

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2019.06.006

基于 LDPM 模型的胶凝砂砾石料细观力学性能

蔡新^{1,2}, 陈姣姣¹, 李家云³

(1. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学力学与材料学院, 江苏 南京 210098;
3. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 211106)

摘要:通过室内单轴抗压强度试验,探究不同水泥掺量对胶凝砂砾石料力学性能的影响。结果表明:随着水泥掺量的提高,胶凝砂砾石料弹性模量及抗压强度逐渐增大,其力学性能由类似于堆石料逐渐演变为类似于碾压混凝土。为了研究材料的破坏机理,采用细观格构离散粒子模型(lattice discrete particle model, LDPM),建立材料细观模型,对胶凝砂砾石料单轴受压状态下细观裂缝扩展情况进行模拟,数值模拟得到的应力-应变曲线与实验数据相吻合;通过裂缝开度云图可以看出,在弹性阶段几乎没有裂缝产生,直至轴向应力达到抗压强度值后,裂缝逐渐萌生、扩展,最终形成平行于压力方向的多条裂纹,导致试件破坏。裂缝主要延砂浆与骨料之间的界面层扩展,骨料基本未破碎。通过 LDPM 模型可以有效模拟胶凝砂砾石料细观裂缝的形成与发展机理。

关键词:胶凝砂砾石料;水泥掺量;抗压强度试验;格构离散粒子模型;细观模拟;裂缝扩展;破坏机理

中图分类号:TV76 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2019)06-0523-06

Meso-mechanical property of CSG based on LDPM

CAI Xin^{1,2}, CHEN Jiaojiao¹, LI Jiayun³

(1. College of Water Conservancy and Hydropower, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. College of Mechanics and Materials, Hohai University, Nanjing 210098, China;
3. NARI Technology Co., Ltd., Nanjing 211106, China)

Abstract: By the uniaxial compressive strength test in laboratory, the mechanical properties of the cemented sand and gravel (CSG) material were investigated under the conditions that cement contents were 40 kg/m³, 60 kg/m³, 80 kg/m³, and 100 kg/m³, respectively. Experimental results show that as the increase of cement content, the elastic modulus and compressive strength gradually increase, and their mechanical properties gradually evolve from those similar to rockfill materials to those similar to RCC. In order to study the failure mechanism of material, the lattice discrete particle method (LDPM) was used to establish a meso-scale model, and the crack propagation behavior under the uniaxial compression was simulated. The curves fit well with the experimental data. In addition, from the cloud diagram of crack opening, there are almost no cracks in the elastic stage. After the axial stress reaches the compressive strength value, the crack gradually initiates and expands, finally forms multiple fractures parallel to the pressure direction, and causes damage to the specimen. The cracks mainly extend along the interfacial layer between mortar and aggregate, while the aggregate is not broken at all. The results show that the formation and developing mechanism of meso-crack of CSG material can be effectively simulated by the LDPM.

Key words: cement sand and gravel material; cement content; uniaxial compression test; lattice discrete particle model; meso-scale simulation; crack opening; failure mechanisms

基金项目:中央高校基本科研业务费专项(2016B41214);2016 江苏省研究生培养创新工程(KYLX16_0748);国家重点研发计划(2018YFC0406804)

作者简介:蔡新(1964—),男,教授,博士,主要从事复杂土木、水利工程结构、新能源结构的现代设计理论与方法应用研究。E-mail:xcai@hhu.edu.cn

引用本文:蔡新,陈姣姣,李家云. 基于 LDPM 模型的胶凝砂砾石料细观力学性能[J]. 河海大学学报(自然科学版),2019,47(6):523-528.
CAI Xin, CHEN Jiaojiao, LI Jiayun. Meso-mechanical property of CSG based on LDPM[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2019, 47(6):523-528.

