

文章编号: 1000-7598-(2007) 01-0173-06

城区渗流场中建筑物间缝隙有限元简化分析方法

骆冠勇^{1,2}, 曹 洪^{1,2}, 房莹光^{1,2}, 范 雨^{1,2}

(1. 华南理工大学 建筑学院, 广州 510640; 2. 亚热带建筑教育部重点实验室, 广州 510640)

摘 要: 为解决城区渗流场中缝隙多、区域的大尺度与物体的小尺寸相差了几个数量级, 有限元分析上存在的困难, 根据缝隙流动的解析解, 经适当地简化, 将缝隙附近的渗流场分为缝外区和缝内区两部分, 将缝外区流动简化为一个半径为半缝宽的井流, 缝内区流动简化为一个均匀流。引入附加阻力系数, 考虑缝隙出入口附近的由于过水断面突然变化而引的局部水头损失, 并得到附加阻力系数的表达式。利用该式, 结合渗流场中井点水头的修正公式, 得到了能有效模拟渗流场中建筑物间缝隙的修正线单元公式。利用该线单元编制了相关程序模拟城区渗流场中的缝隙, 使得缝隙出入口处的网格尺寸为缝隙两边的建筑物边长 1/3~1/4 时就能得到较为准确的结果, 避免了区域性渗流场中小尺寸物体的网格划分问题, 通过算例验证了该公式的精度和边界适应性。

关 键 词: 城市地下水; 渗流; 地下水环境; 缝隙; 有限元

中图分类号: TV 641

文献标识码: A

Simplified finite element method of modeling gaps between buildings in an urban seepage field

LUO Guan-yong^{1,2}, CAO Hong^{1,2}, FANG Ying-guang^{1,2}, FAN Yu^{1,2}

(1. Collage of Architecture and Civil Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. Key Laboratory of subtropic Architecture, Ministry of Education, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In an urban regional seepage field, thousands of gaps between building foundations make finite element modeling and analysis very difficult, because the size of the field is larger several order than the gaps'. In order to overcome the problem, based on the analytical solution of the gap flow, the seepage field was divided into outside and inside parts. In the outside, the flow was modeled by half a well whose diameter equals the gap width. In the inside, the flow was modeled by a uniform flow. Between them a local additional hydraulic head emerged. A coefficient was deduced to take into account the local hydraulic head loss. With the coefficient and the well point hydraulic head modified method which is employed in seepage finite element analysis, a modified line element formula was gained. The formula accuracy was examined. Using the modified line element to model gaps, in neighborhood of gaps inlets or outlets, the element size can set to be one-third to one-fourth of buildings side length without losing accuracy. Examples show that modified line element can model gaps between buildings precisely and efficiently. It can greatly reduce complexity of using finite element method to model an urban regional seepage field.

Key words: urban groundwater; seepage; groundwater environment; gap; finite elements

1 前 言

地下空间的开发会引起地下水环境的变化, 如广州这样的大城市, 由于地下结构量大、体积大, 影响可能会更大, 相关的研究已经开始受到重视, 但定量分析工作开展不多, 许多问题有待于研究。广州地质条件的一个主要特点是: 作为相对不透水层的基岩埋藏较浅, 一般为 10~20 m。这就使得地

下结构物直接落在基岩面上或与基岩相距很近, 堵塞了该断面上的大部分的渗流通道, 从而造成地下水环境的变化。要正确评估广州地下空间开发所引起的地下水环境的变化要有适当的计算模型作定量分析, 目前区域性渗流场计算常用的方法有有限元法、有限差分法^[1]和解析元素法^[2], 其中有限元法以其灵活边界适应性而应用最广。城区渗流场除了具有一般区域性渗流场的特点外还具有以下两个特

征:一是渗流场阻水结构物多,广州城区的高层建筑林立,地下轨道交通网络纵横,基础施工时遗留下来的支护结构及其地下结构本身将成为地下水流动的阻水物体;二是城区渗流场中的地下阻水结构物间透水缝隙多。

