

論文 Original Paper

超音波（SH波）を使用した現場測定におけるセンサー
接触面と押付け力についての実験研究橋本 隆雄*¹・中光 真史*²・福田 雅志*³
森岡 保広*⁴・竹之内 博行*⁵Experimental study on sensor contact surface and pressing force in
on-site measurement using ultrasonic waves (SH waves)Takao Hashimoto*¹, Shinji Nakamitsu*², Masashi Fukuda*³
Yasuhiro Morioka*⁴ and Hiroyuki Takenouchi*⁵

Abstract: Ultrasonic (SH wave) measurements are used to measure the penetration length and investigate corrosion of metal pillars that are road accessories such as guardrails, lighting poles, and signposts. In on-site measurements, measurements are performed while subtly adjusting the pressing force and direction of the sensor based on the experience and skill of the measurer in order to obtain as large a reflected wave as possible. However, there are differences in the measurement results regarding the sensor pressing force depending on the experience of the measurer. Therefore, in this study, we quantitatively measured the difference in the sensor contact surface and pressing force in on-site measurement using ultrasound (SH waves) by a measurer, and clarified the difference.

Key words: ultrasonic waves, SH waves, protective fences, non-destructive testing, inspection, root length measurement

1. はじめに

現在、社会基盤として整備されているインフラ設備において劣化が懸念されている。中でも道路防護柵および落石防護柵・雪崩予防柵、地中埋設鋼管、路盤状況など外部からの判断が困難な構造物は、サビ・腐植・欠陥などの状況把握が難しく、施工の健全性や維持管理が課題となっている。

国土交通省では、平成24年6月に「非破壊試験による鋼製防護柵の根入れ長測定要領（案）」（国土交通省大臣官房技術調査課）¹⁾を策定し、防護柵の根入れ長さの確認は従来のビデオ撮影による出来形管理が受注者・発注者の負担が大きいことから、「非破壊検査」へ移行している。この非破壊試験による鋼製防護柵の根入れ長の測定は、図-1のNST-2とJTM-10の測定認定装置を用いて図-2に示すように超音波の送信から受信までの時間に

より長さを測定するものである。また、NEXCOの出来形管理は、平成28年8月より国土交通省に準ずる仕様となり、都道府県単位の発注業務内でも用いられるようになった。この非破壊試験は、施工後（埋設済み）に測定が可能、測定箇所の管理が容易、ミリ（mm）単位での測定が可能等のメリットがある。

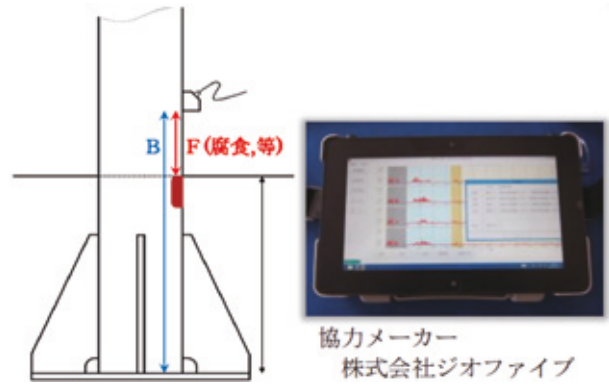
国土交通省では、橋梁・トンネル・大型付属物について平成26年6月に点検要領を策定した。更に、平成29年3月に公布された「小規模付属物点検要領」²⁾においては、従来の近接目視に限った点検手法から図-3に示すように非破壊試験の活用も可とする内容となった。この非破壊試験は、超音波の反射波（B又は人工試験片）と反射波F（腐食、等）との比率により判定する底面エコー評価法や試験片評価法等があり、コスト（試掘、復旧）の削減が可能、立ち会う方にも分かりやすい判定画面、測定箇所の管理が容易等のメリットがある。

道路付属物であるガードレールや照明柱、標識柱などの金属柱に対する根入れ長さ測定や腐食調査などには、超音波（SH波）計測が行われている。超音波の特徴としては、超音波センサーと対象物の接触部の通信経路において電波・音などの信号が減衰する伝送損失が大きい事

*¹ 国土館大学 理工学部まちづくり学系 特任教授*² 一般社団法人弾性波診断技術協会 技術委員会委員長*³ 一般社団法人弾性波診断技術協会 技術委員会 副委員長*⁴ 一般社団法人弾性波診断技術協会 技術委員会 委員*⁵ MKエンジニアリング株式会社 代表取締役社長



