

コンテナを用いたアスファルト混合物の 輸送時間拡大に向けた検討

Study to expand the transportation time of asphalt mixture using containers.

寺内 崇仁・河邊 真治
TERAUCHI Takahito, KAWABE Masaharu
日工株式会社 開発部4課

概要

アスファルト混合物(以下、合材)の生産量は年々減少しており、それに合わせて、全国に点在しているアスファルトプラント(以下、AP)も減少している。そして、合材の生産性を改善するため、APはさらに減少すること(以下、統廃合)が予想される。合材の品質は温度に大きく依存することから、APの統廃合が進むと、現在のダンプトラックに合材を積載して舗装現場まで輸送する方法(以下、現行方法)では、合材の温度低下によって、供給不可能なエリアが拡大することが懸念される。よって、合材の温度を維持することは、供給可能なエリアの拡大に向けて、重要な要素技術となる。

田村ら¹⁾(2021)は、現行方法における合材の温度変化について検討を行っており、外気に晒される合材の表面よりも、ダンプトラック荷台と接触する合材の底面の方が著しい温度低下を示すことから、筐体への熱伝導と外気への熱伝達を抑制できる、合材の輸送コンテナを開発することが、供給可能なエリアを拡大する上で有効であると報告している。これらのことを踏まえて、筆者らは、特殊保温材を施工したコンテナ(以下、コンテナ)の試作と改良を重ねてきた²⁾³⁾。本稿では、コンテナを用いた合材の保温特性について検討を行った。

1. 緒言

現行方法において、合材は一般的に1.5~2時間を超えると、温度低下により品質が劣化し舗装ができなくなる。このため、合材の輸送時間が2時間以内に収まるように全国に分散してAPを建設してきたが、「2022年度 アスファルト合材統計年報」⁴⁾によると、公共投資抑制の影響を受けて、2000年に7,000万tあった合材製造数量が、2022年には3,900万tへと約44%減少しており、その製造数量の減少に合わせてAPの数も1,500基から1,000基へと、約34%減少していることが読み取れる(図-1参照)。

また、近年、温室効果ガスによる地球温暖化の影響から、豪雨災害等の更なる頻発化・激甚化などが予測され、国際社会は2050年の温室効果ガス排出量実質ゼロ(カーボンニュートラル)に向けて動き出した⁵⁾⁶⁾。無論、道路業界においてもカーボンニュートラルに向けた取り組みに注力しており、APにおける運営方法の見直しによる、合材生産性の改善(以下、APの革新)が求められる。

加えて、ドライバーの労働時間が減少(自動車運転者の労働時間等の改善のための基準の一部改正⁷⁾)することや、工場の働き手が減少すること等の人員不足に関する問題があり、経営合理化のため、さらにAPの統廃合が進むことが予測される。APの統廃合が進行すると、合材を供給

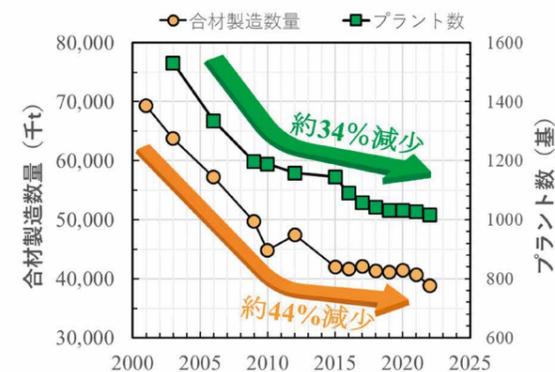


図-1 合材製造数量とプラント数の推移
(出展 2022年度 アスファルト合材統計年報⁴⁾より編集)

できないエリアの拡大が懸念されるため、合材を長距離輸送できる技術の開発が鋭意進められている。

合材の長距離輸送を可能にする方法に関して、合材温度が低くても一定の品質を担保する技術と、合材の温度低下を抑制する技術とがある。前者は、アスファルトに少量の水を添加し、発泡させることで流動性を増大させる、フォームドアスファルトなどを挙げることができる。後者は、現行方法に用いている保温シートや、加熱ヒータを実装した容器などを挙げることができる。筆者らは後者の技術に着目し、2021年

