

京都大学工学部 学生会員 ○松本 理佐

京都大学大学院 正会員 石川 敏之, 正会員 河野 広隆, 正会員 服部 篤史

1.はじめに

現在、鋼構造物に発生した疲労き裂の応急措置としてストップホールが用いられる場合が多い。しかし、ストップホール縁には高い応力集中が発生するので、ストップホールから疲労き裂が再発生する可能性がある。これまでに、ストップホール縁の応力集中を低減させる方法としては、ストップホールをボルト締めする方法や鋼板当て板を行う方法があるが、き裂が短い場合やストップホールが U リブの曲面に施工されている場合は、これらの方法を用いることができない。本研究では、ICR 処理によってストップホール間のき裂の表面を閉口しストップホール縁の応力集中を低減させる工法を提案する。引張荷重あるいは等曲げモーメントに対して、静的試験と FEM 解析を行い、応力集中低減効果を確認した。

2.静的試験

本研究で用いた帯板試験体 (SM490YA) を図 1 に示す。試験体は、板厚 12mm である。ICR 処理はストップホール間の切込み上に鋼板の両面で施工した。ICR 処理を施工していない試験体を SH 試験体、ICR 処理を施工した試験体を SH(ICR)試験体とする。また、図 2 に示すようにゲージ A1~B2 を鋼板に貼付した。ゲージ B1, B2 を貼付したのは SH(ICR)試験体のみである。図 3 に ICR 処理後の切断面の一例を示す。切断面から鋼板表面の 1.3mm~1.5mm 程度接触していることが分かる。

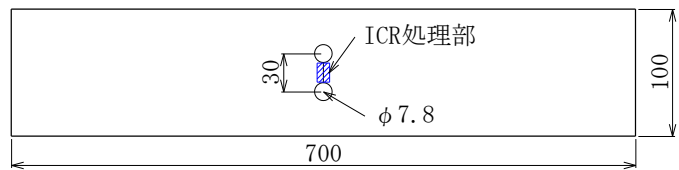


図 1 供試体

2.1 引張試験結果

図 4 に引張荷重を受けたときの SH 試験体のゲージ A1, SH(ICR)試験体のゲージ A1, B1, B2 での公称応力とひずみの関係を示す。

SH(ICR)試験体において円孔縁のゲージ A1 に生じたひずみの値は SH 試験体に比べ小さくなっていることから、ICR 処理の施工によって円孔縁の応力集中が低減したと考えられる。また、SH(ICR)試験体のゲージ A1 は、公称応力が 100MPa (図中の黒点) 以降で曲線の傾きが小さくなっている。これは、ICR 処理部の接触面が開いたため、円孔縁の応力集中が増したからである。SH(ICR)試験体のゲージ B1, B2 において公称応力が 100MPa (図中の黒点) 以降で曲線の傾きが大きくなっている。これは、上述した接触面の開口によって、切込み近傍で応力が伝わらなくなったからである。

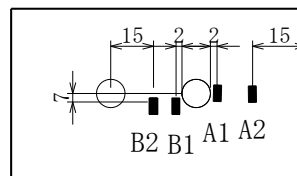


図 2 ひずみゲージ貼付位置

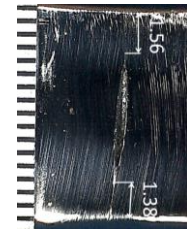


図 3 ICR 処理後の切断面

静的試験を行った試験体に対し、汎用の有限要素解析ソフト ABAQUS CAE/6.9 を用い、線形 3 次元 8 節点立体要素を使用した線形有限要素解析を行った。ICR 処理による接触幅は 1mm とした。円孔近傍の要素分割は 0.5×0.05×0.5mm(長手方向×板幅方向×板厚方向)とした。

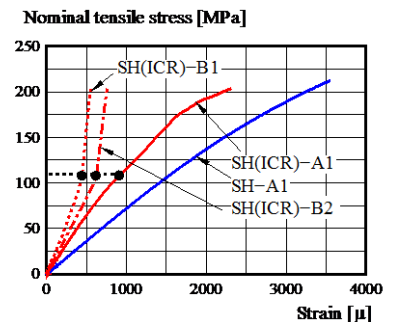


図 4 引張試験結果

図 5 に実験値と解析値の比較を示す。縦軸は各位置での応力を公称応力で除したものである。SH(ICR)開口後

実験値は SH 試験体の解析値上にあることから、開口後は応力集中低減効果が失われたことが分かる。

2.2 曲げ試験結果

図 6 に等曲げモーメントを受けたときの SH 試験体のゲージ A1, SH(ICR)試験体のゲージ A1, B1, B2 での公称応力とひずみの関係を示す。SH(ICR)試験体において円孔縁のゲージ A1 に生じるひずみ値は、SH 試験体よりも小さくなっている。したがって、ICR 処理の施工によって、円孔縁の応力集中が低減されたと考えられる。また、SH(ICR)試験体でのゲージ A1, B1, B2 において公称応力とひずみの関係は線形関係にあるので、今回の作用曲げモーメントの範囲では、接触面は開口しなかったといえる。

