

冷やし嵌めにより丸鋼を充填した円孔を有する鋼板の応力性状と疲労強度

三井造船(株) 正会員 ○内田 大介

法政大学 正会員 森 猛

(株)オリエンタルコンサルタンツ 齋藤 宏樹

1. 目的

誤作により生じたボルト孔や溶接きずを除去するために設けた円孔の補修方法の一つとして、丸鋼を冷やし嵌めすることが考えられる。この補修方法では、円孔と丸鋼の支圧による応力伝達により、円孔の応力集中の緩和が期待できる。本研究では丸鋼が冷やし嵌めされた円孔を有する鋼板の応力性状と疲労強度を明らかにすることを目的とし、モデル試験体の応力測定試験、応力解析と疲労試験を行った。また、その疲労強度を円孔を高力ボルトで締め付けた場合の疲労強度と比較する。

2. 試験体

供試鋼材は板厚 12mm の SM490YA である。試験体の形状と寸法を図 1 に示す。試験体は板厚 12mm の矩形鋼板の中央に直径 23.0mm の円孔をあけた H 試験体、H 試験体の円孔に円孔径+0.02mm の径の丸鋼 (S45C) を液体窒素で冷却して嵌めこんだ R 試験体の 2 種類である。なお、丸鋼の長さは鋼板の板厚と同じ 12mm である。R 試験体の丸鋼充填部を写真 1 に示す。

3. 円孔近傍の応力性状

丸鋼が冷やし嵌めされた円孔近傍の応力性状を調べる目的で、動ひずみ測定と静ひずみ測定を行った。ひずみゲージの貼付位置を図 2 に示す。動ひずみ測定では R 試験体を対象として繰返し荷重載荷時の円孔壁と丸鋼の応力伝達性状を調べる。繰返し荷重試験は、動的能力 500kN の電気油圧サーボ式材料試験機を用い、後述の疲労試験と同様に下限荷重 10kN とし、試験体長手方向の応力範囲 $200\text{N}/\text{mm}^2$ となるように行った。図 3 に荷重 1 サイクルあたりのひずみ測定結果の一例を示す。板の表裏面において測定結果に差があるが、ある荷重までは円孔近傍のひずみは一般部のひずみと一致しており、母板と丸鋼が一体化していることがわかる。

図 4 に動ひずみ測定より得られた荷重-ひずみ関係の測定結果の一例を示す。図 4 中には円孔のない平板の計算結果、H 試験体と R 試験体を対象とした有限要素応力解析

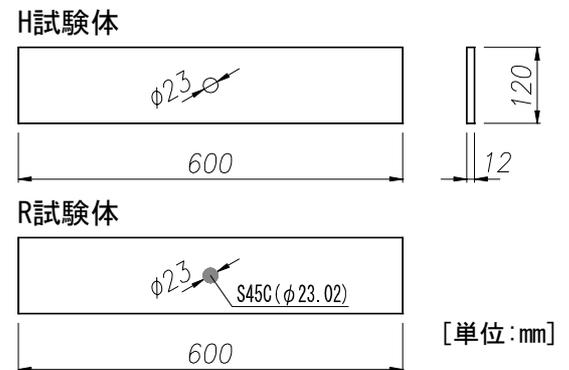


図 1 試験体



写真 1 R 試験体丸鋼充填部

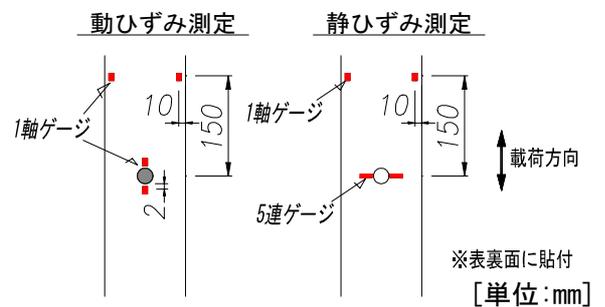


図 2 ひずみゲージ貼付位置

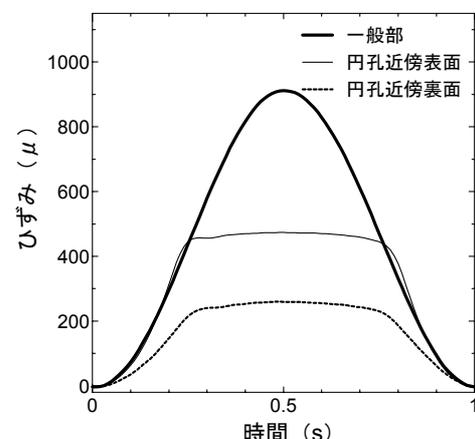


図 3 動ひずみ測定結果

キーワード 冷やし嵌め, 動ひずみ測定, 疲労強度

連絡先 〒134-0088 東京都江戸川区西葛西 8-4-6 三井造船(株) 鉄構・物流事業本部 建設エンジニアリングセンター TEL03-3675-3620

結果も示している。解析では、材料非線形性を考慮し、降伏の判定には von-Mises の降伏条件式、降伏後の応力-ひずみ関係の傾きは $1/1000$ とした。丸鋼と円孔壁の境界面には接触要素（摩擦係数 0）を用いた。他の部分は、8 節点固体要素でモデル化し、ヤング率は $2.06 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 、ポアソン比は 0.3 とした。冷やし嵌めについては、丸鋼部の線膨張係数を 12×10^{-6} とし、 72.5°C の温度荷重を与えて 0.02mm 膨張させることにより模擬した。R 試験体の荷重-ひずみ関係の傾きは、載荷荷重 150kN までは円孔のない平板での傾きとほぼ一致し、その後は H 試験体モデルの解析結果の傾きとほぼ一致している。したがって、載荷荷重 150kN 前後で丸鋼と円孔壁での接触が切れたと考えられる。解析結果は測定結果と比較して、荷重-ひずみ関係の折れ曲がり位置が下に位置しているが、その傾向はよく一致している。

