

河川本流の水温変化に関する影響予測、 回避・低減措置、モニタリング等について

<本資料に記載の項目>

「今後の主な対話項目」（2024年2月5日 静岡県）抜粋

Ⅱ 生物多様性編

5 大井川本流の水質・水温の変化による底生生物等への影響

- (2) 水温について、生物への影響が懸念されない、安全な管理基準値の設定
- (3) 底生生物等への影響の回避・低減措置と、その有効性の検証及び、仮に対応が不十分な場合の追加措置

目 次

(1) はじめに	1
(2) 放流されるトンネル湧水温の推定について	4
1) トンネル土被りに応じたトンネル湧水温の推定	4
2) 各ヤードから放流される推定トンネル湧水温	6
(3) トンネル湧水を河川へ放流することに伴う河川水温の推定について	1 1
(4) 放流後河川流下方向の水温変化の推定について	1 6
1) 推定の概要について	1 6
2) 推定結果について	1 7
(5) 水温変化に伴う水生生物への影響予測	2 2
(6) 対応の基本的な考え方	2 3
(7) 低減措置について	2 3
(8) モニタリングとリスク対応について	2 5
1) モニタリングについて	2 5
2) モニタリング結果を踏まえた対応（リスク対応）について	2 5
(巻末資料1) トンネル湧水を河川へ放流することに伴う河川水温の推定に用いたパラメータ	2 9
(巻末資料2) 放流後河川流下方向の水温変化の推定に用いたパラメータ	3 3

(1) はじめに

- ・トンネル内に生じたトンネル湧水を河川へ放流する際、トンネル湧水と放流先の河川の水温が異なることが想定されることから、河川水温の変化に伴う水生生物への影響が懸念されています。
- ・そこでまずは、次のステップ1～ステップ3に従い、トンネル湧水を河川へ放流することによる河川水温の変化を推定しました。なお、推定する対象は、表 1 に示す4つの場面、場所としました。

ステップ1：放流されるトンネル湧水の量とトンネル掘削の影響を考慮した河川流量の推定（推定方法等について、2025年2月13日の第15回生物多様性専門部会にて整理済、資料2－1 河川本流の流量減少の推定について参照）

ステップ2：放流されるトンネル湧水の水温の推定（推定方法等について、2024年11月1日の第14回生物多様性専門部会にて整理済）

ステップ3：ステップ1、2の結果を用いた、トンネル湧水を河川へ放流することに伴う河川水温、影響範囲の推定

表 1 河川水温の変化を推定する対象

	対象	備考
①	トンネル掘削完了後恒常時の樫島での推定	トンネル掘削完了後恒常的にトンネル湧水を河川へ放流することになるため
②	西俣からのトンネル湧水放流量が最大になる時期における西俣ヤード下流での推定	当該ヤード下流でのワーストケースであるため
③	千石からのトンネル湧水放流量が最大になる時期における千石ヤード下流での推定	当該ヤード下流でのワーストケースであるため
④	樫島からのトンネル湧水放流量が最大になる時期における樫島ヤード下流での推定	当該ヤード下流でのワーストケースであるため

- ・また、推定結果を踏まえ検討した、水生生物への影響予測、回避・低減措置、モニタリング等について、報告します。

(参考) 各ヤードからのトンネル湧水放流量が最大となる時期のトンネル掘削状況

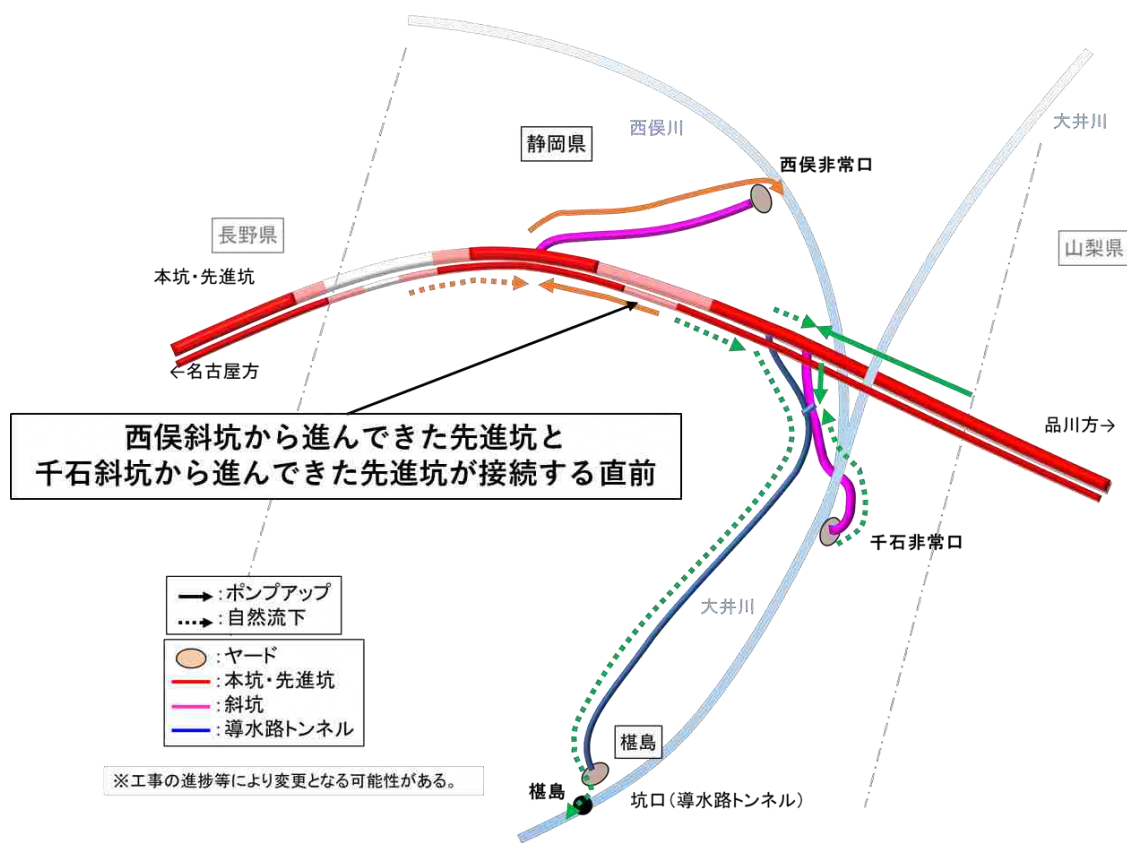


図 1 西俣での放流量が最大となる時期のトンネル掘削状況 (イメージ)

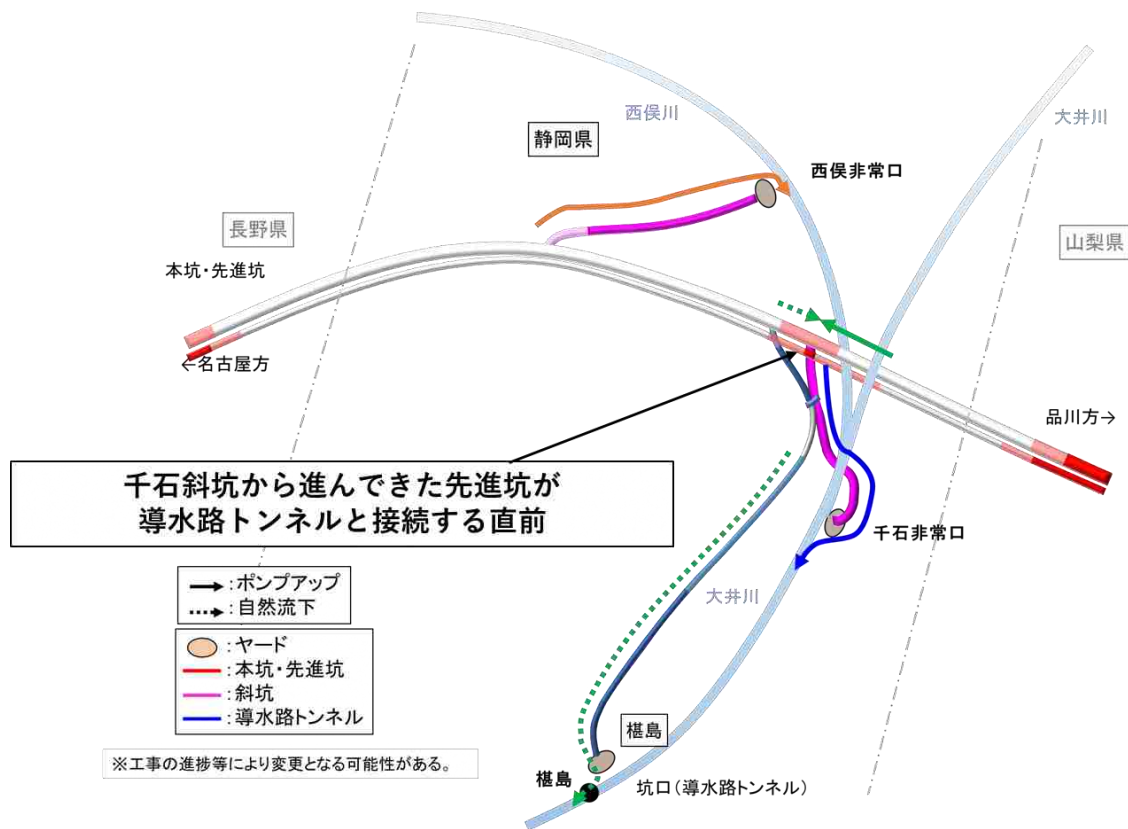
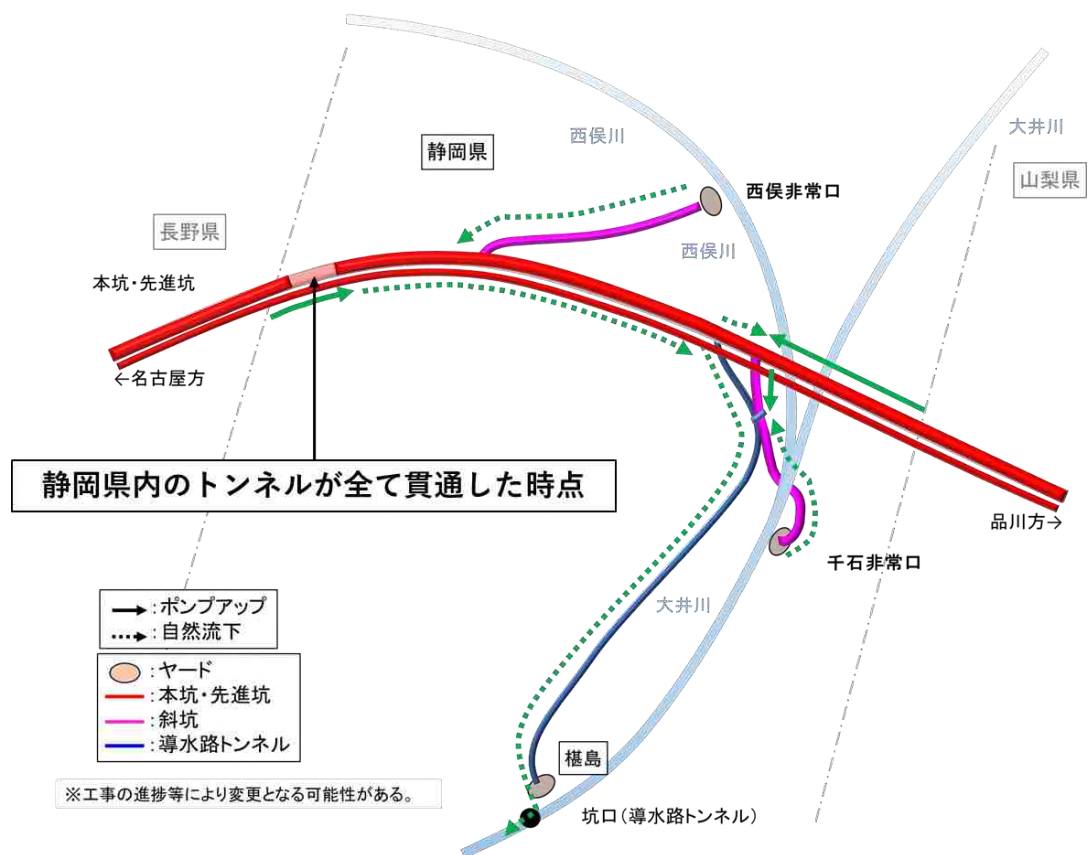


図 2 千石での放流量が最大となる時期のトンネル掘削状況 (イメージ)



(2) 放流されるトンネル湧水温の推定について

1) トンネル土被りに応じたトンネル湧水温の推定

- ・河川水温変化の推定に用いるトンネル湧水の水温については、地下深部ほど地下水の水温が高くなることを踏まえ、2024 年 11 月 1 日の第 14 回生物多様性専門部会にて整理した通り、各トンネルの土被りに応じて推定しました。
- ・具体的には、過去に南アルプストンネル（山梨工区）で実施したボーリング調査で得られた水温データに基づき、推定にあたり基準となる土被り約 800m での水温と、更に土被りが厚くなる箇所等その他の深さの水温を推定するための地温勾配を検討し、表 2 の通り整理しました¹。
- ・なお、第 14 回生物多様性専門部会の中で委員から頂いた、日本列島の一般的な地温勾配である 100m 深くなるにつれて 2℃～3℃上昇するという地温勾配²も検討ケースとして追加した方が良いというご意見を踏まえ、今回、山梨工区の実績から設定した地温勾配より更に地下深部の水温が高く設定される、地温勾配を 3℃/100m としたケース（想定地温勾配最高ケース）も追加しました。

¹ 基準となる土被り約 800m での水温は、実測の平均値である 22.2℃（平均水温ケース）、計測結果のばらつきを考慮し、平均水温+3σ の 23.8℃（最高水温ケース）、平均水温-3σ の 20.6℃（最低水温ケース）の 3 ケースを想定しました。また、地温勾配は±0.95℃/100m としました。

² 「現在の掘削技術で掘り進むことのできる深さ、すなわち、およそ 10,000m を超える深さまでの平均地温勾配は約 2.5-3℃/100m」(地熱エネルギー入門【第 2 版】、Mary H.Dickson, Mario Fanelli 著、日本地熱学会 IGA 専門部会訳・編、2008 年 8 月)

