

打音解析法の提案と変状発生箇所への適用事例（その2：評価法と評価結果）

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 羽矢 洋，羅 休
日本交通技術(株) 正会員 長谷川淳史

1. はじめに 筆者らは、変状発生状況が明確な実構造物を対象に打音実験を実施し、得られる打音に対し解析的検討を行った。論文「その1：打音解析結果」では、打音の解析法と解析で得られた打音の特徴について紹介したが、ここでは解析結果に基づくコンクリートの評価法と評価結果の例について紹介する。

2. 解析法および評価法概要 「その1：打音解析結果」では、打音データの収録条件および解析法の概要について紹介した。したがって、ここではウェーブレット解析結果に基づく診断・評価法の概要について紹介する。

ここに紹介する評価法は、収録打音波形のウェーブレット・逆ウェーブレット解析結果より得られる周波数成分の短時間変化および減衰性に着目し、これにより構造物・部材の健全性診断のための評価指標の算定を行うものである。

今回の試験は、コンクリート構造物の内部欠陥(ジャンカ等の品質不良)箇所と良好箇所の両方について実施したものであるが、筆者らはこれまでに室内において材料強度の違いおよび境界条件の違い(裏側空洞あるいは緩い裏込め状態といった違い)に着目した基本実験を実施している¹⁾。これら一連の試験結果を踏まえ、構造物の状態を次のように評価する方法を考えた。

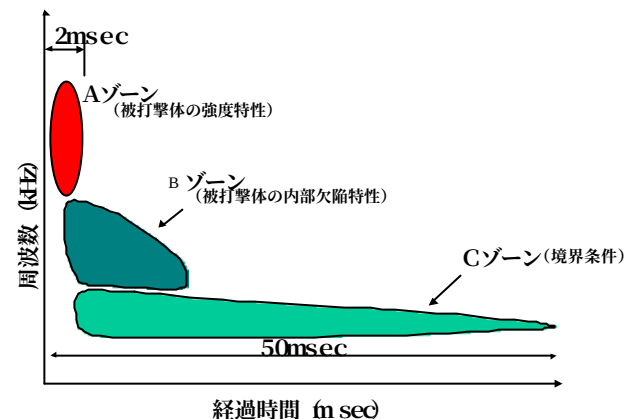


図-1 逆ウェーブレット解析結果に基づく評価の概念

図-1は打音の逆ウェーブレット解析結果を概念的にあらわしたもので、音の強さの時間、周波数特性の変化性を表現している。構造物の性状をあらわす特徴としてAゾーン、Bゾーン、Cゾーンの3種類のゾーン区分を行った。Aゾーンは、被打撃体の材料の強度特性(硬さ)を表す性質のものと考え、強度が高ければ高いほど音の周波数は高くなる。なお、この性状は後述する他の2ゾーンと比べ音の強さは圧倒的に強く、また、打撃直後から数ミリsec以内の非常に短い時間で減衰する特徴を持つ。次に、Bゾーンは被打撃体の内部欠陥を表すものと考え、図のようにあたかも三角形状の音圧の分布となる。なお、内部欠陥が無いものは、このBゾーンは解析結果に現れない。そして、Cゾーンは被打撃体の境界条件を表す特徴と考えた。つまり、空洞等が発生したような状況にある構造物は、あるスパンで支持された状態にあり、そのため打撃によって構造物は曲げ振動を呈し、打音はその振動数で長い時間残留することになる。

このような考え方を踏まえ、構造物の健全度評価については、以下に述べる指標に基づき定量的な評価を行うことを考えている。なお、打撃を人力によっていることから、毎回異なる打撃力に対する規準化を目的に、逆ウェーブレット変換波形の実効値について、打撃時から2msecの範囲にわたって加算を行い、これを基準化スコアと定め、これを用いて打撃力の違いに対し規準化を行っている。

