

北海道の未利用熱活用に資する高熱伝導舗装を用いた無散水融雪
(舗装体の熱伝導率をコントロールした全体最適な設計手法)

東邦産業(株)

新潟大学

太平洋セメント(株)

エヌシー(株)

新潟太平洋生コン(株)

みてら
美寺

佐伯

岡田

野本

浅野

ひさと
寿人

竜彦

明也

孝史

宏

1. はじめに

一般的に、
コンクリートの熱伝導率は1.6 (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。

北海道



設計放熱量大

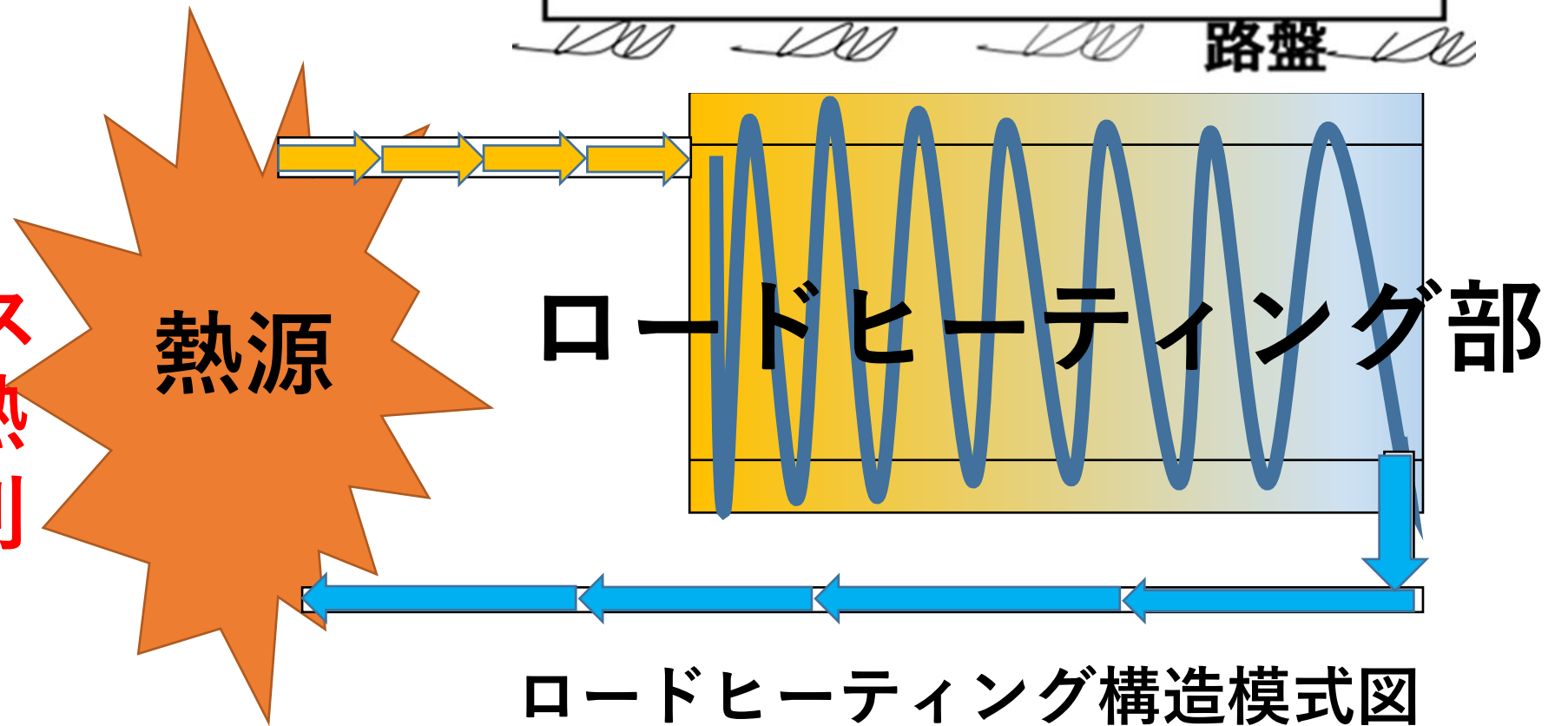
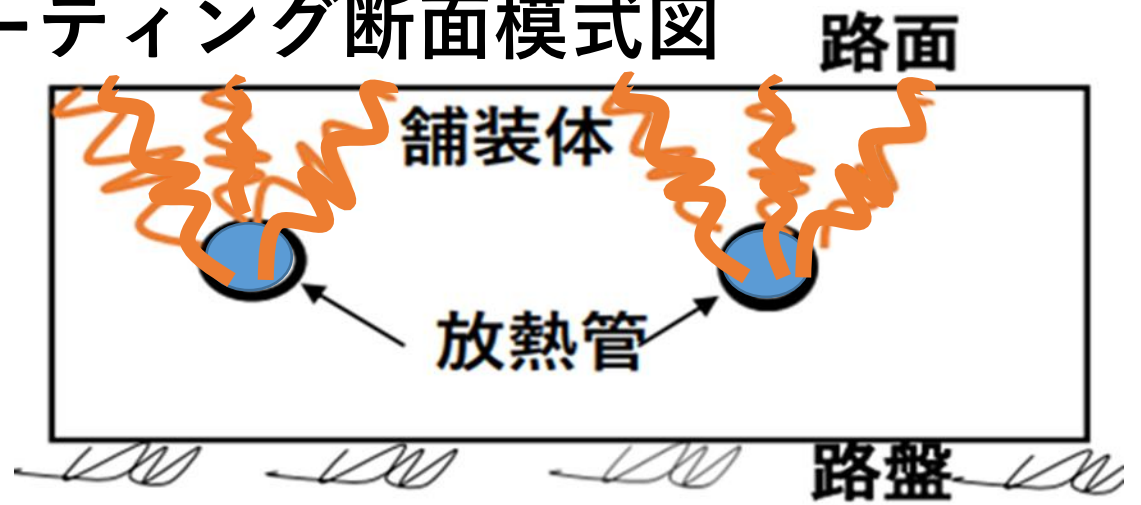


設計温度高い



ヒートポンプレスでの低温度の熱エネルギーの利用が難しい

ロードヒーティング断面模式図



今回報告する「高熱伝導舗装」を導入すると

必要な設計温度を低くすることができるため

これまで利用できなかった低温度の熱エネルギー

(未利用熱) がヒートポンプレスで、活用できます。

熱伝導率の違いによる融解状況の観察実験

1-2 : 普通コンクリート
(熱伝導率 $2.0 \text{ w/m} \cdot \text{ k}$)

2-2 : 高熱伝導
コンクリート
(熱伝導率 $6.1 \text{ w/m} \cdot \text{ k}$)

3-2 : 高熱伝導
コンクリート
(熱伝導率 $3.4 \text{ w/m} \cdot \text{ k}$)

