

21世紀COEプログラム

## 都市地震工学の展開と体系化

第1回シンポジウム講演集

Proceedings of the First Symposium on Evolution of Urban Earthquake Engineering  
21st Century COE Program

2003年10月20日

東京工業大学 都市地震工学センター  
Center for Urban Earthquake Engineering (CUEE)  
Tokyo Institute of Technology



## 目次

1. あいさつ  
    拠点リーダー 人間環境システム専攻教授 大町 達夫…………… 1
  
2. 東京工業大学における 21 世紀 COE プログラムについて  
    東京工業大学長 相澤 益男…………… 3
  
3. 21 世紀 COE プログラム「都市地震工学の展開と体系化」の概要  
    建築学専攻教授 時松 孝次…………… 5
  
4. 都市防災先端技術について  
    先端技術を用いた都市震災の軽減技術の開発  
    土木工学専攻教授 川島 一彦…………… 9  
  
    都市防災のためのリアルタイム地震情報システム  
    人間環境システム専攻教授 翠川 三郎…………… 11
  
5. 都市再生防災技術  
    地震後の都市火災拡大モデル  
    建築学専攻教授 青木 義次…………… 13  
  
    地下構造物の耐震  
    土木工学専攻教授 日下部 治…………… 15
  
6. 都市防災技術戦略  
    建築の耐震から都市の耐震へ  
    建築物理研究センター教授 和田 章…………… 17  
  
    防災施策としてのインフラストラクチャマネジメント  
    国際開発工学専攻助教授 上田 孝行…………… 19
  
7. 21 世紀 COE プログラム「都市地震工学の展開と体系化」に期待するもの  
    21 世紀 COE プログラム「都市地震工学の展開と体系化」に期待するもの  
    京都大学名誉教授、立命館大学教授 土岐 憲三 氏…………… 21  
  
    21 世紀 COE プログラム「都市地震工学の展開と体系化」に期待するもの  
    防災の分野における研究開発について—防災分野の研究開発に関する委員会報告—  
    東京大学名誉教授、建築防災協会理事長 岡田 恒男 氏…………… 22

## 8. 事業推進者の紹介

大町 達夫 (人間環境システム専攻：拠点リーダー) .....	27
時松 孝次 (建築学専攻：サブリーダー) .....	28
青木 義次 (建築学専攻) .....	29
林 静雄 (環境理工学創造専攻) .....	30
堀田 久人 (建築学専攻) .....	31
笠井 和彦 (人間環境システム専攻) .....	32
川島 一彦 (土木工学専攻) .....	33
日下部 治 (土木工学専攻) .....	34
翠川 三郎 (人間環境システム専攻) .....	35
三木 千壽 (土木工学専攻) .....	36
盛川 仁 (人間環境システム専攻) .....	37
二羽淳一郎 (土木工学専攻) .....	38
大野 隆造 (人間環境システム専攻) .....	39
大佛 俊泰 (情報環境学専攻) .....	40
瀬尾 和大 (人間環境システム専攻) .....	41
瀧口 克己 (情報環境学専攻) .....	42
上田 孝行 (国際開発工学専攻) .....	43
和田 章 (環境理工学創造専攻) .....	44
山田 哲 (環境理工学創造専攻) .....	45
山中 浩明 (環境理工学創造専攻) .....	46



## あいさつ

プログラムリーダー 大町達夫（人間環境システム専攻教授）

このたび、私ども東工大地震工学グループが 21 世紀 COE に採択されたことを光栄に存じます。私どものプログラム名称は「都市地震工学の展開と体系化」であり、地震に強い都市環境づくりのための効果的な戦略と技術を追求し実現をはかるとともに、国際的リーダーとなりうる地震防災専門家の養成を目標としています。このプログラムの全期間は 5 年間ですが、既に初年度の前半が過ぎました。的確なルートマップを早期に作成し、確固たるアプローチを開始するべく、去る 9 月 1 日にはこのプログラムを実施する学内組織として、都市地震工学センターを暫定的に設立しました。

本日のキックオフシンポジウムは、私どもの当初プログラムの内容を紹介するだけでなく、活発な討論を通じてそれを洗練する趣旨で企画されました。わが COE は、世界レベルの拠点を目指しておりますので、多くの方々に本プログラムによる教育と研究にご関与いただき、建設的なご意見や暖かいご協力を賜れば誠に幸いです。

## INTRODUCTORY ADDRESS

**Program Leader Tatsuo Ohmachi ( Professor, Department of Built Environment)**

We are honored to have been selected as a twenty-first Century Center of Excellence (21<sup>st</sup> Century COE). The title of our COE program is “Evolution of Urban Earthquake Engineering”, which aims to pursue effective strategies and technologies to realize our present urban societies resilient against earthquakes and produce elite individuals in this field with global scope. Although this is a five-year program, we are now in the second half of this fiscal year. We have to draw our route maps with high feasibility as soon as possible, and start our approach to our goal decisively. To implement our program, we have provisionally established “Center for Urban Earthquake Engineering” on September 1, 2003, the 80<sup>th</sup> anniversary of the 1923 Great Kanto Earthquake. Today’s kick-off symposium is organized to introduce our original programs and to refine them through active discussion. In our quest for an excellence, we would like to invite all of you interested in our program to become involved in our education and research. We would appreciate your creative advice and kind cooperation.



## 東京工業大学 21世紀COE

東京工業大学・学長 相澤益男

文部科学省「21世紀COE (Center of Excellence) プログラム」は、世界最高水準の研究教育拠点を学問分野毎に形成し、研究水準の向上と世界をリードする創造的な人材育成を目的として、平成14年度に新規事業としてスタートした。平成15年度は、医学系、数学・物理学・地球科学、機械・土木・建築・その他工学、社会科学、学際・複合・新領域の5分野について公募が行われ、国公立大学225大学から611件の応募があった。本年度は、合計133件が採択され、そのうち、国立大学は97件(73%)、公立大学は5件(4%)、私立大学は31件(23%)を占めている。

東京工業大学の採択件数は5件であり、平成14年度採択分と合わせると9件となり、理工系分野だけの大学としてはその健闘が高く評価された。分野別に見れば、数学・物理・地球科学1件、機械・土木・建築・その他工学3件、学際・複合・新領域1件に渡っている。本学の申請件数は9件、ヒアリング件数は6件であり、健闘の状況がうかがえよう。平成15年度採択された5拠点については、今年度合計960百万円が配分され、中間評価はあるものの5年間継続される予定である。平成14年度採択分と平成15年度採択分の合計9拠点の今年度配分額が、1,580百万円に上ることは、特記されるべきであろう。

採択された9件の東京工業大学21世紀COEは、次の通りであり、いずれも世界に誇る研究陣を全学規模で選抜した強力なグループで構成されている。本学の目標である「世界最高の理工系総合大学」に向けて、世界的研究教育拠点の形成を重要なステップであると位置づけ、全学を挙げて邁進したい。

### 平成14年度採択分

1. 拠点リーダー 半田 宏教授 生命工学フロンティアシステム
2. 山本隆一教授 分子多様性の創出と機能の開拓
3. 細野秀雄教授 産業化を目指したナノ材料開拓と人材育成
4. 荒井滋久教授 フォトニクスナノデバイス集積工学

### 平成15年度採択分

5. 拠点リーダー 安藤 恒教授 量子ナノ物理学
6. 廣瀬茂男教授 先端ロボット開発を核とした創造技術の革新
7. 大町達夫教授 都市地震工学の展開と体系化
8. 関本 博教授 世界の持続的発展を支える革新的原子力
9. 古井貞熙教授 大規模知識資源の体系化と活用基盤構築



## 21世紀COEプログラム「都市地震工学の展開と体系化」の概要

東京工業大学・建築学専攻 時松孝次

### 背景と目的

1995年阪神淡路大震災により、近代都市が地震に対して極めて脆弱であることが再認識され、より巨大な都市を直撃する地震の際には、未曾有の規模や形態の災害が危惧されている。このため、阪神淡路大震災以後、大都市圏の震災軽減のための研究が積極的に進められ、多くの成果が得られつつある。しかしながら、これらの研究を発展・継続しながら体系化し、総合的な地震防災対策の実現と高度な防災技術者の育成につなげることが大きな課題として残されている。

このような背景から、本プログラムでは、我が国はもとより世界の地震国の最大の懸案である「大都市の震災軽減技術」の高度化を図り、安心して安全な都市を創成する技術開発とこれを実践に移す研究教育、国際協力、社会貢献を推進することを目的とする。その実施拠点として、我が国唯一で世界最高水準の研究教育拠点「都市地震工学センター」を形成する。

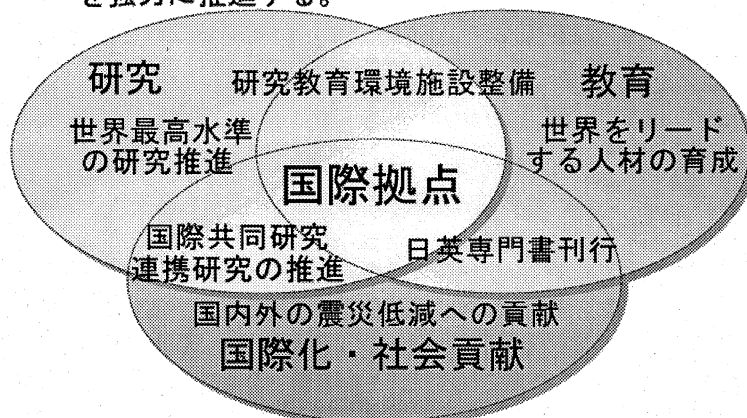
### 拠点形成プログラム

#### 1. 拠点形成の視点

- ①東京工業大学大学院3研究科6専攻にまたがる世界トップレベルの地震工学分野の研究教育基盤をより強力に整備・統合させることで、都市地震工学に関する世界最高水準の研究・教育、国際協力・社会貢献を推進するとともに、北中南米、アジア、欧州、豪州を繋ぐ地震工学研究のハブとなる国際拠点の形成を目指す。
- ②新都市の開発と既存都市の再生を視野にいれ、地震防災先端技術、都市再生防災技術、都市防災技術戦略を3本柱として都市地震工学の研究を推進する。
- ③大学院博士後期課程に留学研修やオンジョブトレーニングを組み込んだ専攻横断形の特別コースを設置し、国際社会でリーダーとなる人材を育成する。
- ④国内外の研究機関、民間機関、行政やNPOなどと積極的に連携して、都市地震工学に関する研究とその実践展開を推進し、国際協力、社会貢献に努める。

### 拠点形成の視点

都市震災軽減のための研究・教育・社会貢献  
を強力に推進する。

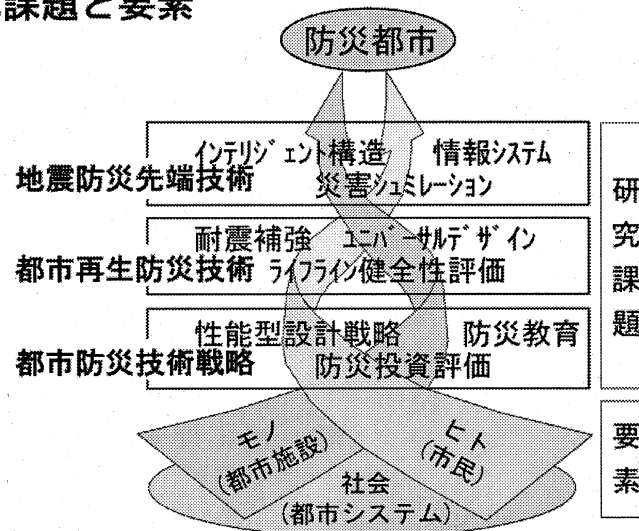


## 2 都市地震工学に関する研究の推進

地震災害の飛躍的な軽減を目標として、モノ・ヒト・社会に関連する広範囲な研究を次の三つの視点から推進する。

- ①地震防災先端技術：安全な都市や社会を創成するための最先端技術として、高精度震災シミュレーション技術、スマートマテリアル構造、インテリジェント制振・免震構造、リアルタイム地盤探査、高耐震基礎、リアルタイム地震情報システムに関する開発と実用化に関する研究。
- ②都市再生防災技術：老朽化、疲弊化した都市・社会を再生化するための防災技術として、都市施設の健全性評価、地盤と地下空間の総合防災技術、既存不適格建造物の耐震補強技術、環境低負荷型耐震補強技術、延焼防止地域計画、広域避難計画、災害弱者のためユニバーサルデザインに関する開発と実用化に関する研究。
- ③都市防災技術戦略：人と環境にやさしい防災都市創成のための基本技術戦略として、地震リスク評価、防災投資評価、性能型設計戦略、損傷制御設計、防災教育システムに関する開発と実用化に関する研究。

### 研究課題と要素



## 3 研究教育環境施設の整備

高性能動的実験システム、緊急時対応評価システム、高速破壊現象計測システム、地震時人間行動計測システムなどの基盤研究設備を整備する。また、外部にも開かれた運営を行うために、国内外の連携研究機関とのインターネット会議やマルチメディア講義を実施するための基盤 IT 教育設備を導入し、研究教育環境を整備する。

## 4 国際共同研究、国際貢献の推進

欧米先進国の先端研究機関との国際共同研究や国際シンポジウム等を企画・開催し、若手研究者や大学院生を含めた国際交流を積極的に行います。また、開発途上国の人口過密都市における地震防災技術を向上させるため、地震工学セミナーなどを実施し国際貢献に努める。さらに、国内外の行政機関や研究機関との連携を図り、都市地震防災対策の実践展開を推進する。

## 5 若手防災研究者・専門家の養成

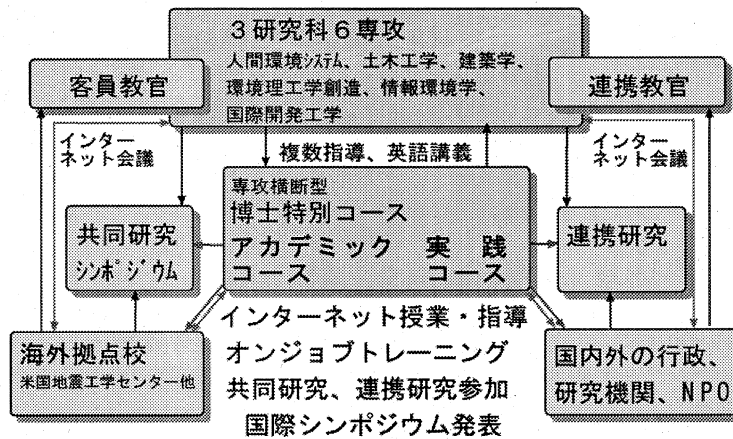
博士課程特別コースに、研究者の養成をめざすアカデミックコースと即戦力となる専門技術者の養成をめざす実践コースの2コースを設置し、世界をリードする防災専門家を育成する。博士後期課程の学生・修了生に対しては、技術英語の短期集中講座、RA・PDへの積極的採用、国際会議での発表支援、海外拠点校での研修支援、若手研究者研究費の支給、海外招聘教官による指導など様々な施策を試み、国際コミュニケーション能力ならびに教育力、研究力、創造力、実践力の養成を図る。

## 6 一般市民への防災教育の推進

研究拠点形成の中で得られた知見を公開セミナーやインターネット都市地震工学講座開設などを通じて広く開示し、一般市民への防災教育を推進する。また、都市地震工学に関する専門書を刊行する。

## 大学院教育と若手育成

都市地震工学特別コース教育実施計画



# OUTLINE OF THE 21ST CENTURY COE PROGRAM EVOLUTION OF URBAN EARTHQUAKE ENGINEERING

Kohji Tokimatsu, Department of Architecture and Building Engineering

## Program Summary

The objective of this program is to thrust research and education of an international level for reducing seismic risk in megacities, by establishing Urban Earthquake Engineering Center (CUEE).

## Needs and Objectives

The 1995 Kobe earthquake suggests that modern cities are highly vulnerable to earthquakes and that more catastrophic disasters would be anticipated if an earthquake strikes a more densely populated city. In order to reduce seismic risk, development of more advanced technologies and strategies as well as graduate education fostering academics and professionals is needed. The objective of this program is to thrust research and education of an international level as well as collaboration with research organizations, and industry and government partners in and outside Japan, by establishing Urban Earthquake Engineering Center (CUEE), i.e., the only COE specialized in Earthquake Engineering in Japan.