(a) NST-2



(a) 底面エコー評価法



(b) JTM-10

図-1 測定認定装置



(b) 試験片評価法

図-3 超音波反射法 一探触子

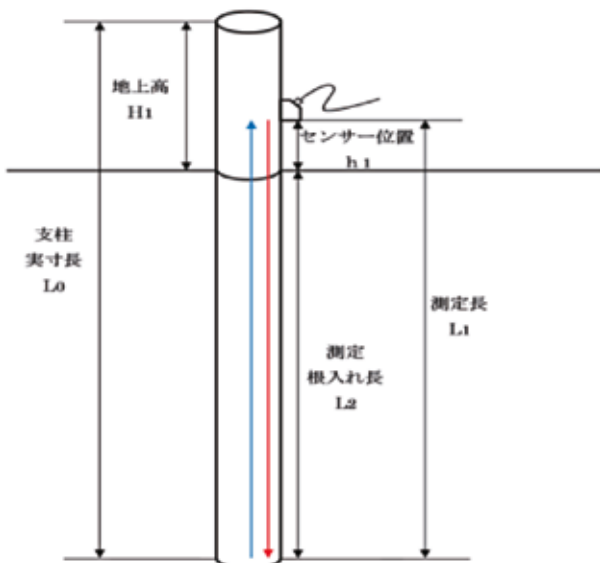


図-2 測定原理

があげられる。また、超音波反射波の波形高さは、高いほど超音波が対象物に効率よく伝達していると考えられる。したがって現場測定においては、できるだけ大きな反射波が得られるようにセンサーの押付け力や方向を、計測者の経験的技量により微妙に調整しながら計測が行われている。

しかし、センサー押付け力は計測者の経験による測定結果の差が生じている。

そこで、本研究では測定者による超音波（SH波）を使用した現場測定におけるセンサー接触面と押付け力についての差について定量的に測定し、その違いを明らかにした。

2. 実験方法

本実験では次の2種類の実験を行った。

2.1 計測者の経験差による測定差

今まで行っている計測において計測者の経験差による測定結果の差がどの程度あるのか、その中で何が要因なのかを抽出するため、経験差がある測定者による比較計測を実施した。

i. 使用機器

使用機器はNST-2（セパレートタイプ）で、ソフトは本実験用に開発した超音波反射波のピークホールド機能付きを使用した。今回使用した計測装置を写真-1に示す。

ii. 対象物

対象物は、表-1の支柱を使用した。

iii. 接触媒質

接触媒質は、ソニコートSH-W45を用いた。

iv. 計測者は、計測経験1年未満2名、計測経験2年未満2名、計測経験2年以上2名の6名により行った。

v. 計測方法

計測方法は写真-2に示すように通常行う場合と同様

表-1 対象支柱

	直径φ (mm)	厚さD (mm)	JIS G	表面仕 上げ	対象 番号
ガードレール支柱	114.3	4.5	3444	白塗装	①
標識支柱	60.5	3.2		白塗装	③

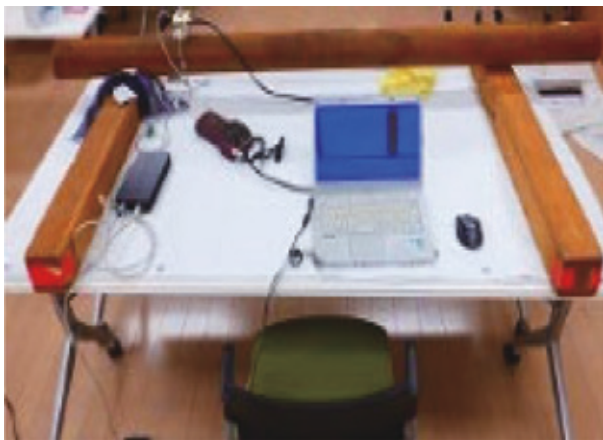


写真-1 計測装置全体



写真-2 センサー押さえつけ状況

にセンサーを手で押さえて、対象物管端から1.5mの位置にセンサーをセットし測定時の超音波反射波の高さを記録した。計測回数はそれぞれ2回とした。

また、計測時の姿勢がセンサーの押付け状況に影響を及ぼす可能性があるため、対象物を水平に置いてセンサーを上方から押さえた場合と、実際の計測条件と同様に対象物を垂直に立てて側方からセンサーを押さえた場合の2ケースの押さえつけ方向について計測した。