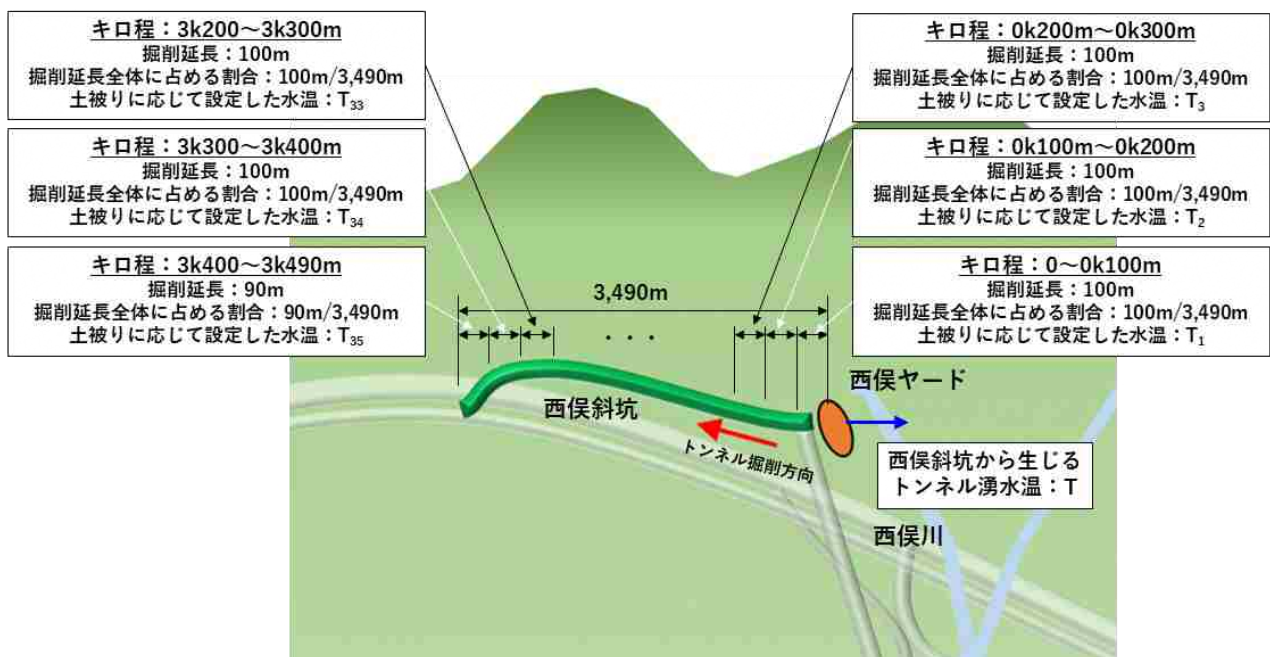
表 2 南アルプストンネル（山梨工区）での実測等に基づく土被りに応じた推定水温

土被り (m)	平均水温ケース (°C) 地温勾配 ± 0.95 °C/100 m	最高水温ケース (°C) 地温勾配 ± 0.95 °C/100 m	最低水温ケース (°C) 地温勾配 ± 0.95 °C/100 m	想定地温勾配最高ケース (°C) 地温勾配 + 3 °C/100 m	
100未満	15.6	17.2	14.0		15.6
100m以上200未満	16.5	18.1	14.9		16.5
200m以上300未満	17.5	19.1	15.9		17.5
300m以上400未満	18.4	20.0	16.8		18.4
400m以上500未満	19.4	21.0	17.8		19.4
500m以上600未満	20.3	21.9	18.7		20.3
600m以上700未満	21.3	22.9	19.7		21.3
700m以上800未満	22.2	23.8	20.6		22.2
800m以上900未満	23.2	24.8	21.6		25.2
900m以上1000未満	24.1	25.7	22.5		28.2
1000m以上1100未満	25.1	26.7	23.5		31.2
1100m以上1200未満	26.0	27.6	24.4		34.2
1200m以上1300未満	27.0	28.6	25.4		37.2
1300m以上	27.9	29.5	26.3		40.2

平均水温
ケース準用

地温勾配
+ 3 °C/100 m

- ・各トンネルから放流されるトンネル湧水の水温については、第 14 回生物多様性専門部会で整理された通り、土被りに応じた想定水温に掘削延長全体に占める当該範囲の掘削延長の割合を乗じ、その結果を合計することで算出しました。
- ・具体的には、トンネル延長 100m 間隔（本坑・先進坑は 200m間隔）で土被りを整理し、それぞれの土被りに応じた想定水温と掘削延長全体に占める当該範囲の掘削延長の割合を考慮し、その結果を合計することで算出しました（図 4）。



(算出式)

$$T = T_1 \times (100/3490) + T_2 \times (100/3490) + T_3 \times (100/3490) + \dots + T_{33} \times (100/3490) + T_{34} \times (100/3490) + T_{35} \times (90/3490)$$

図 4 各トンネルから放流される水温の計算イメージ（西俣斜坑例）

2) 各ヤードから放流される推定トンネル湧水温

- ・ 1) の通り、各ヤードから放流されるトンネル湧水温を推定した結果を、検討対象別（①トンネル掘削完了後恒常時の樫島、②西俣からのトンネル湧水放流量が最大になる時期における西俣ヤード下流、③千石からのトンネル湧水放流量が最大になる時期における千石ヤード下流、④樫島からのトンネル湧水放流量が最大になる時期における樫島ヤード下流）、想定水温ケース別（平均水温ケース、最高水温ケース、最低水温ケース、想定地温勾配最高ケース）、モデル別（JR 東海モデル、静岡市モデル（薬液注入なし）、静岡市モデル（薬液注入あり））に表 3～表 6 に示します。

表 3 放流されるトンネル湧水温の推定結果【トンネル掘削完了後恒常時／推定地点：榎島】

【トンネル掘削完了後恒常時の榎島での推定結果】		平均水温ケース (°C) 地温勾配± 0.95 °C/100 m	最高水温ケース (°C) 地温勾配± 0.95 °C/100 m	最低水温ケース (°C) 地温勾配± 0.95 °C/100 m	想定地温勾配最高 ケース (°C) 地温勾配± 3 °C/100 m	(参考) トンネル湧水量 (恒常時年平均) (m3/s)
JR東海モデル (薬注なし)	本坑・先進坑	23.0	24.6	21.4	26.7	2.2
	西俣斜坑	21.3	22.9	19.7	23.4	0.1
	千石斜坑	17.7	19.3	16.1	17.7	0.1
	導水路トンネル	18.9	20.5	17.3	18.9	0.7
	榎島での放流温度※1	21.9	23.5	20.3	24.5	—
静岡市モデル (薬注なし)	本坑・先進坑	23.0	24.6	21.4	26.7	1.1
	西俣斜坑	21.3	22.9	19.7	23.4	0.5
	千石斜坑	17.7	19.3	16.1	17.7	0.1
	導水路トンネル	18.9	20.5	17.3	18.9	0.2
	榎島での放流温度※1	22.0	23.6	20.4	24.8	—
静岡市モデル (薬注あり)	本坑・先進坑	23.0	24.6	21.4	26.7	0.3
	西俣斜坑	21.3	22.9	19.7	23.4	0.1
	千石斜坑	17.7	19.3	16.1	17.7	0.1
	導水路トンネル	18.9	20.5	17.3	18.9	0.04
	榎島での放流温度※1	21.5	23.1	19.9	24.1	—

※1：各トンネルの推定水温、湧水量に基づき完全混合式で算出

※2：JR東海モデルは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しており、また静岡市モデルは斜坑や工事用道路トンネルが実際のトンネルサイズよりも10倍以上大きく設定している。静岡市モデルと比較し、JR東海モデルの方がトンネル湧水量や河川流量の減少量が大きいのは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しているためであると考えられる。今後、予測の見直しを実施する際には、トンネルサイズを適正化したモデルを活用し、高速長尺先進ボーリング等により把握した断層に関する情報を反映させることを考えている。

表 4 放流されるトンネル湧水温の推定結果【西俣からの放流量最大／推定地点：西俣】

【西俣での放流量が最大となる時期における西俣での推定結果】		平均水温ケース (°C) 地温勾配± 0.95°C/100 m	最高水温ケース (°C) 地温勾配± 0.95°C/100 m	最低水温ケース (°C) 地温勾配± 0.95°C/100 m	想定地温勾配最高 ケース (°C) 地温勾配± 3°C/100 m	(参考) トンネル湧水量 (西俣での放流量が 最大時) (m3/s)
JR東海モデル (薬注なし)	先進坑	24.6	26.2	23.0	29.9	0.3
	本坑	24.6	26.2	23.0	29.8	0.2
	西俣斜坑	21.3	22.9	19.7	23.4	0.2
	西俣での放流温度 ^{※1}	23.8	25.4	22.2	28.2	—
静岡市モデル (薬注なし)	先進坑	24.6	26.2	23.0	29.9	0.01
	本坑	24.6	26.2	23.0	29.8	0.00
	西俣斜坑	21.3	22.9	19.7	23.4	0.49
	西俣での放流温度 ^{※1}	21.4	23.0	19.8	23.5	—
静岡市モデル (薬注あり)	先進坑	24.6	26.2	23.0	29.9	0.01
	本坑	24.6	26.2	23.0	29.8	0.00
	西俣斜坑	21.3	22.9	19.7	23.4	0.10
	西俣での放流温度 ^{※1}	21.6	23.2	20.0	24.1	—

※1：各トンネルの推定水温、湧水量に基づき完全混合式で算出

※2：JR東海モデルは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しており、また静岡市モデルは斜坑や工事用道路トンネルが実際のトンネルサイズよりも10倍以上大きく設定している。静岡市モデルと比較し、JR東海モデルの方がトンネル湧水量や河川流量の減少量が大きいのは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しているためであると考えられる。今後、予測の見直しを実施する際には、トンネルサイズを適正化したモデルを活用し、高速長尺先進ボーリング等により把握した断層に関する情報を反映させることを考えている。

表 5 放流されるトンネル湧水温の推定結果【千石からの放流量最大／推定地点：千石】

【千石での放流量が最大となる時期における千石での推定結果】		平均水温ケース (°C) 地温勾配 ± 0.95 °C/100 m	最高水温ケース (°C) 地温勾配 ± 0.95 °C/100 m	最低水温ケース (°C) 地温勾配 ± 0.95 °C/100 m	想定地温勾配最高 ケース (°C) 地温勾配 ± 3 °C/100 m	(参考) トンネル湧水量 (千石での放流量が 最大時) (m ³ /s)
JR東海モデル (薬注なし)	先進坑	19.3	20.9	17.7	19.3	0.21
	本坑	19.2	20.8	17.6	19.2	0.12
	千石斜坑	17.7	19.3	16.1	17.7	0.08
	導水路トンネル	21.2	22.8	19.6	21.3	0.22
	工事用道路トンネル	17.0	18.6	15.4	17.0	0.01
	千石での放流温度※1	19.7	21.3	18.1	19.7	—
静岡市モデル (薬注なし)	先進坑	19.3	20.9	17.7	19.3	0.01
	本坑	19.2	20.8	17.6	19.2	0.02
	千石斜坑	17.7	19.3	16.1	17.7	0.18
	導水路トンネル	21.2	22.8	19.6	21.3	0.01
	工事用道路トンネル	17.0	18.6	15.4	17.0	0.28
	千石での放流温度※1	17.5	19.1	15.9	17.5	—
静岡市モデル (薬注あり)	先進坑	19.3	20.9	17.7	19.3	0.002
	本坑	19.2	20.8	17.6	19.2	0.000
	千石斜坑	17.7	19.3	16.1	17.7	0.113
	導水路トンネル	21.2	22.8	19.6	21.3	0.005
	工事用道路トンネル	17.0	18.6	15.4	17.0	0.066
	千石での放流温度※1	17.6	19.2	16.0	17.6	—

※1：各トンネルの推定水温、湧水量に基づき完全混合式で算出

※2：JR東海モデルは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しており、また静岡市モデルは斜坑や工事用道路トンネルが実際のトンネルサイズよりも10倍以上大きく設定している。静岡市モデルと比較し、JR東海モデルの方がトンネル湧水量や河川流量の減少量が多いのは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しているためであると考えられる。今後、予測の見直しを実施する際には、トンネルサイズを適正化したモデルを活用し、高速長尺先進ボーリング等により把握した断層に関する情報を反映させることを考えている。

表 6 放流されるトンネル湧水温の推定結果【樫島からの放流量最大／推定地点：樫島】

【樫島での放流量が最大となる時期 における樫島での推定結果】		平均水温ケース (°C) 地温勾配± 0.95°C/100 m	最高水温ケース (°C) 地温勾配± 0.95°C/100 m	最低水温ケース (°C) 地温勾配± 0.95°C/100 m	想定地温勾配最高 ケース (°C) 地温勾配± 3°C/100 m	(参考) トンネル湧水量 (樫島での放流量が 最大時) (m3/s)
JR東海モデル (薬注なし)	本坑・先進坑	23.0	24.6	21.4	26.7	2.5
	西俣斜坑	21.3	22.9	19.7	23.4	0.1
	千石斜坑	17.7	19.3	16.1	17.7	0.1
	導水路トンネル	18.9	20.5	17.3	18.9	0.7
	樫島での放流温度※1	21.9	23.5	20.3	24.7	—
静岡市モデル (薬注なし)	本坑・先進坑	23.0	24.6	21.4	26.7	1.1
	西俣斜坑	21.3	22.9	19.7	23.4	0.5
	千石斜坑	17.7	19.3	16.1	17.7	0.1
	導水路トンネル	18.9	20.5	17.3	18.9	0.2
	樫島での放流温度※1	22.0	23.6	20.4	24.7	—
静岡市モデル (薬注あり)	本坑・先進坑	23.0	24.6	21.4	26.7	0.33
	西俣斜坑	21.3	22.9	19.7	23.4	0.10
	千石斜坑	17.7	19.3	16.1	17.7	0.10
	導水路トンネル	18.9	20.5	17.3	18.9	0.04
	樫島での放流温度※1	21.5	23.1	19.9	24.1	—

※1：各トンネルの推定水温、湧水量に基づき完全混合式で算出

※2：JR東海モデルは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しており、また静岡市モデルは斜坑や工事用道路トンネルが実際のトンネルサイズよりも10倍以上大きく設定している。静岡市モデルと比較し、JR東海モデルの方がトンネル湧水量や河川流量の減少量が多いのは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しているためであると考えられる。今後、予測の見直しを実施する際には、トンネルサイズを適正化したモデルを活用し、高速長尺先進ボーリング等により把握した断層に関する情報を反映させることを考えている。

(3) トンネル湧水を河川へ放流することに伴う河川水温の推定について

- ・「資料 2－1 河川本流の流量減少の推定について」で整理したトンネル湧水量、トンネル掘削を考慮した河川流量、(2) で整理した推定トンネル湧水温を使用し、下記完全混合式を用いて、トンネル湧水を河川へ放流した際の河川水温を推定しました。

$$T = \frac{T_1 Q_1 + T_2 Q_2}{Q_1 + Q_2}$$

T: 完全混合と仮定した時の河川の水温(℃)

T₁: トンネル湧水合流直前の河川水温(℃) Q₁: トンネル湧水合流直前の河川流量(m³/秒)

T₂: トンネル湧水等の水温(℃) Q₂: トンネル湧水等の水量(m³/秒)

- ・推定結果した結果を、検討対象別(①トンネル掘削完了後恒常時の樫島、②西俣からのトンネル湧水放流量が最大になる時期における西俣ヤード下流、③千石からのトンネル湧水放流量が最大になる時期における千石ヤード下流、④樫島からのトンネル湧水放流量が最大になる時期における樫島ヤード下流)、想定水温ケース別(平均水温ケース、最高水温ケース、最低水温ケース、想定地温勾配最高ケース)、モデル別(JR 東海モデル、静岡市モデル(薬液注入なし)、静岡市モデル(薬液注入あり))に表 7～表 10 に示します(推定の前提条件については、巻末資料 1 参照)。
- ・河川水温の上昇については、モデルの違い(JR 東海モデル、静岡市モデル(薬液注入なし)、静岡市モデル(薬液注入あり))によって大きな差が生じる結果となりました。
- ・その主な要因は、各モデルで想定されるトンネル湧水量の差であると考えられ、特に静岡市モデル(薬注あり)では、解析上、薬液注入の効果を考慮したことによってトンネル湧水量が少なくなり、河川水温の上昇が限定的になる結果となっています。このことは、トンネル湧水量を低減させる薬液注入が、河川や沢の流量減少への対策のみならず、河川本流の水温上昇への対策としても有効であることを示唆していると考えられます。
- ・なお、JR 東海モデルは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しており、また静岡市モデルは斜坑や工事用道路トンネルが実際のトンネルサイズよりも 10 倍以上大きく設定しています。今後、トンネル掘削前、掘削中に実施する高速長尺先進ボーリング等の地質調査の結果を踏まえ、断層の位置が異なる、幅が広い、透水係数が解析の前提条件より大きい等の場合には、解析の見直しを行います。見直しにあたっては、沢の流量減少への影響予測で活用しているトンネルサイズが適正化された上流域モデル³を用いて実施することを考えています。

