

参考資料2

1. 大断面再掘削計画について…………… P 1～20
2. 3連トンネル左右坑掘削計画について…………… P21～25

平成30年11月29日(木)

福岡市交通局

1. 大断面再掘削計画について

1. 大断面再掘削計画について

(1) 解析的検討

人工岩盤造成及びAGFを反映させた解析を実施した(解放率20%, 80%)

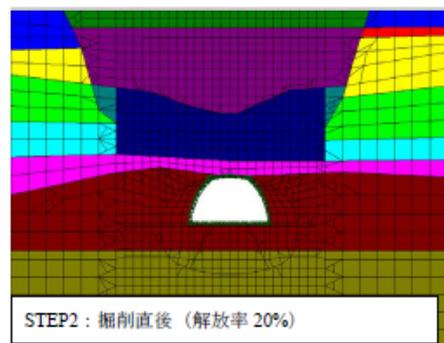
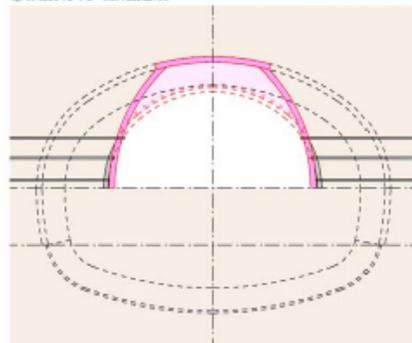
○解析ステップ

2. 解析ステップ

(1) ステップ1は自重解析

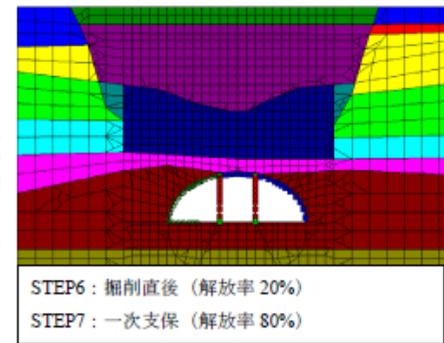
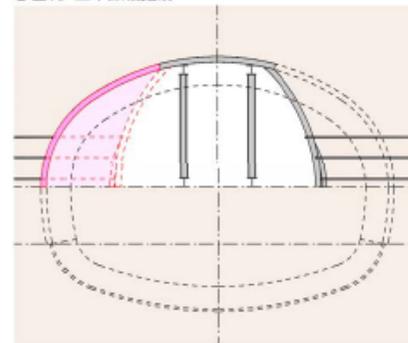
(2) ステップ2

②頂設導坑 拡幅掘削



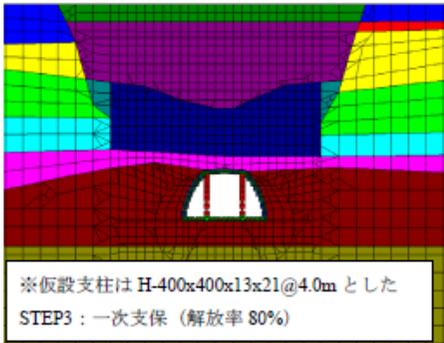
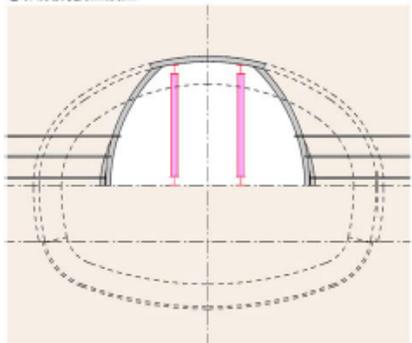
(5) ステップ6、7

④左坑 上半拡幅掘削



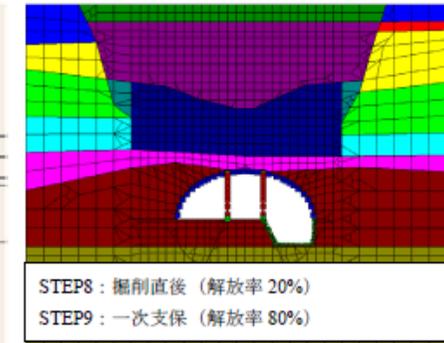
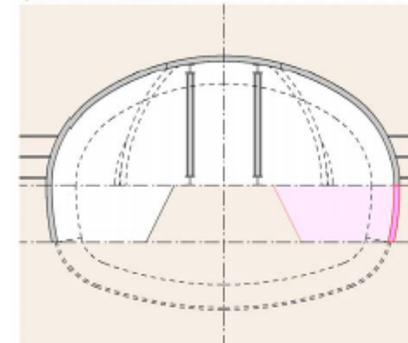
(3) ステップ3

③仮設鋼製柱設置



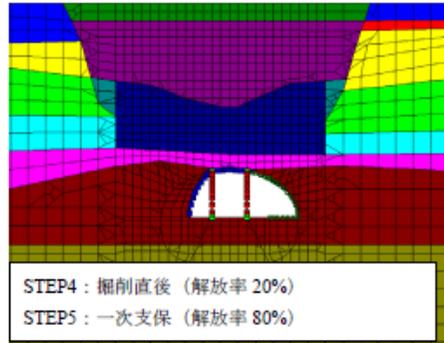
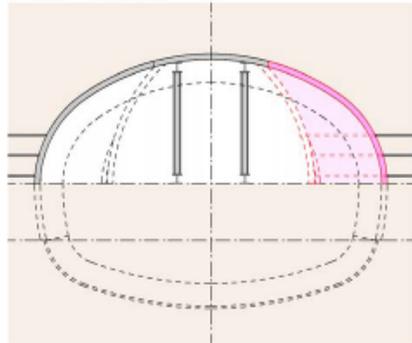
(5) ステップ8、9

⑦右坑 下半拡幅掘削



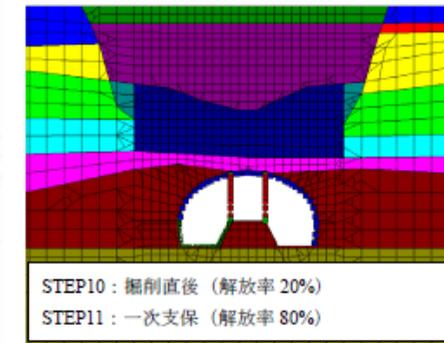
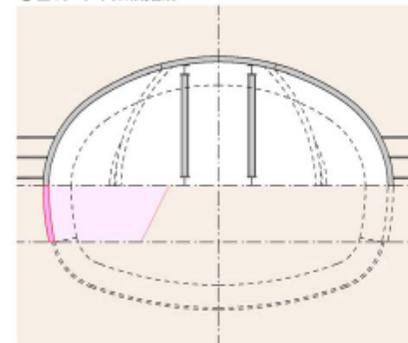
(4) ステップ4、5

⑤右坑 上半拡幅掘削



(6) ステップ10、11

⑥左坑 下半拡幅掘削



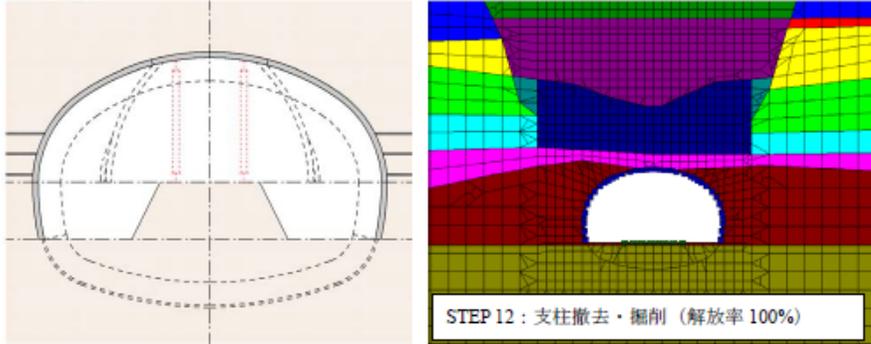
1. 大断面再掘削計画について

(1) 解析的検討

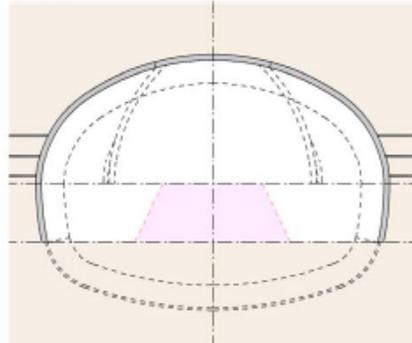
人工岩盤造成及びAGFを反映させた解析を実施した(解放率20%, 80%)

○解析ステップ

⑧ 仮設鋼製柱撤去

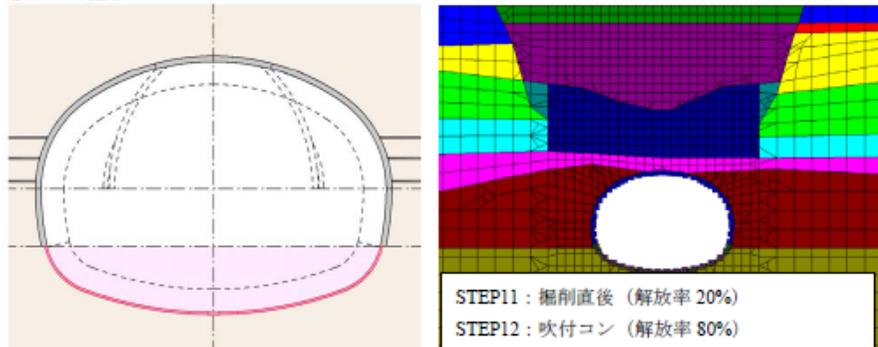


⑨ 盤下げ

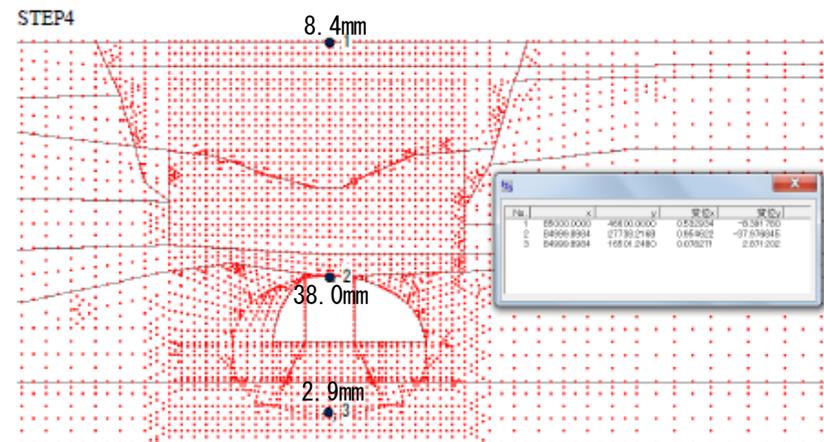
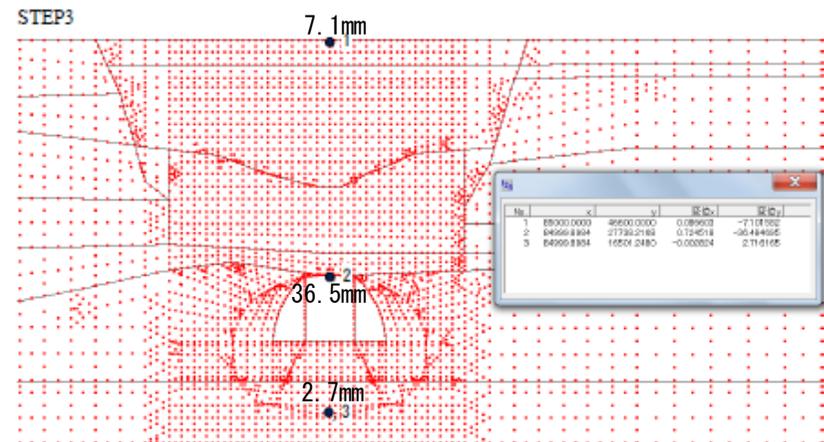
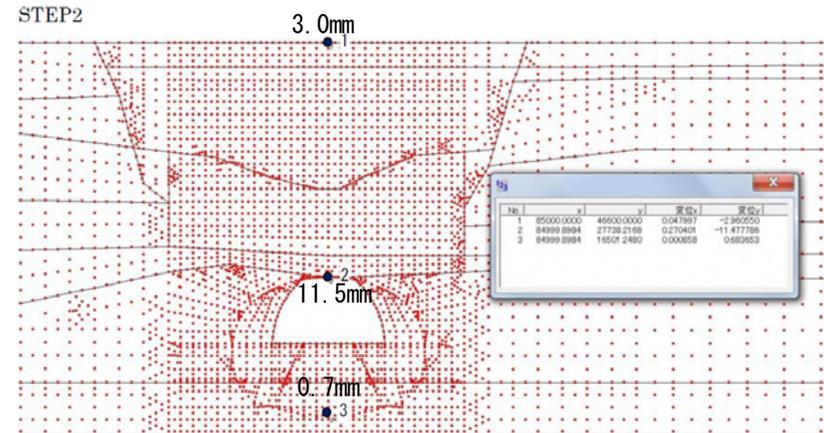


(8) ステップ13、14

⑩ インバート掘削



○解析結果 (変位)

