

小型加振器を用いた RC 開水路および合流槽の健全性診断技術

東北大学 正会員 ○内藤英樹
東北電力 松本泰季

東北大学 学生会員 杉山涼亮
東北電力 正会員 堀見慎吾
東北大学 フェロー 鈴木基行

1. はじめに

社会インフラの健全性を持続するためには、点検・調査に基づく予防保全が有効である。しかし、火力発電所施設の放水路や取水路は運転時に放水しての点検が不可能であり、合流槽は運転に関わらず放水が困難な構造となっている。また、栈橋の近接目視点検など、桁下への接近が容易でない場合もある。このような目視点検困難箇所の点検・調査の合理化に向けて、陸上から実施できる非破壊試験の活用が望まれる。本研究では図-1 に示すように、陸上から加振器を用いて構造部材の局所的な共振を励起し、共振周波数を測定する試験方法を検討した¹⁾。はじめに RC 放水路の実測例を示し、その他の構造物を加えた健全箇所 543 個の測定結果を分析して、構造諸元と測定精度の関係について考察する。

2. 火力発電所放水路の現場実測

(1) 実験概要

供用後約 2 年の健全な RC 放水路を対象として、図-2 (a) の開水路の杭基礎および直接基礎区間と、図-2 (b) のカルバート区間を測定した。実験では、動電式加振器（質量 1.8 kg、最大加振力 50 N、可変周波数帯域 100~20,000 Hz）を用いて、陸上から側壁、隔壁、スラブを鉛直加振した。側壁および隔壁は、正弦波による周波数スイープ加振として、加振器の加速度を 3 m/s^2 に一定制御し、周波数を 300~700 Hz 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、共振曲線を測定した。カルバートスラブでは、ホワイトノイズを与えるランダム加振として、周波数帯域 2000~6000 Hz に渡って加振器の加速度パワースペクトル密度を $2 (\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ に一定制御した。このとき、加速度時刻歴波形の振幅の実効値 (RMS) は 88 m/s^2 である。

(2) 実験結果

開水路側壁（杭基礎）の共振曲線を図-3 に示す。振幅のピークを与える共振周波数は 567 Hz である。簡便な近似計算の位置づけとして、両端自由とした 1 次元棒の縦振動の理論式 (1) を考える。

$$f = \frac{c}{2L} \quad (1)$$

ここで、 f は共振周波数、 c は見掛けの音速、 L は振動長さであり、図-1 の前面と背面間の距離を与える。図-2 (a) を参照して、振動長さ L に 3 m を仮定し、共振周波数 567 Hz を式 (1) に代入すると、見掛けの音速 c は 3400 m/s となった。一般的なコンクリートの音速は 3500~4500 m/s 程度であり²⁾、底版における弾性波の廻り込みなどを考慮しない 1 次元棒の式 (1) では低い値を示したと考えられる。

