

## 表面弾性波速度測定の基礎的研究

(株)コサカ技研	正会員	福井	啓人
(株)コサカ技研	正会員	磯野	道夫
(株)コサカ技研	正会員	法官	淳
iTECS 技術協会	正会員	極檀	邦夫

### 1. はじめに

国土交通省は、平成 18 年に「微破壊・非破壊試験によるコンクリート構造物の強度測定要領(案)」を発表し、全国で 37 カ所の橋梁を対象に試行された。測定者の要件として、試験に固有の検査技術ならびにその評価法について十分な知識を有することが必要である。そのため、衝撃弾性波試験法に関する知識、経験を有し、iTECS 法については、iTECS 技術協会が実施する講習会を受講した者となっている。筆者は iTECS 技術協会の講習会を受講し、表面弾性波の挙動および速度測定方法について検討する必要性をいただいた。そこで、表面弾性波速度測定について基礎的な実験を行なったので報告する。具体的な目的は次の 2 点である。(1) 表面弾性波速度測定のパソコンによる自動処理。(2) 表面切欠きが弾性波伝播に及ぼす影響。

### 2. 表面弾性波および速度測定の数値処理

コンクリート表面をインパクトで打撃すると、縦弾性波(P波)、横弾性波(S波)、表面波(R波)が生起され、内部に球面状に伝播するとともに、表面を平面的に伝播する。表面を伝播する縦弾性波の速度は、 $C_p = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ 、内部を伝播する速度は  $V_p = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}}$  となり約 5% 速くなる。良質なコンクリートの縦弾性波速度は約 4000m/s である。ポアソン比を 0.2 とすると、P 波を 100% とすると S 波は 61%、R 波は 56% 程度である

2 個の加速度計の間隔を 30cm に固定して、1ch から 30cm (2ch から 60cm) の点の打撃波形を図 1 に示した。打点と加速度計の距離が大きくなるにしたがい、P 波、S 波、R 波が分離していくことが分かる。表面弾性波速度算出の方法として、以下の 4 つ方法が考えられる。(1) P 波始点を目視で決定する方法 (2) R 波始点を目視で決定し P 波に換算する方法<sup>1)</sup>。(3) 波形の類似性に着目して相互相関係数により時間差を計算する方法。(4) P 波始点を傾斜閾値 Slope Sense (SS) により決定<sup>2)</sup>。

弾性波速度を正確に測定するには波形の立ちあが

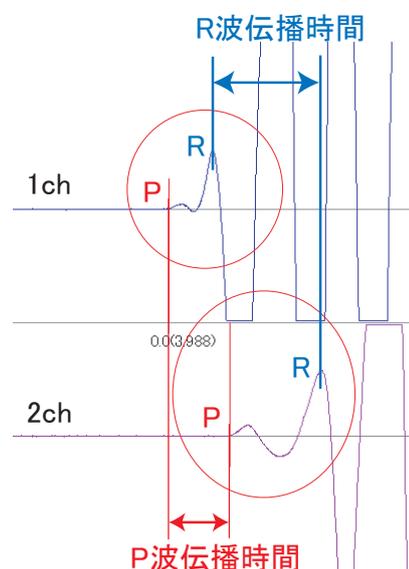


図-1 打点位置と表面弾性波

り始点を精度良く求めなければならないが、容易ではない。打撃信号を不明瞭にする要因として、打撃力の強弱、打撃力の強弱による弾性波伝播深さの影響、コンクリート表面の硬軟、コンクリート表面の局部的微小破壊、コンクリートの気泡含有率の影響、一定トリガーレベルの影響。

(4) の方法で速度をパソコンで処理させるには波形の始点決定が重要である。波形の始点を求める数値処理は、等間隔離散点座標に対する波形値のある範囲について、それら数値の集合を対象に検出プログラムを走らせることになるが、混入雑音や微小ピークの影響で正しい結果は得られない。その対策として、波形の傾斜を求める差分演算に適切な平滑操作を併用する方法がある。

微分処理は本質的に高周波強調処理で雑音成分を増大させる働きがある。ところが、平滑化処理は一種の積分処理であるので互いに背反的な処理を組み合わせることになる。始点検出処理は雑音に敏感であり、雑音軽減のために併用した平滑化は検出感度を低下させる。このようなことから、Savitzky-Golay 方式の平滑化の適用と、波形の歪みを少なくするための重みを用いた移動平均の併用がよいと思われる。取得したデータには、すぐに平滑化とピーク検出のための 1 次微分処理を施す。平滑法はふつうの単純な指数平滑で

キーワード 表面弾性波, 平滑化微分, レイリー波

連絡先 八戸市長苗代上碓田 56-2 コサカ技研

Tel 0178-27-3444 Email:fukui@kosakagiken.co.jp

ある。図-2 に示すように、始点はデータの1次微分値が設定したパラメータ SS ( Slope Sense ) より大きくなったところとして求める。SS を小さくとるとノイズによって始点の検出位置が不安定になり、大きくすれば始点が後ろにずれる。そこで、もう一つのパラメータ DT ( Detection Time ) を用いて、1次微分値が SS よりも大きい区間が DT よりも長く続いたときに、その区間の始まりを始点とするアルゴリズムを考えた。

