

Q15. フェーズドアレイ探触子の個々の素子について、超音波データの確認が可能か。確認が可能ならば、探触子の前側浮き上がりが発生して今回の事象に結び付いた事について、シミュレーションではなく超音波データに基づいて見解を示して欲しい。

なお JEAC では、フェーズドアレイは素子毎に感度校正する事になっている。

【回答】

実機探傷時の超音波データは、個々の素子単独で採取したデータを保存するセットアップとしておらず、合成波の超音波データしか保存されていないことから現段階では確認できない。(本フェーズドアレイ UT で、個の素子単独による A スコープを全て保存すると、データ量が膨大となり探傷速度が制限されることや、後の解析作業における PC 操作の負荷が大きくなるのが当時懸念されていたことから、個々の素子単独でのデータは保存しなかった。)

そこで、実機探傷時と同じ探傷システム及び実機外表面を模擬した試験片等を用い、以下 1～4 の確認試験を実施した。

1. 各設定条件における有効な探触子のチャンネル数の違いによる入射点位置確認

シミュレーションにてフェーズドアレイ探触子の前方が浮いたことで超音波の入射点位置が約mm ずれたと評価した結果に対し、実機探傷時と同じ探傷システムによる確認試験を実施した。

確認試験には平滑な外表面かつ内面からスリットを付与した試験片を用い、表 1-1 に示す条件設定にてコーナー/端部エコー検出時の入射点位置 Y の違いを比較した。

図 1-1 及び表 1-2、1-3 に示す確認結果の通り、ch と ch のみ有効な設定にてエコーを検出した入射点位置 Y にほぼ差異は無かった (mm 以下)。一方、ch(ch)とch のみ有効な設定にてエコーを検出した入射点位置 Y を比較した結果、その差はシミュレーション結果と同等のmm 程度のずれであったことを確認した。

表 1-1 確認試験における条件設定

条件	有効な素子の数	設定根拠
1	<input type="text"/>	探触子の素子全数
2	<input type="text"/>	シミュレーションにてコーナーエコー採取時の条件
3	<input type="text"/>	シミュレーションにて端部エコー採取時の条件

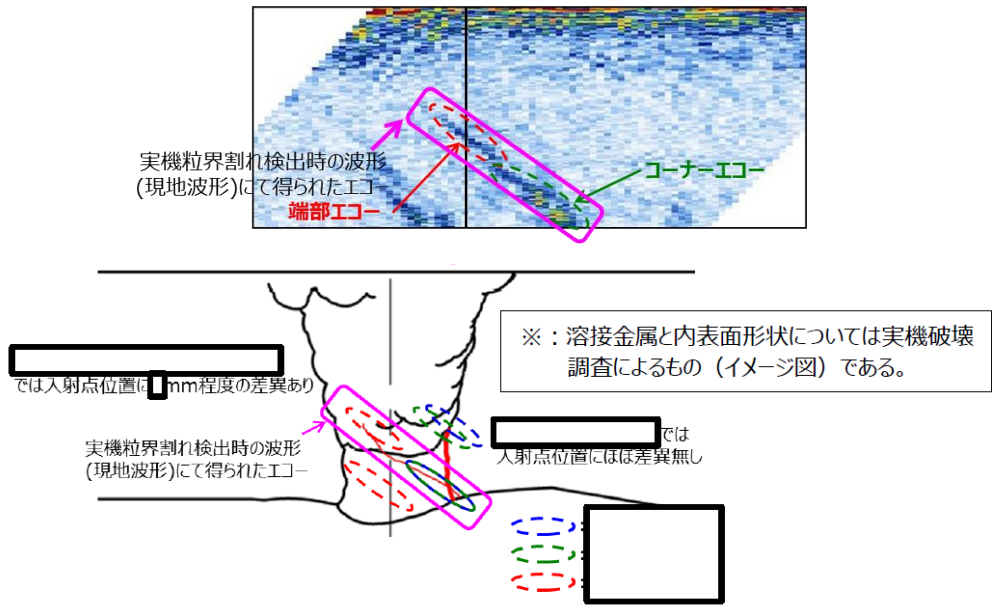


図 1-1 現地波形と確認試験の比較

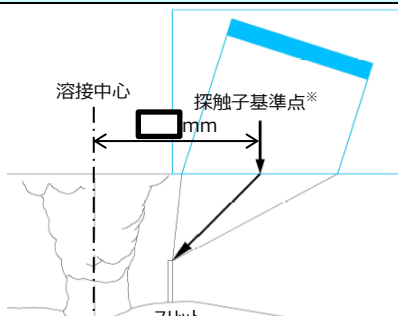
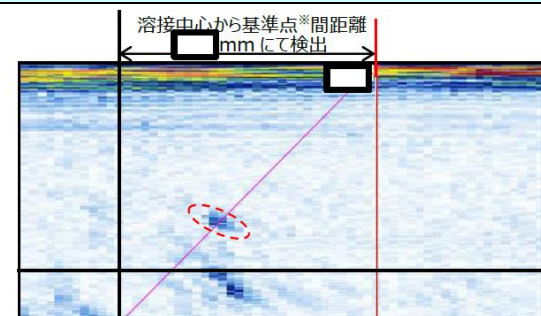
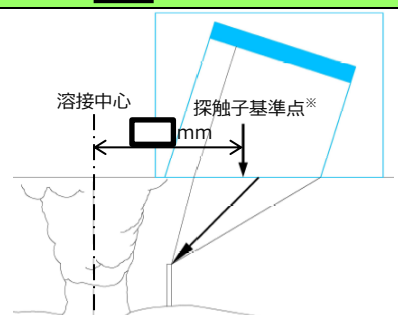
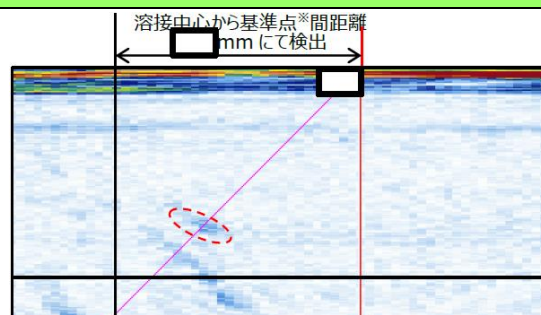
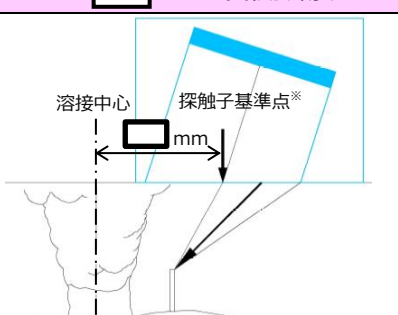