から、合材を長時間保温可能なコンテナの開発に取り組んできた。本稿では、実際にコンテナへ投入した合材の保温特性について調査を行ったので、その概要を報告する。

2. 試験概要

2.1 試験に用いたコンテナの仕様

試験に用いたコンテナの外観を図-2に、その仕様を表-1に示す。コンテナは一般構造用圧延鋼材(SS400)製とし、外装に特殊保温材と、それを保護する形で板金を施工している。また、コンテナは上部から合材を投入し、下部から排出する構造になっている。投入口の蓋(以下、投入ゲート)は自重で閉じ、排出口の蓋(以下、排出ゲート)は、図-2に示すようにコンテナが接地した状態でロックピンを抜き取り、コンテナを持ち上げると、排出ゲートが開き、合材が排出できるようになっている。



図-2 コンテナ外観

表-1 コンテナ仕様

内容量	1.73 m ³
質量	964kg
材質	SS400

2.2 試験条件

試験は合材の温度低下が著しい、冬期の寒冷地で実施した。試験手順を、以下の箇条書きと、図-3で示し、試験条件を表-2に示す。

【試験手順】

- ①コンテナを投入ゲートが開いた状態で、フォークリフトを用いて、合材排出口下部である、APの本体下へ運搬する。
- ②合材をコンテナが満杯になるまで投入する。
- ③合材表面がコンテナすりきりになるように均す。
- ④投入ゲートを閉じ、後述するシース熱電対とデータロガーを用いて21時間に渡り連続で温度測定する。

コンテナで合材を保温中、コンテナ内部12点の温度と外気温を、シース熱電対(K型)で測定し、データロガーで記録した。



図-3 試験手順

表-2 試験条件

実施日	2023/2/21~2023/2/22
天候	雪
試験場所	北海道 札幌市内
試験環境	屋外(静置)
平均気温	-5.3°C
合材	密粒度アスファルト(13F)再生50%
出荷温度	177°C
合材量	3366kg

なお、12点の測定点(以下、測定点)と使用機器を図-4に示す。ここで、測定点の位置関係を詳細に表すために、コンテナの対角を通る鉛直方向の断面を斜断面と定義し、熱電対の挿入に関して、水平方向をx軸、鉛直方向をy軸と定義する。このx軸の熱電対に関して、コンテナに施工した特殊断熱材の仕様上、熱電対は角部のみ挿入可能であった。そして、x軸に関しては、コンテナの構造がy軸を対象として線対称であることから、温度分布も線対称になることが予想される。よって、x軸に関しては、合材中心より一方向のみ温度測定している。このことに対し、y軸に関しては、コンテナの構造の違いから、放散の挙動が異なることが予想されるため、合材中心から上方、下方へ向けてそれぞれ温度測定している。

3. 評価

合材の保温時間が長くなることで、合材とコンテナ内壁との接触境界面における温度低下は不可避であるが、実際の舗装現場においては、アスファルトフィニッシャーのスクリュード等により合材が攪拌され、温度がほぼ一様となる。