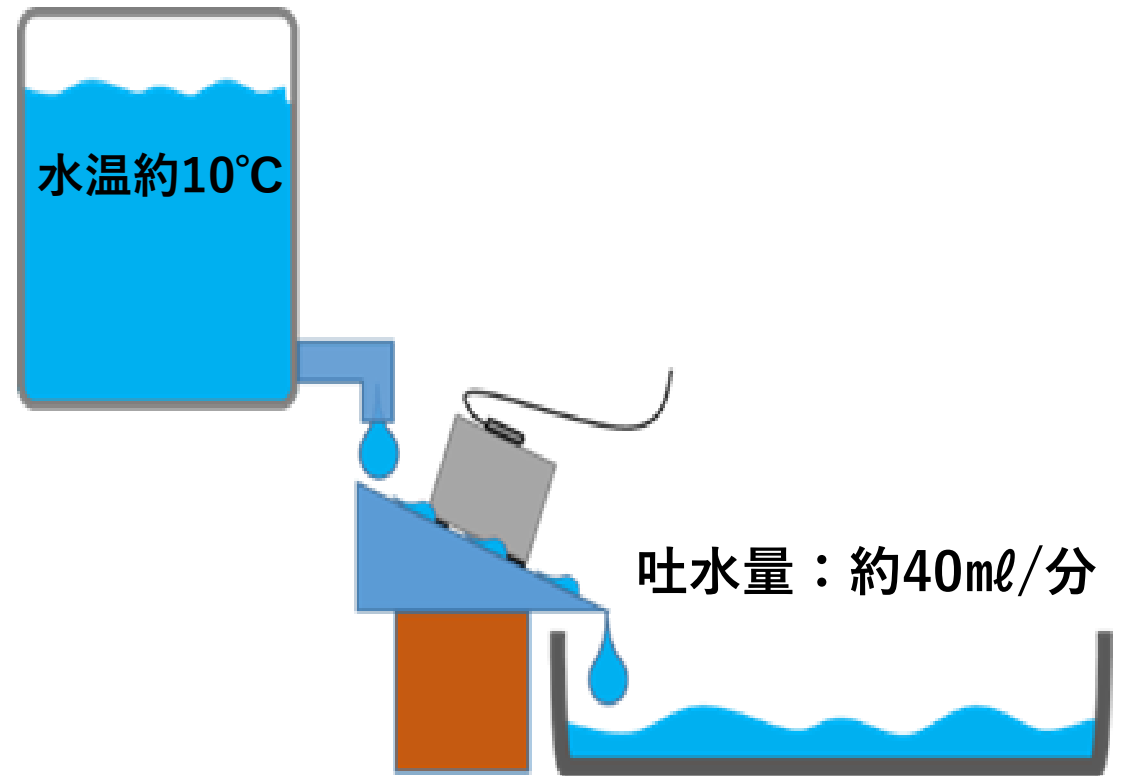


- マイナス1°Cに設定した恒温槽において、マイナス1°Cに冷やした3種類の熱伝導率の異なるサンプル（10cm×10cm×5cmの直方体）の上に、氷を置き、サンプルの底面に同流量の水温約10°Cの水を流して、氷の融解する状況を観察する。



恒温槽 マイナス1°C設定

協力：株式会社スノーテック新潟



実験ポンチ絵

実験開始時

1-2 : 普通コンクリート
(熱伝導率 $2.0\text{w/m}\cdot\text{k}$)

2-2 : 高熱伝導
コンクリート
(熱伝導率 $6.1\text{w/m}\cdot\text{k}$)

3-2 : 高熱伝導
コンクリート
(熱伝導率 $3.4\text{w/m}\cdot\text{k}$)

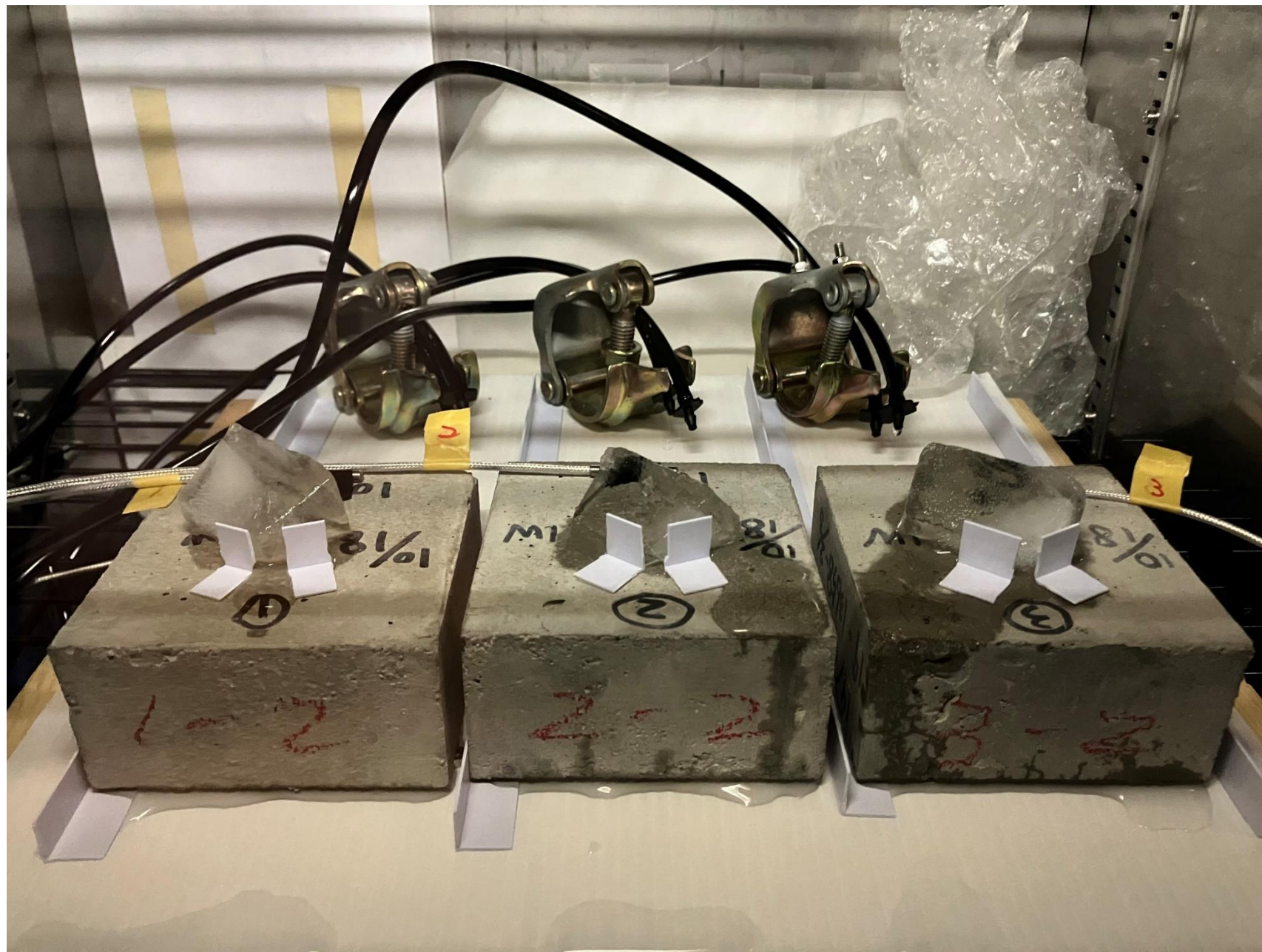


実験終了時 開始から24分後

1-2 : 普通コンクリート
(熱伝導率 $2.0 \text{ w/m} \cdot \text{ k}$)

