

流变模型在格栅加筋堤坝稳定分析中的应用*

邢怀海¹ 顾晓卉² 徐 波³

1. 盐城工学院 建筑工程系 江苏 盐城 224003
2. 盐城工学院 设计艺术系 江苏 盐城 224003
3. 河海大学 岩土工程所 江苏 南京 210008

摘 要 考虑了加筋土坡中土工合成材料流变性对土坡稳定的影响。假设堤坝的破坏面为圆弧破坏,并且在该面上发生筋材的蠕变。堤坝中土体与格栅没有相对的位移,接触面良好。
关键词 蠕变;土工格栅;流变模型;加筋堤坝
中图分类号 TU378 **文献标识码** A **文章编号** 1671-532X(2002)02-0021-04

工程上的实际经验表明加筋物(土工织物、土工格栅、土工网等)的蠕变特性对路堤的变形和稳定有很大的影响,但目前工程设计中没有一个分析加筋路堤蠕变特性分析的简单实用的方法。而一般都是采用有限元的方法,虽然有限元的方法能够有效地进行分析计算,但是由于其应用和计算的复杂性,不适于在设计工程中推广使用。因此推出一种分析路堤蠕变稳定的实用方法,在目前就很有实际的工程意义。

1 土工格栅的受力特性

室内在 CSS-44000 系列电子万能实验机上对土工格栅作无侧限的拉伸试验。所采用土工格栅的各项参数为: $E_1=0.7\times10^6\text{ N/m}$, $E_2=0.8\times10^6\text{ N/m}$ 。图 1 为所得的实验结果。从拉力与位移的关系曲线可以看出在试验的后期,该土工格栅展示了及其显著的流变特性。因此在工程上要合理地分析路堤的稳定性,就必须把加筋物(土工格栅)的流变性也考虑在内。

2 格栅材料的流变模型

格栅的流变受力特性可以由 SLS 粘弹性流变模型来模拟。图 2 为流变模型的示意图。该模型由两个基本部分组成:刚度为 E_1 的弹簧体系,刚度为 E_2 、粘滞系数为 η 的开尔文体

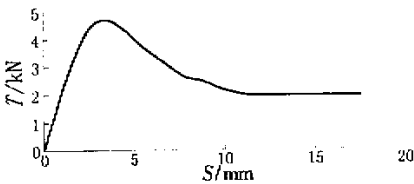


图 1 格栅拉力(T)与位移(S)的关系曲线图
Fig.1 Curve of Tension(T) and Displacement(S)

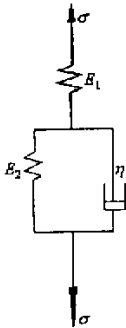


图 2 流变模型的关系曲线图
Fig.2 Rheological Model

系。在一维的受力条件下该模型的本构方程为:

$$\frac{1}{E_1}\left[\frac{d}{dt} + \frac{E_1 + E_2}{\eta}\right]\sigma = \left[\frac{d}{dt} + \frac{E_2}{\eta}\right]\epsilon \quad (1)$$

其中 σ 、 ϵ 为加筋物在水平受力方向的应力和应变。
对于恒定的应力 σ ,方程可以表达成:

* 收稿日期:2001-12-19
作者简介:邢怀海(1975-),女,江苏盐城人,盐城工学院助教。

$$\frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{E_2}{\eta}\varepsilon = \frac{E_1 + E_2}{\eta E_1}\sigma \quad (2)$$

该方程的解为：

$$\frac{\varepsilon}{\sigma} = \varphi(t) = \frac{1}{E^*} - \frac{1}{E_2} \exp\left(-\frac{E_2}{\eta}t\right) \quad (3)$$

$$E^* = \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} \quad (4)$$

$$\text{因此, } \varepsilon = \sigma \varphi(t) = \sigma \left[\frac{1}{E^*} - \frac{1}{E_2} \exp\left(-\frac{E_2}{\eta}t\right) \right] \quad (5)$$

加筋物的位移

$$\mu = l \times \varepsilon = l \sigma \left[\frac{1}{E^*} - \frac{1}{E_2} \exp\left(-\frac{E_2}{\eta}t\right) \right] \quad (6)$$

