和田　章
Akira Wada
東京工業大学教授
建築物理研究センター

時松孝次
Kohji Tokimatsu
東京工業大学教授
大学院理工学研究科建築学専攻

東京工業大学「都市地震工学の展開と体系化」

"Evolution of Urban Earthquake Engineering" in Tokyo Institute of Technology

Summary

The Center for Urban Earthquake Engineering (CUEE) was established on September 1, 2003, to carry out the 21st Century Center of Excellence (COE) program, entitled "Evolution of Urban Earthquake Engineering," which is sponsored by the Ministry of Education, Culture, Sport, Science, and Technology.

CUEE program includes extensive and in-depth research and development (R & D) of new technologies for the prevention of urban disasters caused by earthquakes. CUEE has been working towards making various contributions in the areas of the following three major research topics:

1. Advanced Technology for Earthquake Disaster Mitigation
2. Renovation Technology for Urban Earthquake Resilience
3. Strategic Plan for Urban Seismic Risk Reduction

CUEE works towards making global contributions in the areas of research and education as well as aim to become one of the most advanced international centers for Urban Earthquake Engineering.

1．研究教育拠点設立の背景と目的

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COEプログラム（拠点リーダー：東京工業大学総合理工学研究科人間環境システム専攻　教授　大町達夫）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、安心で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し、その研究教育拠点として都市地震工学センター（Center of Urban Earthquake Engineering）を平成15年9月1日に設立した。

2．拠点形成の視点

この拠点は以下の視点に立脚している。

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入れ、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ザ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。

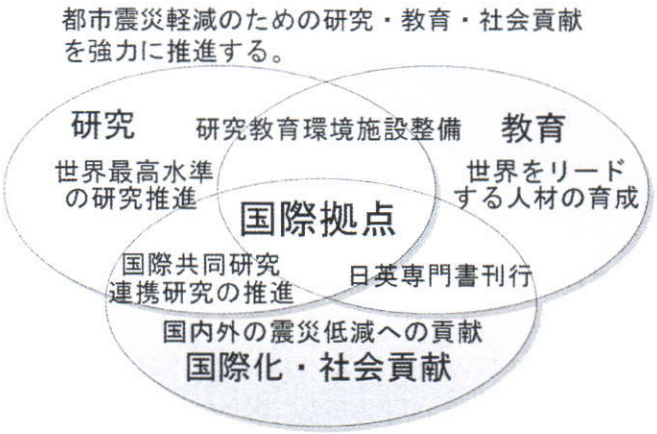

図1　拠点形成の視点
Fig.1　Overview of the COE program

3．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見地から推進した。

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、既存不適格構造物の耐

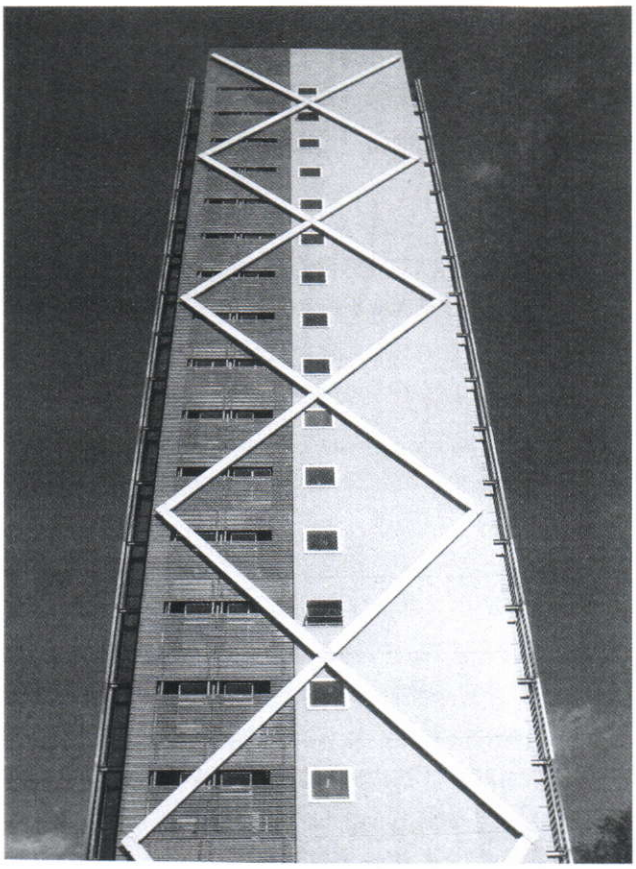

写真1　20階建超高層免震建物（東工大・すずかけ台キャンパス）
photo 1　Seismic isolated steel building (Suzukake-dai Campus, Tokyo Institute of Technology)

