

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

Study on Inspection Method of Concrete Structures Using Non-Destructive Tests
Mechanical Impedance Part1 Deliberation of Methodology for Estimation of Compression
Strength of Newly-Constructed Reinforced Concrete Structures by The Mechanical
Impedance Measurement

○岩野 聡史 リック備 森濱 和正 独立行政法人土木研究所
Satoshi Iwano RIK Kazumasa Morihama Public Works Research Institute
境 友昭 アプライドリサーチ備 極権 邦夫 ITECS 技術協会
Tomoaki Sakai Applied Research Kunio Gokudan ITECS Association

概 要

圧縮強度の簡易な推定方法として提案されている機械インピーダンス法について、新設コンクリート構造物で圧縮強度を推定する方法や、その他での適用方法を検討することを目的として、実構造物での実験を行った。その結果、本法により測定されるバネ係数度と圧縮強度はコンクリートの詳細条件によって異なる直線比例関係を示すことから、圧縮強度を精度良く推定するには、測定対象と近い条件の円柱供試体によりバネ係数度と圧縮強度の比例関係を求めることが有効である。また、コンクリートの相対評価への適用であれば、この補正は不要であり、バネ係数度から評価が可能である。

キーワード：機械インピーダンス法、圧縮強度

1. まえがき

圧縮強度の簡易な推定方法として、ハンマー打撃によりコンクリートの機械インピーダンスを測定する方法が提案されている¹⁾。この方法により、新設コンクリート構造物で圧縮強度を推定する方法や、その他での適用方法を検討することを目的として、実構造物での実験を行った。その結果について報告する。

2. 実験目的

実験を実施した構造物、実験内容を表1に示す。今回の実験目的を以下に示す。

(1) 円柱供試体での測定による圧縮試験結果との比較

機械インピーダンス法はコンクリート表面の弾性率と比例関係にある数値を測定し、圧縮強度を推定する方法である。ここで、コンクリートの弾性率と圧縮強度の関係はコンクリートの配合によって変化する性質があることがこれまで多く報告されている²⁾。これから、圧縮強度を推定するには、配合毎に測定値と圧縮強度の関係を調査することが必要になると考えた。また、養生方法による両者の関係の変化についても確認する必要があると考えた。そこで、封緘・水中・乾燥養生で、機械インピーダンス法での測定値と圧縮試験結果とを比較した。

表1 実験を実施した構造物、実験内容

構造物 名称	工種	測定部材	コンクリート種類		実験内容
			セメント種類	呼び強度	
R	上部工	主桁	早強ポルトランドセメント	36	円柱供試体での関係調査
S	下部工	フーチング	高炉セメントB種	27	円柱供試体での関係調査 構造体コンクリートでの強度推定
		柱	高炉セメントB種	30	円柱供試体での関係調査

(2) 測定方法の相違による影響について

過去の機械インピーダンス法での円柱供試体の測定では、写真1に示すように、供試体表面をハンマーで打撃する方法が多く採用されていた。しかし、リバウンドハンマーで同様の測定を実施する場合には、載荷した側面で測定するのが一般的な方法である。これから、一部円柱供試体での測定方法をこの2通りとして、両測定結果を比較した。

(3) 実構造物での圧縮強度推定精度の確認

構造物 S フーチングにおいて機械インピーダンス法による圧縮強度推定結果と小径コアによる圧縮試験結果とを比較し、推定精度を確認した。

3. 測定原理

機械インピーダンス法ではハンマー打撃により、図1に示す測定波形を得て、コンクリート表面のバネ係数 K を式(1)により求める。このバネ係数度を圧縮強度として、推定するものである。

$$K = \frac{C}{M} \cdot \frac{A_{max}^3}{V_{max}^{3.6}} \quad (1)$$

ここで、 C はコンクリートの種類によって異なる比例定数であり 0.5 が推奨されている。 M はハンマー質量(g)で、今回の実験では 190 である。 A_{max} は加速度の最大値、 V_{max} は加速度波形の後半部分を積分して求める速度波形の最大値である。

