

doi:10.11835/j.issn.2096-6717.2019.044



非线性比例边界有限元在面板坝分析中的应用

邹德高¹, 陈楷¹, 刘锁², 周扬¹

(1. 大连理工大学 水利工程学院; 海岸和近海工程国家重点实验室, 辽宁 大连 116024;
2. 中国电建集团 华东勘测设计研究院有限公司, 杭州 311122)

摘要: 面板坝结构尺寸相差悬殊, 高效的精细化分析手段是面板坝抗震研究的重要工具。结合非线性比例边界多边形单元法和高效的四分树离散技术, 进行了面板坝高效精细化分析应用研究。采用比例边界多边形单元法和传统有限元法, 对相同面板坝模型进行静动力及永久变形分析; 结合四分树离散技术, 进行了典型面板坝结构的高效跨尺度精细化分析应用。结果表明: 计算结果分布合理, 两种方法吻合度高, 比例边界多边形有限元可与传统有限元一样便捷地进行大坝全过程数值分析计算; 比例边界有限元可与传统有限元不能直接求解的四分树技术实现无缝耦合, 进行高效的跨尺度精细化分析应用, 且可快速完成分析模型重建, 大幅改善了分析效率, 可为结构局部损伤演化、渐进破坏研究提供技术支撑。

关键词: 非线性比例边界有限元; 面板堆石坝; 跨尺度精细化; 四分树

中图分类号: TV641.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-6717(2019)03-0011-08

Application of nonlinear scaled boundary polygon element method in analysis of concrete face rockfill dam

Zou Degao¹, Chen Kai¹, Liu Suo², Zhou Yang¹

(1. School of Hydraulic Engineering; The State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning, P. R. China; 2. POWERCHINA Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 311122, P. R. China)

Abstract: Concrete face rockfill dams vary in structural dimensions. Efficient and refined analysis methods are important tools in seismic research of the face-slab dams. In this paper, via combining the non-linear scaled boundary polygon element method with efficient quadtree discretization technology, the application of high-performance refined analysis of the concrete face dam is investigated. Firstly, the static and dynamic analysis and permanent deformation calculation of the same face-slab dam model are carried out by

收稿日期: 2018-11-16

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC0404905); 国家自然科学基金(51779034); 中央高校基本科研业务费(DUT17ZD219, DUT17LK56)

作者简介: 邹德高(1973-), 男, 教授、博士生导师, 主要从事高土石坝和核电厂工程抗震研究, E-mail: zoudegao@dlut.edu.cn.

Received: 2018-11-16

Foundation item: National Key Research and Development Program of China(No. 2017YFC0404905); National Natural Science Foundation of China (No. 51779034); Fundamental Research Funds for the Central Universities (No. DUT17ZD219, DUT17LK56)

Author brief: Zou Degao(1973-), professor, doctoral supervisor, main research interests: seismic resistance of high earth-rock dams and nuclear power plant projects; E-mail: zoudegao@dlut.edu.cn.

using the scaled boundary polygon element method and the traditional finite element method. Subsequently, combined with the quadtree discretization technology, the high-efficiency cross-scale fine analysis of typical face-slab dam structures is applied. The computation results indicate that: (1) the two methods are in good agreement, indicating that the scaled boundary polygon finite element method is an effective tool in the analysis of the dam. (2) The scaled boundary finite element method can be seamlessly coupled with quadtree technology for efficient cross-scale fine analysis applications, and is efficiently in the reconstruction of analysis model, which greatly improve the analysis efficiency. Thus it is concluded that this method can provide technical support for study of local damage evolution and progressive damage of structures.

Keywords: nonlinear scaled boundary finite element method(SBFEM); concrete-face rock-fill dam; cross-scale refinement; quadtree

面板堆石坝由于可就地取材、经济、抗震性强等优点,一度成为坝工界青睐的首选坝型^[1],但其结构尺寸相差悬殊,面板最小厚度仅为 0.3 m,与坝体整体尺寸差别数百倍至千倍之多。面板作为大坝最重要的结构,应力梯度大,应布置较密的网格^[2],且实际研究^[3-4]表明,精细的网格密度将获得更合理的模拟结果。

