

裂缝密集型面板渗流的等效准连续介质模型^{*}

王瑞骏, 吕海东, 李炎隆

(西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

[摘要] 基于等宽缝隙稳定流的运动规律, 首先建立了单一面板裂缝的渗流模型, 在此基础上建立了裂缝密集型面板渗流的等效准连续介质模型。结果表明, 对裂缝密集型面板按等效准连续介质模型进行模拟, 可以获得较为准确的坝体渗流计算结果, 且该模型具有有限元网格剖分简单、计算效率高等优点, 是一种较为准确实用的面板渗流计算模型。

[关键词] 裂缝密集型面板; 面板渗流; 渗流计算; 渗流模型

[中图分类号] TV 139. 16

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)12-0209-06

混凝土面板作为堆石坝的防渗体, 其裂缝或接缝的渗流对整个坝体的防渗安全影响很大。众所周知, 由于面板裂缝的复杂性, 使得面板裂缝渗流的计算模型或计算方法在实际工程中一直未得到有效解决。澳大利亚伦吉·卡希纳得等^[1-2]根据温尼克等对坝面板开裂情况的研究, 提出了估算面板裂缝渗漏量的2种方法: 第一种方法称为表面渗透性法, 该方法假定混凝土面板是均质的, 其中的渗流符合达西定理, 然后通过已建工程的原型渗漏观测资料, 用水深、沿坝面的水面长度、板厚和坝坡角作为参量, 与裂缝的渗流量进行相关分析, 求得具有半经验性的化引表面渗透系数。用该法可以估算水库首次蓄水的裂缝渗流量和经过一段时间后的裂缝稳定渗流量, 但此法完全忽略了垫层等面板基础的渗流。第二种方法是根据水流通过裂缝的运动规律来进行推导的, 称为裂缝渗流法。该方法假定裂缝渗流为层流且裂缝宽度不变, 并在立方定理中引入缝面粗糙度修正, 进而获得单位长度裂缝的渗流量及面板全部裂缝总渗流量的估算公式。这些估算公式只限于估算单一面板或等宽裂缝的渗流量, 不能确定裂缝的其他渗流要素, 也无法引入到大坝整体渗流计算中去。因此, 研究建立既可获得面板裂缝的各项渗流要素, 又能将面板裂缝渗流与大坝整体渗流有机结合起来的面板裂缝渗流计算模型, 具有重要意义。

为便于研究, 本文定义裂缝数量众多、分布相对比较密集的混凝土面板为“裂缝密集型面板”。本研究通过对面板裂缝特征及其渗流形态的分析, 根据

等宽缝隙稳定流的运动规律, 首先提出单一面板裂缝的渗流模型, 然后针对面板产生密集裂缝这种极端破坏情况, 考虑面板渗流与垫层渗流之间的相互作用和影响, 建立裂缝密集型面板整体的渗流计算模型, 以期对面板产生密集裂缝情况下的堆石坝整体渗流特性研究提供理论依据。

1 单一面板裂缝的渗流模型

1.1 面板裂缝特征及其渗流形态

有研究^[3-5]表明, 混凝土面板裂缝尤其是贯穿性裂缝的产生主要是由于温度应力和干缩应力引起的。根据裂缝是否贯穿面板, 面板裂缝分布特征及其渗流形态可将裂缝划分为两类: (1) 浅表性裂缝(未贯穿面板厚度), 通常出现在施工期, 主要由干缩应力引起, 缝宽很小。在温度应力作用下, 部分浅表性裂缝会发展为贯穿性裂缝; 同时还有一部分浅表性裂缝在水库蓄水以后经过应力调整而“自愈”^[2]。因此, 浅表性裂缝对面板整体渗流的影响是有限的。就单一浅表性裂缝而言, 其对面板渗流的影响主要表现为缩短渗径, 考虑到混凝土的防渗性能较高, 即使局部面板处混凝土的渗径缩短, 一般也不会使其渗透性有太明显的恶化, 因此浅表性裂缝对面板的渗流影响可以忽略不计。(2) 贯穿性裂缝, 这种裂缝的宽度往往较大, 主要发生在面板的中下部, 基本上沿水平方向分布, 且横穿整个板块, 其对面板渗流的影响不容忽视。宏观上而言, 贯穿性裂缝的渗流形态为缝隙渗流, 但单一缝隙沿渗流方向(大体为面板厚度

