

実験用無響水槽の試作

打越 聡*, 綿引 猛**, 岡崎英次*, 本多誠一**

(昭和50年9月8日受理)

Anechoic Water Tank

SATOSHI UCHIKOSHI, TAKESHI WATAHIKI,
EJI OKAZAKI and SEIICHI HONDA

Abstract:—In this paper, we describe trial product of Anechoic water tank make used of steel. This water tank is used for the experiment of ultrasonic transducer in water.

As shown in fig.1, this water tank stands 1.2m × 1.2m × 1.3m in dimension and its thickness 4mm. Inside face is covered with pinewood board standing 20 mm. And pinewood quadrangular pyramid are arranged in it.

The result of experiment on the water tank ability from 20 kHz to 50 kHz, can be practically used.

1. ま え が き

水中超音波の実験を行う場合、自由音場を限られた空間に作るために、無響水槽が必要である。無響水槽として古くから水槽内面を吸音材でおおったものが用いられている。この吸音材については種々の優れた特性をもつものが発表されている¹⁾。また、吸音材をくさび形にして内面をおおう場合のくさびの形と特性についても種々の実験結果が発表されている²⁾。

筆者らは鉄製水槽の内面を松板材でおおい、その内面に松材で作った角錐状のくさびを設けた立方体の無響水槽(実効容積 $1 m^3$)を試作し、その特性を測定したので以下に報告する。

2. 水槽の構造

筆者らの実験に用いる周波数帯は、約 20 kHz から 50 kHz までの間である。振動子を水槽中央において測定する場合、振動子と壁面との間隔が少くとも数波長以上

上あることが望ましい。しばしば用いる 30 kHz 帯において 10 波長以上となるようにするには、水槽の内りの実効長が約 100 cm 必要である。そこで厚さ 4 mm の鋼板で図 1 に示すような構造と寸法に作ることにした。

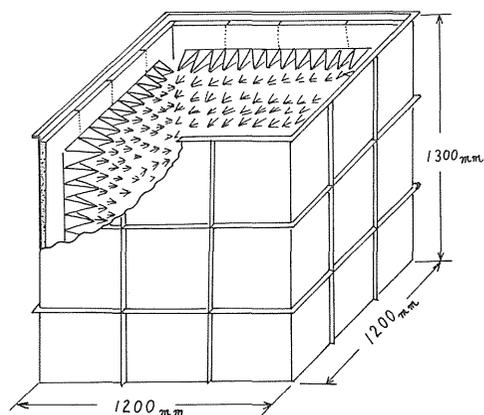


Fig. 1 Anechoic water tank.

* 茨城大学工業短期大学部電子工学科 (日立市中成沢町)

** 茨城大学工学部電子工学科 (日立市中成沢町)

この内面に図 2 に示すような角錐状の突起を松材で作成し突出させる。このくさびの寸法については設計法がまだ明らかにされていないので、すでに発表された種々の実験結果を参考にきめることとした。図 3 は実吉らの実験例である。²⁾

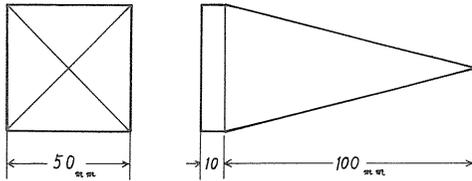


Fig. 2 Quadrangular Pyramid.

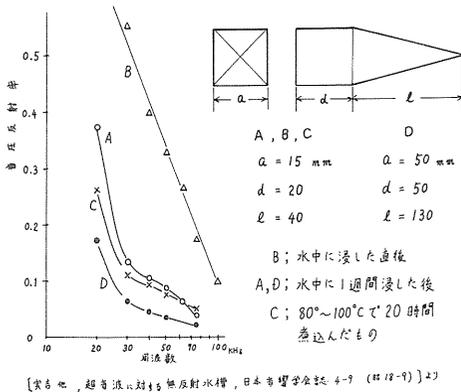


Fig. 3

この水槽で用いる周波数の最低が 20 kHz であるのでこの例より推定し図 2 に示す寸法とした。このくさびは水槽内に装着するため松板に取り付け図 1 のように組み上げた。突起と松材とはレゾシノール系接着材を用い接着し、さらに真鍮の釘で固定してある。

