

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	高温炭酸化反応を利用したコンクリート用膨張材の開発
Title(English)	Development of a expansive additive for concrete using high temperature carbonation
著者(和文)	樋口隆行
Author(English)	Takayuki Higuchi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10109号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:坂井 悦郎,岩波 光保,生駒 俊之,松下 祥子,宮内 雅浩
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10109号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	樋口隆行	
論文審査 審査員		氏名	職名		
	主査	坂井悦郎	教授	宮内雅浩	准教授
	審査員	岩波光保	教授		
		生駒俊之	准教授		
	松下祥子	准教授			

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「高温炭酸化反応を利用したコンクリート用膨張材の開発」と題し、6章からなっている。

第1章「序論」では、膨張材の輸出量が増加し、製品の輸送距離が長くなっているため、風化に対する抵抗性を有する膨張材の開発が必要であること、また、より低添加量でひび割れ抵抗性を発揮する高性能な膨張材の開発が必要であると、本研究の背景と目的を述べている。

第2章「膨張材を構成する化合物の高温での炭酸化反応」では、市販のエトリンガイトー石灰複合型膨張材（以下CSA）を構成する生石灰、イーリマイト( $3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$ )、無水石膏を、それぞれ合成して、 $600^\circ\text{C}$ での各化合物の炭酸化反応について検討している。その結果、生石灰は、炭酸化反応によりカルサイトを生成するが、イーリマイトや無水石膏は、高温炭酸化反応が生じないことを明らかにしている。従って、CSAを高温で炭酸化処理すると、CSA中の生石灰（遊離石灰）のみが、 $\text{CO}_2$ と反応しカルサイトを生成すると推定している。

第3章「コンクリート用膨張材の高温炭酸化反応」では、処理温度、処理時間、 $\text{CO}_2$ ガス分圧を変化させCSAの高温炭酸化反応について検討している。その結果、 $200^\circ\text{C}$ 以下では、炭酸化反応よりも先にCSA中の遊離石灰が消石灰に変化する反応が生じ、処理中にCSAが風化するとしている。これに対して、 $400\sim 600^\circ\text{C}$ では、炭酸化反応の処理温度と $\text{CO}_2$ 分圧が高いほど、カルサイトの生成量が増加するとし、TEMや電子線回折による解析の結果、厚さ約 $0.1\sim 1\mu\text{m}$ の緻密なカルサイトの被膜が遊離石灰の表面に生成することを明らかにしている。しかし、 $700^\circ\text{C}$ や $800^\circ\text{C}$ と炭酸化反応の温度をさらに上昇させると、炭酸化反応は顕著に進むものの、カルサイトの被膜が不均質となることや表面のみではなく、内部まで炭酸化反応が進行することを指摘している。また、CSA中の遊離石灰の高温炭酸化反応モデルとともに、これにより、 $\text{CO}_2$ 分圧や温度の最適な処理条件を決定する方法を提案している。

第4章「高温炭酸化処理条件が膨張材の特性に及ぼす影響」では、炭酸化処理条件がCSAの性能におよぼす影響について、モルタルを用いて検討している。その結果、 $400\sim 600^\circ\text{C}$ で高温炭酸化処理した膨張材（Treated-CSA）を混和したモルタルは、無処理のCSAの場合に比べて、材齢1日までの膨張率は小さいが、材齢1日以降に大きな値を示し、最終的な膨張率は大きくなることを見出している。これは、高温炭酸化処理によって膨張材の水和反応が初期に制御され、セメントの水和物組織が形成された後に、膨張材の反応が生じるためであるとしている。なお、無処理のCSAでは、セメントの水和物組織が形成される前に反応し、モルタルの膨張に寄与しないものが3割程度あることを見出している。また、処理温度 $600^\circ\text{C}$ の場合には、 $\text{CO}_2$ 分圧が高い条件で処理したTreated-CSAを混和したモルタルほど大きな膨張率を示すこと、また、Treated-CSAは、風化期間に伴う膨張率の低下する速度が、CSAの約 $1/7$ となることを見出している。一方、 $700^\circ\text{C}$ や $800^\circ\text{C}$ で高温炭酸化反応させた膨張材では、前章で述べたように遊離石灰表面でのカルサイトの被膜形成が十分でなく、また、内部まで炭酸化反応が進行しているため、これらを混和したモルタルでは無処理のCSAの場合より膨張率が $10\sim 20\%$ 減少するとしている。また、風化に対する抵抗性もTreated-CSAの場合に比べ小さな値を示すとしている。以上の結果より最も優れた性能を示す膨張材の高温炭酸化反応の条件は、 $\text{CO}_2$ ガス雰囲気下（分圧は $1\text{atm}$ ）、処理温度 $500\sim 600^\circ\text{C}$ で、処理時間は5分程度としている。これにより、Treated-CSA中の $\text{CO}_2$ 含有量を $1\sim 3\%$ 、炭酸カルシウム生成量を $3\sim 5\%$ に制御することができるとしている。

第5章「高温炭酸化処理した膨張材を用いたコンクリートの物性」では、第4章で明らかにした最適な条件で炭酸化処理を行ったTreated-CSAを用いて、コンクリート物性を評価している。その結果、コンクリートでも第4章と同様の性能が確認されたとしている。コンクリートを練り混ぜる際、膨張材はミキサ等の攪拌装置に加え、セメントや骨材と接触するが、Treated-CSA表面に形成されたカルサイトの被膜は、これらの影響を受けることはなく、モルタルに混和した場合と同等の性能を示すことを見出している。さらに圧縮強度については無処理のCSAを混和した場合と同等の値を示し、Treated-CSAが実際のコンクリートへの適用が可能であることを明らかにしている。

第6章「結論」では、各章で得られた結果を取りまとめている。

これを要するに、本論文は高温炭酸化反応を利用することで、膨張性能や風化に対する抵抗性の優れた膨張材を提案したもので、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分価値あるものと認められる。