

文章编号:1000-7598-(2002)01-0027-04

卸荷模量数取值的研究

张小平¹, 张青林², 包承纲³, 施 斌¹

(1. 南京大学 地球科学系, 江苏 南京 210093 ; 2. 中国十三冶十公司, 河北 天津 300301 ; 3. 长江科学院, 湖北 武汉 430010)

摘 要: 以三峡二期围堰计算为例,说明 Duncan-Chang 非线性弹性 $E-\mu$ 模型中的卸荷模量数 k_{ur} 对计算精度有一定的影响。通过试验资料得出加荷模量数 k 取决于土的成分和密度,并且得到加荷模量数与卸荷加荷模量数之比的经验关系,因而卸荷模量数可直接根据加荷模量数的大小来确定,由此所确定的卸荷模量数比较符合实际。

关 键 词: Duncan-Chang $E-\mu$ 模型 ; 加荷模量数 ; 卸荷模量数

中图分类号: TU 411 **文献标识码:** A

Study on parameter of unloading modulus

ZHANG Xiao-ping¹, ZHANG Qing-lin², BAO Cheng-gang³, SHI Bin¹

(1. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China ; 2. Tenth Corporation of Thirteenth Metallurgy Building Company, Tianjin 300301, China ; 3. Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: Displacement computation of cutoff wall of second-phase cofferdam in Three Gorges project, shows that the parameter of unloading modulus in Duncan-Chang nonlinear elastic $E-\mu$ model has a fairish influence on precision of calculation. It is known by experimental data that the coefficient of loading modulus is dependent on component and density of every kind of soil, and was obtained the empirical relation between loading modulus parameter and unloading modulus parameter from the experimental curve. So, unloading modulus parameter can be determined directly from loading modulus coefficient, which coheres with practical circumstances in general.

Key words: Duncan-Chang $E-\mu$ model ; parameter of loading modulus ; parameter of unloading modulus

1 引 言

Duncan-Chang 非线性弹性 $E-\mu$ 模型能较好地反映材料的非线性应力-应变关系及应力水平的影响,模型直观简单,各参数具有明确的物理意义,因此得到了广泛的应用。

在 Duncan-Chang 非线性弹性模型中,加荷时的弹性模量 E_t 由式(1)决定^[1],即

$$E_t = \left[1 - R_f \frac{(1 - \sin \varphi)(\sigma_1 - \sigma_3)}{2c \cos \varphi + 2\sigma_3 \sin \varphi} \right]^2 k p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n \quad (1)$$

式中 k 为加荷模量数 R_f 为破坏比, φ 为内聚力和内摩擦角, σ_1, σ_3 为最大、最小主应力, k, n 是与加荷模量有关的参数。

对卸荷时的情况,应由卸荷试验测定弹性模量,以 E_{ur} 表示, Duncan 假定 E_{ur} 不随 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ 变化,仅随 σ_3 而变。在双对数纸上点绘 $\lg(E_{ur}/p_a)$ 与 $\lg(\sigma_3/p_a)$ 关

系曲线,可得一直线,其截距为 k_{ur} ,斜率为 n , n 与加荷时基本一致。回弹模量可由式(2)计算,即

$$E_{ur} = k_{ur} p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n \quad (2)$$

式中 k_{ur} 表示卸荷模量数。

Duncan 认为 $k_{ur} = (1.2 \sim 3.0)k$, 对于密砂和硬粘土, $k_{ur} = 1.2k$ 对于松砂和软土, $k_{ur} = 3.0k$; 一般土介于其间。但是在实际应用过程中,加荷模量数 k 一般是根据三轴压缩试验确定,而卸荷模量数 k_{ur} , 由于试验费时,大多根据经验确定。卸荷模量数 k_{ur} 与加荷模量数 k 的比值 N 的确定以前未引起足够的重视,经验取值时由于依据不足,往往与实际不符,因此卸荷模量参数的取值问题是值得研究的课题。