2.2 センサー押付け力による測定差

2.1計測者の経験差による実験結果から、測定者によるセンサーの押付け力による測定差の影響が大きいと考え、測定治具を製作し、押付け力を6段階で変化させて、材質や表面仕上げの異なる6種類の対象物について、それぞれの押付け力に対する反射エコー高さを測定した。

i. 使用機器

使用した機器は、以下のものである。

- ①NST-2（セパレートタイプ）：ソフトは本実験用に開発した超音波反射波のピークホールド機能付きを使用した。
- ②ロードセル荷重計：LCN-A-500N-P
- ③デジタルひずみ測定器：SRAM TC-31K
- ④ロードセル荷重計取り付け固定治具

ii. 測定対象物

測定対象物は、表-2及び写真-3に示す6種である。

表-2 測定対象物一覧

	直径φ (mm)	厚さD (mm)	JIS G	表面仕 上げ	対象 番号
ガードレール支柱	114.3	4.5	3444	白塗装	①
				メッキ	②
標識支柱	60.5	3.2	3444	白塗装	③
				メッキ	④
配管用炭素鋼管	114.3	4.5	3542	-	⑤
	60.5	3.8			⑥

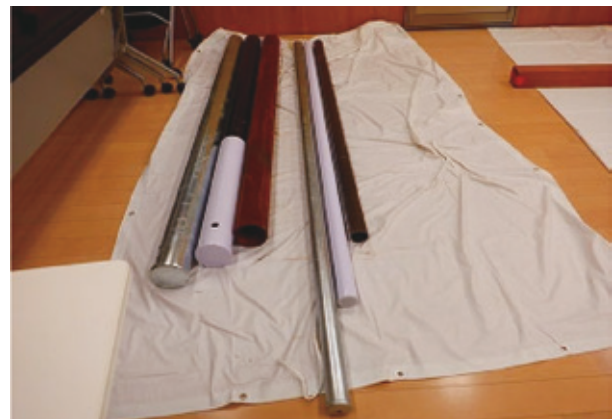


写真-3 対象物

iii. 接触媒質

接触媒質は、ソニコートSH-W45を用いた。

iv. 計測方法

計測は図-4に示す組み合わせでロードセル荷重計取り付け固定治具によりセンサーをセットし、写真-4に示すように対象物を水平に置き、対象物の管端から1.5mの位置にセンサーを設置し、センサーとロードセル荷重計を治具で固定した後、金属バンドを巻き付け締め付けることにより押付け力を変化させて測定を行った。センサーにかかる荷重は、写真-5及び写真-6に示



図-4 ロードセル取り付け固定治具



写真-4 センサー固定図



写真-5 計測状況2

すようにロードセル荷重計により計測し、30N, 50N, 75N, 100N, 130N, 160Nの荷重時の超音波反射波の高さを記録した。これらの手順で、6種の対象物に対して計測した。



写真-6 ロードセル荷重計セット状況

3. 計測者による測定差の実験結果

3.1 計測条件

計測条件は、気温23℃、湿度40%、装置設定感度18dBである。

3.2 計測結果

i. 測定者の経験年別計測結果

表-3は各測定者が2回測定した経験年数別測定結果で、図-5はその測定値をプロットしたものである。さらに、表-4は反射エコー高さ(%)と回数ごとの差(%)に分け測定経験ごとに最大値と最小値の差分をまとめたものである。その結果、測定経験が少ない測定者は、反射エコー高さが低く、測定毎のばらつきが大きく、測定経験が多い測定者は、反射エコー高さが高く、測定毎のばらつきが少ないことが分かった。

ii. 測定者経験年数及び方向(測定姿勢)別測定結果

表-5は、各測定者が2回測定した経験年数別、センサーの押さえつけ方向別の測定結果で、図-6はその測定値をプロットしたものである。図-7は測定者の測定経験年数による反射エコーの比較である。

さらに、表-6は反射エコー高さ(%)を対象物を水平に置いてセンサーを上方から押さえた場合(水平方向)と、対象物を垂直に立てて側方からセンサーを押さえた場合(垂直方向)に分け、測定経験ごとに最大値と最小値の差分をまとめたものである。

その結果、測定経験が少ない測定者は、反射エコー高さが低く、測定毎のばらつきが大きく、測定経験が多い測定者は、反射エコー高さが高く、測定毎のばらつきが少ないことが分かった。また、測定経験に関係なく、水平方向の方が、垂直方向より、反射エコー高さが高く、

