

清水建設(株)土木技術部 正員 山田正男

1. まえがき

半無限に広がる地盤内のLNG貯蔵用地下タンク一基の周囲地盤が凍結する場合における最大膨脹圧は、地盤の力学的性質と凍結形状(円筒, 球殻)のみに支配され、タンク寸法には無関係となる。最大膨脹圧は円筒状凍結よりも球殻状凍結のほうが大きくなり、地盤が軟弱になるほど両者の差は少なくなる。

また、タンク周囲凍結領域のすぐ外側の未凍結地盤は、すべて弾性的、あるいは弾塑性的に挙動するものとする場合におけるそれぞれの経時膨脹圧、膨脹変位を比較すれば、問題になるほどの差はみられないので、未凍結地盤は、すべて弾性的に挙動すると考えても差支えないであろうという解析と数値計算例を示した¹⁾。

上記の特性に着目して、最大膨脹圧とプレシオメーターによる地盤の降伏圧(地盤を擬似弾性的に扱う限界で流動圧ともいわれている)を比較し、両者がよく近似すれば、最大膨脹圧に対する新しい知見がえられるであろう。このような見地より、最大膨脹圧とプレシオメーターによる地盤の降伏圧の比較を試みる。

2. 最大膨脹圧の計算式

円筒状または球殻状凍結における最大膨脹圧 $P_{c,max}$, $P_{s,max}$ は、次式を示すそれぞれの2次方程式の正の根として与えられる。¹⁾

$$\text{円筒状凍結: } 2(1+\mu)P_{c,max}^2 - \{2K_0\gamma Z(1+\mu) + \xi_0 E\}P_{c,max} - \zeta E = 0 \quad \text{----- (1)}$$

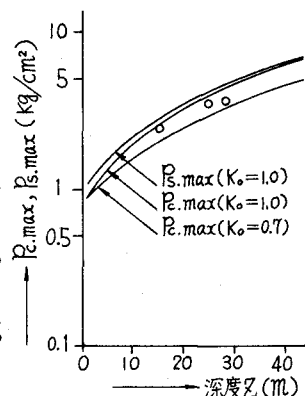
$$\text{球殻状凍結: } \frac{3}{2}(1+\mu)P_{s,max}^2 - \left\{\frac{3}{2}\gamma Z(1+\mu) + \xi_0 E\right\}P_{s,max} - \zeta E = 0 \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 ξ_0 , ζ は凍上試験定数、 μ , K_0 , γ , E はそれぞれ土のポアソン比、静止土圧係数、単位体積重量、弾性係数である。 Z は地表面からの深度である。ただし式(2)は、計算簡化のため $K_0=1.0$ の場合である。

3. 最大膨脹圧と地盤の降伏圧の比較

膨脹圧の計算値と測定値が近似することは確かめられているので、²⁾最大膨脹圧の計算値と測定値もまた近似するものと思われる。したがって、ここでは、最大膨脹圧の計算値と地盤の降伏圧を比較する。

対象地盤は軟弱土で、 $\gamma = 1600 \text{ kg/m}^3$, $E = 45 \text{ kg/cm}^2$, $K_0 = 0.7$, $\mu = 0.4$, $\xi_0 = 0.009509$, $\zeta = 0.03378 \text{ kg/cm}^2$ である。プレシオメーターは円筒状と球殻状の2種類あるが市販されているものは円筒状であるから、中央セルの直径56 mm, 長さ270 mm, 全長520 mmなる円筒状を選定した。図-1は最大膨脹圧 $P_{c,max}$, $P_{s,max}$ の深度別計算値と地盤の降伏圧 P_f の測定値(○印)を示す。図-1によれば、最大膨脹圧 $P_{c,max}$ は、地盤の降伏圧 P_f に近似するものと思われる。図-1. $P_{s,max}$, $P_{c,max}$ と P_f の比較



4. 考察

1) 凍上試験定数と最大膨脹圧の関係

図-2は K_0 を変数として、凍上試験定数と最大膨脹圧の関係を式(1)、(2)によって調べたものである。対象地盤は軟弱土と泥岩で、泥岩の土質定数として $\gamma=1900 \text{ kg/m}^3$, $E=4000 \text{ kg/cm}^2$, $\mu=0.3$, $\varepsilon_0=0.00739$ である。軟弱土、泥岩とも $Z=24 \text{ m}$ の場合である。

