

按实际打桩迭加计算最终位移等等,才能使计算方法精确。实际工程往往提供不了很多的试验条件。因此,只有面对现实,走实用简化的思路,但简化处理必然带来理论上的不严密。例如原文中采用桩位平面的简化、塑性区 R_p 的预先确定、塑性区平均体积应变 Δ 计算的简化和用压缩模量代替弹性模量等均是因此而生的。所以,笔者在原文中再三强调所提方法的局限性,只能是一种估算方法。在实际操作时,必须按以下步骤,即 ①假定 $\Delta \rightarrow$ ②计算 $u \rightarrow$ ③采取有效措施防止挤土破坏 $\rightarrow$ ④根据

现场实测结果重新设定 $\Delta \rightarrow$ ⑤重复上述步骤,同时按信息化施工控制挤土位移。解决压桩挤土位移的关键是措施和土体水平位移的现场实测,真正做到信息化施工,问题就能够妥善解决。

(3) 李月健先生最近提出了能更好模拟打桩和计算打桩引起周围位移的方法,这是值得学习的,并希在工程实践中不断完善提高。

再次感谢李月健先生的讨论,并期望有机会与李月健先生再作交流。

关于“钢筋(煤矸石)混凝土网格式加筋土挡土结构强度特性与试验研究”的讨论

雷胜友

(长安大学公路学院岩土所,陕西 西安 710064)

中图分类号: TU 472.34

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2002)01-0116-02

作者简介: 雷胜友(1965-),男,陕西澄城人。1988年毕业于石家庄铁道学院铁路桥梁专业,获学士学位,1993年毕业于西南交通大学桥梁与地下工程系,获岩土工程专业硕士学位,1996年毕业于四川大学水利系,获岩土工程专业博士学位。现任副教授,主要从事土动力学、加筋土支撑结构、岩石力学基础工程方面的教学与科研工作。

自1968年法国工程师发明了加筋土技术以来,加筋土工程因具有多种优势而风靡全世界,它被广泛地应用于公路、铁路、港口、市政、民航等大型土木工程。^{*}

加筋土是由抗拉强度比较高的加筋材料及填料(土)组成,加筋材料分为柔性材料和非柔性材料,对于柔性筋的加筋土强度,一般认为其强度线平行于素土的强度线,其粘聚力比素土多一个增量。对于非柔性筋加筋土的强度,在文献[1]中作过介绍,在强度表达式的推导过程中,其小主应力增量的计算分两步进行,第一步假设加筋土相对于不加筋土而言,只是粘聚力有提高,第二步认为加筋土相对于不加筋土而言,只是内摩擦角有提高,将两步计算所得小主应力增量取代数和,代入土体极限平衡方程,求得大主应力。但该文在推导过程中,两步计算所得小主应力增量取代数和的物理意义不清,所推结果也不满足非柔性筋加筋土强度参数粘聚力为 $c + \Delta c$,内摩擦角为 $\varphi + \Delta \varphi$ 的假设。因此,笔者尝试从极限平衡原理出发,利用应力莫尔圆,一步到位,推导非柔性筋加筋土的强度表达式,以使推导过程的物理意义明确,概念清楚,以达到去伪存真,辨明是非的目的,并以此与同行们切磋讨论。

(1) 推导过程介绍

对于非柔性加筋材料加强后形成的复合体,其强度线可简化为倾角为 $\varphi + \Delta \varphi$,截距为 $c + \Delta c$ 的一条直线,其关系见图1。

图1表示加筋与不加筋土的三轴试验破坏时的莫尔圆及强度包络线,圆①表示在 σ_3 作用下无筋土破坏的莫尔圆,线 a 为其强度包络线。圆②表示在同样 σ_3 作用下加筋土破坏的莫尔圆,线 b 为其强度包络线,点画线 c 平行于线 a 。加筋土中土骨架受到外荷载产生的 σ_1 和 σ_3 及筋所施加的附加压力 $\Delta \sigma_{3f}$ 的作用,由于加筋土破坏时,其中土也达到破坏,并服从强度包络线 a ,这样加筋土破坏时其中骨架的应力状态用圆③表示,它的实际小主应力为 σ_{3f} ,围压为 σ_3 ,则 $\Delta \sigma_{3f} = \sigma_{3f} - \sigma_3$,为筋对土骨架的附加应力,由图中的几何关系可得

