

低温下における若材齢高炉セメントコンクリートの温度履歴

日本大学 正会員 ○岩城 一郎
 東北大学 石井 晴彦
 東北大学 学生員 千葉 裕人

1. はじめに

近年、高炉セメントがグリーン購入法の品目指定を受けたことに伴い、その使用に消極的であった東北地方においても高炉セメントの需要が増加している。高炉セメントを用いたコンクリート（高炉セメントコンクリート）は低温下で強度発現が著しく遅延すること、また初期凍害を受けやすいことが知られている。こうした問題を解決するためには、その強度発現性および初期凍害抵抗性に対する性能照査支援ツールの開発が望まれる。すなわち、低温下における若材齢高炉セメントコンクリートの温度履歴を簡便かつ精度良く解析し、積算温度と強度との関係からその強度発現性を照査することが重要と考えられる。以上の背景から、本研究では、配合および寸法の異なる高炉セメントコンクリート供試体の温度履歴を測定するとともに、汎用温度解析プログラムを用いて温度履歴を算出し、その予測精度を検証した。また、型枠材の種類や簡易な断熱材の使用が低温化におけるこの種のコンクリートの温度履歴に及ぼす影響についても検討を行った。

2. 実験概要

セメントは高炉セメントB種を使用した。配合は、簡易供試体用に水セメント比 60%の普通コンクリート（BB60）と水セメント比 30%の高流動コンクリート（BB30）、実物大供試体用に水セメント比 54%の普通コンクリート（BB54）を使用した。簡易供試体はコンクリート（ $20 \times 20 \times 20\text{cm}$ ）の周囲 6 面を厚さ 20cmの断熱材（発泡スチロール）で覆った簡易断熱試験用供試体¹⁾と、このうちの一面に、型枠材を想定し、鋼板あるいは、新種の埋設型枠材である高じん性セメントボード（以下、ボード）を貼った簡易温度履歴試験用供試体に大別される。一方、実物大供試体は橋脚の 1/4 モデルを模擬し、コンクリート（ $90 \times 90 \times 90\text{cm}$ ）の隣り合う側面 2 面を鋼板、ボード、あるいはボードと簡易断熱材（エアキャップ）で覆い、残りの 4 面を厚さ 20cmの発泡スチロールで覆った。外気温およびコンクリート中の温度履歴は熱電対により測定した。温度解析には、温度ひび割れ解析用 3 次元FEM解析プログラムを用いた。簡易温度履歴試験用供試体の温度履歴は、簡易断熱試験により、コンクリートおよび発泡スチロールの熱物性値を定め、これらの物性値を固定し、鋼板およびボードの熱伝導率を仮定することにより推定した。さらにこれらの物性値を基本として、実物大供試体の温度履歴を推定した。なお、冬期に外気温にさらした簡易温度履歴試験用供試体は、初期凍害を受けた可能性が示唆されたため、材齢 7 日で $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ のコアを採取し、その圧縮強度を測定した。

3. 結果と考察

図 - 1 に、鋼板を貼り付けた簡易供試体（冬期屋外暴露）の温度履歴の一例（BB30）を示す。図より、打込み後外気温が急激に低下し、約 30 時間後には -5°C 近くに達していることが分かる。これに対して、型枠材（鋼板）の裏面、すなわちコンクリート表面部の温度は外気温の低下に伴いほぼ単調に低下し、24 時間後からは数時間氷点下になっている。一方、コンクリート内部の温度は外気の影響を表面部ほど受けないため、氷点下にまでは達していない。このように、打込み直後に厳しい低温にさらされると、高炉セメントの水和反応が停滞し、水和発熱による温度上昇がないまま氷点下に達することが明らかになった。図-2 は同一環境下で型枠材としてボードを貼り付けた場合の温度履歴である。鋼板に比べ、温度の低下が緩やかで、最低温度もボード裏面でわずかに氷点下になる程度で、ボードの保温効果が確認された。以上の測定結果は BB60 でも同様に確認された。図中にボード裏面における温度解析結果を載せたが、解析では初期から水和反応が進行し、温度が

キーワード 高炉セメント，コンクリート，温度履歴，低温環境，若材齢，初期凍害

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 日本大学工学部土木工学科 TEL 024-956-8721

一旦上昇する傾向を示しており、実測値とは大きく異なる結果となった。このことは低温下における若材齢高炉セメントコンクリートの温度履歴を過大に評価することになるため、今後、低温下における高炉セメントの水和発熱特性を考慮したモデルの改良が必要である。図-3にこれらの供試体の型枠材裏面およびコンクリート内部から採取したコアの材齢7日圧縮強度を示す。前述の温度履歴を反映し、鋼板の裏面で明らかに圧縮強度が低下しており、初期凍害を受けたことが判明した。