表-3 測定者経験年数別の測定結果一覧

測定者	反射エコー高さ (%)			
	対象①		対象③	
	1回	2回	1回	2回
A 経験1年未満	84.5	93.2	79.5	86.4
B 経験1年未満	93.5	91.1	81.6	85.8
C 経験2年未満	92.8	93.9	84.7	89.3
D 経験2年未満	96.5	93.6	85.8	91.3
E 経験2年以上	96.6	95.9	95.5	93.9
F 経験2年以上	97.3	96.5	96.1	94.7

表-5 測定者経験年数及び方向別の測定結果

センサー押さえつけ向き	測定者	反射エコー高さ (%)			
		対象①		対象③	
		1回	2回	1回	2回
上から	A	85.3	94.2	71.6	65.1
	B	90.9	93.2	82.4	85.6
	C	93.2	95.1	85.8	91.1
	D	96.7	95.4	97.8	92.4
	E	96.7	96.1	95.4	95.9
	F	97.3	98.3	96.2	95.3
側方から	A	79.3	80.2	70.3	64.3
	B	81.6	80.7	78.5	74.4
	C	88.2	85.7	84.2	83.7
	D	89.7	90.8	85.8	83.9
	E	92.4	93.6	90.2	91.7
	F	92.2	94.3	92.9	92.3

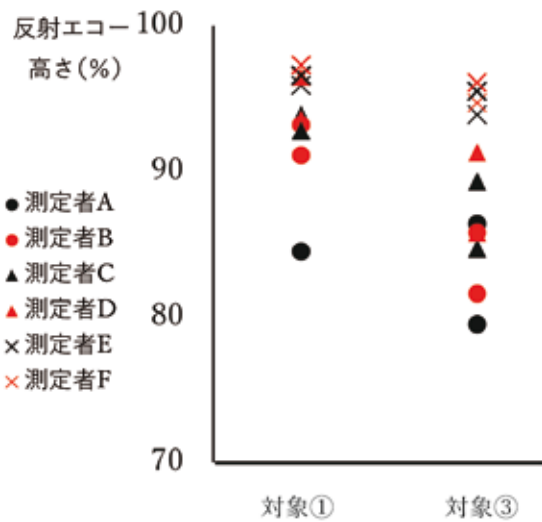


図-5 測定者経験年数別の測定結果

表-4 測定者経験年数別測定値の差

測定経験	反射エコー高さ (%)			回数ごとの差 (%)		
	最大	最小	差	最大	最小	差
1年未満	93.5	79.5	14.0	84.5	93.2	8.7
2年未満	96.5	84.7	11.8	85.8	91.3	5.5
2年以上	97.3	93.9	3.4	95.5	93.9	1.6

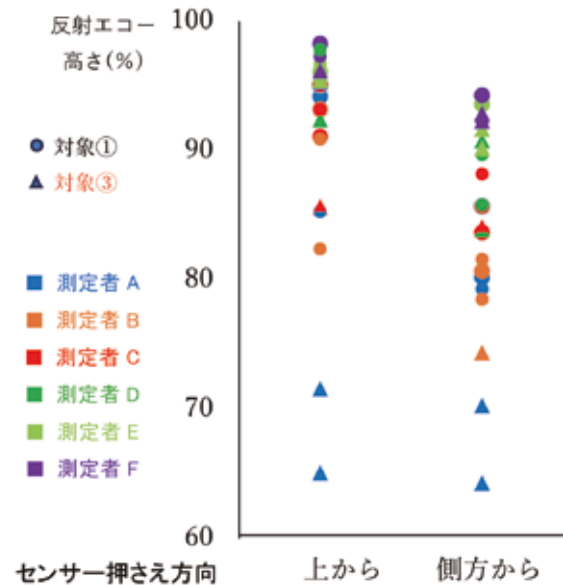
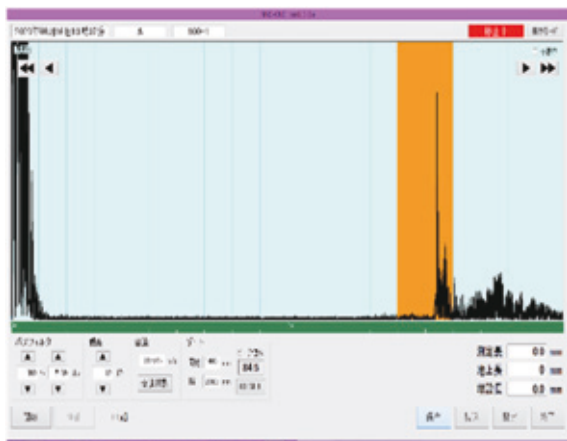
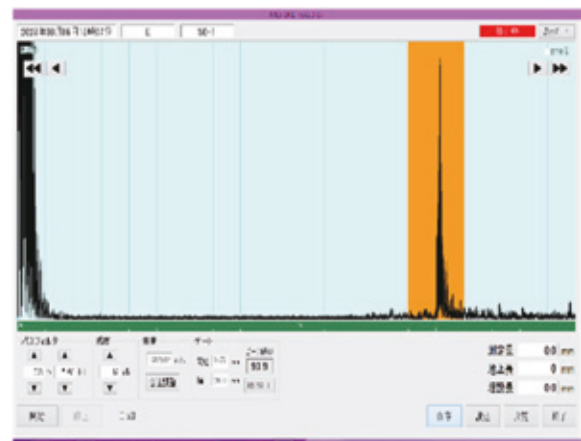


