

未利用熱エネルギーの普及拡大につながる 高熱伝導舗装の研究

放熱能力を大幅に高めて、
任意の値に熱伝導率を設定できる融雪舗装材の研究

令和3年度 第34回 日本道路会議 論文発表

日 時：2021.11.5

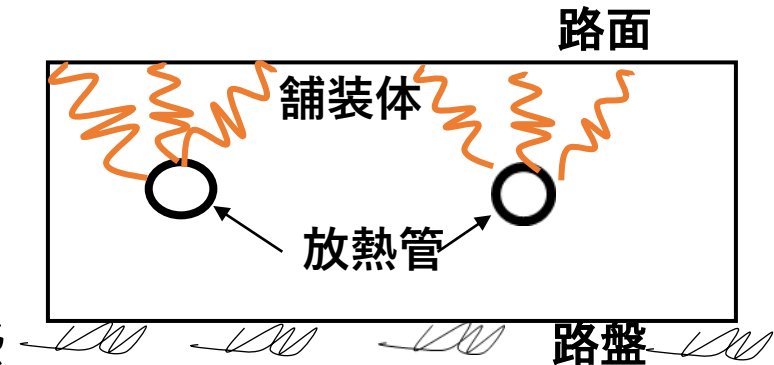
発表者：	東邦産業株式会社	○美寺 寿人
	新潟太平洋生コン株式会社	浅野 宏
	福田道路株式会社 技術研究所	畑山 良二

