

資料は委員会での意見を踏まえ、
修正を行っております。

4. 地盤改良について

(1)	地盤改良工法	P1～P6
	1) 地盤改良の検討フロー	P2
	2) 地盤改良の概要	P3
	3) 地盤改良の検討項目	P4
	①改良体の安定性検討	
	②D2層・トンネル周辺岩盤の安定性検討	
	③支保工・地山の安定性検討	
(2)	その他の補助工法	P7～P8
	1) 坑内充填工	P8
	2) 地下水位低下工	P8

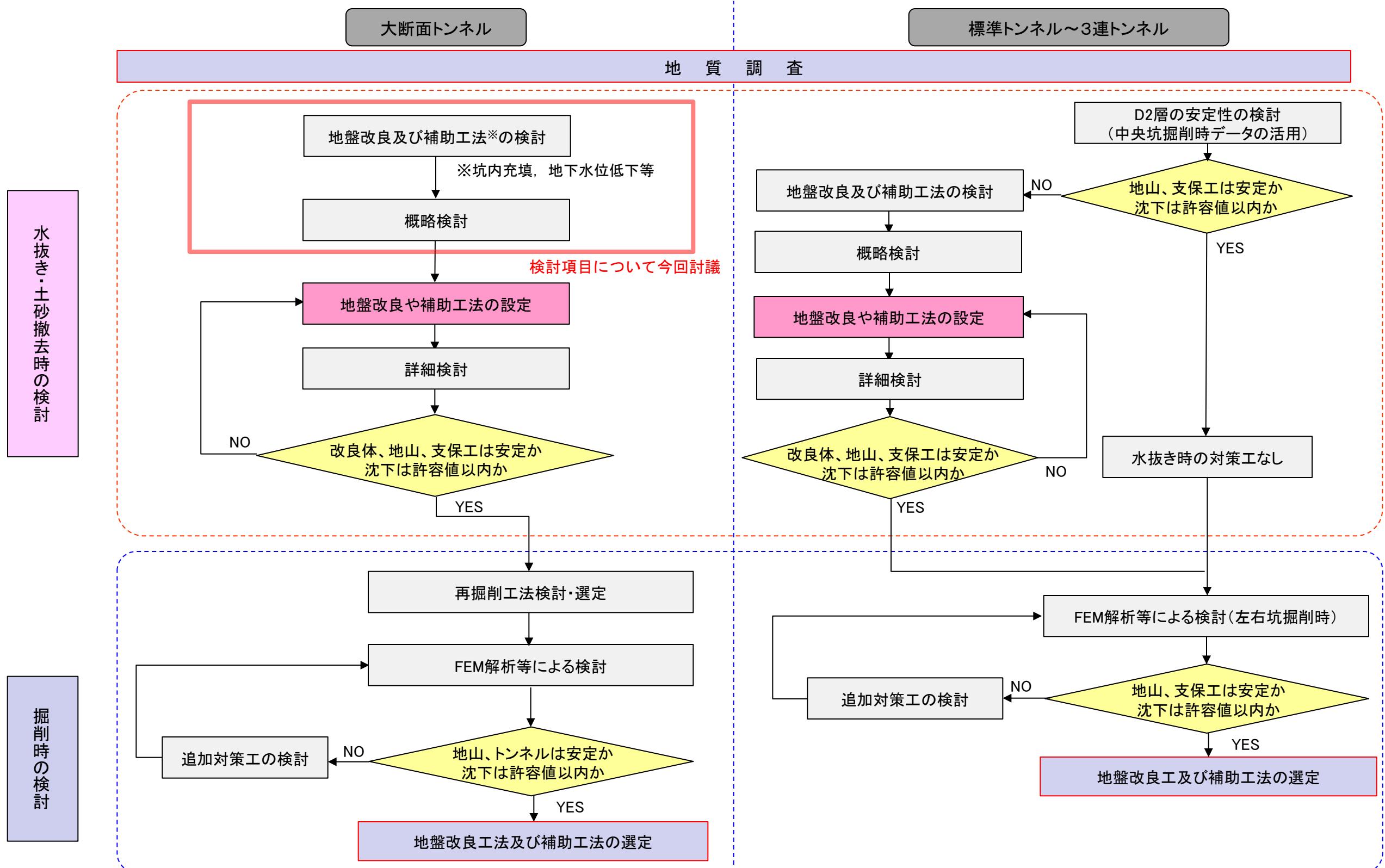
平成29年 8月 31日 (木)

