Japan Concrete Institute

[77]　横波超音波による非破壊検査

正会員　秋鹿為之（株・共栄技研・技術開発部）

1.　まえがき

コンクリートの非破壊検査法は以前から超音波が使われてきた。超音波は金属探傷や医学診断にみられるように対象物の材質にあまり関係なく片面からの反射探査で固体内部をさぐれることが特徴である。しかしコンクリートについては測定法が確立されておらず、材質診断や強度推定などができる非破壊検査法を早期に確立することが望まれているのが現状である。そこでコンクリートに対する超音波測定法を再検討し、コンクリートの非破壊検査に適用することについてある程度の見通しを得るに至ったのでこゝに紹介する。

2.　横波超音波測定法

コンクリートに従来使われている超音波は金属探傷器を基本としており単に使用周波数をコンクリート探査に合せた形にしている。例えばもっとも多く使われている５０ＫＨｚは金属の約１００分の１の周波数で振動子の厚さは１００倍近くになっている。振動子がこのように厚くなると振動が定常に達するまでや逆に停止するまでの時間が著しく大きくなる。このため伝わる波動は大変幅の広いものになってしまう。一方伝播速度は４０００ｍ／Ｓ前後と金属並なので波長は８㎝前後となって幅広い波動と重なって骨材分離や剪断クラックのように空隙の小さい欠陥があっても通過してしまう。このような不都合は縦波を使用しているためである。縦波は密度変動の波で波の進行と密度の変化が同一方向の性質をもっている。この縦波を振動子で発生させるのは厚さがピストン運動のように変化する形のものを使う。このときエネルギ伝達を能率よく安定にするには振動子のピストン運動が対象物表面に均一に作用する必要がある。しかしコンクリート表面は多くの場合多少共おうとつがあるのでグリスをつける。ところが厚さの違うグリス層を振動子でゆさぶるので表面振動を強調する。これらが原因となってコンクリートの非破壊検査が金属並にできない理由となっている。そこで縦波にかわって固体独特の波動である横波を利用した。横波は形の変化が伝わる波動で進行方向と分子の変動が直角になること、伝播速度が縦波の半分前後になる所が違う。横波は形状変化の波なので非接合部や空隙の不連続部分があると敏感に反応する。

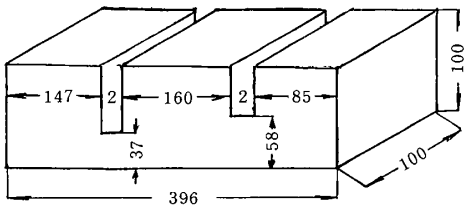
これは面積で波長に関係するが厚さ方向には影響しない。横波を発生する振動子も縦波と違って周波数に関係なく数㎜の薄いものである。この振動子に適当な電気信号を加えると縦波成分をある程度含んだ色々な周波数の複合波動が発生できる。その上大変幅のせまい波動となるので加える主な周波数を可聴音域にすることもできコンクリートのように複雑な材質や表面状態でも金属と同じような反射探査をはじめ必要とする色々な非破壊検査が適用できる。この中縦波と大きく違う点はグリスのような接触媒質が不要なことで測定作業上にも非常に都合がよい。