1 はじめに

ロードヒーティングの舗装体

舗装体は、

- 1 放熱管からの熱を熱伝導により路面に伝える伝導、放熱機能



- 2 車両等の重荷重から放熱管を守る保護機能

コンクリートの熱伝導率は $1.6 \text{ (W/m} \cdot \text{k)}$ と言われている。

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いた。

熱伝導率をコントロールできるとしたら。

厳寒地区や多積雪地区で、
低温度熱エネルギー(下水熱や地中熱等)をより活用できる。

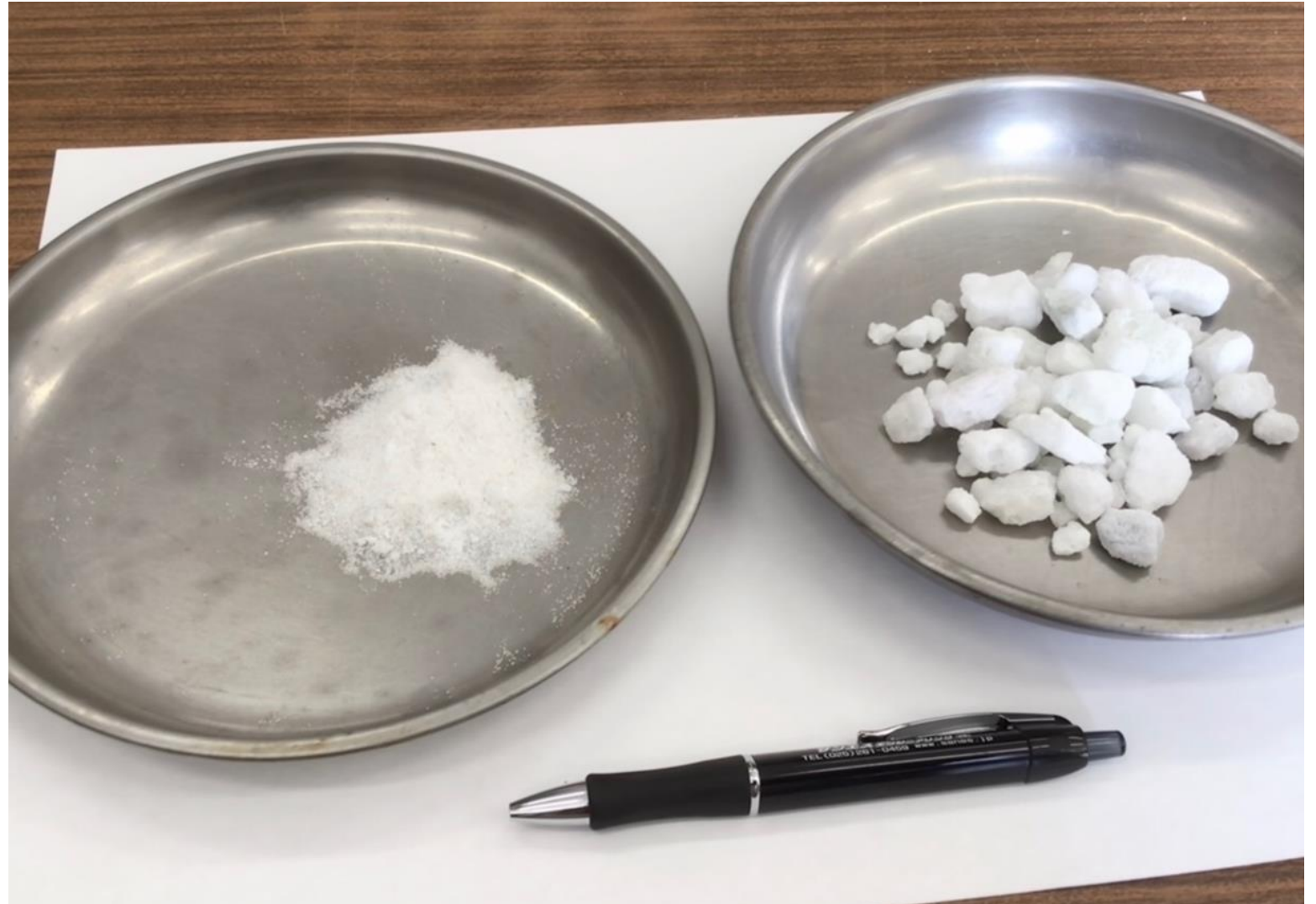
融雪施設のトータルコストの低減ができる。

コンクリート骨材の材質に着目し、選んだのがアルミナ

(試験結果より)
新潟県新潟市の
コンクリート
2.0 (W/m・k)

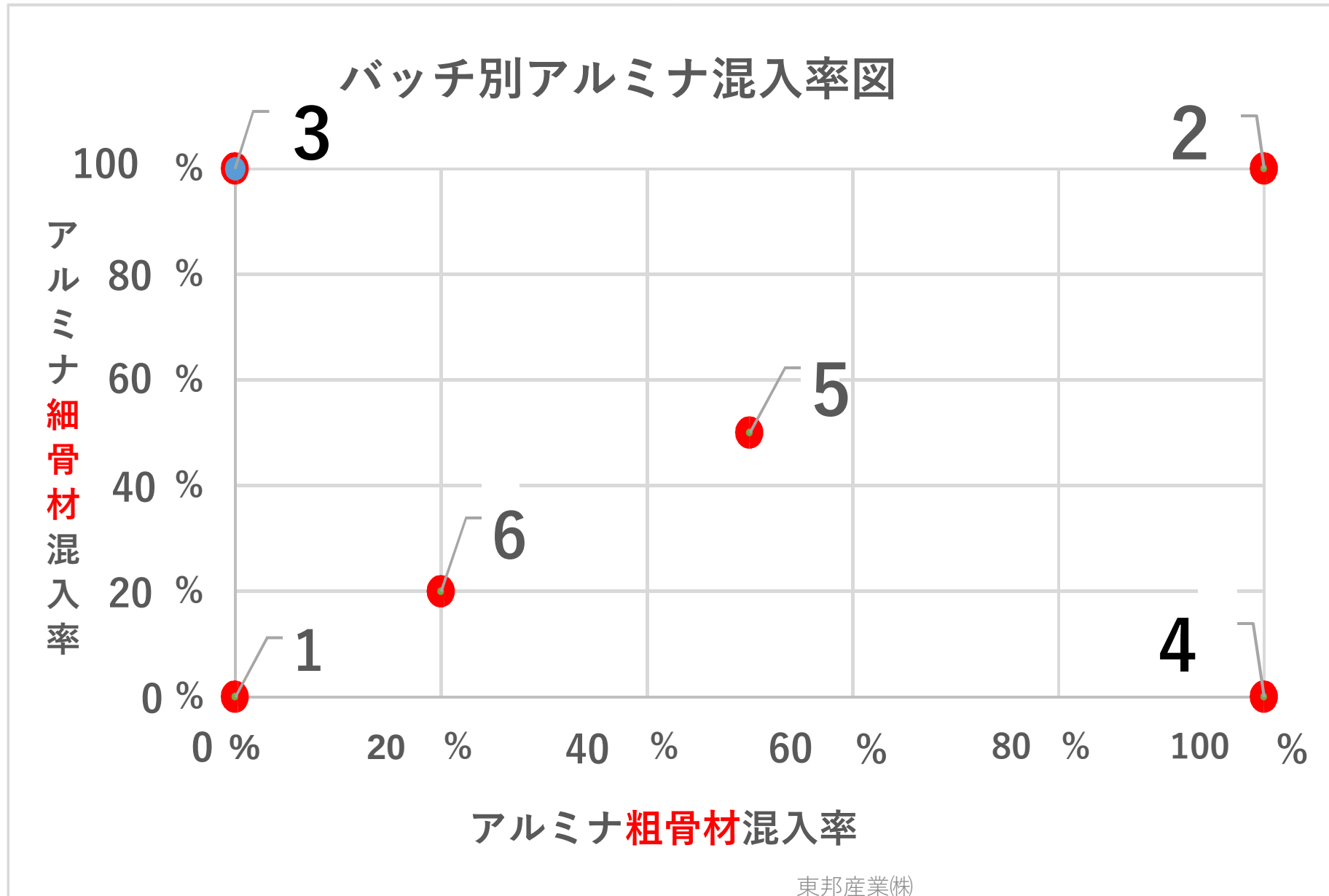
北海道札幌市付近の
コンクリート
1.6 (W/m・k)

