

機械インピーダンスおよび衝撃弾性波による 実物大模型擁壁の健全性試験

Integrity test of a full size model of retaining wall by mechanical impedance and
impact echo method

○久保 元樹 東海大学大学院 森濱 和正 独立行政法人土木研究所
Genki Kubo Tokai University Kazumasa Morihama Public Works Research Institute
境 友昭 アプライドリサーチ(株) 極檀 邦夫 iTECS 技術協会
Tomoaki Sakai Applied Research Kunio Gokudan iTECS association

概 要

実物大模型擁壁を供試体として、インパルスハンマーの打撃応答波形から機械インピーダンスを算出し、コンクリート表面の強度分布を求め、打設深さによるコンクリート強度増加の影響を調べた。さらに、実際の圧縮強度との相関関係も確認した。内部空洞の検出では、加速時計で測定される加速度波形を数値積分して得られる速度波形から算出した鋼球接触時間や、インパルスハンマーの打撃応答波形から得られる機械インピーダンス、ハンマー接触時間から検出が可能か検討した。

キーワード：衝撃弾性波，機械インピーダンス，鋼球接触時間，強度分布

1. まえがき

コンクリートは今までメンテナンスフリーであると考えられてきた。しかし、度重なるコンクリートの剥落事故などを期に、コンクリート構造物のメンテナンスに対する要請が高まってきた。適切なメンテナンスを施すためには、適切な健康診断が必要である。

本研究では、実物大模型擁壁を対象として、加速度計の速度波形から算出される鋼球接触時間や、インパルスハンマーのハンマー接触時間、機械インピーダンスを用いて、擁壁底板の内部空洞探査を行うこと、さらに壁面をインパルスハンマーで多数点測定し、コンクリートの強度分布を求め、実際の圧縮強度との関係を得ることなどを目的とした。

2. 実験の概要

2.1 L型供試体

実験に用いた供試体を写真-1に示す。鉛直壁の断面寸法は上端 280mm，下端 650mm，高さ 1800mm である。底板断面は壁側の厚さが 300mm，反対側の厚さが 150mm で長さが 1000mm，である。製作条件は壁面が普通ポルトランドセメント，水セメント比 38.0%，粗骨材最大寸法 25mm である。底板は高炉セメント，水セメント比 45.5%，粗骨材最大寸法 40mm である。底板には内部欠陥を模擬して、発泡スチロールとポーラスコンクリートを a～h の位置に 8 箇所埋設した。かぶり厚さなどは写真-2に記載した。

測定は底板と壁面の 2 箇所とし、底板は縦 10cm，横 5cm のメッシュを記し，9 行 49 列の 441 点，壁面は 10cm の正方形メッシュを記し，17 行 25 列の 425 点を測定した。

2.2 測定方法

測定は鋼球打撃により弾性波を加速度計で測定するものと，インパルスハンマーにより打撃応答波形を測定するものの 2 種類である。弾性波の測定は，メッシュ交点を挟み

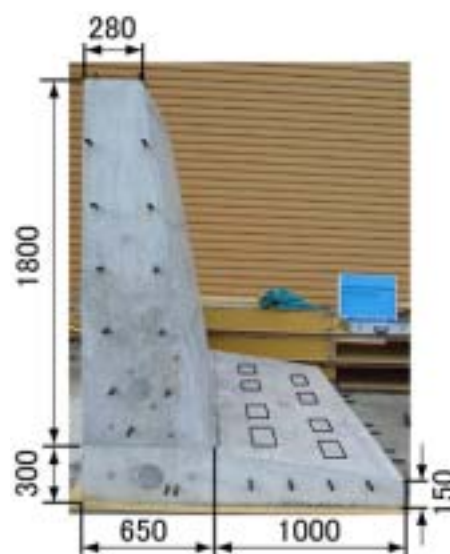


写真-1 L型擁壁概要

鋼球と加速度計を対称に設置して行った。加速度計には PCB352C66（共振周波数 35kHz）で鋼球は直径 20mm のものを使用した。測定装置は 2ch 同時測定，サンプリングクロック $2\mu\text{s}$ ，サンプリングデータ数 5000 個である。インパルスハンマーはヘッド重量 190g のものを用いて打撃応答波形を直接計測した。



