

令和5年度
荒川中部農業水利事業
武蔵野用水路他設計検討業務

荒川中部地区(武蔵野用水路) 現地調査・設計業務打合せ
打合せ資料

令和5年12月20日

関東農政局 荒川中部農業水利事業所



－目次－

1. 設計計画	1
1.1 設計路線の推進工計画	1
1.1.1 推進工区間の計画概要	1
1.1.2 設計区間の地質概要	10
1.1.3 推進工区間の線形計画	17
1.1.4 推進工の施工方法の決定	32
1.1.5 推進工区間の工法選定	37
1.2 構造計画	49
1.2.1 鞘管方式の採用	49
1.2.2 推進工上下流の管種	54
1.3 施工計画及び仮設計画	56
1.3.1 施工方法の検討	56
1.3.2 仮設計画	61
1.3.3 立坑の設計	64
1.3.4 薬液注入工法	74
1.3.5 工程計画	86
2. 図面	87
施工位置図	87
平面縦断図	88
横断図	90
標準断面図	93
推進工計画図（平面図、縦断図）	94
発進立坑構造図	96
到達立坑構造図	101
仮設計画図	106
3. 地質概要	109
4. 確認事項	121

1.設計計画

1.1 設計路線の推進工計画

設計路線の推進工計画の概要は下記のとおりである。

表-1.1.1.1 検討概要

項目	検討概要	備考
1.1.1 推進工区間の計画概要	R4 過年度設計の推進工区間の直上流区間は、 <u>開削工から推進工に変更。</u> 以上より、 <u>推進工区間は全長で 91mから 222m に変更。</u> また、 <u>発進と到達立坑の候補地を 3 箇所選定。</u>	
1.1.2 設計区間の地質概要	本業務にて追加調査（ボーリング、室内試験、試掘）を行い、その結果を整理した。 結果は <u>最大礫径が 300mm、礫の含有率が 70%、石英の含有率 42%、一軸圧縮強度 120kNm2（花崗閃緑岩）であった。</u>	
1.1.3 推進工区間の線形計画	平面線形計画の条件整理と、「1.1.1」の項で選定した立坑候補地について、作業ヤードを含めた発進または到達立坑設置の可否を判断。 結果 ○上流立坑（立坑 1） 発進、到達ともに設置可能 ○中間立坑（立坑 2） 発進、到達ともに設置可能 ○下流立坑（立坑 3） <u>到達のみ設置可能（作業ヤードのスペースより発進立坑の設置は不可）</u>	
1.1.4 推進工の施工方法の決定	R4 過年度設計の <u>小口径管推進工法（φ600）の採用可否を検討し、本現場条件での採用は不可と判断された（70m 程度までが推進可能延長とのメーカー回答）。</u> 以上より、 <u>大中口径管推進工法（φ800）を採用し、スパン割りを 1 スパンまたは 2 スパンに分けて比較検討を行い、経済的な 1 スパン案を採用。</u>	石英の含有率が小口径管推進工法の採用可否に影響。
1.1.5 推進工区間の工法選定	大中口径管推進工法の刃口式、泥水式、土圧式、泥濃式のうち、 <u>採用が可能な泥水式、泥濃式にて比較を行い、経済的な泥濃式を採用。</u> なお、土圧式は国土交通省の積算基準がなく、施工条件が泥水・泥濃式が該当しない場合に適用となることから、本設計では適用外とした。	

以降に各項目の検討詳細を示す。

1.1.1 推進工区間の計画概要

R4 過年度設計により、県道 62 号横断区間は、推進工にて計画をされている。推進工法採用に至った経緯は、既設管が推進工で横断していること及び、通行量の多い県道横断部の開削が不可能である（道路幅が狭く、迂回路の設置が不可能、半車線毎の片側交互通行も車線確保が出来ないため、開削施工とする場合には全面通行止めが前提となる）。

以上より、周辺の宅地状況と推進立坑の設置可能な位置（借地・占用可能な場所）まで距離を延伸して工区を決定している。

また、本設計では更に上流区間の開削区間を推進化する計画である。この「新規推進工区間」は、現道以上に公図上の道幅は狭く、上水道、下水道が混在することに加え、宅地が密集しており開削条件は厳しい。

よって、推進工区間を延伸し、開削に起因する周辺民家への工事实施の影響を少なくする目的である。

特に推進工事の傾向は、口径により掘進距離が制限されるが、距離を延ばした方が、機器損料、立坑工事が距離で按分されるためm単価は資材、掘進手間の金額に近づいていく。

下記に設計済み推進工区間と新規区間を明示する。

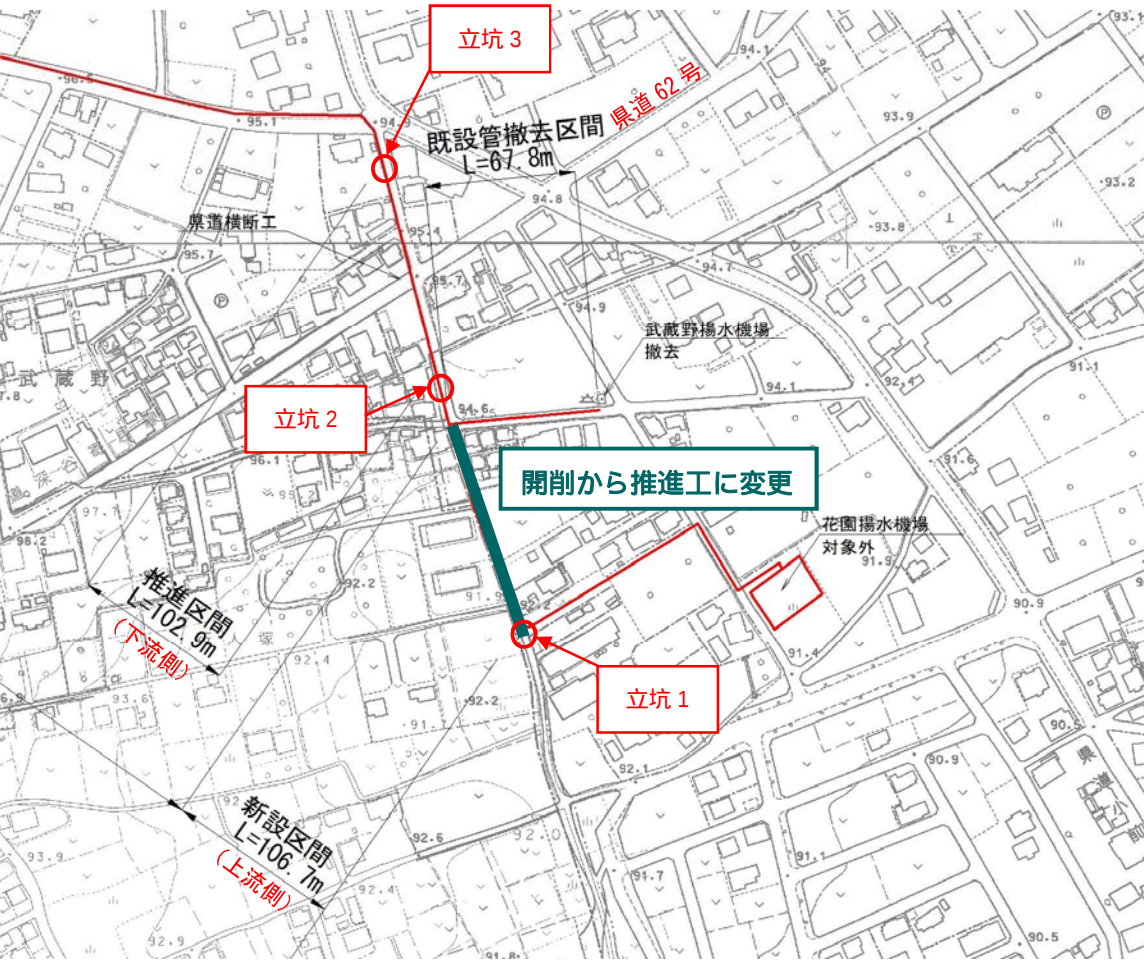


図-1.1.1.1.1 推進工区間説明図

推進工法を適用する上流側開削区間平面図



図-1.1.1.1.2 推進工区間説明図

推進工区間平面図（下流側推進区間 R4 年度設計）



図-1.1.1.1.3 推進工区間説明図

R4 過年度設計の推進工区間の仕様

県道横断推進工 φ600 N>50 程度：Dg 砂礫土主体の工区で採用工法は「泥土圧吸引排土」を選定され、この推進管内に VM-400 の内挿管を挿入する。

(1) 推進区間の線形計画、立坑位置の検討（発進・到達立坑）

現地状況を把握して延伸した推進工区と R4 過年度設計の推進工区間を一連で再検討を行う。
基本的には、下流側になる推進工区間線形の変更はない。
設計後の協議により、発進立坑の位置の補正、到達立坑の位置の補正を行うものとする。

1) 推進区間の状況（現地写真）

民地が近接しており、騒音、振動対策が必要である。
作業時には市道を占有することになる。
立坑は市道の車道内に位置し通行止めとなるため、交差点に対応した交通誘導員による交通規制が必要である。

次ページに推進工区間の平面図を示し、現地状況を添付する。

推進工区間計画平面図

(推進区間2スパンの場合を示す) S=1:500

深谷市
武蔵野
S=1:300





写真-1.1.1.1 上流側推進工区間 開削工との区境



写真-1.1.1.2 上流側推進工区間 仮設ヤードの設置が可能な畑



写真-1.1.1.7 下流側推進工区間 管渠起点部上流側から望む



写真-1.1.1.8 推進工区間 仮設ヤードの設置が可能な畑(右側)



写真-1.1.1.3 上流側推進工区間



写真-1.1.1.4 上流側推進工区間



写真-1.1.1.9 下流側推進工区間 両側民家隣接(立ち位置・難)



写真-1.1.1.10 下流側推進工区間 現景条件の変移



写真-1.1.1.5 上流側推進工区間



写真-1.1.1.6 上流側推進工区間



写真-1.1.1.11 下流側推進工区間 県道62号の遠景



写真-1.1.1.12 下流側推進工区間 県道62号を望む



写真-1.1.1.13 下流側推進区間 県道62号を望む



写真-1.1.1.14 県道62号端から県道62号を望む



写真-1.1.1.15 下流側推進区間 県道を超えて 民家密集地へ



写真-1.1.1.16 下流側推進区間 左側は宅地進入路



写真-1.1.1.17 下流側推進区間 民家密集地



写真-1.1.1.18 下流側推進区間 市道末端県道へ

(2) 推進区間立坑位置の検討

1) 立坑配置の検討

周囲の土地利用状況から、立坑配置の可否を判定する。

前述の現地写真、地下埋設構造物を記載した平面図をもとに立坑配置の可能な位置を模索する。この場合、立坑配置が決定した時点で推進延長も確定となる。

検討は以下の基本方針で行うものとする。

基本方針

各発進・到達立坑は、市道路上に配置する。

各立坑は、ライナー構造のため GL-2m 以深は存置が多いことから市道路上に収める。

各立坑内には、小口径の水道などの圧力管は、取り込み可能（管路自体の安全性を確保すれば、送配水に影響はない）である。

下水管は、自然流下で且つ管の勾配設定がパーミリと非常に緩いことから、立坑内に取り込むことは、推進施工時、復旧後、管路勾配を変化させて下水機能を損なうことが懸念される。従って、可能な場合には立坑内には取り込まず立坑の離隔を確保して影響を与えない位置を策定する。

同様に、下水のマンホール箇所も離隔を確保して下水の機能を損なわない配慮を行う。

下水管の施工は、簡易土留工などにより掘削・埋め戻しが行われている。

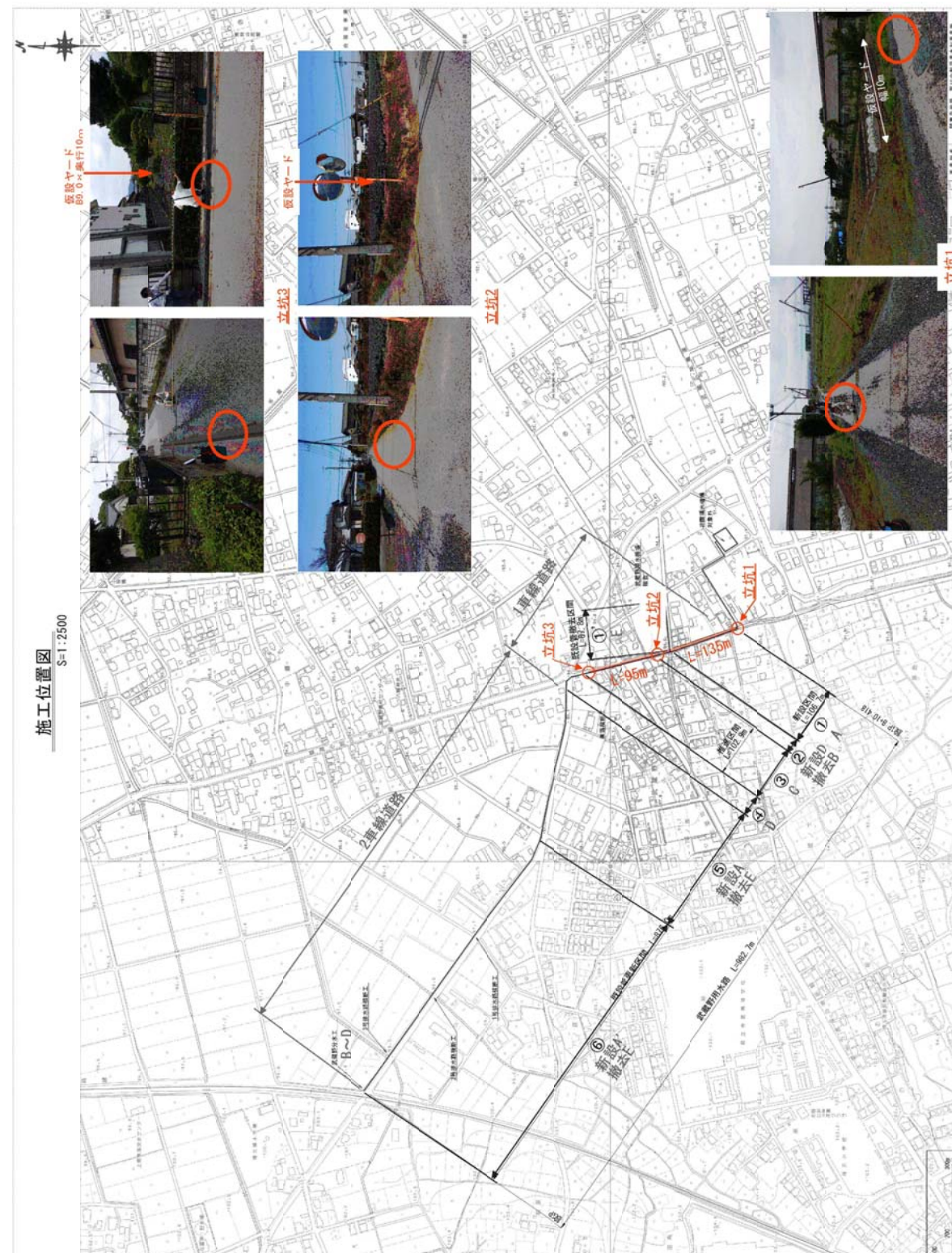
この掘削範囲は、地山よりも強度が劣るため（埋め戻しの密度は 90～95% で地山に比して密度が小さい）、下水管路からなるべく離隔を確保したほうが良い。

