

VI-124 海底下での凍結工法を用いたシールドトンネル到達防護工について

鹿島建設(株) 正会員 末廣 正人
 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 村木 俊介

1. はじめに

本稿は、海上500mの沖合に設置された鋼殻オープンケーソン立坑へのシールド到達防護工について報告するものである。対象となるシールドトンネルは、LNG受入用海上バースと陸上基地を結ぶ配管用トンネルであり、外径はφ8.9mと大断面である。このシールドの到達地点は、海底面下24m（海面下41m）に位置するため、高水圧（シールド下端で4.5 kgf/cm²）が作用し、しかも無限の給水源をもつ海底下における施工のため、到達時の止水が不十分であれば、その対策が極めて困難となることが懸念された。従って、到達防護工としては、土質によらず確実な止水が行え、かつ、耐力壁としての十分な強度を有するものであることが要求され、この要求品質を十分満足し得る到達防護工として凍結工法を採用することとした。以下に、当シールド到達防護工の設計・施工概要について紹介する。

2. 地盤及び構造概要

図-1に到達地点の土質柱状図及び到達部坑口構造を示す。到達部の土質は、N値1~10の軟弱なシルト層である。また、防護工用の凍結管は、あらかじめ鋼殻ケーソン（到達立坑）に設置しておいたケーシング管をガイドとして水平ボーリングを行い、到達するシールドマシンの包み込むような円筒状の配置とした。

3. 設計概要

凍土体の強度は、凍結実験結果をもとに、以下のよう

$$\sigma_{uc} = 244 \text{ tf/m}^2$$

$$\sigma_{ub} = 0.6 \sigma_{uc} = 146 \text{ tf/m}^2$$

$$\sigma_{ut} = 0.5 \sigma_{uc} = 122 \text{ tf/cm}^2$$

ここに、

$$\begin{cases} \sigma_{uc} : \text{凍土の許容圧縮応力度} \\ \sigma_{ub} : \text{凍土の許容曲げ圧縮応力度} \\ \sigma_{ut} : \text{凍土の許容引張応力度} \end{cases}$$

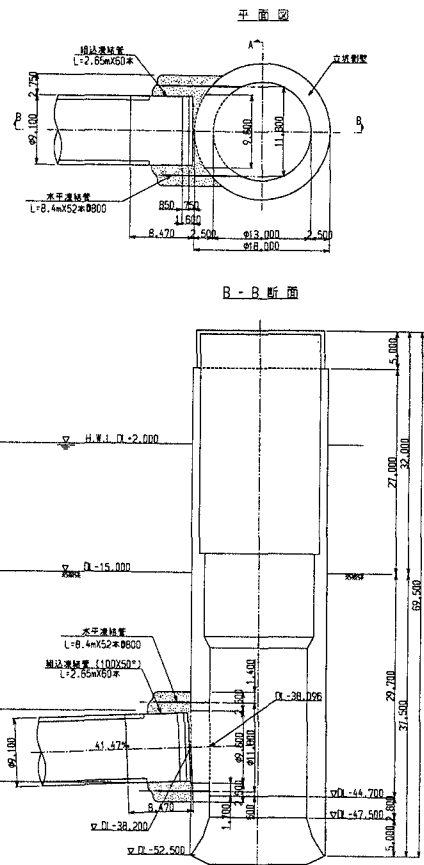
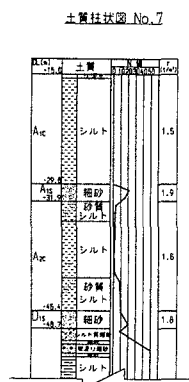


図-1 土質柱状図および到達部坑口構造図

キーワード：シールド、凍結工法、到達防護工

東京都港区赤坂 6-5-30 03-5561-2182

次に、凍土体造成厚さの算定は、許容曲げ圧縮応力度に対して安全率2.0を考慮し、以下の式により求めた。検討位置は、図-2に示すようにスパン（ ℓ ）が最も大きくなる側部断面とした。

$$t = \sqrt{\frac{2}{\sigma_{ub}} \times \frac{P \times \ell^2}{2}} = 2.37 \text{ m}$$