写真-2 底板の空洞位置とかぶり厚さ

3. 測定結果および考察

3.1 底板の内部空洞探査

図-1 に加速度波形を数値積分した速度波形と，インパルスハンマーによる打撃応答波形を示す。測定ラインの A-A および B-B は，写真-2 に記載した。

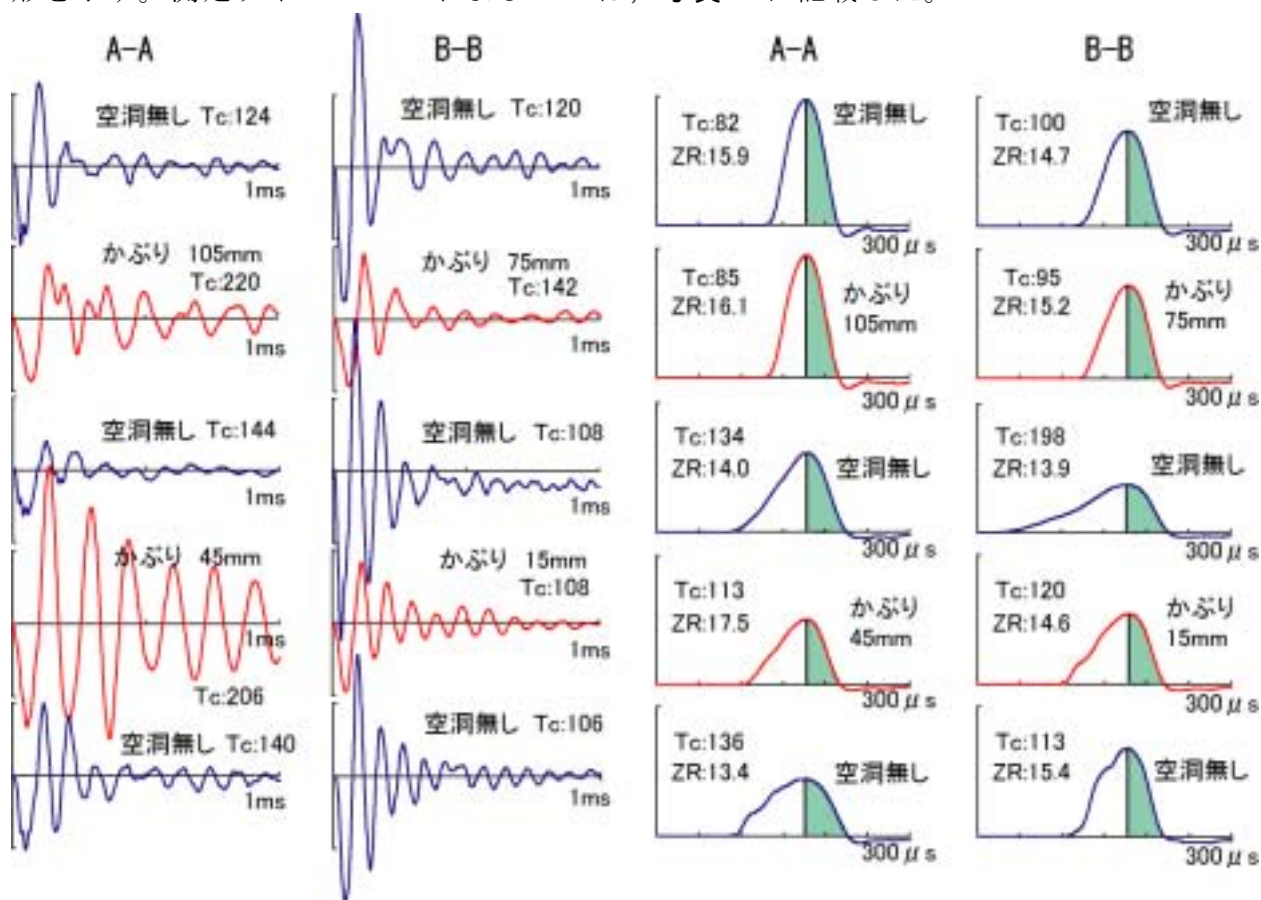


図-1 空洞部の速度波形と打撃応答波形

今回，底板の内部空洞探査は加速度計の鋼球接触時間（Time of contact : T_c 単位 μs ）と，インパルスハンマーのハンマー接触時間，後半の機械インピーダンスZRに着目した。

加速度計の鋼球接触時間は，加速度波形を数値積分して速度波形を求め，その第一周期目にかかる時間を鋼球接触時間とした。インパルスハンマーの打撃応答波形では，山形の波形の始点から終点までの時間を鋼球接触時間とし，後半の機械インピーダンスは，打撃応答波形のピークをピークから終点までの面積で除して求めた。

3.1.1 加速度計による測定結果

発泡スチロール埋設部のほぼ中心線を通る A-A の波形では，鋼球接触時間が空洞のない部分は約 $140\mu\text{s}$ に対し，かぶり 105mm と 45mm ではそれぞれ $220\mu\text{s}$ ， $206\mu\text{s}$ と長くなっている。さらに，周期も空洞のない部分に比べ長くなっている。かぶり 45mm につ

いては、振幅も他に比べ非常に大きくなっている。これは、空洞部分がたわみ振動を起こしているためと考えられる。

ポーラスコンクリート埋設部の B-B ではかぶり 75mm で鋼球接触時間が $142\mu s$ と長くなっているが、かぶり 15mm では空洞がない部分との差異は認められなかった。周期や振幅も空洞のない部分との大きな違いは見られなかった。

