

## 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 機械インピーダンス その2 機械インピーダンス法による圧縮強度推定及び 表面剥離探査に関する検討

Study on Inspection Method of Concrete Structures Using Non-Destructive Tests  
Mechanical Impedance Part2 Deliberation of Compression Strength and Surface Exfoliation  
Inquiry by The Mechanical Impedance Measurement

○實藤 大夫 リック(株) 森濱 和正 独立行政法人土木研究所  
Haruo Sanefuji RIK Kazumasa Morihama Public Works Research Institute  
境 友昭 アプライドリサーチ(株) 極壇 邦夫 iTECS 技術協会  
Tomoaki Sakai Applied Research Kunio Gokudan iTECS Association  
岩野 聡史 リック(株)  
Satoshi Iwano RIK

### 概 要

機械インピーダンス法は簡易な圧縮強度推定方法として提案されている。今回の実験では、機械インピーダンス法による圧縮強度の推定手順や、既設構造物での適用方法を検討することを目的とした。実構造物での実験を行った結果、精度向上に必要な比例係数を封緘養生の円柱供試体と載荷法による測定結果から求めた場合に新設構造物での圧縮強度の推定精度が最も高くなることが確認された。また、載荷状態と無載荷状態でバネ係数度に変化することを考慮した場合、実構造物での剥離状態と密着状態の相対評価が可能であることを確認した。

キーワード：機械インピーダンス法、圧縮強度、剥離探査

### 1. まえがき

機械インピーダンス法はハンマー打撃によりコンクリートのバネ係数度を測定し、バネ係数度と比例関係にある圧縮強度を推定する方法である。昨年度までの実験により、バネ係数度と圧縮強度の比例係数はコンクリートの配合によって異なることから、本法での推定精度の向上には、配合毎に円柱供試体で両者の比例係数を求めることが有効であると確認されている。しかし、両者の比例係数は円柱供試体の養生方法およびバネ係数度の測定方法の相違により変化することも確認されており、本法による測定手順を確立するには、適切な比例係数を求める方法を確認する必要があると考えられる。そこで、新設構造物 V、W により、養生方法、測定方法が異なる条件で比例係数を求め、構造体コンクリートでの圧縮強度の推定精度を比較した。また、既設構造物 Z における表面剥離探査の結果も含めて報告する。

### 2. 新設構造物での圧縮強度推定実験

#### 2.1 実験概要

バネ係数度  $K$  はハンマー打撃により図 1 に示す測定波形を得て、式(1)により求める。ここで、 $M$  はハンマー質量(g)、 $A_{max}$  は加速度の最大値、 $V_{max}$  は加速度波形の後半部分での積分値の最大値である。また、既往の研究結果<sup>1)</sup>より、バネ係数度  $K$  は圧縮強度  $f_c$  と式(2)に示す比例関係にあることが確認されている。よって、比例係数  $a$  を求めることにより、圧縮強度の推定が可能となる。

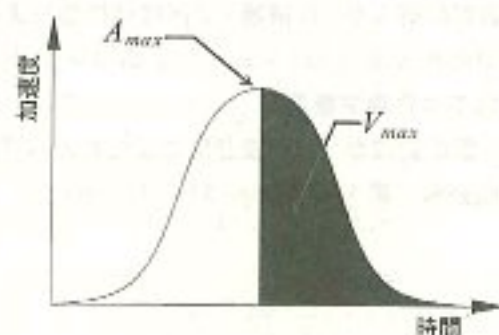


図 1 測定波形模式図

$$K = \frac{0.5}{M} \cdot \frac{A_{max}^3}{V_{max}^{1.6}} \quad (1)$$

$$f_c = aK \quad (a: \text{比例係数}) \quad (2)$$

式(2)の比例係数  $a$  はコンクリートの配合によって変化することから、測定対象構造物と同一配合の円柱供試体より、材齢を変化させてバネ係数度と圧縮強度を測定し、最小二乗法による両者の関係式から求める。今回の実験では、新設構造物 V, W を対象とした。表 1 に構造物の概要を示す。比例係数  $a$  の求め方については、養生方法を気乾養生とした場合には、相関関係が良好でないという結果が出ていることから、水中養生、封緘養生の 2 種類とした。また、円柱供試体におけるバネ係数度の測定方法は、載荷した状態で側面からの測定方法（写真 1、以下、載荷法と呼ぶ）、無載荷状態での上面からの測定方法（写真 2、以下、無載荷法と呼ぶ）の 2 種類とし、各条件で比例係数  $a$  を求めた。各条件での比例係数  $a$  から構造体コンクリートでの圧縮強度を推定し、コア採取による試験結果との誤差を比較して、適切な比例係数  $a$  の求め方を検討した。

