

[6] 衝撃弾性波法による構造体コンクリートの非破壊検査法

正会員 秋鹿為之(共栄技研技術開発部)

1. まえがき

現在コンクリートの非破壊検査法としては超音波法やシュミットハンマ法が使われているが、構造体内部の材質状況を検知することは困難である。このため鉄筋との接合や床版、壁、柱、トンネル巻厚背面の空隙検知などドリル開孔の破壊的な方法によっている。このため事後の処置も含めて色々と不都合を生じることが多い。このため非破壊検査の実用が以前から望まれ広く研究されていたが超音波による反射測定は非常に困難でいまだに現場向き実用化がなされていないのが現状である。それで超音波に代る方法として衝撃弾性波法を開発し数年にわたり各種土木現場での実用化実験を行なってきた。^{①②} その結果任意の構造体に対し十分な非破壊検査が実施できるようになった。ここにいくつかの実測例を報告する。

2. 衝撃弾性波の測定法

衝撃弾性波法はコンクリートをはじめ任意の固体表面にハンマ打撃による機械的衝撃を加えて弾性波動を発生する打撃法の一つである。固体表面にハンマ打撃のような瞬間的な衝撃を加えると材質の状態によって金属的な澄んだ音や低い濁った音が空气中に反響する。この反響を利用した打音法は手軽な非破壊検査法として古くから使われており反響する音は材質や形状でさまる特有の音色をもっている。これは衝撃で発生する弾性波動が単一周波数の波動ではなくたくさんの成分をもった合成波動であり反響音が音質変化するのは特定の周波数成分が固体の固有振動に共鳴して強調されるためである。固体の固有振動は無数に存在し高調波という高域成分を夫々もっており衝撃によってこれらが一度に刺激されて合成波動となり空气中にも複雑な反響音が伝わる。ことに高域成分がよく発生するものはコンクリートや金属のように硬質で密度の高いもので、これに微小面積の衝撃が加わった場合である。高密度の材質は衝撃の反撥力が大きいので深部方向に大きな振動エネルギーが発生し、固有振動を著しく刺激するので超音波領域に属する高い周波数の波動もよく発生する。超音波の高域波動は超音波特有の性質から一方向に集束する上小さい異物に対しても敏感に反応する。一方この高域波動は低域波動に含まれている上機械的な波動発生なので表面が平坦である必要はなくあまり関係しない。そして介在異物での反射も異物の大きさに比例するので一部の高域波が反射しても他は低域波に含まれて進行し次々に異物反射を生じる。このような複合波動は通常の超音波法と大きく違う所でこの複合波動により複雑な組織の材質にもよく伝わる。そこで対象物や測定範囲、目的に合せて適当な高域波動を選択抽出受信すれば簡単に任意の対象物の反射測定が可能となる。たゞ機械的な単発衝撃なので安定した測定とするため特別な配慮が必要で、まず衝撃による波動発生時刻を適確にとらえること、反射波だけを受信することである。衝撃による波動発生は衝撃時刻ではなく対象物表面が圧縮されついで反撥する時点である。従ってハンマに衝撃検知器をつけるのは不適當で対象物表面で状態変化を検出しなければならない。また反射波受信は表面振動に妨害されないで高域波動に高感度の受信子が必要とする。

それで衝撃や受信のセンサはこれらの目的に合った変換素子を使う。衝撃センサは数KHz以上の周波数に高感度特性をもったものを使用、周囲雑音で誤動作しないようにする。また受信センサは対象物の状況に応じて数KHzから数100KHzの波動に高感度特性をもつ超音波素子を使用する。そして衝撃と受信センサで検出した波動は弾性波受信器で波動発生信号への変換と任意の反射波信号を抽出増幅してブラウン管で観測する。たゞ単発現象測定のため波形記憶装置を使う。この構成は図-1に示す。

