

V-25 若材齢時における高炉セメントコンクリートの温度履歴に関する検討

東北大学 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、グリーン購入法の品目指定を受けたことに伴い、東北地方においても高炉セメントの需要が高まりつつある。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）は一般に低温下で強度発現が著しく遅延すること、またその結果初期凍害を受けやすいことが知られている。こうした性質は、低温環境下における若材齢コンクリートの水和発熱特性に依存すると考えられるが、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について、詳細に検討した例は少ない。そこで、本研究では、打込み直後から低温にさらされた高炉セメントコンクリートの温度履歴を簡易供試体、実物大供試体で測定し、汎用温度解析プログラムを用いてその温度履歴を推定すると共に、型枠材の選定や断熱材の適用が、この種のコンクリートの温度履歴に及ぼす影響を検討した。

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) の 2 種類、実物大供試体に水セメント比 54% の普通コンクリート (BB54) の計 3 種類とした。簡易供試体はコンクリート (20×20×20cm) 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、新種の埋設型枠材として注目されてい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の 2 種類に大別される。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 (90×90×90cm) 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、汎用 3 次元 FEM 解析プログラムを用いた。温度履歴の推定に当たっては、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、簡易温度履歴試験用供試体の温度履歴を推定した。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、氷点下を含む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φ10cm×20cm のコアを採取し、その圧縮強度を測定した。

3. 実験結果及び考察

図-1 に、鋼板を貼り付けた簡易供試体の温度履歴の一例 (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℃ 近い、厳しい低温にさらされ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ため、氷点下にまでは低下していない。このように、打込み直後に厳しい低温環境にさらされると、高炉セメントの水和反応が停滞し、低水セメント比であっても水和発熱による温度上昇が見られないまま氷点下に達すること

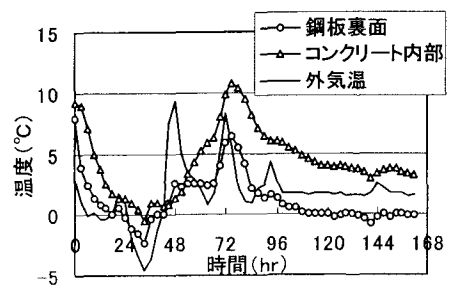


図-1 簡易供試体 (鋼板) の温度履歴

が分かった。図より、本格的な水和水が開始するのは外気温が0℃を上回った48時間以降であると判断される。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水が進行し、温度が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。このことは低温環境下における若材齢時の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、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(ボード)の一部を示す。このように、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活性化したためであると思われる。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、供試体サイズ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、低温環境下における若材齢時の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、その温度履歴は汎用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、材料の提供および温度解析にあたっては(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】

- 1) 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.

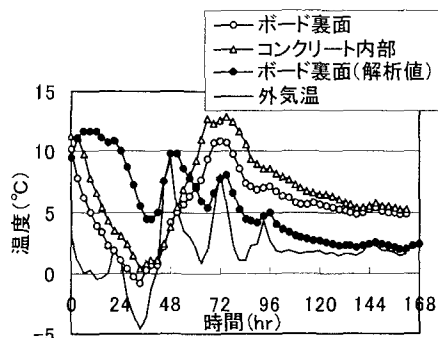


図-2 簡易供試体(ボード)の温度履歴

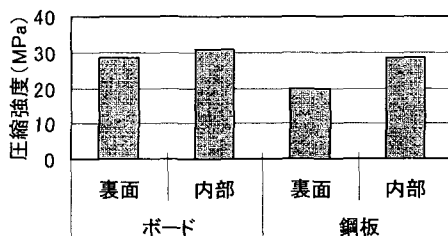


図-3 簡易供試体の圧縮強度測定結果

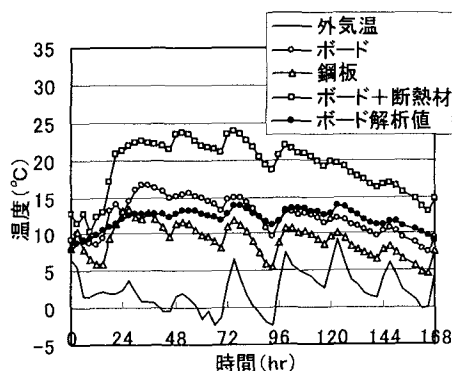


図-4 実物大供試体(裏面)の温度履歴