

論文

[1053] 超音波画像によるコンクリート内部の欠陥検出

正会員 ○ 吹上紀夫 (船舶技術研究所 大阪支所)

正会員 津島 聡 (船舶技術研究所 大阪支所)

1. まえがき

鉄筋コンクリートやPC材を使った海洋構造物および沿岸構造物等において、打設硬化時の亀裂、内部空洞、塩害等による亀裂損傷は鉄筋の腐食など強度維持に必要な材料の破壊につながる。このような欠陥は構造物の信頼性を向上させるために、非破壊検査で確認する必要がある。これまで、コンクリートの超音波探傷は内部での散乱による減衰が大きいため殆ど使用されていなかった。しかし、構造物は透過探傷が出来ないものや欠陥等の深度の検出を必要とするものが多いため、従来よく利用されているX線よりも簡便で、かつ、安全性が高い超音波探傷の実用化が多方面で要望されるようになって来た。

当船研大阪支所では従来より、FRP複合材の超音波探傷を行ってきたが、この技術を応用してコンクリートの超音波探傷についても検討した〔1〕。本報はこれを更に発展させ、超音波による画像化を試みたものである。画像化する手順として、まず、コンクリートに対する超音波の伝播状況を把握し、最適周波数の選定と底面エコー、欠陥エコーおよび散乱エコーの相関関係を求め、これらのデータをもとにBスコープ(断面映像)画像化手法を試みた。そして、コンクリートのBスコープ画像化が十分可能である結果を得た。

表-1 使用材料の詳細

セメント	早強ポルトランドセメント (比重 3.13)
細骨材	川砂 (表乾比重 2.60, 吸水率 1.8%)
粗骨材	砕石 (最大径 20 mm, 表乾比重 2.68, 吸水率 1.2%)
混和剤	A E減水剤 (標準型)-ポゾリス NO.70

2. 試験体

試験に用いたモルタル及びコンクリートの使用材料を表-1に、配合等を表-2に示し、試験体の形状、寸法等を図-1~4に示す。図-1に示す試験体の板厚(t)及び横穴は打設後に切断し、適当な深さにドリルで横穴加工したものである。図-2及び3の横穴は打設時に入れたものであり、図-4の空洞は、厚さ3mmの発泡材を所定の大きさに切り、深さを4段階に変えて打設時挿入した。

表-2 モルタル及びコンクリートの配合

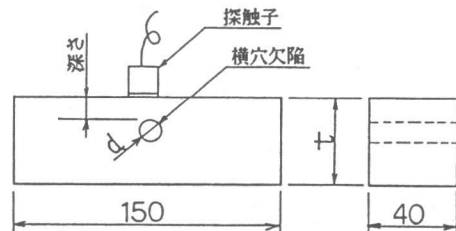
	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
			水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
モルタル	37.0	-	238	643	1285	-	1.61
コンクリート	37.0	50	162	437	874	917	1.09

3. 試験方法

3.1 モルタル及びコンクリートにおける

散乱エコーと横穴からの欠陥エコー

モルタル及びコンクリートの底面エコー高さや空洞、横穴等からの欠陥エコー高さの相関関係を求めるため、厚さ、深さ、径の異なる横穴をあけた図-1に示す試験体を用い、横穴、底



モルタル: t=10, 21, 31, 41, 54 mm  
d= 5, 10, 16, 20 mmφ

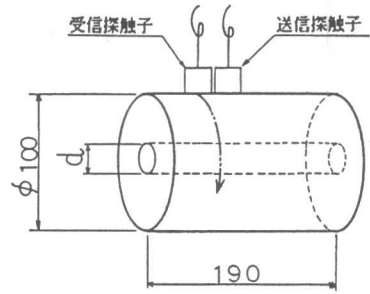
コンクリート: t=10, 21, 31, 41, 50mm  
d= 7, 10, 15, 19 mmφ

