

第6回 東京外環トンネル施工等検討委員会 有識者委員会

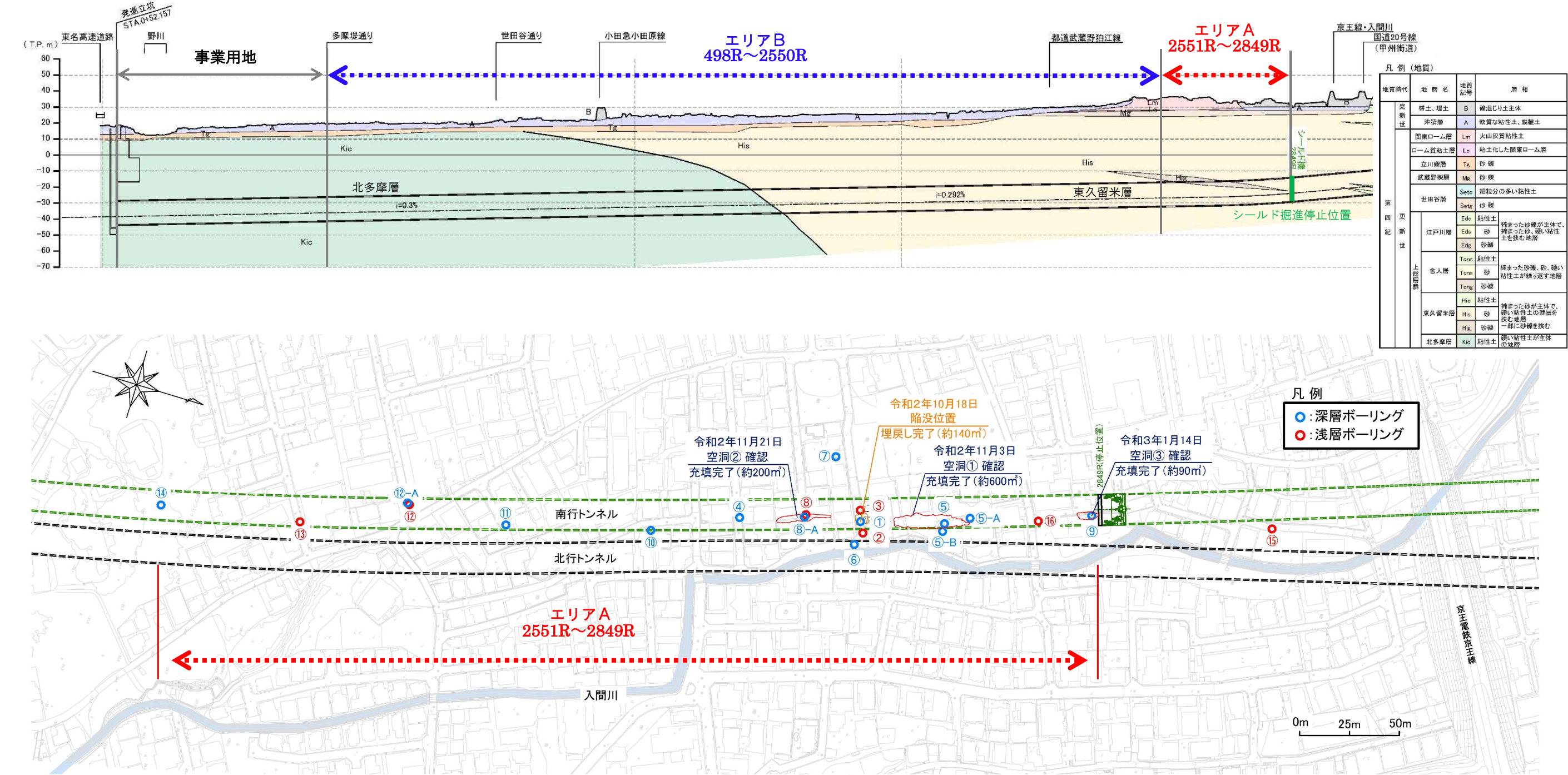
調査結果

令和3年 2月 12日

東日本高速道路株式会社関東支社東京外環工事事務所
鹿島・前田・三井住友・鉄建・西武特定建設工事共同企業体

1. 調査概要

令和2年10月18日に発生した陥没事象等の原因究明のため、当該区域および周辺の地盤状況等の確認を行うため、各種調査を行った。
これらの調査のうち「地盤状況の調査」「地下水状況の調査」「地歴、文献、埋設物状況の再確認」について報告を行うものである。

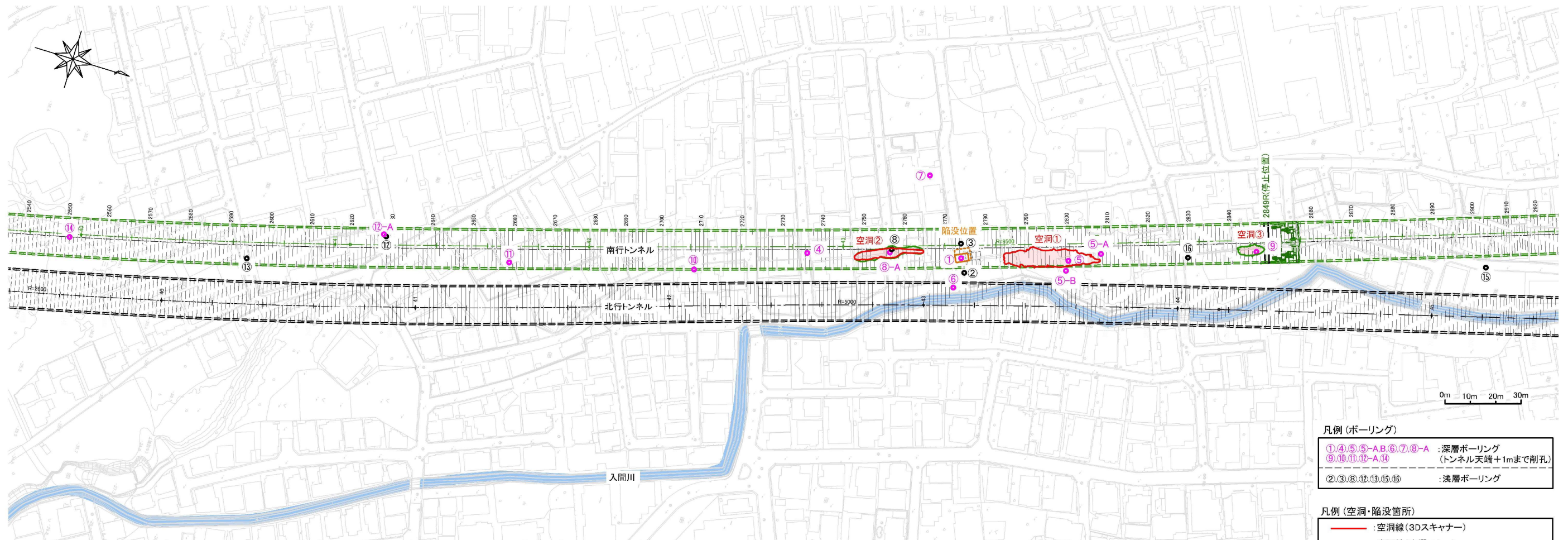


※本資料では、令和2年11月3日に陥没地点北側で確認された空洞を『空洞①』
令和2年11月21日に陥没地点南側で確認された空洞を『空洞②』
令和3年1月14日に陥没地点北側で確認された空洞を『空洞③』
として取扱うものとする。

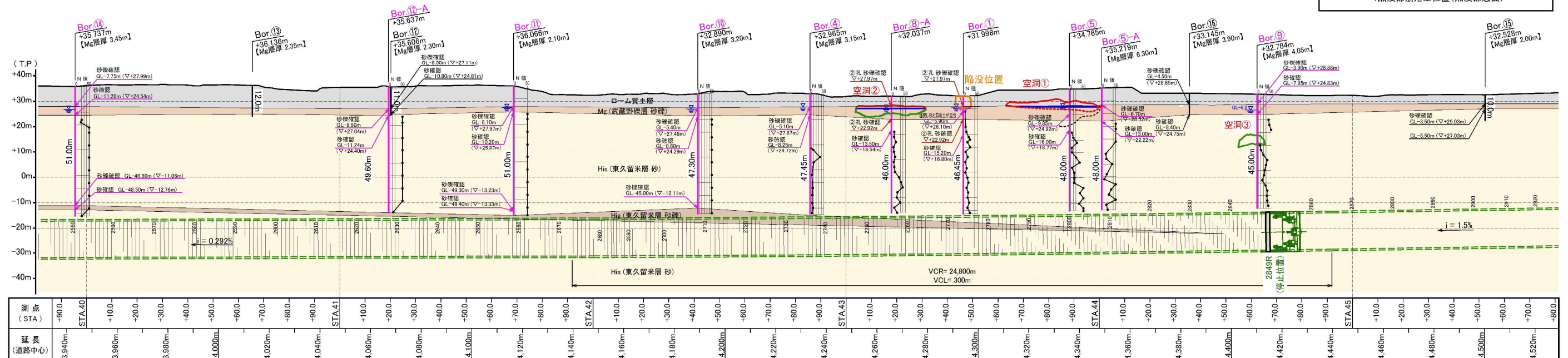
※本委員会では、既掘削区間について、地盤の特性の違いから、東久留米層のうち掘削断面において礫層が混ざり合う区間から北側をエリア A と呼び、それより南側をエリア B と便宜上定義している。

2. 地盤状況の調査結果（エリアA）

平面图 S = 1:1,600



縦断図 S = 1:1,600



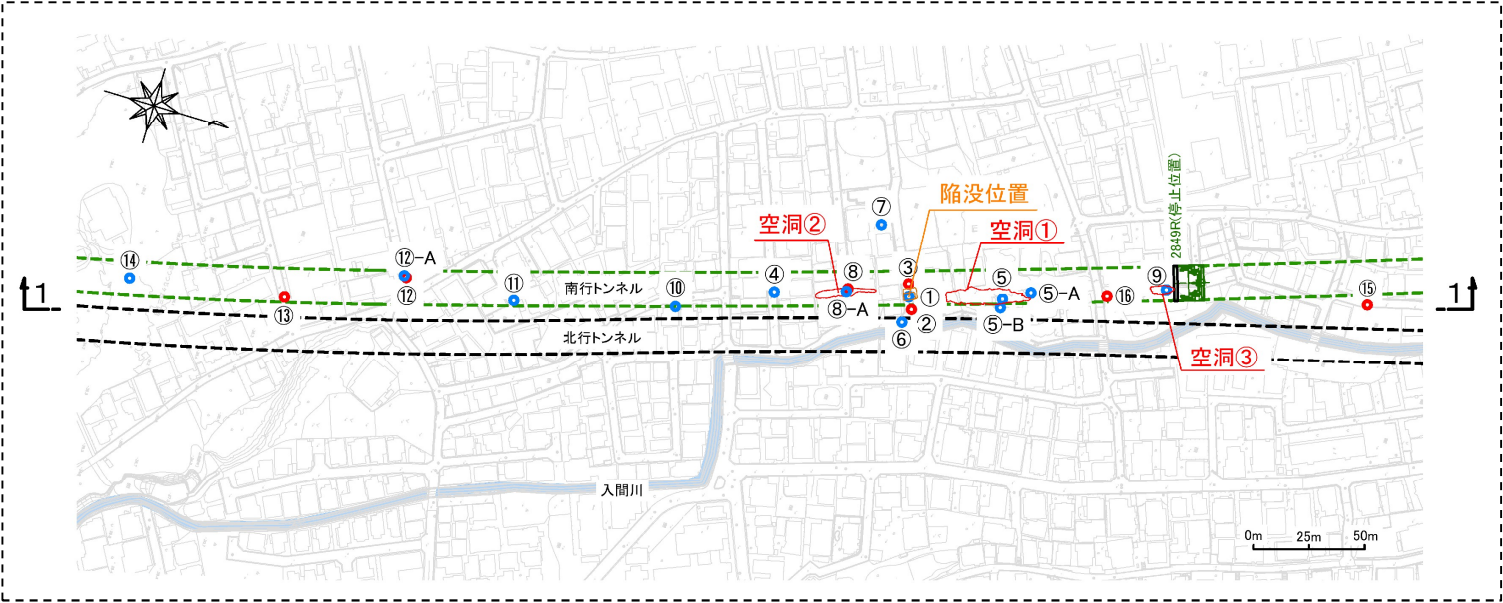
カッターヘッド
回転不能解除位置



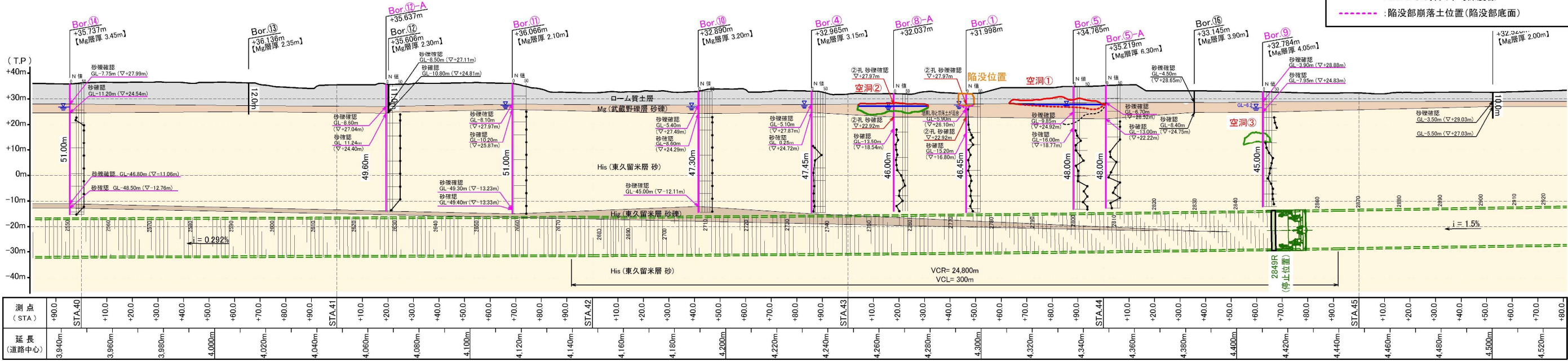
2.1 調査により得られた地盤状況（トンネル縦断方向）

項目			調査より判明した事項
調査結果	地盤	表層	・表層はローム層が主体であることが確認された。 ・調査結果範囲では、事前のボーリング調査で想定されていた沖積層(A)は確認されなかった。
		Mg 層	・陥没箇所、空洞箇所の Bor.②、③、⑤-A、⑤-B では、Mg 層が約 5m～6m と厚く堆積している。なお、陥没箇所付近は、Mg 層より上の表層部は、埋土であることが確認された。 ・Mg 層天端レベルは、陥没箇所(Bor.①)、空洞②箇所(Bor.⑧-A)および Bor.④で TP+27.9m～28.0m であり、空洞①箇所付近では TP+28.5m(Bor.⑤-A)程度である。 ・Bor.⑭～⑩の範囲の Mg 層天端レベルは、TP+27.1m～28.0m である。 ・Bor.⑨～⑮の範囲の Mg 層天端レベルは、TP+28.9m～29.0m である。
		His 層	・陥没箇所の Bor.①、空洞①箇所の Bor.⑤、空洞②箇所の Bor.⑧-A、空洞③箇所の Bor.⑨では、トンネル上部まで His 層が緩んでいることを確認した。 ・Bor.④、⑤-A では、地表面から深さ 20m 程度、Bor.⑨では、地表面から深さ 16m 程度までは N 値の低下は確認されなかった。 ・Bor.⑩、⑪、⑫-A、⑬-A、⑭では N 値の低下は確認されなかった。
	地下水		・今回調査による調査ボーリング坑内水位は概ね TP+27.8m 前後であり、平常時は、ほぼ Mg 層天端であることが確認された。 (近傍の観測井W19による浅層地下水位 TP+28.0m 程度と同等)

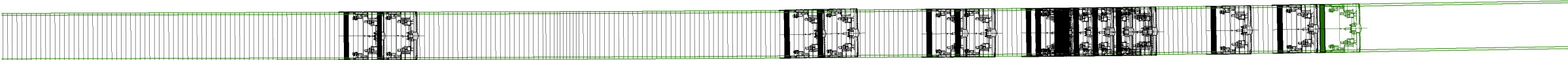
ボーリング位置図



縦断図 S = 1 : 1,600

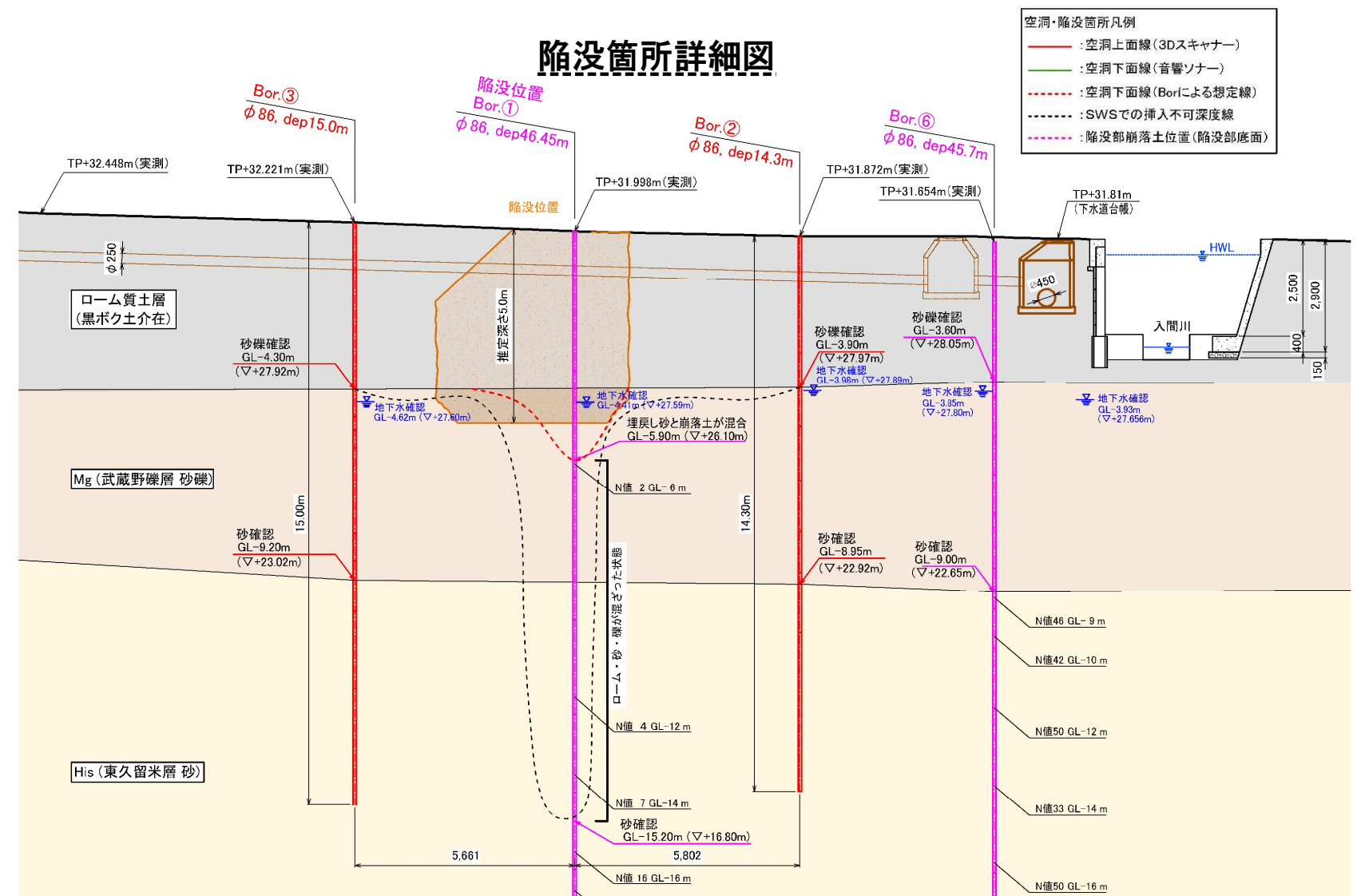
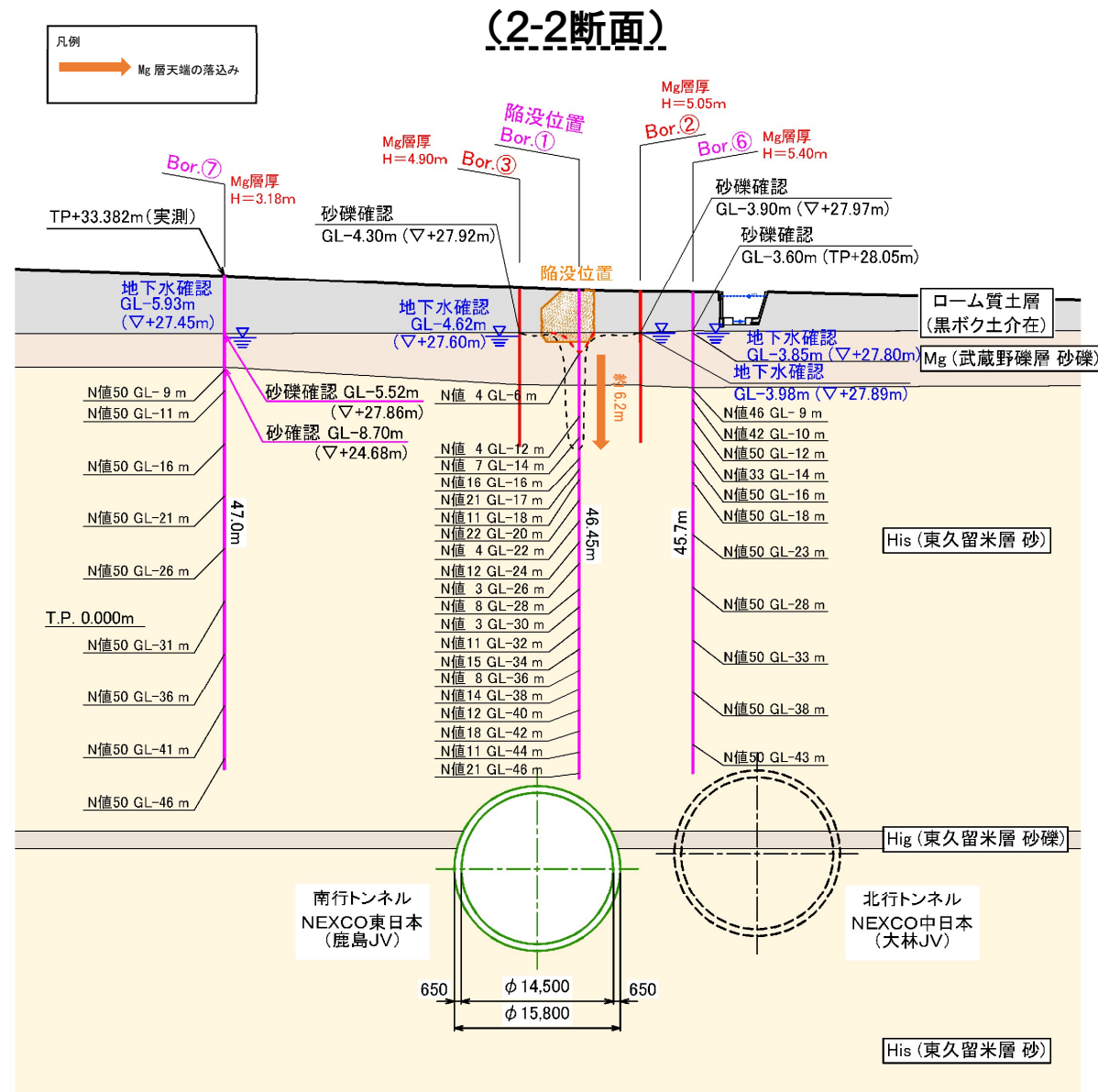


