

1. はじめに

現在、わが国ではコンクリートに適応される超音波法に関する規格が制定されていないため、超音波パルス放射方式および伝播時間計測方法は様々で、超音波法を適用する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。本研究では、超音波パルス縦波の伝播時間測定値に及ぼす測定装置、供試体の形状・寸法の影響について検討し、さらにコンクリートの弾性波伝播速度に及ぼす鋼材の影響を検討した。

2. 実験概要

表-1 および 2 にコンクリートの材料および配合を示す。鋼材は異形棒鋼 D13~D29 (SD345) および $\phi 51\text{mm}$ の SS400 を使用した。供試体は、角柱供試体 ($100 \times 100 \times 400\text{mm}$)、および、図-1 に示す RC 供試体を作製した。鋼材は端面を機械仕上げした長さ 480mm のものを RC 供試体に使用し、RC 供試体中の鋼材端部は厚さ 10mm のペーストで埋め戻している。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、測定は材齢 7、28、91 日に行った。RC-5 供試体は鋼材部分の弾性波速度、RC-2、3 供試体は鋼材がコンクリートの弾性波速度に及ぼす影響範囲について検討した。なお、角柱供試体では弾性波伝播速度を測定した。弾性波伝播時間に使用した測定装置の特性を表-3 に示す。立上り時間は JCI 規準：超音波パルス伝播速度の標準測定方法（試案）¹⁾ に準拠して測定した。RC 供試体の弾性波速度は供試体高さ中央部で、供試体端部から振動子の中心間隔 25mm で鋼材軸方向に測定した。鋼材の速度は端面を機械仕上げした長さ 500mm の鋼材で測定した。

表-1 コンクリートの使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント	密度: 3.16 g/cm^3
細骨材	野洲川産川砂	表乾密度: 2.62 g/cm^3 吸水率: 1.58, F.M.: 2.57, 単位容積質量: 1.70 kg/m^3
粗骨材	高機産硬質砂岩砕石	表乾密度: 2.70 g/cm^3 吸水率: 0.64, F.M.: 6.83, 単位容積質量: 1.60 kg/m^3

表-2 コンクリートの配合表

供試体の種類	スラブの範囲 (mm)	空気量の範囲 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
					水	セメント	細骨材	粗骨材	AE 減水剤	AE 助剤	
RC-5	60~100	5~8	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	1010	0.73	1.46		
			50	44	172	344	780	1027	0.86	1.72	

表-3 弾性波伝播時間の測定装置の特性

測定方式	波形観察方式	飽和増幅方式 (PUNDIT)
印加電圧	500、800、1000、1200 (V)	800 (V)
放電時間	0.5、1、3、5 (μs)	2 (μs)
振動子	PZT-7 (200kHz)	PZT-5 (54kHz)

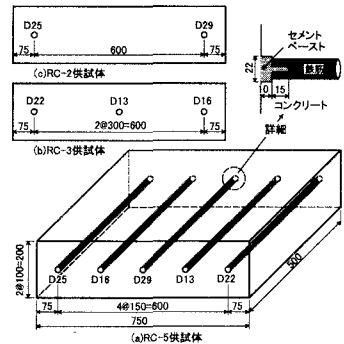


図-1 RC 供試体の形状・寸法

3. 実験結果および考察

3.1 鋼材とコンクリートの弾性波速度

図-2 および 3 に、それぞれ鋼材径、印加電圧による鋼材の速度変化を示す。鋼材が太くなるとともに弾性波速度が速くなり、波形観察方式による弾性波速度は PUNDIT の場合より速いことがわかる。これは両方式の立上り時間決定法の違いから生じたものである。また、鋼材の弾性波速度は印加電圧の増大、放電時間の減少とともに増大する。しかし、 $\phi 51\text{mm}$ の SS 材の弾性波速度は放電時間の減少によってわずかに増大する傾向にあるが、

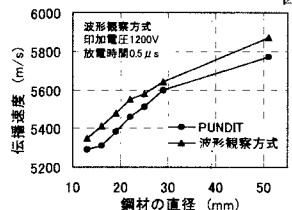


図-2 鋼材の直径と伝播速度

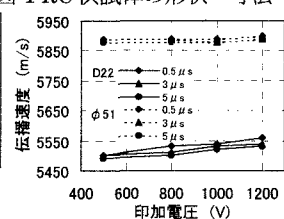


図-3 印加電圧別の鋼材の速度変化

印加電圧が変化しても弾性波速度はほとんど変化していない。これは振動子の直径よりかなり細い鋼材では、印加電圧が大きくなるほど、圧電体の変形エネルギーが鋼材に伝播しやすいが、 $\phi 51\text{mm}$ の SS 材は印加電

