

## 私の研究・教育人生

首都大学東京 名誉教授・オープンユニバーシティ 特任教授／上海交通大学 客員教授 岩楯 做広

### 1. はじめに

私は、東京オリンピックが開催された1964年の4月に、東京都立大学工学部土木工学科に入学、1970年3月に同大学院工学研究科修士課程を卒業、同年4月(財)電力中央研究所(電中研)に入所し、研究生生活をスタートしました。1994年3月、我孫子研究所耐震部長を最後に退職するまで24年間研究生生活を送りました。その後、94年4月に、母校東京都立大学の土木工学科に教授として戻り、2009年3月退職するまで15年間、さらに、名誉教授として現在に至るまで、地震工学・耐震工学を専門として、学生の教育・研究に邁進して来ました。この間、上海交通大学の客員教授となり、中国の学生の研究・教育の指導も続けております。2014年1月からは、首都大学東京のオープンユニバーシティ(OU)の特任教授に就任し、社会人の教育の仕事にも携わっております。以下に大学時代から現在に至るまでの50年余の研究・教育人生を四つの段階に分けて紹介致します。

### 2. 第一ステージ：(東京都立大学山本研究室時代)

私は、昭和42年度の卒論生として山本稔教授の研究室(土木応用力学講座)に入り、学部での1年間と修士課程の2年間合計3年間指導を受け、光弾性実験と数値解析法(差分法と有限要素法)をベースに卒業研究を行いました。

①卒論論文：卒論のテーマとして、「差分を利用した構造解析とその実証」が与えられ、光弾性実験により求めた等色線縞次数(主応力差)とラプラス方程式(主応力和)を差分近似して得られた多元(45元)の連立1次方程式の解を組み合わせ、内部主応力を算定・評価しました。当時、都立大学には、大型計算機は無く、タイガー手回し計算機により、サブストラクチャ法を適用し解析を試みましたが、一向に解が収斂せず苦勞しました。幸い、早稲田大学の大型計算機(トスバック)を使用して計算し、無事卒業研究を完成することができました。

②修士論文：修士課程1年時には、当時、土木分野でも普及し始めた有限要素法(FEM)を、山本研究室でも研究に取り入れることになり、ゼミの教材とし

て、チンキピッチとクラーフ共著の「Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics」(McGraw Hill)を選び、博士課程の先輩を中心に輪読し、FEMの基礎(変分法、変分原理)を学習するとともに、解析プログラムの開発に取り組みました。また、土木学会の岩盤力学委員会のFEMの研究会にも出席する機会がありました。研究会では、(財)電力中央研究所(電中研：当時)のダム解析事例などの発表があり、土木分野におけるFEMの最新の研究成果を学習することができ修士論文のための有益な準備期間となりました。修士課程2年時には、直ちに、修士論文(「構造物の近似解法」)に取り掛かり、有限要素法を平板の曲げ問題に適用し、Theory of Plates and Shells (McGraw-Hill) (S. Timochenko & Woinoinowsky-Krieger)を参考に、理論の展開を行い、FEM解析プログラムを作成し、厳密解や種々の近似解(級数解)と比較解析を行い、有限要素法の有効性を検証しました。そして、卒業論文と修士論文を取りまとめ、卒業後、昭和45年度土木学会第25回全国大会(大阪)で「平板の曲げ問題に対する有限要素法と差分法の組合せについて」を発表し、土木学会にデビューを果たしました。村田二郎教授の推薦により、電中研に就職(都立大土木工学科で初めて)が決まりました。

東京都立大学山本研究室での3年間の卒論・修論を通して、研究の両輪である実験(光弾性実験)と数値解析法(差分法と有限要素法)を体験・習得できた事は、卒業後の電中研での研究の基礎となり、その後の研究に大いに役立ちました。

### 3. 第二ステージ(電力中央研究所時代)

電中研では、1970年4月に入所してから1994年3月に退職するまでの24年間の研究生生活を送りました。構造部材料研究室に配属され、2年後、地盤耐震部耐震第一研究室に移り、本格的に耐震工学・地震工学に関連する研究を進めることになりました。「研究の原点は、現場にある事」をモットーに、電力各社の水力・火力・原子力発電所の現場で発生した地盤・構造物の耐震安全性に関する諸問題に対し、地震観

