

文章编号: 1000-7598 (2010) 03-0961-06

免疫遗传算法在土石坝筑坝粗粒料本构模型参数反演中的应用研究

朱 晟^{1,2}, 王永明^{1,2}, 胡祥群^{1,2}

(1. 河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098; 2. 河海大学 水工结构研究所, 南京 210098)

摘 要: 建立了确定筑坝粗粒料本构模型参数的有限元计算理论与 IGA 相结合的反演分析方法, 利用公伯峡筑坝现场大型载荷试验资料, 对筑坝原级配料的本构模型参数进行了反演研究。结果表明, 由于在微弱风化花岗岩掺加云母片岩, 颗粒破碎严重, 爆破堆石料 (3B I) 的原级配粗粒料反演参数远低于室内三轴试验成果; 与 3B I 堆石料相反, 砂砾料 (3B II) 现场反演得到的邓肯 E-B 模型参数高于室内三轴试验值; 室内三轴试验成果不能客观反映筑坝材料的力学特性, 对于当今的 300 m 级高土石坝建设, 宜加强对原级配粗粒料的力学特性研究; 同时对原型实测的空间位移场不同拟合方式进行了探讨, 认为仅考虑铅直变形的 IGA 参数反演成果能基本满足土石坝工程的精度要求。

关 键 词: 土石坝; 免疫遗传算法; 原级配粗粒材料; 本构模型参数; 反分析

中图分类号: O 242.1

文献标识码: A

Application of immune genetic algorithm to back analysis for parameters in model of rockfill dam coarse grain material

ZHU Sheng^{1,2}, WANG Yong-ming^{1,2}, HU Xiang-qun^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Hydrology, Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Institute of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The method of combining the theory of finite element calculation of parameters in model of rockfill dam coarse grain material with the immune genetic algorithm (IGA) is confirmed; and a relevant software is developed. Using the large scale loading test data of Gongboxia dam, constitutive model parameters of rockfill are gained. It is concluded that because the mica schist is mixed with feeble weathered granite, the grain is broken up severely; the back-analysis parameters of explosion rockfill(3B I) are lower than the results of laboratory triaxial test, and the Duncan E-B parameters obtained by back-analysis of her sandy gravel (3B II) are higher than the triaxial test results of laboratory triaxial test which can not reflect the mechanical behaviors of the dam material objectively; the research should be strengthened in 300 m high rockfill dam construction. The fitting modes of the space displacement field of prototype observation are also explored and it turns out that the results of IGA analysis considering only vertical deformation meet the need of dam's technical accuracy.

Key words: rockfill dam; immune genetic algorithm; coarse-grained material of natural gradation; constitutive model parameters; back analysis

1 前 言

目前, 国内研究土石坝筑坝材料的本构模型参数, 主要利用室内三轴试验成果。通用的大型三轴仪试样直径为 30 cm, 允许试样的最大粒径为直径的 1/5~1/6, 即 5~6 cm。现代碾压式高土石坝的筑坝主体材料通常采用爆破堆石料或天然砂砾料, 其原级配的最大粒径一般控制在 80 cm 左右。对坝

料进行室内试验研究时, 必须进行缩尺。1979 年建设的 Bailey 坝^[1], 对枢纽溢洪道开挖的页岩料进行了现场填筑碾压试验研究。图 1 为试验前后的堆石料颗粒级配曲线。开挖料的最大粒径为 81.3 cm, 在试坑内进行现场碾压后, 将大于 7.6 cm 的石料人工检出后进行筛分, 最大粒径为 2.3 cm, 通过 0.5 cm 筛孔的约占 45%, 堆石料的颗粒破碎十分明显; 而试样室内三轴试验前后的级配变化较小。经过缩尺

收稿日期: 2008-08-11

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划 (No. 2008BAB29B02)。

第一作者简介: 朱晟, 男, 1965 年生, 教授, 工学博士, 博士生导师, 主要从事土石坝等水工岩土方面的研究。E-mail: szhu@hhu.edu.cn

后,其缩尺效应影响和颗粒破碎率的不同,外荷载作用下两者的变形机制的不同^[2],必然导致现阶段土石坝计算预测与实测值差异较大。室内三轴试验成果难以客观反映大坝的实际填筑情况和材料的性质,需要研究筑坝原级配填筑料的实际力学特性。

