

圆弧形重力式挡土墙部分荷载的整体计算

李清华, 马普杰, 季 安, 秦 冰

(山东省水利勘测设计院, 山东 济南 250013)

摘要:结合工程实际, 提出圆心角为 90° 的圆弧形变墙高、变底宽的重力式挡土墙的整体设计计算方法, 内容包括挡土墙体积、墙后土体体积、主动土压力、主动土压力力矩、抗滑稳定和基底应力分布的计算方法。实例计算表明, 本文方法与常规的按单位墙长计算方法相比, 不仅计算合理, 而且可以节省工程量与投资。

关键词:重力式挡土墙; 圆弧形挡土墙; 整体计算

中图分类号:TV314

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2005)03-0038-03

Integral calculation of circular gravity retaining walls under partial loads//LI Qing-hua, MA Pu-jie, JI An, QIN Bing
(Shandong Water Conservancy Survey and Design Institute, Jinan 250013, China)

Abstract: In combination with practical projects, an integral design and calculation method was proposed for circular gravity retaining walls of variable height and width with the central angle of 90° , including the calculation of the volumes of the retaining wall and the earth body behind the wall, the active earth pressure, the moment of the active earth pressure, the stability against sliding, and the stress distribution in the foundation. Compared with the conventional calculation method based on unit length of retaining walls, the present method is reasonable in calculation and economical in workload and investment.

Key words: gravity retaining wall; circular retaining wall; integral calculation

挡土墙是水利、交通和市政工程中常用的构筑物。当挡土墙高度不是很高(例如不超过 6 m)时, 通常做成重力式挡土墙。除常见的直线形重力式挡土墙外, 平面上为圆弧形的重力式挡土墙应用也相当广泛, 多数为墙高和底宽不变的。但是, 有时做成墙高和底宽随墙后填土高度变化则是更为合理的。

在挡土墙设计中, 一般是取单位墙长按平面问题计算抗滑、抗倾和基底应力分布。这种计算方法的不合理性虽然已为工程界所注意, 但在设计中仍被普遍采用。对于圆弧形重力式挡土墙, 特别是变墙高、变底宽的挡土墙, 按平面问题取单位长度进行设计计算显得更不合理。为此, 笔者介绍一种按整体进行设计计算的方法。

1 圆弧形重力式挡土墙的设计计算方法

1.1 挡土墙体积的计算

对变墙高、变底宽且圆心角 φ 为 90° 的圆弧形重力式挡土墙(如图 1 所示), 墙顶帽高度 E 和墙底座高度 D 不随圆心角变化; 中部梯形断面部分的高度随圆心角变化, 变化规律为 $H_\varphi = H - (H - h) \cdot \sin\varphi$; 底宽随圆心角变化, 变化规律为 $R_{3\varphi} = R_3 +$

$(R_4 - R_3)\sin\varphi$; 挡土墙底座宽度随圆心角变化, 变化规律为 $R_{5\varphi} = R_5 + (R_6 - R_5)\sin\varphi$ 。图 1 中标示的 R_0, R_1 和 R_2 均不随圆心角变化。

根据拟定的各项参数, 通过积分运算^[1]可求得挡土墙体积 V 。

$$V = \frac{\pi}{4} E (R_1^2 - R_2^2) + \frac{1}{6} \left\{ (3R_1^2 - R_2^2 - R_3^2 - R_2R_3) \left[\frac{\pi}{2} H - (H - h) \right] - (R_2 + 2R_3)(R_4 - R_3) \left[H - \frac{\pi}{4} (H - h) \right] - (R_4 - R_3)^2 \left[\frac{\pi}{4} H - \frac{2}{3} (H - h) \right] \right\} + \frac{\pi}{4} D (R_0^2 - R_5^2) - \frac{\pi}{8} D (R_6 - R_5)^2 - DR_5 (R_6 - R_5) \quad (1)$$

如果墙高不随圆心角变化, 即 $h = H$, 则墙底宽和墙座宽亦不发生变化, 即 $R_4 = R_3, R_6 = R_5$, 则相应的挡土墙体积计算公式为

$$V = \frac{\pi}{4} E (R_1^2 - R_2^2) + \frac{\pi}{12} H (3R_1^2 - R_2^2 - R_3^2 - R_2R_3) + \frac{\pi}{4} D (R_0^2 - R_5^2) \quad (2)$$

