

インターネットを利用したAEによる 構造物のヘルスマニタリング

日本フィジカルアコースティクス(株) 湯山 茂徳

はじめに

AE法は、構造物が供用中にある動的な条件下で、グローバル検査・診断技術⁽¹⁾として有用なため、圧力容器、タンク、配管などの金属製構造物、宇宙・航空構造物、橋梁や岩盤・斜面などの土木構造物において、健全性を評価・監視する手段として利用されている。

現在我国において、各種構造物の維持・管理に、「性能規定」の概念が取り入れられつつある。欧米では、APIのRBI（リスクベース検査）、およびFFS（維持規格）に関する指針に見られるように、維持・管理は安全性を高め、また合理化、効率化の目的で性能規定的に行われるのが一般的である。こうした性能規定に基づく維持・管理を実施する検査手法の一つとして、AE法の有効性がこれらの指針で触れられている⁽²⁾。

近年、無線や光ファイバー技術など、情報通信基盤の充実により、大容量のデータ通信が高速、かつ経済的に利用可能になった。これにより、イントラネットやインターネットは単なる情報交換手段として利用されるばかりでなく、実験室や構造物、そして工場などにおいて、実験の進行状況や構造物の状態、さらに工場の運転状況を、実時間で監視・管理するモニタリング技術として利用されようとしている。

本稿では、岩盤、橋梁、ロケットモーターケースなどの構造物における、インターネット利用によるAEヘルスマニタリングの国内外における適用状況を、事例を示しながら紹介する。

インターネット利用による AEモニタリング

構造物のAE計測を実施する際に、対象となる構造物と試験者の居住地が遠く離れているため、円滑な作業の遂行に大きな障害となる場合がある。とりわけ疲労損傷など、長期のモニタリング時間を要する計測では、損傷の進行状況を定常的に把握する必要があるため、構造物と居住地を頻繁に往復する必要が生じ、時間的、費用的負担は多大なものとなる。

この問題は、インターネットを利用したAEモニタリングシステムを導入することにより、容易に解決できる。すなわち第1図に模式的に示されるように、ターミナルとなるAE計測システムを構造物近くに設置し、それらと監視用コンピュータを、インターネットを介して接続することにより、試験実施者の居住地で、刻々変化するAE発生状況を観察し、同時に必要な解析・評価を実施できる。異なる複数の構造物が同地域に存在し、それらを並列でモニターする場合には、各構造物をグループ化し、グルー

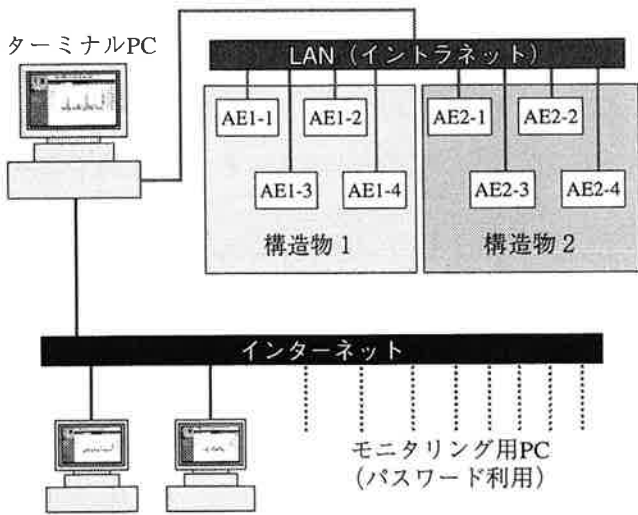
▶ 構造物のAEによるヘルスマニタリング実施例

(1) 岩盤斜面のモデム通信による遠隔連続モニタリング

平成8年2月10日、北海道の豊浜トンネルで、体積約1万m³、重量27,000トンにもものぼる巨大岩盤のすべり破壊に起因した崩落事故が発生し、通過中のバスと乗用車が巻き込まれ、20名の尊い人命が失われた。この事故後、こうした岩盤崩落を未然に予知し、事故発生を防ぐ監視技術の一つとしてAE法が注目され、全国各地のおよそ10箇所に余る現場で連続AEモニタリング⁽⁴⁾が実施され、基礎データが集められている。