よって、本検討においては合材「全体」の平均温度が一般的な合材受入れ温度(以下、150°C)に達するまでの時間を保温可能時間と定義している。

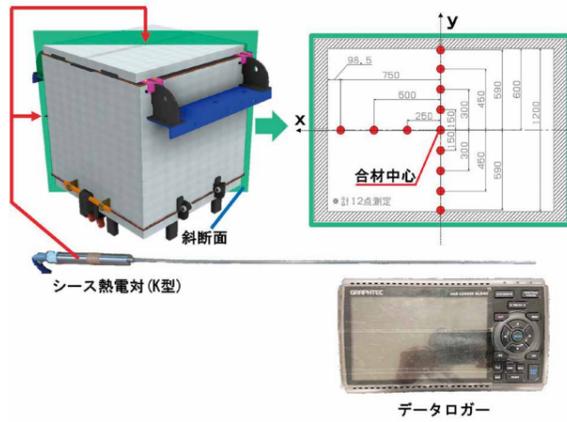


図-4 測定点詳細と使用機器

3.1 試験結果

図-4に示す測定点の平均温度と経過時間の関係を図-5に示す。

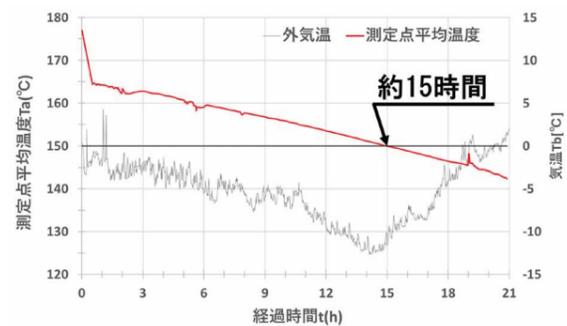


図-5 測定点の平均温度と経過時間の関係

図-5より、測定点の平均温度が150℃に達する時間は約15時間と読み取れる。

しかし、これは前述に定義した合材「全体」の温度ではなく、最も合材の温度低下が顕著と予測されるコンテナ角部の温度が反映されていない。このことから、測定点以外の合材温度を、後述する熱解析シミュレーションにて補完して、合材「全体」の平均温度を算出している。

3.2 熱解析を用いた保温可能時間の推定

合材全体平均温度を算出するために、熱流体解析ソフトウェア(シーメンスPLMソフトウェア・コンピュータシヨナルダイナミクス(株)製:STAR-CCM+ Ver.18.02)を用いて、試験結果に対して逆解析を行っている。

3.2.1 3次元モデルの作成

まず、コンテナと同一形状の3次元モデルを作成している。また、経過時間による合材内部の温度分布や、合材全体平均温度との関係を調査するために、図-4にて定義した斜断面に加え、コンテナの中心を通り側面と並行位置にある鉛直方向の断面(以下、基準断面)を定義している。これらを図-6に示す。

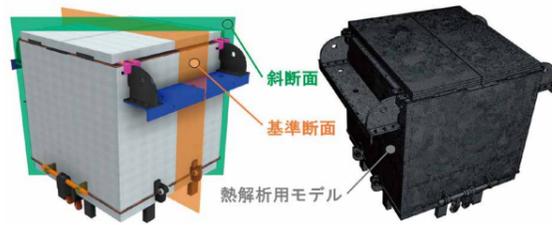


図-6 3次元モデルと定義断面

3.2.2 解析条件

外気温は、合材の温度低下の勾配に影響を及ぼすため、本試験において、コンテナを用いた合材の保温を検討する上で、重要なファクターである。このことから、逆解析の結果が、可能な限り試験結果を再現するように、実測した外気温の近似関数を作成し、熱解析シミュレーションに実装している。その近似関数に加え、経過時間と実測した外気温の関係を図-7に示す。また、熱解析シミュレーションに使用した条件を表-3に示す。合材密度は実測重量とコンテナ容量から算出し、初期温度については、合材は出荷温度の177℃、コンテナは近似関数から算出して-0.8℃としている。特殊断熱材は積層構造のため、熱伝導率や比熱、密度は各種と記載し、層厚は積層した合計の厚さを示す。合材の熱伝導率は、合材の比熱と密度を固定し、熱伝導率の値を変更しながら熱解析シミュレーションを行い、測定点の実測データと熱解析シミュレーションが近似した時の値を採用している。

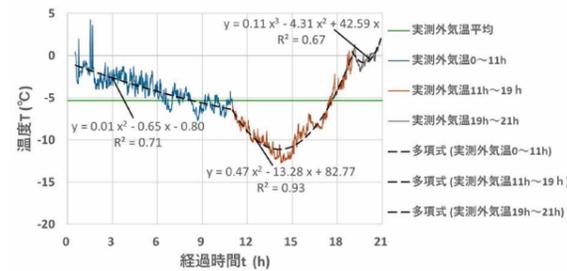


図-7 実測した外気温と近似関数

表-3 解析条件

	合材	SS400	特殊断熱材
密度 ρ [kg/m ³]	1947.9	7850	各種
層厚 l [mm]	600※	6	70
比熱 c [J/(kg・K)]	1280	473	各種
熱伝導率 λ [W/(m・K)]	1.25	51.6	各種
初期温度 T ₀ [°C]	177	-0.8	-0.8

※合材の層厚は合材中心からコンテナ壁面までの距離を指す

ここで、熱伝導率、比熱、密度が一定の場合に関して、x,y,zで表記する直行座標系における3次元熱伝導の微分方程式を式-1に示す⁹⁾¹⁰⁾。さらに、式-1を変形したものを式-2に示す。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad \dots [式-1]$$