3.　実　測　例

3.1　切溝付供試体測定例

写真－１および図－１に示す切込溝付供試体で縦波と横波の透過比較、横波の反射探査例を示す。縦波はこれまでの５

写真－１　供試体

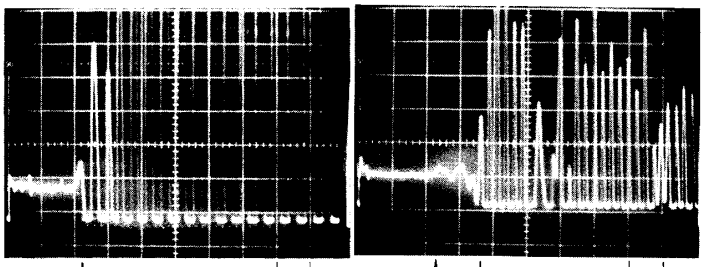


図－１　切溝付供試体

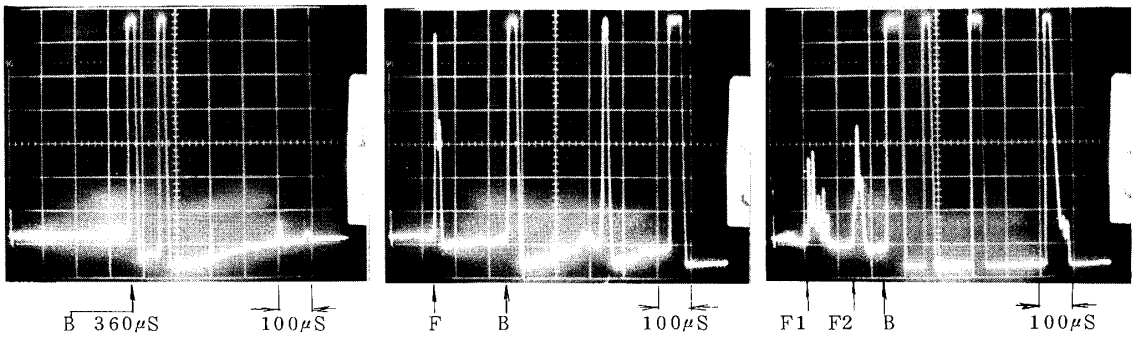
NII-Electronic Library Service

Japan Concrete Institute

0KHz 厚み形振動子で水を表面に つけ接触媒質とする。横波は透過法に30KHz、反射探査に7KHzを使用した。たゞ振動子はどちらも共通でたゞ送信周波数だけをスイッチ切替している。振動子は外径30φである。写真－2は縦波透過で伝播速度約3600m／S写真－3は横波透過で約2200m／Sの速度を示した。横波測定は表面に接触媒質をつけていないが僅かに縦波がでている。表面を水でぬらすと縦波成分が強調され鮮明な波形があらわれる。写真－4は切込みをはずれた所、写真－5は手前の切溝部、写真－6は二つの切込溝を求めて夫々反射探査したものである。夫々の写真でB表示は反対面反射を、F表示は溝反射を示す。Bの所要時間から伝播速度を算出すると2200m／Sとなり明らかに反対面反射であることが確認される。



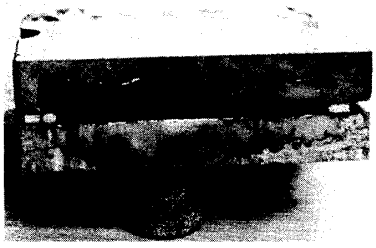
写真－2　縦波透過　　写真－3　横波透過

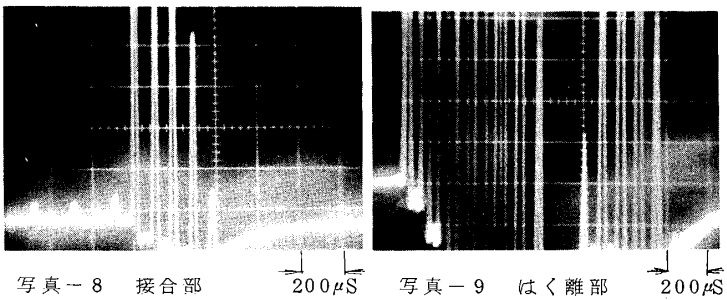


写真－4 無欠陥反射　　写真－5　切溝部反射　　写真－6　二つの切溝反射

3.2　空隙はく離部薬液注入補修の確認

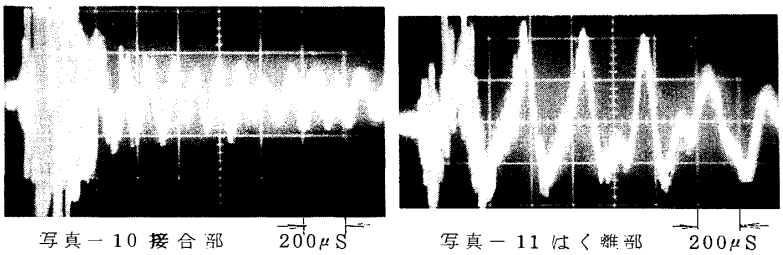
構造物に介在する空隙やクラックに樹脂やモルタルの注入補修が行なわれるが、この確認がとられていないため補修効果がわかならい結果がしばしばみられる。そこでこの確認に二つの方法を試みた。写真－7は使用した供試体で厚さ3㎝、各辺30㎝板を約0.5㎝の隙間にして2/3程を接着し其他を空隙とした。これをまず反射法で測定すると接合良好部は写真－8のようにはく離部は写真－9のようになる。反射法ではこのように明確を識別ができるが広範囲を対象とした場合測点の設定が問題になることや小さい気泡までも過大評価することがある。


写真－7　薬液注入供試体



写真－8　接合部　　写真－9　はく離部

そこで簡易測定法として周波数法を使う。これは送受二つの振動子を使い同一面上で対象物厚さの数倍以上に保つもので波動経路中に厚さ変動部分があると周波数が大きく変動する。これは各種の周波を含んだ波動を加え密実コンクリートでは高域波動に、空隙のある部



