

I - 9

不均一材料中を伝播する応力波動のスペクトル解析

北見工業大学	学生員	村丸 清英
北見工業大学	正 員	三上 修一
北見工業大学	正 員	大島 俊之

1. まえがき

コンクリートのような不均一性を有する材料において超音波を用いた非破壊検査をする場合、応力波動の材料の減衰性による伝播特性を精度良く確定しておき、そのうえで材料内部の欠陥やInclusionによる影響を波動散乱問題として解析することとなる。本研究では二次元長方形板に関する応力波動問題を対象としてこれらの応力波動が内部減衰および波動散乱の影響によりどのように変化するかを均質供試体を基準としてクラック、スリット等の供試体とのスペクトル解析結果の比較から検討をした。

2. 実験概要

図1に実験に用いた7種類のモルタル供試体を示す。供試体は長さ700mm、高さ300mm、板厚30mmの長方形板をベースにモルタルのみの供試体MAを基準として、クラックモデル（供試体MB）、切欠きモデル（供試体MC）、一個の水平スリットモデル（スリットの厚さ10mm、幅100mm：供試体MD）、多数の周期的に配置した幅30mmのスリットモデル（スリットの厚さ1mm：供試体ME、スリットの厚さ3mm：供試体MF）、および骨材をモデル化した多数の円形介在物（ガラス玉、直径3cm）モデル（供試体MG）である。モルタルはW/Cとして50%、密度 2.117 g/cm^3 、縦波伝播速度 $V_p=4373 \text{ m/s}$ 、横波伝播速度 $V_s=2757 \text{ m/s}$ となっている。

次に測定システムを図2に示す。実験では入射センサー（Transmitter）として50kHzのP波用のものを用い、Pulse Generatorより電圧10V、継続時間 $10 \mu\text{s}$ の設定条件で図2のように供試体の上辺

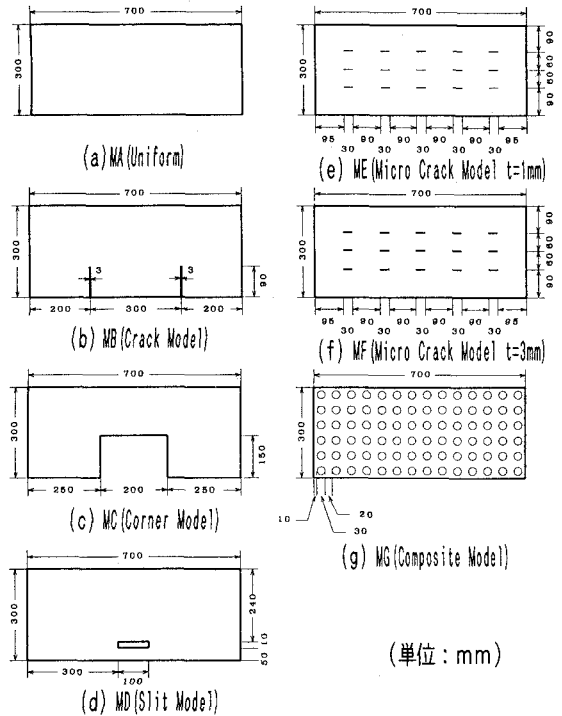


図1 供試体

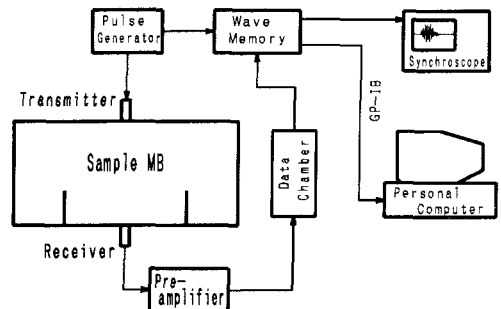


図2 測定システム

Spectrum Analysis of Stress Wave Propagation in a Homogeneous Medium
by Kiyohide MURAMARU, Shuichi MIKAMI and Toshiyuki OSHIMA

中央に面に垂直に応力波を入射した。入射センサーは直径12mmの円柱形状であり、圧電型センサーを用いたが、入射条件は（入射音圧）／（電圧）=Const.の関係があるので加速度入力となっている。この変換係数は圧電歪定数などに依存するが詳細は省略する。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センサーAと水平方向の変位成分を感知するセンサーBの2種類を使用した。センサーBはせん断型圧電センサーで感知方向に指向性があるため感度が大きくなるように配置した。図3には各供試体における受信センサーの設置点について示してある。各センサーはバネが内蔵された専用取り付け治具で固定し、グリスをはさんで接触圧を一定とした。受信波は増幅回路を経てWave Memoryに書き込まれる。FFTなどの波形の2次処理は別途ワークステーションを用いて行う。

3. 実験波形のスペクトル解析による不均一性材料の非破壊評価
 以下では実験で得られた波形から内部の欠陥やInclusionが波動伝播におよぼす影響を均質供試体とのスペクトル解析結果の比較から検討する。また、あらかじめ欠陥からの反射等の伝播径路に依存する共振周波数の値も計算しておきこれらも参考として考察する。