道路幅が狭いため、立坑築造、推進施工時は道路を全面通行止めにする必要がある。

従って、通行止めの条件でも隣接民家の生活（通用口の確保等）に支障が無い様に計画する。

発進立坑は、市道脇の土地利用状況から、畑のある上流側（次頁立坑 1 または立坑 2）にしか設置出来ない。下流側を発進立坑とした場合には、道路上での施工となり通行止めによる影響が大きくなることから適していない。

上記の基本方針を踏まえて、立坑の設置可能な位置を勘案した推進延長根拠図を次頁に示す。



1) 立坑の位置選定

R4 過年度設計により発進立坑（立坑 2）として適用可能な位置を示す。

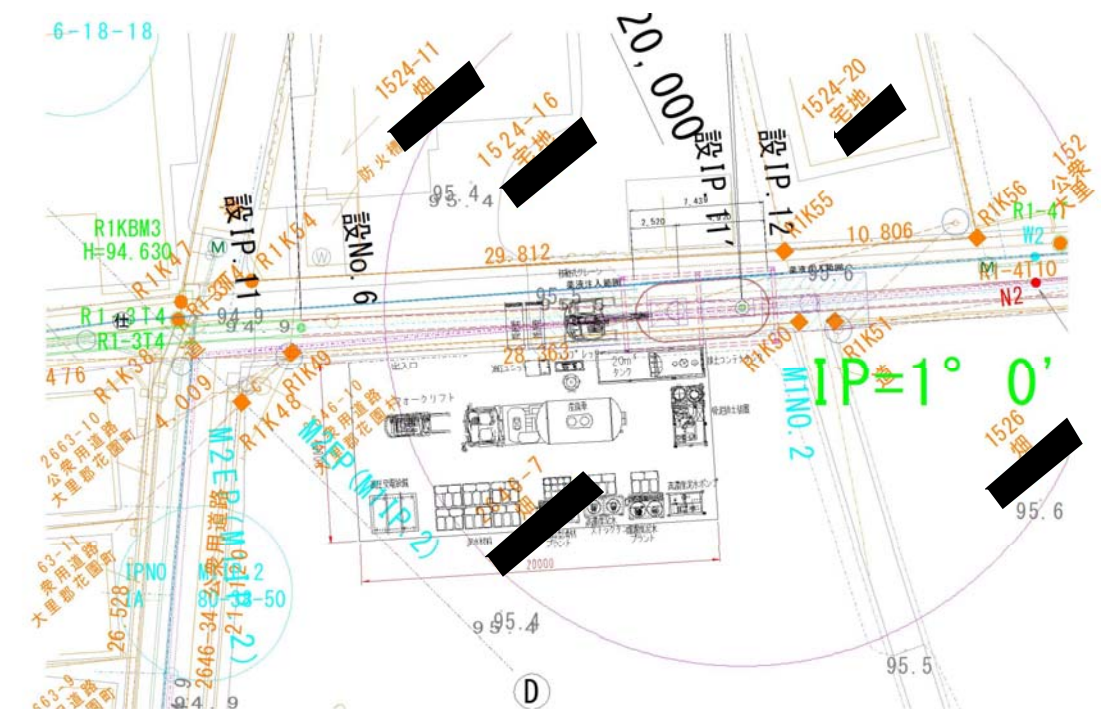


図-1.1.1.4 発進立坑計画配置案

発進立坑の計画は、下水のマンホールを避けた位置で計画する。立坑位置隣接の農地は借地が可能である。



写真-1.1.1.18 立坑2設置位置

2)到達立坑（立坑3）の位置選定(発進としては不可)

到達立坑（立坑3）の設置位置を示す。なお、この位置は発進立坑としては不可である。

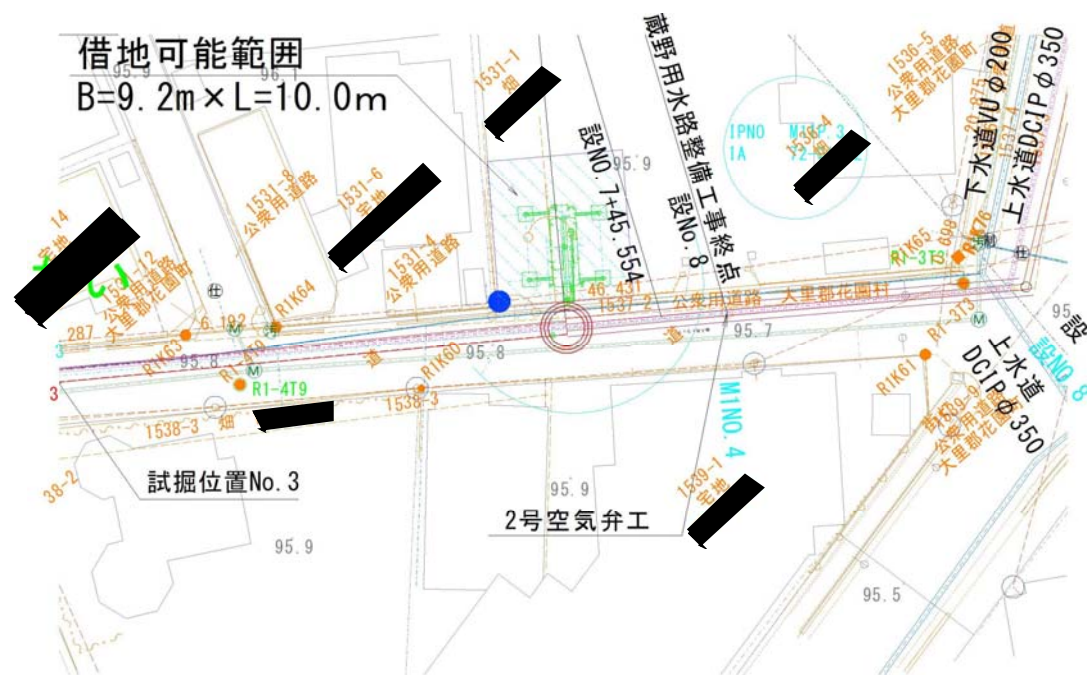


図-1.1.1.5 到達立坑計画配置案（立坑3）

到達立坑の計画は、下水のマンホール、管路を避けた位置で計画した。



写真-1.1.1.19 立坑3設置位置

3)上流側推進工区間適用の立坑位置選定（立坑1）



図-1.1.1.6 上流側の立坑位置（立坑1）借地可能箇所(赤枠内)

立坑 1 の仮設ヤード配置した場合のレイアウト案(航空写真の赤枠範囲)

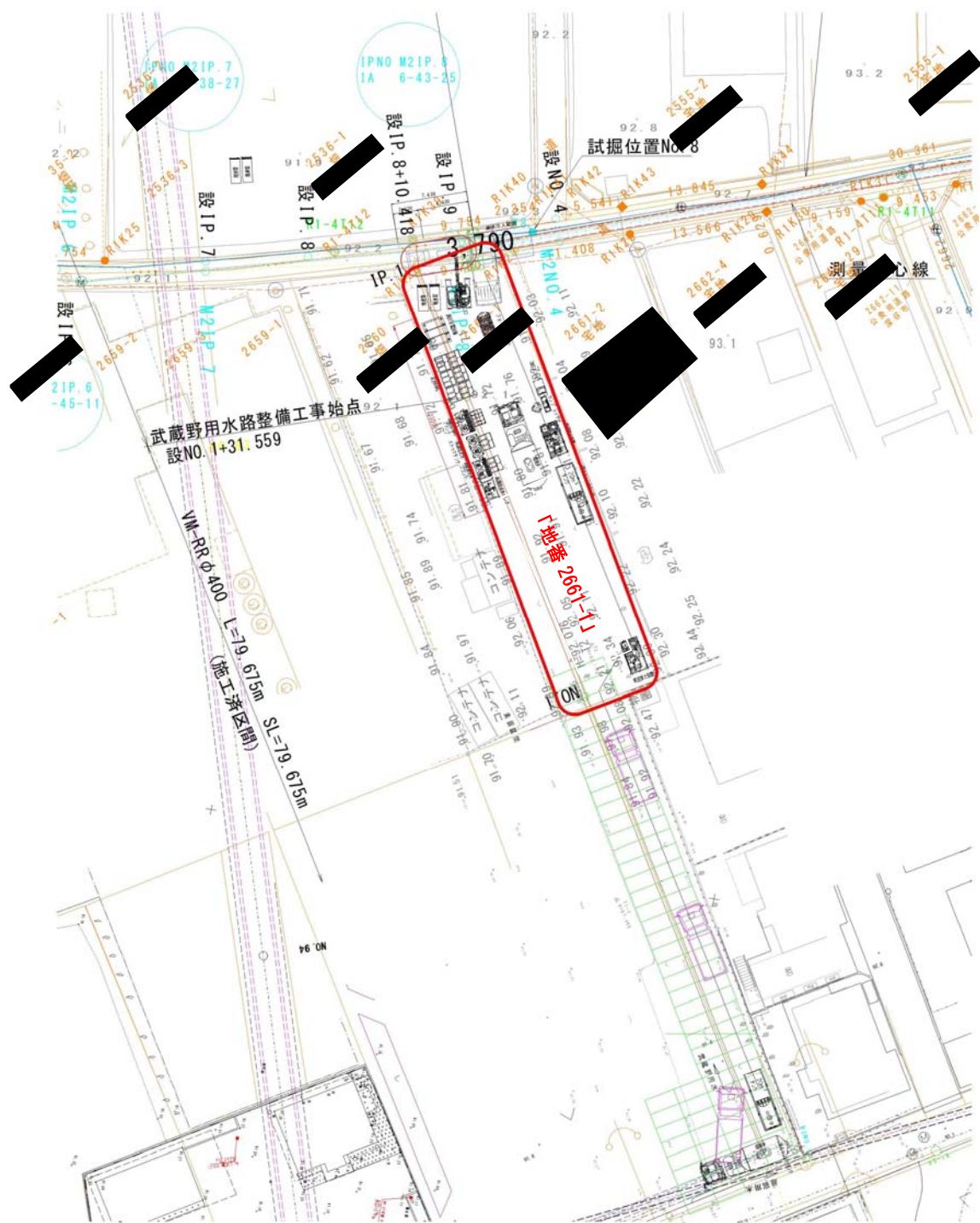


図-1.1.1.7 上流側の立坑位置（立坑 1）借地可能箇所仮設配置図(赤枠内)

3)立坑の配置現地写真
発進立坑（R4 過年度設計 立坑 2）



写真-1.1.1.20 発進立坑

到達立坑（R4 過年度設計 立坑 3）

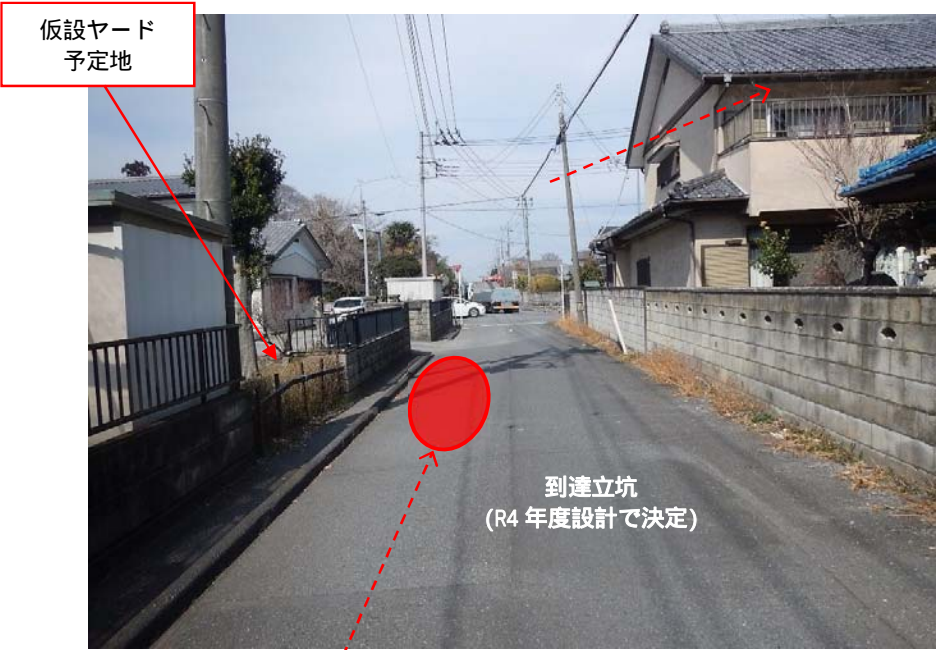


写真-1.1.1.21 到達立坑

上流側新規区間立坑設置場所（本設計 立坑１）



写真-1.1.1.1.8 R5 年度推進工区間 上流側立坑

この新設する立坑の課題点を以下に示す。

上流側立坑設置の課題

借地占有可能な筆(土地)は「地番 2661-1」宅の１筆のみで、周囲は借地占有不可である。この筆には新規の花園揚水機場の配管も行われる。

既設地下埋設配管の下水、水道では、道路幅が狭いため過去の施工は「通行止め」にて行われたと推察される。

立坑のレイアウトは、勘案して施工可能な推進工法協会に仮設レイアウトなどを提示しアドバイスを貰った結果、規模が大きくなる発進立坑の場合は、道路上に占用して先述の「地番 2661-1」筆内で仮設機器を配置すれば可能である。

