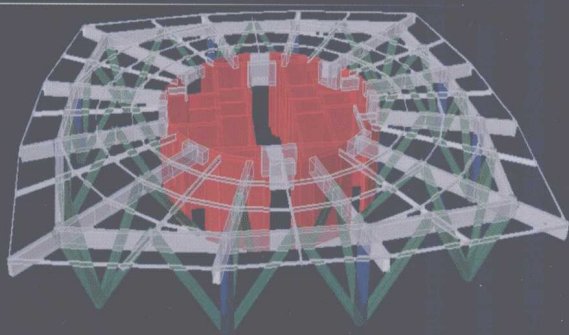


力学与工程

2007

刘伟庆 凌祥 张大长 刘卫群 主编



知识产权出版社

力学与工程

2007

刘伟庆 凌 祥 张大长 刘卫群 主编



知识产权出版社

内容简介

本书收录了有关力学与工程的新技术、新发展新材料等方面的研究论文40篇,内容涉及江苏省在力学、机械动力、土木水利、航空航天、交通运输、矿山冶金、化学生物、船舶等方面的研究成果。各项研究成果比较全面地反应了目前江苏省这些领域的最新动态及进展,可供力学与工程相关专业的研究人员以及技术人员和相关专业的研究生参考。

责任编辑:李 坚 孔 玲 责任出版:杨宝林

装帧设计:段维东

图书在版编目(CIP)数据

力学与工程. 2007/刘伟庆等主编. —3版. —北京:

知识产权出版社, 2007. 5

ISBN 978-7-80198-047-2

I. 力… II. 刘… III. ①力学-文集②工程力学-文集 IV. 03-53 TB12-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 058167 号

力学与工程 2007

刘伟庆 凌祥 张大长 刘卫群 主编

出版发行: 知识产权出版社

社 址: 北京市海淀区马甸南村1号

网 址: <http://www.ipph.cn>

发行电话: 010-82000893 82000860 转 8101

责编电话: 010-82000860 转 8025

印 刷: 北京市兴怀印刷厂

开 本: 787mm×1092mm 1/16

版 次: 2007年5月第1版

字 数: 388千字

ISBN 978-7-80198-047-2/T·122(1406)

邮 编: 100088

邮 箱: bjb@cnipr.com

传 真: 010-82000893

责编邮箱: lijian@cnipr.com

经 销: 新华书店及相关销售网点

印 张: 15

印 次: 2007年5月第1次印刷

定 价: 45.00元

版权所有 侵权必究

如有印装质量问题,本社负责调换。

前 言

为推动江苏省青年力学工作者的研究成果和先进思想的交流,增强江苏省青年力学工作者的使命感和责任感,更好地发挥江苏省青年力学工作者在促进江苏科技水平提高中的作用,继2005年4月南京工业大学的江苏省力学学会青年力学论坛、2006年5月河海大学的江苏省力学学会青年力学论坛(与苏港力学论坛同期举行)后,江苏省力学学会青年工作委员会将于2007年5月在中国矿业大学(中国徐州)举办。

为了开好这次论坛,成立了以刘伟庆教授为主任的会议组织委员会,凌祥教授和张大长副教授负责了会议征文以及论文集的审编工作。会议征文得到了省内有关高校、科研院所的积极响应,共收到论文50余篇,经大会学术委员会审查,40篇论文被收入会议论文集。

这次大会邀请了国内外多位从事力学及相关领域研究工作的知名专家到会作特邀学术报告,为我们介绍力学及相关领域的前沿专题和创新成果,从而拓宽年轻力学工作者眼界和思路以及引领我们不断追求创新的精神。

论文编辑过程中,得到知识产权出版社的热情支持和帮助。由于时间紧迫,水平有限,论文集中难免有疏漏和错误之处,敬请批评指正。

江苏省力学学会青年力学工作委员会
2007年4月

目 录

ANSYS 在随机介质渗流计算中的应用	宋 鑫 刘卫群 王 波 孙登松	1
高层建筑箱形转换层结构模型试验	丁 勇 刘伟庆 王贵华 袁雪芬	7
单步低要求相移数字全息	戴宜全 董萼良	14
基于 ANSYS 的钢筋混凝土梁裂缝非线性数值分析	张 莉 徐 敏	20
消能支撑体系对高层钢结构建筑抗震性能的影响分析	耿方方 刘伟庆	25
采动影响桥基应力及沉陷规律数值分析	樊秀娟 刘卫群	32
EFG 处理断裂问题	寇明龙 黄再兴	38
有效宽度取值对组合梁强度和刚度的影响	邓华东 董 军	43
具有分数阶阻尼的动力吸振器系统分析	陈炎冬 陈 宁	47
磁流变阻尼器结构减震控制仿真分析	张 晶 范 进 左晓宝	53
采场上层顶板破断规律的研究	李法善 董正筑 刘 俊 马立强	58
嵌岩桩入岩段承载性状试验研究	李俊伟 薛国亚 戴国亮	63
点连接预应力混凝土叠合板的静力试验研究分析	黄稼成 欧 谨 刘伟庆	68
基于有限元强度折减法的边坡稳定分析	邵 勇 任旭华	74
带撑双排桩支护结构的有限元分析	陆钧衡 郭 彤 卫龙武	79
非局部核的选择对应变局部化问题解的影响	姚 寅 黄再兴	86
CH ₃ SH 异构化反应的动力学研究	魏雪松 刘 俊 钮应喜	95
竖向载荷作用下半嵌入桩的沉降弹性解	胡 丰 龚维明 戴国亮 单 建	99
表面嵌贴 FRP 抗剪加固技术发展现状	宾羽飞 范 进	104
泰州长江大桥沉井施工降水对江堤影响的简析	洪家宝 陈缪芬 张磊磊 许永振	108
考虑硬化及包辛格效应时钢非线性本构模型的分析比较	刘言彬 曹素荣 张大长	113
碳纤维网增强细集料混凝土基体弹性常数的实验研究	余 斌 荀 勇 李玉寿 杜玉兵	118
桩基承台设计方法综述	过 超 卢 波 戴国亮 龚维明	123
岩石声发射活动的分维特征	季 明 沈晓明 高 峰	130
外壳预制核心现浇装配整体式结构 RC 梁 U 型外壳的制作方法	支正东 张大长 卢中强 刘亚非	134
地震载荷下混凝土重力坝的动力学响应分析	孙登松 刘卫群 宋 鑫	139
水平地震作用下带加强层的钢框架-支撑内筒结构受力性能分析	毛黎明 董 军	144
基于种群搜索的变空间混沌优化算法	姜冬菊 王德信	151
钢筋锈蚀混凝土受弯构件疲劳性能的试验研究	董福兴 范 进	157
梁柱不同承载力比值 RC 框架塑性铰发展特性的 Pushover 分析	曹素荣 张大长 陆 琦	162
桩筏基础空间桁架模型的方案设计与现场试验分析	卢 波 卢建峰 过 超 戴国亮 赵飞宇	173

