

# ランドマークの耐震補強

- 生活・文化・産業の連続性、蓄積と継承 -

豊橋技術科学大学 建設工学系 加藤史郎

Professor. Siro Kato  
Department of Architecture and Civil Engineering  
Toyohashi University of Technology



## イスタンブールの歴史とまち

第5回自然通風冷却塔国際会議：この国際会議に参加するため、一昨日イスタンブールに着いたばかりである。1996年のドイツのカイザーズロイテルン開催から8年目である。

古都イスタンブール：直ぐ下のカバタシュの港近くからアザーンの声が聞こえる。朝暗く、時計は午前4時45分を示している。イスタンブールの活動は、お祈りのこの声で始まる。1500年の歴史、人口1500万人の都市である。真近くに海かもめの鳴き声が聞こえる。京都の毎日もこのようにお寺の鐘の音や鳥のさえずりではじまるのかな、と一瞬感じたが、この文を半ば書き終えるころには朝は、あけはじめていた。

一昨日夕方、アタチュルク空港から高速道路を経由して中心街のタクシム広場に来るまでのバスの窓から、海側にはマルマラ海を行き来する多くの輸送船、道路沿いにはトヨタやプジョーなどの看板、海岸公園、広大な軍施設、遠く近くに林立する高層アパートが見え、中心街に近づくと煉瓦やRCの低層住宅がいかにイスタンブールらしく立ち込めている。旧市街のアクサライから金角湾の海を渡りペラパレス・ホテルのある高台まで来るともうタクシム広場、この高台からは、低層の建物で埋め尽くされたイスタンブールの市街地とモスクで形成されるスカイラインが一望できた。イスタンブールは、世界遺産の町でもあり、京都や奈良と同じように、古くからの貴重な文化財がある。また、EU加盟の議論もされ、欧と中近東を跨ぐ屈指の産業国でもある。

## 世界遺産の耐震補強の問題

1999年の北アナトリア断層帯のトルコ西部地震（イスタンブールは相当に離れていたが、リヒタースケールで震度7程度）の影響で、重要な文化財が損傷を受けた。ミフリマ寺院は、シナン（トルコのミケランジ

ェロと言われる宮廷建築家）の設計で、繊細華麗な内部空間のモスクである。1894年の地震で4個の横断アーチが傷められたのは既に確認され、多分その当時の補強と思われる鉄のタイ・バー（横断アーチの足元が広がらないように断面約50mm×50mm程度の鉄材、単材としての部材長は3m程度）が外部からよく見える。再現期間100年の今回の地震では、そのアーチがさらに損傷を受け、このタイ・バーが大きく座屈していた（タイ・バーは主に引っ張りを受けるものと考えられているが、今回の地震では圧縮により座屈している）。かつ、アーチの迫石が変形し、これ以上の変形が進めばアーチ迫石の崩落する危険性があると判断されたのであろう、この損傷の補修が行われている。どのような補強方法が採用されるか今回は具体的に聞きだすことはできなかったが、外観からは迫石の取替え工事のようである。現在の技術なら、もし十分な資金があれば、座屈拘束プレートと比較的剛性の高い粘弾性制振部材の併用導入、あるいは、アッシジ（イタリア）の大聖堂の補修に使われた粘性ダンパーの設置なども考えられる。ヌル・オスマニエ寺院も、多分、1894年の地震時、相当に補修をされた（4個のアーチ起拱点の高さ位置で外周の水平高面に鉄のバーでトラスが組まれ、また、アーチ中段にもタイ・バーが見られる）と思われるが、今回の地震では、アーチやペンデンティブの仕上げが著しく落下しているのが観察された。もし断層の



