

I-32 応力波速度による内部構造の 探査に関する実験的研究

北見工大 正 員 三上修一
北見工大 正 員 大島俊之
日大 正 員 能町純雄
北見工大 学生員 重清浩司

1. はじめに

実構造物の老朽度や損傷の程度を判定し、その残存寿命を評価するためには、各構造要素についてひび割れの形状の把握や、材料の劣化の程度の判定などいくつかの因子に対する損傷度を総合化する評価法の確立が必要である。また残存寿命の支配的な因子については損傷の現況にもとずきさらに詳細な解析が必要な場合もある。以上のような理由により、構造物の内部で発生した損傷の程度を知ることが、構造物の健全度を診断し、適切な維持・補修の時期、規模を決定する上で重要な要素である。著者らは、これまでにモルタル円柱供試体を用いて応力波速度による内部構造の同定実験を行い応力波を用いた内部構造同定は、ある程度の精度で実施できることを明らかにした。¹⁾ 本研究では、円柱供試体の二次元モデルとしての円板供試体を用いて、いろいろな内部構造の同定をおこない、内部構造の形状や位置について精度を比較しまた円柱供試体の場合に対する結果との比較も行った。また、円板供試体について観測された波形のスペクトル解析も行ったので報告する。

2. 実験概要

実験は、図1に示すようなブロックダイヤグラムの非破壊探傷システムを用いて行った。このシステムは、TransmitterにAE-901S（共振周波数140kHz）を、ReceiverにAE-904S（共振周波数500kHz）を用い、供試体表面にマグネットセンサホルダーを用いて固定し、接触面にはグリスを塗って接触度を高かった。TransmitterにはPulse Generatorより電圧10V、継続時間 10 μ s の方形波を加えて供試体に応力波を伝えた。供試体中に伝播した応力波はReceiverで受信され増幅装置を経て Transient Memoryに書き込まれる。書き込みは、入力波がTransmitterに入力された時点から始まる。

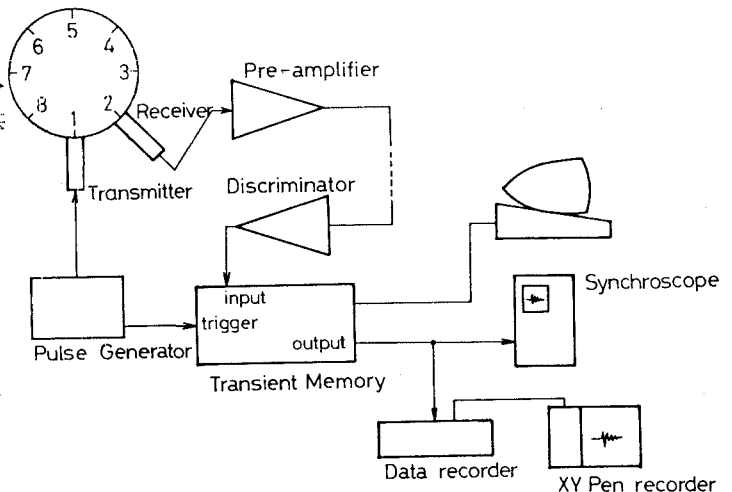


図1 ブロックダイヤグラム

供試体は、 $\phi 300 \times 30$ mmのモルタル円板中に表1に示すような種類の部材を入れて作成した（以後供試体の説明にはこの表中の番号を用いて行う）、部材は形状比較のため、円板の直径、楕円板の短径（表中の

寸法は長径×短径である）を変えたりした、また特殊な形状として正三角板やスリット、鉄筋の付着不良のモデルもある。同時にモルタル角柱供試体を作成しモルタルの応力波伝播速度を決定した。伝播速度は4.3km/secであり、密度は2.133g/cm³であった。

