

非破壊検査による硬化コンクリートのひび割れ・剥離に関する診断 － 弾性波（主に超音波法）を用いた非破壊検査について－

材料研究室

はじめに

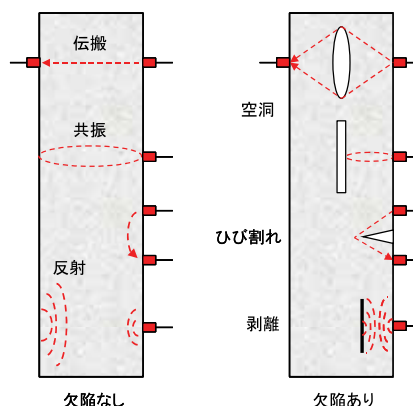
近年、コンクリート構造物の早期劣化が顕著にあらわれ、その維持管理が社会的な課題となっています。適切な維持管理には診断による劣化原因の推定と劣化程度の把握が重要であり、コンクリート構造物を壊さずにかつ広範囲に調査できる非破壊検査は、今後、コ

ンクリート構造物の点検・調査には必要不可欠な存在になりつつあります。

ここでは、非破壊検査によるコンクリート構造物のひび割れ・剥離に関する診断のうち、弾性波法（主に超音波法）について、その特徴や原理および測定時の注意点などをQ&A形式でまとめてみました。

Q1：弾性波を用いた非破壊検査にはどのような手法がありますか？

A1：弾性波を用いた硬化コンクリートの非破壊検査は、コンクリート表面に設置した発振子や衝撃入力装置によって内部に弾性波を発生させ、これをコンクリート表面の受振子で測定し、コンクリートのひび割れや剥離などの位置、寸法を測定する方法です。その欠陥を検知する原理は、基本的にはコンクリート内のひび割れ、剥離、内部空洞などによる空気層との境界において弾性波が反射することを利用しています。弾性波法には、利用する周波数の範囲や弾性波の与え方、受信方法、および検出方法によっていくつかの手法に分類されます。表－1に各手法の概要と特徴について、図－1にコンクリート中の欠陥による弾性波の伝播状況の変化について示しました。



図－1 コンクリート中の弾性波の伝播状況

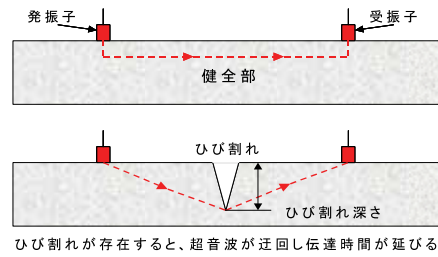
表－1 弾性波を用いた非破壊検査における各手法の概要と特徴

	概要	特徴
超音波法 (ひび割れ深さおよび内部欠陥の検出)	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート表面に発振子を設置し内部に弾性波を発生させ、これをコンクリート表面の受振子で測定 周波数は20KHz以上の超音波域を使用 弾性波の到達時間、波形、周波数、位相などの変化を測定位置で読み取り、欠陥を検出 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート内部のひび割れの測定に適しており使用実績も多い 測定の形状・寸法にあまり制約がない 鉄筋があると精度が下がる
衝撃弾性波法 (ひび割れ深さおよび内部欠陥の検出)	<ul style="list-style-type: none"> ハンマーなどによりコンクリート表面を打撃して弾性波を発生させ、これをコンクリート表面の受振子で測定 周波数は20KHz以下で、超音波域よりも低い周波数域を使用 受振子で捉えた反射エコーや波の周波数、位相などを分析し、部材厚さ、内部欠陥、背面空洞の有無、欠陥までの距離を測定 	<ul style="list-style-type: none"> 超音波より周波数が低く、衝撃波エネルギーの減衰が少ない 遠くまで弾性波が伝搬し、厚いコンクリートの探査も可能 波長が大きいため、欠陥検出の分解性能は超音波より劣る コンクリートの品質によって伝達速度が変化する
打音法 (ひび割れおよび剥離、内部空隙範囲の検出)	<ul style="list-style-type: none"> 基本的には衝撃弾性波法と同様の原理 打撃によりコンクリート中に弾性波を発生させ、この弾性波がコンクリート表面から空気中に放射されたものを測定 周波数は20Hz～20KHzの可聴域を使用 欠陥部と健全部の音の違いを利用 	<ul style="list-style-type: none"> 非接触で測定可能なため、コンクリート表面の性状に影響を受けにくい 試験法が簡便 欠陥部の判定に測定者の熟練度が必要 衝撃弾性波法と比較して、周囲の騒音の影響を受けやすい 検出精度があまり高くない
アコースティック・エミッション(AE)法 (ひび割れの発生・進展位置の検出)	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートのひび割れ発生に伴って発生し伝搬する弾性波を検出 コンクリート表面にAE変換子(センサ)を設置して検出 	<ul style="list-style-type: none"> 外部からの観測でコンクリート内部の微小なひび割れの発生が検出可能 コンクリート内部におけるひび割れの進展を空間的に測定可能 連続監視への適用性が高い