* [收稿日期] 2006-07-31

[作者简介] 王瑞骏(1963-), 男, 陕西宝鸡人, 副教授, 博士, 主要从事坝工应力及水工结构仿真研究。

方向)的缝宽一般是变化的,且缝面粗糙,有起伏。另外,与面板接缝类似,在水库蓄水,裂缝处于稳定渗流状态下,裂缝中通常充填较为密实的泥沙等细颗粒。因此,贯穿性裂缝的渗流呈现变宽、缝面粗糙及有充填物的缝隙渗流形态。本文所述的面板裂缝渗流也主要是针对这种情况。

1.2 等宽缝隙稳定流的运动规律

对于隙宽(等宽)为 b 、缝隙长度为 a 的等宽缝隙,其层流状态的水流运动如图1所示。

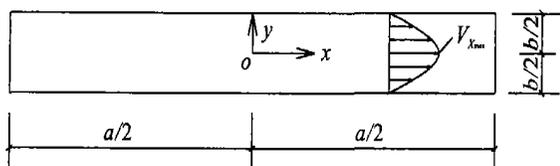


图1 等宽缝隙水流示意图

Fig 1 Water flow performance of equal width cracks

根据等宽缝隙稳定流立方定律^[6-7],图1所示的等宽缝隙稳定流的运动规律^[6]为:

$$v_x(y) = \frac{1}{8\mu} \frac{\partial p}{\partial x} (4y^2 - b^2) \quad (1)$$

$$q = 2 \int_0^{b/2} v_x(y) dy = \frac{Y}{4\mu} \int_0^{b/2} (b^2 - 4y^2) dy = \frac{b^3 Y}{12\mu} J \quad (2)$$

式(1)、(2)中, v_x 为沿缝隙长度 x 方向的流速; p 为流体压力; μ 为流体动力粘滞系数; q 为单宽流量; Y 为水容重; J 为水力坡降。

1.3 单一面板裂缝的渗流模型

对于光滑、等缝宽的有充填面板裂缝,设裂缝中充填介质的孔隙率为 n ,则裂缝渗流的有效宽度为 nb ,静水压力 p 为^[6]:

$$p = nY(H - z) \quad (3)$$

式中, H 为裂缝任一断面(垂直于缝面)的测压管水头; z 为此断面的位置水头。

根据式(1)~(3),若设裂缝渗流的渗透坡降为 J_f ,则通过裂缝任一断面的稳定渗流单宽流量为:

$$q = 2 \int_0^{nb/2} v_x(y) dy = \frac{YnJ_f}{4\mu} \int_0^{nb/2} (n^2b^2 - 4y^2) dy = \frac{n^3b^3Y}{12\mu} J_f \quad (4)$$

根据式(4),并结合Darcy定律,可得裂缝渗流的平均流速为:

$$V = \frac{q}{nb} = \frac{n^3b^2Y}{12\mu} J_f = K_f J_f \quad (5)$$

式中, K_f 为有充填裂缝的等效渗透系数,可表示为:

$$K_f = \frac{n^3b^2Y}{12\mu} \quad (6)$$

对于光滑、变缝宽的有充填面板裂缝,其计算简图如图2所示。图2中, t 为面板厚度; b_0 和 b_t 分别为 $x=0$ 和 $x=t$ 处的裂缝宽度; b 为任一渗流横断面处的缝宽,设裂缝上缝面相对于下缝面的斜率为 m ,则有:

$$b = b(x) = b_0 + mx \quad (7)$$

一般情况下 m 很小,因此可忽略渗流沿 y 向的流动;同时,在 $x \sim x+dx$ 段可近似采用立方定律^[6]。因此,式(3)~(6)在此段仍然适用。则根据式(3)、(4)和(7)可得:

$$q = \frac{n^4Y}{12\mu} \times \frac{2b_0b_t^2}{b_0 + b_t} J_f \quad (8)$$

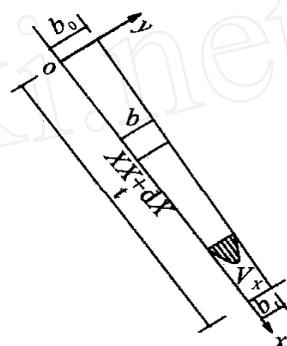


图2 变缝面板裂缝渗流计算简图

Fig 2 Seepage calculation scheme of face slab with changing cracks

比较式(8)与式(4)可得,在渗流量等效原则下,变缝宽面板裂缝的等效缝宽为:

$$b_e = \left(\frac{2b_0b_t^2}{b_0 + b_t} \right)^{1/3} \quad (9)$$

可以证明,等效缝宽 b_e 不大于裂缝的平均缝宽 $(b_0 + b_t)/2$ 。

按此等效缝宽,可得光滑、变缝宽且有充填物裂缝的等效平均渗流速度及渗透系数分别为:

$$V_e = q/(nb_e) = \frac{n^3b_e^2Y}{12\mu} J_f \quad (10)$$

$$K_{fe} = \frac{n^3b_e^2Y}{12\mu} \quad (11)$$

面板裂缝缝面通常总是粗糙不平,为此不妨按下式所给出的粗糙度修正系数 C 来考虑裂缝缝面粗糙度对渗流的影响^[1,7]:

$$C = \frac{1}{1 + 8.8 \left(\frac{\Delta}{2b} \right)^{1.5}} \quad (12)$$

式中, Δ 为裂缝缝面的绝对粗糙度(即粗糙高度); b

为缝宽; $\Delta/2b$ 为裂缝缝面的相对粗糙度。

在测得面板裂缝缝面的绝对粗糙度 Δ 以后, 用变宽裂缝的等效缝宽 b_e 代换式 (12) 中的 b , 即可确定裂缝的粗糙度修正系数 C , 然后给式 (8), (10) 和 (11) 的右端分别乘以修正系数 C , 即可确定粗糙、变缝宽且有充填物裂缝的单宽渗流量 q_f 、等效平均流速 V_e 及等效渗透系数 K_{fe} 。

2 裂缝密集型面板渗流的等效连续介质模型

2.1 基本假定

根据裂缝密集型面板渗流问题的性质, 不妨假定: (1) 面板裂缝数量众多, 分布相对比较密集; (2) 面板裂缝主要为贯穿性裂缝, 横穿整个板块 (即面板宽度), 方向均沿水平方向; 浅表性裂缝的渗流作用可以忽略; (3) 面板渗流以贯穿性裂缝渗流为主, 由裂缝分割形成的混凝土面板块的渗流作用可以忽略; (4) 贯穿性裂缝渗流均呈层流状态。

2.2 裂缝密集型面板渗流的等效连续介质模型

根据上述假定, 对单一长条形面板可建立二维几何模型进行渗流分析。

如图 3 所示, H_0 为水库水深, b_{ei} ($i=1, 2, 3, \dots, n$) 为裂缝等效缝宽; n 为裂缝总数; L 为水面以下的面板长度。假设裂缝 i 的充填孔隙率为 n_i 、粗糙度修正系数为 C_i , 则由上节所述, 单一裂缝的等效渗透系数为:

$$K_{fei} = \frac{C_i n_i^3 b_{ei}^2 \gamma}{12\mu}, \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (13)$$

