

区域桥梁网络地震灾害监测与风险评估

—— 论文思路与文献调研

汇报人：雷晓鸣
导 师：孙利民



桥梁健康监测与振动控制研究室

Research Division on Structural Health Monitoring and Vibration Control

Xiaoming Lei
Ph.D Student
Department of Bridge Engineering
College of Civil Engineering
Tongji University

leixiaoming@outlook.com
+86 15316121025

目录

- ① 概述
Introduction
- ② 简化模型和参数选取
Simplified Model & Parameter Selection
- ③ GIS与几何建模
GIS & Geometric Modeling
- ④ 区域地震灾害模拟
Regional Earthquake Simulation
- ⑤ 区域地震灾害风险评估
Regional Seismic Risk Evaluation

1 动机



国家重点研发计划

区域桥梁网络地震灾害监测与风险评估

- 研究对象：区域桥梁
- 研究场景：地震
- 方法手段：灾害监测与风险评估

目录

① 概述

Introduction

② 简化模型和参数选取

Simplified Model & Parameter Selection

③ GIS与几何建模

GIS & Geometric Modeling

④ 区域地震灾害模拟

Regional Earthquake Simulation

⑤ 区域地震灾害风险评估

Regional Seismic Risk Evaluation

2.2 建筑结构中一般建筑简化示例

HAZUS 计算软件:

(多灾害评估软件)

- 简化为单自由度体系
- 采用静力分析 (Pushover) 替代动力时程计算的方法
- 通过结构性能曲线与地震动反应谱交点, 确定结构的地震反应。

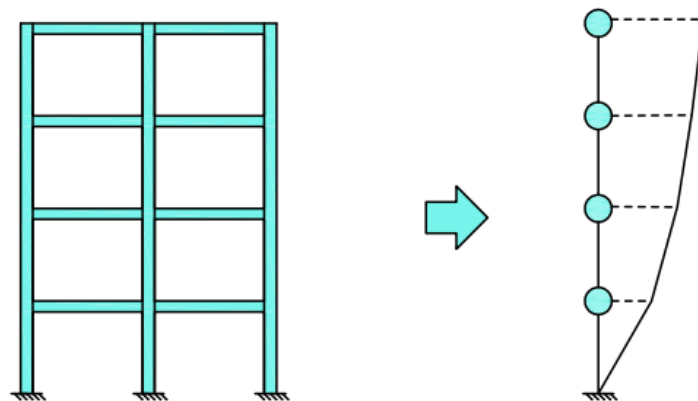
缺点: 难以考虑高阶振型和地震动的所有特性。

简化模型需求特点

- 不同结构体现各自受力特点和变形形态;
- 模型不能太复杂, 方便区域大规模计算;
- 参数标定方法简单, 方便自动建模和标定。

集中质量剪切层模型

- 适中的简化度
- 较低的计算量
- 可得到每一层的破坏状态
- 可考虑高阶振型
- 可考虑地震波的速度脉冲



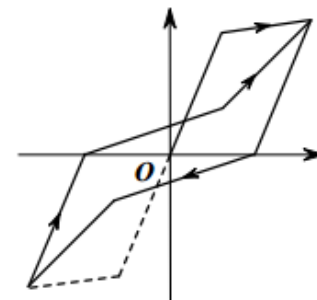
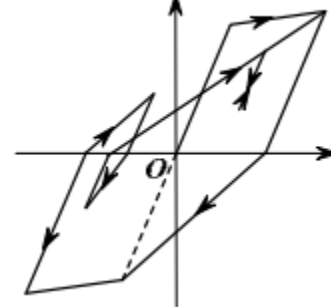
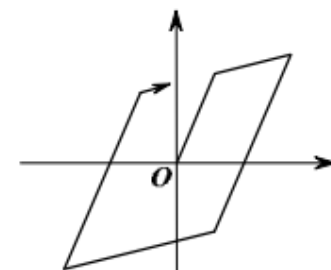
剪切层模型

2.3 集中质量剪切层模型 参数设置和滞回曲线



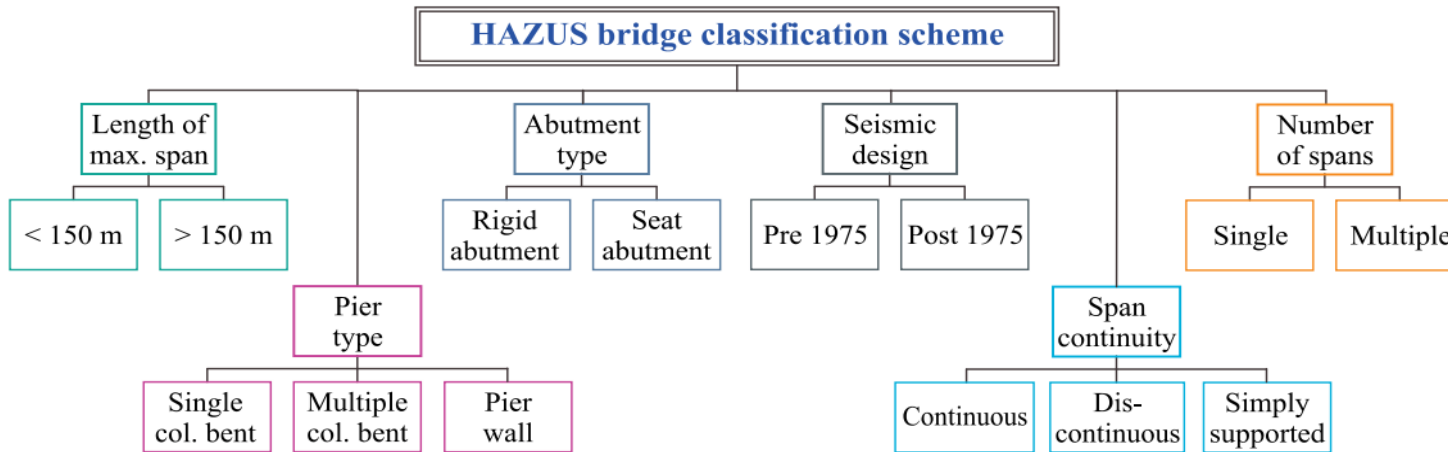
标签	描述	高度				层间滞回模型
		包含范围		Hazus 中典型建筑		
		命名	层数	层数(N0)	高度/m	
W1	木制框架		1~2	1	4.27	捏拢模型
S1L	钢框架	低层	1~3	2	7.32	理想弹性模型
SLM		中层	4~7	5	18.3	
SL1H		高层	8+	13	47.58	
S3	轻钢框架		所有	1	4.575	理想弹性模型
C1L	钢筋混凝土 框架	低层	1~3	2	6.1	修正 Clough 模型
C1M		中层	4~7	5	15.25	
C1H		高层	8+	12	36.6	
C2L	钢筋混凝土 剪力墙	低层	1~3	2	6.1	捏拢模型
C2M		中层	4~7	5	15.25	
C2H		高层	8+	12	36.6	
C3L	带砌体填充 墙的钢筋 混凝土框架	低层	1~3	2	6.1	捏拢模型
C3M		中层	4~7	5	15.25	
C3H		高层	8+	12	36.6	
RM2L	带预制混凝 土板的 配筋砌体	低层	1~3	2	6.1	捏拢模型
RM2M		中层	4~7	5	15.25	
RM2H		高层	8+	12	36.6	
URML	无筋砌体	低层	1~2	1	4.575	捏拢模型
URMM		中层	3+	3	10.675	

