

Uリブ内面モルタル充填工法の品質評価への衝撃弾性波法の適用

ニチゾウテック 正会員 ○服部 洋、非会員 原田晋作、正会員 畑中章秀
日立造船 正会員 松下裕明

1. はじめに

近年、閉断面リブ（以下、「Uリブ」と称す）鋼床版において疲労き裂が顕在化している。当社グループではその補強工法の一つであるUリブ内面モルタル充填工法（以下、「充填工法」と称す）の開発を行った（図1）¹⁾。Uリブ内部へ充填するモルタルは適度な初期膨張性及び流動性を有する無収縮モルタルを用い、空気溜まり等による未充填部を残さないための材料や充填施工法の検討が進んでいるが、これらの施工方法に併せて補強効果に影響を与える空隙の有無をモルタル硬化後に把握することも重要である。そこで、本研究では、ボルト頭部に衝撃を与えることによりUリブ内の充填モルタルに発生させた弾性波を計測することで、空隙有無、その位置及び範囲を判定できるか否か基礎検討を行った。

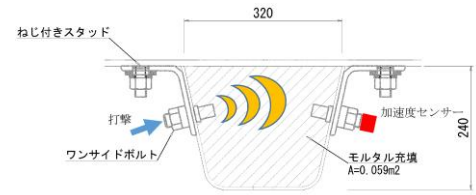


図1 Uリブ内面モルタル充填工法

2. 衝撃弾性波法²⁾の適用

供用中における計測を想定してデッキ下面から衝撃を与え、Uリブ内に発生した弾性波（加速度波形）を同じく下面において捉えることで空隙有無等の判定を行うことを考えた。計測概念を図1中に併記する。空隙はデッキプレートとモルタルの境界に生じると想定した¹⁾。応力解析により疲労耐久性に影響する数種類の空隙（厚み4mm、橋軸方向に一樣）を想定した（図2）。空隙なしをCase1としている。Case2については左右（左：Case2-1、右：Case2-2）からボルト頭部に衝撃を与えた。充填工法ではデッキプレートとUリブとの接合部に生じたき裂の発生や進展を抑制するためにボルト締め（150mmピッチ）により当て板を設置する。Uリブ側面のボルトはリブ内に貫通しており、このボルト頭部に衝撃を与えることでUリブ内モルタルに弾性波を伝播させる。弾性波伝播解析により、モルタル内部へ伝播させた弾性波がUリブのウェブ間やデッキプレートと下フランジとの間で多重反射することが分かり、相対するボルト頭部での加速度計測によりその反射影響を捉えることとした。

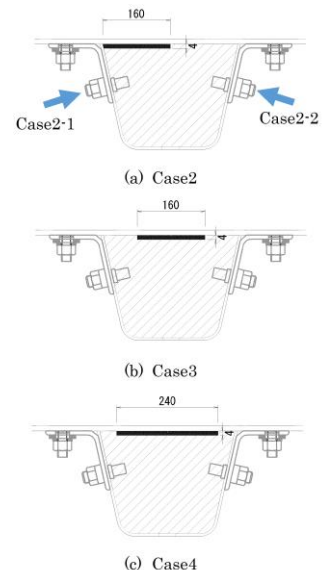


図2 模擬試験体（空隙あり）

3. 実験概要

実橋のUリブを模擬した試験体（幅904mm、長さ850mm）を製作した。実橋で使用される無収縮モルタル（【実測値】ヤング係数5.8kN/mm²、ポアソン比0.199、密度1.28g/cm³）を用いた。試験体及び計測状況を図3に示す。インパルスハンマ（測定範囲2,200N、加振周波数範囲～8KHz）により、ボルト頭部に衝撃を与え、相対するボルト頭部に設置した加速度センサ（測定周波数帯域3～20,000Hz）によりその軸方向及びせん断方向の加速度を計測した。

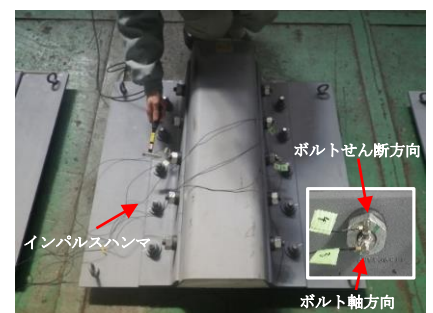


図3 試験体及び計測状況

4. 加速度波形の周波数特性及び振幅

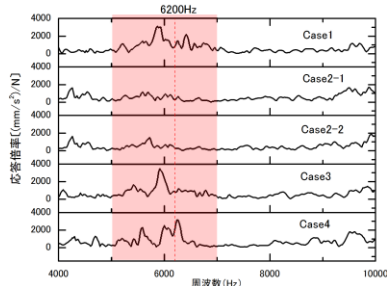
1) 代表波形の周波数特性 図4に計測されたボルト軸方向及びせん断方向加速度波形の周波数分析結果を示す。参考までに、図中にUリブのウェブ間（反射距離：270mm）において多重反射すると仮定した卓越周波数6,200Hzを併記した（文献3）より弾性波伝播速度を約3,400m/sと設定）。その理論周波数近傍において卓越周波数が存在しており（図中赤色網掛け部分）、空隙有無、その位置及び範囲に応じて軸方向及びせん断方向加速度の卓

キーワード 衝撃弾性波法、Uリブ、モルタル充填、空隙、弾性波、固有直交関数展開

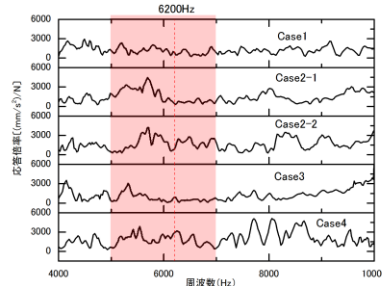
連絡先 〒551-0023 大阪市大正区鶴町 2-15-26 (株)ニチゾウテック 技術開発室 TEL06-6555-7050