3. 無響水槽の性能測定

3.1 測定 1, 一般に媒質 A と媒質 B が平面で接していて、A に垂直に音圧 P_s の平面波が入射した場合 B で反射された音圧が P_r であれば P_r/P_s を音圧の反射率という。図 4 (b) のように水槽内の突起先端を連ねる面 A に入射した音波は不規則な反射や透過を繰り返し一部は減衰し、一部が反射してくる。以下の測定では A 面を境界面と考えて A に入射する平面波音圧 P_s と A から出てゆく音圧 P_r の比を求めることにする。

自由音場で平面進行波が得られればこれを目的物に垂

直入射させ、入射波と反射波の干渉による音圧の定在波を作り定在波比を測ることにより、反射率を知ることができる。しかし、このような平面波を得ることは難しく、また水槽内という限られた空間では二度三度と反射を繰り返してこれが干渉するため、定在波比から反射率を測定することは困難である。

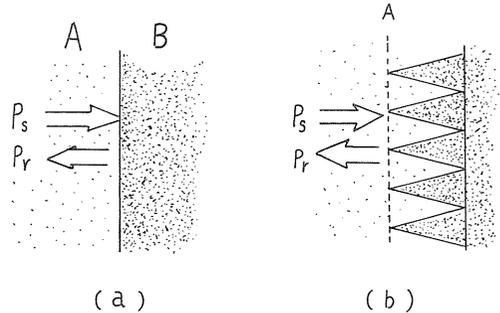


Fig. 4

そこで本稿では水平面内で無指向性の送波器を測定しようとする正弦波で間欠的に励振し(すなわちトーンバースト波で励振する)、入射波と反射波の成分を時間的に分離することにした。

トーンバースト波に含まれる測定しようとする周期をもつ正弦波の波数は水槽壁面の各所で反射される成分を区別するためには少ない方が望ましい。しかしあまり少ないと壁面の過渡状態での反射率を測定してしまう懸念がある。筆者らはトーンバースト波に含まれる波の数を換え、実験的に必要波数を調べた結果 2 波程度でも十分定常状態と考えられる反射率が測定できることがわかった。しかし、このように少ない波数で送波器を間欠励振した場合、送波器の振動には測定しようとする周波数以外の成分もふくまれることになる。本稿での測定には上述のような波形を用い、後述のように音圧は距離に反比例するとして求めた反射率であるので反射率の定義からは若干はずれている。そこで本稿では仮に実効反射率と呼ぶことにする。またこの波で励振した場合十数波にわたり振動を続けている。したがってその振動数は振動子の共振周波数に徐々に近づく懸念がある。受波波形についてこの点を調べた結果受波の立下りから数波の区間では測定しようとする周波数の周期と励振周波数がほぼ等しい周期であることがわかった。

送波器を音波が水槽壁面から他の壁面に達する時間に比べ十分小さい時間トーンバースト波で励振すると受波器はまず送波器よりの直接波をうける。つぎに壁面から

の反射波を受ける。この場合反射波は壁面の何処でも生ずるわけであるが、送波器と受波器を水槽内の適当な所に配置して目的の場所の反射音圧と他の場所の反射音圧とを区別するようにする。

ここで送波器と受波器の位置について考えてみる。図5に示すように送波器Tと受波器Rを一つの水槽壁面の対角線の交点Aとこれに相対する壁面の対角線の交点Bを結ぶ線上におき、距離 $BT=r_0$, $TR=r_1$, $RA=r_2$ および $AB=L$ とする。また r_0 , r_1 , r_2 および L を音波が進むのに要する時間を t_0 , t_1 , t_2 および t_L とする。いま水槽壁面が鏡面であれば、Tよりも時刻 $t=0$ に発射されたパルス状の音波の波面は t_1 後に受波器Rによって受波される。また音波が発射されてから $2t_0+t_1$ 後にB点よりの反射波が、そして t_1+2t_2 後にA点よりの反射波が受波される。またA, B点のある面以外の面よりの反射波が $(t_0^2+t_2^2)^{0.5}$ 後に受信されるはずである。これらの反射波は、さらに相対する面で反射される。このようにして二度三度と反射された波がそれ以降に受信されることになる。