静ひずみ測定試験では、H 試験体と R 試験体を対象として円孔近傍の応力分布を調べた。母板と丸鋼が一体化していると考えられる 35kN 載荷時、接触が切れる前後の 118kN、216kN 載荷時、円孔近傍にある程度の降伏域が生じたと考えられる 298kN 載荷時の測定結果を図 5 に示す。図の縦軸は測定応力を公称応力で除した応力集中係数、横軸は円孔壁からの板幅方向の距離である。円孔壁から 2mm 離れた位置に着目すると、H 試験体の応力集中係数に載荷荷重による差はほとんどないが、R 試験体では母板と丸鋼が一体化している間は 35%程度の応力集中の緩和が見られ、接触が切れた後は H 試験体よりも応力集中が高くなっている。これらの傾向は解析結果でも同様であった。

4. 疲労試験

疲労試験は下限荷重 10kN とし、総断面公称応力範囲を 200N/mm^2 とした片振り繰り返し応力下で行った。荷重波形は正弦波、繰返し速度は 8Hz である。疲労亀裂の起点は解析において応力集中の最も高かった円孔壁真横、あるいは、解析最終ステップにおいて丸鋼と円孔壁の接触境界面となった円孔壁真横から若干離れた位置であった。

表 1 に疲労試験結果を示す。R 試験体の疲労寿命のばらつきは大きいものの、H 試験体の疲労強度の 5 倍以上と高い疲労強度を有している。図 6 は本研究で得られた疲労試験結果を、円孔をボルト締めした試験体（B 試験体）の結果と比較したものである。R 試験体の疲労強度は B 試験体とほぼ同じである。

5. まとめ

- (1) 丸鋼を冷やし嵌めした円孔を有する平板は、ある荷重まで円孔のない平板と同様な挙動をすることを応力測定試験と応力解析より確かめた。
- (2) 円孔を有する平板に丸鋼を冷やし嵌めすることにより、疲労寿命の大幅な改善が見られた。
- (3) 本研究で用いた R 試験体は円孔を高力ボルトで締め付けた場合と同程度の疲労強度を有する。

参考文献

- ・ 森猛：ストップホール法をボルト締めすることによる疲労亀裂補修効果 構造工学論文集 Vol.35A pp.969-976 1989.3.

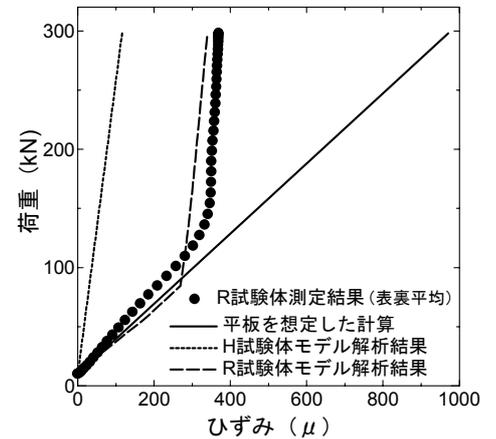


図 4 荷重-ひずみ関係

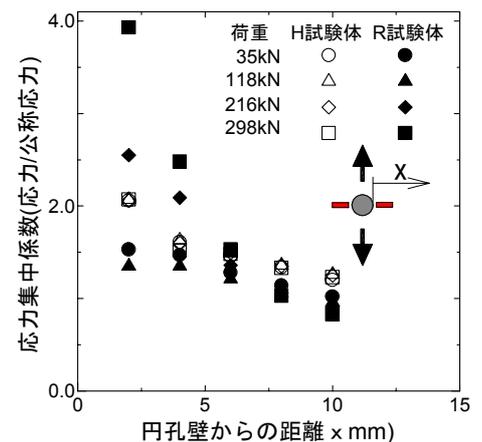


図 5 応力集中係数の板幅方向の分布

表 1 疲労試験結果

試験体	疲労寿命 N ($\times 10^4$ cycles)
H-1	22.4
H-2	20.3
H-3	21.2
R-1	133.9
R-2	190.9
R-3	>1000.0
R-4	166.8

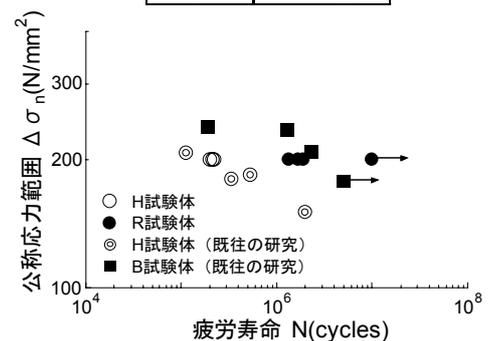


図 6 既往の疲労試験結果との比較