

フランスにおけるOSMOS技術の紹介（技術研修報告）

Introduction of OSMOS Technique in France (Technique Training Report)



永谷 秀樹*1
Hideki NAGATANI

要旨

OSMOS技術協会は、2009年9月にOSMOS技術の普及と発展を目的として設立され17年が経過した。この度、ERENグループに所属したOSMOS社にて技術研修を行い、フランス国内でのモニタリング現場の視察と技術ミーティングによる最新技術と技術開発状況について情報収集等を行った。その内容について、OSMOS社の技術レポートにおける構造モニタリングの技術的な紹介も含めて、ここで報告する。

キーワード：OSMOS，モニタリング，OASYS，LIRIS，サンピエール大聖堂，オステルリッツ高架橋

1. はじめに

OSMOS技術協会は、2000年9月にOSMOS（Optical Strand Monitoring System）技術の普及と発展を図り、構造物モニタリングを通じて社会に貢献する目的で設立された。近年、社会インフラの老朽化により維持管理の重要性が高まるとともに、そのためのコスト低減および安全性確保に対して、モニタリング技術の重要性も高まっている。OSMOSもこの17年間で、ICTの進歩に伴い構造モニタリングシステムとして技術的に大きな進歩遂げている。

また、OSMOS社がフランスのERENグループに所属したことにより、無線型センサーの開発および統合的なデータアクセスのインターフェースの開発など技術開発のスピードも加速している。そこで、この大きな技術転換点において、OSMOS技術協会は、国内でのOSMOSのより高品質な技術的サービスを行うため、フランスのOSMOS社における技術研修会を表-1に示すスケジュールにて実施した。ここでは、その技術研修会の内容についてOSMOS社の技術レポートにおける構造モニタリングの技術的な紹介も含めて報告を行う。

表-1 技術研修のスケジュール

日程	スケジュール	
10月15日	日	AM 9:00 成田空港集合 11:00 出発(AF275便)
		PM 16:30 パリ着
10月16日	月	AM 9:30 ホテル出発・移動 10:00 技術ミーティング(OSMOSプレゼンテーションルーム) 12:00 バスでBeauvais（ポーヴェ）に移動 PM 14:30 OSMOSプロジェクトの一つサンピエール大聖堂のモニタリング状況の視察 17:00 バスにてパリ市内に戻る
		AM 9:00 ホテル出発・移動 9:45 OSMOSモニタリング実施橋梁のオステルリッツ橋の見学 10:45 OSMOSが設置されているエッフェル塔の見学 PM 13:00～17:45 技術ミーティング(OSMOS社) ・ERENグループプレゼンテーション ・OSMOS技術協会紹介 ・OSMOS社近況報告 ・テクノロジーロードマップ説明 ・モニタリング事例説明
10月17日	火	AM 9:00 ホテル出発・移動 9:45 OSMOSモニタリング実施橋梁のオステルリッツ橋の見学 10:45 OSMOSが設置されているエッフェル塔の見学 PM 13:00～17:45 技術ミーティング(OSMOS社) ・ERENグループプレゼンテーション ・OSMOS技術協会紹介 ・OSMOS社近況報告 ・テクノロジーロードマップ説明 ・モニタリング事例説明
10月18日	水	AM 予備日(自由行動:市内見学他) PM
10月19日	木	AM 9:00 ホテル出発・空港へ移動 PM 13:35 パリ出発(AF276便)
		AM 8:20 成田着

2. OSMOS社プレゼンテーションルームにおける技術ミーティング

OSMOS社から、ショキユーズ（技術開発リーダー）、アレクシア（欧州事業開発リーダー）の両名が出席し、OSMOS社の概要説明とパリ近郊での代表的な事業説明が以下の通り行われた。

(1) OSMOS社概要

OSMOS社は2001年から世界24か国で事業展開、35の国際特許を保有、モニタリング機材は全てフランス製、顧客のニーズに合わせて自社の技術開発部門でソリューション開発を行なっている。OSMOSによるモニタリング実績は凡

