

## 衝撃弾性波法による既設構造物に適用可能な圧縮強度試験方法の検討

Study on the Applicable Method of Compressive Strength Test for Concretes of Established Structure by the Impact Elastic Wave Method

○岩野 聡史 リック(株) 實藤 大夫 リック(株) 坂本 良憲 リック(株)  
Satoshi Iwano RIK Haruo Sanefuji RIK Yoshinori Sakamoto RIK

### 概要

衝撃弾性波法による構造体コンクリートの圧縮強度試験では、弾性波速度と圧縮強度の関係から強度推定式を設定する。しかし、この関係は配合により変化することから、本試験では同一配合の円柱供試体を新規に多数作製することが必要とされていた。これに対して、既往の研究では、コア採取による圧縮強度試験を利用した強度推定式の設定方法が提案されている。そこで、この方法による推定精度の検証を行った。その結果、特異なコアによっては誤差が大きくなる場合もあるが、概ね  $3\text{N/mm}^2$  程度の誤差であること、推定精度の向上にはコアを3本程度採取し、強度推定式を設定することが有効であることが確認された。

キーワード：衝撃弾性波法、圧縮強度、弾性波速度、強度推定式、既設構造物

### 1. まえがき

筆者らは、衝撃弾性波法による構造体コンクリートでの圧縮強度の試験方法を提案している<sup>1)</sup>。この試験方法は、構造体コンクリートで弾性波速度を測定し、弾性波速度と圧縮強度との関係式（以下、強度推定式という）を用いて、圧縮強度を推定する方法である。しかしながら、弾性波速度と圧縮強度の相関関係はコンクリートの配合によって変化することから、この方法を適用するには同一配合の円柱供試体を多数作製し、両者の相関関係を調べ、強度推定式を設定することが必要となる。これから、既設構造物など同一配合の円柱供試体を作製することが困難な構造体コンクリートでは、これまでこの方法は適用されていない。これに対して既往の研究では、弾性波速度と圧縮強度との相関関係の特徴が明らかにされ、円柱供試体を多数作製することなく、数本のコア採取による圧縮強度試験結果を用いた強度推定式の設定方法が提案されている<sup>2)</sup>。そこで、今回の実験では、実構造物を模擬した試験体において、参考文献2)で提案されている強度推定式の設定方法による推定精度の検証を行ったのでその結果について報告する。

### 2. コア採取による圧縮強度試験結果を用いた強度推定式の設定方法<sup>2)</sup>

既往の研究では、呼び強度が21~50、セメント種類が4種類の計66種類の配合のコンクリートで円柱供試体を12本ずつ作製し、弾性波速度と圧縮強度を測定して、両者の関係が調査された。66種類の配合の全円柱供試体で得られた弾性波速度と圧縮強度の関