本法では測定波形の後半部分を用いるが、これは、測定波形の前半部分はハンマーがコンクリートを押す時間帯、後半部分はコンクリートがハンマーを押し戻す時間帯を示し、前半部分はコンクリート表面の劣化等の状況に影響されるのに対し、後半部分はコンクリート本来のバネ係数、圧縮強度を反映する性質があることを考慮したものである。

4. 実験結果

4.1 円柱供試体によるバネ係数度と圧縮強度の関係調査結果

各部材でのバネ係数度 K と圧縮試験結果との比較を図2に示す。図2より、バネ係数度は実際の圧縮強度とは異なるが、両者の直線比例関係が確認された。これは、機械インピーダンス法では式(1)により求めたバネ係数度 K を圧縮強度とするが、コンクリートの配合によって異なる定数である式(1)の比例定数 C は、推奨値である 0.5 と設定した。

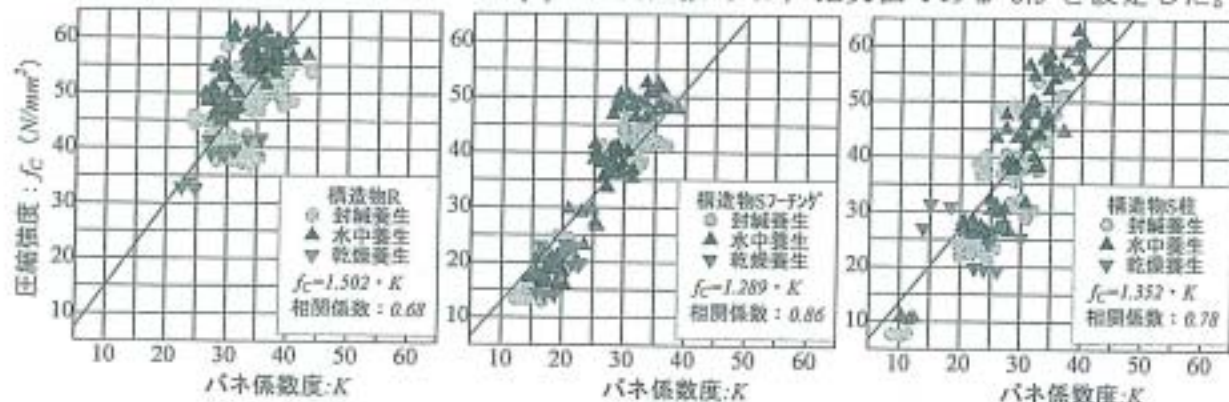


図2 機械インピーダンス法によるバネ係数度と圧縮試験結果との比較



写真1 機械インピーダンス法測定例

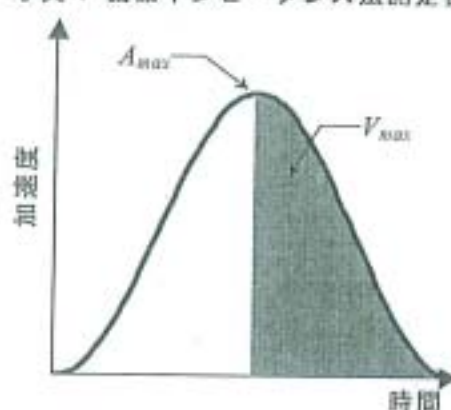


図1 機械インピーダンス測定による測定波形模式図

この結果、比例定数 C が実際のコンクリートと異なることから、バネ係数度は実際の圧縮強度と一致しないものの、両者の直線比例関係は保持され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、圧縮強度を精度良く推定するには、配合毎に比例定数 C を補正することが必要になると考えられる。そこで、各配合でのバネ係数度 K と圧縮強度 f_c との式(2)に示す関係式を、最小二乗法により求めた。

$$f_c = aK \quad (a: \text{補正係数}) \quad (2)$$

各配合で求めた関係式を図2、表2に示すと、構造物Rでの相関係数は0.75以下であるが、その他では0.86、0.78となった。また、各養生方法での測定結果を比較すると、特に養生方法によって直線比例関係は変化していないことが確認される。

