X線画像処理によるボイラのき裂評価技術

Crack Depth Evaluation for Boiler Tubes using X-ray Image Analysis



取違 正明 Masaaki Torichigai

宮 澤 敬 之 Takeshi Miyazawa

和田 恭子 Kyoko Wada 松本 拓俊 Hirotoshi Matsumoto

茶園 聡 Satoshi Chaen

ボイラ火炉壁の付着金物溶接部の裏側(管内面側)に発生する腐食疲労き裂を検査する有効 な手段がなかったため、従来はサンプル抜管による調査を行っていた.そのため、評価に時間が 掛かり、抜管と復旧にコストを要していた.そこで、近年急速に進歩してきた X 線検査に着目し、 デジタル化した X 線像を画像処理することにより腐食疲労き裂など種々のき裂を検出し、健全部 とき裂部の輝度差からき裂深さを評価する技術を確立した.これにより、現場で取替えの判断が 可能になり、抜管と復旧が必要ないので評価費用も格段に安くなった.

1. はじめに

デジタル X 線は、フィルムに替わる検出器の種類により X 線 TV (イメージインテンシファイヤ付 TV カメラ)、フラットパネル半導体像検出器 (Flat Panel Detector: FPD)、輝尽性蛍光体像検出器 (イメージングプレート利用コンピューティドラジオグラフィー: CR) に分けられる. デジタル X 線の 最大の利点は、結果判定がリアルタイム若しくは短時間で行えることであり、画像の保存や伝達も 容易である. さらに、検出器の性能が向上したこと及びコンピュータの進歩に伴って画像処理技 術が発達したことにより、分解能もX線フィルムと遜色のないレベルになってきたと言われており近 年急速に普及してきた. このようなことから、著者らも火力プラントに発生する種々のき裂を対象に デジタル X 線の適用を試みたが、検出限界の点ではフィルム法が勝っていた.

そこで、X線像をデジタル化し画像処理を行うことにより、ボイラ炉壁管の付着金物溶接部の裏 側(管内面側)に発生する目に見えないき裂や同じく炉壁管の炉内側クラウン部(頂部)に発生す るV字状の溝状腐食などの深さを定量評価する技術を確立したので紹介する.

2. CR 法とフィルム法の比較

図1は, 蒸発管(φ28.6×t6.5mm)の外面に加工した幅 0.1mm, 深さ 0.5~2.0mm のスリットを CR (Computed Radiography)法とフィルム法で撮影し, これらの検出限界を比較したものである. 図のように, フィルム法は深さ 0.5mm のスリットまで検出可能であったが, CR 法は深さ 0.5mm のス リットを検出できなかった. また, 画像自体も CR 法よりフィルム法の方が鮮明であった.

3. 腐食疲労き裂への適用

ボイラを長時間運転すると炉壁管の付着金物溶接部の内面に腐食疲労き裂が発生する.この き裂は、図2に示すように溶接ビードの裏側に発生するため、超音波探触子が当てられる一部の 部位について超音波探傷検査が実施されているものの有効な検査方法がない.

このようなことから,X線による腐食疲労き裂の検出と深さの評価法について検討した.



図1 CR 法とフィルム法の比較

図3 X線検査の要領

3.1 検査要領と試験片

図3にX線検査の要領を示す. 炉内側の管表面にX線フィルムを貼付けて炉外側(付着金物 側)からX線を照射する.

図4と図5に試験片の外観を示す. φ28.6×t6.5mmの蒸発管に溶接ビードを模擬した曲率半 径 8mm, 高さ4, 5, 6, 7mm の金物を TIG 溶接し, その内面に特殊な刃物を使用して幅 0.1mm, 深さ 0.4~2.0mm のスリットを加工した. ボイラ炉壁管に発生する腐食疲労き裂の開口幅は 0.1~ 0.3mm 程度であるので, 試験片に加工した幅 0.1mm のスリットがX線で検出できれば炉壁管の腐 食疲労き裂は検出可能である.



図5 人エスリットの外観(代表例)

3.2 試験結果

表1に軸方向スリットの試験結果を示す.スムース管及びライフル管とも同様の結果であり、ビ ード高さ5mm 以下では深さ 0.4mm のスリットが検出可能であった.また,ビード高さ 7mm 以下で あれば、両方の管共深さ0.5mmのスリットが検出可能であった.

表2に周方向スリットの試験結果を示す.スムース管及びライフル管共同様の結果であり、ビー ド高さ6mm 以下では深さ 0.4mm のスリットが検出可能であった. また, ビード高さ 7mm 以下であ れば,両方の管共深さ0.5mmのスリットが検出可能であった.

表1 軸方向スリットの試験結果					表2 周方向スリットの試験結果				
金物の高さ	スリット深さ (mm)				合物の言さ	スリット深さ (mm)			
	スムース管		ライフル管		金物の高さ	スムース管		ライフル管	
	0.4	0.5	0.4	0.5		0.4	0.5	0.4	0.5
4 mm	0	0	0	0	4 mm	0	0	0	0
5 mm	0	0	0	0	5 mm	0	0	0	0
6 mm	×	0	×	0	6 mm	×	0	*0	0
7 mm	×	0	×	0	7 mm	×	0	×	0

※画像処理後の画像を本文中に掲載

図6に画像処理により最適化されたスリット画像を示す.この画像は、ビード高さ6mmの周方向 溶接部の内面に加工した幅0.1mm,深さ0.4mmのスリットのX線像である.強調したい範囲(見た い範囲)を選択し、その範囲のコントラスト階調(ガンマ値)を狭くしたり、広くしたり、トーンカーブ により明るさとコントラストを調整したりしてきずを浮き出させたものである.これにより、人間の目で は確認しづらいきずも見つけることが出来る.

