

トンネル目地部における打音診断の自動化

- 劣化を模擬したコンクリート供試体による基礎的実験 -

(株)ハーディア 正会員 土屋 勝彦
 (株)熊谷組 技術研究所 時岡 誠剛
 土木技術部 正会員 森 康雄、岩井 孝幸

1. はじめに

高速道路トンネルの覆工コンクリートの損傷で問題となるのは、打継目（目地部）に発生するひび割れが原因となることが多い。これまで供用中のトンネルにおいて簡易打撃装置を用いた打音法によるはく離診断（予備実験）を実施した。この結果、特定の周波数帯域（500～1kHz）における音圧ピークをもとにはく離を検知できることが判明した。本実験では、予備実験結果をもとに、各種のはく離や空洞を模擬したコンクリート供試体を用いて損傷の定量的な診断の可能性について検証を行った。

2. 実験の概要

劣化を模擬した供試体（表-1 参照）の劣化部を下面となるように架台上に設置して、簡易打撃装置（図-1 参照）を用いて劣化部を鉛直上向きに打撃し、打撃音を無指向性の騒音計（LA-4350）で測定した。打撃音の測定対象範囲は10kHz以下である。録音した音をFFTアナライザ（DS-2100）で解析し、特定の周波数帯域の音圧レベルを求める。劣化を模擬した供試体の音圧レベルと健全な供試体の音圧レベルの差を求めて、はく離と空洞の定量的な診断の可能性について検討した。

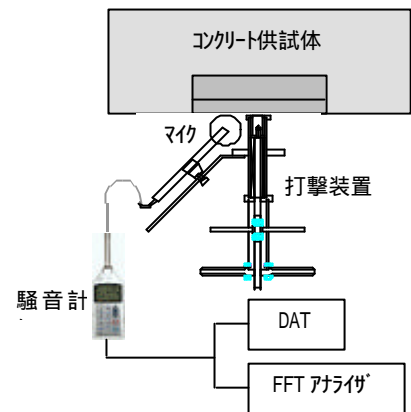


図-1 打撃音測定のプロック図

3. 実験方法

(1) 供試体の製作

実験に用いた供試体の大きさは90cm×45cm×30cm、コンクリートの設計基準強度は21N/mm²とした。

はく離を模擬した供試体

コンクリート曲げ試験用の供試体（10cm×10cm×40cm）を割裂して所定のひび割れ幅となるように設置し、周囲にコンクリートを打設し、供試体を製作した。（図-2 参照）

空洞を模擬した供試体

10cm×40cmの一定面積で奥行き方向に空洞を設けた供試体を製作した。

(2) 打撃実験

簡易打撃装置は、スプリング式のバネを利用してハンマヘッドを供試体表面に衝突させる機構である。実験は、バネ定数の異なる5種類のバネの中からコンクリートの劣化を診断するために適切な打撃条件となるバネを選定し、そのバネを用いて5種類のハンマヘッドで供試体をそれぞれ10回ずつ打撃した。また、簡易打撃装置と点検ハンマ（250g、人力）でインパルスハンマ（5802A、測定対

表-1 劣化を模擬した供試体

試験体 No.	模擬した劣化	ひび割れ深さ (mm)	空洞までの距離 (mm)	ひび割れ幅 ¹⁾
1	健全	-	-	-
2	水平はく離	20～30	-	小
3	水平はく離	20～30	-	大
4	水平はく離	50	-	小
5	水平はく離	50	-	大
6	水平はく離	100	-	小
7	水平はく離	100	-	大
8	斜めはく離	-	-	小
9	斜めはく離	-	-	大
10	空洞	-	50	-
11	空洞	-	100	-

1) ひび割れ幅 小(0.3～0.7mm) 大(1.0～2.0mm)

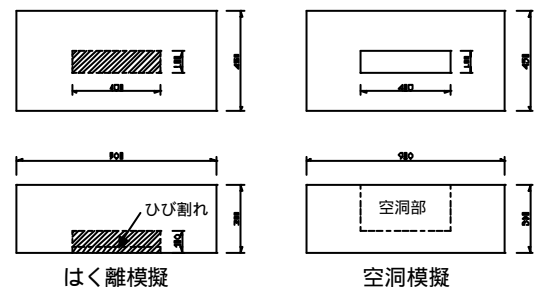


図-2 劣化を模擬した供試体

キーワード 非破壊検査、打音法、トンネル覆工

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

象周波数：1kHz 以下、ダイトラン社製）を打撃して各打撃条件における打撃力を測定した。

表-2 実験に使用したハンマヘッド

名称	先端形状	質量(g)
H 1	円柱（直径 30mm）	231
H 2	点検ハンマー（250g）	75
H 3	点検ハンマー（100g）	55
H 4	シュミットハンマー	55
H 5	ロックシュミットハンマー	62

