

衝撃弾性波法 (iTECS 法) による供試体の疑似欠陥の探査

THE INQUIRY OF PARA-DEFECT OF THE SPECIMEN BY IMPACT ECHO METHOD

株式会社 コサカ技研 鈴木拓也

株式会社 コサカ技研 小原久敏

iTECS 技術協会 極檀邦夫

コンクリート供試体に疑似空洞を設け、衝撃弾性波法による厚さ測定を実施し、空洞と平行に衝撃をあたえた場合の波形およびスペクトルの違いを考察した。また、空洞に対して垂直な衝撃の場合では、反射面の範囲を4種類作成し、空洞までの距離と空洞幅による影響を調査した。

その結果、空洞部と健全部の波形、スペクトルの違いが明瞭に現れ、空洞範囲の違いでは、検出される厚さがそれぞれ異なる結果となった。

キーワード：衝撃弾性波，多重反射波，空洞探査

1. はじめに

1.1 衝撃弾性波法

近年、土木構造物においてアセットマネジメントが各分野で導入されている。目視による点検、コアによる各種試験が項目としてあげられ、構造物の規模により多額の費用、労力、時間を費やすことから、構造物の非破壊検査技術が話題を集めている。非破壊検査技術や検査装置は、検査対象構造物によって様々であり、その中の1つにコンクリート構造物の非破壊検査技術、衝撃弾性波法¹⁾がある。衝撃弾性波法での非破壊検査技術は、多重反射波を用いた構造物の厚さ測定、透過弾性波法による空洞探査、表面弾性波法による強度推定や直角回折波法によるひび割れ深さ測定などがある。本論文で用いている多重反射法は、打撃によってコンクリート内部を伝搬する弾性波を周波数解析し厚さを測定するものがある。構造物にひび割れ、空隙、ジャンカなどが存在すると多重反射波は乱れることから、多重反射法により構造物の厚さを測定することは、内部空洞探査を行うことと同様である。

本論文は、構造物の疑似欠陥探査を目的に、コンクリート供試体で多重反射法による厚さ測定を実施した。疑似空洞に対して、多重反射波が平行な場合（上面測定）と垂直な場合（側面測定）の2方向から測定を行い、垂直な場合においては、衝撃波が反射する空洞範囲を充填材により4種類作成し、空洞範囲による影響を調査した。

1.2 多重反射波による厚さ測定の原理

図1に多重反射法による測定原理を示す。コンクリート表面を鋼球やハンマーなどで衝撃を与えると、内部を球面状に伝搬する弾性波が発生し、弾性波は底面に到着すると反射波となって表面に到達する。その後、弾性波は表面で反射し、表面と底面間で多重反射を繰り返す。

多重反射する弾性波の往復時間の逆数となる振動数 f を周波数解析により求め、式(1)を用いることで厚さ D が算出される。ここで V_p は表面弾性波から測定した弾性波速度を示す。

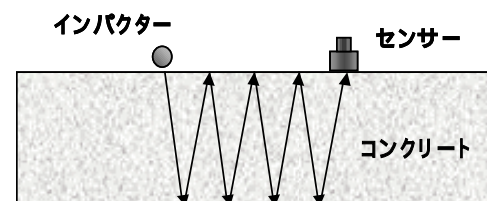


図1 多重反射の測定

$$\text{厚さ } D = V_p / (2 * f) \quad \text{式(1)}$$

2. 実験概要

2.1 供試体概要

測定に用いた供試体は、写真1および2に示すような1500mm×1200(B)mm×450(D)mmのコンクリート供試体である。内部空洞は、供試体幅(B)と平行に幅4~5mmの空洞を設け、深さ方向(D)へ充填材を使用することで空洞範囲を4種類とした。

