

既設構造物における弾性波法を用いた圧縮強度推定手法の検討

徳島大学大学院 学生会員 ○佐竹将也 徳島大学大学院 学生会員 鈴木彩莉
徳島大学大学院 正会員 渡邊 健 徳島大学大学院 正会員 松田秀和
徳島大学大学院 フェロー 橋本親典

1. はじめに

コンクリート構造物において圧縮強度は最も重要な力学的特性の一つである。日本非破壊検査協会では、コンクリートの弾性波速度と圧縮強度の相関関係を利用した衝撃弾性波法による圧縮強度評価手法が提案されている。新設構造物に対して適用する場合、同一配合の供試体から圧縮強度評価式を作成することで高い精度での推定が可能であることが確認されている¹⁾。一方、既設構造物の場合、現状としてコンクリートの使用材料や水セメント比の情報が残っていないものが多く、強度推定に適用できる手法は確立されていない。本稿では徳島県内の既設橋梁で弾性波速度を測定し、W/C45～60%の円柱供試体²⁾から得られたデータと比較することで、既設構造物における弾性波速度と圧縮強度の関係を検討した。

2. 実験概要

2.1 測定橋梁の選定

測定は徳島県内の既設橋梁を対象とした。地上からのアクセスが可能であること、耐震補強等の増し厚を行っていないこと、構造物の情報が既知であることを条件に6橋梁を選定した。表-1に橋梁の概要を示す。これらの橋梁は、過去にコア抜き試験を実施しており、1橋梁につき2箇所で圧縮強度を算定している。弾性波速度の測定はコア抜き箇所の近辺で行い、圧縮強度と同様に1橋梁につき2箇所データを取得した。圧縮強度と弾性波速度の結果には時間差が生じるが、橋梁の供用年数が長いいためその影響は無いと仮定して評価を行った。

表-1 測定対象橋梁

橋脚	A	B	C	D	E	F
箇所数	2	2	2	2	2	2
供用年数	32	38	45	49	60	48

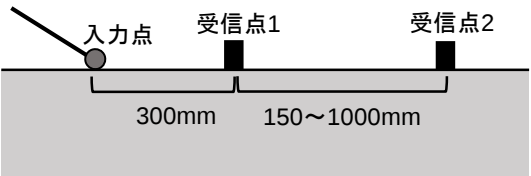


図-1 伝搬時間差法

2.2 弾性波速度の測定方法と圧縮強度評価式

伝搬時間差法による弾性波速度の測定方法を図-1に示す。この手法は、鋼球でコンクリート表面を打撃することで弾性波を励起させ、受信点1および受信点2に到達する時間差 Δt μ sから弾性波速度を求める方法である。鉄筋が弾性波速度に与える影響を除去するため、鉄筋と測定線がおおよそ45°となるよう受信点1および2を決定し加速度センサ（周波数範囲5kHz～12kHz）を設置した。弾性波の入力点と受信点1の距離を300mmとし、受信点間距離Lを150～1000mmまで100mm間隔で変化させ計10点で測定を行った。使用する鋼球は入力周波数を考慮し直径8mm（上限周波数36.3kHz）を採用した。サンプリング時間間隔2 μ s，サンプリングデータ数8192で弾性波の到達時刻を測定し、式(1)より弾性波速度を算出した。比較対象の円柱供試体では多重反射法を用いて弾性波速度を測定した。供試体端面に加速度計を指で押し付け、その近傍を鋼球で打撃し、打撃端面と底面で多重反射した弾性波を計測した。サンプリング時間2 μ s，サンプリングデータ数2048，使用鋼球は直径10mmとし、得られた時間波形は周波数解析によって周波数スペクトルに変換し、その卓越周波数 f_0 から式(2)より弾性波速度を算出した。

圧縮強度評価式は弾性波速度 V_p と圧縮強度 f_c の相関関係によって成り立ち、両者を最小二乗法で回帰することで導出できる。式(3)が圧縮強度評価式の一般式であり、 $\alpha \cdot \beta$ は実験によって求まる係数である。

$$V_p = L / \Delta t \tag{1}$$

$$V_p = 2 \cdot f_0 \cdot L \tag{2}$$

$$f_c = \beta \times V_p^\alpha \tag{3}$$

3. 実験結果

図-2 に W/C45～60%円柱供試体の弾性波速度と圧縮強度の関係を示す。決定係数は 0.94 となり圧縮強度との相関は非常に高くなった。

既設橋梁の測定では、コンクリート表面の状態によって、弾性波速度は受信点間距離が大きくなる程、低下する傾向にあった。ここでは、比較的安定して測定された受信点間距離 300mm による検討結果を示す。

