

打音特性を用いた PC グラウト充填部材の健全度評価に関する基礎的考察

九州大学大学院 学生会員 ○福井 雄気
九州大学大学院 学生会員 渡邊 達郎
九州大学大学院 正会員 園田 佳巨

1. 緒言

近年、老朽化したコンクリート構造物の数が非常に多くなり、既設構造物の健全度に関する調査・診断の必要性が高まる中で、打音法は簡易かつ低コストで実施可能な手法であることから、実際の診断業務で幅広く利用されている。しかし、その診断には熟練性を要することが多く、さらに、得られた結果から欠陥状態の評価まで行なう例は極めて少ない。そこで本研究では、実構造物を対象に打音法による現地計測と、対象構造物を模擬した供試体による実験を実施し、それらの結果を自己組織化マップのアルゴリズムを用いて比較を行なうことにより、PC グラウト充填部材の欠陥・損傷状態の推定を試みた。

2. 現地調査について

今回の調査は、実際の PC グラウト充填部材を対象に、充填グラウトに生じたひび割れや内部空隙などの欠陥・損傷の検出を打音検査で試みたものである。検査は、入力荷重が明確に把握できるインパルスハンマーを用い、各検査箇所では 1 点の打撃位置を決め、1 つの打撃点につき 5 回の打撃音を録音した。録音は打撃点から約 2.5cm 離れたところで、マイクを手で支持して行なった。なお、今回の対象の場合、内部に欠陥が存在しても表面に外観の変状などは見られなかったため、耳で聞いた感覚で、健全と判断した打音を「A 音」、欠陥と判断した打音を「B 音」とし、計測を行なった。

得られた音圧データについて、まず、測定環境のノイズの影響を低減するために、別途収録したノイズ成分の周波数分布を調べたうえで、1kHz のハイパスフィルターを音圧データに施すこととした。さらに、計測した音圧データを最大入力荷重値で除すことで単位入力荷重当たりの音圧を求めるとともに、周波数スペクトルについては、単位荷重当たりの補正を行なった波形に対して FFT 変換することで評価した。音圧スペクトル波形の一例を図-1 に示す。図-1 より、欠陥部（B 音）が健全部（A 音）より音圧値がかなり大きく、また欠陥部については、健全部と比べると高周波域に卓越周波数が存在することが確認された。

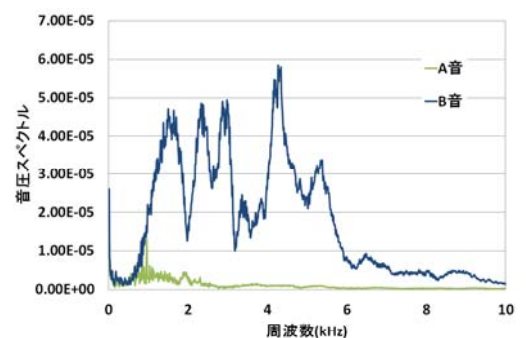


図-1 現地計測により得られた音圧スペクトル

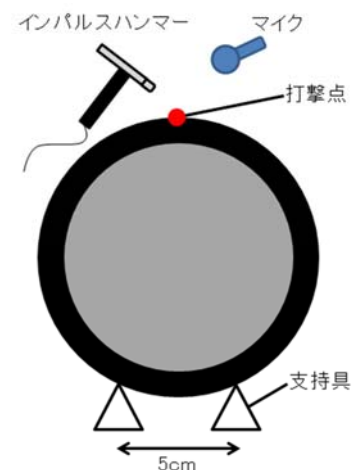


図-2 供試体の支持条件

3. 供試体実験について

現地計測で得られた結果に対して、具体的な欠陥状態を推定するために、模擬欠陥を有する供試体を用いて打音検査を行なった。供試体は、健全な供試体 A（ただし乾燥収縮によるひび割れが生じていた）、外側からハンマーで叩くことで人為的にグラウト中にひび割れを発生させた供試体 B、充填グラウトをビニールで覆うことで付着切れを有する供試体 C およびグラウトと保護管の境界の一部に空隙を設けた供試体 D の計 4 体を製作し、実験を行なった。打撃は、各供試体で中央部に 6 箇所の打撃点を選び、打撃回数や録音条件については現地計測と同じ要領で行なった。供試体は、図-2 に示すように 5cm 間隔で平行

に設置した金属棒で支持し、個々の打撃点が円形断面の頂部に来るように支持して打撃を行なった。

供試体実験により得られた音圧スペクトル波形の一例を図-3に示す。なお、音圧波形の補正処理については、現地計測データと同様に行なっている。図-3に示すように、音圧の大小、周波数特性に見られる欠陥部と健全部の相違などは、現地計測データと同様の傾向を示すことが認められた。

