

東海大学	正会員 極檀 邦夫 ¹
(株)大本組	正会員 関根 浩次
伊藤建設(株)	正会員 岩野 聡史

1. まえがき

鉄筋コンクリート板に鋼球を衝突させると、鋼球接触時間は鋼球半径に比例して大きくなり、落下高さにわずかに影響されることがヘルツの衝突理論によって示されている。鋼球衝突による力-時間関係は半波正弦波で近似でき、接触時間を半波長とする振動がコンクリートを球面状に伝搬してゆくと考えられる。接触時間が短いと微細な欠陥の感受性がよくなるが減衰は大きくなる。その逆に接触時間が長くなると減衰しにくいので透過力は大きくなる。つまり、コンクリートの厚さ測定を目的とした場合は、接触時間の長い大きい鋼球が適するが内部の微少な欠陥を探査できない恐れがある。

本文は、打撃による弾性波を利用してコンクリート構造物の内部欠陥の探査技術ならびに厚さ測定の非破壊試験法の確立を目的に、コア抜き穴を有するコンクリート板を対象とした測定データの信号処理方法による解析結果の相違を示す。

2. 測定と解析

供試体は、幅 2200mm、高さ 1150mm、厚さが 100,200,400,600mm と階段状に異なる形のものである。測定対象は、400mm の部分で形状を図-1 に示す。55mm および 110mm のコア抜き穴があり、これを内部欠陥とみなし、図に示す測定線上を 20mm 間隔で測定した。鋼球は直径 16mm を用い、サンプリングクロックは 1 マイクロ秒、データ数は 4000 個である。

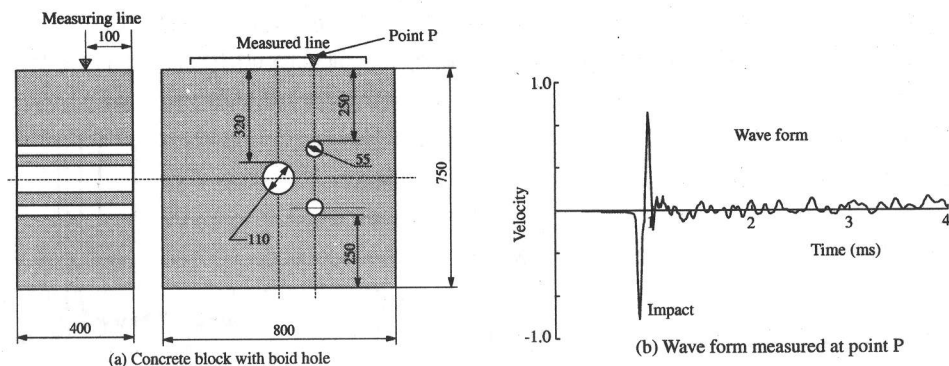


図 1: 測定対象としたコンクリートブロック

波形解析 図-2 に波形解析の結果を示す。解析する波形は、55mm 穴の直上で測定した速度波形で、図-1(b) に示すものである。図の横軸は、測定面からの深さで表記しているが、これは、 $D = V_p/2f$ (ただし、 V_p : 縦弾性波速度 (3,940m/s)、 f : 振動数) として計算した値である。衝撃弾性波法では、使用する信号の波長が長いので、入力信号と縦弾性波の反射成分を時間軸上で分離することが困難である。このため、波動が測定表面と欠陥あるいは、底面との間で多重反射することによって生じる固有振動数を分析し、これから反射を生じる位置の深さを解析する方法を検討する。測定点 P の直下には 55mmφ が 2 個、隣接して 110mmφ の穴がある。もし、弾性波がコンクリート内部の欠陥を探査できないときは、測定点 P においてもコンクリートの厚さに相当する振動数成分が卓越するであろうと考えられる。しかし、図-2 の解析結果に示すように、どの解析方法によっても、コンクリートの厚さに相当するスペクトルよりも、25cm から 35cm の範囲のスペクトルが優位となっている。すなわち、衝撃弾性波法によって、コンクリートの内部欠陥の検出が可能であることが示されている。

しかしながら、図-2 に示すように解析方法によってスペクトルの構造が異なる。特に、フーリエスペクトルでは広い範囲に複数の局所スペクトルが存在し、欠陥の位置を明確に示すことが困難である。これに対し、