表 1-2 各設定条件におけるコーナーエコー採取時の入射点位置比較

chの送受信探傷イメージ	chのスリット探傷 B スコープ

※：基準点とは、[] が有効に機能すると仮定した時の探触子超音波発生位置を示す。

○：コーナーエコー

表 1-3 各設定条件における端部エコー採取時の入射点位置比較

端部エコー検出位置比較	□chの送受信探傷イメージ	□chのスリット探傷 B スコープ
		
		
□chの送受信探傷イメージ	□chのスリット探傷 B スコープ	
		

※：基準点とは、□ が有効に機能すると仮定した時の探触子超音波発生位置を示す。

○：端部エコー

2. 事象再現確認

実機探傷時と同じ探傷システムにて図 2-1 に示す実機外表面形状を模擬した SCC 付与試験片を探傷し、現地波形における端部・コーナーエコーの位置関係が再現できるか確認試験を実施した。

図 2-2 に示す確認結果の通り、実機外表面形状を模擬した SCC 付与試験片の探傷結果は、現地波形と同じく、コーナーエコーと端部エコーともに、エコーの形状がエルボ側から管台側に斜めに延びて検出された。

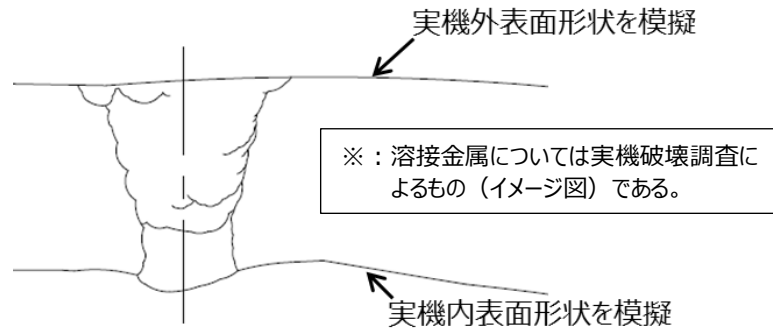
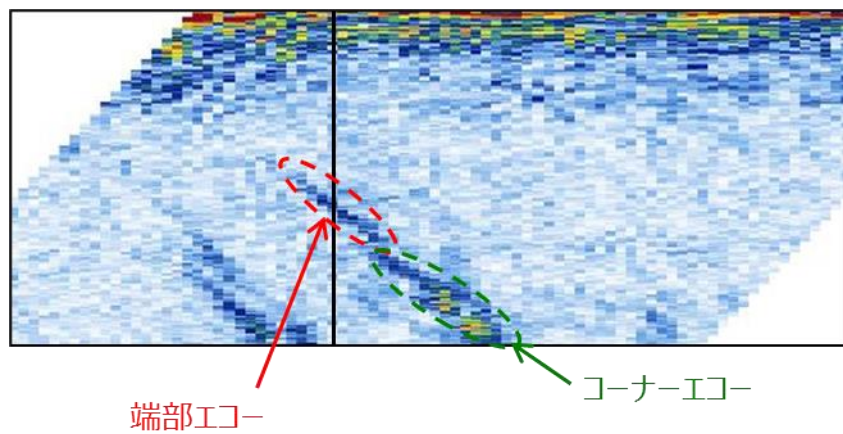
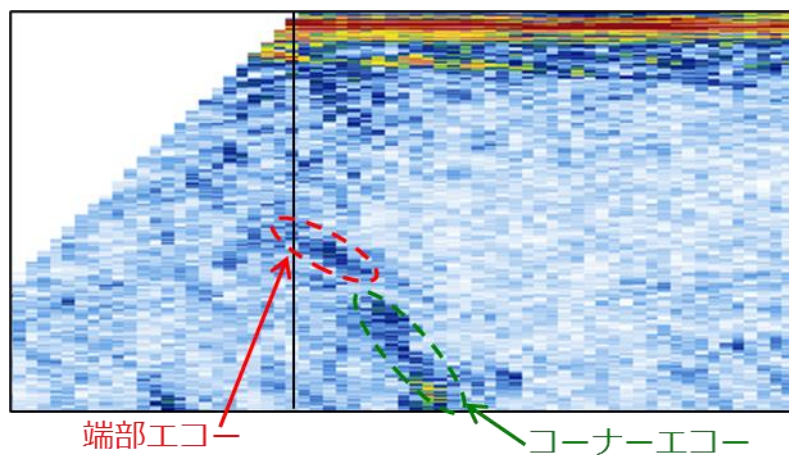


図 2-1 実機外表面形状を模擬した SCC 付与試験片イメージ



実機粒界割れ検出時の波形(現地波形)



実機外表面形状を模擬した SCC 付与試験片

図 2-2 現地波形と SCC 付与試験片探傷時の B スコープ比較

3. 各素子の超音波伝ば状況確認

探触子における個々の素子単独で超音波の波形を保存するセットアップを準備し、2項でコーナーエコー、端部エコーのピーク値となる探触子位置にて、試験片底面からの反射の有無によりどの素子からの超音波が試験片に伝ばしていたかを確認した。なお比較用として、試験片と探触子が試験片平滑部に密着している状態でもデータ採取を行い、試験片底面からの反射であるかはダンピングにより判断した。

