

音響伝達関数を用いた衝撃弾性波法による PC グラウト充填状況の非破壊評価手法の検討

大阪大学大学院工学研究科 正会員 ○服部晋一
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 鎌田敏郎
大阪大学工学部 学生会員 中川拓郎

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グラウト未充填部の検出手法として衝撃弾性波法がある。この手法は、コンクリート表面を打撃することによりコンクリート内部に弾性波を伝播させ、コンクリート表面とグラウト未充填部のシース表面で多重反射される弾性波の成分をコンクリート表面で計測するものである。しかし、本手法においては受信波における表面波などの影響で、深部に埋設された小口径シースにおいて周波数スペクトルのピーク周波数が検出できないなど適用範囲に限界があることが報告されている¹⁾。

そこで、本研究では音響信号処理を導入することにより、受信波における表面波の影響を除去し、グラウト未充填部のシース表面から反射される反射波を選択的に検出する手法について検討した。

2. 評価原理

弾性波が伝播・反射する弾性体構造を音響信号の伝達系としてモデル化し、波動伝播特性を記述する音響伝達関数を導入した。未充填部シース表面からの反射信号を表面波から分離するため、衝撃による入力信号を複数の検出点で計測する適応ノイズキャンセル処理の手法を適用し²⁾、充填部、および未充填部の伝達関数の相互比較を行うことでシース内部の充填状況の評価する。

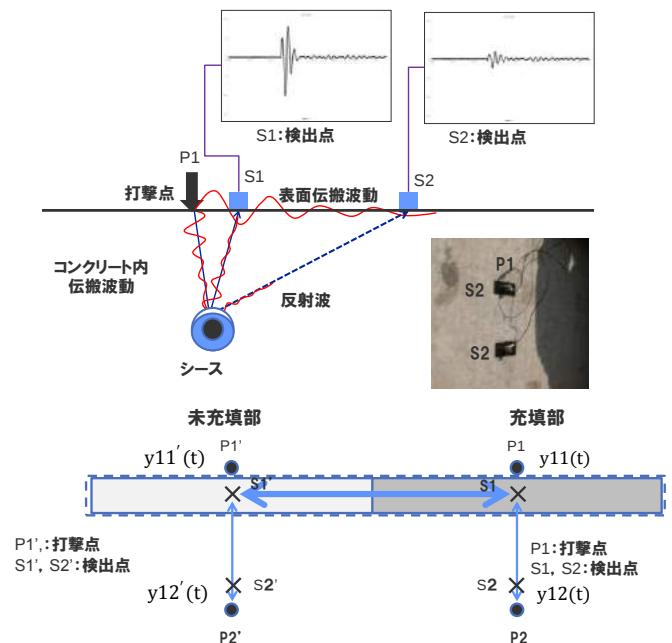
3. 評価方法

本手法では、PCグラウト充填部、未充填部それぞれにおいて同一の衝撃入力で受信した2点の時刻歴波形から高速フーリエ変換(FFT)により音響伝達関数を算出する。図-1に計測時の打撃点P1、P1' 検出点(S1, S2), (S1', S2')の位置関係を示す。式(1)、式(2)に計測点間の伝達関数の関係を示す。

$$H_f(\omega) = \frac{Y_{12}(\omega)}{Y_{11}(\omega)} \quad (1)$$

$$H_v(\omega) = \frac{Y_{12}'(\omega)}{Y_{11}'(\omega)} = \frac{H_{01}(\omega) \cdot H_f(\omega) + T_{S2}(\omega)}{H_{01}(\omega) + T_{S1}(\omega)} \quad (2)$$

ここで、 $H_f(\omega)$ はPCグラウト充填部の検出点S1, S2間における音響伝達関数、 $H_v(\omega)$ はPCグラウト未充填部の検出点S1', S2'間における音響伝達関数である。また、 $H_{01}(\omega)$ は打撃点P1からS1までの伝達関数である。S1, S2において検出される反射波の信号はそれぞれ $T_{S1}(\omega)$, $T_{S2}(\omega)$ で表している。音響伝達関数 $H_f(\omega)$, $H_v(\omega)$ の差異を評価することで、コンクリート表面を伝播する表面波の影響をキャンセルし、コンクリート内部の反射波を複合的に検出しようとしている。



図—1 計測原理と計測位置

4. 実験および考察

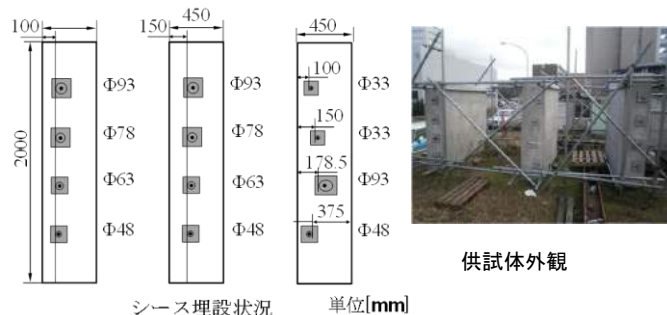
4.1 供試体

本研究で用いたコンクリート供試体の概要を図-2に示す。供試体寸法は、縦 2000mm×横 2000mm×奥行 450mm であり、シース直径、埋設深さ、グラウト充填状況の異なったシースが3体のコンクリート供試体に埋設されている。また鋼製シースの内部には

