

曲面を有する疲労き裂に対するフェイズドアレイ超音波探傷法の検討

岐阜大学大学院 学生会員 ○井上一磨, 岐阜大学 正会員 木下幸治
中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 正会員 納土武久, 正会員 小塚正博

1. はじめに

鋼床版のデッキプレートと垂直補剛材との溶接部において、板曲げを受け疲労き裂が発生することがこれまでに報告されてきている¹⁾。この疲労き裂は、板厚方向に徐々に曲がりながら進展するのみならず、板幅方向では回し溶接止端部に進展した後止端部から離れる方向に進展することが知られてきている²⁾。このような曲面を有する疲労き裂に対し、非破壊検査によりその形状を正確に把握することは、的確な補修時期や補修方法の検討につながる。一方、高精度な超音波探傷法としてフェイズドアレイ法³⁾⁴⁾が適用されてきている。曲面を有する疲労き裂に対しフェイズドアレイ法を用いることで、そのき裂深さや形状を従来以上に正確に探傷可能とすると考えられる。

そこで本研究では、曲面を有する疲労き裂の形状を正確に非破壊探傷することを目的とし、板曲げを受ける疲労試験を行い、溶接止端部の疲労き裂を対象に高精度であるフェイズドアレイ超音波探傷を実施し、このき裂に対する探傷の精度を確認した。

2. フェイズドアレイ非破壊探傷試験

図-1 にフェイズドアレイ探傷装置を示す。フェイズドアレイ探傷法は、ディレイ（振動遅延時間）を設定して各素子を駆動することで電子的に超音波の送信方向や焦点を制御できる。これらの手法を用いることで従来の超音波探傷法に比べて欠陥の測定精度が向上すると期待されている。本試験では、探傷器は OLYMPUS 製 OmniScan sx を用いた。探触子の周波数は 5.0MHz、素子配列はリニア配列、振動素子数は 16 素子、振動素子ピッチは 0.6mm である。ウェッジは斜角接触用を用い、入射角は 40~70°の範囲である。本試験では、同一平面で超音波ビームを扇状に移動させる走査であるセクタースキャンを用いた。また、超音波の送信と受信を一つの探触子で行う。図-2 に計測方法を示す。探傷試験は、付加板から長手方向に 30~50mm 程度離れた位置より探触子を用いて実施し、き裂が探傷できる位置を長手方向に前後させた。本試験では、き裂先端の板厚方向の深さ、長手方向の奥行きを計測した。図-2(a)に示すように、探傷試験は板幅方向に 5mm 間隔で計測した。また、付加板側とその裏面側の両面で計測した(図-2(b), (c))。以後付加板側を上面、その裏面を下面とする。一般的には端部エコーを直接探傷する方が、返信エコーが強いので精度が良いとされている。しかし、本試験では端部エコーを直接探傷する際に、き裂発生時は送信パルスが干渉するためにき裂からのエコーの判断が困難であり、また、き裂が板厚方向に徐々に曲がりながら進展する段階ではき裂形状により直接き裂端部まで超音波が

到達できない。このため、上面からの探傷試験は主板内を超音波が 1 反射するように探傷した。

3. 板曲げ疲労試験

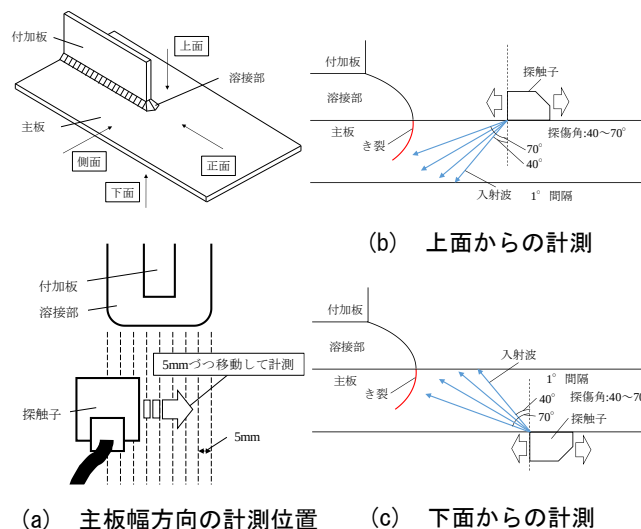
図-3 (a) に試験体寸法、板曲げ振動疲労試験機を示す。疲労試験機は山田ら²⁾が開発したものをを用いた。試験体鋼材は SM490 である。主板、付加板は板厚 12mm の鋼材である。溶接は CO₂ 半自動溶接である。本試験



