

廃タイヤパウダー混合土の熱伝導特性について

金 学三、福田 正己 (北海道大学低温科学研究所)

1. はじめに

近年の自動車数の増加に比例して、廃棄される使用済みタイヤ数も増加している。1999年に全国で排出された廃タイヤは約1億100万本(97万トン)にも達する²⁾。廃タイヤは産業廃棄物指定を受けているにもかかわらず、適切な処理やリサイクルされずに不法投棄され、環境の悪化の一因となっている。現在、日本国内で廃タイヤのリサイクルは、セメント工場での燃料としての燃焼される比率が高く、タイヤの質を活用する再生タイヤへの利用はむしろ低下する傾向にある。廃タイヤのリサイクル率向上させる方法として、土木材料での利用可能性を検討するため、その一段階として、廃タイヤパウダー混合土の熱伝導率特性に関して実験を行った。

2. 実験方法

非定常温度拡散法であるサーマルプローブ法である³⁾。直径2mm、長さ10cmのステンレスパイプにヒーター線を挿入し、中心部にサーミスタ温度センサーを封入する。これを直径12cm高さ15cmの円筒型のプラスチック容器に入れた土の中心部に挿入する。加熱による中心部の温度上昇から、試料の熱伝導率が算出される。Kay et. al.によれば、凍土試料の場合に加熱量が多い場合、プローブ周辺で融解とそれに伴う水分拡散が筆生ずる³⁾。その結果として、見かけ上大きな熱伝導率が見積もられることになる。これを防止するためには、加熱開始の10分後の中心部昇温は1.0℃以下にする必要がある。一方で温度上昇が少ないと、温度の読みとり精度による誤差が発生する。従って、時間経過を対数とする温度上昇の1次相関係数では、0.99以上になるような加熱条件を設定する必要がある。上記の測定条件を設定し、廃タイヤ粉末を苫小牧シルトに異なる混合率で混合した試料について、熱伝導率を測定した。

3. 実験条件

本実験に使われた試料は凍上性が高い苫小牧土でタイヤパウダー3種類(S、M、L type)、混合率0、10、20、30%4種類、測定温度は-20℃から+10℃6段階、飽和試料に対して実験を行いました。

4. 実験結果及び考察

図1はS typeのタイヤパウダー使って混合率の変化による熱伝導率の結果を示している。0℃前後をして明らかに熱伝導率の大きな差が見られる。これは氷と水間の約4倍の熱伝導率の差の影響を反映している。そして混合率の増加によって熱伝導率が低下している。これは土より低い熱伝導率を持つタイヤパウダーの影響とパウダー混合による体積含水比の減少が主な原因だと考えられる。また、温度が低下すればするほう

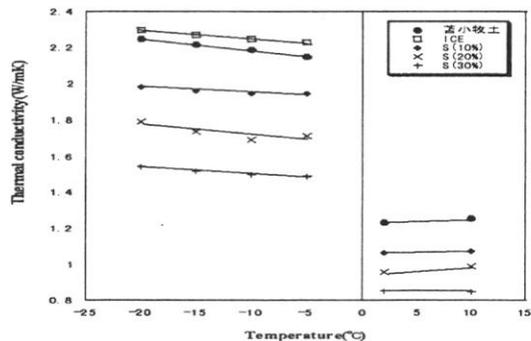


図1 温度変化による熱伝導率の変化 (S)

ど少しづつ熱伝導率が増加しているのは土中の不凍水が氷に変わった結果を反映している。

この図は同じ混合率において、粒径の変化による熱伝導率の結果です。そこでまは細かいパウダー、三角は普通パウダー、四角は大きいパウダーを示しています。傾向として同じ混合率での熱伝導率は粒径の増加にしたかって低下しています。このような原因は細かいパウダー混合土の場合、パウダー周りに土粒子が連結された結果土粒子通じて熱の移動が起こりやすくなると思いますが、大きいパウダー

混合土の場合、パウダーによって土粒子と土粒子間が分断され熱が流れ難くなった結果、同じ混合率にもかかわらず大きいパウダーのほうが熱伝導率が小さくなったと考えられます。

