

鋼床版の垂直補剛材溶接部の疲労き裂を対象とした ICR 処理範囲に関する解析的検討

(一財) 阪神高速先進技術研究所 正会員 ○山本 修嗣 正会員 赤松 伸祐
 阪神高速道路(株) 正会員 森 謙吾 正会員 高田 耕庸
 関西大学 学生員 松本 直樹 正会員 石川 敏之

1. はじめに

阪神高速道路では、鋼床版デッキプレートと垂直補剛材上端のまわし溶接部に疲労き裂が多数発生している。このき裂に対して、現在、ICR 処理による応急処置が施されているが、当該溶接部は U リブや主桁ウェブが近接した狭隘空間となり、ICR 処理が困難な場合がある。著者らは先行研究¹⁾で、当該溶接部のデッキプレート側のき裂を対象として、ICR 処理の範囲を変化させた試験体による板曲げ振動疲労試験（以下、疲労試験）を行い、ICR 処理範囲の違いによる疲労寿命の向上効果への影響を明らかにした。

そこで本検討では、疲労試験で明らかとなった知見の検証を目的として、内部き裂の応力拡大係数範囲に着目し、疲労試験の試験体を再現した FE モデルによる解析的な検討を実施した。

2. 解析概要

疲労試験と同様に、対象とするき裂は、溶接止端から離れて主板部に 10mm 進展したき裂 (N_{10}) とした。ICR 処理範囲は、まわし溶接部と主板部のき裂を ICR 処理したもの (ICR)、主板部のき裂のみを ICR 処理したもの (ICRa)、ICR 処理しないもの (AW) の 3 ケースとした。公称応力範囲は、 $\Delta\sigma=100, 120, 150, 180\text{N/mm}^2$ とした。

解析には汎用の有限要素解析プログラム Marc を用い、ヤング係数 200kN/mm^2 、ポアソン比 0.3 とし、8 節点 6 面体ソリッド要素を使用した線形有限要素解析を行った。

本検討で用いた FE モデルを図 1 に示す。デッキプレートを模した厚さ 12mm の主板に、垂直補剛材を模した厚さ 12mm のガセットプレートを溶接サイズ 6mm ですみ肉溶接した試験体を再現し、主板の中央に対称条件を設けた 1/2 モデルとした。また、着目部である主板側の溶接止端付近の最小メッシュサイズは 0.5mm とした。

荷重条件と境界条件は疲労試験の条件を再現するように、主板の自由端側から 115mm の位置に Y 軸正方向の単位荷重を線載荷し、ガセットの端部から 240mm の範囲の Y 軸方向変位を拘束した。

き裂部のモデル化方法を図 2 に示す。き裂面は 2 重節点でモデル化し、要素同士の接触は考慮していない。試験体の破面を参考に、まわし溶接のき裂面はガセットプレートの下に潜り込むような面とし、き裂深さは 8mm とした。

ICR 処理部のモデル化方法を図 3 に示す。き裂部の 2 重節点を結合することで、ICR 処理によるき裂の閉口を再現

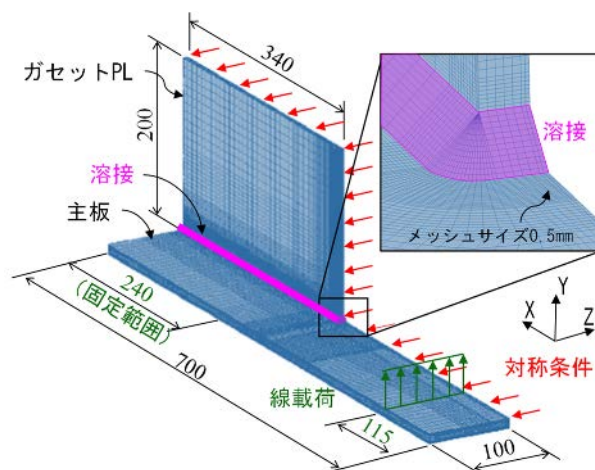


図 1 FE モデル

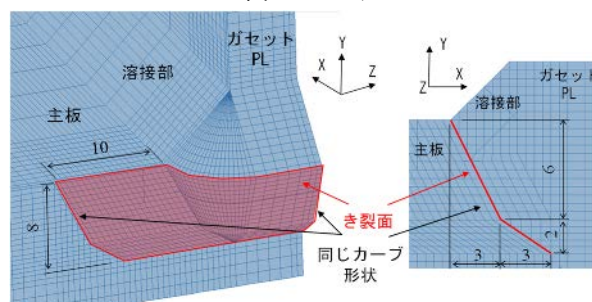
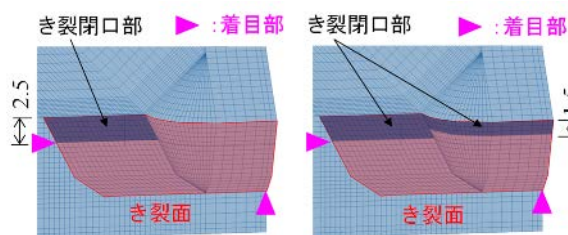


図 2 き裂部のモデル化 (き裂モデル)



(a) Open モデル (b) Close モデル

図 3 ICR 処理部のモデル化

キーワード 鋼床版, 疲労き裂, ICR 工法, 応力拡大係数範囲

連絡先 〒541-0054 大阪市中央区南本町 4-5-7 (一財) 阪神高速先進技術研究所 TEL 06-6244-6050

した．また，応力比 $R=-\infty$ とした疲労試験では，載荷・除荷の過程において ICR 処理部のき裂の開閉口挙動が見られたため，まわし溶接部の部分的なき裂の開口を再現した Open モデルと，ICR 処置されたき裂表面の閉口を再現した Close モデルを設定した．試験体の破面を参考に，ICR 処理深さはまわし溶接部を 1.5mm，主板部のき裂を 2.5mm とした．

