

# 社会基盤の安全と快適を支える鉄構製品のサービス技術

The Technical Service on Steel Structures to Support the Safety and Commodity for Establishing the Infrastructures

小 村 卓 郎      佐 々 木 章 文  
野 田 整 一      宮 田 紀 明



近年の社会環境の変化や時代の流れの中で、限りある資源を安全に、かつ有効に使うための既存設備の維持・延命化技術の開発、及びお客様に設備を安心して使用いただくためにITを利用したアフターサービス技術の開発を行っている。橋梁遠隔モニタリングシステムでは、橋梁の維持管理に有効なデータが橋梁から遠くにある管理場所で一括管理できるように考えて開発した。ダムの水門においては、精度の高い鋼板の板厚測定を可能とした技術により劣化・余寿命診断を定量化した。さらに、故障復旧支援技術としての港湾におけるクレーンの遠隔モニタリングシステムを実用化し、故障未然防止のための予知機能も含めた機械式駐車場の遠隔監視システムを開発した。

## 1. はじめに

サービスには色々な定義があるが、万一故障したらいかに速やかに修理できるかという技術（事後保全）、さらに一歩進んで故障の予兆を検知し、故障する前に対策を講じて故障させない技術（予防保全）もサービスとして考えている。また、故障という範ちゅうには含まれないが、鋼構造物でも経年劣化への対策は必要である。

これらの広範囲なニーズにおいて、お客様が安全に快適にそして喜んで使用いただけるようにサービス技術の開発に取り組んでいる。

## 2. 鉄構製品のサービス技術

鉄構製品のサービス技術の一端として、以下では社会インフラへの取組みとして橋梁の維持管理に有効な橋梁遠隔モニタリングシステムとダムの水門における劣化・余寿命診断技術、さらに、産業と生活に密着した取組みとして港湾におけるクレーンの遠隔モニタリングシステムと機械式駐車場の遠隔監視システムについてその事例を紹介する。

### 2.1 橋梁の遠隔モニタリングシステム

近年、老朽化し始めた社会資本の現状と公共事業縮減などの社会背景のもと、構造物の保全を中心とした維持管理への関心が高まっている。特に大型車輛・交通量の増加などの様々な原因で老朽化が進んだ橋梁において通行者の安全確保が重要な課題である。一方、公共事業予算が年々厳しくなっている状況で維持管理を進めるには、異常や破損等の早期発見、迅速な対処を前提とした点検方法の適正化による点検作業の合理化及び効率化が求められている。このような要求にこたえるために通信情報技術を応用し、既存の公共通信網と市販製品で構成できる廉価で汎用的なモニタリングシステム

を開発した。

#### 2.1.1 システム概要

橋梁遠隔モニタリングシステムは、現地でセンシングしたデータを定期的にNTTドコモのポケット通信網（DoPa網）を利用してデータセンタに送り一括管理する。集められた管理データは逐次加工処理され、橋梁の管理者が挙動変化をとらえやすい形にレイアウトしたWeb画面を作成する。インターネットに接続されたパソコンがある環境ならば、いずれの場所でもこのWeb画面を閲覧して監視可能とするものである。

検証試験で実施した橋梁遠隔モニタリングシステムでは、橋梁の監視項目として種々ある中で、表1に示した主要な4種類の項目を取り扱った。

現地側のシステムをフィールドサーバと呼び、表1に示したセンサがフィールドサーバに専用のI/Oユニットを介して接続されている。このモニタリング装置の特徴は、記憶媒体に冷却ファンが不要なコンパクトフラッシュを採用しているので耐環境性に優れている。またLinux等のOSを使用できるので、データ収集だけでなく独自に開発したドライバを搭載し、端末としてデータ制御を行っている。

表1 監視項目例

監視項目	使用センサ	内 容
振 動	加速度センサ	車輛が橋梁を通過する時に発生する振動を計測する
変 位	変位変換器	橋梁の支承部における伸縮量を計測する
温 度	熱 電 対	橋梁の支承部の温度変化を計測し、変位量との関連を調べる
状 態	CCDカメラ	現地画像の定期的取り込み及び震度計測と連動した取り込みを行う