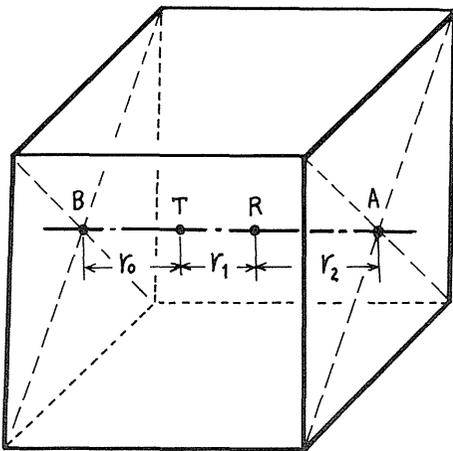


Fig. 5

このように複雑な音波の中から送波器からの直接波とA点での反射波だけを選択測定するための最適位置があるはずである。これを図式により検討した結果 $r_0=0\text{ cm}$, $r_1=30\text{ cm}$ の点がA点よりの反射波の確認に有利であることがわかった。また送波器よりの直接波とB点よりの反射波の干渉による影響も軽微であることが確認された。

図6に測定回路を示す。図中の主な使用機器は次の通りである。

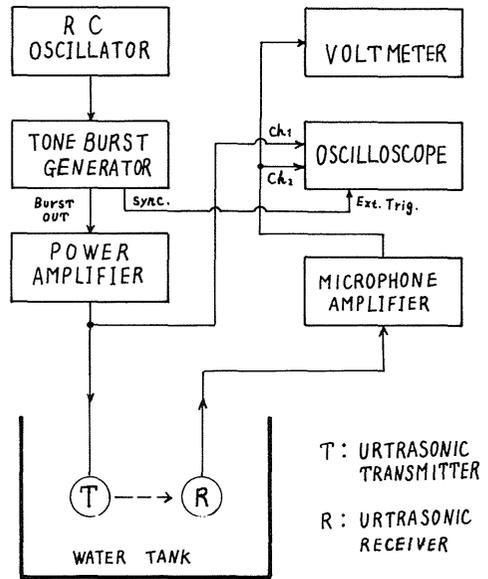


Fig. 6 Measurement Circuit.

トーンバーストジェネレーター

低周波発振器の出力からトーンバースト波を得るためのアダプターで、プリセットカウンターなどの論理素子とアナログスイッチ等で構成し、トーンバースト波のデューティを $1\sim 10^5$ の比で設定でき、 100 kHz 以下の信号をスイッチング比 50 dB 以上でON, OFFする性能の装置を試作し使用した。回路構成の概要を図7に示す。

送波器

フェライト製環状歪振動子を共振周波数以外の周波数で用いる。共振周波数約 42 kHz 、共振周波数での指向性実測値は図8に示す。

受波器

広帯域水中マイクロフォン(沖電気製)で無指向性、 $10\text{ kHz}\sim 100\text{ kHz}$ までの音場レスポンスは $\pm 3\text{ dB}$ 以内である。

その他の機器

低周波発振器, 電力増幅器, オシロスコープ等励振波数と受波音圧波形の例を図9, 図10, 図11に示す。(図中時間軸掃引速度は全て 0.2 ms/div. , チャンネル1は励振波形, チャンネル2は受波音圧波形またはその反射波部分の拡大である。)

