A - 54

# AE ヘルスモニタリングシステムの構築に関する基礎的研究

Fundamental Study on Establishment of AE Health Monitoring System for Infrastructures

北海道大学大学院工学研究科 正 員 小幡卓司 (Takashi Obata) 北海道大学大学院工学研究科 学生員 葛西祐介 (Yusuke Kasai)

#### 1. まえがき

わが国では、第二次世界大戦後の国土の復興とその後の 高度経済成長において、多数の社会基盤施設が建設されて きた。これらの基盤施設は壮年期にあると言われており、 その老朽化は現在において非常に急速に進みつつある。従 来では、新たな道路ネットワークの形成等の開発的資本投 資も行われてきたが、社会資本の充実や投資余力の減少、 工事に起因する交通規制による社会的損失、あるいは環境 への意識の高まりから、維持管理ならびに補修・補強の強 化による既存構造物の長寿命化の実現は、近年においては 土木技術者に対する社会の要請と言っても過言ではない と考えられる<sup>1)</sup>。

供用中の橋梁における健全度に対する現状把握は、これ らを実現するための重要な要素技術となっているが<sup>2),3)</sup>、 構造物の損傷・健全度に対する工学的評価・判定は専ら専 門技術者の判断に委ねられる場合が大半である。我が国に おいても、検査・診断技術者のための教育や資格等が徐々 に整備されつつあるが、今後急激に高まるであろう人的ニ ーズへの対応は、今だ困難であると判断せざるを得ない。 よって、この問題解決には橋梁の損傷度・健全度診断に用 いるモニタリングシステムを構築し、測定から診断まで一 貫して行える手法を確立することが重要であると考えら れる。ここで、構造物の非破壊検査法の一つとして、材料 の微小な変形や亀裂、クラックの発生に伴って、材料が内 部に蓄えていたひずみエネルギーを弾性波として放出す る AE(アコースティックエミッション)と呼ばれる現象 を利用した、超音波領域における検査方法が知られている 4)。しかしながら、この方法を社会基盤構造物へ適用する ことを考慮すると、頻度解析などの方法ではコンクリート のひび割れなどに伴って発生する突発型のAEの発生回数 を常時モニタリングする必要があるため、検査時における 自発的な加振によって AE を検出、解析し、健全・損傷度 を定量的に評価する手法を構築することが望ましい。

以上を踏まえて、著者らは社会基盤構造物の損傷同定に 用いるために、橋梁の一部分を模して製作された鋼製供試 体を対象に AE モニタリングを実施した。この AE モニタ リングシステムを用いて実験供試体に対して測定を行い、 その結果から本研究において提案する手法の妥当性、実用 性等に関して検討を加えることを試みる。

具体的には、まず AE モニタリングシステムは 4 基の AE センサーと、シングルチャンネルで最大 1.25MHz まで のサンプリングが可能な DAQ パッドを PC に接続したも ので構築した。DAQ パッドは複数のデータを同時に測定 することが可能であり、多測点におけるモニタリング を実現することができる。次に供試体にセンサーを設置し、



写真-1 AE モニタリングシステム



写真-2 センサー設置状況



仮想的な損傷を与えることによって、AEの伝播速度にどのような変化が生じるか等の検討を行い、考察を加えた。 よって、本研究はこれらの結果を報告するものである。

## 2. モニタリングシステム

前述の通り、本研究で用いたモニタリングシステムは、 4 基の AE センサーと、写真-1 に示すような、センサーか ら入力されたデジタル信号を PC に取り込むための DAQ パッドとノート PC からなるものである。写真-2 にセンサ ーとその設置状況を、図-1 にセンサーのゲインを示す。 AE データの測定に関しては、サンプリング周波数 300kHz、 データ点数 32768 個でモニタリングを行う。供試体表面に 設置したセンサーから入力された AE データは、専用アン プ(増幅器)を経由して、40dB、すなわち振幅増幅比 100 倍として、DAQ パッドを介して PC 側のデータ測定用プ ログラム(Labview)によって記録される。写真-3 に本研 究で用いたアンプを示す。

### 3. 実験方法

本研究の実験供試体は、写真-4 に示すように橋梁構造 物の横構と主桁1パネル分を模した鋼製部分模型である。 表-1に供試体の諸元を示す。なお、仮想的な損傷状態は、 ガセットプレートや斜材に直接クラック等を発生させる ことも十分に可能ではあるが、今回は実験の再現性を考慮 し、格点における高力ボルトの締め付けトルクを変化させ ることによって行った。240Nm 入力時を健全状態とし、 120Nm、60Nm、30Nm、0Nm(がたつかない程度に手で締 め付け)の、計5ケースの損傷状態を設定した。

実験方法は、鋼球の振り子運動を利用した打撃を与え、 図-2 のボルト A のトルクを変化させ測定を行った。図-2 の矢印は加振位置を示している。センサーの配置に関して は、240Nm から 0Nm まで締め付けトルクを変化させた場 合に、鋼の波動伝播速度を考慮した上で、伝播速度の変化 を検出可能か否かを机上にて検討を行った結果に基づい て決定し、測定を行った。なお、ボルト B の締め付けト ルクは常に 240Nm としている。