図-2 に空洞と鋼球接触時間分布図を示す。平均値を m 、標準偏差を s とし、 m と $m+s$ が $135-169\mu s$ 、 $m+s$ 以上が $169\mu s$ 以上である。図を見ると、発泡スチロール埋設部では、かぶりが 125mm と最も深い箇所を除いて接触時間が $m+s$ 以上を示し、発泡スチロール埋設位置とよく一致する。しかし、ポーラスコンクリート埋設部では鋼球接触

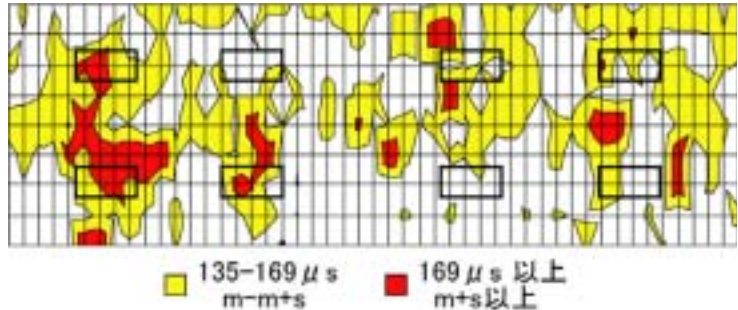


図-2 空洞と鋼球接触時間分布図

時間の変化は見られなく、検出は困難である。ポーラスコンクリートの場合は、発泡スチロールの場合と違い、完全な空洞ではなく、骨材が連続して柱のようにコンクリートを支持するため空洞のない部分との相違は微小と考えられ、解析の方法を今後検討する必要がある。

3.1.2 インパルスハンマーによる測定結果

写真-2 に示す C-C ライン上をインパルスハンマーで測定した結果を図-3 と図-4 に示す。図-3 は機械インピーダンス ZR の変化を、図-4 はインパルスハンマーの打撃応答波形から求めたハンマー接触時間の変化を示している。図中の赤い帯状の箇所は設置された欠陥の位置を示している。ZR の変化を見ると、測定点と欠陥位置に多少のずれがあるものの、発泡スチロール埋設位置と ZR の低下している箇所はよく一致していることがわかる。ポーラスコンクリート埋設位置でも ZR は低下している。しかし、微少な低下でありコンクリート自体のバラツキなのか、欠陥による低下なのか判断は難しい。ハンマー接触時間の変化でも、発泡スチロール埋設位置ではハンマー接触時間が長くなっている。しかし、ZR と同様にポーラスコンクリート埋設位置ではハンマー接触時間は長くなっているものの、明瞭な変化ではなく、欠陥位置の特定は難しいと考えられる。

