

新しい打音解析技術による護岸ブロックの健全性試験

NDT OF EMBANKMENT BLOCKS BY APPLYING THE AUTO REGRESSION MODEL ANALYSIS

日東建設株式会社 久保 元樹 久保 元
中野 泰宏 金田 重夫
アプライドリサーチ株式会社 境 友昭

コンクリート構造物の非破壊検査手法として最も簡便で広く普及しているのが打音法である。打音法を機械的に行う方法として、打撃音をマイクロホンで収録し、その音圧や周波数構成から健全性を評価する方法が提案されている。著者らは、新しい打音解析技術として自己回帰モデルによる予測残差から客観的に健全性を評価する手法を提案している。本報文は、新しい打音解析技術を実構造物に適用した結果を報告するものである。

キーワード：打音，自己回帰モデル，残差分析，護岸ブロック

1. まえがき

コンクリート構造物の表面近傍に剥離などがある場合、その直上をハンマで打撃すると膜振動あるいは板振動と呼ばれる現象が発生し、健全な箇所と比較して、異常音が聞こえる。打音法はこの音を聞き取り試験者の経験に基づいて健全性の判断を行うものである。このため、その判断は客観性に欠け、欠陥の検出精度に大きな疑問が残るものの、その作業性の高さは他の非破壊検査手法とは比較にならないほど高く、検査費用も安価であることから、現在では最も普及しているコンクリート構造物の非破壊検査手法と言える。打音法を機械的に行う方法では、マイクロホンで音を収録し、その音圧や周波数構成などを手がかりとして尺度構成を図る方法が提案されているが、著者らは波形やスペクトル構造の違いを自己回帰モデルによって解析し、得られた予測残差を分析する新しい打音解析技術を提案している¹⁾。本報文は、新しい打音解析技術を実現場において適用した結果を示すものである。

2. 試験概要

頭首工周囲に敷設された護岸ブロック(写真-1)の一部に写真-2 に示すようなクラックの発生が確認されたため、非破壊試験によりその健全性を確認した。試験対象は縦 5m×横 6m(15 行×12 列=180 個)の範囲とした。測定はブロックのほぼ中央を直径 10mm の鋼球で軽打して弾性波を入力し、その近傍に設置した加速度計で応答を計測した。計測後、試験対象範囲内で表面にクラックが発生しているブロックの内 20 個を取り外して目視調査を実施し、本試験との整合性を確認した。



写真-1 護岸ブロック全景



写真-2 クラックの発生状況

3. 解析方法

3.1 残差パワー比率

得られた信号の解析には、自己回帰モデルによって、基準波形と比較波形の予測残差を求め、その残差を分析する新しい打音解析技術を適用した。健全なブロックの応答波形を基準波形とし、自己回帰係数を求め、基準波形で決定された自己回帰係数を比較対象の波形に適用して基準波形と比較波形の残差を算出する。この残差が、(a)基準波形と比較波形のシステムが同じであれば残差が小さくなり、白色化(ランダムノイズ化)される、(b)システムが異なっていれば残差が大きくなるとともに残差は白色化されず周波数成分を持つことになる。

図-1 に基準波形から得られた自己回帰係数を同じ基準波形に適用した場合(比較波形を基準波形とした場合)の残差を示す。入力波形に対する残差のパワー比率は0.02%と小さく、また白色化されているのがわかる。一方、図-2 はクラックが内部にも発生している別系列の波形を比較波形とした場合の残差を示すものであるが、図から分かるとおり、残差のパワー比率は0.18%と大きく、また残差は白色化されず周波数成分を持っていることが分かる。

