

未利用熱エネルギーの利用拡大に繋がる 高熱伝導舗装の研究について

2022.6.1

発表者：東邦産業（株）

美寺 寿人

（防災科学技術研究所

客員研究員）

新潟太平洋生コン（株）

浅野 宏

福田道路（株）技術研究所

畑山 良二

一般的に、
コンクリートの熱伝導率は1.6 (w/m・k)
アスファルトの熱伝導率は1.5 (w/m・k)

「もし、これらの熱伝導率が2倍、3倍になると、
どういうことが起こるのでしょうか。」

さらに、熱伝導率をコントロールできるとしたら。
どのようなことができるようになるのでしょうか。

コンクリートの従来の機能

圧縮力に強く 耐火・耐水性が大きい機能に、

金属のような熱伝導性の高い機能を加えた

新しいコンクリートを作ることが出発点。

今日の報告の概要

- アルミナを用いて熱伝導率を一定の範囲内で
コントロールできることを確認した試験結果概要について
- このことがロードヒーティングの設計に及ぼす意義について
- 実用化に向けた取り組みについて

1 アルミナを用いて熱伝導率を コントロールできることを確認した試験概要

コンクリートの詳細な試験内容は、
令和2年度北陸地方整備局事業研究発表会
「高熱伝導コンクリートに関する研究」で発表済み。

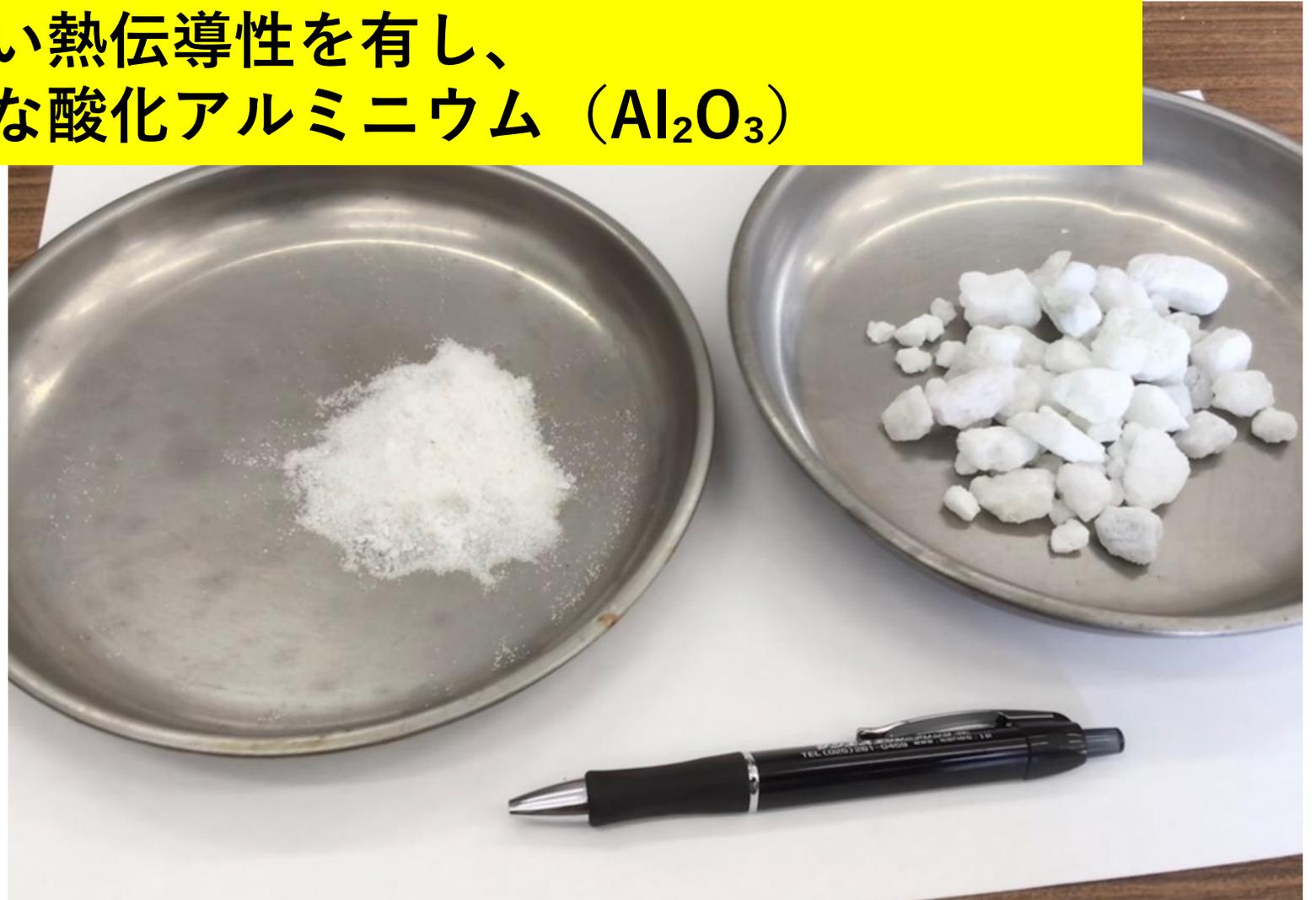
コンクリート骨材の材質に着目し、選んだのがアルミナ

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)

(試験結果より)
新潟県新潟市の
コンクリート
2.0 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{k}$)

北海道札幌市付近の
コンクリート
1.6 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{k}$)

骨材の熱伝導率の違い



使用した日本軽金属(株)社製のアルミナ「36 $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ (25°C)」



