

鋼床版 U リブ・デッキプレート溶接部のルートき裂に対する横リブ交差部での探傷方法の検討

(株) 高速道路総合技術研究所 正会員 ○服部雅史

名古屋大学 フェロー 館石和雄, 正会員 判治剛, 正会員 清水優

1. はじめに

鋼床版の U リブとデッキプレート(以下、デッキ)の溶接部において、溶接ルートを起点としてデッキへ進展する疲労き裂(以下、デッキ進展型き裂)が報告されている。筆者らはこのき裂を初期段階で検出することにより、合理的で経済的な維持管理が可能となると考え、探傷範囲の抽出方法¹⁾²⁾、探傷方法³⁾、対策方法⁴⁾⁵⁾を提案してきた。文献 3)においては、一般部を対象にフェーズドアレイ超音波探傷試験(以下、PAUT)を用いた探傷方法を提案したが、横リブ交差部では横リブが支障となり適用が難しいことが予想される。実橋では、横リブ交差部にもルートき裂が多く報告されていることから、この箇所に対しての探傷方法の確立が望まれる。そこで本稿では、横リブ交差部での U リブ・デッキ溶接部の探傷方法を検討したので報告する。

2. 探傷方法の検討

まず、予備検討として文献 3)の設定と同じ PAUT の探触子を用いて、文献 4)の実物大鋼床版試験体に生じた横リブ交差部のデッキ進展型き裂(き裂寸法:長さ 88mm, 深さ 8.7mm)を対象に探傷試験を実施した。探傷は斜め入射法とピッチキャッチ法の 2 種類を検討した。斜め入射法は、図 1 に示すように 1 つの探触子を溶接線に対して 30~45° で設置し、超音波を斜めに入射し、き裂面から乱反射した超音波を受信するものである。ピッチキャッチ法は、図 2 に示すように探触子 2 つを、横リブを挟んで溶接線に対して 45° でハの字に設置し、1 つの探触子から送信されき裂面から反射した超音波を、もう 1 つの探触子が受信するものである。

予備検討の結果、斜め入射法はエコーの強度が微弱であり、き裂信号とノイズを判別できなかった。ピッチキャッチ法は明確なき裂からのエコーが得られたが、き裂がない場合もルートからの反応があり、き裂有無の判断ができなかった。以上より、PAUT では横リブ交差部の探傷は困難であると判断し、既往研究⁶⁾より探傷の可能性が高いと考えられるフルマトリクス・キャプチャ(以下、FMC)と、トータル・フォーカシング法(以下、TFM)を組み合わせた検査方法(以下、FMC/TFM)による探傷を検討することとした。

3. FMC/TFM の概要

FMC とは、配列された振動子から 1 つずつ順番に超音波を発振し、その都度配置された全ての振動子で受振することを繰り返し、データを収集する方法である。データは発振器、受信器の組み合わせのマトリクスに対して、各々に対する超音波伝搬時間とエコー高さの関係(以下、A スコープ)が収集される。PAUT は複数の振動子の発振の位相を制御することでビーム形成を行うが、FMC では位相の制御をしない。データを後処理することで断面投影図(以下、B スコープ)や平面投影図(以下、C スコープ)の画像を作成することができる。本検討では 16 個の振動子を直線に配置した探触子(5L16-9.6×10: OLYMPUS 社)を、鋼での屈折角が横波 70° となるよう樹脂製のウェッジと組み合わせて用いた。

TFM とは、FMC データの後処理の方法である。FMC で得たマトリクス状の A スコープデータと伝搬モードを用いて B, C スコープ画像を構築するため、マス目状にグリッドを構成してその各々に焦点を作成する合成法である。伝搬モードとは、縦波、横波の違いや、入射波と反射波の対象物以外の反射回数の組み合わせのことで、B, C スコープ上で狙い位置付近の

