

大口径推進工事における施工性を考慮した設計と計画について

推進工事の設計・計画、施工及び実績

東急建設(株) 正会員 ○笠谷 政仁

東急建設(株) 保広 将尚

池田 隆義

栗田 洋伸

1. はじめに

本現場は北海道電力株式会社発注の洞道新設工事であり、変電所老朽化に伴い、約 350m 離れた敷地に再設される新変電所間を結ぶφ3000mm の洞道を推進するものである。当現場は札幌市を流れる豊平川付近で地下 5m 以下については粘性土混じり砂質礫層に分類され、最大礫径 30cm の巨礫も点在する地盤である。

今回の設計は推進工事における巨礫への対応が課題であった。本論文では、巨礫対応型掘進機の選定および施工性を考慮した設計とその施工計画について述べる。

2. 工事概要

工事名称： 札幌中央 SS 引出口変更のうち送電洞道工事(設計施工案件)

発注者： 北海道電力株式会社

設計施工： 北海・東急共同企業体 (60 : 40)

工事場所： 札幌市中央区大通東 1 丁目～4 丁目

工期： 平成 25 年 7 月 29 日～平成 27 年 3 月 13 日

工事内容： φ3000 泥水式推進工 (外径 φ3500、推進延長 L=339m)

立坑築造 (発進 H=8.45m、中間 H=13.32m、到達 H=14.53m)

