

I-28 応力波速度による構造物の健全度評価の研究

北見工業大学 工学部 正員 三上 修一
 北見工業大学 工学部 正員 大島 俊之
 北見工業大学 工学部 学生員 重清 浩司
 日本大学 生産工学部 正員 能町 純雄

1. はじめに

老朽化した構造物の健全度評価を行なう上で、構造物の内部に発生するひび割れなどの欠陥の大きさを把握することは重要な作業のひとつである。また、応力波による構造物の非破壊探傷検査は、内部に発生するひび割れなどの欠陥を知る上で有用な方法と考えられる。本研究では、モルタル円柱供試体中に、形状の既知な物質を、供試体打設時に埋め込んでおいてその物質の位置、大きさを標定することによって、応力波による構造物の非破壊探傷の基礎的データを収集する測定システムの検討を行なう。これまでに、A Eを用いた破壊源深査の研究や構造物の破壊時に発生するA Eの特性に関する多くの研究がある。¹⁾²⁾³⁾ また、著者らは、円筒体に対する応力波速度と老朽化の影響についての研究を既に発表している。⁴⁾

2. 実験概要

実験は、N F回路社製A E計測装置（センサ・A E 9 0 6 S、プリメインアンプ、ディスクリミネータ）、川崎エレクトロニカ社製トランジェントメモリー（8ビット、4Kワード、50nsecサンプリング間隔）を用いて行なった。擬似A E源としてはP i l l i p s社製パルスジェネレータ（P M - 5 7 1 5、パルス立ち上がり6 nsec）を用いて、供試体に応力波を入力する。供試体を伝播してきた応力波を受信センサで受信する。測定は図1のブロックダイアグラムに示すような計測システムで行なった。このシステムによるNyquist周波数は最高で10 MHz（サンプリング間隔50 nsec）である。A Eセンサ（共振周

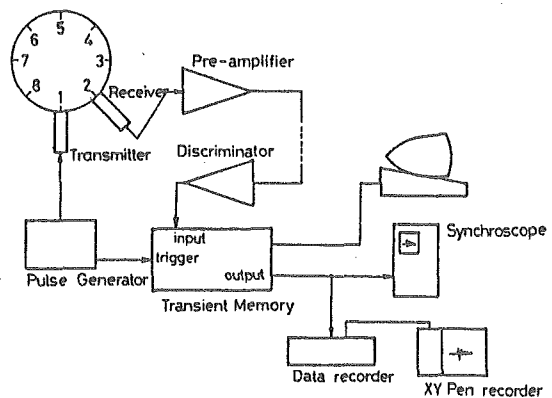


図1 ブロックダイアグラム

波数は1 MHz) は測点にワッシャーを接着し、マグネットセンサホルダーを用いて供試体に固定し、接触面とセンサの間の接触度を高くするためグリスを塗った。受信した応力波は、プリメインアンプ、ディスクリミネータの二つの増幅装置を経てトランジェントメモリーに記憶される。これと同時にシンクロスコープで波形観測を行ない、応力波の到達時間を50 nsecの精度で読み取る。さらに記憶された波形を、データレコーダに記録して、後でパーソナルコンピュータで処理を行なう。

3. 供試体

本実験の為に作成した供試体は、モルタル角柱供試体 ($4\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 16\text{ cm}$) とモルタル円柱供試体 ($\phi 15\text{ cm} \times 30\text{ cm}$) を、水セメント比 50%、フライアッシュセメント、細骨材として標準砂を用いて、二度に別けて打設をおこなった。供試体は、3 週間の水中養生を行なった。モルタル角柱供試体は 9 本、円柱供試体はモルタルのみのもの 3 本と、内部に次のようなものを入れた供試体を作成した。

- a. $\phi 5\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ の鉄筋
- b. $\phi 2\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ の鉄筋
- c. $\phi 4.5\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ の空洞 (円筒状)
- d. $\phi 2\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ のガラス棒
- e. $\phi 5\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ のスタイロフォーム
- f. 楕円形断面 (短軸 3 cm、長軸 5 cm) のスタイロフォーム
- g. 楕円形断面 (短軸 1 cm、長軸 5 cm) のスタイロフォーム

モルタルの密度は 2.112 g/cm^3 であった。

4. 実験結果

1) 応力波伝播速度

角柱供試体と円柱供試体のモルタルのみの 3 本について、擬似 A E 波による応力波の伝播速度を求めるために、縦波の到達時間の観測を行なった。また、パルスジェネレータから出力される方形パルス波の継続時間を変化させた場合の伝播特性に与える影響も検討した。表 1 は、角柱供試体 9 本に対して、パルスの継続時間を 10ms、1ms、 $100\mu\text{s}$ 、 $10\mu\text{s}$ 、 $1\mu\text{s}$ 、表 2 入力時間と観測位置による伝播速度の比較 100ns の 6 種類の平均到達時間、伝播速度を示している。これによると、応力波伝播速度は約 3800 m/sec と計算される。また、パルスの継続時間による伝播特性への影響はほとんど見られなかった。

