

## 第8回確率・統計手法の応用に関する国際会議 (信頼性工学・シドニー)に参加して

木村智博, 青山清道

### Report on The 8th International Conference on Applications of Statistics and Probability (ICASP · SYDNEY)

by

Tomohiro KIMURA and Kiyomichi AOYAMA

#### I 緒 言

標記国際会議は土木・建築分野における信頼性工学を扱った内容であり, 1999年12月12日から15日にかけてシドニーのManly Pacific Parkroyal Hotelで行われた。この会議のメインテーマは土木構造物や建設工事(マネジメントも含む)等のハード・ソフト面におけるリスクマネジメントならびに, 信頼性設計に焦点を当てている。

4年に一度開催のこの会議に約150名が出席し, 参加国は20を超えた。参加者の内訳は表-1に示す通りである。今回, 目を引いたのは日本から研究者や実務者を始め, 30人余が参加したことである。

過去7回の開催地は第1回が香港(1971年), 第2回はアーヘン(1975), 第3回シドニー(1979), 第4回フローレンス(1983), 第5回バンクーバー(1987), 第6回メキシコ(1991), 第7回パリ(1995)である。時代と共に, 数値解析手法の変遷が如実に示され, 2次元から3次元解析, FEM(有限要素法)からBEM(境界要素法), と言った具合に, その時々々の最先端のトピックスが紹介され, 土木・建築のみならず, 多くのエンジニアから注目されている。

この確率統計的手法をメインに扱う会議に参加した動機は, パラレルセッションの中で自然災害の危険度予測のセッションが設けられ, 積雪期地震を分析・考察する良い機会になるものと判断したことにある。積雪量は年によって大きく変動し, 特に新潟県のような緯度の高くない地域では顕著であり, 確率的に捉えることが必要である。また, 地震は季節・時間帯に関係なく発生しており, 危険度予測に積雪を考慮しなくてはならない。

この会議では種々の確率モデル, 統計分析の手法が紹介されるとあって, 議論を深めるうえで絶好の機会である。歴史もあり, 国際的に著名な研究者の話聞くだけでなく, 比較的規模が小さいことから, 相互で議論を深化させられる利点がある。

今回は阪神・淡路大震災以降, 初めての開催なので地震防災関連の発表が充実しており, 土構造物やRC橋脚の被害状況から, 地震に強い構造物の設計法, 構造物の破壊・劣化予測等が紹介され, 非常に有意義であった。

また, シドニーを始めとするオーストラリアの各地で強風災害が頻発し, パースでは風力発電の技術開発が盛んに行われている。こうした状況を受け, 標記会議においては風工学に関連する発表もなされ, 構造物の風荷重について土木・建築分野から報告された(土木では構造物が受ける突風のリターン・ピリオド, 建築では10分間の平均風速荷重を基にした耐風設計の考え方と事例研究)。

# ICASP8・1999

12-15 December 1999 Manly, Sydney, Australia

**Table 1. List of Attendees (by Country)**

Country	Number Attending
Australia	24
Austria	1
Canada	4
Czech Republic	2
Denmark	5
Finland	1
France	15
Germany	8
Hong Kong	3
Italy	6
Japan	30
Macau	1
Mexico	2
Netherlands	3
New Zealand	1
Norway	5
Peoples Republic of China	2
Poland	1
Portugal	1
Singapore	3
Sweden	2
Switzerland	1
Turkey	1
United Kingdom	4
United States of America	22



写真-1 国際会議の会場

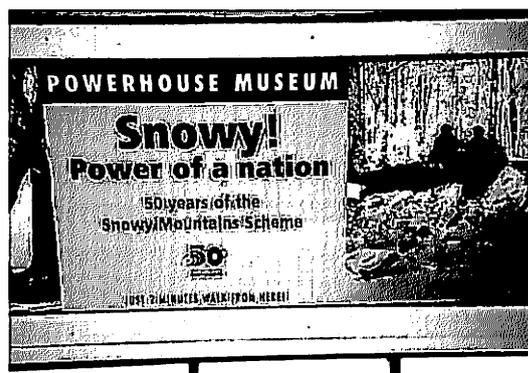


写真-2 シドニーの電力博物館にある雪氷関連の展示

## Ⅱ 論 文 発 表

会議のメインとなるキーノートレクチャーは3人の講師が務め、Dr. George Walker (AON Reinsurance), Dr. Soames Job (Dept. of Psychology, University of Sydney)からはシステムや設備に潜む危険性(クルーマンの安全工学)、フェイル・セーフの考え方、ヒューマンエラーの現状と防止策が講議された。また、これ等の要素を前提としたリスクマネジメントの考え方も示された。

