

立命館大学 正員 尼崎 省二

立命館大学 正員 明石 外世樹

立命館大学大学院 学生員 川崎 正信

1. まえがき

超音波パルス伝播速度(以下、音速と略称)はコンクリートの非破壊試験方法として多く利用されており、BS-4408およびASTM C 897では試験方法が規格化され、またRILEMでは指針案が検討されている。BS、RILEMでは、音速測定における供試体横寸法はパルス波の波長以上にするように規定されている。これは、供試体横寸法が波長以下になると、パルス波の分散のために音速が低下するとするL.Y. Tuらの実験結果によるものと思われる。しかしながら、Tuらの実験は振動子が調和振動をしている状態で実施したものであり、コンクリートの音速測定に用いられているパルス波とは異質のものである。本研究はパルス波の性状が音速測定結果に及ぼす影響および音速測定における速度の分散の有無について検討したものである。

2. パルス発生回路および振動子

現在、コンクリートの音速測定に用いられているパルス発生回路および振動子への印加電圧の変化の概要を図-1に示す。パルス発生回路は圧電振動子に一定電圧を充電し、この電圧をサイラトロン(SCRあるいはSCR(SF60R11, サイリスタ)により放電して、圧電振動子に生じているひずみを衝撃的に解放することにより超音波パルス波を発生させるものである。図-1はサイラトロンによるものであるが、パルス波の性状に大きく影響するのは充電電圧、放電時間および振動子の特性である。本研究に使用したパルス発生回路の特性を表-1に示す。

コンクリートの音速測定に用いられる振動子は、一般に、チタン酸バリウム系あるいはチタン酸鉛ジルコン酸鉛系(PZT)の磁器(振動子素子)を容器に入れたものであり(図-2)、振動子の振動数は素子の固有振動数を示している。本実験に使用した振動子の振動数は54(PZT-4)、86、100、170、260(KL PZT-7) kHzである。

3. 実験の概要

実験はモルタルについて行なった。配合は、1:2.5、 $w/c = 50\%$ で、供試体はモルタルあるいはコンクリートの試験に用いられている各種寸法のものおよび内径2~7cmのガラス管を型枠にした長さ約20cmのものである。養生は水中養生である。なお、比較のため、同一母材から作った直径1~7cm、長さ約15cmの鋼、ジュラルミン、塩化ビニール円柱供試体についても実験を行なった。これら材料の物理的特性を表-2に示す。

伝播時間の測定は受振子からの出力を直接オシロスコープ(周波数帯域DC~1MHz)に入力して行なった。なお、装置③は、伝播時間とデジタル表示するポータブル型で、その入力感度は250μV(20~500kHz)である。この装置では54kHzの振動子のみを使用した。

4. 実験結果および考察

パルス発生回路の相違が音速測定結果に及ぼす影響の一

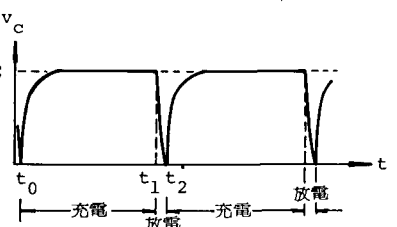
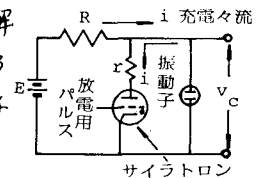


図-1: パルス発生回路と印加電圧の一例

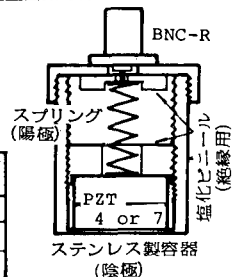


図-2: 振動子の概要

表-1: パルス発生回路の特性

装置	放電方式	充電電圧 E (V)	放電時間 μsec
①	サイラトロン	1400	0.1
②	サイリスタ1	270	2.6
③	同上	800	1.5※

※: 製品仕様による

表-2: 供試体の物理的特性

材料	ヤング係数 $\times 10^6 \text{ kg/cm}^2$	ポアソン比	密度 g/cm^3	動弾性係数 $\times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
鋼(SS41)	2.181	0.274	7.84	—
ジュラルミン	0.789	0.316	2.80	—
塩化ビニール	0.0374	0.333	1.46	0.0423

例を回すに示す。いずれの装置の場合も、音速は供試体の形状寸法により差が生じており、細長い供試体ほど速くなる傾向にある。また、装置の影響は振動子への充電圧が大きく、かつ放電時間の短い装置①(サイトロ)の場合には、ある増幅利得以上ではば一定速度が得られ、その利得以下になると利得の低下とともに音速は低下している。一方、装置②(SCR)では利得の低下とともに音速も低下している。なお、振動子素子のひずみは印加電圧に比例するから、装置①による振動子素子のひずみは装置②の場合の約5倍である。発・受振子(54KHz)を密着したときの受振波(写真)を見ると、装置①では、利得を大きくすると放電管の異常発振によるノイズは現われるが、振動子素子前面の保護板を伝播する時間は明確である。一方、装置②では、受振波の立上りは明確ではなく、利得の増大とともに発振波に接近し、遂には発振以前に受振したのではないかと思われる結果になっている。これは他の振動子の場合も同様である。このような現象は、パルス波々頭の丸味により生じる電気的現象と思われる。