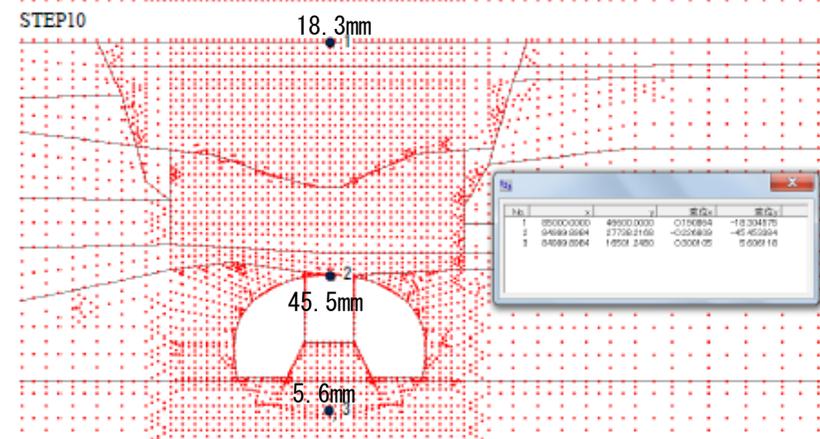
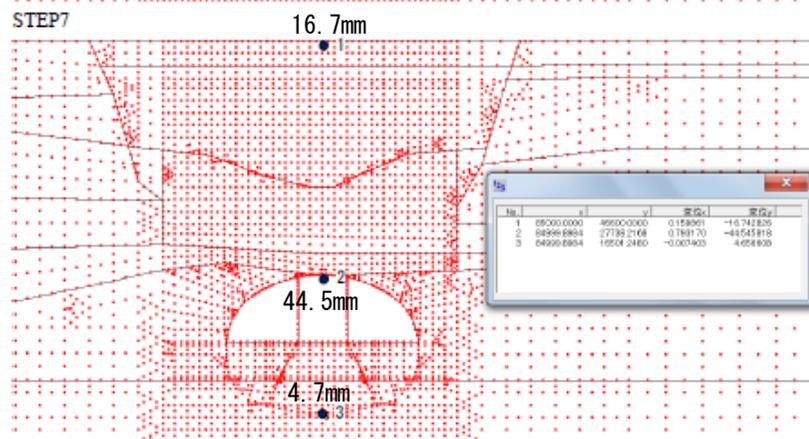
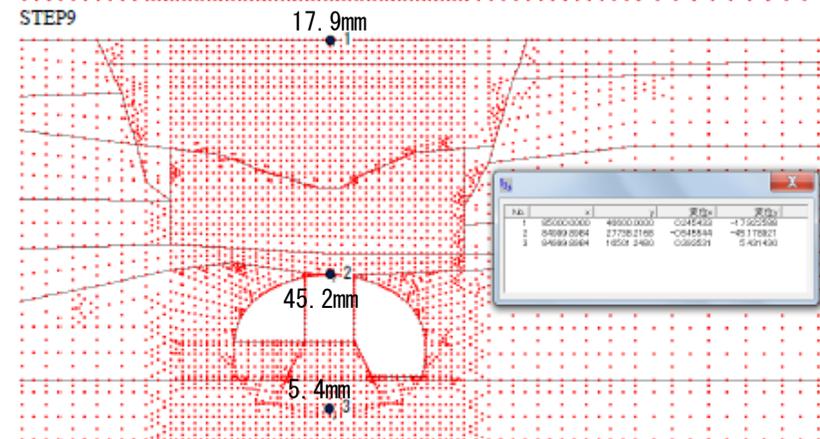
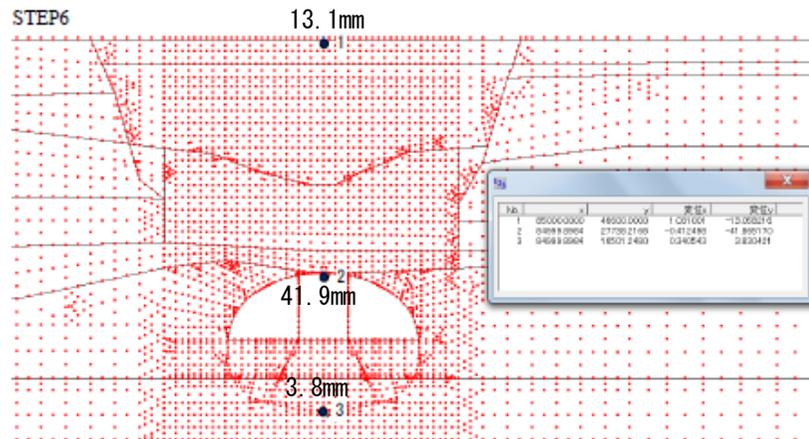
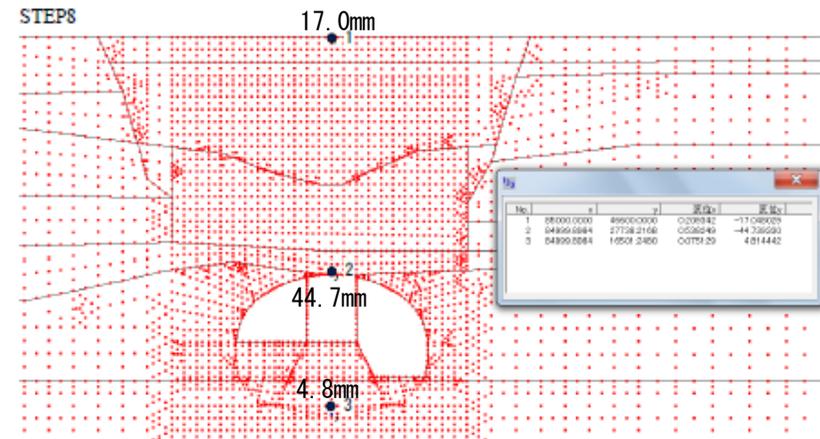
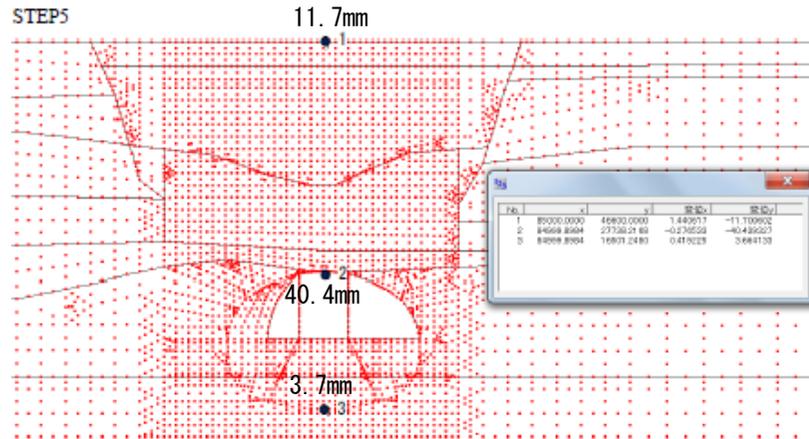


1. 大断面再掘削計画について

(1) 解析的検討

人工岩盤造成及びAGFを反映させた解析を実施した(解放率20%, 80%)

○解析結果(変位)

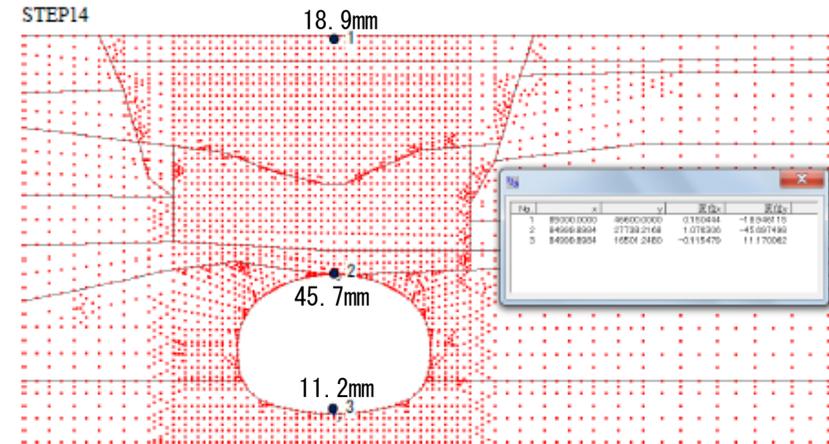
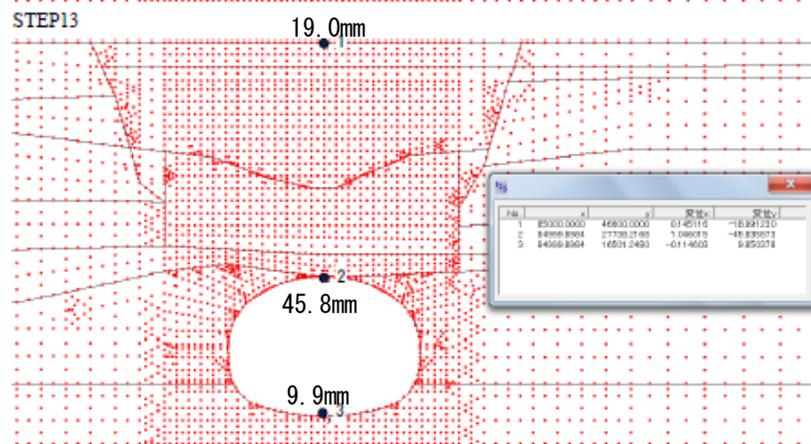
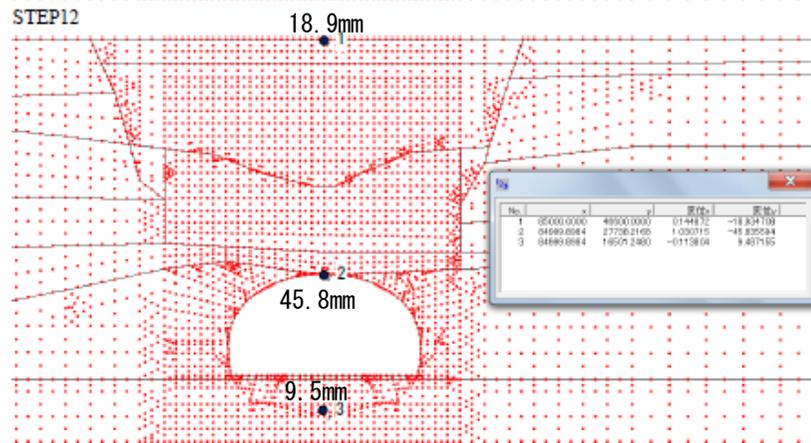
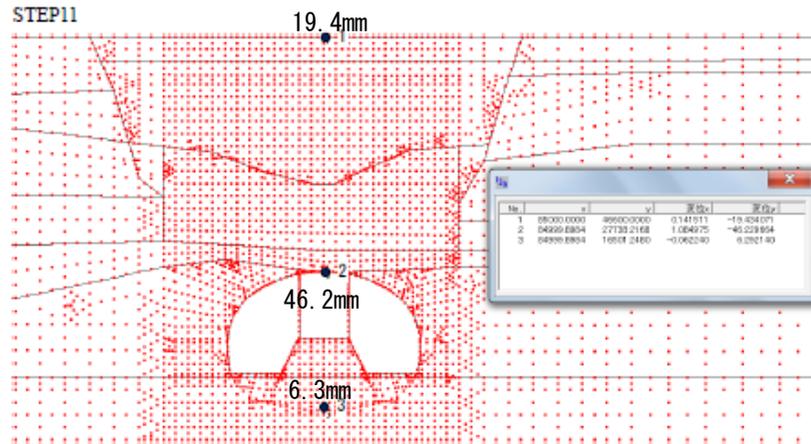


1. 大断面再掘削計画について

(1) 解析的検討

人工岩盤造成及びAGFを反映させた解析を実施した(解放率20%, 80%)

○解析結果(変位)

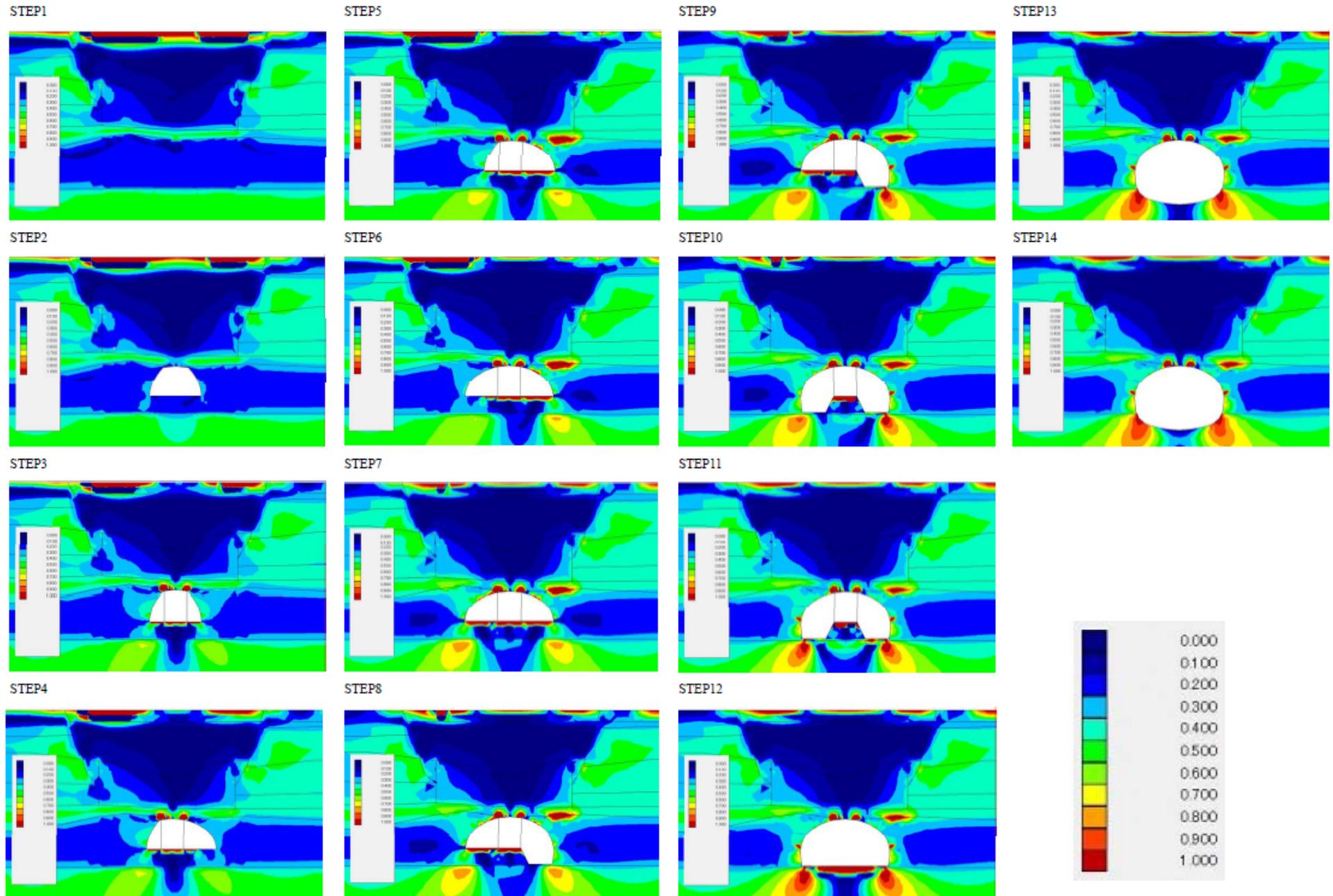


1. 大断面再掘削計画について

(1) 解析的検討

人工岩盤造成及びAGFを反映させた解析を実施した(解放率20%, 80%)

○破壊接近度による評価(緩み範囲)



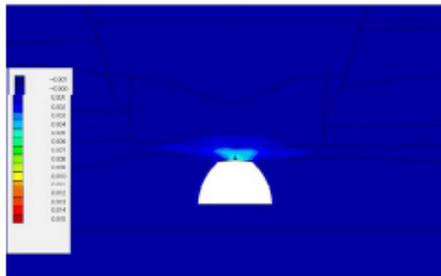
1. 大断面再掘削計画について

(1) 解析的検討

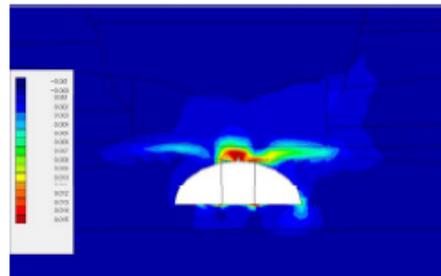
人工岩盤造成及びAGFを反映させた解析を実施した(解放率20%, 80%)

○最大せん断ひずみによる評価(緩み範囲)