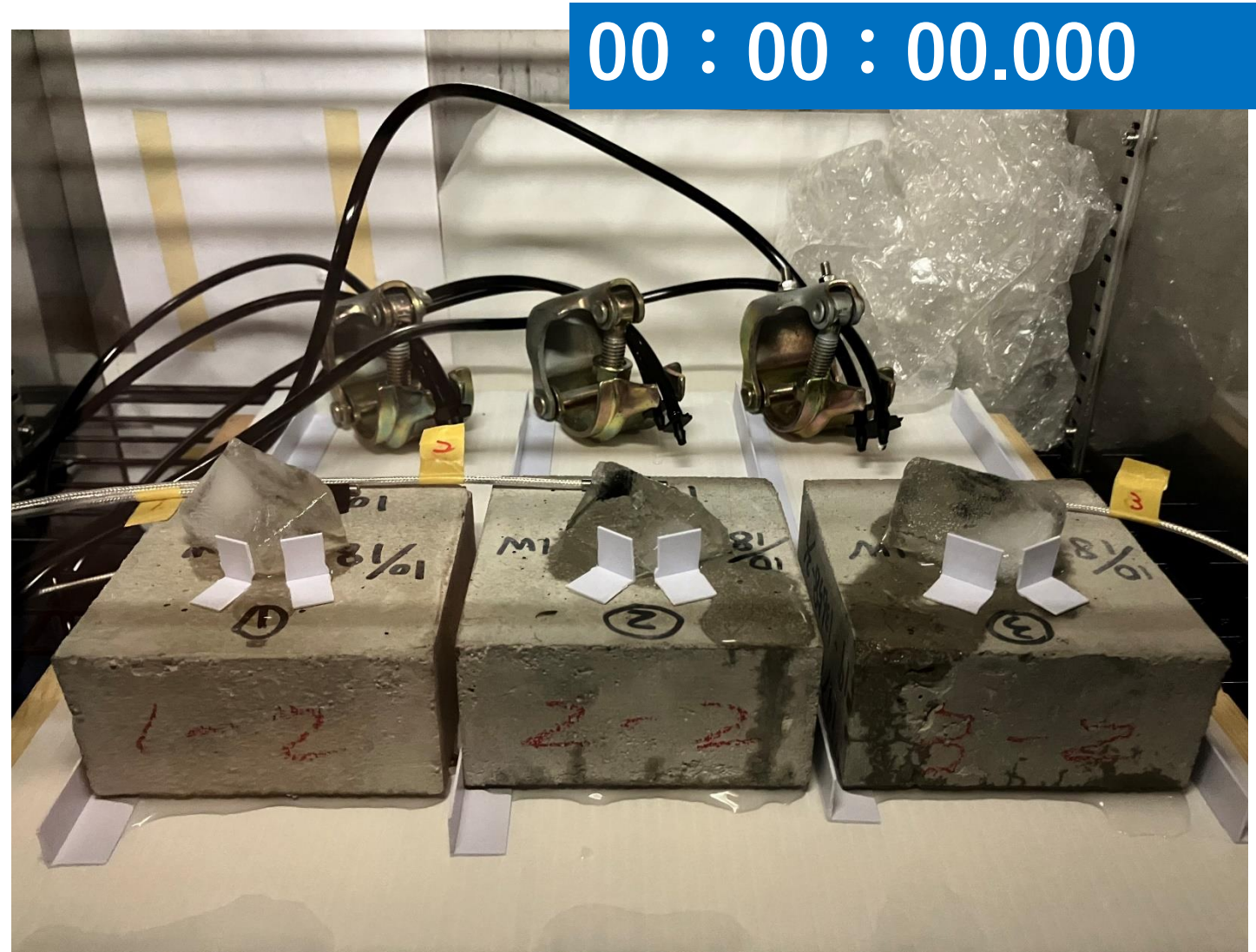
2-2 : 高熱伝導
コンクリート
(熱伝導率 $6.1 \text{ w/m} \cdot \text{ k}$)

3-2 : 高熱伝導
コンクリート
(熱伝導率 $3.4 \text{ w/m} \cdot \text{ k}$)



供給水温度約10°Cのケースの動画（16倍速：1分27秒）

- 約23秒表示（実際約6分）
でサンプル2-2に溶け始め
の兆候が見られ、
- 約25秒表示（実際約7分）
サンプル3-2に兆候。
- 約1分表示（実際約16分）
サンプル1-2に兆候。



