

コンクリートにおける衝撃弾性波到達時刻同定の計算手法の検討

香川高等専門学校 学生会員 ○上高正寛 正会員 林和彦
正会員 長谷川雄基 正会員 松本将之
非会員 北村大地 非会員 吉岡崇
佐藤工業（株） 正会員 宇野洋志城

1. 背景と目的

鉄筋コンクリート部材に対してグラウト注入などの補修や、損傷・劣化部のはつり除去等の判断を行うためには、精度良く内部欠陥を把握できる方法が必要である。新設構造物でのこれらの調査は非破壊または微破壊試験である必要があり、現状では、強度推定や損傷位置の判定には超音波法や衝撃弾性波法などが用いられている。衝撃弾性波法において主に行われているのは、表面2点間の弾性波伝搬速度や、片面からの入力波の内部反射による多重反射波の周波数解析などの手法である。これらの手法では、事前に正確な供試体の寸法情報が必要であることや、実際には表面波と内部伝達波では速度差があるといった点で、測定精度向上の余地がある。

この精度向上の課題について、衝撃弾性波の伝搬経路がコンクリート面に対して平行または垂直以外の角度をもった設置方法（以下、斜角法）を提案し、検討を進めている¹⁾。斜角法の提案に際して弾性波到達時刻決定法（以下、決定法）の選定が求められる。弾性波到達時刻（以下、到達時刻）は弾性波速度の算出に必要な指標であり、到達時刻算出の誤差が弾性波速度に大きく影響する。同一平面での測定に関しては研究が進められているが、斜角面での打撃に関しては知見が得られていない。本研究は斜角を有する打撃により取得したデータに対して最も真値に近く誤差の少ない決定法を選定すること、および、斜角での測定の波形の特徴を把握することを目的とする。

本実験では、斜角法によるデータ測定、各種決定法の評価基準となる真値の決定、各決定法の検討および、最低試験距離の設定について検討を行った。

2. 実験概要

実験には幅 850×高さ 850×奥行 550mm の大型コンクリート供試体を用いた。本供試体は、コンクリートの28 日圧縮強度が 32.0N/mm² で、実験時の材齢は 717 日

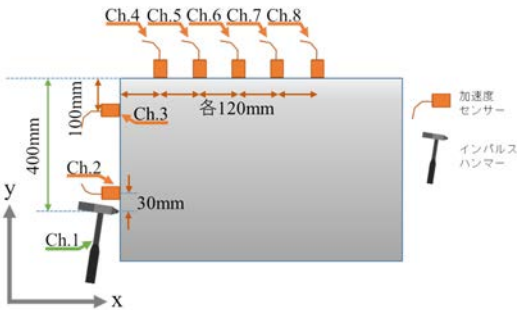


図 1 センサー及び打撃点の水平配置図

表 1 センサー間距離と S/N 比

Ch.No.	打撃点基準の座標		距離(mm)	S/N比(dB)
	x(mm)	y(mm)		
Ch.1：インパルスハンマー	0.0	0.0	0.0	64.8
Ch.2：加速度センサー	0.0	30.0	30.0	59.7
Ch.3：加速度センサー	0.0	300.0	300.0	44.4
Ch.4：加速度センサー	120.0	400.0	417.6	36.2
Ch.5：加速度センサー	240.0	400.0	466.5	38.5
Ch.6：加速度センサー	360.0	400.0	538.1	40.1
Ch.7：加速度センサー	480.0	400.0	624.8	35.4
Ch.8：加速度センサー	600.0	400.0	721.1	41.0

である。また、センサー位置および打撃点からの距離についての情報を得るために、加速度センサーを 7 個使用し、打撃時の時刻を正確に把握するためにインパルスハンマーを用いて実験を行った。測定は同一条件で 10 回行った。なお、加速度センサーは、コンクリート面との間にグリスを塗布し、ビニールテープの張力で押しつけた。センサー及び打撃点の水平配置図を図 1 に、センサー間距離と S/N 比を表 1 に示す。

3. データ処理概要

1) S/N 比の検討

波形を用いる試験では、信号値とノイズの比率である S/N 比が重要である。式 1 を用いて S/N 比を算出した。表 1 に示す S/N 比は 10 回測定の平均である。

$$[S/N]_{dB} = 20 \log_{10} \frac{A_S}{A_N} \cdots (式 1)$$

ここに、 A_S ：信号振幅、 A_N ：ノイズ振幅

2) 真値の決定方法

取得したデータに対して、比較の基準となる到達時刻の真値を次のように求めた。閾値法をベースとし、各センサーにおいて、最大振幅の1%の値を閾値とし、振幅の絶対値が閾値を超えた時点を弾性波の到達とすることとし、その自動判定についてノイズ等によって明らかに波形の開始でない波を検知していないことを全てのデータを確認した上で、明らかに異なる場合には目視により正しいと思われる波を指定し直した。本実験ではこの手法を目視法と呼称する。

