

海外調査報告：

第16回世界地震工学会議参加報告

EHS&S 研究センター上級研究員 兼 建築構造技術本部長
EHS&S 研究センター上級研究員 兼 構造コンサルティング部長

齊藤 賢二
中野 時衛



Keyword：世界地震工学会議，チリ，地震動，耐震設計，免震構造，制振構造，構造設計法

1. はじめに

第16回世界地震工学会議（16WCEE：The 16th World Conference on Earthquake Engineering）が、2017年1月9～13日まで、チリ共和国サンティアゴ市郊外のCasa Piedraコンベンションセンターで開催された（写真1，2）。

筆者らは、この会議に参加し世界の地震工学研究者、構造技術者らと交流するとともに地震工学に関する最新の研究成果に触れることができたので、概要を報告する。



写真1 サンティアゴ市中心部¹⁾



写真2 会議会場Casa Piedraコンベンションセンター

2. 会議の概要

世界地震工学会議は、国際地震工学会（IAEE）が主催し、地震工学上のさまざまな問題を調査・研究する研究者、技術者、専門家を集め、地震工学の観点からの振動工学、地盤工学、構造工学、ライフラインシステム、社会的・経済的問題への地震リスクの評価等について、最新の成果を議論、共有することを目的に、4年に一度開催される地震工学に関する世界最大規模の国際会議である。今回の会議では、世界各国から約5,800編もの論文投稿があり、日本からも多くの研究者・技術者が参加した。

5日間の会議は、以下のテーマで実施された。

- | | |
|------------------|---------------|
| ●地震学 | ●非構造部材 |
| ●津波 | ●建築計画的側面 |
| ●地盤工学 | ●都市リスクアセスメント |
| ●既存建造物の評価と耐震補強 | ●社会・経済的側面 |
| ●新しい構造システムの解析と設計 | ●大地震への対策と危機管理 |
| ●設計クライテリア | ●近年の地震災害からの教訓 |
| ●インフラライフラインシステム | |

その他、2011年東北地方太平洋沖地震以降の日本の耐震設計等に関するスペシャルセッションが、日本免震構造協会（JSSI）主催で実施された。

また、筆者らが参加した主なセッションと付帯行事は、以下の通りである。

- | |
|--|
| ●1日目：オープニングセレモニー
Stephen Mahin教授基調講演
パッシブ制振構造：設計法と解析手法
高層ビルの耐震性能評価 |
| ●2日目：Lene Lagos氏基調講演
構造ヘルスマニタリング
討論会：Nicolas Luco教授，川瀬博教授
構造ヘルスマニタリング |
| ●3日目：終日サンティアゴ市内免震建物視察 |
| ●4日目：Raul Madariaga教授基調講演
JSSI特別セッション
—Gala Dinner— |
| ●5日目：Carlos Ventura教授基調講演
新しい構造システム・設計法
免震・制振デバイス
クロージングセレモニー |

なお、サンティアゴ市内免震建物視察内容については、別稿にて報告する。

3. オープニングセレモニー，基調講演，討論会

会議初日のオープニングセレモニーでは、近年における世界各地での地震被害や津波被害が話題として取り上げられ、地震被害軽減に向け地震工学に携わる研究者・技術者のさらなる努力が必要であると、Rodolfo大会委員長より宣言された（写真3）。

開会式直後のカリフォルニア大学バークレー校Stephen Mahin教授の基調講演（写真4）では、構造設計者をとり巻く環境はますます複雑化し、かつ変化も非常に速くなっているとの指摘があった。構造設計者は、最新技術や材料の導入検討だけでなく、急速な都市化や環境問題等にも積極的に取り組むことが求められるようになった。また防災の分野では、構造物、インフラおよび都市の持続性と回復力を確保するため、構造設計者の積極的かつ包括的な取り組みの必要性が強調された。そしてこれら災害対策の課題に適切に対処するためには、新しい強力なソフトウェアの必要性が強調された。最後に同教授が最高技術責任者を務めるNHERI (Natural Hazard Engineering Research Infrastructure) SimCenter (Computational Modeling and Simulation Center) に導入されている新しいアプリケーションとワークフローについての概要説明と、さまざまな分野の専門家が新旧ソフトウェアを利用してこれまでにないコラボレーションを進めていることの紹介があった。

