

# 衝撃弾性波法によるコンクリート構造物の厚さ、強度の推定

伊藤建設（株）技術研究所 岩野 聡史

東海大学 土木工学科 極檀 邦夫

独立行政法人 土木研究所 技術推進本部 森濱 和正

## 1. はじめに

コンクリート構造物の厚さ、強度を推定するため、非破壊検査法のひとつである衝撃弾性波法に着目し、厚さあるいは内部欠陥で多重反射する弾性波の振動数と伝搬速度を測定する方法を提案してきた<sup>1)</sup>。押しつけた加速度計近傍を小鋼球で叩いて検査するため、通常は表面を処理する必要がなく測定時間がきわめて短時間で済み、線状スキニングや面状スキニングが可能となるので局部的な異常も容易に検出できる。

今回、主要国道のコンクリート舗装版に適用し、厚さおよび強度を推定する実験を行ったので報告する。

## 2. 衝撃弾性波法によるコンクリート構造物の検査内容

### (1) 鋼球打撃で発生する波動について

コンクリート表面を鋼球で打撃すると図-1に示す波動が主に発生する。検査には弾性波を利用するが、内部を球面状に伝搬する弾性波のうち、表面を伝搬する成分を表面弾性波といい、内部に伝搬して底面や内部欠陥などで多重反射し、往復時間によって振動数が決定される成分を反射波という。この弾性波速度と反射波の振動数を求め、表-1に示すコンクリート構造物の厚さ測定、内部欠陥探査、圧縮強度の推定を行う。

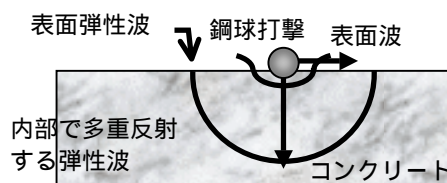


表-1 本法でのコンクリートの検査内容

対象物		測定内容	検査内容
種別	例		
実際の厚さが分からない構造物	トンネル覆工、床版、舗装版	反射波振動数	厚さ、内部欠陥
		弾性波速度	圧縮強度
実際の厚さが分かる構造物	橋脚	反射波振動数	圧縮強度、内部欠陥

### (2) 厚さ測定方法

反射波の振動数 $f_0$ は表面に加速度センサーを1点設置し、直径の異なる複数の鋼球で測定して、自己相関関数を用いた振動数解析を行う<sup>1)</sup>。弾性波速度 $V_p$ は、厚さ測定においては実際の厚さが分からない構造物が対象となるが、この場合は表面にセンサーを2つ設置して表面弾性波の到達時間差から求める。

以上の様にして求めた $f_0$ と $V_p$ から厚さ $D$ は $D = V_p / 2f_0 \dots$  (式1)により計算する。

### (3) 圧縮強度推定方法

圧縮強度 $f_c$ は $V_p$ から推定する。図-2に実験した新設舗装版で管理用に製作した養生方法の異なる試験片で、材齢を変えて $f_c$ が増強した時の $V_p$ との関係を示す。水中・湿布養生では $V_p$ と $f_c$ は相関関係があり、 $V_p$ から回帰式 $f_c = e^{-48.4} \cdot V_p^{6.29} \dots$  (式2)によって $f_c$ が推定できる。コンクリートの品質が低下する気中養生では、 $V_p$ が遅く、実際の圧縮強度より低く評価される。なお、実際の厚さ $D$ が測定できる構造物では、(2)で測定した $f_0$ から $V_p$ を $V_p = 2Df_0 \dots$  (式3)により求め、圧縮強度を推定する。また、(式3)は配合等によって変化するので、検査対象構造物と同じ配合で製作した試験片により、 $V_p$ と $f_c$ の関係を調べる必要がある。

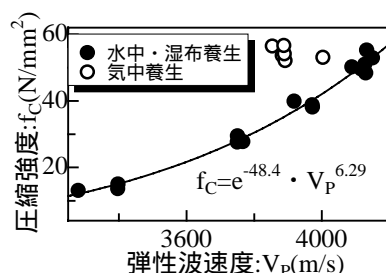


表-2 実験内容

名称	測定数	材齢	検査内容
新設	5	25~30日	厚さ、内部欠陥
			圧縮強度
既設	2	25年	厚さ、内部欠陥
	3		圧縮強度



写真-1 測定状況

(4) 内部欠陥探査方法

(2)によりコンクリート底面での反射波の振動数 $f_0$ が求まるが、内部に欠陥が存在する場合は、厚さよりも薄い位置( $f_0$ より高振動数)での反射波が存在する。また、反射波が1つしか存在しない場合でも(式1)による計算結果が、設計図面・他測定点での結果と比較して薄い場合は内部欠陥と判断できる。表面から欠陥までの深さは(式1)により計算でき、詳細間隔で測定することにより、欠陥の存在範囲を把握できる。