福岡市交通局

(1) 地盤改良工法

今後の進め方について

1) 地盤改良の検討フロー



水抜き・土砂撤去時の検討

掘削時の検討

(1) 地盤改良工法

2) 地盤改良工の概要

一般的に考えられる地盤改良工法について整理した

	薬液注入工法	高圧噴射攪拌工法	凍結工法
工法概要	・高強度・恒久性グラウト材を浸透注入し、対象地盤の強度、止水性を改良する。	・セメント系固化材を噴射攪拌し、対象地盤の強度、止水性を改良する。	・対象地盤に設置した凍結管に氷点下の不凍液を循環し凍土を造成することにより、強度、止水性を改良する。
対象地盤の工法適用性	緩んだ砂(LW塊、異物混入)・・・△※1 ※1高圧噴射攪拌工法よりは地盤改良効果が期待できる。 Dhs2・・・△※2 ※2細粒分が多い場合は薬液が浸透せず効果が期待できない。 D2・・・×(浸透注入出来ない)	緩んだ砂(LW塊、異物混入)・・・△ Dhs2・・・○ D2・・・△(所定の改良体造成困難)	緩んだ砂(LW塊、異物混入)・・・○ Dhs2・・・○ D2・・・○
改良性能	一軸圧縮強度 0.5MN/m ² ～1.0MN/m ² 透水係数 1.0×10 ⁻⁵ cm/sec以下	一軸圧縮強度 1.0MN/m ² ～2.0MN/m ³ 透水係数 1.0×10 ⁻⁵ cm/sec以下	一軸圧縮強度 3.0MN/m ² 透水係数 1.0×10 ⁻¹⁰ cm/sec程度
メリット	・砂地盤に対して、薬液による改良効果が期待できる。 ・玉石等があっても、改良効果が期待できる。	・未固結層に対して、高強度の改良が可能。 ・改良幅を大きく取れるので、比恵10号直下の改良が可能。	・異物があっても均質な改良が可能。 ・他案に比べて高強度の改良が可能。
デメリット	・細粒分が多い土層に対しては改良効果が小さい。 ・緩んだ砂層は、LW塊や異物等が混在しており、均質な改良が可能か不明。 ・比恵10号直下に未改良部ができる。	・異物がある場合は、セメント系固化材の噴射攪拌ができず改良不足になることがある。 ・岩盤・粘土・改良体等の固結層に対しては、改良できない。	・凍結や解凍により、改良体に体積変化(膨張・収縮)が生じる。 ・トンネル支保工や比恵10号に影響を及ぼす懸念がある。
課題	・緩んだ砂層に対して、所定の改良性能が発揮されるか、確認が必要。 ・未改良部に対して、別工法採用等の検討が必要。	・緩んだ砂層については、異物があり、別工法採用の検討が必要。 ・dHs2層・D2層の改良径・強度が不明。	・D2層の凍結・解凍による体積変化量が不明 ・D2層の凍結による改良強度が不明 ・凍結による膨張や解凍による収縮(沈下)により、トンネル支保工・埋設管等の影響検討が必要
室内試験	配合試験(土質物理試験、一軸圧縮試験) 浸透性能確認試験(一次元浸透試験) 環境試験(六価クロム溶出試験)	配合試験(一軸圧縮試験) 環境試験(六価クロム溶出試験)	力学特性試験(一軸圧縮試験、凍上、沈下試験)
原位置試験	原位置での薬液注入効果確認試験 ・効果確認ボーリング(針貫入試験、孔内水平載荷試験) ・現場透水試験	原位置での高圧噴射攪拌効果確認試験 ・改良径の確認 ・効果確認ボーリング(一軸圧縮試験) ・現場透水試験	・施工前の原位置試験は不要。
本施工における効果確認方法	・効果確認ボーリング(針貫入試験、孔内水平載荷試験) ・現場透水試験	・改良径の確認 ・効果確認ボーリング(一軸圧縮試験) ・現場透水試験	・測温管による土中温度 ・現場透水試験

