

機械インピーダンスによるコンクリート剥離検知の基礎的実験

Fundamental experiment of concrete fault detection by mechanical impedance

日東建設 (株)	正会員	金田重夫 (Sigeo KANEDA)
日東建設 (株)	正会員	久保 元 (Hajime KUBO)
東海大学土木工学科	正会員	極檀邦夫 (Kunio GOKUDAN)
アプライドリサーチ (株)	正会員	境 友昭 (Tomoaki SAKAI)
道立北方建築総合研究所		植松武是 (Takeyoshi UEMATSU)

1. まえがき

昭和 39 年の東京オリンピックの頃から道路、鉄道などの社会資本の建設が急激に増加した。その主要部分を占めるコンクリート構造物が、耐久年数を迎えていないにもかかわらず、トンネルのコンクリート崩落事故など欠陥が報じられている。コンクリート構造物が所要の品質を保持しているかを検査し、適切に維持管理することが社会生活を支えるインフラストラクチャーでは重要である。人の定期健康診断と同様に、暮らしに密着する社会資本は早期発見早期治療が望ましいと考える。

鉄道や道路の場合、トンネルなど高所からコンクリート破片が落下すると大事故を招く恐れがあり剥離や浮きの検知はきわめて重要である。通常は打音法による欠陥探査が採用されるが、打音法は聴覚による主観に基づくので、調査する人の心身の状態によって評価基準が異なることと打音そのものの記録が残らないので経時的な追跡調査が困難である。

そこで、簡単に測定できること、測定波形データを記録できること、波形データ解析の根拠を明確にし主観によるバラツキを軽減するなどに着目して実験した。今回は、コンクリート板に発泡スチロールを埋設し模擬的な剥離を設けた供試体を用いて、インパルスハンマーの打撃力波形を測定して、機械インピーダンスにより剥離の検出がどの程度可能であるかを調べるために基礎的実験をおこなったので報告する。

2. 機械インピーダンスについて

コンクリート構造物を半無限弾性体と仮定して、質量 m のハンマーが速度 V でコンクリート表面に衝突した場合を考える。ハンマーの速度が 0 となった時のコンクリート表面の変位量を x とし、コンクリート表面の変位と力の間にフックの法則が成立するとする。すなわち、コンクリートの表面に発生する最大抵抗力 F は、コンクリート表面の擬似的なバネ係数を k とおくと、 $F = kx$ として表現される。

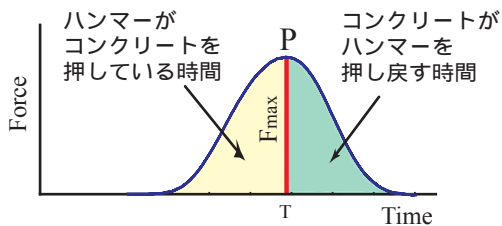


図 1: 打撃力波形と機械インピーダンス

エネルギーの釣り合いからハンマーの最大運動エネルギーとコンクリート表面の最大ポテンシャルエネルギー

ギーは等しいから、エネルギーの釣り合い式を展開し、 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kx^2 \Rightarrow \sqrt{mk} = \frac{F}{v}$ が得られる。ここで、 \sqrt{mk} は、機械インピーダンスであるが、作用した力の最大値をハンマーの初速度で除することによって求められることがわかる¹⁾。

実際の測定解析では、打撃力波形の前半 Z_A と後半 Z_R を分けて、次式に示すような機械インピーダンス値を用いた。

$$Z_A = \frac{F}{V_A} \quad Z_R = \frac{F}{V_R}$$

これは、図 - 1 に示すように、打撃力波形を最大値 P に至る前半と後半に分けたものである。打撃力の前半部分は、コンクリート表面の剥離、劣化等の影響を受ける可能性がある。これに対し、後半部分は、コンクリートがハンマーを押し戻す時間であるから、コンクリートの弾性的特性を反映した指標となると考えられる²⁾。

3. 供試体と測定方法

供試体と測定点の概要を図-2 に示す。供試体の大きさは $1800 \times 1600 \times 200\text{mm}$ 、普通ポルトランドセメント、スランプ 8cm、最大骨材寸法 25mm、設計強度 30MPa である。発泡スチロールは直径 200mm、厚さ 20mm のものを埋設し、かぶり厚さは、15, 30, 45, 60, 75, 90mm の 6 種類である。測定点は発泡スチロールの中心を通り、100mm 間隔で 17 点である。

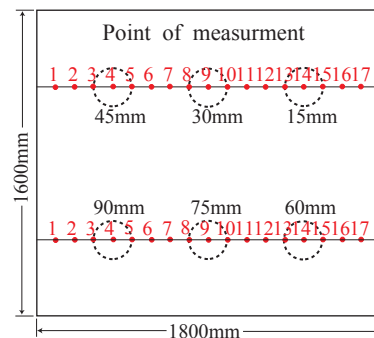


図 2: 供試体

測定は測定点を挟むようにインパルスハンマー (ダイトラン 5850A) で打撃し、約 4cm 離れた対向する点に加速度センサー (PCB352C66) を配置した。インパルスハンマーの打撃波形および加速度計による弾性波動はサンプリングクロック 0.5 マイクロ秒、データ数 2000 個で記録し、機械インピーダンスを求めた。機械インピーダンスは、ハンマーがコンクリートを押し続けている時間帯

