

一种砌块挡土墙断面的可靠指标

于德顺

武清奎 ✓

刘雁

PA 4/6--

(扬州大学工学院 扬州 225009)(河海大学 南京 210098)(扬州大学工学院 扬州 225009)

摘要 应用结构可靠度理论,对给出的一种小型空心砌块挡土墙最优断面进行可靠指标计算。计算中考虑了墙底土层粘结力的影响及变量间的相关关系,应用变量相关时的 JC 法程序求得可靠指标。计算表明该砌块挡土墙断面基本上能满足可靠性要求,若用此断面进行设计并适当采取抗倾、抗滑措施,即可使砌块挡土墙这种新型结构推广使用于水利、水电、道桥等工程中。

关键词 砌块 挡土墙 倾覆稳定 抗滑稳定 极限状态方程 可靠指标

混凝土小型空心砌块是目前推广使用的新型墙体材料,既可节能又可节土,有较好的社会经济效果。但是,目前只局限于用作房屋建筑的填充墙和低层承重墙,较少用作挡土墙。为了拓宽小型空心砌块的应用范围,使之应用于水利、水电、道桥等工程中,我们曾研究了砌块挡土墙的优化设计问题,给出了最优断面形式,本文应用可靠度理论进一步校核其可靠性。

1 砌块挡土墙的最优断面

文献[1]取各级砌块层的最大高度为设计变量,取单位长墙段断面面积为目标函数,在满足各约束条件下,采用非线性数学规划法中的复合形法为最优化方法,经优化计算得出最优断面形式如图1所示。

2 砌块挡土墙的可靠度计算

可靠度理论是近几十年来因生产实践需要而发展起来的一门新兴学科,已成功地应用于航天、航空、军事和机械电子设备的寿命估计等领域。《建筑结构设计统一标准》的率先编制和公布,使得可靠度理论在建筑结构设计中的应用向前迈了一大步。但是,目前应用可靠度理论分析挡土墙的工程结构尚不

多,用来计算空心砌块挡土墙的则更少。主要原因是缺少足够的统计资料,难以确定随机变量的分布规律,而且某些变量之间存在相关关系,也使得计算增加了复杂性。本文应用可靠度理论对给出的小型空心砌块挡土墙最优断面进行可靠指标计算。

2.1 计算假设

a. 计算受检修情况控制。

b. 墙基底仅考虑土质地基, 每层砌块间为砂浆砌缝, 假设砂浆强度足够不发生剪切破坏等现象。

c. 挡土墙所受荷载主要是主动土压力, 为安全计忽略回填土粘结力的影响, 并假设沿墙高土压力按直线分布, 由朗金理论计算, 如图 2 所示。

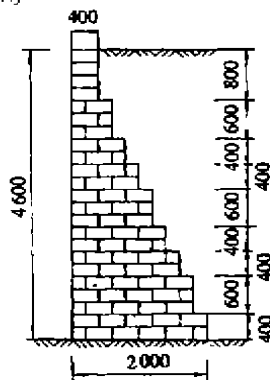


图1 挡土墙最优化断面

d. 墙顶无道路,不考虑车辆荷载,也不考虑地震力及回填土浸水等因素。

2.2 基本变量

取回填土的内摩擦角 φ 、原状土的内摩擦角 δ 、墙底原状土间的内聚力 C 为基本随机变量。为使计算简化,假设挡土墙的几何尺寸、砌块密度、回填土密度、高度等均为确定量。

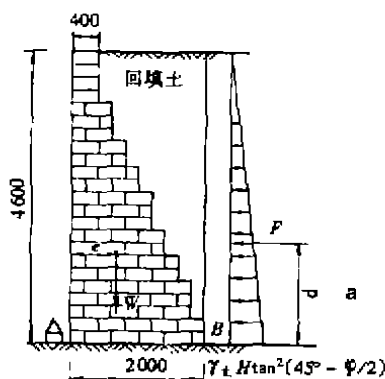


图2 荷载示意图

2.3 随机变量的统计分析

在某已建砌块挡土墙背后取回填土及其附近取原状土,进行土工试验(直剪、固结快剪),取得 12 组 φ 、 δ 及 C 的数据,从安全考虑并参考有关资料对 C 的数值进行了折减,并用矩法统计出这些随机变量的均值和方差,计算公式为

