

AE モニタリングを用いた橋梁構造物の損傷同定に関する基礎的研究

○鹿島建設株式会社 正 員 浅香 康弘
 北海道大学大学院工学研究科 正 員 小幡 卓司
 北海道大学大学院工学研究科 F 会員 林川 俊郎

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、非常に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、今日では壮年期を迎えつつあると言われており、その老朽化はこのまま無対策で経緯すれば急速に進むことが予測されている。従来では、新たな道路ネットワークの形成を目指すような開発的資本投資も行われてきたが、近年の投資余力の減少や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等から、今後は維持管理を強化して、既存橋梁の長寿命化を目指すことが大きな課題となりつつある。ここで構造物の健全度診断において、材料の微小な変形や亀裂の発生に伴って、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、超音波領域を対象とした方法が知られている。このことから、構造物もしくは材料の表面に設置されたセンサーから、打撃等によって励起された AE による弾性波を検出し、データ解析等を施すことで構造物や材料の損傷を把握することも十分可能であるものと推定される。

以上を踏まえて、本研究では AE センサーを用いたモニタリングシステムの構築と、AE モニタリングによる橋梁構造物の損傷同定手法について考察を加えることを目的とする。具体的には、橋梁の部分模型を想定して製作された鋼製供試体を対象にモニタリングを実施して、測定された AE データに対してコヒーレンスを算出し、各損傷状態の比較検討を行うものとする。

2. モニタリングシステム

本研究における AE モニタリングシステムは、2 台の AE センサーと最大 500kHz までのサンプリングが可能な DAQ カードを PC に接続したものとなっている。AE センサーから入力されたデータは DAQ カードを介して PC に取り込まれ、PC 側のデータ測定用プログラムによって収録および解析がなされる。また DAQ カードは複数のデータを同時に測定可能であり、多測点における AE モニタリングを実現することができる。AE センサーは、無指向性で周波数帯域が 35～100kHz の共振型センサーを使用している。共振型 AE センサーでは、特定の周波数帯域に対して高感度の測定が可能となる共振周波数を持っており、本研究では共振周波数が 50kHz のものを用いている。実験におけるモニタリングに際しては、AE データの測定に対するサンプリング周波数は 200kHz、データ点数は 32768 に設定し、各供試体に対して直接 AE センサーを接着固定することでデータの測定を行うこととした。

3. 実験供試体ならびに実験方法

本研究で用いる実験供試体は、支間長 2.5m、幅員 0.4m の橋梁構造物の主桁と横桁および横構によって構成される部分模型を想定して製作されたものである。主桁と横構はガセットプレートを通じて、ボルト A、ボルト B 計 4 つの高力ボルトによって接合されており、また供試体の両端は固定支持されている。図-1 は本研究で用いた供試体の概略図と AE データの測点である。供試体に対する加振方法と

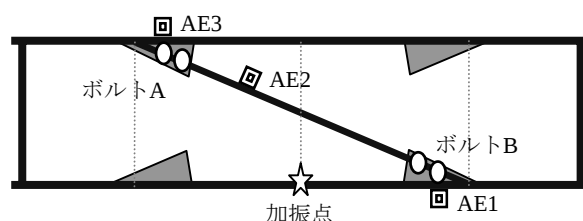


図-1 実験供試体の概略図

しては、鋼製球体の振り子運動打撃によって行い、加振点は片側の主桁中央とした。仮想的な損傷状態については、加振点から離れたボルト A の締付けトルクを健全状態の $240\text{N}\cdot\text{m}$ から 200,160,120,80,40 $\text{N}\cdot\text{m}$ 、手締めと 40 $\text{N}\cdot\text{m}$ ごとに減少させることで計 7 つの損傷状態を設定した。また、このとき加振点側のボルト B の締付けトルクは $240\text{N}\cdot\text{m}$ に固定した。

4. 解析手法

コヒーレンスは 2 つの信号間の関連性の強さと位相差を表すもので、一般的には卓越振動モードの推定等

Keywords : AE モニタリング, 損傷同定, コヒーレンス

北海道大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 札幌市北区北 13 条西 8 丁目 Tel,Fax:011-706-6172

に用いられている。ここで2つの時系列データ X_m, Y_m に対するコヒーレンスは以下の式によって得られる。

$$coh^2 = \frac{|G_{xy}|^2}{G_x \cdot G_y} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 G_{xy} はデータ X_m, Y_m に対するクロススペクトル、 G_x, G_y はそれぞれ X_m, Y_m のパワースペクトルを表している。

