

PC グラウト充填度評価への SIBIE 解析の適用

熊本大学大学院自然科学研究科博士前記課程 学生会員 ○田竈慶一

熊本大学大学院自然科学研究科博士後期課程 学生会員 山田雅彦

熊本大学工学部社会環境工学科 非会員 園田崇博

熊本大学大学院自然科学研究科教授 正会員 大津政康

1. はじめに

コンクリート構造物の一つとしてプレストレストコンクリート(PC)があるが、グラウトの充填不良はPC鋼材の損傷を始めとして、構造物の性能低下の大きな一因となる。そこで現在、コンクリート構造物の非破壊検査手法の一つである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により、調査断面において弾性波の反射の影響を画像化し、欠陥部を評価するSIBIEを研究・開発中である。グラウト未充填部と充填部をさらに明確に示せるように、手法の改良に取り組んでいる。その成果について述べる。

2. 欠陥検出の原理

2.1 インパクトエコー法

インパクトエコー法によれば図-1 に示すように板厚による共振周波数 f_t 、内部欠陥反射による f_{void} が出現するとされている。供試体中を伝わる P 波の伝播速度を C_p とすると、出現するピーク周波数は図-1 に示す値を用いることにより以下の式で表される。

$$f_t = C_p / 2T \quad (1)$$

$$f_{void} = C_p / 2d \quad (2)$$

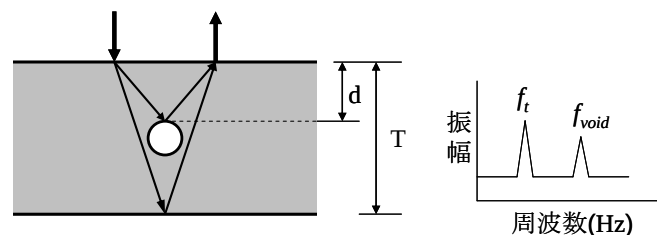


図-1 インパクトエコー法における欠陥検出の原理

2.2 SIBIE 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ためにスペクトルイメージング：SIBIE(Stack Imaging of spectral amplitudes Based on Impact Echo)という画像処理法を考案した。手順としてはまず解析対象

の断面を正方形要素に分割しモデル化する。実験に使用したコンクリート供試体断面をモデル化したものを図-2 に示す。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播経路を通るが、その最短伝播経路を R とすると式(3)のように表される。

$$R = r_1 + r_2 \quad (3)$$

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(4)のように考えられる。

$$f_R = C_p / R \quad (4)$$

実測した周波数スペクトルにおいて、式(4)で求められる理論的な反射による共振周波数の振幅値を合計することにより各要素からの反射の影響を検出する。さらに要素からの反射を強調するため、

$$f_{r2} = C_p / r_2 \quad (5)$$

を加えることとする。よって合計する周波数は f_R と f_{r2} の二つとなる。

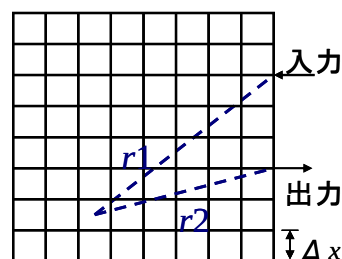
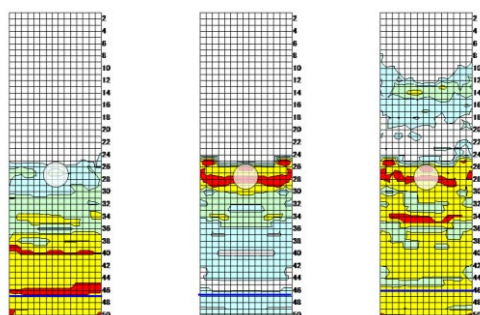


図-2 SIBIE 解析イメージングモデル

2.3 要素値の正規化

図-3 の解析図に示すように f_R と f_{r2} の解析結果をそれぞれ算出することで数周波数スペクトル上には板厚による共振周波数が存在することがわかる。このことから、板厚の要素値を算出しその値を基準値とし各要素値を相対的に評価する。これにより、シース管における要素値を数値的に比較することができ、未充填と充填の区別が明確になると考えられる。



