

裂隙黄土的单参数二元介质模型

范文^{1,2}, 闫芙蓉^{1,3}, 邓龙胜¹, 熊伟¹

(1. 长安大学地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2. 清华大学水利水电工程系, 北京 100084; 3. 河南理工大学土木工程学院, 河南 焦作 454000)

摘要: 为了研究裂隙黄土的结构和变形特性, 在岩土破损力学理论框架基础上, 把裂隙黄土视作由胶结块和软弱带组合而成的二元介质, 将二元介质模型运用于裂隙黄土的研究。通过模型计算分析, 得到裂隙黄土的单参数应力应变关系, 并将其与三轴试验结果进行了对比分析。结果表明, 将岩土材料二元介质模型应用于裂隙黄土特性的研究具有较好的适应性。

关键词: 裂隙黄土; 均匀化理论; 二元介质模型; 三轴试验

中图分类号: TU444 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4548(2009)11-1752-05

作者简介: 范文(1967-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 教授, 博士后, 主要从事岩土工程方面的教学和科研工作。E-mail: fanwen@chd.edu.cn。

Single parameter binary-medium model of fissured loess

FAN Wen^{1,2}, YAN Fu-rong^{1,3}, DENG Long-sheng¹, XIONG Wei¹

(1. School of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. School of Civil Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: On the basis of the theoretical framework of breakage mechanics for geo-material, the fissured loess can be regarded as a composite material consisting of bonded blocks and weakened bands, therefore, a fissured loess binary-medium model is formulated. Then the model will be applied to the study of fissured loess. By numerical calculation, the relationship of stress-strain can be obtained. A comparative analysis between the calculated results and triaxial tests is done. The results show that there is a good adaptability to apply the binary medium model to fissured loess.

Key words: fissured loess; homogenization theory; binary-medium model; triaxial test

0 引言

土体作为地质体的一部分, 经过漫长的地质作用, 赋存在一定的地质和应力环境中, 具有结构性、天然性和各向异性等^[1-3]。在过去的研究中, 往往把土体视为均质体, 但就土体本身而言, 内部广泛存在着大量的原始结构面、构造面、节理面等, 这些裂隙的存在不仅破坏了土体的连续性, 在裂隙尖端和界面处还会产生应力集中, 构成天然的滑移面和变形面; 而土体内部结构面的存在与扩展会使得土体的变形模量和强度参数降低, 渗透系数增大, 损伤加剧, 并呈强烈的各向异性。

国内外学者对裂隙岩体的力学模型做了大量的研究^[4-6], 而对裂隙土的力学模型研究进展比较缓慢。已有的模型, 由于参数的确定比较繁琐, 试验要求较高, 远未达到工程实用阶段。因此探索确定裂隙土实用的本构模型是工程实践中迫切需要解决的研究课题。

如何来描述黄土的结构特征及变形特性, 国内外许多学者进行了长期的研究^[7-8]。其中沈珠江院士提出

的岩土破损力学^[9-10]无疑是开创性的研究方法和思路。他在岩土破损力学的框架内, 提出把具有结构性的天然岩土材料抽象成由有胶结强度的结构体(弹脆性元)和无胶结的破碎体(弹塑性元)组成的二元介质, 荷载引起的总应力由胶结应力和摩擦应力共同承担, 破损引起的胶结应力丧失由摩擦应力代偿^[11-13]。这一研究方法可用于裂隙性黄土结构和变形特性的研究, 裂隙黄土内部存在裂隙充填物, 这些充填物一般比较松散, 是黄土中事先存在的软弱带, 如果裂隙充填物与由结构体转化成的破碎体力学性质相近, 就可以将其看成二元介质, 建立裂隙黄土的二元介质模型。

1 二元介质模型的基本表达式

1.1 均匀化理论

二元介质材料是一种非均质材料, 可以借用复合

基金项目: 中国博士后基金项目(2004036055); 国家自然科学基金项目(40972181); 教育部重点项目(109146)

收稿日期: 2008-07-22

材料的均匀化理论进行分析。根据均匀化的方法不同, 分为单参数均匀化理论和双参数均匀化理论。先从不均质材料中取出一个代表性单元, 设 $\{\sigma\}_1$ 、 $\{\varepsilon\}_1$ 和 $\{\sigma\}_2$ 、 $\{\varepsilon\}_2$ 分别为弹脆性和弹塑性元的局部应力和局部应变, $\{\sigma\}$ 和 $\{\varepsilon\}$ 为该单元的平均应力和平均应变, λ_v 为弹塑性元所占的体积率, 则按均匀化理论^[13-14]可得

$$\{\sigma\}(1-\lambda_v)\{\sigma\}_1 + \lambda_v\{\sigma\}_2, \quad (1a)$$

$$\{\varepsilon\} = (1-\lambda_v)\{\varepsilon\}_1 + \lambda_v\{\varepsilon\}_2. \quad (1b)$$

