

泥土圧式シールド工事における泥炭、軟弱粘性土およびメタンガスへの対策 ー茨戸処理区XIV-03000（東雁来12条4丁目ほか）下水道新設工事ー

Measures for Peat, Soft Viscous Soil and Methane Gas under Mud Pressure Type Shield Tunneling Works

亀山 博通*1 石川 恭義*1 平田 健*2
 Hiromichi Kameyama Yasuyoshi Ishikawa Tsuyoshi Hirata
 桶川 宏司*3 白井 信浩*4 村下 富雄*3
 Koji Okegawa Nobuhiro Shirai Tomio Murashita

要旨

本工事は、札幌市の茨戸処理区にある東雁来第2土地区画整理事業を含む東雁来・東苗穂地区の浸水対策として進めている雨水拡充管の整備であり、泥土圧式シールド工法により、内径φ2,600mmの二次覆工一体型RCセグメントを路線延長1km余りにわたり敷設する工事である。主な地層の特徴は、泥炭層、厚く堆積した軟弱粘性土層（N値0～4）であり、可燃性ガス調査によりメタンガスを含有する地層の存在が判明したことである。

立坑の課題は、泥炭層の存在によるSMW工法のソイルセメント壁や先行地中梁の地盤改良の強度発現不足、盤ぶくれ対策の地盤改良造成時に設計量を大幅に上回る排泥量が発生したことである。シールドの課題は、軟弱粘性土層の掘進によるシールド直上の地下埋設物や雁来川河床への影響、シールド掘進深度における爆発下限濃度を大幅に超える高濃度のメタンガスへの対応である。本稿では、これらの課題を克服するために本工事で実施した対策について報告する。
 キーワード：泥炭 軟弱粘性土 メタンガス 土砂圧送 圧送管内の濃度測定 バネ板の強化

1. はじめに

近年、都市化が進み集中豪雨等による雨水流出量が増大しており、浸水被害が多発している。

札幌市では、浸水が発生している地区や都市の機能が集中し甚大な被害が想定される地区など、緊急性の高い地区において、雨水拡充管や雨水貯留管の整備を進めている。

図1に現場位置を示す。今回報告する工事は、区画整理事業区域を含む東雁来・東苗穂地区の浸水対策として進めている雨水拡充管および雨水ポンプ場の整備のうち、雨水拡充管の整備である¹⁾。



図1 現場位置

（別途工事）に到達するものである。

また、両発進立坑、到達立坑および分水立坑（到達立坑に隣接）は、いずれもSMW工法により施工した。表1に工

2. 工事概要

表1 工事概要

工事名	茨戸処理区XIV-03000(東雁来12条4丁目ほか) 下水道新設工事
発注者	札幌市下水道河川局
施工者	鴻池・道興特定共同企業体
工事場所	札幌市東区東苗穂13条4丁目(到達立坑) ～札幌市東区東雁来12条4丁目(東雁来ポンプ場)
工期	平成25年9月9日～平成29年1月10日
路線延長	(上流区間)885.00m+(下流区間)229.24m=1,114.24m
土被り	11.3m～16.6m
縦断勾配	1.50‰
曲線半径	R=200m(最小)、1,000m
シールド機	泥土圧式シールド工法、掘削外径φ3.15m(シールド機外径φ3.13m)
セグメント	二次覆工一体型RC、内径φ2.60m(外径φ3.00m)、幅1.00m

本工事は、雨水拡充管として、泥土圧式シールド工法により、内径φ2,600mmの二次覆工一体型RCセグメントを路線延長1,114.24mにわたり敷設する工事である。

シールドトンネルは2工区に分かれ、両発進立坑から上流区間885.00m掘進後、到達立坑からシールド機を引上げ、両発進立坑に再投入後、下流区間229.24mを掘進し、ニューマチックケーソン工法により新設される東雁来ポンプ場

