

# コンクリート圧縮強度の動的非破壊試験法の比較

## COMPARISON BETWEEN DYNAMIC NDT METHODS FOR CONCRETE STRUCTURE

(株)東洋計測サーチ 山下健太郎  
アプライドサーチ(株) 境 友昭  
iTECS 技術協会 極壇 邦夫

コンクリート構造物の圧縮強度の非破壊試験法として、反発度の測定や、ハンマー打撃力波形から得られる機械インピーダンスの測定、加速度計を用いた縦弾性波速度の測定などがある。また、国土交通省では、今年度から、新設の構造物の圧縮強度推定に対して、超音波法や衝撃弾性波法の運用を検討している<sup>1)</sup>。本論では、それぞれの動的非破壊試験方法の特色や測定上の問題点を整理するとともに、実構造物への適用性が高いと思われる衝撃弾性波法による表面での弾性波速度の測定について、特質や影響要因といった基礎的な情報を把握するために、理想的な供試体を用いて実験的に考察を行った結果を報告する。

キーワード：衝撃弾性波，圧縮強度，表面弾性波速度

### 1. はじめに

本研究では、コンクリート構造物に対する、動的な非破壊試験による圧縮強度の推定方法について、その特色をとりまとめるとともに実構造物への適用性という観点からの評価を行った。また、今年度から国土交通省で新設構造物への適用が試行されることになった、衝撃弾性波法については、これまでの研究によって、多重反射で測定した弾性波速度は、内部の欠陥やPC橋梁のシーすといった埋設物の影響を受けて低下する可能性があること、表面での弾性波速度の測定では内部の鉄筋の影響をうけることがわかっている<sup>2)</sup>。ところが、表面で測定する弾性波速度に及ぼす内部欠陥の影響については詳しく検討されていなかった、本研究では均質な構造を持つABS(Acrylonitrile Butadien Styrene)樹脂供試体を用いて、実験的な考察を行った。

### 2. 動的な非破壊試験の分類と比較

コンクリート構造物に対する、非破壊による圧縮強度推定のための代表的な試験方法を表1に示す。従来の超音波法や反発度法といった技術に加えて、衝撃弾性波法や機械インピーダンス法といった新しい測定方法や解析方法が開発され、実用化に向けて検討されている。

表1 非破壊によるコンクリート圧縮強度推定方法の分類

試験方法分類		測定対象	測定分類	測定規格	
弾性波法	超音波法	超音波(P波)速度	-	ASTM-C-597	
	衝撃弾性波法	弾性波(P波)速度	表面波法	-	-
			透過法		
			多重反射法		
			表面2点法		
	Impact Echo法		ASTM-C-1383		
機械インピーダンス法	機械インピーダンス	動的打撃力波形	-	-	
反発度法	リバウンドハンマ	反発度(ブリル硬度)	-	JIS-A1155	

それぞれの試験方法について、測定対象物の厚さや形状による制限や、構造体内部の状態が測定値に与える影響について多くの報告がなされており、代表的なものについてとりまとめたものを表2に示すとともに、実構造物への適応性という観点での評価を示す。衝撃弾性波法の表面波速度の測定は

短時間で比較的精度の高い測定が行え、かつ、繰り返し測定が可能であることから、実構造物への適用性も高いと思われる。尚、表2の作成にあたり、既往の論文<sup>3)</sup>を参照した。

表2 強度試験方法の比較

測定項目	構造体に対する適用性(*1)	影響要因(*2)				測定		強度推定		評価(*6)
		鉄筋	浅い剥離	深い剥離	表層品質	繰返測定(*3)	測定時間(*4)	方法	精度(*5)	
表面弾性波速度						繰返測定(*3)	測定時間(*4)	推定式		
透過弾性波速度			×							
多重反射弾性波速度										
機械インピーダンス										
反発度	×				×					

- (\*1) 構造体に対する適用性： 構造体全体としての情報が得られる 測定値の信頼度が構造体の1部分に限定される
- (\*2) 測定に及ぼす影響要因： 影響を受けない 影響を受けるが比較的高い精度で測定可能 ×影響を受ける
- (\*3) 繰り返し測定の可否： 繰り返し測定可能 ×不可能
- (\*4) 1つのデータを測定するのに要する時間(表面処理を含む)： 非常に早い(10秒以内) 早い(10秒~30秒) やや遅い(測定の前工程、後工程に時間を要する) ×遅い
- (\*5) 強度推定精度(標準コアとの比較)： 良い(±20%以下) やや劣る(±20%以上)
- (\*6) 評価： 実構造物への適用が可能 対象構造物の条件によって測定精度が劣る、又は、測定に多くの労力を要する