有限单元法使用简便、通用性强、工程应用广^[5],是面板坝等岩土工程结构安全评价的有效技术手段,但该方法单元形式单一,平面网格严格限制为三角形和四边形单元,网格离散限制多,对复杂边界适应性较差^[6]。尤其在尺度跨越大的面板坝工程精细化分析中,需消耗大量时间进行较为繁琐的人机交互前处理,一定程度上降低了自动化程度和分析效率^[7-8]。近年来, Wolf 等^[9]提出了弹性的比例边界多边形有限元(scaled boundary polygon finite element method, SBPFEM),该方法更加灵活自由,融合了边界元(boundary element method, BEM)和有限元法(finite element method, FEM)的优点,并规避了两者的不足,且已被证明精度和收敛性都高于多边形有限元的数值算法^[10],被学者们应用到多个领域:如电磁问题分析^[11]、土与结构相互作用分析^[12]、裂纹扩展分析^[13-14]、面板动水压力研究^[15-16]、三维复杂多面体应用^[17-18]、波的传播问题分析^[19]等。此外,为探索 SBPFEM 的非线性应用,Chen 等^[20]利用半解析的弹性解构造单元形函数,采用两套高斯点方案,实现了比例边界多边形有限元的非线性分析,并将其拓展于多孔介质动力液化分析^[21]及三维弹塑性岩土工程应用^[22-24]。

采用笔者自主开发的非线性比例边界多边形单元,对典型面板堆石坝进行了系统的静力、动力和永久变形分析计算,并与传统有限单元法对比,以验证

提出的方法在面板坝工程分析中的可靠性和合理性。随后,与高效的四分树离散技术无缝耦合,进行面板坝结构快速跨尺度精细化分析应用,以揭示 SBPFEM 能在面板坝工程精细化分析中脱颖而出的显著优势。

1 工程应用探究

计算程序采用作者完全自主研发的大型岩土工程非线性分析软件平台 GEODYNA^[25],非线性比例边界多边形单元被集成到该平台。

1.1 理论概要

比例边界有限元是一种弹性的半解析数值方法,其环向离散、径向解析的特点使其可降低一个计算维度,减少一定的计算量。对任意问题域,可用任意 n 边形对求解域离散($n > 2$),如图 1 所示。通过对每个子域进行求解可获得整个求解域的数值结果。理论详尽推导,可参见文献^[9-10,20]。

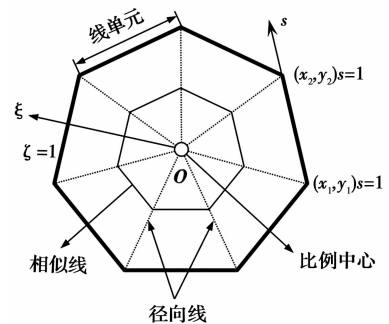


图 1 比例边界多边形有限单元

Fig. 1 Scaled boundary polygon finite element

弹性框架限制了该方法的应用领域,本着拓展推广 SBPFEM 的原则,采用非线性化的比例边界多边形单元。采用两套高斯点策略:保留原始的边界线高斯点,用于计算相关系数矩阵和半解析的弹性

形函数;同时,引入内部高斯积分点,可积分获得考虑了材料非线性的单元刚度矩阵,进而组装得到计算域的总体刚度矩阵,并采用 Newton-Raphson 迭代算法用于求解非线性平衡方程,从而实现该方法的非线性分析。开发的单元可以求解常规单元及传统常规有限元无法计算的多边形单元(常规凸多边形和四分树单元),见图 2。详细理论推导和计算可参考文献[9,20,26-29]。

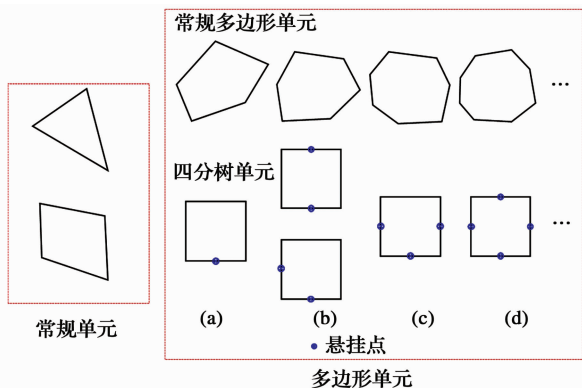


图 2 比例边界有限元支持单元类型

Fig. 2 Supported element types in SBFEM

1.2 程序验证

采用弹性悬臂梁结构端部受弯分析验证实现程序的正确性和计算精度,结构尺寸及网格如图 3 所示,其中 $l=1.2\text{ m}$ 、 $h=0.4\text{ m}$ 、弹性模量 $E=3 \times 10^{10}$ 、泊松比 $\nu=0.2$ 、荷载 $F=2.4 \times 10^7\text{ N}$ 。

