

PVDF 加速度計を用いた損傷検出システムの検討

Study on damage detection system polyvinylidene fluoride accelerometer

北見工業大学 学生員 ○鈴木喬之(Takayuki Suzuki)
 北見工業大学 正員 三上修一(Shuichi Mikami)
 北見工業大学 正員 山崎智之(Tomoyuki Yamazaki)
 北見工業大学 正員 宮森保紀(Yasunori Miyamori)
 北見工業大学 F 会員 大島俊之(Toshiyuki Oshima)

1. はじめに

現在、構造物の維持管理において目視による点検・調査・診断が行われている。この一連の流れを自動化し、維持管理の効率化を図ることを目的に、構造物が損傷を自己検知・診断する「構造ヘルスマニタリング」の研究が盛んに行われている。構造材料にセンサを取り付ける、あるいは埋め込むことにより構造物に加わったひずみ、振動、材料中に生じた損傷を検知・診断する構造ヘルスマニタリングの橋梁への適用が盛んに試みられている¹⁾。

構造ヘルスマニタリングに使用されるセンサの選択肢は増え続けており、その中でも圧電型加速度センサや MEMS は振動や衝撃計測等で多く使われているセンサである。圧電型加速度センサの特徴として、高感度・小型かつ低周波数から高周波数まで測定が可能であり、測定範囲が広いことが挙げられる。

この圧電素子を用いて微小な損傷位置と損傷程度を、ある程度検出できることが報告されている²⁾。また、様々な圧電素子の中でも PVDF(ポリフッ化ビニリデン)は柔軟性に富み、形状の自由度が高いことから小型のセンサが開発されている。よって本研究では、PVDF 加速度センサ(東京センサの ACH-01、以降 PF とする)を用いることとした。

本研究では、PF を用いることにより加速度計の軽量化・小型化を図ると共に、安価である振動測定システムを用いて損傷検出実験を行った。PF の性能評価を行うために、プリアンプ内蔵圧電加速度計(小野測器の NP-3130、以降 PA とする)を比較対象とした。損傷検出実験は、複数の FRP 部材をガセットで接合したトラス模型接合部における損傷検出実験を通して PF の性能評価を行った。

2. 振動測定システム

振動測定システムはアクチュエータ動作部とデータ収録部から構成されている。アクチュエータ動作部は加振波形を作成するファンクションジェネレータ、アクチュエータが動作するために適した電圧に増幅させるピエゾドライバ、加振器となる積層圧電アクチュエータからなっている。また、データ収録部は、ノート型パソコン・DAQ カード(A/D 変換カード)・アンプボックス・加速度計から構成されている。

このデータ収録部である加速度計を、PF に置き換えることにより小型化・軽量化を図った。また、PF は安



(a) PA (b) PF
 図-1 各加速度計の外観

表-1 センサの性能

センサ名	PA	PF
寸法[mm]	17Hex×32H	13L×19W×6H
質量[g]	46	3
周波数範囲[Hz]	5~4000 (±0.5 dB)	1~20000 (±3 dB)
値段[円/個]	78,000	5,000

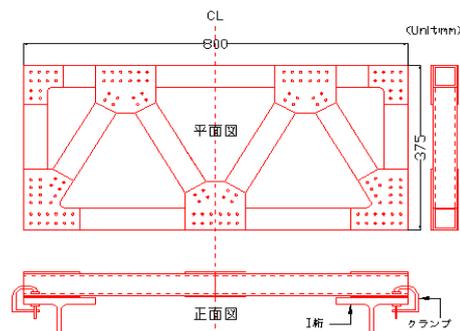


図-2 トラス模型一般図

価なため振動測定システムもコストダウンしている。本研究で用いた PF と、PF の性能を比較するため使用した、PA の外観を図-1、性能を表-1 にそれぞれ示す。

また PF は、加速度計からアンプボックスまでのケーブル、アンプボックス自体が電源や測定機器からノイズを拾っていた。そこで、ケーブルとアンプボックスにアルミホイルを巻きつけることによりノイズを除去した。常時微動からアルミホイルを巻きつける前後で、大きく変化があった 50Hz・140Hz・230Hz・510Hz で、20~40dB のノイズ低減がみられた。

3. 供試体の概要とセンサ及び損傷位置

3.1 FRP トラス模型の概要

実験に用いたトラス模型は、ものづくり大学 FRP トラス橋の主構⁴⁾を参考に作製されたものであり図-3 に示

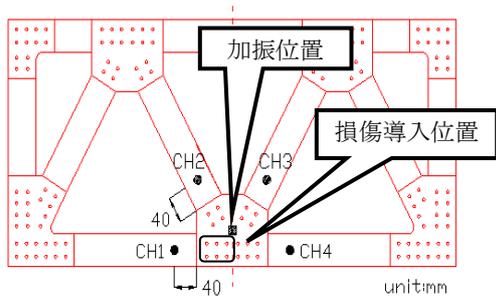


図-3 センサ及び損傷位置

す 800×375mm(横×高さ)のトラス構造となっている。

トラス部材には FRP 製角パイプ(□50mm)を使用し、ガセットプレートと角パイプはブラインドリベットで接合されている。実験時におけるトラス模型の固定方法は、4 隅の節点を図-2 の正面図に示すように、クランプで I 桁のフランジの先端と挟むことにより固定している。