(1) 地盤改良工法

3) 地盤改良の検討項目 (①地盤改良体の安定性検討)

I. 押し抜きせん断破壊に対する検討

→土砂層の水圧、土圧による地盤改良体の押し抜きせん断破壊

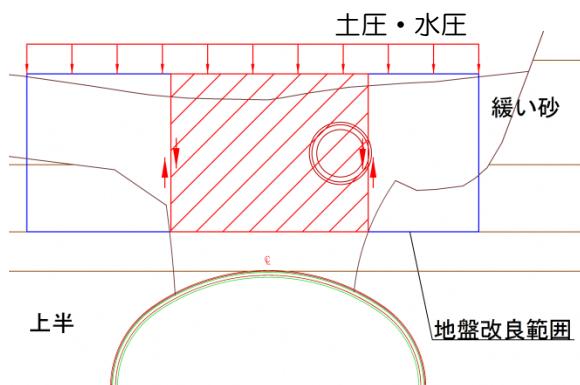


図 地盤改良体の押し抜きせん断破壊

II. 曲げ引張破壊に対する検討

→土砂層の水圧、土圧による地盤改良体の曲げ引張破壊

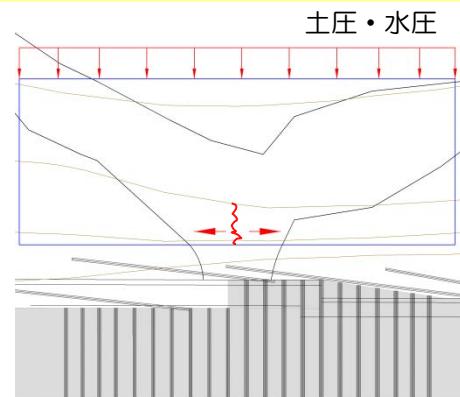


図 地盤改良体の曲げ引張破壊

III. 浸透破壊に対する検討

→水圧差による地盤改良体の浸透破壊

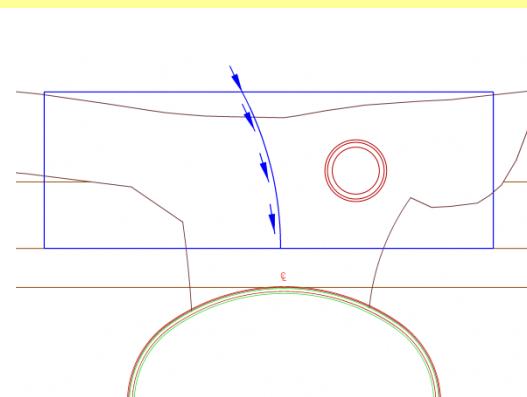


図 地盤改良体の浸透破壊

IV. トンネル変形に伴う安定性検討

→排水時のトンネル変形による地盤改良体の破壊

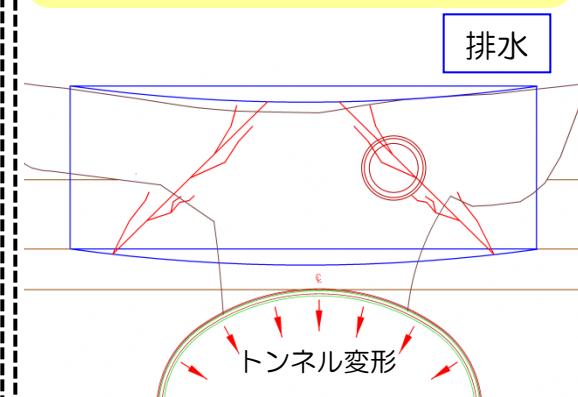
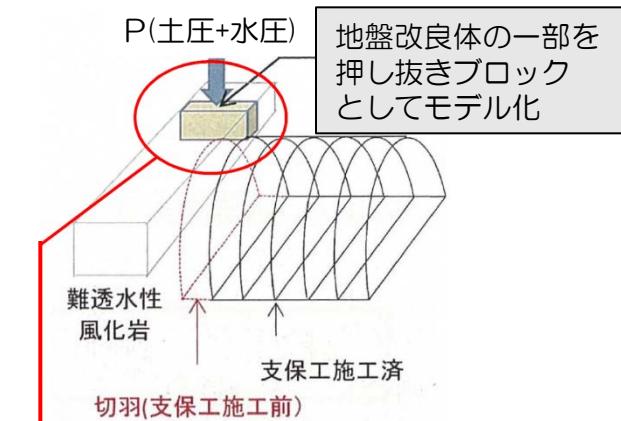