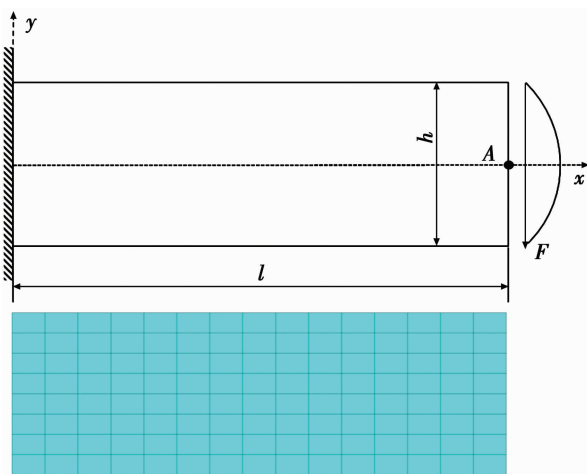


图 3 悬臂梁结构及网格

Fig. 3 Cantilever structure and mesh

采用 SBPFEM 和 FEM 分别计算相同结构,并与理论近似解(采用文献[20]提供的公式)进行对比,分析结果列于表 1。从表 1 可以看出,采用的 SBPFEM 具有更高的精度。

表 1 计算结果与理论解比较

Table 1 Comparison between calculation results and theoretical approximate solutions

方法	v / cm	误差 / %
FEM	-9.11	1.41
SBPFEM	-9.15	0.97
理论解	9.24	

1.3 工程算例验证

以典型面板堆石坝为例,坝高为 155 m,坝顶宽度为 17 m,面板坡比 1:1.8,主体结构材料分区包括面板、垫层区以及堆石料区。为更合理地模拟面板变形和应力,面板与垫层之间添加无厚度的 Goodman 接触面单元,面板与趾板之间添加缝单元。常规有限元网格离散单元个数为 1 702,节点个数 1 816,分析模型见图 4。

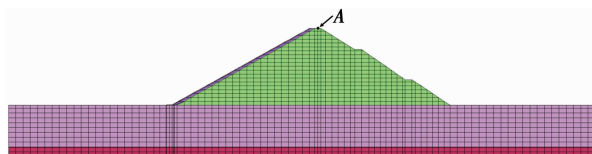


图 4 面板坝有限元网格

Fig. 4 Mesh of concrete face rock-fill dam

1.4 材料参数

静、动力均采用堆石料广义塑性模型^[30]模拟筑坝材料变形特性,参数列于表 2。面板与垫层间设置的接触面采用广义塑性接触面本构模型^[31],详细参数见表 3。

表 2 筑坝材料广义塑性模型参数

Table 2 Generalized plastic model parameters of dam material in static analysis

G_0	K_0	M_g	M_f	α_f	α_g	H_0	H_{U_0}	m_s
1 000	1 400	1.8	1.38	0.45	0.4	1 800	3 000	0.5
m_v	m_l	m_u	r_d	γ_{DM}	γ_u	β_0	β_1	
0.5	0.2	0.2	180	50	4	35	0.022	

表 3 广义塑性接触面参数

Table 3 Parameters of the generalized plastic interface model

D_{s0} / kPa	D_{h0} / kPa	M_c	e_r	λ	$a / \text{kPa}^{0.5}$	b	c
1 000	1 500	0.88	0.0	0.091	224	0.06	3.0
α	γ_d	k_m	M_f	k	H_0 / kPa	f_h	t / m
0.65	0.2	0.6	0.65	0.5	8 500	2.0	0.1

面板、趾板及基岩采用线弹性模型,参数见表 4。缝单元参数采用文献[32]建议值,其法向压缩刚度为 25 GPa/m,法向拉伸刚度为 5 MPa/m,切向刚度为 1 MPa/m。静力计算考虑了坝体的施工填筑和蓄水过程,坝体填筑分 22 个荷载步完成,随后分 30 个荷载步蓄水至 152 m 高程。

