鋼材がコンクリートの弾性波速度測定値に及ぼす影響

立命館大学理工学部　正会員　尼崎　省二

1. まえがき

性能照査型設計法のもとでは、構造物コンクリートの品質評価が重要となり、弾性波の伝播時間あるいは伝播速度によって品質を評価する場合には、鋼材の存在を無視できないことが多い。一方、コンクリートの超音波法に関する規格類がないため、超音波法の利用者が独自の装置で伝播時間を測定しているのが現状である。本研究は、圧電体への直流電圧の印加･放電によって弾性波を発生させる超音波パルス伝播時間測定装置（波形観察方式および飽和増幅方式）を用いて、印加電圧、放電時間、供試体の形状･寸法が弾性波速度に及ぼす影響、さらに鋼材がコンクリートの弾性波速度測定値に及ぼす影響を検討したものである。

2. 実験概要

使用材料は、普通ポルトランドセメント、野洲川産川砂、高槻産硬質砂岩砕石、鋼材が異形棒鋼 D13～D29（SD345）および直径 51 mm（φ51）の SS 400 を使用した。

供試体は、**図-1** に示す鉄筋コンクリート供試体（以下、RC 供試体）のほかに、円柱（φ100x200 mm、静弾性定数の測定）および角柱供試体（100x100x400 mm、弾性波速度、密度および動弾性係数 E_d の測定）とし、RC-5 供試体で鉄筋位置の弾性波速度、RC-3 および RC-2 で鋼材がコンクリートの弾性波速度に及ぼす影響範囲を検討した。なお、RC 供試体の鉄筋端部は厚さ 10 mm のペーストで埋め戻している。

コンクリートは、スランプ 50～80 mm、空気量 4~6%とした。配合を**表-1** に示す。なお、RC 供試体は 1 バッチ 1 供試体とし、RC-3、RC-2 の作製時期は RC-5 と異なる。供試体は、材齢 1 日で脱型、4 日間の散水養生後、室内保管とした。測定材齢は 7、28 および 91 日である。

鉄筋試料はすべて公称直径ごとに同一ロットから採取して、端面を機械仕上げし、長さ 480 mm を RC 供試体に使用した。

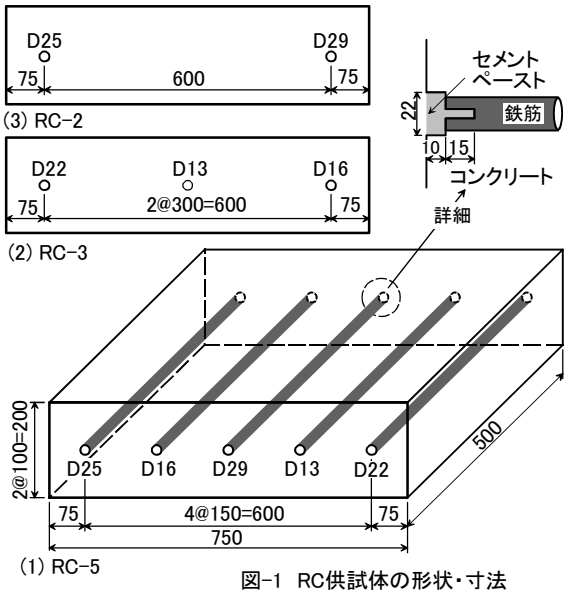

図-1　RC供試体の形状･寸法

表-1　コンクリートの配合表

供試体の種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (mm)	空気量の範囲 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³) 水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE 減水剤	AE 助剤
RC-5	20	50～80	4～6	70	48	185	264	862	970	0.66	1.32
				60	46	177	295	825	1006	0.74	1.48
				50	44	176	352	770	1018	0.88	1.76
				40	42	176	440	704	1010	1.1	2.2
RC-3				70	46	175	292	829	1010	0.73	1.46
RC-2				50	44	172	344	780	1027	0.86	1.72