図 地盤改良体の変形破壊

押し抜きせん断破壊検討モデル



土圧+水圧P

$\tau < \tau_a$ となることを確認

τ : 押し抜きブロックに作用するせん断応力度

τ_a : 改良体の許容せん断強さ

■ 土水圧により押し抜きブロックにせん断応力が発生する面(A:面積)

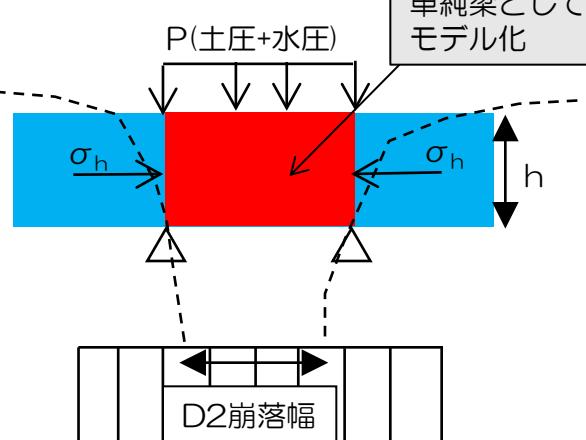
(改良体のせん断応力度)

$$\tau = \frac{P}{A} \leq \tau_a \text{ kN/m}^2$$

“盤ぶくれの照査方法”

出典：鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル

曲げ引張破壊検討モデル



$\sigma_t < \sigma_{ta}$ となることを確認

σ_t : 改良体下部に作用する曲げ引張応力度

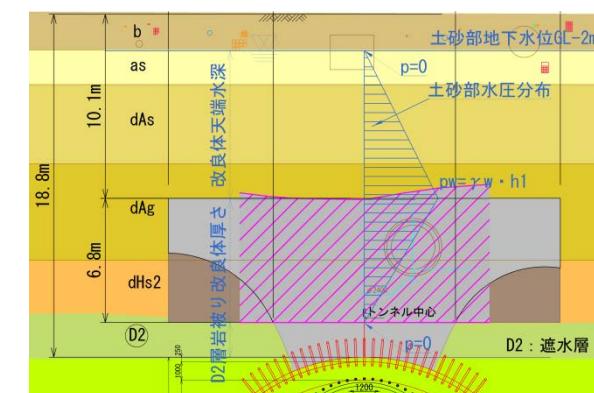
σ_{ta} : 改良体の許容曲げ引張強度

(改良体の曲げ引張応力度)

$$M = \frac{Pl^2}{8} \quad Z = \frac{bh^2}{6}$$

$$\sigma_t = \frac{M}{Z} - \sigma_h \leq \sigma_{ta} \text{ kN/m}^2$$

浸透破壊検討モデル



※「追加地質調査報告書(概要版)」の手法を踏襲

(STEP1)
「ダム基礎地盤の浸透破壊抵抗性に関する基礎的研究(山口ら)」の浸透破壊抵抗性調査手順に基づき、ルジオン試験の限界圧力・一軸圧縮強さから考え、浸透破壊に対する検討が必要かどうかを判断する。

(STEP2)
地盤改良体の限界動水勾配 (icr) を算出する。

(STEP3)
地盤改良体の動水勾配 (i) を算出し、
限界動水勾配 (icr) と比較する。

変形破壊検討モデル

VIIと同様の検討方法のため、省略

(1) 地盤改良工法

3) 地盤改良の検討項目 (②D2層・トンネル周辺岩盤の安定性検討)