こうした現場は、都市から離れた山間の遠隔地にあることが普通なため、連続監視を効率よく実施し、データ採集、および解析を容易に行うために、モデム通信を用いた遠隔監視用AEシステムが使用された。第2図に一例として、システムの系統図が模式的に示されている。AE監視用として6~12チャンネル程度が用意され、さらに必要に応じて、ひずみや変形などの、アナログデータの入力が可能になっている。

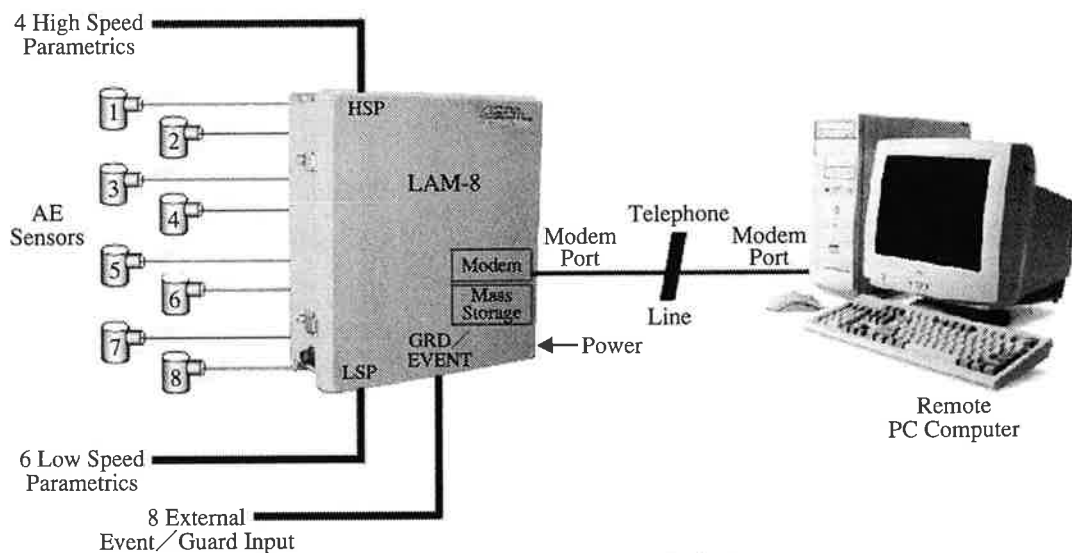
通常データ解析には、AE波形を信号処理した特性パラメータが用いられるが、そのデー



第1図 インターネットAEモニタリングシステムの模式図

プごと個別に作業を行う。

既にこのようなインターネットを利用したAEモニタリングシステムが市販されている。こうした装置では、標準ネットワーク/インターネット用ソフトウェアを利用することにより、構造物近くに置かれたターミナルAEシステムで表示される画面を、試験者の居住地に置かれた監視用コンピュータで、そのまま実時間的に観察することができる。さらに、遠隔地でAE計測条件を変更し、またターミナルコンピュータで採取したデータを、インターネット経由でモニタリング用ホストコンピュータへ、任意に転送するなどの作業が行える。



第2図 モデム監視システムの模式図

タ容量はそれ程大きなものではなく、電話回線を用いたモデム通信で、ほとんど問題は生じなかった。しかしながら、入力した信号の生波形を記録するとデータ容量が膨大になる場合があり、ホストコンピュータへ転送中に計測が中断されるという問題がしばしば生じた。これは、光ケーブルなど大容量の通信回線を準備し、また適切なソフトウェアを利用することで解決可能であり、現時点で新たに装置を導入する場合には、こうした問題は避けられるものと考えられる。

岩盤の連続モニタリングは現在も継続中の現場があり、データの蓄積が進められている。現時点でAE計測装置に対する要求仕様はほぼ明らかになり、現場対応型AE計測システムに関して、技術的にはほぼ完成したものと考えてよい段階にある。

