

Ⅲ-33

土粒子の骨格構造に着目した地盤の熱伝導実験とその解析

東北大学 学生会員 ○松岡 康雄
 東北大学 正会員 朴 燦 燦
 東北大学 正会員 柳澤 栄司

1. はじめに

地下構造物や廃棄物の埋め立て処理などで、地盤中の熱移動が問題となっている。現在、地盤における熱解析は、取り扱いやすさから地盤を均質な1相系の媒体とみなしたモデルを用いるのが一般的である。このような解析では、各相の体積割合を基準として平均化した地盤の合成熱伝導率が用いられる。実地盤の熱移動は、土粒子個々のつながり、あるいは間隙水のつながりによって熱伝導移動する。本研究では、土粒子の骨格構造（つながり）に着目し、熱伝導特性に及ぼす土粒子の骨格構造の影響を考察した。

2 解析方法

本解析の中心となるのは土粒子同士の骨格構造であり、それによって系全体に熱を伝えるためには土粒子同士のつながりが解析断面である系全体に広がりをもってなければならない¹⁾。つながりの重要なファクターは、土粒子が占める割合と隣り合う要素（土粒子あるいは間隙）との関係である。

ここで、対象とした領域は図-1のように立方体であり、クランク・ニコルソン法による差分法を用いた3次元熱伝導解析である。また、ヤコビ反復法によって反復計算を行ない、その解を収束させた²⁾。領域は等間隔で分割し、各要素を土粒子あるいは間隙とする。このとき、各要素が土粒子であるか間隙であるかは、所定の間隙率になるよう乱数を発生させ、モデルを作成した。モデルの底面は熱源であり一定温度境界とし扱い、その他の境界は断熱境界とした。また、本研究は土粒子骨格に着目するため真空状態を想定し熱伝導率は土粒子同士では 4.8×10^{-4} (kcal/m・s・°C)、土粒子と間隙または間隙同士ではゼロとした。

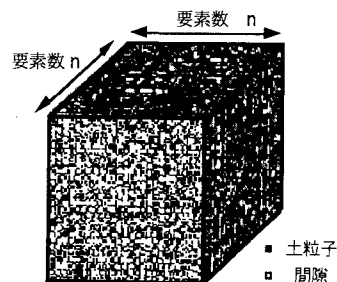


図-1 解析モデルの例
(50×50要素の場合)

図-2は、要素分割数と間隙率の変化に伴う計算結果を示している。図の横軸は解析断面の分割数である。上図の縦軸は熱源から5(cm)離れた位置に存在する要素のうち土粒である要素の温度の平均値、下図の縦軸はその温度分布のばらつきを表している。地盤を一相の連続体と考えると、熱源から同じ距離で離れた断面の温度分布はほぼ一定値を示すと考えられる。そこで本解析における要素分割が適当かどうかは熱源からの距離が一定であるとき、その断面の温度分布のばらつきが十分小さくなるかどうかで判断できると考えられる。図-2の上図に示したようにある要素数以上になると定常状態に近づく。具体的には、分割数が3万～4万個程度であれば平均温度は一定値になり、標準偏差も小さくなることから地盤のモデル化において、ある断面領域を3万～4万個以上に分割すれば、ほぼ連続体と同様の結果となると考えられる。

3 実験方法

高さ10cm 内径5cmの断熱容器の底に熱源を置き、熱源から

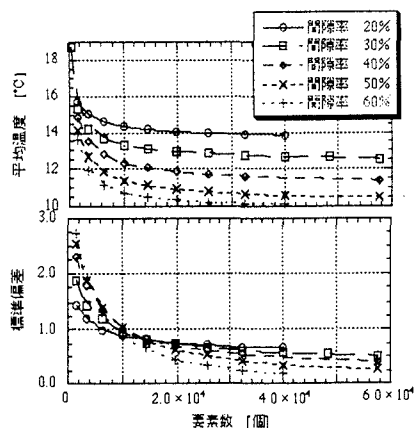


図-2 要素数による温度と偏差の関係(解析)

1cmごとに熱センサーを配置する。実験には阿武隈砂を用い、実験前に炉乾燥させて室温まで冷ます。その試料を断熱容器に入れ、三軸試験機のセル内に設置し、セル内を真空状態にする。熱源を50(℃)に設定し熱センサーを用いてそれぞれの位置での土粒子の温度を1分間隔で60回測定する。この測定を試料の粒径、間隙率を変化させて行なう。

