

第V部門 インパクトエコー法に基づく PC グラウト充填評価における入力する弾性波の上限周波数の影響

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○内田 慎哉 大阪大学大学院工学研究科 正会員 鎌田 敏郎  
 岐阜大学工学部 非会員 中根 基之 岐阜大学工学部 正会員 古本 吉倫

1. はじめに

PC グラウト充填評価手法の一つに、インパクトエコー法<sup>1)</sup>がある。この手法は、コンクリート表面から写真-1に示すインパクトを用いて弾性波を入力し、未充填部の表面で反射される波の成分をコンクリート表面で計測するものである。評価にあたっては、表面と未充填部との間で励起される縦波の共振現象によるピーク周波数を活用する。そのため、如何にしてピーク周波数を抽出するかが問題となる。この問題を解消するためには、未充填部までの深さに応じた鋼球直径、つまり入力する弾性波の上限周波数を評価対象に応じて適切に選定することが好ましい。しかしながら入力弾性波の上限周波数の違いが PC グラウト充填評価に与える影響についての検討はほとんど行われていない。

そこで本研究では、複素応答法による FEM 解析および供試体計測において、入力する弾性波をいくつか変化させ、これが充填評価に与える影響について検討した。評価にあたっては、解析および計測で得られたそれぞれの周波数分布に対して、パターン認識を行った。

2. 解析概要

モデル断面寸法は、図-1のとおり、500mm×2000mmとした。シース径は45mmとし、深さを60および140mmと変化させた。また、モデルパターンは、シース内部にグラウトが充填されていないもの(未充填モデル)と充填されているもの(充填モデル)の2種類である。コンクリートの物性値は、縦波伝播速度:3900m/s、密度:2.3g/cm<sup>3</sup>、ポアソン比:0.20 および減衰定数:0.02である。一方、グラウトについてはそれぞれ3000m/s、1.9g/cm<sup>3</sup>、0.17 および0.02とした。入力位置は、底面から高さ1000mmで、かつシース右側の側面上の節点とした。出力位置は、入力位置より下側へ50mm移動した節点である。

3. 実験概要

供試体概要を図-2に示す。供試体内部には、グラウト未充填部を模擬するため、直径45mmのスパイラルシースを埋設した。コンクリート表面からシースまでの深さを変化させるため、供試体長手方向における中央部にて、5°の角度で曲げ上げた。インパクトエコー法実施位置は、図-2における◎の位置(深さ:60および140mm)である。なお、コンクリートの伝播速度計測は、×印で実施した。

4. パターン認識

本研究では、パターン認識の指標としてユークリッド距離を用いた。ユークリッド距離とは、2つの周波数分布の類似性を数値として表現するものであり、この値が小さいほど、両者の類似性が高いことを示す。以下に算定式を示す。

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^N (a_i - b_i)^2} \quad (1)$$

ここで、 $D$ :ユークリッド距離、 $a_i$ および $b_i$ : $i$ 番目の周波数におけるスペクトル強度( $i=1,2,3,\dots,N$ )である。

5. 結果と考察

5.1 解析におけるユークリッド距離

未充填および充填モデル間のユークリッド距離比と上限周波数との関係を図-3に示す。図に示すユークリッド距離比とは、上限周波数90.8kHzの場合の未充填モデルと充

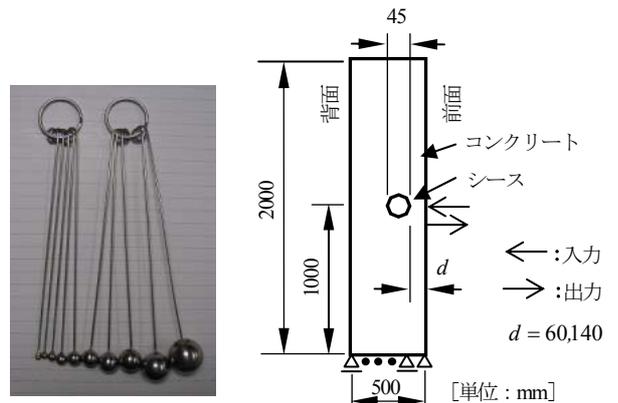


写真-1 インパクト 図-1 解析モデルの例

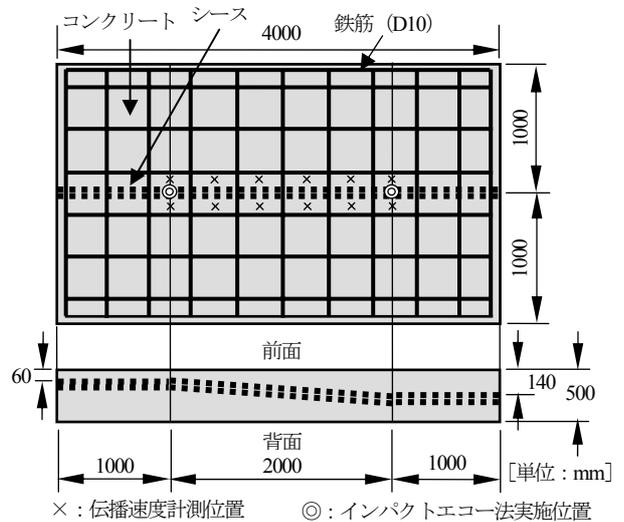


図-2 供試体概要

埋モデルとの間のユークリッド距離を 1 として、それに対する各上限周波数でのユークリッド距離との比率として定義した。図によれば、いずれの深さにおいても、上限周波数が小さくなるに従って、ユークリッド距離比も小さくなる傾向を示した。これより、上限周波数が小さくなるに従って、未充填モデルと充填モデルとを判別しにくくなることわかる。また、シースの深さ 60mm と 140mm とを比較すると、上限周波数の低下に対するユークリッド距離比の低下率は、明らかに 140mm の場合の方が小さい。これより、シースまでの深さが大きい場合は、上限周波数の違いがモデル間の識別に与える影響は小さいものと考えられる。

