

## 衝撃弾性波法による弾性波速度の測定に及ぼす含水量の影響

### Influence of Moisture Content on Measurement of Velocity of Elastic Wave by The Impact Elastic Wave Method

○伊藤 順紀 Junki Ito                      リック(株)                      RIK  
 岩野 聡史 Satoshi Iwano                  リック(株)                      RIK  
 坂本 良憲 Yoshinori Sakamoto        リック(株)                      RIK  
 森濱 和正 Kazumasa Morihama 独立行政法人土木研究所    Public Works Research Institute

#### 概 要

筆者らは、新設コンクリート構造物における品質管理として、衝撃弾性波法での弾性波速度測定による圧縮強度の推定方法を提案している。これまでの実験により、材齢 7 日と若材齢のコンクリートでは測定精度が低下することが確認されている。この原因として、脱型後間もないコンクリートでは、内部の水分が弾性波速度の測定結果に影響を及ぼしている可能性が考えられた。今回の実験では、含水量を変化させた供試体により弾性波速度を測定し、影響を確認する実験を行った。その結果、多重反射法での測定による弾性波速度は、含水量の低下に伴って増加した。一方、伝搬時間差法での測定による弾性波速度は、含水量の低下に伴って低下した。以上の結果より、実構造物での強度推定では、測定材齢を考慮する必要があることが示された。

キーワード：衝撃弾性波法，含水量，弾性波速度，多重反射法，伝搬時間差法

#### 1. まえがき

本法は、非破壊にて新設コンクリート構造物の強度推定を行う手法の一つである。構造体コンクリートで測定した弾性波速度から、同一配合の円柱供試体で作成した強度推定式によって圧縮強度を算出する手法で、推定精度は概ね±15%である<sup>1)</sup>。しかし、これまでの実験により、若材齢の構造体コンクリートで弾性波速度を測定した結果から材齢 28 日時の圧縮強度を推定すると、測定精度が低下することが確認されている<sup>2)</sup>。この要因として、コンクリート内部の水分が弾性波速度の測定結果に影響を及ぼすことが考えられた。そこで、コンクリート中の含水量の変化が弾性波の測定結果にどのような影響を及ぼすかを調べるため、含水量を変化させた供試体により弾性波速度を測定し、影響を確認する実験を行ったので、その結果について報告する。

#### 2. 実験内容

##### 2. 1 実験方法

使用した供試体を表 1 に示す。3 種類の供試体を水中に 30 日間浸漬し十分に吸水させた後、アルミ箔、アルミテープを貼り付け封緘する。円柱供試体は上面のみ、角柱供試体は 150×150 の面のみを開口し、コンクリートから水分が徐々に乾燥するようにした。

表 1 供試体の種類及び寸法

記号	供試体形状	呼び強度	セメント	速度測定方法	寸法
A	1	36	H	多重反射法	$\phi 100.0 \times 199.4$
	2				$\phi 100.0 \times 199.3$
	3				$\phi 100.0 \times 199.5$
B	1	30	BB		$\phi 99.6 \times 199.2$
	2				$\phi 99.6 \times 199.5$
	3				$\phi 99.7 \times 198.8$
C	角柱供試体	30	N	多重反射法 伝搬時間差法	150.3×150.0×529.0

この供試体を用い、2.2節に示すとおり多重反射法と伝搬時間差法にて弾性波速度を経時測定し、含水量の変化が弾性波速度測定に及ぼす影響を調査した。なお、供試体はいずれも打設後材齢が半年以上経過しているもので、材齢経過に伴う強度増加による弾性波速度の増加は無いものと考えられる。

