

円孔付与による情報板支柱開口部の応力集中緩和効果に関する実験的検討

岐阜大学大学院 学生会員 ○深見 亮介

岐阜大学 正会員 木下 幸治 岐阜大学 正会員 小野 友暉

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、応力集中部である基部の補強リブ部や点検用の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おり¹⁾²⁾、海外の例では倒壊に至っている³⁾。

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り、疲労き裂が検出された情報板支柱は取替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全ての情報板支柱に対して取替作業を実施することは困難である。しかし、既設の情報板支柱の効率的な疲労対策は、いまだ確立しておらず、その確立が望まれている。著者らはこれまでに実物情報板支柱の疲労試験システムを構築し、疲労試験を実施した結果、リブ部では溶接止端部、開口部ではルート部より疲労き裂が発生することを確認している⁴⁾。その上で予防保全手法として、リブ部ではICR処理、開口部では補強材の設置を行い、疲労試験により各手法の疲労耐久性向上効果を明らかにしている⁵⁾。

本研究では、情報板支柱開口部の溶接部近傍に、簡易的に円孔を設けることにより、その開口部の溶接ルート部に生じる応力集中の緩和効果を検討する。本稿では実物情報板支柱の静的載荷試験を実施し、既往研究⁶⁾の解析結果の比較より円孔による応力集中緩和効果を検証した上で、疲労試験を行い当該溶接部の疲労強度に対する効果を実証する。

2. 実物情報板支柱概要

本研究では、土工路肩部で約20年間供用されたF型



図-3 開口部に設けた円孔

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7700mm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。なお、情報板を取り外した鋼管支柱のみを対象としている。

3. 円孔による応力集中緩和効果の解析的検討

疲労試験に先駆けて、既往研究⁶⁾では、有限要素法解析を用いて開口部の溶接ルート部の応力集中を最も緩和できる円孔位置に関する検討を行った。具体的には、図-2(a)に示すように溶接止端部から円孔縁端までの距離を5~35mmの間で、5mm間隔で変化させた計7ヶ

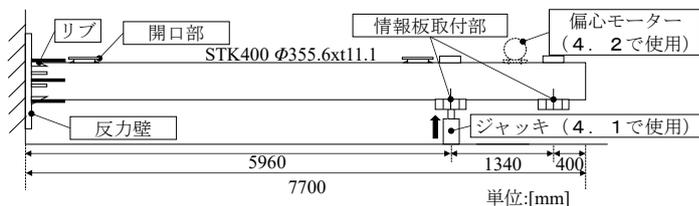
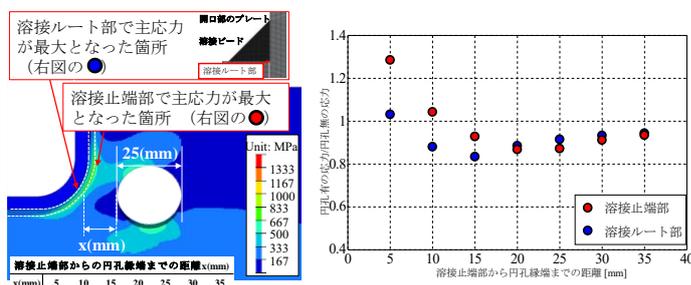


図-1 対象とした情報板支柱



(a) 応力分布の一例 (b) 円孔有と円孔無の応力の比較

図-2 有限要素法解析の結果⁶⁾

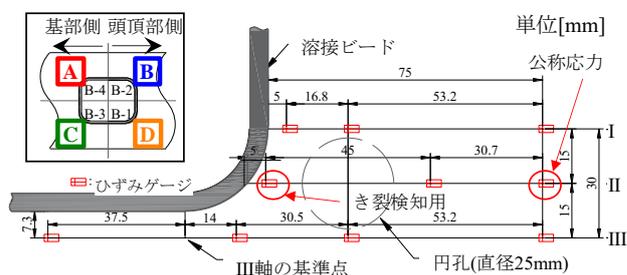
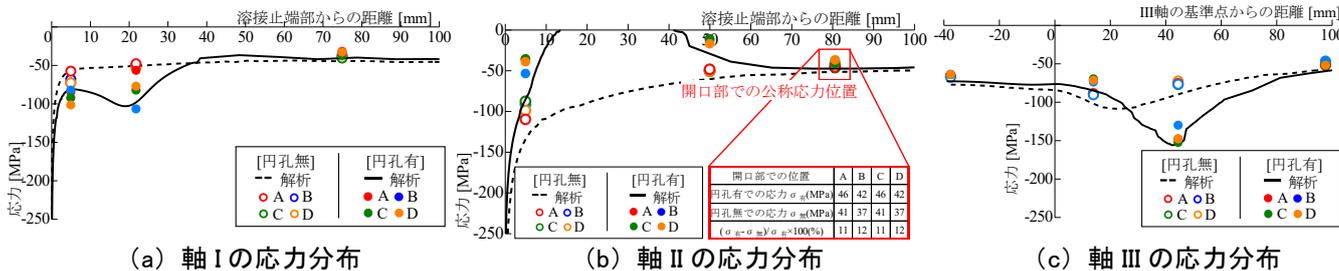


図-4 開口部におけるひずみ測定位置



(a) 軸 I の応力分布

(b) 軸 II の応力分布

(c) 軸 III の応力分布

図-5 静的載荷試験結果と解析結果

ースを実施した。図-2(b)に各円孔を設けた解析ケースにより得られた回し溶接部周辺の止端部および溶接ルート部における最大の最大主応力を、円孔無の解析ケースのそれらにより除した値を示す。図-2より、溶接止端部からの円孔縁端までの距離を15mmとした場合が、最も応力緩和の効果が大きく、18%程度の応力低下が見られた。よって、開口部の溶接止端部から円孔縁端までの距離が15mmの位置に直径25mmの円孔を設けた(図-3)。