锚杆动力无损检测的试验研究	李兴华 李青锋	178
单剪板连接节点的折算偏心距计算	李 选 胡夏闽	183
冲击载荷下复合板响应的有限元模拟	金 峰 王培荣 李炳田	189
MATLAB与有限元	李 卉 董 军	194
地下连续墙水平承载机理分析	黄 挺 戴国亮 李 辉 龚维明	200
非均匀材料断裂问题的有限元分析	石久波 黄再兴	206
钢-连续纤维复合筋拉伸力学性能试验研究	罗云标 吴 刚 吴智深 王燕华	213
南京新街口百货商店抗震设计	吴 栋 吴静坤 陶鹤进	219
U型插板钢管连接节点承载力特性的非线性有限元分析	吴龙升 孙伟民 张 鹏 闵 珍	226

ANSYS 在随机介质渗流计算中的应用

宋鑫 刘卫群 王波 孙登松

中国矿业大学理学院, 江苏徐州, 221008

摘要:结合 ANSYS 中概率计算 PDS 模块特点, 建立随机介质稳定渗流计算模型。设渗透系数的概率密度函数为高斯分布, 基于热分析与渗流计算的对应关系, 利用温度场模拟渗流场进而进行随机介质渗流的数值模拟分析。结果显示: 渗透系数为随机变量时, 单元流量与其线性相关性不大, 但呈递增变化; 计入单元水头随机性影响后, 文中方法更有利于建立定量描述关系等。合理使用 ANSYS 中的 PDS 模块可为渗流计算提供新思路并带来方便。

关键词:随机介质, ANSYS, PDS 概率模块, 温度场, 渗流

The Application of ANSYS on Stochastic media seepage

SONG Xin LIU Weiqun WANG Bo SUN Dengsong

College of science, China University of Mining
and Technology, Xuzhou, 221008, China

Abstract: A stochastic module for steady seepage was founded based on the characteristic of PDE-one module for probability analysis in ANSYS. Assuming that the probability density function of permeability is Gaussian distribution, temperature field was selected to simulate seepage in stochastic permeability media, considering the relationship between the analysis of temperature and seepage in ANSYS. The results show that when the permeability of media is a random variable, the flux in element increase with it, but there is little linear relationship between them; The method in this paper is propitious to get a quantificational result when the random influence on potential values in element is taken into account. Using the PDE rightly to solve the problem in seepage maybe is a good idea and an efficient way.

Keywords: Stochastic media, ANSYS, PDS probability module, Temperature field, Seepage

1 引言

在工程实际特别是岩土工程中的渗流计算领域中, 由于地层沉积过程的随机性导致传输介质的非均匀性和空间变异性, 而引起了渗透性能的空间变异性, 这种变异性又直接影响到水流的运动过程。20 世纪 90 年代以来, 随着对渗流场随机特性认识的深入, 人们把已经应用于结果随机分析的随机有限元方法引入到渗流场的随机分析中^[1]。目前随机渗流场分析应用较多的是 Monte Carlo 法, 该方法精度高, 计算结果统计信息丰富, 但由于直接建立在大量确定性有限元计算的基础上, 计算量大是其主要缺点, 不适用分析大型工程问题。与随后的摄动

有限元法(PSFEM)相比,当样本容量足够大时, Monte Carlo 有限元法的结果更可靠也更精确,并且程序实现也更容易。国内学者开发的摄动随机有限元程序主要是针对工程结构问题,而通过移植此程序来解决渗流问题尚有难度。也有一些利用随机有限元程序来研究随机渗流的文献^[2,3,4],但从程序的规模、前后处理方面以及普适的角度来看,尚待发展。因此本文考虑利用 ANSYS9.0 中的概率设计模块(PDS)应用于随机渗流的计算。充分利用大型商业有限元计算软件完善的前后处理及其优质的计算能力,以及功能强大的二次开发语言 APDL。总的来说这是一项新的尝试,为相关领域的工作人员们提供计算参考。

