

機械インピーダンスおよび反発度法による模型 RC 板の健全性検査

Integrity inspection of a model concrete by mechanical impedance and concrete test hammer

日東建設 (株)
日東建設 (株)
東海大学土木工学科
東海大学大学院生
アブライドリサーチ (株)
道立北方建築総合研究所

正会員 ○横山弘晃 (Hiroaki YOKOYAMA)
正会員 久保 元 (Hajime KUBO)
正会員 極壇邦夫 (Kunio GOKUDAN)
学生会員 久保元樹 (Genki KUBO)
正会員 境 友昭 (Tomoaki SAKAI)
植松武是 (Takeyoshi UEMATSU)

1. まえがき

かぶり厚さを 6 段階に変えた空洞を有する大型のコンクリート板を製作して、インパルスハンマーによる機械インピーダンス、コンクリートテストハンマーの反発度、インパクトによる衝撃弾性波を解析する方法、で測定して検討した。方眼メッシュの交点を測定して、板全体の機械インピーダンス、反発度 R、鋼球接触時間、速度波形の減衰時間を等高線表示しかぶり厚さの異なる空洞との関連を検討した。

2. 機械インピーダンスについて

機械インピーダンスは、ハンマー打撃による最大打撃力をハンマーの初速度で除すると得られる¹⁾。図-1は空洞のない健全な部分と空洞直上(かぶり厚さ 2cm)の打撃力波形である。健全な場合の打撃力波形は、最大打撃力を中心軸としてほぼ対象形となっている。最大打撃力以降の後半部分の時間は、健全 125 マイクロ秒に対して空洞直上では 233 マイクロ秒と増加している。

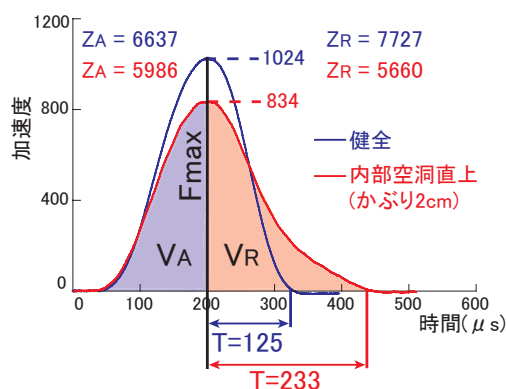


図 1: 打撃力波形と機械インピーダンス

機械インピーダンスの前半は、ハンマーがコンクリートを押している時間であり、後半はコンクリートがハンマーを押し戻している時間であるので、空洞があるとその影響を受ける。一般に、機械インピーダンスの前半は劣化などによってコンクリートの表面柔らかさを反映した値となる。後半の機械インピーダンスは内部コンクリート本来のヤング率や剛性と相関がある。

表面劣化の影響と内部のコンクリートのヤング率、強度を分離するため、機械インピーダンスは図-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て計算する。前半の機械インピーダンスを Z_A 、後半の機械インピーダンスを Z_R とすると、

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

である。なお、 V_A は、波形の始点から最大打撃力までの加速度の数値積分、 V_R は、最大打撃力から終点までの数値積分である。

3. 供試体と測定方法

供試体と測定風景を図-2に示す。供試体の大きさは $1800 \times 1600 \times 200\text{mm}$ で疑似空洞として、発泡スチロール(直径 200mm, 厚さ 20mm)をかぶり厚さ、10, 20, 30, 40, 50, 60mm と 6 段階変化させて埋設した。供試体に 100mm メッシュを印し(縦 17 点, 横 15 点の計 255 点)。その交点をシュミットハンマー、自作インパルスハンマー(ハンマー質量 260g)で測定した。

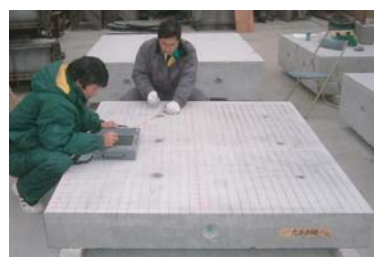


図 2: 供試体と測定風景

弾性波は、加速度計(PCB352C66)を手で押しつけ、近傍を 15mm 鋼球で打撃し測定した。インパルスハンマーの打撃波形は、サンプリングクロック 1 マイクロ秒、データ数 2000 個、加速度計による弾性波は、サンプリングクロック 2 マイクロ秒、データ数 5000 個で記録し、機械インピーダンス、減衰時間、鋼球接触時間を求めた。

4. 測定結果および考察

4.1 機械インピーダンス Z_R と反発度 R

図-3に機械インピーダンス Z_R とシュミットハンマー反発度 R の等高線図を示す。

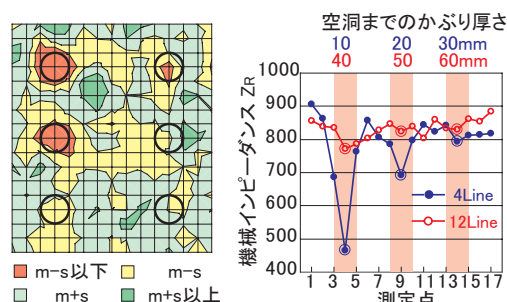


図 3: 機械インピーダンス Z_R 等高線図

等高線図は、平均値 m と標準偏差 s を用いて最小値 ($m-s$ 以下)、平均以下 ($m-s$)、平均以上 ($m+s$)、最大値 ($m+s$ 以上) と 4 分割した。 Z_R 最小値は、強度が小さい危険側の部分を示している。