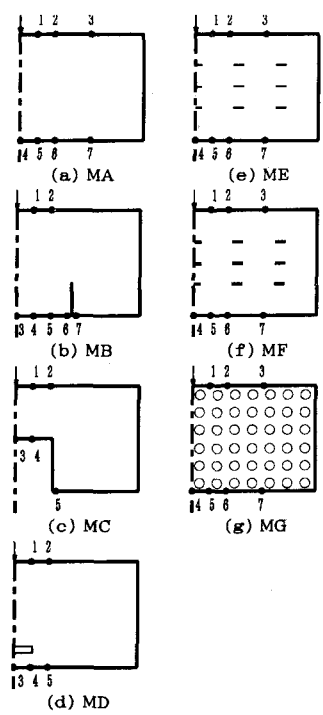


図3 受信センサー設置点

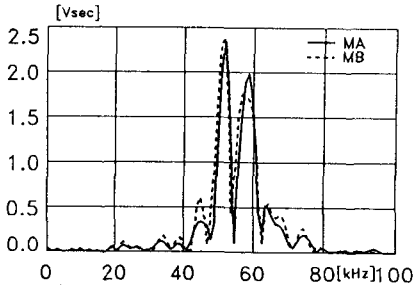


図4 供試体MB（点1）

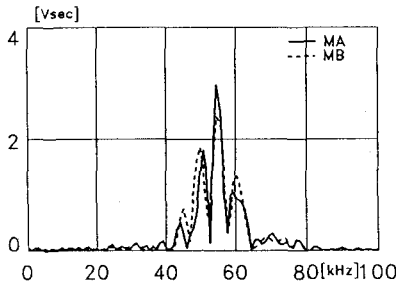


図5 供試体MB（点2）

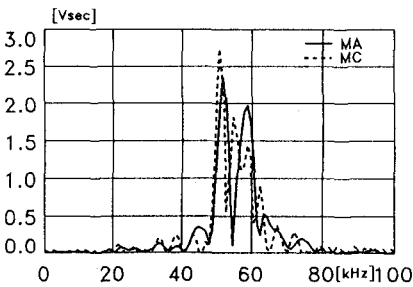


図6 供試体MC（点1）

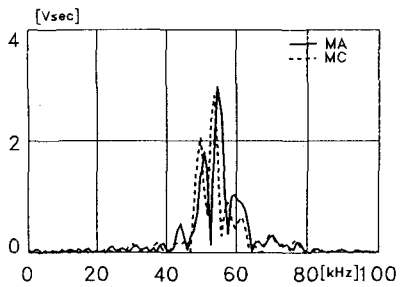


図7 供試体MC（点2）

(1) クラック供試体 (MB)

図3 (b) の点 1における鉛直方向応答のスペクトル図を図4に示している。入射センサーの共振周波数が50kHzであるためその近辺にピークが発生しているが、また約56kHzにもピークが見られる。これはクラック先端部分にP波で到達しS波で反射し点 1に到達した径路の周波数に対応しており端部エコーの影響と考えられる。次に図5には図3 (b) の点 2における鉛直方向応答のスペクトル図を示している。61kHz、68kHzのピークはクラック開口部にP波で到達しP波で反射し点 2に到達した径路の周波数に対応する。また73kHz付近にはクラック先端部分にP波で到達しS波で反射し点 2に到達した径路の周波数に対応し、45kHzはクラック先端部分にP波で到達しP波で反射し点 2に到達した径路の周波数に対応しておりそれぞれ端部、および角からの反射の影響をとらえている。また図4では45kHzのピーク周波数のずれはないがピーク高さに差が出ている。図5の45kHzのピークについても同様である。

(2) 切欠き供試体 (MC)

図6に図3 (c) の点 1、図7に図3 (c) の点 2における鉛直方向応答のスペクトル図をそれぞれ示している。図6および図7においては、切欠き供試体MCに対する結果(破線)にピークの増加が見られ、これらは入射波が切欠き面で反射されたことによる影響に対応している。

(3) スリット供試体 (MD)

図8に図3 (d) の点 1における鉛直方向応答のスペクトル図を示している。この図と図4 (図3 (b) の点1)を比較した場合、および図6 (図3 (c) の点 1)とを比較した場合、前者の方が似ている。この場合は反射面の入射点からの距離(深さ)に関係しており、一般に反射面が入射点から近い距離(浅い位置)にあるほどスペクトルのピークの分岐が多くなると考えられる。供試体MCと供試体MDを比較した場合、MCの方が欠陥の反射面が入射点から近い。そして図6を見ると図4と図8に比べて50kHz~60kHzにかけてピークが分岐していることが分かる。これらのことからスペクトル図においても反射面の入射点からの距離に対応した影響を見ることができる。次に図9に図3 (d) の点 2における鉛直方向応答のスペクトル図を示しているが、こ