*1 東京本店 土木部 *2 名古屋支店 土木部 *3 技術統括本部 土木技術部 *4 大阪本店 土木部

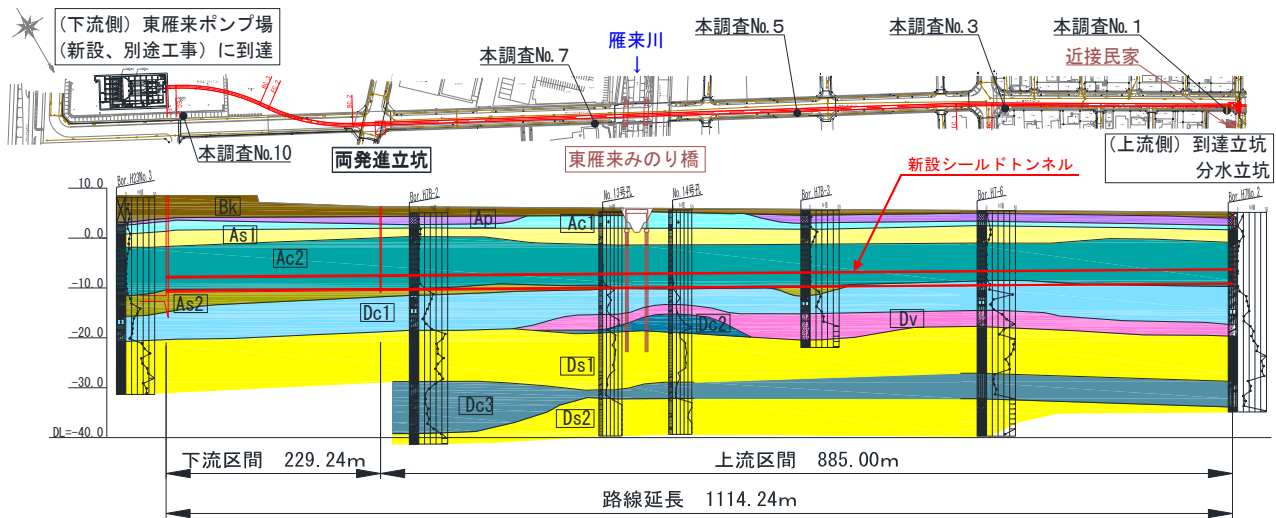


図2 路線一般図および土質縦断面図

事概要、図2に路線一般図および土質縦断面図を示す。

3. 土質概要

図2に示す通り、本工事場所は、通常「北部低地帯」と呼ばれる後背湿地に相当する地域で、泥炭や粘性土などの低地堆積物が約15mの層厚で分布する。

地層は、深度16~18m程度までは、完新世の軟弱な粘性土 (Ac1, Ac2) や有機質土 (泥炭) (Ap)、緩い砂 (As1, As2) により構成される。それ以深は、更新世の比較的硬質な粘性土 (Dc1) や火山灰 (Dv)、砂質土 (Ds1) からなる。

シールドが通過する地層は Ac2 層、As2 層、Dc1 層で構成され、シールド下端に As2 層、Dc1 層が分布する。主たる掘進対象土質は N 値 0~4 程度の Ac2 層であり、地下水位は地表の下部約 1.5~2.0m にある。

4. SMW 工と地盤改良工の設計上の課題と対策

本工事では、両発進立坑は掘削深さが約18mと深いことや、到達立坑と分水立坑は民家に近接するため掘削時の土留め壁変形の影響が懸念されること、および全立坑において地下水位が高いこと等の条件を考慮し、土留め壁の変形抑制や遮水性の観点から、SMW 工法で計画された。

また、両発進立坑と到達立坑は床付け面以深の粘性土層の盤ぶくれ対策、到達立坑と分水立坑は近接民家への影響を抑制するための先行地中梁として、高圧噴射攪拌工法 (SUPERJET35) による地盤改良が計画された。

図3に両発進立坑の断面を、図4に到達立坑と分水立坑の断面を示す。なお、図3、4の断面図のボーリング柱状図は、当初設計で行われた調査結果であり、図2のボーリング柱状図とは異なる。

4.1 SMW 工と地盤改良工の設計上の課題

4.1.1 SMW 工の課題

セメント系固化材の固化が阻害されやすい高含水および高有機質の泥炭層が、両発進立坑では GL-2.0m 付近、到達立坑および分水立坑では GL-0.5m 付近に層厚 2m 程度で存在しており、土留め壁のソイルセメントの強度発現不足が懸念された。

4.1.2 地盤改良工の課題

到達立坑と分水立坑の先行地中梁は泥炭層が対象となっていたため、地盤改良体の強度発現不足が懸念された。

4.2 SMW 工と地盤改良工の対策

4.2.1 SMW 工の泥炭層における強度発現不足への対策

当初設計のソイルセメントの固化材の種類は高炉セメント、設計基準強度は $qu=500\text{kN/m}^2$ である。

泥炭の試料採取を行い室内配合試験により一軸圧縮強度を確認したところ、設計基準強度に対して強度が不足することが判明した。そこで、セメント系固化材の種類の変更により、ソイルセメントの強度を確保することとし、泥炭層に対しても強度発現が良好とされる2種類のセメント系固化材を使用して室内配合試験を行った。図5に固化材添加量と一軸圧縮強度との関係を示す。

工程上、早期に配合を決定する必要があったため、7日強度にて固化材の仕様と添加量を決定した。

式(1)に示すように、ソイルセメントの7日強度と28日強度には相関性の高い関係式²⁾が得られている。

$$qu(28日) = 2 \times qu(7日) \quad (1)$$

また、必要室内目標強度 (7日強度) は、式(1)と式(2)に示す現場強度 (quf) と室内強度 ($qu1$) との関係式から、 $qu1(7日) = 500\text{kN/m}^2$ とした³⁾。

