

# ガイド波によるエルボ部 LDI 及び FAC を 最適に検出する方法に関する検討

## On optimum detections of both LDI and FAC on an elbow part of piping by guided waves

徳島大学大学院先端技術科学教育部	高松 尚平	Shohei TAKAMATSU	
徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部	西野 秀郎	Hideo NISHINO	Member
発電設備技術検査協会	古川 敬	Takashi FURUKAWA	Member

Health monitoring of piping is one of the important issues to maintain its integrity. The guided wave monitoring is one of the promising methods for the health monitoring of piping. In this report, the optimum conditions of the guided wave method for both the flow-accelerated corrosion (FAC) and erosion of liquid droplet impingement (LDI) at around the elbow part of the piping were proposed and evaluated. The reason of the optimum conditions was first explained and the experimental verifications were shown. Numerical simulations were also carried out to verify the experiments.

**Keywords:** Ultrasonic, Nondestructive evaluation, Guided wave, Pipe, FEM Simulation

### 1. 緒言

これまで筆者らのグループでは、エルボ部の背側・腹側・側面部などに人工欠陥を導入し、T(0,1)モードガイド波で検出することで、その検出感度の評価を行ってきた[1]。その結果、50A スケジュール 40 アルミニウム管において、背側では 50 kHz、腹側では 30 kHz を用いることで直管部よりも高感度に欠陥検出が出来ることを示してきた。さらに筆者の一人である古川は、FEM シミュレーションによってエルボを伝搬する T(0,1)モードガイド波の振幅分布が、周波数によって異なることを示している[2]。即ち、30 kHz では腹側で大きな振幅値分布を示し、50 kHz では背側で大きな振幅値分布を示す様子を確認している。上記のことから、エルボを含む配管の複雑形状部位では、ガイド波の振幅値がその形状と周波数に依存すること。そして、その振幅値が大きな位置では、欠陥検出感度が高いという仮説が立てられる。

本報告では、仮説を裏付ける実験結果を初めに示す。また、エルボ部における模擬液滴衝撃エロージョン(LDI)に最適な T(0,1)モードガイド波の周波数を示す。さらに、エルボ下流側直管部位に発生する流れ加速型腐食(FAC)を模擬した欠陥を効果的に検出するための T(0,1)モード

ガイド波の最適な周波数も、モデル計算から推定したので報告する。

### 2. ガイド波の振幅値分布と検出感度

ガイド波の振幅値分布と検出感度の相関関係を検証した。JIS ロングエルボ両側に直管を溶接した 50A スケジュール 40 アルミニウム管を以下すべての実験とシミュレーションで用いた。実験では、エルボ管の一方側直管部に圧電式リング型センサーを設置し、他方側直管部で溶接部より 125 mm の位置に漸増減肉欠陥を導入し (図 1 参照)、断面欠損率(%)の増加に対する欠陥反射率(%)の増分比を求め検出感度とした。図 1 と図 2 に周波数 30 kHz, 40 kHz, 50 kHz における腹側と背側の振幅分布図をそれぞれ示す。図 1 に示すように腹側の本欠陥導入位置では、FEM 予想値で 30 kHz, 50 kHz, 40 kHz の順でガイド波の振幅値が大きい。図 3 に、実験で得られた周波数 30 kHz, 40 kHz, 50 kHz での断面欠損率に対する欠陥反射率を示す。図 3 に示すように実験で得られた検出感度も、FEM 予想値の順に 2.4, 4.1, 7.1 という結果となり、40 kHz が最も大きな値であった。また、図 2 に示すように背側の本欠陥導入位置では、FEM 予想値で 30 kHz, 40 kHz, 50 kHz の順でガイド波の振幅値が大きい。図 4 に、実験で得られた周波数 30 kHz, 40 kHz, 50 kHz での断面欠損率に対する欠陥反射率を示す。図 4 に示すように実験で得られた検出感度

も、FEM 予値の順に 0.69, 1.9, 4.2 という結果となり、50 kHz が最も大きな値であった。  
以上の再検証実験により、エルボ等偏流部を伝搬する