1.2 单参数均匀化理论增量表达式

假设弹脆性元在破损以前为理想弹性材料, 相应的弹性矩阵为 $[D]_1$, 而弹塑性元的弹性矩阵为 $[D]_2$, 其屈服函数和塑性势函数分别为 f_2 和 g_2 , 按式 (1) 的均匀化理论, 设 λ_v^0 为原有的体积破损率, $\Delta\lambda_v$ 为体积破损率的增量, $\lambda_v^0 + \Delta\lambda_v$ 为新的体积破损率, 则把增量前后的应力应变分别代入式 (1a) 和式 (1b) 后相减, 略去高阶小量后可得下列增量关系式

$$\{\Delta\sigma\} = \{\Delta\sigma\}_1 + \lambda_v^0(\{\Delta\sigma\}_2 - \{\Delta\sigma\}_1) + \Delta\lambda_v(\{\sigma\}_2^0 - \{\sigma\}_1^0), \quad (2a)$$

$$\{\Delta\varepsilon\} = \{\Delta\varepsilon\}_1 + \lambda_v^0(\{\Delta\varepsilon\}_2 - \{\Delta\varepsilon\}_1) + \Delta\lambda_v(\{\varepsilon\}_2^0 - \{\varepsilon\}_1^0), \quad (2b)$$

其中,

$$\{\Delta\varepsilon\}_2 = [D]_{ep}^{-1}\{\Delta\sigma\}_2,$$

$$\{\Delta\varepsilon\}_1 = [D]_1^{-1}\{\Delta\sigma\}_1,$$

$$\Delta\lambda_v = \left\{ \frac{\partial f_1}{\partial \{\sigma\}_1} \right\}^T \{\Delta\sigma\}_1.$$

代入 (2b) 以及利用式 (1a) 和 (1b) 消去 $\{\sigma\}_2^0$ 和 $\{\varepsilon\}_2^0$ 后, 可得到下列应力应变关系式:

$$\begin{aligned} \{\Delta\varepsilon\} &= [D]_{ep}^{-1}\{\Delta\sigma\} - (1-\lambda_v^0)[D]_{ep}^{-1} - [D]_1^{-1}[A]\{\Delta\sigma\} + \\ &\frac{1}{\lambda_v^0}([D]_s^{-1} - [D]_{ep}^{-1} + [D]_{ep}^{-1}[C] - [D]_1^{-1}[C])\{\sigma\}^0\{B\}[A]\{\Delta\sigma\}, \end{aligned} \quad (3)$$

式中

$$[D]_{ep}^{-1} = [D]_2^{-1} + a \frac{\partial g_2}{\partial \{\sigma\}_2} \left\{ \frac{\partial f_2}{\partial \{\sigma\}_2} \right\}^T, \quad (4)$$

$$[D]_s^{-1} = \frac{\{\varepsilon\}^0}{\{\sigma\}^0}, \quad (5)$$

$$\{B\} = \frac{\partial f_1}{\partial \{\sigma\}_1}, \quad (6)$$

$$[A] = \frac{\partial \{\sigma\}_1}{\partial \{\sigma\}} = [C] + \frac{\partial [C]}{\partial \{\sigma\}}\{\sigma\}. \quad (7)$$

上式表明, 总应变增量由三部分组成, 第一部分是弹脆性元的应变增量, 第二部分是弹塑性元的应变增量, 第三部分则因 $\Delta\lambda_v$ 而引起, 即部分弹脆性元破损的结果。

2 参数的演化规律

上述基本表达式中需要确定 $[D]_1$, $[D]_{ep}$, λ_v 和 $[C]$ 四个参数的演化规律, 下面分别进行讨论。

2.1 弹脆性元的变形

取一个由大量微元组合而成的代表性体积单元, 每个微元破裂以前均为弹脆性元, 破裂以后转化为弹塑性元, 所有微元破裂以前弹脆性元的模量 E_1 和破裂以后的弹塑性元的模量 E_2 均为常量, 且破裂前后的泊松比也相同, 假定所研究的土体材料在破损以前是弹性材料, 可用线弹性模型来描述, 可以通过原状土的室内常规三轴排水剪切试验测定。