ここに、
 t : 必要凍土造成厚（m）
 p : 凍土にかかる荷重（土水圧）= 48 tf/m²
 ℓ : 凍土検討スパン長=4.132 m

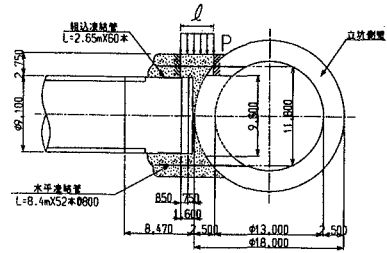


図-2 側部断面図

4. 凍土体の品質管理

凍土体の品質管理は、ケーソン側から削孔して設置した水平測温管による温度管理により行った。凍土温度データより凍土体温度分布と凍土体造成厚を求め、十分な厚さと強度を有することを確認した上で、鋼殻ケーソン坑口の鏡切りを行った。図-3に凍土体品質管理のフロー図を示す。

5. 強制解凍

本工事では、二次覆工及び坑口処理工の施工工程の関係から解凍期間の短縮化を図る必要があった。このため、ヒーターシステムを新たに開発し、90℃（通常60℃）の温水循環により約60日という短期間で解凍を完了させた。図-4にこのシステムの概略図を示す。なお、解凍時の解凍沈下を防止の為、薬液注入を同時に行った。

6. おわりに

前述した凍土体の品質管理を行うことにより、本シールドトンネルは平成8年3月無事貫通した。この時のシールドマシンの到達精度は、ケーソン坑口中心に対し、上下左右とも10mm前後と、高い精度を確保し得たことを追記しておく。

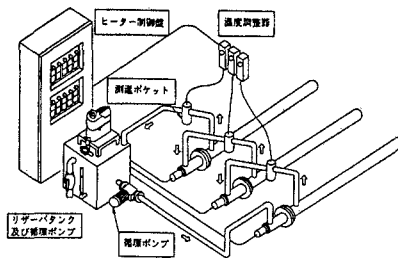
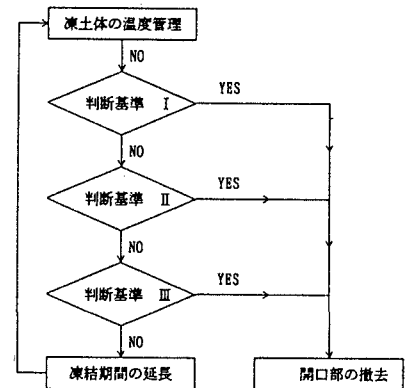


図-4 システム概念図



- ① 判断基準 I : 2.75mの凍土造成範囲において凍土体温度が全て設計温度（-13.5℃）より低くなったことを確認する。
- ② 判断基準 II : マシ外面から2.75m区間は-1.3℃以下となり、かつ、この範囲の平均値が、設計時平均温度 $\theta_{1s} = -13.5^\circ\text{C}$ 以下となっていることを確認する。
- ③ 判断基準 III : 判断時点において、造成された凍土体（-1.3℃以下）に対して、その平均温度および造成厚を求め、曲げ・せん断の応力度照査を行う。
 - i) 平均温度（ θ_{1s} ）、凍土造成厚（ t ）の算定
 - ii) 曲げ応力度、せん断応力度の算定
 - iii) 平均温度（ θ_{1s} ）に対する許容応力度（ σ_{us} 、 σ_{us} ）の設定
 - iv) 応力度照査

$$\frac{\sigma_{us}}{\sigma_s} \geq F_s = 2.0$$

$$\frac{\sigma_{us}}{\sigma_s} \geq F_s = 2.0$$
 であることを確認

図-3 品質管理フロー図

〔参考文献〕

- 1) 村木、田中、岩崎、末廣：大深度円形立坑における発達防護用凍結工の設計；第50回土木学会年次学術講演会概要集，pp.538-539,1995
- 2) 村木、末廣、小松原：海上における大深度立坑（オープンケーソン工法）の設計；第51回土木学会年次学術講演会概要集，pp.562-563,1996