胶凝砂砾石料一般为工程现场不筛分、不水洗的砂砾石料,掺入少量的胶凝材料(水泥、粉煤灰等),之后经过拌和、摊铺、振动碾压而成的新型土工材料。与普通混凝土和碾压混凝土相比,有其独有的优势。施工现场附近的河床天然砂砾石料,甚至是开挖弃料都可以作为其骨料,降低原料成本的同时,减小了对环境的破坏;胶凝砂砾石筑坝可采用机械施工,由于减少了胶凝材料掺量,水化热得以降低,施工速度加快。随着对这种材料性能和施工工艺研究的深入,胶凝砂砾石料逐渐成为继碾压混凝土之后坝工材料界的新星。胶凝砂砾石坝作为一种新坝型,得到了国内外的充分认可与高度评价,被称为最安全的大坝^[1]。

目前,国内对胶凝砂砾石材料及胶凝砂砾石坝力学性能已有较多研究。贾金生等^[2]在充分了解胶凝砂砾石坝的起源和发展情况的基础上,提出了胶结颗粒料坝的概念。冯炜等^[3-4]对胶凝砂砾石坝体材料 and 保护层抗渗和抗冻性能展开了试验研究,完善了胶凝砂砾石配合比设计方法和体系。杨会臣^[5]提出了胶凝砂砾石坝结构设计的应力和稳定控制标准及坝面保护设计的原则。孙明权等^[6-7]运用线弹性有限元对胶凝砂砾石坝的应力分布、变形状态进行了研究,完成了胶凝砂砾石料三轴试验研究,建立了非线性的本构模型,并研究了模型的适用性。孙伟等^[8]、何蕴龙等^[9]在对胶凝砂砾石材料力学性能指标搜集、整理、统计和分析的基础上,建立弹性模量随机场模型,并对胶凝砂砾石坝的抗震特性进行研究,论证该新型坝具有良好的抗震性。蔡新等^[10-13]基于大量的试验,对胶凝砂砾石本构模型进行了研究。除此之外,还有一些针对胶凝砂砾石的力学特性及工程特性的探索研究^[14-17]。

已有的研究多基于胶凝砂砾石宏观力学特性,鲜有从细观角度出发。用宏观断裂模型分析材料性能仅能在一定精度下解决工程问题,从材料学的观点,该层次的研究方法过于粗糙,无法揭示材料结构、组成与性能之间的关系。越来越多的学者,力求通过细观层次找出材料破坏的机理。本文通过格构离散粒子模型(lattice discrete particle model, LDPM),对胶凝砂砾石料单轴受压状态下的细观损伤性能进行分析,并与室内试验结果进行对比。

1 LDPM 理论

LDPM 是 Cusatis 等^[18]基于离散模型的框架下提出的,作为一种有效的细观模型,它能够在细观尺度上模拟材料的各种力学行为,并能够显著地降低计算成本。LDPM 模型生成的细观结构由骨料颗粒和连接它们的格构组成^[19],格构则是通过以骨料为中心生成德劳内三角形形成的,骨料的位置是由基本的材料性能和骨料的粒度分布来确定的,连接 2 个相邻的骨料颗粒的格构单元传递正应力和剪切应力。胶凝砂砾石料中的骨料可使用球形离散粒子近似模拟,格构系统可以较好地模拟骨料间砂浆的黏结作用。2 个相邻粒子 P_1 和 P_2 的细观模型如图 1 所示。

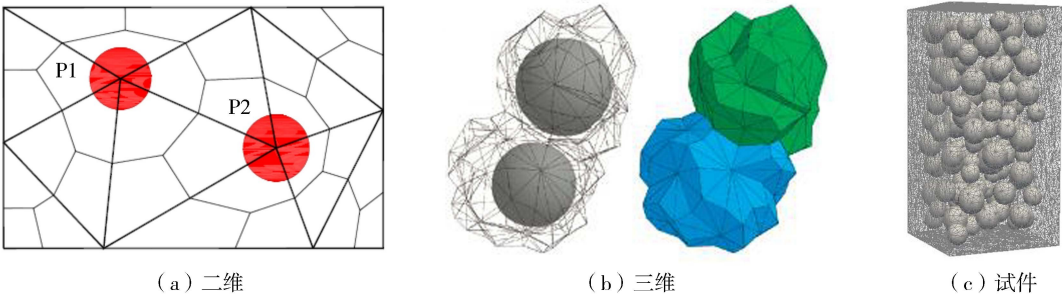


图1 LDPM 细观模型
Fig.1 Mesoscale model of LDPM

当材料处于弹性阶段时,正应力和剪向应力与相应的应变成比例,即

$$t_N = E_N \varepsilon_N \quad t_M = E_T \varepsilon_M \quad t_L = E_T \varepsilon_L \tag{1}$$