### 3. 衝撃弾性波速度の測定方法

#### 3.1 表面弾性波速度の測定方法

表面弾性波速度の測定は、2chの加速度計を用いて行う。波動の入力は測定ラインの延長上の任意の箇所を直径10mm程度の鋼球によって、コンクリート表面を軽打して行う。測定された波形(図3)からそれぞれの加速度計に波動(P波)が到達する時間差を測定し、測定点間の距離Lとから、弾性波速度を計算する。センサ間の距離は100mm~450mm程度に移動しながら測定する。

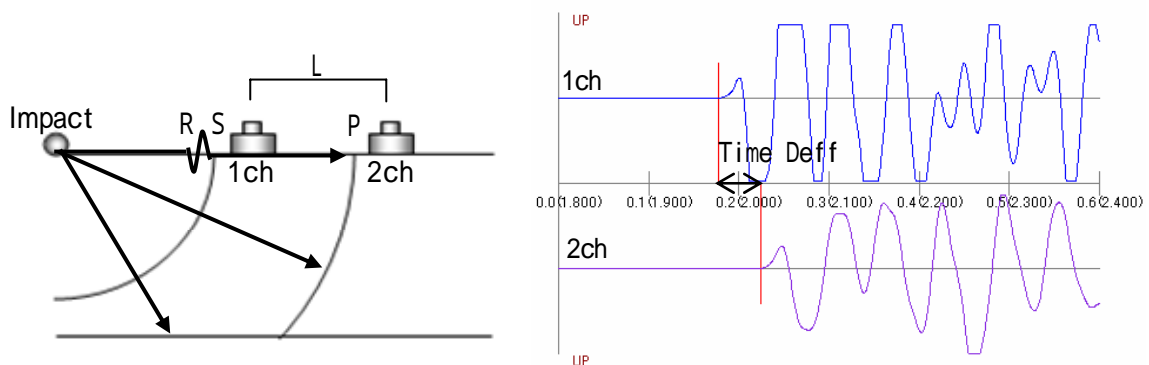


図1 表面弾性波速度測定方法

#### 3.2 透過弾性波速度の測定方法

透過弾性波速度の測定は、図1において、2ch側のセンサを1ch側のセンサの反対側に設置し、1ch側のセンサ近傍を打撃して弾性波を発生させる。波形の読み取りや、計算方法は表面弾性波速度の測定と同様である。

#### 3.3 多重反射弾性波速度の測定方法

多重反射弾性波速度の測定方法を図2に示す。測定は1chの加速度計を用いて行う。入力した波動の多重反射の

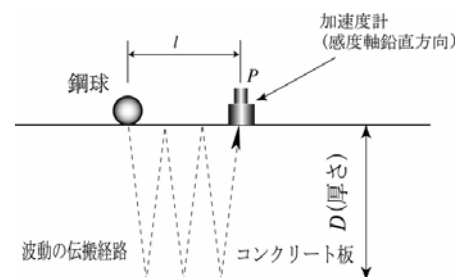


図2 多重反射弾性波速度測定方法

周期をスペクトル分析し、ピークとなる周波数を  $f_0$  構造体の厚さを  $D$  とすると、

$$V_p = 2f_0 \cdot D \quad (1)$$

の関係が得られ、(1)式から速度  $V_p$  を決定する。

#### 4. 実験の概要

##### 4.1 ABS 供試体

実験は、200mm × 1010mm × 30mm で、深さ 36mm と 78mm にそれぞれ内部欠陥を模して作られた 5mm × 125mm の空洞を有する ABS 樹脂を用いて行った。

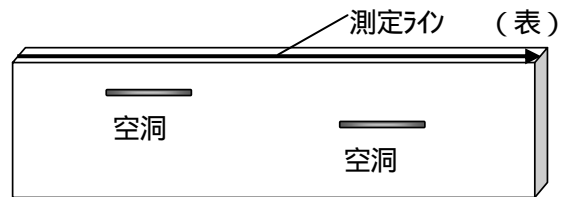


図3 ABS 供試体概要 (裏)