根据图 1, 路堤滑动圆弧内的加筋物长度可以表示成：

$$l(\alpha_x) = \sqrt{y_0^2 - (x_0 - \alpha_x)^2} + x_0 - \alpha_x \cot \beta \quad (7)$$

x_0, y_0 为滑动圆弧的圆心纵坐标和横坐标。

α_x 为加筋物与路堤底部的距离

β 为路堤的倾斜角

因此路堤水平向的蠕变位移 μ 可以表达成：

$$\mu = l(\alpha_x) \varepsilon = l(\alpha_x) \sigma \varphi(t) = l(\alpha_x) \sigma \left[\frac{1}{E^*} - \frac{1}{E_2} \exp\left(-\frac{E_2}{\eta}t\right) \right] \quad (8)$$

3 格栅加筋路堤

图 3 为加筋路堤的计算简图。圆弧破坏面 (JEMG) 假设在深度 D 处与水平向相切。 $O(0, 0)$ 为坐标原点。 $Q(x_0, y_0)$ 为假设圆弧破坏面的圆心。路堤的下卧层为软粘土层, 基础深度 H_s 以下为坚固的土层。加筋物与路堤底部的距离为 α_x 。

3.1 滑动力矩

滑动力矩 M_o 由 $ABJE$ 区域内的土体自重而引起, 通过推导, 可以得出 M_o 的表达式。

$$M_o = \left[\frac{1}{2} x(l - x) - \frac{1}{6} l^2 + y(D + \frac{H}{2}) - \frac{1}{2}(D + H^2) - \frac{H^2}{24} \right] \gamma H \quad (9)$$

3.2 抵抗力矩

沿 $GMEJ$ 的抗滑力矩 M_r 由三部分组成: 在基础中 GME 破坏面上由土体的不排水强度引起的抗滑力矩 (M_F)、在路堤 EJ 滑动面上由路堤土的粘聚力和摩擦力引起的抗滑力矩 (M_E)、由路堤中加筋物提供的抗滑力矩 (M_G)。

$$M_r = M_F + M_E + M_G \quad (10)$$

$$M_G = T_R \times (y - D - \alpha_x) \quad (11)$$

地基中滑动圆弧 GME 的长度可以表达成：

$$l_{GME} = 2\theta y \quad (12)$$

为方便本文后面的分析与计算 θ 在数值上可以

$$\text{表达成 } \theta = 1.53 \left(\frac{D}{y} \right)^{0.53}$$

$$\text{因此 } l_{GME} = 2\theta y = 3.06 \left(\frac{D}{y} \right)^{0.53} y$$

$$M_F = y(C_A \times l_{GME}) = y(C_A \times 2\theta y) \quad (13)$$

路堤中滑动圆弧 EC 的长度 l_{EC} 同理可以表达成：

$$l_{EC} = \theta_H y = [(\theta + \theta_H) - \theta] y \approx 1.53 \left[\left(\frac{D+H}{y} \right)^{0.53} - \left(\frac{D}{y} \right)^{0.53} \right] y \quad (14)$$

$$M_E = y \times (C_m + \gamma H \tan \phi_m) l_{EC} = y \times (C_m + \gamma H \tan \phi_m) \theta_H y \quad (15)$$

$$\text{可以得出: } M_r = M_F + M_E + M_G = y \times (C_A \times 2\theta y) + y \times (C_m + \gamma H \tan \phi_m) \theta_H y + T_R \times (y - D - \alpha_x) \quad (16)$$

该路堤的稳定安全系数 F_s 为：

$$F_s = \frac{M_r}{M_o} = \frac{M_F + M_E + M_G}{M_o} \quad (17)$$

对于一个要求设计可以达到的安全系数 F_s , 加筋土坡或路堤中筋带的拉力 T_R 为：

$$T_R = \frac{F_s \times M_o - M_F - M_E}{y - D - \alpha_x} = f(x, y) \quad (18)$$

可以从上式看出筋带拉力 T_R 是 x, y 的函数, 对 $f(x, y)$ 分别对 x, y 求偏导可以求出筋带拉力 T_R 的最大值 $T_{R \max}$ 。