センサからの入力信号は、フィールドサーバに接続されたNTTドコモの packets 通信リモート端末から送信され、“DoPa” 網を經由しデータセンタにある通信サーバと呼ぶ装置に送られる。通信サーバは送られてきた各種データの中から橋梁に関係あるものだけを橋梁モニタリング用のサービスサーバと呼ぶ装置に受け渡すようになっている。

サービスサーバは主に受信データを保管するデータベースとなり、利用者のリクエストに対応した Web 画面を作るファイルの自動生成を行う。利用者は Web ブラウザとして利用可能なパソコンから、インターネット経由でサービスサーバの Web へアクセスして情報を得る。

橋梁遠隔モニタリングシステムの構成を図 1 に、同システムの監視画面例を図 2 に示す。

### 2.1.2 特長

本システムの特長は以下のとおりである。

- (1) 経済的な計測システムを継続して提供できるよう、すべて廉価な汎用機器で構成し同等製品であるならば機器の置き換えが可能。
- (2) NTTドコモの packets 通信 “DoPa” 網を使用したことにより、携帯電話網と同様、ほぼ全国をカバーできる。
- (3) インターネットに接続されたパソコンで ID とパスワードを入力すれば、場所と時間に制約されず監視状況を閲覧可能。
- (4) センサと計測方法の組合せで橋梁だけでなく多彩な製品分野の計測用途に対応可能。
- (5) カメラによる状態監視だけでなく、計測データの演算処理結果でカメラを制御することが可能。

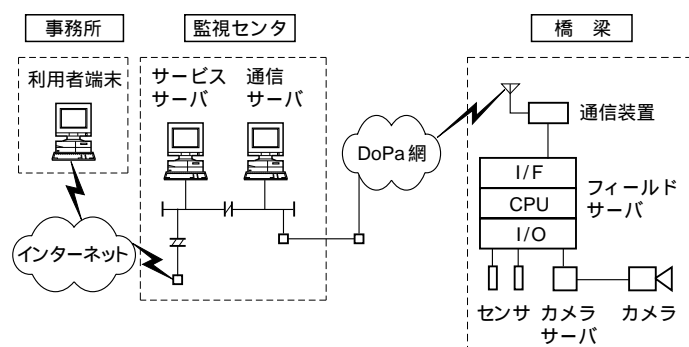


図1 システム構成



図2 監視画面例

### 2.1.3 今後の展開

現状は車輛通過に伴う変位量がしきい値を超えるものについて検出しているが、この手法を応用して変位変化量から通過車輛の重量を推定する計測方法を提案する。

この計測方法を実用化して橋梁の交通量調査や交通量による疲労被害度の算出に適用していく。

### 2.2 水門の劣化・余寿命評価技術

近年、老朽化が進行した水門設備が増加している。それに伴い、取替え・整備工事が増加しており、また今後、さらに増えることが予想される。しかし、腐食劣化した構造物に対する現状の取替え・整備判定は必ずしも明確ではなく、劣化度合いを目視点検または部分的な板厚測定により判断しているが、まだ定量性に乏しい。そこで、板厚測定装置及び現有耐力の評価技術の開発を行った。

#### 2.2.1 腐食面からの板厚測定技術の開発

詳細点検では、超音波による板厚測定が行われるが、鋼板に錆が付いた状態では、強度的に有効な板厚の測定が行えず、錆取り等の測定準備作業や塗装タッチアップ処理または測定精度の低下を招いている。そこで、腐食及び塗装鋼材の表面から、鋼板のみの有効な板厚を測定できる板厚測定装置の開発を行った。本装置の構成を図 3 に、また計測状況を図 4 に示す。

測定原理は、裏面の錆層と鋼板の境界エコー ( $B_1$ ) と、 $B_1$  エコーのうち、表面の錆層との境界で反射しさらに裏面の錆層との境界で反射したエコー ( $B_2$ ) 間の時間差を透過距離に換算して測定している。本装置の主な特長を以下に示す。

