

局部振動加振による FRP トラス接合部の損傷検出法に関する研究

北見工業大学大学院工学研究科	○ 学生員	追着昂志 (Takashi Oitsuki)
北見工業大学社会環境工学科	正 員	三上修一 (Shuichi Mikami)
北見工業大学社会環境工学科	フェロー	大島俊之 (Toshiyuki Oshima)
北見工業大学社会環境工学科	正 員	宮森保紀 (Yasunori Miyamori)
北見工業大学社会環境工学科	正 員	山崎智之 (Tomoyuki Yamazaki)

1. はじめに

FRP 材は、耐久性に優れた長寿命材料として、軽量かつ高強度であることから橋梁の主部材として適用することで、メンテナンス費用の削減、下部構造への荷重負担の軽減、架設工場の省力化などが期待され、建設工事費を抑える可能性が十分にあり、今後、歩道橋や点検路、応急橋梁などへの適用が検討されている¹⁾。

このような取り組みの一方で、FRP 材が有する塑性領域を持たない複雑な破壊形式から破壊の予兆を把握することは難しく、適切な保守と安全な運用を促すため近年 FRP 構造の損傷評価を任意に確認(モニタリング)するための研究が盛んに行われている。本研究では FRP の構造として、複数の部材をガセットで接合したトラスのような構造の接合部の損傷評価法の確立を目的とする。局部振動加振は積層圧電アクチュエータを用い、測定加速度より算定した損傷指数(DI)を用いて損傷位置の評価方法を検討する。

2. 局部振動加振実験の概要

2.1 実験装置及び FRP トラス模型

実験装置は積層圧電アクチュエータを加振機とする動作部と圧電加速度検出器を用いたデータ収録部から構成される²⁾。

実験に用いた供試体は、国内の FRP 橋梁適用事例の 1 つであるものつくり大学 FRP トラス橋の主構を参考にして作製したトラス模型であり、寸法は図 1 に示すとおりである。トラス部材梁には FRP 製角パイプ(□50)を使用し、ガセットプレート(SUS304 製)と、ブラインドリベットにより接合されている。振動実験時の固定条件は、トラスの 4 隅の節点を図 1 のように固定している。

2.2 実験方法および実験結果

本実験では、リベット接合部の損傷を対象とした実験について、積層圧電アクチュエータで FRP トラス模型を加振させ、損傷前後の加速度の測定を行った。アクチュエータ及び加速度センサの配置を図 1 に示す。

アクチュエータの設置位置が損傷検出に及ぼす影響を調べるため、加振位置が異なる 2 パターンの加振実験を行った。図 1 の Point1 を加振位置とする実験を実験 1、Point2 を加振

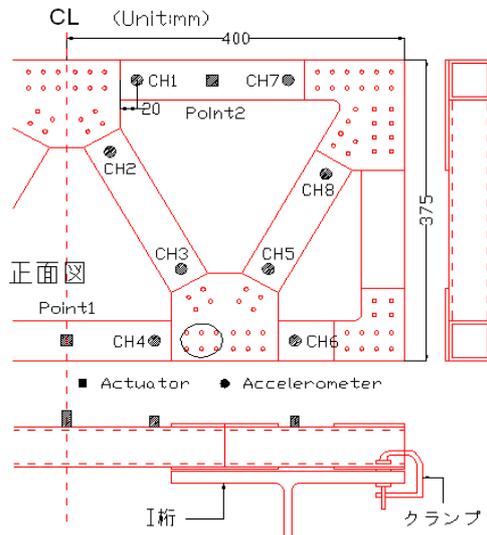


図 1 実験 1、2 のセンサ配置図

位置とする実験を実験 2 とする。

アクチュエータによる加振法として SWEEP 加振法を採用し、加振時間 10 秒、加振周波数を 1~700Hz と設定した。加振方向はアクチュエータの設置面に対して垂直である。計測時のデータのサンプリング間隔を 7000Hz とする。

