

## インパルスハンマーによるトンネルコンクリート剥離の検知

日東建設 正会員 ○久保 元樹  
 日東建設 正会員 金田 重夫  
 アプライドリサーチ 正会員 境 友昭  
 iTECS 技術協会 正会員 極 檀 邦夫

## 1. まえがき

約 38 年経過したトンネルの覆工コンクリートの剥離をインパルスハンマーを用いて検知する方法を研究した。従来のコンクリートの剥離検知は、点検ハンマーを用いた打音法の適用が多いが、技術の修得には経験の蓄積が必要であること、個人の主観による判定であること、測定記録が残らないことなどの難点がある。

今回用いたインパルスハンマーは、打撃力を所要範囲に設定して加速度波形を記録し、これから機械インピーダンスやハンマー接触時間を算出するものである。剥離との関連は、強度は機械インピーダンスで、変形はハンマーの接触時間と考慮して検討した。インパルスハンマーで得られたデータ解析の判定結果が、打音法とどの程度一致するかを検討したので報告する。

## 2. 測定内容

測定対象は、38 年経過して表面に汚れがかなり付着したトンネルの覆工コンクリートである。測定範囲は、縦 110cm、横 200cm、10cm 間隔に線を引いて、横のラインは 12 本、縦の線は 21 本、メッシュの交点 252 点を測定した。

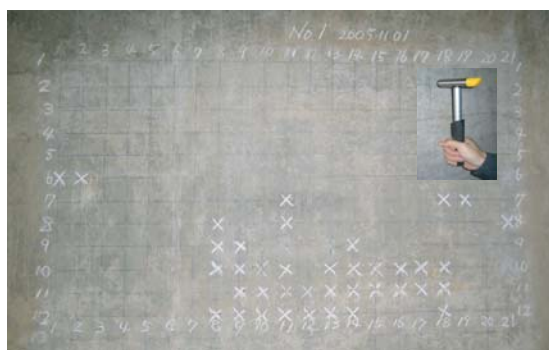


写真-1 測定風景

インパルスハンマーは、ハンマーヘッド質量 190 グラム、サンプリングクロック  $0.5\mu\text{s}$ 、サンプリング数 2000、加速度計感度  $0.04\text{mv}/\text{m}/\text{s}^2$  を使用した。打撃強度は、弱打と強打の 2 段階で測定した。インパルスハンマーの打撃力を所望範囲にするためにトリガーを

設定した。

## インパルスハンマーによる測定について

打撃力波形から、接触時間と機械インピーダンスを算出した。質量  $M$  のハンマーが速度  $V$  で、バネ係数  $k$  のコンクリート表面に衝突するときのコンクリートの最大変位を  $x$  とする。機械インピーダンスは、 $\sqrt{Mk} = \frac{F_{\text{max}}}{V}$  により得られる。

打撃力最大のピークの前半は、ハンマーがコンクリートを押し続けている時間、ピーク後半はコンクリートが復元して戻る時間である。機械インピーダンスおよびハンマーの接触時間は、前半  $ZA$  と  $ZR$  ならびに前半の接触時間  $TA$  と後半  $TR$  に分けて検討した。

## 3. 測定結果と検討

## 3-1. 健全、剥離の打撃力波形の比較

図-1 に、健全、表面劣化、剥離の打撃力波形の機械インピーダンス  $ZA, ZR$  とハンマーのピーク後半の接触時間  $TA, TR$  を示した。

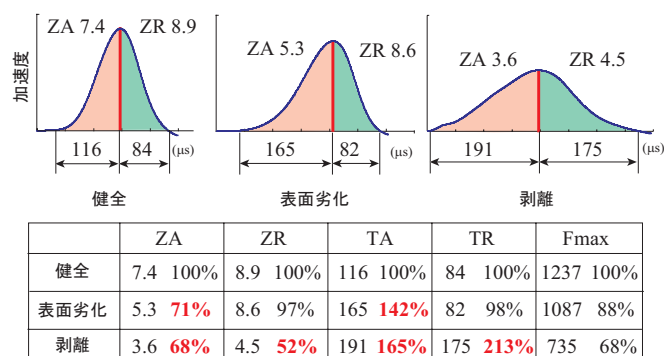


図-1 健全、表面劣化、剥離波形

健全なコンクリートの打撃力波形は、ピーク前半が少し大きい、ほぼ左右対称の形となる。健全を基準 100% にとり比較する。表面劣化の場合は、ハンマーがコンクリートに衝突すると、劣化した部分の塑性変形が進行するとともに、打撃力は吸収されて減衰する。前半の機械インピーダンスは  $ZA$ ; 71% と減少し、前半ハンマーの接触時間は  $TA$ ; 142% と増加する。一方、 $ZR$ ; 97%,  $TR$ ; 98% なので健全と変わらない。剥離の場合は、 $ZA$ ; 68%,  $ZR$ ; 52%,  $TA$ ; 165%,  $TR$ ; 213% と

キーワード トンネル、覆工コンクリート、剥離、インパルスハンマー、ハンマー接触時間

連絡先 北海道紋別郡雄武町雄武 1344 日東建設（株） TEL 01588-4-2715 Email kaneda@nittokensetsu.co.jp

全般的に減少・増大している。表面劣化との違いは、ピーク後半の変化割合が大きいことである。

コンクリート表面の剥離の厚さは約数 cm の場合が多いといわれているので、板のたわみと類似していると考えられる。薄い板のたわみは、打撃力が一定のとき、曲げ剛性（コンクリートのヤング率  $E$  と断面 2 次モーメント  $I$  の積）に比例するので、断面 2 次モーメントの低下が支配的と思われる。