表 1 円板供試体の種類

	材 質	形 状	寸 法 (mm)
No 1 No 2	モルタル	基準供試体	
No 3 No 4 No 5 No 6 No 7 No 8 No 9	スタイロ フォーム	小 円 板 中 円 板 大 円 板 楕 円 板 楕 円 板 楕 円 板 正三角板	φ 50 φ 75 φ 100 100×50 100×75 100×10 一辺100
No10 No11 No12	軟 石	小 円 板 中 円 板 大 円 板	φ 50 φ 75 φ 100
No13 No14 No15	空 洞	小 円 板 中 円 板 大 円 板	φ 50 φ 75 φ 100
No16 No17 No18 No19	鉄 筋	小 円 板 中 円 板 大 円 板 大 円 板	φ 50 φ 75 φ 100 φ 100 (付着面半分)
No20	紙		100×3

表 2 円板供試体内部構造同定誤差

(単位 cm)

	材 質	最大	最小	平均	σ
No 3 No 4 No 5 No 6 No 7 No 8 No 9	スタイロ フォーム	1.6 1.0 0.9 2.2 3.3 3.3 5.3	0.1 0.1 0.1 0.2 0.1 0.4 0.0	1.1 0.5 0.4 1.2 1.3 1.8 2.3	0.5 0.3 0.2 0.6 1.1 0.9 2.0
No10 No11 No12	軟 石	1.3 1.5 1.3	0.0 0.5 0.1	0.4 1.0 0.5	0.4 0.3 0.4
No13 No14 No15	空 洞	2.6 1.7 1.3	0.1 0.1 0.1	1.3 0.7 0.7	0.9 0.5 0.3
No16 No17 No18 No19	鉄 筋	3.3 2.2 1.1 1.6	1.0 0.4 0.0 0.0	2.1 0.9 0.7 0.6	0.8 0.6 0.4 0.5
No20	紙	4.7	0.7	2.3	1.1

内部構造探査の原理は、図 2 に示すような図で説明される。(a) に示す均質なモルタル円板で応力波を受信した波形と、(b) のモルタル円板内部に反射面を有する供試体で受信した波形を比較して反射波の到達時間を決定する。この時間から応力波の反射位置を決めるため次の仮定をする。「反射位置は発信位置と受信位置とから等距離にある」この仮定は、供試体内部の部材が偏平であったり、偏心している場合には、反射面は正確でない。このようにして求めた反射位置と、実測により求めた反射位置との差を誤差として、精度の比較を行う。

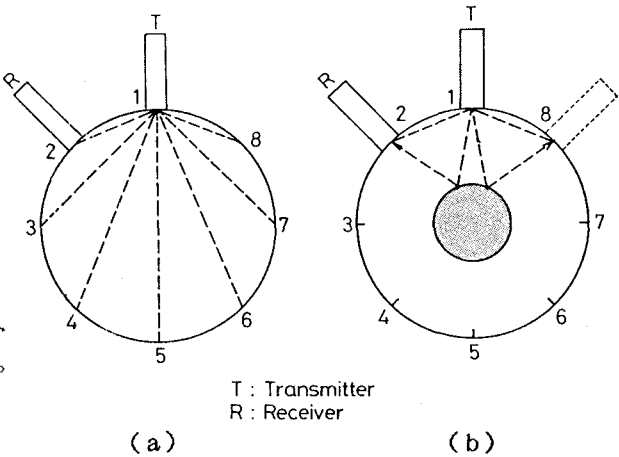


図 2 位置同定原理

3. 実験結果

N o 3～N o 2 0 までの供試体についての同定結果を図示したのが図 3 である。図中の黒点が同定した位置である。また、誤差について各供試体について最大、最小、平均、標準偏差に関してまとめたものが

表2である。

内部部材4種類、3サイズの材質による精度の比較をすると軟石部材が内部にあるときは部材のサイズに関係なく平均誤差1.0cm以下で同定される。しかし他の3種類は同じ材質でも小円板の誤差は、平均誤差 1.0cm以上と大きくなっている。

偏平率による比較 (No5、No6、No7、No8) をすると、偏平率が大きいほど誤差は大きくなる。最も偏平率が大きい No 8 では最短反射経路を考えれば誤差を小さくすることができる。また反射面の大きさに精度は比例している。特殊な例として No 9、No 20 がある。スリット状の紙が内部にある No 20 の場合はスリットと平行な方向からの同定誤差は大きくなっている。また、正三角形を内部に持つ No9 の場合も三角形の頂点での誤差が大きくなっている。