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial y} = 0 \end{cases} \quad (19)$$

将式 (19) 代入并进行化简可得：

$$\begin{cases} x = \frac{1}{2} l \\ B_1 y^{1.47} + B_2 y^{0.47} - B_3 = 0 \end{cases} \quad (20)$$

其中: $B_1 = A_1 H^{0.53} - 1.47 A_1 H^{1.53}$

$$B_2 = 1.47 A_1 (\alpha_x + D) H^{1.53}$$

$$B_3 = A_2 + A_3$$

$$A_1 = 3.06 \left(\frac{D}{H} \right)^{0.53} C_A + 1.53 \times$$

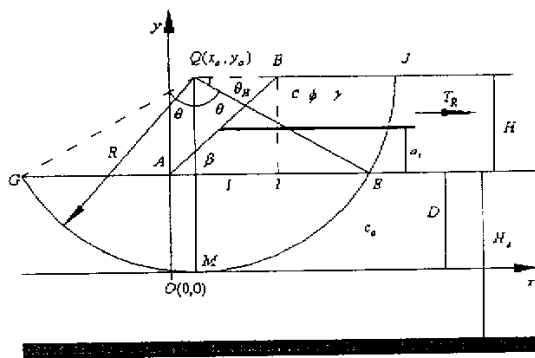


图 3 加筋路堤计算简图

Fig.3 Cross Section of a typical Reinforced Embankment

$$\left[\left(\frac{D}{H} + 1 \right)^{0.53} - \left(\frac{D}{H} \right)^{0.53} \right] C_m + \gamma H \tan \phi_m$$

$$A_2 = F_s \gamma H \left[-\frac{1}{24} l^2 - \frac{1}{2} \left(D + \frac{H}{2} \right)^2 - \frac{H^2}{24} \right]$$

$$A_3 = F_s \left(D + \frac{H}{2} \right) \gamma H (\alpha_x + D)$$

解出上述方程组可得在加筋力最大时的圆心坐标 $Q(x_0, y_0)$

此时的最大筋带内力 $T_{R(\max)} = f(x_0, y_0)$ (21)

4 格栅与路堤底部间距 α_x 对筋带内最大拉力 $T_{R(\max)}$ 的影响关系

已知一格栅加筋路堤如图所示：

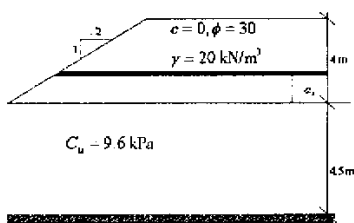


图 4 加筋路堤示意图

Fig.4 Reinforced Embankment on soft ground

通过计算由式(9)~(11)可以得出筋带内最大拉力 $T_{R(\max)}$ 与 α_x 的曲线关系图(图5)。由该图的曲线关系可以看出筋带内最大拉力 $T_{R(\max)}$ 随 α_x 的变化很小。因此对于路堤内有 N 条加筋体的情况,每条筋带的拉力 T_i 就可以用 $T_i = T_{R(\max)}/N$ 来表达而不会有太大的误差。

5 计算实例

有一加筋路堤,如图6所示。该路堤采用土工

格栅加固,在路堤中放置有8层,每层格栅间距 $\Delta h = 0.5 \text{ m}$,格栅的各项参数为: $E_1 = 0.7 \times 10^6 \text{ N/m}$, $E_2 = 0.8 \times 10^6 \text{ N/m}$, $\eta = 3.6 \times 10^8 \text{ Nh/m}$ 。土体参数为:路堤中的土 $C = 0$, $\phi = 30^\circ$, $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$,路堤基础中的软粘土 $C_u = 96 \text{ kPa}$ 。

