

超音波法による弾性波伝播速度に及ぼす影響要因に関する検討

立命館大学大学院理工学研究科 学生員 ○栗山 亮介 学生員 吉岡 義倫
立命館大学理工学部 正会員 尼崎 省二

1. はじめに

超音波法において透過法は弾性波伝播速度（以下、伝播速度）を比較的容易に測定することができる。しかし、実構造物で透過法を使用できない場合、表面法を用いる必要がある。しかし、表面法はコンクリートに用いられる超音波の指向性が悪く、伝播距離は中心間距離を採用すると、距離の増大とともに伝播速度が遅くなることが指摘されている。また、鋼材とコンクリートの伝播速度は異なり、RC 構造物においてコンクリートの伝播速度が鋼材の影響を受ける可能性がある。本研究では、表面法による伝播速度の算定方法と、コンクリートの伝播速度に及ぼす鋼材の影響について検討した。

2. 実験概要

コンクリートの使用材料および示方配合を表-1、2 に示す。混和剤は所要のスランプおよび空気量を得るために適したものをを用いた。供試体は図-1 に示す 200×1100×

380mm の RC モデル供試体を作製した。

鋼材は D29～D13 の鉄筋コンクリート用異形棒鋼 SD345 とし、端面を機械仕上げ

した長さ 540mm のものを使用した。鋼材はスペーサーと六角穴付ボルトで型枠に固定し、脱型後セメントペーストで埋め戻しをした。また、鋼材を接続するために直径 6mm のネジ穴を設けた。供試体は材齢 1 日で脱型、4 日間の散水養生後、測定日まで室内保管とした。鋼材がコンクリートの伝播速度に及ぼす影響を検討するために、表面法での伝播時間の測定は 2 つの 380×1100mm 面での鉄筋直上、および供試体底面から 80、160、170、250mm で行った。また、供試体の速度分布を検討するために、透過法でも測定した。振動子は PZT-7 の共振振動数 200KHz の φ50mm を使用した。また、伝播時間の測定装置は印加電圧 1200V、放電時間 0.5 μs とし、受振波観察方式により伝播時間を測定した。立上り位置は JCI 規準：超音波パルス伝播速度の標準測定方法（試案）に準拠して決定した。

表面法での伝播時間の測定は 2 つの 380×1100mm 面での鉄筋直上、および供試体底面から 80、160、170、250mm で行った。また、供試体の速度分布を検討するために、透過法でも測定した。振動子は PZT-7 の共振振動数 200KHz の φ50mm を使用した。また、伝播時間の測定装置は印加電圧 1200V、放電時間 0.5 μs とし、受振波観察方式により伝播時間を測定した。立上り位置は JCI 規準：超音波パルス伝播速度の標準測定方法（試案）に準拠して決定した。

3. 実験結果および考察

3.1 表面法による伝播速度の算定

表面法による伝播距離が速度測定値に及ぼす影響を除去するために供試体底面からの高さが一定であれば、速度は等しいと仮定して求めた係数 α を用いて、次式で算出した伝播速度を表-3 に示す。

$$V = (L - \alpha \phi) / t \quad (1)$$

ここに、V：修正伝播速度(mm/μs)、L：振動子中心間距離(mm)、φ：振動子径(mm)、t：弾性波伝播時間(μs)

伝播速度は水セメント比が小さく、供試体底面に近いほど速くなっている。これは供試体底面に骨材が沈降し、弾性係数が大きくなったためと考えられる。係数 α は必ずし

表-1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 密度:3.16g/cm ³
	シリカフュームセメント 密度:3.08g/cm ³ (W/C=20%)
細骨材	野洲川産川砂 表乾密度:2.62g/cm ³
	吸水率:1.17% FM=2.72 単位容積質量1.67kg/l
粗骨材	高槻産硬質砂岩砕石 表乾密度:2.70g/cm ³
	吸水率:0.65% FM=6.80 単位容積質量1.58kg/l