表 1 実験対象構造物概要

構造物名称	工種	測定部材	配合
V	ボックスカルバート	頂版, 側壁, 底版	24-8-25BB
W			

## 2. 2 実験結果

### (1) 測定方法の相違による測定結果比較

載荷法と無載荷法の測定結果の比較を図 2 に示す。載荷法と無載荷法による測定値が異なる結果となり、無載荷法で測定した値よりも載荷法で測定した値の方が下回る傾向が見られた。しかし、既往の研究<sup>1)</sup>では無載荷法で測定した値よりも載荷法で測定した値の方が上回る逆の傾向であった。原因は明確ではないが、載荷法と無載荷法での測定値が変化することは明らかとなった。

### (2) 圧縮強度推定結果

構造体コンクリートでバネ係数度を測定し、求めた各条件での比例係数  $a$  から、式(2)により圧縮強度を推定した。標準コア、小径コア採取による試験結果との比較を図 3、表 2 に示す。ここで、コア採取による試験結果との比較では材齢が異なる場合があり、(社)土木学会で提案されている材齢変化による予測式<sup>2)</sup>により補正した。さらに、小径コアによる圧縮試験結果には寸法効果による補正係数 0.87 を乗じている。比較結果より、比例係数  $a$  を封緘養生の円柱供試体で、載荷法による測定結果から求めた場合に最も推定精度が高くなることが確認される。この場合での推定誤差の平均値は標準コアの採取による圧縮試験結果とは 11.3%, 15.4%, 小径コアによる圧縮試験結果とは 12.5%, 16.0% である。



写真 1 載荷法での測定例



写真 2 無載荷法での測定例

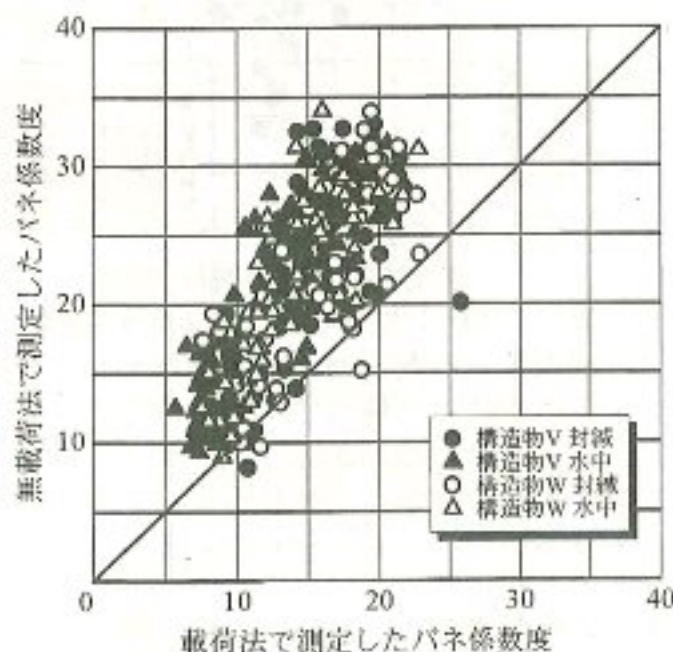


図2 載荷法と無載荷法による測定結果

表2 各条件における構造体コンクリートでの強度推定誤差平均値(%)

構造物名称	測定方法	封緘養生		水中養生	
		小径コア	標準コア	小径コア	標準コア
V	無載荷法	25.8	26.4	20.2	20.9
	載荷法	12.5	11.3	28.5	27.4
W	無載荷法	25.9	25.4	19.5	17.9
	載荷法	16.0	15.4	30.7	30.6

