

庄戸トンネル施工技術検討会

第3回検討会 資料

平成29年 9月28日

東日本高速道路株式会社 関東支社 横浜工事事務所

株式会社ネクスコ東日本エンジニアリング

目 次

1. 検討会の目的	1
2. 地質状況	3
3. 釜利谷ジャンクション Cランプトンネル掘削状況	4
4. 施工方法の確認	6
5. 地下水の変動抑制対策	14
6. 施工中の観測計画	16

1－4. 検討フロー

以下に検討フローを示す。

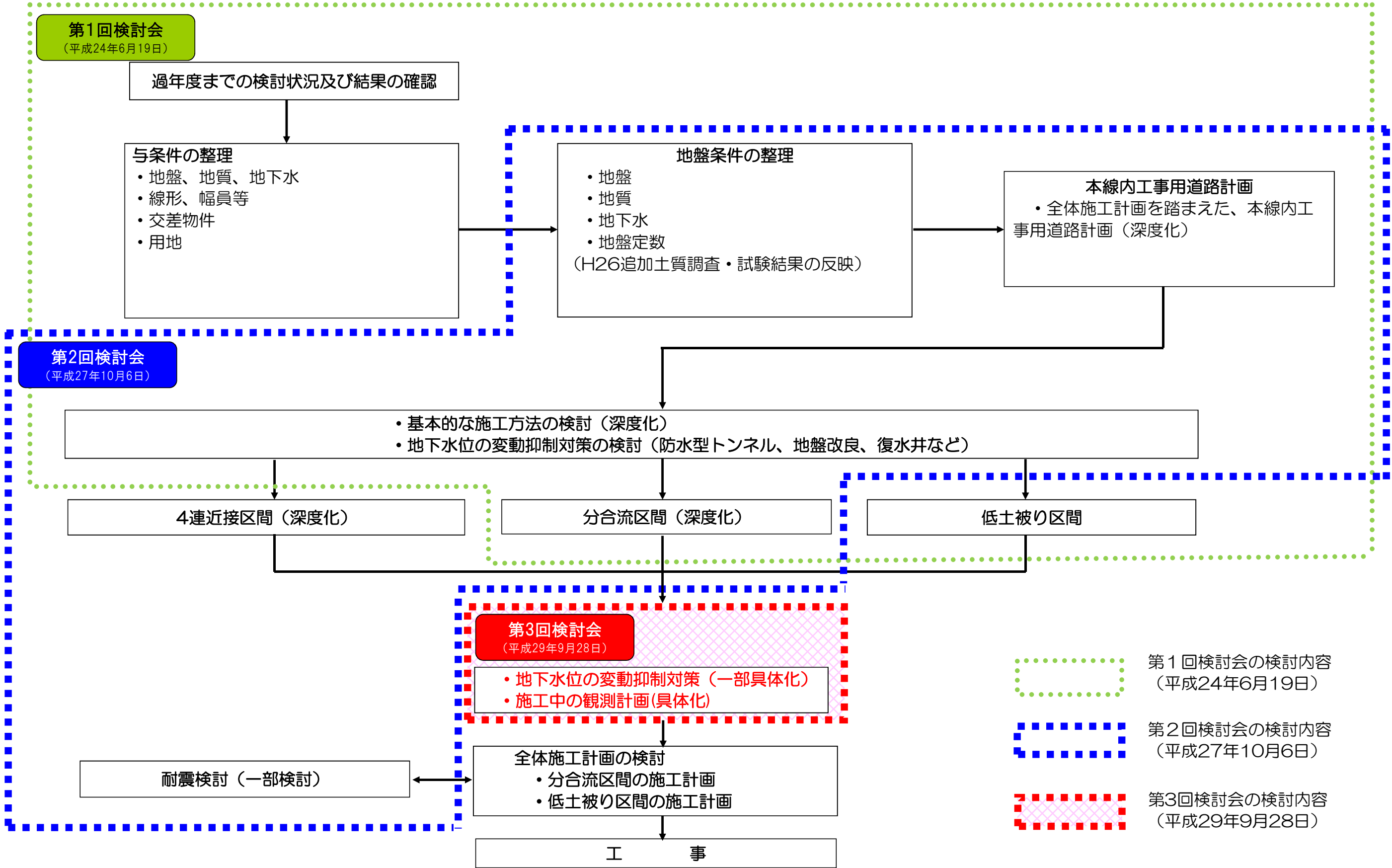


図1.2 検討フロー図

2. 地質状況

地質

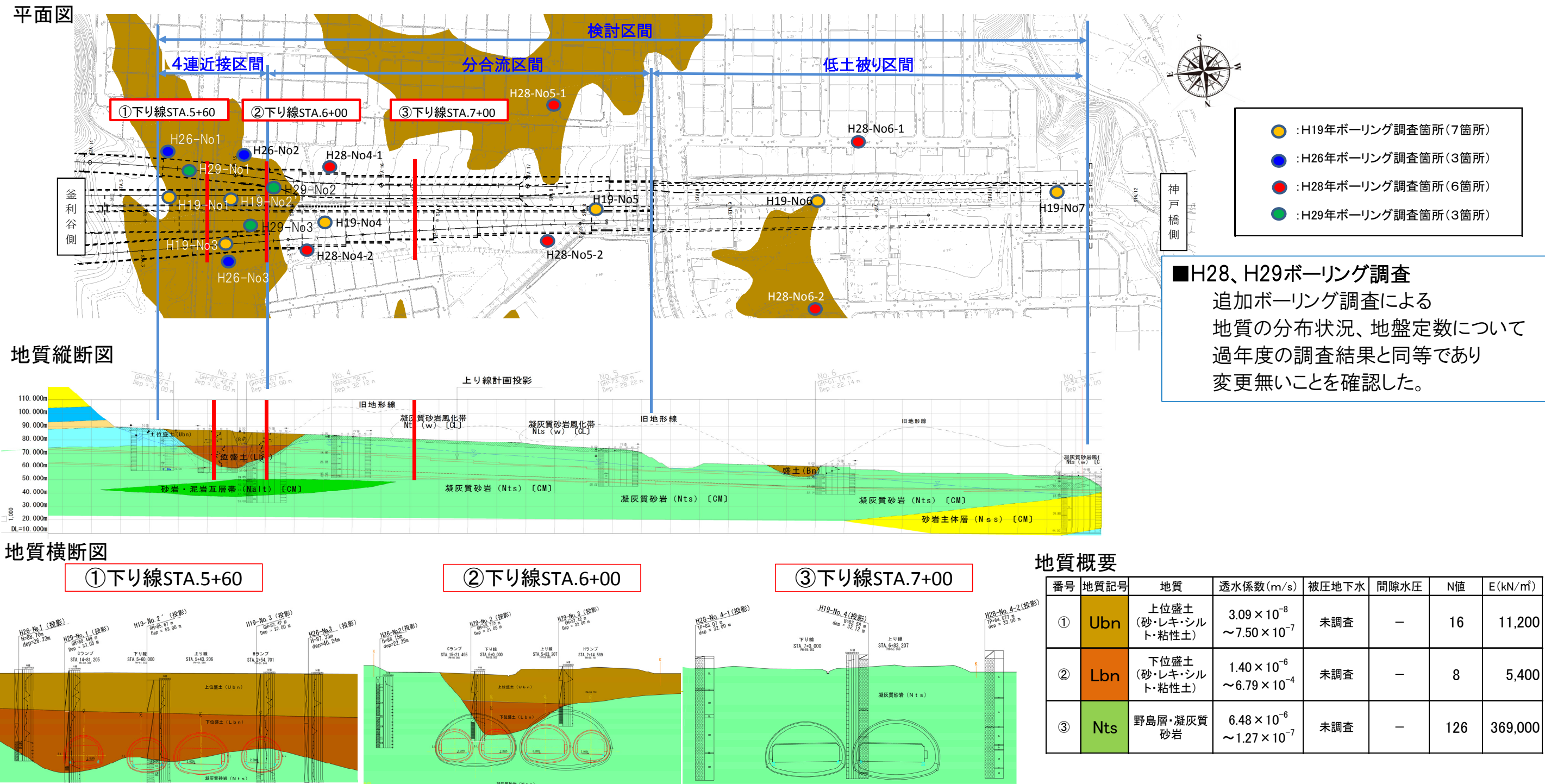
- 丘陵地における地質は、新第三紀鮮新世～第四紀前期更新世の上総層群で構成されている。
- 谷部については、宅地造成による盛土がなされている。

地山（上総層群）

- 当区間に分布する基盤層(上総層群)は、野島層(上総層群の最下部層)と呼ばれる軽石類を含む凝灰質な砂岩、砂岩・泥岩の互層、泥岩などからなる。
- トンネルのほとんどはこの地山を通過し、橋梁(神戸橋)の基礎はこの地山を支持地盤としている。

造成盛土

- 当区間のうち、宅地造成によって盛土された場所は、丘陵地の旧谷部及びいたち川周辺低地に分布している。その盛土材は、砂岩、泥岩などで構成されている。
- 庄戸トンネルの一部が、この造成盛土箇所を通過する。



(Cランプトンネル)



新 生 代





【切羽観察結果】

- 切羽全面に凝灰質砂岩を主体とする砂岩との互層であり安定している。砂岩層の層自体は亀裂は少なく締まっているものの、数cmから十数cmの砂層を介在しているため、掘削時はその面を境に岩塊が若干剥がれやすい程度である。腰の高さの砂層（写真右）に、滴水程度の湧水が確認できたが、地山の安定性に影響を与えるほどではない。

4. 施工方法の確認

(1) 分合流区間の設計・施工方法

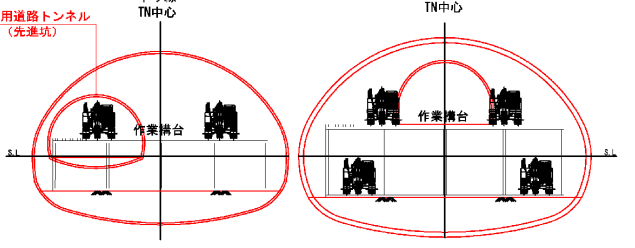
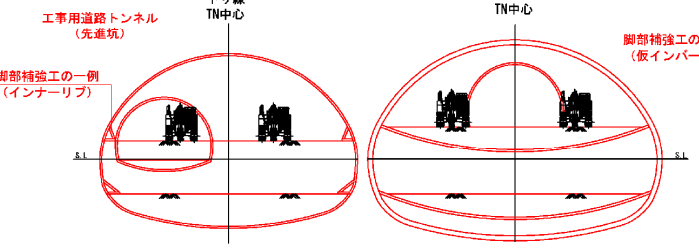
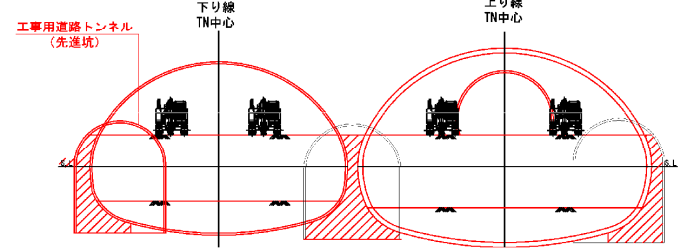
【第2回庄戸トンネル施工技術検討会資料P21抜粋】

