

神奈川東部方面線新横浜トンネルに係る地盤変状検討委員会

報告書

令和2年8月2日

神奈川東部方面線新横浜トンネルに係る地盤変状検討委員会

独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 東京支社

まえがき

今回の二箇所での道路陥没事故の発生後、一か月の間に委員会を4回開催して陥没の発生原因の把握と再発防止策を検討し、一応の結論を得た。委員各位の専門的見地からの適切な意見とともに、迅速に行われた陥没調査と地盤調査、および泥水式シールドトンネル工事の膨大な施工記録の解析によるものである。

トンネル工事など地盤に関わる工事では、それぞれの現場での地盤条件に応じた設計と施工が基本である。その基本の遵守と施工中の地盤挙動の確認および必要な対応が不十分であると、思いもかけない事故が生じる。トンネルが掘削された上総層は数百～数十万年前に堆積した地層であり、固結した粘土質層（土丹層）は拘束圧が解放されても非常に安定している。一方、締まった砂質土層は通常の状態では安定しているが、固結度が低いため拘束圧が解放され浸透力を受けると流動化するおそれがある。今回の事故は、地下水位が高く上部に厚い粘土質層（泥岩層または土丹層）が存在しない砂質土層で生じた。泥水式シールド工法そのものが原因ではない。むしろ、この工法はこのような難しい地盤条件でも慎重かつ適切に施工すればトンネル工事が安全に行えるように開発された。本工事のような困難な地盤条件では、切羽面の安定性の確保に注意を払うことが特に重要になる。

今回のような地盤事故の多くは、一つの工程での問題が発端となっても、それが実際に事故となるとは限らず、複数の工程での不十分な対応を経て実際の事故となることが多い。本工事の場合は、困難な地層条件での切羽面の不安定化を発端としているが、引き続き複数の工程を経て地盤陥没に至っている。関係するすべての工程で、つねに上記の基本に立ち戻り適切に対処することが求められる。

今回幾つかの重要な教訓が得られたが、今後の都市部での安全なシールドトンネル工事に参考となることを願う。

委員長 龍岡文夫

1. 陥没の概要と発生経緯

1.1 新横浜トンネル工事の概要（資料 1-1～1-2）

新横浜トンネルは、神奈川東部方面線、相鉄・東急直通線のうち、新横浜（仮称）駅と新綱島（仮称）駅を結ぶ延長約 3,300m の複線シールドトンネルである。工法は泥水式シールドトンネルで、トンネルの外径は 9.5m である。

工事は、新綱島（仮称）駅より掘削を開始し、新横浜（仮称）駅に到達する計画である。

地質は、発進直後は鶴見川下部の沖積粘性土層を、その後は上総層の砂質土層、粘性土層（泥岩層または土丹層）と両者の中間的地層、およびその互層を掘削し、新横浜（仮称）駅に到達する直前に再び、沖積粘性土層を掘削する計画である。

1.2 陥没の概要（資料 1-3～1-7）

陥没発生時は、シールド工事は横浜市道環状 2 号線の直下で掘削を行っていた。横浜アリーナの手前の羽沢横浜国大駅起点 4km921m まで掘削を完了していたところ、切羽の後方約 30m の地表面（市道環状 2 号線）で 1 回目の陥没が発生した。また 2 回目は、1 回目の陥没箇所の後方約 300m で発生した。各々の発生日時および規模については、下記の通りである。なお、トンネル掘削工事は 1 回目の陥没発生後に中断した。

○発生日時 （1回目）令和 2 年 6 月 12 日(金) 14 時 30 分頃

（2回目）令和 2 年 6 月 30 日(火) 5 時 30 分頃

○場 所 神奈川県横浜市港北区大豆戸町（環状 2 号線：外回り車線）

（1回目）11m×8m×深さ 4m 程度の陥没

（2回目）7m×6m×深さ 2m 程度の陥没

陥没箇所のトンネルの土被りは、1 回目の陥没箇所が 18m、2 回目の陥没箇所が 19m となっている。地質は、工事前の地質調査の結果から、トンネル断面およびその上部には、上総層の砂質土層、粘性土層（泥岩層または土丹層）と両者の中間的な地層、またはそれらの互層が分布し、さらにその上部には、地表面から 10m 以上の沖積層が堆積していると想定されていた。



図 1 陥没発生箇所平面図



写真1 陥没発生状況 (1回目)



写真2 陥没発生状況 (2回目)

1.3 経緯

(1) 1回目の陥没の経緯 (資料 1-8)

- 6/6 (土) シールドマシン先端が陥没箇所を通過
- 6/12 (金) 9:00 陥没箇所付近の地表面において 25mm 沈下確認 (受注者から報告を受け、機構、受注者で現地を監視)
- 14:45 陥没発生 (徐々に拡大し、3車線規制 (対向車線での対面通行))
- 17:20 埋戻しを開始
- 6/13 (土) 7:57 第3車線 (中央分離帯側車線) の規制解除
- 6/14 (日) 6:10 第2車線 (中央車線) の規制解除
- 12:25 仮舗装範囲より新綱島 (仮称) 駅方に 5m の位置で、63mm の沈下を計測したため第2車線の交通規制を再び実施
- 6/15 (月) 22:50 車道部および歩道部の地盤改良工事を開始
- 6/16 (火) 18:00 車道部の地盤改良工事が完了
- 6/17 (水) 3:40 歩道部の地盤改良工事が完了
- 4:20 第2車線の規制解除

(2) 2回目の陥没の経緯 (資料 1-9)

- 4/30 (木) シールドマシン先端が陥没箇所を通過
- 6/30 (火) 5:25 陥没発生
- 5:50 2車線規制 (第2、第3車線)
- 7:18 陥没箇所が徐々に拡大し、3車線規制 (対向車線での対面通行)
- 8:22 埋戻しを開始
- 7/1 (水) 2:30 第3車線の規制解除
- 7/3 (金) 17:28 第2車線の規制解除

1.4 事故直後の応急復旧

1回目の陥没箇所では、砂 65m³と碎石 210m³による埋戻しを行い、仮舗装を実施した。その後、陥没箇所周辺の空隙探査、探査ボーリング、セメントベントナイト (CB) の充填注入を行った。一旦、この時点で第2車線までの規制解除を行ったが、継続した沈下が計測されたため、再

び第2車線を規制し、車道部および歩道部において舗装下路盤（クラッシャーラン）のセメント改良を実施した。

2回目の陥没箇所では、1回目と同様に、砂 7.5m³と砕石 60m³による埋戻しを行い、仮舗装を実施し、その後、陥没箇所周辺の空隙探査、探査ボーリング、充填注入を行った。また、同様に舗装下の路盤のセメント改良を実施した。

陥没箇所の直下で実施した充填注入では、両箇所ともに、圧力が上昇するまでに多量の注入が必要であった。さらに、陥没箇所からトンネルの軸方向で、切羽より後方 5m 程度離れた位置においても同様であった。

2. 委員会の設置

2.1 委員会の目的

機構では、1回目の陥没事故発生後に「神奈川東部方面線新横浜トンネルに係る地盤変状検討委員会」（以下、本委員会という）を立ち上げ、本委員会の目的を、陥没の発生原因の把握や再発防止策等について専門的見地から検討することとした。

2.2 委員名簿

本委員会の名簿は以下の通りである。

委員長	龍岡 文夫	東京理科大学 嘱託教授・名誉教授（東京大学名誉教授）
委員	小泉 淳	早稲田大学 名誉教授
委員	小山 幸則	立命館大学 総合科学技術研究機構上席研究員
委員	西村 和夫	東京都立大学 理事・学長特任補佐
委員	赤木 寛一	早稲田大学 理工学術院教授
委員	杉本 光隆	長岡技術科学大学大学院 工学研究科教授
委員	谷 和夫	東京海洋大学 学術研究院教授
委員	岸田 潔	京都大学大学院 工学研究科教授
委員	真下 英人	日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 所長

（敬称略）

2.3 開催経緯

本委員会の開催経緯は、以下の通りである。

【第1回】

日時：令和2年6月24日（木） 13:00～15:30

場所：鉄道・運輸機構 東京支社 第1・2会議室

議題：工事概要と陥没の経緯

応急対策の状況

掘進データの整理

掘進時の土砂の取込み量

陥没箇所の考察

【第2回】

日時：令和2年7月7日（火） 15:00～17:10
場所：鉄道・運輸機構 東京支社 第1・2会議室
議題：陥没の状況
陥没2回目を踏まえた当面の対応策
6/12 陥没箇所の再整理
6/30 陥没箇所を含めた掘削データの整理
考察

【第3回】

日時：令和2年7月24日（金） 13:00～15:10
場所：鉄道・運輸機構 東京支社 第1・2会議室
議題：陥没の概要
追加地質調査の結果
掘進に伴う土砂取込み量の検証
充填注入の結果
陥没の原因とメカニズム
再発防止策

【第4回】

日時：令和2年8月2日（日） 13:00～15:25
場所：鉄道・運輸機構 東京支社 第1・2会議室
議題：陥没の概要
充填注入の結果
陥没の原因とメカニズム
再発防止に向けた掘進管理計画等
今後の計画

3. 地質調査

3.1 調査箇所と目的（表3-1～3-2）

トンネル掘削による地山への影響および陥没箇所の詳細な地質を把握するため、ボーリングによる地質調査を実施した。1回目の陥没箇所においては7本、2回目の陥没箇所においては5本実施した。調査した深さは、掘削済み区間ではトンネル天端付近まで、未掘削範囲ではトンネル断面の下端に相当する深さまで実施した。

3.2 追加地質調査の結果（図3-1～3-6）

調査の結果、以下のことが判明した。

(1) 1回目の陥没箇所

- ・ 陥没が発生した結果、上総層の上面が周囲よりも深く、上総層の一部が圧縮されていた。

- ・ トンネル掘進範囲では、上部の上総層の N 値が下がっており、緩みが広がっていた。一方で、トンネル前方および両側方では、事前調査と同様に上総層は健全な状態であった。
- ・ 充填注入を実施した箇所では、沖積層まで注入材が回っているが、側方の調査箇所までは入っていなかった。

(2) 2 回目の陥没箇所

- ・ 陥没が発生した結果、上総層の上面が周囲よりも深く、上総層の一部が圧縮されていた。
- ・ トンネル掘進範囲では、1 箇所を除き、上部の上総層の N 値が下がっており、緩みが広がっていた。また、両側方では、事前調査と同様に上総層は健全な状態であった。
- ・ 充填注入を実施した箇所では、沖積層まで注入材が回っているが、側方の調査箇所までは入っていなかった。

4. 掘削データの分析

4.1 掘削中データの分析

(1) 1 リング平均値のデータ分析 (図 4-1~4-10)

陥没箇所を含め、市道環状 2 号線を掘削した際のデータ (1 リングの平均値) の整理を行った。掘削データは、シールド掘削時のデータであり、停止時のデータは含まれていない。整理した項目は切羽水圧、カッタートルク、掘進速度、シールド総推力、掘削土砂量、乾砂量、偏差流量、裏込注入率および裏込注入圧である。

まず、掘削土砂量 (排泥体積と送泥体積の差) については、理論土砂量 (トンネル掘削断面積×1 リングの掘削長で求められる体積) を超えてはいなかった。一方で乾砂量 (掘削土内での土粒子の体積) については、陥没箇所では、その前後に比べて多くなっている傾向があった。さらに、偏差流量 (掘削土砂量と理論土砂量の差) についても陥没箇所では負値で絶対値が大きくなっており、逸泥が多く発生していることを示している。

次に、裏込注入については、1 回目の陥没箇所では、掘削中に地表面沈下の増加が見られたことから、意図的に注入率を上げている。しかし、裏込注入を止めた時の圧力は低いままであった。一方で 2 回目の陥没箇所では、掘削断面が砂層主体になったため、注入率を見直しており、140~150%として施工していた。注入圧は前後のリングと比較しても遜色がない結果となっていた。

(2) ジャッキストロークごとのデータ分析 (図 4-11~4-15)

1 回目の陥没箇所の 1593 リング~1598 リングの掘削では、切羽水圧において比較的大きな変動が見られた。1593 リングの例を図 2 に示す。これは、掘削中に排土に含まれる固結した砂の塊により、配管の閉塞が発生し、シールドマシンの掘進、停止の繰り返しや閉塞物の除去作業を行った影響と考えられる。2 回目の陥没箇所でも完全な閉塞ではなかったものの、同様な傾向があり、切羽水圧に変動が生じている。

偏差流量については、1 回目の陥没箇所の掘削で 1593 リング、1596 リング、1598 リングで絶対値が比較的大きな負値となっていて、逸泥の兆候を示している。このうち 1593 リング、1598 リングにおいては、1 リング掘削の一部の区間で大きな偏差流量 (負値) が発生している。1593 リングの例を図 3 に示す。

一方で、乾砂量については、上記の掘削リングにおいては理論値以下となっていて、このデータでは、掘削中において過剰な土砂の取込みがあった兆候はうかがえない。

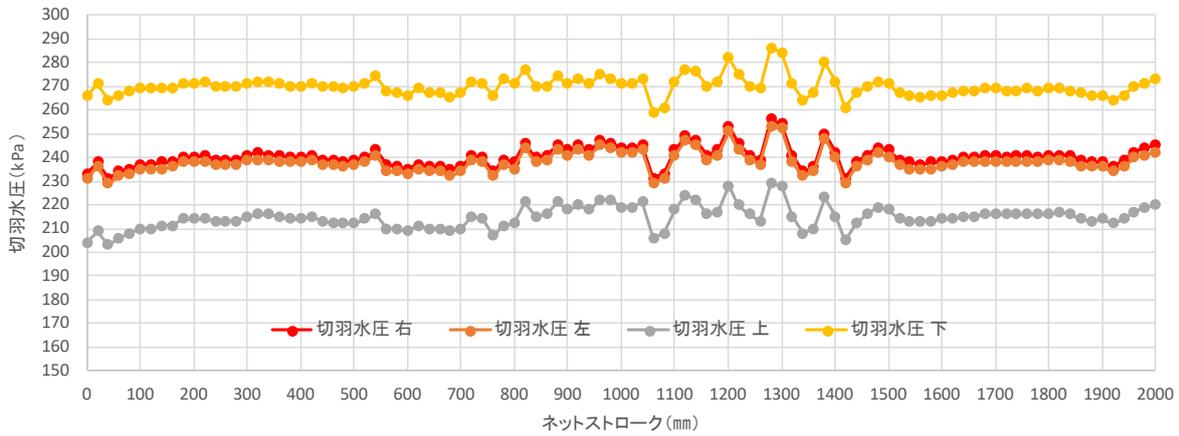


図2 切羽水圧の変化 (1593 リング)

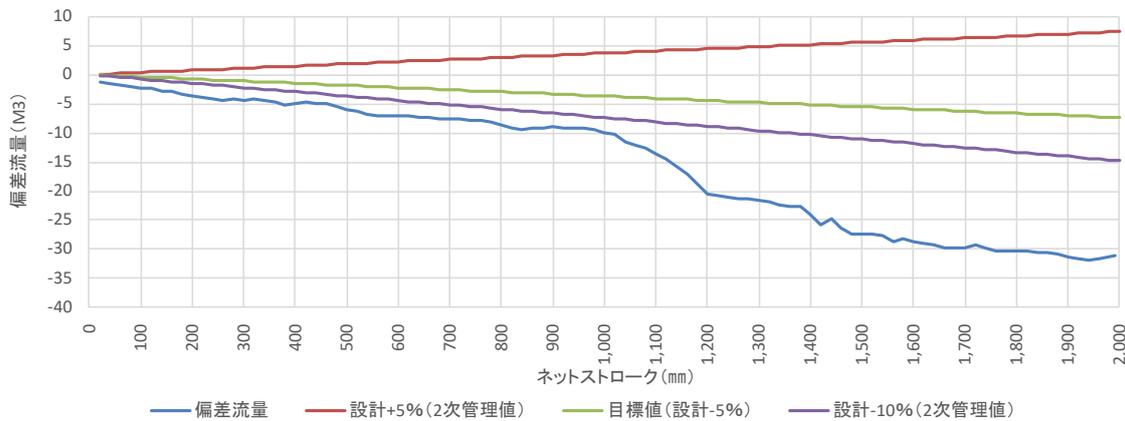


図3 偏差流量の変化 (1593 リング)

4.2 停止時も含めた時系列データの分析

地質調査が進んだ結果、トンネル掘削範囲においては、地山の緩みが確認される一方で、掘削範囲外では緩みが確認されなかったことから、この緩みに対するトンネル掘削の影響を確認することとした。そこで、各リングにおける停止時も含めた、全工程の時系列データ (5 秒ごと) の分析を行うこととした。

(1) 送排泥密度 (図 4-16~4-18)

陥没発生箇所の時系列データを確認したところ、送泥密度が低い状態が続いていることが確認された。一方で排泥密度については、掘進停止時間においても高い状態となっている箇所が見受けられた。

(2) 乾砂量 (図 4-19)

①取り込まれた乾砂量の検証

掘削に伴う取込み土砂量について、さらに詳細なデータ分析が必要となったことから時系列データより、乾砂量について確認を行った。

その結果、4.1(2)で確認した乾砂量は、シールド掘削時 (ジャッキが伸びている間) の値だけを積算した結果 (この積算値を、以下、「掘削時乾砂量」という) であり、停止中も土砂を取り込んでいることが分かったことから、停止時も含んだ全工程の時系列データを分析して、全工程に亘り乾砂量を計算することとした (この積算値を、以下、「全積算乾砂量」という)。その結果、1 リング当たりの全積算乾砂量が掘削時乾砂量とかなり異なるリングが複数あることを確認した。

②設計乾砂量の想定

設計上、掘削に伴うトンネル掘削断面積×掘削長の体積に含まれる乾砂量（以下、設計乾砂量という）を求めるためには、掘削断面内の詳細な地質、含水比、土粒子の比重を正確に把握する必要があるが、施工中に変化するこれらの値を正確に求めることは難しい。このことから、通常は、各リングの時系列データからリアルタイムに設計乾砂量を求めて、全積算乾砂量との比較管理することは行われていない。しかし、今回の地盤陥没のメカニズムの解析に当っては、陥没箇所周辺における掘削データから、設計乾砂量を推定し、全積算乾砂量と比較検討する必要が生じたため、新たに以下に示す考え方により求めることとした。

(ア) 理論乾砂量

1リングの掘削で発生する掘削土に含まれる乾砂量を理論乾砂量とし、その体積（V）を土粒子の比重と掘削土の含水比から、次式で求めることができる。

$$V = Q \cdot \frac{100}{G_s \cdot w + 100}$$

ここで、 G_s ：土粒子の比重、 w ：含水比（%）、 Q ：掘削土量（体積）である。

理論乾砂量 V は、**図 4-20** に示すように、土粒子の比重が 0.2 程度変動しても含水比 30% の場合で 1.6% しか変化しないが、含水比 w は 10% 変動すると、20% も変化するため、含水比の影響を大きく受ける。

(イ) 想定計画乾砂量

上記のとおり、理論乾砂量の精度を上げるためには、含水比の正確な把握が必要であるが、1リングの掘削土の平均した含水比を正確に算定することは困難であるため、次の手法により、1リングあたりの乾砂量の目安を、新たに想定計画乾砂量として算出した。

図 4-21 に示すように、1リングを掘削する際に排出される乾砂量は、掘削開始直後は安定せず、1リングで取込むべき乾砂量を求めるには、誤差が大きくなる。そのため、想定計画乾砂量を算出する当該リングで得られる乾砂量のデータ数は、セグメント幅 2m の場合、ストローク 20mm ごとで約 100 個となることから、このデータを **図 4-22** のように昇順に並べ替え、上位 25 個と下位 25 個を控除し、中間データの平均値を計算し、データ数を乗じることで、乾砂量の目安となる想定計画乾砂量を計算することとした。

$$V_p = \frac{\sum_{n=26}^{75} V(n)}{50} \cdot N$$

ここで、 V_p ：想定計画乾砂量、 $V(n)$ ：あるリングの 20mm あたりの乾砂量データを昇順に並べたとき n 番目となるデータ、 N ：データ数である。

上記の手法によって求められた想定計画乾砂量と全積算乾砂量を比較したところ、2回の陥没箇所において、いずれも全積算乾砂量が想定計画乾砂量を超えており、その差は前後の掘削箇所と比べて大きくなっている。想定計画乾砂量は、**図 4-22** に示す乾砂量の中間データを用いて算出していることから、1リングを掘削するうち、過剰な土砂の取込みがない状態でのデータであると見なせる。よって、2回の陥没箇所において、全積算乾砂量が想定計画乾砂量を超えていることは、掘削によってトンネル断面の外の地山から土砂の取込み過多があったことを示唆している。

なお、理論乾砂量には不確定な要素があるが、理論乾砂量と全積算乾砂量、想定計画乾砂量を比較したところ、大きな矛盾は見られなかった。

また、**図 4-23** における全積算乾砂量が想定計画乾砂量を超える分を取込み過剰量とし、陥没発

生時に埋め戻した土砂量および充填注入量と比較したところ、概ね整合が取れることを確認した。

理論乾砂量は不確定性を持っているが、全積算乾砂量と理論乾砂量とを比較することによって、取込み過ぎた乾砂量を一定程度推定できる。また、全積算乾砂量を想定計画乾砂量と比較することによって、より信頼性のある、取込み過ぎ乾砂量を推定できるが、施工中に想定計画乾砂量を求め監視することは複雑な作業となり、これまで試みられていない。

新横浜トンネル工事においては、リングごとの掘進完了後に、取り込んだ乾砂量を集計し、リング間の変化を確認して乾砂量の取込み過多を推定していたが、上記の方法によってリアルタイムでの、かつ、リングごとの平均値を用いた監視は行っていない。しかし、拘束力が解放されると容易に流動化しやすい砂質土層における施工では、少なくとも各リングにおいて全工程に亘って全積算乾砂量をリアルタイムで、かつ、リングごとの平均値で監視して、土砂の取込み過多の可能性を確認する必要がある。しかし受注者は、上総層の砂質土層の N 値が 50 以上であることから切羽や天端の地山の崩落はなく、掘削停止中は土砂の取込みはないものと想定していたため、上記のような各リングでの全工程に亘る乾砂量の監視とはなっておらず、過剰な土砂の取込みに気が付くことができなかった。

5. 陥没の原因とメカニズム

本委員会での審議の結果、陥没の原因は、泥水式シールド工法によるトンネル掘削において、複合的な要因によりシールドマシンが土砂を過剰に取込み空隙が形成されたことが原因と推定された。

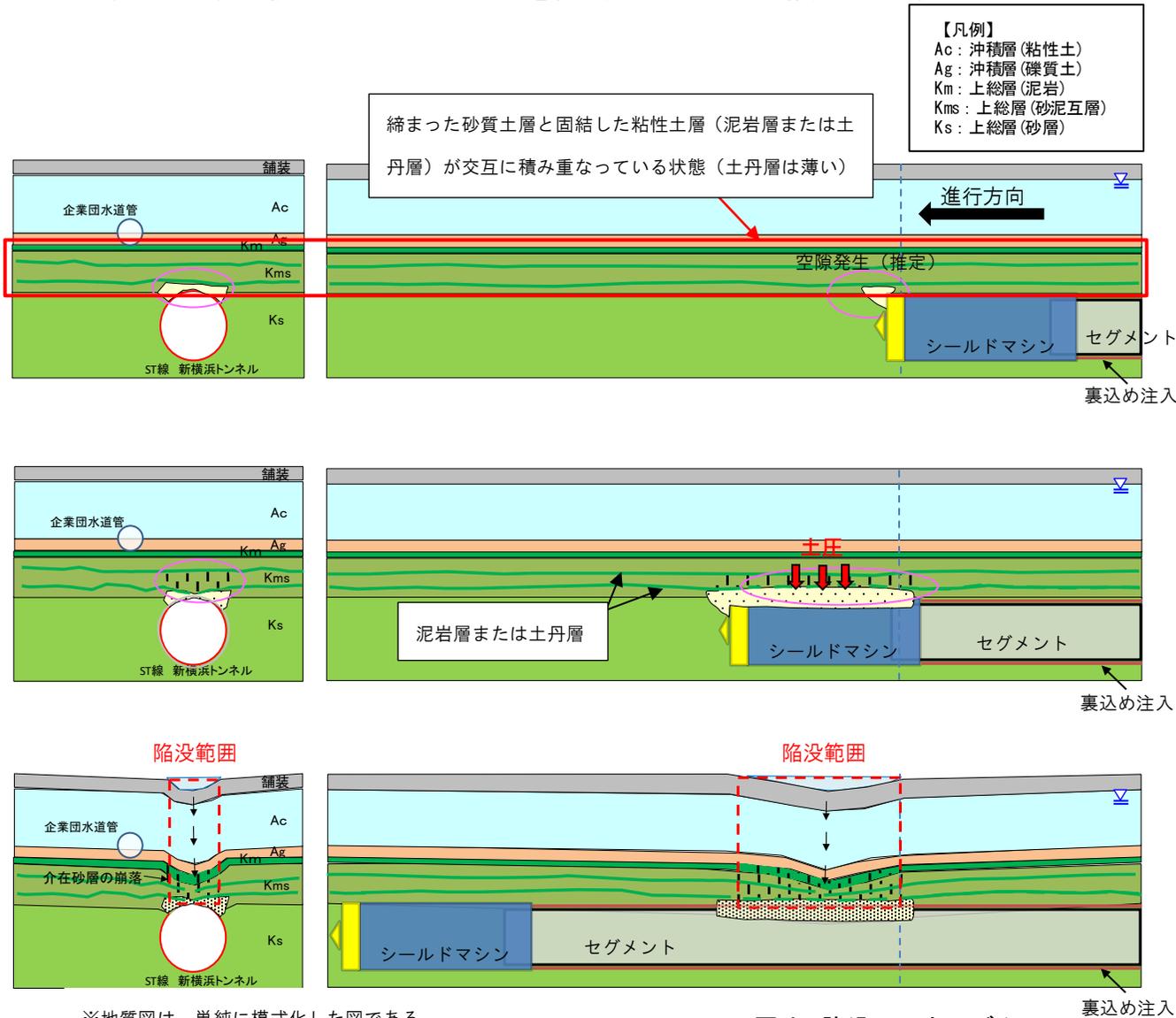
相対的に規模が大きかった 1 回目の陥没が発生した箇所では、掘進時に固結した砂の取込み等により排泥管が閉塞傾向となり、掘進停止や低速掘進が発生したことが判明した。この箇所の地質は第四紀更新統の上総層であり非常に安定している地盤であるが、拘束圧が解放されると容易に流動化しやすい性質を有している砂質土層が優勢であった。泥水シールド工法は泥水による圧力で切羽の安定を保ち掘進していくが、泥水密度が低く、不十分な状態であったこともあり、このような状態の泥水に切羽地山の砂質土層が長時間さらされるとともに、閉塞に伴う圧力変動を受けることにより不安定化し、その結果、天端部より砂質土層が流動的に切羽内に流入して空隙が形成され、これが複数のリングに亘って生じたと推定された。

掘進停止中や低速掘進中に土砂の取込みがあったと推定されるが、停止中等の掘削土量の管理をリアルタイムで連続的に監視していなかったため、結果として土砂の過剰な取込みを確認できず裏込め注入も不十分となり、陥没を誘発したと推定された。

相対的に規模が小さかった 2 回目の陥没が発生した箇所でも、排泥管の閉塞はなかったものの、停止中の切羽内への流入が複数のリングに亘って推定されており、諸要因（地層の特徴、送泥水密度の管理、裏込め注入の管理）が複合して陥没を誘発したと推定される。1 回目に比べると、取込み過ぎ土量が相対的に少なかったために、空隙形成から陥没までにより時間がかかったと推定された。

また、地表面の変位は計測していたが、土砂の取込みによってシールドマシン上部に空隙が生じ、その後、空隙上部の堅い粘性土層（粘性層または土丹層）を通して進行性破壊が進み、地表面陥没に至ったと推定される。その結果、地表面変位計測による地盤変位の予兆の把握と、それによる裏込め注入量の見直し、補足注入などの早期対応ができなかったと推定された。このメカニズムを、**図 4** にまとめた。

○ 陥没は下記の模式図に示すステップを経て発生したものと推定された。



- ・上総層は通常の状態では、N値50以上の極めて安定した層であるが、砂質土層の拘束圧が解放されて地下水の浸透力を受けると流動性が高くなる。
- ・流動化しやすい砂質土層に対して、泥水密度が不十分な状態であった。
- ・掘削停止中または低速掘進時に、シールドマシン上部の砂質土層が泥水に長時間さらされるとともに閉塞に伴う圧力変動を受けることにより不安定化し、天端部より砂質土層が流動的に切羽内に流入した。
- ・これによりシールドマシン上部に空隙が発生した。
- ・シールド工法では、セグメントと地山との間隙に裏込め注入が行われるが、当該区間では空隙を埋めるまでの充填は行われなかった。



- ・シールドマシンの停止中または低速掘進に伴い一部の区間において、天端の地山が崩壊して取込みすぎが発生したことにより、空隙が連続的に形成された。これにより、砂質土層上部の粘土質層(泥岩または土丹層)は支持を失い、上からの土圧に耐えられなくなり崩落した。



- ・さらにその上部の層も時間の経過とともに崩落し、シールドマシン通過後ある程度の時間が経過した後に道路陥没が発生した。

※地質図は、単純に模式化した図である。

図4 陥没のメカニズム

6. 再発防止策

6.1 地上からの充填注入

2 回目の陥没発生箇所は、1 回目の箇所から約 300m 後方であり、シールドマシン通過から約 2 か月経過した後に発生していることを踏まえた方策として、市道環状 2 号線におけるトンネル通過部について、図 6-1 のフローに則り、縦断的に調査ボーリングを実施し、緩み領域に充填注入を行った。

第 2 車線については約 20m ごとに確認し、その結果、空洞や緩みはなかった。その一方で、トンネルの直上にあたる第 1 走行車線での充填注入は、場所により大きく結果が異なった。結果を図 6-2～6-5 に示す。陥没箇所や取込み過多が懸念される箇所では注入量が多く、それ以外の箇所では注入量は少なかった。

6.2 掘削完了済み区間の対応

施工済の箇所のうち、市道環状 2 号線直下については、6.1 に示したように、すでに調査ボーリングおよび充填注入を実施している。その他の箇所においては、今回陥没が起きたような地層ではなく、さらには土被りが大きくなっている。また、現段階では地盤変動監視委員会のより詳細な計測でも地表面と地中の変位は出ておらず、陥没の危険性はないと考えられるが、掘削が終了したすべての区間において、委員会で審議された手法を用いて、改めて過去の掘削データを確認中である。

掘削データの見直しの結果、取込み過ぎが推定される場合には、調査・確認の上、必要に応じてトンネル坑内より再充填を実施する。

なお、掘削データ確認する際には、以下の項目に着目する。

- ①全積算乾砂量と想定計画乾砂量とを比較し、10%以上のかい離が認められ、かつ全積算乾砂量が理論乾砂量に比べ大きい数値になっているかの確認。
- ②停止時も含めた掘進データの確認
 - 1) 市道環状 2 号線で取込みが想定された箇所と同様な切羽水圧の変動
 - 2) 市道環状 2 号線で取込みが想定された箇所と同様な逸泥
 - 3) 配管閉塞などによる掘進停止
 - 4) 掘進速度相当を大きく上回る排泥比重
 - 5) 裏込め注入圧が設定注入圧以下

以上の項目で①が該当し、さらに②の項目がひとつでも該当する場合には、「取込み過ぎ」と判断する。

6.3 今後掘削する区間の対応

本委員会での議論を踏まえた、今後掘削する区間における掘進管理については、図 6-6～6-9 および表 6-1 に詳細を示す。主な内容については、以下のとおりである。

- ① 空隙を生じさせないための再発防止策を徹底する。
 - ・ 先行して追加ボーリング調査の実施による詳細な地質状況の把握
 - ・ 切羽土圧および泥水性状の適切な管理
 - ・ 各リングにおける全工程でのリアルタイムでかつ連続的な、土砂の過剰な取込みの有無の監視

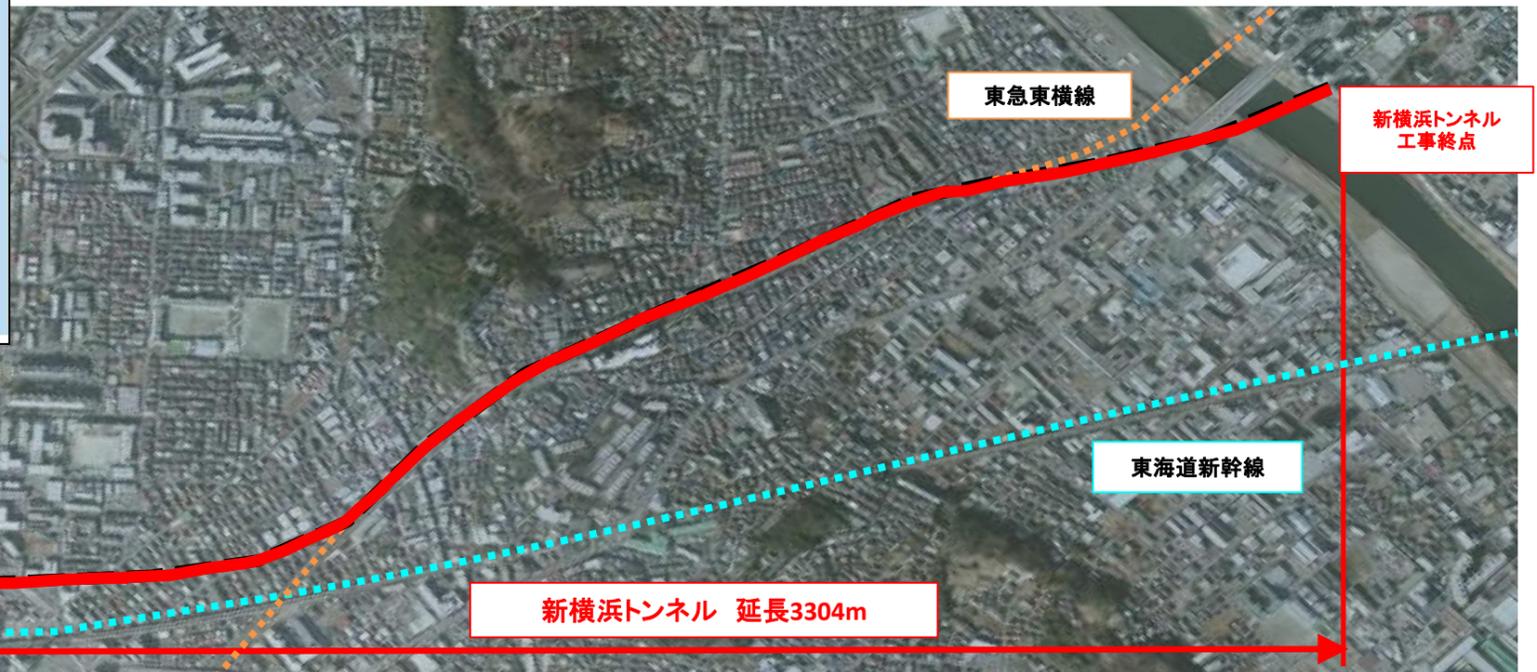
- ・ 裏込注入の量および圧の適切な管理
- ② 土砂の取込み過ぎが疑われる箇所が認められれば、トンネル内から速やかに再充填を実施する。

