

情報板支柱の実物疲労試験における応力範囲及び固有振動数の検討

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 学生会員 村瀬 紘貴

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、今後、損傷事例がますます増加していくことが予想される情報板支柱に対し、取替作業を実施するには莫大な労力とコストを要してしまう。過年度、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を目的とし、実物情報板支柱の疲労試験を実施可能な振動型疲労試験機を使用し情報板支柱との共振を利用した試験システムを構築した³⁾。本研究では疲労試験によりき裂が発生することで変化する各部の応力状況とき裂の進展が情報板支柱に与える影響について検討を実施した。

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図-2 を実施した結果をもとに検討を行った。

3. 計測状況

情報板支柱の基部補強リブおよび開口部周辺の応力分布を把握し、公称応力計測位置を決定するために、静的載荷試験および FEM 解析を実施した。ひずみゲージ設置位置は溶接止端部から、リブ部は 6, 12, 20, 30, 40, 50, 75, 100mm の位置に、開口部は 50, 100mm の位置に貼付を行い、情報板支柱の先端下部にジャッキを設置し、ジャッキにより荷重を与えることにより応力を測定した。著者に既往の研究³⁾において FEM 解析を実施し、実験結果と FEM 解析結果は概ね一致していることを確認するとともに、リブ部および開口部の応力集中は溶接止端部から 50mm 以降で収束しており、構造的な応力集中の影響を受けない溶接止端部から 75mm の位置を公称応力計測位置とした。基部補強リブ部及び開口部周辺の応力計測用ゲージはそれぞれの溶接止端部から 12mm の位置に設置した。基部補強リブ部及び開口部の各部の名称を図-3 に示す。

4. き裂発生及び補修補強状況

き裂長さの定義は、き裂発生時点を Nb, き裂がビードから母材に 5mm 進展した時点を N5 とした。き裂の発生状況とき裂に対して実施した補修の状況を表-1 に示す。き裂補修方法として、補強リブ部はエアツールを用いて衝撃を与えき裂を並行する衝撃き裂並行処理 (ICR 処理)⁴⁾、エア式のニードルピーニング処理 (PPP 処理)⁵⁾を、図-4 に示す開口部に発生したき裂はストップホール処理と補強材設置を実施した。

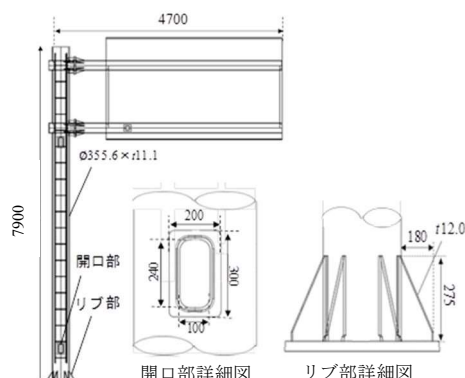


図-1 情報板支柱の形状および寸法



図-2 疲労試験システム

表-1 き裂発生及び補修状況

部位	箇所	繰返し回数					
		40,000	140,000	150,000	184,000	190,000	200,000
基部補強リブ部	A1	Nb (ICR処理)		N5 (ICR処理)			
	A2		Nb (グラインダー処理+PPP処理)				
開口部	B1		き裂発生		き裂横断	ストップホール	補強材設置
	B2		き裂発生		き裂横断	ストップホール	補強材設置