3.2 センサ及び損傷位置

センサの計測は中央のガセットプレートと接合されている、4 つの FRP 部材に 1 つずつセンサを設置し、計 4 チャンネルで行った。

損傷としてはリベットの抜け落ち破壊を想定し、リベットをドリルで外すことにより損傷ケースを作成した。トラス模型中央のリベットを損傷導入位置として、CH1 の近傍の弦材左のリベット 6 本を脱落させた状態を損傷状態とした。全てのリベットが締結された状態を健全状態(D0)、弦材左の表面のリベットを 6 本脱落させた状態を損傷状態(D6-1)と定義する。

4. 接合部の損傷検出実験

4.1 損傷検出方法⁵⁾

損傷検出の手順は、以下のようになる。

- ①アクチュエータの加振に対するセンサの出力応答を対象構造が健全状態、損傷状態でそれぞれ取得
- ②損傷前後のパワースペクトルの差から、各センサが受ける損傷の影響度を数値化した損傷指数(DI)を算出
- ③DI 値の大きさを設置したセンサ同士で比較することで損傷位置を判断する

この DI 値に、測定時のノイズや測定誤差の影響を除去処理を施し損傷位置の判定を行う。

4.2 加振位置及び計測条件

加振位置は中央のガセットプレートに貼り付けたアクチュエータにより、面外方向に加振した。トラス模型の加振条件は Sweep 加振とし、加振周波数を 1~700Hz で 10 秒加振した。また、計測条件はサンプリング周波数を 7000Hz、計測時間を 12 秒で実験を行った。

4.3 実験結果

図-4、図-5 は PF・PA における DI 値の算出結果を CH1~4 について比較した結果である。損傷近傍に設置した CH1 の DI 値が、他のセンサよりも大きな値を示しており PF、PA どちらのセンサも損傷位置の検出ができた結果となっている。図-6、図-7 は CH1 の損傷前後でのパワースペクトルである。どちらも 250Hz 付近と 610Hz 付近でピークが現れている。参考文献⁵⁾で、この

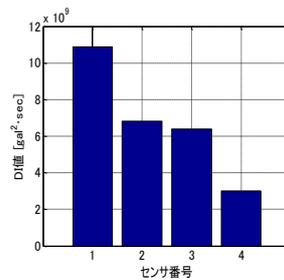


図-4 PF の DI 値算出結果

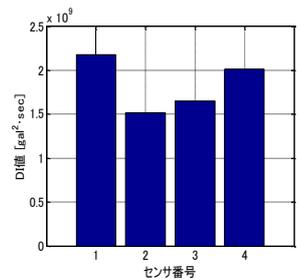


図-5 PA の DI 値算出結果

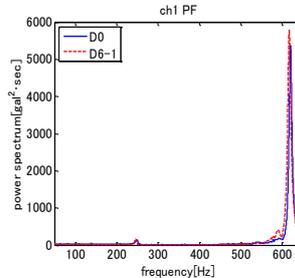


図-6 PF のパワースペクトル

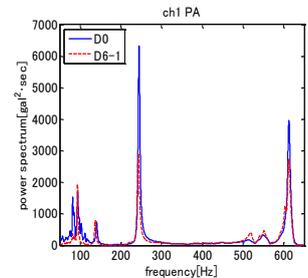


図-7 PA のパワースペクトル

トラス模型の振動モードが得られており、2 次の振動モード(256.9Hz)はねじりのモードであり、図-3 による影響を受ける。損傷位置が大きく変化する所である。また、7 次の振動モード(609.3Hz)は斜材が大きく変形するモードであり、斜材の根元のガセットプレートに変形が伝わるため損傷による影響が大きくなると考えられる。PF と PA のスペクトルを比較すると、250Hz 付近のピークは PA では明瞭なピークが現れているが、PF ではピークは現れているものの、さほど大きくないことがわかった。

5. おわりに

本研究では、FRP トラス模型における損傷検出実験において PF の性能評価を行った。PVDF 加速度計を用いたトラス接合部の損傷検出性能を有することがわかった。今後、損傷の程度や損傷位置を変えた実験を行い、検証を行っていく予定である。

【参考文献】

- 1) 土木学会構造工学委員会橋梁振動モニタリング研究小委員会：橋梁振動モニタリングのガイドライン，土木学会，2000。
- 2) S. Beskhyroun, S. Mikami, T. Oshima : Nondestructive damage detection scheme for steel bridges, Journal of Applied Mechanics, JSCE, Vol.9, pp.63-74, 2006.
- 3) (株)東京センサ：PIEZO FILM PRODUCT INFORMATION, 2009.
- 4) 増渕文男：大学の授業における GERP トラス橋の建設，強化プラスチック, Vo.54 No1 pp.29-34, 2008.
- 5) 迫着昂志，三上修一，大島俊之，宮森保紀，山崎智之：FRP トラス構造の接合部損傷検出のための振動特性の検討，土木学会北海道支部 論文報告集 第 67 号, A-26, 2011.