

オーストラリアにおける ジオポリマーの利用状況に関する調査

2024年12月3日～12月11日

Australia (Sydney, Toowoomba, Brisbane, Melbourne)

埼玉大学大学院 理工学研究科 構造・材料グループ

吉永 浩平 矢崎 英継

調査目的と行程

目的

日本国内の土木分野におけるジオポリマーの適用推進に寄与することを目指す。オーストラリアにおけるジオポリマーの研究開発現状、および土木構造物や公共施設などへの適用事例について文献調査、現地調査を行う。調査により豪州におけるジオポリマーの研究開発と適用状況を全体的に把握し、日本における現状との比較を行い、共通点と相違点を抽出して分析する。



<https://www.nbmcw.com/product-technology/construction-chemicals-waterproofing/concrete-admixtures/geopolymer-concrete-the-eco-friendly-alternate-to-concrete.html>



行程

- 文献調査
- 日系企業への訪問（前田建設工業株式会社、株式会社大林組）
- オーストラリアでの現地調査
 - シドニー：シドニー工科大学
 - トゥーンバ：トゥーンバ空港
 - ブリズベン：クイーンズランド大学（GCI）
 - メルボルン：メルボルン大学



この写真の作成者 不明な作成者は CC BY-SA のライセンスを許諾されています

UTS Tech Lab訪問(シドニー工科大学)

UTS Tech Lab (University of Technology Sydney)にて、
Arnauld Castel 教授とUTSの学生を交え、現在の研究の現状
とオーストラリアにおけるジオポリマー技術についてお話を
伺った。また、実験に使用している供試体や実験施設の見学
もさせていただいた。

鉄筋腐食に関する実験



物質の透過性が高いジオポリマーコン
クリートで懸念されている鉄筋の腐食
についての研究。左図は配合を変える
ことによる内部鉄筋の腐食の進行の比
較。フライアッシュの割合の高い供試
体（左）の方が腐食の進行が遅い。

Rice husk ash concrete



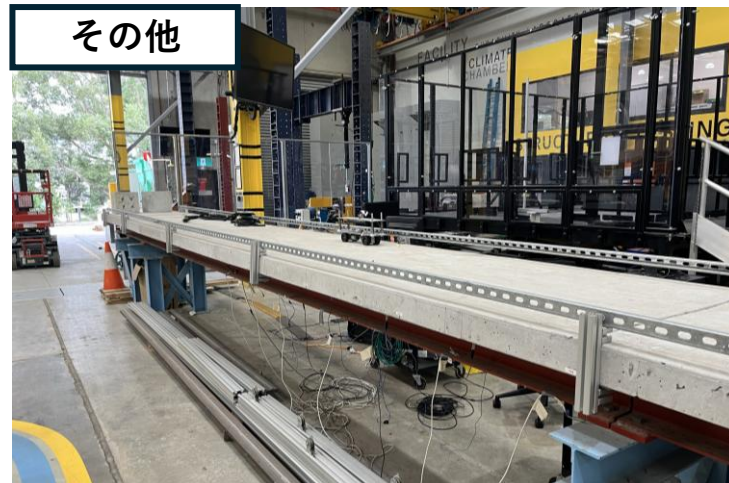
活性フィラーに籾殻灰を用いた材料。日本
では米の生産量が高いため、
将来的にポテンシャルの高い選択肢のひと
つだと感じた。

道路橋のモデル装置→
右奥は振動実験装置

実験施設



その他



Toowoomba空港, GCI(クイーンズランド大学内施設)

オーストラリアでは空港や大学施設といった先進的なジオポリマーの適用が進められており今回の調査でもいくつかの事例に訪問した。

Toowoomba空港

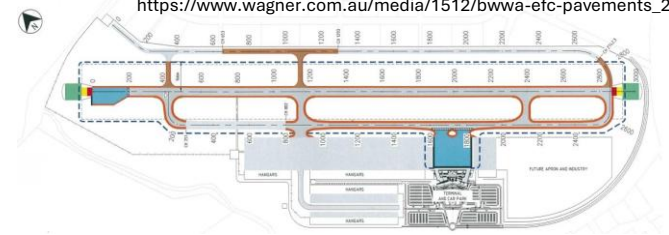
竣工：2014年

本空港施工において、見下ろし図の青部と一部格納庫に舗装厚さ43.5cmのジオポリマーコンクリートが施工された。コンクリートの製造は現場に設置された製造プラントにより行われ、打設はスプリットフォーム工法が用いられた。

