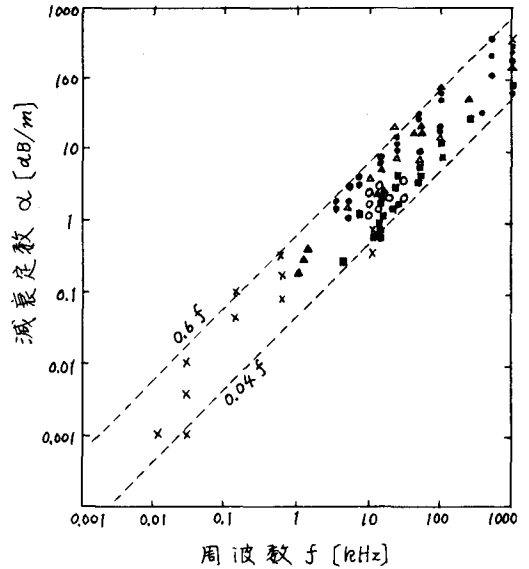


東工大精研 正員 奥島基良, 第四港湾建設局 宮田康弘, 沖電気工業(株) 宮沢 久

浅深などの海底の工事を実施する際に、前もって海底下の堆積層内の状況を調査しておくことは、工事の安全を確保するために重要なことである。この目的のために約4年間にわたって開発研究を実施し、超音波を用いて海底砂層内に埋設してある物体を映像化することに成功した。

1. 海底堆積層内の超音波の減衰

使用する超音波の波長は短いほど映像の分解能が高くなるが、堆積層内の超音波の減衰は一般に周波数とともに増加する。図1は、超音波の減衰定数の多数の測定値の集約で、減衰定数 α は周波数 f にほぼ比例して増加しており、 α [dB/m] = (0.04 ~ 0.6) × f [kHz] の範囲にほぼおさまっている。一般に、砂に比べて粘土・シルト層の方が減衰が小さい傾向にある。図中○印は、筆者らによる洞海湾埋立予定地における粘土及び礫まじりの砂層中の実海面における測定値で、 $\alpha \leq 0.3 f$ の程度である。筆者らは、海底下約4mまでの砂層中の探査を目的としたので、約15 kHzの超音波パルスを使用することとした。15 kHzに対しては α は5 dB/m以下の程度であり、砂層中4mを超音波が往復してもほぼ減衰は40 dB以下であり、実用可能と考えた。



- : 砂
- : 粘土-シルト, シルト-粘土
- ▲ : 各種サイズの混合(粘土まじり砂, 砂まじりシルト, 砂-シルト-粘土)
- × : 実海面測定
- : 筆者らによる測定

図1. 海底地質中の音波減衰定数

"Physics of Sound in Marine Sediments"
P.196より (Plenum, 1974)

2. 超音波送受波器アレーの凹面配置による分解能の向上

物体の映像を分解能よく表示するには、超音波ビームの幅をできるだけ細くすることが必要である。そこで、多数の送受波器を凹面上に配列することにより、焦点(凹面の曲率中心)付近でビーム幅を細くすることを考えた。周波数15 kHz、直径約2m、曲率半径5mの凹面形配置の送受波器アレーによる超音波ビーム幅(半値幅)は、距離3~5mの範囲で約35cm以内の程度、7mの距離でも約60cmであることが計算及び模型実験により確かめられた。これにより、海底面上約3mの距離で送受波器を水平方向に走査すれば、海底面下約2mの深度までを約35cmの分解能で、海底面下約4mまでを約60cm以下の程度の分解能で映像化できる見とおしを得た。

また、探査対象物体が広い平面状または長い円柱状の場合には、物体が傾斜しているとき、平面配置の送受波器を用いたときには、

図2(a)のように音波は鏡面反射し反射波を受信できず、物体の両端のみしか映像に現れないことが理論的に予測され、実験でもそのことが確かめられた。これに対し、凹面配置の送受波器を用いると、図2(b)のように物体の傾斜角 θ が、送受波器の開口角の1/2の ϕ より小さい範囲では、反射波の一部は必ず受波できるはずであ

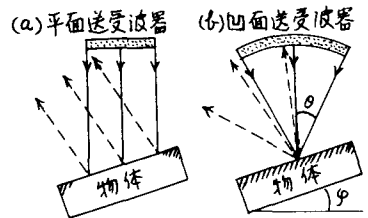


図2. 傾斜物体からの反射波

り、送受信器を凹面配置すると描写性能が向上することが考えられる。このことは実験により確かめられた。

さらに、堆積層内に礫が多数存在する場合には、礫の群からの反射波により目標とする物体からの反射波を見落すことが考えられる。礫群からの反射波の受信音圧は、超音波ビームの中に存在する礫の数の平方根に比例するはずであるので、凹面配置の送受信器を用いて超音波ビーム幅を細くすれば、この点も改善されることが理論的に予測されるが、また実験的には確認していない。