V. D2層の浸透破壊に対する検討
→水圧差によるD2層の浸透破壊

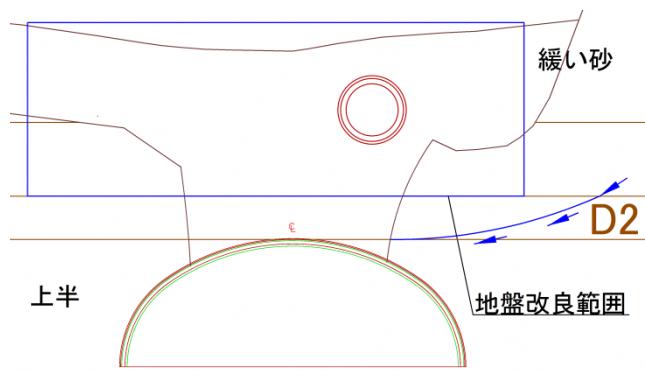


図 D2層の浸透破壊

VI. トンネル変形に伴う安定性検討
→排水時のトンネル変形によるD2層、トンネル周辺地山の破壊

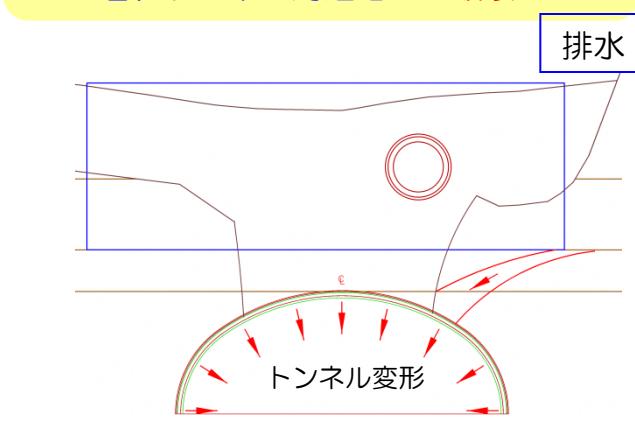


図 D2層・周辺地山の変形破壊

VII. 残留水圧に対する安定性の検討
→周辺岩盤が排水時の残留水圧により、坑内に押し出され破壊

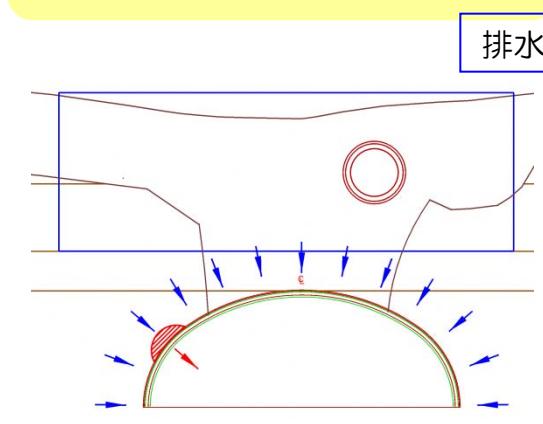
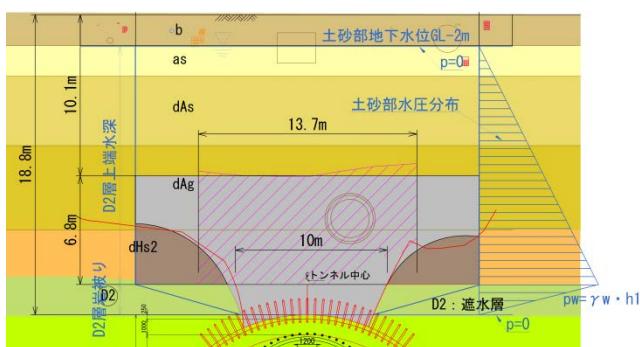


図 浸透力による周辺岩盤の破壊

浸透破壊検討モデル



※「追加地質調査報告書(概要版)」の手法を踏襲。

(STEP1)
「ダム基礎地盤の浸透破壊抵抗性に関する基礎的研究(山口ら)」の浸透破壊抵抗性調査手順に基づき、ルジオン試験の限界圧力・一軸圧縮強さから考え、浸透破壊に対する検討が必要かどうかを判断する。

