実物大の疲労試験に基づく情報板支柱の疲労耐久性向上に関する検討

岐阜大学大学院　学生会員　○村瀬紘貴　岐阜大学　正会員　木下幸治
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

1. はじめに

道路橋の付属施設である**図-1** に示すような情報板支柱は，風荷重や交通荷重による繰り返し荷重を受けており，これまでにリブ部や開口部の溶接継手部に疲労き裂が発生した事例が報告されている[1)-2)]．情報板支柱が疲労き裂の進展により倒壊した場合，交通車両との接触など，大規模な事故につながる可能性があるため，疲労き裂が検出された情報板支柱は取換作業が実施されている．一方，施工コストや人手不足などにより疲労き裂が検出された全ての情報板支柱の取替作業は困難である．そこで，既設の情報板支柱の疲労耐久性を簡易的かつ効率的に向上させる補修・補強手法の確立が望まれている．近年提案された代表的な簡易補修手法に衝撃き裂閉口処理工法（Impact Crack Closure Retrofit，以降 ICR 処理）[3)]がある．ICR 処理は疲労き裂近傍の母材に対して，エアーツールを用いて打撃し，き裂表面を閉口させることで，き裂の進展を停留あるいは抑制する技術である．著者ら[4)]は，これまでに簡易的かつ効率的に既設の情報板支柱の疲労耐久性を向上させる補修・補強手法の検討を行うため，実物情報板支柱の疲労試験システムを構築した上で疲労試験を実施し，リブ部及び開口部に発生した疲労き裂に対し，リブ部では ICR 処理およびグラインダー処理によるき裂の切削，開口部ではストップホール法，エポキシ樹脂を用いた当て板補強の効果を明らかにした．本概要では，著者らの研究[4)]のリブ部および開口部のき裂発生位置を参考に，リブ部ではき裂発生前の溶接止端部に ICR 処理，開口部ではき裂発生前の溶接ルート部を対象に当て板補強を施工した上で，疲労試験を実施し，各手法の疲労耐久性向上効果の検討結果を述べる．

2. 実物情報板支柱概要

本試験では土工路肩部で約 20 年間供用されていた情報板支柱を用いた．**図-2** に本試験で対象とした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，鋼管径と板厚がそれぞれ 355.6mm と 11.1mm，材質は STK400 である．基部のリブ部は三角形のリブプレート 8 枚が放射状に配置されており，板厚が 12mm，材質は SS400，開口部は，板厚 5mm，材質は SS400 となっている．また，疲労き裂が発生すると考えられる各リブ部名称を A-1~4，開口部の各回し溶接部名称を B-1~4 とした．溶接部はリブ部および開口部で等脚な形状となっており，脚長は 8mm 程度となっている．本試験では情報板を取り外した鋼管支柱を対象とした．

図-1 情報板支柱

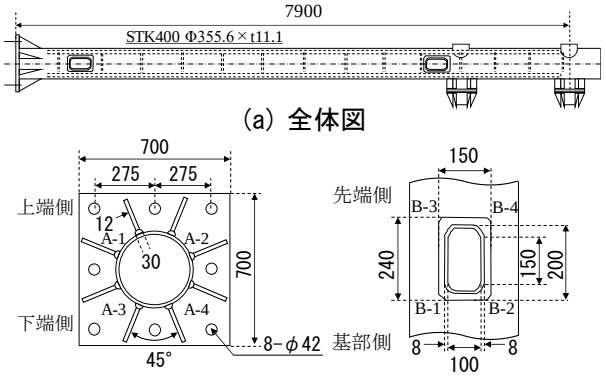

図-2 情報板支柱の形状および寸法

図-3 ICR 処理

図-4 当て板補強

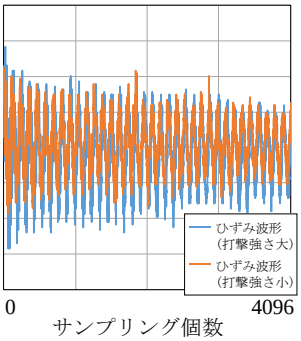

図-5 自由振動実験結果

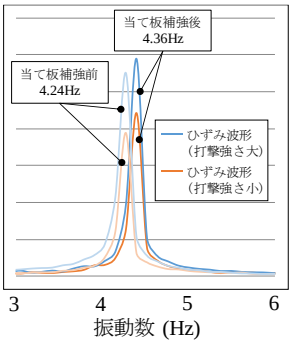

図-6 FFT 結果

キーワード：情報板支柱，疲労試験，共振曲線，ICR 処理，当て板補強
連絡先：〒501-1193　岐阜県岐阜市柳戸 1-1　岐阜大学　自然科学技術研究科　TEL:058-293-2424

© Japan Society of Civil Engineers

3. 疲労試験概要

本試験では情報板支柱を岐阜大学が所有する反力壁に片持ち梁状となるようにPC鋼棒を用いて設置し，小型の偏心モーターを支柱の頭頂部にUボルトを用いて取りつけ，リブ部および開口部に所定の繰り返しの曲げ荷重を与えた[4]．紙面の都合上，本試験システムの詳細については，文献4)を参照されたい．疲労試験中の公称応力は，リブ部および開口部で，まわし溶接止端部先端から板長方向に75mmの箇所に貼付したひずみゲージから計測した．試験条件は，リブ部の公称応力範囲80~100MPa，応力比-1.0の両振り載荷とした．疲労試験開始後，疲労き裂の発生および進展については，き裂検知用ひずみゲージの応力範囲の減少と，磁粉探傷試験または浸透探傷試験により確認した．**図-3**および**図-4**に疲労試験開始前にリブ部および開口部に対しそれぞれICR処理および当て板補強を施工した図を示す．当て板補強は補強材L型鋼を用いており，鋼管母材の溶融亜鉛メッキの除去を行った後，エポキシ樹脂（コニシ258R）を接触面に塗布し摩擦力伝達と隙間の防錆処理を行った．**図-5**に当て板補強後の自由振動実験結果，**図-6**に高速フーリ

