

# Static and Dynamic Monitoring of the Notre Dame de Paris Cathedral

## パリ・ノートルダム大聖堂の静的および動的モニタリング

**Véronique Le Corvec, Patrick Lézin, François-Baptiste Cartiaux**

OSMOS Group SA, 37 rue La Pérouse, Paris, France

**Keywords:** cultural heritage; vibration monitoring; tiltmeter chain; continuous monitoring

翻訳：OSMOS技術協会

スペイン、バルセロナにて開催されたJISDM 2022カンファレンス（2022年 第5回 変位モニタリングのジョイントシンポジウム）において、OSMOS社はパリ・ノートルダム大聖堂での構造ヘルスマニタリングの事例を発表しました。

### 論文概要

2019年4月15日に発生した火災により、パリのノートルダム大聖堂は甚大な構造的損傷を受けた。屋根の大部分が焼失し、石造のヴォールト天井の一部が崩落し、北塔の木造構造も部分的に焼失した。火災後、残存する構造物の安全を確保したうえで修復作業が行われ、初期の段階からモニタリングシステムが導入された。本論文は、塔および石造ヴォールト天井に展開されたモニタリングシステムに焦点を当てて、現状の初期評価から復旧作業期間中の挙動変化の有無を確認した成果を紹介する。モニタリングは2020年12月から2021年12月までの期間にわたり、加速度計と傾斜計の2種類のセンサを用いて実施された。

第一の目的は、構造物の現在の状態を把握し、その動的挙動を特定することであり、そのために48個の加速度計が2つの鐘楼塔（Belfry）および2つのアーチ天井（Vault）に設置された。加速度の測定と構造解析により、これらの構造部の振動モードや減衰率などの構造特性が妥当であることを確認した。