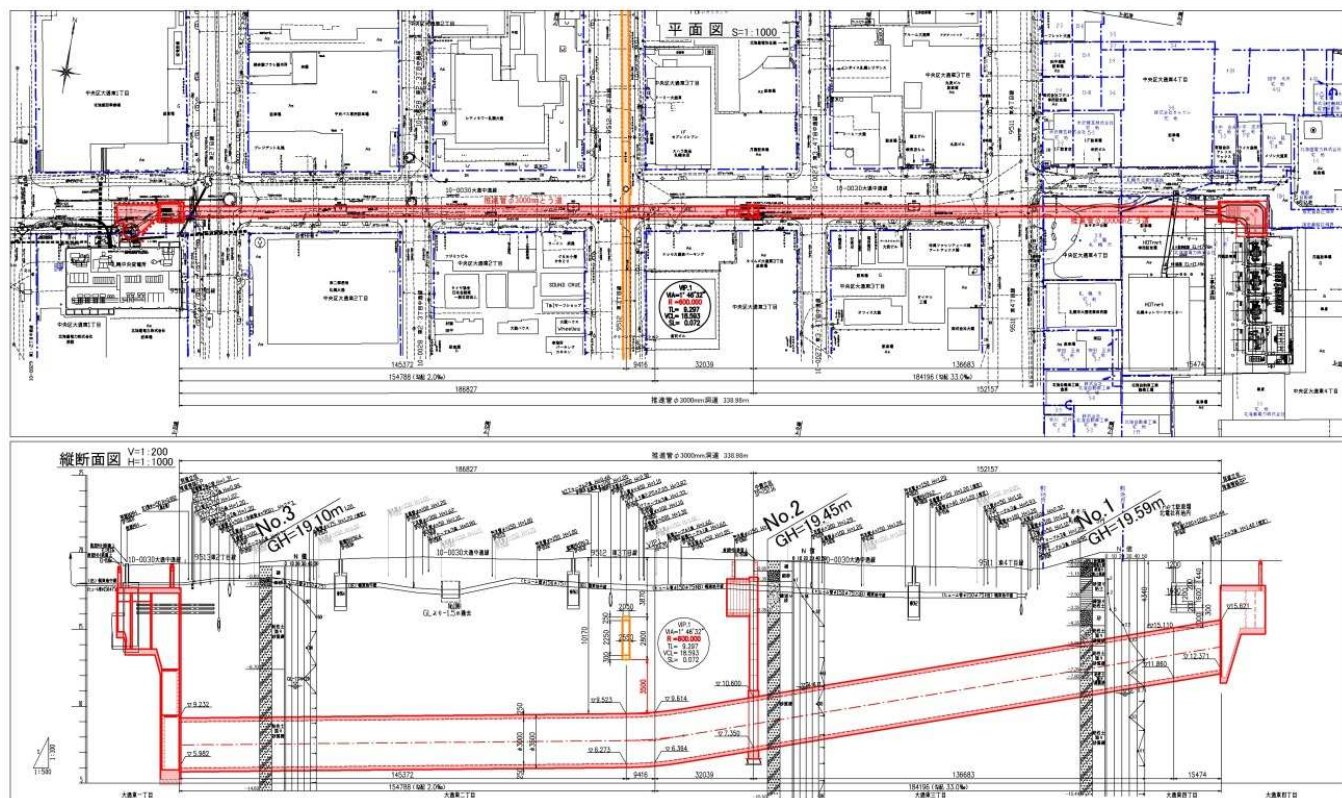


図1 推進平面・縦断面図

キーワード：大口径推進、泥水式、巨礫層、礫率

連絡先：笠谷 政仁 東急建設(株) 土木本部土木技術設計部 TEL : 03-5466-5818 FAX:03-5466-6058

今回の工事の設計においてコントロールポイントとなったのが、中間立坑より約 40m 付近の横断道路下に NTT 洞道があり、3.5m (1D) の隔離を確保するよう設計を行った(影響検討の結果、鉛直変位-1.4mm)。発進立坑で 4.0m と低土被りで、3.3% の勾配で下り、中間立坑を越えた NTT 洞道付近で縦断曲線 (R=600m) にて 0.2% 勾配へと変化する。事前のボーリング調査は各立坑付近 (3 箇所) にて行われており、掘進する主な土質層は粘性土混じりの砂礫層である。札幌市街地は定山溪から流れる豊平川の氾濫域であり、地下 5m 以下につい

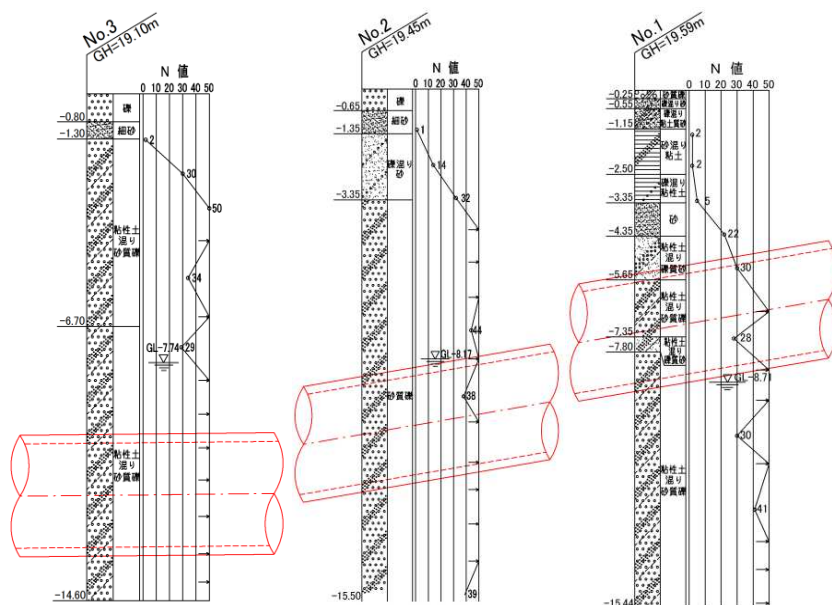


図 2 土質柱状図

ては最大礫径 30cm の玉石の多い地層である。また、地下水位が地下 8m と低く、発進立坑では無水層で、中間立坑に向かって徐々に地下水位下へと掘進していき、中間立坑付近から有水層へと変化していく推進工事である。なお、中間立坑は推進工事における掘進機のビットの磨耗を考慮して、ビットを交換するためと、立坑部にマンホールを築造することを目的として設計した。

