

媒質によるエッジ波発生量変化の評価

Evaluation of edge wave generation amount by ultrasonic medium

田中 雄介 吉田 光良 小倉 幸夫
Yuusuke Tanaka Mitsuyoshi Yoshida Yukio Ogura
ジャパンプローブ株式会社
Japan Probe Co., Ltd.

概 要

超音波伝搬に伴いエッジ波が発生し、超音波が拡散する。エッジ波発生量は媒質により変化し、空中ではほとんど発生せず、水中や固体では空中に比べてエッジ波が多く発生する。空気、水、ポリスチレンについてエッジ波の発生量を調べた。また、減衰の影響を調べ、空気や水では減衰が少なく、ポリスチレンは減衰が大きい結果となった。減衰はエッジ波が混じらない部分で評価する必要があるため、受信波形の重なりから近距離音場における最初のピークで評価した。

キーワード 超音波、エッジ波、媒質、減衰、波長

1. 緒 言

超音波が伝搬する際にエッジ波が発生し、拡散や回折の現象が発生する。平面波音源では平面状の直接波端部からエッジ波が発生し、直接波とエッジ波が重なることで振幅変動が起こる[1]。また、エッジ波の広がりにより送信指向性が決まり、エッジ波の発生量が少ないと超音波が直進する。エッジ波の評価として探触子中心軸上における振幅変動で評価し、空気中ではエッジ波の発生量が少ないことを説明してきた[2]。エッジ波の発生量が少ない空気中では超音波は直進し、ほとんど広がらない。固体や水中ではエッジ波の発生量が多く、超音波が広がっているが減衰の影響を考える必要があり、空中の減衰を補正して考えなければならない。減衰を考える際、拡散の影響があると材料そのものの減衰を評価できないので、拡散しない状況でエッジ波の重なりによる振幅変動が無いという条件が必要である。今回、空中や水中、ポリスチレンで減衰を調べ、波の重なりからどの位置で減衰を測定することが適切かを述べた。また、空中での周波数の違いと減衰の大きさについて調べた。

2. 各種材料のエッジ波発生量

エッジ波は超音波の音圧不連続部から発生し、平面超音波探触子では図 1 のように平面の直接波が送信され、直接波端部で音圧が 0 になるためエッジ波が発生する。このとき直接波の外側は同位相、内側は逆位相のエッジ波が発生する。直接波とエッジ波は逆位相なので伝搬距離差が半波長になる位置で重なると振幅が強め合う。図 2 のように探触子中心軸上ではエッジ波の伝搬距離 E と直接波の伝搬距離 X の差 $E-X$ が半波長になる位置 X_0 で振幅が強くなり、その位置 X_0 は近距離音場限界の以下の式(1)

$$X_0 = \frac{1}{4} \left(\frac{D^2}{\lambda} - \lambda \right) \quad (1) \quad D: \text{探触子直径} \quad \lambda: \text{波長}$$

になる。探触子中心軸上では近距離音場限界でエッジ波により振幅が大きくなる。この振幅の増加量でエッジ波の発生量を評価できる。ポリスチレン、水、空気の発生量を調べると図 3 のようになった。縦軸は近距離音場での振幅を 1、横軸は近距離音場限界距離を 1 と正規化した。振幅増加量はポリスチレンが 206%、水が 190%、空気が 18%となった。空気のエッジ波発生量が少なかったが、それぞれの減衰の影響について調べた。

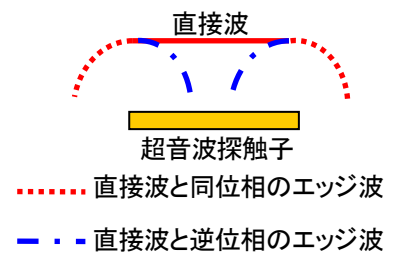


図1 直接波とエッジ波

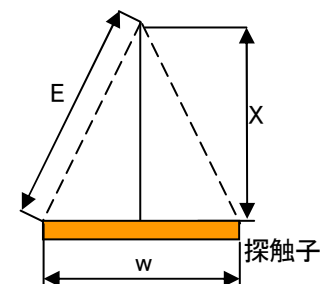


図2 直接波とエッジ波の伝搬

3. 減衰評価

材料そのものの減衰の影響を調べるためには超音波の拡散やエッジ波の重なりによる振幅変動が無い条件で評価する必要がある。従って、探触子は圧電縦振動による平面音源を用い必要がある。また、エッジ波は図4のように近距離音場では分離、近距離音場限界では直接波と重なり、ピークA、B、Cが発生し、Bの振幅が大きくなる。十分な遠距離では直接波と重なってA、Bの振幅が小さくなる。従って、エッジ波の影響が無い近距離での最初のピークAで減衰の評価を行うのが適切である。

ポリスチレン、水、空気の減衰をピークAの振幅で評価した。用いた探触子は表1の通りである。計測方法は図5のようにポリスチレンは直径4[mm]の球状穴からの反射信号、水中は直径4[mm]のステンレス球からの反射信号、空中は直径0.5[mm]のマイクロホンの受信信号で評価した。

