

## ICR 処理によるストップホールの応力集中低減工法に関する研究

京都大学大学院 学生員 ○松本 理佐, 正会員 石川 敏之, 河野 広隆, 服部 篤史  
 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋 正会員 山田 健太郎

### 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は、き裂先端にドリル孔を設ける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、ストップホールのみによる補修では、ストップホール縁から疲労き裂が再発生する可能性がある。そこで本研究では、ストップホール縁の応力集中を低減させる方法として、き裂の表面を叩いて閉口する ICR 処理をさせる方法を、ストップホール間のき裂へ適用することを提案する。そして引張荷重あるいは曲げモーメントを受ける場合に対して、静的試験と FEM 解析を行い、き裂部の閉口によるストップホール縁の応力集中の低減効果を確認する。

### 2. 静的試験

本研究で用いた帯板試験体 (SM490YA) を図 1 に示す。ストップホール間にはき裂を模擬した 0.2mm の切込みを設けている。ストップホール間の切込みを閉口させるように鋼板の両面を ICR 処理した。ICR 処理を施工した試験体を SH(ICR)、施工していない試験体を SH と呼ぶ。また、図 2 に示すように、試験体にはひずみゲージ A1, A2 を貼付した。SH(ICR)試験体には、さらにひずみゲージ B1, B2 を貼付した。図 3 に ICR 処理後の切断面の一例を示す。鋼板表面から 1.3mm~1.6mm 程度の深さまで鋼板が閉口していることが分かる。

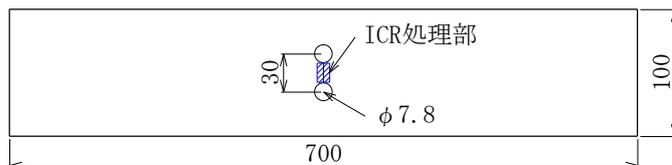


図 1 供試体 (板厚 12mm)

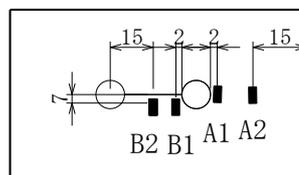


図 2 ひずみゲージ貼付位置 図 3 ICR 処理後の切断面

#### 2. 1 引張試験

図 4 に引張荷重を与えたときの公称応力と A1, B1, B2 のひずみの関係を示す。SH(ICR)試験体のストップホール縁近傍の A1 に生じたひずみは、SH 試験体と比べて小さくなっているため、切込み部の閉口によってストップホール縁の応力集中が低減したことが分かる。しかし、公称応力 100MPa (図中の黒点) を超えると、SH(ICR)試験体の B1, B2 の応力-ひずみ曲線の傾きが大きくなり、ICR 処理部が開いたことが分かる。SH(ICR)試験体の A1 でも、公称応力 100MPa 以降で曲線の傾きが小さくなり、応力集中が増したことが分かる。この試験体に対して、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 処理による閉口深さは 2mm 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 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)開口後の実験値は 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。

Nominal tensile stress [MPa]

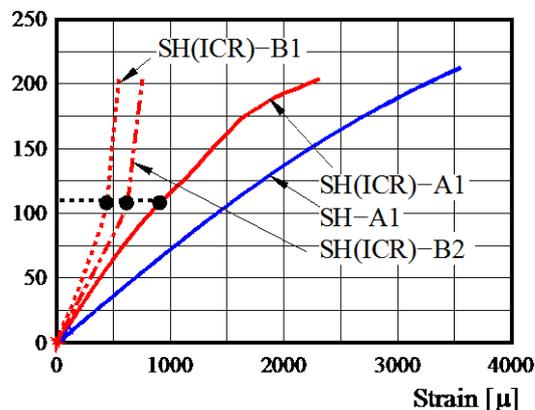


図 4 引張試験結果

キーワード ストップホール, ICR 処理工法, 応力集中

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-2-227 京都大学桂キャンパス 075-383-3321

2. 2 曲げ試験

図 6 に曲げモーメントを受けたときの公称応力と A1, B1, B2 のひずみの関係を示す. この図から引張試験の結果と同様に, ICR 処理によってストップホール縁の応力集中が低減することが分かる. さらに SH(ICR)試験体の A1, B1, B2 において公称応力とひずみの関係が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, ICR 処理部は開口していない.

3. ICR 処理部の開口の要因

曲げ試験では公称応力 200MPa まで ICR 処理部が開口しなかったが, 引張試験では公称応力 100MPa 程度で ICR 処理部が開口した. そこで, この違いを有限要素解析結果と構造力学に基づいた理論から明らかにする.

