

4.2.6 インフラの健全度モニタリング技術

日常巡回点検で取得したデータなどから自動的に簡易に健全度判定を可能とすることが必要である。点検等で取得したデータを基に複数のセンサーから得られた時系列データの関連性によって、橋梁等構造物のわずかな状態の変化から発生する変状を早期に発見する監視モデルについて、今回提案しているインバリエント分析による手法の検証結果を示す。

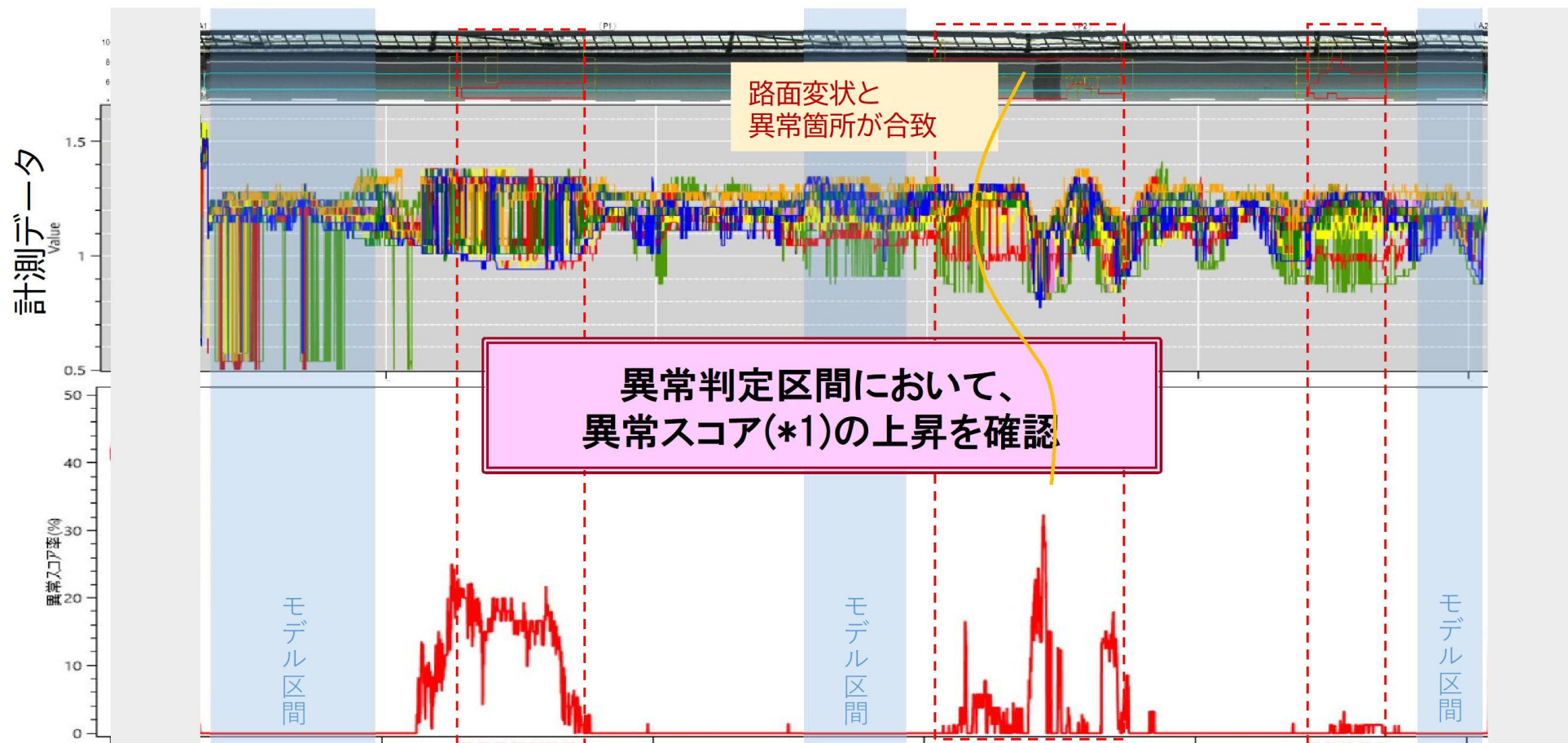
使用したデータは、図-4.13に示す「環八跨道橋 車線中央計測」とし、橋梁の進行方向に沿ったデータの変化を時系列変化と見なして分析を行った。

分析の結果を、図-4.31に示す。橋梁・道路の路面・路面下の分析に当該技術の利用が可能であることが確認された。今後、赤外線サーモグラフィカメラや加速度センサーデータ、音声データと組み合わせることによって複合的な診断に発展させることが出来ると考えられる。

以上を踏まえ、自動化の対象となる巡回点検の点検項目、変状の拡充を図っていくのが良いと考える。

表-4.3 自動化の対象となる巡回点検の点検項目、変状の拡充

施設区分	点検項目	施設の種類	点検項目	変状の種類
構内道路	舗装の状況 標識の状況	バスプール タクシープール	舗装の状況	線状ひび割れ、亀甲状ひび割れ、わだち掘れ、段差、ポットホール
			標識の状況	路面標示の不鮮明
高架の添架物 道路標識 (門型式・片持式・添架式)	構造物の状況 取付の状況 (旅客ターミナル地区)	電光掲示板 バスルーフ	構造物の状況	破損、変形、腐食、標示板の不鮮明
			取付の状況	揺れ
道路橋・歩道橋	構造物の状況	コンクリート橋 鋼橋	構造物の状況	地覆・高欄(コンクリート):剥離、鉄筋露出、うき 地覆(鋼製):破損、変形 高欄(鋼製):破損、変形 桁下・化粧パネル(遠望目視含む):破損、変形 床版上部/内部およびコンクリート・鉄筋の劣化



(*1) 異常スコア：異常と判断された関係性の数。関係式から算出した予測値と実測値の乖離が大きい場合に、その関係性は異常であると判断され、異常スコアに換算される。

図-4.31 インバリアント分析技術を用いたインフラ健全度モニタリング：環八跨道橋

4.3 4S プランを踏まえた変状センシング・モニタリングの試行、検証

今回の目的、目標でもあるスマートインフラマネジメントを実現させるための先進的マネジメントプランとして、4S プランを提案した。4S プランとは、画期的で、かつ、持続可能、イノベーションとの融合による実現を行うもので、Sharp（メリハリのある）、Smart（スマートな）、Secure（しっかりとした）、Sustainability（持続可能）がキーワードとなる、次世代へ安全・安心を途切れなくつないでいくものである。4S プランの具体的な施策として、Sharp：発生してはならない事象の明確化と対応レベルの多層化、Smart：社会的課題に対応したイノベーションとの融合による高度化、Secure：微小変化の検知と重要情報の見落とし防止、視認困難情報の取得等による不確実性（不安要素）の低減、確実性の確保の3つのキーワードを具体化するのが状態把握のためのモニタリングである。

4.3.1 変状把握センシング（状態把握、異常時把握等）

道路橋等構造物の変動作用（風、レベル1地震など）を対象として、早期に安全性や使用性を判断することを可能とし、予防保全措置（補修・補強）など対策の必要性検討への支援を目的に、目視による状態の視認が困難な構造物の状態変化を定量的に検知できる高精度インデックスを用いた構造の状態監視【構造カルテ】を行う。

(1) 変状センシングの対象橋梁

羽田スカイアーチは、埋立地の軟弱地盤上に構築したことから供用開始した後に下部工が移動し、移動量計測した資料（平成10年度）によるとA1側に20mm～60mm移動している。また、2003年には支承交換を行っているが、常時の支承移動量に余裕が少なくなっている可能性がある。その後行った定期点検時の目視点検の範囲では、支承機能に関する問題となる異常は確認されていない。しかし現状において、先に示す地盤変状調査から20年以上経過しているが、想定した挙動の範囲となっているかの確認が行えていない状況にある。また、アーチ主塔基部の鋼部材内面には、雨水が耐水し、腐食したとの資料もある。このようなことから、羽田空港のランドマークとなっている中央北連絡橋・中央南連絡橋・羽田スカイアーチの斜張橋群は、以下に示す構造的な特徴から今回、新たな変状センシングを導入し変状の早期検知を行うことが必要と判断する。

- ① 構造物の規模が大きく、挙動が特に複雑である。
- ② ウインド杳の耐荷力が不足している。
- ③ 耐荷機構の要であるタイ材が目視による状態把握が困難である。

羽田スカイアーチを主塔とする斜張橋、中央北連絡橋及び中央南連絡橋を対象とする変状センシング（高精度インデックスを用いた構造の状態監視）のイメージを図-4.32に示す。主塔がアーチ形状で2箇所の上部構造を吊る斜張橋群を対象に行なう変状センシングは、Secure（しっかり、確実な）なスマートセンシングを行うことで、斜張橋の基本となる主塔の種々な条件差による挙動を加速度、傾斜、位置情報などによって動きを把握するものである。

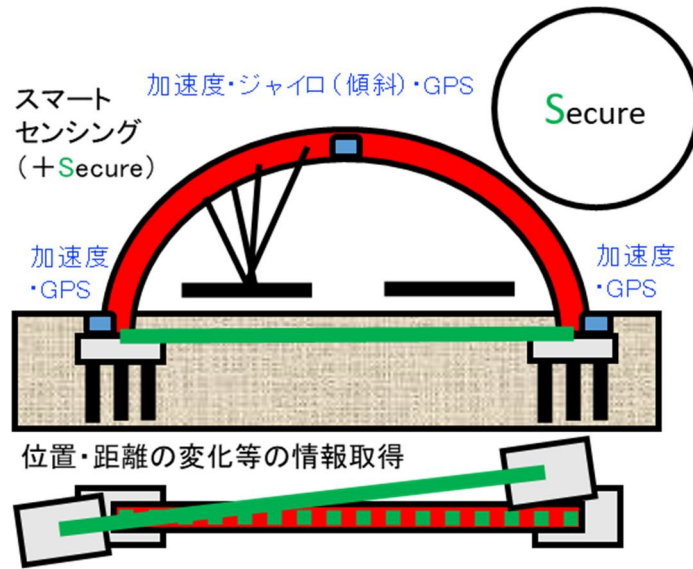


図-4.32 中央北・中央南・スカイアーチの変状センシング

(2) モニタリングの手法

今回導入する高精度インデックスを用いた構造の状態監視は、微小変化の確実な検知、視認困難な箇所に関する情報の定量分析から、視認が困難な事象に対する状態の変化を適切に検知するもので、少数センサ（加速度計、ジャイロセンサ、GPS）でシステムを構成することが特徴である。

構造物の高精度インデックスとは、地震などの外力に対する構造物の耐震性能や耐荷性能を評価する指標の一つである。一般的に、高精度インデックスが高いほど、構造物が外力によって受ける影響が大きくなり、耐震性能が低下する可能性がある。

時系列分析データを使って位相空間における軌跡形状変化に着目した超高精度インデックス指標の流れを図-4.33に示す。今回提案している位相空間分析指標は、機械学習や統計解析などの従来の手法では解析できないような、非線形なデータ構造や複雑なパターンを解析することが可能となることから、今回羽田スカイアーチのタイ材等の視認困難な地震時損傷・ダメージを定量的評価に使用することを目的としている。

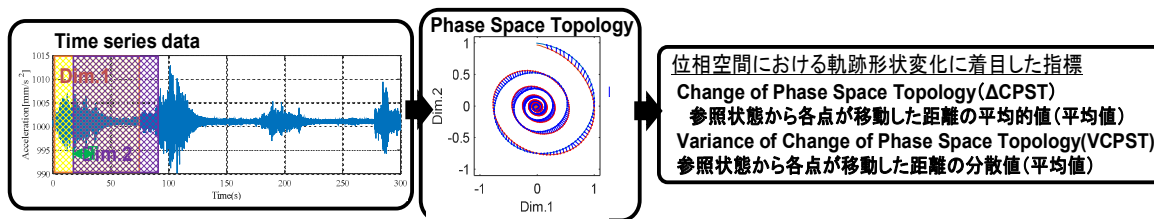


図-4.33 高精度インデックスを用いた構造の状態変化に関する定量分析

(3) モニタリングの目的と計測内容

羽田スカイアーチへの適用を図るモニタリングシステムの目的は以下である。

- ①地震時挙動の把握
- ②通常時挙動（温度変形）及び季節的・長期的挙動の把握
- ③吊ケーブルの張力、振動数、減衰等の把握

高精度インデックスを用いた構造の状態監視においては、状態評価モデルを構築し、計測することによってモデルをアップデートし、実情に近いモデルを組む。①～③に示す今回のモニタリングを行う目的に応じて設定した計測内容と優先度を表-4.4に示す。

表-4.4 羽田スカイアーチモニタリング計測の目的と優先度

目的	目的①	目的②	目的③
内容	地震下における橋梁挙動の把握	橋梁挙動の把握 (温度、交通の影響など)	吊ケーブルの監視 (張力、システム減衰など)
優先度	高	高	中

今回、設定したモニタリングの計測機器構成と機器に対応する目的、主な用途を表-4.5に示す。

表-4.5 羽田スカイアーチモニタリング計測の内容

計測機器	目的	用途
(A) データロガー	①②	有線(CAN通信)によるセンサデータの記録に用いる
(B) 高精度加速度計測ユニット(有線)	①②	①地震時における橋梁基部の動的挙動計測に用いる (目的：地震下の変位量を加速度積分から算出する(タイ部材の状況など)) ②アーチの動的な挙動の計測に用いる
(C) 加速度センサユニット(ワイヤレス)	②③	斜張橋ケーブルの固有振動数等のモニタリングに用いる
(D) 慣性計測ユニット(有線)	②	アーチの動的な変形挙動の計測に用いる (目的：傾斜角と加速度からアーチ形状の変形を算出するなど)
(E) GNSSユニット(有線)	①②	①地震前後の橋梁基部の変位量の計測に用いる ②温度によるアーチ部の伸縮挙動のモニタリングに用いる