2 ANSYS 中概率设计模块(PDS)介绍

概率设计技术是用来评估输入参数的不确定性对于系统输出的影响行为及其特性。在确定性有限元分析中,有限元问题的所有参数都是确定不变的,如几何拓扑形状和尺寸是确定的,材料属性是确定的,载荷也是确定的,计算得出的结果参数也是确定的,有限元的概率设计技术是针对有限元分析过程中的某些不确定性的输入参数(如本文中提到的,渗透率以及边界水头分布)对分析结果参数(如本文关心的节点或单元的水头值和流量值)的影响方式和影响程度。将有限元技术与概率设计技术相结合,就是基于有限元的概率设计,即 ANSYS 程序提供的 PDS 技术(Probabilistic Design System)。在有限元分析的过程中,将问题的某些输入参数描述成服从某种概率密度分布的不确定性变量,并经过大量的采样点计算统计分析出系统响应参数的分布特性、影响关系影响程度等。图 1 显示了 ANSYS 概率设计过程的数据流模型。

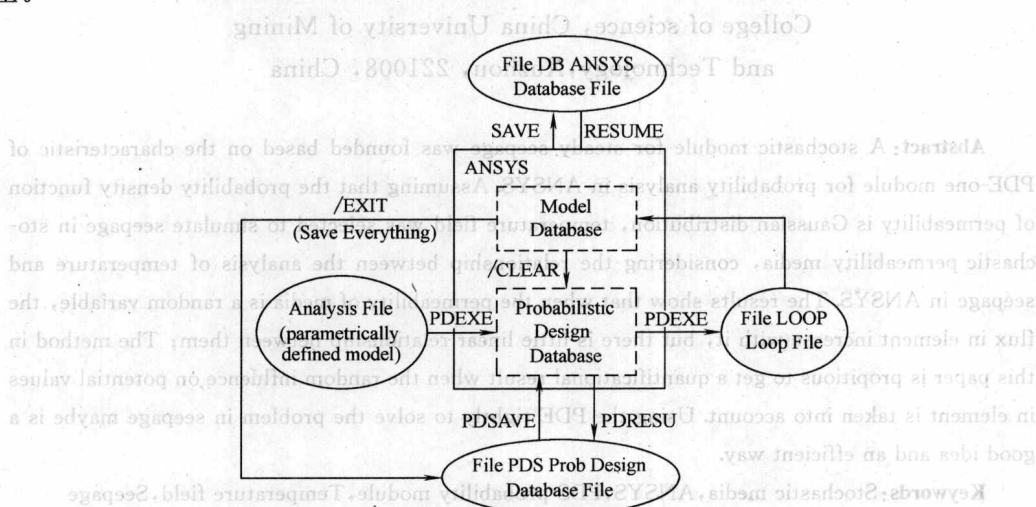


图 1 ANSYS 概率设计过程数据流模型

3 随机介质稳定渗流计算模型

依据线性渗流的达西定律: $v_x = -k_x \frac{\partial h}{\partial x}$, $v_y = -k_y \frac{\partial h}{\partial y}$, $v_z = -k_z \frac{\partial h}{\partial z}$, 将其带入不可压缩流体在刚体介质中流动的连续性方程可得确定性稳定渗流的微分方程:

$$\frac{\partial(k_x \frac{\partial h}{\partial x})}{\partial x} + \frac{\partial(k_y \frac{\partial h}{\partial y})}{\partial y} + \frac{\partial(k_z \frac{\partial h}{\partial z})}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

式中, h 为水头函数, k_x, k_y, k_z 分别为以 x, y, z 轴为方向的主渗透系数。每一流动过程都是在限定的空间流场内发生的, 沿这些流动边界起支配作用的条件称之为边界条件, 从描述流动的数学模型来看, 边界条件有以下三类:

第一类边界条件为边界上给定位势函数或水头分布, 即 $h|_s = f_1(x, y, z)$

第二类边界条件为边界上给出位势函数或水头的法向导数, 即 $\left. \frac{\partial h}{\partial n} \right|_s = f_2(x, y, z)$

第三类边界条件为混合边界, 一般表示为水头与交换流量之间的线性关系, 即 $h + \alpha \frac{\partial h}{\partial n} = \beta$

若介质渗透性为各向同性, 即 $k_x = k_y = k_z$, 这是目前研究领域内多见的研究稳定渗流时采用的微分方程, 是基于连续和均匀介质的假说之上的渗流力学; 不能考虑孔隙介质的微观空间构成对渗流行为的影响。周宏伟对随机现象进行了尝试并得出了一些有价值的结论^[5]。若考虑 k_x, k_y, k_z 的随机性, 必然要利用概率统计的思想考察它的空间随机场分布, 通过大量的工程实测数据, 确定其分布函数最终引入渗流方程进行结果概率分析。蒙特·卡罗方法 (Monte Carlo method) 是 20 世纪 40 年代中期被提出的一种以概率统计理论为指导的一类非常重要的数值计算方法。它的基本原理是: 设有统计独立的随机变量 $X_i (i=1, 2, 3, \dots, k)$, 其对应的概率密度函数分别为 $f_{x_1}, f_{x_2}, \dots, f_{x_k}$, 功能函数式为 $Z = g(x_1, x_2, \dots, x_k)$ 。首先根据各随机变量的相应分布, 产生 N 组随机数 $x_1, x_2, \dots, x_k$ 值, 计算功能函数值 $Z_i = g(x_1, x_2, \dots, x_k) (i=1, 2, \dots, N)$, 将其中的 L 组随机数对应的功能函数值 Z_i 与准则函数比较, 当 $N \rightarrow \infty$ 时, 根据伯努利大数定理的特性最终可以得出目标函数值的发生概率。由于回避了随机性问题中概率分析的数学困难, 不管状态函数是否非线性、随机变量是否非正态, 只要模拟的次数足够多, 就可得到一个比较精确的结果概率。具体应用于渗流计算, 随机的输入变量可取为水头和渗透率, 依据工程实践利用统计的方法估计其大概的概率密度分布, 之后提取样本进行分布式的确定性计算, 确定性计算时只根据现有前面的稳定渗流的微分方程并带入相应的边界条件即可。输出变量可取为流场任意位置的水头或流量的统计分布规律, 另外可以人为预先设定一定的准则函数, 分析出流场中设计者关心位置的高于某一限定值的概率值。