(1) 被検査物の強度特性に関する評価

収録した打音波形に対しwavelet変換および逆wavelet変換を実施し、これにより得られる各レベル毎の波形の実効値を予め算出する。次に、打音開始時から2msecの範囲の実効値に着目し、この周波数分布特性より被打

キーワード：損傷調査，打音法，ウェーブレット解析，構造物診断

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7244, FAX 042-573-7248

撃物の表面強度・材料強度の評価を行う。

(2) 減衰時間の平均値による内部欠陥の有無に関する評価

規準化した逆 wavelet 変換波形の実効値について減衰時間を求め、その減衰時間の平均値より内部欠陥の有無、程度の評価を行う。具体的には、各レベル毎の実効値の最大値を求め、この最大値の 5% の値を閾値と定める。次に、実効値波形が閾値以下に収まるまでの時間を求める。こうして得られた各レベル毎の減衰時間の平均値を算出する。

(3) 減衰時間の最大値に基づく境界条件の評価

(2) と同様の手順で、各レベル毎の減衰時間のうち、最も最長の減衰時間を減衰時間の最大値と定め、この大きさにより被打撃物の裏側空洞の発生等、境界条件について評価する。

(4) スロープスコア

規準化した実効値に対し時間・周波数領域にわたる重み係数処理を行うことにより一つの指標を算定する。これをスロープスコアと定め、被検査構造物の部材強度の強弱、内部欠陥の有無、境界条件の良否（空洞、浮き、クラックの有無等）といった性状をトータル的に評価するための指標とする。この重み係数は、周波数方向については高周波数側に大きい値を、低い周波数側に小さい値を考慮している。なお、紙面の都合により、この重み係数の詳細は省略する。また、時間軸方向については、打音時間ゼロ秒で 1.0、100msec 経過後で -1.0 の係数を考慮した。これらの重み係数を逆ウェーブレット解析結果の各レベル毎の実効値に乗じた後、総加算した値をスロープスコアとした。これにより、良好なコンクリートの場合、大きいスロープスコアが算定されることになる。

4. 評価事例 「その 1：打音解析結果」で紹介した変状箇所に、上記評価法を適用した結果を紹介する。

(1) 左壁の A 区（ひび割れ発生箇所）の打音解析結果

ひび割れ箇所とその近傍の良好面を打撃したときの解析結果を示す。

打撃箇所の状況	良好面の打音	ひび割れ箇所の打音
減衰時間の平均値	1.5msec	12.7msec
減衰時間の最大値	5.3msec(1378Hz)	41msec(43Hz)
揺らぎ	4 回	7 回
スロープスコア	11.0	6.4

(2) 天井部の A 区（ジャンカ発生箇所）の打音解析結果

ここでは、ジャンカ発生箇所の打撃音の解析結果と打撃時にコンクリートが飛散した状態での打音の解析結果を示す。表中には、ジャンカ近傍の良好箇所の打音解析結果も併せて示した。

打撃箇所の状況	良好面の打音	ジャンカ発生箇所の打音	コンクリートが飛散した状態での打音
減衰時間の平均値	2.8msec	11.2msec	12.8msec
減衰時間の最大値	24.4msec(43Hz)	54.9msec(43Hz)	54.4msec(43Hz)
揺らぎ	5 回	8 回	7 回
スロープスコア	9.7	6.8	4.4

5. 考察 上記の解析結果から、不良箇所に関しては減衰時間の平均値が良好箇所の数倍から十倍程度長いこと、また、揺らぎの回数も多いことがわかる。この二つの指標は、図-1 に示す B ゾーン（内部欠陥の発生有り）を評価可能な指標として考えられる可能性が高い。また、スロープスコアの大きさについては、被打撃物の性状をトータル的に評価可能な指標として考えられる可能性が高いと言える。

【参考文献】1) 羽矢洋，他：コンクリート供試体による基本実験（その 1～3），第 55 回土木学会年次学術講演会，2000.09