(4) センサー配置の設定にあたっての予備解析

今回の目的を達成するために必要なセンサー配置にあたっては、図-4.34に示す羽田スカイアーチ群の既設構造物としての振動特性を考慮し、計測データ取得の上で効果的な位置に配置するものとして、予備解析を実施している。予備解析(モード解析)の目的は、計測センサーの位置決定等の計測準備作業、及び計測機器選定(振動数レベル等による)などに使用することが第一であり、第二には、計測結果を使用して設定モデルのアップデートとしても使用する。

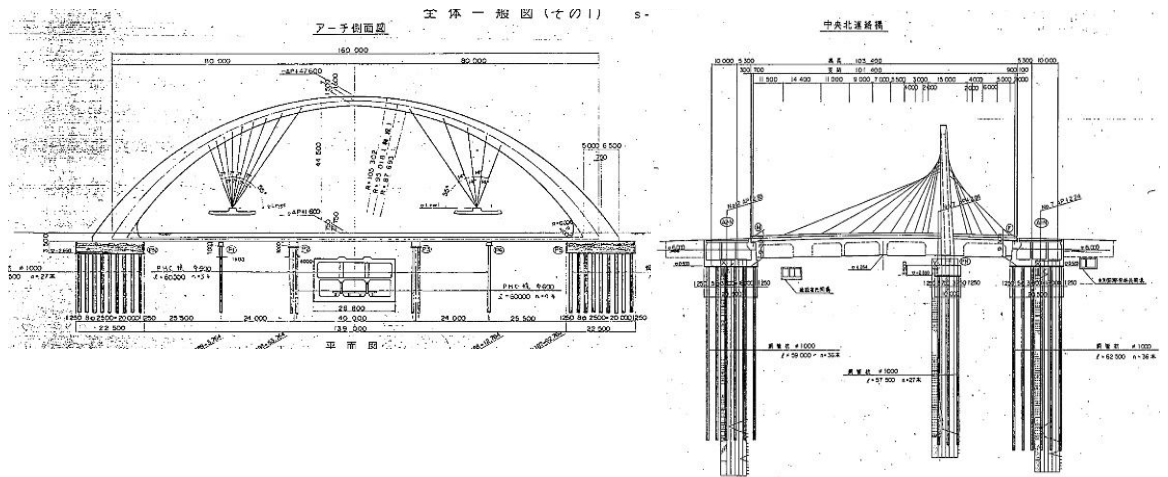


図-4.34 羽田スカイアーチ全体図

予備解析は、高度解析を短時間に行うために、東京工業大学が所有するクラスター型スーパーコンピュータ「TSUBAME3.0」を使用した。今回解析した羽田スカイアーチ群のモデルを図-4.35、図-4.36に示す。なお、「TUBAME3.0」の処理速度は、ピーク性能12.15PFLOPS（ペタフロップス）、Linpack性能は、8.125 PFLOPSである。

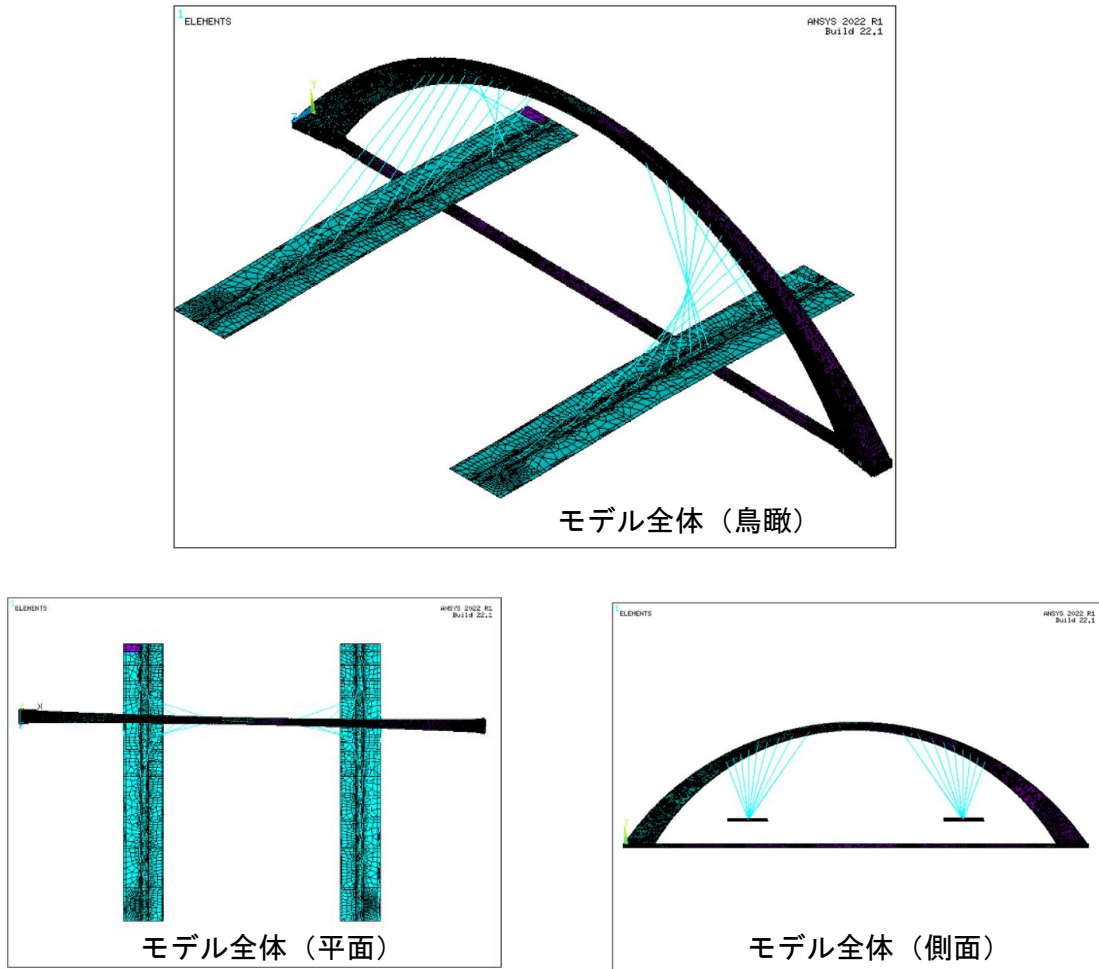


図-4.35 羽田スカイアーチ FEM 解析モデル図 (その1)

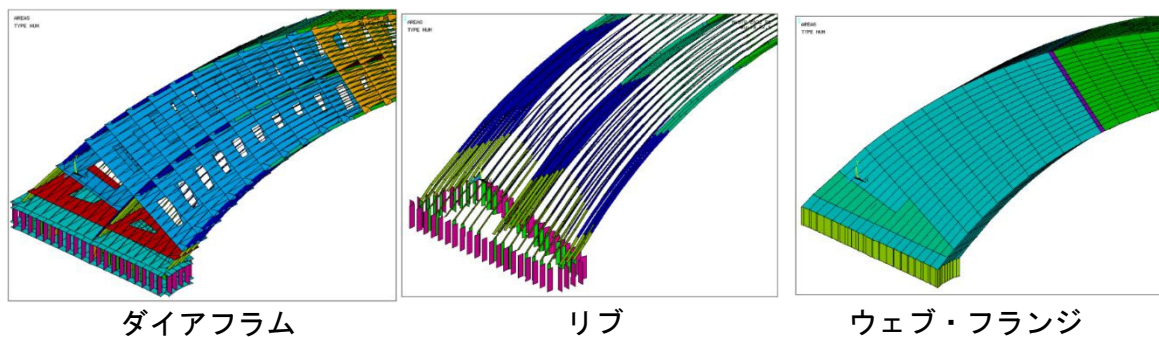
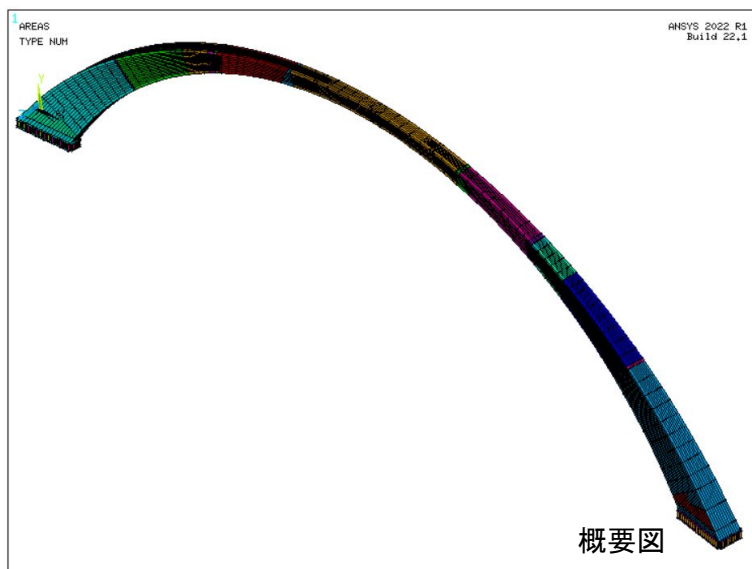


図-4.36 羽田スカイアーチ FEM 解析モデル図 (その 2)

固有値解析は 1 次から 5 次 (振動数とモード形) まで行ったが、その内 1 次及び 5 次について図-4.37 及び図-4.38 に示す。1 次モードでは、0.76Hz、5 次モードでは、1.80Hz であった。

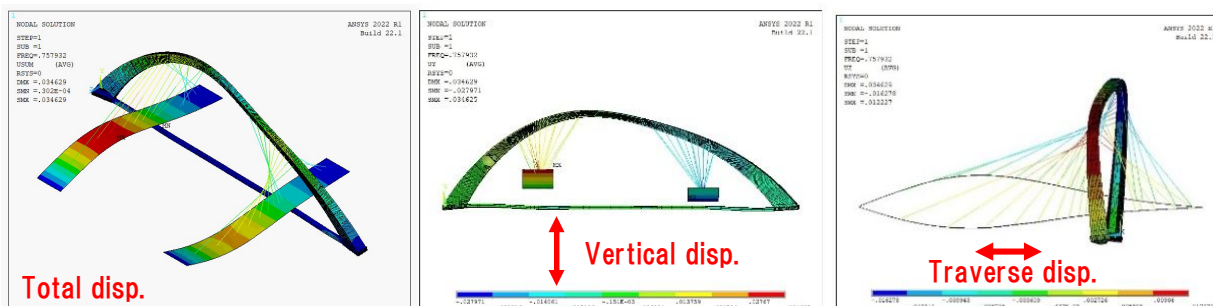


図-4.37 羽田スカイアーチ群固有解析結果 1 次モード

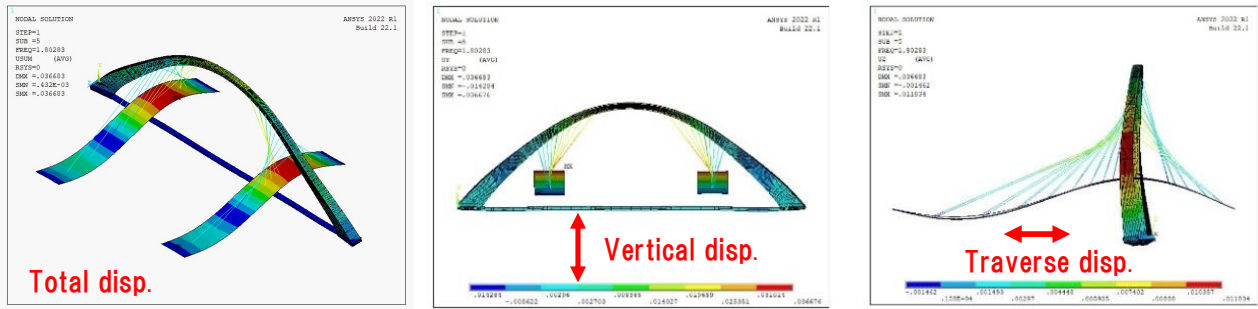


図-4.38 羽田スカイアーチ群固有解析結果 5次モード

(5) センサー配置の設定

予備解析1次から5次の結果から羽田スカイアーチ主塔の変形を適切に捉えられる各種センサー位置を決定した。有線振動センサーの設置位置を図-4.39、ケーブルモニタリング用の無線加速度センサーの設置位置を図-4.40に示す。