$$\text{均值 } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$\text{方差 } S^2 = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2 \right) \quad (2)$$

$$\text{标准差 } \sigma = S \quad (3)$$

式中 n 为子样的容量; X_i 为第 i 个随机变量值。计算结果见表 1。

在结构可靠度分析中,随机变量分布对可靠度的影响较大,而要得到随机变量的概率分布函数的准确形式,一般需要大量的子样,由于试验往往只能做几次,所以很难得到较为准确的分布。实践结果表明,A-D 检验法反应灵敏、分辨力强,尤其适用于小子样统计检验,因此本文采用了这种方法。

表1 砌块挡土墙的随机变量及其统计量

随机变量	λ_i	$\bar{X}$	σ
φ	34.00 33.33 25.50 35.83 30.33 34.50 26.50 31.00 33.00 31.00 21.50 32.00	30.71°	4.22°
δ	30.20 31.52 31.17 25.00 23.50 26.50 29.00 32.33 24.00 28.17 30.50 26.20	28.17°	3.07°
C	15.58 17.86 11.16 34.82 36.60 30.80 27.68 12.50 39.73 21.43 18.30 33.93	25.00 kN/m ²	10.09 kN/m ²

A-D 法是假设随机变量 X 的分布为 $F(X_i)$,其统计量为

$$A_n^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i-1) \{ \ln F(X_i) - \ln [1 - F(X_{n+1-i})] \} \quad (4)$$

式中 n 为子样的容量。

根据统计量 A_n^2 和相应的检验临界值 A_{na}^2 作比较,以判断假定的分布是否不被拒绝, A_{na}^2 有表可查。当 $A_n^2 < A_{na}^2$ 时,不拒绝接受原假设;当 $A_n^2 > A_{na}^2$ 时,拒绝接受原假设。从而可以检验出随机变量的概型。

采用河海大学“可靠度课题组”编制的有关程序进行 A-D 检验,并求出随机变量相应的均值、标准差和变异系数,结果列于表 2。

表2 A-D 检验法计算结果

随机变量	均值 $\bar{X}$	标准差 σ_X	变异系数 V_X	概型
φ	30.71°	4.22°	0.14	正态分布
δ	28.17°	3.07°	0.11	正态分布
C	25.00 kN/m ²	10.09 kN/m ²	0.40	对数正态分布

2.4 极限状态方程

设极限状态函数为 g ,用综合变量抗力 R 、荷载效应 S 表示的极限状态方程为

$$g = R - S = 0 \quad (5)$$

为简化计算,假设地基基础有足够的承载能力;砌块挡土墙的破坏标准假设为墙体的倾覆稳定极限状态和墙体的抗滑稳定极限状态,对应的极限状态方程如下。

a. 倾覆极限状态。

$$g_1 = R_1 - S_1 = We - Fd \quad (6)$$

式中 W 为空心砌块墙自重加墙所受垂直

土压力,经计算 $W = 127.78 \text{ kN}$; e 为 W 的作用线与墙基 A 点的水平距离,经计算 $e = 1.05 \text{ m}$; F 为墙背所受主动土压力,由朗金公式计算: $F = \frac{1}{2} \gamma_{\pm} H^2 \tan^2(45^\circ - \varphi/2) = 186.21 \tan^2(45^\circ - \varphi/2)$, d 为 F 的作用线与墙基 A 点的垂直距离(见图 2),经计算 $d = 1.53 \text{ m}$,于是

$$g_1 = 134.38 - 284.90 \tan^2(45^\circ - \varphi/2) = 0$$

b. 抗滑极限状态。若不考虑墙底土层的粘结力时:

$$g_2 = W \tan \delta - F = 127.78 \tan \delta - 186.21 \tan^2(45^\circ - \varphi/2) = 0$$