カッターヘッド
回転不能解除位置



2.2 調査により得られた地盤状況（陥没箇所）

項目			調査より判明した事項
調査結果	地盤	表層	・表層において、陥没箇所の画像および Bor.②、⑥にて軟らかいローム層と黒ボク土が確認された。 ・当該箇所付近は、埋土造成されたエリアであると判断できる。
		Mg 層	・陥没箇所の Bor.①では、Mg 層天端レベルの落込みと緩みが確認された。 ・陥没箇所付近の Bor.②(Bor.①の東側 6.4m)、Bor.③(Bor.①の西側 5.1m)では、Mg 層は健全であり、周辺の Mg 層天端レベルと同等であることが確認された。
		His 層	・陥没箇所の Bor.①では、His 層天端レベルの落込みが確認された。 ・陥没箇所近傍の Bor.②、③では、His 層天端レベルは、周辺とほぼ同等であることが確認された。 ・トンネル直上から東側に離れた Bor.⑥、および西側に離れた Bor.⑦では、トンネル頂部レベルまで N 値が概ね 50 以上であることが確認された。 ・Bor.①およびスクリーウエイト貫入試験結果より、His 層の天端レベルの落込み範囲はトンネル横断方向で 2m～4m 程度と限られている。
	地下水		・陥没箇所の地下水位は TP+27.6m であった。成分分析の結果、特異な成分は検出されていない。
	陥没箇所への土砂投入量		・10 月 18 日(日)から 10 月 19 日(月)未明にかけて陥没箇所に投入埋戻しを行った土砂体積は約 140m³ である。



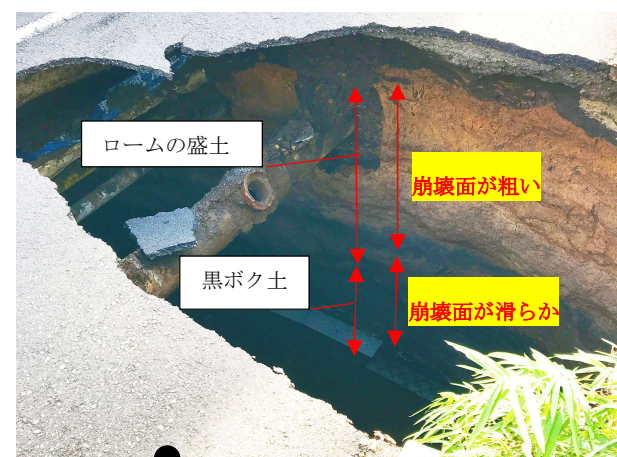
(陥没箇所の写真による確認)

■ 陥没箇所の調査結果

陥没箇所は、1981 年敷設の下水道（φ 250mm）の接続部がある。また下水配管（φ 100 塩ビ管）が折損状態で残存している。

陥没箇所の写真を写真 1<フーリエ変換（周波数解析）>による画像分析結果を図 1 に示す。

画像分析の結果、断面は同じローム層だが、上部は「粗い断面」、下部は「目の細かい断面」と推定される。画像分析結果を踏まえると、陥没箇所の下方は洗面されている可能性がある。



(東側から撮影)

写真 1 陥没箇所 (2020 年 10 月 18 日 13:00 撮影)

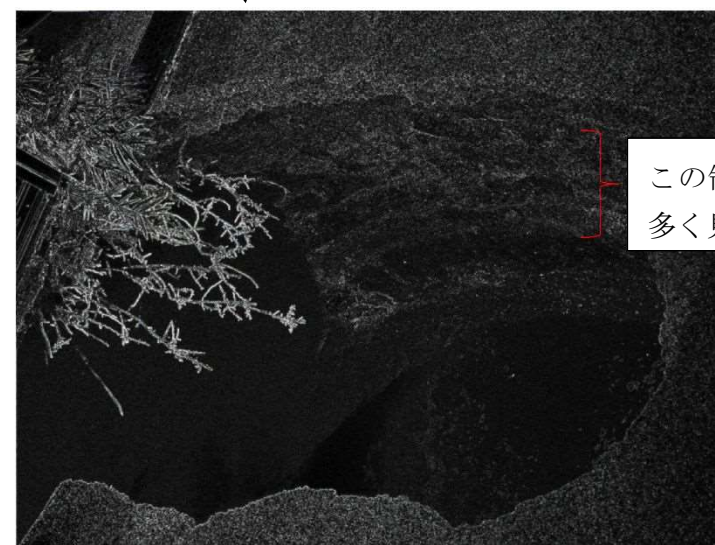


(西側から撮影)



この領域に高周波成分が多く見える

(東側から撮影)



この領域に高周波成分が多く見える

(西側から撮影)

図 1 陥没箇所画像分析結果

<フーリエ変換(画像の周波数解析)とは>

…画像には

濃淡がなだらかに変化する(表面が細かな断面)場合は、相対的に低い周波数を持つ。

濃淡が激しく変化する(表面が荒い断面)場合は、相対的に高い周波数を持つ。

という特性がある。

画像の持っている波形の情報をフーリエ変換で周波数毎に分解し、その特定の周波数をフィルターで強調し、表面の状態を把握したものである。

凡例：左側はコンクリート（滑らか）、右側は砂利（粗い）の画

元画像

分析画像



左側はコンクリート（なめらか）、右が砂利（荒い）の画像

■ 現地写真による段差プレート傾斜

- ①写真 2 は陥没が発生する 73 日前（2020 年 7 月 30 日撮影）の状況（シールド機は当該地点の 200m 程度手前に位置）であり、シールド機は当該地点直下を 2020 年 9 月 14 日に通過している。
- ②写真 3 は当該地点の陥没 3 時間前（2020 年 10 月 18 日 9:30 撮影）の状況（水たまり）であるが、駐車場前の段差プレートの不陸は、写真 2（2020 年 7 月 30 日撮影）の時点でも段差が生じているように見える。



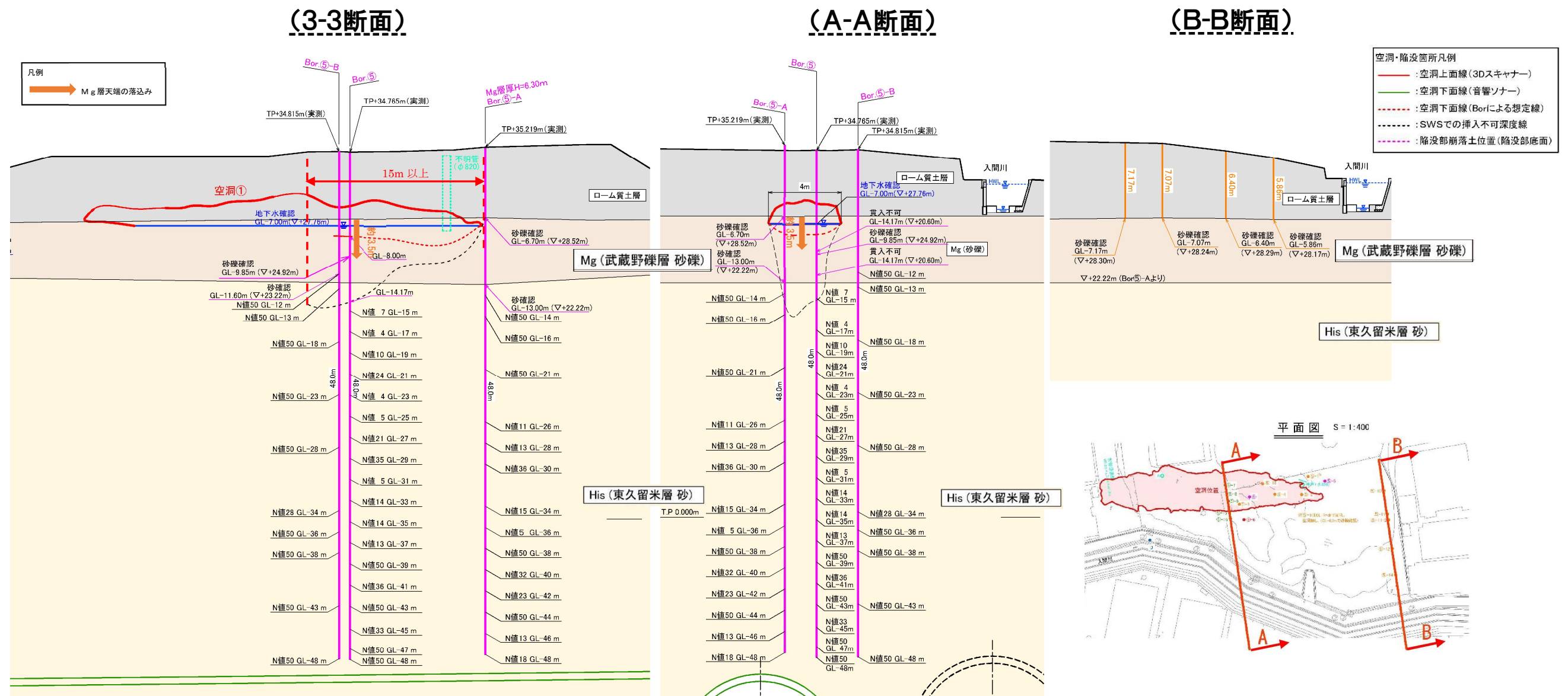
写真 2 陥没箇所の事前状況写真（2020 年 7 月 30 日撮影）



写真 3 陥没箇所（2020 年 10 月 18 日 9:30 撮影）

2.3 調査により得られた地盤状況（空洞①箇所周辺）

項目			調査より判明した事項
調査結果	地盤	表層	・表層の厚さは、約 5m であった。 ・表層地盤はスクリーウエイト貫入試験では固くて貫入できなかった。表層は硬質なローム層(凝灰質粘土層)であることを確認した。 ・表層には、沖積層(A)は確認されなかった。
		Mg 層	・Mg 層の厚さは 6.30m(Bor.⑤-A)であり、当初想定 of 土質縦断面図の 2 倍以上の厚さがあった。 ・空洞①箇所の Bor.⑤では、Mg 層天端レベルの落込みと Mg 層の緩みが確認された。 ・空洞①箇所の Bor.⑤およびスクリーウエイト貫入試験による探針の結果より、Mg 層上面の落込み範囲はトンネル軸直角方向(東西)で約 4m、トンネル軸方向(南北)で 15m 以上、最大落込み深度は約 3.5m であった。
		His 層	・空洞①箇所の Bor.⑤では、トンネル上部までの地盤の緩みが確認された。 ・空洞①箇所の Bor.⑤、⑤-B 孔からの探針の結果、His 層の天端レベルが落込んでいることが確認された。 ・空洞①箇所のトンネル直上 Bor.⑤-A では、His 層の天端レベルの落込みは確認されなかったが、TP+9.2m 以深は地盤の緩みが確認された。
	地下水	・空洞①箇所の地下水位は TP+27.8m であった。成分分析の結果、特異な成分は検出されていない。	
	空洞①箇所への 充填体積	・空洞①箇所の充填体積は約 600m³ であった。	



(空洞①箇所の写真による確認)

- ・空洞の北側端部は、天盤はドーム状で、粘土混り砂礫が分布している。
- ・側部には武蔵野礫層が確認され、比較的砂分が無い状態である。
- ・一部砂質土が多い層（武蔵野礫層が平行になってない箇所）と水で洗われた部分が見受けられる。

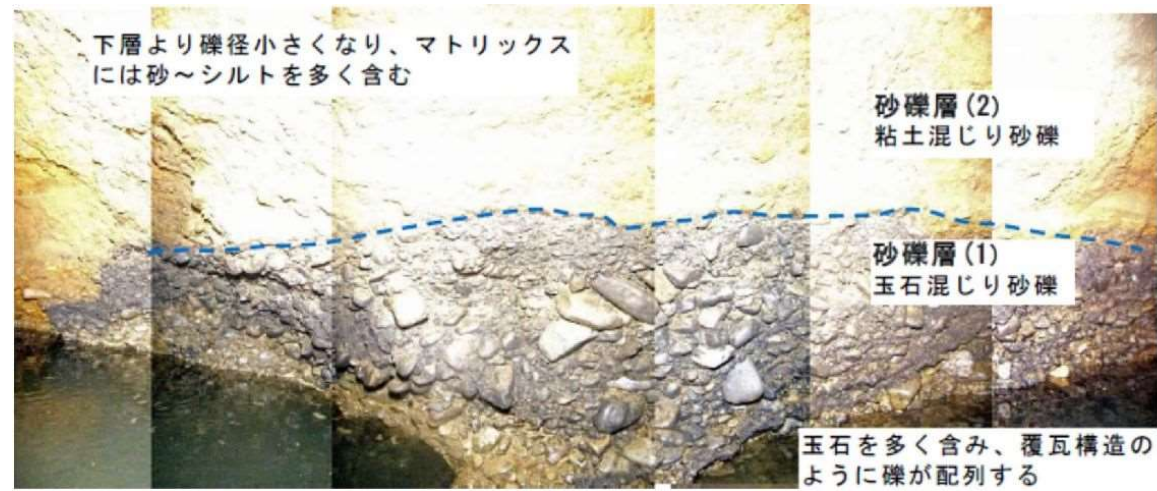


図1 20°～40° 方向



図2 340°～20° 方向

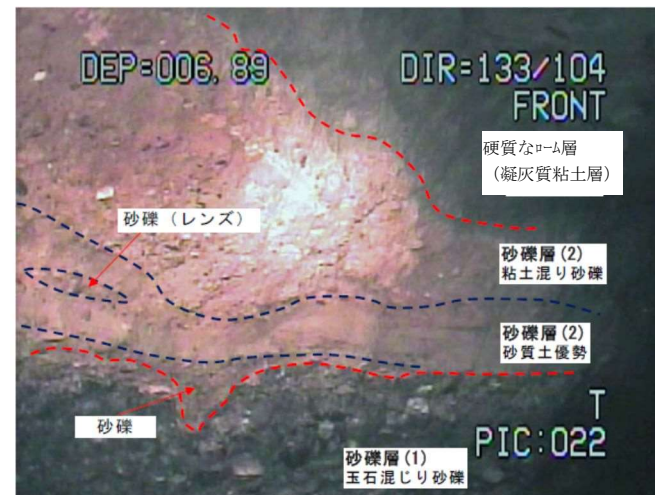


図3 133° 方向

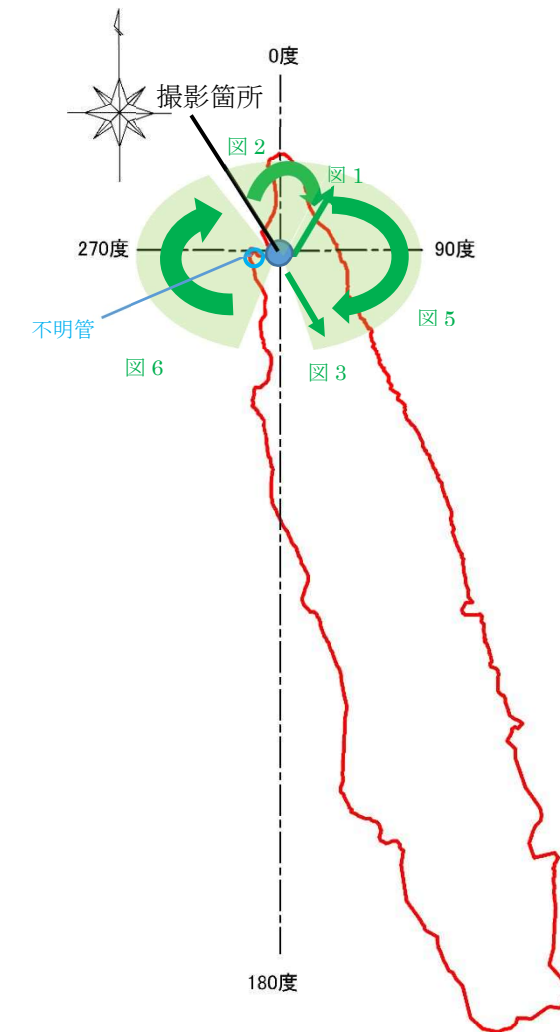


図4 空洞①箇所図

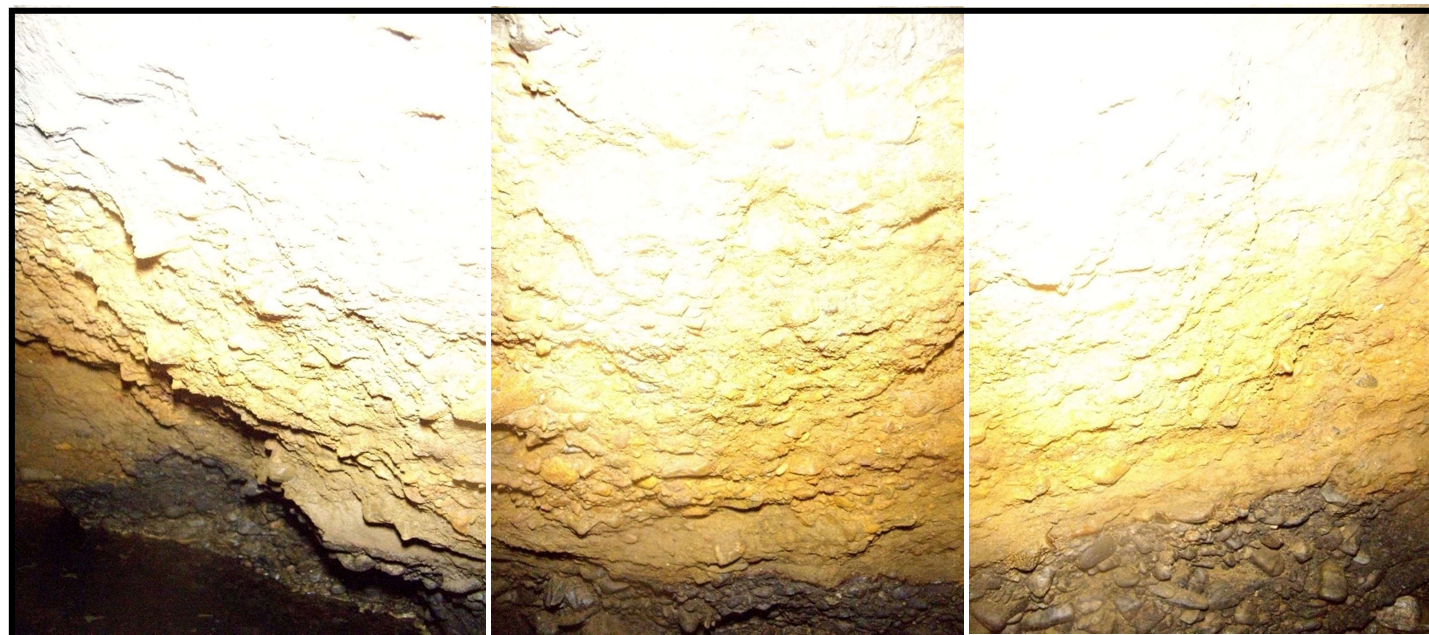


図5 20°～140° 方向

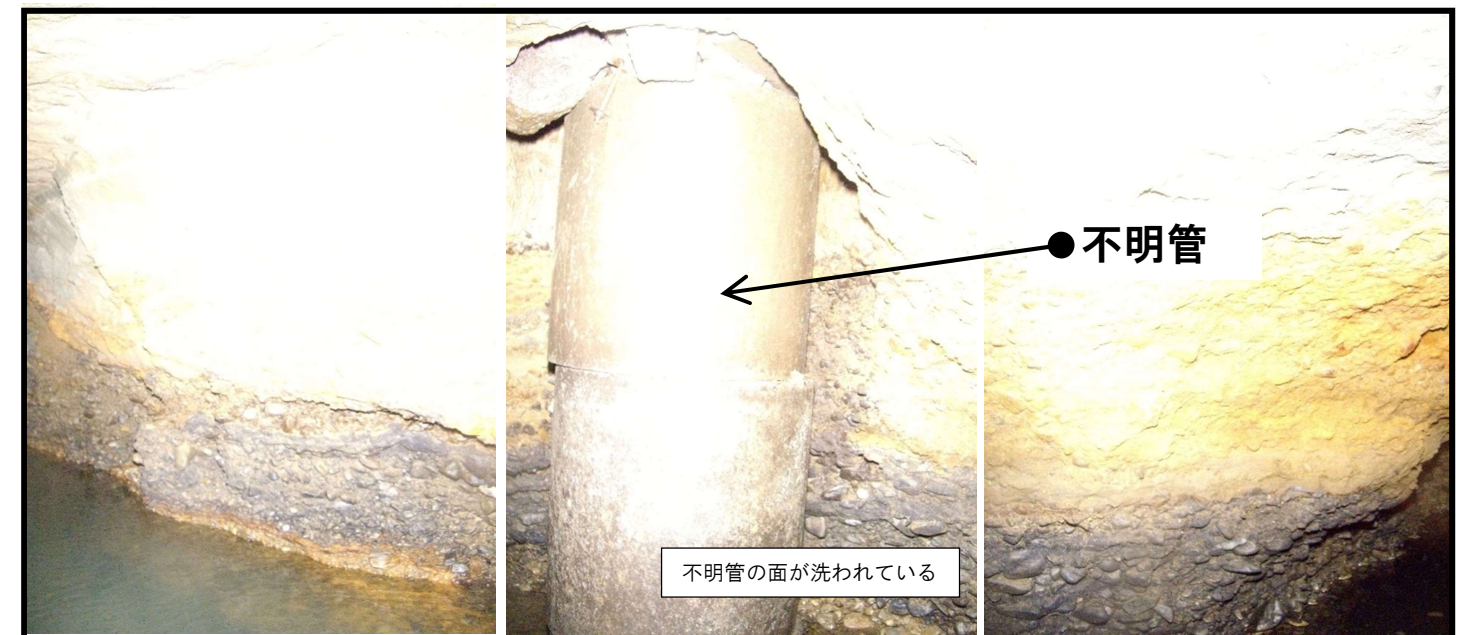
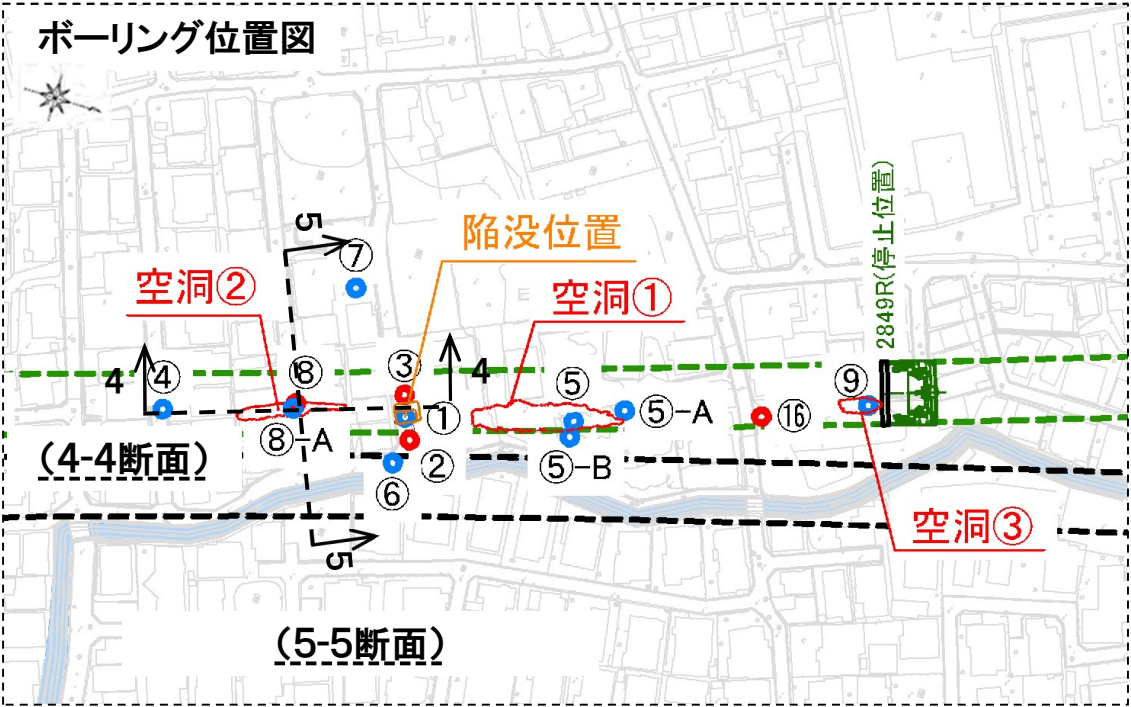