コンクリートの静弾性定数および動弾性係数は、それぞれ、土木学会規準 JSCE-G 502 および JIS A 1127（縦振動）に準拠して測定した。弾性波の伝播時間は圧電体に所定の直流電圧を印加･放電する方式の装置を用い、JCI 規準[1]に準拠して測定して波形観察方式（波形方式）および飽和増幅方式（飽和方式）で測定した。波形方式には、印加電圧を 1200～500 V、放電時間を(0.5～5)x10^{-6} 秒に設定可能な装置と f＝200 kHz の変位振動子（φ50 mm、PZT-7）を用い、飽和方式には、印加電圧 800V、放電時間 2x10^{-6} 秒、入力感度 100x10^{-6} V の装置と f＝54 kHz、φ50 mm の変位振動子（PZT-5）を用いた。

RC 供試体の弾性波速度は、供試体高さの中央部で供試体端部から振動子の中心間隔 25 mm で鉄筋軸方向に測定した。鋼材の弾性波速度は、長さ 500 mm の試験片で測定し、弾性定数は鉄筋がリブおよびふしがなくなるまで、また SS 400 材が直径 22 mm に機械仕上げした 14A 号試験片で測定した。

キーワード：コンクリート、非破壊検査、弾性波速度、鋼材
連絡先：〒525-8577　草津市野路東 1-1-1　℡077-561-2726　E-mail：amasaki@se.ritsumei.ac.jp

3. 実験結果および考察

図-1 に鋼材径による弾性波速度の変化を示す。波形方式による速度は飽和方式の場合よりも早く、また鋼材が太くなると、速度は早くなっている。パルス波頭の波長に及ぼす充電電圧・放電時間の影響、および波長と分散との定量的関係は明らかではないが、圧電体の変形時間が放電時間(0.5～5)x10^{-6}秒に対応すると仮定すると、鋼材の軸方向変位は鉄筋径程度となるため、分散が生じたと思われる。

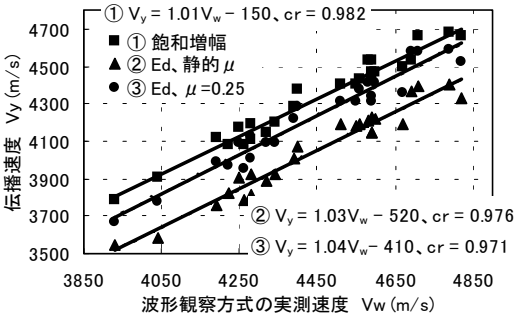

図-2 コンクリートの弾性波速度の比較

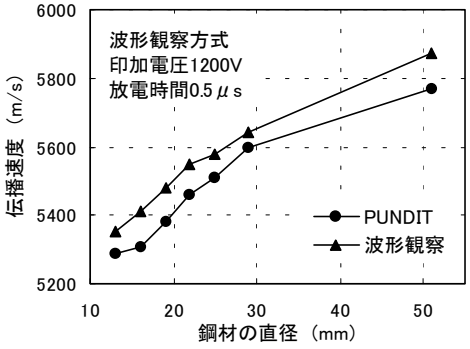

図-1 鋼材の直径と伝播速度

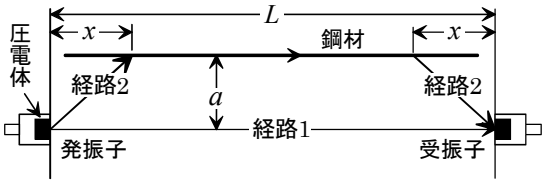

図-3 コンクリート中の鋼材と弾性波伝播経路

図-2 に角柱供試体の弾性波速度の実測値と計算値の比較である。E_d と静的ポアソン比 μ、E_d と μ =0.25 による計算速度、飽和方式、波形方式による速度の順に早くなっており、超音波レベルでのコンクリートのポアソン比は 0.25 程度と考えられる。