式中: t_N ——正应力; E_N ——法向弹性模量; ε_N ——法向应变; t_M 、 t_L ——互相垂直的切向应力; E_T ——切向弹性模量; ε_M 、 ε_L ——互相垂直的切向应变。

在压力作用下,胶凝砂砾石料在弹性阶段之后表现出应变硬化,即细观孔隙在荷载下破坏,材料刚度降低,之后完全破坏的孔隙连通,最终导致材料密实化,刚度又会增大。LDPM 模型通过基于应变的法向应力边界来模拟上述现象。压应力边界 $\sigma_{bc}(\varepsilon_D, \varepsilon_V)$ 为体应变 ε_V 和应变偏量 ε_D 的函数。假定压应力边界开始

为线性变化(模拟孔隙破坏和屈服),然后为指数变化(模拟压实和再硬化),可以表示为

$$\sigma_{bc}(\varepsilon_D, \varepsilon_V) = \begin{cases} \sigma_{c0} & -\varepsilon_V \leq 0 \\ \sigma_{c0} + \langle -\varepsilon_V - \varepsilon_{c0} \rangle H_c(r_{DV}) & 0 \leq -\varepsilon_V \leq \varepsilon_{cl} \\ \sigma_{cl}(r_{DV}) \exp\left[\frac{(-\varepsilon_V - \varepsilon_{cl})H_c(r_{DV})}{\sigma_{cl}(r_{DV})}\right] & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

其中 $\varepsilon_V = \frac{V - V_0}{V_0}$ $\sigma_{cl}(r_{DV}) = \sigma_{c0} + (\varepsilon_{cl} - \varepsilon_{c0})H_c(r_{DV})$

式中: V 、 V_0 ——分别为忽略节点旋转影响下四面体当前体积和初始体积; σ_{c0} ——细观屈服压应力; ε_{c0} ——孔隙破坏开始时的压应变; r_{DV} ——体应变 ε_V 和应变偏量 ε_D 的比值; $H_c(r_{DV})$ ——初始硬化模量; ε_{cl} ——再硬化开始时的压应变。

2 胶凝砂砾石料单轴抗压试验与数值模拟

为了解不同胶凝材料掺量的胶凝砂砾石料的强度特性,进行不同胶凝材料掺量的胶凝砂砾石料抗压强度试验,并采用 LDPM 模型进行数值模拟验证。

2.1 室内试验

胶凝砂砾石料是由少量胶凝材料和砂砾石材料拌合形成的一种复合材料,其胶凝材料掺量介于堆石料(胶凝材料掺量为 0)和碾压混凝土(胶凝材料掺量大于 140 kg/m³)之间,为了研究胶凝材料掺量对抗压强度的影响,胶凝材料掺量分别取为 40 kg/m³、60 kg/m³、80 kg/m³、100 kg/m³,其中粉煤灰占 50%,水泥选用强度等级为 42.5 的普通硅酸盐水泥,水胶比为 1.0,粒径 20~40 mm、10~20 mm、5~10 mm、1~5 mm 和 1 mm 以下的骨料级配分别为 35.9%、22.5%、16.6%、8.8% 和 16.2%。将原材料进行拌和,制成 15 cm×15 cm×30 cm 的棱柱体试件,室温养护 28 d。

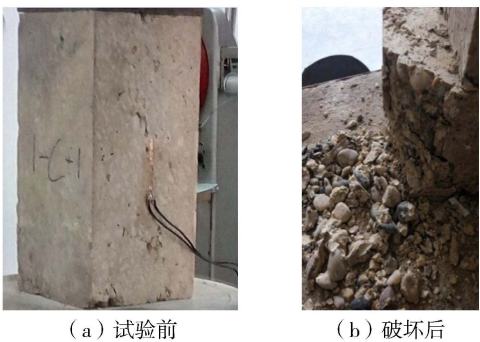


图 2 试验试件
Fig. 2 Test specimen

试验仪器主要包括:YE-2000 液压式压力试验机,DH3817 动静态应变测试系统。由于胶凝砂砾石料的强度太低以至于不能在弹模试验机上直接进行弹模试验,故本次试验通过应变片、力传感器采集试件的实时应变与荷载。粘贴应变片后的试件如图 2(a)所示。以 0.3~0.6 MPa/min 的速度连续而均匀地加荷。当试件接近破坏而开始迅速变形时,停止调整油门,直至试件破坏,试件破坏形态如图 2(b)所示。