层间恢复力模型

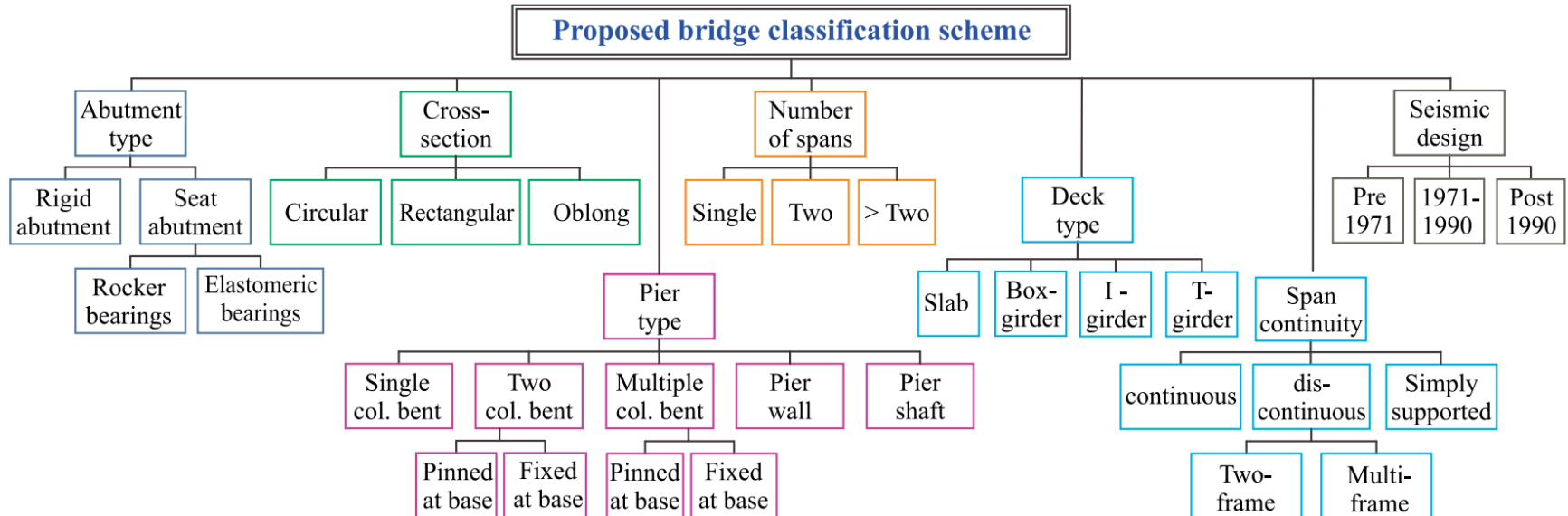




2.4 桥梁的分类



HAZUS 中桥梁的分类



基于性能的协方差分析分类桥梁



2.5 中国公路桥梁震害评估模型

序号	描述	对应 JTG/T B02-01-2008 类别	对应 HAZUS 类别
GLQ1	单跨跨径超过 150m 的特大桥（非抗震设计）a	A	HWB1
GLQ2	单跨跨径超过 150m 的特大桥（抗震设计）	A	HWB2
GLQ3	单跨桥（非 GLQ1 和 GLQ2）	B、C、D	HWB3、4
GLQ4	多跨多桥墩简支梁桥（非地震区，非抗震设计）	B、C、D	HWB5、12、17、24
GLQ5	多跨多桥墩简支梁桥（地震区，1989 年之前所建的老桥 b）	B、C、D	HWB6、13、18、25
GLQ6	多跨多桥墩简支梁桥（地震区，抗震设计）	B、C、D	HWB7、14、19
GLQ7	混凝土静定多跨梁桥（包括预应力混凝土静定多跨梁桥，单柱墩、箱梁、非抗震设计 c）	B、C、D	HWB8、20
GLQ8	混凝土静定多跨梁桥（包括预应力混凝土静定多跨梁桥，单柱墩、箱梁、抗震设计）	B、C、D	HWB9、21
GLQ9	混凝土连续梁桥（包括预应力混凝土连续梁桥，非 GLQ7，非抗震设计）	B、C、D	HWB10、22
GLQ10	混凝土连续梁桥（包括预应力混凝土连续梁桥，非 GLQ8，抗震设计）	B、C、D	HWB11、23
GLQ11	连续钢梁桥（非抗震设计，考虑形状系数）	B、C、D	HWB15、26、27
GLQ12	连续钢梁桥（抗震设计，考虑形状系数）	B、C、D	HWB16
GLQ13	圯工桥 d（非 GLQ1 和 GLQ2）	B、C、D	--
GLQ14	其他 B 类桥：单跨跨径不超过 150 的高速公路、一级公路上的桥梁，单跨跨径不超过 150m 的二级公路上的特大桥、大桥	B	HWB28
GLQ15	其他 C 类桥：二级公路上的中桥、小桥，单跨跨径不超过 150m 的三、四级公路上的特大桥、大桥	C	--
GLQ16	其他 D 类桥：三、四级公路上的中桥、小桥	D	--

