

室内試験によるロームと粘性土の熱伝導率の測定

（財）鉄道総合技術研究所 正会員 小島謙一

鉄道・運輸機構 正会員 丸山修 正会員 青木一二三

野田軍治

（株）複合技術研究所 正会員 石塚真記子

1. はじめに

寒冷地での鉄道路盤の設計を行う上で凍結深さの予測を精度良く行うことが必要であり、パラメーターとなる土の熱伝導率を正確に把握することが大切である。コンクリート路盤による省力化軌道構造ではコンクリート路盤の下に粒調砕石層があり、その下に路床土となる。凍結深さの算定にあたっては粒調砕石の熱特性のほか路床土のロームや粘性土の熱特性が重要となる。そこで本研究では、設計時に用いる路床土の熱特性として、現場乾燥密度、現場含水比における凍結・未凍結状態のロームと粘性土の熱伝導率を単一プローブ法と比較法を適用して測定した。

表-1 実験ケース

ケース	土質材料	温度条件
1	ローム	20, -10
2	ローム	20, -10
3	粘性土	20, -10
4	粘性土	20, -10

2. 実験方法

(1) 試料と供試体作製

試料は青森県七戸地区におけるロームと粘性土を用いた。供試体は現場で採取した攪乱試料を手でほぐし、現場乾燥密度、現場含水比に調製して作製した。現場乾燥密度と現場含水比は、現場にて100ccコアサンプラーで採取した試料から求め、ローム 1.09 Mg m^{-3} , $w=52\%$, 粘性土 0.82 Mg m^{-3} , $w=82\%$ である。

供試体は高乾燥密度用モールド^{文献1), 5), 6)}を用いた。供試体寸法は縦・横・高さがそれぞれ16 cmの立方体で、その中心に熱伝導プローブを1本、プローブから5 cm離れた位置に熱電対を2本埋設し、それらをデータロガー等に接続して熱伝導率と供試体温度を測定した。測定は供試体を恒温チャンバー内に設置して行った(図-1 参照)が、供試体設置に際してはモールド、プローブや熱電対からのケーブルの一部を風除けで覆い、供試体全体の温度が均一になるよう注意した。試験は同一試料に対して2個作製し、それぞれ2回試験を実施した。設定した温度は、状態があまり遷移しない安定した温度として、未凍結状態は20℃、凍結状態は10℃とした。表-1に実施ケースを示す。

(2) 単一プローブ法と比較法による熱伝導率測定

単一プローブ法による熱伝導率測定法は、土中に敷設された無限長、直径 ϕ の線熱源からの熱拡散を仮定した式の近似解を用いた試験法である。今回用いた熱伝導プローブは、直径1.3 mm、長さ15 cmの金属管にヒーターと温度計を設けてある。供試体を恒温状態に保ち、ヒーターを一定時間加熱したときのセンサー自体の温度上昇と時間の関係、加熱において投下した熱量から熱伝導率 $k (\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1})$ を算定した。単一プローブには、構造に起因する個体差がある^{たとえば文献2), 3)}ため、補正を行う必要がある。今回はプローブ法の中でも最も精度が高いといわれている双子型プローブ法と同等の補正効果が得られる比較法^{たとえば文献2), 3)}を適用した。また、比較法で用いる基準物質の熱伝導率は、未凍結時は水の熱伝導率 $0.561 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ^{文献4)}、凍結時は氷の熱伝導率 $2.2 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ^{文献4)}とした。



図-1 恒温チャンバー内に設置した供試体

キーワード：凍上、熱伝導率、粘性土、ローム

連絡先：(住所)〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38, (TEL)042-573-7261, (FAX)042-573-7248

3. 試験結果

試験から求めたロームと粘性土の熱伝導率を図-2, 3, 試験終了時の状況を図-4 に示す。試験中に凍上現象が発生すると密度等が変化し、初期条件として設定した現地土の状態を正確に再現できず、適切な熱伝導率が得られない可能性がある。本試験においては、試験終了後の供試体の状況より-10 におけるいずれの供試体も凍上が起こっていないことを確認している。したがって、供試体作製当初の乾燥密度における熱伝導率であると考えられる。