### 3. 測定装置と試験体

測定装置は、オシロスコープ HP54540A ; 4ch , 1 GSa/s と iTECS-503 を用いた。1軸加速度計は PCB352C66 , 3軸加速度計 PCB356A24 である。コンクリート平板は、B6 × L90 × H30cm の既製品で直径6mmの鉄筋が配置されている。始めに切込みのない状態で、次に深さ6cmの切込みを入れて測定した。2個の加速度計の設置距離は6cm ~ 30cm、鋼球は5mm ~ 32mm、鋼球の打点は、ch1の加速度計から5 ~ 50cmの範囲に設定した。

## 4 実験結果および考察

### 4.1 平滑化微分による始点の決定

表面弾性波の測定データはテキストで記録されているのでエクセルに読み込み VBA で処理した。今回は、連続した5点のデータにより平滑化微分した。

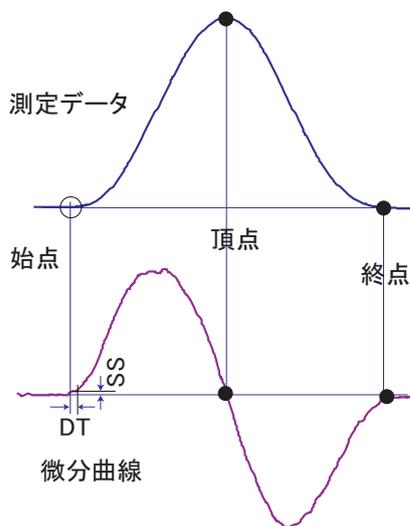


図-2 平滑化微分の波形

1回のデータ数2048, 60回分のデータを読み込み目視による結果と比較したところ、ほぼ一致したが波形の立ちあがり緩やかな場合は差違が大きい傾向を示した。ゆるやかな場合でも平滑化微分を施した波形の方が立ちあがり始点を決定するのが容易であった。さらに、波形の立ちあがり不明瞭な場合は、打撃不良あるいは測定データ不良と判断する判定基準を設けて再測定させるようにしたい。

### 4.2 表面切欠の影響

深さ6cmの切欠から3cm離れた点に設置した加速度計の波形を図-3に示す。鋼球は直径5mmで、サンプルレートは0.2マイクロ秒である。波形から求めた鋼球接触時間は31マイクロ秒であったので、波長は約13cmである。

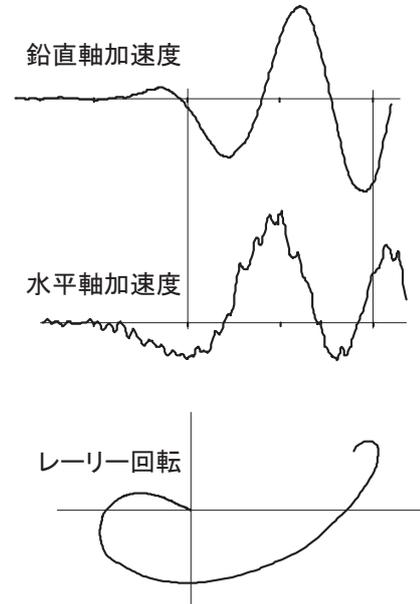


図-3 表面切欠の鉛直と水平の表面弾性波

波長よりも切欠が深いとレイリー波は切欠の表面に沿って伝播するといわれている<sup>3)</sup>。切欠のない場合の表面弾性波速度および厚さ測定の多重反射速度は約4300m/sに比較して、かなり遅くなり、鉛直軸波形の速度は約2400m/sであった。

レイリー波の振動振幅は表面からの深さの増加につれて急激に減少するので、表面から1波長程度の深さまでに振動エネルギーの95%以上が集中している。したがって、波長の短いレイリー波を用いると板の裏面の影響を受けずに表面近傍の劣化の程度を測定できる可能性があると考えられる。

## 5. まとめ

1. 表面弾性波の立ち上がり始点は、傾斜閾値 Slope Sense とその継続時間を組み合わせる方法が有効であることが分かった。
2. 切り欠き深さと同程度の短い波長を与える鋼球を用いると、弾性波速度が明らかに遅くなり切り欠きの影響を受けることが分かった。

## 参考文献

- 1) 秋松和正他, 衝撃弾性波法によるボックスカルバートの施工管理, 日本非破壊検査協会秋期講演会概要集, 2006.9
- 2) 南茂夫他, 機器分析のためのコンピュータ入門, 講談社サイエンティフィクス
- 3) 平尾雅彦他, 表面クラックにおけるレイリー波の反射と透過, 超音波エレクトロニクスシンポジウム, 1981