

SIBIE 法を用いた橋脚の損傷検出に関する研究

日本工営株式会社 正会員 ○下菌 晋一郎*
 同上 正会員 松山 公年*
 熊本大学 正会員 大津 政康**

1. はじめに

近年、高度経済成長期に建設された構造物が更新時期を向かえ、補修・補強対策、更新などに要する費用が増加する傾向にあり、点検業務の必要性が指摘されている。メンテナンスフリーと考えられてきた鉄筋コンクリート(RC)やプレストレストコンクリート(PC)構造物に対して維持管理のための点検や調査が実施されるようになってきている。例えば、PC 構造物におけるグラウト未充填部の検出に対して、非破壊検査手法である弾性波法の適用が検討されており¹⁾、弾性波の伝播速度変化や反射波の検出に注目しているが、未だに実務性に乏しい現状にある。著者らは、弾性波法の一つである衝撃弾性波(インパクトエコー)法において得られる周波数スペクトルから、弾性波の反射・回折の影響を画像化し欠陥部を評価する SIBIE (Stack Imaging of spectral amplitudes Based on Impact Echo)法を開発中である。そして、本手法が断面画像としてグラウト未充填部の検出に適用可能であることを報告済みである²⁾。

本研究では、実務的なデータを取得するために、この手法をひび割れや浮きが確認されている実橋脚に適用し、表面ひび割れ深さを評価した結果及び PC プレキャストパネルの内部剥離を探索した結果を報告するものである。

2. SIBIE 法の原理

(1)インパクトエコー法の原理

インパクトエコー法は、衝撃力入力により発生させた弾性波の欠陥部における反射・回折を利用し、スペクトル成分のピーク(共振)周波数から欠陥位置を決定する検査法である。例えば、空隙部(未充填グラウト部など)の検出の場合には、供試体底部の反射による共振周波数 f_T 及び空隙部からの反射による共振周波数 f_{void} が、検出波形のスペクトルピークとして、図-1 のように出現するとされている。それらの周波数は、コンクリートの P 波伝播速度 C_p 、板厚を T 、シース管までの距離を d として、次式のように表される。係数 C は Shape Factor で一般的に 0.96 である。

$$f_T = C \cdot C_p / 2T \quad (1) \quad , \quad f_{void} = C \cdot C_p / 2d \quad (2)$$

(2)SIBIE 法の原理

波動の周波数成分には伝播時間を周期とする成分が卓越すると知られている。したがって、スペクトル成分には欠陥部や反射源を経て伝播する弾性波動の伝播時間(周期)の逆数(周波数)が卓越して出現する。そこで、図-2 に示すような伝播経路を対象とし、検出波形の周波数スペクトルを用いて供試体断面を画像化する SIBIE 法を開発した²⁾。

伝播経路 $R=r_1+r_2$ (3), 共振周波数 $f_R=C_p/R$, $f_{r_2}=C_p/r_2$ (4)

なお、正方形要素の大きさ Δx は、計測時のサンプリングタイム Δt による最短経路 $\Delta x=C_p \Delta t / 2$ (5)を考慮し、図-2 の解析断面に近い整数値(cm)とする。今回の解析では $\Delta x = 1 \text{ cm}$ とした。

3. 実験方法

衝撃力の入力には、鋼球より大きな衝撃力を与えられ、再現性も問題ないアルミ飛翔体(図-3(左上))を可搬式コンプレッサ(図-3 左下)からの空気圧(約 0.05MPa)により打撃する方法²⁾を用いた。試験では、打撃点の上部から

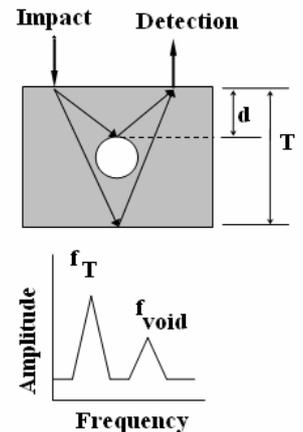


図-1 インパクトエコーの原理

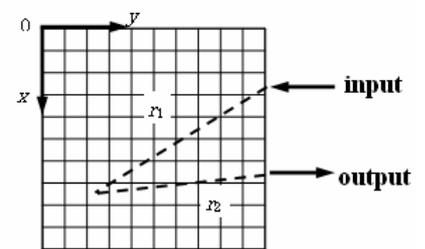


図-2 SIBIE における解析断面(伝播経路)

キーワード SIBIE 法, インパクトエコー(衝撃弾性波)法, ひび割れ深さ推定, 内部剥離探索

連絡先 * 〒102-0083 東京都千代田区麹町 4-2 日本工営(株)交通運輸事業部インフラマネジメント部 T E L 03-3238-8113

** 〒860-8555 熊本県熊本市黒髪 2-39-1 熊本大学大学院 自然科学研究科 教授 T E L 096-342-3542

アルミ飛翔体により衝撃を入力し、そこから離れた左右の2箇所に加速度計を固定し、波形を検出した。取り付けられた加速度計の計測位置は、打撃点の左右各5cmとした。また、ひび割れ部では、ひび割れを挟んで5cm離れた点を打撃し、反対側5cm離れた点に加速度計を設置して波動を検出した。波形記録には図-3(右)のメモリスコープを用い、サンプリングタイムを4 μ sec、1波形のサンプリング個数を2048とした。記憶した波形データは、PCに取り込み、上述のSIBIE解析を行った。解析に用いたP波伝播速度は現地測定し、3200~3900m/sであった。