## Plan for Formation of Research Center

CUEE program includes the following implementations:

- (1) Extensive research on a) innovated technologies for reducing earthquake impacts and losses, b) retrofit and rehabilitation measures for strengthening existing structures and urban systems against earthquakes, and c) strategies for reducing vulnerability and enhancing community resilience to earthquakes.
- (2) Upgrade of basic research and educational facilities
- (3) Worldwide collaboration with leading organizations, and industry and government partners in and outside Japan, and international symposia and workshops
- (4) Doctoral program offering special courses to foster academics and professionals
- (5) Publications of a series of Japanese and English professional books on Urban Earthquake Engineering to disseminate new technologies
- (6) Seminars and a public web site for enhancing community resilience

## Education Implementation Plan

CUEE educational program offers special doctoral courses fostering academics leading innovated research as well as professionals reducing seismic risk worldwide and includes the following implementations:

- (1) Multiple supervisors including visiting professors to facilitate flexible thinking faculty with a broad view
- (2) Intensive short course to improve communication skills in English
- (3) Support for participation in international conferences and involvement in international collaboration research to promote international activities
- (4) Internship at collaborative organizations and partners in and outside Japan to deepen the necessary knowledge in the practice of the profession
- (5) Research and teaching assistantships to promote active contribution to research and teaching
- (6) Competitive research funds to encourage original and innovated research



# 先端技術を用いた都市震災の軽減技術の開発

土木工学専攻 教授 川島一彦

## 1. 脆弱な都市インフラ

大都市は建物、交通施設、エネルギー供給施設、電力・通信施設、上下水道、洪水調整・利水施設等、多数の都市インフラから形成されている。建物以外はほとんどが土木施設の範疇に属している。1995年兵庫県南部地震は、都市の脆弱性を示した。しかし、兵庫県南部地震は特別な地震ではなく、ごく普通のM7クラスの直下型地震の一つと言われている。首都圏には膨大な量の都市インフラが存在するが、これらは一度も本格的な地震の洗礼を受けていない。兵庫県南部地震の経験によれば、人命を奪ったのはほとんどがハード系施設の崩壊であり、ハードの抜本的強化は、都市地震防災の基本である。また、都市震災の特徴は、都市インフラの機能が相互依存性を有している点にある。たとえば、仮に耐震性の高い超高層ビルを建設しても、電力や上下水道の供給がなければ地震後長くビルの機能を維持することはできない。

## 2. 性能規定型耐震設計の開発

都市の耐震性を高めるためには、性能規定型耐震設計の開発と普及が欠かせない。都市インフラは施設の種類や管理者によって細かく分かれており、その耐震基準の数は優に数十に上る。都市の耐震性は如何にという命題が与えられた場合に、現状では、建物は・・・、橋は・・・と個別の議論しかできないが、性能規定型耐震設計では、たとえば、地震後1週間以内に都市機能を復旧させるためには、各構造物をどのように耐震設計すべきかを論じることができるようになる。さらに、ある構造物の性能目標が他の構造物の耐震性や復旧に与える影響も具体的に取り入れることができるようになる。

要するに、都市という全体の地震対策がどうなっているかを知りたいという国民の要求に対して、現在は、施設管理者ごとに断面設計の力学計算しか説明できないのに対して、性能規定型耐震設計では、性能目標という指標によって単なる力学計算の壁を超えて、耐震設計のプリンシプルと目標を国民に説明できるのである。

性能目標とこれを達成可能な耐震設計法の開発をはかり、性能目標を指標としたインフラ間の性能評価軸を得ることができるようになる必要がある。

## 3. 先端技術を活用したダメージフリー構造の開発

現在の大方の都市インフラの性能目標は、“中小地震に対しては機能保持、大地震に対しては崩壊防止”である。しかし、兵庫県南部地震の経験は、いったん広範囲に都市機能が奪われてしまえば、資機材や人員の手配だけでも優に数週間を要し、機能回復までには数ヶ月を要すること、このように長期にわたって国民生活や社会生産活動の低下が生じることは許されないということであった。

免制震構造や、セミアクティブコントロール、高じん性構造、高性能材料や新工法を用いて、大地震時にもほとんど機能低下を起こすことがなく、復旧も要しない構造（ダメージフリー構造）の開発を進めていく必要がある。戦後復興期や高度成長期を終え、数の充足よりも安心、安全な社会の構築が求められている現在、都市インフラの耐震設計にも新たな視点の技術開発が求められている。

# **Higher Seismic Performance of Urban Infrastructures using Advanced Technology**

**Kazuhiko Kawashima, Professor, Department of Civil Engineering**

## **1. Urban Infrastructures Vulnerable to Seismic Effects**

There exists a variety of infrastructures in urban areas including transportation, energy & electric, telecommunication, water & sewer, and flood control facilities. The 1995 Kobe earthquake revealed the vulnerability of an urban area under near-field ground motions. However, the Kobe earthquake is not a special earthquake but one of the earthquakes with magnitude 7.3 with a high probability to occur near city areas. Although there exist far larger number of infrastructures in Tokyo Metropolitan, none have experienced a significant earthquake. It should be emphasized that a majority of human loss resulted from the collapse of infrastructures in the Kobe earthquake. Hence it is important to secure higher seismic performance of urban infrastructures. It is important to note the interaction of functions among urban infrastructures. Hence, it occurs that a building cannot maintain function due to interruption of power and water after an earthquake no matter how it was built with sufficient seismic performance.

## **2. Performance-based Seismic Design**

It is essential to develop the performance-based seismic design criteria and procedures to enhance the seismic performance of urban infrastructures. Because infrastructures are controlled by different jurisdictional authorities, governments and firms, there are several tens of seismic design codes and standards. As a consequence, it is difficult to respond to questions of how safe an urban area is for an earthquake, or how shortly an urban area can be restored after an earthquake. What we can respond at this moment is to show how each infrastructure is designed for a given design ground motion. To provide a clearer target and principle of the seismic performance required for urban infrastructures, it is essential to develop the performance-based seismic design.

## **3. Damage-Free Urban Infrastructures using Advanced Design Principles and Structural Systems**

Standard seismic performance goals of the most infrastructures are to maintain functions for small & moderate events, and prevent collapse during a significant event. However the Kobe earthquake revealed the fact that it took months to restore infrastructures which suffered even moderate damage once the function of the city was seriously deteriorated. It was an important lesson that the inconvenience of public life as well as the interruption of social and industrial activities are not allowed to occur for long in an urban area even by a major event.

It is aimed in this research at developing "damage-free structures," which are free from damage or may suffer only limited damage during a significant earthquake. For such a purpose, an extensive development of new and advanced technologies for passive, active and semi-active control is required. High ductility members using new materials, construction methods and systems are to be developed.

Completing the past several decades when it was important to construct sufficient number of infrastructures, required now are new technologies which enable to make urban infrastructures and systems safer and more reliable against a major earthquake.

# 都市防災のためのリアルタイム地震情報システム

人間環境システム専攻 教授 翠川 三郎

## 1. はじめに

阪神・淡路大震災では、地震直後に地震や被害の情報が十分に得られず、国や自治体の初動体制が遅れ、問題となった。これを教訓として、リアルタイム地震情報システムの開発が進められるようになった。このシステムには大きく分けて2種類ある。ひとつは、地震動を常時モニタリングし、地震発生直後に地震の諸元を推定し、主要動が到着する前に警報を発令して、地震による影響を軽減しようとするものである(ここでは直前システムと呼ぶ)。もうひとつは、地震による地震動を観測して、その揺れの大きさから発生したであろう被害の大きさや分布を地震後30分程度以内に推定し、適切な緊急対応や初動体制の確率に役立てようとするものである(ここでは直後システムと呼ぶ)。ここでは、今後の研究の方向について考えるために、リアルタイム地震情報システムの現状と課題を整理する。

## 2. 現状

a) 直前システム 直前システムとしては、JRのユレダスがある。ユレダスは観測されたP波の初動部から地震の規模と位置を即座に推定し、影響が及ぶであろう区間を走行する新幹線を、主要動が到達する前に減速・停止させるものである。最近では気象庁がナウキャスト地震情報システムを開発中である。これは、主要動が到達する前に対象地点で予想される震度を伝達するものである。海溝型地震では10秒程度の時間差が得られる。防災科学技術研究所でも同様のシステムを開発し、実験的な衛星配信が始められている。また、これらの情報の利活用方法についても検討が進められている。

b) 直後システム 直後システムとして先駆的なものは、東京ガスのSIGNALである。地震時の揺れの大きさに応じてガスの供給を自動的に遮断し、2次災害防止や迅速な復旧を目指すものである。兵庫県南部地震以降は、国土庁(現内閣府)による地震被害早期評価システム(EES)や横浜市のリアルタイム地震防災システム(READY)など国や自治体が地震直後に地震被害を把握するシステムを開発し運用している。都道府県の約半数で、政令指定都市の約2/3で、このようなシステムが稼働している。

## 3. 課題

これらのシステムは開発されたばかりのもので、その利用法には数々の課題が残されている。直前システムのナウキャスト地震情報の場合、10秒間で何ができるかという問題がある。危険箇所からの事前避難、工場等での作業の制御、エレベーター制御、などが考えられているが、迅速な情報伝達手段は十分には検討されていない。直後システムについては、被害推定結果がどの程度信頼できるかという問題点がある。実被害データを迅速に収集して被害結果を更新していく仕組みが必要であろう。そのため衛星画像からの被害判定についての研究も進められている。また、大地震時のみならず平時にどのような利活用ができるかという問題もある。両システムに共通する問題点として、ユーザーを行政や特定企業だけでなく一般市民にまで広げた場合に、どのような表現や手段で伝達するかである。リアルタイム地震情報の利活用に関する防災教育も含めた検討が必要となろう。

# Real-Time Earthquake Information System for Urban Disaster Mitigation

Saburoh Midorikawa, Professor, Department of Built Environment

## 1. Introduction

Just after the 1995 Kobe, Japan earthquake, few immediate emergency response was taken by the national and local governments, which might allow spread of the disaster. This is due to lack of prompt information on the earthquake and damage. As a result, development of the earthquake information system has been accelerated. There are two types of the real-time system; the damage warning system (pre-shake system) and the early damage assessment system (post-shake system). This paper describes the present state and problems of the real-time earthquake information systems in order to examine the future direction of the research.

## 2. Present State

a)Pre-shake system The pioneer of the pre-shake system is the Japan Railways' system (UrEDAS). The system estimates the magnitude and location of an earthquake at the time of the P-wave arrival, and then uses the information to stop bullet trains before the S-wave arrival. Recently, the Japan Meteorological Agency is developing the Nowcast Earthquake Information system which forecasts an arrival time and intensity of the S-wave motion before the S-wave arrival. It is expected that the information will be issued about 10 seconds before the S-wave arrival for subduction-zone earthquakes. Applications of the information are being discussed.

b)Post-shake system The Tokyo Gas company developed the early earthquake damage assessment system to control the gas supply just after an earthquake. After the Kobe earthquake, the national and local governments began to develop the post-shake system such as the EES system by the National Land Agency and the READY system by the city of Yokohama in order for prompt and adequate emergency response. Now, about half of the prefectures and two third of the mega-cities have such a post-shake system.

## 3. Problems

These systems are new and have not enough experience of a large earthquake. Applications of the systems have not been fully examined. For the pre-shake system, the problem is what can be done in 10 seconds before the shaking. Operation control of elevators in high-rise buildings is just one example. For the post-shake system, the estimated damage may not be accurate and should be replaced by the actual damage with the passage of the time. The remote sensing technology may promise quick evaluation of the actual damage. When the information from the systems is open to the citizens, interpretation of the information is necessary so that they can use the information to select appropriate actions for minimizing the secondary disaster.

# 地震後の都市火災拡大モデル

建築学専攻 教授 青木義次

## 1. 地震時火災出火の確率理論

地震時の建物倒壊率  $X$  と出火率  $Y$  との関係について、関東大震災のときのデータより、川角博士により発見された次の経験的關係式が知られている。

$$\ln[Y] = A * \ln[X] + B, \quad (A, B \text{ はパラメータ})$$

この川角式は一部改良され都市における地震時の出火件数の推定に用いられてきた。しかし、この経験式が成立する理論的根拠は明確にされないままにきた。なぜ川角式が成立するのか、また、この式が成立するための条件は何かを明らかにすることは、どんな状況ならば活用可能なのかを知るうえでも重要である。

確率過程という視点からの理論的検討によって、地震時の建物倒壊と出火の確率は、ともにガンベルの極値分布（極小型）となり、分布のパラメータは地震力の関数になることがわかる。これら関係式から地震力を表す変量を消去することで、地震時の建物倒壊確率  $x$  と出火確率  $y$  の関係式が次のように求められる。

$$\ln[-\ln[1-y]] = a * \ln[-\ln[1-x]] + b, \quad (a, b \text{ はパラメータ})$$

簡単な検討により、先の川角式は、実用範囲で上記の確率式の近似式になっていることがわかる。

## 2. 地震時火災状況での避難行動モデル

地震時の被害推定において、地震時火災状況での避難行動モデルを構築することは重要である。従来の避難行動モデルでは、避難者は火災の拡大状況をいつでも完全に把握でき、避難地および避難地へのルートを知っており、かつ最適な行動を常に選択できるものと想定されてきた。しかし、このモデル化は現実的でなく、避難者の多くは火災の拡大状況を他の避難者からの伝聞によって判断するしかなく、また、避難地の場所に関する地理空間のイメージも実際とは異なりゆがんだものとなっている。

さらに、一部の避難者は自ら適切な判断をせず他の避難者に追従する行動をとる。これらの事実をモデル化したシミュレーションモデルを構築した。

火災拡大と避難行動のシミュレーション結果より、被害が伝聞プロセスにより大きく左右されることから、避難ルートにそって正確な火災拡大状況を伝える情報提供施設の設置が必要であることが分かった。また、都市空間の地理的イメージがゆがんでいと致命的な避難結果に終わる可能性が高いことも判明した。

# A Fire-Spread Urban Model following Earthquake

Yoshitsugu Aoki, Architecture and Building Engineering

## 1. Stochastic Theory on Outbreaks of fire following Earthquake

On a relationship between the rate of fire-outbreak;  $y$  and the rate of building destruction;  $x$  following an earthquake, Dr. Kawasumi found a following logarithm law from data of Kantoh Earthquake,

$$\ln(y) = a \cdot \ln(x) + b$$

This Kawasumi-formula was modified and applied on estimations of number of fire-outbreaks by an earthquake. Any theoretical base of this formula was not made clear. It is important to discuss the reason why the Kawasumi-formula hold and the restriction for application.

Through consideration from a view of stochastic process, the probabilities of fire-outbreak and building collapse can be expressed by Gumbel's extreme distribution (minimum type) which are functions of a variable expressing earthquake-force. By eliminating the variable, a following relation between probability of fire-outbreak;  $y$  and one of building collapse;  $x$  is obtained.

$$\ln(-\ln(1-y)) = a \cdot \ln(-\ln(1-x)) + b$$

By mathematical discussion, it is proved that the Kawasumi-formula is an approximation of the above stochastic formula.

## 2. Evacuation Behavior in Fire-Spread City following Earthquake

For estimation of loss by earthquake, it is important to construct a simulation model on evacuation behavior in a fire-spread urban area following earthquake. We proposed a model of evacuees who judge the circumstances and decide their evacuation routes based on the hearsay information and the geographical urban image for simulating the evacuation behavior with reality.

As the results of simulations on fire-spread and evacuation, it is confirmed that the hearsay information process is important for safety evacuation and the information service facilities should be located along the evacuation route. It is also shown that the transfigured geographical image leads to fatal evacuation.

# 地下構造物の耐震

土木工学専攻一 教授 日下部 治

## 1. 都市圏における地下空間利用

都市圏空間の高度土地利用の要請は、必然的に地下空間の利用を促進させる。地下空間利用技術の進展に伴い、従前地上に設置されてきた施設でさえも、大気汚染、騒音、日照障害、排水処理などに対する都市居住環境の保全のために地下に計画・設置される場合が増え、高架方式による鉄道・道路施設の新設は周辺住民の合意を得ることが困難になりつつある。都市地震工学の立場から地下構造物の耐震性評価と耐震設計法の確立、および地下空間の防災対策は今後重要性を増すと予想される。

## 2. 地下構造物の耐震設計

一般に地上構造物に比べて地下構造物の耐震性は高いと考えられてきている。しかし、ほとんどの地下構造物は、その機能からして地上施設、地上構造物との接続点を有しているのが通常である。例えば、地下に建設される高速道路網では、地上あるいは高架形式の既設の主要幹線道路との接続が必要で、浅層域での分岐・合流点が多数建設されることになる。このように構造物の地下化に伴い、従来にない構造形式の採用が予想され、それらの耐震設計の確立には、多様な地盤条件下と幾何学的制約条件における地盤と構造物の相互作用に関する詳細なメカニズムの把握が要請される。

## 3. Physical modeling の重要性

地盤材料は、応力の履歴と応力レベルによって挙動を大きく異にする。したがって地盤と構造物の相互作用を実験的に再現するには、適切な実験装置と高度の実験技術を必要とする。当該分野で採用されている手法は遠心装置を用いた動的な実験、あるいは地震動による地盤のせん断変形モードを模型地盤—構造物系に付与する準静的な実験である。これにより実物大実験では再現不可能な大変形領域における相互作用のメカニズムの把握が可能となると同時に数値解析モデルの適用性の限界を明確にする。

## 4. 我々の研究計画

本 COE においては、従来の研究蓄積に基づき下記の基礎的研究および応用研究を実施する予定で、応用研究においては積極的に他の研究機関との連携のもとで共同研究を進める計画である。なお研究では、physical modeling と numerical modeling の両面から検討を加える。

- (1) 動的土圧と液状化圧
- (2) 浅層域におけるトンネルの分岐・合流部の耐震対策技術（鹿島：技術研究所と共同研究）
- (3) トンネル孔口の耐震性評価と補強技術（JR：鉄道総合技術研究所と共同研究）
- (4) 直接基礎の耐震補強技術（JR：鉄道総合技術研究所と共同研究）

# Seismic Design for Underground Structures

Osamu Kusakabe, Professor, Department of Civil Engineering

## 1. Utilization of underground space in urban areas

Extensive land use in urban areas inevitably accelerates the use of underground spaces. With the recent development of technologies for utilization of underground spaces, there exists an increasing trend of putting facilities, which used to be constructed on the ground surface, into underground due to environmental considerations such as air pollution and noise. It appears in recent years that public in urban areas would not accept construction of railways and highways by a series of viaduct in urban areas. From the viewpoint of Urban Earthquake Engineering, development of methods for evaluating seismic performance of underground structures and for designing underground structures and safe underground spaces becomes of vital importance.

## 2. Seismic design for underground structures

It has generally been considered that seismic performance of underground structures is superior to that of super-structures. We must notice, however, that all most every structure has a connection portion with structures on the ground for functional requirements. For instance, highway networks constructed in the underground should have several junction points with existing trunk roads on the ground or on the viaduct by constructing merging lines and surfacing lines in the shallow depths. Design and construction of new type of these facilities needs careful examination of the mechanism of interaction between the structures and the surrounding soils under various soil conditions and restrictions imposed on the site.

## 3. Importance of physical modeling

Behaviour of geo-materials greatly varies with stress history and stress level of soil layers. Thus it is absolutely necessary to establish the prototype soil condition in the model with appropriate experimental facilities and experimental techniques for studying the interaction between the structures and the soil. Widely used experimental techniques are dynamic tests in a centrifuge or active type shear box tests, which can impose the pre-determined shear deformation profile of the ground due to earthquake motions. By these tests the interaction mechanism in the large deformation ranges can be grasped and the applicability and limitations of numerical modeling can be quantitatively evaluated

## 4. Research plan

Based upon the accumulated research outputs and experiences, the following research topics, both fundamental and practical issues, are planned to investigate in this COE project. Research collaboration with other research institutes is highly encouraged.

