

1 はしがき

近年コンクリート中の音速(共振周波数)を測定して、その品質(主として強度)を判定する音響学的な非破壊試験が発達してきた。すなわち音速と強度との関係には配合が大きく影響し、配合が不明な場合には音速のみ直ちに強度を推定しても大きな誤差が含まれる。これを解決する目的で超音波パルスのコンクリート中での減衰を測定し、他方ソニック法で求めた粘性減衰を差引き、配合に関係する散乱減衰を計算した。ここにその測定方法と2,3の測定結果を掲げる。

2 粘性減衰について

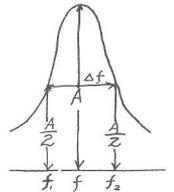
粘性減衰 α_1 は主としてモルタルの性質によって定まり、低周波において求めた対数減衰率 δ との関係は次の式で示される。

$$\alpha_1 = \frac{\delta}{c} f \text{ (nepes/cm)} = 8.68 \frac{\delta}{c} f \text{ (db/cm)} \dots\dots\dots (1)$$

ここに c = 音速 (cm/sec), f = 測定周波数である。(1)式は細長い棒の縦粘性減衰振動と波動伝播の関係式から導かれる。なお超音波は一般に縦波を問題にするので、ソニック方法における縦振動の共振曲線から対数減衰率を求めた。ここに対数減衰率 δ は

$$\delta = \frac{\pi (f_2 - f_1)}{\sqrt{3} f_0} \dots\dots\dots (2)$$

となり、 $f_0, (f_2 - f_1)$ の測定には frequency counter を用いた。



3. 対数減衰率測定用 frequency counter

対数減衰率を精測するには(2)式の $(f_2 - f_1), f_0$ を ± 1 cycle/sec くらいの精度で測定する必要がある。着者は計数管に JRC 製の DC10A-2 を使用し、その時間制御に 100Kc の水晶発振器からマルウバイブレーター方式による周波数変降によって 50% の交流電圧を得、これによってワレンモータを駆動し、接点によってパルスを生じせしめ、フリップフロップ回路を動作せしめて、計数部入力を制御した。計数時間は現在モータの都合により 60 秒であるが、10 秒が望ましく、この方式で $\pm 1\%$ まで充分測定できた。

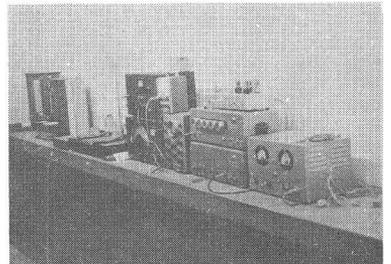


図-1. ソニック装置とフリクエンシーカウンターの外観

図-1 は対数減衰率測定装置の外観である。

4 散乱減衰について

コンクリート中の超音波の波長が骨材粒径に近くなると、超音波のエネルギーは粘性以外に散乱によって減衰する。このことは Rayleigh の散乱理論から算定することおでき、コンクリートの場合には次のようになるが、散乱減衰定数 α_2 は波長の 4 乗に逆比例して大きくなる。

$$\alpha_2 = \frac{2\pi^3 \rho T}{c^4} \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 f^4 \dots\dots\dots (3)$$

ここに T = 散乱を生ぜしめる骨材の平均体積, ρ = 散乱を生ぜしめる骨材の音場中における容積比, $E + \Delta E$ = 骨材の平均弾性係数。したがって α_2 が測定できれば配合に関係する ρ, T が算出できるのではなからうか。

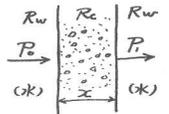
5 超音波のコンクリート中の減衰について。

超音波のコンクリート中の減衰は一般に $I_x = I_0 e^{-\alpha x}$ なる形で示され, $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$ となる。 α の測定は金属材料のように多重反射法によって求めることは現在のところ不可能で、著者は水浸法により接着条件を一定にして透過音圧を測定した。

(a) 反射を考慮して α を求める方法。

水槽中で超音波ビーム内にコンクリート供試体を入れたとき、取り出したときの受信音圧をブラウン管に一定振幅となるようにアッテネータによって減衰せしめ、減衰定数を求めることができる。いま超音波ビームを平面波と考えれば、図-2が

$$\alpha = \frac{20}{x} \left[\log_{10} \frac{P'}{P_0} - \log_{10} \frac{P}{P_0} \right] \text{ (db/cm)} \dots\dots\dots (4)$$



ここに $\frac{P'}{P_0} = \frac{4R_0R_c}{(R_w+R_c)^2} e^{-\alpha x}$, $\frac{P}{P_0} = \frac{4R_wR_c}{(R_w+R_c)^2}$, $-20 \log_{10} \frac{P}{P_0} = X_0 - X \text{ (db)}$ となり、

X_0, X はアッテネータの読みである。

(b) 厚さの差による方法

厚さ x_1, x_2 のコンクリートを透過した音圧を $X_1, X_2 \text{ db}$ 読めて、ブラウン管像の振幅が基準になるようにすれば

$$\alpha = \frac{X_2 - X_1}{x_2 - x_1} \text{ (db/cm)} \dots\dots\dots (5)$$

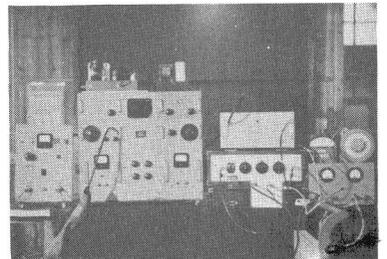


図-3. 減衰測定装置

6 減衰定数測定装置

粘性減衰はソニック装置から測定できるが、散乱減衰をも含めた減衰定数は図-3および図-4の装置で測定した。

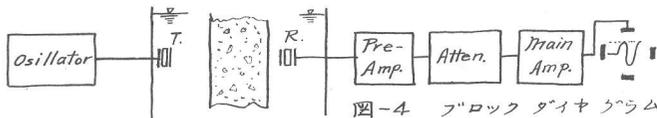


図-4. ブロックダイアグラム

7. コンクリート材料

セメントはアサノ普通ポルトランドセメント、骨材は加茂川産で最大寸法 40mm とした。

8 測定結果の一例

枕令 28日、水中養生したコンクリートの 50Kc/sec にあける減衰定数を表-1 に示す。

配合比	W/C	δ	$\alpha_1 \text{ (db/m)}$	$\alpha_2 \text{ (db/m)}$	$\alpha_2 \text{ (db/m)}$
1:2:0	4.0	0.444	4.3	4.8	
	4.0	454	3.9	2.3	24.2
1:1.5:3	4.5	462	4.1	6.2	35.4
	5.0	514	4.6	4.7	54.1
1:2:4	5.0	422	3.5	6.5	52.0
	5.5	536	4.7	9.6	60.8
	6.0	60580	4.3	8.5	88.4

(1) この値は (b) の方法によって求めた。
 (2) この値は $E + \Delta E = 7 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$, $T = 8 \text{ cm}^3$ と (3) 式より。