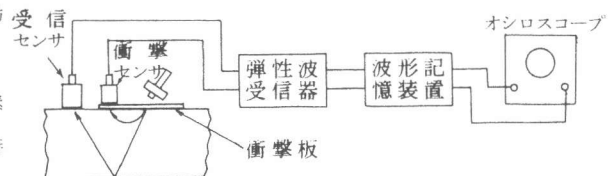


図-1 衝撃弾性波測定装置の構成

3. 測定結果例

3.1 速度測定による材質判定

衝撃弾性波法は任意の構造体で縦波反射法が行なえることと、長尺物の横波測定ができる特徴がある。まだ横波は透過法に限られるが、数mまで適用できる。こゝにある構造物で行なった材質調査結果についてのべる。測定法は図-2に示すように縦波透過法、反射法、鉄ブロックのすべりによる横波法がある。横波法はコンクリート表面に鉄片をおしつけて側面に衝撃印加してすべり振動で横波を伝播させる。

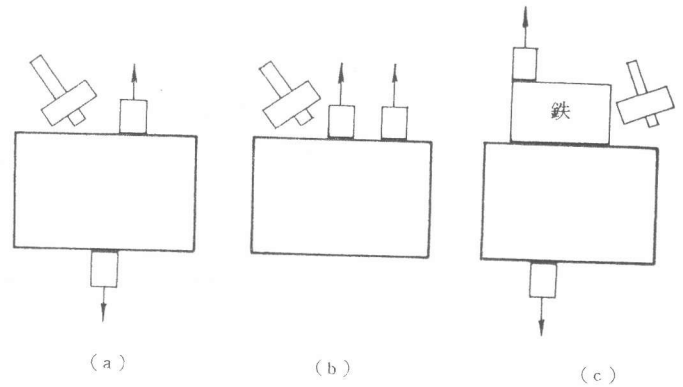


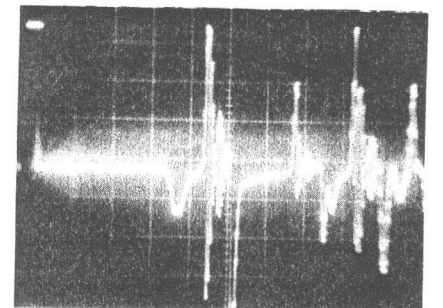
図-2 測定法の種類

表-1 速度測定結果

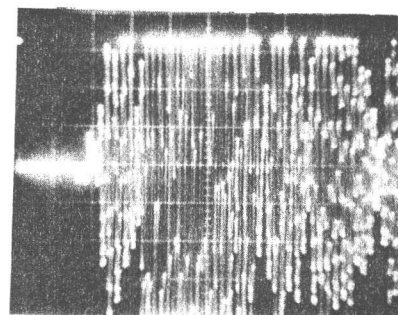
測定 種類	超音波		弾性波長さ方向	
	長さ縦波	幅横波	縦波	横波
№1	3300	1200	3400	1400
№2	3300	1700	3400	1800
№3	3300	2000	2800	2200
№4	3000	1900	2700	1800
№5	2600	1600	2600	1700