- (1) dynamic earth pressure, liquefaction pressure,
- (2) seismic design for tunnel with merging and surfacing lines in the shallow depths( with Kajima),
- (3) Seismic design and reinforcement for tunnel entrance (with JR),
- (4) Seismic design and reinforcement for shallow footing (with JR)



# 建築の耐震から都市の耐震へ

建築物理研究センター 教授 和田 章

## 1. 建築の耐震設計

耐震構造として、免震構造、強度抵抗型構造、パッシブ制振構造、骨組の靱性に期待する構造など多くの方法が研究され、これらの方法により多くの建築物が建設されている。最も高い耐震性を期待できるのが免震構造であり、あとは上に示した順に続くといえる。技術への驕りは避けるべきであろうが、設計用地震動の性質と大きさを決めれば、上記の4種の構造法それぞれの可能な範囲で、望む性能の耐震構造の設計が可能な段階にある。

## 2. 都市の耐震設計

地震の発生は自然現象であり、建築構造物の耐震設計上最も大きな問題は、その敷地に将来起こる地震動はどのような大きさでいつ起こるか、我々には知りようがないことである。発生確率は非常に小さいが起こりうる大地震動を設計上無視することは経済性を前提にした工学的判断としてありうる。しかし、この行動は都市の賭けである。一つ一つの建物の寿命は60年であっても、都市の寿命は数百年、千年を超えるからである。個々の建築は都市の構成要素であり、一つの建築の寿命と地震の発生頻度の関係だけから個々の建築物の耐震レベルを決めたのでは、都市の耐震問題は解決しない。

## 3. 耐震設計レベルと個人の財産権の侵害

だからといって、起こり得る最大級の地震動に対して個々の建築物を設計し、その建築物が数十年後に取り壊されるまで大きな地震を受けなかった場合、無駄な構造を作ってしまったと社会から言われる。高すぎる耐震性を個人や私企業に対し、法的に要求するのは日本国憲法・第29条〔財産権〕を侵すといわれている。非常に難しい問題である。

## 4. コスト増を伴わない耐震性の飛躍的向上

新しい技術開発を進め、従来からの建築構造に費やしていたものとはほぼ同じ費用で、飛躍的に高い耐震性を持たせる構造方法の開発が必要である。余計な費用を要しないならば、極めて稀にしか起こらない大地震動に対しても、建築構造物を無損傷にすることの合理性が生まれてくる。社会はこの支出を無駄とはいわなくなるはずである。結果として都市の賭けの安全性も非常に高まる。都市の寿命を1000年、2000年とすれば、これらに見合った再現期間の地震動を設計に用いることもできるようになる。

## 5. 我々の研究方針

我々の研究の焦点はこの飛躍的に高い耐震性の追及にある。明治維新以降、ヨーロッパから日本に導入された鉄筋コンクリート構造、鋼構造の建築物は、この100年間に多くの地震被害に遭い、21世紀になってようやくその限界が分かってきたように思う。免震構造、パッシブ制振構造などの新しい技術を進歩させ普及させることにより、都市の耐震性の向上に努めなくてはならない。求める耐震性能を固定しコストダウンを図るのでなく、コストをほぼ一定にする中でより高い耐震性能を持つ建築構造を都市に普及させる必要がある。

# Seismic Design: From Buildings to Cities

Akira Wada, Professor, Structural Engineering Research Center

## 1. Seismic design of buildings

Many studies have been carried out on a variety of earthquake resistant structures such as seismic isolated structures, strength oriented structures, passively controlled structures and ductile frame structures. Of these methods, the highest seismic performance is expected from seismic isolated structures. Structures can be designed to achieve the required performance within the limits of each of the above four structural methods, if the design earthquake ground motion can be defined.

## 2. Seismic design for city

Earthquake is a natural phenomenon. The largest problem in the seismic design of building structures is the uncertainty of future occurrence of ground motion where the building stands. When it will happen and how large it will be are totally unpredictable. The probability of occurrence of a large earthquake ground motion may be evaluated as negligible, and thus neglected in the design process on economic grounds. However, this would be a big gamble, because although the life of individual buildings may be 60 years, the life of a city may be longer than 1000 years. Individual buildings are components of a city. The seismic issues of a city cannot be solved if the seismic resistance of its individual buildings is determined only from the relationship between the life of a single building and the earthquake occurrence in this life span.

## 3. Level of seismic design and violation of private property rights

Nevertheless, criticism would arise from society if individual buildings were designed for the largest level of earthquake ground motion. However, if there had been no large earthquake in the period until the building was demolished after several 10s of years, the structures would have been wastefully over-designed. Actions to legally demand excessively high seismic performance are interpreted as a violation of Article 29 of the Constitution of Japan [property right].

## 4. Leaping improvement of seismic performance that does not increase cost

It is necessary to develop advanced technologies that provide a huge leap in seismic performance at the same cost as current construction methods. If the cost is not excessive, the rationale is put in place to seek no building damage against very rarely occurring large earthquake ground motions. Society could then not claim that the expenditure is wasted. As a result, safety of cities would become very high.

## 5. Research target

The focus of our studies is to pursue this huge leap in seismic performance. It is necessary to greatly improve seismic performance of cities by popularizing new technologies such as seismic isolated structures and passively controlled structures. The desired approach should be to promote building structures of higher seismic performance while maintaining generally the same cost rather than the approach of fixing the required seismic performance followed by seeking cost reduction.

# 防災施策としてのインフラストラクチャマネジメント

国際開発工学専攻 助教授 上田孝行

## 1. 問題意識

既に蓄積された膨大な都市インフラの維持・更新は今後の大きな政策課題である。本来は十分な耐震性能を発揮すべき都市インフラが疲労、腐食、破損等により経年劣化を示しているとするれば、都市活動がより大きな地震災害リスクに晒されていることを意味する。本報告は、この問題意識から、防災施策としての都市インフラのマネジメント手法について基本的な考え方を示す。

## 2. インフラストラクチャマネジメントの基本的考え方

インフラストラクチャマネジメント(Infrastructure Management, 以下では IM と略す。)は、不確実性を含む様々な環境(自然環境だけでなく社会経済環境も含む)のもとで長期の時間視野にわたってインフラがもたらす価値を最大にすることを目的としている。このような問題は、工学的には確率制御問題(Stochastic Control Problem: SCP)として捉えることができ、次のように定式化することができる(小林・上田(2003)を参照)。

$$V(X(0)) = \max_{u(t) \in U} E_X \left\{ \int_0^T \pi(X(t), u(t)) \exp(-\rho t) dt + V(X(T)) \exp(-\rho T) \right\} \quad (1.a)$$

$$\text{s. t. } dX(t) = g(X(t), u(t), \omega(t)) \quad (1.b), \quad X(0) = \bar{X}(0): \text{given.} \quad (1.c)$$

ここで、状態変数  $X(t)$  は時点  $t$  でのインフラの状態および経済社会の状態を表す変数であり、インフラの健全度や劣化指数などはこの状態変数に含まれる。 $u(t)$  は制御を表し、時点  $t$  において実行される施策または行動を意味する。実施する補修や更新の量、点検の程度などを表す。 $\pi(g)$  はインフラが生み出す価値であり、計画の時間視野は  $T$  であり、終端状態  $X(T)$  に依存してインフラの価値  $V(X(T))$  が決定される。期待値操作  $E_X$  は、確率過程に従う  $X(t)$  のあり得るパスについて確率で考え、積分は割引因子  $\exp(-\rho t)$  および  $\exp(-\rho T)$  (ただし、 $\rho$  は割引率) を用いて現在価値に換算された上での合計である。 $X(t)$  はランダム要因  $\omega(t)$  に依存した確率変数であり、防災論の立場からはランダム変数が地震外力などの地震時の自然状態を表すこと、そして、補修・更新の観点からは劣化過程に影響する各種の不確定要因を表すことから、確率微分方程式(1.b)を特定化する作業が IM を致命的に支配する結果になる。

このように SCP として定式化された IM の解は、各時点  $t$  において実現した状態  $X(t)$  から行なうべき制御(行動)  $u(t)$  への mapping として表現される。 $X(t)$  は確率変数であり、その実現値は将来時点  $t$  になってから確定するということから、事前には将来  $X(t)$  が実現したら制御  $u(t)$  を実行するというルールとして解が得られることになる。その意味で、IM は「不確実な将来において、生じ得る状況毎に実行する行動をルールとして事前に決定して、状況を的確に把握しながらそれを遵守していくこと」であるということができる。無論、広義には、「とりまく環境についての知見を取り入れながら、ルール自体を改善していくこと」をそれに加えることができよう。

【参考文献】小林潔司・上田孝行(2003), インフラストラクチャマネジメント研究の課題と展望, 土木学会論文集, 印刷中

# Infrastructure Management for Disaster Prevention

Takayuki UEDA, Associate Professor, Department of International Development Engineering

## 1. Importance of Maintenance/Replacement in Disaster Prevention

Maintenance/Replacement of huge urban infrastructure stock is a great social concern. If a system of urban infrastructure has been degraded with fatigue, erosion or damage, then urban activities are at great risk of earthquake. In this context, basic concepts of infrastructure management for disaster prevention are to be illustrated briefly.

## 2. Basic Concepts of Infrastructure Management

Infrastructure Management (IM in short) aims at maximizing the value of infrastructure during the long time span in stochastic environment, where there exist a variety of uncertain factors including natural factors and socio-economic factors. Following Kobayashi and Ueda (2003), we can formalize IM as a Stochastic Control Problem (SCP) like

$$V(X(0)) = \max_{u(t) \in U} E_X \left\{ \int_0^T \pi(X(t), u(t)) \exp(-\rho t) dt + V(X(T)) \exp(-\rho T) \right\} \quad (1.a)$$

$$\text{s.t. } dX(t) = g(X(t), u(t), \omega(t)) \quad (1.b), \quad X(0) = \bar{X}(0) : \text{given.} \quad (1.c)$$

$X(t)$  is a state variable at the point in time  $t$  which denotes a physical state of infrastructure or a socio-economic environment. Variables like health index or level of degrading should be included in this category.  $u(t)$  denotes a control or action, which means the volume of maintenance work, replacement and inspection in IM.  $\pi(g)$  is the value that the infrastructure generates at the point in time  $t$  in terms of flow.  $T$  is the time span of management, and the terminal value  $V(X(T))$  dependent on the terminal state  $X(T)$  should be considered. The operator  $E_X$  means the expectation with probability for each sample path of  $X(t)$  and the integral is for the summation with discount factor  $\exp(-\rho t)$  and  $\exp(-\rho T)$ , where  $\rho$  denotes the discount rate. It should be noted that  $X(t)$  is a stochastic variable dependent on the random factor  $\omega(t)$ .  $\omega(t)$  should be interpreted as an external force by earthquake in the context of structural mechanics, or as a unknown factor governing a degrading process in material engineering. Specification of state equation (1.b) is the most crucial in IM.

The solution of the SCP is a mapping of  $X(t)$  to  $u(t)$ . This suggests a rule that if the state  $X(t)$  is realized at the point in time  $t$ , then do the control or action  $u(t)$ . We can summarize IM as “Now decide the action for each state in future as the rule. Then always watch the state and obey the rule.”. In wider sense, we can add “Rewrite the rule by incorporating knowledge of what are surrounding the infrastructure.”

【Reference】Kobayashi, K. and Ueda T. (2003), Perspectives and Research Agendas of Infrastructure Management, JSCE Journal, Infrastructure Planning and Management, in printing.

## 21 世紀 COE プログラム「都市地震工学の展開と体系化」に期待するもの

京都大学名誉教授 立命館大学教授 土岐 憲三氏

### 土岐 憲三氏 略歴

生年月日	昭和 13 年 8 月 29 日
学歴	京都大学工学部土木工学科（昭和 36 年）卒 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻（昭和 41 年） 博士課程修了
専攻分野	地震工学、文化財防災
学位	工学博士（京都大学）
職・経歴	昭和 41 年 京都大学工学部助教授 昭和 51 年 京都大学防災研究所教授 平成 5 年 京都大学工学部教授 平成 8 年～10 年 東京大学大学院工学系研究科客員教授 平成 9 年～11 年 京都大学大学院工学研究科長兼工学部長 平成 13 年～14 年 京都大学総長補佐 平成 14 年 立命館大学理工学部教授
受賞歴	土木学会論文奨励賞（昭和 42 年） 土木学会論文賞（昭和 53 年） 国土庁長官表彰（平成 5 年） 通商産業大臣表彰（平成 8 年）
著書	『構造物の耐震解析』土木学会編、技報堂出版（昭和 56 年） 『動的解析と耐震設計』（編著）土木学会編、技報堂出版（平成元年） 『地震防災の事典』（編著）朝倉書店（平成 12 年）ほか

## 21 世紀 COE プログラム「都市地震工学の展開と体系化」に期待するもの

東京大学名誉教授 建築防災協会理事長 岡田 恒男氏

### 岡田 恒男氏略歴

生年月日	昭和 11 年 1 月 25 日
学歴	東京大学工学部建築学科 (昭和 34 年) 卒 東京大学大学院 (昭和 36 年) 修士課程修了
専攻分野	建築耐震工学、耐震設計論、都市防災
学位	工学博士 (東京大学)
職・経歴	昭和 36 年 東京都立大学 助手 昭和 41 年 東京大学工学博士「鉄筋コンクリート柱の塑性復元力に関する研究」 昭和 42 年 東京大学生産技術研究所講師 (第 1 部動的・材料強弱学部門) 昭和 44 年 東京大学生産技術研究所 助教授 昭和 55 年 東京大学生産技術研究所 教授 平成 元年 東京大学生産技術研究所 所長・東京大学評議員 平成 8 年 停年退官 平成 8 年 芝浦工業大学 工学部 建築工学科 教授 平成 8 年 東京大学 名誉教授 (財)日本建築防災協会会長
受賞歴	日本建築学会賞 (論文)「鉄筋コンクリート造建物の耐震性の評価に関する研究」 (昭和 56 年) 国土庁長官賞「地震防災に関する功績」 (平成 7 年) 科学技術庁長官賞「原子力の安全確保に関する功績」 (平成 8 年)
著書	『既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準』 (財)日本建築防災協会 (昭 52 年) 『既存補強コンクリートブロック造学校建物の耐力度測定方法』 第一法規 (昭 60 年) 『あと施工アンカー設計と施工』 技術書院 (平成 2 年) 『鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針同解説』 (社)日本建築学会 (平成 2 年) 『地震防災の事典』 (編著) 朝倉書店 (平成 12 年)、ほか

# 防災の分野における研究開発について —防災分野の研究開発に関する委員会報告—

(財) 日本建築防災協会理事長 岡田恒男

## 1. まえがき

日本列島は、世界的に見ても、地震、台風、火山噴火、豪雨・豪雪など多くの自然現象に起因する大きな災害を受けやすい環境にあり、これらの災害の防止・軽減を図ることは安全で安心な国土づくりの観点からも必須のことである。このためには、災害のメカニズムを科学的に解明し、防災力を向上させるための研究開発を行い、これらの成果を国、自治体などが行う防災対策、ならびに、都市、個々の構造物の防災力の向上に生かしてゆくことが重要である。

わが国における防災科学技術に関する研究開発は、「防災に関する研究開発基本計画（平成5年12月）」に沿って進められてきたが、策定されてからすでに9年が経過したこと、阪神・淡路大震災（平成7年）、有珠山ならびに三宅島噴火（平成12年）などの災害が発生したこと、内閣府総合科学技術会議が「科学技術基本計画（平成13年3月閣議決定）」をとりまとめたこと、などによりこれを見直す必要が生じた。

このため、文部科学省の科学技術・学術審議会、研究計画・評価分科会に設置された「防災分野の研究開発に関する委員会」においては、防災科学技術の今後10年程度を見通し、当面5年程度の間文部科学省において進めるべき重要課題などの検討を行い、この度、委員会報告「防災に関する研究開発の推進方策について（平成15年3月13日研究計画・評価分科会承認）」をとりまとめ公表した。筆者は「防災分野の研究開発に関する委員会」の主査を務めたのでその概要を解説する。なお、報告書本文51ページ（A4版）、概要2ページ（同）、参考資料137ページ（同）については、以下に示す文部科学省のホームページに公開されているので参照されたい。

([http://www.mext.go.jp/a\\_menu/kagaku/shingi/](http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/shingi/))

## 2. 報告書のポイント

委員会活動の主なものは、1) 平成5年に改訂された「防災に関する研究開発基本計画」に沿って、その後の進捗状況・研究成果及び今後の展開についての現状を把握するために、広汎な研究開発状況調査を行ったこと、2) 研究開発状況調査により得られた個別の研究開発課題を新たな視点から分析・評価し、重要と認められる課題を、研究対象分野としては、「気象災害」、「地変災害」「災害に強い社会づくり」の3分野に、その研究開発活動の内容に関しては、「実証データを収集する」、「データベース化する」、「災害のメカニズムを明らかにする」、「災害を予測する」、「防災力を向上させる」の5種類に整理し、【分野別重要研究開発課題】として136の研究開発項目を例示したこと、および、3) 地震災害への対応を中心として、社会の防災力の向上に多大な貢献が期待される研究開発領域でありながら、従来必ずしも十分に研究が行われていない総合的な分野、又は、さらに積極的に推進すべき分野を【重点研究開発領域】とし、当面重点的に推進すべき研究開発の7つの大目標と主要研究開発課題を提示したこと、などである。

以下に、提案した7つの重点研究開発領域の概要を示す。

### 3. 重点研究開発領域

#### 1) 防災対策の戦略の構築（リスクマネジメント等）

想定される災害に的確に対応するためには、過去の災害発生状況等からその範囲や規模を推定し、それに即した対策を定めておき、その対策を実行するために必要なマニュアル等の整備や実践的な訓練を行うことが重要である。また、災害の規模が予想を超えて拡大したとき、これに迅速・的確に対処できるような組織構成や人材育成も重要である。

これらの防災対策を有効に実行するためには、(1) 防災リスクマネジメントの体系化と適用方策の構築、(2) 災害の種類や地域・都市の特性を考慮した被害想定的高度化、(3) 防災対策のコストや適用限界を考慮したリスクマネジメントのあり方の研究、(4) 中枢管理機能施設、文化財を含む構造物のハード対策とソフト対策の最適な組み合わせ等の総合的減災システムの研究、などが必要である。

#### 2) ハザードマップ（災害発生危険度予測地図）の高度化

ハザードマップは、地域住民や滞在者が当該地域の安全性を評価し、災害発生危険箇所を知り、災害時の行動を適切に行うために非常に有用である。現在、地方自治体においては地域防災計画を策定し、それに基づいて防災対策が行われているが、まだ十分とは言えない。近年は、災害発生機構の理解や災害データベース等の成果を踏まえて、地理情報システム（GIS）を活用したより詳細な地図の作成が可能になっているが、今後は、これらを活用して地域住民に対してわかりやすいハザードマップを作成することなどが必要である。