図-2から次のような特性が見出される。軟弱土では、この見積誤差の $P_{e.max}$, $P_{s.max}$ におよぼす影響はきわめて鈍感であり、また K_0 の見積誤差の $P_{e.max}$, $P_{s.max}$ におよぼす影響はそれほど大きくない。一方、泥岩では軟弱土とは逆に、この見積誤差の $P_{e.max}$, $P_{s.max}$ におよぼす影響は大きく、 K_0 の見積誤差の $P_{e.max}$, $P_{s.max}$ におよぼす影響もまた大きい。たとえば、過圧密比(0.C.R.) >8 の場合、 $K_0=2\sim3$ ⁴⁾といわれているので周到な K_0 の測定値が必要である。

凍上試験定数 ε_0 は、室内試験における上載荷重に無関係な土粒子まわりの吸着水の凍結によるもので、軟弱土では10⁻²、泥岩では10⁻³程度のオーダーで、特に軟弱土における ε_0 の見積誤差の $P_{e.max}$, $P_{s.max}$ におよぼす影響は、式(1)、(2)からわかるようにそれほど問題にならない。

2) 先行荷重 P_0 、地盤の降伏圧 P_f 、最大膨脹圧 $P_{e.max}$ の関係

地盤の先行荷重(圧密降伏荷重)⁵⁾ P_0 と降伏圧 P_f は図-3のようによく近似する。また、図-1より $P_{e.max}$ と P_f は近似することがわかれば、結局、円筒状凍結における最大膨脹圧は、地盤の先行荷重に近似することになる。

3) プレシオメーターの寸法が地盤の降伏圧 P_f におよぼす影響

通常用いられるプレシオメーターの中央セルの直径は56mmで、110mmはほとんど用いられていない。ここで同一地盤内で直径56、110mmのプレシオメーターによる地盤の降伏圧 $P_f(\phi 56)$, $P_f(\phi 110)$ を比較すれば、図-4(森技研)となり、降伏圧はプレシオメーターの寸法にほとんど影響されない。

5. あとがき

タンク周囲地盤の最大膨脹圧は、プレシオメーターによる地盤の降伏圧に近似する。円筒状凍結における最大膨脹圧は、地盤の先行荷重に近似する。

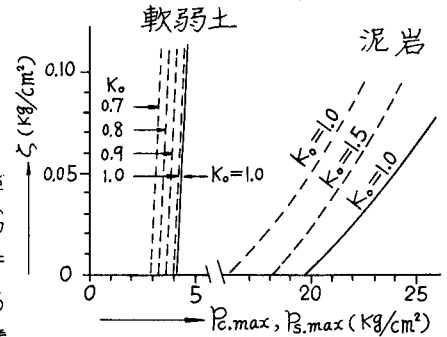


図-2. $P_{e.max}$, $P_{s.max}$ と K_0 の関係
(--- $P_{e.max}$, — $P_{s.max}$)

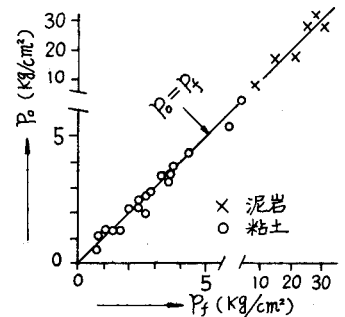


図-3 P_0 と P_f の関係

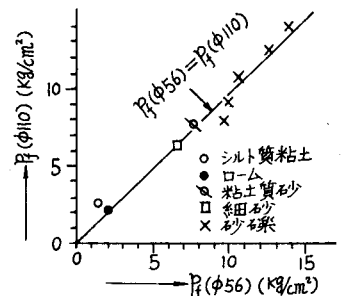


図-4 $P_f(\phi 56)$ と $P_f(\phi 110)$ の関係

- 1) 山田正男：LNG貯蔵用地下タンク周囲地盤の凍結膨脹圧と膨脹変位，土木学会に投稿中
- 2) 山田正男ほか：凍結膨脹による未凍結地盤内の土圧と変位に関する一考察，才10回土質工学研究発表会
- 3) Louis Ménard：Proc. 7th. Int. Conf. SMF E. state of the art volume P. 87. 1969
- 4) 吉見吉昭：土質力学，彰国社，P131，昭和42年
- 5) 三笠正人：圧密試験の整理法について，才19回土木学会年次学術講演会Ⅲ-7，
- 6) 土質工学会：土質調査法，P368，昭和47年