3. 設計上の課題

3.1 掘進不能のリスク回避

巨礫・玉石層を掘進するに当たり、ビットの磨耗及び破損による掘進不能のリスクを回避しなければならない。

3.2 掘進機の選定

本工事で採用した掘進機を図 3 に示す。

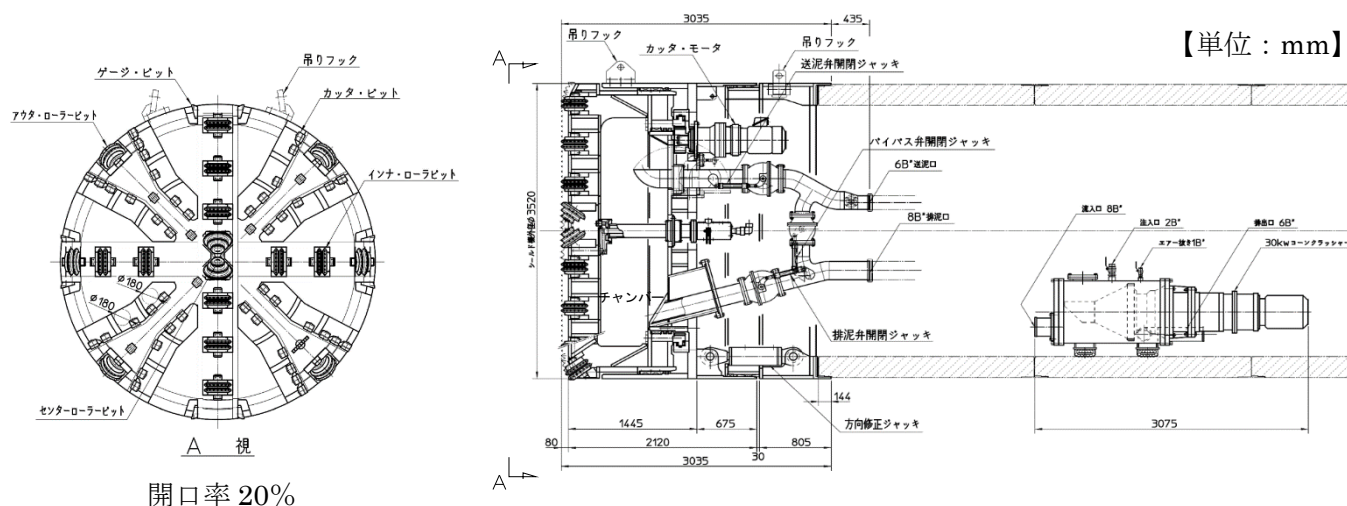


図 3 掘進機

φ 3000 泥水式掘進機の面盤にて礫を 1 次破碎し、図 3 に表記するチャンバー内に取り込み、内部の 2 次破碎機 (コーンクラッシャー) にて礫を破碎し、小さくして排泥管にて流体輸送を行う工法を採用した。これにより、掘進機の製作費を約半分に抑えることができた。

3.3 設計上の対策

ビット交換用の中間立坑を設置し、ビットの磨耗や破損に伴う掘進不能を回避した。チャンバーから2次破碎機までの排泥管は還流能力を考慮し、 $\phi 200$ で設計したが、管を通過できない大きな礫を取り込んでしまうと閉塞を起こすおそれがあった。そのためチャンバー内へ取り込む礫径を制限するため面盤の開口形状を $\phi 180$ 以下とし、礫の取り込みを制限した。また、図2の土質柱状図(No.2, No.3)より、推進距離の大半が粘性土混じりであることから開口率を20%とした。粘性土が絡むと面盤の開口を塞いで閉塞を起こすことも考えての選択であった。



写真1 発進前の掘進機全景

4. 施工上の課題

4.1 概要と原因

掘進開始後 1.0m も進まぬうちに閉塞が起こり、掘進不能となった。土砂の取り込みが多く、閉塞し還流できない状態であったため、やむなく掘進機の引抜きを行うこととした。幸い掘進距離も 0.6m 程で地盤改良範囲内であったため、掘進機を油圧ジャッキで引抜き、薬液にて空洞充填を行った。

引抜き後の掘進機のチャンバー内は写真2のような面盤の開口形状からは想定できないような大きな礫を取り込んでおり、2次破碎機への取り込み口で溜まり閉塞を起こしていたことが容易に想像できた。元々、面盤部からの取り込みは $\phi 200$ 以下の礫として面板の開口形状を計画していたが、それ以上の扁平な形の玉石を取り込んでしまっていた。

原因として、①扁平な礫は面板の開口をうまく擦り抜け取り込んでしまったこと。②発進立坑付近は地下水位より上であり、地山に空隙の多い礫質土で泥水式推進工法の特徴である泥水圧と土圧でのバランスをとることが難しかったことが挙げられる。実際に長径 30cm ほどの礫がチャンバー内に存在していた。(写真3)



写真2 引抜き後のチャンバー内



写真3 チャンバー内の礫

4.2 トラブル対応

チャンバー内への礫の取り込みが多かったため、取り込みを制限するよう面盤の開口部を小さくした。(写真 4) 開口部を小さくすることは前述したとおり、粘性土への対応に懸念があるため、開口率は粘性土への最低限対応可能な **10%**とした。開口形状については、実際に現地にて実開口寸法を測りながら、 $\phi 100$ 以上の礫が入らないように、小型カッタービットをはめ込む等の制限を設けた(図 4)。また、万が一巨礫を取り込んだ場合にも管口が塞がるのを防止するため、チャンバー内には攪拌翼を4箇所設置し、チャンバーから2次破砕機の間には礫取箱を設け定期的に礫の除去を行えるようにした。