T(0,1)モードガイド波の振幅分布の大きな領域に存在する欠陥において、T(0,1)モードガイド波の検出感度が大きいことを確認した。

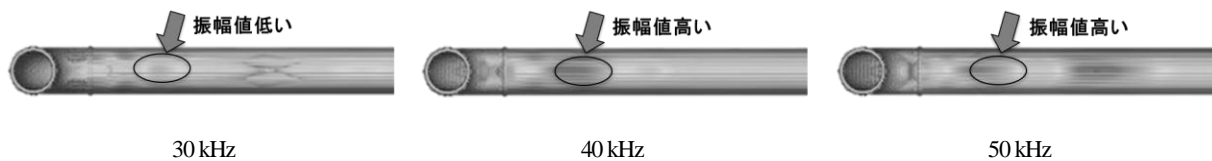


図1 エルボ越え部腹側でのガイド波の振幅値分布図

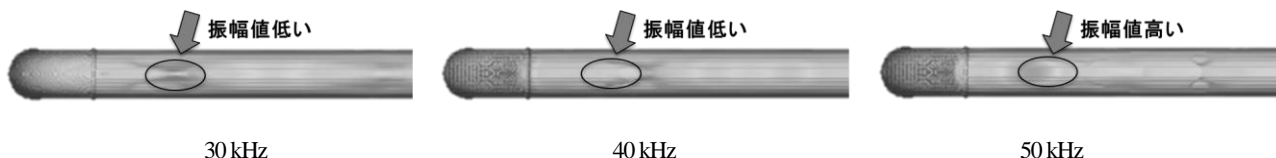


図2 エルボ越え部背側でのガイド波の振幅値分布図

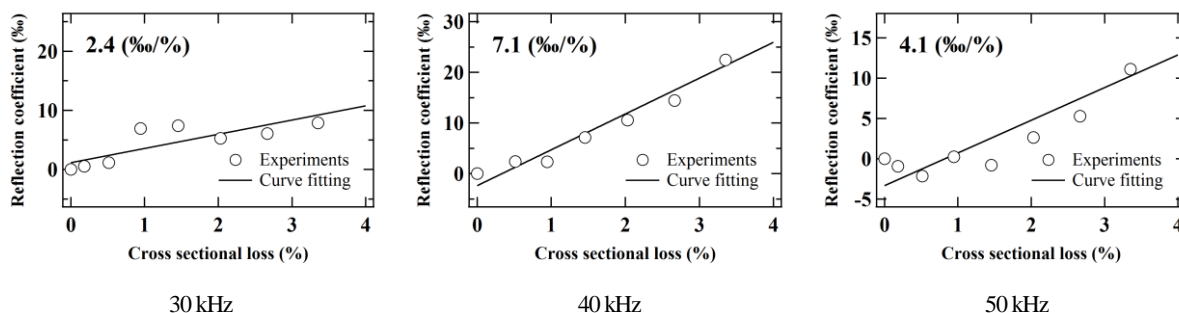


図3 図1に示す位置の断面欠損率に対する欠陥反射率

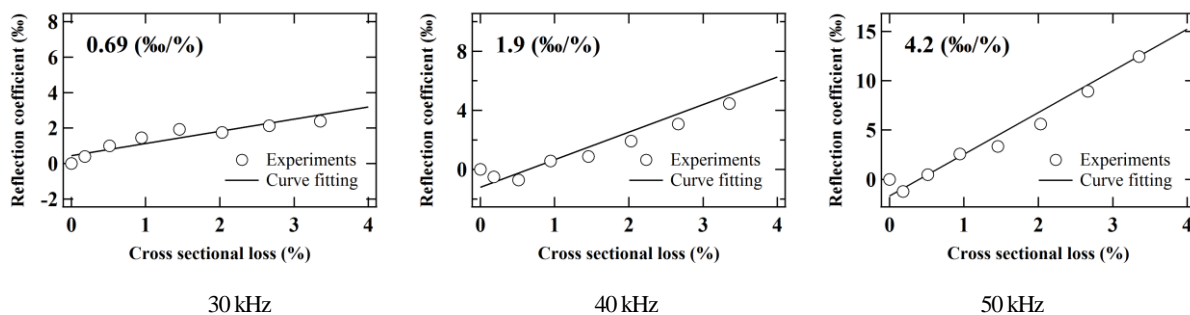


図4 図2に示す位置の断面欠損率に対する欠陥反射率

### 3. LDI をガイド波で検出する

#### 3. 1 実験

図5に、エルボ部における典型的なLDIとFACの発生位置を示す。LDIはエルボ背側に円錐状に発生する欠陥である。一方でFACは、エルボ下流の腹側の溶接線すぎあたりに広く減肉する欠陥である。

エルボ背側に発生するLDIでは、周波数50kHzの利用により高い検出感度が見込まれる[1,2]。実験は、図5の配置でエルボ背側中央位置に直径6mmと12mmのボー