在有限元分析中,区域性渗流场的模拟一般简化成水平面准三维渗流有限元进行分析。城市区域渗流场范围较大,几十至上百平方公里不等,而阻水结构物单体的尺寸一般为几千平方米,两者相比相差几个数量级。而且建筑物间缝隙比建筑物本身小得多,缝隙出入口处存在奇异点,在该处的网格必须加密才能得到较为准确的结果。这种情况下,有限元计算的工作量很大,有必要进行简化计算。本文论述城区渗流场中建筑物间缝隙有限元模拟的简化方法,旨在用较粗的网格取得较好的精度,使得缝隙出入口处的网格尺寸为缝隙两边的建筑物边长为 $1/3 \sim 1/4$ 时便能得到较为准确的结果。

2 渗流场中缝隙简化方法的推导

建筑物缝隙的出入口可由半无限长缝入口流动近似描述。如图 1(a)所示,缝宽为 $2L$,由 $y=0$ 向 $-\infty$ 延伸,经保角变换后得到其解析解^[3]如式(1)和式(2)所示。

$$W = -\frac{Q}{\pi} \ln t + \Phi_0 \quad (1)$$

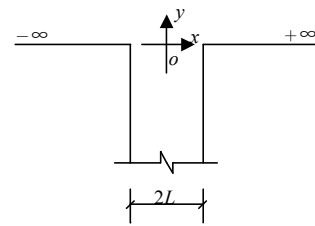
$$z = \frac{2L}{\pi} \left(\sqrt{t^2 - 1} + \arcsin \left(\frac{1}{t} \right) \right) \quad (2)$$

式中: $W = \Phi + \Psi i$; $z = x + yi = Re^{i\beta}$; $t = re^{i\theta}$ ($0 \leq \theta \leq \pi$); $\Phi = -kTh$; $\Phi_0 = -kTh_0$ (承压含水层); $\Phi = -kh^2/2$, $\Phi_0 = -kh_0^2/2$ (潜水含水层); Ψ 为流函数; Φ 为势函数; Φ_0 为 $r=1$ 的势; h 为测压管水头; h_0 为缝入口处两个角点的测压管水头; T 为含水层厚度; L 为缝半宽; Q 为缝流量; R , β 为复数 z 的模和幅角; r , θ 分别为复数 t 的模和幅角,以下只讨论承压水的情况,对于潜水只需把相应的 Th 用 $h^2/2$ 代, Th_0 用 $h_0^2/2$ 即可。

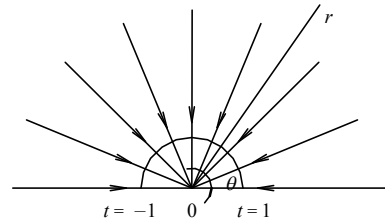
t 平面上的流网如图 1(b)所示,令 $\eta = \pi(\Phi - \Phi_0)/Q$ 时, x, y 平面流网图如图 1(c)所示。

式(1)和式(2)通过适当简化后,可获得缝隙出入口处流动的几点性质:

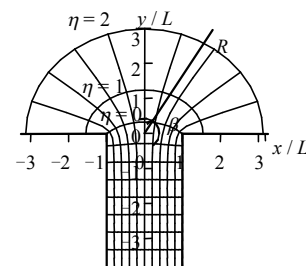
(1) t 平面中 $r \geq 1$ 的区域与 x, y 平面外区相对应; t 平面中 $r < 1$ 的区域与 x, y 平面中内区相对应,如图 2(a)所示,图中内外区分界弧线是 t 平面中 $r=1$ 的相应部分在 x, y 平面上的映射。由式(2)可知,该弧线上的势为 Φ_0 。