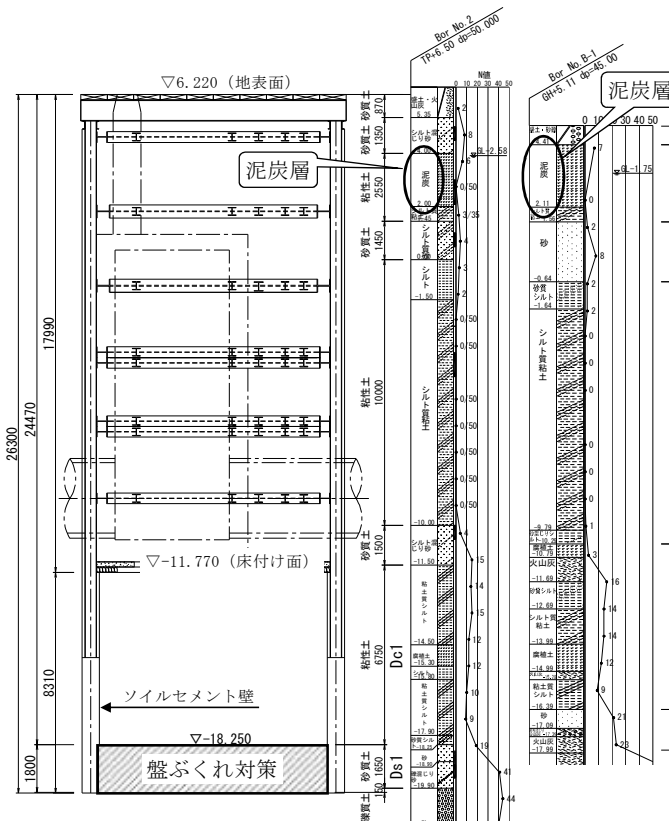


図3 両発進立坑断面 (計画時)

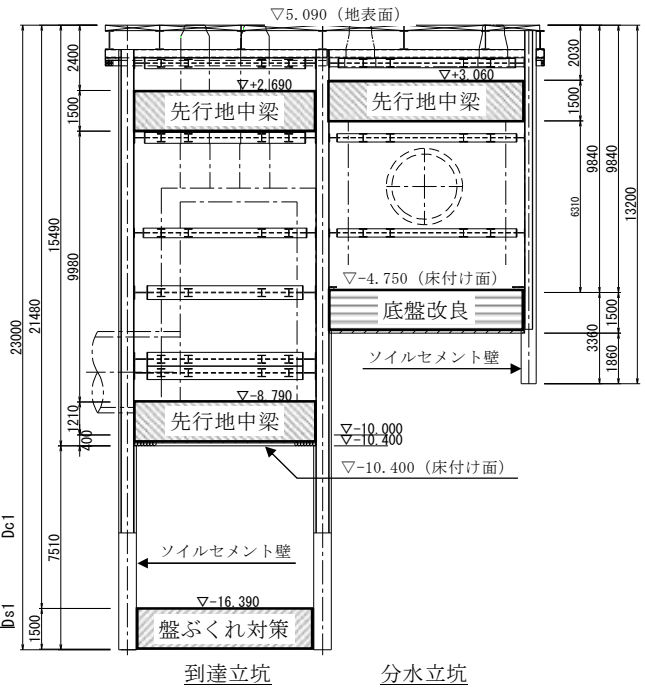


図4 到達立坑・分水立坑断面 (計画時)

現場強度 (quf) / 室内強度 (qu1) = 1/2 (2)

quf (7日) = 1/2 × quf (28日) = 1/2 × 500 = 250 kN/m² (3)

qu1 (7日) = 2 × quf (7日) = 2 × 250 = 500 kN/m² (4)

経済性の比較により、最適な固化材 (ジオセツト 223) を選定した。

固化材を変更することで、ソイルセメント強度や遮水性の確保が可能となり、全立坑について床付けまで無事に掘削を完了した。写真1に両発進立坑の掘削完了状況を示す。



写真1 掘削完了状況 (両発進立坑)

4.2.2 地盤改良工の泥炭層における強度発現不足対策

高圧噴射攪拌工法において、粘性土地盤における改良土の設計基準強度は、一軸圧縮強度が quck=1000kN/m² である。これに対し、室内配合試験にて一軸圧縮強度を確認したところ、設計強度を大幅に下回る結果 (qu=117.4kN/m²) であった。

高圧噴射攪拌工法の場合、固化材の仕様や添加量等が指定されているため、先行地中梁の強度低下により土留め壁変形量が増大し、近接する民家への影響が大きくなることが懸念された。

このため、弾塑性解析により先行地中梁 (厚さ 1.5m) のうち泥炭層範囲 (到達立坑: 0.58m、分水立坑: 0.95m) を配合試験結果の強度として土留め壁変形量を算出し、土留め壁変形量に伴う近接家屋への影響 (推定沈下量) を検討した。表2に近接家屋への影響の検討結果を示す。

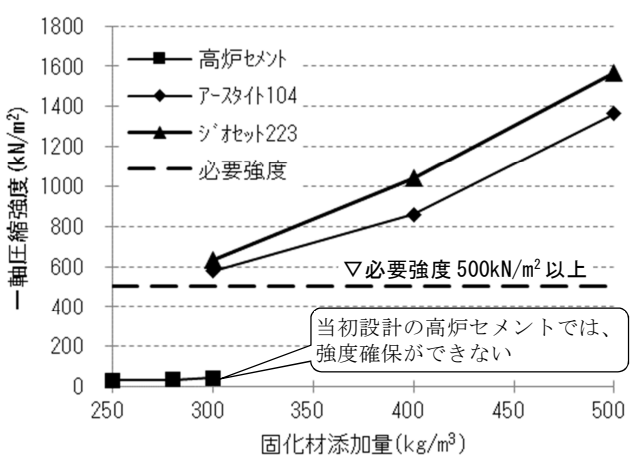


図5 固化材添加量と一軸圧縮強度との関係

表2 近接家屋への影響検討結果一覧

		到達立坑	分水立坑
地盤改良体の 一軸圧縮強度 qu (kN/m ²)	泥炭層	117.4	
	残りの 砂質土層	3000	
改良厚さ(m)		1.50	
推定沈下量(mm)		14.81 (14.79)	13.66 (12.49)
許容沈下量(mm)		15.0	
判定		OK	OK