(2) 吊り橋のインターネットモニタリング

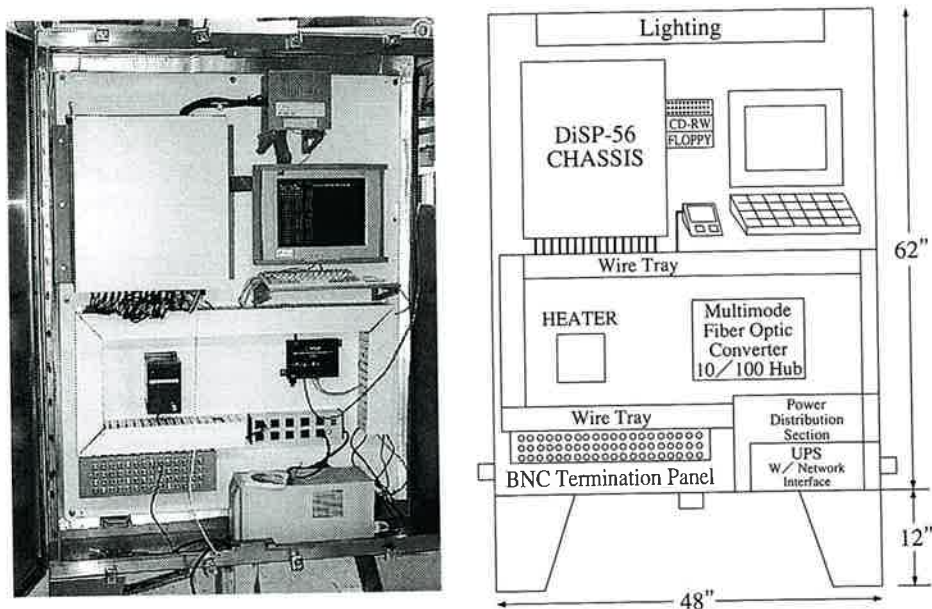
アメリカにおいて、吊り橋 (Ben Franklin Bridge) を支えるケーブルのAEによる連続モニタリングが実施されている。この橋は、フィラデルフィア (ペンシルベニア州) と対岸のニュージャージー州を結ぶために、デラウェア川に1922~1926年にかけて建設された。我国で言えば、ちょうど東京湾に架かるレインボブリッジやベイブリッジの役割を果しており、交通量の多い極めて重要な橋である。1972年以降、適切な維持・管理 (ケーブルのオイリングなど) を中断したため、近年になりケーブルを構成する鋼線ストランドの10%近くが破断しているのが、目視検査により確認された。こうしたケーブルの補修には多額の費用が掛り、さらに深刻な交通障害を引き起こ

すなどの問題の生ずることが推定された。このため橋を管理する港湾当局は、補修を行わず、AE法を利用して鋼線の破断状況を連続監視し、橋の安全を確保することにより、そのまま供用し続けることを決定した。

AEモニタリングを実施するために、既存のデジタルシステムを拡張し、新たに56チャンネルのAEシステムが開発された。そのシステム概観図が、第3図に与えられている。さらに、モニタリングを開始する前に、基礎試験として実際のケーブルを利用してAE波の減衰特性を調べ、また人工的に鋼線を破断してAEを発生させ、それがAEセンサーで検出可能かどうか調査し、使用するセンサーの周波数特性やセンサー間距離を決定した。写真1にAEセンサーのケーブル上への取り付け作業状況が示されている。

このAEモニタリングにおける目的と概要は、以下の通りである。

- AE信号を検出することにより、鋼線の破断を検知し、その位置を特定・確認する。
- 光ファイバーネットワークの利用により、膨大な量の測定データからなる大量の情報を短時間で転送、収録可能な遠隔監視システム