2人の基調講演では、人間は単調な作業(反復作業)を長時間行うのが不得手であり、従来のテーラー主義に代表される作業効率のみの価値基準(評価尺度)の考え方から、人間の特性を考慮したマネジメントの必要性を強調していた。

Dr. Soamesは生産工程における効率優先からくる、安全管理を軽視する態度に対して警鐘を鳴らした。フリッカー値(人間の疲労の度合い)を定量的に求め、安全にかつ、効率的に遂行出来る作業環境について、自らの研究を披露された。

Dr. Georgeは科学技術が進展し、設備が巨大化する中であって、巨大大事故を防止し、不幸にも起きた場合の保証システムを充実させるうえで、保険制度の果たす役割を講演された。その中で、技術者が有している情報を公開し、政策担当者ならびに、ユーザー側が情報を共有することの重要性を力説された。また、各所の作業工程の実態、個人についてはその人の健康特性を考慮した望ましい保険制度の在り方を説明された。

レクチャーを行ったもう一人のProf. Bruce Ellingwood (Johns Hopkins University, USA)は趣きが異なり、活断層情報を基にした地域危険度を算出している。カリフォルニアやイースト地域の危険度予測が示され、情報公開の大切さが述べられた。ここで得られた情報を基にした構造物の耐震設計の考え方が示された。得られたデータを地域危険度予測に反映させるためのプロセスを示され、「危険度評価に用いるデータは誰のものか、また、データをどのようにして有効活用するのか」といった問題提起を投げ掛けた。ともすれば数値解析等の専門的話題に目が行きがちなか中であって、改めて、工学が社会との接点を持ち、貢献することの重要性が再認識させられる。

他方、口頭発表の方も充実しており、120を超える論文が発表され、以下に示すテーマに分かれて議論が白熱化した。

Reliability Theory

Monte Carlo and Related Methods

Uncertainty Analysis/Data/Site Exploration

Load Modeling

Outcrossing and Extreme Value Analysis

Member and System Strength

Stochastic Elements and Random Fields

Serviceability

Existing Structures/Bridges

Deterioration

Dynamics and Fatigue

Seismic Analysis

Slope Stability and Dams  
Piles and Foundations  
Management/Construction  
Codification  
Fuzzy and Related Logic  
Applications

いずれも確率・統計的手法の範疇で捉えられているが、全般的には3次元解析を主とした数値解析、不確実性を考慮に入れた構造物の挙動や破壊予測が取り上げられている。今回の会議では地震や地すべり等の自然災害を扱ったものが多く、地震については活断層情報、詳細な地盤データ、深層ボーリングデータ等を基にした強震動ならびに震害予測、地すべりでは斜面の安定計算におけるFEMや安全率の考え方が示されている。

さらに、雪氷工学に関する発表も2件行われ、雪崩発生の予測ならびに、吹雪を想定した建物の雪と風の組み合わせ荷重について議論された。雪崩発生の予測についてはフランスの研究者が報告し、地形・地質・植生等の相互作用を考慮した予測手法を紹介した<sup>21)</sup>。質疑応答では気象データを加味した総合的な危険度予測の確立が必要である旨、指摘する声があった。セッション終了後、筆者らは改めて意見を交換し、フランスではスキージャー客が雪崩に巻き込まれ、犠牲になる人が多い状況を踏まえ、斜面のパトロールの重要性、ガゼックスによる人工雪崩を用いての安全性確保の必要性を確認し合った。

