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

リック（株）　正会員　○片岡　繁人　岩野　聡史
首都大学東京　正会員　大野　健太郎　上野　敦　宇治　公隆
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

筆者らは非破壊試験の一手法である衝撃弾性波法について研究をしている。衝撃弾性波法の測定方法の一つに多重反射法がある。多重反射法では，コンクリート表面の鋼球打撃により内部に弾性波（以下，P 波）を発生させ，この P 波がコンクリート表面及び，表面と平行な対向反射面の間で反射を繰り返す（以下，多重反射）ことにより出現する周波数（以下，基本周波数）を測定する。この基本周波数は内部の欠陥の有無や弾性係数により変化するため，非破壊試験において有効な情報（評価指標）となる。また，既往の研究では，多重反射法は厚さ 2500mm 程度のコンクリートにまで適用できることが報告されている[1)]。

今回は，設計厚さ 2000mm の新設のコンクリート構造物で多重反射法を適用した非破壊試験を実施した。新設時のコンクリートの品質や性能は，型枠，打込み，締固め，養生などの施工方法に大きく依存され，施工の良し悪しによって品質は異なり，場合によっては要求される性能を満足しない可能性も懸念される。これに対して，非破壊試験は構造物を壊すことなくコンクリートの品質や性能を直接確認できることから，近年では新設時の品質管理として非破壊試験が適用されている[2)]。さらに，コンクリートは様々な要因により経年劣化することから維持管理の重要性が指摘されているが，新設時に非破壊試験を実施していれば，以後の維持管理での初期値として利用できると期待される。本稿では，これらを背景に実施した試験結果について報告する。

２．試験内容

２．１　試験対象

表 1 試験対象概要

施工方法	ニューマチックケーソン工法	
躯体構造	矩形（15.5m×12.0m）	
掘削深さ	52.4m	
試験部材厚さ（設計値）	外壁	中仕切り壁
	2000mm	1500mm
試験時材齢	②ロット	③ロット
	166日	94日
測定箇所数	②ロット	③ロット
	7	7

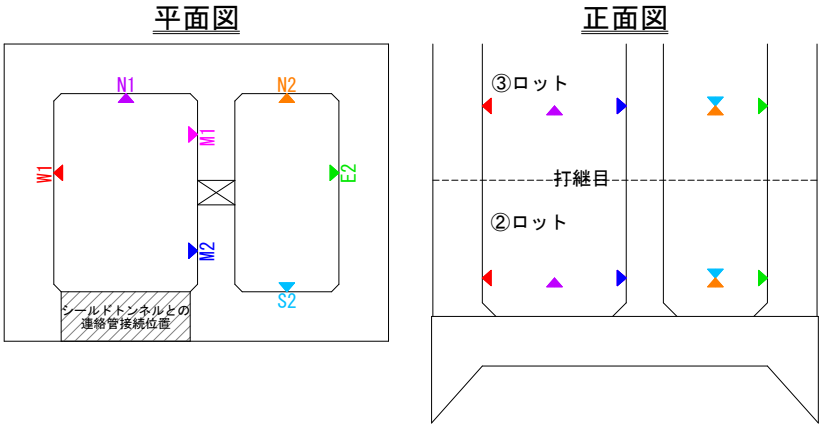


図 1 測定箇所

試験対象の概要を**表 1** に示す。「環状七号線地下広域調節池（石神井川区間）工事」（発注者：東京都第三建設事務所，施工者：大成・鹿島・大林・京急建設共同企業体）で施工された中間立坑のコンクリートに対して実施した。測定箇所を**図 1** に示す。外壁及び中仕切り壁の打設②ロット・③ロットの計 14 箇所で測定した。

２．２　試験方法・測定原理[1)]

測定状況を**写真 1**，**図 2** に示す。コンクリート表面に加速度計を 4 点（ch.1～ch.4）に設置し，φ76mm の鋼球で打撃した。各 ch で測定される振動（以下，測定振動）の例を**図 3(a)** に示す。鋼球打撃により発生した P 波は，表面と反射面で多重反射し，コンクリート表面に設置した加速度計には，反射した P 波が到達する度に，振動が測定される。しかし，弾性波はコンクリート中を伝搬する際に振幅が小さくなるため，測定振動からは弾性波が反射して表面に到達したことを確認できない。そこで，この減衰による影響を除去するために，ch.1 の初期振動と各 ch の測定振動との相互相関関数を求めた（**図 3(b)**）。

キーワード　非破壊試験，衝撃弾性波法，コンクリート，品質管理，多重反射法
連絡先　〒143-0004　東京都大田区昭和島 2-4-3　リック（株）　TEL 03-5762-2058

