

Deformation monitoring and model updating: three case studies on the Paris Metro

変形モニタリングと構造モデル更新：パリ市内メトロにおける3つの適用事例

Cartiaux François-Baptiste CARTIAUX¹, Jorge SEMIAO¹, and Amandine MEGE-YTHIER²

¹ OSMOS Group, Paris, France, ² RATP, Fontenay-sous-Bois, France,

Keywords: Structural Health Monitoring, Model Updating, Data Analysis, Asset Management, Civil Infrastructure

翻訳：OSMOS技術協会

ドイツ、カールスルーエにて開催されたJISDM 2025カンファレンス（2025年 第6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社はパリ市内のメトロにおける構造ヘルスモニタリングの事例を発表しました。

論文概要

パリ市内のメトロは、世界でも最も高密度でかつ広範囲にわたる公共交通ネットワークの一つである。複数キロメートルに及ぶ高架橋を含み、その中には20世紀初頭に建設されたものも存在する、重要なインフラであると同時に歴史的建造物としての側面も併せ持つ。変形測定を用いた構造ヘルスモニタリング（SHM）は、主として高架橋に対して適用され構造物の高度なモデリングと組み合わせてこの構造物の長期的な維持管理に活用されている。本論文では、3つの実践的な適用事例を紹介する。

事例① 支承装置における摩擦挙動の評価

背景：メトロ6号線「Quai de la Gare」駅の橋脚に亀裂が発生。原因調査の結果、支承装置における摩擦力が疑われた。

手法：1年間にわたり支承装置の水平変位と温度を連続測定し、摩擦モデルと比較。

成果：静摩擦係数0.47、動摩擦係数0.42と設計値を大きく上回ることが判明し、亀裂の原因が支承装置の過大摩擦であることが確認された。これを受け、同型の支承が予防的に交換された。



図1：相対変位センサを設置した支承

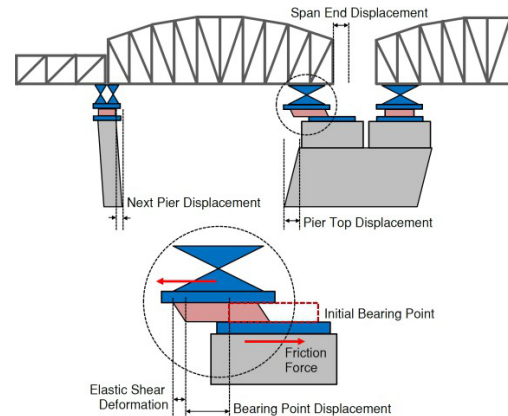


図2：摩擦モデルの概略図

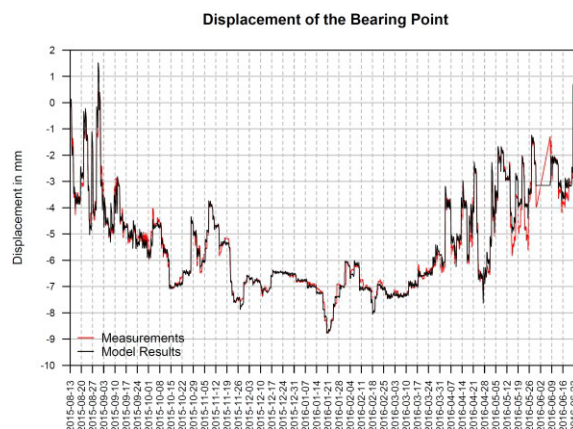


図3：1年間の測定データに基づく変位の実測値（赤）とモデル予測値（黒）の比較

事例②メトロ 6 号線高架橋の新車両導入時の挙動評価

背景：1909年竣工の950mにわたる高架橋において、新型車両（高容量）の導入によるブレーキ荷重の影響を評価する必要がある。

手法：136基の光ファイバひずみセンサ、加速度計、温度計を設置し、2018年に実施された負荷試験データを用いて数値モデルを更新。

成果：実測とモデルを照合した結果、ブレーキ荷重は多数の橋脚に分散され、最も厳しい条件でも柱頭の水平変位は2.6mm以下に収まると判明。追加補強は不要と結論づけられた。



図4：6号線高架橋下部 OSMOSセンサ設置状況

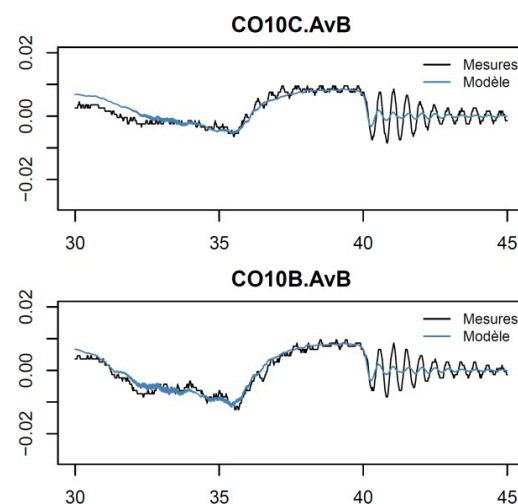


図5：ひずみの実測値（黒）と予測値（青）の比較

事例③オーステルリッツ高架橋の長期モニタリング

背景：1903年建設、セーヌ川を跨ぐ象徴的なアーチ橋「オーステルリッツ高架橋」の維持管理を目的としたモニタリング。

手法：2010年から18基の光ファイバひずみセンサーで継続監視。各列車通過時にイベント記録を取得し、Rainflowサイクルカウントや大規模スペクトル解析を実施。

成果：応力範囲や固有振動数の安定性を長期にわたり確認。振動特性の変化が損傷の早期兆候となる可能性を提示。リアルタイムの異常検知アラートシステムを導入し、維持管理に活用。



図6：オーステルリッツ高架橋

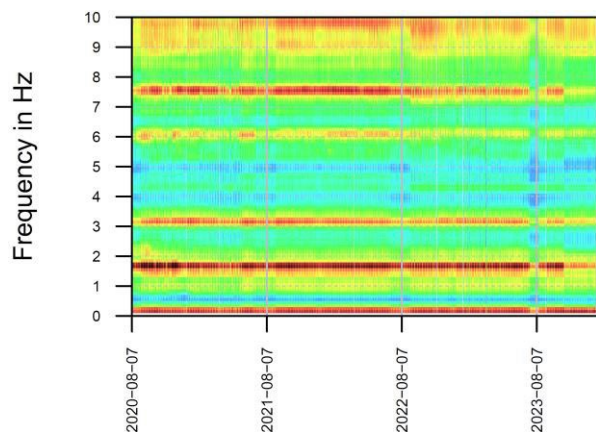


図7：振動周波数のスペクトル密度

3つの事例はいずれも、SHMと構造モデル更新を組み合わせることで、構造挙動の精密な把握や将来リスクの予測が可能であることを示すもので、歴史的インフラの資産管理や保全における実践を提示しています。

以上

本論文は、次のリンク から入手できます:

https://jisdm2025.gik.kit.edu/downloads/JISDM2025_Cartiaux_et_al.pdf