4 随机介质渗流的 ANSYS 数值模拟

4.1 ANSYS 热分析与渗流计算

由于 ANSYS 中没有直接可以计算渗流的模块, 但考虑温度场的微分方程、边界条件以及理论基础的相似性方面与渗流场在数学计算的角度是一致的, 因此应用既有的 ANSYS 热分析模块就可以模拟渗流场的计算了, 正是利用这样的方法对大坝渗流进行了数值模拟, 得出的结果与专业的渗流软件基本一致^[5]。

在 ANSYS 中, 温度场的控制方程是:

$$\rho c \left[\frac{\partial T}{\partial t} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right] = \dot{q} + \frac{\partial}{\partial x} \left[k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right]$$

此式为有热源时的各项异性非均质瞬态热传导微分方程, 式中 ρ 为介质密度, $\dot{q}$ 为单位体积热生成率, $\vec{v}$ 为热质量传输速度向量。将渗流问题看作是温度问题的特殊形式, 将温度置换成测压管水头, 传热系数置换成渗透系数, 同时取比热 c 和热生成率以及质量传输速度为零, 边界条件相应变为已知水头以及渗流速度就可以用温度场来模拟渗流场的计算了。表 1 是在应用温度模拟渗流计算时, 对应参数的关系, 具体计算时必须需严格参照。

表 1 渗流场与温度场各项参数的比较

	位函数	特征参数		源强
渗流场	测压管水头 h	渗透系数 k	单位贮存量 S	外渗强度
温度场	温度 t	传热系数 k	比热 c	热生产率

4.2 有限元随机模型的建立与求解

使用 ANSYS 模拟挡水板的水渗透,取简化模型为单一正方形区域。边长为 1m,各边划分 10 个单元。单元网格为 Thermal Solid, PLANE55。单元划分及边界条件如图 2 所示,左右两侧设定为水头边界,左侧边界全高 1m,右侧边界全高 0.5m。设挡水板两侧水位为服从高斯分布的随机变量,同时设定其相关系数为 0.6。设挡水板渗透性服从高斯分布规律。首先进行确定性分析,存储为后缀为 MAC 的文件作为执行概率分析的基本循环文件。进行概率分析,首先设定所需的输入输出变量:取 x 方向渗透系数均值 $kx=0.5$,方差 0.1。左边界水头均值 $Temp1=287$,方差 20。右边界水头均值 $Temp2=278$,方差 15(以上各数据单位只要是一封闭单位系统即可,本文以介绍数值分析方法为主暂忽略单位)。左右边界水头相关系数设为 0.6。EXFLUX(80)表示单元 80 的流量,TEMP(80)为单元 80 的水头。导入确定性分析文件(*.MAC),PSD 可以根据输入输出变量和问题的类型自动选择求解方式,本文选择 Monte Carlo 法。观察流速矢量图 3 显示,单元 80 处流速达到最大,取其为代表,提取随机计算结果并分析。图 4~图 5 是渗透系数分别与 80 单元处的流速和水头的多项式拟合关系。图 6~图 7 是两侧边界水头与 80 单元处流速的多项式拟合关系图。图 8~图 10 是渗透系数以及单元流速和水头的趋势图。图 11 显示了边界与单元水头灵敏度关系。