単位 m/S

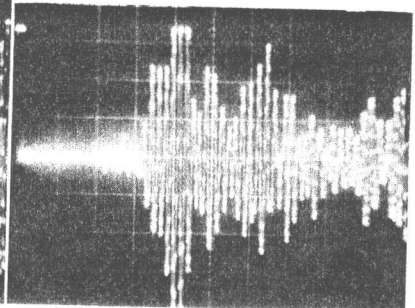
この方法で重量数十トン水槽タンクコンクリート台の材質調査をした例を示す。この台は高さ500、幅300、長さ2.5mの大きさが約1m間隔で建物床版に数本設けられたもので地震対策上から材質調査を目的とした。測定は超音波を併用して衝撃弾性波法と共に縦波、横波の速度を求めて材質判定をしたが、その結果の一部を表-1に示す。材質判定には普通縦波速度がよく使われるが、これまでの経験から縦波速度だけでは不十分で材質評価には適当でないと考えられる。これは数種類の供試体圧縮試験で圧縮前と後の速度が殆んど変化しないことを得たことによる。これは縦波が密度変化の波である上、圧縮で生じた微小クラックに比べて波長が長いことで当然であるが材質劣化が微小クラック集団の場合は検出できないことになる。一方横波は形状弾性にもとづく波動として固体だけのものなので充分強度を代表できると考えられる。これは供試体や抜取コア圧縮前や正常部コアが2200m/S前後を示したのに対し圧縮後や火災部コアが1000m/S前後の速度に低下していることから裏付けられる。しかし超音波法では目下300mm前後が限度でしかもかなり制約がある。そこで衝撃弾性波による横波法を適用した。写真-1はこの測定例で(a)は縦波透過法、(b)、(c)は横波法である。何れも左端が衝撃時刻で受信周波数は縦波が100KHz、横波は30KHzである。超音波の場合鉄筋や銅板が圧着していると場所によってこれらの影響で速度値が大きくなったり、立上りが不明確になるが、衝撃弾性波法では波の立上りが鮮明になる。このタンクの場合横波速度が一方の台にかなり低下して観測され、重量が平均していない



(a)縦波法



(b) 速度約2200m/S



(c) 速度約1500m/S

写真-1 波動速度測定

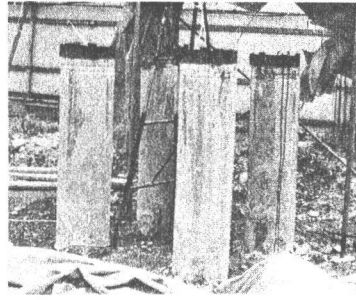
ことをうかがわせ材質が他に比較して劣化していると考えられた。

3.2 打込みコンクリートくいの長さ測定

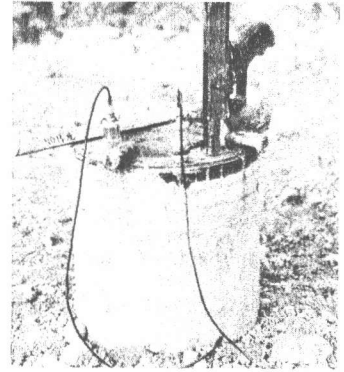
打込みくいの打込後の長さや材質状況は其後に形成される構造物の構成に大きな影響をおよぼす。従って設計通りの施工になっているかどうかの確認は大変重要なものである。

しかしこの非破壊測定は適当なものがなかったが衝撃弾性波法でかなりの程度まで可能となった。以下現場実測例をあげる。

写真-2に示すようなPCくいの打込み長さをくい頭部から反射法で行なった。鉄砲状のものは衝撃機で微小鉄片が垂直にコンクリート表面に衝突するようになっている。左側に衝撃および反射波受信センサがある。このくいは騒音防止上事前にアースドリルで開孔しセメント注入で打込まれ先端が支持層に接合することが特色といわれている。このくいの地上における縦波透過速度は 4200 m/S と測定されかなりち密な材質とみられる。けれどもこの中空くいのように肉厚に比べ著しく長いものが地中で側面拘束されると伝播速度が著しく低下し 2200 m/S 前後になることを経験的に求めている。こゝでは平均速度 2200 m/S で長さを算出、逆に打込み前の長さから速度を求め折損や材質変化の状況を検出した。その一部を表-2に、測定波形例を写真-3に示す。底面反射波は夫々画面中央付近に出ているもので左端が衝撃時刻そして鉄筋反射や側圧反射が続いている。これが終息した後底面反射がある。この中No.1のように底面波が先鋭で所要時間も平均に近いものは正常とみられるが、No.2やNo.4のように所要時間が著しく短かく、算出速度の大きいものは途中で折損している疑いがきわめて大きい。ことにNo.2は中央と右に二つの波があることはクラックのためとみられる。またNo.3やNo.6のように底面反射波が得られてはいるが、所要時間が著しくかかっているものはNo.6にみられるように左側にでている中間反射波が著しく打込み時の影響で鉄筋ハク離などの障害があるため、更に底面波の幅が大きいのは底部で空隙が発生しているとみられる。