2.2 数值模拟

LDPM 数值模拟通过面向对象的多目标结构分析软件 MARS 实现。对于给定的水泥含量 c ,水灰比 w/c ,试样体积 V ,最大骨料粒径 d_a ,最小粒径 d_0 ,可以通过以下步骤生成材料的细观模型。

a. 计算骨料体积分数 v_a :

$$v_a = 1 - \frac{c}{\rho_c} - \frac{w}{\rho_w} - v_{air} \quad (3)$$

式中: w ——单位体积胶凝砂砾石料含水量; ρ_c ——水泥密度,取为 3 150 kg/m³; ρ_w ——水密度,取为 1 000 kg/m³; v_{air} ——含气体积分数,取为 3%~4%。

b. 计算模拟的骨料体积分数 v_{a0} :

$$v_{a0} = \left[1 - \left(\frac{d_0}{d_a}\right)^{n_F}\right] v_a \quad (4)$$

式中: n_F ——富勒系数; v_a ——骨料体积分数。

根据试验中材料的骨料级配,富勒系数 $n_F=0.65$,定义材料参数 $q=3-n_F$ 。骨料的总体积 V_{a0} 可以通过 $V_{a0}=v_{a0}V$ 计算得到。根据累计分布曲线计算任意 P_i 对应的颗粒粒径 d_i , $d_i=d_0[1-P_i(1-d_0^q/d_a^q)]^{-1/q}$ 。计算生成的颗粒总体积 $\tilde{V}_{a0}:\tilde{V}_{a0} = \sum_i (\pi d_i^3/6)$,当 $\tilde{V}_{a0}>V_{a0}$ 时,停止。

生成内部骨料单元后,为了对模型表面划分网格,需要在表面生成粒径为零的节点。首先放置顶点;然后,节点以 1.1 倍 d_0 的最小距离分布在边和表面上,从而使离散化的几何偏差最小化;最后生成随机细观结构,颗粒中心依次放置于试样中(按粒径从大到小顺序),每放置 1 个颗粒需要检查是否与前面已经放置的粒子相交,此时假设表面节点直径为 $1.1d_0$,若粒子 i 与粒子 j 中心距离 $D>d_i/2+d_j/2+0.2d_0$ (d_i 、 d_j 分别为 2 个粒子直径),则两者没有重叠,否则,则需要重新投放,直至全部颗粒都投放完成。

c. 定义粒子间相互作用的拓扑结构可以通过德劳内四面体化来实现。将粒子中心的节点坐标作为输入量,输出三维的四面体,这些四面体没有重叠,顶点与给定的粒子中心一致。本文中德劳内四面体化通过 TetGen 来实现。基于每个四面体的几何结构和相应的粒子定义了粒子间相互作用力的传递面,最终完成细观模型的建立,试件细观模型如图 1(c) 所示。

在建立的细观模型上下表面建立 2 个刚体平面用于施加荷载,刚体与模型相互作用通过高摩擦边界实现,输出上刚体平面所受到的作用力 F 和竖向位移 ΔL ,则试件的应力和应变可以通过 $\sigma=F/A$ 、 $\varepsilon=\Delta L/L$ 计算,其中 A 为试件横截面积, L 为试件的初始高度。

2.3 试验结果与数值模拟结果对比

对比试验和数值模拟得到的应力-应变曲线(图 3)可以发现,两者吻合情况良好,特别是在模拟极限应力之前出现的刚度降低又恢复的现象。通过 Paraview 软件对数值模拟结果进行后处理,得到随轴向应变增大,试件的裂缝扩展情况,如图 4 所示(胶凝材料掺量为 80 kg/m^3)。

由图 4 可知,随着轴向应变的增大,裂缝都出现在砂浆中,骨料基本未破碎。由试验结果可知,初始弹性模量、极限抗压强度及极限抗压强度值对应的应变值都随着胶凝材料掺量的增加而增大,胶凝砂砾石材料抗压强度与试件胶凝材料掺量呈正相关关系甚至线性关系。这主要是由于决定胶凝料强度的关键因素是骨料间水泥石的强度,而水泥石的强度主要由胶凝材料掺量控制。在细观尺度和微观尺度可以解释为,初始阶段孔隙在荷载下破坏;而在随后的阶段,完全破坏的孔隙连通,最终导致材料密实化。