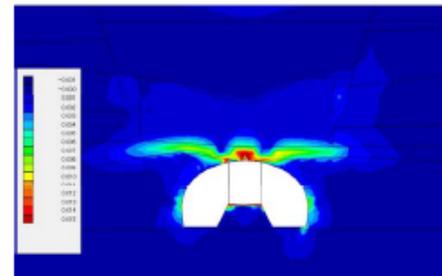
STEP2



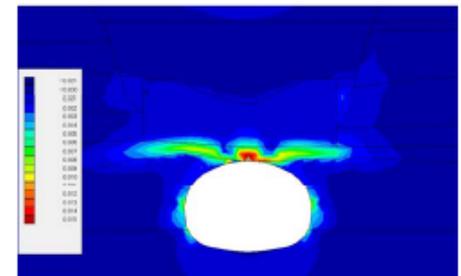
STEP6



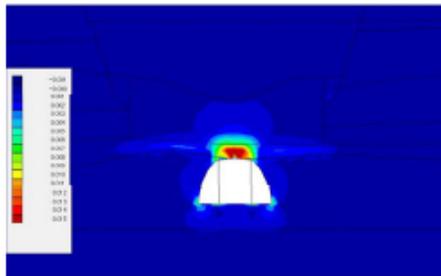
STEP10



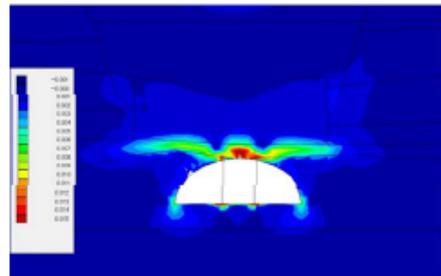
STEP14



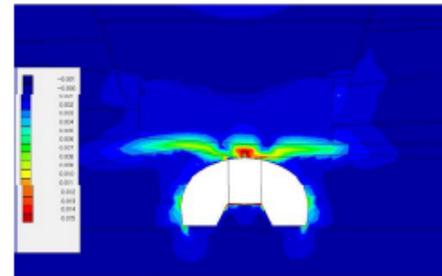
STEP3



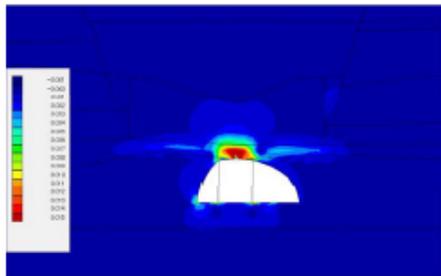
STEP7



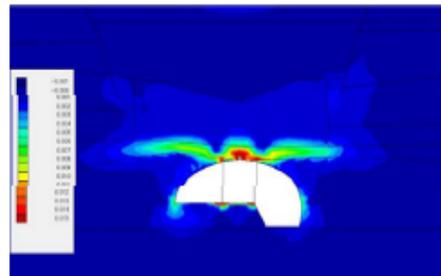
STEP11



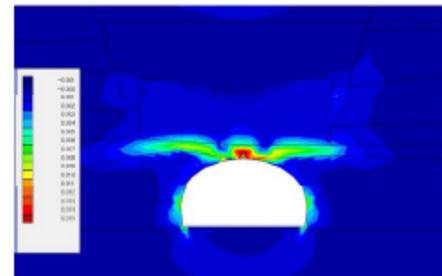
STEP4



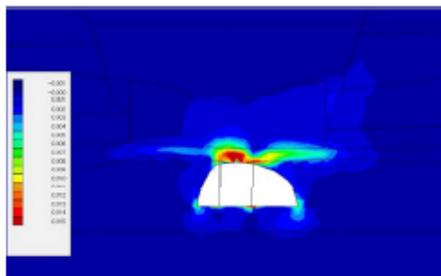
STEP8



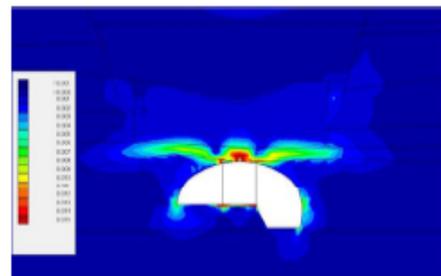
STEP12



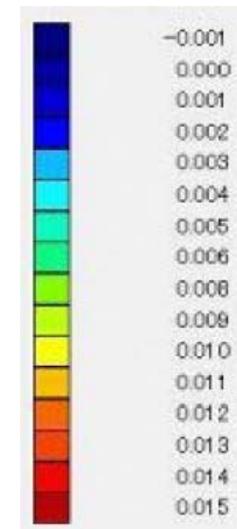
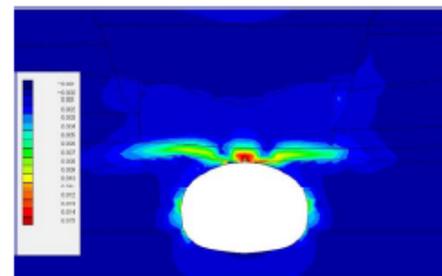
STEP5



STEP9



STEP13



1. 大断面再掘削計画について

(1) 解析的検討

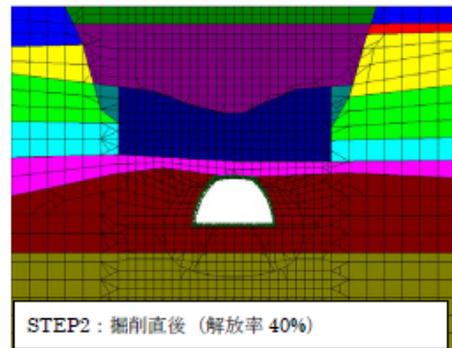
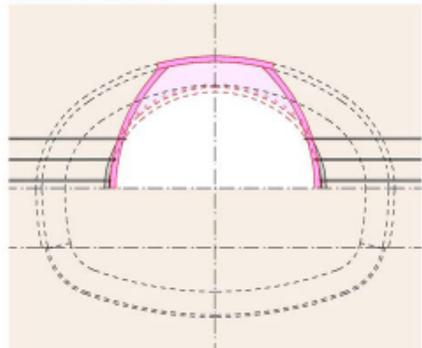
人工岩盤造成を反映させた解析を実施した(解放率40%, 60%)

○解析ステップ

(1) ステップ1は自重解析

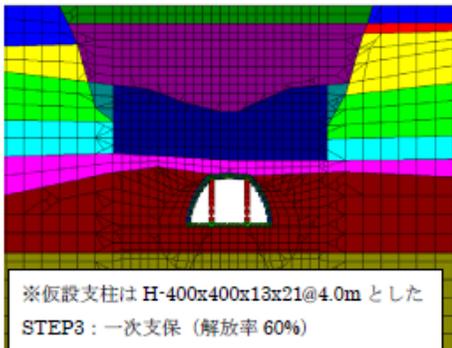
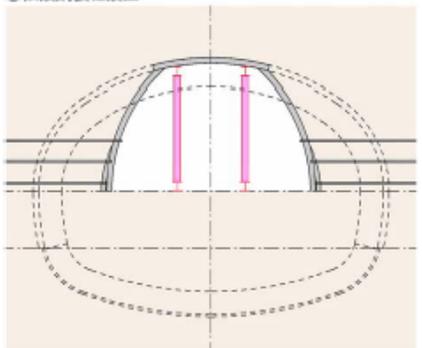
(2) ステップ2

②頂設導坑 拡幅掘削



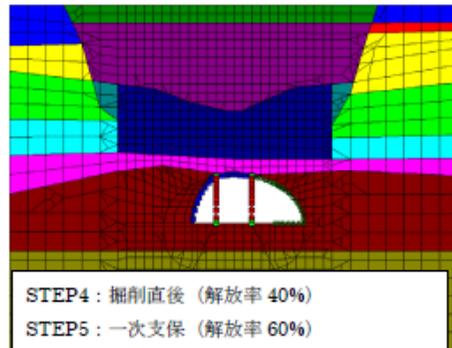
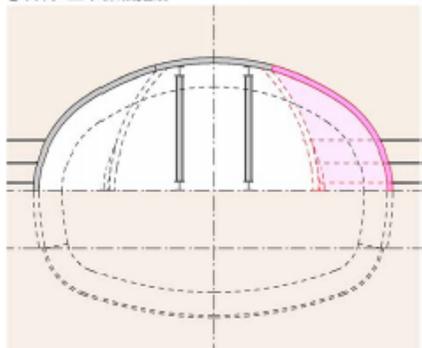
(3) ステップ3

③仮設鋼製柱設置



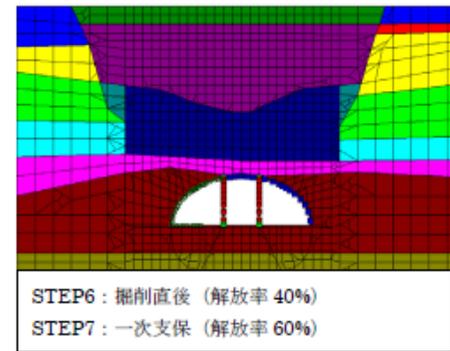
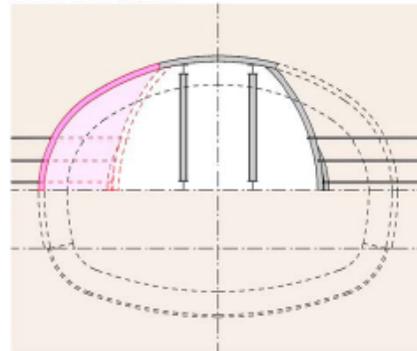
(4) ステップ4、5

⑤右坑 上半拡幅掘削



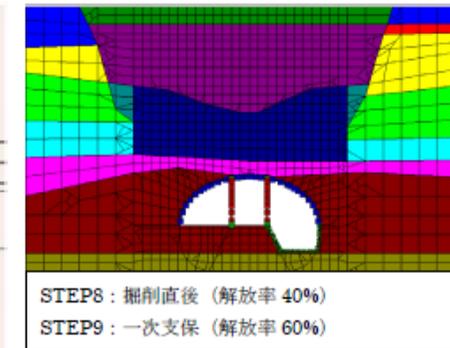
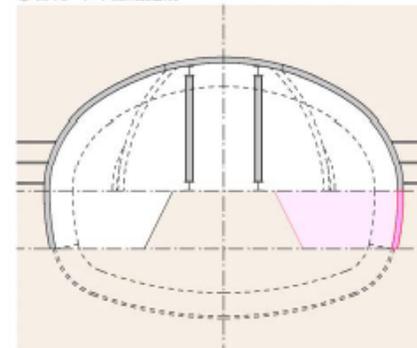
(5) ステップ6、7

④左坑 上半拡幅掘削



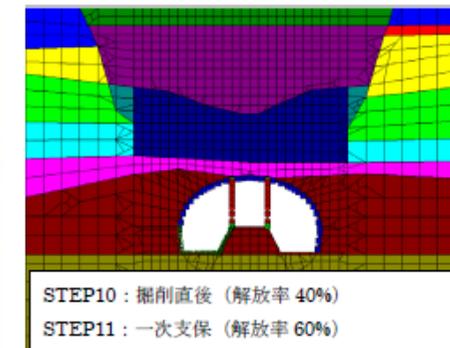
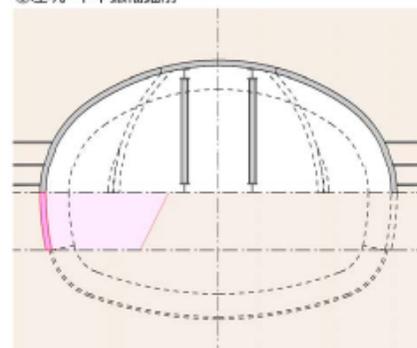
(5) ステップ8、9

⑦右坑 下半拡幅掘削



(6) ステップ10、11

⑥左坑 下半拡幅掘削



1. 大断面再掘削計画について

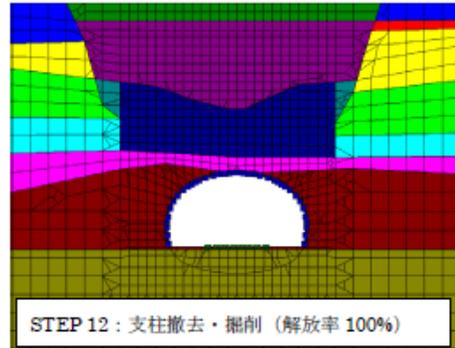
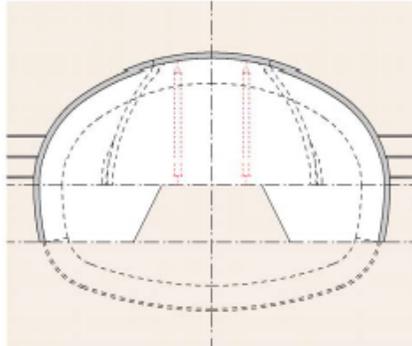
(1) 解析的検討

人工岩盤造成を反映させた解析を実施した(解放率40%, 60%)

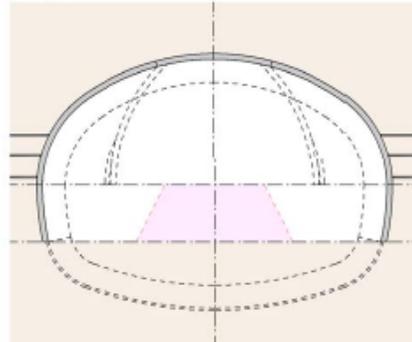
○解析ステップ

(7) ステップ12

⑧ 仮設鋼製柱撤去

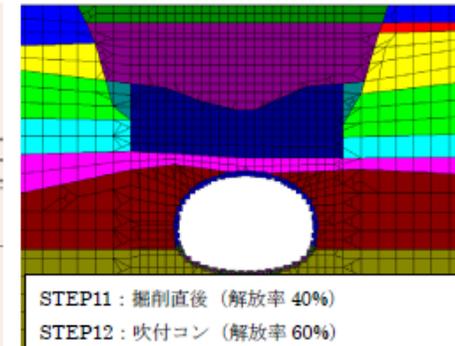
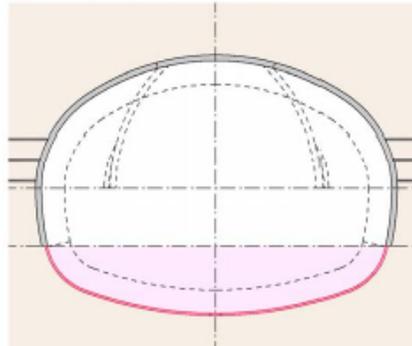