目录

① 概述

Introduction

② 简化模型和参数选取

Simplified Model & Parameter Selection

③ GIS与几何建模

GIS & Geometric Modeling

④ 区域地震灾害模拟

Regional Earthquake Simulation

⑤ 区域地震灾害风险评估

Regional Seismic Risk Evaluation

3.1 GIS

GIS中的数据利用

- 利用GIS中与动力特性关的结构属性信息 (如结构层数, 结构类型, 建造年代等)
- 开发对象识别算法
- 数据自动提取系统
- 快速自动建模

辅助确定的参数:

- 结构初始弹性一阶周期;
- 结构性能曲线;
- 结构振型质量系数;
- 结构高度、楼层数;
- 结构材料弹性阻尼;
- 结构退化系数;
- 结构各个破坏状态所对应的层间位移角限值。

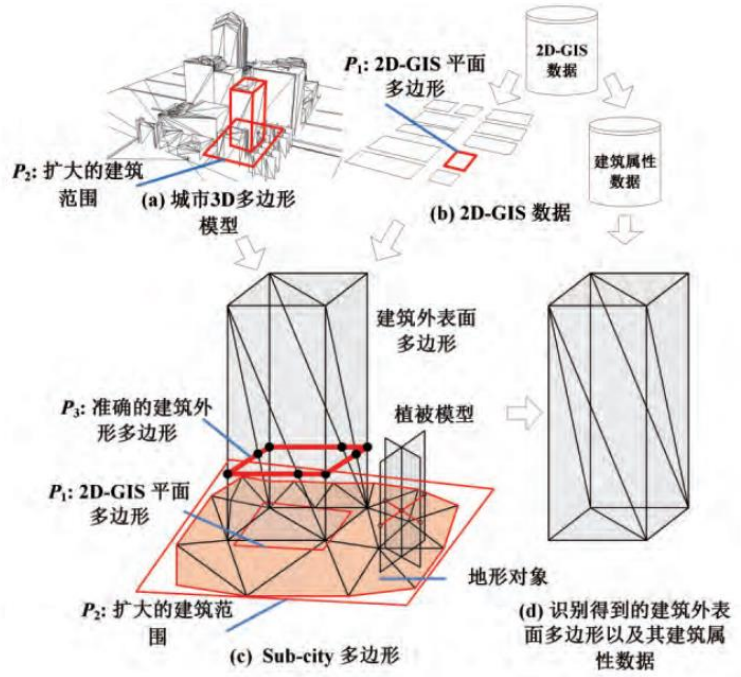


图4 建筑对象识别

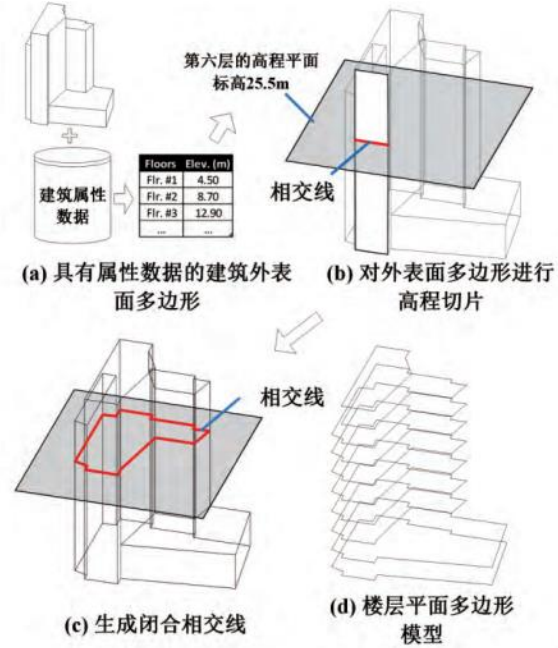
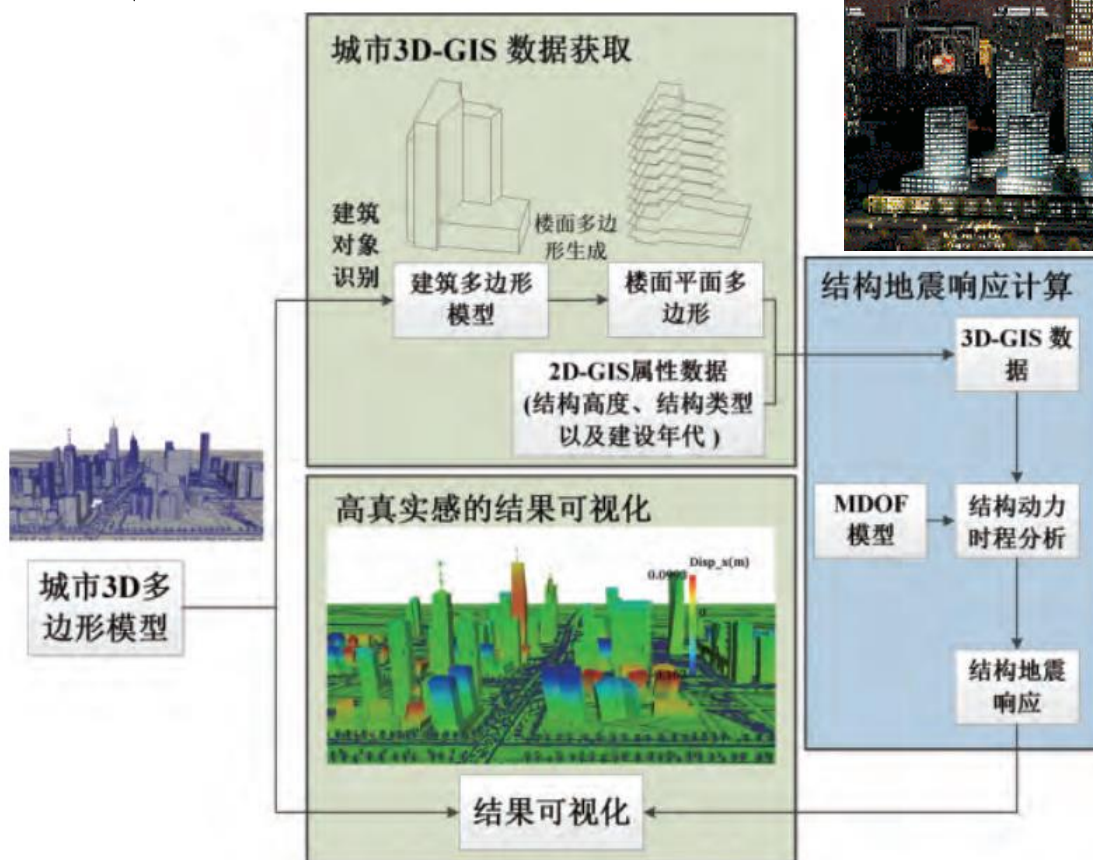


