

水浸法によるコンクリート中の超音波の減衰について

立命館大学理工学部 正会員 明石 外世樹

正会員 尼崎 省二

立命館大学 大学院 学生員 〇川崎 正信

1. まえがき

最近、構造物コンクリートの品質に関する問題が注目されている。超音波伝播速度（以下、音速と略称）は内部の平均的な弾性的性質しか評価できないが、超音波の減衰は内部の弾性的性質はもとより、骨材、空隙等の内部組成が評価できる。しかしながら、コンクリートの超音波減衰に関する研究は測定装置上の問題もあり、国内外ともに数少ない。本研究は水浸法によりコンクリート中での超音波パルス減衰を測定し、粗骨材形状、粒度が減衰定数に及ぼす影響について検討したものである。

2. 実験方法

(1) 使用材料；普通ポルトランドセメント、野洲川産川砂、高槻産硬質砂岩碎石。(2) 実験要因；粗骨材形状（碎石、すりハリ試験後の碎石、以下整形碎石と略称）、粒度（単粒度、5~10、10~15、15~20、20~25、25~30 mm、連続粒度；碎石 2505、2005、1505）。(3) 供試体；20 cm 立方供試体（音速、減衰測定用）、10×10×40 cm（対数減衰率測定用）。(4) 養生；測定材すべて水中養生。(5) 測定方法；音速は PZT-4 (54 kHz) をサイラトロンにより励起させ、受振波形を観察して測定した。対数減衰率は市販のソニック装置を用いて、一次共振曲線から求めた減衰は超音波が平面波に近くなるような水槽（100×100×200 cm）中に同一周波数、同一寸法の振動子に対向し、一方を発振子他方を受振子として、水中における第一透過波高（ P_0 ）と、それと同一の方法で供試体を水中に浸漬して求めた第一透過波高（ P_1 ）をオシロスコープ（周波数帯域；DC~1 MHz）の画面上で測定し、次式により減衰定数を求めた。

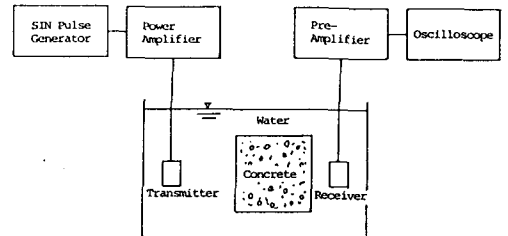


図-1 水浸法による減衰測定装置のブロックダイアグラム

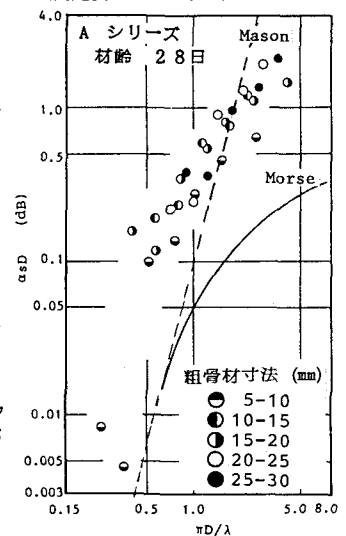
ここに z_c, z_w はそれぞれ

$$\alpha = \frac{20}{\lambda} \left\{ \log_{10} \frac{4z_c z_w}{(z_c + z_w)^2} - \log_{10} \frac{P_1}{P_0} \right\} \text{ (dB/cm)}$$

コンクリートおよび水の音響インピーダンス、 λ は供試体長さ (cm) 測定周波数は 50, 70, 100, 150, 200, 300, 500 kHz である。水浸法のブロックダイアグラムを図-1 に示す。

3. 実験結果および考察；減衰定数 α は一般に次式で与えられる。

$\alpha = \alpha_f + \alpha_s$, $\alpha_f = (\delta/V) \cdot f$, $\alpha_s D = H(\pi D/\lambda)^n$ 。ここに α_f ；粘性減衰定数、 δ ；対数減衰率、 V ；音速、 f ；周波数、 λ ；波長、 α_s ；粗骨材等による散乱減衰定数、 D ；粗骨材の寸法、 H ；散乱因子、 n ；0 または正の整数。A シリーズ（単粒度整形