供給水温度約10°Cのケースの動画（16倍速：1分27秒）

23秒表示 サンプル2-2に兆候 約25秒表示 サンプル3-2に兆候。

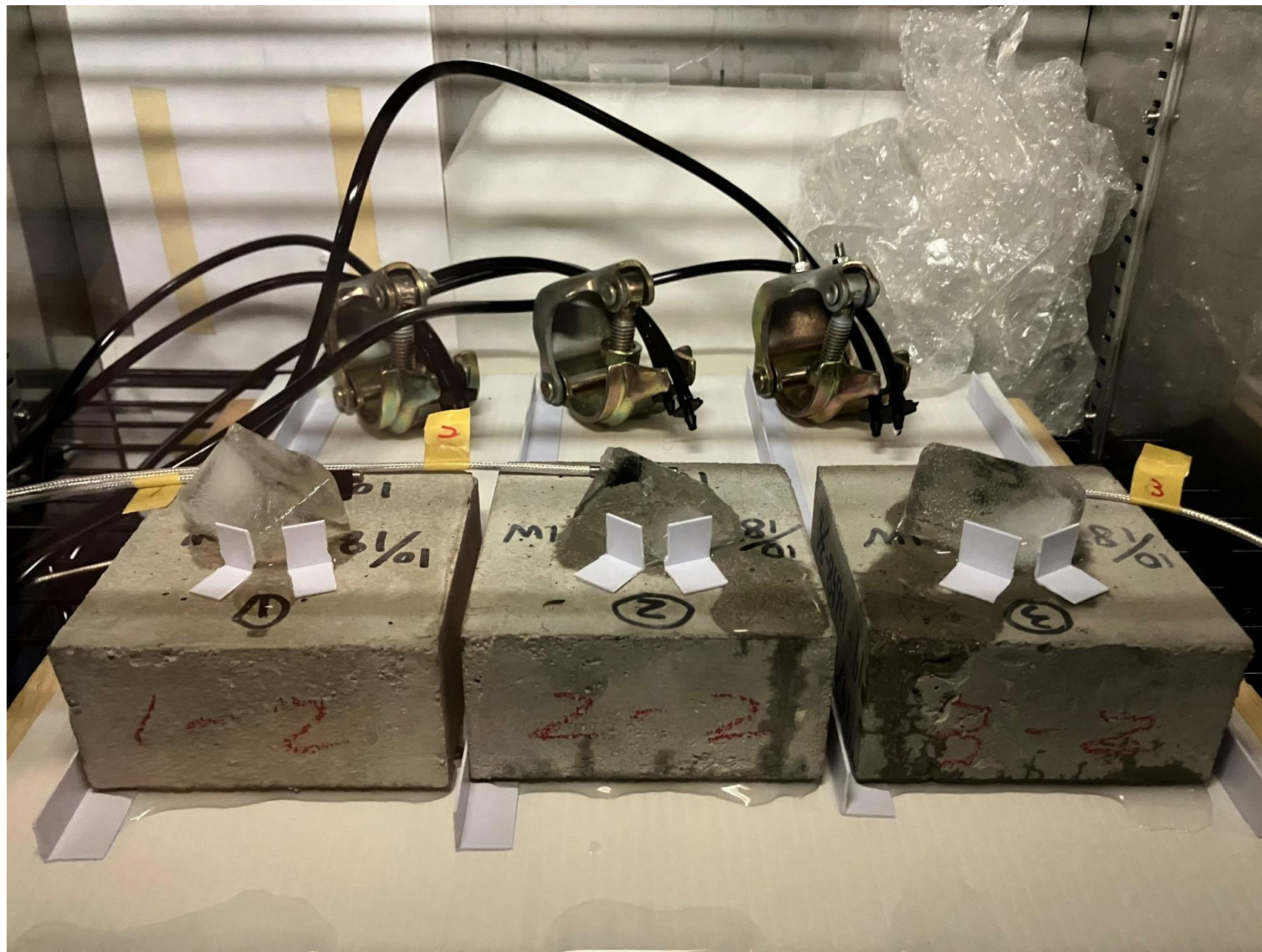
約1分表示 サンプル1-2に兆候。

実験終了時 開始から24分後

1-2 : 普通コンクリート
(熱伝導率 $2.0 \text{ w/m} \cdot \text{ k}$)

2-2 : 高熱伝導
コンクリート
(熱伝導率 $6.1 \text{ w/m} \cdot \text{ k}$)

3-2 : 高熱伝導
コンクリート
(熱伝導率 $3.4 \text{ w/m} \cdot \text{ k}$)



2. 熱伝導率をコントロールする意義

(1) アルミナを用いた 高熱伝導コンクリート

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)

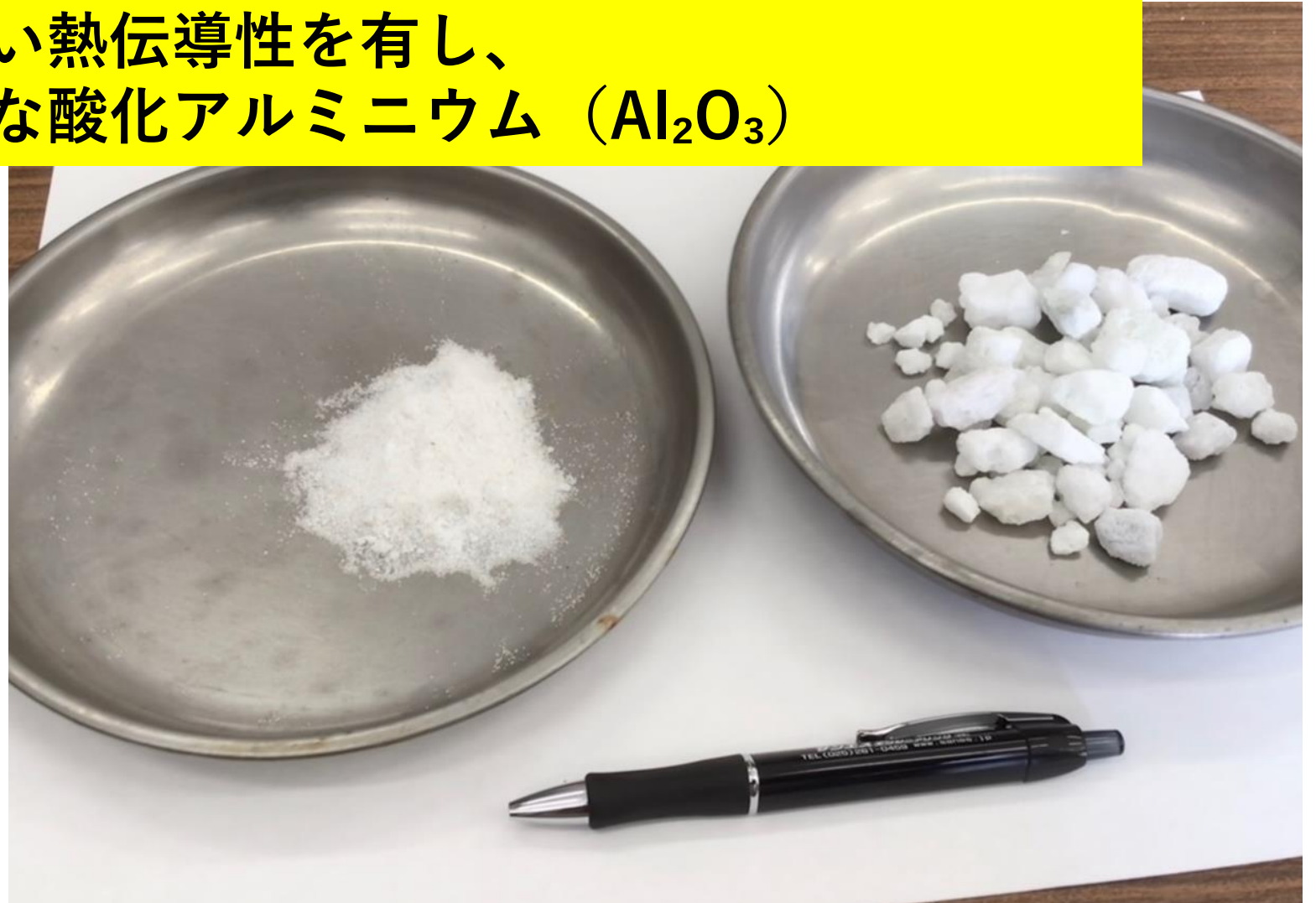
新潟県新潟市の
コンクリート

2.0 ($\text{W/m} \cdot \text{k}$)

北海道札幌市付近の
コンクリート

1.6 ($\text{W/m} \cdot \text{k}$)

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 $\text{W/m} \cdot \text{K}$ (25°C)」

見える化実験では、左側の3つを使用

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)