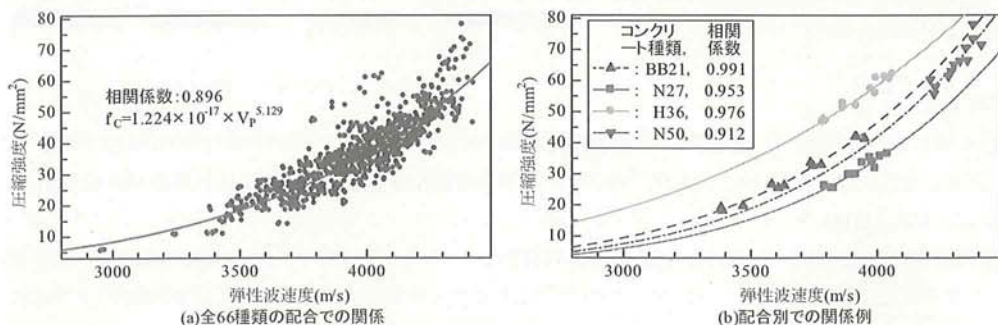


図1 コンクリートの弾性波速度と圧縮強度との関係

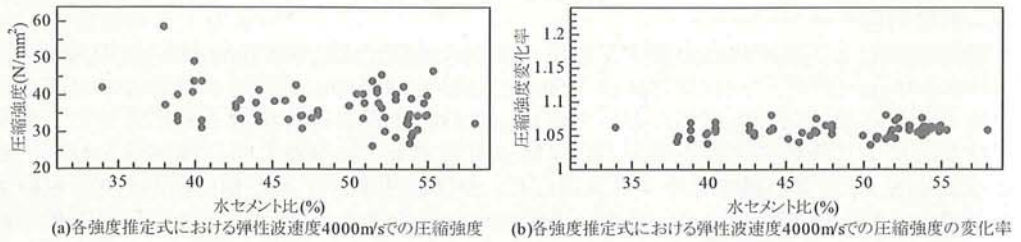


図2 コンクリートの弾性波速度と圧縮強度との相関関係の特徴

係を図 1(a)に示す。弾性波速度  $V_p$  と圧縮強度  $f_c$  との関係を示す指数関数で回帰すると、相関係数は 0.896 となり、べき乗の係数  $\alpha$  が 5.129、定数  $\beta$  が  $1.224 \times 10^{-17}$  で得られた。

$$f_c = \beta \times V_p^\alpha \quad (1)$$

66 種類の配合の全円柱供試体で得られた弾性波速度と圧縮強度にはある程度の相関関係が認められる。しかし、式(1)の回帰式を強度推定式に設定すると、弾性波速度 4000m/s での圧縮強度は  $36.5\text{N/mm}^2$  となるが、図 1(a)より、実際の圧縮強度は約  $25\text{N/mm}^2$  ~ 約  $60\text{N/mm}^2$  と広範囲に分布している。これから、強度推定式として式(1)の回帰式を採用すれば試験精度に課題が生じることとなる。これに対して、単位容積質量、水セメント比、コンクリートの製造工場、使用材料等が全て等しい同一配合のコンクリートでの弾性波速度と圧縮強度の関係の一例を図 1(b)に示す。同一配合のコンクリートでは、実際の測定結果と回帰曲線との誤差が小さく、弾性波速度と圧縮強度は相関係数 0.912~0.991 と強い相関関係である。以上の性質から、参考文献 1) では推定精度を向上させるために、強度推定式は試験対象の構造体コンクリートと同一配合の円柱供試体を 12 本作製し、弾性波速度と圧縮強度を測定した結果から設定する方法が提案されている。

しかしながら、ある弾性波速度での圧縮強度はコンクリートの配合によって大きく異なるものの、弾性波速度の変化に対する圧縮強度の変化の程度はコンクリートの配合が変わってもほぼ同程度であることが確認された。この結果を図 2 に示す。図 2(a)は 66 種類の配合の円柱供試体で得られた、各強度推定式において、弾性波速度を 4000m/s としたときの圧縮強度である。前述と同様に、配合によって推定される圧縮強度は大きく異なっている。一方、図 2(b)は各強度推定式において、弾性波速度が 4000m/s から 4040m/s と 1%変化した時の圧縮強度の変化率を示したものである。圧縮強度の変化率は 1.03~1.07 であり、配合が変化しても変化率に大きな差がない結果である。この結果は、式(1)に示される弾性波速度と圧縮強度との関係式は、配合によって、定数  $\beta$  は大きく異なるものの、べき乗の係数  $\alpha$  はほぼ同程度であることを示す。これから、以下の手順による強度推定式の設定方法および圧縮強度の推定方法が提案されている。

- ① 構造体コンクリートのコア採取位置で弾性波速度  $V_p$  を測定し、式(2)により暫定推定強度  $f_{CT}$  を求める。
- ② コアを採取して圧縮強度  $f_c$  を得る。圧縮強度  $f_c$  を暫定推定強度  $f_{CT}$  で除することにより、補正比率  $k$  を求める。
- ③ 任意の位置で弾性波速度  $V_p$  を測定し、補正比率  $k$  を利用した式(3)により圧縮強度  $f_c$  を推定する。