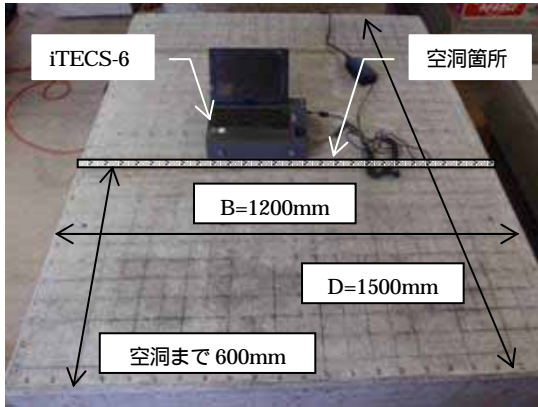


写真1 供試体上面

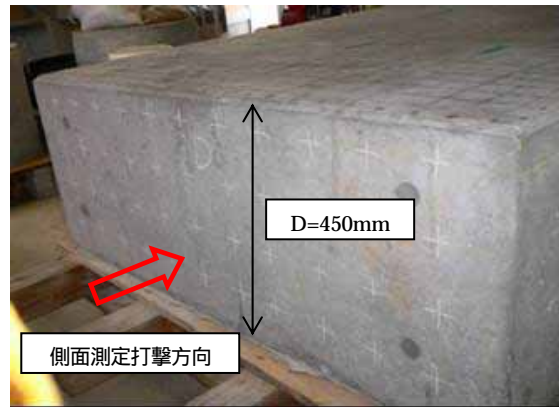


写真2 供試体側面

2.2 測定装置と測定方法

(1)測定装置

測定装置にはコンクリート構造物の非破壊検査装置 iTECS-6 を使用した。

(2)測定概要

本実験は、空洞面と平行な衝撃波をあたる 上面測定と空洞面に対し衝撃波が垂直にあたる 側面測定の種類、打撃点とセンサー間隔は10mmとして測定を行った。ここで、各測定時のセンサー、打撃位置および空洞との距離関係を図2に示す。図中、上部は供試体平面図(上面測定模式図)、下図は側面図(側面測定時)である。

(3)測定位置

上面測定では、空洞近傍、空洞を挟んだ場合および健全部での測定を空洞深さ毎に測定した。側面測定では、空洞までの距離は600mm一定であり、どの位置でも変化はないが、衝撃波がぶつかる範囲が変化するため、測定ラインを空洞範囲の変化と平行に設けて測定を行った。

(4)鋼球サイズと弾性波速度の決定

鋼球サイズについては、コンクリートを打撃した際の鋼球接触時間と既知である厚さ情報を元に計算した結果と比較検討し20mm、25mmの2種類を用いる。弾性波速度については、表面弾性波を測定し $V_p = 4000\text{m/s}$ と決定した。

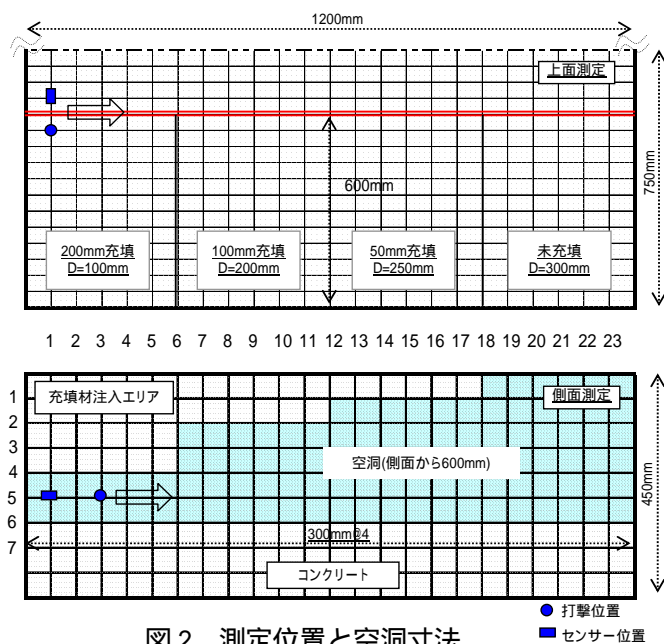


図2 測定位置と空洞寸法

● 打撃位置
■ センサー位置

3. 実験結果

3.1 上面測定からみた空洞による波形の違い

図 3 に上面測定での 未充填区間、100mm 空洞および 健全部における波形とスペクトログラムを示す。鋼球サイズ 20mm、25mm とともに顕著な差が見られないため、ここでは 20mm 鋼球での結果を示す。