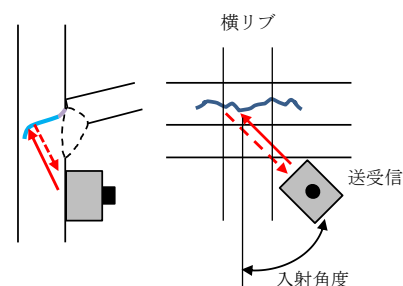


図 1 斜め入射法の概要図

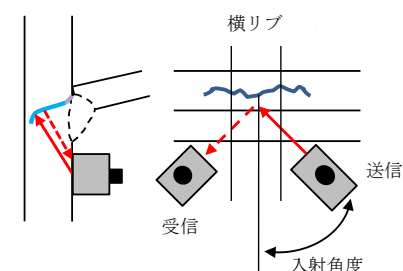


図 2 ピッチキャッチ法の概要図

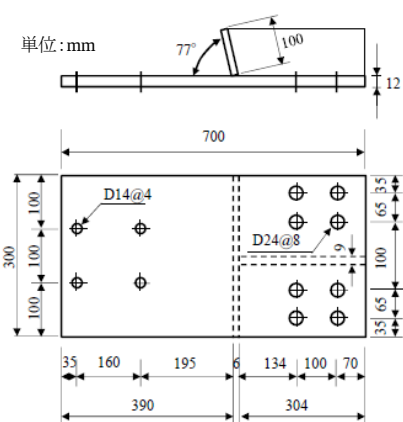


図 3 試験体の形状、寸法

キーワード 鋼床版, 疲労き裂, 溶接ルート, 超音波探傷試験

連絡先 〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1 (株)高速道路総合技術研究所 TEL042-791-1943

感度を最大にするように任意に設定できる。本検討では超音波探傷装置(OmniScan X3:OLYMPUS 社)を用いた。

4. 試験体の概要と導入したき裂の実測結果

FMC/TFM によるき裂寸法の測定方法とその精度を検証するために、図 3 に示す横リブ交差部における U リブ・デッキ溶接部を模した試験体を製作し、文献 3)と同様に振動型疲労試験機を用いた疲労試験によりき裂を導入した。き裂寸法の異なる試験体を 7 体用意し、FMC/TFM による測定を行った。また、比較のためデッキ上面から 70° の集束型斜角探触子を用いた超音波探傷試験(以下、斜角 UT)も行った。

導入した疲労き裂の寸法を実測するために、FMC/TFM で探傷した後に、試験体の破面解放調査を行った。導入したき裂の一例を図 4 に示す。導入できたデッキ進展型き裂は深さ 1.9~7.5mm であった。

5. FMC/TFM によるき裂寸法測定方法とその精度

FMC/TFM でのき裂寸法の測定方法を図 5 に示す。スペクトラム画面は縦軸がデッキ下面からの距離、横軸がエコー高さを示している。B スコープ画面は縦軸がスペクトラム画面のそれと同じで、横軸が探触子からの距離を示している。B スコープは、図 6 に示すような伝搬モードを想定した場合の開口合成結果がモニタ上に表示されている。なお、この伝搬モードの場合はデッキ下面からの距離が短い範囲のエコーを受信しやすい。つまり、き裂が小さい場合での検出精度を高めた伝搬モードの設定としている。

き裂寸法の測定は、まずき裂のない試験体を用いてエコー高さがスペクトラム画面上で 80%と表示されるように探傷感度を調整した。結果として、探傷感度は 40dB となった。次に、計測装置の設定を変えずに、図 1 のように U リブとデッキおよび横リブとデッキの双方の溶接線に対して概ね 45° となるように探触子をあて、探触子の角度を微調整し、き裂深さが最大となるエコー画像を記録した。なお、探傷作業にはき裂の有無や寸法の情報を与えていない。最後に、図 5 に示すように記録したスペクトラム画像からエコー高さが 80%となるデッキ下面からの距離をき裂深さとして測定した。1 箇所あたりの探傷時間は斜角 UT のように瞬時ではないものの、1 分程度であった。