(a) x, y 平面上的缝



(b) t 平面流网图



(c) x, y 平面流网图

图 1 缝隙流动

Fig.1 Flow of gaps

(2) 当 r 很大时,有 $\arcsin(1/t) \approx 0$; $\sqrt{t^2 - 1} \approx t$, 即在外区无穷远处有

$$z = \frac{2L}{\pi} t \quad (3)$$

将式(3)代入式(1),同时令 $z = Re^{i\beta}$, $t = re^{i\theta}$, 分离出实部后有

$$\Phi = -\frac{Q}{\pi} \ln \left(\frac{\pi R}{2L} \right) + \Phi_0, \text{ 即 } h - h_0 = \frac{Q}{\pi k T} \ln \left(\frac{\pi R}{2L} \right) \quad (4)$$

取缝内区射线 $\beta = 0, \pi/6, \pi/3, \pi/2$ 和缝内区射线 $x = L, 2L/3, L/3, 0$ 组成的 4 个断面,由式(1)和式(2)求得缝外区 $R = 5L$ 和缝内区 $y = -3L$ 处上述 4 个断面水头的加权平均值(相应的权分别取为 0.5, 1, 1 和 0.5),定义它们的差值为 Δh ,经迭代计算得到 Δh 的值为 $2.254Q/kT$ 。

从图 2(b)看出:当 R 沿着上述 4 个断面趋向外区远处时,由式(1)和式(2)求得的 4 个断面的水头 h 与由式(4)求出的水头 h_1 相对差值 $(h_1 - h)/\Delta h$ 很快趋向于 0。而不论在远处还是近处 h_1 与上述 4 个断面上水头加权平均值均吻合得很好,相对差值几乎为 0,从而说明在外区式(4)足够精确,缝外区的流动可以简化为虚拟井并流。

(3) 当 r 很小时, 有 $\sqrt{t^2-1} \approx i$, 利用等式 $\arcsin(1/t) = -i \ln(\sqrt{1-1/t^2} + i/t)$, 所以式 (2) 变为

$$z = \frac{2L}{\pi} i (1 + \ln(t) - \ln(2i)) \quad (5)$$

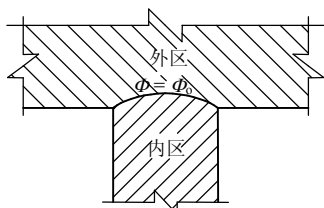
将 $z = x + yi$, $t = re^{i\theta}$ 代入式 (5) 有

$$r = 2e^{\pi y/2L-1} \quad (6)$$

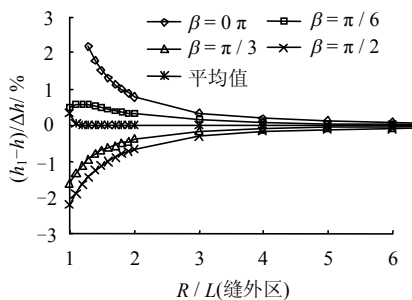
将式 (6) 代入式 (1), 分离出实部后得到

$$\Phi = -Q \left(\frac{y}{2L} + \frac{\ln(2)-1}{\pi} \right), \text{ 即 } h - h_0 = \frac{Q}{kT} \left(\frac{y}{2L} + \frac{\ln(2)-1}{\pi} \right) \quad (7)$$

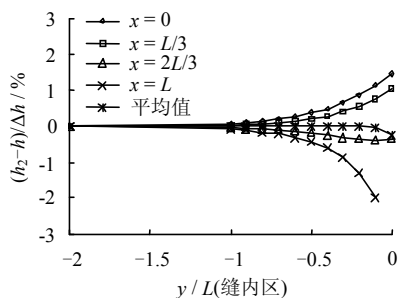
同样, 从图 2(c) 看出: 当 y 沿着上述 4 个断面趋向内区远处时, 式 (1) 和式 (2) 求出的水头 h 与由式 (7) 求出的水头 h_2 的相对差值 $(h_2 - h) / \Delta h$ 比起外区更快趋向于 0, 而当取上述 4 个断面水头加权平均值时, 而不论在远处还是近处 h_2 与上述 4 个断面上水头加权平均值均吻合得很好, 相对差值几乎为 0, 从而说明在内区, 式 (7) 也是足够精确的, 外区流动可以简化为均匀流。