2 卸荷模量数对计算精度的影响

以三峡二期围堰的计算为例,来说明卸荷模量数

收稿日期 2000-01-08

作者简介:张小平,女,1965年生,博士后,目前主要从事环境岩土工程方面研究。

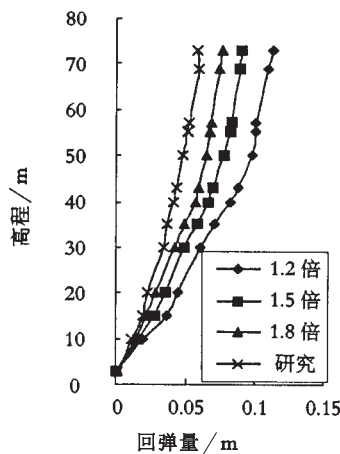


图 2 回弹变形量随高程的变化

Fig.2 Distribution of back displacement with depth

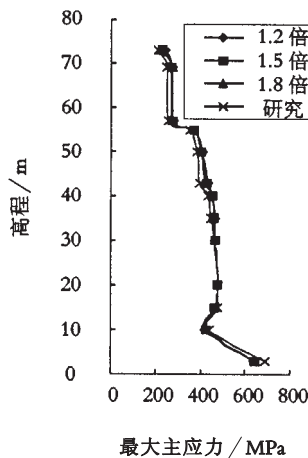


图 3 最大主应力随高程的变化

Fig.3 Variation of maximum primary stress with altitude

3 试验分析

表 2 是粉质粘土和中细砂的加卸荷试验结果。由表可见, 加荷模量数 k 决定于材料的成分和密度, 当粘粒含量越多、干密度越小, 则加荷模量数越小, 反之, 加荷模量数越大。表中有 6 种粉质粘土, 但粘粒含量不尽相同, 故有的干密度相同, 而加荷模量不同; 由表 2 还可看出, 卸荷模量数主要取决于加荷模量数的大小, 即卸荷加荷模量数的比值 k_{ur}/k 的大小应取决于加荷模量数的大小, 一般 k 越小, k_{ur}/k 越大; k 越大, k_{ur}/k 越小。

以加荷模量数 k 作为横坐标, 卸荷加荷模量数的比值 N 作为纵坐标, 将各种土的试验结果点绘在图上, 如图 4 所示, k 和 N 呈一曲线, 拟合的关系式为

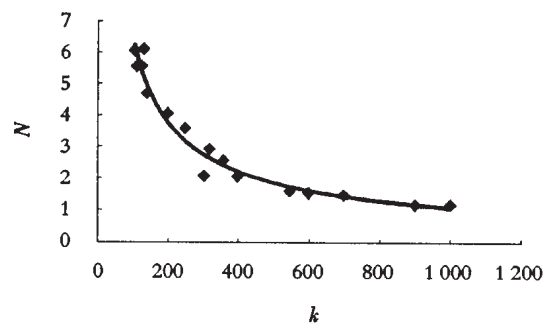
$$N = 0.899 + 535 k^{-1} \quad (3)$$

表 2 不同土类的 k 和 k_{ur} Table 2 k and k_{ur} of deferent kinds of soil

材料种类	干密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	相对密度	k	k_{ur}	N
粉质粘土	1.65		105	636	6.06
	1.71		125	694	5.55
	1.72		141	660	4.68
	1.68		111	617	5.56
	1.71		131	798	6.09
	1.65		103	525	5.10
中砂	1.80	0.67	428	944	2.21
	1.60	0.42	306	638	2.09
	1.70	0.66	548	883	1.61
细砂	1.60	0.52	361	923	2.56
粉砂	1.65	0.66	400	824	2.06
	1.70	0.57	321	943	2.94

其相关系数为 0.97, 可见 N 与 k 有很好的相关关系, 且为近似倒数关系。由试验资料分析, 粉质粘土 $k_{ur} = (4.5 \sim 6.09)k$, 粉细砂质土 $k_{ur} = (2.0 \sim 4.5)k$, 中粗砂 $k_{ur} = (1.2 \sim 2.0)k$ 。

由图 4 看出: 当 $100 \leq k < 200$ 时, $6.0 > N \geq 3.6$; $200 \leq k < 400$ 时, $3.6 > N \geq 2.2$; $400 \leq k < 600$ 时, $2.2 > N \geq 1.6$; $600 \leq k < 1000$ 时, $1.6 > N \geq 1.2$; $k \geq 1000$ 时, $N = 1.2$; (当 $k < 100$ 时, 由于缺乏试验资料, 不能确定 N 值的最大值)。由此可见卸荷模量数是一个直接与加荷模量数相关的参数, 因此在计算过程中可根据加荷模量数的大小来确定 N 值, 以便确定卸荷模量数 k_{ur} 。

图 4 k 与 N 的关系Fig.4 Relationship of k and N

4 算例

仍以二期围堰计算为例, 说明卸荷模量数正确取值的重要性。

Duncan-Chang $E-\mu$ 模型在工程分析中应用最多, 计算经验最丰富, 而且计算参数易于从常规三轴试验中获得, 即便是有的材料无法从试验中获得, 也