※推定沈下量の()は、当初設計の値を示す。

土留め壁変形に伴う背面側の推定沈下量は、到達立坑および分水立坑ともに当初設計よりも増加するが、許容沈下量 15.0mm 未満であった。

到達立坑は、掘削深さが約 16m と深いため先行地中梁は 2 段配置である。床付け付近に配置する先行地中梁の土留め壁変形の抑制効果が大きく、推定沈下量は当初設計から微増程度で許容沈下量未満に収まったと考えられた。

一方、分水立坑は、掘削深さが約 10m と浅いこと、他の立坑と異なり床付け面直下に配置する底盤改良が土留め壁変形の抑制効果となったことから、推定沈下量が許容沈下量未満に収まったと考えられた。

到達立坑および分水立坑において、推定沈下量が許容沈下量を超える場合は、先行地中梁の改良厚さの変更で対応する必要があったが、上記結果より当初設計通りとした。

5. 施工時における両発進立坑の地盤改良造成時の問題と対策工

両発進立坑は、掘削深さが約 18m で地下水位が GL-2.0m 程度と高い。床付け面は層厚約 3m の粘性土層であり、直下に砂質土層が存在していることから、盤ぶくれの発生が懸念された。床付け面の安定を確保するため、高圧噴射攪拌工法 (SUPERJET35) による盤ぶくれ対策工 (造成深度 GL-24.5m、改良厚さ 1.8m) が計画された。改良厚さは、被圧水圧に対して抵抗できる版部材として決定された (図 3)。

5.1 地盤改良造成時の問題と原因の推定

地盤改良体の造成時に、設計量を大幅に上回る排泥量が確認された。排泥状況を調査したところ、比重が小さく、排泥温度は地下水と同程度であった。表 3 に測定結果の一覧、写真 2 に排泥状況を示す。

発生した現象の原因として、以下のことが推定された。

今回の施工において、

「スラリー噴射による土砂の切削・混合攪拌量」

< 「エアリフトによる強制排泥量」

の現象が発生したと考えられる。この現象は、改良対象土

層の Ds1 層に被圧地下水が存在し、削孔穴にスラリー噴射量を上回って、その地下水が多量に流入したことによるものと推測される。

この要因として、Ds1 層における透水係数が大きいこと、地下水の被圧状態であること等が考えられた。しかし、どのように地盤改良体造成へ悪い影響を及ぼしているかを定量的に評価することは困難であった。なお、周辺地盤には変状はなかった。

表3 排泥状況一覧

工程	排泥量 (m ³ /本)		排泥比重		温度 (°C)		
	設計	実績	正常値	実測	地下水	実測	
9/16	1本目	11.6	90.0	1.42	1.22	14	16
	2本目	11.6	47.0	~	1.22	14	15
9/17	1本目	3.8	30.0	1.80	1.33	14	15



写真2 排泥状況 (両発進立坑の盤ぶくれ対策工)

5.2 対策工

地盤改良造成時の Ds1 層からの地下水の流入を防ぐため、下記の 3 案について比較検討を行った。

- 1 案：高圧噴射攪拌の改良範囲の変更
- 2 案：薬液注入併用による遮水ゾーンの造成
- 3 案：薬液注入のみによる遮水ゾーンの造成
(荷重バランス法にて厚さを設定)

その結果、経済性や施工性 (道路占用の拡幅が不要) に最も優れる 1 案を対策工として採用した。表 4 に具体的な対策工の比較一覧を示す。

1 案の課題は、地盤改良対象の粘性土層 (Ds1 層) の平均 N 値 (=9.6) が SUPERJET35 の適用範囲 (最大 N 値 ≤ 9) を超えるため、改良径の設定や、確実に地盤改良体を造成する施工方法の検討であった。

改良径は、以下の検討により対応することとした。

- ・工法技術資料⁴⁾の N 値と改良径との関係には高い相関関係が認められることから、式 (5) に示す回帰式 (線形近似とする) を求めて、N=9.6 に相当する改良径を設定した。図 6 に N 値と改良径との関係を示す。

$$\text{回帰式：} y = -0.185x + 4.135 \quad (5)$$

ここに、y : 有効改良径 (m)

