

商標登録 第5275539号



# 気候変動対応 『E<sup>3</sup>ロード』 イ-ズリー

気候変動に対応する道路構造 (E<sup>3</sup>ロード) 2009/12

2011/6改訂版

はじめに

日本には概ね規則正しく四季変動がある。だが、最近では極度に地球規模での気候変動が起きている状況にある。

これは、人類の活発な活動にもたらされた温室効果ガスによるものと言われ、温室効果ガスの大量放出に伴い台風の大型化や大雨洪水の多発化が生じている。

更に都市の一部に集中的に熱が溜まる現象が起き、ゲリラ的集中豪雨の原因とも言われている。

また、ある時はフェーン現象により異常乾燥を生じさせ、植生の枯渇化を起こしている。

冬期には寒波の到来により、大雪や水道管の凍結及びアイスバーン等の被害が毎年のように多発化することになり、その対応が早急に求められる事になる。

周期性の気候変動及び異状な気候変動に対し、その時々への対処や、場所ごとの対応となる為、非常に非効率的な対応になっている事が多く、災害の被害を大きくしているのが現状である。

そこで、その対応の一つとして、冬期に於いて、ある施設の現象を見てから、単純な構造体と再生可能な熱源による温度と湿度および自然現象が何らかの作用が働いていると思われ、それを利用する事により、冬期の気候変動で起こりうる諸問題を解決する事が出来ることを見出した。

それと同時に、同じ構造体において、雨水の貯留を少しでも貯める事により、洪水流量の緩和に役立て、下流域に対し、少しでも安心、安全に配慮することができる。又、雨水の貯留や冷風を利用する事により、路面上部を冷ます事になり、結果的にヒートアイランド抑制効果が現れる。

しかしながら、ここで大きな課題でもあった重車両対応の道路構造体であったが、しかし、2011年3月末現在、(独立法人)北海道総合研究機構及び協力企業のお陰により、重車両25t対応の構造体の完成をみた。

これにより、歩道はもとより、走行40km/h未満の生活道路や駐車場、路側帯等、使用可能な区域や場所が飛躍的に拡大した。

## A. 大雨、集中豪雨に対応する道路構造（基本形）

- ①. 流出抑制として透水性のある部材を上部路面体とする。
- ②. 雨水はすみやかに透水性上部路面体を通過し、出来る限り床上浸水する事のない様に地域雨量に対応する規模の設計、施工を行う。
- ③. 上部路面体下部を空洞化し、その空洞部を貯水槽の役目をもたせる。
- ④. 空洞化の下部面を透水性部と貯水性部（又は保水性ブロックを設ける）を交互に設ける。
- ⑤. 透水性部の雨水は地下浸透させ、残水は滞水（保水性ブロックでも対応できる）させる。
- ⑥. オーバーフローした雨水は比較的規模の大きい貯水層または雨水柵等へ流出させる事により洪水対策とする。
- ⑦. 更に貯水層に貯めた雨水は公共用水域（河川等）のピーク流量を過ぎて流下能力が十分ある事を確認後、一定水量をポンプや排水機等で排出する。
- ⑧. 前記施設は合流式下水道の改善施設にもなり得るものである。