弾性波速度と過去のコアによる圧縮強度の関係を図-3 に示す。弾性波速度は 2400～4300m/s の間に分布しており、決定係数は 0.59 とやや正の相関が確認できた。橋梁の場合、様々な配合が混在していることや表面気泡、微細ひび割れ等が起因し、供試体に比べ弾性波速度と圧縮強度との相関は鈍くなったと思われる。W/C45～60%円柱供試体の圧縮強度評価式を式(4)に、橋梁の測定データによる圧縮強度評価式を式(5)に示す。

$$f_c = 9.20 \times 10^{-20} \times V_p^{5.76} \quad (4)$$

$$f_c = 8.67 \times 10^{-7} \times V_p^{2.14} \quad (5)$$

べき乗係数 α の値は 2 つの式では異なる結果となった。この結果から、既設構造物の圧縮強度と弾性波速度に相関はあるものの、配合が既知の供試体と比べるとその関係は一様によくないことが確認された。

次に、式(4)を用いた円柱供試体における推定した圧縮強度結果を図-4 に示す。これは円柱供試体の結果から圧縮強度評価式を作成し、得られた評価式を用いて供試体の推定圧縮強度を算出した結果である。推定誤差率は最大で-21%～+20%であり、概ね $\pm 15\%$ の精度で推定が可能であった。一方の橋梁の計測から得られた式(5)による橋梁の圧縮強度を推定した結果を図-5 に示す。推定誤差率は最大で-40%～+48%であった。決定係数が低下し圧縮強度との相関が低いこと、強度評価式における α の値が異なることが影響していると考えられる。

以上より、既設構造物の計測から作成された強度評価式を用いた場合、様々な配合、コンクリート表面の状態が影響するため圧縮強度の精度は新設構造物に比べて低下することが明らかとなった。また、現時点ではデータ数が少なく、元の配合の情報が失われていることもあり、データを精査することが難しいものであった。既設構造物の様々なパターンを網羅出来ているとは言い難いため、今後も供用年数がある程度経過している構造物からデータを採取し、検討を続けていく必要がある。

4. まとめ

様々な配合が混在している既設構造物から強度評価式を作成し圧縮強度を推定すると、推定誤差率は-40%～+48%であることが確認され、 $\pm 50\%$ 程度の精度を持つことが示された。

参考文献

- 1) 日本非破壊検査協会：新設コンクリート構造物におけるコンクリート圧縮強度評価方法，NDIS 2426-2 附属書D（参考），pp.19-27，2014
- 2) 鈴木彩莉：弾性波法およびハンマ打撃によるコンクリート部材の強度推定手法に関する検討，徳島大学大学院修士論文，2019

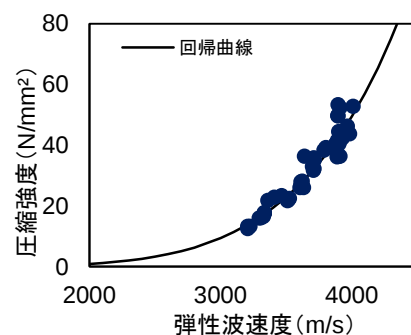


図-2 供試体で計測した弾性波速度と圧縮強度の関係

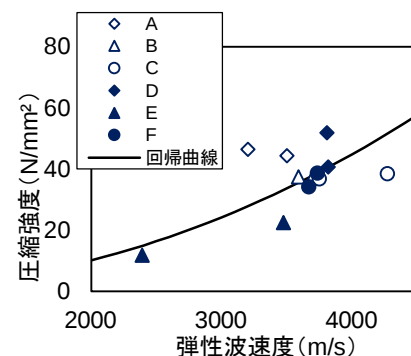


図-3 橋梁で計測した弾性波速度と圧縮強度の関係

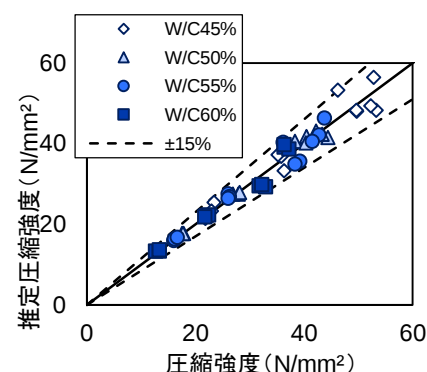


図-4 式(4)による橋梁の推定結果

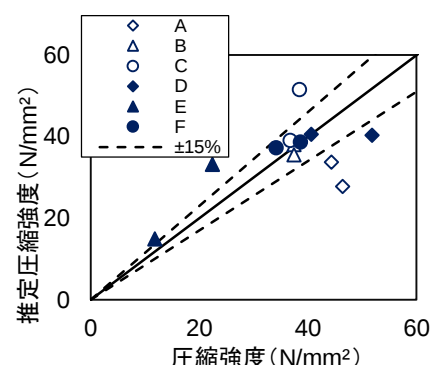


図-5 式(5)による橋梁の推定結果