可以从其它类似工程中类比得到。因此,三峡二期围堰的设计阶段的计算分析以及运行期的安全性评估皆是采用 $E-\mu$ 模型计算。

二期围堰材料众多,试验确定工作量很大,根据已有的试验参数,仅有加荷模量数,而无卸荷模量数,而且有的填料无法通过试验获得。二期围堰的计算材料数不仅包括每种材料的自然湿状态,而且包括水下饱和状态,再加上沉渣和防渗墙材料等,计算总材料数近 20 种。因为每种材料的加荷模量数皆不相同,故其卸荷模量数不应该只以某一种加荷卸荷模量数之比进行计算。

根据以上研究,卸荷模量数是由加荷模量数决定的。所以,每种材料的卸荷模量数是根据本文的研究结果式(3),由各自的加荷模量数计算出 N 值来确定的,计算工况仍按照上游水位升到 76 m,然后降到 57 m,由此计算的水位下降后防渗墙变形回弹量见图 2,最大主应力见图 3,以便与前面的计算进行比较。

由图 3 看出,当卸荷模量数按照每种材料的加荷模量数的大小确定时,计算的墙体位移回弹量最小,为 5.8 cm。而根据实际观测,虽然按照每种材料的加荷模量数所确定的卸荷模量数的计算结果,仍与实测值有一定的差异,当上游水位下降时,墙体的最大水平位移回弹量为 1~3 cm。但它却更接近实际。

值得说明的是,只有当水位突然下降时,墙体才有明显的回弹,比如洪峰突然下退,如果是水位缓慢下降,比如从汛期到枯水期,经过几个月的时间,墙体

的位移没有明显的回弹,甚至还可能继续增加,这可能是由于蠕变作用的结果,需采用流变模型进行计算。

5 结 论

(1) 采用 Duncan-Chang $E-\mu$ 模型进行大坝或围堰计算时,当上游水位下降时,卸荷模量数对防渗墙的水平位移回弹量影响很大。

(2) 根据试验资料得出加荷模量数取决于土的成分和密度,粘粒含量越多、干密度越小,则加荷模量数越小,反之,加荷模量数越大。

(3) 加荷模量数与卸荷加荷模量数之比的经验关系式为

$$N = 0.899 + 535 K^{-1}$$

因此只要根据加荷模量数就可确定出卸荷模量数。

(4) 以三峡二期围堰计算为例,说明由本文研究的方法确定的卸荷模量数,在水位下降时所得墙体计算位移回弹量更接近实际,故可提高计算精度。

参 考 文 献

- [1] 钱家欢,殷宗泽. 土工原理与计算. [M]. 北京:水利电力出版社,1994.
- [2] 张小平. 柔性混凝土和岩土轻质材料的特性与工程应用的研究, [博士学位论文 D]. 南京: 河海大学,2000.

上接第 26 页

将该值代入式(25),(26)得到 $k_M = 0.76666$, $b_M = 76.174$ 。

最大弯矩与位移关系示于图 8(实线)。从中可看出该实线能较好地代表试验结果。

由式(18)可推出上述数值对应砂土重度 $g = 16.3 \text{ kN/m}^3$, 与原定值很接近。

6 结 论

(1) 桩头荷载与位移的非线性关系及最大弯矩与桩头位移的非线性关系可以通过简单的方法计算得到。只是将代表土反力系数的一个常数 m 值(或其它值)由两个常数 b_m 和 k 来代替。

(2) 本方法依然利用原有各无量纲系数,未加入新的系数。

(3) 对于可进行原位试验的情况,确定 b_m 和 k 这

两个参数比确定一个 m 值更方便、可靠,并且还能使计算结果反应土性非线性影响。

(4) 对于直接根据土性参数确定这两个参数的方法还需做更细致的工作。本文得到的结果仅供参考。

参 考 资 料

- [1] 吴恒立,推力桩计算方法的研究[J]. 土木工程学报,1995, 28(2): 20-28.
- [2] Franke E., Kluber E., Pile Groups Under Horizontal Load [J]. *Bouingenieur*, 1989, 64: 19-26.
- [3] 苏南徐六泾电厂试桩报告(之二)[R]. 同济大学土力学及基础工程教研室内部报告. 1988.
- [4] McClelland B., Focht Jr. J. A. Soil modulus for laterally loaded piles[J]. *Proc. ASCE*. 1956, 82(SM4): 1081(1)-1081(22).