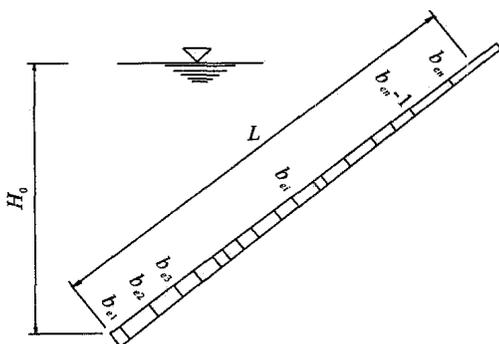


图 3 裂缝密集型面板渗流计算简图

Fig. 3 Seepage calculation scheme of face slab with intensive cracks

实际工程中往往对垫层表面进行固坡处理 (如喷乳化沥青或水泥砂浆), 使得垫层表面的渗透系数相对较小, 因此在密集的面板裂缝产生大量集中缝隙渗漏的情况下, 面板与垫层之间的接触面上极易

形成连通性势面, 即各个裂缝下游端的测压管水头近似相等, 且各个裂缝上游端的测压管水头均为 H_0 , 也相等。因此, 可认为沿各个裂缝的渗透坡降也近似相等, 设为 J_f 。则由全部面板裂缝产生的单宽渗流量为:

$$q_f = \sum_{i=1}^n (K_{fei} J_f b_{ei}) J_f = \sum_{i=1}^n (K_{fei} b_{ei}) \quad (14)$$

在面板存在密集裂缝的情况下, 不妨将面板渗流问题视为宏观连续介质渗流问题, 此时, 宏观连续面板的渗透坡降与面板裂缝的渗透坡降相等, 也为 J_f 。在此引入一个表示裂缝密集型面板宏观渗透特性的物理量——等效匀化渗透系数, 用 K_y 表示。则宏观连续面板的单宽渗流量为:

$$q_{qu} = K_y J_f L \quad (15)$$

按基本假定, 忽略由裂缝分割形成的混凝土面板块的渗流作用, 则在渗流量等效原则下有:

$$q_{qu} = q_f \quad (16)$$

根据式 (15)~(17), 整理后得:

$$K_y = \frac{\gamma}{12\mu L} \sum_{i=1}^n (C_i n_i^3 b_{ei}^3) \quad (17)$$

式 (17) 即反映了将裂缝密集型面板视为宏观连续介质情况下的等效匀化渗流特性。从式 (17) 中可以看出, 等效匀化渗透系数 K_y 只与粗糙度修正系数 C_i 、充填孔隙率 n_i 、裂缝等效宽度 b_{ei} 及面板总长度 L 有关, 与裂缝在面板上的具体位置无关, 这就为 K_y 的确定提供了极大的便利。因此, 在量测或计算得到一系列贯穿性裂缝 (n 条) 的几何及物理参数 (粗糙度修正系数 C_i 、充填孔隙率 n_i 、等效裂缝缝宽 b_{ei} 或变宽裂缝等效缝宽 b_{ei} 等) 和面板总长度 L 后, 就可按式 (17) 直接计算面板的等效匀化渗透系数 K_y 。这样, 可将裂缝密集型面板视作渗透系数为 K_y 的一种坝体材料, 直接参与整个坝体的渗流有限元计算。根据面板节点渗流水头的计算结果, 可依次确定所关心裂缝处的其他渗流要素。

在上述模型建立过程中, 将裂缝密集型面板视为宏观连续介质, 而其渗透系数又采用的是等效匀化渗透系数, 因此可将上述的渗流计算模型称之为“等效连续介质模型”。显然, 用该模型进行裂缝密集型面板渗流计算时, 虽然前期的数据准备工作量较大, 但由于该模型等效匀化渗透系数的计算与裂缝分布特征及裂缝的具体位置无关, 因此可按面板无裂缝情况进行面板的网格剖分 (如均匀剖分), 且所有面板单元的渗透系数均采用等效匀化渗透系数 K_y , 从而可使面板的有限元模型大为简化, 大坝