³ 国土交通省 リニア中央新幹線静岡工区有識者会議(環境保全)において、大井川上流域の沢の影響分析という目的のもと、新たに作成した GETFLOWS による解析モデル

表 7 トンネル湧水を河川へ放流することに伴う河川水温の推定結果【トンネル掘削完了後恒常時／推定地点：樫島】

【トンネル掘削完了後恒常時の樫島での推定結果】		時期区分① 1月～3月 (湧水期・積雪期)	時期区分② 4月～6月上旬 (雪解け期)	時期区分③ 6月中旬～7月中旬 (梅雨期)	時期区分④ 7月下旬～8月下旬 (夏季小降水期)	時期区分⑤ 9月～10月 (台風時期)	時期区分⑥ 11月～12月 (冬季乾燥期)
JR東海モデル (薬注なし)	平均水温ケース (°C)	17.2	15.0	15.8	19.4	19.1	16.4
	最高水温ケース (°C)	18.4	15.7	16.5	20.5	20.3	17.5
	最低水温ケース (°C)	16.0	14.2	15.0	18.4	18.0	15.4
	想定地温勾配最高ケース (°C)	19.2	16.2	17.0	21.1	21.0	18.2
静岡市モデル (薬注なし)	平均水温ケース (°C)	13.8	13.2	14.2	18.3	17.5	13.6
	最高水温ケース (°C)	14.7	13.7	14.7	19.1	18.4	14.4
	最低水温ケース (°C)	12.9	12.6	13.7	17.5	16.6	12.8
	想定地温勾配最高ケース (°C)	15.4	14.1	15.1	19.7	19.0	15.0
静岡市モデル (薬注あり)	平均水温ケース (°C)	7.3	10.5	11.8	16.2	14.3	8.6
	最高水温ケース (°C)	7.7	10.6	12.0	16.5	14.7	9.0
	最低水温ケース (°C)	6.9	10.3	11.6	15.9	13.9	8.3
	想定地温勾配最高ケース (°C)	8.0	10.8	12.1	16.7	14.9	9.1
(参考) 河川水温 (°C) ※1		2.6※2	9.0	10.5	14.9	12.2	5.4

※1：2024年の樫島での実測値の平均値（1時間に1回計測している計測結果の日平均値を時期区分毎の平均した値）

※2：2024年1月は欠測が多かったため、1月のデータは2018年～2024年に実施した月1回の計測結果の平均値を使用。

※3：JR東海モデルは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しており、また静岡市モデルは斜坑や工事用道路トンネルが実際のトンネルサイズよりも10倍以上大きく設定している。静岡市モデルと比較し、JR東海モデルの方がトンネル湧水量や河川流量の減少量が大きいのは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しているためであると考えられる。今後、予測の見直しを実施する際には、トンネルサイズを適正化したモデルを活用し、高速長尺先進ボーリング等により把握した断層に関する情報を反映させることを考えている。

表 8 トンネル湧水を河川へ放流することに伴う河川水温の推定結果【西俣からの放流量最大／推定地点：西俣】

【西俣での放流量が最大となる時期における西俣での推定結果】		時期区分① 1月～3月 (湧水期・積雪期)	時期区分② 4月～6月上旬 (雪解け期)	時期区分③ 6月中旬～7月中旬 (梅雨期)	時期区分④ 7月下旬～8月下旬 (夏季小降水期)	時期区分⑤ 9月～10月 (台風時期)	時期区分⑥ 11月～12月 (冬季乾燥期)
JR東海モデル (薬注なし)	平均水温ケース (°C)	10.1	9.5	12.0	18.3	16.8	12.7
	最高水温ケース (°C)	10.7	9.7	12.1	19.0	17.5	13.3
	最低水温ケース (°C)	9.6	9.3	11.8	17.6	16.1	12.0
	想定地温勾配最高ケース (°C)	11.7	10.2	12.4	20.3	18.6	14.5
静岡市モデル (薬注なし)	平均水温ケース (°C)	8.4	8.7	11.4	16.5	14.9	9.9
	最高水温ケース (°C)	8.8	8.8	11.5	17.1	15.4	10.3
	最低水温ケース (°C)	7.9	8.5	11.3	16.0	14.4	9.4
	想定地温勾配最高ケース (°C)	9.0	8.9	11.6	17.3	15.6	10.5
静岡市モデル (薬注あり)	平均水温ケース (°C)	4.2	7.4	10.8	14.6	12.8	6.2
	最高水温ケース (°C)	4.3	7.5	10.8	14.8	12.9	6.4
	最低水温ケース (°C)	4.1	7.4	10.8	14.5	12.6	6.1
	想定地温勾配最高ケース (°C)	4.4	7.5	10.8	14.9	13.0	6.4
(参考) 河川水温 (°C) ※1		2.6	7.0	10.6	13.8	11.9	4.8

※1：2024年の西俣での実測値の平均値

※2：JR東海モデルは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しており、また静岡市モデルは斜坑や工事用道路トンネルが実際のトンネルサイズよりも10倍以上大きく設定している。静岡市モデルと比較し、JR東海モデルの方がトンネル湧水量や河川流量の減少量が大きいのは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しているためであると考えられる。今後、予測の見直しを実施する際には、トンネルサイズを適正化したモデルを活用し、高速長尺先進ボーリング等により把握した断層に関する情報を反映させることを考えている。

表 9 トンネル湧水を河川へ放流することに伴う河川水温の推定結果【千石からの放流量最大／推定地点：千石】

【千石での放流量が最大となる時期 における千石での推定結果】		時期区分① 1月～3月 (湧水期・積雪期)	時期区分② 4月～6月上旬 (雪解け期)	時期区分③ 6月中旬～7月中旬 (梅雨期)	時期区分④ 7月下旬～8月下旬 (夏季小降水期)	時期区分⑤ 9月～10月 (台風時期)	時期区分⑥ 11月～12月 (冬季乾燥期)
JR東海モデル (薬注なし)	平均水温ケース (°C)	7.4	8.4	10.9	13.9	12.7	7.7
	最高水温ケース (°C)	7.8	8.6	10.9	14.1	13.0	8.0
	最低水温ケース (°C)	7.0	8.3	10.8	13.8	12.5	7.4
	想定地温勾配最高ケース (°C)	7.4	8.5	10.9	13.9	12.8	7.7
静岡市モデル (薬注なし)	平均水温ケース (°C)	6.3	8.1	10.7	13.7	12.3	6.7
	最高水温ケース (°C)	6.7	8.2	10.8	13.8	12.5	7.0
	最低水温ケース (°C)	5.9	7.9	10.7	13.5	12.1	6.5
	想定地温勾配最高ケース (°C)	6.3	8.1	10.7	13.7	12.3	6.7
静岡市モデル (薬注あり)	平均水温ケース (°C)	4.1	7.5	10.6	13.5	11.9	5.5
	最高水温ケース (°C)	4.2	7.5	10.6	13.5	11.9	5.6
	最低水温ケース (°C)	3.9	7.4	10.5	13.4	11.8	5.4
	想定地温勾配最高ケース (°C)	4.1	7.5	10.6	13.5	11.9	5.5
(参考) 河川水温 (°C) ※1		2.8	7.1	10.5	13.3	11.6	4.8

※1：2024年の千石での実測値の平均値

※2：JR東海モデルは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しており、また静岡市モデルは斜坑や工事用道路トンネルが実際のトンネルサイズよりも10倍以上大きく設定している。静岡市モデルと比較し、JR東海モデルの方がトンネル湧水量や河川流量の減少量が大きいのは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しているためであると考えられる。今後、予測の見直しを実施する際には、トンネルサイズを適正化したモデルを活用し、高速長尺先進ポーリング等により把握した断層に関する情報を反映させることを考えている。

表 10 トンネル湧水を河川へ放流することに伴う河川水温の推定結果【榎島からの放流量最大／推定地点：榎島】

【榎島での放流量が最大となる時期における榎島での推定結果】		時期区分① 1月～3月 (湧水期・積雪期)	時期区分② 4月～6月上旬 (雪解け期)	時期区分③ 6月中旬～7月中旬 (梅雨期)	時期区分④ 7月下旬～8月下旬 (夏季小降水期)	時期区分⑤ 9月～10月 (台風時期)	時期区分⑥ 11月～12月 (冬季乾燥期)
JR東海モデル (薬注なし)	平均水温ケース (°C)	17.5	15.3	16.1	19.6	19.3	16.7
	最高水温ケース (°C)	18.7	16.1	16.9	20.7	20.5	17.8
	最低水温ケース (°C)	16.3	14.5	15.3	18.5	18.1	15.6
	想定地温勾配最高ケース (°C)	19.6	16.7	17.4	21.4	21.3	18.6
静岡市モデル (薬注なし)	平均水温ケース (°C)	13.8	13.2	14.2	18.3	17.5	13.6
	最高水温ケース (°C)	14.8	13.7	14.7	19.1	18.4	14.4
	最低水温ケース (°C)	12.9	12.7	13.7	17.5	16.6	12.8
	想定地温勾配最高ケース (°C)	15.5	14.1	15.1	19.7	19.0	15.0
静岡市モデル (薬注あり)	平均水温ケース (°C)	7.3	10.5	11.8	16.2	14.3	8.6
	最高水温ケース (°C)	7.7	10.6	12.0	16.5	14.7	9.0
	最低水温ケース (°C)	6.9	10.3	11.6	15.9	13.9	8.3
	想定地温勾配最高ケース (°C)	8.0	10.8	12.1	16.7	14.9	9.1
(参考) 河川水温 (°C) ※1		2.6※2	9.0	10.5	14.9	12.2	5.4

※1：2024年の榎島での実測値の平均値（1時間に1回計測している計測結果の日平均値を時期区分毎の平均した値）

※2：2024年1月は欠測が多かったため、1月のデータは2018年～2024年に実施した月1回の計測結果の平均値を使用。

※3：JR東海モデルは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しており、また静岡市モデルは斜坑や工事用道路トンネルが実際のトンネルサイズよりも10倍以上大きく設定している。静岡市モデルと比較し、JR東海モデルの方がトンネル湧水量や河川流量の減少量が大きいのは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しているためであると考えられる。今後、予測の見直しを実施する際には、トンネルサイズを適正化したモデルを活用し、高速長尺先進ボーリング等により把握した断層に関する情報を反映させることを考えている。

(4) 放流後河川流下方向の水温変化の推定について

- ・(3) で推定した河川水温について、放流後、下流へ流下するに連れて生じる大気との熱交換と支流の合流等による流量増加を考慮し、放流箇所流下方向の水温変化を推定しました。

1) 推定の概要について

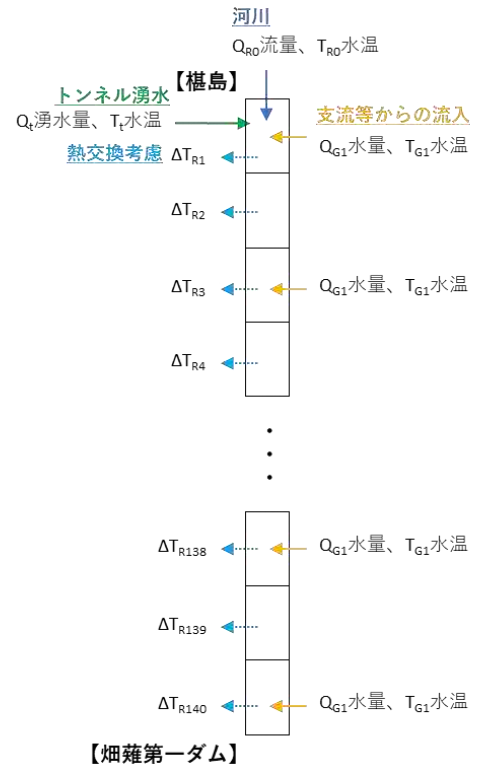
- ・推定の対象区間は、トンネル湧水放流箇所から、直近のダムや堰堤までを一区間とし、西俣～田代ダム区間、千石～木賊堰堤区間、樫島～畑薙第一ダム区間としました。
- ・対象区間を延長 100m 単位で分割し、1 格子毎に河川水温を算出しました。
- ・各格子の河川水温を算出するにあたっては、下流へ流下するに連れて生じる大気との熱交換と支流の合流等による流量増加を考慮しました。
- ・下流に向かうに連れての流量増加については、対象区間毎に実測河川流量を用いて区間増加量を算出し、算出した区間増加量を、合流する沢等の流域面積に応じて按分し、当該沢が合流する格子に流入させることとしました。
- ・トンネル湧水を合流させた最初の格子（区間）の水温 T_{R1} は、河川水温、流量の初期値をそれぞれ水温 T_{R0} 、河川流量 Q_0 とした場合、当該格子（区間）での熱交換による水温変化、当該格子（区間）での支流等からの流入（流量 Q_{G1} 、水温 T_{G1} ）、トンネル湧水の流入（流量 Q_T 、水温 T_T ）を考慮し、図 5 に示す混合式で表されます。
- ・第二格子（区間）以降の水温 $T_{R(n)}$ は、前の格子の河川水温、流量をそれぞれ水温 T_{n-1} 、河川流量 Q_{n-1} とした場合、当該格子（区間）での熱交換による水温変化、当該格子（区間）での支流等からの流入（流量 $Q_{G(n)}$ 、水温 $T_{G(n)}$ ）を考慮し、図 5 に示す混合式で表されます（ $n=2, 3, 4, 5, \dots$ ）。
- ・推定の対象とした時期区分は、冬季の水温上昇に対する生物への影響が懸念されていることから、時期区分①（1 月～3 月）としました。
- ・上記の考え方にに基づき、検討対象別（①トンネル掘削完了後恒常時の樫島、②西俣からのトンネル湧水放流量が最大になる時期における西俣ヤード下流、③千石からのトンネル湧水放流量が最大になる時期における千石ヤード下流、④樫島からのトンネル湧水放流量が最大になる時期における樫島ヤード下流）、想定水温ケース別（最も放流後の河川水温が高くなる想定地温勾配最高ケース（千石は最高水温ケース）⁴と平均水温ケース）、モデル別（JR 東海モデル、静岡市モデル（薬液注入なし）、静岡市モデル（薬液注入あり））に、放流後の河川流下方向の水温変化を推定しました（詳細なパラメータ設定は、巻末資料 2 参照）。

⁴ 千石地点では、最も水温が高くなるケースが想定地温勾配最高ケースではなく、最高水温ケースであるため

【トンネル湧水を合流させた最初の格子（区間）の水温 T_{R1} 】

$$T_{R1} = \frac{Q_{R0} \cdot (T_{R0} + \Delta T_{R1}) + Q_{G1} \cdot T_{G1} + Q_t \cdot T_t}{Q_{R0} + Q_{G1} + Q_t}$$