熱伝導率測定は2時間間隔で3回行い、図中では3回の算術平均値を20 (), -10 () のように示した。未凍結状態(20)の熱伝導率はロームで0.4~0.5 ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$), 粘性土で0.6~0.7 ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)であった。また凍結状態(-10)の熱伝導率はロームが1.0~1.4 ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$), 粘性土が0.8~1.5 ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)となった。未凍結状態については比較的安定した計測結果が得られ、本試験の実用性が示された。しかし、凍結状態の場合には若干ばらついた熱伝導率となった。本試験においては+5~-5 の遷移領域をはずした-10 という温度条件で試験を行ったが、試験中において温度が安定しない状況であった。したがって、熱伝導率がばらついた要因の一つとしては、微視的な構造の違いにより間隙水の凍結の程度が同一の温度下であっても異なったためであると推定される。ただ、本試験においては密度を変えないなど凍上を起こさせない条件下で行っているため、必ずしもさらに温度を下げるのが妥当であるとは言えないことから、適切な温度条件の設定は非常に難しいことが解る。

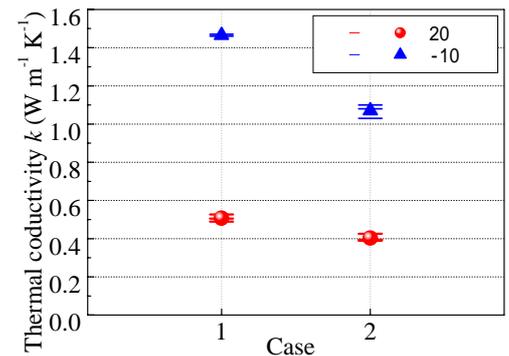


図-2 ロームの熱伝導率

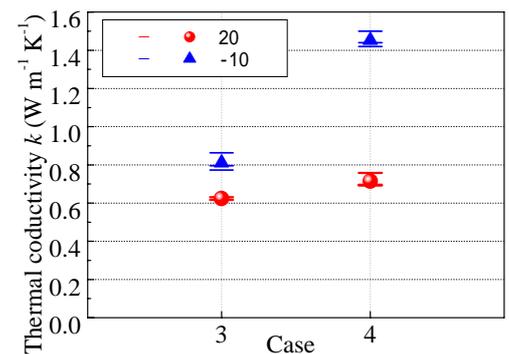


図-3 粘性土の熱伝導率

4. まとめ

現場乾燥密度、現場含水比となるように充填したロームと粘性土の熱伝導率を測定した。未凍結状態では比較的精度良く熱伝導率を求めることができたが、凍結状態を想定した-10 ではばらつきが生じた。この結果から、比較的簡易な室内試験で現場の状態を再現した土の熱伝導率の測定が可能であることが解ったが、凍結状態では土の物性に応じた温度設定が必要であると考えられる。

5. 今後の課題

本試験結果から室内試験により粘性土系の試料の熱伝導率を求めることが可能となった。本試験は設計への適用を念頭においていることから土の状態を明確にすることから、比較的状態の安定する温度設定下で試験を行った。今後は凍結の進行に伴う熱特性の変化や、凍結への遷移領域における熱特性の解明などを進め、土の凍結・凍上メカニズムの解明していく予定である。

<文献>

- 1) 石塚ら(2005):「高い乾燥密度における土の熱伝導率測定法」, 第40回地盤工学研究発表会(函館),(社)地盤工学会(投稿中)
- 2) 粕淵(1982):「土壌の熱伝導に関する研究」, 農技研報B, 33, p. 1~54
- 3) 望月(2002):「砂および粘土の熱伝導率の水分・塩類濃度依存性に関する研究」, 東京大学・大学院 博士論文
- 4) 国立天文台編(2002):「理科年表」, 丸善
- 5) 石塚ら(2005):「粒調砕石の熱伝導率測定」, 第60回年次学術講演会(東京),(社)土木学会(投稿中)
- 6) 小島ら(2005):「室内試験を用いた八戸ロームの熱伝導率の検討」, 第40回地盤工学研究発表会(函館),(社)地盤工学会(投稿中)



図-4 試験終了後の供試体