

鹿島技術研究所 正会員 田中 益弘
 東京ガス（株） 正会員 小松原 徹
 東京ガス（株） 根本 光男
 鹿島建設（株） 正会員 早川 康之

1. はじめに

LNG受入用配管シールドトンネルの発進地点は、土被り約60.0mと我が国でも最大級の深さであり、発進工事の防護工として凍結工法を採用した。凍結対象地盤は洪積粘性土であり、大きな凍結膨張圧が発生することが予想されたので、膨張圧対策工を実施し、連壁への影響を軽減すると共に、必要凍土を造成し、シールドを発進することができた。

本報文では計測データに基づいた凍結膨張圧対策工の効果について行った検討結果の概要について示す。

2. 凍結膨張圧の推定

凍結膨張圧は2次元円筒モデルによる次式の簡易算定法により推定した。¹⁾

$$Px = E / 2(1 + \nu) \cdot \xi \cdot \{1 - (b/b+x)^2\}$$

ここに、Px:凍結膨張圧 (tf/m²)

ξ :凍結膨張率(0.033)

E:未凍結地盤の変形係数(≒8000tf/m²)

b:連壁外半径(11.5m)

ν :ポアソン比(0.45)

X:凍土厚さ(4m)

なお、凍結膨張率及び変形係数は凍結対象地盤の各層(A2C, D2C, D2S)について実施した凍上試験、及び一軸圧縮試験より求めた値を凍結部に占める体積の割合で平均化したものである。

ポアソン比については陸上工区で実施したPS検層結果を参考にして決めた。

その結果、約41tf/m²の凍結膨張圧の発生が予測された。

3. 凍結膨張圧の対策工

連壁が凍結膨張圧に耐えうる許容応力度について検討を行った結果、許容応力度として30tf/m²が算定されたので、凍結膨張圧を抑える対策工が必要となった。対策工としては、凍土造成領域外周部に超高圧噴射工法により削孔径をφ600mmに拡孔することで連続溝を設けることとし、図-1に示す凍結膨張圧吸収溝とした。吸収溝の幅は凍結による膨張量が十分吸収できる幅とし、また吸収溝の範囲(深さ、周長)は凍結面で発生する膨張圧がほぼ吸収できる範囲とした。なお、吸収溝の設置は、従来凍結領域内であったが、今回は領域外とした。