- (1) 探触子先端を細くする等の工夫により、錆び、腐食の凹凸による鋼板と探触子のギャップに起因した、超音波の減衰を少なくした。

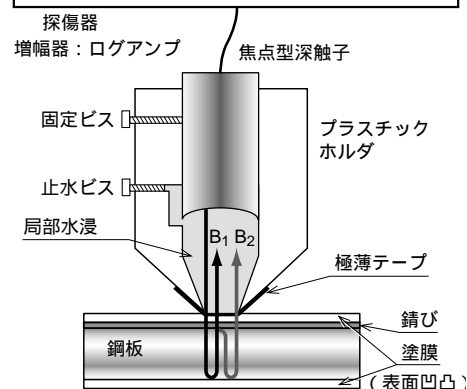
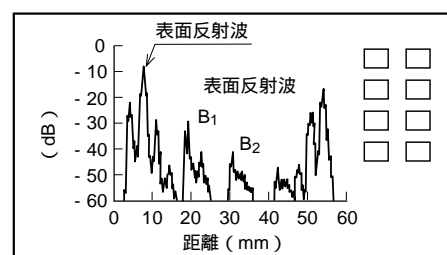


図3 腐食・塗装面からの板厚測定原理  
焦点型探触子に局部水浸ホルダを設け、超音波が水を透過して、第一反射波及び第二反射波によって板厚を測定。



図4 水門扉の板厚測定状況 開発した装置を用いた、劣化した水門扉体の板厚測定状況。

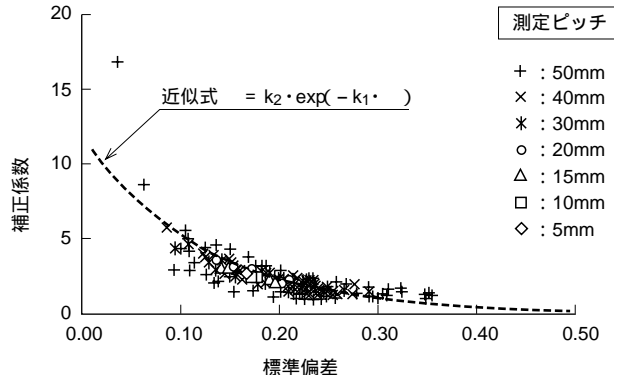
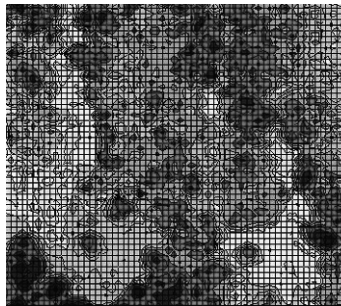
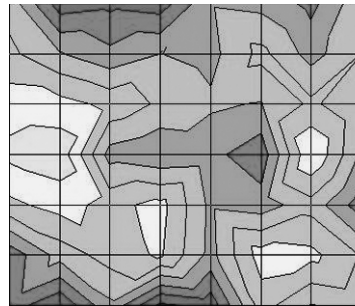


図6 標準偏差と補正係数の関係 補正係数は、標準偏差を用いた近似式により求まる。



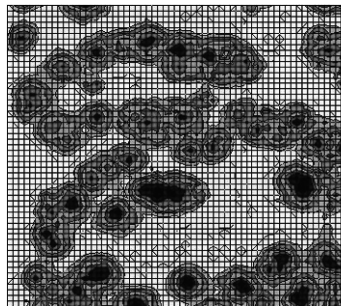
(1) Sample 1: 5mm measurement pitch

- : 7.5 - 7.8
- : 7.2 - 7.5
- : 6.9 - 7.2
- : 6.6 - 6.9
- : 6.3 - 6.6
- : 6.0 - 6.3
- : 5.7 - 6.0
- : 5.4 - 5.7
- : 5.1 - 5.4
- : 4.8 - 5.1
- : 4.5 - 4.8