¹キーワード コンクリート板、衝撃振動、反射波、MEM、パワースペクトル

図-2(b)の自己相関関数をフーリエ変換して求めたパワースペクトルでは、26cm, 29cm, 35cmに主なピークがあり、ほぼ欠陥の位置と一致する。さらに、最大エントロピー法(MEM)¹⁾によるパワースペクトルでは、ピークは25cm, 28cm, 33cmに生じ、より明確となる。コンクリート内部の欠陥や厚さは、インパルス応答関数を規定するので縦弾性波の多重反射によって生じる固有振動数は、周波数応答関数に反映される。

時間窓 MEM 解析法は、インパルス応答関数が時間によって変動することを考慮して、測定波形を時間窓に区切って、ずらしつつ MEM 解析し平均したものである。この方法には、比較的安定した応答関数を抽出する性質があり、図-2(d)に示すように、測定点直下の上部欠陥とコンクリートの厚さに相当するスペクトルがピークとなる。

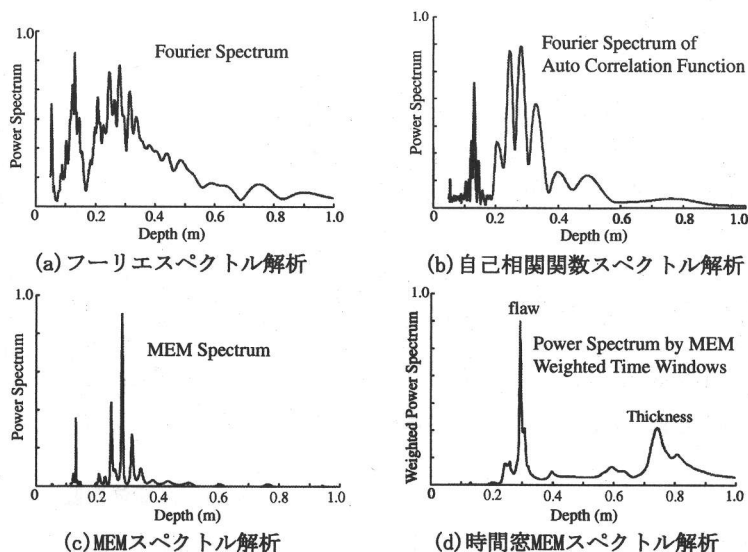


図 2: 波形解析

掃引解析 図-3は、時間窓 MEM 解析のスペクトルを測定位置を横軸、深さを縦軸として示すものである。スペクトルの大きいところは白く、コア穴は丸で囲んで示している。図から読みとれるように、55mm および 110mm の穴の上部に相当する位置で、強いスペクトルが観測され、おおよそ、欠陥がこれらの位置に存在すると判断できる。コンクリートの厚さに相当する位置では、厚さ方向に幅の広いスペクトルが見られるが、これは、測定対象物が階段状の集合体であることと幅が 400mm と狭いので、複数の反射経路が存在するためと考えられる。

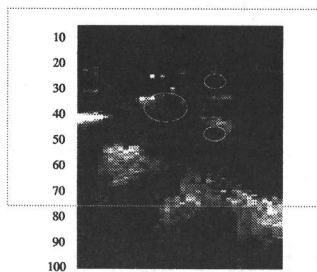


図 3: 掃引解析の結果

3. まとめ

鋼球衝突による弾性波のスペクトルの解析方法としては、これまで単純なフーリエ変換による方法が主流であった。以前に発表した速度波形から自己相関関数を求めて、そのパワースペクトルを求める方法と、今回こころみた時間窓最大エントロピー法(MEM)解析の3者を比較すると、MEMがコンクリートの内部欠陥探査および厚さ測定方法としては適用性が高く優秀であることが解った。

さらに、レーダと同様に測定点を移動させながら測定し、これをスペクトル強度として図化する方法が、測定解析の結果を理解しやすくする手段として有効であることを示した。

また、欠陥部の位置を正確に求めるためには、縦弾性波の伝搬速度を精度良く求める必要があるが、表面波から推定する方法は既に発表した。しかし、あらかじめ厚さが分かっているコンクリート構造物の場合、縦弾性波速度は多重反射波から得る振動数から逆に計算可能である。この場合には、弾性波速度の大小からコンクリートの品質に関する情報(縦弾性係数)が得られることになる。

参考文献 (1) 日野幹雄著、『スペクトル解析』、朝倉書店、1992