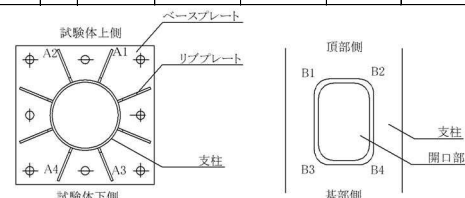


図-3 計測箇所



図-4 開口部き裂状況

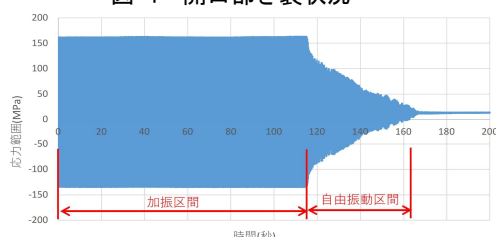


図-5 FFT 解析振動波形

キーワード：情報板支柱、疲労試験、共振、固有振動数、応力範囲

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

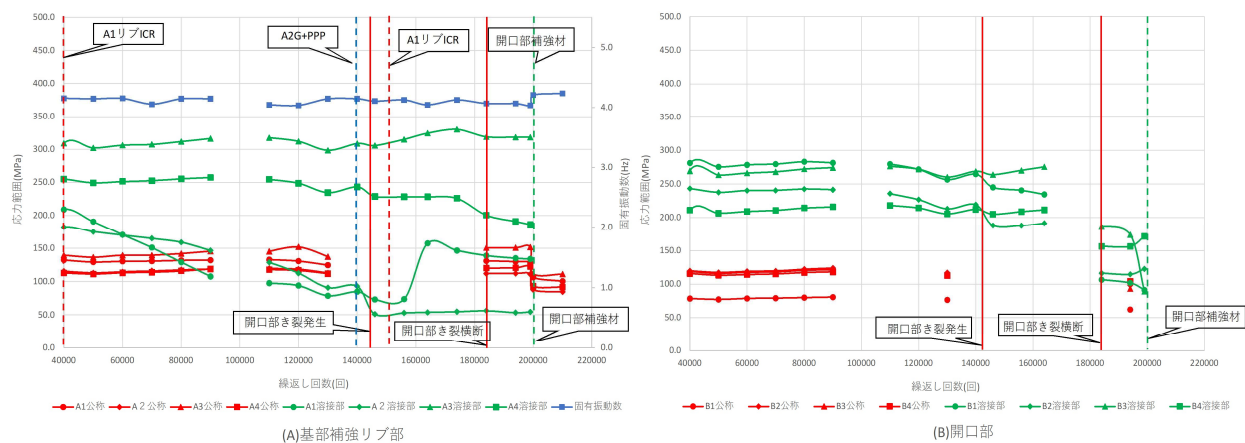


図-6 応力範囲及び固有振動数

5. 固有振動数

疲労試験時の試験機モーターを停止する際の補強リブ部の応力波形図-5 から、自由振動区間のデータを、FFT 処理することにより得られた固有振動数を図-6 に示す。

試験体の固有振動数は開口部のき裂が支柱母材に達するまで 4.04~4.16Hz の範囲で推移し、固有振動数とき裂の進展や ICR 処理等の補修との明確な関連性は確認されなかった。このことから今回発生した補強リブ部の N5 程度のき裂や開口部の母材断面を大きく損なわない程度のき裂は、支柱の固有振動数に与える影響が小さいと考えられるが、補強材を取付けた 19.4 万回までに 0.12Hz の振動数の変化が計測された原因に関して検証を行う。補強材設置後の繰返し数 200 万回以降では、固有振動数が 4.21Hz 以上となり支柱の剛性が大きくなったことによる固有振動数の変化が確認された。

6. 応力変化の分析

疲労試験時の補強リブ部の応力範囲を図-6 (A) に開口部の応力範囲を図-6 (B) に示す。

6.1 補強リブ部

補強リブ部の公称応力範囲は、繰返し数 19.9 万回までは、A1 では 124.6~132.0MPa、A2 では 112.0~119.6MPa、A3 では 136.4~152.0MPa、A4 では 112.2~122.2MPa の範囲で変化し、応力範囲のバラつきはそれが最大の箇所であった。開口部に補強材を設置した繰返し数 20 万回以降の補強リブ部公称応力は A1 では 100.4~106.4MPa、A2 では 84.4~87.8MPa、A3 では 111.0~111.6MPa、A4 では 91.6~93.4MPa であった。公称応力範囲の変化に関しては、原因を検証中である。

