

報告

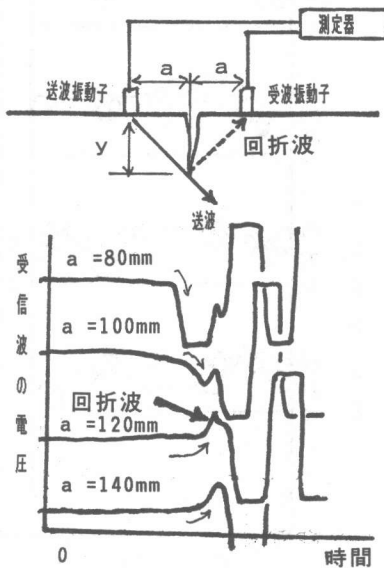
[1060] コンクリートのひび割れ深さと厚さの測定法

正会員○山口哲夫（株式会社 東横エルメス）

丸茂文夫（株式会社 東横エルメス）

1. はじめに

従来の超音波の伝播時間測定法でない、新しいコンクリートのひび割れ深さ測定法¹⁾(A)及び受信波のオシロ波形観察法でない、新しい厚いコンクリートの厚さ測定法²⁾(B)を開発した。この測定法により、試験室と現場で各種のコンクリートを測定した結果を報告する。方法(A)のひび割れ深さの測定では、波長の長い送波の縦波超音波と直角に、二次的な超音波の回折波がひび割れの陰の部分へ進む現象(図1)を利用する。手法としては、ひび割れを挟んで送受両探触子を等間隔に当て、送波超音波と直角に進む回折波の第一波の到達位置(図1の矢印の波形の位置)をコンクリートの表面で探触子で求め、ひび割れと探触子の間隔 a を測定し、ひび割れ深さ y を、 $a=y$ として測定する。測定に普通、オシロスコープを必要とせず、受信第1波の到達位置をコンクリートに当てた探触子により、受信第1波の上下動の検出で求める。方法(B)の厚さ測定では送受両探触子をコンクリート面に当て(図2)周波数を変えながら超音波を送り、受信波をFFTアナライザでフーリエ解析し、求める反射波を送波の残存波と分離しスペクトルとし、一種の共振法でコンクリートの厚さを求める。コンクリートの音速4000m/s一定で先ず厚さを求め、実際の音速で校正する。



注) $a=y$ で第1波は立ち上がる
 $a>160\text{mm}$ で第1波は低下

図1 120mmのひび割れ深さを測定した時の受信第1波の波形

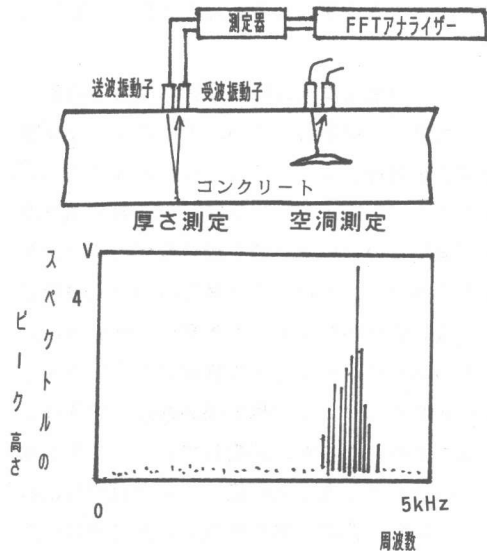


図2 厚さ500mmを測定した時のスペクトルの画面

2. ひび割れ深さの測定の適用例

2. 1 A現場でのひび割れ深さの測定

鉄筋入りの厚さ180mmのコンクリート構造物に入っている、深いひび割れ幅の狭いひび割れの深さを測定した。測定に及ぼす鉄筋の影響を避けるために、鉄筋計で鉄筋の位置を調べ、ひび割れ面と直交する2本の鉄筋の中間位置で¹⁾ひび割れ深さを測定した。次にこの位置で70mmφのコアを採取し、ひび割れ深さの実寸法を求めた。コアのひび割れ深さの判定は採取コアの着色法により、コアを着色後、ひび割れ面で引き割き、コアの中で深く着色した部分の寸法を測定値とした

(ひび割れの最も深い部分のひび割れ幅は0.01mm程度)。結果を図3に示す。両測定値は良い関係にある。図の中の数字は測定表面でのひび割れの幅である。参考に求めた超音波の伝播時間法のひび割れ深さは20~40mmの測定結果であり、接触しかけているひび割れに伝播時間法は不適當であった。なお、測定は短時間に出来るので1本のひび割れ線上で50mm間隔など多数の点でひび割れ深さを測定すれば鉄筋計の使用は省略できる。