*1 技術本部技術開発部技術開発グループ担当リーダー



図-1 ミーティング状況

そ20年間、エッフェル塔、カナダの橋梁など多数の構造モニタリングを行っている。また、構造モニタリングに特化して、モニタリングデータ分析からリスクの想定・予防、構造物の劣化予測を実施。また、その構造的な問題点の有無を評価することにより、不要な工事を削減し、必要なものへの資金の集中による効率的な維持管理を提案している。

構造モニタリングの目的は以下としている。

- ①リスクの明確化
- ②寿命の延長
- ③安全・安心の確保

なお、OSMOS社は、構造モニタリングにより過去2件の構造物の崩壊（・地下駐車場の倒壊、・地下水路の陥没）を予測し、事故を未然に防止して人命確保に貢献した実績を有している。これらの事例では、OSMOS社が安全性を評価する閾値を独自に設定し、データの変化から評価を行っている。

(2) パリ近郊での代表的なモニタリング事業

1) ガストンピノ住居<GASTON PINO HABITATIONS>

ガストンピノ住宅は、レンガ造りの19棟のアパート群（1930年頃建築）であり、運営をパリアビタ（公共機関：フランス国内での公営住宅の運営会社では最大規模）が行っている。パリアビタは、同様の1930年頃から建築された建物に対する維持管理費用の増大、予算の縮小、人手不足の問題点を抱えており、問題の解決にOSMOS社がサポートしている（図-2参照）。

本案件のモニタリングの概要は次の通りである。19棟のうち連続した2棟の境界部において亀裂の発生・進行が確認された。これは、支持地盤の石膏層の地下水による膨張・浸食等に起因する不等沈下が原因であり、パリは石膏層が多くこのような地盤の沈下はよくある事象であり、また地下に空洞もある。モニタリングの目的は、沈下した



図-2 ガストンピノ住居外観（OSMOS社提供資料より）

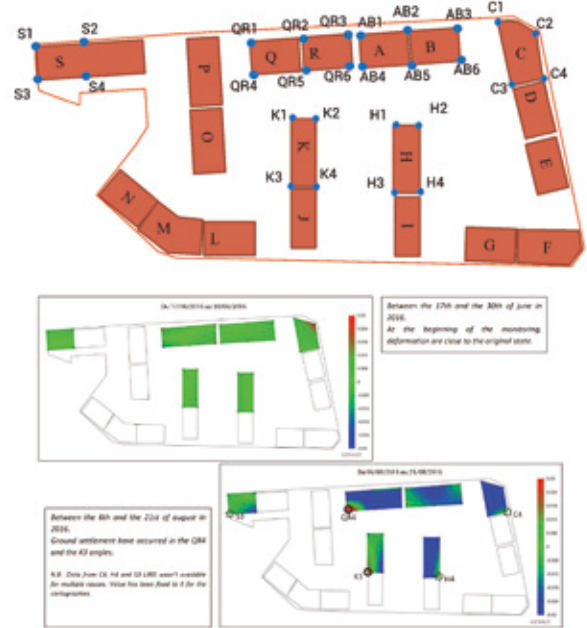


図-3 センサー設置状況とSafe-Worksによるビジュアル表示（OSMOS社提供資料より）

建物の地盤改良の樹脂注入の際に、他の建物への影響が不明確であることと効率的な施工の検証である。19棟のうち8棟のモニタリングを実施し、設置センサー数は28カ所（鉛直方向のひずみをモニタリング）。地盤への樹脂注入前後の変化を検証している。モニタリング結果より樹脂注入により建物が安定しており、季節変化にも影響を受けないことが確認できた。現在、近年開発された傾斜計の設置の提案を行い採用予定である。

2) ボーベイのサンピエール大聖堂（16日現場視察）

この大聖堂はゴシック様式の最大級の教会であり、天井の高さが非常に高く安定性が悪い構造物であり、予算の関係上未完成のままである。未完成のため構造的にさらに安定性が悪く、沼地上に建築しているため2度の部分的な崩壊が生じている。1980年代後半に木製の水平支材8本、鉛直支材1本による補強を実施しているが、ユネスコの文化財に登録するため、景観を損ねている補強材を撤去して、