1.2 墙后土体体积的计算

墙后填土面为平面,顶高程如图 1 所示,竖向荷载的土体体积计算公式为^[1]

$$V_t = \frac{1}{6} \left\{ (R_2^2 + R_3^2 + R_2 R_3 - 3 R_5^2) \left[\frac{\pi}{2} H - (H - h) \right] + (R_4 - R_3)(R_2 + 2 R_3) \left[H - \frac{\pi}{4} (H - h) \right] + (R_4 - R_3)^2 \left[\frac{\pi}{4} H - \frac{2}{3} (H - h) \right] - R_5(R_6 - R_5) \left[6 H - \frac{3}{2} \pi (H - h) \right] - (R_6 - R_5)^2 \left[\frac{3}{4} \pi H - 2 (H - h) \right] \right\} \quad (3)$$

如果 $h = H$, 应有 $R_4 = R_3, R_6 = R_5$, 则

$$V_t = \frac{\pi}{12} H (R_2^2 + R_3^2 + R_2 R_3 - 3 R_5^2) \quad (4)$$

1.3 主动土压力的计算

如图 1 所示,土压力计算高度 $H_t = D + H - H \sin \varphi + h \sin \varphi$, 墙背面土压力计算半径近似取为 $R_t = \frac{1}{3} (R_2 + 2 R_{5\varphi}) = \frac{1}{3} (R_2 + 2 R_5 + 2 R_6 \sin \varphi - 2 R_5 \sin \varphi)$, 墙后土体容重为 γ_t , 主动土压力系数为 K_a , 通过积分运算^[1]可求得挡土墙承受的总的土压力计算公式为

$$F_a = \frac{1}{6} \gamma_t K_a \left\{ \left[\frac{\pi}{2} (D + H)^2 - 2 (D + H) (H - h) + \frac{\pi}{4} (H - h)^2 \right] (R_2 + 2 R_5) + \right.$$

$$\left. \left[2 (D + H)^2 - \pi (D + H) (H - h) + \frac{4}{3} (H - h)^2 \right] (R_6 - R_5) \right\} \quad (5)$$

如果 $h = H$, 应有 $R_5 = R_6$, 则

$$F_a = \frac{1}{6} \gamma_t K_a \left[\frac{1}{2} \pi R_2 (H + D)^2 + \pi R_5 (H + D)^2 \right] \quad (6)$$

1.4 土压力力矩的计算

土压力作用在墙背面上的圆心半径 $R_t = \frac{1}{3} (R_2 + 2 R_{5\varphi})$, 合力点距墙基底面高度为 $\frac{1}{3} (D + H_\varphi)$, 通过积分运算^[1]可求得土压力对墙基底面的力矩计算公式为

$$M = \frac{1}{18} \gamma_t K_a \left\{ \left[\frac{\pi}{2} (D + H)^3 - 3 (D + H)^2 (H - h) + \frac{3}{4} \pi (D + H) (H - h)^2 - \frac{2}{3} (H - h)^3 \right] \cdot (R_2 + 2 R_5) + \left[2 (D + H)^3 - \frac{3}{2} \pi (D + H)^2 \cdot (H - h) + 4 (D + H) (H - h)^2 - \frac{3}{8} \pi (H - h)^3 \right] \cdot (R_6 - R_5) \right\} \quad (7)$$

如果 $h = H$, 应有 $R_5 = R_6$, 则

$$M = \frac{1}{18} \gamma_t K_a \frac{\pi}{2} (H + D)^3 (R_2 + 2 R_5) \quad (8)$$

