温度ギャップ法による非貫通亀裂の形状評価に関する研究

滋賀県立大学	学生会員	○佐賀	亮太	滋賀県立大学	正会員	和泉	遊以
神戸大学	正会員	阪上	隆英	本州四国連絡高速道路	正会員	有馬	敬育
本州四国連絡高速道路	正会員	西谷	雅弘	本州四国連絡高速道路		内野	隆太郎

1. 緒言

近年,鋼床版疲労亀裂の新たな非破壊検査法として温度ギャップ法が提案された⁽¹⁾.鋼床版では,道路舗装部が 日射を受けるとデッキプレートが高温になり,その熱は溶接ビードを伝わりUリブへと流れる.溶接部に亀裂が生 じると,亀裂部分の空隙により熱伝導が妨げられ,亀裂部分では健全部と比較して大きな温度差(温度ギャップ) が生じる.温度ギャップ法ではこの温度差を赤外線カメラにより検知し,亀裂の検出を行う.また温度ギャップ法 は,非貫通亀裂の検出に対しても有効であることが示されている⁽²⁾.本研究では,鋼床版溶接ビードの非貫通亀裂

の形状評価に温度ギャップ法を適用することを最終目的とし、温度ギャップ法による 非貫通亀裂の形状評価法を新たに提案し、その有効性を、平板試験片を対象として明 らかにする.既往研究で提案されている温度ギャップ法による従来の非貫通亀裂の形 状評価法では、亀裂長さが短いと推定誤差が大きくなるという問題があった⁽³⁾.そこ で、本研究による提案法と従来法の比較を行い、問題が改善されているかを確認した.



2. 提案する亀裂形状評価法

実構造物における亀裂の発生基点が一様ではないことから、本手法 では、検査体に生じている亀裂を半楕円亀裂であると仮定し、亀裂長 さ2aと亀裂深さdによって亀裂形状を決定する.まず、半楕円亀裂 の裏面側の温度分布を赤外線カメラにより測定し、亀裂付近の観測点 (1)、(2)における温度勾配値を得る.次に、亀裂長さ2aと亀裂深さd を様々に変化させた数値解析を有限要素法などにより実施し、それぞ れの観測点で実測された温度勾配値となるような亀裂長さ2aと亀裂 深さdの組合せ特性線をそれぞれ図1のように求める.最後に、それ らの組合せ特性線の交点から亀裂長さ2aと亀裂深さdを同定する.

3. 亀裂形状の評価結果

提案する亀裂形状評価法の適用性を確かめるために数値解析及び実 験を行った.解析モデルの概要(1/2モデル)を図2に示す.解析モ デルに導入した亀裂形状は,表1に示す実験で用いる試験片の亀裂形 状に合わせた.解析モデル長手方向の温度勾配が温度ギャップ法によ りビード貫通亀裂を高い精度で検出できる条件でもある 0.04K/mm となるように解析モデル両端の温度を設定し,定常熱伝導解析を行っ



図2 解析モデルの概要

表1 導入亀裂形状

試験片No.	亀裂長さ 2 <i>a</i> (mm)	亀裂深さ <i>d</i> (mm)
1	30.1	9
2	30.1	7
3	30.1	6
4	45	9



た.実験方法の概略図を図3に示す.試験片の一端をハロゲンランプを用いて加熱し,もう一端を冷却器によって 一定温度に保たれた冷水を入れた一斗缶を密着させ冷却し,試験片長手方向に温度勾配を与えた.導入した温度勾 配は数値解析と同様に0.04K/mmである.また,外部熱源による赤外線反射の影響を軽減するため,試験片の周囲を 段ボールで囲った.まず,数値解析によって得られた温度勾配値を実験で得られたものと想定して,本亀裂形状評 価法の妥当性を確認した.図4に示すように亀裂の中心直上を観測点(1)とし,観測点(1)からx方向にD=4~11mm の範囲で1mm間隔で設定した各点を観測点群(2)とした.すなわち観測点(1)と観測点群(2)(8点)の組合せ特性線

キーワード 赤外線サーモグラフィ,温度ギャップ法,鋼床版,非貫通亀裂,亀裂形状評価
連絡先 〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町 2500 滋賀県立大学 TEL0749-28-8200

の交点からそれぞれ 8 通りの亀裂長さ・亀裂深さが得られ, 本研究ではそれらの平均値を最終的な亀裂形状の推定結果と した.なお,観測点群(2)の範囲は,観測点(1)と観測点(1)か ら x 方向に 1mm 間隔で設定した 39 個の観測点を用いた推定 結果より,良好な亀裂形状推定を行うことができた観測点群 の範囲である.表 2 の解析値に基づく亀裂形状の推定結果よ り,ほとんど誤差なく亀裂形状の推定が行えており,本手法の 妥当性を確認することができた.

