

歴史的建築の健全度評価・調査

ハギア・ソフィアの構造調査

豊橋技術科学大学建設工学系 教授 加藤 史郎

建築されて既に1400年となるハギア・ソフィアは、トルコだけでなく、世界の貴重な文化遺産です。この建築の建設の経緯、それ以後の地震による崩壊事故および修復・保存をのべ、この建築に関する構造調査の現状を解説します。



Structural Evaluation and Investigation of Historic Architectures The case study of Hagia Sophia in Istanbul

Dr. Shiro Kato, Professor, Department of Architecture and Regional Planning,
Toyohashi University of Technology.

More than a thousand years has passed since the foundation of Hagia Sophia in Istanbul. The architecture is a treasure not only for Turkey but also for the world. The article gives an outline of the history of construction, several collapses due to earthquakes and the reconstruction, together with an explanation of researches of the structural characteristics of Hagia Sophia.

歴史を背負った傷だらけの名建築

ローマの観光名建築のパンテオン、エキゾチックなイスタンブールの丘の上のハギア・ソフィアなどは、海外旅行のパンフレットにしぼしば顔を出します。イタリアやトルコに観光に行くOLも、スパゲッティやシカバブーを食べた腹ごなしに必ずと云っていいほどここに見物に出掛けます。これら碗を伏せたような形の煉瓦でできた古い組積造ドームは、技術が工学として成立する以前の時代のもので、経験と巧みな工夫で建設されています。これらは単に当時の代表的な建設技術を示すばかりでなく、文化や政治を集約的に表現する存在でもあります。このような優れた建築も裏

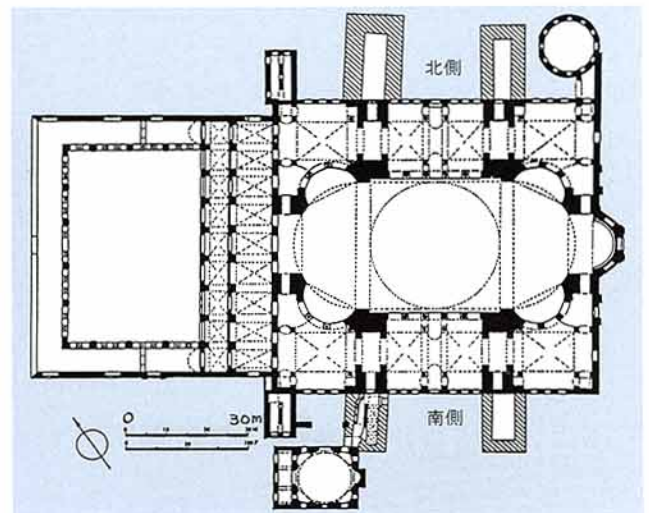
側をみると、あばただらけで、随所に破損が見られます。構造が劣化したもののなかには、近い将来地震などで壊れる可能性のものも多いのです。紀元300年前後に建てられたギリシャのテッサロニキにあるロツダは、1987年の大地震で崩壊寸前に至り、円筒状の外壁を桶のように鉄のたがでぐるぐる巻きにして大補修が行われました。

地震で3度も崩壊しているハギア・ソフィア

金角湾とマルマラ海を見降す丘の上に立つハギア・ソフィア寺院(第1図、第2図)は、周辺にあるオスマン時代の建築とともに丸屋根を連ね、その都市景観は



第1図 ハギア・ソフィア外観 (イスタンブール)



第2図 ハギア・ソフィアの平面

世界からの旅行者を魅了する。特に、ハギア・ソフィアは堂内に入ると、人々はそれが煉瓦でできた構造であるのを忘れ、その建築空間の壮大さに自分自身が天空に吸い込まれそうになります。

ローマ皇帝ユスチニアヌスの発願で537年にキリスト教会の聖堂として建てられたハギア・ソフィアは、数奇な歴史を刻みます。537年完成の最初のドームは、工期は約6年と現在の建物と同じくらい短いものです。中央のドームは、東西南北の4個の横断アーチ、東西の2個の半ドームおよび4個のペンテンチブで支えられ、空間の広がりには当時では、世界で第1級のものです(南北40m, 東西75mの柱のない煉瓦造の大空間)。