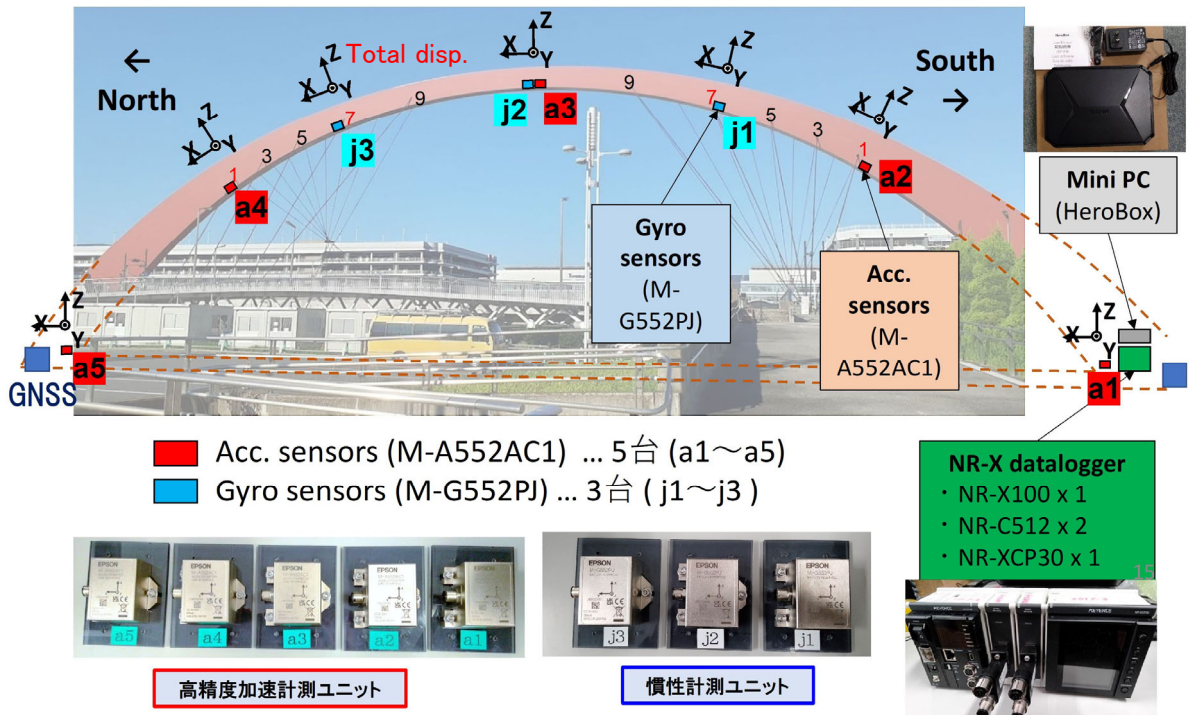


図-4.39 有線振動センサーの配置

羽田スカイアーチ主塔に設置したセンサーは、高精度加速度計測ユニット5台(a1～a5)と慣性計測ユニット3台(j1～j3)を有線によって接続している。

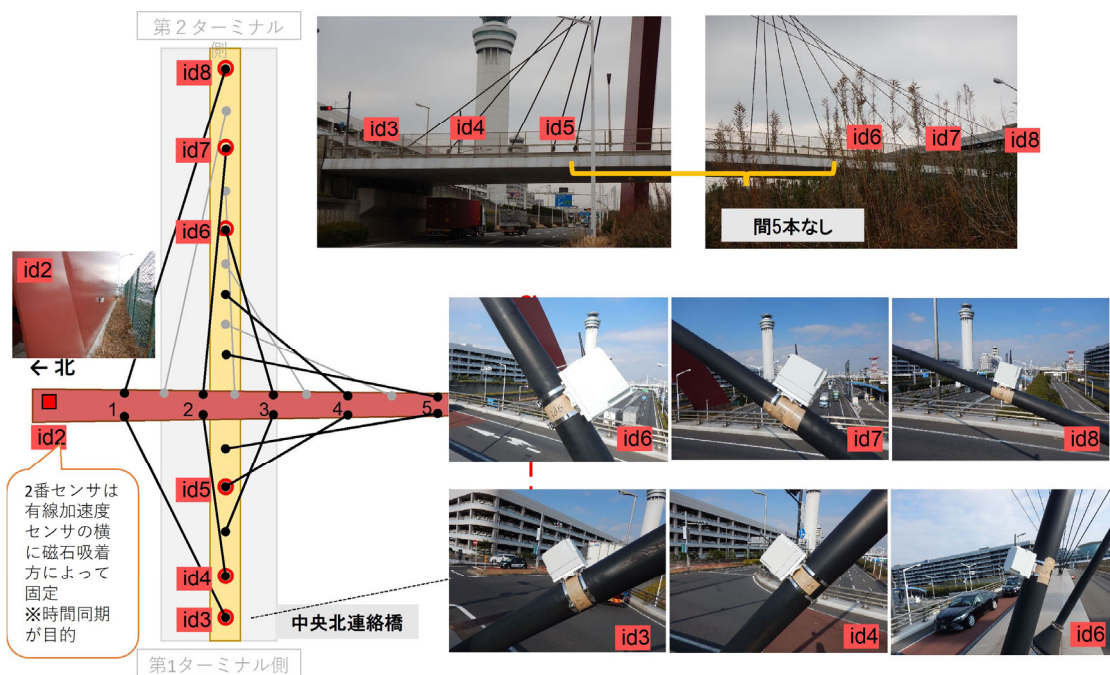


図-4.40 ケーブルモニタリングシステムにおける無線加速度センサーの設置

また、中央北連絡橋の斜張橋吊りケーブルの動きを計測する加速度センサーは7台を無線によってデータ取得が出来るように設置している。

(6) 計測結果

羽田スカイアーチ群の有線振動センサー及びケーブルに設置している無線加速度センサーから取得したデータから、当初設定して解析したモデルが概ね合致していることが明らかとなった。これによって、当初の目的である地震時挙動の把握、通常時の挙動（温度変化による変形）及び季節的・長期的挙動の把握、斜張橋吊りケーブルの張力、振動数、減衰等の把握は基本モデルで可能と判断した。

今回構築した羽田スカイアーチ群モニタリングシステムにおいて取得した計測データをもとに周波数解析を行なった結果、1次モードの卓越振動数は、アーチ面外方向に1.0Hzとなっていることが確認された。卓越振動結果から、当初設定したモデルをアップデートしその結果、M1：0.995Hzと実態に近似するモデルへと修正を行った。図-4.41にY軸（アーチ面外方向）の加速度（振動数）を示す。また、図-4.42にケーブルの振動数と気温の関係を示す。

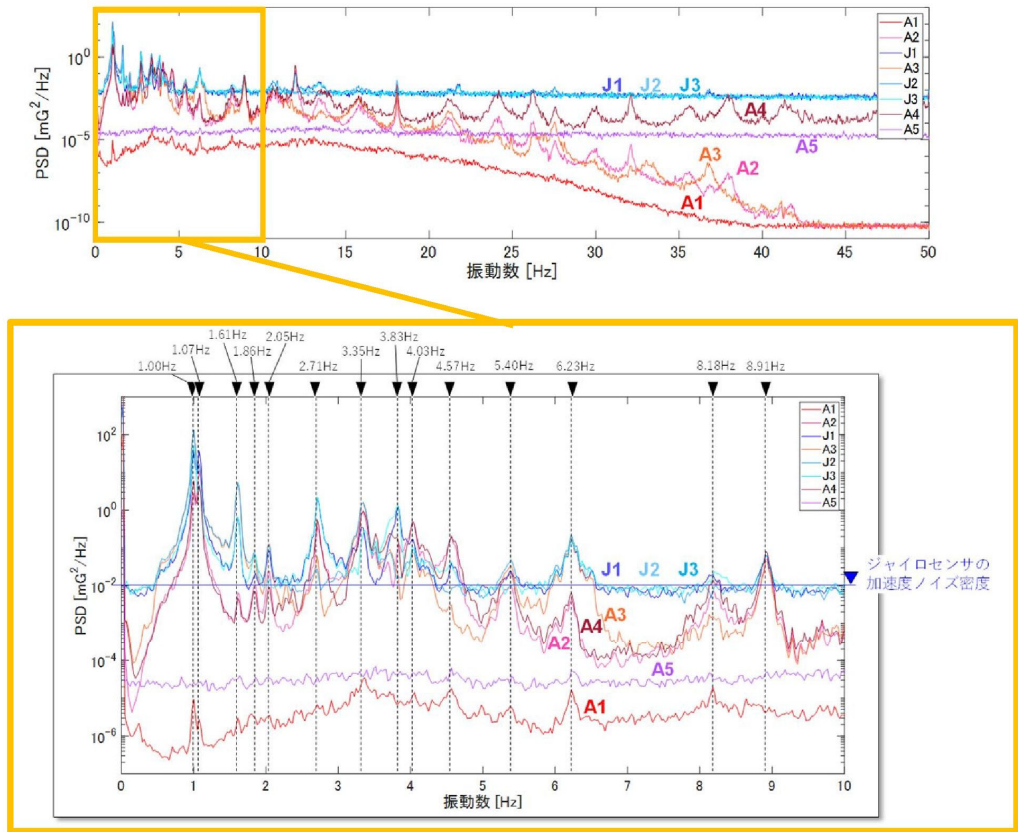


図-4.41 Y軸（アーチ面外方向）の加速度（振動数）

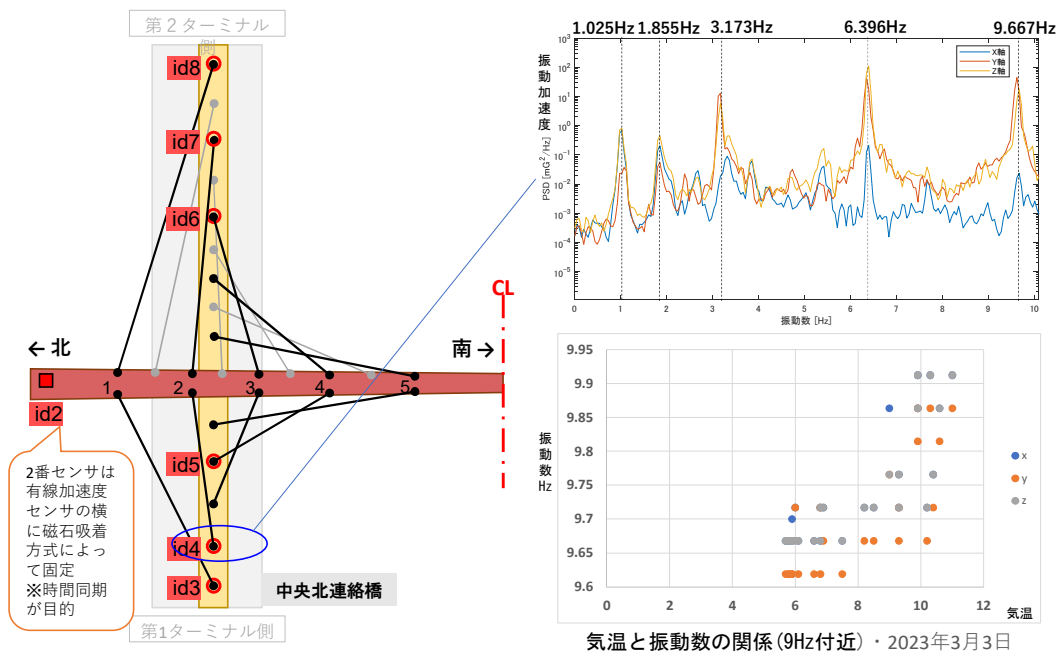


図-4.42 ケーブルの振動数と気温の関係

(7) 羽田スカイアーチ変状センシングの試行結果のまとめ

今回実施したセンシングは、試行結果で得られた羽田スカイアーチの実測データを基に、状態評価モデルの構築を行うことが目的である。状態評価モデルとは、計測することで事前に実施した予備解析モデルを現況近似モデルにアップデートしたものであり、近似解とするには橋梁部のモデリングの重要性も明らかとなった。

今回計測した結果によって、予備解析における1次モード振動数0.76Hzを、実測値に近い0.995Hzとなるようにアップデートした。再現率は99.5%であり、今回得た結果から、羽田スカイアーチ群に発生する変状などについて、常時計測の結果の変化から、変状の位置などを検知できる可能性があると考えられる。また、今回得た結果から、本システム開発の目的の一つでもある大地震など自然災害発災時の安全性確保や健全度診断に有効に機能するシステムへステップアップする。今回の流れを図-4.43～図4.45に示す。

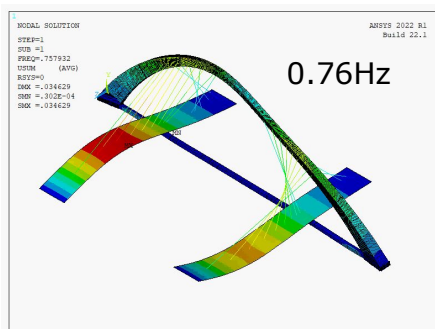


図-4.43 予備解析結果

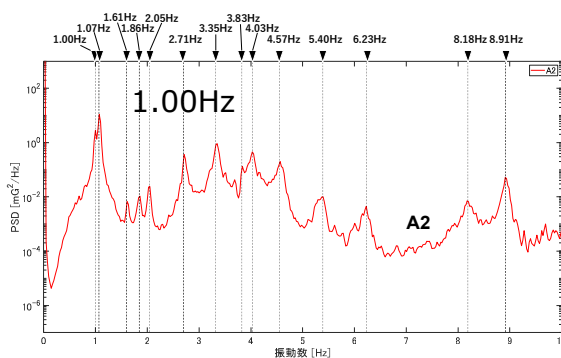


図-4.44 実測値

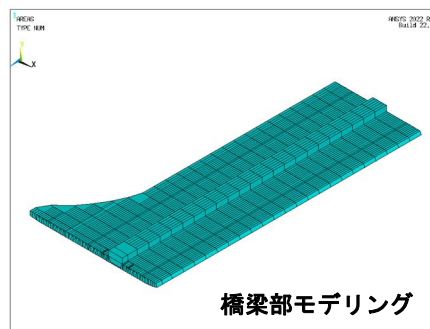
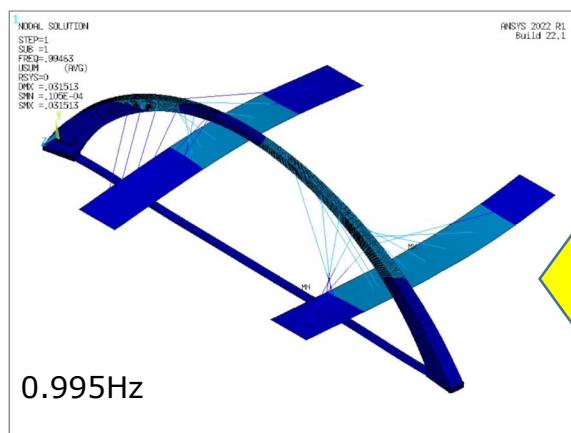