表 3-1 に示す確認結果の通り、端部エコー採取時、コーナーエコー採取時共に、シミュレーション条件と同等の超音波伝ば状況であったことを確認した。

表 3-1 探触子位置別各素子の超音波伝ば状況確認結果

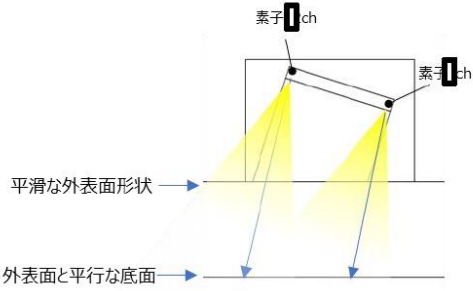
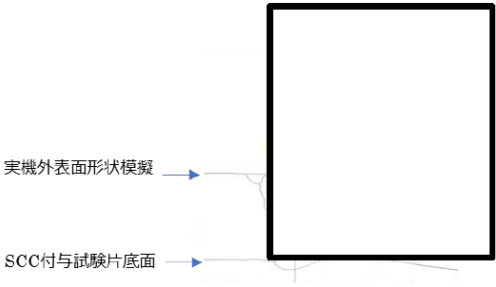
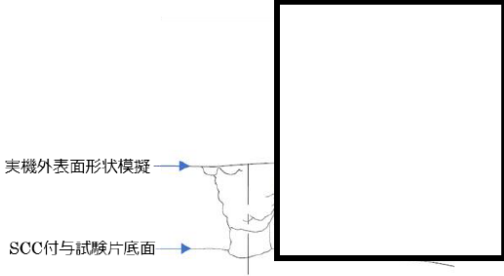
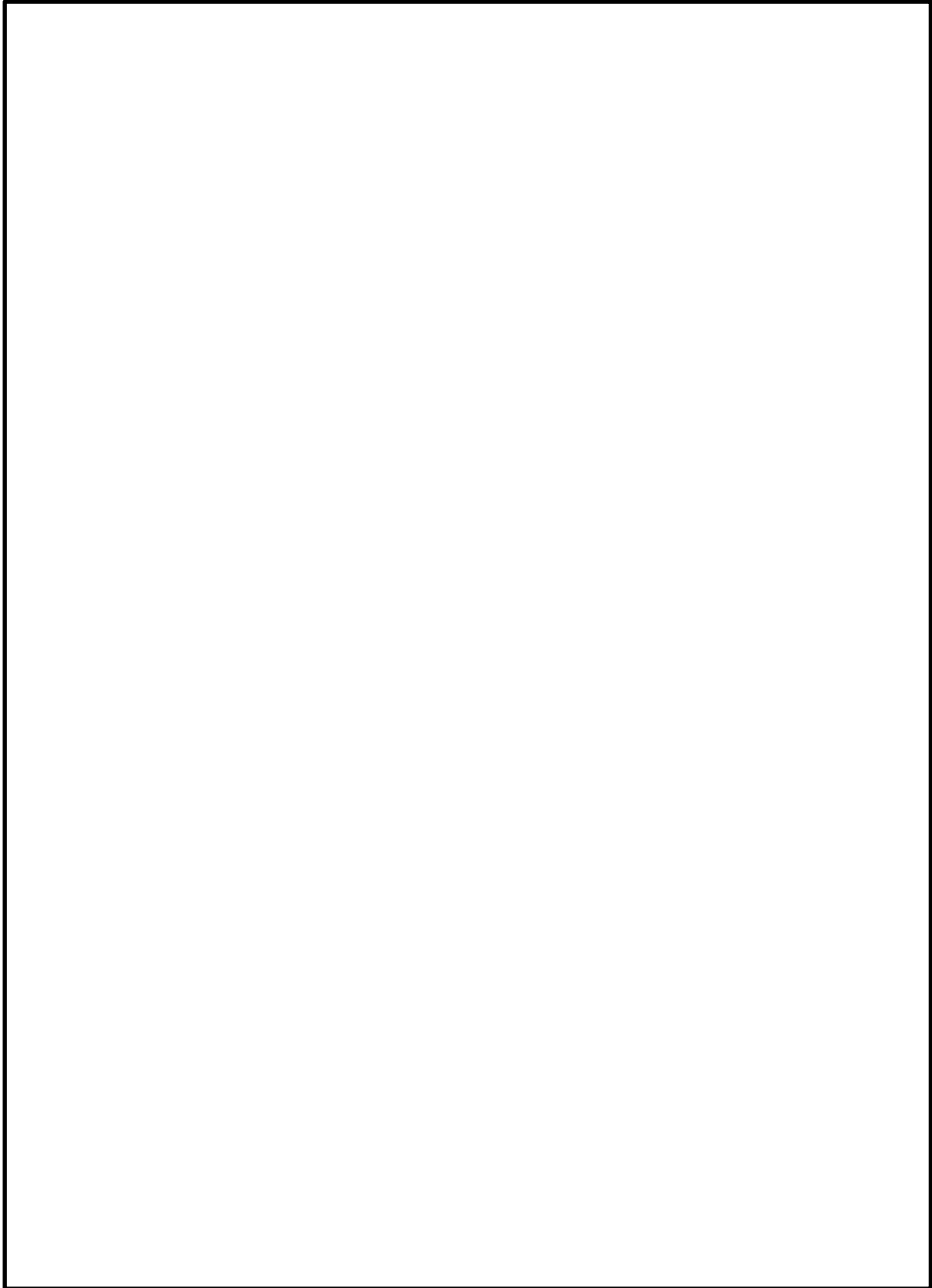