新横浜トンネル工事の概要

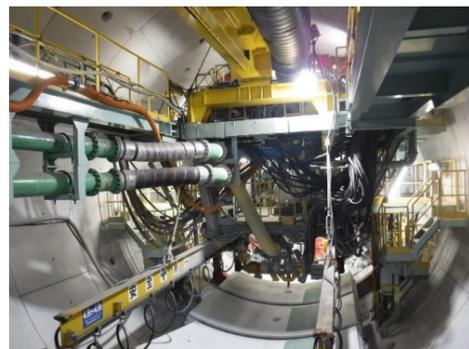


【工事概要】

- ・工事延長：3,304m (4km365m～7km669m)
- ・工法：泥水式シールド工法(セグメント)、マシン外径は9.7m
- ・セグメント：RCセグメントまたは合成セグメント(φ9.5m、W=1.5～2.0m、t=0.4m)
- ・受注者：奥村・佐藤・青木あすなろ・NB特定建設工事共同企業体



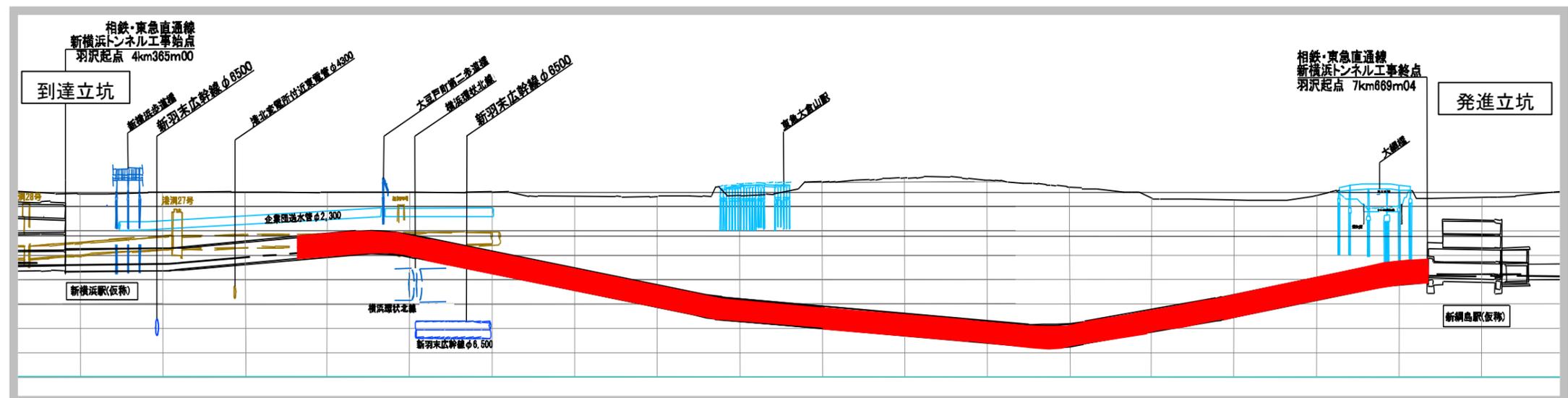
【進捗状況写真】



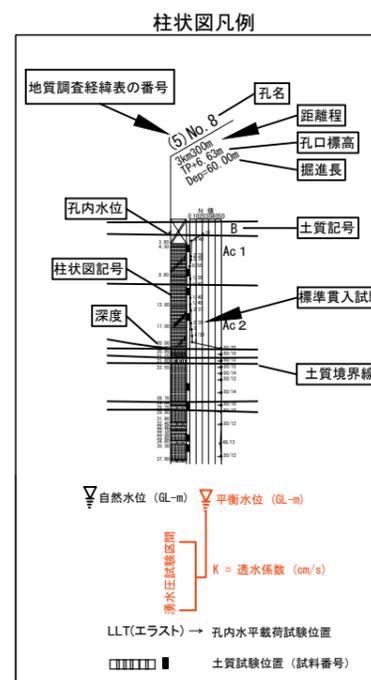
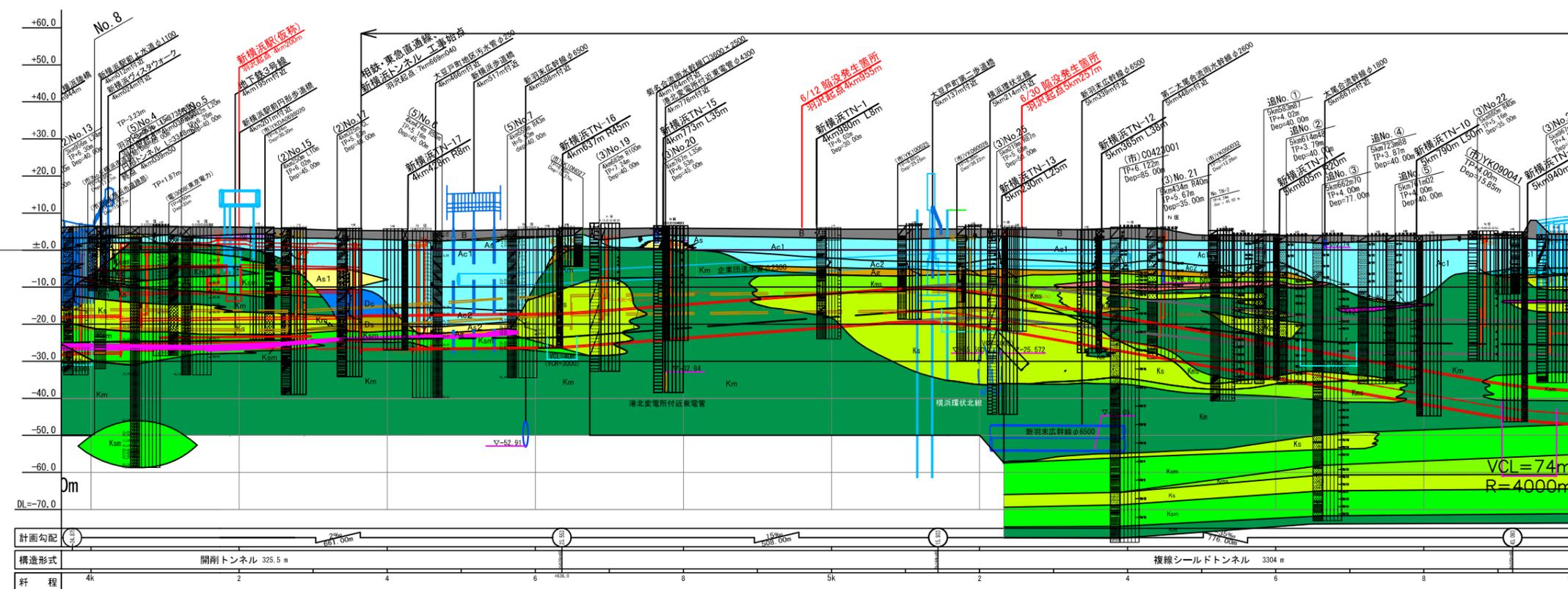
①本掘進 掘進状況 (坑内切羽)



②掘削残土 土砂積込状況 (泥水ヤード)



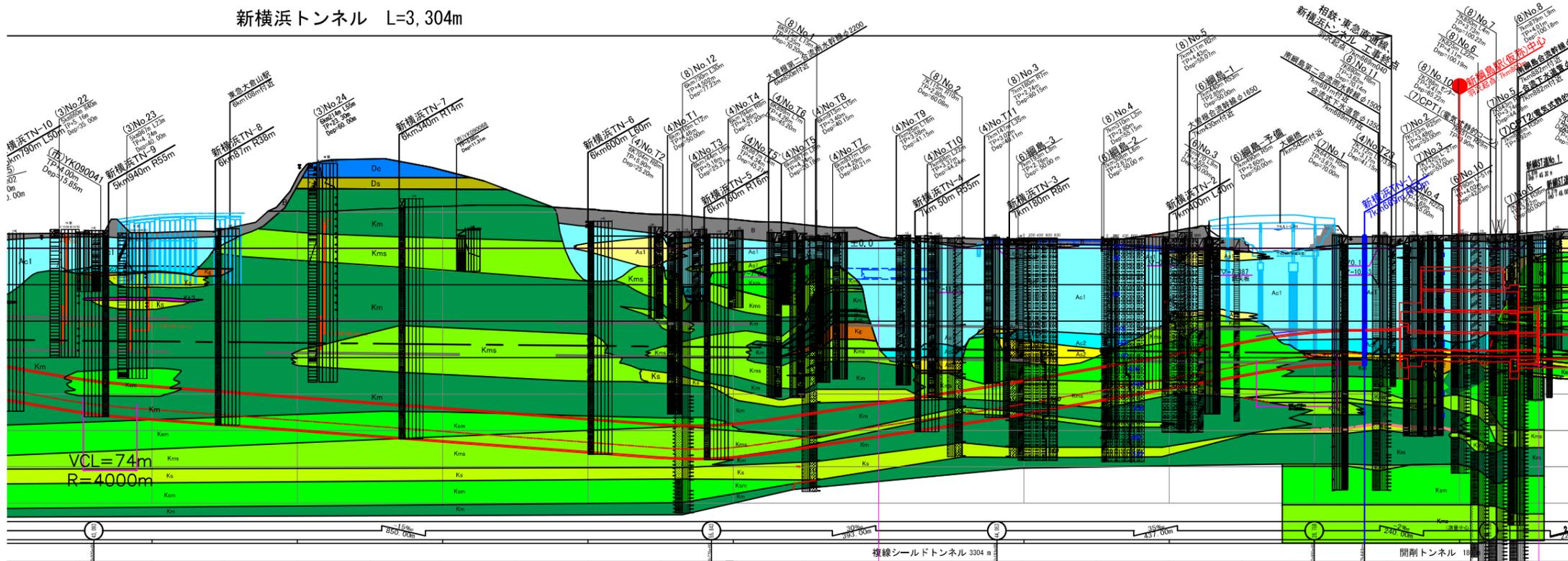
地質縦断図 (全体)

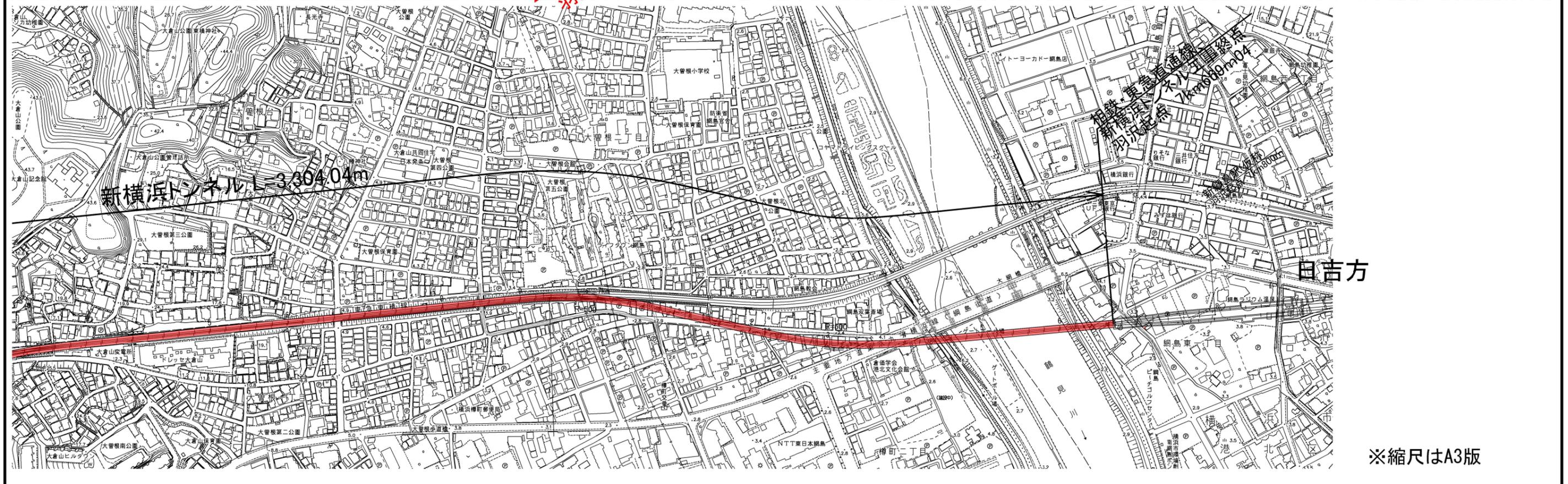
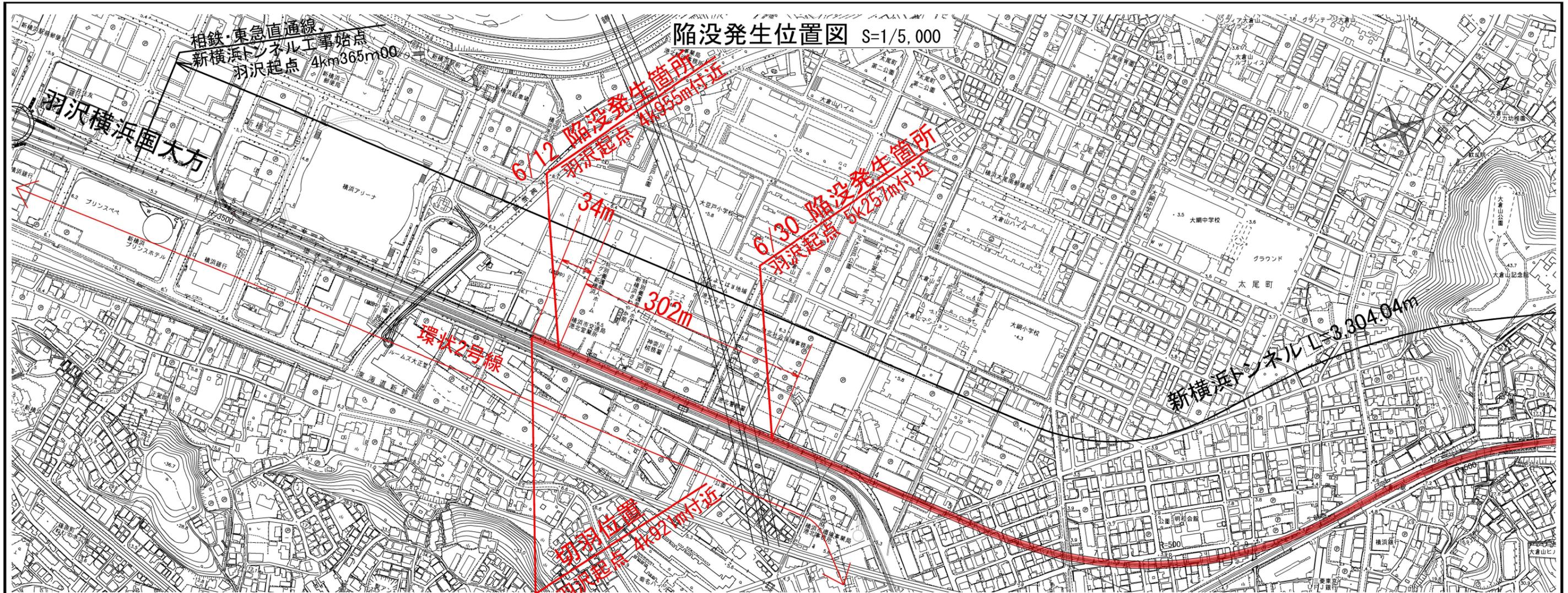


地層・岩体区分凡例

時代	地層名	土質名	記号	
現世	盛土層	混合土	B	
完新世	沖積層	粘性土 (有機質土)	Ap	
		砂質土	As1	
		粘性土	Ac1	
		礫質土	Ag1	
		粘性土	Ac2	
		砂質土	As2	
		礫質土	Ag2	
後期	関東ローム層	粘性土	Lm	
中期	段丘堆積層	礫質土	Dg	
		粘性土	Dc	
更新世	相模層群	砂質土	Ds	
		上総層群	砂層	Ks
			砂層優先の砂泥互層	Kms
			泥岩	Km
		泥岩優先の砂泥互層	Ksm	
		礫質土	Kg	
		火砕質凝灰岩	Kt1	
		火砕質凝灰岩	Kt2	

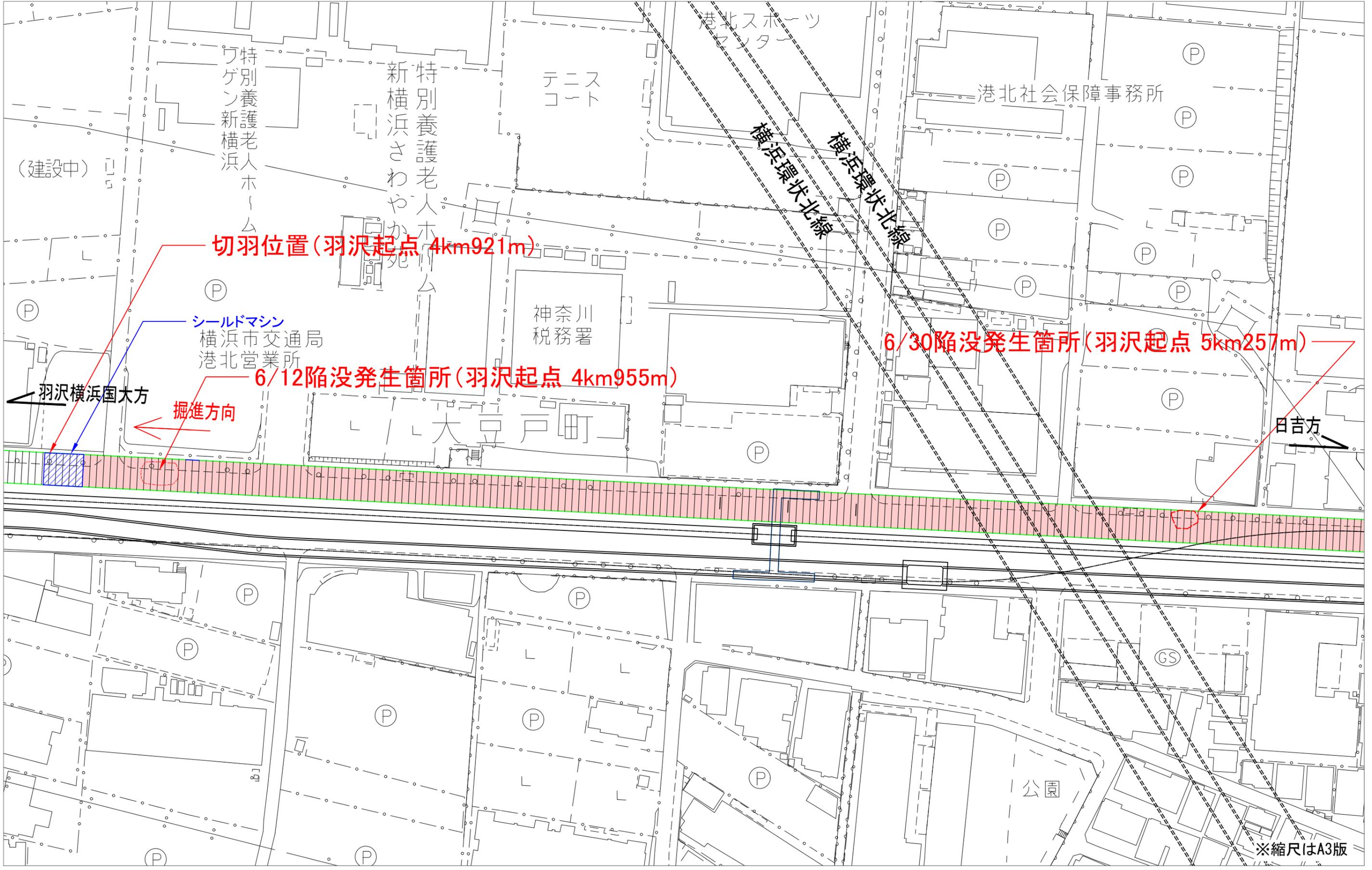
新横浜トンネル L=3,304m

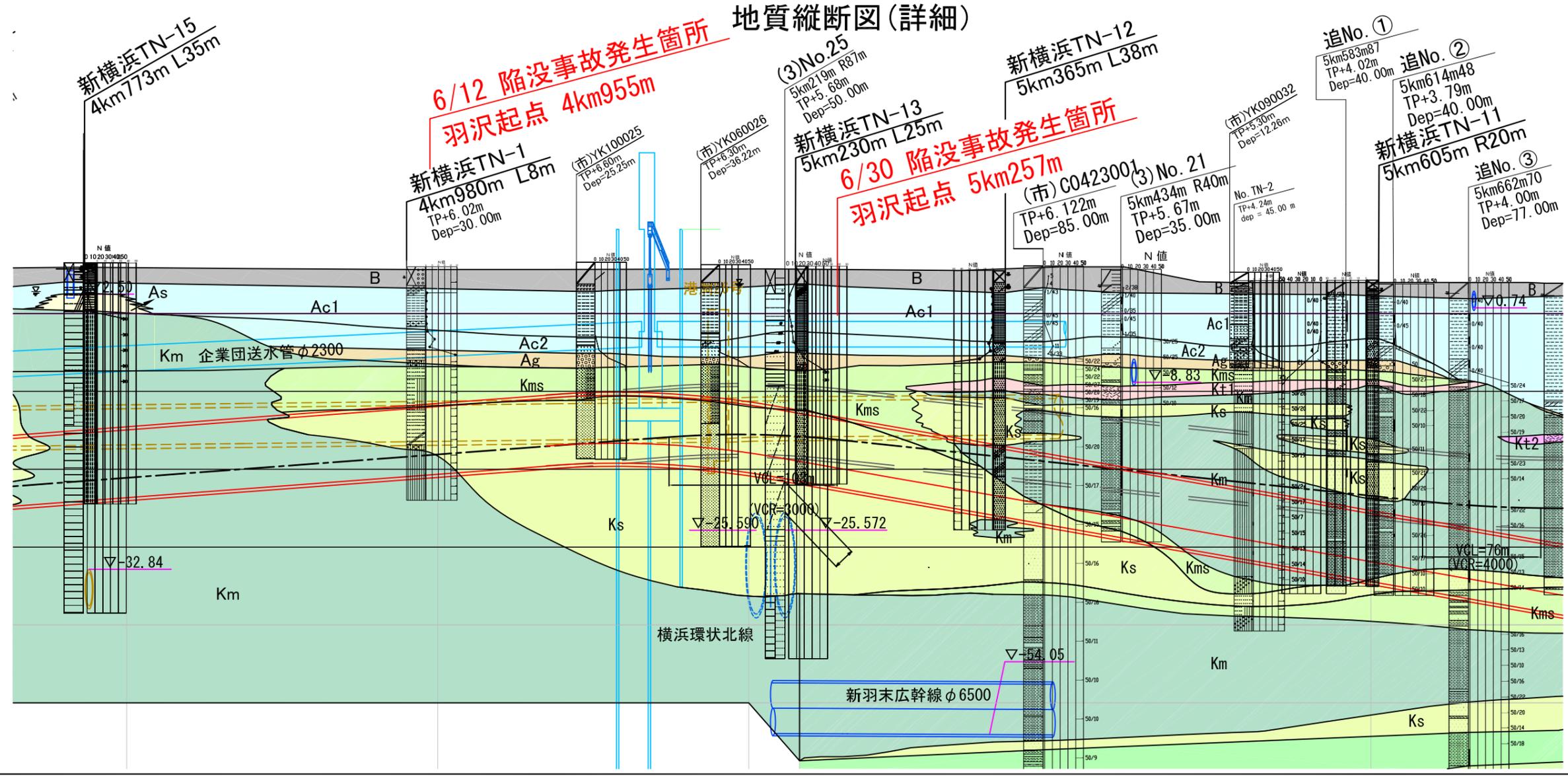
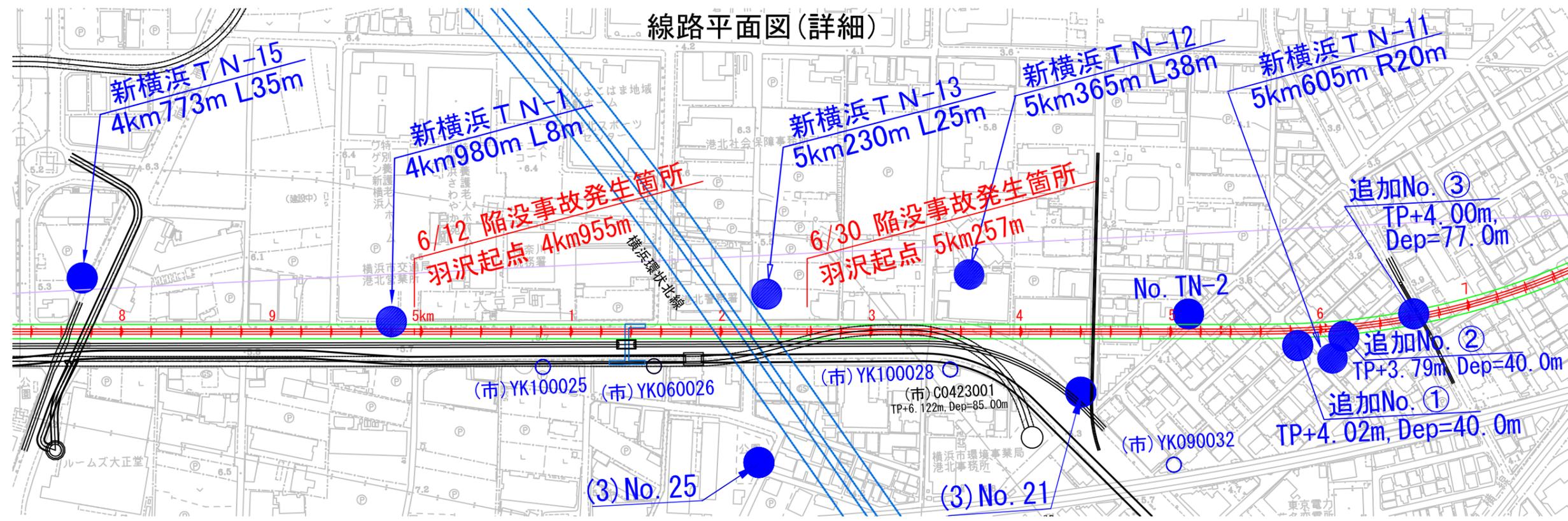




※縮尺はA3版

陥没発生位置図 (詳細図) S=1/500





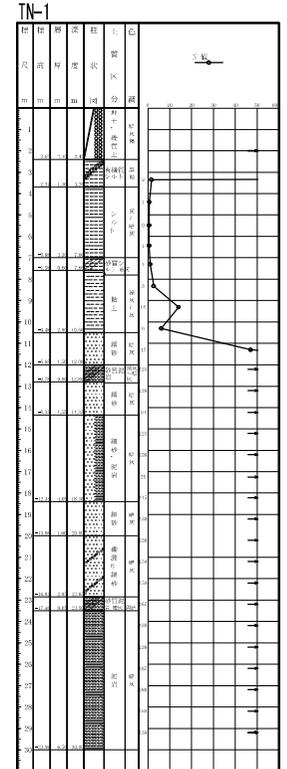
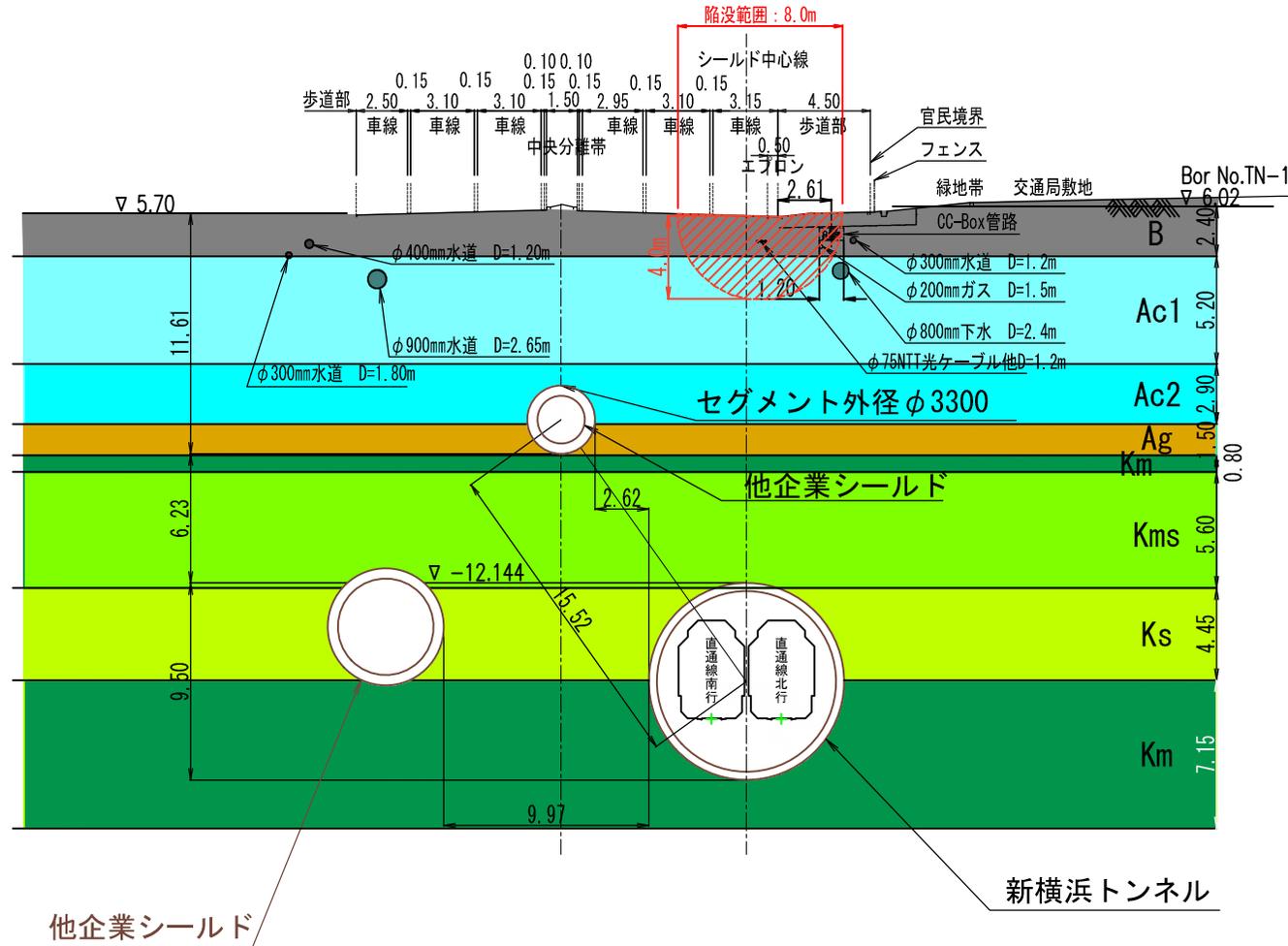
地層・岩体区分凡例

時代	地層名	土質名	記号	
完新世	盛土層	混合土	B	
		粘性土 (有機質土)	Ap	
	沖積層	砂質土	As1	
		粘性土	Ac1	
		礫質土	Ag1	
		粘性土	Ac2	
		砂質土	As2	
		礫質土	Ag2	
	後期	関東ローム層	粘性土	Lm
		段丘堆積層	礫質土	Dg
中期	相模層群	粘性土	Dc	
		砂質土	Ds	
更新世	上総層群	砂層	Ks	
		砂層優先の砂泥互層	Kms	
		泥岩	Km	
		泥岩優先の砂泥互層	Ksm	
		礫質土	Kg	
		火砕質凝灰岩	Kt1	
		Kt2		

6月12日 陥没位置横断面図 (4km955m)