Q 2 : 超音波法によりコンクリートのひび割れ・剥離をどのような原理で検出するのですか？

A 2 : コンクリートに生じたひび割れや剥離などの欠陥部は、超音波法を用いた場合、いずれも同一対象物における健全部と欠陥部の超音波伝達時間の差を利用して検出します。図-2に超音波法の概念について示しました。コンクリートにひび割れが存在する場合、ひび割れを挟んで超音波を伝播させると、超音波はひび割れの先端を迂回するため、健全部と比較して超音波の伝達時間が延びます。一方、コンクリート内部に剥離などの欠陥が存在する場合、コンクリートの表面から超音波を発振させると、欠陥部分で超音波が反射するため、健全部と比較して超音波の伝達時間が短くなります。超音波法はこのような伝達時間の差によってコンクリートのひび割れや剥離などの欠陥部を検出します。

【ひび割れ深さの検出】



【内部に生じた剥離などの検出】

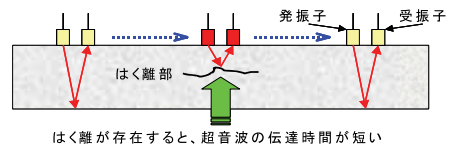


図-2 超音波法の概念

Q 3 : ひび割れ深さの測定は具体的にどのように行うのですか？

A 3 : ひび割れ深さの測定方法は発信・受信の探触子をひび割れ近傍の同一面に設置するのが基本です。測定方法は、縦波・横波および表面波などの種類と伝達時間・振幅値・周波数などの測定項目の組み合わせにより数多く存在します。ここでは Tc-To 法、近距離迂回法、修正 BS 法について説明します。一般的に伝達時間を利用して測定する場合、ひび割れ深さと弾性波速度が未知となりますが、図-3に示した Tc-To 法および図-4に示した近距離迂回法は、ひび割れのない健全部で弾性波速度をあらかじめ求めてからひび割れ深さを求めます。図-5に示した修正 BS 法は、振動子の間隔 a を変化させることによって伝達距離と弾性波速度を未知数とした連立方程式を解くことにより、ひび割れ深さを求めます。

【近距離迂回法】

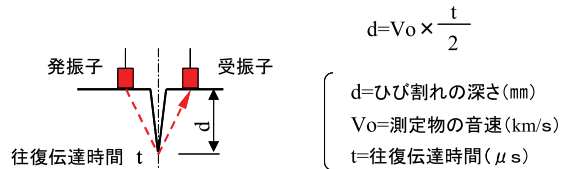


図-4 近距離迂回法による測定方法

【Tc-To法】

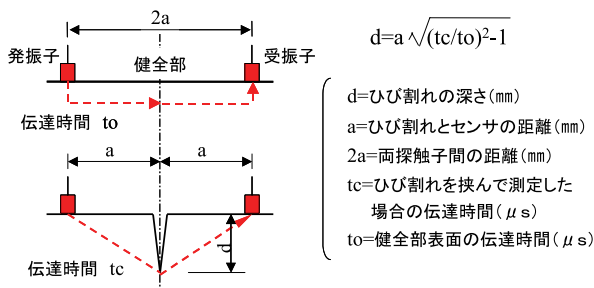


図-3 Tc-To 法による測定方法

【修正BS法】

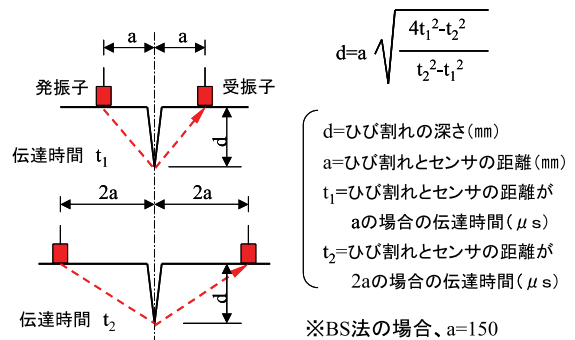


図-5 修正 BS 法による測定方法

弾性波伝達時間測定によるひび割れ深さの測定手順

- ① 受・発振子を接触させる。伝達速度および長さが既知の基準試験体から伝達速度を測定し、測定精度を事前に確認する。
- ② 対象とするひび割れを挟み、コンクリート表面が平滑で他に欠陥がない箇所を選定する。
- ③ センサとひび割れの間隔を設定し、コンクリート

