

コンクリート中の超音波パルス伝播性状に関する一考察

日本技術開発(株) 正会員 ○ 濱野 雅裕
立命館大学理工学部 正会員 尼崎 省二

1. まえがき 超音波法はコンクリートの非破壊試験方法の1つとして多く利用されているが、超音波法が規格化されていないのは、透過超音波の周波数が低いことが原因と考えられる。超音波法を規格化するには、測定装置の性能および測定方法の統一が必要となる。本研究は、超音波法の規格化のための基礎資料を得ることを目的として、硬化コンクリート中の超音波伝播性状を有限要素法を用いて解析し、実測値との比較も行ったものである。

2. 解析概要 本研究での解析対象は円柱体で、解析モデルは軸対称回転体とした。また、要素は1次の変位関数を用いた三角形要素とした。解析は、Newmarkの β 法($\beta=1/4$, $\Delta t=0.1\mu s$)を用いた。

超音波法で使用されている超音波振動子は、図-1に示すような複雑な構造をしており、振動子全体を有限要素に分割することは困難である。解析モデルは圧電振動体(以下、圧電体)、ステンレス保護ケースおよび背面ダンパー(ベークライト)のみを考慮した。対象とした圧電体は、円盤型($\phi 25.23 \times 12.1mm$)のPZTである。放電特性は、実測値(放電電圧=900V、放電時間=0.5 μs)を用いた。

供試体モデルはコンクリートおよびモルタルとし、いずれも一般的な材料であると仮定した。コンクリートおよびモルタルの物理定数は実測値を採用した。表-1に振動子および供試体の物理定数を示す。

$\phi 10 \times 20cm$ 供試体モデルの要素分割は、径方向に8分割、縦方向に100分割とし、供試体寸法が変化した場合でも要素寸法は同一とした。境界条件は、対称軸上の径方向節点変位のみ拘束し、縦方向節点変位はすべて自由とした。実測では、振動子はグリース等を介して密着されているが、解析では密着面における節点はすべて結合した。

減衰モデルは粘弾性効果を有する比例減衰モデルとし、Voigt型モデルを採用した。また等方粘弾性体においても、遅延時間 τ は弾性係数と粘性係数との比で与えられるものと仮定し、さらに減衰マトリックスは、剛性マトリックスと τ の積で表した。遅延時間 τ は、式(1)に示すように周波数 f と対数減衰率 δ の関数で与えられる¹⁾。本研究では、各材料の1次共振曲線から τ を求めた。

$$\tau = \frac{\delta}{2f\pi^2} \quad \dots (1)$$

3. 解析結果および考察

3-1 圧電体の固有値解析: 圧電体の固有値解析結果を表-3に示す。要素分割が細かくなるとともに、共振周波数が収束していくのがわかる。また、128要素の結果は、図-1の圧電体要素分割を用いたものであり、実測値なら

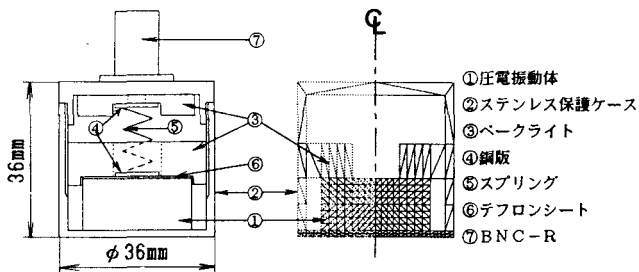


図-1 振動子の構造および要素分割

表-1 振動子および供試体の物理定数

材料名	密度 (kg/cm^3)	ヤング係数 (kg/cm^2)	ポアソン比
圧電振動体	7.6×10^{-3}	6.4×10^5	0.37
ステンレス鋼	7.9×10^{-3}	2.0×10^6	0.33
ベークライト	1.4×10^{-3}	1.0×10^5	0.30
コンクリート	2.4×10^{-3}	3.5×10^5	0.20
モルタル	2.2×10^{-3}	2.6×10^5	0.20

表-2 遅延時間 τ の値

材料名	共振周波数 (kHz)	対数減衰率	遅延時間 τ ($\times 10^{-7} sec$)
振動子	70.17	0.184	1.2
コンクリート	10.34	0.042	2.0
モルタル	9.44	0.045	2.4

表-3 圧電振動体の一次共振周波数の比較

製造メーカーの提示する値	共振法による実測値	固有値解析結果
71.5	71.9	24要素 76.9
		48要素 76.1
		128要素 72.6

単位: (kHz)