写真－10 接合部　　写真－11 はく離部

NII-Electronic Library Service

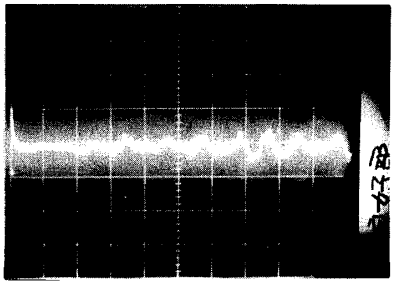
Japan Concrete Institute

分では低周波が強調するようにしたものである。この周波変化量と空隙大きさをあらかじめ基準化しておけば空隙や接合不良の評価が簡単にできる。

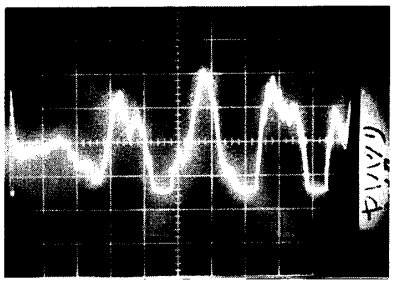
3.3 増厚接合部の接合測定

道路橋梁の床版で劣化した材質を補修するため増厚工法が行なわれる。この場合接合良否が補修効果に大きく影響するがこの増厚接合の良否判定に共鳴法を利用した。共鳴法とは数KHzから10KHzの可聴音域に属する波動を利用して空隙部の大きさに比例した共鳴波動を受信するもので波動振幅で結果を判断する。この方法はある程度以上の大きさの空隙で反応するので過大評価がさけられる上に測定時間がきわめて僅かなので大変能率的である。写真－12は数種類の増厚供試体と共鳴法で測定分類したものである。また測定結果は写真－13より15に示す。順に接合良好部、やゝはく離、はく離範囲の大きいものの状況を示す。

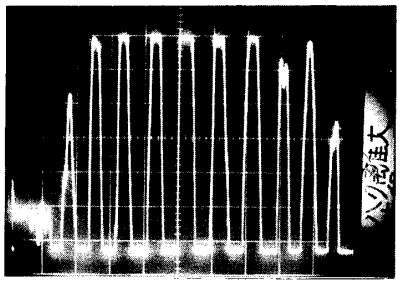
写真－12 増厚供試体



写真－13 接合部



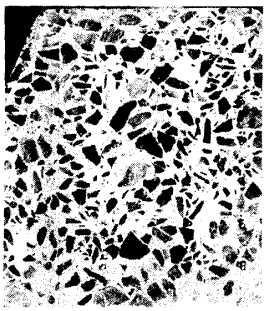
写真－14 やゝはく離



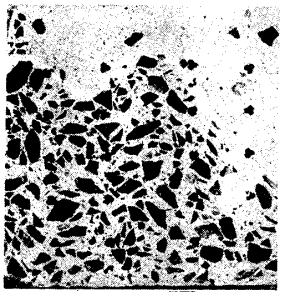
写真－15 はく離大

3.4 骨材のかたより検出

コンクリート単一製品で砂利とセメントが一様に分布するよう配慮され製作されるが、水セメント配合やバイブレタのかけ方などで砂利とセメントが分離して偏ってしまうことがある。製品用途によつてはこのような材質の場合機能に支障をきたしたり、将来耐久性にに影響するかもしれない。このような製造工程中に生じる材料分離は横波反射法でかなり鮮明に検出できる。

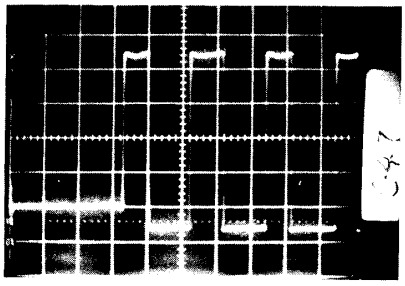


写真－16 正常コンクリート

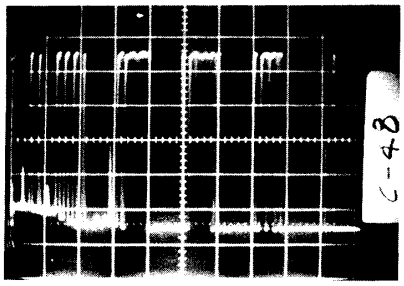


写真－17 骨材分離コンクリート

写真－16と同－17は正常コンクリートと骨材分離コンクリートを反射探査した。写真－18、同－19はこの結果である。これは横波が固体にだけ伝わる波動で僅かのはく離部や密度変化部分でも形状弾性変化として敏感に反応することを示す。こゝで使っている周波数は10KHzだが15KHzや20KHzと高くなると中間反射が著しく増加する。これは砂利とモルタルの異物相互に生じる反射のためで更に縦波波長の半分の波長なので縦波換算すると倍の周波に相当する上異物検出能力が高いためである。そこで