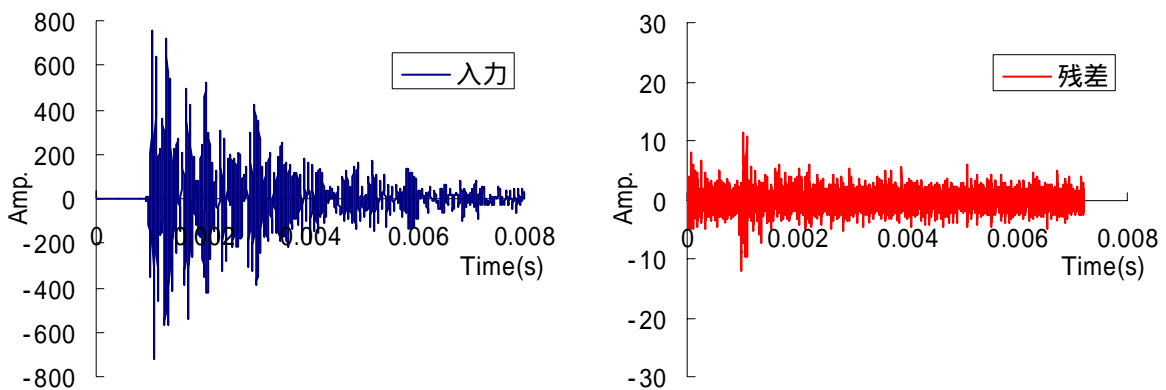


図-1 基準波形と残差

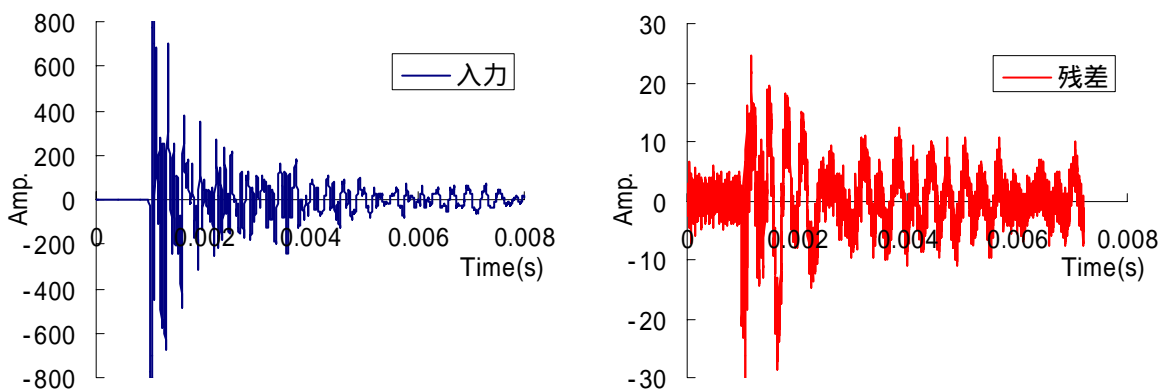


図-2 別系列波形と残差

3.2 残差の回帰写像

自己回帰モデルによる残差が図-1 に示されるように白色化されるとすれば、時刻 i と $i+N$ での信号に相関がないことになる。図-3 は基準波形および別系列波形の残差 $X(i)$ と $X(i+N)$ を直交座標に布置した回帰写像を示したものである。図の左側が基準波形の回帰写像、右側が別系列波形の回帰写像である。基準波形の回帰写像は原点を中心に円形に分布しており相関係数が非常に小さいことが分かる。

一方、別系列波形の回帰写像には相関関係が認められ残差が白色化されていないことがわかる。こ

ここで示す別系列波形の回帰写像は図-2 に示す残差を布置したものであり、残差に周波数成分が含まれているために相関関係が得られたものである。このように自己回帰モデルによる残差を分析することで応答波形の類似性の評価が可能であると推定される。

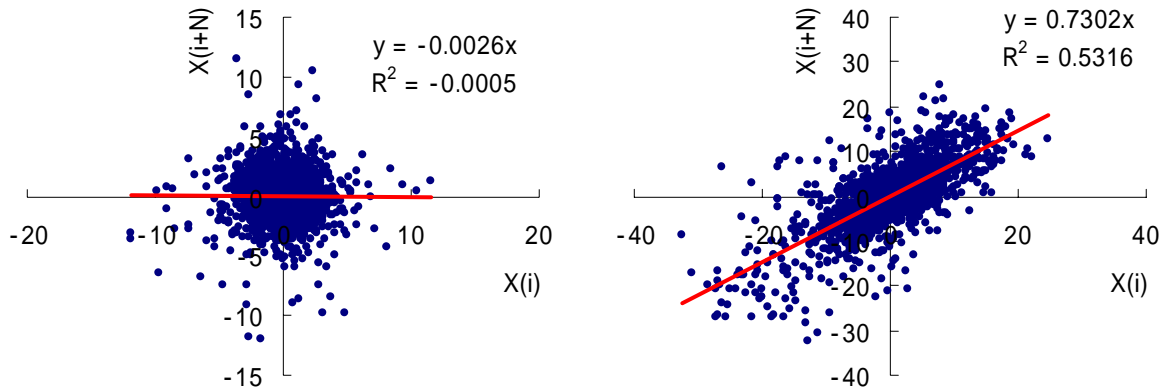


図-3 基準波形と別系列波形の残差の回帰写像

4. 解析結果

4.1 基準波形の選定と評価基準

基準波形に基づいて算出した自己回帰係数を比較波形に適用し、残差のパワー比率や相関係数を求めることで応答波形の類似性が評価できることは分かったが、この手法を実際の現場に適用する場合には、基準波形の選定が問題となる。本試験では、得られた応答波形を一定時間幅で切り出して周波数の時間変化を求める時間窓解析法(MEM スペクトログラム)を用い、時間的に安定した周波数が観測されたブロックを各行 1 個ずつの計 15 個抜き出しこの内任意の 1 個を基準波形とした。

評価基準は、周波数解析によって抜き出した 14 個のブロックに対し、基準波形を基に算出した自己回帰係数を適用し、それぞれ残差のパワー比率と相関係数を算出し、表-1 に示すように平均値 Ave. と標準偏差 から閾値を決定した。なお、標準偏差を 1.64 倍しているのは、ブロックの不良率を 5% と想定したためである。残差パワー比率および相関係数が閾値以下であればブロックは健全と評価する。