越周波数やその振幅が変化する様子が認められる。

- 2) 振幅の二乗和 前述の理論周波数の帯域(特に、赤色網掛け部分: 5,000~7,000Hz)に着目し、加速度振幅 a_i の二乗和($S = \sum_{i=0}^n a_i^2$, n : データ個数)を計算した。図5にボルト軸方向をX軸、せん断方向をY軸として整理した図を示す。これより空隙有無、その位置及び範囲に応じて明確に区別が可能であることが分かる。



(a)ボルト軸方向



(b)ボルトせん断方向

(※) ----- 縦弾性波の多重反射周波数: 6200Hz (反射距離 270mm)

図4 周波数分析(縦軸をハンマーでの計測荷重で基準化)

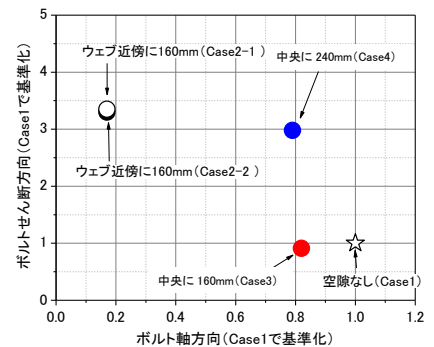


図5 振幅の二乗和

(対象周波数: 5,000~7,000Hz)

5. Uリブ側面に沿う複数点の加速度波形の固有直交関数展開

Uリブ側面に沿って加速度センサを6点配置し、衝撃を与えた後の加速度波形を計測した。計測波形に固有直交関数展開⁴⁾を適用することで、Uリブ側面に沿う複数点の加速度波形の固有モードを算定した。図4より、各Caseによって周波数分布に差異が認められる5,000から9,000Hzの加速度波形を対象とした。図6に解析結果を示す。離散データに対し補間曲線を適用することで滑らかな形状を実現している。図中にはモード寄与率も併記した。空隙がない場合、水平方向の固有モードが卓越することが分かる(2~6次モード_寄与率47.6%)。空隙が存在する場合、その空隙位置に応じUリブ下面においてUリブ面に直交する固有モードの発生が認められる。

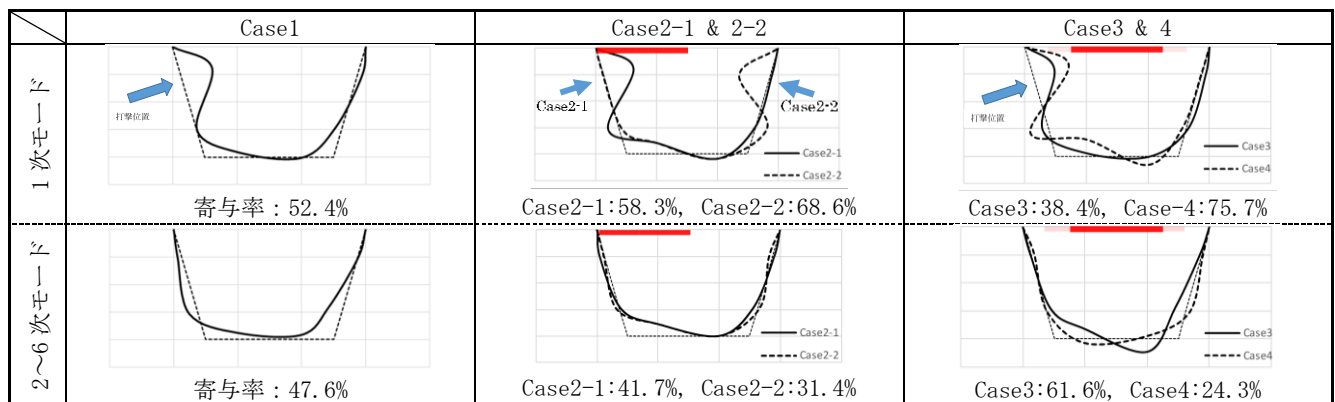


図6 加速度波形の固有直交関数展開(固有モードとその寄与率)

6. まとめ

本論文では鋼床版の疲労耐久性向上策の一つであるUリブ内面モルタル充填工法に着目し、その品質評価への衝撃弾性波法の適用性について基礎検討(模型実験)を行った。空隙有無、その位置及び範囲に応じた弾性波の周波数特性や振幅の二乗和の変化、さらに、Uリブ側面に沿う加速度波形の固有モードに変化が認められた。今後、更なるデータの蓄積が必要となるが、機械学習等を利用することで空隙有無等の判定が可能になると考える。

謝辞: 本研究を遂行するにあたり大阪大学大学院・鎌田教授にご指導を頂いた。記してここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 竹内、松下、松永、田畑、原田: 現場条件を考慮したUリブ内部のモルタル充填方法及び充填確認方法の開発、平成28年度土木学会年次学術講演会、I-521
- 2) 鎌田、内田、宮田: 解析を援用した弾性波法によるコンクリートの内部欠陥探査手法、非破壊検査第64巻6号、pp248-254、2015年6月
- 3) 岩野ほか: 非破壊試験によるコンクリート品質、厚さ、鉄筋の計測に関する研究その23 弾性波法によるコンクリート強度の推定、日本非破壊検査協会 平成13年秋季大会講演概要集、pp.111 - 114、2001.10
- 4) 例えば、田村: 固有直交関数のランダム変動場への応用のすすめ、日本風工学会誌、第65号、1995年10月