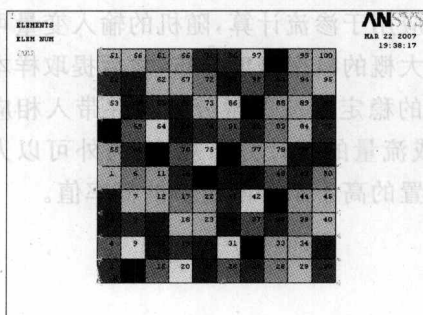


图 2 挡水板单元网格与边界条件

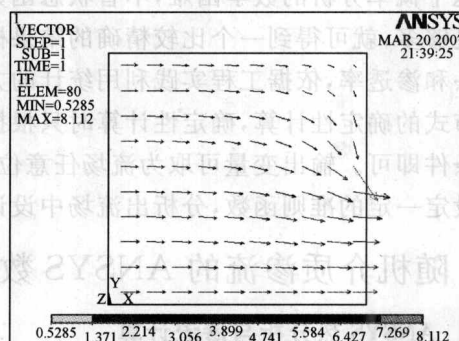


图 3 流速矢量图

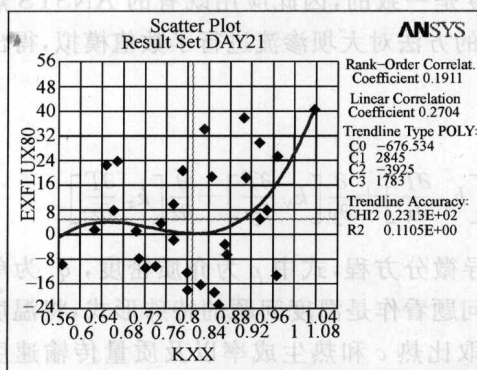


图 4 渗透系数与流速多项式拟合图

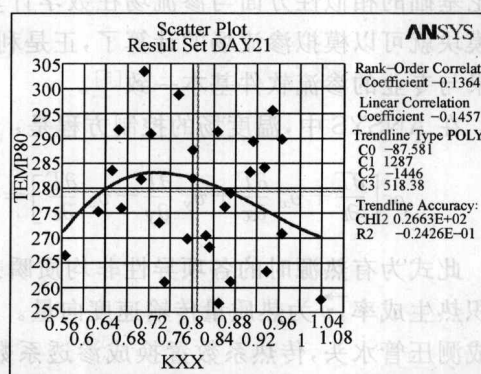


图 5 渗透系数与水头多项式拟合图

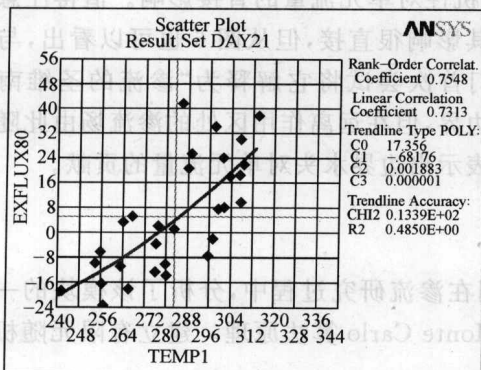


图6 左边界水头与流速的散点图

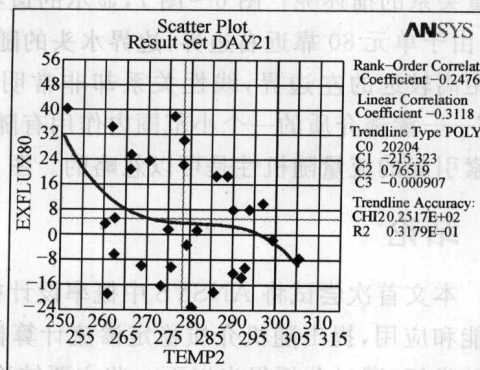


图7 右边界水头与流速的散点图

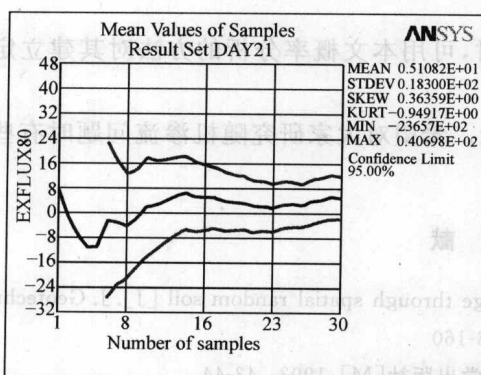


图8 置信度 0.95 的流速曲线图

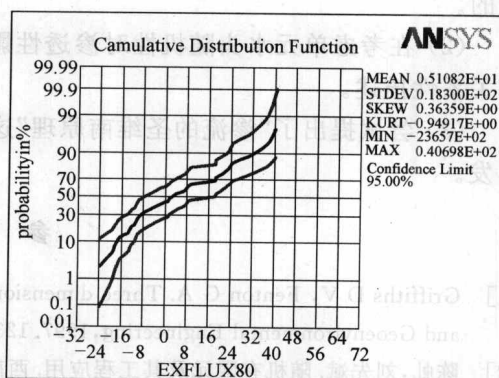


图9 流速累积概率曲线图

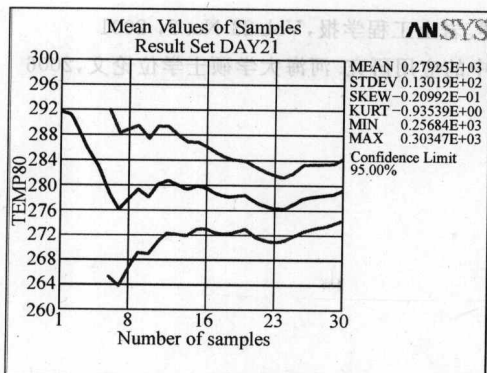


图10 水头曲线趋势图

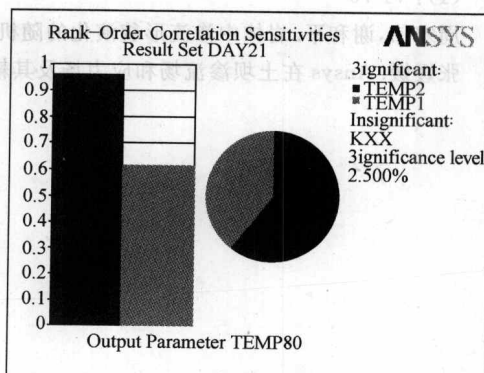


图11 边界与单元水头灵敏度分析

数值试验方法是揭示类似岩石等随机介质各种规律的有效工具。它能形象并清晰的模拟复杂介质运动规律的过程并可以量化研究。图4显示在渗透系数为随机变量情况下,单元的流量与其线性相关性很小,图中虽然又采用三次多项式来拟合数据点,但其相关度也仅为0.1911,数据颠簸很不稳定。递增规律是一定的。图5显示:在渗透系数为随机变量情况下,单元水头与它的线性相关系数仅是一0.1457,与相应三次多项式曲线相关度也只是-0.1364。这种现象当然可以从渗透系数只与渗透介质的渗透属性相关来解释,但考虑到流固耦合,是否可以提示我们,当考虑单元水头随机性对渗透性影响的时候,这样的关系是对此类问题的一个

