

讨论

关于塑性势问题的讨论*

奚 宜

(南京水利科学研究所)

本刊所载的论文“硬化规律对土的弹塑性应力-应变模型影响的研究”(载本刊第2卷, 第1期), 论述了塑性理论对土的适用性, 利用流动规则通过试验在 p - q 平面上假定 e_p^p 轴及 r^p 轴分别与 p 轴及 q 轴重合确定塑性应变增量方向后, 连接它们划出一组流线, 和这组流线相垂直的一组线就是塑性势线。并提出如果屈服条件与塑性势相适应, 计算工作将大为简化。这将是一个很有意义的研究课题。本刊所载的另一篇论文“土的弹塑性应力应变关系的合理形式”(载本刊第2卷第2期)认为塑性势是一个可有可无的概念, 指出塑性应变的方向与加荷路径无关的假设已被证明不符合实际情况, 并引用了巴拉萨布拉曼兰(Balasubramanian)和Seiki Ohmaki的资料来论证。这两种观点那一种比较正确, 或适用于什么类型的土, 这是需要用试验来检验的。

我们用人工制备的正常固结饱和和粘性土试样(粘粒含量20%, 粉粒含量52%, 细砂含量28%; 含水量 $w=24\sim 26\%$, 试样容重 $\gamma=1.97\sim 2.00\text{g/cm}^3$; 液限 $w_L=24.9\%$ 塑限 $w_P=18.2$), 在三轴仪中进行了四种不同应力路径的试验, 第一种是用不同等压作用下面结后, 有效周压力 σ_3' 不变的常规排水试验; 第二种是用不同等压作用下面结后, 平均有效主应力 p' 不变的排水剪切试验; 第三种是在不同等压作用下面结后, 进行常规不排水试验; 第四种是不同应力比条件下的压缩试验。应力参数为: 广义剪应力 $q=(\sigma_1-\sigma_3)/2$, 平均有效主应力 $p'=\frac{1}{3}(\sigma_1'+2\sigma_3')$; 应变参数为: 广义塑性剪应变 $\gamma^p=(e_1^p-\frac{1}{2}e_3^p)$, 塑性体应变 $e_v^p=e_v-e_v^e$ 。

(一)屈服线和塑性势面的绘制

1. 根据不排水试验, 绘制有效应力路径, 求得破坏时的应力比 $M=1.40$ 。
2. 将各种应力路径的排水试验在 p - e_v^p 平面上绘制出不同应力比的一簇曲线。将 e_v^p 为常量的线与不同应力比 η 线的交点投影到 p - q 平面上, 就是刚发生塑性体应变的应力轨迹, 即屈服线, 如图1(a)。
3. 根据剪应力 q 与塑性剪应变 γ^p 的关系曲线(图1(c))和平均主应力 p 与塑性体应变 e_v^p 的关系曲线(图1(b)), 再绘制塑性剪应变 γ^p 与塑性体应变 e_v^p 的曲线(图1(c))。然后对应各应力比 η 划出该曲线的切线, 求得塑性应变增量的分量 Δe_v^p , $\Delta \gamma^p$, 划在 p - q 平面上相应的应力比处。再将塑性应变增量的矢线连接成流线, 根据正交法则, 划出与流线相垂直的线就是塑性势线(图1(a))。

从图上可以看出以下几点: ①塑性应变增量的方向基本上与应力路径无关, 如图上A、B、C各点所示。至少可以说单一的加荷条件下与应力路径无关, 这就说明应力与塑性应变增量方向具有唯一性; ②采用塑性体应变 e_v^p 为常数的硬化参数, 其硬化规律是从原点开始的等向运动硬化; ③所得的塑性势函数与屈服函数相一致, 因而对于试验所用的正常固结饱和和粉质粘土, 相适应的流动法则是适用的, 即

$$f = g(p, q, e_v^p) = \left(\frac{p}{\alpha} - p_0 \right)^2 + \left(\frac{q}{\beta} \right)^2 = p_0^2,$$

*本刊所载的关于塑性势的论文共两篇:

