

発熱体が鋼床版の表面温度に及ぼす影響パラメータの検討

熊本大学工学部 学生員 ○重松 映輝

熊本大学大学院 フェロー 山尾 敏孝 日本環境整備(株) 元田 馨

1. はじめに

鋼床版橋はコンクリート床版と比較すると熱容量が小さく、凍結が発生して事故を誘発しやすいという問題に対して、著者らは、環境に優しく、低温域で活動し発熱効果があるバイオ菌を利用した路面凍結の防止方法について研究を進めてきた^{1),2)}。特に、実橋梁である鋼桁橋を対象にした、床版裏側にバイオ菌入り腐葉土容器を設置した実験では、気温が氷点下に達しても容器を設置した床版の表面温度は0℃以上を保持することが確認できた¹⁾。しかしながら、バイオ菌入り腐葉土の発熱による容器内から床版表面への熱伝達メカニズムが不十分であることから、解析的検討を行ってきたが、実験結果との対応が不十分であった。そこで本研究では、バイオ菌入り腐葉土内部の温度変化を測定した実験データを基に、熱伝導解析法において重要な物質係数である熱伝導率や発熱量等についてその影響を調べ、再度解析検討を行ったものである。

2. 実験と解析の概要

(1) 温度測定実験²⁾：模型実験は図1, 2に示すように上辺450mm, 下辺350mm, 高さ200mm, 厚さ6mmの台形型断面のアルミニウム製の容器に、バイオ菌入りの腐葉土を入れ、この容器を、1000mm×3000mm×12mmの鋼版の下に設置した。温度測定センサーを端部から20cmに位置(図1参照)に入れ、容器断面の中央部、鋼版表面、側面、底面の各温度及び気温について時間的な温度変化を計測した。

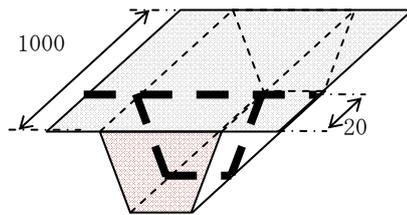


図1 模型全体図(単位 mm)

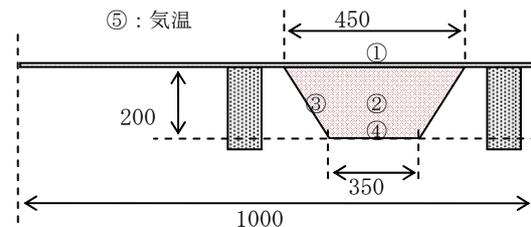


図2 断面図(単位 mm)

(2) 熱伝導解析方法：温度変化のメカニズムを差分法による熱伝導解析手法を用いて調べた。2次元の定常状態における断面内の任意における温度の空間的変化の関係が、式(1)に示すフーリエ微分方程式を解くことで解が得られる。熱伝導率や熱伝達率が物質により異なるため、その空間分布を考慮できるような定式化をし、陰解法で離散化してある。なお、式(2)は境界条件の式である。

$$\frac{dT}{dt} = k \frac{d^2 T}{dx^2} + \frac{d^2 T}{dy^2} + f(x, y) \quad (1)$$

$$-k \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right) = h \{ T - T_{\infty} \} \quad \text{on } \partial \Omega \quad (2)$$

ここに、T：温度、k：熱伝導率、t：時間、f(x, y)：発熱量、 T_{∞} ：境界より十分離れた流体の温度、h：熱伝達率、

n：境界の法線方向、 Ω ：領域である。図3は鋼床版と台形容器をモデル化したもので、実験模型を基に作成した。モデルのメッシュ分割は横42×縦23マスで分割し、横2cm, 縦1cmとした。なお、使用したモデルの係数は、表1に示すように材料条件、境界条件、発熱量などを考慮して決定した³⁾。

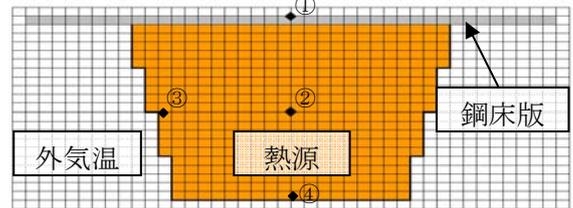


図3 解析モデル

表1 各係数と発熱量

	熱源
熱伝導率(kcal/h·m·°C)	0.1
空気への熱伝達率(kcal/h·m ² ·°C)	13.0(1.0)
発熱量(kcal/m ³ ·h)	30.0
	鋼板
熱伝導率(kcal/h·m·°C)	40.0
空気への熱伝達率(kcal/h·m ² ·°C)	21.0

3. 結果比較及び考察

熱伝導解析において、バイオ菌入り腐葉土(熱源)の熱伝導率と発熱量の影響が大きいことがわかり、これらの値の影響変化を調べた結果が図4である。熱源の熱伝導率を下げると熱源の解析値は上昇し、その変動が小

さくることがわかった。また、発熱量を下げると解析値は分布変動を変えずに下降することがわかった。熱源の熱伝導率が $0.1(\text{kcal}/\text{h}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ の時に実験値に最も近い変動であり、熱量を $30(\text{kcal}/\text{m}^3\cdot\text{h})$ にした時ほぼ実験値に近い値が得られたので、今回の解析では表 1 のように決定した。