写真-3 アンプ

4. 測定結果とその考察

まずボルトAの締め付けトルクを240Nmとした健全状態において応答波形データを測定して、サンプリング300kHz、データ個数32768個の条件下で、各センサーにおけるデータが確実に記録されているかなどの確認を行った。図-3はそれぞれのセンサーで測定された応答波形の結果を示している。この波形を確認した結果、ほぼ想定さ



写真-4 鋼製供試体

细制供試休读示

化-1 购农历时件的16	
部材	$1 \times h \times b$ (mm)
主桁,端横桁	平鋼 2500×65×22 平鋼 400×65×22
横構(斜材)	平鋼 1120×21×4
ガセットプレート	平鋼 263×9×69



図-2 供試体概略図とセンサー配置





図-4 AE 波形 (センサー3)

れた波動伝播経路を通過したデータのみがセンサーに到 達し、適切に 300kHz のサンプリング周波数で収録されて いることが確認された。すなわち、加振点とセンサーまで の距離を考慮すると、波形はまずセンサー 1 で測定され、 その後センサー 2、3、4 の順で測定されると想定される が、図-3 に着目すると、こういった AE の伝播における時 間遅れも明確に捉えることが可能であり、高精度な測定が 実現されているものと判断できる。

図-4 はボルトの締め付けトルクの変動によって最も大 きな影響を受けると予想されたセンサー 3 の 240Nm~0 Nm まで変化させた場合の測定結果である。この結果に着 目すると、締め付けトルクが 240Nm から、120Nm、60Nm、 30 Nm まで小さくなっていく中では、波形を見る限りにお いては時間遅れや顕著な振幅の最大値等の変化といった ものは確認できなかった。この理由として、締め付けトル クは変化しているものの、供試体の斜材とガセットプレー トの接触は保たれているために、波動の伝播に大きな影響 を与えなかったためと考えられる。しかし、損傷が 0Nm まで進行すると、はっきりと時間遅れを確認することがで き、また波形にも変化が表れている。ボルトを手締めした ことによって、加振点から伝播した波動が損傷設定箇所で 遮断、もしくは拡散されたこと等によってこういった変化 が見られたものと考えられる。

次にセンサー 2の240Nm、0Nmの2ケースの応答波形 を示した図-5 と、センサー 4の同じケースの結果を示し た図-6 に着目すると、まずセンサー 2 については、最も 早く到達する応答は斜材を経由しないで加振点から直接 横桁を通じて測定されるものと考えられるため、ボルトの 弛緩による時間遅れなどの影響をほとんど受けていない 様子が確認できる。また、センサー 4 は、0Nm では若干 の時間遅れが生じていることがわかる。センサー 3 の 240Nm と 0Nm との時間遅れと比較して差が小さいのは、 斜材を経由して伝播される応答と、横桁から主桁を伝播し てくる応答との間に、センサー 3 での測定結果ほど伝播 距離の違いがなかったためと思われる。

以上から、構造物の構造を把握し、構造物を構成する部 材を考慮した波動伝播経路を事前に予測して計測を行い、 実際に測定されたデータと予測された応答性状とを比 較・検討することによって、本研究で用いた AE モニタリ ングシステムでも、少なくとも損傷の定性的な評価を行う ことは可能であるものと考えられる。またセンサー 3、お よびセンサー 4 からの測定結果からも明らかなように、 損傷箇所に近いほど時間遅れ等の変化が明確に確認され ることから、損傷の位置同定を行うこともある程度期待で き得るものと思われる。

#### 5. あとがき

以上のように本研究は構造物の損傷および位置同定に 用いるための、AE ヘルスモニタリングシステムについて 検討を加えたものである。

実験結果からは、締め付けトルクが 240Nm から 30Nm までの間は斜材とガセットプレートの接触は保たれてい るために、波形を見る限りでは剛性変化の影響を見出すこ とは困難であることが判明した。また、0Nm まで損傷を 進行させた場合には、損傷設定箇所を経由してくる波動を、 最も早くに捉えるセンサーの測定結果から、時間遅れや波 形の変化が顕著に表れることが確認された。このような傾 向は、損傷箇所とセンサーの位置関係が近ければ近いほど 顕著に現れる結果となっていることから、損傷の位置同定



を行うことも、ある程度可能であると推定される。

今後の課題として、本研究では実験の再現性を考慮した ために損傷をボルトの締め付けトルクを変化させること によって表現しているが、実際の構造物の損傷箇所は、ガ セットプレートや垂直補剛材、あるいは応力集中が発生し やすい部材などに多く生じることが知られている。そのた め、本研究においても供試体のガセットプレートに直接ク ラックを入れ、より実際の構造物の損傷に近い状態で測定、 考察を行う必要があるものと思われる。また、本研究で用 いたモニタリングシステムの実用化を考えた際には、波動 伝播の差異や応答特性の変化を何らかの形で定量的に表 す必要があるため、AE ヘルスモニタリングシステムに適 した波動解析手法についても、今後検討を加える必要があ

## るものと考えられる。

#### 【参考文献】

- 1) 西川和廣:道路橋の寿命と維持管理,土木学会論文集, No.501/I-29, pp.1-10, 1994.
- 2) 土木学会:橋梁振動モニタリングのガイドライン,土 木学会,2000.
- 3) 近藤一平,濱本卓司:振動台実験のランダム応答デー タを用いた多層構造物の損傷検出,日本建築学会.構 造系論文集,第473号,pp.67-74,1995
- 4) Nippon Physical Acoustics Ltd ホームペー ジ::http://www.pacjapan.com/