T : 温度 [°C]

t : 時間 [s]

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad \dots [式-2]$$

$$\alpha : \text{熱拡散率} [m^2/s] \quad \left(\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \right)$$

式-2は、熱拡散率αの値が大きいほど(熱伝導率λの値は大きいほど、比熱cと密度ρの値は小さいほど)温度変化が顕著であることを示す。

次に、本試験に用いたコンテナの構造を簡略化したものを図-8に示し、その境界条件に関する微分方程式を式-3に示す。また、式-3は、異種個体が完全接触し、熱抵抗を考慮しない場合のものである。

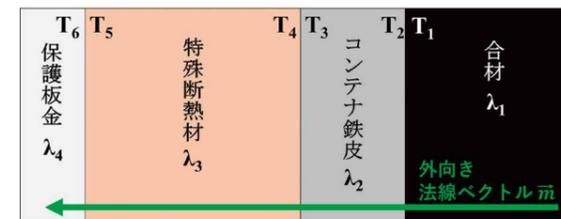


図-8 コンテナの構造(簡略図)

$$T_1 = T_2$$

$$T_3 = T_4$$

$$T_5 = T_6$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial m} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial m}$$

$$\lambda_2 \frac{\partial T_3}{\partial m} = \lambda_3 \frac{\partial T_4}{\partial m}$$

$$\lambda_3 \frac{\partial T_5}{\partial m} = \lambda_4 \frac{\partial T_6}{\partial m}$$

… [式-3]

そして、図-8の保護板金と外気の境界における、自然対流による熱伝達を式-4に示す。

$$h(T_7 - T_{Air})^{\frac{5}{4}} \quad \dots [式-4]$$

h = 熱伝達率 [W/(m²・K)]

T₇ = 保護板金の表面温度 [K]

T_{Air} = 外気温度 [K]

3.2.3 解析結果

測定点に対して逆解析を行い、その結果、算出された合材全体、基準断面、斜断面の平均温度推移を図-9に示す。図-9中における、紫の二点鎖線で示すダンプ試験時の合材平均温度は、「運搬中のアスファルト混合物の温度特性の考察」¹⁾より編集したものであり、ダンプ試験時の外気温は、その試験を行った1月の兵庫県内における外気温の実測データである。また、表-4にシミュレーションで求めた経過時間毎の基準断面と斜断面の温度分布を示す。この表-4より、合材の温度低下は、コンテナ上部が、コンテナ下部よりも顕著であることが読み取れる。

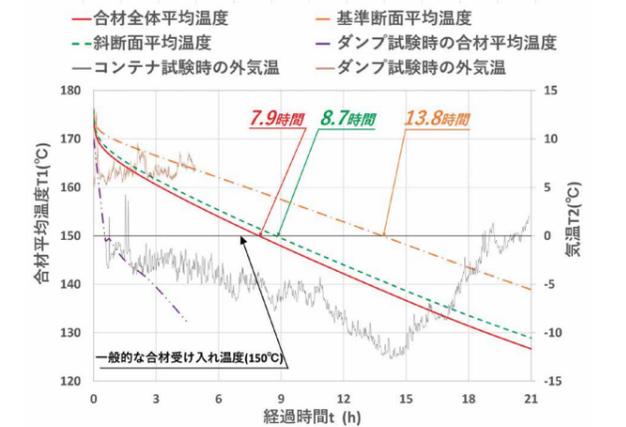
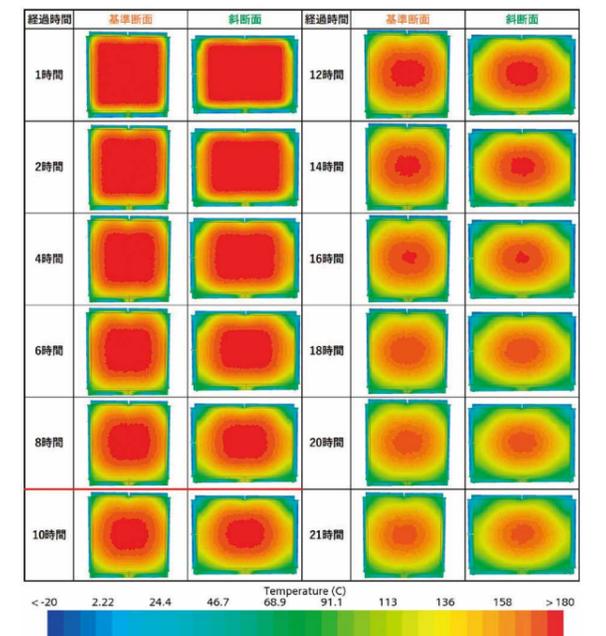


