

打音診断システムの自動化に向けた基礎実験

（株）熊谷組 土木技術部 正会員 ○森 康雄、岩井 孝幸
技術研究所 戸上 郁英、時岡 誠剛

1. はじめに

コンクリートの健全性のひとつとして、覆工厚さが設計よりも薄く背面に空洞が存在することを打音法で診断できるかどうかについて、新設道路トンネルの覆工を対象に実験を行った結果について報告する。

2. 実験方法

電磁波レーダーの調査結果をもとに覆工厚さが 20cm 以下と診断された場所についてハンマーを用いて人力で打音した打撃音を解析し、健全部と異なることを確認した。打音終了後、空洞部をハンマードリルで穿孔して覆工厚さを実測し、打音診断の可能性について検討した。

（1）打音箇所

新設道路トンネル覆工（覆工厚：40cm、コンクリート配合強度：30N/mm²）について 9 箇所 117 点

（2）打音方法

打撃器具として、ハンマー質量 250 g の点検ハンマー、ハンマー質量 1.3kg のセットハンマー、インパルスハンマー（GK-3100、小野測器）を用いて人力により打撃した。各打撃点について 10 回打撃し、その平均値をその点の打撃音とした。健全部の打撃音として側壁部（スプリングラインから 60cm 下がりの高さで、トンネル軸線方向 1m ピッチ）の 10 点を打撃した。

（3）集音方法

点検ハンマーとセットハンマーでは、打撃音を無指向性マイクロフォン（MI-1233、周波数範囲：20Hz～20kHz、小野測器）で集音した。打撃点とマイクロフォンの距離は 10cm とした。

インパルスハンマーによる打撃音は、半円球の薄いゴム製の遮音フード内にガラスクロスを含めてその中にマイクロフォンを取り付けて集音した（図 - 1 参照）。

（4）打撃音の解析方法

集音した打撃音をパソコンに取り込むと共に、周波数解析及び時間軸解析を行い判定に用いる音圧レベル、最大振幅、振動継続時間を求めた。

1）周波数解析

FFT アナライザ（DS-2000、小野測器）で解析し、500～2kHz と 2k～5kHz の周波数帯域の音圧レベルを求め、各打撃点の音圧レベルと健全部の音圧レベルの差を算出した。インパルスハンマーによる打撃音については、入力波（打撃）をもとに伝達関数を求め、健全部との音圧レベル差を計算した。

2）時間軸解析

セットハンマーによる打撃音の時間軸解析の結果をもとに、最大振幅（音圧）と振動継続時間を求めた。振動継続時間は振幅の時間変化率が

キーワード 打音法、トンネル覆工、周波数解析、時間軸解析

連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1 （株）熊谷組 TEL 03-3235-8646

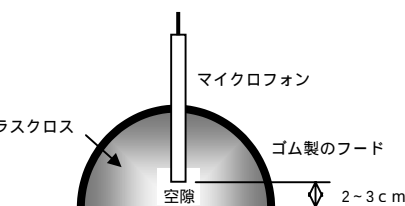


図 - 1 遮音フード付き集音装置

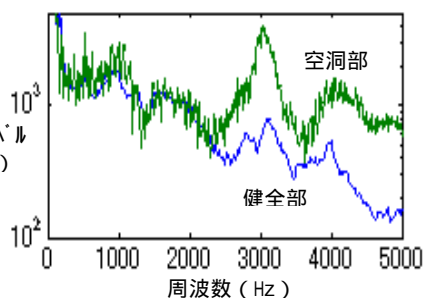


図 - 2 周波数解析結果

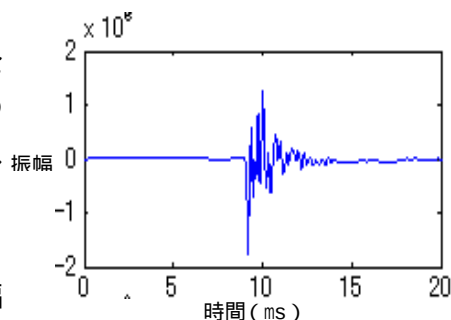


図 - 3 時間軸解析結果（空洞部）

一定値以下になるまでの時間とした。

（５）判定方法

周波数解析の結果をもとに、表 - 1 に示す基準をもとに健全部との相違（空洞）の有無を判定した。

また、時間軸解析結果（最大振幅と振動継続時間）については、健全であるとした側壁部 10 点の打撃音の平均と標準偏差により、平均振幅 $\sim \sigma$ を空洞の存在の可能性が低い（緑）、 $\sigma \sim 2\sigma$ を空洞の存在の可能性が有る（黄）、 2σ 以上を空洞の存在の可能性が高い（赤）と判定した。