Toowoomba空港

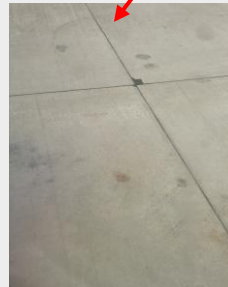


https://www.wagner.com.au/media/1512/bwvwa-efc-pavements_2015.pdf



エプロン部 (ターミナル敷地内から撮影)

事前調査より、ジオポリマーは通常のコンクリートと比べて乾燥収縮が激しく、竣工から10年が経過しているため、表面のひび割れを確認できると予想していたが、目立ったひび割れは見られなかった。



構造物の厚さが非常に薄いことで影響が少なかった、もしくは、施工後に表面に塗布されたアルカリ性の蒸発防止剤による防止策が有効であったと考えられる。

GCI (クイーンズランド大学)



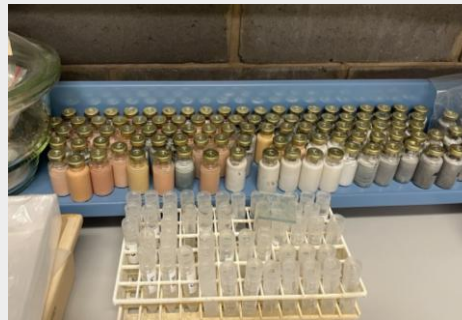
Global Change Institute

竣工：2015年

建築構造物に構造目的としてジオポリマーを用いた初めての事例。プレキャストコンクリートとして床構造体に適用。休館日に訪問したため内部及びジオポリマー部材の様子は確認できず、外観のみの見学。

メルボルン大学にてJannie van Deventer教授とRackel San Nicolas博士から現在の研究の現状と、オーストラリアにおける活用事例についてお話を伺った。また、実験施設を見学させていただき、供試体やジオポリマーの原料、実験装置を見せていただいた。

施設内では成分や粒子の大きさの異なる多種多様な活性フィラー（右図）が利用されており、フライアッシュや高炉スラグだけでなく、calcined clay（焼成粘土）など日本では珍しい材料も見せていただいた。



Calcined clay（焼成粘土）を用いたジオポリマー



Calcined clayは天然の粘土（主にカオリン）を高温（通常600℃以上）で焼成して作られる材料であり、日本では一般的ではないが、オーストラリアでは活性フィラーの選択肢の一つとして研究が進められている。特徴的な色をしていることから、含有成分による材料の色の変化についても実験が行われていた。→

実験施設



中性化装置



オーストラリアにおけるジオポリマー導入の流れ

2000年代後半：研究の始まり

- ・フライアッシュや高炉スラグを利用した持続可能な建設材料の可能性を検討。
- ・ARC Linkage Grantの支援により、基礎研究が加速。
- ・メルボルン大学とZeobond Pty Ltdが連携して材料、配合設計を研究。

2010年代前半：実用化に向けた進展

- ・オーストラリア再生可能エネルギー庁（ARENA）が設立され、持続可能なエネルギー技術に対する政府支援が拡大。ジオポリマー技術が政策の一環として認知されるように。
- ・クイーンズランド州ウェスト・ウェルキャンプ空港の滑走路に試作的にジオポリマーコンクリートが採用。初めての大規模プロジェクトで、耐久性や施工性が実証された。
- ・ARC特殊研究センターの支援により、ジオポリマーの長期性能（耐久性や収縮性）に関する研究が進展。

2010年代後半：環境政策との繋がり

- ・政府がカーボンニュートラル達成を目標に掲げ、建設業界における低炭素技術の導入を推進。ジオポリマーコンクリートが低炭素建設材料としての重要性を高める。
- ・ジオポリマーの商業化を目指した産学連携が活発化し、製造プロセスの効率化やコスト削減を目指した実証プロジェクトが増加。

現在：ジオポリマー技術の進展と課題

市場と課題

- ・ 環境負荷低減を求める建設業界や政府政策が需要を牽引。
- ・ フライアッシュは供給が不安定で、石炭火力発電の縮小により生産量が減少傾向。
- ・ 材料供給や物流コストの課題が、コストに大きな影響を与える。

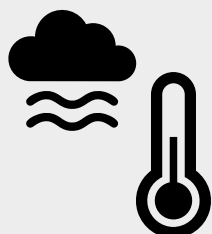
実際の材料コストとサプライチェーン（メルボルン）

- ・ 材料費は低コストだが、運搬費用が全体コストを押し上げる要因になっており、産業副産物を使っているにもかかわらず、セメントと比較して、同様若しくは少し割高
- ・ 高炉スラグは主に日本から輸入され、セメントに比べると少し安価。
- ・ フライアッシュはセメントとよりも安価であるが、基本的にはクイーンズランドのものを使用しているため、輸送費が高い。