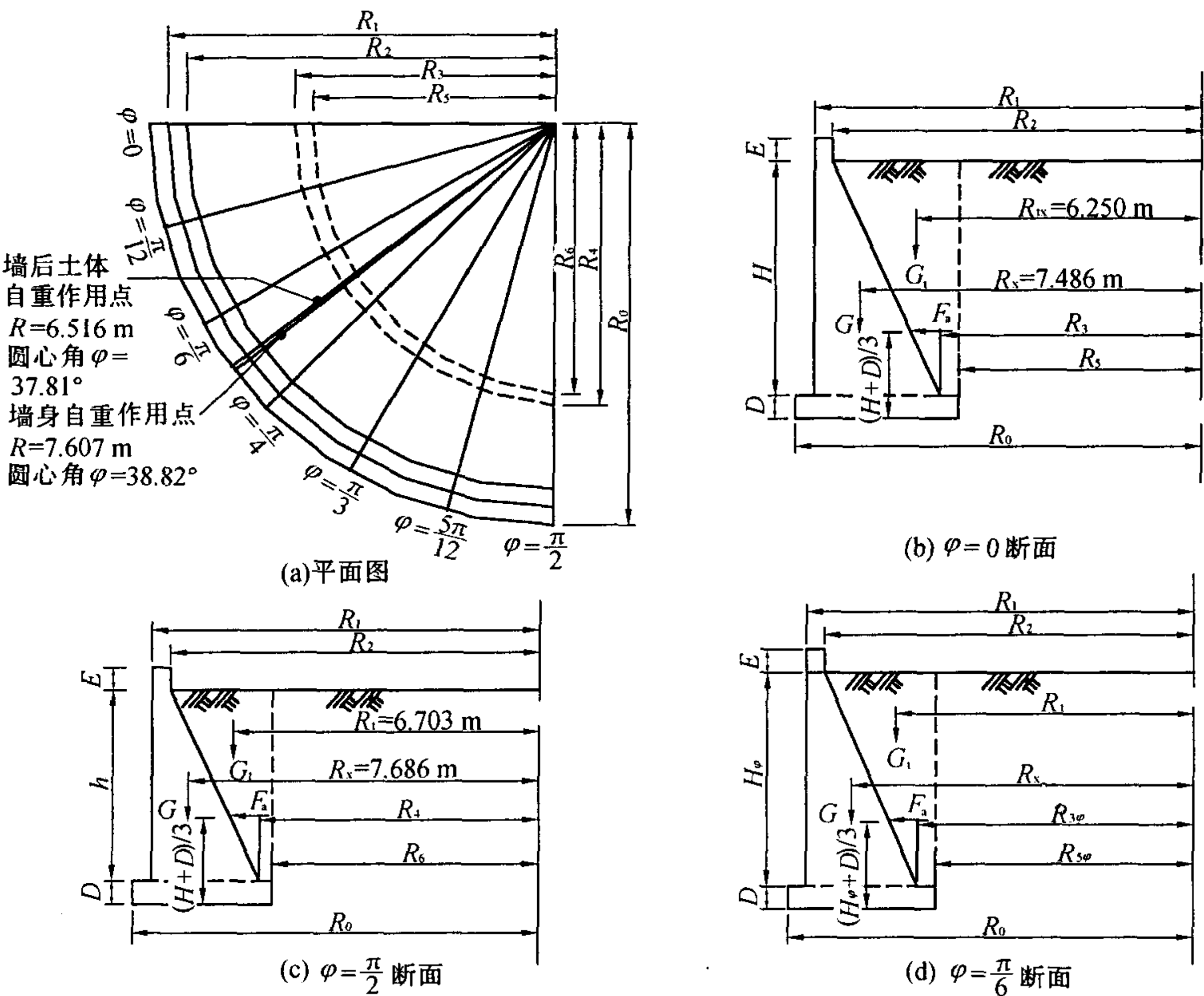


图 1 圆弧形重力式挡土墙示意图

1.5 墙基底面积和截面矩的计算

a. 挡土墙基底面积计算公式为^[1]

A = 1/2 [pi/2 (R0^2 - R5^2) - 2R5(R6 - R5) - pi/4 (R6 - R5)^2] (9)

当 R5 = R6 时

A = pi/4 (R0^2 - R5^2) (10)

b. 墙基底面截面矩计算公式为^[1]

W = 1/12 { pi/2 (R0 + R5)(R0 - R5)^2 + [(R0 - R5)^2 - 2(R0^2 - R5^2)](R6 - R5) + pi/4 [(R6 - R5)^2 * (3R5 - R0)] + 2/3 (R6 - R5)^3 } (11)

当 R5 = R6 时

W = pi/2 * (R0 + R5)/2 * (R0 - R5)^2/6 (12)

1.6 挡土墙形心半径的计算

公式(1)给出了挡土墙的体积,其形心半径计算公式为

Rx = V / (V' + V'' + V''') (13)

V' = 1/2 { [pi/2 H - (H - h)] (2R1 - R2 - R3) - [H - pi/4 (H - h)] (R4 - R3) } (14)

式中: V' 为挡土墙梯形断面部分平均宽度与高度乘积在 0 ~ pi/2 范围内的积分; V'' 为挡土墙底座宽度与高度乘积在 0 ~ pi/2 范围内的积分; V''' 为挡土墙顶部矩形断面面积在 0 ~ pi/2 范围内的积分.

