

蒸気養生を模擬した供試体に対する非破壊的な強度推定手法の検討

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 渡辺健
 徳島大学大学院 正会員 橋本親典 徳島大学大学院 学生会員 西山航平

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。圧縮強度を把握する手法として、弾性波の伝搬速度から推定する研究が行われている¹⁾。また、工場で製造されるプレキャスト製品は品質管理が重要であり、製品の強度を直接測定する手法が求められている。そこで本研究では、プレキャスト製品を想定したコンクリートに対して実験を行い、圧縮強度および曲げ強度の推定精度について検討を行った。強度の推定にはコンクリートの伝搬速度と各強度から作成した関係式（以下、強度評価式）を用いた。

2. 実験概要

2.1 供試体

コンクリートの配合を表-1に示す。プレキャスト製品を想定し、W/Cは30%、40%、50%と高強度のコンクリートを作製した。単位水量を165kg/m³、細骨材率を45%で一定とした。目標スランプ12cm±2.5、目標空気量4.5±1.5%となるよう各配合で混和剤を調整した。コンクリートの打設後、全供試体に対して蒸気養生を模擬した温度履歴（図-1）を与えた。前置時間4.5時間、昇温速度7～10℃/h、最高温度60±5℃、最高温度保持時間3時間、降温速度4～5℃/hとした。供試体をビニールで包み、温度履歴を与えた温水に付け、練り混ぜから20時間後に脱型を行った。後養生方法は気中養生（気温20℃）とした。

2.2 強度評価方法

圧縮強度の推定にはφ100×200mmの円柱供試体、曲げ強度の推定には100×100×400mmの角柱供試体を用いた。伝搬速度の測定後、各強度試験を行い、その結果から強度評価式を作成した。

伝搬速度の測定には市販の超音波測定器を使用した。カップリング剤が不要で150mm間の伝搬速度を表面法で観測する測定器である。測定器に表示された伝搬時間から伝搬速度を算出した。

強度評価式は、伝搬速度と強度の結果を最小二乗法で近似することで作成できる。コンクリートの伝搬速度 V_p は弾性係数 E 、密度 ρ 、ポアソン比 ν より式(1)で表される。また、圧縮強度 f_c と弾性係数 E_D には式(2)の関係がある。この関係から圧縮強度評価式(3)が成り立つ¹⁾。このときの α 、 β は実験によって決まる係数である。

また、本研究では式(3)の f_c を曲げ強度 f_b に置き換えた式(4)を曲げ強度評価式と定義した。

$$V_p = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (1)$$

$$E_D = A \cdot f_c^B \quad (2)$$

$$f_c = \beta \times V_p^\alpha \quad (3)$$

$$f_b = \beta \times V_p^\alpha \quad (4)$$

表-1 コンクリート配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (C×%)	
		W	C	S	G	AEA	SP
30	45	165	550	707	864	0.0050	1.4
40			413	757	925	0.0040	1.2
50			330	787	962	0.0025	1.0

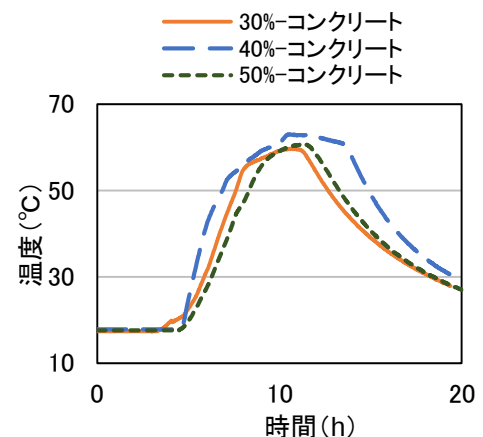


図-1 コンクリート内部の温度履歴

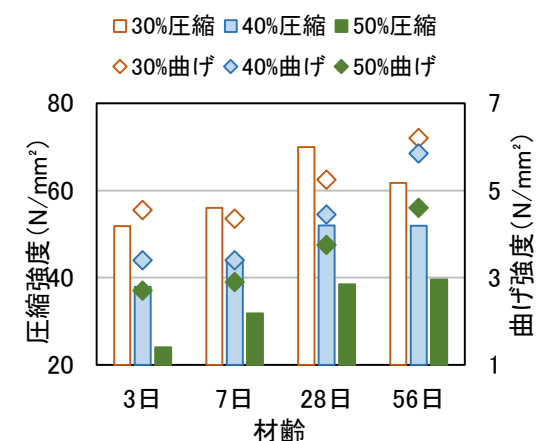


図-2 圧縮強度および曲げ強度の結果

3. 実験結果

圧縮強度と曲げ強度の結果を図-2 に示す。圧縮強度は 3 本平均、曲げ強度は 2 本平均の結果である。圧縮強度の場合、材齢 56 日は材齢 28 日と比較して同程度あるいは低下する結果となった。一方、曲げ強度は、W/C30%の材齢 7 日で少し低下したものの、ほぼ材齢の進行と共に強度も増加する傾向となった。