伝搬距離と振幅の結果を図6に示す。ポリスチレンでは減衰が大きく、水、空気では減衰が少ない結果となった。減衰係数をまとめると表2の通りである。遠距離ではエッジ波の拡散などで減衰が大きくなった。また、空中減衰への周波数の影響を確かめた。500[kHz]から900[kHz]、14×20[mm]の長方形探触子を用いた。円形探触子とエッジ波の出方は異なるが、最初のピークでの評価は同様に行える。受信はマイクロホンで行った。それぞれの探触子での距離と振幅の結果を図7に、減衰係数を表3に示す。周波数が高いと減衰が大きくなるが、劇的に大きくなっていなかった。これらの結果から空中の減衰が少なく、エッジ波そのものが空中では発生しないことがわかる。従って、空中では超音波があまり拡散せずに直進しやすい。

4. まとめ

ポリスチレン、水、空気のエッジ波発生量と減衰を評価し、ポリスチレンや水に比べて空気ではエッジ波発生量が少ないことを確かめた。また、空中の減衰は少ないことを確かめた。

文献

- [1] 田中雄介, 大平克己, 小倉幸夫, “パルス波と連続波の超音波伝搬の可視化,” アコースティックイメージング研究会資料, AI-2016-26(2016)
- [2] 田中雄介, 吉田光良, 阿部晃, 小倉幸夫, “超音波伝搬に伴い発生するエッジ波の媒質による発生量変化,” 2019 年日本音響学会秋季研究発表会講演論文集 CD-ROM, p7-3(2019)

表1 材料と探触子

	ポリスチレン	水	空気
周波数[MHz]	2	5	0.25
探触子径[mm]	10	10	20
音速[m/s]	2330	1500	340
近距離音場限界[mm]	21	83	73

表2 各材料と減衰係数

媒質		減衰係数 [dB/cm]
ポリスチレン	近距離	1.23
	遠距離	2
水	近距離	0.11
	遠距離	0.4
空気	近距離	0.15
	遠距離	0.5

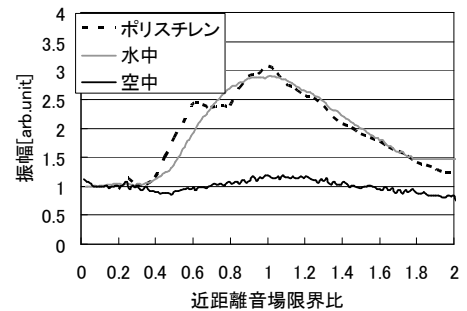


図3 エッジ波による振幅上昇

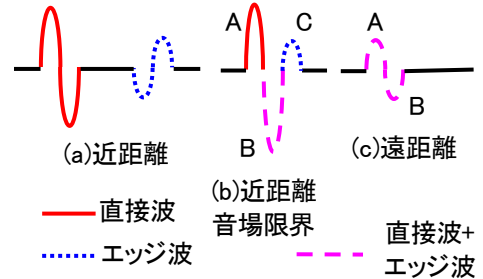


図4 受信波形の合成

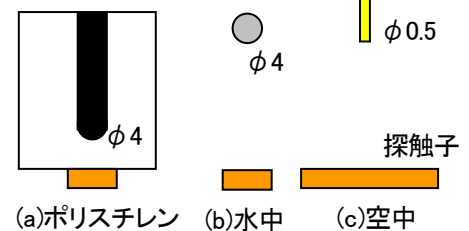


図5 波形計測法

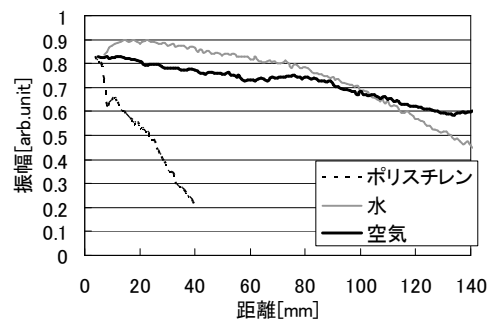


図6 各材料の距離と振幅

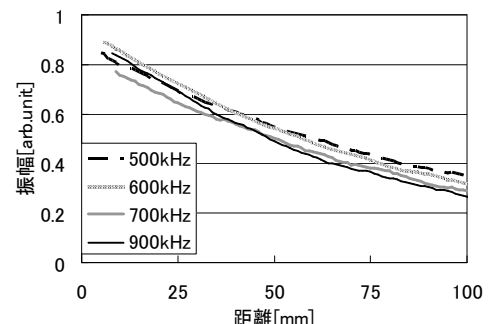


図7 周波数と空中減衰

表3 周波数と空中減衰係数

周波数 [kHz]	減衰係数 [dB/cm]
500	0.84
600	0.99
700	1.26
900	1.13