

## 設計・施工の経緯

1. 全体経緯・・・・・・・・・・・・・・・・P1
2. 工法選定に関する経緯・・・・・・・・P1
3. 補助工法に関する経緯・・・・・・・・P4
4. 管理基準値に関する経緯・・・・・・・・P9

平成29年3月30日(木)

# 1 全体経緯

年度	設計	委員会	施工
H22	福岡地下鉄3号線導入空間検討(八千代エンジニアリング)		
H23	地下鉄3号線構造計画検討業務委託(日本シビックコンサルタント)	H24.1.13第1回	
H24	福岡市地下鉄七隈線土木構造物実施設計(天神南駅三線部終端～ナトム構築終端)業務委託(八千代エンジニアリング)	H25.2.5第2回	
H25		H25.7.2第3回	12.5工事着手(大成JV)
H26		H27.3.23第4回	
H27		H27.9.1第5回	10.30ボーリング報告(大成JV) 11.16ボーリング報告断面変更提案(大成JV)
H28	福岡市地下鉄七隈線NATM大断面部変更設計業務委託(八千代エンジニアリング)	H28.8.30第6回	9.15施工計画書提出(大成JV) 10.4大断面掘削開始(大成JV) 10.26大断面拡幅掘削開始(大成JV)

# 2 工法選定に関する経緯

## 2.1 平成22年度福岡地下鉄3号線導入空間検討

### (1) 特記仕様書

#### 第11条 (設計業務内容)

地下埋設物資料など既存の関連資料をもとに、地形、地層、地質、地下水状況、更には道路、交通状況、沿道状況、他の事業計画状況、利用者の利便性等を十分考慮し、関係機関との協議を踏まえ、設計条件及び設計上の基本事項の整理・検討を行う。なお、地層、地質、地下水状況については「地下鉄3号線地質調査業務委託」の成果物等を使用すること。

#### 主な整理・検討項目

- (1) 近接する地下構造物等の位置関係 (近接施工の影響検討を含む)
- (2) 平面、縦断線形
- (3) 駅および駅間部の構造 (駅施設のレイアウト検討を含む)
- (4) 概略の施工方法

※特記仕様書より

以降、以下の項目について整理

### 2. 工法選定に関する経緯

2.1 平成22年度福岡地下鉄3号線導入空間検討

2.2 地下鉄3号線構造計画検討業務委託

2.3 第1回技術専門委員会(H24.1.13)

シールド工法

NATM+AGF

NATM前提で報告

### 3. 補助工法に関する経緯

3.1 福岡市地下鉄七隈線土木構造物実施設計(天神南駅三線部終端～ナトム構築終端)業務委託(平成24年度)

地表からの薬液注入(NATM)

3.2 大断面トンネルの止水工法の変更提案(2014年2月17日)

3.3 大断面トンネルの止水工法の変更提案(2016年4月13日)

3.4 第6回技術専門委員会(H28.8.30)

扁平断面、導坑先進、補助工法が了承

掘削工法、補助工法に関する設計

3.5 大断面トンネル形状、支保工、補助工法変更協議書提出(2016年9月13日)

3.6 福岡市地下鉄七隈線NATM大断面部変更設計業務委託(平成28年度)

2016年10月6日 3者協議

地質調査結果に対する変更設計

3.7 注入式長尺鋼管先受工法(施工)

### 4. 管理基準値に関する経緯(H28.9.15 H28.9.30)

許容値で設定、計測点の管理値をFEMで設定

### (2) 検討結果

工法として、シールド切開きを選定している。

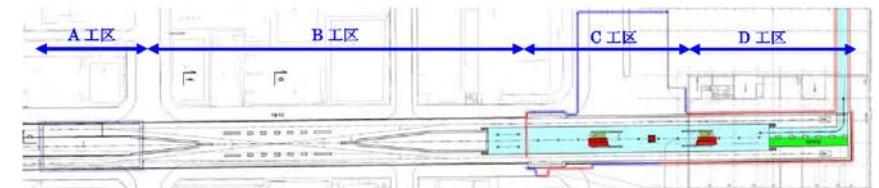


図 7-4-1 工区の種類

※報告書 P.7-55より

A1区

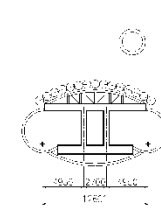
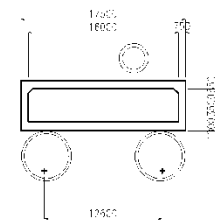
軌道階をシールド、換気機械室を開削工法

B1区

シールド切り開き

A-A

B-B



※図面構造一般図より

## 2.2 地下鉄3号線構造計画検討業務委託

### (1)特記仕様書

#### 第11条（設計業務内容）

##### 1 設計業務

地下埋設物資料など既存の関連資料をもとに、地形、地層、地質、地下水状況、更には道路、交通状況、沿道状況、他の事業計画状況、利用者の利便性等を十分考慮し、設計条件及び設計上の基本事項の整理・検討を行った上で、概略の構造を決定する。なお、地層、地質、地下水状況については「地下鉄3号線地質調査業務委託」等の成果物等を使用すること。

##### 主な整理・検討項目

- (1) 平面、縦断線形
- (2) 地層・地質・地下水条件
- (3) 周辺の環境
- (4) 道路交通条件
- (5) 本体の設計断面・条件の設定
- (6) 駅および駅間部の構造（駅施設のレイアウト検討、施設計画検討、階避難安全検証法による確認を含む）
- (7) 防水構造
- (8) 排水計画
- (9) 耐震計算
- (10) 近接施工の影響と対策案の提案
- (11) 施工計画（工事行程計画、道路占用計画、仮設・補助工法計画を含む）
- (12) 概算工事数量
- (13) その他

※特記仕様書より

##### 5) NATM対象区間の成立性（資料-5(1)～(3)、資料-6(1),(2)）

上記、NATM対象区間における構造物が、地質縦断図に示す岩盤内に位置すること、および岩盤性状を確認した。

発注者協議のもと、同様の地盤状況における施工実績（福岡市高速鉄道 博多・福岡空港間建設史、福岡市交通局（発注者より受領））から、NATMは課題があるものの成立するものと判断した。〔H24.1〕

強風化岩に対する天端の安定確保が課題であると考え、発注者へは地盤変状解析による対策工（補助工法）を含めた安全性の確認について提案したが、詳細設計で実施することになった。

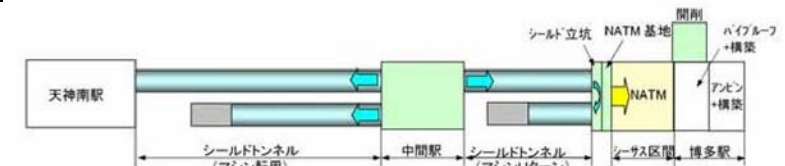
※設計者提出資料より

### (3)検討結果

工法として、NATMを選定している。支保工や補助工法<sup>1)</sup>AGF-P(無拡幅ウレタン系注入材)を選定している。

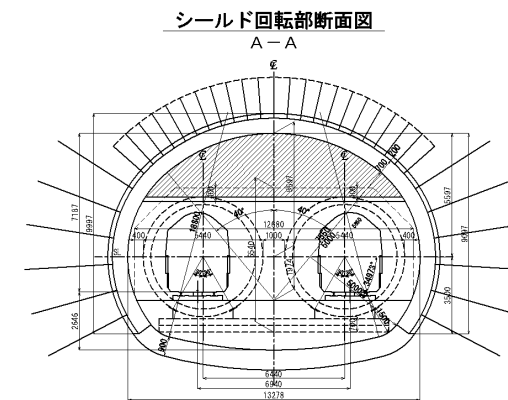
1)AGF-P：注入式長尺鋼管先受工

#### 全体施工法



※報告書 P.6-3-5より

#### 大断面部



※図面NATM部断面図より

### (2)設計者提出資料

#### 1) NATM工法の導入（資料-1(1),(2)）

当初、前年度成果である“シールド切り開き案”に関する課題を整理し、前年度案に対して、NATMで施工した場合の検討を行った。これは、前年度に八千代エンジニアリングが実施したシールドで博多駅まで達するシールド切り開き案がシーサス区間での構造の成立性に課題があり、これに対し、シーサス区間～博多駅間をNATMで施工することを前提に、主に概略工期・工費の比較検討を実施した。その結果、NATMが優位となった。

このことから、本業務は、発注者との協議のうえ、当初からNATMを前提として検討を実施している。〔H23.6〕

#### 2) NATM区間施工法比較（資料-2）

上記に基づき、NATMの施工を計画するうえで、立坑位置、施工方向等に着目した検討を実施した。その結果、NATM立坑については施工基地を含め交差点に影響のない位置に設け、これと隣接してシールド立坑についても、はかた駅前通りに開削工法により施工する案を計画した。〔H23.6〕

#### 3) NATM立坑位置、地上⇒地下へ変更（資料-3）

その後、発注者との協議により、はかた駅前通りに立坑を開削工法で施工する案が変更され、NATM立坑は中間換気所が計画されている明治公園内に設置し、シールド立坑はNATMによる地中拡幅により施工する計画となった。

※設計者提出資料より

## NATM部の支保工・補助工法

### 3) 支保パターン設定

支保パターンは、内空幅に合わせて提案されている「道路トンネル技術基準(構造編)・同解説 平成15年11月 (社)日本道路協会」に示される支保パターンを適用する。

本トンネル計画地の地質は、砂岩・泥岩を主体としており、トンネル先端付近までは上砂、強風化砂岩を呈しており、以深はN値50以上の比較的硬質な地質である。また、博多駅前の市街地での施工となり、トンネル直上には、比較的交通量の多い「はかた通り」があることから、施工時の沈下の危険性がある。このため、支保構造は、地質と沈下抑制を考慮して支保構造を密に設置できる「道路トンネル技術基準(構造編)・同解説 平成15年11月 (社)日本道路協会」に示す「D Iパターン」計画する。

なお、支保構造部材については、詳細設計において、沈下解析後に再検討を実施することを提案する。

※報告書 P.6-4-20より

本設計における対象地盤の地質状況は基本的に均一と思われることから、先行変位の抑制に優れており、経済性にも優れている③案注入式長尺鋼管フォアパイリング (AGF-P工法)を用いる計画とする。

※報告書 P.6-4-31より

以上の点から、本設計では施工性、経済性に優れている無拡幅方式で、施工実績が最も多い“AGF-P工法”を選定する。

※報告書 P.6-4-34より

本設計におけるAGF-P工法の基本的配置計画を下記に記載する。

- ・施工打設 : 600mmピッチ 120°
- ・鋼管 : φ114.3mm×6.0mm、L=12.5m、ネジ式鋼管継手  
(先頭鋼管×1本、中間鋼管×2本、端末塩ビ管×1本)
- ・施工方法 : 1シフト9.0m掘削
- ・鋼管打設角 : 8~10°