T_{R1}	: トンネル湧水を合流させた最初の格子の河川水温(°C)
Q_{R0}	: 河川流量の初期値(m³/s)【トンネル掘削の影響を考慮した推定値】
T_{R0}	: 河川水温の初期値(°C)【実測値】
ΔT_{R1}	: 水面からの熱の出入りによって生じる水温変化量(°C)【別途計算】
Q_{G1}	: 支流等からの流入の流量 (m³/s) 【別途計算】
T_{G1}	: 支流等からの流入の水温(°C)【 $=T_{R0}$ 】
Q_t	: トンネル湧水の流量(m³/s)【推定値】
T_t	: トンネル湧水の水温(°C)【推定値】



モデルのイメージ（再掲）

【第二格子（区間）以降の水温 $T_{R(n)}$ 】

$$T_{R(n)} = \frac{Q_{R(n-1)} \cdot (T_{R(n-1)} + \Delta T_{R(n)}) + Q_{G(n)} \cdot T_{G(n)}}{Q_{R(n-1)} + Q_{G(n)}}$$

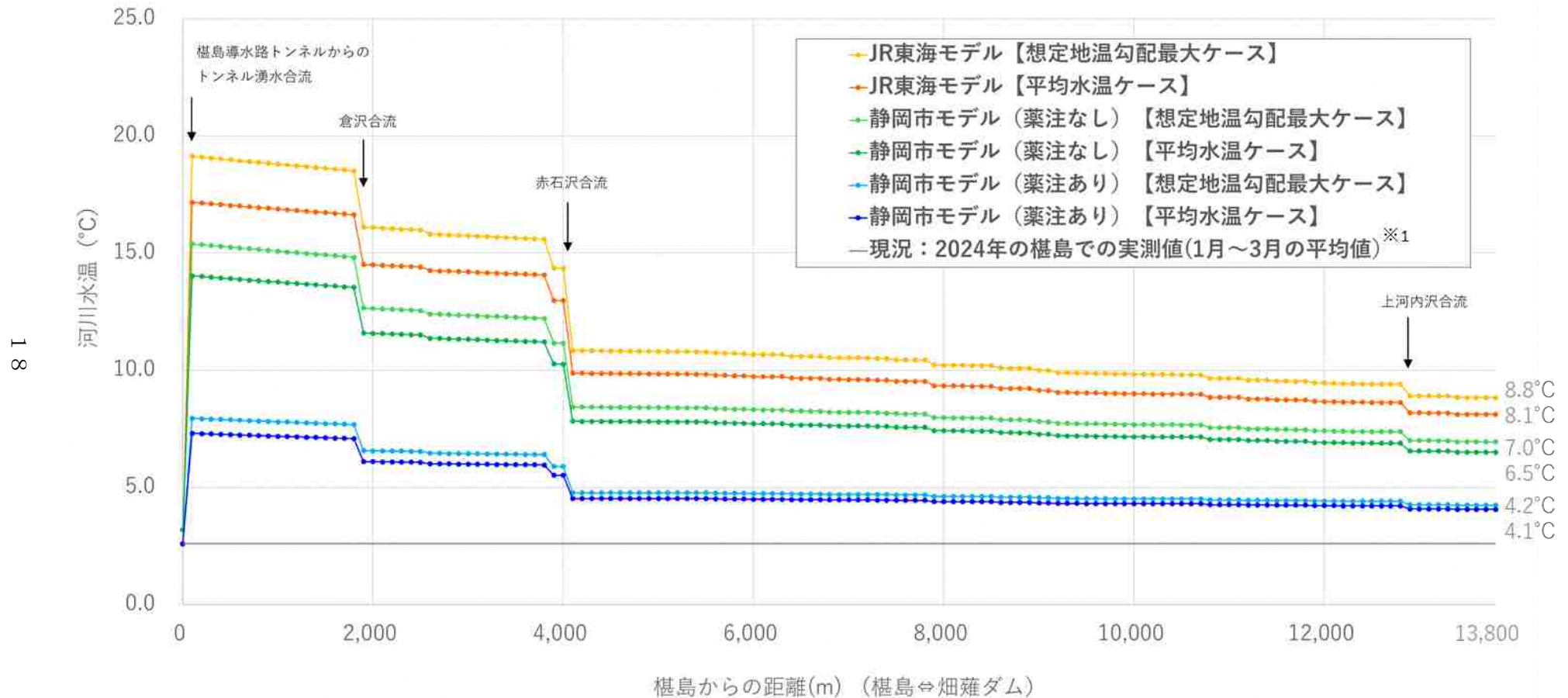
$T_{R(n)}$	: 当該格子の河川水温(°C)
$Q_{R(n-1)}$	: 当該格子の一つ手前の河川流量(m³/s)
$T_{R(n-1)}$	: 当該格子の一つ手前の河川水温(°C)
$\Delta T_{R(n)}$	: 水面からの熱の出入りによって生じる水温変化量(°C)
$Q_{G(n)}$	: 支流等からの流入の流量(m³/s)
$T_{G(n)}$	: 支流等からの流入の水温(°C)

図 5 大気との熱交換と支流合流等による流量増加を考慮した水温変化の算出イメージ

2) 推定結果について

- ・放流後の河川流下方向の水温変化を推定した結果を図 6～図 9 に示します。
- ・(3) 同様、河川水温の上昇については、モデルの違い（JR 東海モデル、静岡市モデル（薬液注入なし）、静岡市モデル（薬液注入あり））によって大きな差が生じる結果となりました。
- ・その主な要因は、各モデルで想定されるトンネル湧水量の差であると考えられ、特に静岡市モデル（薬注あり）では、解析上、薬液注入の効果を考慮したことによってトンネル湧水量が少なくなり、河川水温の上昇が限定的になる結果となっています。このことは、トンネル湧水量を低減させる薬液注入が、河川や沢の流量減少への対策のみならず、河川本流の水温上昇への対策としても有効であることを示唆していると考えられます。

榎島～畑薙ダムにかけての河川水温変化（時期区分①）

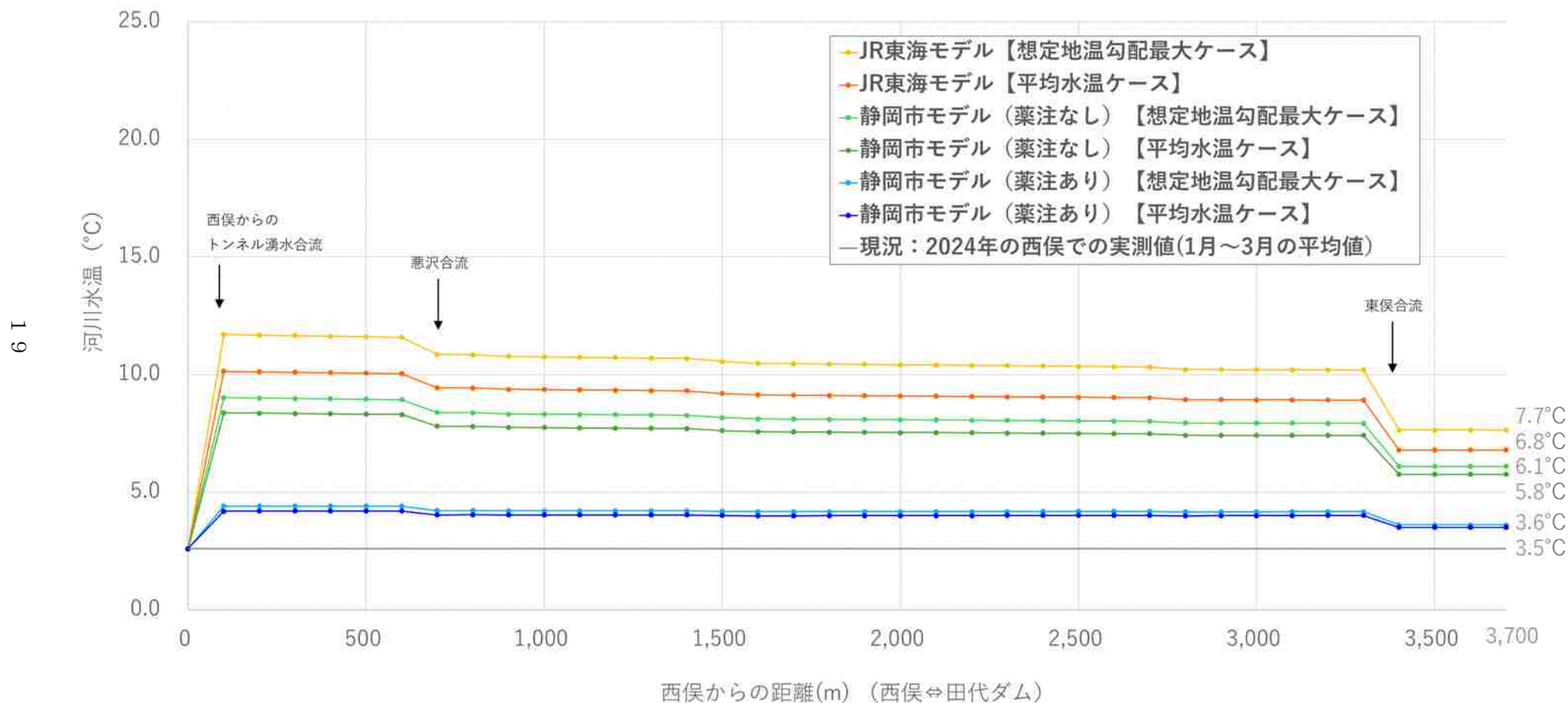


※1：2024年の榎島での実測値の平均値（1時間に1回計測している計測結果の日平均値を時期区分毎の平均した値）。2024年1月は欠測が多かったため、1月のデータは2018年～2024年に実施した1月1回の計測結果の平均値を使用。

※2：JR東海モデルは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しており、また静岡市モデルは斜坑や工事用道路トンネルが実際のトンネルサイズよりも10倍以上大きく設定している。静岡市モデルと比較し、JR東海モデルの方がトンネル湧水量や河川流量の減少量が大きいのは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しているためであると考えられる。今後、予測の見直しを実施する際には、トンネルサイズを適正化したモデルを活用し、高速長尺先進ボーリング等により把握した断層に関する情報を反映させることを考えている。

図 6 榎島～畑薙第一ダムにかけての河川水温変化（時期区分①）／トンネル掘削完了後恒常時／推定地点：榎島

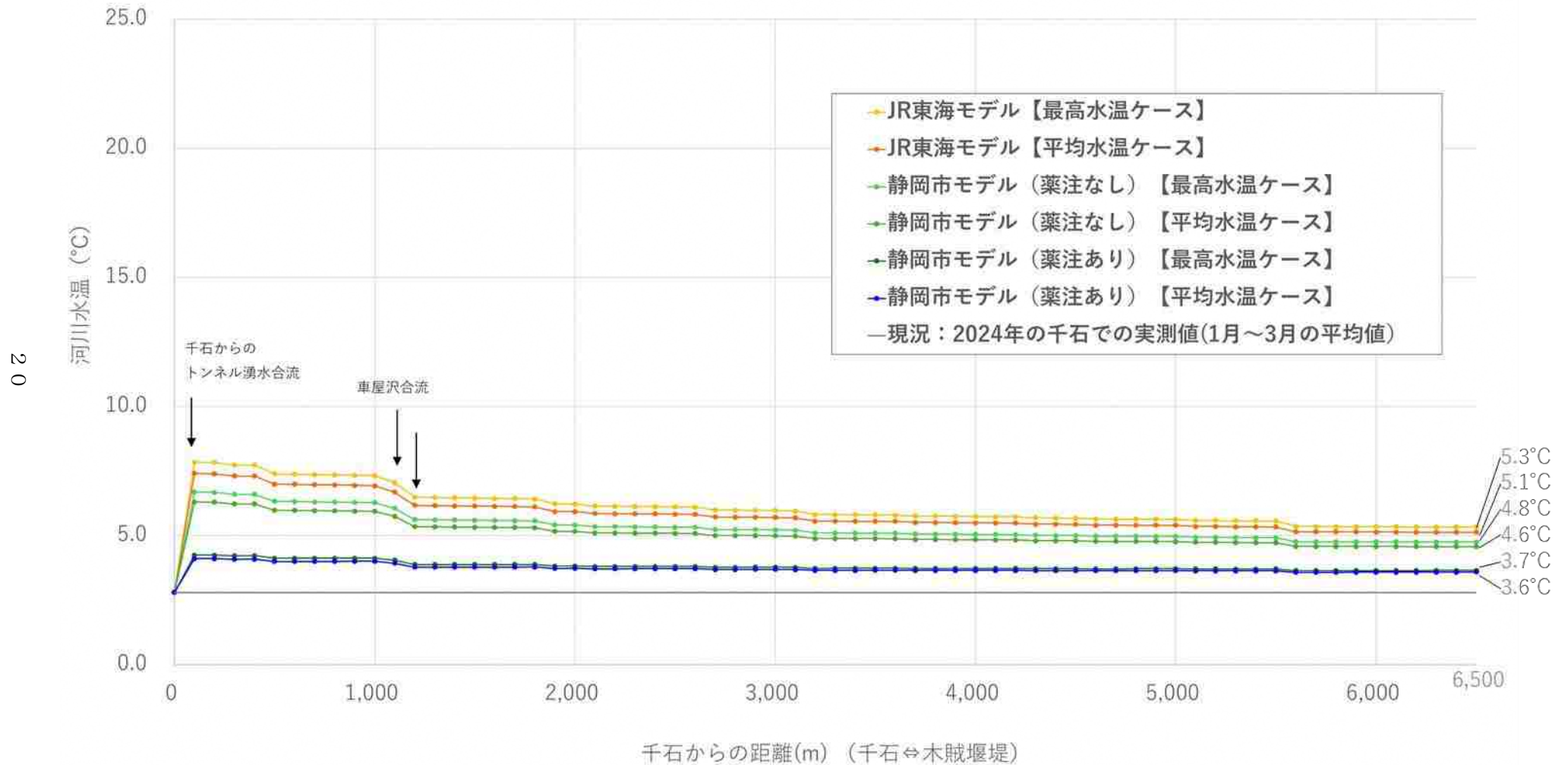
西俣～田代ダムにかけての河川水温変化（時期区分①）



※：JR東海モデルは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しており、また静岡市モデルは斜坑や工事用道路トンネルが実際のトンネルサイズよりも10倍以上大きく設定している。静岡市モデルと比較し、JR東海モデルの方がトンネル湧水量や河川流量の減少量が大きいのは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しているためであると考えられる。今後、予測の見直しを実施する際には、トンネルサイズを適正化したモデルを活用し、高速長尺先進ボーリング等により把握した断層に関する情報を反映させることを考えている。