図-1 モルタル及びコンクリート試験体

面及び散乱エコーを測定する。探触子は1MHz 分割型を使用する。

### 3.2 モルタル内部の横穴による欠陥エコー分布

図-2に示す円筒形で中心に横穴の入った試験体を用い、入射側探触子を固定し、受信側探触子を円周方向に移動させ、表面から内部横穴へ超音波を入射したときの横穴からの反射分布を各角度について求める。



d=10, 20, 40mm

図-2 円筒試験材及び探傷法

### 3.3 画像探傷

画像探傷に使用する試験体は図-3に示す鉄筋又は横穴試験体と、図-4に示す空洞試験体で、試験体の上面をBスキャナーで走査する。製作した画像化システムについては次項で詳述する。

## 4. 画像化装置

### 4.1 画像化システムの構成

画像化システムの主な構成は図-5に示すように、Bスキャナー、走査信号処理器、超音波探傷器、画像処理装置及び画像処理ソフトからなる。また、探傷画像は通常探傷、複数探傷及びAスコープ探傷の3つのパターンが選択できるようにした。それぞれの仕様は次の通りである。

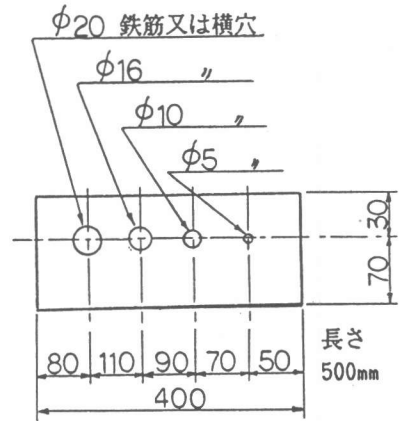


図-3 鉄筋又は横穴試験体

- (1) Bスキャナー：探傷試験体に応じて探触子を取り替えるられるようにし、かつ、軽量で小型にして、走査が容易に出来るように設計した。探触子は使用試験体の厚さを考慮して1MHzの広帯域型（市販品）を用いた。
- (2) 走査信号処理器：Bスキャナーから発信する走査信号の正負回転方向の修正と走査開始信号の発信を行う。
- (3) 超音波探傷器（FD-1800）：本報のような画像処理を目的に新しく開発された市販品であるが、これまでにない欠陥エコー追従機能を持っているため、コンクリートのような散乱エコーの多い材料に効果的であることが予測できたため使用した（本器の特性は省略）。
- (4) 画像処理装置（PC-9801-VX41）：20M バイトの固定ディスクを持った16ビットマイコンであり、画像処理ソフト及び探傷画像は固定ディスクにいられて使用するようにした。

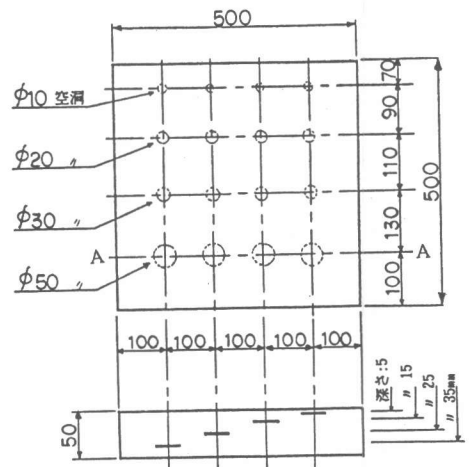


図-4 空洞試験体

#### 4.2 画像処理ソフトのフローチャート

画像処理の一例として通常探傷のフローチャートを図-6に示す。この他に複数探傷及びAスコープ探傷があるが、図-6とほぼ同形のため省略する。試験体の情報等及び各探傷画像を得るための定数は超音波伝播速度、走査距離、感度及びゲート位置等68項目を設定するようにした。

#### 4.3 探傷画像内容

探傷画像は通常探傷、複数探傷及びAスコープ探傷の3つのパターンが使用できるようにしたが、それらの概要は次の通りである。

- (1) 通常探傷：Bスキャナーから送信される各位置でのAスコープ信号について、ゲート内最初のエコー高さ(EH)、エコー深さ(ED)と走査位置を同期させ、これを1単位信号として処理し、画像化する方法である。探傷画像は散乱エコーと欠陥エコー等との判別が容易なように、高さEHに応じ、赤、橙、黄、水、青の5色で表示するようにした。
- (2) 複数探傷：通常探傷の1単位信号処理に対し7単位信号(複数)を用いて画像化するようにした。これは、本画像化装置に使用した超音波探傷器がエコー高さの順に検索(INTELLIGENT GATE)できるようになっているためである。図-7はその原理を説明するもので(遅延材付き探触子使用の場合)、ゲート内の最も高いEHから検索するようになっている。又、探傷画像は通常探傷と同様、5色で表示するようにした。
- (3) Aスコープ探傷：超音波探傷器のCRTに表示されるAスコープ波形を、参考として保存できるようにするために持たせた機能である。