表 4 线弹性材料参数

Table 4 Parameters of linear model for concrete

材料	E /MPa	μ
面板	30 000	0.167
趾板	30 000	0.167
基岩	13 000	0.250

1.5 地震动输入和计算方案

1.5.1 地震动输入 地震动输入采用规范谱人工波,顺河向峰值加速度为 0.2g,竖向峰值加速度为顺河向的 2/3。地震波加速度时程见图 5。地震波持续时长为 25.00 s,计算时间步间隔 Δt 取 0.02 s。

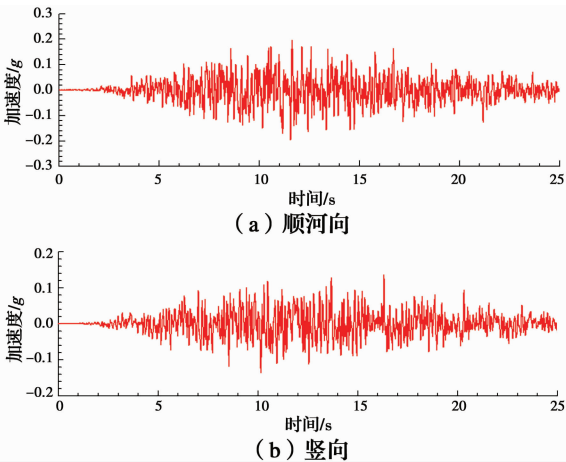


图 5 地震波加速度时程曲线

Fig. 5 Time history curve of seismic wave acceleration

1.6 计算结果及分析

1.6.1 静力结果 图 6 为满蓄期的坝体位移等值线分布图。从图 6 可以看出,FEM 计算结果与 NSBPFEM 结果吻合较好。图 7 为满蓄期面板应力变形,FEM 与 NSBPFEM 结果基本一致。

表 5 给出了满蓄时坝体和面板应力变形的极值。从表 5 可见,两种方法计算结果相差较小,证明 NSBPFEM 在模拟大坝填筑蓄水过程中的精度可以得到保证。

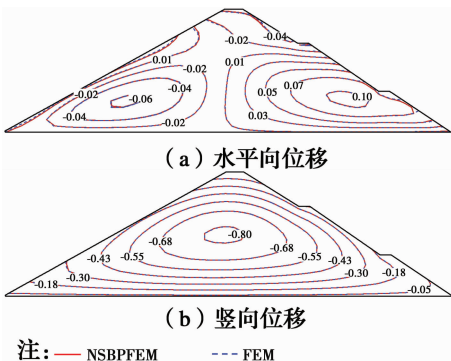


图 6 满蓄期坝体位移(单位:m)

Fig. 6 Displacement of the dam after impoundment (Unit:m)

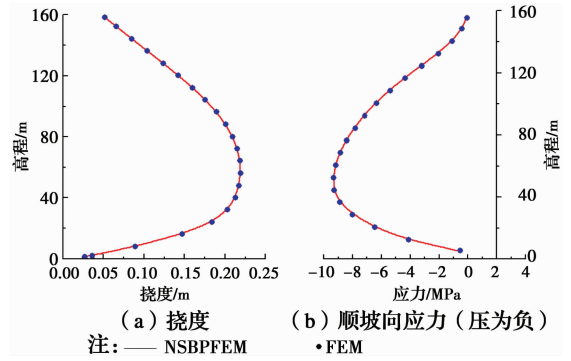


图 7 满蓄期面板应力变形

Fig. 7 Deflection and stress along slope direction of face slab after impoundment

表 5 静力计算满蓄期结果对比

Table 5 Comparison of results of the dam after impoundment

方法	坝体位移/m			面板应力变形	
	上游	下游	竖向	挠度/m	应力/MPa
FEM	0.065	0.125	0.812	0.218	9.24
NSBPFEM	0.065	0.126	0.816	0.218	9.15
相差/%	0.0	0.79	0.49	0.00	0.98