© Japan Society of Civil Engineers

相互相関関数では，P 波が反射して表面に到達する度に相関係数が大きくなる。さらに，P 波が反射して表面に到達する際には，**図 2** の各 ch にほぼ同時刻に到達する。この性質から，各 ch での相互相関関数を加算すると，P 波の到達時刻がより明確になる。そこで，相互相関関数を加算した関数（**図 4(a)**）に対してフーリエ変換を行い，得られた卓越周波数から基本周波数を決定し（**図 4(b)**），式(1)により弾性波伝搬速度を算出した。

$$V_P = 2L \times f_0 \qquad (1)$$

ここで，V_P：弾性波伝搬速度(m/s)，L：部材厚さの設計値(m)，f_0：基本周波数(Hz)である。

３．試験結果

測定結果を**表 2** に示す。測定された基本周波数は 935Hz～1380Hz，弾性波伝搬速度は 3740m/s～4140m/s となった。弾性波伝搬速度はコンクリートの弾性係数と正の相関関係にある。また，内部に欠陥が存在すれば測定される弾性波伝搬速度は異常値となる。これに対して今回測定された弾性波伝搬速度は，既往の研究 [3]で確認されている健全なコンクリートでの弾性波伝搬速度と同程度であった。この結果から，今回の測定したコンクリートは弾性係数に異常はなく，内部に欠陥が存在していないと判断される。なお，測定された弾性波伝搬速度は，部材厚さが設計値と一致していると想定して算出したものである。実際のコンクリートの部材厚さが設計値よりも大きい場合には，実際の弾性波伝搬速度は測定結果よりもさらに大きくなる。

写真1 測定状況

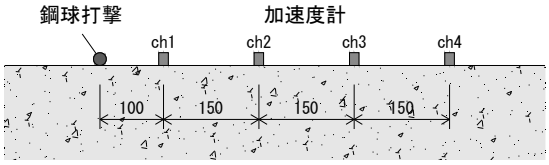
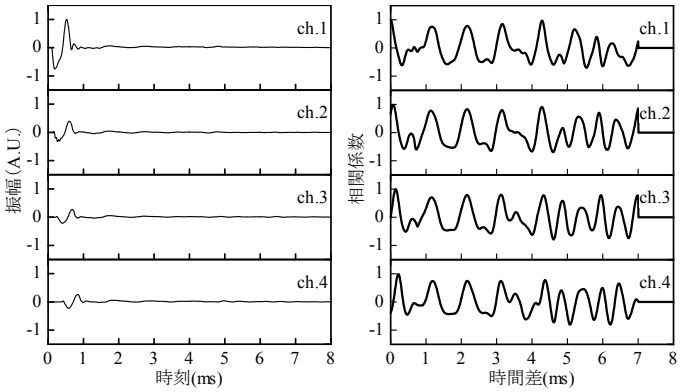
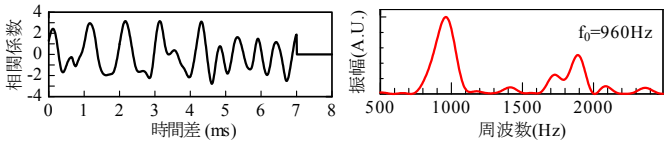


図2 測定点設定状況



(a) 測定振動　　(b) 相互相関関数

図3 各chで測定結果



(a) 相互相関関数を加算した関数　　(b) 周波数スペクトル

図4 周波数解析の結果

表2 測定結果一覧

打設ロット名称	測定部材名称	W1	N1	N2	E2	S2	M1	M2
	設計部材厚さ(mm)	2000	2000	2000	2000	2000	1500	1500
③ロット	測定周波数(Hz)	975	985	935	940	945	1295	1290
	弾性波伝搬速度(m/s)	3900	3940	3740	3760	3780	3885	3870
②ロット	測定周波数(Hz)	960	1020	945	1015	990	1240	1380
	弾性波伝搬速度(m/s)	3840	4080	3780	4060	3960	3720	4140

４．まとめ

衝撃弾性波法を部材厚さ 2000mm のコンクリート構造物の品質管理に適用した。その結果，既往の研究で確認されている健全なコンクリートと同程度の弾性波伝搬速度が測定された。今回の様な試験を新設時とその後の維持管理で継続して実施し，試験結果の経時変化の有無を確認することによりコンクリートの性状の変化の有無を確認することができると考えられる。非破壊試験が，その様に活用されていくことに期待したい。

参考文献 1) 岩野聡史ほか：部材厚さの大きいコンクリートに適用可能な衝撃弾性波法による基本周波数の測定方法の検討，土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造)，Vol.73，No.2，pp.207-219，2017　2) 岩野聡史：RC 検査実務に非破壊検査技術が成し得てきたこと～新設時のコンクリート構造物の試験への適用状況～，日本非破壊検査協会機関誌 Vol.68，No.3，pp.116-120，2019　3) 岩野聡史ほか：衝撃弾性波法と微破壊試験の併用による構造体コンクリートの圧縮強度推定方法の提案，土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造)，Vol.69，No.2，pp.138-153，2013

© Japan Society of Civil Engineers