各断面

上面が製造上面

左から、
標準（アルミナ無）
粗骨材：細骨材
の置換率

（100：100）

（0：100）

（100：0）

（50：50）

（20：20）

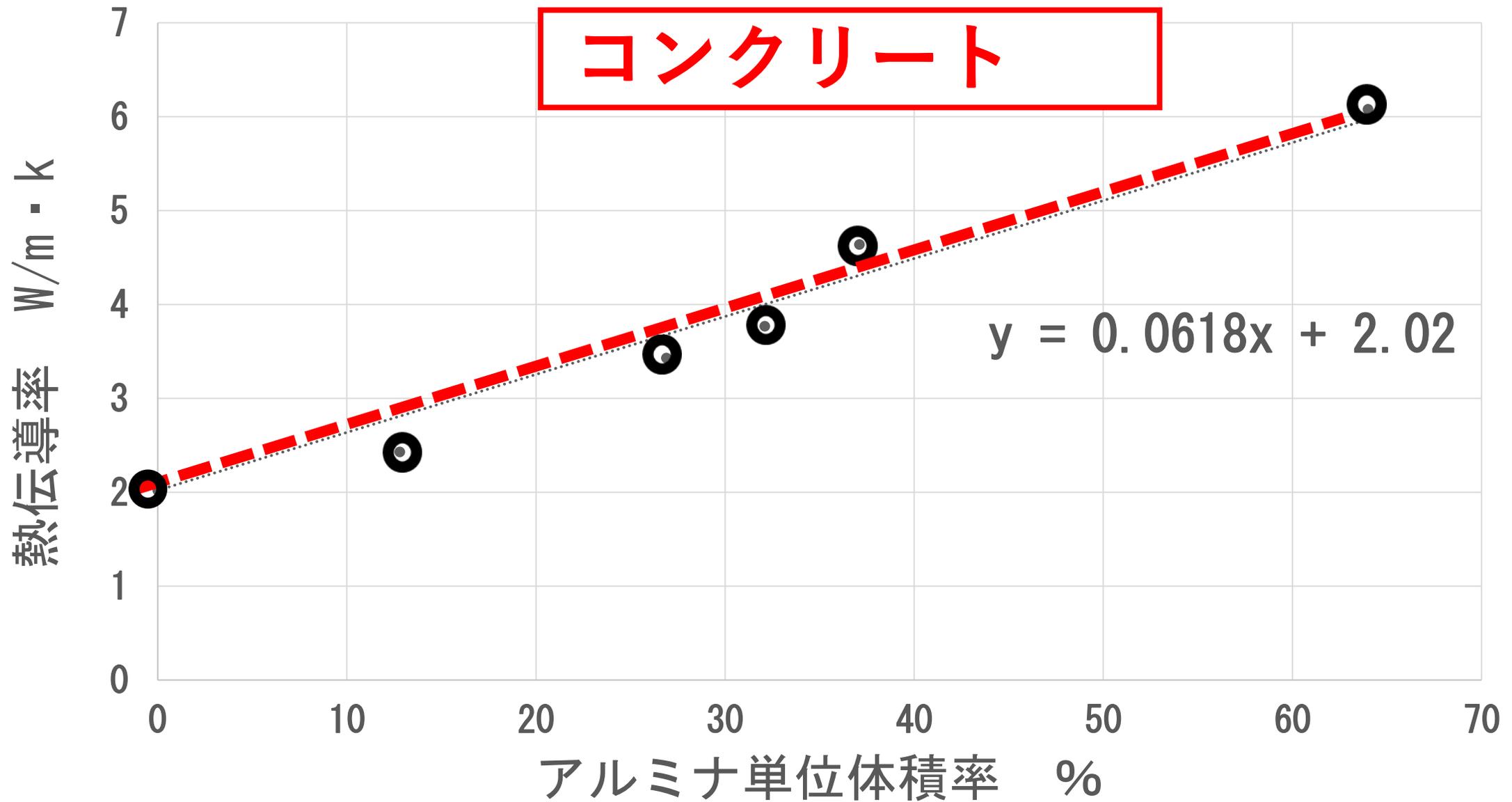


図1 アルミナ体積率と熱伝導率の関係図

アスファルト

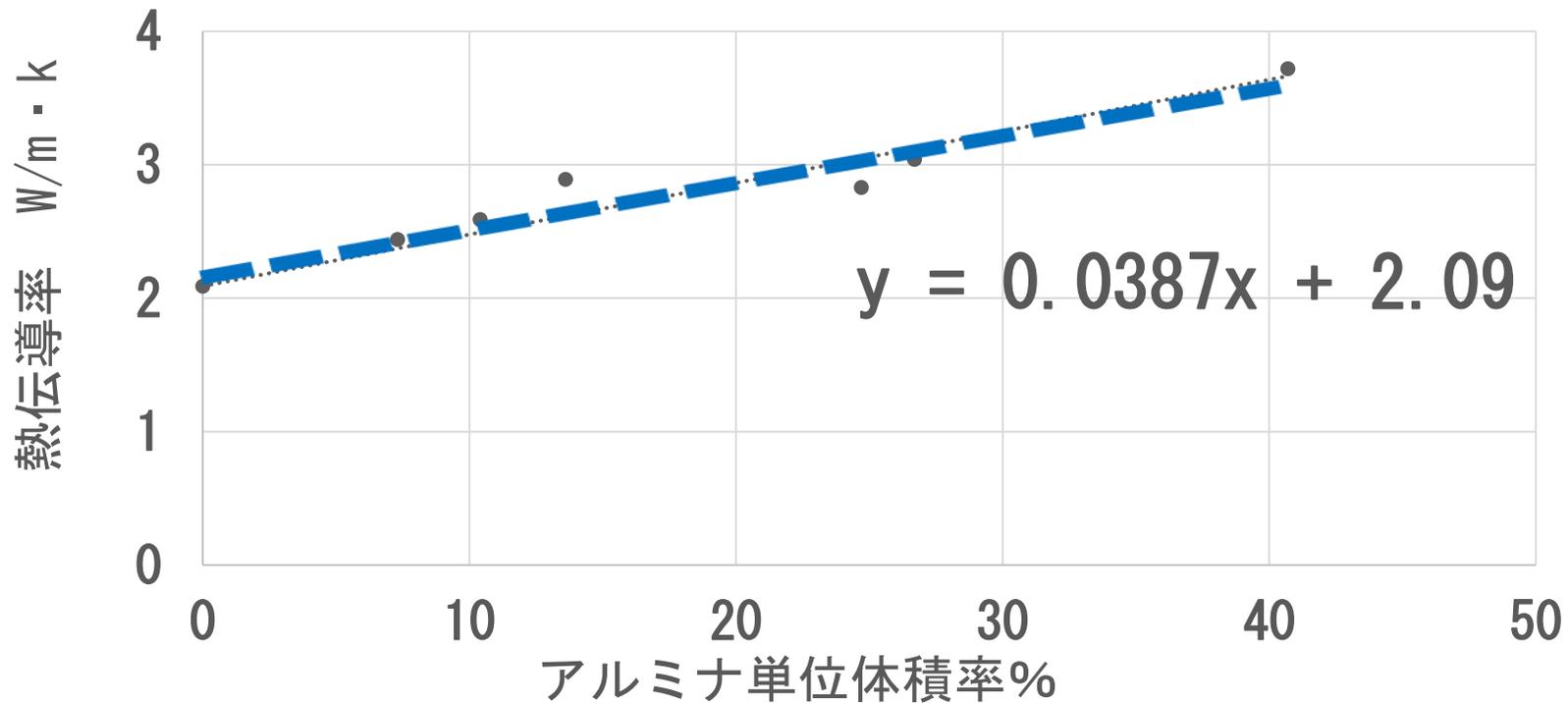


図2 アルミナ体積率と熱伝導率の関係図

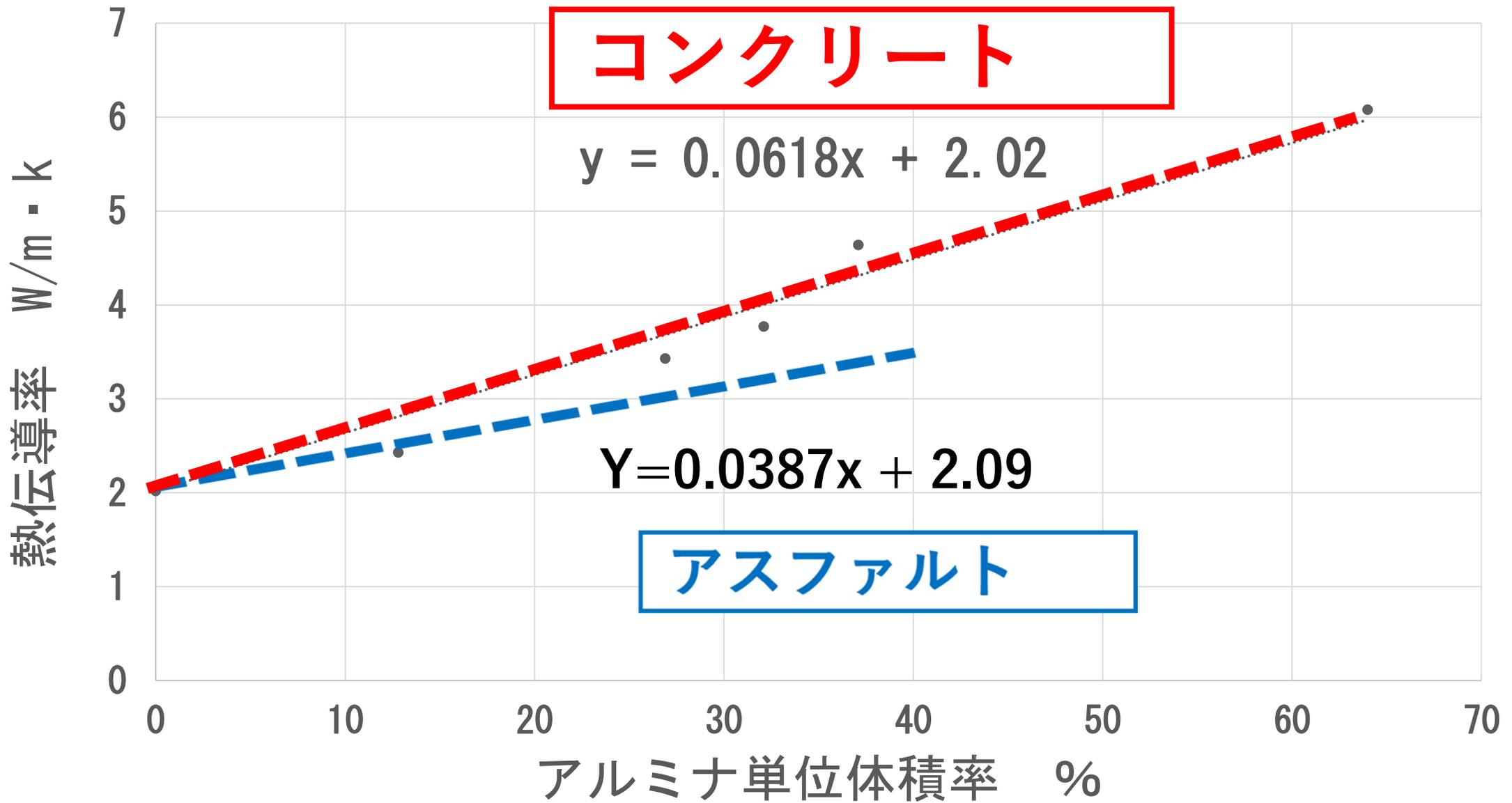


図3 コンクリートとアスファルトの比較図

2 熱伝導率をコントロールすることが、 ロードヒーティングの設計に及ぼす意義

これまで舗装体の熱伝導率は