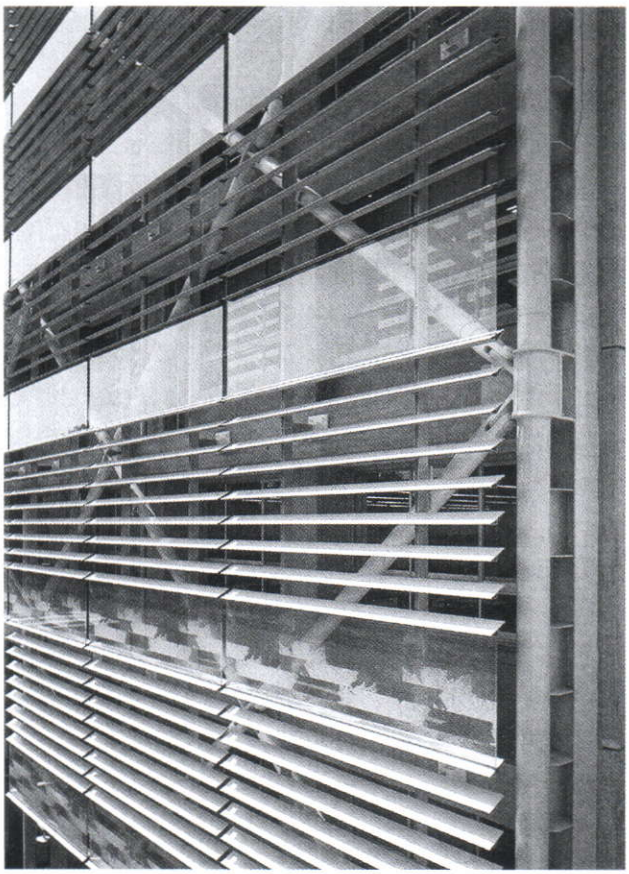

写真2　デザインと環境を意識した改修工事（東工大・大岡山キャンパス）
撮影：石黒守 (Photo by Mamoru Ishiguro)
photo 2　Seismic retrofit building (Ookayama Campus, Tokyo Institute of Technology)

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の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。

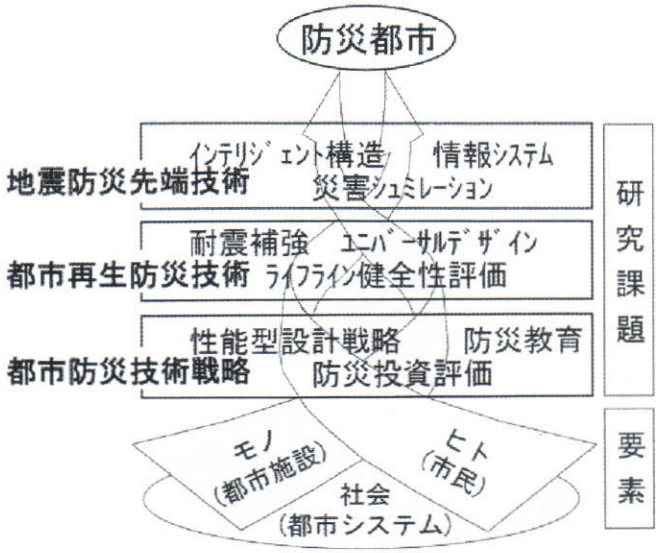

図2　研究課題と要素
Fig.2　Research Themes & Topics

都市地震工学COEプログラムにおいて、この3課題（地震防災先端技術、都市再生防災技術、都市防災技術戦略）について研究が進められた。本プログラムは建築系および土木系の教員により推進されているが、ここで建築系の教員による研究を簡単に紹介する。

・地震防災先端技術：3次元地下構造を考慮した長周期地震動シミュレーション（山中浩明准教授）、座屈を考慮した鉄骨建物の倒壊シミュレーション（元結正次郎准教授）、極大地震動を受けるRC建物の地震応答（堀田久人准教授）などのシミュレーション解析が行われている。また、世界最大を誇る防災科研の振動台E-Defenseを用いる実大実験により、制振建物の耐震性（笠井和彦教授）、杭ー地盤の相互作用（時松孝次教授）、鉄骨建物の倒壊挙動（山田哲准教授）、の把握もそれぞれ行われつつある。さらに鉄筋コンクリートの損傷過程と建物の耐震性能評価（林静雄教授、篠原保二准教授）、RC構造部材の非線形復元力に対する巨視的モデルの構築（瀧口克己教授）、局部座屈を考慮した鉄骨梁の耐震性能評価（五十嵐規矩夫准教授）などの基礎的研究も行われている。

