コンクリートの表面硬度が衝撃弾性波法による内部欠陥の測定に及ぼす影響

東北学院大学　工学部環境建設工学科　○学生会員　戸部　達也
東北学院大学　工学部環境建設工学科　　非会員　高橋　翔真
東北学院大学　工学部環境建設工学科　　正会員　李　　相勲

1．はじめに

大きさと形状が異なる欠陥を有するコンクリート供試体に対し、打撃により弾性波速度を測定することで内部欠陥の有無や大きさが測定できることが関連研究[1)]より確認されている。その測定精度には様々な因子が関わっており、インパクターの直径と測定対象の寸法の関係[2)]は既に分かっていたが、同じ試験体であっても表面の劣化が進んでいる面と比較的に健全な状態の面での測定結果が異なることが予備実験で明らかになった。本研究では、コンクリート平板供試体に対して、厚さ方向の共振周波数を測定することで弾性波速度を求めるとともに、打撃面の表面硬度を測定することで、コンクリートの風化・劣化による測定性能への影響を検討した。

2．弾性波速度の測定方法

多重反射法は図-1 に示すように、コンクリート表面をインパクターで衝撃を与え、とらえた波形から厚さ方向共振周波数を求めることで、式(1)を用いて厚さや強度推定などに活用する方法である。

$$V=2\cdot f\cdot D \qquad (1)$$

D：部材厚さ(m)f:共振振動数(Hz)V:弾性波速度(m/s)

本研究では、直径約 16、19、25mm のインパクターを用い、多重反射法で測定した。通常、供試体の厚さの約 1/10 の直径のインパクターを使用するが、図-2 に示すように、インパクターの直径が大きくなるほど低周波数が励起されやすくなる。特性を生かし最適な共振周波数を検出するために 3 種類を使用した。

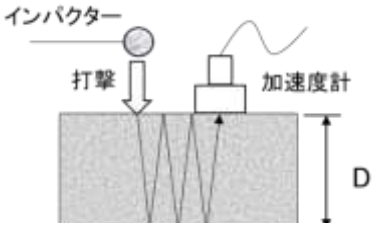

図 3 多重反射法の概要図

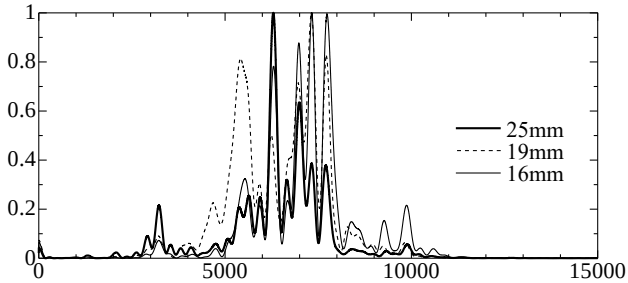

図 1　各インパクターの周波数

3．供試体概要と実測面

測定の対象は、図-3 に示すよう大きさと形状の異なる内部欠陥を有するコンクリート平板供試体（以下、内部欠陥供試体という）である。欠陥供試体の寸法は長さ 800×高さ 800×厚さ 200mm の直方体である。欠陥ありの５つの測定箇所 A、C、E、G、I と欠陥なしの４つの B、D、F、H の計９か所を測定箇所とした。各欠陥の位置、大きさなどの詳細をそれぞれ,図-3 と表-1 に示す。

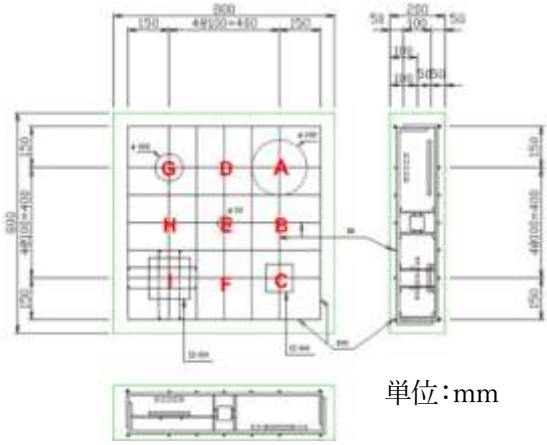

図 2　内部欠陥供試体の概要図(東面)

表-1　内部欠陥の深さ(mm)

欠陥の大きさ	A (φ200)	G (φ100)	E (φ50)	I (□150)	C (□100)
東面から	150	50	100	100	150
西面から	50	150	100	100	50

キーワード　　衝撃弾性波法，弾性波速度，コンクリート供試体，表面硬度
連絡先　　〒981-8537　宮城県多賀城市中央 1-13-1　TEL：022-368-7213

