

(株) 東 石 井 正 員 戸 部 暢
同 上 櫛 田 幸 弘

1. まえがき

地盤凍結工法を施工する場合には、造成された凍土による地表面の凍上変位を予測する必要に迫られる場合が多い。この予測計算法に関して、筆者は以前に、凍上変位計算法⁽¹⁾を発表し、その後、凍土形状が長方形や円筒状のものに計算法を拡張したが、これら一連の計算法は“凍上変位が、凍土周辺に対称的に現われる”との仮定に基づくものであった。然しながら、実施工においては、凍上現象の現われる範囲が限定される場合が多くある。例をあげると、立坑の壁体又は、ケーソンの様な構造物に接して凍土を造成する場合、或いは、一般的に凍土壁を造成してゆく過程等では、凍上現象は、外側の未凍土部にのみ現われ、拘束されている内側方向には発生し難い。本計算法は、この様な場合に適用されるものである。

2. 計算における仮定条件

- (1) 解析は、三次元の問題として取扱う。
- (2) 地盤は、等方均質で微細な部分より構成され、地中の微小部分が凍結膨張した場合の地表面の隆起（以下凍上と呼ぶ）は、凍結面の進行方向に関しては前方にのみ現われ、凍結面に対して平行方向に関しては対称的に発生するものとする。
- (3) 地中で生じた凍結膨張量は、(2)の条件以外の拘束を受けず、全量が地表面に伝達される。従って地表面の隆起容積は、凍土の凍結膨張量に等しい。
- (4) 任意形状の地中の凍土塊の凍結膨張による地表面の凍上変位は、微小凍土による凍上変位を凍土塊の内部全域に渡って集計したもので表わすことができる。

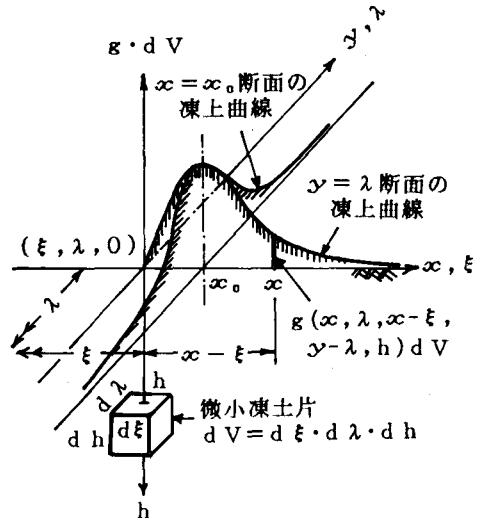


図-1

3. 凍上変位計算法

凍結面の進行方向を x 軸にとり、図-1に示す様に、座標を選定する。座標位置が、 $x = \xi$, $y = \lambda$ で地表面下 h にある微小凍土 ($dV = d\xi \times d\lambda \times dh$) による凍上変位を、 $g \cdot dV$ で表わし、この量が式(1)によって計算されるものとする、関数 g は、仮定条件の(1), (2), (3)を満足している。

$$g(x, y, x-\xi, y-\lambda, h) d\xi \cdot d\lambda \cdot dh = \frac{\beta}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{x-\xi}{a^2 b h^3} \cdot \exp\left(-\frac{x-\xi}{a h}\right) \cdot \exp\left\{-\left(\frac{y-\lambda}{b h}\right)^2\right\} d\xi \cdot d\lambda \cdot dh \quad (1)$$

式(1)で、 β は土の凍結膨張率を表わし、 a , b は定数である。式中で、 $(x-\xi) \leq 0$ のときは、 $(x-\xi) = 0$ として計算する。従って、この場合には、 $\exp\{- (x-\xi) / (a h)\} = 1$ となる（以下、式(2), (3)共に同じ）。凍土が、 $\ell_1 \sim \ell_2$, $+w \sim -w$, $h_1 \sim h_2$ の間に存在する直方形の凍土の凍上変位 $G(x, y)$ は、仮定条件(4)により、下式で計算することができる（図-2参照）。

$$G(x, y) = \frac{\beta}{\sqrt{\pi}} \int_{h_1}^{h_2} dh \int_{\ell_1}^{\ell_2} \frac{x-\xi}{(a h)^2} \cdot \exp\left(-\frac{x-\xi}{a h}\right) d\xi \int_{-w}^{+w} \frac{1}{b h} \cdot \exp\left\{-\left(\frac{y-\lambda}{b h}\right)^2\right\} d\lambda$$

$$= \frac{\beta}{2} \int_{h_1}^{h_2} \left\{ \operatorname{erf}\left(\frac{y+w}{b h}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{y-w}{b h}\right) \right\} \left\{ \left(\frac{x-l_2}{a h} + 1\right) \cdot \exp\left(-\frac{x-l_2}{a h}\right) - \left(\frac{x-l_1}{a h} + 1\right) \cdot \exp\left(-\frac{x-l_1}{a h}\right) \right\} d h \cdots (2)$$

