

論文の内容の要旨

論文題目

Deformational Behavior of RC Tension Members subjected to Coupled Thermo-Mechanical Actions

(複合温度荷重を受ける鉄筋コンクリート引張部材の変形挙動)

氏 名 崔 圭 容

社会基盤施設の主要構造形式の一つである鉄筋コンクリート部材の力学的特性の解明と構造安全性、使用性に関する数値評価技術に関して、過去十年で大きな進展をみることができる。構成材料であるコンクリートの高性能化と鋼材の高強度化に対応した材料特性の把握と数値解析への反映も進められ、地震荷重と厳しい鋼材腐食環境を同時に考慮しなければならない場合にも、耐震性能と寿命予測が確度よく求められるようになり、性能向上とコスト削減の両者に既に貢献を果している。

鉄筋コンクリート構造の応用範囲は近年、高レベル・低レベル放射性廃棄物貯蔵施設や大深度地下施設の建設などにも広がりつつある。温度および湿度に対するコンクリート構造の安定性を鑑みれば、短期性能と構成材料の品質確保に大きな問題は考えにくいですが、80度近い常時温度のもとで100年を越える品質確保が、貯蔵施設などを対象とする場合に求められるようになってきた。また、熱源の近傍にある都市地下構造物や高速増殖炉などの施設に適用する場合には、60～70度の荷重作用のもとで、ひび割れを許容する鉄筋コンクリートの安全設計ならびに耐震設計を行うことが求められる。本研究は、コンクリート中の結晶水逸散に伴うC-S-Hゲル構造が変化しない範囲で、温度履歴を受ける鉄筋コンクリート構造部材の常時および非常時挙動の解析方法と設計の指針を得ることを目的とするものである。

付着特性とひび割れ破壊が構造部材の変形挙動に最も大きな影響を及ぼすことから、本研究では、80度以下の変動温度環境下にある鉄筋コンクリート1次元部材の局所並びに平均挙動の両者に着目して、変動温度条件下での引張載荷実験を実施した。荷重履歴と温度履歴を組み合わせ、ひび割れ発生以後の平均挙動に関する **Tension-stiffening** 曲線を高精度で抽出することに成功した。持続応力下でのクリープを、局所および部材全体の両方で測定し、ひび割れの進展にあわせて伝達応力の逡減の特性を、これまでの常温、短期荷重状態のモデルと比較することで、明確にすることができた。

Tension-stiffness 曲線は、高温時、常温時、並びに温度変動に対してそれぞれ異なる特性を呈し、導入されるひび割れの間隔や本数は、環境条件とコンクリートの強度、鋼材比によって大きく異なることが確認された。しかし、第一ひび割れ発生時の応力(強度)で伝達引張応力を正規化すると、局所的に大きく異なる現象も平均応力-平均ひずみによる **Tension-stiffness** 曲線は、任意の温度経路を経ても、同一の曲線と工学的に仮定できることが判明した。また、高温時の圧縮クリープが大きいことはコンクリート単体の物性として知られているが、ひび

割れを含む領域で引張応力を受けている場合には、平均的には殆どクリープ挙動がみられず、たとえ高温持続荷重下においても、鉄筋コンクリートとしては極めて安定性に優れた性能を発揮するものであることが、実験的に示されたのである。これらの事実は、既往の鉄筋コンクリートの数値解析手法を基準とし、環境条件に応じて第一ひび割れ発生応力を正確に予測できれば、それ以後の挙動は、高い精度で Tension-stiffness 曲線を用いて予測することが可能であることが示された(図 1)。換言すれば、温度履歴、乾燥履歴、持続応力の影響が複雑に関連して、第一ひび割れ強度は決定されるが、以後の挙動は、種々の影響を代表している第一ひび割れ強度で正規化することで、以後の挙動をほぼ正確に、かつ安全側に評価されることが分かった。

平均化された Tension-stiffness 特性も、局所的に見れば、温度条件によって大きく異なることも同時に見いだされた。微視的にみて大きな差と現れる現象も、巨視的にみれば安定に転ずる機構を理解する目的で、鉄筋近傍に生成される付着ひび割れ挙動に着目して、考察を行った。あわせて温度履歴を受けるコンクリートの巨視的な剛性と強度の温度依存性、並びに温度履歴依存性について検討を行った。高温環境下では、鉄筋節近傍に発生する付着ひび割れが常温に比較して早期に導入され、鋼材にそったひずみ分布が平滑化する方向に変化すること、これによってコンクリート表面部に導入されるそりと圧縮ひずみが軽減され、ひび割れ本数が変化すること、これらの局所的挙動が相殺されて見かけ上、温度の変動にも関わらず、tension-stiffness 曲線はほぼ同一曲線に収束することが見いだされた。高温下における、ひび割れ間のコンクリートの短期クリープがひび割れ幅を小さくし、全体の伸びを加速することが一方で想定されたが、本研究でこの機構は明確に棄却されたことも成果の一つである。鉄筋節の極近傍の局所変形までを陽な形で考慮した非線形有限要素解析をあわせて実施し、高温下での非線形挙動の機構について考察を進めた。鉄筋節近傍の高圧縮状態での非線形性のみならず、付着ひび割れ発生後の破壊エネルギーの設定が、この問題に極めて大きな影響を与えることを、種々の仮想条件を設定して確認を行った。

高温履歴を受ける鉄筋コンクリートの非線形応答解析では、ひび割れ発生時の強度を、その時点における温度の関数で求めることで、以後の付着特性と tension-stiffness は確定的に規定することができることを明らかにした。微視的機構からの説明には、なお研究を要する事項を、具体的に示すことができた。

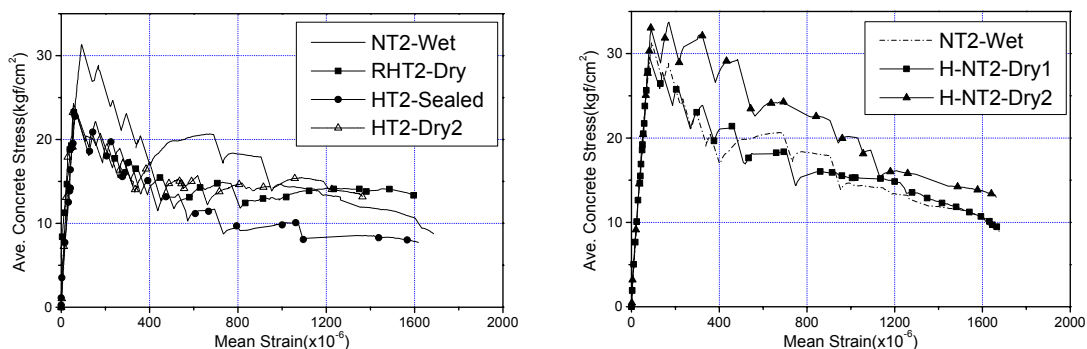


図 1 湿潤(Wet),乾燥(dry),高温(HT), 常温(NT)とその組み合わせ並びに履歴を変えた場合のコンクリートの Tension-stiffness 曲線