

プレキャストコンクリート製品の脱型時の圧縮強度予測に関する基礎的研究

東海大学大学院 学生会員 ○横川 龍一 東海大学大学院 学生会員 勝岡 夏那
東海大学大学院 学生会員 瀧川 瑞季 東海大学 正会員 伊達 重之

1. はじめに

既往の研究^{1,2)}より、水和反応を加味したアレニウス式によって、より高精度に初期強度を予測できることや活性化エネルギーや水和熱など熱に関わるファクターは強度予測において重要であることが示されている。しかし、製品寸法が強度予測の精度に与える影響や型枠の表面積の違いによる供試体内部の温度変化や強度に与える影響については検討されていない。これらの検討を行うことで、より高精度の強度予測が期待される。

そこで本研究では、Case.1として寸法の違いが各強度予測式や圧縮強度と超音波伝播速度の関係に与える影響の検証、Case.2では型枠表面積の増加に伴う供試体温度や強度への影響の確認を目的とし、実験を行なった。

2. 実験概要

2.1 使用材料および実験条件

表-1に使用材料、表-2に養生条件を示す。Case.1は、W/C=40%、S/C=2.0のモルタルとした。またセメントを高炉スラグで100%置換した配合を供試体の水和反応を除いた温度履歴測定に使用した。練上がりから24時間後に脱型した。供試体寸法はφ50×100(mm)、φ100×200(mm)、φ150×300(mm)の3水準とした。Case.2はW/C=40%のセメントペーストとし、4時間保持、脱型は8時間後とした。供試体はφ100×200(mm)とし、鋼製の型枠に図-1のような形で鋼製のフィンを取り付けた。

2.2 試験項目

Case.1では圧縮強度を材齢10、24時間に測定した。供試体の超音波伝播速度は材齢10、24時間、3、7、14日に測定した。また測定間距離による影響を確認するため、見かけの測定間距離が300mmとなるようにφ50×100(mm)の供試体を3つ連結したのも測定した。Case.2では圧縮強度を材齢8、24時間に測定した。またどちらのCaseも供試体の中心部に熱電対を埋設し、接水後から1分毎に温度測定を行った。

3. 結果および考察

3.1 Case1: 寸法の違いが与える影響

本研究で検討した強度予測式は既往の研究³⁾を参考に積算温度に基づく予測式(以下、式(1))、活性化エネルギーを考慮したアレニウス式(以下、式(2))、式(2)をもとに水和反応を加味した改良アレニウス式⁴⁾(以下、式(3))の3種とした。表-3に各式の有効材齢と圧縮強度の関係から算出される決定係数、図-2に比表面積と乖離率の関係を示す。乖離率は式(4)を用い算出した。各色の曲線は各式の乖離率から対数近似を行い求めた。

$$\left| \frac{\sigma - \sigma_e}{\sigma_e} \right| \times 100(\%) \quad (4) \quad \begin{array}{l} \sigma_e: \text{圧縮強度の予測値} \\ \sigma: \text{圧縮強度の実測値} \end{array}$$

表-3および図-2より、式(3)は他強度予測式と比較し、決定係

表-1 使用材料

材料名	種類	密度 (g/cm ³)
セメント	普通ポルトランドセメント	3.16
細骨材	川砂 (神奈川県山北産)	2.69
混和材	高炉スラグ	2.89
混和剤	高性能減水剤	-

表-2 養生条件

実験条件	前置き時間 (h)	最高温度 (°C)	
Case.1	1-1	0	45
	1-2		65
	1-3	2.5	45
	1-4		65
Case.2	1.5	65	

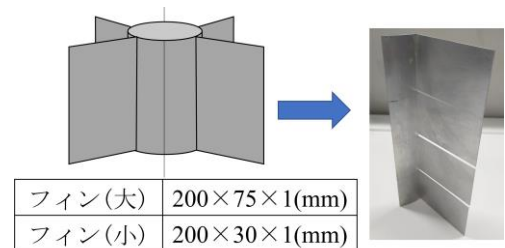


図-1 型枠の概略図とフィンのサイズ

表-3 各式の決定係数

強度予測式	決定係数
式(1)	0.857
式(2)	0.905
式(3)	0.924

キーワード：プレキャストコンクリート、強度予測、寸法効果、アレニウス則

連絡先：〒259-1292 神奈川県平塚市北金目4-1-1 東海大学大学院 Tel:0463-58-1211

数が1に近く、比表面積に関わらず乖離率が低いことが確認された。また前置き時間や最高温度によらず、高い精度で安定していることが確認された。これらの結果から、式(3)は寸法の違いによらず、高い精度で強度を予測できることが確認された。寸法が大きくなると外部からの熱の影響を受けにくく、水和熱の影響を受けやすくなる。式(3)では、水和反応を加味したことにより寸法が大きい場合でも高い精度で強度が予測できると考えられる。