2. 2. 外力割れ試験体のひび割れ深さの測定

人工切欠きひび割れでない、外力によるひび割れの深さを測定した。100(T)×300(W)×1000(L)mmのコンクリート版の長さ方向の両端に脚の付いたコの字形試験体の脚同士をボルトで締め、この撓み力で試験体の上面の幅方向に、浅い細いひび割れを4本発生させてある。幅方向の両端に10mmφの鉄筋が1本ずつ長さ方向に入れてあり、試験体の幅の端近くで各ひび割れはごく細くなるか、消失していた。この試験体のひび割れ深さを測定の後、コアを採取し割れ深さを求めた。測定結果を試験体の測定位置に打点し図4に示す。両者はほぼ、一致している。

2. 3 B現場での深いひび割れ深さの測定

本測定法では、波長が約130mmの超音波からの直角方向の回折波でひび割れ深さを測定している。この波長以上に深いひび割れの受信波形を

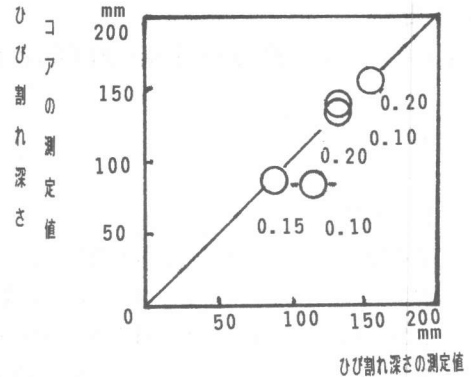


図3 A現場のひび割れ深さ測定値と採取コアのひび割れ深さの関係

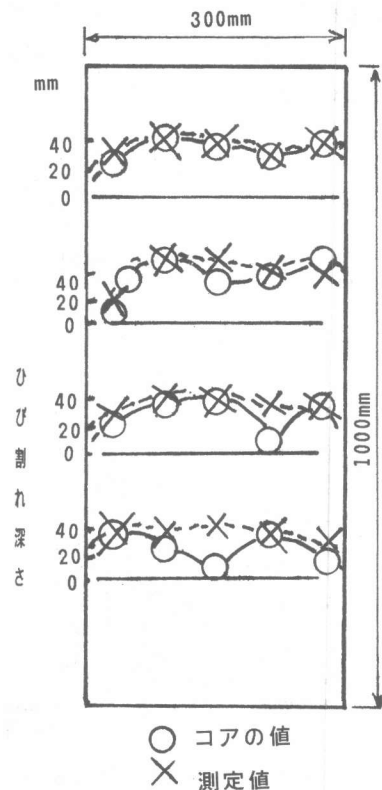


図4 外力割れ試験体のひび割れ深さとコアの値の比較

測定し、この装置で測定可能な最大ひび割れ深さを検討した。波長以上に深いひび割れでは送波の半波長毎の回折波同士の干渉で、求める回折波は消失する筈である。深いひび割れとして厚さ400mmのコンクリート床版（鉄筋かぶり厚さ300mm）の、深さ70～400mmの収縮性ひび割れの深さを測定した。この床版は別のコンクリート床版の上に2次打設されていた。この上側の床版には400mm深さのピットが各所に明けてあり、ピットの垂直面に出ているひび割れを横から目視できる場所で実寸法とひび割れ深さの測定値は一致していた。深さ400mmの割れのオシロスコープ波形を図5に示す。a < yで受信第1波は下向きの波形であり、a = yで受信第1波が上向きに転じることは、図1と同様である。しかし受信波形は図1と異なり、波長の周期より長い（送波の3倍）、別の波動の成分が現れ、この測定に寄与している。深いひび割れでもこのような機構で測定出来ていた。同じ波形がC現場での調節池のコンクリート壁の深さ400～500mmのひび割れでも測定できた。この寸法が現装置の限界であった。