ICR 処理部の閉口深さは 1~2mm 程度であるので, 断面力を担う面積が切欠きがない一般部と比べて急激に小さくなる. このような断面急変部では, 応力の再分配が十分に行われないと考えて, 一般部の断面力を ICR 処理で閉口した断面に作用させて応力を算出する. すなわち, 引張荷重  $P$  あるいは曲げモーメント  $M$  の作用によって, ICR 処理部に生じる応力  $\sigma_m$ ,  $\sigma_b$  を次式で算出する.

$$\sigma_m = \frac{w_1}{w_1 + 2w_2} \cdot \frac{P}{A_{ICR}} \quad (1), \quad \sigma_b = \frac{w_1}{w_1 + 2w_2} \cdot \frac{M}{I_{ICR}} \cdot \frac{t}{2} \quad (2)$$

ここに,  $A_{ICR}$ ,  $I_{ICR}$  はそれぞれ両面の閉口部の断面積および断面二次モーメント,  $t$  は鋼板の板厚であり,  $w_1$ ,  $w_2$  は図 7 に示している.

SH(ICR)試験体の閉口深さを片面 2mm とした場合の解析値と式(1), (2)より求めた理論値を図 7 に示す. 縦軸は各位置での応力を公称応力  $\sigma_{mn}$ ,  $\sigma_{bn}$  で除した値である. 図の青線, 緑線がそれぞれ引張荷重を受ける場合, 曲げモーメントを受ける場合の結果である. どちらの荷重においても, 理論値は解析値の板幅方向の平均値に近い値となっており, 引張荷重を受ける場合は板曲げ荷重を受ける場合に比べて, ICR 処理部に作用する応力が 2 倍程度となっている. このように, 引張荷重を受ける場合は, 曲げモーメントを受ける場合と比べて閉口した断面に生じる応力が大きくなるので, 公称応力 100MPa 程度で ICR 処理部が開口したと考えられる.

4. 結論

本研究では, ストップホール縁の応力集中を低減させる方法として, ICR 処理を用いてストップホール間のき裂を閉口させる工法を提案した. そして, 引張荷重を受ける場合, 曲げモーメントを受ける場合の試験結果から, とともにストップホール縁の応力集中を低減できた. 曲げモーメントを受ける場合は, 公称応力 200MPa において ICR 処理部は閉口していたが, 引張荷重を受ける場合は公称応力 100MPa 程度で ICR 処理部が開口し, 応力集中低減効果が失われた. 引張荷重を受ける場合, 曲げを受ける場合と比べて ICR 処理部に大きな応力が生じることを有限要素解析と構造力学に基づいた理論式から明らかにした.

謝辞 本研究の一部は, 科研費(23760423)の助成を受けたものである. ここに記して謝意を示します.

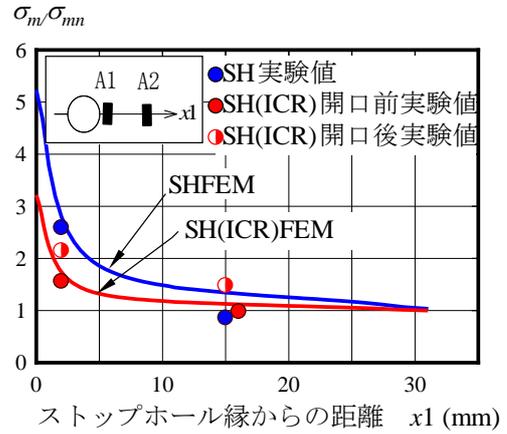


図 5 引張試験結果と解析結果の比較  
Nominal tensile stress [MPa]

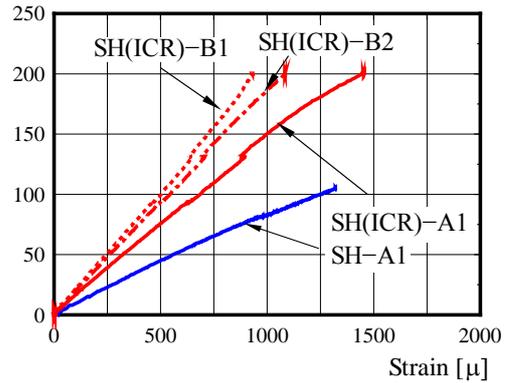


図 6 曲げ試験結果

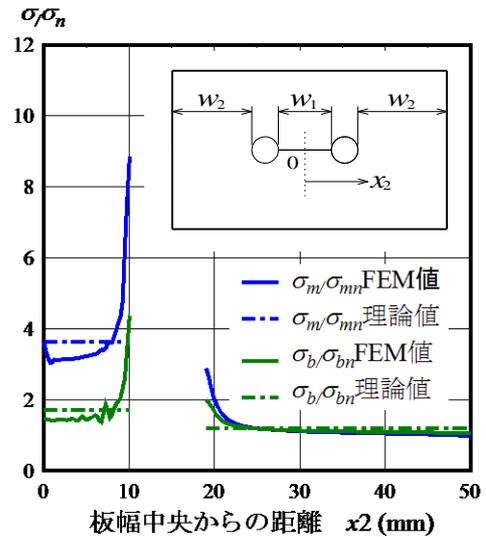


図 7  $\sigma/\sigma_n$  分布