

二次元の凍上に関する研究

北大工学部 正員 ○深井一郎
 北大工学部 正員 森吉昭博
 北大工学部 正員 菅原照雄

1. まえがき

寒冷地においては、水道管等の地中の構造物が、低温による地盤の凍結によって破損する場合がある。これを防止するために、種々の工法が考案されている。本報告は、その一つである、地中の構造物の上部に断熱材を敷設する工法について、熱的な考察を試みたものである。ここでは、解析法として有限要素法を採用し、2次元の板状の構造物についてモデル解析を行った。本研究はこれを単なる熱伝導の問題としてではなく、潜熱を考慮した、地中の凍結を含む熱伝導問題としてとらえ、非定常状態における地中の温度分布について検討を行った。数値解は実用に供されているものと同じような条件のもとで求められた。

2. 計算方法

解析の対象とする構造は図.1に示すものである。簡単のために水道管は矩形とする。管内は水が流れており、凍結の進行にわかかわらず1°C一定とする。外気温は図.2に示すものとし、初期状態で0°C、その後12時間で-20°Cまで降下(以後-20°C一定とする)。地表における対流損により、凍結が地中へ進行する。図.1の構造モデルに対応する有限要素分割モデルは対称性を考慮した1/2モデルでこれは図.3に示す。計算にあたっては、地表で対流損を考慮する以外、他の境界は断熱とした。構造の各部分の物理定数は、通常用いられているもの、あるいは実験値を採用(なお、凍結時の値については、文献[2]を参考にした)。計算手順の概要を図.4に示すが、通常の二次元有限要素法による熱伝導問題の解法に、潜熱の考慮を付け加えるもので、要素の重心における温度の絶対値がある判定値より小さいとき、その要素の熱容量を無限大(計算機で極大値)とし、その節点の温度を固定した状態で差分近似で温度分布を求めて行く。これと同時に、この要素から、この時間間隔に流出する熱量を計算し、これが

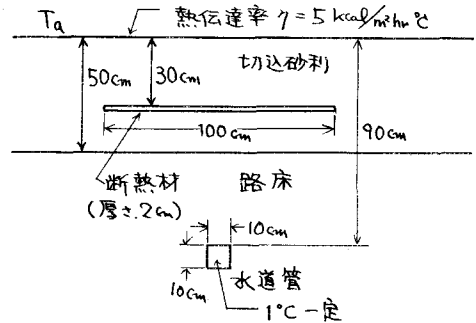


図.1 構造モデル

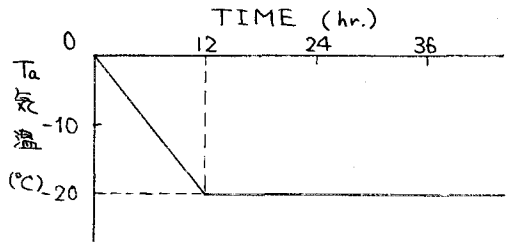


図.2 気温の変化(仮定)

	熱伝導率 k (kcal/m hr °C)	比熱 c (kcal/kg °C)	密度 ρ (g/cm³)	融解潜熱 (含水比) (cal/cm³)
切込砂利 frozen	2.94	0.14	2.0	8.0 (10%)
unfrozen	2.1	0.2		
路床 frozen	1.4	0.21	1.0	46.0 (50%)
unfrozen	1.0	0.3		
断熱材	0.02	0.3	0.029	

表.1

各部の
物理定数

この要素を凍結させるのに充分な大きさになつた時点で、熱容量を凍結時の値に設定しなおして、温度の固定を解くというキョでやる。

3. 計算結果

図. 5は初期温度分布を示す。水道管を源とする熱流が、断熱材を迂回していることがわかる。水道管から離れたモデルの右上部、および断熱材の存在によって等価的に遠い位置にある左上部が低温部となっている。対称軸上、断熱材上下面では0.2~0.3℃の温度差が保たれている。図. 6はtime=47.8 hr.における温度分布を示す。モデル右上部から凍結がはじまり、この時点で地表付近半ばは凍結していることがわかる。0.2℃以上の等温線の初期状態からはほとんど変化していない。図. 7は同じく、time=118.4 hr.における温度分布をあらわしている。凍結はさらに進んでいるが、0.4℃以上の等温線はいままでにほとんど変化していない。time=183.7 hr.における温度分布は図. 8に示されている。以上の図から、凍結が、水道管から最も遠い(地表)部分から始まり、凍結していき、E部分は急速に温度が低下し、未だ凍結していない部分は温度分布が、極めてゆっくり変化することが確認される。

