

海外調査報告：

# 第7回世界構造技術者会議(SEWC)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 齊藤 賢二

Keyword: 世界構造技術者会議, イスタンブール, 構造設計, 構造デザイン, 応答制御構造, ヘルスモニタリング, 耐震補強設計

## 1. はじめに

第7回世界構造技術者会議(SEWC: Structural Engineers World Congress)が、2019年4月24~26日に、トルコ共和国イスタンブール新市街のマルマラホテルで開催された(写真1)。

ここでは筆者が参加した本会議の概要を報告すると共に、会議期間中に訪問したイスタンブール工科大学地震防災研究センターについて紹介する。

## 2. 会議の概要

SEWCは、日米の構造設計技術者協会が中心となって、4年に1度、世界の構造技術者が一堂に会する会議として始まった。1998年の第1回会議はサンフランシスコで開催されている。また、2017年メキシコで開催された第6回会議から2年ごとに開催されることになった。

SEWCは技術者の集まりなので、学術的な会議とならないように、主なトピックを構造技術者の職能と建築家との関係や構造設計料、経営、倫理等に関するものとするのが決められた。現在までこれらのトピックは継続して取り上げられているが、最近は実プロジェクトや新しい構造技術の紹介などが多くなっている。

今回の会議参加登録者は123名で、前回会議から2年ごとの開催となったこともあり、参加者数は近年ではかなり少ない方であった。

図1に参加者の国別比率を示す。総講演数は110編で

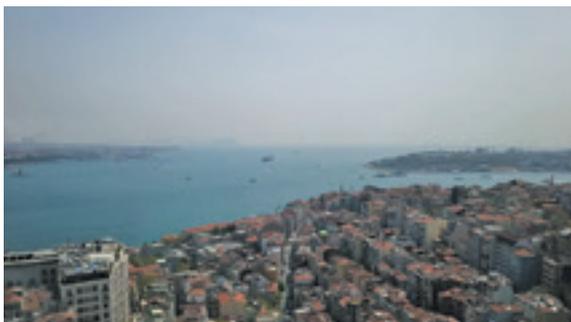


写真1 会場から望むイスタンブール新市街

あり、論文投稿数は毎回、日本、米国、韓国、中国が多いが、今回は日本からの投稿が最多で、インド、イラン、イタリア、開催国トルコからの投稿も多くあった。

会議の講演テーマ別件数を表1に示す。近年急速に研究開発が進んだダンパーを利用した応答制御構造関連の講演数が最多であった。さらにこの分野は、7割以上が日本の技術者による発表であった。ストック時代に入ったことを反映してヘルスマニタリングやレトロフィット

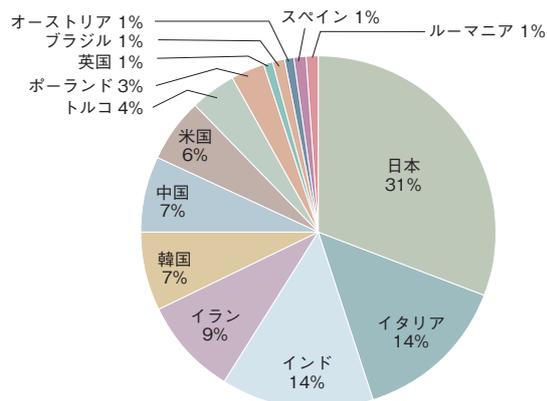


図1 7th SEWC参加者の国別比率

表1 7th SEWCの講演内容と論文数

内 容	発 表 数				
	基調講演	口 頭		ポスター	
		全体	日本	全体	日本
1. 都市建物の災害レジリエンス向上	2	8	1	1	
2. 構造実験・ヘルスマニタリング	1	11	5		
3. 構造設計	6	11	4	3	1
4. 建築および環境工学		9			
5. 高層建物	1	6	2	1	1
6. 建築家とエンジニアの協働	1	4			
7. 応答制御構造	1	12	9	1	1
8. 建築デザイン	2	6	2		
9. 橋梁工学vs建築ランドスケープデザイン	1	8			
10. 耐震補強	1	6	2		
11. 歴史的建造物	1	6			
合 計	17	87	25	6	3