表-1 評価基準

項目	相関係数	残差パワー比率
平均 Ave.	0.1332	0.0563
標準偏差	0.0905	0.0325
閾値(Ave.+1.64)	0.2817	0.1096

4.2 数値判定と目視判定の整合性

表-2 に、縦 5m×横 6m(15 行×12 列=180 個)の範囲で表面にクラックが発生しているブロックの内 20 個を取り外して目視調査を実施した結果を示す。判定は「○」が健全、「×」が欠陥である。表面にクラックが発生しているので元々健全とは評価されないが、写真-4 に示すようにクラックが微小で使用上問題ないと考えられるものは健全と判断している。なお、数値判定は自己回帰モデルによる残差分析を適用した結果を示すものである。目視判定自体に判断の根拠がないという問題点はあるが、目視判定で異常と判定されたものは、数値判定においても異常と判定されることが望ましい。目視判定と相反する結果が得られたブロックは 20 個中 3 個で的中率は 85% と高く、自己回帰モデルによる残差分析が十分適用できる結果と考えられる。

表-2 目視判定と数値判定の比較

No.	相関係数	残差パワー比率	数値判定	目視判定
閾値	0.2817	0.1096		
03_002	0.1486	0.0379		
04_004	0.1309	0.1184	×	×
04_006	0.7291	0.1791	×	×
04_012	0.3185	0.1344	×	×
05_008	0.0857	0.1416	×	×
07_010	0.0752	0.0437		
08_008	0.1004	0.0993		×
09_008	0.1145	0.0522		
09_009	0.1202	0.0650		
09_011	0.2018	0.1864	×	×
09_012	0.0412	0.3107	×	×
10_006	0.1577	0.1148	×	×
10_010	0.0988	0.1203	×	×
11_003	0.1261	0.0332		×
11_006	0.1534	0.1495	×	×
12_004	0.0113	0.0453		
12_005	0.1532	0.0301		
13_001	0.0884	0.0781		
15_003	0.3254	0.1491	×	×
15_005	0.2995	0.0803	×	



写真-3 目視判定×数値判定



写真-4 目視判定 数値判定×

4.3 全数調査結果

図-4 に測定範囲のブロック全数 180 個の試験結果を示す。図は、横軸が残差の相関係数、縦軸が残差パワー比率である。図中赤線は先に設定した閾値である。ブロック全数 180 個の内、健全なブロックは 136 個、異常ブロックは 44 個と評価された。当現場には約 20000 個のブロックが敷設されており、数量が膨大である。このような場合新しい打音解析技術では専門技術者の知見を必要としないことから 1 次スクリーニングに非常に有効であると考えられる。

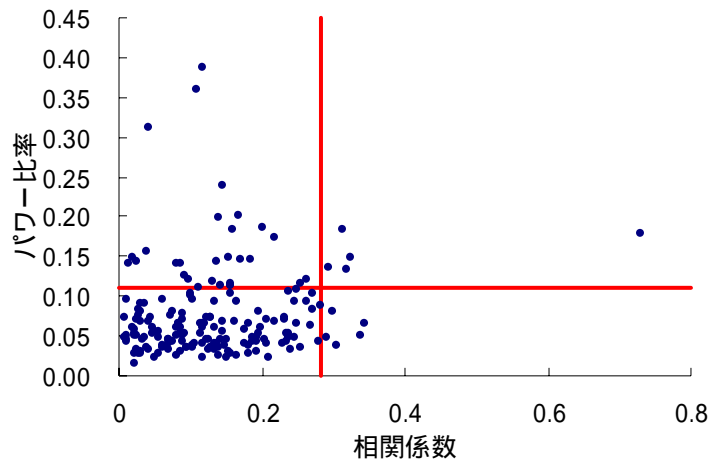


図-4 測定対象範囲ブロック全数の試験結果

5. まとめ

自己回帰モデルによって得られる予測残差を分析する新しい打音解析技術を実際の現場に適用した結果、目視判定との的中率は 85% と高く、実用的に有用な結果を得ることができた。このような試験は、通常の衝撃弾性波法による周波数解析によっても判定が可能であるが、専門技術者による知見を必要とするため、汎用的ではない。一方で、今回提示した新しい打音解析技術であれば、汎用性が高く一般技術者による診断が可能となる。また、本試験では護岸ブロックの一部の試験であったが、実際には当現場には約 20000 個のブロックが敷設されている。このように試験数量が膨大な場合の 1 次スクリーニングとして有用であると考えられる。

〔参考文献〕

- 1) 境友昭・久保元・中野泰宏・久保元樹：自己回帰モデルによる打音信号の解析，日本非破壊検査協会平成 19 年度秋季大会講演概要集，pp.139-142