多数のシールドルーフ導坑と凍土による大断面掘削工法の基礎検討

清水建設㈱	土木技術本部	正会員	浜口幸	-
清水建設㈱	技術研究所	フェロー会員	後藤	茂
㈱精研	技術本部	正会員	○松岡啓	次
㈱精研	技術本部	正会員	上田保	司

凍-

1. はじめに

地下空間の利用のために、大断面空間の掘削が必要とされている.この方 法として、多数のシールドルーフ導坑とその間を凍土で接合し、土留と止水 をする複合工法が考えられる(図1参照).凍土は、図2に示すように導坑内 に設置した凍結管から造成され、熱干渉によって隣接導坑と接合する.本報 では、断面全体でなく導坑間の1スパン内の凍土(図3参照)について、凍土 造成状況、掘削の影響などの熱解析を行う.また、導坑との凍着部の強度が 重要である¹⁾と考えられ、そのための力学解析を行い基礎的な検討をする.

2. 検討条件及びモデル

対象地盤は一様な砂層とし,深度は約50m程度(凍土にかかる荷重:1MN/m²), 導坑径3m,導坑中心間距離5mと仮定する.

熱解析は2次元の差分法で行い,使用する主な定数を表1に示す.凍土の力学 解析は、2次元の弾性FEM解析とし,凍土,導坑セグメント等の材料定数を表2 に示す.凍土の弾性係数は温度に依存し,セグメントはビーム要素とした. 導坑は支保工などにより支持されていると仮定する.図3のように,凍土は凍土 中心線(X=2.5m)に対して左右対称で,解析モデルは左半分(X=0~2.5m)とする. 支持条件は,導坑中心線と凍土中心線でX方向を拘束,導坑下部の0.5m範囲の Y方向を拘束とする.導坑下部の支保工のための掘削余掘は0.5m,掘削は瞬時と 考え,掘削面には断熱材を取付ける.尚,熱及び力学解析に用いた要素は同一で ある.従来の凍結工法の安全率を考慮したスパン5m,温度-10℃の両端固定の凍 土梁の強度解析から,凍土の必要厚は約3mと試算される.この凍土厚を造成す るには120日の凍結期間が必要である.これらの値を前提として検討を進める.

表2 主な材料定数

表1 主な熱定数

凍結管	125A		/	弾性係数(MN/m ²)	ポアソン比
冷却温度	−25°C	+1	h船	200~10000	0.2
地盤の体積含水率	$0.4m^3/m^3$	비		$(0 \sim -25^{\circ} C)$	0.5
初期地盤温度	18°C	モル	レタル	3000	0.2
掘削時坑内温度	30°C	セク	゛メント	2. 1×10^5	0.3

3. 熱的検討結果

凍結開始120日時点で,瞬時に掘削して掘削面からの加熱 を考慮した場合と掘削しない場合の凍土厚経時変化を図4a) に示す.また,それぞれの場合の凍着面平均温度経時変化を 図4b)に示す.図3に示すように,凍土厚及び凍着面位置は 凍土中心線(X=2.5m)及び導坑表面である.凍結開始約60日

キーワード: シールドルーフ導坑,凍土,大断面空間掘削,熱解析,FEM弾性解析 連絡先 : 〒542-0066 大阪市中央区瓦屋町2丁目11番16号 (株)精研 技術本部 TEL.06-6768-5031

-ルドルーフ導坑(**ℴ=3m)**

 $(\Gamma$



60

▼掘削余堀



後に X=2.5m 断面に凍土が造成され,隣接凍土と接合す る. その後凍土厚は増加し,掘削開始時点で4m弱とな る. この時点で掘削を開始し,掘削余堀や掘削面の解凍 により凍土厚は減少するが,前提とした必要厚約3mを 満たしている. その後凍土厚は徐々に増加する.凍着面 平均温度は,掘削面に断熱材を取付けているにも拘わら ず,掘削面からの加熱の影響を受けて10日間程度は温 度上昇するが,その後再び降下する.掘削の影響を考慮 しても,凍着面平均温度は-10℃以下に維持できる.

最も掘削部の影響を受けた時点の凍土内温度のコンタ 線を図5に示す.図5から,凍結管Aは掘削後の凍土の

2℃ 凍土厚 掘削 5 E 0° C 4 凍土厚 $\frac{3}{2}$ 7z1 7°C 凍着面平均温度 0 (\mathbf{O}) -10℃ -15℃ -5 廀 頭-10 5℃ 凍結管A ☆-15 2° 60 90 120 150 180 30 凍結日数 0.5m 2°C 図6 凍結管本数による凍 図5 凍土内温度のコ 土厚及び凍着面平均温度 ンタ線(掘削10日後) の経時変化の比較

冷却に効果が少ないと推測される.そこで,凍結管 A を除いて 7 本とした場合を 8 本の場合と比較して図 6 に示す.凍土厚及び掘削後の凍着温度は殆ど変わらない.このことから,凍結管の減数が可能であると云える.

4. 力学的検討結果

図5の温度分布の状態における凍土内の 主応力分布を図7a)に示す.凍土内応力は 圧縮応力が顕著で,一部に引張応力が生じ ているが,圧縮に比べ1/10以下である. また,掘削側に近づくほど発生応力が小さ いことがわかる.図7a)に示す導坑表面の 凍着面温度分布を図7b)に示す.導坑の上 半部の範囲では,凍着温度はほぼ一定で -10℃以下であるが,下半部では,掘削面 からの加熱の影響により凍着温度は高い. 凍着面の円周方向の凍着面せん断応力及び 温度に依存する凍着強度を図7c)に示す.





凍着面せん断応力は、導坑のスプリングライン付近で最大となるが、破線で示す凍着強度実験値²⁾よりも小さい. さらに凍着面への垂直応力 σ_n による強度増加効果³⁾を考慮すると、凍着強度は実線で示す値まで増加する. 凍着面の安全性を評価するため、凍着強度を凍着面せん断応力で除した安全率を図7d)に示す. σ_n を考慮しない場合の凍着安全率の平均値は2.2 であり、凍着面の安全性は確保できる. σ_n を考慮すると、凍着安全率は3.3 となり、さらに凍着面の安全性を見込むことができる.

5. おわりに

多数のシールドルーフ導坑と凍土で接合して大断面を掘削する工法の基礎的な検討結果を以下に示す.

(1)凍着面では、平均温度は-10℃以下、凍着安全率の平均値は3.3となり、凍着面の安全性は確保できる.

(2) 凍土内の発生応力は、掘削面に近づくほど小さくなる.

(3) 導坑内に設置した凍結管により,120日程度の凍結期間で約3m厚みの凍土造成が可能である.具体的設計 に際しては,掘削側の凍結管を1本減らすことも可能である.

今後は、凍結管配置や本数による最適な凍土造成、大断面全体の導坑と凍土の応力解析を行い、この工法の 安全性を把握したい.

 参考文献 1)上田他(2005):現場規模モデルにおける鋼管間止水凍土の力学的管理箇所の把握,第40回地盤工学研究発表会投稿中.2)森内他(2003):凍着切れ時の歪に及ぼす温度の影響,雪氷予稿集 p. 186.3)上田他(2004): 凍着面への垂直応力が凍土の凍着せん断強度に及ぼす影響,雪氷, Vol. 66, No. 2, p. 197~205.