今後の展望

- ・ 地下鉄や道路などのインフラプロジェクトでの活用を目指した研究が進行中。
- ・ 材料の安定供給を確保し、輸送コスト削減や効率的な物流網の構築を目指す。
- ・ カーボンニュートラル政策や低排出技術ステートメントを活用し、低炭素建設材料として市場シェアを拡大。ARCの支援のもと、フィードストック材料（フライアッシュ、高炉スラグ）の評価が進行。

各大学との議論を踏まえた日本とオーストラリアの比較



気温：日本<オーストラリア

湿度：日本>オーストラリア

湿度より温度の方が重要度が高い（ジオポリマーは高温養生が必要）

気温が低いのはデメリットになる？（日本の方が環境的に不利？）

→気温の低いメルボルンでも施工は問題なく行われているため、日本よりオーストラリアが気候に関して有利とは言えない。



オーストラリアにおける主な使用材料：

活性フィラー：フライアッシュ、高炉スラグ、Calcined clay

アルカリ溶液：水酸化ナトリウム水溶液、水ガラス等

→日本でもフライアッシュ、高炉スラグは豊富にあり、アルカリ溶液についても日本国内で用いられるものと大差は見られなかった。



コスト（導入に関わるトータルコスト）：

日本：10~20倍／オーストラリア：1.2倍~1.5倍（一般的なコンクリートの何倍か）



オーストラリアにおける施工方法：現場プラント、プレキャスト

施工性の低さとクオリティコントロールの難しさから、運搬プロセスを避ける施工方法が一般的。日本国内でも同様。

アルカリ溶液の扱い：

日本と同じように問題になっている、固体状のものを使用する事例もあるが、処理の段階での危険性は変わらず。

ジオポリマーが抱える課題、新たな可能性に対しての見解

課題

劣化現象：

中性化、腐食等の影響の把握について研究は進められているが、一般的なコンクリートと比べて弱いわけではなく、施工の質が高ければ問題にならない。

※メルボルンを含むオーストラリアの大部分では現在中性化に対して厳しく対策がされていない（低湿度、低降水量）。

長期管理：

事例が少ないことから、長期間におけるジオポリマーの性能についてはデータが不足してるが、化学反応による劣化以外のクリープや乾燥収縮といった問題に関してもポルトランドセメントと同様に適切な配合、施工法を用いれば影響は抑えられるが、理論上は可能でも実現が困難。

新たな可能性

放射線物質の固定能力：

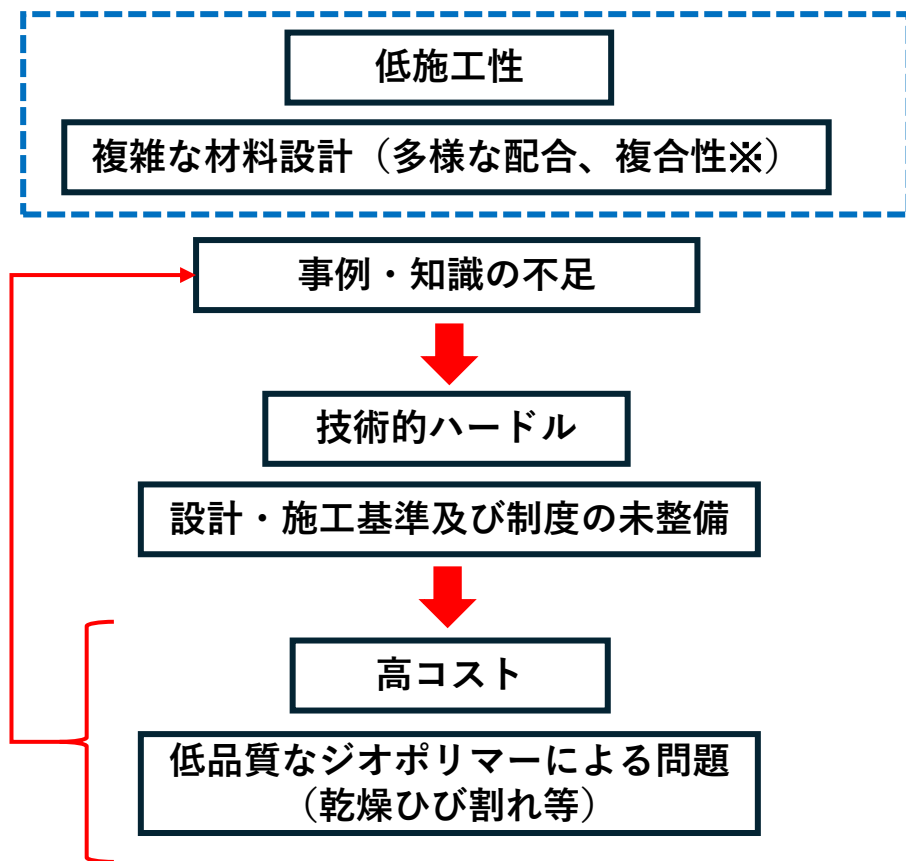
日本の原発事故を代表とする放射線物質処理問題に対し、選択肢の一つには成りうるが、長期間の耐久性が求められるため、現状では高密度コンクリート等の方がより現実的だと考えられる。