4. 円孔による応力集中緩和効果の実験的検討

4. 1. 静的载荷試験

解析結果の妥当性を検証するため情報板支柱の静的载荷試験を行った。静的载荷試験は、円孔の有無の比較のため、孔あけ前後で行い、情報板取付部に鉛直荷重11.25kNを与えた(図-1参照)。図-4に静的载荷試験におけるひずみ測定位置、図-5に载荷試験結果と解析結果を示す。軸I、軸II、軸IIIのいずれの軸であっても、さらには、円孔縁付近の応力集中部であっても、円孔有無によらず本解析結果は実験結果と良く一致した。以上より、解析結果の妥当性が検証できたことから、ここで検討した円孔を開口部の溶接止端部から15mmの位置に設けることにより、開口部の回し溶接ルート部の応力集中を18%程度低減することが可能と考えられる。

4. 2. 疲労試験

図-6に本試験で用いた疲労試験システムを示す。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付け、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。

図-4に開口部のひずみの測定位置、図-7にリブ部のひずみの測定位置を示す。疲労試験中のリブ部および開口部の公称応力は、それぞれ回し溶接止端部から75mmおよび81mmの位置で計測した。公称応力範囲についてリブ部は100MPa程度、開口部は90MPa程度で、応力比は $R=-1.1$ の両振り载荷とした。図-5(b)の静的载荷試験の結果、円孔有の開口部の公称応力は、円孔無に比べて10%程度低い値となっている。

図-8に4万回载荷した時点での疲労試験結果を示す。本試験結果は、公称応力範囲を用いて整理しており、縦軸が公称応力範囲、横軸は繰り返し回数である。図中にはこれまでに著者らが実施したAs-Weldの疲労試験結果⁴⁾、およびき裂の予防保全対策としてICR処理または当て板補強を施した溶接部の疲労試験結果⁵⁾もプロットしている。4万回終了時に、リブ部A-2において、溶接部ビード上に図-9に示すような表面長さ8mmのルートき裂が発生した。図-8より、疲労強度等級はI等級以下であり、文献⁴⁾の止端からき裂が発生したリブ部よりも低い結果となっている。A-2についてルートから発生したき裂の削除をするため、図-9に示す通り残存

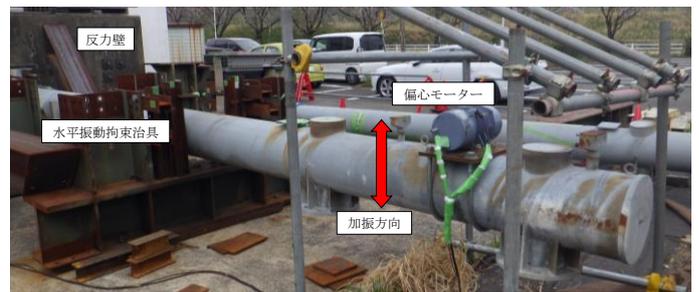


図-6 疲労試験システム



図-7 疲労試験におけるリブ部のひずみ測定位置

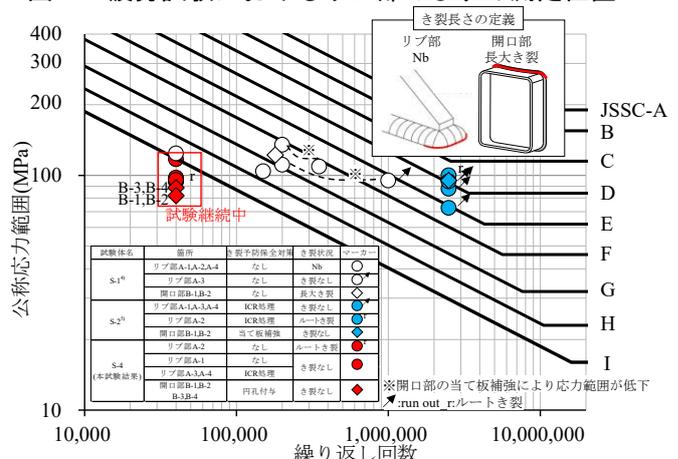


図-8 疲労試験結果

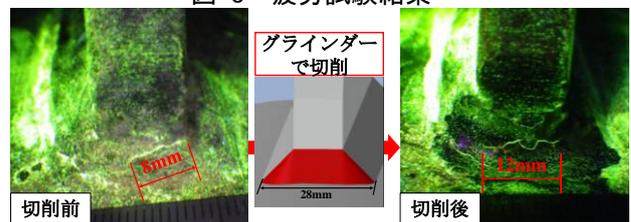


図-9 ルートき裂が発生した溶接部の除去

する未溶着部だけが磁粉探傷試験で確認されるまで溶接部を切削した。今後はPPP処理で未溶着部を打撃して圧縮残留応力を導入した上で試験を行い、応力集中の緩和による開口部の溶接ルート部の疲労強度に対する効果を実証する。

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.11-22，2009.2) 小塩ら：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.219-232，2004.3) Beneberu et al.: Computational fluid dynamics application for design of highway sign support structures, International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, Volume 5, No. 2, pp.101-111, 2014.4) 木下ら：情報板支柱の疲労試験システム構築とその疲労特性，鋼構造年次論文報告集，第27巻，pp.778-783，2019.5) 小塚ら：実物大の疲労試験による情報板支柱の疲労耐久性向上に関する検討，鋼構造年次論文報告集，第28巻，pp.717-722,2020.6) 岩田ら：情報板支柱開口部の円孔を用いた応力集中緩和効果の解析的検討，令和2年度土木学会中部支部研究発表会講演論文集，2021.