

ストップホールを適用した疲労き裂補修部の応力低減に関する検討

トピー工業(株) 正会員 林 健治

1. はじめに

ストップホールは、疲労き裂先端に円孔を設けることにより、先端部での高い応力集中を軽減し、き裂の進展を遅延・停止させる機能を有し、a)恒久的な対策を実施するまでの応急的な対策として実施される場合と、b)他の対策と併用することにより、より補修・補強効果を高め、恒久的な対策の一部として実施される場合の何れかの目的で用いられる事例が多い¹⁾。ストップホールは、溶接継手部の面外変形に起因するき裂については、ある程度き裂が進展すると局部変形が解放され、応力が低減することによりき裂が停留するため、き裂の進展を停止させることができるが、き裂の進展量が大きい場合や一次応力（引張応力）の影響を受ける場合には、ストップホールのみでの対策では不十分であることが指摘²⁾されている。そのため、b)のように他の方法と併用する必要があることが認識され、種々の方法が提案されている¹⁾。

ストップホール法は、現状では、応急的な補修方法と位置付けられているが、施工が容易であり、十分な効果が期待できるため、疲労き裂の進展を抑制する簡便な方法として定着している。本報告では、この特徴を活かす新たな疲労き裂による損傷部の補修・補強法として、ストップホール近傍に付加円孔を挿入する方法を（併用法 b）の選択肢を拡げる観点からも）提案するものである。これは、新たに円孔を挿入することにより、ストップホール壁の応力の低減を計ろうとするものであり、以下では、その基本的な考え方と BEM に基づく数値解析による妥当性の検証結果、挿入位置に関する 2, 3 の検討結果を報告する。

2. ストップホール近傍に付加円孔を挿入する応力低減法

図-1(a)に示すように、き裂に対して、ボルト径 M のストップホールを明けた場合、その応力集中係数は長軸側の半径 $M/2$ の楕円孔に対する応力集中係数とほぼ一致することが知られている²⁾。この楕円孔の短軸の長さを大きくし、長軸と短軸の長さを一致させると、直径 c の円孔を明けた（直径 c のコア抜きを行った）ことに対応し、応力集中を大幅に軽減することができる。この考えを応用・展開すると、図-1(b)に示すように、付加的に円孔をコアに沿って明けることにより、コア抜きを行った場合と比較して、近い効果が得られるものと期待できる。さらに、多数の付加円孔を設けるのではなく、ストップホールの上下に隣接

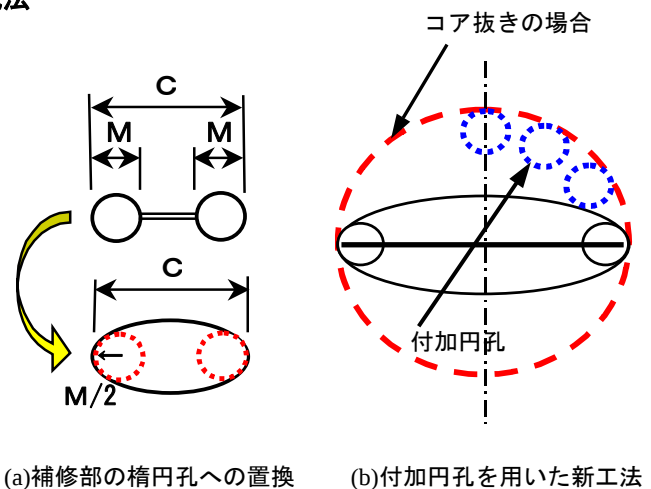


図-1 ストップホール法と新たな方法

する位置にのみ付加円孔を設けることにより、ストップホール壁の応力集中を緩和するとともに、作業の簡素化を計ることができる。そこで、以下では、遠方で一様な引張応力を受ける平板の中央に貫通き裂が存在する事例を対象として検討・解析を行うこととし、き裂の両側に直径 M のストップホールを挿入（切欠き長さ： c ，板幅： W ）して、このストップホールの上下の隣接する位置に付加円孔（併せて 4 個）を設けた事例について数値解析を行い、付加円孔によるストップホール壁の応力集中の低減効果を明らかにするとともに、付加円孔の最適位置に関して 2, 3 の検討を行うこととする。

3. 数値解析法と解析対象

付加円孔をストップホールに隣接する任意の位置に挿入する事例を想定すると、有限要素法では、自動要素
キーワード ストップホール、付加円孔、応力低減、疲労き裂、補修・補強

連絡先 〒441-8510 愛知県豊橋市明海町1番地 トピー工業(株) 技術統括部 技術研究所 TEL 0532-25-5354

分割を用いても、煩雑な作業が予想されたため、付加円孔の挿入位置をパラメータとしても容易に分割等が実施でき、また、比較的簡便に数値解析を行うことができる境界要素法 (BEM) を用いることとした。解析の対象は図-2のとおりである。ここで、長さ 100mm, 幅 $W=40\text{mm}$, ストップホール径 5mm, 切欠き長さ 20mm の平板が一樣引張応力 (単位応力を負荷した) を受ける事例について、対称性を考慮して、その 1/4 を要素分割し、同図に示すように、境界節点を設け、平面ひずみ問題として処理した。