其应力应变关系为

$$\{\sigma\} = [D]_1\{\varepsilon\}, \quad (8)$$

刚度矩阵 $[D]_1$ 可以表示为

$$[D]_1 = \begin{bmatrix} d_1 & d_2 & d_2 \\ d_2 & d_1 & d_2 \\ d_2 & d_2 & d_1 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

其中,

$$d_1 = \frac{E_1(1-\mu_1)}{(1+\mu_1)(1-2\mu_1)},$$

$$d_2 = \frac{E_1\mu_1}{(1+\mu_1)(1-2\mu_1)}.$$

2.2 弹塑性元的变形

结构带的本构模型设为弹塑性, 弹塑性元的应力应变特性本文用修正的剑桥模型来描述的, 其参数确定是通过对重塑土试验结合已有资料综合确定。采用椭圆形屈服函数

$$F = \sigma_m \left(1 + \frac{\eta^2}{\eta_c^2} \right), \quad (10)$$

并采用相适应的流动规则, 以塑性体应变为硬化参数。当采用等值面理论时, 此模型的塑性系数

$$A = \frac{c_c - c_s}{p(1-\eta^2/\eta_c^2)}. \quad (11)$$

其中, $\sigma_s = \frac{1}{\sqrt{2}}[(\sigma_1 - \sigma_2) + (\sigma_2 - \sigma_3)(\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{\frac{1}{2}}$,

$\eta = \frac{\sigma_s}{\sigma_m}$; c_c , c_s 分别为两个参数, 与常见的压缩指数

和回弹指数相乘一个乘数 $\frac{0.4343}{1+e_0}$ 。

弹塑性刚度矩阵

$$[D_{ep}] = [D]_2 - \frac{[D]_2 \left[\frac{\partial F}{\partial [\sigma]} \right] \left[\frac{\partial F}{\partial [\sigma]} \right]^T [D]_2}{A + \left[\frac{\partial F}{\partial [\sigma]} \right]^T [D]_2 \left[\frac{\partial F}{\partial [\sigma]} \right]}, \quad (12)$$

$[D]_2$ 为弹性刚度矩阵, 其表达式为

$$[D]_2 = \begin{bmatrix} d_3 & d_4 & d_4 \\ d_4 & d_3 & d_4 \\ d_4 & d_4 & d_3 \end{bmatrix}, \quad (13)$$

其中,

$$d_3 = \frac{E_2(1-\mu_2)}{(1+\mu_2)(1-2\mu_2)},$$

$$d_4 = \frac{E_2\mu_2}{(1+\mu_2)(1-2\mu_2)}.$$

2.3 破损参数演化规律

模型中的破损率属于结构参数, 由于岩土材料是天然形成的, 其内部结构参数实际上是无法测定的, 唯一可行的办法是通过试验间接测定。具体的说就是先假设不同的参数演化规律, 用式(3)算出应力应变曲线, 并与实测的应力应变曲线比较, 从中选出最优的参数。对于破损参数 λ_v 的确定, 由于其与弹脆性元的破裂强度有关, 且随着外加荷载的变化而变化, 其值应从稍大于零的值变化到小于1的某一个值。但总的趋势为加荷初始单元体内伴随有少量弹脆性元的破坏, 随着荷载的增加弹脆性破裂的比率也逐步增加。据文献[13~15], 采用服从 Weibull 分布的破损率可以较好地模拟岩土试样的破损过程, 其破损率公式为

$$\lambda_v = \lambda_{v0} + a_v \left(\frac{q - q_0}{p_a} \right)^{m_v}. \quad (14)$$

式中 $q = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$; q_0

为破损开始扩展时的门槛应力, 取 100 kPa; p_a 为标准大气压 (101.4 kPa); λ_{v0} 为初始破损率; a_v , m_v 为计算参数。上述各式中的应力均指弹脆性元受到的局部应力。

2.4 应力集中系数的确定

应变集中系数反映了平均应变张量和局部应变张量间的关系, 可以为张量, 简化起见可以取为标量, $[C] = f_c(\{\sigma\})$, 由于岩土材料的结构和破损过程很复杂, 所以应力集中系数的确定只能通过参数拟合确定, 当取 $[C] = [I]$ 时, 有 $\{\sigma\} = \{\sigma\}_1 = \{\sigma\}_2$ 。