### 5) 注入材について

注入材は、地山条件等を十分考慮した上で、目的に適合する材料の選定を行うことが重要である。

表6.4.7 注入材の効果・特性

注入材種別	効果・特性
ウレタン系注入材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・セメント系注入材に比べ岩塊間を固結させる接着力が大きい</li> <li>・粘性に優れているので、切羽先端崩落を確実に防止できる</li> <li>・確実な限定注入が可能である</li> <li>・ゲルタイムが短いため、湧水の影響を受けにくい</li> <li>・リークに対してはインターバル注入で容易に対応できる</li> <li>・比較的高価</li> </ul>
セメント系注入材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ウレタン系注入材に比べ岩塊間を結合させる接着力が小さい</li> <li>・粘性は小さいが、注入された部分を「硬く」することができる</li> <li>・ゲルタイムの調整等、コントロールが難しい</li> <li>・リークへの対応が難しい</li> <li>・湧水に対しては注入材の劣化や流出等の可能性がある</li> <li>・比較的低価</li> </ul>

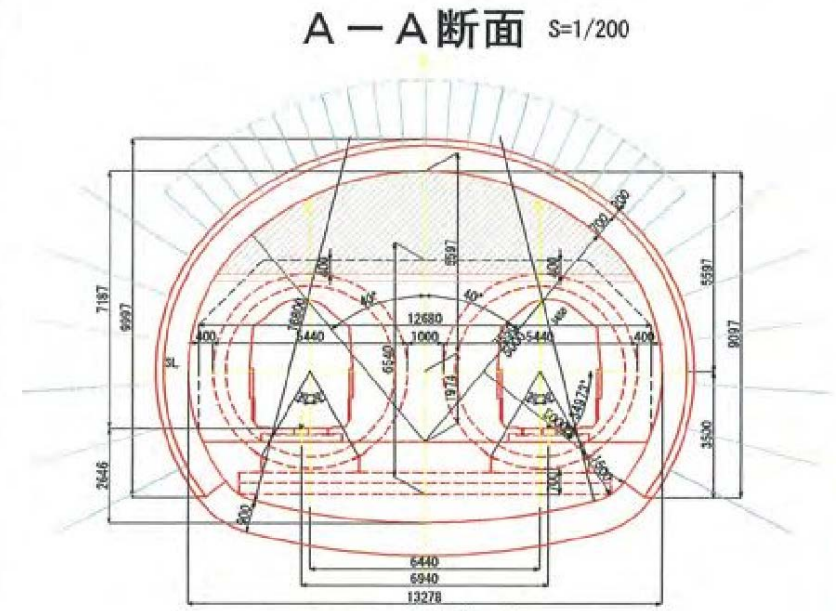
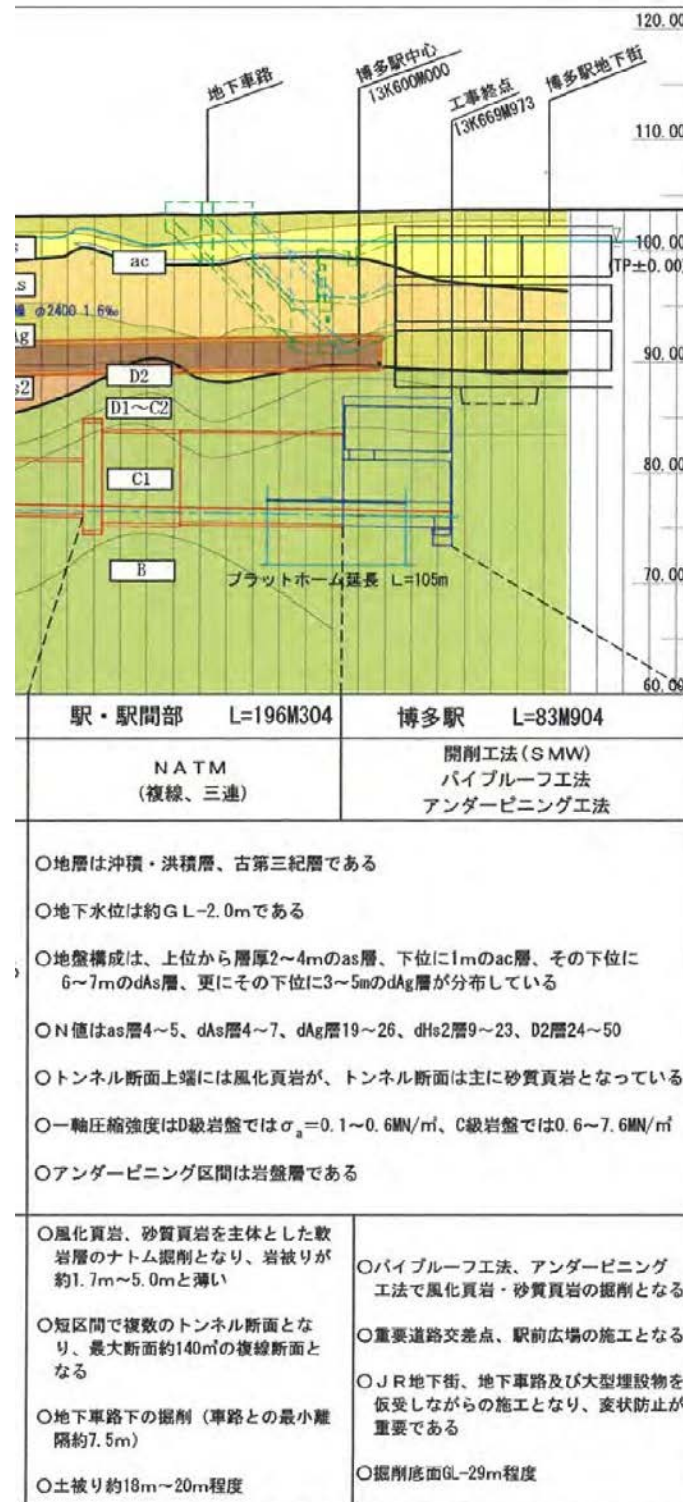
出典 注入式長尺先受工法 (AGF工法) 技術資料 (5訂版)  
2006年12月6日 ジェオフロンテ研究会

注入材に関しては、施工箇所の地下水位が高いことから、ゲルタイム短く、湧水の影響を受けにくい「ウレタン系注入材」を選定する。

※報告書 P.6-4-34より

## 2.3 第1回技術専門委員会(H24.1.13)

NATMとして審議されている。



※第1回技術専門委員会資料より

### 3 補助工法に関する経緯

#### 3.1 福岡市地下鉄七隈線土木構造物実施設計 (天神南駅三線部終端～ナトム構築終端)業務委託(平成24年度)

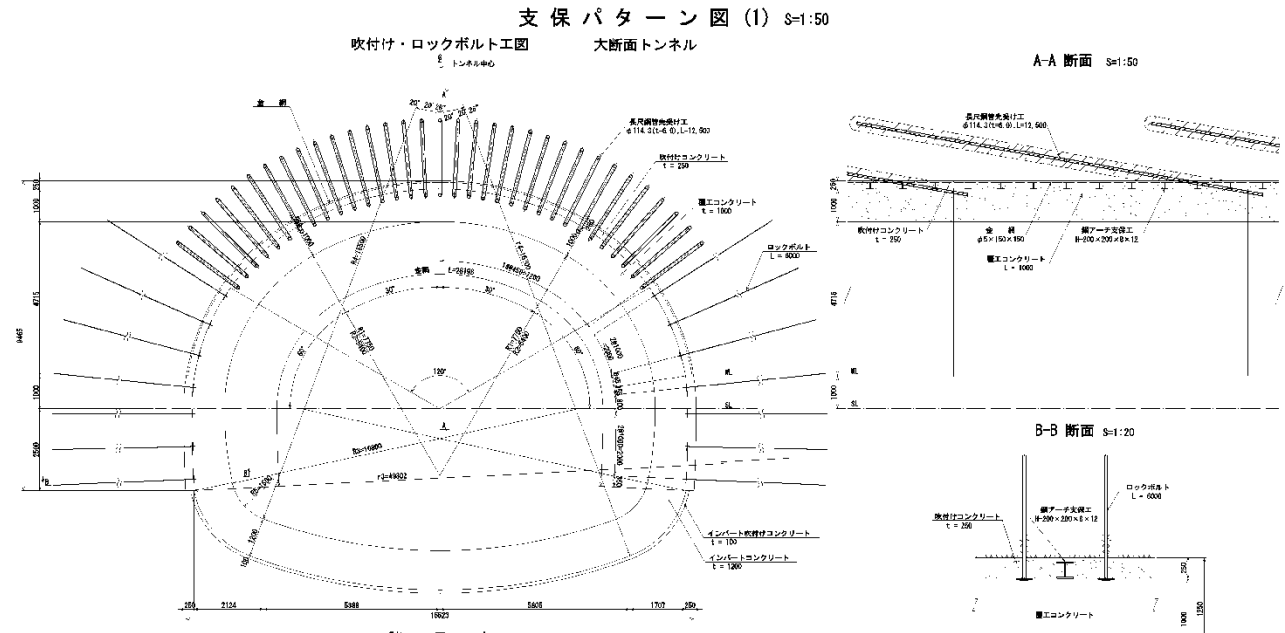
##### (1)特記仕様書

- 2) ナトム設計
- (1) 現地調査  
設計・検討を行うのに必要な現地の状況を調査する。
  - (2) 本体工設計  
設計にあたっては、現地調査の結果を十分認識し、既存の地形図、地質図及び設計条件をもとに安全性や経済性に留意して、地形図上に示された路線について、工事に必要な設計を行うものとする。  
ア 一次支保の設計(支保パターン、補助工法等含む)  
イ 施工計画書の作成、トンネル工事に伴う仮設備計画(排水工等)、工事中における問題点を列挙し、施工方法、施工機械、工程等について検討するとともに、工事中における課題点を列挙し、対策を検討する。  
ウ 乗降場の設計
  - (3) 二次覆工の断面設計及び防水工の設計  
シールド回転立坑部、複線トンネル部、移行断面部、乗降場断面部、作業坑(標準部)及び作業坑(断面移行部)について行う。また、断面設計についてはウォータータイトトンネルとして行う。
  - (4) 立坑設計  
ナトム基地となる立坑の設計(円形、矩形の比較検討を行う)及び換気塔の設計を行う。
  - (5) 坑外設備計画  
立坑部における坑外設備計画を行う。
  - (6) FEM解析  
ア 解析はトンネル解析用プログラムによって計算するものとし、地山条件を層分割として解析が可能な性能を有するもので、有限要素法による弾塑性解析とする。  
イ トンネルの縦断方向、掘削加背割の施工順序が表現できるものとする。  
ウ 解析箇所については、甲の指示する箇所について行う。  
エ 地山部材、支保部材の要素分割及びモデル化については、甲の承諾を受けること。
  - (7) 補助工法等の設計  
トンネル本体の注入工、地下水位低下工(ディープウェル工等)、近接構造物防護等の必要性の検討とその設計(施工計画等含む)を行うこと。
  - (8) 計測計画  
トンネル本体、掘削影響範囲内の道路及びビル、家屋並びに地下埋設物等について、管理基準値を設定するとともに計測計画を作成する。