### A-1. 気候変動対応の前提条件について

ここに冬の大寒波や夏の猛暑の対応として前提となる考え方を以下に挙げる。

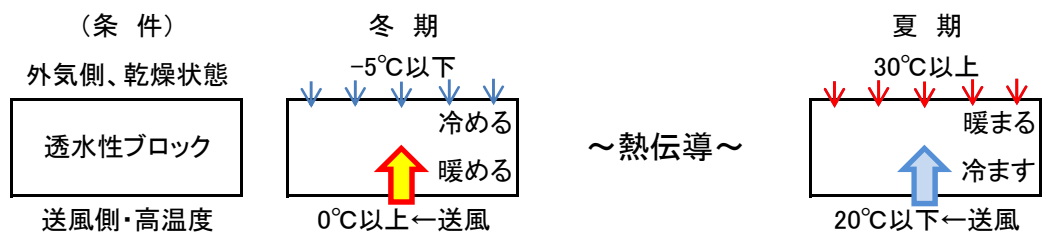
#### 1. 熱伝達について

温度差のある物体間には熱の移動（熱伝導、熱対流、熱放射）が起きる。

##### 1-1. 熱伝導

エネルギーの高い方から低い方へ熱が伝達される。

（空気は熱伝導性が低い）



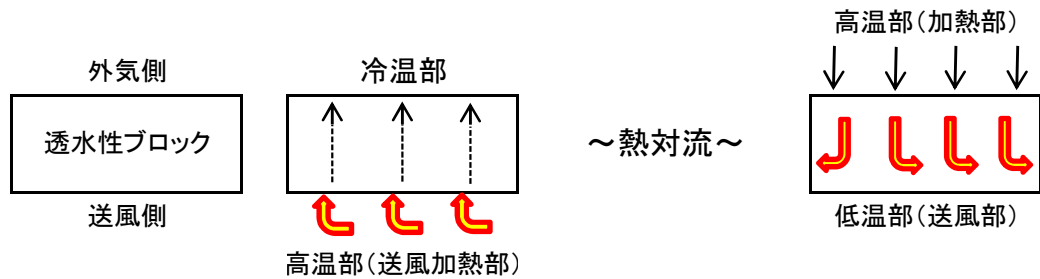
### 1-2. 熱対流

加熱された物質が流動する事で熱が伝達される現象

流体のある部分が加熱されるとその部分が膨張し、密度が低くなり浮力の作用で浮き上がる。

#### ○対流の発生

温度差が小さいと上昇、下降がランダムだが、ある温度差に達すると巨視的な秩序をもった流れのパターンが自発的に現れる。



### 1-3. 熱放射

熱が電磁放射によって伝達される現象で通常は赤外線である。赤外線を放射する物質と吸収する物質と直接接触しなくても電磁波によってエネルギーが伝達される。

○高温物体→放射の振動数が高い→波長は短い

- 吸収より放射エネルギーが上廻る。
- 低温体となる。

○低温物体→放射の振動数が低い→波長が長い

- 放射より放射を吸収する量が上廻る。
- 高温体となる。

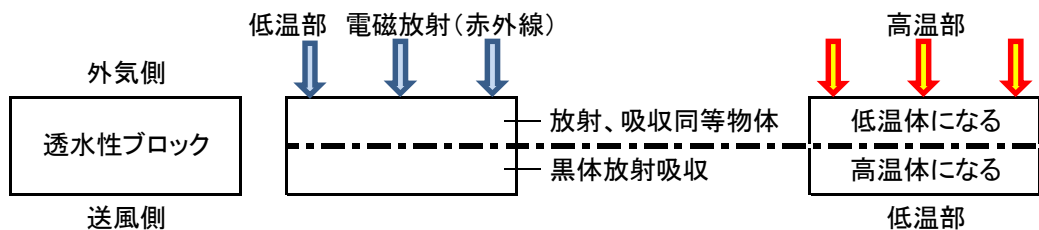
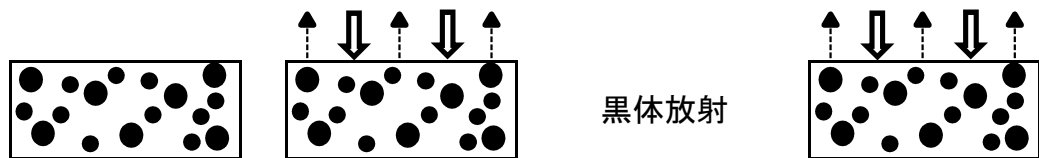
○同等物体→放射と吸収が一体の為

- 温度変化が起きない。

### 1-3-1. 黒体放射(背景放射)

黒体とは、すべての波長の放射を完全に吸収する物体～周囲の壁が放射を完全に透さないで一定の温度に保たれる 空洞の壁に、その壁に比べて非常に小さな孔をあけると、この孔を外部から見ると黒体とみなされる。

黒体から放出される熱放射を黒体放射という。空洞の小孔はその温度に相当する黒体放射の放出表面となる。



## A-2. 蒸発、替熱、気化、過冷却について

### 2-1. 蒸発

液体の表面から気化が起こる現象

液体からの蒸発は、沸点以下の温度で起こり、蒸気圧が飽和蒸気圧になるまで続き、そこで液相平衡に達する。温度が沸点に達すると、液体内部からも気化(沸騰)が起こる。蒸発に際して、物質は周囲から替熱(蒸発熱又は気化熱)を吸収する。

