

実物情報板支柱溶接部への改良型 ICR 処理の適用性に関する検討

岐阜大学 学生会員 ○小原 健司, 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 重原 大二郎, 小塚 正博, 納土 武久

1. はじめに

道路情報板において鋼管支柱の基部定着リブ部 (以後, リブ部), 点検開口部 (以後, 開口部) の溶接継手部から疲労き裂が発生した事例が報告されており, 中には支柱の倒壊に至った例があるため, 維持管理していく上で重要な問題である。このような溶接継手部から発生する疲労き裂に対し, 溶接止端部に圧縮残留応力を導入する方法や止端形状を改善する方法などがこれまでに検討されている。その内, 溶接止端部に圧縮残留応力を導入することにより, 疲労強度向上を行う ICR 処理 (Impact Crack Closure Retrofit Treatment) の適用が進められつつある。しかしながら, 情報板支柱に ICR 処理を施す際, 母材を垂直に打撃する必要があるが, 母材が曲面であることから垂直に打撃することが難しく, 加えて, 開口部ではフランジが張り出しているため, 従来の ICR 処理で用いられているチゼル形状では溶接止端近傍の母材を垂直に打撃することが困難である。従って, 曲面を有する母材への ICR 処理により導入される圧縮残留応力の評価, 並びに開口部の溶接止端部において所定の圧縮残留応力を導入することが可能な処理方法の確立が望まれる。そこで, 本研究では, まず実物情報板支柱を対象に曲面を有する母材部への ICR 処理による残留応力導入効果を明らかにすることを目的とし, 実物情報板支柱のリブ部への ICR 処理時の導入残留応力を平面な母材への打撃により導入される圧縮残留応力との比較により検証を行った。その上で, 開口部の溶接止端近傍への新たな処理方法としてチゼル形状を改良した ICR 処理方法を提案し, その改良型 ICR 処理により導入される圧縮残留応力, 打撃痕形状および疲労試験結果より評価した。

2. 実物情報板支柱概要と ICR 処理条件

図-1 に実物情報板支柱の形状寸法を示す。本研究で対象とした情報板支柱の鋼管母材には板厚 11.1mm の STK400 材を用いている。図-2 に開口部への従来型 ICR 処理と改良型 ICR 処理の施工状況を示す。従来型 ICR 処理には削り出し加工されたエア-工具先端部の平坦部が 4mm×5mm, その縁部が 0.5mm の面取りになるように加工を施した。一方, 改良型 ICR 処理には開口部の溶接止端近傍の母材を垂直に打撃可能とする, 張り出しフランジに干渉しないチゼル形状に加工を行った。これより, 図-2 に示すように開口部において, 溶接止端から施工処理端までの距離が従来型では 7.1mm と溶接止端近傍の母材を打撃することが困難であったが, 改良型では 1.1mm と溶接止端近傍の母材を打撃することが可能となった。エア-工具が対象物に与える振動数は 90Hz 程度, 空気圧は 0.63MPa とし, チゼル先端部を溶接止端近傍の母材へ可能な限り垂直に押し当てながら, 打撃を行い, 3~5Pass 程度処理を施した。

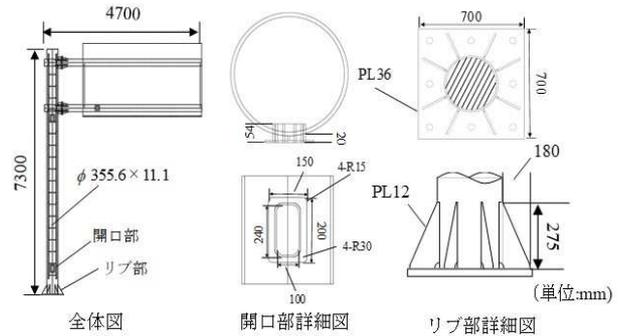
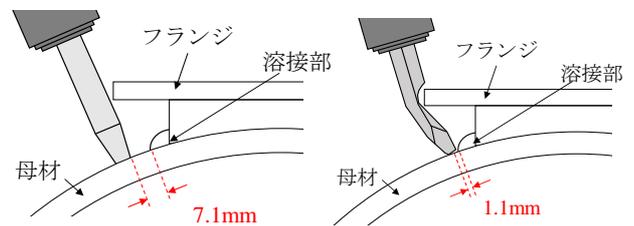