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 W/m・K (25℃)」

2 コンクリート 試験練りの各ケース



標準配合 (No1)
「早期交通開放型
コンクリート舗装
(1DAY PAVE)」

曲げ強度を
道路舗装設計標準
の 4.50N/mm^2

熱伝導率測定用サンプル（コンクリート）

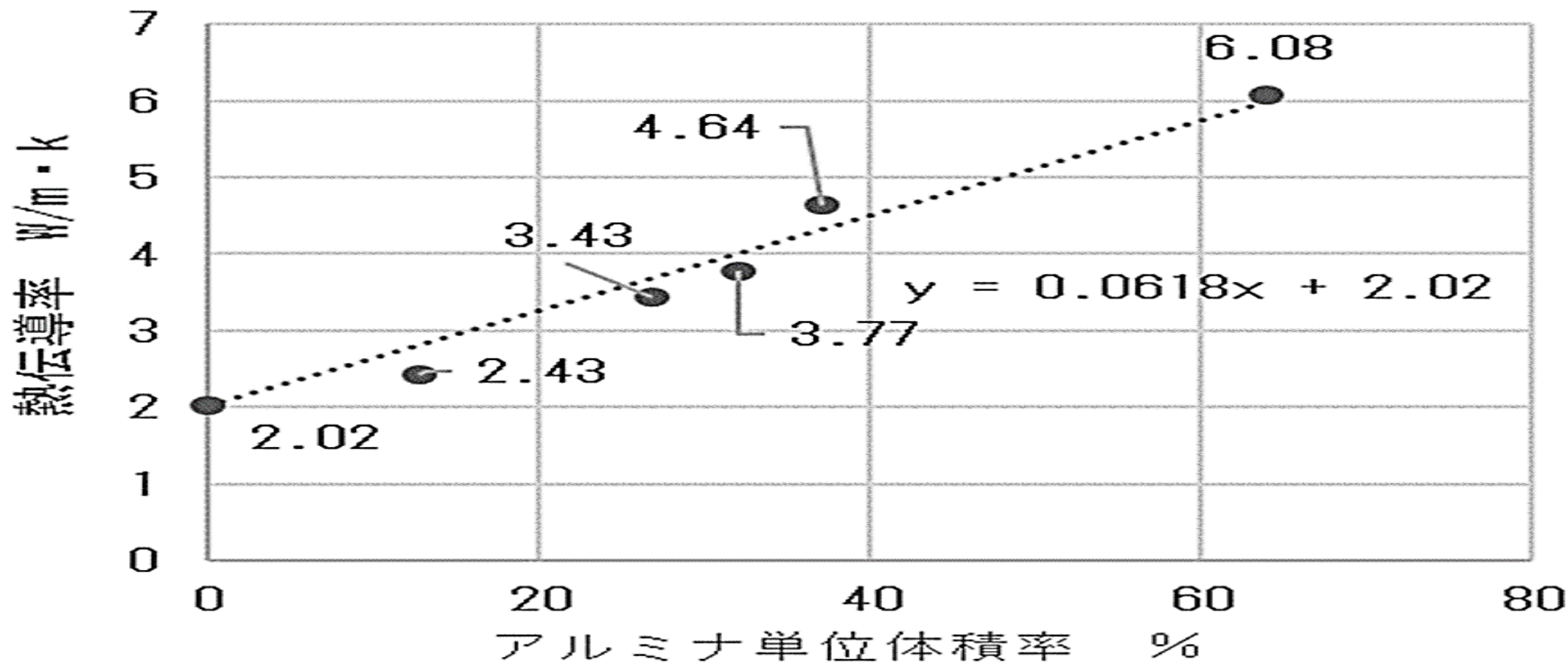


- No1 : 標準配合置換なし
- No2 : 全量置換
- No3 : 細骨材全量置換
- No4 : 粗骨材全量置換
- No5 : 両骨材50%置換
- No6 : 両骨材20%置換