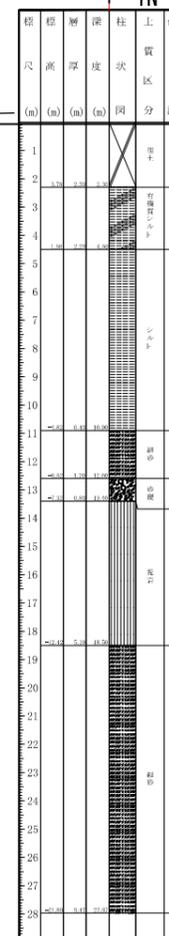
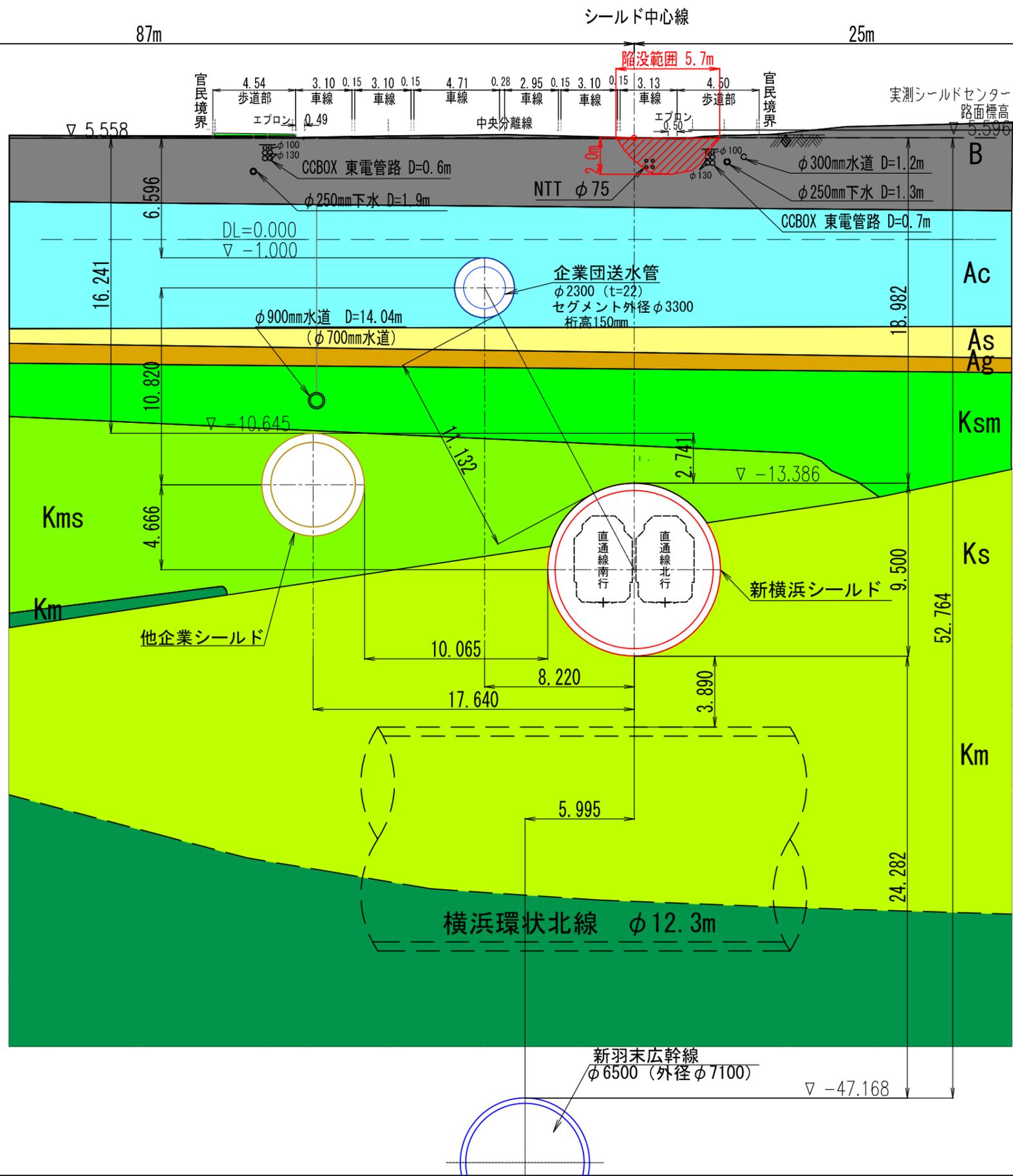
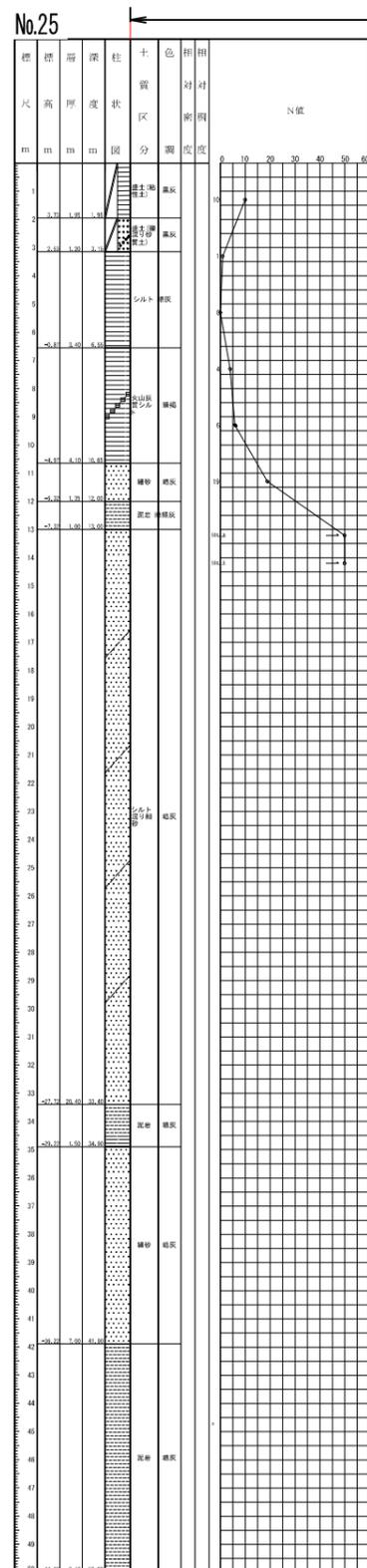
新綱島方から新横浜方を望む

注) ・陥没範囲は推定である
 ・地質は近傍のボーリング調査 (No. TN-1) の結果によるものである。



6月30日 陥没位置断面図 (5km257m) 新綱島方から新横浜方を望む

注・陥没範囲は推定である
 ・地質は近傍のボーリング調査 (No. TN-13) の結果によるものである。



陥没発生時の状況（1回目）



写真-1 新綱島側より（15:00 頃）



写真-2 新綱島側より（16:00 頃）



写真-3 新横浜側より（18:00 頃）

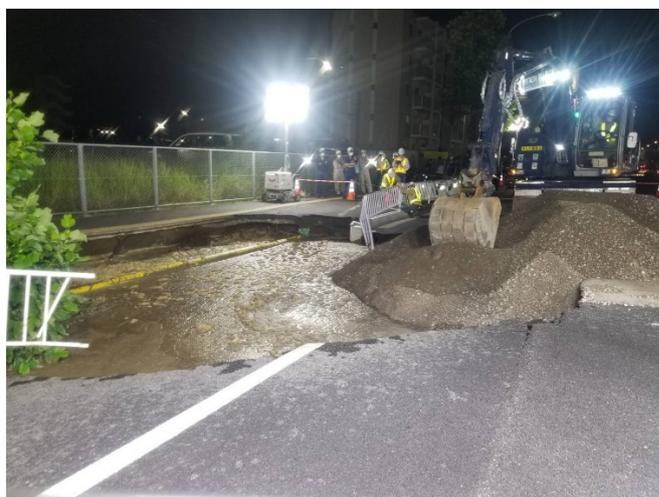


写真-4 新横浜側より（20:00 頃）



写真-5 6/13 規制解除



写真-6 6/13 注入作業状況

陥没発生時の状況（2回目）



写真-1 新綱島側より（7:00頃）



写真-2 新横浜側より（8:00頃）



写真-3 新横浜側より（8:30頃）



写真-4 新横浜側より（12:30頃）



写真-5 7/1 規制解除



写真-6 7/1 注入作業状況

表 3-1 地質調査の目的（1 回目の陥没箇所）

番号	位置	目的
No.1-0	陥没箇所中央	陥没箇所の地層（層厚）の変化の確認
追加①	トンネル右側（断面外）	横断方向の地質の確認 沖積層以深をサンプリング、標準貫入試験(@500mm)実施
追加②	切羽前方	縦断方向の地質の確認 沖積層以深をサンプリング、標準貫入試験(@500mm)実施
追加③	陥没箇所の前方	縦断方向の地質の確認、トンネル掘進による影響の確認 沖積層以深をサンプリング、標準貫入試験(3箇所)実施
追加④	トンネル左側（断面外）	横断方向の地質の確認 沖積層以深をサンプリング、標準貫入試験(@500mm)実施
追加⑤	陥没箇所の後方	縦断方向の地質の確認、トンネル掘進による影響の確認 沖積層以深をサンプリング、標準貫入試験(3箇所)実施
追加⑥	陥没箇所の後方	縦断方向の地質の確認、トンネル掘進による影響の確認、 TN-1 との比較 沖積層以深をサンプリング、標準貫入試験(@500mm)実施
追加⑦	トンネル左側（断面外）	横断方向の地質の確認 沖積層以深をサンプリング、標準貫入試験(@500mm)実施

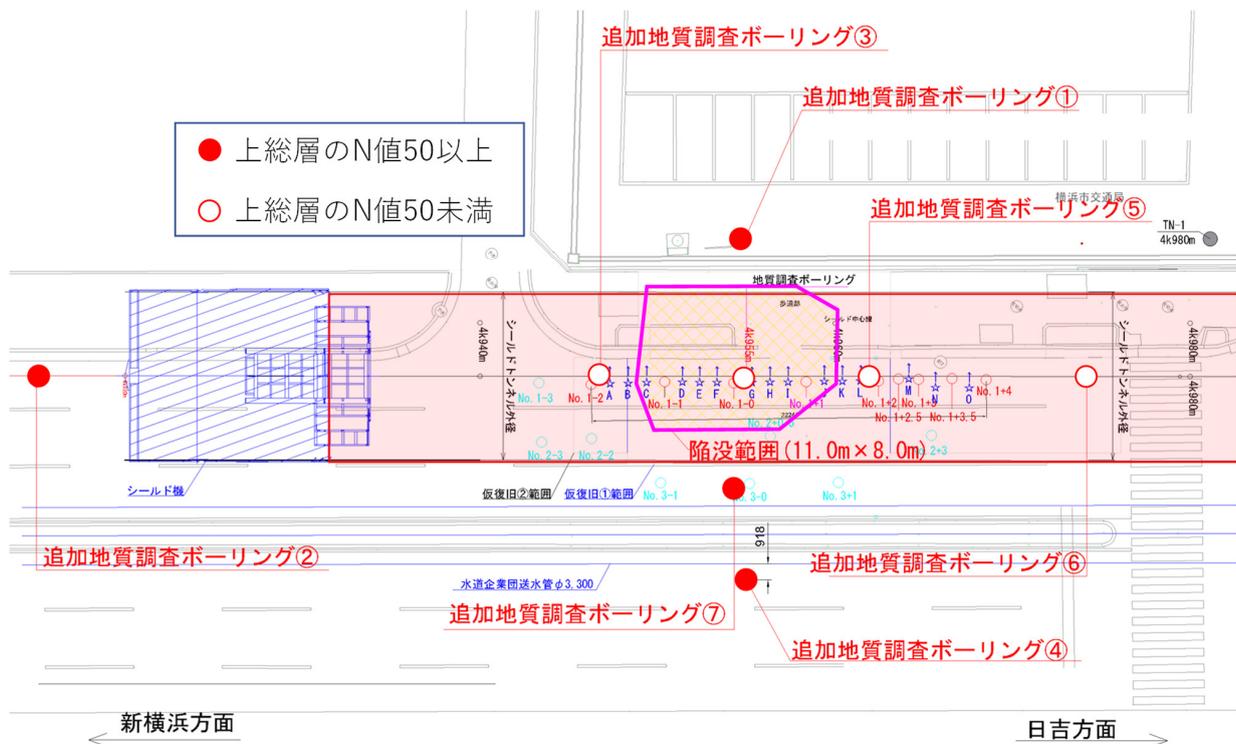


図 3-1 地質調査の結果（1 回目の陥没箇所）

表 3-2 地質調査の目的（2 回目の陥没箇所）

番号	位置	目的
追加①	陥没箇所中央	陥没箇所の地層（層厚）の変化の確認 沖積層以深をサンプリング、標準貫入試験(3箇所)実施
追加②	トンネル右側（断面外）	横断方向の地質の確認 沖積層以深をサンプリング、標準貫入試験(@500mm)実施
追加③	陥没箇所の前方	縦断方向の地質の確認、トンネル掘進による影響の確認 沖積層以深をサンプリング、標準貫入試験(3箇所)実施
追加④	トンネル左側（断面外）	横断方向の地質の確認 沖積層以深をサンプリング、標準貫入試験(@500mm)実施
追加⑤	陥没箇所の後方	縦断方向の地質の確認、トンネル掘進による影響の確認 沖積層以深をサンプリング、標準貫入試験(3箇所)実施

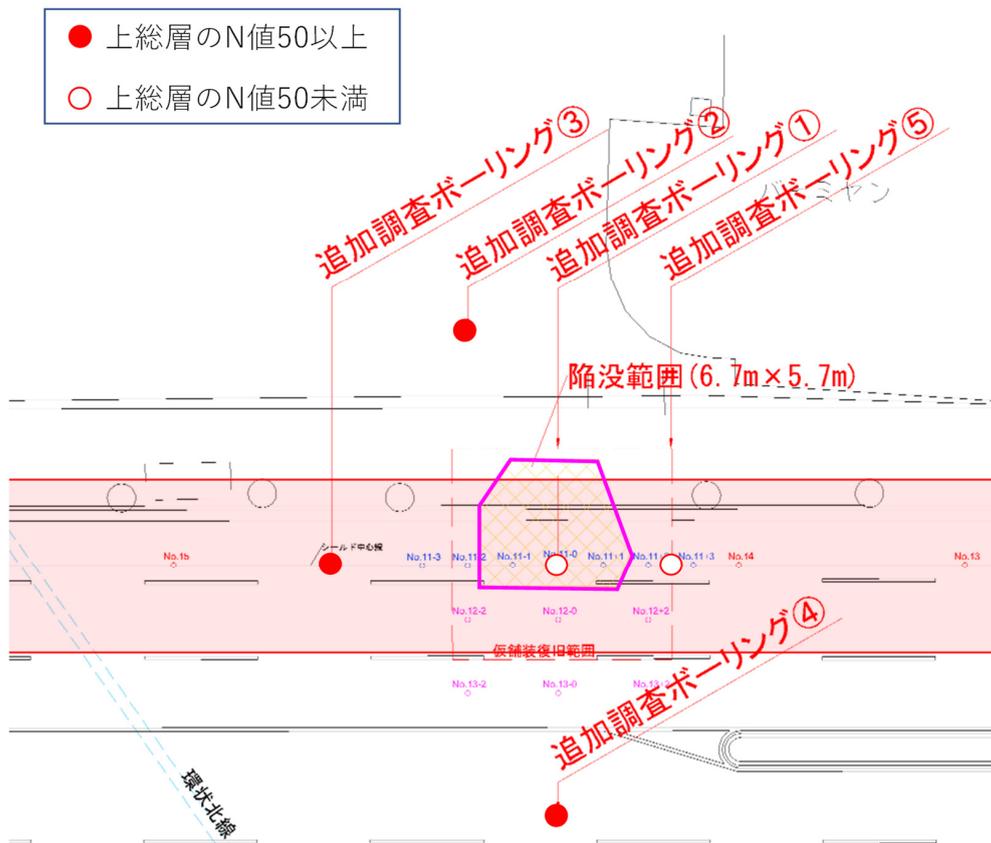
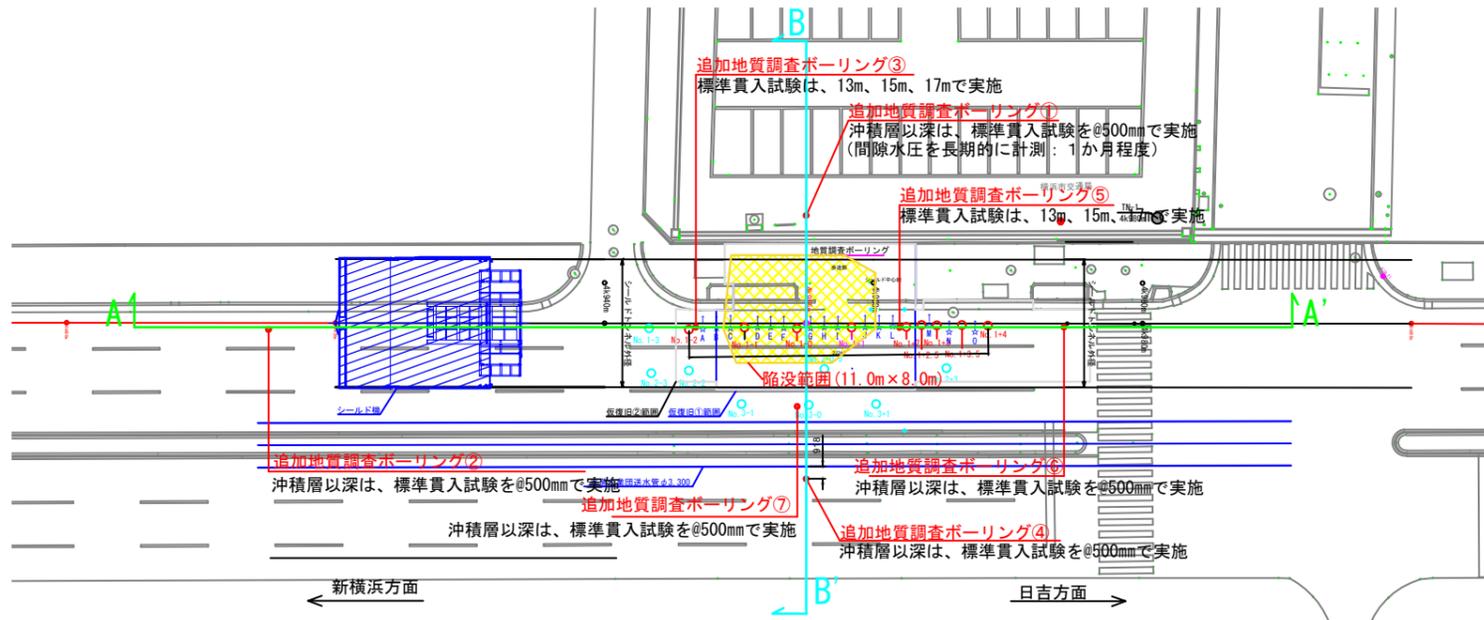


図 3-2 地質調査の結果（2 回目の陥没箇所）

追加調査ボーリング位置図 S=1/500



6月12日陥没箇所(4km955m)
陥没前

地層・岩体区分凡例

時代	地層名	土質名	記号
現世	盛土層	混合土	B
		粘土質土(有機質土)	Ap
完新世	沖積層	砂質土	As1
		粘性土	Ac1
		礫質土	Ag1
		粘性土	Ac2
		砂質土	As2
		礫質土	Ag2
後期	関東ローム層	粘性土	Lm
	段丘堆積層	礫質土	Dg
中期	相模層群	粘性土	Dc
		砂質土	Ds
更新世	上総層群	砂層	Ks
		砂層優先の砂泥互層	Kms
		泥岩	Km
		泥岩優先の砂泥互層	Ksm
		礫質土	Kg
		火砕質凝灰岩	Kt1

推定地質横断面図 S=1/500

推定地質縦断面図 H=1/500, V=1/250

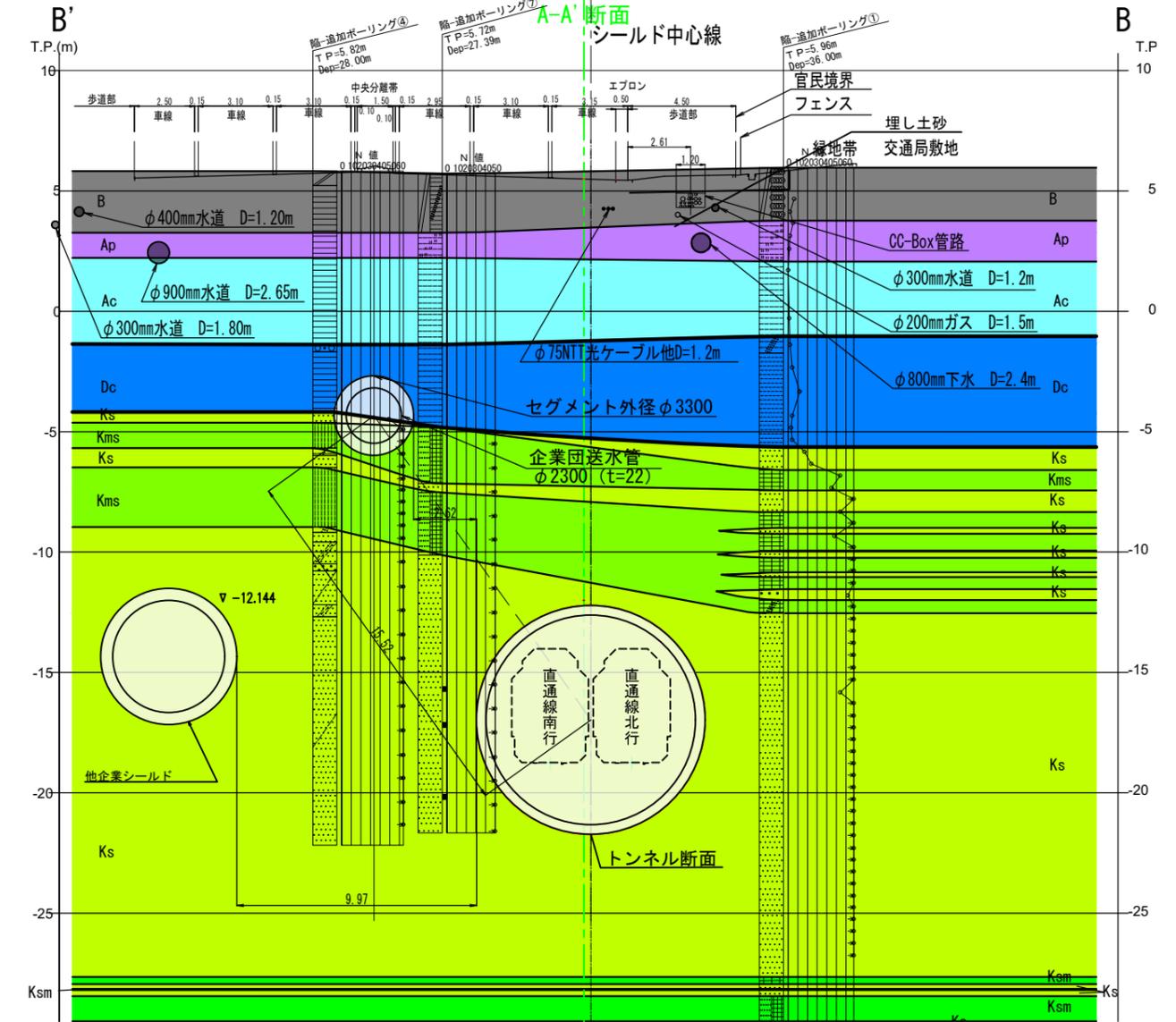
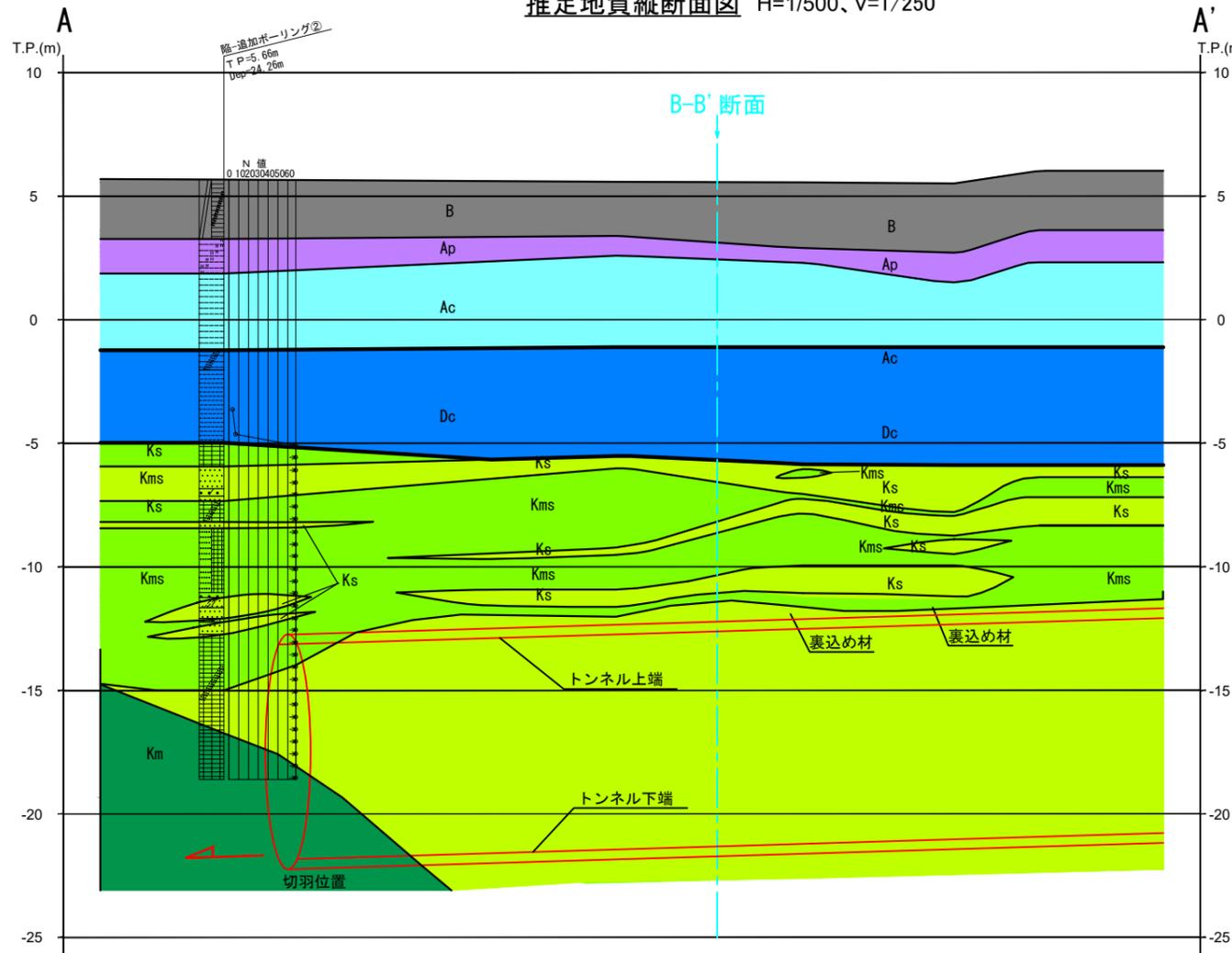
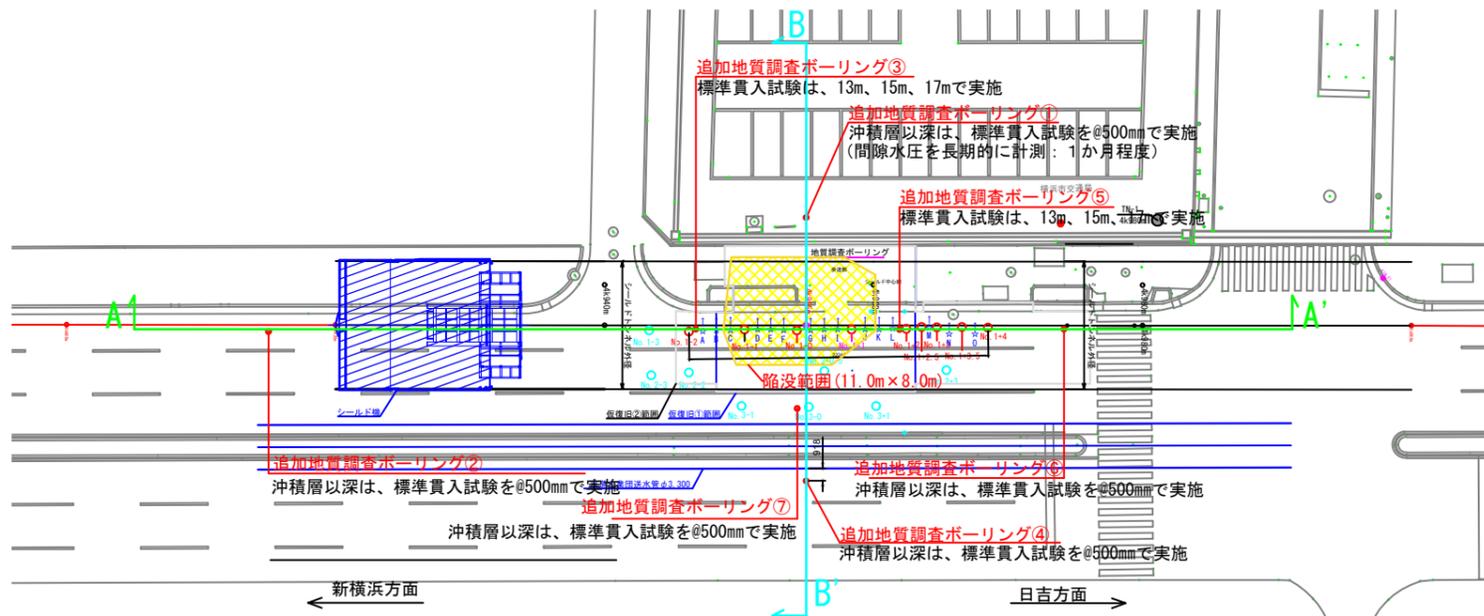


図3-3 追加地質調査による想定地質図(1回目陥没箇所:陥没前)

追加調査ボーリング位置図 S=1/500



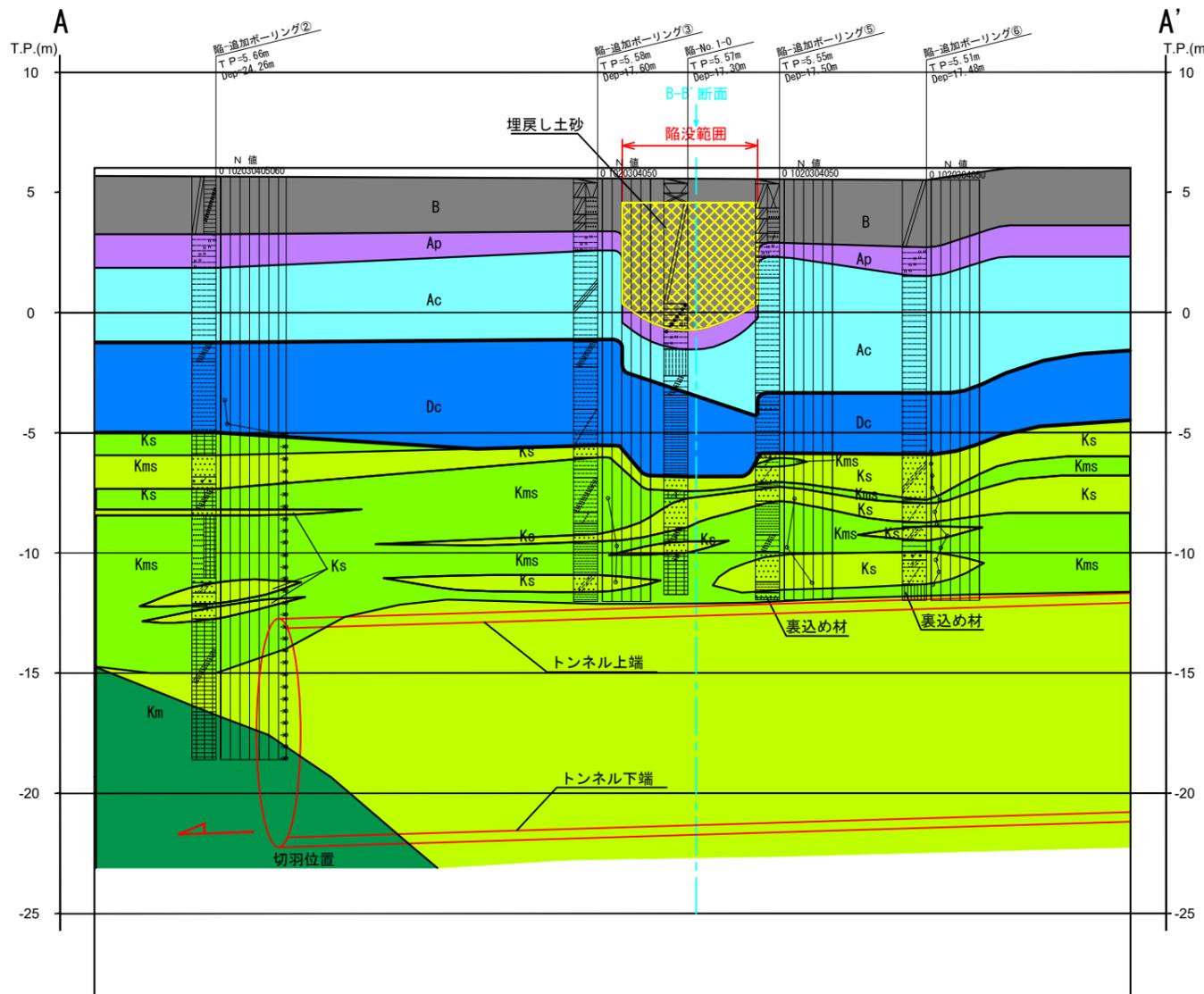
6月12日陥没箇所(4km955m)

陥没後

地層・岩体区分凡例

時代	地層名	土質名	記号
現世	盛土層	混合土	B
		盛土層	B
完新世	沖積層	粘性土(有機質土)	Ap
		砂質土	As1
		粘性土	Ac1
		礫質土	Ag1
		粘性土	Ac2
		砂質土	As2
		礫質土	Ag2
		礫質土	Ag2
後期	関東ローム層	粘性土	Lm
	段丘堆積層	礫質土	Dg
中期	相模層群	粘性土	Dc
		砂質土	Ds
更新世	上総層群	砂層	Ks
		砂層優先の砂泥互層	Kms
		泥岩	Km
		泥岩優先の砂泥互層	Ksm
		礫質土	Kg
		火砕岩	Kt1
		凝灰岩	Kt2
		凝灰岩	Kt2

