PVDF 加速度計を用いた損傷検出システムの検討

北見工業大学　学生員　○鈴木喬之
北見工業大学　正　員　三上修一
北見工業大学　正　員　山崎智之
北見工業大学　正　員　宮森保紀
北見工業大学　F 会員　大島俊之

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「構造ヘルスモニタリング」の研究が盛んに行われている[1)]。一方、FRP(Fiber Reinforced Plastic)は軽量で高い耐食性を持つことから、構造部材に利用されている。また、このような軽量な部材を橋梁へ適用する場合のモニタリング技術の研究・開発も行われている。

構造ヘルスモニタリングに使用される、圧電型加速度計や MEMS(Micro electro mechanical systems)は振動や衝撃計測等で多く使われているセンサである。また、圧電素子を用いて比較的軽微な損傷を検出できることが報告されている[2)]。

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。本研究では、PVDF 加速度センサ（東京センサ ACH-01、以降 PF とする）を用いた。

PF の損傷検出性能の評価を行うため、プリアンプ内蔵圧電加速度計(小野測器 NP-3130、以降 PA とする)を使用した。PA は既往の研究[3)]で、FRP トラス模型接合部における損傷検出実験で用いられたことから PF の比較対象とした。本研究では、PF の損傷検出性能の評価と、FRP のような軽量部材の振動計測に対して、使用するセンサの質量によりどのような影響があるか確認した。

2. センサの性能

本研究で用いた、PF の性能を比較するため使用した PA の性能を表-1 にそれぞれ示す。PF は PA に比べ小型かつ軽量であることがわかる。特に、PF は質量が 3g と PA の約 15 分の 1 程度であることが特徴として挙げられる。

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	1～20000
値段[円/個]	78,000	5,000

3. 周波数応答特性

PF の周波数応答特性の確認を行った。鋼板を用いた片持ち梁（30L×5W×0.5H[cm]）の先端部分に PA と PF を同位置に貼り付け、梁先端に設置した積層圧電アクチュエータで入力周波数を 50~700Hz まで 50Hz 間隔で変化させた正弦波を 5 秒間加振を行い、各センサで加速度波形を取得した。

加振周波数を中心にバンドパスフィルタにより処理を行った加速度応答の最大値を縦軸に、加振周波数を横軸にとり作成した周波数応答特性を比較した結果を図-1 に示す。

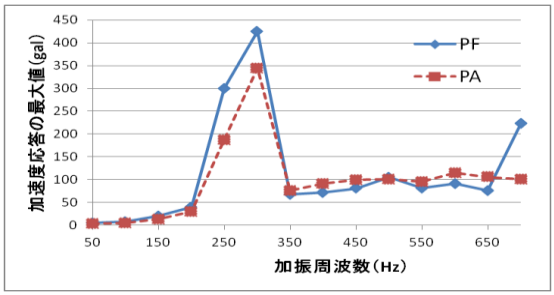

図-1　周波数応答特性

PA と PF の 50~700Hz の周波数応答特性がそれぞれ得られた。図-1 より、PF は PA と同等の周波数特性を有していることが確認できた。

4. 供試体の概要とセンサ及び損傷位置

4.1 FRP トラス模型

実験に用いたトラス模型は、ものつくり大学 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。

4.2 センサ及び損傷位置

センサの計測は中央のガセットと接合されている、図-2 に示すように 4 つの FRP 部材に一つずつセンサ（ch1~ch4）を設置し、計 4 箇所で行った。

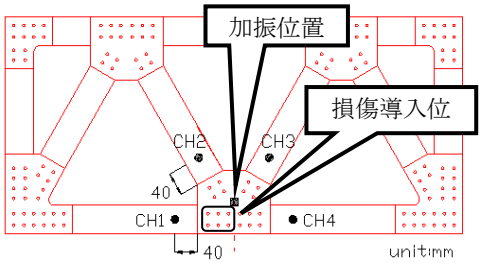

図-2　センサ及び損傷位置

キーワード：PVDF 加速度計, FRP 部材, 損傷検出
連絡先：〒090-8507　北海道北見市公園町 165 番地　TEL(0157)26-9471　(三上修一)