2. 4 ひび割れへの樹脂注入補修結果の調査

2. 4. 1 D現場の垂直壁面ひび割れへの高い粘度の樹脂の充填

高い粘度の樹脂をひび割れに注入するとき、流出した樹脂が未処理部のひび割れの口元に付着し、注入忘れを起こすことがある。この検査法を検討した。実験室で、深さ100mmの切欠きひび割れの口元にエポキシ樹脂を付着させ、図1の波形をオシロスコープで測定した。結果を図6、図7（図6の拡大図）に示す。送受両探触子をひび割れの比較的近い位置で測定し、受信第1波の上向きか、下向きかと、波形の大小で充填の良否を判定できた。厳密にはひび割れ口元の樹脂付着の場合、探触子が $a \ll y$ で第1波は上向きであり、受信波形は小さいが健全部と似た形の波形である。 $a < y$ で第1波は一旦下がる図1の波形となり、 $a = y$ で第1波は上向きとなり、ひび割れ深さが測定できた。この測定法を用い、ひび割れ幅0.1～0.3mm、ひび割れ深さ約100～300mmのD現場で測定した。充填した多くの良好な施工のなかで、稀にこの注入不良を検出した。充填の良、不良各場合のオシロスコープ波形を図8、図9に示す。充填の良好な部分の波形はひび割れのない健全部と同じ大きさであり、不良部では波形が1/10に減少し大きさが容易に判定できた（図9）。図9では分からないがこのオシロスコープ波形を拡大すると、上述の受信第1波の立上りも測定できた（結果の図は省略）。充填具合は採取コアで確認した。コア観察で中まで充填されているが気泡の多い充填の1例では、受信波の大きさは1/2であった。樹脂充填でないが、この手法で、2枚の矩形床版の端面の上部は接し下部は空いている

