

弾性波速度に変化を及ぼすコンクリートの状態変化について

リック(株) 正会員 岩野 聡史

(独) 土木研究所 正会員 森濱 和正

iTECS 技術協会 正会員 極壇 邦夫

アプライドリサーチ(株) 正会員 境 友昭

1. はじめに

衝撃弾性波法は簡易な測定方法であることから、既設構造物に対する定期的な検査に適用し、測定結果を経年比較することにより、維持管理に利用できるものと期待される。特に、弾性波速度はコンクリートの弾性係数の平方根に比例することから、弾性波速度の測定結果は圧縮強度の推定など、既設構造物の評価において有効な指標になるものと考えられる。しかし、弾性波速度の測定結果は、コンクリートの含水率の変化、中性化の進行によっても変化することが予想され、既設構造物の評価結果に影響を及ぼすことが考えられる。そこで、コンクリートの含水率の変化、中性化の進行による弾性波速度の変化について実験した。

表1 含水率の影響調査に用いた供試体

記号	セメント種類	呼び強度	調査開始時 材齢
N18	普通 ポルトランド セメント	18	90日
N27		27	
N40		40	
BB18	高炉 B種	18	104日
BB27		27	

2. 実験方法

2. 1 コンクリートの含水率による影響調査

表1に示す5種類のコンクリート毎に $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ の円柱供試体を作製した。この供試体に対し、以下の方法により含水率の変化による弾性波速度の変化を調査した。①調査期間中の強度増加による弾性波速度の変化の影響を除去するため、封緘養生により材齢90日以上経過させて調査を開始した。②供試体は封緘養生終了後に、室温 20°C 、湿度60%の恒温恒湿室で保管し、乾燥させた。なお、供試体の側面（円筒部）にアルミテープを貼り付け、打設面、底面のみから乾燥するようにした。③調査開始日、6日後、36日後、96日後に質量と弾性波速度を測定した。なお、96日後では乾燥状態での測定後に、水中に5時間浸漬して吸水させたあと、再度、質量と弾性波速度を測定した。また、弾性波速度は直径10mmの鋼球打撃により、円柱供試体の打設面と底面を多重反射する弾性波の周波数を測定して求めた。

表2 中性化進行の影響調査に用いた供試体

記号	セメント種類	呼び強度
N18	普通 ポルトランド セメント	18
N24		24
N30		30
N60		60
BB24	高炉B種	24

2. 2 コンクリートの中性化の進行による影響調査

表2に示す5種類のコンクリート毎に $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ の円柱供試体を6本作製した。この供試体に対し、以下の手順により中性化の進行による弾性波速度の変化を調査した。①調査期間中の強度増加による弾性波速度の変化の影響を除去するため、調査は材齢が49日経過した供試体を用いた。②材齢49日までの養生方法は、3日まで水中養生としたあと49日まで気中養生とした。③材齢49日経過後に、コンクリート種類毎の6本の供試体中3本を促進中性化し、3本を乾燥保管とした。④促進中性化の条件は、室温 20°C 、湿度60%、二酸化炭素の濃度は5%、乾燥保管の条件は室温 20°C 、湿度60%の恒温恒湿室での保管である。⑤調査開始日、7日後～189日後中の6回弾性波速度を測定した。⑥中性化深さは189日後に供試体を割裂して測定した。

3. 実験結果

3. 1 コンクリートの含水率による影響調査

各乾燥日数での測定結果を表3に示す。乾燥により、コンクリートの質量は低下し、弾性波速度は増加する結果となった。乾燥日数96日の測定結果に着目すると、水中への浸漬により質量が増加し、弾性波速度は低下する結果となった。これから、コンクリート中の弾性波速度の増加は、質量低下に伴うものと考えられる。

キーワード：非破壊検査、衝撃弾性波法、弾性波速度、含水率、中性化

連絡先：〒143-0015 東京都大田区大森西 1-19-1 TEL 03-5762-2058 FAX 03-3765-5190 E-mail siwano@ri-k.co.jp

表3 乾燥による円柱供試体での弾性波速度と質量の変化状況

記号	N18		N27		N40		BB18		BB27	
	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)	弾性波速度 (m/s)	質量 (g)
調査開始日	3786	3472.2	3949	3557.9	3988	3525.4	3656	3556.3	3732	3522.9
6日	3806	3457.8	3978	3547.3	4007	3517.6	3685	3543.6	3759	3513.0
36日	3834	3441.5	4006	3537.9	4054	3512.0	3768	3531.5	3827	3505.0
96日	3815	3425.5	4014	3527.2	4073	3505.3	3792	3519.8	3866	3496.1
96日浸漬後	3796	3439.3	3997	3537.4	4064	3513.7	3782	3529.9	3856	3503.4