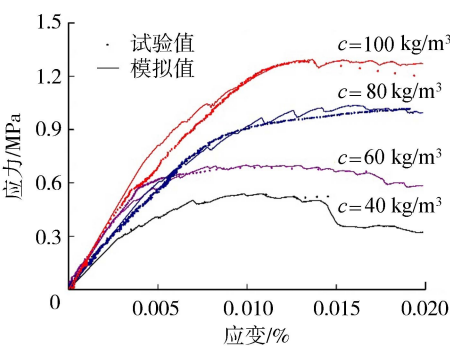


图 3 应力-应变曲线
Fig.3 Relationship between strain and stress from the numerical simulation and the experiments

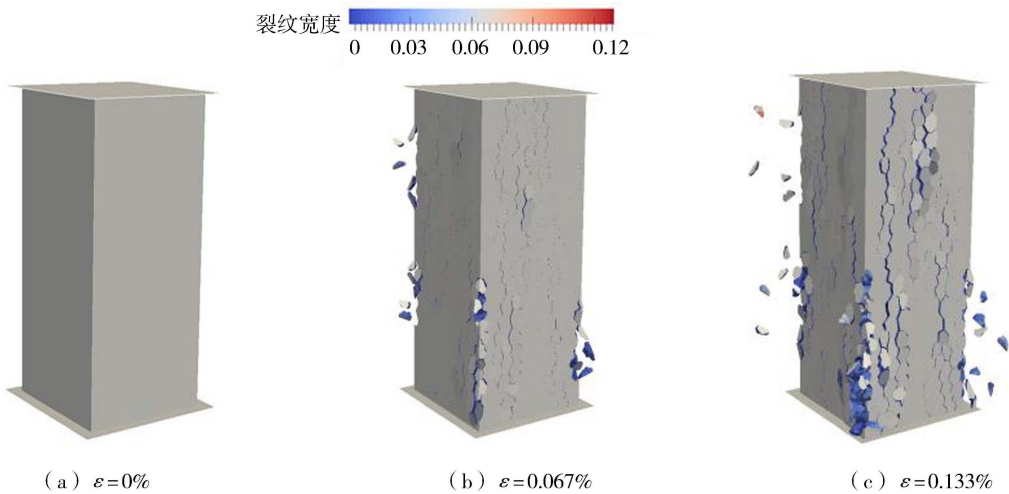


图 4 随着轴向应变增长细观裂缝扩展情况(单位:m)
Fig.4 Meso-crack opening with the increase of axial strain (units: m)

取应力-应变曲线的应力峰值为材料的抗压强度,曲线初始线性阶段的斜率为材料的弹性模量,表 1 对比了不同胶凝掺量的胶凝砂砾石料轴向受压荷载作用下试验结果与数值模拟的差异,结果表明,数值模拟误差在 5% 之内,证明了基于 LDPM 的数值模拟方法具有较高的准确性。

表 1 试验结果与数值模拟结果对比

Table 1 Comparison between the numerical simulation and the experimental data

胶凝材料掺量/kg	弹性模量			抗压强度		
	试验值/GPa	模拟值/GPa	模拟值与试验值之比	试验值/MPa	模拟值/MPa	模拟值与试验值之比
100	16.16	15.86	0.98	1.30	1.30	1.00
80	12.33	12.10	0.98	0.94	0.98	1.04
60	16.25	15.74	0.97	0.69	0.70	1.01
40	8.97	8.55	0.95	0.52	0.52	1.00

3 结 论

- a. 通过室内单轴抗压强度试验可以看出,胶凝砂砾石料的单轴抗压强度随着水泥掺量的增加而增大,且裂缝主要发生在砂浆中,说明水泥掺量对胶凝砂砾石料强度起着决定性作用。
- b. 在初始受压阶段,应力应变曲线近似直线关系,通过细观模拟可以看出此时几乎没有细观裂缝产生;随着轴向应变的增大,材料达到抗压强度,应力降低,该阶段细观模型裂缝逐渐增多,当裂缝增多到一定数量后,裂缝出现连通现象,结构趋于宏观破坏。
- c. 从数值模拟和试验结果的对比可以看出,LDPM 模型能够有效地模拟胶凝砂砾石料细观无侧限单轴压缩状态下的力学性能和裂缝扩展情况。作为一种细观模型,LDPM 能够从材料组成本质上解释材料的损伤断裂现象。
- 水胶比、含砂率及骨料级配等也是影响胶凝砂砾石材料抗压强度的重要因素,但由于缺少相关的试验研究,没有对其影响进行分析,需要在后续的研究中进一步证实。

参考文献:

[1] STEVENS M A, LINARD J. The safest dam[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2002, 128(2):139-142.