各波形を比較してみると、健全部に対し、未充填と 100mm 空洞で波形の振幅が非常に大きいことがわかる。この現状については、既往の検討結果から²⁾、空洞による乱反射が発生したため、様々な波形が発生したものと考えられる。

各スペクトログラムにおいても、波形と同様なことがわかる。、の空洞箇所ではスペクトルが卓越しているとは言い難く、様々な振動成分の波が発生していることがわかる。一方、健全部では、空洞箇所ほどの乱れはなく、厚さ 480mm と検出された。設計厚さ 450mm に対し若干の誤差はあるものの、この誤差は供試体の弾性波速度範囲内であると考えられる。

しかし、健全部での計測厚さが全ての箇所ですら誤差内(450mm 前後)にあるわけではなく、空洞近傍、健全部ではっきりとした厚さ測定は不可能であった。この結果、空洞もしくはひび割れと平行に波長を入れた場合の厚さ測定は困難であると言える。

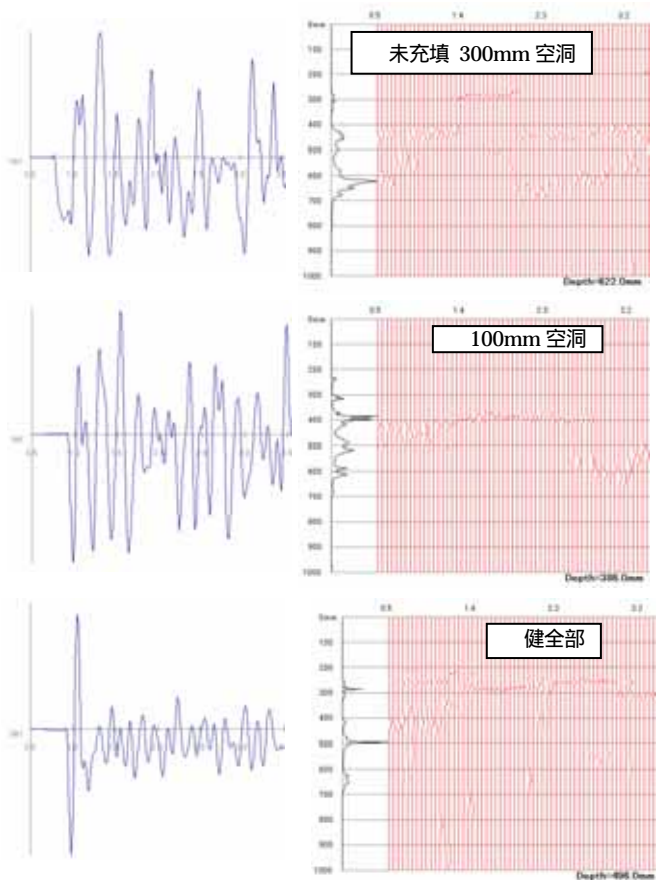


図 3 上面測定による波形とスペクトログラム

3.2 側面測定

供試体側面から 25mm 鋼球にて打撃を行った側面測定の結果を示す。3.1 節での上面測定のような空洞面に対し平行な衝撃波に対し、側面測定では空洞面に対し垂直に衝撃波をあたえる。

図 4 は、供試体上表面から 250mm、打撃点およびセンサー上は全て空洞の 5 ライン(L5)の厚さ測定結果である。

図 4 より、縦ライン 18-23 の未充填区間、12-18 の 250mm 空洞において空洞までの厚さ 600mm に対し異常な厚さが検出され、1-6 の 100mm 空洞においては、空洞範囲が狭いものの設計厚さである 600mm が検知されている事がわかる。以上のことから、空洞範囲と空洞までの距離(かぶり厚さ)は密接な関係であることが確認された。