(a) 探傷装置

(b) 探傷点

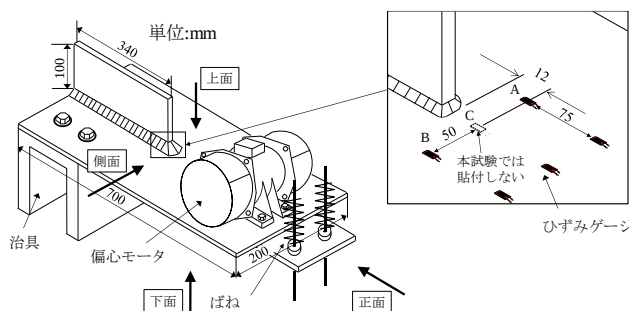
図-1 フェイズドアレイ探傷装置



(a) 主板的幅方向の計測位置

(c) 下面からの計測

図-2 フェイズドアレイ計測方法



(a) 試験体寸法と疲労試験機

(b) ひずみゲージ貼付位置

図-3 試験体寸法とひずみゲージ貼付位置

キーワード：非破壊検査，超音波探傷，フェイズドアレイ法，板曲げ疲労試験

連絡先：〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学工学部 社会基盤工学科 TEL：058-293-2424

では、溶接止端部に処理を施さない 2 つの溶接まま試験体を対象とし、それぞれ試験体 A1 および A2 とする。図-3 (b) にひずみゲージ貼付位置を示す。公称応力は図-3 (b) に示すガセット中央の溶接止端から長手方向に 12mm の位置で、試験体中央から左右 50mm 離れた位置のひずみゲージ A, B から算出し、試験体 A1 が 100MPa, A2 が 125MPa とした。応力比は 0.5 である。

試験体に発生する疲労き裂は試験体に貼付した $\phi 0.05\text{mm}$ の被覆銅線を用いて検知した。被覆銅線の貼付位置は文献²⁾を参考に完全溶け込み溶接止端の側面、回し溶接止端より 10mm の位置とした。面外ガセット回し溶接止端の位置における被覆銅線による検知は、フェイズドアレイ非破壊探傷の計測を行う際の干渉を避けるため、本試験では行わなかった。それぞれの位置のき裂を検知した繰り返し数を N_{10c} (き裂発生段階), N_b (き裂が母材に進展し始める段階), N_{10} (き裂が溶接止端から母材に 10mm 進展した段階) とした。試験はき裂が N_{10} に到達した段階で終了とした。

本試験では、数万回ごとに载荷を止めて探傷試験を実施した。き裂発生後では探傷試験ごとに疲労き裂の進展状況を調べる目的で応力範囲を半分程度にしたビーチマーク試験を行った。また、同時に磁粉探傷試験も実施した。

4. 試験結果

本原稿では、試験体中央におけるき裂探傷結果のみ報告する。図-4 に試験体 A2 のビーチマークを示す。画像計測より、各ビーチマークの深さを計測した。

図-5 にき裂探傷結果と破面計測結果の比較として、き裂深さと奥行の関係を示す。破面形状は、各試験体の破面の型を歯科印象材により採取し、スライスしたものを高解像度のデジタルカメラにて撮影し、画像上にて 40 倍程度に拡大して行った。試験体 A1, A2 どちらにおいても、溶接止端部からのき裂発生を磁粉探傷試験により計測し、この時フェイズドアレイ非破壊試験においてもき裂を確認することができた。実測値が深さ 2mm 程度までの A1 と A2 の上面からと下面からの探傷結果は、実測値と比較して 2~3 倍程度異なっている。これは、端部エコーよりコーナーエコーのエコー高さが大きいためであると考えられる。一方、実測値が深さ 2~6mm 程度までの探傷結果は、実測値と比較して 20~30% 程度の差であり、比較的精度よく探傷できている。この範囲においては、端部エコーのエコー高さが最も大きいため精度よく探傷できていると考えられる。また、実測値が深さ 6mm より大きい際の A1 の上面からと下面からおよび A2 の上面からの探傷結果は、探傷深さが 6~7mm 程度の範囲の値となっており、実測値と比較して 40~50% 程度の差がある。しかし、A2 の下面からの探傷結果では、実測値が深さ 6~9mm においても実測値と比較して 10% 程度の差であり、精度よく探傷できている。