式(2)で、 $l_1 = 0$ 、 $l_2 = l$ の場合には、下式となる。

$$G(x, y) = \frac{\beta}{2} \int_{h_1}^{h_2} \left\{ \operatorname{erf}\left(\frac{y+w}{b h}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{y-w}{b h}\right) \right\} \left\{ \left(\frac{x-l}{a h} + 1\right) \cdot \exp\left(-\frac{x-l}{a h}\right) - \left(\frac{x}{a h} + 1\right) \cdot \exp\left(-\frac{x}{a h}\right) \right\} d h \cdots (3)$$

4. 定数 a 、 b と ϕ の関係

$l = \infty$ 、 $w = \pm \infty$ にとった図-3の様なモデルを考えると、

$$G(l, 0) \Big|_{l \rightarrow \infty} = \beta h, \quad G(l, w) \Big|_{l, w \rightarrow \pm \infty} = \frac{1}{2} \beta h$$

となる。地山の凍上影響角 θ は、 $\theta = 45^\circ + \phi/2$ と考えられるので、図-4で $x (= l + S)$ 点の凍上変位を、 $i \beta h$ で表わせば、 a と ϕ の関係式として下式が得られる。

$$a = - \frac{\tan(45^\circ + \phi/2)}{\ln(i)} \cdots \cdots (4)$$

ここで、 $i = 0.01832$ にとると、 $\ln(i) = -4$ となる。同様の考え方で、 $y = \pm w$ の端面で地山を押す場合を考える。凍上境界線の地表面の凍上変位を、 $j \beta h$ で表わし、 $j = 0.01676$ とした場合には、 b の表式として下式が得られる。

$$b = \tan(45^\circ + \phi/2) \cdots \cdots (5)$$

(完)

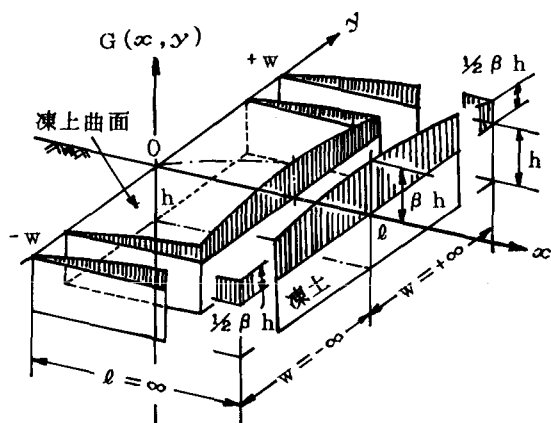


図-3

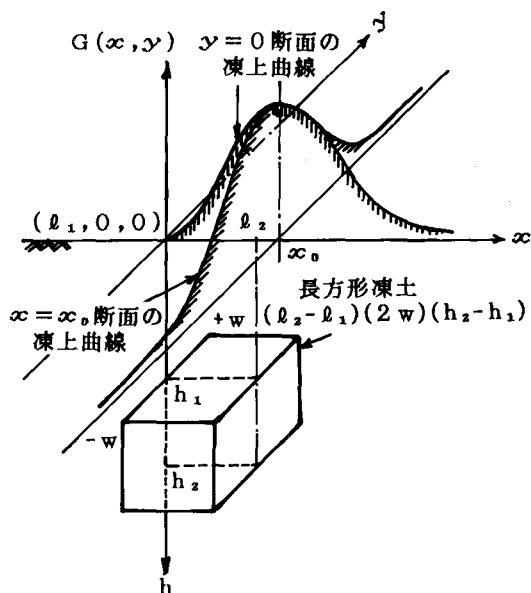


図-2

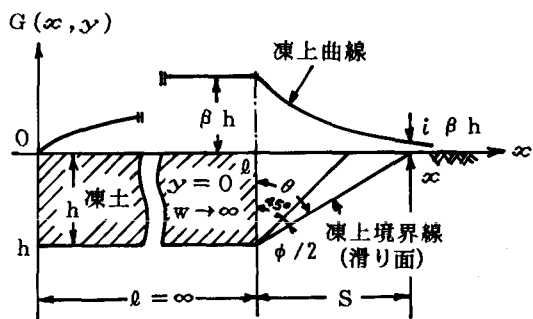


図-4

(参考論文)

(1) 高志、戸部「凍上変位計算法」昭和45年度、第25回土木学会年次学術講演会、Ⅲ-114