

## 論文の内容の要旨

論文題目 徐放材料でコーティングした自己治癒材料の開発および自己治癒効果の評価方法の提案

氏名 齋藤 尚

本研究では、モルタルやコンクリートといったセメント硬化体にひび割れが生じた後、水が供給された際に、セメント硬化体自らひび割れを治癒できる機能を付与する技術を提案することを目的に、自己治癒材料および評価方法の観点から徐放材料でコーティングした自己治癒材料の開発および自己治癒効果の評価方法の提案を行った。徐放材料でコーティングした自己治癒材料の開発は、徐放性を有する有機系材料のコーティングにより準カプセル化を図った自己治癒材料を用いることで、自己治癒・修復技術への簡易コーティング適用の可能性を示した。また、本研究で提案した評価方法（試験方法、評価指標）を用いることにより、自己治癒材料の優劣を評価できる可能性を示した。さらに、本研究で高度化を図った自己治癒材料は、表面ひび割れ幅が 0.3mm と比較的大きく、厳しい試験方法で評価した場合においても、既往の研究より高い自己治癒効果を有していることが示された。以下に本研究の構成および概要をまとめる。

第 1 章では、本研究の背景および目的について述べ、本研究の構成を概説した。

第 2 章では、セメント系自己治癒技術について既往の研究を調査した。既往の研究調査では、自然治癒、自律治癒および自動修復に関する研究事例、ならびに自己治癒効果の試験方法および評価指標に関する研究事例について整理し、セメント系自己治癒材料および自己治癒効果の評価方法に関する技術的課題を示した上で本研究の課題設定を行った。

まず、セメント系自己治癒材料としては、膨潤性粘土鉱物等を含む材料、無機系造粒物、低反応活性セメント、クリンカー骨材など様々な材料が開発されている。膨潤性粘土鉱物等を含む材料および無機系造粒物を例に挙げると、膨潤性粘土鉱物等を含む材料は粘土鉱物を含有するため、コンクリート混練時の流動性が低下することが課題であることを示した。また、無機系造粒物は材料製造時に水を用いるため、造粒物の表面が水和反応し、自己治癒効果の温存性を確保できないことが課題であることを示した。これらの課題に対して、後述する章において徐放材料でコーティングした自己治癒材料の開発を行った。

次に、自己治癒効果の試験方法に関しては、ひび割れからの通水量は試験方法に関して、

ひび割れからの通水量はひび割れ導入までの養生期間やひび割れ幅、水頭差など様々な試験条件の影響を受けると想定されるが、これらの試験条件の影響を体系的に検討した事例はなく、試験方法の提案には課題があることを示した。また、評価指標に関して、自己治癒材料の添加によらず、ある一試験体を対象に通水量や透水係数、ひび割れ治癒率などを用いて評価しているが、自己治癒材の良否や材料間の優劣を評価した事例がないことが課題であることを示した。これらの課題に対して、後述する章において自己治癒効果の試験方法および評価指標の提案を行った。

第 3 章では、セメント硬化体混練時の流動性低下を改善し、自己治癒効果の温存性を確保するために、徐放性を有する有機系材料のコーティングにより準カプセル化を図った自己治癒材料を試作し、その基本的な性能について検討した。本研究の自己治癒材料は、セメントや膨張材などの自己治癒成分と、徐放性を有する有機系材料の徐放成分から構成される。また、本研究の自己治癒材料は、製造時に水を全く用いていないため、自己治癒効果の温存性を確保することが可能と考えられる。上記自己治癒材料を混和したセメント硬化体にひび割れが発生して外部から水分の供給を受けると、有機系材料が水に徐々に溶解することで自己治癒成分が放出され、水和物の析出などの作用により、ひび割れを閉塞して自己治癒することを期待している。