## 3. 既設構造物での表面探査実験

## 3.1 実験概要

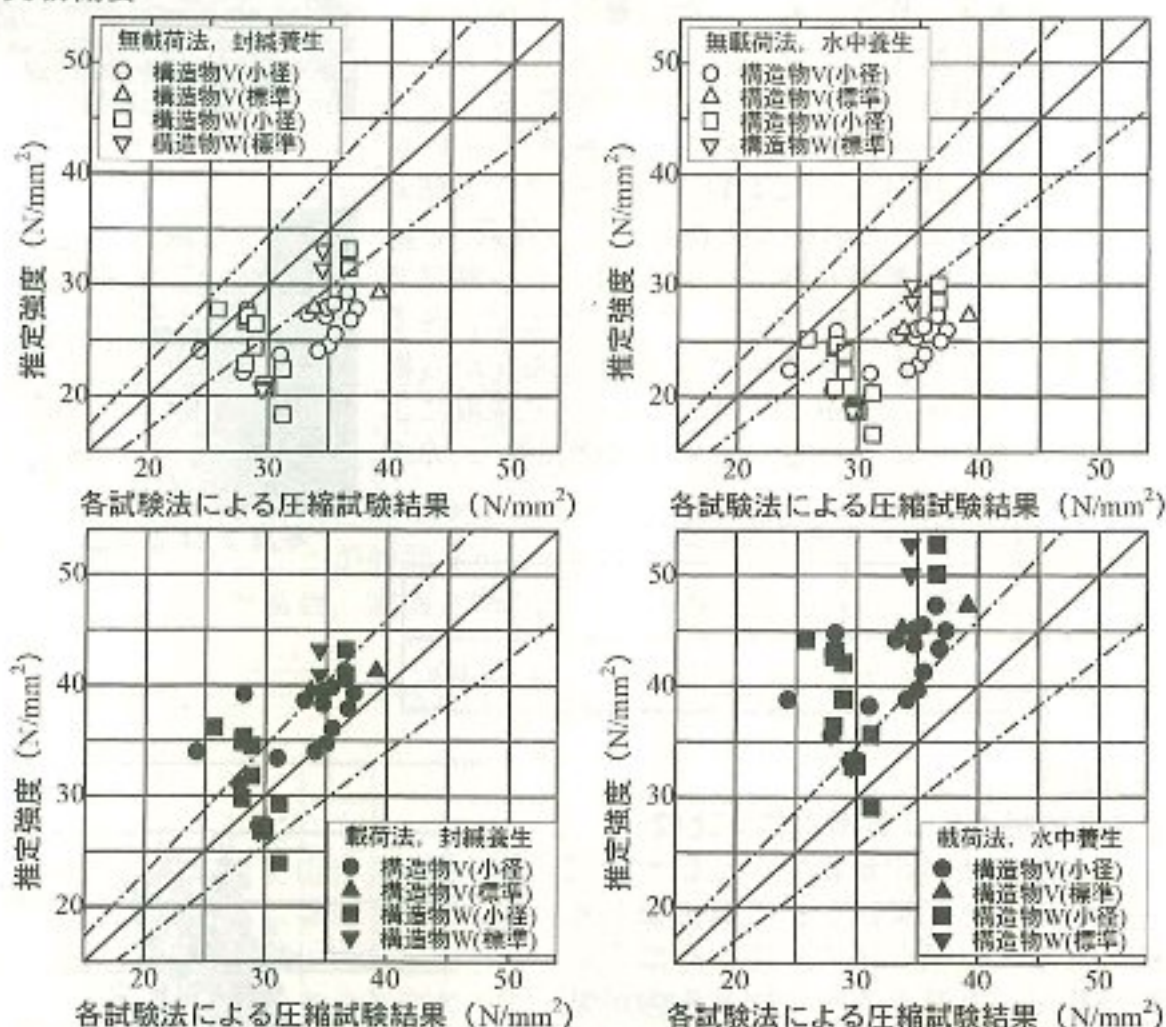


図3 機械インピーダンス法による推定結果と圧縮試験結果との比較(一点鎖線:誤差±15%)

打音法による表面剥離探査を客観的に判定し、かつ、記録する方法として、機械インピーダンス法により探査することを検討した。今回の実験では、前述の載荷法、無載荷法による測定結果の相違から、コンクリート表面が剥離している場合と拘束されている場合においても同様な変化が生じることを考え、30年以上経過した洞道を対象として機械インピーダンス法による剥離探査を試みた。実験対象構造物の洞道については、剥落や鉄筋の露出等の老朽化が進んでいた。(写真3)

## 3.2 測定方法

老朽化した洞道の頂版部において打音法により剥離有無の探査を行い、その周辺に機械インピーダンス法による探査範囲を設定した。選定範囲は、打音法で剥離検知したところを含めて、縦方向70×200mm、横方向140×100mmの全98測定点で