ルエンドミルで深さ4mmまで漸増させて模擬LDIとし、断面欠損率(%)に対する欠陥反射率(%)の増加率で評価した。図6と図7に、ボールエンドミル直径6mmと12mmを用いた模擬LDIの実験による断面欠損率(%)に対する欠陥反射率(%)をそれぞれ示した。直径が大きいくほど、また周波数が大きくなるにつれ検出感度が高くなる結果となった。表1に、ロングエルボとショートエルボにおける検出感度を周波数別に示した。振幅値分布と検出感度の相関の高い結果が得られた。

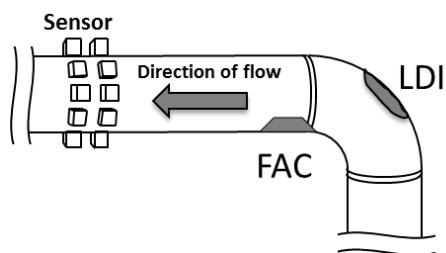


図5 エルボ部における典型的なLDIとFACの発生位置

表1 周波数別欠陥検出感度 (%/%)

	Diameter of Ball end mill	30 kHz	40 kHz	50 kHz
Long elbow	6 mm	0.27	2.00	4.30
	12 mm	1.20	3.60	10.0
Simulation	12 mm	1.6	4.4	8.7
Short elbow	6 mm	0.70	1.80	2.00
	12 mm	0.90	2.30	7.10