5-2. 分合流区間の設計・施工方法

(1) 掘削工法の検討

第1回検討会においては、盛土部の支持力が期待できない区間について脚部安定性確保の観点から側壁導坑方式、基盤岩区間については中央導坑先進・上半先進工法としたが、H26年度追加土質調査結果よりトンネル支保工脚部は堅固な基盤岩に支持されることから、中央導坑を先進させることを前提とした案2) 中央導坑先進・上半先進工法を採用する方針とする。

表 5.2.1 掘削工法比較表

	案1) 中央導坑先進・補助ベンチ付き全断面工法	案2) 中央導坑先進・上半先進工法	案3) 中央・側壁導坑先進・上半先進工法
概要図	 ①上半・下半・インバート部掘削 (全断面掘削) ②断面閉合し、インバート部埋戻し ①～②を繰り返す	 ①上半掘削 ②下半、インバート部掘削、断面閉合 ①上半掘削で貫通させたのち、②下半とインバート閉合を交互に繰り返す。	 ①上半掘削 ②下半、インバート部掘削、断面閉合 ①上半掘削で貫通させたのち、②下半とインバート閉合を交互に繰り返す。
断面閉合安定性	インバートの閉合までは案2)よりも期間が比較的短い、掘削ボリュームが多く、閉合するまでに時間を要するため、脚部の安定化を図っておく必要がある。 △	全断面のインバートの閉合までに期間を要するため、脚部の安定化を図る必要がある。脚部地耐力検討の結果、インナーリブや仮インバートなどにより支保工脚部の接地幅を増やすなどして地耐力確保は可能である。 ○	側壁・下半支保工が先行して構築されることになるが、上半支保工を設置して下半支保工と接合、その後、インバート支保工によって閉合されるには時間を要するが、断面閉合までのトンネルの安定性は確保される。 ○
切羽作業の安全性	切羽高が約20mクラスとなり、小さい岩片の落下でもエネルギーが大きく、切羽に接近しての作業が困難である。 ×	掘削機械の施工高さに応じた上半盤の設定が可能で、切羽高は10m程度で施工可能である。そのため、案1)よりも切羽安定に対するコントロールがしやすい。 ○	掘削機械の施工高さに応じた上半盤の設定が可能で、切羽高は10m程度で施工可能である。そのため、案1)よりも切羽安定に対するコントロールがしやすい。 ○
追加対策の対応性	切羽高が約20mクラスで、切羽面積も極めて広いため、地山の安定性確保に対して、坑内から追加的に実施する汎用の補助工法では規模が小さく対応が困難である。 △	切羽面積が案1)より小さいため、地山の安定性確保に対して、坑内から追加的に実施する汎用の補助工法で対応が可能である。 ○	切羽面積が案1)より小さいため、地山の安定性確保に対して、坑内から追加的に実施する汎用の補助工法で対応が可能である。 ○
工事用道路トンネルの位置づけ	2車線トンネル分のNATM中央導坑を工事用道路トンネルに利用する。必要に応じて、工事用道路トンネルから事前の補強が可能である。 ○	2車線トンネル分のNATM中央導坑を工事用道路トンネルに利用する。必要に応じて、工事用道路トンネルから事前の補強が可能である。 ○	側壁導坑を工事用道路トンネルに利用できるが、導坑は、側壁直、縦長の特殊なトンネルとなり、側壁を構築するまでの構造安定性について検討を要する。 △
工費・工期	側壁導坑の掘削、側壁の構築等の費用が不要であるが、切羽が高く掘削機械が届かないため、坑内での仮栈橋の構築・撤去が別途必要である。 △	側壁導坑の掘削、側壁の構築等の費用・期間が不要である。また、基本的に上半盤掘削完了後からの盤下げ施工となるため、坑内に仮栈橋の構築は必要ない。 ○	側壁導坑の掘削、側壁の構築の費用・期間が増加する。 △
総合評価	掘削ボリュームが大きいことに起因する諸課題への対応が難しい。 ×	切羽の自立性が高い凝灰質砂岩が基盤となっており、FEM解析と地耐力検討の結果から、安定性が確保でき、かつ合理的な設計・施工が行える。 ○	側壁導坑断面の安定性と本坑を含めた経済性に劣る。 △

【過年度までの検討内容】

- 第2回庄戸トンネル施工技術検討会において、断面閉合の安定性・切羽作業の安全性から中央導坑先進・上半先進工法を選定した。

【今後の検討事項】

- 先行工事により得られた、地質条件、掘削時の内空変位、地表面沈下、地下水影響等を評価し、安全で合理的なものとなるよう引き続き検討していく。

(第2回庄戸トンネル施工技術検討会 議事要旨 抜粋)

【先行工事において確認した状況：Cランプトンネル掘削状況】

- 野島層の掘削状況から、掘削時の内空変位も軽微であり切羽の押出しも無いことから、地山は自立性が高く安定している。
- 湧水も滴水程度であり、第2回検討会で想定された地盤となっている。

(2) 4連近接区間の設計・施工方法 【第2回庄戸トンネル施工技術検討会資料P33に一部加筆】

5－3．4連近接区間の設計・施工方法

(1) 掘削解析による支保工構造の検討(その1)、および地表面沈下予測

分合流区間と同様に、2次元非線形弾性 FEM 解析を適用して、支保工構造の検討及び地表面沈下予測を行う。

解析断面については、盛土領域とトンネルの位置関係から、盛土が最も深く分布する位置およびトンネルの離隔が最も狭隘となる位置の2断面を検討対象とした。なお、実施工はロックボルトを打設するが、本解析ではロックボルトを考慮しない安全側のモデルにより検討する。

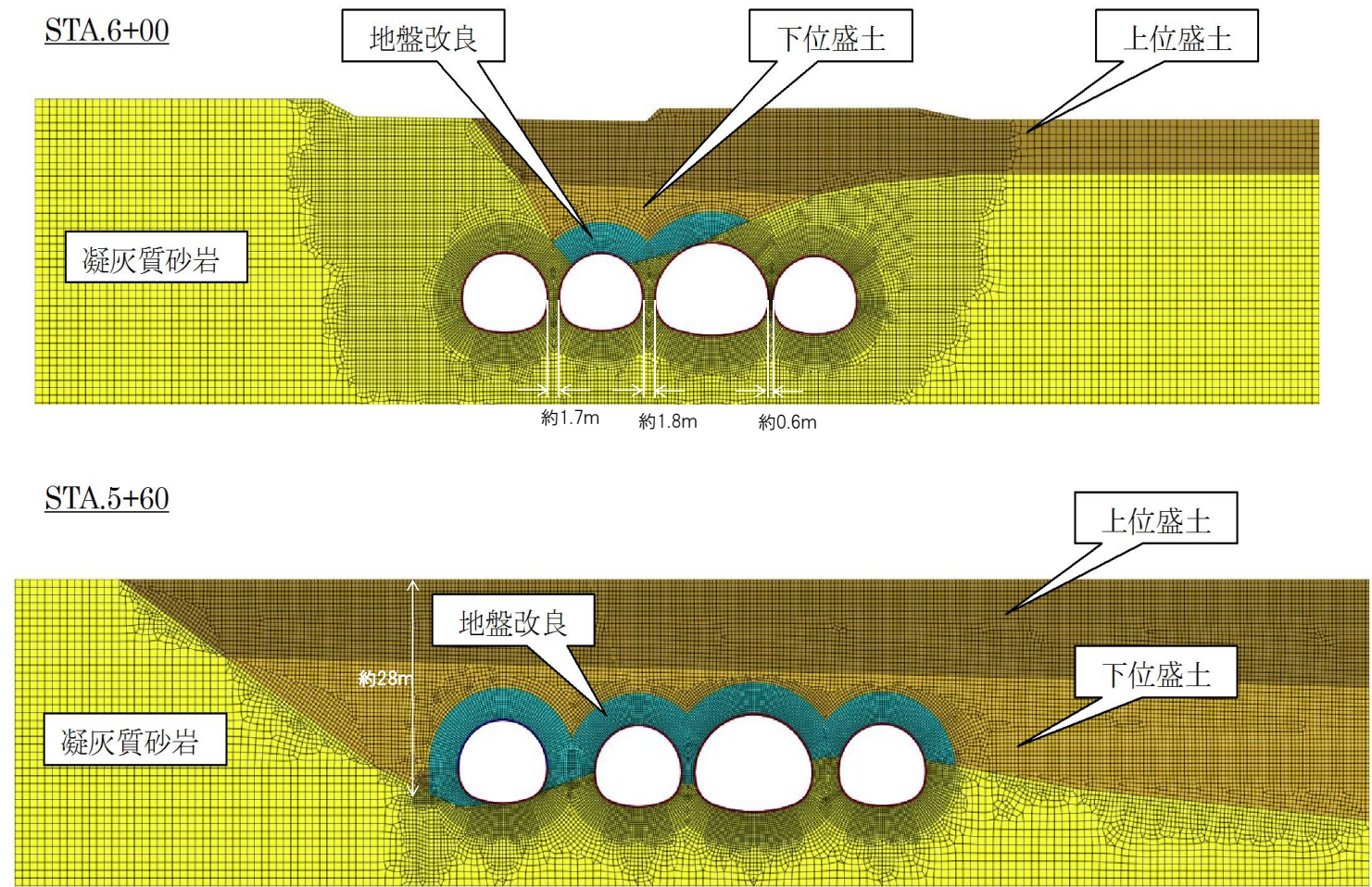
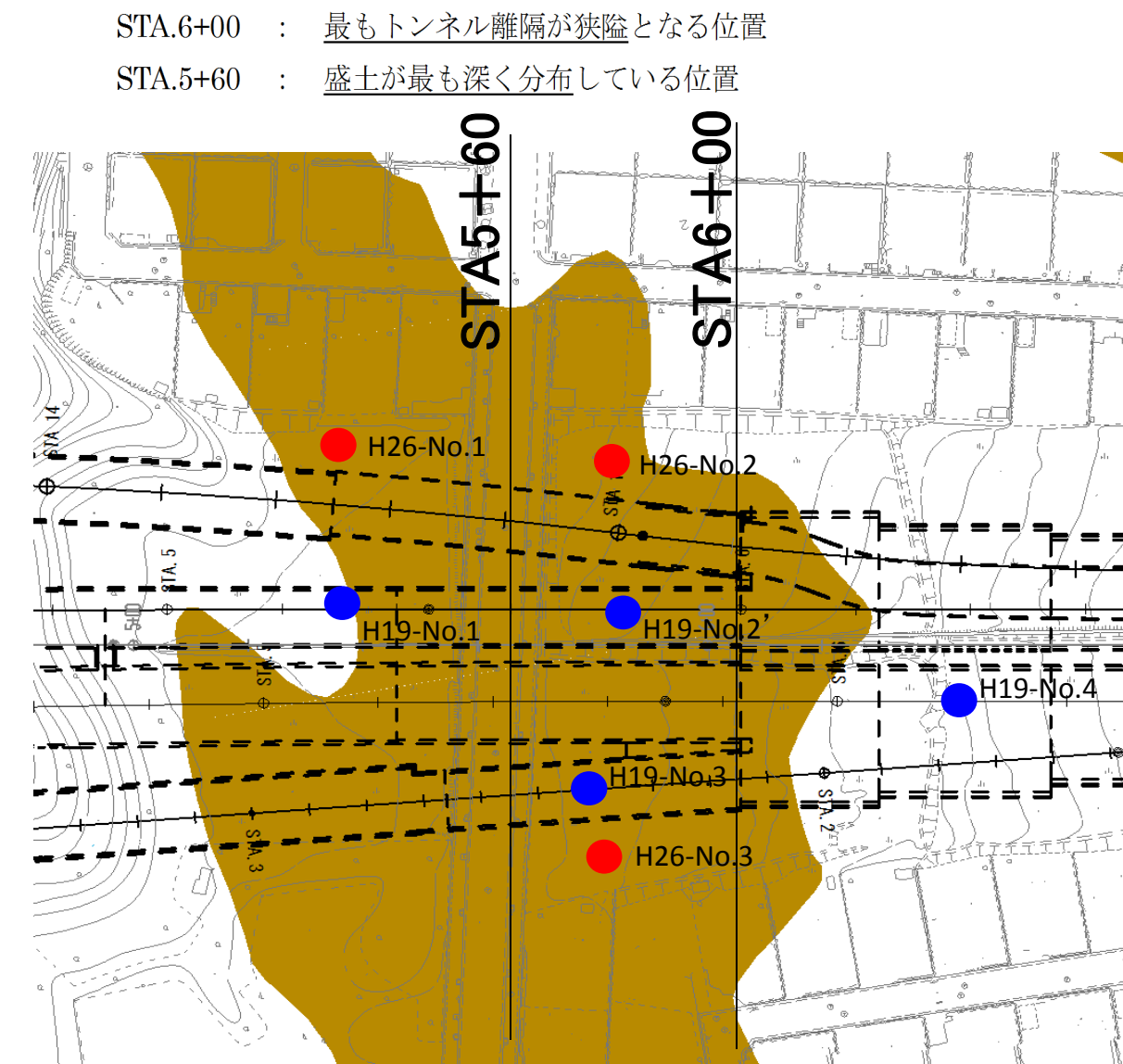
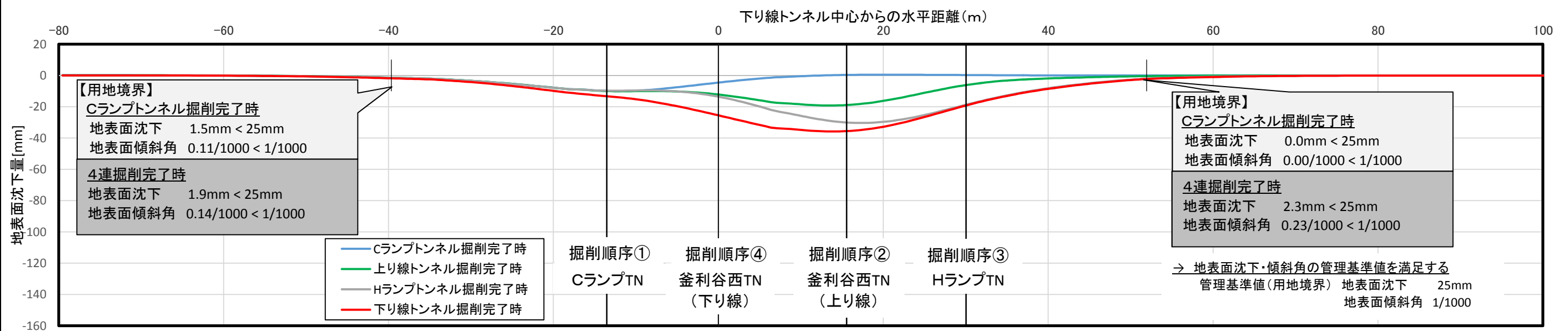


