

衝撃弾性波法による新設コンクリート構造物の維持管理のための開口合成法の適用

首都大学東京 学生会員 ○佐藤孝一 正会員 大野健太郎 上野敦 宇治公隆
リック（株） 正会員 岩野聡史 片岡繁人

東京都 非会員 立澤延泰 大成・鹿島・大林・京急建設共同企業体 正会員 澤上晋

1. はじめに

供用中のコンクリート構造物の維持管理において、それぞれの目的に応じた微破壊・非破壊試験が活用されている。これらから取得されたデータを用いて構造物の現在の状態を把握するためには、多くの場合、新設時のデータとの比較が必要である。また、地下構造物などにおいては、地盤と直接接する箇所が多く、調査箇所へのアクセスが制限されるため直接測定することが困難な場合もある。そのような場合に、非破壊試験の一つである衝撃弾性波法の活用が考えられ、新設時の測定波形と供用中の測定波形を適切に分析することでアクセスが難しい箇所の状態把握が可能となると考えられる。本研究では、直接地盤と接するコンクリート立坑において、その接している箇所が経年劣化しているか否かの判断として用いるための初期値の取得方法およびその評価方法について検討した。既往の報告¹⁾では、衝撃弾性波法の多重反射理論に基づいた方法により、既知のコンクリート部材厚と多重反射で得られる基本周波数の関係から、コンクリート部材中の弾性波伝搬速度が初期値として推定され、維持管理では同一手法から得られる弾性波伝搬速度の推移から状態把握を実施するものである。本研究では、既往の報告と同様に評価指標を衝撃弾性波法から得られる弾性波伝搬速度とし、弾性波伝搬速度の決定方法について部材内部の反射源が可視化可能な開口合成法²⁾を用いた手法を提案するものである。

2. 測定対象と測定方法

2.1 測定対象

測定対象は、「環状七号線地下広域調節池（石神井川区間）工事」で施工された中間立坑のコンクリートであり、測定箇所を図-1に示す。測定は、2ロット目の5面のコンクリート壁面（部材厚2m）にて1箇所ずつ、計5箇所にて実施した。なお、測定時の材齢は356日であり、外側のコンクリート壁面は地盤と接している。

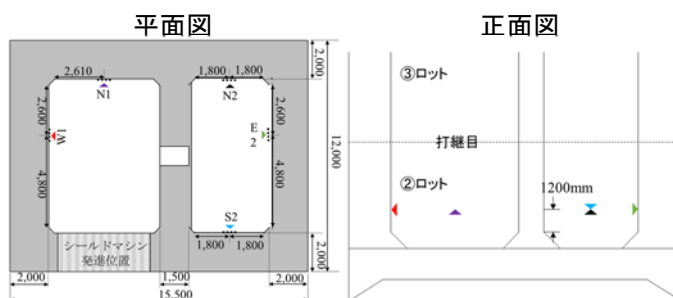


図-1 測定箇所

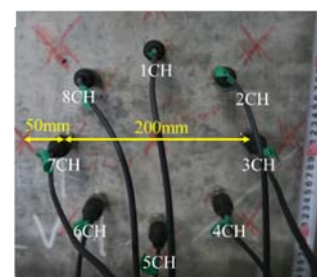


写真-1 センサ概観

2.2 衝撃弾性波法の測定概要

写真-1に測定時の状況を示す。コンクリート表面に8個の加速度センサ（感度：5mV/m/s²、周波数範囲（±3dB）：3～10,000Hz）を直径200mmの円状に設置し、各センサから外側50mmの位置にて弾性波の入力を行った。弾性波の入力は、直径30mmの鋼球で各センサ近傍のコンクリートに衝撃を与えることで行い、検出された弾性波を、サンプリング間隔1μs、1波形16384個の振幅値として記録した。

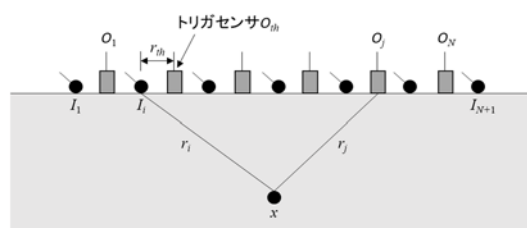


図-2 開口合成法の概要

3. 解析方法および結果と考察

3.1 開口合成法を用いた解析方法

開口合成法は、複数のセンサを用いて測定された弾性波を重ね合わせることで、反射強度が高まり反射位置をより明瞭に推定可能な手法である。図-2に示すような、測定対象物において、 I_i から入力された弾性波が反射源 x を経由して O_j に到達する時刻 t_{ij} とトリガセンサ O_{th} に I_i からの直達波が到達する時刻 t_{th} の到達時間差 Δt_{ij} は、

キーワード コンクリート、維持管理、非破壊試験、衝撃弾性波法、開口合成法

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 TEL 042-677-1111

$$\Delta t_{ij} = \frac{r_i + r_j}{v} - \frac{r_{th}}{v} \quad (1)$$

で表される。また、反射源 x における反射強度 $S(x)$ はトリガセンサでの最大振幅 $Max(u_{th}(t))$ を適用し以下の式で表される。

$$S(x) \cong \frac{u_{ij}(\frac{r_i + r_j}{v} - \frac{r_{th}}{v})}{Max(u_{th}(t))} \quad (2)$$