3 配合の全供試体から得られた伝搬速度と圧縮強度の関係を図-3 に示す。伝搬速度は圧縮強度に準じて変化し、材齢の進行と共に伝搬速度も増加する傾向にあった。伝搬速度および圧縮強度は相関係数 0.876 と高い相関関係であることが確認できた。この相関関係を利用し作成した圧縮強度評価式は式(5)となった。

$$f_c = 5.601 \times 10^{-28} \times V_p^{8.052} \quad (5)$$

式(5)で推定した圧縮強度の誤差を図-4 に示す。結果から、推定圧縮強度と実測の圧縮強度は概ね $\pm 15\%$ の関係にあることが確認できた。圧縮強度評価式の適用範囲は、コンクリートの圧縮強度 60N/mm^2 とされている²⁾。今回の実験の範囲では、 60N/mm^2 以上においても強度推定が可能であった。

3 配合の全供試体から得られた伝搬速度と曲げ強度の関係を図-5 に示す。両者の相関係数は 0.627 であり、やや正の相関が確認できた。低水セメント比では曲げ強度の増加に対して、伝搬速度の上昇が伴っていないことが分かる。曲げ強度は圧縮強度と比較すると狭い範囲に分布しているため、伝搬速度の上昇が鈍感になっていると考えられる。ここで、伝搬速度と曲げ強度の関係から作成した曲げ強度評価式は式(6)になった。

$$f_b = 3.754 \times 10^{-16} \times V_p^{4.472} \quad (6)$$

式(6)で推定した曲げ強度の誤差を図-6 に示す。圧縮強度と同様の方法で曲げ強度評価式を作成した場合、推定誤差は圧縮強度の場合より大きくなった。曲げ強度の増加に対して伝搬速度が伸びなかったため、その供試体の推定曲げ強度が実測の曲げ強度より低く算出された。今回の実験の範囲では、曲げ強度は安全側に推定される結果となった。

4. まとめ

- 1) 圧縮強度の推定誤差は概ね $\pm 15\%$ であり、 60N/mm^2 以上の圧縮強度の場合でも推定が可能であった。
- 2) 曲げ強度の増加に対して、伝搬速度の上昇が伴っていないことが確認できた。そのため、一部の推定曲げ強度は実測の曲げ強度より低く算出された。

参考文献

- 1) 鈴木彩莉, 渡辺健, 岩野聡史, 小椋紀彦: 圧縮強度の非破壊的推定における速度測定手法および評価式の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp1951-1956, 2017
- 2) NDIS 2426-2 付属書 D: 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, pp.20, 2014

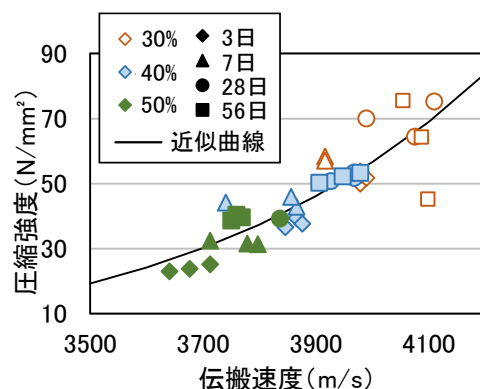


図-3 伝搬速度と圧縮強度

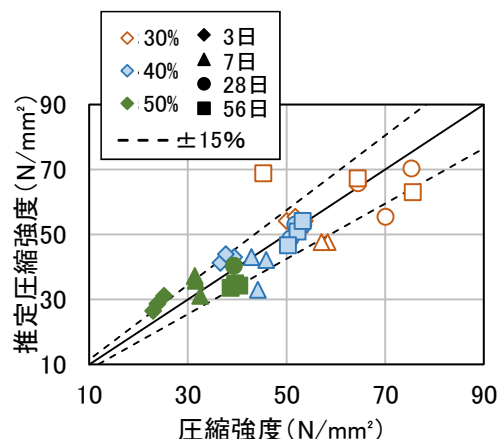


図-4 圧縮強度の推定誤差

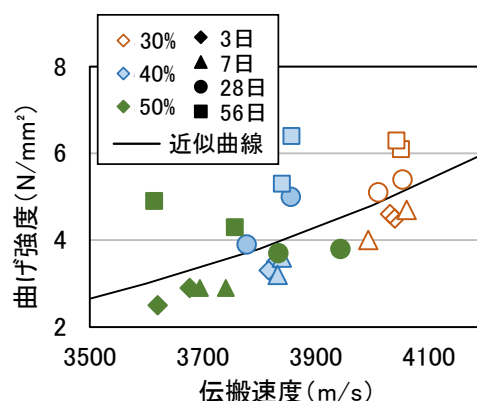


図-5 伝搬速度と曲げ強度

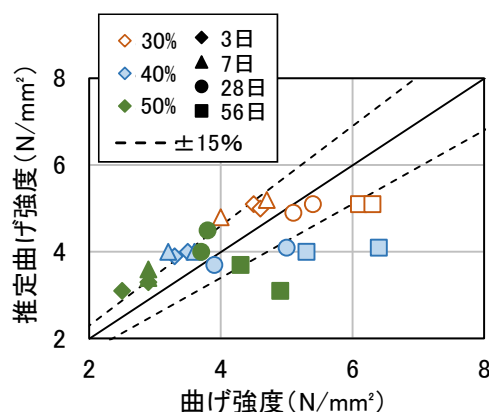


図-6 曲げ強度の推定誤差