

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 Choi, Kyu-Yong

都市の高度化と多様化から、高温履歴と乾燥湿潤を受ける厳しい自然および人工環境に対しても遮蔽機能を有する社会基盤施設の整備が求められつつある。高レベル放射性廃棄物の中間貯蔵に用いるコンクリートキャスクやエネルギー施設の隔壁、タービン等の支持基盤などが挙げられる。これらに対して、ひび割れを許容する鉄筋コンクリートを設計する場合には、ひび割れ以後の付着ならびに鉄筋の自由変形を拘束する機構を総合的に評価して応答解析を行う必要がある。一方、交通基盤に代表されるような既設重要社会基盤の長期性能の予測と維持管理の必要性が益々高まりつつある状況であり、温度・湿度・腐食誘発物質の侵入に代表される環境負荷に対して、構造応答を精度よく求める技術の開発が希求されている。

これらの背景を受け、本研究は環境要因と荷重の複合作用を受ける鉄筋コンクリートの引張変形挙動を実験的に明らかにするとともに、実務設計に反映可能な **Tension-stiffness** 型構成則に研究の成果をとりまとめることを目的としたものである。地中大型 LNG タンク構造のように、低温域で複合温度荷重を受ける場合、細孔内の凝縮水が固結して安定化するのに対して、高温域では水分の逸散加速とクリープの急激な増加、ひび割れ破壊韌性の変化を伴うため、現象および機構両者に不明な点は依然多い。そこで、本研究では対象温度を、非線形性の強い常温から摂氏 90 度までとした。

第 1 章は序論であり、本研究の分析手法の中核をなす概念として、分散ひび割れモデルに立脚した **Tension-stiffness** モデルとその工学的応用方法を概括し、環境作用を取り入れた一般化モデルへの拡張の方向づけと本研究でカバーする範囲を明確にしている。

第 2 章では、温度と水分移動の両者が混成する環境下にある無筋コンクリートの圧縮強度と応力ひずみ関係、ならびに単一ひび割れの進展に擁するエネルギーと引張軟化特性について、系統的な実験を行ったものである。巨視的な圧縮強度とひび割れの軟化特性に対して、温度上昇履歴はコンクリート複合体に非回復の損傷を与えるものの、その影響は小さく、圧縮強度の 1 割程度の応力レベルに留まることが示された。また、乾燥履歴は単一ひび割れの発生応力に有為な影響を与えるが、以後の応力伝達に及ぼす影響は小さいことも実験的に示された。コンクリート単体の力学的特性は、本研究で設定した環境作用の範囲で安定しており、構成材料の強度、剛性、破壊エネルギーといった力学的諸量に大きな履歴特性がないことを確認している。

第 3 章は、鉄筋コンクリート部材としての複合温度荷重下での引張非線形特性を検討したものである。温度と水分の出入りを制御し、これらの組み合わせ環境を再現して、1 軸引張荷重を作用させ、ひび割れの進展と分散による部材長さ変化から、鉄筋コンクリート中のひび割れを含むコンクリートの負担成分のみを極めて高精度に抽出することに成功している。

試験体の長さを 1m 以上に設定することで、製作精度と測定精度の両者を向上させ、温度・湿度は部材中心部と表面部との差を最大 4 度以内に留めることで、内部自己応力成分を無視できる程度に小さくしたことが、高精度抽出のポイントとなっている。

コンクリート単体では、3 章の通り、温度・湿度履歴で引張強度と破壊靱性の変動が僅かな範囲に留まるのに反して、RC 中ではひび割れ発生応力は最大 7 割も低下する場合があること（常温かつ乾燥期間の長い場合）、ひび割れ発生以後の残存拘束引張応力と平均ひずみの関係も環境作用と履歴によって大きく影響を受けることが計測された。しかし、第一ひび割れ発生応力を部材中のコンクリートの見かけ強度に設定すれば、ひび割れ以後の tension 挙動は、標準状態（常温湿潤）の構成モデルをそのまま準用して、工学的に問題無い精度で評価できることを明らかにしている。すなわち、複合温度荷重下でのひび割れ発生応力を事前に評価することで、RC 部材の Post-crack 挙動は解析が可能となることが示されたのである。

本章では、さらに微視的機構に立ち戻って、温度履歴と水分履歴の影響について考察している。部材平均ひずみのみならず、ひび割れ間のコンクリートの表面局所ひずみを系統的に計測し、さらに断面貫通したひび割れから蛍光材料を注入し、固化した後で部材を切断し、切断面にあらわれる蛍光面から、内部ひび割れ損傷の空間的位置関係を総合的に検討した。その結果、温度の違いによって、鉄筋近傍から発生するひび割れの分散状態と進展が異なり、周辺コンクリートの変形モードに大きな差が生じていることが見いだされた。しかしながら、空間平均をとれば、いずれも部材長さ方向の平均挙動は初期ひび割れ発生応力で正規化することで、一意的に平均変形は予測可能であることが裏付けられた。

第 4 章は結論であって、本研究の総括と今後の研究課題の整理を行っている。

本研究は、ひび割れの分散する鉄筋コンクリート部材の平均引張応力-平均ひずみ関係から、付着機構を通じてコンクリートが負担する引張成分を抽出し、温度と乾燥湿潤の異なる環境作用経路に対する応答を、極めて高い精度で測定することに成功した。さらに構造応答解析に組み入れる実用的な方法を提示するに至っている。あわせて、微視的機構に基づく深い考察から、水分逸散・回復、温度変化、荷重作用の複合効果に関する新たな視点を提示した。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。