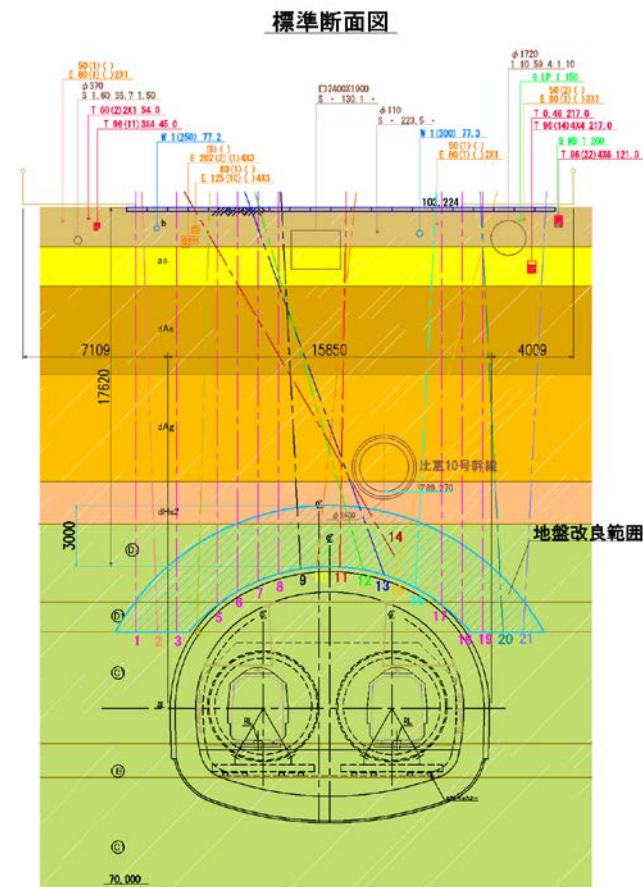
※特記仕様書より

##### (2)検討結果

補助工法を選定しており、注入式長尺鋼管先受け工および地表からの薬液注入を採用している。



※報告書より



※報告書より

### 3.2 大断面トンネルの止水工法の変更提案(2014年2月17日)

導坑を掘削し、導坑内から止水注入を行う提案について協議されている。

#### 原設計での止水対策

岩被りの薄い大断面トンネルのみ、止水注入をする設計である。

#### 対策：大断面トンネルの止水方法の変更

導坑を掘削して、導坑内から止水注入を行うように変更する。

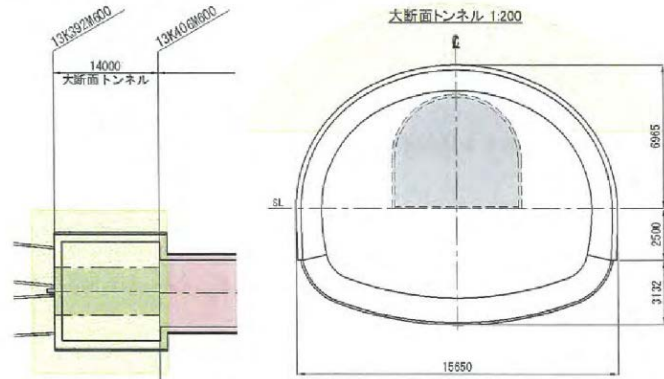


図 2.5 止水注入の変更(大断面トンネル：導坑を掘削し、トンネル内から注入)

※施工者提出資料より

### 3.3 大断面トンネルの止水工法の変更提案(2016年4月13日)

導坑内からの止水注入から鏡ボルトに変更することについて協議されている。

#### 博多駅工区 (NATM 部) 検討-協議項目一覧

項目	変更概要	変更協議理由	状況
1-1 断面形状の変更	大断面トンネル形状を変更して大端標高を下げる。 【構造設計図 6】他	ボーリング調査の結果、トンネル天端岩被りが当初設計より薄く、土砂部からトンネル坑内への地下を引き込むリスクがあるため	・断面形状変更に伴う概略設計済(実施 JV) ・設計課、工事事務所 了解済 ・西工区(鉄高JV) シールド回転可能 確認済 ・交通局殿による修正設計 6/19 承認済 ・6月までに掘削断面形状決定、11月までに設計完了
1-2 鏡止め構造変更	当初設計の柱-梁構造から面構造へ変更する 【構造設計図 71~75】	当初設計構造では施工困難なため ・柱部が400mmと細く、2mmの防水シートを設置することが不可能。 ・鉄筋が過密で鉄筋のピッチは最小で43mmであり、鉄筋のあき(48mm以上)を満足していない。 ・柱部の継手は圧接であり、シートを痛める。	・変更設計書提出済。 ・設計課、工事事務所 了解済 但し ・断面形状変更に伴い再度修正設計が必要
1-3 補助工法B 薬液注入工の変更	当初設計では地上から薬液注入工を実施することとしているが、坑内からの実施に変更する 【標準図 44】	当初設計では施工困難であり、加えて今後道路改修の予定有 ・埋設物が干渉し、地上からトンネル周辺へボーリングでアクセスしづらい箇所が発生し、目的とする地盤改良の品質確保が困難 ・薬液注入工を廃止し、鏡ボルトに変更する予定。	・設計課、工事事務所 基本事項了解済 ・詳細計画の説明は未実施

※施工者提出資料より

### 3.4 第6回技術専門委員会(2016年8月30日)

扁平断面、先進導坑、補助工法(注入式長尺鋼管先受け工、サイドパイル 変更案)に関して審議している。

#### 4) 大断面部の施工方法

##### ③掘削方法

#### 【先進導坑工法】

- 地質状況を確認することができる。・標準トンネルI、II区間での実績がある。
- 地表面沈下及び坑内変位の計測結果、地質状況に応じた適切な補助工法を選定することができる。

#### 【先進導坑の補助工法】

- 長尺鋼管先受け工：岩被りが小さいことに起因する坑内変位と地表面沈下抑制
- 長尺鏡ボルト工：切羽の自立性確保と切羽前面の土質把握と地下水位の状況確認、水抜き
- 高強度吹付け、鏡吹付けコンクリート工：切羽及び切羽側面の崩落対策

#### 【拡幅掘削の補助工法】

- 長尺鋼管先受け工：扁平断面であることや岩被りが小さいことに起因する坑内変位と地表面沈下抑制
- サイドパイル工：切羽側面の地山の補強による坑内変位と地表面沈下の抑制
- 高強度吹付け、鏡吹付けコンクリート工：切羽及び切羽側面の崩落対策

対象	先進導坑	上半拡幅掘削
断面図	<p>掘削断面積：約34m<sup>2</sup></p>	<p>上半拡幅時の掘削断面積約41m<sup>2</sup>(先進坑除く)</p>
支保パターン	計画 高強度吹付けコンクリート工(t=20cm) 鋼アーチ支保工(H150) GFRPロックボルト(L=4m)	計画 高強度吹付けコンクリート工(t=25cm) 鋼アーチ支保工(H150)
切羽安定対策	計画 鏡吹付けコンクリート工(t=5cm) 長尺鏡ボルト工(L=12.5m)	計画 鏡吹付けコンクリート工(t=5cm)
沈下抑制対策	計画 長尺鋼管先受け工(φ114.3mm、L=12.5m) (打設角度6°)	計画 長尺鋼管先受け工(φ114.3mm、L=9.5m) サイドパイル工(φ76mm、L=8.0m)

※第6回技術専門委員会資料より

### 3.5 大断面トンネル形状、支保工、補助工法変更協議書提出(2016年9月13日)

先進導坑掘削時の補助工法として、薬液注入工法から注入式長尺鋼管先受け工、高強度鏡吹付けコンクリート工、長尺鏡ボルト工へ変更する協議書が提出されている。

#### 2. 1 <先進導坑掘削時の補助工法の提案理由>

先進導坑の岩被りは 3m 程度で他の区間（例えば標Ⅱ区間）での岩被り（5～6m）より小さく、天端部の地山も不良な地山である。このため、トンネル掘削に伴い緩みが発生し土砂層の地下水を低下させる可能性がある。先進導坑においては、天端部および切羽前方の地山の緩みを抑制することが重要となる。一方、当初設計で計画された薬液注入工は、地下埋設物が支障となること、対象地山が粘土質であることから、当初設計で想定した品質は得られないと判断される。代替の対策として、天端部および切羽前方の地山の緩みを抑制する目的で、長尺鋼管先受け工、高強度鏡吹付けコンクリート工、長尺鏡ボルト工を補助工法とすることを提案する。

大断面区間(擦り付け部を含む)の補助工法として導坑内からのサイドパイルに加えて注入式長尺鋼管先受け工(二重化)、高強度鏡吹付けコンクリートへ変更する協議書が提出されている。