探触子位置	探触子の状況	確認結果(詳細は表 3 参照)
平滑な外表面形状部に密着 (<input type="checkbox"/> が外表面に密着している状態)		小型素子のため指向角が大きく、外表面と平行な底面に垂直に反射するエコーを検出可能。素子 <input type="checkbox"/> ch から <input type="checkbox"/> ch 全てで試験片底面からの信号あり。
端部エコー採取位置 (シミュレーションでは <input type="checkbox"/> ch が有効とした)		小型素子のため指向角が大きく、SCC 付与試験片底面に垂直に反射するエコーを検出可能。素子 <input type="checkbox"/> ch から <input type="checkbox"/> ch は底面からの信号あり。素子 <input type="checkbox"/> ch から <input type="checkbox"/> ch は底面からの信号なし。シミュレーション結果と合致した。
コーナーエコー採取位置 (シミュレーションでは <input type="checkbox"/> ch が有効とした)		小型素子のため指向角が大きく、SCC 付与試験片底面に垂直に反射するエコーを検出可能。素子 <input type="checkbox"/> ch から <input type="checkbox"/> ch は底面からの信号あり。素子 <input type="checkbox"/> ch から <input type="checkbox"/> ch は底面からの信号なし。シミュレーション結果と合致した。

表 3 -1 探触子位置別各素子の超音波伝ば状況波形(1/6)



 : ダンピングにて確認した底面からの反射波

 : 端部エコー採取位置にて底面からの反射波が確認できた最大 c h


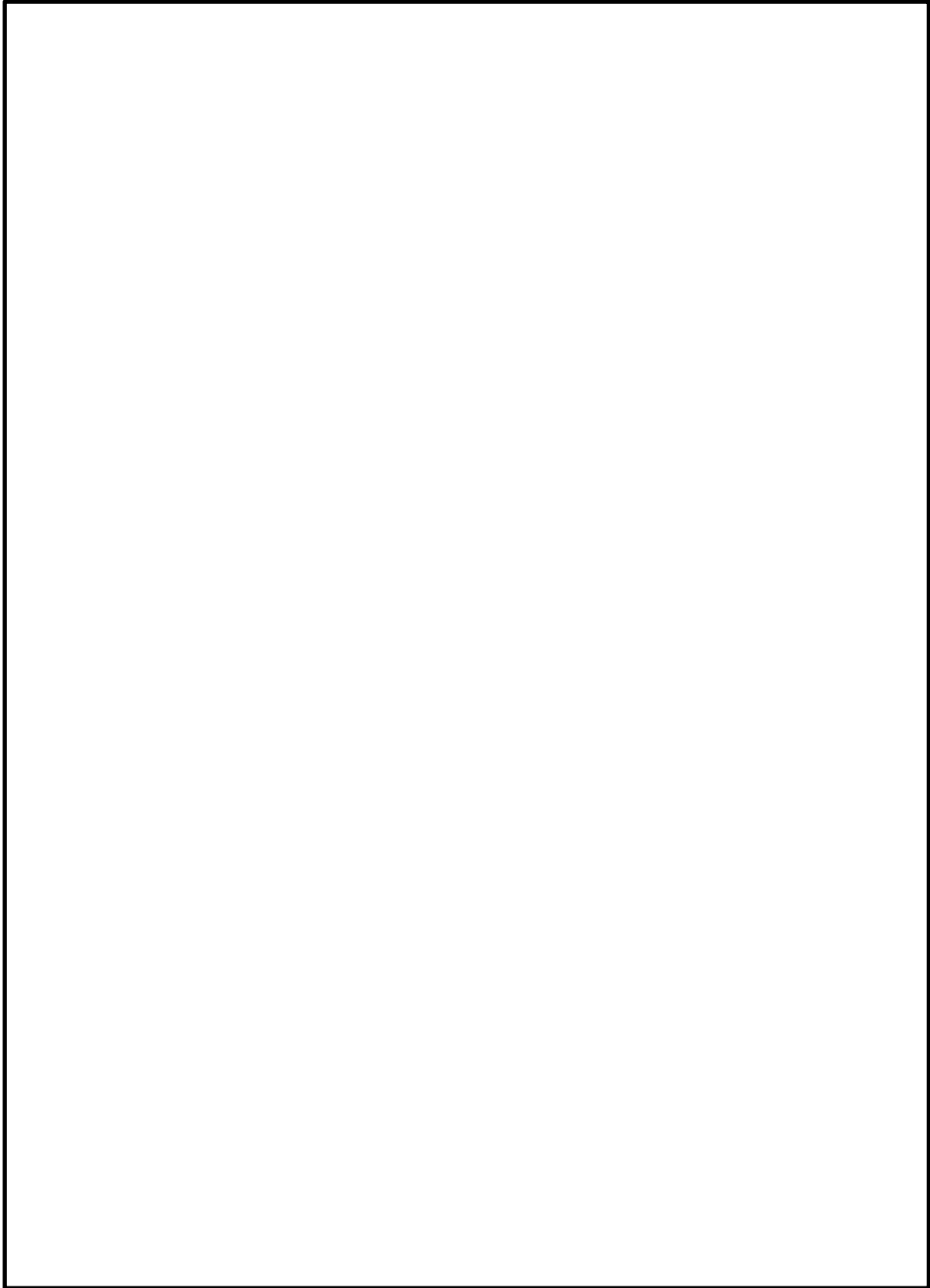


 : コーナーエコー採取位置にて底面からの反射波が確認できた最大 c h

表 3 -1 探触子位置別各素子の超音波伝ば状況波形(2/6)