4. おまじび

以上、実用に供せられているような構造について、潜熱を考慮した解析を行った。地表における対流損失、対称境界における

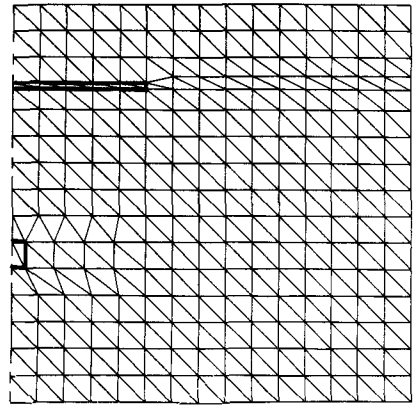


図. 3 要素分割

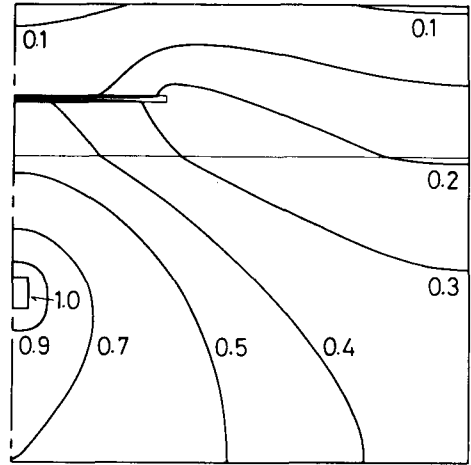


図. 5 初期温度分布 (°C)

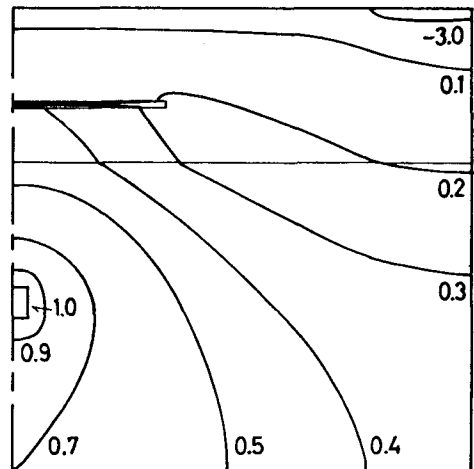
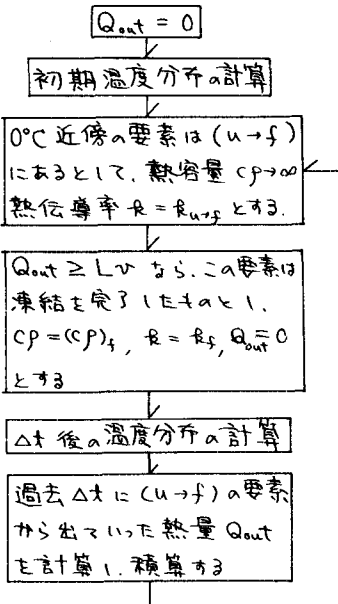


図. 6 time=47.8 hr.における温度分布(°C)



u; unfrozen
f; frozen
L; 潜熱
v; 要素の体積

図. 4 凍結を考慮した計算手順

る断熱の条件は妥当な仮定と考えられるが、その他の境界における断熱の条件、および、その大きさの設定はまだ考慮の余地がある。境界に関する各種の仮定と構造に関して、断熱材の厚さ、位置、傾き、形状等、種々の条件のもとで解析を行えば、この工法に対する有用な示唆を与えることができると考える。また本研究に用いた解析方法は、他の2次元の凍結の問題に適用でき、従来、1次元的にのみ考察されてきた凍結深の問題を、2次元の立場から扱えることができるものと思われる。

なお、本研究の計算にあたり、北大大型計算機センター FACOM 230-75 を使用した。

参考文献

- 1) 森吉, 久保, 齋藤, 柴井, 菅原; 舗装体の一次元の熱伝導に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集, 第33号, pp.303~306, 1977年
- 2) G. Comini, S. De Guidice, R. W. Lewis and O. C. Zienkiewicz; "Finite Element Solution of Non-linear Heat Conduction Problems with Special Reference to Phase Change", Int. J. num Meth. Engng. Vol. 8, 613-624 (1974)

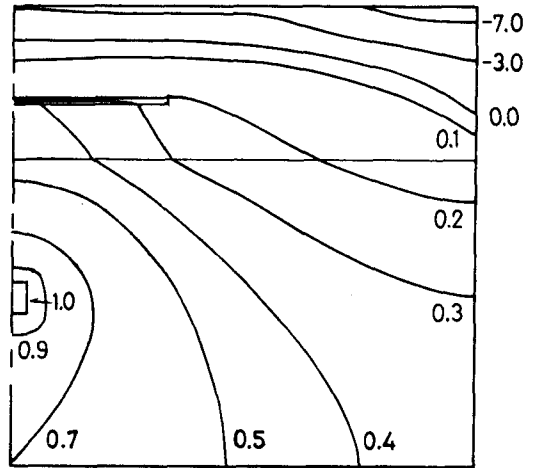


図.7 time = 118.4 hr.における温度分布

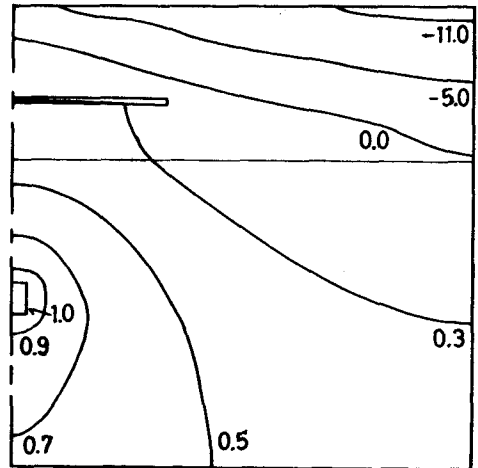


図.8 time = 183.7 hr.における温度分布