第3図 56チャンネルインターネットAE監視システム

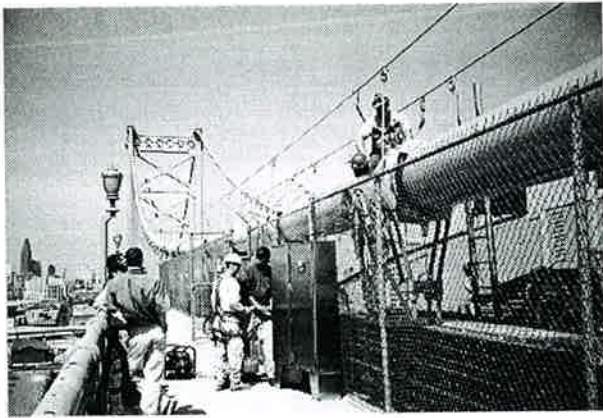


写真1 ケーブル上へのAEセンサーの取り付け状況

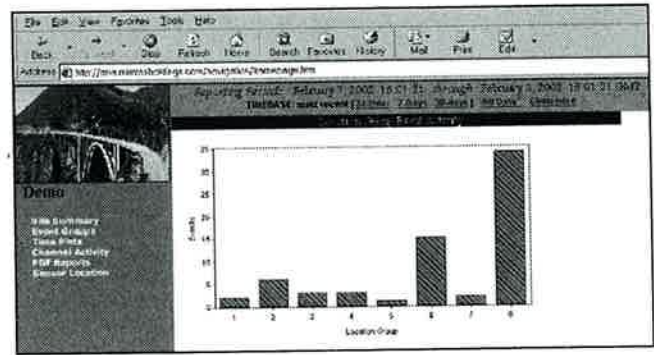
テムを確立する。

- 現場で稼動可能な完全自立型システムを開発する。
- インターネット利用による遠隔モニタリング/サービスシステムを開発・確立する。

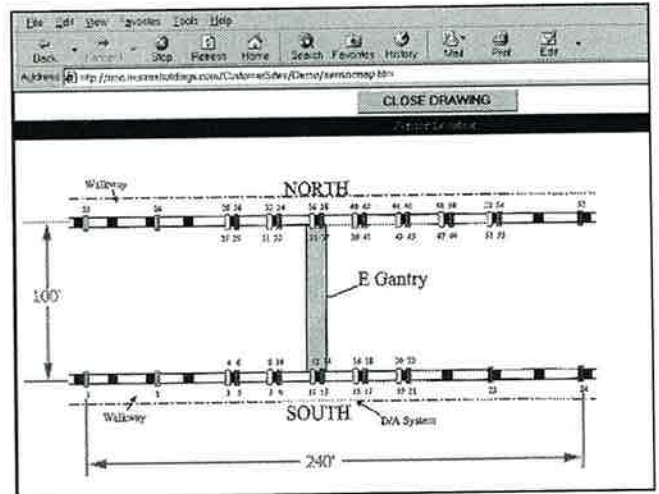
この計測において、遠隔インターネットモニタリングにより、パスワード所有者のみが計測システムへログイン可能であり、システムの状態やAEデータの発生状況とその解析結果に関する情報を、任意の場所で知ることができる。

必要な情報は、ログイン後直ちに現れるサマリーページのメインメニューから選択する。第4図に、一例としてイベントの発生状況を示す活動度グラフが与えられている。位置標定が行えたイベント発生状況を表示したもので、計測時間帯を変更し、また別のグラフに任意に移動可能である。第5図は、センサー位置を表す図である。対象となる構造物（2本のケーブル）上におけるAEセンサー位置を示し、AEイベントが発生した位置との関係が、画面上で確認できる。この他にも、各チャンネルで検出されたヒット数や平均信号レベル（ASL）などのAE活動度とその履歴、および別の2種のパラメータ（例えばひずみ、変位など）を、計測時間帯を任意に設定して観察することができる。

現在稼動中のインターネット利用による構造物の遠隔モニタリングサービスの特徴として、次の内容が挙げられる。



第4図 インターネット画面上に示されたAEイベント検出数



第5図 吊り橋のケーブル上におけるセンサー配置図

- インターネットの利用により、AEデータ、さらにひずみや振動データなどを遠隔操作で採集し、必要に応じて警報を発生する。
- Webサイトの利用により、パスワード所有者が自由に状況閲覧でき、AEデータの現状、および警報発生の有無などを任意に知ることができる。
- 採集された源データを閲覧するだけでなく、専門技術者により実施されたAEデータの解析・評価結果を調べるなどのサービスを、自由に選択して利用できる。

現在このようなインターネットモニタリングは、全米にある十数ヶ所の橋梁において実施されている。また英国においても、ケーブルに損傷の発見された数橋の状態監視を行う目的で、総額200万ポンド（約5億円）の予算が計上され、インターネット利用によるAEモニタリン