4 実験結果及び考察

実験に用いた阿武隈砂の密度は $2.647(\text{g}/\text{cm}^3)^{3)}$ である。図-3、図-5は熱源を加熱してから60分後の結果で縦軸は各測定点における初期温度からの温度変化量を示したものである。図-3では間隙率変化による温度変化量の違いを示しているが、熱を伝える媒体である土粒子が占める割合が大きくなると温度分布は少し高くなる。図-4の解析結果はこの傾向をとらえている。図-5は粒径変化による温度変化量の違いを表しているが、粒径が大きくなると熱伝導率が小さくなっている。これは、粒径が大きくなると土粒子同士のつながりが少なくなるためと考えられる。解析では要素分割数が小さくなる、つまり1つの要素サイズが大きくなると熱の伝わりが良くなっていく傾向にあり、実験とは逆の結果となっている。その原因としては、接触率の影響が考慮されてないためであると考えられる。図-6に示すように解析では、接触率は同じ間隙率であれば一定であり、間隙率に依存する。ここでいう接触率とは、熱源に垂直な方向に重なり合う2層間において土粒子同士がつながる確率である。

また、解析結果では熱源附近の温度が実験結果に比べ高く、離れるほど低いが、これは、解析モデルにおいて1つの要素に対して6方向のつながりしか存在しないため、熱源から離れた位置への熱の伝わる経路が途中で断たれているためと考えられる。

5 結論

このような土粒子の骨格構造に着目した解析での地盤のモデル化のためには、ある断面を3万~4万個以上に分割する必要があることが分かった。また、本解析手法で間隙率の大小による熱伝導現象の変化の傾向を表すことができた。

実験の結果から粒径の大小による熱伝導の変化がみられ、本解析において1つの要素からの接触軸と粒径の大小による接触率を考慮するパラメータを組み込む必要があることが分かった。

(参考文献)

- 1) 小田垣孝: パーコレーションの科学, 裳華房
- 2) 平田光穂, 須田精二郎, 竹本宣弘: パソコンによる数値計算, 朝倉書店, pp.98-125
- 3) 田村展明: 土の熟物性値に及ぼす諸要因について, 東北大学卒業論文, 1998

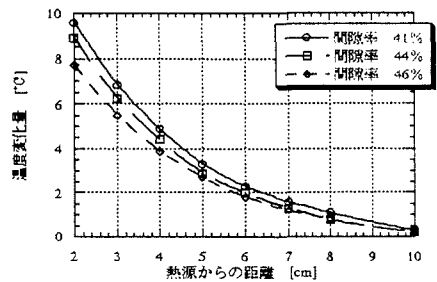


図-3 60分後の温度変化量分布と間隙率の関係 (実験)

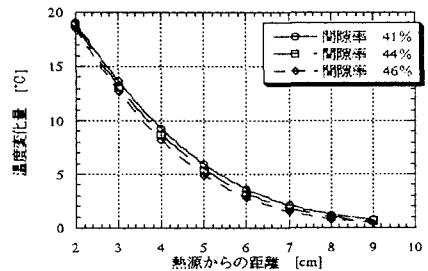


図-4 60分後の温度変化量分布と間隙率の関係 (解析)

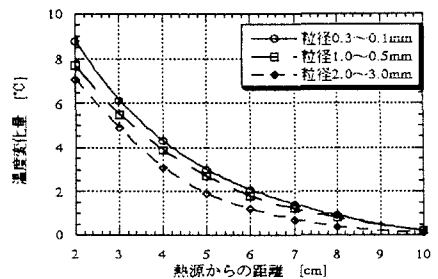


図-5 60分後の温度変化量分布と粒径の関係 (実験)

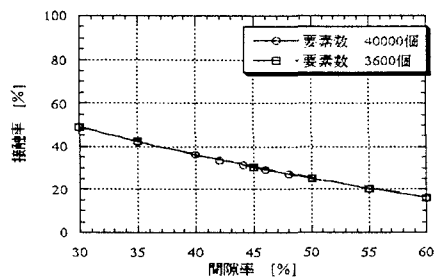


図-6 接触率と要素数の関係 (解析)