

V-327

有限要素法によるコンクリート中の超音波パルス伝播性状に関する基礎的研究

日本技術開発（株） 正員 ○濱野 雅裕
立命館大学理工学部 正員 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、測定装置および測定方法は未だ規格されておらず、超音波伝播速度（以下、音速と略記）の評価基準がないのが現状である。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するとともに、実測値との比較を行ったものである。

2. 解析概要 本研究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。有限要素は1次の変位関数を用いた三角形要素とし、Newmarkの β 法（ $\beta=1/4$ 、 $\Delta t=0.1\mu s$ ）を用いて解析した。

超音波法に使用されている超音波振動子は、図-1に示すよう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

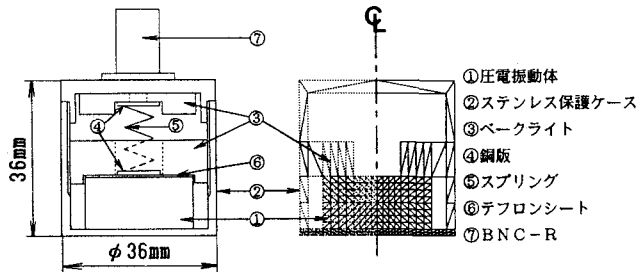


図-1 振動子の構造および要素分割

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（ $\phi 25.23 \times 12.1\text{mm}$ ）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。

実験に用いた供試体はコンクリートとモルタル（ $\phi 10 \times 20\text{cm}$ ）である。コンクリートは粗骨材とモルタルの二相材料からなると仮定し、図-2に示すモデルについて解析し、均質材料としての解析（タイプA）結果と比較した。要素分割は径方向に8分割、縦方向に100分割とした。モルタルについては細骨材とセメントペーストの区別はないものとした。

供試体中心に、それぞれ $\phi 11 \times 20\text{mm}$ 、 $\phi 36 \times 20\text{mm}$ 、 $\phi 75 \times 20\text{mm}$ の内部空隙を有するモルタル供試体（ $\phi 10 \times 10\text{cm}$ ）についても解析した。なお、境界条件はいずれの場合も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。

コンクリート、モルタルおよび骨材の物理定数は実測値を採用した。表-1に各材料の物理定数を示す。また、減衰マトリックスは、剛性マトリックスと遅延時間 τ の積で表されると仮定し¹⁾、各材料の1次共振曲線から τ を求めた（表-2）。

3. 解析結果および考察 図-3に減衰の有無によるモルタルでの解析受振波形を示す。減衰を考慮しないと

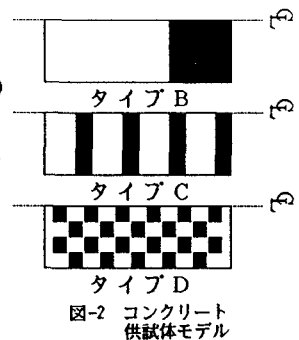


図-2 コンクリート供試体モデル

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
粗骨材	2.7×10^{-3}	7.6×10^5	0.25

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 ($\times 10^{-7}\text{sec}$)
振動子	70.17	0.164	1.2
コンクリート	10.34	0.042	2.0
モルタル	9.44	0.045	2.4
粗骨材	14.98	0.048	1.6

高周波数成分が現れ、伝播時間が速くなるだけでなく、受振波立上りの判定も困難になる。図-4の実測波形と比較すると、減衰を考慮した解析伝播時間は実測値とよく一致しているが、解析波形には高周波数成分がなく、受振電圧は実測値の2～3倍になっている。受振電圧に及ぼす音響学的結合材の影響を調べるために、振動子をエポキシ系接着剤でモルタル供試体に接着し、実測した結果を図-5に示す。振動子を接着すると、受振電圧は図-4のグリースの場合の約5倍になっており、解析には結合材の影響を考慮する必要があることがわかる。

図-6にコンクリートの解析受振波形、図-7に実測波形を示す。伝播時間はタイプAの場合が実測値に一致しており、タイプB～Dの場合ではわずかに速くなっている。特にタイプDの場合が最も速いが、これは見掛け上、伝播方向に粗骨材量が増えたためと考えられる。タイプB～Dの受振波形は、タイプAに比較して電圧および周波数成分が実測波形に近くなる傾向があり、波形解析を対象とする場合には実際の骨材分布を考慮する必要があると思われる。

図-8に内部空隙の寸法による解析受振波形を示す。空隙寸法が振動子直径より大きくなるとともに伝播時間は長くなり、受振電圧も低下し、音速による空隙評価が可能であることがわかる。しかし、空隙寸法が振動子直径よりも小さい場合の受振波形は、均質な場合とほぼ一致しており、空隙評価が困難になると考えられる。

4. あとがき

減衰モデルおよび音響学的結合材のモデル化についてさらに検討が必要であるが、本解析方法はコンクリート中の超音波パルス伝播性状の解析に有効な手法になるものと思われる。

今後、振動子の形状・寸法、内部鉄筋、ひびわれの存在等が受振波形に及ぼす影響についても検討する予定である。

参考文献 1) 濱野、尼崎：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、平成元年度土木学会関西支部年次学術講演概要

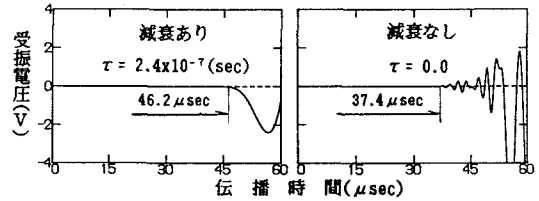


図-3 減衰の有無によるモルタル解析受振波形の相違

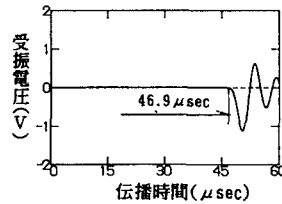


図-4 モルタル実測受振波形

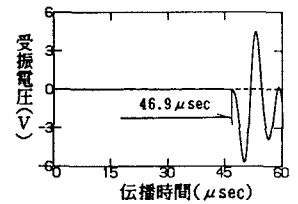


図-5 エポキシ系接着剤で接着した場合のモルタル実測受振波形

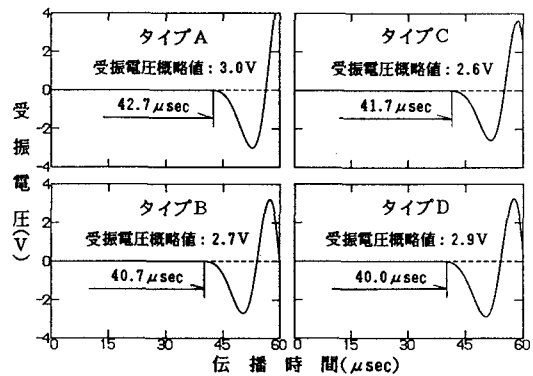


図-6 コンクリート解析受振波形

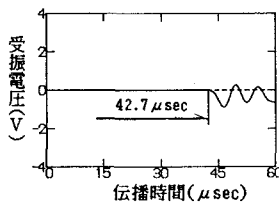


図-7 コンクリート実測受振波形

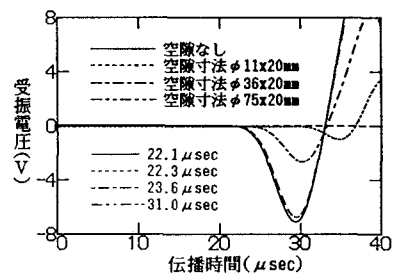


図-8 空隙寸法による解析受振波形の相違