⑨ 盤下げ

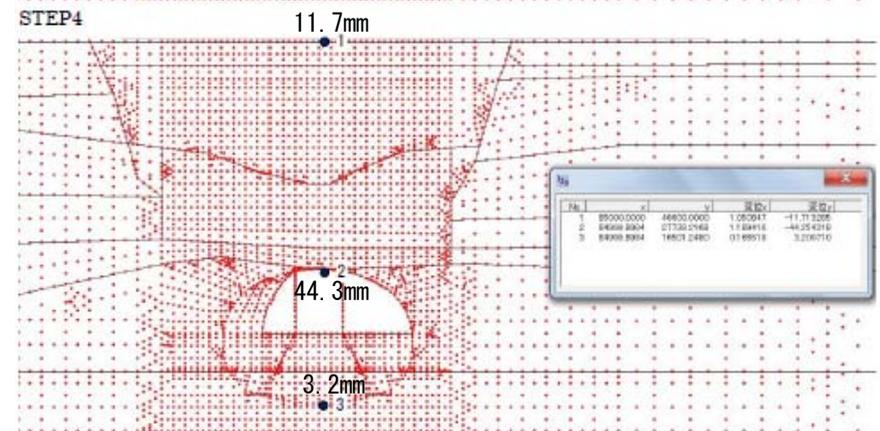
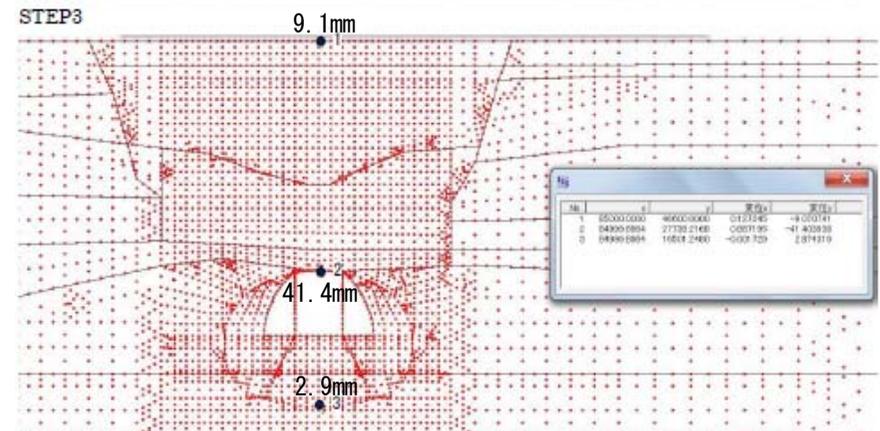
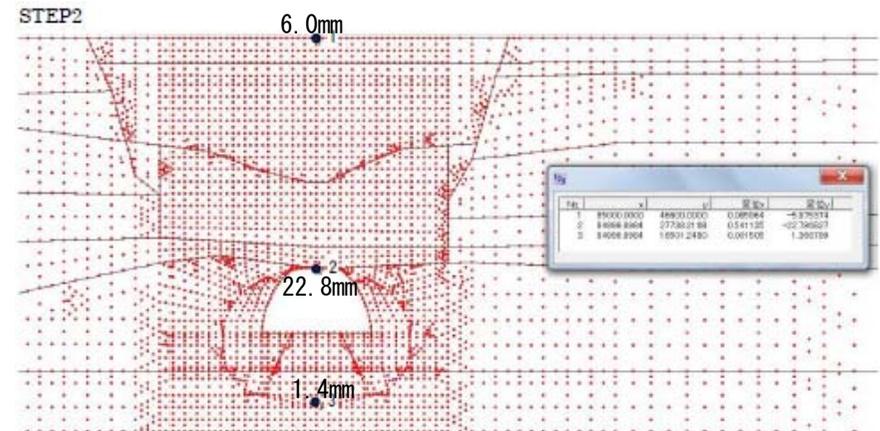


(8) ステップ13、14

⑩ インバート掘削



○解析結果 (変位)

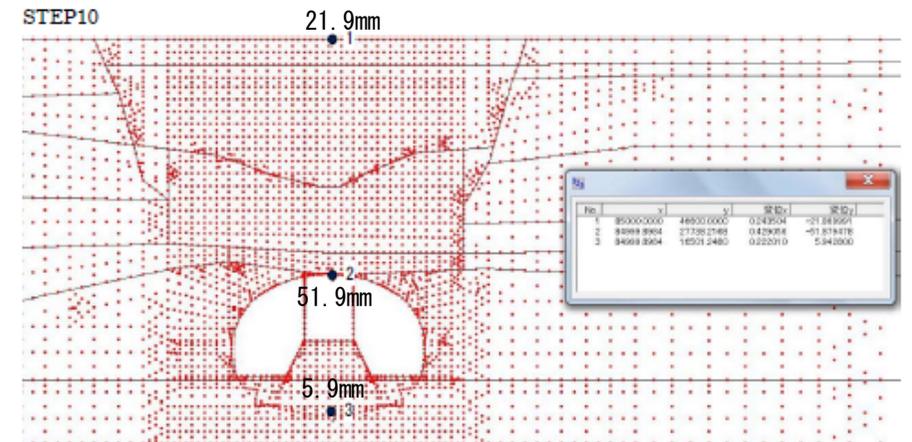
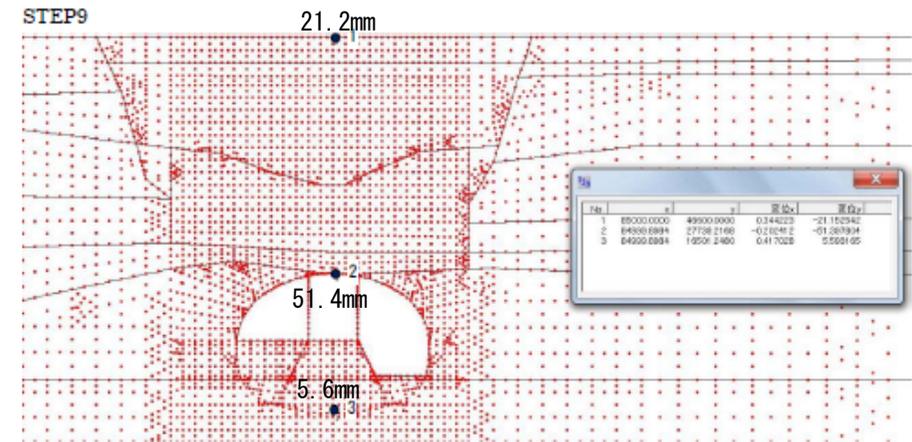
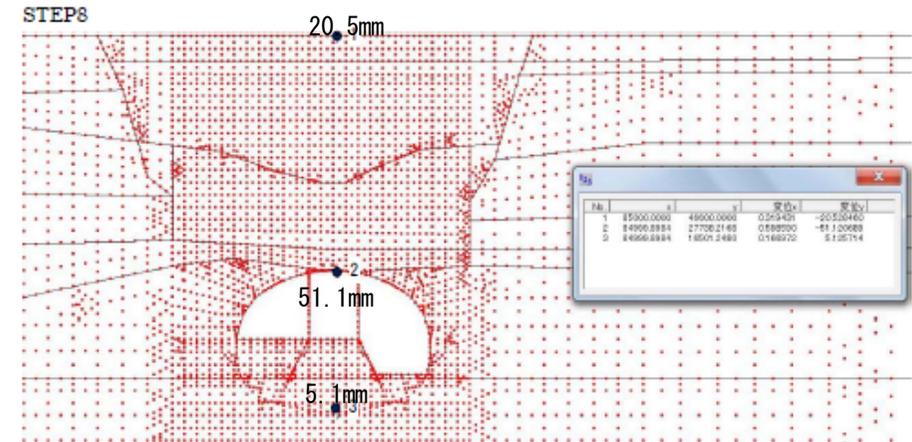
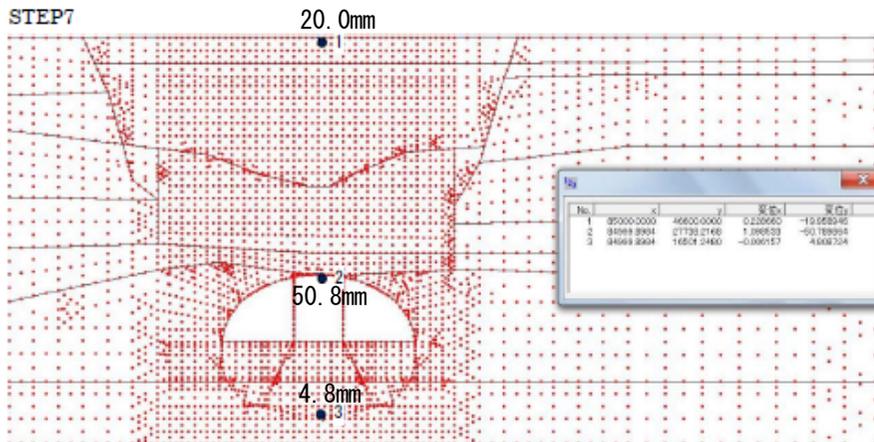
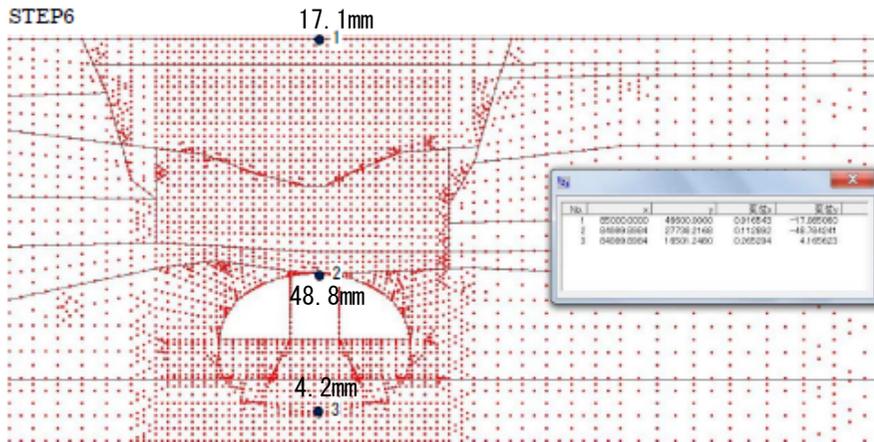
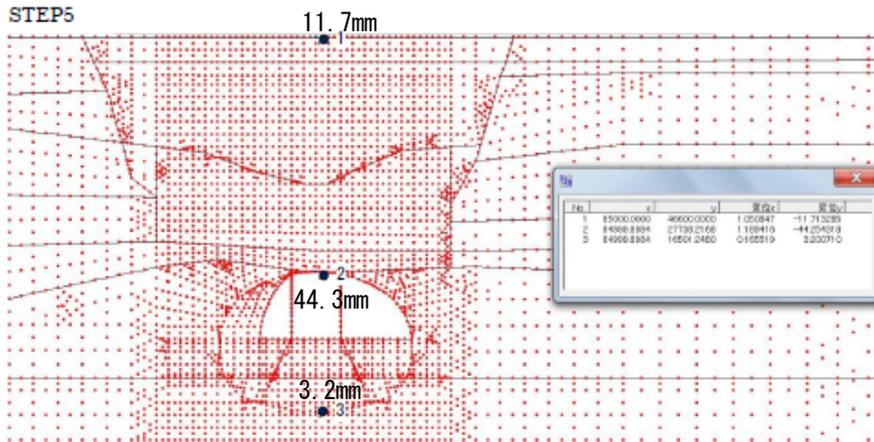


1. 大断面再掘削計画について

(1) 解析的検討

人工岩盤造成を反映させた解析を実施した(解放率40%, 60%)

○解析結果 (変位)

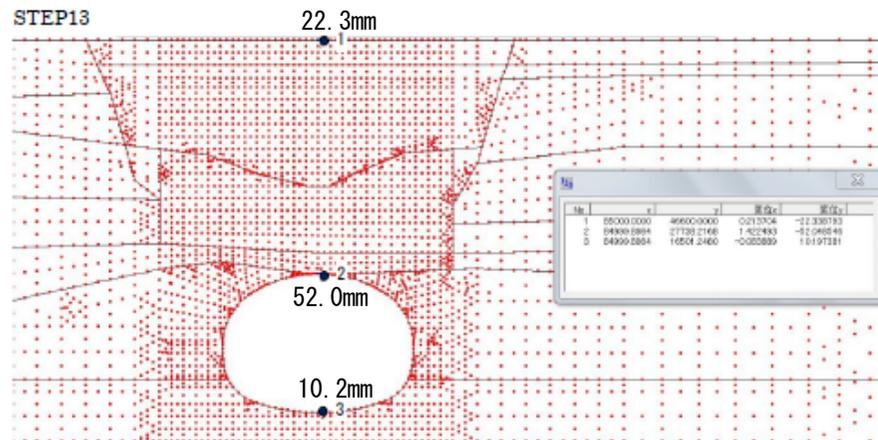
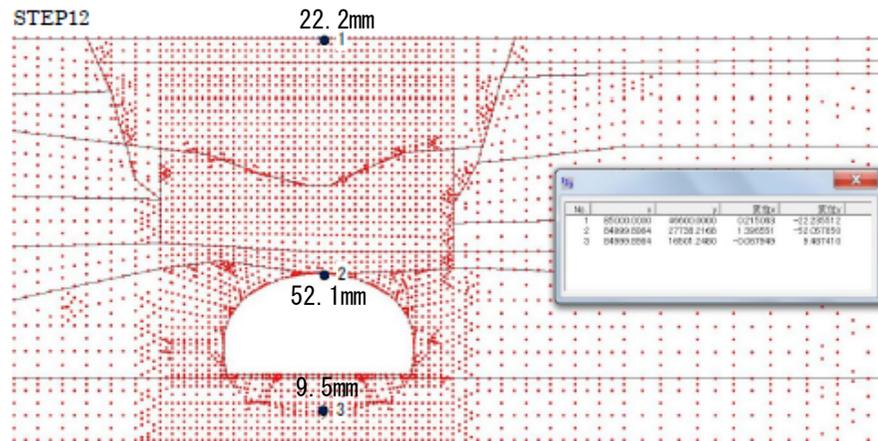
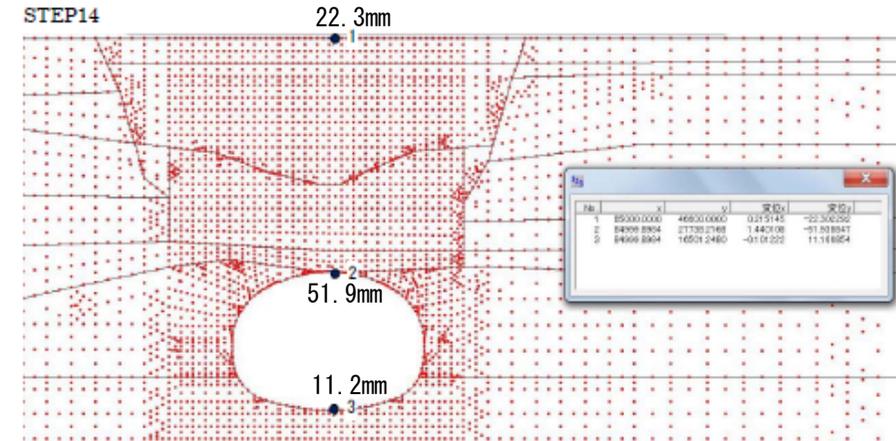
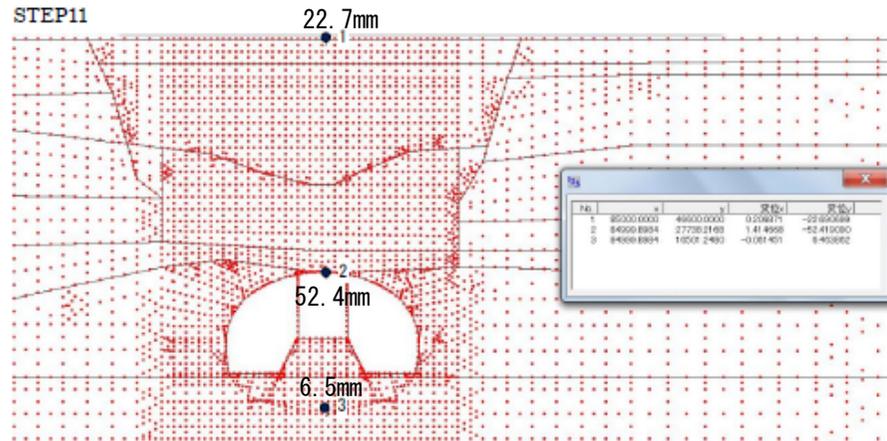