固有の数値として取扱って設計していまし
た。

熱伝導率を大幅に向上し、
コントロールできると次のようなことが可能となります。

設計における舗装体の熱伝導率の位置づけ

ロードヒーティングの設計図書である「路面消・融雪施設等設計要領H20.5」を参照

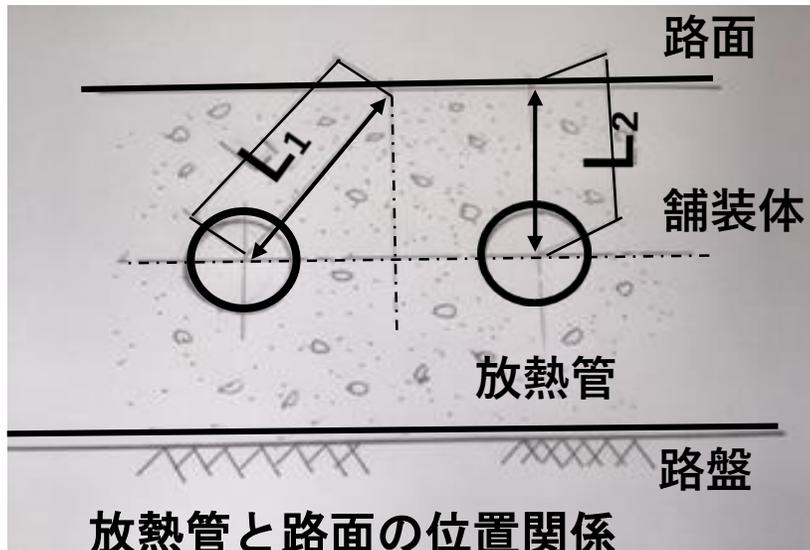
路面で設計必要熱量を放熱するのに適切な放熱管入口温度は次式により算定するものとする。

$$T_1 = \bar{T} + 1/2 \cdot \Delta T_1$$

T_1 : 放熱管入口温度 (°C)、 \bar{T} : 放熱管平均通水温度 (°C)、 ΔT_1 : 放熱による温度低下 (°C)