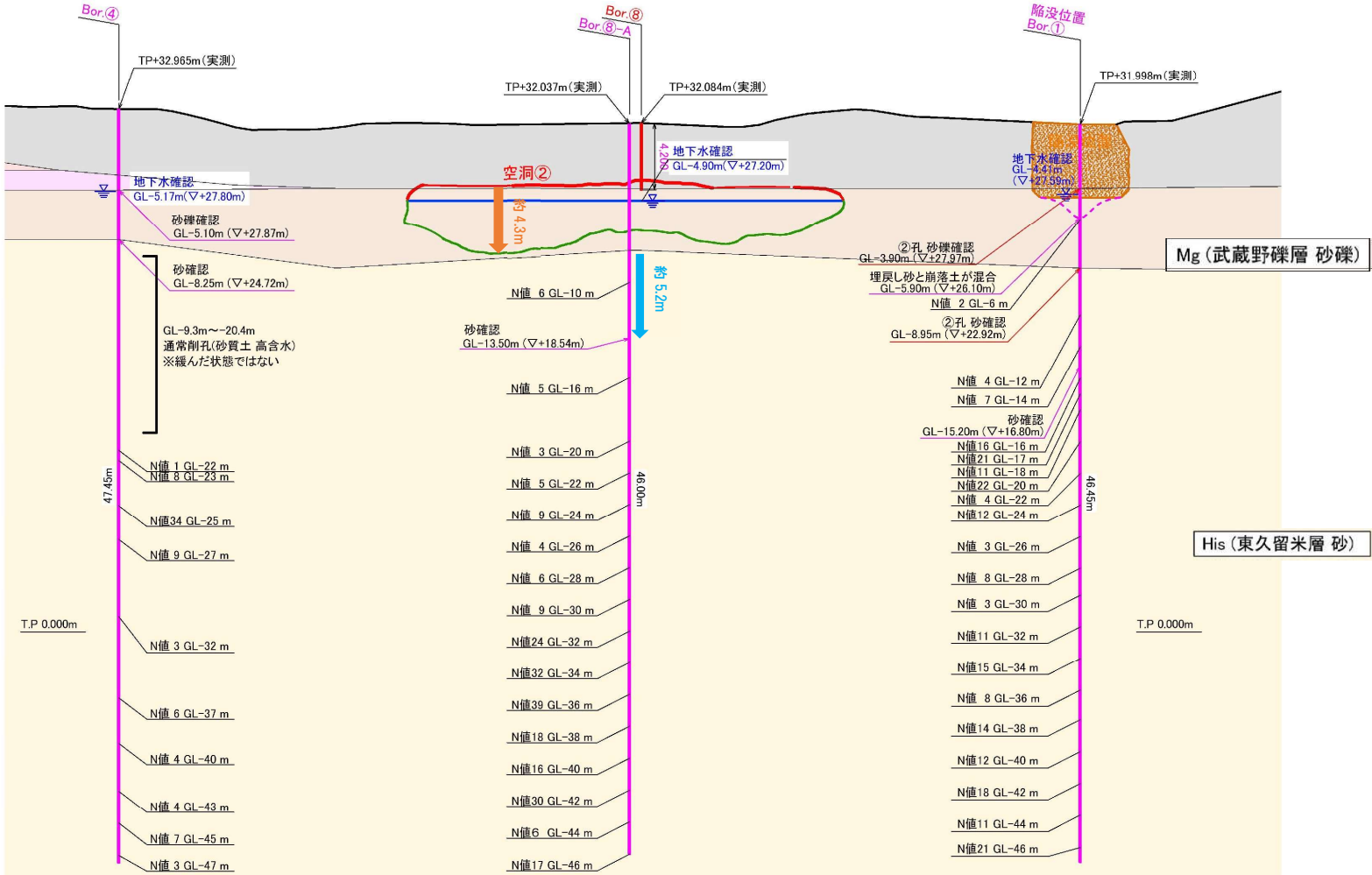
図6 200°～320° 方向

2.4 調査により得られた地盤状況（空洞②箇所周辺）

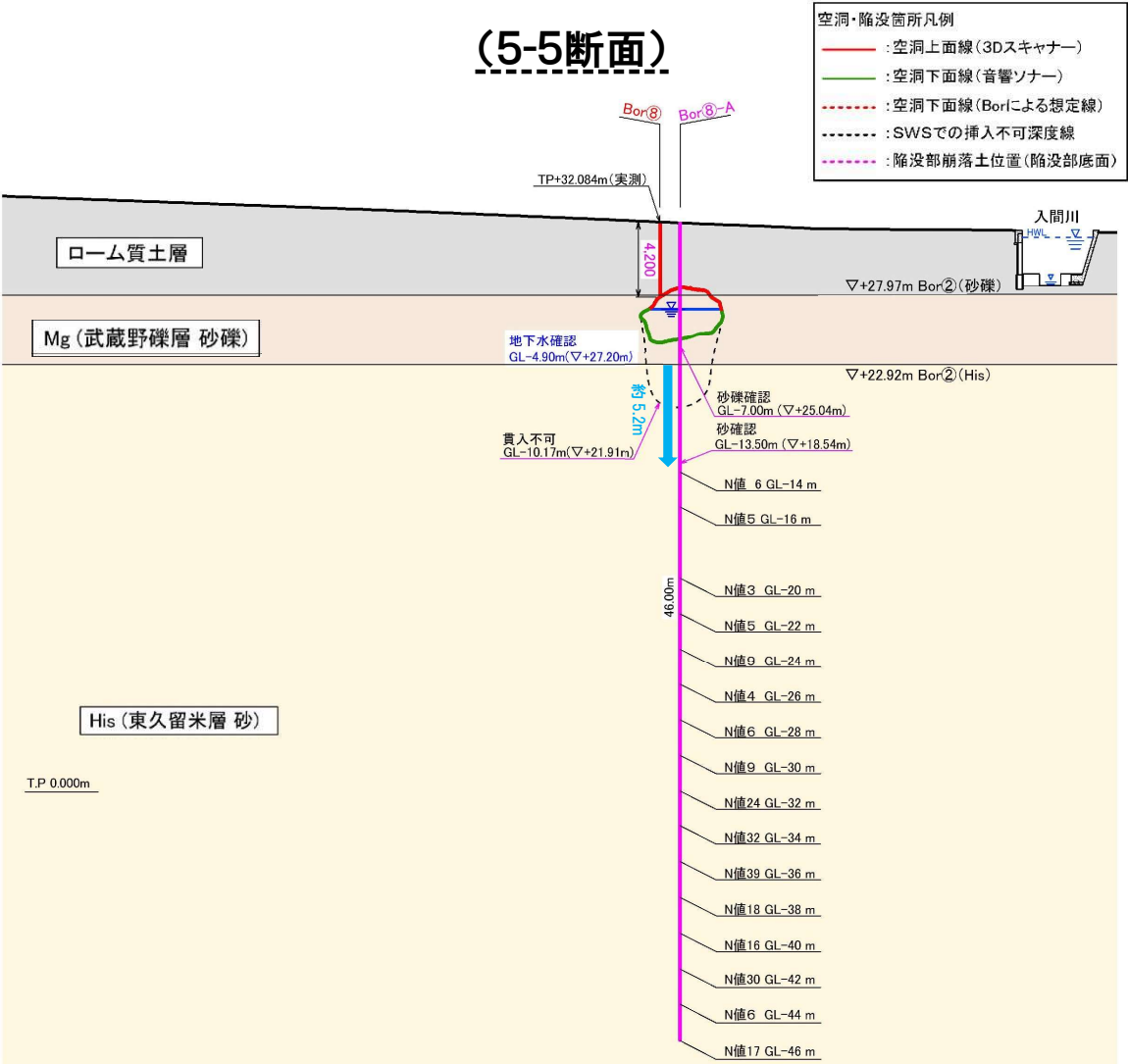
項目			調査より判明した事項
調査結果	地盤	表層	・表層は厚さ4.2mであり、表層は硬質なローム層(凝灰質粘土層)であることを確認した。 ・表層には沖積層(A)は確認されなかった。
		Mg層	・空洞②箇所の底面が上面から約4.3mであることから、Mg層の最大落ち込み深度は約4.3m程度であった。 ・空洞②箇所周辺のMg層の天端レベルは、スクリーウエイト貫入試験による探針の結果、TP+27.9m~28.0mであることを確認し、Mg層の天端の落ち込みは確認されなかった。
		His層	・空洞②箇所のBor.⑧-Aでは、His層天端レベルの落ち込み、トンネル上部までHis層が緩んでいることが確認された。
	地下水		・空洞②箇所の地下水位はTP+27.2mであることを確認した。成分分析の結果、特異な成分は検出されていない。
	空洞②箇所への充填体積		・空洞②箇所の充填体積は約200m³であった。



(4-4断面)



(5-5断面)



(空洞②箇所の写真による確認)

- ・天盤は、凝灰質粘土が分布している。
- ・側部の礫層には、細粒分が付着している部分と水で洗われた部分が見受けられる。
- ・部分的に砂礫層の段差、抜け落ちた箇所も見受けられる。



図 1 0° 方向の坑壁と北側の空洞



図 2 南側 160° 方向の空洞

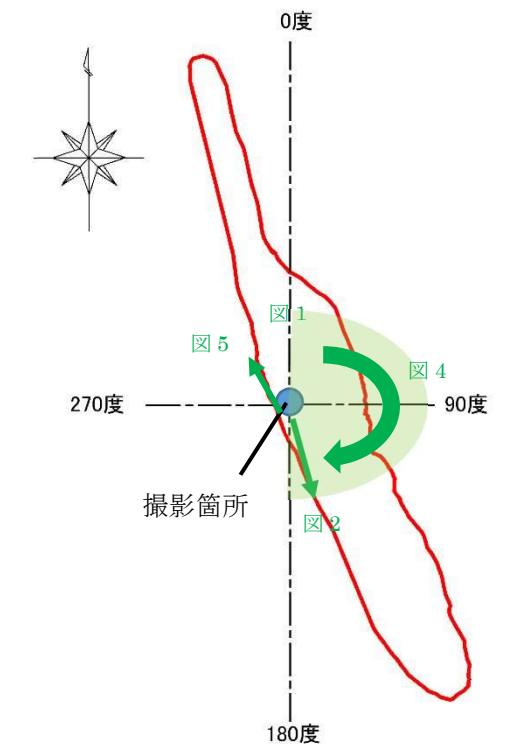


図 3 空洞②箇所図

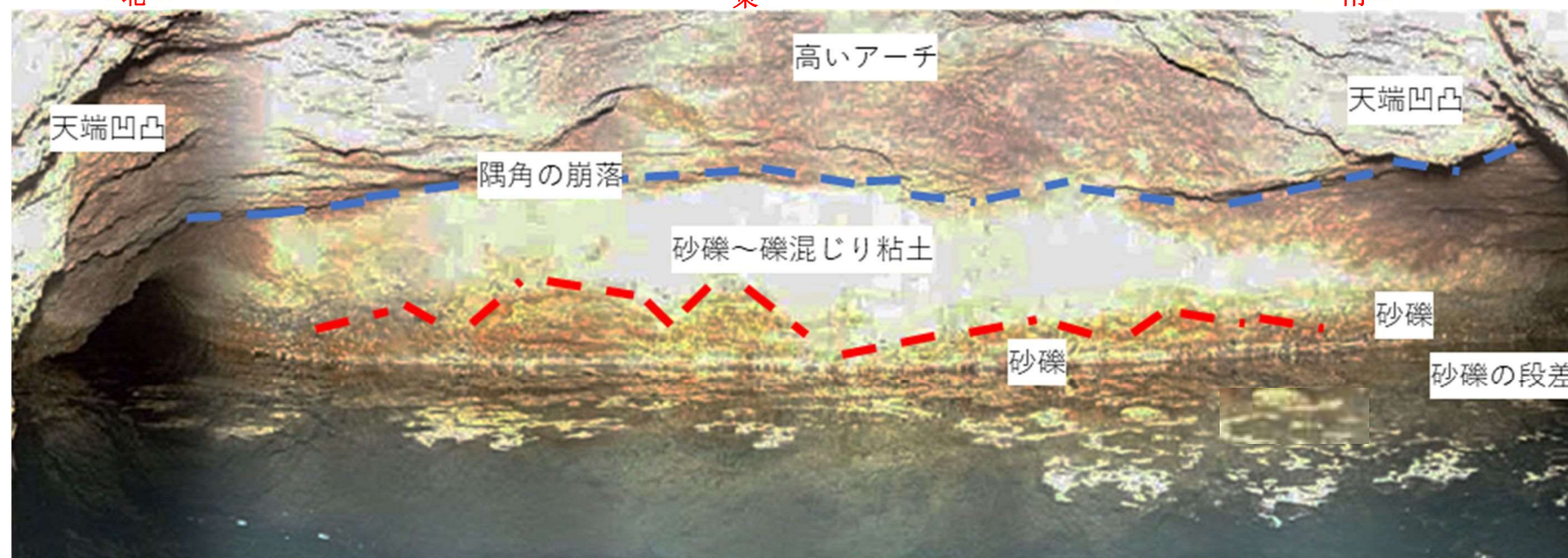
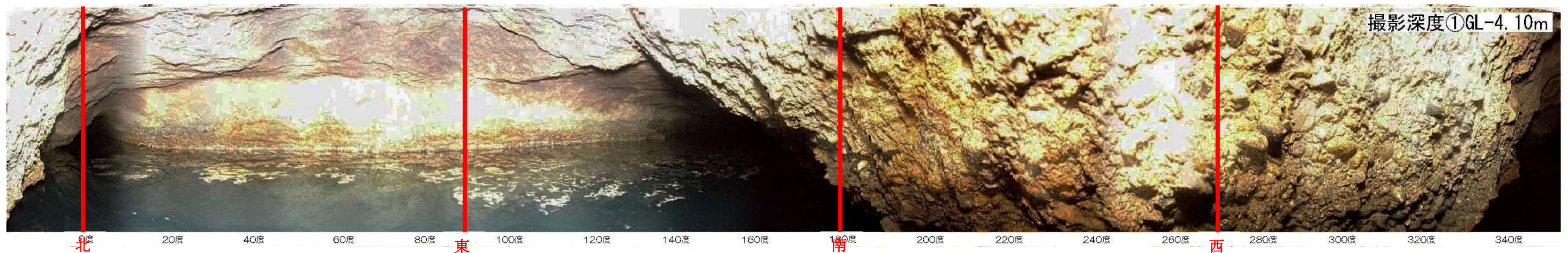


図 4 空洞②箇所東側の孔壁と南北に伸びる空洞

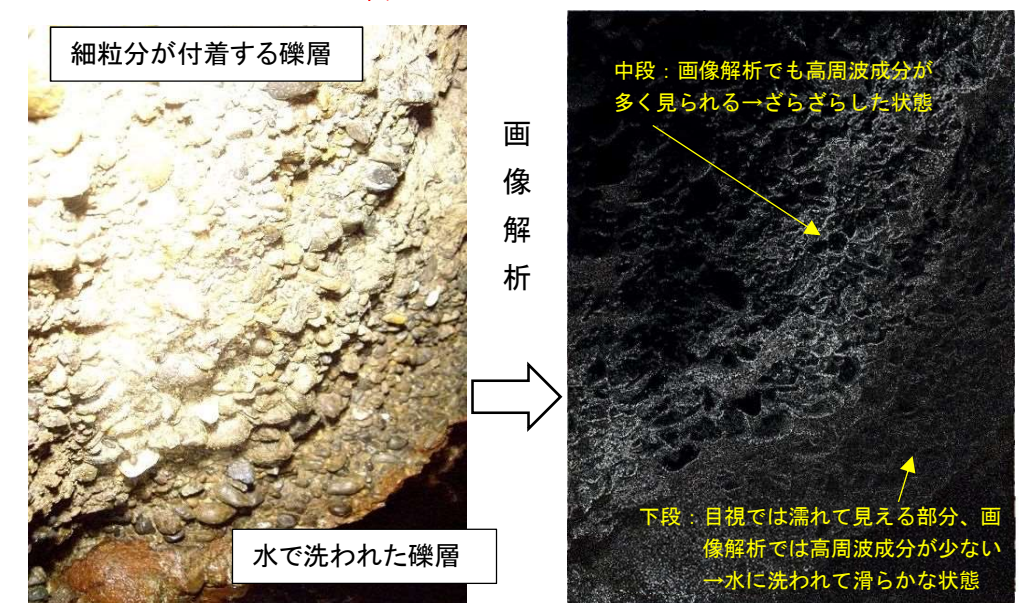
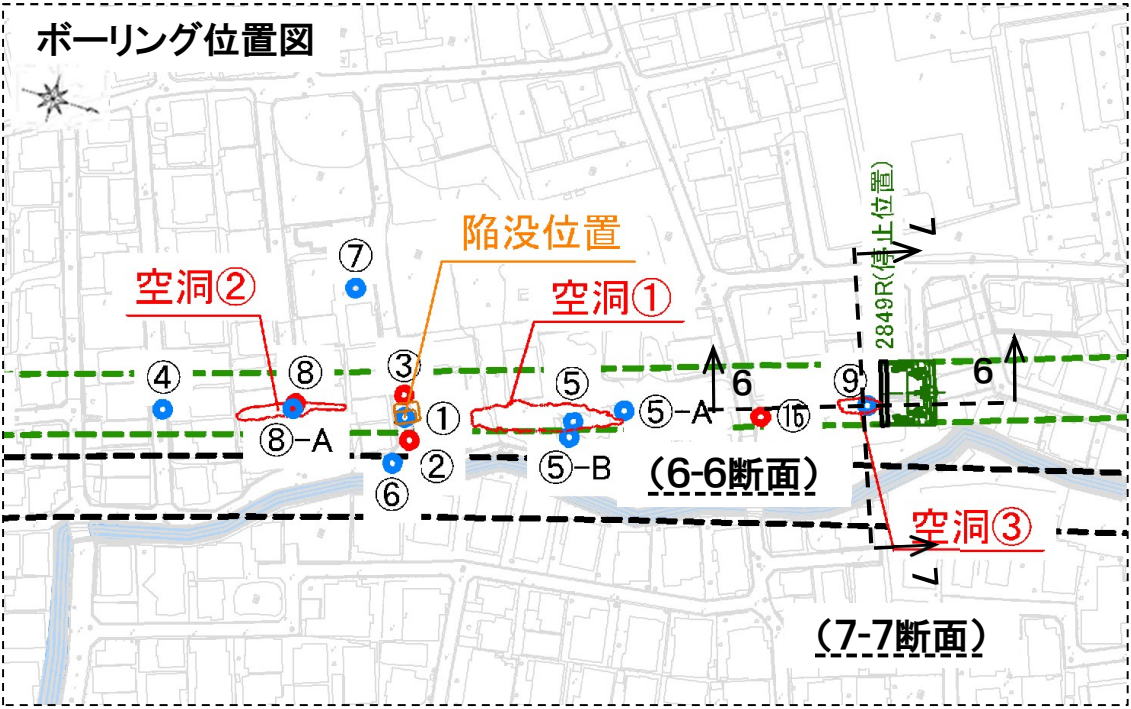