1. 大断面再掘削計画について

(1) 解析的検討

人工岩盤造成を反映させた解析を実施した(解放率40%, 60%)

○解析結果 (変位)

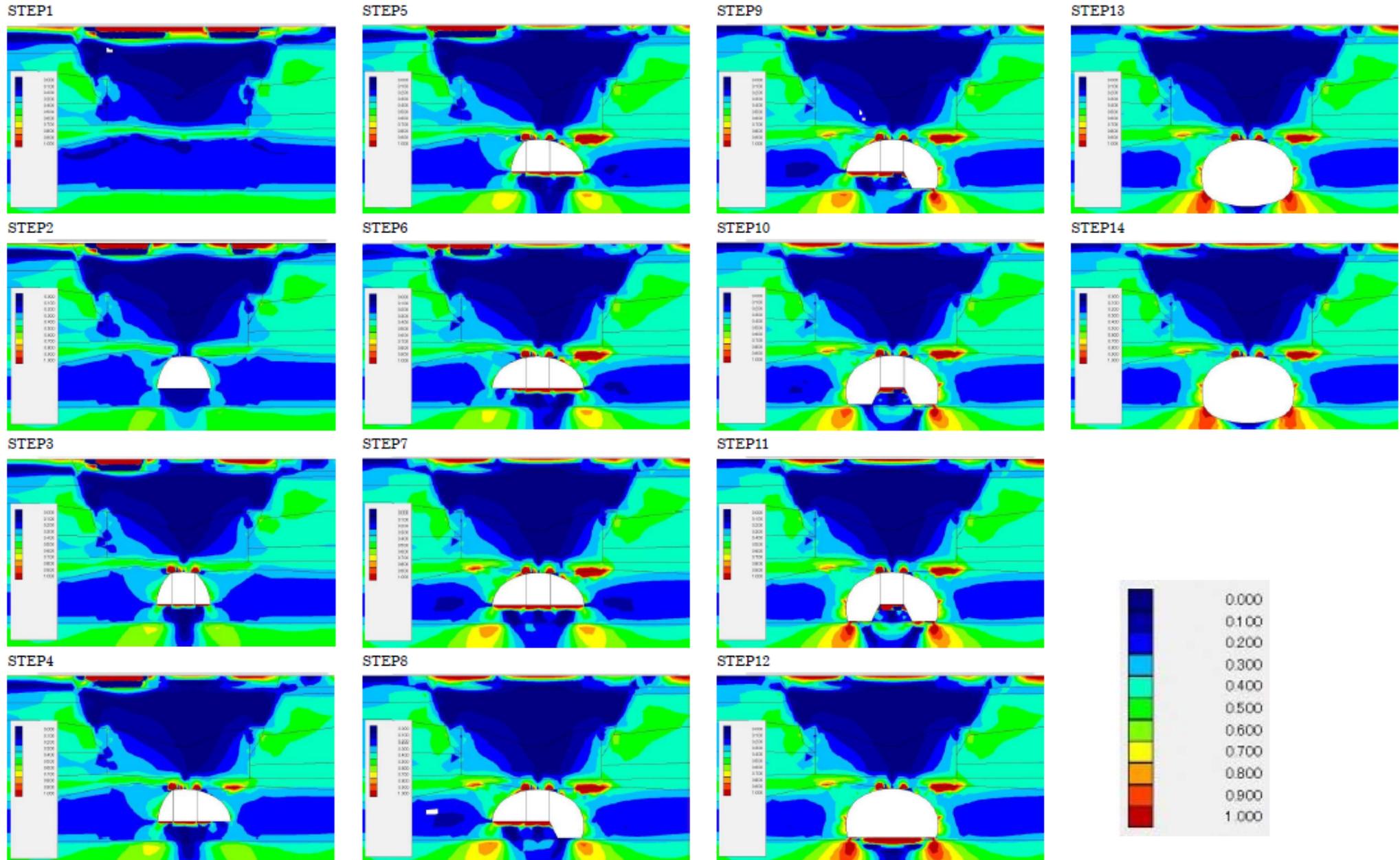


1. 大断面再掘削計画について

(1) 解析的検討

人工岩盤造成を反映させた解析を実施した(解放率40%, 60%)

○破壊接近度による評価(緩み範囲)

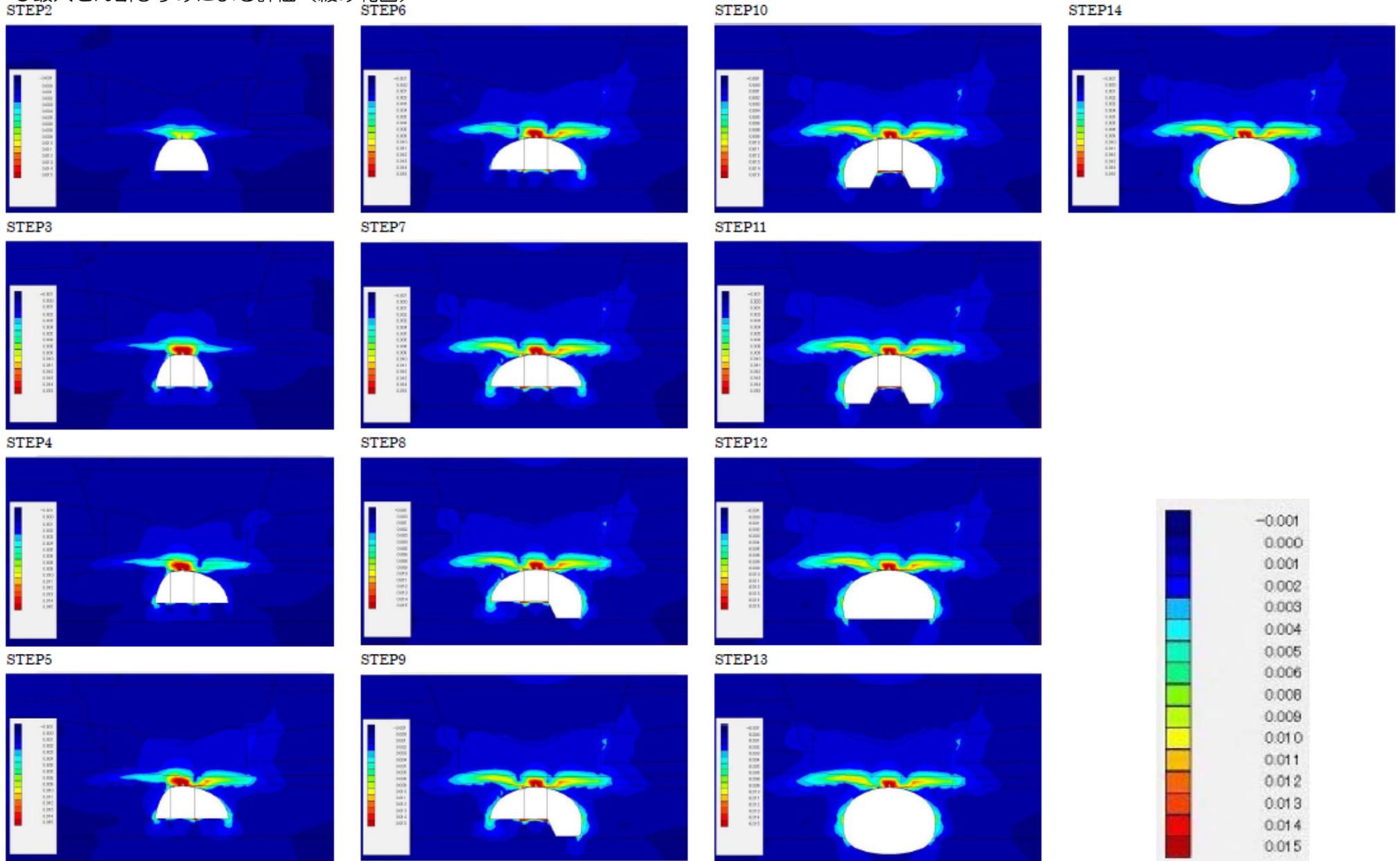


1. 大断面再掘削計画について

(1) 解析的検討

人工岩盤造成を反映させた解析を実施した(解放率40%, 60%)

○最大せん断ひずみによる評価(緩み範囲)

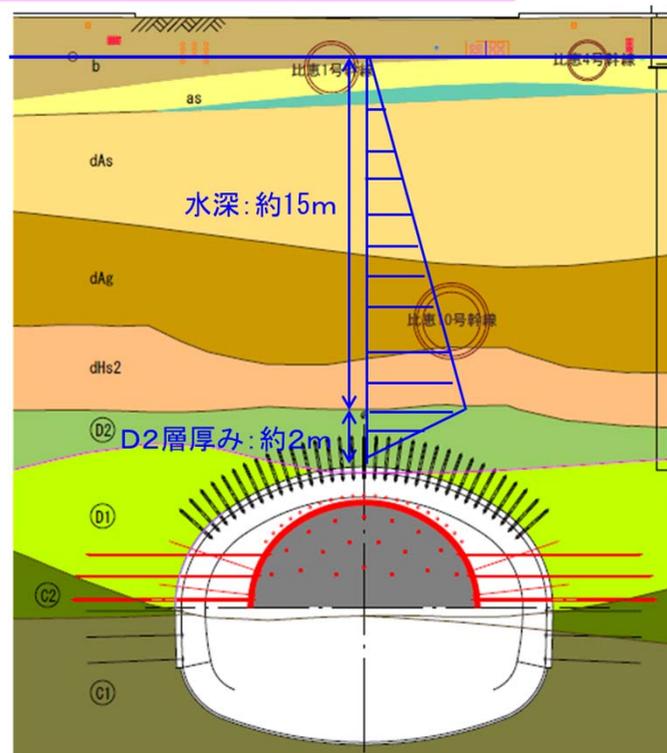


1. 大断面再掘削計画について

(2) 対策を踏まえた評価（事故時の状況整理）

人工岩盤造成後の安全性を評価するために、原因究明検討委員会においてまとめられた「陥没発生前の地質状況(D2層天端水深及びD2層岩被り)」から算出した動水勾配と「試験により算出した限界動水勾配」を比較した

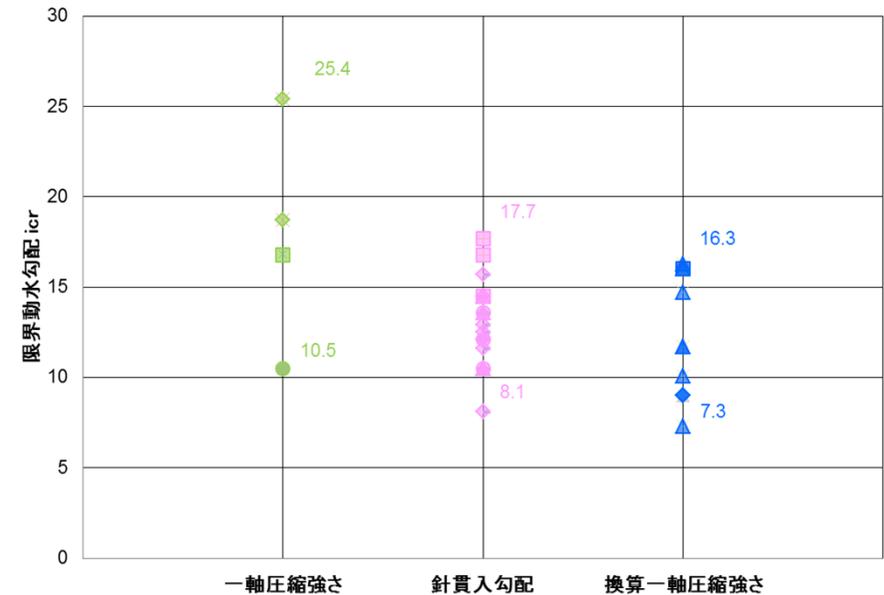
○道路陥没前の状況により算出した動水勾配



D2天端水深h1 (m)	D2層岩被りh2 (m)	動水勾配i (h1/h2)
2	15	7.5

○試験により算出した動水勾配

陥没部周辺で採取したボーリングコアを用いて実施した一軸圧縮試験、針貫入試験、山中式土壌硬度計から計算される換算一軸圧縮強さにより限界動水勾配を算出した。



限界動水勾配 (最小値)	限界動水勾配 (最大値)
7.3	25.4

道路陥没時の状況により算出した動水勾配と試験により算出した限界動水勾配の最低値は同程度であることが分かった。このことから、動水勾配が限界動水勾配を上回ることによって発生する浸透破壊に対しては、

- ・D2層の強度を上げる(限界動水勾配を向上させる)
- ・D2層の厚みを増す(浸透距離を伸ばす)

という対策が有効であると考えられる。

1. 大断面再掘削計画について

(3) 天端不安定化による部抜け落ち

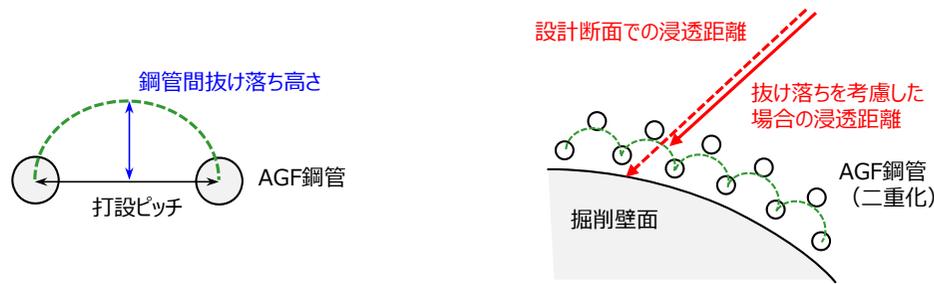
トンネルを掘削する際のリスクである天端不安定化による部抜け落ちについて、抜け落ちが生じた場合の浸透破壊に関する安全率の変化について、算出したもの。

○抜け落ち高さ（AGF施工時）

AGF打設ピッチの効果について、AGF鋼管間が楕円状に抜け落ちると仮定し、頂点の応力が引張にならない高さまで抜け落ちると考えると、以下の抜け落ちが発生する可能性があると考えられる

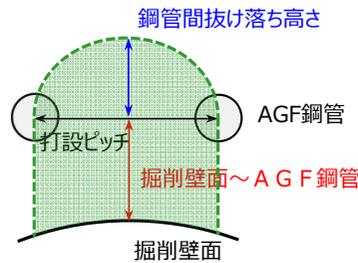
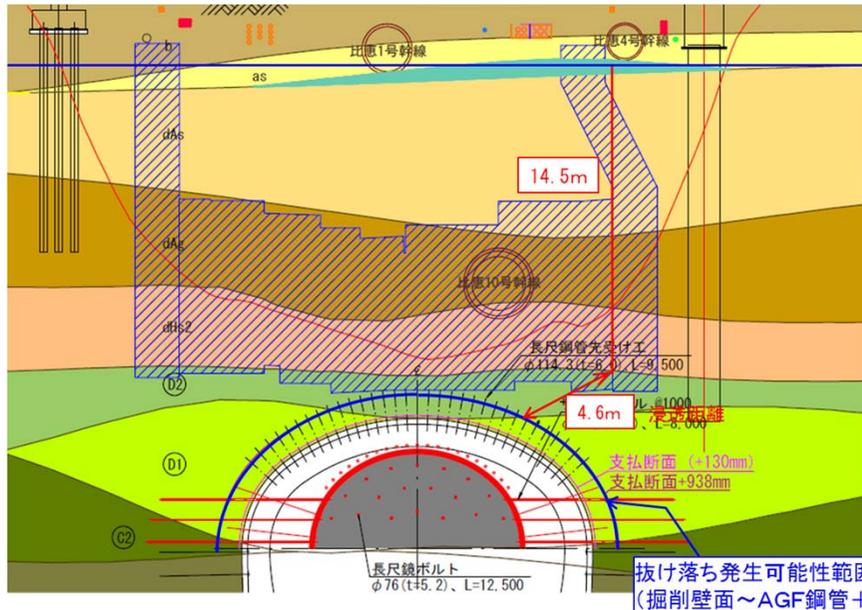
450mmピッチ→抜け落ち高さ169mm

