

強制乾燥および質量・長さ変化率関係を用いた コンクリートの乾燥収縮率推定方法の提案

学位論文内容の要旨

コンクリートの乾燥収縮はコンクリート中の水分が失われて、収縮する現象であり、構造物にひび割れを発生させる原因の一つである。これまで、多くの研究者によって幅広い研究が蓄積されているが、実構造物のひび割れ制御は難しい問題である。コンクリートの乾燥収縮率は、材料・調合によってその値が大きく異なり、一般的に温度 20℃、相対湿度 60% の環境における 6 ヶ月間の長さ変化率（以下、標準乾燥収縮率と略記）で表されるが、試験期間が長期であるため、実務において試験を行うことは困難である。このため、コンクリートの標準乾燥収縮率について各種の予測方法が提案されている。しかしながら、それらの方法の推定精度等の問題から標準乾燥収縮率の予測値を現場管理やひび割れ制御設計等に活用することは一般的に難しい。

そこで、本研究では、実務においてコンクリートの標準乾燥収縮率の予測が必要なものとして、設計段階（材料・調合が確定した段階）、施工段階（実際のコンクリートが得られた段階）、既存構造物の調査段階（実構造物のひび割れ発生原因の推定を行う場合）を想定し、これらの三つの段階に対応したコンクリートの標準乾燥収縮率予測方法を提案した。設計段階では、質量変化率と長さ変化率の関係が直線的な関係を示すことから、この直線関係の勾配と切片に及ぼす材料・調合の影響を明らかにし、材料・調合および乾燥期間 6 ヶ月の質量変化率から標準乾燥収縮率を予測するものである。なお、この材料・調合による直線関係が明らかになれば、部位による質量変化率を与えることにより、各部位の乾燥収縮率を求めることも可能となる。さらに、施工段階では、高温で強制的な乾燥を行い、このときの収縮率から標準乾燥収縮率を予測する方法を提案した。（以下強制乾燥法と略記）この方法により、コンクリートが得られれば、短期の試験で標準乾燥収縮率を比較的精度良く予測できると考えられる。また、既存構造物の調査段階の予測法は、強制乾燥法を用いた方法に材齢の影響を付加したものである。これまで、既存構造物のコンクリートを用いて標準乾燥収縮率を求める方法はなく、新しい方法である。

本論文は 6 章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第 1 章では、本研究の背景および目的を説明し、コンクリートの標準乾燥収縮率推定を必要とする時期を 3 段階にわけている。そして、それぞれにおける推定の目的、問題点、推定方法を説明している。また、標準乾燥収縮率推定に関する既往の研究を概観し、本研究の位置づけを示すとともに、本研究の範囲、構成を示している。

第 2 章では、コンクリート施工段階での標準乾燥収縮率推定を行うために、80℃に設定した乾燥器で 1 週間強制乾燥を行い、その時の長さ変化率（以下強制乾燥収縮率と略記）と標準乾燥収縮率を比較し、関係を検討している。また、その関係に及ぼす材料・調合の影響を検討している。そ

の結果、強制乾燥収縮率と標準乾燥収縮率は比例し、ここで検討した材料・調合の条件は強制乾燥収縮率と標準乾燥収縮率の関係に影響を及ぼさないことを示している。また、それらの検討結果をまとめ、強制乾燥収縮率から標準乾燥収縮率を推定する方法を提案している。

第3章では、既存建築物の調査段階での標準乾燥収縮率推定を想定し、3種の材齢のコンクリートに対して水中浸漬後、強制乾燥法を行っている。ここでのコンクリートは標準乾燥収縮試験終了後のものも含まれており、それらは乾燥が進行している。このため、試験体の長さ変化性状を評価するために一度水中に浸漬してから強制乾燥を行ったものである。ここでは、材料・調合の及ぼす影響、水中浸漬期間および強制乾燥期間についての考察、コンクリート材齢の影響について実験的検討を行っている。その結果、コンクリートの材齢が経過しているほど強制乾燥収縮率が小さくなることを明らかにした。また、検討結果から、コンクリートの材齢および強制乾燥収縮率を用いて標準乾燥収縮率を推定する方法についての提案を行っている。

第4章では、コンクリートの設計段階での標準乾燥収縮率推定方法の提案を行っている。質量変化率と長さ変化率の後半の関係が直線的になることを利用し、直線に及ぼす材料・調合の影響を実験的に検討している。その後、影響の大きい要因を取り入れた直線関係の推定方法の提案を行っている。同様の方法が清水らにより提案されているが、そこでは水セメント比、単位水量が及ぼす影響から直線の傾き、切片を求めており、他の材料・調合による影響については検討されていない。本研究ではそれら以外の材料・調合の影響を実験的に検討し、その影響を反映させた式を構築している。また、この方法により標準乾燥収縮率を予測するためには、直線関係の他に乾燥期間6ヶ月の質量変化率が必要であり、それを重回帰分析により材料・調合を入力値とした推定式から求められるようにしている。その後、直線関係と乾燥期間6ヶ月の質量変化率より標準乾燥収縮率を推定し、その適合性について検討を行っている。