写真2 オープニングで挨拶するG.Arun教授



写真3 計画中のスパン100m超のRCシェル構造

に関する講演，世界的な自然災害増加を反映して建物や都市のレジリエンスに関する講演などもあった。

### 3. オープニングセッション，基調講演

#### 3.1 オープニングセッション

オープニングセッションでは，本会議組織委員長でトルコ・ユルデュズ工科大学のG.Arun教授より，会議の趣旨説明，投稿論文数や大会参加国の報告および地元の歴史文化などの紹介があった（写真2）。この他，大会組織委員のトルコ国内の大学教授が今回の会議に対する抱負などを述べた。

#### 3.2 基調講演

本会議のテーマは，「Architecture & Structure : From Past to Future (建築と構造，過去から未来へ)」であった。基調講演では，トルコ内外から招待された17名の講演者の講演に対して，参加者が質疑・討論を行う形式がとられた。過去の会議では，若手の構造技術者が積極的に討論に参加していたと聞いていたが，今回は若手技術者の参加が少なく終始討論が低調であったのは残念であった。

##### 1) シェル・空間構造

ポーランド・ワルシャワ大学のObrebski教授は，「軽量構造－その魅力と実施例－」と題し，近年のRCシェル構造，立体トラス構造，ケーブル構造などの技術的発展や実施例について系統立てて解説した。解析技術やコンピュータの進歩が様々な軽量構造の実現に大きく貢献したこと，また教授が考案した“UNIDOME”と呼ばれる線材で構成される特殊な空間構造システムの原理とメリットを述べた。

インド・Sundaram Architects社のR.Sundaram氏は，古代ローマ時代に建設されたパンテオンから近年のシェル構造に到る歴史を概観した。工事費，専門職人の確保，コンクリートの品質確保等の困難さのため日本では大規模なシェル構造が計画されることは少ないが，インドではスパン100mを超えるようなシェル構造の計画（写真3）があるというのは驚きであった。

韓国・セミョン大学のKim教授は，鉄のように展開可



写真4 HPシェル構造パラソルの防潮堤としての活用

能な部材を用いた「Scissors System」と呼ばれる新しい構造システムについて講演した。このシステムの応用例として，光や熱など外部環境に合わせて様々な形状に変更可能なファサードと，非常時のみ折り畳み傘のように展開して使用可能なシェルの事例を解説した。

米国・プリンストン大学のGarlock教授は，シェル構造の大家Candelaが考案したHPシェル構造の屋根を持つパラソルを，津波などの高波に対する防潮堤へと転用することの可能性を検証した研究（写真4）を発表した。実施に向けては，材料の選定，柱と庇の接合部ディテール，波力の設定など今後さらなる検討を要するが，高さ6m程度の津波であれば十分防御可能であると述べた。

イタリア・トリノ工科大学のCeravolo教授は，NerviやMorandiによって20世紀に設計された薄肉シェル構造をはじめとするトリノ市内にある歴史的建築物の構造健全性調査手法と補修設計について講演した。構造健全性調査手法としては，構造ヘルスマonitoring (SHM) が有効であるとしたうえで，観測データのみによるデータ解析による手法より，データと構造モデルを併用して健全度を判定する手法の方がより信頼性が高いと述べた。また，トリノ市内に建つ4つの歴史的建築物のSHMによる健全性判定プロセスとその結果に基づく補修設計内容について解説した。

##### 2) 高層ビルの構造設計

2001年に発生した同時多発テロにより崩壊したワールドトレードセンタービルの構造設計者として有名なRobertson氏は，自らが担当したいくつかの高層ビルの構造計画について講演した。講演で特に印象に残ったの

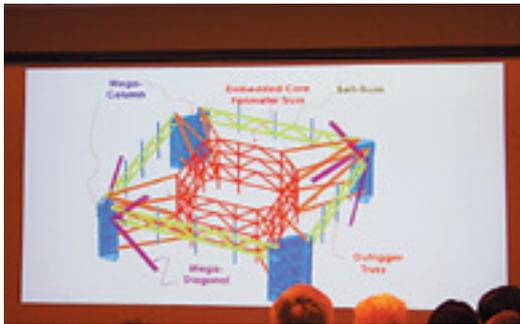


写真5 アウトリガー構造



写真7 カルチャーセンターへとコンバージョンされたビル



写真6 粒状体ダンパー

は、上海ワールドファイナンシャルセンターの構造計画であった。崩壊したワールドトレードセンターの施工性を重視した構造計画とは異なり、構造骨組に高いロバスト性を持たせることが構造計画の最大のテーマであったと述べた。彼はこのテーマ解決のため、外周部の柱・梁・ブレースからなる「外周メガストラクチャー」と中央の「コアウォール」を配した2重チューブ構造を採用し、双方の構造体を「アウトリガー」で連結するという3つのシステムの組み合わせを採用した（写真5）。この構造システムの採用により、同量の構造材料で計画原案に対して高さで9%増、面積で16%増もの規模を確保することができたと述べた。