No 19 は、No 18 の鉄筋とモルタルの付着面積を変えた場合の精度を比較したものであるが、両者に優位差はみられなかった。

次に、円板供試体と円柱供試体の実測距離と誤差の百分率で、No 18 (鉄筋)、No 15 (空洞)、No 5 (スタイロフォーム) の供試体について比較した。表3は、測点ごとの誤差と平均値、標準偏差を表した。これによると円板の精度は、円柱に比べて良いが、鉄筋が内部にあるときは少し悪くなる。

スペクトル解析は、データ数4096、 $\Delta f = 4.883\text{kHz}$ で、図4のようなスペクトル図が得られた。横軸は周波数、縦軸は最大パワースペクトルで無次元化した。全データについて検討すると、Transmitter の共振周波数である140kHz付近に一次卓越振動数が見られる。また二次以降の卓越振動

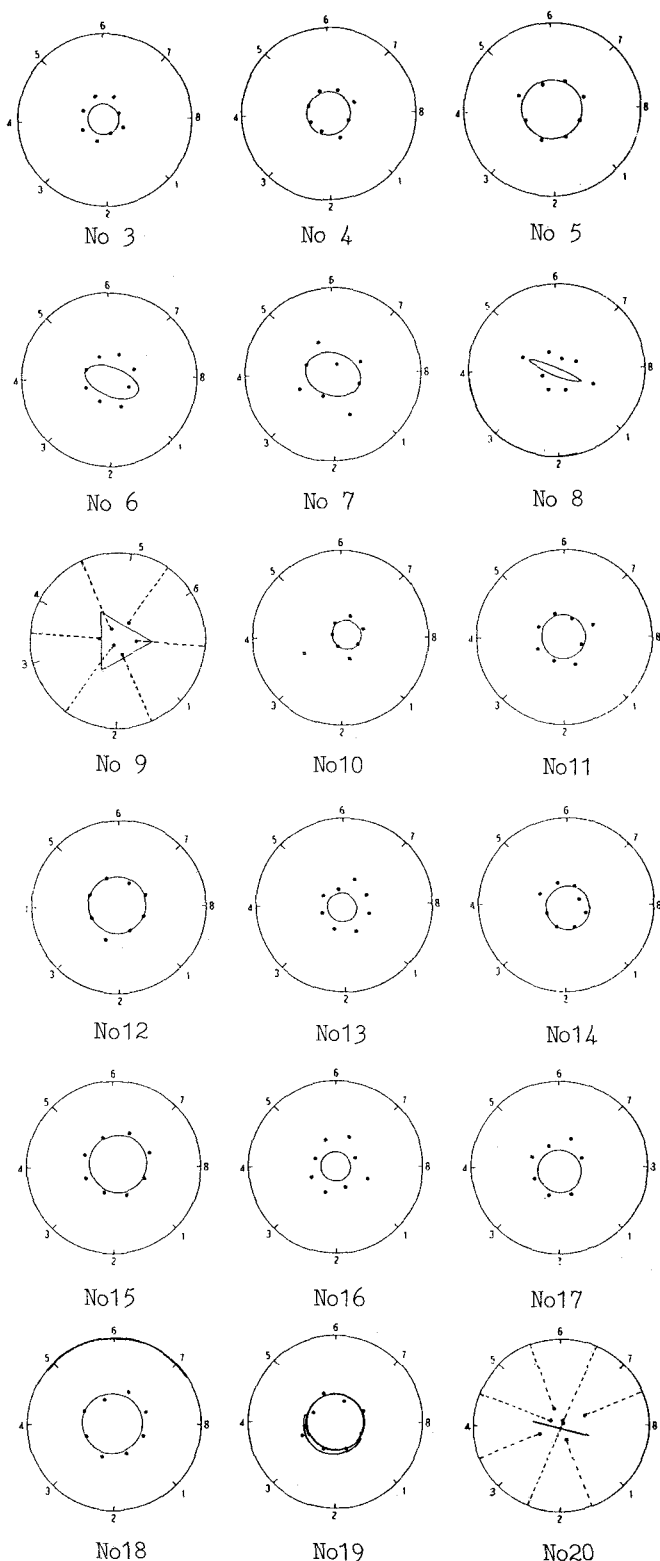


図3 円板供試体同定図

数には、107、120kHz付近に有る。しかし、No1、No2の供試体については、この卓越振動数が現れることは少なかった。

4. ま と め

本論文ではいろいろな円板供試体に関する内部構造の同定を行い次のような結論を得た。

- (1) 内部構造の同定は、材質による精度の違いは見られなかった。
- (2) 軟石が内部にある場合をのぞいて、部材が小さくなると同定精度は悪くなる。
- (3) 反射面が小さい場合同定精度は悪くなる。
- (4) 円柱供試体との比較より、円板供試体の精度は良いことが分かる。

今後は、スペクトル解析等による広い方向からの検討を深めて、材質、劣化状況に関する同定も検討する。

参考文献

