

衝撃弾性波による実物大供試体のジャンカ検出方法の検討

Inspection method of flaws in concrete structures by Impact-echo method
Using full size model of box culvert

(株)東洋計測サチ 山下 健太郎
Kentaro Yamashita (Toyo survey and research Inc)
iTECS 技術協会 極檀 邦夫
Kunio Gokudan (iTECS Association)

ア°ライト°サチ(株) 境 友昭
Tomoaki Sakai (Applied Inc.)
(独)土木研究所 森濱 和正
Kazumasa Morihama (Public Works Research Institute)

ボックスカルバートタイプの大型供試体の壁面に埋設したジャンカを検出する方法を検討した。壁厚は 300mm と 600mm で、ジャンカは 100×150×50mm と 150×260×100mm である。壁厚を iTECS 法で測定したところ、ジャンカ埋設箇所では厚さが実寸より過大となった。ジャンカ直上の波形は振幅大で減衰が小さく、他点と異なることに着目し、測定波形の類似性を多次元尺度法によって評価した結果、従来の厚さ計測を補完する手法としての可能性が得られたので報告する。

キーワード：衝撃弾性波，欠陥探査，多次元尺度構成法

1. はじめに

衝撃弾性波法（iTECS 法）によるコンクリート構造物内部の空洞やジャンカと呼ばれる内部欠陥の探査では、測定波形の周波数解析によって、その平面的範囲を特定することができる。本研究では、ポラスコンクリートを大型供試体内部に埋設して模擬的なジャンカとした。ジャンカまでのかぶり厚さ、ジャンカの形状が測定値に及ぼす影響を確認するとともに、測定波形の振幅、周期、減衰といった波動に固有の性質に着目し、波形の類似性を多次元尺度法により検討して、従来の内部欠陥探査手法を補完できるか模索した結果を報告する。

2. 衝撃弾性波法の理論

衝撃弾性波法は、測定表面から入力された弾性波が音響インピーダンスの異なる境界面で反射し、構造物の厚さ方向に多重反射することを前提としている。図 1 に測定方法の概念を示す。図に示すように、衝撃弾性波は、鋼球などでコンクリート表面を打撃して入力し、コンクリート内部の波動現象を打撃点近くに設置した超高感度加速度計によって測定する。波動が多重反射すると、往復時間を周期とする固有振動数が見られるようになる。測定されたコンクリート表面の振動の周期（ T ）、コンクリートの厚さ（ D ）およびコンクリート中の弾性波速度（ V_p ）の間には、

$$D = \frac{1}{2} V_p T \quad (1)$$

の関係があり、周期（ T ）が得られると、コンクリート板の厚さが測定されることになる。また、測定波形が周期性を示す場合には、多重反射の時間軸波形をスペクトル分析して、ピークを示す振動数を固有振動数（ f_0 ）とすると、

$$D = \frac{1}{2} \frac{V_p}{f_0} \quad (2)$$

となる。

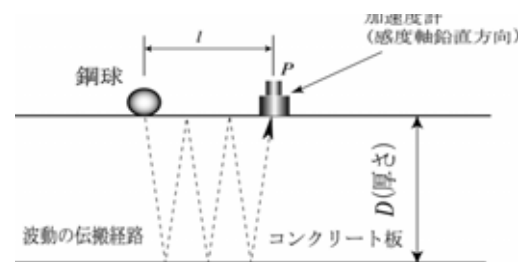


図 1 衝撃弾性波法概念図

3. 実験の概要

3.1 コンクリート供試体

供試体は壁にジャンカを模擬したポーラスコンクリートを埋設したボックスカルバート状の構造物である(写真1)。以後、ポーラスコンクリートをジャンカと呼ぶ。供試体の詳細を表1に示す。



写真1 供試体

表1 供試体の部材データと埋設物

部材	設計強度 (N/mm ²)	厚さ (mm)	ジャンカ (ポーラスコンクリート)
壁1	45	300	150*260 t=50,100
壁2	18	600	100*200 t=50,100

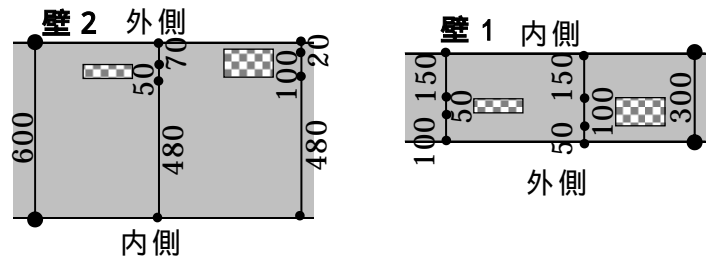


図2 供試体平面図

3.2 測定方法

壁1, 壁2の内側, 外側の両面からジャンカを含む幅1m×高さ0.8mの範囲に50mmメッシュを設けて測定した。ジャンカのかぶり厚さを図2に示す。視点を変えると, かぶり厚さを変えてジャンカの検出可能性を検討したことになる。壁1の測定における弾性波の入力は、直径15mmの鋼球(18g)壁2では直径30mmの鋼球(130g)を用いて軽打した。打撃点と加速度センサ間距離は100mmに固定し, 50mmずつ移動させながら測定を行った。