写真3 構造物劣化状況



写真4 剥離探査状況

実験を行った。

### 3. 3 測定結果

表 3、図 4 より、打音法により剥離が確認された測定点では、他の範囲と比較して、バネ係数度の測定値が低くなる傾向が確認された。この結果より、剥離部は拘束状態が低下していることから、載荷法、無載荷法と同様に測定された値に変化が生じたものと考えられる。以上から、機械インピーダンス法により、剥離探査は可能であると考えられる。

### 4. まとめ

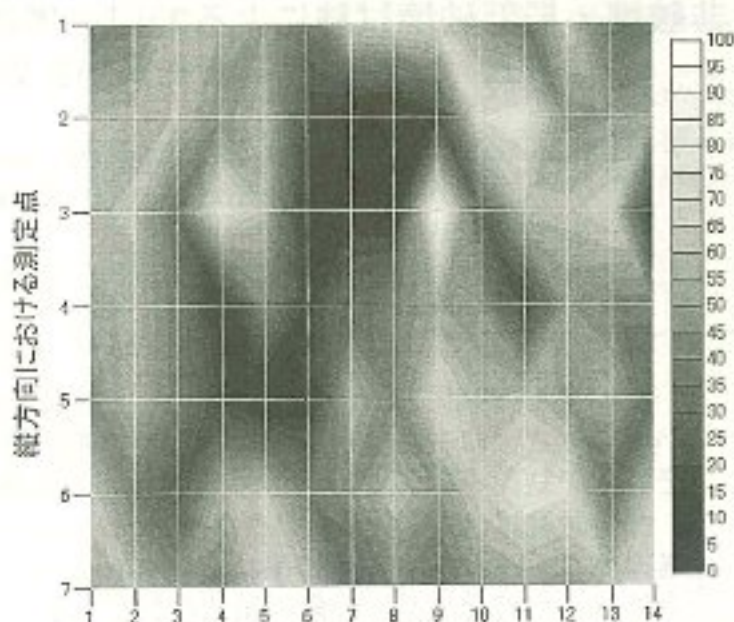
本実験では、機械インピーダンス法による圧縮強度推定及び表面剥離探査に関する検討を行った。その結果を以下に示す。

①機械インピーダンス法による圧縮強度推定において、比例係数を求める方法としては、封緘養生の円柱供試体で、載荷法による方法が最も構造体コンクリートでの強度推定精度が高くなることが確認された。

②機械インピーダンス法による剥離探査について、剥離部と健全部では、測定されるバネ係数度が、円柱供試体における載荷法、無載荷法と同様に変化することから、相対評価が可能であることが確認された。これから、コンクリート表面の剥離探査を客観的に、かつ、記録する方法として、機械インピーダンス法が適用できる可能性が示された。

参考文献：1)岩野聡史他：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 機械インピーダンス その 1 機械インピーダンス法による新設コンクリート構造物での圧縮強度推定方法の検討、日本非破壊検査協会 平成 19 年度秋季大会 講演概要集、pp.111-114、2007.10

2)(社)土木学会、2002 年制定 コンクリート標準示方書[施工編]pp.52、2002.3



横方向における測定点

図 4 剥離探査結果

表 3 バネ係数度測定結果

1	33.0	38.2	59.8	55.3	48.9	31.0	66.3	70.2	71.1	47.5	35.3	63.4	32.0	36.8
2	55.6	57.7	80.4	45.3	60.2	15.2	5.8	1.0	17.0	74.5	80.5	47.1	49.1	50.4
3	58.9	61.2	32.6	80.5	61.5	2.2	13.8	10.5	94.3	29.8	64.1	62.3	71.2	4.9
4	50.9	57.4	40.9	8.0	45.6	17.6	36.1	43.7	55.7	49.6	17.9	50.7	42.7	41.9
5	41.7	60.0	40.2	17.6	5.3	7.4	60.5	43.7	74.8	59.3	63.0	52.8	56.5	31.6
6	63.7	39.1	26.0	59.4	66.1	40.9	47.4	66.0	48.7	68.6	81.4	76.5	33.6	66.9
7	54.1	61.1	47.0	40.3	71.6	64.2	30.3	45.5	35.9	51.5	55.7	50.4	61.5	76.0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

縦方向における測定点

横方向における測定点

↑打音法による剥離検知範囲