図 5.3.2 解析断面

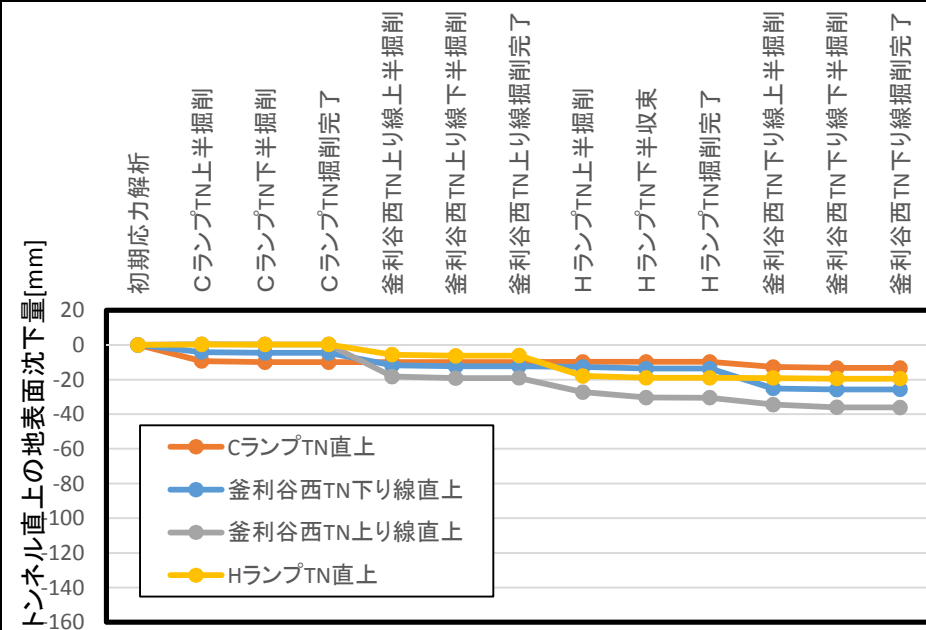
【過年度までの検討内容】

- ・第2回庄戸トンネル施工技術検討会において、基本断面検討及び施工ステップに応じた地表面沈下検討を実施した。

地表面沈下



地表面沈下 (トンネル直上) 経過時刻別変位図

最大支保工応力 (N/mm²)

支保工構造の諸元

トンネル	吹付けコンクリート	鋼製支保工
Cランプトンネル	厚さ t=20cm	HH-154
Hランプトンネル	厚さ t=20cm	HH-154

※吹付けコンクリートは、設計基準強度30N/mm²の高強度吹付けとする。
※鋼製支保工は、HT590の高規格支保工とする。

断面力および 発生応力度	Cランプトンネル支保工					照査結果
	吹付けコンクリート t=20cm		鋼製支保工 HH-154@1.0m			
	N [kN]	σ_c [N/mm ²]	N [kN]	M [kN・m]	σ_s [N/mm ²]	
解析ステップ						
CランプTN掘削完了	410.6	2.1	143.9	17.6	98.2	OK
釜利谷西TN上り線掘削完了	410.9	2.1	135.1	17.9	97.5	OK
HランプTN掘削完了	415.3	2.1	134.0	17.9	97.2	OK
釜利谷西TN下り線掘削完了	778.9	3.9	605.9	19.3	202.5	OK

断面力および 発生応力度 解析ステップ	Hランプトンネル支保工					照査結果
	吹付けコンクリート t=20cm		鋼製支保工 HH-154@1.0m			
	N [kN]	σ_c [N/mm ²]	N [kN]	M [kN・m]	σ_s [N/mm ²]	
CランプTN掘削完了	-	-	-	-	-	OK
釜利谷西TN上り線掘削完了	-	-	-	-	-	OK
HランプTN掘削完了	630.7	3.2	170.5	43.8	204.7	OK
釜利谷西TN下り線掘削完了	658.6	3.3	182.2	44.3	208.8	OK

支保工構造の諸元

トンネル	吹付けコンクリート	鋼製支保工
釜利谷西トンネル上り線	厚さ t=25cm	HH-200
釜利谷西トンネル下り線	厚さ t=20cm	HH-154

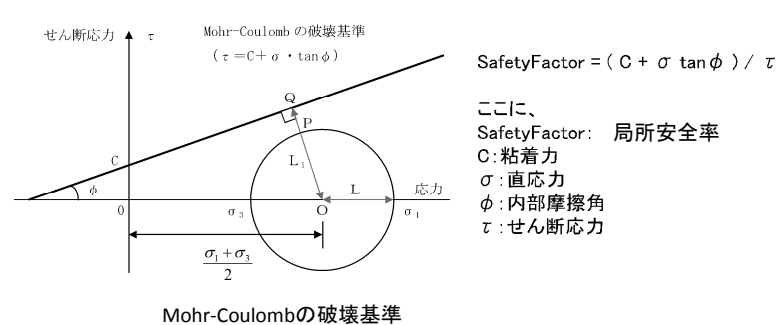
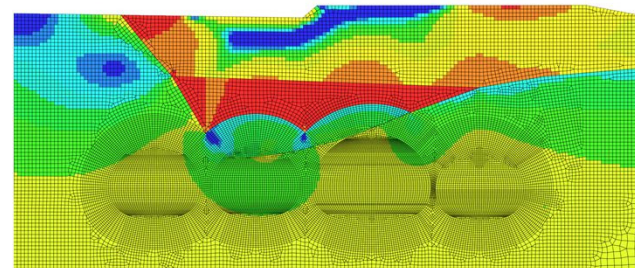
※吹付けコンクリートは、設計基準強度30N/mm²の高強度吹付けとする。
※鋼製支保工は、HT590の高規格支保工とする。

断面力および 発生応力度	釜利谷西トンネル上り線支保工					照査結果
	吹付けコンクリート t=25cm		鋼製支保工 HH-200@1.0m			
	N [kN]	σ_c [N/mm ²]	N [kN]	M [kN・m]	σ_s [N/mm ²]	
解析ステップ						
CランプTN掘削完了	-	-	-	-	-	OK
釜利谷西TN上り線掘削完了	640.0	2.6	587.1	3.6	97.1	OK
HランプTN掘削完了	1726.0	6.9	1584.0	24.2	292.3	OK
釜利谷西TN下り線掘削完了	1755.0	7.0	1610.0	23.9	295.8	OK

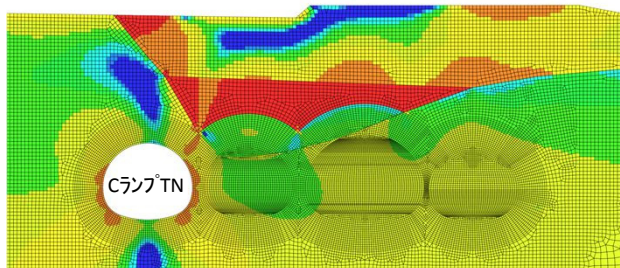
断面力および 発生応力度 解析ステップ	釜利谷西トンネル下り線支保工					照査結果
	吹付けコンクリート t=20cm		鋼製支保工 HH-154@1.0m			
	N [kN]	σ_c [N/mm ²]	N [kN]	M [kN・m]	σ_s [N/mm ²]	
CランプTN掘削完了	-	-	-	-	-	OK
釜利谷西TN上り線掘削完了	-	-	-	-	-	OK
HランプTN掘削完了	-	-	-	-	-	OK
釜利谷西TN下り線掘削完了	526.1	2.6	123.2	30.5	143.3	OK