中国・同済大学のXilin教授は、高層ビル用制振システムの研究・開発成果とそれらの実施例について講演した。教授の研究成果のうち、同調質量ダンパー（TMD）の減衰機構に永久磁石を利用したもの、建物の揺れに応じて鋼球同士が衝突することでエネルギーを吸収消費させる仕組みの粒状体ダンパー（写真6）などは、これまでにない新しい着想によるものであり、今後のさらなる研究開発に注目したい。

### 3) デザイン・建築計画論

カナダ・モンクトン大学のSrivastava教授は、「自然界の構造の観察と教訓」と題して、エネルギー消費や環境負荷がより小さく、かつサステナブルな建築を実現するために、我々は自然の動植物の形態や生態から学ぶべきものが数多くあると述べた。

カナダ・マギル大学のZuk教授は、「創造的で分かりやすい建築デザインにおける構造の役割」と題して講演し

た。講演の要旨は次の通りである。「よい建築とは、建設地の文化風土、建設にかかわる人々の人間性、そして先進的なアイデアと技術力を体現したものである。そのような建築は、非個人的かつ無菌ではありえず、またあからさまに折衷案であってもいけない。それは文化的伝統の本質を維持し、それを新鮮で独創的で適切な形に表現する必要がある。」

### 4) コンバージョン・補修設計

トルコ・Arce Engineering社のCeltikci氏は、会議場近くの目抜き通りにある古いオフィスビルのコンバージョン（写真7）について講演した。建物が密集した市街地で、安全性を確保しながら美しい外壁のファサードを活かすため、内部に鉄骨造の柱梁フレームを追加する補強計画を採用している。またこの鉄骨フレームは、建物前面の透明感のあるケーブルネット工法によるガラスカーテンウォールを支持するためにも有効であると述べた。最後に、プロジェクトの成功は、建築家とエンジニアの協働と相互理解の賜物であると締めくくった。

米国のエンジニアJ.Kelley氏は、有名なセントルイス・ゲートタワーアーチの外壁改修設計について講演した。この歴史的建造物は、調査のために足場を設けることが極めて困難であったため、望遠鏡、フィールド顕微鏡および持ち運び可能な蛍光X線分析装置を駆使して外壁面の現状調査が行われた。また、アーチ内部をモニタリングすることで、設計時には想定できなかった春と秋の特定の日に結露することも判明した。劣化調査・補修設計の専門家の講演は、今後類似の建造物の劣化調査と補修工法を検討するうえで参考となる内容であった。

### 5) その他の基調講演

東京大学の川口教授は、東日本大震災をはじめとする近年の大地震による天井被害について講演した。教授は、人的被害軽減のためには幕天井などの軽量な素材を用いることが最も有効であると強調した。

米国のエンジニアLangenbach氏は、煉瓦造の壁を木材で分割パネル化（写真8）することで建物の耐震性を大きく改善できることを過去の地震被害調査を交え解説した。日本では、一般に煉瓦を壁に使うことはないが、建物にとっては付加荷重にしかならない煉瓦の壁を地震

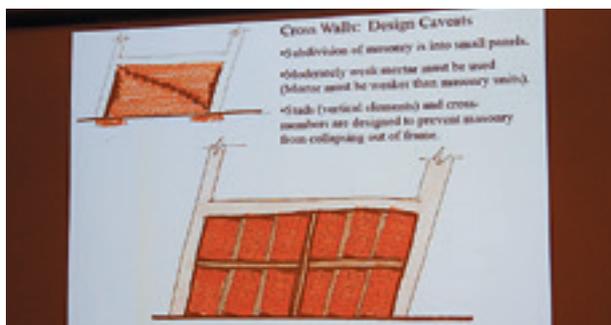


写真8 木材で分割された組積造の壁



写真9 モランディ橋の崩落について講演するSiviero教授

エネルギー吸収部材として活用できるという提案はとても興味深いものであった。発展途上国などでは、今でも外壁や戸境壁に煉瓦壁や土壁が使われることが多い。この種の工法は、耐震性向上を低コストで実現可能な合理的な工法であると思われる。