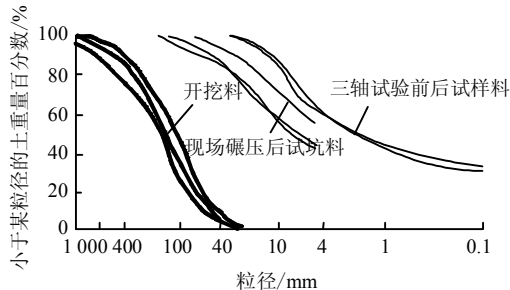


图1 碾压前后堆石料颗粒级配曲线
Fig.1 Gradation curves of rockfill materials

土石坝筑坝材料力学性质复杂,优化反演分析时,其本构模型参数和现场量测位移等信息之间具有极强的非线性映射关系,是具有多目标、多参数的复杂系统的全局总体优化问题,国内已有学者将遗传算法(Genetic algorithm, GA)应用于土石坝工程反问题的研究^[3-4]。但由于 GA 利用适应度值指导搜索方向,使适应度高的抗体具有更多的生存机会,也可能导致算法过早收敛于局部极值,出现早熟现象;同时,GA 通过交叉和变异操作产生新的优良抗体,遗传控制参数中的交叉概率 P_c 和变异概率 P_m 的选择对算法的收敛性也有重要影响。这些缺陷对 GA 的实际应用带来极大不便^[5-6]。免疫遗传算法^[7](Immune genetic algorithm, IGA)在标准 GA 的基础上,借鉴生物机体免疫系统自适应地识别和排除侵入机体的抗原性异物,并且具有学习、记忆和自适应调节能力,将外来侵犯的抗原和免疫系统产生的抗体分别与待求解的问题以及待求解问题的解相对应。

本文利用免疫遗传算法建立筑坝材料本构模型参数的反演分析方法,并以公伯峡面板坝坝料的现场大型荷载试验成果为例,对筑坝原级配粗粒料本构模型参数进行分析研究。

2 基于 IGA 筑坝原级配料参数反演

2.1 问题的描述

土石坝筑坝原级配粗粒料力学参数的反演分析,通过现场原型观测点量测变形与计算变形的差值,构筑目标函数,成为 IGA 的抗原。考虑到观测仪器在埋设初期受施工因素的干扰较大,目标函数采用分时段计算,建立目标函数如下:

$$F(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \omega_{ij} (u_{ij}^c / u_{ij}^m - 1.0)^2 \quad (1)$$

式中: m 为反演分析所选取的计算时段总数; n 为选取观测点总数; ω_{ij} 为在第 i 个时段第 j 个测点测量值的权重; u_{ij}^c 为第 i 个时段第 j 个测点对应某级载组合作用时的计算值; u_{ij}^m 为相应的实测值。

2.2 反演参数的选取

本文主要研究邓肯模型的参数,则自变量 X 对应备选抗体:

$$X = \{K, n, R_f, Kb, m\} \quad (2)$$

参考坝料室内三轴试验资料,选取参数 X 估计范围,成为 IGA 的初始搜索范围,即式(2)的约束条件。

2.3 筑坝原级配料参数的 IGA 反演流程

图2给出了本文基于 IGA 筑坝粗粒料力学参数反演分析的流程,主要包括3个部分:①现场原级配筑坝粗粒料大型载荷试验的荷载-变形观测资料分析。参照相关规范和文献对现场观测数据进行误差分析,消除仪器的系统误差和测量的偶然误差,体现出原观测资料的客观性。②现场原型结构的有限元数值计算模型。采用河海大学水电学院为土石坝静、动力数值计算开发的 TSDA 程序计算,通过模拟原级配筑坝粗粒料实际填筑加载过程,对各抗体分别进行有限元数值计算,得到观测点变形的计算预测值。③IGA。通过观测点的实测变形量与计算预测值的差异,构筑目标函数,计算抗体适应度;利用遗传算子和免疫算子产生新抗体,通过适应度的大小指导算法搜索方向,寻求最优抗体,得到现场原级配筑坝粗粒料的力学参数。

