

VI-269

大深度シールドトンネル発進防護用凍結工の設計

鹿島建設㈱ 土木設計本部 正会員 村木 俊介
 鹿島建設㈱ 技術研究所 正会員 田中 益弘
 東京ガス㈱ 生産技術部 正会員 岩崎 淳
 鹿島建設㈱ 土木設計本部 正会員 末廣 正人

1. はじめに

近年、シールドトンネルの大深度化が進み、高水圧下におけるシールド発進及び到達が余儀なくされている。本工事も、大深度（土被り約60.0m）・高水圧下（約7.0 kgf/cm²）におけるシールド発進となる。そこで、発進防護工として十分な強度を有し、かつ止水性の確実な凍結工法を採用した。この度シールド発進を無事完了したので、ここにその設計概要を報告する。

2. 発進防護用凍結工概要図

本工事における凍結管及び测温管の配置を図-1～3に示す。

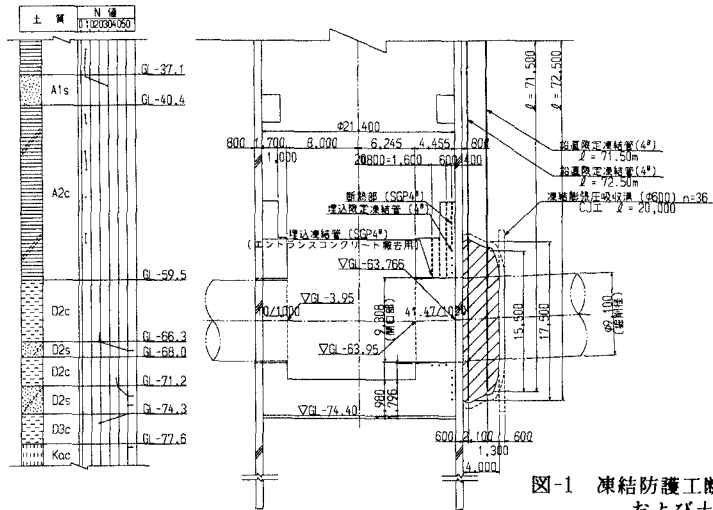


図-1 凍結防護工断面図
および土質柱状図

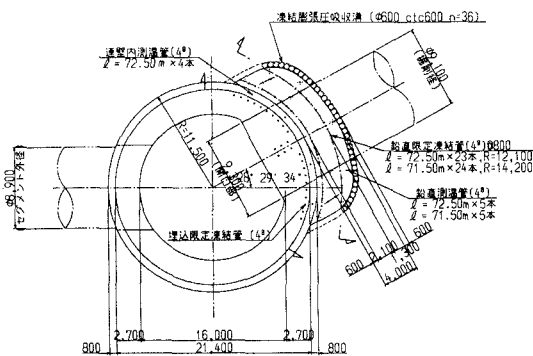


図-2 凍結防護工平面図

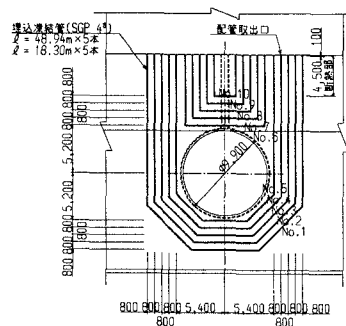


図-3 埋込み凍結管配置図

3. 発進防護工の選定

一般に、シールド発進防護に用いられる工法は、①凍結工法 ②地盤改良工法が挙げられる。このうち凍結工法は、均質な止水構造体の造成、立坑境界面の止水性確保、確実な強度の発現（土質にあまり依存しない）そして施工品質管理の容易さという優位性を有している。

本シールドは大深度・高水圧という厳しい施工条件下にあり、特に止水が不十分であった場合のリスクが非常に大きいことから、確実な止水が確保され、耐力壁として十分な強度を発揮するものであることが重要と考えられた。よって、上述の要求品質を十分に満足する凍結工法を採用するものとした。

4. 凍結対象地盤の土質条件

図-1 中に示すように、凍結対象地盤の大部分が沖積粘性土(A_{2c}層)と洪積粘性土(D_{2c}層)である。

表-1に、各土層の土性値及びサンプリングによる不攪乱試料について行った凍上・解凍試験による値を示す。

表-1 凍結工用設計土質定数

地 層	層 厚 (m)	単位体積重量 γ (tf/m ³)	弾性係数 E (kgf/cm ²)	ポアソン比 ν	凍結膨張率 η (%)
沖積粘性土層 A _{2c}	19.1	1.6	150	0.491	0.9
洪積粘性土層 D _{2c}	6.8	1.4	780	0.487	1.4
洪積砂層 D _{2s}	1.7	2.0	1200	0.475	0.7
洪積粘性土層 D _{2c}	3.2	1.4	940	0.473	1.5
洪積砂層 D _{2s}	3.1	2.0	1200	0.473	0.7

5. 造成凍土厚の算定

造成凍土厚は、平均側圧を等分布荷重とする周辺固定円盤にモデル化して必要凍土厚を算定し、これに施工誤差（凍結管施工時の鉛直精度誤差）を考慮して決定した（式-1）。凍土の強度は、不攪乱試料の凍結供試体による一軸圧縮試験によって求めた。

$$t \geq \sqrt{\frac{6 \cdot M \cdot SF}{\sigma_{ub}}} + \alpha = 4.0 \text{ m} \quad , \quad M = \frac{P \cdot a^2}{8} \quad \dots\dots \text{(式-1)}$$

ここで、

σ_{ub} : 凍土の許容曲げ応力度 (tf/m²)

SF : 安全率 = 2.0

P : 平均側圧 = 89.16 tf/m²

a : 固定円盤半径 = 4.654m

α : 深度72.5m に対する鉛直精度誤差 = 0.48m

表-2 凍結試験による許容曲げ応力度

地 層	σ_{ub} (tf/m ²)
A _{2c}	240
D _{2c}	335
D _{2s}	245

※凍土温度 T = -20℃

6. 凍結膨張圧対策

凍結対象土の凍結試験結果より、必要凍土厚造成時には過大な凍結膨張圧が作用することが懸念された。このため、対策工として図-2に示すように、凍土造成領域外周部に超高圧噴射工法による凍結膨張圧吸収溝を配置することとした。吸収溝は凍結運転前に施工し、高分子を含むベントナイト泥水により充填しておき、凍結運転開始により凍土造成範囲が徐々に拡大し吸収溝が凍結する段階においてセメントベントナイトにより置換することとした。これにより、セメント置換までに生じる凍結膨張圧を吸収する。

7. おわりに

本工事は大深度・高水圧下におけるシールドトンネル工事であり、発進時の止水性の確保が最重要課題であった。これに対し、鉛直凍結管および側壁内埋込み凍結管を併用した凍結工法を採用し、凍結運転時の計測管理を十分行うことにより無事シールド発進を完了する事ができた。