3. 映像装置の構成

製作した超音波映像装置のブロック図を図3に示す。超音波周波数は、模型実験では150 kHz、実際スケールの実験では15 kHzである。反射波の受信信号の振幅はスキャンコンバータに記憶されたのち呼び出され、振幅情報が4dBステップ、7段階のカラー信号に変換されてカラーブラウン管上に表示される。表示は、通常の測深機あるいは魚探機の記録と同様な垂直断面図、または一定深度付近を上方から眺めた図に相当する水平投影図のいずれかにできる。

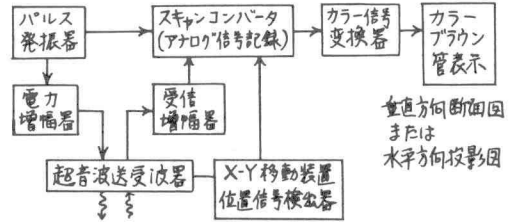


図3. 超音波映像装置のブロック図

4. 1/10縮小模型における実験

深さ約90cmの水槽の中に、約20cmの高さの砂を満した砂箱を沈め、種々の物体を砂層の上に置き、または砂層の中に埋めて実験を行った。図4は長さ164mm、直径47mmの鉄製円筒を砂面上に約10°傾けて置いた場合で、送受信器から物体までの距離は約50cmで凹面配置の送受信器の焦点距離にほぼ等しい。(a)は垂直断面図、(b)は距離50cmの付近の水平投影図で、物体の寸法にほぼ等しい大きさの映像が明瞭に得られた。

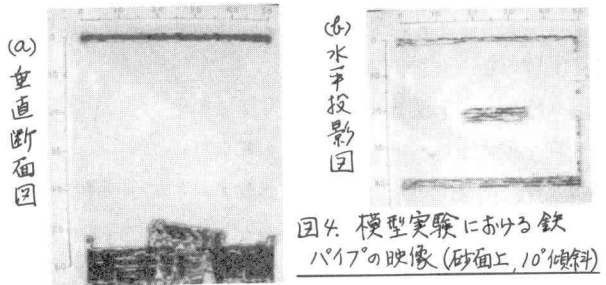


図4. 模型実験における鉄パイプの映像(砂面上、10°傾斜)

図5は、図4と同じ物体を砂層中に埋めた場合の映像で、垂直断面図(a)では砂層の表面と砂層の底の中間に物体の映像が明瞭に認められる。

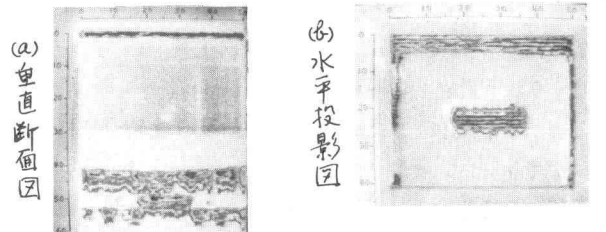


図5. 模型実験における鉄パイプの映像(砂層中)

5. 実際スケールの実験

運輸省第四港湾建設局のドックを使用し行われた。ドック内に長さ2m、4m平方の鉄製砂箱が沈められ、模型実験の場合と同様な実験を行った。使用した超音波送受信器アレーは、直径約1.3mの円内に31個の送受信器素子を、焦点距離が5mになるように凹面配列したものである。図6は、長さ150cm、直径50cmの鉄製円筒を砂中に埋設した場合の映像で、垂直断面図(a)、水平投影図(b)ともに物体の寸法とほぼ等しい大きさの映像が得られた。

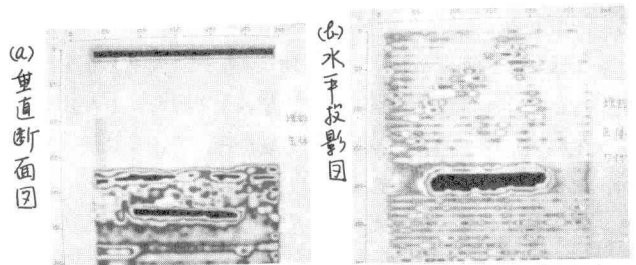


図6. 実際スケール実験における鉄円筒の映像(砂層中)

本研究は運輸省第四港湾建設局の磁気異常物回収船調査研究の一部として行われたもので、本研究開始に際して御指導御協力をいただいた運輸省港湾局機械課長工藤秀雄氏、第四港湾建設局技術次長内田哲郎氏、港湾技術研究所早乙女保二氏をはじめ、関係各位に感謝いたします。