図-1 実物情報板支柱の形状寸法



(a) 従来型 ICR 処理 (b) 改良型 ICR 処理

図-2 情報板支柱開口部への ICR 処理

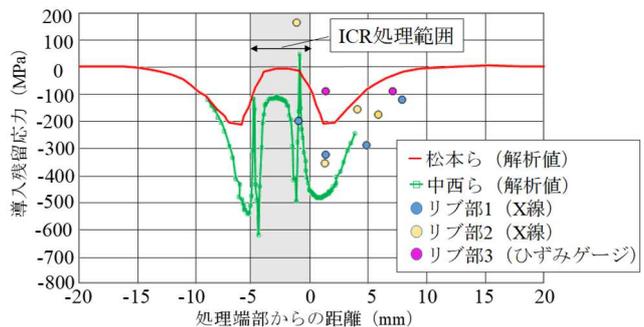


図-3 リブ部への導入残留応力計測結果

3. リブ部への ICR 処理による残留応力導入効果

残留応力計測には PULSTEC 製のポータブル型 X 線残留応力計測装置 μ -X360n (cosa 法) とひずみゲージを用いた。X 線による残留応力計測では, 塗膜をベルトグラインダーで除去し, 電解研磨により深さ 100 μ 程度まで研磨した後に各リブにつき 4 箇所計測を行った。また, ひずみゲージでは各リブにつき 2 箇所計測を行った。図-3 にリブ部への ICR 処理による残留応力計測結果を示す。同図には平面な母材部に対してピーニング処理を施した松本ら²⁾, 中西ら³⁾の解析値を併せて示す。本計測結果では, 既往の研究で得られている残留応力分布と処理近傍において多少の差が見られたものの, 概ね同程度の分布形状を示した。これより, 曲面を有する母材への打撃により導入される圧縮残留応力は, 平面である母材への打撃により導入される圧縮残留応力と概ね同程度であったといえる。

キーワード : ICR 処理, 実物情報板支柱, 圧縮残留応力, 溶接継手, 疲労強度

連絡先 : 〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学工学部 社会基盤工学科 TEL : 058-293-2424

4. 開口部への改良型 ICR 処理の適用性

4.1. 導入残留応力計測結果

図-4に開口部への従来型，改良型 ICR 処理による残留応力計測結果を示す．本計測ではリブ部での施工計測時の X 線とひずみゲージの計測結果が同等であったことから，ひずみゲージを用いて計測を行った．図-3と同様に松本ら²⁾，中西ら³⁾の解析値を併せて示す．図-4から，改良型 ICR 処理により導入された圧縮残留応力は処理近傍において従来型と概ね同等の圧縮残留応力が導入されていることが確認できた．

4.2. 打撃痕形状計測結果

中西ら³⁾により，ICR 処理による打撃痕形状の窪み幅と窪み深さの積で示される窪み面積と導入される圧縮残留応力は，概ね比例関係にあることが示唆されていることから，本施工での従来型 ICR 処理，改良型 ICR 処理による窪み面積の比較を行った．図-5に打撃痕形状の定義，図-6に窪み面積計測結果を示す．なお，打撃痕形状は従来から実施されている溶接止端形状の計測方法を参考に歯科用印象材により打撃痕形状の型を採取し，1.0mm 程度の厚さにスライスしたものを画像上で計測を行った．図-6から，改良型 ICR 処理による窪み面積は従来型 ICR 処理による窪み面積よりも同程度以上であった．これより，前述した改良型 ICR 処理，従来型 ICR 処理の施工により処理近傍に導入される圧縮残留応力は概ね同程度であったことが説明できる．以上より，フランジが張り出している開口部であっても溶接止端近傍の母材を垂直に打撃可能な改良型 ICR 処理の適用により，開口部の溶接止端部に従来通りの圧縮残留応力の導入が可能であったといえる．

4.3. 板曲げ疲労試験

図-7に試験体寸法とひずみゲージ貼付位置を示す．試験体鋼材は SM490A を用いた．主板，付加板ともに板厚 12mm の鋼板を用い，CO₂ 半自動溶接のすみ肉溶接である．疲労試験機は山田ら⁴⁾により開発された板曲げ疲労試験機を用いて応力比 R=-1 の両振りの板曲げ疲労試験を行った．図-7に示すように溶接止端から長手方向に 12mm の位置で試験体中央から左右 75mm 離れた位置を公称応力位置とし，公称応力範囲が 80MPa 程度とし，繰り返し载荷を行った．開口部への施工時と施工条件を同様にするために，付加板にじゃま板を取り付け，開口部への施工の際に処理近傍に導入された圧縮残留応力と同等の圧縮残留応力が導入されるまで改良型 ICR 処理を回し溶接部に沿って施工を施した．

本試験では，载荷回数 739 万回で溶接ルート部からき裂が発生し，溶接止端部まで進展したため，試験を終了した．図-8に溶接止端部までき裂が進展した際の繰り返し回数で整理した疲労試験結果を示す．なお，同図には，石川ら⁵⁾および山田ら^{4),6)}による As-welded 試験体および As-welded の状態に対し，溶接止端部に従来型 ICR 処理を施した試験体の板曲げ疲労試験結果を併せて示す．図-8から，本試験結果の疲労強度は D 等級であった．しかしながら，溶接止端部から疲労き裂は発生しておらず，止端部の疲労強度は D 等級以上であり，従来型 ICR 処理の疲労試験結果と同程度であった．これより，情報板支柱の開口部への改良型 ICR 処理による疲労強度向上効果は従来通りの疲労強度向上効果が