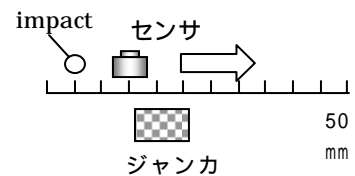


図3 測定方法

4. 測定結果

4.1 壁1測定波形と解析結果

測定した加速度波形を数値積分して得られた速度波形と、最大エントロピー法(MEM)による周波数スペクトル解析結果を「深さ」に変換したものを図4に示す。図中の点線は実際の壁の厚さを示し、数字は「深さ」の解析値である。

図の測定波形より、ジャンカ上の測定点では、減衰の小さいたわみ振動と見られる特徴を示す波形が観測され、実寸よりも厚い解析値が得られた。

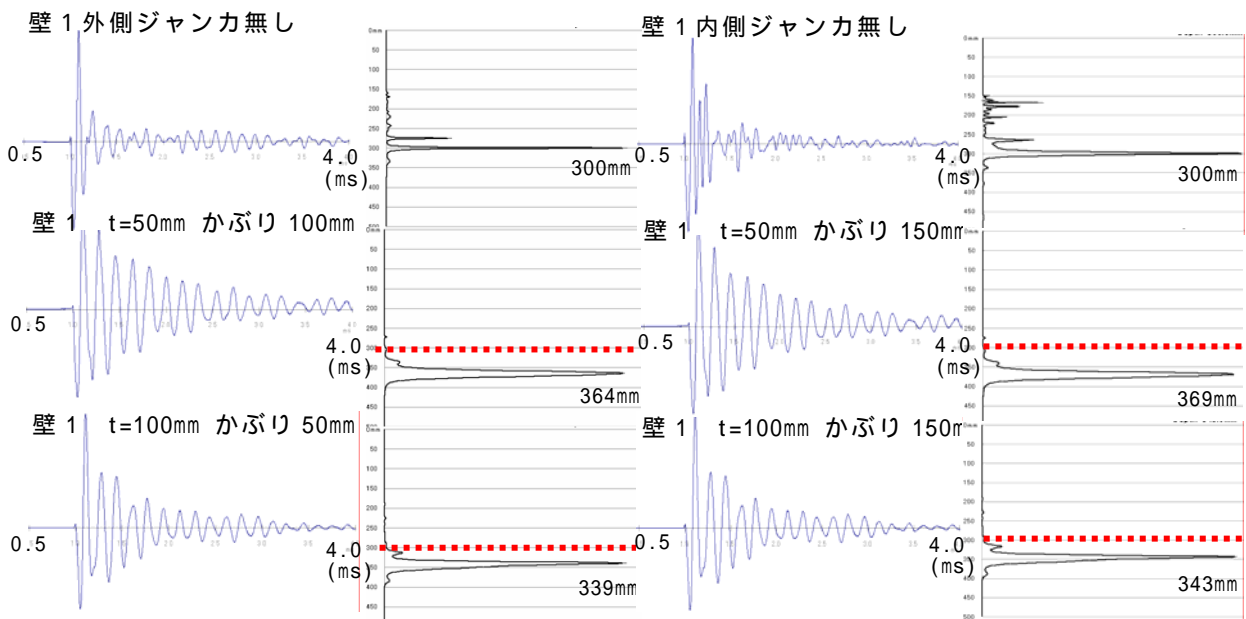


図4 壁1測定波形及び解析厚さ

4.2 周波数スペクトル解析結果

各測定面のジャンカを含む測定ラインの周波数スペクトル解析結果を図5に示す。縦軸は厚さ、横軸は測定点番号を示す。図中の矢印はジャンカの位置を示す。色相は、スペクトルの強度を示し、赤色が最も強いスペクトル、次いで橙黄緑青藍の順で示している。壁1ではジャンカ部で解析厚さが著しく厚くなっていることが分かる(図中太)。壁2では厚さの情報が継続し、ジャンカのある箇所では厚さ以外のスペクトルが見られた。

