

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onitoring

REMOTE WIRELESS / MODEM - INTERNET AE SYSTEM FOR HEALTH
MONITORING OF STRUCTURES

湯山 茂徳

SHIGENORI YUYAMA

日本フィジカルアコースティクス株式会社

NIPPON PHYSICAL ACOUSTICS LTD.

講演概要

AE法は、橋梁や岩盤斜面などの土木構造物、またロケットモーターケースなどの宇宙構造物において、連続モニタリング技術の一つとして実用化が進んでいる。これらは、無線・モデムなどの通信技術を基に、インターネットを利用したもので、構造物の状態監視と運転管理を実施するためのヘルスマonitoring技術として、今後の発展が期待されている。本稿では、AEモニタリングに関する、国内外の適用事例について紹介する。

KEYWORDS: Acoustic emission, Global inspection, Health monitoring, Internet, Structure

1. はじめに

世界的規模の社会、そして経済変革の時代に直面し、我国の検査技術、また検査技術者に課せられる使命も、大きく変化しつつある。本年(平成15年)の非破壊検査誌1月号に掲載された巻頭言[1]によれば、具体的な行動を起こすべき項目として、①検査システムの再構築と維持規格への関与、②リスクベース検査の実行、③評価と診断の権限の委譲、④ヘルスマonitoringの開発、が挙げられている。

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[2]として有用なAE法は、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。

さらに現在我国において、各種構造物に対し、「性能規定」の概念が取り入れられようとしている。欧米では、APIのRBI(リスクベース検査)、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実施されるのが普通であり、その検査手法の一つとして、AE法の有用性が言及されている[3]。

こうした状況に立ち、本稿では、岩盤、吊り橋、ロケットモーターケースなどにおいて、構造物のヘルスマonitoring技術開発の一環として、国内および海外で行われている、遠隔通信／インターネット技術を利用した、AEモニタリングの適用事例について紹介する。

2. AEモニタリングの実例

2・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とは記憶にまだ新しい。この事故の後、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ている。図 1 に一例として、システム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。

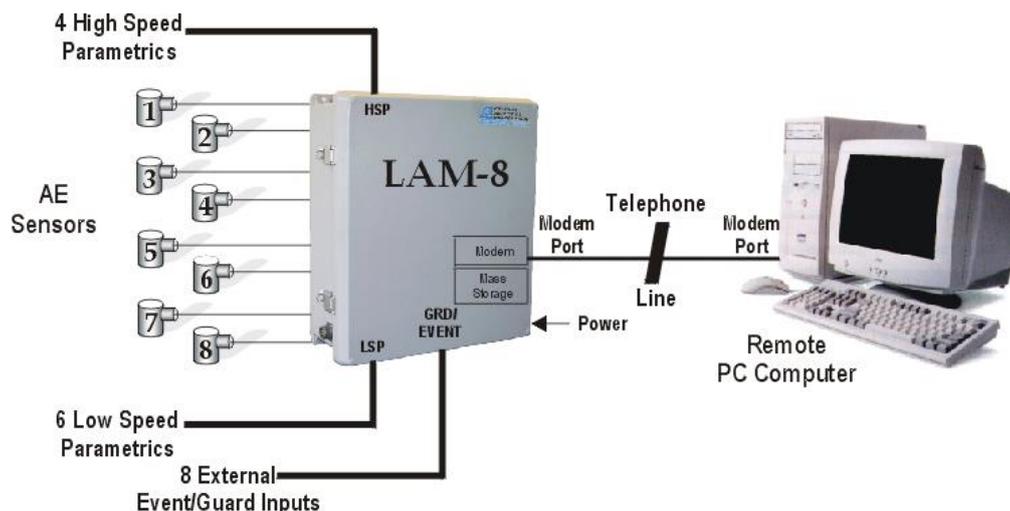


図 1. モデム監視システムの模式図

通常のデータ解析には、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開発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得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とんど明らかになり、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・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、レインボー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、図2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共振周波数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。