##### 4.2 測定・打撃方法

測定には、衝撃弾性波法の測定装置 (iTECS) を用い、図3に示すように供試体の長手方向に測定線を設け、表3に示す測定を行った。

透過弾性波速度については、空洞の深さによる影響を把握するため、測定ライン側とその背面側の両方からの測定を行った。

鋼球を使用した表面弾性波速度の測定では、加速度計の間隔を 100mm に固定し、測定ライン上を 50mm ずつ移動しながら測定した。また、鋼球のサイズが測定結果に及ぼす影響を把握するために、3種類の鋼球を用いた。インパルスハンマを用いた表面弾性波速度の測定は 2ch 側のセンサを供試体中央部に固定し、1ch 側のセンサ (打撃点) を供試体の両端から 25mm ずつ移動させて測定を行った。

表3 測定内容

測定項目	打撃	質量	測定間隔
透過方向弾性波速度	インパルスハンマ	85g	25mm
多重反射弾性波速度	インパルスハンマ	17g	25mm
表面弾性波速度	インパルスハンマ	45g	25mm
	鋼球 5mm	5g	50mm
	鋼球 10mm	18g	50mm
	鋼球 30mm	130g	50mm

#### 5. 測定結果及び考察

##### 5.1 透過弾性波速度の測定結果

測定した透過弾性波速度分布を図4に示す。空洞部では、弾性波速度が 20%以上低下していることがわかった。

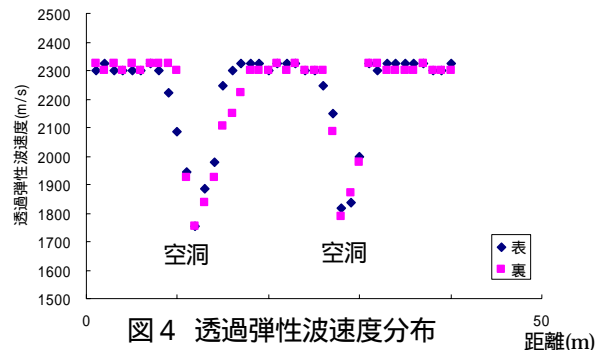


図4 透過弾性波速度分布

##### 5.2 多重反射弾性波速度の測定結果

測定した加速度波形測定結果 (最大エントロピー法 (MEM) によるランニングスペクトルを測定時間 1ms 間で平均したものを) を図5に示す。図は、測定された周波数から「深さ」に変換したものである。

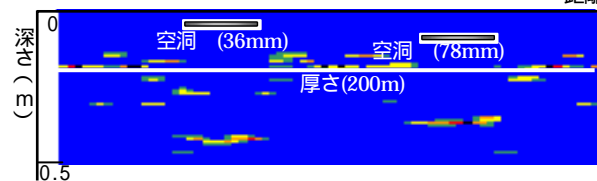


図5 供試体スペクトル強度分布 (MEM 詳細法)

空洞のない部分では供試体の厚さ (200mm) に相当する部分でスペクトルが集中しているが、空洞部では深い部分に強いスペクトルが現れたことから、弾性波速度が低下していることがわかる。

##### 5.3 表面弾性波速度の測定結果

表面での弾性波速度の測定結果を図6に示す。空洞1の上部では約 10%近く弾性波速度が低下したことが分かる。尚、鋼球のサイズによって、空洞の影響が顕著に現れる場合と、そうでない場合があることが分かった。図7に 2ch 側の加速度計で測定された加速度波形を示す。図は空洞1,2の上部の波形とそれぞれ左右の空洞のない部分での波形を 2ラインずつ抽出して並べたものである。図7より空洞上を打撃した際に観測される波形は空洞のない部分と比べて、周期が長く振幅が大きくなることがわかった。波形から、膜振動による影響を受けていると推測される。