[2] 贾金生,马锋玲,李新宇,等. 胶凝砂砾石坝材料特性研究及工程应用[J]. 水利学报,2006,37(5):578-582. (JIA Jinsheng, MA Fengling, LI Xinyu, et al. Study on material characteristics of cement-sand-gravel dam and engineering application[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2006,37(5):578-582. (in Chinese))

[3] 冯炜,贾金生,马锋玲. 胶凝砂砾石坝筑坝材料耐久性性能研究及新型防护材料的研发[J]. 水利学报,2013,44(4):500-504. (FENG Wei, JIA Jinsheng, MA Fengling. Study on durability of dam materials and new-type protective materials for cemented sand and gravel dam[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2013,44(4):500-504. (in Chinese))

[4] 冯炜. 胶凝砂砾石坝筑坝材料特性研究与工程应用[D]. 北京:中国水利水电科学研究院,2013.

[5] 杨会臣. 胶凝砂砾石坝结构设计研究与工程应用[D]. 北京:中国水利水电科学研究院,2013.

[6] 孙明权,杨世锋,田青青. 胶凝砂砾石材料力学特性、耐久性及坝型综述[J]. 人民黄河,2016,38(7):83-85,99. (SUN Mingquan, YANG Shifeng, TIAN Qingqing. Review on mechanical properties, durability and dam type of CSG material[J]. Yellow River,2016,38(7):83-85,99. (in Chinese))

[7] 孙明权,吴平安,杨世锋,等. 胶凝砂砾石本构模型适应性研究试验[J]. 人民黄河,2015,37(3):126-128,131. (SUN Mingquan, WU Ping'an, YANG Shifeng, et al. Experimental study on constitutive model of CSG[J]. Yellow River,2015,37(3):126-128,131. (in Chinese))

[8] 孙伟,何蕴龙,袁帅,等. 考虑材料非均质性的胶凝砂砾石坝随机有限元分析[J]. 水利学报,2014,45(7):828-836. (SUN Wei, HE Yunlong, YUAN Shuai, et al. Stochastic finite element analysis of hardfill dam with considering the material heterogeneity influence[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2014,45(7):828-836. (in Chinese))

[9] 何蕴龙,张劭华,石熙冉. 胶凝砂砾石坝抗震特性及其地震作用计算方法[J]. 水利学报,2016,47(5):589-598. (HE Yunlong, ZHANG Shaohua, SHI Xiran. Seismic behavior of cement-sand-gravel dam and the calculation method of its seismic loads[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2016,47(5):589-598. (in Chinese))

[10] 蔡新,杨杰,郭兴文. 胶凝砂砾石坝研究综述[J]. 河海大学学报(自然科学版),2015,43(5):431-441. (CAI Xin, YANG Jie, GUO Xingwen. Review of cement sand and gravel dams[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences),2015,43(5):431-441. (in Chinese))

[11] 蔡新,杨杰,郭兴文,等. 胶凝砂砾石料弹塑性本构模型研究[J]. 岩土工程学报,2016,38(9):1569-1577. (CAI Xin, YANG Jie, GUO Xingwen, et al. Elastoplastic constitutive model for cement-sand-gravel material[J]. Chinese Journal of

Geotechnical Engineering,2016,38(9):1569-1577. (in Chinese))

[12] 蔡新,杨杰,郭兴文. 一种新的胶凝砂砾石坝坝料应变预测模型[J]. 中南大学学报(自然科学版),2017,48(6):1594-1599. (CAI Xin, YANG Jie, GUO Xingwen. A new model for prediction of deformation on CSG material[J]. Journal of Central South University(Science and Technology),2017,48(6):1594-1599. (in Chinese))