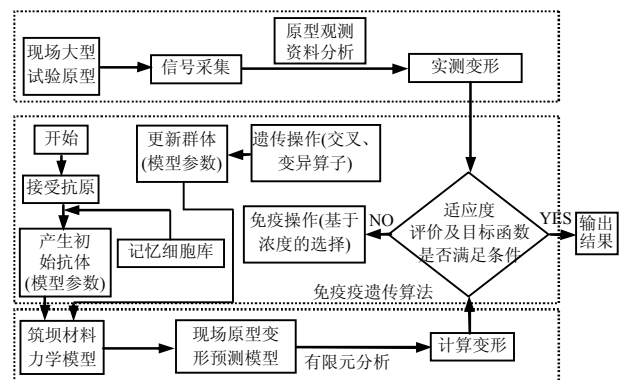


图2 基于 IGA 的筑坝粗粒料参数反演流程
Fig.2 Programme of parameters of back-analysis of coarse grain material based on IGA

2.4 IGA 实现流程

根据上述给出的优化问题数学模型,进行 IGA 计算的步骤为

① 编码并产生初始抗体群

采用浮点数编码方式, 参照式(2), 共5个参数, 对应5个基因。设初始种群数目为 N , 随机产生 $5 \times N$ 个小于1的实数 α_{i1} 、 α_{i2} 、 $\dots$ 、 α_{i5} ($i=1, 2, 3, \dots, N$), 取初始第 i 个抗体的5个基因分别为

$$\left. \begin{aligned} x_{1i} &= a_{1i} + (b_{1i} - a_{1i})\alpha_{i1} \\ x_{2i} &= a_{2i} + (b_{2i} - a_{2i})\alpha_{i2} \\ &\dots \\ x_{5i} &= a_{5i} + (b_{5i} - a_{5i})\alpha_{i5} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中: a_{ji} 、 b_{ji} 为第 i 个抗体中第 j 个基因的取值范围, 参考坝料室内三轴试验资料选取。

重复上述过程 N 次, 即可获得初始抗体群 ψ_1 , ψ_2 , $\dots$, ψ_N 。

② 计算适应度

抗体群按计算的目标函数值进行排序, 建立基于排序的适应度评价函数, 采用Michalewicz提出的非线性排序的选择概率公式作为适应度评价函数:

$$eval(\psi_i) = \alpha(1 - \alpha)^{i-1} \quad (4)$$

式中: i 为抗体排序序号, $\alpha \in (0, 1)$ 。排序方法克服了比例适应度计算的尺度问题, 即当选择压力(最佳抗体选中的概率与平均选中概率的比值)太小的情况下, 导致搜索带迅速变窄而产生过早收敛, 再生范围被局限。

③ 记忆细胞库

将抗体按适应度值降序排列, 取前 M 个存于记忆细胞库, 完成记忆细胞库的更新过程。

④ 基于浓度控制的选择复制

首先, 对抗体适应度施加免疫浓度调节^[8], 求取抗体的选择概率: $P = \alpha' P_i + (1 - \alpha') P_d$, 式中 α 为亲和系数, $1 > \alpha' > 0$; P_i 为适应度概率, 由抗体适应度按比例转化而得; P_d 为浓度概率。

计算浓度概率时, 需要计算结合强度 H_{uv} 和亲和力和 A_{uv} , 即:

$$H_{uv} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N'} (x_i - y_i)^2}, \quad A_{uv} = \frac{1}{1 + H_{uv}} \quad (5)$$

式中: N' 为抗体长度, x_i 、 y_i 分别为抗体 u 和 v 的基因。定义抗体浓度 C_i 为: 与抗体亲和力和大于1.0的抗体数除以抗体总数。找出较高浓度的 t 个抗体 ($1 < t < N$), 其余($N - t$)个抗体的浓度概率为

$$P_d = \frac{1}{N} \left(1 + \frac{t^2}{N^2 - N * t} \right) \quad (6)$$

采用上述基于浓度调节后, 对 t 个抗体, 若浓度高且适应度较高, 获得的适应度补偿就较少(抑制), 改善了抗体的多样性, 可避免使计算陷入局部极优; 而浓度不高但适应度高的抗体, 得到相对较高的适应度补偿(促进), 增加了该抗体的选择概率。