図7に実缶に発生した腐食疲労き裂のX線像を示す.図のように、素管部と溶接部では輝度が 異なるため、同時に観察することは難しい.そのため、画像処理により素管部と溶接部をそれぞれ 最適化することにより、腐食疲労き裂の発生状況を詳細に観察することができる.

3.3 き裂深さの評価

X線フィルムの画像をデジタル化し健全部とき裂部の輝度差を測定することによりき裂深さを評価することができる. 図8は蒸発管(φ28.6×t6.5mm)の外面の円周方向に加工した幅 0.1mm, 深さ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0mm の人工スリットの輝度測定結果である. この結果は, 選択した分析範囲(写真中に点線で示す範囲)の管軸方向の輝度変化を示したもので, 横軸が管軸方向の選択範囲, 縦軸が輝度を示している. 図のように, 管軸中心付近を選択し, 軸方向の輝度分布をとるとスリットの深さに応じて輝度が変化しており, 輝度の変化量とき裂深さの関係を求めると, き裂深さを評価することができる.



図9は円周方向溶接部の内面に加工した幅0.1mm,深さ0.5,1.0,1.5mm(3種類)の円周方向 スリットの輝度測定結果である.図8と同様の方法で管軸方向の輝度分布をとると溶接ビードの曲 率に沿って輝度が変化していることが分かる.また,溶接ビード中央の管内面側(裏側)に円周方 向スリットを加工しているので,溶接ビード中央にスリット深さに対応した輝度変化が認められてお り,溶接部に発生したきずについても深さを評価することができる.



図9 きず深さの評価

蒸発管(φ28.6×t6.5mm)の素管部とビード高さ4,5,6,7mmの軸方向及び周方向溶接部に ついて、スリット深さと輝度差の関係を求め図10と図11に示した.これらの図から、軸方向及び 周方向溶接部共溶接ビードが高くなると輝度差が小さくなるが、スリット深さと輝度差には一定の 関係が認められる.そこで、軸方向及び周方向溶接部について、スリット深さによる輝度変化と X 線の透過厚さ(厚さ×2+ビード高さ)の関係を求め、腐食疲労き裂の深さを評価できるようにし た.図12は溶接部の内面に加工したスリットの評価精度で、軸方向及び円周方向溶接部共、き ずの深さを±0.3mmの精度で評価することができる.



4. 溝状腐食への適用

石炭焚きボイラの火炉蒸発管の表面に発生する溝状腐食の外観と断面状況を図13に示す. 溝状腐食深さの評価については,種々の検査方法が適用されてきたが,き裂が密集しているため十分な評価ができなかった.このようなことから,X線による溝状腐食深さの評価について検討した.

4.1 検出限界

図14は、実機溝状腐食による検出限界確認結果である. 図に示す溝状腐食は軽微なもので、 破面調査の結果、き裂Aとき裂Bの深さは、0.53mmと0.57mmであった. 外観とX線画像を比 較して分かるように、X線フィルムをデジタル化し画像処理することにより、き裂Aとき裂Bが検出 できており、深さ0.5mm以上の溝状腐食であれば十分に検出可能である.

4.2 溝状腐食深さの評価

腐食疲労き裂と同様,分析範囲を選択し管軸方向(き裂と直交する方向)の輝度変化を測定す ると,溝状腐食の深さに応じて輝度が変化するので,溝状腐食の深さを求めることができる.

図15に溝状腐食の評価精度を示した. 図のように, 健全部とき裂部の輝度差を測定することにより, ±0.3mmの精度で溝状腐食深さを評価可能である.



5. 孔食の評価

横置型パネルの下面側に孔食が発生する場合があり, 孔食深さをX線で評価した. 図16は孔 食評価用試験片のX線画像と孔食部(人工きず)の輝度測定結果で, 孔食の深さに応じて輝度 が変化していることが分かる. したがって, 評価対象伝熱管と同一仕様の試験片で孔食深さと輝 度差の関係を求めておけば孔食深さを評価することができる.

6. 適用実績

表3に実機への適用実績を示す.評価対象は,火炉壁管の付着金溶接部の裏側(管内面側) に発生する腐食疲労き裂やき裂が無数に発生するために他の検査法では評価が困難な溝状腐 食,幅広フィンに発生した熱疲労き裂,ドレン配管に発生した熱衝撃によるき裂及び横置型パネ ルに発生した孔食であり,平成18年3月実機適用後,平成21年3月現在,合計11缶に適用し てきた.



表3 実機への適用実績

	評価対象	缶数
1	火炉壁腐食疲労き裂調査	4缶
2	火炉壁溝状腐食評価	3缶
3	火炉壁腐食疲労き裂調査	1缶
4	ドレン配管熱衝撃き裂評価	1缶
5	再熱器孔食深さ評価	1缶
6	過熱器·再熱器溝状腐食評価	1缶
	11缶	

図16 孔食深さの評価

7. まとめ

本報では、ボイラ伝熱管に発生するき裂や種々のきずを対象に X 線による深さの評価法について紹介した. 今後は、これらの成果をもとに他製品に発生するき裂やきずについても同様の取組みを実施し、本技術の適用拡大を図っていく所存である.

参考文献

- (1) 放射線イメージング技術の最前線"X線による非破壊検査", RADIOISOTOPES, 52, 2003
- (2) 放射線画像処理法の概要と配管検査への適用,非破壊検査55巻9号(2006)

執筆者紹介



取違正明 技術本部 長崎研究所 サービス技術課 主席



松本拓俊 技術本部 長崎研究所 サービス技術課



宮澤敬之 原動機事業本部 ボイラ統括技術部 ボイラ設計課



茶園 聡 技術本部 高砂研究所 電子・光研究室



和田恭子 技術本部 先進技術研究 センター プロジェクトグループ