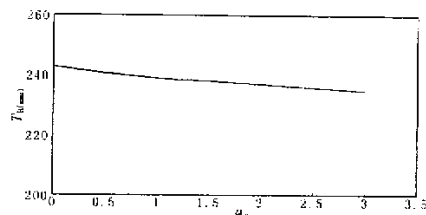


图 5 $T_{R(\max)}$ 与 α_x 的关系图

Fig.5 Curve of $T_{R(\max)}$ and α_x

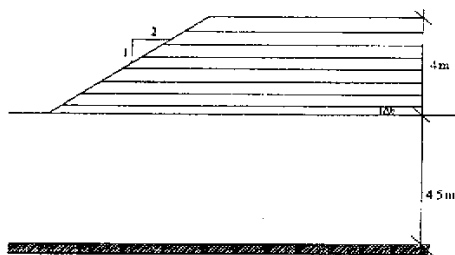


图 6 加筋路堤示意图

Fig.6 Reinforced Embankment with multi-ply geogird

经过计算,

$$\varphi(t) = \left[\frac{1}{E^*} - \frac{1}{E_2} \exp\left(-\frac{E_2}{\eta} t\right) \right] = 0.2679 - 0.125 \exp(-0.0022t)$$

由本文第二节可知,加筋物在路堤中所处的位置对其最大应力的影响很小。因此为了简化可以假设本路堤中加筋格栅的最大拉应力相等即

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_8 = \frac{T_{R(\max)}}{N \Delta h}$$

其中 $T_{R(\max)}$ 为当加筋路堤中只有一层加筋物并且是放置在路堤和基础交接面时,加筋物中的最大拉力。 N 为路堤中加筋格栅层的层数, Δh 为格栅层的间距。

水平向位移可以表达成:

$$\mu = f(\alpha_x) \left[\frac{1}{E^*} - \frac{1}{E_2} \exp\left(-\frac{E_2}{\eta} t\right) \right] \times \left[\sqrt{y_0^2 - (x_0 - \alpha_x)^2} + x_0 - \alpha_x \cot \beta \right] \times \frac{T_{R(\max)}}{N \Delta h} [0.2679 - 0.125 \exp(-0.0022t)]$$

其中 α_x 为每一层格栅到路堤底部的距离

通过计算可以得出路堤的水平向蠕变位移随路堤高度的分布曲线($\mu \sim h$)图7。

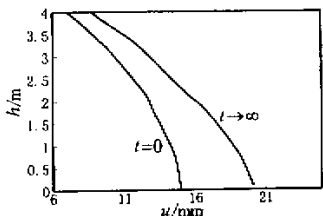


图 7 水平位移与路堤高度关系曲线
Fig.7 Curve of Horizontal Displacement
and The Height of Reinforced Embankment

6 结论

(1) 由于加筋物(如土工格栅,土工织物等土

工合成材料)具有流变受力特性,应当在现今的路堤设计中考虑加筋路堤的蠕变位移变形。随着时间的变化,加筋路堤的水平向蠕变位移变形会随了增加,这会影响到路堤的长期稳定。

(2) 加筋物在路堤中所处的位置对其最大水平向拉应力的影响很小。因此在设计中可以不考虑各加筋层中拉应力的区别而不会造成很大的误差。

(3) 本计算方法只考虑了下卧地基为软粘土的情况,而对于下卧为坚固基础的加筋路堤则不适用。

参考文献:

- [1] Bak-Kong Low. Stability Analysis Of Embankment On Soft Ground[J]. J. Soil Mech. And Found. Div ,ASCE ,1989 ,115 (2) 211 - 227.
- [2] 钱家欢,殷宗泽. 土工原理与计算[M]. 第 2 版. 北京:中国水利水电出版社,1997.
- [3] Andrzej Sawicki. Creep behaviour of geosynthetic[J]. Geotextiles and Geomembranes 1998 ,16 365 - 382.

The Application of Rheological Model in the Analysis of the reinforced-embankment

XING Huai-hai¹ ,GU Xiao-hui² ,XU Bo³

(1. Department of Constrection Engineering of Yancheng Institute of Technology Jiangsu Yancheng 224003 ,China 2. Department of Art Designing of Yancheng Institute of Technology ,Jiangsu Yancheng 224003 ,China ;3. Research Institute of Geotechnical Engineering ,Hohai University ,Nanjing city Jiangsu Nanjing 210098 ,China)

Abstract :The influnce of the creep behaviour of geogrid in the stability of the reinforced-embankment was considered and a simple method of calculating the horizational creep displacement of embankment was presented by authors.

Keywords :creep ; geogrid ; model of creep ; reinforced-embankment