

技術紹介

プレキャスト製品工場におけるコンクリートの養生エネルギーに関する実態調査

An Investigation into Concrete Curing Energy Consumption in Precast Concrete Factories.

チ ケンフォン *1
CHEE KengFoong

北野 勇一 *2
KITANO Yuichi

川崎 俊和 *3
KAWASAKI Toshikazu

1. はじめに

プレキャスト製品は、構造物の生産性向上、現場作業の省力化、品質耐久性の向上に貢献します。また、副産物由来の混和材を使用することで、CO₂排出量の削減に貢献します。一方、プレキャスト部材の製造や運搬に伴うCO₂排出量は、燃料や電気等のエネルギー消費による要因が大きいです。とくに、プレキャスト製品工場が使用するエネルギーの大半は重油に由来し、CO₂排出量の約60%を占めます。そして、重油の大部分は蒸気養生に用いられるため、CO₂排出量の削減には養生方法の効率化が課題です。そこで、本研究ではプレキャスト部材の養生に投入するエネルギー（以下、養生エネルギー）に関する実態調査を行うとともに、温度解析により養生方法の効率化について検討しました。

2. 調査方法

実態調査の要領を図1に示します。実態調査は、栃木県にある川田建設（株）那須工場にて設計強度48N/mm²の建築基礎部材を冬季に製作する場合を対象としました。コンクリートは、普通ポルトランドセメントで水セメント比39.6%の配合を用いました。部材製作は午前中にコンクリートを打込み、夕方にシート養生、3時間以上の前置き時間を確保したのち、蒸気養生を行いました。蒸気養生中は、熱電対により型枠表面、シート内、シート外（シート表面から30mm離す）および外気温を測定しました。別途、サーモグラフィーによるシート外面の撮影と流量計による重油使用量の測定を行いました。

解析モデルを図2に示します。コンクリート物性（比熱、熱伝導率、密度）は文献1）、断熱温度上昇特性は文献2）に準拠して算出しました。熱伝達率は上面を14W/m²°C、型枠を脱枠前30W/m²°Cと脱枠後14W/m²°Cに設定しました。養生パターンは最高温度を35°Cとし、保持時間を0~6時間に変化させました。また、養生方法の効率化を目的に、鋼製型枠の熱伝達率を脱枠まで14W/m²°Cと6W/m²°Cに低減させて解析しました。

3. 実態調査の結果

プレキャスト製品の温度測定結果を図3に示します。シート内の温度は、打込み後9.5時間より上昇し、11.5~17.5時間は概ね35°Cでした。これに対し、鋼製型枠の温度はシート内より遅れて緩やかに上昇し、14時間後に35°Cを超え、17.5時間で38°Cに達しました。脱枠

