

CS-23

骨材を含む不均一性材料の波動伝播特性に関する研究

北見工大 正員 三上 修一 北見工大 学生員 新井田武久
北大工学部 正員 角田史雄 北見工大 正員 大島 俊之

1. はじめに

高度成長期に建設されたコンクリート構造物の早期劣化や長期使用に伴う問題等、耐久性に関する疑念がもたれるようになった。既設コンクリート構造物においては、ひび割れや内部欠陥等の検査を行い、構造物の耐久性を診断するための研究が行われている¹⁾。この中で超音波を非破壊検査に用いる研究も盛んに行われている。コンクリート材料のように形状や物性が異なり、超音波の伝播特性も異なる複合材料を、超音波を用いた非破壊検査をする場合、応力波の伝播特性については不明の点が多い。著者等はこれまで波動エネルギーの伝播現象を詳細に検討するため、複合材料であるコンクリートを構成する各種材料の構成割合を変化させて供試体を作製し、応力波動へ及ぼす影響について応答波形の比較により検討している²⁾。本論文では、セメントペースト中の骨材の粒径による影響を有限要素法によってモデル化し、実験結果との比較を行ってモデル化について検討する。また骨材粒径によるシミュレーションの結果についても報告する。

2. 実験概要

測定は、入射センサー（Transmitter、共振周波数50kHz）により供試体面に垂直に超音波を入射した。入射センサーは直径12mmの円柱形状の圧電型センサーを用い、受信センサー（Receiver）には接触面に対して垂直方向の変位成分を感知する縦波用のSensor Vと接触面に平行な方向の変位成分を感知するせん断型圧電センサー（Sensor II）の2種類を使用した。供試体は図-1に示すように30×30mmの断面で、長さ400mmの正方形断面の棒状供試体である。図-1(a)はセメントペースト(PA)のみの供試体であり、供試体PB、PC、PD、PEは、選別して取り出した粗骨材(川砂利、表乾比重=2.66)をセメントペーストに混合した供試体で、それぞれ最大粒径と供試体に占める体積率に違いがある。供試体PBは最大粒径 $d_{max}=10\text{mm}$ 、体積率10%の供試体、供試体PCは最大粒径 $d_{max}=10\text{mm}$ 、体積率30%の供試体、供試体PDは最大粒径 $d_{max}=20\text{mm}$ 、体積率10%の供試体、供試体PEは最大粒径 $d_{max}=20\text{mm}$ 、体積率30%の供試体である。また供試体PHは、直径30mmのガラス玉を疑似骨材として等間隔に8個並べたモデルで規則的に骨材を配置した場合の比較を試みる。

3. 有限要素法による骨材のモデル化

有限要素法による解析は、汎用構造解析プログラムMARCを用いて時刻歴応答解析を行った。解析モデルは図-2に示すような2.5mmの正方形の二次元アイソパラメトリック要素を用いて行った。また、境界条件は図-2に示すように下面をy軸方向に支持している。時刻歴応答解析はNewmarkの β 法（ $\beta=1/4$ ）を用いている。入射波形は、実験より得られた入射点近傍の波形より次式によって入射波形とした。

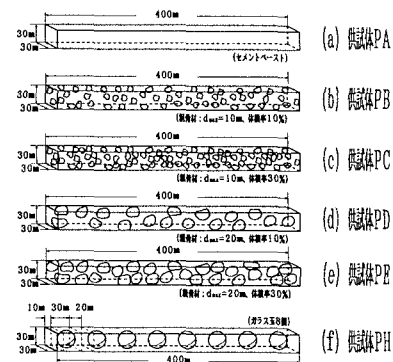


図-1 実験用供試体

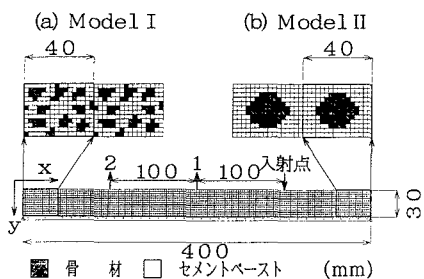


図-2 解析モデル

(総要素数:1920 総節点数:2093)