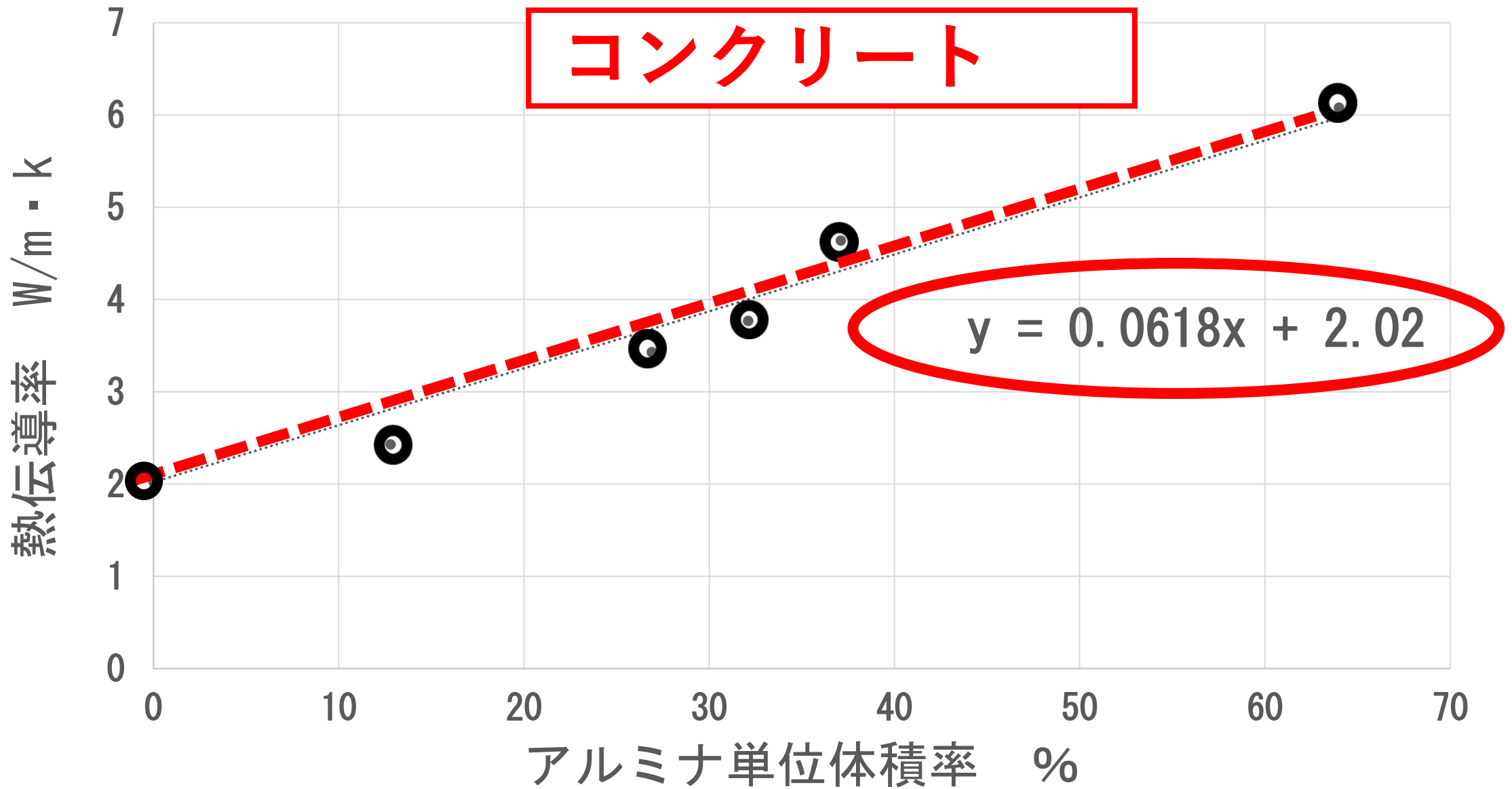
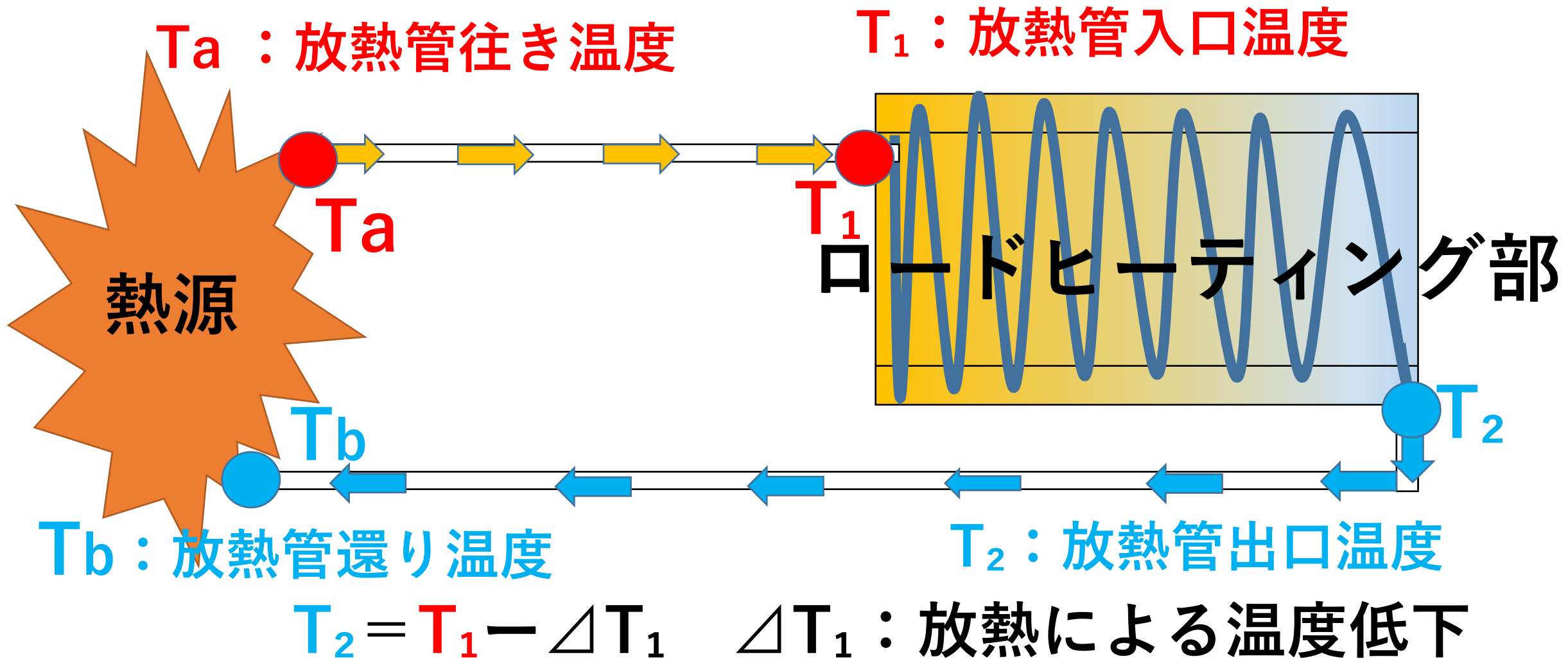