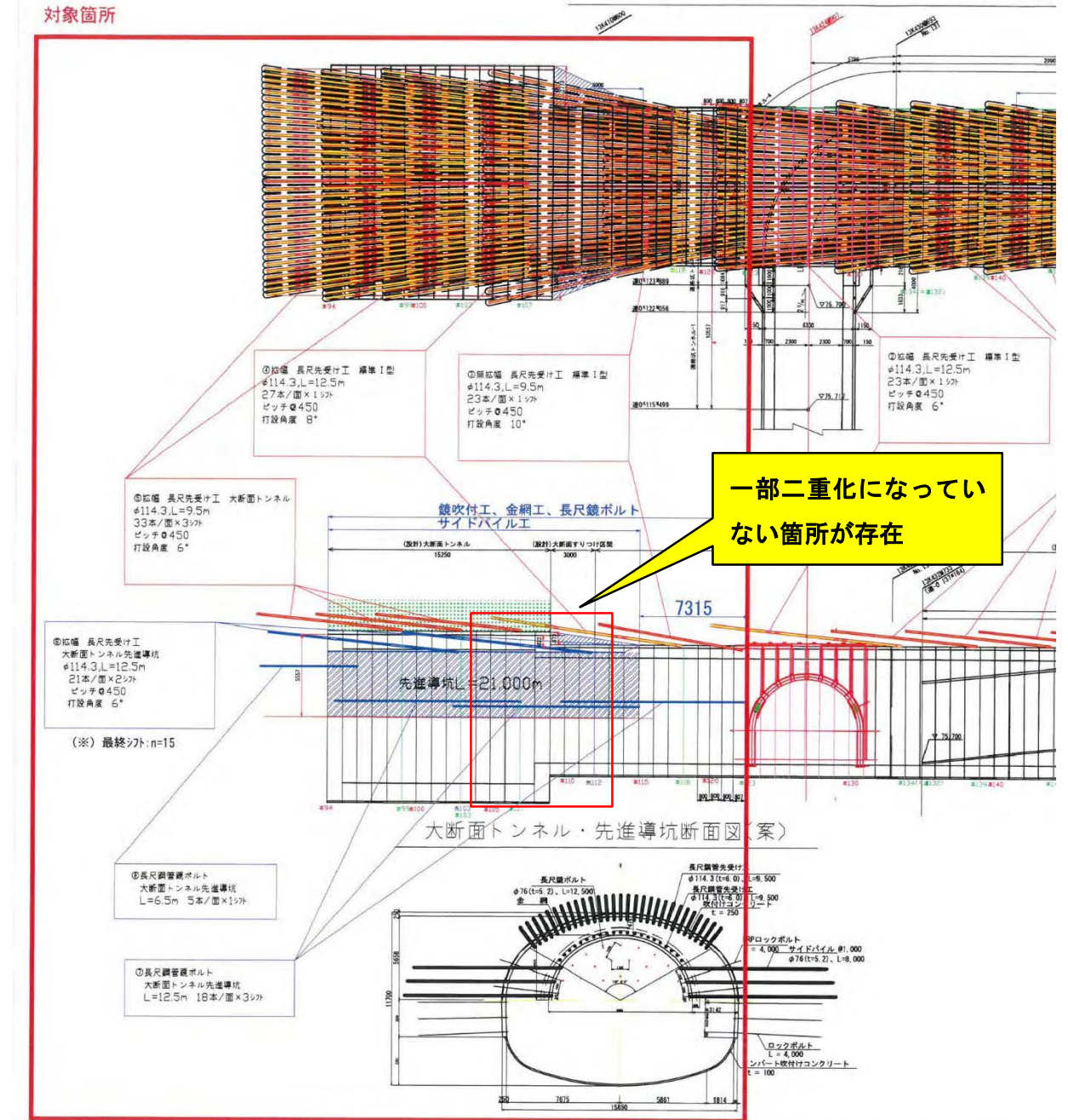
#### 2. 2. 2 大断面区間（擦り付け部を含む）の補助工法の提案理由

掘削時の補助工法として、先進導坑内から先行実施するサイドパイル工に加えて（前述2②）、長尺鋼管先受け工（二重化）、高強度鏡吹付けコンクリート工を補助工法として提案する。天端部および切羽前方の地山の緩みを抑制する目的、周辺地山の変位を抑制する目的である。

また、長尺鋼管先受け工施工位置の天端位置において探り削孔工を、加えて提案する。探り削孔において天端直上部における砂層の有無を事前に把握することで、突発的な多量湧水の発生などを回避する目的である。

「二重化」と記載

協議書に添付された図面は、下図のとおりである。これによると一部で注入式長尺鋼管先受け工は二重化になっていない箇所が存在する。



※施工者協議資料より

委員会で追記

### 3.6 福岡市地下鉄七隈線NATM大断面部変更設計業務委託 (平成28年度)2016年10月6日 3者協議

#### (1)特記仕様書

第10条 (設計業務内容)	
1 設計業務	
・ 既往の設計成果及び現場での調査結果等の関連資料をもとに、設計条件及び設計上の基本事項の整理・検討を行った上で、本業務を実施する。なお、本設計については「福岡市地下鉄七隈線土木構造物実施設計(天神南駅三線部終端～ナトム構築終端)業務委託」等の成果物を使用すること。	
1) 構造修正設計(大断面)	・ 土質調査した結果を踏まえて、シールドマシンUターン部としての使用するNATM大断面部の形状を変更し、設計計算書・構造図・配筋図・数量計算書等の修正を行うものである。
2) 支保工修正設計(大断面)	・ 1)に関連する支保工に関して、修正を行うものである。

※特記仕様書より

#### (2)設計者提出資料

補助工法の設計は、対象外となっている。

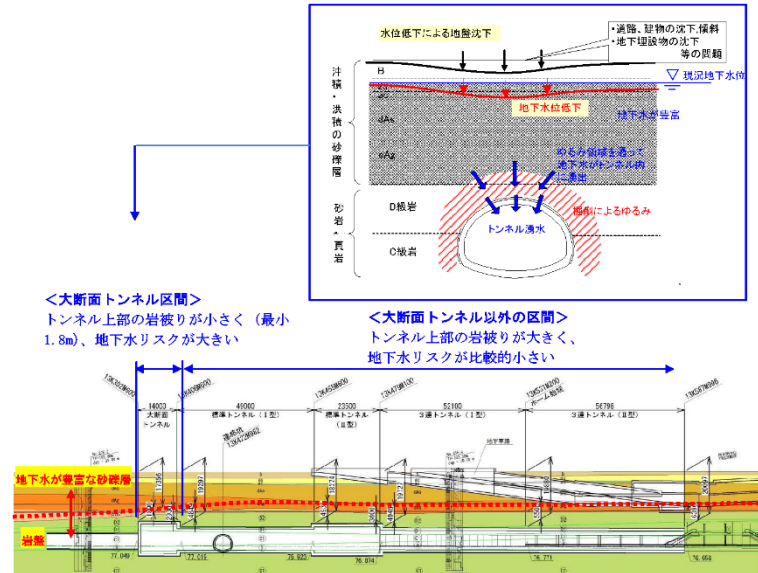
平成28年度	福岡市地下鉄七隈線NATM大断面部変更設計業務委託 (6/10～10/7)	ナトム工法 (特記仕様書と条件)	補助工法の設計は特記仕様書には規定されていない。
7月8日	第1回打合せ		
8月23日	第2回打合せ ※扁平化後の断面形状を決定 ※右記の委員会へのyecの関与は無し。		
8月30日			

※設計者提出資料より

#### (3)検討結果

薬液注入の有無、掘削工法の選定、これまでの掘削で得られている地盤定数・地下水状況等を十分配慮して、地下水対策について慎重に判断する必要性を示唆している。

<大断面トンネル区間の地下水リスクの概要>



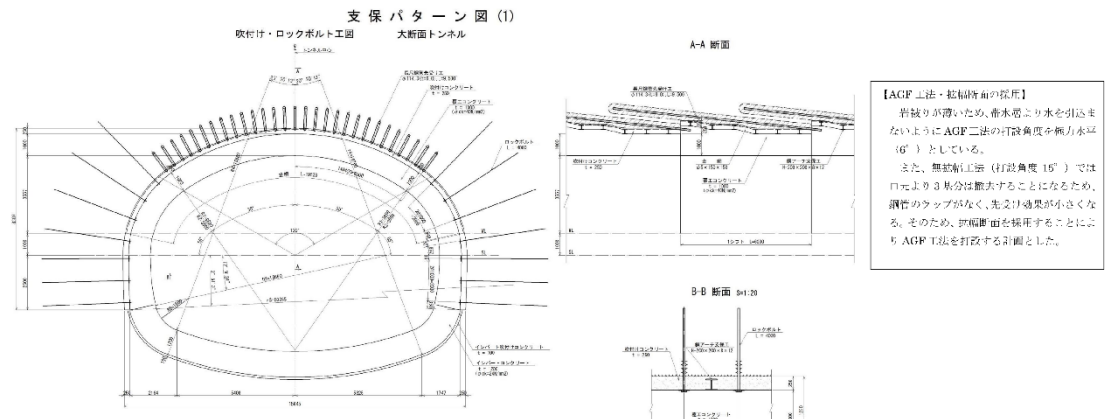
当初設計においては、大断面部は岩被りが少ないことからFEM解析を行い、薬液注入工が必要なものと整理していた。その他の断面については、岩被りが5m程度以上あるため、地下水のリスクは少ないものとし、薬液注入工は計画していない。

標準部等の実施工で既に掘削した箇所において、SLより下半での漏水は多いものの、上半では少ない状態であることが報告されているが、薬液注入の有無や掘削工法によって、大断面掘削時のゆるみ範囲も変化することが考えられる。

以上のことから、施工時の計画立案にあたっては、薬液注入の有無・掘削工法の選定・これまでの掘削で得られた地盤定数・地下水の状況等に十分配慮し、地下水対策について慎重に判断する必要がある。

※報告書 P. 20より

支保工の形状を変更している。補助工法は、注入式長尺鋼管先受け工(最小拡幅方式)としている。(10/6の3者協議で決定)

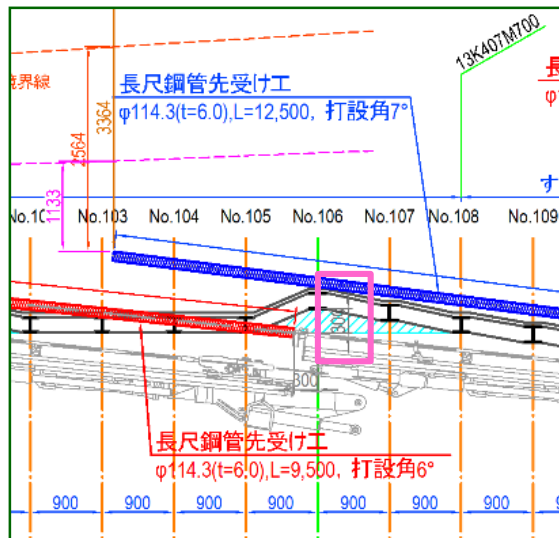
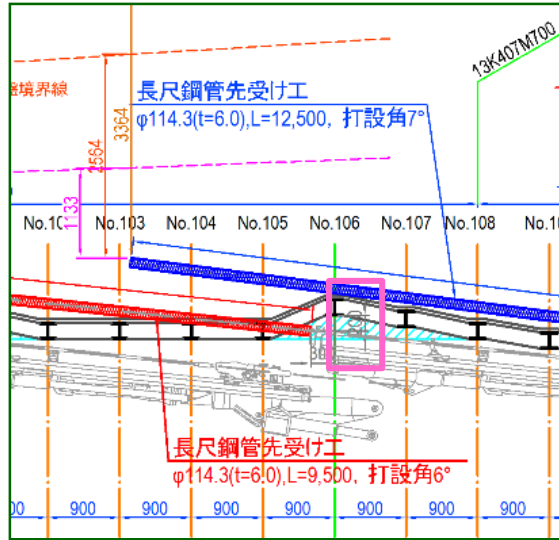