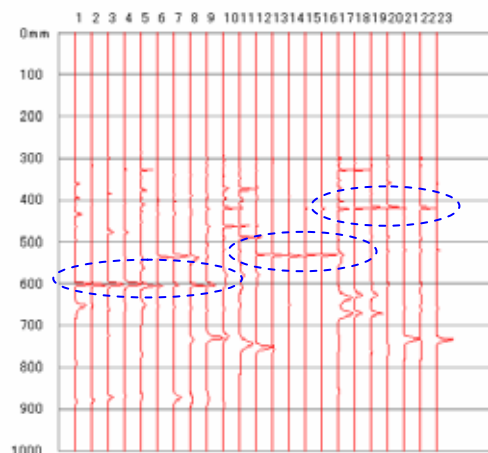


図 4 側面測定(L5)ソナー図

3.3 空洞までの深さと範囲の関係

深さ(D)と幅(B)とした場合の空洞検知、に関する関係は、文献等で図5のように説明されている。

図から空洞として検知可能な深さと幅の関係は、 $B/T < 0.3$ であり本実験における側面測定で整理すると表1のようになる。

表から、未充填区間と250mm空洞では計測可能、100mm空洞では計測不可能という結果である。しかし、3.2節の側面測定において、図4から100mm空洞においても600mmで反射した波が検出されていることから、図のような関係式とは別の要因が関係しているものと考えるが本実験においては明確な判断は困難であった。

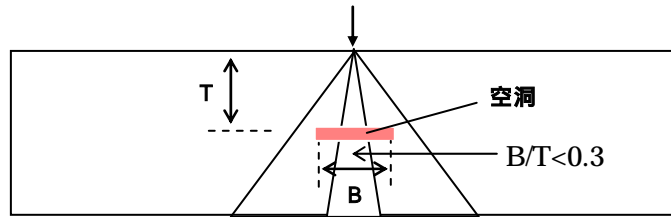


図5 空洞深さと幅の検知に関する模式図

表1 側面測定でのB/Tの関係

項目	空洞深さ	空洞範囲	B/T	判定
	T (mm)	B (mm)		
未充填	600	300	0.50	
250mm空洞		250	0.42	
200mm空洞		200	0.33	
100mm空洞		100	0.17	x

4. 結論

本論文では、コンクリート供試体の疑似空洞に対し平行な衝撃波と垂直な衝撃波で、厚さ測定を行ったものである。その結果、以下のようなことが明らかとなった。

(1) 上面測定 (空洞と平行な多重波)

- 測定波形から、空洞部および空洞近傍での振幅波形は、空洞部と比較して大きくなる。空洞をはさんだ場合と空洞近傍での差は少ない。
- スペクトログラムから、傾向は波形と同様であり、空洞部ではスペクトル成分が分散し、卓越周波数を特定するのが困難になる。
- 設計厚さ450mmに対し、空洞をはさんだ場合は異常な厚さが検知されるが、空洞近傍では設計厚さの周期が発生する場合があるため、空洞の影響と見極めるのが困難である。

(2) 側面測定 (空洞と垂直な多重波)

- 空洞範囲が広くなるにつれて、異常値は設計厚さに対し浅くなる傾向にある。
- $B/T = 0.3$ 以下の空洞も検知した。

以上のことから、本論文において、多重反射波による厚さ測定から、空洞面の範囲と衝撃波の方向が空洞検知において重要であることが明らかとなった。

5. 今後の課題と展望

側面測定の結果から、空洞までの距離と幅の関係は、一定の条件下成立するものであると推測される。仮に側面測定での供試体を棒と捉えた場合、設計厚さに対する入力波長の計算や弾性波伝搬形態など不明瞭な点が多々ある。

以上のことから、本実験結果の比較対象として板での深さと幅の関係、その時に発生する多重反射波と膜振動の関係性について併せて調査を行う予定である。

[参考文献]

- 1) 岩野聡史他：衝撃弾性波法によるコンクリート構造物の厚さ測定，コンクリート工学年次論文集，Vol.23, No.1, pp.547-552, 2001.6
- 2) 目澤亘司他：衝撃弾性波法によるコンクリートのひび割れ充填度の確認方法について：平成19年度東北支部技術研究発表会，2007.3