如果 h = H, 应有 R4 = R3, 则

V' = pi/4 H (2R1 - R2 - R3) (15)

V'' = pi/2 D (R0 - R5) - D (R6 - R5) (16)

如果 h = H, 应有 R6 = R5, 则

V''' = pi/2 D (R0 - R5) (17)

V''' = pi/2 E (R1 - R2) (18)

1.7 墙后土体形心半径的计算

公式(2)给出了墙后土体的体积,其形心半径 Rx 计算公式为

Rtx = Vt / Vt'

式中: Vt' 为墙后土体断面平均宽度与高度的乘积在 0 ~ pi/2 范围内的积分,经推导得

Vt' = 1/2 { [pi/2 H - (H - h)] (R2 + R3 - 2R5) + [H - pi/4 (H - h)] (R4 - R3) - [2H - pi/2 (H - h)] (R6 - R5) } (19)

如果 h = H, 应有 R4 = R3, R6 = R5, 则

Vt' = pi/4 H (R2 + R3 - 2R5) (20)

1.8 挡土墙基底面形心半径的计算

挡土墙基底面形心半径计算公式为

Rx0 = A / A' (21)

式中: A' 为基底面宽度在 0 ~ pi/2 范围内的积分,经推导得

A' = pi/2 (R0 - R5) + R5 - R6 (22)

如果 R6 = R5, 则

A' = pi/2 (R0 - R5) (23)

2 挡土墙的整体计算实例

图 1 所示挡土墙,设基本参数如下: H = 5.2 m, h = 4.2 m, D = 0.5 m, E = 0.5 m, R0 = 8.9 m, R1 = 8.5 m, R2 = 8.1 m, R3 = 5.7 m, R4 = 6.238 m, R5 = 5.3 m, R6 = 5.992 m. 挡土墙墙体容重 gamma = 24 kN/m^3, 填土容重 gamma_t = 18 kN/m^3, 内摩擦角 phi = 20°, 挡土墙基底面与地基的摩擦系数 f = 0.45 (地基为泥质砂岩), 按朗肯理论计算的主动土压力系数^[2] Ka = tan^2(45° - phi/2) = 0.49.

表 1 挡土墙整体计算结果

挡土墙 断面形式	挡土墙 体积/m³	墙后土体 体积/m³	墙身重/ kN	墙后土体 重/kN	主动土压力/ kN	土压力力矩/ (kN·m)	墙基底 面积/m²	墙基底面 截面矩/(kN·m)
变墙高、变底宽	99.462	62.556	2387.09	1126.01	923.55	1568.25	36.294	19.179
墙高和底宽不变	121.353	81.68	2912.47	1470.26	1116.60	2121.54	40.15	24.09

挡土墙 断面形式	挡土墙重心 半径/m	土体重心 半径/m	墙基底面形心 半径/m	挡土墙重心 圆心角/(°)	土体重心 圆心角/(°)	土压力合力作用 点中心圆心角/(°)	墙基底面形 心圆心角/(°)
变墙高、变底宽	7.607	6.516	7.313	38.8236	37.8067	38.1629	37.996
墙高和底宽不变	7.486	6.25	7.10	45	45	45	45

测试龄期但未承受冻融循环的试件,发现冻融循环对黏结强度影响很小.

2 现场裂缝检测

喷射两个月后,采用读数显微镜对溢洪道喷射聚丙烯纤维混凝土的裂缝宽度、长度进行检测,并利用超声波检测仪对裂缝深度进行观测.结果发现裂缝宽度超过 0.2 mm 的有 12 条,其中超过 0.15 mm 的有 8 条,说明低掺量聚丙烯纤维喷射混凝土的抗裂性能是很好.