(STEP2)
D2層の限界動水勾配 (i_{cr}) を算出する。

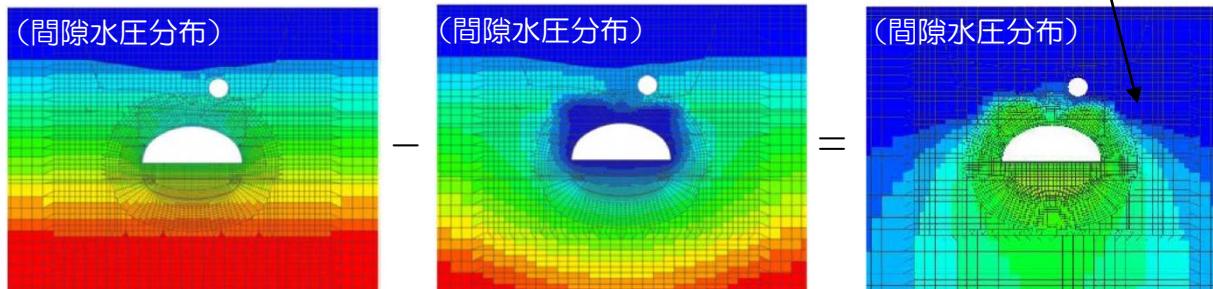
(STEP3)
大断面拡幅断面でのD2層の動水勾配 (i) を算出し、**限界動水勾配 (i_{cr}) と比較**する。

変形破壊検討モデル

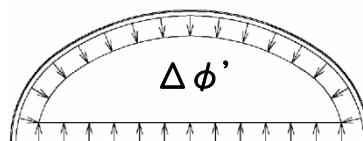
【手順1】浸透流解析

1. 排水ステップ毎の地山の間隙水圧変化量を求める。

ステップ0 (排水前) ステップ1 (ト礼内水位1m低下)



2. 坑内排水による坑内の水圧変化量 ($\Delta \phi'$) 【解析条件】



【手順2】FEM解析

3. 無応力状態のモデルに対して、1. 2を入力値とし、有効応力解析を実施する。

4. **排水時のトンネル周辺地山の安定性、地表面沈下を確認**する。

※周辺地山の安定性の評価が困難である(後述)。

岩盤内の間隙水圧と有効応力を求め、**破壊基準線に達していないことを確認**する。

(1) 地盤改良工法

3) 地盤改良の検討項目 (③支保工・地山の安定性検討)

VIII. 残留水圧に対する安定性の検討

→支保工の背面に水圧が残ることにより
吹付けコンクリート、鋼製支保工が破壊

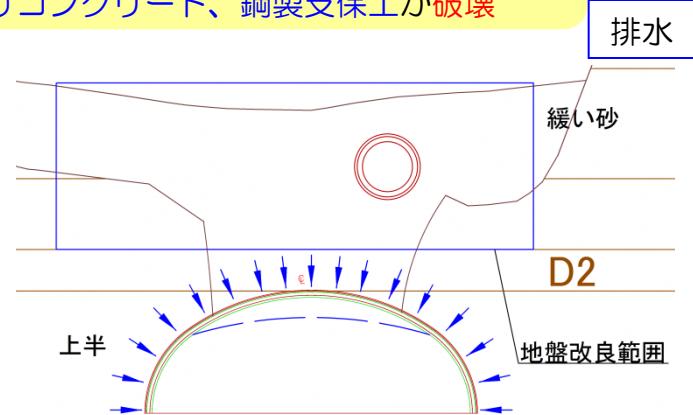


図 支保工背面の残存水圧による支保工の破壊

IX. 坑内負圧の発生に対する安定性の検討

→トンネル内に発生する負圧により、**周辺地山**
吹付けコンクリート、鋼製支保工が破壊

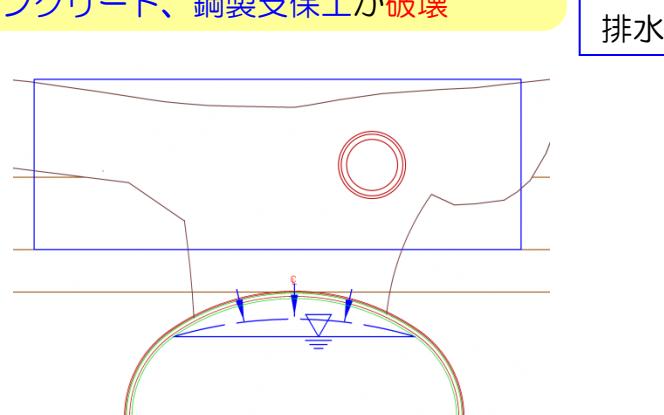
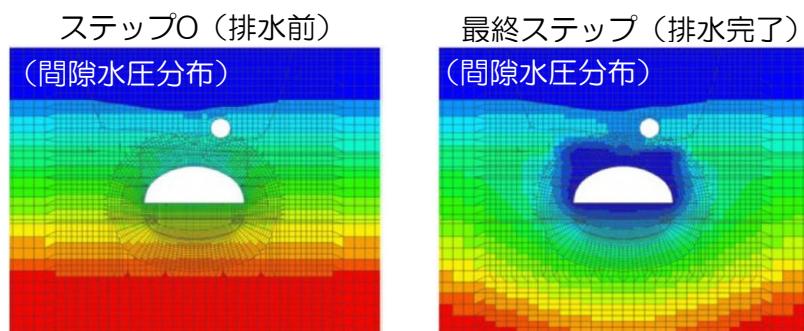