改修の必要がある。

モニタリングの目的は、補強を弱めた場合のひずみの変化から補強効果の確認することであり、光ファイバーストランド：31本、傾斜計：16カ所、温度計：2カ所を設置している。そのため、OMOSOモニタリングステーションを4カ所に設置している（外観を損ねないため、一般に見られない場所に集約して設置）（図-5、6参照）。モニタリングシステムの設置は、クレーンを聖堂内に持ち込み、15日間で行われた。

なお、OSMOS社は、2016年12月にフランス公認の国内の文化的建造物の補強を行う企業体（GMH）のメンバーとなっている。



図-4 サンピエール教会の外観（10/16撮影）

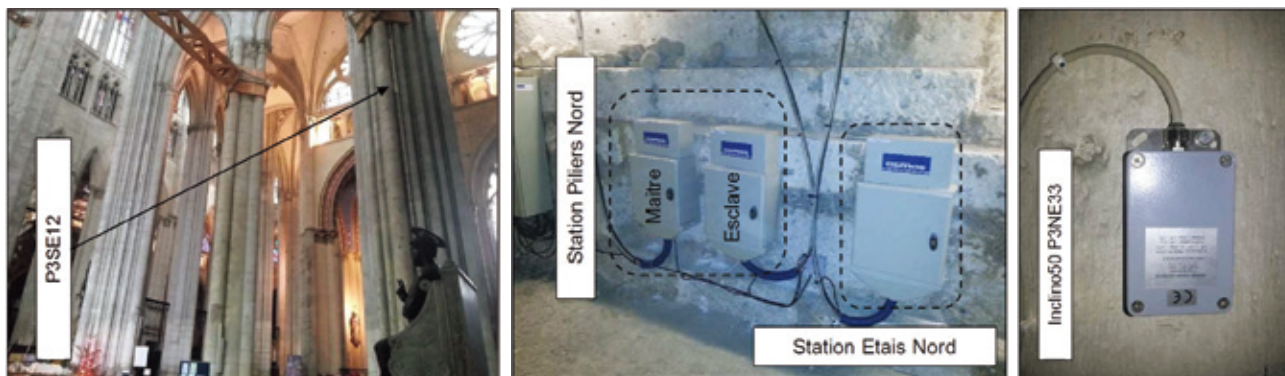


図-5 センサーおよびモニタリングステーション設置（OSMOS社提供資料より）

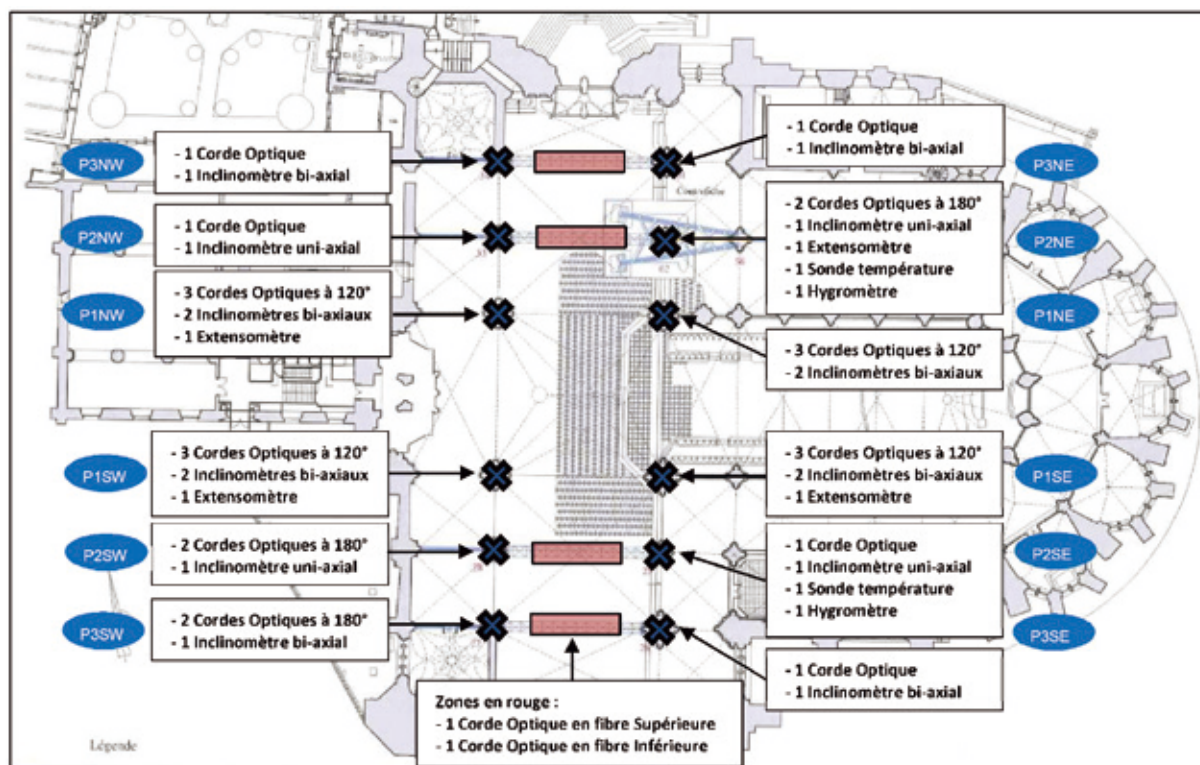


図-6 センサー設置概要（OSMOS社提供資料より）

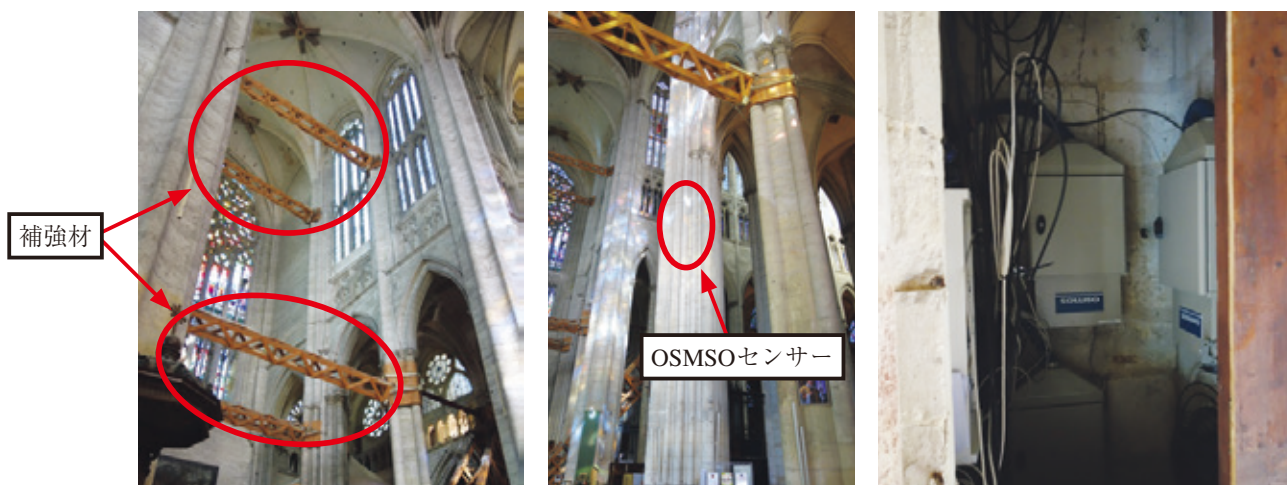


図-7 教会内の補強材とOSMOSセンサーおよびモニタリングステーション (10/16撮影)