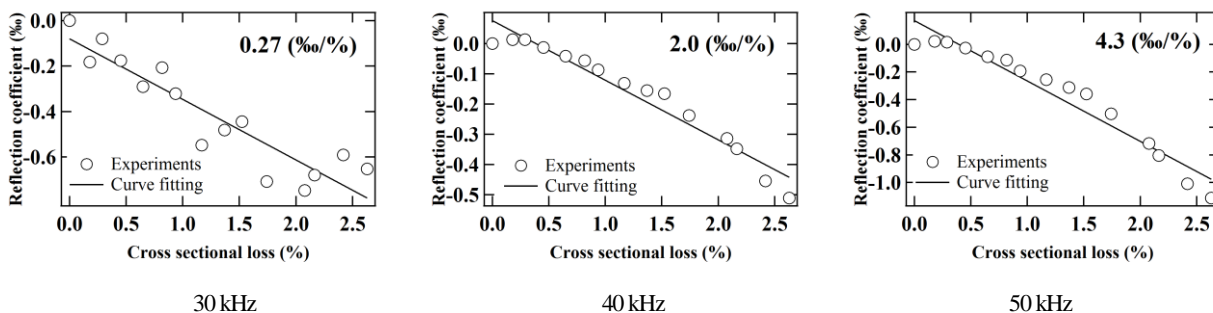


図6 模擬LDI(6 mm)での断面欠損率に対する欠陥反射率

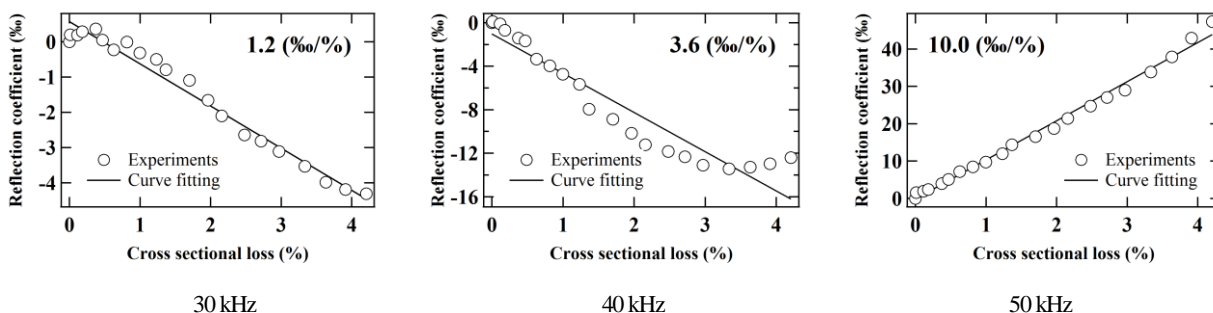


図7 模擬LDI(12 mm)での断面欠損率に対する欠陥反射率

### 3. 2 数値実験

FEM シミュレーションによる数値実験を、12 mm の模擬 LDI を施した実験で用いた配管と同様の配置で行った。FEM シミュレーションによって得られた時間波形から周波数ごとの断面欠損率(%)に対する欠陥反射率(%)の増加

率で評価した。図8に、ボールエンドミル直径 12 mm を用いた模擬 LDI の数値実験による断面欠損率(%)に対する欠陥反射率(%)を示した。この結果は、前節の実験結果とよく一致した。表1にも結果を示した。

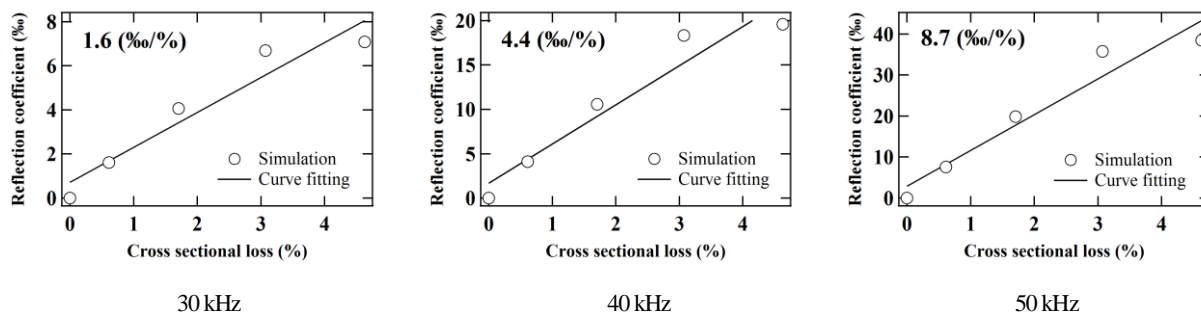


図8 数値実験による断面欠損率に対する欠陥反射率

## 4. FAC をガイド波で検出する

エルボ部下流腹側に発生する FAC は、幅広い薄肉減肉が分布する。このような減肉を模擬するため、実験では R100 mm のかまぼこ状のヤスリでエルボ溶接部近傍の直管部を漸増減肉させた (図 9 参照)。実験配置は図 5 に、得られた実験結果を図 10 に示す。周波数が大きくなるにつれ検出感度が低くなる結果となった。また、直管に R100 mm の減肉を導入した際のモデル計算 [3] の結果を図 11 に示す。周波数が大きくなるにつれ検出感度が低くなり、また検出感度も実験結果と非常に良く一致する結果が得られた。