図-9 合材平均温度算出結果 (ダンプ試験時の合材平均温度: 出展「運搬中のアスファルト混合物の温度特性の考察」¹⁾より編集)

表-4 経過時間毎の基準断面と斜断面の温度分布



4. 考察

4.1 合材投入直後の温度低下

合材投入直後の、赤い実線で示す合材全体平均温度と、紫の二点鎖線で示すダンプ試験時の合材平均温度に着目するため、図-9より、経過時間が0時間～2時間の範囲で抜粋したものを図-10に示す。

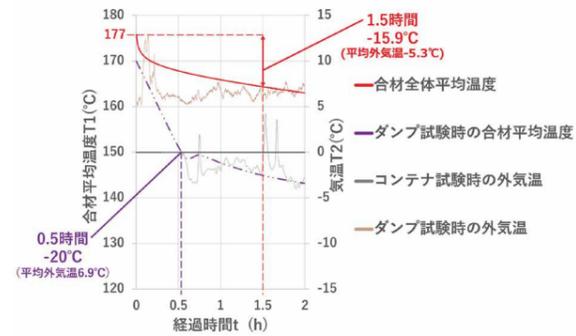


図-10 合材平均温度算出結果一部抜粋

図-10より、合材投入直後から0.5時間までの温度低下勾配を算出すると、合材全体平均温度では-15.9°C/h、ダンプ試験合材平均温度では-45.5°C/hと、いずれも急激な温度低下を示している。ダンプ試験の目的は、運搬中の合材の温度分布と挙動を明らかにすることであり、「温度低下の挙動を大きく捉えるために」(田村ら,2021,p34¹⁾)保温養生を行わなかったことと、大きな熱容量を有するダンプ荷台に熱を奪われた結果、急激な温度低下が起こったと考えられる。また、コンテナへ合材を投入した直後の急激な温度低下(以下、初期温度低下)についても、合材から、温度測定開始時の外気温である-0.8°Cに等しい温度の鋼板へ熱伝導した可能性が高い。このことから、合材の保温可能時間を延長するためには、コンテナを予熱して合材と外気の温度差を小さくする等、鋼板への熱伝導を抑制する方法が有効であると言える。

4.2 保温可能時間と温度低下速度

図-9より、177°Cで合材を出荷した時、コンテナの保温可能時間は7.9時間という結果が得られた。これは、前述の通り、合材投入直後こそ、初期温度低下が見られるが、その後の温度低下は緩慢になるためである。ここで、経過時間に対する合材全体温度の変化率を、温度低下速度と定義し、その関係を図-11に示す。また、温度低下速度は、0.5時間毎に算出してプロットしたものであり、その算出式を式-5に示す。

図-11より、時間経過と共に合材温度が低下し、それに応じて温度低下速度が緩慢になる。また、時間経過による外気温の変化(以下、 ΔT_{Air})は、合材投入直後から14時間経過後において、-12.2°C(-0.8°Cから-13°Cに低下)であるが、合材全体温度と外気の温度差(以下、 ΔT)に対して、

7.7%と小さい値を示すため、温度低下速度に大きな変化が認められない。これらの内容を図-12と式-6に示す。

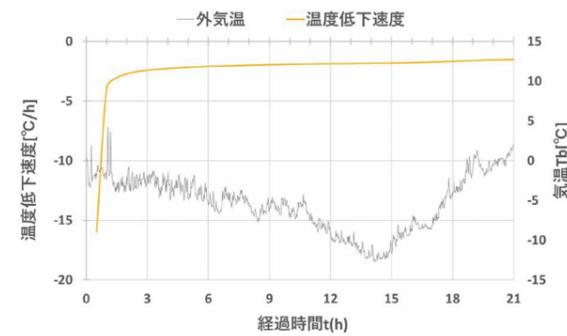


図-11 経過時間と温度低下速度の関係

$$\frac{T_t - T_{t-0.5}}{0.5} \text{ [}^\circ\text{C/h]} \quad \dots \text{ [式-5]}$$