推定地質縦断面図 H=1/500、V=1/250



推定地質横断面図 S=1/500

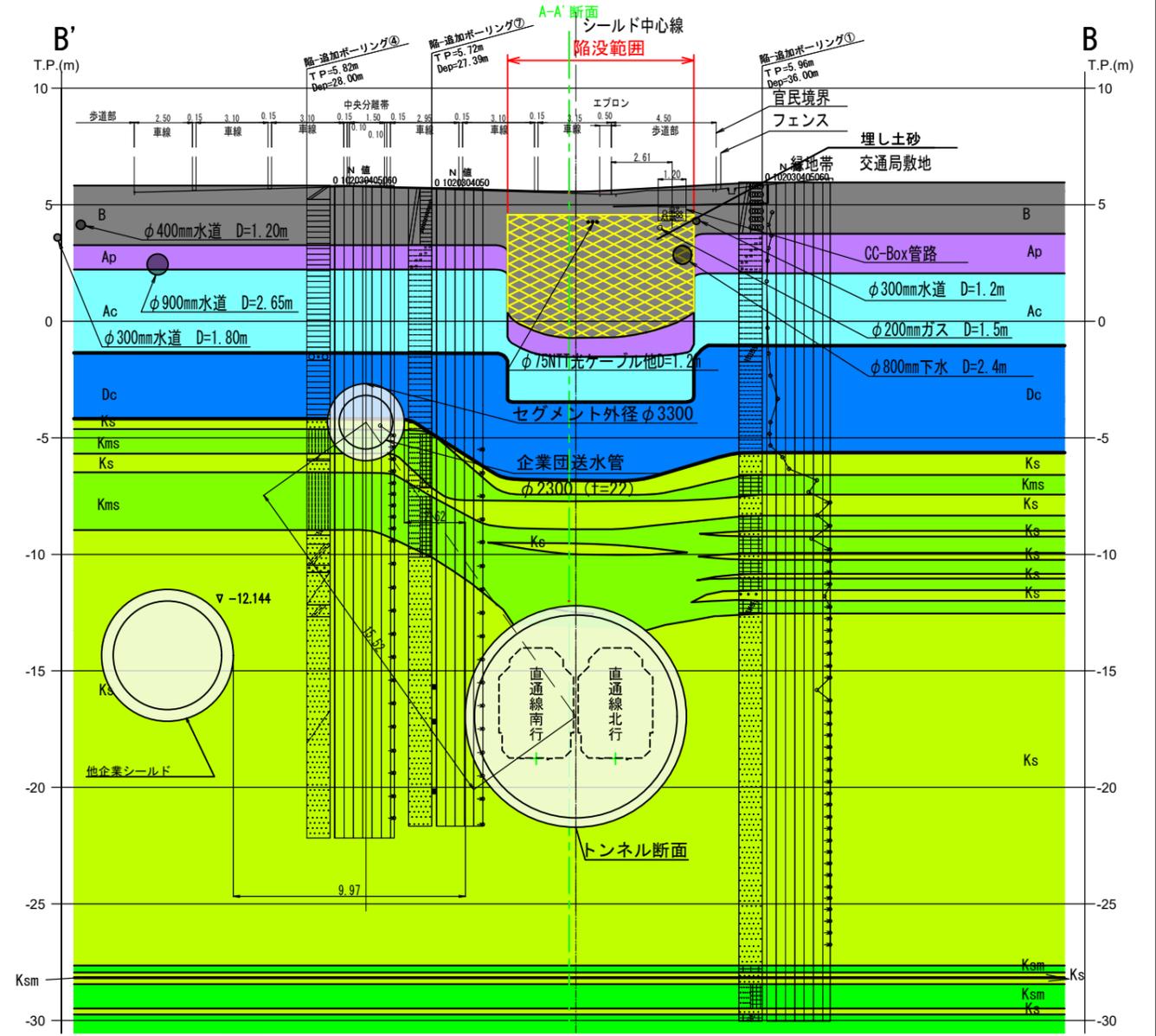
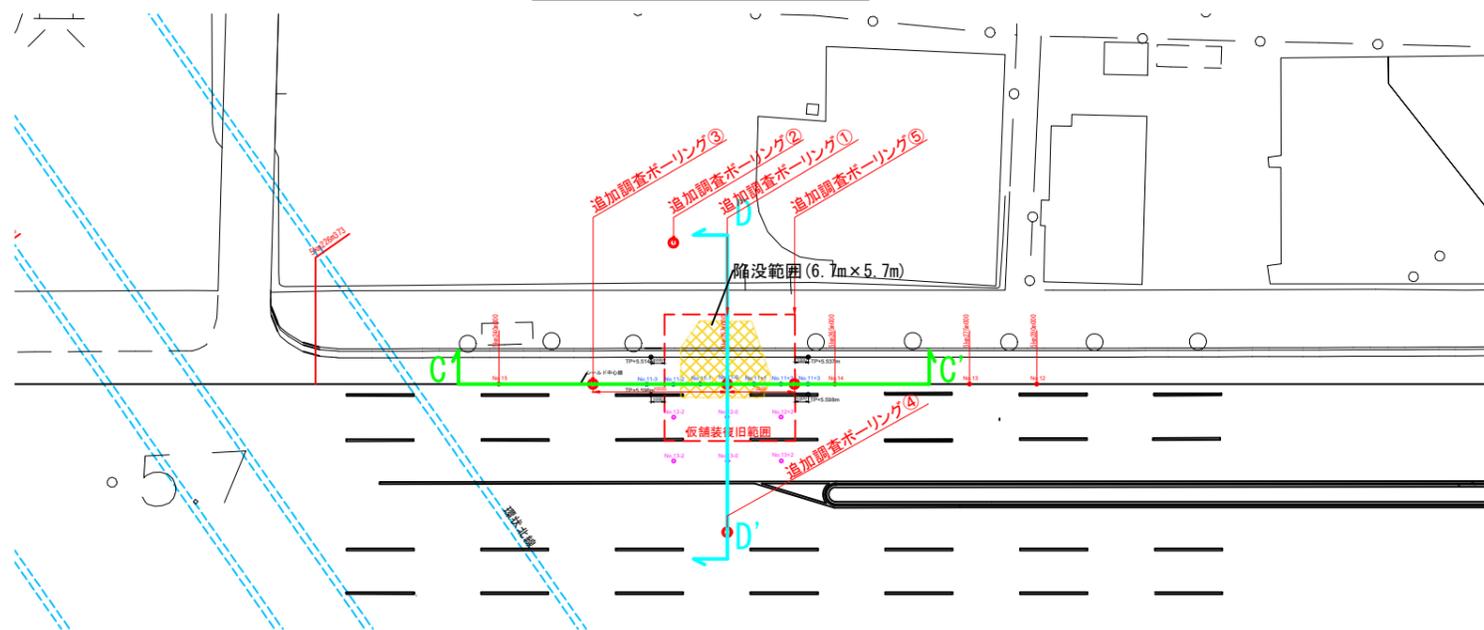


図3-4 追加地質調査による想定地質図(1回目陥没箇所:陥没後)

追加調査ボーリング位置図 S=1/500

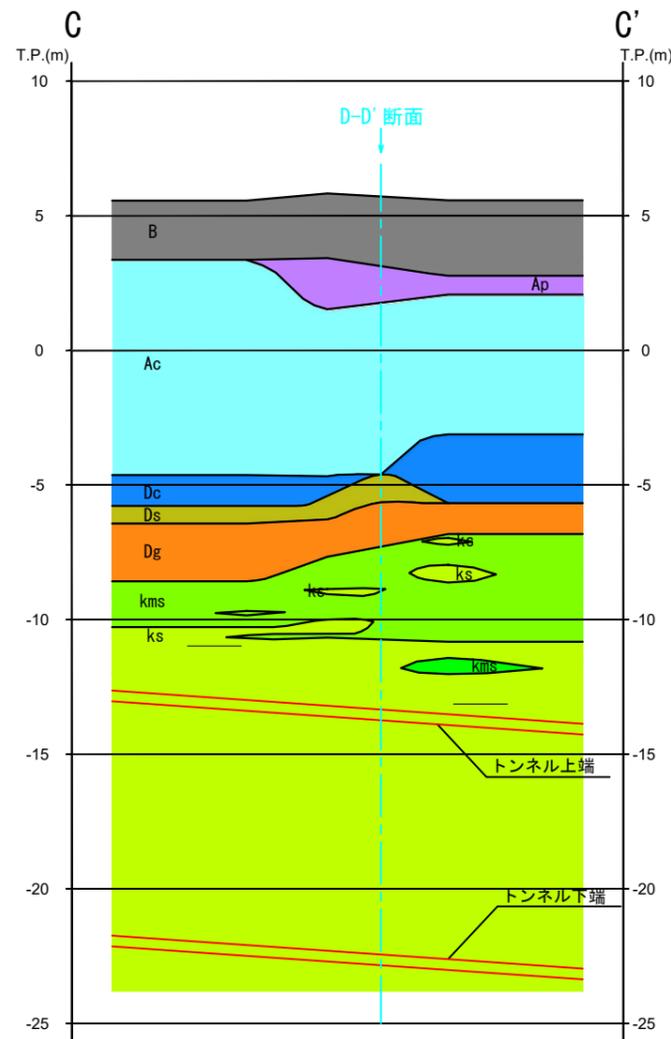


地層・岩体区分凡例

時代	地層名	土質名	記号		
現世	盛土層	混合土	B		
		粘性土(有機質土)	Ap		
完新世	沖積層	砂質土	As1		
		粘性土	Ac1		
		礫質土	Ag1		
		粘性土	Ac2		
		砂質土	As2		
		礫質土	Ag2		
		後期	関東ローム層	粘性土	Lm
中期	段丘堆積層	礫質土	Dg		
		粘性土	Dc		
更新世	相模層群	砂質土	Ds		
		前期	上総層群	砂層	Ks
				砂層優先の砂泥互層	Kms
		泥岩		Km	
		泥岩優先の砂泥互層		Ksm	
		礫質土		Kg	
		火砕質凝灰岩		Kt1	
		Kt2			

6月30日陥没箇所(5km257m)
陥没前

推定地質縦断面図 H=1/500, V=1/250



推定地質横断面図 S=1/500

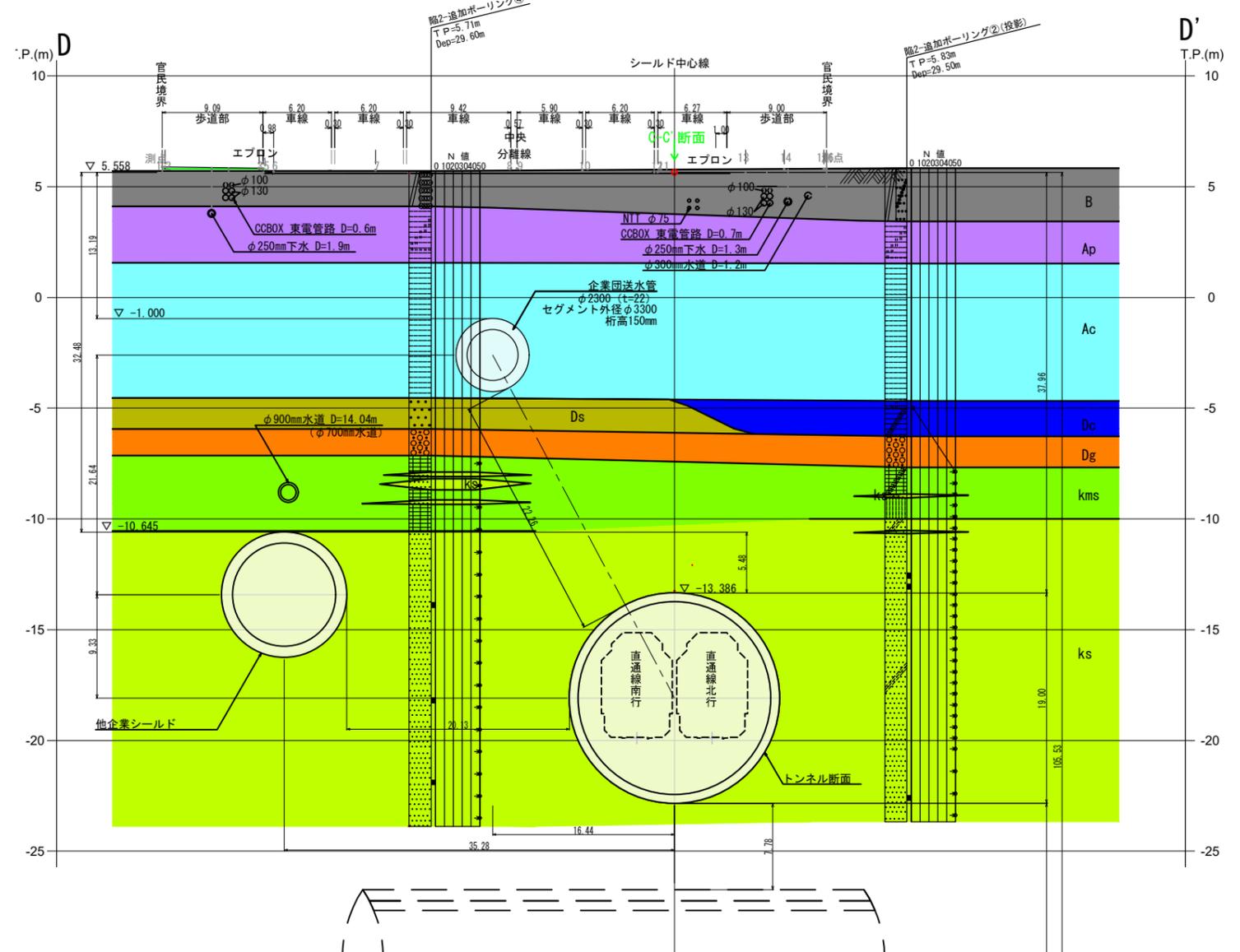
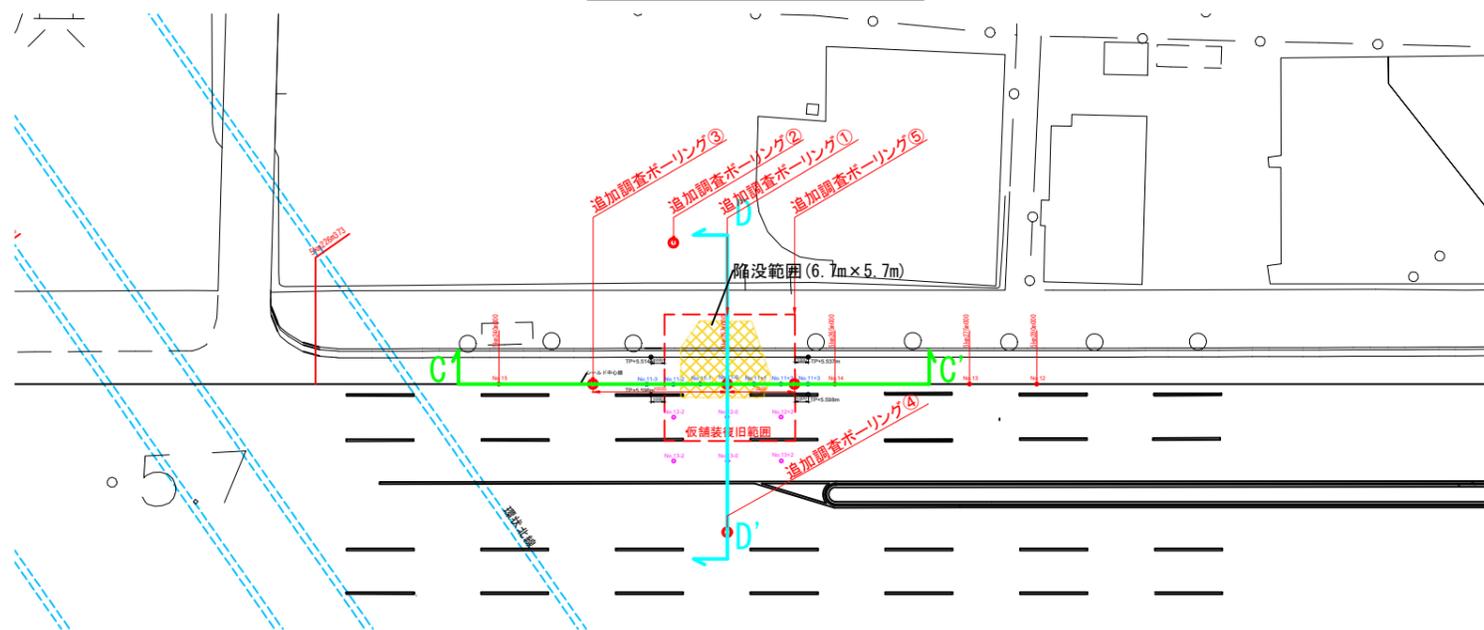


図3-5 追加地質調査による想定地質図(2回目陥没箇所:陥没前)

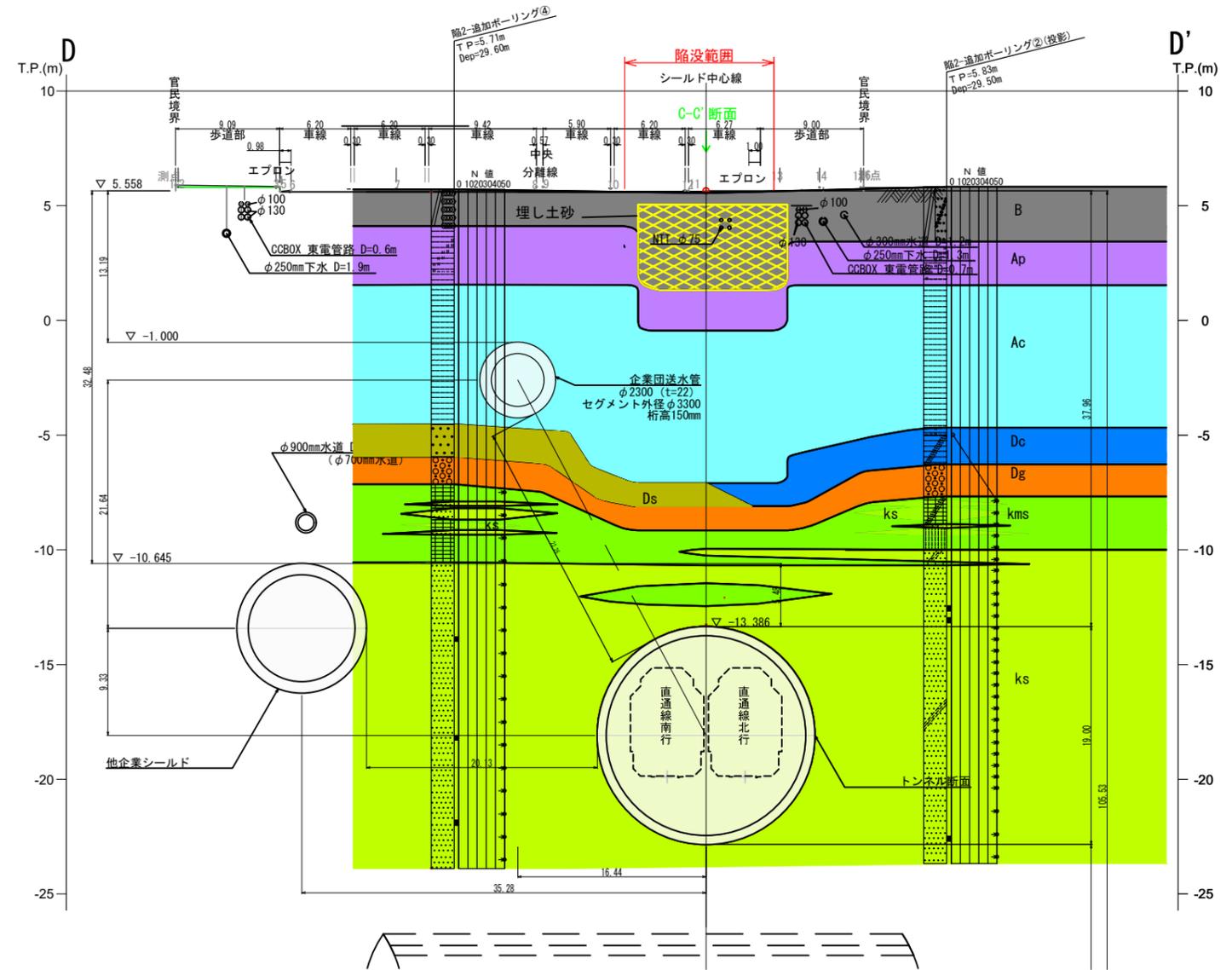
追加調査ボーリング位置図 S=1/500



地層・岩体区分凡例

時代	地層名	土質名	記号
現世	盛土層	混合土	B
完新世	沖積層	粘性土(有機質土)	Ap
		砂質土	As1
		粘性土	Ac1
		礫質土	Ag1
		粘性土	Ac2
		砂質土	As2
		礫質土	Ag2
後期	関東ローム層	粘性土	Lm
中期	相模層群	礫質土	Dg
		粘性土	Dc
更新世	上総層群	砂層	Ks
		砂層優先の砂泥互層	Kms
		泥岩	Km
		泥岩優先の砂泥互層	Ksm
		礫質土	Kg
		火砕質凝灰岩	Kt1
		火砕質凝灰岩	Kt2

推定地質横断面図 S=1/500



推定地質縦断面図 H=1/500、V=1/250

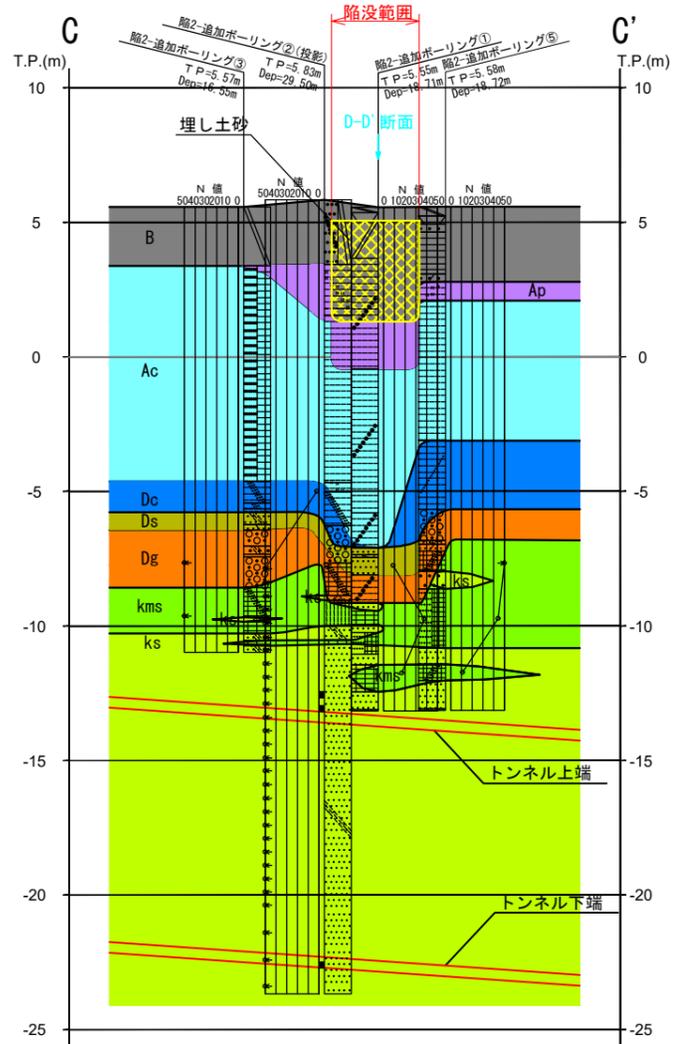


図3-6 追加地質調査による想定地質図(2回目陥没箇所:陥没後)

※ 以降に示す掘削データに合わせて新横浜方を右側向きに表示する。

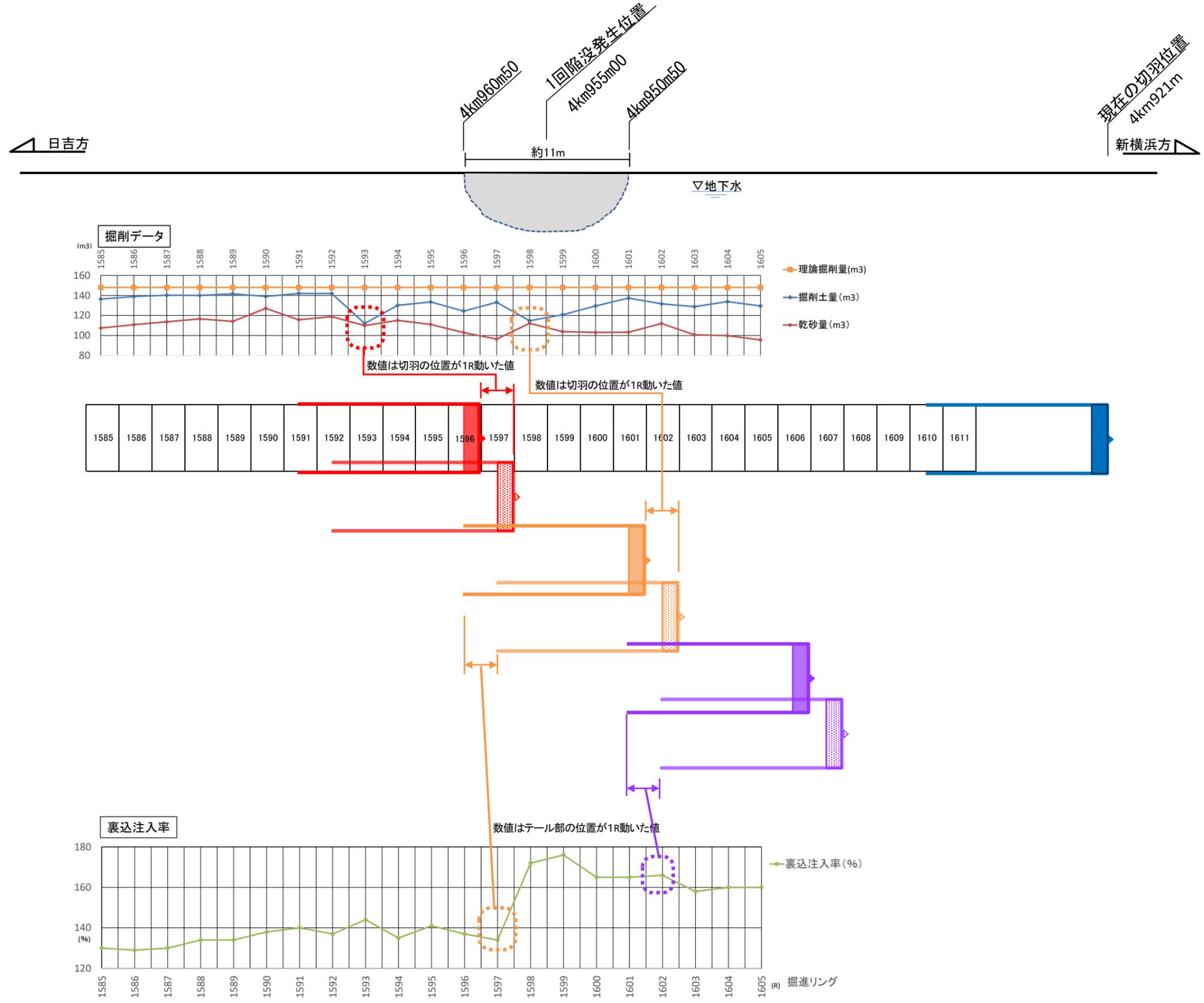


図4-1 1回目陥没発生位置 関係図

※ 以降に示す掘削データに合わせて新横浜方を右側向きに表示する。

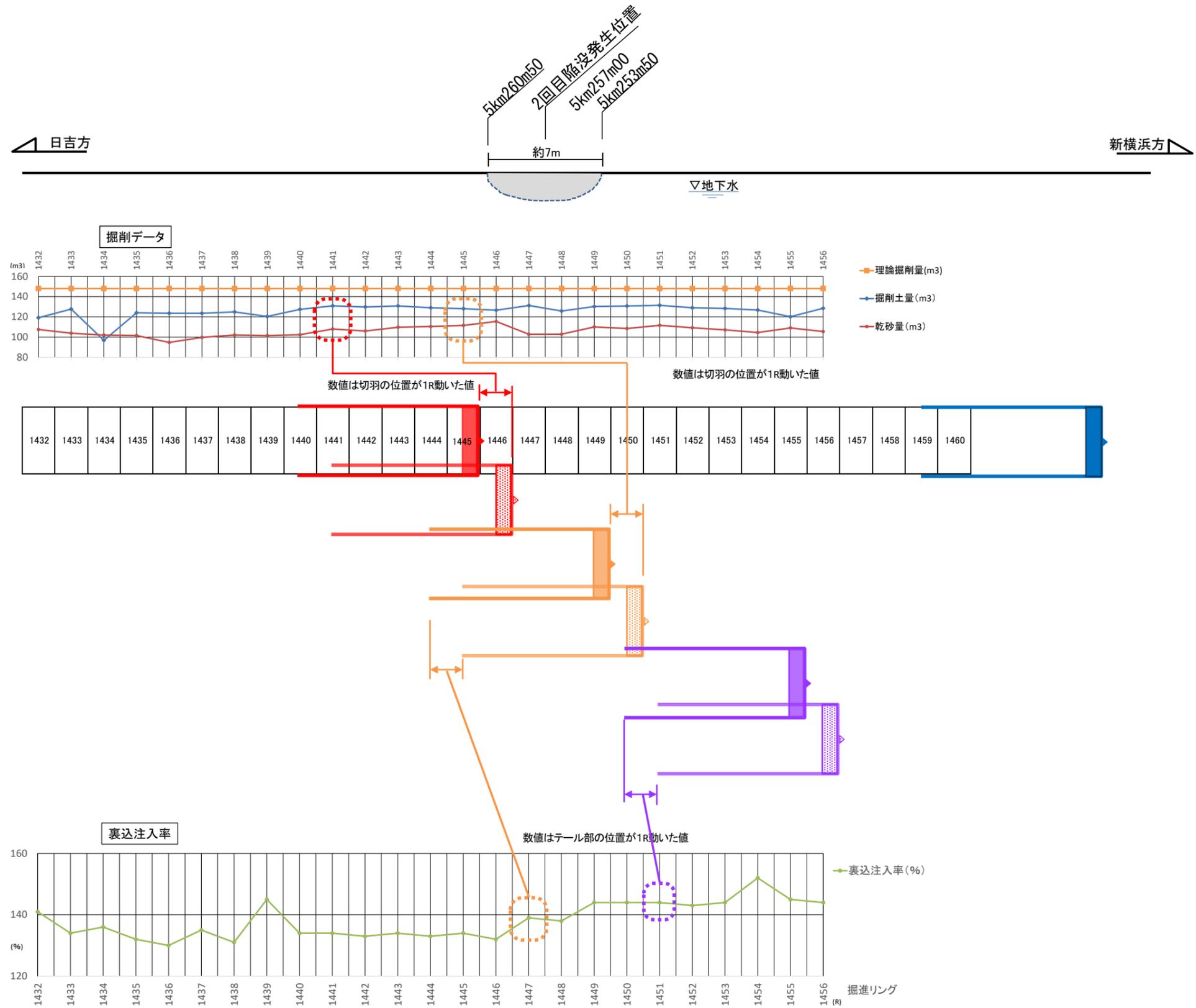
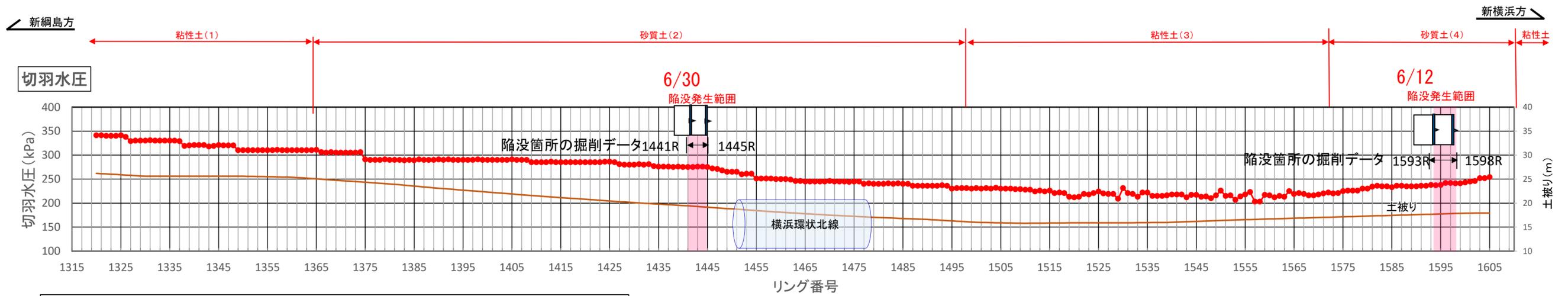


図4-2 2回目陥没発生位置 関係図

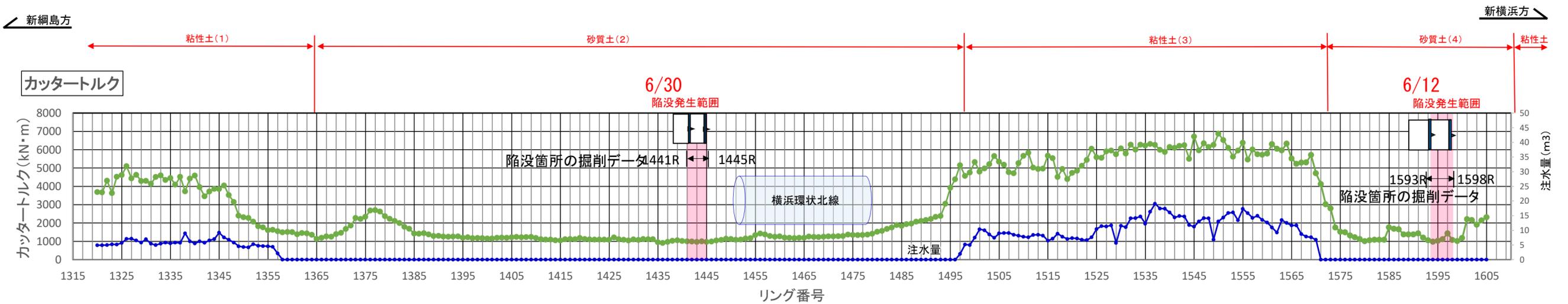


管理値: [シールド機停止時の隔壁内水圧] + [予備圧(40kPa)] ± [変動圧(10kPa)]

- ・(線形)粘性土(1)区間～砂質土(2)区間は+3.5%の上り勾配で、砂質土(2)区間で横浜環状北線の上越して勾配変化して-1.5%の下り勾配となる。
- ・(土被り)粘性土(1)区間 1320R:26.2m → 粘性土(3)区間 1504R:15.9m → 砂質土(4)区間 1605R:18.1m
- ・(切羽水圧)粘性土(1)区間～粘性土(3)区間にかけて土被りの減少に伴って、切羽水圧が降下
粘性土(3)区間～砂質土(4)区間にかけて土被りの増加に伴って、切羽水圧が上昇

※ 切羽泥水圧管理値は、シールド機停止時の切羽泥水圧に30～50kPa(予備圧±変動圧)を加えた値とする。

図4-3 掘進データ (リング平均値) (切羽水圧)



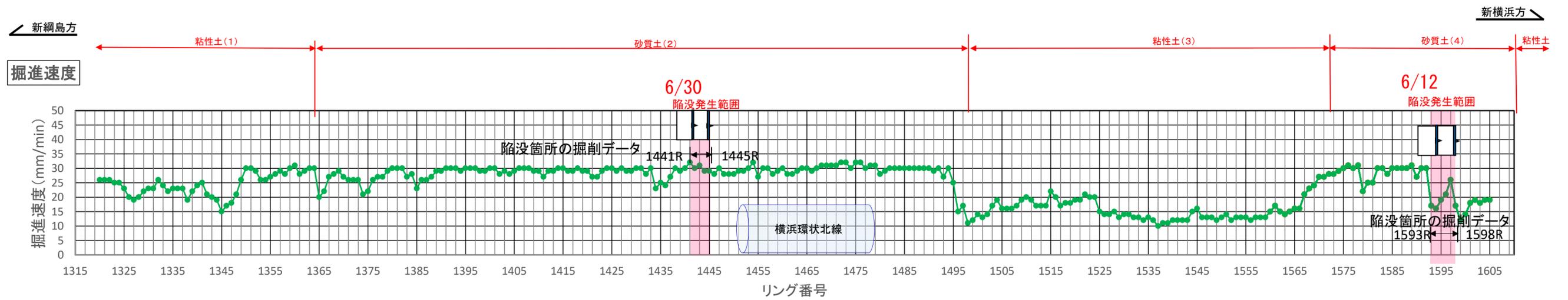
管理値: 7,000kN・m以下 (=最大11,780kN・m × 60%)