規模が小さい到達立坑の場合でも、道路上の占用で通行止めは必須である。この到達時でも「地番 2661-1」の筆を借地する。

隣接する架空線は移設が必要である。

(3)適用基準等

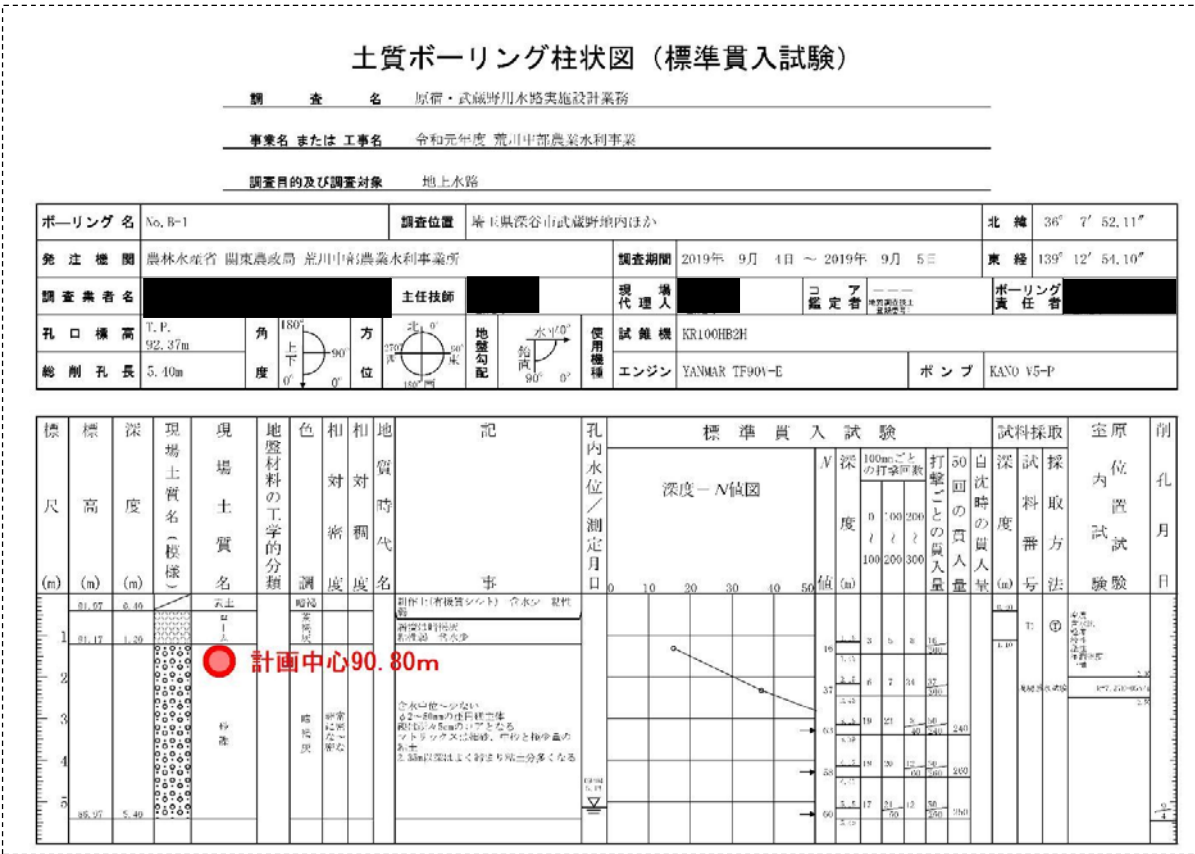
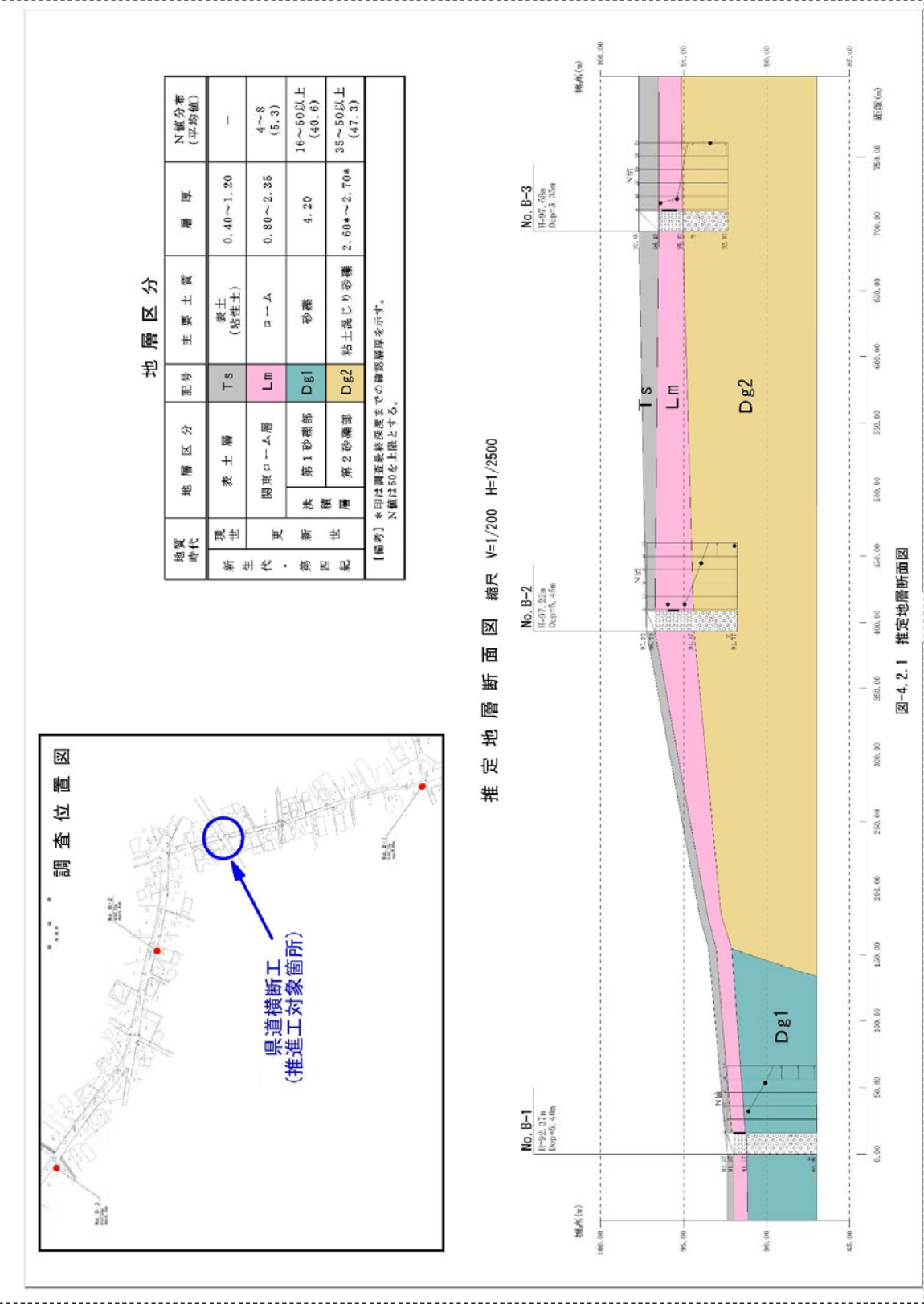
推進工の設計を行う上での適用基準等は下記の通りである。

表-1.1.1.1.1 適用基準等一覧表

文献名	発行	発行者
下水道推進工法の指針と解説	2010 年版	日本下水道協会
推進工法体系 ～	2023 年版	日本推進技術協会
推進工法用設計積算要領 小口径高耐荷力管推進工法編	2022年改訂版	日本推進技術協会
推進工法用設計積算要領 発進及び到達編	2020年改訂版	日本推進技術協会
下水道用設計標準歩掛表 第 1 巻 管路	令和 5 年度版	日本下水道協会
水道事業実務必携	2023 年版	全国簡易水道協議会
道路土工 仮設構造物工指針	平成 11 年 3 月	日本道路協会

1.1.2 設計区間の地質概要

R4 年度設計で引用した地質資料に新たに令和 5 年度に試掘、再調査した結果を添付する。
今回の調査のポイントは、礫径、レキの性質・強度など推進工事の礫層地盤での掘進の判定要素に重要な諸元を確認する。

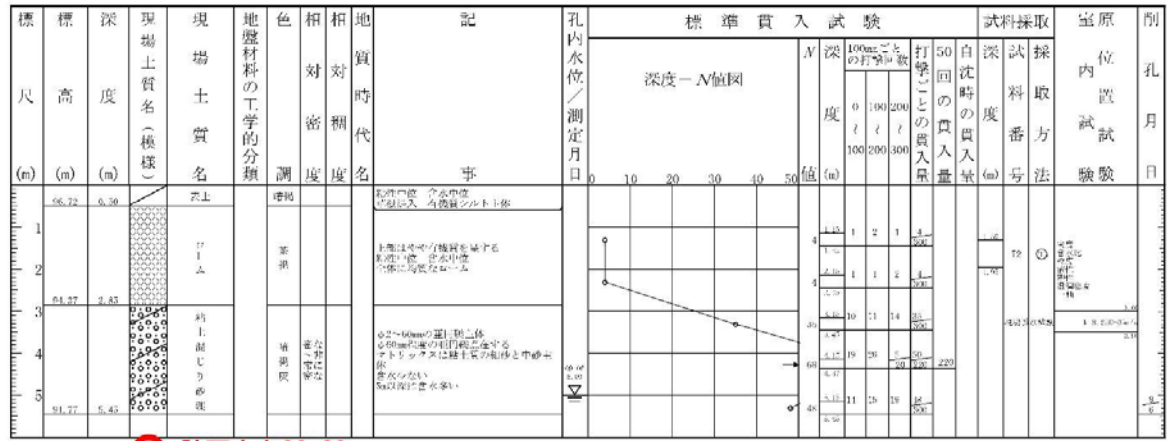


R4 年度設計で引用した地質資料

土質ボーリング柱状図（標準貫入試験）

調 査 名	原宿・武蔵野用水路実施設計業務
事業名 または 工事名	令和元年度 荒川中部農業水利事業
調査目的及び調査対象	地上水路

ボーリング名		No. B-2		調査位置		埼玉県深谷市武蔵野地内ほか				北緯		36° 8' 2.97"									
発注機関		農林水産省 関東農政局 荒川中部農業水利事業所				調査期間		2019年 9月 6日 ~ 2019年 9月 7日				東経		139° 12' 45.83"							
調査業者名				主任技師		現 場 代 理 人		コ ー ア ー		ボーリング責任者											
孔口標高		T.P. 97.22m		角				方位				地盤勾配				使用機種		試験機		RR100IB2	
総削孔長		5.15m		度		0°		エンジン		YANMAR TF90V-E				ポンプ		KANO V5-P					



計画中心90.80m

R4 年度設計で引用した地質資料

4-4. 現場透水試験結果

現場透水試験は、試験対象地盤の透水係数の把握を目的として実施した。

ここでは試験結果を一覧表として示し、透水係数の文献値との比較から試験値の妥当性を照査する。

なお、現場透水試験による透水係数の算定方法は、2章の2-3項に示すとおりであり、現場透水試験結果の詳細は、巻末資料の「現場透水試験データシート」に示す。

(1)試験結果

現場透水試験結果は、下記の表-4.4.1に示すとおりである。

表-4.4.1 現場透水試験結果

調査地点 (No.)	孔口 標高 (H:m)	現場透水試験条件				平衡水位		透水係数 k (m/sec)	
		試験深度 (GL-m)	地層名 (記号)	土質名	試験法	深度 (GL-m)	標高 (H:m)	試験値	平均値
B-1	92.37	2.00 ~ 2.50	洪積層 第1砂礫部 (Dg1)	砂礫	注水法	5.400	86.97	7.27E-05	5.57E-05
B-2	97.22	3.00 ~ 3.50	洪積層 第2砂礫部 (Dg2)	粘土混じり 砂礫	注水法	5.450	91.77	8.25E-05	
B-3	97.68	3.50 ~ 4.50	洪積層 第2砂礫部 (Dg2)	粘土混じり 砂礫	注水法	3.380	94.30	2.88E-05	

上表より、洪積層第1砂礫部(Dg1)、第2砂礫部(Dg2)の現場透水試験による透水係数は、下記のように求められた。

- 1) 洪積層第1砂礫部(Dg1) $k = 7.27 \times 10^{-5} (\text{m/sec})$
2) 洪積層第2砂礫部(Dg2) $k = 2.88 \sim 8.25 \times 10^{-5} (\text{m/sec})$
Dg2層の平均値 : $5.57 \times 10^{-5} (\text{m/sec})$

(2)文献値との比較

透水係数と土の種類及び透水性の関係を、次頁に表-4.4.2として示す。

また、現場透水試験により求められた、洪積層砂礫部(Dg)の透水係数を次頁の表-4.4.2中に■(洪積層第1砂礫部 : Dg1)、■(洪積層第2砂礫部 : Dg2)で示した。

洪積層第1砂礫部(Dg1)の土の種類は、(1)の表-4.4.1に示すとおり「砂礫」、洪積層第2砂礫部(Dg2)は「粘土混じり砂礫」であり、次頁の表-4.4.2との関係では「砂および礫」に対応すると考えられる。

次頁の表-4.4.2に示すように、試験値は「砂および礫」の透水性の範囲(中位)にあり、妥当な値が得られたものと評価できる。

R4 年度設計で引用した地質資料

5-2. 設計・施工上の留意点

(1) 洪積層第 1、第 2 砂礫部(Dg1、Dg2)の最大礫径について

洪積層第 1、第 2 砂礫部(Dg1、Dg2)の最大礫径としては、4-2 項に示したようにφ60mm 程度の亜円礫が確認された。

一般に礫の形状は球形ではなく扁平で、堆積時の河川の流れの影響を受けて、下記の図-5.2.1 に示すように堆積している。

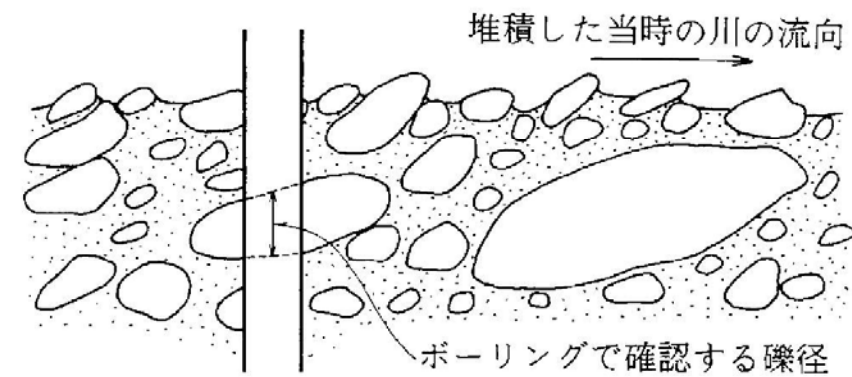


図-5.2.1 ボーリングと礫径（ボーリング野帳記入マニュアル：全国地質調査業協会連合会、P99）

このためボーリングにより確認された最大礫径(短径)の 3~5 倍(ボーリング野帳記入マニュアル：(社)全国地質調査業協会連合会、P100、P103 参考)が、実質的な最大礫径となる場合もある。