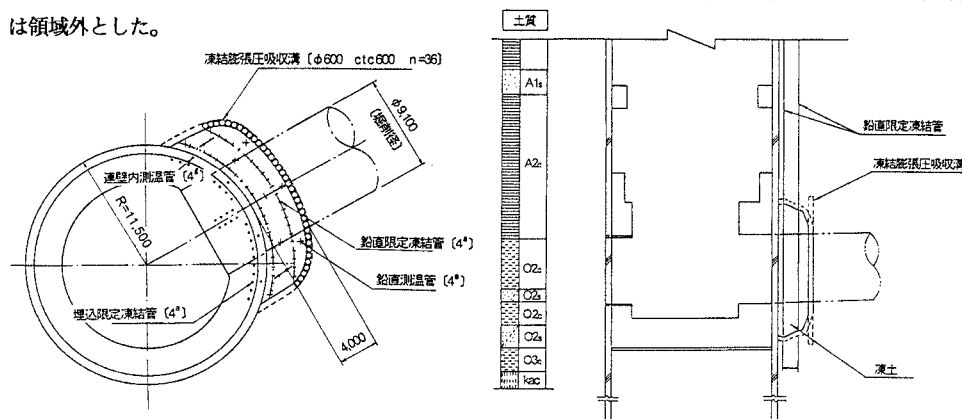


図-1 凍結膨張圧吸収溝

4. 計測結果

凍結運転中の計測としては、凍土造成状況把握のための温度と連壁健全度確認のための鉄筋応力が主体である。凍土の造成は鏡部中央に近い地盤部から外側に広がるように成長し、平均温度 -20°C の凍土壁が造成された。図-2に鏡部にあるB-B断面の中央部とその上部(凍結部上端)の鉄筋計(円周方向)について、プレクール後の本格的な凍土造成運転開始からの応力度増分の変化を示す。連壁外側の鉄筋計は圧縮を、内側は引張を示しており凍結に伴う付加圧を受けていることが分かる。まず凍結進行の早い中央部の鉄筋計の応力度は凍土の成長と共に増加($\pm 180\text{kgf/cm}^2$)するが、凍結がほぼ単管凍結から管列凍結に入り始めた凍結運転開始後5日目頃から上部の鉄筋計の応力度が増加し、逆に中央部の鉄筋応力度は低減し始めた。このことは、板状の凍土形成により剛性の高い上部(開口部の上)への応力再配分が生じたものと思われる。従って、付加圧を検討する断面としては応力度の大きい上部の断面とした。なお、付加圧の算定は引張側の鉄筋応力度に基づくため、付加圧による連壁の変形を考慮してA-A, B-B断面は内側の鉄筋計を、C-C断面は外側の鉄筋計の値を用いた。

5. 凍結膨張圧対策工の効果

凍結膨張圧を推定するための鉄筋計の応力度から算定した付加圧の経時変化を図-3に示す。なお、鉄筋計の応力度から付加圧を算定する方法は、連壁内部掘削に伴う円周方向軸力(逐次掘削解析)より算定した鉄筋計の応力度と実測値とを比較して、その実測値に見合った外圧(土・水圧)より鉄筋計の単位応力度当たりの付加圧($1\text{kgf/cm}^2 \approx 0.05 \sim 0.06\text{tf/m}^2$)を求めて換算したものである。

付加圧 P_a と凍結膨張圧 P_x の関係を厚肉円筒理論より求めると¹⁾、凍土厚さ $x=4\text{m}$ で $P_a \approx 1.09P_x$ となる。

各計測断面位置は最大作用力断面よりずれているので、ずれ角度で補正した。

図-3より付加圧は凍結進行と共に増加したが、鏡破り時でも $10 \sim 15\text{tf/m}^2$ であり、対策工により凍結膨張圧を許容値(27.5tf/m^2)以下に抑えることができた。

6. おわりに

今回は、連壁の鉄筋応力から凍結膨張圧の推定を行い対策工の効果について検討・確認した。今後は、さらにこの種の対策工の効果に対する定量的把握に努める共に対策工の合理化についても検討していく所存である。

参考文献

- 1) 土質工学会編：土の凍結—その制御と応用—、土質基礎工学ライブラリー23、pp222～224、1982

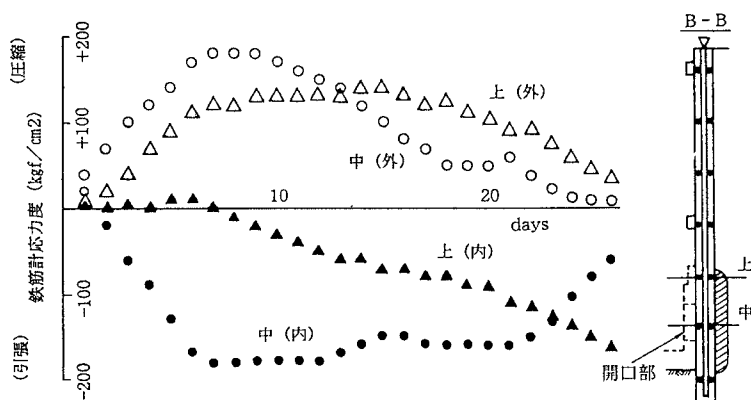


図-2 鉄筋計の応力度

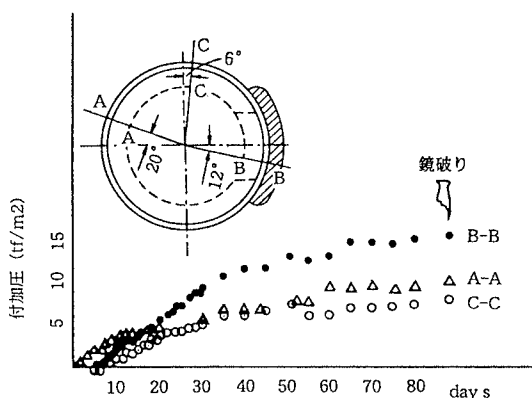


図-3 付加圧の経時変化