表面の付着物等を取り除き、センサ設置位置の表面を平滑にする。

- ④ センサ表面に接触剤を塗布し、コンクリート壁面と密着させる。
- ⑤ 測定器を作動し、伝達時間を測定する。複数回測定し、測定値を精査する。

Q 4：超音波法で気を付けなければならない点がありますか？

A 4：超音波法による硬化コンクリートのひび割れおよび剥離などの深さ測定は、良好な条件下では実用的な測定精度を確保できることが明らかになっています。しかし、写真-1に示したように、実際に実構造物への適用を考えた場合、測定環境や対象構造物の局部的な品質のばらつき、欠陥部内に存在する充填物など測定精度に影響を及ぼす要因が数多くあります。よって測定には十分注意が必要です。表-2に超音波法を用いた場合の測定上の注意点について示しました。



写真-1 超音波法を用いて実構造物のひび割れ深さ検査状況

表-2 超音波法による硬化コンクリートのひび割れおよび剥離深さ測定における注意点

項目	項目	注 意 点
1	コンクリート内部における鉄筋などの影響	ひび割れ深さがコンクリートの内部鉄筋よりも深く、鉄筋がひび割れ面を貫通している場合やひび割れがコンクリート内部で接触している場合、ひび割れ先端を回折した超音波パルスではなく、これらの短路を経由した超音波パルスを測定し、実際のひび割れ深さよりも過小評価する可能性がある。
2	コンクリートの表面および含水状態の影響	コンクリートの表面状態や含水状態などの影響により、コンクリートの超音波伝達速度の測定結果が変動する可能性がある。
3	ひび割れおよび空洞形状の影響	コンクリートのひび割れおよび内部欠陥は、その形状が複雑であり評価が困難な場合がある。具体的には、一つのひび割れが内部で二股に別れている場合や欠陥の形状が複雑なために共振周波数が生じないようなことが多くあり、評価が困難になる。
4	複数の欠陥による影響	コンクリートと欠陥部(空気層)の間では、そのエネルギーのほとんどが反射されてしまうため、さらにその背面に欠陥があった場合には、これを検知することはほとんど困難である。
5	ひび割れ内の充填物の影響	ひび割れ幅が著しく小さい場合やひび割れ内に水や遊離石灰などの充填物が存在する場合、ひび割れがあっても超音波が伝達する可能性がある。
6	弾性波の減衰による影響	周波数の高い弾性波ほど不均質性の影響で超音波エネルギーの減衰が大きくなるため、超音波法の場合には2~3mの伝達距離が限界である。また、探触子間距離が大きい場合、超音波エネルギーの減衰で受信波の振幅値が小さくなり、初頭波の立ち上がり時間を測定することができない場合がある。
7	探触子間の距離の考え方	探触子間の距離を探触子の中心とした場合と探触子の前面である最短距離とした場合とでは超音波伝達速度の算定結果が異なるため、ひび割れ深さの測定結果に影響を与える。
8	受信波の到達時間の判定	受信した超音波の立ち上がり時間は、その判定方法により測定結果が異なる。また、探触子間隔がひび割れ深さの約2倍となるような条件下では、ひび割れ先端を回折した超音波とボアソン効果による直角回折波との干渉が起こり、超音波の立ち上がり時間が複雑に変化する。

Q 5 : 超音波法の今後の展望についておしえてください。

A 5 : 超音波法は、コンクリート内部のひび割れおよび剥落などの欠陥状態等を非破壊でかつ広範囲に調査することが可能であるため、安全かつ簡便な方法として多く利用されています。しかし、従来の超音波法によるコンクリートの非破壊検査では、検査結果を超音波による伝播速度や時間などの数値、あるいは超音波波形などで示すことが多く、一般的には理解しにくいものでした。また、測定法も数多く存在し、測定者がどの方法を選択すれば良いかとまどうような状況でも

ありました。したがって、今後は超音波法による検査結果を、客観的かつ解りやすい形で一般的に提示できるようにすること、また、数多く存在する測定方法から最も適した測定方法を選定できるよう、標準的な測定方法とその測定精度等を明確にすることが必要であると考えられます。今後は超音波法がコンクリート構造物のひび割れおよび剥落等の深さ測定の標準的な手法になる可能性は高いと考えています。

(文責 富田 豪紀)

参考文献

- 1) コンクリート診断技術' 04【基準編】、(社)日本コンクリート工学協会、2004.1
- 2) 特集／非破壊検査による硬化コンクリートの劣化診断、(社)セメント協会、セメント・コンクリー

ト、No.693、2004.12

- 3) 笠井芳夫、富士岳、田村博、笠井哲郎：コンクリート構造物の非破壊検査、日本複写センター委託出版、1996.4