

III-402 大深度凍結遮水壁の設計、施工

大阪ガス(株) 正会員 山下 修
 大阪ガス(株) 正会員 稲田 澄夫
 (株) 鴻池組 正会員 ○小林 育夫

1. はじめに

近年、シールドトンネルの大深度化に伴い、その補助工として大深度、高水压下での凍結工法へのニーズが高まっている。今回、大阪ガスが大阪市南港において設計、施工を行なったシールド発進立坑(ニューマチックケーソン)は、深さ 52 m と大深度で、しかも透水性の良い天満砂礫層を貫通して沈設されるため、最終沈下時の理論水压が 4.8 kg/cm^2 となり、この状態で沈設作業を行なうと、潜函病の多発、ケーソン沈下荷重の不足、作業効率の低下などの問題を生じることが予想された。このため図-1 に示すとおり沖積、洪積粘土に挟まれた天満砂礫層を凍結工法によって遮水し、作業室に作用する地下水压の低減を図った。以下本文では、大深度ニューマチックケーソンの施工に重要な役割を果たした凍結工法の設計と施工について報告する。

2. 設計

(1) 凍土厚: 凍土壁は円筒リングで造成するが、これに作用する荷重は、図-1 のとおり外圧として、土圧および水压、内圧としてケーソン圧気圧 2.0 kg/cm^2 を考慮した。必要凍土厚は、水平一様リングとして計算し、天満砂礫層下端で 2.6 m となった。これに対し、造成凍土厚は、凍結管の鉛直施工精度を 1/200 とし、凍結管先端でのリング中心線からの片側ずれ 25 cm を考慮し 3.1 m とした。

(2) 凍土の強度: 凍土の強度は、土質、塩分混入度および凍結温度によって異なるため、現地盤から不攪乱資料をサンプリングし、凍結試験(図-2)を行なって、天満砂礫層の一軸圧縮強度を 50 kg/cm^2 (平均温度 -13°C) に設定した。

(3) 地下水流の影響と対策: 地下水流がある程度以上早くなると凍土壁を造成することが困難になるため、まず地下水流速調査を実施した。この方法は、中心にトレーサー(塩化リチウム)投入孔を、その同心円上に観測孔(8孔)を設け、採水によってトレーサーを確認する多孔式地下水流速調査法を採用した。測定の結果、天満砂礫層全層にわたって 1.1 m/day 以上の流速が確認された。これに対し、凍土壁を造成するための限界流速を求めると 0.4 m/day となり、このままでは凍土の造成が困難なため、凍土壁外周に薬液注入を実施し 3 m/day までの流速に対応可能な難透水性ゾーン(幅 1.0 m)を形成した。

(4) 上・下部粘土層への凍土壁根入れ長: 粘土層への凍土壁の根入れ長は①水の回り込みおよびこれに伴う凍土の融解(図-3)、②内部掘削での応力解放による洪積粘土の潜在クラックの発達(図-4)、③ヒーピングに対する安全性などについて検討を行ない、4.0 m に決定した。

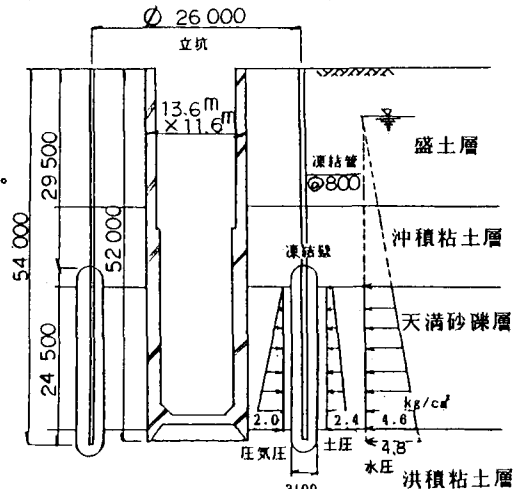


図-1 凍結工概要図

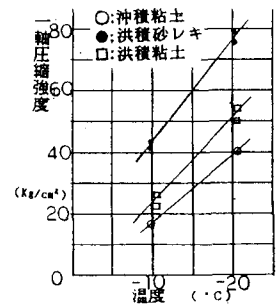


図-2 凍結試験結果



図-3 粘土層根入れ部凍土の融解

（５）凍結膨張圧による粘土地盤の受働破壊およびリ

ング凍土の応力増加： 凍土の発達につれて起こる凍結膨張圧によって、粘土層が受働破壊（図－５）を引き起こしたり、あるいはリング凍土自身の応力が増大

する場合がある。粘土地盤の受働破壊については、凍結膨張圧と受働抵抗の比較（ $F_s = 1.4$ ）、リング凍土については、凍結膨張圧・水圧が作用した場合の応力検討（沖積粘土層下端で $F_s = 1.5$ 、洪積粘土層上端で $F_s = 1.8$ ）を行ない、安全性を確認した。

