

## 日本地震工学会 総会時講演

日時：16年5月19日 14:10～14:50

電力中央研究所名誉特別顧問：櫻井彰雄

場所：早大理工学部

---

# 電気事業の設備形成時代と電力中央研究所の 地盤耐震研究の歩み、今後の展望

---

## 1. まえがき

---

### 1.1 電中研とは何者か？

- 1) 大学改革の方向：(1) 総合・融合（要素論の限界）、(2) 産・(官)・学協働
- 2) 時代を先取りしていた電中研
- 3) 松永翁の「志」；〈エネルギーをもって国を再興する〉
- 4) 国営電力志向を民間会社へ。国策的事業も民で効率化。そのための中央研究所
- 5) 技術の再配分（高止まり）を果たす電中研の役割
- 6) 中立学術団体（最高裁認定）としての使命：「電気事業への寄与と社会への奉仕」
- 7) 電気事業を通じた社会のニーズの把握と研究開発

### 1.2 松代群発地震以前の耐震研究（電中研創設時代の耐震研究）

畑野正、高橋忠、堤一（'：故人）

コンクリートの動的性質、ダムの変位理論

ダムの振動特性、地震観測

### 1.3 松代群発地震と耐震研究の拡大

- 1) 電中研耐震研究発展の原点。松代を実機台の振動台として試験研究。

実施内容：地盤の応答観測（地中地震動観測）・表面波地震観測。および地盤調査結果の対応。震源の方向性の影響。埋設パイプライン。変電設備（ケーブルヘッド）。剛体構造物の地盤相互作用。5階建て建物の地震入力解析（地表と基礎の観測差。入力損失）。杭基礎構造物の地震応答。

那須信治先生'の洞察力（50年以前の論文に宝あり）

- 2) 松代群発地震を契機に纏められた、電事連「電力流通設備の地震対策」(電気協会昭和47年) 電気事業の地震対策の原点
- 3) 地盤耐震部の創設(林正夫)
- 1.3 電中研における地盤耐震研究の集約:  
「エネルギー技術者のための地盤耐震学」(H11年、丸善)  
編集: 櫻井彰雄・渡辺啓行・澤田義博・国生剛治・岩楯たか広・花田和史・塩見哲・塩尻弘雄・松田泰治(幹事) 佐々木俊二・伊藤洋・当麻純一・朱牟田善治

地震・津波

---

### 1.1 地震学研究

---

基盤地震動観測(全国展開、やや東日本に偏在; 東北観測データの北大、東北大への提供による津軽海峡付近の地震震源域の高精度化)  
三次元アレー観測(鹿島地区、小田原地区)  
地下立地研究用城山発電所観測  
震源域内の地震動特性研究(伊豆半島観測などと断層解析)

### 1. 津波研究(田中寛行)

---

津波被害調査とシミュレーション解析(遼上高)  
大型津波研究用水路による検証

調査・試験、解析への適用

---

### 1. 地質調査・活断層調査

---

全国の電力ダムサイト、原子力サイト(依頼研究)  
<特徴: 広域・敷地内調査による地盤構造・岩種分布の明示>  
根尾谷断層、中央構造線など断層調査法一般化のための総合調査(トレンチ調査と種々の調査法の適用: 電力共通研究)  
<特徴: 各種調査法の総合評価による年代確定>