图5 楼层平面多边形生成

3.2 结果可视化

计算结果的可视化

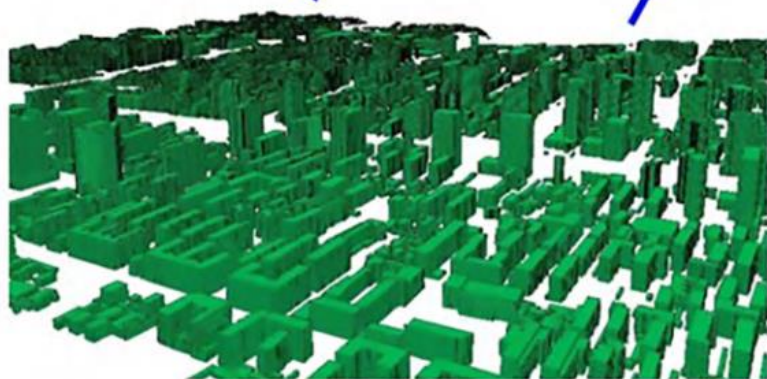
- 结构群震害模拟的可视化效果
- 评估结果的可视化



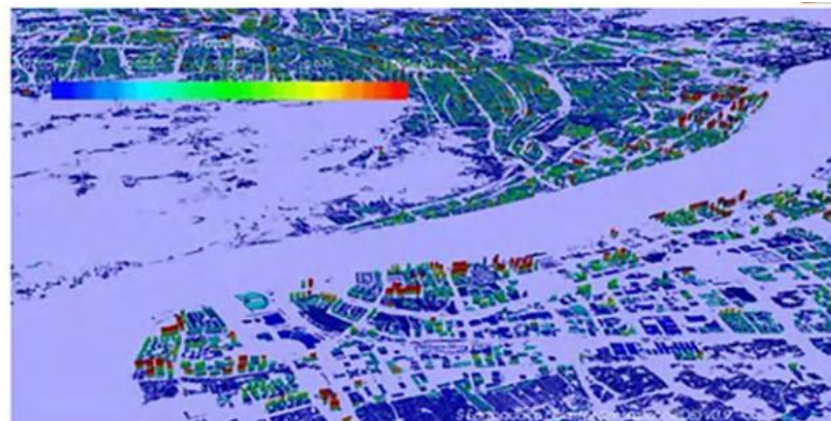
3.2 结果可视化



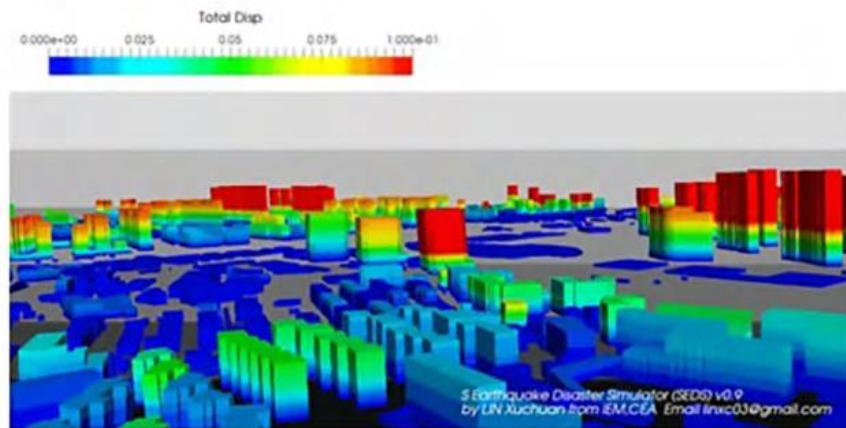
GIS中建筑数据



自动化建模形成每栋建筑楼层物理参数



变形与位移云图（整体鸟瞰图）



变形与位移云图（局部放大图）

建模过程及不同视角下城市建筑群的变形状态与位移云图

目录

- ① 概述
Introduction
- ② 简化模型和参数选取
Simplified Model & Parameter Selection
- ③ GIS与几何建模
GIS & Geometric Modeling
- ④ 区域地震灾害模拟
Regional Earthquake Simulation
- ⑤ 区域地震灾害风险评估
Regional Seismic Risk Evaluation



4.1 区域灾害模拟概述

传统城市建筑震害预测方法:

- 易损性矩阵法
- 易损性曲线法: HAZUS (FEMA)、MAEviz、Risk-UE、Haz-Taiwan等

共性缺点: 无法得到结构物在地震作用下的时程响应结果。

研究热点:

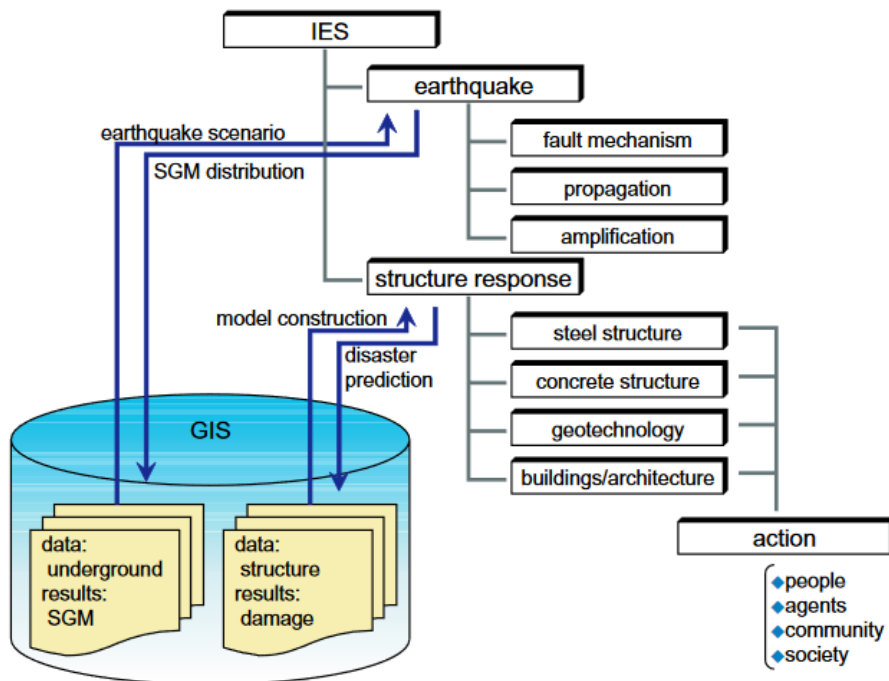
- 多自由度建筑模型
- 弹塑性时程分析方法
- 高性能计算方法
- 地震灾害场景仿真

4.2 Integrated Earthquake Simulation (IES)



东京大学 Prof. Hori 团队

EASEC-15 KEYNOTE



The basic structure of IES.



2005 年

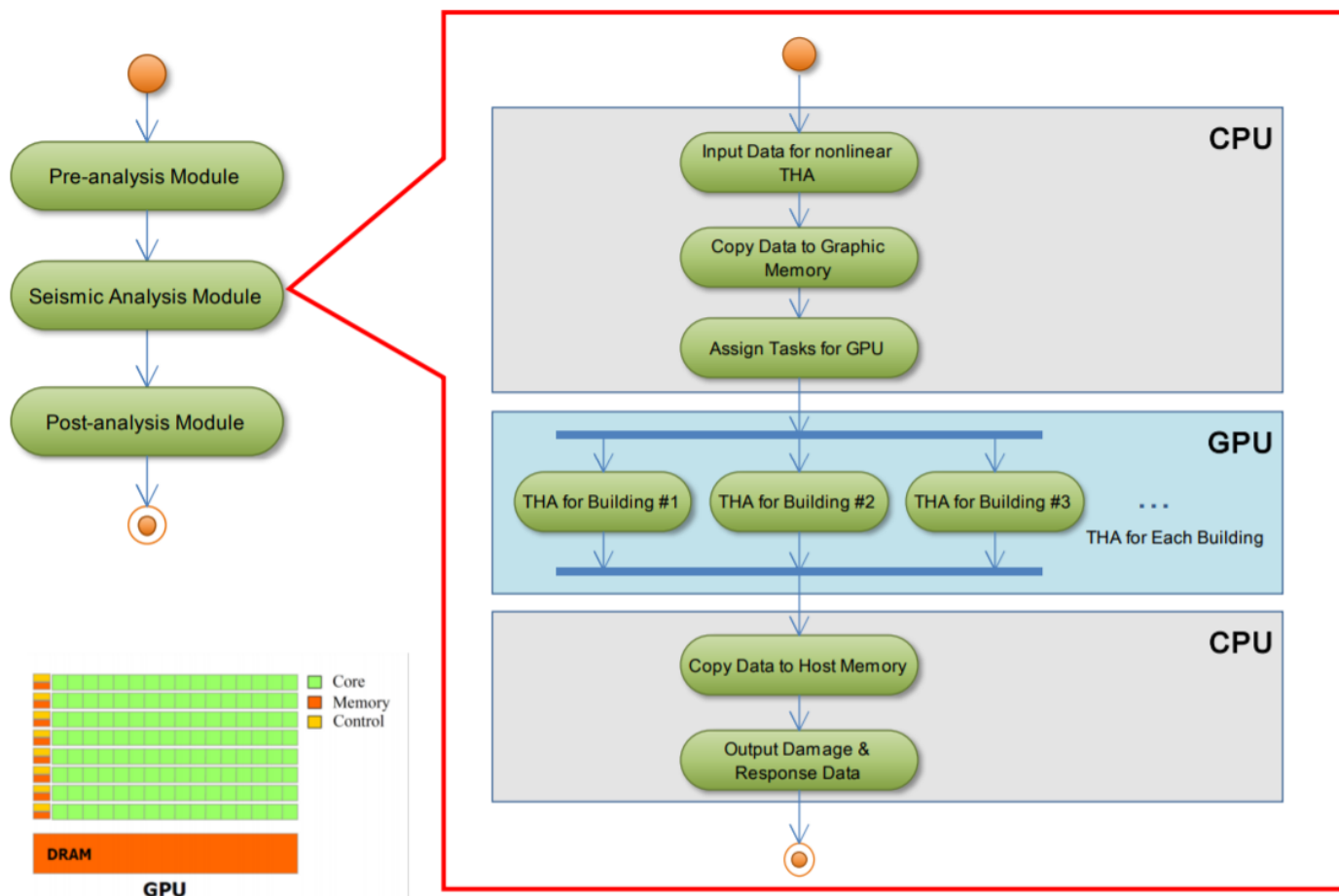
基于CPU平台的超级计算机

- 购置费、维修费较高
- 效率较慢

4.3 CPU-GPU协同并行计算

清华大学防灾所陆新征教授团队:

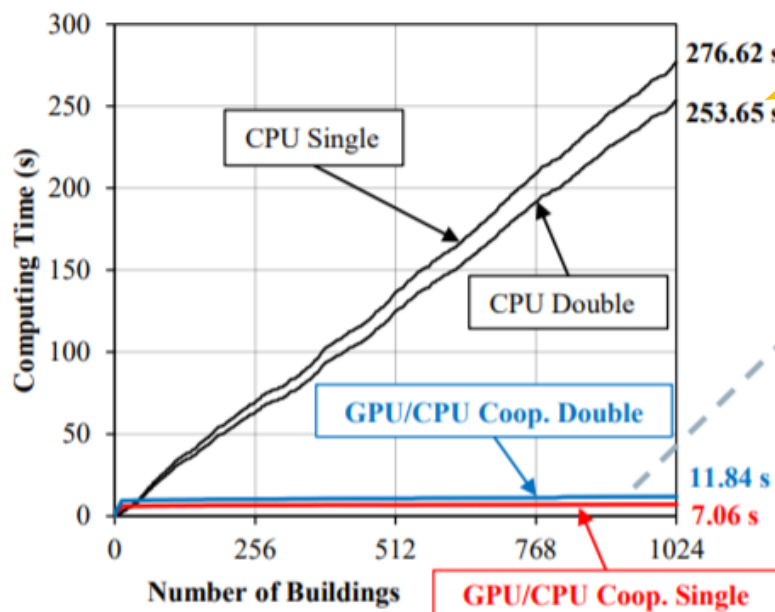
适用于区域震害模拟的剪切层模型+基于HAZUS数据库的剪切层模型参数确定方法+基于GPU/CPU协同计算技术+OpenSEES+OSG开源图形引擎



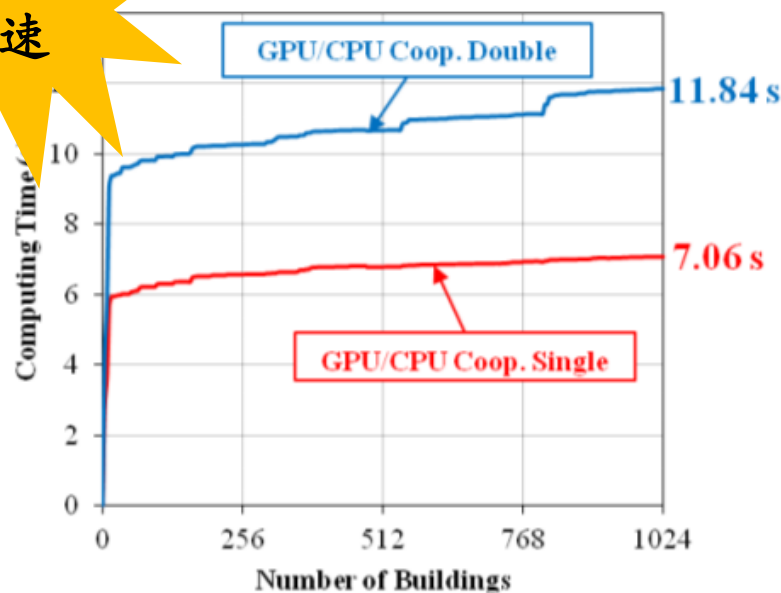
4.3 CPU-GPU协同并行计算

计算效率

- 选用相同规模和数量结构物范围
- 选用 El Centro地震波，40 s的计算加载历程，PGA: 200 cm/s²
- 两计算平台的配置价格相同



39倍
加速



目录

① 概述

Introduction

② 简化模型和参数选取

Simplified Model & Parameter Selection

③ GIS与几何建模

GIS & Geometric Modeling

④ 区域地震灾害模拟

Regional Earthquake Simulation

⑤ 区域地震灾害风险评估

Regional Seismic Risk Evaluation



5.1 区域地震灾害风险评估

风险的定义

在某一特定环境下，在某一特定时间段内，某种损失发生的可能性

- 灾害发生的可能性
- 结构损伤的可能性
- 造成损失的大小



5.2 防災減災救災體制機制改革的意見

2017年1月10日，《中共中央國務院關於推進防災減災救災體制機制改革的意見》中**風險**一詞出現了**20**次。

- 一、总体要求：（一）指导思想。努力实现**从注重灾后救助向注重灾前预防转变**，**从应对单一灾种向综合减灾转变**，**从减少灾害损失向减轻灾害风险转变**，全面提升全社会抵御自然灾害的综合防范能力。
- 二、健全统筹协调体制：（三）统筹灾害管理。探索建立京津冀、长江经济带、珠江三角洲等区域和自然灾害**高风险地区**在灾情信息、救灾物资、救援力量等方面的区域协同联动制度。
- 二、健全统筹协调体制：（四）统筹综合减灾。牢固树立灾害**风险管理**理念，增强**风险防范**意识。
- 四、完善社会力量和市场参与机制。（九）充分发挥市场机制作用。强化保险等市场机制在**风险防范**、损失补偿、恢复重建等方面的积极作用，鼓励各地结合灾害风险特点，探索**巨灾风险**有效保障模式。
- 五、全面提升综合减灾能力。（十）强化灾害**风险防范**。提升灾害**风险预警**能力，加强灾害**风险评估**、隐患排查治理。
- 五、全面提升综合减灾能力。（十三）提高科技支撑水平。推进**大数据**、**云计算**、**地理信息**等新技术新方法运用，提高灾害信息获取、**模拟仿真**、**预报预测**、**风险评估**、**应急通信与保障**能力。



