组渗透系数。通过分析定量地说明了汪家墩堤段减压井减压效果达不到设计要求的原因除了淤堵以外,还有设计采用的渗透性参数与实际情况差距过大。详细分析可见文献<sup>[1]</sup>和<sup>[2]</sup>。

仅利用测压管水头值进行优化计算反演分析解的不确定性可从下面稳定渗流微分方程<sup>[3]</sup>来论证:

$$\frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial h}{\partial z} = 0$$

对某一稳定渗流场,在边界情况不变的前提下,若场内各点的渗透系数绝对值进行变化,但相对值不变,即场内任何点变化后的渗透系数与变化前对应点的渗透系数之比恒为某一实常数 $\eta$ ,若变化前任意一点的渗透系数为 $k_x, k_y, k_z$ ,则变化后分别为 $\eta k_x, \eta k_y, \eta k_z$ ,代入上述稳定渗流微分方程得

$$\frac{\partial}{\partial x} \eta k_x \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \eta k_y \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \eta k_z \frac{\partial h}{\partial z} = 0$$

上式即

$$\frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial h}{\partial z} = 0$$

因此,在这种情况下,任意一点渗透系数以 $\eta k_x, \eta k_y, \eta k_z$ 进行稳定渗流计算,得出的各点水头 $h$ 将是一样的。由于实常数 $\eta$ 有无穷多个,因而正向分析会有无穷多组渗透系数(其相对值不变)对应唯一的水头分布函数;那么反分析时,则一组水头分布可以对应无穷多组渗透系数,但是其相对值不变(即变化前后各点渗透系数之比为某一实常数),这就证明了解的不确定性。

再从达西定律表达式来分析,利用流量实测值与计算值之比来确定实常数 $\eta$ 是可行的。

## 2 平面上有限元法分析减压井(包括反分析)存在的问题

“原文”中稳定渗流计算是用平面有限元法,然而减压井不属于平面问题。尽管采用了种种近似处理“以沟代井列”,但是总难免顾此失彼,难以使各个范围的计算水头和渗流量均与空间问题的减压井计算结果一致。尤其是用平面有限元法分析井距较大的减压井(汪家墩井距为30m),难以可靠的求得井间位

势及井孔附近位势分布,而井间位势及井下游附近的位势对确定抗渗措施至关重要,这些部位正是堤防渗透变形的敏感部位。

此外,许多堤防工程在距井列不远的部位埋设的测压管较多(汪家墩就是如此),利用这些测压管水头值再用平面有限元计算进行反分析,将会增大反分析的误差。

还有,用平面有限元计算减压井绘制的等势线或等压线,不能反映井列方向位势的变化。如果采用减压井并与盖重相结合进行抗渗加固,则难以经济合理地确定减压井井列两端附近区域的盖重加固范围或盖重大小。如果减压井间距不等,或不规则排列,或者井孔数量较小,用平面有限元分析就更难反映实际情况。此时,用空间问题的解析解与数值解相结合的方法<sup>[4,5]</sup>似乎较为合理,不过目前只适用于双层地基。用空间有限元分析更为有效,但是分析工作量较大。

## 参考文献

- 1 葛孝椿等. 安庆市长江堤丁马段汪家墩减压井减压效果分析与汪家墩师姑沟加固设计方案计算. 安徽-淮委水利科学研究所, 1989.
- 2 葛孝椿等. 堤防盖重与减压井反分析及其应用. 见: 第三届华东地区岩土力学学术讨论会, 21世纪的岩土力学专题讨论会论文集. 华中理工大学出版社, 1995. 193~200.
- 3 毛昶熙主编. 渗流计算分析与控制. 北京: 水利电力出版社, 1990. 18.
- 4 葛孝椿. 堤坝地基强透水层下游封闭情况的减压井计算方法. 见: 第二届华东地区岩土力学学术讨论会论文集. 浙江大学出版社, 1992. 35~42.
- 5 葛孝椿. 堤坝盖重与铺盖渗流分析的传递矩阵解法. 治淮科技, 1993(1): 17~20.

# 对“安庆城市防洪堤渗流控制”一文讨论的答复

段祥宝 毛昶熙  
(南京水利科学研究院水工所, 210029)

感谢葛孝椿先生对“原文”的讨论,现就反演计算和减压井的平面计算问题答复如下:

## 1 水头和流量条件是渗透系数反演中取得唯一解的保证

这一点众所周知,在毛昶熙先生所著《渗流计算分析与控制》<sup>[1]</sup>一书中也充分说明。“原文”对7个典型断面的渗透性反演分析中遵循该原则,在各断面实测井流量资料确定的前提下利用测压管水头实测资料进行各土层渗透性的最优化求解。但有些断面或本身无井,或某些反演年份无井,也就无相应流量资料,反演所得仅是各土层渗透性的相对比值。在实际渗流分析时以其它年份或其它断面的表层弱透水层的 $k$ 值代之,而分别得到各土层透水性的绝对值,并以多组不同年份和江水位下实测资料予以校核该反演值。因此“原文”在叙述中并没有将流量条件计入优化反演式中,而是将各断面的计算流量列入各断面的结论中。例如“原文”举例汪家墩断面,井单宽渗流量为0.13 l/s,与“原文”图4中实测值较为接近。

## 2 减压井的平面计算

堤防后排渗措施——减压井,理论上属三维空间问题,应进行空间渗流分析方为精确可靠。但从工程实际出发将减压井列简化为无穿沟的平面二维问题来分析,具有一定的精确度和优

越性<sup>[2]</sup>,从文献[1]中可知,引用近似公式计算与电拟试验误差在5%以下。至于减压井列附近的急变区范围一般小于 $at/\pi[w + r_0(1 - \frac{w}{T})]$ ,从文献[1]中还可知,井间和井轴剖面在 $a = 10 \sim 40m$ 时水头差异大于2%的范围为距井点4~15m以内。在具体渗流分析中,应区别对待井列附近测压管的实测值。如是井轴纵剖面上的测压管,则应用井轴剖面上的计算值来反演;而若是井间剖面上的测压管,则应用井间剖面来计算。同样,在进行渗流控制时,应以井间剖面上的压力值来分析渗流坡降和盖重。

原文分析中大多取井轴剖面,测压管距减压井一般在15m以外,在考虑渗控措施时取用井间断面压力值,分析精度可以满足工程需求。

## 参考文献

- 1 毛昶熙主编. 渗流计算分析与控制. 北京: 水利电力出版社, 1990. 187~188.
- 2 李祖贻, 陈平. 以沟代井列的渗流计算. 水利学报, 1990(3).