

第 I 部門

CFRP 接着補修後の柱状構造物における振動計測を用いた疲労き裂再進展検知

京都大学大学院 学生員 ○小森 啓司 京都大学大学院 正会員 松本 理佐
 岐阜大学 正会員 五井 良直 京都大学大学院 正会員 北根 安雄

1. はじめに

本研究では標識柱や照明柱が代表とされる鋼製の柱状構造物を対象とする。柱状構造物の基部の三角リブ上端から、疲労き裂が発生する事例が報告されている。き裂に対する補修方法の一つとして CFRP 接着補修工法が挙げられるが、疲労き裂の再進展や CFRP の剥離を目視により確認できないため、現状においては応急的な補修方法として主に採用されている。CFRP 接着工法を恒久的な補修方法として採用し、採算性を高めるためには、補修効果を長期的に確認するための非破壊検査手法の開発が望まれる。そこで本研究では振動計測による固有振動数の経過観察を行い、疲労き裂の再進展の検知を試みる。

2. 研究手法

2.1. 概説

実際の柱状構造物の 10 分の 1 の大きさの模型 2 体を試験体とした。加振機による繰り返し载荷を行い、き裂方向の 2 つの三角リブ上端に疲労き裂を発生させた (図-1)。疲労き裂に対して、一方には SH (ストップホール)、もう片方には ICR による従来の補修を施工した。その後 CFRP 接着補修工法を施工した。そして再度繰り返し载荷を行い、内部での疲労き裂の再進展を再現した。並行して加速度計を試験体に取り付け振動計測を行い、1 次曲げ固有振動数の推定を行った。



図-1 加振機を取り付けた試験体

2.2. 繰り返し载荷

試験体上部の板に加振機を設置し、き裂方向に繰り返し载荷を行った (図-1)。加振機は回転周波数を 18.1Hz、70%出力に設定し、遠心力を 1.72kN とした。

図-2 にひずみゲージ設置位置を示す。SH1, SH2 は SH の縁に設置した (図-3)。これらのひずみゲージが破損した時点疲労き裂再進展発生とした。そのため、疲労き裂再進展の予想経路に設置した。また加振機の遠心力による試験体上部の応力を測定するために試験体上部の 2 か所 (SH, ICR), CFRP 層の剥離を検知するために CFRP 最外層の 4 か所 (CF1, CF2, CF3, CF4) にひずみゲージを設置した。

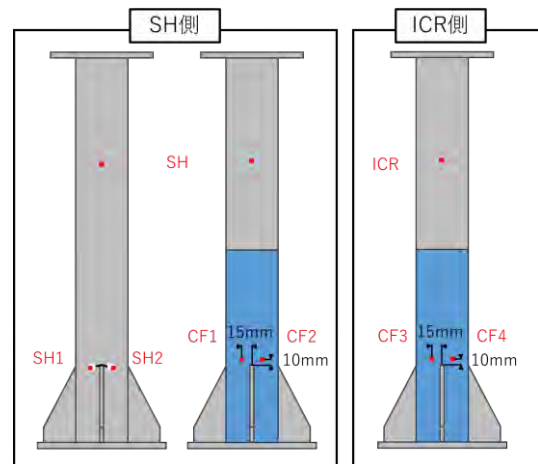


図-2 ひずみゲージ設置位置

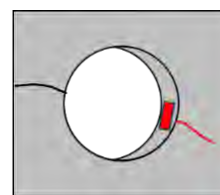


図-3 SH2 詳細

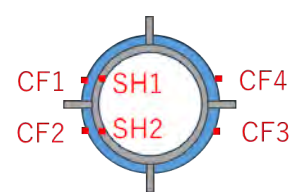




図-4 断面図

2.3. CFRP 接着補修工法

CFRP の構成要素の 1 つであるパテの弾性率が異なる 2 種類の施工を行った。パテ以外は機械的性質の等しい要素を採用した。

表-1 施工後の試験体

| | |
|---|---|
|  |  |
| パテの弾性率 (N/mm ²) | |
| 55~57 | 1,000~ |

3. 実験結果

3.1. 低弾性パテを用いた試験体

図-5 より、荷重初期に固有振動数が減少した。これは下板と架台との境界でのなじみによる境界条件の変化が原因として考えられる。また、初期の固有振動数低下以降、荷重回数 400 万回まで固有振動数に大きな変化が見られなかった。400 万回以降は加振力を 100% 出力の 2.45kN で荷重した。これは SH1, SH2 のひずみ範囲を疲労き裂の再進展に必要な 2000 μ 以上にするためである[1]。その結果 513 万回荷重後に SH1, 517 万回荷重後に SH2 が破断した。境界条件の変化がなくなったと考えられる 100 万回荷重後に対して、固有振動数は 8.8% 減少した。