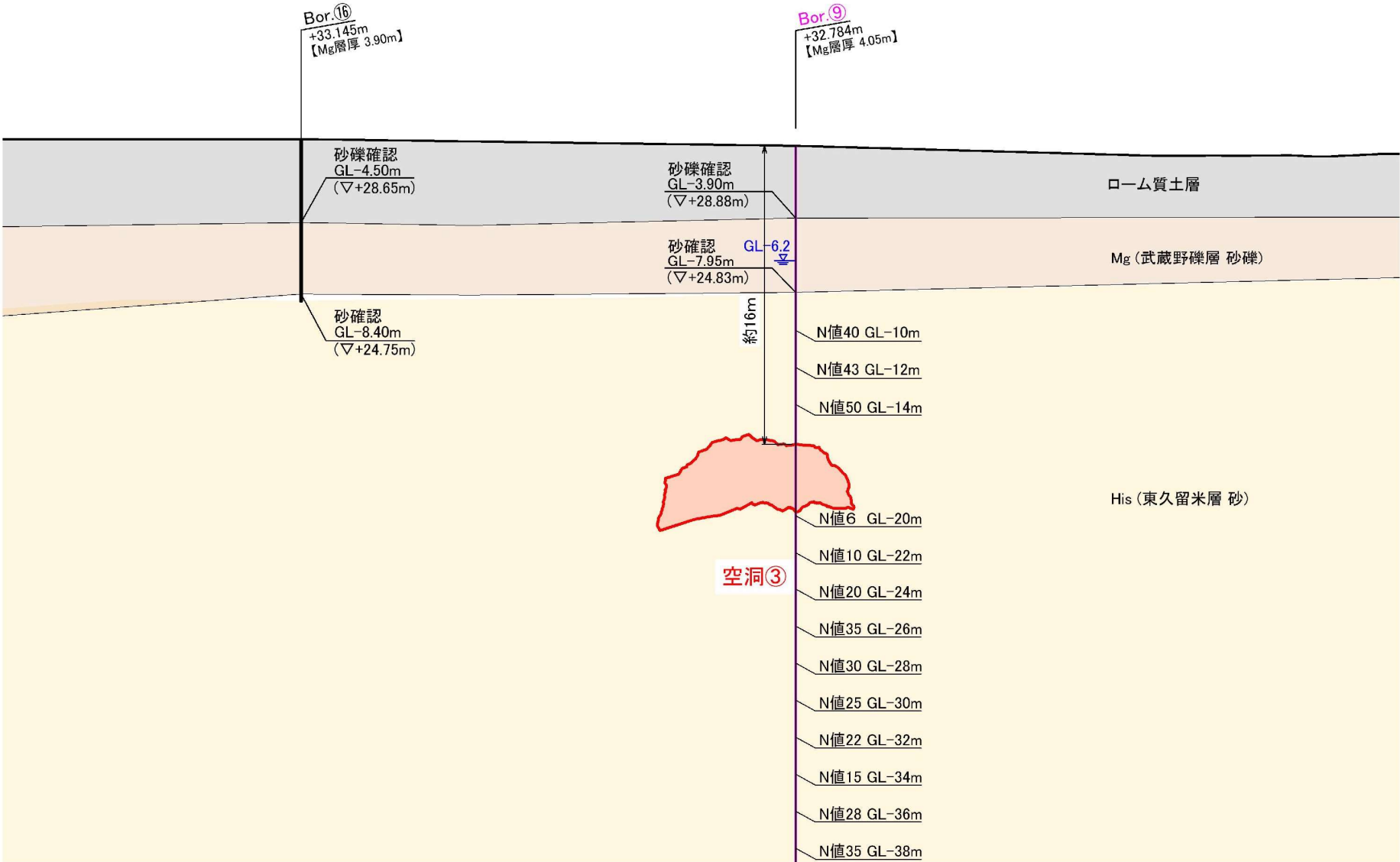
図 5 洗われた砂礫層と細粒分の付着する砂礫層(320° 方向)

2.5 調査により得られた地盤状況（空洞③箇所周辺）

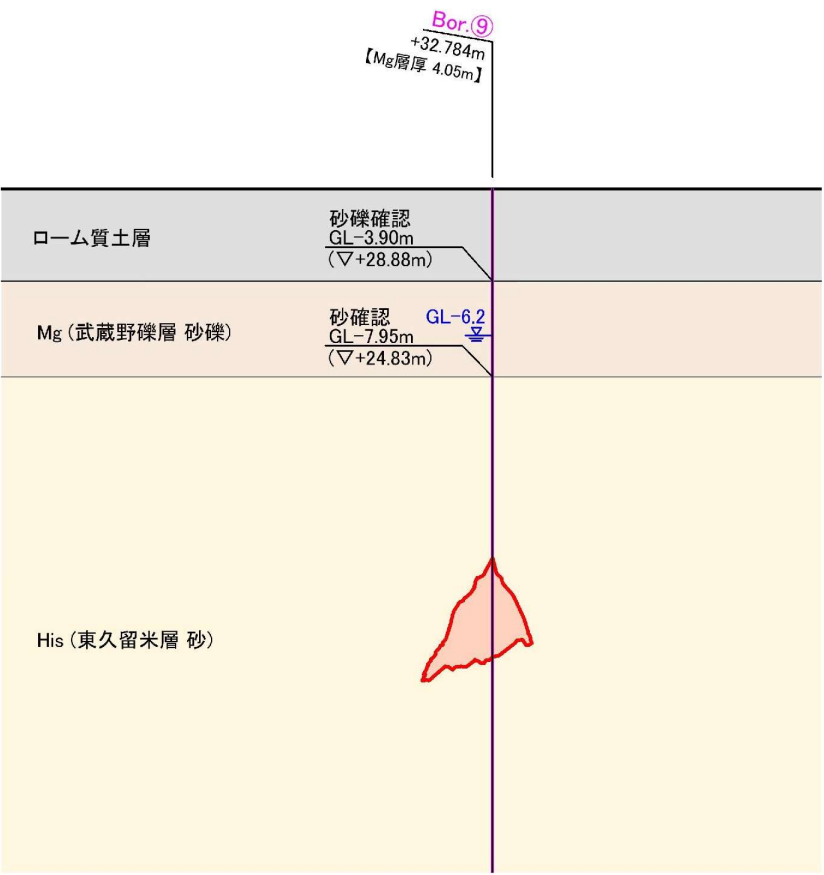
項目			調査より判明した事項
調査結果	地盤	表層	・表層は厚さ3.9mであり、表層は硬質なローム層(凝灰質粘土層)であることを確認した。 ・表層には、沖積層(A)は確認されなかった。
		Mg層	・空洞③箇所のBor.⑨でのMg層の天端レベルはTP+28.9m、Mg層の厚さは4.1mであり、直近地点Bor.⑯と大きな差は無く、Mg層の落ち込みは確認されなかった。
		His層	・空洞③箇所のBor.⑨でのHis層の天端レベルはTP+24.8mであり、直近地点の天端レベル(Bor.⑯:TP+24.8m)と大きな差は無く、His層天端レベルの落ち込みは確認されなかった。 ・空洞③箇所のBor.⑨では、空洞下端からトンネル上部までHis層が緩んでいることが確認された。
	地下水		・空洞③箇所のBor.⑨での地下水位はTP+26.6mであることを確認した。成分分析の結果、界面活性剤の成分が検出された。
	空洞③箇所への充填体積		・空洞③箇所の充填体積は約90m³であった。



(6-6断面)



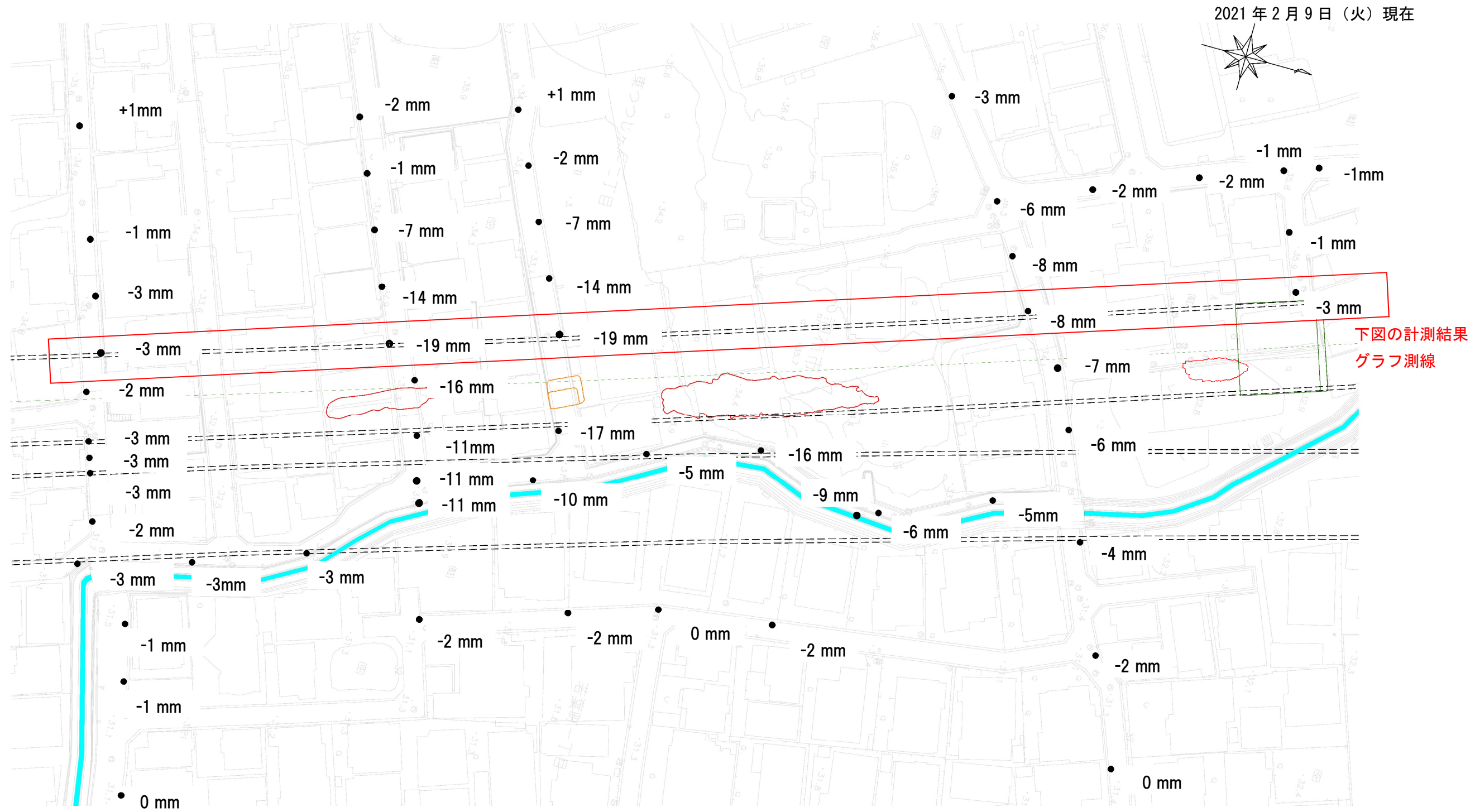
(7-7断面)



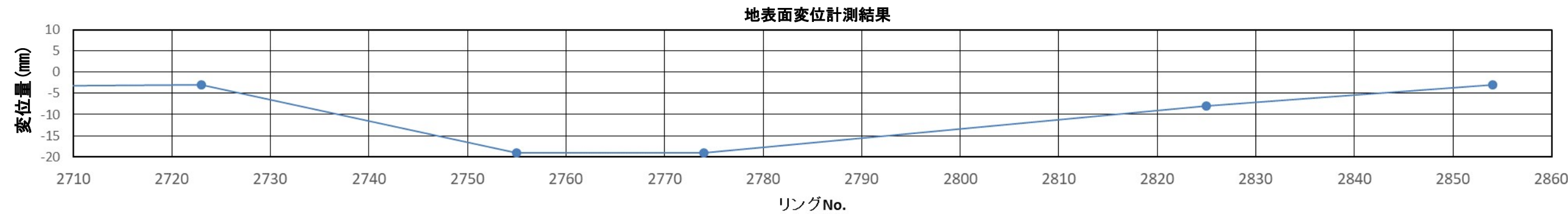
2.6 地表面変位計測結果

① 陥没・空洞箇所周辺の地表面変位量

トンネル掘進前から現在までの地表面変位量を下図に示す。

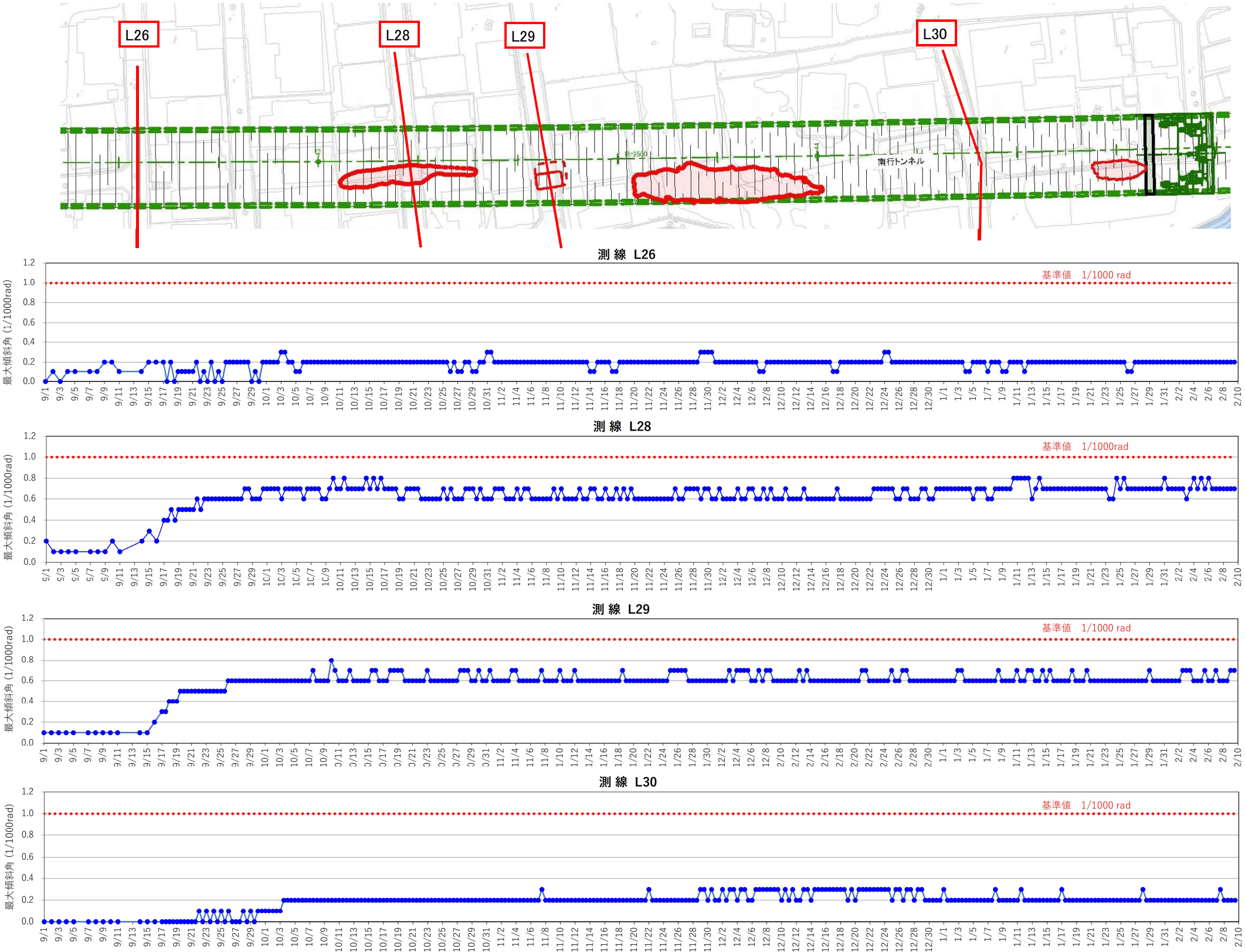
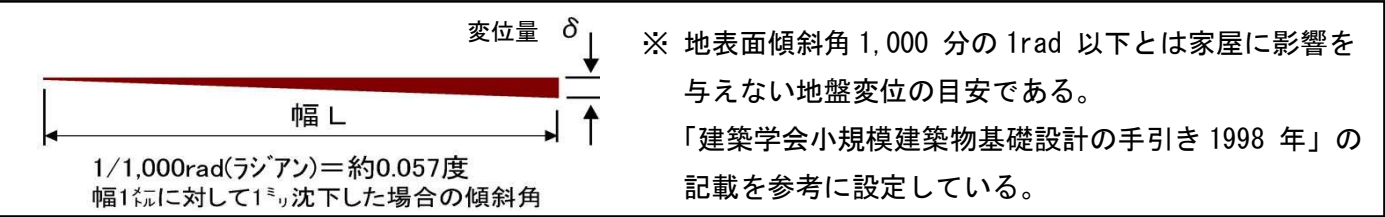


※上図以外の掘り進めてきた区間の地表面変位量は最大-6mm



② 陥没・空洞箇所周辺の地表面傾斜角の経時変化

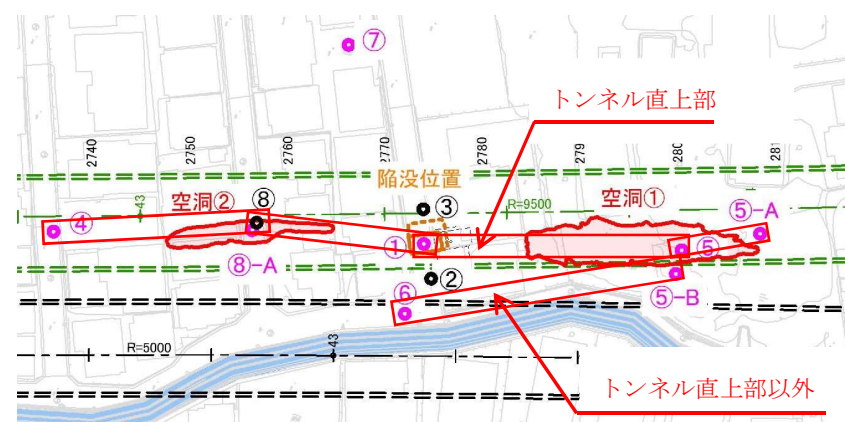
測線 L28、L29 とともにほぼ同時期に地表面傾斜角が大きくなっているが、基準値（1/1000rad）以内であった。



※上図以外の掘り進めてきた区間の地表面傾斜角は最大 0.3/1000rad

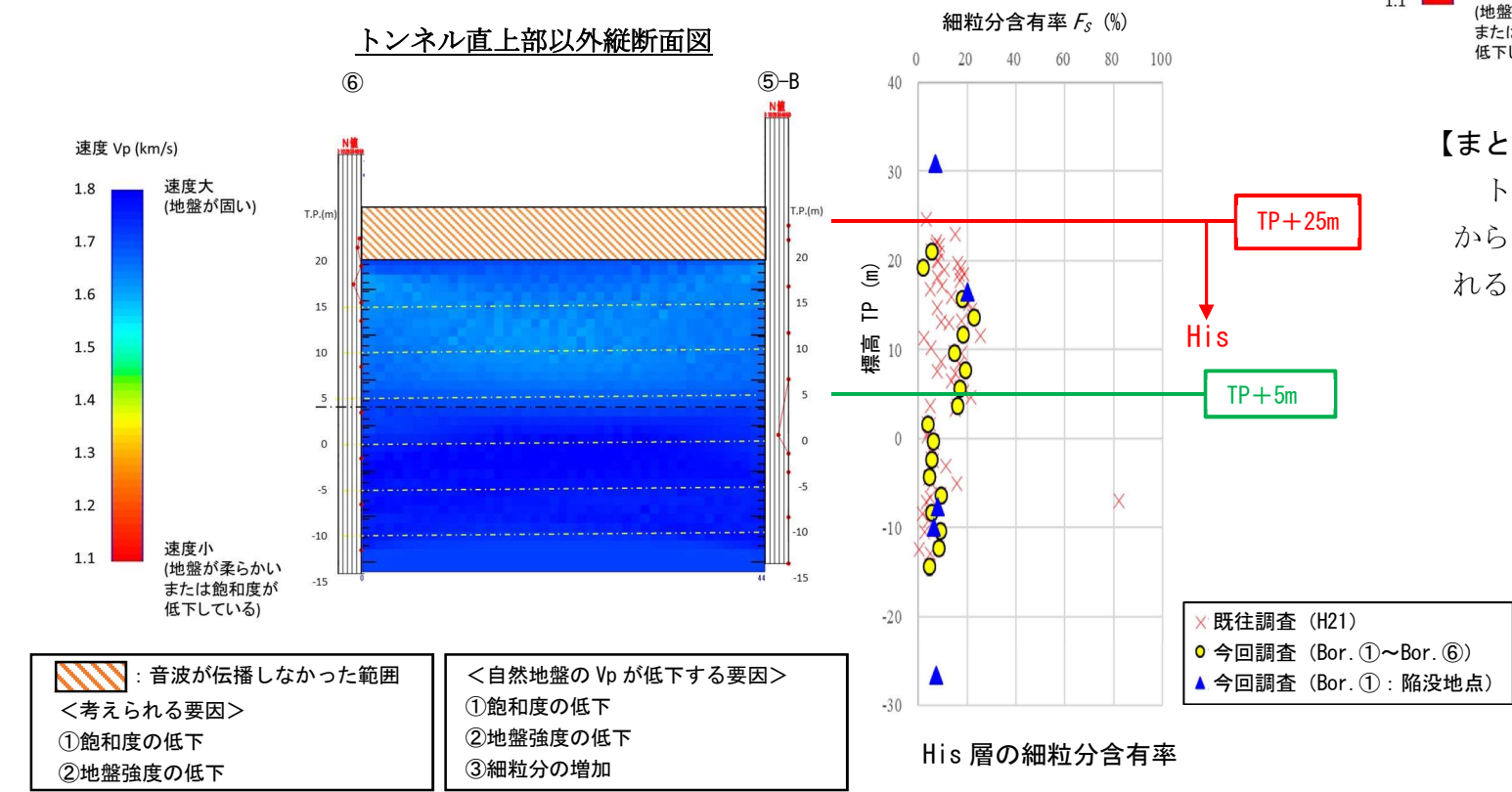
2.7 音響トモグラフィ結果

東久留米層（His）の地盤状況を確認するために、音響トモグラフィ探査を実施した。測定される音波（P波）の速度（Vp）で地盤状況を評価した。



① トンネル直上部以外（Bor. ⑥～⑤-B 間）の調査結果及び考察

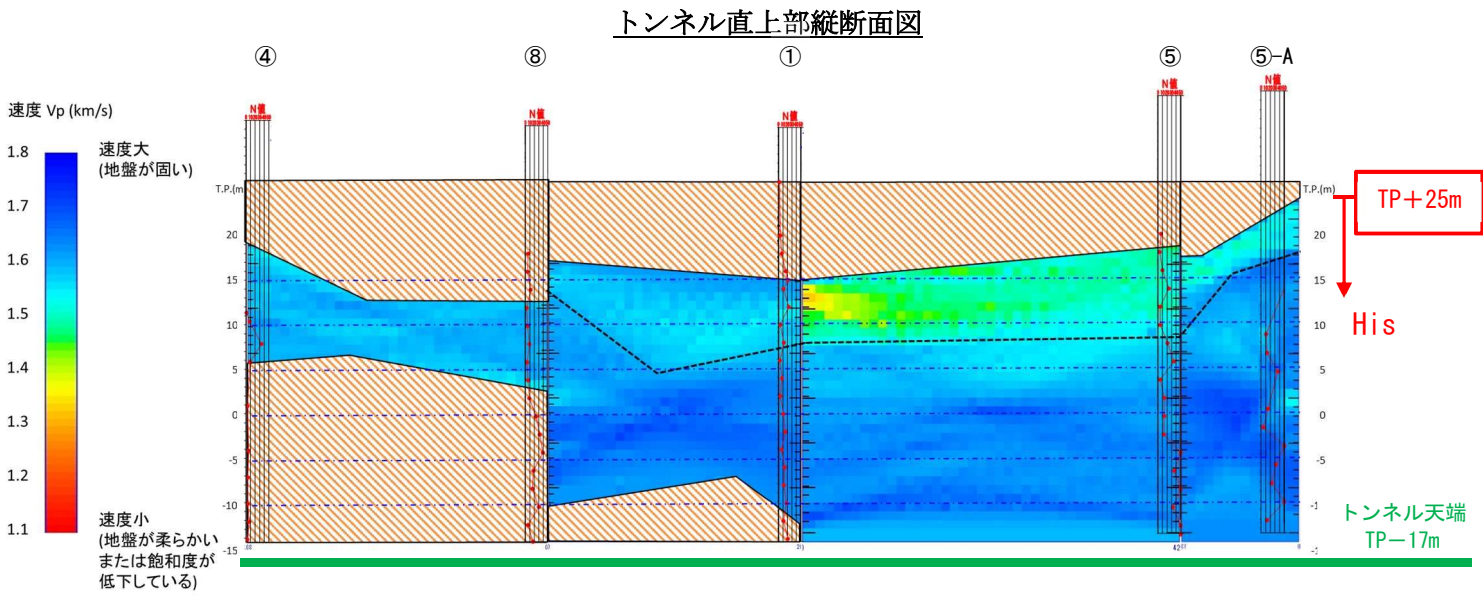
- TP+5m 以浅では、 $V_p=1.7\sim1.6\text{km/s}$ 、TP+5m 以深では $V_p=1.8\text{km/s}$ 程度となっている。
- 既往の地質調査で取りまとめられている PS 検層の結果では、東久留米層の V_p の平均値は 1.77km/s となっている。今回得られた TP+5m 以深の V_p はこれとほぼ同等である。
- ボーリングコア試料の細粒分含有率は、TP+5m 以浅で 15～20%程度、以深で 10%以下程度となっている。 V_p は細粒分が多いと遅くなる傾向にあり、TP+5m 以浅の V_p が TP+5m 以深の V_p よりもやや小さいことはこの傾向に合致する。
- Bor. ⑥～⑤-B 間の V_p の速度分布はほぼ一様で、地盤の緩みや空洞を示唆する低速度域は確認されない。
- 以上の調査結果及び Bor. ⑥、⑤-B での N 値がほぼ全域で 50 以上であることから、トンネル直上部以外は良好な地盤であると判断される。



