

強制加振試験に基づくコンクリート水路の健全性診断

東北大学 学生会員 ○五十嵐亜季
東北電力 正会員 土田 恭平

東北大学 学生会員 土屋 祐貴
東北大学 正会員 内藤 英樹
東北大学 フェロー 鈴木 基行

1. はじめに

コンクリート構造物は一斉に老朽化を迎える段階にあり、現在、維持管理の必要性が見直されている。特に、水中構造物や地中構造物は目視点検が困難であるため、非破壊検査手法の活用が期待されている。

これまで著者らは小型加振器を用いた RC 床版の非破壊検査手法の開発に取り組んできた¹⁾。提案技術は、調和振動を加えて床版厚さ方向の縦振動を励起させ(以下、局所振動)、振動が及ぶ局所的な範囲の共振曲線(周波数-応答加速度関係)を得ることで内部損傷を検知する。本研究はこの振動試験方法を応用し、コンクリート水路の健全性診断への適用性を検討する。具体的には RC 水路供試体に 2 通りの損傷を与え、振動試験によって損傷同定を試みた。さらに、実際のコンクリート水路の現場試験を行い、提案手法の実用可能性を検討した。

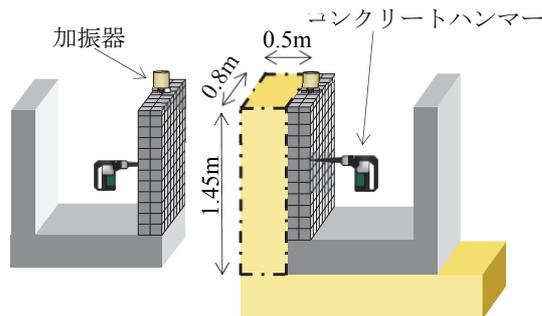


図-1 はつり試験の概略図

2. 水路供試体のはつり試験

実験概略図を図-1 に示す。水路の抜水時には側壁前面から局所振動試験(以下、側部加振)によって側壁内部の点検が可能であるが、一方、通水時には側壁前面に近接できないため、地上部(側壁頂部)から側壁高さ方向に加振する全体振動(以下、頂部加振)を検討した。全体振動は局所振動ほどの精度は期待できないが、通水時でも地上部から水路側壁の内部損傷を点検できる利点がある。そこで、図-1の実験では、側壁頂部から励起する全体振動に着目して、検知可能な側壁の損傷レベルを明らかにする。

水路を模擬した RC 供試体(高さ 1.15m, 幅 0.8m, 厚さ 0.2m)を用いて、側壁の損傷(はつり面積)と共振周波数の関係を整理する。側壁前面の鉄筋位置までコンクリートをはつり、側壁背面に土層(高さ 1.45m, 幅 0.8m, 奥行き 0.5m)を設けることによって、背面土が振動試験に及ぼす影響も検討した。水路の劣化は水中部と気中部の境界で生じやすいと考え、側壁中央付近から幅方向に 0.2m ずつ、0.8m になるまで損傷範囲を広げた。凍害などの表面からの損傷を想定し、鉄筋位置までのかぶりコンクリート 50mm を除去した。損傷状況を写真-1 に示す。

頂部加振では、加振器の加速度振幅 $3m/s^2$ を一定とし、500~1500Hz まで 18 秒間で直線的に上昇させた。このとき、加振点付近に加速度センサを貼付し、共振曲線(周波数-応答加速度関係)を得る。振動試験の結果を図-2 に示す。図の縦軸は健全時を 1 とした共振周波数比である。健全時は理論値 1053Hz に対して、気中 1293Hz, 土中 1240Hz であり背面土の影響はなかった。損傷面積が最大となる 0.8m×0.2m のとき、気中 985Hz, 土中 1072Hz であり、気中および土中のいずれでも、損傷幅の増加に伴って共振周波数が低下した。以上より、背面土の影響なく共振周波数の低下によって側壁表面から進展する損傷を検知できる可能性が示された。

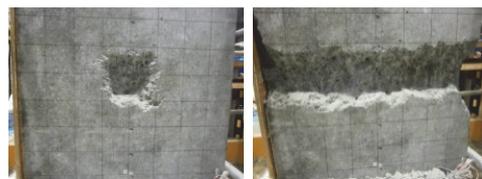


写真-1 はつりによる損傷

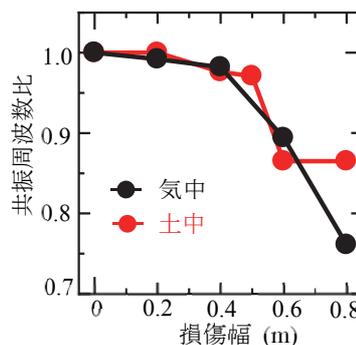


図-2 振動試験結果(はつり試験)

キーワード：水路, 振動試験, 共振周波数, 非破壊検査

連絡先：〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL：022(795)7449 FAX：022(795)7448

