

III-222

大口径シールド発進防護凍結工の凍結膨張圧の推定
－ 神田川・環状七号線地下調節池工事－

鹿島 正会員 原 廣 鹿島 正会員 田中 益弘
鹿島 正会員 滝本 邦彦 鹿島 ○正会員 船本 一伸

1. はじめに

神田川・環状七号線地下調節池工事は、東京都が事業者となるセグメント外径13.7mの国内最大のシールド工事であり、都市型水害の対策として、幹線街路の地下を利用する地下河川である。本工事は、外径28.2m、深さ約60mの円形立坑からシールドを発進させるために、シールド発進防護としては既往最大の土量（2,700m³）を凍結させた。この際、当初設計では影響が小さいと考えられていた凍結膨張圧が詳細土質調査に基づく事前解析の結果、予想以上に大きくなることが判明した。このため膨張圧対策工としての変位吸収孔を施すとともに、情報化施工を行って無事発進することができた。

本報文では、立坑に作用する凍結膨張圧の事前推定と凍結運転による施工時計測に基づく、凍結土圧の検討について述べる。

2. 凍結工事概要

シールド発進準備・凍結工事は平成4年1月に着手し、同年9月から掘進を開始した。

凍結は図-1に示すように、地上部からの鉛直凍結管と躯体に取り付けた埋込凍結管で行い、粘性土部は変位吸収孔を設けて躯体に対する応力緩和を図った。

造成凍土厚は、掘削下端の側圧（71 tf/m²）を荷重とした等分布荷重を受ける周辺固定の円板として必要凍土厚（4.18m）を求め、これに施工誤差等（0.32m）を考慮して $t=4.5$ mとした。

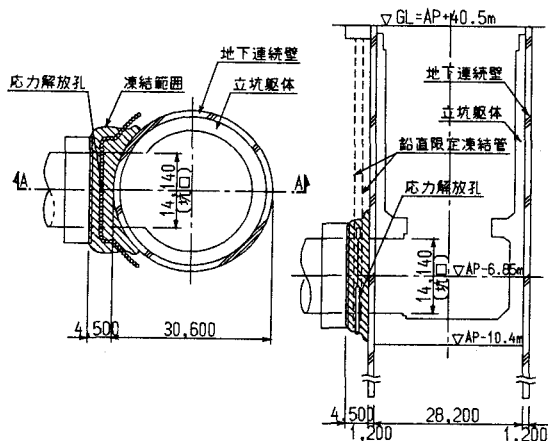


図-1 凍結一般図

3. 凍結膨張圧の事前推定

無限の拡がりを持つ等方向均質な地盤に円筒状の凍土が外側に成長していく場合の未凍結領域内の土圧については、「凍結膨張圧による未凍結領域内の土圧と変位の経時変化」¹⁾で詳述されている。本計画における凍土構造パターンのモデル化との間には差異があるため適用には多少無理が生じるが、目安としての結果を得られるので、凍結膨張圧を推定した。

この際地盤の変形係数は、表-1に示すように当初計画の3倍以上あることが判明し、凍結膨張圧はかなりの値になると推定された。ただし、凍結膨張が生じるのはD_c層（かまち梁付近とトンネル下半部の粘性土層）と考えられるため、立坑全体が受ける凍結膨張圧は凍結版全体が膨張すると考えられる慣用算定法よりは小さくなるのではないかと推定された。

表-1 凍結膨張圧の推定結果

項 目	原 計 画 (Bor.12)	平成2年8月 (立坑場所)
一軸圧縮強度 q_u (kgf/cm ²)	平均値 11.5	12.66
弾性係数 E (kgf/cm ²)	平均値 770 (原位置 K_b 試験)	2,750 (D _c 層の E_{50})
ポアソン比	平均値 0.48	0.48
凍結前静止土水圧	67.9 tf/m ²	69.6 tf/m ²
凍結後静止土水圧	101.2 tf/m ²	188.6 tf/m ²
凍結膨張圧	33.3 tf/m ²	119.0 tf/m ²
凍結後/凍結前	1.5 倍	2.7 倍