図-6 測定者経験年数別方向別の測定結果



(a) 測定経験1年未満の測定者



(b) 測定経験2年以上の測定

図-7 測定経験年数による反射エコーの比較

表-6 測定者経験年数及び方向別の測定値の差

測定経験	反射エコー高さ(%)					
	水平方向			垂直方向		
	最大	最小	差	最大	最小	差
1年未満	94.2	65.1	29.1	81.6	64.3	17.3
2年未満	97.8	85.3	12.5	90.8	83.7	7.1
2年以上	98.3	95.3	3.0	94.3	90.2	4.1

測定経験が多い測定者の方が方向によるばらつきも小さいことが分かった。

4. センサー押付け力による測定差の実験結果

4.1 計測条件

計測条件は、気温23℃、湿度40%、装置設定感度4dBである。

「3. 計測者による測定差の実験」と同感度では反射エコー高さが画面で測定できない範囲まで高くなるため、14dB感度を下げて実験を行った。計測結果では実際の測定値を計算により「3. 計測者による測定差の実験」と同感度に換算して表記している。

4.2 計測結果

センサーに取り付けたロードセル荷重計を金属バンドで締め付け、ロードセル荷重計の値をセンサーにかかる荷重として、押付け力とした。表-7は、各測定者が2回測定した測定結果で、図-8はその測定値をプロットしたものである。(測定値は換算値として14dBとした値としている)

その結果、反射エコーは対象物に関わらず、センサーにかかる荷重が大きいほど反射エコー高さが高くなることが分かった。反射エコー高さの変化は、100N以下では押付け力による影響が大きく、100N以上では押付け力による影響が小さくなっている。また、板厚に関しては4.5mmよりも3.2mmの薄いほうが反射エコーは大きいことが分かった。

5. 実験結果のまとめと考察

5.1 計測者による測定差

- ①測定経験が少ない測定者は、測定経験が多い測定者に比べて反射エコー高さが低く、測定毎のばらつきが大きい。
- ②実際の計測時の姿勢と同様に対象物を垂直に立てて側方からセンサーを押さえた場合は、対象物を水平に置いた場合に比べて、測定経験に関係がなく、反射エコー高さが低く、測定毎のばらつきも大きい。
- ③これらのことから、反射エコーが低い場合の要因としては、センサーの押付け力の他に体勢による影響でセンサーの向きなどが適正に当てることができていない

表-7 センサー荷重別反射エコー高さ (換算値)

対象	センサー荷重反射エコー高さ (%) (1回目)					
	30N	50N	75N	100N	130N	160N
①	39.0	58.5	72.5	85.0	98.5	102.5
②	38.5	64.5	80.5	91.5	101.0	104.0
③	56.0	85.5	87.5	88.5	91.5	94.5
④	59.0	93.5	107.5	118.0	120.0	123.0
⑤	42.5	55.0	72.5	86.0	97.0	99.0
⑥	52.5	59.0	65.5	70.5	73.0	75.0
対象	センサー荷重反射エコー高さ (%) (2回目)					
	30N	50N	75N	100N	130N	160N
①	35.5	57.0	70.0	87.5	98.5	103.0
②	42.5	65.0	81.0	90.5	98.5	102.0
③	57.0	82.0	84.5	85.0	89.0	92.0
④	55.5	88.5	111.5	121.5	125.0	129.0
⑤	44.0	58.0	73.0	85.5	96.5	99.5
⑥	50.5	61.0	65.0	70.0	73.0	74.5