② トンネル直上部（Bor. ④～⑧～①～⑤～⑤-A 間）の調査結果及び考察

地盤の評価は、トンネル直上部以外（自然地盤と判断）での V_p の状況と比較し、トンネル直上部の地盤状況について考察する。

- TP+12m～15m 以浅で音波が届かず探査できていない範囲がある。この範囲では飽和度の低下と地盤強度の低下が原因と考えられる。
- TP+5m 以深において、トンネル直上部以外の地盤の同深度で $V_p=1.8\text{km/s}$ 程度であったものが $V_p=1.7\sim1.6\text{km/s}$ 程度に低下し、またその分布も不均一になっており、地盤の緩みが生じていると判断される。
- TP+5m 以浅において、トンネル直上部以外の地盤の同深度で $V_p=1.7\sim1.6\text{km/s}$ 程度であったものが $V_p=1.6\text{km/s}$ 以下に低下していることから、この範囲でも地盤の緩みが生じていると判断される。
- Bor. ④～⑧間の TP+5m 以深、Bor. ⑧～①間の TP-10m 程度以深で音波が送受信できていない範囲があり、この範囲で飽和度の低下と地盤強度の低下が原因と考えられる。



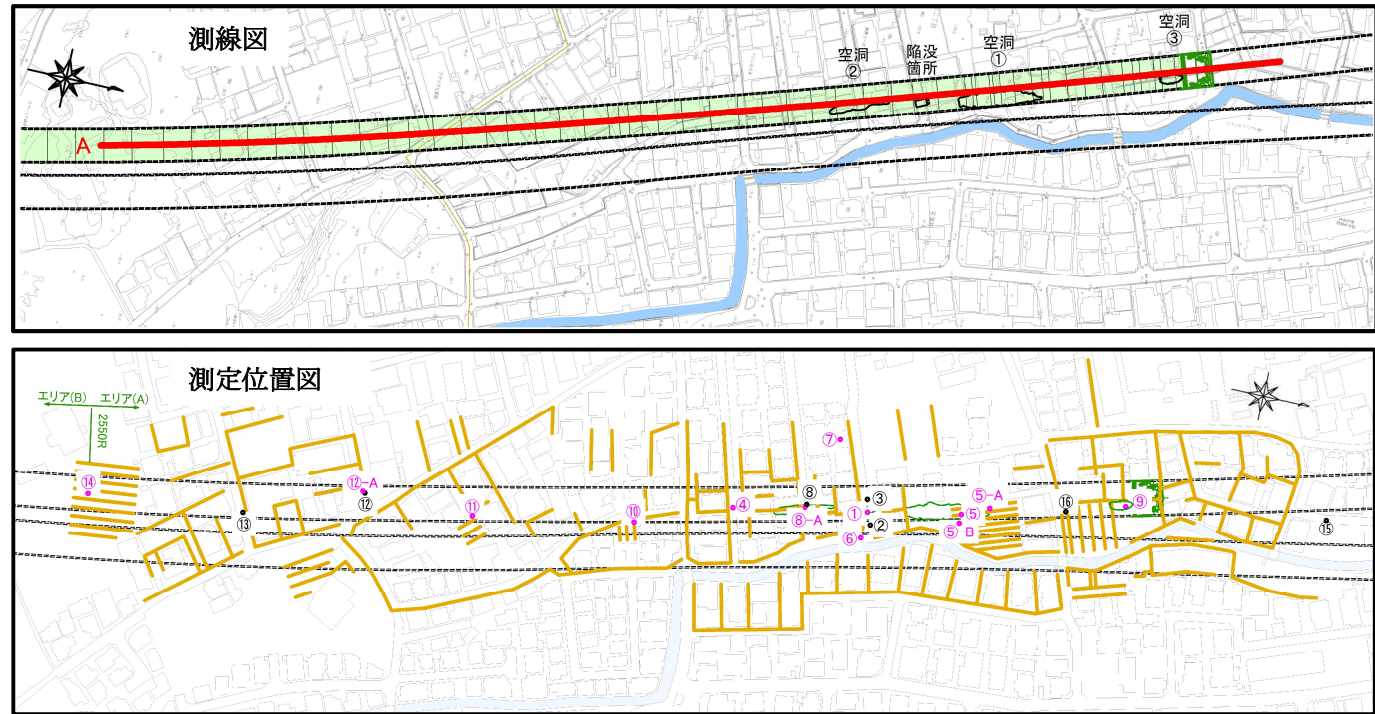
【まとめ】

トンネル際の Bor. ⑤-B およびトンネルから離れた Bor. ⑥では N 値がほぼ全域で 50 以上あることから地盤の緩みはなく、Bor. ⑥～⑤-B 間の音響トモグラフィの結果においても良好な地盤と判断されることから、地盤の緩みはトンネル直上部に限定される。

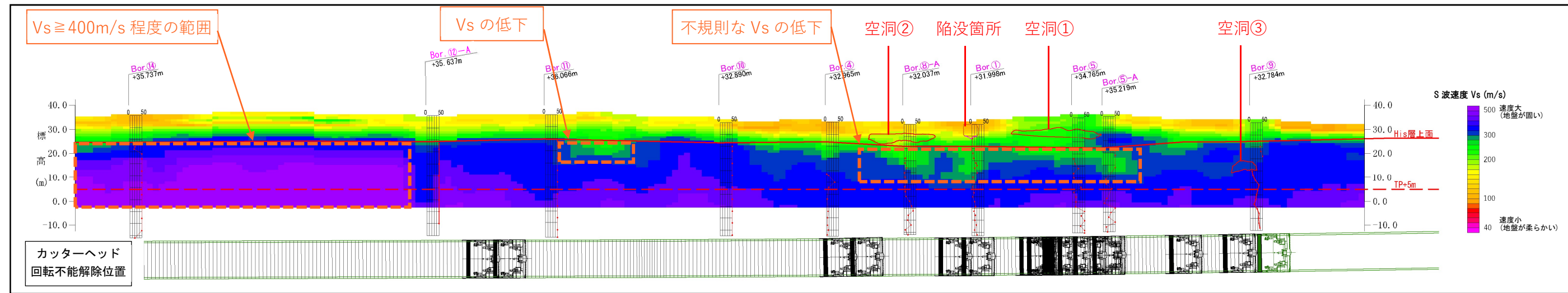
2.8 微動アレイ探査結果

東久留米層（His）の地盤状況を確認するために、微動アレイ探査を実施した。測定される地盤の S 波速度（Vs）の分布状況から地盤状況を評価した。

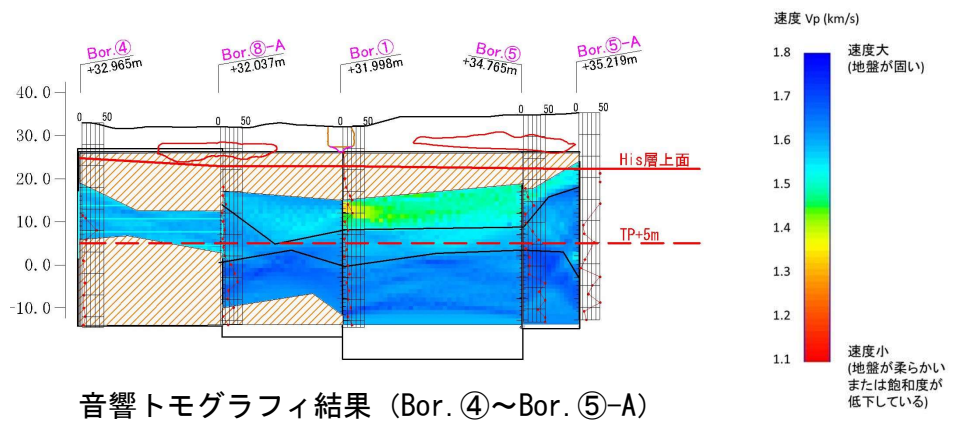
① トンネル縦断方向の調査結果及び考察



- ・トンネル直上部（測線A）において、空洞①箇所から空洞②箇所にかけての範囲では、不規則な Vs の低下が確認される。これはトンネル直上部での音響トモグラフィ探査結果と対応しており、この範囲で地盤の緩みが生じていると判断される。
- ・Bor. ⑫-A 以南では Bor. ⑫-A 以北と比較して Vs の高い範囲が確認される。
- ・Bor. ⑪～⑩間の TP+25m～TP+30m にかけて、部分的に周囲よりも Vs が低い箇所がある。近傍の Bor. ⑪は N 値 50 以上であり緩みが確認されておらず、また、既往の調査において「東久留米層のごく表層部には風化の影響とみられる N 値 50 以下の箇所が認められる」ことが確認されており、当該箇所も局所的な風化の影響によるものとも考えられるが、地盤の緩みの可能性も否定できない。
- ・空洞③箇所付近で Vs の低下がみられないのは、近接するコンクリート構造物により振動が増幅されて Vs に影響を与えていることが考えらえる。



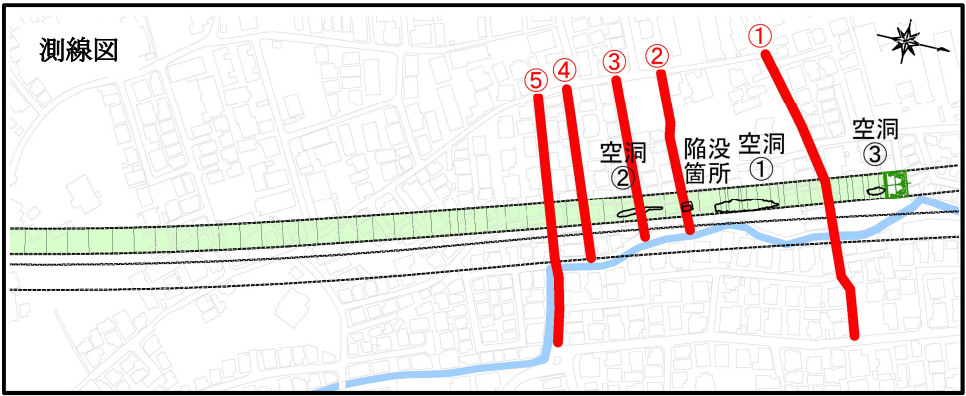
トンネル縦断方向断面（トンネル直上部：測線A）



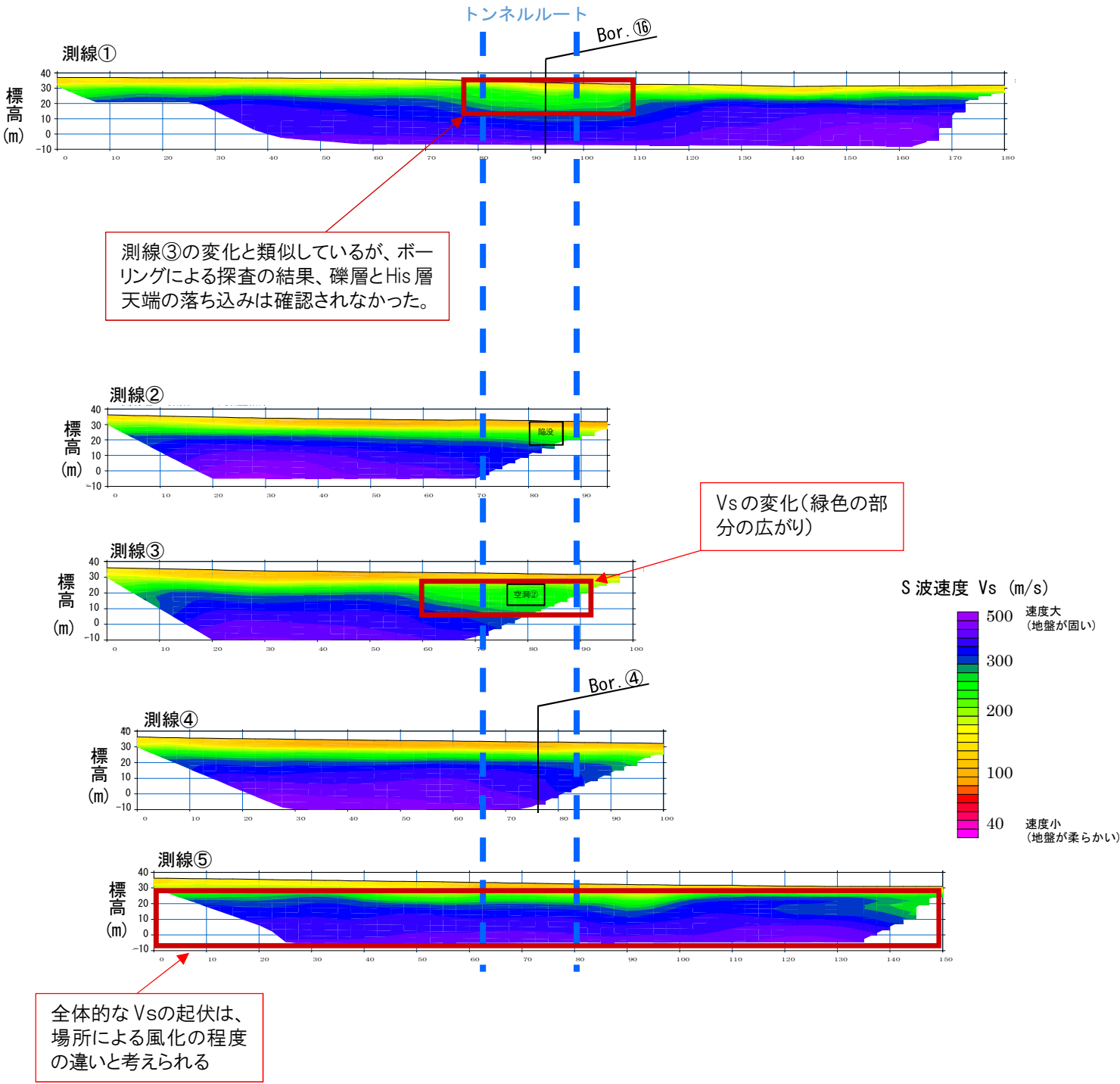
音響トモグラフィ結果（Bor. ④～Bor. ⑤-A）

② トンネル横断方向の調査結果及び考察

■エリアA北側（入間川近接部：空洞①～空洞②）

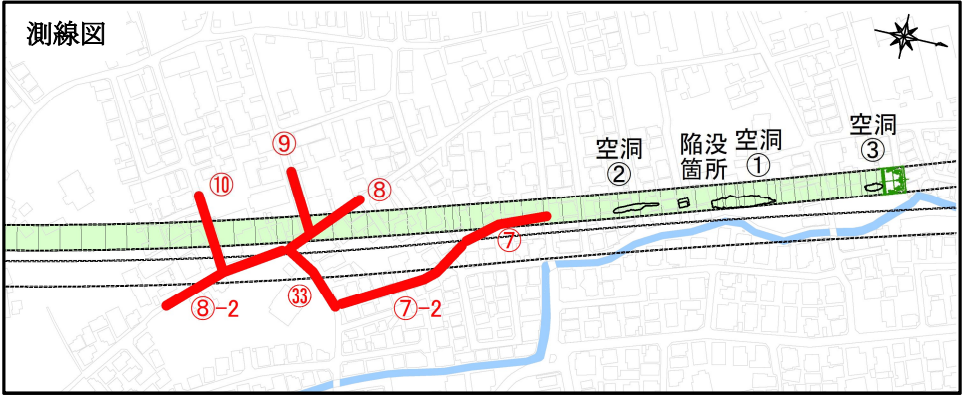


- ・ 測線①～⑤の範囲では $V_s=300\text{m/s}$ 以上（青色）となる範囲は概ね TP+20m 程度以下となっている。
- ・ 測線⑤の状況から、このエリアでは S 波速度（ V_s ）に全体的に起伏がある。既往の調査において、「東久留米層のごく表層部には風化の影響とみられる N 値 50 以下の箇所が認められる」ことが確認されており、この全体的な V_s の起伏は、場所による風化の程度の違いによって速度構造に起伏が生じている可能性が考えられる。
- ・ その一方、測線③でのトンネル直上部での V_s の変化（緑色の部分の広がり）は上記起伏に対してやや大きいように見受けられる。これは空洞②の影響もあるのではないかと考えられる。
- ・ 測線①のトンネル直上部での V_s の変化は、上記、測線③の変化と類似している。そこで測線の近傍の Bor. ⑯で調査を実施した結果、礫層と His 層天端の落ち込みは確認されなかった。
- ・ 測線④上の Bor. ④では、TP+5m 以深の N 値が 3～9 と他に比べて低下していた。しかしながら微動アレイの V_s には顕著な低下は見られず、Bor. ④孔周囲の極めて限定的な緩みである可能性が考えられる。

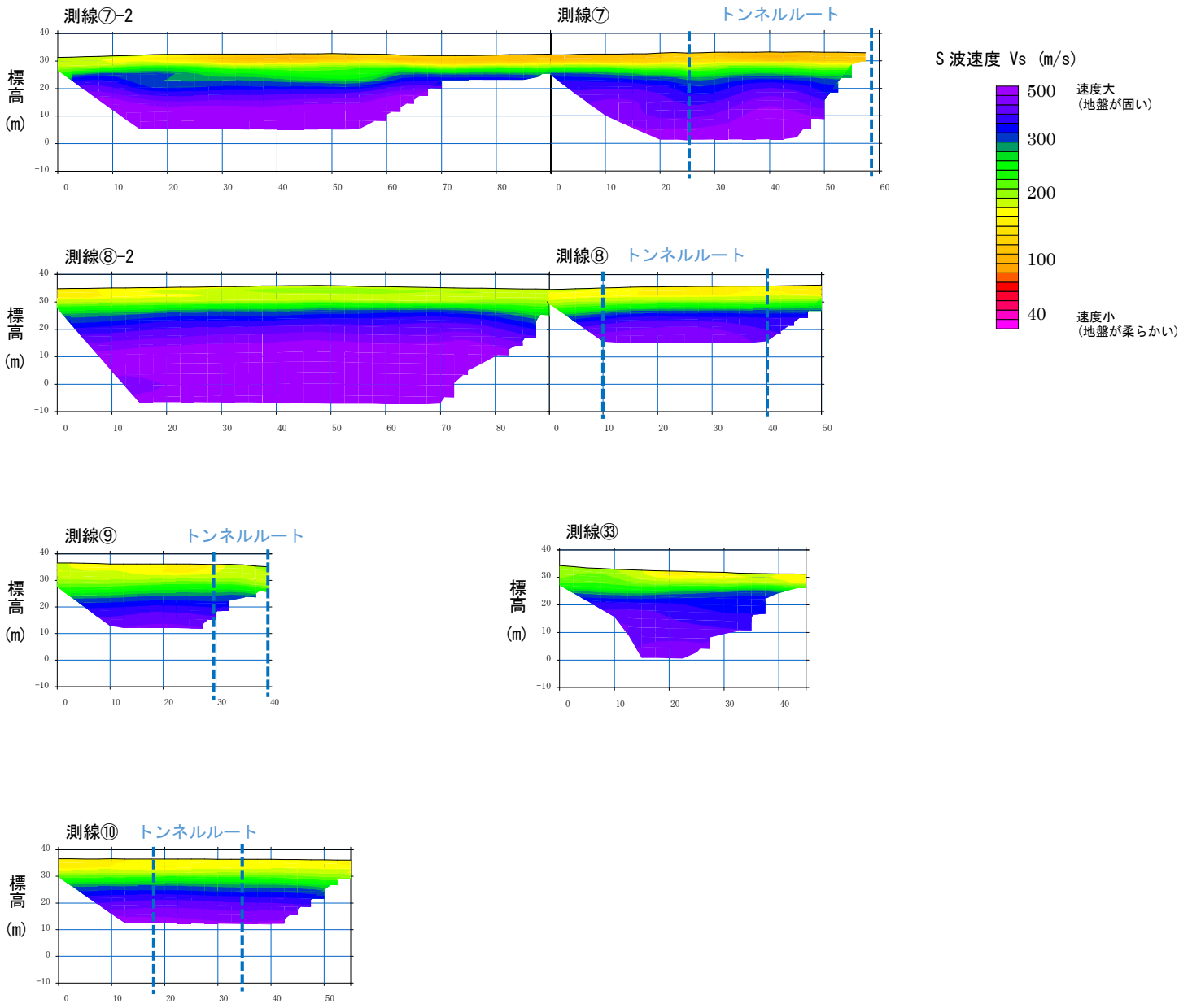


測線端部では、測定時に得られる情報が少ないため解析結果に誤差が多くなる。したがって、その部分は表示せず、信頼性の高い部分のみコンターとして表示している。

■エリアA南側



- ・測線⑦-2では $V_s=300\text{m/s}$ 以上(青色)となる上面に起伏がみられるが、エリアA北側の測線⑤(P16)の傾向を踏まえると地盤は緩んでいないと考えられる。
- ・エリアA南側の調査した範囲では、特に異常は認められなかった。