高层建筑箱形转换层结构模型试验*

丁 勇^① 刘伟庆¹ 王贵华¹ 袁雪芬²

1. 南京工业大学土木工程学院, 南京, 210009

2. 苏州市建筑设计研究院有限责任公司, 苏州, 215002

摘 要:高层建筑箱形转换层结构受力复杂, 受力机理不明确。国内外箱型转换层结构的分析方法研究不多, 特别是箱体的非线性阶段受力情况很难模拟。本文针对一个实际的箱型转换层结构的高层建筑, 抽象出其模型结构。通过对模型结构进行了竖向静力试验, 得出其受力特点, 为类似结构的设计提供参考。

关键词:高层建筑, 箱形转换层, 模型试验

Model Test of the Box Transfer Story Structure of Tall Building*

DING Yong^① LIU Weiqing¹ WANG Guihua¹ YUAN Xuefen²

1. College of Civil Engineering, Nanjing University of technology, Nanjing, 210009

2. Suzhou Architecture Design & Research Institute Co., Ltd, Suzhou, 215002

Abstract: Abstract: The box transfer story of tall Building is complex and mechanism is ambiguous by the force. The research in analysis method of the box transfer story structure are very few in domestic and foreign. Especially the force circs in nonlinear step of the box are hard to simulate. From a actual tall building of the box transfer story structure, this paper abstract its model structure. By the static test on model structure under vertical load, eliciting its force characteristic. Some suggestions that can be used in the similar engineering calculation and design have been put forward.

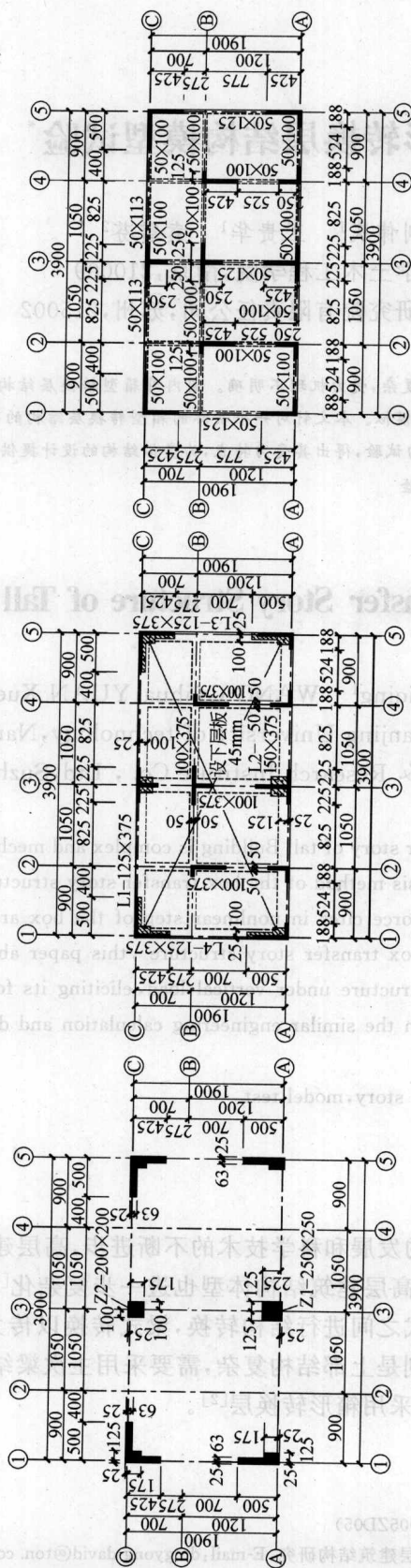
Keywords: tall building, box transfer story, model test

1 引言

近 20 多年来,随着我国社会经济的发展和科学技术的不断进步,高层建筑发展十分迅速,同时为满足各类高层建筑的功能要求,高层建筑结构体型也进一步复杂化^[1]。建筑物使用功能沿高度的多样化需要在不同结构形式之间进行结构转换,梁式转换以传力方式明确而应用最多,但转换梁截面尺寸通常很大,特别是上部结构复杂,需要采用主次梁结构体系时,多次转换传力路径长,受力复杂,规范明确:可采用箱形转换层^[2]。

* 基金项目:江苏省教育厅科技指导项目(JS2005ZD05)

① 丁勇(1981—),男,硕士研究生,主要从事高层建筑结构研究, E-mail:dingyong-david@ton.com



一层结构平面图(1)

一层结构平面图(2)

图 1 模型结构平面布置图

二、三层结构平面图

箱形转换层结构其实就是比带主次梁的梁式转换层结构多了一个下板,形成了整体,较好地发挥了空间结构性能;具有应力分布合理和抗弯、抗剪、抗扭刚度大等结构特性^[3]。目前已有多个工程采用了该种结构形式,如北京艺苑假日皇冠饭店、深圳亚洲大酒店、西安方兴大厦、苏州埃拉国际自由水岸工程等,均取得了良好的效果。