図 7 西俣～田代ダムにかけての河川水温変化（時期区分①）／西俣からの放流最大／推定地点：西俣

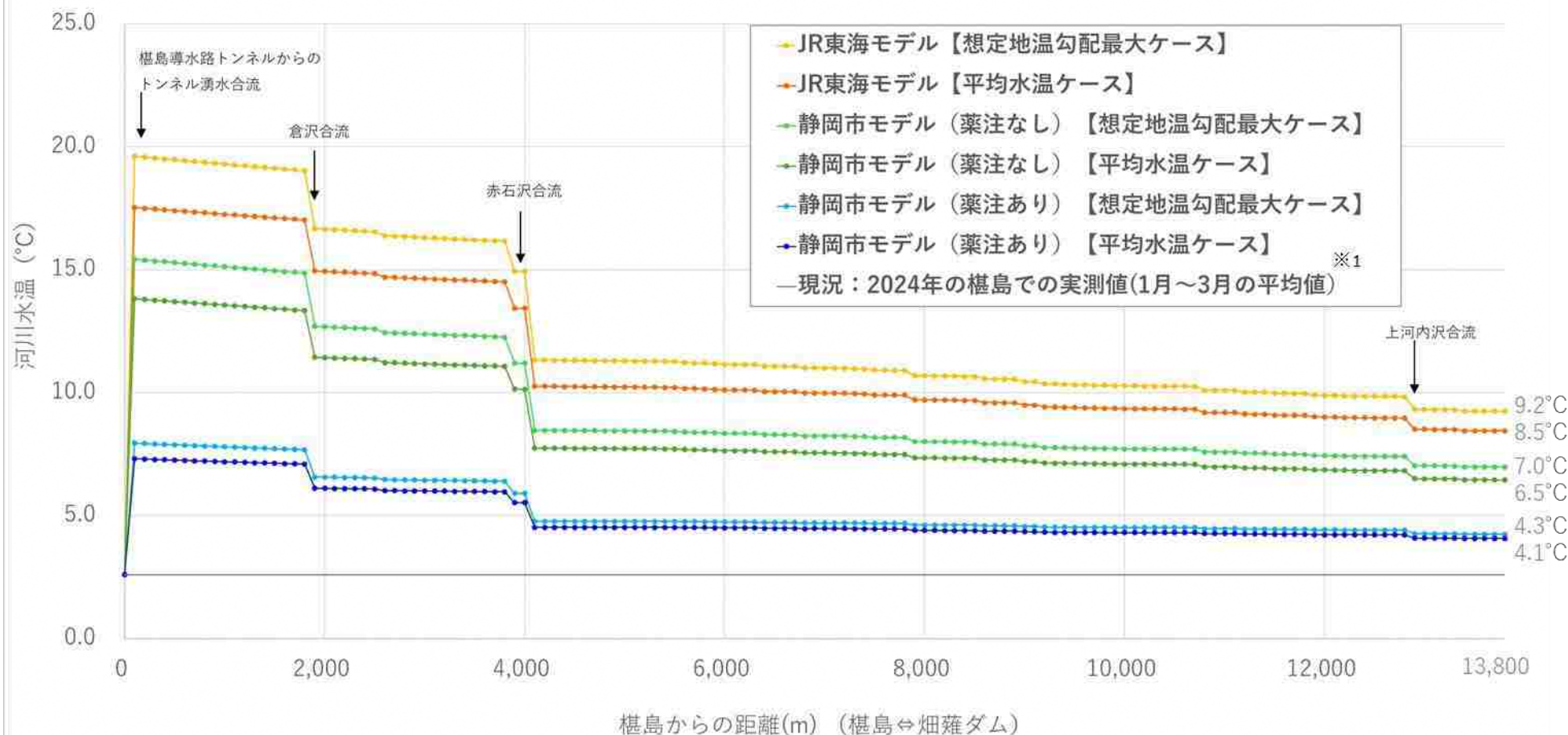
千石～木賊堰堤にかけての河川水温変化（時期区分①）



※：JR東海モデルは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しており、また静岡市モデルは斜坑や工事用道路トンネルが実際のトンネルサイズよりも10倍以上大きく設定している。静岡市モデルと比較し、JR東海モデルの方がトンネル湧水量や河川流量の減少量が大きいのは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しているためであると考えられる。今後、予測の見直しを実施する際には、トンネルサイズを適正化したモデルを活用し、高速長尺先進ボーリング等により把握した断層に関する情報を反映させることを考えている。

図 8 千石～木賊堰堤にかけての河川水温変化（時期区分①）／千石からの放流最大／推定地点：千石

榎島～畑薙ダムにかけての河川水温変化（時期区分①）



※1：2024年の榎島での実測値の平均値（1時間に1回計測している計測結果の日平均値を時期区分毎の平均した値）。2024年1月は欠測が多かったため、1月のデータは2018年～2024年に実施した月1回の計測結果の平均値を使用。

※2：JR東海モデルは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しており、また静岡市モデルは斜坑や工事用道路トンネルが実際のトンネルサイズよりも10倍以上大きく設定している。静岡市モデルと比較し、JR東海モデルの方がトンネル湧水量や河川流量の減少量が大きいのは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しているためであると考えられる。今後、予測の見直しを実施する際には、トンネルサイズを適正化したモデルを活用し、高速長尺先進ボーリング等により把握した断層に関する情報を反映させることを考えている。

図 9 榎島～畑薙第一ダムにかけての河川水温変化（時期区分①）／榎島からの放流最大／推定地点：榎島

(5) 水温変化に伴う水生生物への影響予測

- ・トンネル湧水を河川へ放流することに伴う河川水温の変化によって水生生物に生じる可能性のある影響は、以下の通りと考えられます。なお、影響の程度は、トンネル湧水量が解析上推定される最大量（今回の推定では JR 東海モデルでの結果）の場合に最も大きくなると考えられます。

【底生動物】

- ・積算温量（成虫になるまでに必要な発育零点以上の温度の積算値）の増大に伴う生活史の変化として、羽化時期の早期化、長期化などが起こり得ると考えられます。その結果、繁殖が成功する確率が低下して個体数の減少を招く恐れがあります。
- ・好冷水性種にとっては生息可能域の制限や縮小が起きる可能性があります。

【魚類】

- ・産卵床や仔稚魚の生息場が減少する可能性があります（魚類の行動変容を含む）。
- ・従来生息していた種の一部は生息できる場所がスポット的になる可能性がある一方で、トンネル湧水は年間を通じて水量が安定しており、水温の季節変動が少ないという特徴があり、こうした湧水を好む生物にとっては新たな生息場になると考えられます。
- ・このように、トンネル湧水を河川へ放流することに伴う水温の影響は、水生生物の従来の生息場の損失と新たな生息場の出現という両側面を有する影響です。
- ・また、生物種毎に影響が生じる水温や影響の程度が異なることから、損失と出現のどちらの側面についても、事前に生物への影響の程度を予測することは困難です。
- ・トンネル掘削前、掘削中、掘削完了後に亘り、河川流量や水温、水生生物のモニタリングを行い、その結果を踏まえ、放流箇所上流側のレファレンス地点のモニタリング結果やトンネル掘削開始前のモニタリング結果と比較するなど、静岡県生物多様性専門部会委員の意見を踏まえて、生物への影響（良悪両側面）の程度を判断し、対応を検討します。
- ・なお、影響を受ける可能性のある好冷水性の水生生物については、今後、大井川本流の湧き間における生物調査を実施し、確認してまいります。

(6) 対応の基本的な考え方

- ・水温の影響に関しては、生物種ごとに影響が生じる水温や生じる影響の程度が異なるため、現時点では、生物への影響が懸念されない水温は現況河川の水温であると考えられます。ただし、河川水温の推定結果は、解析上、トンネル掘削に際して薬液注入の効果を考慮した場合のモデルにおいても少なからず河川水温が上昇し、生物への影響が生じる可能性があることを示しています。このため、事前に代償措置⁵を検討するとともに生物への影響を少しでも低減させるため、可能な限り河川水温の上昇に対する水温低減措置を実施してまいります。
- ・工事中や工事完了後において、河川水温や生物等のモニタリング結果に基づき、静岡県生物多様性専門部会委員の意見も踏まえ、水温変化による生物への影響の程度を確認し、必要に応じて、追加の河川水温の上昇に対する水温低減措置や代償措置⁵を検討・実施します。

(7) 低減措置について

- ・河川水温の推定結果から、トンネル湧水量の差が河川水温の上昇の程度の主たる要因であると考えられることを踏まえ、河川水温の上昇に対する水温低減措置の実施にあたっては、トンネル湧水量を低減させるための薬液注入の適切な実施を基本に、順応的に管理を行います。
- ・順応的な管理にあたっては、(6)に記載のとおり、河川水温の上昇に対する水温低減措置を実施した上で、モニタリング結果に基づき、低減措置の追加等を行います。モニタリング結果を評価する際の目安となる値として、管理基準値を設定することとし、薬液注入の効果を考慮した静岡市モデル（薬液注入あり）で推定される河川水温の推定値を管理基準値とし、表 11 に示します⁶。
- ・薬液注入を適切に実施するため、トンネル掘削前、掘削中において、高速長尺先進ボーリングを実施し、地質や湧水の状況を確認します。
- ・高速長尺先進ボーリングの結果、断層と想定される箇所や湧水量の変化が著しい箇所ではコアボーリングを実施し、断層の位置や幅、透水係数を確認したうえでトンネル湧水量の推定の見直しを行い、トンネル湧水量を低減するため、主要な断層とトンネルが交差する箇所において、必要に応じて薬液注入を実施します。

⁵ 「資料3 代償措置の考え方、進め方について」 P1 【今後の代償措置の考え方】に基づく

⁶ (6)に記載の通り、薬液注入の効果を考慮した静岡市モデル（薬液注入あり）での推定結果であっても、現況河川と比較し少なからず河川水温が上昇する結果となっており、現時点では、現況河川の水温を生物への影響が懸念されない管理基準値として定めて対応することは困難であることから、水温上昇の低減措置実施後のモニタリング結果を評価する際の目安となる値として、管理基準値を定めるものです。

表 1 1 管理基準値（モニタリング結果を評価する際の目安となる値）⁷

	時期区分① 1月～3月 (渇水期・積雪期)	時期区分② 4月～6月上旬 (雪解け期)	時期区分③ 6月中旬～7月中旬(梅 雨期)	時期区分④ 7月下旬～8月下旬 (夏季小降水期)	時期区分⑤ 9月～10月 (台風時期)	時期区分⑥ 11月～12月 (冬季乾燥期)
西俣（工事中）	4.2℃	7.4℃	10.8℃	14.6℃	12.8℃	6.2℃
千石（工事中）	4.1℃	7.5℃	10.6℃	13.5℃	11.9℃	5.5℃
榎島 (工事中、工事完了後恒常時)	7.3℃	10.5℃	11.8℃	16.2℃	14.3℃	8.6℃

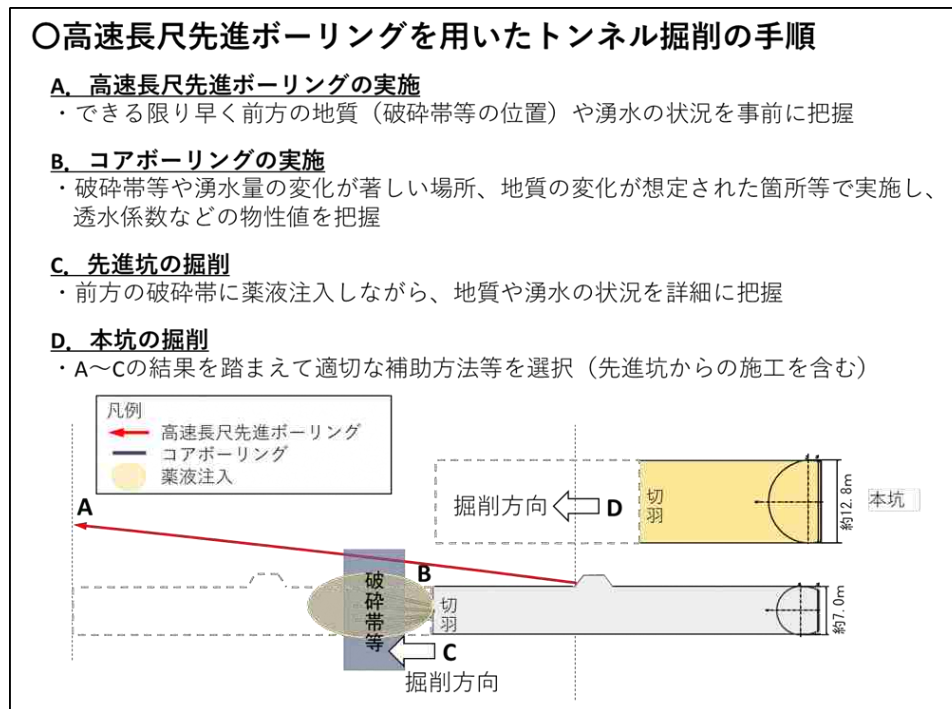


図 1 0 高速長尺先進ボーリングを用いたトンネル掘削の手順（先進坑・本坑の例）

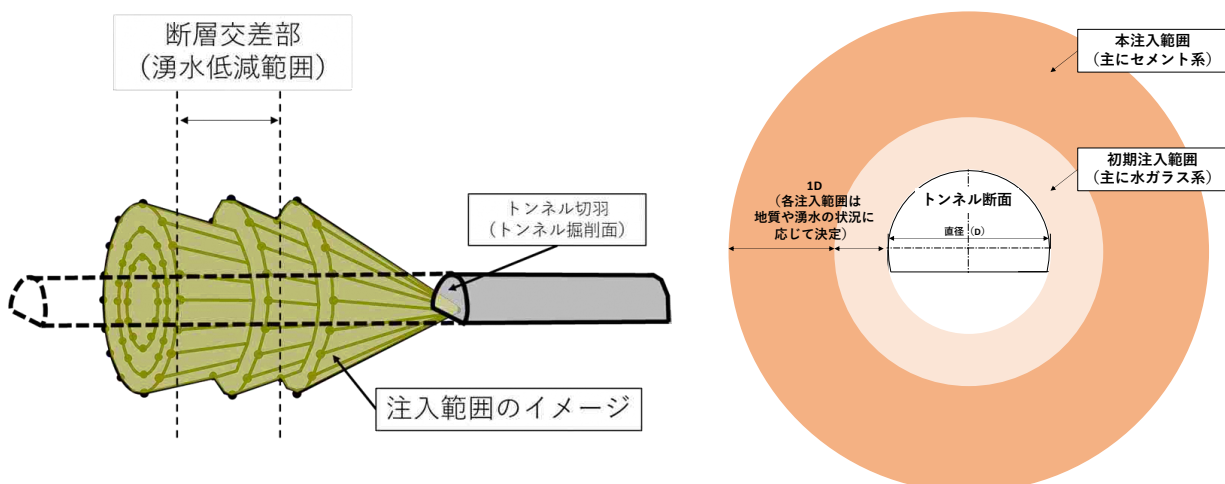


図 1 1 薬液注入（プレグラウト）のイメージ

⁷静岡県モデル（薬液注入あり）/平均水温ケースでの河川水温の推定値（表 7 ～ 1 0 参照）

- ・また、トンネル湧水の低減対策に加え、現地で実施可能な冬季のトンネル湧水温低減対策（沈砂池等で外気に曝す、曝気を行う、放流口等において減勢工を設ける、積雪と湧水を混合させる等）を実施します。
- ・なお、トンネル湧水を近傍のダム等へ導水することで、放流箇所近傍の水温変化を低減する方策については、導水する区間において河川本流の流量減少が生じることや、導水設備の設置のための新たな地上改変が必要になることから、実施することは考えていません。

（８）モニタリングとリスク対応について

１）モニタリングについて

- ・トンネル掘削中、トンネル掘削完了後に亘り、放流直前のトンネル湧水温、トンネル湧水量、放流箇所下流の河川流量、河川水温をモニタリングするとともに、トンネル湧水の放流箇所下流での水生生物の生息・生育状況調査（四季）を実施することで、環境の変化や水生生物の生息・生育状況の変化を確認します。
- ・また、影響のレファレンスとして、放流箇所上流（西俣地点の放流箇所より上流）においても、河川水温のモニタリング、水生生物の生息・生育状況調査（四季）を実施します。
- ・トンネル湧水温、トンネル湧水量、放流箇所下流の河川流量、河川水温のモニタリング結果については、月に１回を基本として、静岡県生物多様性専門部会委員へ報告します。
- ・水生生物の生息・生育状況調査の結果については、季節毎に都度、静岡県生物多様性専門部会委員へ報告します。
- ・各ヤード周辺における水温変化に係るモニタリング計画を図 12～図 14 に示します。