図-4.45 アップグレードモデル

4.3.2 スマートバルブを用いた遠隔監視モニタリング計測

羽田空港管内の各種構造物は、関連工事施工等における影響によって既存施設の移動、傾斜や沈下などの変状発生の可能性があり、変状程度の把握と分析を行い、その変化に応じた措置の必要性を検討する必要がある。そのためには、遠隔で既存施設の変状程度を監視できるセンサー及び関連システムを橋梁や施設等に配置することが必要である。また、センサーは、今後、大地震災時や車両衝突事故等の突発的な異常の検知にも利用可能であり、職員の維持管理業務の軽減や自然災害発災時の臨時点検等の業務改善にもつながる。このために、早期に実装可能な新技術の一つとして、スマートバルブの設置を提案した。

スマートバルブは、道路の照明灯の灯具にセンサー機能を内蔵した計測、データ転送装置である。スマートバルブに求められるデータは、加速度、ジャイロなどの振動データ、静止画、動画などの画像データ、GPSによる位置データ、マイクによる音データ等を取得できる多機能な仕様である。各種のセンサーは、既往の製品化されたセンサーを組み合わせることで、早期に実装が可能となる。図-4.46 にスマートバルブと遠隔監視のイメージを図-4.47 にスマートバルブに求める要素技術のイメージを示す。



図-4.46 スマートバルブによる遠隔監視イメージ

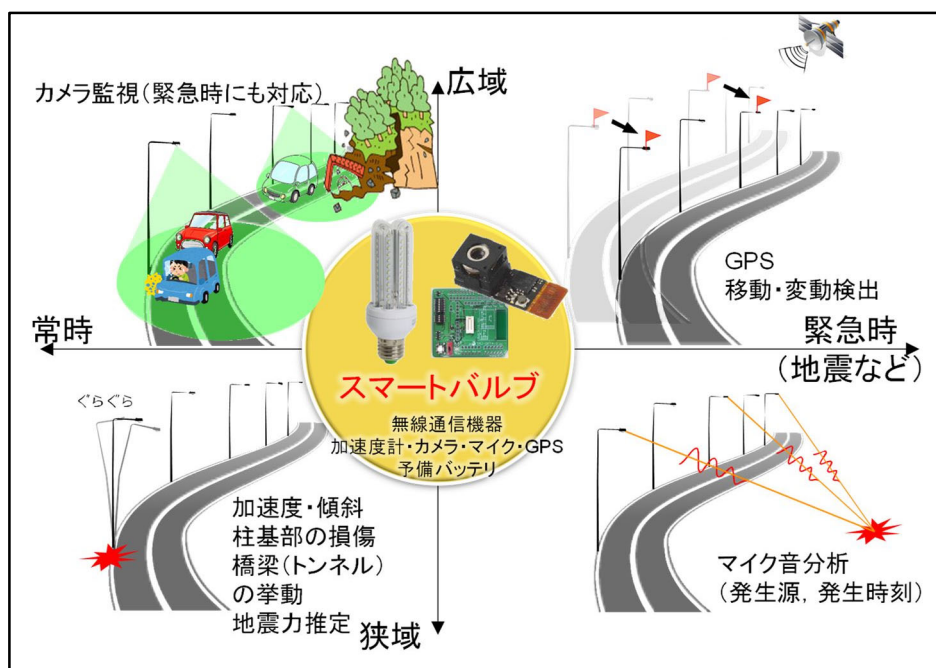


図-4.47 スマートバルブに求める機能イメージ

(1) スマートバルブの開発のコンセプト

スマートバルブは多機能であり、加速度、ジャイロなどの振動データ、静止画、動画などの画像データ、GPSによる位置データ、マイクによる音データ等を取得する。加速度及び振動計測は、照明柱自体の振動特性・異常検知、重力加速度方向の計測による傾斜（情報取得→照明柱の傾き、路面のアンジュレーション）、異常検知のための高度データ分析を目的としている。次にカメラ計測による画像及び音声データは、周辺情報の取得・異常検知、動画による周辺構造物の振動把握、音声の取得による異常検知機能の強化が目的である。最後にGPS計測は、構造物の移動・変位（常時、地震時、工事影響等）検出を目的としている。

スマートバルブのプロトタイプ版の構築には、早期に実装が可能な機器の組み合わせによって試行、検証を可能とするため表-4.6に示すセンサデバイスを組み込む。

スマートバルブの最終的な形式・形状としては、回路の小型化等を進め、コンパクトに灯具部にすべてビルトインする形が想定されるが、そのために、機能や役割の確認、回路構成の検討、データの回収、クラウド化、分析システムの構築を行い、試行。検証を行うことで最終形態の構築を目指す。

表-4.6 スマートバルブに組み込むセンサー類

使用機器	対応機器	機器イメージ	台数	データ収集方法
加速度センサ 構造特性データ	エプソン M-A352AD10		1台	照明灯具としての基本機能 + 加速度, ジャイロセンサ, 全天球カメラ (マイクを含む), GPS等の付加機能を追加 電源は照明より供給を想定 データ転送の方法は, 4G-LTE (要ワイヤレス化検討)
ネットワーク カメラ 画像データ	パナソニック WV-S3510J		1台	
GPS 位置のズレ等	安価なGNSSレシー バーを使用		1台	

(2) スマートバルブ開発における課題

スマートバルブは、照明灯具の中に必要なセンサー類を小型化して一体化し、組み込む構想である、しかし、現行では類似したシステムが皆無であることから試作システムを製作し、先に示した目的に合致するプロトタイプを製作し、課題を調査することとした。プロトタイプ開発時の課題は以下である。

- ① 灯具部にビルトインする一体化する計測機器の小型化、集約化
- ② 取得したデータの転送、蓄積、表示、分析方法
- ③ システム稼働電源の確保
- ④ 計測機器による重量増（耐風安全性含む）に対する灯具用ポールの安全性確保

(3) スマートバルブプロトタイプ版の構築

スマートバルブとは名称でも明らかなように、街路等灯具の中に必要な計測器（センサー等）をビルトインすることが到達点である。しかし現状では、目的を達成するためにビルトインする各センサーの機能が十分であるか、要求性能を満たしているかの確認が第一であり、それが満たされていて初めてビルトインする機器の改造となる。特に大きな課題として、灯具のランプによる高熱環境の中での十分に性能を発揮し、耐久性のあるセンサー類の選択、改造となる。そこで、必要条件を満たす目的でプロトタイプ版として、センサー部を灯具部と分離した形でプロトタイプ試行版を製作し、性能と効果について検討することとした。図-4.48 にスマートバルブ当初想定デバイス、今回構築するプロトタイプ版、最終的デバイスの各イメージを示す。今回構築するスマートバルブデバイスは、傘部内部に設置しない外付けタイプのプロト版スマートバルブである。

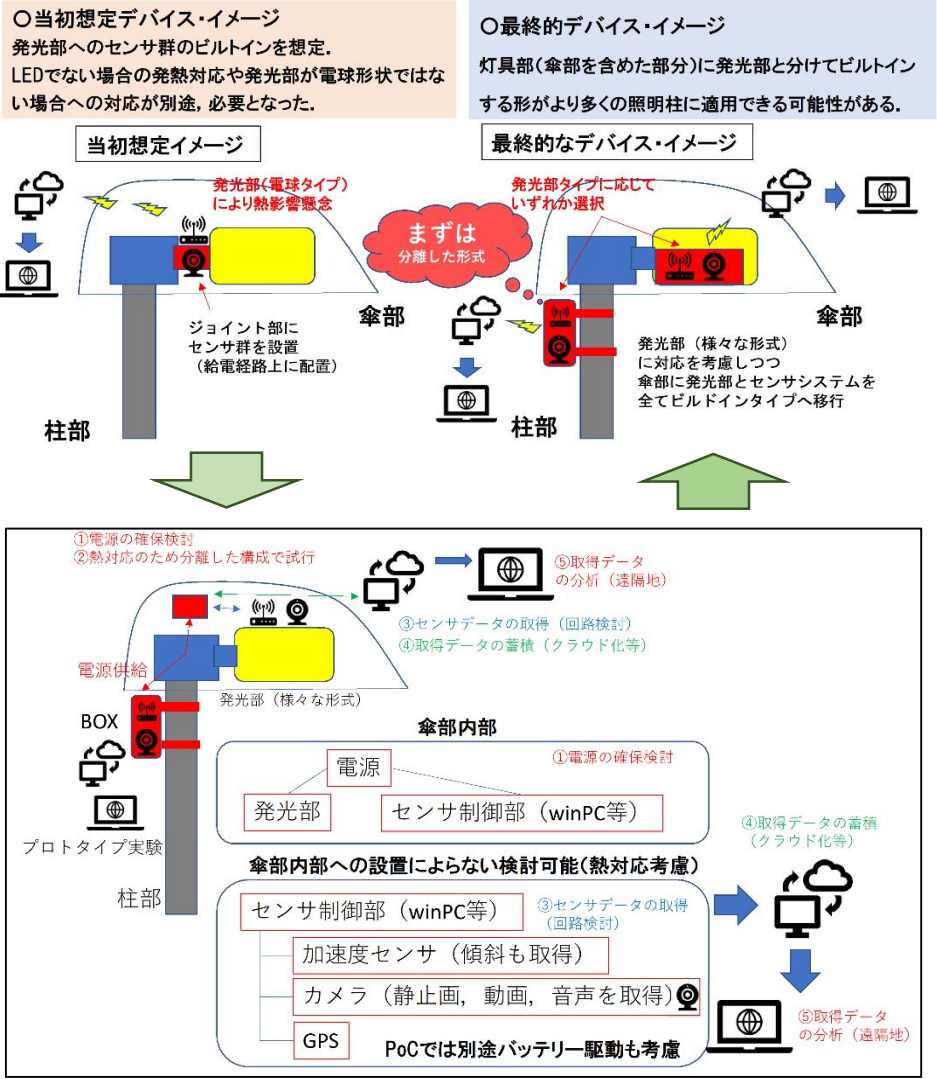


図-4.48 最終型及びプロトタイプ版スマートバルブイメージ

(4) プロトタイプ版スマートバルブの設置位置

スマートバルブの特徴として、通常得ることが難しい鳥瞰的な視点から得られる情報の取得に加えて、複数のスマートバルブによる面的な情報の取得、広域的な構造物それぞれの対比情報の取得などが挙げられる。また、地面に埋め込まれている照明や構造物（橋梁、トンネル、ダム等）に埋め込まれている照明に複数設置することで、対象構造物の形状変化や変位等の情報を捉えることもある。今回は、先に示すスマートバルブの特徴を検証する、橋梁、トンネル、擁壁、街路灯や付属物等を監視できる位置にプロトタイプ版スマートバルブを設置し、性能検証やバージョンアップに帰する情報の取得を行う。プロトタイプ版スマートバルブの設置位置は、広域、面的、関連データとの対比等の条件を満足する機器の設置位置を図-4.49に示す。今回の検証は、スマートバルブが空港基本施設である滑走路、エプロン、滑走路を支える海上構造物などにも展開が可能か、そのためには何が必要か等も行えるようなデータ取得、検証を行う。以下に、プロトタイプ版スマートバルブの実証実験位置選定の要点を取り纏めた。

①将来の展望を踏めた実証実験位置の選定

- 広域的な情報を取得を考慮した位置選定
- 面的な情報を取得を考慮した位置選定
- 最終的に多くの適用が進んだ際の形状変化の情報を取得を考慮した位置選定

②関連する計測とのデータ対比を踏まえた位置の選定

- 羽田スカイアーチの計測結果との対比により、計測精度などの検証を行うことが可能なことを考慮し羽田スカイアーチ近傍で設置

③対象橋梁の重要度を踏まえ位置の選定【令和3年度委員会で検討した観点】

- 重要度が高い橋梁（ターミナル北連絡橋ほか）に設置

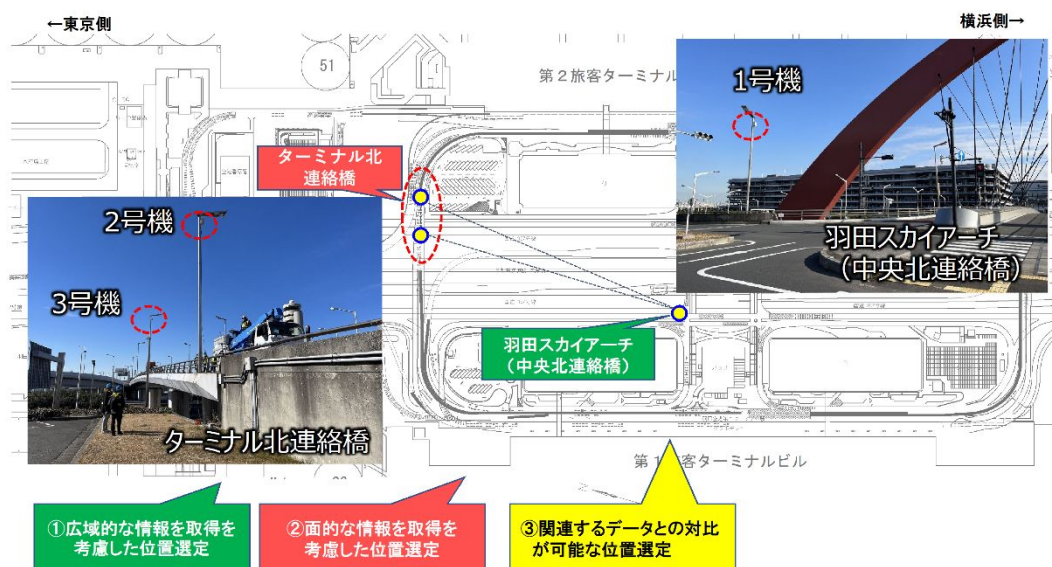


図-4.49 プロトタイプ版スマートバルブの設置位置

(5) プロトタイプ版スマートバルブの開発

プロトタイプ版スマートバルブは、新たなアイデアによる構造物監視装置である。スマートバルブ開発目的を達成するためには、搭載する計測器の選定、各計測器の性能検証、関連システム的设计を行うことや最先端の技術と試行を活かす考えを基に、現地に適合し、適切に効能する装置とすることが求められ、今回は、初期モデルの開発と現地検証である。プロトタイプ版スマートバルブは、外観、形状や機能、動作を的確に実証することが可能な構造、システムであることが求められ、設計や機能の検証、改善のためのフィードバック情報の収集、管理者からの要望の反映などの目的で現地フィールドを使って試行するものである。プロトタイプ版スマートバルブは、加速度センサー、デジタル・音声カメラ、超小型 PC、IoT ルーター、GNSS 通信モジュールを一体化し、街路灯灯柱の頭部に設置できるようにプラスチック製箱に収納されている。図-4.50 にプロトタイプ版スマートバルブの計測機器構成、外観、システム構成概要などを示す。