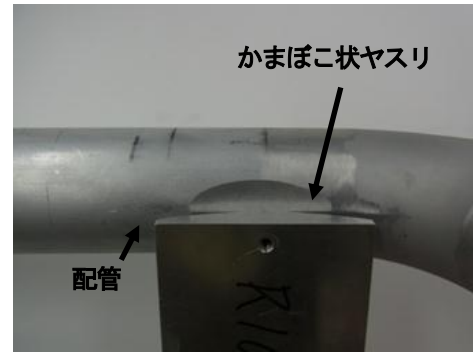


図 9 模擬 FAC 作成の様子

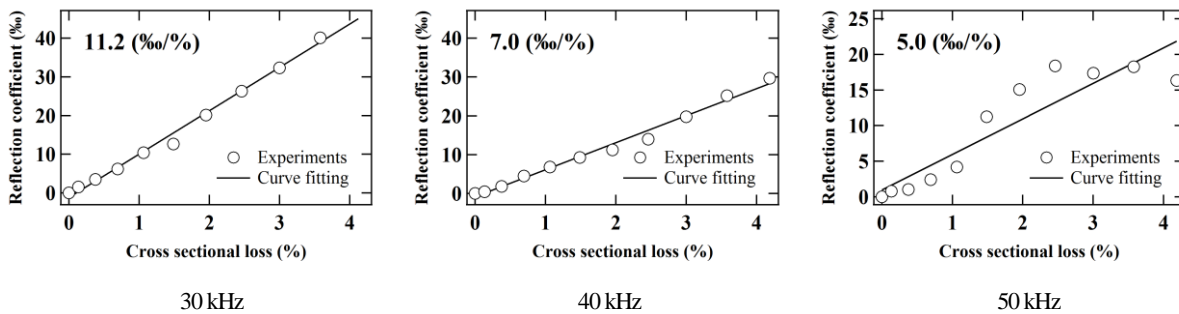


図 10 模擬 FAC での断面欠損率に対する欠陥反射率

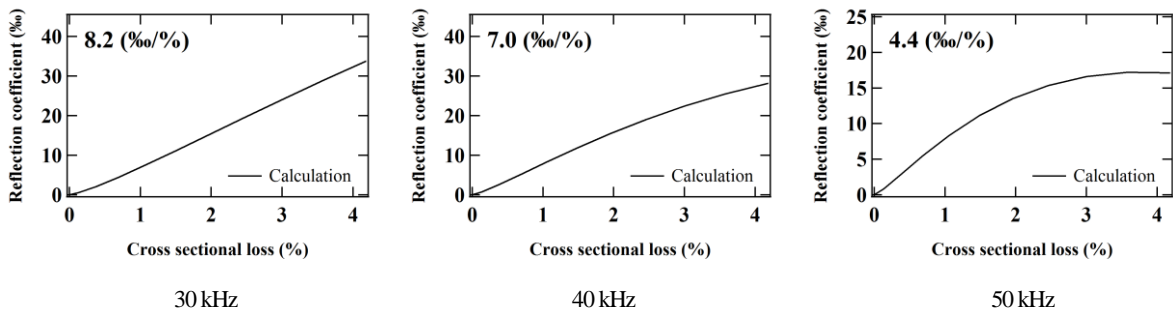


図 11 モデル計算での断面欠損率に対する欠陥反射率

## 5. 結言

本報告では、まず FEM シミュレーションによってエルボを伝搬する T(0,1)モードガイド波の振幅分布と実験により得られた検出感度が相関関係であることを再確認した。また、この特徴を応用して、エルボに発生する典型的な欠陥である LDI の検出に応用し、50kHz を用いることで高感度に検出可能であることを実験及び数値実験で示した。エルボ下流直下の直管部に典型的に発生する FAC では、その実験により得られた検出感度がモデル計算と一致することを示し、30 kHz の利用が最適であることを示した。以上より、1つのセンサーで、周波数を変えることにより、LDI と FAC の効率的な計測が可能である。

## 謝辞

本研究は、経済産業省原子力安全保安院による平成 23 年度高経年化技術評価高度化事業によってなされた。

## 参考文献

- [1] 溝渕ら, JSNDI2011 年次大会 p11
- [2] 古川ら, 第 17 回 UT シンポジウム(2010)p45
- [3] Seam ら, 第 19 回 UT シンポジウム(2012)p65
- [4] 斉藤ら, 第 19 回 UT シンポジウム(2012)
- [5] 林ら, JSNDI2011 年次大会
- [6] 増田ら, JSNDI2009 年次大会