依据抗体的选择概率 P 确定比例选择算子, 基于这些概率值用比例选择(赌盘选择)的方法来产生下一代:

$$P_i = eval(\psi_i) / \sum_{i=1}^N eval(\psi_i) \quad (7)$$

该算子是一种随机采样方法, 以旋转赌轮 N 次为基础, 每次旋转都可选择单个抗体进入子代种群, 具体操作过程为

- I. 计算累积概率 Ps_i ; $Ps_i = \sum_{m=1}^i P_i$, $i=1, 2, \dots, N$, $Ps_0 = 0.0$;
- II. 利用 FORTRAN 库函数 random() 从区间(0, 1)产生一个随机浮点数 γ ;
- III. 若 $\gamma \in (Ps_{i-1}, Ps_i]$, 则 ψ_i 进入子代种群;
- IV. 重复(II)~(III), 从而得到子代抗体群所需的 N 个染色体。

⑤ 抗体群更新

抗体群更新中的选种复制、交叉和变异操作与GA相同, 不再赘述。

将得到的 N 个抗体和第③步记忆细胞库的 M 个抗体合并在一起, 得到一个含有 $M + N$ 个抗体的新种群, 依据 $M + N$ 个抗体新的适应度对其降序排列, 记忆前 M 个抗体存入记忆细胞库, 前 N 个抗体作为下一代进化的初始群体。

⑥ 终止条件判断

适应度值20代内无变化或世代数超过150代, 停止迭代, 输出最优抗体。

3 工程实例分析

3.1 试验简介

公伯峡水电站位于青海省循化撒拉族自治县与化隆回族自治县交界处, 是黄河上游的一座大型梯级电站, 大坝为混凝土面板堆石坝, 最大坝高132 m。由于坝区地质条件较复杂, 待开采坝料区覆盖层较厚、岩体风化程度不一, 为更深入了解筑坝材料的工程性质, 对3B I、3B II两种主要填料进行大型载荷试验。按照大坝施工要求对坝料填筑, 每层铺料厚度为80 cm, 用SD175D型振动碾碾压8遍, 共填筑5层, 总厚度为4.0 m。其中3B I料为微、弱风化花岗岩(70%)和云母片岩(30%)混合料,

碾压后平均干密度为 2.17 g/cm^3 ; 3B II 料为砂砾料, 平均干密度为 2.34 g/cm^3 。

试验加载采用堆载平台反力装置, 荷载板分别为直径 0.8 m 和 1.3 m 的刚性圆形钢板^[9]。加载时每级压强增量 $\Delta P = 0.3 \text{ MPa}$, 采用的稳定标准为附加沉降不大于 0.25 mm/h 。

试验中, 除了观测常规的表面荷载板沉降量外, 在每个堆载台的中心位置钻了 5 个深度略大于 3 m 的观测孔, 用来观测试验坝料空间位移场的变化情况, 见图 3。其中 A 孔位于堆载台的中心位置, 它也是采用 $d=1.3 \text{ m}$ 板进行试验时的加载中心位置; B 孔是采用 $d=0.8 \text{ m}$ 板进行试验时的加载中心位置; C 孔为多点位移计埋设孔; D 与 E 孔均为测斜管埋设孔。钻孔完成后, 采用分段固定法依次在 A、B、C 3 孔的 3、2 m 和 1 m 孔深处理设多点位移计的锚头和测杆, 用数字位移计测量 A、B、C 3 孔各测点的读数变化, 同时, 用 CX-01 数字显示测斜仪观测 D、E 两孔沿径向和切向的位移。

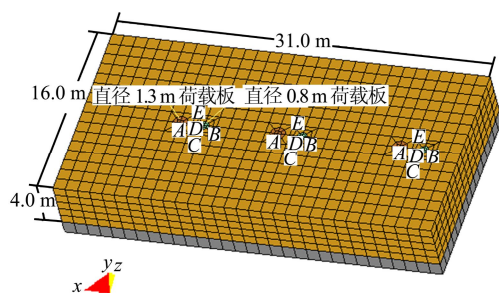


图 3 大型荷载试验区现场布置与有限元计算网格
Fig.3 Layout of large-scale loading test in field and FEM meshes

3.2 成果分析

进行有限元计算时, 采用中点增量法模拟试验区粗粒料现场填筑碾压与加载过程。参照公伯峡筑坝材料的室内三轴试验结果^[10], 选取各反演参数的先验区间如下: $R_f \in (0.60, 0.95)$, $K \in (300, 1\,900)$, $n \in (0.1, 0.6)$, $K_b \in (200, 700)$; 参数 m 一般大于 0, 邓肯等试验研究认为: 在高压作用土颗粒结构大量破碎时, m 值可能小于 0, 相当于 B 值随侧压力的增加而降低, 取 $m \in (-0.3, 0.4)$ 。计算初始种群数取 80, 记忆细胞群数取 20, 交叉概率 $p_c = 0.9$, 变异概率 $p_m = 0.2$ 。