- ・粘性土(1)区間は、カッタートルク4,000kN・m～5,000kN・mから、砂質土(2)区間に近づくとカッタートルク1,000kN・mに低下
- ・砂質土(2)区間は、横浜環状北線の上越しまでカッタートルク1,000kN・m～1,500kN・mで推移し、粘性土(3)区間に近づくと急激にカッタートルク5,000kN・mまで上昇
- ・粘性土(3)区間は、カッタートルク5,000kN・m～7,000kN・mの高い値で推移
- ・砂質土(4)区間に入ると、カッタートルク1,000kN・mまで急激に低下

※ 装備トルクは11,780kN・m

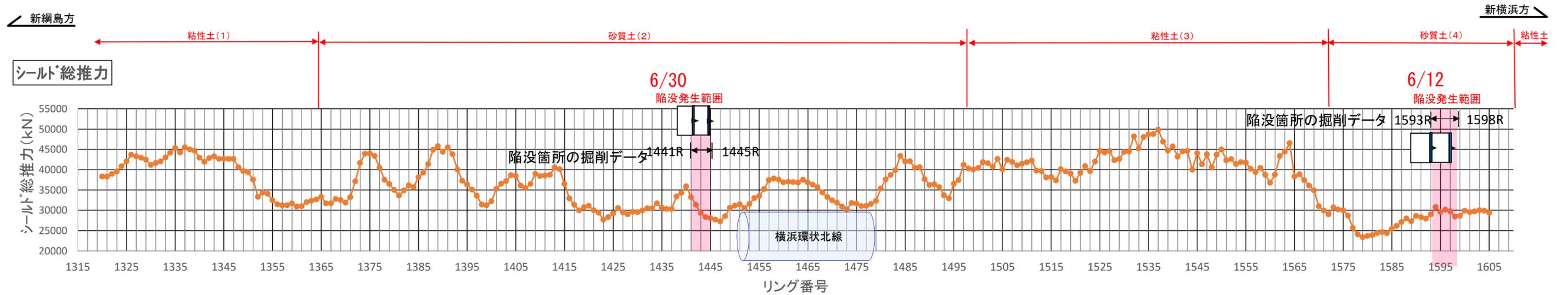
粘性土区間では、チャンバー内の粘性土固着防止、カッタートルク低減、粘性土と隔壁の摩擦熱によるシール材損傷防止のため、隔壁内に注水を実施

図4-4 掘進データ (リング平均値) (カッタートルク)



- ・粘性土(1)区間は、掘進速度15mm/min~30mm/minで不安定な状態
- ・砂質土(2)区間は、1390R~1430Rは28mm/minで安定するが、横浜環状北線の上越し手前の1434R~1439Rで掘進速度23mm/minに低下、区間全体としてはおよそ掘進速度30mm/min
- ・粘性土(3)区間に入る1495Rから掘進速度が急激に低下し、掘進速度10mm/min~20mm/minになる。1525Rから1565Rまで掘進速度10mm/min~15mm/minになる。1565R以降は、砂質土(4)区間に近づくにつれ、掘進速度30mm/minまで上昇
- ・砂質土(4)区間に入ると、掘進速度30mm/minで安定するが、1593Rから1600Rにかけて掘進速度10mm/minから30mm/minとなる。これは不規則砂層が大割れしてチャンバーからの取り込み時や排泥ポンプ前での閉塞などが頻発したため大割れを防ぐため掘進速度を低下させて切り込み深さを少なくして掘進したため。

図4-5 掘進データ（リング平均値）（掘進速度）

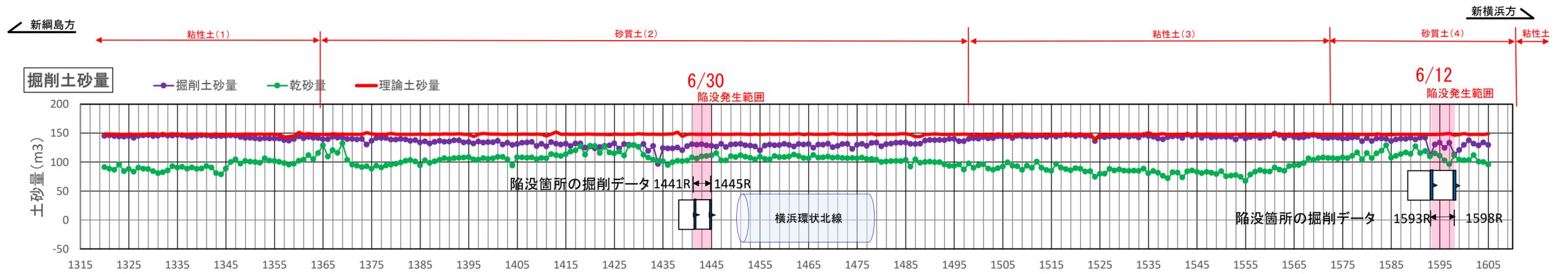


管理値： 67,000kN (=最大84,000kN(=3,000kN/本×28本)×80%)

- ・粘性土(1)区間は、シールド総推力 30,000~45,000kNで不安定であるが、1350Rを過ぎるとシールド総推力 30,000kNで安定している
- ・砂質土(2)区間は、シールド総推力 30,000~45,000kNで不安定であり、横浜環状北線の上越し前後でシールド総推力が低下している
- ・粘性土(3)区間に入ると、シールド総推力 40,000kNで高い値をとり、1530R~1537Rでシールド総推力 45,000kN~50,000kNの高い値となる
- ・砂質土(4)区間に近づく1565Rからシールド総推力は24,000kNまで急激に低下し、1593Rにかけてシールド総推力 30,000kNまで緩やかに上昇

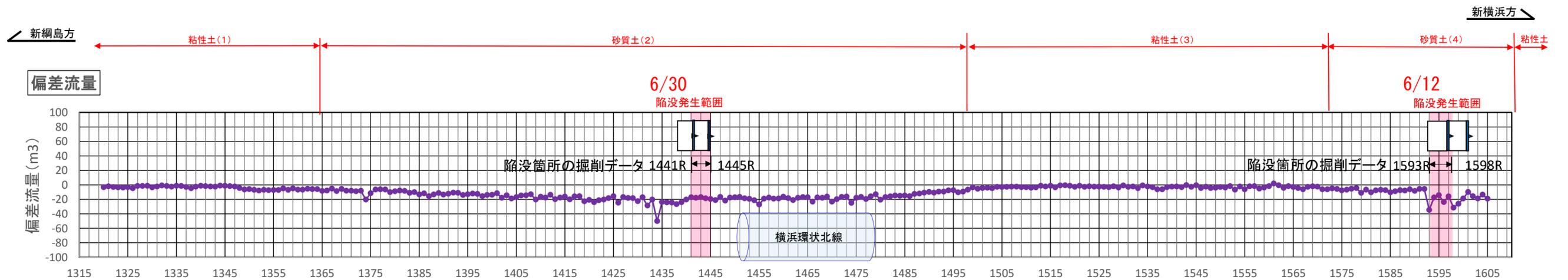
※ 装備推力は、84,000kN

図4-6 掘進データ（リング平均値）（シールド総推力）



- ・粘性土(1)区間では、理論掘削土量(断面積×掘進長)と実掘削土量(排泥流量－送泥流量の積算)は、ほぼ等しく推移する。
 - ・砂質土(2)区間では、理論掘削土量に比べて、実掘削土量が15%程度少なく、泥水の砂層への浸透による泥膜の形成(逸泥)が発生した。
 - ・粘性土(3)区間に入ると、理論掘削土量(断面積×掘進長)と実掘削土量(排泥流量－送泥流量の積算)は、ほぼ等しく推移する。
 - ・砂質土(4)区間では、理論土量に比べて実掘削土量は少なく泥水の砂層への浸透による泥膜の形成(逸泥)が発生した。
- この時の砂層の割合は、ほぼ100%(乾砂量/掘削土量)であった。
 なお、今回砂岩の閉塞に伴う撤去による排泥のロスは考えない。

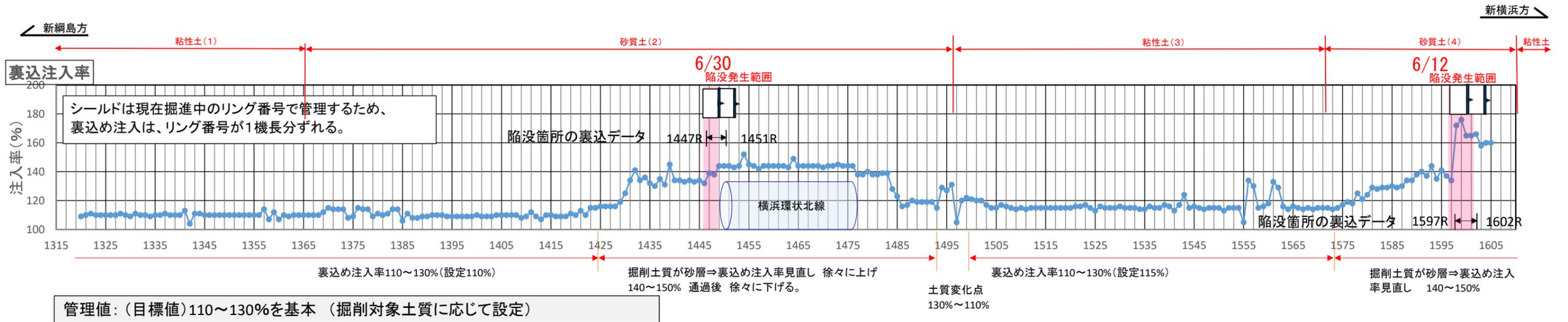
図4-7 掘進データ(リング平均値)(掘削土砂量)



管理値: 偏差流量積算(掘削土量－理論土量147.8m³)
 管理目標値 0%～-5%
 警戒値 5%～-10%

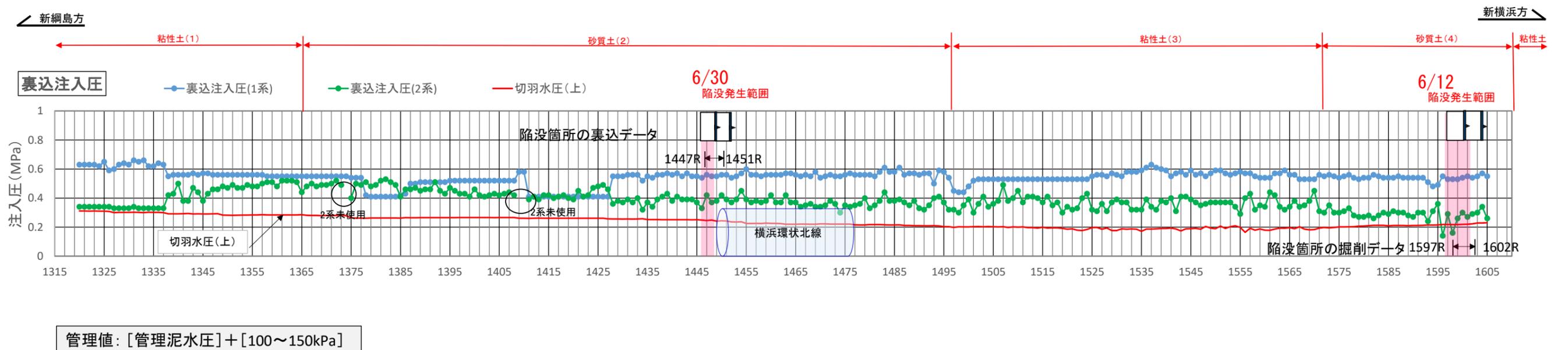
- ・粘性土(1)区間では、偏差流量が管理目標値(0%～-5%)で推移する。
- ・砂質土(2)区間では、偏差流量が常にマイナス(-)で、泥水の砂層への浸透による泥膜の形成(逸泥)は、1434Rで33%、その他で13%となった。
- ・粘性土(3)区間に入ると、偏差流量が管理目標値(0%～-5%)に改善し、理論掘削土量(断面積×掘進長)と実掘削土量(排泥流量－送泥流量の積算)は、ほぼ等しく推移する。
- ・砂質土(4)区間では、理論土量に比べて実掘削土量は少なく泥水の砂層への浸透による泥膜の形成(逸泥)が発生し、1593Rで23%、1598Rで21%となった。

図4-8 掘進データ(リング平均値)(偏差流量)



- 粘性土(1)区間では、110%の注入率で設定した。
- 砂質土(2)区間では、1425R以降で掘削断面が砂層主体になったため、注入率の目標値を見直し、横浜環状北線の上越し区間は、注入率を140~150%とした。
- 粘性土(3)区間では、115%の注入率で推移している。1496Rおよび1555~1560Rでは、粘性土と砂質土の土質変化点に近いことから、注入率を上げて状況を確認した。
- 砂質土(4)区間では、1580Rから掘削断面が砂層主体になったため、130~140%の注入率で管理した。1598Rは地上の路面計測で-2mmの結果が継続したこと、地盤変状とらえて注入率を上げる判断をした。

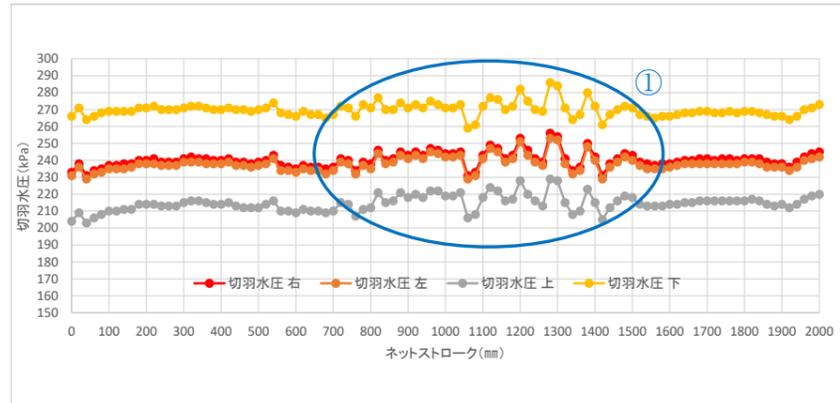
図4-9 掘進データ (リング平均値) (裏込め注入率)



- 裏込め注入は、左右4か所の注入孔から2か所を選択し、2系統の注入ポンプで注入
 圧力は、シールド機作業デッキ上の配管に設置した圧力計により管理。
 1系(右)と2系(左)で圧力が発生しているため、安全側となる低い値を示す2系で圧力管理を実施
- 1596R及び1598Rの裏込め注入圧(2系)が低いのは、掘進速度が上がらず、2系ポンプを停止しているため
 1598R 地上の路面計測にて、-2mmが継続して続いたことから、注入率を上げる判断をした。

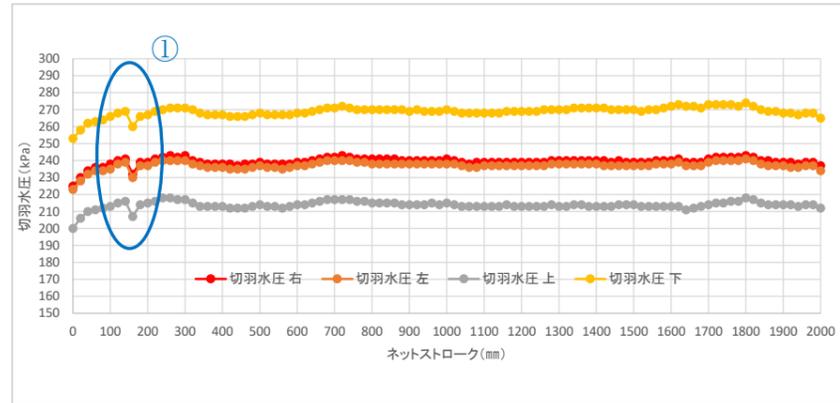
図4-10 掘進データ (リング平均値) (裏込め注入圧)

1593R



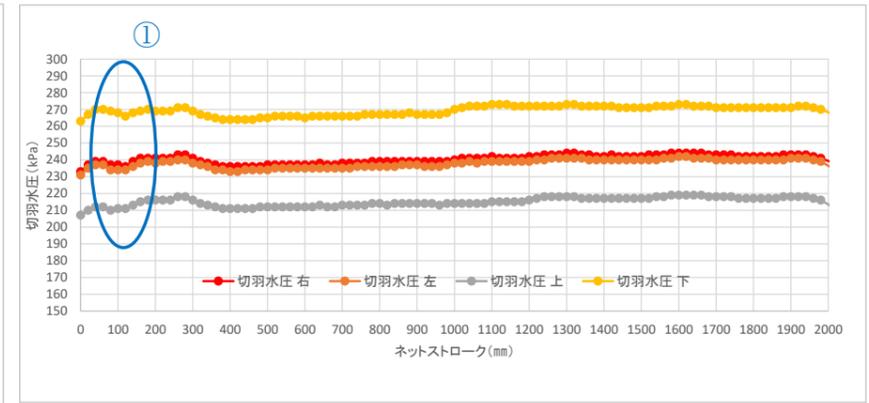
- ①砂の塊による配管内閉塞に伴い、シールド機の掘進、停止の繰り返しがある
1050mmから1400mmまでの間は、配管内閉塞⇒シールド機停止⇒閉塞除去⇒シールド掘進を繰り返す。
シールド機の停止に伴い、地下水圧付近まで低下(再発進)、配管内の閉塞に伴い、切羽水圧の上昇が見られる。
- ②除去した砂塊の量:推定1.8m³
- ③掘進時間計:1126min
- ④閉塞及び解除時でも切羽水圧の顕著な低下は見られない
⇒最低でも230kPa

1594R



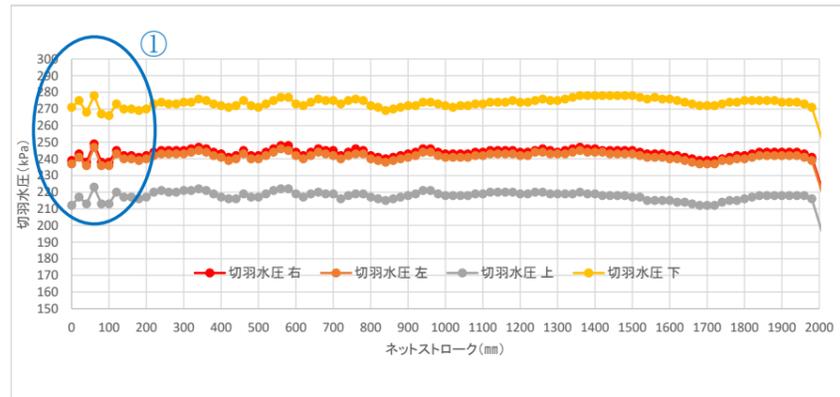
- ①砂の塊による配管内閉塞に伴い、シールド機の停止有り
150mm付近で配管内閉塞⇒シールド機停止⇒閉塞除去⇒シールド掘進を実施
- ②掘進時間:130min
- ③閉塞及び解除時でも切羽水圧の顕著な低下は見られない
⇒最低でも230kPa

1595R



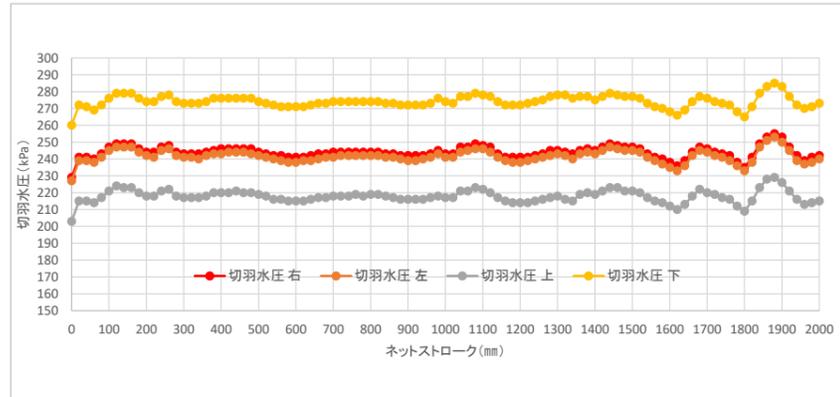
- ①砂の塊による配管内閉塞に伴い、シールド機の停止有り
100mm付近で配管内閉塞⇒シールド機停止⇒閉塞除去⇒シールド掘進を実施
- ②掘進時間:112min
- ③閉塞及び解除時でも切羽水圧の顕著な低下は見られない
⇒最低でも234kPa

1596R



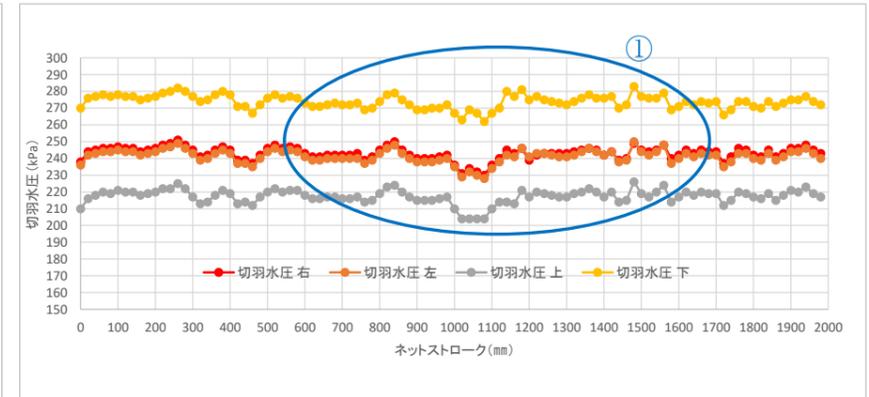
- ①砂の塊による配管内の閉塞に伴い、シールド機の掘進・停止の繰り返しがある
掘進開始から200mmまでの間は配管内閉塞⇒シールド機停止⇒閉塞除去⇒シールド掘進を繰り返す
- ②配管閉塞2回
- ③掘進時間:210min
- ④除去した砂の塊の量は数個
- ⑤閉塞および解除時まで切羽水圧の顕著な低下は見られない
⇒最低でも236kPa

1597R



- ①砂の塊により配管内が閉塞傾向になるが、閉塞までに至らない
掘進開始から時々、閉塞傾向⇒回復⇒閉塞傾向⇒回復を繰り返す時があるが、閉塞除去作業まで至らない
- ②掘進時間:102min

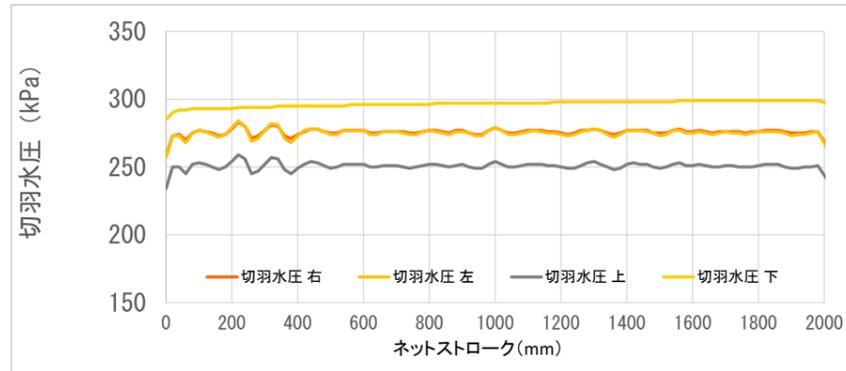
1598R



- ①砂の塊による配管内閉塞に伴い、シールド機の掘進・停止の繰り返しがある
1000mmから1160mmまでの間は配管内閉塞⇒シールド機停止⇒閉塞除去⇒シールド掘進を繰り返す
- ②配管閉塞3回
- ③掘進時間計:1543min
- ④除去した砂塊の量:推定2.7m³
- ⑤閉塞および解除時まで切羽水圧の顕著な低下は見られない
⇒最低でも228kPa

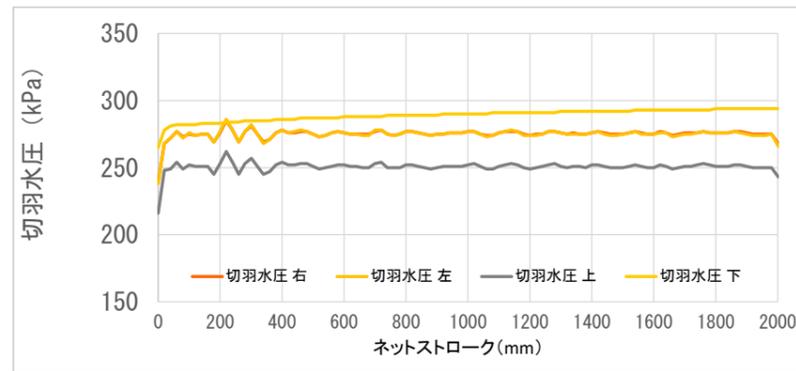
図4-11 掘進データ (ストローク) (切羽水圧1593R~1598R)

1441R



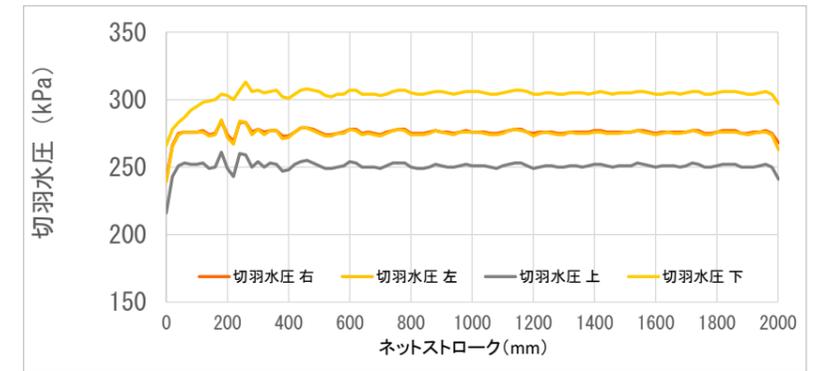
【管理水圧】 停止時水圧+予備圧 (40kPa) ±変動圧 (10kPa)
 【掘進経緯】
 ・上下左右のバランスを保ちながら掘進 (変動幅±6kPa)
 ・掘進中は左右中央値で275kPaで、おおむね安定

1442R



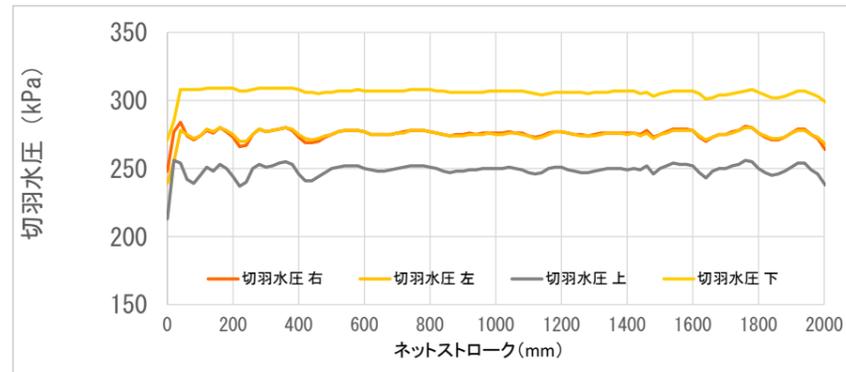
【管理水圧】 停止時水圧+予備圧 (40kPa) ±変動圧 (10kPa)
 【掘進経緯】
 ・上下左右のバランスを保ちながら掘進 (変動幅±5kPa)
 ・掘進中は左右中央値で277kPaで、おおむね安定

1443R



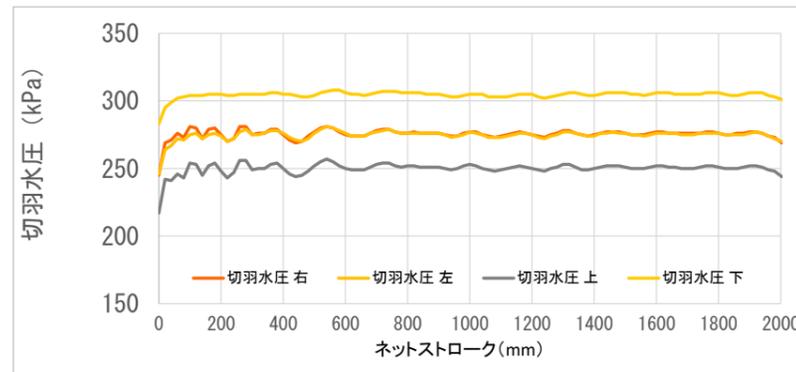
【管理水圧】 停止時水圧+予備圧 (40kPa) ±変動圧 (10kPa)
 【掘進経緯】
 ・上下左右のバランスを保ちながら掘進 (変動幅±8kPa)
 ・掘進中は左右中央値で275kPaで、おおむね安定

1444R



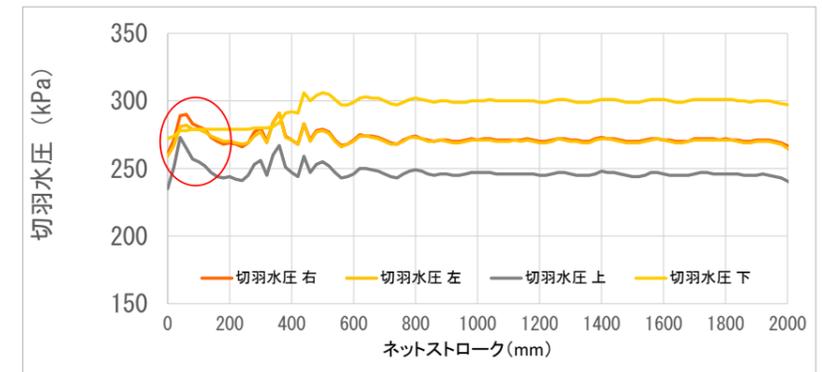
【管理水圧】 停止時水圧+予備圧 (40kPa) ±変動圧 (10kPa)
 【掘進経緯】
 ・上下左右のバランスを保ちながら掘進 (変動幅±4kPa)
 ・掘進中は左右中央値で276kPaで、おおむね安定

1445R



【管理水圧】 停止時水圧+予備圧 (40kPa) ±変動圧 (10kPa)
 【掘進経緯】
 ・上下左右のバランスを保ちながら掘進 (変動幅±6kPa)
 ・掘進中は左右中央値で276kPaで、おおむね安定

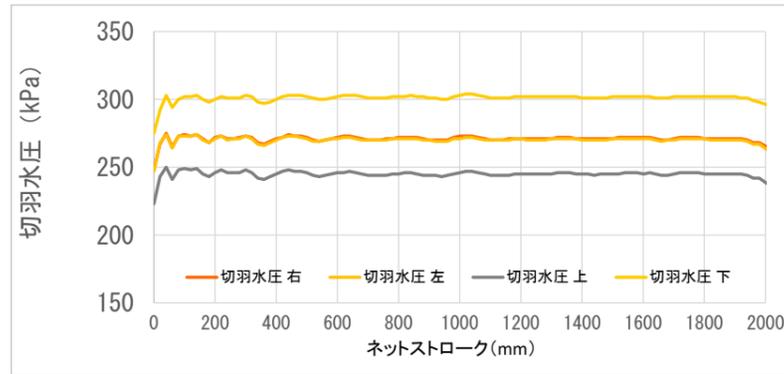
1446R



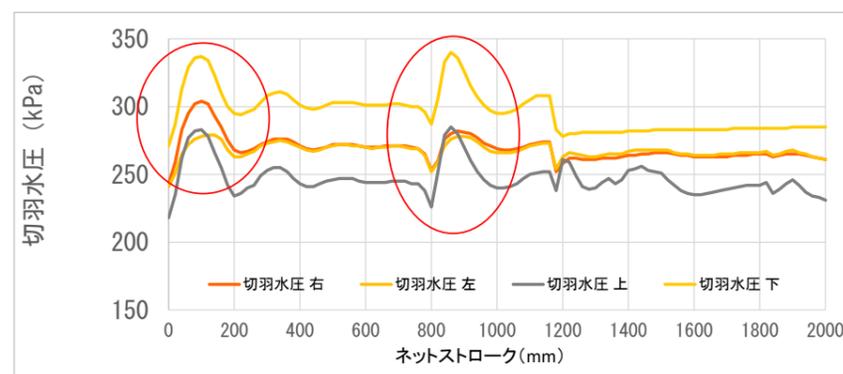
【管理水圧】 停止時水圧+予備圧 (40kPa) ±変動圧 (10kPa)
 【掘進経緯】
 ・掘進初期～ストローク400mmまでは配管閉塞傾向で、
 圧力変動 (±10kPa) を発生
 ・配管閉塞に伴い、チャンバー内の硬質砂層の塊が障害となり、
 正常に計測が出来ていない
 ・ストローク600mmから安定し、上下左右のバランスを保ち
 ながら掘進 (変動幅±5kPa)
 ・掘進中は左右中央値で270kPaで、おおむね安定

図4-12 掘進データ (ストローク) (切羽水圧1441R~1446R)

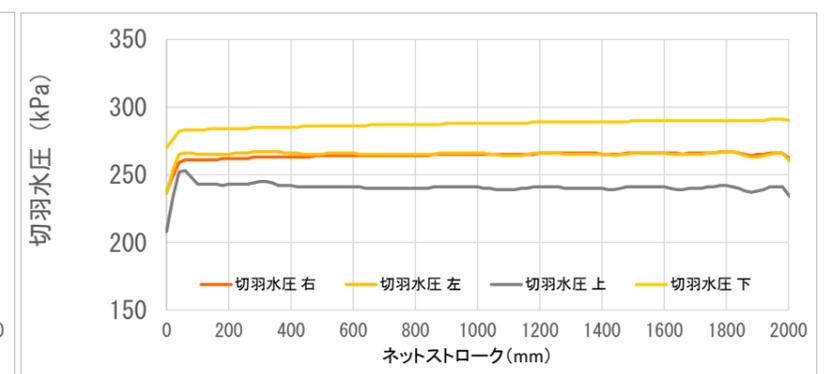
1447R



1448R



1449R



- 【管理水圧】停止時水圧+予備圧 (40kPa) ±変動圧 (10kPa)
 【掘進経緯】
- ・上下左右のバランスを保ちながら掘進 (変動幅±4kPa)
 - ・掘進中は左右中央値で270kPaで、おおむね安定