蒸発は液体の温度が高かったり、表面張力が低かったりするほど早く進行する。

### 2-2. 替熱(転移熱)、気化

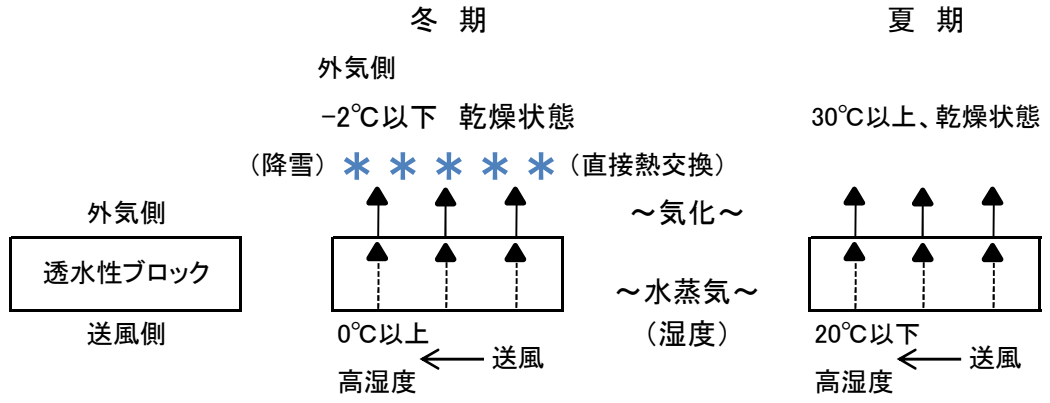
物質の相が変化するとき必要とされる熱エネルギーの総量である。固体から液体(融解熱)もしくは液体から気体(蒸発熱、気化熱)に相転移するときには吸熱が起こり逆の相転移のときには発熱が起こる。

### 2-3. 過冷却

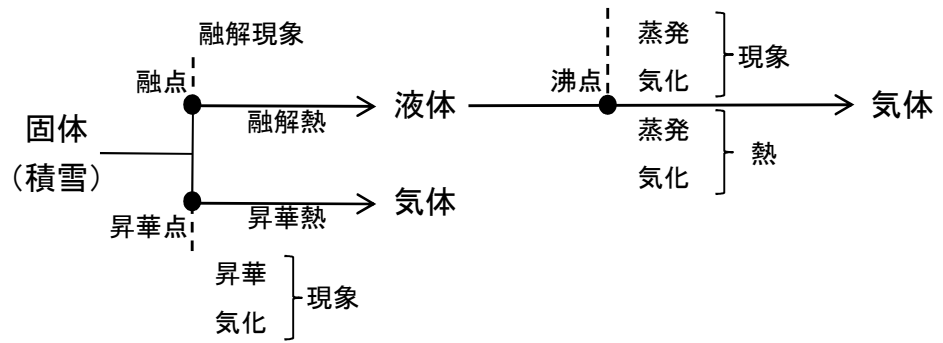
液体が凝固点(転移点)を過ぎて冷却されても固体化せず、液体の状態を保持する現象。水であれば摂氏零度以下でも凍結しない状態。

第1種相転移では準安定状態。

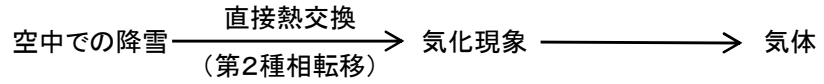
2-4. 融雪とヒートアイランド



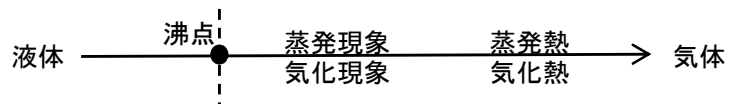
2-4-1. 雪氷の融雪と気化(相転移)



2-4-2. 降雪の気化(直接熱交換又は第2種相転移)



2-1-3. ヒートアイランド現象の緩和(温度上昇を抑制)



## B. 大雪対策と埋設物の凍結予防及びアイスバーン対策

- ①. 構造はAと同様とし送風器をあわせ持ち、必要に応じて空気を送風できるようにする。
- ②. 送風する空気はあらゆる建造物で生じた空気を廃棄するものや地熱を利用した空気の温度(熱)と湿度を貯水部所(上部路面体下部の空洞部)に送風等により送り込めるようにする。
- ③. 送風部以下は氷点化とはならず且つ施設空洞部では保温状態になる為(水道管等の埋設物に対し)凍結防止となる。

- ④. 上記対策は以下の条件下で行うものとする。

外気部の温度が日平均で氷点下 $-2^{\circ}\text{C}$ 程度以下で乾燥状態の場合、貯水部所(路面下空洞部)に $0^{\circ}\text{C}$ 以上の空気又は外気部の湿度を上回る湿度を送風する事により、アイスバーン状態をなくし、更には凍結深度や積雪を防止するものである。

これは、外気部と送風部において温度差のある空気間に熱の移動が起き、いわゆる熱伝達(熱伝導、熱対流、熱放射)が起きていると思われ更に送風により空洞内で内圧がかかり温度(温熱)と湿度(水蒸気)が外気に向かうと共に、湿度が高い程、毛管現象とも相まって路面体を通して空気がもれ出し上向流となる。