$T_t = t$ 時間経過時の温度 ($t = 0.5, 1, 1.5 \dots$) [°C]

$T_{t-0.5} = (t - 0.5)$ 時間経過時の温度 [°C]

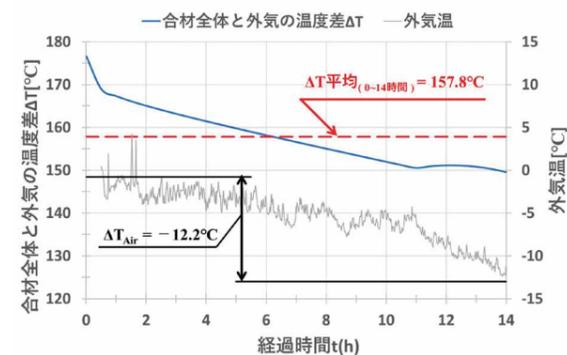


図-12 ΔT と ΔT_{Air} の関係

$$\frac{\Delta T_{Air}}{\Delta T_{平均}} \times 100 = \frac{12.2}{157.8} \times 100 \cong 7.7\% \quad \dots \text{ [式-6]}$$

続いて、図-11では大きな変化が認められなかった、 ΔT による温度低下速度の変化を詳細に表すため、図-11の温度低下速度を一部抜粋したもの(温度低下速度が、-3~-1.5°C/hの範囲)と、 ΔT の関係を図-13に示す。

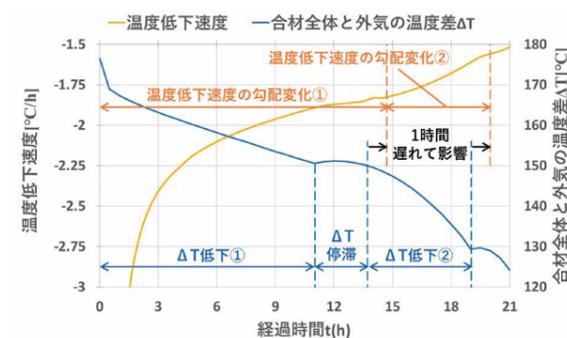


図-13 温度低下速度と ΔT の関係①

まず、 ΔT の推移について述べる。前述の通り、合材投入直後から14時間経過後において、 ΔT_{Air} は ΔT に対して小さい値を示すため、 ΔT_{Air} が ΔT に及ぼす影響は極めて小さいと言える。よって、結果的に外気温が-13°Cまで低下しても、外気の温度低下速度より合材全体の温度低下速度の方が速いので、 ΔT は終始一貫して縮小している。逆に、外気の温度低下速度の方が速い場合には、 ΔT は増大することになる。これらをまとめたものを表-5に示す。

表-5 合材全体温度、外気温および ΔT の関係

経過時間	0時間	14時間	21時間
合材全体温度	177°C	138.5°C	126.7°C
外気温	-0.8°C	-13°C	2.5°C
ΔT	177.8°C	151.5°C	124.2°C

次に、 ΔT が温度低下速度へ及ぼす影響について述べる。合材の温度低下速度は、コンテナ表面の単位面積当たりの放散熱(以下、熱流束)に比例し、さらに、この熱流束は、熱伝導率と ΔT に比例することが知られている。これらのことから、合材の温度低下速度は、 ΔT に比例することになる。具体的に図-13より、合材の温度低下速度は、合材をコンテナへ投入した、初期温度低下の直後から14時間を経過するに至り、 ΔT に比例して-3.0°C/hから弧を描くようにして-1.8°C/hまで低下しているのが分かる。その後、合材の温度低下速度は、19時間を経過するまで-1.8°C/hから-1.6°C/hへ緩やかに低下していることが分かる。以上のことから、合材の温度低下速度が ΔT に比例していることが裏付けられる。さらに、合材の温度低下速度は、 ΔT が ΔT_{Air} に関連していることから、外気温の影響を少なからず受けていると言える。しかし、 ΔT 低下②において、外気温が約10°C上昇しているにも関わらず、温度低下速度の差は、0.2°C/hと影響が小さい。これは、先に述べた通り、 ΔT_{Air} が ΔT に及ぼす影響は極めて小さいことに加え、コンテナの大部分が特殊断熱材に覆われており、鋼板が外気に晒される面積が小さいことや、特殊断熱材が層厚70mmと厚く、外気温の影響が僅かな程度にとどまるためだと考えられる。