表-3 実験に使用したバネ

名称	バネ定数(kN/mm)
A	11.4
B	9.8
C	6.3
D	4.1
E	2.5



図-3 簡易打撃装置

(3) 打撃音の解析

まず、録音した打撃音を FFT アナライザ（DS-2100）で解析し、それぞれの打撃音の音圧レベルをもとに劣化供試体の空洞やはく離の定量化が可能な周波数帯域を選定した。次に、各条件（供試体、ハンマヘッド）において、10 回の打撃音の前記周波数帯域における音圧レベルの平均値を求め、はく離や空洞の定量的診断可能性について検討した。

4. 実験結果

(1) バネの選定

バネ A とバネ B で打撃した場合、すべてのハンマヘッドで音圧レベルが騒音計の最大レンジ（130dB）以上となったため、残りの 3 つのバネのうちで最もバネ定数大きいバネ C を用いて打撃実験を行うこととした。

(2) 簡易打撃装置の衝撃と打撃力

打撃音の解析対象周波数範囲（10kHz 以下）とインパルスハンマの測定可能周波数範囲（1kHz 以下）が異なるため参考値であるが、人力により点検ハンマ（250g）で打撃した時の衝撃と衝撃力に対する各ハンマヘッドで打撃したときのとれと比較した（表-4）。使用したバネはバネ C である。

表-4 点検ハンマに対する簡易打撃装置の衝撃と打撃力の倍率

ハンマヘッド	質量 (g)	衝撃	打撃力
H 1	231	2.4	3.1
H 2 ~ H 5	55 ~ 75	1.8 ~ 2.8	2.2 ~ 2.9

(3) 劣化供試体と健全な供試体 (No1) の音圧レベル

劣化供試体の空洞やはく離の定量化が可能な周波数帯域は 500 ~ 2kHz とし、各劣化供試体と健全な供試体の打撃音の音圧レベル差を図-4 に示す。この結果から以下のことが分かる。

ハンマヘッド H 1 で健全な供試体との音圧レベルが 5dB 以上差がある場合は、深さ 10cm 以内に空洞または剥離がある。

ハンマヘッド H 2 ~ H 5 で健全な供試体との打撃音圧レベル差は、概ね、はく離深さに比例して小さくなる。（図-5 参照）ゼロの場合は、深さ 10cm の剥離または深さ 5cm 以上の空洞である。

5. まとめ

はく離や空洞を模擬したコンクリート供試体を用いた基礎的な実験から以下のことが言える。

特定の周波数帯域の音圧レベルをもとに劣化部の診断が可能である。（本実験では、劣化供試体の空洞やはく離の定量化が可能な周波数帯域は 500 ~ 2kHz であった。）

大きな打撃力で打撃することにより、深さ 10cm 以浅にある空洞やはく離の存在が確認できる。

小さな打撃力で打撃することにより、深さ 10cm 以浅のはく離の概略のひび割れ深さを推定できる。

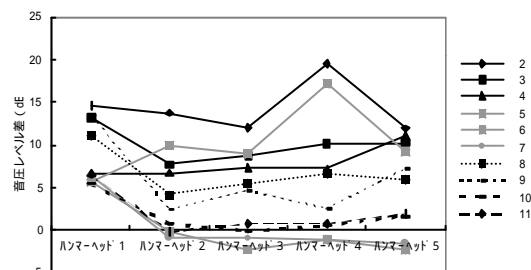


図-4 健全な供試体(No1)との打撃音の音圧レベル差

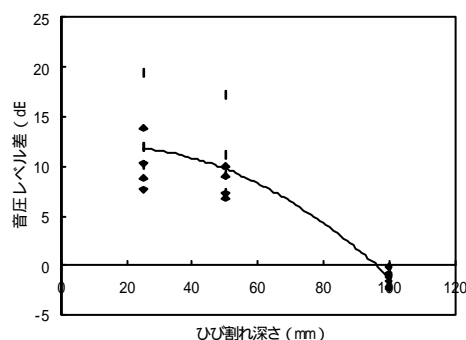


図-5 健全な供試体(No1)との打撃音の音圧レベル差とはく離深さの関係