図9は 20 kHz , 図10は 50 kHz の測定例を示す。図9の場合励振後の直接波の立下りの部分に送波器の共

振周波数の成分が含まれているが、この部分は実際の測定に使用していない。

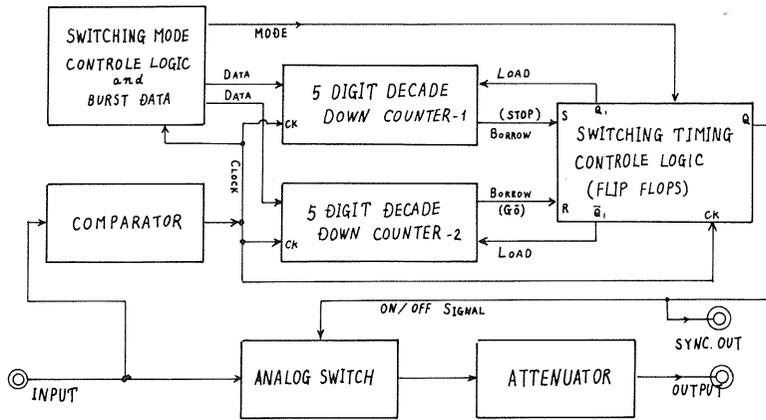


Fig. 7 Block diagram of Toneburst Generator.

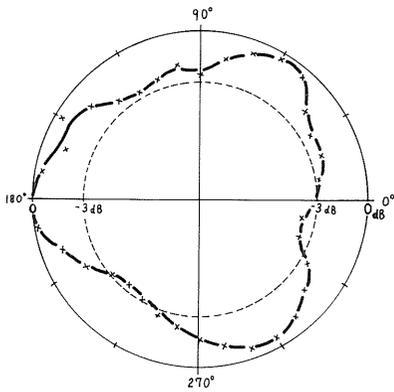


Fig. 8 Directional Pattern.

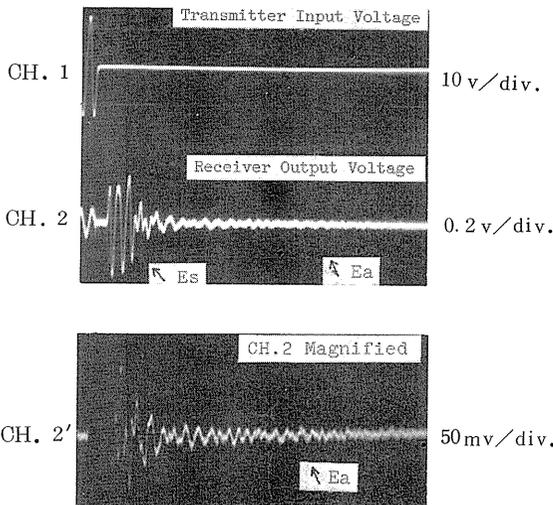


Fig. 9

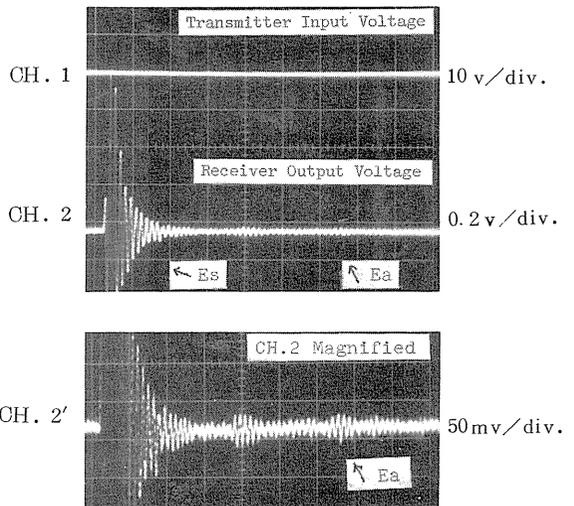


Fig. 10

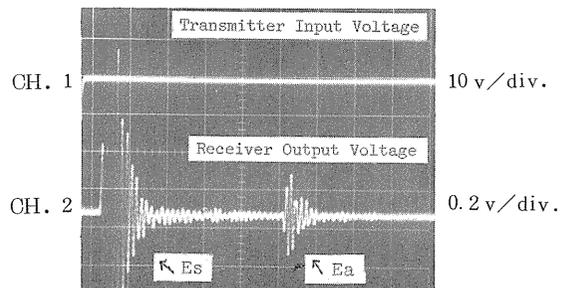


Fig. 11

図11はA点付近の吸音材を除去し水槽鋼板面を露出させ、50 kHzのトーンバースト波で測定したものである。水槽鋼板面の反射が強く認められる。この場合の実効反射率を後にのべる方法で算定するとほぼ1.0となる。