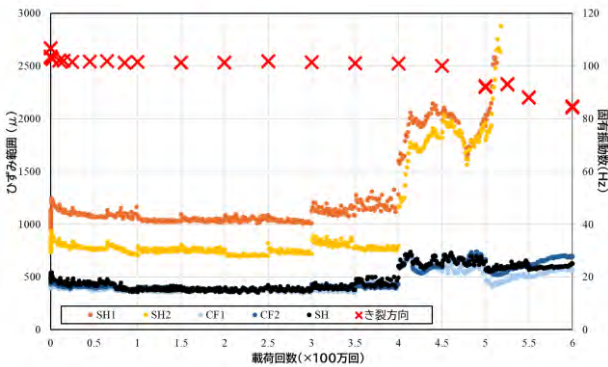


図-5 ひずみ範囲と固有振動数の変化 (SH 側)

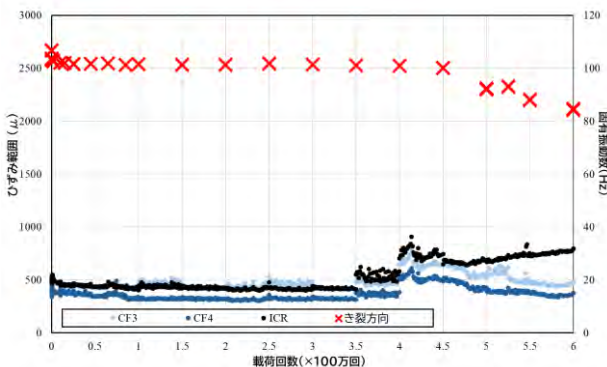


図-6 ひずみ範囲と固有振動数の変化 (ICR 側)

3.2. 高弾性パテを用いた試験体

図-7 より、荷重初期に固有振動数が減少した。これは低弾性パテ使用時と同様の傾向であった。荷重回数 1000 万回まで固有振動数に大きな変化が見られなかった。1000 万回以降は加振力を 100% 出力の 2.45kN で荷重した。その結果 1118 万回荷重後に SH2, 1269 万回荷重後に SH1 が破断した。この時、固有振動数は 100 万回荷重後に対して、4.5%の減少となった。この結果は低弾性パテ使用時と比べて、減少率が小さかった。これはき裂再進展による剛性の減少が高弾性パテ使用の試験体に与える影響が比較的小さいことが原因として考えられる。その後も荷重をつづけたところ 2008 万回荷重時に試験体と加振機が共振し、CFRP 層全域にわたって剥離が生じた。その結果、固有振動数は 100 万回荷重後に対し、19.0% 減少した。

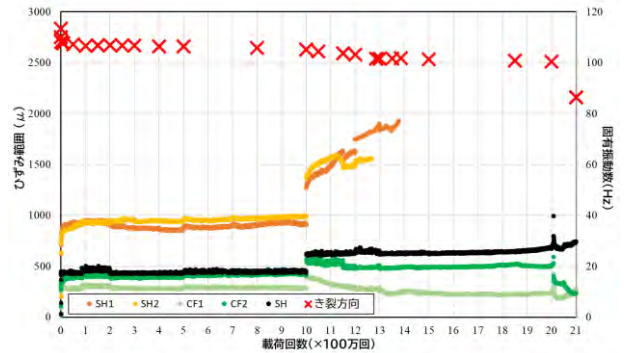


図-7 ひずみ範囲と固有振動数の変化 (SH 側)

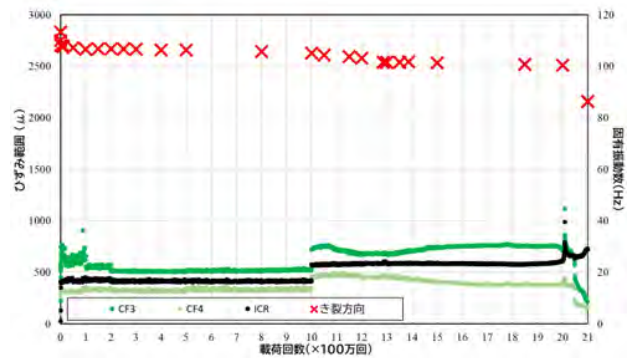


図-8 ひずみ範囲と固有振動数の変化 (ICR 側)

4. まとめ

疲労き裂再進展時に 1 次曲げ固有振動数の減少が確認された。この時、高弾性パテ使用時の方が固有振動数の減少率が小さかった。

5. 参考文献

[1] 松本理佐, 石川敏之, 服部篤史, 河野広隆, 山田健太郎: き裂閉口によるストップホール疲労強度の向上効果, 鋼構造論文集, 第 21 巻, 第 83 号, pp.53-61, 2014.