考虑到荷载试验前, 碾压机械自重和振动碾压的能量作用于现场填筑料, 坝料已经存在较大的初始应力。在荷载试验的初期, 荷载引起的应力低于前期初始应力而处于超固结状态, 此时坝料变形

模量较高, 计算时采用前期初始固结应力。

3.2.1 3B I 堆石料

试验对填筑区的空间位移场进行了全方位观测, 反演分析首先需确定目标函数式 (3) 中各测点的权系数 ω_{ij} 。经试算分析, 可能由于试验时的加载干扰和承载板尺寸效应的影响, 荷载板表面测点计算预测值与实际测量值偏离相对较大, 导致目标函数值达到 0.28 (见图 5), 反演精度较低。为此, 反演计算时调整该测点权系数为 0.05, 其余测点的权系数相等。

图 4 (a) 为荷载板位置 (A 孔) 不同高程测点铅直向变形的拟合分布, 图 4 (b) 为离荷载板中心点 1 m 位置 (D 孔) 不同高程测点水平变形的拟合分布。反演分析得到的邓肯 E-B 非线性模型参数见表 1 的第 3 行。

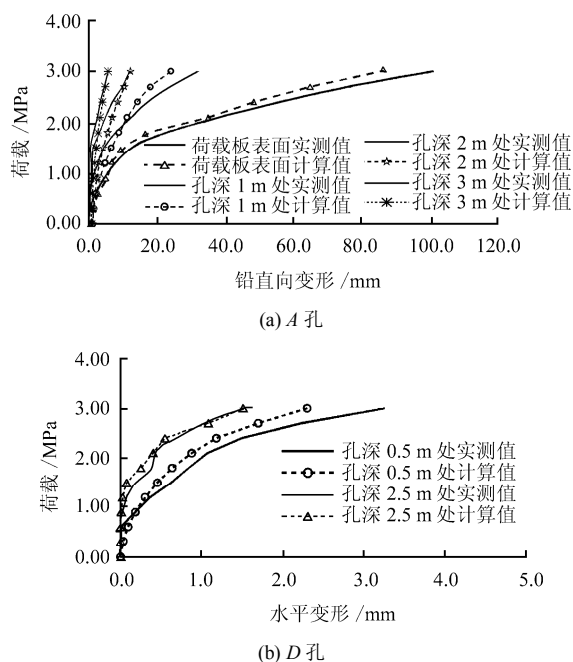


图 4 堆石料荷载板现场试验成果反演图
Fig.4 Back analysis results of rockfill material

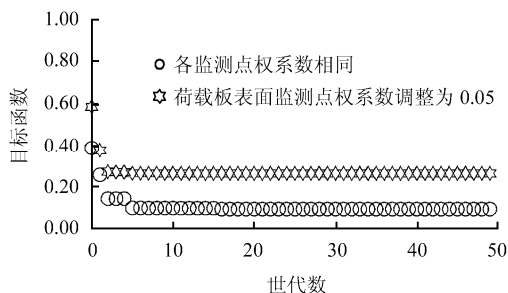


图 5 反演分析目标函数变化过程
Fig.5 Change process of target function

表1 堆石料(3B I)的E-B模型试验与反演参数

Table 1 E-B model test of rockfill material (3BI) and back analysis parameters

试验类别	R_f	K	n	K_b	m
室内三轴试验 ^[10]	0.95	620	0.66	250	0.13
现场荷载板试验反演	0.78	453	0.32	207	-0.12
现场荷载板试验反演*	0.78	437	0.33	213	-0.11

可见现场原级配粗粒料载荷试验反演参数明显低于室内三轴试验参数, K 值低了约 50%。其中 m 值为 -0.12, 分析原因可能是 3B I 料为爆破开挖料, 颗粒为多棱角形状, 在高应力状态下, 存在较强的破碎现象, 试验中堆石料掺加 30% 的云母片岩后, 更加剧了这种破碎现象。