２）モニタリング結果を踏まえた対応（リスク対応）について

- ・トンネル湧水温や河川水温等のモニタリングの結果、管理基準値より河川水温が上昇してしまう場合には、その時点の状況に応じた可能な限りの追加の低減措置（ポストグラウト等）を実施します。
- ・また、工事中、工事完了後に亘り実施する、河川水温や生物等のモニタリング結果に基づき、静岡県生物多様性専門部会委員の意見も踏まえ、水温変化によって生じた生物への影響（良悪両側面）の程度を判断し、必要に応じて代償措置^５の見直しを行う等、順応的に対応します。



図 1 2 西俣ヤード周辺における水温変化に係るモニタリング計画

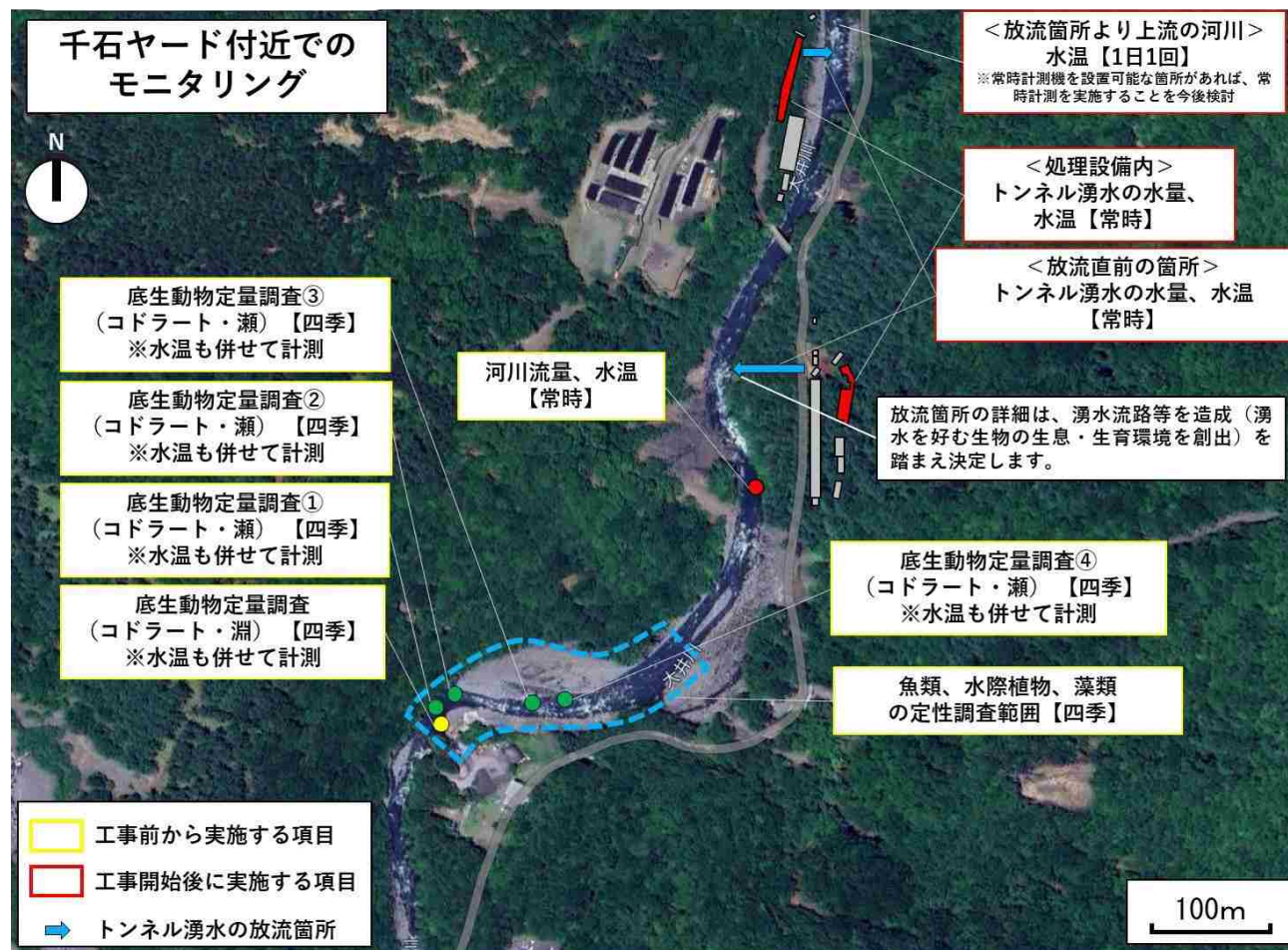


図 13 千石ヤード周辺における水温変化に係るモニタリング計画



図 1 4 樫島ヤード周辺における水温変化に係るモニタリング計画

(巻末資料 1) トンネル湧水を河川へ放流することに伴う河川水温の推定に用いたパラメータ

○トンネル掘削完了後恒常時／推定地点：樫島でのパラメータ

			時期区分①	時期区分②	時期区分③	時期区分④	時期区分⑤	時期区分⑥
			1月～3月 （渇水期・積雪期）	4月～6月上旬 （雪解け期）	6月中旬～7月中旬 （梅雨期）	7月下旬～8月下旬 （夏季小降水期）	9月～10月 （台風時期）	11月～12月 （冬季乾燥期）
JR東海モデル	トンネル湧水量（m3/s）		3.1	3.0	3.1	3.1	3.2	3.2
	トンネル湧水温（℃）	平均水温ケース	21.9					
		最高水温ケース	23.5					
		最低水温ケース	20.3					
		想定地温勾配最大ケース	24.5					
	河川流量（m3/s）		1.0	3.5	3.6	1.7	1.3	1.6
静岡市モデル （薬注なし）	トンネル湧水量（m3/s）		1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9
	トンネル湧水温（℃）	平均水温ケース	22.0					
		最高水温ケース	23.6					
		最低水温ケース	20.4					
		想定地温勾配最大ケース	24.8					
	河川流量（m3/s）		1.3	3.8	3.9	2.1	1.6	1.9
静岡市モデル （薬注あり）	トンネル湧水量（m3/s）		0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
	トンネル湧水温（℃）	平均水温ケース	21.5					
		最高水温ケース	23.1					
		最低水温ケース	19.9					
		想定地温勾配最大ケース	24.1					
	河川流量（m3/s）		1.7	4.2	4.2	2.4	1.9	2.3
河川水温（℃）※1			2.6※2	9.0	10.5	14.9	12.2	5.4

※1：2024年の樫島での実測値の平均値（1時間に1回計測している計測結果の日平均値を時期区分毎の平均した値）
※2：2024年1月は欠測が多かったため、1月のデータは2018年～2024年に実施した月1回の計測結果の平均値を使用。
※3：JR東海モデルは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しており、また静岡市モデルは斜坑や工事用道路トンネルが実際のトンネルサイズよりも10倍以上大きく設定している。静岡市モデルと比較し、JR東海モデルの方がトンネル湧水量や河川流量の減少量が大きいのは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しているためであると考えられる。今後、予測の見直しを実施する際には、トンネルサイズを適正化したモデルを活用し、高速長尺先進ボーリング等により把握した断層に関する情報を反映させることを考えている。

○西俣からの放流最大時／推定地点：西俣でのパラメータ

			時期区分①	時期区分②	時期区分③	時期区分④	時期区分⑤	時期区分⑥
			1月～3月 （渇水期・積雪期）	4月～6月上旬 （雪解け期）	6月中旬～7月中旬 （梅雨期）	7月下旬～8月下旬 （夏季小降水期）	9月～10月 （台風時期）	11月～12月 （冬季乾燥期）
JR東海モデル	トンネル湧水量（m3/s）		0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8
	トンネル湧水温（℃）	平均水温ケース	23.8					
		最高水温ケース	25.4					
		最低水温ケース	22.2					
		想定地温勾配最大ケース	28.2					
	河川流量（m3/s）		1.2	3.8	6.2	0.9	1.1	1.2
静岡市モデル （薬注なし）	トンネル湧水量（m3/s）		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	トンネル湧水温（℃）	平均水温ケース	21.4					
		最高水温ケース	23.0					
		最低水温ケース	19.8					
		想定地温勾配最大ケース	23.5					
	河川流量（m3/s）		1.2	3.8	6.2	0.9	1.1	1.1
静岡市モデル （薬注あり）	トンネル湧水量（m3/s）		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	トンネル湧水温（℃）	平均水温ケース	21.6					
		最高水温ケース	23.2					
		最低水温ケース	20.0					
		想定地温勾配最大ケース	24.1					
	河川流量（m3/s）		1.3	3.9	6.3	1.0	1.2	1.2
河川水温（℃）※1			2.6	9.0	10.5	14.9	12.2	5.4

※1：2024年の西俣での実測値の平均値

○千石からの放流最大時／推定地点：千石でのパラメータ

			時期区分①	時期区分②	時期区分③	時期区分④	時期区分⑤	時期区分⑥
			1月～3月 (渇水期・積雪期)	4月～6月上旬 (雪解け期)	6月中旬～7月中旬 (梅雨期)	7月下旬～8月下旬 (夏季小降水期)	9月～10月 (台風時期)	11月～12月 (冬季乾燥期)
JR東海モデル	トンネル湧水量 (m3/s)		0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7
	トンネル湧水温 (℃)	平均水温ケース	19.7					
		最高水温ケース	21.3					
		最低水温ケース	18.1					
		想定地温勾配最大ケース	19.7					
	河川流量 (m3/s)		1.5	4.7	13.0	5.9	3.9	2.7
静岡市モデル (薬注なし)	トンネル湧水量 (m3/s)		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	トンネル湧水温 (℃)	平均水温ケース	17.5					
		最高水温ケース	19.1					
		最低水温ケース	15.9					
		想定地温勾配最大ケース	17.5					
	河川流量 (m3/s)		1.5	4.7	12.9	5.9	3.9	2.7
静岡市モデル (薬注あり)	トンネル湧水量 (m3/s)		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	トンネル湧水温 (℃)	平均水温ケース	17.6					
		最高水温ケース	19.2					
		最低水温ケース	16.0					
		想定地温勾配最大ケース	17.6					
	河川流量 (m3/s)		1.8	5.0	13.2	6.2	4.2	3.0
河川水温 (℃) ※1			2.8	7.1	10.5	13.3	11.6	4.8

※1：2024年の千石での実測値の平均値

○樫島からの放流最大時／推定地点：樫島でのパラメータ

			時期区分①	時期区分②	時期区分③	時期区分④	時期区分⑤	時期区分⑥
			1月～3月 （渇水期・積雪期）	4月～6月上旬 （雪解け期）	6月中旬～7月中旬 （梅雨期）	7月下旬～8月下旬 （夏季小降水期）	9月～10月 （台風時期）	11月～12月 （冬季乾燥期）
JR東海モデル	トンネル湧水量（m3/s）		3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
	トンネル湧水温（℃）	平均水温ケース	21.9					
		最高水温ケース	23.5					
		最低水温ケース	20.3					
		想定地温勾配最大ケース	24.7					
	河川流量（m3/s）		1.0	3.5	3.6	1.7	1.3	1.6
静岡市モデル （薬注なし）	トンネル湧水量（m3/s）		1.9	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9
	トンネル湧水温（℃）	平均水温ケース	22.0					
		最高水温ケース	23.6					
		最低水温ケース	20.4					
		想定地温勾配最大ケース	24.7					
	河川流量（m3/s）		1.4	3.8	3.9	2.1	1.6	1.9
静岡市モデル （薬注あり）	トンネル湧水量（m3/s）		0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
	トンネル湧水温（℃）	平均水温ケース	21.5					
		最高水温ケース	23.1					
		最低水温ケース	19.9					
		想定地温勾配最大ケース	24.1					
	河川流量（m3/s）		1.7	4.2	4.2	2.4	1.9	2.3
河川水温（℃）※1			2.6※2	9.0	10.5	14.9	12.2	5.4

※1：2024年の樫島での実測値の平均値（1時間に1回計測している計測結果の日平均値を時期区分毎の平均した値）
※2：2024年1月は欠測が多かったため、1月のデータは2018年～2024年に実施した月1回の計測結果の平均値を使用。
※3：JR東海モデルは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しており、また静岡市モデルは斜坑や工事用道路トンネルが実際のトンネルサイズよりも10倍以上大きく設定している。静岡市モデルと比較し、JR東海モデルの方がトンネル湧水量や河川流量の減少量が大きいのは、断層が存在すると考えられるブロックを一括りに大きな透水係数に設定しているためであると考えられる。今後、予測の見直しを実施する際には、トンネルサイズを適正化したモデルを活用し、高速長尺先進ボーリング等により把握した断層に関する情報を反映させることを考えている。

(巻末資料 2) 放流後河川流下方向の水温変化の推定に用いたパラメータ

○大気との熱収支を考慮した水温変化量 (ΔT) について

下記の式により、算出する

$$\Delta T = \frac{1}{c_{pw} \cdot \rho_w} \frac{L_n}{U \cdot D} (R_N - H - LE)$$

ΔT : 水面からの熱の出入りによって生じる水温の変化量(°C)

c_{pw} : 水の比熱(J/kg/°C) 【固定値 : 4184】

ρ_w : 水の密度(kg/m³) 【固定値 : 1000】

L_n : 区間の距離(m) 【固定値 (格子延長) : 100m】

U : 区間の平均流速(m/s) 【設定した Q_{n0} 見合いの実測値】

D : 区間の平均水深(m) 【設定した Q_{n0} 見合いの実測値】

R_N : 正味放射量(W/m²) 【別途計算】

H : 顕熱輸送量(W/m²) 【別途計算】

LE : 潜熱輸送量(W/m²) 【別途計算】

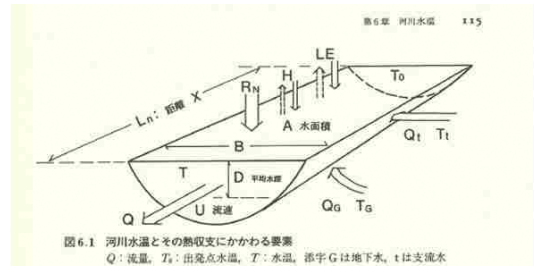


図 6.1 河川水温とその熱収支にかかわる要素
Q : 流量, T_s : 出発点水温, T : 水温, 添字 G は地下水, t は支流水

間 (秒), U は流速, x は流下方向の距離とする。 H と LE の符号は上流部であれば受熱のプラスに、下流部であれば放熱のマイナスになる場合が多い。河川では流速が大きいため、水面に加えられた熱は水深 (D) の全体に均等に配分される。