このためには、(1) 洪水氾濫、土砂災害、高潮、地震、津波、火山噴火等各種災害に対応したハザードマップの作成・普及とその高度化、(2) 災害データベースの構築、(3) GIS、情報通信技術等を活用した危険度評価と被害特性の可視化、などの研究開発が必要である。

#### 3) 地震による構造物の破壊過程の解明

構造物の耐震性を明らかにするためには、従来の実験では想定されていなかった構造物の崩壊に至るまでの破壊過程の解明が求められており、構造物の実大模型を用いた震動実験が不可欠である。また、実大実験の成果を有効に生かすためには、中規模振動台あるいは大型試験機で行われる要素実験の研究とその成果に基づく構造物破壊実験のデータベースやシミュレーション技術の開発を進め、仮想的に実大模型の破壊を再現する数値振動台の開発を行うことが必要である。

主要研究開発課題としては、(1) 大規模三次元震動台と実大模型を用いた実験による構造物の破壊過程の解明、(2) 中規模振動台等を用いた要素実験、(3) 構造物破壊実験データベースの構築、(4) 数値振動台の開発などがあげられる。

#### 4) 既存構造物の耐震性の評価及び補強

構造物の耐震技術については、構造物の地震時振動特性の解明等が進み、耐震設計手法に取り入れられている。また、免震・制振技術、構造形式に対応した耐震診断・補強技術が開発され、実用化されつつある。しかし、既存構造物を全て短期間で更新することは不可能であることから、今後、コストも念頭に置きながら既存構造物、特に社会経済の中枢管理機能を担う施設、教育施設、文化財等の公共性の高い施設を対象とした耐震性評価技術、耐震補強技術、老朽化対策及び被災構造物の補強技術の開発・高度化を図る必要がある。

主要研究開発課題は、(1) 耐震性評価技術の高度化、(2) 耐震補強技術の高度化、(3) 耐震性能再生技術の開発などである。



## 5) 復旧・復興過程の最適化

大規模災害発生後における被災地域の復旧・復興過程においては、住民の被災状況やライフラインの破損状況等を克明に点検し、地盤や社会生活上の脆弱性を正確に把握した上で、被災した地域の社会全体を見渡した施策の実行が重要である。そのためには、過去に発生した災害時の復興状態を把握し、被災時における人間の心理状態の把握や復興対応の優先順位等の判断基準を策定するための調査研究や、実際の災害を想定した復旧・復興計画の策定を行い、災害発生時の状況に応じた施策決定を行うためのシステム構築が必要である。

主要研究開発課題としては、(1) 避難期、救援期、復興期における住民行動・行政の対応に関する検証、(2) 復興データベースの構築、(3) 各々の復興施策の評価とそれが住民に与えた影響の把握、(4) 復興対応の優先順位決定とその進め方の方針策定などがあげられる。

## 6) 先端技術の災害軽減への積極的利活用

防災分野への利活用を前提とした先端技術の研究開発を積極的に行うことによって、先端技術の災害軽減への利活用をさらに進める必要がある。災害対応シミュレーションは地震、火山噴火、水害等による被災状況の迅速かつ定量的な把握を可能にし、時々の状況に即した事前対策の構築や事後の効果的な災害対応を可能にする。また、被災直後の危険な現場におけるロボット等の活用は、救助での早期の被災者発見や情報収集、二次災害の防止等に大きく寄与する。

(1) 被害想定や災害対応シミュレーション技術の高度化、(2) 被災時の避難誘導訓練や、防災教育のためのシミュレーションシステムの開発 (3) 災害時支援・対応ロボット等の実用化先端技術の防災分野への円滑な導入と応用プロセスの研究などが主要研究開発課題としてあげられる。

## 7) 災害情報

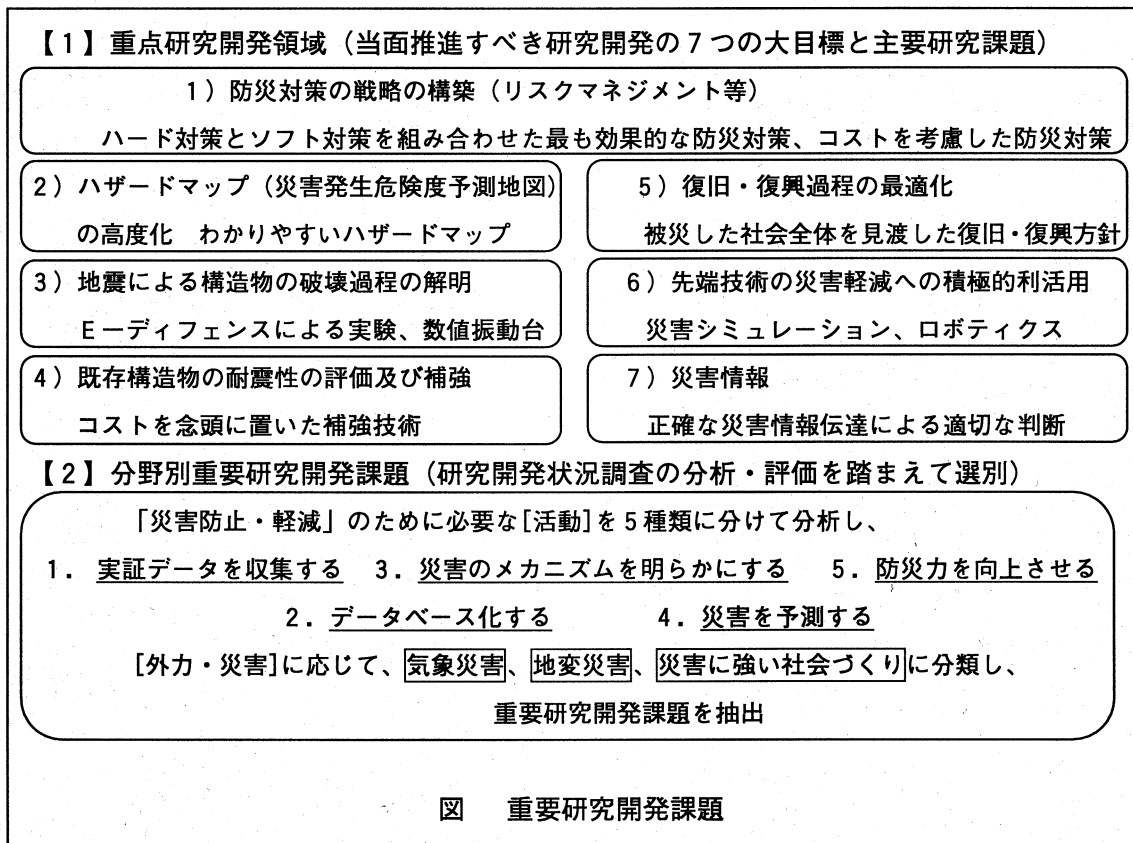
災害時には、国、自治体、警察、消防、ライフライン関係機関など防災関連機関が重要な災害情報を共有し、防災上の意思決定に活用できるようにすることが急務である。災害情報には、災害発生時の即時情報から災害直後の被災状況、復旧・復興時の支援状況の情報にいたるまで様々なものがあるが、それぞれの時間軸に応じた的確な情報の収集、解析、提供が災害軽減の上で重要である。災害時においては流言等によってさらに混乱が拡大することも懸念され、誤った情報による混乱を避けるため、地方自治体、企業、自治会といった防災関連組織が正確な災害情報を発信できる体制の構築が重要である。また、高齢化や国際化の急速な進展に伴い、難聴者や外国人が増大しているため、これらの人々に対する情報伝達手段も必要である。

主要研究開発課題は、(1) 災害情報の的確な収集、解析、提供システムの構築、(2) 災害情報の標準化、統合化に関する研究、(3) 災害情報とGISの融合、(4) リアルタイム地震情報伝達システムの開発などである。

#### 4. あとがき

防災あるいは災害軽減を推進するためには、国費などの事業費の投入が不可欠であることは言うまでも無いが、それが強調されるあまり、防災分野の技術は既に成熟したもので新たな研究開発は不要なのではないかとの誤解なしとはしない。しかしながら、災害を引き起こす原因となる自然現象、災害を拡大あるいは軽減する要因となる社会現象・社会構造、災害を軽減するソフト・ハードの技術など未知の部分が多く、同時に、僅かの研究投資で多くの防災対策効果を生み出す分野も多い。その意味において、文部科学省が、ライフサイエンス分野、情報通信分野、環境分野、ナノテクノロジー・材料分野に続いて防災の分

野を研究開発の重点分野として取り上げたことの意義は大きい。この報告書が、防災に関心のある研究者のみならず、多くの方々の理解を得ることを願っている。



本原稿は、日本学術振興会の学術月報7月号に掲載されたものを著者の了解を得て、編集し掲載した）



大学院総合理工学研究科  
人間環境システム専攻 ニューフロンティア基礎講座  
教授 大町 達夫

専門分野: 地震工学、土木耐震構造、地震防災  
キーワード: 設計用地震動、耐震性能、新形式の地震・津波防災システム、防災教育  
homepage: <http://www.enveng.titech.ac.jp/ohmachi/>

## 1 研究内容と目指すもの

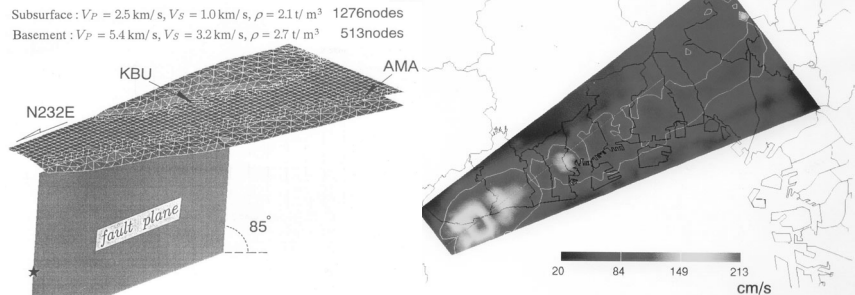
地震に強い社会環境づくりに貢献することを目指します。複雑で多様な現代社会がかかえる地震防災にかかわる諸分野の中には、最新の科学技術を駆使することによって解決可能な課題が多数あります。これらに対し、現場主義の立場から、科学的に取り組めます。

## 2 都市地震工学に関連する最近の研究テーマ

1995年の阪神淡路大震災は、近代的大都市の直下で発生した地震に起因するものでした。この震災の教訓を生かし、社会基盤システムの耐震設計には、いわゆるレベル2地震動を考慮することとなりました。この設計用地震動の設定方法の確立と普及に取り組んでいます。また近年、地震発生後、数分間以内に襲来する近地津波による深刻な被害が、世界中で頻発しています。このような近地津波に対して、一刻も早くて確かな警報を発信するためのシステム開発を行っています。さらに1999年台湾・集集地震によって提起された、地表地震断層による断層食い違いに対して安全性をいかに確保するかという新課題への取り組みや、学校生徒を「理科離れ」から引き戻し地震防災意識を高めるため、東京都内の中学高等学校と共同でネットワークを構成し強震観測を実施しています。

### 震源近傍における地震動の3次元数値シミュレーション

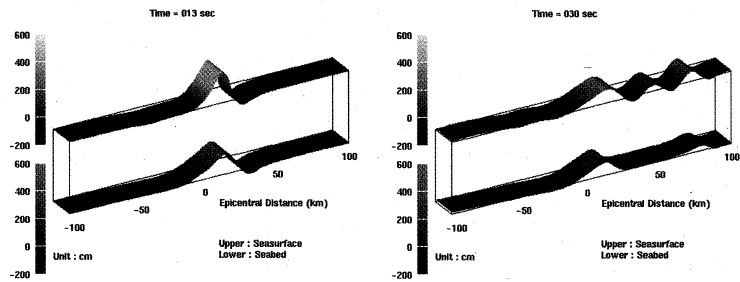
境界要素法を、断層と地盤の3次元数値モデルに適用し、1995年兵庫県南部地震による震源近傍の地震動をシミュレーションしました。これによって、「震災の帯」の生成原因の解明に貢献しました。また、レベル2地震動などの設計用地震動の設定技術を飛躍的に向上させるとともに、今後の重要課題を明らかにしました。



最大速度分布図 (ライズタイム1.0s, 白線は80cm/s)

### 断層運動による動的な地盤変位を考慮した津波シミュレーション

地震津波は、海底の震源断層によって発生する地震が原因です。従来の津波シミュレーションでは、地震による海底地盤の永久変位だけを考え、それによる海水面の隆起や沈降が長波として伝わるものとして扱われました。しかし実状に即して、地震動と永久変位の両方と、水中を音速で伝わる圧縮波までを含めてシミュレーションすると、津波の波源域では従来の予測を大幅に上回る波高となることが分かりました。しかも、津波が到達する前に、海水面の変動が観測されることも分かりました。このような性質を利用して、近地津波に対して有効な防災システムの開発を行っています。



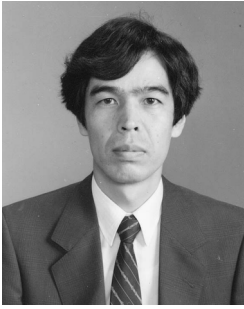
(出典:Ohmachi ほか(2001), 詳細は下記論文)

## 3 都市地震工学に関連する業績、プロジェクトなど

論文: T. Ohmachi, H. Tsukiyama and H. Matsumoto: Simulation of Tsunami Induced by Dynamic Displacement of Seabed due to Seismic Faulting, Bulletin of Seismological Society of America, 91, 6, pp.1898-1909, December 2001. など

プロジェクト参画: 日本学術振興会未来開拓研究推進事業「アジア地域の環境保全」(プロジェクトリーダー) など

受賞: ダム工学会論文賞 (2002)、土木学会論文賞 (2003)



大学院理工学研究科  
建築学専攻 建築基礎学講座 建築構造力学分野  
教授 時松 孝次

専門分野：地盤地震工学、 建築基礎構造、 地震防災、 地盤探査  
homepage : <http://www.arch.titech.ac.jp>

## 1 研究内容と目指すもの

地震時における都市施設の被害は、その耐震性能とともに、表層地盤の地震動の増幅作用や液状化などの地盤変状に起因している。また、地震後に個々の都市施設が健全であっても、地表および地中にはりめぐらされたライフライン（電気、ガス、上下水道、交通網）が被害を受ければ、個々の都市施設はその機能を失う。本研究室では、都市の地震災害軽減のため、地盤災害・地震動災害予測と被害軽減策の開発を行なっている。

## 2 都市地震工学に関連する最近の研究テーマ

### 先端技術を利用した地盤のリアルタイム耐震診断と震害予測

先端のIT技術を用い、地表で観測される微動から、リアルタイムで地盤の地震時の振動特性と地震動災害を予測するシステムの構築をめざす。図-1は、釧路市における3次元地盤構造推定のイメージ。

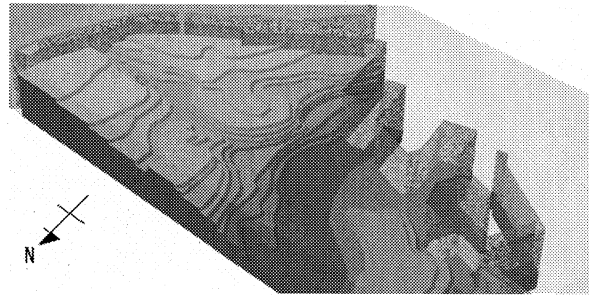


図-1 微動探査から求めた釧路市の3次元地盤構造

### 建物および基礎の3次元非線形動的相互作用の解明とそれに基づく被害軽減策

大地震時の地盤、杭基礎、建物系の3次元非線形動的相互作用が系の崩壊メカニズムに与える影響について、3次元振動台実験、遠心載荷試験から明らかにするとともに、新素材や新形式の基礎を用いた建物と基礎の振動制御および被害軽減策を開発する。

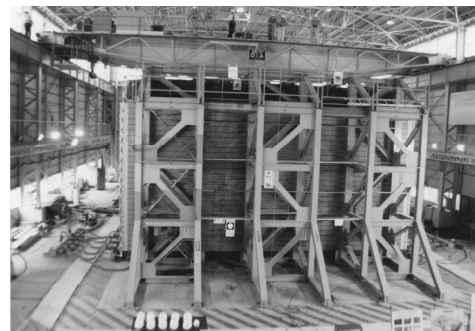


図-2 地盤杭基礎構造物系の大型振動台実験

### 地震時に地盤の強制変形を受ける構造物基礎の被害軽減策

液状化して流動する地盤の強制変形による構造物基礎への影響を振動台実験、遠心載荷試験から明らかにするとともに、新設、既設構造物基礎に対する被害軽減策、被害復旧策を開発する。図-2は、防災科学研究所との共同研究における振動台実験。

## 3 都市地震工学に関連する業績、プロジェクトなど

プロジェクト参画など：大都市大震災軽減化プロジェクト（平成14年度-）

Full Size Experiments and Centrifuge Physical Models of Pile Foundations Subjected to Lateral Spreading: Comparative Study and Engineering Interpretation（日米共同研究、平成14年度-）など

