

情報板支柱の実物疲労試験システム構築と疲労耐久性向上に関する検討

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 正会員 ○小塚 正博

岐阜大学 正会員 木下 幸治 岐阜大学大学院 村瀬 紘貴 岐阜大学大学院 学生会員 小原 健司

1. はじめに

道路橋の付属構造物である情報板支柱において、風荷重や交通荷重の影響により振動を生じている。その振動により、リブ部や開口部の溶接継手部に疲労損傷が発生した事例がこれまでに報告されている^{1), 2)}。さらに、既設されている情報板支柱のうち、上記の事例と同程度の供用年数を有しているものは数多くあり、今後、同様の疲労損傷が生じることが懸念される。これまで疲労損傷が確認された情報板支柱に対しては、取替えを実施してきたものの、取替え作業には莫大な労力及びコストが必要となり、今後、損傷事例がますます増加していくことが予想されている。そこで、本研究では簡易的かつ効率的に情報板支柱の疲労耐久性を向上させる補修および補強手法の確立を行うことで、情報板支柱の供用年数を増加させ、取替え時期を調節可能にする事を目的とし、まず実物情報板支柱の疲労試験を実施可能な試験システムを構築した。その上で、情報板支柱に生じたき裂への補修手法の検討として、ICR 処理、グラインダー処理やストップホール処理を行い、各手法の疲労寿命延命効果について検討した。

2. 情報板支柱概要

本研究では、土工路肩部で約 20 年間供用された F 型情報板支柱を対象とした。図-1 に情報板支柱の形状および寸法を示す。情報板支柱の高さは 7.9m で、鋼管径および板厚が 355.6mm, 11.1mm である。材質は支柱鋼管に STK400 材、リブ部および開口部の付加板には SS400 材が使用されている。本試験では、情報板を取り外した鋼管支柱のみを対象とし、疲労試験を実施した。

3. 疲労試験システムの構築

写真-1 に疲労試験システムを示す。実験室の反力壁に情報板支柱を PC 鋼棒で固定し、片持ち梁とした。加振機は、偏心モーターを支柱頭頂部（自由端側）に U ボルトで取り付けることにより、支柱基部側のリブ部および開口部に繰り返しの曲げを与えた。また、情報板支柱には付属物が取り付けられており、水平方向にも振動を生じてしまうため、水平方向の振動を抑制する治具を設置し、鉛直方向の振動のみとなるよう制御を行った。また今回、最大出力荷重の比較的小さい偏心モーターでの疲労試験を可能とするため、加振周波数と情報板支柱の固有振動数を近接させる共振現象を利用することを試みた。そこで固有振動数を把握するための自由振動実験として、ハンマーで支柱頭頂部を異なる強さで打撃し、リブ部溶接近傍に添付したひずみゲージからひずみの最大振幅が異なる 2 種類のひずみ波形を計測し、それぞれ高速フーリエ変換（以後、FFT）を行った。図-2 にひずみの時刻歴波形、図-3 に FFT 結果を示す。図-3 より、4.15Hz の振動数が卓越していることが分かる。さらに、固有振動解析も同時に実施した。本解析では、ファイバー要素を用い、情報板支柱の質量および剛性をモデル化した。なお、基部の固定条件は完全固定とし、支柱を 30 要素程度に分割した。図-4 に解析結果を示す。図より、支柱の固有振動数は 4.16Hz であり、自由振動実験の結果と概ね一致した。そこで、共振現象を把握するために 2.0, 3.0, 4.0, 4.15, 4.30, 7.0, 8.0Hz の加振周波数で強制振動実験を実施した。図-5 に各加振周波数の拡大率を示す。横軸は加振周波数を固有振動数で除した値、縦軸はひずみの拡大率を示す。また、同図に自由振動実験において概算した減衰定数から算出した共振曲線を併記する。図より、実験の結果値と共振曲線は概ね一致しており、本試験は共振現象を利用しているといえる。なお、水平治具と情報板支柱との接触面の摩擦の影響により減衰定数が 0.021, 0.028 と差異が生じていた。また、振

