

高力ボルトにより当て板添接された疲労き裂ストップホールの組合せ応力場での応力低減効果

(株)横河ブリッジホールディングス
名古屋大学

正会員 ○ 清川 昇悟
正会員 判治 剛

1. 概要

鋼構造物の疲労き裂対策として用いられるストップホール工法は、高力ボルトによる当て板添接を併用して恒久対策とされることがある。これまで、当て板によるストップホールの応力集中の低減効果を定量的に把握する手法¹⁾が提案されているが、軸方向応力に加えてせん断応力が同時に作用する組合せ応力場での応力低減効果は明らかにされていない。本稿では、組合せ応力場での当て板によるストップホールの応力低減効果について解析的に検討した結果を報告する。

2. 解析手法

解析対象はスリットの両端に $\phi 24.5$ の孔をあけた眼鏡型ストップホールであり、主板の中心に配置したストップホールに、当て板を高力ボルトで両面に添接する場合を考える。解析モデルを図1に示す。板厚方向の対称性を考慮した1/2モデルである。要素には8節点ソリッド要素を用い、主板、当て板、ボルト、座金は独立したモデルとして部材間の摩擦接触を考慮した。主板の外形寸法は当て板の端部から長さ、幅方向にそれぞれ片側+500mmとした。解析モデルの寸法パラメータを表1に示す。荷重の荷重ケースは軸引張、純せん断の2ケースとした。その他、解析条件の詳細は文献1)と同様とした。

3. 当て板の応力低減効果に与えるせん断応力比(せん断応力/軸応力)の影響

ここでは、せん断応力比 $\lambda(=\tau_n/\sigma_n)$ に着目して分析した。図2にストップホールの周方向の応力集中係数の分布の一例を示す。縦軸の α_{SH} は、ストップホール壁の最大主応力を、き裂と当て板がない場合の平板の最大主応力(以下、公称最大主応力という)で除して求めた。横軸はストップホールの周方向の位置であり、スリットの延長線とストップホール縁の交点を 0° として時計回りの角度 θ で表している。また、図中には当て板なし、当て板ありの結果をそれぞれ示している。図2の純せん断状態($\lambda=\infty$)と軸応力状態($\lambda=0.0$)は解析結果から直接求めたが、その他の組合せ応力状態($0.0<\lambda\leq 2.0$)の結果は両者の解析結果を公称最大主応力が等しくなるような比率で重ね合わせることで求めた。重ね合わせの妥当性は $\lambda=1.2$ のケースで解析結果と比較することにより検証している。

当て板の応力低減効果は、当て板なしに対する当て板ありの応力集中係数の比 β で表す。各ケースの β と λ の関係を図3(a)に示す。縦軸は $\beta_{\lambda=0}$ に対する比で整理した。図より、 λ が大きくなるほど純せん断状態の値($\beta_{\lambda=\infty}$)に収束する傾向にあり、 $\beta_{\lambda=\infty}$ は最大で $\beta_{\lambda=0}$ の2倍程度であった。図3(a)の結果を基に、組合せ応力場における β を λ と $\beta_{\lambda=0}$ で補正することを試みた。補正するための近似曲線として、 $\lambda=0$ の時に1となり、 $\lambda=\infty$ の時に $\beta_{\lambda=\infty}$ に収束する次式のべき乗の関数を仮定した。

$$\frac{\beta}{\beta_{\lambda=0}} = \frac{\beta_{\lambda=\infty}}{1 + 4^{-\lambda}} \quad (1)$$