次に、供試体実験より得られた周波数スペクトルを入力データとして、階層型ニューラルネットワークの一種で、化学分析などで測定スペクトルの評価に用いられる自己組織化マップ(SOM)を利用して、実験結果の分類を行なった結果を図-4に示す。なお、入力した周波数スペクトルは、0.4kHz から 10kHz までの周波数スペクトルを 20Hz 毎にサンプリングした 486 個のデータ(486 次元ベクトル)で、30×30 の 2 次元ニューロンユニットを持つ SOM 上に投影した。この図では、ユニット間の相違がグレーレベルの濃淡で示され、相違が大きいほど灰色が濃くなるように表示している。図-4 より、供試体 D の空隙部分のデータが右下に配置され、他のデータとの間に濃いグレーの境界が存在することがわかる。また、入力データ全般の配置状況から、図-4 のマップには左上から右下に行くにつれて相対的に音圧が高くなっていることが認められた。

4. 現地計測結果と供試体実験結果の比較

次に、図-4 に示す供試体実験から作成した SOM に、同じ手順・要領を用いて現地計測で得られた打音データをプロットすることで、現地計測データと供試体データの対比から、実構造物の PC グラウト充填部材欠陥状態の推定を試みた。これは、SOM マップ上では、作図に用いた供試体実験データと相対差二乗和が最も小さくなるように現地計測データが配置されることを利用したもので、その結果を図-5 に示す。この図より、欠陥と判断していた現地計測の B 音が、供試体 D の空隙データの近傍エリアに多く配置されていることが認められ、このことから B 音の収録箇所が内部空隙に近い欠陥状態であると推定される。さらに、図-5 中の A 音と B 音に対して、打音の大きさを表す振幅比と減衰性も反映された実効値比の 2 点について比較を行なった結果を表-1 に示す。表-1 より、両指標ともに約 2 倍の相違があることが確認され、欠陥・損傷の程度に応じて、入力した現地計測データが正しく配置されていると考えられる。

5. 結言

実構造物を対象とした調査と供試体実験の 2 種類の打音試験を行ない、両者の結果を SOM マップ上で比較することで、実構造物部材の欠陥・損傷状態の推定が可能であることが確認された。

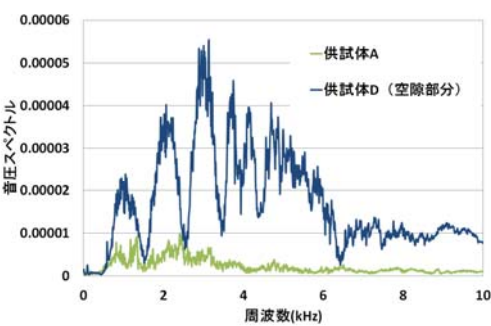


図-3 供試体実験により得られた音圧スペクトル

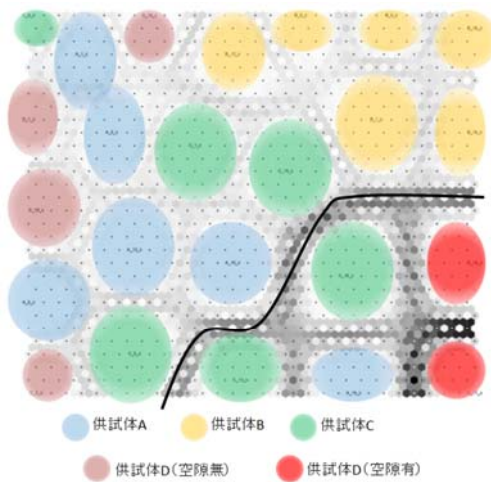


図-4 供試体実験結果から作成した自己組織化マップ (SOM)

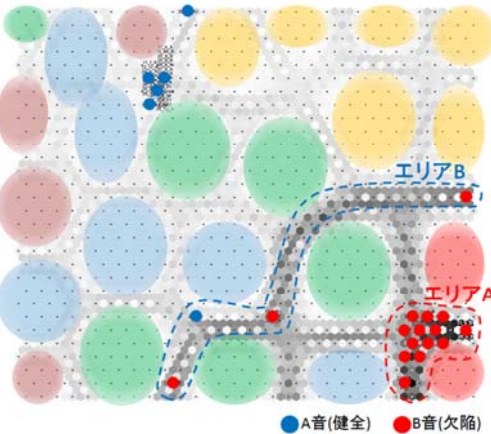


図-5 供試体実験から作成した SOM への現地計測データの入力結果

表-1 エリア A とエリア B の比較

エリアA / エリアB	
振幅比	1.94
実効値比	2.36
(平均値)	

振幅比 = A_{max}/F_{max} (Pa/N)
 A_{max} : 最大音圧振幅
 F_{max} : 最大入力荷重

実効値比 = R_{sound}/R_{load}
実効値 $R = \sqrt{(\int_{t_1}^{t_2} a^2 dt)/(t_2 - t_1)}$
a: 振幅