図-2 $\alpha_s D$ と $\pi D/\lambda$ との関係

碎石コンクリート)およびBシリーズ(単粒度碎石コンクリート)の $\alpha_s D$ と $\pi D/\lambda$ との関係をそれぞれ図-2,3に示す。A・Bシリーズとも $\alpha_s D \sim \pi D/\lambda$ 関係にはばらつきはあるがほぼ一定の関係にある。 $\pi D/\lambda$ が0.5から4.0の範囲内ではほぼ直線関係にあり、 m の値はほぼ一定とみなせる。 $\pi D/\lambda$ が4.0より大きくなると m の値は漸減している。すなわち、粗骨材寸法が最長の約1.5倍以上になると、散乱減衰は周波数に依存しなくなるものと考えられる。図-2,3においてMasonの理論値およびMorseの球による散乱理論値をそれぞれ破線と実線で示すと、本実験結果は定性的にMorseの理論に一致していると考えられる。実用上 α_s より α が重要であるのでA・Bシリーズにおける αD と $\pi D/\lambda$ との関係をそれぞれ図-4,5に示す。 $\alpha D \sim \pi D/\lambda$ 関係も $\alpha_s D \sim \pi D/\lambda$ 関係と同様の傾向にある。実測値より算出した $\alpha_s D \sim \pi D/\lambda$ 関係および $\alpha D \sim \pi D/\lambda$ 関係の H と $\pi D/\lambda$ が0.5から4.0のときの m の値を表-1に示す。 H が材料とともに小さくなっているのはモルタルの音響インピーダンスが粗骨材のそれに近づくためと考えられる。純鉄の散乱因子は縦波では 6.7×10^{-3} である。純鉄とコンクリートの散乱因子を比較すると、コンクリートの方がかなり大きい。これはコンクリートが弾性異方性の大きい材料であることを示しているものと考えられる。連続粒度コンクリートの αD と $\pi D/\lambda$ との関係を図-6に示す。ここで D は粒度分布の一次積率より求めた。図-6より連続粒度の平均粗骨材寸法の求め方に疑問はあるものの、 $\alpha D \sim \pi D/\lambda$ 関係にも単粒の場合と同様に一定の関係がある。この H と m はそれぞれ0.42と1.2である。したがって、今後 H と m について検討を加え、Morseの理論に補正をおこなえば、コンクリートの減衰定数の推定式あるいは、平均粗骨材寸法の推定式が得られると考えられる。本研究は文部省科学研究費により実施したことを付記し、謝意を表す。

<参考文献> Morse "Vibration and Sound", Mason et al., J. acoust. Soc. Am Vol. 19

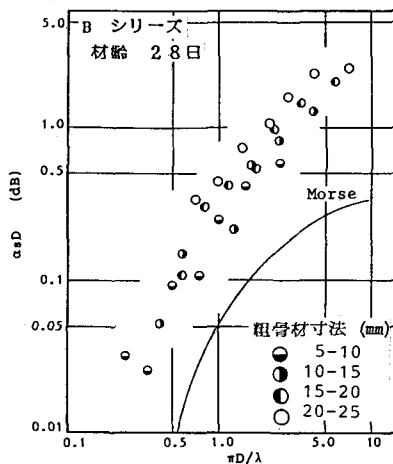


図-3 αD と $\pi D/\lambda$ との関係

表-1 散乱因子 H と n の値

A-series			
	Age (days)	H	n
αD	3	0.7	1.9
	7	0.6	1.9
	28	0.5	1.6
	49	0.48	1.5
$\alpha_s D$	3	0.6	2.3
	7	0.45	2.0
	28	0.4	1.6
	49	0.39	1.5

B-series			
	Age (days)	H	n
αD	3	0.7	1.8
	7	0.62	1.3
	28	0.4	1.2
$\alpha_s D$	3	0.41	2.1
	7	0.38	1.5
	28	0.3	1.2

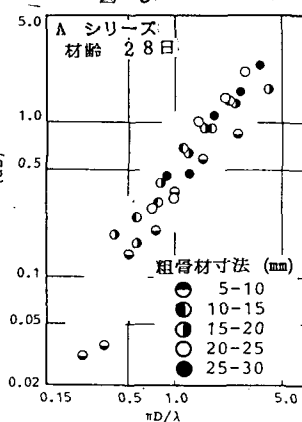


図-4 αD と $\pi D/\lambda$ との関係

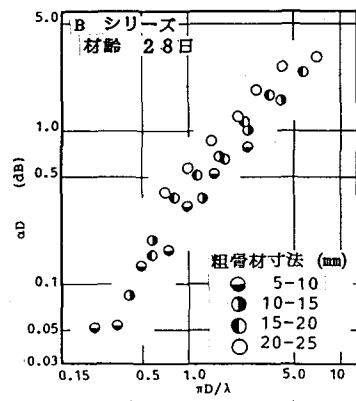


図-5 αD と $\pi D/\lambda$ との関係

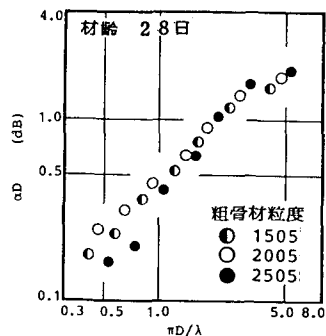


図-6 αD と $\pi D/\lambda$ との関係