本研究では、測点 AE3 で得られた健全時と損傷時のデータ間でコヒーレンスを算出して、周波数特性の変化に着目することで各損傷状態の比較検討を試みる。

5. 実験・解析結果とその考察

まず、測定された AE データに対してフーリエスペクトルを算出し、各損傷状態における周波数特性の把握を試みた。一例として、AE2,3 における締め付けトルク 240, 120N・m、手締め状態の3つの損傷状態における解析結果を図-2 に示す。図-2 に着目すると、AE2,3 において、240N・m から 120N・m まではほぼ変化がみられない結果となったが、手締めの状態まで損傷が進むことによって卓越周波数成分にある程度の変化が見られた。次に AE データに対して、前述のとおり、健全状態である 240N・m と各損傷状態の2つのデータ間におけるコヒーレンスを算出して、健全時のデータとの関連性の変化から損傷状態の把握を試みた。図-3 には、AE3 における 240N・m と 160N・m、240N・m と 80N・m、240N・m と手締めの測定データを用いて3ケースのコヒーレンスを算出した結果を示している。図-3 より、フーリエスペクトルの卓越成分が見られた 10kHz 以下の周波数範囲に着目すると、損傷の増大に伴い、240N・m における AE データとの相関が徐々に低くなっていく傾向を捉えることができる。これは、締め付けトルクの変化に伴う剛性低下が少ないと考えられる 160N・m では、160N・m の場合と健全時で得られた AE データ間のコヒーレンスはかなり高い相関性を示すが、徐々に損傷が増大することで構造物内を伝播する AE データの周波数応答に変化が生じ、健全時との関連性が低くなったものと推定される。

6. あとがき

以上のように、本研究は AE モニタリングシステムを用いて、橋梁構造物を対象とした損傷同定手法について検討を加えたものである。

AE モニタリングを実施して解析を行った結果、フーリエスペクトルからは、非常に損傷が増大した場合にのみ、卓越成分に変化が見られるといった結果が得られた。一方、健全・損傷間のデータでコヒーレンスを求めた結果においては、比較的損傷が小さい場合においてもデータ間の関連性は明確に変化し、ある程度容易に損傷の影響を評価でき得る可能性を有するものと思われる。このことから、多点に設置された AE センサー間においてコヒーレンスを算出して、損傷に伴う相関関係の低下を捉えることで損傷状態を把握することも可能であると考えられる。したがって、AE モニタリングで得られたデータに周波数領域における解析法を適用すれば、橋梁構造物の損傷に対する定性的評価は可能であると推定される。

参考文献

- ・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.
- ・Nippon Physical Acoustics, Ltd ホームページ：<http://www.pacjapan.com/>
- ・橋梁振動研究委員会：橋梁振動の計測と解析，技報堂出版，1993.

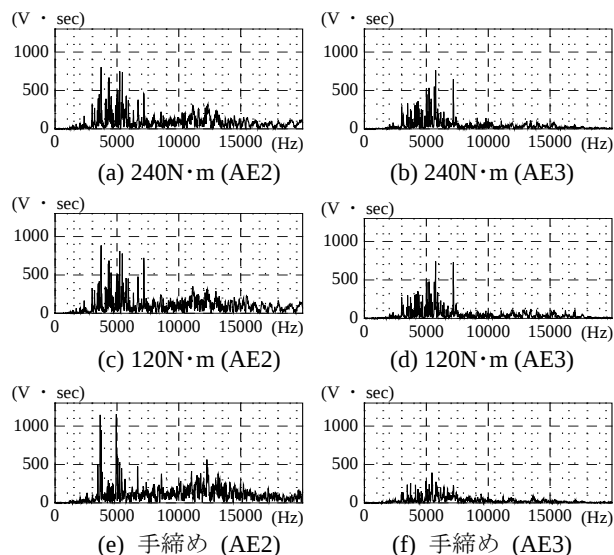


図-2 フーリエスペクトル

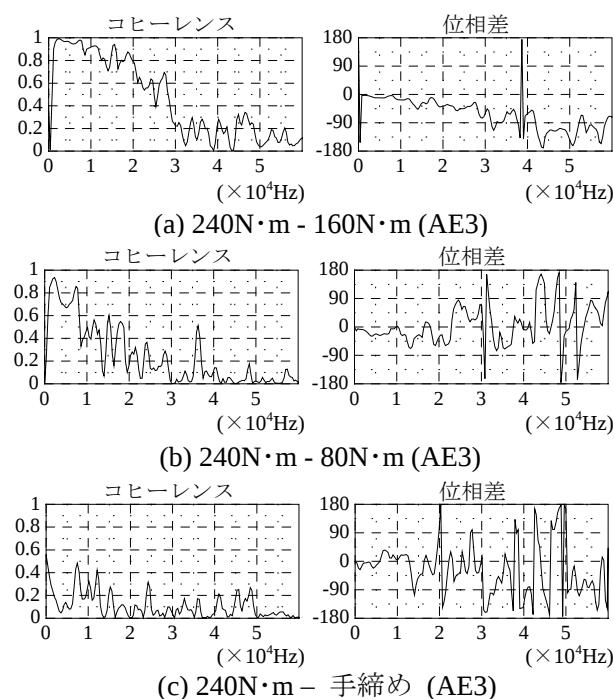


図-3 コヒーレンスと位相差