左端 1 ・ ・ 6

曲げ強度試験 標準配合に比べて約1.2倍以上の強度を確認できた。

熱伝導試験



図一1 アルミナ単位体積率と熱伝導率の関係図

3 アスファルト

熱伝導率測定用サンプル（アスファルト）

アスファルトにはポリマー改質アスファルトⅡ型を使用した。

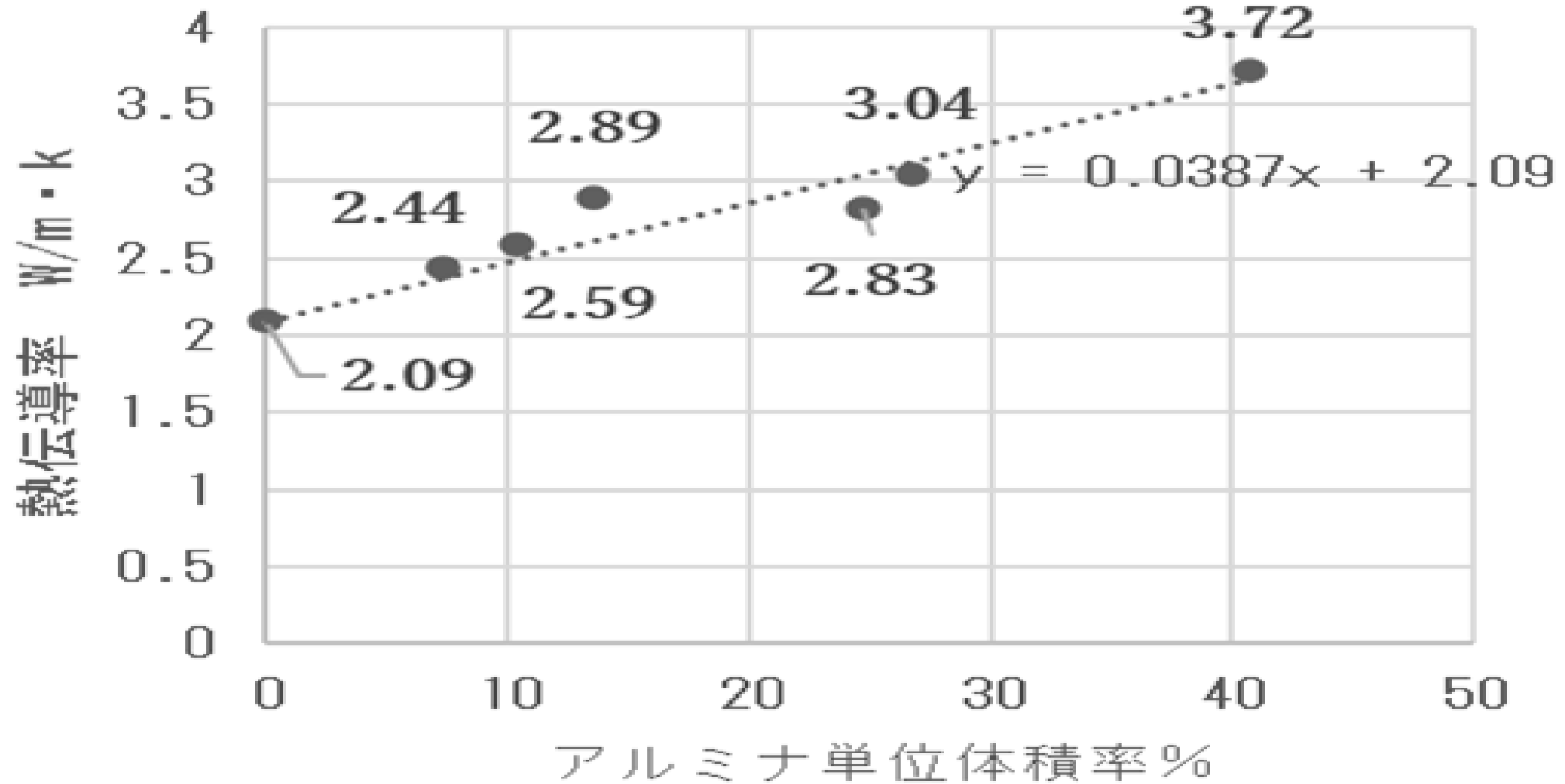
- ・実施した配合は、7号砕石・粗砂・細砂の3つの粒度区分を使用した。



上記の粒度区分
(いわゆる細骨材)だけを
置換していることから
見た目の違いはほとんど
なし

写真の左から右に置換率が大きい。左端部は、標準（置換率0）。

アスファルト熱伝導試験



アルミナ単位体積率と熱伝導率の関係図

4 考察 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

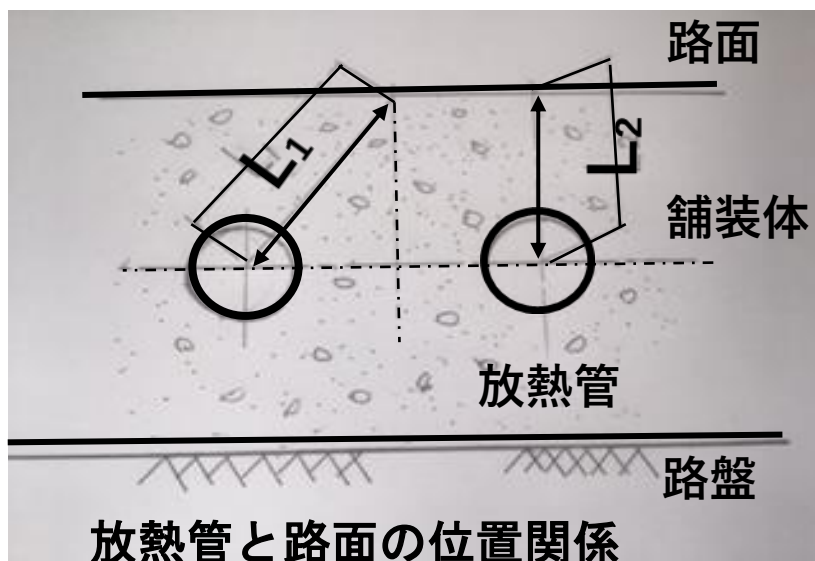
路面で設計必要熱量を放熱するのに適切な放熱管入口温度は次式により算定するものとする。

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

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 ($W/m/k$)

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。

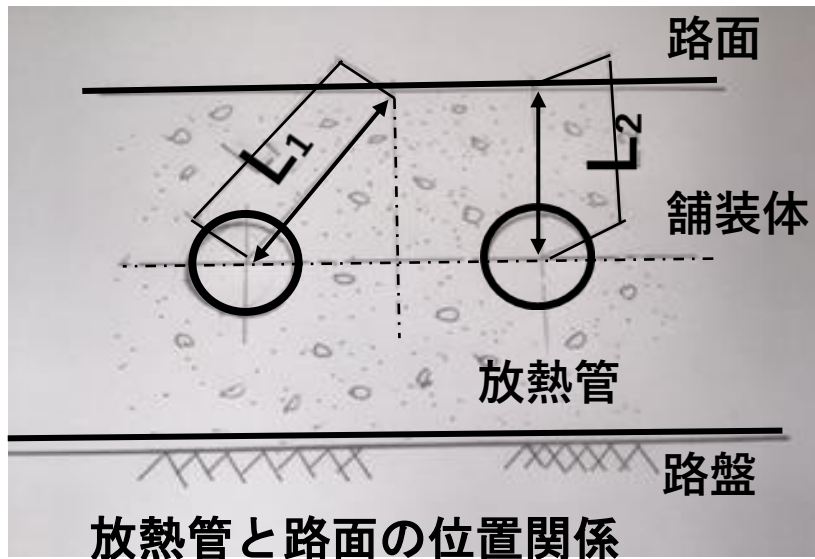
$$T_1 = \bar{T} + 1/2 \cdot \Delta T_1$$