(a) x, y 平面上的分区



(b) 缝外区远场简化公式的收敛性



(c) 缝内区远场简化公式的收敛性

图 2 缝隙流动的简化计算

Fig.2 Simplified method of gap's flow

图 3 和表 1 显示了缝外 $R = 5L$ 至缝内 $y = -3L$ 流程上, 取 $h_0 = 0$ 时由式 (4) 和式 (7) 求得的均一化的水头与由式 (1) 和式 (2) 求得上述缝内外 4 个断面上均一化水头加权平均值的比较, 除了在缝出入口处 $R = L$ 的范围内两者有所偏离外, 其余部分都吻合得很好。在城区区域性渗流场分析中, 对于缝隙流动, 关注的是其对周边流场产生的影响, 而在平均的意义, 从上面分析中可知, 式 (4) 和式 (7) 足够精确地表述了这种影响。

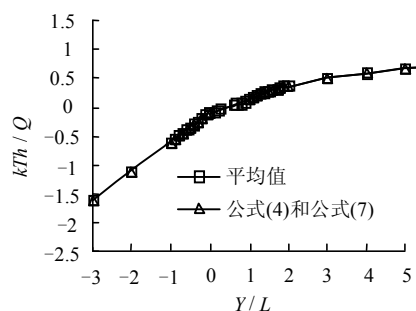


图 3 沿程水头比较

Fig.3 Head comparisons

表 1 沿程水头的相对误差

Table 1 Relative errors of head

Y/L	理论解平均值 h / Q/kT	简化公式 h' / $\times Q/kT$	相对误差 $E/\%$ / $(h'-h)/\Delta h$
1.5	0.2728	0.2728	0
1	0.1361	0.1437	-0.34
0	-0.0923	-0.0977	0.24
-0.1	-0.1473	-0.1477	0.02
-0.5	-0.3477	-0.3477	0

令式 (4) 减去式 (7), 得到缝外区一定远的水头 h_R 与缝内区一定远的水头 h_a 之间的水头差为

$$\Delta h = \frac{Q}{\pi kT} \ln\left(\frac{R}{L}\right) + \frac{Q}{kT} \frac{1 - \ln(4/\pi)}{\pi} + \frac{Q}{kT} \frac{a}{2L} = \frac{Q}{\pi kT} \ln\left(\frac{R}{L}\right) + \frac{Q}{kT} \xi + \frac{Q}{kT} \frac{a}{2L} \quad (8)$$

式中: $a = -y$, 如果缝内为均匀流, a 即为渗径长度; ξ 为缝出入口处的附加阻力系数。

$$\text{其中 } \xi = \frac{1 - \ln(4/\pi)}{\pi} \quad (9)$$

式 (8) 即为缝隙流动的简化计算公式, 其第 1 项为井流公式, 第 3 项为均匀流公式, 中间第 2 项代表了缝出入口处局部的附加水头损失, 从而可以将缝隙流动做如下简化: 缝外区远场可简化为一虚拟井井流, 虚拟井半径为 L , 缝内区远场可简化为一均匀流, 缝出入口附近存在局部的水头损失, 由附加阻力系数 ξ 加以考虑。

3 简化公式在有限元程序中的应用

根据式 (8), 在有限元程序中对渗流场中缝隙流动做如下的处理:

(1) 在缝口处设一井节点, 并将式 (8) 中第 1 项的井点 (半个井) 设置在该节点上, 缝外区划分为一般的三角形单元, 用修正井水位法进行计算。

(2) 缝内区划分为若干个线单元, 模拟式 (8) 中第 3 项的均匀流。

(3) 将式 (8) 中第 2 项的局部附加阻力并入到与井节点相连的线单元上进行处理。

3.1 井在有限元程序中的处理方法

在有限元计算中, 井点附近是个奇异区, 必须作特殊地处理。一般将井点设为一个节点, 以出水量和井内外的水头差进行协调, 将井公式与其结合, 解决实际问题。文献[4, 5]推导了井周划分为 4 个等腰直角三角时井水位的修正公式, 文献[6]则推导了适应一般三角形单元划分的井水位修正公式, 其结果如式 (10) 所示, i 点为井节点, 以 i 点为其中一个顶点的某一单元, 如图 4 所示, 单元面积为 A_i ; 顶点 i 的对边长为 b_i ; 两边长分别为 a_i 和 a_{i+1} ; 夹角为 ϕ_i ; r_w 为井半径; 该井点水头修正量 Δh_w 为

$$\Delta h_w = \frac{Q}{kT} \sum \frac{\phi_i}{\sum \phi_i} \frac{1}{\sum \phi_i} \left(\frac{(a_i^2 - a_{i+1}^2) \ln(a_{i+1}/a_i)}{2b_i^2} + \frac{b_i \ln(a_i a_{i+1}/r_w^2) - 8A_i \phi_i}{2b_i^2} \right) = \frac{Q}{kT} \xi_w \quad (10)$$

式中: Σ 表示对所有以 i 点为其中一个顶点的单元进行加权求和, 权函数为 $\phi_i/\sum \phi_i$ 。

令 $r_w = L$ 代入式 (10) 进行计算, 即可得到相应于式 (8) 第 1 项的水头修正量。

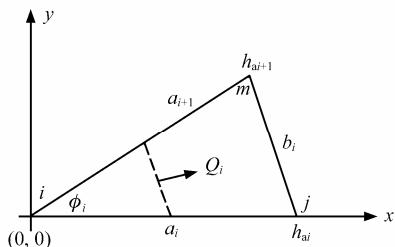


图 4 一般三角形单元的修正
Fig.4 Head modification in well nodes

3.2 缝的处理

据式 (8) 的第 3 项, 将缝内区划分为若干个线单元, 重新定义 a 为线单元的长度。将井节点水头的修正量 Δh_w 和缝出入口处的局部附加水头损失一起合并到与缝口处井节点相连的线单元上进行

计算, 则该单元的表达式如下:

$$\Delta h_g = \left(\frac{a}{2L} + \xi_w + \xi \right) \frac{Q}{kT} = \frac{1}{K} Q \quad (11)$$

式 (11) 为单个缝口的情况, 若为有限长缝, 且将缝只划分为一个线单元时, 应该将另一缝口的井节点水头修正量和局部附加水头损失加到式 (11) 进行计算, 当将缝划分为多个线单元时, 只要把与缝口井节点相连的线单元按式 (11) 进行处理, 而那些处于缝内部的缝的线单元按常规线单元进行处理, 令 $\xi_w = \xi = 0$ 即可。

3.3 简化公式的计算精度

下面用一简单的模型分析一般有限元方法、常规线单元方法 (对缝出入口处线单元不作任何处理, 直接用常规线单元模拟) 和本文所述的简化方法在不同网格划分方式下的精度情况。通过比较缝隙流量说明这个问题。计算模型如图 5 所示, 地下水承压, 计算区域为两个半圆, 半径 $R = 300$ m, 土层厚度 $T = 10$ m, 左侧半圆的水头为 h_L , 右侧为 h_R , $h_L - h_R = 5$ m, 缝长 $a = 300$ m, 缝宽 $2L = 50$ m, 渗透系数 $k = 50$ m/d。

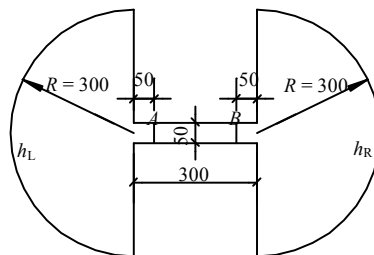


图 5 模型计算参数示意 (单位: m)
Fig.5 Parameters of model (unit: m)