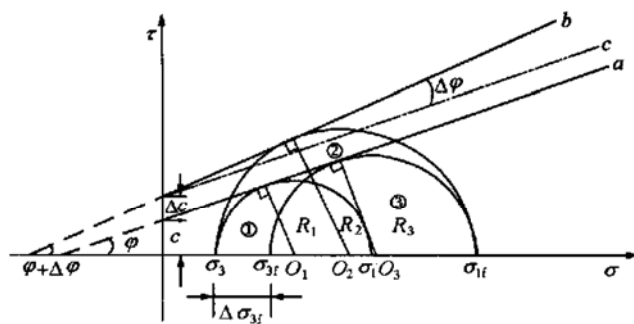


图1 加筋土破坏时 Δc , $\Delta \varphi$ 与土的附加应力 $\Delta \sigma_{3f}$ 的关系

Fig. 1 The relationship among Δc , $\Delta \varphi$ and $\Delta \sigma_{3f}$

in failure of reinforced earth

$$\Delta \sigma_{3f} = 2(R_2 - R_3) \quad (1)$$

对于圆③,由几何关系有 $R_3 = (\sigma_3 + c \cdot \cot \varphi + 2R_2 - R_3) \sin \varphi$,整理得

$$R_3 = \frac{\sigma_3 \sin \varphi + c \cdot \cos \varphi + 2R_2 \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad (2)$$

对于圆②有 $\frac{(\sigma_{1f} - \sigma_3)/2}{(\sigma_{1f} + \sigma_3)/2 + (c + \Delta c) \cot(\varphi + \Delta \varphi)} = \sin(\varphi + \Delta \varphi)$,整理得

$$R_2 = \frac{[\sigma_3 \cdot \sin(\varphi + \Delta \varphi) + (c + \Delta c) \cdot \cos(\varphi + \Delta \varphi)]}{1 - \sin(\varphi + \Delta \varphi)} \quad (3)$$

将式(2),(3)代入式(1)并整理得

$$\begin{aligned} \Delta \sigma_{3f} = & \frac{\cos(\varphi + \Delta \varphi/2) \sin(\Delta \varphi/2)}{(1 + \sin \varphi) [1 - \sin(\varphi + \Delta \varphi)]} \cdot 4\sigma_3 + \\ & \frac{\sin(\Delta \varphi/2) [\cos(\Delta \varphi/2) - \sin(\varphi + \Delta \varphi/2)]}{(1 + \sin \varphi) [1 - \sin(\varphi + \Delta \varphi)]} 4c + \\ & 2\Delta c \cdot \tan^2(45^\circ - \varphi/2) \cdot \tan(45^\circ + \varphi/2 + \Delta \varphi/2) \end{aligned} \quad (4)$$

由极限平衡原理有 $\sigma_1 = (\sigma_3 + \Delta \sigma_{3f}) K_p + 2c \sqrt{K_p}$,运算整理得

$$\sigma_1 = \left| 1 + 4 \frac{\cos(\varphi + \Delta\varphi/2) \sin(\Delta\varphi/2)}{(1 + \sin\varphi)[1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi)]} \right| \sigma_3 K_p + \left| \frac{\Delta c}{c \sqrt{K_p}} \cdot \tan(45^\circ + \varphi/2 + \Delta\varphi/2) + 1 + 2 \frac{\sin(\Delta\varphi/2) [\cos(\Delta\varphi/2) - \sin(\varphi + \Delta\varphi/2)]}{(1 + \sin\varphi)[1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi)]} \sqrt{K_p} \right| \cdot 2c \sqrt{K_p} \quad (5)$$

