

コンクリートのひびわれ深さ測定方法に関する基礎的研究

立命館大学理工学部 正員 ○ 尼崎 省 二
正員 明石 外世樹

1 まえがき

コンクリートのひびわれ深さ測定は超音波パルス法が多く用いられており、BS 4408:Part 5 には超音波パルス法による測定方法が規格化されている。コンクリートのひびわれ深さ測定は表面で実施することが多いが、この場合にはコンクリート表面およびひびわれ先端で同折した超音波パルス（以下、単にパルスと略す）の波頭を確実に受振することが重要になる。本研究はパルスの発振エネルギーを大きくするために超音波加工等で用いられているホーン振動子のひびわれ深さ測定への適用性およびBSに規格化されている測定方法について検討を加えたものである。

2 超音波パルス法によるひびわれ深さ測定方法

コンクリートのひびわれ深さはひびわれ線と直角方向のパルス伝播時間を測定することにより求められる。この場合、(1) ひびわれからの距離 a の伝播時間 T_c とひびわれのない表面の距離 $2a$ の伝播時間 T_0 から求める方法（ T_0 - T_c 法と呼び、式(1)）

$$y = a \cdot \sqrt{(T_c/T_0)^2 - 1} \quad \text{----- (1)}$$

(2) 発振子を固定し、受振子を一定間隔で移動させたときの距離・伝播時間関係から回上で不連続時間 T を求めて計算する方法（ T 法、(2)式）および(3) BSに規格化されているように、発振子を

$$y = \frac{T \cdot \cot \alpha \cdot (T \cdot \cot \alpha + 2a)}{2(T \cdot \cot \alpha + a)} \quad \text{----- (2)}$$

$$y = 15 \cdot \sqrt{\frac{4t_1^2 - t_2^2}{t_2^2 - t_1^2}} \quad \text{----- (3)}$$

を同一のように配置して、ひびわれからの距離 $a_1 = 15$ 、 $a_2 = 30 \text{ cm}$ における伝播時間 t_1 、 t_2 を用いて計算する方法（BS法、(3)式）がある。

超音波加工や超音波塑性加工では、振動子端面の振幅を拡大するために振動子の一端面に Exponential 形などのホーンをはんだ付けしたものを振動子として使用している。中実 exponential 形ホーンの大端面から x の位置の断面積 S_x は一次共振状態を利用して次式で与えられる。本実験では、図-2 に示す振動子を試作し発振子として使用した。

$$S_x = S_1 \cdot e^{yx} \quad \text{----- (4)}$$

$$y = \frac{1}{L} \cdot \log_e (S_2/S_1), \quad L = \frac{c}{4\pi f} \cdot \sqrt{4\pi^2 + \{\log_e (S_2/S_1)\}^2}$$

ここで、 S_1 ：大端面面積、 S_2 ：小端面面積、 c ：ホーン中の音速、 L ：ホーンの高さ、 f ：ホーンの一次共振周波数である。 f としては超音波振動子素子の共振周波数に一致させるのが有利であると思われる。

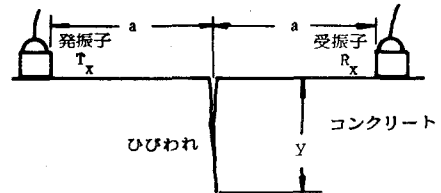


図-1：BSによるひびわれ深さ測定方法

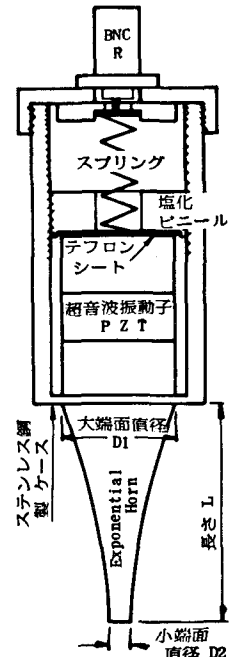


図-2：Exponential Horn 形の超音波振動子

3 実験結果および考察

表-1は各測定方法による測定結果を示す。ここで、 $\phi 5$ 、 $\phi 10$ はホーン振動子、他は円板振動子である。T-法はいずれもコンクリート表面でのパルス速度の測定が大きな問題となるが、T-法による測定値は $Y=15\text{cm}$ 供試体でひびわれから 10cm までの位置で測定するとほぼ $\pm 0.5\text{cm}$ 以内、 $Y=7\text{cm}$ 供試体では $\pm 1\text{cm}$ 以内の精度で測定できることがわかる。

T法はひびわれ位置での不連続時間 T を周上で求めるために誤差を生じやすい。また、この方法による測定値は実際よりも大きくなる傾向にある。この傾向はひびわれ深さが小さいほど、また円板振動子を用いた方が大きくなるようである。