中間地山の局所安全率

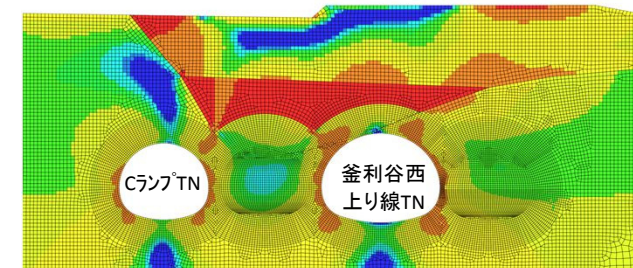
①初期応力解析



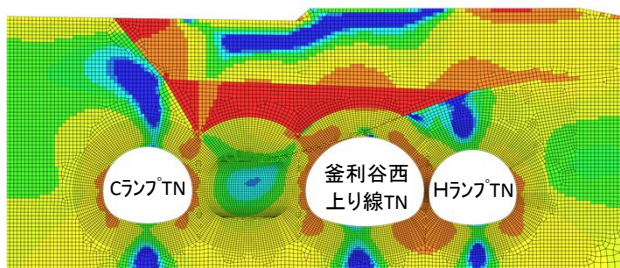
②Cランプトンネル掘削完了



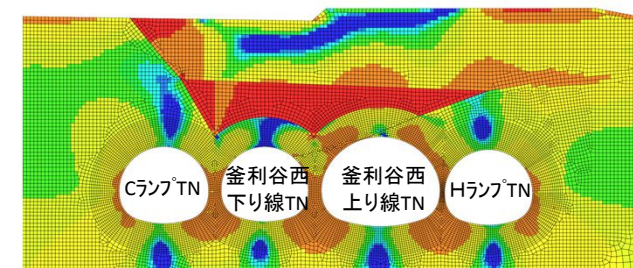
③釜利谷西トンネル上り線掘削完了



④Hランプトンネル掘削完了



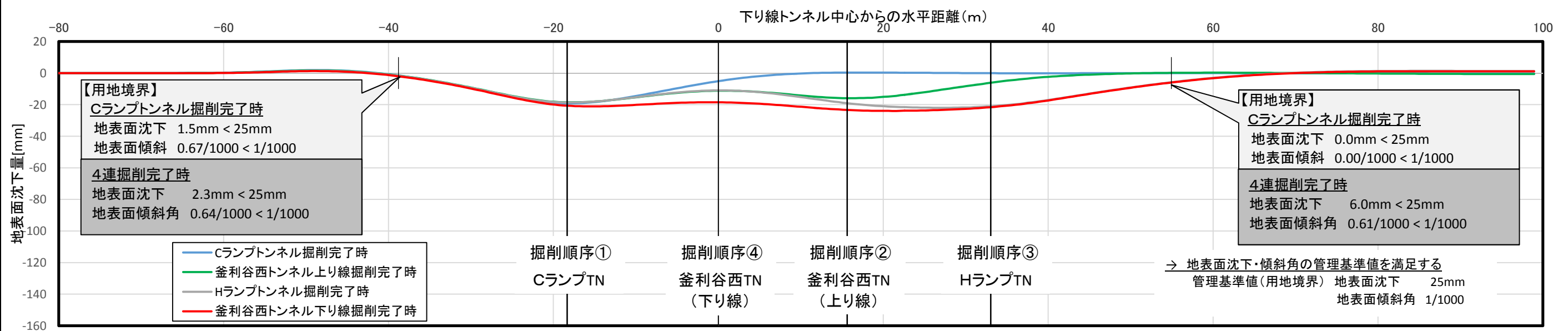
⑤釜利谷西トンネル下り線掘削完了



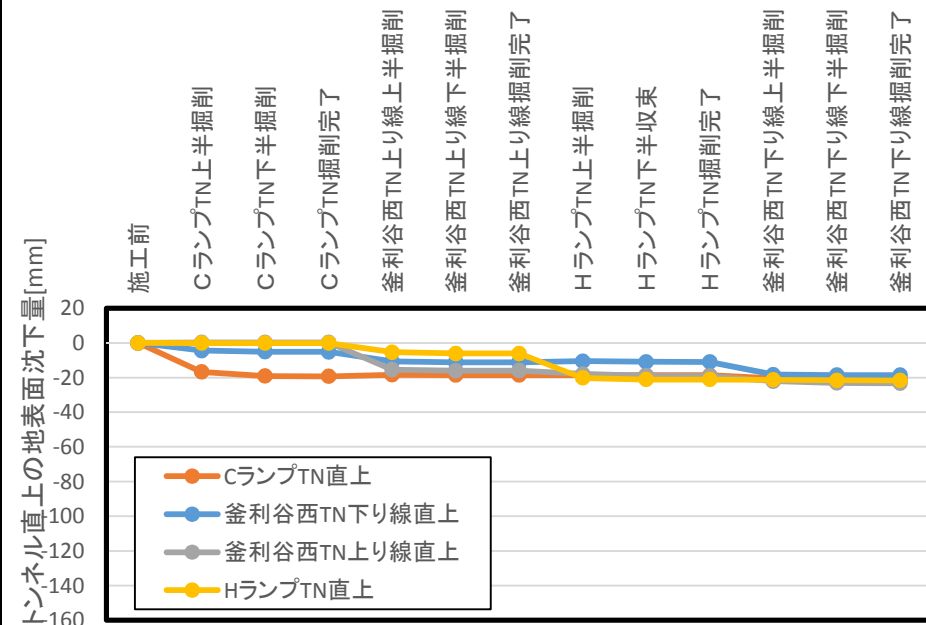
中間地山の局所安全率は1以上

表5.3.3 FEM解析結果 STA.6+00(4連近接区間・トンネル最近接部)

地表面沈下



地表面沈下 (トンネル直上) 経過時別変位図

最大支保工応力 (N/mm²)

支保工構造の諸元

トンネル	吹付けコンクリート	鋼製支保工
Cランプトンネル	厚さ t=20cm	HH-154
Hランプトンネル	厚さ t=20cm	HH-154

※吹付けコンクリートは、設計基準強度36N/mm²の高強度吹付けとする。
※鋼製支保工は、HT590の高規格支保工とする。

断面力および 発生応力度 解析ステップ	Cランプトンネル支保工					照査結果
	吹付けコンクリート t=20cm		鋼製支保工 HH-154@1.0m			
	N [kN]	σ_c [N/mm ²]	N [kN]	M [kN・m]	σ_s [N/mm ²]	
CランプTN掘削完了	388.5	1.9	214.3	33.2	173.0	OK
釜利谷西TN上り線掘削完了	389.5	1.9	214.4	33.2	172.9	OK
HランプTN掘削完了	389.2	1.9	214.1	33.2	172.9	OK
釜利谷西TN下り線掘削完了	435.7	2.2	211.4	33.2	172.3	OK

断面力および 発生応力度 解析ステップ	Hランプトンネル支保工					照査結果
	吹付けコンクリート t=20cm		鋼製支保工 HH-154@1.0m			
	N	σ_c	N	M	σ_s	
	[kN]	[N/mm ²]	[kN]	[kN・m]	[N/mm ²]	
CランプTN掘削完了	-	-	-	-	-	OK
釜利谷西TN上り線掘削完了	-	-	-	-	-	OK
HランプTN掘削完了	580.6	2.9	450.9	9.9	133.7	OK
釜利谷西TN下り線掘削完了	599.8	3.0	464.1	10.9	140.4	OK

支保工構造の諸元

トンネル	吹付けコンクリート	鋼製支保工
釜利谷西トンネル上り線	厚さ t=25cm	HH-200
釜利谷西トンネル下り線	厚さ t=20cm	HH-154

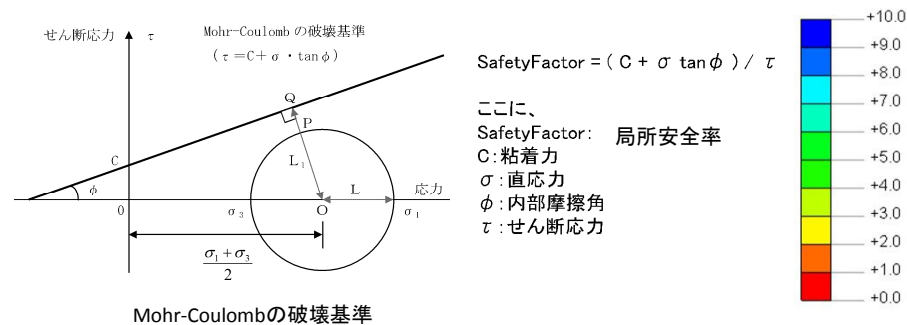
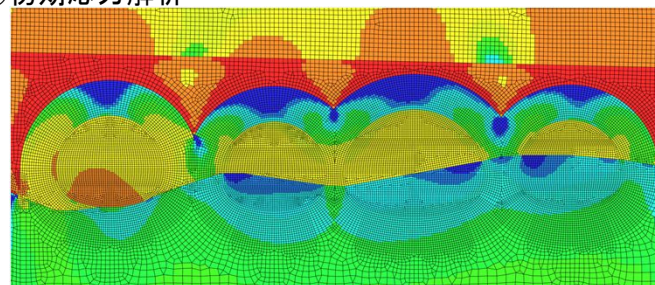
※吹付けコンクリートは、設計基準強度36N/mm²の高強度吹付けとする。
※鋼製支保工は、HT590の高規格支保工とする。

断面力および 発生応力度 解析ステップ	釜利谷西トンネル上り線支保工					照査結果
	吹付けコンクリート t=25cm		鋼製支保工 HH-200@1.0m			
	N [kN]	σ_c [N/mm ²]	N [kN]	M [kN・m]	σ_s [N/mm ²]	
CランプTN掘削完了	-	-	-	-	-	OK
釜利谷西TN上り線掘削完了	561.7	2.8	160.5	33.2	93.9	OK
HランプTN掘削完了	616.1	3.1	491.4	32.5	143.0	OK
釜利谷西TN下り線掘削完了	818.1	4.1	516.1	32.2	146.1	OK

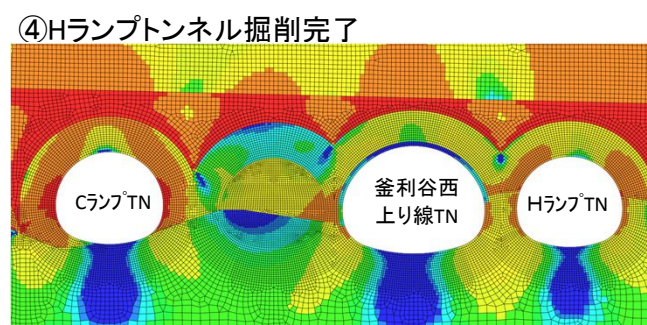
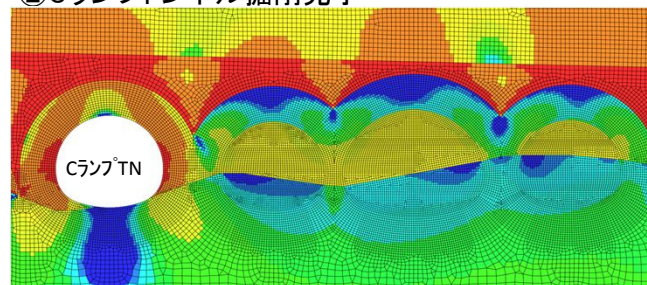
断面力および 発生応力度 解析ステップ	釜利谷西トンネル下り線支保工					照査結果
	吹付けコンクリート t=20cm		鋼製支保工 HH-154@1.0m			
	N [kN]	σ_c [N/mm ²]	N [kN]	M [kN・m]	σ_s [N/mm ²]	
CランプTN掘削完了	-	-	-	-	-	OK
釜利谷西TN上り線掘削完了	-	-	-	-	-	OK
HランプTN掘削完了	-	-	-	-	-	OK
釜利谷西TN下り線掘削完了	398.6	2.0	216.7	7.7	75.5	OK