礫の最大径は、掘削工事の施工性において重要であるが、ボーリングでは正確な最大礫径を求めることは非常に難しく、「ボーリング野帳記入マニュアル：(社)全国地質調査業協会連合会、P39」では、その理由を下記のように示している。

- 1)ボーリング孔径は 10cm 未満の小口径であることから、転石や玉石が存在しても、それにあたらないことが多い。
- 2)礫の形状は球状ではなく、扁平で寝るような形に堆積していることが多いため、ボーリングで掘削する礫径は短径を計っていることになる。
- 3)同じ礫層とはいえ場所が少し変わると様相が変わってくることがある。

このため洪積層第 1、第 2 砂礫部(Dg1、Dg2)中には、確認礫径の 3 倍程度を最大礫径としても、φ60mm×3 倍=φ180mm 程度が層中に点在する可能性がある。

R4 年度設計で引用した地質資料

(3)土質定数提案値

調査地を構成する地層の土質定数値を、下記の表-5.1.1 のように提案する。なお、各定数値の設定根拠は、(4)以降に示すとおりである。

表-5.1.1 土質定数提案値一覧表

地質時代	地層名	地層記号	設計N値	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	粘着力 C (kN/m^2)	せん断抵抗角 ϕ ($^\circ$)	変形係数 E_o (MN/m^2)	透水係数 k_w (m/sec)
新生代、更新世、第四紀	表土層	Ts	1	14.0	6.0	0	0.7	—
	関東ローム層	Lm	4	15.0	29.0	0	3.9	—
	洪積層第 1 砂礫部	Dg1	34	20.0	0.0	41	23.8	7.27E-05
	洪積層第 2 砂礫部	Dg2	44	20.0	0.0	44	30.8	5.57E-05
【備考】①単位体積重量は、地下水位以下では γ_{t-9} とする。 ②変形係数(E_o)は、孔内水平載荷試験や一軸圧縮試験により求められた値と同値であり、設計時の換算係数は $\alpha=4$ （常時）、 $\alpha=8$ （地震時）を適用する。								

R4 年度設計で引用した地質資料

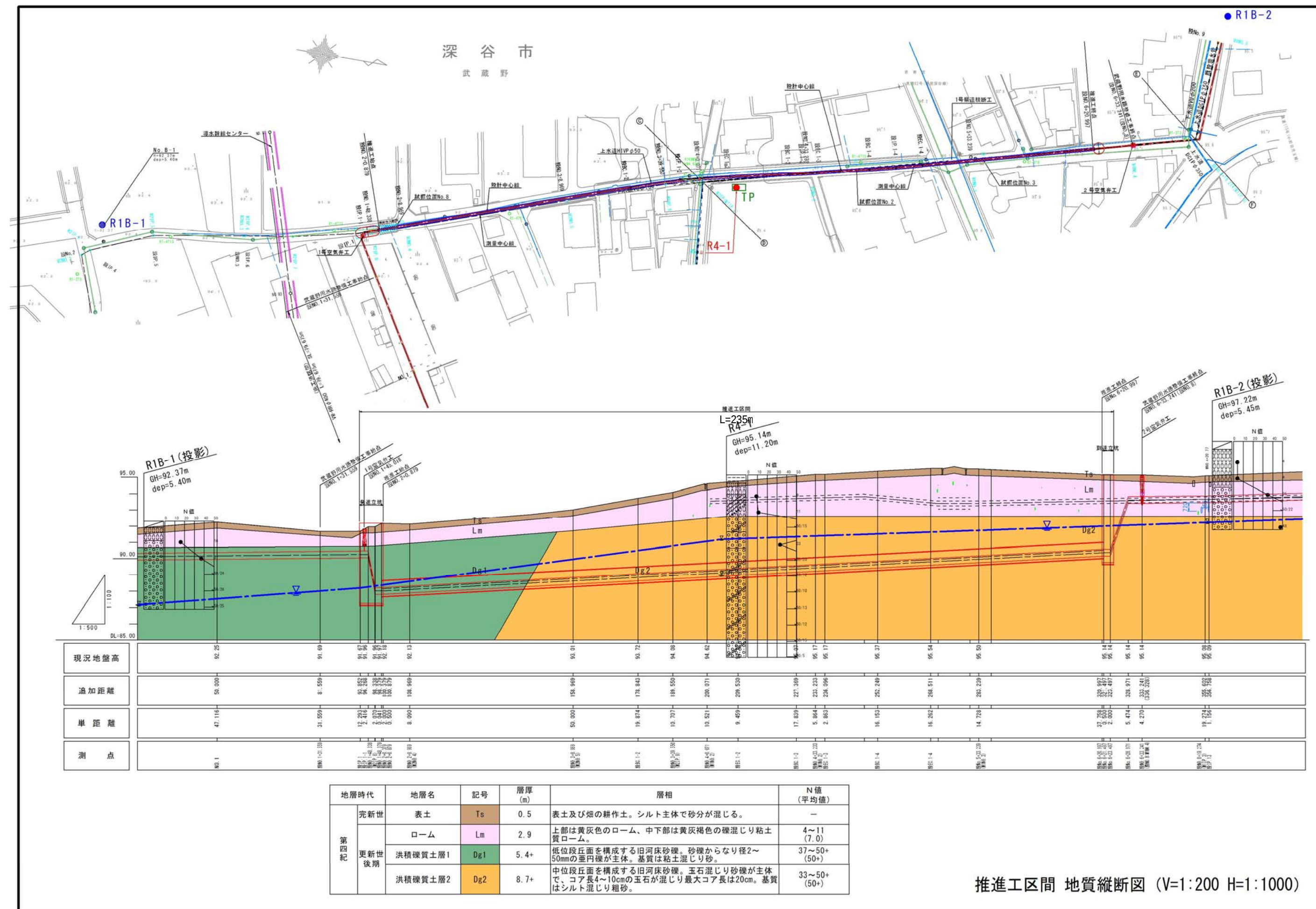
本設計の地質調査による結果

試掘により、通過断面の砂礫の強度及び物質特性を把握した。
特に礫の物質判定では、「石英の含有」が掘進延長の可否判断をする目安になっている。
これは、石英が掘進機のビット、面板の摩耗に大きく関与するためである。
以降に、通過断面の Dg2 調査のまとめと石英の含有による掘進機ビット摩耗についての文献を添付する。

2）地質概要（Dg2層）

項目	数値	単位
土質	玉石混じり砂礫	
土被り	3～4. 5	m
地下水位GL-	4～5	m
N値	33～50以上(平均50以上)	回
内部摩擦角	40	度
透水係数	1～7E-03	cm/sec
土の単位体積質量(湿潤)	21	kN/m3
土の単位体積質量(水中)	-	kN/m3
最大礫径(実径)	300	mm
礫の含有率	70	%
石英の含有率	42	%
地盤反力係数	-	kN/m3
一軸圧縮強度	チャート：51. 81 花崗閃緑岩：120. 94	MN/m2

以降に地質縦断面図を示す。



他地区事例：岩盤シールドの掘削面板、カッター、ビット摩耗計算の条件表

3. 1 岩盤層掘進時のディスクカッタライフ

(1) カッタライフ算定の考え方

岩盤掘進時のディスクカッタライフは、岩種、岩盤一軸圧縮強度、石英含有率、RQD、ディスクカッタ径、ディスクカッタ材質、ディスクカッタ押付荷重、カッタピッチ、岩ズリのカッタヘッドチャンパ内への流入性等により変化するため、これらを適切に判断して算定することが必要となります。

岩盤一軸圧縮強度は岩盤のキレツ状況を加味した準岩盤一軸圧縮強度を基にします。

準岩盤一軸圧縮強度 = K²×岩盤一軸圧縮強度より設定します。

K ² キレツ度	岩盤の性状
0.8	節理があるが密着。殆ど風化していない。
1.0	節理はまったく見られない。

{キレツ度}はK²=(Vp/Vpo)²により算出される。Vp:岩盤のP波速度km/sec、Vpo:岩石供試体のP波速度km/sec}

弊社では、長年にわたって培ってきたTBMのディスクカッタライフ算定技術を基に、シールドマシンの施工実績に合致するよう修正係数を加えて、ディスクカッタ許容転走距離λを設定しています。

ディスクカッタ切込深さPeについてもシールドマシンでの岩盤掘進時に良く合致するデータをベースにして

設定しています。λ、Peを設定すればディスクカッタが摩耗限界に達するまでのトンネル掘進可能延長を

(2) 項に示す簡便な計算により算定することが出来ます。

(2) 計算式

$$L=\frac{10Pe\lambda}{2\pi R}$$

ここに	L：ディスクカッタ摩耗限界までのトンネル掘進延長	(m)
	Pe：ディスクカッタ切込深さ	(cm/rev)
	λ：ディスクカッタ摩耗限界までの転走距離	(km)
	R：ディスクカッタ取付半径	(m)
	V：シールド掘進機の掘進速度、(V=Pe×N)	(cm/min)
	N：カッタ回転速度	(rpm)

上記のとおり石英の含有は、摩耗計算に大きく関与している。

推進工では、アンクルモールスーパー工法の掘進機ローラーカッター取り付け工の歩掛には、「岩石中の石英含有率が30%以上の場合の対応延長は別途考慮する」という記載もある。

以上より、掘進延長は、岩、砂礫の強度以外にこの石英含有要素が影響を与える。

53. 岩石組織が及ぼすTBM摩耗への影響と、その定量的比較

Influence of Petrologic Texture upon the Wear of Tunnel Boring Machines, and those quantitative measuring

○戸邊勇人, 山本拓治, 佐藤一成, 大畑俊輔 (鹿島建設技術研究所)
Hayato Tobe, Takuji Yamamoto, Issei Sato, Shunsuke Ohata

1. はじめに

トンネルの掘削法には、開削工法・NATM・TBMなど多くの施工法がある。これらのうち、TBMによる掘削工事において、合理的かつ経済的に施工を進めるためには、ディスクカッタ（以下、カッタ）の摩耗量・貫入量の正確な見積りが重要である。

カッタの摩耗の見積もりに一般的に用いられている指標には、一軸圧縮強度のほか、石英含有率が挙げられる¹⁾。石英は、主要な造岩鉱物の中で、最も高い硬度（モース硬度・ビッカース硬度）を示すだけでなく、圧子の押込みに対する抵抗（マイクロインデンテーション試験）でも高い値を示す（表1）。TBMは、切羽の表面にカッタを押し付けつつ、転動することによって掘削を行う。そのため、岩石中に高い硬度と押込み抵抗値をもつ石英が多く含まれている場合には、カッタの摩耗も大きくなると考えられる。

表-1 花崗岩の主要造岩鉱物の性質²⁾³⁾

	マイクロインデンテーション試験		モース硬度
	最大荷重(mN)	HTL	
石英	981	461	7.0
カリ長石	981	370	6.0~6.5
斜長石	981	233	6.0~6.5
黒雲母	98	9	2.5~3.0

花崗岩や花崗閃緑岩などの花崗岩類は、石英・カリ長石・斜長石・黒雲母・角閃石を主成分としており、体積比で25~40%の石英を多く含んでいる。そのため、花崗岩類のTBM掘削では、石英の解析が重要である。

2. 調査地の地質

本研究は、中部地方のトンネル掘削現場を対象とした。研究地に分布する岩種は、傾家花崗岩に属する花崗岩類であり、粗粒黒雲母花崗岩（以下A種）、中粗粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩（B種）、および中粗粒黒雲

母花崗岩（C種）の3種に区分される。

3種の花崗岩類から石英だけを取り出してみると、A種の石英粒子が孤立しているのに対し、B種、C種の石英粒子は連結しあっている（図-1）。

3. 岩種間での摩耗量と石英含有率・形状の比較

研究地において、TBMのカッタ摩耗量を岩種間で比較した結果、掘削体積あたりの摩耗量の比と、石英含有率の比との間には、大きな差が認められた（表-2）。とくにA種とC種は、類似した岩種（ともに花崗岩）であるにもかかわらず、石英含有率の比に対して、掘削体積あたりの摩耗量の比が大きな値を示した。なお、岩種間において、風化程度や亀裂の存在には大きな差がなく、一軸圧縮強さにも差が認められなかった。

表-2 TBM掘削時の摩耗の結果

岩種	掘削体積あたりのビット摩耗量		一軸圧縮強さ		石英含有率	
	(mm/m ³)	Aとの比	(MN/m ²)	Aとの比	(%)	Aとの比
A	0.038	1.0	130.5	1.0	31.1	1.0
B	0.039	1.0	127.0	1.0	37.8	1.2
C	0.092	2.4	135.2	1.0	39.5	1.3

岩種、風化程度、および石英含有率に大きな差を示さない岩種間において、カッタの摩耗に大きな差が生じた原因は、含有率以外の石英の性質の差に起因すると考えられる。前述のように、A,C種で石英の形状を比較すると、A種に比べてC種の石英粒子は互いに連結しあっている（図-1）。このことから、花崗岩類では、石英粒子の形状が、摩耗に影響を及ぼす要因の一つになっていると予想される。

石英をはじめとした鉱物の形状を定量化する試みは、岩石学の分野で研究されているが⁴⁾、鉱物粒子の連結性を直接定量化する研究はこれまであまり行われてこなかったようである。筆者らは、かつて風化に影響を及ぼす岩石組織の定量化法を開発しており⁵⁾、本

研究ではその測定法を石英粒子の分析に応用した。ここではその分析法を示すとともに、結果についても簡単な考察を記す。

4. 石英粒子の連結率と定量化法

石英粒子の連結率は、以下の手順で測定した。

(1) 岩石の画像化：岩石を約3.5cm程度

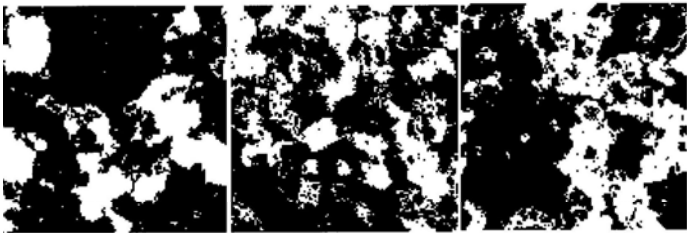


図-1. 各岩種の石英の形状（左A種、中B種、右C種 一辺約3cm）

のチップに切断し、切断面を研磨する。研磨面をスキャナでPCに取り込む。

(2)石英粒子の抽出：同種の鉱物は類似色を示す性質をもつ。そのため、画像処理ソフトの近似色の選択機能を利用すると、石英の分布範囲が選択できる。この方法で石英が過不足なく選択されたら、石英部分を白色に塗りつぶし、その他の部分を黒色に塗りつぶす。

