

IV—19 東北地方における道路の凍結状態の解析について

東北大学工学部 正員 齋藤達郎

東北地方等の寒冷地においては、冬季に道路が凍結し春の融解期には、多大の交通障害をひきおこしている。この様な凍害に対して、有効かつ経済的な防止工法を実施するには、凍結深を知る必要がある。しかし、従来これについては殆んど調査が行われていない。この報告は、地温分布・凍結深を理論的に解析し、凍結深調査の際に参考となる事項を明らかにしようとしたものである。

ここでは日射のない場合のみを扱ひ、次の二つの場合——1) 気温が日変化している場合。2) 気温が変化しない場合——について理論式を誘導した。この理論式の誘導に当っては次の様に仮定した。1) 地面の輻射冷却はない。2) 熱伝導は一次元で、地表に垂直方向へおこる。3) 氷の生成による潜熱の発生はない。4) 凍結により土の性質は変化しない。

以上の仮定の下で、熱伝導方程式；境界条件；初期条件を求めると次の様になる。

$$\text{伝導方程式} \quad \frac{\partial u}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad u: \text{深さ } x, \text{ 時間 } t \text{ における地温} \\ \kappa: \text{拡散係数}$$

$$\text{境界条件} \quad x=0 \quad u=\varphi(t) \quad \varphi(t): \text{時間 } t \text{ における気温} \\ x=a \quad u=C \quad C: \text{温度不変層(深さ } a) \text{ における一定地温}$$

$$\text{初期条件} \quad t=0 \quad u=f(x) \quad f(x): t=0 \text{ における地温分布}$$

この条件の下に u を求めると次の様になる。

$$u = \frac{C}{a}x + \frac{2C}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} \exp\left(-\frac{n^2\pi^2\kappa}{a^2}t\right) \sin \frac{n\pi}{a}x + \frac{2}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \exp\left(-\frac{n^2\pi^2\kappa}{a^2}t\right) \sin \frac{n\pi}{a}x \int_0^a f(\lambda) \sin \frac{n\pi}{a}\lambda d\lambda \\ + \frac{2\kappa\pi}{a^2} \sum_{n=1}^{\infty} n \sin \frac{n\pi}{a}x \int_0^t \exp\left\{-\frac{n^2\pi^2\kappa}{a^2}(t-\tau)\right\} \varphi(\tau) d\tau.$$

昭和29年に宮城県大衡村で測定した気温のデータを用いて計算してみる。図-1の様に気温が日変化している場合及びその平均気温と等しい気温のそれぞれが数日続く場合の二つを扱う。 $f(x)$ としては $f(x)=C\frac{x}{a}$ とし、 C, a をそれぞれ $10^\circ\text{C}, 100\text{cm}$ とする。 κ としては通常土に用いられる値 $3 \times 10^{-3} \text{C.g.s.}$ をとる。図-1の気温をフーリエ展開すると次の様になる；

$$\varphi(t) = -5.6 + 7.0 \cos \frac{\pi}{6}t - 0.5 \cos \frac{\pi}{3}t - 0.7 \cos \frac{\pi}{2}t - 0.1 \cos \frac{5\pi}{6}t - 2.7 \sin \frac{\pi}{6}t - 2.8 \sin \frac{\pi}{3}t - 0.1 \sin \frac{2\pi}{3}t.$$

これらの値を代入して温度分布を求めると図2-5となる。これらと比較すると、気温が変化する場合も、一定の場合もその気温が一週間位続けば、準定常状態となり、凍結深の変化は時間的には余り差がなくなっている。また気温の変化ある場合は日射がなくとも日中表面が融解し得ることがある。更にこの計算では気温変化のある方が凍結しにくい様である。

準定常状態で、凍結深の時間的変化の少い事は、昨冬宮城県道路課の協力をえて、宮城県志波姫村で行った実測結果からもいえる。すなわち、実測結果は図6-7に示される通りで、やはり凍結深は午前・午後の測定においてはほとんど変化していない。