x : N 値

$$y = -0.185 \times 9.6 + 4.135 \approx 2.4 \text{m} \quad (6)$$

これより、改良径は、2.4m と設定した。

表 4 対策工比較一覧

	1案 高圧噴射攪拌工法単独	2案-1 高圧噴射攪拌工法、薬液注入工法併用	2案-2 高圧噴射攪拌工法、薬液注入工法併用	3案 薬液注入工法単独
工法概要				
留意事項	<ul style="list-style-type: none"> ・盤ぶくれ対策工 高圧噴射攪拌工法 ・概要 地盤改良体は、Dc1層（粘性土）に造成 	<ul style="list-style-type: none"> ・盤ぶくれ対策工 高圧噴射攪拌工法 薬液注入工法 ・概要 薬液注入により、地盤改良体下部に遮水ゾーンを造成 地盤改良体は、Dc1層（粘性土）に造成 	<ul style="list-style-type: none"> ・盤ぶくれ対策工 高圧噴射攪拌工法 薬液注入工法 ・概要 薬液注入により、土留め壁下端外周部に遮水ゾーンを造成 地盤改良体は、Ds1層（砂質土）に造成 	<ul style="list-style-type: none"> ・盤ぶくれ対策工 薬液注入工法 ・概要 薬液注入によりDs1層（砂質土）を不透水層化 揚圧力に対する抵抗力を増加
施工仕様	SUPERJET35工法：φ2400mm	SUPERJET35工法：φ2400mm 二重管ストレーナ工法：注入率31.5%	SUPERJET35工法：φ3500mm 二重管ストレーナ工法：注入率31.5%	二重管ダブルパッカ工法： 注入率5.0%（一次）、26.5%（二次）
概略工期	◎（100%）	△（146%）	△（185%）	×（268%）
概算直工費	◎（100%）	△（115%）	△（109%）	×（177%）
評価	○	△	△	×

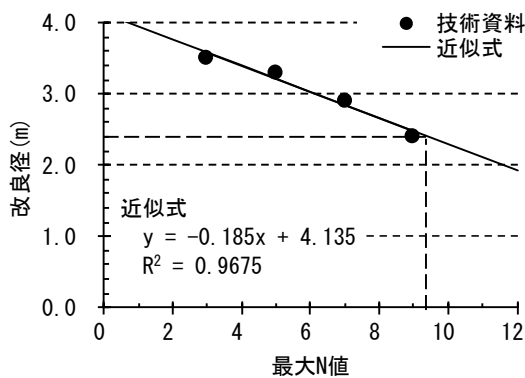


図 6 N値と改良径との関係

より、改良体の強度が確保されたものと考えられる。



写真 3 地盤改良体の改良径測定状況（床付け時）

硬質粘性土層での地盤改良体の造成は、プレジェットによる地盤の先行切削を行うことで対応することとした。

採用した盤ぶくれ対策工により立坑掘削を無事完了し、実施工における地盤改良体は、写真 3 に示すように計画以上の改良径を確保することができた。

対象土層の平均 N 値（=9.6）は、SUPERJET35 の適用範囲（最大 N 値≦9）を僅かに超える程度であったこと、プレジェットにより硬質粘性土層を先行して切削したことから改良径を確保できたものと考えられる。

地盤改良体の強度は、表 5 に示すように設計基準強度以上であった。対象土質が粘性土で地下水の流入がなく、通常の水セメント比の状態での地盤改良体を造成できたことに

表 5 地盤改良体の品質管理一覧

	設計基準強度 (kN/m ²)	実測 (kN/m ²)		判定
		平均	個別	
一軸圧縮強度	1000	1723.4	1817.5 1786.0 1566.6	OK

