

大阪大学工学部 学生会員 ○朝倉 響

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 服部 晋一

大阪大学大学院工学研究科 正会員 鎌田 敏郎

立命館大学理工学部 正会員 内田 慎哉

大阪大学大学院工学研究科 正会員 寺澤 広基

1. はじめに

ポストテンション方式の PC 構造物におけるシース内部の PC グラウト未充填部を検出する手法の一つに衝撃弾性波法がある。しかし、シースが深い位置にあり、その径が小さい場合、検出される信号は小さくなり、さらに、衝撃により発生する比較的大きい表面波が雑音として信号に重畳し、未充填部（空隙）からの信号の検出は難しくなる。一方、音響学においては、適応信号処理の研究が進み、信号が雑音より小さい低 SN の領域においても雑音キャンセル手法の適用により、雑音の除去に効果があることが報告されている¹⁾。

そこで本研究では、図 - 1 に示すように表面波の影響のみが得られる参照部と対象部の受信波形から得られる音響伝達関数を用いて表面波キャンセル処理を行う PC グラウト充填状況の非破壊評価手法について、実験によりその適用性を検討することを目的とした。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

図 - 2 に PC グラウト供試体の概要を示す。供試体寸法は縦 550mm×横 1000mm×奥行き 450mm、埋設されている鋼製スパイラルシースの外径は 63mm で、供試体中央を境にグラウトが充填されている部分と未充填の部分がある。今回の実験ではかぶりが 50mm (337mm), 100mm (287mm), 150mm (237mm), 187mm (200mm) の 4 体の供試体を使用した。今回、参照部はかぶりが 237mm の充填部とした。

2.2 計測概要

図 - 3 に計測状況を示す。図 - 1 に示される打撃点 P および P' はシースの直上に設定し、検出点 S1～S6 および S1'～S6' はコンクリート表面上のシース軸と直交する方向に 40mm 間隔で設定した。計測は、各計測点で 4 回行った。計測位置のばらつきを考慮するため、計測点は充填部および未充填部の中心と、そこから供試体

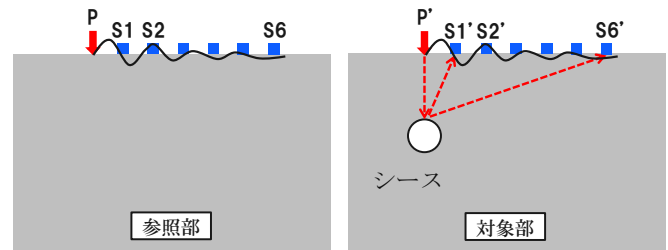


図 - 1 評価原理

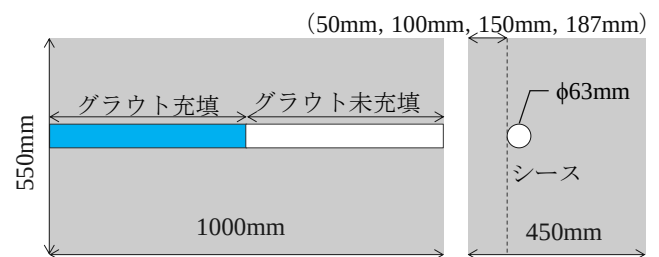


図 - 2 供試体概要



図 - 3 計測状況

の端部および中央部に向かってそれぞれ 50mm 間隔で 1 点ずつの計 3 点を設定した。衝撃入力には直径 6mm, 10mm, 12mm の鋼球を使用し、一定の衝撃力を与えるために、電磁駆動による衝撃入力機構を使用した。

一方、弾性波の受信には、0.003～30kHz においてフラットな応答感度を有する加速度センサを使用した。加速度センサの設置にはブチルゴム系の両面テープを使用した。センサで受信した信号は、サンプリング間隔 1μs、サンプリング数 10000 点の時刻歴応答波形として波形収集装置に記録した。

2.3 評価指標

打撃により誘起された弾性波の応答は 6 つのセンサで同時に計測される。参照部および対象部の 2 対の計測により得られた受信波形 $y_1(t) \sim y_6(t)$, $y_1(t)' \sim y_6(t)'$ から音響伝達関数 $H(\omega)$ を式(1)で算出する。

$$\begin{aligned} H(\omega) &= Y_2(\omega)/Y_1(\omega) \\ H(\omega)' &= Y_2(\omega)'/Y_1(\omega)' \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $Y(\omega)$ は時刻歴波形 $y(t)$ のFFTである。対象部のシース内に未充填部が存在すると、空隙部で反射波が発生し、対象部の音響伝達関数に変化する。そこで、対象部および参照部の音響伝達関数 $H(\omega)$ 、 $H(\omega)'$ をフーリエ逆変換したインパルス応答 $h(t)$ 、 $h(t)'$ (図 - 4 参照)を用いて、下記の式(2)で導出する S により、空隙からの反射波を定量化することによってシース管のグラウト充填不良の評価指標とした。

$$S = \sum_{t=0}^{500} [h(t) - h(t)']^2 \quad (2)$$

以上は検出点が S_2 および S_2' の場合を示したが、 $S_3 \sim S_6$ および $S_3' \sim S_6'$ についても同様の関係が成立する。