測・現場実験・振動台模型実験・解析を駆使して取り組みました。また、土木学会、電事連、電気協会等の各種委員会に委員として参画し、岩盤立地・新立地技術の開発、電力土木構造物の耐震設計技術指針の策定等に当たりました。以下に、代表的な研究について、紹介致します。

① パイプビームシェル構造物を対象とした有限要素法解析プログラムの開発と応用

入所後、直ちに、パイプビームシェル構造物を対象とした有限要素法解析プログラムを作成し、水力発電所のペンストックや火力・原子力の取水立坑や埋設管路、LNG 地下タンク等の軸対称構造物の応力解析を行い、最初の研究報告書を作成しました。

② 起振機による原子炉格納施設の振動試験

当時、電力会社は、原子力発電所の設置許可条件として、耐震安全性について、完成時、設計通りに建造されているかを起振機による振動試験（起振実験）により確認し、通産省に報告することが義務づけられておりました（使用前検査）。このため、電中研では、電力の要請を受けて、原子炉建屋の安全性を確認するため、第三者的な立場から官庁立会いの下で、建設中の原子炉建屋に起振機を設置し、電力会社と共同で振動試験を実施（原子炉格納施設を揺する）し、その応答特性（固有振動数、減衰定数、振動モード）を調べ、耐震安全性の検討・評価を行ってきました。私は、PWR 型の九州電力玄海原子力発電所 2 号機、同川内原子力発電所 1 号機、四国電力伊方原子力発電所 1、2 号機の起振実験を担当・実施し、その応答特性を把握し耐震性安全性評価を行いました（写真 1）。この研究成果を、アメリカ・シカゴで開催された第 7 回世界原子炉構造会議（7th SMiRT）に発表しました。



写真 1 伊方原子力発電所の起振実験  
(1979 年 : 33 歳)

③ せん断土槽の開発と軟弱地盤の非線形振動特性に関する模型振動実験と解析

耐震第一研究室の 1 年先輩の国生剛治先生（中央大学名誉教授）と電中研で開発した強震時の実地盤の非線形挙動を模型実験で再現できるせん断土槽（写真 2）を用いて、振動台模型実験を実施し軟弱地盤の非線形振動特性の検討・評価を行いました。国生先生は、この研究成果を土木学会論文集（共著）に投稿し、土木学会論文奨励賞を拝受されました<sup>1)</sup>。



写真 2 せん断土槽

④ 地中構造物の耐震性に関する研究（博士論文）

LNG 地下タンク、取水立坑、取水ピット等の軟弱地盤に建設される地中構造物の強震時および液状化過程の挙動、地下構造物に作用する動土圧に関し、せん断土槽を用いた模型振動実験や現場実験等により実験的に、かつ、開発した地盤—構造物の連成系軸対称 FEM 複素応答解析手法（CRAS）を用いて、解析的に検討し、解明に当たりました。そして、これらの研究成果を東京都立大学博士論文「地中構造物の耐震性に関する研究」として、取りまとめました<sup>2)</sup>。

⑤ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性の研究

1987 年 4 月に、土木学会原子力委員会「限界状態設計部会：主査岡村甫東京大学教授（当時）」の委員および「設計用地震荷重 WG」の運営担当として限界状態を考慮した屋外重要構造物の耐震設計の標準化に関する研究に着手しました。限界状態の設定、設計用地震荷重に関する検討、鉄筋コンクリート設計方法の検討、試設計及び実験により安全照査方法の検証を目途とし、4 年半鋭意検討を進め、その成果を取りまとめ、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル」（土木学会原子力委員会：1992 年 9 月）として、刊行することが出来ました<sup>3)</sup>。

⑥ 原子力発電所第四紀地盤立地技術に関する研究

原子力発電所の新立地方式の一つとして、第四紀地盤立地技術の研究に精力的に取り組みました。第四紀地盤立地を実現させるため、埋設建屋を対象とした合理的な地震応答評価法の開発を進めるととも