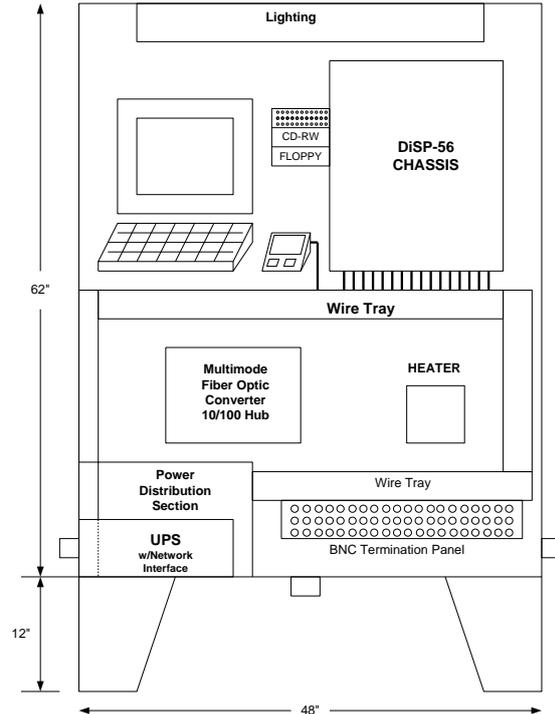


図2 56チャンネルインターネットAE監視システム



写真1 ケーブル上へのAEセンサーの取り付け状況

- 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を確立する。
- 現場で稼働可能な、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。

必用な情報は、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。図3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。図4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見ることができる。