$$f_{CT} = 1.224 \times 10^{-17} \times V_p^{5.129} \quad (2)$$

$$f_c = k \times 1.224 \times 10^{-17} \times V_p^{5.129} \quad (3)$$

### 3. 実験内容

測定位置および測定状況を表1に示す。壁供試体の寸法は1500mm(幅)×950mm(高さ)×180mm(厚さ)、柱供試体は750mm(幅)×750mm(長さ)×1500mm(高さ)である。測定箇所は各供試体において上段, 中段, 下段と高さ位置を変化させた。衝撃弾性波法により弾性波速度を測定した後に, 近傍でコアを採取して圧縮試験を行い, 暫定推定強度 $f_{CT}$ および補正比率 $k$ を算出した。弾性波速度の1測定箇所において, 複数本のコアを採取した箇所もあり, 弾性波速度の測定箇所数は計26点, コアの採取本数は計57本である。あるコアで算出した補正比率 $k$ と他の測定点(計56箇所)で測定した弾性波速度 $V_p$ から, 式(3)により他の測定点の圧縮強度を推定した。この推定結果とコア採取による圧縮試験結果とを比較して推定精度を検証した。また, 採取したコアの公称径は55mm, 68mm, 80mm, 100mmとし, コアの径による影響についても確認した。使用したコンクリートは呼び強度24, セメント種類は普通ポルトランドセメントである。

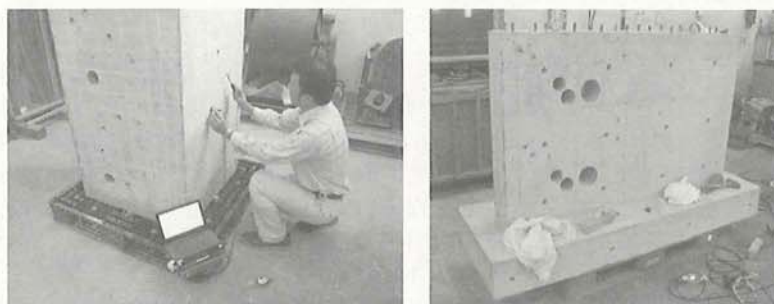


写真1 供試体全景 (左: 柱供試体(無筋), 右: 壁供試体) および弾性波速度の測定状況

表1 測定位置および測定状況

供試体内容	測定位置	弾性波速度測定点数	コア名称	測定材齢(日)	採取コアの公称径(mm)
壁試験体	上段	2	No.1~No.3	28	55, 68, 100
	中段	11	No.4~No.15	56, 111	55, 68, 100
	下段	2	No.16~No.18	28	55, 68, 100
柱試験体(無筋)	上段	2	No.19~No.24	28, 111	68, 100
	中段	2	No.25~No.36	28, 56	55, 68, 100
	下段	2	No.37~No.47	28, 111	55, 68, 80, 100
柱試験体(配筋)	上段	2	No.48~No.51	28, 111	68
	中段	1	No.52, No.53	28	68
	下段	2	No.54~No.57	28, 111	68