この写真より音圧は距離に逆比例するとしてつぎの方法により実効反射率を推定する。送波器より発射された音波の直接波による受波器の出力を E_s とすると、もし壁面の反射率が1であれば反射波による出力電圧 E_r は $E_r = r_1 E_s / (r_1 + 2r_2)$ となる。実際に受波される反射波の電圧が E_r' であれば、実効反射率は E_r' / E_r で求められる。このような方法で求めた実効反射率と周波数の関係は図12のようになる。

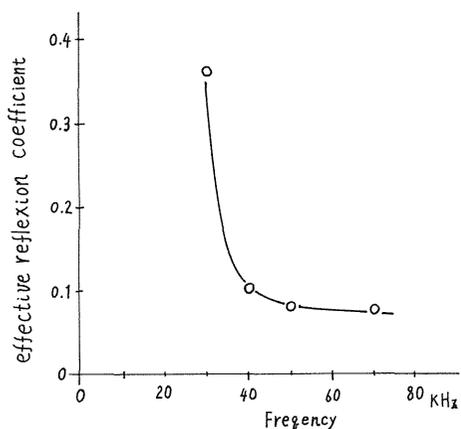


Fig. 12

3.2 測定2, つぎに送波器を一定周波数の連続波で励振しておき、受波器を次第に遠ざける。完全な無響水槽であれば受波音圧は送波器からの距離に反比例するはずである。種々の周波数で行なったこの実験結果をたて軸を受波音圧(相対値)、よこ軸を送・受波器間の距離 r_1 とし両対数方眼紙上に目盛れば図13のようになる。同図に示されているように測定値はほぼ直線上にプロットされる。

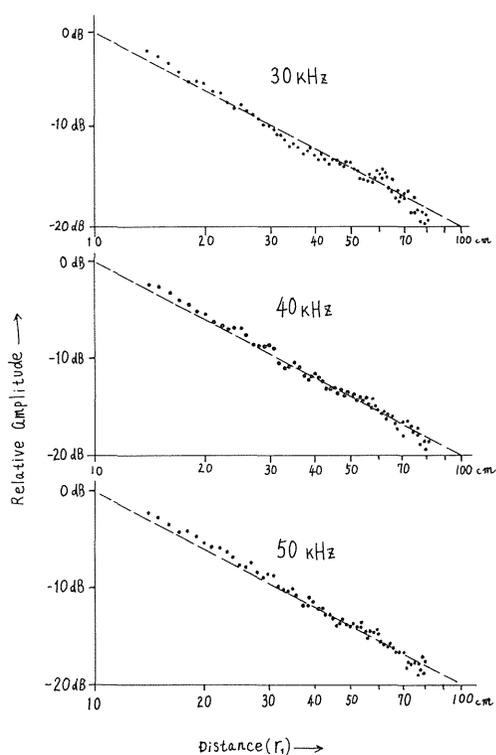


Fig. 13

4. あとがき

1. 85 m³の鋼製水槽内に松材のくさびを設けた水槽を試作、30 kHzから50 kHzの範囲でその特性の実測を行なった。実測を行なった範囲では十分実験に用いることができる無響特性を示すことがわかった。

参考文献

- 1) L. Bjorno and M. Kjeldgaard, A Wide Band Anechoic Water Tank, *Acustica*, Vol. 32(1975), 103
- 2) 実吉・畠中・矢吹・佐々木, 超音波に対する無反射水槽, *日本音響学会誌* 4-9 (昭31-11) 129