

## 衝撃弾性波による RC 開水路壁面の健全性検査

土谷組 正会員 齋藤 晃史  
 土谷組 正会員 秋松 和正  
 土谷組 正会員 土谷 勝彦  
 iTECS 技術協会 正会員 極檀 邦夫

### 1. まえがき

構造物の長寿命化やライフサイクルコストを低減するには実構造物の実態を把握することが重要である。

鉄筋コンクリート造の開水路の壁面は、流水による水和物溶脱、摩耗作用などにより表面劣化の進行が速いといわれている。

今回、コンクリートの強度指標と表面劣化の程度を求める新しい方法として、インパルスハンマーの機械インピーダンスによる方法と衝撃弾性波法によって求めた厚さと設計厚さを比較し、厚さから逆算した弾性波速度を用いる方法を検討したので報告する。

### 2. 壁面厚さと強度指標の測定方法について

#### 2-1 衝撃弾性波による厚さの測定方法

コンクリート表面を鋼球で打撃するとパルス状の打撃力が生じて、コンクリート内に弾性波動が発生し内部を伝搬する。打撃した測定面と反射面の距離が短いと、波動はその間で多重反射し周期的な波形となる。

周波数スペクトル解析方法として最大エントロピー法 (MEM) による自己相関関数を算出する手法を採用して、反射面までの距離の測定精度向上を図った。コンクリート内部を伝搬する弾性波による振動の時間的な変化を一定時間間隔ごとに解析して得た値をスペクトログラムで観測することによって、厚さ、剥離、内部欠陥などを求めている。コンクリートを伝搬する弾性波速度  $V_p$ 、厚さの固有周波数を  $f$  とすると、厚さ  $D$  は、 $D = \frac{V_p}{2f}$  により得られる。

#### 2-2 インパルスハンマーによる強度指標の求め方

インパルスハンマーの加速度波形から、機械インピーダンスとハンマー接触時間を求めて、表面劣化の程度と強度指標を求める方法について説明する。質量  $M$  のハンマーが速度  $V$  で、バネ係数  $k$  のコンクリート表面に衝突するときのコンクリートの最大変位を  $x$  とする。打撃エネルギー  $\frac{1}{2}MV^2$  とひずみエネルギー  $\frac{1}{2}kx^2$  の釣り合いから、 $\sqrt{Mk} = \frac{F_{max}}{V}$  となり、 $\sqrt{Mk}$

が機械インピーダンスである。前半と後半の機械インピーダンス  $Z_A$ 、 $Z_R$  およびハンマー接触時間  $T_A$ 、 $T_R$  を求めて検討した。

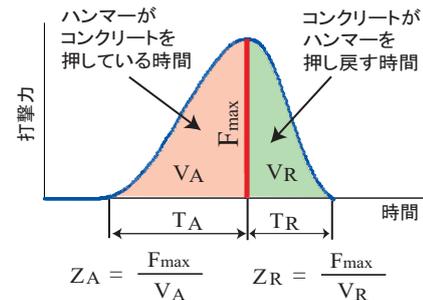


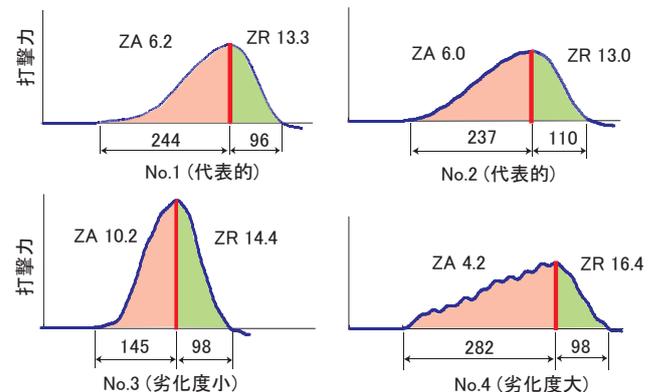
図-1 打撃波形と機械インピーダンス

### 3. 測定点と測定装置

測定した開水路壁面は、高さ 4000mm で、上端厚さ 250mm、下端厚さ 400mm で、縦方向に間隔 300mm の測点を設けた。衝撃弾性波は、コンクリート表面を鋼球 15mm で叩き、約 6cm 離れた点に加速度計を手で押しつけて測定した。衝撃弾性波のサンプリングクロック  $2\mu s$  である。インパルスハンマーは、ハンマーヘッド質量 190 グラム、サンプリングクロック  $0.5\mu s$ 、感度  $0.4mV/m/s^2$  を使用した。

### 4. 測定結果

#### 4-1. 機械インピーダンスによる強度指標の測定結果



	ZA (前)	ZR (後)	ZA/ZR	TA (前)	TR (後)	TA/TR	MPa
No.1	6.2	13.3	0.47	244	96	2.5	17.7
No.2	6.0	13.0	0.46	237	110	2.1	17.0
No.3	10.2	14.4	0.71	145	98	1.5	20.9
No.4	4.2	16.4	0.26	282	98	2.8	27.0