6. シールド工の課題と対策

6.1 シールド工の課題

6.1.1 軟弱粘性土に対する課題

本工事のシールド掘進路線の地表部には、ガス管、水道管等が埋設されており、上流区間では東雁来みのり橋（雁

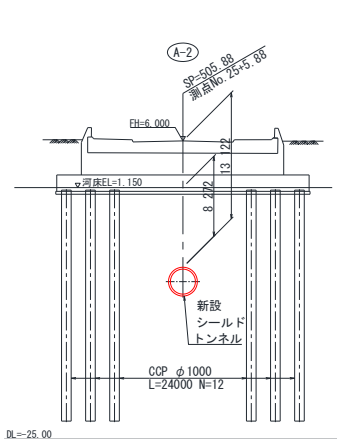


図7 東雁来みのり橋 横断面図

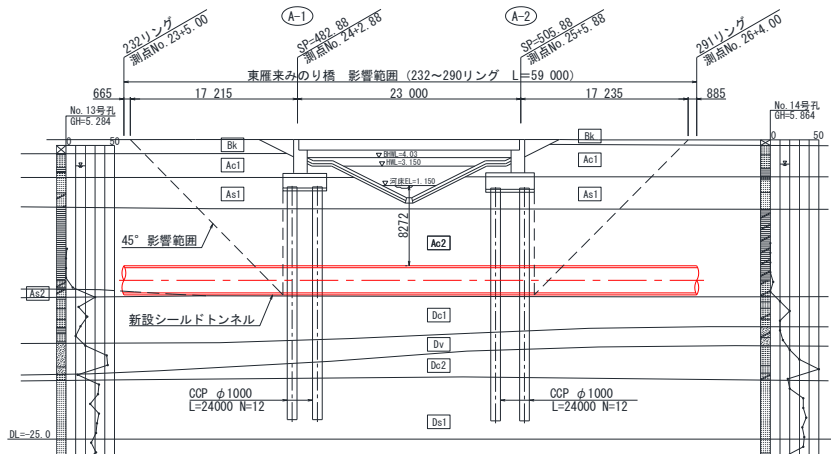


図8 東雁来みのり橋 縦断面図

来川)の下部を掘進する。東雁来みのり橋の横断面図を図7、縦断面図を図8に示す。

一方、本工事の土質としては、図2および図8に示すとおり、シールドは主に層厚約10mの軟弱粘性土層(Ac2層：N値0~4程度)の下端を掘進し、その下層には、東雁来ポンプ場~東雁来みのり橋間ではAs2層、東雁来みのり橋から上流側ではDc1層が分布していたが、土層の不陸を考慮すれば、上流区間のシールド下部の土質はAs2層やDc1層ではなく、Ac2層の可能性があった。

一般に、シールド機の重心位置は前胴側にあるため、土質の面からもシールド機が頭下がりする懸念がある。

また、本工事の土質の場合、シールドの掘進管理を適切に行なわないと地下埋設物や雁来川河床を沈下させる懸念があった。

6.1.2 メタンガスに対する課題

図9に示す可燃性ガス分布状況⁵⁾によると、本工事場所は水溶性ガス地帯もしくは推定予想産ガス地帯に該当している。また、シールド下部のAs2層に関して、複数のボーリング柱状図の記事に「まれに腐植物見られる」と記載されていた。

これらの知見から可燃性ガスの発生が懸念されたため、

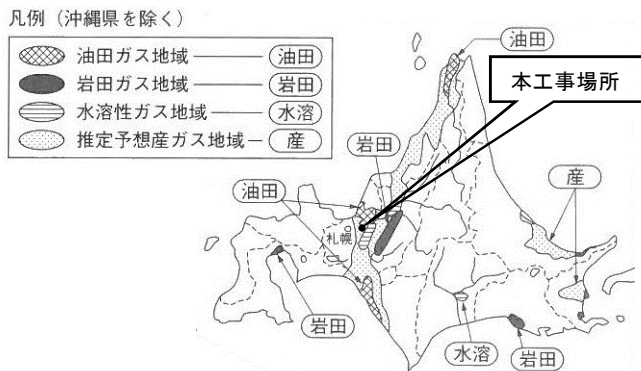


図9 可燃性ガス分布状況⁵⁾ (北海道のみ表示)

到達立坑において可燃性ガスの予備調査を実施したところ、爆発下限濃度の5vol%を超えるメタンガスが確認された。

そのため、5地点でメタンガス本調査を実施した。図2に調査位置、表6にメタンガス濃度調査結果を示す。

表6 メタンガス濃度調査結果

調査地点No.	シールド位置土質		湧出	孔ロガス	地下水溶存ガス
	上部	下部		メタンガス濃度 (Vol%)	メタンガス濃度 (Vol%)
本調査No. 1	Ac2	Ac2	無	81.1	46.6
本調査No. 3	Ac2	Dc1	無	1.67	34.9
本調査No. 5	Ac2	As2	無	79.0	44.4
本調査No. 7	Ac2	Dc1(As2)	無	77.9	47.9
本調査No.10	Ac2	As2	有	86.0	—

■:メタンガス濃度採用値

メタンガス濃度は34.9~86.0vol%であり、換気技術指針⁶⁾における危険度区分では危険度ランクIに該当し、最も厳しいメタンガス対策が必要であることが判明した。

6.2 シールド工の課題に対する対策

6.2.1 軟弱粘性土についての対策

① シールド機の対策

軟弱粘性土層におけるシールド機の頭下がり軽減のため、カタモータを電動から油圧に変更し、前胴自重を約1.5t軽量化した。また、軟弱粘性土層におけるシールド機のピッチング修正を可能にするため、上下1.5度の中折れ装置を装備した(図10、写真4)。

② 切羽圧力管理

切羽圧力については、表7に示すとおり、切羽管理圧を定めて管理し、地表面沈下測定結果を切羽圧力管理にフィードバックすることで地下埋設物や雁来川河床の沈下を防止することとした。

③ 排土量管理

排土量については、電磁流量計による測定とダンプ台数による測定の2つの方法で測定した。

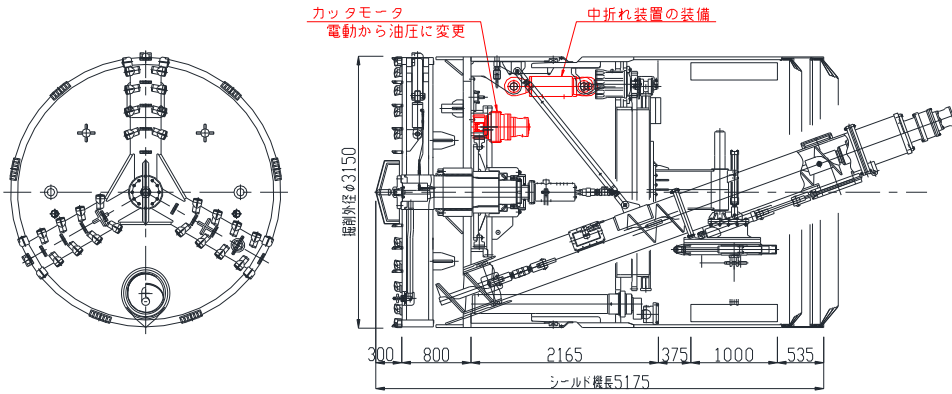


図 10 シールド機構造図

表 7 東雁来みのり橋付近における切羽管理圧の例

切羽 管理圧	上限値	静止土圧+水圧+20.0=	205 (kPa)
	設定値	静止土圧+水圧=	185 (kPa)
	下限値	主働土圧+水圧=	138 (kPa)