※報告書 P. 25より

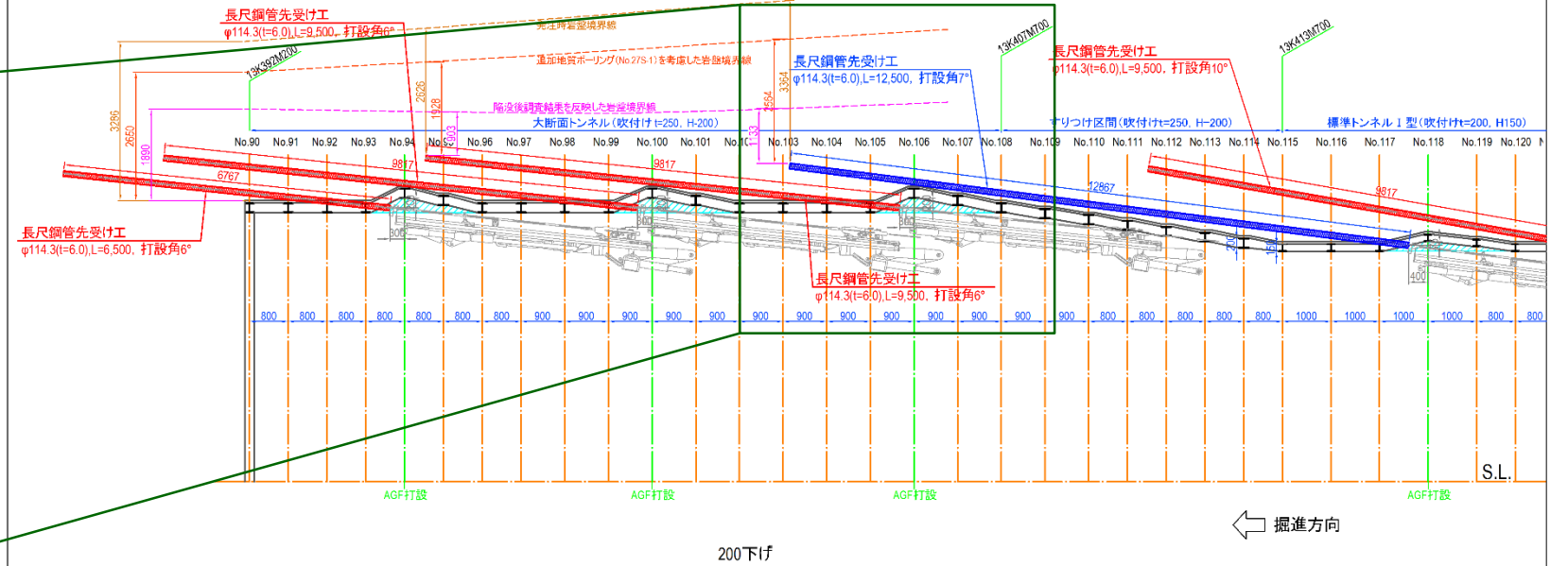


### 3.7 注入式長尺鋼管先受け工法(施工)

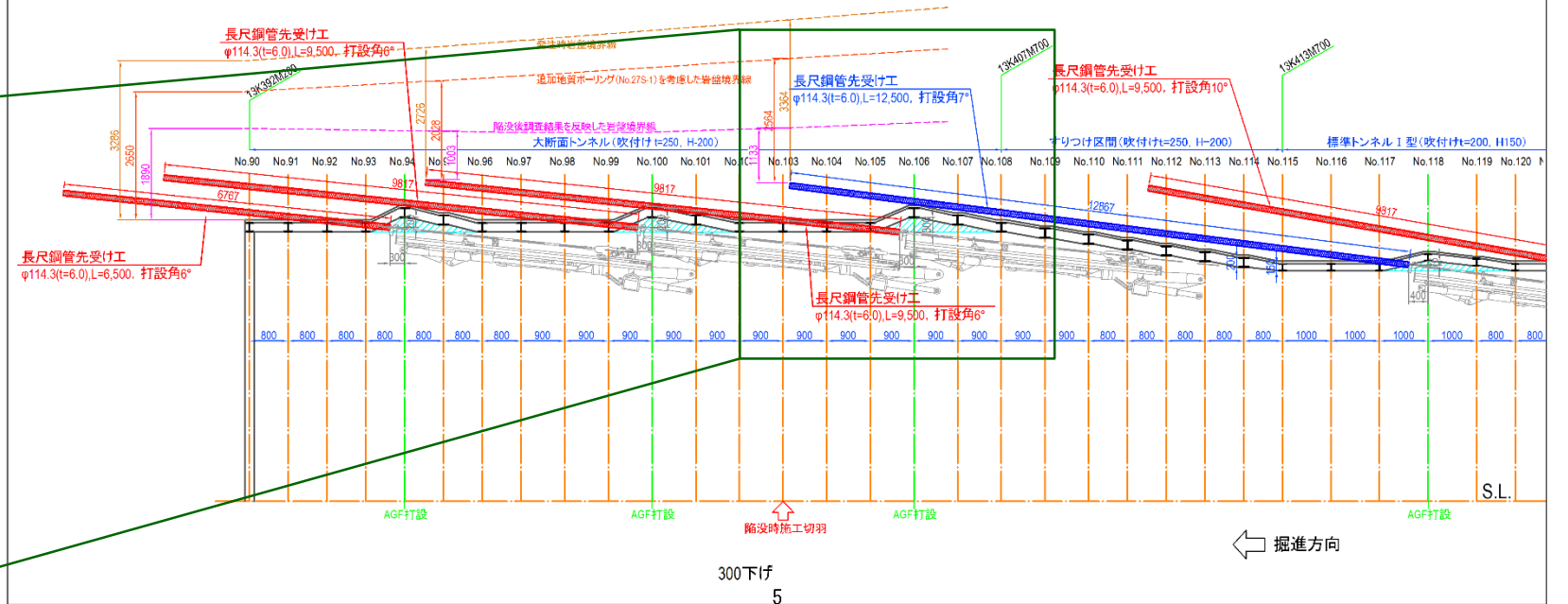
実際に施工された注入式長尺鋼管先受け工は下側の図面である。  
削孔機が吹付け壁面に当たらないようにするため、  
計画位置より10cm下げて鋼管を打設している。



◆AGF割付 計画図



◆AGF割付 施工図



※施工者提出資料より

## 4 管理基準値に関する経緯

### 4.1 管理基準値について記述されている施工計画書の提出 (2016年9月15日)

鋼製支保工の部材の管理基準値(3次)の値は許容応力度 $210\text{N}/\text{mm}^2$ となっている。

#### 4.11.9 計測管理基準値(案)

計測管理基準値(案)を、表4.11.9に示す。計測頻度の増加や対策工の実施については、全ての項目の計測結果および観察結果を総合的に評価し、発注者と協議の上、検討・決定する。

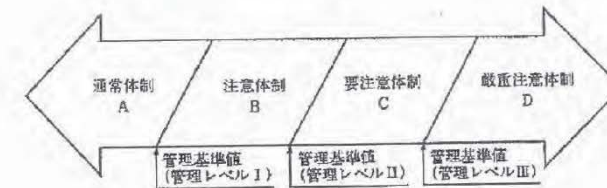
表 4.11.9 計測管理基準値(案)

計測項目	管理基準値 (1次)	管理基準値 (2次)	管理基準値 (3次)	備考
各基準値を超えた場合の対応	注意体制B	要注意体制C	厳重注意体制D	補足図 4.11.9.1
地表面沈下	25mm(予測値)	40mm【※1】	50mm【※1】	補足表 4.11.9.1
天端沈下 (先進導坑)	14mm	21mm	(目安 28mm) 2次管理値超時協議	補足 4.11.9.1
内空変位 (先進導坑)	$\pm 28\text{mm}$	$\pm 42\text{mm}$	(目安 $\pm 56\text{mm}$ ) 2次管理値超時協議	補足 4.11.9.1
天端沈下 (本坑)	23mm	35mm	(目安 46mm) 2次管理値超時協議	補足 4.11.9.1
内空変位 (本坑)	$\pm 46\text{mm}$	$\pm 69\text{mm}$	(目安 $\pm 92\text{mm}$ ) 2次管理値超時協議	補足 4.11.9.1
切羽観察 (切羽自立性)	肌落ちあり	小崩落あり	自立困難	
湧水量	多量出水と判断された場合 (目安 250L/分以上)【※2】	異常出水と判断された場合 (目安 500L/分以上)【※2】	発注者と協議	
地下水位 (土砂部)	管理値は設定しない。 (地下水位低下に起因した沈下の推定等)に使用)			予測値:最大 4.8m 低下
地下水位 (岩盤部)	管理値は設定しない。 (地下水位低下に起因した沈下の推定、切羽安定性を評価する上で前方の地下水位等の把握に使用)			
建築物の沈下	-15mm	-22mm	-30mm(許容値)	
ガス管沈下	$\pm 35\text{mm}$ 【一次警戒値】	$\pm 52\text{mm}$ (中間値)	$\pm 70\text{mm}$ 【二次警戒値】	管種変更済 (DG200)。
下水幹線 相対沈下	4.2mm	6.8mm	8.5mm	地中沈下計による自動計測
吹付コンクリート応力	18 N/mm <sup>2</sup>	27 N/mm <sup>2</sup>	36 N/mm <sup>2</sup>	高強度 36N/mm <sup>2</sup>
鋼製支保工応力	105 N/mm <sup>2</sup>	157 N/mm <sup>2</sup>	210 N/mm <sup>2</sup>	SS400
ロックボルト軸力	88 kN	132 kN	176 kN	TD24
AGF鋼管応力	管理値は設定しない。 (AGFの応力変形挙動の把握に使用)			
先行天端沈下	管理値は設定しない。 (先行変位確認などに使用)			SAA 計測
切羽遠方変位	管理値は設定しない。 (不良地山出現の先行把握などの使用)			T-REX 計測

(特記)

【※1】標準Ⅱ型区間での2次管理値、3次管理値に同じとした。

【※2】切羽またはAGF鋼管からの湧水量。



- A: 通常体制……定時計測
- B: 注意体制……計測頻度強化、現場点検、作業員へ注意強化
- C: 要注意体制……計測体制の強化、軽微な対策工の実施
- D: 厳重注意体制……施工の停止、変状要因・傾向の解析、トンネル補強の検討

補足図 4.11.9.1 管理基準と安全管理体制(土木学会トンネル標準示方書より抜粋)

補足表 4.11.9.1 地表面沈下量の予測

	ケース	断面	対策工	掘削解放力 に起因した沈下量	地下水位低下に起因した沈下量		合計
					土砂部	岩盤部	
参考	ケース1	当初設計 断面	無対策	14.4mm	19.4mm ( $\Delta H_w=4.8\text{m}$ )	—	34.8mm
当初設計 予測	ケース2	当初設計 断面	AGF 天端部止水注入	9.9mm	13mm ( $\Delta H_w=3.2\text{m}$ )	—	22.9mm
今回予想	ケース3	変更 断面	AGF(2重化) サイドバイブル 鎖ボルト	5mm (ケース2の50%と仮 定)	19.4mm ケース1と同等と仮定	0mm (炭質頁岩が 存在しない場合)	25mm

## 4.2 管理基準値について記述されている施工計画書の提出 (2016年9月30日)

### 5. 管理基準値

大断面トンネルの予測解析結果に基づき、トンネル掘削時の管理基準値を設定する。管理基準値は図 5.1 に示すように管理体制と関係付けた管理レベルⅠ～Ⅲについて設定する。