3 模型计算参数的确定

上述模型中共有 4 组参数需要确定, 分别是 E_1 , E_2 , E_s 和 μ_1 , μ_2 ; 压缩指数 λ 和回弹指数 k ; 计算参数 a_v , m_v 以及抗剪强度 c , φ 值。

假定胶结元的弹性模量随围压而变, 则

$$E_1 = E_2 \left(\frac{\sigma_{31}}{P_a} \right), \quad \mu_1 = \mu_2,$$

$$E_2 = \frac{(1-\mu_1-2\mu_1^2)}{1-\mu_1} E_s. \quad (15)$$

其中 E_s 由侧向压缩试验确定; 压缩指数 λ 、回弹指数 k 通过三轴等向压缩和回弹试验确定; 计算参数 a_v , m_v 采用计算曲线与试验曲线拟合, 根据最小二乘法选取最优拟合参数; c , φ 值则根据室内剪切试验确定。

4 模型的试验验证

为了说明裂隙黄土结构性模型的正确性和合理性, 以及模型参数确定的合理性, 在室内分别进行了马兰黄土原状与重塑土试样的常规三轴试验。原状土样采用陕西省三原县双槐树村黄土塬上探井和探槽中的黄土样。为了对比分析, 野外取样时, 特别取部分试样没有填充裂隙, 比较完整; 部分试样带填充裂隙, 且裂隙不同倾角。比较其力学性质的差异和原有损伤的影响, 其基本物理性质见表 1。

三轴试验采用的试样尺寸为 $\Phi 61.8 \text{ mm} \times 125 \text{ mm}$ 。原状土样试验方法采用常规三轴不固结不排水压缩试验, 试样未经饱和, 处于天然含水率情况下的非饱和状态; 重塑土样进行循环加载的三轴固结排水试验, 并量测体变。常规三轴试验中围压分别取 100, 200, 300 kPa, 剪切应变速率取每分钟 0.5%~1.0%。结束试验的条件为: ①当轴向应力出现峰值或变化不大时, 继续进行 5% 的轴向应变; ②从压力室外看到土样有明显的裂纹或错动; ③轴向应变达到 15%。

其中原状试样共有 6 组 18 件, 重塑土样 4 件。应用上面建立的二元介质模型, 对上述的马兰原状黄土中的一组常规三轴不固结不排水剪切试验结果进行了模拟计算, 针对围压分别为 100, 200 和 300 kPa 三种情况进行了计算, 所采用计算参数如表 2, 为了计算方便, 假定应力集中系数为单位矩阵, 即 $[C] = [I]$ 。从图 1 中可以看出来, 裂隙黄土的计算结果与不同围压下三轴压缩试验结果较为吻合, 模型在 100, 300 kPa 拟合程度较好, 200 kPa 拟合程度相对较差, 且在相等应力差情况下, 理论计算值比试验值要小, 另拟合精度不甚稳定, 原因有待进一步研究。但基本上能够反映裂隙黄土试样不同的变形阶段, 说明所建议的基于破损力学的二元介质模型对三轴压缩条件下的裂隙黄土有较好的适用性。

表 1 原状试样物理力学性质指标

Table 1 Physical and mechanical indices of loess

含水率 $w/\%$	比重 G_s	干密度 $\rho_d/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	液限 $w_L/\%$	塑限 $w_P/\%$	塑性指数 $I_P/\%$	液性指数 I_L	压缩系数 $a/(\text{MPa}^{-1})$	孔隙比 e_0
19.33	2.72	1.49	23.44	16.16	7.28	-0.56	0.415	0.82

表 2 单参数理论计算参数表
Table 2 Parameters in single parameter theory

参数	E_1 /MPa	E_2 /MPa	E_s /MPa	q_0 /kPa	c /kPa	$\varphi(^{\circ})$	λ	k	m_v	a_v	μ_1	μ_2
数值	12	2.4	16	100	21.7	24.8	0.325	0.013	0.01	0.015	0.3	0.3