表-1 理論解析における材料定数、減衰係数

	セメントペースト	粗骨材
弾性係数(tf/m^2)	2.506×10^8	2.8×10^8
ポアソン比	0.17	0.3
密度(g/cm^3)	2.044	2.70
v-l-減衰の係数 α, β	$\alpha = 1.694 \times 10^4$ $\beta = 1.49 \times 10^{-9}$	

$$F(t) = f_1 \sin(2\pi f_2 t) \sin(2\pi f_3 t) \dots (1)$$

ここで、 $f_1=1$ 、 $f_2=6.44\text{kHz}$ 、 $f_3=58.6\text{kHz}$ で、 t は超音波の入射時間で $72\mu\text{sec}$ である。セメントペースト、骨材の材料諸元は表-1に示す通りである。時刻歴応答解析の時間間隔を $0.4\mu\text{sec}$ とし、入射位置と測点番号は図-2に示す通りで、入射波は実験に使用したセンサーの直径を考慮して、4要素に分布する荷重とした。ここでは、骨材の体積率が一定の場合に骨材粒径による加速度応答を比較する。骨材の配置は 40mm 毎に図-2(a)、(b)のようなパターンが供試体の長さ方向に繰り返す。骨材の体積率を30%とした場合に、図-2(a)のように最大粒径を 10mm として骨材形状と配置をランダムにした場合をModel Iとし、図-2(b)のように最大粒径 20mm の骨材1個が規則的に10個配置した場合をModel IIとしてモデル化し骨材粒径による影響を検討した。

4. 数値解析

(a) 数値解析結果と実験結果との比較

図-3には測点1での供試体PE(最大粒径 20mm 、体積率30%)の測定波形とModel Iの加速度応答を比較した図である。左の縦軸は実線のスケールで加速度応答(gal)を、右の縦軸は破線のスケールで測定電圧(Volt)を表す。横軸は経過時間で $400\mu\text{sec}$ までを示している。図-3(a)はy方向加速度との比較であるが、破線には供試体内部の骨材からの反射波形が見られるのに対して、数値計算では、はっきりとした骨材からの反射波形は見られなかった。図-3(b)はx方向の加速度応答の比較である。この波形は実験結果と比較的に良く一致している。

(b) 粒径による応答の比較

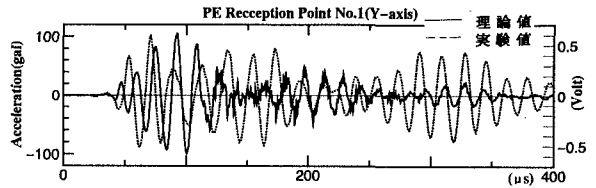
図-4はModel IとModel IIの数値計算結果の比較で、骨材粒径の大きさによる超音波の伝播特性について検討した。実線はModel II、破線はModel Iを示している。図-4(a)は測点2のy方向の加速度応答を比較している。骨材粒径が大きくなると伝播距離による減衰が大きくなり、破線に比べ実線の振幅が小さくなっている。図-4(b)の測点1でのx方向加速度応答は破線に比べ実線の振幅が小さくなり、粒径による影響を受けている。しかし、測点2ではこの振幅の差はほとんど見られなくなる。これは、x方向の応答は伝播距離が長くなると骨材の不規則な配置の影響は平均化される為と考えられる。

5. まとめ

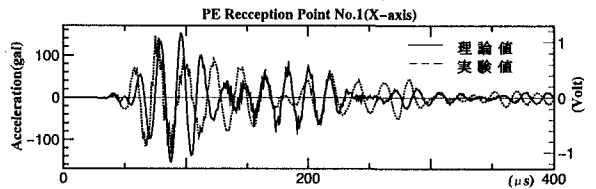
セメントペースト中の骨材の粒径と配置による超音波の伝播特性を実験と理論解析から検討してきた。その結果、水平方向の伝播特性は理論解析結果と比較的に一致することを示した。また、骨材の粒径を大きくした場合の影響を示した。

参考文献

- 1) 明石外世樹：コンクリートの非破壊試験に関する研究、土木学会論文集、第390号/V-8、1988
- 2) 三上、大島、村丸、角田：不均一性材料の超音波伝播と減衰特性に関する実験的研究、構造工学論文集、Vol. 41A、pp. 515-524

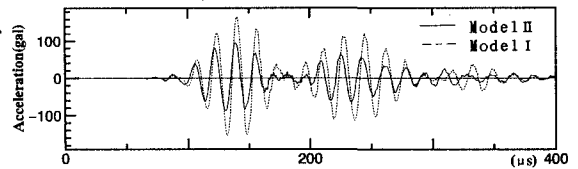


(a) y方向応答の比較

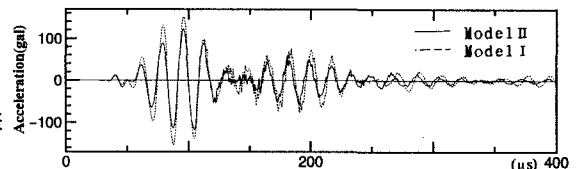


(b) x方向応答の比較

図-3 実験と理論の比較



(a) y方向応答の比較(測点2)



(b) x方向応答の比較(測点1)

図-4 骨材配置による応答の比較