第5章では、各章において求めた推定式の妥当性について検討している。既往の標準乾燥収縮率推定式による推定値と実測値の関係と比較検討を行い、各推定式の妥当性を検討した。

第6章は、総括であり各章のまとめと今後の課題・展望について述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 千 歩 修
副 査 教 授 大 沼 博 志
副 査 教 授 杉 山 隆 文
副 査 助 教 授 長 谷 川 拓 哉

学 位 論 文 題 名

強制乾燥および質量・長さ変化率関係を用いた コンクリートの乾燥収縮率推定方法の提案

コンクリートの乾燥収縮によるひび割れは、鉄筋コンクリート造建築物の大きな問題であり、これを防止するためには合理的なひび割れ制御設計・施工を行う必要がある。このためには、コンクリートの基本的性状である標準乾燥収縮率(20℃、60%R.H.、6ヶ月の収縮率)の設計時における把握および施工時における確認が必要となるが、標準乾燥収縮率を得るためには試験に長期間を要するため、標準乾燥収縮率の推定方法について多くの研究者により様々な提案が行われている。しかしながら、推定に必要なデータの入手や精度等で問題のあるものが多いため、合理的・実用的な推定方法が切望されている。また、既存建築物の調査時においてひび割れ発生原因の確定のためにコンクリートの標準乾燥収縮率の推定が必要な場合があるが、コンクリートの材料・調合のデータの得られない条件における有用な推定方法は存在しない。

本論文では、コンクリートの標準乾燥収縮率の推定が必要な段階を設計段階、施工段階および既存コンクリートの調査段階とし、これらの各段階の状況に応じて利用可能な推定方法を検討したものであり、高温でコンクリートの乾燥を行うことにより求める強制乾燥収縮率および標準乾燥収縮試験時の質量・長さ変化率に着目し、これらを用いた実用的な標準乾燥収縮率推定方法を提案している。

本論文の成果とその評価を要約すると以下ようになる。

- 1) 材齢1週のコンクリートを80℃で1週間乾燥させたときの収縮率(強制乾燥収縮率)が標準乾燥収縮率と明確な関係があることが既往の研究で報告されていたが、この関係を多くの調合・材料を変化させたコンクリートを用いた実験で確認し、材料・調合がこの関係に影響しないことを示し、この関係から標準乾燥収縮率の推定方法を提案している。この推定方法では、コンクリートが得られれば、2週間程度で比較的精度のよい標準乾燥収縮率の推定が可能であり、施工段階における標準乾燥収縮率の確認手法として有用なものと評価される。
- 2) 長期材齢において各種材料・調合のコンクリートを水中浸漬後に強制乾燥を行い、長期材齢においても強制乾燥収縮率と標準乾燥収縮率の関係は材齢ごとに材齢1週のコンクリートと同様の明確な関係があることを示している。さらに、この具体的な試験方法を検討し、材齢の影響を考慮した

標準乾燥収縮率の推定式を提案している。この推定方法は、建築物の調査段階においてコア試験体を用いることにより適用が可能であり、ひび割れの発生原因として過大な標準乾燥収縮率のコンクリートが使用されたことが推察される場合等の標準乾燥収縮率の確認手法として利用が可能である。これまで、このような条件における標準乾燥収縮率の推定方法は適切なものがなく、この推定方法の提案は意義深い。

3) 標準乾燥収縮試験における質量・長さ変化率関係の後半部分は X (質量変化率) 軸に切片のある直線として表されることが知られているが、ここでは、この直線関係の傾き (α) および X 軸との交点 (β) に及ぼす各種材料・調合の影響を明らかにし、これらの要因の中で影響の大きいものを選定し、 α および β の推定式を提案している。また、重回帰分析により標準乾燥収縮試験 6 ヶ月における質量変化率の推定方法を提案している。さらに、提案した $\alpha \cdot \beta$ の推定式および質量変化率の推定式を用いて標準乾燥収縮率の推定方法を構築している。なお、現段階ではこの方法の精度は十分とはいえないが、質量変化率に実測値を用いると、推定精度は大きく向上し、設計段階における標準乾燥収縮率の推定方法として利用できる可能性もある。また、この推定方法は、実構造物部材の質量変化が与えられた場合、明確にその乾燥収縮率を推定でき、部材の条件を考慮した収縮制御設計に有用な方法に発展する可能性がある。

これを要するに、著者は、強制乾燥収縮率と標準乾燥収縮率の関係におよぼす材料・調合および材齢の影響、さらには標準乾燥収縮試験における質量・長さ変化率関係におよぼす材料・調合の影響を明らかにし、これらの影響を考慮した標準乾燥収縮率の新しい推定方法を提案し、標準乾燥収縮率の推定手法において新知見を得たものであり、コンクリート工学および建築材料学の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。