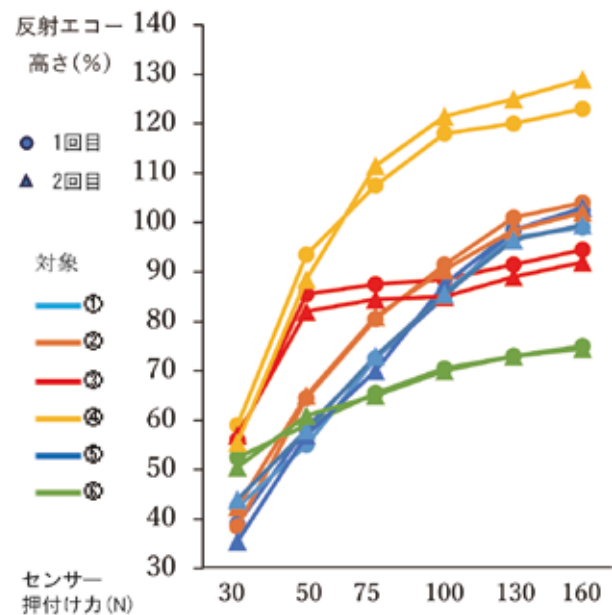
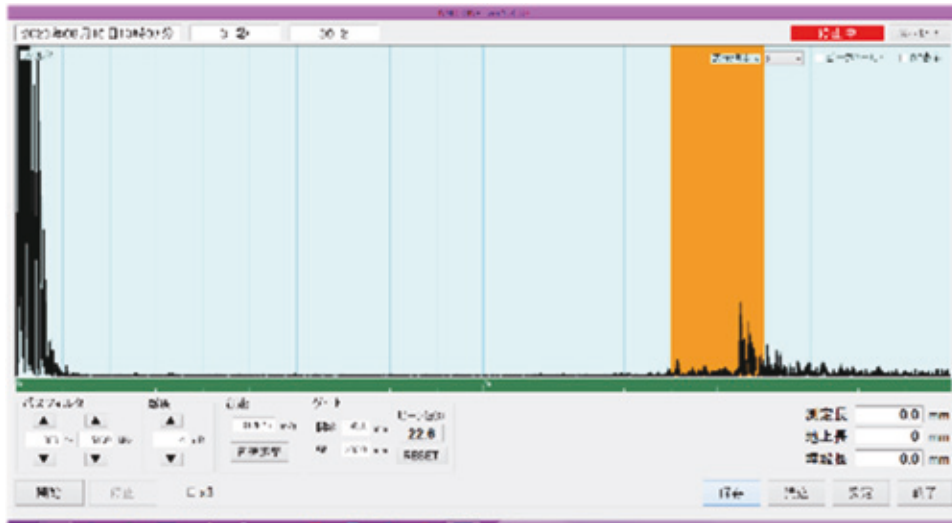