## 2.2 弾性波速度測定方法

測定状況を写真1に示す。多重反射法では、供試体A, B, Cで鋼球打撃により打撃面と底面で多重反射することにより生成される周波数 $f_0$ を測定し、この周波数 $f_0$ と供試体の長さ $L$ から、弾性波速度 $V_p$ を式1)により測定した。伝搬時間差法では、供試体Cにて、センサー付ハンマーの打撃により発生させた弾性波を、450 mm離れた位置でセンサーによって受信させ、弾性波の到達時間差 $T_p$ を求め、供試体の長さ $L$ から、弾性波速度 $V_p$ を式2)により測定した。これを、乾燥日数0日~50日で計36回測定した。

$$V_p = 2 \cdot f_0 \cdot L \quad 1)$$

$$V_p = L/T_p \quad 2)$$



写真1 測定状況(左:円柱供試体多重反射法測定, 中:角柱供試体多重反射法測定, 右:伝搬時間差法測定)

## 3. 測定結果

### 3.1 多重反射法による弾性波速度測定結果

乾燥日数0, 11, 20, 32, 40, 50日のときの多重反射法による弾性波速度の測定結果と質量の測定結果を表2に示す。日数が経過すると、質量は軽くなった。これから、日数の経過により、内部の水分が乾燥しているものと考えられる。次に、質量と多重反射波法による弾性波速度の関係を図1に示す。図1より、質量が軽くなると弾性波速度は速くなる関係が見られた。このような関係が成立する要因として、密度と弾性波速度の関係が影響していると考えられる。一般に弾性波速度 $V_p$ はポアソン比を無視すれば、密度 $\rho$

表2 乾燥による供試体での多重反射法による弾性波速度と質量の変化状況

記号	A-1		A-2		A-3			
	弾性波速度 (m/s)	質量 (g)	弾性波速度 (m/s)	質量 (g)	弾性波速度 (m/s)	質量 (g)		
乾燥日数	4060	3656.0	4077	3668.1	4051	3666.5		
0日	4060	3656.0	4097	3662.2	4081	3658.7		
11日	4089	3647.1	4107	3660.9	4085	3657.0		
20日	4099	3643.8	4118	3657.5	4100	3653.4		
32日	4099	3644.6	4126	3658.3	4100	3654.2		
40日	4095	3644.3	4116	3658.5	4090	3653.8		
50日								
記号	B-1		B-2		B-3		C	
乾燥日数	弾性波速度 (m/s)	質量 (g)	弾性波速度 (m/s)	質量 (g)	弾性波速度 (m/s)	質量 (g)	弾性波速度 (m/s)	質量 (g)
0日	4270	3666.5	4257	3666.5	4291	3666.5	4195	28770
11日	4281	3658.7	4277	3658.7	4310	3658.7	4221	28755
20日	4290	3655.1	4277	3655.1	4311	3655.1	4226	28750
32日	4300	3653.4	4286	3653.4	4320	3653.4	4236	28745
40日	4302	3654.2	4288	3654.2	4322	3654.2	4257	28743
50日	4290	3653.8	4277	3653.8	4324	3653.4	4241	28739

と弾性係数  $E$  により、式 3) に示される。式 3) の両辺を 2 乗すると、弾性波速度の 2 乗と密度の逆数は直線比例関係を示すことから、式 3) と実験結果を比較する為、実験結果により得られた弾性波速度の 2 乗と質量の逆数との関係を調べた。その結果を図 2 に示す。

図 2 より両者は直線比例関係をなしており、相関係数は  $A-1=0.93$ ,  $A-2=0.92$ ,  $A-3=0.90$ ,  $B-1=0.84$ ,  $B-2=0.84$ ,  $B-3=0.87$ ,  $C=0.86$  といずれも高い相関性が確認された。以上の結果より、日数が経過すると、密度が低下したことにより式 3) に示す関係式によって、弾性波速度は増加したものと考えられる。