イタリア・e-Campus大学のSiviero教授は、2018年8月に突然崩落したジェノバのモランディ橋の被害状況と復興計画について講演した（写真9）。筆者が最も関心があったのは崩落の直接的原因であったが、それについては未だ調査中とのことでコメントはなかった。有名な構造家モランディによって設計されたこの橋は、設計的には無駄のない合理的なものであったが、施工あるいは維持管理に問題があったのではないかと考えられる。同じ形式の橋梁は世界中に数多く存在することから、一日も早い原因究明が待たれている。

## 4. 学術発表

口頭発表セッションのうち、構造実験、応答制御構造について概要を報告する。

### 4.1 構造実験

このセッションの発表は、日本の研究者や技術者によるものが多数を占めていた。特に日本の発表内容は、先端的な内容のものが多かった。例えばAIを利用したアクティブ制振システムの開発や木と鉄骨を併用した高層建物の実施例などは、諸外国では前例のないものであり注目を集めていた。AIを利用した制振システムについては、初期の制御パラメータの設定方法について質疑が

あった。その他、最近日本で発生した地震被害関連の研究として、E-ディフェンスでの実大体育館の加振実験による天井材落下の原因究明と対策、既存ブロック塀のポリウレタ樹脂とアラミド繊維テープによる耐震補強法に関する実験結果の発表があった。

日本以外の発表としては、鋼板耐震壁の開口部が耐力に及ぼす影響を検討したもの、座屈拘束ブレースの復元力特性を検討したもの、ディスクアンカーのせん断・引張強度の実験、鉄筋コンクリート柱の火災による耐力低下の実験的評価などがあった。これらの分野は日本ではかなり研究開発が進んでおり新規性は少ないが、数値解析と実験をうまく組み合わせ、少ない研究費で有効な成果を上げている点は感心した。

### 4.2 応答制御構造

このセッションの発表も、多くが日本の研究者や技術者によるものであった。また、発表内容の多くが実施例であった。実施例としては、同調粘性マスダンパーを複数階に跨って設置し各階に設置するよりエネルギー吸収効果を高めた事例、連結制振による既存建物補強事例、高層免震建物の事例、歴史的建築物のレトロフィットの事例などであった。

筆者らは、本セッションで、「Damping Performance and Application Example of the Composite Damper Consisting of Viscoelastic Material and Friction Material」と題した発表を行った。論文は、粘弾性ダンパー単体の性能試験結果およびそれを適用した実施例に関するものである。粘弾性ダンパーそのものはすでに種々のものが実用化されているが、今回発表したものは粘弾性体と直列に摩擦ダンパーを接続することで、最大ダンパー力を一定値で制限可能としたものである（図2）。ダンパー力を制限する仕組みにより、想定を越える揺れに対してダンパーそのものの損傷を防げるばかりでなく、ダンパーが取付く柱梁の損傷も回避することが可能となる。

発表の要点は、解析によるこの機構の有効性の検証結果と、ダンパー効果を適切に評価するためには、ダンパーが取付く部材の変形を適切に考慮できる立体骨組モデルによる解析が有効であることの2点である。なお、立