対称法による測定でコンクリートの弾性波速度が鋼材の影響を受けない距離 a（図-3 参照）の最小値 $a_{\min}$ は

$$a_{\min} = L \cdot \sqrt{(V_e - V_c)/(V_e + V_c)}\,/2 \qquad (1)$$

ここで、V_c: 鋼材の影響を受けないコンクリートの弾性波速度、V_e : 鋼材位置の有効速度である[2)]。**図-4** の有効速度 V_e とパラメータ x（鉄筋径、鉄筋およびコンクリート弾性波速度の関数）と関係から、V_e は鉄筋径およびコンクリートの弾性波速度に影響されることがわかる。

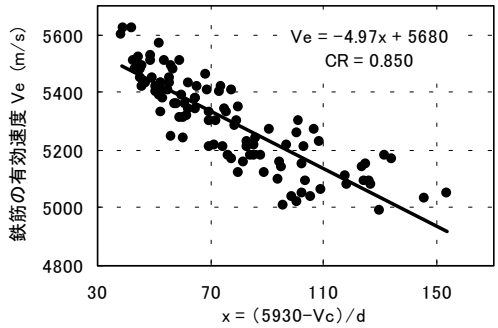

図-4 有効速度とコンクリートの品質の関係

図-5 は RC 供試体の速度分布の一例である。供試体中央部のコンクリートの弾性波速度は材齢とともに大きくなっている。有効速度 V_e は材齢とともに早くなる傾向は認められるが、材齢による変化は少なく、鉄筋径の影響が大きいと思われる。

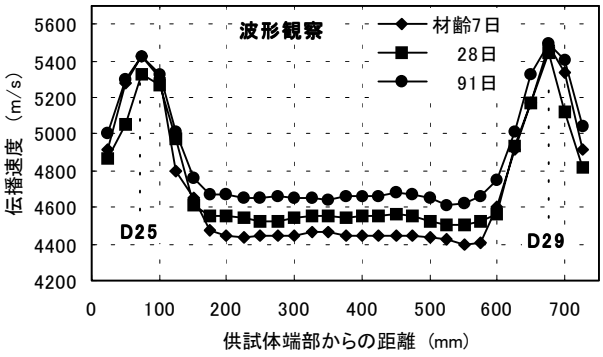

図-5 RC-2供試体(W/C=0.5)の伝播速度分布

表-2 は $a_{\min}$ の有効速度 V_e と V_c の平均値による計算値と速度分布から得られる測定値の比較である。$a_{\min}$ の計算値は測定値よりも小さくなる傾向にあるのは直径 50mm の振動子で測定しているためである。鋼材が太くなると、$a_{\min}$ は大きくなるが、本実験の範囲では、100 mm までである。なお、材齢が大きくなると、$a_{\min}$ が小さくなるのはコンクリートの弾性波速度が大きくなり、経路 1 の伝播時間 t_1 が短くなるためである。

表-2 コンクリートの弾性波速度に及ぼす鋼材の影響範囲 $a_{\min}$ (mm) : 波形方式

鉄筋	W/C=0.7			W/C=0.5		
	7日	28日	91日	7日	28日	91日
D13	80	75	71	66	58	54
	75	*63	*63	75	75	75
D16	88	80	79	70	65	58
	75	75	75	75	72	75
D22	91	85	85	76	72	70
	100	100	100	100	*88	100
D25	86	79	80	79	71	70
	100	100	100	100	*88	100
D29	91	88	83	81	75	72
	100	100	100	100	*88	100

上段:計算値、下段:測定値
＊:左右の平均あるいは明確でない場合の推定値
注:印加電圧1200 V、放電時間 0.5x10^{-6}s

【参考文献】

1) 日本コンクリート工学協会：コンクリートの非破壊試験法研究委員会報告書、pp.251-258、1992.3
2) Chung, H. W. :Effects of embedded steel bars upon ultrasonic testing of concrete, Magazine of Concrete Research, Vol. 30, No. 102, pp. 19-25, March 1978.