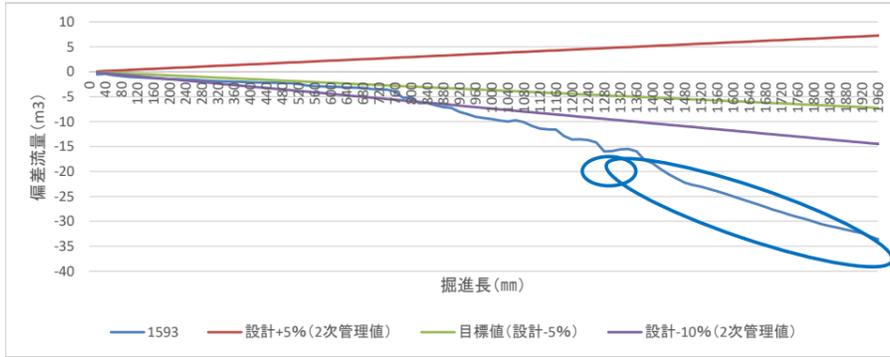
- 【管理水圧】停止時水圧+予備圧 (40kPa) ±変動圧 (10kPa)
 【掘進経緯】
- ・掘進初期～ストローク200mmまでは配管閉塞傾向で、圧力上昇 (+30kPa) を発生
 - ・ストローク400mmから安定し、上下左右のバランスを保ちながら掘進 (変動幅±3kPa)
 - ・ストローク800mmで泥水設備トラブルにより掘進停止 (9時間) 掘進再開時は、上記同様の圧力上昇 (+40kPa)
 - ・その後、切羽水圧 (上) がやや不安定で圧力変動 (変動幅±10kPa)
 ※ 管理変動圧幅には収まっている
 - ・掘進中は左右中央値で270kPa

- 【管理水圧】停止時水圧+予備圧 (40kPa) ±変動圧 (10kPa)
 【掘進経緯】
- ・上下左右のバランスを保ちながら掘進 (変動幅±2kPa)
 - ・掘進中は左右中央値で266kPaで、おおむね安定

図4-13 掘進データ (ストローク) (切羽水圧1447R~1449R)

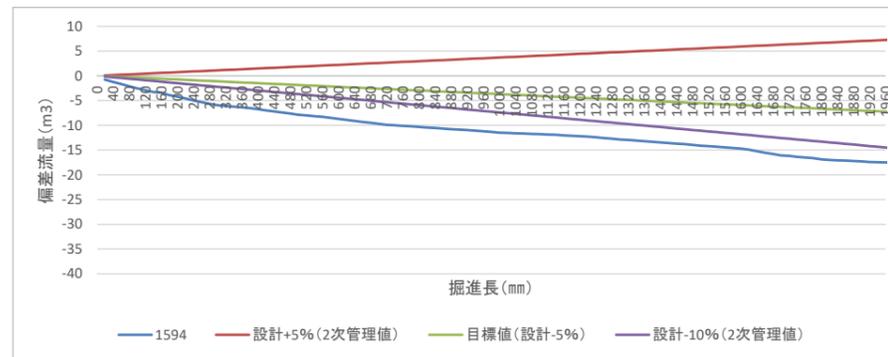
偏差流量

1593R



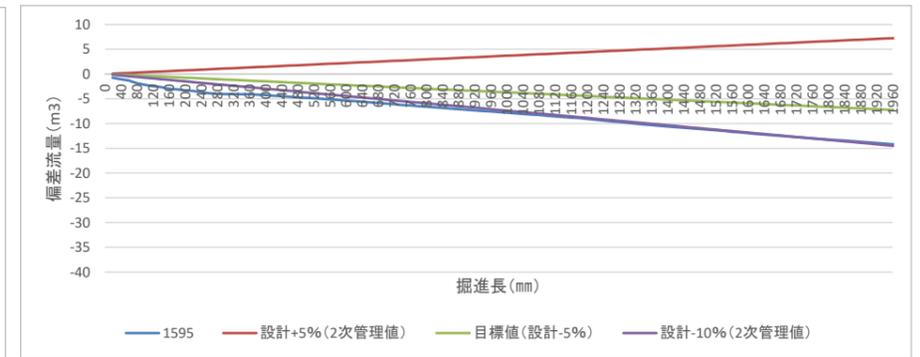
砂の塊による配管内閉塞に伴い、シールド機の掘進、停止の繰り返しが有る
 1050mmから1400mmまでの間は、配管内閉塞⇒シールド機停止⇒閉塞除去⇒シールド掘進を繰り返す
 偏差流量:-34.58m³(-23.4%)

1594R



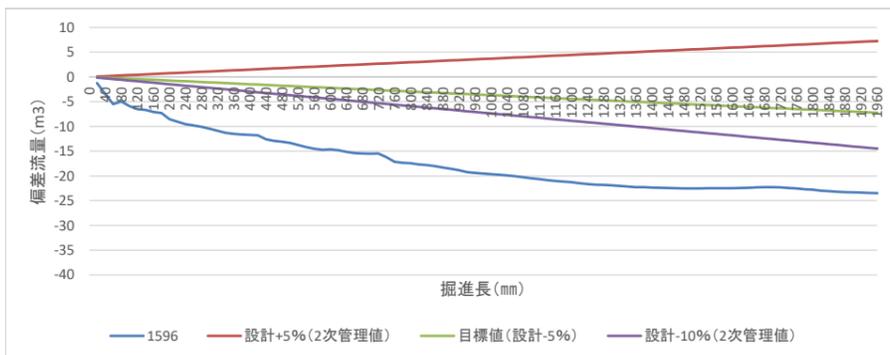
偏差流量:-17.6m³(-11.9%)

1595R



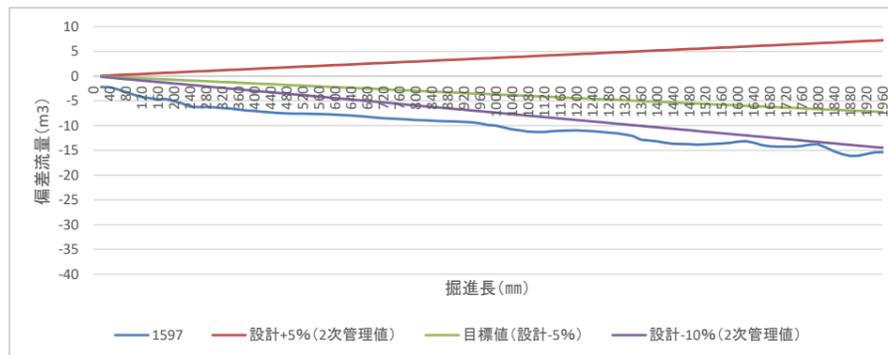
偏差流量:-14.41m³(-9.7%)

1596R



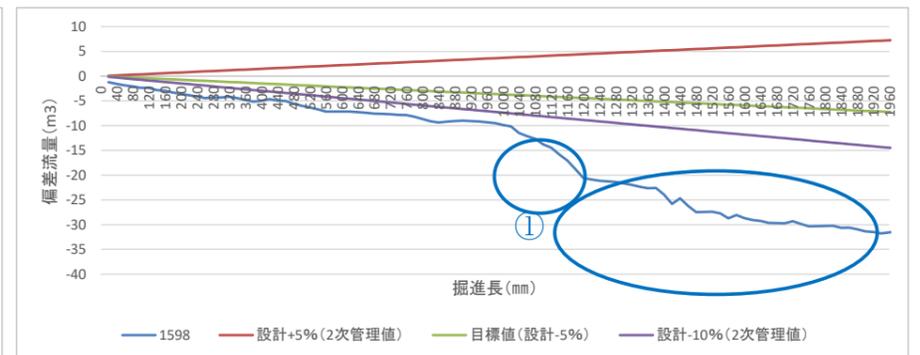
①砂の塊による配管内の閉塞に伴い、シールド機の掘進・停止の繰り返しが有る
 掘進開始から200mmまでの間は配管内閉塞⇒シールド機停止⇒閉塞除去⇒シールド掘進を繰り返す
 偏差流量:-23.67m³(-16%)

1597R



偏差流量:-15.91m³(-10.6%)

1598R



①砂の塊による配管内閉塞に伴い、シールド機の掘進・停止の繰り返しが有る
 1000mmから1160mmまでの間は配管内閉塞⇒シールド機停止⇒閉塞除去⇒シールド掘進を繰り返す
 偏差流量:-31.19m³(-21.1%)

図4-14 掘進データ（ストローク）（偏差流量1593R～1598R）

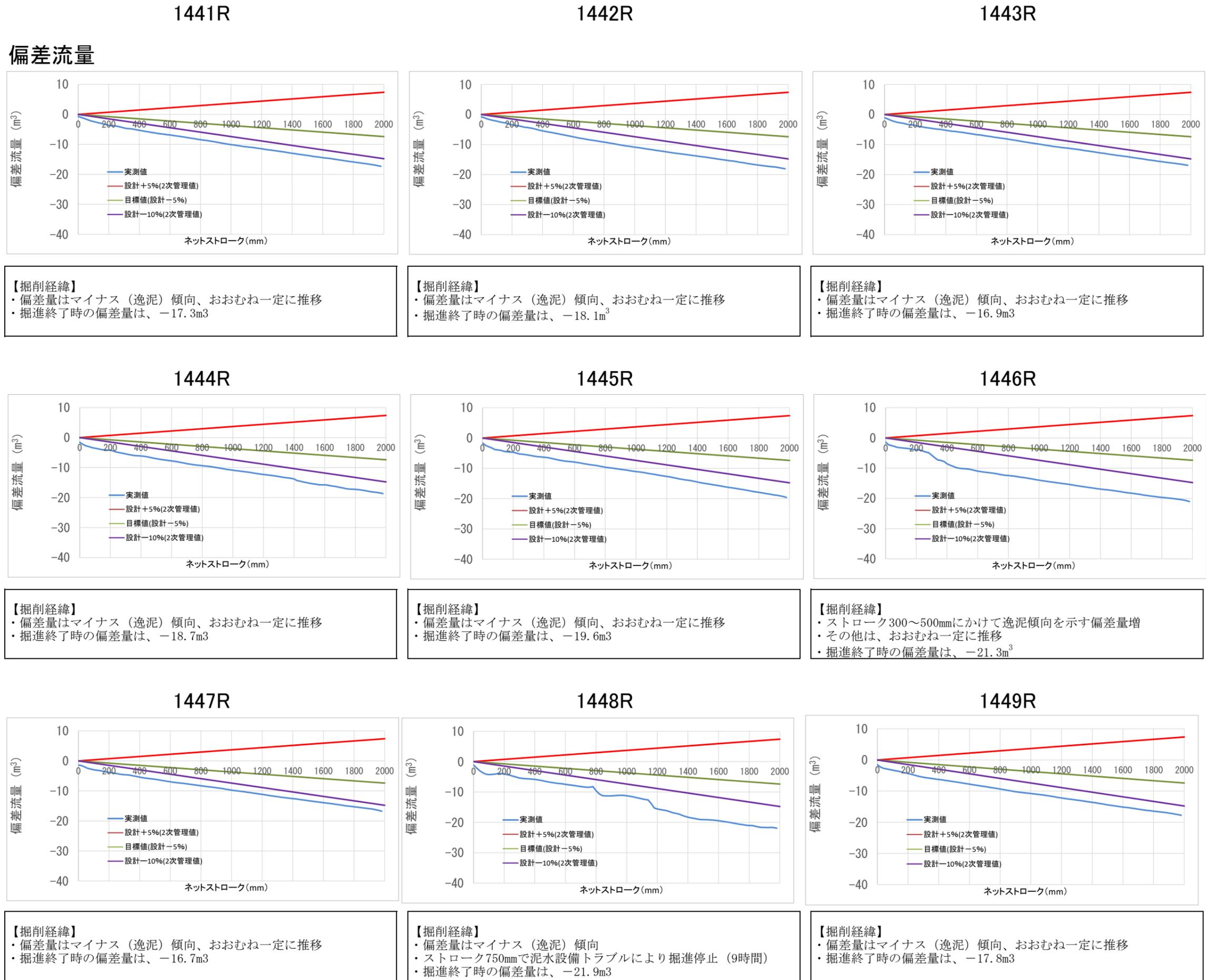
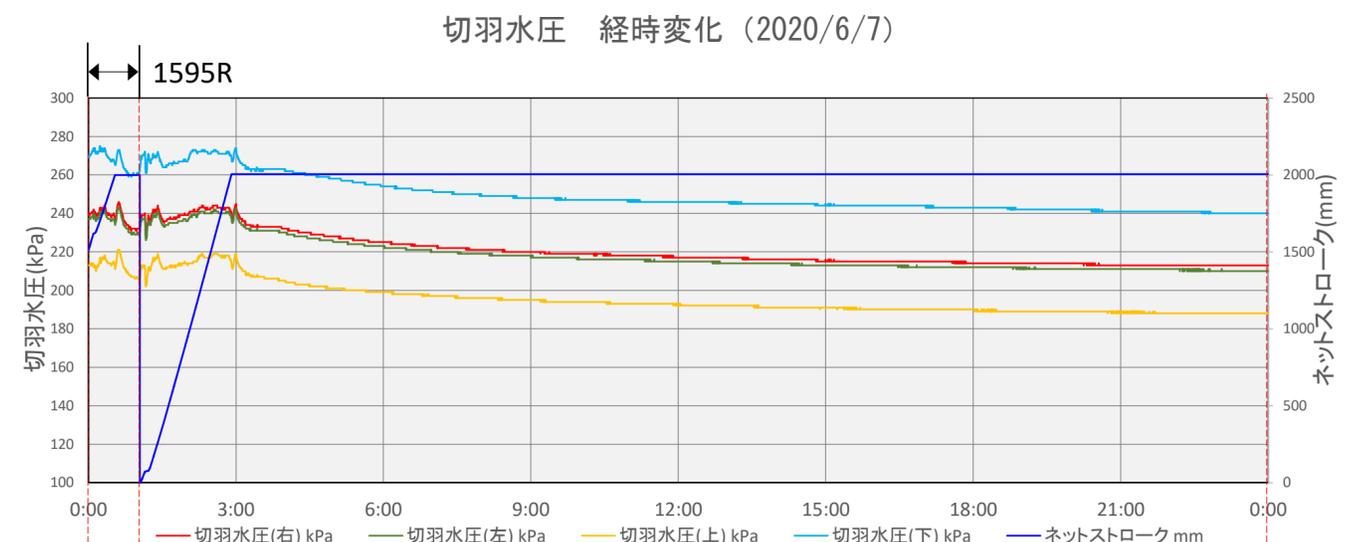
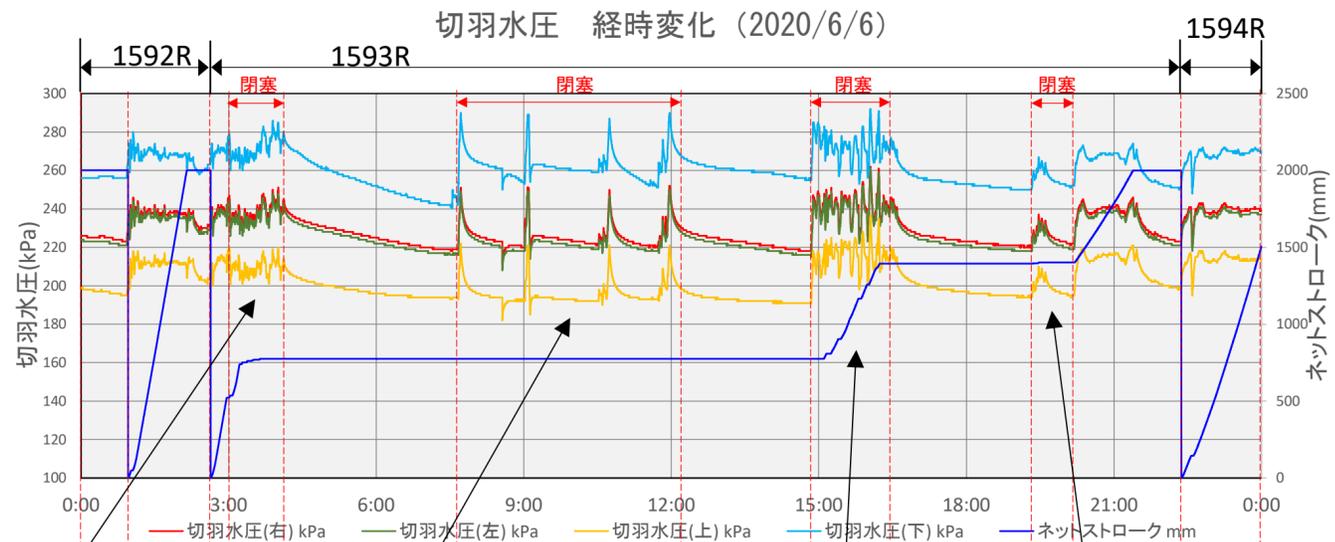


図4-15 掘進データ（ストローク）（偏差流量1441R～1449R）



流体輸送中に、排泥管側のP2ポンプの吸い込み圧力が低下
→3:00頃クラッシャー前の排泥管に砂の塊が引っ掛かっているため除去

配管を復旧して泥水循環後、掘進をしても、すぐに同様なことが生じる為、配管を切り離して除去を実施
→7:40 クラッシャー前排泥管の砂の塊を除去
→9:10 P2ポンプ吸い込み側の砂の塊を除去
→10:50 バルブセット(クラッシャーとPポンプの間)の砂の塊除去
→12:05 バルブセットの排泥管の砂の塊除去

時々閉塞現象が生じるが、1395mmSTまで掘進して終了

流体輸送中に、排泥側のP2ポンプとクラッシャーの吸い込み圧力が低下
→20:10 クラッシャー前の排泥管の砂の塊除去
→除去後、掘進を再開し、終了

6月7日 掘進停止状態:チャンパーに接続している送排泥管のバルブを閉めて停止
⇒切羽水圧は地下水圧と同等になり維持している。トンネル内には出水していないため、地下水圧より下がらない

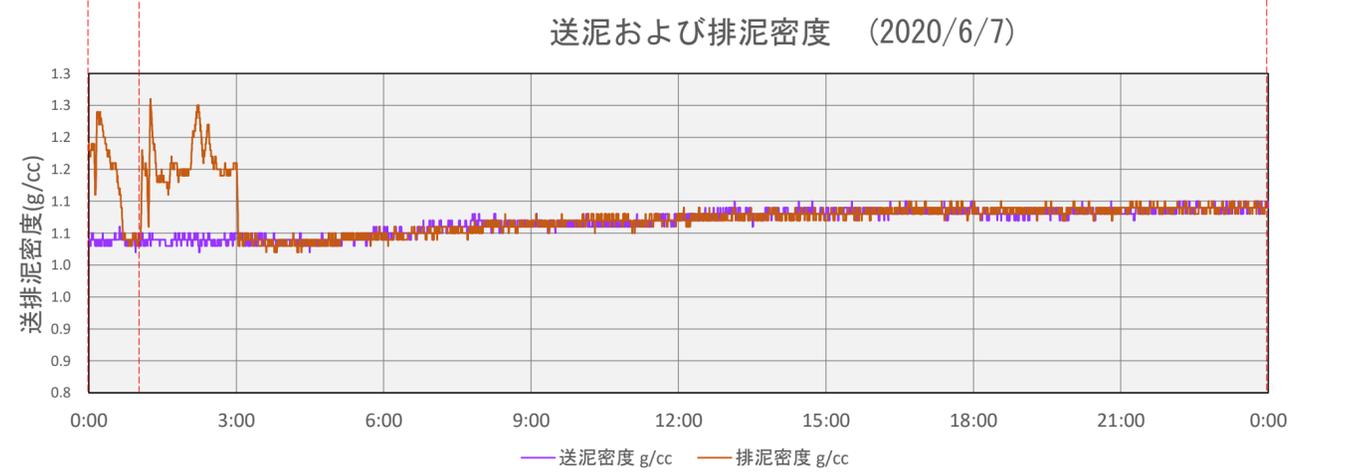
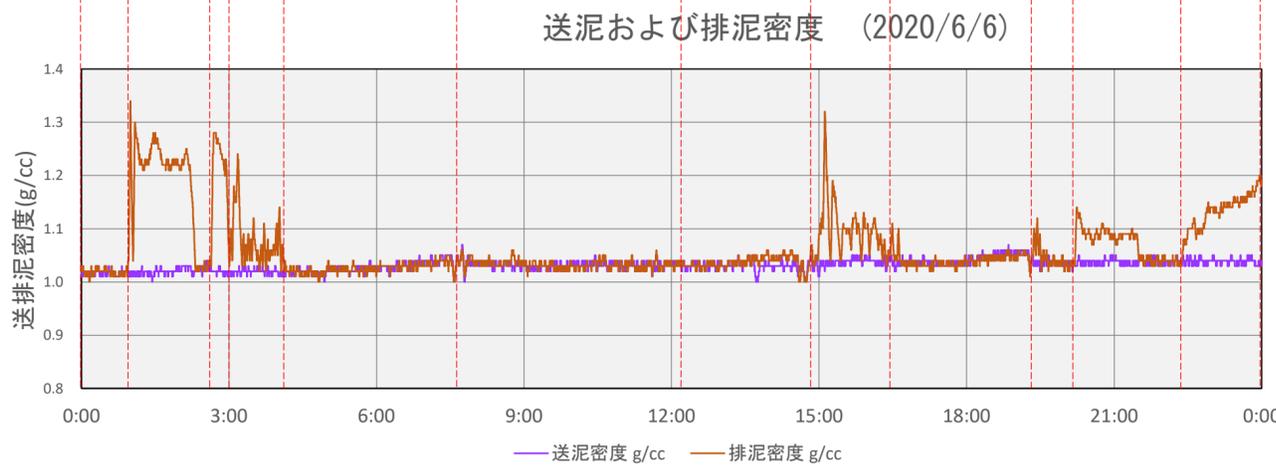
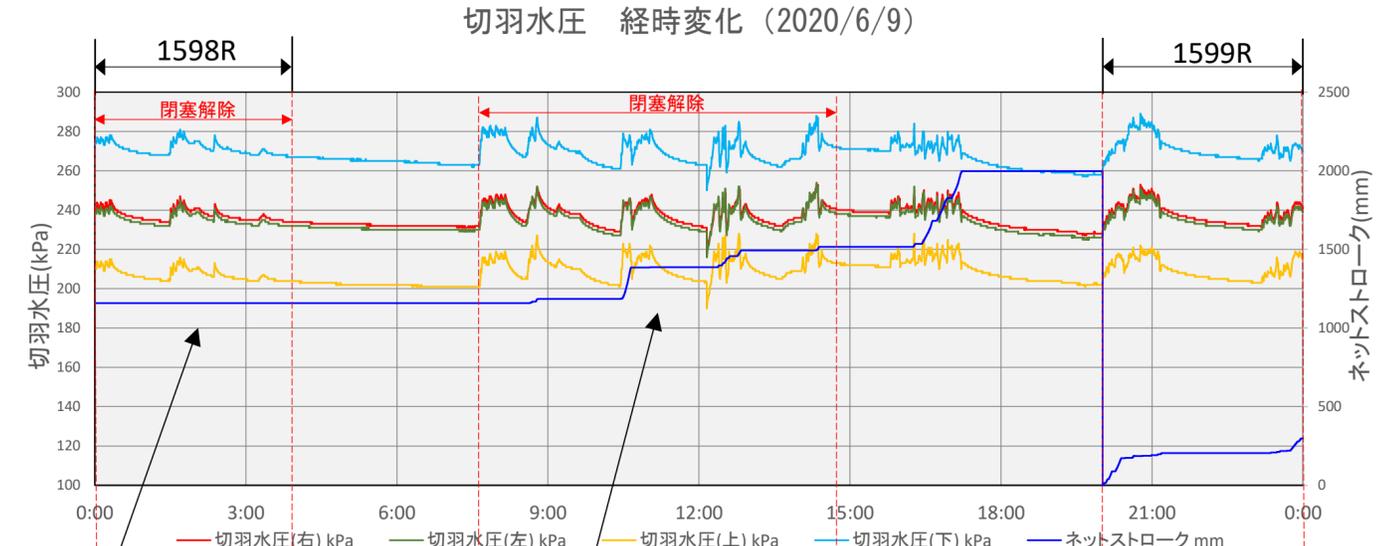
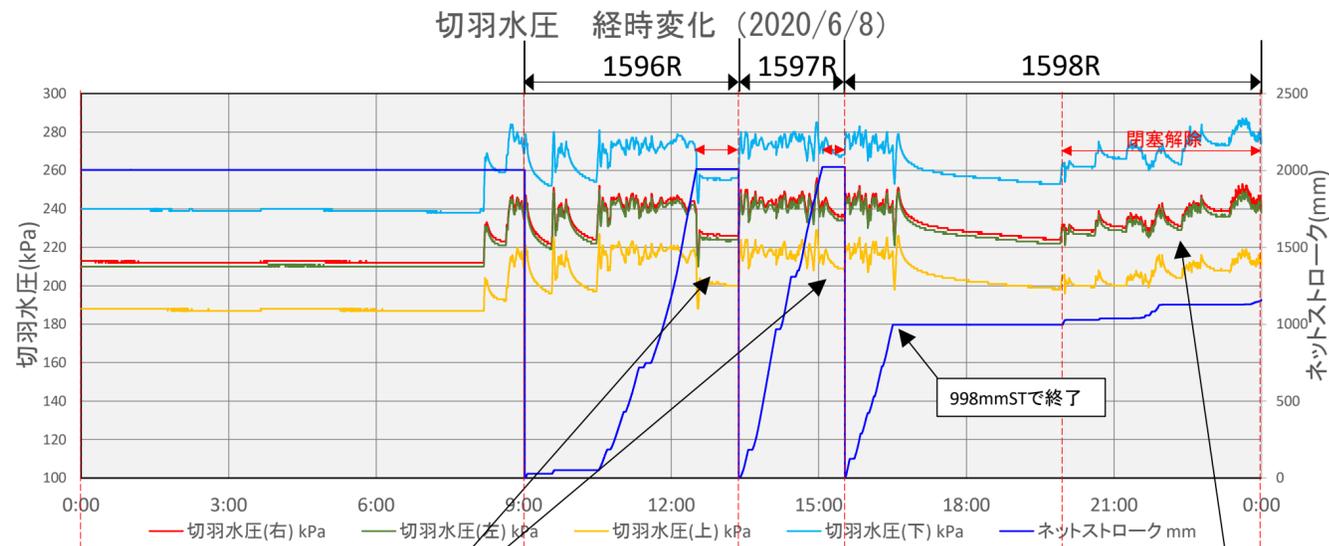


図4-16 掘進データ (時系列) (1592R~1595R)



6月7日 掘進停止状態:チャンバーに接続している送排泥管のバルブを閉めて停止
 ⇒切羽水圧は地下水圧と同等になり維持している。トンネル内には出水していないため、地下水圧より下がらない
 流体輸送中に、排泥管側のP2ポンプの吸い込み圧力が低下
 →3:00頃クラッシャー前の排泥管に砂の塊が引っ掛かっているため除去

1597R、1598Rの掘進停止状態(セグメント組立)に送排泥管のバルブを閉めて停止
 ⇒切羽水圧は地下水圧と同等になるよう移行している。トンネル内には出水していないため、地下水圧より下がらない

流体輸送中に、排泥側P2ポンプとクラッシャー吸込み圧力低下、クラッシャー前の配管を切り離し確認
 →20:10 クラッシャー前排泥管の砂の塊(φ300mm×数個)を除去 1028mmST
 →20:45 クラッシャー前排泥管の砂の塊除去 1038mmST
 →22:00 クラッシャー前排泥管の砂の塊除去 1127mmST
 →22:50 クラッシャー前排泥管の砂の塊除去

→0:25 バルブセット(クラッシャーとP2ポンプの間)の排泥管の砂の塊(φ300mm程度×2個)除去
 →クラッシャー前の排泥管の砂の塊(φ300mm程度)を除去
 →2:05 クラッシャー前の排泥管の砂の塊(φ300mm程度×数個)を除去

流体輸送中に、排泥側P2ポンプとクラッシャーの吸い込み圧力が低下、クラッシャー前の配管を切り離して確認
 →8:10 クラッシャー前の排泥管の砂の塊(φ300mm程度×数個)を除去 1028mmST
 →8:55 クラッシャー前の排泥管の砂の塊(φ300mm程度×数個)を除去 1185mmST
 →9:15 クラッシャーおよびクラッシャー前の排泥管の砂の塊(φ300mm×十数個)を除去 1185mmST
 →11:00 クラッシャーおよびクラッシャー前の排泥管の砂の塊(φ300mm×十数個)を除去 1387mmST
 →12:55 クラッシャーおよびクラッシャー前の排泥管の砂の塊を除去 1493mmST
 →14:35 クラッシャーおよびクラッシャー前の排泥管の砂の塊を除去 1516mmST
 →除去後、掘進を再開し、終了

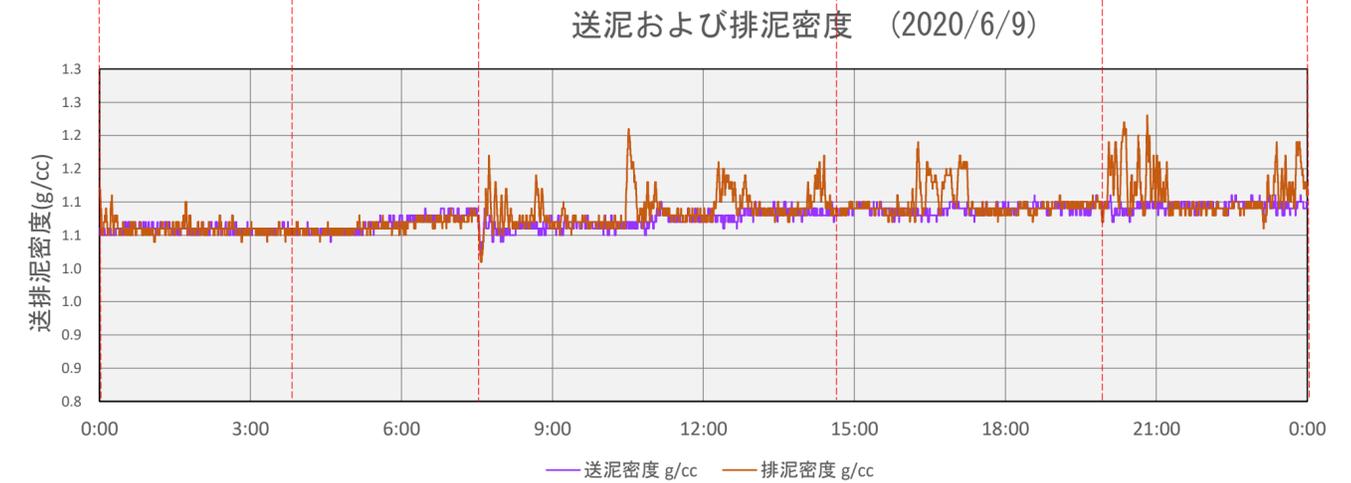
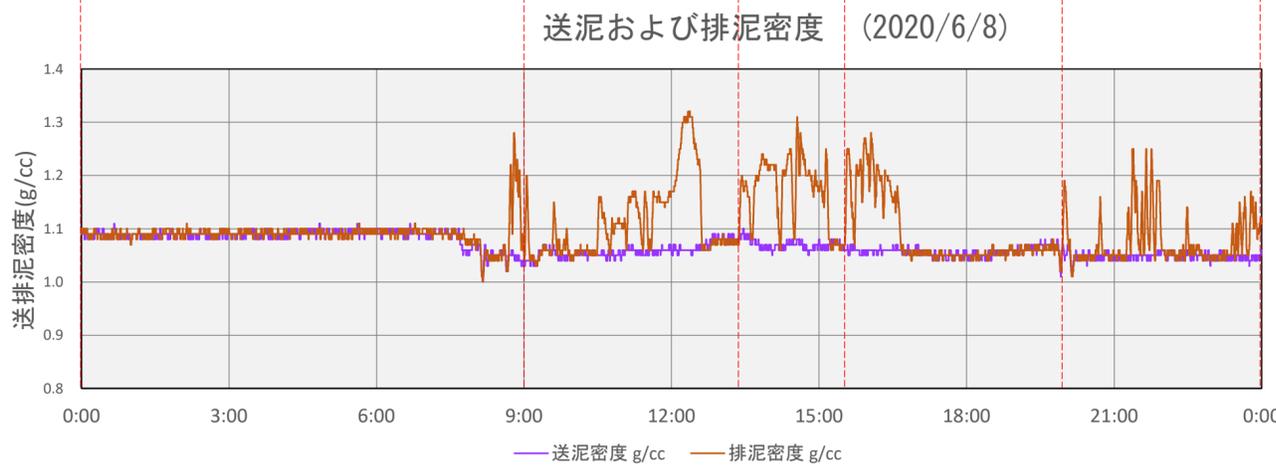


図4-17 掘進データ (時系列) (1596R~1599R)

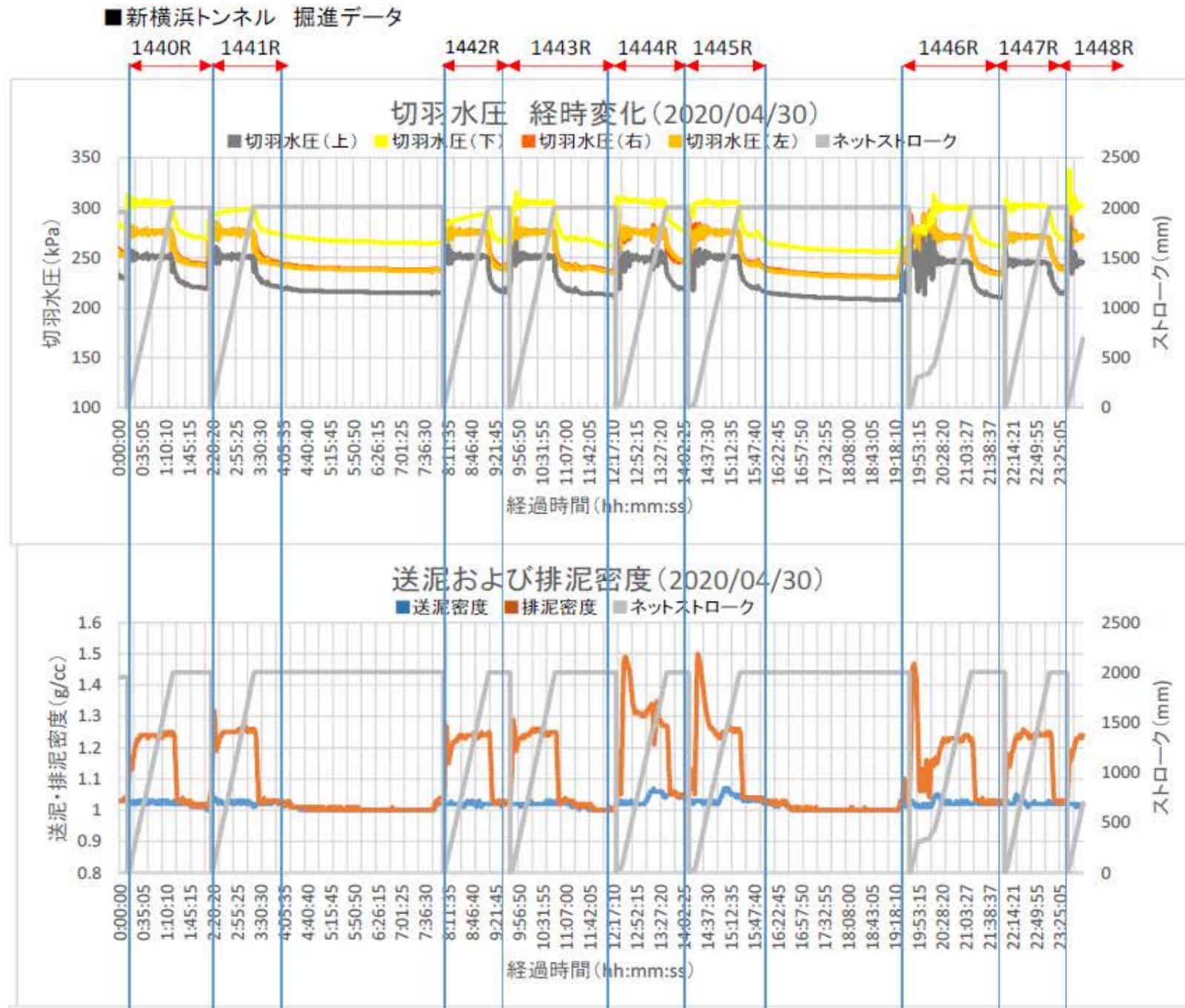


図4-18 掘進データ (時系列) (1440R~1448R)