壁2内側のかぶり厚さ480mmの計測では、 $t=100\text{mm}$ のジャンカを検知できなかった。

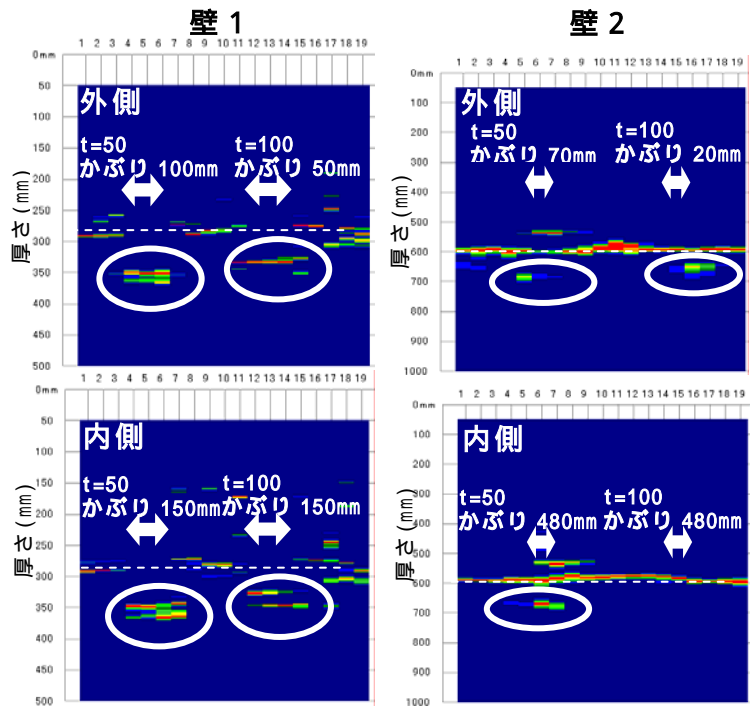


図5 スペクトル強度分布

4.3 スペクトル累積強度分布

各測定点におけるスペクトル解析結果のうち、実際の壁厚よりも厚い部分でのスペクトルの累積値を累積スペクトル強度とし、その空間分布を図6に示す。図中の枠はジャンカの埋設位置を示している。また、4.2において異常が見られた17-19列の測定値は除外して解析を行った。ジャンカの近傍では、累積スペクトル強度が高く、おおよそその平面的な位置が検知できた。

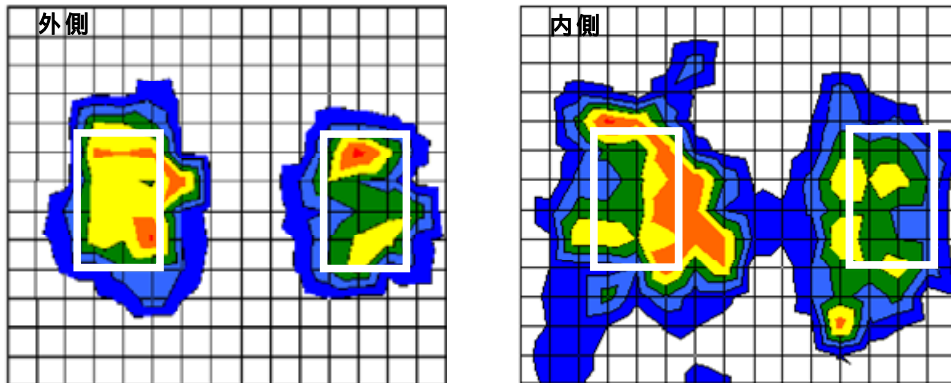


図6 壁1 300mm以深の累積スペクトル強度分布 (MEM 15mm 鋼球)

4.4 多次元尺度構成法を用いた波形の類似性による分類

多次元尺度構成法(MDS)は、多変量統計解析手法の一つで、データ相互の関係を低次元空間における点の布置で表現する手法であり、類似したデータは集団を形成し、類似度の低いデータは集団から遠くに位置する。

本研究では、ジャンカが存在する測定ライン上の19点の速度波形を、波形始点から4ms間抽出し、それぞれの相関係数を得て相関係数行列に対してMDS解析を行った。

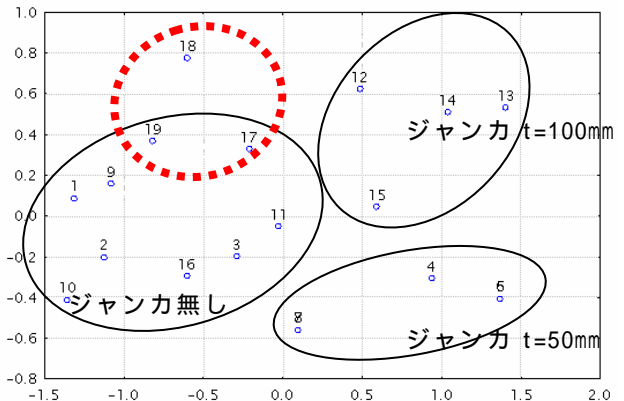


図7 壁1 外側MDS解析結果

壁 1 外側からの測定波形の分類を図 7 に示す。図より、ジャンカの埋設の有無および、埋設物の種類によっても分類がなされたことがわかる。

壁 2 の外側からの測定波形についても MDS 解析を行った。壁 2 では、打撃点とセンサ間距離に対して、壁厚が厚く、さらに設計強度の低いコンクリートであったため、入力波形の影響が支配的となり、明確な分類が困難であった。