黄文熙, 硬化规律对土的弹塑性应力-应变模型影响的研究, 本刊第2卷, 第1期, 1980年3月;

沈珠江, 土的弹塑性应力应变关系的合理形式, 本刊第2卷, 第1期, 1980年6月。

本文是作者根据试验资料对上述文章提出的看法。——编者。

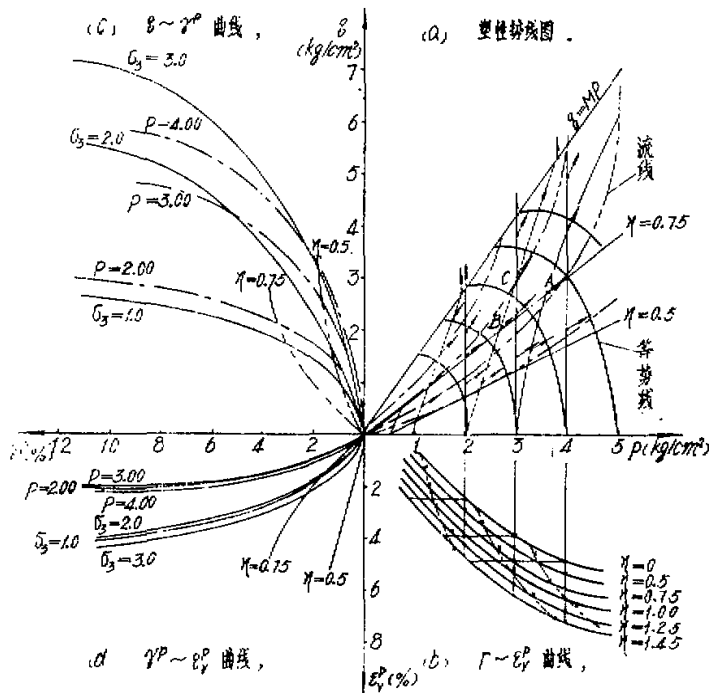


图1 屈服线和塑性势图

$$p_0 = \exp \left(-\frac{e_v}{\lambda} \right),$$

式中 α 、 β 为决定屈服线形状的参数， p_0 为固结压力(kg/cm^2)。

(二) 问题讨论:

1. 在理论推导中,假定由平均有效主应力产生的体应变与由剪应力产生的剪缩体应变在剪切过程中相互无关,因而,在 $e_v-\ln p$ 平面上,不同应力比的压缩曲线是相互平行的;同样,对于回弹曲线,也假定不存在弹性剪应变,它们也是一簇相互平行的直线。但是,在我们采用的试样的试验结果中,不同应力比的压缩曲线的斜率 λ 和回弹曲线的斜率 κ 稍有变化,因此,对屈服线的形状就有一些影响。就是说,不完全是与应力路径无关,也不是绝对的等向运动硬化规律。

2. 巴拉萨布拉曼兰的试验资料整理得出了塑性应变增量方向与应力路径有关,在小应力比的条件下特别明显,当应力比变大时,塑性应变的方向与应力路径却无关了。原因是他们认为弹性应变很小,用全增量代替塑性应变增量。其实,弹性应变很小相对于大应变来说的,对于小应变,弹性应变增量就不可忽视。巴拉萨布拉曼兰的试验成果恰恰说明了这个问题。从我们的试验资料来看,弹性剪应变与应力比的比值 $\nu'/\eta = 0.3$,是比较小的;对于弹性体应变,由于 $\lambda = 3.90$, $\kappa = 0.58$, $\kappa/\lambda = 0.15$,同时它与应力比无关。这样,在小应力比时,弹性体应变增量更不能忽略了,否则,就得出塑性应变增量的方向与应力路径有关的结论。从图1(a)中也看出,尽管我们分离出弹性应变,当应力比 η 小于0.5时,由于处于试验开始阶段,应变值不易测准,致使塑性应变增量的方向难以准确的划出。

上述试验是在某种性质土的单一加荷条件下得出的,是否适用于其他土性和加荷条件,尚待进一步研究。