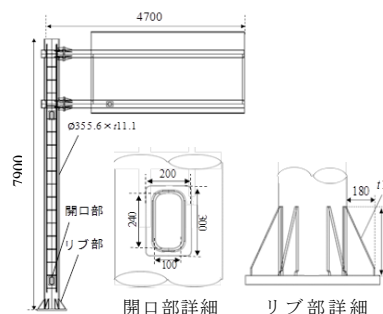


図-1 情報板支柱の形状および寸法



写真-1 疲労試験システム

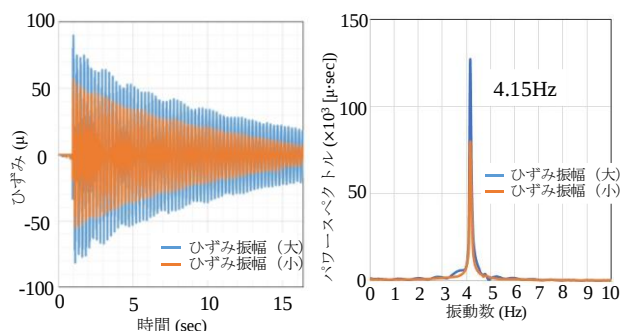


図-2 ひずみの時刻歴波形

図-3 FFT 結果



面内・面外 1 次振動モード (4.16Hz)

図-4 固有振動解析結果

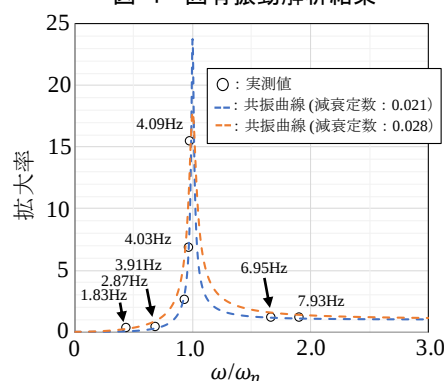


図-5 各加振周波数の拡大率

キーワード：情報板支柱、疲労試験、共振、ICR 処理、PPP 処理、ストップホール

連絡先：〒460-0003 名古屋市中区錦 1-8-11 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) TEL:052-212-4551

幅が増大するにつれて、減衰定数が減少する傾向が見られた。試験後き裂が進展した場合、固有振動数が低下し、共振曲線が変化することが考えられる。そのため、本研究では、加振振動数が共振ピークにあたることに注意して、試験を行った。

4. 疲労試験概要

疲労試験を開始するにあたり、情報板支柱の応力分布を把握するため、静的荷重試験および FEM 解析を実施した。その結果を図-6 に示す。図より、実験結果と解析結果は概ね一致しており、リブ部および開口部の応力集中は溶接止端部から 50mm 以降で収束していることがわかった。このため、応力集中の影響を受けない溶接止端部から 75mm の位置を公称応力位置とした。図-7 に疲労試験状況を示す。本試験では、リブ部の公称応力範囲が 100~120MPa になるように加振周波数を 4.30Hz とした。また、図-8 にリブ部および開口部の各部名称を示す。今回、試験対象箇所とした溶接継手部から発生する疲労き裂の検出として、各溶接部近傍の応力範囲の減少傾向から確認し、き裂発生時の繰返し回数を求めた。

5. 疲労試験結果

本試験では、溶接止端沿いにき裂が確認できた際の繰返し回数を N_{toe} 、母材に進展する際の繰返し回数を N_b とした。また、応力範囲の低下を確認後、磁粉探傷（以後、MT 試験）浸透探傷試験（以後、PT 試験）を行い、疲労き裂の再確認を行った。

5.1 リブ部

表-1 にリブ部の疲労試験結果を示す。本試験では、リブ部 A-1、A-2、A-4 の止端部からき裂が生じた。 N_b 到達時、A-1 が 4 万回、A-2 が 15 万回であった。A-3 はき裂の発生はなく、A-4 は 17 万回で N_{toe} 程度のき裂を確認した。これらのき裂に対し、A-1 は ICR 処理によるき裂の開口、A-2 はグラインダー処理によるき裂除去を行い、A-4 は補修なしとした。通常、グラインダーでの切削後は母材の断面欠損を考慮し再溶接を実施するが、本施工では施工性を重視し PPP 処理によるき裂の再発生の抑制を試みた。PT 試験を行い、各処理によるき裂の開口および除去の有無を確認した。写真-2 に PT 試験結果を示す。写真より、指示マークが浮き出していないことから、き裂表面が開口および除去されていることが確認できる。A-1 に関して、き裂開口後、10 万回程度き裂進展が抑制された。A-2 に関して、対策後 5 万回の荷重回数の時点ではき裂の再進展は見られなかった。