利用式 (8) 计算缝流量 Q 为

$$\frac{Q}{kT} \left(\frac{2}{\pi} \ln \frac{R}{L} + \frac{a}{2L} + 2\xi \right) = h_L - h_R$$

代入相关数据得到缝流量 $Q = 310.0$ m³/d, 定义缝隙流量 Q 的相对误差为 $E = (Q' - Q)/Q$, Q' 为有限元模型图 6(a)~(h) 计算所得的流量, 其中图 6(a)~(g) 为常规线单元和简化方法的有限元模型, 图 6(h) 为一般有限元模型。各流量和相对误差如表 2 所示。由于将缝划分为多个线单元, 缝流量 Q' 由下式计算得到。

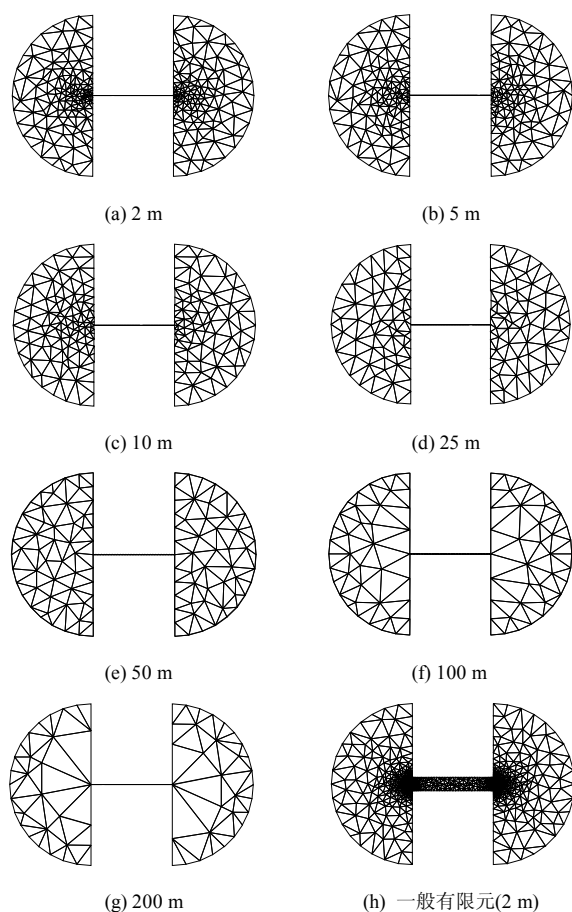
$$Q' = \frac{kT2L}{L_{AB}} (h_A - h_B) \quad (12)$$

式中: h_A, h_B 分别是缝内距缝出入口 50 m 处的水头均值; L_{AB} 是 A, B 两点间距离。

表 2 计算精度比较
Table 2 Accuracy assessment

缝出入口处 单元大小 /m	一般有限元方法		常规线单元方法		本文简化方法	
	Q' / $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	E /%	Q' / $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	E /%	Q' / $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	E /%
200	340.9	10.00	331.9	7.08	309.3	-0.21
100	335.4	8.20	322.3	3.98	308.8	-0.39
50	327.9	5.78	309.9	0.03	308.5	-0.48
25	319.5	3.07	297.5	-4.03	310.2	0.08
10	314.3	1.39	278.6	-10.13	312.6	0.84
5	312.6	0.84	261.8	-15.55	310.6	0.19
2	311.1	0.36	268.7	-13.30	311.7	0.55

从表 2 可以看出, 利用简化方法计算得到缝隙的流量受单元划分的影响很小, 网格划分较粗仍能保证计算结果的精度。而一般有限元达到同简化方法同等的精度, 缝出入口附近的网格必须划的很密, 如图 6(h)所示。还可以看出, 如果直接用常规线单元方法模拟缝隙, 其计算精度受网格划分的影响很大。