グが実施されている。同様のモニタリングが、宇宙・航空構造物、石油採掘用海洋構造物、原子力発電所、化学プラント、建築物などでも行われている。これらは、構造物のヘルスマonitoringを実施するための一つのモデルになるものと考えられ、今後の発展が大いに期待されている。

(3) ロケットモーターケースの無線による連続モニタリング

アメリカにおいて、写真2に示されるグラフアイト／エポキシ製ロケットモーターケース(GEM)の無線通信によるAE連続モニタリングが実施されている。これは、光ファイバーひずみゲージと併用してAEを測定し、製造から輸送、組み立て、打ち上げまでの異なる段階において、GEMのヘルスマonitoringを一貫して行うことを目指したものである。モニタリングは、インパクト損傷を検出し、その位置を特定し、また損傷の大きさを定量化するために行われる。さらに、様々な段階にある複数のGEMに対して並列的に連続モニタリングを実施し、全てのデータを一括管理するデータベースを作成することにより、インターネットを通じて、任意のGEMの状態を、任意の場所で監視できるシステムを構築することが最終目的となっている。

この計測を実施するために、新たにGEM Nodeと呼ばれる、移動通信型AEシステムが開

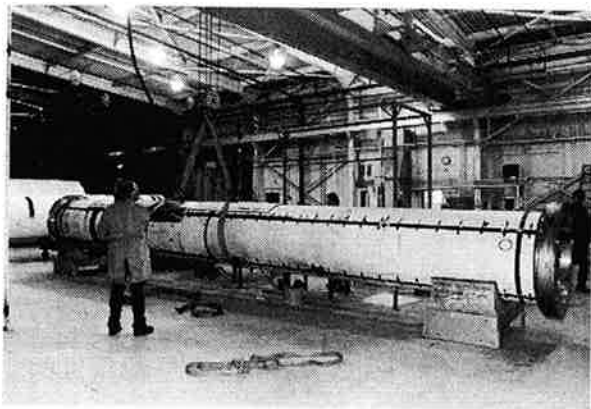


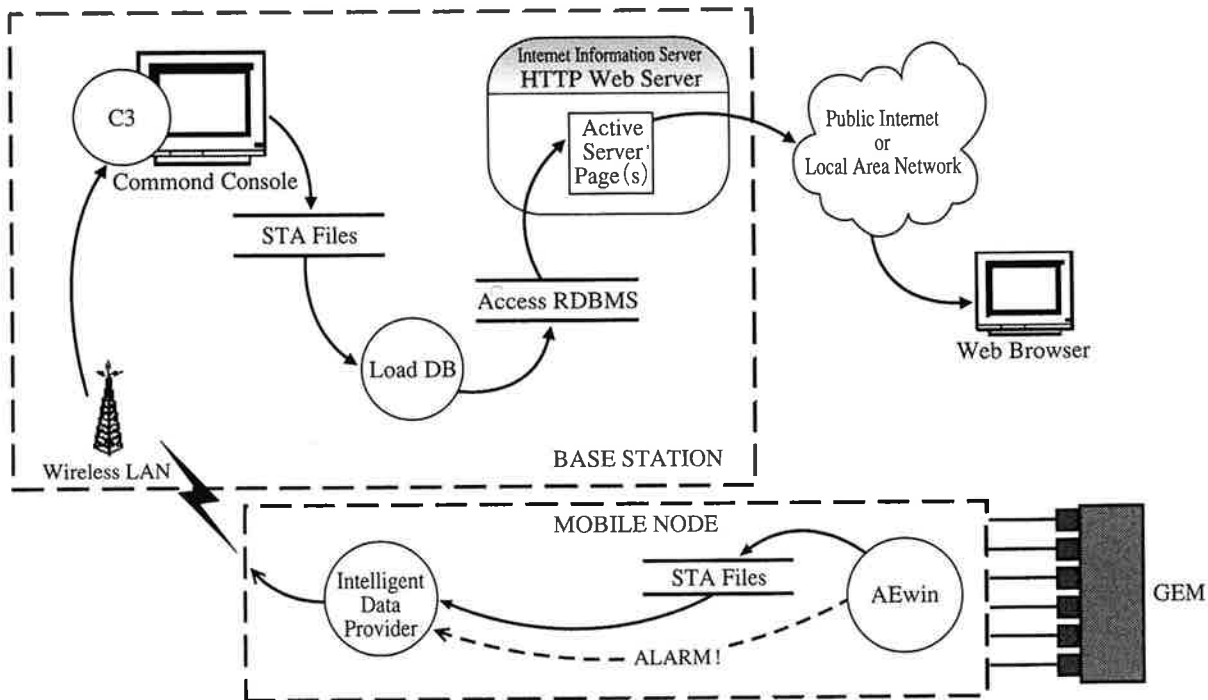
写真2 AEモニタリングを行うGEM (グラフアイト／エポキシ製ロケットモーターケース)

