

# 機械学習を用いた塗膜上からの疲労き裂検出技術に関する研究

構造設計工学研究室 山本 修大

## 1. はじめに

鋼構造物の溶接継手の止端部には、図 1 に示すような疲労き裂が発生しやすい。疲労き裂が進展することにより、構造物の耐久性や耐荷力に大きな影響を与えるため、早期発見が重要となる。一般的に既存の疲労き裂検出技術として、対象箇所の塗膜を除去して行う磁粉探傷試験 (MT) が用いられる。しかし、塗膜を除去することに時間もコストも要すること、点検後再塗装が必要であることから、塗膜鋼板上からの点検が求められている。

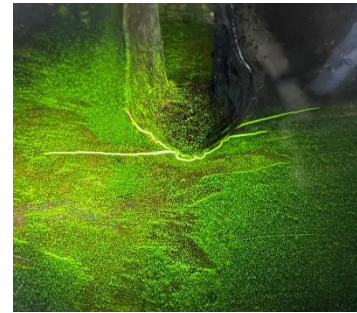


図 1 溶接継手部に発生する疲労き裂

## 2. 音伝搬特性を用いたき裂検出方法

既往研究において、鋼板上に直接マイクとスピーカーを図 2 のように設置し、スピーカーから音を出し、マイクで集音された音データの違いを機械学習により、き裂の有無が判定できる可能性が示唆されている。しかしながら、これは塗装無しの鋼板上で計測された結果であり、塗膜鋼板上からの計測結果による判定の可否については検討されていない。



図 2 音伝播経路

本研究では、溶接止端部の疲労き裂検出において、音の伝播特性に着目し、機械学習を用いることで、塗膜鋼板上からの疲労き裂の検出の可能性について検討を行った。

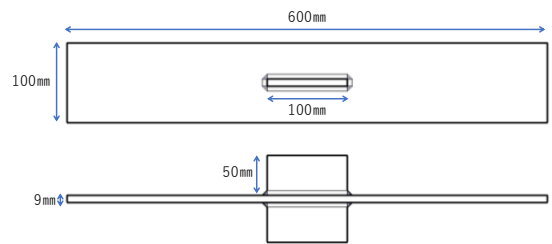


図 3 面外ガセット溶接継手

## 3. 機械学習データの収集方法

塗膜鋼板上からの疲労き裂検出性能を検討するために疲労試験を実施した。試験体を図 3 に示す。試験体は面外ガセット溶接継手を使用し、寸法は図の通りである。塗装仕様は C5 塗装系 (塗膜厚 372 $\mu\text{m}$ ) とした。

### 3-1. 計測機器

音データの計測には図 4 に示す計測機器を使用した。圧電スピーカー (SPT15) と MEMS マイク (SPU0414HR5H-SB)、マイコン及び PC を使用し、スピーカーから可聴音であるド (262Hz)、ミ (339Hz)、シ (494Hz) の 3 音を発信し、マイクではスピーカーから発信される音圧の計測を行う。本試験では、発信中の音圧をサンプリングレート 256Hz で計測を行った。計測機器の設置位置はき裂発生部と考えられる溶接止端部を挟む形でマイクとスピーカーの設置を行った (図 5)。マイクとスピーカーのデータにはき裂発生部に応じた組み合わせのものを使用した。なお、マイクとスピーカーは疲労試験中の脱着は行わずに計測を行った。

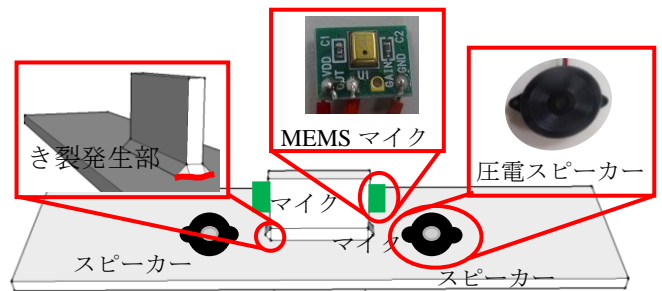


図 4 計測機器の設置位置

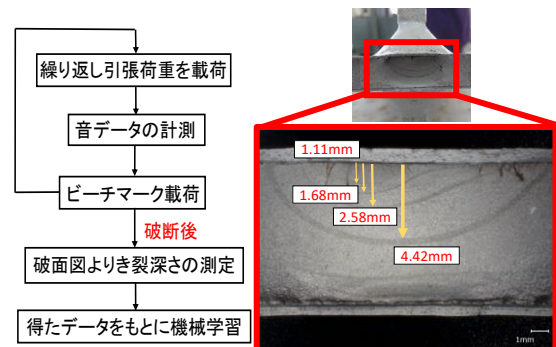


図 5 試験手順と破面図

### 3-2. 試験手順

試験手順を図 5 に示す。まず疲労試験機による繰返引張荷重の荷重を行い、き裂の発生、進展を行う。次に、マイクとスピーカーを使用した音データの計測を行う。そして、音データ計測時のき裂深さが分かるようにビーチマーク荷重 (図 5) の順に行う。これを試験体が破断するまで繰り返し行い、試験体破断後、マイクロスコープを使用し、破面図からき裂深さの測定を行った。

