

SIBIE 法におけるグラウト未充填評価法の BEM 解析に関する考察

熊本大学	学生会員	○松尾 圭祐
熊本大学	学生会員	吉良 美咲
熊本大学	正会員	友田 祐一
熊本大学	フェロー会員	大津 政康

1. はじめに

現在、プレストレストコンクリート（以下、PC とする）構造物が多く建設されているが、この PC 構造物の PC グラウトが充填不良であると、PC 鋼材の腐食や破断の原因となる。

そこで、PC 鋼材のグラウト充填不良を検出する非破壊検査手法としてインパクトエコー法を適用し、それにより得られた周波数スペクトルを用い、調査断面において弾性波の反射の影響を2次元画像化し、欠陥部を評価する SIBIE を開発している¹⁾。

本研究では、充填・部分充填・未充填シースを有する並列配置の供試体を用いて実験を行った結果と BEM 解析により得られた数値解析結果を比較し、欠陥検出能力の評価を行なった。

2. SIBIE 法の原理¹⁾ 及び衝撃応答の理論²⁾

(1) SIBIE 法の原理

周波数スペクトルのピーク周波数は、理論的には入力された弾性波が不連続面で反射することにより生じる。そこで、供試体断面での弾性波の反射位置を画像化する SIBIE という画像処理法を開発している。手順としては、図-1 のように解析対象の断面を正方形要素に分解しモデル化する。次に、分割された各要素の中心からの弾性波の反射による共振周波数を求める。その際、弾性波は入力点から要素中心、そして出力点といった伝搬経路を通る。その伝搬経路を R とすると式(1)のように表される。

$$R = r_1 + r_2 \quad (1)$$

解析対象中を伝わる弾性波の波速を C_p とすると、分割された要素の中心で反射することにより生じる共振周波数は、式(2)のように表される。

$$f_R = C_p / R \quad (2)$$

実測した周波数スペクトルにおいて、式(2)から求められる理論的な反射による共振周波数の相対振幅

値を要素値とし、それを各要素からの反射の強さとして2次元画像化して表される。それを示すのが図-2 であり、相対振幅値を5段階にして表している。

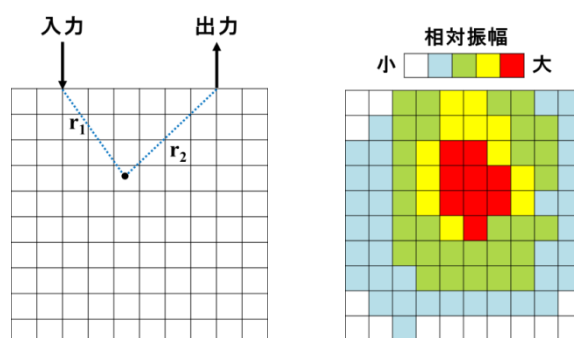


図-1 弾性波伝播経路

図-2 SIBIE 図1例

(2) 衝撃応答の理論

一般に、衝撃を与えた際の検出波動 $u(t)$ は、衝撃入力 $f(t)$ と伝播物体の応答関数 $G(t)$ を用いることで、以下の式(3)のように合成積の形で表される。

$$u(t) = G(t) * f(t) \quad (3)$$

更に、これをフーリエ変換することで以下の式(4)のようになり、それぞれのスペクトル成分の積で表すことが出来る。

$$U(f) = G(f) F(f) \quad (4)$$

3. 実験概要

実験で用いた供試体は PC 角柱供試体で、寸法は 500mm×1000mm×2000mm である。その断面図及び入出力点を図-3 に示す。また、プレストレスは導入せず、シースは主方向 PC 鋼材用 $\Phi 70$ mm、横締め PC 鋼材用 $\Phi 35$ mm を 3 本ずつ配置し、それぞれグラウト未充填・部分充填・充填の状態とした。

実際の衝撃入力には、別報に示すバネ式の衝撃入力装置を用い、飛翔体としてアルミ・チタンの 2 種類を用いた。検出には加速度計(小野測器社製 NP-3211)を用いて、貼付間隔を 100mm として欠陥検出性能の評価を行った。

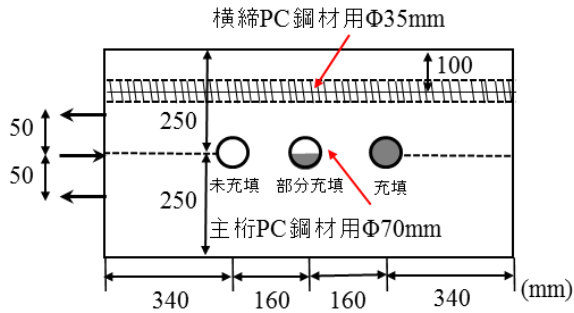


図-3 供試体断面図

4. 結果及び考察

衝撃入力実験を行い、得られた周波数スペクトルを図-4、BEM解析により得られた周波数スペクトルを図-5に示す。ここでのBEM解析結果は、式(4)に基づき入力装置の特性²⁾も考慮している。また、BEM解析を行う際に用いた物性値は、それぞれ密度を 2500kg/cm^3 、ポアソン比を 0.2、弾性波速度を 4496m/s とした。更にBEM解析で用いたモデルは、供試体の境界を 10mm 間隔に分割を行なったものを用い、BEM解析で得られる周波数スペクトルは変位成分であるため、加速度スペクトルに変換して、表示している。今回は、飛翔体にチタンを用いた結果のみを示している。