(a)

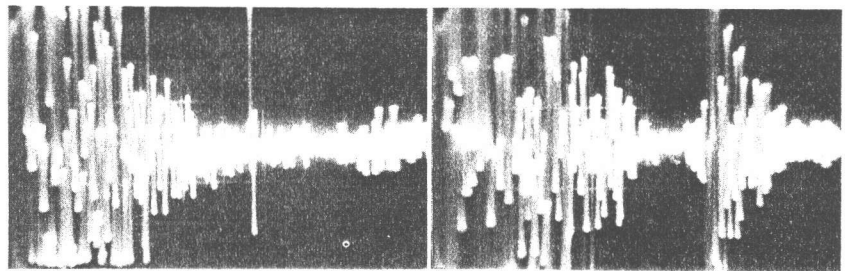


(b)

写真-2 くい長測定

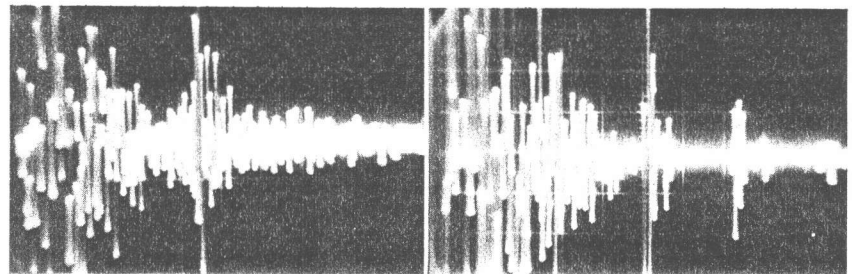
表-2 音速推定長さと算出速度

測定 No.	底面反射 時間 (mS)	算 出 長さ (m)	打設時 長さ (m)	算 出 速度 (m/S)
1	1 1.2	1 2.3	1 2	2.1 4 0
2	1 0.0	1 1.0	1 2	2.4 0 0
3	1 4.4	1 5.8	1 2	1.6 6 0
4	8.8	9.7	1 3	2.9 5 0
5	1 1.6	1 2.7	1 2	2.0 7 0
6	1 2.8	1 4.1	1 2	1.9 0 0



(a) No.1 くい

(b) No.6 くい



(c) No.4 くい

(d) No.2 くい

写真-3 測定結果例

いものは途中で折損している疑いがきわめて大きい。ことにNo.2は中央と右に二つの波があることはクラックのためとみられる。またNo.3やNo.6のように底面反射波が得られてはいるが、所要時間が著しくかかっているものはNo.6にみられるように左側にでている中間反射波が著しく打込み時の影響で鉄筋ハク離などの障害があるため、更に底面波の幅が大きいのは底部で空隙が発生しているとみられる。

3.3 樹脂注入補修材の測定例

クラックや空隙の補修に樹脂注入が一般化している。しかし補修範囲を適確に把握することは困難なため外観から推察することとゞまり不都合を生じる場合がある。ある建物の柱打継部の空隙に注入が行なわれた後状況調査をした。写真-4は測定結果の一例でaは柱下部良好部の水平反射で左立下りは鉄筋の中央は対面の反射を表している。この伝播速度は 3800 m/S で他も透過、反射共類似した形で打設が良好なことを示した。一方打継部は多くの所でbの状態となり注入が不十分なことを示した。しかしこの周囲は樹脂硬化しており再注入は不可能となって結局大幅に開口することになり注入は全て無駄となってしまった。