このように、氷点下の環境においても、外気温の変化による影響が極めて小さく、コンテナを用いた合材の保温可能時間が、一般的な輸送時間である1.5時間と比較して、約5倍に相当する7.9時間を示した(図-9参照)は、当コンテナが、合材の長距離輸送にとって有効な手段となり得ることを示唆している。

4.3 断面温度分布と放熱箇所の調査

図-9より、橙色の一点鎖線で示す基準断面平均温度と緑の破線で示す斜断面平均温度、ならびに、赤い実線で示す

合材全体平均温度とを比較すると、最も温度が高いのは基準断面、次いで斜断面、そして、合材全体平均温度と続いている。とりわけ、基準断面の温度が最も高くなるのは、この基準断面における放熱面積が最小となるために、合材からの放散熱量が抑えられるからであると考えられる。一方で、合材全体の平均温度が最も低い値を示すのは、図-14の赤丸で示したコンテナの投入・排出ゲート部における隙間などに、特殊断熱材を施工できないために放散熱量が多くなることを、シミュレーション結果でも反映されているものと推察される。以上のことから、コンテナの投入・排出ゲート部の隙間による温度低下の影響は、基準断面と斜断面の合材においては限定的であると考えられる。

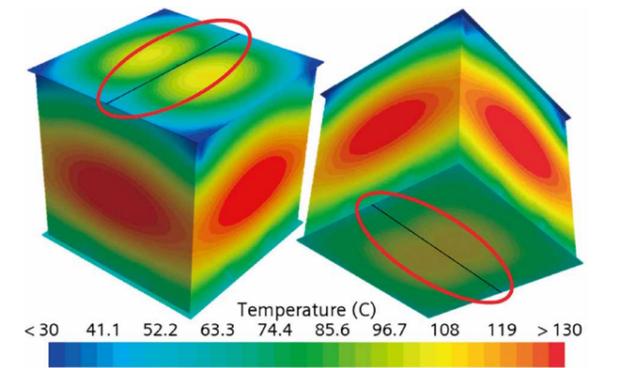


図-14 21時間経過後の合材表面の温度分布

また、表-4に示す経過時間が21時間の温度分布と、図-14に示す合材表面の温度分布に着目すると、コンテナ角部から合材の温度低下が進行し、中心部では温度低下があまり見られないことが分かる。この合材中心部での温度低下が小さいことに関しては、合材の熱伝導率が低いことが理由であると推測できる。合材の熱伝導率は、常温のガラス材料と同等(新編 熱物性ハンドブック⁸⁾)で、1.25W/(m·K)(表-3参照)と低い値を示す。これにより、合材中心部は、コンテナに施工した厚さ70mmの特殊断熱材に加え、層厚600mm、熱伝導率1.25W/(m·K)の合材自らの断熱材に覆われていることに相当するため、21時間保温後においても、大きな温度低下が見られなかったと考えられる。

このことから、合材保温可能時間を延長するための方法として、一定以上のコンテナ容量を確保することが有効であると考えられる。このことは、合材自らが一定の断熱性能を有するものの、その断熱効果を十分に発揮させるためには、600mm以上の層厚が必要であることがシミュレーション結果から明らかとなっている。そして、コンテナの形状を熱放散面積(比表面積)が最小となる球に近づけることが最も理想である。とりわけ、コンテナ角部の合材温度の低下が著しいのは、熱放散面積(比表面積)が大きくなること、断熱材とし

での合材層厚が薄くなること、特殊断熱材の施工が難しいことなどを、そのことの根拠として挙げることができる。

以下に、コンテナの熱放散面積の削減について、具体的な方法を2点述べる。1点目は、前に述べたように、熱放散面積(比表面積)が小さくなるようにコンテナの形状を変更することである。例えば、コンテナを円柱形状にすることで、同容量のコンテナでも、角形形状よりも熱放散面積(比表面積)の削減が可能であり、コンテナからの熱放散が抑制できる。2点目は、投入・排出ゲートの統一である。本試験で用いたコンテナは、前述の通り、上部から合材を投入し、下部から合材を排出する構造になっているため、投入・排出ゲートのそれぞれに、特殊断熱材が施工不可能な箇所が存在する。よって、コンテナが反転可能な装置を設ける等の方法で、合材の投入・排出を同一ゲートから行うことが可能になれば、特殊断熱材が施工不可能な箇所を削減でき、コンテナからの熱放散を抑制できる。