受賞：地盤工学会論文賞(1988)、2003年建築学会賞（論文）など



大学院理工学研究科  
 建築学専攻 建築基礎学講座 計画基礎学分野  
 教授 青木 義次

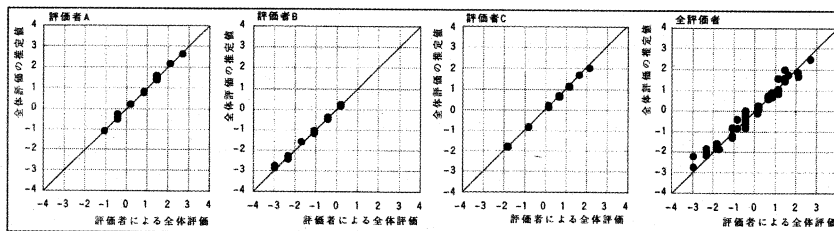
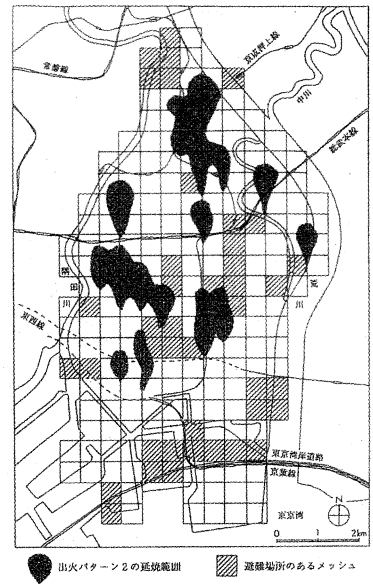
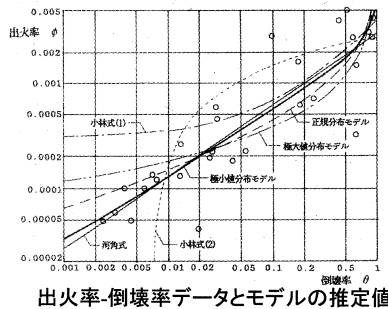
専門分野 : 計画理論, 計画手法, 建築都市形態論, 安全計画, 都市解析, 施設計画  
 キーワード : 計画プロセス, 計画倫理, 最適化, スキーマグラマー, 確率モデル, 空間相関, 満足度  
 homepage: <http://www.aokilab.arch.titech.ac.jp/lab/master.html>

## 1 研究内容を目指すもの

- 目標1: 建築・都市計画の基礎理論の構築
- 目標2: 建築・都市の計画手法の開発
- 目標3: 建築・都市形態の分析方法論の開発
- 目標4: 建築・都市の安全計画方法の開発
- 目標5: 都市形態形成の理論構築

## 2 都市地震工学に関連する最近の研究テーマ

- 1. 地震時都市火災の拡大理論
- 2. 防災計画支援システムの開発
- 3. 被災後の都市土地利用変化の理論



## 3 都市地震工学に関連する業績、プロジェクトなど

- 論文: 防災計画についてのエキスパートジャッジのモデル化, 日本建築学会論文報告集, No.546, 2001  
 情報伝達と地理イメージ変形を考慮した地震時避難行動シミュレーションモデル, 日本建築学会論文報告集, No.440, 1992  
 防火地域制と市街地の防火目標に関する一考察, 日本都市計画学会学術発表論文集, vol.26A, 1991  
 地震時出火の確率構造, 日本建築学会計画系論文集, No.412, 1990
- 著書: やさしい安全計画, 学芸出版社, 1999  
 Decision Support System in Urban Planning, F&FN SPON, 1997  
 建築安全論, 彰国社, 1983
- 受賞: 日本建築学会賞(1991年)



建築物理研究センター  
大学院総合理工学研究科 環境理工学創造専攻  
教授 林 静雄

専門分野: 建築耐震構造, 鉄筋コンクリート構造  
キーワード: コンクリート, 耐震性能, 耐久性, 耐震診断, 耐震補強,  
homepage: <http://serc.titech.ac.jp/~hayashi>

## 1 研究内容と目指すもの

鉄筋コンクリート構造は、現在の日本においてもっと数の多い構造形式である。震災時に避難と救援の中心の建物となる学校建築や地域の公的建造物はほとんど全てが鉄筋コンクリート構造であるといっても過言ではない。このような鉄筋コンクリート構造の耐震性向上と地震時の損傷性能の把握が研究の中心である。大地震の時だけでなく、中小地震における損傷を、その後の耐久性能の点から、鉄筋コンクリート構造のライフサイクルを考えた性能評価する必要がある。既存を含めた鉄筋コンクリート造建物の正確で簡便な耐震性能評価法の確立を目指している。

## 2 都市地震工学に関連する最近の研究テーマ

鉄筋コンクリート造建築物の耐震設計は、終局強度設計から性能設計へと移行しつつある。しかし、現在の設計体系と設計ツールは旧態依然としており、大地震時の安全性については、ある程度定義されているものの、中小地震動による損傷を防ぐべく、行なっている1次設計が保証している性能については、ほとんど不明である。鉄筋コンクリート耐震要素の中小地震動損傷評価法に関する研究を行なうとともに、中小地震動による損傷抑制法に関する研究を行い、耐久性も含めた形で性能設計の確立を目指している。また、現行設計では全く触れられていない、上部構造と基礎構造の連成を考えたラーメン構造解析法についても研究を行なっている。

### 柱の崩壊過程と損傷評価・損傷抑制

中小地震経験後の柱のひび割れ幅は再使用性を考える上で重要な指標となる。中小地震後の性能を保証する設計を行う場合や地震後の復旧計画に、せん断ひび割れの発生が予測される部分に部分的なプレストレスを与え、せん断ひび割れ幅を抑制するとともに、柱の破壊に到るまでのひび割れの進展や幅の拡大を経験せん断応力度やせん断補強筋のひずみと関連付けておくことが重要である。

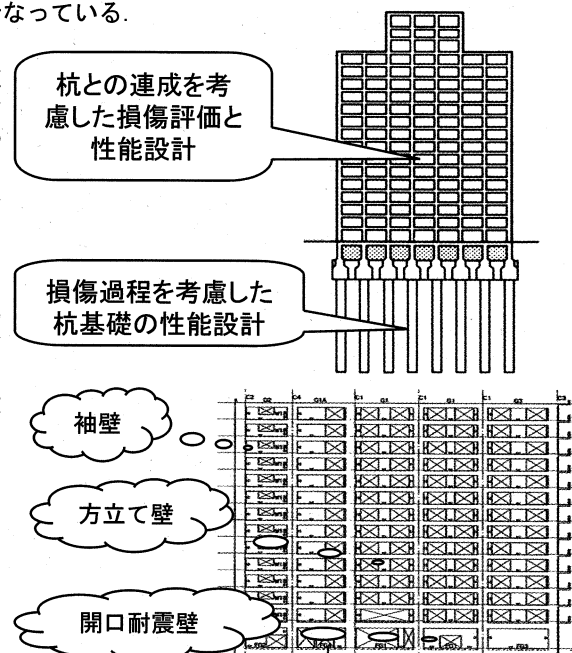
### 耐震壁の偏在や袖壁が建築物の耐震性能に及ぼす影響

壁のない建物は存在しない。耐震壁や雑壁が混在する構造物の耐震性に関する研究が進んでいないことから、スリットなどを用いて構造体から切り離している。しかし、これらの壁は、構造体と一体になっていれば、耐震性に大きな効果があり、数多くの建築物が雑壁によって大被害を免れている。壁が混在する建物の損傷保証設計の確立は、既存建物の耐震性判定の上でも重要である。

### 杭基礎の性能と杭-上部構造連成耐震設計法

場所打ちコンクリート杭と既製杭としてのプレストレストコンクリート杭を対象として、各杭体について、せん断終局強度と変形性能の関係を明らかにすることにより、損傷過程を考慮した靱性型の基礎構造の性能設計法を目指している。

杭の損傷過程を考慮し、各杭の時々刻々の剛性変化を考慮すると、上部構造への入力時震動の大きさと高さ方向の分布にも相違が表れる。建築物の性能保証設計を行なうためには、地盤-杭-上部構造の連性を考慮することが重要である。



## 3 都市地震工学に関連する業績

- 論文: ○大村哲矢, 林静雄, 篠原保二, 香取慶一, 岸田慎司; 耐震壁が偏在する鉄筋コンクリート造建物の耐震安全性に関する評価 (その2 立体フレーム実験による検証), 日本建築学会構造系論文報告集, 第534号, pp. 129-136, 2000. 8  
○大宮幸, 松浦康人, 香取慶一, 林静雄; 袖壁付き柱の破壊形式を考慮したせん断終局強度に関する実験および考察, 日本建築学会構造系論文報告集, 第553号, pp. 81-88, 2002. 3  
○金東範, 長江拓也, 香取慶一, 林静雄; RC造柱の断面形状が損傷過程と終局性能に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 24, No. 2, pp. 205-210, 2002. 6

受賞: K. KATORI, S. HAYASHI; CONCRETE AWARD 2000, READY-MIXED CONCRETE ASSOCIATION OF SINGAPORE, 2000



大学院理工学研究科  
建築学専攻 建築計画学講座 建築構造計画分野  
助教授 堀田 久人

専門分野: 建築耐震構造, 鉄筋コンクリート構造  
キーワード: コンクリート, 耐震構造, 非線形応答解析

## 1 研究内容と目指すもの

鉄筋コンクリート構造物の非線形挙動の把握・鉄筋コンクリート構造の解析技術の高度化・高靱性部材の開発

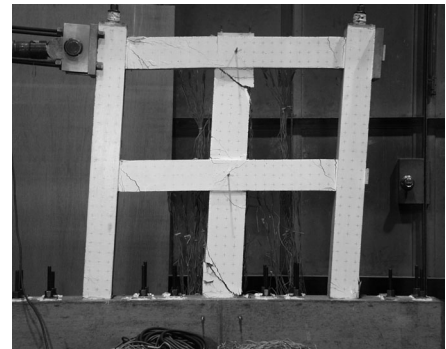
## 2 都市地震工学に関連する最近の研究テーマ

### 非構造部材が鉄筋コンクリート構造物の耐震性能に及ぼす影響

#### 一方立て壁を有する平面架構の保有耐力に関する実験的研究

方立て壁を含む雑壁は、耐震壁としての要件を満たさないことから、従来構造的な働きをしない非構造部材として扱われ、構造計算上その存在が無視されていた。また、近年では、その仮定の不具合から、雑壁は文字通りの非構造部材としてスリットを設けて構造体から切り離される傾向にある。しかしながら、これらの雑壁は、建物にバランスよく配置されていれば、当然耐震性能の向上に寄与する。

右の写真は、雑壁の内、方立て壁が架構の耐震性に及ぼす影響に関する研究の実験風景である。鉄筋コンクリート部材は一般に曲げによって降伏すると材軸軸方向に伸びる傾向にある。壁の軸方向伸びは主架構の梁に大きな変形を強いる。実験はその程度の大きさを把握するためのものである。



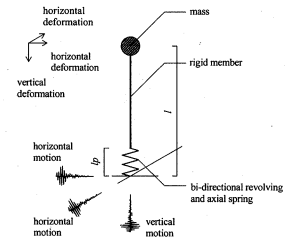
### 柱の軸力-曲げ連成挙動のモデル化

#### ファイバー法を用いた鉄筋コンクリート柱の3方向地震応答解析

構造物の非線形領域での応答を把握する上では、立体骨組の応答解析が不可欠である。そのためには、他にも諸々の要件はあるが、柱の2軸曲げ-軸力連成挙動を的確にモデル化することが重要である。

本解析的研究では、柱の弾塑性モデルとして、ファイバー法を用いた場合に安定した収束解が得られる解析手法の提案を行なっている。

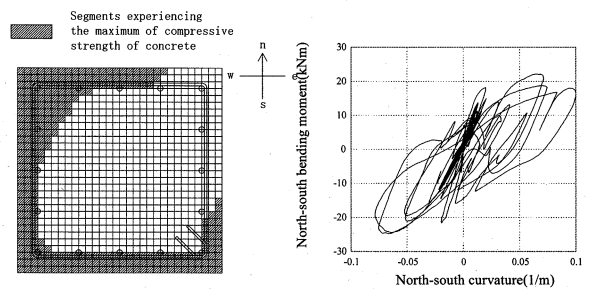
右図は、3方向の地震動入力下での鉄筋コンクリート柱の応答解析結果の1例である。



### 高靱性部材の開発

鉄筋コンクリート構造は、基本的には延性材料である鉄筋の破壊(降伏)を脆性材料であるコンクリートの破壊に先行させることで変形性能を稼いでいる。一般に部材配筋は材軸方向筋および材軸直交筋で構成され、一体整形の剛節構造を基本とするが、これが完成形とは言えず、更なる工夫によって、部材および構造システムの変形性能を飛躍的に改善しうる余地を残している。

本研究室では、これまでに、偏心配筋柱、材端部で切断した鉄筋を付加配筋した柱、コンクリートの打ち継ぎを利用したピン支持柱の開発を行なってきている。



## 3 都市地震工学に関連する業績

- 論文: 堀田久人、長尾真奈; 独立耐震壁と純ラーメンが直交するRC構造物の2方向地震応答解析、日本建築学会構造系論文集、第572号、2003.10。掲載予定  
堀田久人、香川賢次、滝口克己; 実構造物を模した端部境界条件を有するRC造柱の曲げ強度及び変形性能に関する研究、日本建築学会構造系論文集、第559号、pp.197-203、2002.9。  
堀田久人、上田智一; ファイバーモデルを用いた系の地震応答解析における直接収束解法、日本建築学会構造系論文集、第555号、pp.135-139、2002.5。





**建築物理研究センター  
教授 笠井 和彦**

専門分野: 建築構造、耐震工学、構造工学、振動工学、材料力学  
キーワード: 制振構造、制振部材、ダンパー、変位依存型、速度依存型、混合依存型  
homepage: <http://www.serc.titech.ac.jp/kasailab/>

**1 研究内容を目指すもの**

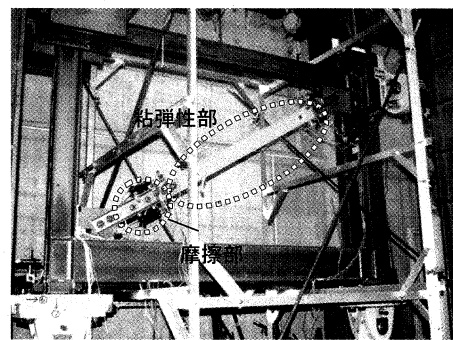
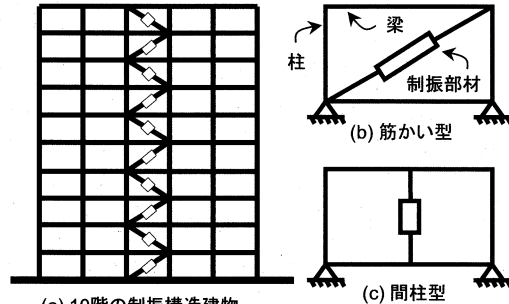
都市機能が非常に高度化してきた現在、地震が深刻な社会経済的被害をもたらすようになった。今、首都圏に第二の関東大震災が起これば、経済被害は兵庫県南部地震の10倍以上、100兆円以上と予測する専門家は少なくない。都市の成長とともに年々増える社会財産を地震から守るため、安全基準を最低限満たす従来の建築構造と対比し、建物の機能と価値を地震から守る新しい建築構造が不可欠となってきた。

そこで我々は、建物の揺れを抑える装置を組み込んだ新しい建築構造の開発や、その性能評価法および設計法の構築を行うことで、従来と比べ格段に優れた耐震性能をもつ新しい構造の普及の手助けとなるよう努力している。特に最近では住宅から高層ビルまで適用可能なパッシブ制振構造に興味があり、図a~dに示すものを始め、多くの構造形態を研究対象としている。

また、図中の制振部材（ダンパー）の種類も、高分子化合物からなる粘性体や粘弾性体、オイルなどの粘性流体、車両ブレーキなどに用いる摩擦材、そして塑性変形能力に富む鉛材や鋼材を用いたものと数多くあり、これらの包括的な実験・解析研究を行っている。

建物が左右に揺れると、制振部材が変形して運動エネルギーを即座に吸収することで、建物振動の増幅を防ぐことが出来る。制振部材が無いと従来の鉄骨や鉄筋コンクリートの構造となり、エネルギー吸収は梁や柱が壊れながら行うことになる。制振部材があれば、エネルギー吸収を肩代わりするので梁・柱が助かる。

このように原理は明確だが、前述のように異なる構造形態や制振部材の組み合わせからなる制振構造の種類は数多く、具体的な制振部材や構造の設計・評価をどのように行うかについては、未解決の点が多い。今後の普及のためには、これらを包括的に捉える研究が必要である。我々は、多数の制振部材や構造形態の実験および解析モデル化を行い、それらの性能範囲・限界を明らかにするとともに、性能要求に見合う制振構造の包括的な設計法を開発している。研究項目を以下に要約する。



(d) 筋かい型制振構造の実験風景

**2 都市地震工学に関連する最近の研究テーマ**

**制振ダンパーの解析・設計・評価方法**

- アクリル系粘弾性体の温度・振動数・振幅依存と解析モデル化
- イソブチレン系粘弾性体の温度・振動数・振幅依存と解析モデル化
- アクリル系粘弾性体の大歪領域における破壊挙動の実験
- 粘弾性ダンパーの部材と粘弾性体の剛性に基づく性能予測
- 粘性ダンパーの実験と解析モデル化
- 摩擦ダンパーの実験と解析モデル化および性能予測

**制振構造の解析・設計・評価方法**

- 粘弾性ダンパーの簡易モデルを用いた制振構造の時刻歴解析
- 粘弾性ダンパーをもつ制振構造の等価減衰定数と等価周期
- 粘性ダンパーをもつ制振構造の等価線形化および設計法
- 弾塑性システムの等価線形化および設計法
- 減衰をもたらす振動抑制効果に関する基礎的研究
- 変位、速度、混合依存型ダンパーをもつ制振構造の包括的評価法

**制振構造の現状把握と社会普及の促進**

- 2000年、2001年パッシブ制振構造シンポジウム
- JSSIパッシブ制振マニュアルの作成

**制振構造の新しい課題および開発**

- 粘弾性・弾塑性体の直列効果に関する実験・解析・評価法
- 間柱型制振構造の実験・解析・評価法
- ステップカラム制振構造の実験・解析
- ドーム構造への粘弾性ダンパーの適用と解析
- 木質構造を対象とした制振方法の開発・実験

**鉄骨構造および混合構造**

- 鋼材のせん断方向・軸方向における低サイクル疲労の関連
- 柱・梁ボルト半剛接合部の繰り返し挙動と低サイクル疲労
- CFT柱に埋め込まれたアンカーボルトの引き抜き挙動