電磁流量計による総排土量を管理の基本として、理論掘削土量の110% [=8.6 (m³/Ring)] を排土量管理値と定め、管理した。

ここで、

$$\text{理論掘削土量} = 7.8 \text{ (m}^3/\text{Ring)}$$

$$(\text{排土量}) = (\text{電磁流量計による総排土量}) - (\text{加泥量})$$

シールド掘進において、頭下がりする傾向がみられたので、中折れ角度を上方約0.4~0.8度に維持して掘進を行うことにより、縦断線形は管理基準値を満足することができた。図11に上流区間の管底高出来形管理結果を示す。

一方、東雁来みのり橋への影響範囲(232~290リング)掘進後10日間のシールド中心線における沈下測量結果は最大3mmの沈下であった。その際の切羽圧力管理結果を図12、排土量管理結果を図13に示す。両者とも管理値内に収まっており、適切な掘進管理を行った結果、シールド掘進による影響は小さかったと考える。

採用した軟弱粘性土対策工により、所要の縦断線形を確保し、また、周辺に影響を与えることなく、シールド掘進を終えることができた。

6.2.2 メタンガスについての対策

坑内へのメタンガス流入を防止するため、下記の対策を実施した。

- ① 土砂搬出方法をズリ鋼車方式から土砂圧送方式に変更し、メタンガスを含む掘削土をトンネル坑内で曝露させないようにした。図14に土砂圧送方式の概要を示す。
- ② P1ポンプの位置で圧送管内のメタンガス濃度測定を行い、切羽土質のメタンガス濃度を把握した(図14)。

測定の結果、掘進延長の約2割の範囲で5vol%を超える高い濃度を検知した(図15)。圧送管内のメタンガス



写真 4 シールド機全景

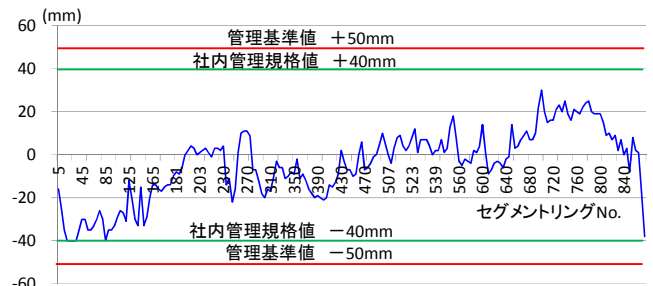


図 11 上流区間管底高出来形(設計値との差)管理結果

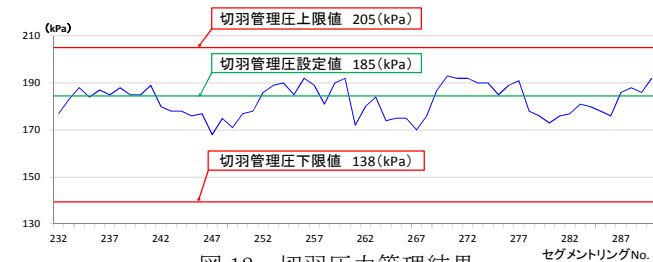


図 12 切羽圧力管理結果

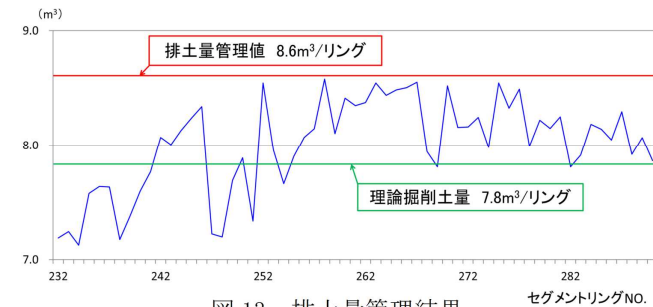


図 13 排土量管理結果

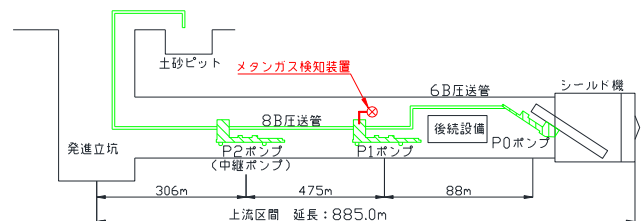


図 14 土砂圧送方式の概要(上流区間施工時)