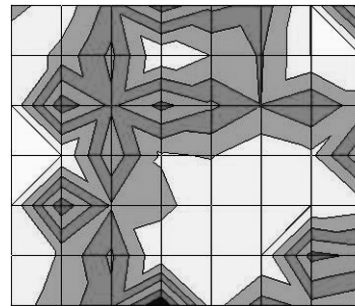
(2) Sample 1: 40mm measurement pitch

- : 7.5 - 7.8
- : 7.2 - 7.5
- : 6.9 - 7.2
- : 6.6 - 6.9
- : 6.3 - 6.6
- : 6.0 - 6.3
- : 5.7 - 6.0
- : 5.4 - 5.7
- : 5.1 - 5.4
- : 4.8 - 5.1
- : 4.5 - 4.8



(3) Sample 2: 5mm measurement pitch

- : 9.0 - 9.3
- : 8.7 - 9.0
- : 8.4 - 8.7
- : 8.1 - 8.4
- : 7.8 - 8.1
- : 7.5 - 7.8
- : 7.2 - 7.5
- : 6.9 - 7.2



(4) Sample 2: 40mm measurement pitch

- : 9.0 - 9.3
- : 8.7 - 9.0
- : 8.4 - 8.7
- : 8.1 - 8.4
- : 7.8 - 8.1
- : 7.5 - 7.8
- : 7.2 - 7.5
- : 6.9 - 7.2

図5 腐食サンプル板厚測定分布例

(2) 探傷器側にはLOG増幅器を用いることで、従来判定しづらいB<sub>2</sub>エコーを検知しやすくした。

測定精度は、測定面が均一腐食では±0.1 mm、凹凸の激しい孔食では、孔食直径8 mm以上で±0.5 mmにて測定可能であることを検証した。今後、更なる簡易計測を目指し、装置のハード面及びソフト面の改良を予定している。

2.2.2 現有耐力に関する有効板厚評価法の開発

劣化した水門腐食部材の現有耐荷力の評価について、定量的評価技術の開発を行った。

図5に示すような、様々な腐食形態の水門実機サンプルを用いて、引張試験や詳細板厚測定データの統計処理を行った。腐食部材の引張残存強度を有効板厚 $t_e$ として評価し、少ない測定点数からの有効板厚推定式を、以下のように見出した。

$$t_e = t_{ave} - \dots \quad (1)$$

ここで、

$t_{ave}$  : 板厚測定時の平均板厚

: 各断面の平均板厚値データから求まる標準偏差  
: 補正係数

有効板厚 $t_e$ を求めるための補正係数と標準偏差の関係を見ると、図6に示すように対数近似式(2)によって推定できることが分かる。

$$= k_2 \cdot e^{-k_1 \cdot \dots} \quad (2)$$

定数 $k_1$ (算出式の傾き)及び $k_2$ (算出式のy切片)は、腐食形態で異なる定数であり、実機適用時には腐食状態による分類が必要である。本推定式による測定誤差を、図7に示す。

格子状の板厚測定について、50点/0.0729 m<sup>2</sup>(270 × 270 mm)で良好な精度で推定可能であった。実機で同等な腐食形態が連続している面に対し、50点程度の格子状測定を行えば、同様な評価が可能と考える。

今後、腐食形態により異なる定数の設定法を検討する予定である。

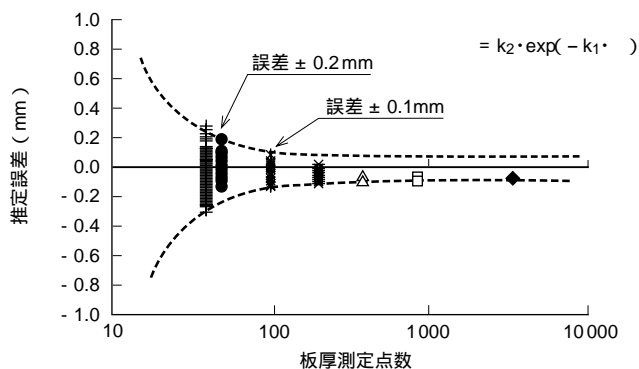


図7 有効板厚の推定誤差（全面腐食鋼材） 測定点数50点（測定ピッチ40mm）では、誤差±0.2mmであり、測定点数100点以上（測定ピッチ30mm以下）になると、±0.1mm以下になる。

