

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 区 光 烽

日本で広く使用されているカルシウム・サルフォ・アルミネート(CSA)系膨張材(以下、CSA系膨張材)は、コンクリートの乾燥に伴う収縮を効果的に抑制できるが、高温履歴を受けるマスコンクリートの温度ひび割れ抑制には余り効果を発揮しないことが経験的に知られている。その一方で、中国では、過去に特段の温度ひび割れ抑制対策を施していないにもかかわらず、たまたま MgO 含有量が多いセメントを使用していたコンクリート製ダムで貫通ひび割れが発生しなかったことから、マグネシア(MgO)系膨張材(以下、MgO系膨張材)の開発が独自に進められ、現在ではコンクリート製ダムで一般的に使用されるようになってきている。このような背景の下、本論文は、高剛性のフレーム内でコンクリートの体積変形に伴う応力変化を測定する温度応力測定装置(以下、TSTM)を用いて、マスコンクリートに近い高温の温度履歴を与えた場合の CSA系膨張材と MgO系膨張材の温度応力抑制効果の比較を行うと共に、主に空隙構造と反応に伴う水分消費量の差異から両者の相違を論じたものである。また、既存の空隙構造モデルと最近の空隙構造に関する新しい知見を組み合わせつつ、独自の解釈を組み入れた空隙構造と密度変化に関するモデルと、TSTMで計測された温度応力履歴を評価する一次元の簡易応力解析プログラムを作製したものである。

まず、TSTMを用いたシリーズ実験を実施し、CSA系膨張材を使用したコンクリートでは、完全拘束下でマスコンクリートに近い高温履歴を受けると、高温履歴を受ける初期材齢に大きな圧縮応力が発生するものの、温度の降下に伴って応力が大きく引張に転じること、および、空隙に大量の水分を保持させた表乾状態の軽量骨材を併用すると、温度降下に伴う収縮が大幅に抑制されて膨張材の効果が持続するという既往の知見を確認している。その上で、製造方法の異なる 2 種類の MgO系膨張材を使用したコンクリートの完全拘束・高温履歴下での温度応力を測定し、MgO系膨張材使用コンクリートでは、高温履歴下での圧縮応力の蓄積は CSA系膨張材使用コンクリートより少ないものの、温度降下後の引張応力の発生は、タイプ I の MgO系膨張材使用コンクリートでは CSA系膨張材使用コンクリートと同程度で、タイプ II の MgO系膨張材使用コンクリートでは CSA系膨張材使用コンクリートよりも小さく膨張効

果も継続的に増大することを明らかにしている。

次に、温度降下後の供試体に対して、外部から水分を与える湿潤過程と外気に暴露する乾燥過程を交互に与えたところ、CSA系膨張材使用コンクリートでは湿潤に伴う圧縮応力の増加が大きいものの、乾燥に伴う引張応力の増加も顕著であるのに対して、MgO系膨張材使用コンクリートでは湿潤に伴う圧縮応力の増加も乾燥に伴う引張応力の増加も比較的穏やかであるが、湿潤によって追加的な膨張効果が持続的に継続することを確認している。水銀圧入式ポロシメータおよび窒素吸着による空隙構造測定を行ったところ、CSA系膨張材使用コンクリートでは通常のコンクリートに比べて  $50\sim 500\text{nm}$  の範囲の空隙が粗大化しているのに対して、MgO系膨張材使用コンクリートでは、概ね通常のコンクリートと同様の空隙構造となっていることを確認し、MgO系膨張材が高い温度応力および乾燥収縮抑制効果を発揮する理由として、CSA系膨張材に比べて MgO系膨張材の反応速度は穏やかかつ持続的であり、単位重量当たりの反応水量も半分程度であること、また、高温履歴下での CSA系膨張材の効果が限定的であることの理由として、反応速度が極めて速いことに加えて、単位重量当たりの反応水量が多く、粗大化した空隙構造において、残存している練り混ぜ水との接触機会が急速に低下することを挙げている。

また、既往の複数の空隙構造形成数値解析モデルを参考に、セメント硬化体であるケイ酸カルシウム水和物（以下、C-S-H）の時間依存密度変化数値解析モデルを既往の水和発熱モデルと組み合わせて構築している。そして、窒素吸着法で測定された空隙表面積の測定結果を用いた検証を行い、低密度 C-S-H には窒素ガスが侵入して表面積を検出できるが、高密度 C-S-H には窒素ガスが侵入できずに表面積は検出されないという仮定を設けて、異なる水セメント比における低密度 C-S-H と高密度 C-S-H の生成量と空隙量の時間変化を算定し、上記の仮定に基づいて算出される空隙表面積と測定結果との比較からモデルの妥当性を論じている。また、既存の空隙構造モデルと最近の空隙構造に関する新しい知見を組み合わせつつ、定性的ながら独自の解釈を組み入れた空隙構造モデルを提案している。さらに、既往の水和発熱モデルと簡易な剛性発現モデルおよび簡易なクリープモデルを組み合わせた一次元の応力解析数値プログラムを作製し、本論文で実施した TSTM を用いた温度応力測定実験で計測された温度応力履歴の再現解析を行っている。

以上のように、マスコンクリートに近い高温の温度履歴を受ける状況での各種膨張材の温度応力抑制効果とその機構を明らかにした本研究の意義は高く、新規性に富む独創的な研究成果と評価できる。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。