実験では、数種類の徐放成分を示す材料を入手した後に、徐放成分の水溶性評価、自己治癒材料の試作および自己治癒材料を用いたモルタルの物性評価を行った。まず、徐放成分の水溶性評価では、有機系材料の材料比率を変化させることで水に対する溶解性を制御できることを示した。また、試作した自己治癒材料の粒度分布は、細骨材と同様の粒度分布であり、細骨材代替として適用可能であると考えた。次に、自己治癒成分として普通ポルトランドセメントを用いた自己治癒材料を作製し、それを用いたモルタルのフレッシュ性状、強度性状および自己治癒性状を検討した。その結果、モルタルに自己治癒材料を添加しても流動性の低下は生じず、自己治癒材料を用いていないモルタルよりも高い自己治癒効果を有することが確認された。以上の結果より、徐放材料のコーティングによる準カプセル化を図った自己治癒材料を用いることによって、自己治癒・修復技術への簡易コーティング適用の可能性を示した。

第 4 章では、ひび割れからの通水量に基づく自己治癒効果の評価方法として、試験方法および評価指標を提案するための検討を行った。まず、試験方法に関しては、自己治癒材料を用いていないモルタルを対象に各種試験条件がひび割れからの通水量に及ぼす影響を検討し、これらの試験条件の影響から試験方法の提案を行った。実験では、ひび割れ導入までの養生期間、表面ひび割れ幅、水頭差および供試体厚さをパラメータとして通水量の変化を測定した。その結果、試験方法の条件としては、ひび割れ導入までの養生期間 28 日、表面ひび割れ幅 0.3mm、水頭差 100mm および供試体厚さ 30mm とし、さらに過飽和状態で

ない供給水を用いることが好ましいことを示した。さらに、提案した自己治癒効果の試験方法に対して、既往の研究で示されている自己治癒材料を用いたモルタルを対象に、自己治癒効果を評価可能か検討した。実験では、自己治癒材料として低反応活性セメントを用いて通水量の変化を測定した。その結果、自己治癒材料を用いた場合、自己治癒材料を添加していないモルタルよりも通水量の低下が認められ、提案した試験方法により自己治癒効果を評価できる可能性を示した。

次に、評価指標に関しては、上記結果および既往の研究結果を元に通水量の経時変化から自己治癒材料の良否や材料間の優劣を評価可能な指標について検討した。評価指標は、通水量を初期値で無次元化した通水量比の経時変化から、自己治癒材料を用いていない通水量比に対する自己治癒材料の有無の通水量比の差を自己治癒指数と定義し、算定した。その結果、自己治癒指数を用いることによって、既往の研究では示されていなかった自己治癒材料の効果を評価することができ、新たな評価指標として適用できる可能性を示した。

第 5 章では、徐放材料のコーティングにより準カプセル化を図った自己治癒材料を用いたモルタルのフレッシュ性状、強度性状を確認するとともに、第 4 章で示した試験方法および評価指標を用いて自己治癒効果を評価した。その結果、自己治癒材料の自己治癒成分として、普通ポルトランドセメント、膨張材およびベントナイトを用いることにより、自己治癒材料を用いていないモルタルよりも、ひび割れからの通水量を大幅に低下させることができ、高い自己治癒効果を有することを示した。特に、膨張材系自己治癒材料を  $40\text{kg/m}^3$ 、ベントナイト系膨張材を  $80\text{kg/m}^3$  を用いたケースにおいては、表面ひび割れ幅が  $0.3\text{mm}$  と比較的大きなひび割れ幅の場合でも、高い自己治癒効果を有していた。また、本研究の自己治癒材料と既往の研究で開発された自己治癒材料を第 4 章で提案した評価指標である自己治癒指数で評価した結果、本研究で開発した自己治癒材料は、表面ひび割れ幅が  $0.3\text{mm}$  と比較的大きく、厳しい試験方法で評価した場合においても、既往の研究より高い自己治癒効果を有していることが示された。

第 6 章では、以上の検討をまとめ、本研究の結論を示した。