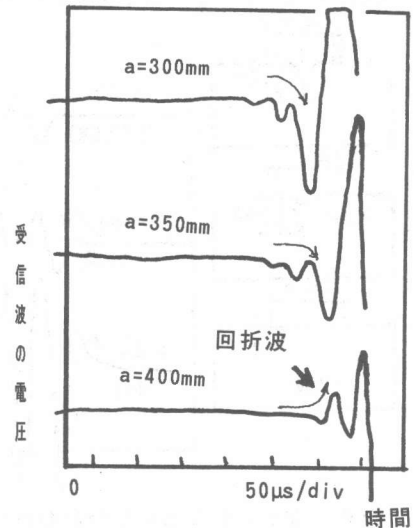


図5 深さ400mmのひび割れを測定時の受信波形

場合の調査や、ひび割れ上部がわずかに接しているときのひび割れ深さの測定、ひび割れの口元の砂による目詰まりに、この技術が応用できた。

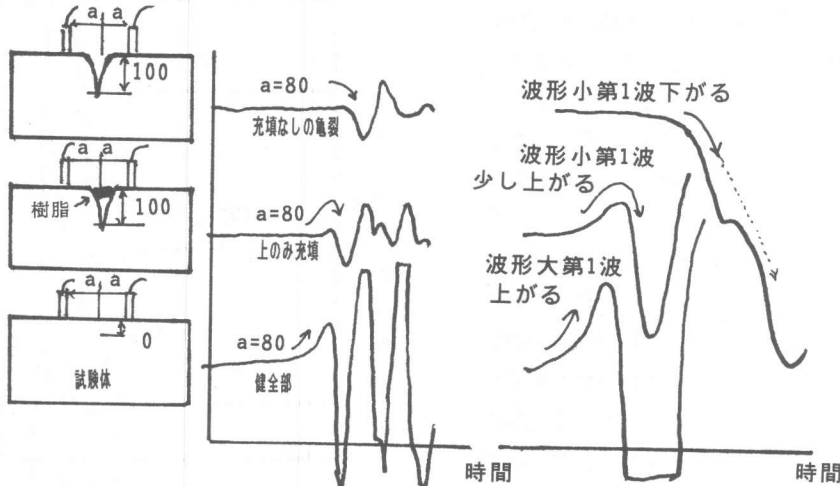


図6 深さ100mmのひびわれの口元の充填あり無しと健全部の比較

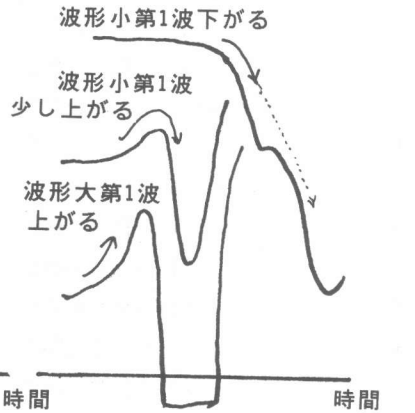


図7 左の第1波の拡大図

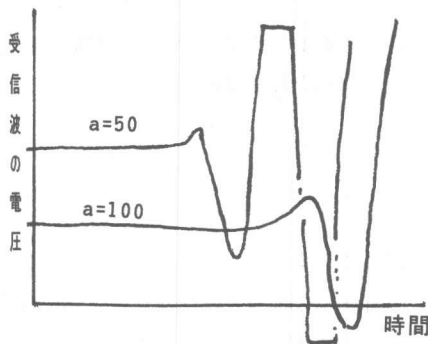


図8 D現場の充填良好の波形

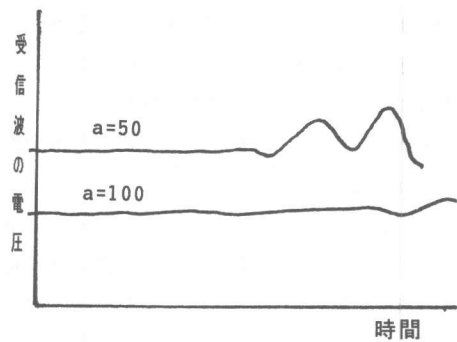


図9 D現場の口元のみ充填の波形

2. 4. 2 E現場の水平ひび割れへの低い粘度の樹脂液の充填

コンクリートの水平面に垂直に入っているひび割れの中へ、粘度の低い樹脂を上まで注入充填するとき、ひび割れの中で樹脂が硬化前に一部横などへ流れてレベルが低下し、ひび割れの上部が充填不良となる。目視で分からない、このレベルが低下が本報のひび割れ深さの測定法で分かった。測定と充填の反復による施工がE現場で実施された。

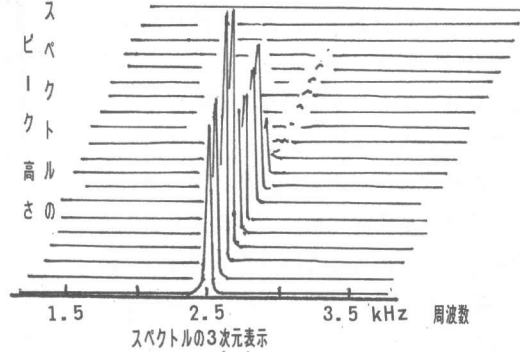
3. 厚さ測定の実用例

3. 1 コンクリート試験体の大きな空洞の範囲と空洞までの深さの測定

空洞の測定には、a) 表面から見た内部の空洞の範囲と、b) 表面から空洞までの厚さの2回の測定をこの方法では実施する。三角形のやや傾いている模擬の空洞を入れた(図10)上下部に鉄筋入りの、750×2000×2000mmのコンクリート試験体の空洞を測定した。上部鉄筋の下面に入れた空洞用の発砲スチロール板を、コンクリートが硬化後、試験体の横から取り出し、表面から空洞までの各部の実寸法を、試験体の横から空洞の奥に測長器を入れ測定した。

a) の空洞範囲の測定では、送受探触子を試験体の表面に当て、コンクリートの厚さを測定し、

この厚さ750mmの1本のスペクトルピークをFFTアナライザの画面に出しておき、この状態で送受探触子の組をコンクリートの表面で移動した。空洞の範囲はこのスペクトルの消失範囲で分かった。鉄筋は測定に影響しなかった。結果を図10に示す。次にb)の測定では空洞の範囲の各点で表面から空洞までの寸法を厚さ測定法で求めた。結果を図11に示す。傾いているこの空洞の表面からの深さが測定できた。



3.2 面積の狭い空洞の深さの測定

幅の狭い空洞の測定として、400×600×2000mmの試験体の、表面から深さ95,100,120mmの位置にある中

85mmの空洞(図12)の、表面から空洞までの寸法を、厚さ測定法で測定した。測定結果を図12に記入してある。図の空洞の上下方向の空隙幅が各々異なるが、超音波測定ではこのキャップは関係なく上面で測定される。狭い空洞と似た測定として、鉄筋の位置が大体分かる時、送受両探触子を鉄筋と直角に配置し、深さ120mmの20mmφの鉄筋深さを測定した。