また、図-5 より、A1 の上面からと下面からおよび A2 の上面からの探傷結果より、深さ 6~7mm 付近で値が集中していることがわかる。深さ 6~7mm は板厚の 50~60% 程度の位置であり、この深さは板曲げ試験において作用する応力の圧縮と引張が変わる位置である。このため、図-5 においても確認できるように深さ 6~7mm

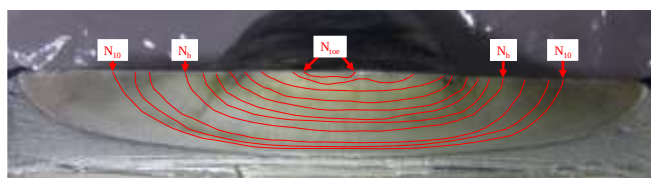
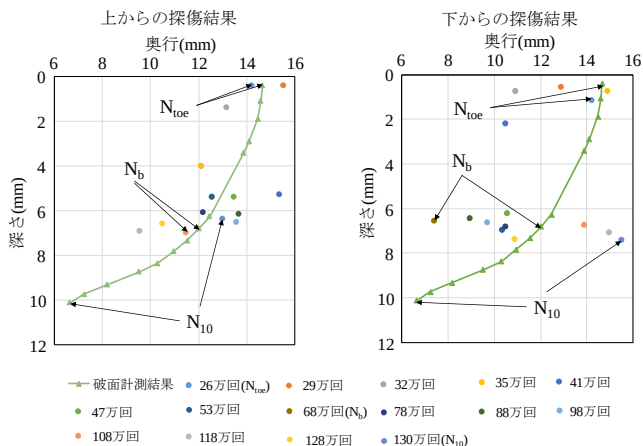
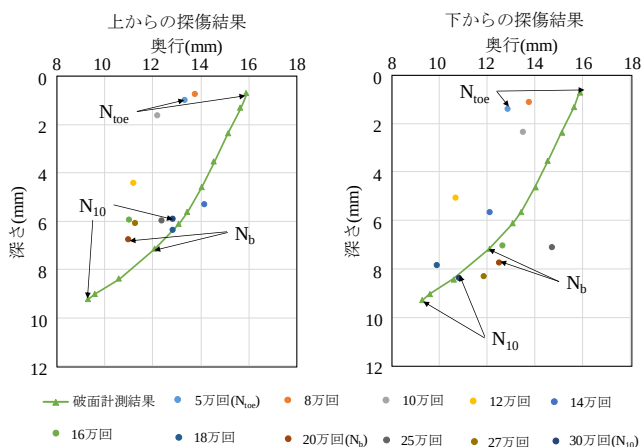


図-4 試験体 A2 のビーチマーク



(a) 試験体 A1



(b) 試験体 A2

図-5 き裂探傷結果と破面計測結果との比較

の破面の形状は角度が変わっており、深さ 6~7mm 以降は奥行方向にき裂が大きく進展する。深さ 6~7mm 以降のき裂深さの探傷結果の精度が低い要因として、探触子より送信される超音波が奥行方向に進展するき裂先端まで回りこめていないためと考えられる。

参考文献

- 1) 三木千壽, 坂野昌弘, 館石和雄, 福岡良典: 鋼橋の疲労損傷事例のデータベースの構築とその分析, 土木学会論文集, 第 392 号/I-9, pp.403-410, 1988.
- 2) 山田健太郎, 小藺江朋亮, 小塩達也: 垂直補剛材と鋼床版デッキプレートとのすみ肉溶接の曲げ疲労試験, 鋼構造論文集, 第 14 巻, 第 55 号, pp.1-8, 2007.9.
- 3) 河野尚幸, 中畑和之, 廣瀬壮一: フェーズドアレイ探触子のモデリングと欠陥エコーのシミュレーション, 日本機械学会論文集(A 編), 73 巻, 725 号, pp.88-95, 2007.1.
- 4) 白旗弘実, 上栗拓真: フェーズドアレイ超音波探傷法による鋼床版デッキプレート進展き裂の非破壊評価, 土木学会論文集, Vol.72, No.1, pp.206-219, 2016.