図 坑内負圧による支保工の破壊

支保工背面に水圧が残存する場合の支保工の安定性検討モデル

【手順1】浸透流解析

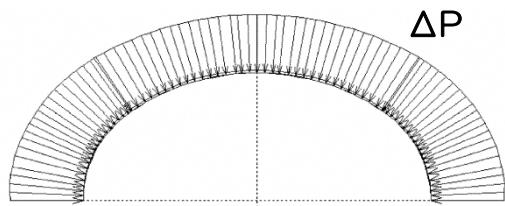
1. 排水による地山の間隙水圧変化量を求める。



2. 支保工背面に残存する間隙水圧の差分(ΔP)を求める。

【手順2】フレイム解析

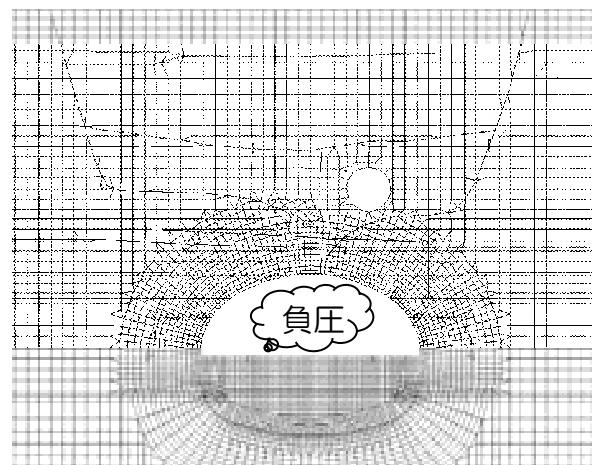
3. 間隙水圧の差分 (ΔP) を支保工に荷重として作用させ、**支保工の健全性を確認**する。



※現状発生している支保の応力を考慮する必要がある。

負圧作用時の支保工の安定性検討モデル

【手順】FEM解析



※坑内が負圧になった場合を想定

• 立坑から坑内に空気を供給する連絡坑の天端高さ和大断面トンネル天端高さの差 (約3.0m) 分の負圧 (荷重) を FEM解析で坑内から引張る検討を行い、**地山・支保工の健全性を確認**する。

※現状発生している支保の応力を考慮する必要がある。

(2) その他の補助工法

(2) その他の補助工法

地盤改良とあわせて下記の補助工法を施工することも検討していく。

1) 坑内充填工（水抜き前に実施）

<概要>

- ・地上から削孔し、可塑性グラウト等を大断面トンネル内に充填することで、トンネル内の安定性を向上させる。

<メリット>

- ・水抜きに伴うトンネル内土砂の流動化リスクを低下させる。
- ・土砂撤去時の坑内作業の安定性を向上させる。

<デメリット>

- ・削孔時にトンネル支保工や長尺先受工を破損させるリスクがある。
- ・削孔時に水みちが形成され、トンネル坑内へ土砂層の地下水が流入するリスクがある。

2) 地下水位低下工

<概要>

- ・大断面トンネルの陥没部を囲む形で薬液注入等による遮水壁を形成し、土砂層の水を強制的にポンプで汲み上げる。

<メリット>

- ・土砂層からトンネル上部に作用する水圧を低下させる効果が期待できるため、安全性が向上する。

<デメリット>

- ・土砂層の水の汲み上げに伴い、流動化処理土に作用している浮力が失われ、路面が沈下するリスクがある。