若考虑墙底土层的粘结力时:

$$\begin{aligned} g_3 &= W \tan \delta + CA - \frac{1}{2} \gamma_{\pm} H^2 \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \\ &= 127.78 \tan \delta + 1.03 C - 186.21 \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) = 0 \end{aligned}$$

式中 墙底净面积 $A = 1 \times 2 \times (1 - 48.58\%) = 1.03 (\text{m}^2)$, 48.58% 为砌块平面空心率。

2.5 砌块挡土墙最优断面可靠度计算

结构可靠度计算主要计算可靠指标,从而求出结构的失效概率。在第一功能函数式中, φ 为唯一的随机变量,其方向余弦 $\alpha_{\varphi}^* = 1$,因此由公式^[2]求得:

$$\varphi^* = \bar{\varphi} - \alpha_{\varphi}^* \beta_1 \sigma_{\varphi} = 30.71 - 4.21 \beta_1$$

利用 $g_1 = 0$ 直接解出可靠指标 $\beta_1 = 2.41$,对应的失效概率为

$$P_{f1} = \Phi(-\beta_1) \approx 0.008 = 0.8\%$$

可靠度为 $P_{S1} = 99.2\%$ 。

在第二功能函数式中有 δ 和 φ 两个随机变量,应用 JC 法计算程序求得可靠指标为

$$\beta_2 = 0.59697 \approx 0.60$$

对应的失效概率为

$$P_{f2} = \Phi(-0.60) \approx 0.2743 = 27.43\%$$

可靠度为 $P_{S2} \approx 73\%$ 。

在第三功能函数式中有 δ 、 C 、 φ 三个随机变量,若不考虑变量间相关,应用 JC 法计算程序求得可靠指标为

$$\beta_3 = 1.9728$$

对应的失效概率为

$$P_{f3} = 1 - \Phi(1.9728) = 2.4\%$$

可靠度为 $P_{S3} = 97.6\%$ 。

根据实验资料,分析了原状土变量 δ 和 C 之间的相关关系,由计算相关系数的公式

$$\rho_{\delta, C} = \frac{\text{cov}(\delta, C)}{\sigma_{\delta} \sigma_C} \quad (7)$$

称 $\text{cov}(\delta, C)$ 为 δ 和 C 的协方差,求得 $\rho_{\delta, C} = -0.8735$ 。应用文献[3]给出的变量相关时计算结构可靠指标的计算方法及计算程序,算得 $\beta_3' = 2.50$,对应的失效概率为 $P_{f3}' = \Phi(-2.50) = 0.6210\%$,相应的可靠度为 $P_{S3} = 99.3790\%$ 。

2.6 计算成果分析

计算结果表明:

a. 当考虑墙底土层粘结力时,则砌块挡土墙的稳定可靠度由抗倾覆条件控制,这一结论与文献[1]的研究结果是一致的。

b. 根据文献[2]给出的结构体系可靠度的近似算法,不考虑各失效模式间的相关性,用“概率网格估算技术”法可得:

$$P_S = \prod_{i=1}^m P_{Si} = P_{S1} P_{S2} = 0.724$$

$$\text{或 } P_S = \prod_{i=1}^m P_{Si} = P_{S1} P_{S3} = 0.968$$

参照对路用挡土墙的研究结果,对挡土墙的可靠度水准建议值为 0.75。可见本文得到的结果已接近或超过该推荐值。

c. 考虑变量 δ 和 C 之间相关关系,计算出的可靠指标约提高 20%。

d. 由于该挡土墙的稳定可靠度由抗倾覆条件控制,为进一步提高其可靠指标,可采取下列措施:①可以在不增加墙身材料的前提下,通过减小参数变异性来提高墙的安全性。本文算例,若 V_{φ} 由 0.14 减小至 0.10, σ_{φ} 由 4.21 减小至 3.07,则 β_1 由 2.41 提高到 3.30,可靠指标大大提高。②挡土墙一般都要设置基础,例如,设底板如图 3 所示,可以使底板的宽度略大于墙底的宽度,利用其上