表-2 示方配合

粗骨材の最大寸法(mm)	スランプ又はスランプフロー(cm)	空気量(%)	W/C(%)	S/a(%)	単位量(kg/m ³)				混和剤(cc/m ³)		
					水W	セメントC	細骨材S	粗骨材G	AE減水剤	AE助剤	高性能AE減水剤
20	9±1	5±1	60	46.4	182	303	817	973	758	1212	-
	60×60	1.2±0.5	20	38.35	152	760	592	981	-	-	17100

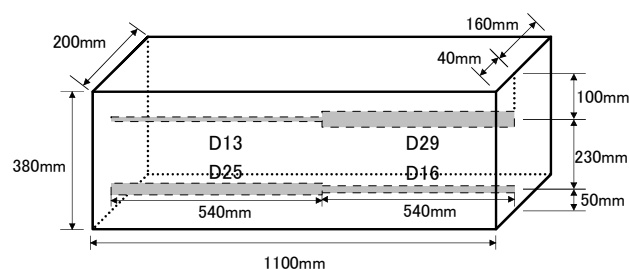


図-1 RC 供試体

表-3 補正後の伝播速度(かぶり160mm面)

底面からの距離(mm)	振動子間隔(mm)	W/C=60%		W/C=20%	
		係数 α	伝播速度(m/s)	係数 α	伝播速度(m/s)
280	100	0.575	4140	0.621	4760
	200		4150		4770
	300		4120		4740
	400		4150		4750
	500		4160		4750
50	100	0.625	4240	0.607	4980
	200		4260		4960
	300		4230		4970
	400		4240		5000
	500		4230		4980

キーワード 超音波法、表面法、伝播速度、鋼材の影響

連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学 TEL 077-566-1111

も一定値でないと考えられ、さらに検討が必要である。図-2 に供試体底面から 250mm と 50mm での透過法と表面法による伝播速度の比較を示す。供試体下部ほど、また表面法より透過法のほうが伝播速度が速くなっている。これは表面法で受振子に伝播する縦波のエネルギーは透過法の 2～3%に過ぎず、立上り位置が見かけ上変化したためと考えられる。

3.2 コンクリートの伝播速度に及ぼす鋼材の影響

図-3 に W/C=60%および 20%において D13 直上のかぶりの違いによる伝播速度を示す。中心かぶり 160mm 面は振動子間隔が大きくなっても伝播速度はほぼ一定であるが、中心かぶり 40mm 面は振動子間隔が大きくなるとともに速くなる。これは鋼材がコンクリートの伝播速度に影響しているためと考えられる。

また、鋼材の影響を受けていない振動子間隔 100mm では中心かぶり 40mm 面の方が伝播速度が遅くなっている。これは型枠と鉄筋の幅が狭く、締固めが不十分であったためと考えられる。W/C=20%は W/C=60%と比較して、かぶりの違いによる伝播速度の差が減少している。これは水セメント比が小さくなるとコンクリートの伝播速度が速くなり、鋼材の影響を受けにくくなるためと考えられる。また、W/C=20%での鉄筋の影響による速度変化は W/C=60%より小さく、両者の速度は鉄筋部分の伝播速度、すなわち有効速度 V_e に収束すると考えられる。図-4 に W/C=60%、中心かぶり 40mm 面での鉄筋直上の伝播速度を示す。鉄筋径が太くなるとともに伝播速度が速くなっている。D13、16 は振動子間隔 200mm までは鋼材の影響を受けてないが、D25、29 では振動子間隔 200mm 前から鋼材の影響を受けて、鉄筋が太くなるとともに鋼材の影響を受け始める伝播距離が短くなっている。また、振動子中心間隔 100mm での D16、D25 直上の速度が D13、D29 直上より速いのは、供試体高さによる影響と考えられる。表-4 に振動子から鉄筋までの最短距離の違いによる伝播速度の計算値¹⁾と実測値を示す。実測値と計算値はほぼ同様な値である。鉄筋までの最短距離 90mm では D13 での計算値、実測値とも、 $L=500\text{mm}$ でも鋼材の影響を受けないが、D29 では $L=400\text{mm}$ 程度で鋼材の影響を受け始めると考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた結果を要約すると、以下のようになる。