チリ大手構造設計事務所代表のLagos氏からは、チリ

国内の代表的なプロジェクトの紹介があった。また、バランスの良い耐震壁付きラーメン構造の利点など、RC造のレジリエンスを高めるための設計法の解説があった。

設計用入力地震動を研究している京都大学川瀬教授と米国地質調査所Nicolas Luco教授（写真5）により、設計用地震動は確率論的に扱うべきか、あるいは決定論的に扱うべきかの討論が行われた。討論のまとめは以下の通りである。地盤に関する情報や解析技術の進歩により理論地震動の研究は飛躍的に進んでおり、設計にも利用されている。しかし、すべての現象を理論でカバーすることは現状では不可能であり、決定論的アプローチと確率論的アプローチは相互補完する関係で、お互いの短所をカバーしあいながら両者を上手く使い分けることが大切である。

パリ高等師範学校Raul Madariaga教授は、プレート沈み込み領域における震源スペクトルのスケージング則と題した講演を行った。マグニチュード6.2~8.1の範囲の12のプレート沈み込み領域で発生した地震記録を分析した結果、震源スペクトルは中地震では従来から提案されている ω^{-2} 則に適合するが、大地震では $\omega^{-5/4}$ 則に適合するとの研究成果発表があった。教授の研究成果は、大小あらゆるタイプの地震の震源スペクトルは ω^{-2} 則に適合するとする従来の研究成果に一石を投じるものである。

ブリティッシュコロンビア大学のVentura教授より、構造ヘルスマモニタリング (SHM) の現状についてレビューがあった（写真6）。SHMの現状について総括的な説明を行った後、被災直後の構造物の安全性を評価する



写真3 Rodolfo大会委員長による開会スピーチ



写真5 確率論と決定論の特徴を解説するNicolas Luco教授

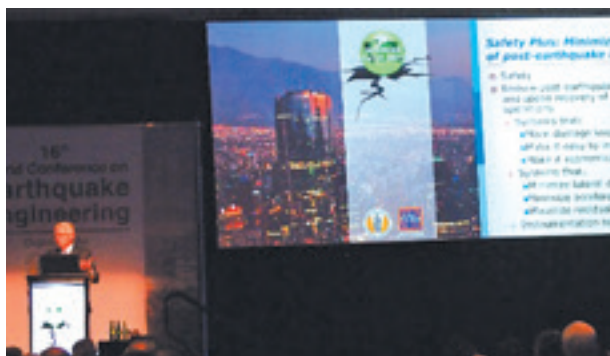


写真4 Stephen Mahin教授による基調講演



写真6 Carlos Ventura教授による基調講演

より信頼できる手段とするために、SHMが解決すべき今後の課題について説明があった。教授のレビューから判断し、日本のSHMは技術・実績ともに現時点で世界のトップクラスであると思われた。また、建物全階にセンサーを設置し、解析モデルに頼ることなくセンサーの記録のみから瞬時に構造物の被災度を判定できるシステムは日本以外では未だ実用化されていないと思われた。

4. 学術発表

ここでは参加したセッションのうち、構造ヘルスマニタリング、JSSI特別セッション、新しい構造システム・設計法について概要を述べる。

4.1 構造ヘルスマニタリング (SHM)

セッション前半は、地震観測データから建築物の動的特性（周期、減衰など）の変化を分析したもの、あるいは解析モデルとの整合性を比較検証したものが数多く発表された。解析プログラムは、ETABSやSAP2000、あるいはオープンソースコードであるOpenSeesが多く利用されていた。米国Kinematics社からは、SHMによる安全性判定結果をどのような形で建物利用者やオーナーに伝えるかについて実例をもとに解説があった。安全性判定結果の伝達方法や内容について、各国文化の違い、建物の用途および重要度により個別に検討し決めることの重要性が強調された。

SHMについては、被災後の建物安全度判定だけでなく構造体の損傷度をより詳細に知りたいというニーズも高まっている。以下、損傷度評価実用化の参考となりそのような研究をいくつか紹介する。

- RC造 9 階建物の2009～2011年にかけて観測された51回の観測記録を用い、波動法 (Wave Method) により構造体内部を伝達するせん断波速度を推定する研究
- Wavelet変換を用いて観測加速度時刻歴をいくつかの周波数帯域ごとに分解する。分解した加速度時刻歴と多層建物の置換 1 自由度系の水平力 - 変位関係から残存耐震性能を評価する研究
- 建物の地震観測記録から構造物の非線形有限要素モデルの剛性などの最適値をBayes法により推定し、その結果から構造物の損傷度を推定する研究
- 構造物の部分的非線形モデルとIterative Unscented Kalman Filter (UKF) との併用により、地震動を受ける構造物の瞬間剛性と減衰定数をモニタリングする研究
- システム制御理論に基づく時間領域におけるシステム同定の一手法であるSubspace State Space System Identification (4SID) 法を、特に強い弾塑性応答を示す構造物の同定に適用した研究