中間地山の局所安全率

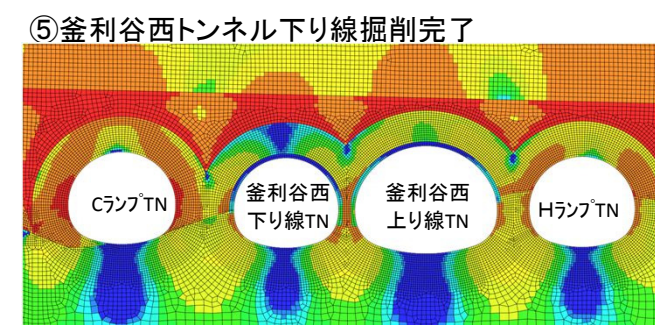
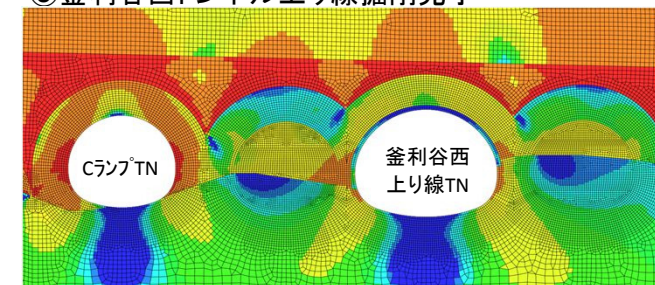
①初期応力解析



②Cランプトンネル掘削完了



③釜利谷西トンネル上り線掘削完了



中間地山の局所安全率は1以上

表5.3.4 FEM解析結果 STA.5+60(Cランプトンネル盛土包含部)

(2) 4連近接区間の設計・施工方法 【第2回庄戸トンネル施工技術検討会資料P38に一部加筆】

5－3. 4連近接区間の設計・施工方法

(2) 支保工構造の検討(その2)

分合流区間と同様に、4連近接区間もトンネル離隔が小さいことを踏まえ、FEM解析に加え、地山の自立性に期待せず併設影響を考慮した全土被り荷重が支保工に作用した安全側の場合でも問題がないことを確認する。

表 5.3.5 支保工の併設影響を考慮した全土被り荷重に対する支保工の軸力照査

	Cランプトンネル：下り線トンネルの影響	上り線トンネル：Hランプトンネルの影響	上り線トンネル：下り線トンネルの影響
支保工作用荷重 (全土被り荷重)	Cランプトンネル掘削時 釜利谷西トンネル下り線掘削時（併設影響） 2,562kN Cランプ TN 5,024kN 2,462kN Cランプ TN 下り線 TN	釜利谷西トンネル上り線掘削時 Hランプトンネル掘削時（併設影響） 3,169kN 上り線 TN 5,744kN 2,575kN 上り線 TN Hランプ TN	釜利谷西トンネル上り線掘削時 釜利谷西トンネル下り線掘削時（併設影響） 3,494kN 上り線 TN 2,572kN 6,066kN 下り線 TN 上り線 TN
掘削解析による 支保工構造 の検討(その1)	Cランプトンネル：吹付けコンクリート t=20cm(fck'=36N/mm ²)、鋼製支保工 HH-154 (HT590) 下り線トンネル：吹付けコンクリート t=20cm(fck'=36N/mm ²)、鋼製支保工 HH-154 (HT590) 上り線トンネル：吹付けコンクリート t=25cm(fck'=36N/mm ²)、鋼製支保工 HH-200 (HT590) Hランプトンネル：吹付けコンクリート t=20cm(fck'=36N/mm ²)、鋼製支保工 HH-154 (HT590)		
支保工の照査	[Cランプ支保構造] 作用荷重P=5,024kN < 許容軸力Na=5,100kN ※ A+Bの土被り荷重を載荷（併設影響） [下り線支保構造] 作用荷重P=2,462kN < 許容軸力Na=5,100kN ※ Bの土被り荷重を載荷	[上り線支保構造] 作用荷重P=5,744kN < 許容軸力Na=6,600kN ※ C+Dの土被り荷重を載荷（併設影響） [Hランプ支保構造] 作用荷重P=2,575kN < 許容軸力Na=5,100kN ※ Dの土被り荷重を載荷	[上り線支保構造] 作用荷重P=6,066kN < 許容軸力Na=6,600kN ※ E+Fの土被り荷重を載荷（併設影響） [下り線支保構造] 作用荷重P=2,572kN < 許容軸力Na=5,100kN ※ Fの土被り荷重を載荷

※掘削順序：①CランプTN ⇒ ②釜利谷西TN(上り線) ⇒ ③釜利谷西TN(下り線) ⇒ ④HランプTN

【過年度までの検討内容】

- ・地山の自立性に期待せず併設影響を考慮した全土被り荷重が支保工に作用したケースを検討した結果、安全性に問題ないことを確認した。

(3) 地山の切羽安定性評価

6-2.切羽の安定性

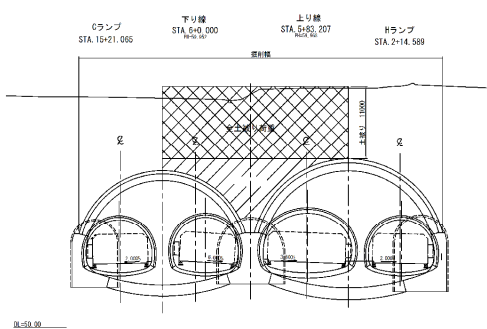
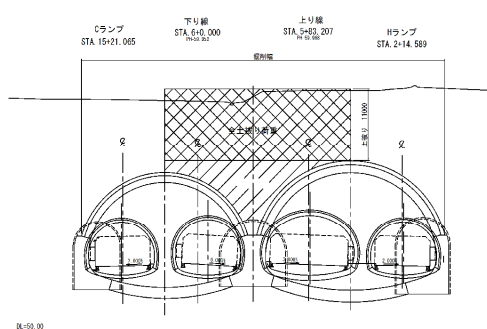
【第1回庄戸トンネル施工技術検討会資料P20抜粋】

(1) 地山の切羽安定性評価

① 分合流区間

土質調査結果から得られた物性値を基に切羽の安定性について試算を実施した結果、基盤岩である凝灰質砂岩では10mの掘削高さの切羽でも自立性は確保できると考えられる。
一方、盛土層においては切羽は安定しないため、切羽安定対策が必要となる。

表 6.2.1 分合流区間における切羽安定試算（定量的評価）

	基盤層 Nts【凝灰質砂岩】STA.6+14～8+54	盛土層区間 bs STA.6+00～6+14																
地質概要	・ 割れ目が少ない層状の軟岩であり、ハンマーで容易に割れる。あるいは、砕ける硬さである。 ・ 一軸圧縮強度は、3.1～5.9MN/m²と軟岩の範囲 ・ 湧水は、透水係数 k が 10⁻⁵cm/sec と低く、挟在する薄層との境界からの浸み出し程度とされる。	・ N 値が 11 程度 ・ 未固結層（礫混じり土砂）の盛土が分布している。 ・ 旧地形が谷部のため、谷底付近にあたるため、流下水による湧水が予想される。																
物性値	<table><tr><td></td><td>単位重量 γ (kN/m³)</td><td>粘着力 c(kN/m²)</td><td>せん断抵抗角 φ (°)</td></tr><tr><td>基盤層 Nts</td><td>19.6</td><td>1,400</td><td>21</td></tr></table>		単位重量 γ (kN/m ³)	粘着力 c(kN/m ²)	せん断抵抗角 φ (°)	基盤層 Nts	19.6	1,400	21	<table><tr><td></td><td>単位重量 γ (kN/m³)</td><td>粘着力 c(kN/m²)</td><td>せん断抵抗角 φ (°)</td></tr><tr><td>盛土層 bs</td><td>18.5</td><td>70</td><td>0</td></tr></table>		単位重量 γ (kN/m ³)	粘着力 c(kN/m ²)	せん断抵抗角 φ (°)	盛土層 bs	18.5	70	0
	単位重量 γ (kN/m ³)	粘着力 c(kN/m ²)	せん断抵抗角 φ (°)															
基盤層 Nts	19.6	1,400	21															
	単位重量 γ (kN/m ³)	粘着力 c(kN/m ²)	せん断抵抗角 φ (°)															
盛土層 bs	18.5	70	0															
作用荷重	● 全土被り荷重 ● 想定される滑り幅（線分 AC） $q = \gamma H = 19.6\text{kN/m}^3 \times 11.0\text{m} = 215.6\text{kN/m}^2$ 線分 AC=H・tan(45° - φ/2)=10m×tan34.5° =6.9m  切羽の安全率 Fs = R / S 切羽高 H=10m を想定	● 全土被り荷重 ● 想定される滑り幅（線分 AC） $q = \gamma H = 18.5\text{kN/m}^3 \times 11.0\text{m} = 203.5\text{kN/m}^2$ 線分 AC=H・tan(45° - φ/2)=10m×tan45° =10.0m  切羽の安全率 Fs = R / S 切羽高 H=10m を想定																
無対策の場合	● 切羽の滑り土塊に作用する成分 ・ 切羽面滑り土塊に作用する力 Q=q×線分 AC =215.6kN/m²×6.9m=1,488 kN ・ 滑り土塊の自重 W= 19.6kN/m³×10m×6.9m / 2×1m= 676 kN ・ BC 面上の滑る力 S=(W+Q)cos(45° - φ/2)=(676+1,488)cos(45° -21° /2)=1,783kN ・ BC 面の抵抗力 R=(W+Q)sin(45° - φ/2)tan φ +cH/cos(45° - φ/2) =(676+1,488)sin(45° -21° /2)tan21° +1,400×10.0/cos(45° -21° /2)=17,458kN ● 切羽安定の安全率 Fs=R/S=17,458/1,783=9.8>1.0 切羽は自立する	● 切羽の滑り土塊に作用する成分 ・ 切羽面滑り土塊に作用する力 Q=q×線分 AC =203.5kN/m²×10.0m=2,035 kN ・ 滑り土塊の自重 W= 18.5kN/m³×10m×10m / 2×1m= 925 kN ・ BC 面上の滑る力 S=(W+Q)cos(45° - φ/2)=(925+2,035)cos45° =2,093kN ・ BC 面の抵抗力 R=(W+Q)sin(45° - φ/2)tan φ +cH/cos(45° - φ/2) =(925+2,035)sin45° tan0+70×10.0/cos45° =990kN ● 切羽安定の安全率 Fs=R/S=990/2,093=0.47<1.0 切羽は自立しない																
	○ 基本的には無対策でも切羽は自立すると想定されるが、不連続面に対しては状況に応じて補助工法を採用する。	× 無対策では切羽は安定しない																