次に,実験値を用いて亀裂形状評価を行った.試験片の概要 を図5に示す.亀裂部は放電加工によるスリットで模擬した. 各試験片の実験結果に基づく推定結果を表3に示す. 亀裂長 さは誤差15%以内,亀裂深さは誤差10%以内でそれぞれ推定を 行うことができた.また,亀裂深さが浅いと亀裂深さの推定 精度が悪くなる傾向が得られたが,これは亀裂深さが浅いと 亀裂による断熱効果が小さくなることで亀裂部周辺の温度勾 配値(温度ギャップ)が小さくなり,赤外線カメラの測定ノイ ズ等の測定誤差の影響を受けやすいためだと考えられる.

温度ギャップ法による従来の亀裂形状評価法では, 亀裂深 さの異なる矩形状の非貫通亀裂をモデル化した数値解析で得 られる温度ギャップ量に基づいて, 測定で得られる温度ギャ ップ量の分布から各点での残存のど厚 t'を求め, 亀裂の 3 次 元形状を推定していた.図6に, 試験片 No.1における従来の 評価法と提案法による亀裂形状推定の比較結果を示す.従来 法では,図6に示したように亀裂長さが 30mm 程度と短い場 合に推定誤差が大きくなる.この推定誤差は,矩形状亀裂の 温度ギャップ量に基づいて亀裂形状評価を行うため,半楕円 亀裂の場合に生じる亀裂長さ方向 (y 方向)の熱伝導が考慮さ z ・ 観測点(2)・ ・ 単 構円亀裂 観測点群(2):D=4~11mm 図 4 観測点の位置

表2 解析値による亀裂形状推定結果

≵殿⊢N.	亀裂長さ	§ 2a	亀裂深さd		
PN N. / INU.	推定值 (mm)	誤差率 (%)	推定値 (mm)	誤差率 (%)	
1	30.10	0	9.001	0.011	
2	30.11	0.033	6.999	0.014	
3	31.40	4.319	6.209	3.483	
4	45.00	0	9.000	0	



表3 実験値による亀裂形状推定結果

計 殿 上 No	亀裂長さ	5 2a	亀裂深さ d		
₩V状/1 INU.	推定値 (mm)	誤差率 (%)	推定値 (mm)	誤差率 (%)	
1	30.41	1.030	9.113	1.256	
2	27.41	8.937	6.530	6.714	
3	27.98	7.043	6.437	7.283	
4	51.35	14.11	9.001	0.011	



れていないために生じたものである.本研究における提案法では、半楕円形状の亀裂を模擬した解析モデルによる 解析結果を用いて亀裂形状を推定しているため、亀裂長さが短くてもほとんど誤差なく半楕円亀裂形状が推定され ており、従来法の問題が改善されていることが分かる.

4. 結言

I - 296

本研究で提案した亀裂形状評価法は、平板試験片における非貫通半楕円亀裂に対して十分な精度での適用が可能 であることが明らかになった.また、温度ギャップ法における従来の亀裂形状評価法では形状評価が困難であった 亀裂長さが短い場合においても、提案手法では良好な亀裂形状評価を行うことができた.今後は、同提案法のUJ ブ構造への応用について検討する予定である.

参考文献

(1)溝上善昭,小林義弘,和泉遊以,阪上隆英,赤外線サーモグラフィを用いた温度ギャップ検知による鋼床版デッ キプレート-Uリブ間の溶接部に生じる疲労亀裂の遠隔検出,鋼構造論文集,Vol.22, No.87, pp.47-56 (2015).

(2)和泉遊以,溝上善昭,上西広粋,阪上隆英,林昌弘,温度ギャップ法によるビード非貫通亀裂の検出に関する基礎的研究,構造工学論文集 A, Vol.66A, pp.540-548 (2020).

(3)吉川知秀,和泉遊以,阪上隆英,有馬敬育,溝上善昭,温度ギャップ検出赤外線サーモグラフィ法による非貫通 ビード亀裂の形状評価,第74回土木学会年次学術講演会講演概要集,I-197(2019).