図 5(a), 6 は 07.12/15~12/18 及び 08.1/3~1/6 の 3 日間における容器中心部と床版表面部における、実験値と解析値の温度変化を比較したものである。なお、バイオ菌を入れる容器に断熱塗料を塗布していたため、熱源と空気間の熱伝達率をここでは $1.0(\text{kcal}/\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ として解析した⁴⁾。図 5(a) より容器中心部の温度比較を見てみると、12/15~12/18 の 3 日間では解析値は実験値とよく対応していることがわかる。次に図 5(b) の容器底と側面の温度分布の比較を見ると、容器側面に関しては実験値に近い値が得られたが、容器底では大きく異なった。これは容器底の実験値は大きな変動なしで推移しているのに対し、解析値は気温の影響を受けて変動したと考えられる。実験値を見ると、容器の下部はそれほど気温の影響を受けていないことがわかり、この理由として容器上部は鋼板の温度の影響を受けることなどから、容器内の温度分布が一様ではなく、下部ほど上昇していると考えられる。

図 6 の熱源の解析値の変動を見ると、実験値に比べて多少大きいことがわかる。これは気温が低かったため熱源の熱伝導率も変動したことや腐葉土の詰め方等で密度に違いができたと推測されることから、熱源の熱伝導率をさらに調べる必要がある。

次に、鋼板の表面温度の比較を見てみると、図 5(a), 図 6 に示すように、昼間のピーク時や朝方の最低温度時以外は両者とも温度変化がよく対応していることがわかる。特に、日中のピーク温度時の解析については日照量によるものであると考えられ、この影響も考慮できるよう改良が必要と思われる。

以上により、熱源の熱伝導率が検討できたが、熱源の状態によってどう変化するのかというのはまだ明らかにされていない。今後はバイオ菌入り腐葉土を普通に容器に詰めた状態と、密に詰めた状態で比較実験を行い、特性を解明し、解析をして鋼床版表面に及ぼす影響パラメータを検討していく予定である。

参考文献

- 1) 古賀 淳, 山尾敏孝, 友田祐一, 元田 馨: 実鋼桁橋の凍結防止におけるバイオ菌の発熱効果の検討, 鋼構造年次論文報告集, 第 15 巻, pp.579-584, 2007.
- 2) 山尾敏孝, 片山拓朗, 古賀淳, 田上剛: バイオ菌発熱体を用いた鋼床版の熱伝達メカニズムの解明, 第 6 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.93-98, 2008.
- 3) 北山直方: 伝熱工学の学び方, オーム社, pp.13-70, 1982.
- 4) 一色尚次, 北山直方: 伝熱工学, 森北出版, p.37, 1984.

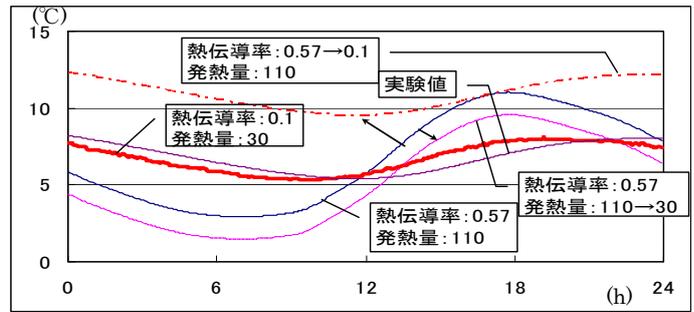
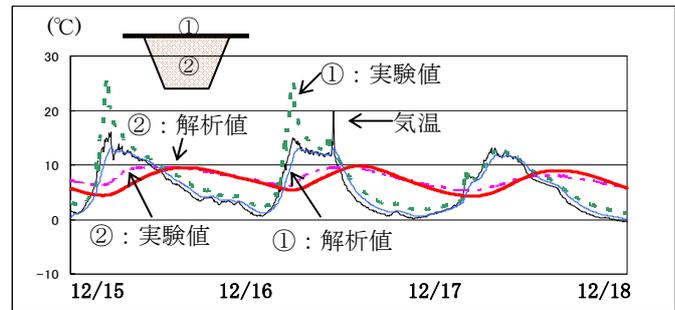
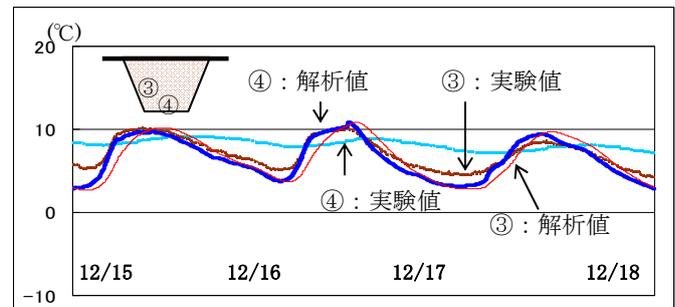


図 4 熱源と熱伝導率の係数の変化の影響



(a) 容器中心部と床版表面の温度変化



(b) 容器底と側面の温度変化

図 5 12/15~12/18(3 日間)の測定結果との比較

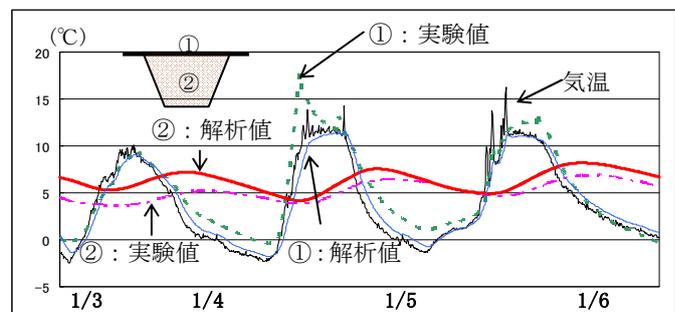


図 6 1/3~1/6(3 日間)の容器中心部の測定結果との比較