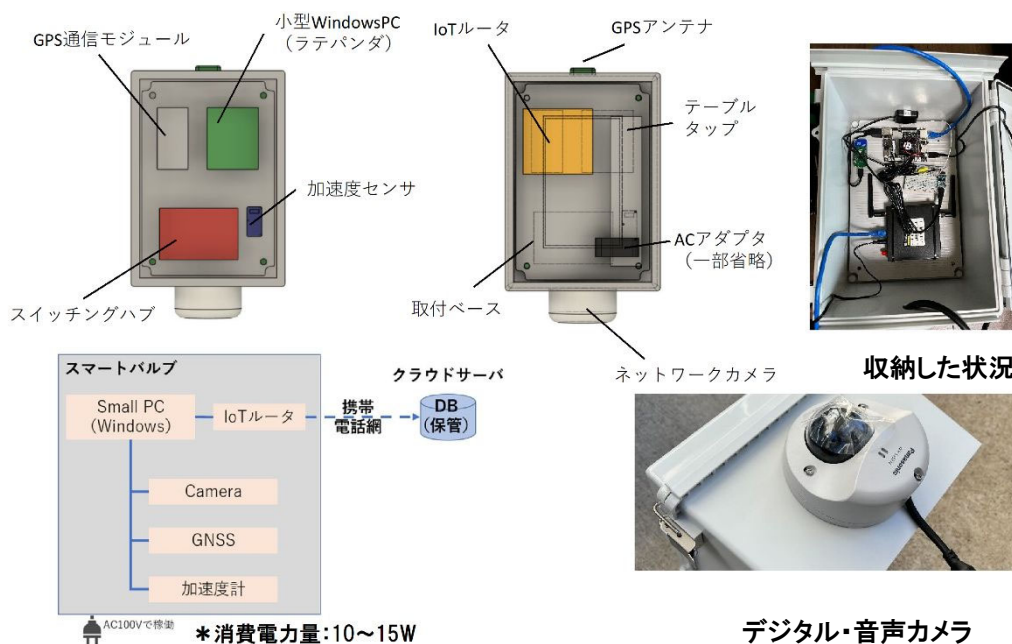


図-4.50 プロトタイプ版スマートバルブの開発状況

(6) スマートバルブによる遠隔監視システム

プロトタイプ版スマートバルブは、図-4.50 に示す計測、データ保存・転送、位置情報などの取得データを IoT ルーターによってクラウドサーバーに伝送され、クラウドサーバーにデータ保存された管理者が必要とするデータの閲覧や非常時警告が行えるシステムである。今回製作、試行するプロトタイプ版スマートバルブの現地機器、データ分析システ

ム、クラウドサーバーのデータ保存、管理者の閲覧についてイメージしやすいように図-4.51 に関係図を示す。スマートバルブによって計測したデータは、別途に構築中の「東京国際空港インフラマネジメントクラウド」にデータが集約され、何時でも誰でもが閲覧することが可能な仕組みである。なお、施設管理データとの連動や現況把握がリアルタイムで閲覧が可能であることから、セキュリティー上マネジメント画面を確認可能者にはID とパスワードが付与される。

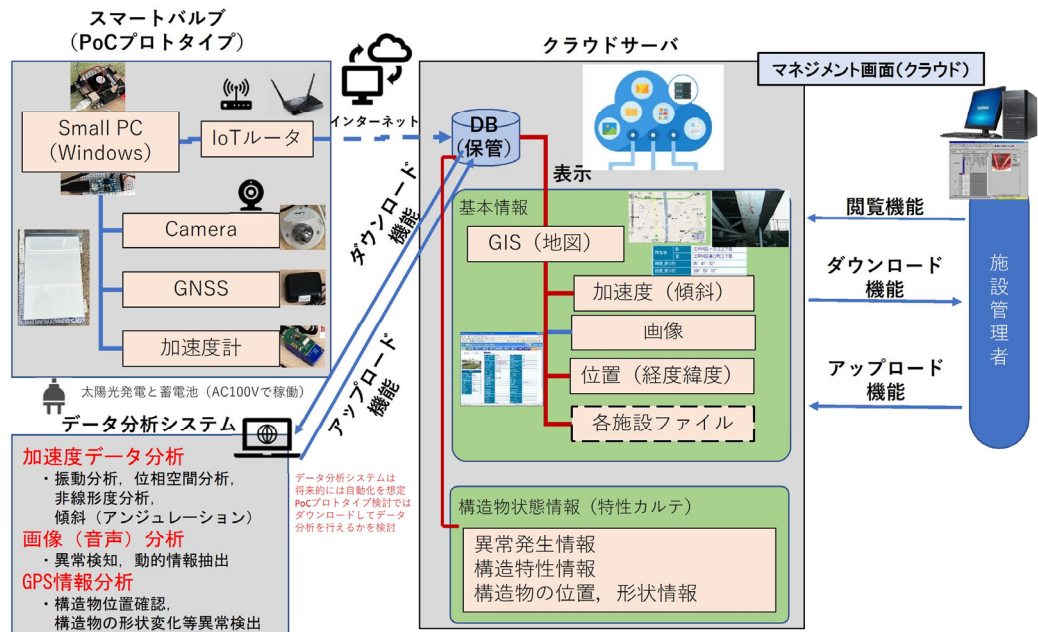


図-4.51 プロトタイプ版スマートバルブ機器構成とシステム概要図

(7) プロトタイプ版スマートバルブの試行結果

スマートバルブに搭載しているカメラ画像（10分に1枚撮影）を図-4.52 に示す。

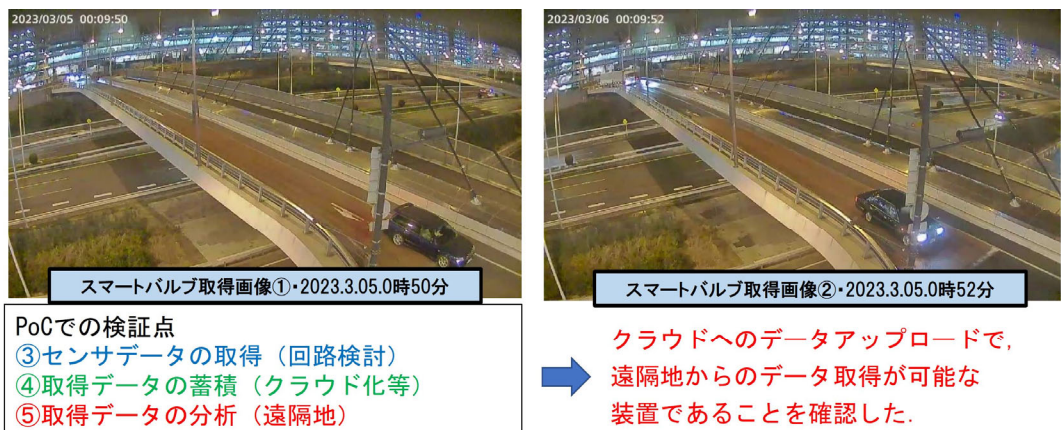


図-4.52 プロトタイプ版スマートバルブのネットワークカメラ機能検証

現地で取得しているカメラ画像は、クラウドにデータアップロードされ、何時でも何処でもデータ取得、確認であることを確認した。これによって、自然災害発災時や該当エリア内で発生する種々な状況をリアルタイムで確認することが可能となった。

また、スマートバルブに搭載された加速度センサ（サンプリング周波数 200Hz）による1分間の計測データを図-4.53 に示す。取得した加速度データは、いずれのデータも精緻に取得されており、信頼性が高い。これらデータによって振動パターンや周波数ス

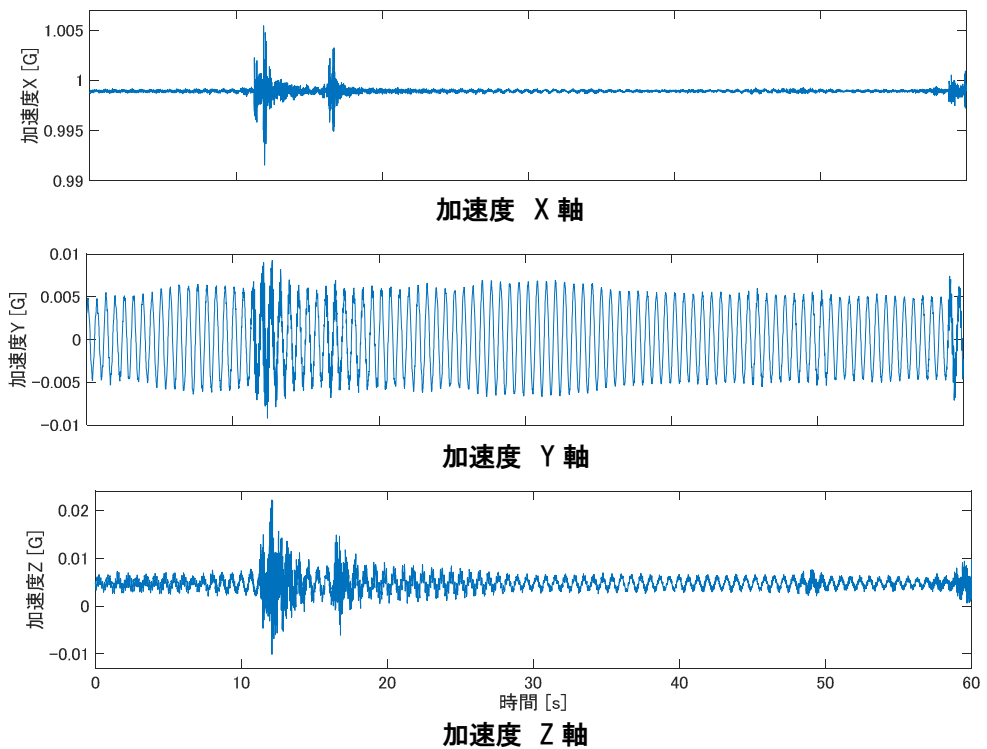


図-4.53 プロトタイプ版スマートバルブの加速度データ取得機能検証

スペクトルを解析し、構造物に発生する変状を検出する。また、振動データによる位相空間分析や非線形分析によって構造物の挙動を位相空間上に可視化し、状態解析、構造物の安定性評価に活用が可能となる。図-4.54 に取得した振動データを示す。

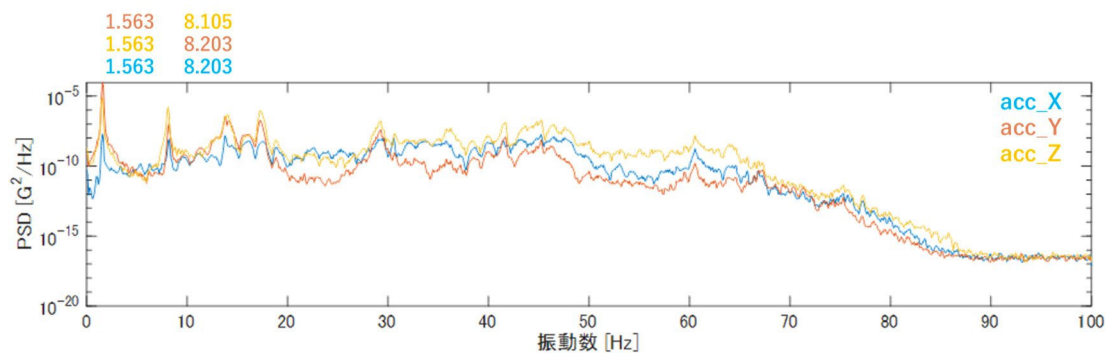


図-4.54 プロトタイプ版スマートバルブより取得した振動データ

また、加速度を使って構造物の傾斜角を求めることが可能であり、スマートバルブに搭載された加速度センサ（サンプリング周波数 200Hz）を用いて取得した、傾斜角度の1分間のデータを図-4.55に示す。構造物が地盤変動や近接施工によって移動、変位した場合、その挙動を傾斜角から求めることが可能となる。