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

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

$$q \cdot \frac{a'}{2\pi \cdot \lambda_p \cdot L} \cdot \ln \frac{d_0}{d_1}$$



q :必要熱量 W/m^2 、 a' :ユニット面積 m^2 、 λ_p :放熱管熱伝導率 $W/m \cdot k$ 、 L :放熱管延長 m 、 d_0 :放熱管外形 m 、 d_1 :放熱管内径 m

ケース1：熱伝導率 1.6 (W/m・k) → 3.3 (W/m・k)

(費用の削減ができるのではないか。)

熱伝導率 (W/m・k)	放熱管設置間隔 (cm)
1.6	20
3.3	30

ユニット数	放熱管設置延長 (m)
64	6,400
42.7	4,270

熱伝導率を大きくできると。次のようなことができるのではないか。

ケース 2（未利用の低温エネルギーの活用）

熱伝導率 (W/m・k)	放熱管平均通水温度
1. 6	14.07 °C
3. 3	9.02 °C

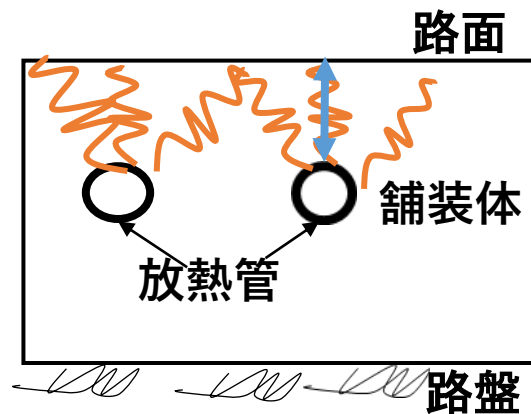
放熱管入り口温度

17.88 °C

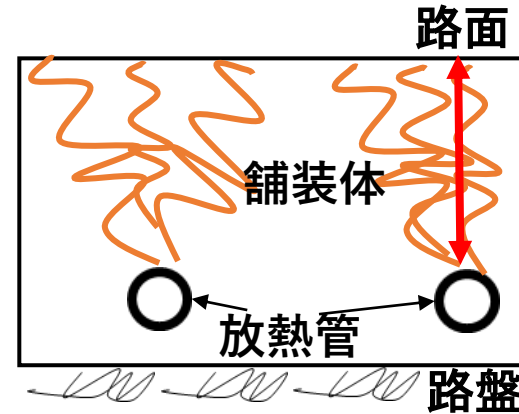
5 °C低下

12.83 °C

ケース 1 - 1 (放熱管や放熱線の防護力の強化)