写真7 五十子教授による変位制御設計に関する講演

4.2 JSSI特別セッション

セッション前半では、東北大学の五十子教授より超高層ビルなど長い周期の建物を対象とした「構造物の変位制御設計法」について発表があった（写真7）。変位制御設計を実現するための具体的な制振システムの一つとして東北大学と筆者が共同研究を進めている同調粘性マスダンパーシステムの紹介と、定点理論に基づく設計法の解説があった。日建設計の秦泉寺氏より、大阪咲洲庁舎の耐震改修設計についての発表があった。オイルダンパーと座屈拘束型ブレースを用いた制振補強であること、頂部に設置されているTMDを起振機として用いた加振実験や、熊本地震の観測記録分析による制振効果の確認などの報告があった。

このほか、鹿島建設の栗野氏より新宿三井ビルのTMDによる耐震補強の発表、日本大学の研究グループからは大型塔状構造物（火力発電所煙突）のトグル支持した慣性質量ダンパーによる補強事例、東京工業大学の坂田教授よりダンパーを用いた木造の制振システムの加振実験の発表などがあった。

セッション後半では、東京工業大学の笠井教授らによる免制振ダンパーの繰返しや温度上昇の影響を考慮したモデル化や、過大入力地震動に対応するための新しい免震用ダンパーの発表などがあった。

4.3 新しい構造システムと設計法

日建設計の石井氏より、フレームの幾何学的構成でダンパーの変形を増幅する機構についての発表があった。和田東京工業大学名誉教授からは、東北地方太平洋沖地震や熊本地震等での建物被害状況を鑑み、塑性変形を前提とした今の設計法が本当に良いのかという問題提起があった（写真8）。たとえば、マンションで非構造壁が激しく壊れる被害が頻発しているが、一般の人からみるとこのような被害は大破したことと同じと捉えられ、多くの場合建て替えとなることを指摘した。構造技術者と一般の人との間で建物被害に対する捉え方にギャップがあることが問題であるとし、構造設計者は、設計段階で大地震時に想定される被害イメージを建物所有者や使用者と共有できるよう一層努力すべきであることを強調した。



写真8 和田名誉教授による講演



写真9 ポスターセッションの会場

5. ポスターセッション, クロージングセレモニー

5.1 ポスターセッション

学術講演は、口頭発表のほかポスターセッションも同時並行で行われた(写真9)。ポスターセッションは、口頭発表とは異なり発表者に対して質問しやすいこともあり、非常に活発な意見交換が行われていた。

会場内には、企業の商品サービスPRのためのブースも数多く設けられていた。特に、免制振デバイスやヘルスマonitoringシステムも含む地震センサーを扱う企業が多く、PR用ブースを設けており、日本からは機械式鉄筋継手を扱う企業など3社が出展していた。チリも含めて鉄筋コンクリート造のプレキャスト化工法は日本よりも海外の方が盛んであること、日本製の特殊な継手工法が省力化・信頼性確保の面で群を抜いて競争力が高いことなどの理由で、日本と比べ建設コストが安い海外でもビジネスになるようである。

5.2 クロージングセレモニー

セレモニーの冒頭、東京オリンピックイヤーである次回2020年の大会は、9月14～18日の間、宮城県仙台市の仙台国際センターを主会場として開催されることが発表された。また、IAEEの新会長に京都大学の中島教授が選出された。中島教授から、次回大会に参加し東日本大震災からの復興状況を直に見てもらいたいことと、併せて日本の素晴らしい歴史や文化、自然にも触れてもらいたいとの力強いメッセージが発せられた(写真10)。



写真10 次期IAEE会長 中島教授のスピーチ

6. おわりに

世界地震工学会議は、世界中の地震工学研究者や構造技術者らと交流しながら最新の地震工学技術に触れることができるとともに、自らの研究成果や技術開発成果を世界に向けて発信できる大変貴重な会議である。この経験を活かし、今後も関係の皆様と力を合わせて1つでも多くの地震工学に関する成果を発信できるよう努めていきたい。

〔参考文献〕

- 1) https://en.wikipedia.org/wiki/Costanera_Center
- 2) Proceedings, 16th World Conference on earthquake Engineering, 2017.1