本実験では、接合部の損傷評価を行う上で損傷状態を再現できる損傷モデルとしてリベットの脱落本数を考え、図 1 の実線で囲んだ加速度センサ CH4 の隣に位置する範囲を損傷導入範囲とし、リベットが全て締結した状態を健全状態 D0、リベットを 2 本取り外した状態を損傷状態 D2、4 本取り外した状態を D4、6 本取り外した状態を D6 と定義する。

実験結果の一例として、図 2 は実験 1 における CH3 と CH4 のパワースペクトルをそれぞれ重ねたものであり、損傷前後のスペクトルのピークが大きい範囲である 1400~2100Hz に絞って表示したものである。

損傷付近の CH4 では損傷が D0 から D2→D4→D6 と増加するにつれて 1700~1900Hz のスペクトルのピークが減少する傾向が見られ、健全時に比べ振動振幅が減少している。一方 CH3 では、損傷が D6 へ増加すると 1500~1600Hz、1900~2050Hz のピークが増加、1600~1750Hz のピークが減少し、CH4 のように損傷が増加すると特定の振動数の振幅に変化が見られる点は同じだが、損傷の増加に伴いピークが減少だけでなく増加する点では異なっている。

3. 損傷検出解析法²⁾および解析結果

本研究で使用した解析法は、損傷前後の加速度スペクトルの変化量を損傷指標として損傷位置を同定するものである²⁾。式(1)に示す関数 $D_i(f)$ を用いて損傷指数 $Damage_Indicator_2$ を算出する。 $G_i(f)$ は健全状態、 $G_i^*(f)$ は損傷状態における加速度スペクトルの大きさを表し、 f は周波数、 i はセンサ番号である。

$$D_i'(f) = \log_{10}(G_i(f)) - \log_{10}(G_i^*(f)) \quad , \quad D_i(f) = |D_i'(f)| \quad (1)$$

図3は実験1,2の損傷指数を示したもので、縦軸が損傷指数、横軸が Damage Level(リベットの脱落本数)となっており、全8チャンネルを重ねて表示してある。

実験1ではD2, D4の時点では損傷近傍のCH4の損傷指数より大きな値を示すチャンネルが存在し、リベットが全て脱落したD6の状態ではしか損傷位置を把握できない結果となっている。実験2のD2では実験1と同様CH4の損傷指数が他のチャンネルと差は無いが、D4以降は損傷指数の値が大きくなり損傷位置を把握できる結果となっている。

ここで、損傷指数を算出する際に用いる式(1)の $D_i'(f)$ に着目する。図2よりCH4では損傷を受けた場合にスペクトルのピークは低下する。つまり、損傷が大きくなると $D_i'(f)$ が正の値に大きくなる。一方でCH3では損傷がD6に増加するとピークが増減するため $D_i'(f)$ は正と負の値が共に増加する。そこで $D_i'(f)$ が正、負の場合に分けて損傷との関係を検討する。

図4は実験1,2の $D_i'(f)$ の合計をグラフ化したものであり、縦軸が $D_i'(f)$ のプラス成分の合計($\sum D_i'(f)^+$)とマイナス成分の合計($\sum D_i'(f)^-$)、横軸がセンサ番号であり、実験1のCH4以外に大きな損傷指数を示したCH5, 8, CH4付近のチャンネルであるCH3について図示してある。

図4(a)の実験1において、D2からD4に損傷が増加した際にはCH4だけでなく、周りのCH3やCH5の $\sum D_i'(f)^+$ も増加し、 $\sum D_i'(f)$ の絶対値としてはチャンネル間で差が出ない結果となっている。図4(b)ではD6まで損傷が増加するとCH4の $\sum D_i'(f)^+$ の増加量が他のチャンネルと比べて大きい、CH3やCH5の $\sum D_i'(f)^-$ の増加量が大きく、ある程度損傷が増加すると損傷に近い所では負の成分が増加し、結果的にCH4以外の $D_i'(f)$ の絶対値が大きくなる傾向にある。CH8の $D_i'(f)$ も大きな値を示しているが、CH5と同じ部材上に設置してあるため、CH5と同様の傾向が見られる。