円柱供試体の場合は図 3-(a) の 1 の測点に発信センサを固定し、受信センサを 2～

8 の測点に移動して応力波の到達時間を測定した。表 2 は到達時間から伝播速度を計算して表したものである。角柱の時と同様にパルスの継続時間による影響を見るために 3 種類の場合について示している。また、対称性を考慮して半分にまとめて表した。これによると、1-3、1-4、1-5 は、約 $3800 \sim 4000\text{ m/sec}$ の伝播速度であるが、1-2 は $3200 \sim$

3500 m/sec と遅くなっている。これは、縦波の初動が小さな振幅で始まるため最大振幅の大きさによっては、初動をとり逃しているためと考えられる。

表 1 入力時間と伝播速度の比較
(角柱供試体)

| | 到達時間 μs | 伝播速度 m/s |
|------------------|--------------------|-------------------|
| 10ms | 42.1 | 3800 |
| 1ms | 42.0 | 3810 |
| $100\mu\text{s}$ | 42.1 | 3800 |
| $10\mu\text{s}$ | 42.1 | 3800 |
| $1\mu\text{s}$ | 42.4 | 3770 |
| 100ns | 43.4 | 3680 |

表 2 入力時間と観測位置による伝播速度の比較
(円柱供試体 m/sec)

| | 1-2 | 1-3 | 1-4 | 1-5 |
|-----------------|------|------|------|------|
| 10ms | 3540 | 3860 | 3990 | 4000 |
| $10\mu\text{s}$ | 3250 | 3820 | 3950 | 3980 |
| 100ns | 3430 | 3920 | 3990 | 4020 |

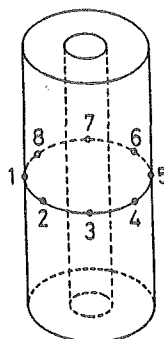


図 2 円柱供試体と測点位置

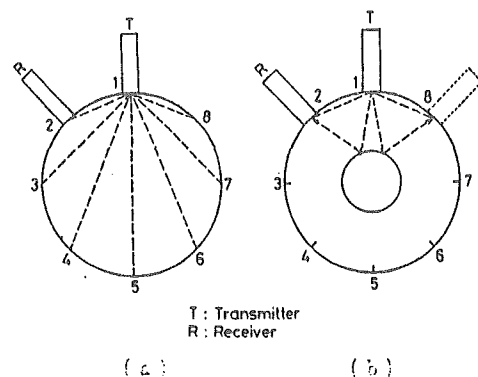


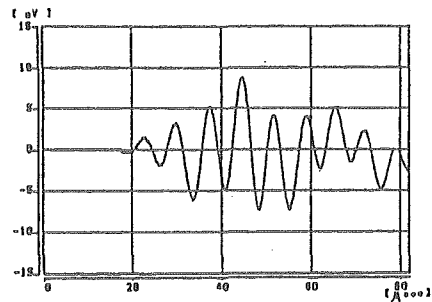
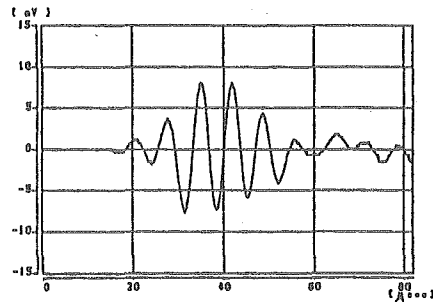
図 3 位置測定法

2) 応力波による形状の標定

図2のようなモルタル円柱内に円柱形をした物体があるような場合、その形状を応力波の伝播と反射波による位相の変化から推定する事を考える。

図2のように円柱の中央の位置に、円周方向を8等分するように測点に順番に1～8の番号を付けて表すことにする。図3-(a)のように円形断面内が均質な供試体に、1の測点から応力波を発信すると図中の破線のように伝播して自由境界に着くと反射屈折を繰り返す。

この応力波が自由境界面に達する前に図3-(b)のように空洞又は、



(a) 図3-(a)の測点2の観測波形 (b) 図3-(b)の測点2の観測波形

図4 観測波形

途中にあった場合には、そこで反射・屈折の現象が起り、2の測点で観測される波形は、反射波も同時に観測することになり、位相のずれを生じる。この2種類の波形を比較して位相のずれが生じた場所を判定して、反射波の到達時間を求める。図4に観測した波形の例を示す。