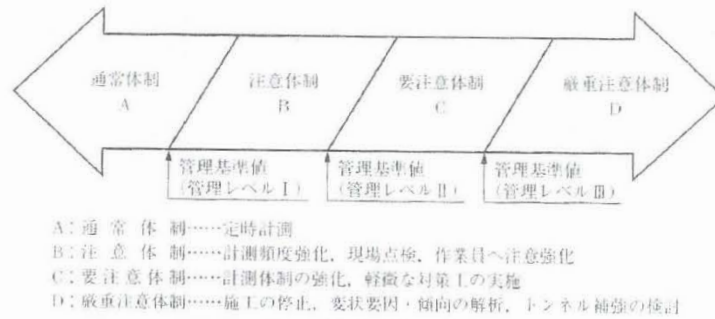


図 5.1 管理基準と安全管理体制の関係

#### 5.1. 管理基準値の設定

##### 5.1.1. 地表面沈下量

地表面沈下量は、トンネル掘削中の全施工ステップにおいて、許容値を超過しないように管理する必要がある。このため、二次元 FEM 解析により得られた全施工ステップ中最大の沈下量が、許容値となるように各施工ステップでの沈下量を割増し（割増し率  $\alpha$ ）、この割増した沈下量を各施工ステップでの管理基準値(Ⅲ)とする。また、管理基準値(Ⅰ)、管理基準値(Ⅱ)はそれぞれ管理基準値(Ⅲ)の 50%、80%とし、各ステップにおける管理基準値を設定する。

地表面沈下量に対する管理基準値の設定方法を具体的に示す。図 5.2 に地表面沈下量の二次元 FEM 解析結果を示す。

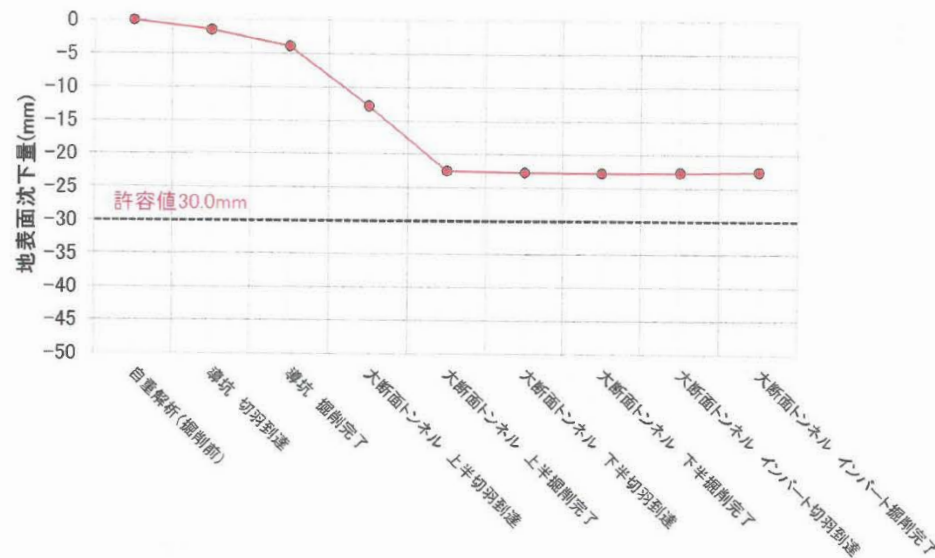


図 5.2 地表面沈下量経時変化図

再提出された管理基準値の設定方法は、FEM解析で求めた最大値と許容値の比率から割増係数をもとめ、許容値を管理基準値(Ⅲ)として設定するとしている

図 5.3 に示すように、二次元 FEM 解析により得られた地表面沈下量が許容値である 30.0mm となるように各ステップの沈下量を割増す。この割増した沈下量を各施工ステップでの管理基準値(Ⅲ)とする。すなわち、地表面沈下量の許容値 30.0mm に対し、最大沈下量 22.8mm を生じているため、割増し率  $\alpha = 30/22.8 \approx 1.32$  となる。この割増し率  $\alpha$  を用いて補正した地表面沈下量を表 5.1 に示す。

下半掘削完了時に地表面沈下量の予測値は最大となり、その後わずかにではあるが沈下量が減少する。このような場合、管理基準値(Ⅲ)は解析値と同じように減少させず、その後のステップで一定の値とする。

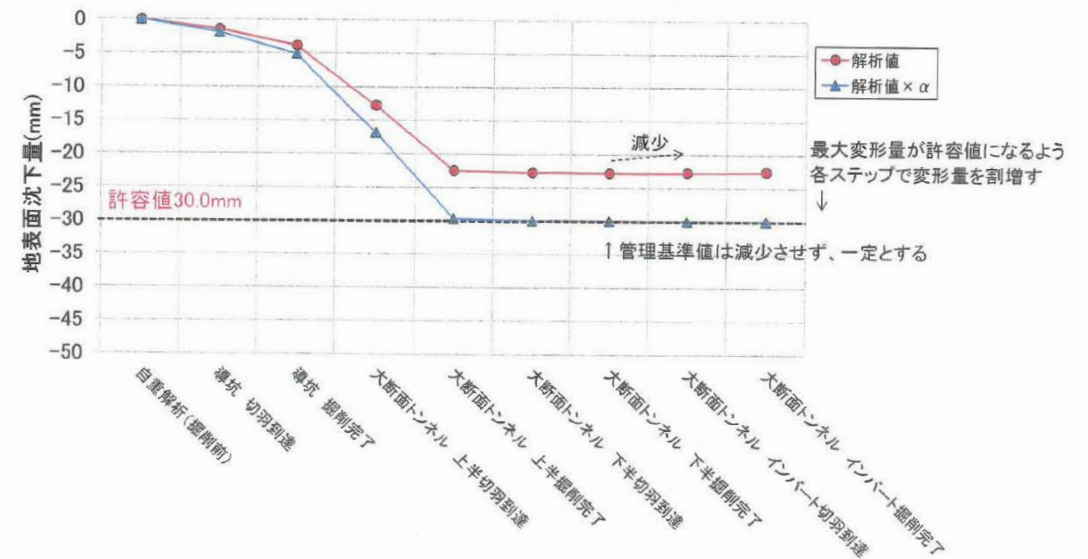


図 5.3 割増し前後の地表面沈下量経時変化図

表 5.1 割増し前後の地表面沈下量まとめ

ステップ名	地表面沈下量 (mm)	割増後 (mm)
step1 自重解析(掘削前)	0.0	0.0
step2 導坑 切羽到達	-1.5	-1.9
step3 導坑 掘削完了	-3.9	-5.1
step4 大断面トンネル 上半切羽到達	-12.8	-16.9
step5 大断面トンネル 上半掘削完了	-22.5	-29.7
step6 大断面トンネル 下半切羽到達	-22.7	-30.0
step7 大断面トンネル 下半掘削完了	-22.8	-30.0
step8 大断面トンネル インバート切羽到達	-22.7	-30.0
step9 大断面トンネル インバート掘削完了	-22.6	-30.0

支保工の応力についても同様の考え方で設定するとしている。

5.1.5. トンネル天端沈下量

トンネル天端沈下量には許容値が設定されていないが、周辺構造物に発生する変位・変形量が許容値を超過しないように、トンネル天端沈下量に対して管理基準値を設定する。周辺構造物の変位・変形は直接計測を行っているのに加え、トンネル天端沈下量からも管理することで周辺構造物への影響をより小さく、安全に管理できる。

掘削により生じたトンネル天端沈下に伴い、地表面沈下・地表面傾斜・下水幹線変形・ガス管沈下が生じる。これら全ての周辺構造物の沈下・変形量が許容値を超過しないようにトンネル天端沈下量を管理する。具体的には、「5.1.1 地表面沈下量」、「5.1.2 地表面傾斜角」、「5.1.3 下水幹線変形量」、「5.1.4 ガス管沈下量」で求めた各計測項目の割増し率 $\alpha$ のうち、最も小さい $\alpha$ をトンネル坑内変位の予測値に乘じ、これを管理基準値(Ⅲ)とする。

図 5.12 に本坑天端沈下の二次元 FEM 解析結果を示す。下水幹線変形量から決まる割増し率 $\alpha (=1.06)$ を用いて補正した本坑の天端沈下量を表 5.9 に示す。

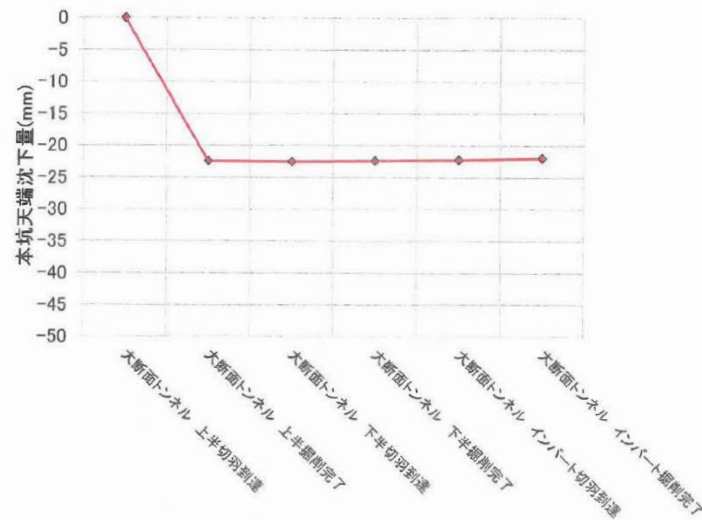


図 5.12 本坑天端沈下量経時変化図

表 5.9 割増し前後の本坑天端沈下量まとめ

ステップ名	本坑天端沈下量 (mm)	割増後 (mm)
step1 自重解析(掘削前)	-	-
step2 導坑 切羽到達	-	-
step3 導坑 掘削完了	-	-
step4 大断面トンネル 上半切羽到達	0.0	0.0
step5 大断面トンネル 上半掘削完了	-22.5	-23.8
step6 大断面トンネル 下半切羽到達	-22.6	-23.9
step7 大断面トンネル 下半掘削完了	-22.4	-23.8
step8 大断面トンネル インバート切羽到達	-22.3	-23.6
step9 大断面トンネル インバート掘削完了	-22.0	-23.3

