

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	電波透過性に優れたコンクリートの実現に向けたジオポリマーの適用検討
Title(English)	Investigation on the Application of Geopolymer for Achieving Concrete with High Radio Wave Transparency
著者(和文)	坂本亮
Author(English)	Ryo Sakamoto
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第340号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:千々和 伸浩,岩波 光保,林 幸,松崎 裕,丸山 泰蔵,齋藤 健太郎
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第340号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	土木・環境工学 土木工学	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 (工学) Doctor of
学生氏名： Student's Name	坂本 亮		審査員主査： Chief Examiner	千々和 伸浩

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は、電波透過性と力学性能を両立するコンクリートの開発を目的とし、その実現手段としてセメント代替材料であるジオポリマーの適用可能性を検討したものである。近年、超スマート社会の実現に向けて情報通信技術が急速に発展しており、広域かつ安定した無線通信環境の構築が求められている。コンクリートはインフラや高層ビルなどの建設材料として広く使用されているが、電波を遮蔽する性質を持つため、無線通信環境の向上を妨げる要因となっている。特に、障害物の影響を受けやすい高周波帯(ミリ波帯)の電波を活用する次世代通信技術(5G/6G)の普及が進む中、無線通信環境の向上は急務であり、コンクリートの電波透過性を高めることが強く求められている。コンクリートはその構造性能に注目されることが多く、電波を含め電磁波との関連性については未知な部分が多い。ただし、一般的に「コンクリートは電磁波を通さないもの」と認識されており、コンクリートによる遮蔽を前提とした研究、またその遮蔽性能を高めることを目的とした研究は行われているが、逆に電磁波を透過させることを目的とした研究は未だかつて行われていない。

既往研究より、コンクリートが電波を遮蔽する要因はコンクリート中の水分であることが示唆されているため、本研究ではコンクリートの電波透過性を向上させるためにコンクリート中の水分制御に着目した。特に、水和反応によらず固化し、内部に水和物が存在しないジオポリマーに着目し、その適用がコンクリートの電波透過性および力学性能に与える効果を検証した。

第2章にて、無筋コンクリート部材を対象とし、その電波透過性の向上手法として、材料の電波透過性の向上および高強度化による部材厚の低減を検討した。材料の電波透過性向上策として、コンクリート内部の水分低減に着目し、空隙中に存在する蒸発性水分およびセメントと化学的に結合した非蒸発性水分がコンクリートの電波透過性に与える影響を評価した。蒸発性水分については、低水粉体比化によって蒸発性水分が存在する空隙量を低減するとともに、乾燥処理を施すことで低減した。その結果、蒸発性水分に起因する遮蔽を抑制できることを示した。低水粉体比化はコンクリートの強度増進にもつながるものであり、強度増進を通じてコンクリート部材厚を低減することで、部材としての電波透過性が向上することを示した。非蒸発性水分については、ジオポリマーを結合材に用いることで低減可能であることを確認した。これらの技術的要件を掛け合わせて構成された、低水粉体比のジオポリマーを基材としたコンクリートを作製して検証実験を行い、高い電波透過性と力学性能を両立できることを確認した。

第3章にて、低水粉体比のジオポリマーをはじめとする種々のジオポリマーについて、長期的な電波透過性および力学性能に影響を与える時間依存変形特性、特に収縮・クリープ特性に関する実験的検討を行った。その結果、低水粉体比のジオポリマーを基材とすることで、従来のセメントコンクリートに比べ、収縮・クリープが小さくひび割れ抵抗性に優れることを確認した。これにより、低水粉体比のジオポリマーを基材としたコンクリートは時間経過にともなう電波透過性や力学性能の低下を抑制できることを示した。

第4章にて、電波透過性および時間依存変形特性をはじめ、ジオポリマーの様々な特性に影響を与える微細構造について、その形成メカニズムを解明するためのミクロスケール分析手法に関する検討を行った。ここでは、ラマン顕微鏡を用いた *in situ* での実験手法と独自の解析手法を提案した。これらの手法をジオポリマーに適用することで、従来明らかでなかった反応生成物の成長過程を初めて可視化することに成功した。

第5章にて、以上の知見に基づき、高い電波透過性と建設材料として要求される力学性能を両立したコンクリート部材を実現する手法をまとめ、ジオポリマーの適用が効果的であることを示した。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東京科学大学リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Science Tokyo Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	土木・環境工学 土木工学	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	坂本 亮		審査員主査： Chief Examiner	千々和 伸浩	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This doctoral thesis explores the application of geopolymers as a cement alternative to develop concrete with both high radio wave transparency and sufficient mechanical performance. With the rapid advancement of information and communication technology (ICT) and the increasing use of high-frequency (millimeter-wave) signals in next-generation communication technologies (5G/6G), improving wireless communication environments is essential. However, concrete's inherent radio wave shielding properties hinder this advancement, making it crucial to enhance its radio wave transparency.

Existing studies suggest that the primary factor contributing to radio wave attenuation in concrete is moisture. Therefore, this research focuses on moisture control in concrete as a means of improving radio wave transparency. Specifically, the study examines geopolymers, which solidify without hydration reactions and contain no hydration products, to evaluate their effects on radio wave transparency and mechanical performance.

In CHAPTER 2, the study examines approaches to enhancing radio wave transparency in unreinforced concrete by reducing moisture content and increasing strength to allow thinner structural members. Evaporable water was reduced through lowering the water-to-binder ratio (W/P) and applying drying treatment, while non-evaporable water was minimized using geopolymers as the binder. Experimental validation confirmed that low W/P geopolymer-based concrete achieves both high radio wave transparency and structural performance.

In CHAPTER 3, the study evaluates time-dependent deformation properties, particularly shrinkage and creep, which impact long-term radio wave transparency and mechanical stability. Results indicate that low W/P geopolymer exhibits lower shrinkage and creep than conventional concrete, improving crack resistance and maintaining radio wave transparency and mechanical performance over time.

In CHAPTER 4, a microscale analytical method using *in situ* Raman microscopy is proposed to investigate the microstructure characteristics of geopolymers, which significantly influence radio wave transparency and time-dependent deformation properties. The proposed approach successfully visualized the growth process of reaction products for the first time.

Finally, CHAPTER 5 summarizes the findings and demonstrates that geopolymer application is a promising solution for developing radio wave-transparent construction materials.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東京科学大学リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Science Tokyo Research Repository Website (T2R2).