掘進不能になってから、原因究明、対応方法の検討も含め、掘進機の引抜き～改良～再発進まで約1ヶ月間を要することになった。

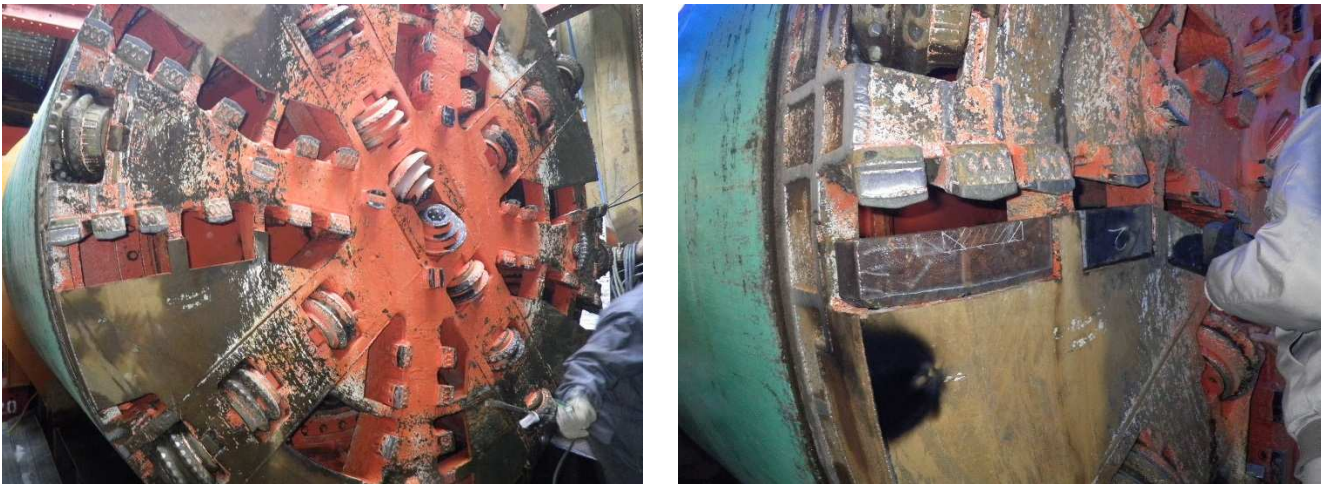


写真 4 開口変更前後

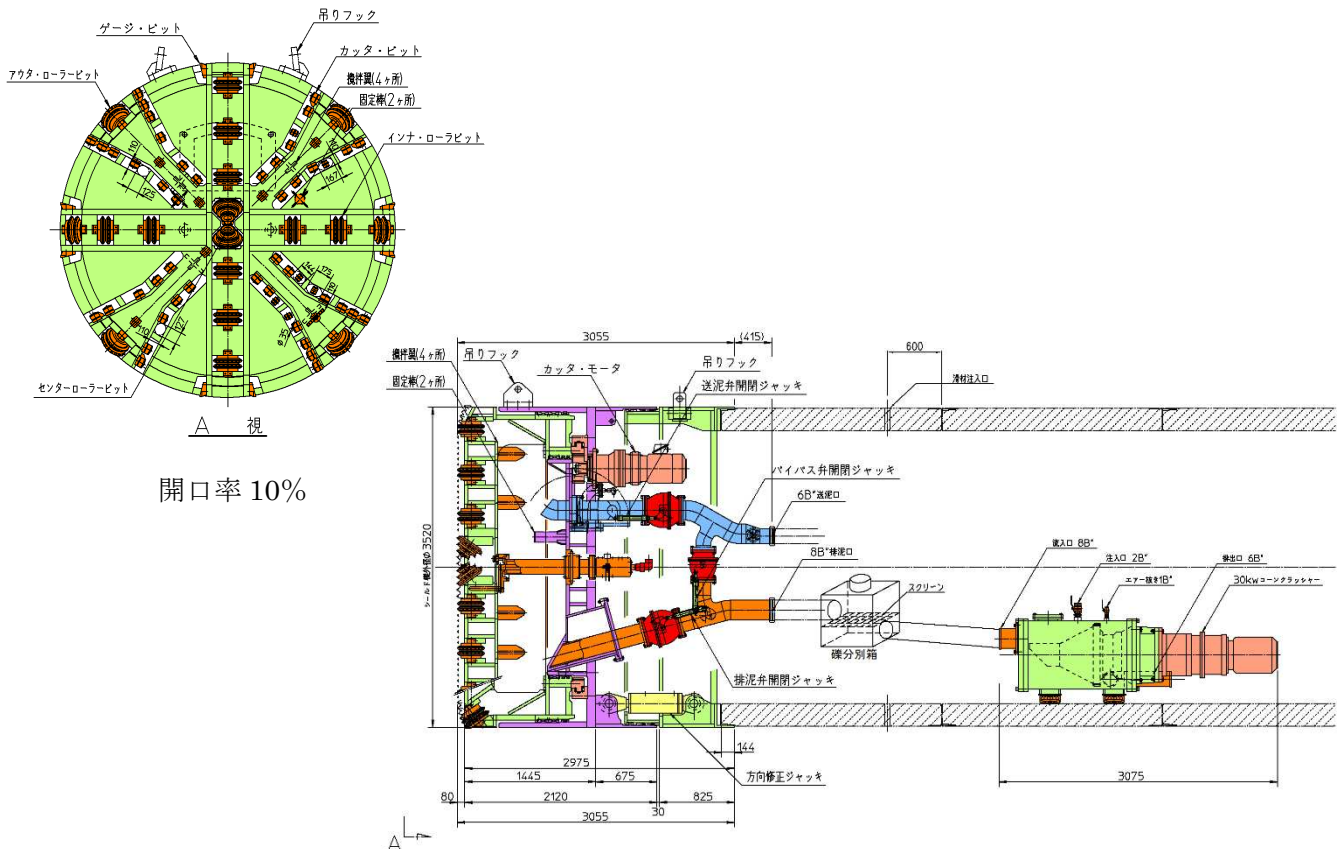


図 4 改良後の掘進機

4.3 対応後の経過

礫の大きさと面盤の開口の大ききのバランスが良くなったため、その後は順調に掘進ができた。幸いなことに、懸念していた粘性土も土質柱状図から想定していたよりも少なく、粘性土による閉塞は皆無であった。ただ、面盤のビットおよび2次破碎機での負担は予想以上に大きく、面盤のメンテナンスの意味合いもあった中間立坑に到達した際、当初は、4mm程度を想定していたが実際には7～8mmとビットの磨耗は激しかった。磨耗したビットについては中間立坑にて交換作業を行った。結果的には、将来マンホールができるために築造した中間立坑が推進機にとって大きな役割を果たした。また、2次破碎機の磨耗も激しく、そのメンテナンスのため数日間推進を止めることもあった。2次破碎機に関しては、推進外径φ3500の土量をφ600のコーンクラッシャーで破碎処理をしていたことを考えるとその負担は大きいことは容易に考えられるが、還流設備（送排泥ポンプ）の能力アップや設備の大型化をする必要があり今回は定期的なメンテナンス・修理を行うことで対応した。