一方、雪と風の組み合わせ荷重についてはノルウェーからの参加者が発表し、極値分布を用いて、強風、最深積雪時の構造物の安全性確保に向けた数値解析が披露された。雪荷重による屋根、柱等のたわみ、強風による建物の挙動（ワグナー型関数）の計算例が示された。ノルウェー等の高緯度地方は新潟県等と異なり、積雪の年変動が殆どないが、風についてはこの限りではない。強風等のパラメータの年超過確率を定量的に評価する際に駆使するワイブル分布の重要性が浮き彫りとなった<sup>22)</sup>。

このように、信頼性工学は安全工学とも密接に関連し、その意味では人間工学を踏まえたソフト面の充実が必要となる。会議では建設マネジメントに関する論文も多数、発表され、工事の安全性、指揮系統の一元化、ボトム・アップ方式の意思決定等の事例研究が示された。また、少ない事例、若しくは稀にしか起こらない事故を分析する際に用いられるベイズ統計を駆使した労災の分析が紹介され、より安全性を高めるには熟練工の配置に加え、適宜、休憩を取り、作業時間帯にも配慮して行う旨、述べられた。この手法は冬期の除雪作業・屋根雪処理に応用可能である。

筆者らはSeismic Analysisのセッションで発表し<sup>23)</sup>、積雪期地震を想定した危険度評価の考え方を示した。この中では長岡市を例に降雪量が年によって大きく異なる点を示し、さらには1961年2月に起きた長岡地震を教訓とするために、積雪期にも地震が起こる事実を強調した。また、高齢化を反映し、災害弱者になり得る点、にもかかわらず住民の防災意識が低い傾向にある現状は発災時には大きなネックになることを指し示した。

筆者らの論文発表は社会科学的アプローチを取り入れた研究で、これは後述する信頼性設計においても必要になる概念である。

### Ⅲ 信頼性工学の考え方

標記会議は元来、地盤工学関係者が中心になって運営されていたが、これは先進諸国で道路建設、地下空間の利用といった社会的要因が背景となっており、地盤工学における安全性の確保が期待されたことと重なる。

4年に一度開かれる国際地盤工学会議では建設事例や効率的な施工法等が議論され、数値解析に力が置かれていたとは言い難い。そこで安全工学の手法を駆使した信頼性工学をメインに据えた会議の開催を望む声が強くなり、I C A S Pが立ち上がった。安全性という点では、これも4年に一度の世界地震工学会議(W C E E)でも取り上げられているが、動力学や繰り返し載荷、低サイクル疲労等が対象であり、I C A S Pで扱われる静力学、高サイクル疲労、材料の劣化等は取り上げられていない。

こうした諸々の点で、構造物の静的問題を扱ったこの国際会議は貴重であり、しかも規模がこじんまりしていることから、議論を深化させるだけではなく、多くの優れた共同研究の端緒となり、高く評価されている。

信頼性工学は戦後に発展し、各種製品の高性能化に伴い、進展した。戦前のトランジスタ類は性能が悪く、この改善を念頭に真空管等の部品の質を高めることが課題となった。こうした時代背景を基に信頼性工学は進展し、これは航空機産業、米国のアポロ計画等により、急速に発展した。

また、高性能な製品が出回ることにより、以前に増して、商品に対するアフターケアが重要となる。故障が多くては消費者に受け入れられず、ニーズ側はきちんと機能して当たり前、という意識になる。高性能な製品を供給するには生産工程も複雑になり、生産管理の思考が必要となる。1950年代にデミングが提唱した品質管理の考え方は、現在ではT Q Cに代表され、信頼性工学の一翼を担っている。

信頼性工学全般を扱った国際会議は多いが、標記会議のように構造物を始めとする土木・建築分野に特化したものは少ない。ここで信頼性設計に関して若干、解説する。

阪神・淡路大震災を機に、想定外の荷重がかかることにより、構造物がどのような挙動をするのかを探るようになった。従来ではじん性を持たせたり、建物の変形能を基にした設計であったが、震災以降、設計入力地震動の見直しが始まり、レベル2地震(100年に1回のM8クラスの内陸型直下地震)、レベル1(100年に1回のM7程度)の兼ね合いを考えた設計が提案されている。その考え方は建物が多少壊れても、全壊に至らないようにするものである。また、近年の環境保護を念頭に入れたI S Oとの関連で、環境負荷の少ない材料を使用した建物において、全壊を防ぐための試行錯誤が繰り返されている。