由于箱形转换层结构传力路径复杂,不清晰,现在对该结构体系的研究还不是很多,为了深入了解它的工作情况为以后的实际工程设计提出依据,以苏州埃拉国际自由水岸工程为工程背景,按 1:4 的缩尺比例制作静力试验模型,通过竖向静力试验,分析箱形转换层及相邻构件的受力机理和破坏形态。

2 试验概况

2.1 模型设计

试验模型共 3 层,模型比例为 1:4,模型示意图见图 1、图 2。试件内采用了钢筋和铁丝,转换层以上混凝土强度等级为 C40,转换层以下混凝土强度等级为 C30,模型总高度为 3.125m。

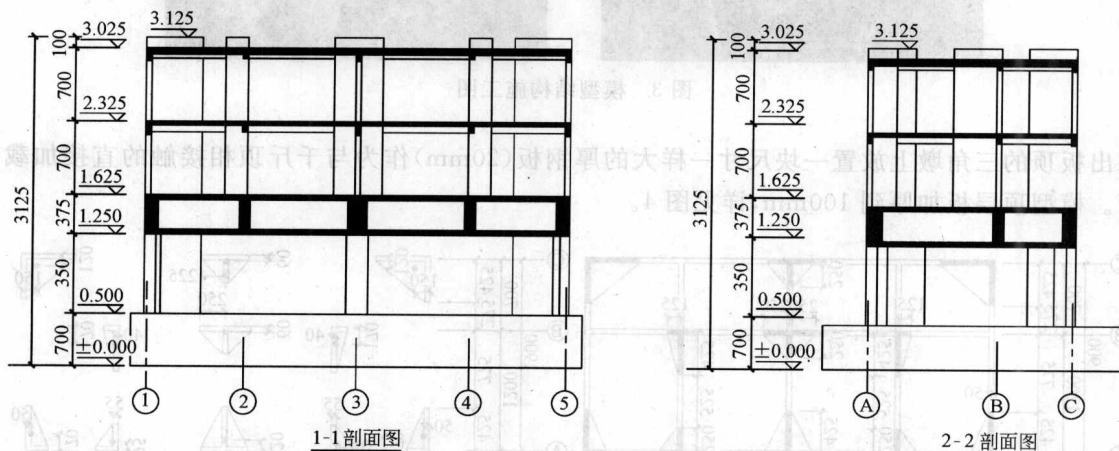


图 2 模型结构剖面图

2.2 模型制作

模型的配筋根据模型与原型结构的相似关系直接计算得到。

模型的制作大致分以下几个步骤:

钢筋下料、加工→贴钢筋应变片→扎筋、支模→浇注混凝土→拆模、模型养护→贴混凝土应变片。

箱型转换层的施工较复杂,首先将箱体的下板钢筋、转换梁的钢筋扎好,然后浇注箱体的下板,待下板浇注完毕,立即将塑料内模(内模事先切割成相应的形状,内模采用的是泡沫塑料)放进去,绑扎好箱体上板钢筋,浇筑转换梁和箱体上板。现场施工见图 3。

2.3 加载方案

本次试验模型采用竖向静载逐级加载的方式。在模型顶层剪力墙上施加竖向点荷载,模拟上部结构传递的集中荷载。

由于顶层剪力墙较多,考虑到加载的方便,以两片墙的形心作为一个加载点,总计 11 个点。顶层剪力墙高出加载层板面 100mm,由于墙体厚度较小,顶层墙扩大,形成三角墩,同时在模型顶层做了相关的处理,为了保证在加载时,不至于发生局部受压破坏且使加载均匀,在

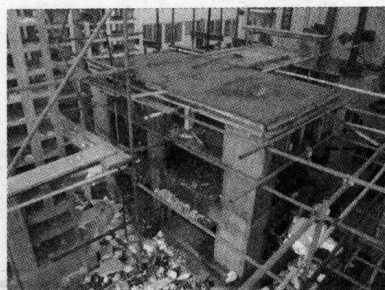
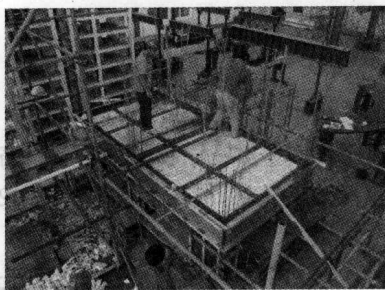
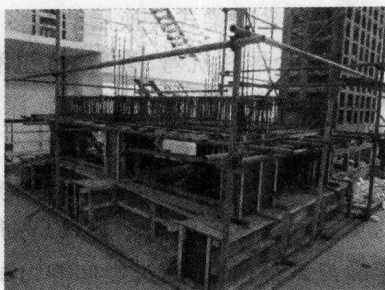