**3 都市地震工学に関連する業績、プロジェクトなど**

研究プロジェクト: 国土交通省建設技術研究開発補助金制度・研究代表者「財産保持性に優れた戸建制振住宅の研究開発」(2003-2004)、文部省科学研究費基盤研究A・研究代表者「制振構造:性能限界の究明と包括的設計法の構築」(1998-2001)など  
委員会: 免震構造協会応答制御部会会長、パッシブ制振評価小委員会委員長、制振構造解析・設計WGリーダーなど  
論文・大会発表: 笠井, 寺本, 渡邊「粘弾性体と弾塑性体の直列結合からなるパッシブ制振装置の挙動に関する研究」, 日本建築学会構造系論文集, 556号, 2002.6、笠井, 伊藤, 渡邊「等価線形化手法による一質点弾塑性構造の最大応答予測法」, 日本建築学会構造系論文集, 571号, 2003.9、笠井「制振技術の現状と今後の課題」, コンクリート工学, 41(5), 2003.5 など300件以上  
研究・教育に関する賞: 米国大統領・若手研究者賞(1991-1997)、米国SAC鉄骨梁柱解析競技1等賞(1996)、日本建築学会・未来を拓く研究と技術開発に関する懸賞論文1等賞(2002)など7件、学生論文指導への賞8件





大学院理工学研究科  
土木工学専攻 国土計画講座 耐震工学分野  
教授 川島 一彦

専門分野: 耐震工学、橋梁工学、免震設計、セミアクティブコントロール、耐震性判定、耐震補強  
キーワード: 非線形応答、セミアクティブコントロール、構造じん性、ダンパーテクノロジー、耐震設計論、性能設計  
homepage: <http://seismic.cv.titech.ac.jp>

## 1 研究内容と目指すもの

大都市を構成する橋梁や都市トンネルを中心とする交通インフラストラクチャーの耐震性向上技術を開発する。具体的には、構造系や構造部材の動的耐力、変形性能を明らかにし、新材料、新工法を用いた耐震性向上技術を開発すると同時に、免震技術やセミアクティブコントロールを用いた交通施設の新しい耐震性能向上技術を開発する。また、既存の都市インフラストラクチャーの耐震性判定技術の開発、耐震補強技術の開発を主なものとする。

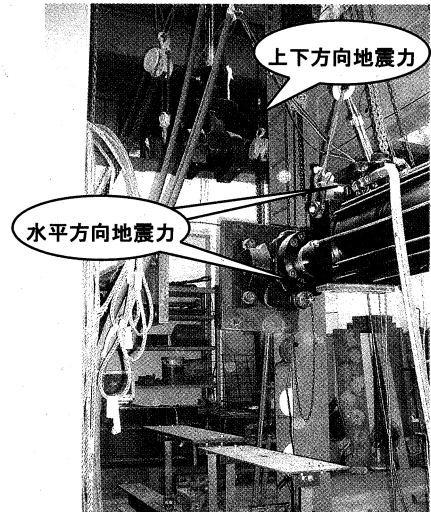
## 2 都市地震工学に関連する最近の研究テーマ

1995年兵庫県南部地震では、都市を支えるインフラストラクチャー、特に橋梁や都市トンネルを中心とする交通施設の脆弱性が明らかになりました。地震後の調査では都市生活者にもっとも深刻な影響を与えた被害は交通施設の不通があったことがわかっています。このため、兵庫県南部地震のような都市直下型地震に対しても都市機能の低下を最小限に抑えることのできる都市インフラストラクチャーの耐震技術の開発が必要とされています。また、現在までに建設された膨大な都市インフラストラクチャーの中には現在の目から見ると、耐震性が不十分なものも多数存在します。こうした既存都市インフラストラクチャーの耐震性を適切に判断し、必要があれば耐震性を向上させることのできる技術が必要とされています。こうした点に関して、当研究室では、先端技術、先端材料を用いた新しい耐震性向上技術を開発しています。

### 強震動下の構造物の耐震性向上技術の開発

強震動下の都市インフラストラクチャーの耐震性を向上させるためには、塑性ヒンジ化する部材の動的耐力・変形性能の向上が重要です。当研究室では、実地震時に構造物に作用する地震力をデジタル制御により3次元的に再現できる高精度地震作用シミュレーターを有し、動的耐力と同時に変形性能の高い部材の開発を進めています。アーチ橋の主部材のように大地震時に引張力を受けたり、都市部に多い逆L字型橋脚のように常時の荷重により偏心曲げモーメントを受ける条件下で水平地震力を受ける場合のように、過酷な地震条件下における構造部材の特性を明らかにしています。また、高密度に帯鉄筋で横拘束したカラムを配置し、この間を連結したDASC橋脚、塑性ヒンジ領域に免震ゴムを埋め込み、地震時に被害を受けないようにした免震装置ビルドイン型橋脚、高強度コンクリートを用いた構造等、変形性能が大きく、大地震時にも被害を受けない都市インフラストラクチャーの開発を行っています。

さらに、近年台湾やトルコの地震では断層変位によって構造物が被害を受けた事例がありまう。断層が生じて被害を免れるようにすることはきわめて困難な課題ですが、我が国でも将来主要な交通施設が大規模な断層によって大被害を生じる可能性が高いことから、断層変位によって構造物が致命的な被害を受けないように耐震技術の開発も進めています。



高精度地震作用シミュレーター

### セミアクティブダンパーを用いた耐震性向上技術の開発

減衰力を構造物の応答に応じて任意に変化させて構造物の応答制御を行うバリアブルダンパーの開発を進めています。バリアブルダンパーはセミアクティブダンパーの1種で、制御エネルギーが少ないことから都市インフラストラクチャーに対する適用性がよいことが明らかになりつつあります。とくに、磁場を与えると減衰が変化するMRダンパーを用いたバリアブルダンパーの開発に重点を置き、大規模地震時に橋梁構造物が被害を受けないようにするために最適な制御アルゴリズムの開発を行っています。現在までに2段階摩擦型減衰制御法等が開発されています。

### 既存構造物の耐震性判定・耐震補強法の開発

特性の異なった都市インフラストラクチャーの耐震性を正確に判定し、危険度に応じた耐震補強優先度の評価を行うことは大変難しいことです。当研究室では強震動下の橋の特性を考慮した耐震性判定法を開発すると同時に、新材料、新工法を用いた耐震補強法の開発を行っています。カーボンファイバーを用いた耐震補強や基礎ロッキング免震、基礎周辺免震等の方法を開発しています。

## 3 都市地震工学に関連する業績、プロジェクトなど

論文: Kawashima, K. et al "Residual Displacement Response Spectrum," Journal of Structural Engineering, ASCE, pp. 523-530, 1995など、250編

著書: 地下構造物の耐震設計、橋梁の耐震設計、耐震補強等、訳書を含めて4冊

特許: 橋梁用バリアブルダンパー装置(特許第2615397)など7件

プロジェクト参画: 文部科学省特定領域研究(B)「日米共同研究による都市地震災害の軽減」など

受賞: 土木学会論文奨励賞(1981)、田中賞(1991)、吉田賞(1997)など



大学院理工学研究科  
土木工学専攻 広域環境工学講座 環境創造工学分野  
教授 日下部 治

専門分野: 地盤工学、地盤環境工学、土質力学  
キーワード: foundation design, underground construction, physical modelling  
homepage: [http:// www.geotech.cv.titech.ac.jp](http://www.geotech.cv.titech.ac.jp)

## 1 研究内容と目指すもの

遠心実験法を用いて、地盤と構造物の相互作用のメカニズムを解明し、数値解析モデルの検証を行う。特にトンネル、縦杭等の地下構造物の地震時挙動の解明を行い、浅層地盤における地中構造物の耐震設計法の確立を目指す。

## 2 都市地震工学に関連する最近の研究テーマ

本研究室では、1980年代から動的な遠心模型実験手法を継続的に開発してきており、最近ではactiveタイプの地盤せん断変形付与装置、上下方向同時加震装置等の試作開発を進めてきている。このような最新の試験装置を用いて地震時の地盤と構造物の相互作用、補強地盤の耐震性メカニズムの解明、液状化と構造物被害の関係、液状化被害低減策等の検討を行っている。

### 浅層域トンネルと地盤との相互作用

都市圏では、環境問題、用地確保の困難さなどから高架橋形式の交通網建設が困難になりつつあり、幹線道路網の地中化が進行しつつある。しかし、比較的耐震性能の高い地中幹線道路網建設においても主要な地表既設道路との接続は不可避であり、浅層域における地中構造物の耐震設計法が望まれている。本課題に関して、トンネル分岐・合流部の耐震対策技術の開発を目指し、現在鹿島建設技術研究所と共同研究を進めている。

### 既製パネルを用いたトンネルの耐震性

都市圏では、建設工事の工期短縮が厳しく要請され、既製パネルを用いたトンネル工法が導入されつつある。本課題に関して、基礎部の変形による部材応力変化およびトンネルの耐震性について遠心模型実験を実施している。



既設パネルを用いたトンネル工法

### 直接基礎の耐震性の向上

仮設時に使用されるシートパイルを基礎スラブに接続することで直接基礎の耐震性向上をはかるシートパイル基礎工法を提案し、鉛直力、水平力、モーメントの3成分からなる組み合わせ外力に対するシートパイル基礎の降伏局面形状を実験的に確定している。

## 3 都市地震工学に関連する業績など

- 論文: Seismic ductility of cut slope reinforced by soil nail, Landmarks in earth reinforcement, 2001, pp.719-724.  
Centrifuge model tests on stability of pre-cast panel made tunnel during and after construction, Modern tunneling science and technology, 2001, pp.991-996.  
Development and performance of an active type shear box in a centrifuge, IJPMG vol.1, No.2, 2001, pp.1-17.  
Dynamic centrifuge model test of sandy layer, Chinese J. of GE, 2001, Vol.23, No.1, pp.28-31.  
Design and performance of shallow foundation under static and dynamic loading, 15<sup>th</sup> ICSMGE, 2002, pp.2707-2708  
Proposal of a comprehensive foundation design code -Geo-code 21, IW Kamakura, 2002, pp.95-103.  
Change in vertical bearing capacity of pile due to horizontal ground movement, ICPMG02, 2002, 459-464.他



大学院総合理工学研究科  
人間環境システム専攻 人間都市計画講座 環境管理分野  
教授 翠川 三郎

専門分野: 地震リスク評価、強震動予測  
キーワード: 地震被害想定、GIS、リモートセンシング、リアルタイムシステム  
homepage: <http://www.enveng.titech.ac.jp/midorikawa/>

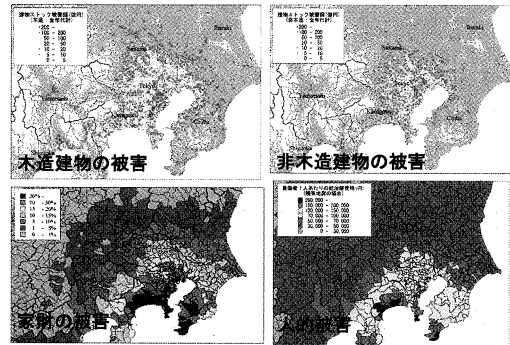
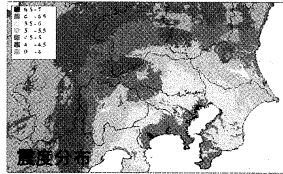
## 1 研究内容と目指すもの

わが国は地震国であり、過去に多数の大きな地震災害を受けてきました。大地震の発生を防ぐことはできませんが、適切な地震防災対策を立てておくことにより、大きな地震災害の発生を防ぐことは可能です。当研究室では、地震防災に関する研究を幅広く進めています。その中でも特に事前準備に関わる地震被害想定の研究を積極的に進めています。「戦略の基本は敵を知ること」という言葉があるように、適切な防災対策を立てる上で、大地震が発生した場合にどのような被害がどの場所にどの程度の規模で発生するのかをあらかじめ予測しておくことがまず必要となるからです。

## 2 都市地震工学に関連する最近の研究テーマ

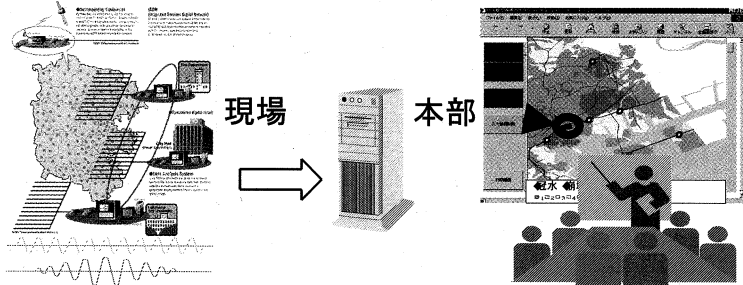
### GISを利用した地震被害想定システム

本研究室では、GISを利用した地震被害想定システムの開発を進めています。対象地域に大きな影響を及ぼす地震を想定し、既存のGISデータを活用して、震度分布、建物被害、家財被害、人的被害などの各種被害を計算します。推定された被害結果はわかりやすくマップ化して示され、行政の防災計画の策定だけでなく、企業の地震リスクの評価や一般市民への防災教育などにも役立ちます。



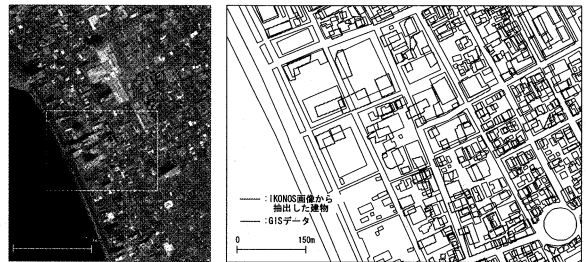
### リアルタイム地震防災システム

リアルタイム地震防災システムとは、地震直後に地震計から地震の揺れの情報を得て被害を即座に推定し、効果的な緊急対応を支援するためのシステムです。当研究室では横浜市と協力して、横浜市リアルタイム地震被害推定システムを構築しました。これは、地震計からの情報を用いて、地震後20分以内に被害の状況を50mメッシュ単位で細密に推定するものです。今後は、複数の機関や企業が共有化して利用できるような総合的なシステムの普及が望まれています。



### 高分解能衛星画像による都市災害ポテンシャルの把握

都市の災害ポテンシャルは都市構造により決定されます。災害ポテンシャルの要素の中でも建物の被害は兵庫県南部地震の例からも大きな割合を占めます。しかし、建物GISデータの整備や更新には、多大な労力と時間を必要とします。そこで、近年利用可能となった高分解能衛星画像を利用して、都市の建物群の分布を詳細に把握する方法を検討しています。これが実用化されれば、GISデータを容易かつ効率的に更新することができ、上述の地震被害想定システムやリアルタイム地震防災システムの精度向上にもつながります。



## 3 都市地震工学に関連する業績、プロジェクトなど

論文: K. Fujimoto and S. Midorikawa, Ground-Shaking Mapping for a Scenario Earthquake Considering Effects of Geological Conditions - A Case Study for the 1995 Hyogo-ken Nanbu, Japan Earthquake -, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol.31, 2002 など152件

プロジェクト参画: 科学技術振興調整費「アジア・太平洋地域に適した地震・津波災害軽減技術の開発とその体系化に関する研究」、平成14年度～平成15年度

防災科学技術研究所「リアルタイム地震情報利用協議会」顧問 など

受賞: 2000年日本建築学会賞(論文)、平成12年度横浜市災害防止功労者



大学院理工学研究科  
土木工学専攻 社会基盤工学講座  
教授 三木 千壽

専門分野: 鋼構造, 破壊制御, 都市再生工学  
キーワード: 高架橋システム, 鋼製橋脚, 疲労, 補修・補強, モニタリング, 超音波探傷  
homepage: <http://cv.titech.ac.jp/~mikilab>

## 1

### 研究内容と目指すもの

都市基盤構造物, 特に, 都市内高架橋梁システムの大規模地震に対する安全性の確保と震災軽減を実現することを目的として, 疲労損傷を受けた経年鋼製橋脚のレトロフィット技術の開発, 鋼製橋脚における地震時脆性破壊の原因究明と防止対策, 都市内高架橋の異常検知モニタリングシステムの構築, 高精度超音波探傷による損傷度診断技術の確立といった幾つかのアプローチから検討を行っています。

## 2

### 都市地震工学に関連する最近の研究のテーマ

高架橋などの都市基盤施設は, 市民生活を支える重要な構造物です。都市基盤施設が経年損傷で機能が低下すると, それが原因となって地震による被害が拡大し, 社会的な損失がより重大となる可能性があります。本研究室では, 経年損傷を受けた都市基盤施設の健全性を診断する技術, 効果的な補修・補強を行って機能を再生する技術, 地震時に発生した異常を迅速に検知し2次被害など震災を軽減する技術の開発を目指し, 以下のような研究を実施しています。

#### 疲労損傷を受けた経年鋼製橋脚のレトロフィット技術の開発

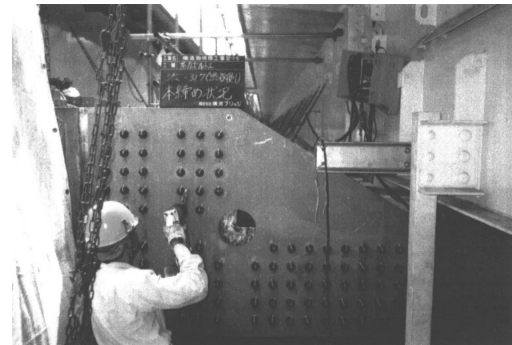
都市内高架橋を支える鋼製橋脚に多くの疲労損傷が生じていることが, 最近の定期検査で明らかとなり, その補修・補強対策が火急の課題となっています。疲労き裂は, 地震時には脆性破壊の起点となり, 鋼製橋脚を倒壊に導く恐れのある危険な損傷と言えます。耐震面からもその対策が不可欠とされています。疲労損傷を受けた鋼製橋脚に対する効果的な補修・補強対策を開発するためには, まず原因究明をし, その原因に応じた対策を提案していくことが不可欠となります。この研究は, 対象橋梁の挙動特性や応力状態などの構造的な特徴, 溶接品質, 材料特性, 破壊力学など多面的な知識を活用した総合的な判断が求められる最先端の研究として, 世界的にも注目されています。



鋼製橋脚の大型疲労試験

#### 都市内高架橋の異常検知モニタリングシステムの構築

本研究室では, 都市内高架橋に通信用として配備されている光通信網と光ファイバセンサとを組み合わせた異常検知モニタリングシステムの開発に向けた検討を行っています。この研究では, 都市内高架橋に発生し得る損傷とそれを把握することができるセンサ特性と配置の検討, 異常検知アルゴリズムの検討, システムの冗長性を確保するための光通信網と光ファイバセンサとの接続方法の開発などを行っています。