図1 アルミナ体積率と熱伝導率の関係図

2. 熱伝導率をコントロールする意義

(2) 未利用熱活用方策

ロードヒーティング構造模式図



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

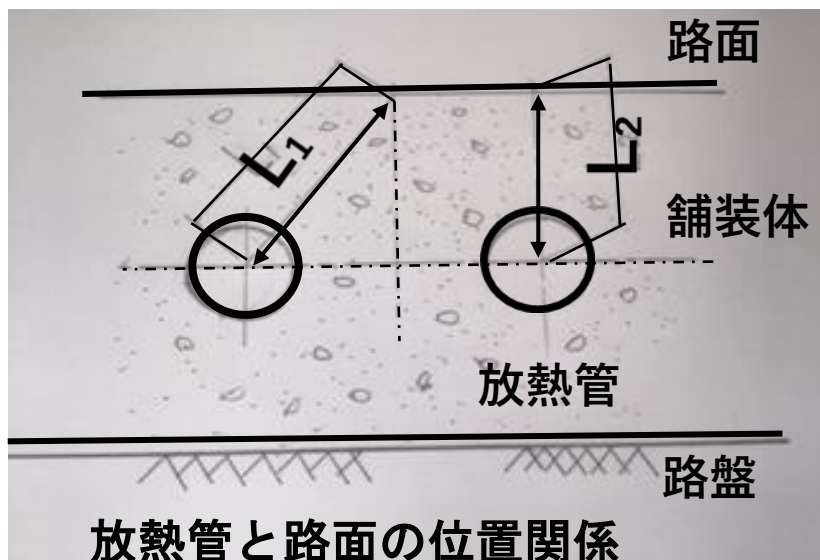
路面で設計必要熱量を放熱するのに適切な放熱管入口温度は次式により算定するものとする。

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

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)

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



舗装体の熱伝導率が関係する第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)

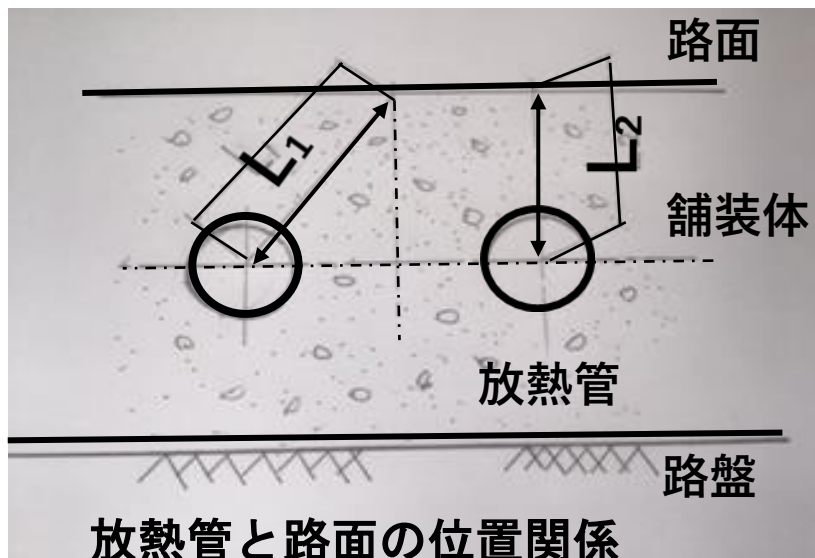
λ : 舗装体の熱伝導率 ($W/m/k$)

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



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

令和3年6月23日 国土技術政策総合研究所

「ヒートポンプレスで低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）より検討

北海道の道央地区を想定した算出例

- ・ 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

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

下水温度 12°C

12°C以上に
温めること
は不可能

10°C低下

2. 熱伝導率をコントロールする意義

(3) 全体最適な設計

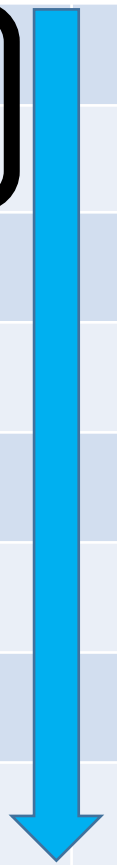
ケース 2-2

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

×

○



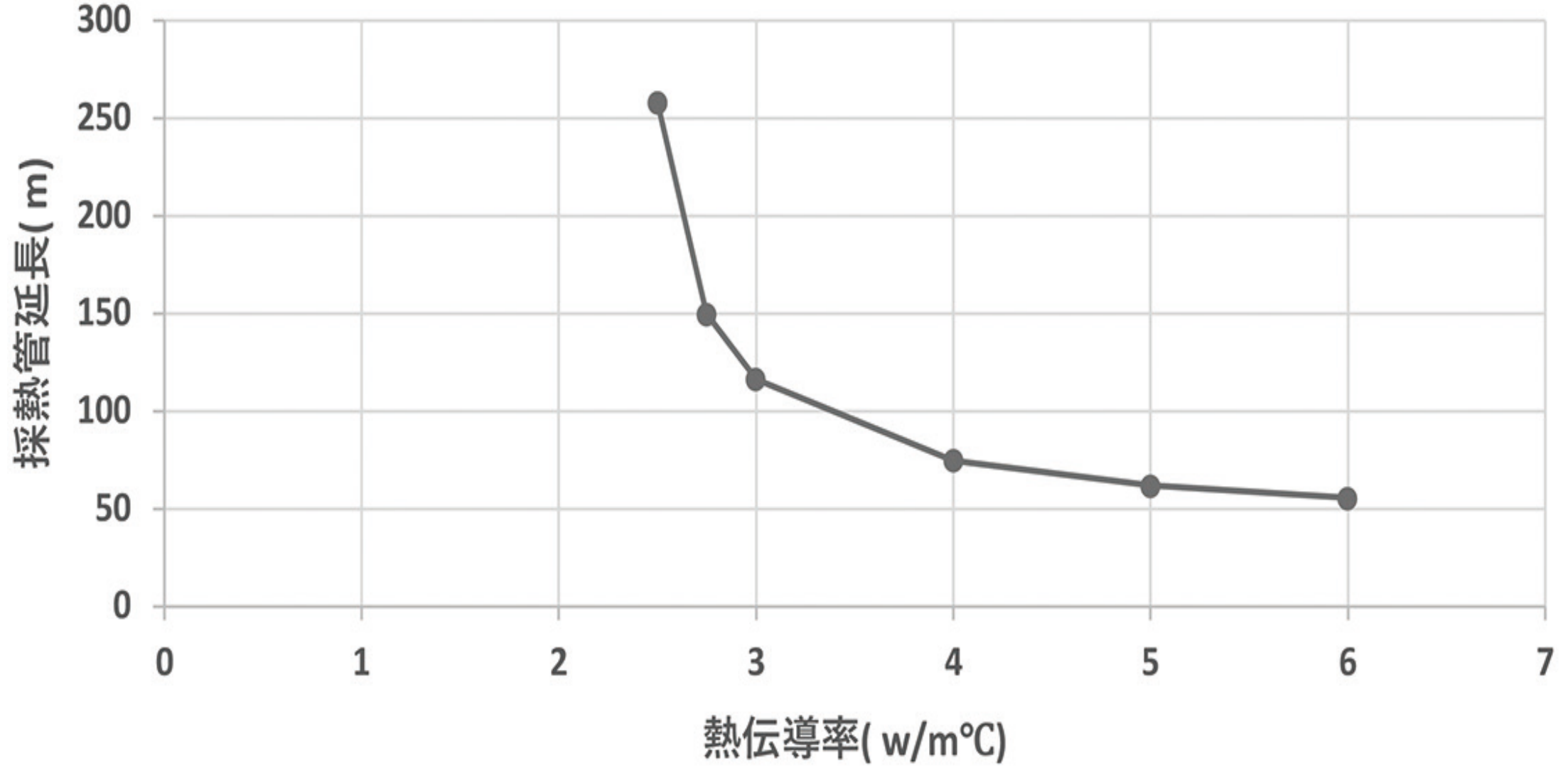
16.84
12.1
11.72
10.9
10.21
8.32
7.18
6.42