4.2 測定方法の相違による測定結果の比較

4.1節での測定結果は写真1に示すとおり、コンクリート表面の打撃によるものである。これに対し、一部の円柱供試体では20kNの荷重により、供試体の側面から測定した(写真2)。両測定方法での測定結果の比較を図3に示すと、表面での測定結果は、荷重状態より小さくなる傾向が確認される。また、両者の差は配合、養生方法によって異なる傾向も確認される。表面での測定と荷重状態での測定のどちらが適切な結果であるのかを検討するため、荷重状態でのバネ係数度 K と圧縮試験結果とを比較した(図4)。図4と表面での測定結果である図2を比較すると、以下の傾向が確認される。

①養生方法による違い

表面での測定では、バネ係数度と圧縮強度との直線比例関係は、養生方法に影響されない結果であるが、荷重状態では養生方法によって異なる結果となった。同じ圧縮強度に対して、バネ係数度は水中養生、封緘養生、乾燥養生の順に大きくなる結果である。

②各配合、各養生方法での相関関係

荷重状態で測定した各配合、各養生方法でバネ係数度 K と圧縮強度 f_c との式(2)に示す関係式を、最小二乗法により求めた。その結果を図4、表3に示す。表2と比較すると、

構造物名称	a	相関係数
R	1.502	0.68
S7-700*	1.289	0.86
S柱	1.352	0.78



写真2 荷重状態での測定例

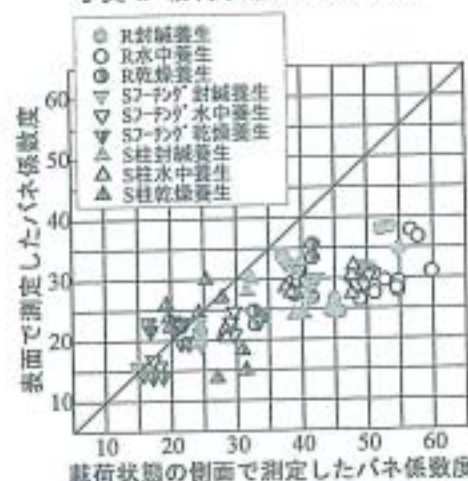


図3 測定方法の相違による測定結果比較

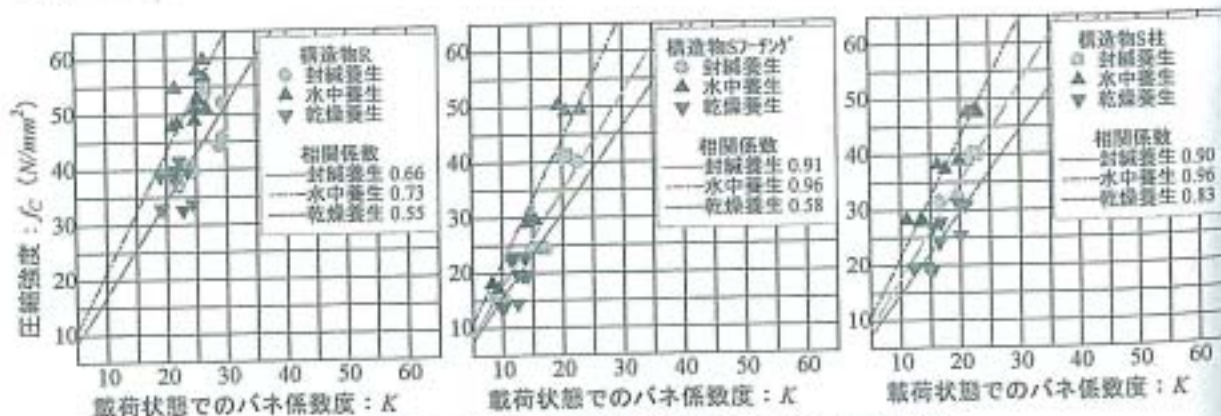


図4 荷重状態で測定したバネ係数度と圧縮試験結果との比較

表3 荷重状態で測定したバネ係数度と圧縮強度との関係式の係数

構造物名称	封緘養生		水中養生		乾燥養生	
	a	相関係数	a	相関係数	a	相関係数
R	1.714	0.66	2.168	0.73	1.725	0.55
S7-フーチング	1.748	0.91	2.219	0.96	1.553	0.58
S柱	1.761	0.90	2.155	0.96	1.488	0.83