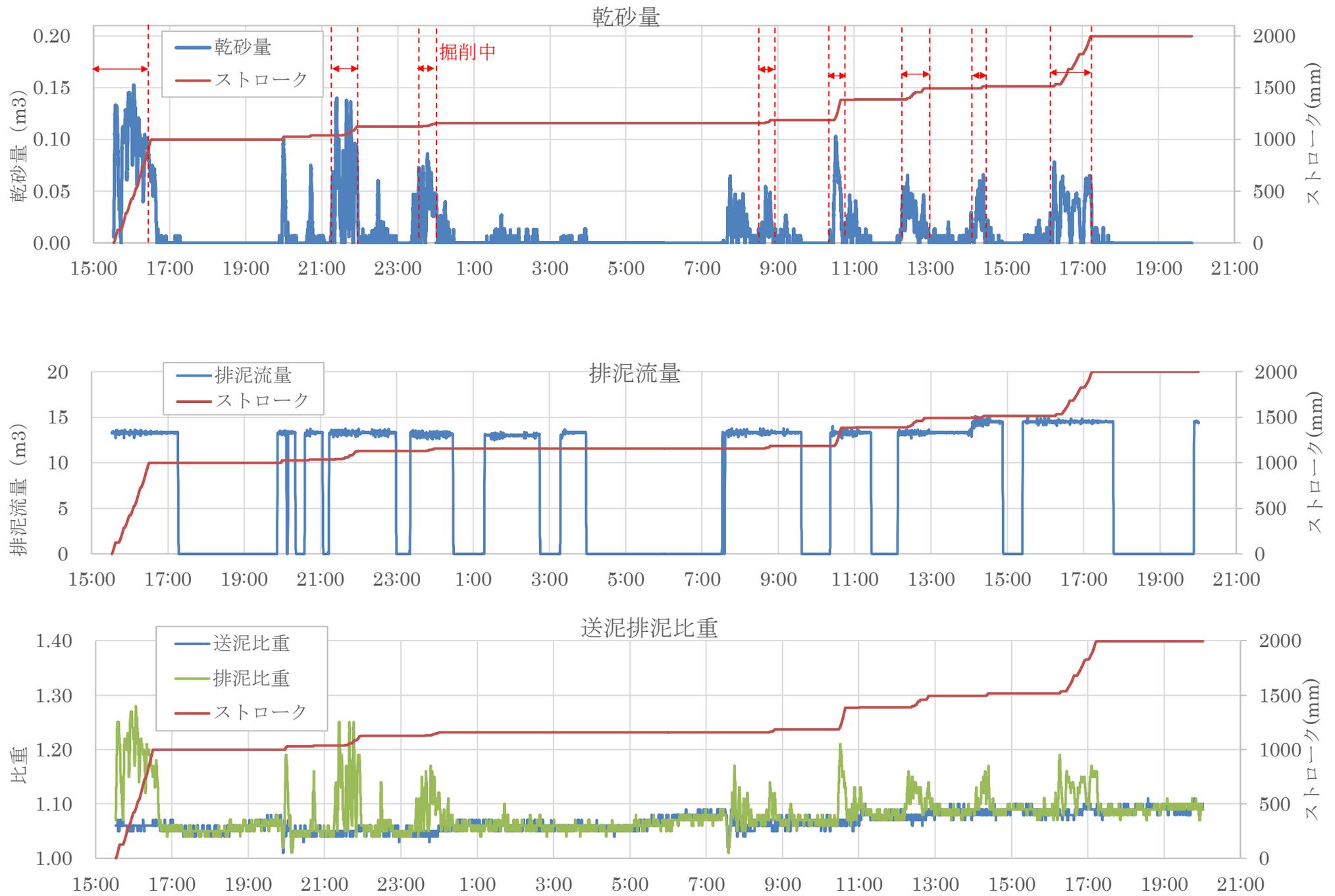


図 4-19 掘進停止中の取り込み (1598R)

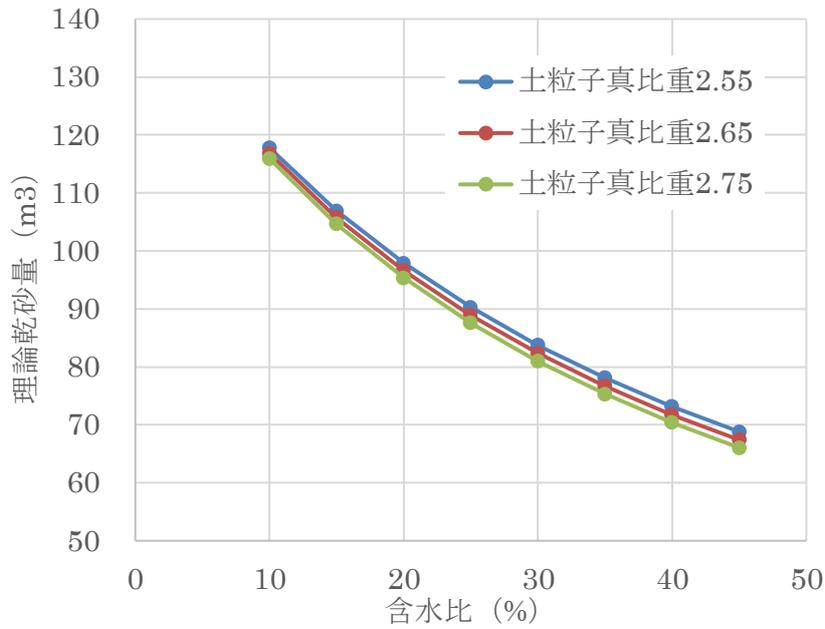


図 4-20 含水比と理論乾砂量

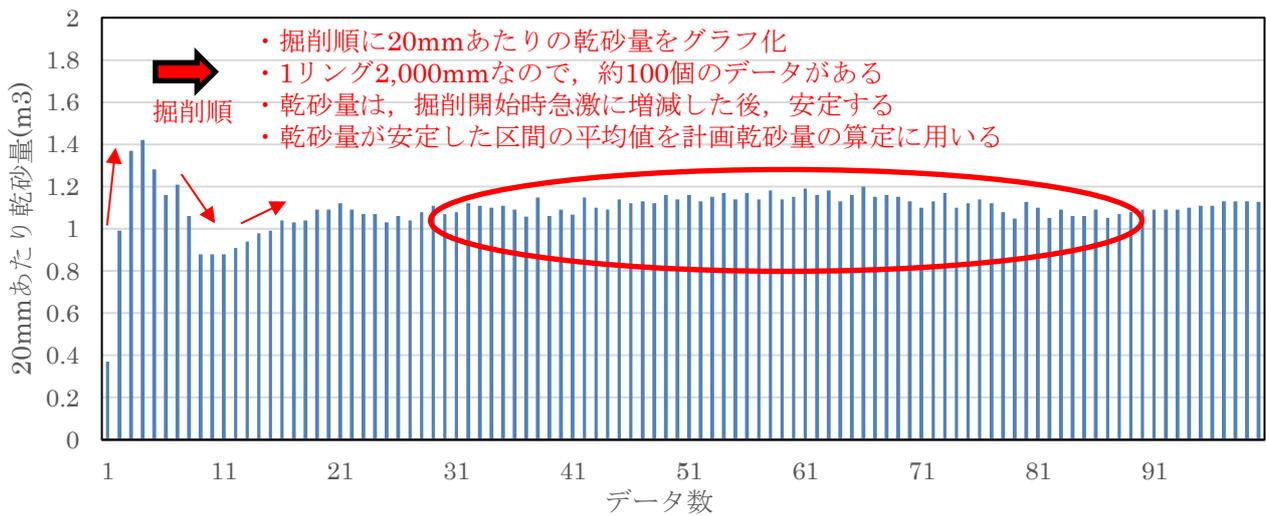


図 4-21 20mm あたり乾砂量データ (掘削順)

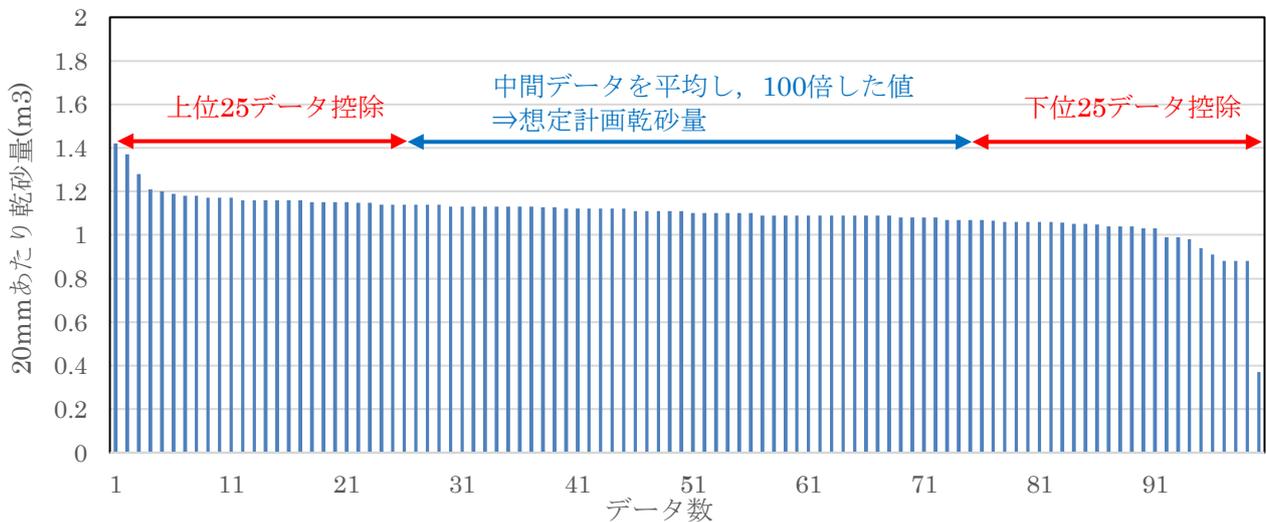


図 4-22 20mm あたり乾砂量データ (昇順)

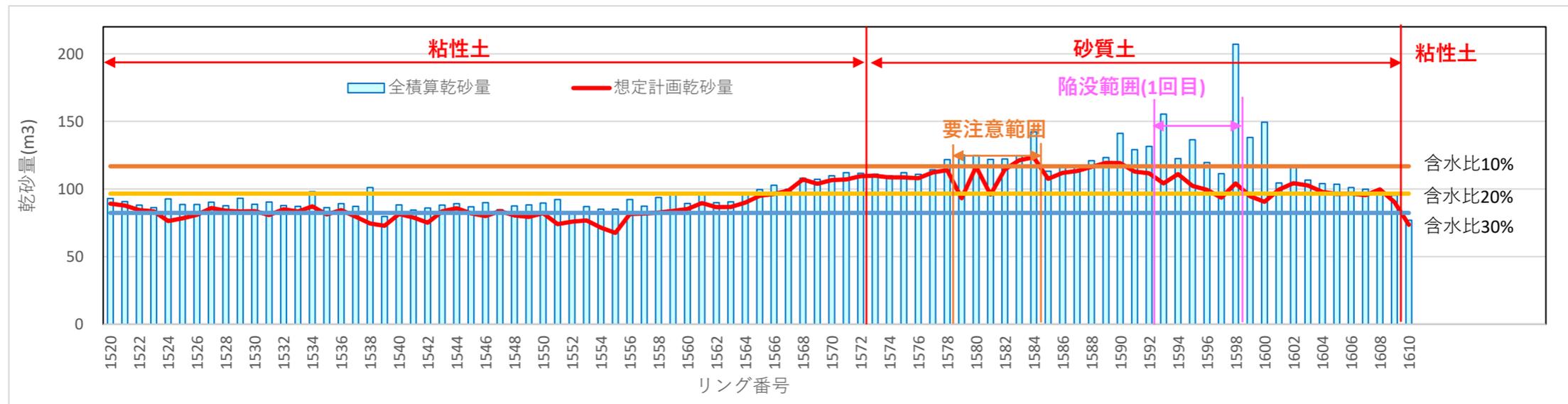
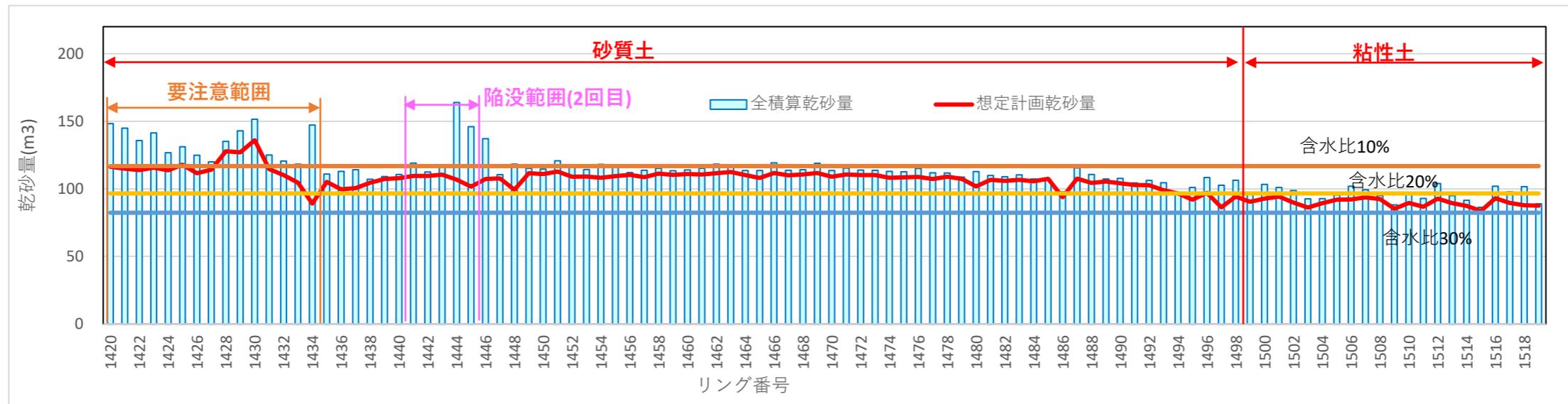
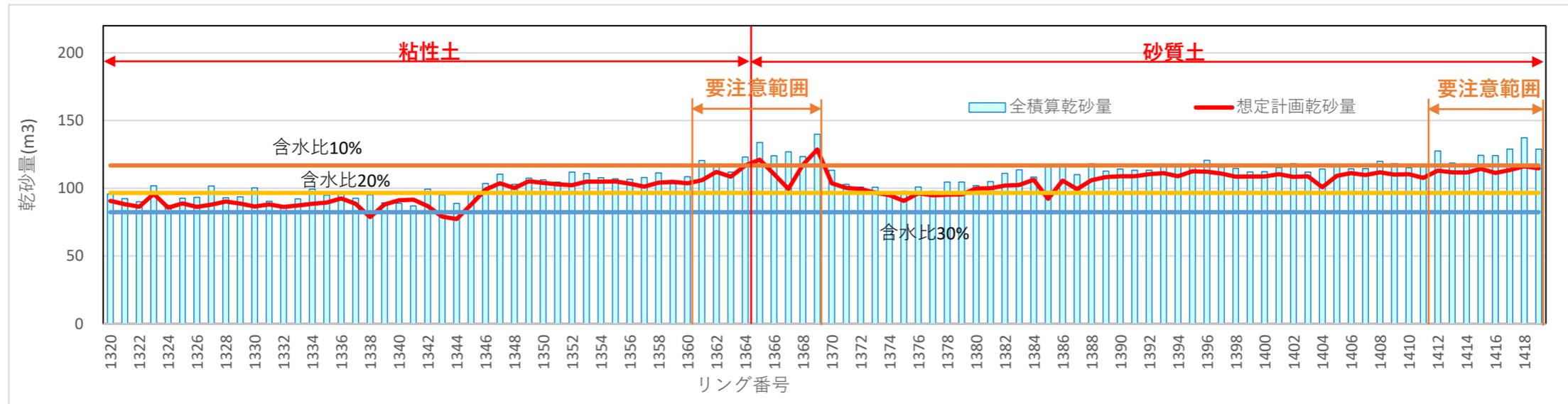


図4-23 全積算乾砂量と想定計画乾砂量

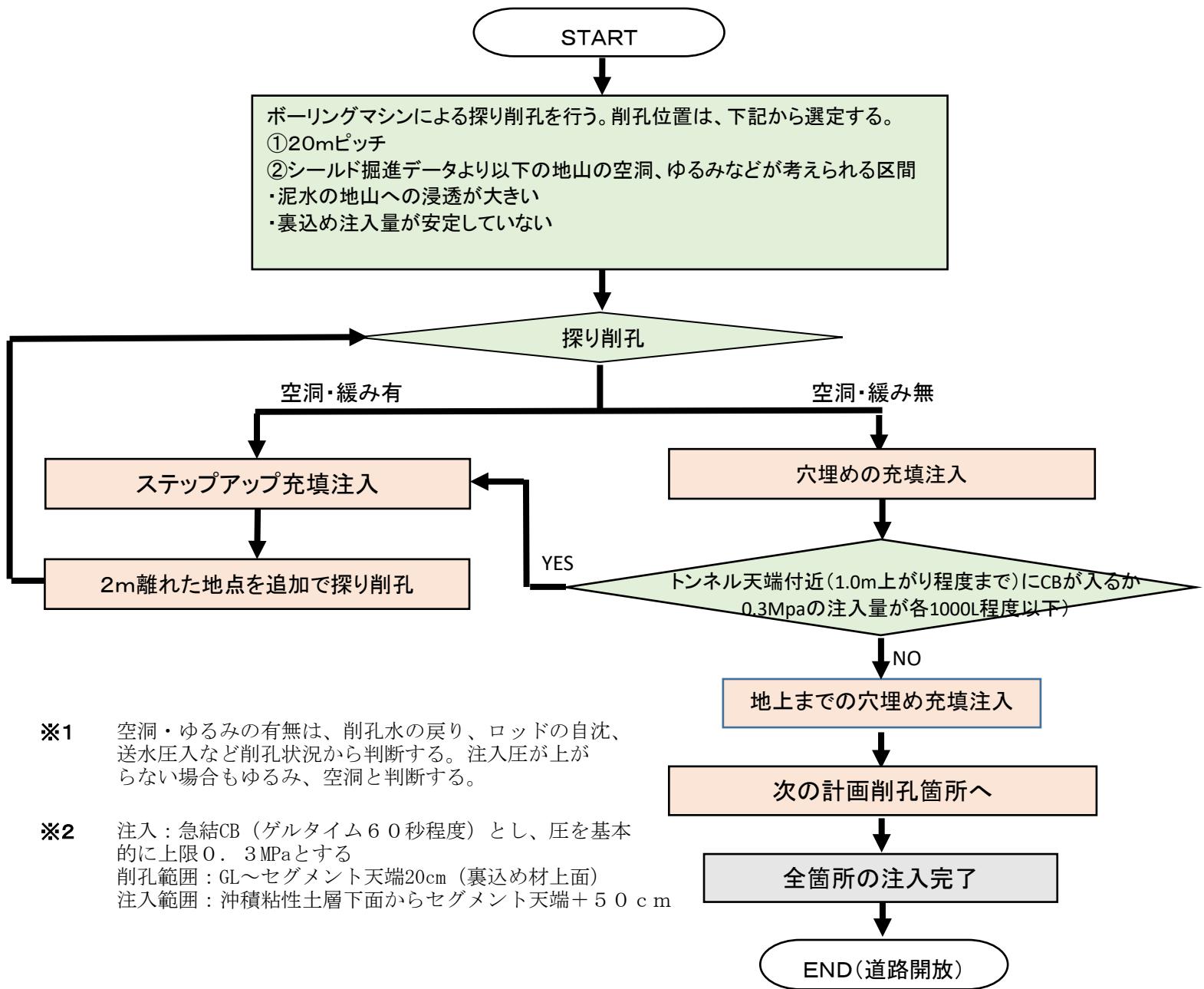
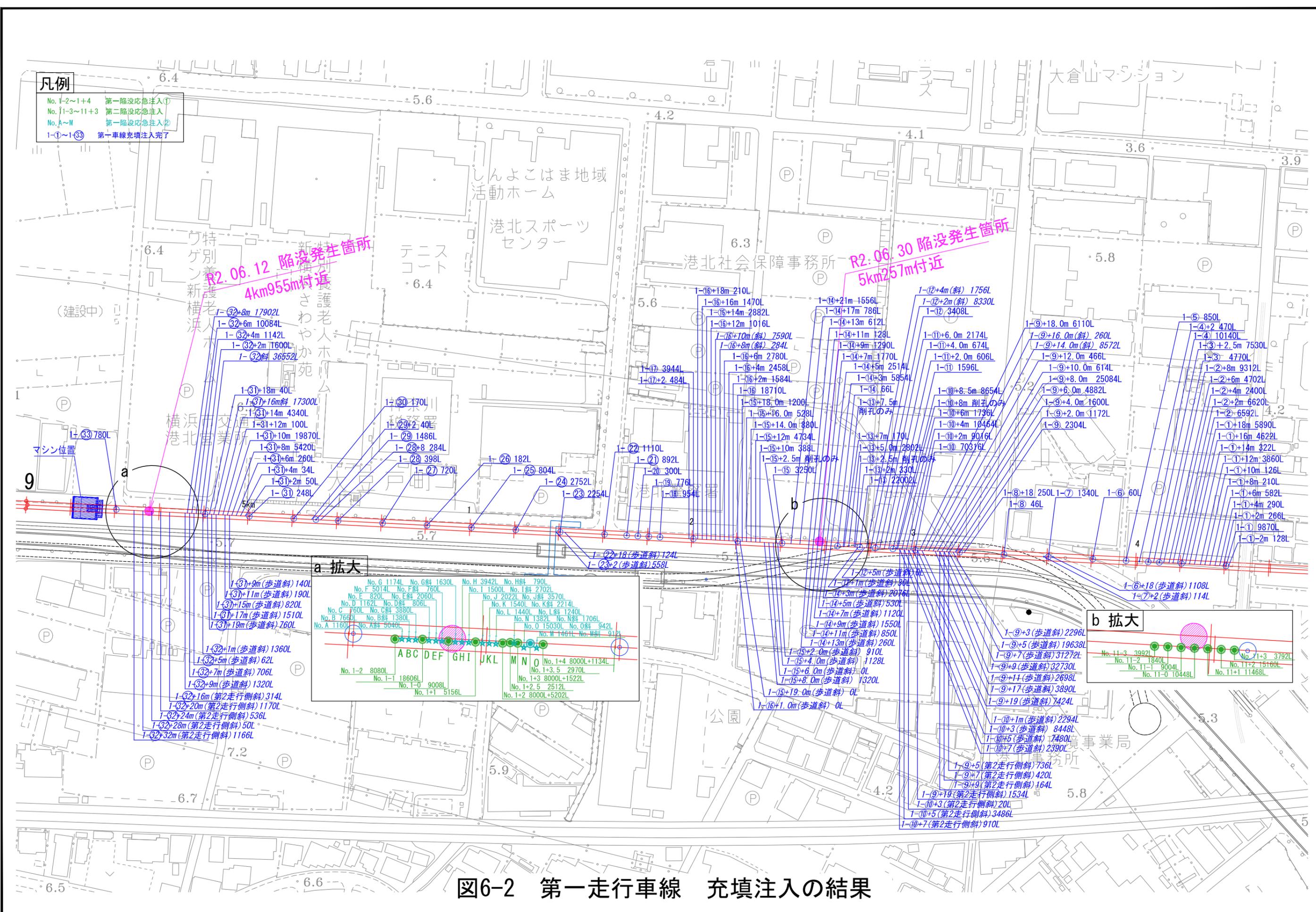


図6-1 充填注入のフロー



凡例

- No. 1-2~1+4 第一陥没応急注入①
- No. 1-3~11+3 第二陥没応急注入
- No. A~M 第一陥没応急注入②
- 1-①~1-⑬ 第一車線充填注入完了

R2: 06.12 陥没発生箇所
4km955m付近

R2: 06.30 陥没発生箇所
5km257m付近

a 拡大

No. G 1174L No. G斜 1630L No. H 3942L No. H斜 790L
 No. F 5014L No. F斜 760L No. I 1500L No. I斜 2702L
 No. E 820L No. E斜 2060L No. J 2022L No. J斜 3570L
 No. D 1162L No. D斜 806L No. K 1540L No. K斜 2214L
 No. C 760L No. C斜 3880L No. L 1440L No. L斜 1240L
 No. B 7660L No. B斜 1380L No. N 1382L No. N斜 1706L
 No. A 1160L No. A斜 5040L No. O 15030L No. O斜 942L
 No. M 1461L No. M斜 912L

No. 1-2 8080L No. 1-1 18606L No. 1-0 9008L No. 1+1 5156L
 No. 1+3 8000L+1522L No. 1+2.5 2512L No. 1+2 8000L+5202L
 No. 1+4 8000L+1134L No. 1+3.5 2970L

b 拡大

No. 11-3 3992L No. 11-2 1840L No. 11-1 9004L No. 11-0 10448L
 No. 11+3 3792L No. 11+2 15160L No. 11+1 11468L

図6-2 第一走行車線 充填注入の結果

※本資料は委員会終了後に実施した注入の結果も反映している

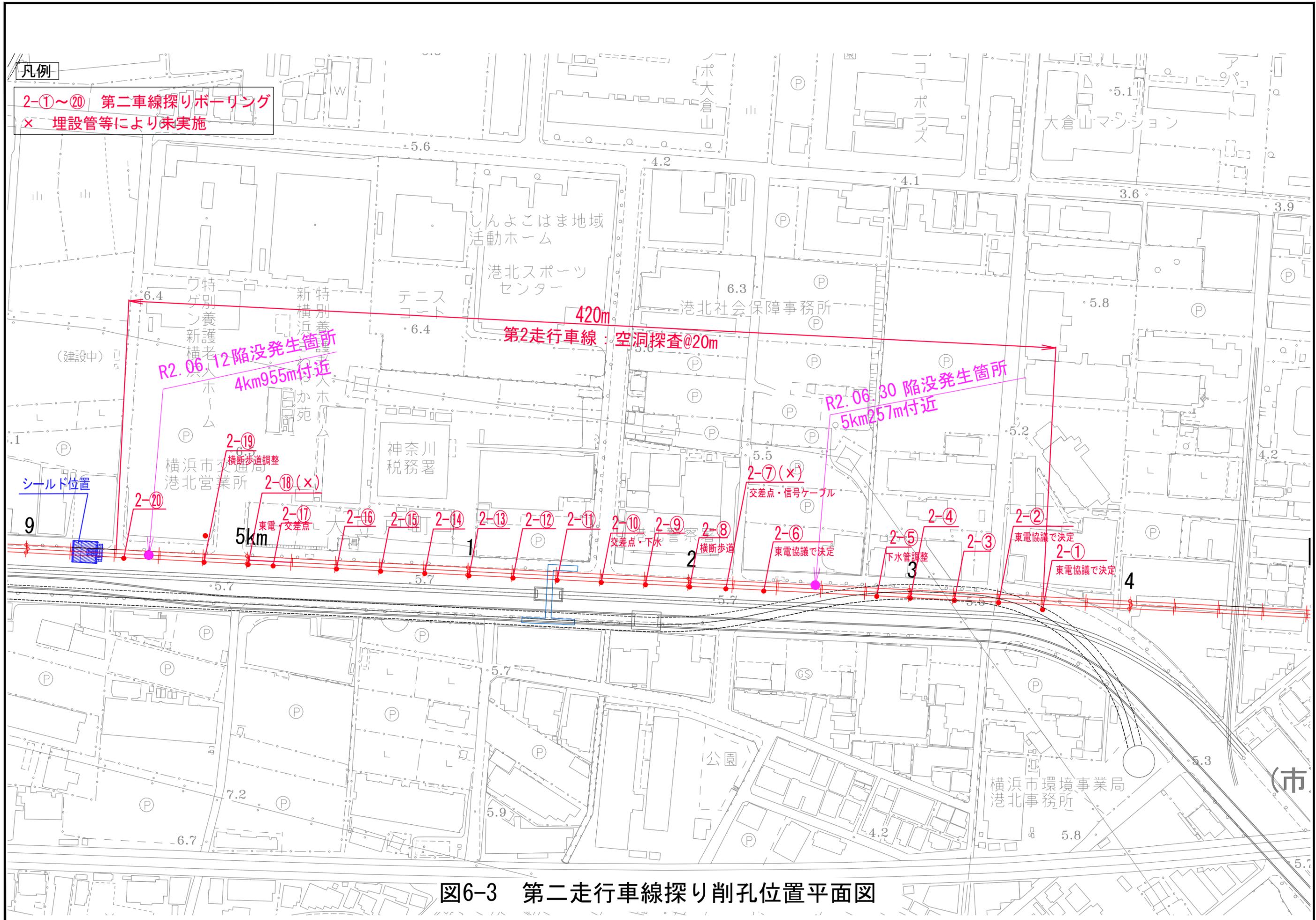


図6-3 第二走行車線探り削孔位置平面図

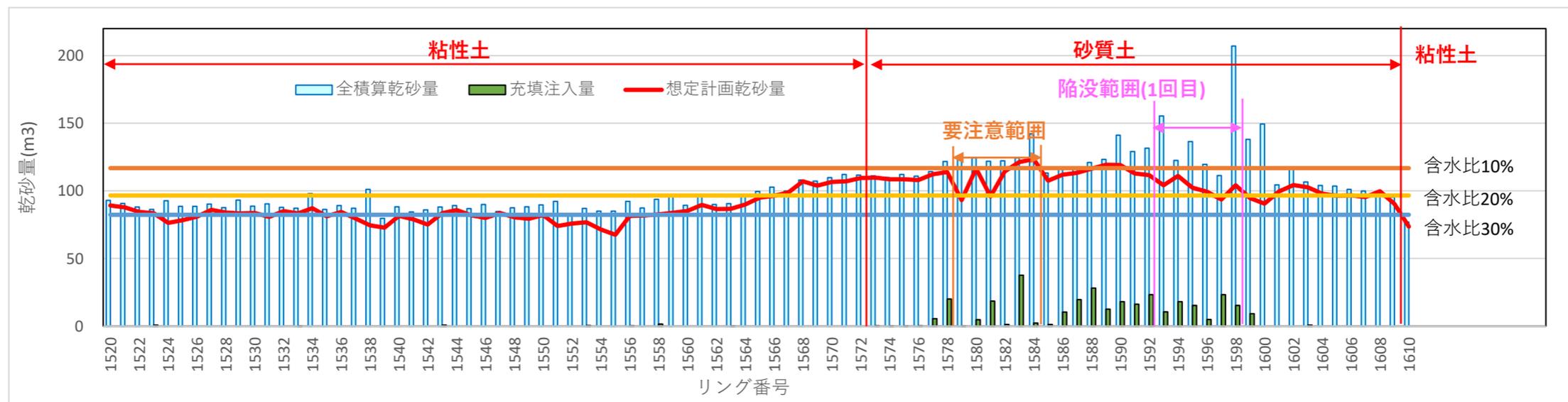
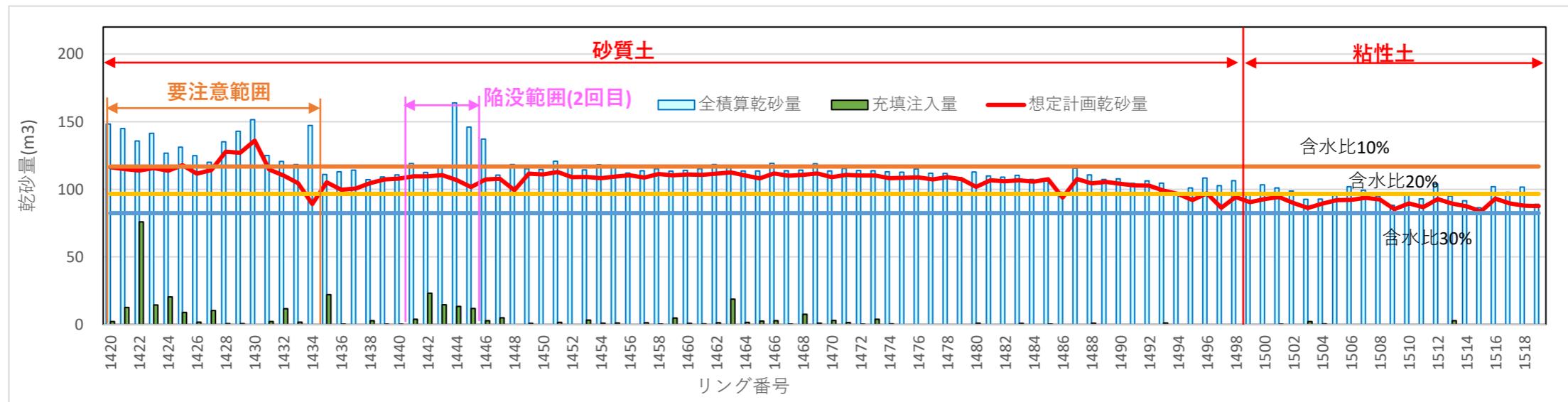
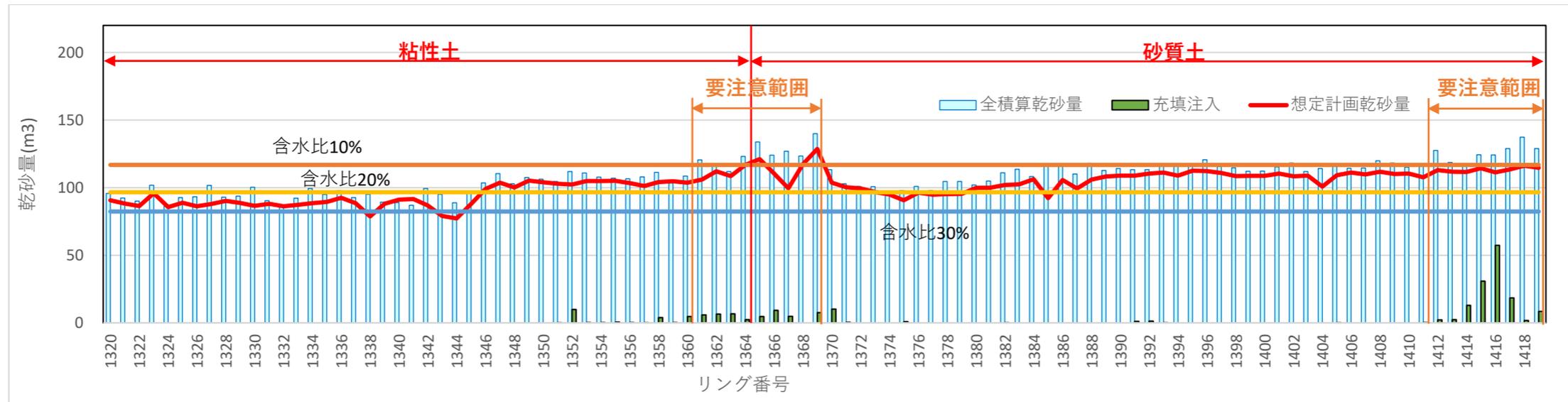
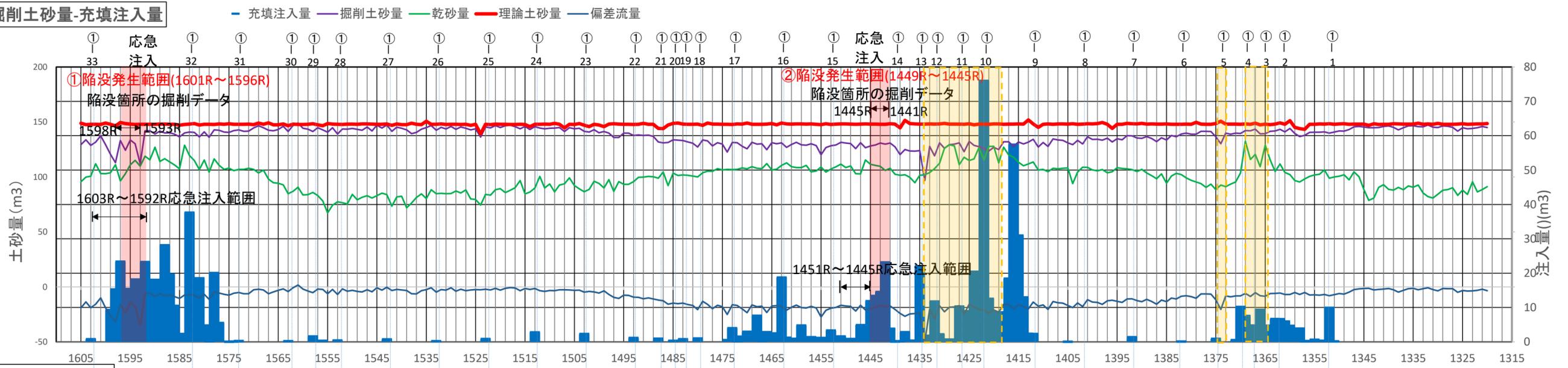