・都市再生防災技術：デザインと環境を意識した耐震改修工法（竹内徹准教授）、木造住宅耐震補強のためのシステム（坂田弘安准教授）、都市構造に基づく火災延焼危険度評価（青木義次教授）、都市交通利用者の時空間分布に基

づく帰宅困難者把握（大佛俊泰准教授）などの研究が行われた。

・都市防災技術戦略：高性能損傷制御設計法の開発（和田章教授）、災害マネージメントのためのリモートセンシング画像による地震災害検出（翠川三郎教授）、地震火災時の災害時要援護者救助シミュレーション（瀬尾和大教授）、可搬型VR装置による地震防災教育システム（大野隆造教授）などの研究が行われている。

実験施設は、本学大岡山キャンパスに構造物動的実験システムが、本学すずかけ台キャンパスには大変位2次元振動台が導入されこれらを利用しての多くの知見が得られた。

また研究の成果が具現化した例として、本学すずかけ台キャンパスに建設された20階建の超高層免震建物および周辺地盤の地震時挙動の観測システムの構築がある。最新免震技術を駆使して建設された構造物の挙動を周辺地盤の動きとともに明らかにすることができ、収集されたデータは、新しい耐震技術の検証、発展に資するものと期待される。これらの測定には従来の加速度計、歪み計だけでなく、デジタルビデオを用いて免震層の映像も記録している。また本学大岡山キャンパスに建築基準法改正以前に建設された、壁量が目標値に対して大幅に不足している建物に対するデザインと環境を意識した方法に基づいた改修が挙げられる。

さらに2004年スマトラ島沖地震、2006年ジャワ島中部地震、2007年能登半島地震、2007年新潟県中越沖地震など国内外の8地震の被災地に調査チームを派遣し、現地研究機関と連携して、地震発生のメカニズムや被害の状況調査、災害マネージメントや被災後修復技術の必要性などに関する新たな問題の抽出を行い、その成果を国内外に発表した。

研究実績の概略を以下に示す。21世紀COE事業推進担当者・協力者のレフリー付き論文数：年間150編（約7編／人）、国際会議論文数：年間100編（約5編／人）。過去5年間の学会賞等受賞数：38件（うち論文賞：20件、技術賞等7件、奨励賞2件、国際貢献賞1件）。また東工大土木建築棟の耐震改修は、平成18年度第1回日本構造デザイン賞、平成19年度グッドデザイン金賞(経済産業大臣賞)等の受賞に繋がった。

4．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した。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した。東工大2キャンパス、タイのチュラロンコン大学、台湾の国立中央大学をインターネットで結び双方向型の授業同時配信を行ない、大きな教育効果を得た。

5．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った。過去5年間に、事業推進者・協力者が行った地震工学関連の国際共同研究等は、北中南米ではカリフォルニア大学バークレイ校4件を含む18件、ヨーロッパ6件、アジア9件、オセアニア1件の合計34件で、先進国との先端共同研究と開発途上国への技術協力がバランスよく行われた。

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することにより国際貢献に努めた。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した。都市地震工学国際会議への参加を中心に、当該分野における海外の著名な研究者や若手研究者を例年20名程度、期間全体で100名程度短期招聘し、基調講演・特別講演を依頼している。さらに比較的長期間の滞在が可能な海外著名研究者に対しては、特任教授の称号を与え、学生への講義、学内外の参加者を対象とした特別講演、特別講義を実施した。

さらに都市地震工学研究の成果を発信し国際交流を推進するため、国際会議を平成15年度より毎年3月に東京工業大学において開催した。この国際会議においては国内外から当該分野の著名な研究者・実務者を招聘し論文発表と討議