図-2 打撃力波形

キーワード 開水路, コンクリート, 表面劣化, 衝撃弾性波, 機械インピーダンス

連絡先 岐阜県加茂郡八百津町八百津 3321 (株)土谷組 TEL 0574-43-0052 Email saitou@tsuchiayagumi.com

表面劣化したコンクリートをハンマーで打撃すると塑性変形が生じる。ハンマーの初期速度が一定であっても、ハンマーの打撃力は吸収されて減衰する。表面劣化の指標として、前半機械インピーダンス  $Z_A$  と後半機械インピーダンス  $Z_R$  との比  $index = \frac{Z_A}{Z_R}$  を定義する。暫定的に 0.8 ~ 1.1 をおおむね正常範囲とする。index 0.7 とは、コンクリートが復元する強度指標  $Z_R$  に対して、ハンマーが押す強度指標が 70% と低下していることを示している。index が 0.8 よりも小さいときは、表面に軟らかいゴムを敷いて打撃するのと類似していると考えられる。

表面劣化層を除去しない状態の水路壁面の index は、測点数 20 点の平均値で 0.59 = 59% と、表面劣化がかなり進行していると推測された。また、この状態の機械インピーダンス  $Z_R$  から推定した強度指標は 16MPa であった。しかしこの 16MPa は、index 0.59 を考慮すると真の内部強度は計測されていないと推量される。

参考に実施した反発度法の R 値から得た推定強度は 20MPa であった。反発度法が機械インピーダンス  $Z_R$  よりも強度が大きくなったのは強い打撃力で表面劣化層を破壊貫入したためと推測される。

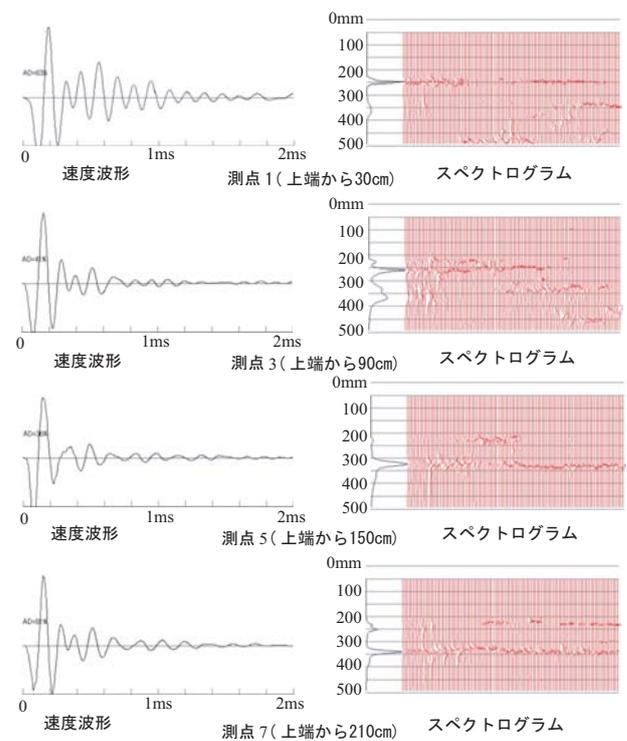
#### 4-2. 弾性波速度による強度指標の推定結果

図-3 に、上端から測点 1、測点 2、測点 5、測点 7 の代表的な速度波形とスペクトログラムを示す。

スペクトログラムのスペクトル（厚さに換算）が単一幅で継続するときには、多重反射が成立し厚さが計測されている。スペクトルが乱れる場合はコンクリート内部の欠陥やひび割れの存在を検討する。速度波形の減衰の程度やスペクトログラムの状況から判断すると、調査時の開水路壁は、空の状態、水圧が作用していないため地盤との密着程度がややゆるやかと思われる。

衝撃弾性波法の厚さから弾性波速度を求める式は  $D = \frac{V_P}{2f} \Rightarrow V_P = D \cdot 2f$  となる。

衝撃弾性波法では、縦弾性波速度を 3800m/s と仮定して水路壁の厚さを算出した。設計厚さは、設計図から計算して求めた。表の測点 1-3 は、水面の上側でコンクリート表面の表面劣化度は小さい。この範囲は測定厚さが設計厚さよりも薄いので、弾性波速度は 3800m/s よりもやや大きく 3900m/s 程度と推測される。測点 5-10 は 3% ~ 9% と厚くなっているが、地盤に密着している場合は衝撃弾性波法で測定すると、複合作用によって厚くなるといわれている。



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
測定厚	244	242	248	359	326	328	342	355	357	366
設計厚	254	265	276	288	299	310	321	333	344	355
差 mm	-10	-23	-28	+71	+27	+18	+21	+22	+13	+11
誤差率	-4%	-9%	-10%	+25%	+9%	+6%	+7%	+7%	+4%	+3%

図-3 速度波形とスペクトログラム

上端および水面上の壁厚から逆算した弾性波速度は、およそ 3800m/s と推測されるので土木研究所の換算式で強度を推定すると、26MPa 程度である。機械インピーダンス  $Z_R$  から推定した強度は 16MPa であるが、これは表面処理をしない状態で測定した値である。内部を多数回伝搬する衝撃弾性波の厚さから逆算した推定強度は 26MPa 程度であるので、構造物としての健全性は確保されていると考えられる。

#### 5. まとめ

流水による作用を受けた開水路壁面のコンクリート強度指標と表面劣化の程度をインパルスハンマーと衝撃弾性波法により検討した。

1. 表面劣化の程度を、機械インピーダンスの比  $index = \frac{Z_A}{Z_R} = 0.59$  から判断するとかなり進行していると推測される。
2. 機械インピーダンス  $Z_R$  から求めた強度指標は 16MPa と小さな値となったが、表面層を除去していない測定なので、真の内部強度は計測されていないと考えられる。
3. 測定厚さから逆算した弾性波速度によって算出したコンクリート強度は、26MPa であるので構造物としての健全性は確保されていると推量される。