

## 論文の要旨

題目 骨材の影響に着目したコンクリートの乾燥収縮特性評価と RC はりのせん断耐荷挙動へ及ぼす収縮の影響に関する研究

(Study on evaluation of drying shrinkage of concrete focusing on aggregate properties and shrinkage effect on shear strength of reinforced concrete beams)

氏名 兵頭 彦次

コンクリートの収縮は、内部に配置された鉄筋等によって拘束されることで断面内に引張応力を生じ構造物にひび割れを誘発させる。ひび割れは、構造物の美観や水密性、鉄筋の腐食にともなう耐久性の低下に繋がる。そのため、コンクリートの乾燥収縮挙動やそれにとまなうひび割れ発生を予測し、適切に対策を講じることは、構造物の高品質化、高耐久化、長寿命化につながる重要な工学的課題のひとつである。これまでの精力的な研究によって、コンクリート構造物の設計プロセスの中で、コンクリートの乾燥収縮は材料設計値として組み込まれ、設計の体系化が図られてきた。ところが近年、骨材の品質低下に起因したコンクリートの収縮の増大、収縮増大による構造物の過大なひび割れ・たわみ問題さらには収縮の地域性などが顕在化し、構造物の品質を確保する上で不備な点や設計上の課題が生じてきた。

コンクリートの収縮量が変化する場合、特に想定しているよりも大きな収縮を生じる場合の対応としては、二つのアプローチが考えられる。ひとつは材料による対応で収縮量を抑制・コントロールすること、もうひとつは設計によって構造物の諸性能が担保されていることを確認することである。本来であれば、材料・構造設計の両面から照査が行なわれ、結果に応じて構造物の品質を確保するための合理的な対応策を講じることが望ましいと考えられる。しかしながら、現状では、実験的に収縮量が小さいと確かめられた特定の骨材に置き換えるといった比較的容易な材料的対応に傾倒していると言わざるを得ない。

このような安易な骨材の選別を回避し、さらには低品質な骨材も活用ができる合理的な対応を促していくためには、材料物性と構造性能を連成した合理的な設計方法を構築していくことが重要となる。そのためには次に示す技術的課題を解消することが必要であると考えられる。

- ① コンクリートの収縮抑制材料の効果は、そのほとんどが標準的な材料・配合に対して検証されたものであるため、骨材品質が大幅に異なるような広範な条件でのデータを蓄積し、特性を把握することで、コンクリートの収縮を保証する体制を構築していく必要がある。
- ② これまでの乾燥収縮予測式は、膨大なデータベースに基づいた平均値のみを与える確率論モデルであるため、設計段階で利用できる骨材の品質、物性に基づいた収縮予測式を整備する必要がある。それにとまなうて、骨材品質を評価する有効な手法を整備する必要がある。
- ③ 収縮が構造物の使用性能に与える影響は設計上考慮されているが、安全性については必ずしもその影響が明らかでない。特に、引張鉄筋が弾性範囲内で破壊が生じることが多い鉄筋コンクリート(RC)部材のせん断耐荷力については、収縮の影響を検証し必要に応じてそれを組

み込んだ設計方法を整備していく必要がある。

本研究では、これら諸課題に対し実験的な評価検討を行うことで、材料物性から構造性能までを包含した体系的な収縮・せん断強度設計法の構築に資することを目的とした。

本論文は、全7章で構成されている。

第1章では、本研究の背景、目的および本論文の構成を記した。

第2章では、本研究に関連した既往の研究を調査・整理し、現状の問題点や課題の抽出を行なった。

第3章では、コンクリートの乾燥収縮の抑制材料として認知されている膨張材、収縮低減剤さらには石灰石骨材の効果が、骨材およびセメントの種類によってどのように変化するか、標準的な試験(JIS A 1129 および JIS A 6202 試験)によって系統的な検討を行い、データの拡充を図った。膨張材、収縮低減剤は、骨材種類によって大幅に収縮量が異なるコンクリートにおいても指針類に示される所要の収縮抑制効果を確保できることを確認した。また、これら収縮抑制効果には、骨材種類よりもセメント種類が異なる影響のほうが大きいことを確認した。石灰石骨材を含む各材料の収縮抑制効果を包括的に整理した。

第4章では、コンクリートの乾燥収縮に影響を及ぼす骨材物性とされる、粗骨材の密度、吸水率、吸湿率、細孔径分布、静・動弾性係数、乾燥収縮率を取り上げ、コンクリートの乾燥収縮の評価指標としての適用性を検証した。コンクリートの乾燥収縮との相関性は、粗骨材の乾燥収縮率が最も高く( $R^2=0.898$ )、単独物性でありながら複数の物性から構成される重回帰式の相関性( $R^2=0.922$ )とほぼ同程度に評価できることが確認された。そのほかの物性が乾燥収縮率よりも相関性が低い( $R^2=0.190\sim 0.683$ )のは、骨材の岩種が堆積岩の場合と火成岩の場合で、物性値とコンクリートの乾燥収縮の関係が異なってくるためと考えられた。骨材がコンクリートの乾燥収縮へ与える影響を簡易に評価する指標として、粗骨材の乾燥収縮率が有益であることから、サンプル数や試料サイズなど測定条件について検討することで実用性向上を図った。

第5章では、骨材物性を考慮できるコンクリートの乾燥収縮予測式として複合モデルを取り上げ、手法の整備および予測精度の検証を行った。複合モデルは、入力値として骨材の弾性係数と乾燥収縮率のデータが必要なため、設計段階で利用することが難しかった。そこで「第4章」の粗骨材の物性評価結果および既往の研究結果に基づき、吸水率と関連付けた物性モデルを構築した。モデル化した骨材物性を用いた場合の予測値は、レディーミクストコンクリート工場から収集した実験データに対し、2012年土木学会示方書式と同程度の精度で予測できることを確認し、設計段階での利用の可能性を示した。

第6章では、せん断補強筋のない普通強度 RC はりのせん断耐荷挙動に及ぼす収縮の影響を明らかにするため、乾燥収縮が  $1000\mu$  を超える高収縮コンクリートおよび封緘養生さらに膨張材を使用して収縮を抑制した低収縮コンクリートを用いて、水結合材比(50%, 35%)、有効高さ(250mm, 500mm, 1000mm)をパラメータとした曲げせん断載荷実験を行った。その結果、高収縮コンクリートは低収縮コンクリートよりも最大で17%せん断強度が低下することと寸法効果が大きくなることを実験的に確認した。コンクリートの収縮によるせん断強度低下および寸法効

果増大のメカニズムについて、引張鉄筋ひずみの変化量、曲げせん断域の曲げひび割れ幅およびその進展挙動、中立軸位置、せん断変位等の変形挙動から考察した。さらに、収縮の影響を考慮できる載荷前後の鉄筋ひずみ変化量に基づく等価引張鉄筋比を、既存のせん断強度式の鉄筋比の項に組み込むことによって、収縮の大小によらずせん断強度を統一的に評価できることを明らかにした。

第7章では、本研究の範囲内で得られた主な知見を取りまとめるとともに、今後の課題に言及し結論とした。