相関係数は構造物 R を除いて、荷重状態での測定で高くなった。相関係数は水中養生、封緘養生、乾燥養生の順に高くなり、乾燥養生では良い相関関係が確認されていない。

以上①、②から、荷重状態での測定はコンクリートの詳細条件に反映した結果であると考えられる。これから、円柱供試体によりバネ係数度と圧縮強度の関係を調査するには、この測定方法により、配合、養生方法別に関係式を求めることが有効であると考えられる。

4.3 構造体コンクリートでの圧縮強度推定結果

構造物 S のフーチングにおいて、バネ係数度を測定した（写真 3）。この結果から、式(2)に示す補正係数を、4.2 節、4.3 節で求めた以下①～③の方法により設定し、小径コアでの試験結果と比較した。この結果を図 5 に示す。

- ①円柱供試体での表面からの測定
- ②円柱供試体（水中養生）での荷重状態で測定
- ③円柱供試体（封緘養生）での荷重状態で測定

図 5 より、封緘養生での荷重状態での測定により補正係数を設定した場合には、小径コアとの誤差は概ね±15%となった。4.2 節に示したとおり、機械インピーダンス法により測定されるバネ係数度と圧縮強度はコンクリートの詳細条件によって異なる直線比例関係を示すが、測定対象の構造体コンクリートの養生条件は封緘養生に近く、また、拘束状態は荷重された状態に近いことから、封緘養生での荷重状態で補正係数を設定することにより、精度良く圧縮強度を推定できたものと考えられる。

5. まとめ

今回の実験により、機械インピーダンス法により測定されるバネ係数度と圧縮強度はコンクリートの詳細条件によって異なる直線比例関係を示すことが確認された。これから、本法により圧縮強度を精度良く推定するには、測定対象と近い条件の円柱供試体でバネ係数度を測定し、圧縮強度との比例関係を求め、比例定数を補正することが有効であると考えられる。具体的には、測定対象と同じ養生方法、配合の円柱供試体で、荷重した状態でバネ係数度を測定することが有効となる。また、バネ係数度は圧縮強度と比例関係にあると確認されたことから、経年変化による強度差の比較、同一部材内での強度差比較など、相対評価に適用するのであれば、円柱供試体による補正は不要であるといえる。しかし、構造物 R では、バネ係数度と圧縮強度との相関係数が低かったことから、セメントの種類などによる適用条件などについて、今後検討する必要がある。

参考文献：1) 久保元ほか：ハンマ打撃によるコンクリート強度の推定，（社）日本コンクリート工学協会 コンクリート工学 Vol.44, pp.41-44, 2006.5 2) 岩野聡史ほか：衝撃弾性波法を適用した新設コンクリート構造物での圧縮強度推定および内部欠陥探査に関する検討，日本非破壊検査協会 コンクリート構造物の非破壊検査への展開 論文集(Vol.2), pp.475-482, 2006.8



写真 3 構造物 S 測定状況

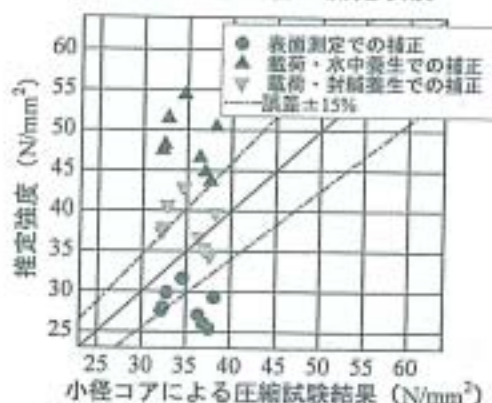


図 5 構造物 S フーチングでの強度推定結果と小径コアによる圧縮試験結果との比較