写真5 ビット磨耗状況

4.4 推進実績

掘進開始直後に面盤の改良に1ヶ月要し、推進開始が遅れた。その後も中間立坑到達までは、勾配による地層の変化、地下水位の変化もあり、泥水にて切羽の安定を保つことが難しく安定した掘進ができなかったことがあったが、中間立坑を過ぎると、単一な地層ということもあり、安定した掘進ができ、昼夜間で施工することにより推進到達はほぼ予定通りであった（図5）。

参考までに推進実績を以下に示す。

当初の計画では、余剰泥水処理を1300t見込んでいたが、結果的には220tに留まった。これは無水層での推進時に作泥した泥水の戻りが少なかったことが主な原因として挙げられる。

推進力についても計画推進力の6割程度であった。推力が小さく施工できたのは管周混合推進工法によるところも大きいですが、土質柱状図から想定されたほど粘性土分が多くなかったため、推力が小さく、余剰泥水も少なく推進できたとも言える。また、残土量はほぼ計画どおりであったことから考えると、礫の比率が多かったことが推測される。これらのことから今回の面盤改良は当現場の地盤状態に適応していたことがわかる。

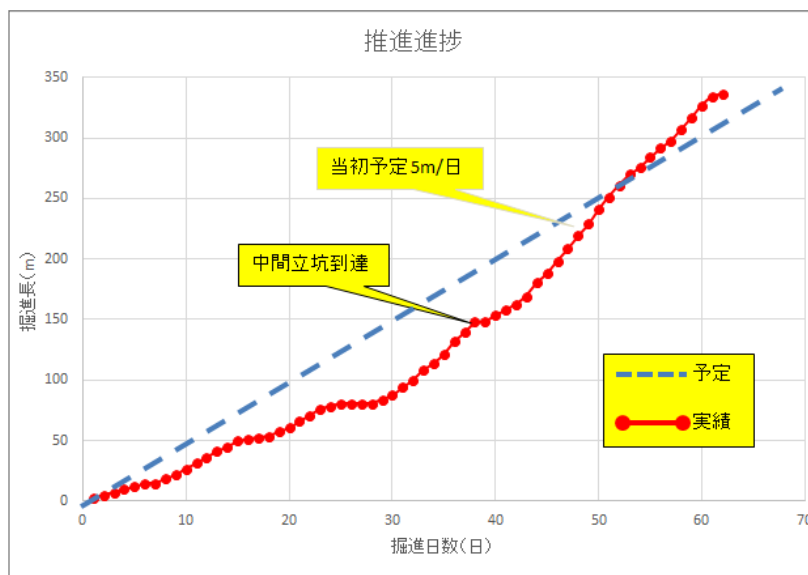


図5 掘進進捗

推進力
(単位:t)