図-8 押付け力による反射エコー高さの変化

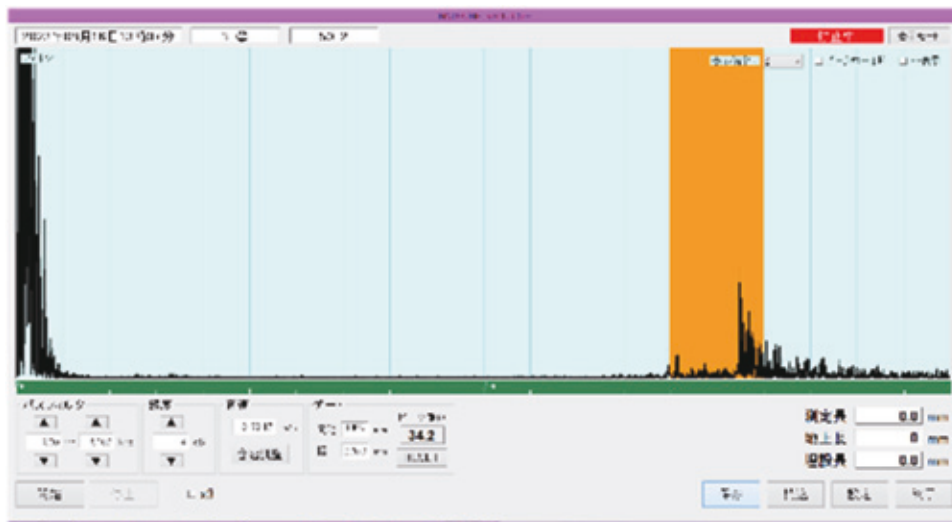
ことなどが考えられる。

5.2 センサー押付け力による測定差

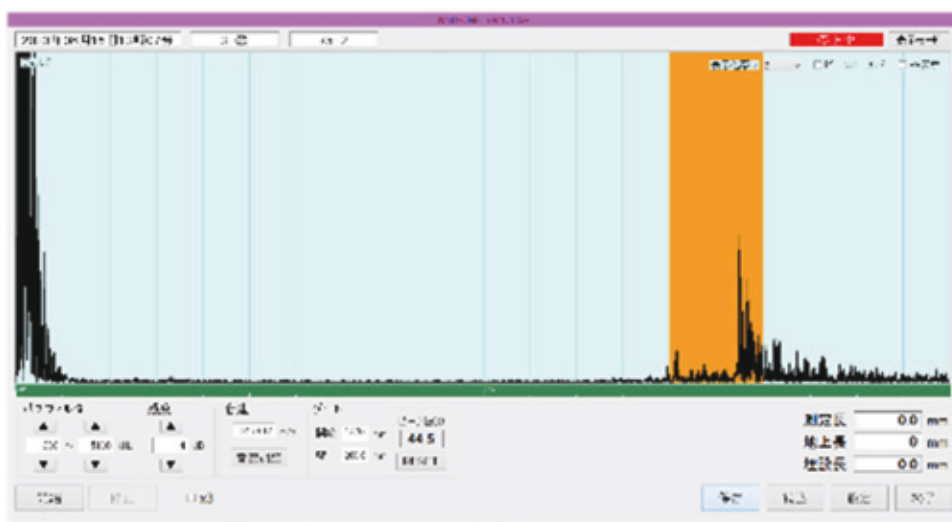
- ①センサーの押付け力により反射エコー高さは大きく変化し、センサー押付け力が100N以上であれば、押付け力の変化に対する反射エコー高さの変化が小さくなり安定した測定が可能である。