5. まとめ

本試験における、結果と考察を以下に要約する。

- 氷点下の環境下でも特殊断熱材を施工したコンテナを用いれば、合材を7.9時間保温可能である。
- 合材をコンテナに投入した直後は、外気温に等しい鋼板への熱移動により合材温度が急激に低下する。
- 本試験において、コンテナ内の合材は、中心部の温度低下が小さく、角部で温度低下が顕著である。
- 合材の熱伝導率は低く、合材中心部では周囲の合材が断熱材として作用する。
- 時間経過による合材の温度低下勾配は、外気温の影響を受けるが、特殊断熱材がコンテナ表面を大幅に覆っている場合、その影響は小さい。

- 合材の保温可能時間を延長するためには、一定以上のコンテナ容量を確保することや、コンテナの熱放散面積(比表面積)を削減することが有効だと推測できる。

6. 今後の展開

将来、カーボンニュートラルや、働き手の不足から、APの革新により、APの統廃合が進むと予測される。その時、現行方法では、合材を供給できないエリアの拡大が懸念される。

そこで、筆者らは合材を長時間保温可能なコンテナの開発に取り組んできた。当開発の最終目標は、合材の貯蔵や運搬システムの構築にある(図-15参照)。これは、主要プラント(図-15のセンタープラント)に合材の生産を集約し、プラントの瞬発力を維持しつつ、合材が連続的に生産されることを指す。その背景には、合材の保温にコンテナを用いることで、1つのAPを拠点とした、合材供給可能なエリアの拡大がある。このシステム構築の第一歩として、コンテナを寒冷地や離島などへ実装することを目指している。そのためには、合材の投入・排出や運搬が容易な構造へコンテナを改良することや、コンテナ容量を見直すことが必要になると予測するため、まずは、情報収集を予定している。

また、前述の通り、初期温度低下が著しいため、保温可能時間を確保するために、合材を通常より高温で出荷する必要がある。これは、中温化合材のような、出荷温度を下げてCO₂排出量を削減している技術に逆行することになるため、排熱を利用したコンテナの予熱など、初期温度低下を抑制し、従来と同等の温度域で出荷可能な方法の検討も必要である。

今後も、今回のサンプリングデータや熱解析シミュレーションを活用し、コンテナの改良検討を進めて行く所存である。

参考文献

- 1) 田村彰啓, 蓬萊秀人, 川村克裕: 運搬中のアスファルト混合物の温度特性の考察, 第34回日本道路会議論文, 論文番号3183, 2021.
- 2) 田村彰啓: 運搬中のアスファルト混合物の温度特性の考察, 日工テクニカルレポート第三号, pp.33-42, 2022.
- 3) 河邊真治, 蓬萊秀人, 川村克裕: コンテナを用いたアスファルト混合物の保温特性に関する調査, 第35回日本道路会議論文, 論文番号 3217, 2023.
- 4) 一般社団法人日本アスファルト合材協会 資料・広報委員会 資料部会: 2022年度アスファルト合材統計年報, pp.12-13, 2023.
- 5) 外務省
https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w_000121.html
アクセス日: 2023年12月4日
- 6) 地球温暖化対策推進本部: 日本のNDC(国が決定する貢献), 2021.
<https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/100285591.pdf>
アクセス日: 2023年12月4日
- 7) 自動車運転者の労働時間等の改善のための基準の一部を改正する件, 厚生労働省告示第367号, 2022.
- 8) 日本熱物性学会: 新編 熱物性ハンドブック [日本熱物性学会編], pp300, 2008.
- 9) 門出政則: 改訂版 熱伝導の順問題解と逆問題解, pp1-7, 2022.
- 10) 北山直方: 図解 伝熱工学の学び方, pp26, pp51-55, 2015.



図-15 合材の貯蔵や運搬システムの構築

筆者紹介



TERAUCHI Takahito
寺内 崇仁
2024年入社
開発部 開発4課



KAWABE Masaharu
河邊 真治
2021年入社
開発部 開発4課