Rice husk ash concrete：

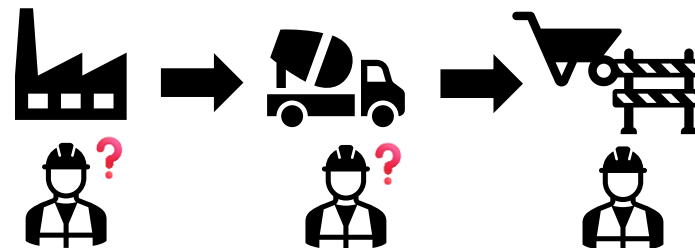
実用性に関しては延焼プロセスに依存する。穀物の燃え残りは水分を過剰に吸収し、ジオポリマーで重要な水のコントロールを妨げる可能性が高い。優れた燃焼方法や特殊な反応剤の導入により改善できるかもしれない。

・ オーストラリアにおける課題

ジオポリマー自体の問題



※適切な配合には、材料粒子の大きさ等の細かいコントロールが重要かつ、その化学反応や強度の発現プロセスの理解には土木工学だけでなく化学分野における知識も求められる。



技術を十分に理解する技術者が少ない中で、施工プロセス内でクオリティが損なわれるリスクは非常に高い。

耐腐食性や長期的な安全性等に関しては、通常のポルトランドセメントと同様に適切な施工が行われていれば実用性は十分にある。しかし、配合から施工までの長いサプライチェーンの中では、高品質な施工の実現は難しい。オーストラリアではすでにジオポリマー技術自体の認知は高く、多くの企業が試行を行っているが、上記の問題が実用化を妨げている。

今後の展望として、両大学ともジオポリマーの材料特性に関するさらなる研究を進めるとともに、現状用いられている材料以外の活性フィラーやアルカリ溶液の選択肢発見に意欲を示していた。今回の調査を通して、オーストラリアは日本に比べると社会的、文化的に、技術限らず新しい試みに対して柔軟であると感じた一方で、それでも適用や技術に対する理解が進まないのは、配合・設計基準の整備が不十分であるの加え、建設業界自体の新たな変化に対する鈍さが原因であるのではないかと考える。

• 日本での普及

上記のようなオーストラリアの現状を踏まえると、日本のように、より保守的な文化かつ事例が少ない現状で適用を進めるのは非常に困難だと考える。しかし今後、日本の建設業界が国際市場で優位に立つためには、この技術競争の中に参入していかなければならない。



今回の調査を通して、日本国内で技術の促進に有効だと考えられたのはジオポリマー技術に対する**性能規定設計法**の適用だ。性能規定設計法とは、特定の基準や性能目標を満たすことを目的とし、従来の仕様規定設計よりも柔軟性を持たせた設計手法である。

メルボルン大学での意見交換でも、フランスを例に挙げながら、性能重視の設計法を用いることで新技術へのハードルを下げ、導入を促進することはオーストラリアにおいても求められている事だと伺った。日本国内でも耐火耐震技術を中心に適用されており、事例が少なく設計基準が未整備のジオポリマーにおいて現状の打開策になる可能性を感じた。

シドニー工科大学



メルボルン大学



今回の調査では、ブリズベン、シドニー、メルボルンの3つの都市に訪問を行ったが、ジオポリマー関連施設だけでなく、海や山といった自然にも触れることができ、この豊かな自然環境がオーストラリアにおけるサステナビリティへの意識を後押ししていると感じた。シドニー工科大学、メルボルン大学ともに、何のコンネクションもなく訪問を許諾していただいただけでなく、教授陣、現地学生の方にはとても温かく対応していただいた。また、本調査を通して、現地での意見交換や学習を進める中で、現地の方とのコミュニケーションを楽しむことができたため、非常に有意義な経験ができた。