 : ダンピングにて確認した底面からの反射波

 : 端部エコー採取位置にて底面からの反射波が確認できた最大 c h


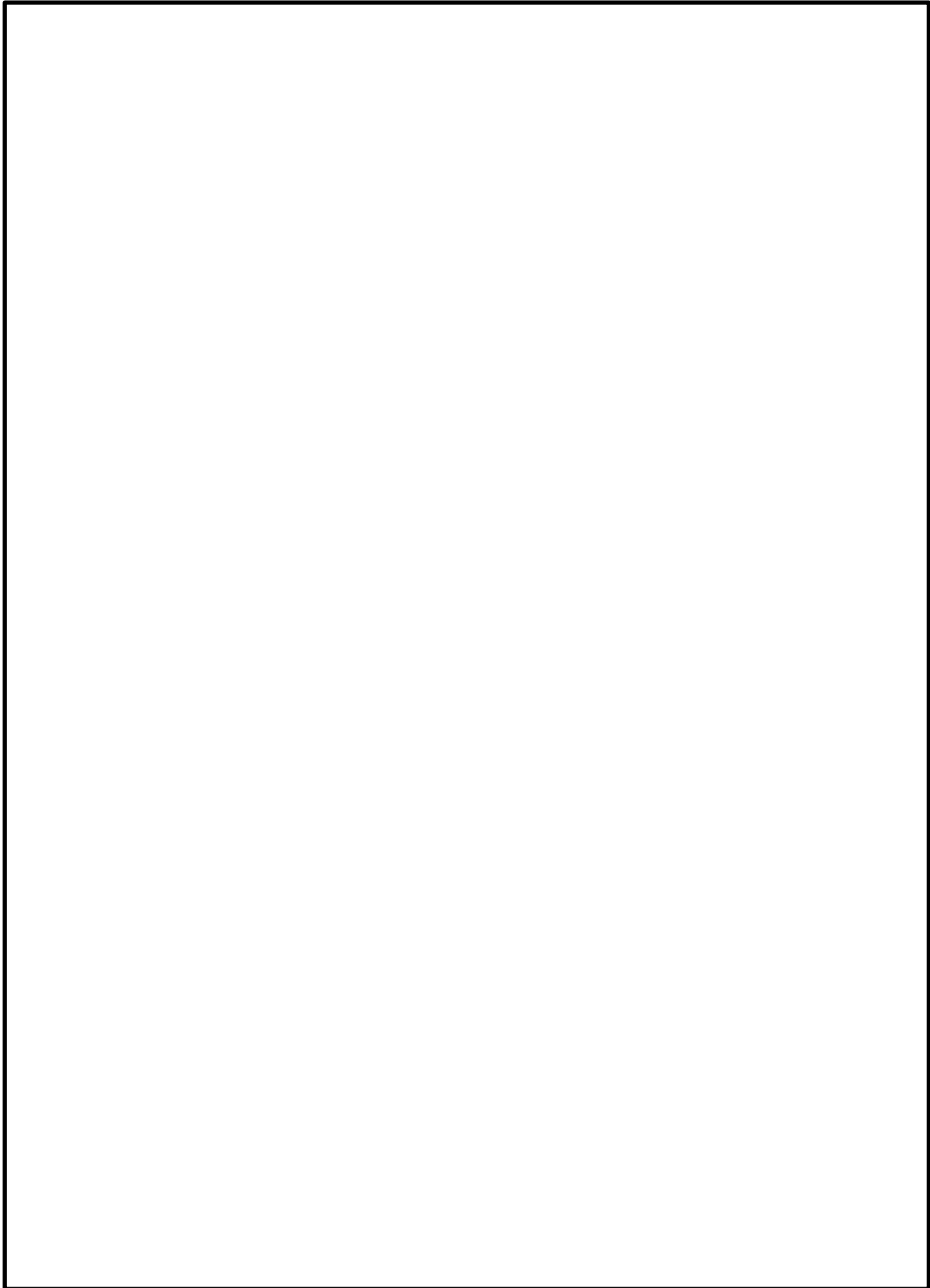


 : コーナーエコー採取位置にて底面からの反射波が確認できた最大 c h

表 3 -1 探触子位置別各素子の超音波伝ば状況波形(3/6)