300mmピッチ→抜け落ち高さ113mm

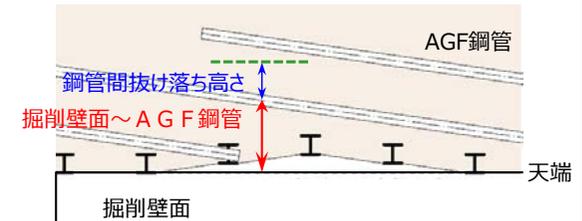


抜け落ちが生じることによって、浸透距離が短くなり、安全率が悪化する

○抜け落ちを考慮した安全率（大断面崩落孔直下より天神側）



横断面イメージ



縦断面イメージ

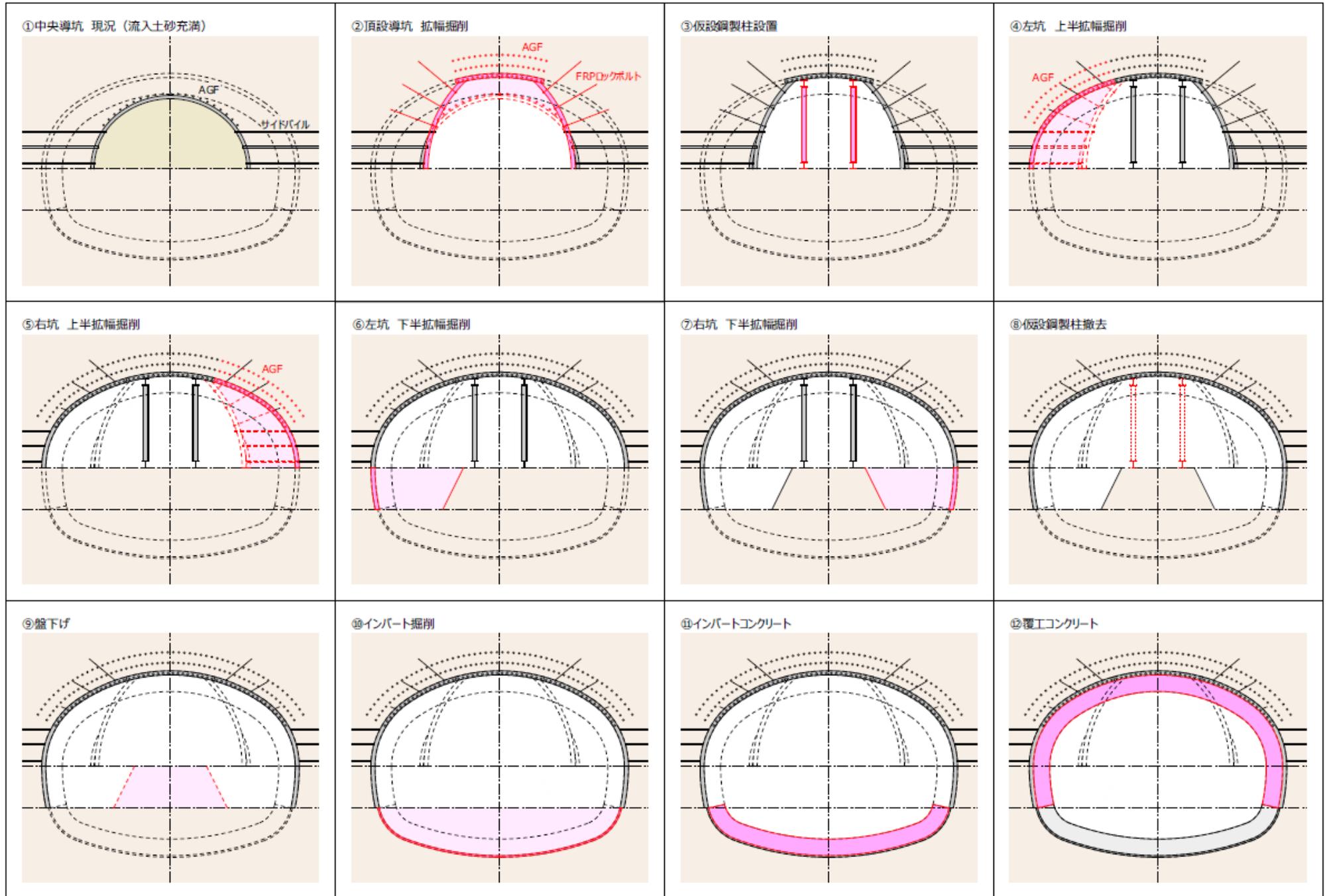
<抜け落ちなし>
 動水勾配 $i = 14.5\text{m}/7.5\text{m} = 1.93$
 安全率 $F_s = 13.3/1.93 = 6.9$

<抜け落ちあり>
 $i = 14.5\text{m}/4.6\text{m} = 3.12$
 $F_s = 13.3/3.12 = 4.3$

抜け落ち発生可能性範囲
 (掘削壁面～AGF鋼管+鋼管間抜け落ち)

1. 大断面再掘削計画について

(4) 頂設導坑施工ステップ (案)



※ステップ等は現在の案であり、今後詳細を検討していくなかで変更となる可能性がある

1. 大断面再掘削計画について

(5) 先受工について (フォアポーリング, AGF, パイプルーフ)

補助工法	フォアポーリング(注入式)	長尺フォアパイリング(AGF)	パイプルーフ
<p>工法概要</p>	<p>切羽より斜め前方の地山に5m程度以下の長さのボルトやパイプ等を打設すると同時に超急結性のセメントミルクや薬液等を圧力注入し、切羽前方アーチ部の安全性を高める工法。 施工にあたっては、切羽状況に応じてボルトの打設範囲や本数を調整でき、さらに注入量、注入圧の設定が容易にできるため、効率的な施工が可能になる。</p>	<p>地山のアーチ作用が期待できない不安定な地山を補強し、先行変位を抑制するとともに切羽の安定化を図る工法で、一般に先受材としては鋼管が用いられ、その長さは5m程度以上のものをいう。 トンネル掘削に先立って、掘削断面外周に沿ってトンネル円周方向に一定間隔に設置することが基本。</p>	<p>トンネル外周に沿ってボーリングを行いながら鋼管を挿入した後、注入により鋼管内外を充填するもので、鋼管の剛性によりトンネル周辺地山を補強し地表面沈下を抑制するもの。</p>
<p>対象地山</p>	<p>硬岩, 軟岩, 未固結地山</p>	<p>軟岩, 未固結地山</p>	<p>軟岩, 未固結地山</p>
<p>施工事例</p>	<p>(a) 横断面図 ctc. 600@19本 120° S.L.</p> <p>(b) 縦断面図 打ち込み角度 $\theta = 10 \sim 30^\circ$ 注入ボルト長さ $L = 3\text{m}$ 切羽 S.L.</p>	<p>(b) 横断面図 長尺フォアパイリング $\phi 139.8 \quad L = 14.00\text{m}$ @600 $N = 26$ 本 打設範囲 インバート吹付け サイドパイプ $\phi 76.3 \quad L = 4.00\text{m}$</p> <p>(c) 縦断面図 長尺フォアパイリング $\phi 139.8 \quad L = 14.00\text{m}$ サイドパイプ $\phi 76.3 \quad L = 4.00\text{m}$</p>	<p>(a) 横断面図 施工中 1-1型 完成後 パイプルーフ 17@675 = 11 475 5100 1100 3300 10200 8496 1586 1060 覆工 半径 $R = 4800$ $R = 4350$ $R = 3000$ 上平板インバート ($t = 30\text{cm}$) 上平盤埋戻し</p> <p>(a) 縦断面図 中間立坑 $L = 15\text{m}$ 31100 ドリ線 上り線 パイプルーフ $\phi 609.6 \quad t = 9$ 7335 6728 鋼製支保工 H-200 ctc. 0.8m 吹付け $t = 300\text{mm}$ 鋼製支保工 H-200 ctc. 1.0m 吹付け $t = 200\text{mm}$ 1-1型 22400 1-5型 41600 64000</p>

1. 大断面再掘削計画について

(5) 先受工について (水平ジェットグラウト・スリットコンクリート)

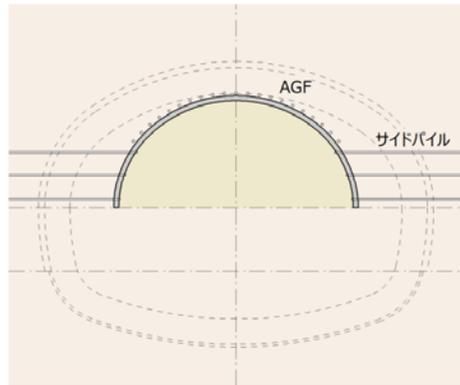
補助工法	水平ジェットグラウト	スリットコンクリート
<p>工法概要</p>	<p>一般に専用機械により所定の深度まで穿孔し、ロッドを所定の速度で回転させて引き抜きながらロッド先端からセメント系固化材を超高圧ポンプを用いて高圧噴射することにより地山を切削し、半置換の円柱状等の改良体を造成するもので、この改良体をトンネル外周に沿って必要本数造成することにより切羽前方地山にアーチシェル状の改良域を形成し、地表面沈下を抑制するもの。 また、改良体内に鋼管を設置し、改良体の縦断方向の剛性をさらに高める方法もある。</p>	<p>専用機を用いてトンネル外周部を切羽前方に3~5m程度、15~50cmの厚さでアーチ状に掘削し、掘削後ただちにコンクリート等を充填することでアーチシェルを造成するもの。 トンネル横断方向に連続した剛性の高い構造体を形成するので先行変位に対する抑制効果が期待でき、地表面の許容沈下量が小さな都市部のトンネルや重要構造物に近接している場合等に適した工法。</p>
<p>対象地山</p>	<p>未固結地山</p>	<p>未固結地山</p>
<p>施工事例</p>	<p>改良体</p> <p>覆工コンクリート</p> <p>吹付けコンクリート</p> <p>改良体 $n=36$本</p> <p>インバート</p> <p>埋土 I</p> <p>埋土 II</p> <p>砂礫層</p> <p>(a) 全体図</p> <p>(b) 横断面</p> <p>カバロック</p> <p>ラップ</p> <p>吹付けコンクリート $t=20$cm</p> <p>上半盤</p> <p>改良体</p> <p>水平ジェットグラウト工法実施パターン</p> <p>(c) 横断面</p>	<p>スリットコンクリート</p> <p>覆工コンクリート</p> <p>スリットコンクリート</p> <p>覆工コンクリート</p> <p>$t=250\sim505$mm</p> <p>(a) 横断面</p> <p>(b) 縦断面</p>