また、 $\bar{T} = \boxed{qu \cdot \frac{L_1 + L_2}{2\lambda}} + q \cdot \frac{a'}{2\pi \cdot \lambda_p \cdot L} \cdot \ln \frac{d_0}{d_1} + T_m$ -----式 (2.12)

$$\boxed{qu \cdot \frac{L_1 + L_2}{2\lambda}}$$



舗装体の熱伝導率に関する第1項の変数

qu : 上部放熱量 : W/m^2)

L_1 : 放熱管中心から路面までの最長距離 (m)

L_2 : 放熱管中心から路面までの最短距離 (m)

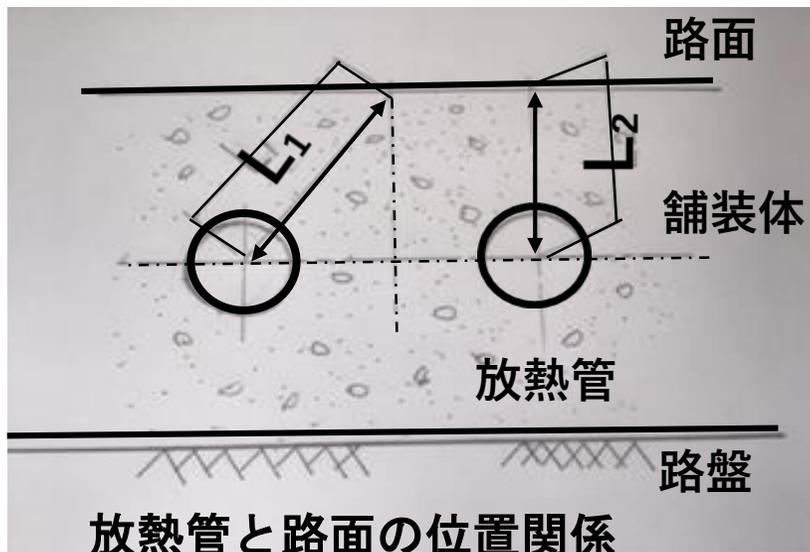
λ : 舗装体の熱伝導率 ($W/m/k$)