### 2. 地盤調査・試験

---

全国の電力火力、ダム、原子力サイト（依頼研究）

地下可視化技術の適用

各種地盤調査法の適用

<特徴：耐震解析用の地盤構造把握、解析用物性値の表示法と設計用数値の確定）

### 3. 地盤・構造物の動特性調査

---

全国の電力の原子力建家の起振実験（BWR，PWR）

全国の電力のダム、フィルダム、火力構造物（護岸を含む）の動特性調査

多度津振動台基礎・J P D R（半地下構造）、原子力サイトの大型剛体模型（三種の寸法）など特徴のある構造物の動特性調査

<特徴：1）原子力：地震観測値と合わせ設計確認、今後のモデル化への資料

2）ダム・フィルダム・火力構造物：耐震安全性の確認

3）フィルダム：堤内物性値分布の把握と施工確認

4）常時微動観測併用により簡易測定の可能性把握

### 4. 地盤構造物などの応答解析（プログラムを思いつくまま）

---

<特徴：すべて観測、模型実験などで検証したもの>

F E Mプログラム（日本で最初のプログラム、ズームング手法、メッシュと振動数、放射減衰評価、・・・）（君島博次）

波動解析プログラム（モデルの寸法と振動数、モデル化への見通し）

原子力建家応答解析プログラム（中国電力：南部長）

基礎 地盤動的相互作用解析プログラム（三次元）

地下タンク・地下ダクトー地盤系動的解析プログラム

土質地盤のモビリティ解析プログラム

破壊過程を含むフィルダムの挙動解析

地中構造物の耐震設計プログラム

ダムー流体系の動的解析プログラム

サージタンクの動的解析プログラム

取水塔・水中構造物の動的解析プログラム

液状化過程の振動解析プログラム（1．液状化過程の地盤からの加力・動水圧）

液状化過程の振動解析プログラム（2．液状化過程を含む地盤の振動解析）

円筒座屈の動的解析プログラム

免震構造物の動的解析プログラム

スロッシングによるルーフの設計プログラム（F B R）

F B R 炉内構造物の動的解析プログラム（流体 構造物制振作用解析プログラム）  
コンクリート構造物の非線形解析プログラム  
浮体構造物の免震評価プログラム  
津波遡上高解析プログラム  
大型送電鉄塔の動的解析プログラム（多入力系の振動解析プログラムを含む）  
配電柱の非線形応答解析プログラム  
地盤振動障害予測プログラム

耐震研究の設備開発（思いつくまま）

---

<地震計関係>

電磁式地震計（高橋忠'）、地中地震計、長周期地震計、海底地震計

<加振機・起震機関係>（手作りも含め）

加振機（1 t：～40 h z、10 t：～40 h z、平型50 t：～10 h z、縦型50 t：  
～10 h z）管内加振機（50 K g：～40 h z）

位相差加振機（150 t@3台）

多入力加振機（1 t@5台）

<振動台関係>

ハイブリッドコントロールによる電磁制御油圧式加振振動台：水平120トン（第 期：  
昭和44年）

上下水平中型加振振動台（40トン）

電磁式加振振動台（1トン）

ハイブリッド（全体解析・局部試験）による振動台（第 期：H16年度完成）

センター・コントロールによる研究（スーパー・コンピューターを用いたネットワーク型  
研究設備）

< F B R：挫屈、免震研究用>（通産省委託事業）

動的加振装置（50 t?）

静的加圧装置（50 t?）

慣性力加圧装置（10 t?）

長周期加振振動台（F B R、スロッシング研究用、～10秒）

<地盤関係>

剪断土槽の開発（S波入力による地盤変形考慮。昭和45年～）

傾斜土槽（斜面安定）

土の動的試験装置の高度化（三軸試験結果と弾性波試験の連結）

原位置プレッシャー・メーター（地質用、土質用）

電子顕微鏡（土粒子レベル研究用）

S大砲（S波発生用）

<地質関係>

ボアホール・スコープ

地盤の可視化装置一式

電子顕微鏡（断層粘土解析用）

E S R（電子スピン共鳴法）装置，T L（熱ルミネッセンス法）装置、O S L（光ルミネッセンス法）装置他、

断層模型解析用M R

<津波関係>

津波研究用大型水槽

## 耐震設計特論

---

### 1. 力による設計（通常行われている解析）

---

原子力建家応答解析（水平、上下）

電中研研究棟 上下応答観測・解析

<特徴：実機地震観測、起振実験による確証>

### 2. 地盤変形を考慮した設計

---

埋設パイプライン、地上配管系、送電線系、地下タンク、ダクト系

<特徴：1）地盤の変形に支配される構造物の設計法の提案

2）地盤変形と動的応答双方の影響評価が必要、

3）地下タンクでは、液状化過程（地震入力となる場合と動水圧：慣性力となる過程が移行する）

### 3 - 1 変形を考慮した設計、もしくは照査

---

フィルダム、防波護岸

地盤の動的物性試験法の開発（昭和40年頃から、渡辺啓行'、松井家幸'）

<特徴：一部の変形を許す設計。許容変形量の評価。>

### 3 - 2 変形を考慮した設計、もしくは照査

(薄肉構造の座屈設計)