3. モニタリング現場視察

(1) ボーベイのサンピエール大聖堂

10月16日の午後に、パリ市内から高速道路を使用しボーベイに移動して前述のパリ近郊のモニタリング事業として説明のあった大聖堂のモニタリング状況を視察した。

図-7に示すように堂内の補強材の設置状況とOSMOSセンサーおよびモニタリングステーションの設置状況を確認した。OSMOSセンサーは柱と同色のカバーが設置され、モニタリングステーションも通常は一般に入ることできない場所に設置され、景観を害さないように配慮されていた。なお、現在もモニタリング中で、補強材は有効に働いている可能性があることが計測結果から考察されるとの説明があった。

(2) オステルリッツ高架橋

10月17日の午前中にオステルリッツ高架橋の現場視察を行った。本橋は、メトロ5号線のオステルリッツ駅とケ・ド・ラ・ラペ駅間のセヌ川（水面より17.3m上）に架かる橋長140m、幅員8.5mの3ヒンジアーチ橋で1906年に建設された。その後1936年に、より重い列車が通行できるように補強されている。橋の装飾はメトロのほかの構造物も手がけたジャン・カミーユ・フォルミゲに委ねられ、貝、イルカなどの海の生物とパリ市の紋章が取り入れられている。図-9に示すように補強が実施されているが、その効果について定量的な検証が必要であり、床組に特殊な構造が用いられていることから、耐荷力、耐久性を検証するためモニタリングを実施した。モニタリング結果から、振動解析を行い固有周期による剛

性等の構造特性の評価、動的に計測されたひずみ値より耐荷性能の評価および疲労耐久性の評価を実施している。

補強部材の設置状況と列車通行時の動的モニタリングのデモと計測値のFFT解析結果などの説明を受けた（図-10参照）。



図-8 オステルリッツ高架橋外観 (10/17撮影)



図-9 アーチ部材の装飾と補強材 (10/17撮影)

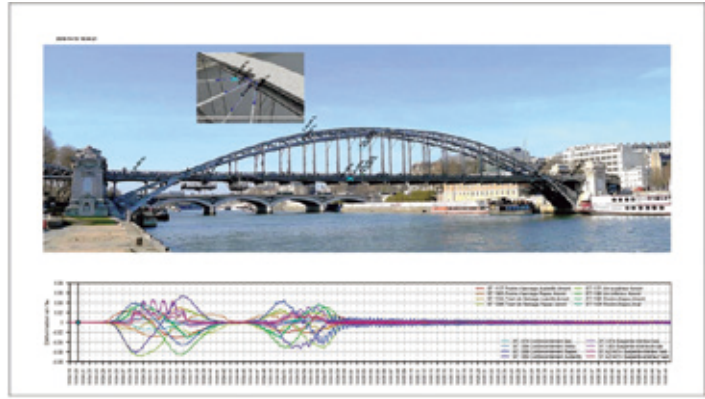
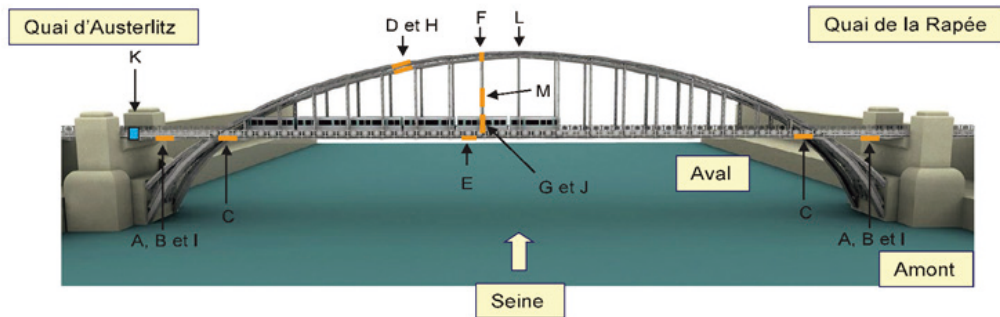