に第四紀地盤に建設された実規模埋設構造物（東海原子力研究所動力試験炉（JPDR）：全高 38.1m の内ほぼ 1/3 が地下コンクリート内に埋め込まれている）の地震観測、起振実験を実施し、埋設建屋の動的応答特性、埋設効果を検討・評価し、高い耐震性を有していることを検証しました<sup>4)</sup>。これらの結果は、その後、土木学会原子力委員会の審議を経て、「原子力発電所の立地多様化技術」（1996）および「同（追補版）」（1999）に、掲載されました。また、第四紀地盤立地技術の研究の一環として、アメリカ合衆国カリフォルニア州パラアルトの EPRI（Electric Power Research Institute：アメリカ電力研究所）に、1985 年 4 月から 86 年 9 月まで、1.5 年間海外出張し、EPRI の最新の研究成果の調査・分析や第四紀地盤に建設された原子力発電所の視察を行いました。EPRI における 1.5 年の研究生活は、貴重な経験となり、帰国後、電中研、東京電力、台湾電力、EPRI が台湾花蓮地点において共同で実施した第四紀地盤立地の実証研究を進める上で大きな財産となりました。

#### 4. 第三ステージ（東京都立大学・首都大学東京時代）

1994 年 4 月に、母校東京都立大学に工学研究科土木工学専攻の教授として着任しました。

大学における教育・研究人生は、阪神・淡路大震災（1995 年 1 月）に始まり、中国四川大地震（2008 年 5 月）に至る 15 年間でした。私の 15 年間の教育・研究人生を、5 年毎に 3 つの段階（① Hop：自己と大学人としての基盤を築く段階、② Step：研究・教育に没頭する段階、③ Jump：教育・研究を集大成し、社会に還元する段階）に分け、3 つの研究の柱を打ち立て、教育・研究生活をスタートしました。

##### 【研究の 3 つの柱】

(1) 研究の柱一 1：トンネル・地下構造物の耐震性に関する研究

大学奉職直後に発生した 1995 年 1 月の阪神・淡路大震災による耐震神話の崩壊は、地震・地盤工学の一端を担う私にとって、本地震が突き付けた大きな試練となり、原点に立ち戻って、地震・耐震研究を再始する絶好の機会となりました。

阪神・淡路大震災直後に「トンネル・地下構造物の耐震性に関する研究」に着手しました。地震被害調査を行い、電中研で開発したせん断土槽による模型振動実験と軸対称地震応答解析プログラム（CRAS）等を用いて、地下鉄構造物（大開駅舎等）の地震被害原因の究明に取り組みました。並行して、土木学会地震工学委員会「トンネル地下構造物の地震被害調

査小委員会（H7～H9）」および「地下構造物の合理的な地震対策研究小委員会（H15～H17）」の委員長として産学公の研究者・技術者、実務担当者を結集し、本地震が我々に突き付けたトンネル・地下構造物の耐震性に関する諸問題の解決に当たりました。その成果を学生の卒業論文や土木学会「阪神・淡路大震災調査報告（土木構造物の被害第 2 章）（1998 年 6 月）」および「地下構造物の合理的な地震対策研究小委員会の報告／シンポジウム発表論文集（2006 年 6 月）」に取りまとめました。

(2) 研究の柱一 2：逗子地域の不整形地盤の地震応答特性に関する研究

耐震・地震研究の先輩である（故）国井隆弘教授の遺産（地震計 8 台）を引き継ぎ、1994 年 6 月から、逗子地域の表層地盤 5 カ所、さらに、98 年に、地中 - 30m に地震計を設置し、地震観測を開始しました。今までに、200 以上の貴重な地震データを得ております。特に、2011 年 3 月の東日本大震災時には、過去最大の加速度記録（表層地盤で：NS=124.5gal）を取得し、これらを用いて、独自に開発した同定解析手法により地盤構造を同定し、地盤構造の検討・評価を行いました。さらに、同定した地盤構造をベースに 3 次元 FEM 地盤構造モデルを作成し、地中で観測波を入力波として解析を行い、大地震時の逗子地域の不整形地盤の非線形応答特性を明らかにし、逗子市の地震防災に寄与する事ができました<sup>5)</sup>（写真 3）。