解析の妥当性を検証するために、まず、付加円孔のないストップホールのみの場合について、数値解析を行い、切欠き底の応力集中係数 α が理論解と一致するか否かで判定した。無限板の応力集中係数 α_0 は

$$\alpha_0 = \sigma_A / \sigma_0 = 1 + 2(b/a) = 1 + 2\sqrt{(b/\rho)}$$

で与えられる。ここに、 σ_A は作用応力、 b と a はそれぞれ長軸、短軸の長さ、 ρ は切欠き底の曲率半径を表す。有限板に対する補正は、次式

$$\alpha = \alpha_0 \sqrt{\sec(\pi \lambda / 2)} \quad \lambda = c/W$$

により行った。ここに、 c は切欠き長さ、 W は板幅を表す。

上記の理論解と BEM による数値解析の結果とを比較すると、その誤差は 3% 程度であり、一定要素における比較的粗い境界節点を用いた解析であるが、実用上十分と考え、図-2の分割を用いて付加円孔 (その座標位置 (X_0, Y_0) とする) が存在する事例についても、解析を行った (詳細省略)。

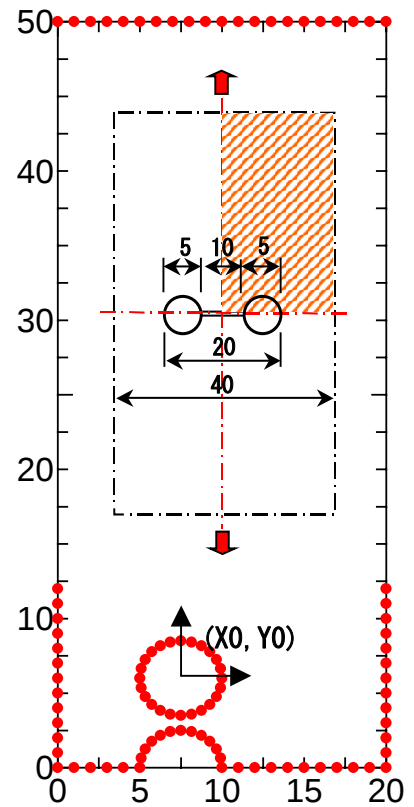


図-2 解析対象

4. 解析結果と考察

付加円孔の挿入位置 (X_0, Y_0) をパラメータとして解析を行った。その結果を図-3に示す。 $X_0=50, 55, 60, 65, 70, 75, 80\text{mm}$ の 7 ケース、 $Y_0=60, 65, 70\text{mm}$ の 3 ケースであり、解析結果の●印は付加円孔のない場合のストップホール壁 (簡便のため、切欠き先端から 1mm 離れた位置の値を用いた) の応力 σ_0 に対する付加円孔を設けた場合の応力の値を応力低減率の形で表示したものである。また、■印は付加円孔壁の応力を同様に σ_0 で除し、応力低減率の形で整理したものである。

$Y_0=60, 65, 70\text{mm}$ の何れの場合も、 $X_0=50\text{mm}$ から 80mm の間、ストップホール壁の応力低減率が増加し、逆に、付加円孔壁の応力も増加 (低減率は減少) することが判明した。つぎに、 $Y_0=60, 65\text{mm}$ では、●印と■印の線が交差する箇所があり、それ以上では、ストップホール壁の応力低減率が見かけ上大きくなっても、実際には、付加円孔の値が増加し、逆に効果が減少することが明らかとなった。このように、付加円孔の位置により、応力低減効果は異なり、最適位置に関する検討が不可欠であることが判明した。今後の課題としたい。

参考文献

- (社)日本鋼構造協会: 鋼橋の疲労耐久性向上・長寿命化技術, テクニカルレポート No. 71, 2006.
- 内田大介: ボルト締めストップホール法により補修したガセット溶接継手の疲労強度評価法に関する研究, 学位論文, 2006.

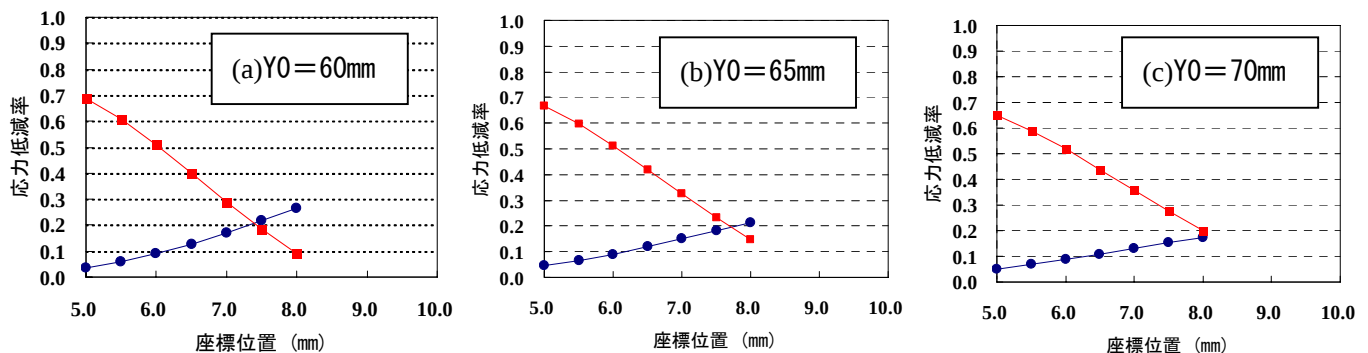


図-3 付加円孔の挿入位置による応力低減効果の差異