土的压重 ΔW 可以增大抗倾力矩和抗滑力;同时底板还可以适当设置齿槽,对增加墙的抗滑稳定性也有显著效果。

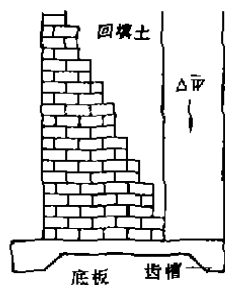


图3 底板齿槽示意图

3 结 语

本文应用可靠度理论计算混凝土小型空心砌块挡土墙断面的可靠指标和可靠度,这在目前还很少见。挡土墙的可靠度分析本身就是一个比较复杂、难度较大的问题,这在目前所见文献、资料在计算上都有较大的近似性。本文力求用较好的检验方法求得随机变量的概型分布;在抗滑稳定可靠指标的计

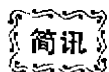
算中,考虑了墙底土层粘结力的影响以及变量 δ 和 C 之间的相关关系,采用精度较高、能适用于随机变量任意分布(非正态分布)并考虑变量相关的 JC 法计算程序求得可靠指标和可靠度。计算表明,文献[1]所给出的最优断面其整体稳定可靠度基本满足要求,若用此断面进行设计并采取适当的措施后,还可以进一步提高可靠指标,从而使这种新型挡土墙结构能够推广使用于水利、水电和道桥等工程中。

余璠璠、李红两位同志完成了本文土工试验,杨志祥同学参加了部分计算工作,特此表示感谢。

参考文献

- 1 于德顺等.砌块挡土墙优化设计.河海大学学报,1996,24(3):59~60
- 2 吴世伟.结构可靠度分析.北京:人民交通出版社,1990.238~240
- 3 武清玺等.变量相关时结构可靠指标的计算.高校应用数学学报,1987,2(3):32~37

(收稿日期:1996-08-26)



简讯

国际招标信息

- ▲加拿大:Bluey 湖 3 MW 水电站工程,投资 1030 万美元,工程拟在 245 m 长、5 m 宽的运河上兴建一座坝铺设一条直径 1350 mm、长 4.7 km 的管道,建一座厂房和开挖 50 m 长的渠道。联系人:Bill Harland, Project Engineer, 联系地址:Stothert Engineering Ltd. 609 Granville Street, 14 th. Floor, PO Box 10335, Vancouver V7y 1G5, British Columbia, Tel: +16046818165。
- ▲巴基斯坦:Thado Nai 河的 Thado 坝筑坝工程和提高 Malir 坝坝工程,每项工程投资约 144 万美元。联系人:Executive Engineer, 联系地址:Thatta Drainage Division, Thatta, Pakistan。
- ▲土耳其:在格克松河的支流 Ermenek 河兴建一座水电站,联系人:Elektrik Isleri Estud Edaresi, 联系地址:Genel Mudurlugu, Vecnesi, Estisehir Yolu 7km, Ankara, Tel: +90312287 8439。
- ▲土耳其:架设一条从土耳其 Ataturk 水电站向叙利亚、伊拉克和约旦供电的输电线。土耳其提供 4500 万美元,并向欧洲投资银行贷款 1900 万美元。
- ▲波斯瓦纳:贯穿南北的水工程,包括兴建一座土石坝,一条输水管道,3 座水处理厂,4 座抽水站和 3 个减压水箱,工程拟于 1998 年 9 月完工。联系单位:Water Utilities Corp. Headquarters, 联系地址:Sedibeng House, Luthuli Road, Industrial Site, 17530 Gakerone, Telex:23717 WOC。
- ▲阿塞拜疆:修复 Migechnur 水电站工程,投资 7000 万美元。联系地址:Azernerji, Fax: +107985523。
- ▲阿尔巴尼亚:架设若干条经 Albanian 电网连接国家输电线路和电力出口市场的输电线,包括架设一条 4 km 长的 220 kV 连接 Albanian I 号电网与 Albanian II 号电网的输电线,一条长 105 km 的 110 kV 由 Albanian I 号电网并向与希腊毗连的 Korce 出口输电线,修复 100 kV 地拉那电网和 200 km 保护装置,共耗资 200 万美元。联系:Martin Toto, Fax: +3354232046。

(熊莉芸 供稿)