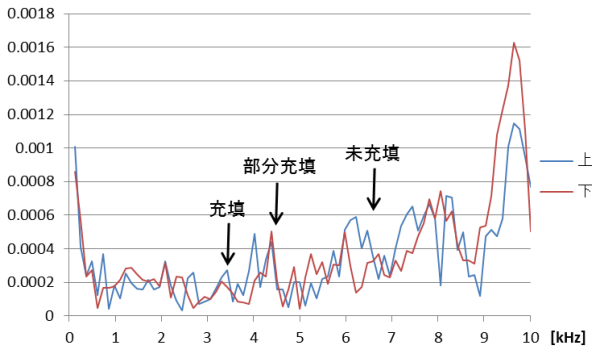


図-4 実験により得られた周波数スペクトル図

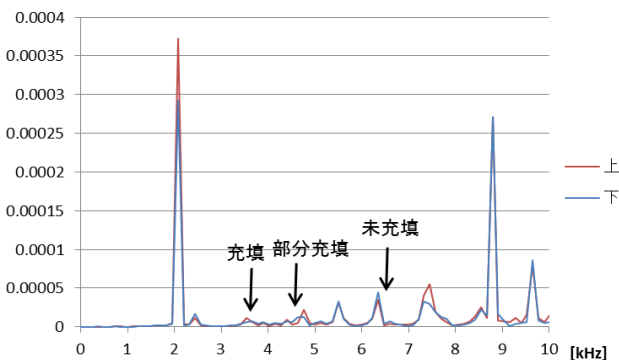


図-5 BEM解析により得られた周波数スペクトル図

図-4、5において、グラウト未充填部・部分充填部・充填部における共振周波数を同時に示している。

それぞれの共振周波数は、グラウト未充填部が 6.6kHz、部分充填部が 4.5kHz、充填部が 3.4kHz である。ここで、共振周波数を基に2つの周波数スペクトルを比較すると、ピーク位置、概形共におおそ合致していることが分かる。

次に、それぞれの周波数スペクトルを基に SIBIE 解析を行なった結果を図-6、7に示す。また、未充填部の共振周波数が 6.6kHz であることより、上限周波数を 7kHz とし、ノイズの除去を行った。

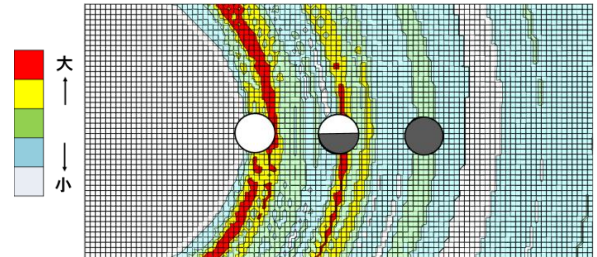


図-6 実験結果による SIBIE 解析結果

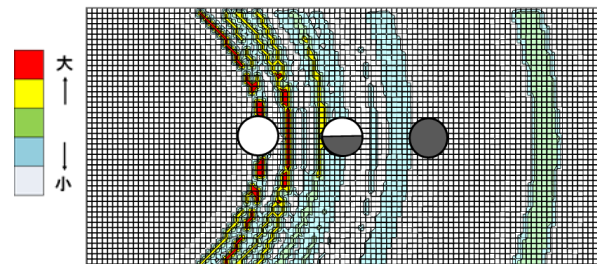


図-7 BEM解析による SIBIE 解析結果

図-6において、グラウト未充填部・部分充填部に強い反射が見られており、ある程度欠陥部の検出が可能であることが分かった。また、図-7においてもグラウト未充填部・部分充填部に強い反射が見られるため、欠陥部をある程度評価できることがこちらでも分かった。したがって SIBIE 法によれば、並列配置されたシースにおける充填度評価が可能であることが、BEM解析によっても確認することができた。

5. 参考文献

- 1) 山田雅彦, 大久保太郎, 大津政康, 内田昌勝: SIBIE による PC グラウト未充填部のモデル試験による検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.2047-2052, 2009
- 2) 園田崇博, 山田雅彦, 大津政康: インパクトエコー法における衝撃入力の定量的評価法の開発, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード 論文報告集 11 巻 pp.247-254, 2011