３．凍土壁の造成

凍土壁は、ケーソン外周（直径 26 m）に 80 cmピッチに設置した凍結管（４インチ鋼管）内に冷媒（塩化カルシウム溶液）を循環するブライン方式により造成した。造成状況は、地中に設置した 40 本の測温管を使って地中温度を測定し、凍土面を推定することにより把握した。また、本工事においては、凍結範囲上下に粘土層があり、凍結管列の凍土が繋がると完全な閉塞状態となり、内側方向の凍土造成のため閉塞域内の水圧が上昇するという現象が起こる。そこで、この現象を利用して凍土閉塞確認を行なった。水圧の上昇は、凍結域内外の地下水位を測定することによって判定することにした。地下水位観測孔は、凍結域内に 2 本、凍結域外に 1 本設置し天満砂礫層の水位を測定した。凍結開始当初は、付近の潮位と地下水位が連動していたが、50日後より凍結域内外で異なる水位変化を示し、凍結域内の観測孔内の水位が上昇し始め、凍結開始 2ヶ月後にはオーバーフローし湧水が始った。これにより凍土による天満砂礫層の閉塞を確認した。（図－６）

ケーソンが天満砂礫層到達後、凍結域内の地下水位は、ケーソンの函内圧とバランスを保ちながら下降していった。しかし、6ヶ月後頃にはそのバランスが崩れ、刃口からエアブローが地下水に代って観測孔に充填したため、孔口部に圧力ゲージを取付け圧力監視を行なった。その結果、圧力ゲージはケーソンの函内圧を示し、凍土による天満砂礫層の閉塞が完全であることを立証した。

４．凍結工法の効果

ニューマチックケーソンの沈設補助に凍結工法を用いたことによる

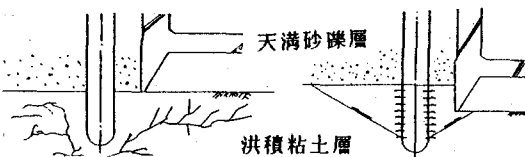
効果は、以下のとおりである。① 最大理論水圧 4.8 kg/cm^2 に対し函内圧を 2.7 kg/cm^2 程度に抑えることができ、函内作業時間の増加、作業環境の良化が得られ、沈下工程が短縮され、潜函病もまったく発生しなかった。② 函内圧減少により、揚圧力が低減され、大深度にも拘らずケーソンはスムーズに沈下した。

５．あとがき

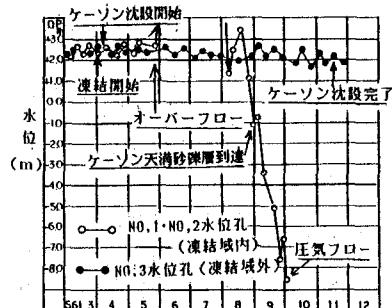
本工事は、ニューマチックケーソン工法の補助工法として凍結工法を採用した非常にまれなケースであるが、本工事を通じて得た知見はつぎのとおりである。

- ① 凍結工法は、遮水性（止水性）が非常に高く、大深度の施工も十分可能である。
- ② 土質、地下水流の影響を十分把握することにより一様な凍土を造成することが可能である。
- ③ 今回の対象土層は、大部分が砂礫層であったため、強度的にすぐれており有利な断面を形成できた。
- ④ 凍上・解凍沈下による有害な影響はまったくなかった。これは、大部分が砂礫層であったこと、および土被りが大きかったことによるものと思われる。
- ⑤ 凍土の強度および変形係数は温度に依存しているが、凍土内の温度は一様でない。したがって、今後、凍土内の温度分布と平均温度、発生応力、不均一地盤での強度のとりえ方などの設計および管理方法について研究を進めて行きたい。
- ⑥ 凍結膨張圧による地盤の挙動を計測できなかったことは残念である。今後の課題としたい。

（参考文献）高志「凍結管列の凍結結合に対する地下水流の影響について」土木学会論文報告書 第161号1969



図－４ クラックの発達 図－５ 粘土層の受働破壊



図－６ 地下水位測定図