1.6.2 动力结果 图 8 为地震过程中面板顺坡向应力随高程分布规律。FEM 计算应力与 NSBPFEM 计算结果非常接近。

表 6 列出了两种方法动力计算中坝顶 A 点的加速度的极值情况,结果显示两者相差不大,说明了 NSBPFEM 在动力计算中的可靠性。

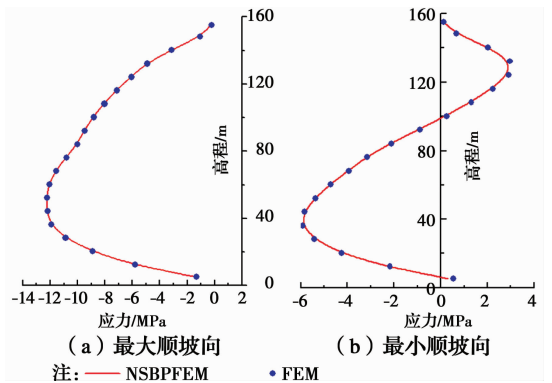


图 8 地震作用下面板应力(压为负)

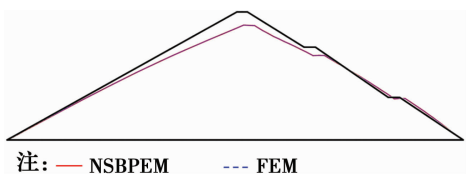
Fig. 8 Stress along slope direction of concrete face during earthquake (pressure is positive)

表 6 地震作用下坝顶 A 点加速度极值

Table 6 Comparison of extreme acceleration of point A on dam top during earthquake

方法	(m · s ⁻²)	
	顺河向	竖向
FEM	1.97	1.99
NSBPFEM	1.98	2.01
相差%	0.51	0.99

1.6.3 永久变形结果 图 9 为地震后坝体永久变形计算结果。从图 9 可以看出,两者变形轮廓基本完全一致,说明 NSBPFE 可用于震后永久变形计算分析。



注: — NSBPFE - - - FEM

图 9 堆石体震后永久变形(放大 10 倍)

Fig. 9 Permanent deformation of the dam body after earthquake(Magnify 10 times)

2 高效的跨尺度精细化分析

除可用于常规单元(三角形和四边形)分析外,SBPFEM 的优势在于其可与传统有限单元不能直接处理的四分树网格离散技术无缝结合,进行高效的跨尺度精细化分析。四分树可快速实现尺度跨越,从 1 m 级到 1 mm 级仅需 10 层递归划分($2^{10} = 1\ 024$)^[33]。可自动进行高质量单元离散,且划分网格以正方形为主,仅边界和过渡区为多节点单元。

2.1 计算模型与参数

采用四分树技术,并结合 SBPFEM 对面板坝进行高效跨尺度精细化分析应用,其中,面板单元尺寸设定为 0.5 m,坝体单元大小为 8.0 m。如图 10~图 11 所示,整个模型剖分时间仅为 0.216 s。该技术可高效地实现跨尺度精细化分析,避免了文献[7-8]的不足。值得注意的是,该方法进行网格二次划分时,仅需重新定义最大和最小网格尺寸即可,显著改善了网格离散效率。