①推進力の計画と実績表

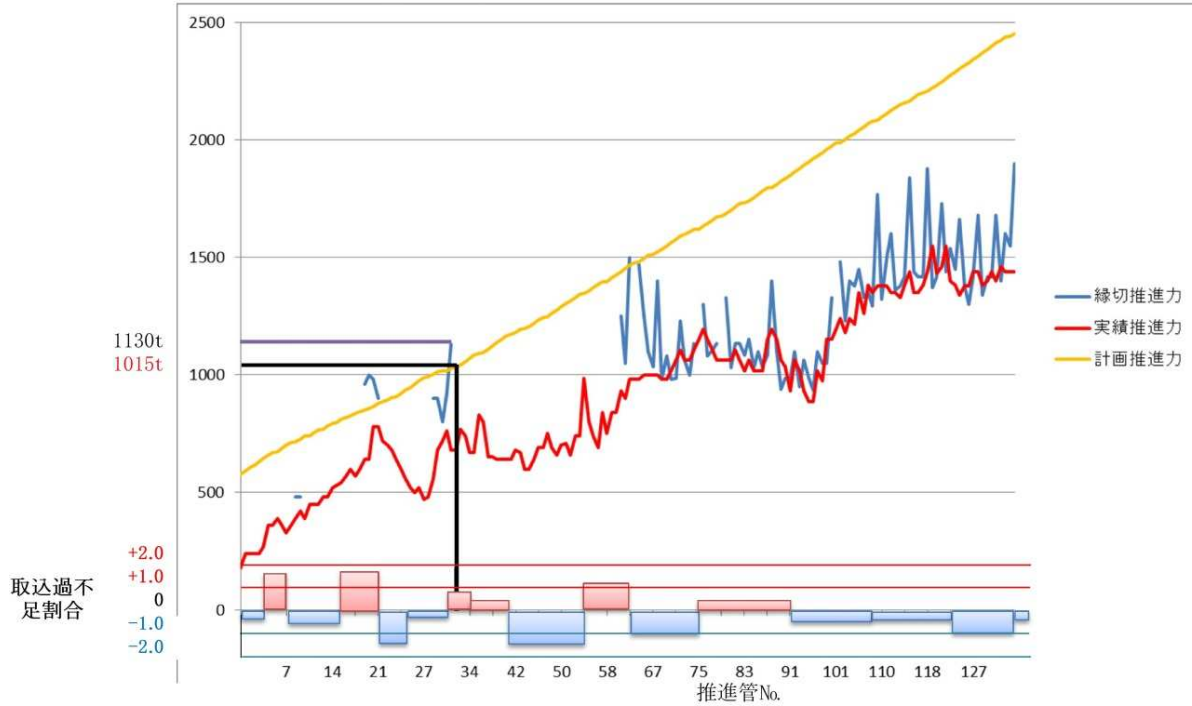


図6 推力の変化と残土取込量の変化

札幌中央SS引出口変更のうち送電洞道工事 推進工事施工実績

2014.06.12
単位: (m3)

日付	曜日	管No.	推進距離		掘削量		残土処分		備考
			日進	累計	日進	累計	日進	累計	
12月8日	月	1	2.19	2.19	21.3	21			
12月10日	火	2	2.45	4.64	23.8	45	26	26	
12月11日	水	3	2.45	7.09	23.8	69	32.5	59	
12月12日	木	4	2.45	9.54	23.8	93	32.5	91	
12月13日	金	5	2.45	11.99	23.8	117	19.5	111	
12月14日	土	6	2.45	14.44	23.8	140	32.5	143	
12月16日	月			14.44	0.0	140	13	156	
12月19日	木	7	4.165	18.605	40.5	181	39	195	
12月20日	金	8, 9	2.185	21.79	31.0	212	39	234	
12月21日	土	10, 11	4.41	26.2	42.9	255	32.5	267	
12月23日	月	11, 12, 13	5.145	31.345	50.0	305	45.5	312	
12月24日	火	13, 14, 15	4.655	36	45.3	350	45.5	358	
12月25日	水	15, 16, 17	4.9	40.9	47.7	398	58.5	416	
12月26日	木	17, 18, 19	4.165	45.065	40.5	438	52	468	
12月27日	金	19, 20, 21	4.9	49.965	47.7	486	52	520	
12月28日	土	22	1.225	51.19	11.9	498	13	533	
12月30日	月		1.225	52.415	11.9	510	13	546	
1月4日	土	22	1.225	53.64	11.9	522	0	546	
1月7日	火	23, 24	3.675	57.315	35.7	557	45.5	592	
1月8日	水	24, 25	2.185	60.5	31.0	588	19.5	611	
1月9日	木	25, 26, 27	5.39	65.89	52.4	641	58.5	670	
1月10日	金	28, 29	4.9	70.79	47.7	689	45.5	715	
1月11日	土	30, 31, 32	5.635	76.425	54.8	743	45.5	761	
1月13日	月	32	1.715	78.14	16.7	760	19.5	780	
1月14日	火		2.205	80.345	21.4	781	19.5	800	
1月15日	水	33		80.345	0.0	781	6.5	806	
1月20日	月		0.245	80.59	2.4	784	0	806	
1月21日	火	34		80.59	0.0	784	0	806	
1月22日	水	34, 35	3.02	83.61	29.4	813	32.5	839	
1月23日	木	35, 36	3.896	87.506	37.9	851	52	891	
1月24日	金	37, 38, 39	6.444	93.950	62.7	914	52	943	
1月25日	土	38, 40, 41	9.807	93.756	56.5	970	58.5	1001	
1月27日	月	42, 43, 44, 45	8.649	108.405	84.1	1054	71.5	1073	
1月28日	火	45, 46, 47	4.827	113.231	46.9	1101	45.5	1118	
1月29日	水	47, 48, 49, 50	7.987	121.218	77.7	1179	71.5	1190	
1月30日	木	50, 51, 52, 53, 54	10.386	131.606	101.0	1280	76	1268	
1月31日	金	55, 56, 57, 58	8.0115	139.618	77.9	1358	97.5	1365	
2月1日	土	58, 59, 60, 61	8.5435	148.161	83.1	1441	91	1456	中間立坑到達
2月11日	火	61	0.935	149.096	0.0	1441	0	1456	中間部変換し
2月20日	火	62, 63	4.9	154.056	0.0	1441	0	1456	中間部変換し
2月22日	土	64, 65	4.9	159.056	47.7	1489	32.5	1489	
2月26日	水	66, 67	4.312	163.368	41.9	1531	52	1541	
2月27日	木	67, 68, 69, 70	6.513	169.881	63.3	1594	65	1606	
2月28日	金	70, 71, 72, 73, 74	11.225	180.606	109.2	1703	84.5	1690	
3月1日	土	75, 76, 77, 78	7.31	187.916	71.1	1774	91	1781	
3月3日	月	79, 80, 81, 82, 83	10.286	198.202	100.0	1874	104	1885	
3月4日	火	84, 85, 86, 87	10.247	208.449	99.7	1974	97.5	1985	
3月5日	水	87, 88, 89, 90, 91	11.007	219.456	107.1	2081	104	2087	
3月6日	木	91, 92, 93, 94, 95	9.94	229.396	96.7	2178	84.5	2171	
3月7日	金	96, 97, 98, 99, 100	12.2	241.596	118.7	2296	110.5	2292	
3月8日	土	101, 102, 103, 104	9.76	251.356	94.9	2391	97.5	2379	
3月10日	月	105, 106, 107, 108	9.76	261.116	94.9	2486	97.5	2477	
3月11日	火	109, 110, 111, 112	9.005	270.121	87.6	2574	84.5	2561	
3月12日	水	112, 113, 114	5.635	275.756	54.8	2629	71.5	2633	
3月13日	木	115, 116, 117, 118	8.32	284.076	80.9	2709	65	2698	
3月14日	金	118, 119, 120, 121	7.99	292.066	77.7	2787	71.5	2769	
3月15日	土	121, 122, 123	5.65	297.716	55.0	2842	58.5	2828	
3月17日	月	124, 125, 126, 127	9.76	307.476	94.9	2937	76	2906	
3月18日	火	128, 129, 130, 131	9.76	317.236	94.9	3032	84.5	2990	
3月19日	水	132, 133, 134, 135	9.76	326.996	94.9	3127	84.5	3075	
3月20日	木	136, 137, 138, 139	7.06	334.052	74.9	3202	65	3140	
3月21日	金	139	1.933	336.035	18.8	3221	26	3168	到達立坑到達