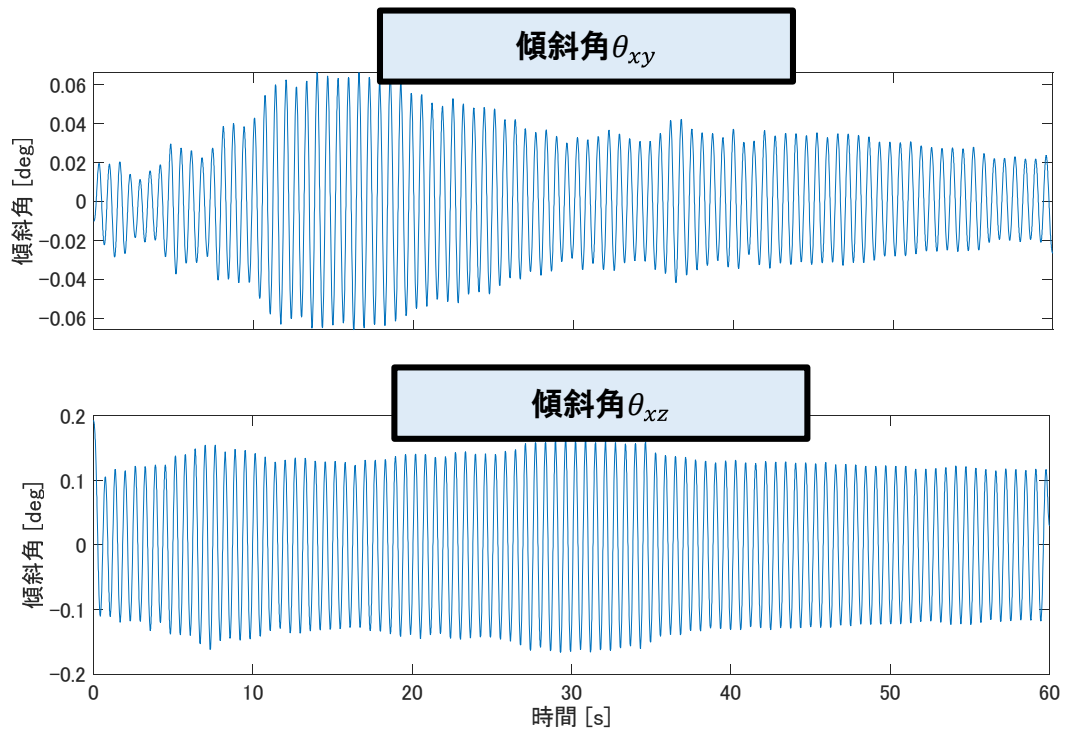


図-4.55 プロトタイプ版スマートバルブの傾斜データ取得機能の検証

(8) スマートバルブを用いた遠隔監視モニタリングの試行結果のまとめ

今回、スマートバルブ開発の第一ステップとして、プロトタイプ版スマートバルブの製作、システム構築、現地フィールドにおける試行、検証を行った。今回の検証で、スマートバルブ開発の目的である構造物等監視、街路灯の灯柱変状（基部変状含む）、橋梁・トンネル・擁壁等の変状、地震力の推定、音声分析などに活用が可能であることが確認できた。また、カメラ画像、加速度データ（傾斜データ）、位置情報などの情報をクラウドへデータアップロードされ、任意の位置でのデータ取得、閲覧が可能であることが確認できた。

今回の検証で明らかとなった課題としては、取得データが照明柱の振動に影響することから、振動によるデータへの影響をクリーニングする機能が必要と判断する。また、他のインフラスマートマネジメント技術や装置等との連携行い、より効率的・効果的なシステムへのステップアップが必要である。

4.4 耐久性向上スキルとなるウルトラファインバブル水（UFB水）による構造物洗浄

4.4.1 構造物洗浄の目的

○構造物洗浄の目的（期待する効果）

- ・付着塩分及び付着物（土砂、塵埃等）の除去による塗装耐久性（桁部）の向上
- ・付着物（土砂、塵埃等）の除去による塗膜外観の改善、耐久性向上
- ・堆積物除去による腐食環境（桁端部付近）の改善
- ・近接目視点検精度の向上（+点検作業環境の改善）

4.4.2 構造物（橋梁等）洗浄試験施工による確認結果

UFB水による構造物洗浄は、現状の工事要件から洗浄回数を1回とする洗浄条件下において、吐出圧を3MPaとすることで、十分洗浄効果が得られることを試験施工で確認した。洗浄回数1回で吐出圧3MPaの根拠を図-4.56に示す。

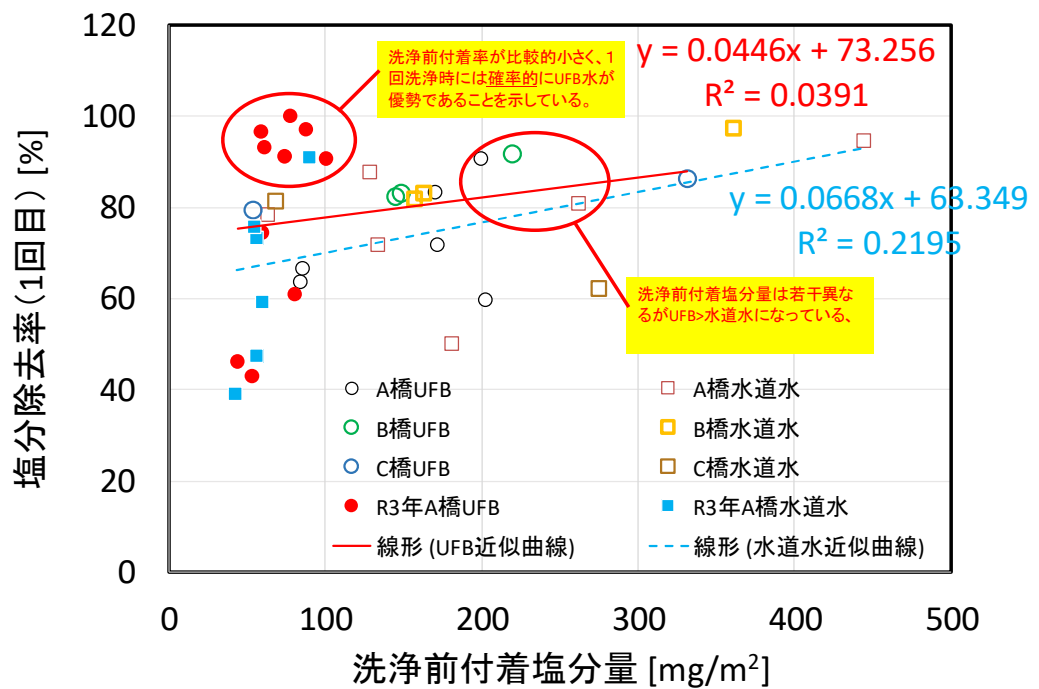


図-4.56 塩分除去率と付着塩分量の関係（1回目洗浄）

4.4.3 構造物洗浄マニュアル（案）の作成

UFB 水による道路橋（防食塗装橋梁）の洗浄方法は、基本は図-4.57 の左側に示す桁ウェブ面垂直方向（縦方向）200mm ピッチで洗浄速度 200/mm 秒で上から下に向かってノズルを移動する方法で行う。なお、桁端部等の垂直方向移動が困難な場合は、図の右側の方法で洗浄を行う。UFB 水による構造物洗浄に使用するノズルは、ノズル B を基本とする。また、洗浄の基本となる UFB 水生成は、原則、気液混合せん断方式（旋回液流方式）による装置とするが、生成装置選定には、一般社団法人ファインバブル産業会が製品審査し、FBIA 製品認証登録された装置とする。なお、構造物洗浄の十分な成果を確保するために必要となる UFB の個数濃度を 2.0 億個/ml 確保して使用することを原則とする。

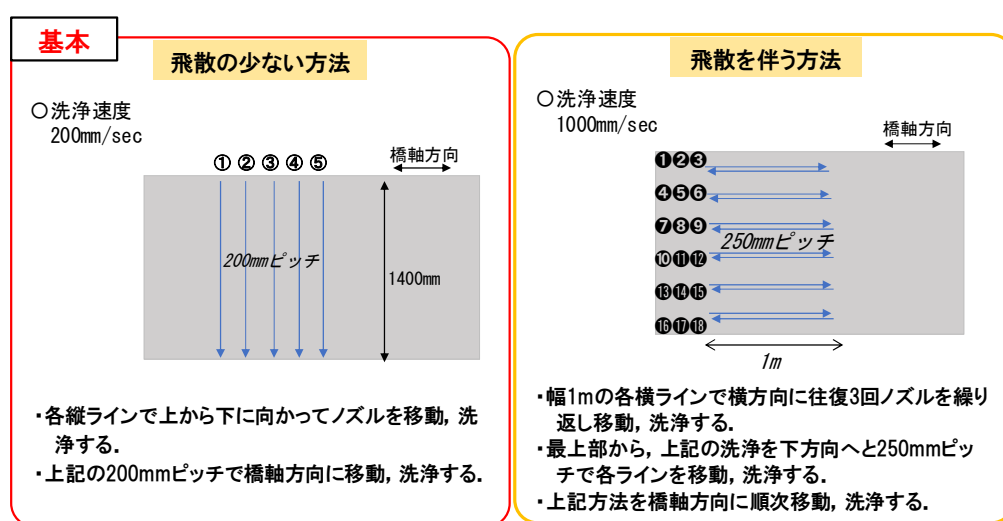


図-4.57 構造物洗浄方法

4.4.4 鋼橋における洗浄のサイクル（案）

基本的な UFB 水による供用下の鋼道路橋（既設鋼道路橋）鋼部材塗装面の塩分平均付着量 $100\text{mg}/\text{m}^2$ を閾値とし、この値を超えた時点で塗装面全体の UFB 水による洗浄を行うこととする。また、供用下の鋼道路橋を対象とした UFB 水による洗浄必要性の判断は、構造物の付着塩分量の調査結果に基づき決定することを原則とした。

次年度以降、既設鋼道路橋を対象に順次 UFB 水による洗浄を行うことによって、管内全ての鋼道路橋塩分付着量は基本 80%以下（概ね $60\text{mg}/\text{m}^2$ 以下）となり、既設塗装の延命化となることから耐久性も向上する。令和 4 年度に実施した、前年度 UFB 水によって洗浄した箇所の付着塩分量調査結果では、 $19\text{mg}/\text{m}^2/\text{年}$ の付戻りが確認された。また、建設後約 30 年経過するターミナル北連絡橋、ターミナル南連絡橋、エアサイド連絡橋で実施した未洗浄箇所の付着塩分量調査では、平均で $153\text{mg}/\text{m}^2$ の塩分量が確認された。両調査結果を基に付着塩分量と供用経過年数の関係を推定した結果を図-4.58 に示す。

図-4.58 より、UFB 水洗浄必要付着塩分量閾値を $100\text{mg}/\text{m}^2$ とすると、必要洗浄サイクル（UFB 水洗浄 1 回実施）は 15 年となる。洗浄のサイクルは構造物の付着塩分量の調査に基づき決定するものとした。

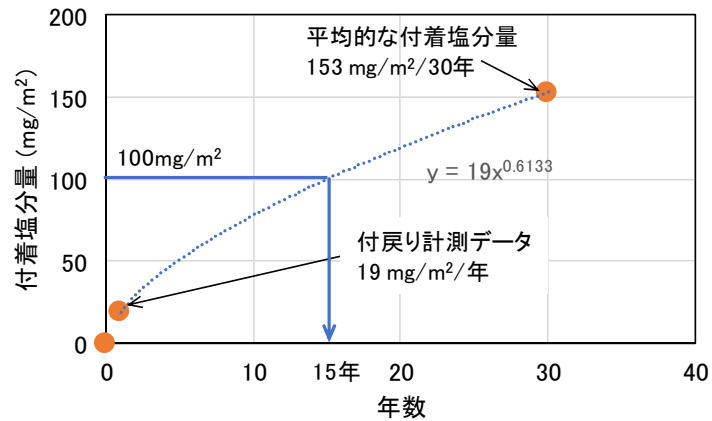


図-4.58 付着塩分量と年数の関係を推定グラフ

なお、令和 5 年度以降令和 4 年度洗浄箇所を対象に塩分付着付戻り調査を行い、データを蓄積することで、より合理的に洗浄サイクルを設定することが可能となると判断する。

また、令和 3 年度には、鋼構造物の洗浄以外コンクリート構造物を対象に洗浄効果に関する試験施工を行ったが、一定の効果を確認できない結果となった。空港土木施設のうち鋼構造物は限られており、多くは鉄筋コンクリートもしくはプレストレストコンクリート製であることから、令和 5 年度以降、コンクリート構造物、化学繊維、ゴムなどについても、UFB 水による洗浄試験を行い、効果が認められる種々な材料に洗浄を拡大することでコスト縮減、地球環境保全に大きく寄与することから、本件を継続検討事項とする。

4.5 データベース・マネジメントシステムの検討

東京航空局職員への道路施設維持管理についてヒアリングした結果を踏まえて、円滑な維持管理業務の遂行のための課題を整理し、巡回点検、定期点検、緊急点検及び詳細調査結果、措置結果等を一元管理できるデータベースシステムの検討を行った。

4.5.1 課題と要望事項

今回の課題抽出は、日常点検（巡回点検）、維持管理データの保存、活用及び自然災害発災時の臨時点検などを主として、現状の課題と要望についてヒアリングから把握した結果を示す。

① 現状の課題について

- データの保管・管理の課題
 - ・業務（内業）効率化の改善
 - ・履歴の閲覧、把握に長い時間が必要
- 情報伝達及び対応の課題
 - ・巡回点検の高度化（ICT活用）
 - ・輪番制度など勤務の特殊性による確実な対応の困難性
- 自然災害発災時の課題
 - ・道路施設以外の空港基本施設の対応など、即時点検・診断、報告の困難性

② 要望について

- 巡回点検を高度化（ICT活用）することで発生している変状を早期に検知し、適切に対応したい。
- 位置の情報は、世界測地系座標と空港座標との両方の把握が必要である。

4.5.2 内業の効率化と損傷の早期検知と対応したインフラマネジメント手法の検討

課題と要望事項を踏まえた、インフラマネジメント手法について、以下及び図-4.59に示す。

- ① 日常パトロール・巡回点検の高度化
- ② 巡回点検の効率化
- ③ 定期点検・緊急点検の支援・活用
- ④ 戦略的メンテナンスに必要な関連資料保管庫の整備
- ⑤ インフラマネジメント支援