### 5. 実験結果および考察

#### 5.1 モルタル及びコンクリートにおける

散乱エコーと横穴からの欠陥エコー

図-8はモルタルの厚さを変化させた場合の底面エコーと細骨材からの散乱エコー及び内部横穴からの欠陥エコーとの関係を示したものである。図より、散乱エコー高さ以上の欠陥エコーが検出された場合に、内部欠陥が検出されることになる。モルタル試験体の細骨材の最大

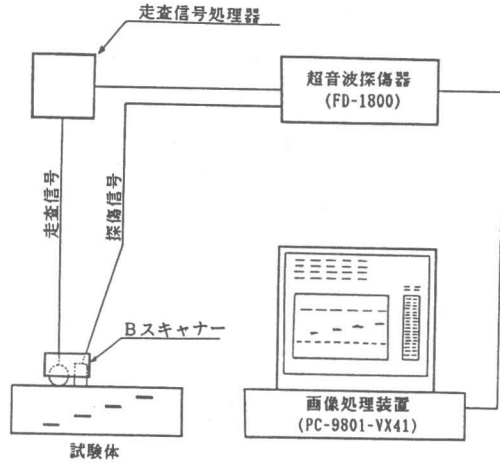


図-5 画像化システム概要図

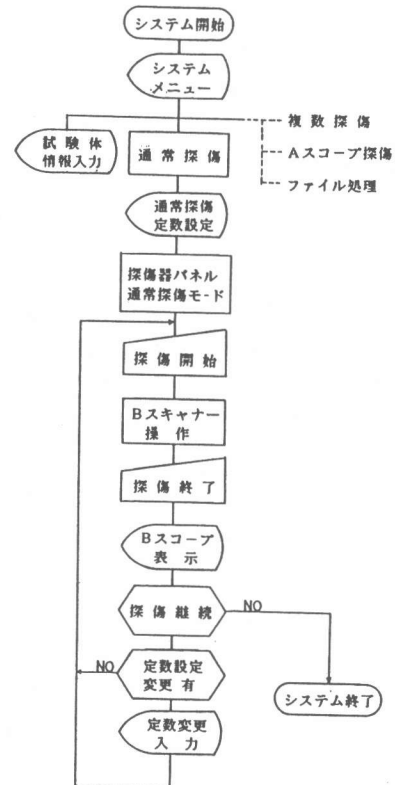


図-6 通常探傷の画像化フローチャート例

径は約5mmであるが、粒径が大きくなると散乱エコーレベルが大きくなり、反対に底面エコーが減少するため、欠陥エコーの検出が困難となる。使用した1MHzの探触子では、深さ27mmにある径5mmの横穴又は鉄筋の検出が限界のようである。

図-9はモルタル試験体と同要領で求めたコンクリートの探傷結果である。コンクリートの粗骨材は最大径が20mmのため、底面エコーと散乱エコーの差が更に小さくなり、欠陥エコーの検出が困難であった。又、周波数1MHzでは、かぶり深さ25mmで径15mmの横穴が限界であった。なお、モルタル、コンクリート共に、同径の鉄筋と横穴との欠陥エコーの差は殆ど認められなかった。