1. 供試体上端ほど及び、表面法は透過法より伝播速度が遅い。
2. 水セメント比が小さくなるとともにコンクリート伝播速度が速くなり、鋼材の影響を受けにくくなる。
3. 鋼材が大きくなるとともにコンクリート伝播速度に及ぼす鋼材の影響が大きくなる。
4. 振動子から鉄筋までの最短距離が大きくなるとともに鋼材の影響を受けにくくなる。

『参考文献』

- 1) 尼崎省二：コンクリートの弾性波速度に及ぼす鋼材の影響 コンクリート工学年次論文集、Vol.24、No.1、pp.1491～1496 2002

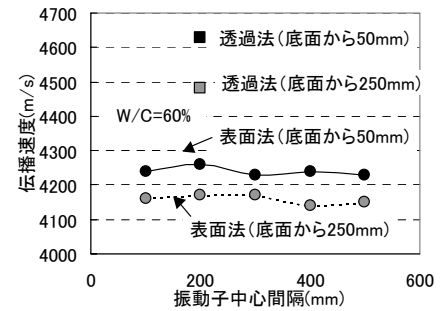


図-2 表面法と透過法の伝播速度

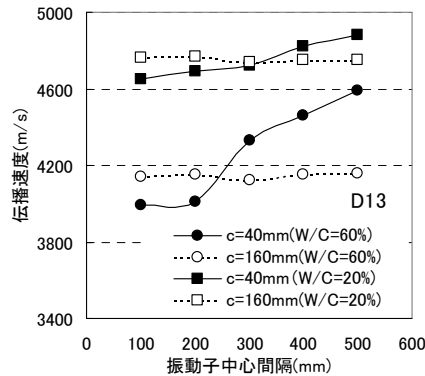


図-3 かぶりの違いによる伝播速度

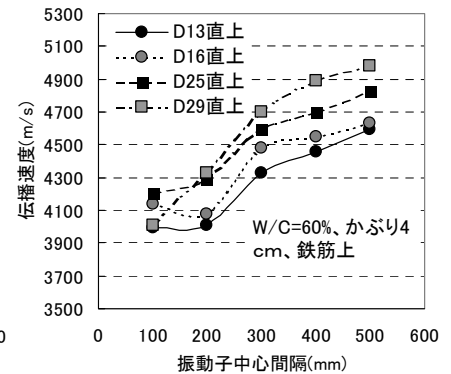


図-4 伝播速度に及ぼす鉄筋の影響

表-4 振動子から鉄筋までの距離による伝播速度の計算値と実測値

最短距離40mm(W/C=60%)				
距離(mm)	伝播速度(m/s)			
	D13(計算値)	D13(実測値)	D29(計算値)	D29(実測値)
100	3990	3990	4010	4010
200	3990	4010	4010	4330
300	4230	4330	4410	4700
400	4430	4460	4640	4890
500	4550	4590	4800	4980
最短距離50mm				
100	3980	3980	3950	3950
200	3980	3960	3950	4050
300	4040	4200	4160	4330
400	4270	4280	4440	4530
500	4420	4510	4620	4730
最短距離90mm				
100	4160	4160	4010	4010
200	4160	4170	4010	4000
300	4160	4110	4010	4070
400	4160	4170	4010	4130
500	4160	4180	4130	4170

$t_1 = L/V_c$ L : 供試体の測定方向の長さ(m)
 V_c : コンクリートの伝播速度(m/s)
 $t_2 = \frac{1}{V_e} \left(\gamma \cdot L + 2a \sqrt{1 - \gamma^2} \right)$ a : 鉄筋から振動子までの最短距離(m)
 V_e : 鋼材部分を伝播する伝播速度(m/s)
 γ : V_c/V_e
 * 計算値は t_1 と t_2 の最短時間を採用して伝播速度を算出する