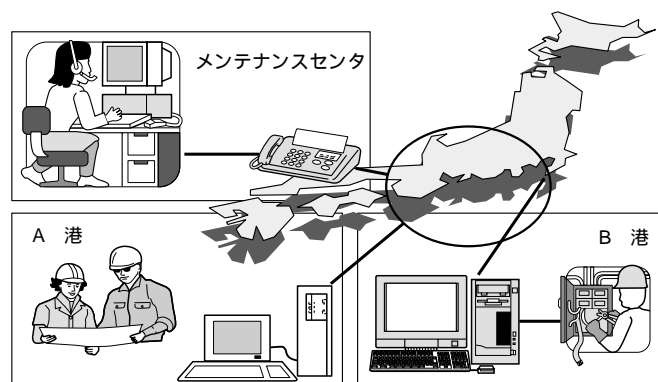


図8 遠隔モニタリングの概念 遠隔モニタリングの概念とイメージを示す。

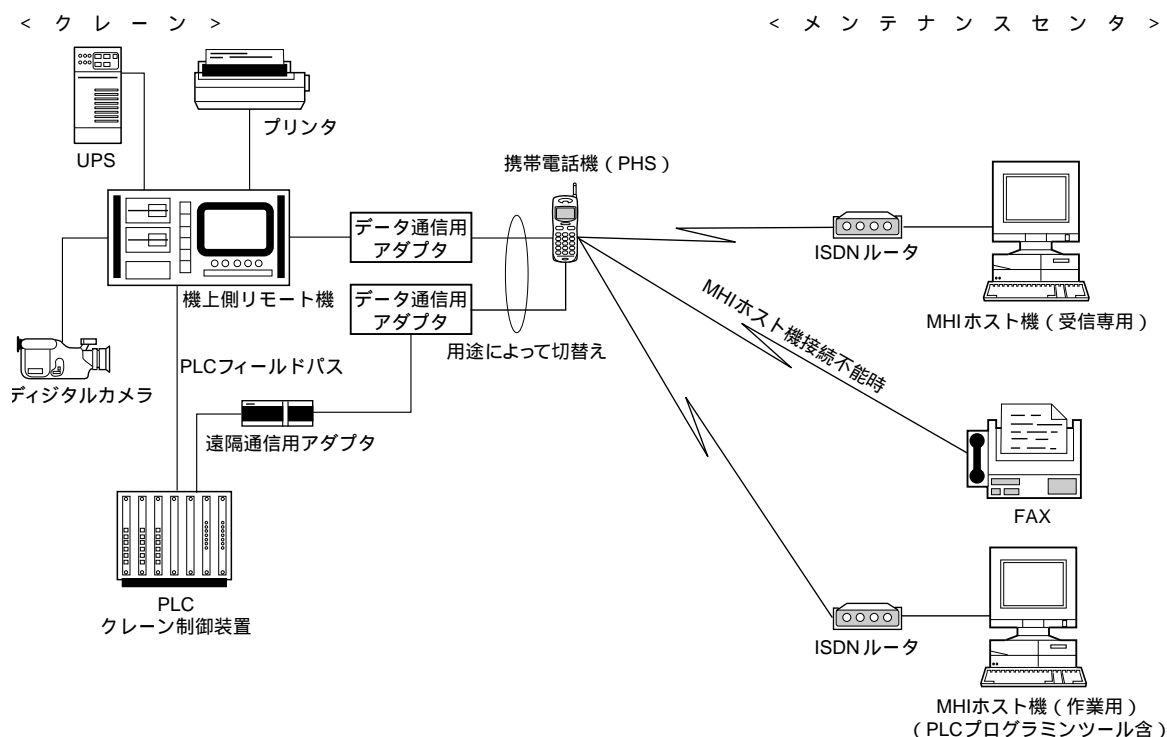


図9 システム構成 具体的な使用機器とシステム構成を示す。

### 2.3 港湾クレーン遠隔モニタリングシステム

港湾クレーンのモニタリングシステムは、クレーンの状態監視用のコンピュータをクレーン上の電気室などに設置し、クレーンの稼働状態をリアルタイムに監視・表示したり、故障発生時の状態を記録したりすることから始め、コンテナヤード管理事務所で集中監視を行ったり、さらに電話回線等を利用した遠隔監視も行っている。以下にその概要を紹介する。