(3)石英連結率の算出：画像処理で得られた画像全体では、上端から下端まで連結した石英粒子の塊（クラスタ）は存在しない。画像全体を小さい領域に分割していくと、一部の分割領域に、上端から下端まで連結したクラスタ（無限クラスタ）が生じる。この無限クラスタの存在割合をそのサイズの連結率とする。すなわち図-2を例にすれば、16個の分割領域のうち、3つに無限クラスタが存在するため、画像全体の1/4サイズでは $3/16=0.1875$ の割合で石英粒子が連結しているとみなせる。これを「石英連結率」と定義する。

(4)数式化：分割サイズを変えながら石英連結率を複数回測定した後、yを石英連結率、xを分割サイズとしてグラフにプロットし、 $y=f(x)$ の式で近似する。これにより任意のサイズにおける石英連結率が求められる。

なお、この測定は、PCを使用して、自動的に実行した（測定時間は1分/回程度）。使用した機材・ソフトウェアは以下の通りである：

スキャナ：FUJIXEROX 社製 ApeosPortIV
解像度:400dpi (1pixel=0.0635mm)
PC：Lenovo 社製 Think Centre
(CPU:Core2Duo 2.93GHz,メモリ 2GB)
画像処理ソフト：GimPhoto ver1.4.3
解析プログラム開発言語：十進 BASIC
(文教大学白石和夫氏作)

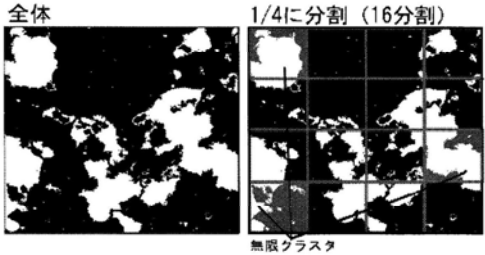


図-2 石英連結率の定量化法

5. 結果と考察

同一岩種のA,C種を比較すると、7.5mmサイズにおける石英の連結率が、掘削体積当たりの摩耗量とよい相関を示していた（表-3）。なお、B種は花崗閃緑岩であるため、花崗岩のA,C種と同列での比較ができないと考えられるため、比較から除外した。

A,C種の掘削において、摩耗に差が生じた原因は、以下のように、石英粒子の連結性の差によるものと考えられる。石英は、押込みに対して強い抵抗力をもつ

ため、カッタの押し込みによって変形しにくい。一方、長石類や有色鉱物は石英に比べると変形しやすいため、カッタの通過によって内部に微小な亀裂が発現する。石英粒子が孤立しているA種では、繰り返しのカッタが通過することにより微小亀裂が拡大しやすいため、切羽の表面が剥離しやすく（図3上）、掘削量に比してカッタの摩耗が小さくなったと考えられる。その一方、C種では、石英粒子が骨格をなしているため、長石類や有色鉱物の微小亀裂が発現・拡大しにくい。そのためカッタの転動によっても岩石表面が剥離しにくく、カッタが摩耗しやすいと考えられる（図3下）。

以上のことから、花崗岩類の掘削では、石英含有率だけでなく石英粒子の形状、とくに粒子間の連結性もあわせて考えると、摩耗量の見積りの精度が、より向上すると考えられる。

表-3 摩耗量と石英連結率の比較

岩種	掘削体積当たりの摩耗量		石英連結率			
			分割サイズ=7.5mm		分割サイズ=10mm	
	(mm/m ³)	Aとの比	(%)	Aとの比	(%)	Aとの比
A	0.038	1.0	19.2	1.0	15.5	1.0
C	0.092	2.4	48.5	2.5	49.6	3.2

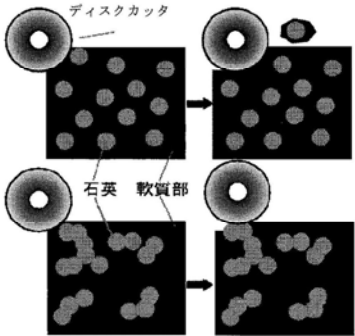


図-3 岩石の剥離のイメージ

文献

1) 谷本親伯ほか(2006):TBM 施工におけるディスクカッタの摩耗と岩石の物性に関する研究, 材料, Vol.55,No.1,pp.29-36
2) 荒木裕行・長谷川修一(2000):造岩鉱物の押し込み変形挙動,日本応用地質学会中国四国支部平成 20 年度研究発表会発表論文集,pp.13-18
3) 地盤工学会(2000):岩の調査と試験,pp.485-490
4) e.g. Heilbronner, R.and Keulen, N(2006): Grain size and grain shape analysis of fault rocks, Tectonophysics 427, pp.199-216
5) Tobe H. and Chigira M. (2006): Causes of shallow landslides of weathered granitic rocks - from the view point of weathering styles and petrologic textures -, Disaster Mitigation of Debris Flows Slope Failures and Landslides(Edited by Marui,H.et al.), UNIVERSAL ACADEMY PRESS, INC., pp.493-501

1.1.3 推進工区間の線形計画

先述の1.1.1章で示した通り、推進工の適用延長を延伸することになった。
これにより当該推進区間延長は、約222mの距離となる。

(1) 推進工区間の提示

下記に推進工区間の説明図を添付する。

推進工法を適用する上流側開削区間平面図



図-1.1.3.1 上流側推進工区間説明図

下流側推進工区間平面図



図-1.1.3.2 下流側推進工区間説明図

(2) 推進工区間の平面線形留意点

推進工区間の平面線形設定には下記の点を留意する。

「線形は、約222mを1工区の一括工事、2工区の分割工事も共通とする」

1) 平面線形の設定条件

発進立坑、到達立坑の設置可能な位置は、隣接する民地の占用、借地可能となる場所を選定する。

上記立坑は、構造が撤去できず、一部存置(坑口部の金物等)になるため、構造配置を考慮して民地内に存置とならない計画線形を設定する。

上水道、下水道、既設農水管が道路上に埋設しているため、線形、構造が競合するのは必然となる。したがって各構造の離隔の確保、仮設立坑内に取り込む、移設するなど事前に計画の方針決定のための事前協議を行う。

立坑の配置は、工事区間の道路幅が3～4mと狭小のため道路内に設定することになる。このため通行止めの工事となることから、近隣住民の通行不可の区間の影響が少なくなるように配慮する。

現況道路と、公図の用地境界に差異があるため、地形図の公図範囲・境界線を優先して計画を設定する。

推進工事は、仮設資材の搬入頻度が多いため工事用通路の確保に留意する。

架空線が隣接しているため、立坑配置時に影響が出る電柱・架空線移設の事前協議を行う。

2) 推進工による平面線形計画条件

全線約222mにおいて1工区：一括工事の場合の推進口径は、小口径高耐荷力推進工事の施工延長(最大140m：下表参照)を外れるため、大口径推進工の呼径800mmを適用する。

下記に小口径高耐荷力推進工事の施工延長を示す。

表1-12 1スパンの適用掘進延長（管長：2.0m、2.43m）（参考）

掘進延長（m）		20	40	60	80	100	120	140	160	180
分類方式・呼び径	掘進方式									
		250～300	350～500	600～700	250～300	350～500	600～700	250～300	350～500	600～700
圧入式	二工程方式									
オーガ式	一工程方式									
泥水式	一工程方式									
泥土圧式	二工程方式									
立坑内駆動	先導体駆動									
圧送排土	圧送排土									
吸引排土	吸引排土									

注）呼び径200については、対応可能な工法について別途検討すること。

上記「推進工法用設計積算要領 小口径管推進工法 高耐荷力管推進工法編 2022年版
(公社)日本推進技術協会」P34より抜粋

全線約 220mにおいて 2 工区：分割工事の場合の推進口径は、R4 過年度設計を準用し小口径高耐荷力推進工事の呼径 600mmを採用する。

また、上記小口径推進工が適用できない場合は、全線一括工事と同じく大中口径推進工の呼径 800mmを適用する。

推進工区間の曲線設定最小目安は、呼径の 100 倍とする。

（これ以下の急曲線施工も可能であるが、地区的条件でほぼ直線の道路線形に制約され適用条件に今回は合致しない）

曲線半径 R が大きいと、日進量が低減されず工期短縮、施工コストの縮減となるため採用線形は大きな方が望ましい。

参考：呼径 600mmの場合

下表より、急曲線は R = 50mである。

（1）標準曲線半径

土質別・機種別の標準曲線半径（R）は表－ 2. 3による。

なお、標準曲線半径を超える場合ならびに、縦断曲線及び岩盤への適用については、個別検討により適用の可否を判断する。

また、発進立坑より 1 0 mは直線区間を設定する。

表－ 2. 3 標準曲線半径

適用 土質 区分	機種	鉄筋 コンクリート管 呼び径	曲 線 半 径				(m)
			200	150	100	50	
普通土 [A] 硬質土 [B]	DL35-N	250～350					
	DL50-N	400～500					
	DL70-N	600～700					
礫質土 [C]	DL35-N	250～350					
	DL50-N	400～500					
	DL70-N	600～700					
礫・粗石混 り土 [D]	DL35-N	250～350					
	DL50-N	400～500					
	DL70-N	600～700					
礫・粗石混 り土 [E]	DL35-N	250～350					
	DL50-N	400～500					
	DL70-N	600～700					

備考 曲線推進の適用については、管種及び諸条件により制限があるため、協会までお問合わせ下さい。

上記-R4 過年度設計 採用工法「泥土圧吸引排土 エースモール工法資料」より抜粋

参考：呼径 800mmの場合

下表より急曲線は R = 30m、R = 80m以上は曲線の低減が無い。

掘進速度比											
R (m) 呼び径	30以上 40未満	40以上 50未満	50以上 60未満	60以上 70未満	70以上 80未満	80以上 90未満	90以上 100未満	100以上 150未満	150以上 200未満	200以上 250未満	250以上 300未満
800	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	*	*	*	*	*	*
900	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	*	*	*	*	*
1000	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	*	*	*	*
1100	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9 R 110未満適用	*	*	*
1200	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9 R 120未満適用	*	*	*
1350	—	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9 R 135未満適用	*	*	*
1500	—	—	—	—	0.7	0.7	0.7	0.9	*	*	*
1650	—	—	—	—	—	0.7	0.7	0.9 R 165未満適用	*	*	*
1800	—	—	—	—	—	—	0.7	0.8 R 180未満適用	*	*	*
2000	—	—	—	—	—	—	0.7	0.7	0.9	*	*
2200	—	—	—	—	—	—	—	0.7	0.8	0.9 R 220未満適用	*

〔凡例〕

—	採用にあたっては各工法協会へ問合わせる。	*	呼び径 × 100以上	—	適用範囲外
---	----------------------	---	-------------	---	-------

上記-「推進工法用設計積算要領 泥濃式推進工法編 2022 年版
(公社)日本推進技術協会」より抜粋

推進工の発進立坑からの曲線設定、および S 字平面線形の場合の折り返しには必ず直線区間を 10m以上設ける。この直線区間設定は、各工法協会で差異があるが安全側を採用している。

「上記 の参考資料 エースモール工法引用の赤線部を参照」

直線 10m以上設定の必要性

- ・発進立坑：初期掘進で推進方向の確定のため必要
- ・S 字曲線造成：方向変更の機体の反力確保の必要性で直線が必要

次ページに平面図に線形を配慮する箇所を示す。

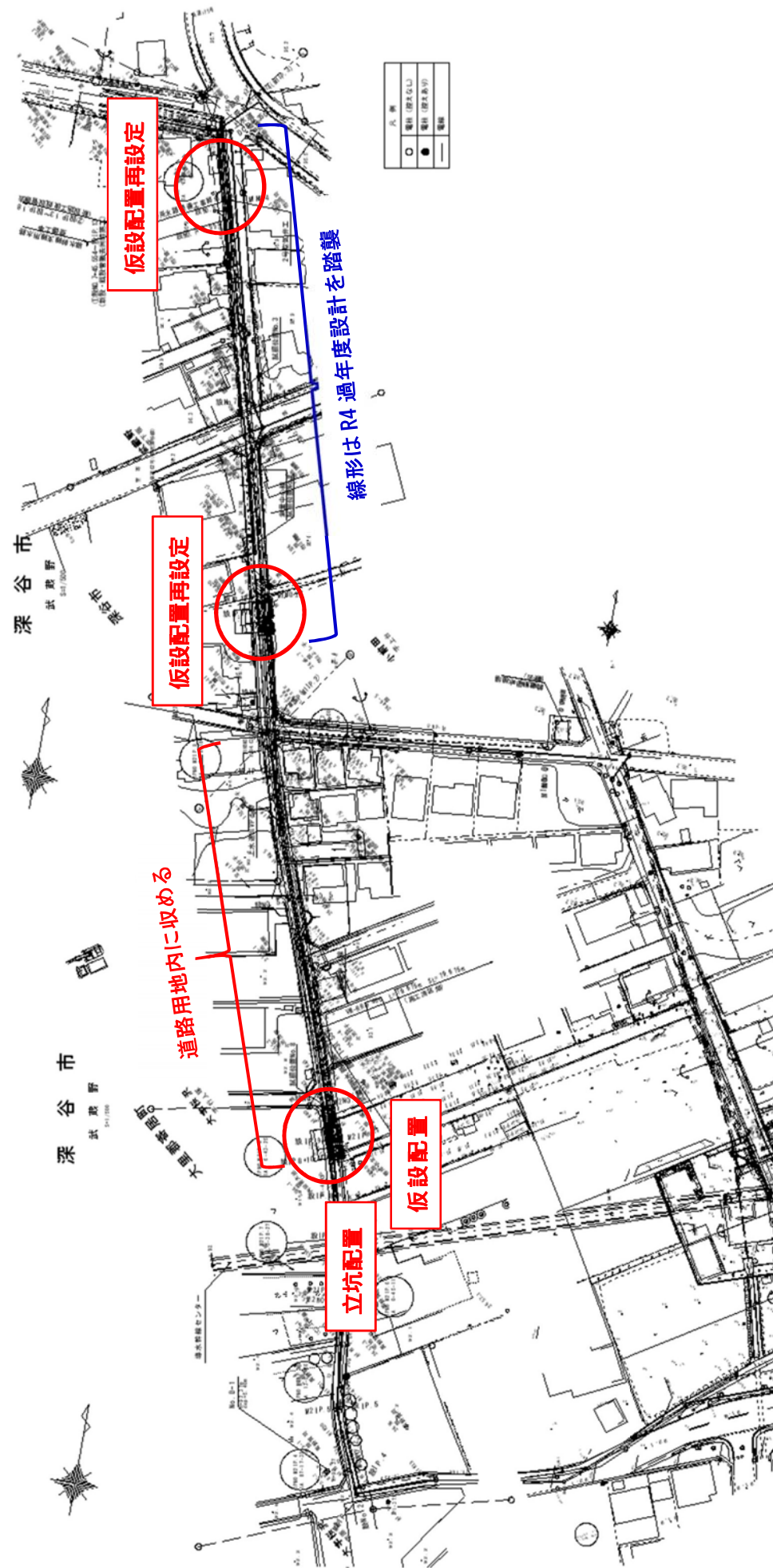


図-1.1.3.3 平面図：線形に配慮する箇所

(3)線形検討結果

各地点での配置検討結果を以下に示す。

1) 上流推進延伸区間

立坑構築部(発進立坑の設置可否・到達立坑の占用範囲)