$$\sigma_1 = [1 + F_1(\Delta\varphi)] \sigma_3 K_p + [1 + F_2(\Delta\varphi) + F_3(\Delta c) F_4(\Delta\varphi)] 2c \sqrt{K_p} = \bar{\sigma}_3 K_p + 2\bar{c} \sqrt{K_p} \quad (6)$$

$$\text{式中 } F_1(\Delta\varphi) = 4 \frac{\cos(\varphi + \Delta\varphi/2) \sin(\Delta\varphi/2)}{(1 + \sin\varphi)[1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi)]}; F_2(\Delta\varphi) = 2 \frac{\sin(\Delta\varphi/2) [\cos(\Delta\varphi/2) - \sin(\varphi + \Delta\varphi/2)]}{(1 + \sin\varphi)[1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi)]}; F_3(\Delta c) = \frac{\Delta c}{c \cdot \sqrt{K_p}}; F_4(\Delta\varphi) = \tan(45^\circ + \varphi/2 + \Delta\varphi/2); K_p = \tan^2(45^\circ + \varphi/2)。$$

(2) 本文推导结果与文献[1]的比较

为了便于比较,现列出文献[1]的结果如下:

$$\sigma_1 = \left| 1 + 4 \frac{\cos(\varphi + \Delta\varphi/2) \sin(\Delta\varphi/2)}{[1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi/2)](1 + \sin\varphi)} \right| \sigma_3 K_p + 2c \sqrt{K_p} \cdot \left| 1 + \frac{\Delta c}{c} + \frac{2\sin(\Delta\varphi/2) \cdot [\cos(\Delta\varphi/2) - \sin(\varphi + \Delta\varphi/2)]}{[1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi)](1 + \sin\varphi)} \sqrt{K_p} \right| \quad (7)$$

$$\sigma_1 = [1 + F_o(\Delta\varphi)] \sigma_3 K_p + [1 + F_c(\Delta\varphi) + \Delta c/c] 2c \sqrt{K_p} = \bar{\sigma}_3 K_p + 2\bar{c} \sqrt{K_p} \quad (8)$$

$$\text{式中 } F_o(\Delta\varphi) = 4 \frac{\cos(\varphi + \Delta\varphi/2) \sin(\Delta\varphi/2)}{[1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi)](1 + \sin\varphi)}; F_c(\Delta\varphi) = 2 \frac{\sin(\Delta\varphi/2) [\cos(\Delta\varphi/2) - \sin(\varphi + \Delta\varphi/2)]}{[1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi)](1 + \sin\varphi)}; K_p = \tan^2(45^\circ + \varphi/2)。$$

比较式(5)、(7)可发现两式不同之处:式(7)中第二个大括号里的第二项为 $\Delta c/c$,而式(5)中对应项为 $\frac{\Delta c}{c \sqrt{K_p}} \tan(45^\circ + \varphi/2 + \Delta\varphi/2)$,随着 $\Delta\varphi$ 的增大, $\tan(45^\circ + \varphi/2 + \Delta\varphi/2)$ 的值会增大, $\Delta c/(c \sqrt{K_p}) \tan(45^\circ + \varphi/2 + \Delta\varphi/2)$ 的值也会增大,因此, $\Delta\varphi$ 对项 $\Delta c/(c \sqrt{K_p}) \tan(45^\circ + \varphi/2 + \Delta\varphi/2)$ 的影响是不能忽略的。

而且式(5)反映的加筋土的强度式还满足这样的假定,即加筋土的强度线为截距为 $c + \Delta c$,倾角为 $\varphi + \Delta\varphi$ 的一条直线,而式(7)则不满足这样的假定,这样就与文献[1]中原假设相矛盾,这也是笔者与文献[1]争论的焦点所在。

相比较而言,本文的推导正确,结果令人满意。

参考文献:

- [1] 杨果林,王永和. 钢筋(煤矸石)混凝土网格式加筋土挡土结构强度特性与试验研究[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(5): 534-539.