3. 実験結果および考察

かぶりが 50mm、100mm および 187mm の場合の評価指標 S の計算結果を図 - 5 に示す。横軸は伝達関数を求めるセンサ間距離を示している。充填部における評価指標を点線で、未充填部における評価指標を実線で示し、併せて鋼球直径を示す。

図 - 5 からセンサ間距離に対応して評価指標 S が変化することがわかる。かぶりが 100mm の場合にはいずれの鋼球においても、センサ間距離 160mm で充填部と未充填部の評価指標の比が最大となる。一方、かぶりが 50mm の場合には、鋼球直径によって評価指標 S の値が最大となるセンサ間距離が異なる場合があることがわかった。これは、表面波と反射波の干渉によって受信波形の位相が変化することが原因と考えられる。したがって、かぶりや使用する鋼球の直径によって着目するセンサ間距離を替えることが、充填状況の評価に重要であることが明らかとなった。

かぶりが 187mm の場合には、いずれのセンサ間距離においても評価指標が有意差を生じなかった。これは、かぶりが深くなったことにより未充填部からの反射波が十分に受信できなかったことが原因と考えられる。

以上より、本手法の適用可能なかぶりの範囲についてはセンサ間距離や鋼球直径の影響と併せて今後検討する必要があると考えられる。

4. 結論

音響伝達関数に基づく評価手法により、かぶりに応じたセンサ間距離および鋼球を適切に選択することで、PC グラウトの充填状況の評価できる可能性が示された。

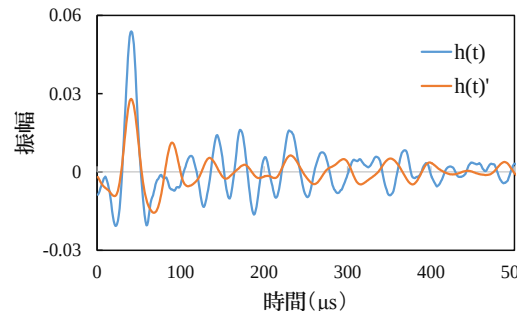
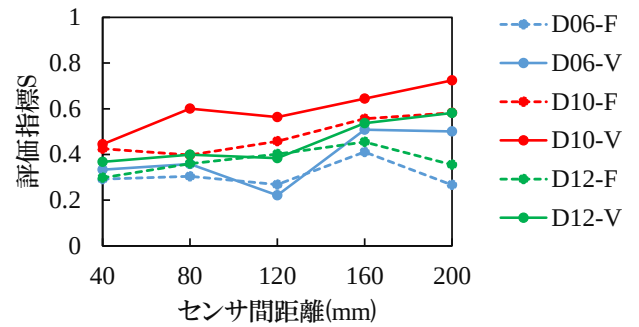
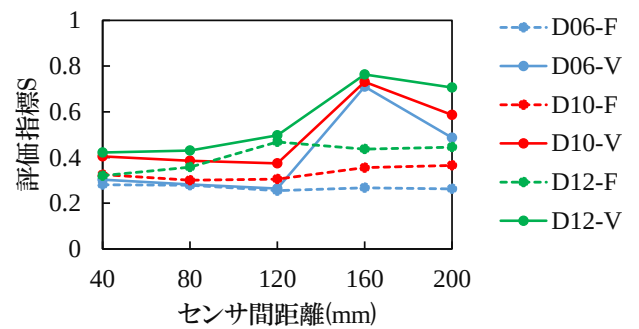


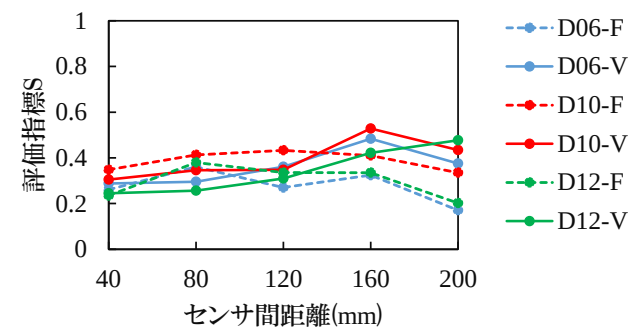
図 - 4 インパルス応答の一例



(a) かぶり 50mm



(b) かぶり 100mm



(c) かぶり 187mm

図 - 5 評価指標 S

謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究 26630203）の援助を受けて行なったものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) Widrow, B. and Stearns, S.D.: Adaptive signal processing, Prentice-Hall, 1985