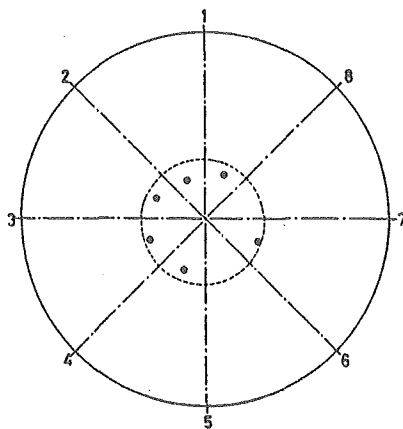


図5-(a) 供試体aの標定図

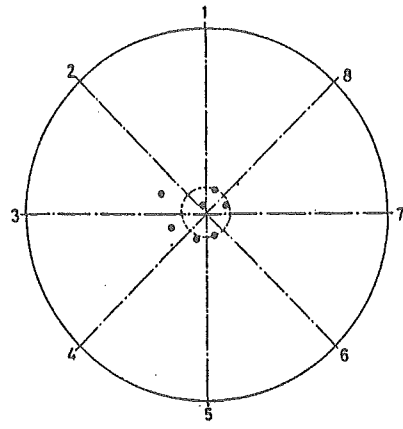


図5-(b) 供試体bの標定図

図4-(a)は図3-(a)の場合に、図4-(b)は図3-(b)の場合に、測点2で観測した波形である。

図3-(b)のように測点1から擬似AEパルス波(継続時間 $10\mu\text{sec}$ 、出力電圧 10V 、パルスの立ち上がり 6nsec)を発信するとき隣の測点2で応力波を観測するようにセンサをセットして、測定を行なう。この波形の比較から反射波の到達時間と先に求めた伝播速度とから応力波の反射位置の標定を行なう、このとき反射面は発信位置と受信位置から等距離にあると仮定して位置の標定を行なう。

図5はこのようにして求めた標定位置を●で、実際の位置を破線で表したている。供試体内部にある鉄筋や円筒は、供試体と同心円になっていない。したがって、破線の位置は供試体の

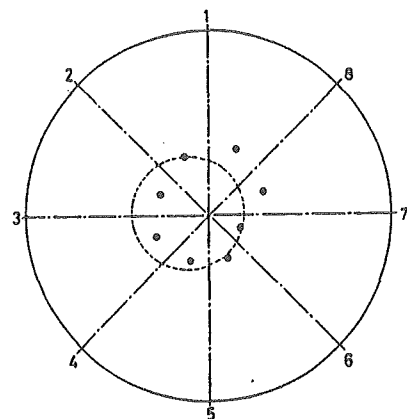


図5-(c) 供試体cの標定図

両端の位置から、円柱中央の測定断面での鉄筋や円筒の位置を図形的に求めて示している。標定は、供試体 a～g の内から供試体 a、供試体 b、供試体 c の 3 種類について行なった。図 5-(a)、(b) は、ほぼ鉄筋の形状を表している。また図 (c) の標定による形状は楕円形をしている。図 5 をもとに、標定位置、実測位置それぞれの円柱の側面からの距離を求めて、誤差と合せて表 3 に示した。表中の空欄は供試体にひび割れ

表 3 標定距離と誤差 (c m)

が生じて比較するデータがない測点です。これによると、最大誤差 10 mm 以内で内部の物質の位置・形状の標定が可能であることがわかった。今後この精度を高くするためには、次のような検討を行な

| | 供試体 a | | | 供試体 b | | | 供試体 c | | |
|-----|-------|------|-----|-------|------|-----|-------|------|-----|
| | 標定距離 | 実測距離 | 誤差 | 標定距離 | 実測距離 | 誤差 | 標定距離 | 実測距離 | 誤差 |
| 1-2 | 5.8 | 5.1 | 0.7 | 7.1 | 6.3 | 0.7 | 4.9 | 4.9 | 0.0 |
| 2-3 | 5.3 | 5.0 | 0.3 | 5.4 | 5.4 | 1.0 | 5.3 | 4.4 | 0.9 |
| 3-4 | 5.1 | 4.8 | 0.2 | 5.9 | 5.4 | 0.5 | 5.2 | 4.5 | 0.7 |
| 4-5 | 5.2 | 4.8 | 0.4 | 5.3 | 5.5 | 0.1 | 5.5 | 5.1 | 0.4 |
| 5-6 | — | 4.9 | — | 5.5 | 5.5 | 0.0 | 5.7 | 5.7 | 0.0 |
| 6-7 | 5.1 | 5.0 | 0.1 | — | 5.4 | — | 5.1 | 5.0 | 0.1 |
| 7-8 | — | 5.1 | — | 5.5 | 5.4 | 0.1 | 5.1 | 5.0 | 0.1 |
| 1-8 | 5.5 | 5.2 | 0.4 | 5.4 | 5.3 | 0.1 | 4.6 | 5.5 | 1.0 |

う必要がある。縦波初動の到達時間の精度をあげる。発振センサと受信センサの距離を検討する。センサの数を増やしリアルタイムに位置標定が可能にする。

5. 結論

本研究では、構造物の内部に発生する欠陥の位置・形状の標定をモルタル供試体について基礎的実験を行い、計測システムの検証をした。その結果を次に示す。

- (1) 本計測システムにより、応力波の到達時間を 50 n s e c の精度で測定し応力波の伝播速度を決定した。
- (2) 方形パルス電圧の継続時間は、到達時間にほとんど影響していない。
- (3) モルタル円柱供試体の中にある物体の位置・形状の標定は、最大誤差で 10 m m の精度で実施できた。

参考文献

- 1) 横道英雄・池田郁雄・松岡健一: 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、pp. 2～6、1964。
- 2) 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。
- 3) 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査、土木学会論文報告集 No. 276、1978。
- 4) 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。