3. 地下水状況の調査結果について

3.1 既往の地下水調査により得られている地下水状況

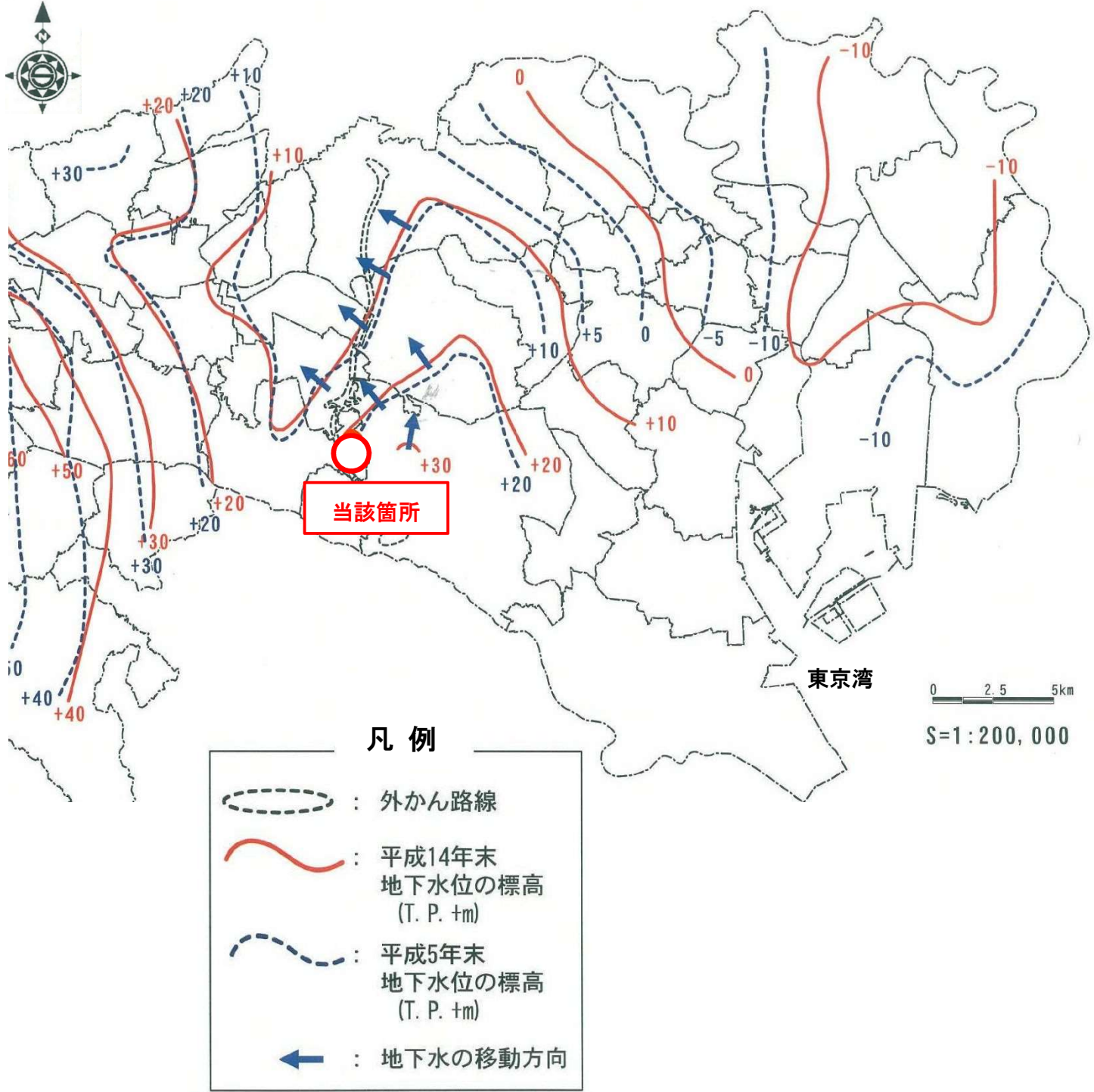
当該地域周辺の地下水状況は設計・施工段階よりも前に調査を実施しており、浅層・深層の地下水の大局的な流向・流速が得られている。

・浅層地下水の水位標高と移動方向

（流向） 野川沿い～中央道周辺間の国分寺崖線の近くでは北東→南西方向
（流速） 約30～40cm/日で移動

・深層地下水の水位標高と移動方向

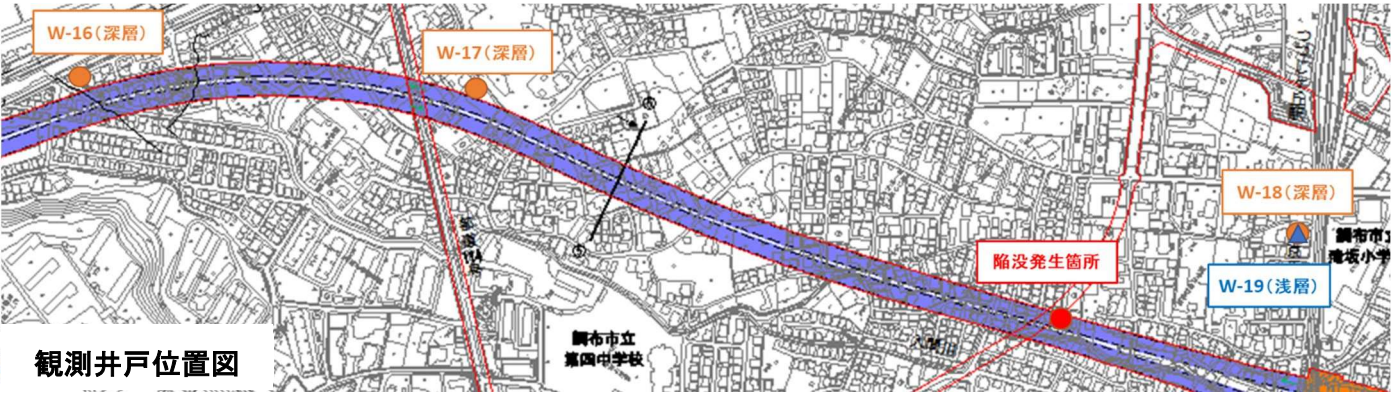
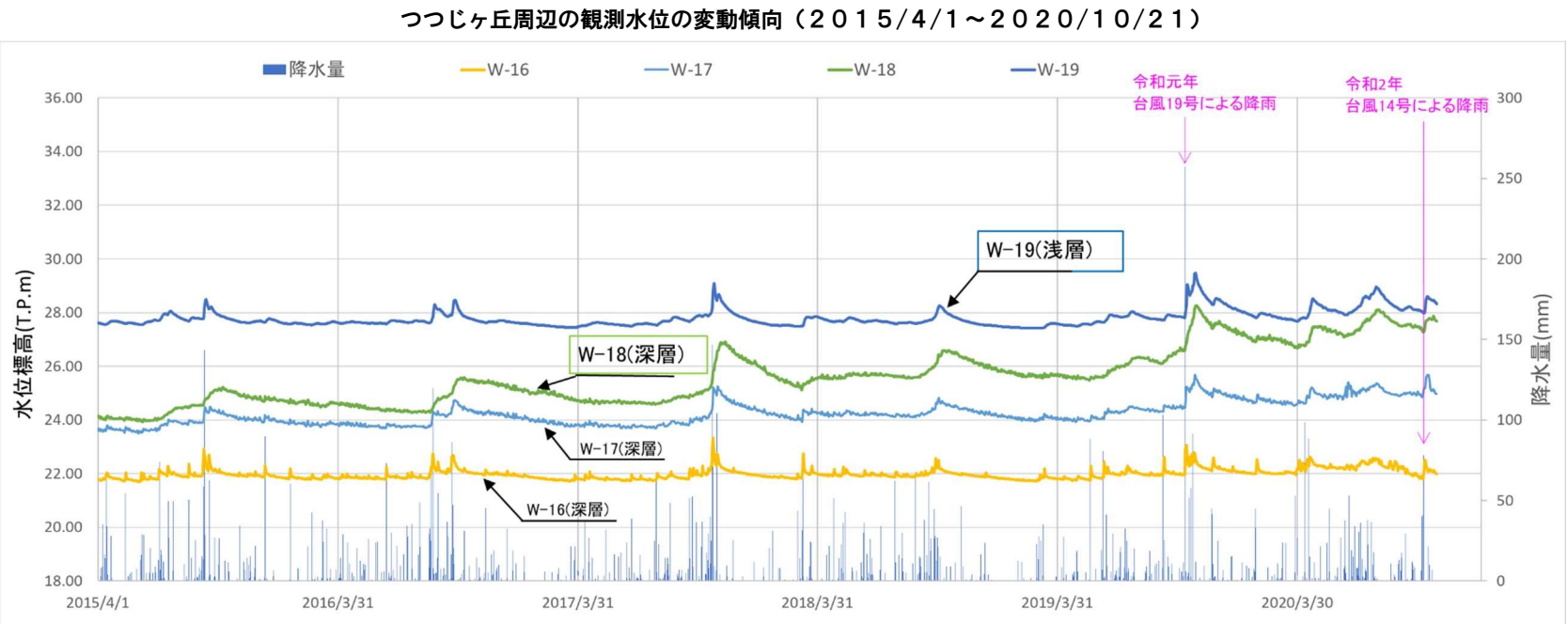
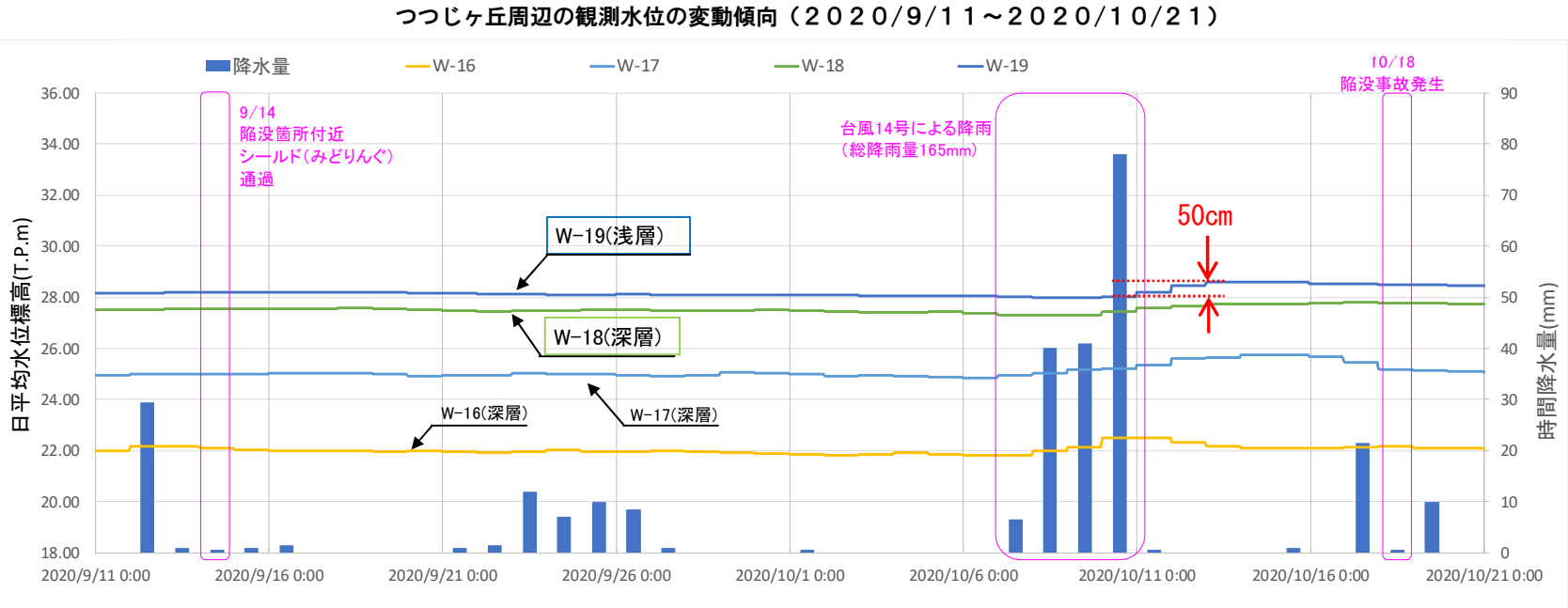
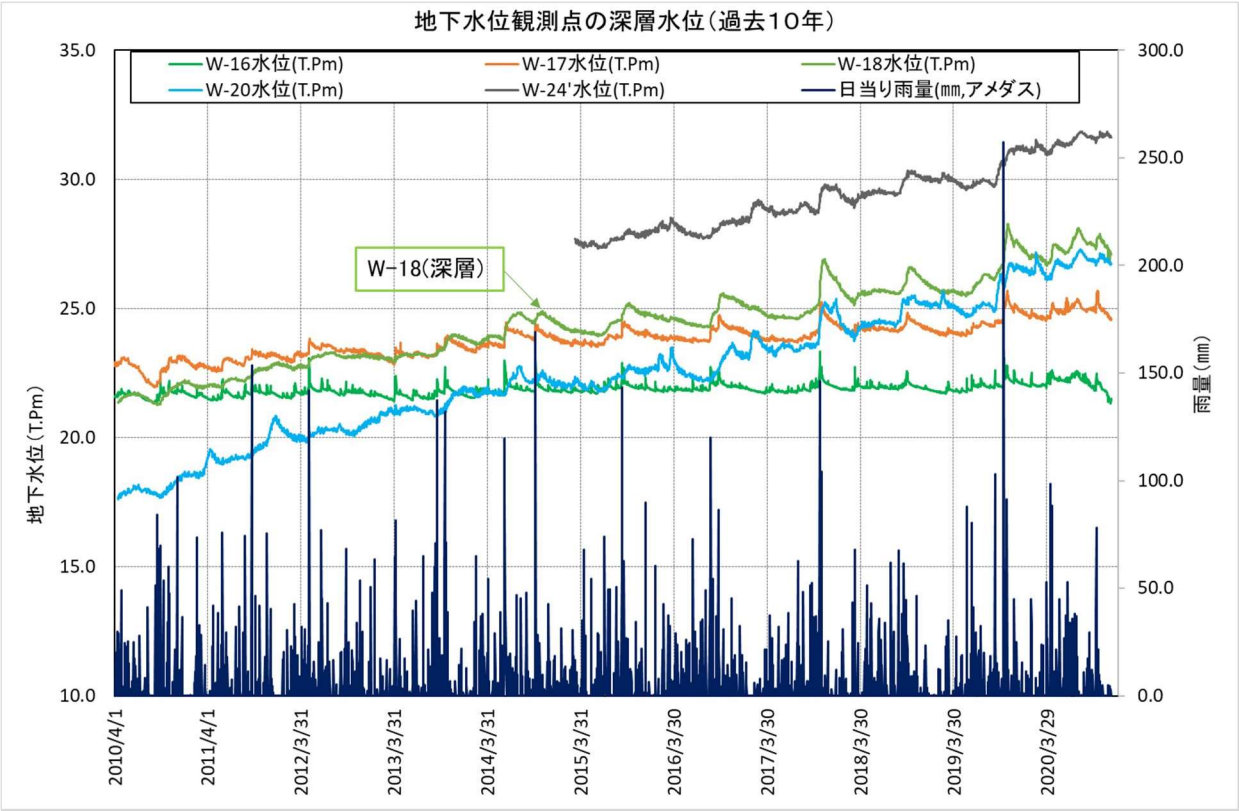
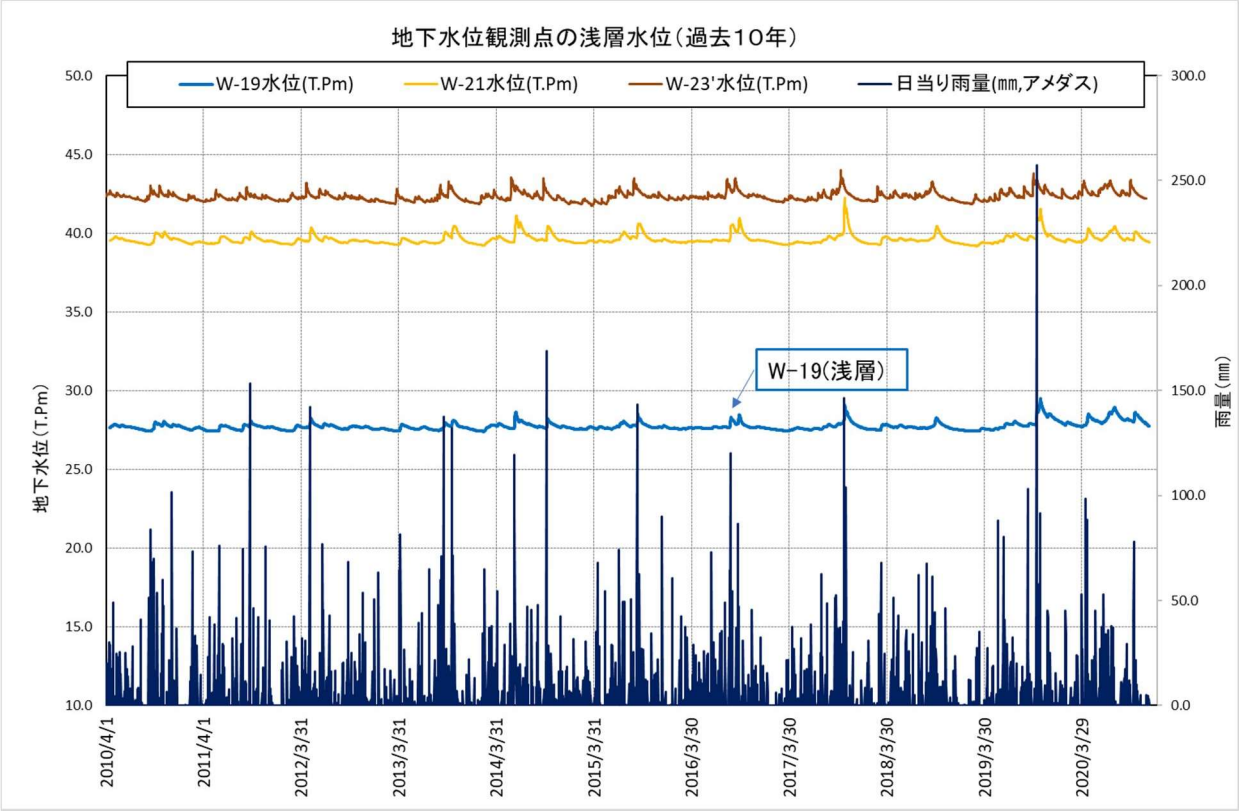
（流向） 東京湾から離れるように南東→北西方向
（流速） 約3cm/日以下にてゆっくり移動



3.2 これまで測定してきた地下水位の状況

既往の調査から継続的に地下水位を測定している。
(浅層) 降雨の影響にて敏感に水位が変動しているが、おおむね一定である。
(深層) 降雨の影響はやや受けているが、大局的には水位は上昇している。

- ・ 陥没箇所および空洞箇所をマシンが通過時（9/8～9/24）に直近の観測井戸（W-18（深層）, W-19（浅層））に変動はない。
- ・ 両観測井戸（W-18（深層）, W-19（浅層））とも台風に伴う大雨時には約 50 c m水位が上がっている。
- ・ この5年でW-18（深層）の水位は約3m上昇している。
- ・ 陥没箇所および空洞箇所の表面はこれらの水位上昇により洗われた可能性があるものと考えられる。



3.3 当該箇所の地下水の流向・流速について

地盤状況の確認に使用した調査ボーリング孔を用いて、地下水の流向・流速を測定した。

陥没箇所、空洞箇所に確認された地下水はほぼ停滞していた。調査期間中（12月2日）に降雨があった後、再度地下水の流向・流速を測定したところ、同一箇所の測定結果ではないものの流速は比較的敏感に増加し、流向も異なる方位を示すことが確認された。

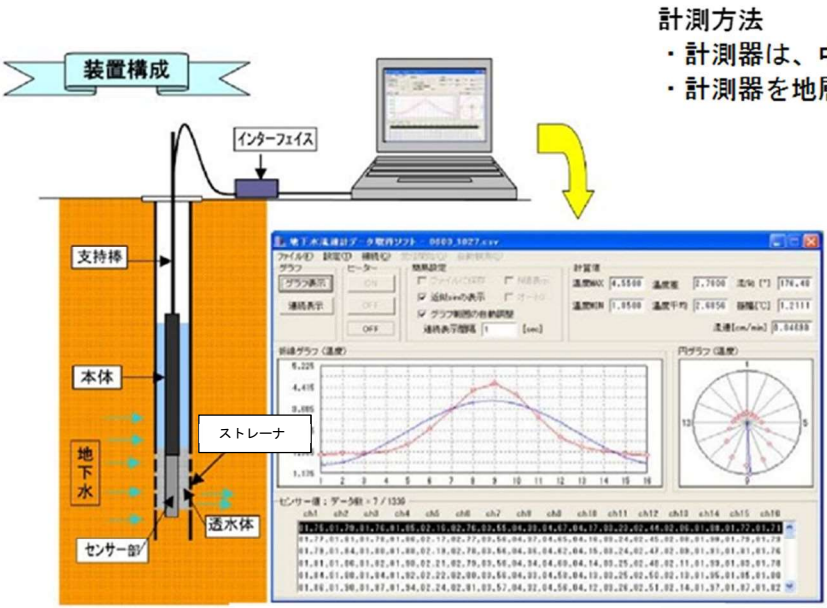
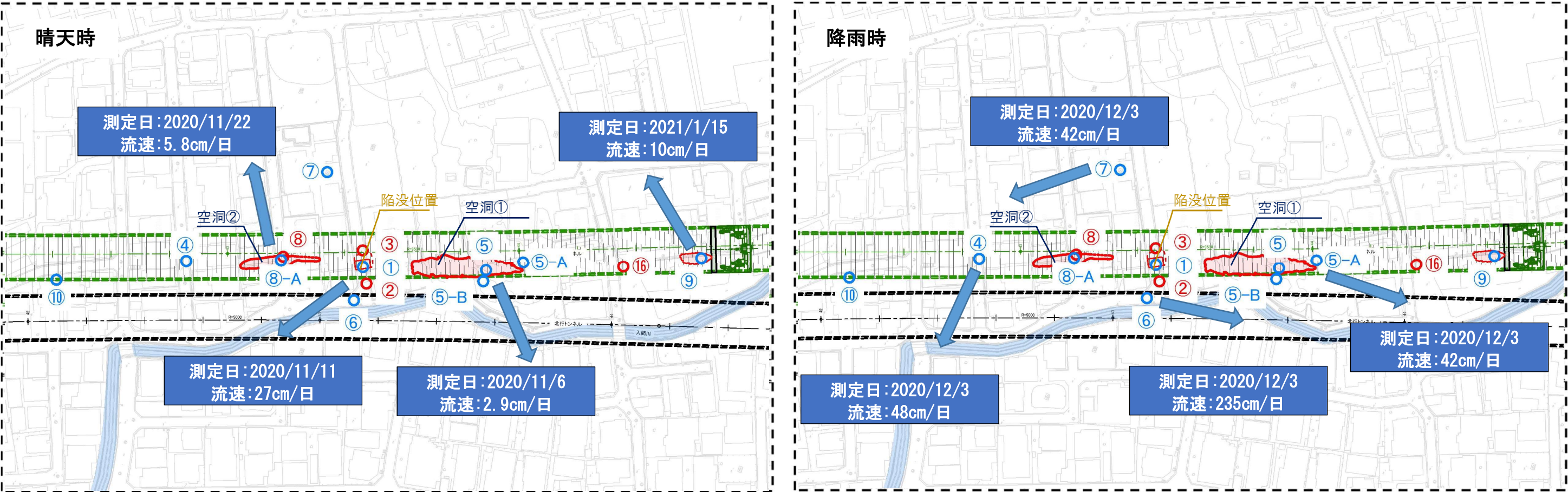