ミフリマ寺院（1560年代）



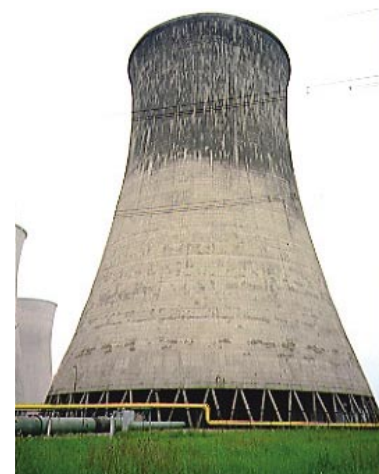
ヌル・オスマニエ寺院（1750年代）

あるマルマラ海で地震が起きれば、直ぐ近くのイスタンブールでは、住宅も含め更に大きな被害が想定される。これらの寺院は、アヤソフィアやスレイマニエ寺院とともに、イスタンブール旧市街地のスカイラインをなしランドマークとしての世界遺産群を形成し、1500年の歴史とともにドーム建築として文化を継承している貴重な文化材財である。イスタンブールの郊外に出れば、今度は、横に繋がる送電鉄塔が広大ななだらかな土地を背景にスカイラインを形成し、人々の生活を支えていることを誇示している。ローマやオスマンの水道橋（使われていないが、現在もその雄姿が見られる）と同じように生活文化の連続性を象徴しながら、これらの構造は水平に連続した空間を形成し、生活・文化空間の一部となっている。地震の脅威をどのように回避するかは、大きな社会問題、かつ、経済問題でもある。ひとたび大きな地震におそわれれば、住宅も含め、これらの生活・文化・産業を蓄積継承している貴重な建築・都市が喪失することは日本と同じであり、地震国であるトルコも同じ悩みを抱えている。

#### 冷却塔国際会議の動向 ライフサイクルと損傷評価

冷却塔会議の話に戻れば、ヨーロッパ・トルコ・インド・南アフリカなどでは、発電所には鉄筋コンクリートの自然通風冷却塔が建設されている。内陸の発電所では河川水では容量も不足するが河川生態を著しく破壊することから冷却塔が採用されている。多くは、自然通風の湿式型である。特に1960年代に入ると、高さも100mを越える塔が建設されてきた。さらに最近では、発電所の煙突は消えつつあり、廃ガスの不純物をほぼ除去した後に冷却塔に引き込み塔内の上昇気流とともに処理する方法が採用され、2002年、ドイツのニーダーラウゼムでは950MW用の高さが200mを越すものも完成した。これらの構造物は、その高さゆえ簡潔な鼓形状の塔が遠くからでも確認でき、常緑の空間にひとときわ白く浮き上がっている。都市のスカイラインとして都市景観・建築文化を形成するほどになっている。大規模な冷却塔の建設には、地震・風などの外乱に対して安全に建設する技術も先鋭的に研究されており、タービン・ラジエータの技術だけでなく、シェルの解析理論、座屈防止設計法、制振・免震など工法が具体性を持って研究されており、私も構造の高寿命化工法のひとつとして制振構造の研究発表をしたが、最近では構造物の補修の効果も含めライフサイクルを考慮した研究が多い。社会基盤の重要な基本

構成である電力の安定的経済的供給には欠かせない研究となっている。ドイツ・フランスをはじめ、多くの国では、すでに40年も使用されてきた高さ100mを超える鉄筋コンクリートの冷却塔が劣化し始め補修が進みつつあり、その経済性・構造安全性が大きなテーマであり、一方では、酸性物質などによるコンクリート材料の長期的劣化とその化学的メカニズム（コンクリート内の水分・空気・化学物質の移動と変化など）、劣化の進展予測、保護方法も大きな研究テーマであり、ドイツのグループを中心に、補修等も含むライフサイクルを考慮した構造強度性能・損傷リスク・経済損失などに関する研究が飛躍的に進められている。複雑な多くの要素を考慮した上で、初期機能 $F(0)$ と経過年 $t$ 時の機能 $F(t)$ を用いて、 $D=1-F(t)/F(0)$ のような数式で損傷度関数 $D$ を表す研究が多いが、評価に必要な各種のデータが大学と企業の連携で綿密に調査・収集されている。



チェコのPecerady石炭火力のタワー6機。補修前で劣化・変形している。奥の白い塔は補修済み。

#### 生活・文化・産業のそれぞれの蓄積と継承を可能にするような耐震補強

東海地震・東南海地震を抱えている中部地区については、個々の構造の耐震補強が基本となるが、生活・文化・産業のそれぞれの蓄積と継承を可能にするような、災害から生き延びる耐震補強経済活動の必要性を思いつつ、会議に参加した。

#### 加藤史郎(かとうしろう)氏 略歴

1972年 名古屋大学工学研究科博士課程修了(工学博士)  
 同年 名古屋大学工学部助手  
 1978年 豊橋技術科学大学工学部助教授  
 1986年 同教授、建築学会賞(論文賞)  
 1997年 膜構造協会・膜構造研究特別賞  
 1999年 建築学会構造委員会・シェル空間構造委員会委員長  
 2001年 国際シェル空間構造学会・名古屋会議・運営委員会委員長  
 2002年 国際シェル空間構造学会・論文賞、イギリス・サリー大学空間構造研究所・開拓者賞  
 2002年 国際シェル空間構造学会・理事  
 2004年 工学研究科博士課程・機械・構造システム専攻・専攻長  
 専門 ドーム構造、冷却塔、膜構造など曲率のある構造の構造解析法・座屈防止設計法・耐震設計法、歴史的建築構造(ハギア・ソフィアなど)の構造分析