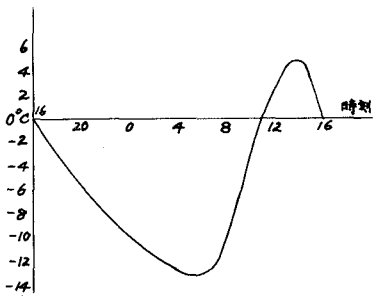


図-1. 昭和29年宮城県大衡村で測定された気温データ

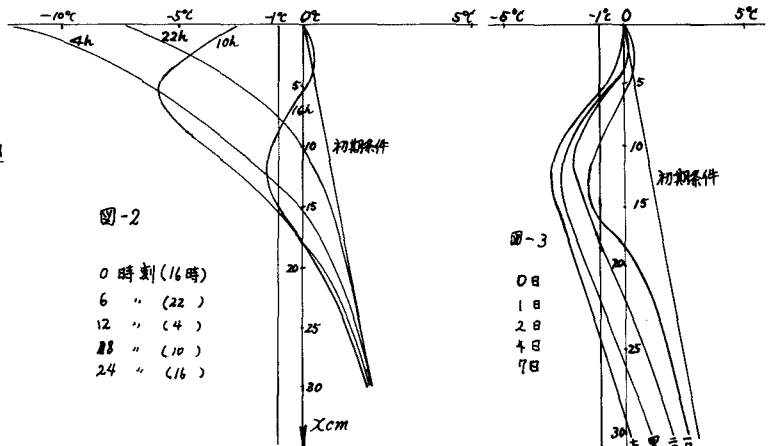


図-2

0 時刻 (16時)
6 " (22)
12 " (4)
18 " (10)
24 " (16)

図-2-2 図-1 に基づく計算結果

図-3

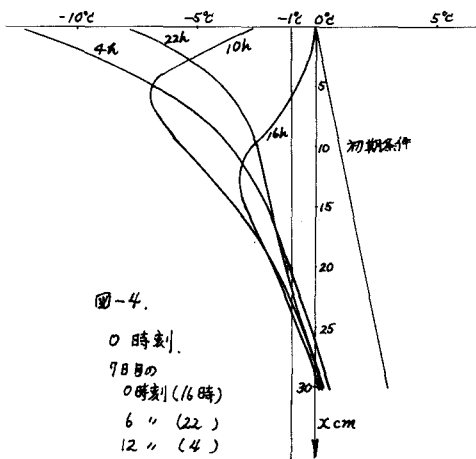
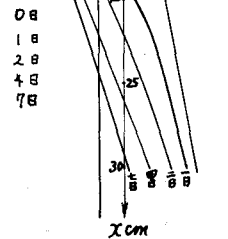


図-4.

0 時刻
7日目の
0時刻 (16時)
6 " (22)
12 " (4)
18 " (10)

図-5

図-1 の平均と
い一定気温に
基づく計算結
果

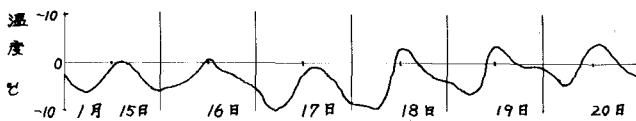
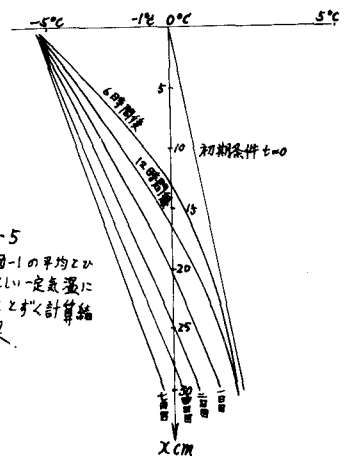
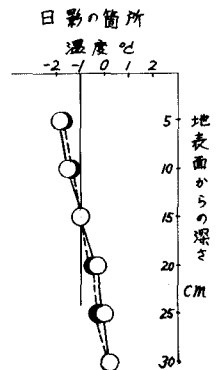


図-6 昭和36年1月15日～20日の気温(宮城県志波姫村地内)



○ ○ 8:00 の観測
● ● 13:00 の観測

図-7 図-6の測定地における地温測定結果(1月20日)