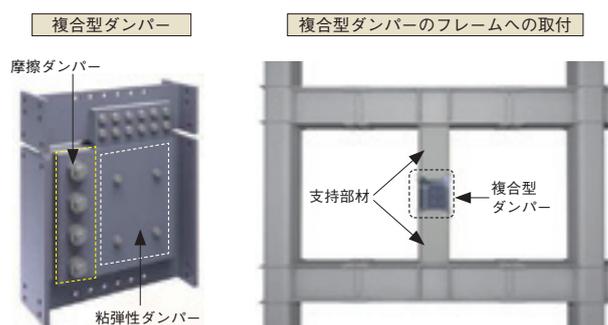


図2 ダンパーとフレーム取付詳細図

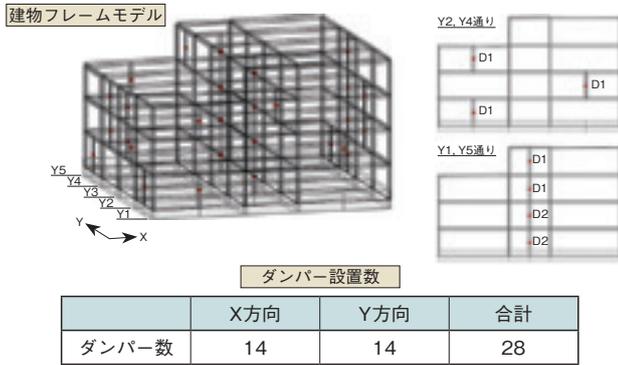


図3 SEIN La DANSによる立体骨組振動解析モデル

体骨組モデルによる応答解析は、SEIN La DANSにより行った(図3)。

発表に対して多くの参加者に興味を持ってもらい、有意義な意見交換や、新たな知己を得ることができた。質疑の1つは、ダンパー力制限値の設定方法であった。現状ではダンパー周辺部材の強度等を考慮して制限値を設定しているが、今後は応答への影響も考慮した検討を行い最適な制限値を設定する必要があると回答した。

## 5. イスタンブール工科大学 地震防災研究センター

### 5.1 イスタンブール工科大学

イスタンブール工科大学は、イスタンブールのヨーロッパ側に4つ、アジア側に1つの計5つのキャンパスを有し、学生数は約2万人である。今回訪問したAyazagaキャンパスは最大規模を誇り、民間企業との共同研究施設も充実した大変活気に溢れたキャンパスであった。

### 5.2 地震防災研究センター

地震防災研究センター(写真10)は、日本の支援のもと学際的な科学研究に重点的に取り組むことを目的に2000年に設立された。同センターは、地震工学部門と防災部門の2つの部門から構成され、このうち地震工学部門には修士および博士課程がある。

同センターを案内したFatih博士は、東北大学大学院を終了し、その後東京工業大学の客員教授として何度か来日している。博士は、地震工学分野における日本とト



写真10 地震防災研究センター



写真11 研究センター内の構造実験施設



写真12 Filiz教授との意見交換  
(右:Filiz教授, 左:Fatih博士, 中央:トルコ地震動予測地図)

ルコの橋渡し役として活躍している同センターの教員である。

Fatih博士の主な研究テーマは、組積造や鉄筋コンクリート建築物の耐震補強設計法および工法の研究開発である。最近では、日本で開発された座屈拘束型プレースを用いた耐震補強設計法をトルコ国内に普及させるべく、日本語の設計マニュアルの英訳にも取り組んでいる。また、同じく日本で開発されたディスクアンカーという既存コンクリート躯体と補強部材を一体化させるためのアンカー工法を、トルコ国内に普及すべくさらなる研究・改良に取り組んでいる。トルコ国内には、耐震補強を必要とする組積造の古いモスクや鉄筋コンクリート造の公共施設が多数存在する。低迷する経済状況のなかで、より経済的で簡便な補強工法を開発することが最大の研究テーマである。研究室訪問後、構造実験施設(写真11)を視察したが、鉄骨系の実験はほとんどなく、鉄筋コンクリートや組積造に関するものが多い。また、ダンパーや免震装置に関する実験も行われている。

地震防災研究センター長のFiliz教授とは、最近の地震工学分野における研究課題について意見交換を行った(写真12)。教授の専門は鋼構造であるが、現在は地震動や地盤工学分野を主な研究テーマとしている。現在、構造設計や防災対策に活用されているトルコ国内の地震動予測地図は、教授の研究成果の一部である。

## 6. あとがき

世界構造技術者会議へは、2002年横浜大会以来2度目の参加であった。横浜大会の参加者が500名以上であっ

たことを思うとやや物足りなさを感じたが、反面世界中の研究者や技術者らとより親密な意見・情報交換ができた。今後は、世界中からより多くの技術者が参加し交流できるような会議となるよう開催側の努力に期待すると共に、筆者も1つでも多く構造エンジニアリングに関する成果を発信できるよう努めていきたい。会議の議題も技術的な内容に偏らず、会議設立当初の趣旨に沿って、構造技術者の職能に関する建築家との関係や構造設計料、経営、倫理等に関する議題が増えることを期待したい。

次回第8回大会は2021年10月上海で、次々回第9回大会は2023年4月ソウルで開催される。

〔参考文献〕

- 1) Proceedings, 7th Structural Engineers World Congress, 2019.4