Masahiro HAMANO, Shoji AMASAKI

びにメーカー提示値と比較してもよく一致している。

3-2 遅延時間 τ の検討: コンクリートおよびモルタル ($\phi 10 \times 20 \text{cm}$) の解析受振波形と実測波形との比較を図-2に示す。解析伝播時間は実測値とよく一致するが、波形は実測と一致していない。 τ を変化させた場合のモルタルの解析結果を図-3に示す。 τ が小さくなるとともに、受振波立上り部分において高周波数成分が現れ、伝播時間が速くなるだけでなく、立上りの判定も困難になることがわかる。また、 τ の実測値を用いた解析受振電圧は実測値の2~3倍となっている。これは解析に振動子と供試体との音響学的結合材を考慮しなかったために、径方向節点変位が影響したものと考えられる。

3-3 供試体直径による受振波形の相違: モルタル供試体 (縦寸法20cm) の直径を、10、7.5、5 cmとした場合の解析受振波形と実測波形を図-4に示す。直径が小さくなるほど解析受振電圧が高くなっており、同様の傾向が実測波形でも認められる。これは供試体が細長くなるほど、供試体境界面からの反射波の影響を受けやすくなるためと考えられる。

3-4 放電特性による受振波形の相違: 表-4の放電特性について解析した結果を図-5に示す。放電時間が短く、放電電圧が高いもののほど受振電圧が高く、受振波の立上りも鋭くなることわかる。

放電時間が解析受振電圧に及ぼす影響を調べるため、放電電圧を一定にして解析した結果を図-6に示す。放電時間が長くなることによる受振電圧の低下はわずかではあるが、伝播時間は長くなっており、放電時間は短い方が望ましいと考えられる。

4. あとがき

解析伝播時間を実測値により近似させるためには、解析中に減衰モデルを考慮し、受振波波頭に現れる高周波数成分を取り除く必要がある。しかし、本解析で考慮した減衰マトリックスは、受振波形全体の高周波数成分を取り除いてしまうために、受振波波頭の高周波数成分だけを取り除くことは困難である。また、振動子圧着面における音響学的結合材のモデル化についても検討が必要であると思われる。

参考文献 1) Kolsky.H "Stress waves in solids" New York Dover Publications, Inc. 1963.

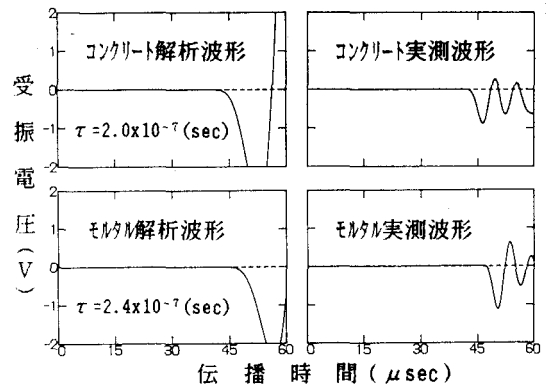


図-2 コンクリートおよびモルタルの受振波形の比較

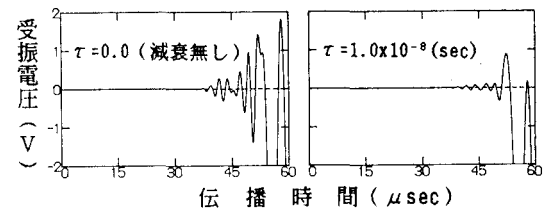


図-3 遅延時間 τ による解析受振波形の相違

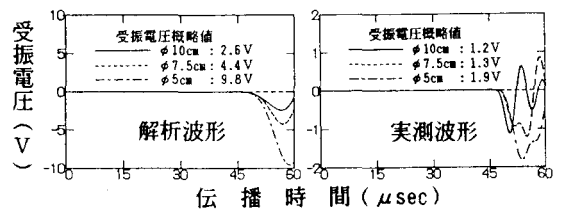


図-4 供試体直径による受振波形の相違

	放電電圧 (V)	放電時間 (μsec)
A	1400	0.1
B	900	0.5
C	270	2.6

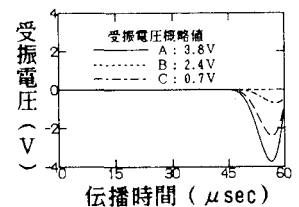


図-5 放電特性による解析受振波形の相違

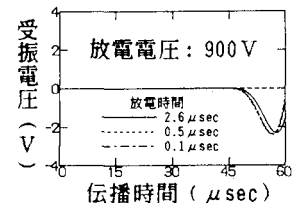


図-6 放電時間による解析受振波形の相違