路面で設計必要熱量を放熱するのに適切な放熱管入口温度は次式により算定するものとする。

$$T_1 = \bar{T} + 1/2 \cdot \Delta T_1$$

T_1 : 放熱管入口温度 (°C)、 \bar{T} : 放熱管平均通水温度 (°C)、 ΔT_1 : 放熱による温度低下 (°C)

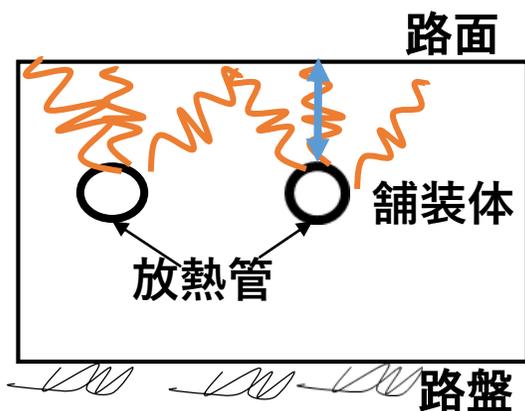
また、 $\bar{T} = qu \cdot \frac{L_1 + L_2}{2\lambda} + q \cdot \frac{a'}{2\pi \cdot \lambda_p \cdot L} \cdot \ln \frac{d_0}{d_1} + T_m$ -----式 (2.12)