図-4に3種類の実物大供試体(BB54)の温度履歴測定結果(型枠材裏面)と解析結果の一例(ボード)を示す。図より、実物大供試体では、前述の簡易供試体に比べ材齢初期の温度の低下が顕著に現れず、打込み後12時間以降で温度が上昇している。これは供試体が大きいために放熱の影響が少なく、セメントの水和発熱が顕在化したためと思われる。ただし、このときの外気温は氷点下にはなっておらず、凝結前に氷点下にさらされるような場合の温度履歴については今後検討していく必要がある。型枠材の種類や断熱材の有無で比較すると、コンクリート温度は明らかに、ボード+断熱材>ボード>鋼板の順になっており、鋼板と比較した場合のボードの保温効果と、さらに簡易な断熱材を施すことによる著しい保温効果が確認された。また、解析結果は実測結果を妥当な精度で表しており、供試体寸法や外気温の条件によっては、汎用解析プログラムによりコンクリートの温度履歴を予測可能であることが明らかになった。

4. まとめ

本研究により、低温下における若材齢高炉セメントコンクリートの温度履歴について把握することが出来た。また、これらの挙動を汎用温度解析プログラムによりある程度推定可能であることを示した。しかしながら、氷点下を含む厳しい低温環境下で比較的サイズの小さいコンクリートを施工する場合、水セメント比によらず初期凍害を受ける危険性があり、その温度履歴は本解析プログラムでは評価できないことが分かった。さらに、型枠材の選定や簡易な断熱材の適用により、低温環境下における高炉セメントコンクリートの温度履歴が顕著に改善されることが明らかになった。

謝辞：本研究の一部は(社)東北建設協会の助成金を受けて行われた。また、本研究の遂行にあたり、(株)大林組の青木茂氏、浦野知子氏をはじめ多くの方の助言を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- ・ 吉武他, 現場利用可能なマスコンクリートの簡易断熱温度上昇測定法の提案, 土木学会論文集, No.606, pp.103-110, 1998.11.

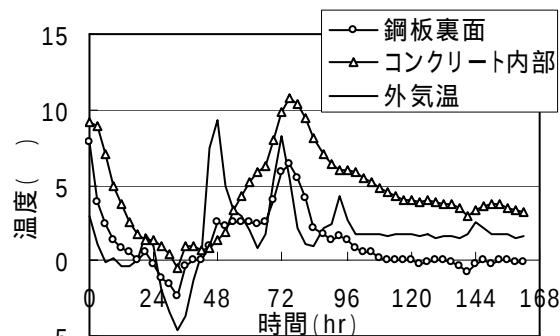


図-1 簡易供試体(鋼板)の温度履歴

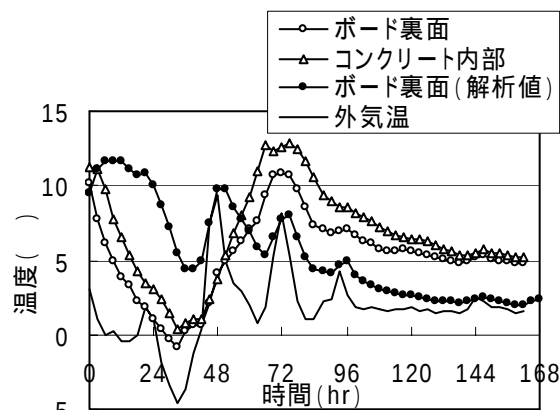


図-2 簡易供試体(ボード)の温度履歴

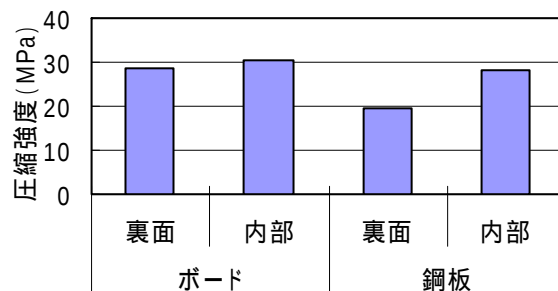


図-3 簡易供試体の圧縮強度測定結果

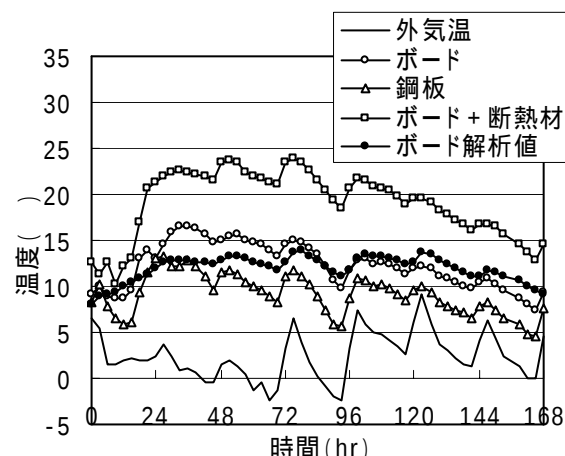


図-4 実物大供試体(裏面)の温度履歴