実際の鋼製橋脚における当て板補強

#### 高精度超音波探傷による鋼製橋脚の損傷度診断技術の確立

鋼製橋脚には, その複雑な構造に起因した溶接部残留欠陥が存在し, それを起点として疲労き裂が発生する可能性があることが明らかとなってきた。しかしながら, 溶接欠陥は溶接部内部に存在しているため, 対象とする鋼製橋脚にどのような欠陥が存在し, そこから疲労き裂が発生しているのかどうかについては, 非破壊的に診断する必要がある。本研究室では, 新しい探触子やシステムを提案し高精度な超音波探傷法を確立することにより, 3次元的に存在する欠陥, それを起点とした疲労き裂の発生の有無などを検知するための技術の開発を行っています。

## 3

### 都市地震工学に関連する業績、プロジェクトなど

論文: 三木千壽, 市川篤司, 坂本拓也, 田辺 篤史ら, 鋼製箱形断面橋脚隅角部の疲労特性, 土木学会論文集, 361-371, 2002など250件  
特許: 貫通固定サドル, 構造物孔明け装置, 鋼極厚板溶接部を対象としたマルチアレイ超音波高精度非破壊探傷システム  
受賞: 土木学会論文賞(1993), 溶接学会FS賞(1999), 溶接学会業績賞(2002), 土木学会田中賞(1980, 2003)



大学院総合理工学研究科  
人間環境システム専攻 人間都市計画講座  
助教授 盛川 仁

専門分野: 地震工学, 時系列解析, 自然災害科学  
キーワード: 物理探査, 深部基盤構造, 地震震源モデル, 地震動分布  
homepage: <http://www.enveng.titech.ac.jp/morikawa/>

## 1 研究内容と目指すもの

地震動予測において必要となる基本的な情報である地盤構造を、これまで以上に容易かつ精度よく推定するための観測技術、解析手法の開発をすすめるとともに、地震そのものや伝播経路における種々の不確定性を考慮した地震動予測手法の確立を目指しています。

## 2 都市地震工学に関連する最近の研究テーマ

都市における震災の影響を軽減するためには、事前の準備として、地震動予測をおこなったうえで、必要な対策を効率的に進めていかななくてはなりません。その際、対象とする地域の地盤構造に関する詳細な情報が必要となります。特に、深い堆積層を有する地域では深層ボーリングなどの情報も不十分ですから、簡易な方法で精度よく地盤構造を推定するための手法の開発が強く求められています。そこで、地盤の速度構造に注目した従来の観測・解析法に対して、密度構造など他の物理量との関係を考慮することで、推定精度をより高める手法の開発を進めています。さらに、推定精度を犠牲にすることなく観測を簡易化するための手法を最新の時系列解析技術を導入することで実現しようとしています。また、地震動予測のための要素技術として、従来はあまり顧みられなかった位相特性に着目した地震動のモデル化について確率論的観点から検討を行っています。

### 地盤構造推定のための観測技術の開発

安価で比較的精度がよい地盤構造の推定法の一つとして常時微動を用いた手法が広く知られています。しかし、ボーリングデータなどもほとんどないような深い構造を知るためには、微動を用いるとしても大がかりな観測が必要となります。しかし、できる限り容易に精度よく地盤構造を推定することは、震災予防の観点からもきわめて重要です。

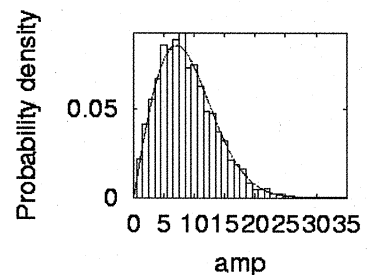
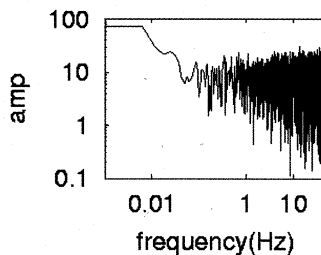
このような問題においては、効率的な解析手法とそれを支える安定かつ安価な計測器という両者のバランスに配慮しなくてはなりません。そこで、計測器の側で解析手法を念頭においたシステムの開発をすすめつつ、最新の時系列解析手法を導入することで、より少ない記録からより多くの知見を引き出すための解析法を開発しています。さらに、従来は微動のみから地盤の速度構造を推定するという手法が一般的でしたが、得られた推定結果の精度をより高めるために、重力から求められる密度構造といった別の物理量との併合処理のための新しい手法も検討しています。



開発中の新型換震器

### 確率論を用いた地震動のモデル化

地震動を評価したり予測する際に、振動数領域でスペクトルを議論することが広く行われていますが、多くの場合、振幅特性のみに着目されています。地震動のような非定常現象では、位相特性を無視することはできないにもかかわらず、数学的な取り扱いが面倒であるために位相に関する議論はあまり関心を集めていませんでした。そこで、ある程度、数学的に安定して取り扱える手法について検討するとともに、その物理的現象との関連性を念頭においたモデル化のための研究を進めています。また、地震動予測の信頼性を高めるために、現象自体が持つ不確定性をできる限り取り入れた地震波動場の数値計算法の開発をすすめています。



ランダムに生起するインパルス列でモデル化した震源特性の確率論的特性の例

## 3 都市地震工学に関連する業績、プロジェクトなど

論文: Morikawa H. et al., "Conditional Random Fields Containing Non-stationary Stochastic Processes," Probabilistic Engineering Mechanics, 16, pp.341-347, 2001など35編

特許: 構造物の異方向性を検出する方法, 特許出願番号 2000-188436

プロジェクト参画: 防災科学技術研究所, 確率論的予測地図作成手法検討委員会など



大学院理工学研究科  
土木工学専攻 社会基盤工学講座 地圏工学分野  
教授 二羽 淳一郎

専門分野: コンクリート構造、コンクリート工学  
キーワード: 非線形解析、寸法効果、新材料・新構造形式  
homepage: <http://www.cv.titech.ac.jp/~niwa-lab/index.html>

## 1 研究内容を目指すもの

コンクリート構造物の耐震性能を評価するため、動的な格子モデル解析により、その耐震挙動を予測し、その地震時安全性を判断します。ならびに、既存・新設を問わず適用可能な、環境負荷を低減できるコンクリート構造物に対する新しい耐震補強法を開発し、大都市における地震被害の軽減に役立てることを目指します。

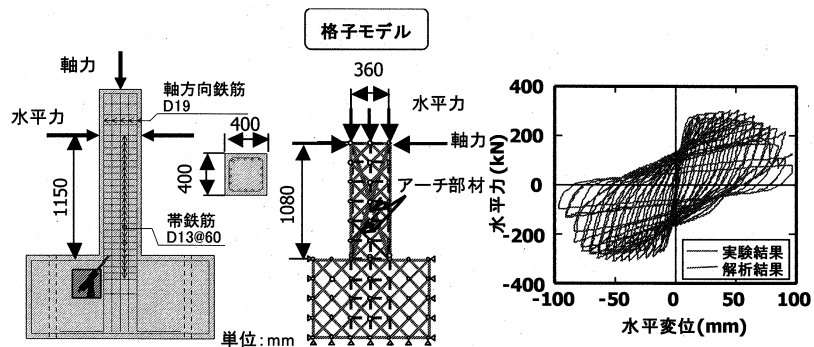
## 2 都市地震工学に関連する最近の研究テーマ

### 格子モデルによるコンクリート構造物の動的非線形解析

コンクリート構造の動的非線形解析法として、新たに「格子モデル」を開発しました。これは有限要素法に比較すると相当に簡便な解析手法となっていますが、構成部材を全てトラス要素に離散化しているため、解析結果の処理が容易で客観性があります。さらに非線形材料構成則を与えることによって、コンクリート構造物のせん断破壊も予測でき、破壊モードの推定も可能となっています。

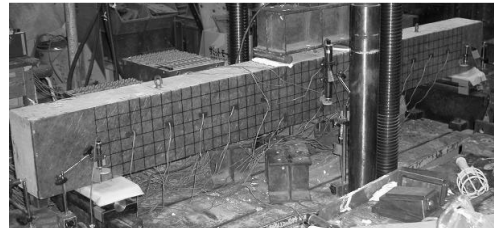
この格子モデルを3次元に拡張し、3次元解析を行うことによって、より現実的な耐震性能予測が可能となります。

また補強筋の屈曲、フーチングからの抜きなどを考慮することにより、解析精度を高めています。



### 繊維混入樹脂吹付け (Sprayed Fiber Reinforced Plastics) によるコンクリート構造物の耐震補強

施工が容易で、環境負荷の小さいSFRPを用いたコンクリート構造の耐震補強に関する実験的・解析的研究を進めています。この技術はカナダでは既に実用化されており、わが国においても十分に実用化のメリットが期待されます。右の写真はSFRPを両側面に吹き付けたRCはりに荷重を加え、その補強効果を検討する実験の様子です。



### その他の研究テーマ

コンクリート構造に対する新素材・新構造形式の適用を目指して、上記の他、以下のような研究を進めています。

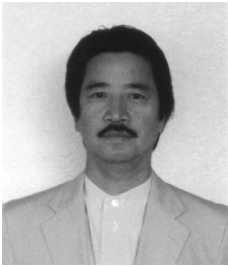
- 超高強度繊維補強コンクリートの実用化に関する研究
- ウェブに各種構造材料を用いた新形式複合PC構造の実用化に関する研究
- 各種繊維補強コンクリートの破壊力学特性に関する研究
- 構造用軽量コンクリートの実用化に関する研究

## 3 都市地震工学に関連する業績、プロジェクトなど

論文: 三木、二羽、Lertsamattiyakul:「動的格子モデル解析による鉄筋コンクリート橋脚の耐震性能の評価」、土木学会論文集、No.704/V-55、pp.151-161、2002

伊藤、二羽、田辺:「格子モデルに基づくRC橋脚の非線形動的解析」、土木学会論文集、No.676/V-51、pp.27-39、2001ほか

受賞: 日本コンクリート工学協会論文賞(2003、1985)、土木学会吉田賞(2001、1987)、土木学会論文賞(1996)、IABSE Prize(1990)、土木学会論文奨励賞(1987)など



総合理工学研究科人間環境システム専攻  
 ニューフロンティア基礎講座 特殊環境設計分野  
 教授 大野 隆造

専門分野：環境心理・行動学，建築計画，環境デザイン，環境知覚・認知，視環境シミュレーション，感覚情報計測  
 キーワード：テクスチャー，自己移動感覚，景観，サウンド・スメルスケープ，防犯設計，環境愛着  
 homepage：http://www.enveng.titech.ac.jp/ohno/

## 1 研究内容を目指すもの

- 目標1： 諸感覚で受容される環境情報の記述
- 目標2： 都市・建築空間シミュレーションによる行動分析
- 目標3： 環境－行動研究データに基づく環境デザイン

## 2 都市地震工学に関連する最近の研究テーマ

1. 回遊式庭園のシーケンスに関する研究
2. 移動に伴って変化する屋外空間の印象評価
3. 環境シミュレーションによる経路探索の研究
4. 移動に伴う情景の現れ方が注意の誘導および景観評価に与える影響
5. 環境－行動研究データに基づく環境デザイン
6. 屋外公共空間に対する住宅の心理的支配の研究
7. 公共空間における他者の占領領域の知覚に関する研究



写真1 廻遊式庭園の環境視情報計測

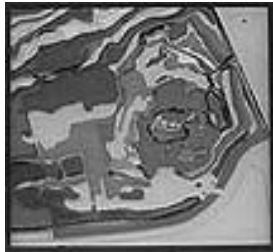


写真2 表参道の空間分節

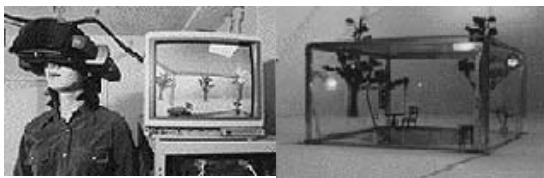


写真3 空間の囲まれ感に関する研究

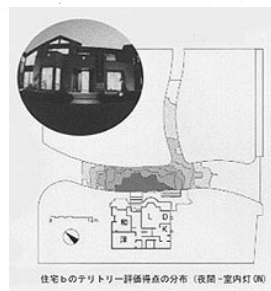


写真4 住宅の心理的支配領域



写真5 アイマークレコーダによる注意の誘導と景観評価実験

## 3 都市地震工学に関連する業績、プロジェクトなど

論文、著書など：人間行動学講座第3巻「すまう」(分担);朝倉書店、1996  
 人間環境学(分担);朝倉書店、1998  
 Theoretical Perspectives in Environment-Behavior Research Underlying Assumptions,  
 Research Problems and Methodologies (S. Wapner et al. eds), (Ch.12), Plenum Publishers,  
 New York,2000





大学院情報理工学研究科  
 情報環境学専攻 情報環境設計学講座  
 助教授 大佛俊泰

専門分野：建築計画・都市計画  
 キーワード：歩行シミュレーション, 都市空間分析, 地理情報システム,  
 都市モデル, 地域施設計画, 集合住宅団地計画  
 homepage : <http://www.os.mei.titech.ac.jp>

# 1 研究内容と目指すもの

- 目標 1：空間評価モデルの開発  
 建築・都市空間に対する人間の評価構造の解明と空間評価モデルの構築
- 目標 2：行動記述モデルの開発  
 建築・都市空間における人間の行動特性・意思決定の解明と行動記述モデルの開発
- 目標 3：都市・建築計画への応用  
 建築・都市空間への応用技術と設計支援ツールの開発

# 2 都市地震工学に関連する最近の研究テーマ

1. 群衆流動における歩行集団の抽出方法と視覚化 (図 1)
2. 歩行空間における歩行者と自転車の回避行動 (図 2)
3. 歩行者の回避行動に関する歩行モデルの開発 (図 3)
4. 都市空間認知特性を考慮した経路選択支援に関する研究



図 1 群衆流動の自動抽出モデル

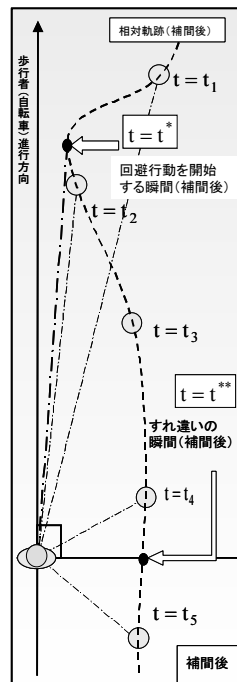


図 2 自転車の回避行動モデル

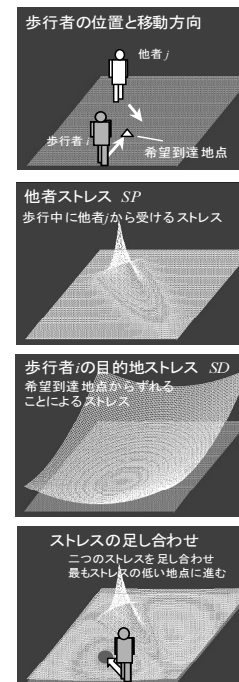
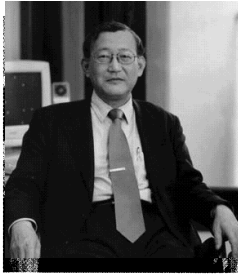


図 3 歩行者の回避行動モデル

# 3 都市地震工学に関連する業績、プロジェクトなど

- 論文：心理的ストレス概念に基づく歩行行動のモデル化, 日本建築学会計画系論文集, no.573 (2003)  
 群衆流動における歩行集団の抽出方法と視覚化, 地理情報システム学会講演論文集, vol.10,(2001) など  
 特許：入場者の動線シミュレーション装置;特開平6-176004  
 受賞：Young Researchers Award for Innovation, 4th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management (1995, Melbourne)





大学院総合理工学研究科  
人間環境システム専攻 人間環境評価講座 安全性評価分野  
教授 瀬尾 和大

専門分野: 災害科学, 地震工学, 耐震構造学  
キーワード: 地震防災, 地下構造探査, 地震動予測, 微動, 斜面崩壊  
homepage: <http://www.enveng.titech.ac.jp/seo/>

## 1 研究内容を目指すもの

次の関東地震に対して, 1) 既往の震災経験, 2) 東京首都圏で考慮すべき地震活動度・地下構造等の自然環境上の特色, ならびに 3) 最近の都市開発に見られる社会環境上の特色を総合し, 効果的な地震防災対策に資するための研究を目指したい。

## 2 都市地震工学に関連する最近の研究テーマ

地震防災の研究者にとって7年前の兵庫県南部地震による災害は余りにも大きく, 多種多様でもあって, 容易にそこから脱却することはできないし, またすべきでもないと考えている。貴重な教訓として徹底的に追求された課題は, 必ずや東京首都圏においても活かされるであろう。

### 兵庫県南部地震の調査はまだ終わっていない

兵庫県南部地震から凡そ5年が経過した時点で各種の調査報告が出揃った感もあるが, 本当に我々は, あの震災のすべてを調査し尽くし, 理解し, 今後の教訓を得たと云えるであろうか? 特に, 震災のメカニズムを震源破壊から各地域の被害状況までを総体として説明する作業, 破壊されたものと破壊されなかったものの識別は充分なされたか, どうすればあの震災を最小限に止めることが出来たのか, についての明確な解答が望まれる。それらの内, 震源アスペリティ分布の再検討, 高速高架橋の崩壊メカニズムの解明, 県営RC高層住宅の動的挙動解析に基づく被害差の解明など, 具体的ないくつかの課題について研究を継続中である。



### 兵庫県南部地震の経験を東京首都圏に置き換える

東京首都圏での震災経験は1923年の関東地震にまで遡らないと得られない。自然環境はともかく, その約80年間の社会環境の変化は著しいため, 最近の震災経験を活用し, 新たな知見を補う必要がある。兵庫県南部地震は真にそのような目的のために活用されるべきであるが, 神戸・阪神地域と東京首都圏における震災の相違点についてはよくよく吟味しておく必要がある。両地域について比較検討すべき内容は, 地震活動度・地質地盤条件から都市構造・社会基盤・人間環境に至るまで様々なものが関与するものと考えられる。