その時点で空気の熱及び湿度(水蒸気)が雪と直接接触する事により直接熱交換を行うものと推測できる。

したがって熱伝達と共に外気部と送風部の湿度の差が大きい程「気化」する状態が多くなり、複雑な要素が複合的に作用して融雪水が生じないどころか路面上部には、水気もない乾燥状態になるものと推測される。

故に路面上部が乾燥状態となる事からアイスバーンとはならない事が理解できる。

また、積雪状態のときに外気部が日平均 $0^{\circ}\text{C}$ 前後( $-2^{\circ}\text{C}\sim+2^{\circ}\text{C}$ )で送風側も同程度の場合では、見た目には融雪がほとんど起こっておらずこの場合でもアイスバーンにはなっていない。むしろ送風側の温度及び湿度が低いと残雪が部分的に凍っている場合が見受けられるが、しかし外気部の温度及び湿度の上昇や日照等により、すぐに融雪へと進み融雪水が生じる。

### C. ヒートアイランド現象の対応

- ①. 構造はAと同様とする。
- ②. 送風する空気及び条件はB-①、②と同様とする
- ③. 上記対策は以下の条件下で行うものとする。

外気部の温度が日平均30℃以上で乾燥状態の場合、貯水部所(路面下空洞部)に20℃以下の空気又は外気部の湿度を上回る湿度を送風する事により路面上部の温度を下げるものである。これは熱伝達により温度を下げる効果と送風により空洞内で内圧がかかり温度(冷熱)と湿度(水蒸気)が外気に向かうとともに湿度が高い程、毛管現象とも相まって上部路面体を通過して空気がもれだし上向流となる。

そのもれ出た湿度(水蒸気)が蒸発(気化)する時点で、上部路面体とその周囲を冷却させる効果をもたらす。

したがって、熱伝達と共に蒸発(気化)する状態となり複数の要素が複合的に作用し冷却効果が起きる事からヒートアイランド現象の対策となる。

使用する空気や水蒸気には次のようなものがある

建造物等の換気により捨てた空気(湿度)や地中熱(冷えた空気)等を送風して使用。

- ①. 空洞内下部に帯水させた水や比較的大きな貯水層の近くにある空気を送風し、少しでも湿度をあげるようにする
- ②. 下水処理場より処理水や空気を空洞部分に流し込みや送風して利用する。
- ③. その他湿度の高い空気になるものであれば複合的に利用する

## D. 礫層状物及び通水路面材や透水性舗装について

- ①. 透水性舗装(排水性舗装)等ではよく見られる通り、目詰まりに大変弱く透水性の機能を悪化させ、清掃管理を十分な対策をとる必要がある。  
したがって透水性(排水性)施設には目詰まり対策が最も重要である。  
特に粘性土の泥水には、特に対応する必要がある。その対応策として雨水、融雪水、水道水等で洗浄ができることが望ましい。
- ②. 透水性ブロックは空隙等が大きい程、耐荷重に弱く、現在、一般的に市販されている30cm×30cm×6cm(透水性能 $1 \times 10^{-2}$ cm/sec)規格ブロックの強度は曲げ強度が $0.5\text{N/mm}^2$ 程度であるが、最も強度がある場合でも $3.0\text{N/mm}^2$ である、但し融雪用公共道路用透水性ブロックとしては、融雪可能で空隙率が大きく、透水性として $5 \times 10^{-1}$ cm/sec程度とし、曲げ強度 $5.0\text{N/mm}^2$ 以上にする必要がある。これは技術的にも製法的にも特別な製品となるものである。
- ③. 平成22年度末透水性(通気性)ブロックの強度を大型車両対応の通気性(透水性)平板ブロックの開発により25t対応ブロックとして完成をみた。

透水性能  $5 \times 10^{-1}$  cm/sec

性能

曲げ強度  $5.0$  N/mm<sup>2</sup>

融雪に必要な送風量

吹き出し温度を平均 $10^\circ\text{C}$ 前後として

$14\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$



## E. 技術開発とその成果、効果

「未利用熱・都市排熱の空気を利用した融雪システム」は、北海道工業大学、北海道立工業試験場、積水化学北海道(株)、ヤマガミアイザワ(株)などの産学官を通じ、全道数箇所と本州の青森市内及び新潟県長岡市内にて実験場を設置し、事業化に向けて研究開発を進めている。