目前土石坝水平变形观测一般采用测斜管, 考虑到施工期填筑碾压干扰较大, 监测成果难以直接利用, 其反演分析主要利用铅直向变形构筑目标函数。为了解测点水平变形对反演参数的敏感性, 将目标函数式(3)只计入铅直向变形, 进行反演分析, 得到的邓肯 E-B 非线性模型参数见表 1 的第 4 行。可见, 当结合原级配粗粒料载荷试验反演参数时, 采用基于全局搜索的 IGA 反演分析方法, 在简单加载条件下, 与目标函数的构成考虑水平变形影响相比, 其反演参数值较为接近, 误差在 10% 以内。

3.2.2 3B II 砂砾料

反演分析得到的邓肯 E-B 非线性模型参数见表 2, 荷载板位置(A 孔)不同高程测点铅直向变形的拟合分布见图 6。为便于对反演成果进行更深入分析, 将室内三轴试验参数同时列于表 2, 并模拟三轴试验的加载条件, 将其对应不同围压下的应力-应变曲线示于图 7。

表2 砂砾料(3B II)的E-B模型试验与反演参数

Table 2 E-B model test of sandy gravel (3BII) and back analysis parameters

试验类别	R_f	K	n	K_b	m
室内三轴试验 ^[10]	0.86	1 000	0.48	5 000	0.34
现场荷载板试验反演	0.87	1 698	0.29	675	0.21

与 3B I 堆石料相反, 3B II 砂砾料现场反演得到的模型参数明显高于室内三轴试验值, 如现场原级配砂砾料的 K 值为 1 698, 比三轴试验值高出 70%, 滚圆的砂砾料颗粒比多棱角的堆石料颗粒有更强的抵抗剪切破碎的能力。结合应力-应变曲线图 7, 可见现场原级配砂砾料的切线弹性模量 E_t 高于室内三轴试验值; 对于体积变形而言, 在低围压下两者相当, 只有在高围压条件下, 现场原级配砂砾

料表现出少量破碎和颗粒滑移调整充填孔隙后, 才体现出更大的体积变形, 但其总量值相对较小, 如围压 2.0 MPa 时, 破坏时的极限体积应变为 2.0%, 此时三轴试样的破坏体积应变为 1.7%。根据泊松比的定义 $\nu_t = (0.5 - d\varepsilon_v / 2d\varepsilon_a)$ 可知, 相对缩尺后的室内三轴试验试样, 原级配堆石料的泊松效应减弱, 泊松比减小。

根据广义虎克定律, 切线弹性模量 E_t 增大, 使得堆石体变形减小; 而泊松比减小, 又可能导致堆石体横荷载方向的变形减小, 而作用荷载方向的变形增大。其对大坝变形的影响需要进一步深入研究。

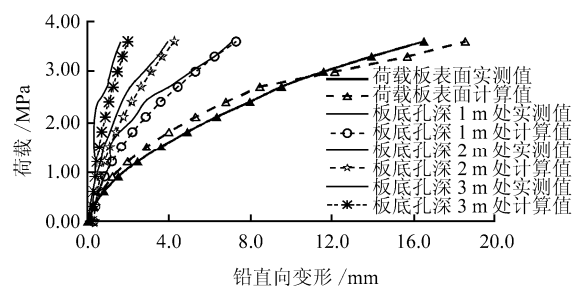


图6 砂砾料荷载板现场试验成果反演图

Fig.6 Back analysis results of sandy gravel

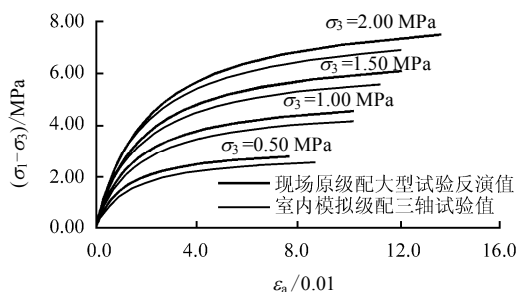
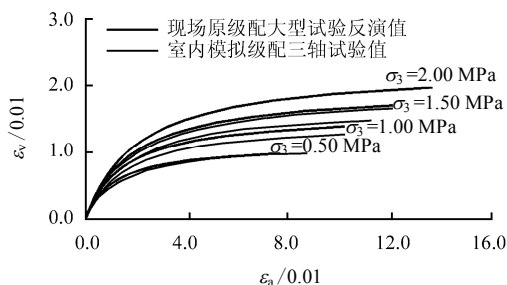
(a) $(\sigma_1 - \sigma_3) - \varepsilon_a$ (b) $\varepsilon_v - \varepsilon_a$