図-10 ショキューズ氏によるモニタリング状況説明、モニタリングデータ（OSMOS社提供資料より）



Position	Localisation	Côté du Quai	Face	Equipement
A	Poutres d'ancrage	Quai d'Austerlitz et Quai de la Rapée	Amont	2 Cordes Optiques
B	Liaisons mâle/femelle du tablier	Quai d'Austerlitz et Quai de la Rapée	Amont et Aval	4 Cordes Optiques
C	Tirants de freinage	Quai d'Austerlitz et Quai de la Rapée	Amont	2 Cordes Optiques
D	Arc entre suspentes 6' et 7'	Quai d'Austerlitz	Amont	2 Cordes Optiques
E	Poutres d'appui entre suspentes 8' et 9'	Quai d'Austerlitz	Amont et Aval	2 Cordes Optiques
F	Contreventement au niveau de la suspente 9'	Quai d'Austerlitz	Amont	4 Cordes Optiques
G	Suspente 9' en bas	Quai d'Austerlitz	Amont	2 Cordes Optiques

Position	Localisation	Côté du Quai	Face	Equipement
H	Arc entre suspentes 6' et 7'	Quai d'Austerlitz	Amont	1 Sonde de température
I	Liaisons mâle/femelle du tablier	Quai d'Austerlitz et Quai de la Rapée	Amont	2 Sondes de température
J	Suspente 9'	Quai d'Austerlitz	Amont	1 Sonde de température
K	Avant la suspente 0'	Quai d'Austerlitz	Amont	Station de monitoring
L	Arc au milieu du viaduc	Quai d'Austerlitz	Amont	Anémomètre
M	Suspente 9' à mi-hauteur	Quai d'Austerlitz	Amont	2 Cordes Optiques

図-11 オステルリッツ高架橋のセンサー設置状況（OSMOS社提供資料より）

(3) エッフェル塔

オステルリッツ高架橋から移動してエッフェル塔の視察を行った。エッフェル塔におけるモニタリングの施主はエッフェル塔開発会社（The Exploitation of the Eiffel Tower）であり、主構造にOSMOSセンサーが77本設置され、1993年からモニタリングを実施している。また、6本の無線光学ストランドセンサーLIRIS（2m長）が追加設置されている（図-13参照）。現在まで、維持管理に必要な構造物の正確で重要な挙動に関する情報が提供されている。なお、エッフェル塔は塗装の塗替えの予定があり、その場合に一時的にセンサーは撤去されることとなる。塗替え時期は近々に予定されているが、諸般の事情により延期される可能性もある。



図-12 エッフェル塔外観（10/17撮影）



図-13 エッフェル塔へのLIRIS設置状況（OSMOS社提供資料より）



図-14 ERENグループの構成

4. OSMOS社における技術会議

(1) ERENグループプレゼンテーション

OSMOS社の所属するERENグループ代表のパリス・ムラトグール氏から歓迎のご挨拶とERENグループ全体についての説明があった。ERENグループは、図-14に示すように太陽光や風力発電の再生可能エネルギー事業を中心に、スポーツや文化事業まで幅広い事業展開をしており、その中にOSMOS社も所属している。

(2) OSMOS社近況報告

OSMOS社代表のベルティエ氏から歓迎のご挨拶と近況について以下の説明があった。

地震時の避難警報システムの構築を進めている。これは、地震のP波を検知するとモニタリングを開始し、モ

ニタリングの計測値が閾値をこえると警報を伝えるものであり、従来の加速度計を用いていたものから光学ストランドのOSMOSセンサーを用いることにより高精度で有効なデータを取得でき、より正確な評価が可能であり、加速度計と比較して必要とされる設置台数を1/5にすることができる優位性がある。世界中で災害が年々増加する中で、OSMOSを設置することにより、災害の前・中・後での比較による安全性評価が可能で、経済的なダメージを最小限にすることが可能となることをメリットとして市場拡大を進めている。

また、構造物の電力の全体的停止から部分的停止への詳細な判定による経済的損失の低減への適用、構造物単体の評価から町全体でのハザードマップ的作成への適用などシステム開発も進めている。