圧に関わらず、圧電体の変形エネルギーが鋼材に十分伝達するためと考えられる。放電時間の減少にともなう速度増は、パルス波の波長減少が原因と思われる。一方、コンクリート供試体の伝播速度は、図-4に示すように、印加電圧の増大、放電時間の減少とともに速くなっている。これは振動子直径が供試体断面より小さいことから、印加電圧の増大にともなう受振波の立上りの振幅が増大することで、伝播時間が見かけ上短くなったためと考えられる。

3.2 弾性波速度に及ぼす鋼材の影響

図-5はRC-5供試体の弾性波速度分布を示している。伝播速度は鋼材位置で最大、鋼材位置から離れると低下しており、鋼材の影響を受けている。さらに、鋼材位置の伝播速度は鋼材が大きくなるにつれて速くなる傾向がある。これは図-2で述べたように、鋼材の弾性波速度は鋼材径の増加とともに速くなることが原因していると考えられる。また、波形観察方式はPUNDITの伝播速度より速いことがわかる。図-6は有効速度とコンクリートの品質の関係を示しているが、速度 V_e は鋼材径やコンクリートの品質に影響されていることがわかる。図-7にRC-2供試体の速度分布を示す。鋼材の影響を受けてないコンクリートの弾性波速度は水セメント比の減少、材齢の増大とともに速くなる傾向があるが、鋼材位置の速度については水セメント比による変化がほとんどなく、鋼材径の影響が大きくなっている。表-4は波形観察方式のコンクリートの弾性波速度に及ぼす鋼材の影響範囲を示している。コンクリートの弾性波速度が鋼材の影響を受けない鋼材からの最短距離 a_{min} と実測値を比較すると、測定値は計算値に近い値である。コンクリートの弾性波速度に影響する範囲は鋼材径に依存するが、鋼材から10cm程度であると考えられ、RC-5供試体の伝播速度はどの位置も鋼材の影響を受けていることになる。また、この表より鋼材が太くなると鋼材の影響範囲が広がる傾向にある。

4. まとめ

- (1) 鋼材の弾性波速度は直径が太くなるとともに速くなる。さらに、印加電圧の増加、放電時間の減少とともに鋼材の弾性波速度は速くなる。この傾向はコンクリートの場合も見られる。しかし、鋼材径が大きい場合はこの傾向が見られない。
- (2) 鋼材から10cm程度以内の距離では鋼材の影響を受けるが、鋼材径が大きいほど鋼材の影響範囲が大きい。また、波形観察方式は飽和観察方式より弾性波速度が速い。

『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式検査研究委員会報告書、pp.251-258、1992.3

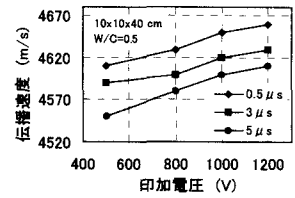


図-4 印加電圧別のコンクリートの速度変化

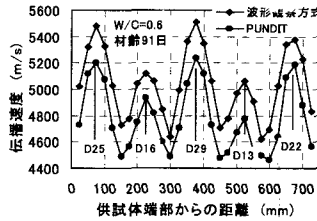


図-5 RC-5の弾性波速度分布

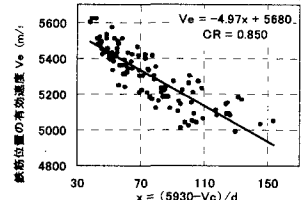


図-6 有効速度とコンクリートの品質の関係

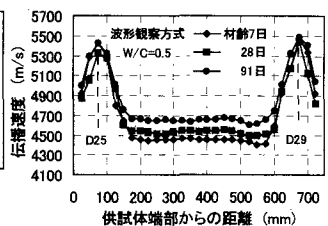
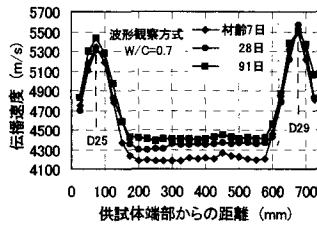


図-7 RC-2の弾性波速度分布

表-4 コンクリートの弾性波速度に及ぼす鋼材の影響範囲 $a_{min}(cm)^{**}$

鉄筋	W/C=0.7			W/C=0.5		
	7日	28日	91日	7日	28日	91日
D13	8	7.5	7.1	6.6	5.8	5.4
	7.5	*6.3	*6.3	7.5	7.5	7.5
D16	8.8	8	7.9	7	6.5	5.8
	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
D22	9.1	8.5	8.5	7.6	7.2	7
	10	10	10	*8.8	10	10
D25	8.6	7.9	8	7.9	7.1	7
	10	10	10	10	*8.8	10
D29	9.1	8.8	8.3	8.1	7.5	7.2
	10	10	10	10	*8.8	10

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
印加電圧1200V、放電時間0.5 μs

**： $a_{min} = \frac{L}{2} \frac{V_e - V_c}{V_e + V_c}$ V_e : 鉄筋の有効速度
 V_c : コンクリートの平均速度
 L : 測定距離