※トンネル標準示方書より抜粋

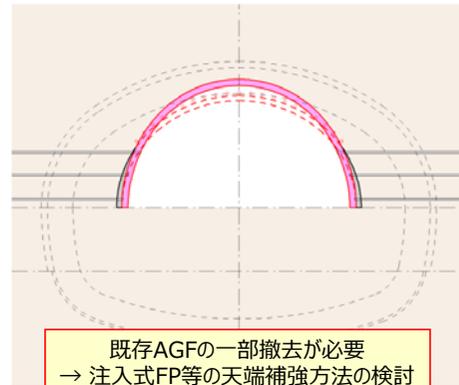
1. 大断面再掘削計画について

(6) 大断面トンネル再掘削中柱設置案の維持管理面の課題（施工ステップ）

①中央導坑 現況（流入土砂充満）

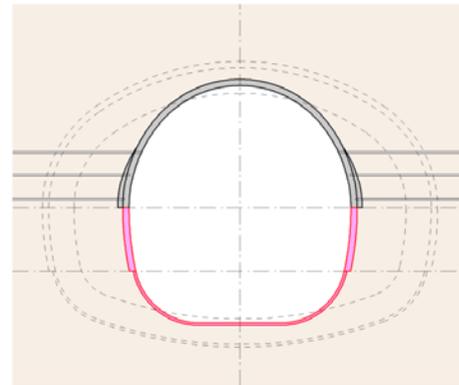


②中央導坑 上半拡幅掘削

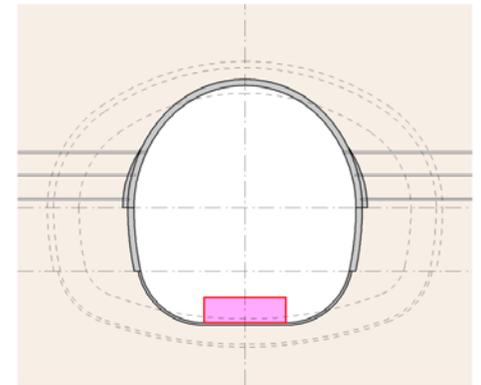


既存AGFの一部撤去が必要
→ 注入式FP等の天端補強方法の検討

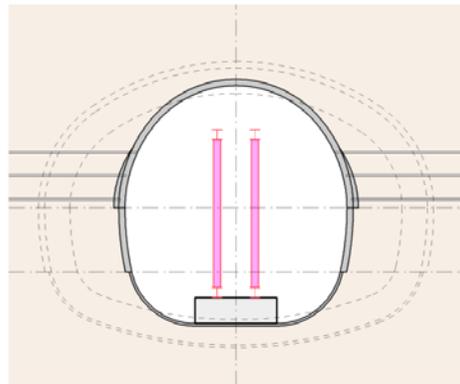
③中央導坑 下半・インバート掘削



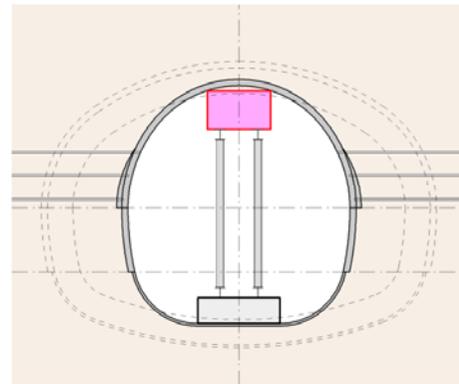
④中央導坑部の底板打設



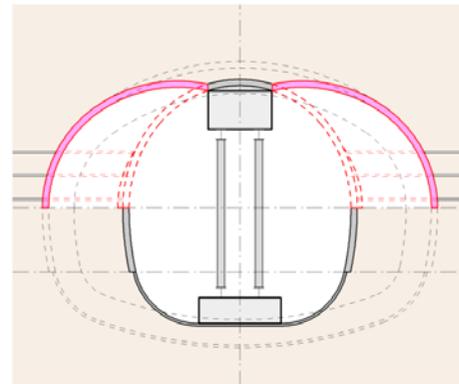
⑤仮設鋼製柱設置



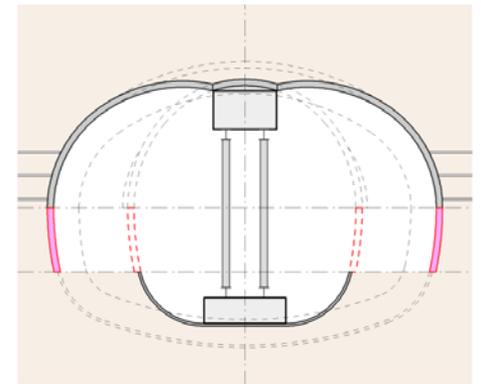
⑥中央導坑部の頂版打設・空隙充填



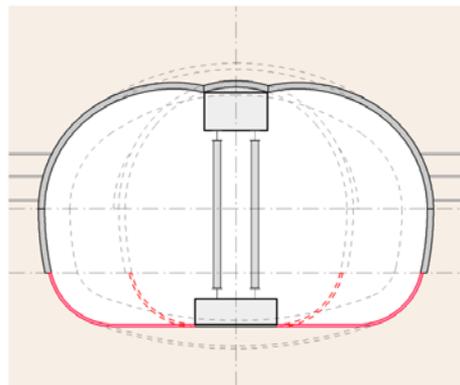
⑦左右坑 上半拡幅掘削（交互併進）



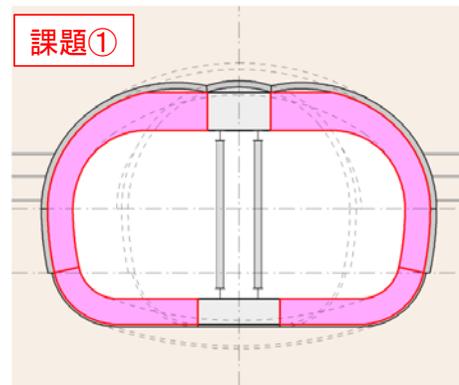
⑧左右坑 下半拡幅掘削（交互併進）



⑨左右坑 インバート拡幅掘削（交互併進）

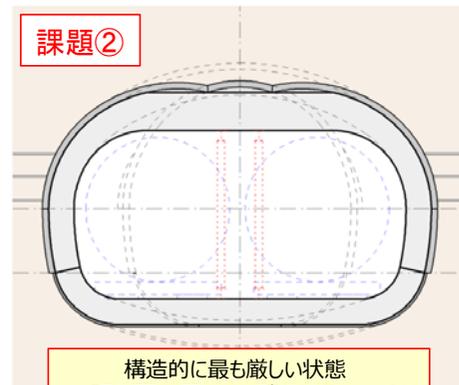


⑩左右坑 インバート打設・アーチ側壁部打設・空隙充填



課題①

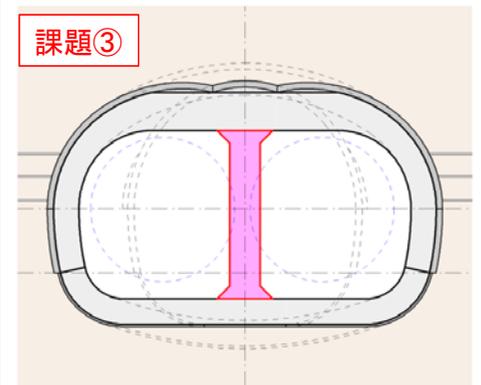
⑪仮設鋼製柱撤去→シールド転回



課題②

構造的に最も厳しい状態
→ 頂版覆工厚1.5m確保することでOK

⑫本設中柱構築



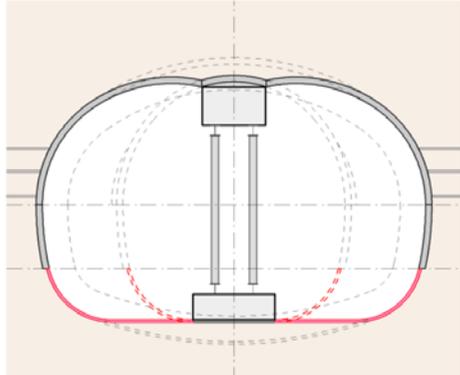
課題③

1. 大断面再掘削計画について

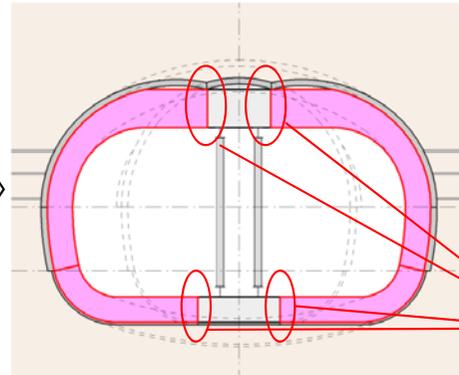
(6) 大断面トンネル再掘削中柱設置案の維持管理面の課題（維持管理面の課題）

課題① 打ち継ぎ目が弱部となる恐れ

⑨左右坑 インバート拡幅掘削（交互併進）



⑩左右坑 インバート打設・アーチ側壁部打設・空隙充填

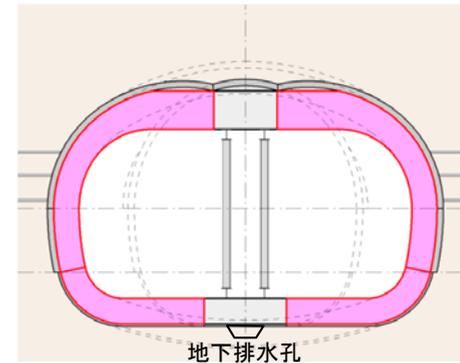


仮設中柱を設置し、中央導坑部の頂版打設して、左右坑を掘削した後に側壁部等を打設する施工手順となる。
このため、頂版と側壁部に打ち継ぎ目が発生し、将来的に弱部となる恐れがある。

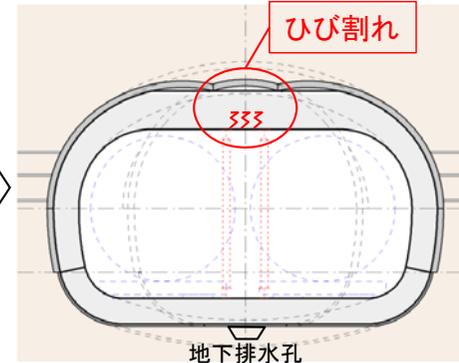
打ち継ぎ目部

課題② 仮設中柱撤去時における有害なひび割れ発生への恐れ

⑩左右坑 インバート打設・アーチ側壁部打設・空隙充填



⑪仮設鋼製柱撤去→シールド転回



シールドマシンを大断面部で回転させるため、仮設中柱を撤去する必要が生じる。この際に有害なひび割れが生じないか検討^{※1}したところ、ひび割れ幅の制限値（0.345mm）^{※2}を超える結果が得られた。

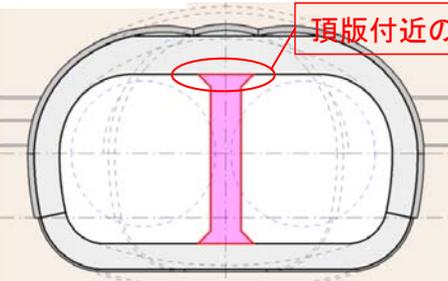
※1鉄道構造物設計標準に記載されている最小鉛直土圧を作用させ検討を実施。

※2「ひび割れ幅の値W」が「鋼材の腐食に対するコンクリートのひび割れ幅の制限値 $W_{a1}=0.005C$ （C:引張鉄筋のかぶり）」以下であることを確認する必要がある。（鉄道構造物設計標準）

また、仮設鋼製柱撤去に伴い発生するひび割れについては、本設中柱構築時にジャッキアップを行いひび割れ幅を小さくすることや、ひび割れを修復する対策が考えられるが、弱部となることや中柱構築後は対応が困難となる箇所であるため課題がある。