管理基準値(Ⅰ)、管理基準値(Ⅱ)はそれぞれ管理基準値(Ⅲ)の50%、80%として各施工ステップにおける管理基準値を設定する(図 5.13、表 5.10)。

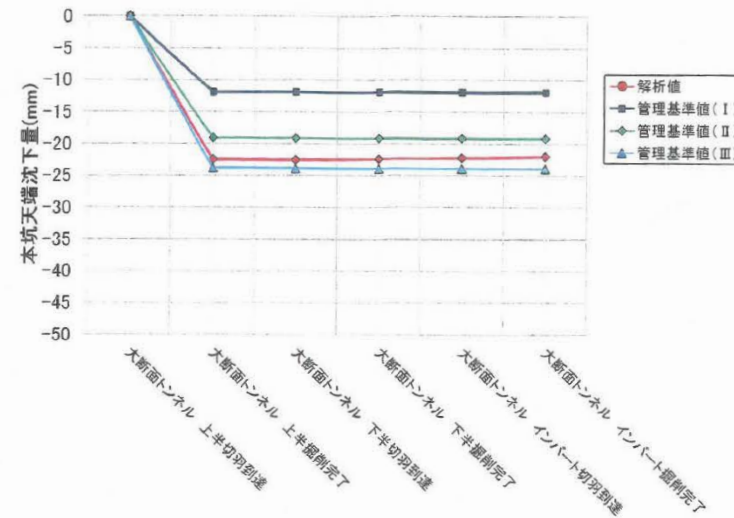


図 5.13 本坑天端沈下量 管理基準値の経時変化図

表 5.10 本坑天端沈下量の管理基準値まとめ

ステップ名	管理基準値(Ⅰ) (mm)	管理基準値(Ⅱ) (mm)	管理基準値(Ⅲ) (mm)
step1 自重解析(掘削前)	-	-	-
step2 導坑 切羽到達	-	-	-
step3 導坑 掘削完了	-	-	-
step4 大断面トンネル 上半切羽到達	0.0	0.0	0.0
step5 大断面トンネル 上半掘削完了	-11.9	-19.1	-23.8
step6 大断面トンネル 下半切羽到達	-12.0	-19.1	-23.9
step7 大断面トンネル 下半掘削完了	-12.0	-19.1	-23.9
step8 大断面トンネル インバート切羽到達	-12.0	-19.1	-23.9
step9 大断面トンネル インバート掘削完了	-12.0	-19.1	-23.9

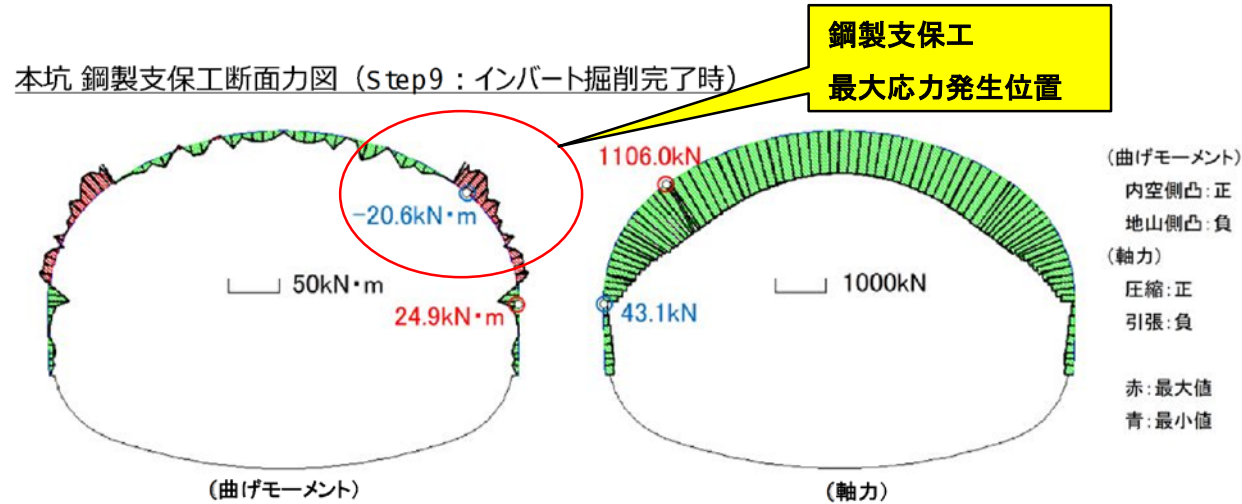
5.1.6. 支保工の応力度

支保工の応力度は、トンネル掘削中の全施工ステップにおいて、許容値を超過しないように管理する必要がある。このため、二次元 FEM 解析により得られた全施工ステップ中最大の支保工応力度が、許容値となるように各施工ステップでの応力度を割増し(割増し率 $\alpha$ )、この割増した沈下量を各施工ステップでの管理基準値(Ⅲ)とする。また、管理基準値(Ⅰ)、管理基準値(Ⅱ)はそれぞれ管理基準値(Ⅲ)の50%、80%とし、各ステップにおける管理基準値を設定する。設定した支保工応力度の管理基準値を表 5.19~表 5.21 に示す。

FEM解析の結果から支保工の最大縁応力は210N/mm<sup>2</sup>  
 最大応力発生位置は、計測点上半右上と上半右脚の中間位置

本坑支保工（鋼製支保工）

・鋼製支保工に発生する応力は、鋼製支保工間隔を0.9m とすることで許容値以下となる。

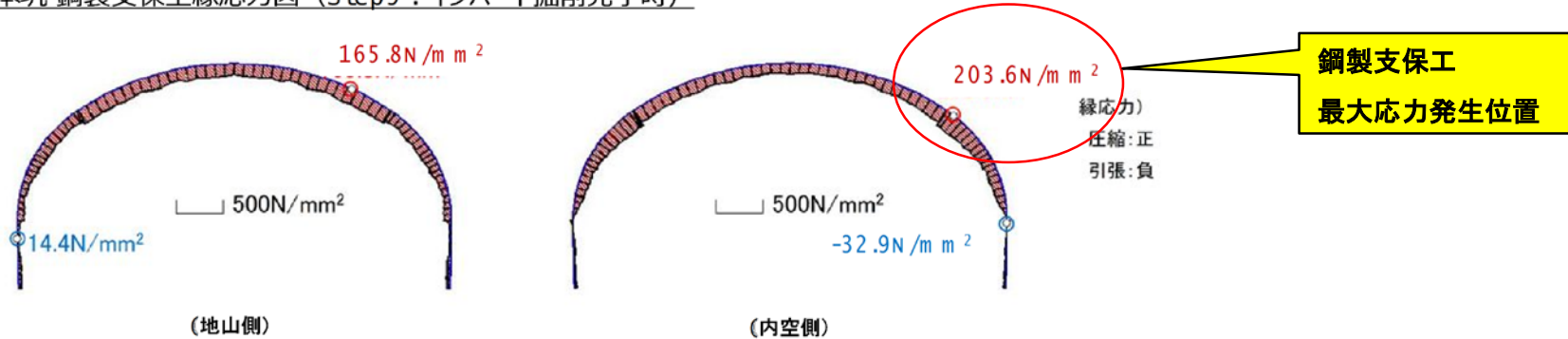


本坑 鋼製支保工縁応力まとめ

Step名	地山側最大縁応力 (N/mm <sup>2</sup> )	内空側最大縁応力 (N/mm <sup>2</sup> )	判定 (≦210N/mm <sup>2</sup> か?)
step1 自重解析(掘削前)	-	-	-
step2 導坑 切羽到達	-	-	-
step3 導坑 掘削完了	-	-	-
step4 大断面トンネル 上半切羽到達	-	-	-
step5 大断面トンネル 上半掘削完了	162.3	210.0	OK
step6 大断面トンネル 下半切羽到達	163.6	207.6	OK
step7 大断面トンネル 下半掘削完了	165.2	204.1	OK
step8 大断面トンネル インバート切羽到達	165.5	203.7	OK
step9 大断面トンネル インバート掘削完了	165.8	203.6	OK

鋼製支保工  
最大応力

本坑 鋼製支保工縁応力図 (Step9 : インバート掘削完了時)