557年に大地震が発生し、6ヶ月後の558年5月には東の半ドームが崩壊し、中央のドームの大半は地上に落下します。この崩壊の様子はシレントリウスが記述した記録から知り得るのみで、当時の構造詳細はわからず、推定だけが頼りです。またこの地震の規模は、近年のトルコの地震活動度から見ると、アナトリア断層上で、大きくても $M_s=7$ 以下と思われます。現在のハギア・ソフィア寺院の南側と北側にはそれぞれ2個の大きなバットレス壁があり、目に見えるほどに大きく、対称的に外側に傾いたこの特徴的なバットレス壁の変形とクラック(第3図)は、この崩壊時に生じたとも考えられます。

技師たちはすぐに先のドームの弱点を検討し、ドームの基部で発生する外向きの推力を減少させようと、ドームの高さを約6mほど高くします。この新しいドームも、約4年の短い工期で562年に完成しますが、図面や記録が残っていないので再建方法の詳しいことはわかりません。

イスタンブールではほぼ100~150年に一度大きな地震が発生しています。この再建されたドームはその後2度にわたり部分的崩落に会います。989年の地震では、西側の半ドーム、中央のドームの西側の一部が落

ち、1346年の地震では東の半ドーム、中央のドームの南東の部分の大半が落ちます。この時の補修の痕はくっきりと残っており、現在も見られます。これ以後も小さい補修工事が繰り返され、現在に至っています。

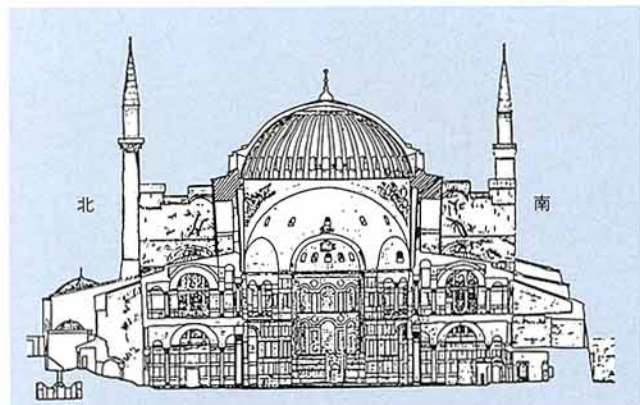


ハギア・ソフィアの構造調査と国際共同研究

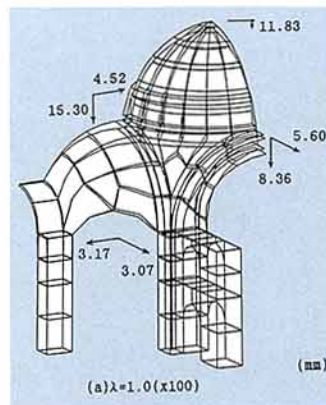
1896年の大地震からそろそろ100年です。この時の地震では、ハギア・ソフィアの近くにあるミフリマ寺院が大被害を受けますが、当時のスルタンは、建築家ジャクソンにハギア・ソフィアの構造調査を命令し、それに対しジャクソンは、特に大きな障害はないと、報告しています。現在、ハギア・ソフィアは博物館と衣替えています。本格的な構造の補修方針を固めるため、現館長が国際会議を計画していると聞いています。

1990年5月には、各国から数百人の研究者を集め、プリンストン大学でハギア・ソフィアの歴史と構造に関する国際会議が開催されました。同大学のチャック教授のグループと小生のグループ(長崎大学青木孝義氏、筑波大学日高健一郎氏)はそれぞれ、有限要素法によるドーム全体の崩壊性状(第4図)を報告しましたが、構造強度に関する調査は、世界的にも始まったばかりです。6月と10月には、イスタンブールに出掛け、ドーム全体の固有周期(常時微動)測定(第5図)、煉瓦の劣化状況、地震活動度、地震被害等を調査しました。

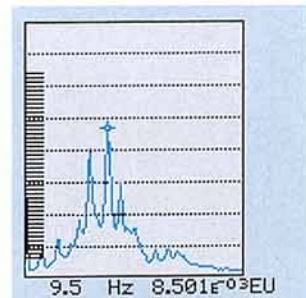
現在では、イスタンブール工科大学との共同で、国際的に認められる具体的な補強方法の提案をめざして、構造全体の耐震性を検討しています。数年(?)後には、各国の研究成果を基本として、補強・補修工事が始められるものと期待されています。近い将来、傷の癒えた創建時のハギア・ソフィアを皆で見学できるのを願っています。



第3図 ハギア・ソフィアの断面、変形の様子
(Van Niceの図より引用)



第4図 有限要素法による自重時
崩壊シミュレーション
(対称性を利用して4分の1を解析)



第5図 2階での常時微動測定値のスペクトル
(9.5Hzにピーク)