3 结 论

试验研究和现场裂缝检测表明,聚丙烯纤维喷射混凝土回弹损失小,能有效地减少塑性收缩裂缝,提高抗冻融、抗渗、抗冲击能力,喷射纤维混凝土与浆砌石之间的劈裂黏结强度随着时间的延长而提高,且受冻融循环影响很小,因而特别适用于水利工程中陡度大、难养护的结构,喷射纤维混凝土综合技术性能明显优于普通混凝土,而且增加的投资不多,对于提高混凝土的质量,保证工程安全,延长工作寿命具有重要的意义.笔者认为,马河水库溢洪道护板采

用聚丙烯纤维混凝土在经济上和技术上都是可行的,建议在水利工程中进一步推广.

参考文献:

[1] 徐至钧.纤维混凝土技术及应用[M].北京:中国建筑出版社,2003.100—150.
[2] Webster T. Personal communication[J]. Webster Engineering Associates, Independence, Ohio,2001(3):72—76.
[3] Soroushian, P, Stroeve P, Stroeve M. Plastic shrinkage cracking of polypropylene fiber reinforced concrete[J]. ACI Materials Journal, 1995, 92(5):553—560.
[4] Blood W. Modelling the flexural behavior of reinforced-fiber-reinforced concrete members[D]. Alberta, Canada: University of Calgary, 1970.
[5] Tatro S B. Effect of low modulus sisal and polypropylene fiber on the free and restrained shrinkage of mortars at early age [D]. Lafayette, Indiana, USA: Purdue University, 1985.
[6] Soroushian P, Mirz F. Plastic shrinkage cracking of polypropylene fiber reinforced concrete[A]. International Conference on Reinforced Concrete Materials in hot Climate[C]. UAE: United Arab Emirates University, 1994. 441—452.

(收稿日期:2004-04-20 编辑:骆超)

(上接第 40 页)

a. 根据以上赋值可以求得各项数值如表 1 所示.对于墙高和底宽均不变的挡土墙,墙身重心圆心角、土体重心圆心角、土压力合力作用点中心圆心角以及墙基底面形心圆心角均为 45°是很容易理解的,在进行整体设计计算时,认为 ΣG , ΣH 及 ΣM 作用在一个径向平面内不会产生歧义.对于墙高和底宽随圆心角而变化的挡土墙,如果墙重心圆心角、土体重心圆心角、土压力合力作用点中心圆心角与墙基底面形心圆心角之间的偏差过大,则按整体进行设计计算的合理性就值得怀疑;反之,如果圆心角之间的偏差很小,加之墙本身有足够大的强度和刚度,则其合理性可以保证.由表 1 可见,挡土墙重心圆心角、土体重心圆心角、土压力合力作用点中心圆心角与墙基底面形心圆心角相差不到 $\pm 1^\circ$,笔者认为,如此小的偏差不会影响整体计算的合理性.

b. 挡土墙抗滑稳定、抗倾覆稳定和基底应力计算可依据 SL265-2001《水闸设计规范》中的公式进行.

3 结 语

a. 本文仅对挡土墙所承受的基本荷载进行了公式推导与计算.除此以外,挡土墙还会承受水压力、附加荷载、扬压力及地震效应,有兴趣者可循本

文思路与推导方法进行求解.

b. 对于圆弧形重力式挡土墙,以往通常取单位弧长的计算体按平面问题进行简化设计计算,这样的方法虽然方便易行,但不符合挡土墙的真实受力情况,存在的主要问题是人为放大了土压力作用效应.笔者推导的进行挡土墙整体设计计算的一系列公式,可以正确计算挡土墙的工程量和自重、墙后土体重、土压力及土压力力矩,可以对挡土墙的抗滑、抗倾覆、地基应力及分布特征作整体计算,并能真实反映挡土墙的受力状况和安全度,还可以取得节省工程量和投资的效果.

参考文献:

[1] 杨文渊.实用土木工程计算图表[M].上海.龙门联合书局出版社,1948.1.25—1.26.
[2] 钱家欢.土力学[M].第 2 版.南京:河海大学出版社,1995.140—141.

(收稿日期:2004-04-09 编辑:高建群)