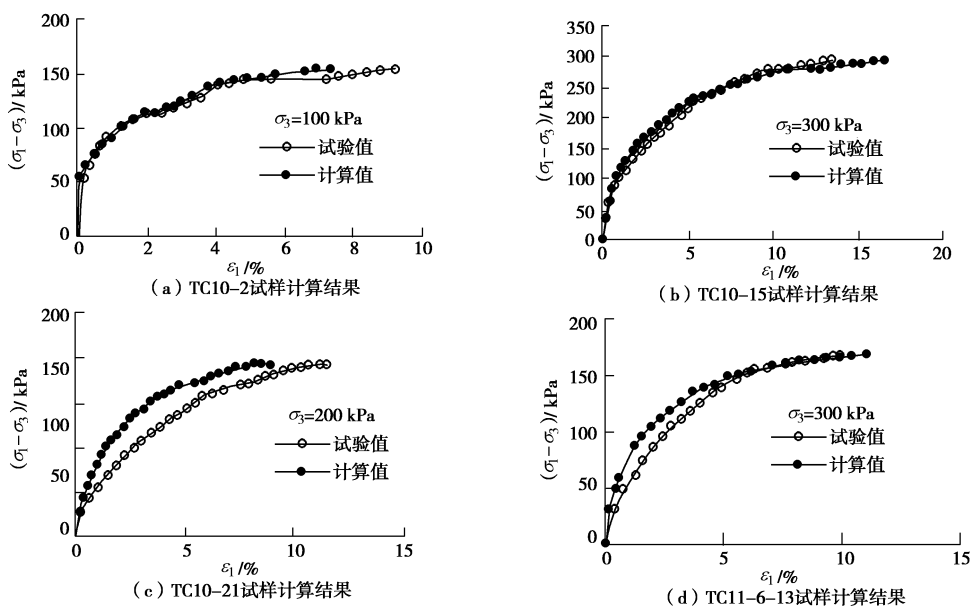


图 1 三轴排水试验结果与计算结果对比图

Fig. 1 Comparison between triaxial tests and calculated results

计算与试验结果的对比如图 1 所示。

5 结 论

- (1) 在岩土破损力学理论框架基础上, 把所研究的裂隙黄土视作由胶结块(弹脆性元)和无胶结的破碎体(弹塑性元)组合而成的二元介质材料, 给出一个适用于裂隙黄土的二元介质模型。
- (2) 取一个由大量微元组合而成的代表性体积单元, 每个微元破裂以前均为弹脆性元, 破裂以后转化为弹塑性元, 弹脆性元的模量通过原状土室内常规三轴试验确定, 弹塑性元的变形性质可由原状黄土样重塑后确定。
- (3) 结构参数(破损函数和应力集中系数)的确定是通过先假设后求证的办法从计算结果与试验结果曲线对比中间接测定。
- (4) 在常规三轴固结排水剪切试验条件下对模型计算结果与试验结果进行了对比分析。结果表明, 所建议的模型可以较好地模拟裂隙黄土的应力应变特性, 解决软化条件下的局部化问题, 像剪切带问题、裂缝扩展问题等, 具有广泛的应用前景。

参考文献:

[1] 吴 侃, 郑颖人. 黄土结构性研究[C]// 第六届全国土力学及基础工程学术会议论文集. 上海: 同济大学出版社,

1991: 93 - 96. (WU Kan, ZHENG Ying-ren. Study on structure of loess[C]// Proceedings of the 6th National Academic symposium on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Shanghai: Tongji University Press, 1991: 93 - 96. (in Chinese))

[2] 谢定义, 齐吉琳. 土结构性及其量化参数研究的新途径[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(6): 651 - 656. (XIE Ding-yi, QI Ji-lin. Soil structure characteristics and new approach in research on its quantitative parameter[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1999, 21(6): 651 - 656. (in Chinese))

[3] 蒋建平, 章杨松, 罗国煜. 土体宏观结构面及其对土体破坏的影响[J]. 岩土力学, 2002, 23(4): 482 - 485. (JIANG Jian-ping, ZHANG Yang-song, LUO Guo-yu. Macroscopical structure plane and its influence on failure of soil mass[J]. Rock and Soil Mechanics, 2002, 23(4): 482 - 485. (in Chinese))

[4] 曹文贵, 李 翔, 刘 峰. 裂隙化岩体应变软化损伤构模型探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(12): 2488 - 2494. (CAO Wen-gui, LI Xiang, LIU Feng. Discussion on strain softening damage constitutive model for fissured rock mass[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(12): 2488 - 2494. (in Chinese))