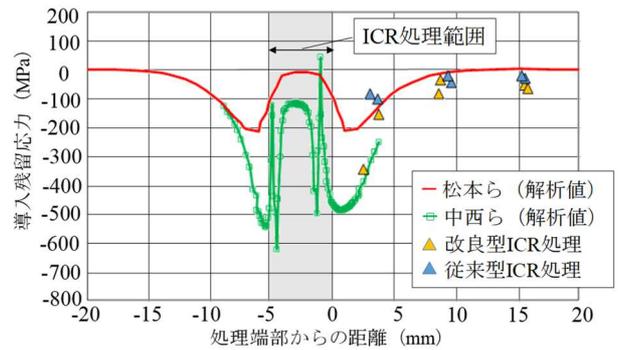


図-4 開口部への残留応力計測結果

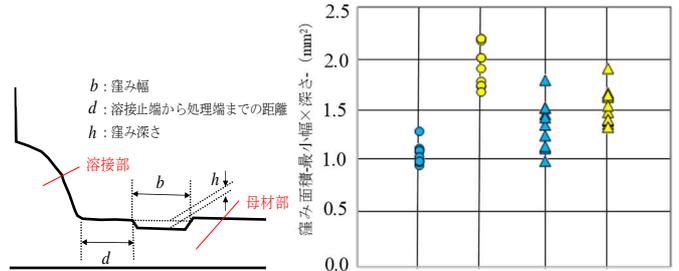


図-5 打撃痕形状の定義

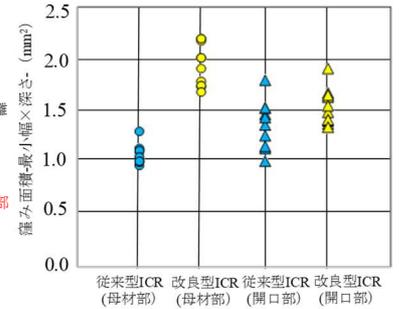


図-6 窪み面積計測結果

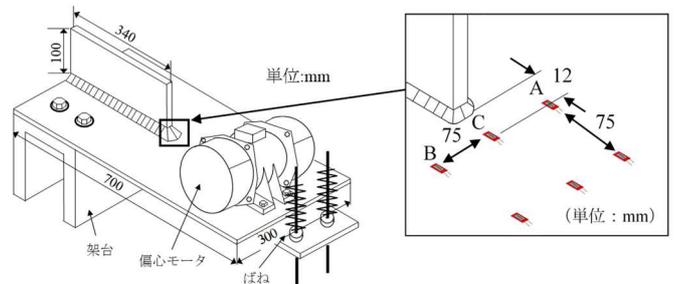


図-7 試験体寸法およびひずみゲージ貼付位置

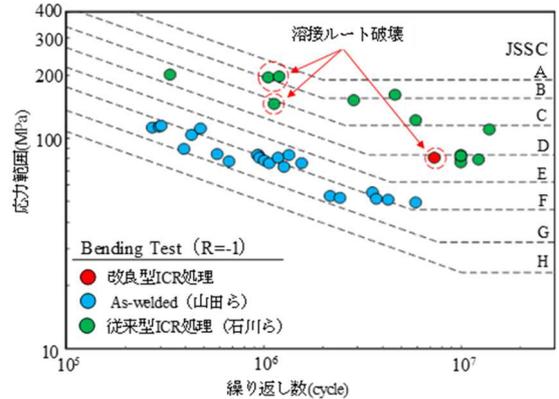


図-8 疲労試験結果

得られることが確認できた．

〈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.11-22，2009，3. 2)松本ら：ピーニング処理された溶接継手の疲労強度に圧縮の過荷重が及ぼす影響，構造工学論文集，Vol.61A，pp.638-649，2015，3. 3)中西ら：母材打撃ハンマーピーニングによる溶接継手部の疲労強度向上方法に関する研究，土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)，Vol.71，No.1，pp.10-19，2015. 4)山田ら：垂直補剛材と鋼床板デッキプレートのすみ肉溶接の曲げ疲労試験，鋼構造論文集，第 14 巻，第 55 号，pp.1-8，2007，9. 5)石川ら：ICR 処理による面外ガセット溶接継手に発生した疲労き裂の寿命向上効果，土木学会論文集 A，Vol.66，No.2，pp.264-272，2010. 6)山田ら：面外ガセット溶接継手の曲げ疲労強度に及ぼすショットブラストの影響，構造工学論文集，Vol.54A，pp.522-529，2008.