下水温度 12°C

12°C以上に
温めること
は不可能

10°C低下

北海道

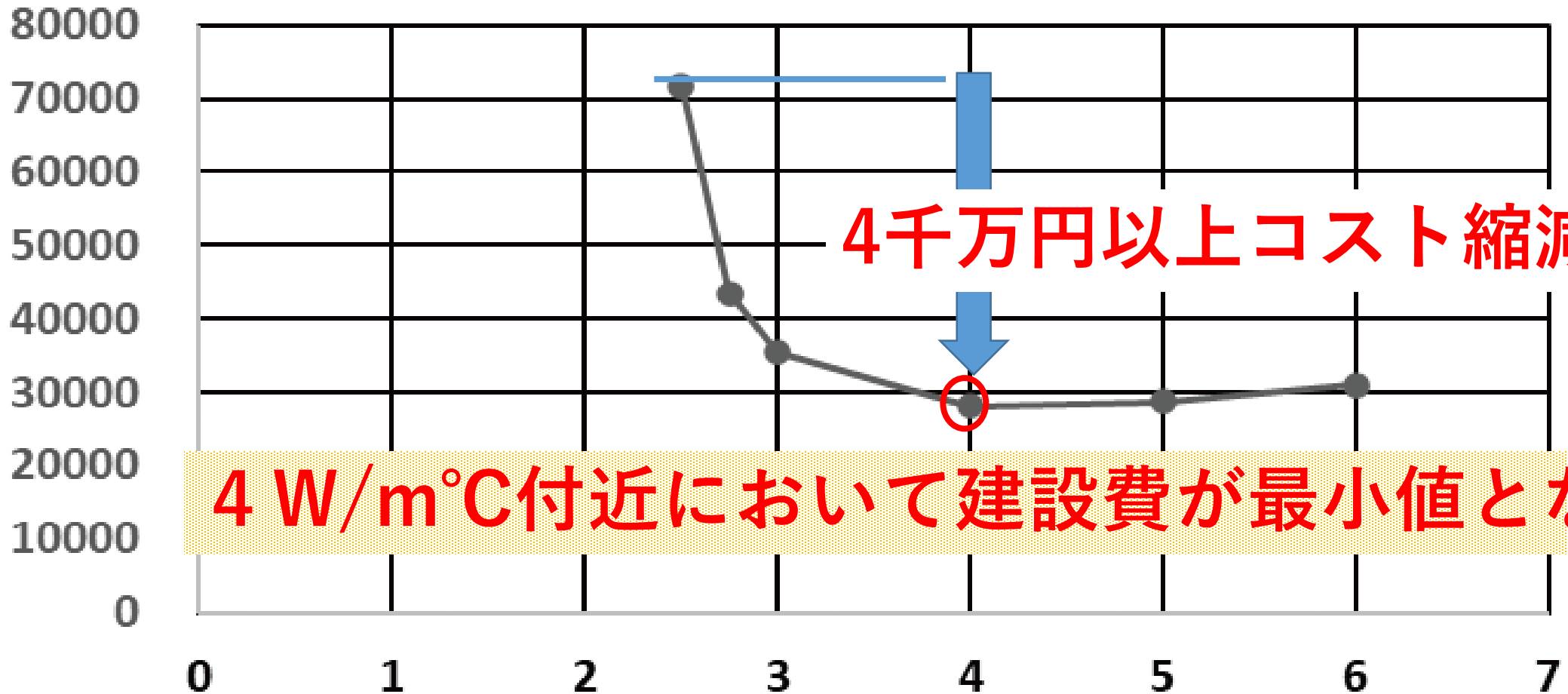


高熱伝導Coの熱伝導率と採熱管延長

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[°]C付近において建設費が最小値となる。

4千万円以上コスト縮減

熱伝導率と採熱管費用+アルミナ費用

従来設計：熱伝導率を「定数」として取扱う



新たな設計：熱伝導率を「変数」として取り扱う

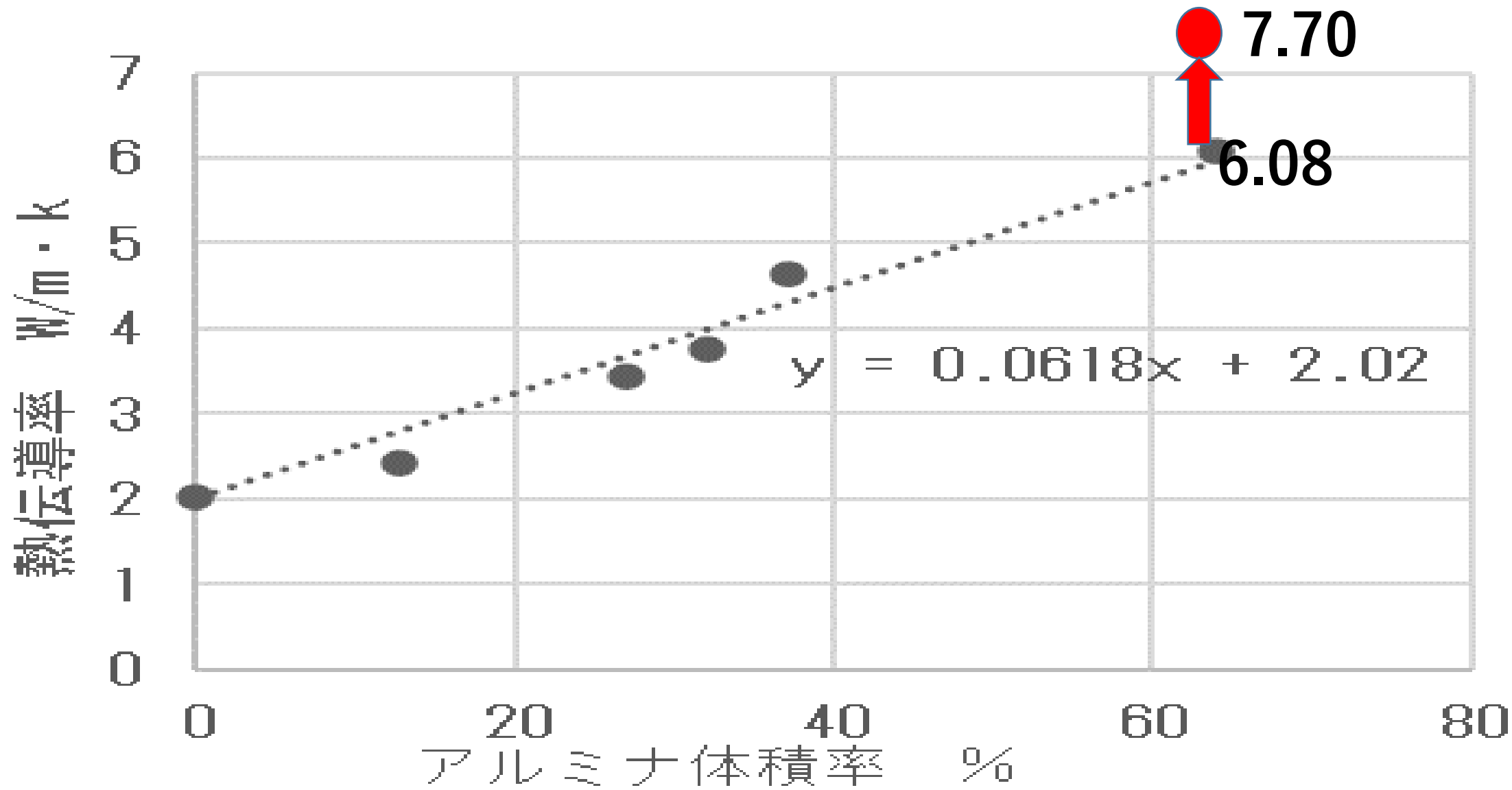


施設設計の自由度が広がり、
全体最適な設計をすることが可能になる

3. 今後の課題等

(1) 熱伝導率の向上の方策

空気量と耐凍害能力

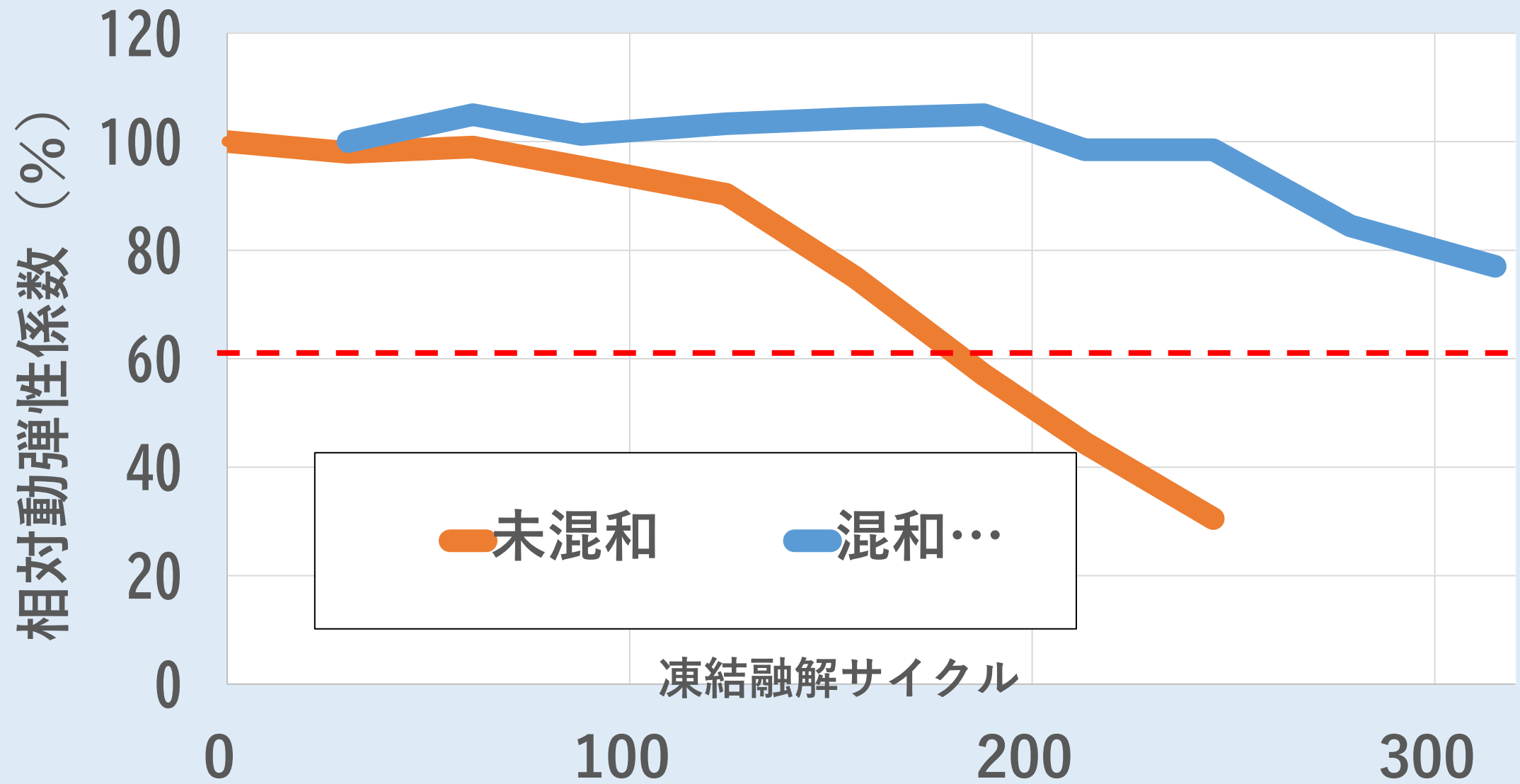


空気量と耐凍害能力

空気量は耐凍害性の機能として、5%程度を目安に配合

耐凍害性混和剤として開発された「パラフィン系混和剤」を使用

新たに空気量3%で混和剤の有無による凍結融解試験を行い、
有効性を確認しました。



3. 今後の課題等

(2) 現場での試験施工に向けて

本技術は、特許技術ではありません。

**試験室レベルでは一定の成果が得られ、
技術として現場での導入は可能と考えています。**

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、

熱エネルギーのみを活用し、

散水消雪方式から

無散水融雪方式への転換にも寄与します。

**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ります。**

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、熱エネルギーのみを活用し、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ります。

ご清聴ありがとうございました。

熱伝導率の違いによる融解状況の観察実験の動画QRコード

Special Thanks

日本地下水開発株式会社
株式会社 スノーテック新潟