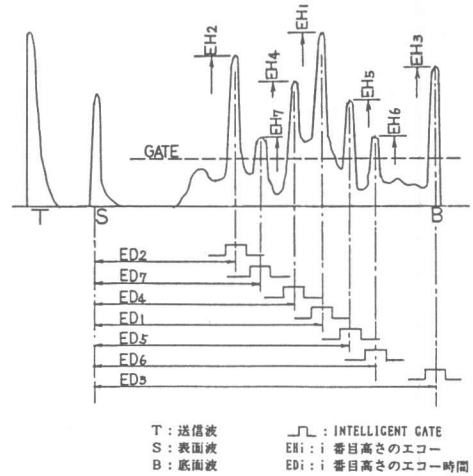


図-7 複数探傷波形処理概要図

### 5.2 モルタル内部の横穴による

#### 欠陥エコー分布

図-10は横穴径がφ10、φ20、φ40mmの円筒試験体を、1MHzの探触子2個で測定した欠陥エコー分布図である。横穴径がφ10とφ20では、大きな差は認められず、裏側への通過量が多く認められた。このような場合には裏側の欠陥や底面のエコーが検出可能となる。φ40では、後方への通過音波が極端に少なくなった。このような場合は裏側の欠陥エコー等の検出は不可能となる。

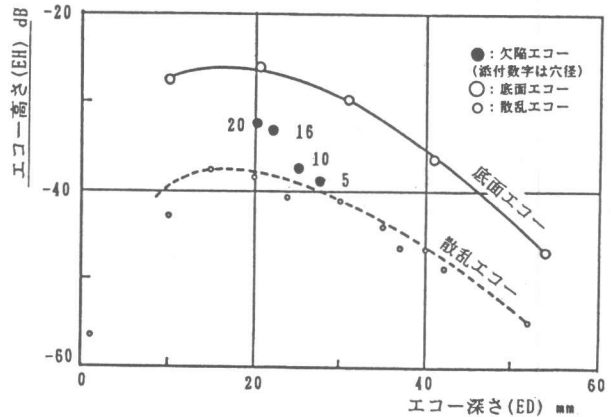


図-8 モルタルの底面エコー、欠陥エコー及び散乱エコーの相関関係

### 5.3 通常探傷及び複数探傷

図-11~13は通常探傷及び複数探傷による探傷画像(Bスコープ)例である。図-11に示す通常探傷では最初のEHを検出して表示するため空洞(欠陥)の下にある欠陥や底面が表示できない画像となった。図-12に示す複数探傷では処理する信号が多いため、空洞の下にある欠陥や底面が表示可能となった。又、図-13では板厚が大きく底面エコーレベルが低いため、散乱エコーの中に入ってしまい、

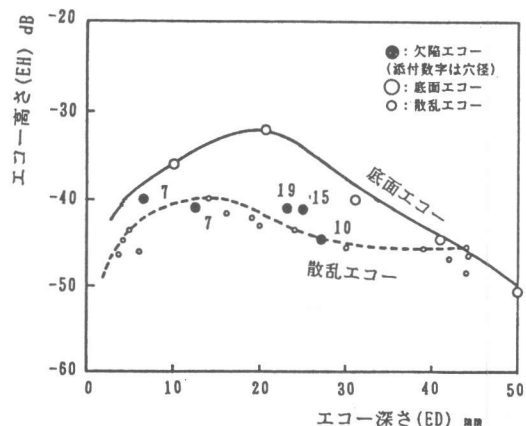


図-9 コンクリートの底面エコー欠陥エコー及び散乱エコーの相関関係

底面の表示が出来ない部分もあった。この問題については超音波の周波数を下げるなどの対策が必要で、今後、検討して行く予定である。

なお、図-11~13は1色で印字したため、エコー高さによる色分け状態が認識できないが、CRT上では各探傷画像の右側にEHの高さに応じ5色で表示しているため、更に、欠陥（横穴）の判読が容易であった。

#### 5.4 Aスコープ探傷

図-14は横穴試験体のAスコープ波形例である。Aスコープによる欠陥エコー等の検出は超音波探傷器のCRTでリアルタイムにでき、画像装置を使用するまでもないが、欠陥、底面エコー、散乱エコー及びゲートレベル等、画像化に必要な条件設定を決めた元の探傷波形を保存する上で有効であった。