図3は土壤の熱伝導率のモデルえをしめしている。モデルにおける土壌内を流れる熱流の方向は

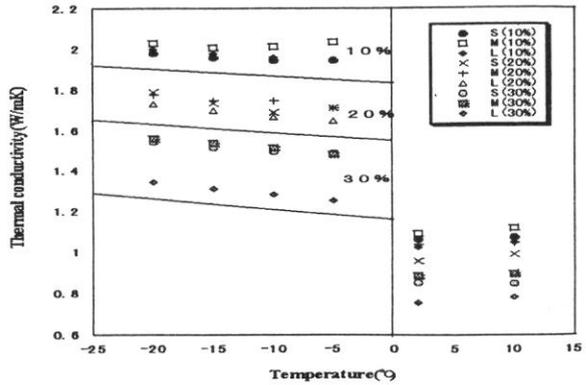


図2 粒径の違いによる熱伝導率の変化

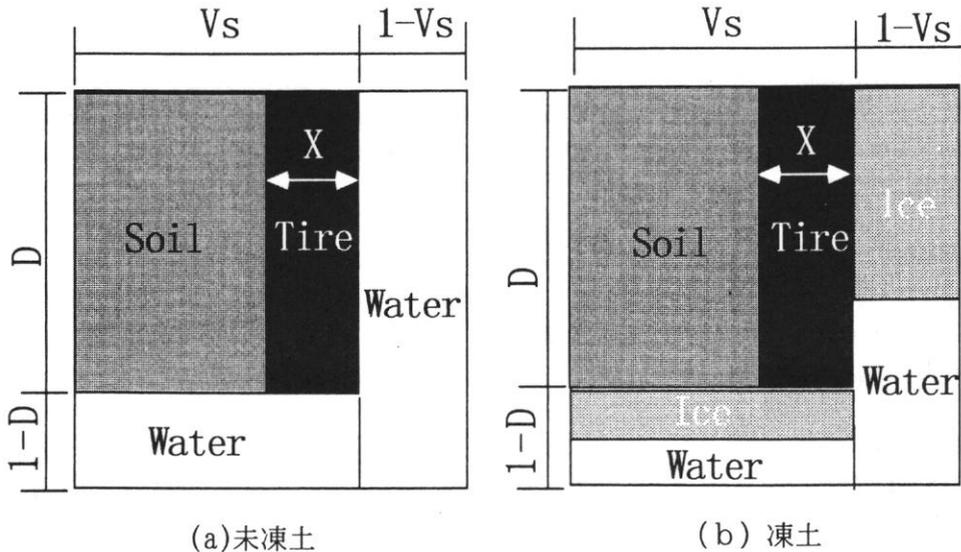


図3 土壤の熱伝導率

上から下向かうものである。このモデルでは熱が土と水、タイヤパウダーと水、水のみを通じて、三つの部分に分かれて流れると仮定した。凍土のモデルの場合、温度変化による氷と不凍水との割合を考慮した。式(1)、(2)にこのモデルによる土壤の熱伝導率の計算式を示す。

$$\text{未凍土}(\lambda_{su}): V_s / ((D / (\lambda_t * (2.2X) + \lambda_s(1-2.2X)) + (1-D) / \lambda_w)) + (1-V_s) * \lambda_w \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{凍土}(\lambda_{sf}): & (1-V_s) / (1 / \lambda_w * ((\partial \theta_u / \partial T) / \theta_o) + 1 / \lambda_i * ((\theta_o - \partial \theta_u / \partial T) / \theta_o)) + \\ & V_s / (D / ((\lambda_t * (2.2X) + \lambda_s(1-2.2X)) + ((1-D) / \lambda_w * (\partial \theta_u / \partial T) / \theta_o + \\ & (1-D) / \lambda_i * (\theta_o - \partial \theta_u / \partial T) / \theta_o)) \end{aligned} \quad (2)$$

ここで λ は熱伝導率 (w/mK)、 θ_o は未凍土における体積含水比、 X は混合率、 θ_u は不凍水、 $D = n / (n + 0.03)$, 添え字 s, w, i, t はそれぞれ土粒子、水、氷、タイヤを示す。

図4は実測値とモデルによる計算値の比較である。これらの結果から凍土側において計算値が実測値より約0.2 w/mKくらい低かった。これは土粒子の熱伝導率の入力値が実際値より小さかった影響だと考えられる。

5. 結論

廃タイヤパウダー混合土について Probe 法を用いて熱伝導率を測定し、得られた結果をまとめると次のようなことが確認された。

- 1) 混合土の熱伝導率と不凍水量は混合率に比例して減少した。
- 2) 同一の混合率では、廃タイヤパウダーの粒径が大きいほど熱伝導率の減少の効果が大きくなった。
- 3) 混合土について定量的熱伝導率モデルを提案し、これらのモデルの具体的計算方法を示した。

参考文献

- 1) 福田 正己 (1976) 非定常法による凍土の熱伝導率の測定 低温科学 物理編 第34 pp249-252
- 2) 日本タイヤリサイクル協会 (2000) 1999年タイヤリサイクル状況 p 4
- 3) Kay, B. D., Fukuda, M., Izuta, H. and Sheppard, M.I. (1981) The importance of water migration in the measurement of the thermal conductivity of unsaturated frozen soils Cold Regions Science and Technology, 5, 98-106