对“钢筋(煤矸石)混凝土网格式加筋土挡土结构强度特性与试验研究”讨论的答复

杨果林^[1,2]

(1. 中南大学铁道校区土木建筑学院, 湖南 长沙 410075; 2. 湘潭工学院土木工程系, 湖南 湘潭 411201)

中图分类号: TU 472.34

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2002)01-0117-02

作者简介: 杨果林(1963-),男,湖南桃江人,教授,博士后,主要从事专业为结构工程、岩土工程、道路与铁路工程。

雷胜友博士对笔者在《岩土工程学报》1999年第5期上发表的“钢筋(煤矸石)混凝土网格式加筋土挡土结构强度特性与试验研究”一文(以下简称原文)的讨论,是有一定意义的。在原文中提出了钢筋混凝土网格式加筋土挡土结构这种非柔性筋材,由于不仅可以承受拉应力,而且可以承受剪应力,与一般柔性筋材加筋土只增加粘聚力 Δc ,而视加筋与不加筋具有相同的内摩擦角 φ 不同,非柔性筋材加筋土与不加筋相比,加非柔性筋材加筋土不仅增加粘聚力 Δc ,而且也增加了内摩擦角 $\Delta\varphi$ 。加筋土体相对于无筋土体而言,由于增加了 Δc , $\Delta\varphi$,使加筋土体增加了一个附加围压 $\Delta\sigma_3$ 。根据极限平衡条件,推导出大主应力 σ_1 的表达式,在推导过程中,原文采用了最常见、最通用的计算方法,即:第一步,只考虑因加筋体增大了 Δc 时所增加的周围附加应力 $\Delta\sigma_3'$,此时视 φ 不变;第二步,只考虑因加筋体增大了 $\Delta\varphi$ 时所增加的周围附加应力 $\Delta\sigma_3''$,此时视 c 不变。由于加筋土体相对于无筋土体增加了 Δc , $\Delta\varphi$,使加筋土体增加了附加围压 $\Delta\sigma_3 = \Delta\sigma_3' + \Delta\sigma_3''$,从而得出公式*

$$\sigma_1 = \left| 1 + 4 \frac{\cos(\varphi + \Delta\varphi/2) \sin(\Delta\varphi/2)}{[1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi)](1 + \sin\varphi)} \right| \sigma_3 K_p + 2c \sqrt{K_p} \left| 1 + \right.$$

$$\left. \frac{\Delta c}{c} + \frac{2\sin(\Delta\varphi/2) [\cos(\Delta\varphi/2) - \sin(\varphi + \Delta\varphi/2)] \sqrt{K_p}}{[1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi)](1 + \sin\varphi)} \right| \quad (1)$$

雷博士在计算推导中,同时考虑增加 Δc , $\Delta\varphi$,推得的公式为

$$\sigma_1 = \left| 1 + 4 \frac{\cos(\varphi + \Delta\varphi/2) \sin(\Delta\varphi/2)}{[1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi)](1 + \sin\varphi)} \right| \sigma_3 K_p + 2c \sqrt{K_p} \left| 1 + \frac{\Delta c}{c} \cdot \frac{\tan(45^\circ + \varphi/2 + \Delta\varphi/2)}{\tan(45^\circ + \varphi/2)} + \frac{2\sin(\Delta\varphi/2) [\cos(\Delta\varphi/2) - \sin(\varphi + \Delta\varphi/2)] \sqrt{K_p}}{[1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi)](1 + \sin\varphi)} \right| \quad (2)$$

从式(1)与式(2)可看出,两者的区别仅在于由式(1)中的 $\frac{\Delta c}{c}$ 到式(2)中的 $\frac{\Delta c}{c} \cdot \frac{\tan(45^\circ + \varphi/2 + \Delta\varphi/2)}{\tan(45^\circ + \varphi/2)}$,这是由于前者分别考虑 Δc , $\Delta\varphi$ 时推导出来的,而后者则是同时考虑 Δc , $\Delta\varphi$ 时推导出来的,只是推导方法上的不同所造成的差异,仅有理论公式推导上的意义,对实际工程影响不大。

原文中的计算方法是最常用的计算方法,概念清楚,物理意义明确,所以雷胜友博士的讨论中“但该文在推导过程中,两步计算所得小主应力增加量取代数和的物理意义不清,所推结果