本試験ではビーチマークにより確認された最小き裂深さは 1.1mm であった。よりき裂深さが浅い段階での荷重回数を推定するために、き裂深さと荷重回数が両対数グラフ上で概ね線形関係となることより、き裂深さが 0.1mm に達した荷重回数を約 36 万回と推定し、これをき裂発生荷重回数と考え、機械学習による検証を行った (図 6)。

### 4. 疲労き裂検出法と適用性の評価

疲労試験により計測した音データの機械学習には、Microsoft Azure Machine Learning Studio を用いた。機械学習のアルゴリズムには One-Class Support Vector Machine を用いて、異常検知率によりき裂検出の可能性について検討を行った。本研究では、計測した正常 (疲労試験開始時初期データ) 時のデータの 75% を学習に用い、残りの 25% と、未知のデータの 25% を評価用として機械学習を行った (図 7)。未知のデータは各荷重回数時のデータを使用。

データセットとして、疲労試験開始時の初期データ 1 つのみで判定を行った場合 (図 8 青枠) と、初期データから 3 つのデータを使用した場合 (図 8 オレンジ枠) と学習用データの量を変えたもので判定を行った。

図 9 に異常検知の判定結果を示す。初期データ 1 つで判定を行った結果、き裂が発生していないと考えられる荷重回数でも異常と判定した。一方、学習データを増やして判定を行った結果、き裂深さが推定 0.1mm であれば 50% 程度であった異常検知率が、き裂深さが推定 0.4mm 以上であればほぼ 100% の確率で異常、すなわちき裂の発生を検出できた結果となっており、正常時の音圧データを増やすことで、塗膜上からでも溶接継手部の疲労き裂を高精度で検出できる可能性が示唆された。

### 5. まとめ

- 1) 溶接止端部に発生する疲労き裂に対して、塗膜鋼板上より計測した音伝播特性の違いにより初期データを増やすことで、き裂の有無を判定できると考えられる。
- 2) 本研究で対象とした疲労き裂ではき裂深さが 0.4mm 以上であれば、極めて高い精度でき裂検出できる可能性が示唆された。

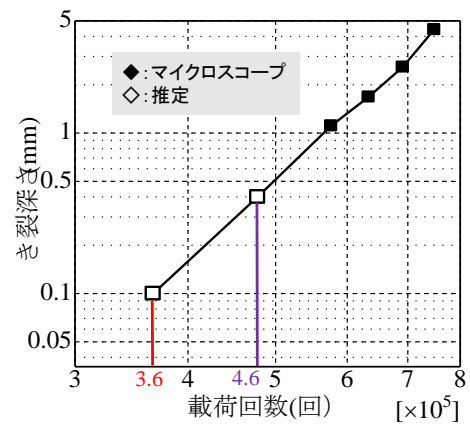


図 6 き裂深さの推定

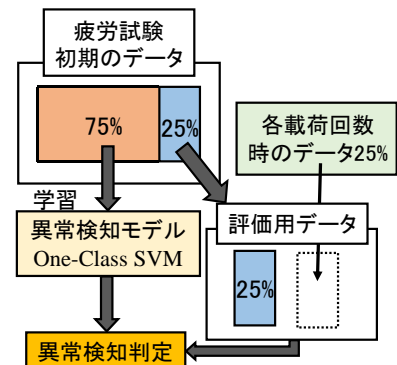


図 7 機械学習のアルゴリズム

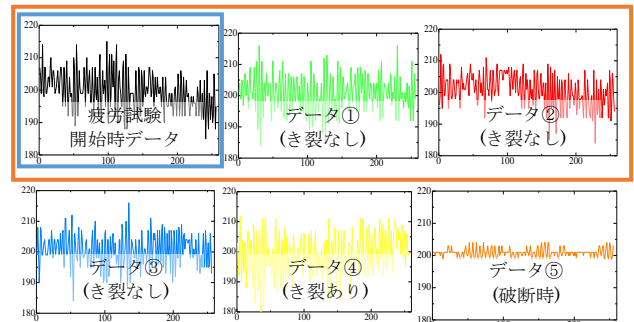


図 8 音圧データの例

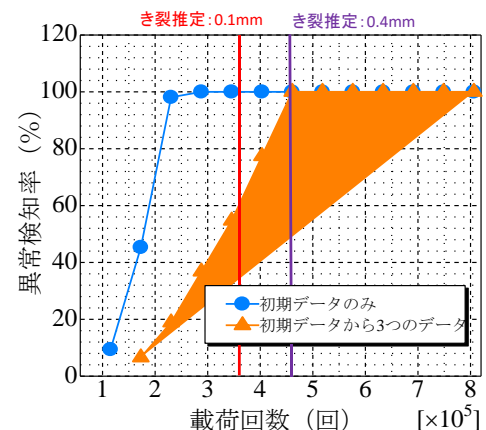


図 9 異常検知率のグラフ

### 参考文献

- 1) 櫻井ら：第 8 回土木学会西部支部沖縄会技術研究発表会
- 2) 田井ら：土木学会論文集 A1, 2011