(3) テクノロジーロードマップ紹介

技術開発担当のロマン氏からOSMOSシステムの技術開発状況について以下の説明があった。

1) OASYS (Ver.5.2) (有線タイプ)

従来のVer.5のスペックアップを図ったもので、12本の光ストランドセンサー（サンプリング速度は100Hz）、12個の外部センサー（温度計、湿度計など、サンプリング速度は100Hz）を接続可能したステーションからデータを送信する。データはオンタイムでダウンロード可能、データは受信信号がmmに変換され、タイムスタンプも有しており複数のステーションとの同期が可能である。さらに、データサーバーがステーションの時刻を補正する。同期誤差は1/100秒以下。また、価格の異なる3種類（接続光ストランド数が4本,8本,12本）のステーションをラインナップする。現在は別途電源が必要となるが、今後は太陽光で電源を省略できるように開発を進めている。

2) LIRIS (無線センサー)

電源自立型のセンサーであり、常時データを動的に検知し、1時間に1回データを保存する設定にした場合には6ヵ月の連続モニタリング（データの蓄積）が可能。また、15分間の連続した動的モニタリングも保存可能。また、別途にLIRIS-Boxを使用することにより、インターネット経由で複数のセンサーの自動データ収集が可能となる。LIRIS-Boxはフランス国内仕様の製品化は完了しており、日本仕様を開発中。さらに、Wi-Fiを用いたデータ転送からBluetoothを用いたデータ転送によるモデルの開発に加えて、よりセンサー単体での自立性（収集データ量、使用期間延長）を高める開発を進めている。

これに関連して、日揮・門氏から九州地整の熊本地震で損傷したコンクリート橋に35本のLIRISセンサーを設置して無線センサーの有効性を確認できたとの報告があった。また、オンタイムでデータ確認が可能となるようにシステムの改良とLIRIS-Boxの日本仕様の開発についてOSMOS社へ早期対応を依頼中である。

3) データベース (OSMOS-Store)

クライアント毎にカスタマイズしてセンサーからのデータの受信管理するもので、初期段階での開発は完了し、試行的に運用している。また、OSMOS社としては全計測データのピックデータ管理を想定して、クラウド上でデータ分析が可能となるように開発を進めている。

4) Safe-Works

OSMOS-Storeで管理されたデータを、評価指標を用いてビジュアル化するもので、アクセスツールを各クライアントにカスタマイズして提供する。モニタリングする構造物の位置、状態、モニタリング期間における期間的なイベント（例えば、トンネルの掘削、柱の撤去など）を一元管理・表示できるもので、開発は完了し、試行的に運用している。このデモ版のプレゼンテーションも行われた。

(4) 構造モニタリング事例の紹介

技術担当のカルシオ氏から、構造モニタリング事例について紹介された。また、構造モニタリングは以下の項目を指標としてプロジェクト毎に最適なソリューションを決定している。

- ・構造物特性（材質、寸法、設計、状態）
- ・クライアントのアクセス
- ・プロジェクト環境（地域、屋内・外、電力アクセスデータ転送速度）
- ・設置するセンサーの種類と数
- ・データの分析の程度

Level1：アラーム

Level2：携帯等への通知

Level3：①生データでの提示、標準的データ処理（例えば、熱影響の除去）、

②カスタム（予算に合わせ見積りを提示）

また、構造モニタリングは大きく以下の2つのケースに分類できる。

ケース1：構造物に関する疑念（損傷、劣化の発生、安全性の低下）の払拭のための計測
動的な計測頻度は少ない、電力の供給が困難→LIRIS（パフォーマンス低く改良中）

ケース2：構造物の常時遠隔動的モニタリング頻度が多い（常時）、特殊なセンサーの併設、電力の供給が可能

→OASYS（パフォーマンス高）

なお、構造物モニタリングにおいては、センサー設置位置、適用するセンサー長の選定が重要あり、様々なモニタリング環境に適用できるように実績から、LIRISステーションの独立化（コンクリート内部への設置）、ベースのコンパクト化の改良を進めて行くことの説明があった。