発された。これはGEM本体に常時設置された端末装置として機能し、8チャンネルのデジタルAE計測が可能である。インパクト損傷で発生したAEはGEMに取り付けられたAEセンサーで検出され、GEM Nodeで信号処理が行われた後、無線LANを通じて基本AEデータとして、近くのベースステーションに転送される。ベースステーションは、常に近在する複数のGEM Nodeと交信し、データ転送などの指令を出して既存情報を最新情報に更新する。さらにデータ解析後、必用に応じて警報を発生する。もしGEM Nodeがベースステーションと交信不能な状態にある場合、GEM Nodeは自立型データロガーとして動作するため、データは自動的に記録媒体に収録され、交信可能になった時点で記録データとしてステーションに転送される。全てのAEデータは標準フォーマットにしたがってデータベース化され、ベースステーションを統括するマスターステーションの管理により、インターネットを通じて任意の場所で閲覧することができるシステムとなっている。こうしたデータの基本流れ図が、第6図に与えられている。

このシステムの開発は、インパクト損傷に起因するロケット打ち上げの失敗で被る損失と、全GEMをモニターするのに必要なシステム一式の費用を算出して比較し、システム設置の方が、比較優位状態にあることが確認されたため可能になったものである。こうした実績は、今後構造物のヘルスマonitoringを実施していく上で、貴重な参考資料になるものと考えられる。

▶ おわりに

岩盤、橋梁、ロケットモーターケースなど構造物のヘルスマonitoringにおける、インターネットを利用した遠隔AE監視システムの、国内外における適用状況を、実例を示しながら紹介した。これらは、今後ますます重要性が増す



第6図 GEMの無線/インターネットAEモニタリングのデータ流れ図

と考えられる、構造物のヘルスマニタリングを実行していく上で、有力なモデルになると期待される。

情報通信、そしてそれに関連するエレクトロニクス技術の発達には目覚ましいものがある。携帯電話などの端末装置を利用することにより、随時、任意の場所で構造物の状態を確認できるようになる日も、それ程遠い将来のことではないように思われる。

<参考文献>

- (1) 関根和喜・橘川重郎・山田實・湯山茂徳：“タンク底板のAE法による腐食損傷診断”、保守検査シンポジウム講演文集、(社)日本非破壊検査協会、pp.77-82 (2001)
- (2) 湯山茂徳：“構造物の性能規定型設計・管理における検査技術の動向”、非破壊検査、第51巻、No.1、pp.3-7 (2002)

- (3) 湯山茂徳：“遠隔通信/インターネットを利用したAEによる構造物のヘルスマニタリング”、保守検査シンポジウム講演文集、(社)日本非破壊検査協会、pp.121-126 (2003)
- (4) T.Shiotani, S.Yuyama, M.Carlos and S.J.Vahaviolos：“Continuous Monitoring of Rock Failure by a Remote AE System”, Acoustic Emission Group, Journal of Acoustic Emission, Vol.18, pp.248-257 (2000)

【筆者紹介】

湯山茂徳

日本フィジカルアコースティクス(株)
代表取締役社長

〒150-0011 東京都渋谷区東2-17-10
岡本LKビル8F

TEL：03-3498-3570 FAX：03-3498-8450

E-mail：yuyama@pacjapan.com

● 優良技術図書案内

● 油圧ショベル大全

岡部信也著 A5判 260頁 定価：3,675円 (3,500円+税)

お問い合わせは日本工業出版(株)販売課まで 販売直通 03(3944)8001 FAX 03(3944)0389