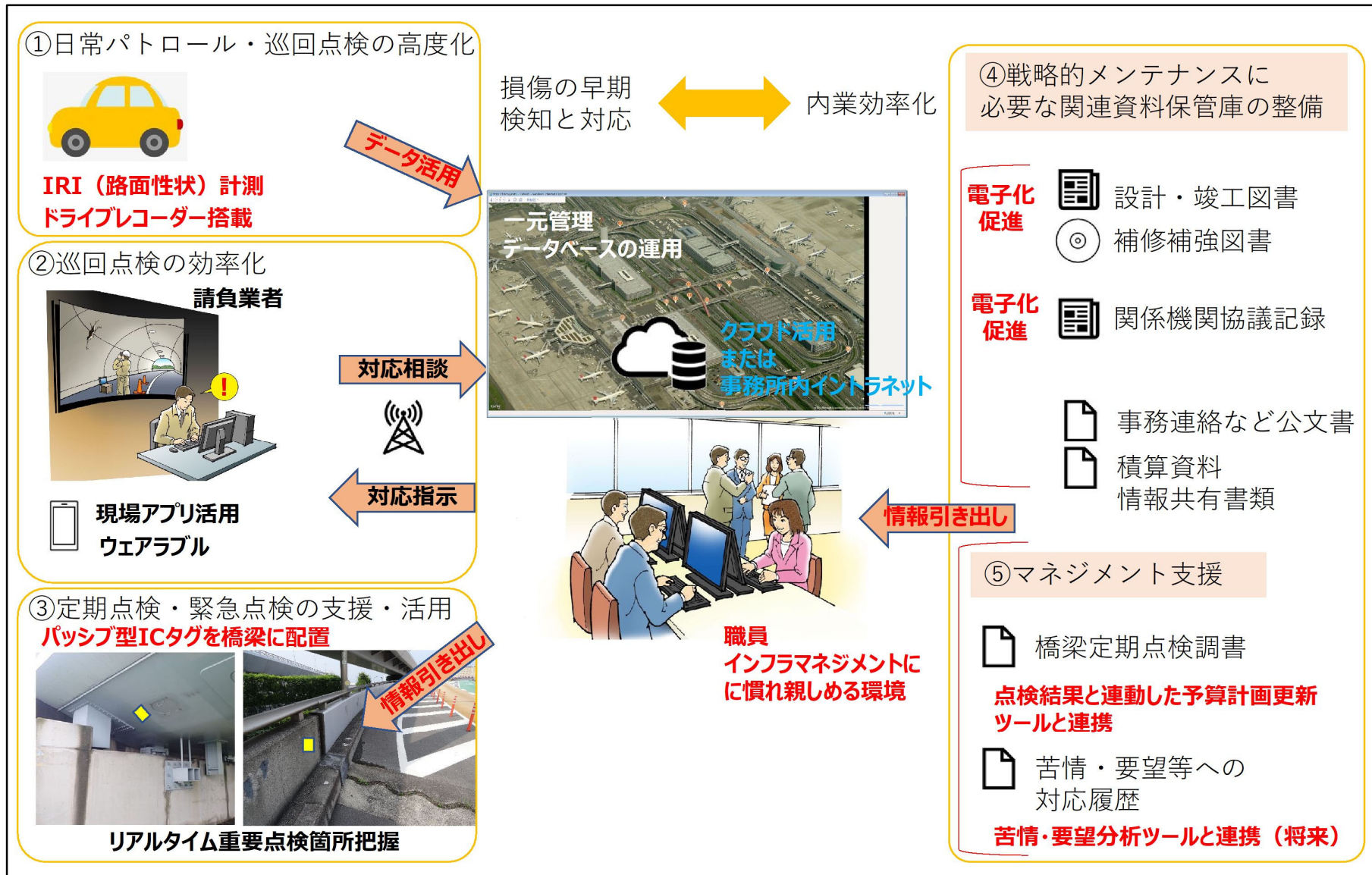


図-4.59 内業の効率化と損傷の早期検知と対応したインフラマネジメント手法の検討

4.5.3 効率的・効果的なインフラマネジメントを行うためのシステム開発の方向性

データベース開発の方向性としては、図 4.59 に示す標準的なデータベースに加えて、今回試行、検討を行っている先進的センシング機器等を使用した構造状態監視（羽田スカイアーチ、スマートバルブなど、既設橋梁の挙動の把握に資する基礎データ）について、羽田空港管内のインフラマネジメントに活用できるようクラウドデータベースの構築と連携し、今後、外部のメンテナンス従事者などに対して、利活用が促進されることに配慮し、拡張性を考慮した。

今回構築した「東京国際空港インフラマネジメントクラウド（仮称）」を図-4.60 に示す。「東京国際空港インフラマネジメントクラウド（仮称）」には、令和3年度構築した道路施設データベースシステムを柱として種々な要望に対応が可能となるようクラウド版データベースにステップアップしている。クラウド版データベースとした理由は、今回委員会で審議、検討を行い、現場実装が可能なレベルまで到達した3Dデジタル野帳、先進型巡回点検車両などから提供される各道路施設のデータ、4Sプランの各センシング（羽田スカイアーチ群及びプロトタイプ版スマートバルブ）から得られる変状・変位データ等を一元化し、PCディスプレイに見える化した現状を管理者が閲覧し、日々のメンテナンスに活用できるシステムである。さらに、今回構築しているシステムは、新たに新築、改築、補修、補強を行った関連データ等を職員自らがアップロード、ダウンロードが可能なクラウド版マネジメントシステムである。

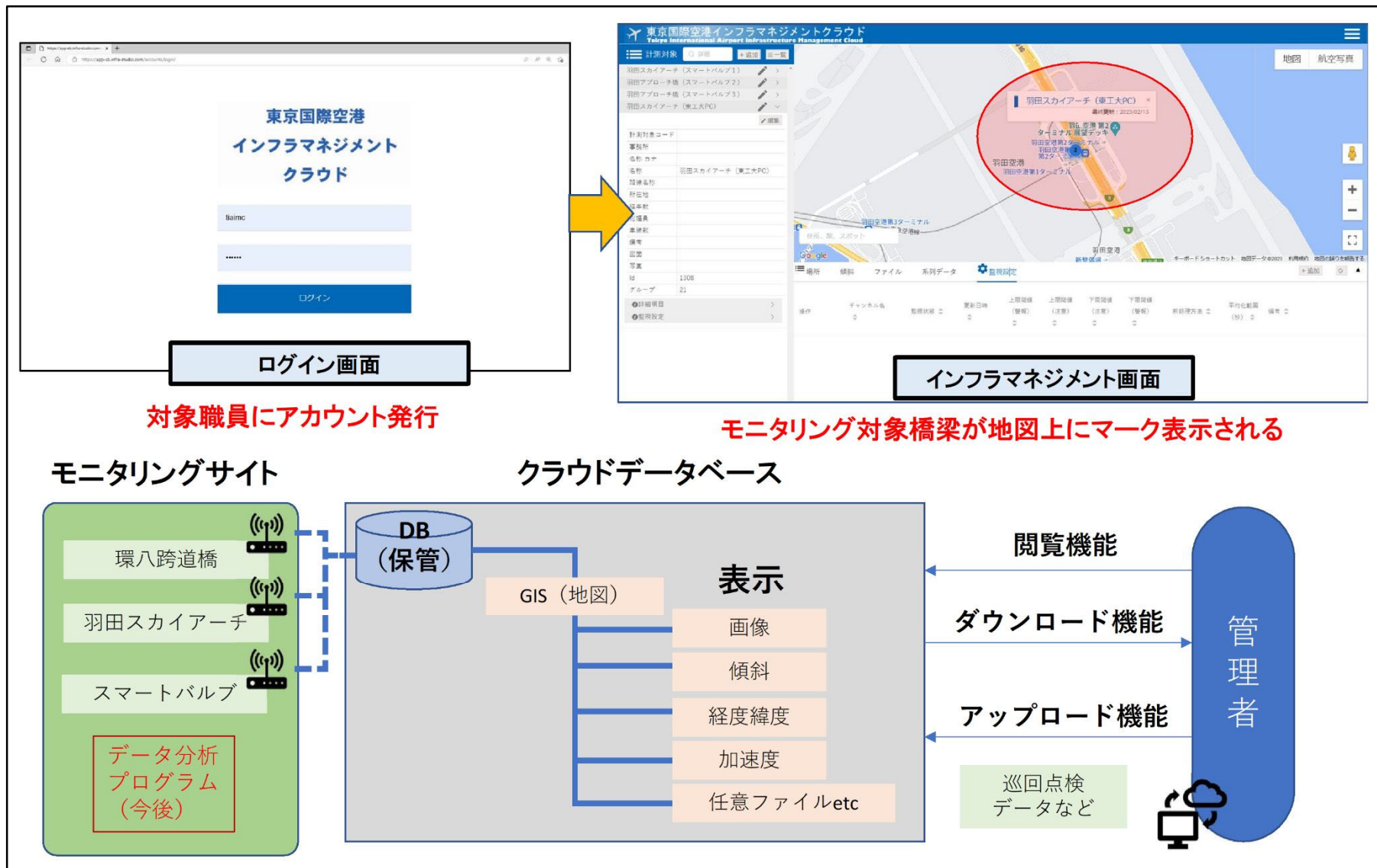


図-4.60 東京国際空港インフラマネジメントクラウド（仮称）の試行

今回構築した「東京国際空港インフラマネジメントクラウド（仮称）クラウド」データベースについて、ログイン以降の流れと主要な機能について概要を示す。

第一に本システムへの個別 ID と個別パスワードを使ったログインページを図-4.61 に示す。

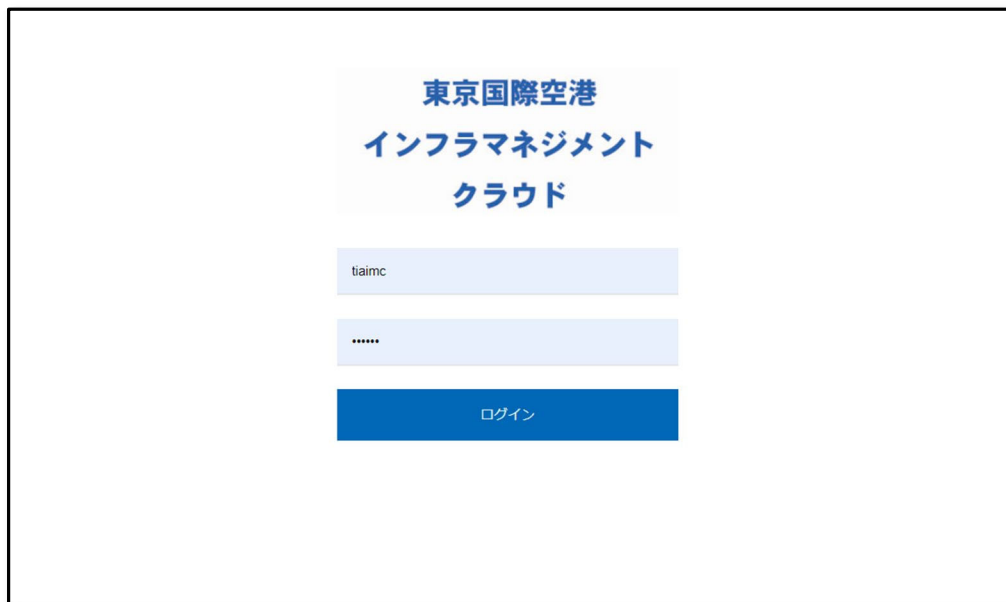


図-4.61 クラウドデータベースのログインページ

システムにログインすると、図-4.62 に示すトップページ（全国地図）が表示され、データベースが構築されている地点及び地点一覧を表示する。今回は、羽田空港を対象としているが、その他に同様なデータベースを構築すると表示箇所が増える。

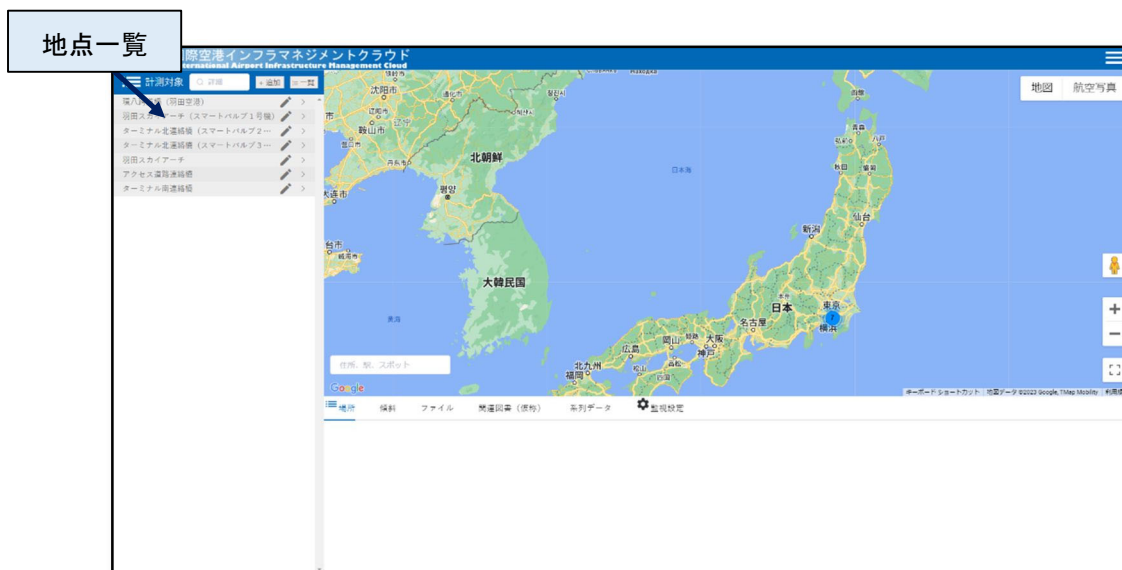


図-4.62 クラウドデータベースのトップページ

データベーストップページの左側地点一覧から必要箇所をクリック、例えば左上の環八跨道橋の欄をクリックすると、選択箇所の地図が図-4.63 に示すようにクローズアップされ、当該箇所にて保存されている情報一覧が表示される。選択した箇所は、画面中央にセンタリング表示される。