図4(c), (d)の実験2ではCH4の $\sum D_i'(f)^+$ がD2~D6を通して他のチャンネルよりも大きく、さらに損傷がD6まで増加した際の負の成分の増加量も実験1より小さく、加振源の違いが損傷後のスペクトルの増減の仕方に与える影響は大きいと考えられる。

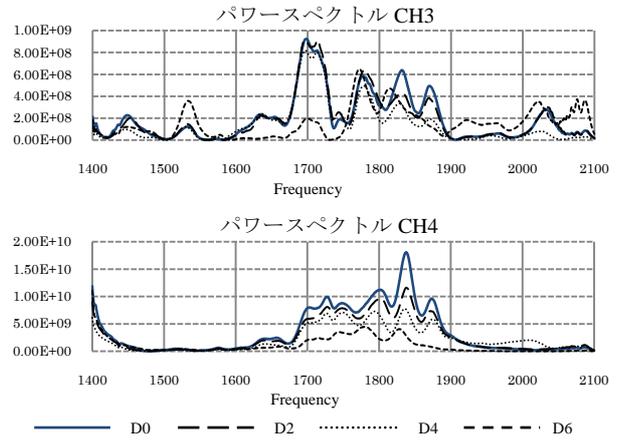


図2 各損傷状態のパワースペクトル(実験1)

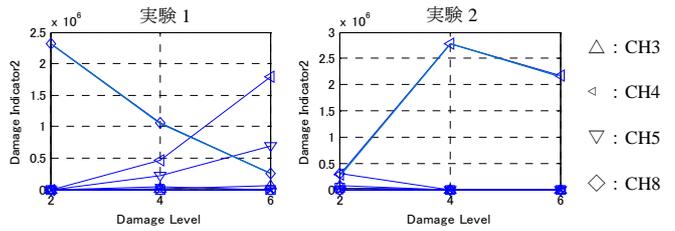


図3 実験1,2の損傷指数

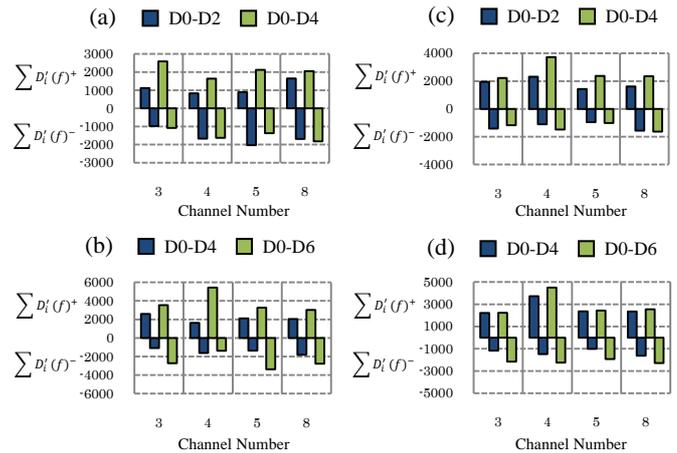


図4 $\sum D_i'(f)$ (左:実験1,右:実験2)

4. 結論

本研究で得られた結果をまとめると以下の点に要約できる。

- 1)接合部が損傷すると、接合されていた部材上に設置したチャンネルのスペクトルのピークが減少する傾向を確認した。
- 2)接合部が損傷したガセットに接合されている部材は損傷後のスペクトルの変化の仕方が損傷付近の部材とは異なり、スペクトルの増加あるいは減少が起こり、実験1ではその影響のため損傷位置を把握できない結果となった。

参考文献

- 1)土木学会構造工学委員会 FRP 橋梁研究小委員会：FRP 橋梁—技術とその展望—、土木学会、2004。
- 2)S.Beskhyroan, S.Mikami, T.Yamazaki, T.Oshima：Vibration Based Monitoring Technology for FRP Structures, Proc.of The International Colloquium on Application of FRP to Bridges,JSCE,Page.55-62,2006。