さらに、データ分析の実績として、次の説明があった。

主な対象構造は橋梁で、15ヵ国で250橋以上の実績があり、将来はスーパーデータとして複数の構造物を組合



図-15 SEYSSEL橋外観とモニタリング結果および構造解析モデル（OSMOS社提供資料より）

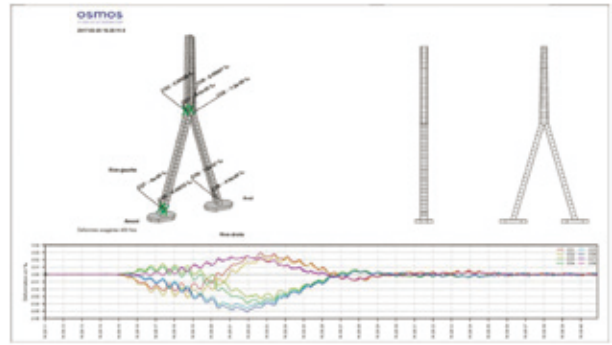


図-16 センサー設置状況（OSMOS社提供資料より）

せた評価の構想がある。2年前までは、データと標準的な分析結果のみを提示していたが、現在はクライアントによる構造物の維持管理を最適化するため、計測データからの構造物の評価まで実施している。

また、モニタリングによるデータ分析事例として、コンクリートの主塔と鋼主桁を有する複合斜張橋（SEYSSEL橋）が紹介された。この橋では8本の光ストランドセンサーによる計測を行っている。構造物を梁モデルでモデル化したリバースモデルを作成し、載荷試験による計測値から同定を行い、計測結果から様々な作用力を推定していることが説明された（図-15、16参照）。

5. おわりに

今回OSMOS技術協会として参加した他のメンバーは以下の8名であった。

【OSMOS技術協会 OSMOS社技術研修メンバー】

日揮(株)：門 万寿男, 田島将男 (パリ事務所)、
 (株)計測リサーチコンサルタント：宮本則幸、
 大日本コンサルタント(株)：横山広、
 (株)安藤・間：西村 毅、
 (株)ジェー・エヌ・エス：野口哲雄、
 大日コンサルタント(株)：笠井利貴, 河合浩史

OSMOS社は、ERENグループに入ったことにより、サービスおよび市場の拡大を積極的に進めており、製品開発も以前とは比較にならないほど急速に行っており、その変化と技術進歩はめざましい。今後、日本でのOSMOSビジネスをどのように行っていくのか、海外と日本とのニーズの違いや制約を考慮してOSMOS社とどのようにパートナーシップを構築していくのか等が課題となると思われる。今回の海外技術研修は、宮地エンジニアリングとして、OSMOS技術協会として、それらの課題を考えていく非常に貴重な機会であったと感じている。また、個人としては力不足（グローバルな視野、市場感覚、技術力など）を痛感させられた研修であった。IT技術の進歩は急速であり、モニタリングにおけるイノベーションも容易におこる状況であり、まずはタイムリーな情報収集と新たな技術導入に遅れないように努めたい。

パリでの研修期間中は非常に天候に恵まれ、Velibでシテ島のノートルダム大聖堂に毎朝通い、最後にルーブル美術館で念願のラファエロの「聖母子と幼き洗礼者聖ヨハネ」も観賞でき、短い期間ではありましたがパリの文化も食も満喫できました。最後になりましたが、このような貴重な海外技術研修の機会を会社から頂いたことに感謝申し上げます。また、現地では、日揮のフランス駐在の田島様、通訳のカルトン様には大変お世話になりました。ここに、御礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) OSMOS社の各種技術資料。
- 2) 永谷秀樹：光学ストランドセンサーを用いた構造モニタリング,宮地技報No.25,pp.82-88,2010.
- 3) 岩下宏,山下久生,能登宥愿:OSMOSシステムによる実橋モニタリング報告,宮地技報No.20,pp.90-99,2005.

2018.2.19 受付