### 5. 2 計測された周波数分布

図-4にシース埋設深さ 60mm の場合における周波数分布を、入力弾性波の上限周波数と併せて示す。図中の矢印は、シース埋設深さに相当するピーク周波数 ( $f_{v60}$ ) を示している。伝播速度を 3900m/s とすると、深さ 60mm の共振周波数の理論値は、32.5kHz となる。いずれの図も、4kHz 付近に供試体厚さ 500mm に起因するピーク周波数が生成されている。上限周波数が 15.2kHz および 30.3kHz の場合、空隙からのピーク周波数である 32.5kHz を満足していない。これにより、図上では縦波の共振現象を判読することができなかつたと考察できる。これに対して上限周波数が 45.4kHz および 90.8kHz では、空隙によるピーク周波数近傍のスペクトル強度が大きくなっている。これは、空隙による縦波共振のピーク周波数が、入力された弾性波の上限周波数を上回ったためと推測できる。ただし、入力弾性波の上限周波数が大きくなることにより、未充填部に起因するピーク周波数を判別しにくくなる場合があることも明らかとなった。

### 5. 3 解析と実験とのパターン認識

実験で得られた周波数分布が、未充填および充填モデルのどちらの周波数分布に類似しているかを把握するため、周波数分布を用いたパターン認識を行った。表-1にパターン認識結果を示す。この表における数値は、計測結果と未充填モデル、あるいは計測結果と充填モデルとのユークリッド距離を示している。深さ 60mm における計測結果は、弾性波の上限周波数が 30.3~90.8kHz の間において、未充填モデルに類似しており、上限周波数がこれよりも小さくなると充填モデルとして認識することがわかる。しかも、未充填モデルと認識した上限周波数の最小値 (30.3kHz) と、深さ 60mm におけるピーク周波数 (32.5kHz) とは、かなり近い値を示している。一方、深さ 140mm の場合は、いずれの上限周波数においても、実験で得られた周波数分布は、解析による未充填モデルでの周波数分布に類似する結果を

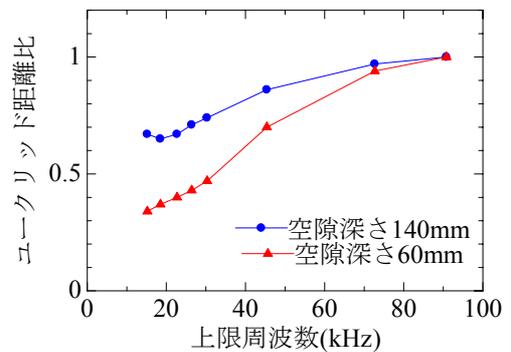


図-3 ユークリッド距離比

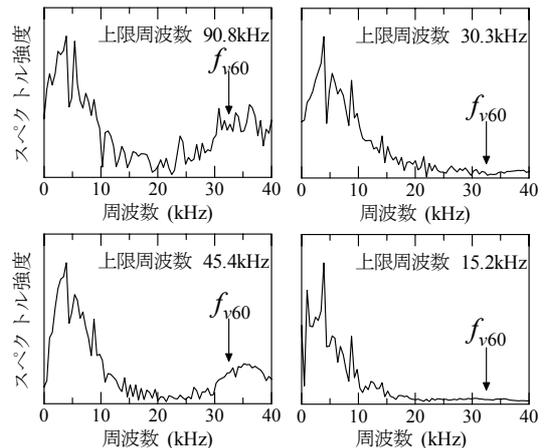


図-4 周波数分布

表-1 パターン認識結果

鋼球直径 (mm)	上限周波数 (kHz)	深さ60mm		深さ140mm	
		充填	未充填	充填	未充填
3.2	90.8	2.037	1.867	1.833	1.754
4.0	72.7	2.543	2.032	1.835	1.760
6.4	45.4	2.045	2.024	1.367	1.249
9.6	30.3	1.577	1.548	1.240	1.064
11.0	26.4	1.495	1.499	1.338	1.179
12.8	22.7	1.384	1.447	1.480	1.324
15.7	18.5	1.490	1.538	1.185	1.039
19.1	15.2	1.307	1.437	1.014	0.857

示した。これは、140mm から算出される縦波の共振によるピーク周波数 (13.9kHz) が、いずれの鋼球直径から計算される上限周波数に対しても、低い値となったためと考察できる。

### 6. まとめ

本研究で得られた結論を以下に示す。

- 1) 解析で得られた結果に基づいて、上限周波数の違いがグラウト充填評価に及ぼす影響の程度を、ユークリッド距離を用いて定量的に示す方法を提案した。
- 2) 提案する方法を用いて、空隙深さの異なるケースについて、入力する弾性波の上限周波数がグラウト充填評価に与える影響を把握することができた。

### 参考文献

- 1) Sansalone, M. J. and Streett, W. B.: Impact-Echo, Nondestructive Evaluation of Concrete and Masonry, Bullbrier Press, Ithaca, N. Y. and Jersey Shore, PA, 1997.