### 東京首都圏で危惧される地震災害の特徴とその予防策

東京首都圏が位置する関東平野は直径が約100km, 厚さ2~3kmの堆積層を有する巨大な盆地である。地表付近の地形・地質が複雑なところから様々な用途の異なる地域が発達し, 最近ではそれらが密集しあい, もはや空地もないほどである。直下の基盤構造は北アメリカプレート上に位置しているが, フィリピン海プレートと太平洋プレートが共にその下に潜り込む三重構造を呈していることから, 種々の異なる形式の地震活動が懸念されている。このような東京首都圏が置かれている特殊な状況について, 自然環境・社会環境の両側面から追求し, 地震災害上の特色を予測し, 適切な予防策を講じることは, 容易なことではないと考えられる。計画的かつ段階的に, 着実なプロセスを踏んでゆくためには, 本プロジェクトのような組織的研究体制が切に望まれるところである。

## 3 都市地震工学に関連する業績、プロジェクトなど

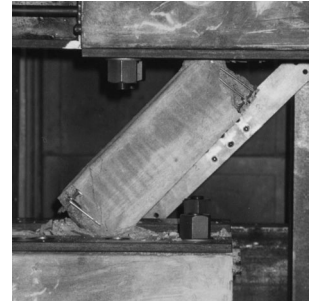
論文: K.Motoki and K.Seo, "Strong Motion Characteristics Near the Source Region of the Hyogoken-Nanbu Earthquake from Analyses of the Directions of Structural Failures" Proc.12<sup>th</sup> World Conf.on Earthq.Eng., Paper No.959, CD-ROM, 2000  
D.Polonska and K.Seo, "Seismic Zonation of the South-Western Part of Kanto Plain, Japan, Based on Geomorphological Analysis" Proc.12<sup>th</sup> World Conf.on Earthq.Eng., Paper No.865, CD-ROM, 2000

プロジェクト参画: 文部科学省地震調査研究交付金・活断層調査, 平成7年度以降, 堆積平野地下構造調査, 平成10年以降(親)

委員会及び神奈川県・横浜市・川崎市・千葉県・山梨県の各調査委員会)  
文部科学省科学研究費補助金による基盤研究, 展開研究, 国際共同研究など研究代表者

大学院情報理工学研究科  
情報環境学専攻 情報環境学講座 情報空間意匠論分野  
教授 瀧口 克己

専門分野: 都市防災、建築耐震構造、コンクリート工学  
キーワード: コンクリート、地震、建築構造、都市、防災



RC柱の破壊実験

## 1 研究内容と研究目標

- 1-1. 鉄筋コンクリート構造物の耐震安全性の確立
- 1-2. 鉄筋コンクリート構造物の耐火安全性の確立
- 1-3. 都市防災システムの構築

## 2 都市地震工学に関連する最近の研究課題

### 三方向地震動に対するRC鉄筋コンクリート構造物の応答

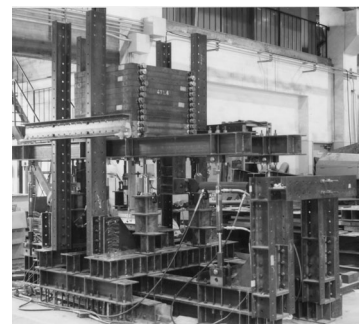
- ・RC構造物の三軸非線形復元力特性を定式化し、三方向地震動に対するRC構造物の応答性状を把握し、もって、合理的なRC構造物の耐震設計法の確立に資する。
- ・関連論文  
瀧口、西村、「塑性論を用いたRC柱の三次元復元力特性定式化の一手法」日本建築学会構造系論文報告集550号  
2001.12. p.p.143-150
- ・科学研究費補助金  
基盤研究(A)(2)課題番号.14205080. 平成14~17年度. 36,200千円  
「三方向地震動に対するRC構造物の応答」

### RC(鉄筋コンクリート)構造物の震害補修と耐震補強

- ・RC構造物の震害補修、および、耐震補強技術を整備し、震災軽減に資する。補強材料として、フェロセメントを利用する技術を開発することが一つの特徴である。
- ・関連論文  
K.Takiguchi,Abdullah「Shear strengthening of R/C Columns using ferrocement jacket」ACI structural Journal. vol.98,  
No.5, 2001 pp.696-704
- ・科学研究費補助金  
基盤研究(B)(2)課題番号.10450202. 平成10~13年度. 14,000千円  
「RC柱コンクリートの斜め圧縮力伝達機構に関する研究」  
基盤研究(B)(2)(展開)課題番号.105551918. 平成10~12年度 10,200千円  
「完全崩壊まで追跡しうるRC. SRC柱圧縮曲げせん断実験装置の開発」

### 都市防災システムの構築

- 都市防災はいうまでもなく総合的に取り扱わなくてはならない課題である。ここでは、工学的視点および社会科学的視点に立って、都市防災システムを論ずる。もって都市防災システムの整備に資する。
- ・関連論文  
瀧口、「建築構造物と都市防災」  
都市問題研究:第47巻.第7号.1995.7. pp.15-27
  - ・科学研究補助金  
萌芽研究 課題番号.14655194 平成14年度 2,900千円  
「高速飛翔体に衝突された場合のRC構造物の挙動」



RC柱用載荷装置

## 3 受賞

昭和62年度 日本建築学会(論文)賞 1988  
「コンクリート系複合部材の非線形挙動に関する一連の研究」



大学院理工学研究科  
国際開発工学専攻 国際環境講座 開発プロジェクト分野  
助教授 上田 孝行

専門分野: 社会基盤経済学、費用便益分析、プロジェクトマネジメント  
キーワード: 公共投資評価、空間経済モデル、リスク分析、意思決定論  
homepage: <http://www.plan.cv.titech.ac.jp/uedalab>

## 1 研究内容と目指すもの

防災分野への公共投資を費用便益分析によって経済的に評価する方法論を確立して、国民経済レベルから地域、地区レベルまでの各種のスケールにおける防災政策を実際に評価していくことを目指します。

## 2 都市地震工学に関連する最近の研究テーマ

防災投資がもたらす経済的便益の計測方法については、既に理論的な検討は一応の成果を挙げてきています。次なる段階では、単にインフラの補強等だけでなく、保険制度や税制などの経済的施策を複合的に組み合わせた場合の効果がどのように発生していくかの、そしてその場合の効果をいかに計測するかという問題に取り組む必要があります。現在は、密集市街地のように防災上の問題を抱えながら再開発による改善が進まない地区に対して、不動産税の増徴・軽減によって開発を促進する施策を研究しています。そして、もう一つには、それらの経済的評価とインフラの設計を連動させるという問題です。経済効率性と安全性の両者を的確に満たした設計の考え方を確立するための研究に取り組んでいます。

### 耐震設計の経済的評価について

土木学会での耐震設計基準に関するWGに参加して、そこでの議論を踏まえながら、耐震設計と経済評価の関係について体系化し、費用便益分析を防災投資計画の中でどのように用いていくべきかについての提案を行いました。

$$\max_{\alpha, \tau} W(V)$$

$$\text{s.t. } V^j = \max_{R, \tau} E^j(v^j(\omega^j, a^j, Q^j, S))$$

$$K^j(a^j, Q, p, S, \tau) \leq 0 \quad \text{for all } j \in J$$

$$M(a, p) \leq 0$$

$$N(a, Q) \leq 0$$

$$H(e, R, \tau, p) \leq 0$$

$$S - S(a, Q, e) \leq 0$$

$$e - e(\alpha, \beta) \leq 0$$

- (1): 社会的厚生(貨幣尺度)
- (2): 経済主体の期待効用最大化
- (3): 経済主体の行動に対する制約
- (4): 市場清算条件
- (5): 外部性
- (6): 財政制約
- (7): システムの性能
- (8): 構造物(構成要素)の性能

### 災害脆弱地区における都市整備促進施策とその効果

密集市街地では自分の区画だけ開発しても、他の区画が開発されないかぎり地区全体の安全性が向上しないため、お互いに他の区画の状況を見ながら開発のタイミングを考えるという状況になります。そのときには、お互いに相手が開発するのを待つため、結果としていつまでも地区全体としては開発が進まないという結果になってしまいます。そこで、土地や建物に対する税金をコントロールすることで自分だけでも先に開発することが有利になる状況を作り出してやると、その後は一挙に連鎖的に開発が促進される可能性があります。そのような施策の可能性について検討しています。

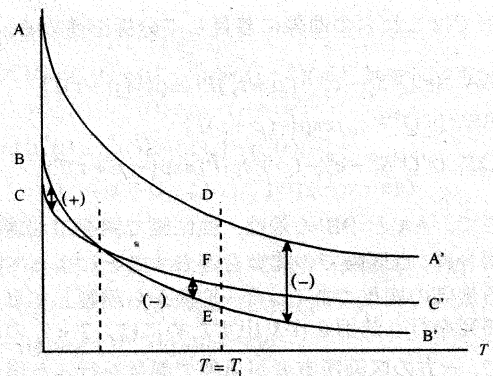


図-5 建物資産税率  $\tau_k$  引き下げの効果(施策②)および建物建設費  $P$  への補助金給付の効果(施策③)  
(出典:上田・高木(2002), 詳細は下記論文)

## 3 都市地震工学に関連する業績、プロジェクトなど

論文: 上田孝行, 高木朗義 災害脆弱地区における都市整備促進施策とその効果に関する研究, 土木学会論文集No.702/IV-55,39-55,2002.4 など42編

プロジェクト参画: 土木学会土木計画学研究委員会災害リスク研究小委員会など

受賞: WCTR Pacific Rim Prize (1995)、土木学会論文奨励賞 (1996)など



**建築物理研究センター  
教授 和田 章**

専門分野：建築学、構造力学、構造設計、耐震工学、耐震設計  
キーワード：制振、免震、耐震  
homepage: <http://www.serc.titech.ac.jp/wadalab/>

**1 研究内容を目指すもの**

①耐震構造（免震・制振構造）、②耐風構造（台風等の外力条件下での建築物の力学的挙動の解明）、③大スパン建築・超高層建築への新しい構造システムの開発・研究、④数値計算力学

耐震構造として、免震構造、強度抵抗型構造、パッシブ制振構造、骨組の靱性に期待する構造など多くの方法が研究され、実際にこれらの方法により多くの建築物が建設されている。技術への驕りは避けるべきであるが、設計用地震動の性質と大きさを決めれば、それに対して所定の性能を発揮する耐震構造の設計は可能な段階にきたように感じる。

耐震設計上最も大きな問題は、その敷地に将来起こる地震動は自然現象であり、いつ起こるかも含めて我々には知りようがないことである。発生確率は非常に小さいが起こりうる大地震動を設計上無視することは工学的判断としてありうる。しかし、この行動は社会としての賭けである。だからといって、起こり得る最大級の地震動に対して設計し、その建築物が数十年後に取り壊されるまで大きな地震を受けなかった場合、無駄な構造を作ってしまったと言われる。

新しい技術開発を進め、従来から建築構造に費やしていたものと変わらない費用で、飛躍的に高い耐震性を持たせる構造方法の開発が必要である。特別な費用を要しないならば、極めて稀にしか起こらない大地震動に対しても、建築構造物を無損傷にすることの合理性が生まれてくる。結果として社会の賭けの安全性も非常に高まる。

我々の研究の焦点はこの飛躍的に高い耐震性の追及にある。都市の構成要素は個々の建築であり、これらの耐震安全性を着実に高めて行くことが大都市の地震災害低減への早道である。

**Two Design Concepts**

	Small/medium earthquake	Large earthquake
Old		
New		

**2 都市地震工学に関連する研究テーマ**

- ・ 塑性履歴をうけた鋼材ならびに部材の力学的性状に関する研究-その1. 鋼材の引張ならびに圧縮に対する機械的性質、藤本盛久、守谷一彦、和田 章、日本建築学会論文報告集、1970. 1
- ・ 任意形平面骨組の非線形応力解析、藤本盛久、須藤福三、和田 章、日本建築学会論文報告集、1971. 11
- ・ 偏心K型ブレース架構の特性に関する研究、藤本盛久、青柳 司、鶴飼邦夫、斎藤勝彦、和田 章、日本建築学会論文報告集、1972. 5
- ・ 鋼構造骨組の三次元非線形解析、藤本盛久、岩田 衛、中谷文俊、和田 章、日本建築学会論文報告集、1975. 1
- ・ 鋼管コンクリートにより座屈を拘束したアンボンドブレースに関する研究、藤本盛久、佐伯英一郎、渡辺 厚、人見泰義、和田 章、構造工学論文集、日本学術会議、1988. 3
- ・ Some Aspects of Reliability and Safety of Space Frame, Fukuzo Suto, Kenji Sugihara, A. Wada, International Journal of Space Structures, 1988
- ・ Building Frames Subjected To 2D Earthquake Motion, K. Hirose, A. Wada, American Society of Civil Engineers, 1989. 5
- ・ Control of Spurious Modes in a 9-Node Shell Element Based on the Assumed Strain Approach, T. Yamada, F. Kikuchi, A. Wada, Theoretical and Applied Mechanics, University of Tokyo Press, 1989
- ・ Influences of Uncertainties on Mechanical Behavior of a Double-Layer Space Truss, Z. Wang, A. Wada, International Journal of Space Structures, 1992
- ・ 建築物の損傷制御設計、和田 章、岩田 衛、清水敬三、安部重孝、川合廣樹、丸善株式会社、1998
- ・ Innovative Approaches to Earthquake Engineering, G. Oliveto, V. V. Bertero, A. Wada, WTT Press, 2001

**3 都市地震工学に関連する業績、プロジェクトなど**

(株)日建設計(1970. 4~1981. 12)において、構造解析技術の開発、超高層建築の構造設計に従事  
東京工業大学助教授・工学部建築学科(1982. 1~1989. 10)在籍中から、免震構造に関する研究を開始  
米国・ワシントン大学建築学科・客員講師(1984. 4~1984. 7)滞在から、日米交流開始  
東京工業大学教授・工業材料研究所(1989. 11~1996. 4)に移り、制振構造に関する研究開始  
米国・マサチューセッツ工科大学土木工学科・客員教授(1991)にて、Damage controlled structureの研究開始  
東京工業大学教授・建築物理研究センター(1996. 5より、1997. 4から現職)免震、制振構造に関する研究を世界に普及  
イタリア・カタニア大学、米国ニューヨーク州立大学バッファロー校、イギリス構造技術者協会などにおいて講義活動  
受賞： 日本建築学会賞・論文(1995)「建築構造物の非線形挙動の解明とその応用に関する一連の研究」



**建築物理研究センター  
助教授 山田 哲**

専門分野：建築構造学、耐震工学、鋼構造  
キーワード：耐震性能、エネルギー  
homepage: <http://www.serc.titech.ac.jp/yamadab/>

**1 研究内容を目指すもの**

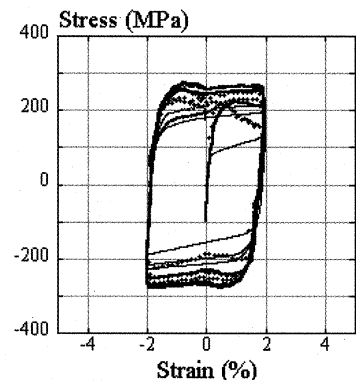
兵庫県南部地震以降、地震による入力エネルギーをエネルギー吸収要素であるダンパーに負担させ、柱と梁からなる重力を支える主架構は弾性範囲に留める損傷制御構造に関する研究が盛んに行われるようになり、実施物件としても普及するようになってきた。この新しい耐震構造システムは、これまで倒壊防止が目標とされていた大地震後においても、建物の継続使用を可能とするものであり、主として中層以上の事務所建築などで普及している。この技術の中低層の一般建築に展開・普及させることは、自然災害に強い年を構築する上で重要な課題といえる。

また、これまでに行われてきた損傷制御構造に関する研究の多くは、設計で想定する地震入力レベルに対して、ダンパーが有効に地震エネルギーを吸収することを検証する目的や、ダンパーそのものの履歴挙動を調べる目的で行われたものに限られている。これらの研究から、建物の耐震性能を評価する上での最低限必要な情報は得られるが、建物躯体だけでなく内部までも振動被害から守るためには、想定する地震入力に対して、床レベルにおける応答性状までを把握する必要がある。損傷制御構造の地震荷重下における挙動に関する研究を、床レベルの応答にまで拡張すること、そして中低層の一般建築へ普及・展開を計ることが研究目的である。

**2 都市地震工学に関連する研究のテーマ**

**速度依存性を考慮したダンパー用鋼材の履歴特性に関する研究**

ダンパー用鋼材として多用される低降伏点鋼は、歪速度依存性が大きいことが特徴の一つとなっている。低降伏点鋼の動的繰り返し載荷実験を行い歪速度に伴う応力上昇を含めた履歴挙動のモデル化を行った。



**部材の復元力特性に立脚した鋼構造多層骨組の弾塑性応答**

鋼構造骨組に関する弾塑性応答解析は現在までに数多く行われているが、その多くは恣意的な履歴モデルを用いており、塑性域における繰り返し変形によるバウシinger効果や局部座屈の発生による劣化、床スラブの抵抗など、実際の構造物で発生する現象が反映されていない。建物の耐震性能を正しく評価するために、部材の現実的な復元力特性を用いた弾塑性応答解析を行う。

**3 都市地震工学に関連する業績、プロジェクトなど**

・ 科学技術振興調整費（総合研究）「構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災性向上に関する研究」サブ課題「鋼構造物の実地震荷重下における破壊特性の解明に関する研究」（実大振動台実験の実施を担当）

・ 論文：岡田 健, 山田 哲, 吳 相勲: 改良型の柱梁接合部を有する合成梁の変形能力に関する実験的研究 合成梁の変形能力を反映した鋼構造骨組の耐震性評価 その2, 日本建築学会構造系論文集 第554号, pp.123-130, 2002年4月

・ 論文：山田 哲, 山口路夫, 竹内百合: 竹内 徹, 和田 章 動的繰り返し載荷実験に基づくダンパー用鋼材の履歴特性の評価 速度依存性を考慮したダンパー用鋼材の履歴特性に関する 研究 その1, 日本建築学会構造系論文集 第553号, pp.121-128, 2002年3月

・ 論文：山田 哲, 松本由香: 梁部材の終局挙動が鋼構造多層骨組の耐震性能に与える影響, 日本建築学会構造系論文集 第535号, pp.133-140, 2000年9月

・ 論文：山田 哲, 秋山 宏, 貞許美和 スリップ型の復元力特性を有する柱脚の弾塑性挙動が鋼構造多層骨組の終局耐震性能に及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文集 第502号, pp.141-147, 1997年12月

他多数