渗流计算效率明显提高。

3 算例

图4所示的面板堆石坝,正常蓄水位为100 m,正常蓄水位以下面板长度为172 m,面板平均厚度为50 cm,上游坝坡1:1.4,下游平均坝坡1:1.75。

坝体材料(主次堆石合并)的渗透系数取值见表1。假设在正常蓄水位以下面板产生了40条贯穿性裂缝,各条裂缝相对于坝底的分布高度 Z_i 、等效缝宽 b_{ei} (按等宽缝处理)、相对粗糙度 $(\Delta/2b_{ei})$ 及充填孔隙率 n_i 见表2。

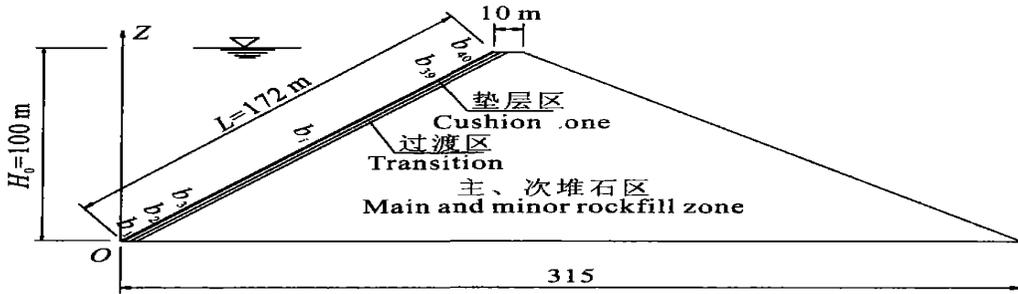


图4 坝体渗流计算简图

Fig 4 Seepage calculation scheme of dam body

表1 坝体材料渗透系数取值表

Table 1 Values of permeability coefficient of dam body materials

材料 Material	渗透系数/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$) Permeability coefficient	材料 Material	渗透系数/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$) Permeability coefficient
面板混凝土 Concrete face slab	1×10^{-8}	过渡层 Transition layer	1×10^{-2}
垫层 Cushion	1×10^{-3}	主次堆石 Main and minor rock-fill	1×10^{-1}

表2 面板裂缝参数表

Table 2 Parameters of face slab cracks

序号(i) Order	Z_i/m	b_{ei}/mm	相对粗糙度 Relative roughness	孔隙率 n_i Permeability coefficient	序号(i) Order	Z_i/m	b_{ei}/mm	相对粗糙度 Relative roughness	孔隙率 n_i Permeability coefficient
1	4	0.3	0.2	0.50	21	42.3	0.9	0.1	0.50
2	8	0.3	0.4	0.45	22	43.1	0.5	0.25	0.30
3	9.5	0.6	0.3	0.55	23	44.5	0.3	0.15	0.20
4	11.5	0.7	0.2	0.42	24	45.2	0.7	0.2	0.40
5	12.7	0.5	0.1	0.47	25	46.8	0.5	0.4	0.50
6	13.8	1.1	0.25	0.51	26	50.5	0.3	0.35	0.35
7	14.9	0.9	0.15	0.52	27	51.5	0.6	0.35	0.55
8	15.6	0.5	0.2	0.45	28	52	0.7	0.15	0.40
9	16.7	0.3	0.4	0.42	29	52.4	1.4	0.42	0.44
10	18.2	0.7	0.35	0.38	30	52.8	1.1	0.3	0.55
11	18.5	0.5	0.45	0.42	31	53.2	0.7	0.2	0.51
12	20.3	1.2	0.22	0.39	32	56.5	0.5	0.1	0.45
13	22.7	1.1	0.45	0.50	33	58.4	0.8	0.25	0.40
14	23.5	0.5	0.35	0.30	34	62.8	0.5	0.15	0.50
15	24.8	0.7	0.15	0.28	35	66.7	0.3	0.2	0.22
16	30.7	0.2	0.42	0.40	36	70.5	0.7	0.4	0.34
17	31.6	0.2	0.32	0.50	37	75.9	0.5	0.35	0.40
18	32.9	0.6	0.4	0.35	38	82.7	0.2	0.45	0.25
19	37	0.1	0.36	0.47	39	87.5	0.6	0.3	0.50
20	41.5	0.2	0.42	0.25	40	92.6	0.1	0.2	0.30