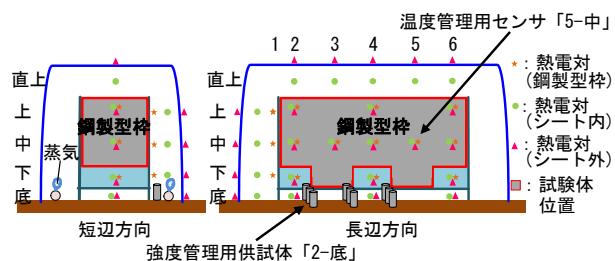


図1 実態調査の要領

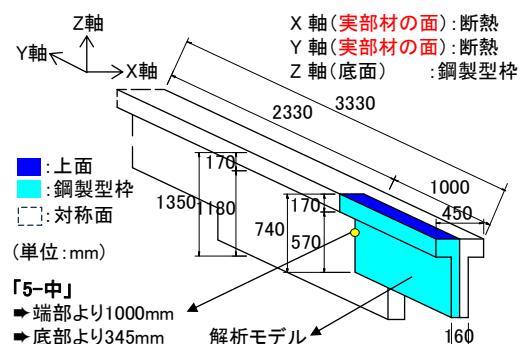


図2 解析モデル

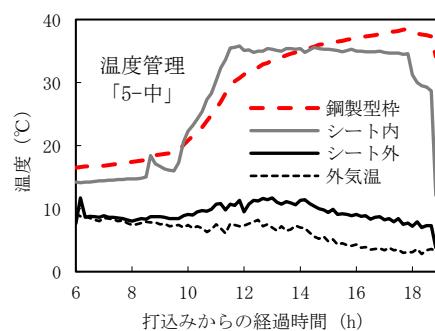


図3 プレキャスト製品の温度測定結果

*1 川田建設㈱技術本部技術部技術開発課

*2 川田建設㈱技術本部技術部 担当部長（開発担当）

*3 川田建設㈱技術本部技術部機械技術開発室 主幹

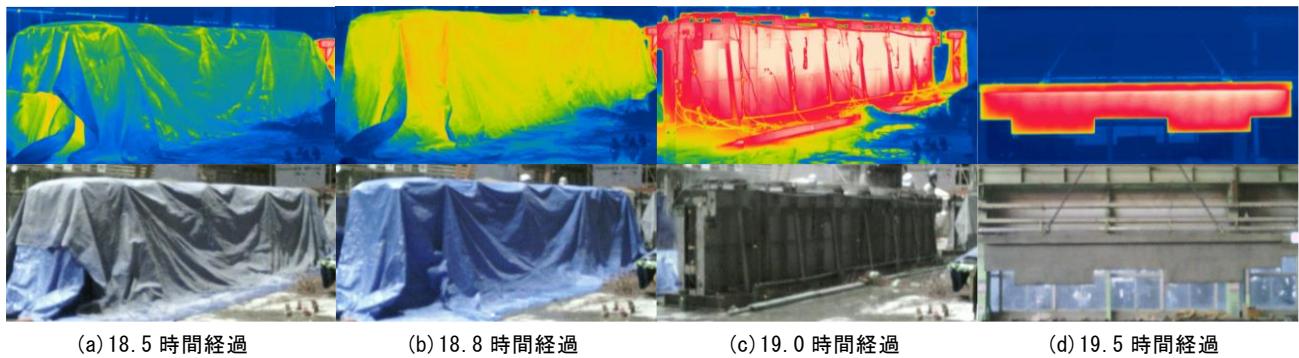


図4 プレキャスト製品の温度撮影結果（上段：熱画像、下段：可視画像）

時（19.5時間）の有効材齢は、温度管理「5・中」が0.88日に対し、強度管理供試体のある「2・底」が0.68日であり、「5・中」の77%でした。

サーモグラフィーカメラの撮影結果を図4に示します。a図は蒸気養生完了後、b図はシートを1層撤去後、c図はシート養生終了後、d図は部材取り出し後の測定状況です。シート外面の温度部材側面において、18.5時間経過（a図）で11～16°C、18.8時間経過（b図）で17～20°Cでした。c図とd図により部材の上部は下部より温度が5°Cほど高い傾向でした。当日に製作したのは23部材であり、1部材当たりの重油使用量は41L、エネルギー投入量1600MJ、CO₂排出量111kg-CO₂でした（表1）。

4. 温度解析の結果

図5は温度解析により脱枠強度を推定した結果です。最高温度の保持時間が6時間で熱伝達率30W/m²°Cの脱枠強度は20N/mm²以上であり、この強度を得るには熱伝達率14W/m²°Cで3時間、熱伝達率6W/m²°Cでは保持時間をゼロにできます。図5の脱枠強度は温度解析結果である有効材齢を0.77倍にして実態調査結果で算出した圧縮強度推定式（1）から計算しました。

$$\sigma_c = 24.4 \cdot \ln(t') + 26.3 \quad (1)$$

ここに、 σ_c ：圧縮強度（N/mm²）、t'：有効材齢（日）

表2は、蒸気養生による最高温度保持時間を現状の6時間から3時間に短縮およびゼロにした場合の重油使用量、養生エネルギーおよびCO₂排出量を試算した結果です。これより、プレキャスト部材の養生において、部材表面の熱伝達率を半減あるいは1/5に小さくすることで蒸気養生時間を短縮できるため、重油使用量、養生エネルギーおよびCO₂排出量をそれぞれ56%，22%に削減可能です。

5. おわりに

実態調査よりプレキャスト部材の養生温度やエネルギー使用量を把握しました。また、温度解析により養生方法の効率化を検討した結果、部材表面の熱伝達率を最大1/5に小さくすることで蒸気養生時間を短縮できるた

表1 エネルギー使用量とCO₂排出量の実態調査結果

	重油使用量(L)	エネルギー(MJ)	CO ₂ 排出量(kg-CO ₂)
ボイラ	941	36800	2550
1部材	41	1600	111

注) 重油1L当たり39.1MJ、2.71kg-CO₂にて換算した³⁾。

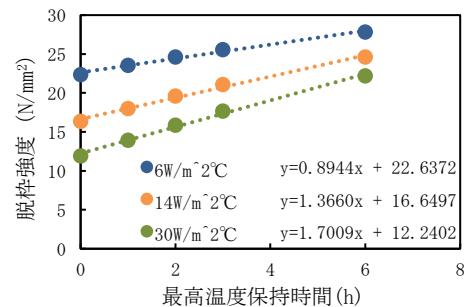


図5 温度解析による脱枠強度の推定値

表2 エネルギー使用量とCO₂排出量の試算結果

保持時間(h)	重油使用量(L)	エネルギー(MJ)	CO ₂ 排出量(kg-CO ₂)
6	41	1600	111
3	32 ^{**1)}	1248	87
0	18 ^{**2)}	704	49

※1) 蒸気放出から保持時間3時間までの重油使用量の合計

※2) 蒸気放出から35°C昇温完了までの重油使用量の合計

め、重油使用量、養生エネルギーおよびCO₂排出量を最大22%に削減可能であることを確認しました。

今後、どのようにして熱伝達率を小さくするかも含め、プレキャスト製品工場における養生エネルギー削減に向けて引き続き検討を進める所存です。

参考文献

- 日本コンクリート工学会:マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016, p.47, 2016.11
- 土木学会:2022年度制定コンクリート標準示方書【設計編】，pp.329-348, 2023.3
- 燃料別の二酸化炭素排出量の例（環境省）：
<https://www.env.go.jp/council/16pol-ear/v164-04/mat04.pdf> (2025年3月31日閲覧)