[13] 明宇,蔡新,郭兴文,等. 胶凝砂砾石料动力特性试验[J]. 水利水电科技进展, 2014, 34(1): 49-52. (MING Yu, CAI Xin, GUO Xinwen, et al. Dynamic characteristic test on cemented sand and gravel material[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2014, 34(1): 49-52. (in Chinese))

[14] 祝小靛,丁建彤,蔡跃波,等. 胶凝砂砾石强度和弹性模量试验研究[J]. 人民黄河,2016,38(3):126-128. (ZHU Xiaoliang, DING Jiantong, CAI Yuebo, et al. Experimental research on strength and elasticity modulus of cement sand and gravel[J]. Yellow River, 2016,38(3):126-128. (in Chinese))

[15] 祝小靛,丁建彤,蔡跃波,等. 胶凝砂砾石弹性模量测试方法的试验研究[J]. 水电能源科学,2015,33(7):132-134,147. (ZHU Xiaoliang, DING Jiantong, CAI Yuebo, et al. Experimental study of test method of elastic modulus for CSG[J]. Water Resources and Power,2015,33(7):132-134,147. (in Chinese))

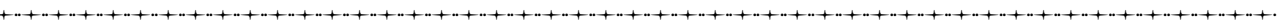
[16] 刘录录. 胶凝砂砾石材料物理力学性能研究及有限元分析[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2013.

[17] 张傲齐. 胶凝砂砾石在阿拉沟水库工程中的应用研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2015.

[18] CUSATIS G, PELESSONE D, MENCARELLI A. Lattice discrete particle model (LDPM) for failure behavior of concrete. I: Theory[J]. Cement & Concrete Composites, 2011, 33(9):881-890.

[19] CUSATIS G, BAZANT Z P, CEDOLIN L. Confinement-shear lattice CSL model for fracture propagation in concrete[J]. Computer Methods in Applied Mechanics & Engineering, 2006, 195(52):7154-7171.

(收稿日期:2018-06-21 编辑:张志琴)



· 简讯 ·

第 10 届统计水文学国际学术研讨会在河海大学举行

2019 年 10 月 19—20 日,第 10 届统计水文学国际研讨会(STAHY 2019)在河海大学举行。河海大学党委书记唐洪武教授,中国工程院和英国皇家工程院张建云院士,湖北省科协主席郭生练教授,国际水文科学协会中国委员会主席,水利部信息中心副主任刘志雨教授,国际水文科学协会(IAHS)副主席 Salvatore Grimaldi 教授、国际水文科学协会国际统计水文学委员会主席 Ashish Sharma 教授出席开幕式。国际水文科学协会国际统计水文学委员会副主席、河海大学水文学院党委书记陈元芳教授主持开幕式。

唐洪武书记致欢迎辞,对与会的国内外领导、嘉宾和专家学者表示热烈欢迎,并介绍了河海大学“双一流”建设进展和成效,希望通过本次国际学术研讨共享最新研究成果,搭建国内外合作交流平台,增进国内外统计水文学科研人员间的学术交流,拓展统计学方法在水文水资源领域的应用,并预祝研讨会取得圆满成功。

美国工程院院士、普林斯顿大学 Eric Wood 教授,匈牙利科学院外籍院士、Journal of Hydrology 主编、德国斯图加特大学 András Bárdossy 教授,国家级人才计划专家、河海大学段青云教授等专家分别作大会报告。来自美国、加拿大、德国等 13 个国家的专家学者及师生代表近 500 人参加研讨,深入讨论了统计学方法在水文及水资源学科领域的深入应用,对提升河海大学水文学的国际影响力、促进水文学及水资源学科发展具有重要的推动作用。会前还针对青年学者举办了国际统计水文早期职业培训活动。

论坛上,IAHS 国际统计水文学委员会还授予美国 Tufts 大学 Richard Vogel 教授“2019 统计水文学最佳论文奖”,授予河海大学校友、美国国家天气局丛树铮教授“2019 国际统计水文成就奖”。

统计水文学国际研讨会是统计水文学领域的盛事,第 10 届统计水文学国际学术研讨会是由国际水文科学协会国际统计水文学委员会和河海大学主办,南京大学、武汉大学、清华大学、南京水利科学研究院、北京师范大学和西北农林科技大学联合协办,国家自然科学基金和水利部国际合作与科技司给予了经费支持,这也是该项学术活动首次在中国举行。

(本刊编辑部供稿)