3) 検討する決定法

本研究で検討した決定法の概要は次の通りである。

- ・ 閾値法：波形全体の最大振幅に比率を掛けた振幅を閾値として、閾値を超えた時刻を到達時刻とする手法。
- ・ 勾配法：第1波の最大振幅に比率を掛けた振幅を閾値として、閾値を初めて超えた点とその半分の閾値を初めて超えた点を直線で結び、その線の延長線とX軸の交点を到達時刻とする手法。
- ・ 対称法：第1波の最大振幅の点と、その振幅の半分の閾値を初めて超えた点を直線で結び、その延長線とX軸が交差する点を到達時刻とする手法。100%の勾配法と同等である。
- ・ AIC法：波形に対して赤池情報量基準(以下、AIC)²⁾の計算を行い、得られたAIC値が最小になる時刻を到達時刻とする手法。

4. 実験結果

各測定において目視法 Ch.1 を基準として各決定法の検討・考察を行う。図2に各決定法の到達時刻の平均、図3に図2の縦軸を拡大したものを示す。

図2より、勾配法1%および勾配法20%の300mm以降では明らかに弾性波到達前を開始点と判断していることがわかる。閾値法1%の300mm以降においても同様である。

図3より、300mm以降ではAIC法、対称法は目視法に近い分布となっている。閾値法20%は目視法より遅い位置を開始点として判断している傾向にある。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 勾配法や閾値法の低い閾値ではノイズを弾性波到達として誤認識することがある。
- 2) 勾配法では、算出の過程に減算を行うため、ノイズを波形開始と誤認識すると、他手法よりも大きい誤

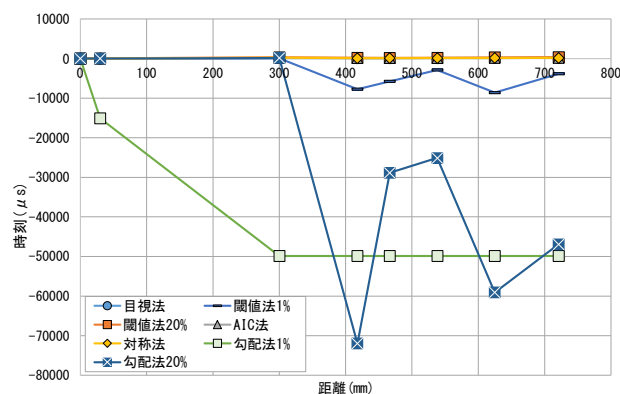


図2 各決定法の到達時刻の平均

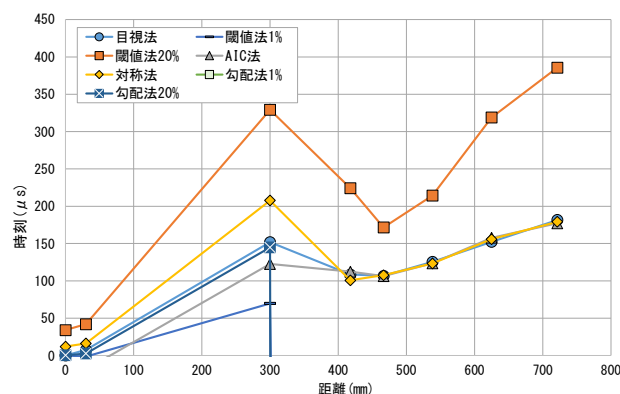


図3 各決定法の到達時刻の平均（軸拡大）

差が発生する。

- 3) 閾値法において閾値が大きい場合、ノイズを誤認識することはないが、真値と比較して時刻が遅く算出される傾向にある。閾値法は波形立ち上がりの波形の傾きに直接的に影響を受けると考えられる。
- 4) 斜角を有する位置に配置したセンサーにおいて比較的高い閾値を取る対称法と統計的手法であるAIC法はノイズに強く、真値に近い結果を示した。
- 5) 打撃点からセンサーまでの距離が400mm以上の到達時刻について真値との誤差が小さくなる傾向が得られたが、打撃方法、距離、伝播経路の角度、センサー設置面などの複合的要因が考えられるため、詳細な検討が必要である。

6. 参考文献

- 1) 上高正寛, 林和彦, 長谷川雄基, 北村大地, 宇野洋志城: 衝撃弾性波法におけるコンクリートの弾性波搬送速度の計算手法に関する検討, 土木学会全国大会第74回年次学術講演会, V-581, 2019
- 2) 前田直樹: 地震波自動処理システムにおける読み取りおよび評価, 地震 第2輯, 38巻, 3号, pp.365-379, 1985