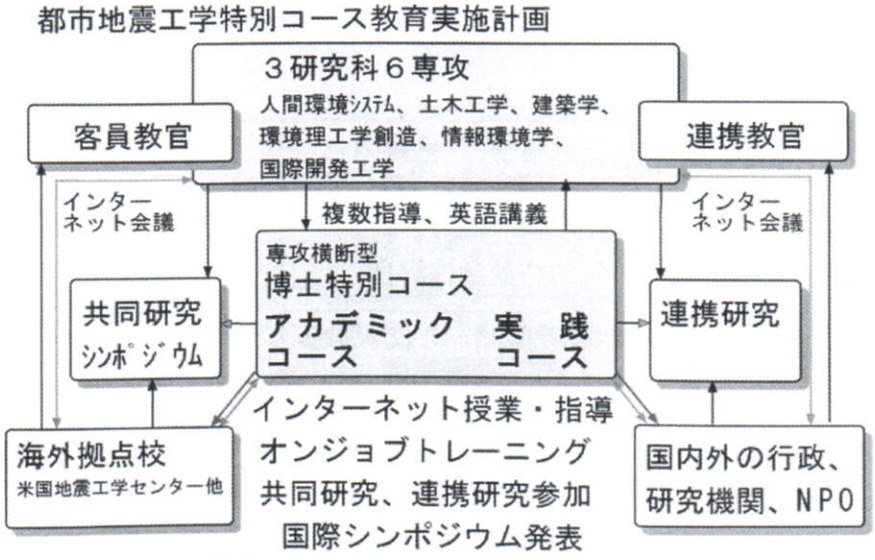

図3　大学院教育と若手育成
Fig.3　Urban Earthquake Engineering Education Implementation Plan

を行っている。その成果をまとめて毎年500頁を超える英文学術論文集として刊行している他、本拠点ホームページからダウンロードできるようにすることで、その成果を国際的に広く発信した。

6．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した。一方博士後期課程に専攻横断型の「都市地震工学特別コース」を設け、国際コミュニケーション能力を向上させる英語プレゼンテーションスキルの講義を含めて、49科目を開講し、都市地震工学に関する教育カリキュラムを整備、若手研究者の育成に努めた。

特に博士後期課程の学生のなかで優秀な者をRA（Research Assistant）に採用して経済的に支援し、RAが責任を持って研究を実施し、その成果を発表することにより、博士課程学生の主体性、独創性等の向上を図っている。また優秀な博士課程修了者を積極的にPD（Post Doctoral research fellow）に採用し、自由な環境の下で研究を行わせることで、早期自立を支援した。学生・若手研究者が提出した研究計画を審査し、研究費を傾斜配分して主体的に研究活動を行わせることで、研究者に必須な、独創性、発想力、研究遂行能力等の育成を図った。また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、実践力の養成を図った。具体的に挙げると、毎年3月に東工大で開催する都市地震工学国際会議、PEER（Pacific Earthquake Research center）との共催Workshop、米国3地震工学センターとの若手研究者Workshop、台湾の国立中央大学との共催のシンポジウムなどに、学生・若手研究者を積極的に参加させ、論文発表や討議を行なわせた。また、PD・助教レベルには、国際会議の企画、連絡、運営などを担当または分担させることで、責任感、リーダーシップを持たせることができ、国内外の若手研究者ネットワーク作りにも役立った。また博士課程の学生に3ヶ月程度、外国の大学に滞在して研修を行うことを奨励し、その支援を実施している。また短期研修として博士課程学生を海外の国際会議に派遣し論文発表や討議を行うことも積極的に支援した。

また上述した国内外で発生した巨大地震の被害調査には学生・若手研究者を多数派遣した。これらの被害調査や地震動観測等の貴重な経験を通して地震の脅威とその対策の重要性を再確認させるとともに、一部学生には、その中から研究テーマを見いださせ、博士論文などの研究成果に繋げさせた。

7．一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て一般市民への防災教育を推進する。例えば『都市地震工学の展開と体系化』の教育・研究・普及活動の一環として、13回に渡ってCUEE主催で都市地震防災セミナーを行った。都市震災の軽減をめざして、行政・NPO・民間企業など社会との連携をはかりながら、より実践的な震災軽減施策を目指したものである。

また、以下に目次を示す、5年間の研究成果を取りまとめた都市地震工学の体系を網羅する教科書「シリーズ＜都市地震工学＞」三部構成、全8巻（朝倉出版）を刊行する。執筆・編集作業を進めており、その一部はすでに刊行されている。

表1　シリーズ＜都市地震工学＞目次
Table 1　Contents of "Evolution of Urban Earthquake Engineering"

第Ⅰ部　地震ハザード	
第1巻	地震と地震動
第2巻	地震ハザードの評価
第Ⅱ部　地震と都市施設	
第3巻	都市構造物の耐震性（1）
第4巻	都市構造物の耐震性（2）
第5巻	都市構造物の耐震低減技術
第6巻	都市構造物の損傷低減技術
第Ⅲ部　地震と社会システム	
第7巻	地震と人間（平成19年2月刊行）
第8巻	都市震災マネジメント

8．今後の発展

寺田寅彦が随筆「天災と国防（1934）」において「ここで一つ考えなければならないことで、しかもいつも忘れられがちな重大な要項がある。それは、文明が進めば進むほど天然の暴威による災害がその劇烈の度を増すという事実である」と述べているように、この74年の年月を経て、確かに文明の進歩はあったが、それ以上にこれを支える建築・都市の災害に対する脆弱性は増している。人々の豊かな生活、経済の発展、我国の国際競争力の向上を追い求めるときに、同時に災害に対する強靱性も高めていかねばならない。これは日本だけの問題ではなく、これから発展する東アジア、ひいては世界全体の問題でもあり、我々はこの分野の教育と研究にさらに力を入れていく所存であります。