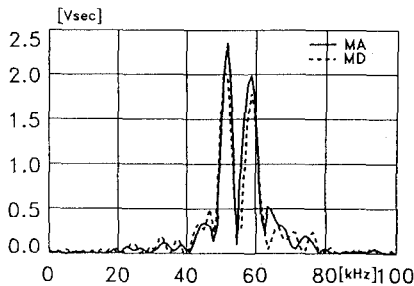


図8 供試体MD (点 1)

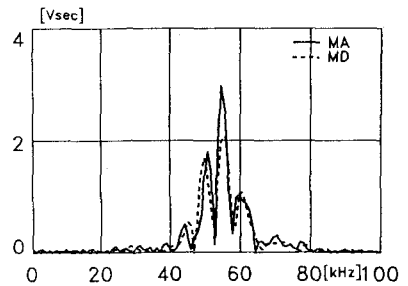


図9 供試体MD (点 2)

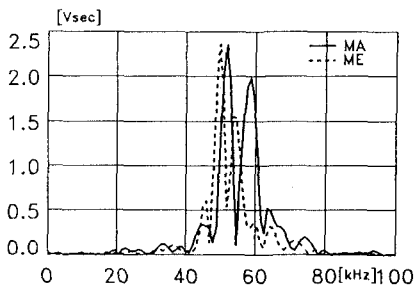


図10 供試体ME (点 1)

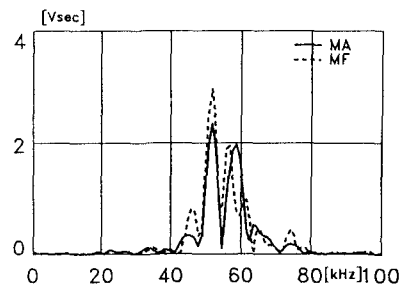


図11 供試体MF (点 1)

の図と図8を比較した場合(2)の切欠き供試体で述べたような傾向は見られない。これは供試体MCと供試体MDの欠陥の位置の比較と測点の位置から推察すると欠陥の横幅の違いによる影響を受けたものと考えられる。つまりMCは入射点から点2までの長さで切欠きの横幅の長さは同じであるがMDのスリットの横幅は入射点から点2までの長さの半分しかない。

(4) 周期配置したスリット供試体(ME、MF)

図10に図3(e)の点1、図11に図3(f)の点1における鉛直方向応答のスペクトル図をそれぞれ示しているが、両方とも46kHzのピーク周波数のずれは、入射点のすぐ手前のスリット端部にP波で到達しP波で反射し、それぞれの点に到達した伝播径路に対応している。また50kHz～60kHzの範囲に着目すると両方とも分岐したピークがあり、これは(3)のスリット供試体で述べた様に反射面の入射点からの距離(深さ)に依存する影響である。この場合両方ともスリットの厚さに違いがあるものの配置位置は同じで反射面(スリット)に近いことからピークに分岐がみられると考えられる。次に図10と図11の供試体MEとMFの全体的なピーク高さを供試体MAの実線を目安に比較するとMFの方がMEより大きい。これはMFの方がスリットの厚さが厚いことで振動しやすいためと考えられる。

4. 結論

不均一性を有する材料中を伝播する応力波動の伝播特性を解析するため均質モルタル供試体を基準として比較することにより内部の欠陥やInclusionの影響によるスペクトル特性を確認した。得られた結果を簡単にまとめると次のようになる。

(1) 均質モルタル供試体と比較することにより各欠陥からの反射の影響をスペクトル図においてピーク周波数のずれとして示し、その周波数から欠陥からの反射伝播径路を確認することができた。

(2) 切欠き供試体MC、スリット供試体MD、周期配置したスリット供試体MEとMFの比較によりピーク分岐の有無から欠陥の入射点からの距離(深さ)による違いを確認できた。

(3) 切欠き供試体MCとスリット供試体MDから欠陥の横幅による影響を確認することができた。またスリット供試体MEとMFからスリットの厚さによる違いを全体的なピークの高低差にみるすることができた。

以上のように不均一材料中の応力波動の伝播特性は応答波形では確認しにくい影響もスペクトル解析をすることによりあきらかとなる点もある。今後は、疑似骨材による応力波動の影響についての研究、あるいは欠陥の深さ、幅、厚さなどのパラメーターごとの研究をさらに細かく検討していく予定である。なお本研究は平成5年度文部省科学研究費一般研究C(代表者・大島俊之)の補助を受けました。

参考文献

- 1) 小笠原、安田、大島、斉藤：非破壊評価に応用するコンクリートの減衰定数に関する研究、土木学会第47回年次学術講演会概要集、共通セッションCS1-28、1992
- 2) 村丸、小笠原、井上、大島：不均一性を有する材料中を伝播する応力波動の応答特性、土木学会第48回年次学術講演会概要集、共通セッションCS50、1993