一般に弾性波速度 V_p はポアソン比を無視すれば、密度 ρ と弾性係数 E により、式(1)により示される。式(1)と実験結果を比較するため、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1に示す。

$$V_p = \sqrt{E/\rho} \quad (1)$$

図1より両者は直線比例関係を示し、式(1)での弾性率を示す回帰直線の傾きは、呼び強度が強くなれば大きくなった。これから、今回の実験結果は式(1)で示される弾性波速度と密度の関係を示したものであり、含水率が低下すれば、密度の低下により弾性波速度は増加するものと考えられる。含水率が低下すれば、コンクリート中で水であった孔が空隙となることから、速度は低下する可能性も考えられたが、波長が数百 mm の弾性波を利用した今回の測定では、細かい伝搬媒体の材質変化には反応せずに、供試体全体の密度に反応したものと考えられる。

3. 2 コンクリートの中性化の進行による影響調査

3. 1 より、弾性波速度は質量変化の影響を受けることから、(弾性波速度の2乗) / (質量) の値で比較した。各促進期間での調査開始時からの変化率を図2に示す。乾燥保管での値は余り変化しないが、促進中性化では普通セメントでは若干増加、高炉セメントでは大きく低下とセメント種類によって異なる結果となった。また、促進期間 189 日での中性化深さ測定結果を表4に示すと、N60 では中性化は進行していないが、図2の N60 の促進中性化では値が増加している。さらに、乾燥保管でも中性化は、例えば N18 では 6.7mm 進行しているが、図2の N18 の乾燥保管では値に変化は見られない。以上のとおり、今回の実験結果では、中性化の進行により、弾性波速度は何らかの変化が生じたが、変化の程度はセメント種類、中性化進行深さ、呼び強度（水セメント比）によって異なる結果であった。

4. まとめ

今回の実験結果より、弾性波速度はコンクリートの含水率によって変化することが確認された。これから、表面が湿潤状態で、表面付近を伝搬する弾性波の到達時間差から速度を測定する場合には影響を受けると予測される。弾性波速度の測定にはセンサー間距離を変化させて、弾性波の伝搬経路を表面から内部に変化させる必要がある。また、既設構造物の圧縮強度推定などでコア採取により弾性波速度と圧縮強度を測定し、両者の関係を調べる場合には、密度による補正が必要と考えられる。中性化の進行による影響については、何らかの変化が示されたが、セメント種類、中性化進行深さ、呼び強度（水セメント比）によって異なる結果となった。

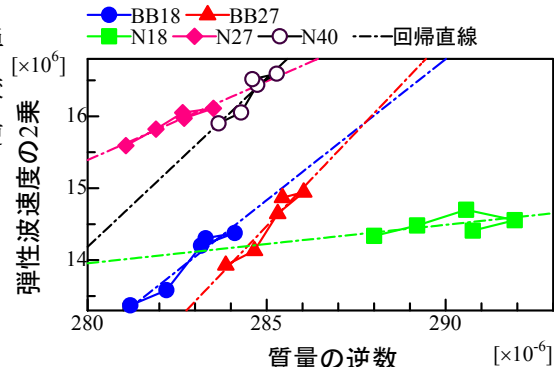


図1 弾性波速度と質量の関係

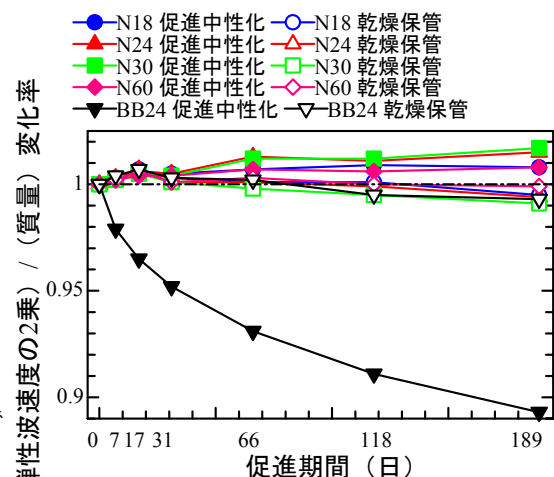


図2 促進中性化による弾性波速度の変化

表4 促進期間189日での中性化深さ

記号	保管状況	中性化深さ(mm)
N18	促進中性化	40.6
	乾燥保管	6.7
N24	促進中性化	32.5
	乾燥保管	4.1
N30	促進中性化	23.3
	乾燥保管	3.4
N60	促進中性化	0.0
	乾燥保管	0.0
BB24	促進中性化	42.0
	乾燥保管	7.3