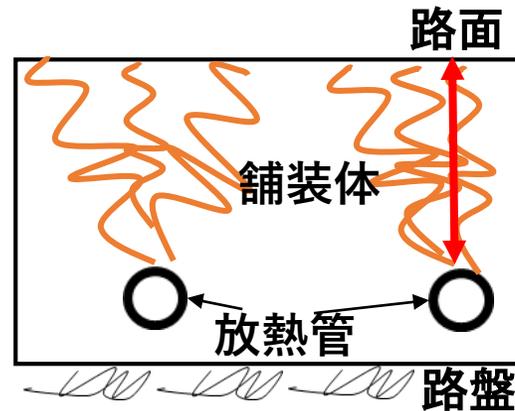
$$qu \cdot \frac{L_1 + L_2}{2\lambda}$$

ケース1 放熱管や放熱線の防護力の強化

$$qu \cdot \frac{L_1 + L_2}{2\lambda}$$



舗装体の熱伝導率
を大きくすると



放熱管の埋設深
を大きくできる

通常、路面から10cm以内に放熱管を設置、放熱管の破損や電熱線の断線が多い。

放熱管の埋設深を大きくして防護力を増強。

通常15～20cmという横方向の設置間隔を伸ばし、荷重分散を図る。

ケース2-1 厳寒地区や多積雪地区で、未利用となっている 低温度熱エネルギー(下水熱や地中熱等)の活用

熱伝導率 λ (W/m°C)	放熱管行き温度 T_a (°C)	放熱管還り温度 T_b (°C)
1.6	16.84	11.92
2.4	12.1	7.18
2.5	11.72	6.81
2.75	10.9	5.98
3	10.21	5.29
4	8.32	3.4
5	7.18	2.26
6	6.42	1.5

- 融雪対象面積：200m²
- 単位面積当たり必要熱量 q ：250W/m² (道央地区)
- 上部放熱量 q_u ：225W/m²
- 総必要熱量 50,000W/m²

下水温度 12°C

12°C以上に
温めること
は不可能

10°C低下

×

○

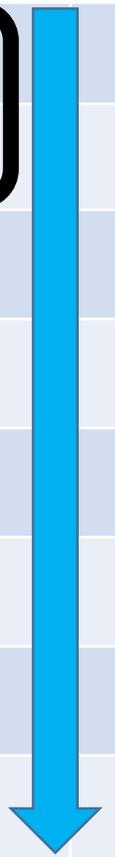
ケース 2-2

低温度エネルギーを活用した融雪施設のトータルコストの低減

熱伝導率 λ (W/m°C)	放熱管行き温度 T_a (°C)	放熱管還り温度 T_b (°C)	採熱管延長 L (m)
1.6	16.84	11.92	-
2.4	12.1	7.18	-
2.5	11.72	6.81	257.9
2.75	10.9	5.98	149.8
3	10.21	5.29	116.5
4	8.32	3.4	74.8
5	7.18	2.26	62
6	6.42	1.5	55.7