左辺の $cpD \frac{dT}{dt}$ は移流項で、河川では水温が変化するとともに、その熱は下流に持ち去られる。1 地点における熱収支を追跡するときには式 (6.1) を基礎にするが、流下する水塊の温度変化 (dT/dt) を追跡するときには、 t を水塊の流下時間と見なして式で表す。

$$cpD \frac{dT}{dt} = R_N \pm H \pm LE \quad (6.2)$$

実際の河川では上流点と下流点の水温変化を対象にすることが多い。水塊の流下時間 dt は 2 地点間の距離 (L_n) と平均流速 (U) により、次の形になる。

$$dt = L_n / U \quad (6.3)$$

また表面から入った熱は水深 (D) に均等に配分されるので、流下に伴う 2 地点間の水温変化 (ΔT) は式 (6.4) になる。

$$\Delta T = \frac{1}{cp} \frac{L_n}{UD} (R_N \pm H \pm LE) \quad (6.4)$$

この ΔT を水温の区間上昇度という。

水温はすべて平衡水温 (T_s) の方向に変化し、水面熱収支も平衡水温と河川水温との差で表すことができるので、出発点水温 (T_0) からの水温変化は次の式 (6.5) になる。

新井正 (2004) : 『地域分析のための熱・水収支水文学』, 古今書院

○正味放射量 (R_N) について

下記の式により、算出する

$$R_N = (1 - a)I - R_{SG} + R_{AD}$$

ここで、

R_N : 正味放射量(W/m²)

I : 日射量(W/m²) 【気象庁公表データより (合計全天日射量(MJ/m²)_静岡の2015年から2024年の平均値 (時期区分毎に変更)】

a : アルベド(-) 【下表3.2の中間値 : 0.07】

R_{SG} : 地表 (水面) からの上向き長波放射量(W/m²) 【別途計算】

R_{AD} : 大気からの下向き長波放射量(W/m²) 【別途計算】

表 3.2 地表面のアルベド (a) と放射率 (ϵ)

	アルベド	放射率
湿った土	0.05~0.40	0.90~0.98
砂漠	0.20~0.45	0.84~0.91
草地	0.16~0.26	0.90~0.95
作物畑	0.18~0.25	0.90~0.99
落葉樹林	0.15~0.20	0.97~0.98
針葉樹林	0.05~0.15	0.97~0.99
水	0.02~0.15	0.92~0.97
雪	0.40~0.95	0.82~0.99

(Oke 1978, 近藤 2000 などにもつく)

(注) 水面については表 3.3 を参照。雪については第 8 章参照。

1.3 地表と大気の熱収支

地球の熱収支においては放射のみではなく、熱伝達、蒸発、移流なども考慮しなければならない。図 2.3 は大気・地表面・地 (水) 中を結びつける一連の熱収支を模式的に描いたものである。図中の数値は $S/4$ を 100% とし、熱収支の各成分を % で表したものである。

太陽光は大気を通過するとき空気分子、塵、水蒸気、雲などによる反射・吸収により弱まるので、地表に到達する日射量を I で表してある。 a は地表面の反射率、 $(1-a)I$ は地表に吸収される有効日射量になる。地表はその温度 (T_s) で長波放射を出し ($\sigma T_s^4 = R_{SG}$)、その一部は大気により吸収される。大気の加熱あるいは熱貯留は Q_A で表してある。大気も長波放射を上向き (R_{AG}) と下向き (R_{AD}) に出し、下向きの成分は地表に加えられる。したがって地表面が失う長波放射は、地表からの上向きの放射 (R_{SG}) と大気からの下向きの放射 (R_{AD}) の差になる。後者は気温、大気中の水蒸気などに影響される。以上の関係を整理すると放射収支が得られる。地表面が受けとるすべての放射の精算値を正味放射あるいは放射収支量 (R_N) という。

$$R_N = (1 - a)I - R_{SG} + R_{AD} \quad (2.4)$$

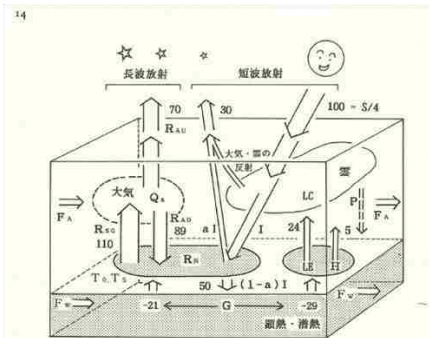


図 2.3 地球の熱収支
 F_A は大気の移流, $F_A(A_0)$ は水の移流, S は太陽定数, その他の記号は本文を参照。数値は武田ほか (1992) などによる。

新井正 (2004) : 『地域分析のための熱・水収支水文学』, 古今書院

○地表（水面）からの上向き長波放射量(R_{SG})、大気からの下向き長波放射量(R_{AD})

下記の式により、算出する

$$R_{SG} = \varepsilon \sigma (T_s + 273.15)^4$$

$$R_{AD} = \sigma (T_a + 273.15)^4 (a + b\sqrt{e_s})$$

ここで、

R_{SG} ：地表（水面）からの上向き長波放射量(W/m²)

R_{AD} ：大気からの下向き長波放射量(W/m²)

T_s ：地表（水面）の温度(°C)【計算上算出される河川水温】

T_a ：気温(°C)【気象庁公表データより（井川地点の2015年から2024年の平均値（時期区分毎に変更））】

σ ：ステファンボルツマン定数 5.67×10^{-8} (W/m²/K)

ε ：放射率(-)【「正味放射量 (R_N) について」表3.2の中間値：0.95】

e_s ：水蒸気圧(hPa)【飽和水蒸気圧×湿度（飽和水蒸気圧：下式2.14、湿度：気象庁公表データ（井川地点の2015年から2024年の平均値））】

a, b ：定数【右資料より a ：0.51、 b ：0.066】

飽和水蒸気圧と温度の関係は、表2.3に示してある。この関係は各種の近似式で示される。テューテンス (Tetens) の近似式は

$$e_{\text{sat}} = 6.1078 \times 10^8 T / (b + T) \quad (2.14)$$

e_{sat} ：hPa, T ：°C

	a	b
水面上	7.5	237.3
氷面上	9.5	265.5

近藤 純正(1994)：『水環境の気象学-地表面の水収支・熱収支』, 朝倉書院

(3) 長波放射

放射の基礎式は、ステファン・ボルツマンの法則である（式3.5）。地表面からの放射は地表面温度 (T_s) を用い計算する。

$$R_{SG} = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (3.5)$$

ε は放射率で代表的な値は表3.2に記した。 $\varepsilon=1.0$ の場合が完全黒体で、理想的な放射体となる。土、水の放射率は約0.96、雪は0.98、植物は0.98である。地表面は完全黒体からは若干ずれるが、気候学的計算では近似的に1.0とみなす場合が多い。真の放射の算定には、上式のとおりに地表面温度に基づかなければならないが、これは気候値としては記録がない。したがって気候学的な計算では、 T_s の代わりに気温 (T_a) を使うことになる。ただし、 T_s が得られているときには、式 (3.9) と式 (3.10) の補正を加える。

大気から地表面に向かう長波放射 (R_{AD} , 図2.3) は、気温と水蒸気圧に基づいて推定する。いくつかの式があるが、水蒸気圧の平方根を使う Brunt 型が便利である。

$$R_{AD} = \sigma T_a^4 (a + b\sqrt{e_a}) \quad (3.6)$$

30

T_a はKで表した百葉箱の気温、 e_a は同じ高さにおける水蒸気圧 (hPa)、 a, b は定数で、日本では $a=0.51$ 、 $b=0.066$ を用いることが多い。地表面温度の代わりに気温を用いたときの長波放射収支 $R_L = R_{SG} - R_{AD}$ は式 (3.7) になる。

$$R_L = \sigma T_a^4 (1 - a - b\sqrt{e_a}) \quad (3.7)$$

地表から失われる長波放射は雲量に影響される。雲量による補正を加味した有効長波放射 (R_{RL}) は次の形になる (Budyko：内島訳 1956, 内嶋・岩切訳 1973)。

新井正 (2004)：『地域分析のための熱・水収支水文学』, 古今書院

○顕熱輸送量 (H)

下記の式により、算出する

$$H = c_{pa} \cdot \rho_a \cdot C_D \cdot u (T_s - T_a)$$

$$LE = L \cdot \rho_a \cdot C_D \cdot u (q_s - q_a)$$

ここで、

H ：顕熱輸送量(W/m²)

LE ：潜熱輸送量(W/m²)

c_{pa} ：空気比熱(J/kg/°C)【固定値：1005】

ρ_a ：空気密度(kg/m³)【 $1.293 \times (273.15 / (T_a + 273.15))$ 】

T_s ：地表（水面）の温度(°C)【計算上算出される河川水温】

T_a ：気温(°C)【気象庁公表データより（井川地点の2015年から2024年の平均値（時期区分毎に変更））】

q_s ：地表（水面）の比湿(kg/kg)【別途計算】

q_a ：空気中の比湿(kg/kg)【別途計算】

u ：風速(m/s)【気象庁公表データより（井川地点の2015年から2024年の平均値（時期区分毎に変更））】

C_D ：バルク係数【下表3.4より】

L ：水の蒸発潜熱(J/kg)【別途計算】

表 3.4 粗度高度 (z_0) およびバルク係数 (C_D)				
地表面の種類	粗度高度 (cm)	バルク係数	基準高度 (m)	文献
水面		約 0.0011	10	Garratt 1992
水面 (風速 5 m 以下)		0.0011~0.0012	10	近藤 1994ほか
水面 (風速 5 m 以上)		0.0012~0.0013	10	近藤 1994ほか
砂漠	0.03	0.0020	2	Priestley 1959
雪面	0.05~0.1	0.0015~0.003	2	近藤 1994ほか
芝生*	0.2	0.0034	2	Priestley 1959
	0.7	0.005	2	Priestley 1959
	2.4	0.0085	2	Priestley 1959
	3.7	0.010	2	Priestley 1959
草丈が長い草地*	9.0	0.016	2	Priestley 1959

*：風速と稈波によって異なる

36

(3) バルク法による顕熱・潜熱輸送

式 (3.18) の各項目をバルク法で表すと、次のようになる。

$$H = c_p \rho_a C_D u (T_s - T_a) \quad (3.19 a)$$

$$LE = L \rho_a C_D u (q_s - q_a) \quad (3.19 b)$$

$$\tau = \rho_a C_D u^2 \quad (3.19 c)$$

ここで、添字 s は地表面の値。 T_a と q_a は風速測定高度における気温と比湿である (図3.2)。一般に C_D は 10^{-3} のオーダーにあるが、風速と安定度により変化する。 C_D のいくつかの例を表3.4に示した。水面の C_D は0.001ないし0.0013くらいが一般的な値であるが、風速と安定度により変化する。0.002近くになる (Garratt 1992, 近藤 1994, 式5.14)。草地や畑では0.003あるいは0.004程度で (Hartmann 1994)、穂波の状態により変化する。

気候学的な計算では平均風速を用い、 C_D と $c_p \rho_a$ を含めて式 (3.20) のように熱伝達係数 (h) の形で表す場合が多い。

$$H = h (T_s - T_a) \quad (3.20)$$

日本における熱伝達係数 (h) の平均的な値は、 $8.4 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ($2 \times 10^{-4} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}$) である (日本農業気象学会 1986)。しかし、この値は水面に対しては若干大きいと考えられる。水面における C_D を0.0012~0.0014とし、平均風速をおよそ3 m/s と考えると、 h は $5 \sim 7 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ (1.2ないし $1.7 \times 10^{-4} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}$) にするのが適当と考えられる。

日本の内陸地域の気象観測露場の芝生の観測値から、 h として次式が示されている (西沢 1966)。

$$h = (0.96 + 0.72u) \times 10^{-4} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C} \quad (3.21)$$

内陸地域なので平均風速を2 m/s とすると、 h の平均は $2.4 \times 10^{-4} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}$ となる。この値は C_D としては0.0057に相当するので、表3.4の値との比較でも妥当である。熱伝達係数を固定することには問題があるが、気候学的な計算であれば、平均として $8.0 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ を用いても大きな誤差にはならないであろう。

バルク法で T_a とする真の地表面あるいは植被面温度の測定は簡単ではないが、放射温度計を用いればかなり近い値が得られる。水に関しても真の表面温度を得るのは困難で、普通の観測値はそれに近い値と見なしている。雪では融雪期の雪温を0°Cとする場合が多いが、これも近似値である (第8章)。

潜熱輸送に関しても同様な簡略型が使われる。

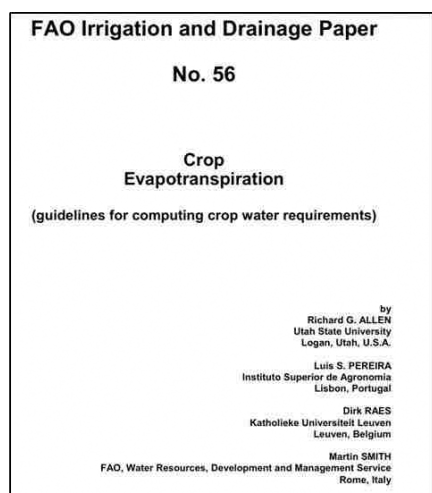
新井正 (2004)：『地域分析のための熱・水収支水文学』, 古今書院

○比湿の算出式

30 T_a は K で表した百葉箱の気温, e_a は同じ高さにおける水蒸気圧 (hPa), a, b は定数で, 日本では $a=0.51$, $b=0.066$ を用いることが多い。地表面温度の代わりに気温を用いたときの長波放射収支 $R_L=R_{sc}-R_{ab}$ は式 (3.7) になる。 $R_L=\sigma T_a^4(1-a-b\sqrt{e_a}) \quad (3.7)$ 地表から失われる長波放射は雲量に影響される。雲量による補正を加味した有効長波放射 (R_{BL}) は次の形になる (Budyko: 内島訳 1956, 内嶋・岩切訳 1973)。 $R_{BL}=R_L(1-cn^2) \quad (3.8)$ n は雲量 (0~1), 係数 c は緯度により異なり, 50 度で 0.72, 40 度で 0.68, 30 度で 0.63, 20 度で 0.59 である。式 (3.7) と式 (3.8) では, T_a は T_s に等しいと仮定している。そのため気温と地表面 (水面, 雪面, 植被面) との温度差が大きいときには誤差が生じる。この誤差の補正 (ΔR_L) は次式による。 $\Delta R_L=4\sigma T_a^3(T_s-T_a) \quad (3.9)$ (4) 正味放射 正味放射は以上の各項の精算値である。 $R_N=(1-a)I-(R_{BL}+\Delta R_L) \quad (3.10)$ ただし, 気候学的計算では補正項 (ΔR_L) を省く場合が多い。熱収支や水文気候では正味放射が大きな意味を持つ。なお, 気候学的な計算では月平均, あるいは旬平均で扱うのが妥当である。 2 温度・水蒸気の測定 2.1 気温, 水蒸気 水蒸気量は乾湿計による測定が基本になるが, 測定高度を一定しておくことが重要である。蒸発や潜熱移動には水蒸気圧のままでなく, 湿潤空気 1 kg 中の水蒸気の質量 (q: kg kg⁻¹) である比湿を用いる。比湿は水蒸気圧 (e) から次の式で求める。 $q=0.622\frac{e}{p-0.378e}\approx 0.622\frac{e}{p} \quad (3.11)$	第 3 章 熱収支観測と解析の基礎 31 p は現場の気圧であるが, 平地では近似的に 1000 hPa とすることが多い。係数 0.622 は乾湿計の定数とよばれ, 乾燥空気分子量に対する水の分子量の比である。なお比湿を g/kg として表すときには, この係数を 622 とする。 相対湿度から水蒸気量や水蒸気圧を推定することは好ましくないが, 方法としては空調関係で使われている空気線図を使うと便利である。これは日本農業気象学会 (1997) のほか, 空調関係の教科書に掲載されている。 2.2 水温, 地温 最近では水深と水温とを同時に記録する各種のロガーも普及してきたが, 基本は水温計による読み取りである。湖沼の場合にはサーミスター温度計を用い, 深さ 1 m おきに測定することを標準とし, 深層で水温変化が小さいところでは 2 ないし 5 m おきに測定する。変温層や表面の日変化が大きいところでは 0.5 m おき, あるいは 0.1 m おきの測定が必要になることもある。貯水池では深層にも変温層ができることがあるので, 注意しなければならない (新井 2003)。 地温もサーミスター温度計あるいはデータロガーで測定する。地温は深さ 40 cm~50 cm で日変化がほとんどなくなり, 約 10 m では年変化もほとんど消える。温度変化が見られなくなる層を, 恒温層あるいは不易層という。したがって, 日変化を対象とするならば 50 cm 以浅を集中的に測定し, 年変化を対象にするのであれば, 恒温層の上限まで測定する必要がある。恒温層の上限以深の地温は地下水温に等しいと見なし, 井戸水温を使う場合が多い (第 7 章 参照)。 3 接地層の乱流交換 3.1 風速観測とデータ整理 (1) 風速観測 地表面 (水面, 雪面, 植被面) では放射交換のほか, 熱と水の交換, さらに CO₂ などの物質交換が行われる。これらは地表面に接した大気の乱れによって引き起こされるので, 大気や水の乱れの程度を知らなければならない。現
---	---