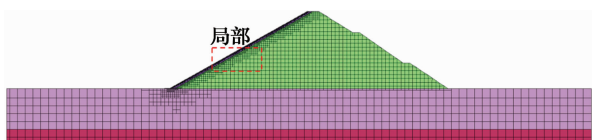


图 10 面板坝四分树网格

Fig. 10 Quadtree mesh of concrete face dam

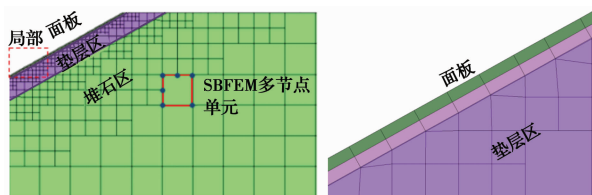


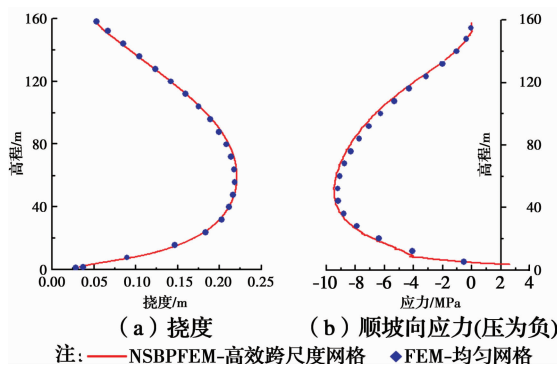
图 11 面板坝四分树网格局部

Fig. 11 Partial quadtree mesh of concrete face dam

30 步缓慢蓄水至 152 m 高程,静力计算所得的应力变形作为初始应力输入,进行动力时程分析,相应的计算参数列于表 2~表 4。地震动激励输入如图 5 所示。

2.2 计算结果分析

面板为整个堆石坝体系最重要的结构,故其应力-变形情况是工程技术人员最关心的结果之一。图 12 给出了满蓄期面板的应力-变形情况,整体挠度较小,最大值出现在 1/3 坝高附近;应力基本均为压应力,且最大值出现在三分之一坝高附近,此外,还可看出两种方法计算结果较为接近。



注: — NSBPFE-高效跨尺度网格 ◆ FEM-均匀网格

图 12 满蓄期面板应力变形

Fig. 12 Deflection and stress along slope direction of face slab after impoundment

地震动作用下,面板动应力分布情况绘制于图 13。从图 13 可看出:面板应力有少量差别,其中,SBPFEM 计算的最大顺坡向应力最大值为 13.2 MPa,FEM 计算的最大值则为 12.2 MPa。最小顺坡向应力计算中,SBPFEM 最大压应力为 6.91 MPa,最大拉应力为 2.21 MPa;FEM 计算的最大压应力为 5.92 MPa,最大拉应力为 2.96 MPa,详细结果列于表 7。两种方法计算所得规律基本一致,仅数值有少量差别。

表 7 面板动应力极值对比

Table 7 Comparison of extreme stress of slab during earthquake

方法	最大顺坡向		最小顺坡向	
	最大压应力/MPa	最大拉应力/MPa	最大压应力/MPa	最大拉应力/MPa
FEM	12.2	2.96	5.92	2.96
NSBPFE	13.2	2.21	6.91	2.21

联合 NSBPFE 和四分树网格技术,对面板坝进行跨尺度精细化静动力数值分析,计算结果符合堆石坝正常变形的基本规律,且 FEM 计算结果与 NSBPFE 结果很接近,采用跨尺度方案后,对满蓄期

静力计算分 25 个荷载步模拟实际施工过程,分

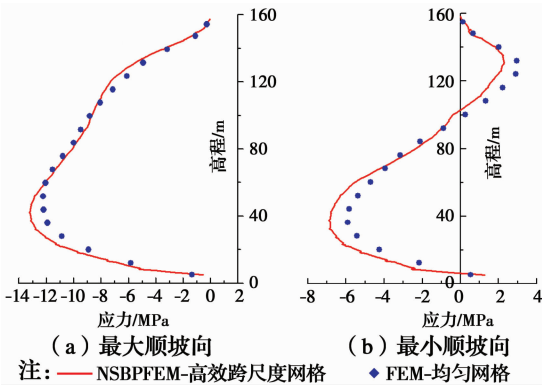


图 13 地震作用下面板应力(压为负)

Fig. 13 Stress along slope direction of concrete face during earthquake action

坝体位移及面板应力变形影响不大,但对地震作用下面板应力影响较为明显,最大应力差别约1.0 MPa。

总体来看,可以认为 NSBPFEM 用于跨尺度精细化分析是合理和可行的,可为下一步研究损伤演化和局部破坏提供了技术支撑。

3 结论

采用自主开发的非线性比例边界多边形单元(NSBPFEM)对典型面板堆石坝系统地进行了静力、动力计算分析,结果表明:

1) NSBPFEM 可简单、便捷地处理三角形、四边形以及传统有限元不能直接处理的五边形、六边形等多边形单元,对堆石坝结构进行系统的静力、动力和永久变形分析,表明该方法结果合理,精度较高,可用于面板坝数值分析。

2) NSBPFEM 具有更强的灵活性、高效性和通用性优势,主要体现为该方法可与四分树网格技术(多节点单元)自动地无缝结合,以进行面板坝高效的跨尺度精细化分析。

3) 研究工作为进一步分析面板坝防渗面板结构局部损伤演化和渐进破坏提供了有力的技术支撑,且具有较强的通用性,可以拓展到其他土木和水利工程的安全评价。

参考文献:

[1] 孔宪京, 徐斌, 邹德高, 等. 混凝土面板坝面板动力损伤有限元分析[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(9): 1594-1600.
KONG X J, XU B, ZOU D G, et al. Finite element dynamic analysis for seismic damage of slabs of concrete faced rockfill dams [J]. Chinese Journal of