#### 2.3.1 港湾クレーンモニタリングシステムの概要

港湾クレーンのモニタリングシステムは以下の機能を備えている。

- クレーン稼働状態のオンライン表示機能
- トレースバック機能（故障前後数秒間の状態記録）
- 故障履歴表示機能
- 稼働時間集計機能

#### 操業実績の集計

複数のクレーンが設置されている港では、各々のクレーン状態は、コンテナヤード管理事務所に設置された地上局へ光ファイバ通信で接続され、集中監視することができる。

#### 2.3.2 遠隔モニタリングシステム

クレーン遠隔モニタリングとは、クレーン上あるいはコンテナヤード管理事務所に設置されたコンピュータをリモート局とし、メンテナンスセンターのホスト局と電話回線等を介して接続して、クレーンに故障が生じた場合など、リアルタイムに現場の状況を把握しながら技術支援サービスを提供するものである。遠隔モニタリングシステムの概念を図8に、遠隔モニタリングシステム構成の具体例を図9に示す。

リモート局のコンピュータとクレーン制御装置は専用のネットワークで接続されており、クレーン制御装置のデータをコンピュータに取り込むことによってモニタリングが行われ

る。

図9に示したシステムは、通信手段の一例として、PHS回線を使用している。リモート局のコンピュータにデータ通信アダプタ（モデム）を設け、PHSを介してメンテナンスセンタのホスト局へデータ伝送が行われる。また、クレーン制御装置にも遠隔通信用アダプタとモデムを設けて接続することにより、クレーンの制御プログラムのデータがメンテナンスセンタのホスト局に伝送され、ホスト局からもプログラムの監視、修正操作が行える。通常は、故障発生時の通知とクレーンの状態データを、ホスト局へ自動送信するように、PHS側に接続されている。

また、デジタルカメラで撮影した現場の写真は、一旦リモート局のコンピュータに取り込み、リモート局からホスト局へ送信する。クレーンの故障が発生すると、故障データ受信用コンピュータに、故障発生時のポップアップ画面が表示され、メンテナンスセンタの技術者が故障の発生を確認する。そして、故障名称とそのトレースバックデータ（故障前後数十秒間の状態の記録データ）から、故障原因を解析し、復旧方法などをリモート局側へ連絡する。

### 2.3.3 遠隔モニタリングシステムの特長

遠隔モニタリングシステムは、従来のモニタリングシステムの機能（稼働及び故障状態の監視とトレースバック、稼働時間や操業実績の集計など）に加え、以下の機能を有している。

#### 故障通知機能

故障発生時は、リモート局のコンピュータが自動的にPHSをダイヤルアップし、故障発生通知と故障発生時のトレースバックデータを送信する。また、送信完了後は、自動的に電話を切断する。

#### オンラインモニタ機能

ホスト局コンピュータにクレーンの状態をリアルタイム表示する。故障発生時前後のクレーンの状態データを表示する。

#### 故障復旧ガイダンス機能

Webブラウザを利用し、部品の写真等を交えながら、対話形式で故障原因の特定や復旧方法の検索が行える。

#### オフラインデータ送信機能

デジタルカメラで撮影した故障箇所の写真をホスト局へ送信できる。

#### クレーン制御プログラム編集機能

ホスト局からクレーン制御プログラムの監視・修正が可能。

クレーンの故障発生時には、これらの機能を使って、メンテナンスセンタの技術者が原因調査と推定及び復旧方法に関する情報を提供する。

さらに、必要に応じて、ホスト局のコンピュータからクレーンの制御プログラムのパラメータ等を変更することも可能である。

また、コンテナヤード管理事務所のモニタリング地上局をリモート局として、固定電話回線を使用して接続する方法と、PHSや携帯電話などの無線電話回線を使用して接続する方