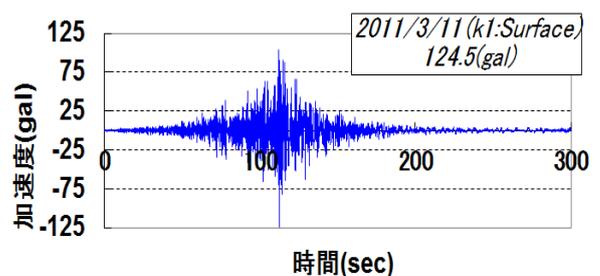


写真 3 逗子の表層地盤の観測波形（NS 成分）  
（東北地方太平洋沖地震）

(3) 研究の柱一 3：中国との国際共同研究

中国（6 人）、フィリピン（1 人）、シリア（1 人）等の多くの留学生（博士、修士、研修生）の教育・研究指導を行う機会を得て、中国西安交通大学・上海交通大学との国際共同研究「中国の都市の地震防災と歴史的構造物の耐震性に関する研究」に着手し、①西安市の地盤・文化遺産（城壁や鐘楼、鼓楼等）の常時微動観測、地震応答解析、②約 960 年前に建てられた中国最古の木造建築構造物である山西省応県の釈迦塔（応県木塔）を対象に地震観測、常時微

動観測を日本・中国と共同で実施し、応答特性・耐震性評価を行いました（写真4）。

応研木塔：

中国最古の木造建築

高さ 65.86m



写真4 応研木塔の常時微動観測（2005年：59歳）

さらに、③2008年中国四川大地震の地震被害調査を共同で実施し、被害原因の究明を図りました<sup>6)</sup>（写真5）。これらの研究・教育活動を通し、車愛蘭先生（現在上海交通大学教授）を含め7名の博士（中国人2名）、24名の修士および50名以上の学士を岩楯研究室から誕生させる事が出来ました。

映秀鎮の最大落石現場:中国地震調査団と



写真5 四川大地震の調査（2008年：62歳）

その他、国内で発生した地震だけでなく、国外の地震（1999年の台湾集集地震、2001年のインドkatch地震、2006年のインドネシア・ジャワ島中部地震など）の被害調査を行い、学生の研究・教育に反映しました。

## 5. 第四ステージ（首都大学東京退職後から現在に至るまで）

退職後、首都大学東京名誉教授、上海交通大学客員教授に就任し、首都大学東京と中国上海交通大学の学生の教育・研究指導を続けております。特に、上海交通大学では、車先生が現在実施中の多くの研究（振動台模型実験や常時微動観測など）に、研究顧問的な立

場で協力しております。さらに、2014年1月に、首都大学東京オープンユニバーシティ（OU）の特任教授に就任し、社会人を対象とした教育活動（都市の地震防災等）を続けております。

私が、今まで培った経験や知識を少しでも多く、社会に還元し、次世代を担う後進に伝え継承することが、私の**使命（Mission）**と考えております。今後とも、新たな目標に挑戦し進化したい。

## 6. 終わりに

最後に、私の教育・研究を支えてくれた大学の恩師・先輩・後輩、電中研の上司・先輩・後輩、研究室の学生諸君に、この機会に厚く感謝申し上げます。

これからの地震工学を担う後輩諸氏には、常に高い目標と独立意識、新しい領域に踏み出す勇気と追求する姿勢を持ち活躍することを期待致します。

押忍

## 参考文献

- 1) 国生剛治・岩楯徹広：軟弱地盤の非線形震動特性についての模型振動実験と解析：土木学会論文報告集、第285号、1979.5.
- 2) 「地中構造物の耐震性に関する研究」、東京都立大学博士論文、1985.3.
- 3) 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル、土木学会原子力委員会、1992.9.
- 4) 岩楯他：原子力発電所の第四紀地盤立地に関する研究—その2 埋設建屋・地盤の地震応答評価法—、電力中央研究所総合報告：U20、1991.2.
- 5) 岩楯徹広・内藤伸幸・安藤幸治・小田義也：東北地方太平洋沖地震による逗子地域の表層地盤の地震応答特性、土木学会論文集、Vol.70、No.4、pp.1-8、2014.
- 6) A.L. Che, J.H. Qi, X.P. Wu, T. Iwatate, M. Yoshimine, Y. Oda, Q.W. Ma, F. Zhang & Z.J. Wu：Application of micro tremor observation on investigation of geological hazard induced by the great Wenchuan earthquake in Sichuan province, Proceedings of the International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering (IS-TOKYO 2009), 15-18 June 2009, pp.331-336, 2009.6.

## 岩楯 徹広（いわたて たかひろ）



1970年東京都立大学修士課程卒、同年（財）電力中央研究所入所、1994年退職、同年東京都立大学教授、2005年首都大学東京教授、2009年名誉教授、上海交通大学客員教授、2014年首都大学東京OU特任教授