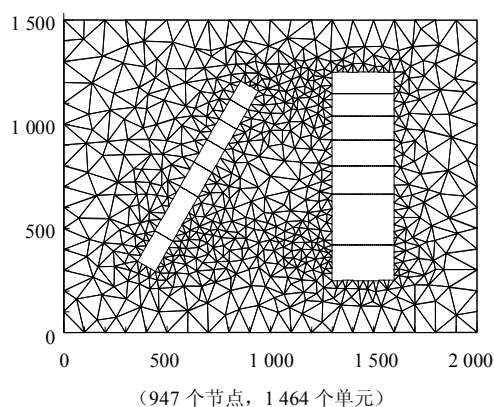
注: 数字表示缝出入口处的单元尺寸大小。

图 6 不同的单元划分对计算精度的影响
Fig.6 Accuracy assessment with different meshes

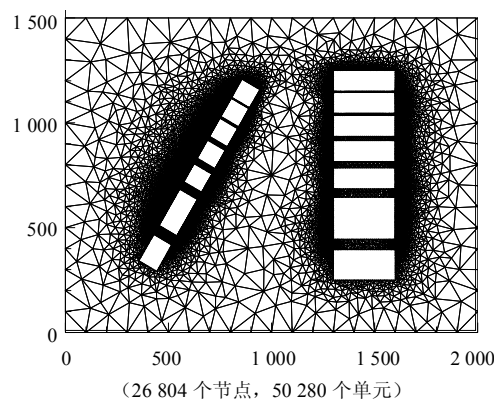
4 多缝共同作用时的情况

针对城区阻水结构多、缝隙多的特点, 本算例

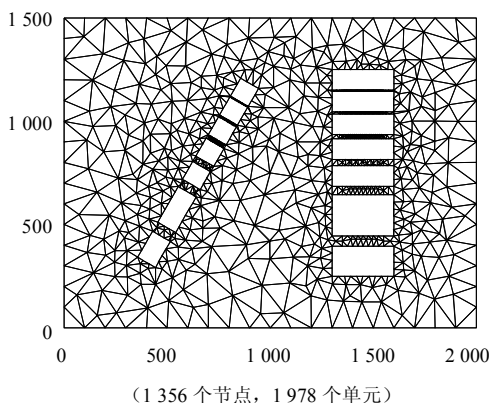
给出了多个缝隙一起作用时简化方法的应用及其精度情况。由于无法得到多缝共同作用的解析解, 为了比较简化方法的精度, 将简化方法的计算结果与一般有限元的计算结果进行比较。由于阻水结构的角点为奇异点, 在一般有限元网格划分中对角点进行加密, 直至加密前后各缝流量相对变化的百分比最大值小于 0.2%, 简化方法的有限元网格划分如图 7(a)所示, 最后一般有限元的网格划分如图 7(b)和图 7(c)所示。



(a) 简化方法的计算模型



(b) 一般有限元的计算模型(加密)



(c) 一般有限元的计算模型(不加密)

图 7 多缝共同作用时的情况(单位:m)
Fig.7 Examples of multiple gaps(unit: m)

缝出入口处的单元大小为阻水结构单体边长 $1/3 \sim 1/4$, 约为 30 m 左右。计算模型土层厚度为 10 m, 渗透系数为 $50 \text{ m}^3/\text{d}$, 水承压, 左右端水头差为 30 m, 左侧阻水结构的缝长 a 为 100 m, 右侧缝长 a 为 300 m, 两者缝的宽度 W 从上到下均分别为 5, 10, 20, 30, 40 及 50 m, 前面 4 条缝之间的间距为 100 m, 第 5 条缝与第 4 条缝的间距为 200 m。