3. 応力拡大係数範囲の算出方法

き裂開閉口時の応力拡大係数範囲 ΔK を評価した研究²⁾を参考に，ICR は式(1)，ICRa は式(2)，AW は式(3)により，図 3 に示す内部き裂の底面と側面における ΔK を算出した．

$$\Delta K_{ICR} = K_{I,op} \sigma_{n,op} + K_{I,cl} (\sigma_{n,min} - \sigma_{n,op}) \tag{1}$$

$$\Delta K_{ICRa} = K_{I,op} \sigma_{n,min} \tag{2}$$

$$\Delta K_{AW} = K_{AW} \sigma_{n,min} \tag{3}$$

ここに，

$K_{I,op}$: Open モデルの単位荷重下での応力拡大係数

$K_{I,cl}$: Close モデルの単位荷重下での応力拡大係数

K_{AW} : き裂モデルの単位荷重下での応力拡大係数

$\sigma_{n,min}$: 疲労試験時の公称応力

ICR の公称応力範囲 $\Delta\sigma=150\text{N/mm}^2$ を代表して，図 4 に示すように，き裂開閉口の変化点 $\sigma_{n,op}$ は，疲労試験で得た溶接止端近傍の応力と公称応力の関係に，Open モデルと Close モデルの解析結果を漸近させたときの交点とした．

4. 解析結果

内部き裂の底面と側面の ΔK を表 1 に示す．疲労試験において内部き裂が進展していた試験体は赤字で示している．また，き裂進展の目安は，文献³⁾に示される下限界拡大応力係数範囲 ΔK_{th} （平均設計曲線で $76\text{N/mm}^{3/2}$ ）とした．表 1 に示すように，き裂が進展しなかった試験体では ΔK が ΔK_{th} に近い値となり，き裂が進展した試験体では ΔK が ΔK_{th} より大きい値となった．これより，疲労試験で確認されたように多くの試験体で内部き裂が進展したことがわかる．次に，各応力範囲で ΔK を比較すると，き裂底面では， ΔK_{AW} が最も大きく， ΔK_{ICRa} ， ΔK_{ICR} の順に小さい値となった．一方，き裂側面では， ΔK_{AW} が最も大きく， ΔK_{ICR} と ΔK_{ICRa} は大きく低減され， ΔK_{ICR} が最も小さい値となった．以上より，ICR 処理によりき裂先端の ΔK が低減されたことから，ICR 処理による内部き裂進展の抑制効果が確認され，き裂部分をすべて ICR 処理することで抑制効果が向上することが示された．また，き裂側面の ΔK_{ICR} と ΔK_{ICRa} は同程度であったことから，主板部のき裂のみを ICR 処理した場合でも，き裂側面の進展に対する抑制効果を有していることが示された．一般的に，き裂は側面方向の進展が大きいため，き裂側面の進展に対する抑制効果が，疲労試験において ICR の処理範囲に関わらず疲労寿命が大幅に向上した要因になったと考えられる．

5. まとめ

本検討では，先行研究¹⁾を参考に，き裂先端の ΔK により内部き裂の進展を解析的に評価し，ICR 処理範囲の違いによる疲労寿命の向上効果への影響を確認した．この結果から，ICR 処理により内部き裂の進展が抑制され，き裂部分をすべて ICR 処理することで抑制効果が向上することが示された．また，主板部のき裂のみを ICR 処理した場合でも，き裂側面の進展に対する抑制効果を有しており，疲労寿命の向上効果に寄与することが示された．

参考文献 1) 赤松伸祐 他：垂直補剛材直上の鋼床版デッキプレートの疲労き裂に対する ICR 処理範囲の検討，令和 4 年度第 77 回年次学術講演会，I-68，2022.
2) 松本理佐 他：鋼床版の垂直補剛材溶接部のき裂を対象とした各種補修法の効果の比較に関する研究，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），V10. 72，No. 1，192-205，2016.
3) 社団法人日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説一付・設計例一，技報堂出版，2012.

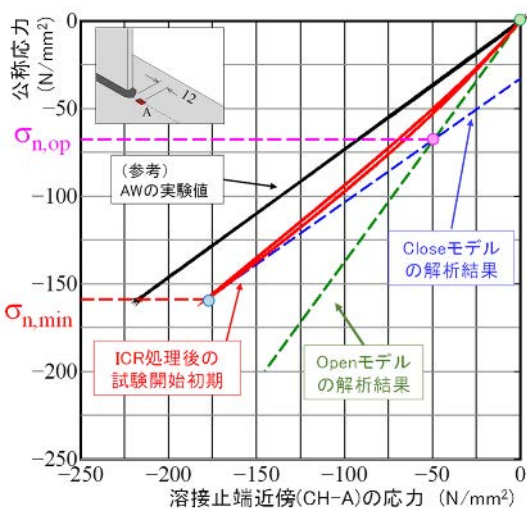


図 4 き裂開閉口の変化点の算出方法

表 1 応力拡大係数範囲 (N/mm^{3/2})

(a) き裂底面			
Δσ (N/mm ²)	AW ΔK _{AW}	ICR ΔK _{ICR}	ICRa ΔK _{ICRa}
100	-466	試験ケースなし	-310
120	-556	-122	-376
150	-703	-202	-475
180	試験ケースなし	-294	試験ケースなし

(b) き裂側面			
Δσ (N/mm ²)	AW ΔK _{AW}	ICR ΔK _{ICR}	ICRa ΔK _{ICRa}
100	-730	試験ケースなし	-133
120	-870	-117	-161
150	-1101	-155	-203
180	試験ケースなし	-194	試験ケースなし