

凍結工法を併用した換気所ダクト接続工事（その1）－補助工法の検討－

東京都第二建設事務所 品川線建設事務所 水谷正史 石塚洋一（現 都市整備局） 信貴敬三
 熊谷・京急建設共同企業体 正会員 ○山田真大
 (株)熊谷組 土木事業本部 正会員 緒方明彦 増澤伸司 正会員 片山政弘

1. はじめに

近年、山岳工法における補助工法の新技術、高精度な影響予測解析技術の進化により都市NATMの実績が増えてきた。今回、首都高速中央環状品川線と路線途中にある換気所を接続する本工事のダクトトンネルの施工法として都市NATMが採用されたが、追加地質調査の結果、高水頭でトンネル掘削切羽の不安定化が予想されることや、地表面沈下が懸念されたことで補助工法が必要と考えた。工程、コスト等の比較検討の結果、凍結工法を主体とした地盤改良が優位と判断した。ここでは、追加地質調査に基づいた凍結工法採用までの経緯を報告する。

2. 工事概要

本工事箇所である中央環状品川線は、中央環状線（全長約47km）の南側部分に位置し、高速湾岸線から分岐したのち、目黒川及び環状6号（山手通り）の地下空間をシールドトンネルで北上し、中央環状新宿線及び高速3号渋谷線に接続する路線である。本工事は本線シールドトンネルと中目黒換気所とを結ぶ4本の横坑トンネル（換気ダクト、避難通路）、7箇所の鉛直ダクト（シャフト）を構築する工事である。工事概要を表-1、図-1に示す。

表-1 工事概要

工事件名	中央環状品川線中目黒換気所ダクト接続工事-2	
発注者	東京都	
施工者	熊谷・京急建設共同企業体	
工事場所	東京都目黒区中目黒一丁目地内	
工事概要	<ul style="list-style-type: none"> ・水平ダクト（横坑）工：内径φ5,000～5,700 L=26.9m～36.6m 4箇所（機械掘削での全断面NATM） ・鉛直ダクト（シャフト）工：□-3,350*3,600～5,550*7,400 7箇所（延長32.3m） 	
	避難連絡通路工	1式
	本線セグメント接続工	1式
	本線セグメント撤去工	1式
	仮設工	1式
	計測工（シールドトンネル内）	1式

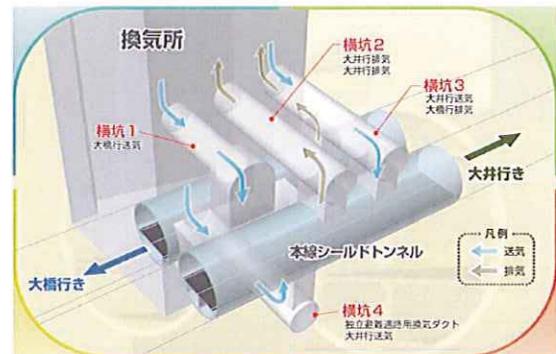


図-1 中目黒換気所ダクト接続工事鳥瞰図

3. 追加地質調査

本工事箇所周辺の地質は、洪積層の上総層群とその上位の埋土で構成される。掘削対象である上総層群は泥岩と砂層、またはこれらの互層で構成されている。一般に、洪積層の砂層を対象としたトンネル工事では、湧水とともに流砂が発生する場合がある。本工事にて流砂を発生させると、切羽の不安定化、地下水位低下による地表面沈下の影響が考えられた。

このような地質に関するリスクに対し、追加地質調査を実施することで、掘削対象地山の地質構成、砂の性状、地下水位などを詳細に把握した。その結果、上段3本のトンネルのS.L.から天端にかけて厚く砂層が分布し、地下水位も高いことが判明した。更にこれら砂層の粒度分布、均等係数 ($U_c \leq 4$) から、流砂現象を発生しやすい地山であること、また、S.L.より下半に分布する泥岩層においても、一軸圧縮強度が小さく、地山強度比が $G_n = 3.5$ となることで、地山の押し出しが懸念された¹⁾（表-2）。

4. 補助工法の選定

補助工法の採用にあたっては、トンネル切羽や鉛直ダクト掘削での地下水流入を極力抑制することを目的として、確実性、現実性、工程などの観点から、地盤改良主体の工法比較を行った（表-3）。

キーワード：凍結工法、都市NATM、流砂現象

〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1 TEL 03-3235-8622 FAX 03-3266-8525

表-2 追加地質調査(室内試験)結果

		当初地質調査結果	追加地質調査結果
土層区分	—		大きな変化はない。
水平ボーリング湧水			Kcs2層から ボーリング施工時最大100ℓ/min その後、恒常的に50~60ℓ/min 湧出 湧水圧力は 0.24MPa。
透水性	Kcs2層	TP-15.0付近 : トンネルの上部 5.19×10 ⁻³ ~1.15×10 ⁻³ cm/sec	TP-19.0付近 : トンネル断面の上部 1.52×10 ⁻³ ~1.90×10 ⁻³ cm/sec
	Kc3層	なし	TP-26.5付近 : 本線シールドの上部 5.95×10 ⁻⁴ ~1.32×10 ⁻³ cm/sec
湧水圧	Kcs2層	GL-4.58 ~ -2.10m	GL-9.57 ~ -6.68m
	Kc3層		GL-2.40 ~ -2.03m
粒度分布		Ks層として均等係数U _c =9(平均値)	Kcs2層は、殆どの試験値が均等係数U _c ≤4となる。
一軸圧縮強度 (地山強度比)		Kc2~Kc4の泥岩に対して 2760~3180kN/m ² 泥岩層は一様にqu=2400kN/m ² γ _t =21.0kN/m ³ を想定 地山強度比 G _n =5.0	泥岩層 qu=1500kN/m ² γ _t =19.0kN/m ³ 程度 地山強度比 G _n =3.5
三軸圧縮強度 (C, φ)およびE		泥岩 φ=1.2~6.1° c=1260~1600kN/m ² Ks層 φ=30°(平均値) c=134kN/m ² (平均値) E50=99.6MN/m ² (平均値)	Kcs2層の砂層 φ=30.7~37.4° 内部摩擦角 φ=30.7~37.4° 粘着力 c=55.8~201.4kN/m ² 変形係数 E50=47.4~84.1MN/m ²