表 3 简化方法流量的相对误差
Table 3 Relative error of discharges

缝宽 /m	缝长 /m	简化 方法	一般有限元			
			加密		不加密	
			Q_0 / $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	Q_1 / $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	Q_2 / $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	$(Q_2 - Q_0)/Q_0$ /%
5	100	103.4	105.6	2.08	105.9	2.41
	300	90.9	92.0	1.23	92.1	1.28
10	100	214.3	217.2	1.37	221.8	3.52
	300	190.0	191.4	0.72	194.4	2.31
20	100	389.7	393.3	0.92	409.8	5.18
	300	366.6	369.7	0.83	379.5	3.50
30	100	531.2	537.1	1.11	562.0	5.80
	300	526.9	529.9	0.58	544.6	3.37
40	100	681.3	688.4	1.05	716.5	5.17
	300	683.4	685.8	0.34	708.8	3.71
50	100	757.8	763.9	0.80	807.3	6.53
	300	774.1	780.2	0.79	800.8	3.45

图 7(a) 计算所得的缝隙流量与一般有限元法所得流量相比的结果如表 3 所示。从表可以看出, 简化方法所得的流量 Q_0 比一般有限元 (加密) 计算所得的流量 Q_1 要小, 最大相差为 -2.08% , 最小为 -0.34% , 其精度与表 2 相近, 缝之间的误差不会相互影响和传递, 具有良好的边界适应性。另外, 当一般有限元法网格划分的密度与简化方法相近时, 误差相对较大, 在流量上相差约为 6.53% , 而要达到与简化方法相似精度, 一般有限元法网格须划得很密。

从本例可以看出, 将缝隙流动的简化计算公式运用在渗流场缝的数值计算中, 可以较好地解决大区域中小尺寸物体的模拟, 减少了网格划分的工作量, 又不失精度。在城市大区域流场中, 街区高层建筑的规划排列比较规则时, 将整个街区用一带线单元大阻水块体代替进行计算, 可取得较高的计算效率。

5 结 论

(1) 针对城市大区域渗流场中缝隙多、区域

的大尺度与物体的小尺寸相差几个数量级、有限元计算的工作量大的特点, 引入修正的线单元模拟大区域渗流场中的缝隙, 使得缝隙出入口处的网格尺寸为缝隙两边的阻水结构物边长 $1/3 \sim 1/4$ 时就能得到较为准确的结果, 避免了大区域中小尺寸物体的网格划分问题, 提高了计算效率。

(2) 根据缝隙流动的解析解, 经适当地简化, 将缝隙流动场分为缝外区和缝内区两部分, 缝外区流动简化为一个半径为半缝宽的井流, 缝外区流动简化为一个均匀流, 引入附加阻力系数, 考虑缝隙出入口附近的由于过水断面突然变化而引的局部水头损失, 并得到附加阻力系数的表达式, 利用该表达式, 结合渗流场中井点水头的修正公式, 得到了能有效模拟渗流场中建筑物间缝隙的修正线单元的有限元公式。

(3) 通过一处特例验证了不同的网格划分下修正线单元公式误差大小, 同时通过算例验证了修正公式在较复杂的流场中精度及其边界适应性。

参 考 文 献

- [1] 陈崇希, 唐仲华编著. 地下水流动问题的数值方法[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1990.
- [2] Strack O D L. Theory and applications of the analytic element method[J]. *Reviews of Geophysics*, 2003, (2): 1 000—1 014.
- [3] 夏震寰. 现代水力学 (二) 分析流动的理论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [4] 毛昶熙. 井孔与井列的渗流数值计算[J]. 岩土力学, 2002, (3): 257—262.
MAO Chang-xi. Numerical computation of seepage flow for wells and well row[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2002, (3): 257—262.
- [5] 李祖贻, 陈平. 有限元法计算井的渗流对奇异点的处理[J]. 水利学报, 1984, (5): 41—50.
LI Zu-yi, CHEN Ping. Singularity adjustment of wells in seepage field calculated by FEM[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1984, (5): 41—50.
- [6] 曹洪, 尹小玲, 张挺. 水平面渗流有限元计算中减压井点处理[J]. 水利学报, 2003, (4): 74—79.
CAO Hong, YIN Xiao-Ling, ZHANG Ting. Relief-well point adjustment in finite element method for 2-D seepage in horizontal plane[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2003, (4): 74—79.