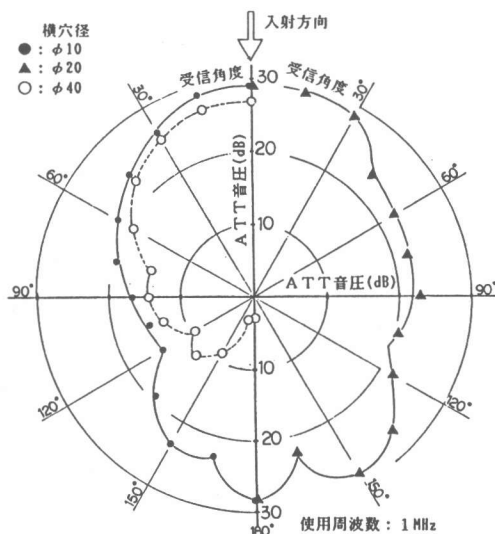


図-10  
モルタル内部の横穴による反射分布

図-11 通常探傷画像化例  
(図-4 空洞試験体 A-A断面)

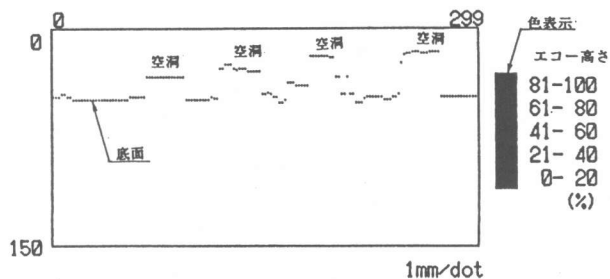


図-12 複数探傷画像化例  
(図-4 空洞試験体 A-A断面)

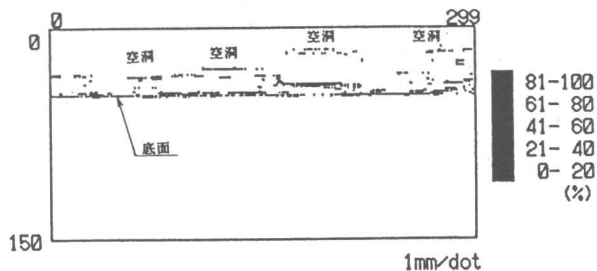


図-13 複数探傷画像化例  
(図-3 横穴試験体)

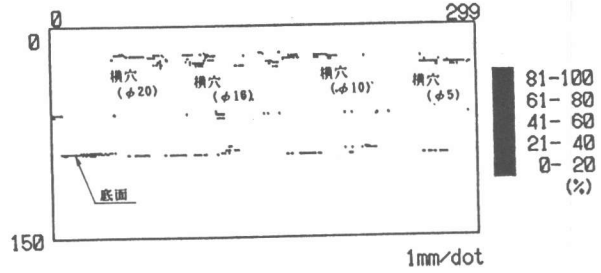
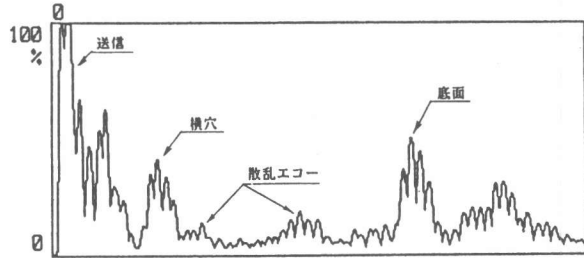


図-14 Aスコープ画像化例  
(図-3 横穴試験体)



## 7. あとがき

コンクリートやFRPのように異質材の複合によって構成される材料は、金属のように均質材でないため超音波の散乱エコーが激しく、欠陥エコーの検出が難しい。しかし、検出する欠陥エコーレベル等を基礎試験で把握し、画像化に適する定数を設定することと、ゲート内のエコーレベルを色分けして判定するような手法を用いれば、コンクリートのような材料でも十分画像探傷が可能である結果を得た。又、本報では、画像探傷の可能性を検討する段階であったため、比較的小さな試験体を用いたが、今後は、更に大きな試験体あるいは構造体の画像探傷を目的として、もっと低い周波数の利用を検討する予定である。そして、海洋構造物だけでなく、陸上の構造物についてもこの画像探傷を試み、この手法の能力を確認したいと考えている。

【謝辞】本画像探傷を実施するにあたり多大のご協力を戴いたダイヤ電子応用(株)及び大阪セメント(株)中央研究所の方々に感謝の意を表します。

【参考文献】1)津島、吹上:PC材の超音波探傷、船舶技術研究所研究発表会講演集、1988、pp.44-47