本算例的目的是分析、比较面板按等效准连续介质与按实际裂缝分布 2 种模型进行有限元渗流计算结果的差异。等效准连续介质模型的面板网格采用均匀剖分, 单元渗透系数均为 K_y 。实际裂缝分布模型则用缝单元逐个模拟面板裂缝, 缝单元采用各

自的渗透系数 $K_{fei} (i= 1, 2, \dots, 40)$; 裂缝之间的面板块采用实体单元模拟, 采用面板混凝土的渗透系数。2 种模型的计算范围及有限元网格分别见图 5 和图 6。

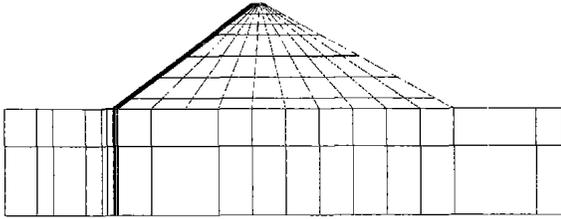


图 5 等效准连续介质模型的有限元网格图

Fig 5 FEM mesh of model of equivalent quasi-continuum

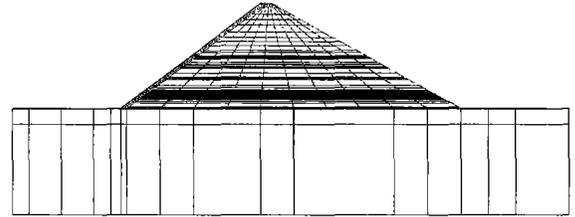


图 6 实际裂缝分布模型的有限元网格图

Fig 6 FEM mesh of model of actual cracks distributions

3.1.2 种模型面板渗透系数计算

3.1.1 等效准连续介质模型 将表 2 所列面板裂缝参数代入式 (17), 可得等效匀化渗透系数 $K_y = 2.41 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$

3.1.2 实际裂缝分布模型 按式 (12) 计算各裂缝的粗糙度修正系数 C_i , 然后按式 (13) 计算各个裂缝的等效渗透系数 K_{fei} 。结果见表 3。

表 3 实际裂缝分布模型各裂缝等效渗透系数计算结果表

Table 3 Calculation results of equivalent permeability coefficient of each crack

裂缝序号 Crack order	渗透系数/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$) Perm eability coefficient	裂缝序号 Crack order	渗透系数/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$) Perm eability coefficient	裂缝序号 Crack order	渗透系数/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$) Perm eability coefficient	裂缝序号 Crack order	渗透系数/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$) Perm eability coefficient
1	0.40	11	0.26	21	5.04	31	2.31
2	0.20	12	2.85	22	0.20	32	1.13
3	1.31	13	2.40	23	0.03	33	1.24
4	1.11	14	0.15	24	1.12	34	1.32
5	1.05	15	0.45	25	0.50	35	0.03
6	4.86	16	0.03	26	0.11	36	0.38
7	4.79	17	0.12	27	1.13	37	0.29
8	0.81	18	0.30	28	1.14	38	0.01
9	0.13	19	0.22	29	3.13	39	1.17
10	0.61	20	0.01	30	5.24	40	0.01

3.2 2 种模型渗流计算结果比较

针对 2 种模型, 在完全相同的边界条件下分别进行稳定渗流计算。2 种模型水头等值线及自由面的计算结果见图 7, 计算域内各材料区最大渗透坡降的计算结果见表 4。