法といったようにシステム構成は選択できる。そのため、コンテナヤードの管理事務所にモニタリング地上局を設置する必要がない場合は、クレーンから管理事務所への新たな光ファイバケーブル布設工事や地上局コンピュータの設置工事も不要であり、個々の環境に合わせたシステム構成を構築することが可能である。

### 2.3.4 今後の取組み

これまで、クレーン故障による操業の中断時間をいかに削減することができるかが課題であったが、こうして、メンテナンスセンタの専門技術者が、遠隔モニタリングを使用して現場の状況をリアルタイムに把握することで、迅速な故障原因の推定と復旧が実現し、クレーンの故障による操業の中断時間（ダウンタイム）の削減に役立っている。今後は故障を未然に検知して関係者へ事前に通知することで、ダウンタイムの更なる削減に役立つシステムを開発していく。

### 2.4 機械式駐車場（IPS）の遠隔監視システム

大規模機械式駐車場（IPS：Integrated Parking System）は、複数の機器が同時に動作しているので、故障が発生した場合は復旧に多くの労力と高度な技術力が必要である。このため、故障発生時にインターネットを利用して、技術者による復旧支援を行い、復旧時間の短縮化を図ったシステムを開発し、運営している。また、故障発生時の未然防止のために稼働状況の監視による寿命予想、故障発生の予兆可能なシステムを開発し、運営している。

#### 2.4.1 概要

大規模機械式駐車場は、入出庫能力を向上するため、複数の機器が同時に動作できるようになっている。このため、故障が発生した場合は、多数の機器の状況を確認するので、復旧に多くの時間と高度な技術が必要である。また、復旧員が誤操作すると、故障発生時よりさらに復旧が難しくなり、復旧に余分な労力と時間を費し、駐車場利用者に多大な迷惑をかけてしまうこともある。したがって、故障発生状況や駐車場の運営状況を正確に早く把握し、的確な対応をすることが重要である。また、故障発生を未然防止することも重要である。

#### 2.4.2 システムの特徴

本システムの構成を図10に示す。駐車場設備内のLANと遠隔支援システムを、ISDN回線を利用した専用回線にて接続し、インターネットを利用した遠隔支援システムを構築した。この遠隔支援システムは、駐車場の運転状況、利用状況、故障状況をリアルタイムで監視することができる。また、遠隔監視システムでは、監視先指定により複数の駐車場を切り換えて監視することができる。

一方、故障診断システム及び警報システムでは、駐車場から別途インターネット経由で監視センタにメールが送信され、監視センタのメールサーバは、担当者のメールアドレスに故障や警報の内容を配信する。なお、通報はメールだけでなく、携帯電話やファックスにも連絡している。