$$V_p = \sqrt{E/\rho} \quad 3)$$

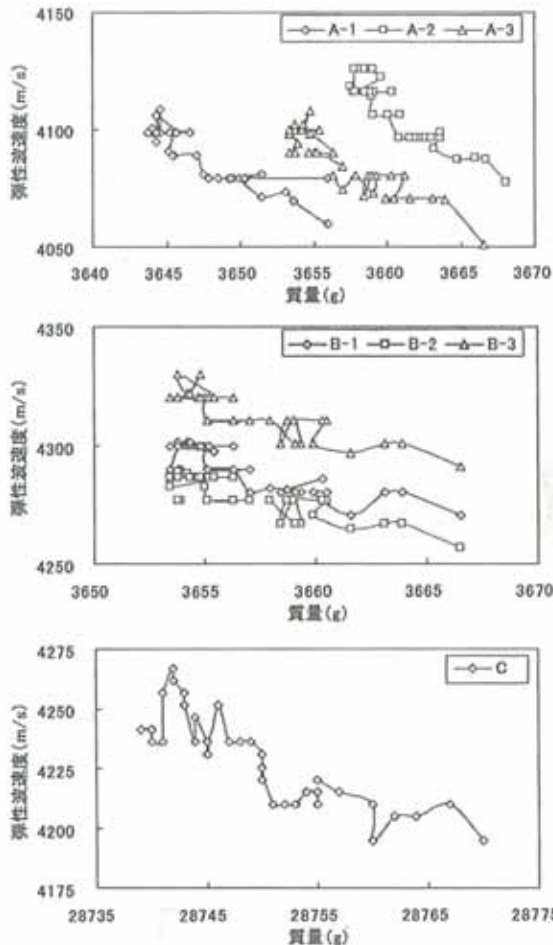


図 1 質量変化と多重反射法による弾性波速度の関係

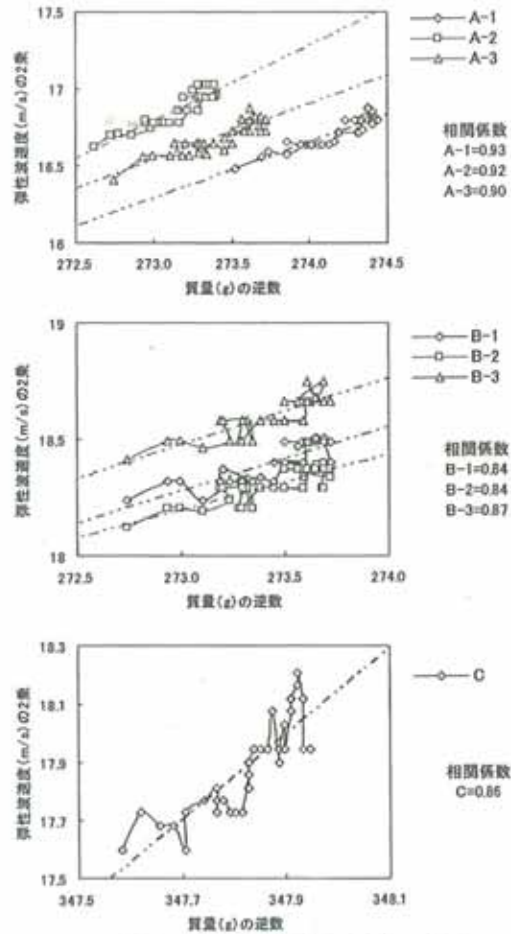


図 2 質量の逆数と多重反射法による弾性波速度の 2 乗の関係

### 3. 2 伝搬時間差法による弾性波速度測定結果

C 供試体の、乾燥日数 1, 11, 20, 32, 40, 50 日における伝搬時間差法による弾性波速度の測定結果を表 3 に、質量と伝搬時間差法による弾性波速度の測定結果を図 3 に示す。質量の低下に伴って弾性波速度が低下することが確認された。

以上の通り、質量と弾性波速度の関係は、多重反射法と伝搬時間差法での測定方法の違いによって、異なる結果となった。多重反射法では日数の経過により質量が低下したことによって弾性波速度は増加したのに対して、伝搬時間差法では、質量が低下したことにより弾性波速度は低下した。これらの相違は測定対象となる弾性波の相違によるものと考えられる。多重反射法では、円柱供試体の内部を何十回も往復する弾性波