- 1) 三上、大島、重清、能町：応力波速度による構造物の健全度評価、土木学会北海道支部論文報告集、第42号、P137-P140、1986.
- 2) 三上、大島、重清、能町：弾性波速度による円筒体の健全度評価、土木学会第40回年次学術講演会、1985.
- 3) 大島、三上、能町、重清：複合材料中の応力波速度と構造物の健全度評価への応用、構造工学論文集、Vol132.A、1986.3.
- 4) 横道、池田、松岡：コンクリートにひび割れが生ずるときの弾性波の伝達現象について、セメントコンクリート、212、p2-6、1964.
- 5) 丹羽義次・小林昭一・大津政康：コンクリート構造物のアコースティック・エミッション特性に関する基礎的研究、土木学会論文報告集No.261、1977.
- 6) 丹羽義次・小林昭一・大津政康：アコースティック・エミッションによる破壊源探索、土木学会論文報告集No.276、1978.

表3 円板供試体と円柱供試体の誤差比較
(%)

TR	No18		No15		No 5	
	円板	円柱	円板	円柱	円板	円柱
12	7.5	5.9	5.8	8.3	3.8	4.1
23	10.5	4.1	4.6	4.6	2.1	14.6
34	7.1	2.1	11.9	2.3	3.1	9.1
45	8.3	4.2	8.5	2.0	9.4	9.1
56	0.0	---	1.0	3.6	5.1	11.6
67	1.0	6.0	7.5	3.5	3.0	7.8
78	9.0	---	7.6	21.1	5.0	---
81	7.7	1.9	4.0	20.4	1.0	6.0
Ave.	6.4	4.0	6.4	8.2	4.1	8.6
σ	3.5	1.6	3.1	7.4	2.4	3.3

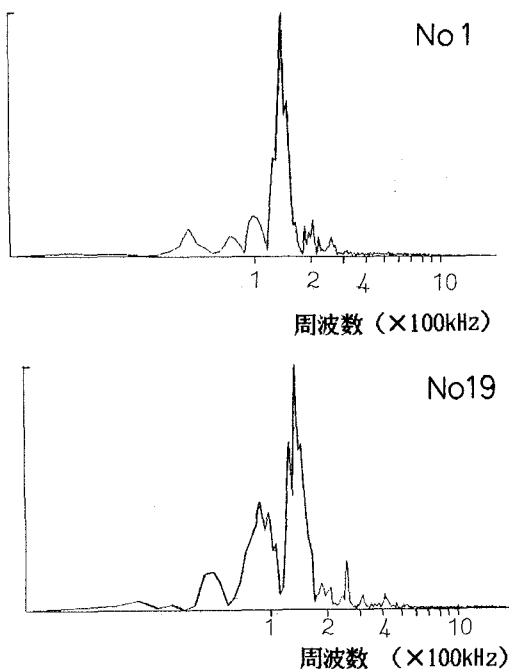


図4 円板供試体のパワースペクトル図