果を示す．本研究では，自由振動実験として，情報板支柱の頭頂部に対し，ハンマーを用いて異なる打撃強さで打撃し，最大振幅の異なる2種類のひずみ波形を計測した．2種類のひずみ波形に関して，それぞれFFTを実施したところ，最大振幅の大小に関わらず，卓越振動数が当て板補強前と比べて4.24Hzから増加し，いずれも4.36Hzとなることが明らかになった．また，ひずみ波形の減衰率から算出した減衰定数を用いて，**図-7**に破線で示すような当て板補強設置後の共振曲線を作成した．縦軸がひずみの拡大率，横軸は加振振動数を固有振動数で除した固有振動比を示している．また，図中には強制振動実験の結果をプロットで併記している．強制振動実験は固有振動数計測の結果を参考に，偏心モーターを用いて，4.0，4.1，4.3，4.5，5.0，6.0Hzの入力振動数で振動を行い，各Hz時のひずみ拡大率を計測した．本研究では，入力振動数と実際の加振振動数の差も考慮した上で入力振動数を設定した．また，共振曲線と加振振動による強制振動実験の結果は概ね一致しており，文献4)と同様に，本研究でも共振現象を利用可能であることに加え，共振時には約20倍程度のひずみ拡大率となっていることを確認した．

4. 疲労試験結果

図-8に本試験においてA-2から発生した疲労き裂，**図-9**に本試験での疲労試験結果を示す．本試験結果は，リブ部開口部ともに，公称応力範囲を用いて整理を行った．縦軸が公称応力範囲，横軸は繰り返し載荷回数である．**図-9**中にはこれまでに著者ら[4]が実施したリブ部および開口部のAs-Weldの疲労試験結果もプロットしている．本試験では各リブ部の公称応力範囲は80~100MPa，開口部の公称応力範囲は95MPaとなっており，A-2から繰り返し載荷250万回，公称応力範囲100MPaにおいて，溶接ビード上に図-8に示すような表面き裂長さ30mm程度のルートき裂が発生した．なお，き裂先端部の両側では，ICR処理部への進展は見られなかった．また，開口部からの疲労き裂の発生は確認されなかった．本試験結果より，き裂発生前のリブ溶接止端部にICR処理を施工することで，リブ部の疲労強度等級はAs-Weldと比較して向上し，D等級程度，き裂発生前の開口部に当て板補強を施工することで，開口部の疲労強度等級はAs-Weldと比較して向上し，D等級以上となることが明らかとなった．

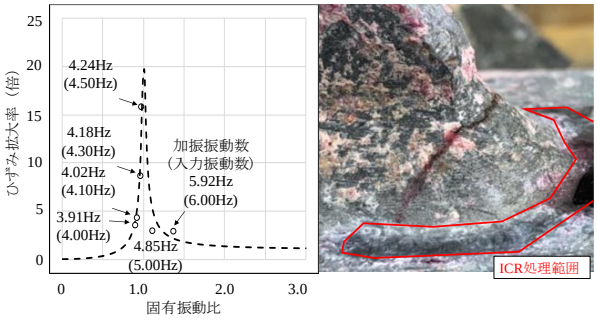

図-7 共振曲線　　**図-8 A-2 から発生したルートき裂**

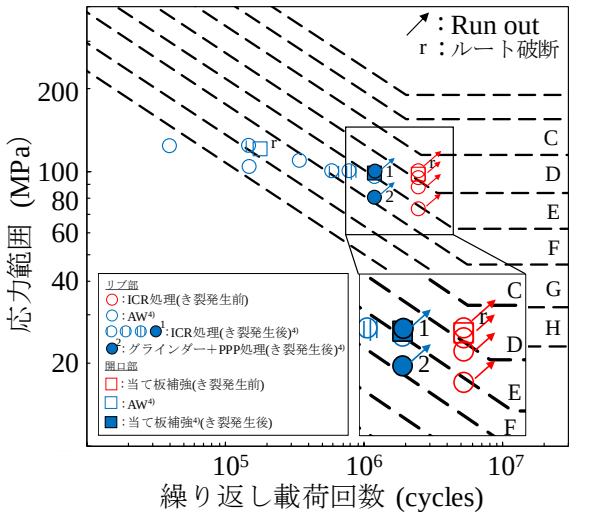

図-9 疲労試験結果

参考文献

1)山田聡，片桐英喜，前野裕文，山田健太郎：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．2)小塩達也，山田健太郎，森田俊樹，李相勲：交通振動下にある高架橋付属物の振動測定と疲労耐久性の評価，土木学会論文集，No.766, I-68, pp.219-232, 2004 年 7 月．3)山田健太郎，石川敏之，柿市拓巳：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.961-965，2009．4)木下幸治，村瀬紘貴，小原健司，小塚正博：情報板支柱の疲労試験システム構築とその疲労特性，鋼構造年次報告集，第 27 巻，pp.778-783，2019.11.

© Japan Society of Civil Engineers