FMC/TFM による測定値と実測値の比較を図 7 に示す。深さ 6mm 以上のき裂は過小に評価しているものの、深さ 1.9~4.4mm のき裂は誤差±1mm 以内で計測できていることから、き裂の小さい段階での検出には有効な方法と考えられる。なお、過小評価したき裂寸法での推定精度は伝搬モードの変更により高められると推測される。斜角 UT による測定値と実測値の比較も図 7 に合わせて示しているが、FMC/TFM の方が精度良くき裂を検知できることがわかる。また、斜角 UT はデッキ上面から探傷する必要があり、実橋では交通規制や舗装撤去が必要となるが、FMC/TFM はデッキ下面から探傷することができる。以上より、横リブ交差部での U リブ・デッキ溶接部の探傷方法として FMC/TFM が有効な方法であると考えられる。

6. まとめと今後の課題

本検討の結果、横リブ交差部のデッキ進展型き裂に対して、PAUT での斜め入射法やピッチキャッチ法、および斜角 UT に比べ、FMC/TFM が有効な探傷方法であることが示された。引き続き、ビード進展型き裂に対する探傷や、塗膜がある場合の影響検討が必要である。

参考文献 1) 服部ら:鋼床版 U リブ・デッキプレート溶接部のルートき裂に対する疲労評価, 土木学会論文集 A1, 77(2), pp.255-270, 2021. /2) 服部ら:実橋計測に基づいた鋼床版 U リブ・デッキプレート溶接部のルートき裂に対する疲労評価, 土木学会論文集 A1, 78(2), pp.287-300, 2022. /3) 服部ら:鋼床版 U リブ・デッキプレート溶接部の内在き裂に対するフェーズドアレイ超音波探傷の測定精度, 土木学会論文集 A1, 74(3), pp.516-530, 2018. /4) 服部ら:鋼床版の U リブ溶接部からデッキプレートに進展した疲労き裂に対する UHPFRC 敷設による対策効果, 土木学会論文集 A1, 76(3), pp.542-559, 2020. /5) 服部ら:既設鋼床版の U リブ・デッキプレート溶接部に対する床版下面からの疲労対策, 土木学会論文集, 79(1), 22-00231, 2023. /6) 白旗ら: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 A1, 72(1), pp.206-219, 2016.

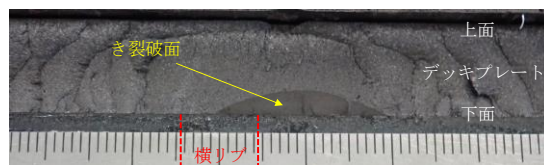


図 4 導入したき裂破面

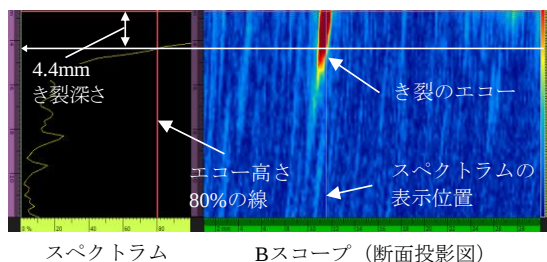


図 5 き裂寸法の測定方法

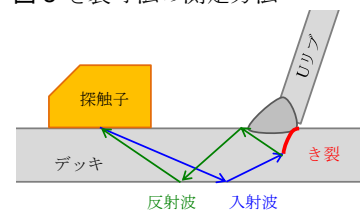


図 6 超音波の伝搬モード

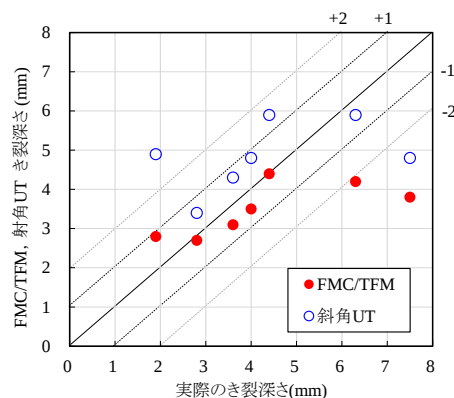


図 7 測定値と実測値の比較