由图 7 可以看出, 与实际裂缝分布模型相比, 等效准连续介质模型的水头等值线普遍较为滞后, 特别在坝体和坝基的上、中游部分滞后较多。对于同一单元节点, 等效准连续介质模型所得到的计算水头较大, 但二者水头差最大不超过 8m。从图 7 还可以看出, 2 种模型所得到的坝体渗流自由面 (浸润线) 十分接近, 二者竖向坐标相差不超过 3.5m。根据计算经验及表 4 可以发现, 由于部分面板裂缝缝宽较

大, 因此按实际裂缝分布模型计算时, 在这些裂缝处及其下游的垫层、过渡层中产生局部渗透集中现象, 从而导致在面板、垫层及过渡层区, 2 种模型的最大渗透坡降计算结果差异较大 (等效准连续介质模型的计算结果相对偏小), 而在主次堆石区及坝基中二者差别较小或很小。2 种模型得到的坝体单宽渗流量几乎相同, 这说明就渗流量而言, 等效准连续介质模型也能达到足够的计算精度。导致 2 种模型水头等值线及面板、垫层和过渡层区最大渗透坡降产生上述差异的一个共同因素, 应与坝基渗透有关。等效准连续介质模型主要是在对裂缝密集型面板本身及其与垫层之间接触面的渗流特性进行分析的基础上, 引入相应的若干假定以后建立的。计算域中包含

坝基以后,坝基上游水平面为等水头边界,而坝基本 生上述差异。
身渗透性较大,因此难免使2种模型的计算结果产

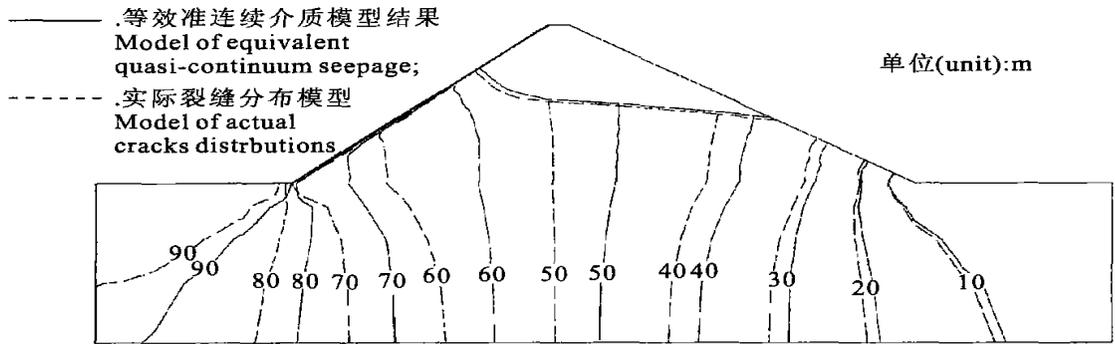


图7 2种模型水头等值线及自由面比较图

Fig 7 Comparison of water head isoline and free surface of two models

表4 2种模型各材料区最大渗透坡降比较表

Table 4 Gradient ratio comparison of maximum seepage in each material area of two models

计算模型 Calculation model	各区最大渗透坡降 Maximum seepage gradient of each zone					单宽渗流量/ ($m^3 \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$) Seepage quantity per unit length
	面板 Face	垫层 Cushion	过渡层 Transition	主次堆石 Main and minor rockfill	坝基 Dam foundation	
等效准连续介质模型 Model of equivalent quasi-continuum seepage	36	8.89	0.4	0.75	8.8	5.53×10^{-5}
实际裂缝分布模型 Model of actual cracks distributions	86.7	25.6	2.1	0.73	3.03	5.24×10^{-5}

4 结论

基于等宽缝隙稳定流的运动规律,本研究首先建立了单一面板裂缝的渗流模型,在此基础上,建立了裂缝密集型面板渗流的等效准连续介质模型。算例计算结果表明,对于裂缝密集型面板,按等效准连续介质进行模拟,可获得较为准确的渗流自由面、坝体渗流量计算结果,也可获得具有一定准确性的主次堆石区及坝基最大渗透坡降的计算结果。但水头