 : ダンピングにて確認した底面からの反射波

 : 端部エコー採取位置にて底面からの反射波が確認できた最大 c h


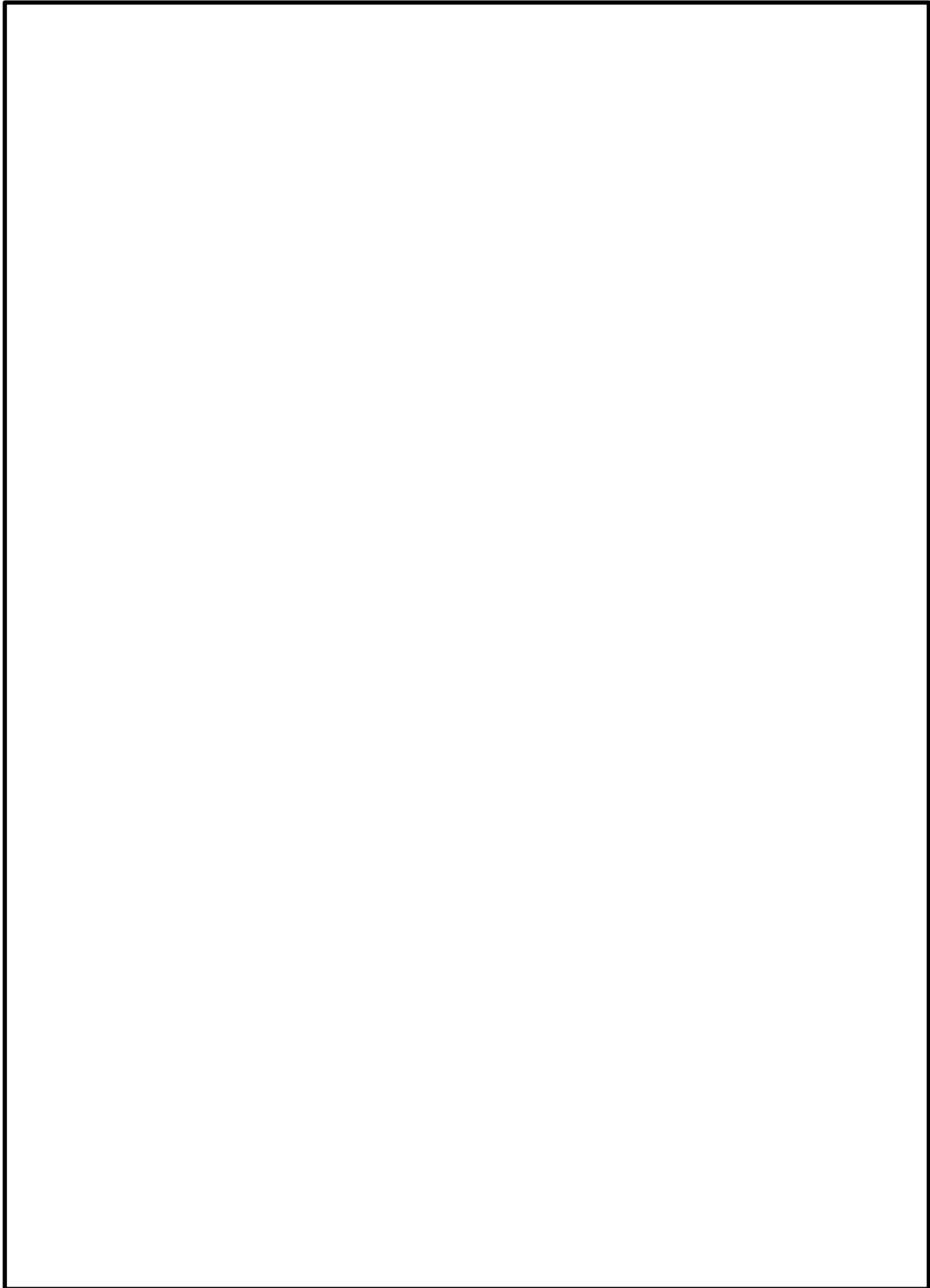


 : コーナーエコー採取位置にて底面からの反射波が確認できた最大 c h

表 3 -1 探触子位置別各素子の超音波伝ば状況波形(4/6)



 : ダンピングにて確認した底面からの反射波

 : 端部エコー採取位置にて底面からの反射波が確認できた最大 c h


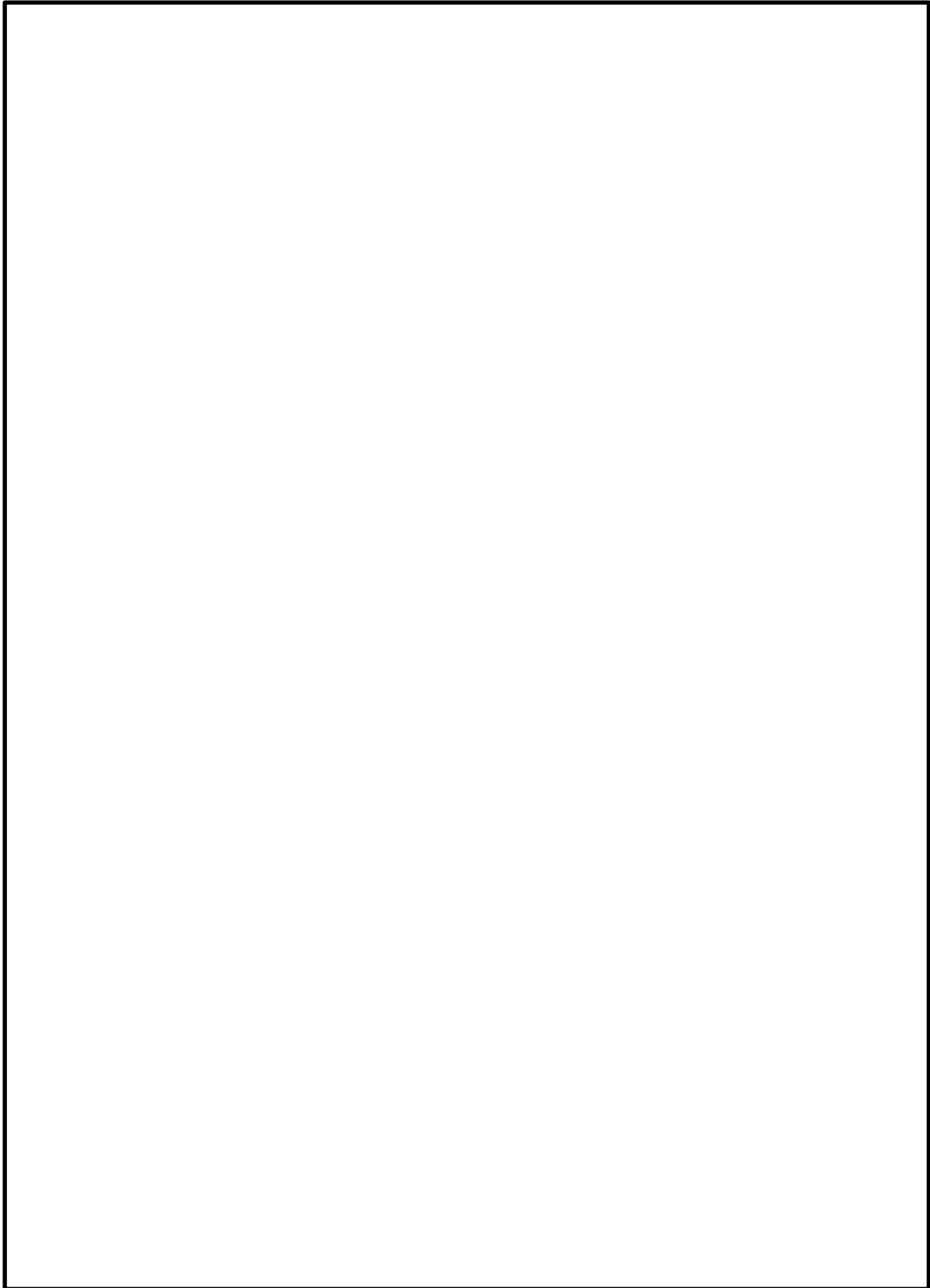


 : コーナーエコー採取位置にて底面からの反射波が確認できた最大 c h

表 3 -1 探触子位置別各素子の超音波伝ば状況波形(5/6)



 : ダンピングにて確認した底面からの反射波

 : 端部エコー採取位置にて底面からの反射波が確認できた最大 c h





 : コーナーエコー採取位置にて底面からの反射波が確認できた最大 c h

表 3 -1 探触子位置別各素子の超音波伝ば状況波形(6/6)