３．実験結果

実験結果の一例として覆工厚さの実測値が最も薄かった場所の打撃音の解析及び判定結果を表 - 2 ～ 表 - 4 に示す。図 - 4 に周波数解析結果をもとに空洞の有無を判定した結果を示す。

表 - 2 解析及び判定結果例

場所	周波数解析			最大振幅		振動継続時間（ms）		覆工厚さ （cm）
	音圧レベル差（dB）		判定					
	500～2kHz	2～5kHz		計測値	判定	計測値	判定	
No1	3.97	3.82		2.5		6		-
No2	4.93	6.17		2.5		4.5		-
No3	9.42	7.26		4		12		16
No4	2.54	3.29		1.5		5		-
No5	-1.33	1.07		1		5		-
No6	2.99	5.12		1.9		5		-
No7	1.88	1.10		1.2		4.5		-
No8	4.18	2.00		1.1		12		-
No9	2.46	2.58		1.3		9		-
No10	-0.23	0.94		1		6.5		-

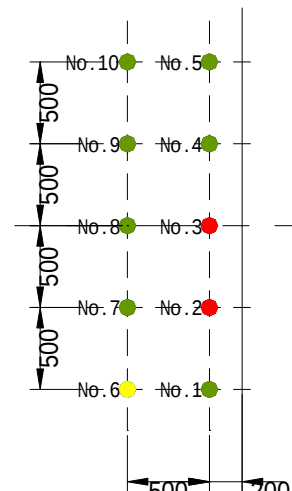


図 - 4 空洞の有無の判定結果

表 - 3 点検ハンマーの打撃音の周波数解析結果

場所	音圧レベル差 (dB)		判定
	500 ~ 2kHz	2 ~ 5kHz	
No1	-0.52	-6.58	緑
No2	2.27	-5.32	緑
No3	4.10	-4.55	緑
No4	3.91	-1.88	緑
No5	-1.13	-6.92	緑
No6	-0.40	-5.37	緑
No7	0.72	-2.46	緑
No8	1.25	-3.50	緑
No9	1.74	-4.70	緑
No10	2.82	-5.74	緑

表 - 4 インパルスハンマーの打撃音の周波数解析結果

場所	打撃音のみ			伝達関数		
	音圧レベル差 (dB)		判定	音圧レベル差 (dB)		判定
	500 ~ 2kHz	2 ~ 5kHz		500 ~ 2kHz	2 ~ 5kHz	
No1	12.07	0.85	黄	10.54	0.62	黄
No2	15.68	2.47	黄	16.02	6.45	赤
No3	17.93	3.71	黄	20.47	9.05	赤
No4	15.49	4.82	赤	17.28	5.55	赤
No5	9.46	-7.00	黄	8.48	-0.88	黄
No6	13.33	3.35	黄	11.43	-1.06	黄
No7	14.43	0.54	黄	13.66	1.79	黄
No8	18.21	2.45	黄	13.95	1.40	黄
No9	13.66	4.38	黄	12.25	1.30	黄
No10	10.07	-4.36	黄	7.78	-1.24	黄

４．まとめ

（１）周波数解析

打撃力が一定しないと言われる人力打音でも、セットハンマーの打撃音を周波数解析した結果をもとに健全部との相違（空洞）の有無の判定が可能である。ただし、今回の打撃条件では表面からの深さが 30cm 以上の場所にある空洞の判定は不可能である。また、点検ハンマーでは深さ 10cm 以深にある空洞の有無は、ほとんど判定ができない。インパルスハンマーのような弱い打撃力でも、空洞の有無の判定はある程度可能であり、伝達関数を利用することによりその精度が向上する。

（２）時間軸解析

最大振幅（音圧）と振動継続時間による判定と周波数解析結果による判定には、概ね同じような傾向（相関性）が見られるが、異なった判定となっているところもみられ、打撃方法を改良することにより最大振幅と振動継続時間を判定項目として追加できるものと考えられる。