×

○

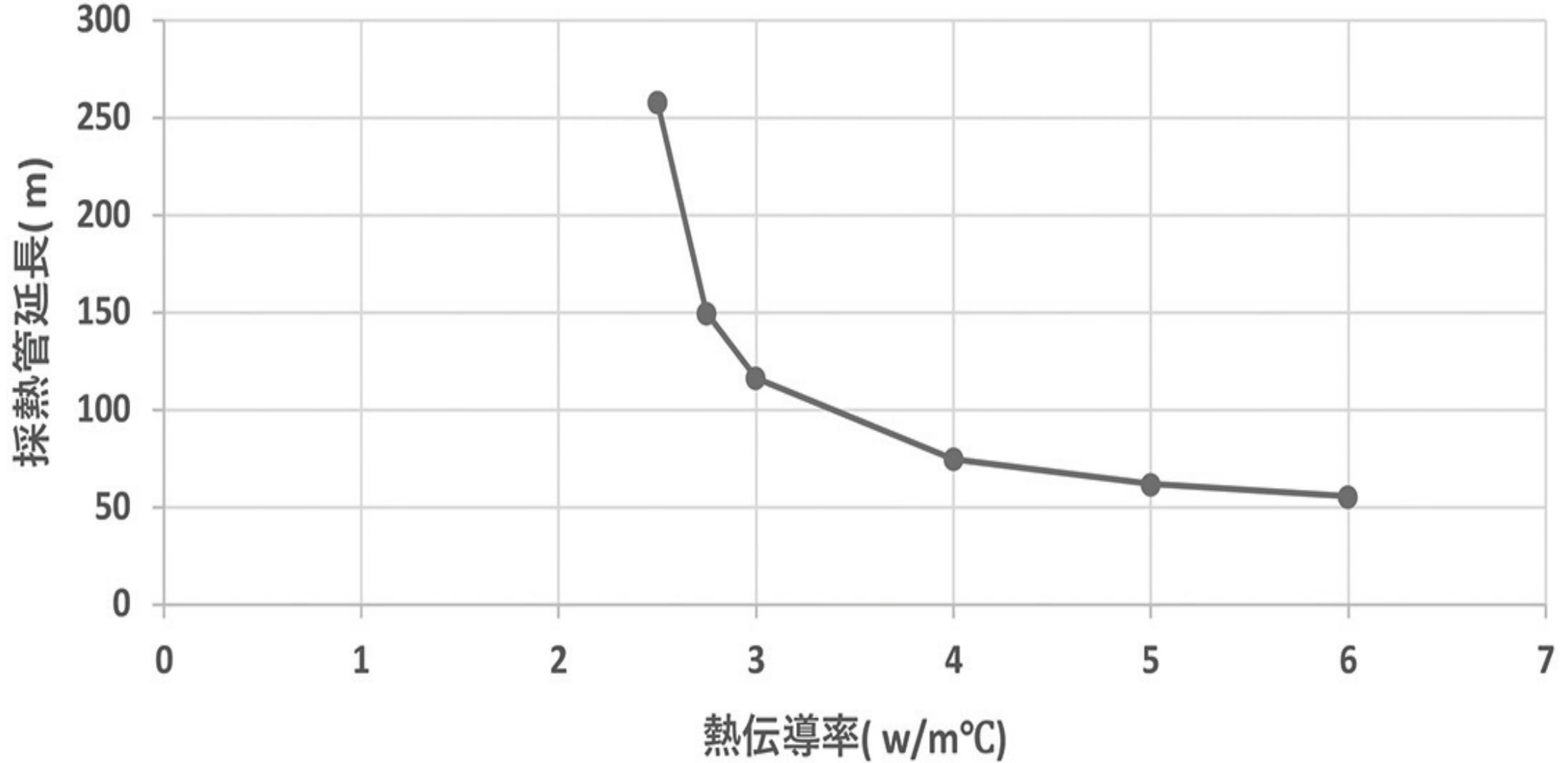


10°C低下

下水温度12°C

12°C以上に
温めること
は不可能

北海道

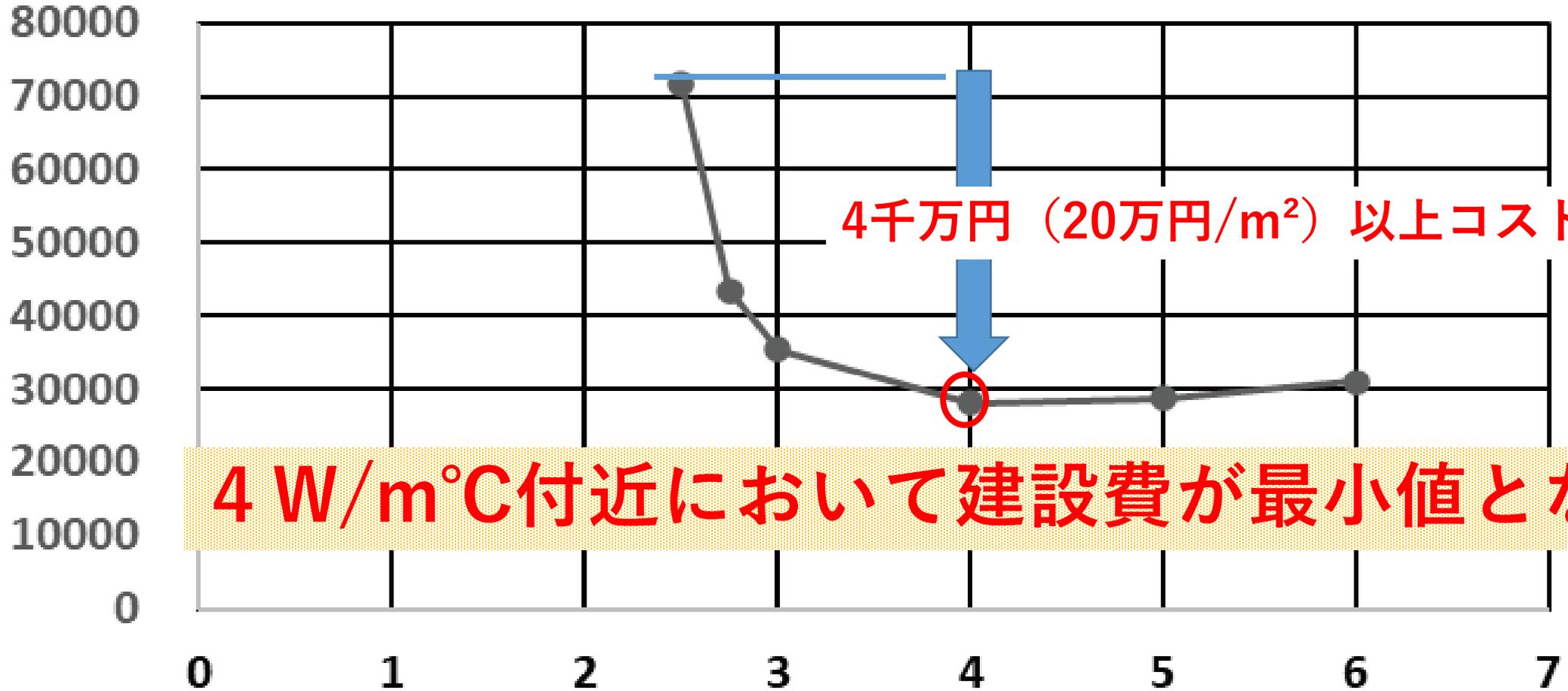


高熱伝導 C_o の熱伝導率と採熱管延長

北海道

熱伝導率をパラメータとして部分最適でなく全体最適な設計を行う。

採熱管及びアルミナ費用 (千円)



4 $W/m^{\circ}C$ 付近において建設費が最小値となる。

4千万円 (20万円/ m^2) 以上コスト縮減

熱伝導率と採熱管費用+アルミナ費用

3 実用化に向けて

① 骨材としての課題

② 生コン工場での課題

① 骨材としての課題

コンクリート舗装用骨材基準と今回使用したアルミナ骨材

すり減り減量		吸水率		安定試験損失量	
粗骨材		細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材
積雪寒冷地	一般	3.5%以下	3.0%以下	10%以下	12%以下
25%以下	35%以下				
32.7		0.56	1.88	1.7	0.7

粗骨材のすり減り減量の積雪寒冷地の数値が、基準を満たさない。

そこで、細骨材のみを使用した配合を模索した。

細骨材のみの置換で、熱伝導率は約 $4 \text{ W/m} \cdot \text{k}$ までコントロール。

北海道の事例では、熱伝導率 $4 \text{ W/k} \cdot \text{m}$ 以上は、オーバースペック。

② 生コン工場での課題

○アルミナ骨材の粒度調整（複数の製品をブレンド）が必要

○骨材ヤードが限定（1つの貯蔵ヤードのみの使用）

以上のことから、
細骨材の粒度範囲で一種類の製品を使用することとした。