 : ダンピングにて確認した底面からの反射波

 : 端部エコー採取位置にて底面からの反射波が確認できた最大 c h

 : コーナーエコー採取位置にて底面からの反射波が確認できた最大 c h

4. 各素子の超音波伝ば状況確認結果を受けた有効な探触子のチャンネル数の違いによる入射点位置確認

シミュレーションにてフェーズドアレイ探触子の前方が浮いたことで超音波の入射点位置が約 \square mm ずれたと評価した結果に対し、実機探傷時と同じ探傷システムによる確認試験を実施した。

確認試験には平滑な外表面かつ内面からスリットを付与した試験片を用い、表 4-1 に示す条件設定にてコーナー/端部エコー検出時の入射点位置 Y の違いを比較した。

図 4-1 及び表 4-2、4-3 に示す確認結果の通り、 \square ch と \square ch のみ有効な設定にてエコーを検出した入射点位置 Y に差異は無かった (\square mm 以下)。一方、 \square ch (\square ch) と \square ch のみ有効な設定にてエコーを検出した入射点位置 Y を比較した結果、その差はシミュレーション結果と同等の \square mm ずれであったことを確認した。

表 4-1 確認試験における条件設定

条件	有効な素子の数	設定根拠
1	\square	探触子の素子全数
2	\square	3 項に示すコーナーエコー採取時の超音波伝ば状況となる条件
3	\square	3 項に示す端部エコー採取時の超音波伝ば状況となる条件

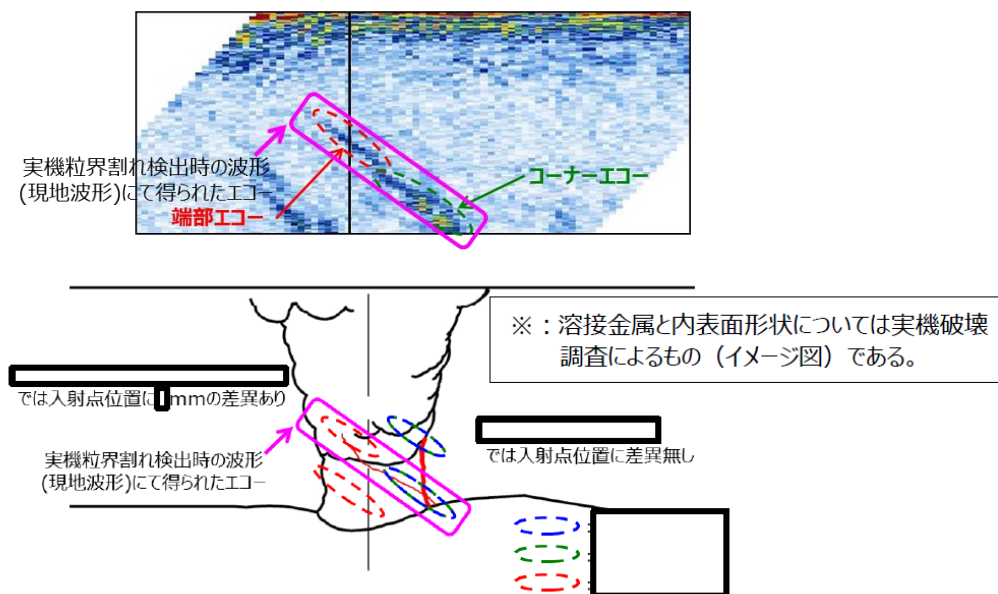


図 4-1 現地波形と確認試験の比較

表 4-2 各設定条件におけるコーナーエコー採取時の入射点位置比較

□ ch の送受信探傷イメージ	□ ch のスリット探傷 B スコープ

※：基準点とは、□ が有効に機能すると仮定した時の探触子超音波発生位置を示す。

○：コーナーエコー

表 4-3 各設定条件における端部エコー採取時の入射点位置比較

□ ch の送受信探傷イメージ	□ ch のスリット探傷 B スコープ

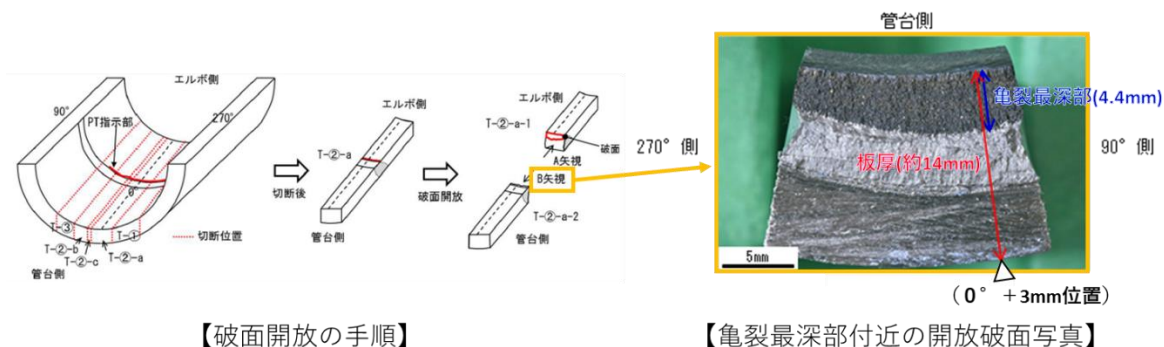
※：基準点とは、□ が有効に機能すると仮定した時の探触子超音波発生位置を示す。

○：端部エコー

Q16. UT に拠る板厚測定結果と破壊調査結果が、溶接の垂れ込み含めどの程度整合しているのか、同一断面を用いて見解を提示して欲しい。

【回答】

垂直 UT による板厚測定結果の妥当性を確認するため、破壊調査後の実機材で板厚を測定し、比較した。垂直 UT で板厚測定した亀裂最深部（0° +3mm 位置）の断面写真が無いため、開放破面写真を測り取りした。当該部は破面解放時に配管背側から鋸刃が当てられ、厳密な板厚評価は困難であるが、UT 測定と同じく約 14mm であると確認した。