---

F B R 原子炉容器

<特徴：1) 剪断座屈評価式の提案

2) 地震時座屈における応答低減と塑性率に基づく座屈評価式の提案

3) 慣性力加振と動的加振機による加力、静的加圧機による加力との同一性の確認：将来の実機台加振実験への対応

### 4 . 地震力を軽減する工夫

---

F B R 用免震設計指針作成用確認試験

浮揚式原子力発電所の地震応答評価

<特徴：1) 免震装置：500トン級実機大の実証試験

2) 浮体応答：模型実験、石油備蓄設備観測

### 5 . 流体を含む系の設計

---

アーチダム・貯水系

P C 調圧水槽

F B R 炉内構造物

<特徴：1) 実ダム・水槽での加振実験、地震観測による確証

2) 大型模型実験(1/10)による確証

### 6 . 特注品としての耐震設計

---

原子力発電所

<特徴：実務者として、原子力特有の考え方の紹介>

### 7 . 規格品としての耐震設計

---

変電設備、配電柱、柱上変圧器の地震対策、電気温水器

<特徴：1) 0.3G共振3波正弦加振実験の位置づけ

### 8 . システムの地震対策

---

電力流通設備(全国展開、設備形成に歴史あり、ネットワークの持つ耐震性)

<特徴：1) シナリオ構築による地震リスクマネジメントの提案

2) シナリオによる設備(ハード)更新・補強の順序

## 基準等への反映

---

ダムの地質調査法と岩盤試験法（ダム、原子力関係）  
原子力発電所の設計地震動（電気協会指針）  
原子力発電所の地盤調査・試験法（活断層調査を含む（土木学会、電気協会指針）  
原子力発電所の新立地方式（第四紀地盤、地下、海上立地：土木学会）  
原子力発電所の津波設計（土木学会、電気協会）  
地中構造物設計法（地中同道・管路、石油パイプライン、水道・ガス）  
薄肉円筒の挫屈設計法（電気協会）  
構造物の免震設計法（電気協会）  
取水塔などの設計指針（水道協会）

## 地盤耐震学の今後の展望（私からの要望）

---

### 1. 理論整備

変形を考慮した設計法の拡大（終局状態を視野に入れた設計）

<説明：地盤工学者では常識になっている非線形を有する対象の耐震確認（例えば、地震波加振と等価正弦加振）の他学会への理論の普及。有効震度など。加速度から速度へ）>

### 2. 安心工学の勧め

「必要は研究の母」

- 1) はじめから非線形な挙動をする構造物（フィルダム）の耐震設計とは？
- 2) 12万年前に堆積した砂地盤は、限界地震に液状化しないか？
- 3) 70m級のフィルダムは、S波500m/sの基礎岩盤上に作れるか？
- 4) 液状化の可能性のある地盤では、地下タンクはどのような力を受けるか？

「参加型民主主義に時代では、マーケット・アウトからマーケット・インへ：提案型からニーズ志向へ」

<説明：1 電中研の耐震研究は、手作り・現場主義から>

<説明：2 電中研の研究テーマは、電力（ひいては、規制側）のニーズ（先取り研究を含めますが）

- 3) 電中研研究への評価は、電力（ひいては、規制側）の厳しい目。原子力では、反対派の目も（中立学術団体：真理の女神に使える。成果は、電気事業を通じ社会へ）

- 4) 個々の研究者の評価も、(外部評価として)自然、定まる。
- 5) 潜在しているニーズを如何に見える形で企画・提案出来るか>

#### 「社会のニーズの変化」

- 1) 長年平穏だった水力が、突然、騒音源となった理由?
- 2) 火力の近所でただ一人、振動に悩まされる。そのわけは?
- 3) 騒音・振動障害のクレームが付かない最小の用地面積は?