キーワード 非破壊評価, 衝撃弾性波法, PC グラウト, 音響伝達関数, 適応ノイズキャンセル

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院 工学研究科 地球総合工学専攻 TEL 06-6879-7618

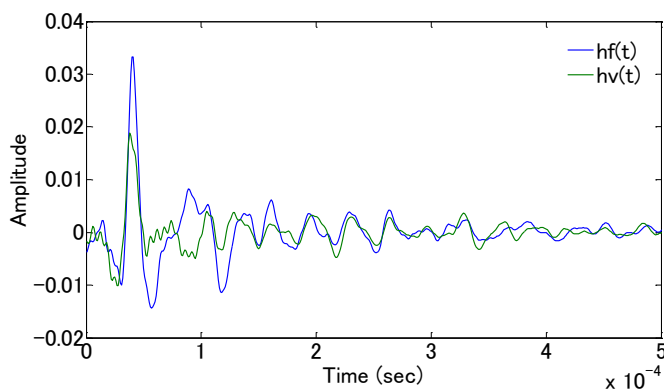
呼び径 32mm の PC 鋼棒が挿入されている。充填状況の評価のために、シースの片側半分は完全充填であり、片側半分は完全未充填としている。打撃のために使用する鋼球は直径 6mm のものを使い、バネ機構により射出することで一定の衝撃力を与えるようにした。



図—2 供試体の構造と外観

4.2 音響伝達関数による評価

図-3 に本実験で得られた PC グラウト充填部 S1, S2, および未充填部 S1', S2' で受信した時刻歴応答波形から算出した伝達関数 $H_f(\omega)$, $H_v(\omega)$ のインパルス応答 $h_f(t)$, $h_v(t)$ の応答例を示す。伝達関数の計算においてはウィナーフィルタを導入し、衝撃入力の鋼球径から決まる上限周波数の影響で発生する計算上のノイズを低減している。図において、充填部におけるインパルス応答と未充填部におけるインパルス応答に差異が表れており、コンクリート内部からの反射波が検出されていることがわかる。



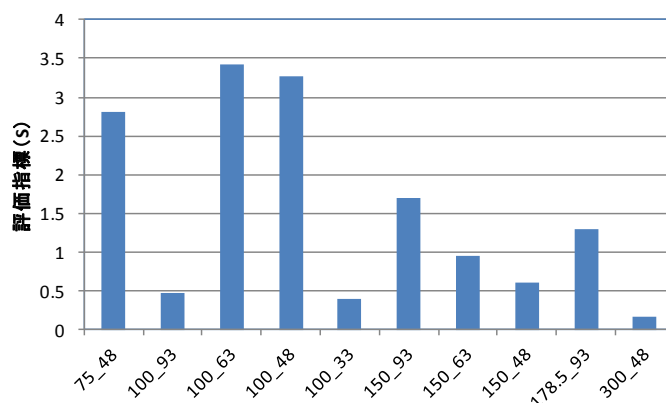
図—3 音響伝達関数の一例(深さ 100mm, φ48mm)

反射波の大きさを定量的に評価するため、伝達関数のインパルス応答の差異と $y_{11'}(t)$ のたたみ込み演算より得られる振幅差 $\Delta h(t)$ を二乗積分して以下の式により求めた評価指標 (S) を導入した。

$$S = \int_0^{T_m} \{\Delta h(t)\}^2 dt \quad (3)$$

この評価指標とシース埋設深さ、およびシース直

径との関係を図-4 に示している。埋設深さが浅く、シース直径が大きいケースでは比較的评价指標は大きくなる。一部の例外(埋設深さ 100mm, 直径 93mm)を除き、シース深さと評価指標の関係、およびシース直径と評価指標の関係には正の相関関係がみられた。最小の評価指標値は、深さ 300mm, シース直径 30mm のケースであり、他のケースの約 1/2 の値となっている。以上の結果から本評価指標を用いて検出できる未充填部の下限は、埋設深さ 150mm, 直径 48mm 程度であると推定された。



図—4 評価指標とシース直径・埋設深さの関係

(□_□: 前数字は埋設深さ, 後数字は直径を表示)

なお、シース深さ 100mm, 直径 φ93mm の計測においてはシース位置に対する計測位置のずれの影響が表れているものと考えられ、今後再検討を進める。

5. まとめ

弾性波が伝播反射するコンクリート構造を音響信号の伝達系としてモデル化し、音響伝達関数によりグラウト充填状況の評価を行った。

- (1) 伝達関数の差異から微小な反射信号を検出する評価手法を導入し、評価指標を定義した。
- (2) 本評価指標に基づき、PC グラウト充填状況を模擬した供試体で評価し、その有効性を確認した。
- (3) 本手法でシース直径 48mm, 埋設深さ 150mm 程度のグラウト未充填まで検出可能であることが明らかとなった。

参考文献

- 1) Sansalone, M. and Streett, W. B. : Impact Echo, Nondestructive Evaluation of Concrete and Masonry, Bullbrier Press, Ithaca, NY and Jersey Shore, PA, 1997
- 2) Bernard Widrow, Samuel D. Stearns : Adaptive signal processing, Prentice-Hall, 1985