図-1.1.3.4 上流側の立坑位置借地可能箇所(赤枠内)

立坑設置可否

航空写真の赤枠の借地と公図の道路内に収める仮設計画の立案

発進立坑設置可否の検討：発進立坑は可能である

最大となる仮設ヤードを必要とする呼び径 800mmの配置図を協会に施工可否を査定してもらい可能となった。小口径 600mm推進工はこの占用よりも小さいため問題なし。

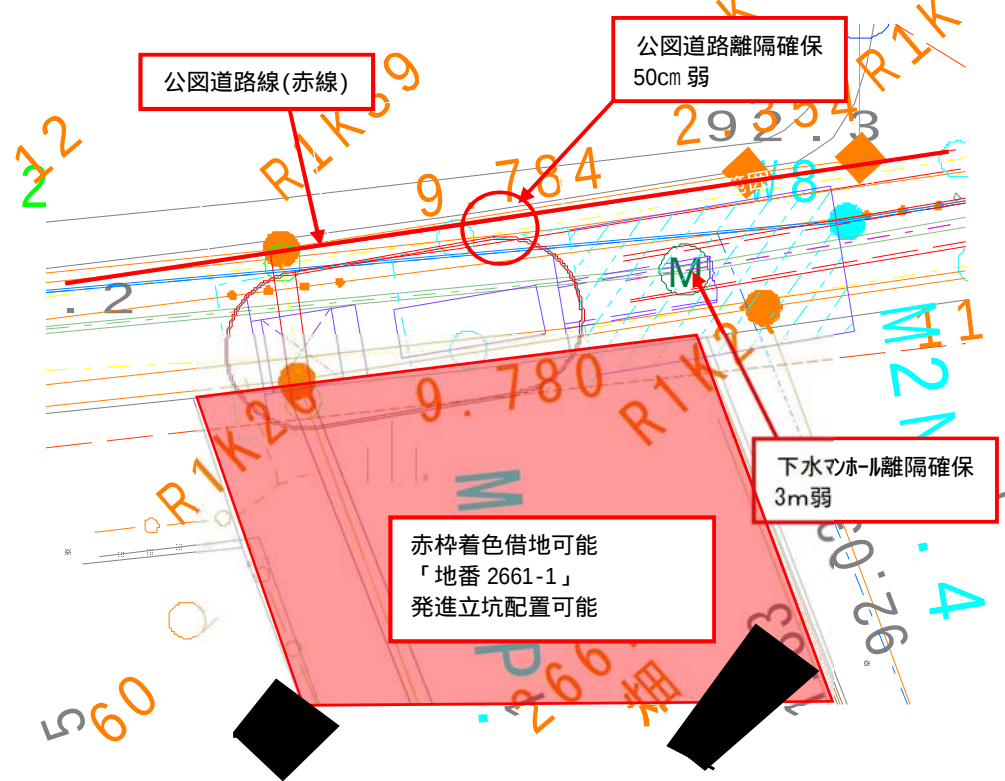


図-1.1.3.5 上流側の立坑位置 発進立坑とした場合

到達立坑設置可否の検討：到達立坑は可能である

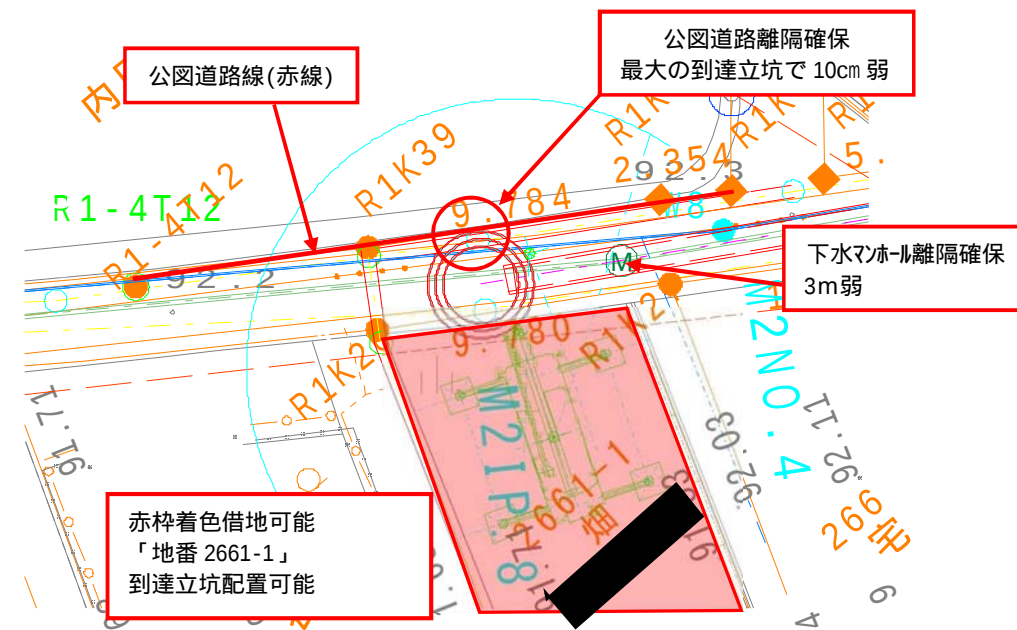


図-1.1.3.6 上流側の立坑位置 到達立坑とした場合

上図のとおり、発進・到達共に立坑の設置は可能であるが上水道、下水道の布設替えは必要である。

推進発進立坑及び仮設ヤード設置可否

平面図にて赤枠の借地と公図の道路内に収める仮設計画の立案

発進立坑ヤード設置可否の検討：発進立坑+施工ヤードは配置可能である

最大となる仮設ヤードを必要とする呼び径 800mmの配置図を協会に施工可否を査定してもらい可能となった。小口径 600mm推進工はこの占用よりも小さいため問題なし。

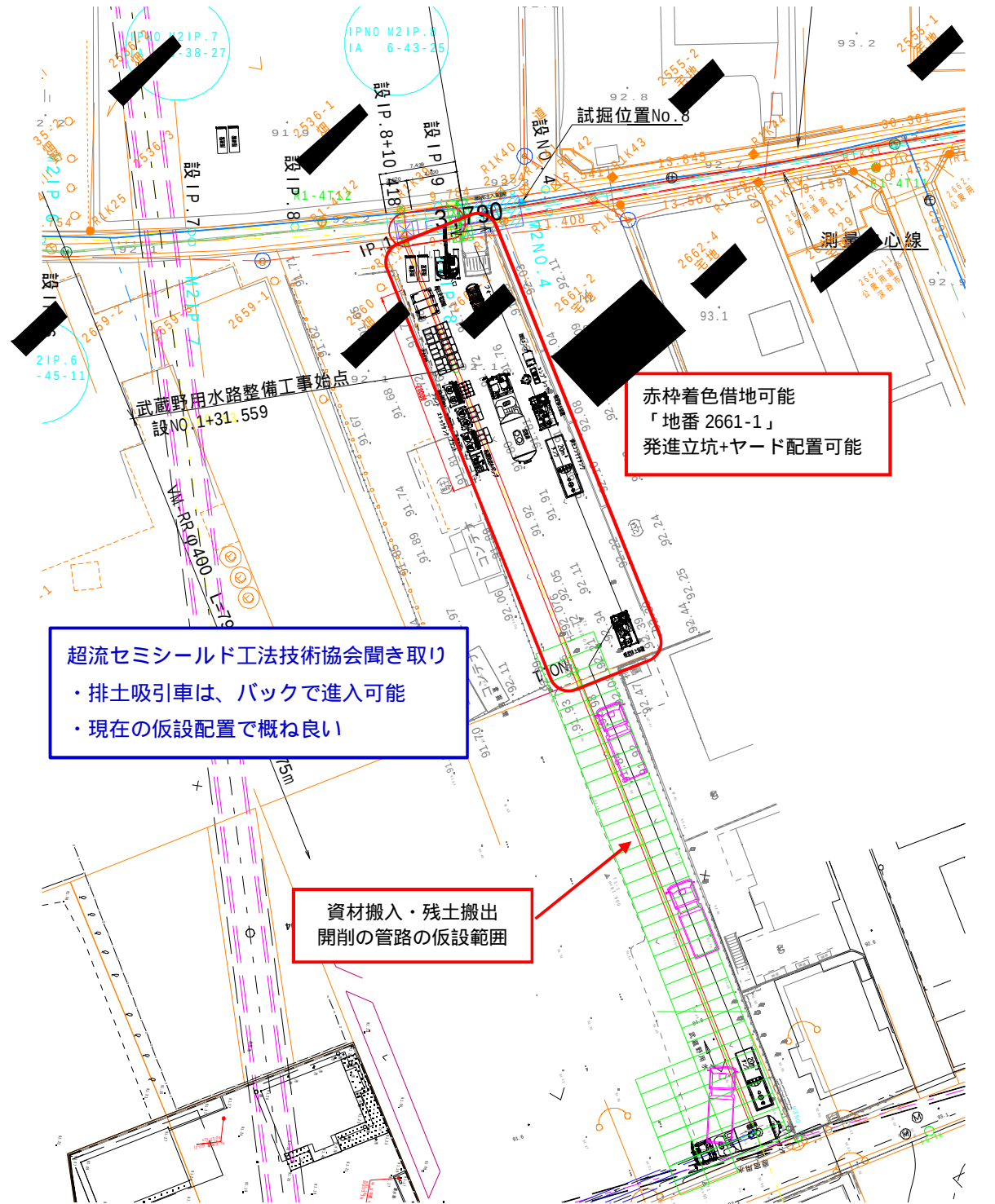


図-1.1.3.7 上流側の立坑位置借地可能箇所仮設配置図(赤枠内)

参考とした仮設ヤード占用形態図
 推進発進立坑及び仮設ヤード設置参考図
 呼径 800mm大口径推進工法・泥濃式推進工法の仮設配置参考図を示す。

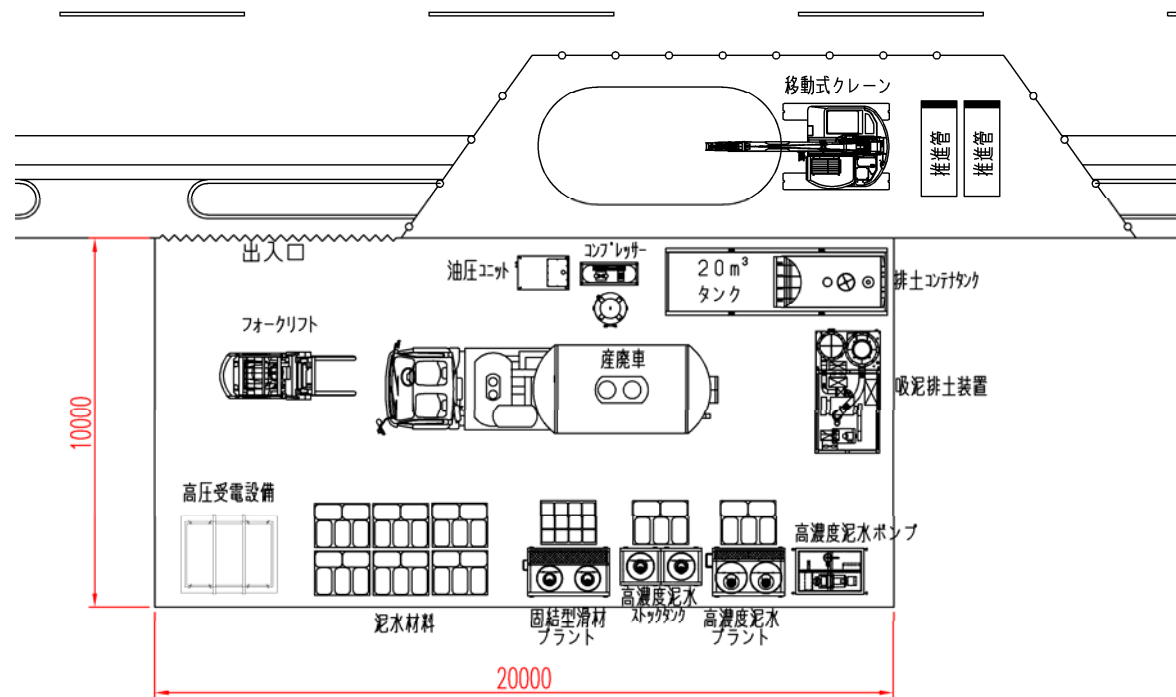


図-1.1.3.8 呼径 800mm大口径推進工法・泥濃式推進工法の仮設配置参考図

呼径 600mm小口径高耐荷力管推進工法・泥土圧吸引排土の仮設配置参考図を示す。

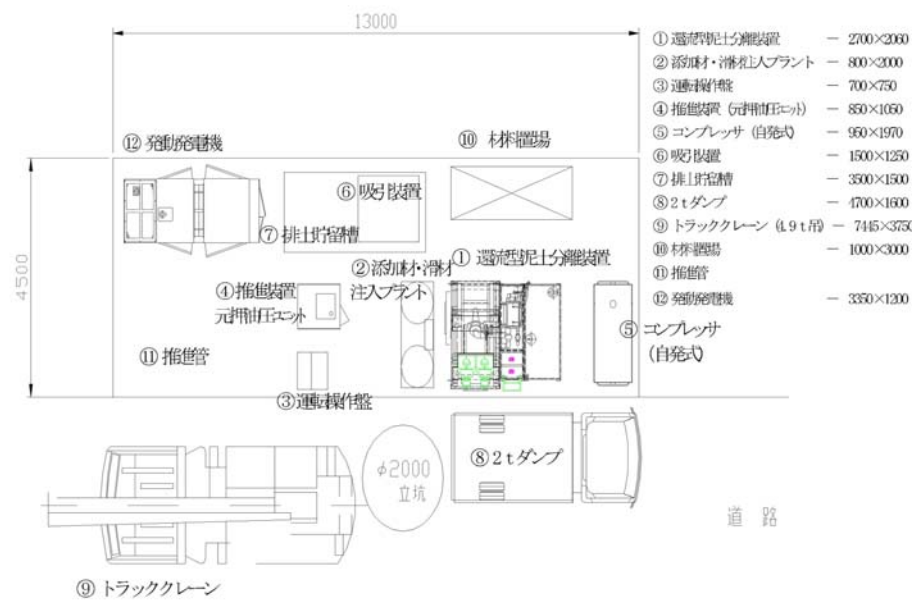


図-1.1.3.9 呼径 600mm小口径高耐荷力管推進工法・泥土圧吸引排土の仮設配置参考図

2) R4 過年度設計 推進区間の発進立坑の場合の計画補正
 発進立坑構築部(発進立坑の占用範囲の補正)
 最大となる仮設ヤードを必要とする呼び径 800mmを配置図した。