3. 実験内容

実験内容を表-2に、測定状況を写真-1示す。設計寸法は新設・既設とも300mmである。新設舗装版は現地で測定し、実際の厚さが分からない構造物として厚さ、圧縮強度、内部欠陥について検査した。舗装版の裏側にはアスファルト中間層がある。既設舗装版は200mm×1100mm×厚さの試験片を5片採取し、実際に圧縮強度を測定した3片については厚さが分かる構造物として圧縮強度を、残りの2片については厚さが分からない構造物として厚さ、圧縮強度、内部欠陥について検査した。

4. 測定結果

表-3 測定結果一覧

名称	実測値		測定結果				/		
	厚さ (mm)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	$V_p$ (m/s)	$f_0$ (kHz)	厚さ (mm)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	厚さ	圧縮強度	
新設	a	324.9	-	3945	5.37	367	39.7	1.13	-
	b	315.4	-	3976	5.62	354	41.8	1.12	-
	c	325.1	-	4091	5.61	364	50.0	1.12	-
	d	313.0	-	4044	5.62	360	46.5	1.15	-
	e	308.0	-	3971	5.86	339	41.4	1.10	-
既設	a	294.8	-	3935	6.71	293	39.1	0.99	-
	b	294.1	-	4040	7.57	267	46.1	0.91	-
	c	302.3	50.5	4059	6.71	-	47.6	-	0.94
	d	294.2	52.1	4310	7.32	-	69.3	-	1.33
	e	293.7	55.0	4231	7.20	-	61.7	-	1.12

厚さが分からない構造物での測定結果を図-3,4に、分かる構造物での測定結果を図-5に、全測定結果を表-3に示す。図-3,4の $V_p$ と $f_0$ の測定結果から(式1)より厚さ $D$ 、(式2)より圧縮強度 $f_c$ が推定でき、新設版dは $D=360\text{mm}$ 、 $f_c=46.5\text{ N/mm}^2$ 、既設版aは $D=293\text{mm}$ 、 $f_c=39.1\text{ N/mm}^2$ となった。採取した試験片で実測した厚さとの誤差は15%,1%となる。図-5の既設版eは $f_0$ の測定結果と実際の厚さ293.7mmから(式3)より $V_p$ は4231m/sとなり、(式2)より $f_c$ は61.7 N/mm<sup>2</sup>と推定される。実測値との誤差は約12%である。

厚さ測定において新設版での誤差はd以外でも10~13%と大きい。これは裏側のアスファルト中間層(厚さ46.1mm)の影響と考えられ、測定結果は舗装版と中間層の厚さの和(新設版dでは359.1mm)と良く一致する。また、図-3より反射波は底面での反射した1つしか存在していない。これから、新設舗装版は内部に欠陥がなく、アスファルト中間層に密着した良好な構造物と判断できる。また、図-4,5から、既設版でも内部欠陥は存在していないと判断できる。

5. まとめ

非破壊検査である衝撃弾性波法により、コンクリート舗装版での厚さ測定、内部欠陥探査、圧縮強度の推定結果を示した。今後は内部欠陥を含む供試体での実験を中心に行う予定である。なお、本研究は独立行政法人土木研究所と(社)日本非破壊検査協会・鉄筋コンクリート構造物の非破壊検査特別研究委員会の共同研究であり、セメント協会、超音波6社、電磁波5社、弾性波2社が実施している研究成果の一部である。

1) 岩野他: 衝撃振動法による現地鉄筋コンクリート構造物の厚さの計測, 土木学会第54回年次学術講演概要集第 部, pp.284-285, 1999.5

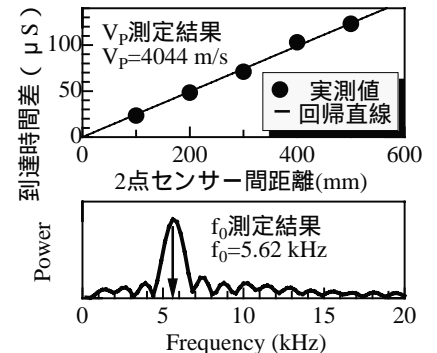


図-3  $V_p$ 、 $f_0$ 測定結果(新設d)

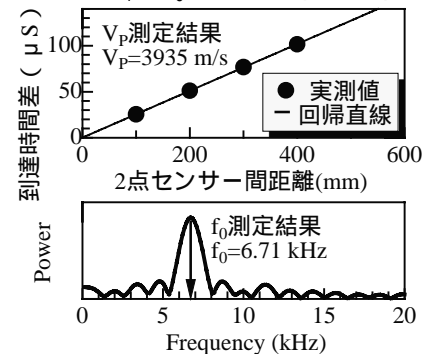


図-4  $V_p$ 、 $f_0$ 測定結果(既設a)

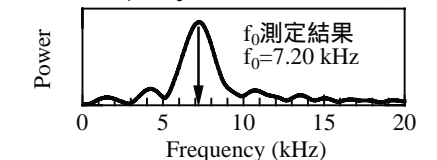


図-5  $f_0$ 測定結果(既設e)