- [5] SHI Zi-hai, SUZUKI Masak, NAKANO Masaaki. Numerical analysis of multiple discrete cracks in concrete dams using extended fictitious crack model[J]. Journal of Structural Engineering, 2003(3): 324 - 336.
- [6] WHEELER S J, SIVAKUMAR V. An elasto plasticity critical state framework for unsaturated silt soil[J]. Geotechnique, 1995, **45**(1): 35 - 53.
- [7] 刘祖典. 黄土力学与工程[M]. 西安: 陕西科学技术出版. 1997. (LIU Zu-dian. Mechanics and engineering of loess[M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1997. (in Chinese))
- [8] 邢义川, 骆亚生, 李 振. 黄土的断裂破坏强度[J]. 水力发电学报, 1999, **4**: 36 - 43. (XING Yi-chuan, LUO ya-sheng, LI Zhen. The rupture failure strength of loess[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 1999, **4**: 36 - 43. (in Chinese))
- [9] 陈铁林, 沈珠江. 岩土破损力学的系统论基础[J]. 岩土力学, 2004, **25**(增 2): 21 - 26. (CHEN Tie-lin, SHEN Zhu-jiang. System approach of breakage mechanics for geological materials[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, **25**(S2): 21 - 26. (in Chinese))
- [10] 沈珠江. 岩土破损力学与双重介质模型[J]. 水利水运工程学报, 2002(4): 1 - 6. (SHEN Zhu-jiang. Breakage mechanics and double-medium model for geological materials[J]. Hydro-science and Engineering, 2002(4): 1 - 6. (in Chinese))
- [11] 沈珠江, 胡再强. 黄土的二元介质模型[J]. 水利学报, 2003(7): 1 - 6. (SHEN Zhu-jiang, HU Zai-qiang. Binary medium model for loess[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2003(7): 1 - 6. (in Chinese))
- [12] 刘恩龙. 岩土结构块破损机理与二元介质模型研究[D]. 北京: 清华大学, 2005. (LIU En-long. Research on breakage mechanism of structural blocks and binary medium model for geomaterials[D]. Beijing: Tsinghua University, 2005. (in Chinese))
- [13] 沈珠江, 刘恩龙, 陈铁林. 岩土二元介质模型的一般应力应变关系[J]. 岩土工程学报, **20**(5): 489 - 494. (SHEN Zhu-jiang, LIU En-long, CHEN Tie-lin. Generalized stress-strain relationship of binary medium model for geological materials[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, **20**(5): 489 - 494. (in Chinese))
- [14] 范 文. 黄土中变形局部化问题研究[D]. 北京: 清华大学, 2006. (FAN Wen. Study on the deformation localization of loess[D]. Beijing: Tsinghua University, 2006. (in Chinese))
- [15] WANG J G, LEUNG C F, ICHICAWA Y. A simplified homogenization method for composite soils[J]. Computers and Geotechnics, 2002, **29**: 477 - 500.

第四届中日岩土工程研讨会征文通知

第四届中日岩土工程研讨会将于 2010 年 4 月 12~14 日在日本冲绳召开。本次会议是继在北京、上海和重庆成功召开的前三届会议之后的又一届学术研讨会。本届研讨会由中国土木工程学会土力学及岩土工程分会和日本地盘工学会主办, 承办单位为日本地盘工学会国际部。研讨会将致力于深入交流、学习中日两国在岩土力学与岩土工程领域的最新研究成果, 探讨岩土力学与岩土工程的发展趋势, 为中日两国从事岩土力学理论研究和工程应用的学者搭建一个共同研讨岩土工程发展方向和领域的学术平台。热诚欢迎国内从事岩土理论研究和工程应用的专家、学者、研究生以及工程技术人员积极投稿并参加会议。

会议专题

- | | |
|-----------|-------------|
| 1. 地下空间技术 | 2. 环境岩土工程 |
| 3. 地基处理 | 4. 防灾减灾 |
| 5. 桩基工程 | 6. 隧道工程 |
| 7. 地震工程 | 8. 土的特性及其模拟 |
| 9. 数值模拟 | 10. 重大工程实例 |

重要日期

论文提交全文截止日期为 2009 年 11 月 30 日; 录用通知日期为 2009 年 12 月 15 日; 修改稿提交截止日期为 2010 年 01 月 15 日。

论文要求

1. 论文内容务必实事求是, 不得侵犯他人著作权, 不涉及保密内容, 文责自负。
2. 论文文字为英文, 要求论点明确, 论据可靠, 数据准确, 文字精炼, 引用文献明确出处。
3. 论文要体现作者的研究前沿。
4. 请务必注明作者详细通讯地址、邮编、联系电话及 E-mail 地址。

联系人: 侯 伟 (13811891258)

投稿邮箱: E-mail: foursinojapanconf@163.com

地址: 北京市海淀区学院路 37 号北京航空航天大学交通科学与工程学院 100191。

(北京航空航天大学交通科学与工程学院 供稿)