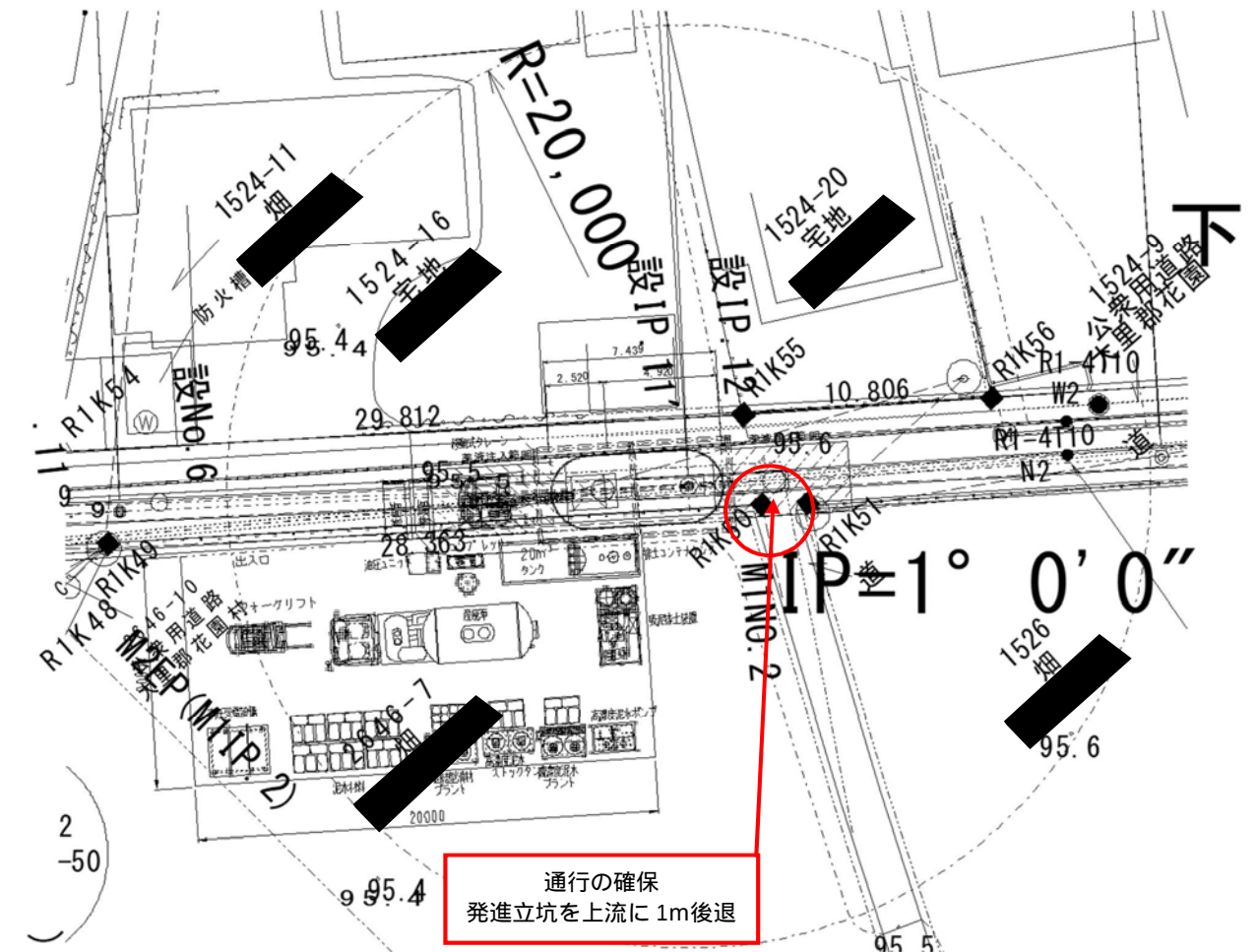


図-1.1.3.10 発進立坑仮設配置図(呼径 800mm)



写真-1.1.3.1 発進立坑全部私道全景

3) 到達立坑の位置補正(発進としては不可)

R4 過年度設計の計画から交渉条件で補正。

借地交渉により範囲を確定した。借地範囲は 9.2m × 10.0m の範囲で、奥側に数本の植木を含むが、植木は撤去できない。

最大の占用となる、呼径 800mmの到達では、推進機マシンの回収のため 16 トン以上のトラッククレーンの配置が必須である。また、平積み 25ton トラックがマシンを回収するが、この車両は現道上に待機する。

架空線の移設、フェンスの撤去・復旧、水道管の移設などを行う。

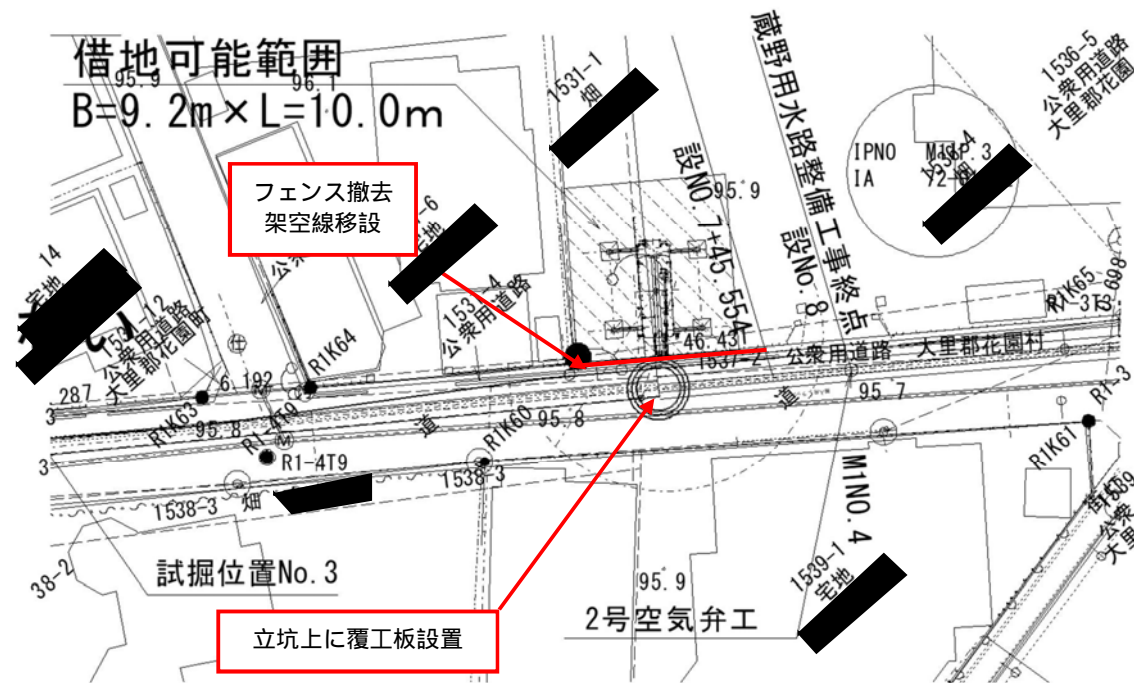


圖-1.1.3.11 到達立坑計畫配置案



写真-1.1.3.2 到達立坑



写真-1.1.3.3 到達立坑ヤード



写真-1.1.3.4 到達立坑ヤード*

次ページに平面図に線形を配慮する箇所を示す。

(4)推進区間線形検討結果

推進工計画平面図(1スパン工事案)

S=1:500

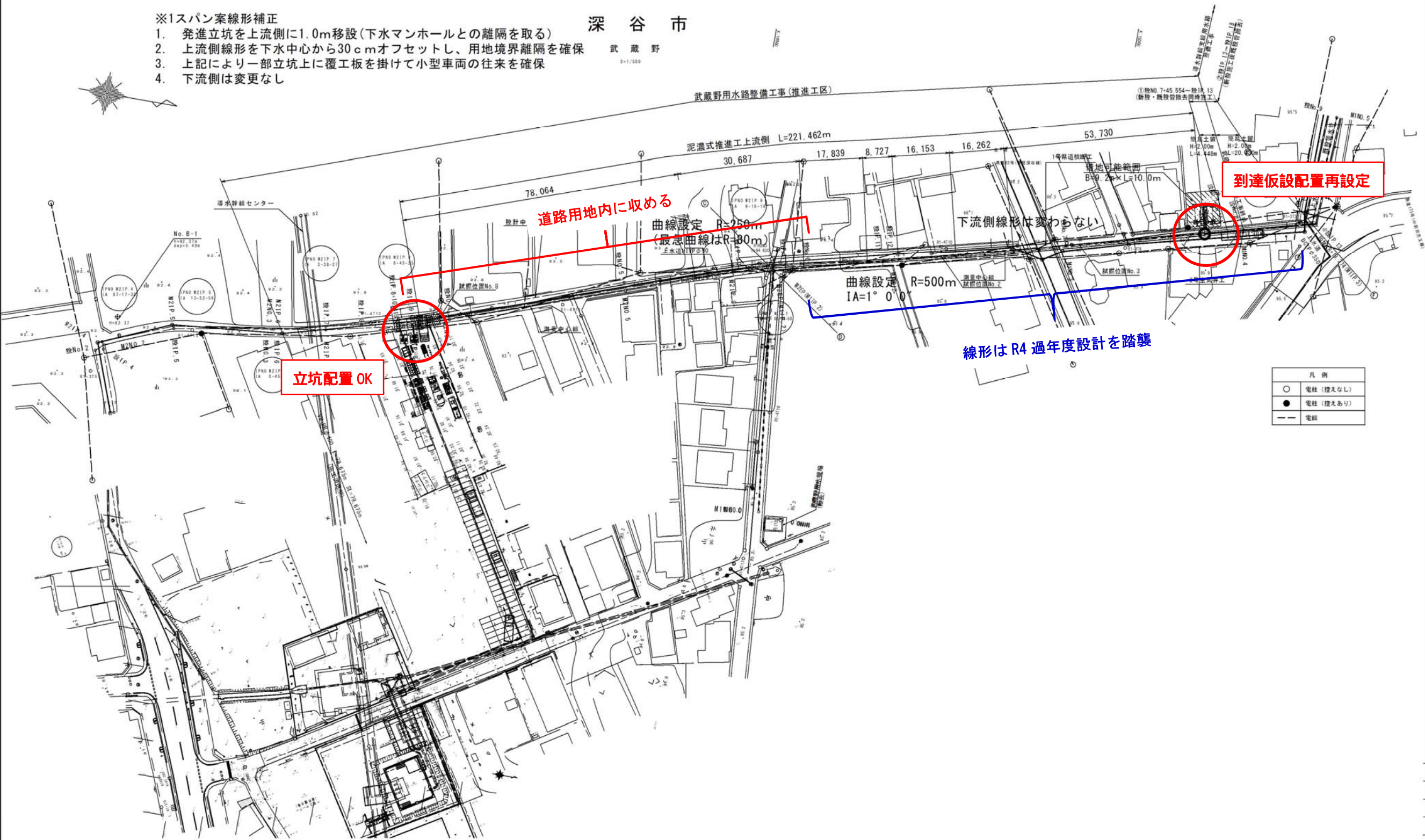
※1スパン案線形補正

1. 発進立坑を上流側に1.0m移設(下水マンホールとの離隔を取る)
2. 上流側線形を下水中心から30cmオフセットし、用地境界離隔を確保
3. 上記により一部立坑上に覆工板を掛けて小型車両の往来を確保
4. 下流側は変更なし

深谷市

武蔵野

S=1:500



推進工計画平面図(2スパン工事案)

S=1:500

深谷市

武蔵野

S=1:500

武蔵野用水路整備工事(推進工区)

①段NO.7+45.554~段IP.13
(新設・既設管線去留工事)

泥濘式推進工下流側 L=90.509m

泥濘式推進工上流側 L=132.294m

到達仮設配置再設定

仮設配置再設定

道路用地内に収める

曲線設定 R=250m
(最急曲線はR=80m)

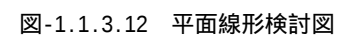
線形はR4 過年度設計を踏襲

発進後必要直線区間20m程度
(協会基準は5~10m)

立坑配置 OK

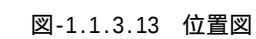
凡 例	
○	電柱 (控えなし)
●	電柱 (控えあり)
---	電線

到達立坑より下流側の道路は変則的な交差点となっているため、推進延長を伸ばし開削施工の回避について検討を行った。



本設計で計画する推進工は市道下に埋設する推進区間 と、市道下及び県道下に埋設する推進区間 の2区間である。(下図参照)

そのため、推進工の縦断計画は各道路の最小土被りと既設構造物とのクリアランスにより、大なる方で決定する。



1)最小土被り及びクリアランスの聞き取り結果

道路や水道・下水道・NTT の各管理者に、最小土被りと必要とするクリアランスの聞き取りを行った。その結果は下表のとおりである。

表-1.1.3.1 各管理者からの聞き取り結果

項目	最小土被り (m)		基準値などの根拠	確認日	備考
	管理者指定	基準など			
道路(市道)	0.80	1.20	公道下 設計基準「パイプライン」P275より	R5.6.1	
道路(県道)	1.20			R5.6.1	

項目	クリアランス (m)		基準値などの根拠	確認日	備考
	管理者指定	基準など			
水道	0.32	0.30	他地区事例 管路又はマンホール下端からのクリアランス	R5.6.1	管の外面から
下水道	0.30	0.30	他地区事例 管路又はマンホール下端からのクリアランス	R5.6.1	管の外面から
NTT	1d以上	0.30	他地区事例 ケーブルや施設などからのクリアランス	R5.6.2	