表 3 伝搬時間差法による弾性波速度と質量の変化状況

乾燥日数	弾性波速度 (m/s)	質量 (g)
1日	4312	28770
11日	4173	28755
20日	4157	28750
32日	4184	28745
40日	4179	28743
50日	4167	28739

から平均的に速度を求めており、最もエネルギーの大きい弾性波の速度が測定されるため式3)に示した理論式通りの弾性波速度が測定されたと考えられる。これに対して、伝搬時間差法による弾性波速度の測定では、最初に受信点に到達する弾性波の速度が計測されることとなる。ここで、コンクリート表面の含水状態が異なる場合での、弾性波の伝搬状況の模式図を図4に示す。コンクリート中の孔が、水分で満たされている状態では、弾性波速度は直線的に伝搬する。一方、乾燥により孔が空隙となった状態では、弾性波が空隙を迂回して進むため、受信点に最初に到達する弾性波の伝搬経路が長く変化すると考えられる。これから測定される弾性波の速度が遅く変化したものと考えられる。

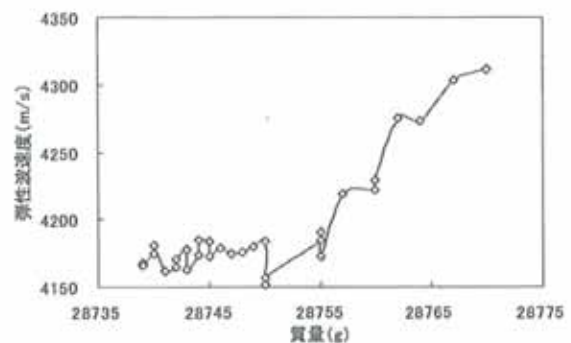


図3 質量変化と伝搬時間差法による弾性波速度の関係



図4 弾性波の伝搬模式図(平面図)

#### 4. まとめ

含水量を変化させた供試体により弾性波速度を測定し、含水量の変化が弾性波速度の測定結果に及ぼす影響を確認する実験を行った。その結果を以下に示す。

①多重反射法による弾性波測定の測定結果に及ぼす含水量の影響については、供試体全体の密度の変化の影響を受け、乾燥による含水量の低下に伴い、測定される弾性波速度は増加する結果となった。

②伝搬時間差法による弾性波速度の測定結果に及ぼす含水量の影響については、乾燥によって含水量が低下することにより、測定される弾性波速度は低下する結果となった。コンクリート中の水で満たされていた孔が空隙となることによって、弾性波が迂回することが原因と考えられる。

以上の結果より、弾性波速度の測定結果はコンクリートの含水量の変化によって影響を受けることが確認された。また、測定方法の違いにより、含水量の変化によって受ける影響が異なることが確認された。新設コンクリート構造物において伝搬時間差法により弾性波速度を測定し、強度推定を行う場合では、表面付近に水分を多く含む若材齢のコンクリートで測定した際は、弾性波速度を速く測定してしまう可能性があり、測定精度に影響を及ぼすものと考えられる。そのため、測定精度の向上を図るには、伝搬経路である表面付近の水分が安定してから測定を行う必要があり、材齢14日以降で測定精度が安定した既存の研究成果などを参考にして<sup>2)</sup>、測定材齢を考慮することが必要であるとされる。

参考文献：1)独立行政法人土木研究所，社団法人日本非破壊検査協会：非破壊・微破壊試験によるコンクリート構造物の検査・点検マニュアル，pp132-140

2)岩野聡史，森濱和正：衝撃弾性波法による新設構造物の圧縮強度推定における材齢補正方法の検討，土木学会第65回年次学術講演会論文報告集，V227，pp453-454，2010.9