空洞部分は、薄い板状の弾性体と考えられるので、空洞のない部分よりも剛性が小さいはずである。当然、後半機械インピーダンスの値は小さいと推測される。後半機械インピーダンス Z_R の最小範囲 (最下位 16%) は、かぶり厚さ 10, 20, 40mm の空洞に対応している。従って、かぶり厚さが薄い場合の剥離検出は可能と思われる。

図-4 にシュミットハンマー反発度 R の等高線図を示す。

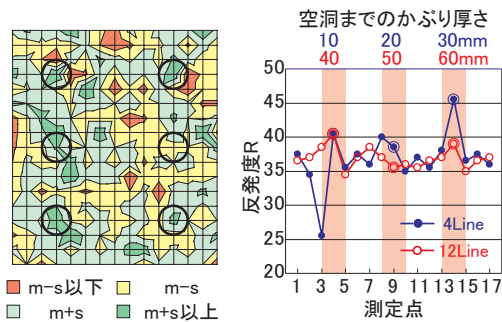


図 4: シュミットハンマー反発度 R 等高線図

シュミットハンマー反発度 R は、空洞と対応した結果が得られていない。 Z_R 最小値 (赤色) は、空洞と関係なく全体にバラバラに分布している。機械インピーダンスよりもシュミットハンマーの打撃力は大きいことと、かぶり厚さが数 cm と薄いとときの打撃音は、大きな音と異常な音色が聞こえるので、空洞と対応した R 値が得られると予想していた。シュミットハンマーで、現地構造物の補修面を測定すると、明らかに剥離していると判断される部材でも、 R 値が大きい場合がある。これまで、シュミットハンマーは構造部材の全体を評価できると考えていたが、今回の模型実験によると、内部に空洞があっても相関が無いという予想外の結果になった。反発度 R が全体ではなく、表層だけの硬さや強度に依存することは重要な問題であるので今後も研究しなければならない。

4.2 鋼球接触時間と空洞

図-5 に鋼球接触時間と空洞までのかぶり厚さの等高線図を示す。

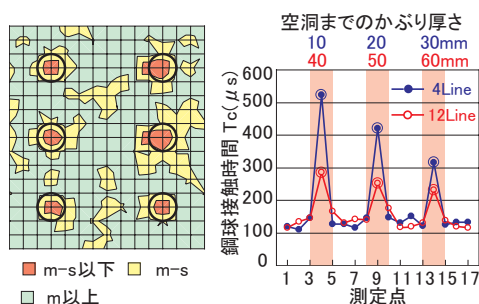


図 5: 鋼球接触時間等高線図

インパルスハンマーで測定して求めた機械インピーダンス Z_R は、ハンマーが衝突して離れるまでの単発的な情報である。一方、加速度計ではコンクリート内部に伝播した弾性波が多数回往復する状況を捕らえること、インパルスハンマーの加速度計は打撃力に耐えるために

低感度であるが、弾性波をとらえる加速度計は高感度であるので、空洞の検出には機械インピーダンス Z_R より有利と考えられる。

鋼球接触時間は、打撃波形の第 1 周期の時間をインパクトがコンクリートと接触していると見なしたものである。理論的には、加速度波形を 2 回積分すると、打撃応答波形に近似した形になる。鋼球接触時間は、かぶり厚さ 1cm から 6cm までの空洞ときわめてよく適合している。空洞の探索性能では、機械インピーダンスよりも鋼球接触時間が優れている。

4.3 減衰時間と空洞

図-6 に、加速度計で測定した時間軸弾性波から、波形振幅が 1/10 に減衰する時間を求めて図示した。

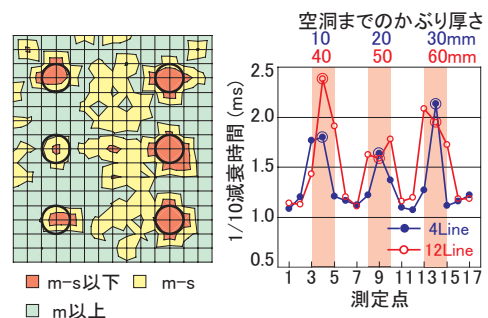


図 6: 減衰時間等高線図

減衰時間の最小範囲 16%と空洞はよく一致している。等高線図では、かぶり厚さ 2cm が対応が弱いと見えるが、左側の横断線図では空洞部分の減衰時間が長いことが明確である。これは、円形空洞がある部分は太鼓の膜が振動するように動くので減衰時間が長くなるためと推測される。

5. まとめ

かぶり厚さ 1, 2, 3, 4, 5, 6cm の空洞を設けたコンクリート板の機械インピーダンス、反発度、衝撃弾性波を測定して検討した結果をまとめると次のとおりである。

- (1) 後半機械インピーダンス Z_R の最下位 16% は、かぶり厚さ 10mm, 20mm, 40mm の空洞と対応しているので、かぶり厚さが薄い場合の剥離検出が可能と思われる。
- (2) 反発度 R は、予想と異なり空洞と全く対応しなかった。数 cm のかぶり厚さの下に空洞があっても反発度 R は小さくならない結果となった。
- (3) 加速度計で測定した弾性波波形の第 1 周期から求める鋼球接触時間は、かぶり厚さ 10mm - 60mm まで対応している。薄い板の場合、打撃力によるたわみ変形が忠実に測定されているためと推測される。
- (4) 波形振幅が 1/10 まで減衰する時間は、厚さ 10mm - 60mm の空洞部分ですべて長くなっている。空洞部分は太鼓の膜が振動するように動くので減衰時間が長くなるためと推測される。

参考文献

1. 極壇邦夫, 久保元樹, 境友昭, 久保元, 機械インピーダンスによる円柱供試体の圧縮強度の推定, 日本コンクリート工学協会, 第 26 回コンクリート年次論文集, 2004.6.