写真-5は別な建物の柱の例で地震被災クラックに樹脂注入したものを超音波透過

法と衝撃弾性波反射法で同一場所を対比したものである。

aは超音波で三つの種類の波が観測される。ブラウン管の場合どれをとつてよいか困るが、デジタル表示では感度によってイカロを指示し良好またははゞ良と判断してしまう。しかし反射波形はbのように鉄筋や奥にかなりの空隙介在を示し対面までの速度がかなり低く注入効果があまりないことを表わしている。このように反射法は内部状況がよくつかめくわしくわかるか樹脂注入による補修はかなりむづかしい所があると思われる。

4. あとがき

以上のべたようにコンクリート構造体の非破壊検査にこの方法は多くの部分に適用できる。しかし次の点で若干問題がある。それは弾性波動からみたコンクリート材質が金属と違って打設や場所、年代によって大きく違い同一のものがなく、同じ構造体でも部分的に著しく異なる。これが波動の発生伝播に大きく影響し超音波反射法を困難にしている原因となっている。衝撃弾性波法は強制的に弾性エネルギーを発生させている点超音波と異なり反射法が可能となったが、波動速度が材質で異なることから経路によって速度変化を生じたり、僅かな材質変化で反射波を生じたりする。このため同一場所でも測定の度に結果が変動することがある。超音波の場合は反復測定なので波形をみながら操作できるが、弾性波は単発のため結果を出さなければわからない。このため同一場所でも数回の繰返し確認するようにする。更に非破壊検査は目視確認ができないので結果判定のための評価基準が必要である。しかし目下は室内における供試体からの類推や一部現場での破壊目視結果にもとづいているにとゞまっているのが現状である。このためまだ評価判定が若干不確定の面もあるが連続した一部構造体ではこの種測定結果にもとづき破壊目視を行ない結果評価基準の作成に着手している。たゞこの種基準作成は関係各位のご協力が不可欠でありこの種方法が基本的にかなり有効と考えるので各位の協力を得て更に改良する考えである。

〔謝辞〕 この技術開発に当り東急建設株式会社南部泰志郎氏より適切な助言を頂いた点謝意を表します。

〔文献〕 (1) 秋鹿他, 非破壊検査 VOL29 №7 昭和55.7. PP443-449

(2) 秋鹿, 土木技術 VOL35 №9 1980.9 PP24-32

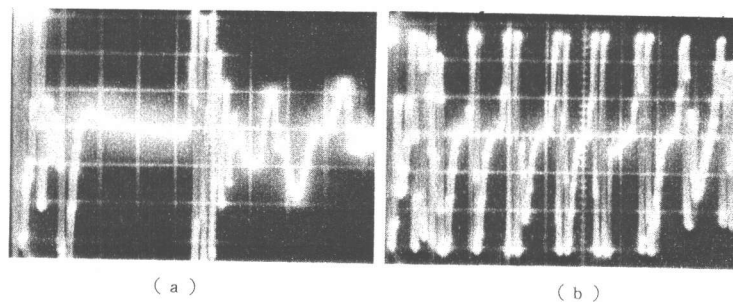


写真-4 良好材と注入部反射測定例

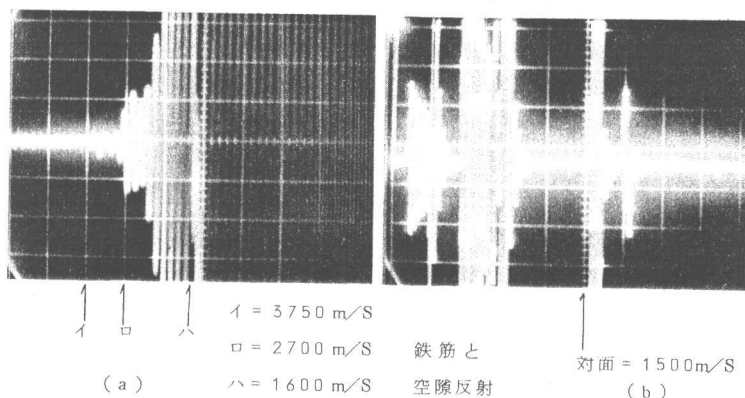


写真-5 注入材の透過と反射測定例