

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)	正会員	横山弘晃 (Hiroaki YOKOYAMA)
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)
東海大学大学院生	学生会員	久保元樹 (Genki KUBO)
アブライドリサーチ (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

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によって測定した。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な形となっている。かぶり厚さ2cmのときは打撃によってたわむので、横軸時間は健全125 μ secに対して、空洞では233 μ secと増加している。

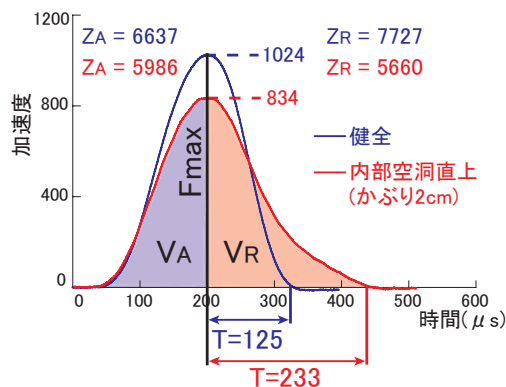


図 1: 打撃力波形と機械インピーダンス

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続けている時間であり、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、打撃力波形を最大値 F_{max} 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 F_{max} までの加速度の数値積分、 V_R は、 F_{max} 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 × 1600 × 200mmである。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メッシュを押し(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。

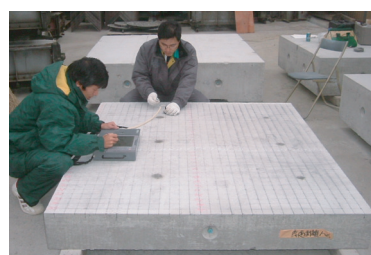


図 2: 供試体と測定風景

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 μ sec、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 μ sec、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 の等高線図を示す。

等高線図は、平均値 m と標準偏差 s を用いて最小帯 ($m-s$ 以下)、平均以下 ($m-s$)、平均以上 ($m+s$)、最大帯 ($m+s$ 以上) と4分割した。 Z_R 最小帯は、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ので、後半機械インピーダンス Z_R の最小帯(最下位16%)を赤色で示すと、かぶり厚さ10、20、40mmの空洞に対応した。右の図は空洞中心線の機械インピーダンス Z_R であ

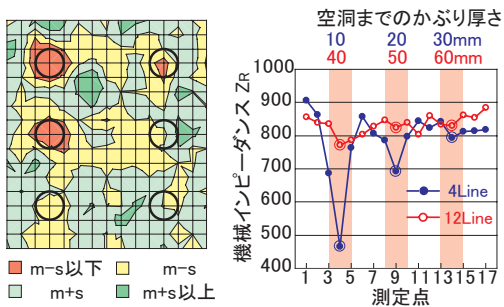


図 3: 機械インピーダンス Z_R 等高線図

る。空洞と対応して Z_R が小さくなっている様子が示されている。厚さが数 cm の下に空洞がある状態は剥離、浮きと類似している。従って、 Z_R は剥離、浮きの測定が可能であると推測される。

図-4 にシュミットハンマー反発度 R の等高線図を示す。

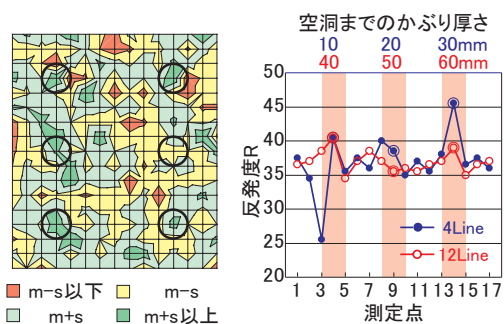


図 4: シュミットハンマー反発度 R 等高線図

反発度 R の最小帯 (赤色) は、空洞と関係なく全体にバラバラに分布している。かぶり厚さ 1cm の近くで R 値が小さくなっているが空洞中心とは一致していない。他の空洞では、反発度 R は空洞と一致していない。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。

これまで、シュミットハンマーは構造部材全体の強度を示すと考えていたが、今回の模型実験によると、表層の強度に依存する結果となり、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。これは、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。

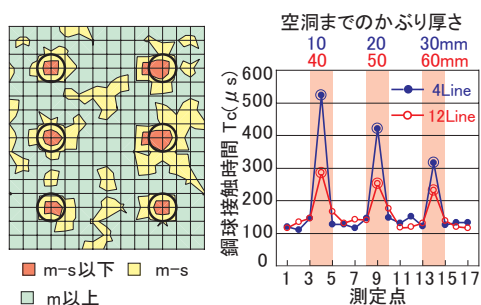


図 5: 鋼球接触時間等高線図

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ので内部の情報を反映すること、インパルスハンマーの加速度計は、耐打撃力のため低感度であるが、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 周期の時間を鋼球がコンクリートと接触していると見なしたものである。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。空洞探査では、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。

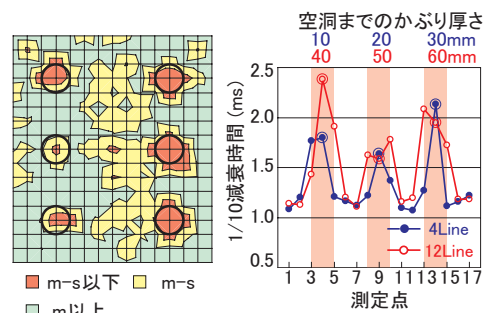


図 6: 減衰時間等高線図

減衰時間の最小帯 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 の最小帯 16% は、かぶり厚さ 10mm, 20mm, 40mm の空洞と対応しているので、薄い厚さ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の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.