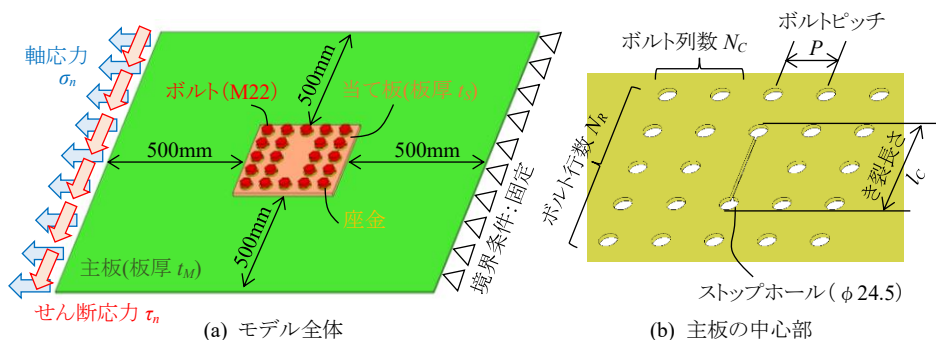


図1 解析モデル

表1 解析パラメータ

主板厚 t_M	6, 12 , 18
当て板厚 t_S	6, 12 , 18
き裂長さ l_C	94.5, 164.5 , 234.5
ボルトピッチ P	56, 70 , 100
ボルト列数 N_C	2 , 3, 4, 5
ボルト行数 N_R	4, 5 , 6

* 赤太字が基本ケース

キーワード 疲労き裂、当て板補修、高力ボルト、ストップホール、組合せ応力

連絡先 〒261-0002 千葉県千葉市美浜区新港 88 (株)横河ブリッジホールディングス TEL:043-247-8411

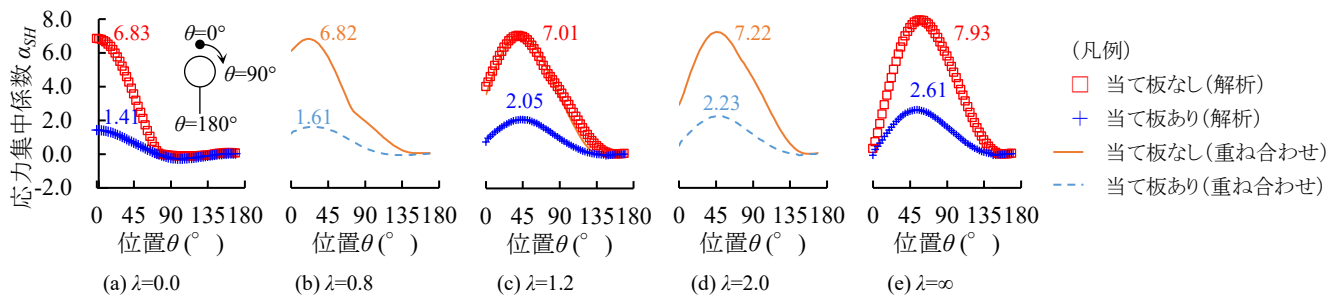


図2 ストップホールの応力集中係数 (基本ケース)

(図3の凡例)

- | | | | |
|--|--|--|---|
| △ t_M12 t_S6 $l_C164.5$ $P70$ N_C2 N_R5 | ○ t_M6 t_S12 $l_C164.5$ $P70$ N_C2 N_R5 | □ t_M18 t_S18 $l_C164.5$ $P70$ N_C2 N_R5 | ◇ t_M12 t_S12 $l_C164.5$ $P100$ N_C2 N_R5 |
| ○ t_M12 t_S12 $l_C164.5$ $P70$ N_C2 N_R5 | □ t_M6 t_S18 $l_C164.5$ $P70$ N_C2 N_R5 | △ t_M12 t_S12 $l_C94.5$ $P70$ N_C2 N_R4 | ◇ t_M12 t_S12 $l_C164.5$ $P70$ N_C3 N_R5 |
| □ t_M12 t_S18 $l_C164.5$ $P70$ N_C2 N_R5 | △ t_M18 t_S6 $l_C164.5$ $P70$ N_C2 N_R5 | ◇ t_M12 t_S12 $l_C234.5$ $P70$ N_C2 N_R6 | ◇ t_M12 t_S12 $l_C164.5$ $P70$ N_C4 N_R5 |
| △ t_M6 t_S6 $l_C164.5$ $P70$ N_C2 N_R2 | ○ t_M18 t_S12 $l_C164.5$ $P70$ N_C2 N_R5 | △ t_M12 t_S12 $l_C164.5$ $P56$ N_C2 N_R5 | × t_M12 t_S12 $l_C164.5$ $P70$ N_C5 N_R5 |