(a) 30N

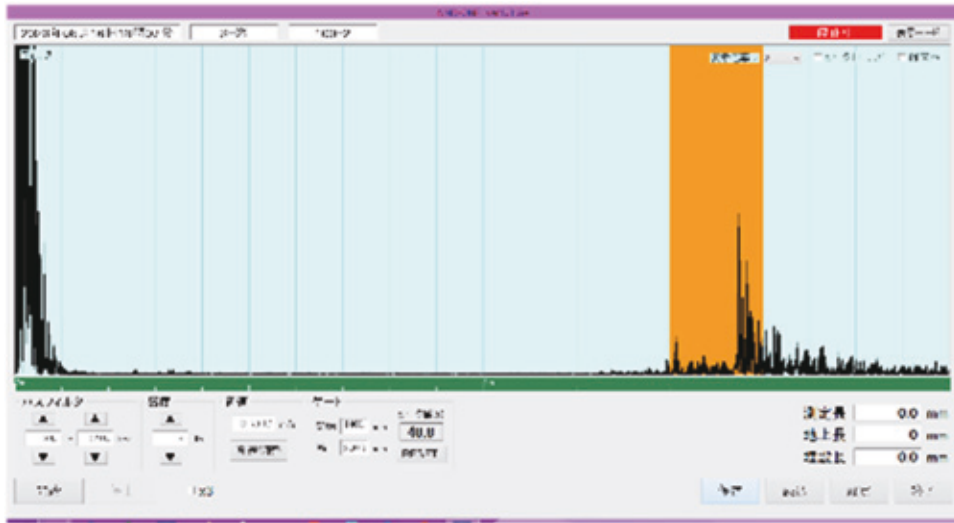


(b) 50N

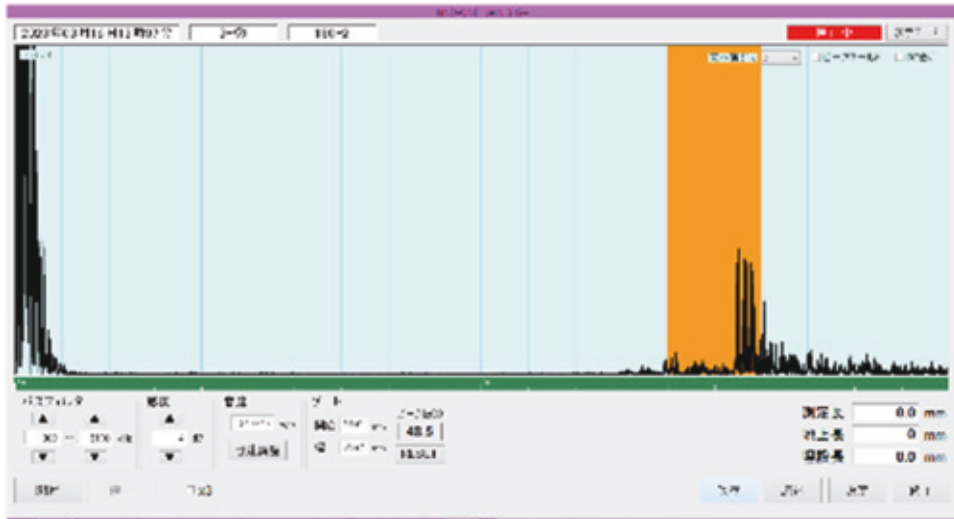


(c) 75N

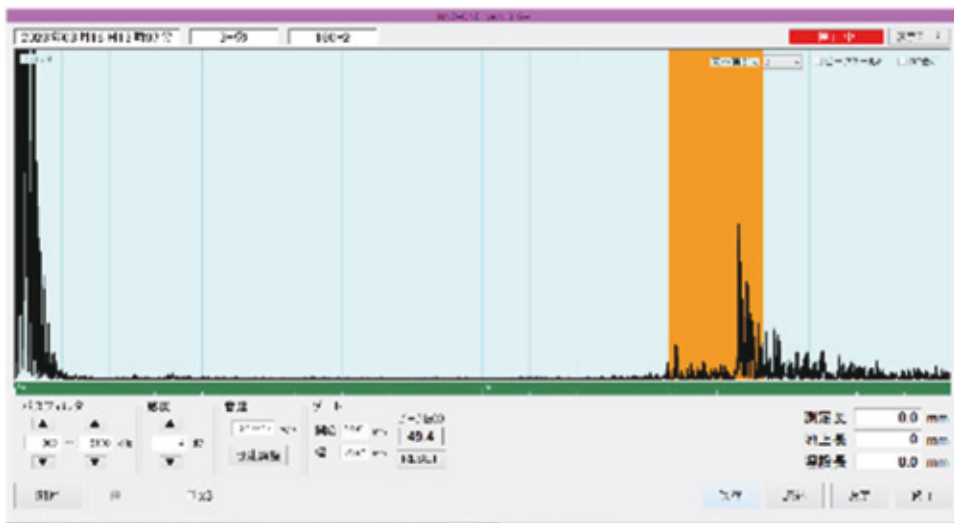
図-9 センサー荷重（30～75N）別反射エコーの比較



(d) 100N



(e) 130N



(f) 160N

図-10 センサー荷重別 (100~160N) 反射エコーの比較

- ②センサーの破損のリスクを考慮すると100N～160N程度が適正な範囲と考えられる。

5.3 今後の課題

熟練度の高い測定者がセンサーを押し付けた場合のセンサー押付け力を算出した結果、100Nから140Nであった。このことから、熟練度の高い測定者は経験から適正な押付け力を体感として習得しているものと考えられる。今後、超音波（SH波）を用いた現場測定において測定精度をさらに向上させるためには、特に経験年数の少ない測定者の熟練度を高めることが重要であり、そのためには以下のような取り組みが考えられる。

- ①センサー押付け力を簡便に計測できる装置を開発し、講習会などで体感して習得する訓練を行う。
- ②センサー押付け力以外の要因を検証する。
- ③センサーホルダーなどの治具を開発し、測定者の熟練度による計測差を減少させる。

謝辞：本論文の作成に当たり、ソフトを（有）エヌ・ケイ・システム及び試験用機材を㈱リンクに提供いただくとともに、有益な助言をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省大臣官房技術調査課：非破壊試験による鋼製防護柵の根入れ長測定要領（案），平成24年6月
- 2) 国土交通省大臣官房技術調査課：小規模付属物点検要領，平成29年3月