この操作を、複数の弾性波入出力点で実施することでより明瞭な反射強度 $S(x)$ が以下の式(1)より得られる。

$$S(x) \cong \frac{1}{N} \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{u_{ij}(\frac{r_i + r_j}{v} - \frac{r_{th}}{v})}{Max(u_{th}(t))} \quad (3)$$

ここで弾性波の減衰について考えると、弾性波のうち P 波や S 波は伝搬距離が増加するにつれて、 $1/r$ で減衰する。したがって、式(3)に示される振幅 $u_{ij}(t)$ において、式(4)のように距離 $r_i r_j$ にて補正することで距離の影響を排除可能と考えられる。

$$S(x) \cong \frac{1}{N} \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{u_{ij}(\frac{r_i + r_j}{v} - \frac{r_{th}}{v})}{Max(u_{th}(t))} \cdot (r_i r_j) \quad (4)$$

3.2 開口合成法による推定結果および考察

健全なコンクリートの弾性波伝搬速度は、一般に 3500～4500m/s 程度であり、本研究では、この範囲の弾性波伝搬速度において 10m/s ごとに各測定点において開口合成法を適用した。その後、部材厚 2.0m 位置において最も反射強度が高くなる速度を求めた。図-3 に測定箇所 N1 において 3800, 3900, 4000m/s で開口合成法を実施した場合の深さ方向の反射強度分布を示す。図より 3800m/s では 2.0m よりも短い距離において

高反射強度が得られており、4000m/s では 2.0m/s よりも長い距離において高反射強度が出現する結果となった。N1 では 3900m/s の場合において 2.0m 位置で最高反射強度が得られ、N1 での弾性波伝搬速度を 3900m/s と決定した。また、弾性波伝搬速度が 100m/s 異なると高反射強度位置が 50mm 程度異なることがわかる。以上の操作を各測定点において実施し、弾性波伝搬速度を求めた結果を表-1 に示す。また、図-4 に表-1 で求めた弾性波伝搬速度を適用した開口合成解析結果を示す。高反射強度位置は 0.5m 付近および 2.0m に出現した。0.5m 付近の高反射強度位置は、弾性波入力点から各センサに直接到達する表面波成分が重ね合わさった結果であり、この位置のコンクリート内部に反射源が存在するということではないことに留意が必要である。なお、表中には多重反射理論に基づいた既往の研究で得られた結果¹⁾も併せて示す。本研究で得られた結果は、既往の研究で得られた結果と概ね同程度であった。既往の研究¹⁾と本研究では、測定時のコンクリートの材齢、使用した測定機器、センサ数、測定波形の処理方法が異なるため得られる結果は厳密には一致しない。

4. まとめ

衝撃弾性波法により得られた測定波形を開口合成法に適用し、既知の部材厚にて高反射強度が得られる弾性波伝搬速度を求めた結果、既往の研究結果¹⁾と同程度の結果が得られ、本手法の妥当性が示唆された。本測定値を初期値とし、今後、測定手法や波形の処理方法などを統一して継続的な測定を実施することで、弾性波伝搬速度が初期値と異なる場合、地盤と接する背面コンクリート部分の変状を早期に把握できる可能性が期待される。

参考文献 1) 片岡繁人ほか：新設コンクリート構造物の品質管理への衝撃弾性波法の適用事例，令和元年度土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会，VI-448，2019.9 2) 大野健太郎ほか：衝撃弾性波法による部材厚 8m の RC 供試体の反射源可視化への開口合成法の適用，コンクリート工学年次論文集，Vol.41，No.1，pp1787-1792，2019.6

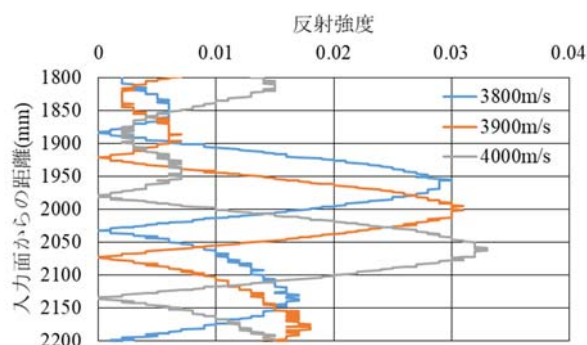


図-3 弾性波伝搬速度の求め方

表-1 高反射強度位置 2.0m の弾性波伝搬速度

	E2	N1	N2	S2	W1
$V(m/s)$	3990	3900	3860	3960	4040
既往の研究結果 ¹⁾	4060	4080	3780	3960	3840

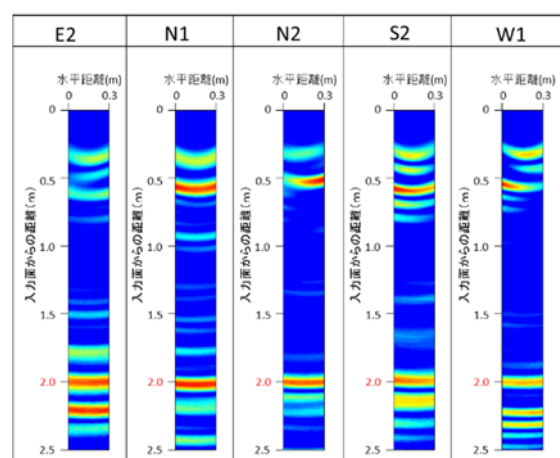


図-4 高反射強度位置 2.0m の開口合成結果