2)最小土被り及びクリアランスの採用値

a)最も深い位置に存在する既設埋設物

道路の最小土被りは既設構造物の土被り以下であり、最も深い施設は下水道のマンホールとなる。(以降の平面縦断面図を参照)

イ)水 道

詳細は不明であるが、管理者より土被り 1.20m 相当と聞いている。

ロ)下水道

管網図より各マンホール地点の管底高から、マンホール下端を推定し埋設深を算出すると、推進区間 で 1.8m 相当、推進区間 で 3.1m 相当である。

ハ)NTT

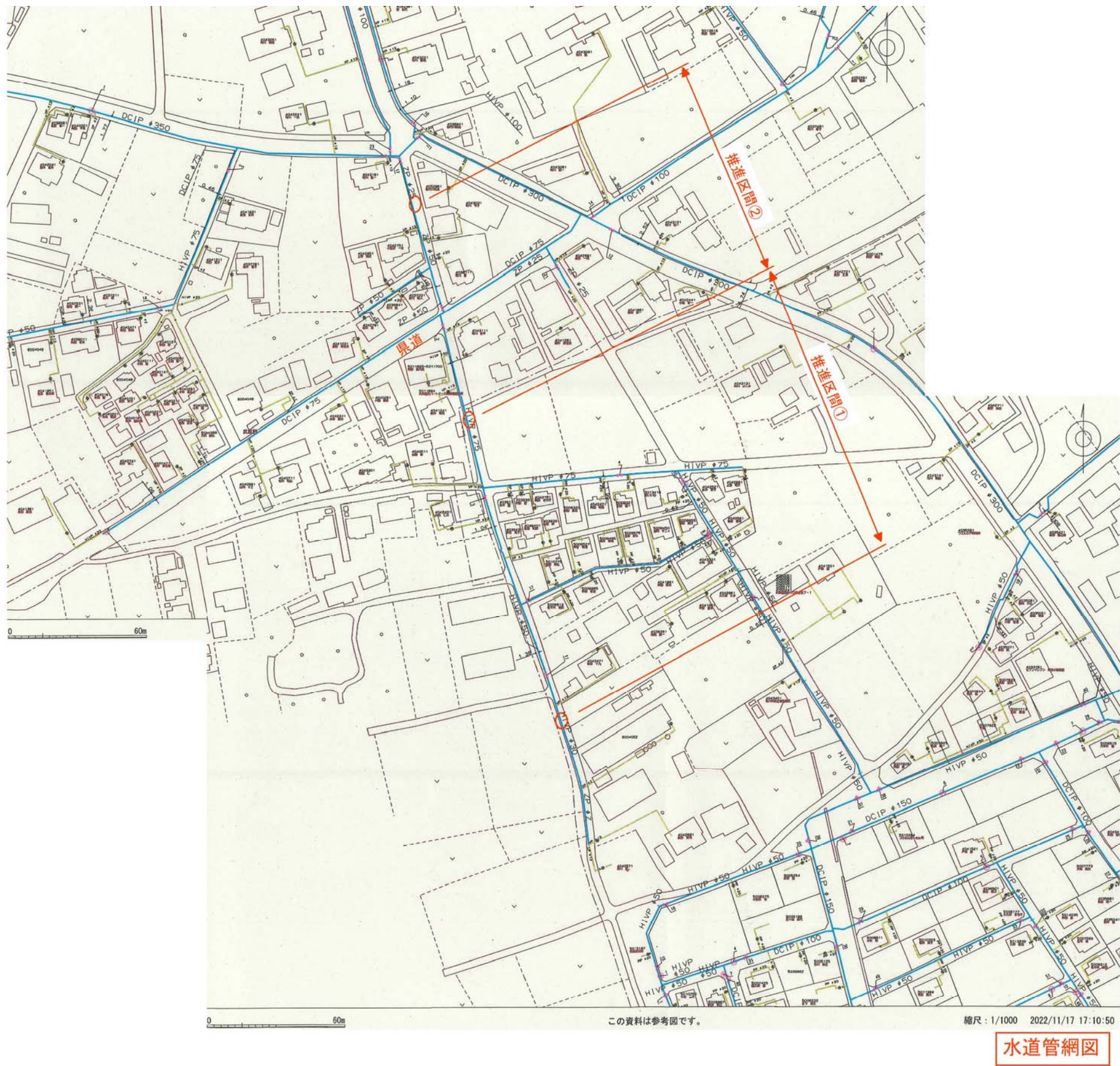
管理者より地盤面からケーブル下端で 1.62m の高さを確認した。

以上から、ロ)下水道のマンホールが最も深い位置に存在する。(以降の縦断面図を参照)

推進工の平面線形は、下水道マンホールの真下を通る区間もあれば、近接する区間もある。本設計では、下水道マンホールへの影響を考慮し、近接する下水道マンホールも推進工の真上にあるものとみなし、クリアランスを確保する。

以降に、各管理者より入手した水道、下水道の管網図、NTT の試掘資料を示す。

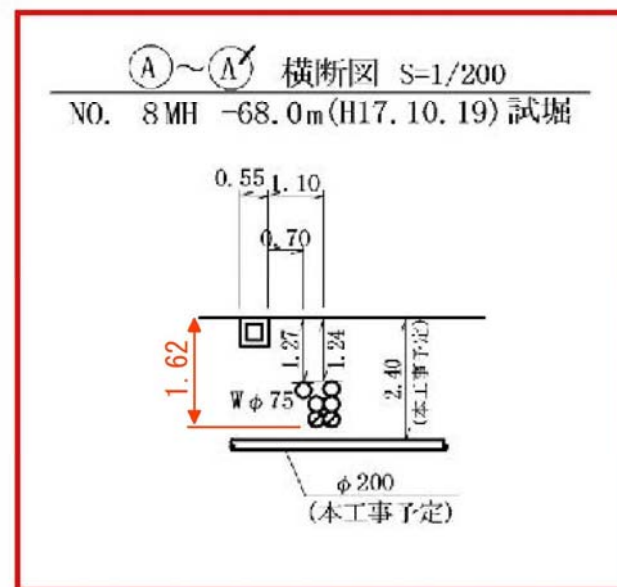
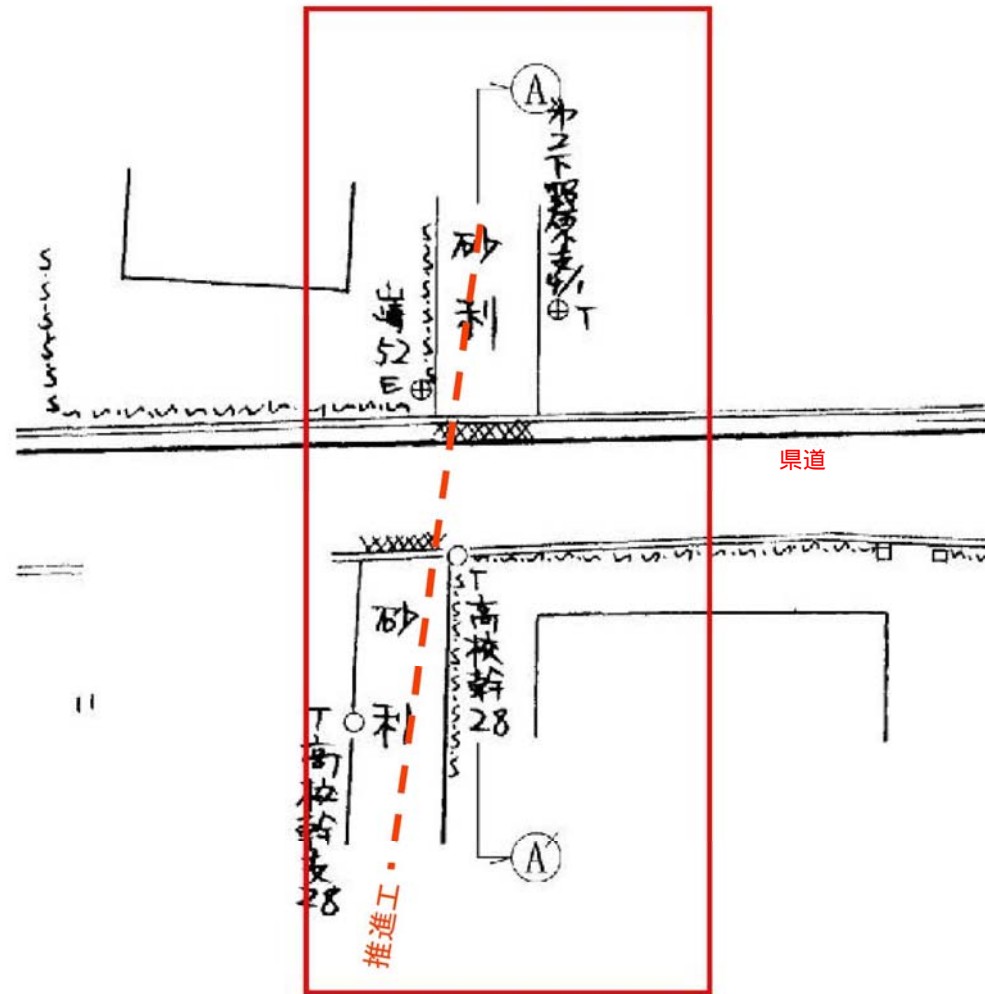
イ) 水道 管網図





○：立坑計画位置を示す。

八) N T T 県道横断部試掘資料



b) 下水道マンホールからのクリアランス

表-1.1.3.1 のクリアランスを適用すれば、マンホール下端より 30cm の余裕となるが、この値は開削工事を主とした余裕と考える。

推進工事の場合は、特に地表面の沈下や周辺の緩みなどに留意する必要がある、不測の事態なども考慮すれば、適切なクリアランスを確保することが重要となる。

但し、各基準で推進工を対象とした“クリアランス”についての記述はないため、本設計では「解説・工作物設置許可基準」の河底横過トンネルによる土被り (1.5D 以上) を適用し、下水道マンホール下端からのクリアランスとして確保する。

河底横過トンネルとは、河底を横過する上下水道、工業用水道、石油パイプライン、地下鉄、道路等の工作物で、施工方法がシールド工法及び推進工法（小口径推進工法を含む）によるものをいう。

トンネルの施工中及び完成後の浮き上がり安全性を確保するために必要な土被り深さや、トンネル掘進に起因する河底及び地表面の沈下量を急増させないために必要な深さは、地盤の状況によるが一般に 1.5 D (D：掘削外径) 以上必要とされている。

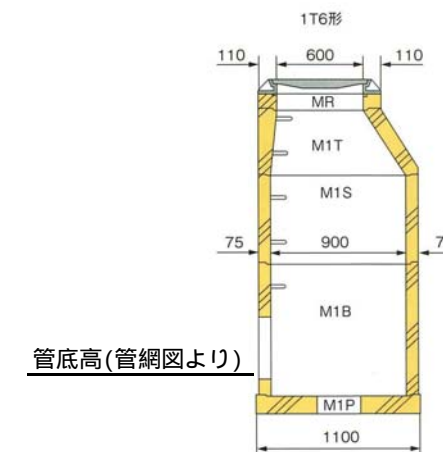
このため、河底横過トンネルの設置にあたっては、計画河床高又は最深河床高のどちらか深いほうに経年的な河床変動とその周辺の局所洗掘深を加えた位置から 1.5 D 以上の土被りを確保することを基本とする。ただし、局所洗掘深は河道の特性等により個別に検討する必要がある。

上記-「解説・工作物設置許可基準」P101、P105 より抜粋

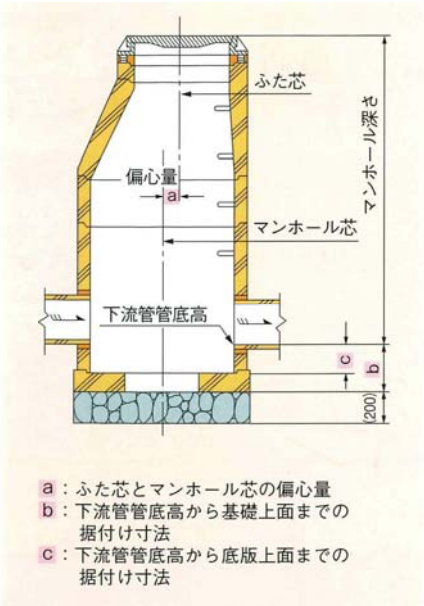
c) 下水道マンホールの構造推定

本設計では下水道マンホール下端からクリアランスを確保するが、マンホールの構造が不明である。よって、全国ユニホール工業会のカタログより寸法を推定し図-1.1.3.14 のとおりとする。なお、マンホールの規格は 1 号と推定する。

1号マンホール



上記-全国ユニホール工業会のカタログより抜粋



据付け寸法と偏心量 (単位:mm)

マンホール		a	b	c
Y号	YT6形	0	300	170
0号	OT6形	40	300	170
1号	1T6形	115	300	170
2号	2・1T6形	245	370	220
	2T6形	290	370	220
3号	3・1T6形	415	370	220
A1号	A1T6形	265	300	170
E1号	E1T6形	265	300	170

参考:4・5号の据付け寸法と偏心量

4号	4・1T6形	565	632	382
5号	5・1T6形	765	662	382

上記-全国ユニホール工業会のカタログより抜粋

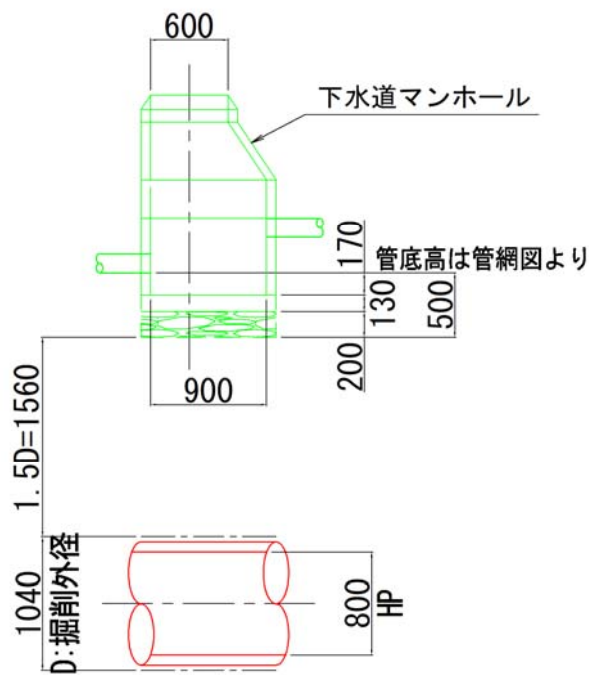


図-1.1.3.14 下水道マンホール下端からのクリアランス

(3)管心高の設定

以降に、上記のクリアランスを確保した管心高（縦断図）を示す。