音速の分散の有無を調べるために、直径2~7cmのモルタル供試体につけて、種々の振動子を用いて装置①で測定した結果を回すに示す。パルス波を受振した当初の振動子は調和振動はしていないため、受振波の立上りからピークまでの時間 T_2 を $\frac{1}{2}$ 周期と考え、実測音速から波長を求めた(図-4)。回すから、モルタル内径の音速は、 $2a/\lambda > 1$ (a は供試体半径)ではば一定であり、 $2a/\lambda < 1$ では大きくなる傾向にあり、前述の結果とよく一致している。しかし、振動子が調和振動している T_2 の結果とは異なっている。この原因が測定方法上の問題か物理的現象なのかは明確でなく、今後の課題である。一方、本実験での波長に比して均質材料と考えられる種類の

の供試体につけて同様の測定を行ない、半無限弾性体の理論速度 V_0 と比較すると回-6のようなになる。鋼供試体では、 $2a/\lambda < 1$ でも測定値 V は V_0 に等しく、速度の分散は生じてなく、モルタルの場合と同様の結果になっている。また、塩化ビニールのような粘弾性体では、実測値は理論速度よりも大きく、ソニック速度は両者の中間値である。これは、応力の載荷時間依存性によるものと思われる。以上はモルタルに関するものであるが、コンクリートとくに既設構造物コンクリートの音速測定では、粗骨材による散乱、反射減衰のために受振波の増幅利得がサガナ上悪くなることになり、音速を低く評価する危険があり注意が必要である。特に、供試体あるいはフォー供試体の音速と比較する場合は注意が必要であると思われる。

参考文献
L.Y.Tu, J.N.Brean and J.A.Sauer, 'Dispersion of ultrasonic pulse velocity in cylindrical rods', J. Acous. Soc. Amer., 27, 1955

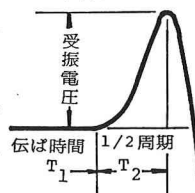


図-4: パルス波の波長

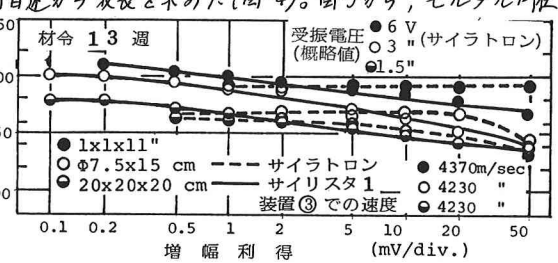


図-3 (a): パルス発生回路による音速の変化

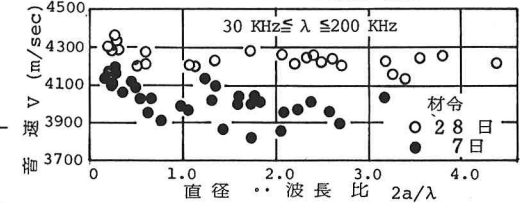


図-5: 音速と直径・波長の関係 (モルタル供試体)

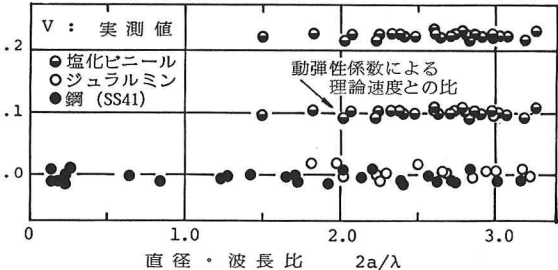


図-6: 音速比と直径・波長の関係

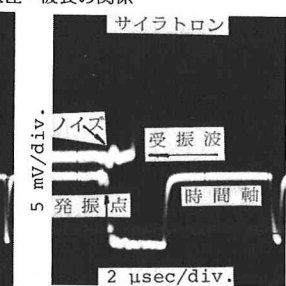
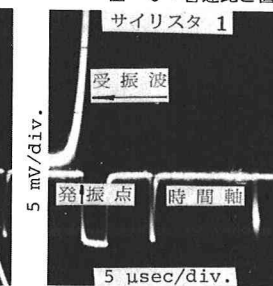
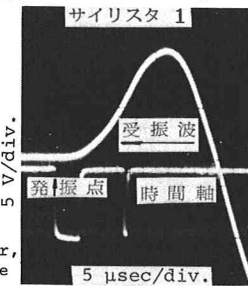


写真: 利得による立上り点の変化 (発・受振子-50 KHz-を密着した場合)