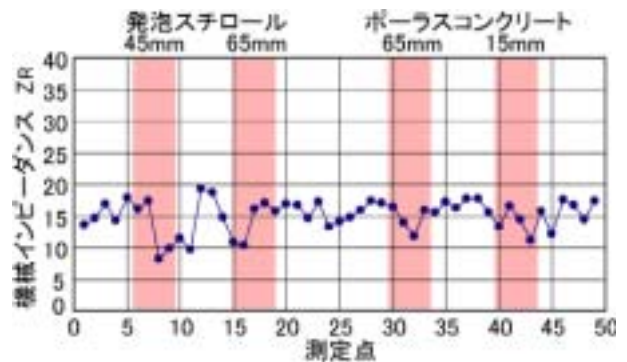


図-3 機械インピーダンスの変化

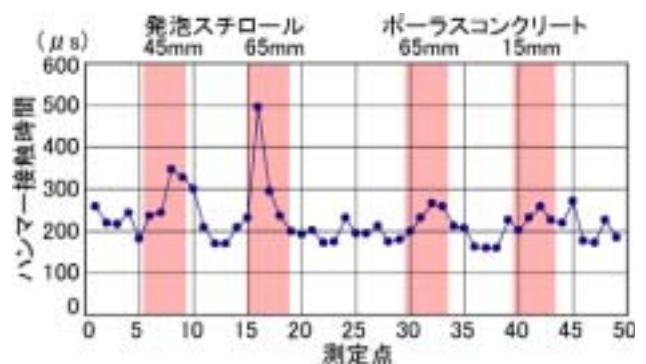


図-4 ハンマー接触時間の変化

3.2 壁面の機械インピーダンス ZR 分布

図-5-a に壁面の ZR 分布図を示す。ZR の平均値 m と標準偏差 s を計算し、4 分割した。 $m+s$ 以上が青、 $m+s\sim m$ までが緑、 $m\sim m-s$ が黄、 $m-s$ 以下を赤とした。壁上部では ZR が低い赤や黄色が集中し、下部には ZR が大きい緑や青色が集中している。壁のようにコンクリートを上部から打設された部材は高さ方向で強度が異なり、一般に下部の方が強度は強くなると言われている。そこで、高さ方向の各行の平均値を求め、図-5-b に示

