

高熱伝導コンクリートにおける実用化に向けた取り組みについて

東邦産業株式会社 ○美寺寿人

五十嵐悠介

新潟太平洋生コン株式会社

浅野宏

新潟大学工学部

佐伯竜彦

1. はじめに

「もし、コンクリートの熱伝導率が2倍、または3倍に、つまり放熱能力が2倍、3倍になると、どういうことが起こるのでしょうか。」

ロードヒーティングの舗装材であるコンクリートの熱伝導率を向上することができれば、放熱能力の向上に伴い、既存の技術の適用範囲の拡大や省エネルギー化、そして、未利用熱エネルギー活用の普及拡大に繋がり、地球環境の改善や循環型社会の構築、そして、質の高い道路空間の形成を図ることが可能になります。

また、「コンクリートの熱伝導率を任意の値にコントロールすることができると、どういうことが起こるのでしょうか。」

ロードヒーティングの施設設計において、これまで「定数」として設計していた熱伝導率を、「変数」として取り扱うことができることで、施設設計の自由度が広がり、全体最適な設計をすることができるようになります。

本講演内容は、①熱伝導率をコントロールすることの意義 ②実用化に向けて ③熱伝導率をより向上するための今後の課題 について報告する。

2. 熱伝導率をコントロールすることの意義

コンクリートの骨材として、化学的に安定かつ高い熱伝導性を有し、他の金属よりも安価な酸化アルミニウム (Al_2O_3) (以下「アルミナ」と呼ぶ) に着目した。

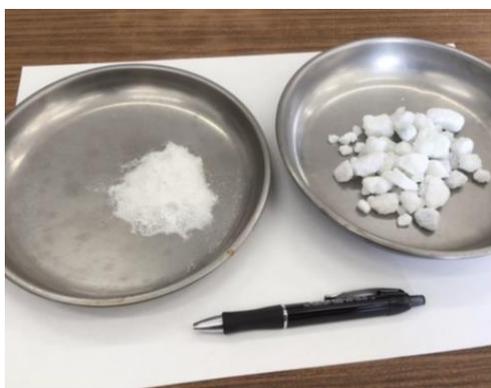


写真1 使用したアルミナ骨材
左：細骨材 右：粗骨材

写真1は、試験練りで使用したアルミナで（日本軽金属(株)）、熱伝導率は、 $36W/m \cdot K$ ($25^\circ C$) である。

コンクリートの配合は、新潟太平洋生コン(株)工場 で品質確認及び出荷実績のある「早期交通開放型コンクリート舗装 (IDAY PAVE)」の配合を基本とし、曲げ強度 $4.50N/mm^2$ を保証するものとした。

実施した配合は、(細骨材アルミナ置換率:粗骨材アルミナ置換率)として表すと「(0:0)、(100:100)、(100:0)、(0:100)、(50:50)、(20:20)」の6配合とした。図1には、各々の配合で置き換えたアルミナの体積率と熱伝導率を図示した。

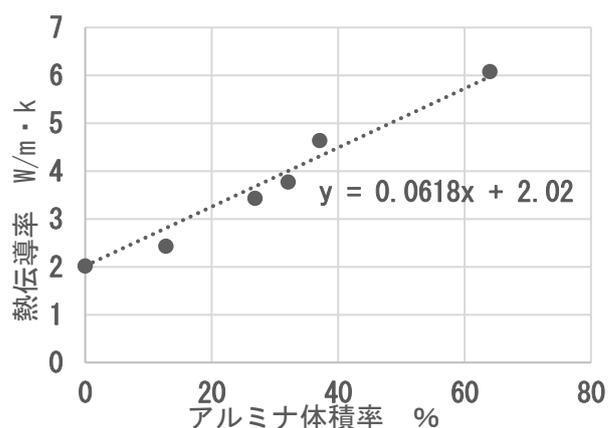


図1 アルミナ体積率と熱伝導率の関係図

アルミナの粒度割合に関係なく、置換した体積率と熱伝導率には比例関係があることを確認した。

言い換えれば、アルミナの量を変えることで、ある一定の範囲で熱伝導率をコントロールできるのである。

また、アルミナの価格が従来の骨材と比べて、かなり高価であるため、舗装材そのものはコストが高くなるという課題 (部分最適ではなくなる) がある。

そこで、熱伝導率をコントロールする意義として、国土技術政策総合研究所作成の「ヒートポンプで低LCC と高COP を実現する下水熱融雪システム」の導入ガイドライン (案) (以下「ガイドライン」と呼ぶ) を参照して、全体最適な設計ができることについて述べる。

下水熱を利用する仕組みとして、下水道管内に敷設した採熱管により、下水熱によって採熱管内の不凍液を温

めて舗装体内に敷設した放熱管に送り、その熱を路面に放熱するシステムとなっている。

ここで、「A：熱伝導率」、「B：放熱管入口温度（所定の熱量を放熱するために下水熱によって温められた不凍液が放熱管に流入する時の温度）」、「C：採熱管敷設延長」とすると、次のような関係がある。