共振周波数の測定結果を表-1 に示す。No.1 と No.2 を参照すると、本検討の範囲では、杭基礎と直接基礎

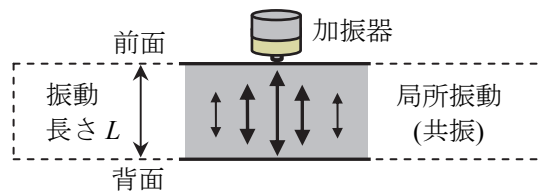


図-1 局所振動試験の概略図

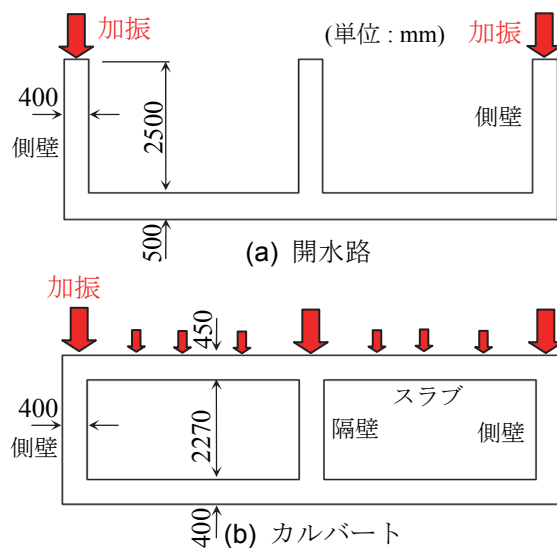


図-2 RC 放水路の概略図

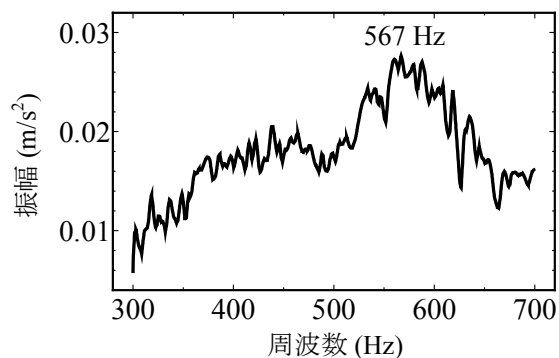


図-3 開水路側壁の共振曲線

表－1 共振周波数の測定結果

No.	対象構造物	部材形状	測点数	振動長さ L (mm)	共振周波数の 平均値 f_0 (Hz)	見掛けの 音速 c_0 (m/s)	変動係数 (%)
1	開水路側壁 (杭基礎)	L 型	36	2980	531	3691	9.8
2	開水路側壁 (直接基礎)	L 型	74	3050	528	3751	9.7
3	カルバート側壁	箱型	12	3120	559	3487	10.5
4	カルバート隔壁	箱型	6	3120	627	3741	7.1
5	カルバートスラブ	平板	18	450	4091	3682	4.0
6	開水路 A 側壁 (厚さ)	平板	18	500	4010	4010	1.9
7	合流槽 A スラブ	平板	36	460	4579	4212	3.1
8	合流槽 B スラブ	平板	30	460	4653	4281	2.3
9	栈橋スラブ (歩道)	平板	8	150	13710	4114	3.7
10	栈橋スラブ (舗装あり)	平板	19	400	5487	4390	7.8
11	防油堤 (厚さ)	平板	48	250	8134	4067	2.4
12	栈橋主桁 (歩道)	T 型	22	750	2372	3558	3.0
13	栈橋主桁 (舗装あり)	T 型	14	2000	915	3661	7.7
14	開水路 A 側壁	L 型	29	4100～4600	304	2712	8.5
15	開水路 B 側壁	L 型	7	6300～7200	177	2440	9.9
16	開水路 C 側壁	L 型	19	2700	553	2986	3.8
17	防油堤	L 型	24	2500	482	2409	11.3
18	合流槽 A ピア	箱型	60	3200	453	2898	8.9
19	合流槽 B ピア	箱型	48	3200	467	2986	8.2
20	合流槽 B 側壁	箱型	15	3200	445	2850	13.2
合計			543	150～7200	177～13710	---	7.6

の測定結果に差異はなかった。またカルバートの側壁、隔壁、スラブは音速 3487～3741 m/s であり、妥当な結果を示した。

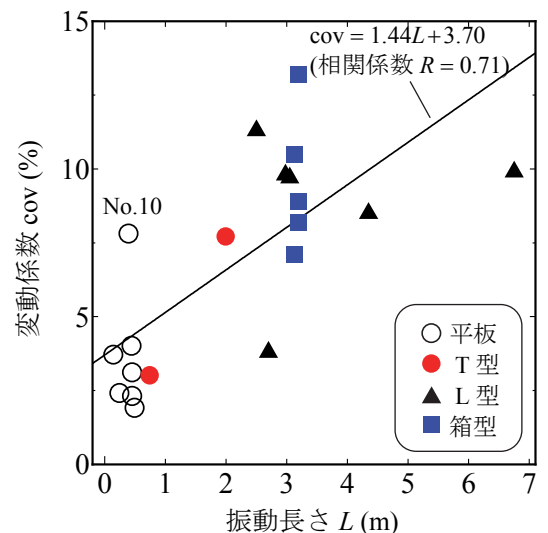
3. 構造諸元と測定精度の関係

その他の構造物を加えた健全箇所 543 個の測定結果を表－1 に整理した。L 型や箱型の部材形状に対して、式 (1) の見掛けの音速は 2400～3000 m/s 程度であり、これらの音速や共振周波数を精度良く算定するためには、3 次元の波動解析や振動解析が必要であることが示唆された。また図－4 に示すように、部材形状が複雑かつ寸法（振動長さ）が大きくなると、測定結果の変動係数が増加する傾向が示された。共振周波数の平均値 f_0 を基準とした共振周波数比 f/f_0 を指標にすると、543 個の変動係数は 7.6 % であり、データの 95 % は共振周波数比 0.86～1.18 の範囲に含まれた。

4. まとめ

加振器を用いて、陸上から開水路や合流槽などの部位・部材の局所的な共振を励起し、共振周波数を測定することができた。また、健全箇所 543 個の測定結果を統計分析し、非破壊試験の測定精度（変動係数 7.6 %）を明らかにした。今後はこの測定精度の結果を踏まえて、健全性診断への適用性や健全度判定の閾値などを検討する。

参考文献：1) 五十嵐亜季，内藤英樹，土田恭平，鈴木基行：強制加振試験によるコンクリート開水路の損傷評価，コンクリート工学年次論文集，Vol. 37，No. 2，pp. 793-798，2015。2) ヴォラプッタポーニ コンキット，十代田知三：条件の異なるコンクリートの音速と動弾性係数との関係－非破壊試験による構造体コンクリートの品質検査法の総合的検討（その 2）－，日本建築学会構造系論文集，No. 527，pp. 15-19，2000。



図－4 振動長さと測定精度の関係