委員会で追記

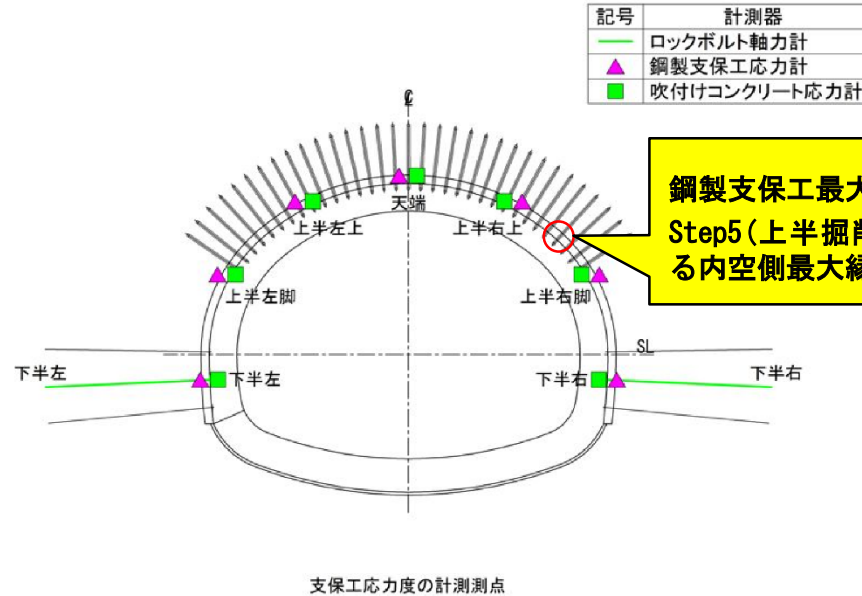
※施工者提出資料より

FEM解析の結果から支保工の最大縁応力は210N/mm<sup>2</sup>  
 最大応力発生位置は、計測点上半右上と上半右脚の中間位置

### 3. 大断面トンネル掘削時の予測解析と管理基準値の設定

#### (3) 管理基準値の設定

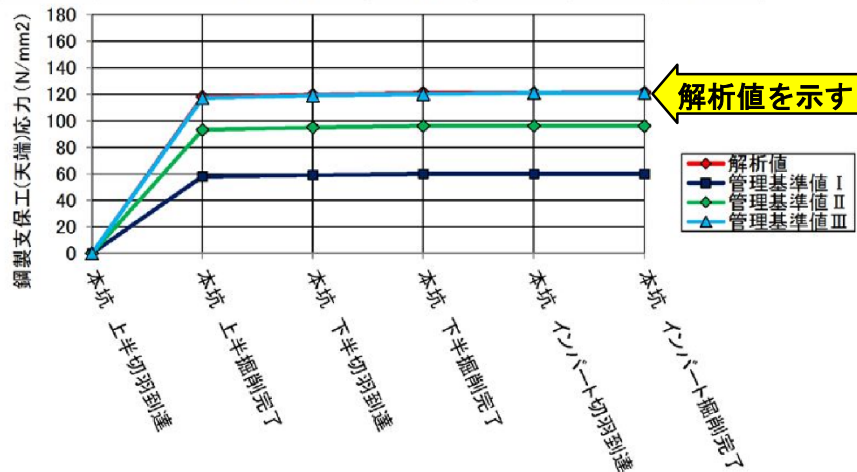
支保工応力の計測位置



支保工応力度の計測測点

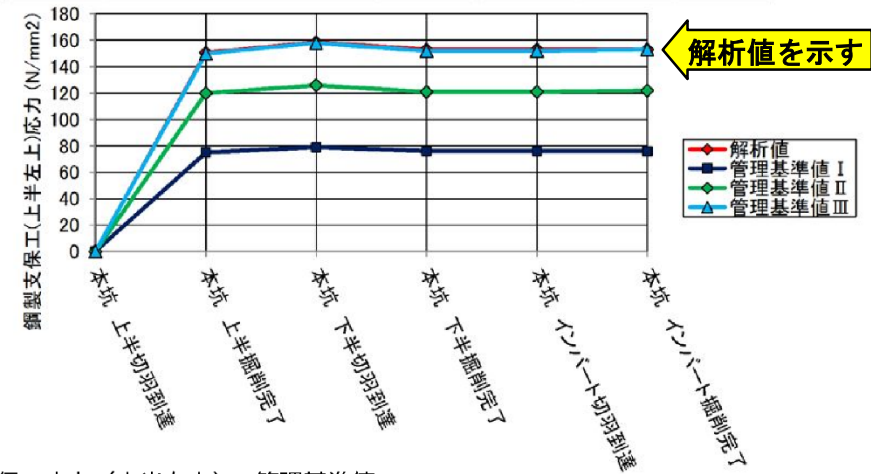
鋼製支保工応力(天端)の管理基準値

ステップ名	解析値 (N/mm <sup>2</sup> )	管理基準値 I (N/mm <sup>2</sup> )	管理基準値 II (N/mm <sup>2</sup> )	管理基準値 III (N/mm <sup>2</sup> )
step4 本坑 上半切羽到達	0.0	0.0	0.0	0.0
step5 本坑 上半掘削完了	117.9	58	93	117
step6 本坑 下半切羽到達	119.5	59	95	119
step7 本坑 下半掘削完了	120.9	60	96	120
step8 本坑 インバート切羽到達	121.1	60	96	121
step9 本坑 インバート掘削完了	121.3	60	96	121



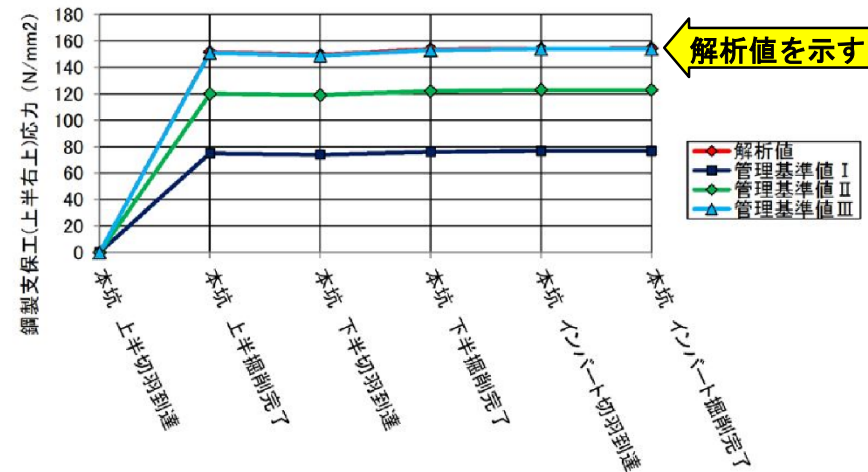
鋼製支保工応力(上半左上)の管理基準値

ステップ名	解析値 (N/mm <sup>2</sup> )	管理基準値 I (N/mm <sup>2</sup> )	管理基準値 II (N/mm <sup>2</sup> )	管理基準値 III (N/mm <sup>2</sup> )
step4 本坑 上半切羽到達	0.0	0.0	0.0	0.0
step5 本坑 上半掘削完了	150.7	75	120	150
step6 本坑 下半切羽到達	158.4	79	126	158
step7 本坑 下半掘削完了	152.9	76	121	152
step8 本坑 インバート切羽到達	152.9	76	121	152
step9 本坑 インバート掘削完了	153.1	76	122	153



鋼製支保工応力(上半右上)の管理基準値

ステップ名	解析値 (N/mm <sup>2</sup> )	管理基準値 I (N/mm <sup>2</sup> )	管理基準値 II (N/mm <sup>2</sup> )	管理基準値 III (N/mm <sup>2</sup> )
step4 本坑 上半切羽到達	0.0	0.0	0.0	0.0
step5 本坑 上半掘削完了	151.7	75	120	151
step6 本坑 下半切羽到達	149.4	74	119	149
step7 本坑 下半掘削完了	153.9	76	122	153
step8 本坑 インバート切羽到達	154.2	77	123	154
step9 本坑 インバート掘削完了	154.4	77	123	154



※施工者提出資料より

委員会で追記

支保工応力の管理基準値として設定された値は、下表に示すようにFEM解析の結果得られた値に割増率 $\alpha=1.0$ を掛けた値を管理基準値(Ⅲ)としている。

大断面トンネル区間の支保工応力の管理基準値を表 5.19～表 5.21 に示す。

表 5.19 鋼製支保工応力の管理基準値

項目	Step名	解析値	管理基準値(Ⅰ)	管理基準値(Ⅱ)	管理基準値(Ⅲ)
天端応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	step5 大断面トンネル 上半掘削完了	117.9	58	93	117
	step6 大断面トンネル 下半切羽到達	119.5	59	95	119
	step7 大断面トンネル 下半掘削完了	120.9	60	96	120
	step8 大断面トンネル インバート切羽到達	121.1	60	96	121
	step9 大断面トンネル インバート掘削完了	121.3	60	96	121
上半左上 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	step5 大断面トンネル 上半掘削完了	150.7	75	120	150
	step6 大断面トンネル 下半切羽到達	158.4	79	126	158
	step7 大断面トンネル 下半掘削完了	152.9	76	121	152
	step8 大断面トンネル インバート切羽到達	152.9	76	121	152
	step9 大断面トンネル インバート掘削完了	153.1	76	122	153
上半右上 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	step5 大断面トンネル 上半掘削完了	151.7	75	120	151
	step6 大断面トンネル 下半切羽到達	149.4	74	119	149
	step7 大断面トンネル 下半掘削完了	153.9	76	122	153
	step8 大断面トンネル インバート切羽到達	154.2	77	123	154
	step9 大断面トンネル インバート掘削完了	154.4	77	123	154
上半左脚 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	step5 大断面トンネル 上半掘削完了	159.9	79	127	159
	step6 大断面トンネル 下半切羽到達	149.9	74	119	149
	step7 大断面トンネル 下半掘削完了	152.4	76	121	152
	step8 大断面トンネル インバート切羽到達	151.9	75	120	151
	step9 大断面トンネル インバート掘削完了	151.7	75	120	151
上半右脚 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	step5 大断面トンネル 上半掘削完了	161.7	80	128	161
	step6 大断面トンネル 下半切羽到達	156.8	78	124	156
	step7 大断面トンネル 下半掘削完了	154.3	77	123	154
	step8 大断面トンネル インバート切羽到達	153.8	76	122	153
	step9 大断面トンネル インバート掘削完了	153.6	76	122	153
下半左 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	step5 大断面トンネル 上半掘削完了	-	-	-	-
	step6 大断面トンネル 下半切羽到達	-	-	-	-
	step7 大断面トンネル 下半掘削完了	36.0	18	28	36
	step8 大断面トンネル インバート切羽到達	31.9	15	24	31
	step9 大断面トンネル インバート掘削完了	28.4	14	22	28
下半右 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	step5 大断面トンネル 上半掘削完了	-	-	-	-
	step6 大断面トンネル 下半切羽到達	-	-	-	-
	step7 大断面トンネル 下半掘削完了	23.5	11	18	23
	step8 大断面トンネル インバート切羽到達	20.6	10	16	20
	step9 大断面トンネル インバート掘削完了	21.4	10	16	21

※+:圧縮 - :引張

表 5.20 吹付けコンクリート応力の管理基準値

項目	Step名	解析値	管理基準値(Ⅰ)	管理基準値(Ⅱ)	管理基準値(Ⅲ)
天端応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	step5 大断面トンネル 上半掘削完了	3.3	6.3	10.1	12.6
	step6 大断面トンネル 下半切羽到達	3.4	6.5	10.4	13.0
	step7 大断面トンネル 下半掘削完了	3.5	6.7	10.7	13.4
	step8 大断面トンネル インバート切羽到達	3.6	6.9	11.0	13.8
	step9 大断面トンネル インバート掘削完了	3.6	6.9	11.0	13.8
上半左上 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	step5 大断面トンネル 上半掘削完了	4.3	8.3	13.2	16.5
	step6 大断面トンネル 下半切羽到達	4.4	8.5	13.5	16.9
	step7 大断面トンネル 下半掘削完了	4.4	8.5	13.5	16.9
	step8 大断面トンネル インバート切羽到達	4.4	8.5	13.5	16.9
	step9 大断面トンネル インバート掘削完了	4.4	8.5	13.5	16.9
上半右上 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	step5 大断面トンネル 上半掘削完了	4.2	8.1	12.9	16.1
	step6 大断面トンネル 下半切羽到達	4.3	8.3	13.2	16.5
	step7 大断面トンネル 下半掘削完了	4.4	8.5	13.5	16.9
	step8 大断面トンネル インバート切羽到達	4.4	8.5	13.5	16.9
	step9 大断面トンネル インバート掘削完了	4.4	8.5	13.5	16.9
上半左脚 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	step5 大断面トンネル 上半掘削完了	4.4	8.5	13.5	16.9
	step6 大断面トンネル 下半切羽到達	4.3	8.3	13.2	16.5
	step7 大断面トンネル 下半掘削完了	4.2	8.1	12.9	16.1
	step8 大断面トンネル インバート切羽到達	4.2	8.1	12.9	16.1
	step9 大断面トンネル インバート掘削完了	4.2	8.1	12.9	16.1
上半右脚 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	step5 大断面トンネル 上半掘削完了	4.4	8.5	13.5	16.9
	step6 大断面トンネル 下半切羽到達	4.3	8.3	13.2	16.5
	step7 大断面トンネル 下半掘削完了	4.3	8.3	13.2	16.5
	step8 大断面トンネル インバート切羽到達	4.3	8.3	13.2	16.5
	step9 大断面トンネル インバート掘削完了	4.3	8.3	13.2	16.5
下半左 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	step5 大断面トンネル 上半掘削完了	-	-	-	-
	step6 大断面トンネル 下半切羽到達	-	-	-	-
	step7 大断面トンネル 下半掘削完了	0.7	1.4	2.2	2.7
	step8 大断面トンネル インバート切羽到達	0.6	1.2	1.8	2.3
	step9 大断面トンネル インバート掘削完了	0.6	1.2	1.8	2.3
下半右 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	step5 大断面トンネル 上半掘削完了	-	-	-	-
	step6 大断面トンネル 下半切羽到達	-	-	-	-
	step7 大断面トンネル 下半掘削完了	0.7	1.4	2.2	2.7
	step8 大断面トンネル インバート切羽到達	0.6	1.2	1.8	2.3
	step9 大断面トンネル インバート掘削完了	0.6	1.2	1.8	2.3

※+:圧縮 - :引張

※施工者提出資料より

は委員会で追記