图3 模型结构施工图

突出板顶的三角墩上放置一块尺寸一样大的厚钢板(20mm)作为与千斤顶相接触的直接加载面。模型顶层板加厚到 100mm, 详见图 4。

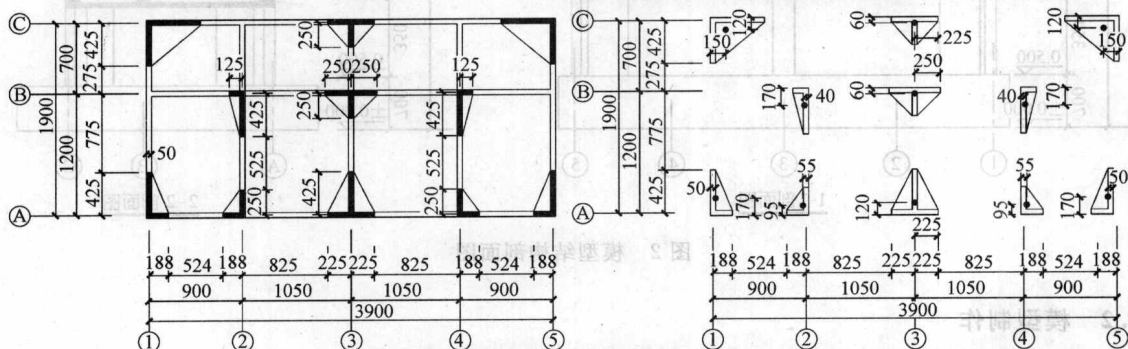


图4 加载点示意图

由 SATWE 计算文件得出原形结构 5 层几片墙底部的轴力相互比例关系, 得出加载点比例如, 图 5。

根据试验室的试验设备, 考虑到加载点数量以及加载通道的数目, 在局部放置分配梁, 液压加载通道 3 个, 手动加载通道 3 个, 作用于试验模型的竖向荷载利用千斤顶与固定在竖向反力架上的钢梁施加。千斤顶布置如图 6, 现场布置图如图 7。

2.4 量测内容及方法

(1) 荷载的测定。液压千斤顶施加的荷载直接由液压控制台读取; 手动千斤顶通过上面的荷载传感器(试验前校正标定好的传感器)连接的电子应变仪的数值来反映所加荷载的大小。

(2) 钢筋应变的测定。为了研究构件关键部位的钢筋应力分布特征及应力随荷载变化情

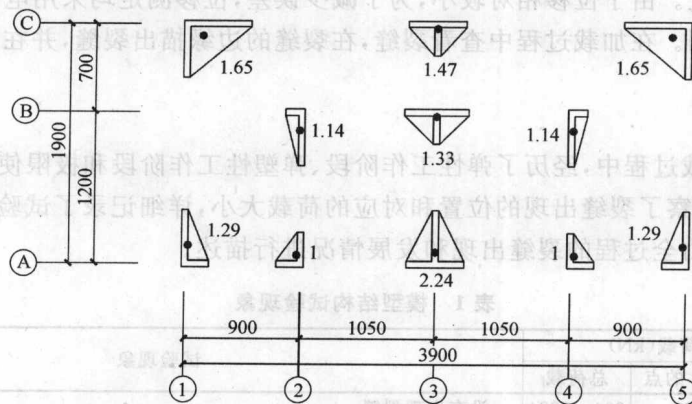


图 5 加载点比例图

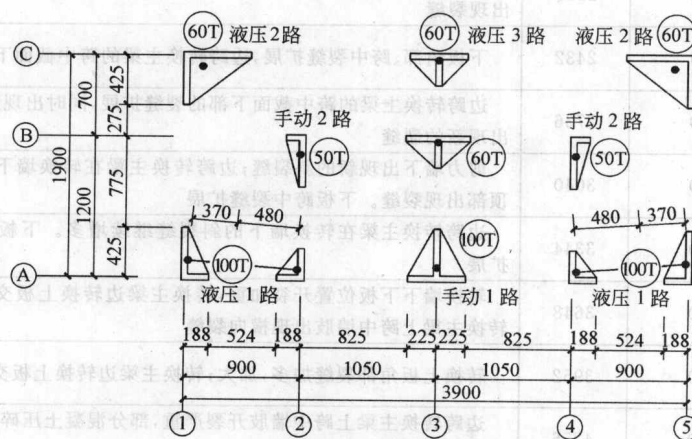


图 6 千斤顶布置图

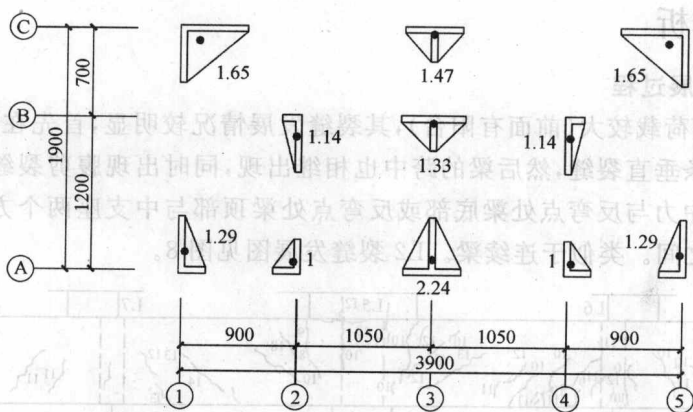


图 7 模型结构加载图

况,钢筋和铁丝上共粘贴 90 个 $3\text{mm} \times 2\text{mm}$ 电阻应变片,使用了平衡箱,3 台 DH3816 静态应变测试系统数据采集系统同时进行数据采集。

(3) 混凝土应变的测定。为了研究相应部位混凝土应变的变化情况,共粘贴 28 个 $3\text{mm} \times 2\text{mm}$ 电阻应变片混凝土应变,也接入 DH3816 静态应变测试系统进行数据采集。