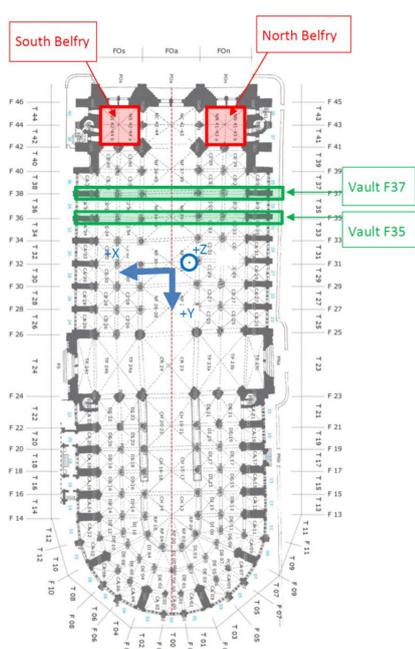


図1：平面図 センサ設置位置

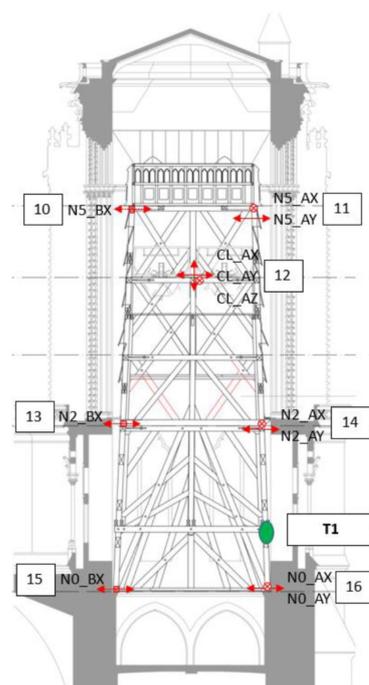


図2：2つの鐘楼塔（Belfry）加速度センサ位置

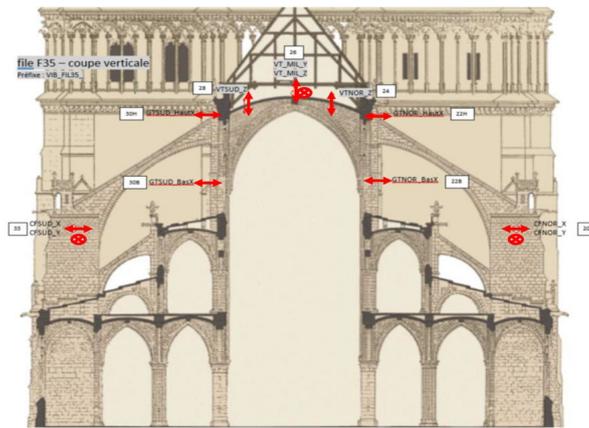


図3：2つのアーチ天井（Vault）加速度センサ設置

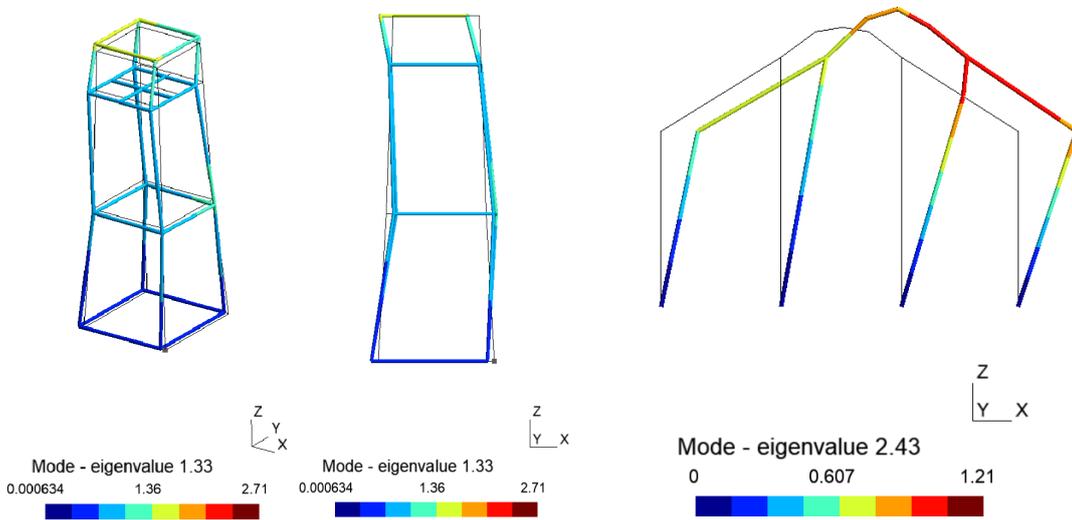


図4：鐘楼塔（Belfry）の振動モード例

図5：アーチ天井の振動モード例

次に、アーチ天井（Vault）の変形を監視するため、アーチ部の上面に傾斜計が設置された。合計15グループの傾斜計をチェーン構成し、連続する傾きを統合することでアーチ構造の変形量を推定した。本モニタリングシステムは10分間隔でデータを継続的に送信するように設定され、温度変化や修復工事による付加的要因と関連させた評価を行った。

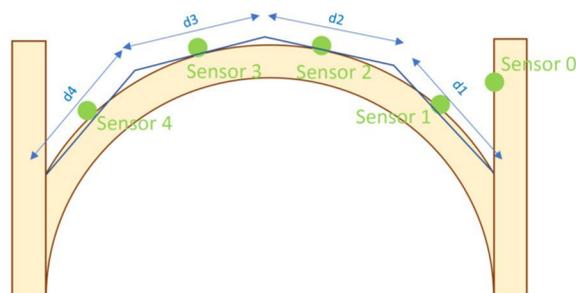


図6：4面傾斜を持つアーチ天井（Vault）上に設置された傾斜計チェーンの模式図

2021年2月から2021年6月の期間において、アーチ天井 (Vault) の動きはほとんど観測されなかった。この時期には安全対策工事が進行しており、大聖堂全体の構造は追加の支持材によってすでに強固に安定化されていた。一方で、温度変化の影響によりミリ単位の変動が日々周期的に観測されていた。これらの変動を除けば、南側アーチ部に沈下が観測された、この部分は火災時にヴォールトが崩落した箇所である。

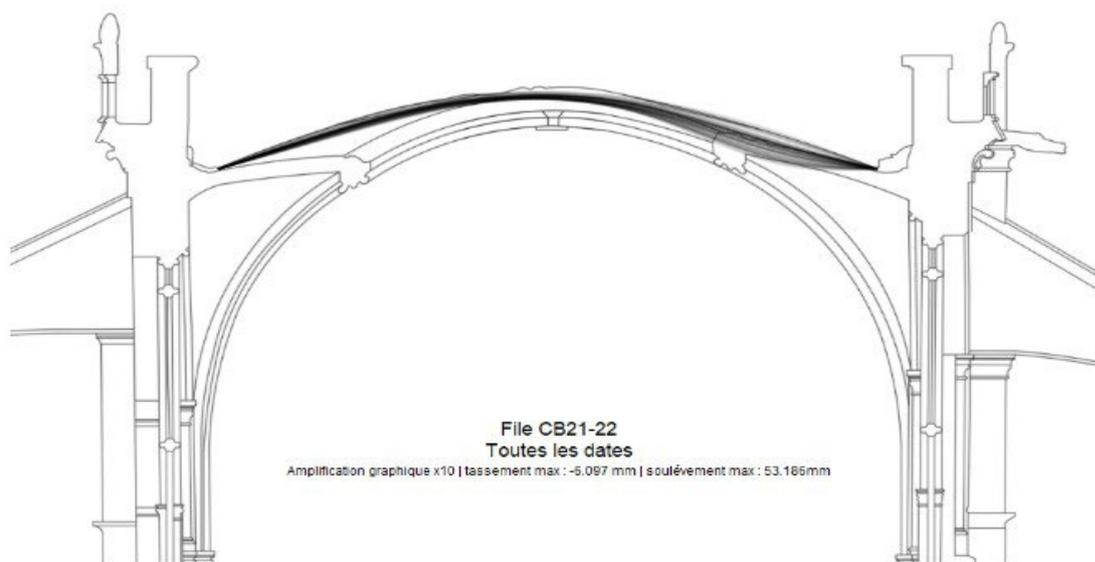


図7：アーチ天井 (Vault) における沈下図 (変形量 10 倍)

OSMOSシステムによるSHM (構造ヘルスマニタリング) は、多様な構造物の挙動について、必要に応じてリアルタイムの警報を含む、即時的そして長期継続したデータを有益な提供する。本稿では、それらのデータを解析モデルへの入力情報として活用することで、大聖堂の基本的な振動モードを特定することができた。また、アーチ天井 (Vault) 安定性は、長期間にわたり1時間ごとの静的傾斜測定によって評価され、ヴォールト沈下の形状を推定することが可能となった。

以上

本論文は、次のリンク から入手できます:

<https://scispace.com/pdf/static-and-dynamic-monitoring-of-the-notre-dame-de-paris-3e7wjfnk.pdf>