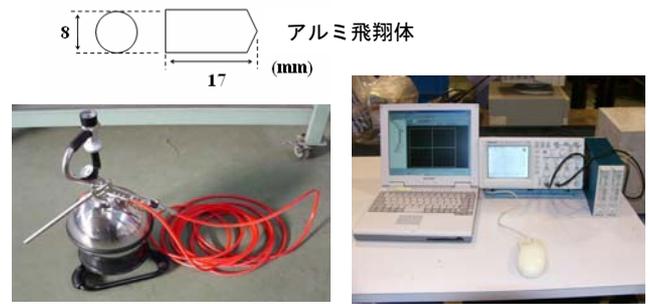


図-3 発射装置システム(左)と波形検出・解析装置(右)

測定対象は、耐震補強のPCプレキャストパネルが施工された橋脚A(図-4)、橋脚Bである。柱部にPCケーブルにより締付けられたプレキャストパネルはPCケーブル及び鉄筋が各々15cmピッチで配置されている。測定前に近接目視・打音調査で、ひび割れ・浮きの有無を把握し、鉄筋探査機で鋼材位置を把握した(図中実線が鉄筋、破線がPCケーブル)。

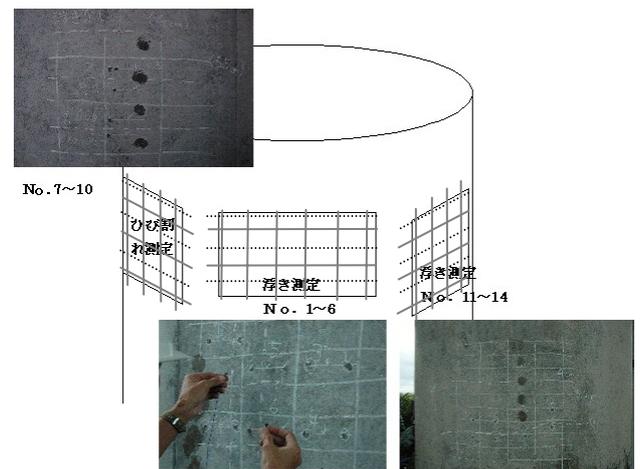


図-4 橋脚Aの測定箇所概要

4. 実験結果及び考察

解析結果は各測定点で、ほぼ同様な傾向であったため代表的な結果を示す。

(1) 内部剥離部における解析結果及び考察

A橋脚剥離部(測定点1)のSIBIE解析結果を図-5に示す。打音調査で剥離部と見られる深さ10cmあたりから下方2cmにわたって反射の強い箇所が認められた。これが剥離の幅と考えられる。なお、これらの図では剥離がプレキャストパネル(厚さ10cm)と橋脚部コンクリートの間に存在すると仮定し、それに相当するスリットを図中に示している。

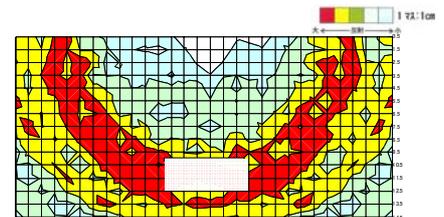


図-5 測定点1(剥離箇所)の解析結果

(2) ひび割れ部における解析結果及び考察

近接目視でひび割れが認められた箇所での測定。解析を行った結果を示す。

測定点17の解析結果を図-6に示す。深さ10cm、13.5cm付近から強い反射が認められる。前者はひび割れ先端、後者は剥離部と推定される箇所から強い反射が生じているものと考えられる。ここでは、ひび割れ先端と評価される反射強度の強い点までひび割れの想定線を記入している。測定点17のひび割れ幅は0.1mmであった。以上のことから、ひび割れ先端で深の剥離の有無も検知可能であると示唆された。

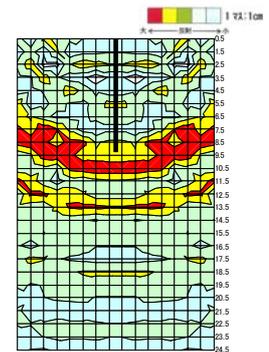


図-6 測定点17(ひび割れ幅0.1mm)の解析結果

5. 終わりに

橋脚のプレキャストパネルに生じたひび割れや剥離による浮きに対して、SIBIE法による適用性を検討した。以下に本実験により得られた知見を示す。

- (1) パネル境界の剥離による浮きの有無、幅の違いを鉄筋かぶり、鉄筋・PCケーブルの存在に関係なく検出することが可能である。
- (2) パネルに生じたひび割れの深さ及びひび割れ先端の浮きの有無についても検知できる可能性がある。

参考文献 1) 山口岳思, 鎌田敏郎, 寺田孝, 六郷恵哲: 超音波によるコンクリートひび割れ注入材の充填確認方法, コンクリート工学年次論文集, Vol. 27, No. 1, pp. 1681-1686, 2005 2) Ohtsu, M. and Watanabe, T: Stack Imaging of Spectral Amplitudes based on Impact-Echo for Flwa Detection, NDT&E International, No. 35, pp. 189-196, 2002.