した。全体の傾向として ZR は下部に向かって増加している。

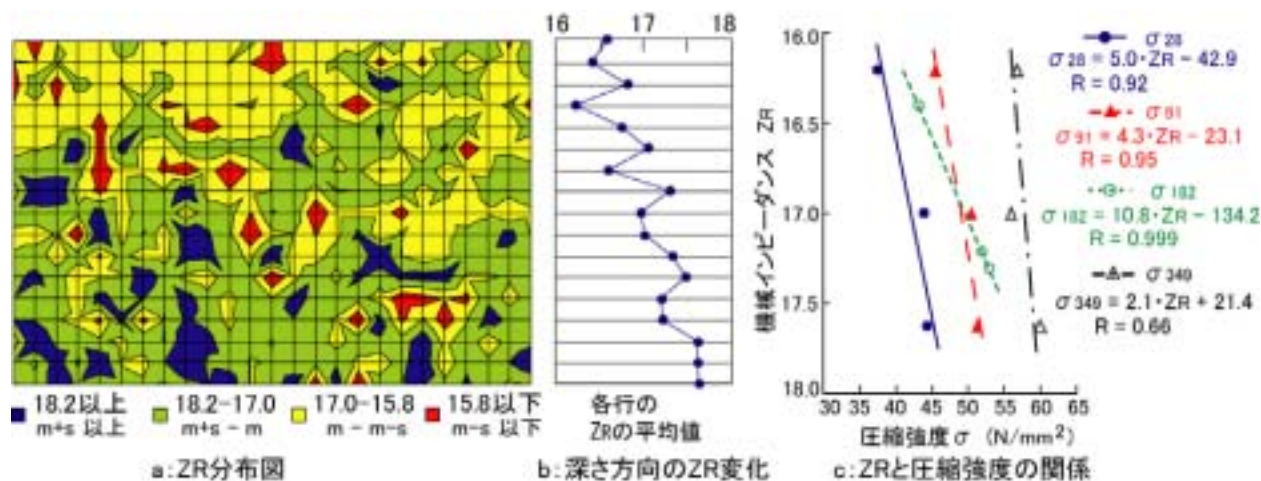


図-5 機械インピーダンス分布と圧縮強度の関係

ZR と実際の圧縮強度¹⁾との相関関係を図-5-Cに示した。ボス供試体は壁面の上部、中央部、下部から採取されており、材齢は 28, 91, 182, 349 日の 4 種類である。ボス供試体採取位置と、同位置にあたる行の ZR の平均値との相関関係を求めた。圧縮強度と ZR の相関係数は材齢 349 日を除き、 $R=0.90$ 以上と良好な相関関係が得られた。インパルスハンマーでコンクリート構造物を全体的に測定することにより、その構造物の強度分布を求められることがわかった。

3.3 壁面の MEM による厚さ測定

図-6 に壁面の厚さ測定結果を示す。図は壁面上部の 1 ラインの測定結果である。今回使用した L 型擁壁の壁面は中央部に膨らみを持たせて施工されている。壁面最上部の寸法は、両端部が 285mm, 中央部が 325mm である。周波数解析結果では、実寸と同様に、両端部で 285mm, 中央に向かい円弧状に厚さが徐々に増加していき、中央部で 325mm となり、精度よく構造物の厚さ測定できることがわかった。

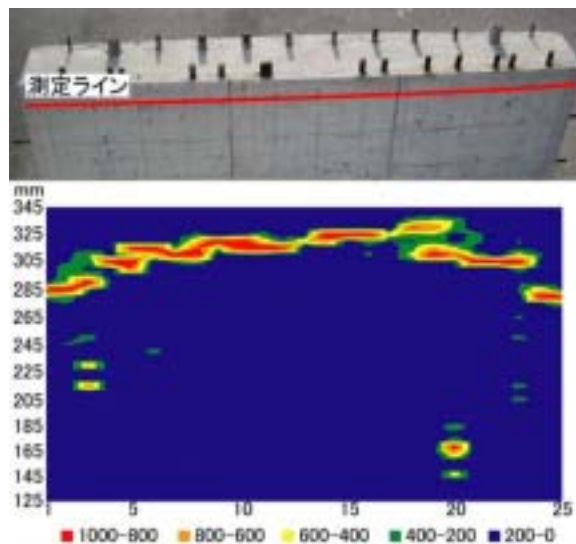


図-6 MEM による厚さ測定結果

4. まとめ

本研究をまとめると次の通りである。

- (1) 内部空洞の探査では、加速時計の速度波形から鋼球接触時間を算出する方が、インパルスハンマーのハンマー接触時間や、機械インピーダンスよりも精度が高いことがわかった。インパルスハンマーを用いる方法では、かぶりが 65mm までの発泡スチロールを検出することができた。しかし、ポーラスコンクリートは今回行った方法では検出は難しく、解析方法を検討する必要がある。
- (2) インパルスハンマーで多数点を空間的に測定し、その分布をコンター表示することによって強度の弱い部分や強い部分の検出が可能であることがわかった。実際の圧縮強度と機械インピーダンスの相関係数は 0.90 以上となり良好な相関関係を得ることができた。

参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所発行、非破壊・局部破壊試験によるコンクリート構造物の品質検査に関する共同研究報告書(1) 2004,3