第1回庄戸トンネル施工技術検討会において、地山の切羽安定性評価を行い、盛土層は無対策では切羽は安定しないことから安定対策が必要であることを確認した。

（４）分合流区間の盛土部の切羽安定対策

（２）分合流区間の盛土部の切羽安定対策

分合流区間の盛土部の施工にあたっては、地表面沈下や地下水への影響を考慮する必要がある。

■坑外から対策ができる場合は、高圧噴射式攪拌工法の他に薬液注入工法、強制攪拌工法などが効果的と考えられるが、当盛土地盤には石片・礫が混在することから、強制攪拌工法の適正性に課題があり、また薬液注入工法では所定の強度増加が期待できないことから、確実性の高い「高圧噴射攪拌工法」が有効と考えられる。

■坑内から対策を行う場合、坑内から「薬液注入」を行い止水ゾーンを形成し、「注入式長尺鋼管先受＋長尺鏡ボルト」により切羽安定対策を行う複合案が考えられる。

表 6. 2. 3 分合流区間の盛土部の切羽安定対策比較表

	坑外からの対策 高圧噴射式攪拌工法案		坑内からの対策 坑内薬液注入工 ＋ 注入式長尺鋼管先受け工 ＋ 長尺鏡ボルト工 案			
断面図						
縦断面図						
施工条件	地上作業	主要作業は全て地上での作業となる。	地上作業	地上での作業は発生しない。	地上作業	地上での作業は発生しない。
	土地改変	施工ヤード・プラントによる改変あり。	土地改変	改変なし。	土地改変	改変なし。
	環境対策	騒音・振動対策を行うことで周辺家屋への影響の低減を図る。	環境対策	騒音・振動の影響が少ない。	環境対策	騒音・振動の影響が少ない。
地表面沈下影響	強制攪拌による地山改良であり、改良強度の確実性が高いため、地表面抑制効果は大きい。		坑内からの施工となるため、改良効果の信頼性は坑外に比べ低い。坑内からの薬液注入を行った後、トンネル天端部の先受および鏡面の補強による切羽安定対策を図ることにより、地表面沈下に対する影響は小さい。			
地下水への影響	強制攪拌による地山改良であり、止水対策としての効果は高い。そのため、地下水に対する影響は小さい。		止水対策のため坑内からの薬液注入を行うことにより、地下水に対する影響は小さい。			
経済性	1.00		1.90 (坑外からの対策を 1.00 とした場合の比率)			
工 期	事前改良が可能のため、トンネル施工サイクルに影響しない。		トンネル切羽からの施工となるため、トンネル施工サイクルに大きく影響する。			
総合評価	盛土区間の切羽安定対策として確実性が高い。		坑内から「薬液注入」を行い止水ゾーンを形成し、「注入式長尺鋼管先受＋長尺鏡ボルト」を行うことにより、切羽安定対策が可能である。			

※地盤改良範囲 5 mについては、「補助工法の効率的な設計施工法に関する調査検討報告書（日本道路公団委託）平成 11 年 3 月 社団法人トンネル技術協会編による。B＝D/2～5m

第１回庄戸トンネル施工技術検討会において、盛土部の施工にあたり地表面沈下や地下水への影響を考慮するため、当該地盤の性状を考慮し、施工の確実性の高い「高圧噴射攪拌工法」が有効であると整理した。

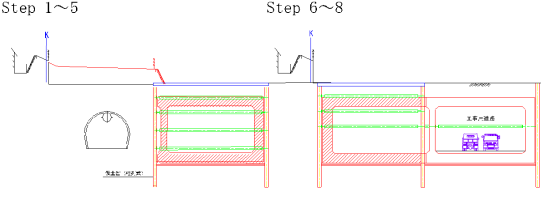
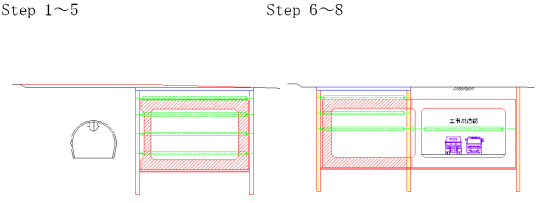
第１回庄戸トンネル施工技術検討会議事要旨

《基本的な施工方法の検討に対する意見》

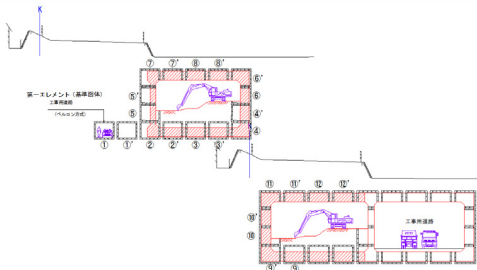
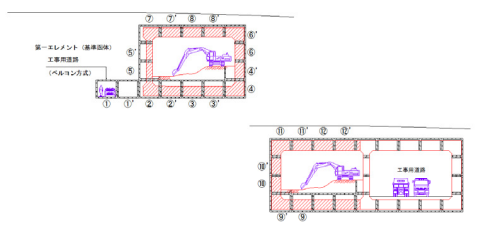
- ・分合流区間の盛土部の切羽安定対策については、地上（坑外）から施工することでより効果が期待でき、確実性が高いと考える。

（５）低土被り区間の設計・施工方法

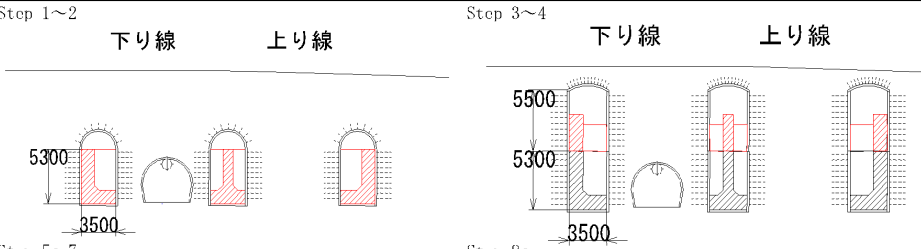
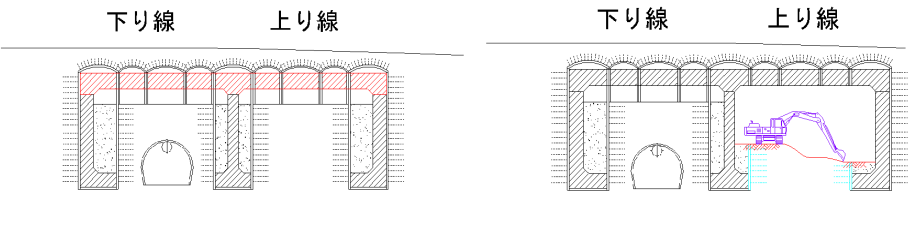
【第１回庄戸トンネル施工技術検討会資料P30抜粋】

１案）順巻工法（標準工法）			
工法概要		地上より土留を打設したのち、土留支保工を設置しながら掘削底面まで掘下げ、下床版から順次躯体を構築する工法である。	
施工順序	施工ステップ	Step 1 下り掘削 本線内土運搬路掘削 Step 2 地近面の掘削（杭打ち機安定のため） Step 3 上り掘削 地上より低土留（注列式）打設 Step 4 上り掘削 地上より床付けまで掘削 Step 5 上り掘削 下床版より躯体構築、切羽撤去 Step 6 下り掘削 地上より低土留め（注列式）打設 Step 7 下り掘削 地上より床付けまで掘削 Step 8 下り掘削 下床版より躯体構築、切羽撤去	
	家屋近接部 STA. 9+00		
	市道交差部 （最小土被り） STA. 11+20		
施工条件	地上作業による影響	施工完了までの期間、全ての作業において地上作業となる。	×
	地上改変による影響	地上部から開削されるため大規模に改変される。	×
	杭打作業による影響	地上からの杭打ち作業となるため、騒音・振動対策が必要である。	×
	掘削作業による影響	覆工版下での掘削作業でも、完全には騒音を防護できない。	×
施工上の問題点 （本線内土専用道路）		問題なし。	○
施工上の問題点 （本坑）		家屋に近接する箇所については、杭打ち機械の施工範囲に留意が必要である。	△
概算工期 （比率は案１を基準）		約 4.5 年 (1.0)	
概算工費 （比率は案１を基準）		約 50 億円 (1.0)	
庄戸トンネルへの適用性		×	

【第１回庄戸トンネル施工技術検討会資料P32抜粋】

７案）ハーモニカ工法			
工法概要		矩形断面トンネルを、いくつかの小断面に分割し、個々の断面を小型の掘削機で繰返して掘削した後、その内部に矩形断面を構築する施工方法である。	
施工順序	施工ステップ	Step 1 下り掘削 第１エレメント掘削（本線土運搬路として利用） Step 2 上り掘削 第２エレメント掘削 Step 3 上り掘削 スキンプレート撤去 Step 4 上り掘削 躯体構築 Step 5 上り掘削 躯体内部片押しトンネル掘削 Step 6 本線工事用道路の切り替え Step 7 下り掘削 第２エレメント掘削 Step 8 下り掘削 スキンプレート撤去 Step 9 下り掘削 躯体構築 Step 10 下り掘削 躯体内部片押しトンネル掘削	
	家屋近接部 STA. 9+00		
	市道交差部 （最小土被り） STA. 11+20		
施工条件	地上作業による影響	地上作業は不要である。	○
	地上改変による影響	特になし。	○
	杭打作業による影響	杭打ち作業はない。	○
	掘削作業による影響	トンネル内の掘削作業となるため、掘削時に生じる騒音・振動が坑外に漏れることはほとんどない。	○
施工上の問題点 （本線内土運搬路）		エレメント内をベルコン設置空間として利用するが、狭隘のため、人力によるベルコン設置・撤去作業となる。	△
施工上の問題点 （本坑）		問題なし。	○
概算工期 （比率は案１を基準）		(2.2) マシン 2 台の使用 (1.7) マシン 4 台使用 (最短)	
概算工費 （比率は案１を基準）		(2.5)	
庄戸トンネルへの適用性		○	

【第１回庄戸トンネル施工技術検討会資料P36抜粋】

１１案）側壁・中壁導坑先進工法（NATM）			
工法概要		側壁・中壁導坑を掘削して側壁を構築したのち、上床版部の導坑を掘削して上床版を構築して、内部を掘削する方法。	
施工順序	施工ステップ	Step 1 本線内土運搬路設置！下段側壁導坑掘削 Step 2 下段側壁構築！埋戻し Step 3 上段側壁導坑掘削 Step 4 上段側壁構築！埋戻し Step 5 上床版導坑掘削 Step 6 上床版導坑掘削 Step 7 上床版構築 Step 8 上り路側 掘削！底床版構築 Step 9 下り路側 掘削！底床版構築	
	市道交差部 （最小土被り） STA. 11+20		
			