推進距離	4日間合計土砂量				1m当たり		しきい値に対する 取り込み過不足割合	
	4日合計(A)	理論値(B)	実績出量(C)	理論値に対する 実績出量の増減(D) C-B	1m当たり増減 (E) D/A	増減1m当たり E-F		
	L=9.726	台数*6.5						
9.5	92.8	91.0	-1.8	-0.2	-0.2			
9.1	88.2	104.0	15.8	1.7	1.7			
17.4	169.2	162.5	-6.7	-0.4	-0.4			
15.2	147.7	175.5	27.8	1.8	1.8			
9.3	90.5	78.0	-12.5	-1.3	-1.3			
17.6	171.6	169.0	-2.6	-0.1	-0.1			-0.1*17.6=-1.76m3
2.5	23.8	26.0	2.2	0.9	0.9			0.9*2.5= 2.26m3
19.2	186.4	195.0	8.6	0.4	0.4			0.4*19.2= 7.68m3
31.9	309.8	266.5	-43.3	-1.4	-1.4			合計 8.18m3
22.1	161.0	188.5	27.5	1.2	1.2			
27.0	262.1	234.0	-28.1	-1.0	-1.0			
38.9	377.9	396.5	18.6	0.5	0.5			
41.7	405.2	390.0	-15.2	-0.4	-0.4			
31.0	301.0	292.5	-8.5	-0.3	-0.3			
34.9	339.7	305.5	-34.2	-1.0	-1.0			
9.6	93.7	91.0	-2.7	-0.3	-0.3			

合計 3220.7 3165.5
-55.2 m3

図7 残土量集計表

推進工事における安全及び施工を考慮した設計・計画を以下に示す。①発進立坑の安全通路及び推進設備の配置を考慮して立坑寸法を拡大した。②中間立坑を設置しピットを交換できる構造とした。③到達立坑の配電ケーブルを配慮し、掘進機を3分割し搬出する計画を立案した。