等值线在坝体和坝基的上、中游段稍有滞后,面板、垫层和过渡层区最大渗透坡降的计算结果偏小。但比较图5与图6可以看出,等效准连续介质模型的有限元网格比实际裂缝分布模型的有限元网格明显简单。实际计算经验表明,前者计算效率高且迭代计算易于收敛,而后者单元剖分冗繁且迭代计算难于收敛。因此,综合考虑上述各种因素可以认为,裂缝密集型面板渗流的等效准连续介质模型是较为合理和实用的,其计算结果也是基本准确的。

[参考文献]

[1] 蒋国澄,傅志安,凤家骥 混凝土面板坝工程[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,1997:13-18,162-164
 [2] 傅志安,凤家骥 混凝土面板堆石坝[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1993:137-152
 [3] 麦家焯,孙立勋 西北口堆石坝面板裂缝成因的研究[J]. 水利水电技术,1999,30(5):32-34
 [4] 罗先启,刘德富,王炎廷 混凝土面板堆石坝面板约束问题的探讨[J]. 武汉水利电力大学(宜昌)学报,1997,19(4):62-66
 [5] 徐明星 天生桥一级堆石坝面板裂缝原因分析[J]. 红水河,2001,20(3):40-47
 [6] 仵彦卿,张倬元 岩体力学导论[M]. 成都:西南交通大学出版社,1995:45-65,93-113
 [7] 张有天 岩石水力学与工程[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005:26-167,189-226

(下转第220页)

Finite element analysis of bypass abutment seepage in deep and thick sand layer

LU Hai-dong¹, WANG Rui-jun¹, LI Zhang-hao², WANG Dang-za³

(1 Institute of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

2 Yunnan Jinshajiang Midstream Hydroelectric Development Company, Kunming, Yunnan 650051, China;

3 Chengdu Hydroelectric Investigation & Design Institute, China Hydro Power Consulting Group, Chengdu, Sichuan 610072, China)

Abstract: Three-dimensional finite element analysis of left dam abutment seepage is carried out based on a proposed earth dam in order to study the bypass seepage law of deep and thick sand layer. With the sand layer's seepage stability as control condition, cutoff wall extending length scheme is comparatively studied, and the problem in the traditional hydraulic method is also analyzed. The result shows that the dam bypass seepage quantity using hydraulic method is small, virtually the comparison and selection for cutoff wall extending length scheme is short of theory gist. The influence of bypass seepage is limited along the direction of river stream, but the effect on the left bank around the dam toe is great. With the increase of cutoff wall's extending length, maximum seepage gradient of sand layer and seepage gradient of exit surface gradually decrease in the cross section of left bank near the dam toe. Bypass seepages mostly occur in deep and thick sand layer of dam abutment, moreover with the increase of cutoff wall's extending length, bypass seepage quantity in sand layer and the whole left dam abutment gradually decreases, but without remarkable difference.

Key words: deep and thick sand layer; dam abutment; bypass seepage; cutoff wall's extending length scheme; finite element analysis

(上接第214页)

Abstract ID: 1671-9387(2006)12-0209-EA

Equivalent quasi-continuum seepage model of face slab with intensive cracks

WANG Rui-jun, LU Hai-dong, LI Yan-long

(Institute of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: Based on the motion laws of equal-width slit's steady flow, the seepage model of single slab joint is established. Then equivalent quasi-continuum seepage model of face slab with intensive cracks is studied and established. For the face slab with intensive cracks, the calculation example indicates that accurate seepage results of dam body can be obtained. The finite element grid meshing of face slabs is simple, and the calculation process of dam body seepage is quick with equivalent quasi-continuum mode.

Key words: face slab with intensive crack; seepage of face slab; seepage calculation; seepage model