施工条件	地上作業による影響	地上作業はない。	○
	杭打作業による影響	杭打ち作業はない。	○
	掘削作業による影響	トンネル内の掘削作業となるため、掘削時に生じる騒音・振動が坑外に漏れることはほとんどない。	○
	施工上の問題点 （本線内土専用道路）	本線内土運搬路と側壁導坑の隔離に留意が必要であるが、十分施工は可能である。	○
施工上の問題点 （本坑）		土被りが薄い区間は、パイプルーフ工法（小口径）等を併用することで、地表面沈下を防止できる。	○
概算工期 （比率は案１を基準）		(1.2)	
概算工費 （比率は案１を基準）		(1.4)	
庄戸トンネルへの適用性		◎	

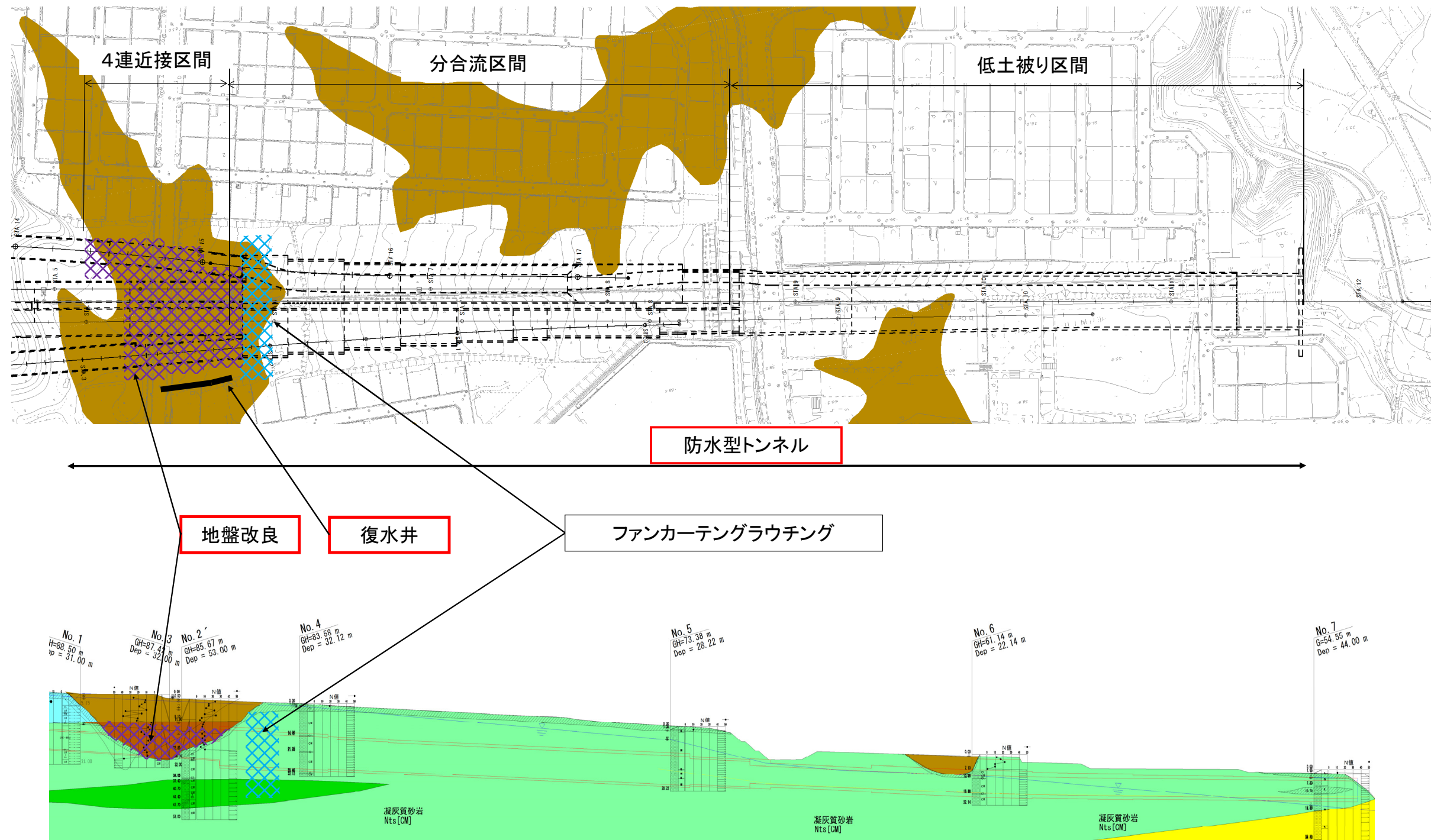
- 【過年度までの検討内容】
- 第１回庄戸トンネル施工技術検討会において、低土被り区間の非開削工法の適用性について検討した。
- 【今後の検討事項】
- 非開削工法の適用性があると考えるが、現地条件によっては部分的な地上からの施工の必要性を含め、引き続き検討する必要がある。

5. 地下水の変動抑制対策

第2回庄戸トンネル施工技術検討会において、トンネル構築による周辺地下水の変動を抑制する対策を講じることとしており、実施に向けて細部の検討を行っている。

- ①防水型トンネル・・・掘削中は浸み出し程度の滴水はあるものの湧水は基本的にわずかと考えられるが、トンネル周辺の地下水位を低下させないことを目的に防水型トンネルを採用する。
- ②地盤改良・・・地盤の安定性向上と工事中の止水性向上を図るため地盤改良を実施する。確実な改良効果を図るため地上からの高圧噴射工攪拌法を採用する。
- ③復水井・・・地盤改良による一時的な地下水位の低下対策として、復水井（リチャージウェル）を設置する。復水井の形状及び仕様は検討中である。

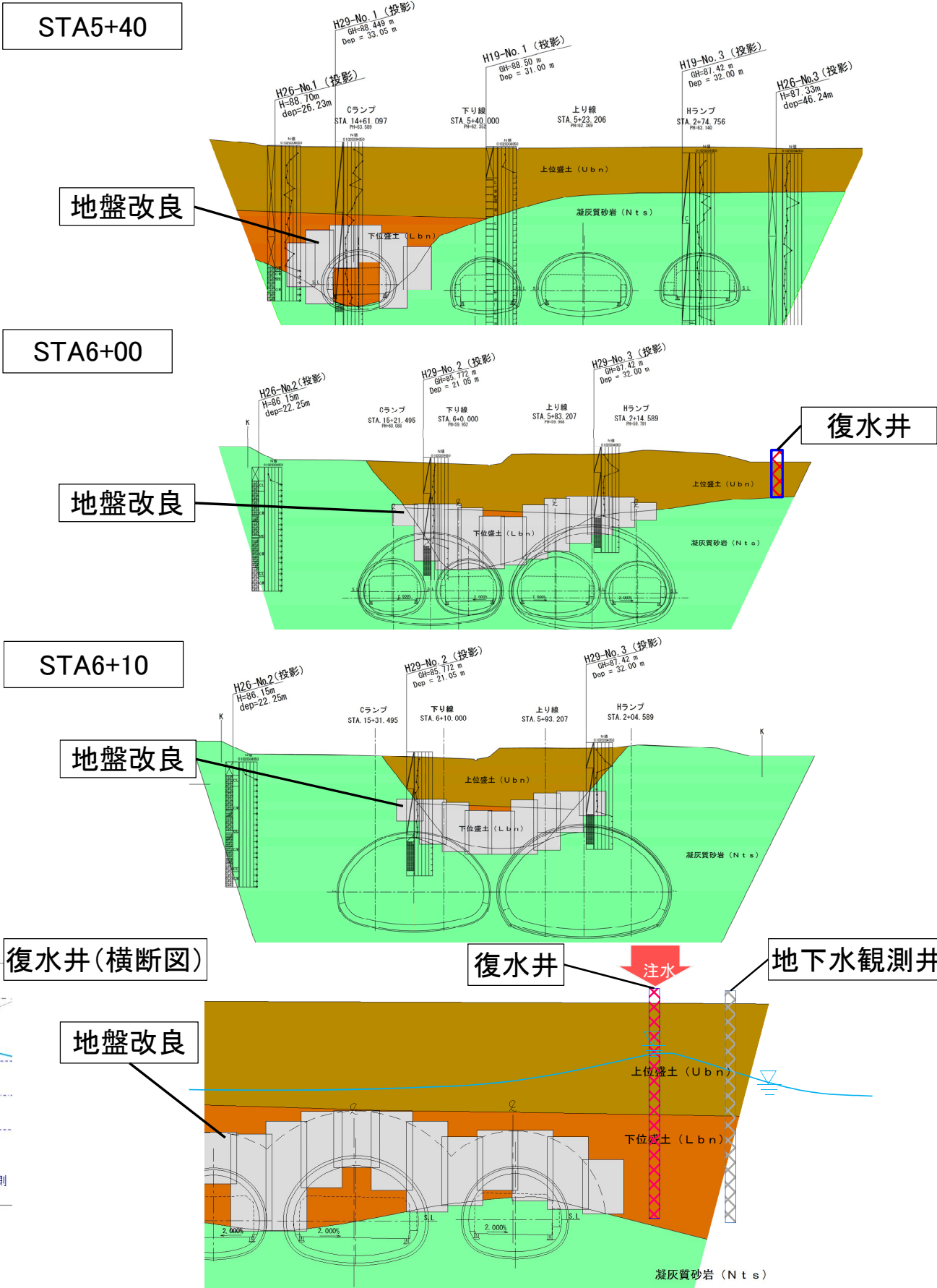
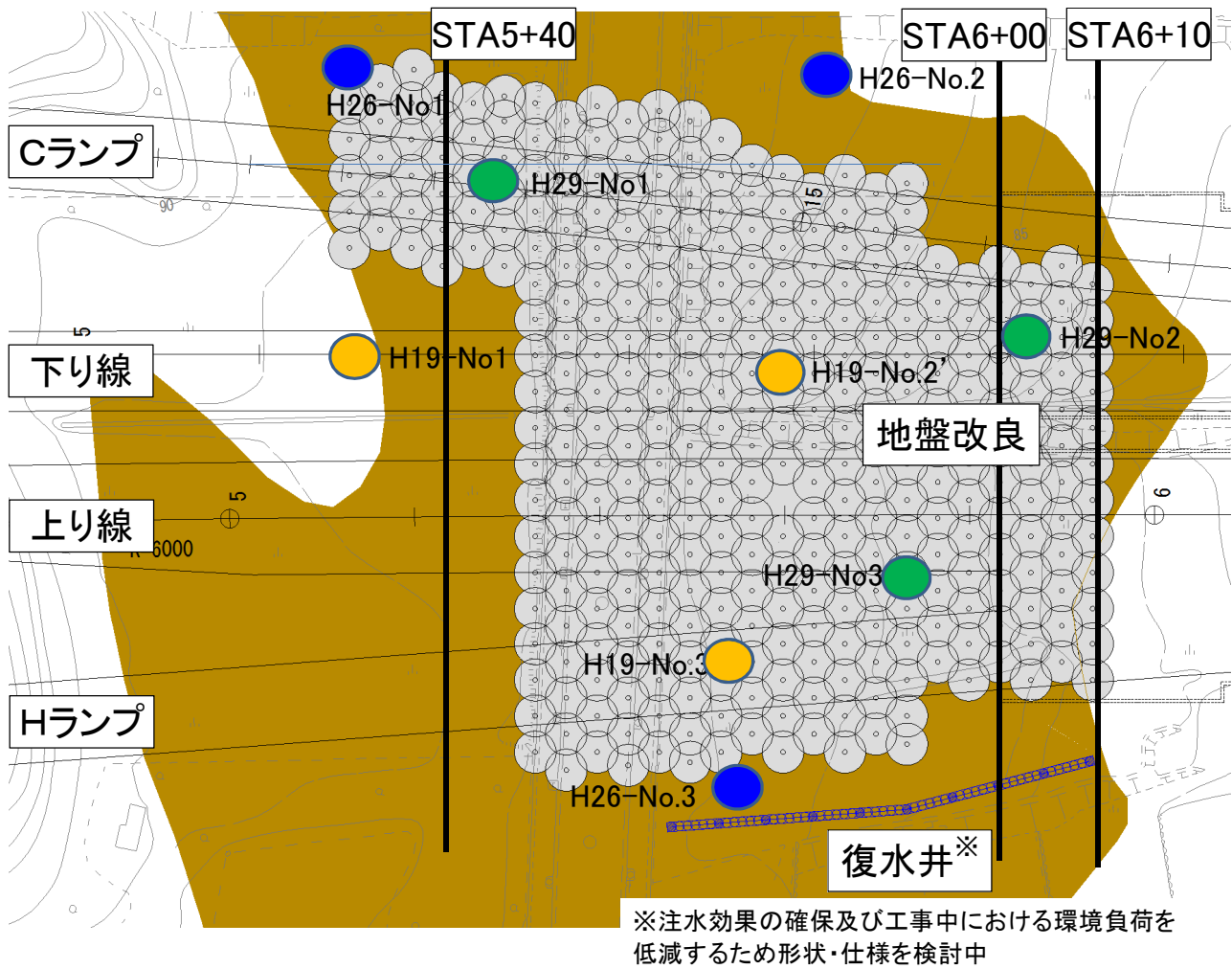
【第2回庄戸トンネル施工技術検討会資料P42抜粋】