图7 砂砾料应力-应变特性曲线

Fig.7 Stress-strain characteristic curves of sandy gravel

5 结 论

(1) 建立了确定筑坝原级配粗粒料本构模型参数的有限元与 IGA 相结合的反演分析方法, 对解决

目标函数和本构模型参数之间具有极强非线性映射关系的土石坝筑坝材料力学特性反问题研究, 提供了一条有效的途径。

(2) 筑坝原级配粗粒料的邓肯 E-B 模型参数与室内三轴试验成果差异较大。对于 3B I 掺加 30% 云母片岩的爆破开挖料, 依据现场原级配粗粒料载荷试验的反演参数明显低于室内三轴试验参数; 对于 3B II 砂砾料的反演参数, 则高于室内三轴试验值。对于当今的 300 m 级高土石坝建设, 应该加强对原级配粗粒料的力学特性研究。

(3) 根据现场监测点水平变形对参数反演的敏感性分析结果, 当采用基于全局搜索的 IGA 计算时, 仅考虑铅直变形的本构模型参数反演成果基本满足工程精度要求。

参考文献

- [1] JAMAN, RALPH R W. The use of soft rock for R.D. Bailey dam[C]//The Transactions of the Twelfth ICOLD. Mexico: [s. n.], 1976: 321—335.
- [2] MARSAL R J. Mechanical properties of rockfill[C]//Proceedings of Embankment Dam Engineering. New York: John Wiley & Sons., 1973: 109—200.
- [3] 郭雪莽, 田明俊, 秦理曼. 土石坝位移反分析的遗传方法[J]. 华北水利水电学院学报, 2001, 22(3): 94—97.
GUO Xue-mang, TIAN Ming-jun, QIN Li-man. Displacement back analysis of embankment dam using genetic algorithm[J]. *Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power*, 2001, 22(3): 94—97.
- [4] 张社荣, 何辉. 改进的遗传算法在堆石体参数反演中的应用[J]. 岩土力学, 2005, 26(2): 182—186.
ZHANG She-rong, HE Hui. Application of improved genetic algorithm to back analyzing parameters of rockfill[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2005, 26(2): 182—186.
- [5] RUDOLPH G. Convergence properties of canonical genetic algorithms[J]. *IEEE Transaction on Neural Networks*, 1994, 5(1): 96—101.
- [6] 罗志军. 遗传算法的全局收敛性的齐次有限马尔柯夫链分析[J]. 系统工程与电子技术, 2000, 22(1): 73—76.
LUO Zhi-jun. The homogeneous finite Markov Chain analysis of global convergence for GA[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2000, 22(1): 73—76.
- [7] 吴敏毓, 刘恭植. 医学免疫学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1995.
- [8] 王煦法, 张显俊, 曹先彬, 等. 一种基于免疫原理的遗传算法[J]. 小型微型计算机系统, 1999, 20(2): 117—120.
WANG Xu-fa, ZHANG Xian-jun, CAO Xian-bin, et al. An improved genetic algorithm based on immune principle[J]. *Mini- Micro Systems*, 1999, 20(2): 117—120.
- [9] 王钟宁, 谢小平, 刘小生, 等. 公伯峡面板坝坝料的大型荷载试验[C]//第九届土力学及岩土工程学术会议论文集. 北京: 清华大学出版社, 2003: 965—970.
- [10] 公伯峡水电站枢纽工程混凝土面板堆石坝蓄水验收报告[R]. 西安: 水电顾问集团西北院, 2004.

《岩土力学》远程投稿系统将于 2010 年 1 月 1 日开始正式启用

《岩土力学》远程投稿系统将于 2010 年 1 月 1 日开始正式启用。该系统直接接受网上投稿, 网上专家审稿和网上办公, 进一步为审稿专家、作者及读者提供方便。

作者投稿时应先注册, 并填写相关信息, 随后可以实时了解稿件受理进程, 直至得到稿件的最终结果。新系统的网址为: <http://ytlx.whrsm.ac.cn/>