図 8 に壁 2 の入力波形を除いた波形で MDS 解析を行った結果を示す。

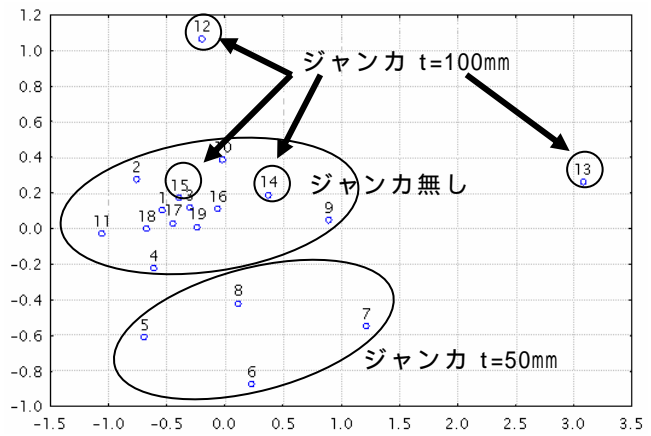


図 8 壁 2 外側 MDS 解析結果

5. まとめと考察

5.1 ジャンカの厚さとかぶり深さが測定結果に及ぼす影響

ジャンカ部での厚さ解析結果の一覧を（各 9 点の平均値）を表 2 に示す。

弾性波の伝播には、経路上に存在する空隙の分布や量が大きく影響すると考えられる。設計強度が比較的大きい壁 1 は、ジャンカとの強度の差が大きく、厚さの解析値に明瞭な変化をもたらした。

表 2 解析結果と見かけの厚さ増加率

部位	壁 1 (45N/mm ²)				壁 2 (18N/mm ²)			
	ジャンカ平面寸法							
ジャンカ平面寸法	150*260				100*200			
ジャンカ厚さ	t=50		t=100		t=50		t=100	
かぶり (mm)	100	150	50	150	70	480	20	480
壁厚 (mm)	300				600			
解析値 (mm)	363	362	342	337	698	660	612	577
厚さ増加率	21%	21%	14%	12%	16%	10%	2%	-4%

t=100mm のジャンカ部では、著しい厚さの変化が見られず、期待する結果が得られなかった。設計強度が低い構造物中では、ジャンカとの音響インピーダンスの境界が明確でなくなること、施工中にセメントペーストが浸入し、空隙率が低下した可能性がある等の原因が推測できるが、今後機会を見て検証を行いたい。

5.2 波形の類似性に着目した評価方法

多次元尺度構成法による分類の結果、設計強度が 45MPa、厚さが 300mm の壁 1 の MDS 解析では、スペクトル解析と同様の分類結果を得ることができた。

図 9 に壁 1 の No. 18 の測定波形を示す。図 4 に示すジャンカ無しの波形と比べて、違いがわかりづらいが、スペクトル解析結果では異常が見られた点である（図 5 壁 1 右端）。MDS 解析による分類でも測定点 No. 17 - 19 の波形はジャンカ無しのグループとは離れて分類された（図 8 破線）。従って、測定した波形を多次元尺度構成法によって解析すると、客観的なグルーピングが可能であることがわかった。一方で、壁厚の厚い壁 2 の解析では、入力波形の影響という問題点も浮上した。

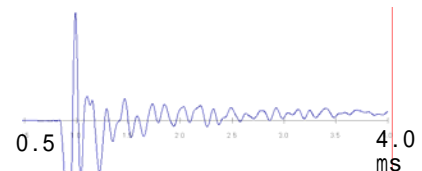


図 9 壁 1 の No. 18 測定波形

今後は、波形の微細構造や、MDS 等の新たな評価方法に着目し、従来の周波数解析による内部欠陥の検知技術と併せて、異常点の検知精度を向上させたい。

[参考文献]

- 1) 岩野聡史, 森濱和正: 非破壊・局部破壊試験によるコンクリート品質検査に関する共同研究 衝撃弾性波 その 2 衝撃弾性波法によるコンクリート表層部欠陥の深さ測定日本非破壊検査協会平成 15 年度秋季大会講演概要集
- 2) 齋藤堯幸: 多次元尺度構成法 1980 朝倉書店