4. 5 推進工における安全及び施工を考慮した設計・計画

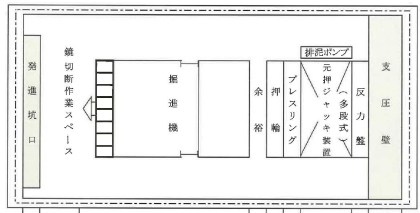
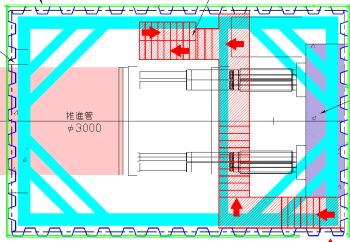
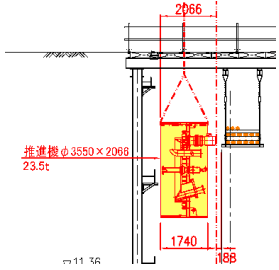
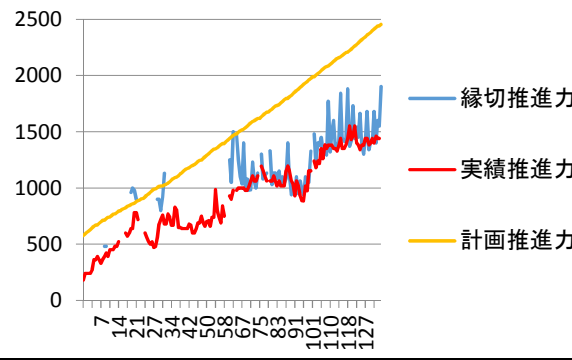
標準案		安全及び施工を考慮した設計・計画	
発進立坑	発進立坑寸法 8.80m×6.00m (推進工法用設計積算要領より)  標準寸法の発進立坑	発進立坑寸法拡大 10.80m×7.20m 安全通路および推進設備の設置場所を考慮して決定  発進立坑平面図  発進立坑の写真	
	〈評価〉 今回の現場は発進立坑が北海道電力所有の敷地内ということもあり、作業ヤードを広く使用することができたため立坑の寸法を大きくとり、安全通路等を設け、安全性・施工性を高めることができた。		
中間立坑	中間立坑を設置しない 砂礫層のビット交換距離は 350m が標準。今回の推進延長は 340m  使用前のビット	中間立坑を設置し、ビットを交換できる構造  中間立坑にてビット交換  ビットの磨耗写真	
	〈評価〉 今回の推進延長 340m は、砂礫層の推進標準では推進可能な距離ではあったが、中間立坑を設置することで、ビットの磨耗状況を確認し、メンテナンスを行うことができ確実な推進施工ができた。		
到達立坑	掘進機の 1 体搬出を標準とする。 標準クレーン： 油圧伸縮ジブ型 160t 吊ラフレンクレーン (推進工法用設計積算要領より)	掘進機の 3 分割搬出(立坑中央に配電管が支障)  カッターヘッドの搬出状況  埋設との離隔 188mm	
	〈評価〉 到達立坑は道路上であり、立坑の中央に既設の配電管 (6 条 3 段) があったため、掘進機の回収を工夫する必要があった。立坑占有面積を極力小さくし、掘進機の回収を 3 分割にて行った。クレーンも 130t 吊を使用し、道路規制範囲内で施工することができた。		
推進工事	元押しジャッキ能力が推進管の耐価力を超えたときは中押しジャッキ	管周混合推進工法の採用により推進力を低減し、品質確保  縁切推進力 実績推進力 計画推進力	
	〈評価〉 計画推進力から中押しジャッキを使用するようになっていたが、管周混合推進工法による推力低減が計画よりも有効に働き、結果的には推進力を抑えることができ、中押しジャッキを使用せず到達することができた。		

図 8 標準案と施工を考慮した設計・計画の比較表

5. まとめ

推進工事を設計するに当たり、ボーリング調査からの土質柱状図の分析は、推進工法、掘進機の形状、処理プラント等設計や施工にとって重要なことであることは言うまでもないことである。しかしながら、礫地盤においては、どれくらいの大きさの礫（最大礫径）が、どれくらい点在する（礫率）のかは、掘進機の形状に大きく影響を及ぼすが、一般のボーリング調査からは判断できないことが多い。また、今回のように地層の変化する縦断勾配のある推進は、その地層ごとに有効な掘進機形状も異なることもある。現在のところ、ボーリングデータから礫地盤における適切な推進機を定めるものはなく、現場経験者の経験に頼るところが多いのも事実である。

そのため、当該地盤の把握には設計時の土質調査のほかに、①追加の土質調査、②経験のある推進業者からの聞き取り調査、③周辺地域での施工経験業者からの聞き取り調査、④周辺地盤の形成過程を古地図や文献にて想定、⑤立坑掘削時の対象地盤への対応の再検討、等を行う必要がある。

今回は、事前調査を行った後、協力業者とともに打合せを重ね掘進機の面盤形状を決定したものの、推進の開始直後にその予測が外れてしまい、推進機の引抜き～面盤改良という手段を取った。その後の改良が当該現場の土質に見合ったものであったため、無事推進到達することができた。

礫地盤の大口徑推進において、地盤状態を事前にすべて予測することはかなり困難である。さまざまなリスクを予測し、対応していかなければならない。今回の経験をまとめた本論文が、今後の類次工事に大いに参考になれば幸いである。