濃度が0.5vol% (トンネル坑内で検知した場合、作業を休止し、避難すると定めた管理基準値)を超えた場合には監視体制を強化し、メタンガスが滞留しやすい後続台

車付近を重点的に、携帯式検知器による坑内のガス測定を行った。

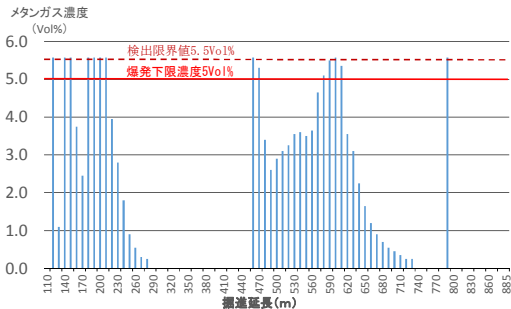


図 15 圧送管内のメタンガス濃度測定結果 (上流区間本掘進時)

を防止するため、防音ハウスの排気ファンを増設した。図 17 にこれらのメタンガス対策をまとめて示す。

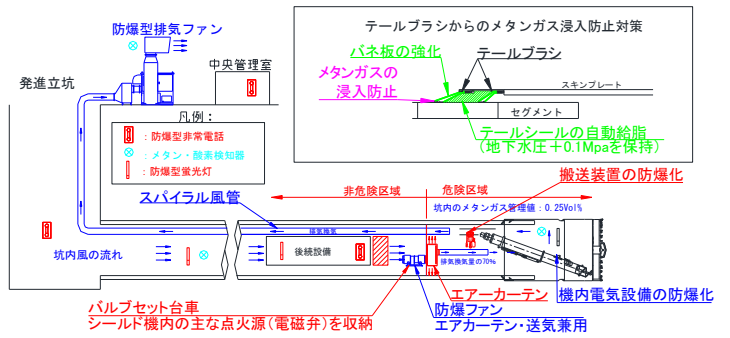


図 17 メタンガス対策の概要

- ③ テールブラシのバネ板を 2 枚重ねに強化し、曲線でのセグメントとの密着度を高めるとともに、テールシールの自動給脂を行い、テールブラシの止水性を高めることで、メタンガスが溶存する湧水の浸入を防止した (図 17)。
- ④ セグメントの継手面に PE テープを貼り付けて継手面の片当りを防止し、シールの止水効果を確保した。
- ⑤ 下流側到達部のポンプ場の躯体には天井スラブが構築されていたため、メタンガスが滞留しやすい構造になっていた。そのため、到達防護工の地盤改良を延長して地盤改良領域と裏込注入領域を十分に重ね合わせることで、シールド機解体時にメタンガスがシールド機背面からテールボイドを伝わって到達部のポンプ場躯体内に流入することを防止した (図 16)。

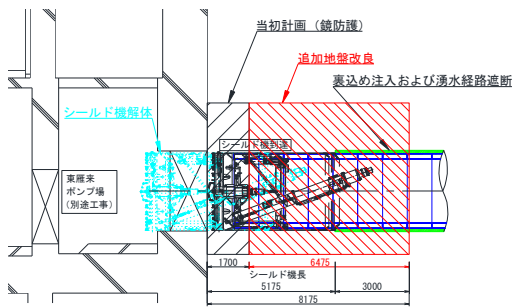


図 16 下流側 (東雁来ポンプ場側) 到達防護工

- ⑥ 後続台車の先頭部分に防爆エアカーテンを設置し、エアカーテンから切羽側は危険区域として、シールド機内電気設備やセグメント搬送設備を防爆仕様とした。また、エアカーテンから坑口側は非危険区域として、非常用設備 (坑内電話、非常灯、警報ベル) だけを防爆仕様とした (図 17)。
- ⑦ 坑内換気は排気方式とし、メタンガス目標希釈濃度 0.25vol% を満足する換気設備とした (図 17)。
- ⑧ 土砂ピットから発生するメタンガスの天井部への滞留

シールド掘進中の掘削土砂から爆発下限濃度の 5vol% を超えるメタンガス濃度を検知したが、各々のメタンガス浸入防止対策により、トンネル坑内ではメタンガスを検知することなく、安全にシールド工事を終えることができた。

7. まとめ

泥炭層、軟弱粘性土層やメタンガスに対して、適切な対策や施工管理を行い、周辺に影響を与えることなく、安全にシールド工事を終えることができた (写真 5)。



写真 5 雨水拡充管完成状況

最後に、札幌市下水道河川局をはじめとする関係各位の皆様方の多大なるご協力ならびにご指導、ご鞭撻を頂いたことに心より御礼申し上げます。また、本工事が今後の計画・設計・施工の一助となれば幸いです。

参考文献

- 1) 染矢洋、安田絢一、小堀圭祐：シールド工事における可燃性ガス対策について、第 52 回下水道研究発表会、2015.7
- 2) SMW 協会：SMW 連続壁標準積算資料 [設計施工積算編]、2011.2
- 3) 土木研究センター：陸上工事における深層混合処理工法 設計、施工マニュアル改訂版、土木研究センター、2004.3
- 4) Superjet 協会：Superjet 工法 技術資料、2004.8
- 5) 原田実：建設環境エンジニアリング、(株)山海堂、2000.9
- 6) 建設業労働災害防止協会：新版「ずい道等建設工事における換気技術指針」換気技術の設計及び粉じん等の測定、2012.3