写真－18 写真16の反射波



写真－19 写真17の反射波

NII-Electronic Library Service

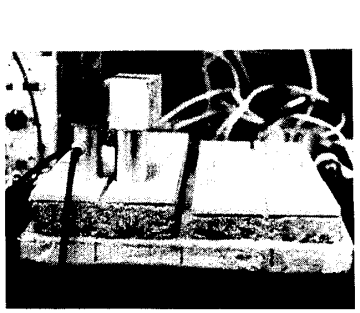
Japan Concrete Institute

必要に応じた材質評価をするためには適当した使用周波数の選定を行なう。このような骨材分離の場合も含めて問題とする異常部分を検出するのは大体５ＫＨｚから１０ＫＨｚ前後の可聴音域に属する程度がもっとも実際的と考えられる。

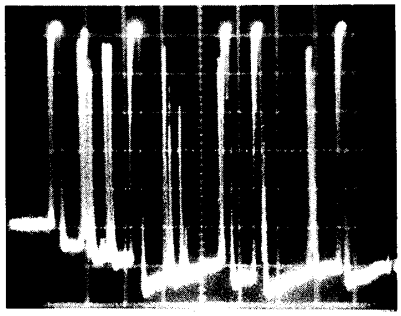
3.5　化粧タイル、モタル、コンクリートの接合測定

化粧タイルにモルタル、コンクリートと積層している構造で夫々の境界部に空隙が介在している場合の測定を試みた。

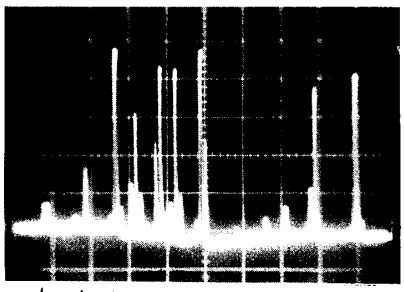
写真－２０は供試体でタイル厚８㎜、モルタル３２㎜、コンクリート２５㎜合計６５㎜の積層材である。これを周波数１５ＫＨｚで測定した。写真－２１は透過法波形、写真－２２は反射波形で夫々良好部を示す。こゝでＦ１、Ｆ２が夫々タイルモルタル間、モルタルコンクリート間境界とみられＢが反対面反射とみられる。Ｂが透過波Ｒの二倍以上の時間を要しているのは境界で若干の空隙があるためと考えられ、この影響がＦ２で表わされている。写真－２３は夫々の境界部に人工的な空隙を設けた所の反射波Ｆ１、Ｆ２が大きく検出されている。低周波横波反射法はこのように振動子をあてるだけで測定可能でこの点大変都合がよいが、やゝもすると結果の過大評価するおそれがある。このような場合は共鳴法など別の方法を併用すると結果の解析が容易になると思われる。



写真－２０　積層供試体

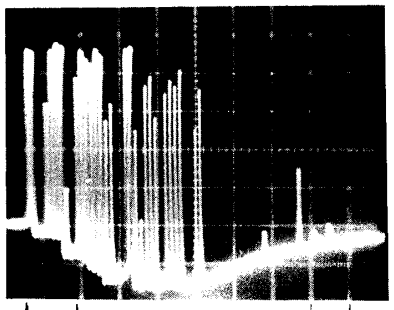


Ｒ　写真－２１　透過測定



写真－２２

Ｆ１　Ｆ２　Ｂ



写真－２３

Ｆ１　Ｆ２　0.1 mS

4.　結　　論

以上横波超音波によるコンクリート非破壊検査法の可能性についてのべた。この方法はコンクリートの非破壊診断法としてこれまでの縦波による超音波法よりは測定情報量が多く内部診断に利用できる範囲が広い。また超音波法の特徴である振動子を利用して自動的に波動変換できることや反復測定が簡単な点は測定診断の自動化やコンピュータによるグラフイック表示などの応用が容易である。今後学識者、使用者の助言を受け現場向き簡易形で定量的解析が可能な装置として改良発展を図りたいと考えている。

NII-Electronic Library Service