5.4 社会层面的风险分析

- 考虑交通、经济、环境等影响
- 考虑时变因素

● 交通：通行量、通行速度、汽车容量

● 经济：维修费、运营费、时间损失费

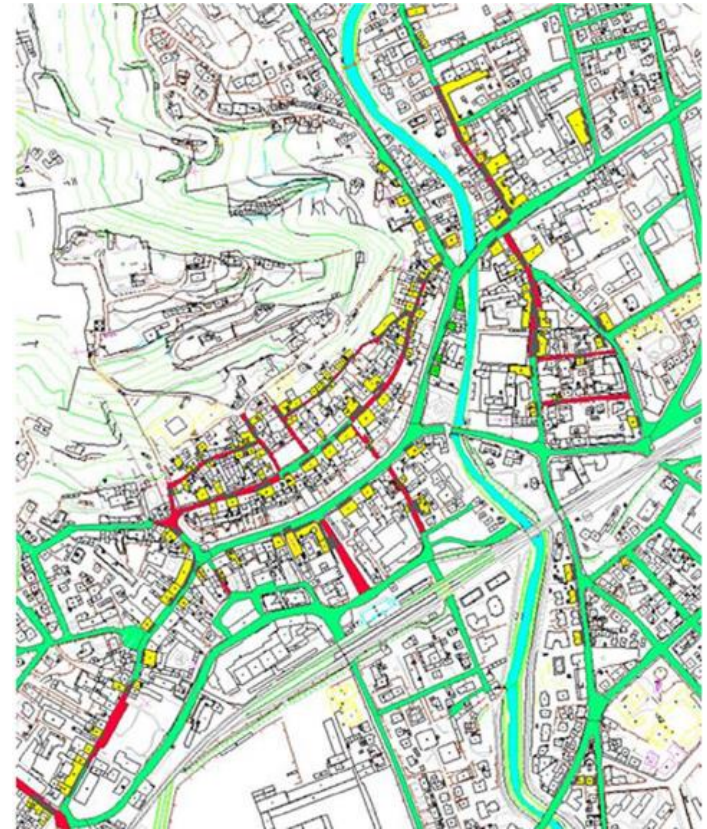
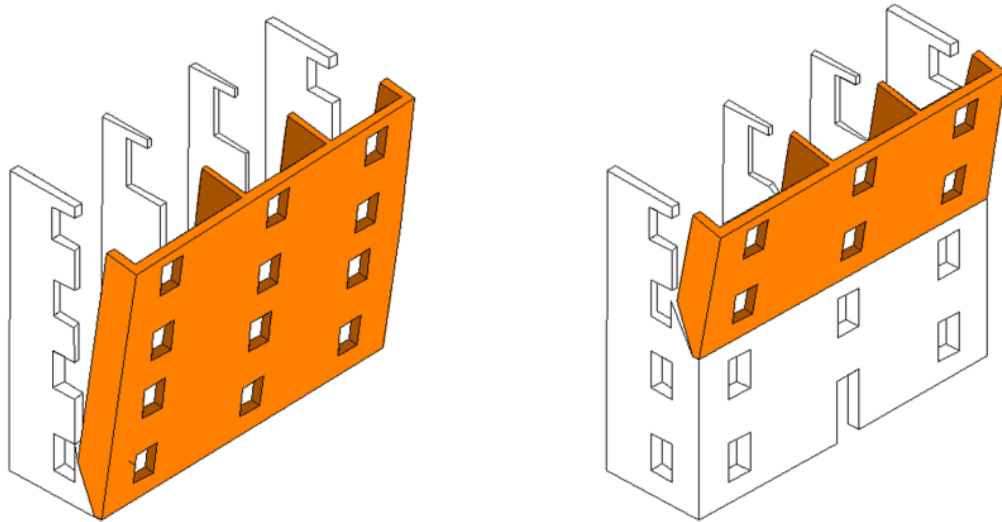
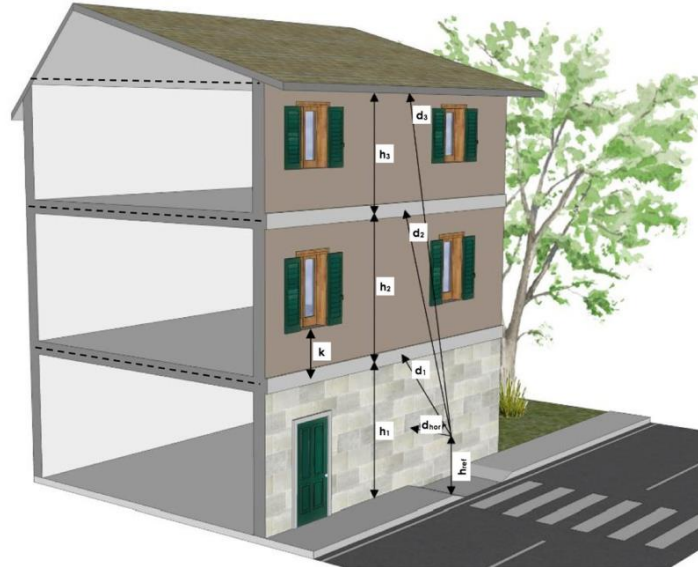
● 环境：能源耗费、二氧化碳排放

Table 1. Parameters of the Random Variables Associated with the Consequences (Costs in US\$ Refer to the Year 2012)

Random variable	Mean	COV	Distribution type
● ADT	Varies ^a	DNA ^a	DNA ^a
● ADTT/ADT ratio	Varies ^a	DNA ^a	DNA ^a
● Rebuilding costs	1,292 (US\$/m ²) ^a	0.2 ^a	LN ^a
● Compensation for truck drivers	29.28 (US\$/h) ^a	0.31 ^a	LN ^a
● Detour speed	30 (km/h) ^a	0.15 ^a	LN ^a
● Embodied energy for concrete	3,0.22 (MJ/m ³) ^b	0.2 ^c	LN ^c
● Embodied CO ₂ for concrete	414 (kg/m ³) ^b	0.2 ^c	LN ^c
● Embodied energy for steel	245,757 (MJ/m ³) ^b	0.2 ^c	LN ^c
● Embodied CO ₂ for steel	9,749 (kg/m ³) ^b	0.2 ^c	LN ^c
● Length of detour	Varies ^a	DNA ^a	DNA ^a
● Wage for car drivers	23.36 (US\$/h) ^a	0.28 ^a	LN ^a
● Vehicle occupancies for cars	1.5 ^a	0.15 ^a	LN ^a
● Vehicle occupancies for trucks	1.05 ^a	0.15 ^a	LN ^a
● Running costs for cars	0.4 (US\$/km) ^a	0.2 ^a	LN ^a
● Running costs for trucks	0.56 (US\$/km) ^a	0.2 ^a	LN ^a
● Time value of a cargo	3.81 (US\$/h) ^a	0.2 ^a	LN ^a
● Value of a statistical life	6,200,000 (US\$) ^a	0.45 ^a	LN ^a
● Cost value of CO ₂ emission	26 (US\$/t) ^d	0.45 ^c	LN ^c
● Car CO ₂ emissions	0.22 (kg/km) ^e	0.2 ^c	LN ^c
● Truck CO ₂ emissions	0.56 (kg/km) ^e	0.2 ^c	LN ^c

Note: ADT = average daily traffic; ADTT = average daily truck traffic; COV = coefficient of variation; DNA = does not apply; LN = lognormal.