課題③ 本設中柱構築時における頂版付近のコンクリート充填不良の恐れ

⑫本設中柱構築



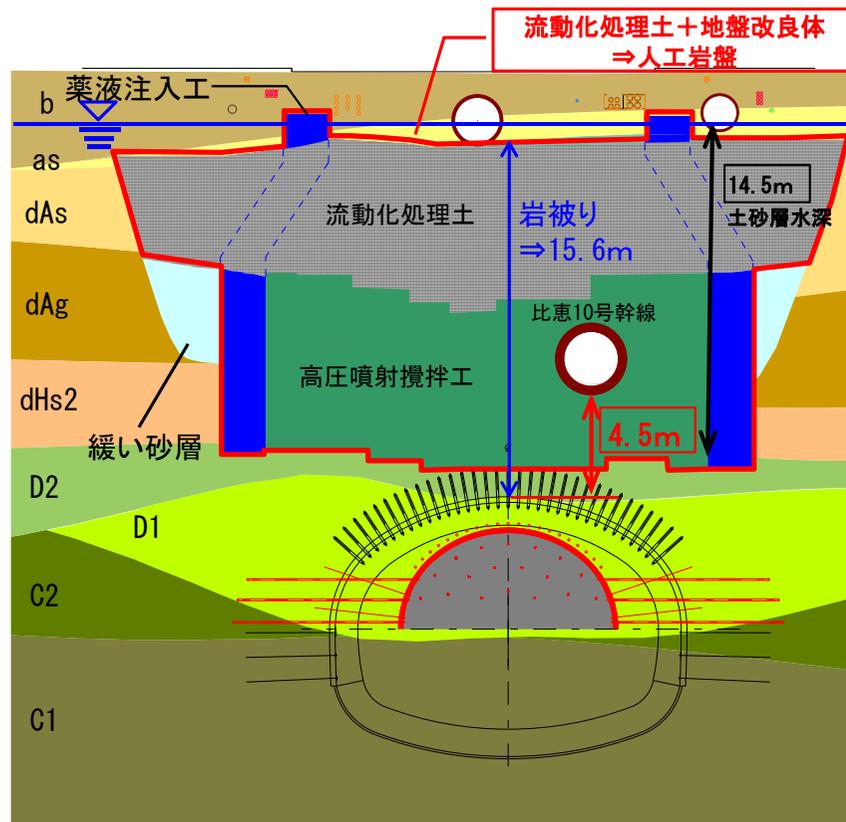
本設中柱構築時に頂版付近の充填が困難であり、将来的に弱部となる恐れがある。

2. 3連トンネル左右坑掘削計画について

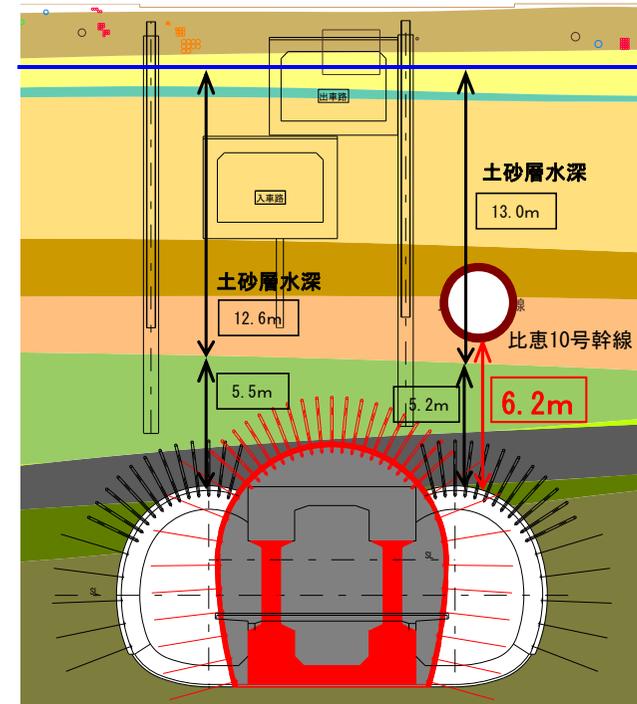
2. 3連トンネル左右坑掘削計画について

(1) 大断面トンネルとの比較

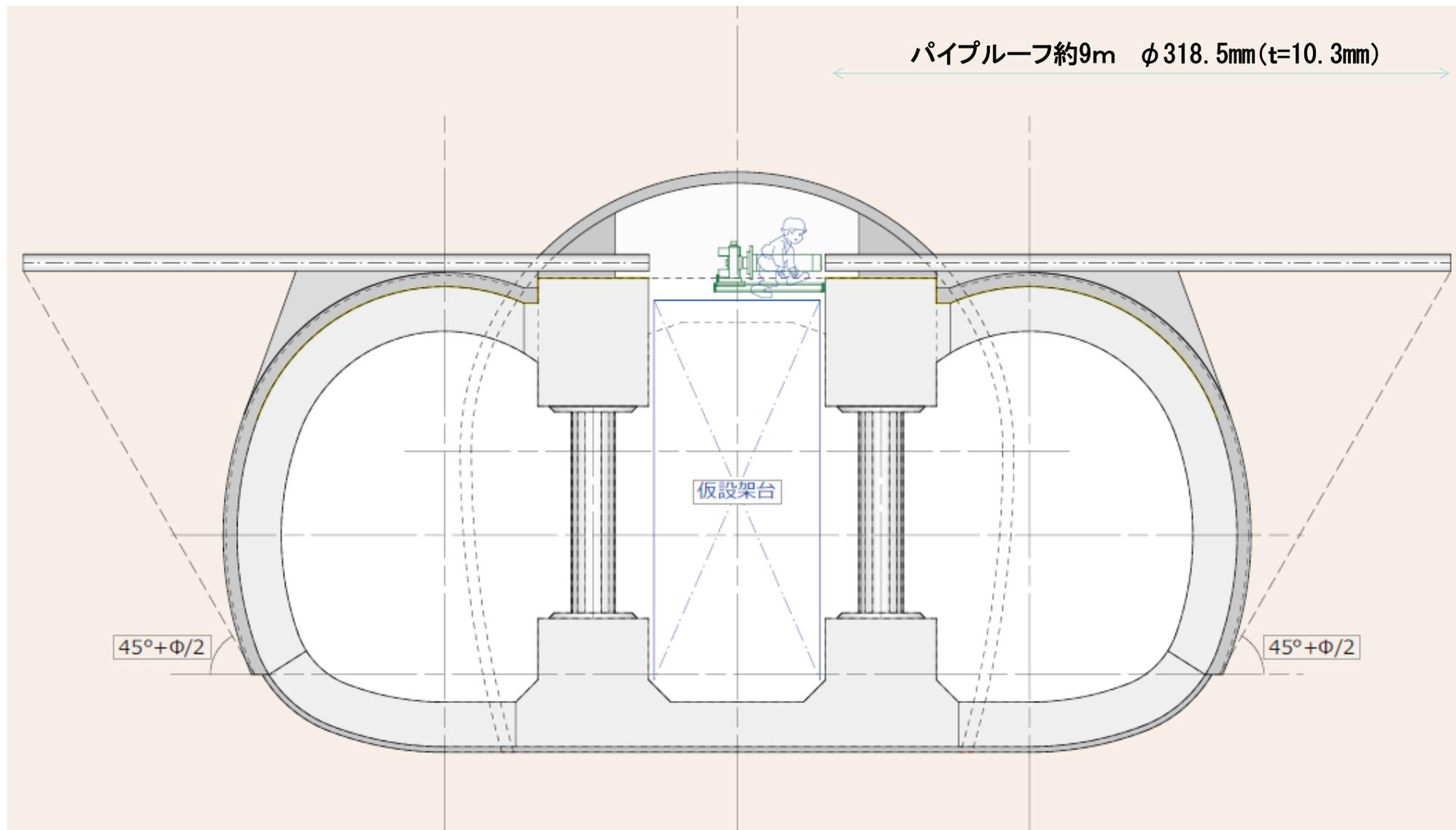
大断面トンネル（横断図）



3連トンネル（横断図）



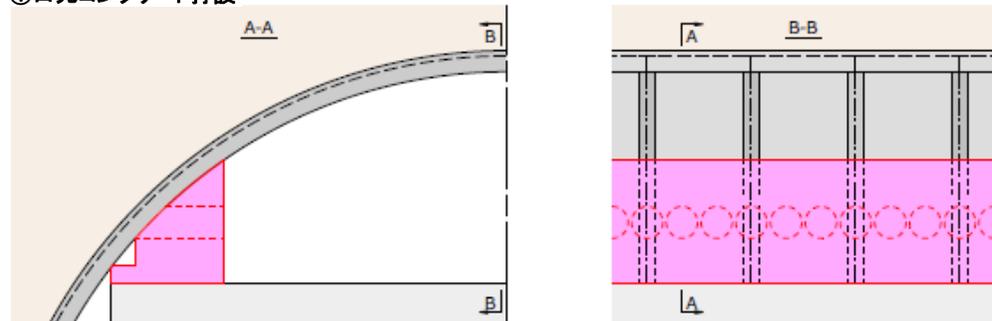
【3連トンネル】横パイプルーフの施工状況説明図



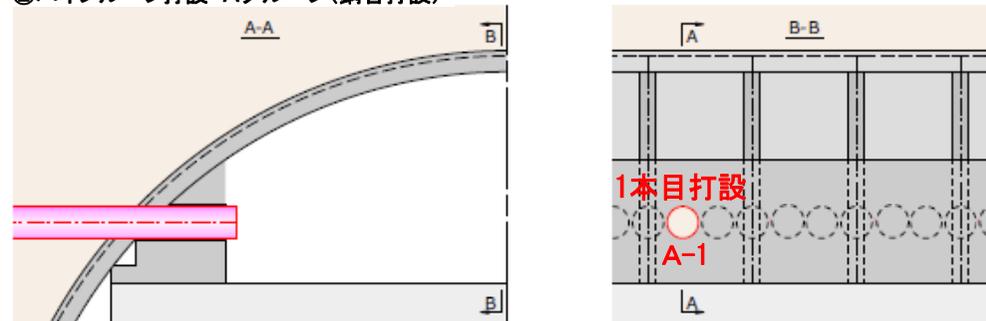
2. 3連トンネル左右坑掘削計画について

(3) 横パイプルーフの詳細施工ステップ (案)

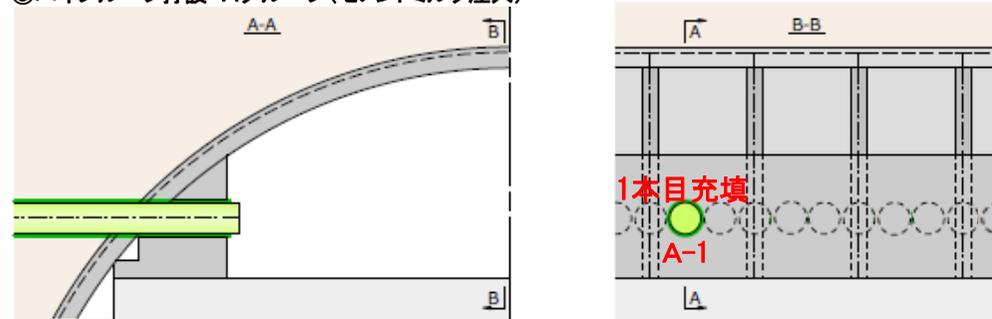
①口元コンクリート打設



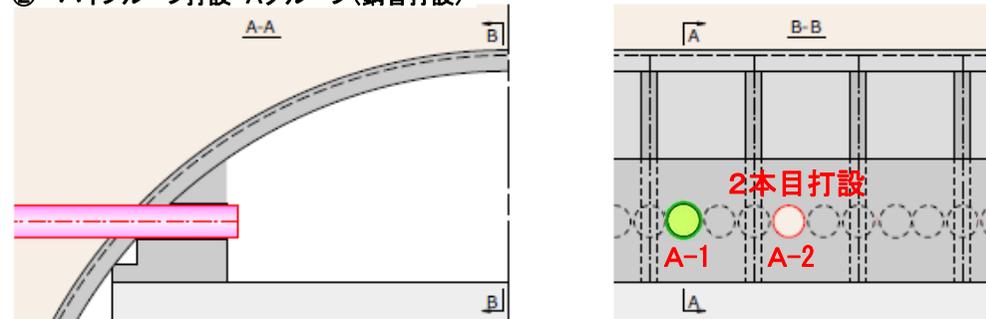
②パイプルーフ打設 Aグループ(鋼管打設)



③パイプルーフ打設 Aグループ(セメントミルク注入)



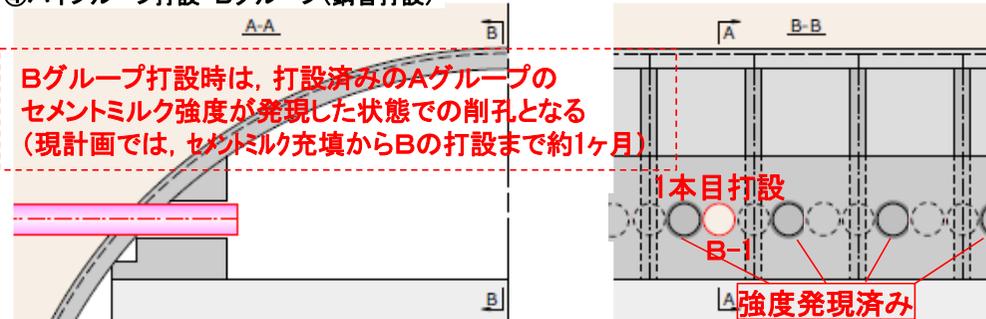
②' パイプルーフ打設 Aグループ(鋼管打設)



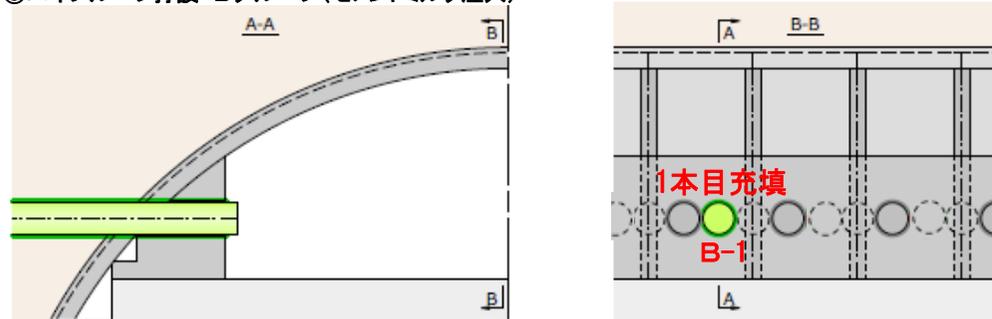
③' パイプルーフ打設 Aグループ(セメントミルク注入)



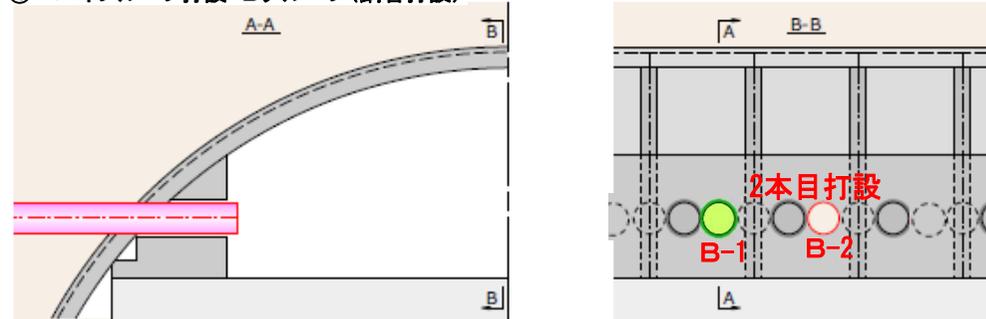
④パイプルーフ打設 Bグループ(鋼管打設)



⑤パイプルーフ打設 Bグループ(セメントミルク注入)



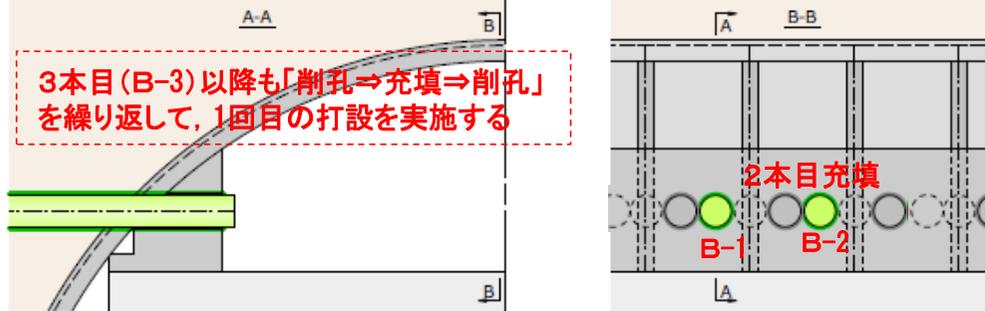
④' パイプルーフ打設 Bグループ(鋼管打設)



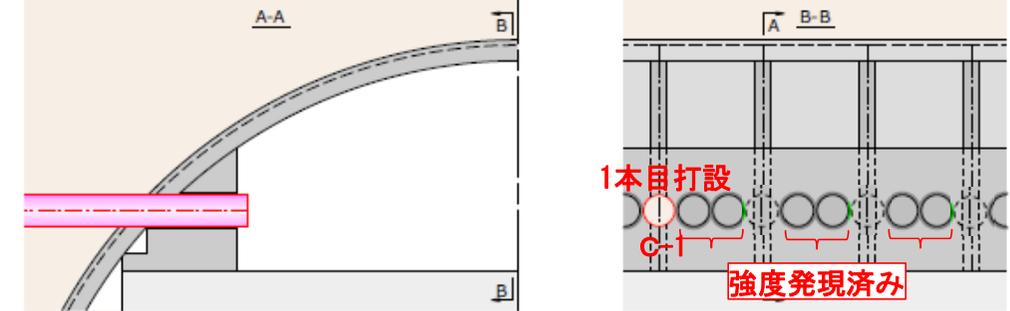
2. 3連トンネル左右坑掘削計画について

(3) 横パイプルーフの詳細施工ステップ (案)

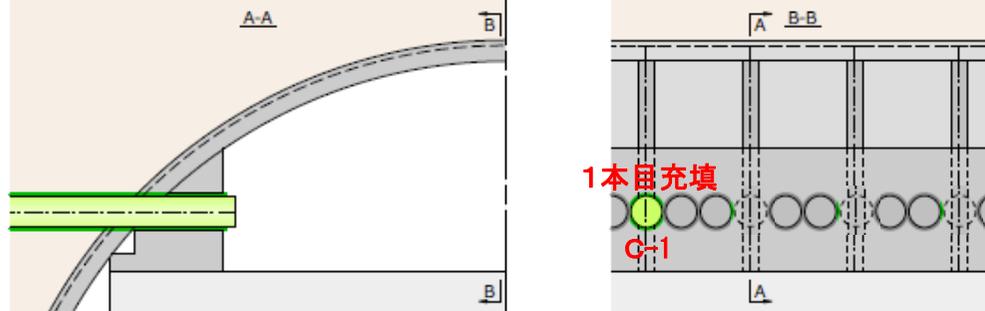
⑤' パイプルーフ打設 Bグループ(セメントミルク注入)



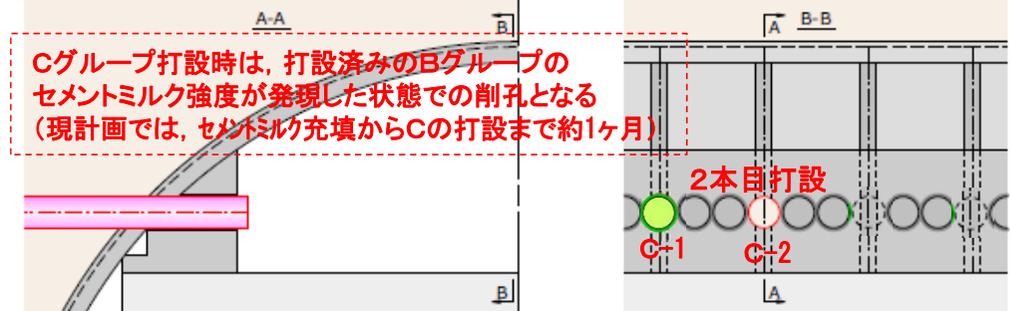
⑥ パイプルーフ打設 Cグループ(鋼管打設)



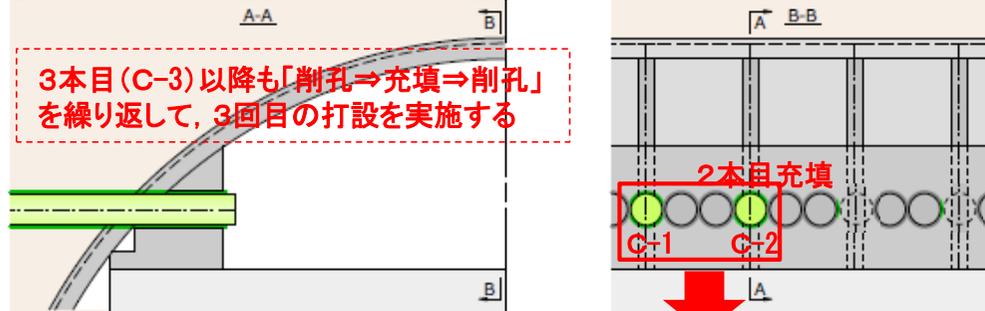
⑦ パイプルーフ打設 Cグループ(セメントミルク注入)



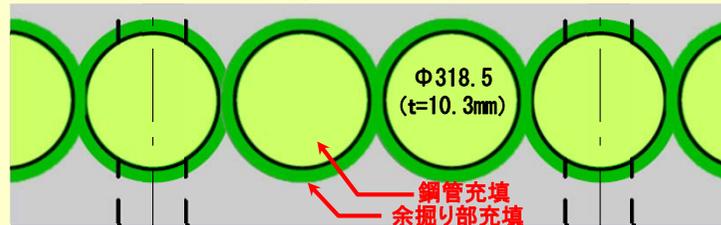
⑥' パイプルーフ打設 Cグループ(鋼管打設)



⑦' パイプルーフ打設 Cグループ(セメントミルク注入)



○パイプルーフの止水性について



鋼管にセメントミルクを充填する際に、**余掘り部についても充填することにより、パイプルーフ同士を連続させて止水性を向上させる。**