補強リブ部溶接近傍の応力範囲変化は以下の様であった。A1 では 200MPa から 2 回目の ICR 処理を実施した繰返し数 14 万回までに 74MPa 程度まで低下し、ICR 処理後に 157MPa まで応力範囲が上昇し、その後再び低下していった。A2 では 182MPa から徐々に低下してゆき、グラインダー処理+PPP 処理を実施した繰返し数 15 万回でさらに応力範囲が低下し、その後は 53MPa 程度まで推移した。A3 では試験開始から繰返し数 19.9 万回で 300MPa 程度で推移し、大きな変化はみられなかった。A4 では 250MPa 程度から徐々に減少してゆき、繰返し数 19.9 万回では 186MPa となった。A1 の ICR 処理後の応力範囲の上昇は、ICR 処理を実施したことによりき裂が閉口したことによると考えられる。A2 のグラインダー処理+PPP 処理後の応力低下は、グラインダー処理によりき裂周辺の母材が減少したためと考えられる。

6.2 開口部

開口部の公称応力範囲は、開口部のき裂が発生した繰返し数 14 万回までは、B1 では 76.6~80.8MPa、B2 では 117.2~123.8MPa、B3 では 115.2~121.4MPa、B4 では 112.8~118.4MPa の範囲で変化し、応力範囲の変化は全箇所 5.5% 程度であった。き裂が母材に進展した 19.9 万回での応力範囲は、B1 では 62.2MPa、B2 では 98.4MPa、B3

では 93.0MPa、B4 では 104.2MPa であった。公称応力範囲の変化に関しては、補強リブ部と同様に原因を検証中である。

開口部溶接近傍の応力範囲の変化を以下に記述する。開口部にき裂が発生する繰返し回数 14 万回までは、B1 では 256.6~283.2MPa、B2 では 212.8~243.2MPa、B3 では 260.4~276.4MPa、B4 では 205.4~218.0MPa の応力範囲であった。き裂が発生し母材に進展した繰返し回数 14 万回~19.9 万回の応力範囲は、B1 では 91.4~264.8MPa、B2 では 114.6~219.2MPa、B3 では 89.2~275.6MPa、B4 では 156.4~212.2MPa であった。き裂の発生が原因の応力範囲の低下はき裂発生箇所近傍の B1、B2 のほうが B3、B4 より影響が大きいことが確認された。き裂が母材に達するまでは応力範囲の変化は小さいが、き裂が母材に到達してからは、大きな応力範囲の低下が確認された。このことから開口部溶接近傍の応力範囲がき裂により受ける影響は、き裂が母材に進展するまでは小さく、き裂が母材に進展してからは大きいと考えられる。

7. 結論

- ✓ 補強リブ部及び開口部の溶接近傍では、き裂の発生、進展及び補修に伴い応力範囲の変化が計測されるため、これらの箇所の応力観測によりき裂発生及び進展を記録することが、き裂の発生状況を把握することに有効であることを示した。
- ✓ 支柱リブ部に発生した N5 程度のき裂及び開口部に発生した母材断面を大きく損なわない程度のき裂は、固有振動数に影響を与えないと考えるが、今回の計測で確認された 0.12Hz の固有振動数変化に関しては今後検証を行う。
- ✓ 補強材の設置により試験体の固有振動数が 4.15Hz から 4.21Hz に変化した結果、補強リブ A1 公称応力範囲が 132.4MPa(4 万回時)から 100.4MPa(21 万回時)へと低下した。これは固有振動数が変化したため共振の拡大率が低下したことが原因と考えられる。共振を利用した疲労試験システムを用いて実験を行う場合、固有振動数の変化による発生応力の変動に留意をして実験を行う必要がある。

【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。
- 3) 小塚ら：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、令和元年度土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会、pp.1210-211、2019.9.
- 4) 山田ら：疲労き裂を閉口させて寿命を向上させる試み、土木学会論文集 A、Vol.65、No.4、pp.961-965、2009.5)
- 5) 木下幸治、秋山竜馬、山田翔平、半田充：ニードルピーニングによる溶接継手部の疲労強度向上効果、鋼構造年次論文報告集、第 24 巻、pp.668-672、2016。