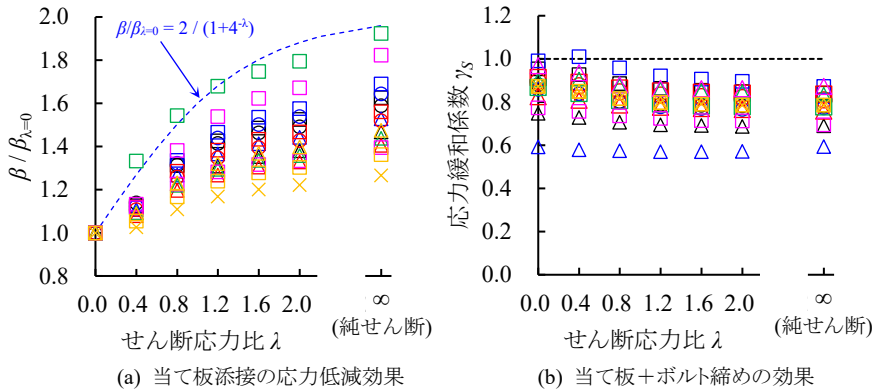


図3 せん断応力比の影響

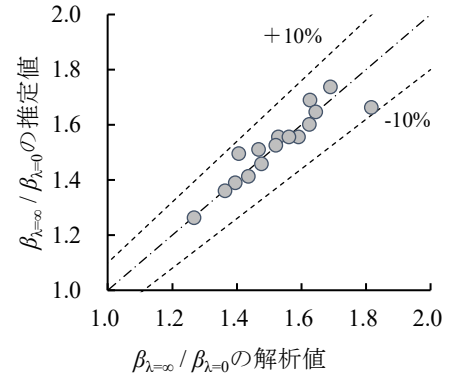


図4 $\beta_{\lambda=\infty}$ の推定

また、 $\beta_{\lambda=\infty}$ は、解析モデルの形状パラメータのうち、当て板の応力低減に影響するパラメータとして①板厚比 $2t_S/t_M$ 、②主板の有効幅 W_E と当て板幅 W_S の比、③ボルトピッチ P とき裂長さ l_C の比の3つに着目し、これらを説明変数とする重回帰分析により以下の式(2)で推定することとした。なお、①②は当て板添接部の断面積の増減に影響するパラメータであり、③は当て板の架橋効果に影響するパラメータである¹⁾。

$$\frac{\beta_{\lambda=\infty}}{\beta_{\lambda=0}} = 1.687 + 0.045 \left(\frac{2t_S}{t_M} \right) - 0.387 \left(\frac{W_E}{W_S} \right) + 0.117 \left(\frac{l_C}{P} \right) \quad (2)$$

式(2)による $\beta_{\lambda=\infty}$ の推定結果を図4に示すが、概ね10%以内の精度が得られる結果であった。

以上より、式(1)、(2)を用いれば、組合せ応力場での当て板の応力低減効果を評価可能である。なお、図3(a)中に示すように、両者の関係の上限をとるように式(1)において $\beta_{\lambda=\infty}$ を2とすることで今回のすべての解析結果に対して応力低減効果を安全側に評価することもでき、こちらの考え方がより実用的である。

4. ストップホールへのボルト締め効果に与えるせん断応力比の影響

当て板上からもストップホールにボルト締めを行うことで応力集中を下げるができる。ここでは、当て板上からのボルト締めによる応力緩和係数 γ_S を、当て板ありに対する当て板にボルト締めを併用したときの応力集中係数の比で定義する。図3(b)に各ケースの γ_S と λ の関係を示す。純せん断の場合で若干 γ_S は小さくなるが、その影響は小さい。当て板がない場合の応力緩和係数に対しても λ の影響は小さいといわれており²⁾、当て板添接された今回の結果でも同様の傾向が得られた。

謝辞

本検討は(一社)日本鋼構造協会「鋼橋の構造性能と耐久性能研究委員会 疲労性能研究部会(委員長: 舘石和雄, 部長: 穴見健吾)」の活動の一部として実施したものである。ここに記して関係各位に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本鋼構造協会: 鋼橋の疲労対策のための技術資料, JSSC テクニカルレポート, No.115, 2018.8.
- 2) 森猛, 内田大介, 池谷岳史: ボルト締めストップホール法で補修した組合せ応力場にある面外ガセット溶接継手部の疲労強度評価式, 鋼構造論文集, 第14巻第54号, pp.95-104, 2007年6月.