B法での距離 a_1 は供試体寸法の関係から表-1に示すように、規定された距離よりも短くしたが、この程度の距離では a としてひびわれから振動子の端面あるいは中心までとしても、測定値に大きな差はないようである。

しかしながら、規定距離程度になると回折理論から受振振の利得が悪くなり、誤差が大きくなると考えられる。

すなわち、図-3に示すように、波動が半無限平面(ひびわれ)を回折してP点に達したときの波動

$$\frac{I(P)}{A_0^2} = \frac{1}{2(b+b_0)^2} \left[\left(\frac{1}{2} - A_c(v) \right)^2 + \left(\frac{1}{2} - A_s(v) \right)^2 \right] \quad \text{----- (5)}$$

$$v = \frac{\sqrt{2}}{\bar{f} \cdot \lambda} \cdot \bar{y}, \quad \bar{y} = \frac{\bar{f}}{b} y, \quad \bar{f} = \frac{b \cdot b_0}{b+b_0}$$

エネルギーは、回折理論によれば、(5)式で与えられる。ここで、 A_0 :波動源から単位距離での振幅、 $A_c(v)$ 、 $A_s(v)$ はフレネル積分である。 b_0 として発振子からひびわれ先端までの距離をとり、P点の波動エネルギーを求めると図-4になる。

図-4から、P点での波動エネルギーは発・受振子をひびわれから $\overline{PO}$ の位置に置くと最大になると考えられる。すな

わち、回折理論での波動源位置はひびわれ深さ測定における発振子の位置とは異なっているが、発・受振子ともひびわれから距離 $\overline{PO}$ に相当する位置にすると波動エネルギーが最大になると考えられる。

以上の結果から、B法の距離 a_1 として予想されるひびわれ深さ程度とし、 $a_2=2a_1$ とするとエネルギー的にも有利であり、測定精度もよいと思われる。

なお、実験方法については当日発表する。

表-1: 振動子および測定方法の相違によりひびわれ深さの違い

供試体	振動子の種類 発・受	T-法	B S 法				T _c -T ₀ 法			
			a ₁ =5cm		a ₁ =10cm		ひびわれからの距離			
			中心	端面	中心	端面	5	10	15	20
Y=7cm	$\phi 10-\phi 38$	8.1	7.0	7.1	8.5	9.3	7.4	7.8	8.3	6.5
	$\phi 10-\phi 50$	10.8	7.4	7.8	10.5	8.9	7.9	8.5	8.3	6.4
	$\phi 50-\phi 50$	11.0	8.4	8.5	7.3	8.9	7.8	7.3	7.8	7.6
Y=15cm	$\phi 5-\phi 50$	14.7	15.9	—	15.9	—	15.0	14.9	13.4	14.0
	$\phi 10-\phi 38$	14.2	15.2	15.2	15.8	15.6	14.9	14.9	15.4	14.2
	$\phi 10-\phi 50$	16.1	14.2	14.6	16.6	14.5	14.5	14.7	13.9	13.1
D-19mm	$\phi 50-\phi 50$	16.8	15.6	12.8	16.5	17.5	15.1	15.1	14.4	13.9
Y=15cm	$\phi 5-\phi 50$	16.3	14.0	—	19.6	—	15.3	15.8	13.1	13.1
	$\phi 10-\phi 38$	16.9	12.9	13.5	19.2	17.8	15.2	15.9	14.4	14.6
	$\phi 10-\phi 50$	16.4	14.5	16.3	17.1	17.5	15.5	15.7	15.0	14.6
	$\phi 50-\phi 50$	16.4	14.4	13.7	15.4	19.5	15.1	14.0	13.8	12.7

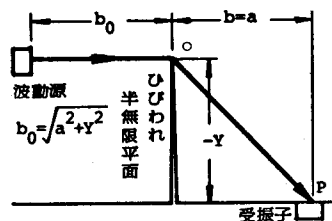
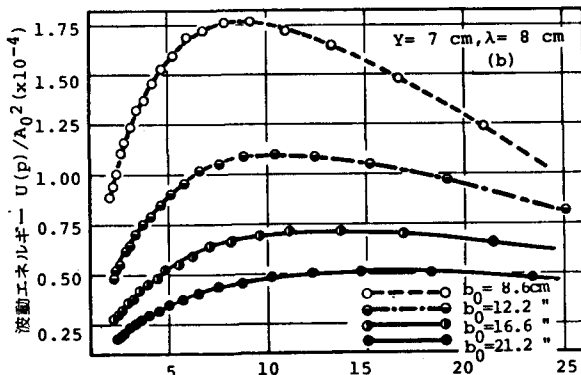


図-3: 波動の回折



半無限平面(ひびわれ)から測定点までの水平距離 b(=a) cm

図-4: 受振位置でのパルスエネルギーの変化