3. 切込み FEM 解析による検討

切込み長による応力集中の影響を調べるために、各パラメーターの値を変えて FEM 解析を行った。切込みや円孔による断面欠損が応力集中に与える影響が小さくなるように板幅を 500mm とし、板厚 12mm, ストップホール径 10mm, 切込み長 60, 80, 100, 120, 140mm, 接触幅 0mm あるいは 1mm とした。接触幅 0mm は SH 試験体を、接触幅 1mm は SH(ICR)試験体を模擬している。

3.1 引張荷重を受ける場合の解析結果

解析結果から得られた引張荷重を受ける場合の板厚中央のストップホール壁の応力集中係数を図 7 に示す。SH 試験体の応力集中係数は、切込み長が長くなるほど大きくなっている。一方、SH(ICR)試験体の応力集中係数は、切込み長に対してほぼ一定値となるが、円孔の応力集中係数までは低減していない。

3.2 等曲げモーメントを受ける場合の解析結果

解析結果から得られた等曲げモーメントを受ける場合の鋼板表面のストップホール縁の応力集中係数を図 8 に示す。解析結果は、引張荷重を受ける場合とほぼ同じ傾向を示した。ただし、等曲げモーメントを受ける場合の SH(ICR)試験体の応力集中係数は、円孔の応力集中係数と同程度まで低減した。

4 結論

本研究において以下の結論が得られた。

- (1) 引張荷重を受ける場合、等曲げモーメントを受ける場合ともに応力集中を低減できたが、引張荷重を受ける場合は、公称応力 100MPa 程度で ICR 処理による接触面が開口し、開口後は応力集中低減効果が失われた。等曲げモーメントを受ける場合は、公称応力 200MPa 程度まで、接触面は閉口していた。
- (2) 等曲げモーメントを受ける場合、ストップホール縁の応力集中を、等曲げモーメントを受ける円孔の応力集中まで低減することができた。

謝辞

本研究の一部は、本研究は科研費(23760423)の助成を受けたものである。

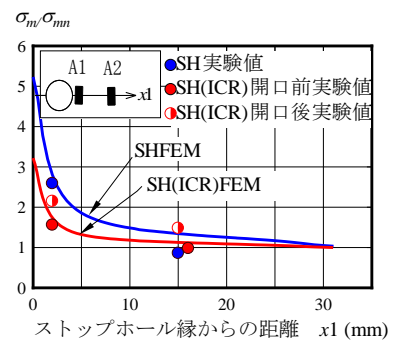


図 5 引張試験結果と解析結果比較

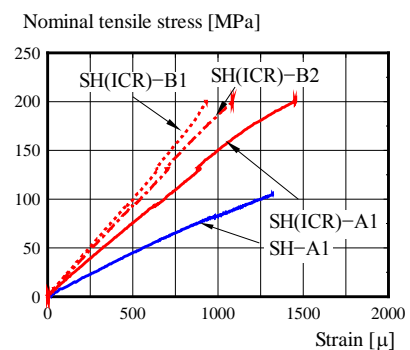


図 6 曲げ試験結果

ストップホール壁の応力集中係数 α

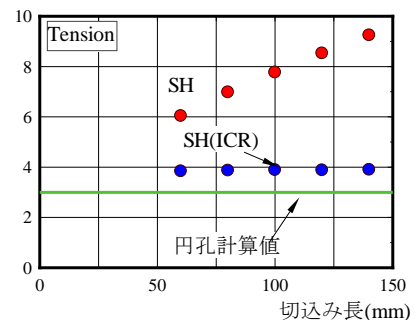


図 7 引張解析結果

ストップホール縁の応力集中係数 α

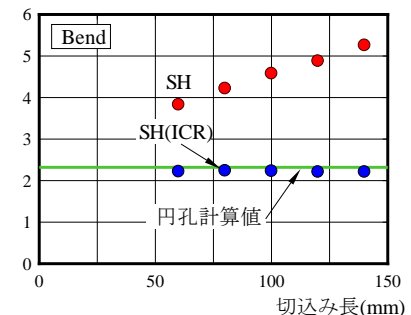


図 8 曲げ解析結果