5.2 開口部

表-2 に開口部の疲労試験結果を示す。開口部は溶接ルートからき裂が発生し、約 18 万回荷重後に B-1、B-2 の溶接止端部までき裂が進展していた。ここでは、補修手法として、ストップホール処理を行った。写真-3 に施工後の写真を示す。写真から、ストップホールがき裂先端をとらえていることが確認できる。施工後、1 万回時点でき裂が再進展しており、き裂進展抑制の効果が低い結果となった。その後再び、両側のき裂に対しストップホール処理を行い、コバ面を PPP 処理する事により、組織の緻密化を図ったが、施工後 1 万回程度でき裂が再進展した。これらの要因として、開口部に生じたき裂は溶接ルート部から進展したため、溶接ビード表層にあらわれた際にはき裂長さが大きくなっており、ストップホール縁に作用する応力集中が増大したのだと考えられる。

6. 結論

- 1) 共振現象を利用した偏心モーターを用いた、安定した試験の実施が可能な実物大の疲労試験システムを構築することが可能となった。
- 2) リブ部に発生した疲労き裂に対し、ICR 処理で、10 万回程度き裂進展を抑制することが可能となった。
- 3) 開口部に発生した疲労き裂に対し、応急的な手法であるストップホール及び PPP 仕上げを施工したが、進展を抑制することが困難であった。

参考文献

- 1) 山田ら：門型標識柱の基部に発生した疲労き裂の補修効果の検討，鋼構造論文集，第 16 巻，第 61 号，pp.11-22，2009 年 3 月。
- 2) 小塩ら：交通振動下にある高架橋付属構造物の振動測定と疲労耐久性の評価，土木学会論文集，No.766，1-68，pp.219-232，2004 年 7 月。

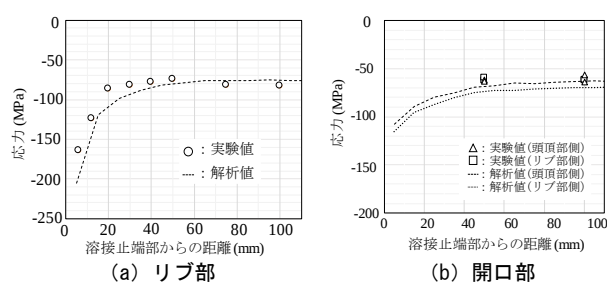


図-6 リブ部及び開口部近傍の応力分布

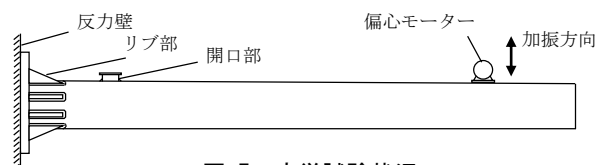


図-7 疲労試験状況

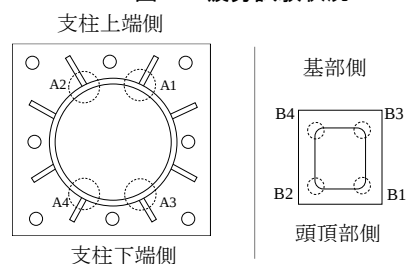


図-8 リブ部及び開口部の各部名称

表-1 疲労試験結果（リブ部）

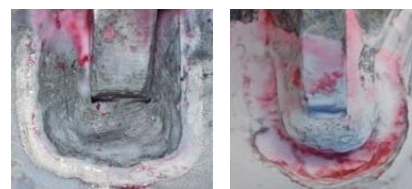
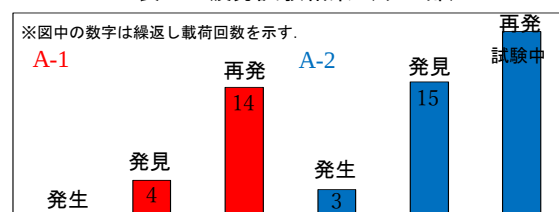


写真-2 各処理後の PT 試験結果

表-2 疲労試験結果（開口部）

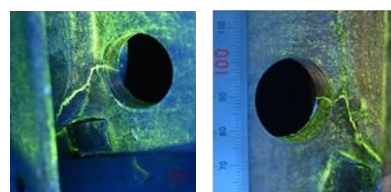
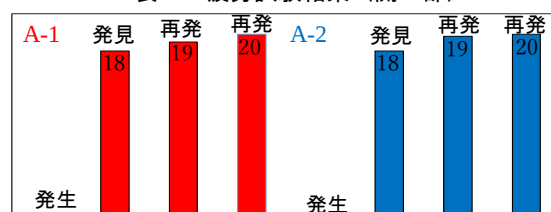


写真-3 各処理後の MT 試験結果