Aを大きくすると、Bは低くなる。

Bを低くすると、Cは短くなる。

これらのことから、「A：舗装体の熱伝導率」を大きくすると、「C：採熱管敷設延長」は短くなるのである。

そこで、アルミナも高価な材料であるが、採熱管の設置費用（材料含む）も高価であることから、両者のベストマッチな組み合わせについて検討する。

ガイドラインには、新潟市において実証研究施設を設置した際の、導入検討例が掲載されている。

この導入検討例の熱伝導率は2.1 (W/m²・K) である。

そこで、導入検討例に当てはめて、「舗装体の熱伝導率」と「採熱管敷設費用+アルミナ費用」の関係を算出したものを図2に示す。

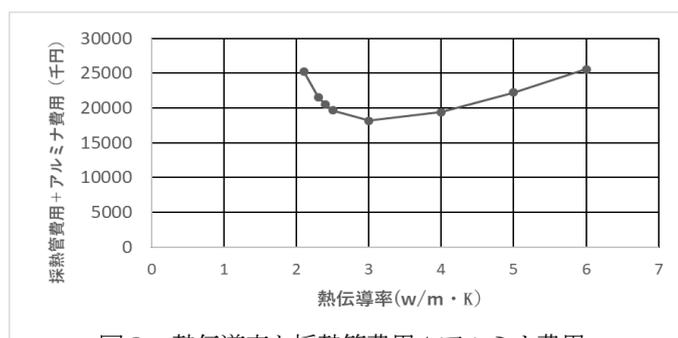


図2 熱伝導率と採熱管費用+アルミナ費用

舗装体の熱伝導率が、3 (W/m²・K) 付近において「採熱管設置費用+アルミナ費用」が最小となり、検討例 2.1 (W/m²・K) よりもコスト削減が図れるものと推測され、それ以上の熱伝導率の向上はオーバースペックとなることを示している。このようにして、システムの全体最適な設計ができるのである。

3. 実用化に向けて

生コン工場の実機で製造する上での課題の一つとして、アルミナ骨材の粒度調整が挙げられる。試験練りで使用した骨材は、数種類のアルミナ製品をJIS基準に適合するように試験室でブレンドして使用したが、一般的な生コン工場では、骨材貯蔵ヤードの数的な制約から、一つの骨材ヤード（一種類の製品だけ）のみを使用することが求められる。

そのため、これまでに数種類の製品について試験練りを行い、試行錯誤を繰り返してきた。

その結果、標準配合における骨材の比表面積を算出し、それに合わせたアルミナ製品を置換する配合設計により、

試験室レベルでは強度・熱伝導率・性状について一定の成果が得られ、現場での試験施工の段階に入ったと考える。

4. 熱伝導率をより向上するための今後の課題

細骨材・粗骨材をすべてアルミナに置換した配合の熱伝導率は、従来の天然骨材ではありえない「6.08 (W/m²・K)」という非常に高い値が得られた。

さらに、この値を大きくできないかと考えた結果、熱伝導率の低い空気 (0.0257 (W/m²・K) (20℃) と言われている。)に着目して空気量を低減した試験を行った。

配合は、先に行った細骨材・粗骨材をすべてアルミナで置換した配合と同一とした。そして、空気量を低減するために消泡剤を使用した。表1に試験結果を示す。

表1 空気量と熱伝導率

	空気量 %	熱伝導率 (W/m ² ・K)
前回	7.9	6.08
今回	2.6	7.70

全体の空気量を約5%低減すると、熱伝導率が、約3割増える結果となった。このことから、空気量が熱伝導率に影響していることが推定される。

一方、凍結融解に対する機能として空気量は、5%程度を目安に配合することになっている。そのために今回の結果をそのまま適用することは難しいと考える。

しかし、高価なアルミナの使用量の低減につながることから、今後の課題として検討を進めていきたい。

5. 最後に

熱伝導率を大きくすると、放熱管入口温度を低くすることができる。このため、必要放熱量が大きい北海道や多積雪地では、熱エネルギーの不可逆性から、利用できなかった下水熱などの低温度の未利用熱エネルギーを、利用することが可能となるのである。

また、地下水資源の保全対策の必要な地域で、散水消雪方式から無散水融雪方式への転換にも寄与すると思う。

【参考文献】

- 1) 美寺寿人、佐伯竜彦：高熱伝導コンクリート舗装に関する研究について、土木施工 2021Nov, pp. 30-34
- 2) 美寺寿人ほか：高熱伝導コンクリートに関する研究、令和2年度北陸地方整備局事業研究発表会 (2020)
- 3) 浅野宏、美寺寿人：アルミナを用いた高熱伝導コンクリートの実験的研究、第14回関東地区太平洋セメント生コン会技術論文集, pp. 45-51 (2021)
- 4) 国土技術政策総合研究所資料第1158号(2021) BDASHプロジェクトN035 ヒートポンププレスで低LCCと高COPを実現する下水熱融雪システム導入ガイドライン (案)