標準配合の骨材の比表面積に合わせて、置換する配合設計



凍結融解試験 (JIS A 1148)

NO	試験開始時		試験終了時				
	質量 (g)	たわみ一 次振動数 (Hz)	質量 (g)	たわみ一 次振動数 (Hz)	質量減少率 (%)	相対動弾性 係数 (%)	耐久性指数 DF
標準	9732	2382	9722	2350	0.10	97.4	97.4
アルミナ 中粒使用	11195	2668	11180	2640	0.13	97.9	97.9

全ての供試体において300サイクルまでに双代弾性係数が60%以上の値を示した。

2019.10.18 製作試験体の状況



屋外暴露試験状況
(撮影日2022年5月30日)
※ 写真右は砂、砂利の
100%を置換,
写真左は砂、砂利の
50%を置換したもの

2年7か月経過したが、
目視ではコンクリート表面
には変化が見られない

最後に

コンクリート舗装については、試験室レベルでは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ています。

地下水資源の保全対策の必要な地域では、その熱エネルギーのみを活用して、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います。

未利用熱エネルギーの活用による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につながるためにも、皆様に現場実装・チャレンジの場の提供をお願いします。

ご清聴ありがとうございました。

皆様の試験施工へのチャレンジをしやすいするために、
アルミナの提供と技術支援を行いたいと思います。

これまでの研究成果は、当社ホームページをご覧ください。
<http://tohos.co.jp> 【東邦産業 新潟】で検索