#### 「安心工学の勧め」

##### 1. この10年間の企業不祥事

(証券会社不祥事、総会や不祥事、技術不信の不祥事：j c o 臨界事故、雪印乳業食中毒事件、三菱自工クレーム隠し事件、狂牛病問題、東電原子力機器損傷隠し疑惑事件、食品偽装事件・・・)

##### 2. 技術不信：技術安全から技術安心へ

##### 3. 技術リスクの4つのカテゴリー

- 1) カテゴリー1のリスク：動機に人間が関与せず、予見不可能なリスク(天災など)
- 2) カテゴリー2にリスク：動機に人間が関与し、不可欠、または、回避不可能なリスク(食品安全など)
- 3) カテゴリー3にリスク：動機に人間が関与し、選択は可能であるが、回避は他にリスクをつけ回す可能性があるリスク(原子力、電磁波の生物影響など)
- 4) カテゴリー4のリスク：動機に人間が関与するが、社会がその危険性を理解していないリスク(遺伝子操作、生殖技術など)

##### 3. 地震安心方程式

地震被害 = 地震現象 \* 人間の社会活動の拡大

レベル1の地震安心方程式：従来の耐震設計(工学的措置 1)

レベル2の地震安心方程式：復旧対策など(工学的措置 2)

レベル3の地震安心方程式は?

##### 4. 安心方程式の提案

技術安心 = Fun (システムの安心設計の設計思想)

{(技術的安全措置：1・・・N)

\* (社会的措置：1・・・N)

\* (相互リスク・コミュニケーション：1・・・N)}



備考：制度は陳腐化する。何時でも原点に戻れるよう制度を揺さぶる・チクルする

視座：現代は、「臣民型民主主義」の時代から「参加型民主主義」の時代への変革期という認識が必要

- 1) 「設計の視座 1」: 社会的合意を得るためのリスク最小化システムの設計思想(誰の目線での安心か?)
- 2) 「設計の視座 2」: リスク最小化のための工学的措置(成熟期の技術・システムをどう継承・発展させるか?)
- 3) 「設計の視座 3」: リスク最小化のための社会的措置(透明性・公開性。技術の影響を受ける人は技術の内容を知る権利があり、技術を使う側は知らせる義務があると考えるべき)
  - ・(1) 情報を公開して、受け手が自らチェック出来るシステム設計
  - ・(2) 責任の追及が出来るシステム
- 4) 「設計の視座 4」: 相互リスク・コミュニケーション(デンマークのコンセンサス会議、技術開発におけるトランス・ディシプリナリティー)

<説明 1> 「現代の不安の源流」

- 1) 技術とは:
  - 自然に力を加え、隠れたものを強制的に引き出すと言う性質(技術: テクネー。
  - 反対: ポイエーシス: 自然からの贈与)
  - 技術は、合意なしに機能すると言う性質(人間も技術から取り立てられている)
  - 技術の本質: 数値化でき、処理可能な事象のみで構築されていること。
  - 技術者がこれを忘れると、安心工学にはならない。
- 2) 科学技術合理性側(開発側)と社会的合理性側(技術の影響を受ける側)の葛藤
  - ・技術開発側の反省点は何か? ・内部告発への技術者としての対応は?
- 3) もっと源流に遡ると、西欧近代化の到達点: ニヒリズム
  - 「聖なる虚構」: 1) 神の啓示に基づく真理、2) 理性に基づく真理、の崩壊
  - 確実なものが失われた時代: 欲望を満たすのに流動性の高いものへの執着(貨幣)
  - 欲望を拡大再生産する資本主義、アメリカンスタンダードの意味論
- 4) リスク・コミュニケーションの専門家の養成(中高年対策?)