Geotechnical Engineering, 2014, 36(9): 1594-1600. (in Chinese)

- [2] 王勰成. 有限单元法[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
WANG X C. Finite element method [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002. (in Chinese)
- [3] 郭胜山, 陈厚群, 李德玉, 等. 混凝土动力塑性损伤分析中的单元尺寸效应探讨[J]. 水力发电学报, 2011, 30(6): 52-56.
GUO S S, CHEN H Q, LI D Y, et al. Study of element-size effect on dynamic plastic-damage analysis of concrete [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2011, 30(6): 52-56. (in Chinese)
- [4] QU Y Q, ZOU D G, KONG X J, et al. A novel interface element with asymmetric nodes and its application on concrete-faced rockfill dam [J]. Computers and Geotechnics, 2017, 85: 103-116.
- [5] 陈锡栋, 杨婕, 赵晓栋, 等. 有限元法的发展现状及应用[J]. 中国制造业信息化, 2010, 39(11): 6-8, 12.
CHEN X D, YANG J, ZHAO X D, et al. The status and development of finite element method [J]. Manufacture Information Engineering of China, 2010, 39(11): 6-8, 12. (in Chinese)
- [6] WU D, SZE K Y, LO S H. Two- and three-dimensional transition element families for adaptive refinement analysis of elasticity problems [J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 2009, 78(5): 587-630.
- [7] SAMADHIYA N K, VILADKAR M N, AL-OBAYDI M A. Three-dimensional joint/interface element for rough undulating major discontinuities in rock masses [J]. International Journal of Geomechanics, 2008, 8(6): 327-335.
- [8] WISNOM M R. Modelling discrete failures in composites with interface elements [J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2010, 41(7): 795-805.
- [9] WOLF J P, SONG C. Finite-element modelling of unbounded media [M]. Chichester: Wiley, 1996.
- [10] NATARAJAN S, OOI E T, CHIONG I, et al. Convergence and accuracy of displacement based finite element formulations over arbitrary polygons: Laplace interpolants, strain smoothing and scaled boundary polygon formulation [J]. Finite Elements in Analysis and Design, 2014, 85: 101-122.
- [11] LIU J, LIN G. A scaled boundary finite element method applied to electrostatic problems [J]. Engineering Analysis with Boundary Elements, 2012,