【破面開放の手順】

【亀裂最深部付近の開放破面写真】

【垂直UTと破面測り取りによる板厚計測結果】

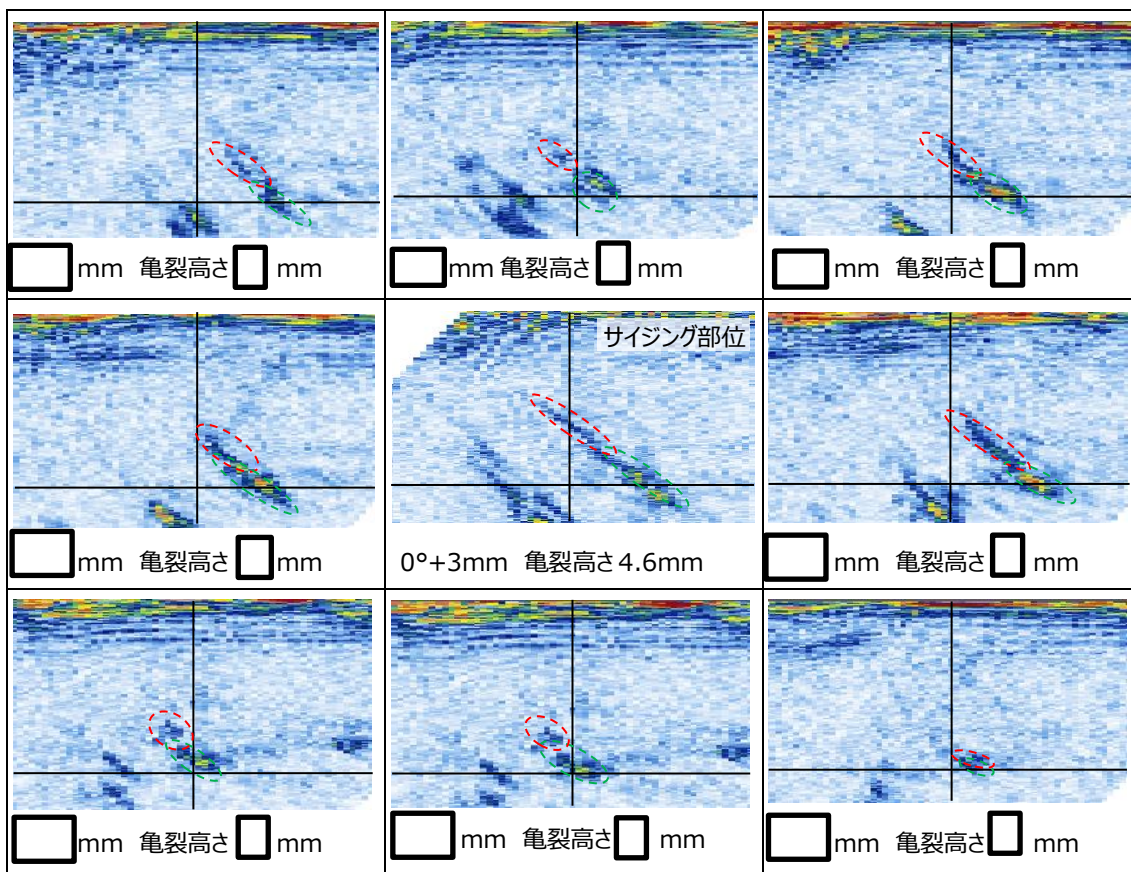
測定方法	板厚
垂直UT	14.0mm
破面写真*	約14mm

*背面からの鋸刃が当てられ正確な板厚評価は困難

Q17. 欠陥が検出された 0°+3mm に対する B スコープ画像は資料で確認出来たので、他の方位の B スコープ画像も提示して欲しい。

【回答】

図 1 に亀裂が検出された 0°+3mm を中心に、 mm 間隔で採取した mm から mm までの B スコープ画像を以下に示す。いずれの部位においても端部エコーを検出しており、B スコープ表示が管台側からエルボ側に斜めに伸びた様に表示されている。



○: 端部エコー ○: コーナーエコー

図 1 その他度芯の B スコープ画像一覧

Q18. 外表面形状に抛り探触子が傾いた事で高さサイジングに与えた誤差を算出しているが、その計算過程を提示して欲しい。また、使用した値の由来（実機からの値、想定した値、等）も示して欲しい。

【回答】

第二段階検査における亀裂高さ測定は以下の式に基づき実施している。

$$d = T - W2 \times \cos \theta1 = 14.0 - 13.3 \times \cos 45^\circ = 4.6 [mm]$$

表 1 第二段階検査における入力情報

入力	由来	数値
屈折角 $\theta 1$ [°]	探傷前の測定値	45
路程 $W2$ [mm]	実機の測定値	13.3
板厚 T [mm]	実機の測定値	14.0
SUS 配管の音速 [m/s]	書籍から値を引用	5790

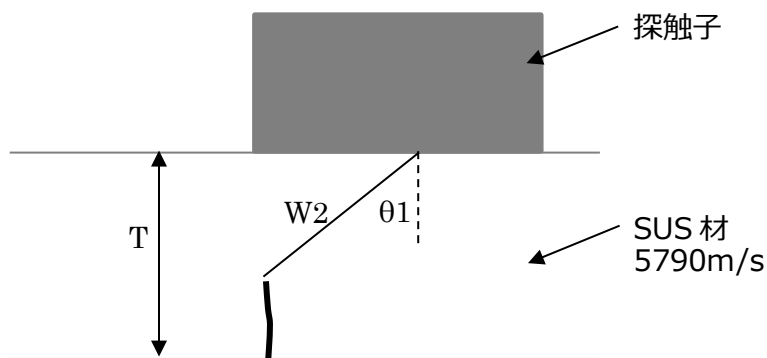


図 1 想定状況のイメージ

切断調査の結果を受け、以下の計算結果に基づき第二段階検査との差異mmとした。

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

第二段階検査におけるき裂高さ測定結果と切断調査を受けた評価結果の差異は以下となる。

[Redacted]

表 2 切断調査結果を受けた入力情報

パラメータ	由来	原因分析後
路程 W2[mm]	実機の測定値	13.3
板厚 T[mm]	実機の測定値	14.0
SUS 配管の音速 [m/s]	書籍から値を引用	5790

[Redacted]