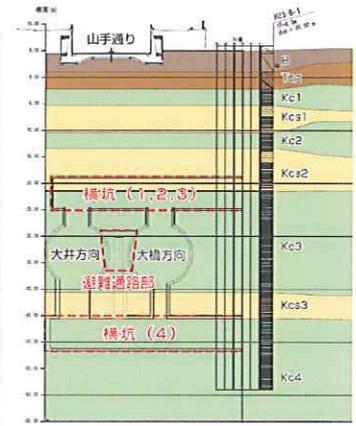


図-2 地質断面図

薬液注入(ダブルパッカー工法)主体では施工範囲の制限から施工が困難となり、また、削孔長が増大となることで工程的に不利と考えた。本トンネルでは工程短縮を図るにはシールド坑内からの補助工法が避けられないことから、トンネルに蓋をするような凍結工範囲を設けることで、上半の砂層からの地下水流入は防げるものと考えた。また、凍結施工基地の防護は、薬液注入と高圧噴射攪拌工法が考えられたが、高圧噴射攪拌工法は砂層と泥岩の互層に対し止水改良の品質を確保できないと考え不採用とした。これらの検討から補助工法はダブルパッカを併用した凍結工法とした(図-3)。

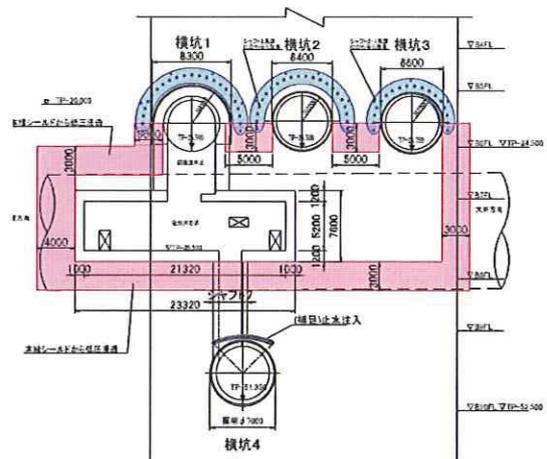


図-3 補助工配置概要図

表-3 補助工法比較表

概要	・掘削範囲全体を地上から薬液注入工法 ・地上からの掘削範囲は幹線道路も含まれる	・凍結施工基地の防護は地上から薬液注入工法 ・上部横坑の砂質地盤補強は拉幅トンネル施工基地から凍結工法	・凍結施工基地の防護は地上から高圧噴射攪拌工法 ・上部横坑の砂質地盤補強は拉幅トンネル施工基地から凍結工法
補助工法の対象 施工場所・工法	地上から ダブルパッカー工法	地上から ダブルパッカー工法 横坑内の基地から 凍結工法	地上から 高圧噴射攪拌工法 横坑内の基地から 凍結工法
概略施工図			
長所	・注入により良好な注入効果を得られる方法である。	・工程的に有利な凍結工法である。 ・種々な注入効果、防護品質を得られる工法である	・工程的に有利な凍結工法である。 ・種々な改良効果、防護品質を得られる工法である
短所	・一般車道からの施工について路上工事となる。 ・夜間施工となるため工期に影響する。	・凍結施工基地として拉幅断面のトンネルが必要。	・凍結施工基地として拉幅断面のトンネルが必要。 ・高圧噴射施工場所での砂泥処理方法に困難あり。
問題点・課題	・路上工事に伴う企業者協議、埋設物調査。	・凍結施工基地としての拉幅断面トンネルの仕様。	・凍結施工基地としての拉幅断面トンネルの仕様。 ・高圧噴射攪拌工における砂泥処理方法。
概算直接工事費 (対比)	0.7	1.0	1.2
概算工期 (対比)	2.2	1.0	1.0
評価	・地上からの掘削量が多いため工期短縮を図れない。 ・砂層と介在する泥岩層への改良効果の確実性は高い。	・地上からのダブルパッカー注入、止水性の高い凍結工を併用。 ・確実性が高い。	・高圧噴射攪拌工では、致在する泥岩層に対して改良体が不確実。 ・主目的である止水性が確保できない可能性が大きい。

5. まとめ

- 1) 本工事では地質調査の結果、流砂現象に伴う切羽の不安定化と地表面沈下が懸念された。
- 2) 現場の状況、工程やコストを比較し、最適な工法(ダブルパッカ併用凍結工法)を選定することができた。
- 3) 施工の詳細は続報で報告するが、現在、横坑掘削が問題なく完了し鉛直ダクトを施工中である。今後も計測工を実施しながら慎重に施工を進める所存である。

【参考文献】

- 1) トンネル標準示方書(山岳工法)同解説 p36-p37 : 土木学会(2006)