図-3 に寸法別の圧縮強度と超音波伝播速度の関係、表-4 に各測定精度を示す。図-3 から供試体寸法が大きくなるほど、強い相関関係が確認された。また表-4 に示す通り、φ50×300(mm)は低い相関性となったことから圧縮強度と超音波伝播速度の関係は、測定間距離に起因するものではないことが確認された。この強い相関関係は伝播方向に対して垂直な断面の面積が大きくなることで端部からの反射波の影響を受けにくくなり、誤差が生じにくくなるためだと考えられる。

3. 2 Case2 : 型枠の形状 (表面積)

図-4 に各供試体中央部の温度履歴、表-5 に各材齢における圧縮強度を示す。フィンの有無によって、温度変化に違いが見られた。特に温度降下は顕著な差が見られ、脱型時で約 20℃差だった。また供試体内部の最高温度や圧縮強度は同程度となった。それに対し、供試体内部の最高温度が持続される時間はフィンあり供試体では約 30%程度短くなった。これらの結果からフィンによって熱の移動が促進されることが確認された。熱の移動が促進されることで水和反応やそれに伴う強度発現にも影響があると考えられる。そのため、フィンの形状や枚数、養生条件などによる影響についても検討を行うことで養生時間の短縮等、プレキャスト製品工場での生産性向上が計れると考えられる。特に、脱型前に製品温度を下げられるため、脱型後の温度ひび割れの抑制が期待される。また、強度予測向上のため、型枠の熱伝導、熱伝達などを強度予測式内で考慮することが必要である。

5. まとめ

本研究の範囲において以下の知見を得た。

- 1) 実際の水和反応を加味した改良アレニウス式は他強度予測式と異なり、寸法の違いによらず、高い精度で強度を予測できることが確認された。
- 2) 圧縮強度と超音波伝播速度の関係は、伝播方向に対して垂直な断面の面積が大きくなるほど、強い相関関係になることが確認された。
- 3) 型枠の表面積を増加させることで供試体内部の最高温度の持続時間が短縮され、水和反応や熱の移動が促進されることが確認された。

参考文献

- 1) 瀧川瑞季ら：プレキャストコンクリートの脱型時の強度予測に関する研究，コンクリート工学会年次論文集，Vol.43, No.1, pp.353-358, 2021
- 2) 白石隆次ら：強度予測式提案のための温度履歴と非破壊試験，土木学会関東支部第 47 回技術研究発表会講演概要集 V-41, 2020.3

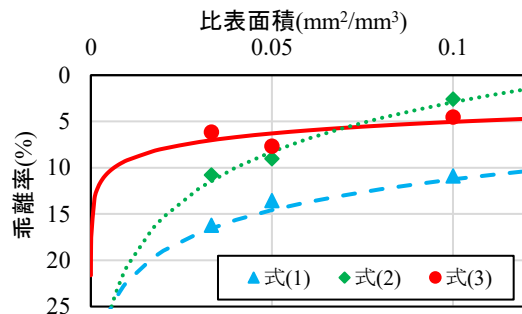


図-2 比表面積と乖離率の関係 (材齢 10 時間)

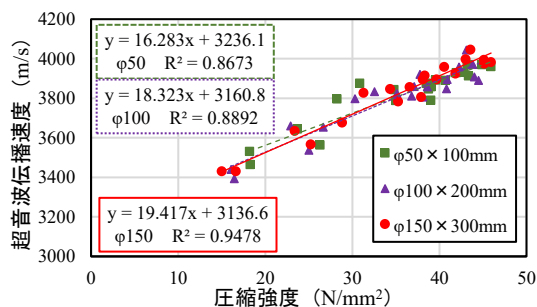


図-3 圧縮強度と超音波伝播速度の関係

表-4 各測定精度

供試体寸法(mm)	決定係数
φ 50×100	0.6828
φ 150×300	0.7536
φ 50×300(連結)	0.3535

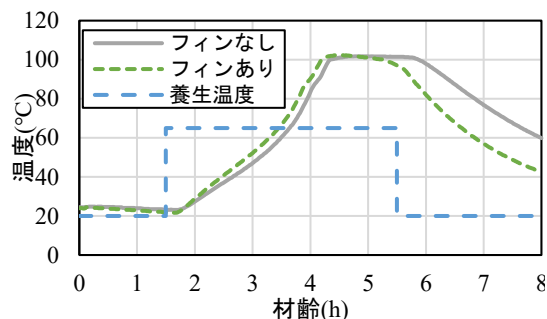


図-4 供試体中央部の温度履歴

表-5 各材齢における圧縮強度

	フィンなし	フィンあり
材齢 8 時間	32.2(N/mm²)	31.7(N/mm²)
材齢 24 時間	36.3(N/mm²)	35.9(N/mm²)