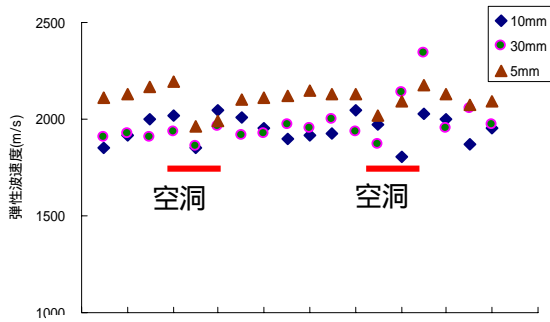


図6 鋼球サイズ別表面弾性波速度分布

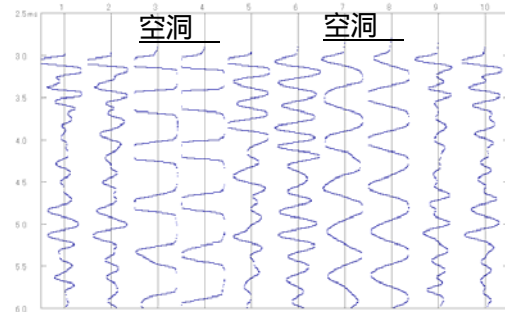


図7 2ch センサ測定波形の比較

## 6. まとめと今後の課題

### 6.1 衝撃弾性波による表面弾性波速度の

#### 測定に及ぼす内部欠陥の影響

表面での弾性波速度測定に際して、剥離や空洞のある部分では速度が低下することがわかった。実構造物での測定に際しては、まず、多重反射の波形や、機械インピーダンスの測定から、内部に欠陥のないことを確認することが必要であるといえる。今後は弾性波速度が低下するメカニズムを解明するとともに、大型コンクリート模型等を用いてより深く検証していきたい。

### 6.2 測定波形の読み取りの難しさへの対応

測定した波形の中には図8の に示すように、2ch側の波形の立ち上がりの判別が難しい場合があり、測定精度に大きく影響を与える可能性が懸念される。

図9にインパルスハンマを用いた表面弾性波速度の測定によって得られた測定波形を並べて示す。丸で囲まれた部分は、図8の に示す、最初に到達する振幅の大きな波形（R波）を表している。

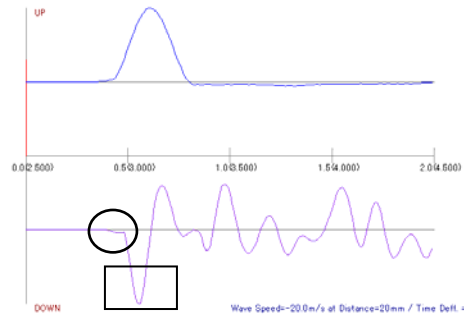


図8 空洞部での測定波形

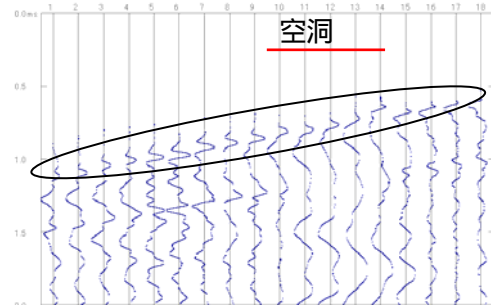


図9 空洞1側測定波形一覧

R波の速度 $C_R$ と、P波速度 $C_p$ はポアソン比を $\nu$ とすると次式のような関係がある。

$$C_p = \frac{1+\nu}{0.87+1.12\nu} \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{(1-2\nu)}} C_R \quad (2)$$

ABS 供試体のポアソン比は0.36であるので、R波の速度はP波速度の約44%であると計算される。測定した波形からR波の速度を計算すると871m/sであった。10mm鋼球での表面弾性波速度は約2000m/sであったので、P波速度ともおよそ相関のあることが確認された。今後は、判別が容易であるR波にも着目し、P波の計測と併用することで、より高い精度の測定手法を確立していきたい。

### [参考文献]

- 1) 独立行政法人土木研究所：微破壊・非破壊試験によるコンクリート構造物の強度測定要領（案）
- 2) 岩野聡史，境友昭：非破壊試験によるコンクリート品質，厚さ，鉄筋の計測に関する研究その13 表面波に及ぼす鉄筋の影響，日本非破壊検査協会平成12年度秋季大会講演概要集
- 3) 森濱和正：非破壊・局部破壊試験によるコンクリート構造物の品質検査に関する共同研究共通その8 鉄筋コンクリート構造物の非破壊試験による検査項目と試験方法の選定日本非破壊検査協会平成17年度秋期大会講演概要集
- 4) Mary J.Sansalone, William B.Strett：IMPACT-ECHO