図6-4 乾砂量と充填注入量

※本資料は委員会後に実施した注入の結果も反映している

掘削土砂量-充填注入量



裏込注入圧・率

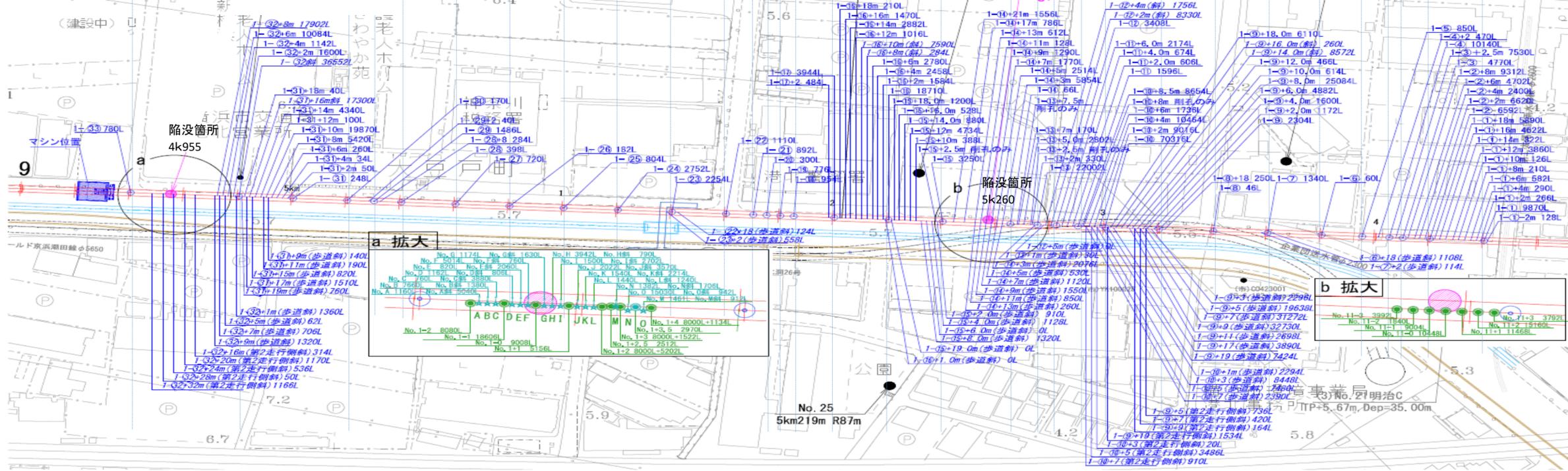
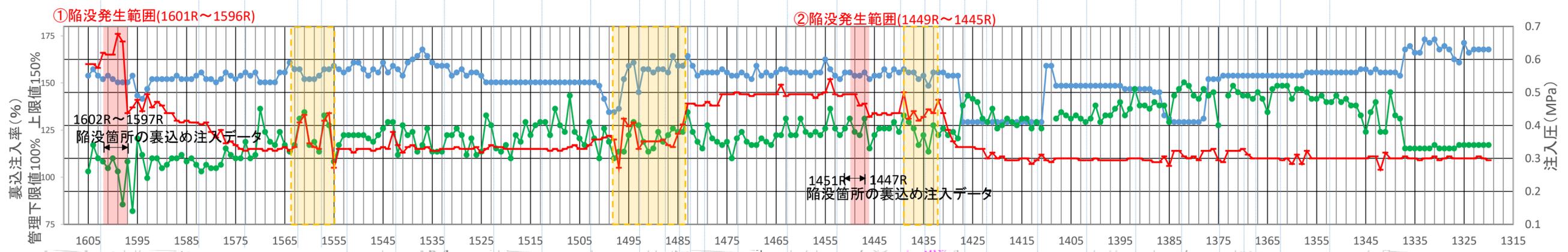
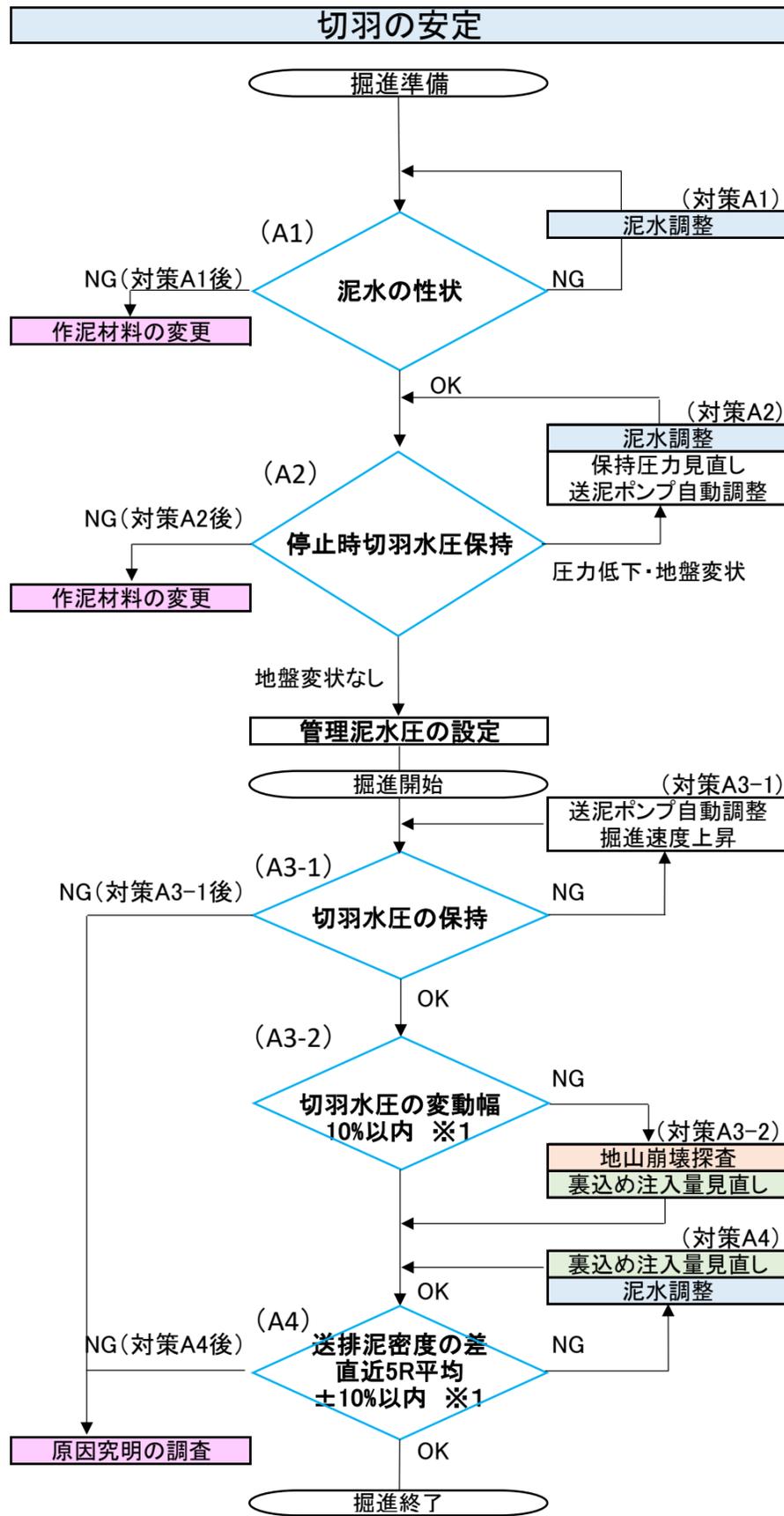
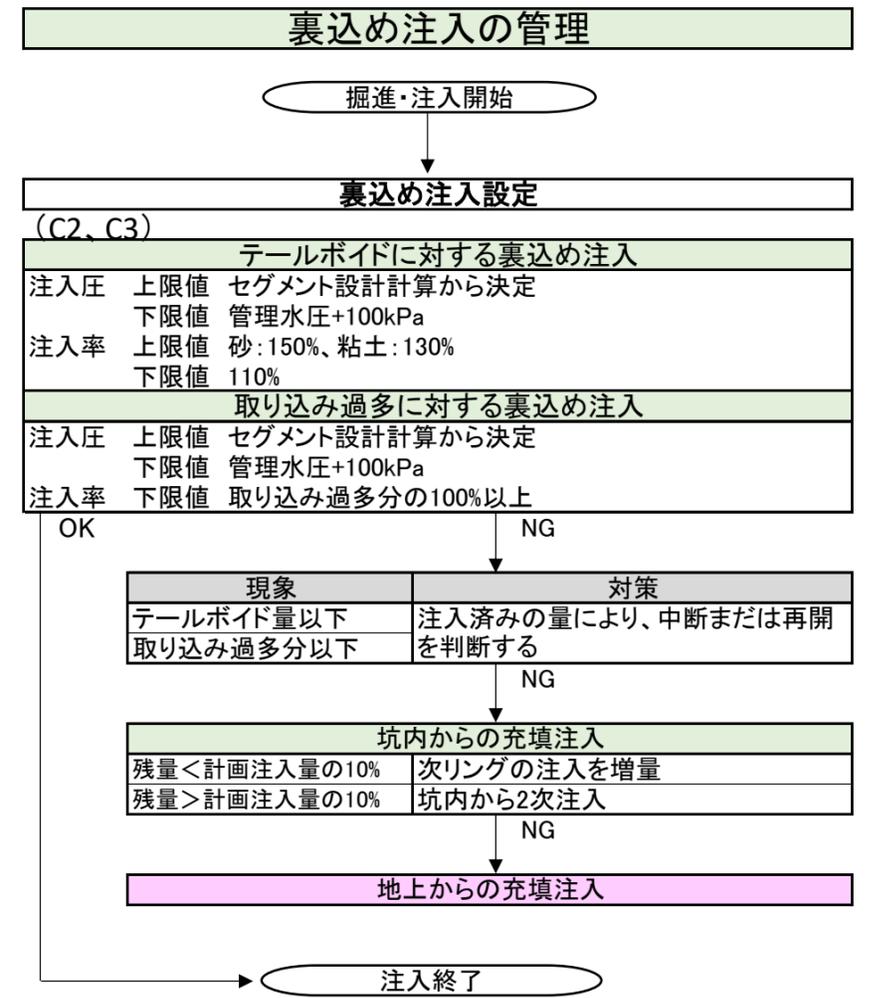
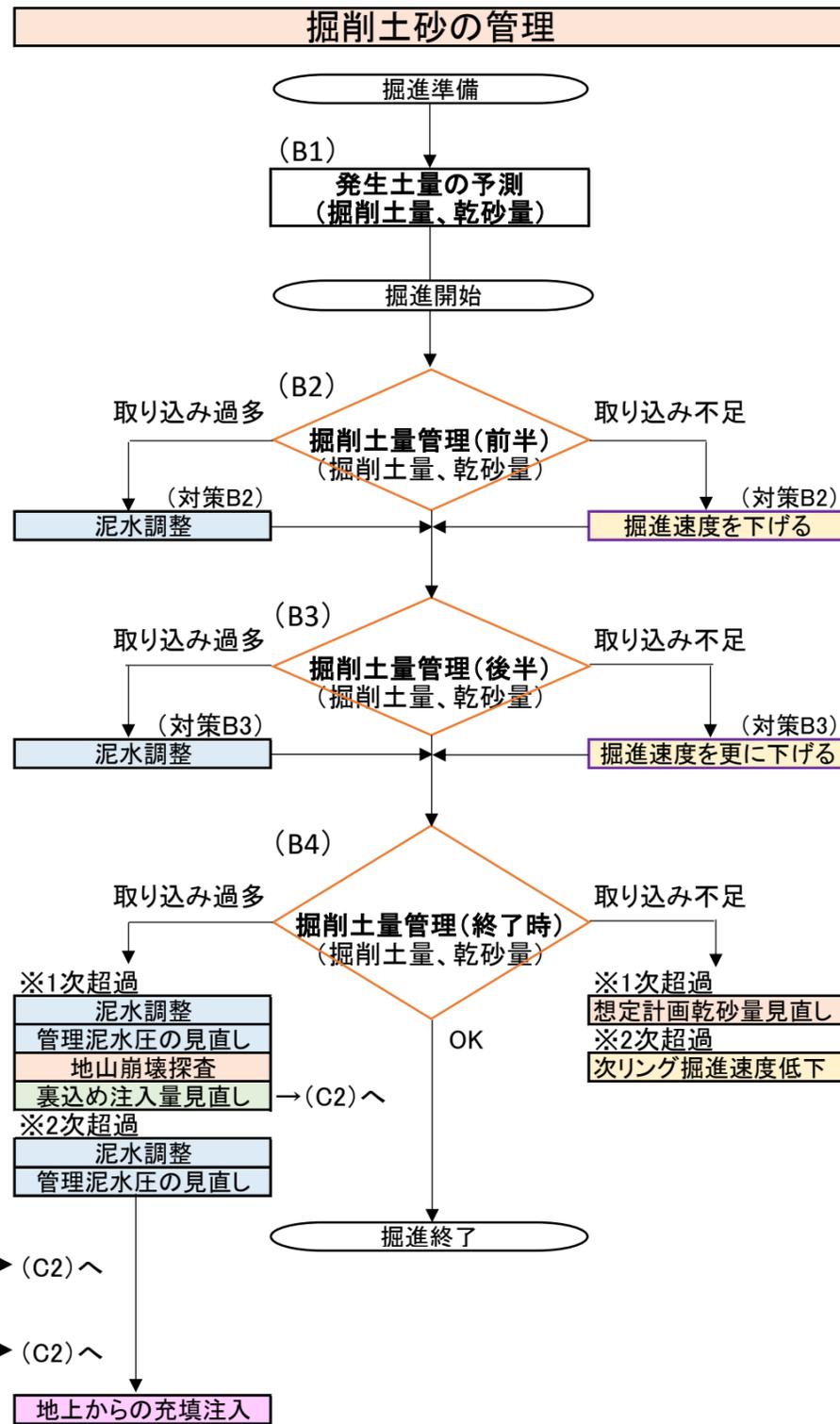


図6-5 掘削データと充填注入量

※本資料は委員会後に実施した注入の結果も反映している



※1 掘進再開時に 上記の設定値の妥当性を確認する



※再掘進後、合理的な施工となるように、フローの判定基準や対応の内容について検討し、深度化を行う。

図6-6 掘進管理のフロー(集約版)

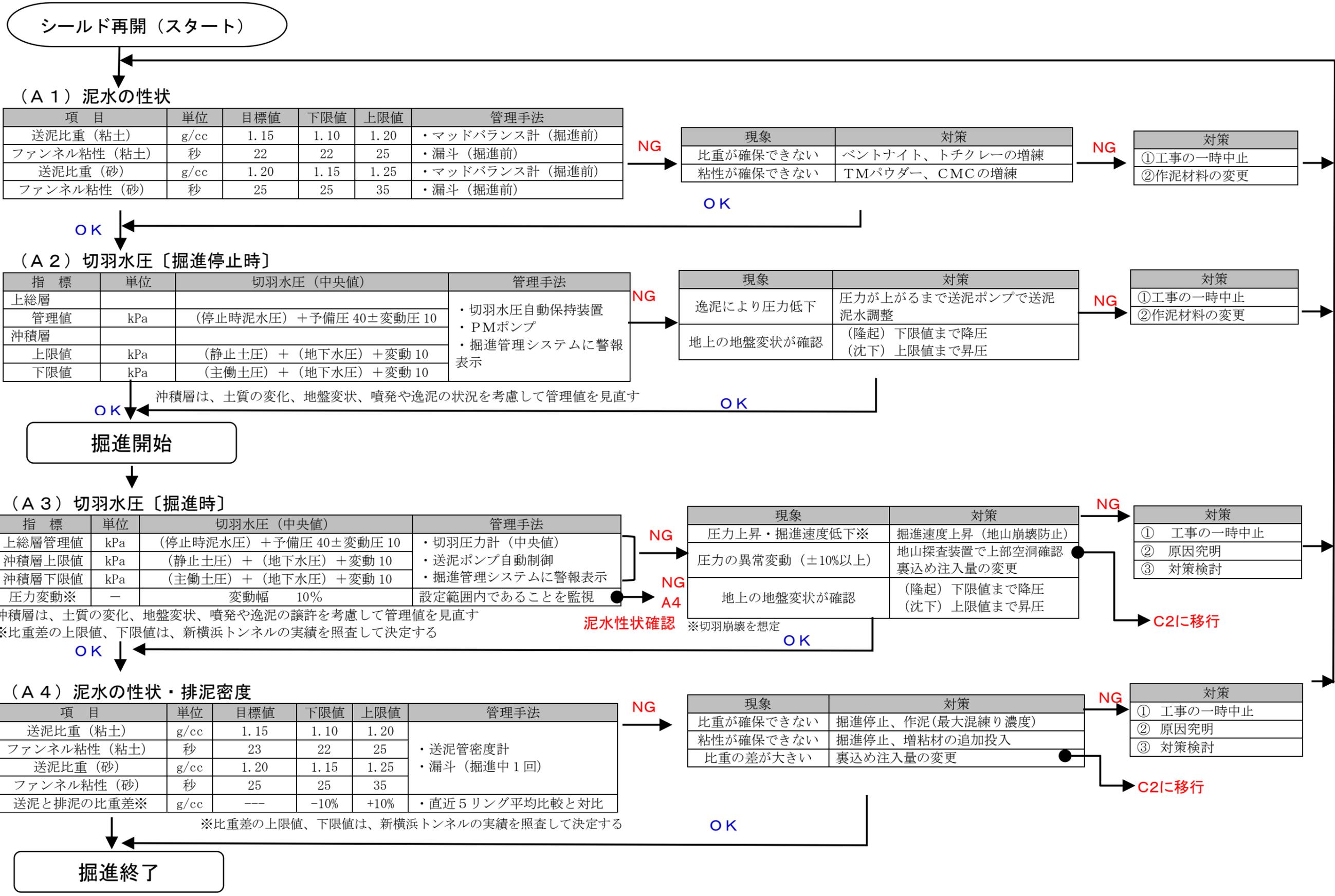


図 6-7 再掘進の管理フロー [A : 切羽の安定]

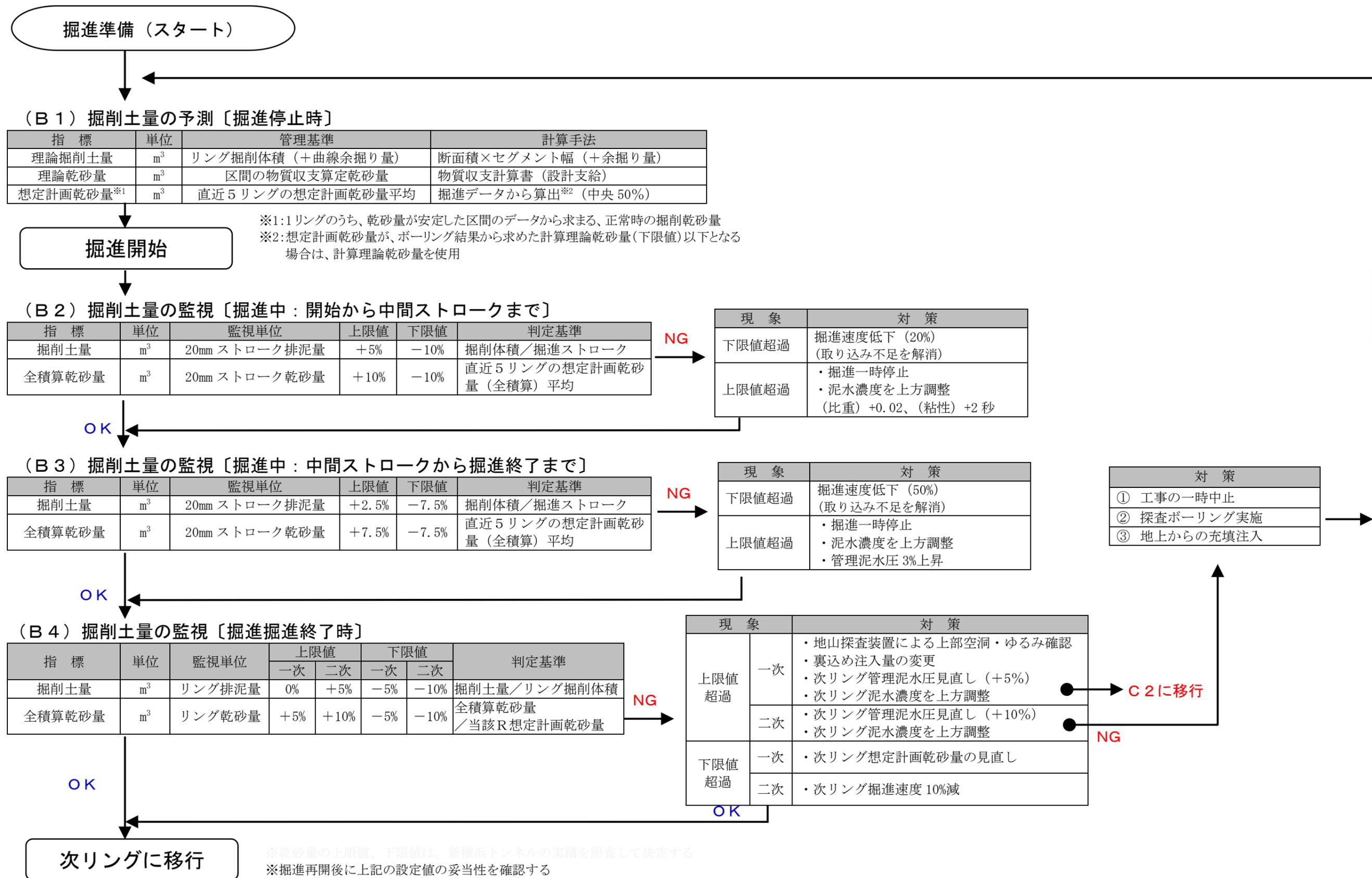


図 6-8 再掘進の管理フロー〔B：掘削土砂の管理〕

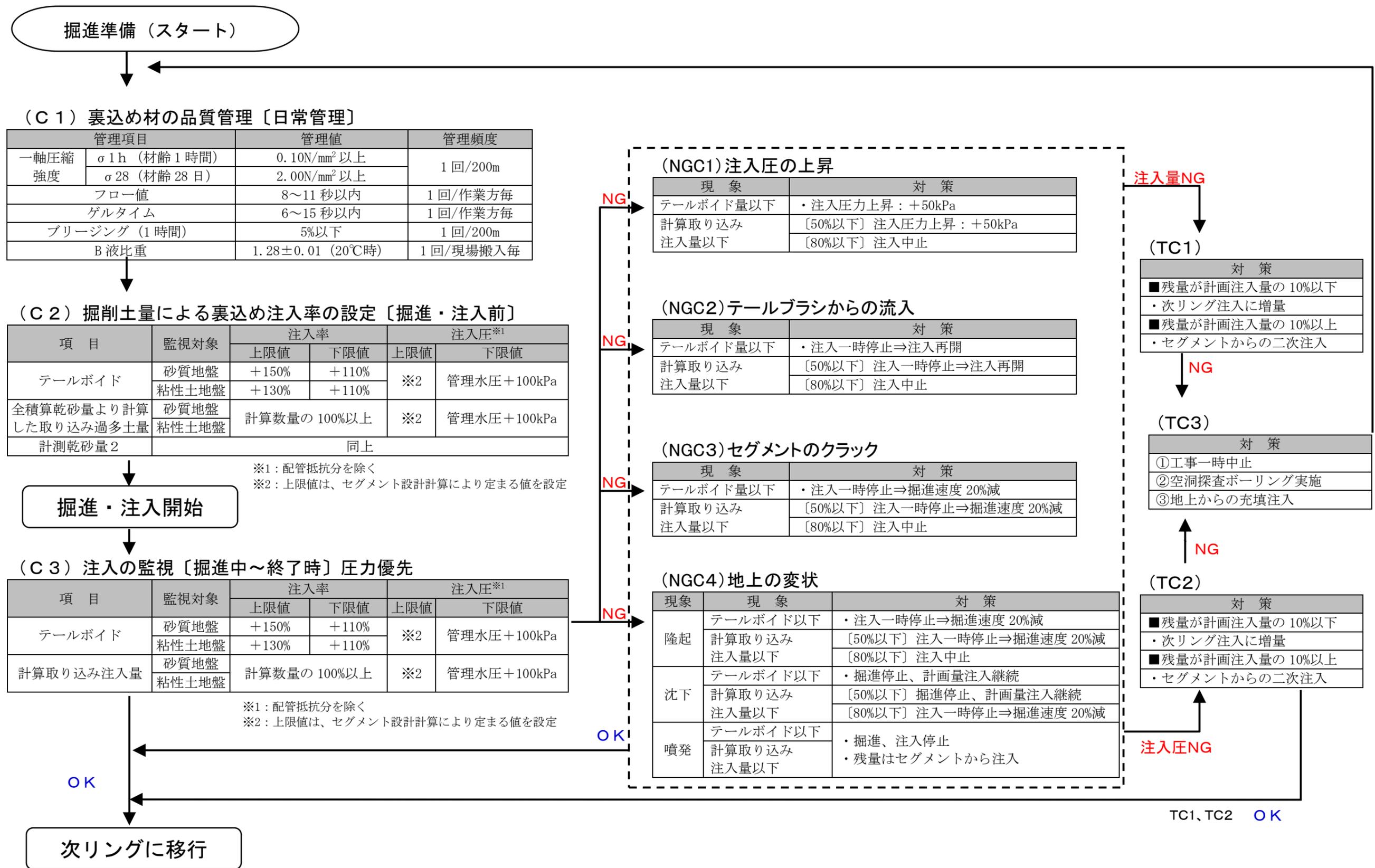


図 6-9 再掘進の管理フロー〔C：裏込め注入の管理〕

表6-1 掘進管理の新旧対照表

	(旧) これまでの管理	(新) 今後の管理
カッタートルク	管理値：7000 kN・m以下 (現場基準：能力値の [60%]以下 程度) 管理方法：モニターでリアルタイムで管理	変更なし
推力	管理値：67,000kN以下 管理方法：モニターでリアルタイムで管理	変更なし
マシン姿勢	ピッチング/方位：設計方位目標 ローリング：0° 目標 ピッチング/ローリング：シールド機前胴計でリアルタイム管理、測量 方位：ジャイロでリアルタイム管理、方番測量	変更なし
切羽水圧	管理値：シールド機停止時の隔壁内水圧+予備圧40kPa±10kPa	【上総層硬質地盤】 管理値：シールド機停止時の隔壁内水圧+予備圧40kPa±10kPa 【沖積層軟弱地盤】 管理上限値：静止土圧+水圧+変動圧10kPa 管理下限値：主働土圧+水圧+変動圧10kPa (沖積層は、土質の変化、地盤変状、噴発や逸泥の状況を考慮して管理値を見直す。) ※切羽水圧の変動幅：10%超過時は、取込み過剰以上の裏込め注入による対応とする。
	管理方法：切羽水圧計計測値をリアルタイムで管理	管理方法：切羽水圧計計測値をリアルタイムで管理
泥水	粘性土層地山:比重;1.10~1.20、粘性;22~25sec 砂質土層地山:比重;1.15~1.25、粘性;25~35sec 比重管理方法：送排泥比重についてはリアルタイムで管理していた。しかし、粘性土区間では管理基準値以上であったが、砂層区間では、管理基準値を下回っていた。 粘性管理方法：調整槽の泥水にてファンネル粘性計測を行う(方番毎)	粘性土層地山:比重;1.10~1.20、粘性;22~25sec 砂質土層地山:比重;1.15~1.25、粘性;25~35sec ※送排泥比重差：直近5R平均に対して±10%超過時は、泥水調整(濃度上昇、増粘材投入)、裏込め注入による対応とする。 比重管理方法：送排泥比重についてはリアルタイムで管理し、管理基準値を 厳守する 。 粘性管理方法：調整槽の泥水にてファンネル粘性計測を行う(1R毎掘進前、掘進中)
	管理目標値：理論掘削量に対して [0% ~ -5%] 管理警戒値：理論掘削量に対して [+5% ~ -10%]	(掘進後) 1次管理値：理論掘削量 0% ~ -5% (掘進後) 2次管理値：理論掘削量 +5% ~ -10% セグメントを2分割してそれぞれの区間に管理値を設ける。※ (掘進中) 開始~中間ストロークまでの管理値：理論掘削量+5% ~ -10% (掘進中) 中間ストローク~終了までの管理値：理論掘削量+2.5% ~ -7.5% ※合計は掘進後の1次管理値を目指すことに変わりはない。 取り込み過剰が想定される場合には、地山崩壊探査、裏込め注入、次リングの泥水圧・泥水比重の見直しを行う。
掘削土量(偏差土量)	管理方法：ジャッキ稼働時の掘削土量(排泥流量積分-送泥流量積分)と理論掘削量の差を、リアルタイム管理を行っていたが、逸泥(マイナス)側に管理値を超過していた。シールド機停止時の掘削土量の演算表示していなかった。	管理方法：ジャッキ稼働時 及び停止時 の掘削土量(排泥流量積分-送泥流量積分)のリアルタイム管理を行う。
乾砂量	管理値：掘削対象土質が上総層粘性土と砂の互層であり、理論乾砂量が不明確なため、理論乾砂量との比較を実施しなかった。	(掘進中) 開始~中間ストロークまでの管理値 全積算乾砂量：直近5Rの想定計画乾砂量(全積算)平均に対して±10% (掘進中) 中間ストローク~終了までの管理値 全積算乾砂量：直近5Rの想定計画乾砂量(全積算)平均に対して±7.5% (掘進後) 全積算乾砂量：直近5Rの想定計画乾砂量(全積算)平均に対して1次管理値：±5%、2次管理値：±10%とし、取り込み過剰が想定される場合には、掘削土量と同様に対応する。
	管理方法：ジャッキ稼働時の乾砂量を、掘進完了後に確認していた。取込については掘削土量(偏差土量)で管理していたため、掘進停止中なども含めた全体の取込を管理しておらず、取込過多については気付かなかった。	管理方法：全積算乾砂量をリアルタイム管理を行い、ジャッキ稼働時及び停止時のすべての取込量について管理を行う。
裏込注入圧	注入圧管理値目標値:[管理泥水圧]+[0.1MPa~0.15MPa]	注入圧管理値上限:セグメント耐力から定まる値 注入圧管理値下限:[管理泥水圧]+[0.1MPa]以上
	管理方法：注入圧よりも注入率を優先した管理を行っていた。注入率と路面変状の結果により、圧力が目標値まで上昇していなくても、注入を終了していた箇所があった。	管理方法：注入圧優先の管理とし、下限値を上回るまで注入を行う。
裏込注入量	注入量管理目標値：粘性土100~130% 砂質土100~150%	テールボイド部注入量管理目標値：粘性土 110 ~130% 砂質土 110 ~150% 取込み過多が想定される場合は、全積算乾砂量で求める100%以上とする。
	管理方法：テールボイドに対する注入率のみを考慮していた。	管理方法：テールボイドだけでなく、掘削土量・乾砂量管理にて確認された取込み過剰量に対しても裏込め注入の管理を行い、不足する場合には坑内からの二次注入、地上からの充填注入を行う。
路面変状	各関係管理者との協議内容に準拠して測量	変更なし