(a)一次共振のみ (b)2次共振のみ (c)合計

図-3 それぞれの共振による解析結果の比較

3. 実験概要

3.1 供試体

図-4 に示すような 250mm×1000mm×300mm の角柱供試体内部に径 40mm のプラスチック製シース管を埋設し、B 種 1 号 PC 鋼棒(φ11mm)を緊張力 235N/mm² で引張緊張を行い、緊張後にグラウトを充填した。

3.2 インパクト入力試験

シース管の反射の影響を見るため引張緊張後とグラウトを充填後の状態でインパクト入力試験を行った。供試体に高周波数の外力を入力するため、直径 8mm 長さ 17mm のアルミ飛翔体を使用し、空気圧約 0.05MPa で図-4 に示すプラスチック管上部及び側面部についてインパクト試験を行った。図-4 の矢印に示すように、供試体表面においてシース管中心部より弾性波を入力し、中心部から 50mm 離れた二ヶ所を検出点とした。また、側面でのインパクト試験では、シース管にそって同様に配置した。グラウト充填後も、同様の配置でインパクト試験を行った。

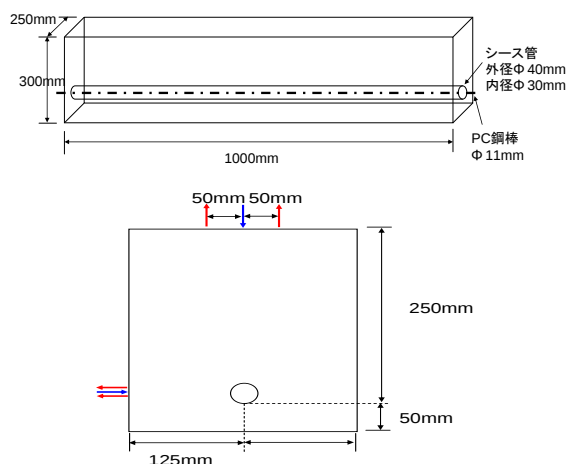


図-4 供試体と計測点

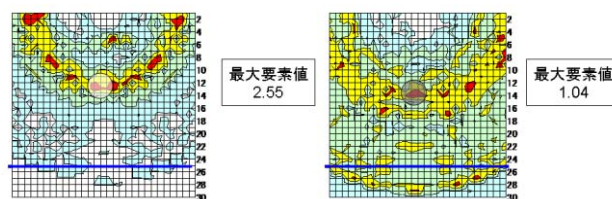
3.3 過去のデータの再解析

実構造物を対象とした SIBIE 解析の過去のデータに

今回の解析手法を適用し、再度、検出性能の検討を行った。今回、板厚 475mm でシースのかぶりが 181mm の PC 梁において、未充填箇所と充填箇所の 2 箇所実験を行った時のデータを用いた。

4. 結果および考察

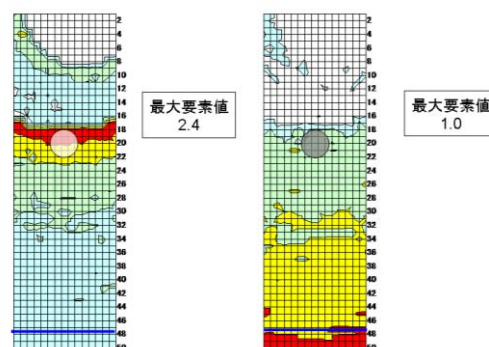
図-5 に示す SIBIE 解析の結果によればグラウト未充填時におけるシース管での要素値がグラウト充填時と比較して大きいことがわかる。このことから未充填時では、シース管からの反射が板厚からの反射より強くなっているとわかる。逆に、充填時ではシース管からの反射と板厚からの反射の値が等しいことがわかる。



(a)グラウト未充填時 (b)グラウト充填時

図-5 PC 梁における SIBIE 解析結果

また、過去のデータの再解析結果では、SIBIE 図の 5 段階評価だけを見ても大きな差が出ている。また、それぞれの最大要素値を比較してもシース管での要素値に差があることがわかる。このように正規化による改良が認められた。



(a)グラウト未充填時 (b)グラウト充填時

図-6 過去の実験データにおける SIBIE 解析結果

6. 参考文献

- 1) M.J.Sansalone and W.B.Streett, Impact-Echo, Bullbrier Press, Ithaca, N.Y, 1997
- 2) 渡海雅信, 小坂浩二, 大津政康: SIBIE を用いたコンクリート中の欠陥検査法に関する考察, コンクリート工学年次論文集, vol.23, No.1, pp.499-504, 2001