このように環境と安全性を考慮した設計法には未知の部分が多く、言わば不確定要素を抱えていることになる。建築基準法改正では設計段階での自由度を高めたが、この新しい設計法を採用した建物はM7クラスの揺れに見舞われていないので、地震時の不安が残る。このため、新しい設計法による構造物の挙動をシミュレートすることが今後の信頼性設計の根幹となる。

新しい設計法の採用については消極的であるが、これはコストとの兼ね合いならびに、一般的に認知度が低いことが一因しており、社会に向けた発言を積極的に行う必要がある。震災以降は幾つかの住宅展示場で建物の基礎を見せる等、施工者とニーズ側の相互理解を探る動きが出て、さらには設計における詳しい計算等を公開若しくは、説明する「性能照査型設計」が注目されるようになってきた<sup>1)</sup>。

このように土木・建築工学は社会との接点を有することが求められ、「エンジニアの説明義務」を成就しようとする機運が高まってきた<sup>5)</sup>。今回の会議でも、社会に向けて設計段階における考え方

をどのようにプレゼンテーションすれば良いのか議論され、一般住宅で簡易に出来る耐震補強、補強土の施工法等が取り上げられた。

#### IV 結 語

様々な国から異なる立場の人が参加した本会議に出席して、今後はより一層、土木・建築分野の周辺領域に位置する雪氷工学、情報技術者、安全工学者等の積極的な参入が望まれる点を痛感した。特に雪氷工学に関連する人がこれ等の会議に加わり、異分野の研究者・技術者と交流を深化させることが必定である。積雪期を考慮した地震被害想定、低温下でのスチールの脆性破壊、凍結・融解の繰り返しによるコンクリートの劣化等、定量的に解明されていない事象がある<sup>6)</sup>。

今回は日本からの参加が多かったとは言え、全体としては少なく、残念であった。わが国では学術会議主催の「安全工学シンポジウム」が毎年夏に、また、「構造物の安全性および信頼性に関する会議 (JCOSSAR)」が4年に一回開催されている。また、地盤工学会では20年以上も前に土構造物の信頼性設計に関する特集を学会誌で組み<sup>7)</sup>、信頼性工学の土壌が備わっている。この状況を鑑みれば、国際会議に出席して情報交換を行い、安全・安心の社会構築に向けた取り組みを行うことが21世紀に課せられた命題である。なお、標記会議のプロシーディングはバルケマ (BALKEMA) より刊行されている。

#### 参 考 文 献

- 1) J. L. Bulet, C. Bacconnet, D. Boissier, R. Gourves: Modeling of the snow cover variability avalanche prediction. Proc. of International Conference on Applications of Statistics and Probability (ICASP・8), vol. 2. pp.869-875. 1999.
- 2) A. Naess, B. Leira: Load effect combination for snow and wind actions. Proc. of International Conference on Applications of Statistics and Probability (ICASP・8), vol. 2. pp.877-882. 1999.
- 3) T. Kimura, K. Aoyama: Earthquake induced disaster during snow period (Questionnaire survey on earthquake occurred in Niigata Prefecture during snowfall period). Proc. of International Conference on Applications of Statistics and Probability (ICASP・8), vol. 1. pp.535-543. 1999.
- 4) 日本学術会議 編: 第43回構造工学シンポジウムパネルディスカッション資料集「これからの性能照査型設計を考える」, 1997.
- 5) 高田毅士: 第2回構造信頼性とその応用に関するアジア・太平洋シンポジウム (APSSRA99) 参加報告, 地震工学振興会ニュース No.167. pp.12-15. 1999.
- 6) 木村智博, 青山清道: 豪雪地帯の地震防災マネジメントの方向性, 土と基礎, Vol.47 No. 1. pp.31-34. 1999.
- 7) 地盤工学会 編: 小特集「信頼性設計と適用」, 土と基礎, Vol.25 No.11. pp.3-41. 1977.