#### (1) 遠隔支援システム

遠隔地より駐車場の管理コンピュータにインターネット接続すると、駐車場の運転状況、利用状況、故障状況の監

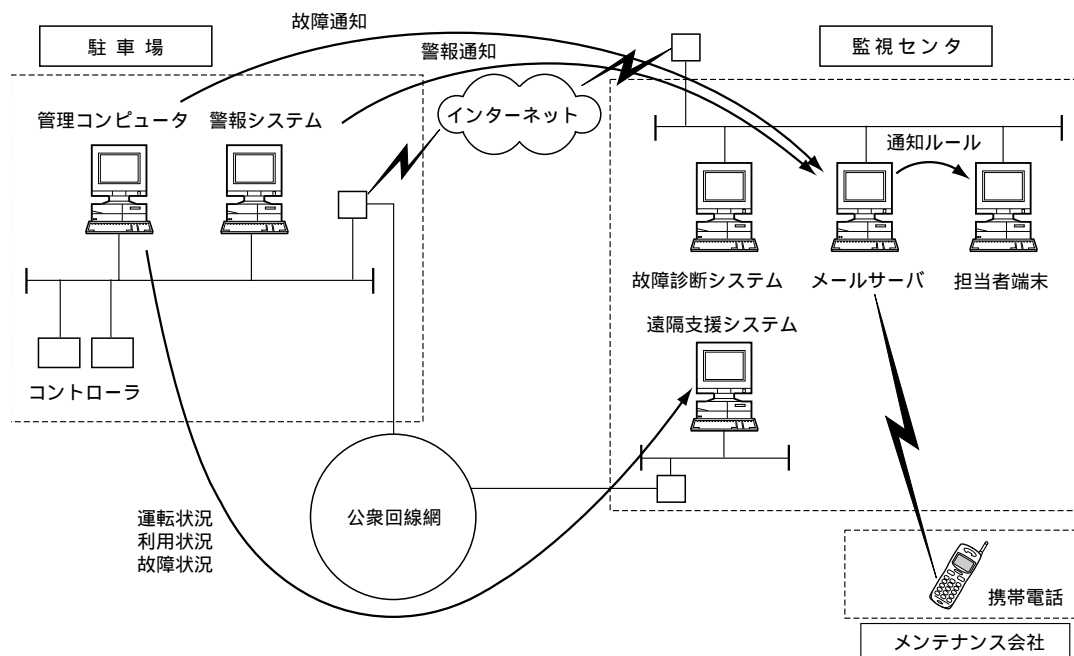


図10 駐車場遠隔支援/故障診断/警報システム

視ができる。これにより、故障発生時に監視センタの担当者が駐車場の状況を的確に判断し、駐車場に派遣した復旧員に対しての指示、支援を行うことが可能である。

### (2) 故障診断システム

故障が発生すると、故障の内容（機器名、位置、センサ情報など）が駐車場の管理コンピュータから監視センタのメールサーバ経由で故障診断システムに送られてくる。故障診断システムはメールサーバ経由で担当者及び保守会社に故障通知メールやファックスを送る。故障内容はあらかじめ故障時の処置・対策をデータベース管理した故障診断システムより判断し、診断結果（原因、対策など）を担当者や保守会社に配信することで、的確な復旧方法を指示する。

### (3) 警報システム

駐車場設備の故障防止動作（停止位置の補正、センサ誤作動対策）を警報システムで監視する。機械が停止位置を修正したり、センサが安全及び運転に影響を及ぼさない程度の誤作動しても設備は停止しないようにシステム構築されているが、これらの動作は、いずれ設備停止する予兆としてとらえることができる。警報システムが作動した場合は、すぐに点検を行い、調整や部品交換を行うことで、故障の未然防止を図っている。

#### 2.4.3 運転監視システムの効果

従来は、駐車場から保守会社に故障発生連絡が入り、復旧員が駐車場に駆けつけていた。復旧員は駐車場に到着後、状況確認の上、復旧作業を行う。ただし、復旧が困難と判断した場合は、監視センタと電話またはファックスで連絡を取りながら復旧作業に当たるため、復旧に多くの時間を要していた。

遠隔監視システムを導入すると、故障発生と同時に故障

通報が保守会社と監視センタに送信される。保守会社から復旧員が駐車場へ向かっている間に、監視センタの担当者が運転支援システムにて駐車場の状況を確認し、復旧方法を検討する。復旧員が到着した時点で、監視センタよりの確かな指示、支援が行えるため、復旧時間の大幅な短縮が可能となる。また、不具合の未然防止を図ることで駐車場の信頼性の向上につながっている。

## 3. ま と め

橋梁、水門、港湾クレーン、機械式駐車場における遠隔監視、モニタリング及び余寿命診断の技術について紹介した。上記製品のほかにも、地下トンネルを掘るシールドマシンや舞台機構装置についても国内及び海外に納入した製品に対してインターネットを介してモニタリングを行い装置の順調な稼動をサポートしている。

今後もこれらのサービス技術をさらに発展させ、社会基盤の安全と暮らしの快適を支えるとともに、お客様の満足されるメンテナンスサービスが提供できるよう新しい技術開発にも積極的に取り組んでいく。



小村卓郎  
横浜製作所  
鉄構技術部  
電気制御設計課長



佐々木章文  
横浜製作所  
鉄構技術部  
水門・鉄管設計課長



野田整一  
横浜製作所  
鉄構技術部  
企画開発グループ  
主席



宮田紀明  
広島製作所  
鉄構技術部  
運搬機設計課長