図 3-1 流向・流速計測方法

計測方法

- ・計測器は、中央部にヒーター（発熱体）、その周囲に円周上にセンサーが配置されている。
- ・計測器を地層中の測定深度に設置して、各センサーの温度変化により、地下水の流向流速を計測する。

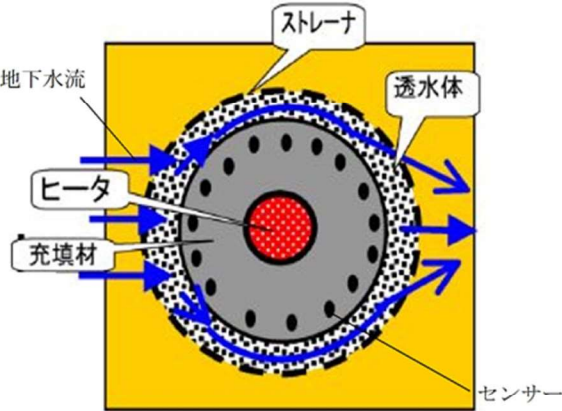


図 3-2 センサー部の構造

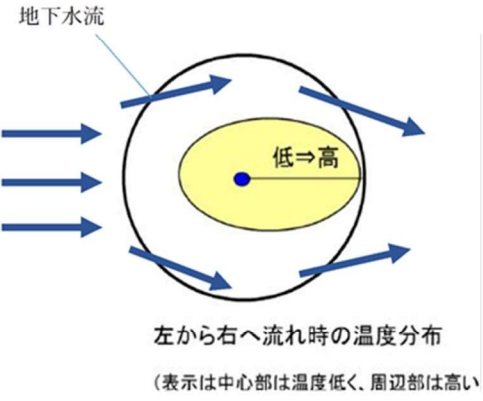
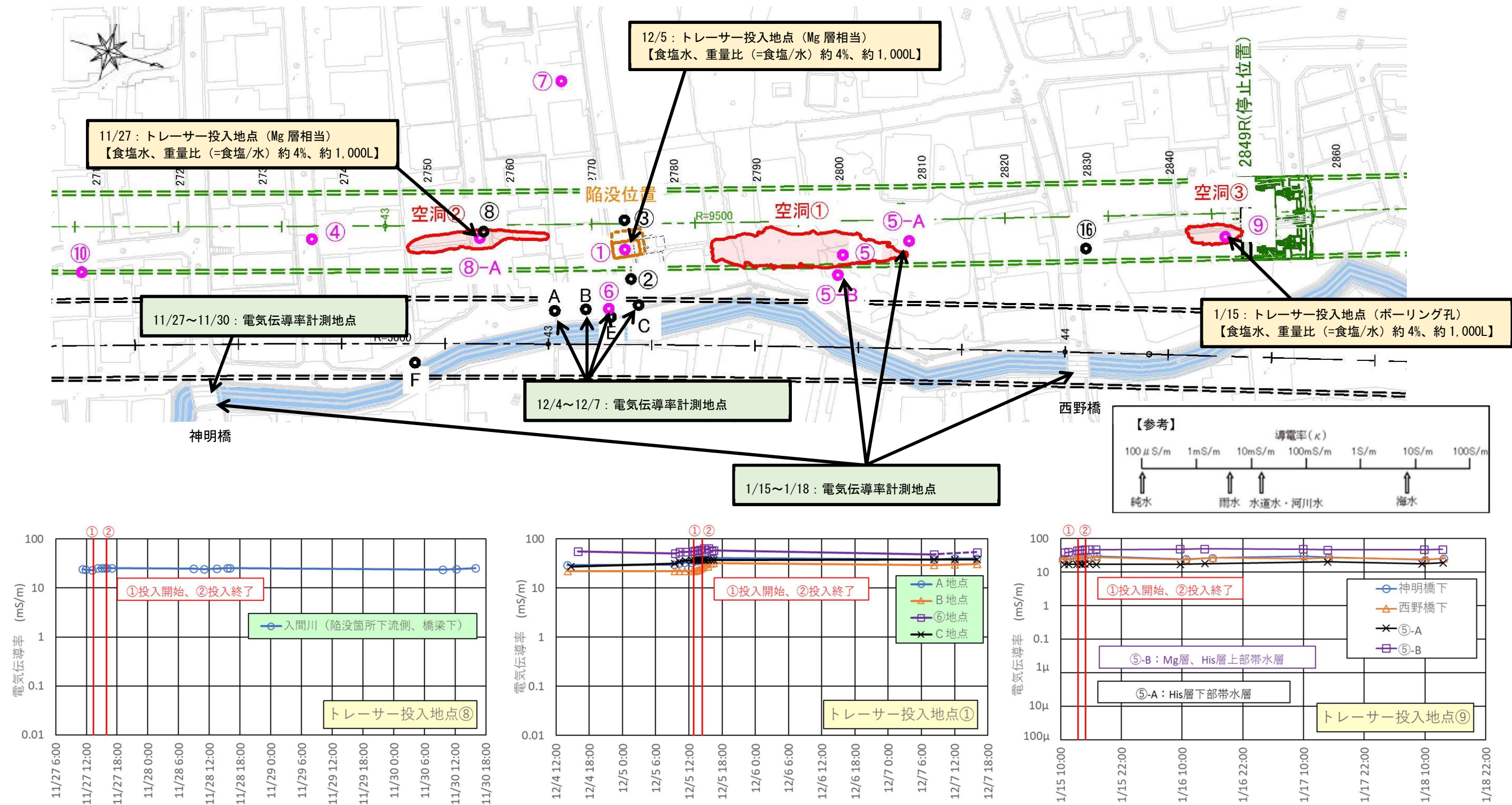


図 3-3 計測時の温度分布例

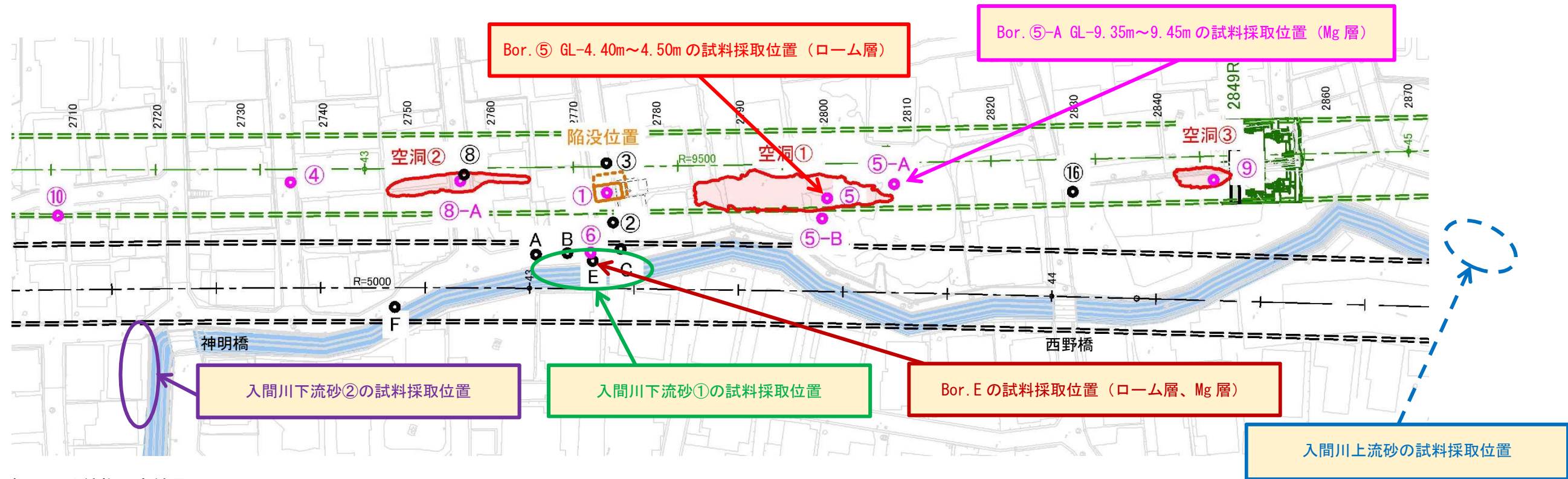
(1) トレーサー試験の結果

地盤状況の確認に使用した調査ボーリング孔を用いて、地下水の流動経路を調査した。 陥没箇所および空洞②、③箇所にトレーサー（食塩水）を投入し、入間川周辺で電気伝導率の計測を行った。計測の結果、電気伝導率の変化はわずかであった。このことから Mg 層の地下水の流れは小さく、入間川に Mg 層の土砂を流出させるものではないと考えられる。



(2) XRD (X線回折) による分析結果

土砂の入間川への流出を確認するため、X線回折による採取試料の鉱物分析を実施した。
その結果、Bor. ⑤の試料（#4）で検出されたスメクタイト、かんらん石は入間川試料（#1～#3）には認められなかった。
Bor. ⑤から入間川への土砂流出は無いものと判断される。



X線回折による鉱物同定結果

表 X線回折による鉱物同定結果

試料 鉱物 (読み取りピーク：2θ)			粘土鉱物						珪酸鉱物		珪酸塩鉱物					備考
			スメクタイト	緑泥石／スメクタイト	緑泥	伊利石／混合層鉱物	伊利石	カオリン	ハロイサイト	石英	斜長石	単斜輝石	斜方輝石	角閃石	かんらん石	
#	試料名	処理	5.2~6.2°	6.2~7.0°	12.5°	7.0~8.8°	8.8°	12.5°	20.0°	26.6°	27.8~28.0°	29.9°	30.8°	10.5°	32.1°	
1	入間川上流砂	全岩			△*		△*			◎	○	△*	△*	△*		
2	入間川下流砂①	全岩			△*		△*			◎	○	△*	△*	△*		
3	入間川下流砂②	全岩			△*		△*			◎	○	△*	△	△*		
4	Bor. ⑤ GL-4.40~4.50m	全岩	△*		△*		△*			○	○	△			△	コア (ローム)
5	Bor. ⑤-A GL-9.35~9.45m	全岩			△*		△*			◎	○	△*	△*	△*		コア (Mg、マトリクス)
6	Bor. E-ローム層	全岩			△*				△*	○	△	—*				非晶質の水酸化鉄を含むと考えられる。
7	Bor. E-Mg層 (マトリクス)	全岩			△*		△*			◎	○	△*		—*		

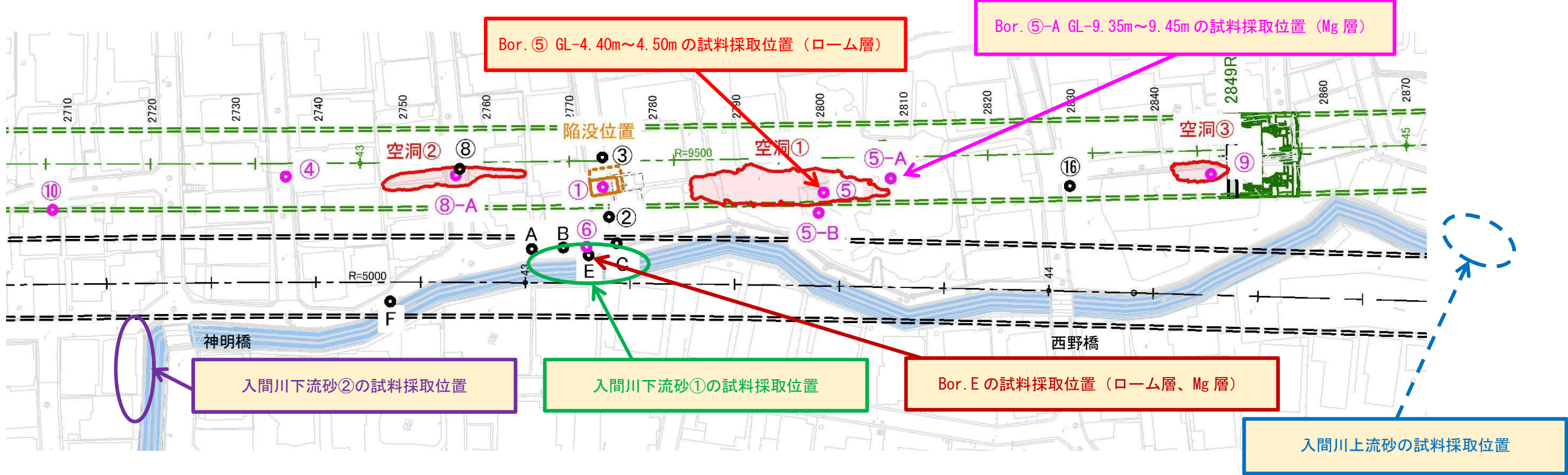
◎：多量 【QI】 ≥10
○：中量 1 ≤ 【QI】 <10
△：少量 0.1 ≤ 【QI】 <1
—：微量 【QI】 <0.1
*：同定が不確定

(3) XRF（蛍光 X 線）による分析結果

土砂の入間川への流出を確認するため、蛍光 X 線による採取試料の元素分析を実施した。

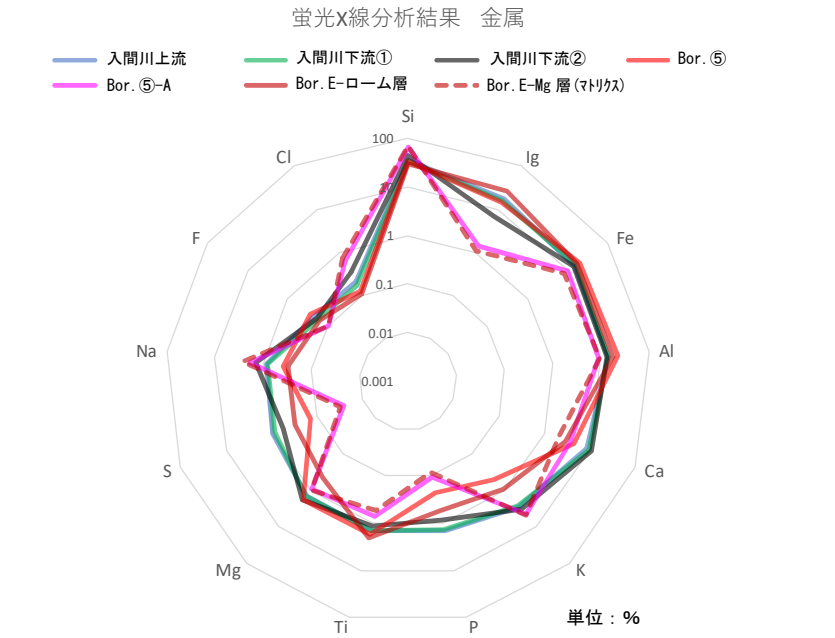
その結果、Bor. ⑤（#4）、Bor. ⑤-A（#5）、Bor. E-ローム（#6）、Bor. E-Mg（#7）の試料の元素構成は入間川試料（#1～#3）とは明確に異なることを確認した。

Bor. ⑤、Bor. ⑤-A、Bor. E-ローム、Bor. E-Mg から入間川への土砂流出は無いものと判断される。

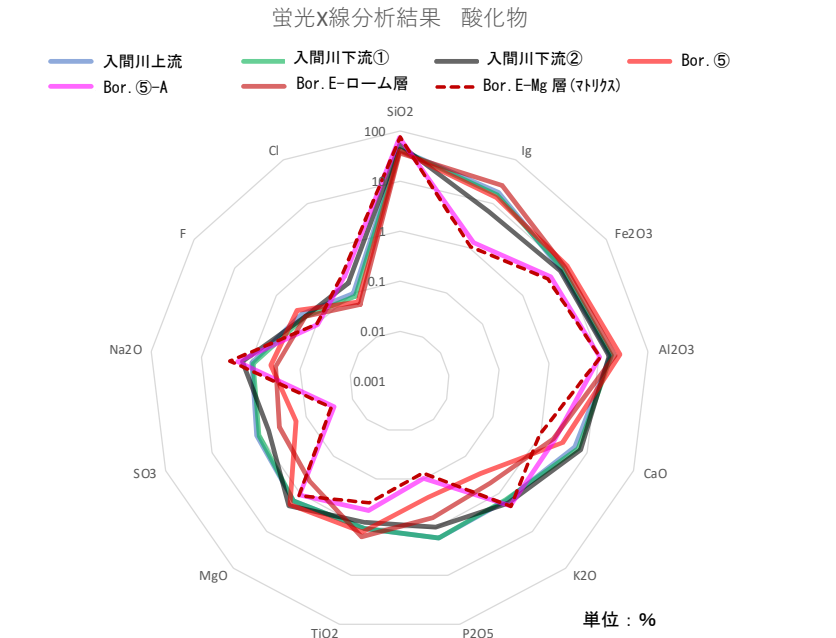


#	1	2	3	4	5	6	7
項目	入間川上流	入間川下流①	入間川下流②	Bor. ⑤	Bor. ⑤-A	Bor. E-ローム	Bor. E-Mg
Si	34.5348	33.9920	43.6525	33.5413	66.6483	30.5339	68.8044
Ig	17.6930	15.9848	6.6233	14.2621	1.3798	25.7433	1.0776
Fe	14.6547	15.7245	14.1384	19.6562	9.6827	17.4439	8.3807
Al	14.0994	14.5203	13.5414	22.4232	9.1721	17.6740	9.4948
Ca	8.4793	9.7372	11.3190	4.5297	3.7833	2.8681	1.9812
K	2.7236	2.5431	3.3158	0.4891	4.4723	0.9305	4.8443
P	1.4573	1.4123	0.8837	0.2251	0.1094	0.5545	0.0865
Ti	1.4437	1.4687	1.1369	1.6941	0.7390	2.0345	0.5509
Mg	1.3999	1.4110	1.8526	1.7352	0.9273	0.4299	0.9705
S	0.9462	0.8327	0.5408	0.1368	0.0257	0.3078	0.0306
Na	0.8349	0.7991	1.4525	0.3948	1.8483	0.3104	2.6001
Zn	0.4074	0.3642	0.2199	0.0349	0.0212	0.0525	0.0187
Mn	0.3350	0.3213	0.3374	0.2524	0.2128	0.2490	0.1558
F	0.2250	0.1750	0.1912	0.2666	-	0.1601	-
Cl	0.2009	0.1694	0.3391	0.1249	0.6065	0.1097	0.7545
Ba	0.1660	0.1444	0.1676	-	0.2307	0.1616	0.1042
Cu	0.0934	0.0906	0.0632	0.0410	0.0165	0.0739	0.0176
Sr	0.0767	0.0778	0.0857	0.0499	0.0725	0.0975	0.0654
Rb	0.0749	0.0743	0.0228	-	0.0288	0.0689	0.0273
Pb	0.0459	0.0450	0.0310	-	-	-	-
Zr	0.0394	0.0311	0.0319	0.0211	0.0000	0.0286	0.0000
Cr	0.0388	0.0463	0.0311	-	-	0.0247	-
Ni	0.0224	0.0272	0.0221	0.0160	0.0148	0.0242	0.0195
Br	0.0075	0.0079	-	-	-	0.0341	-
V	-	-	-	0.0853	-	0.0673	0.0154
Ga	-	-	-	0.0086	-	0.0105	-
Y	-	-	-	0.0073	-	-	-
Co	-	-	-	0.0047	-	-	-
As	-	-	-	-	0.0080	0.0067	-

単位：%



※Bor. ⑤-A と Bor. E-Mg 層 (マトリクス) の F に関しては対数目盛の都合上定量下限値付近の 0.1 を仮入力



※Bor. ⑤-A と Bor. E-Mg 層 (マトリクス) の F に関しては対数目盛の都合上定量下限値付近の 0.1 を仮入力

3.4 地下水状況の調査についての考察

降雨時には浅層水位、深層水位ともに上昇や地下水流速の増大が確認されているが、急激な地下水位の上昇や低下による Mg 層や河川への吸出しはなく、土砂が流出していた可能性は低い。

3.5 陥没箇所および空洞①、②、③箇所の地下水調査について

陥没箇所および空洞①、②箇所の地下水調査結果から、シールド掘進時に使用する気泡や下水が含まれている結果は得られていない。空洞③箇所の地下水調査結果から、微量の陰イオン界面活性剤が検出された。これは工事の影響による可能性がある。

表 3-1 陥没箇所および空洞①、②、③箇所の地下水成分分析調査結果表

■地下水の水質汚濁に係る環境基準項目				●陥没箇所水質調査	●空洞①箇所充填前水質調査	●空洞②箇所充填前水質調査	●空洞③箇所充填前水質調査	
項目	試験項目		環境基準値	単位	測定値（R2.10.18採取）	測定値（R2.11.05採取）	測定値（R2.11.22採取）	測定値（R3.1.14採取）
					陥没箇所	空洞①	空洞②	空洞③
地下水の水質汚濁に係る環境基準項目	カドミウム		0.003以下	mg/L	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
	全シアン		検出されないこと	mg/L	不検出	不検出	不検出	不検出
	鉛		0.01以下	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	六価クロム		0.05以下	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	ヒ素		0.01以下	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	総水銀		0.0005以下	mg/L	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
	アルキル水銀		検出されないこと	mg/L	不検出	不検出	不検出	不検出
	PCB		検出されないこと	mg/L	不検出	不検出	不検出	不検出
	ジクロロメタン		0.02以下	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	四塩化炭素		0.002以下	mg/L	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
	クロロエチレン		0.002以下	mg/L	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
	1， 2－ジクロロエタン		0.004以下	mg/L	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004
	1， 1－ジクロロエチレン		0.1以下	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	1， 2－ジクロロエチレン		0.04以下	mg/L	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
	1， 1， 1－トリクロロエタン		1以下	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	1， 1， 2－トリクロロエタン		0.006以下	mg/L	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006
	トリクロロエチレン		0.01以下	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	テトラクロロエチレン		0.01以下	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	1， 3－ジクロロプロペン		0.002以下	mg/L	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
	チウラム		0.006以下	mg/L	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006
	シマジン		0.003以下	mg/L	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
	チオベンカルブ		0.02以下	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	ベンゼン		0.01以下	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	セレン		0.01以下	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素		10以下	mg/L	3.7	2.9	1.7	1.3
	フッ素		0.8以下	mg/L	<0.08	<0.08	0.08	0.08
	ホウ素		1以下	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	1， 4－ジオキサン		0.05以下	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
水質汚濁に係る環境項目※	水素イオン濃度		-	pH	7.7	6.7	6.0	7.2
	生物化学的酸素要求量	BOD	-	mg/L	0.5	<0.5	0.6	2.3
	浮遊物質質量	SS	-	mg/L	5	5	6	6
	溶存酸素量	DO	-	mg/L	9.5	7.5	5.7	5.3
	大腸菌群数		-	MPN/100mL	3000	500	33	230
	全亜鉛		-	mg/L	0.011	0.016	0.010	0.005
	ノニルフェノール		-	mg/L	0.00010	<0.00006	<0.00006	0.00007
	直鎖アルキルベンゼンスルホン酸及びその塩		-	mg/L	0.0001	0.0003	0.0010	0.0035
イオン項目※	ナトリウム		-	mg/L	12.9	12.4	15.1	30.1
	カリウム		-	mg/L	2.0	2.7	6.9	7.4
	カルシウム		-	mg/L	27.6	25.3	57.5	27.7
	塩化物イオン		-	mg/L	10.9	8.6	9.4	11.8
	硫酸イオン		-	mg/L	55.4	65.2	164	51
	炭酸水素イオン		-	mg/L	67.0	71.3	41.5	112.0
	炭酸イオン		-	mg/L	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
調査項目※	水温		-	℃	-	-	-	-
	電気伝導率		-	mS/m	28.2	30.5	45.6	33.6
	酸化還元電位	ORP	-	mV	+320	+310	+200	+300
	硫化物イオン		-	mg/L	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	陰イオン界面活性剤	MBAS	-	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	0.200