3. 水路供試体の载荷試験

地震などの大きな力が作用した場合を想定して、载荷試験によって側壁に曲げひび割れを発生させた。载荷試験の概略図を図-3に示す。载荷ステップは側壁の降伏荷重 P_y を基準とし、 $1/4P_y$, $1/2P_y$, $3/4P_y$, $P_y (=δ)$, $2δ$, $3δ$ とした。振動実験は、加速度振幅 $1m/s^2$ を一定として、頂部加振では $200\sim3000$ Hz, 側部加振では $500\sim15000$ Hz を基本とし、それぞれ 18 秒間で直線的に周波数を上昇させた。载荷によるひび割れ図を図-4に、振動試験結果を図-5に示す。

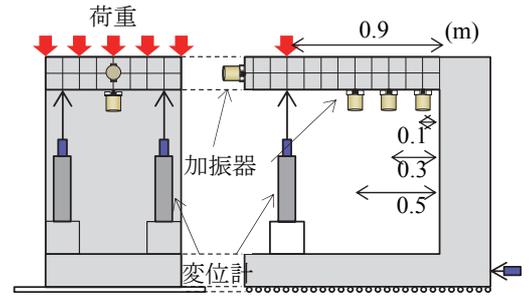


図-3 载荷試験および振動試験概略図

側部加振では健全時の理論値 9699 Hz に対して、基部から $0.1m$, $0.3m$, $0.5m$ の 3 つの測定位置において実測値はそれぞれ 9616 Hz, 9346 Hz, 9246 Hz であった。载荷後はそれぞれ 6617 Hz, 8514 Hz, 9325 Hz であり、ひび割れ位置において共振周波数の低下が確認された。

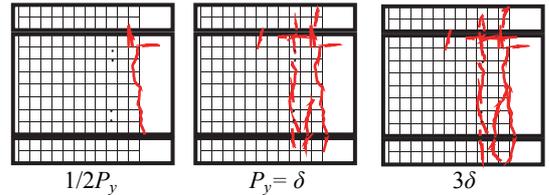


図-4 ひび割れ図

頂部加振では、健全時の実測値 1299 Hz に対して、载荷終了時には 799 Hz まで共振周波数が低下した。特に、降伏後の载荷によって共振周波数が大きく低下した。これは、载荷によって側壁内部までひび割れが到達したことにより、縦波の伝搬を阻害するため共振周波数が低下したと考えられる。

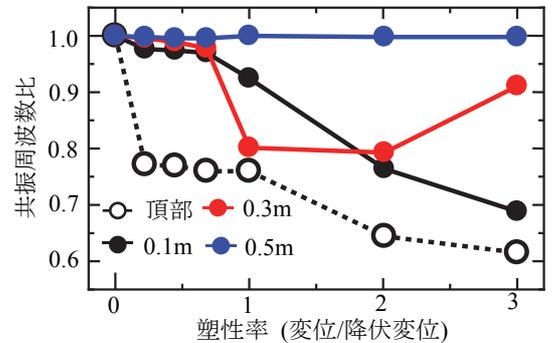


図-5 振動試験結果 (载荷試験)

4. 現場試験

コンクリート水路の撤去工事に併せて、放水時に現場試験を行った。側壁を対象として、前面から部材厚方向の側部加振と、地上の側壁頂部から高さ方向の頂部加振を行った。側壁の下ハンチから上部に $0.1m$, $0.6m$, $1.2m$ の位置で事前に打音検査を行い、健全箇所と浮きが確認された劣化箇所にて振動試験を行った。側部加振は掃引周波数 $1000\sim6000$ Hz, 頂部加振では $500\sim2000$ Hz, 加速度振幅 $3m/s^2$, 測定時間 18 秒を基本とした。現場試験の状況を写真-2、測定結果を表-1に示す。側部加振の理論値 4875 Hz に対して、健全箇所では 5000 Hz 前後の共振周波数が測定されたが、劣化箇所では共振周波数が 1459 Hz まで低下している。このことから、実際の水路側壁でも側部加振によって内部損傷を検知できると考えられる。さらに、頂部加振では理論値 475 Hz に対して、側壁表面が健全あるいは劣化している場合でも 561 Hz の測定値が得られた。以上より、この水路側壁は、表面付近が劣化しているが、内部までは損傷が及んでいないと推察される。



写真-2 現場試験の状況

表-1 振動試験結果 (現場試験)

	側部加振			頂部加振
	0.1m	0.6m	1.2m	
側壁 (劣化)	4557	1594	1459	561
側壁 (健全)	5058	4857	4821	561

5. まとめ

コンクリート水路供試体の検討では、加振器を用いた強制加振試験によって側壁の内部損傷を検知できる可能性が示唆された。また、実構造物の現場試験でも、運搬・取扱いが容易な小型加振器を用いて側壁の周波数特性 (共振周波数) を測定して、健全性評価が可能になると考えられる。提案手法は背面土の影響を受けることなく通水時でも側壁頂部から容易に点検できるなどの利点があり、今後の研究の発展が期待される。

参考文献:

1) 内藤英樹, 齊木佑介, 鈴木基行, 岩城一郎, 子田康弘, 加藤潔: 小型起振機を用いた強制加振試験に基づくコンクリート床版の非破壊試験法, 土木学会論文集 E2, Vol.67, No.4, pp.522-534, 2011.