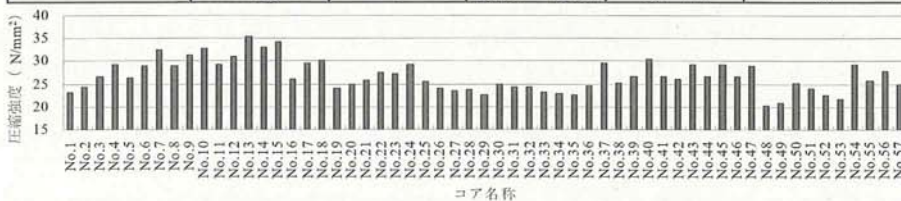


図3 コア採取による圧縮試験結果

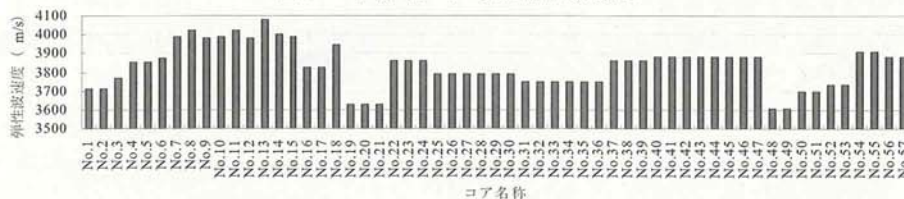


図4 コア採取位置での弾性波速度の測定結果

#### 4. 測定結果および考察

各測定点でのコア採取による圧縮試験結果を図 3 に示す。材齢や測定位置を変化させたことから、コア採取による圧縮試験結果は  $20.4\text{N/mm}^2 \sim 35.3\text{N/mm}^2$  と変化した。あるコアで算出した補正比率と他の測定点（計 56 箇所）で測定した弾性波速度から、式(3)により他の測定点の圧縮強度を推定した。この推定結果とコア採取による圧縮試験結果との比較の一例を図 5 に示す。図 5 は、4 本のコアでそれぞれ補正比率を算出し、圧縮強度の推定結果とコア採取による圧縮試験結果とを比較したものである。補正比率を算出したコアによって、推定精度が異なることが確認される。補正比率を算出したコアによる推定精度の比較を図 6、コアの径による推定精度の比較を表 2 に示す。図 6、表 2 は式(3)による推定強度とコア採取による圧縮試験結果との誤差の絶対値の平均値により比較したものである。図 6 より、コア名称 No.19~No.21 のように、採取したコアによっては誤差が大きくなる場合があるが、その他のコアでは概ね  $3\text{N/mm}^2$  程度の誤差であった。また、表 2 より、採取したコアの径は誤差要因にはならないことが確認される。これから、本法による推定精度の向上にはコア名称 No.19~No.21 のような特異なコアにより補正比率が設定されることを防ぐことが重要であり、このためには、コアを 3 本程度採取して補正比率を決定することが有効であると考えられる。

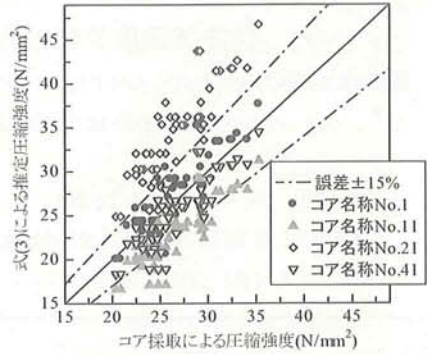


図5 推定強度とコア採取による圧縮強度との比較の一例

表2 コアの径による誤差の比較

公称径(mm)	誤差の平均値 (N/mm <sup>2</sup> )
55	2.557
68	3.088
80	2.463
100	2.883

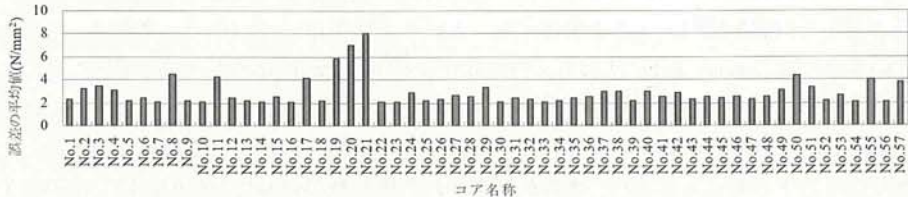


図6 補正比率を算出した各コアでの推定精度の比較

#### 5. まとめ

実構造物を模擬した試験体により、既往の研究で提案されている強度推定式の設定方法の推定精度の検証を行った。コアを計 57 本採取して、推定結果とコア採取による圧縮試験結果とを比較すると、特異なコアによっては誤差が大きくなる場合もあるが、概ね  $3\text{N/mm}^2$  程度の誤差となった。また、採取したコアの径は誤差要因にはならないことが確認された。これから、本法による推定精度の向上には、コアを 3 本程度採取して補正比率を決定することが有効であると考えられる。本法は、コアを 3 本程度採取するだけで、既設構造物など同一配合の円柱供試体を新規に作製して、強度推定式を設定することができない構造物コンクリートにおいても、同一配合の部材であれば、任意の箇所まで非破壊により圧縮強度を推定できる方法となる。既設構造物の維持管理などにおいて有効な試験方法になると期待される。

謝辞：実験に際し、清水建設 太田達見様にご指導を賜りました。文末ながら謝意を表します。

参考文献：1) (独)土木研究所HP：衝撃弾性波試験(仮称) iTECS法による新設の構造体コンクリート強度測定要領(案), <http://www.pwri.go.jp/jpn/seika/conc-kyoudo/kyodo.syougeki1.pdf>

2) 岩野聡史, 森濱和正, 渡部正：衝撃弾性波法と微破壊試験の併用による構造体コンクリートの圧縮強度推定方法の提案, 土木学会論文集E2, Vol.69, No.2, pp.138-153, 2013