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。

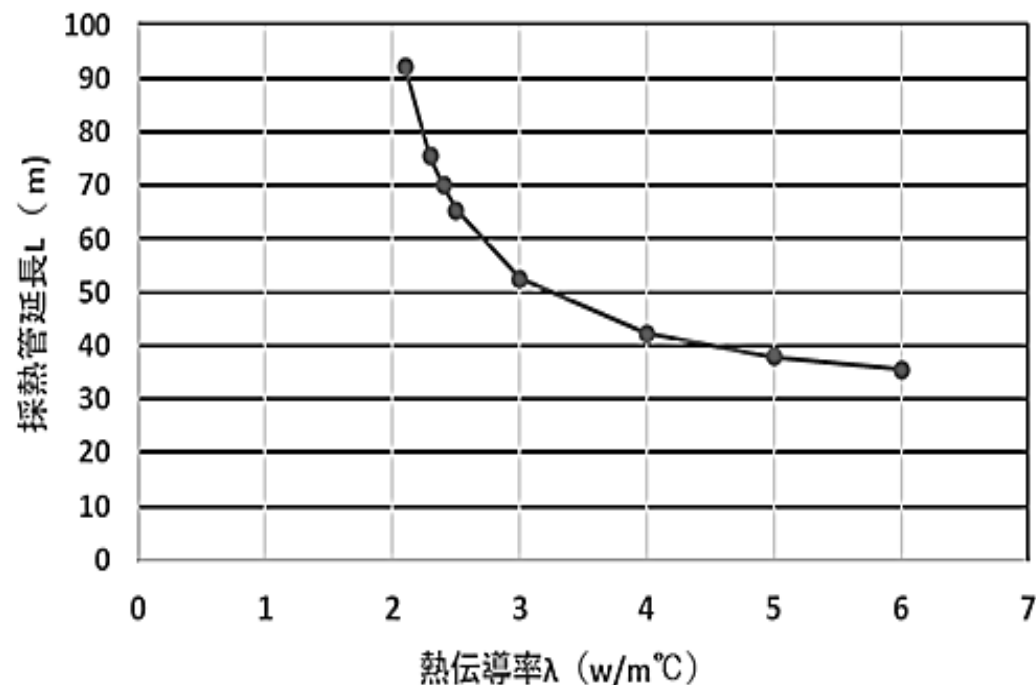
通常15～20cmという横方向の設置間隔を伸ばし、荷重分散を図る。

ケース 1 - 2 (熱伝導率をパラメータとして設計し、 部分最適でなく全体最適な設計を行う。)

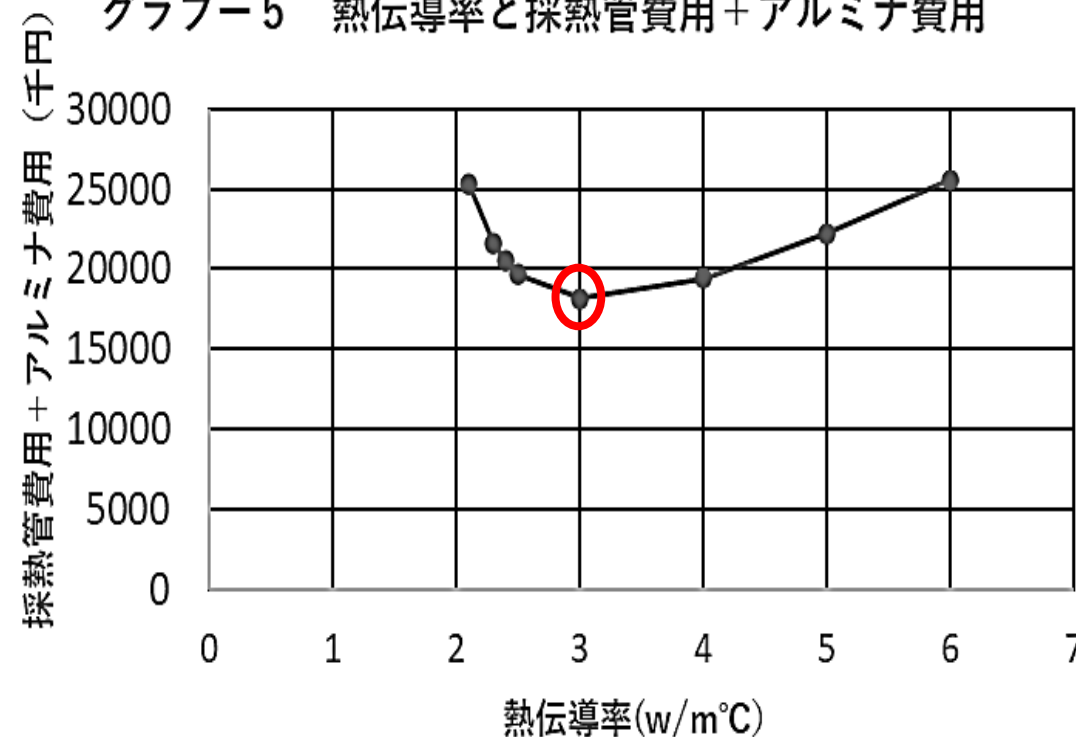
令和3年6月23日 国土技術政策総合研究所「下水の熱を利用した車道融雪技術を開発～省エネ・低コストな車道融雪技術を実現～」
「ヒートポンプレスで低LCCと高COPを実現する下水熱融雪システム」の導入ガイドライン(案)より検討

- 総合土木技術誌「土木施工」11月号「高熱伝導コンクリート舗装に関する研究について」より

グラフー4 高熱伝導 Coの熱伝導率と採熱管延長



グラフー5 熱伝導率と採熱管費用+アルミナ費用



- 3 W/m°C付近において建設費が最小値となる。

5 最後に

従来のシステムと比べてライフサイクルコストでは優位となるような全体最適を目指した設計手法の検討が広がっていくことを期待します。

道路管理者の皆様に

現場実装・チャレンジの場の提供を求めます。

- Special thanks

新潟大学工学部 佐伯教授、日本軽金属(株)、日軽産業(株)、太平洋セメント(株)