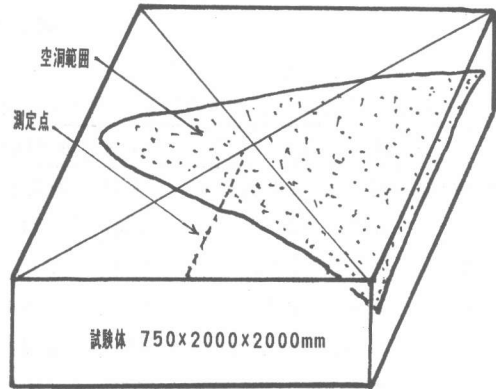


図10 空洞の範囲の測定と試験体

3.3 コンクリートの厚さの測定精度

トンネルや連壁など構造物の片面からの厚さ測定の模擬試験として3体の垂直に立てた約200×1000×1000mmの試験体の厚さを、この厚さ測定法の4mm刻みで測定した。各試験体は4種の配合から出来ており、音速と厚さが異なる合計12種のコンクリートの部分から出来ている(図13)。垂直面の厚さの測定では探触子を安定に当てるよう、この場合には、垂直面に木片を接着セープで取付け、探触子を固定した。厚さ測定校正用の透過音速を測定出来ない現場を想定し、送受両探触子の間隔500mmの表面の縦波音速を測定し、校正に使用した。試験体のコンクリー

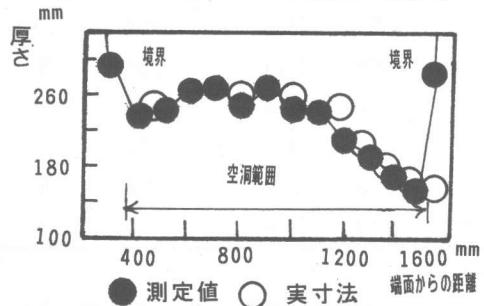
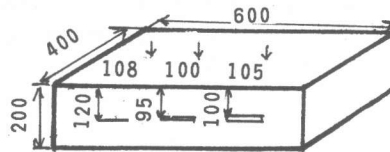


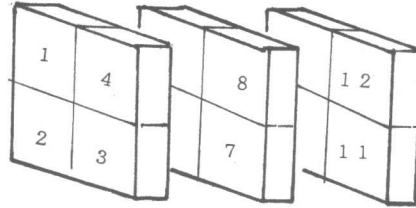
図11 表面から空洞までの寸法の測定



注) 試験体の端面の値が空洞口元での実寸法
上面の値が中央の超音波測定値 (mm)

図12 狭い空洞の測定

トは水平に打設してあり、打設の下面は平坦で上面は粗であった。厚さの測定は何れの面も同じ精度で測定出来たが、校正用の表面音速は平坦度が多少精度に影響した。試験体の各部の表面音速と、その音速で校正した各部の厚さ測定値及び各部の厚さの実寸法とのこの測定値の測定誤差を表1に示す。音速で校正した厚さの測定値は、測定刻みの±4 mmと似た程度の測定誤差であった。



注) 寸法2000×2000×2000 mm
各試験体は4種の配合から成る

図13 垂直に立てた試験体3体の図

表1 厚さ200 mmのコンクリートの厚さ測定の実験精度

測定位置	表面音速(m/s)		厚さ測定値(mm)		実寸法との誤差(mm)	
	粗面	平坦面	粗面	平坦面	粗面	平坦面
1	3570	3580	202	203	-4	-3
2	3940	3930	207	207	+4	+4
3	3950	3910	207	205	+6	+4
4	3930	3920	203	202	0	-1
5	3650	3770	203	210	-4	+3
6	4060	4040	207	208	+2	+3
7	4050	4030	204	205	-1	0
8	3970	4070	204	206	+2	+4
9	3980	3870	209	203	+4	-2
10	4090	4130	202	204	-1	+1
11	4070	4140	202	205	0	+3
12	4110	4170	199	202	-3	0

4. まとめ

新しいひび割れ深さと厚さの測定方法でコンクリートを測定した。約150 mm及び約40 mmのひび割れ深さ測定では、採取したコアのひびわれ割れ深さと測定値はほぼ一致していた。400～500 mmのひび割れ深さがこの測定法の深い方の限界であった。ひび割れへの樹脂の充填の調査にもこの方法が応用できた。厚さ750 mmのコンクリートに入れた人工空洞の測定例を示した。厚さ200 mmのコンクリートの厚さ測定では±4 mm程度の精度で測定できた。

参考文献

- (1) 広野進, 山口哲夫: 新しいコンクリートのひび割れ深さ測定法と装置の開発、非破壊検査, VOL.38, NO.4, 1989, pp.302-306
- (2) 山口哲夫: 新しいコンクリートの厚さ測定法と測定装置、非破壊検査、VOL.39, NO.3, 1990, pp.217-222