損傷としてはリベットの抜け落ち破壊を想定し、角パイプとガセットを接合しているリベットを、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。

5. 接合部の損傷検出実験

5.1 加振位置及び計測条件

加振方法は中央のガセットプレートに貼り付けた、積層圧電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（1～700Hz）で 10 秒間加振した。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。

5.2 損傷検出方法 [3)]

損傷検出の手順は、以下のようになる。

①積層圧電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する

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値)を算出する

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

5.3 実験結果

図-3、図-4 は PF と 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-5、図-6 は CH1 の損傷の有無で測定された加速度のパワースペクトルであり、DI 値の算出に用いたものである。どちらも 250Hz 付近と 610Hz 付近でピークが現れているが、PF の 250Hz 付近でのピークがさほど大きくないことがわかる。これは、PF が PA に比べセンサが軽量であるため、付加質量が減少したことによる影響と考えられる。

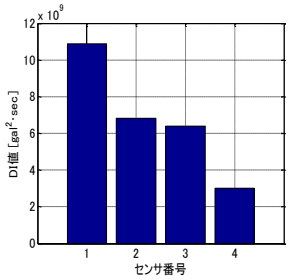

図-3 PF の DI 値算出結果

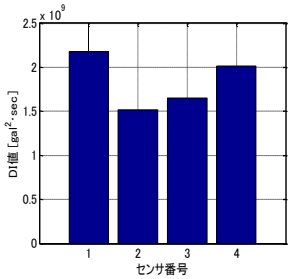

図-4 PA の DI 値算出結果

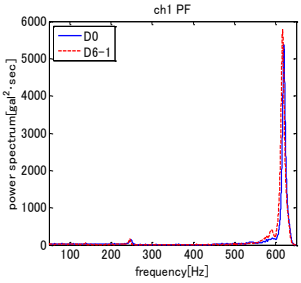

図-5 PF のパワースペクトル

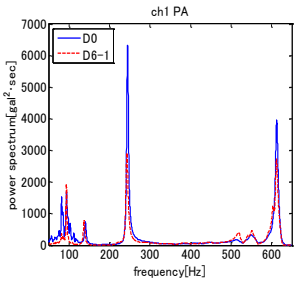

図-6 PA のパワースペクトル

6. 付加質量による加速度の影響

FRP トラス模型の接合部が健全な D0 の状態で PF に 1 個 12g のおもりを各センサに追加し、センサ位置の質量を増加して実験を行った。実験条件は、前章の損傷検出実験と同条件とした。比較した実験 case は表-2 に示す。図-7 は各ケースにおいて 250Hz と 609Hz のスペクトルの大きさを示す。

表-2　各ケース

	おもり	付加質量
case-0	0 個	なし
case-1	4 個	48g
case-2	8 個	96g
case-3	12 個	144g

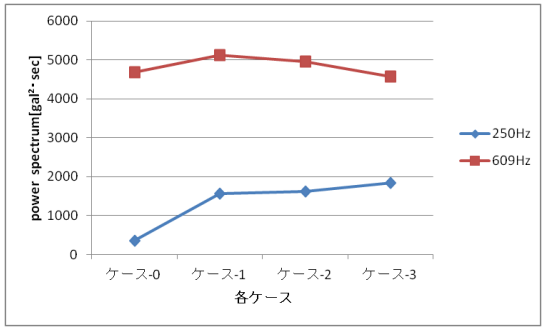

図-7　250Hz・609Hz におけるスペクトル

図-7 から付加質量が大きくなると、250Hz におけるスペクトルが大きくなっていることがわかる。このことから、センサ位置の質量の影響で 250Hz のピークが大きくならなかったと考えられる。

7. おわりに

本研究では FRP トラス模型を通して、PF の損傷検出性能の比較評価を行った。損傷検出に用いた PF は PA と同程度の損傷の検出性能を有していることがわかった。また、センサ自体の質量によりスペクトルの大きさが変化することが確認できた。

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) 追着昴志, 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.

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.