4. 凍結運転状況

凍結運転状況内容は次の通りである。

- ① 運転開始後65日目に凍土平均温度 -20°C 以下、凍土厚4.3m、安全率2以上になった。
- ② 躯体応力度の増加傾向が続いたため、運転開始後69日目に後列11本の凍結管を停止して間引き運転を行った結果、凍土平均温度は -20°C 以下、安全率2以上をほぼ満足しながら凍土成長は進んだ。
- ③ 一方、立坑躯体のコンクリートおよび鉄筋の応力度は凍土成長に伴い増加する傾向にあったが、間引き運転を行うことにより増加の程度が低減され効果が上がった。

5. 凍結土圧の検討

(1) 計測データからみる立坑の挙動

凍結荷重を推定するための計測データは、凍結荷重の大半を受け持つ構造と考えられる、かまち梁部のデータを指標とした。計測データより、立坑はトンネル開口部断面欠損により円筒剛性が低下し、凍結膨張圧の影響を受けてトンネル軸と直角方向に変形しやすい構造系へと変化したものと推定される。

(2) 凍結土圧の推定

① 検討モデルと剛性評価

解析は図-2に示す、かまち梁を含む開口上半部を平面 FEMモデルによって行い、クリープ、開口の有る円筒構造物、ひび割れ等の低下要因を考慮して剛性を設定した。

また、地盤バネ定数は連続壁設計と同じものを用いた。

② 凍結膨張圧の推定結果

凍結膨張圧の推定結果から、前述した指標の計測データに適合する凍結膨張圧を推定すると、次の範囲に収まる値となった。

- ・ $P=70 \text{ tf/m}^2$ (トンネル軸直角方向の圧縮部に適合)
- ・ $P=50 \text{ tf/m}^2$ (トンネル軸方向の曲げ引張部に適合)

(3) 推定結果の考察

上記の膨張圧を膨張の原因となる Dc 層に換算すると $P=160\sim 230 \text{ tf/m}^2$ となり、事前予測の 119 tf/m^2 に対して差が大きくなる。この原因としては、Dc 層上下の地盤の拘束により地盤バネが見掛け上大きくなったものと考えられる。また、粘性土層よりも砂礫層の方が凍土成長が早いために、砂礫層の凍土が閉塞して剛性が上がることで、さらにこの傾向が強くなることも考えられた。

(4) 変位吸収孔の効果

凍結膨張圧の低減方法としての変位吸収孔の効果については、Dc 層の地盤バネが見掛け上大きくなったという仮定のもとに地盤バネ定数を設定し、高志の式¹⁾へフィードバックして凍結膨張圧を推定した。それによると4割程度の低減効果があったものと考えられる推定結果を得た。

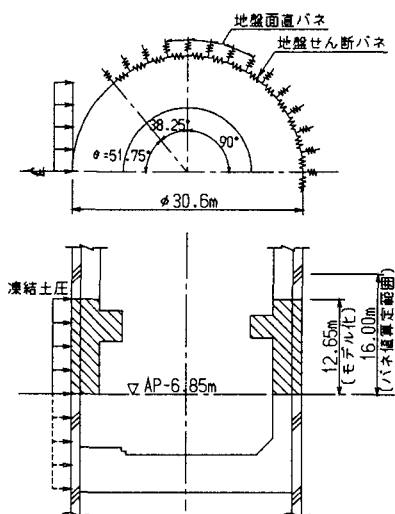


図-2 解析モデル図

6. おわりに

今回は立坑応力から凍結膨張圧の推定を行ったが、今後は精度の高い凍結膨張圧の事前推定と、対策効果に対する定量的把握方法について取り組むこととする。

参考文献

- 1) 高志勤: 土木学会論文報告集第200号, 1972年
- 2) 土と基礎: 土質工学会誌 1994年5月号
- 3) 藤の森粘土における室内実験結果: 土木学会論文報告集第315号, 1981年
- 4) Bazantの方法: PCI Journal 1980年 5~6月
- 5) コンクリート限界状態設計法試案: 昭和56年
- 6) コンクリート標準示方書設計編: 平成3年