の前半部分とコンクリートの弾性によって復元している時間帯の後半部分を計算し両者を比較した。

4. 測定結果および考察

4.1 打撃力波形の比較

空洞までの厚さが異なる場合のインパルスハンマーで測定した打撃力波形を図-3に示す。縦軸は力、横軸は時間で、波形のピークでそろえてあるが、半波正弦波に類似している。欠陥のない部分の波形は打撃力が最大で波形の始点終点間の時間は短い。空洞からの厚さ15mmと薄い場合は、波形の後半部分を観察すると終点が他に比較して長くなっている。インパルスハンマーの衝突により下側に押し下げられたものが復元して戻っているのではないかと、たとえば板のたわみ振動に類似した現象が発生していると推測される。厚さ30mmでは、打撃力は小さいが始点終点間の時間は他に比べて長くなっている。空洞がある場合は、無い場合に比べて打撃力は小さく、始点終点間の時間は長くなる傾向を示している。

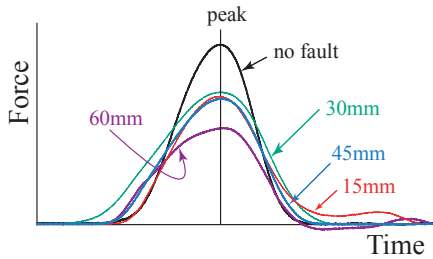


図 3: 打撃力波形

4.2 弾性波速度波形の比較

インパルスハンマーで測定した打撃力波形は、衝突して離れるまでの単発的な情報を得ている。一方、加速度計はコンクリート内部に伝搬した弾性波が多数回往復する状況を探らえることができる。図-4は加速度計で測定した加速度を時間積分して速度に変換したものである。縦軸が振幅(尺度は統一してある)、横軸が時間で1ミリ秒である。空洞がある場合は正弦波が減衰するようきれいな波形であるが、空洞がない部分は振幅も小さく、減衰も早い。空洞までの厚さが薄いと振幅が大きく、厚くなると振幅が小さくなるが、減衰する割合はゆっくりしている。すなわち、速度波形を観察すると、空洞のある部分をハンマーで叩くとたわみ振動が発生していると推量される。

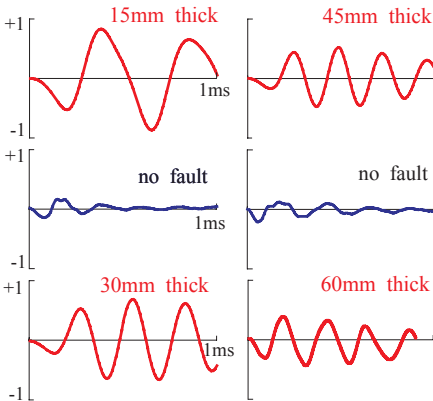


図 4: 速度波形の比較

4.3 前半、後半の機械インピーダンスによる剥離検知

図-5は空洞の中心線上の測定データから計算した機械インピーダンスを示したものである。まず、後半の機械インピーダンス Z_R (黒丸) では、厚さ15mm, 30mmは空洞のない部分の機械インピーダンスよりも約20%小さい値となっているので空洞の検知が可能と考えられる。しかし厚さ45mmではインピーダンスの差が小さいので判断は難しい。前半の機械インピーダンス Z_A では、30mmが比較的小であるが他との差が微小であるので、剥離があると判定することは困難と思われる。

実験結果を総括するとピーク後半の機械インピーダンス Z_R によって模擬的剥離を検出できる厚さは15mm, 30mmである。しかし、打撃力波形では空洞のある部分の打撃力は相対的に小さいこと、始点終点の時間が長いことなどの影響は未解析である。また、加速度計の速度波形では空洞部分が明確に確定できるのでインパルスハンマーの解析にどのように加味するかは今後の検討課題である。

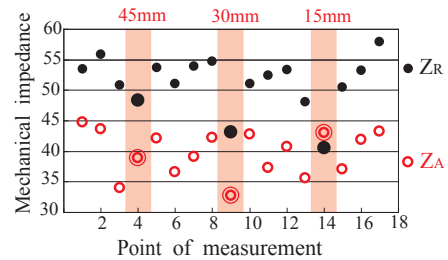


図 5: 厚さと機械インピーダンス

5. まとめ

インパルスハンマーの打撃力波形を解析して模擬的な剥離を検知できるか実験して、機械インピーダンスによってどの程度可能であるか検討した。直径200mm厚さ20mmの空洞を設けて100mm間隔で測定した結果をまとめると次のとおりである。

- (1) ピーク後半の機械インピーダンス Z_R によって模擬的剥離を検出できる厚さは15mm, 30mmである。
- (2) 加速度計から得られた時間軸速度波形は、空洞上の厚さ15mm, 30mm, 45mm, 60mm全てにおいて、減衰する正弦波に類似したきれいな波形である。この波形と空洞のない部分とは、波形の振幅、減衰率の両者に明確に異なっているので、空洞の検知は容易であると考えられる。
- (3) 打撃力波形では、厚さ15mmの後半部分に反発力が認められる。空洞のある部分の打撃力は無い部分に比べて相当小さいこと、始点終点間の時間も長い、打撃力波形だけでは空洞検知は困難である。
- (4) 今回は機械インピーダンスに着目して空洞上の厚さ(剥離を想定)の測定を試みたが他の要因も加味すると、さらに厚い剥離厚さを測定できると期待される。

参考文献

1. 極檀邦夫, 久保元樹, 久保元, 境友昭, 接触抵抗によるコンクリート強度の推定, 日本非破壊検査協会 シンポジウム論文集, 2003.7.
2. 久保元樹, 極檀邦夫, 金田重夫, 境友昭, 打撃応答波形によるコンクリート強度の推定, 土木学会, 第58回年次学術講演会講演概要集, 2003.9.