今後は、この融雪システム設備を利用して、関東地域内でヒートアイランド対策等の実証実験を行いたいと考えている。

尚、本システムは平成19年度11月に北海道より北海道省エネルギー・新エネルギー促進大賞において、省エネルギー部門「奨励賞」を受賞。

融雪システムの使用エネルギー削減量の計算結果を現行の融雪方法から「未利用熱・都市排熱の空気を利用した融雪システム」の技術に移行した場合のエネルギー削減量を算出する。

- ・ 既存エネルギーの使用量(kl/年)は、一般住宅のアプローチ及び駐車場を想定して、

$$\left( \begin{array}{l} \text{融雪面積 } 20\text{m}^2 \\ \text{融雪に必要な熱量 } 250\text{w/m}^2 \\ \text{(融雪技術ガイドラインより)} \\ \text{12月～3月の4ヶ月、8時間/日運転} \end{array} \right)$$

とすると、.....

$$250\text{w} \times 20\text{m}^2 \times 4\text{ヶ月} \times 30\text{日} \times 8\text{時間} = 4,800,000\text{wh/年} = 4,800\text{kwh/年} \text{ となる。}$$

ここで、原油換算率(消費電力kwh)0.0942とすると、.....

$$\text{原油換算量 } 4,800\text{kwh/年} \times 0.0942 = 452\text{kl/年} \text{ となる。}$$

- ・ 下水排熱利用エネルギーの使用量(kl/年)は、条件を上記と同様とし、.....

$$\left( \begin{array}{l} \text{融雪面積 } 20\text{m}^2 \\ \text{融雪による諸費電力量 } 0.18\text{kwh} \\ \text{(実証実験の消費電力より)} \\ \text{12月～3月の4ヶ月、24時間/日運転} \end{array} \right)$$

とすると、.....

$$0.18\text{kwh} \times 4\text{ヶ月} \times 30\text{日} \times 24\text{時間} = 518\text{kwh/年} \text{ となる。}$$

ここで、原油換算率(消費電力kwh)0.0942とすると、.....

$$\text{原油換算量 } 518\text{kwh/年} \times 0.0942 = 49\text{kl/年} \text{ となる。}$$

よって エネルギー削減量(kl/年)は、.....

$$452\text{kl/年} - 49\text{kl/年} = 403\text{kl/年}$$

ゆえに 下水道排熱利用のエネルギー削減率は(%)は、.....

$$\therefore 403\text{kl/年} \div 452\text{kl/年} = 89.2\% \text{ となる。}$$

さらにまた、地中熱利用のエネルギー使用量(kl/年)では、前項同様に想定し、

$$\left( \begin{array}{l} \text{融雪面積 } 20\text{m}^2 \\ \text{融雪による諸費電力量 } 0.34\text{kwh} \\ \text{(実証実験の消費電力より)} \\ \text{12月～3月の4ヶ月、24時間/日運転} \end{array} \right)$$

とすると、.....

$$0.34\text{kwh} \times 4\text{ヶ月} \times 30\text{日} \times 24\text{時間} = 979\text{kwh/年} \text{ となる。}$$

ここで、原油換算率(消費電力kwh)0.0942とすると、.....

$$\text{原油換算量 } 979\text{kwh/年} \times 0.0942 = 92\text{kl/年} \text{ となり、}$$

よって エネルギー削減量(kl/年)は、.....

$$452\text{kl/年} - 92\text{kl/年} = 360\text{kl/年}$$

ゆえに 地中熱利用<sup>注)参照</sup>のエネルギー削減率は(%)は、.....

$$\therefore 360\text{kl/年} \div 452\text{kl/年} = 79.6\%$$

したがって、下水排熱及び、地中熱エネルギー削減量(二酸化炭素削減量)は、従来方式と比較して、削減率 89～80%の結果が得られた。

注)地中熱利用について

口径200mmの塩ビ管を地下(深さ)約2.0m程度で、延長は住宅敷地70坪程度を想定し、L=70.00mを布設する。

片方から外気を吸引し、管内において空気だけで熱交換をさせて、もう片方の出口から排出させた空気を利用する。

その空気熱は、以下のとおりである。但し、土質や深さ又は、熱交換日数等によっては、湿度が変わるので使用時に注意を要する。

冬期(12月～3月) 外気温  $-8^{\circ}\text{C} \sim -5^{\circ}\text{C}$  に対し、吐き出し温度  $+8^{\circ}\text{C} \sim +2^{\circ}\text{C}$

夏期(8月) 外気温  $+32^{\circ}\text{C}$  に対し、吐き出し温度  $+19^{\circ}\text{C}$