図-4.63 個別施設のクローズアップ例

情報一覧から知りたい情報について確認したい場合は、表示されている情報一覧から選択し、画面表示させる。例えば、環八跨道橋において実施した載荷試験のデータの中から、主桁の傾きデータを表示させる場合には、図-4.64 に示す1→2の操作を行うと、求めているデータが図-4.65 に示すように表示される。

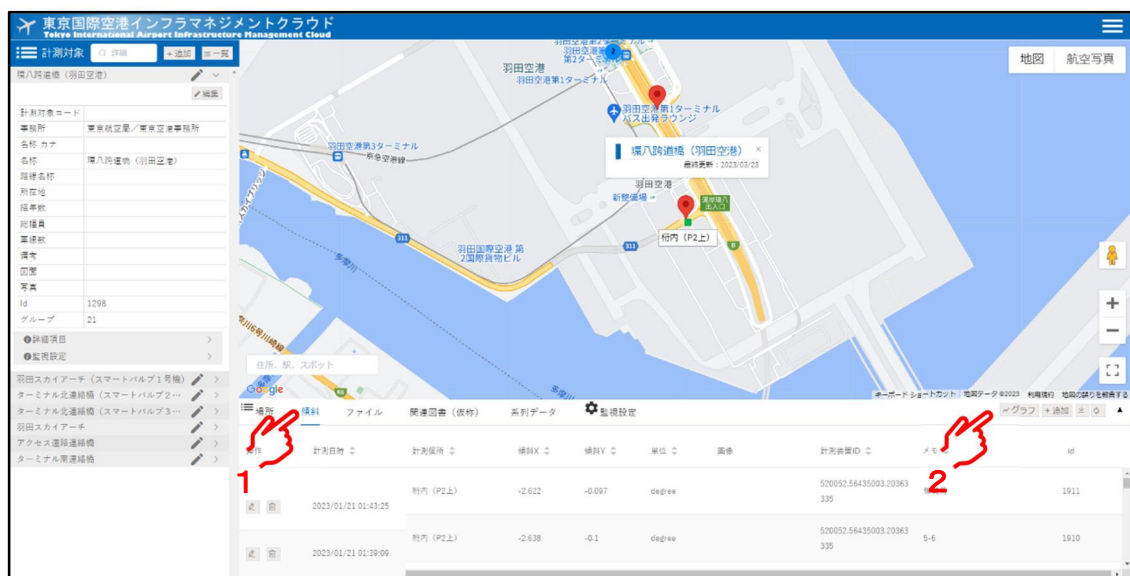


図-4.64 個別施設の格納データ閲覧の例 (計測データ)

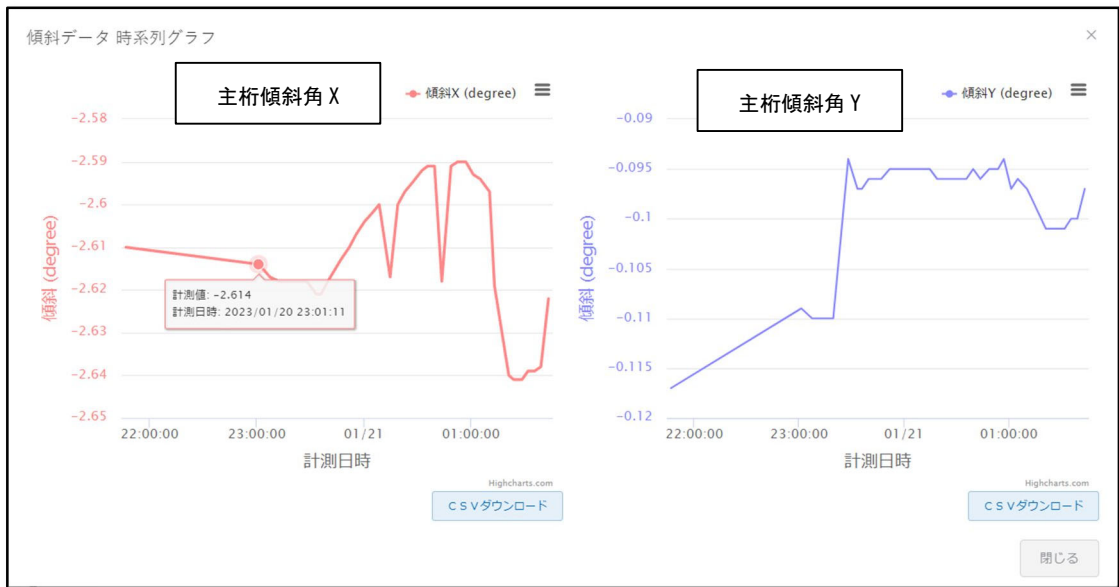


図-4.65 個別施設の格納データ閲覧の例（計測データ）

ここまで示した検索は、特定箇所のインフラスマートマネジメントに係る情報検索であり、次年度には、特定橋梁の自然災害時の必要点検箇所の表示、震度階に応じた被害程度（特定部材等）を機能として追加する予定である。

次に、データベース機能について紹介する。図-4.66 に示す1→2の操作にて、図-4.67 に示すように橋梁台帳など維持管理データ格納へのリンクが可能となる。データは、いつでもダウンロードが行える。ここでは、一部を表示する。

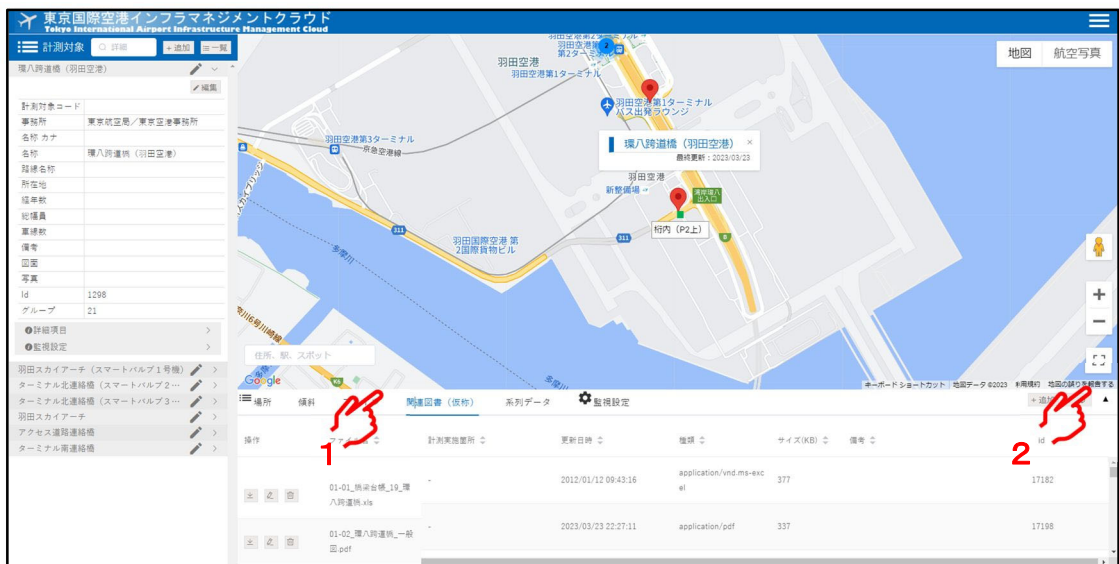


図-4.67 個別施設の格納データ閲覧の例（維持管理に関する関連図書）

データベースに格納されたファイルから必要とするファイルを選択すると図-4.68 に示すように必要ファイル、ファイル内容が表示される。

操作	ファイル名	調査実施箇所	更新日時	種類	サイズ(KB)	備考	id
📄 🗑️	01-01_橋梁台帳_19_環八跨道橋.xls		2012/01/12 09:43:16	application/vnd.ms-excel	377		17182
📄 🗑️	01-02_環八跨道橋_一般図.pdf		2023/03/23 22:27:11	application/pdf	337		17198
📄 🗑️	02-01_点検の手引き_環八跨道橋.xdw		2023/03/23 22:08:53	application/octet-stream	9729		17183
📄 🗑️	02-02_デジタル野帳_環八跨道橋.zip		2023/03/23 22:36:46	application/zip	171879		17217
📄 🗑️	03-01_環八跨道橋_定期点検調査H29.xdw		2022/07/13 00:02:21	application/octet-stream	18277		17197
📄 🗑️	04-01_下部工完成図_H01共同溝等築造工事_断面.xdw		2012/11/22 16:49:39	application/octet-stream	30401		17185
📄 🗑️	04-02_下部工完成図_H01共同溝等築造工事_特記仕様書.xdw		2012/12/14 18:14:31	application/octet-stream	2673		17186
📄 🗑️	04-03_H02環八跨道橋上部工事_断面.xdw		2022/09/22 14:04:08	application/octet-stream	7909		17193

図-4.68 個別施設の格納データ閲覧の例（維持管理に関する関連図書）

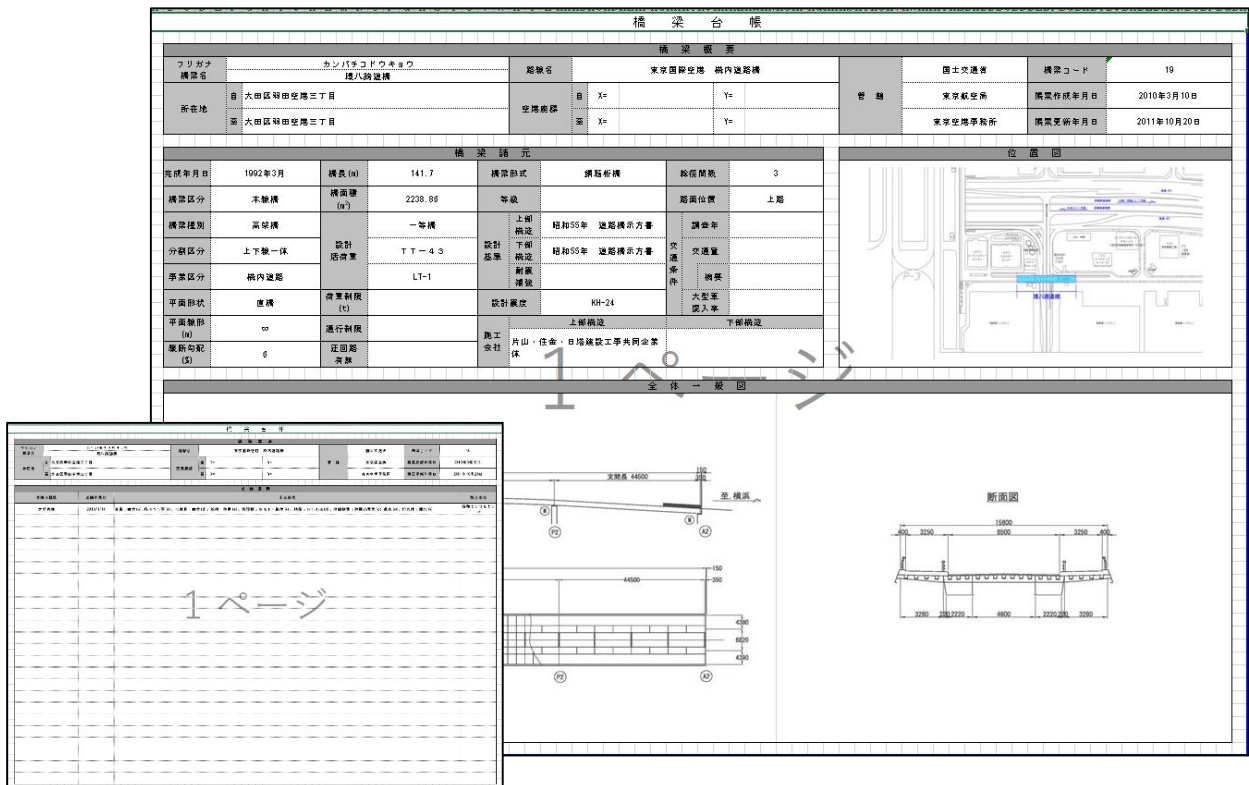


図-4.69 格納された橋梁台帳表示例（基本諸元、定期点検）

4.5.4 令和5年度のデータベース・マネジメントの試験的導入について

ICT技術の急速な進歩によって、従来の自己所有型データベースからクラウド型データベースに移行している。クラウドの利点は、サーバーやソフトウェアなどの購入や管理が不要となり、利用量に応じた費用発生するため、無駄な支出を抑えるコスト縮減となる。また、クラウドでは、ニーズに応じて容易にリソースを増減させることができることから、その時々々の要求に応じて、スピーディーかつ柔軟に対応が可能となる。特に、インターネットによる接続であることから、アクセシビリティとコラボレーションに優れ、インターネット環境とデータ端末さえあれば、何時でも何処でもシステムやデータにアクセスすることができることから、時間や場所の制約を受けず、データやファイルの共有や共同編集も容易に行うことが可能となることから、職場内の一体性や生産性を向上させることが可能となる。欠点としては、データ通信の混雑による非効率性、運用管理不足によるセキュリティリスク、管理・運用コストが増加する可能性、カスタマイズ制限、社内システムと連携困難などが想定される。しかし、ICT社会の急速な進歩に対応し、現状の東京航空局や羽田空港事務所における省内ネットワーク環境を考えると、単独で稼働する全土木系施設を対象としたインフラマネジメントシステムの構築を視野に入れた試行を行うことが望ましい。