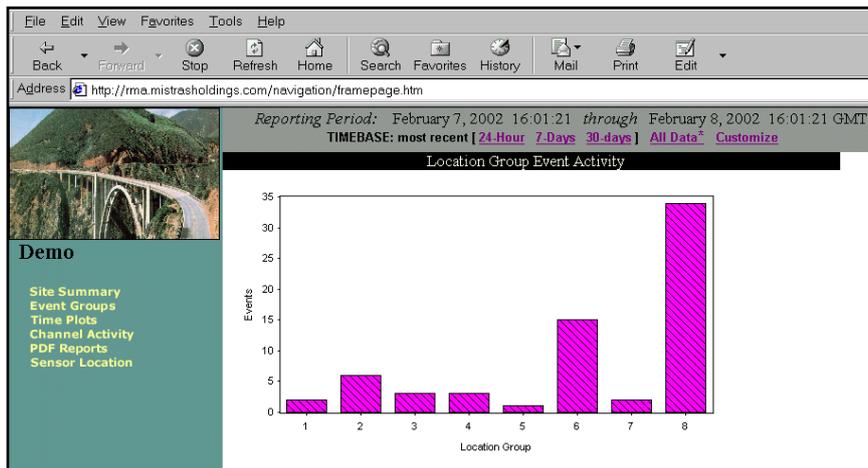


図3 インターネット画面上に示されたAEイベント検出数

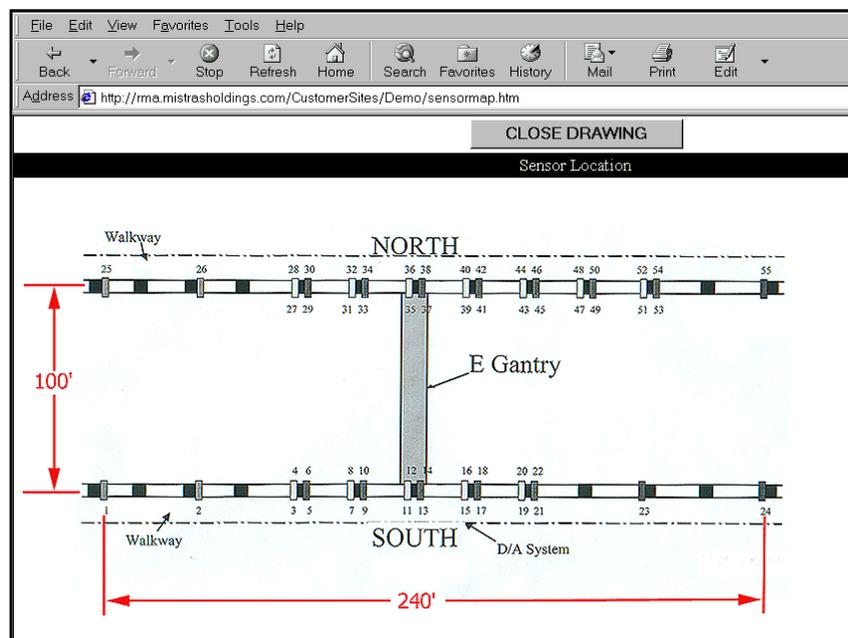


図4 吊り橋のケーブル上におけるセンサー配置

現在稼働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。

- 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、全米にある数ヶ所の橋梁において実施されており、同様な計測が宇宙・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、建築物などで行われている。これらは、構造物のヘルスマニタリング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。

2・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 に示されるグラファイト/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 のヘルスマニタリング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 は自立型データロッ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、図 5 に与え



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

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、システム設置の方が、経済的に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と推察される。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。

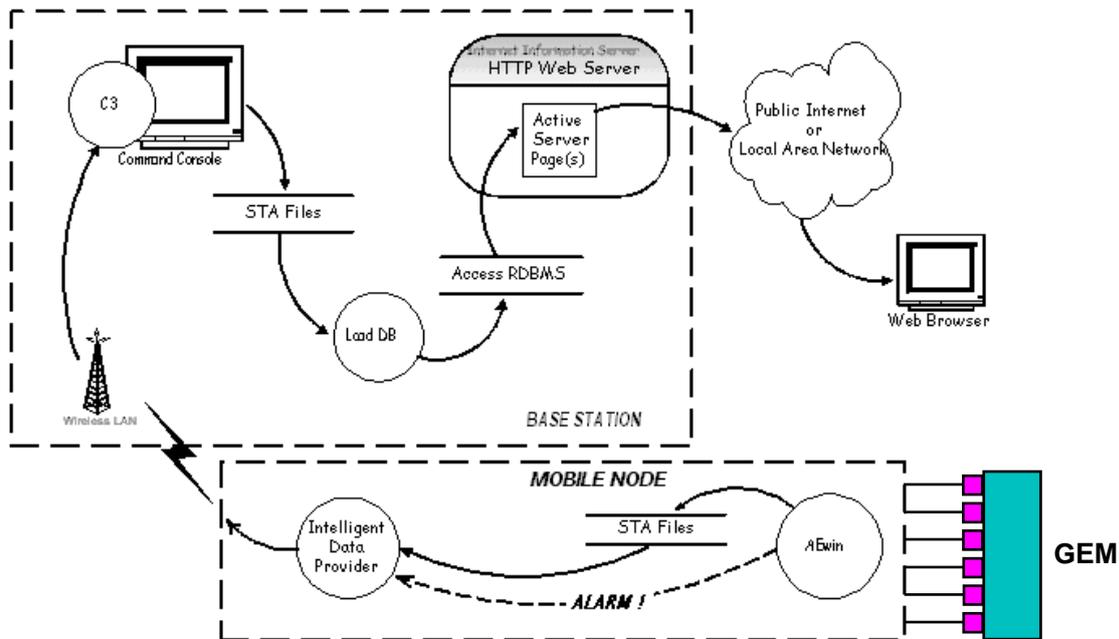


図5 GEMの無線/インターネットAEモニタリングのデータ流れ図

3. まとめ

我国、そしてアメリカにおける、遠隔通信/インターネットを利用した、構造物のAE連続モニタリングの実例を紹介した。これらは、今後ますます必要性が増すと考えられる構造物のヘルスマonitoringを実行していく上で、モデルとなるものである。

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し、運転状況を管理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] 小林秀男：巻頭言、非破壊検査、第52巻、No.1、p. 1、(2003)
- [2] 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論文集、(社)日本非破壊検査協会、pp.77-82、(2001)
- [3] 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)
- [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.