下水の場合は、公共用水域の水質汚濁に係る環境項目に異常値が出る。

気泡はその他の調査項目に異常値が出る。

4. 人工物の存在による影響等の調査結果

4.1 陥没箇所、空洞箇所の観察結果

空洞内部を観察した結果、空洞北部端部に縦配管（ヒューム管〔内径φ700mm、外径φ820mm〕）の存在が確認された。調査の結果、配管の管底はMg層（GL-7.7）にとどまっており、排水目的で設置されたものと思われる。



4.2 人工物の存在

当該箇所付近の入間川の上流付近に入間川分水路が整備されていることを確認した。

また過去の地下水利用のための井戸、防空壕やうど栽培用穴蔵等が設置され、砂等に埋戻されていた可能性も否定できないが、具体的な人工物の設置や埋戻しは確認されなかった。

4.3 人工物の存在による影響等の考察

空洞内にMg層内を下端とする人工物の存在が確認されたものの、あらかじめ空洞形成されていたこととの因果関係は、特定できなかった。

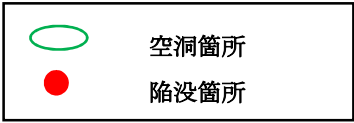
5. 地歴調査結果

5.1 地形・土地利用変遷図に対する考察

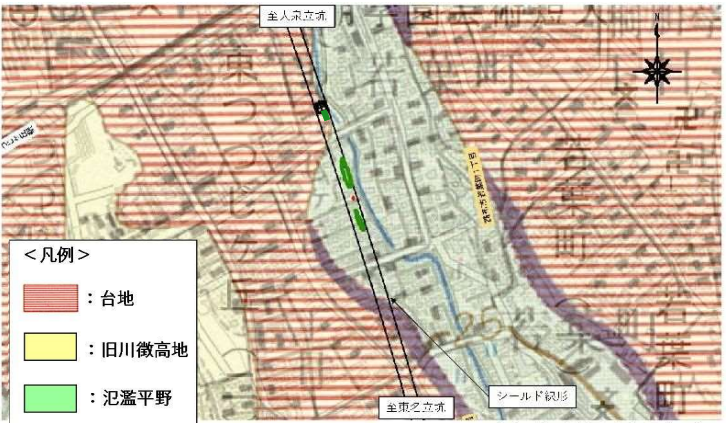
- ・東京都都市計画図（1961 年 11 月）および「明治期の低湿地図」や国土地理院の「治水地形分類図」によれば、陥没があった地点付近は入間川の西に浅く円弧状に入り込んだ谷地形をなしており、入間川の過去の蛇行跡を想像させる地形である。
- ・2m メッシュ DEM からは、今回陥没した箇所は段丘面周辺の緩斜面における小規模な集水域の最下流部にあたることが判る。



東京都都市計画図（1961 年 11 月）

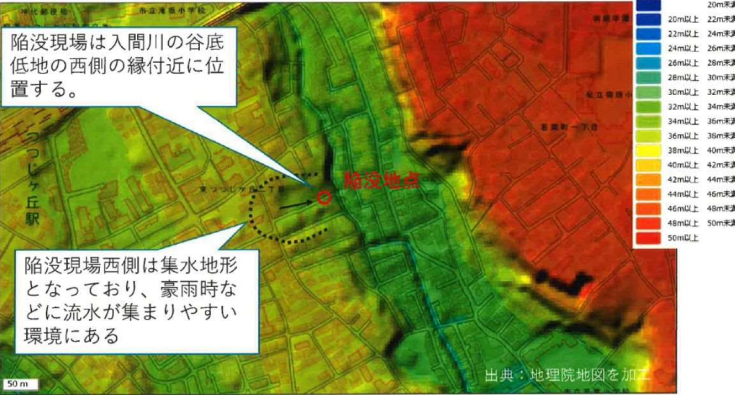


明治期の低湿地地図(1880～1886 年) 出典：地理院地図（電子国土 web）



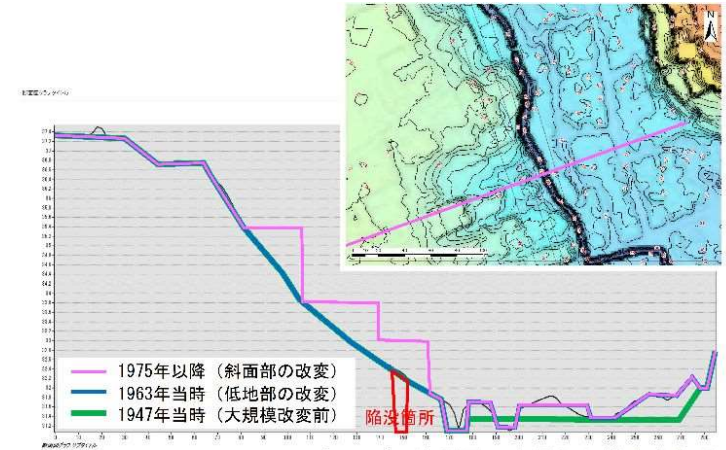
出典：地理院地図（電子国土Web）

治水地形分類図（1976～1978 年） 出典：地理院地図（電子国土 web）



色別標高図

出典：地理院地図を加工



地表面の横断変遷（2m メッシュ DEM） 出典：各年の土地利用から推定

5.2 航空写真変遷に対する考察

- ・1947 年時点では、陥没箇所周辺では大規模な地形改変は見られない。
- ・1963 年時点では、陥没箇所から東側の谷底平野で大規模な宅地造成（谷埋盛土）が行われている。
- ・1975 年時点では、今回陥没した箇所の南側の区画がひな壇状に造成されている（盛土のように見える）が、住宅は建設されていない。
- ・1984 年時点では、今回陥没した箇所の北側の一部の区画が造成されている（盛土のように見える）。



航空写真（1947 年）

出典：国土地理院 地図・空中写真閲覧サービス



航空写真（1975 年）

出典：国土地理院 地図・空中写真閲覧サービス



航空写真（1963 年）

出典：国土地理院 地図・空中写真閲覧サービス

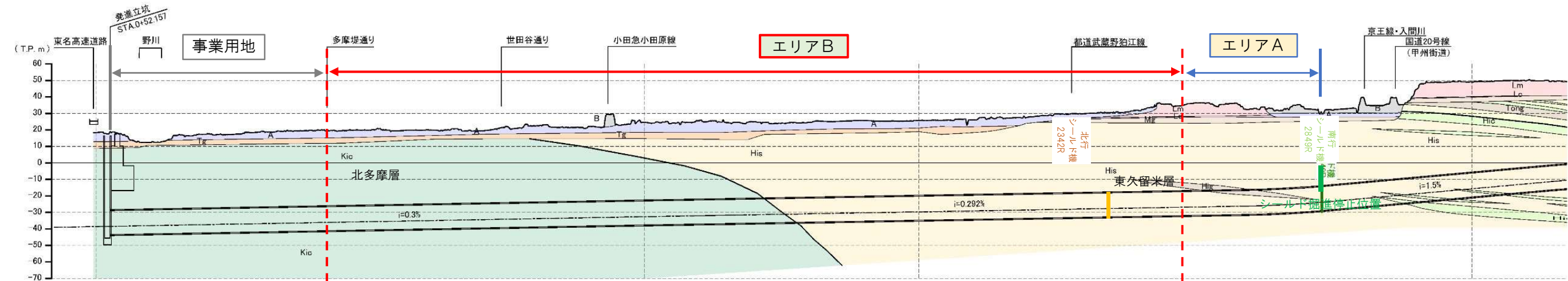


航空写真（1984 年）

出典：国土地理院 地図・空中写真閲覧サービス

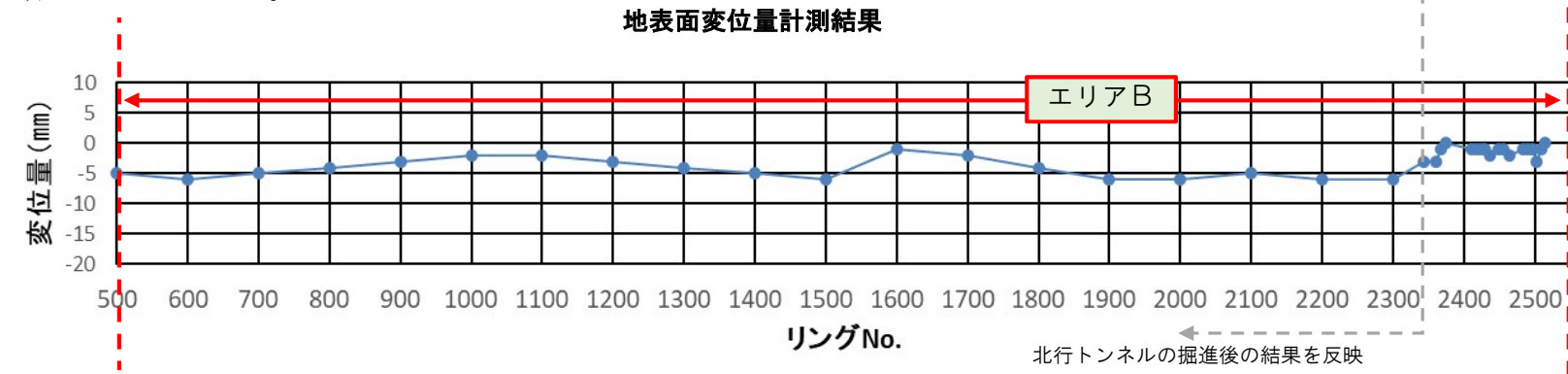
6. これまでの掘進区間の地盤状況の調査結果（エリアB）

6.1 調査対象範囲区間

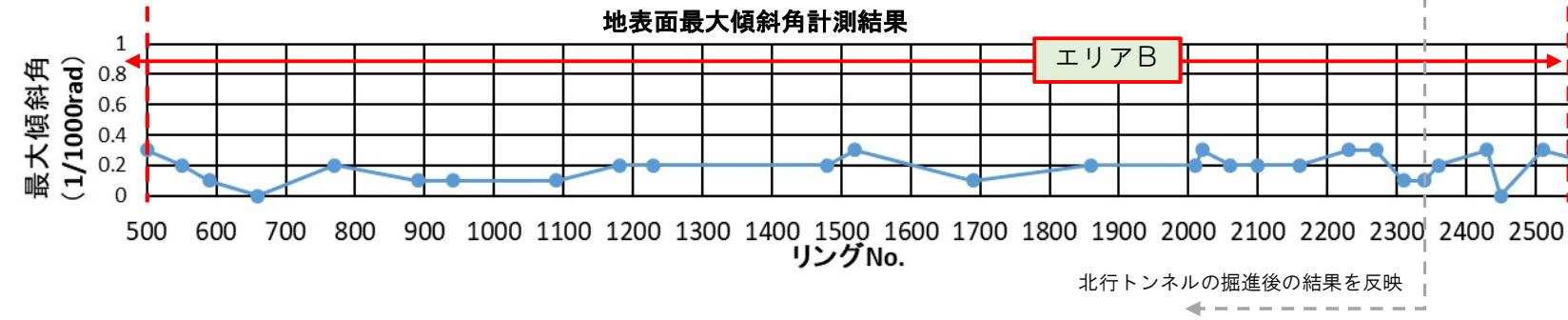


6.2 地表面変位計測結果

エリア B において、地表面変位量は最大-6mm であった。



エリア B において、地表面傾斜角は最大 0.3/1000rad であった。

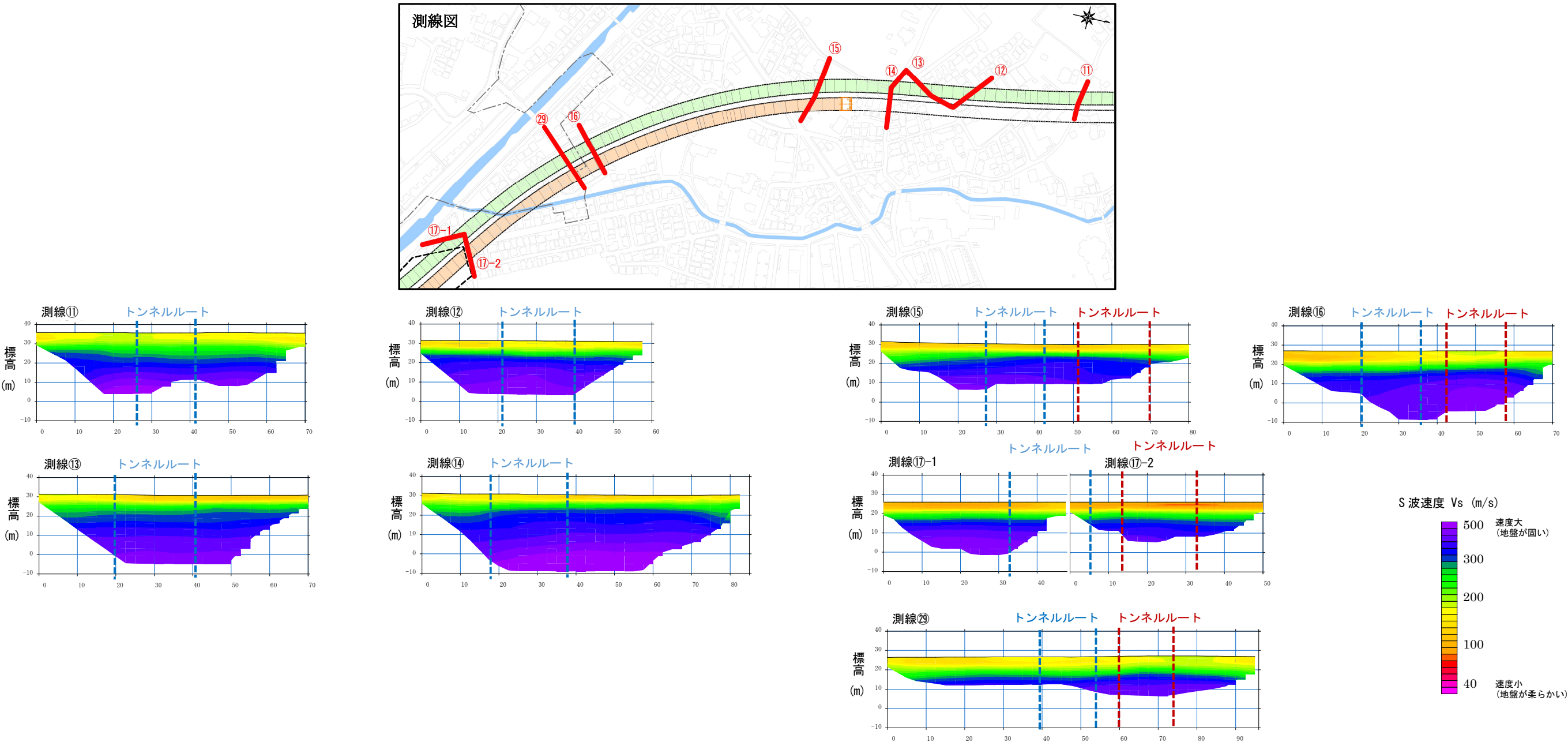


6.3 微動アレイ探査結果（エリアB）

エリアBを各測線（⑪～⑲）で微動アレイ探査を実施した。探査の結果で特に異常は認められなかった。

■エリアB（測線⑪～⑲-2、⑲）

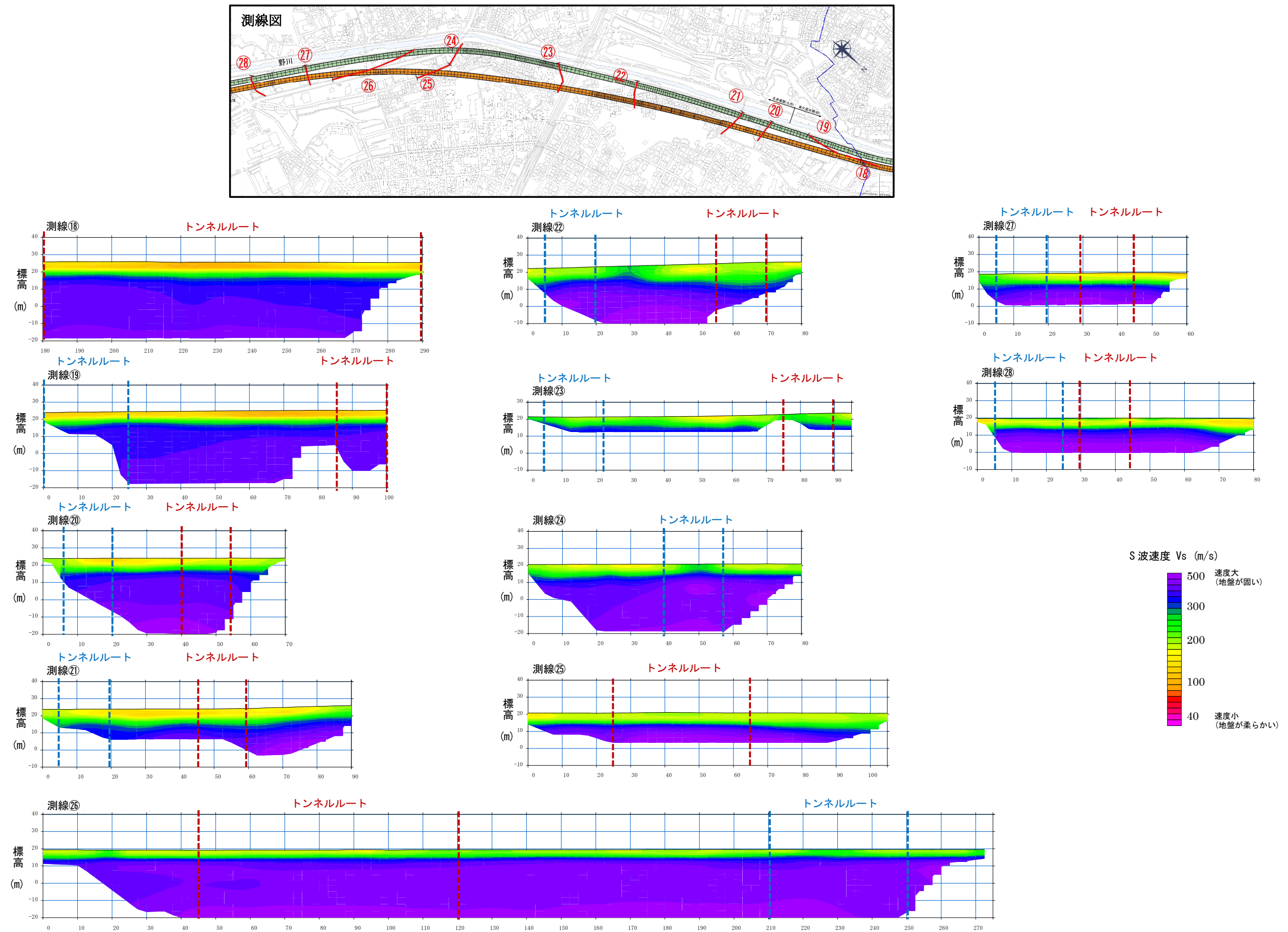
- ・測線⑪、⑲では、トンネル直上部にコンターが描かれていない空白部がある。このような箇所は微動アレイ測定時に不確定要素によるノイズ（車両、工場、重機などの過大な振動）が多い場合があり、特に波長が長い波のデータが採取できず深いところが評価出来なかった部分である。
（探査の性質上、波長が短い波で表面付近を、波長が長い波ほど深いところの速度構造を反映する。波長が長い波ほどノイズの影響を受けやすい。）



■エリアB（測線⑱～㉔）

- ・測線⑲、㉒のトンネル直上部にコンターが描かれていない空白部がある。このような箇所は微動アレイ測定時に不確定要素によるノイズ（車両、工場、重機などの過大な振動）が多い場合があり、特に波長が長い波のデータが採取できず評価が出来なかった部分である。

（探査の性質上、波長が短い波で表面付近を、波長が長い波ほど深いところの速度構造を反映する。波長が長い波ほどノイズの影響を受けやすい。）



7. 調査結果のまとめ

（エリアＡ）

- ・空洞箇所付近において実施したボーリング調査では、空洞の上部付近にはほぼ共通して硬質なローム層（凝灰質粘土層）が存在する一方で、陥没箇所の入間川に向かう道路筋にはこの層が無く、黒ボク土が存在していることから、当該地造成時などにおいて人工的に掘削された可能性があるエリアであることを確認した。（4、7、9、11 頁）
- ・ボーリング調査から、トンネル直上において、トンネル部から緩み領域が徐々に上方に拡大している可能性を確認した。（3 頁）
- ・ボーリング調査および物理探査（微動アレイ、音響トモグラフィ）から、Bor. ⑫より北側のトンネル直上部以外では地盤の緩みや空洞の存在は確認されなかった。（3、14、17 頁）
- ・地表面変位計測結果から、最大変位量は-19mm で、地表面傾斜角は最大 0.8/1000rad であることを確認した。（12、13 頁）
- ・令和 2 年台風 14 号（シールドが空洞①箇所を通過した後に接近）の影響により、近傍観測井戸の地下水位が約 50cm 上昇していることから、空洞形成後に短期間で陥没・空洞箇所の表面が水で洗われた可能性があることを確認した。（5、8、10、19 頁）
- ・表層地下水の降雨時の流速の上昇や流向の変化は、入間川に Mg 層の土砂を流出させるものではないことを確認した。（21 頁）
- ・空洞①箇所において採取した土砂と入間川護岸に堆積している土砂の成分が異なっていることを確認した。（22、23 頁）
- ・陥没箇所および空洞①、②箇所の地下水調査結果から、シールド掘進時に使用する気泡や下水が含まれている結果は得られていないが、空洞③箇所の地下水調査結果からは微量の陰イオン界面活性剤が検出されており、工事の影響による可能性がある。（24 頁）

（エリアＢ）

- ・地表面変位測定結果から、最大変位量は-6mm で収束していること、地表面傾斜角は最大 0.3/1000rad であることを確認した。（28 頁）
- ・物理探査（微動アレイ）から、掘削断面上部において地盤の緩みや空洞の存在は確認されなかった。（29～30 頁）