5.5 房屋倒塌对道路交通的影响



5.6 机器学习的应用

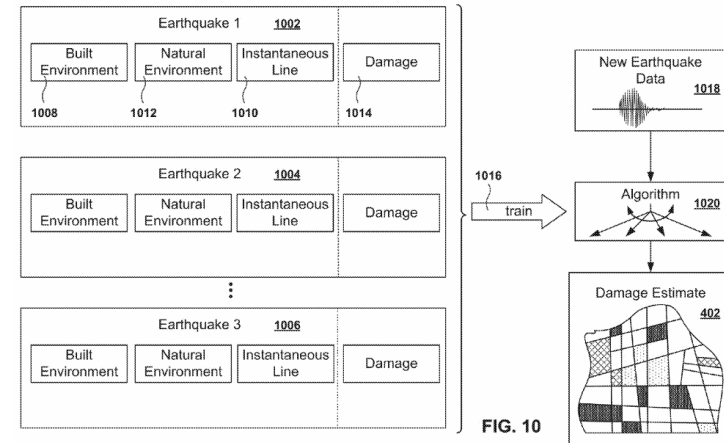
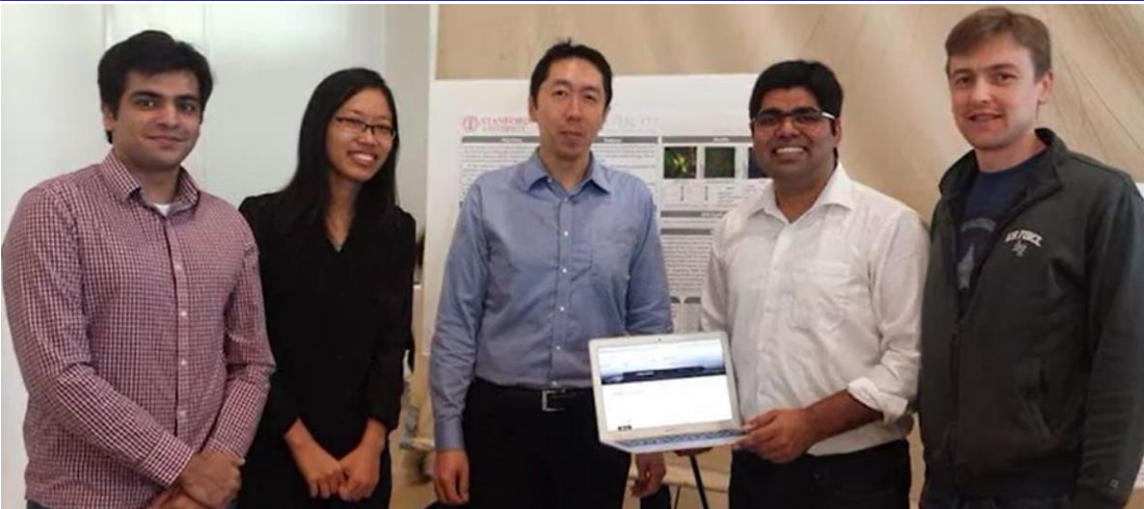
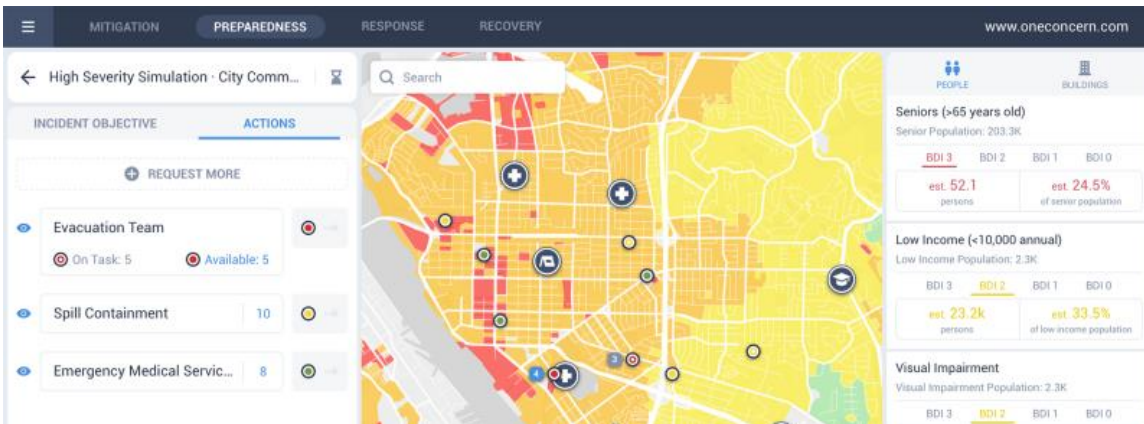


FIG. 10

- 利用机器学习技术，给出前瞻性的策略和规划
- 训练人工智能模型，了解地震后派遣紧急救援人员。

One Concern currently monitors 12,076,661 residential and 651,917 commercial buildings. We monitor earthquakes for 36M people.

- 创立了One Concern公司
- 已完成2000万美元融资
- 已经与洛杉矶和旧金山等城市展开合作





5.7 大数据和深度学习的应用

城市建筑群抗灾可靠度预测与灾变综合模拟研究—陈隽 (2017年国家自然科学基金委重点项目)

- 项目通过学科交叉，引入大数据技术研究建筑群的抗灾可靠性预测与灾变模拟，结合多尺度物理-力学的精细化物理-数值模拟和结构物理-力学体征大数据、荷载作用与环境感控大数据，利用深度学习和大数据信息挖掘技术，建立城市建筑群荷载模型、灾害动力作用模型，性能退化模型，发展工程结构全寿命抗灾整体可靠性形成机制与可靠性指纹信息识别方法与类比推断理论，并进行建筑群灾变模拟技术的研究，实现城市建筑群全寿命抗灾可靠性的高效推断与区域建筑群灾害预测，在天河二号计算机上进行示范，为大数据驱动的智慧城市的防灾决策和评估提供技术支撑。

Xiaoming Lei
Ph.D Student
Department of Bridge Engineering
College of Civil Engineering
Tongji University

leixiaoming@outlook.com
+86 15316121025



桥梁健康监测与振动控制研究室

Research Division on Structural Health Monitoring and Vibration Control

Thanks !