(1) 地盤改良工の実施計画（案）

過年度検討会における検討事項に基づき施工計画を立案

- ①地盤改良範囲・深度：旧地形図及び過年度ボーリング成果に加え追加ボーリングを実施し改良範囲及び改良深さ（改良長さ：平均9m）を決定した。
- ②地盤改良設計強度：現地採取した試料により室内配合試験を実施し、設計強度3MN/m²が確保できることを確認した。



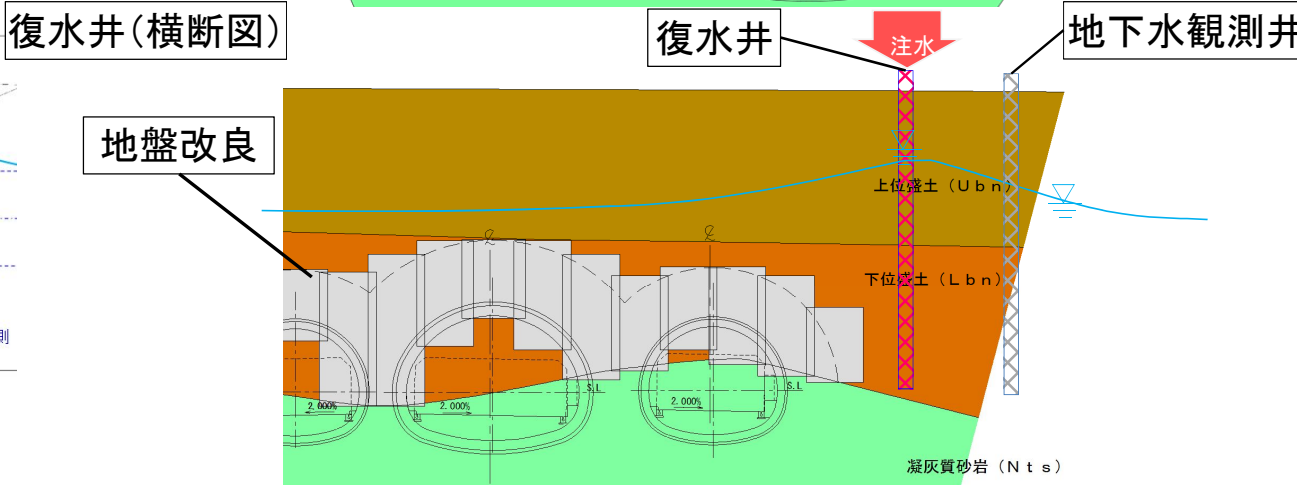
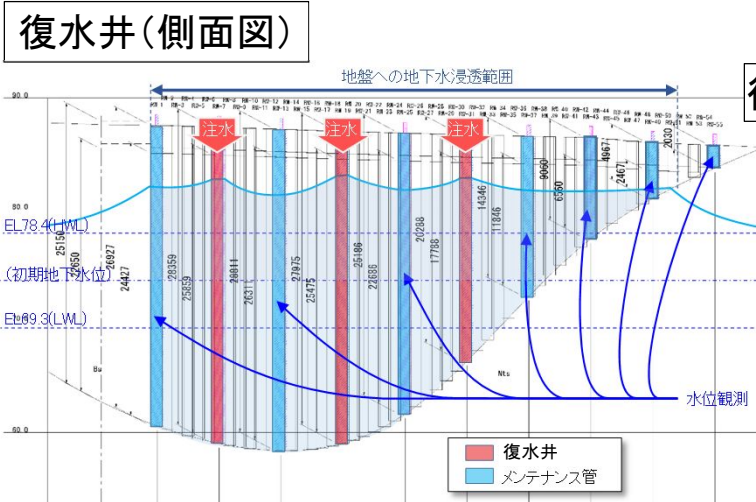
地盤改良工事 基本事項

【基本的事項】

- ・改良径：4.5m/本、・本数：約340本
- ・改良体積：約46,000m³
- ・掘削長さ：約23m/本(平均)
- ・内改良長：約9m/本(平均)
- ・施工方法：ジェットクリート工法

【地盤改良後の物性について】

- ・現地採取した試料で配合試験を実施。
- ・設計強度3MN/m²に対し、目標強度9MN/m²（材齢28日強度）以上の一軸圧縮強度を確認。
- ・配合試験結果：10.3MN/m²(上位盛土)
：10.5MN/m²(下位盛土)



6. 施工中の観測計画

工事期間中における地表面変位等の観測計画は次のとおりとする。

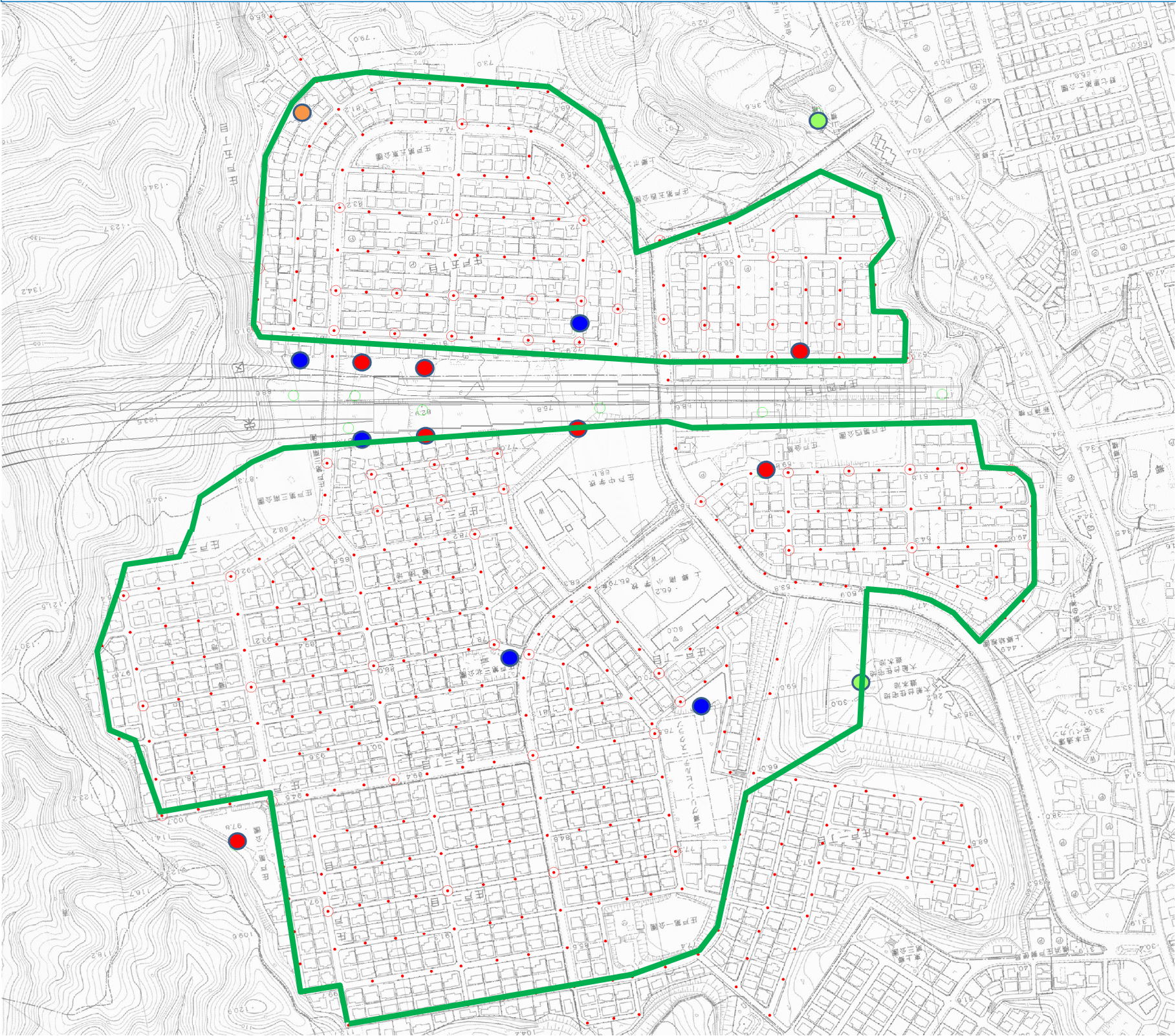
【観測時期・期間】

①地表面高さ測定

- ・調査地点 : 457点 (内、継続調査地点: 67点)
- ・調査項目 : 道路現況高さ測定

②地下水観測

- ・調査地点 : 15箇所(廃止予定の地下水観測孔を除く)
- ・調査項目 : 地下水位測定、 流向・流速測定
流量・水質測定(地下水流末)、 水質測定(既存井戸)



- 地下水位等の観測(廃止予定のものを除く)
 - 地下水位
 - 地下水位、流向・流速、水質
 - 流量・水質
 - 水質(既存井戸)
- 道路現況高さ測定(水準測量)
 - 計測箇所 (457点)
 - 継続的に測定する代表点 (67点)
- : 地表面高さ(広域観測範囲)
(第2回 庄戸トンネル施工技術検討会)