４．測定結果

１）各測定点での弾性波速度と周波数の測定結果

東面と西面で求めた弾性波速度を比較すると，東面は欠陥なしで 2510.4~2926.6m/s 、欠陥ありで 2066.4~2758.4m/s となった。西面は欠陥なしで 3587.4~3875.4m/s 、欠陥ありで 1523.6~3439.0m/s となっており、本来どの測定面から測定面からでも同じ結果が期待される。欠陥なしの弾性波速度が東面の平均(2778.2m/s)が西面平均(3708.9m/s)の約 75%担っていることが分かる。この原因として東面の表面の状態が検出すべき 8 千 Hz 代の周波数成分を発生させるための十分な硬度を有していないことが考えられる。

２）表面硬度の測定

内部欠陥供試体のコンクリート表面の状態を調べるために、引っかき試験器とシュミットハンマーを用いて、表面硬度を測定した。測定に使用したのは日本建築仕上学会式の引っかき試験器で加圧力 1.0kgf と 0.5kgf の 2 つで表面に傷を作り表面硬度を測定する。その判定方法を表-3 に示し、結果を表-4 に示す。

表 1 各測定位置の弾性波速度および周波数

		東面		西面	
	測定位置	周波数(Hz)	V(m/s)	周波(Hz)	V(m/s)
欠陥あり	A φ200	5619.0	2247.6	3809.0	1523.6
	G φ100	6829.3	2731.7	7405.3	2962.1
	E φ50	6246.6	2498.6	8597.4	3439.0
	I □150	5166.1	2066.4	5151.7	2060.7
	C □100	6896.0	2758.4	6753.9	2701.7
欠陥なし	B	7136.3	2854.5	8968.4	3739.6
	D	6276.1	2510.4	9688.4	3875.4
	F	7053.4	2821.4	9082.8	3633.1
	H	7316.6	2926.6	9348.9	3587.4

ア）引っかき試験器による測定

傷の幅を比較すると､西面は 1kg で 0.25~0.35mm、0.5kg で 0.1~0.25mm 東面は 1kg で 0.6~0.7mm､0.5kg で 0.4~0.55mm であり表面硬度があることが確認された。

イ)シュミットハンマーによる測定

反撥値を比較すると、東面は 33.5~38.5 の範囲で平均が 36.0 となり、西面は 40.0~46.1 の範囲で平均が 43.5 になった。この結果からも、東面よりも西面の方が硬度があることが確認された。

また、表-4 から欠陥の有無や形状にかかわらず、東面・西面それぞれの表面硬度は面全体均一であることが分かる。

表 2 各測定方法の表面硬度

欠陥有無	測定箇所	東面			西面		
		引っかき試験 加圧力		シュミットハンマー	引っかき試験 加圧力		シュミットハンマー
		1kg	0.5kg	反撥値	1kg	0.5kg	反撥値
欠陥あり	A	0.6㎜	0.5㎜	37.9	0.35㎜	0.2㎜	42.3
	G	0.7㎜	0.5㎜	33.5	0.35㎜	0.25㎜	44.3
	E	0.7㎜	0.5㎜	36.3	0.35㎜	0.25㎜	44.5
	I	0.7㎜	0.55㎜	35.4	0.35㎜	0.25㎜	46.0
	C	0.65㎜	0.45㎜	37.6	0.3㎜	0.25㎜	45.6
	平均	**0.67㎜**	**0.5㎜**	**36.1**	**0.34㎜**	**0.24㎜**	**44.5**
欠陥なし	B	0.6㎜	0.5㎜	38.5	0.3㎜	0.1㎜	44.2
	D	0.65㎜	0.55㎜	35.9	0.25㎜	0.15㎜	46.1
	F	0.6㎜	0.4㎜	35.8	0.3㎜	0.2㎜	43.5
	H	0.65㎜	0.5㎜	33.9	0.3㎜	0.25㎜	40.0
	平均	**0.63㎜**	**0.49㎜**	**36.0**	**0.29㎜**	**0.18㎜**	**43.5**

表 4 引っかき試験の評価法(日本建築仕上学会)

No	1.0kg での傷の状態	判定
①	連続で最大幅 0.9 ㎜	表面強度が弱い
②	所々で最大幅 0.7 ㎜	多少の脆弱性がある
③	滑り傷跡最大幅 0.5 ㎜	表面強度がある
④	滑り傷跡最大幅 0.2 ㎜	充分な表面強度がある

5.結論

・弾性波速度を利用した内部欠陥の有無や大きさの測定には、正しい共振周波数の測定が重要であるが、測定周波数は表面硬度と相関性があり、必要な周波数に見合う表面状態が測定条件となることが分かった。

・表面硬度を測定するには、シュミットハンマーの反撥値が有効であり、簡易的な方法として引っかき試験器についても一定の有効性があると確認された。

参考文献

1) Lee, D., Lee, S. : Study on wave propagation velocity using concrete specimen with internal defects：The 5th Int. Conference on Soft Computing & Optimization in Civil, Structural & Environmental Engineering, 2019.9

2）黒澤直嗣，相良雄三，李相勲，遠藤孝夫：インパクターの大きさが衝撃弾性波法によるコンクリート内部欠陥の測定精度に及ぼす影響、平成 21 年度土木学会東北支部技術研究発表会，V-16, 2010.3