### 3-2. 機械インピーダンス，接触時間と剥離

打撃力波形の比較によって、剥離は強度指標の機械インピーダンス  $ZR$  が低下すること、変形の指標である後半のハンマー接触時間が長くなることがわかった。最終的には、剥離の判定基準を数値で規程することが望ましいが、現地構造物の多様性を勘案すると現段階では難しい。

そこで、強度指標  $ZR$  および変形の指標  $TR$  が正規分布すると仮定して、平均値マイナス標準偏差以下（16%）を剥離の候補として検討することにした。また構造的見地から、バラバラに点在する剥離よりも、広範囲を占める剥離は危険性が高いと考えられるので、面的な測定をおこない、等高線図を描いて判断することにした。

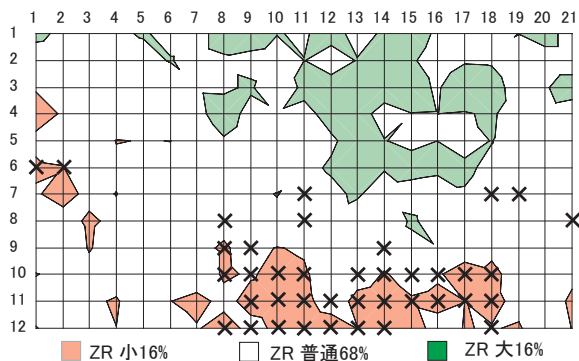


図-2 機械インピーダンス  $ZR$  と剥離

図-2に機械インピーダンス  $ZR$  と剥離の関係を等高線で示した。 $ZR$  252個の標準偏差を計算し、(平均値-標準偏差)以下の16%(強度は弱い)40個を赤で、(平均値-標準偏差)以上の16%40個を緑表示した。剥離と強度指標に小さい  $ZR$  は、約6割一致している。後半機械インピーダンス  $ZR$  の大きな領域には剥離はひとつも存在しないので健全と判断して良い。

図-3にハンマー接触時間  $TR$  と剥離の関係を等高線で示した接触時間の長い16%40個を赤で、短い16%40個を緑で表示した。剥離と接触時間の長い  $TR$  は、約7割一致している。今回のハンマー質量と打撃力では、機械インピーダンス  $ZR$  よりも、ハンマー接触時間の

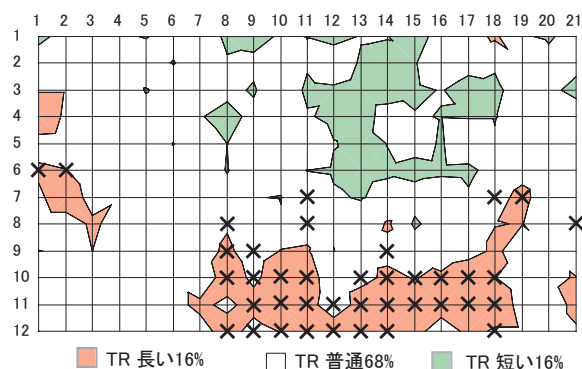


図-3 ハンマー接触時間  $TR$  と剥離

的中率が高い。的中率は7割であるが、広い面積の剥離はほぼ検知しているので実用的には有用な結果と思われる。

### 3-3. 接触時間と機械インピーダンス

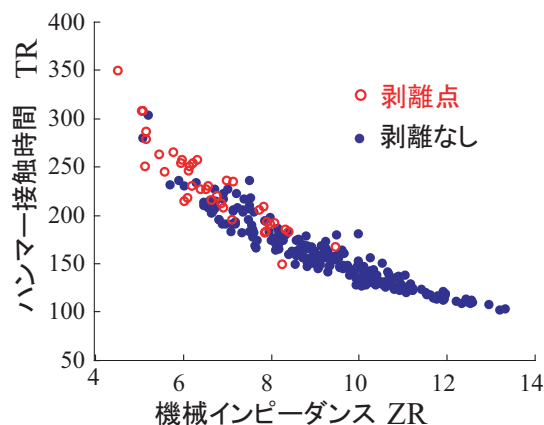


図-4 接触時間と機械インピーダンス

ハンマーの接触時間と機械インピーダンスの相関を図-4に示した。 $TR$  が長く  $ZR$  が小さいと、剥離の可能性が高いが剥離と健全の測点が混じり合っているので境界線を決定できない。測定方法固有の誤差なのか、バラツキ誤差なのかはこのデータからは判断できない。健全なものは  $ZR$  と  $TR$  はコンクリートのバネ係数に比例するが、剥離を薄板と仮定すると  $ZR$  と  $TR$  は曲げ剛性に支配される。

### 4. まとめ

トンネル覆工コンクリートの剥離検知をインパルスハンマーを用いる方法で試みた。

1. 剥離の検知には、打撃力波形の後半の機械インピーダンス  $ZR$  とハンマーの接触時間  $TR$  を適用すると良い結果を得た。

2. 機械インピーダンス  $ZR$  が小さい下位16%と剥離は約6割の的中率であった。

3. 剥離とハンマー接触時間の長い  $TR$  は、約7割一致している。広い面積の剥離は、ほとんど検知できることがわかった。