- 36(12): 1721-1732.
- [12] BIRK C, BEHNKE R. A modified scaled boundary finite element method for three-dimensional dynamic soil-structure interaction in layered soil [J]. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 2012, 89(3): 371-402.
- [13] OOI E T, SHI M, SONG C, et al. Dynamic crack propagation simulation with scaled boundary polygon elements and automatic remeshing technique [J]. *Engineering Fracture Mechanics*, 2013, 106: 1-21.
- [14] SAPUTRA A A, BIRK C, SONG C M. Computation of three-dimensional fracture parameters at interface cracks and notches by the scaled boundary finite element method [J]. *Engineering Fracture Mechanics*, 2015, 148: 213-242.
- [15] XU H, ZOU D G, KONG X J, et al. Study on the effects of hydrodynamic pressure on the dynamic stresses in slabs of high CFRD based on the scaled boundary finite-element method [J]. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2016, 88: 223-236.
- [16] XU H, ZOU D G, KONG X J, et al. A nonlinear analysis of dynamic interactions of CFRD-compressible reservoir system based on FEM-SBFEM [J]. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2018, 112: 24-34.
- [17] ZOU D G, CHEN K, KONG X J, et al. An enhanced octree polyhedral scaled boundary finite element method and its applications in structure analysis [J]. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2017, 84: 87-107.
- [18] LIU Y, SAPUTRA A A, WANG J C, et al. Automatic polyhedral mesh generation and scaled boundary finite element analysis of STL models [J]. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 2017, 313: 106-132.
- [19] CHEN D, BIRK C, SONG C, et al. A high-order approach for modelling transient wave propagation problems using the scaled boundary finite element method [J]. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 2014, 97(13): 937-959.
- [20] CHEN K, ZOU D G, KONG X J, et al. A novel nonlinear solution for the polygon scaled boundary finite element method and its application to geotechnical structures [J]. *Computers and Geotechnics*, 2017, 82: 201-210.
- [21] ZOU D G, TENG X W, CHEN K, et al. An extended polygon scaled boundary finite element method for the nonlinear dynamic analysis of saturated soil [J]. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2018, 91: 150-161.
- [22] CHEN K, ZOU D G, KONG X J. A nonlinear approach for the three-dimensional polyhedron scaled boundary finite element method and its verification using Koyna gravity dam [J]. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2017, 96: 1-12.
- [23] CHEN K, ZOU D G, KONG X J, et al. An efficient nonlinear octree SBFEM and its application to complicated geotechnical structures [J]. *Computers and Geotechnics*, 2018, 96: 226-245.
- [24] CHEN K, ZOU D G, KONG X J, et al. Global concurrent cross-scale nonlinear analysis approach of complex CFRD systems considering dynamic impervious panel-rockfill material-foundation interactions [J]. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2018, 114: 51-68.
- [25] 邹德高,孔宪京,周晨光,等. GEOtechnical Dynamic Nonlinear Analysis-GEODYNA 使用说明[R]. 辽宁 大连:大连理工大学抗震研究所,2017.
- [26] SONG C M, WOLF J P. The scaled boundary finite-element method-a primer: Solution procedures [J]. *Computers & Structures*, 2000, 78(1/2/3): 211-225.
- [27] WOLF J P, SONG C M. The scaled boundary finite-element method-a primer: Derivations [J]. *Computers & Structures*, 2000, 78(1/2/3): 191-210.
- [28] WOLF J P. The scaled boundary finite element method [M]. John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, 2003.
- [29] 陈楷,邹德高,孔宪京,等. 多边形比例边界有限单元非线性化方法及应用[J]. *浙江大学学报(工学版)*, 2017, 51(10): 1996-2004,2018. CHEN K, ZOU D G, KONG X J, et al. Novel nonlinear polygon scaled boundary finite element method and its application [J]. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*, 2017, 51(10): 1996-2004, 2018. (in Chinese)
- [30] ZOU D G, XU B, KONG X J, et al. Numerical simulation of the seismic response of the Zipingpu concrete face rockfill dam during the Wenchuan earthquake based on a generalized plasticity model [J]. *Computers and Geotechnics*, 2013, 49: 111-122.
- [31] 刘京茂,孔宪京,邹德高. 接触面模型对面板与垫层间接触变形及面板应力的影响[J]. *岩土工程学报*, 2015, 37(4): 700-710. LIU J M, KONG X J, ZOU D G. Effects of interface models on deformation of interface between slab and cushion layer and slab stress of concrete faced rock fill

- dam [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2015, 37(4): 700-710. (in Chinese)
- [32] 邹德高, 尤华芳, 孔宪京, 等. 接缝简化模型及参数对面板堆石坝面板应力及接缝位移的影响研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(Sup1): 3257-3263.
ZOU D G, YOU H F, KONG X J, et al. Research on joint simplified model and effects of joint parameters on panel stress and joint displacements of faced rockfill dam [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(Sup1): 3257-3263. (in Chinese)
- [33] 孔宪京, 陈楷, 邹德高, 等. 一种高效的 FE-PSBFE 耦合方法及在岩土工程弹塑性分析中的应用[J]. 工程力学, 2018, 35(6): 6-14.
KONG X J, CHEN K, ZOU D G, et al. An efficient FE-PSBFE coupled method and its application to the elasto-plastic analysis of geotechnical engineering structures [J]. Engineering Mechanics, 2018, 35(6): 6-14. (in Chinese)

(编辑 胡英奎)

期刊更名启事

经国家新闻出版署批准,《土木建筑与环境工程》更名为《土木与环境工程学报(中英文)》。《土木与环境工程学报(中英文)》国内统一连续出版物号为 CN50-1218/TU,文种为中英文,主管单位为教育部,主办单位为重庆大学,出版单位为《土木与环境工程学报(中英文)》编辑部(重庆大学内设机构)。《土木与环境工程学报(中英文)》的办刊宗旨:刊载国内外土木工程、环境科学与工程等领域最新研究成果,促进学术交流,培育高级人才,推动相关学科的繁荣发展。

期刊自 2019 年第 1 期正式启用新刊名《土木与环境工程学报(中英文)》,同时停用刊名《土木建筑与环境工程》。

《土木与环境工程学报(中英文)》编辑部
2019 年 2 月 20 日