新井正 (2004): 『地域分析のための熱・水収支水文学』, 古今書院

○水の気化潜熱の近似式



Crop evapotranspiration 223 Annex 3 Background on physical parameters used in evapotranspiration computations Latent Heat of Vaporization (λ)¹ $\lambda = 2.501 - (2.361 \times 10^{-3}) T \quad (3-1)$ where: λ latent heat of vaporization [MJ kg⁻¹] T air temperature [°C] The value of the latent heat varies only slightly over normal temperature ranges. A single value may be taken (for T = 20 °C): $\lambda = 2.45$ MJ kg⁻¹.	
---	--

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56). Food and Agriculture Organization of the United Nations. p.223

○トンネル掘削完了後恒常時／推定地点：樺島でのパラメータ

【JR 東海モデル】

項目	値	備考
時期区分	時期区分①（1月～3月想定）	
トンネル湧水水温(°C)	24.5/21.9	想定地温勾配最高ケース（水温最高）/平均水温ケース
トンネル湧水量(m3/s)	3.1	JR東海モデルの解析結果
流入河川水温（°C）	2.6	2024年の樺島での実測値(1月～3月の平均値)
河川流量（トンネル掘削の影響を考慮した推定値）(m3/s)	1.0	JR東海モデルを活用した推定値
支流等からの流入量(m3/s)	9.7	畑薙第一ダム流入量から樺島での河川流量を差し引くことで、流量増加量を算出（2023年1月～3月の実測平均値）。算出した流量増加量を、合流する沢の流域面積に応じて按分し、合流する格子に流入させることとした。
水深（m）	0.2	樺島実測流量で0.948m3/sの時の水深（2023年2月）
メッシュ幅(m)	15	樺島実測流量で0.948m3/sの時の川幅（2023年2月）
メッシュ数	138	固定値
メッシュ長さ(m)	100	固定値
合計全天日射量(MJ/m ²)_静岡	13.1	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均蒸気圧(hPa)_井川	7.8	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均湿度(%)_井川	71.5	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均風速(m/s)_井川	1.0	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均気温(°C)_井川	3.2	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
飽和水蒸気圧_気温（hPa）	7.7	計算値
大気温度での水蒸気圧[hPa]	5.5	計算値
大気の比湿[-]	0.003	計算値
大気の放射率	0.66	計算値
水の放射率	0.95	固定値
アルベド（-）	0.0700	固定値
バルク輸送係数Cd	0.0011	固定値（風速で変化）
ステファン・ボルツマン定数(W/m ² /K ⁴)	5.670.E-08	固定値
空気の密度[kg/m ³]	1.278	計算値
空気の定圧比熱[J/(kg・K)]	1005.0	固定値
水の密度[kg/m ³]	1000.0	固定値
水の比熱[J/(kg・°C)]	4184.0	固定値

■ 解析モデルの違いによって変わるパラメータ

○トンネル掘削完了後恒常時／推定地点：樫島でのパラメータ

【静岡市モデル（薬液注入なし）】

項目	値	備考
時期区分	時期区分①（1月～3月想定）	
トンネル湧水水温(°C)	24.8/22.0	想定地温勾配最高ケース（水温最高）/平均水温ケース
トンネル湧水量(m3/s)	1.8	静岡市モデル（薬液なし）の解析結果
流入河川水温（°C）	2.6	2024年の樫島での実測値(1月～3月の平均値)
河川流量（トンネル掘削の影響を考慮した推定値）(m3/s)	1.4	静岡市モデル（薬液なし）を活用した推定値
支流等からの流入量(m3/s)	9.7	畑薙第一ダム流入量から樫島での河川流量を差し引くことで、流量増加量を算出（2023年1月～3月の実測平均値）。算出した流量増加量を、合流する沢の流域面積に応じて按分し、合流する格子に流入させることとした。
水深（m）	0.3	樫島実測流量で1.359m3/sの時の水深（2024年8月）
メッシュ幅(m)	13	樫島実測流量で1.359m3/sの時の川幅（2024年8月）
メッシュ数	138	固定値
メッシュ長さ(m)	100	固定値
合計全天日射量(MJ/m ²)_静岡	13.1	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均蒸気圧(hPa)_井川	7.8	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均湿度(%)_井川	71.5	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均風速(m/s)_井川	1.0	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均気温(°C)_井川	3.2	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
飽和水蒸気圧_気温（hPa）	7.7	計算値
大気温度での水蒸気圧 [hPa]	5.5	計算値
大気の比湿 [-]	0.003	計算値
大気の放射率	0.66	計算値
水の放射率	0.95	固定値
アルベド（-）	0.0700	固定値
バルク輸送係数Cd	0.0011	固定値（風速で変化）
ステファン・ボルツマン定数(W/m ² /K ⁴)	5.670.E-08	固定値
空気の密度 [kg/m ³]	1.278	計算値
空気の定圧比熱 [J/(kg・K)]	1005.0	固定値
水の密度 [kg/m ³]	1000.0	固定値
水の比熱 [J/(kg・°C)]	4184.0	固定値

■ 解析モデルの違いによって変わるパラメータ

○トンネル掘削完了後恒常時／推定地点：樫島でのパラメータ

【静岡市モデル（薬液注入あり）】

項目	値	備考
時期区分	時期区分①（1月～3月想定）	
トンネル湧水水温(°C)	24.1/21.5	想定地温勾配最高ケース（水温最高）/平均水温ケース
トンネル湧水量(m3/s)	0.6	静岡市モデル（薬液注入あり）の解析結果
流入河川水温（°C）	2.6	2024年の樫島での実測値(1月～3月の平均値)
河川流量（トンネル掘削の影響を考慮した推定値）(m3/s)	1.7	静岡市モデル（薬液注入あり）を活用した推定値
支流等からの流入量(m3/s)	9.7	畑薙第一ダム流入量から樫島での河川流量を差し引くことで、流量増加量を算出（2023年1月～3月の実測平均値）。算出した流量増加量を、合流する沢の流域面積に応じて按分し、合流する格子に流入させることとした。
水深（m）	0.3	樫島実測流量で1.712m3/sの時の水深（2023年11月）
メッシュ幅(m)	16	樫島実測流量で1.712m3/sの時の川幅（2023年11月）
メッシュ数	138	固定値
メッシュ長さ(m)	100	固定値
合計全天日射量(MJ/m ²)_静岡	13.1	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均蒸気圧(hPa)_井川	7.8	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均湿度(%)_井川	71.5	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均風速(m/s)_井川	1.0	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均気温(°C)_井川	3.2	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
飽和水蒸気圧_気温（hPa）	7.7	計算値
大気温度での水蒸気圧[hPa]	5.5	計算値
大気の比湿[-]	0.003	計算値
大気の放射率	0.66	計算値
水の放射率	0.95	固定値
アルベド（-）	0.0700	固定値
バルク輸送係数Cd	0.0011	固定値（風速で変化）
ステファン・ボルツマン定数(W/m ² /K ⁴)	5.670.E-08	固定値
空気の密度[kg/m ³]	1.278	計算値
空気の定圧比熱[J/(kg・K)]	1005.0	固定値
水の密度[kg/m ³]	1000.0	固定値
水の比熱[J/(kg・°C)]	4184.0	固定値

■ 解析モデルの違いによって変わるパラメータ

○西俣からの放流最大時／推定地点：西俣でのパラメータ

【JR 東海モデル】

項目	値	備考
時期区分	時期区分①（1月～3月想定）	
トンネル湧水水温(°C)	28.2/23.8	想定地温勾配最高ケース（水温最高）/平均水温ケース
トンネル湧水量(m3/s)	0.7	JR東海モデルの解析結果
流入河川水温（°C）	2.6	2024年の西俣での実測値（1月～3月の平均値）
河川流量（トンネル掘削の影響を考慮した推定値）(m3/s)	1.2	JR東海モデルを活用した推定値
支流等からの流入量(m3/s)	2.7	田代ダム（取水前）から西俣での河川流量を差し引くことで、流量増加量を算出（2020年～2023年の1月～3月の実測平均値）。算出した流量増加量を、合流する沢の流域面積に応じて按分し、合流する格子に流入させることとした。
水深（m）	0.5	西俣実測流量で1.23m3/sの時の水深（2024年10月）
メッシュ幅(m)	9.2	西俣実測流量で1.23m3/sの時の川幅（2024年10月）
メッシュ数	37	固定値
メッシュ長さ(m)	100	固定値
合計全天日射量(MJ/m ²)_静岡	13.1	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均蒸気圧(hPa)_井川	7.8	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均湿度(%)_井川	71.5	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均風速(m/s)_井川	1.0	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均気温(°C)_井川	3.2	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
飽和水蒸気圧_気温（hPa）	7.7	計算値
大気温度での水蒸気圧 [hPa]	5.5	計算値
大気の比湿 [-]	0.003	計算値
大気の放射率	0.66	計算値
水の放射率	0.95	固定値
アルベド（-）	0.0700	固定値
バルク輸送係数Cd	0.0011	固定値（風速で変化）
ステファン・ボルツマン定数(W/m ² /K ⁴)	5.670.E-08	固定値
空気の密度 [kg/m ³]	1.278	計算値
空気の定圧比熱 [J/(kg・K)]	1005.0	固定値
水の密度 [kg/m ³]	1000.0	固定値
水の比熱 [J/(kg・°C)]	4184.0	固定値

■ 解析モデルの違いによって変わるパラメータ

○西俣からの放流最大時／推定地点：西俣でのパラメータ

【静岡市モデル（薬液注入なし）】

項目	値	備考
時期区分	時期区分①（1月～3月想定）	
トンネル湧水水温(°C)	23.5/21.4	想定地温勾配最高ケース（水温最高）/平均水温ケース
トンネル湧水量(m3/s)	0.5	静岡市モデル（薬注なし）の解析結果
流入河川水温（°C）	2.6	2024年の西俣での実測値（1月～3月の平均値）
河川流量（トンネル掘削の影響を考慮した推定値）(m3/s)	1.2	静岡市モデル（薬注なし）を活用した推定値
支流等からの流入量(m3/s)	2.7	田代ダム（取水前）から西俣での河川流量を差し引くことで、流量増加量を算出（2020年～2023年の1月～3月の実測平均値）。算出した流量増加量を、合流する沢の流域面積に応じて按分し、合流する格子に流入させることとした。
水深（m）	0.5	西俣実測流量で1.23m3/sの時の水深（2024年10月）
メッシュ幅(m)	9.2	西俣実測流量で1.23m3/sの時の川幅（2024年10月）
メッシュ数	37	固定値
メッシュ長さ(m)	100	固定値
合計全天日射量(MJ/m²)_静岡	13.1	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均蒸気圧(hPa)_井川	7.8	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均湿度(%)_井川	71.5	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均風速(m/s)_井川	1.0	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均気温(°C)_井川	3.2	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
飽和水蒸気圧_気温（hPa）	7.7	計算値
大気温度での水蒸気圧[hPa]	5.5	計算値
大気の比湿[-]	0.003	計算値
大気の放射率	0.66	計算値
水の放射率	0.95	固定値
アルベド（-）	0.0700	固定値
バルク輸送係数Cd	0.0011	固定値（風速で変化）
ステファン・ボルツマン定数(W/m²/K⁴)	5.670.E-08	固定値
空気の密度[kg/m³]	1.278	計算値
空気の定圧比熱[J/(kg・K)]	1005.0	固定値
水の密度[kg/m³]	1000.0	固定値
水の比熱[J/(kg・°C)]	4184.0	固定値

解析モデルの違いによって変わるパラメータ

○西俣からの放流最大時／推定地点：西俣でのパラメータ

【静岡市モデル（薬液注入あり）】

項目	値	備考
時期区分	時期区分①（1月～3月想定）	
トンネル湧水水温(°C)	24.1/21.6	想定地温勾配最高ケース（水温最高）/平均水温ケース
トンネル湧水量(m3/s)	0.1	静岡市モデル（薬注あり）の解析結果
流入河川水温（°C）	2.6	2024年の西俣での実測値（1月～3月の平均値）
河川流量（トンネル掘削の影響を考慮した推定値）(m3/s)	1.3	静岡市モデル（薬注あり）を活用した推定値
支流等からの流入量(m3/s)	2.7	田代ダム（取水前）から西俣での河川流量を差し引くことで、流量増加量を算出（2020年～2023年の1月～3月の実測平均値）。算出した流量増加量を、合流する沢の流域面積に応じて按分し、合流する格子に流入させることとした。
水深（m）	0.5	西俣実測流量で1.23m3/sの時の水深（2024年10月）
メッシュ幅(m)	9.2	西俣実測流量で1.23m3/sの時の川幅（2024年10月）
メッシュ数	37	固定値
メッシュ長さ(m)	100	固定値
合計全天日射量(MJ/m ²)_静岡	13.1	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均蒸気圧(hPa)_井川	7.8	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均湿度(%)_井川	71.5	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均風速(m/s)_井川	1.0	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均気温(°C)_井川	3.2	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
飽和水蒸気圧_気温（hPa）	7.7	計算値
大気温度での水蒸気圧 [hPa]	5.5	計算値
大気の比湿 [-]	0.003	計算値
大気の放射率	0.66	計算値
水の放射率	0.95	固定値
アルベド（-）	0.0700	固定値
バルク輸送係数Cd	0.0011	固定値（風速で変化）
ステファン・ボルツマン定数(W/m ² /K ⁴)	5.670.E-08	固定値
空気の密度 [kg/m ³]	1.278	計算値
空気の定圧比熱 [J/(kg・K)]	1005.0	固定値
水の密度 [kg/m ³]	1000.0	固定値
水の比熱 [J/(kg・°C)]	4184.0	固定値

■ 解析モデルの違いによって変わるパラメータ

○千石からの放流最大時／推定地点：千石でのパラメータ

【JR 東海モデル】

項目	値	備考
時期区分	時期区分①（1月～3月想定）	
トンネル湧水水温(°C)	21.3/19.7	最高水温ケース（水温最高）/平均水温ケース
トンネル湧水量(m3/s)	0.6	JR東海モデルの解析結果
流入河川水温（°C）	2.8	2024年の千石での実測値（1月～3月の平均値）
河川流量（トンネル掘削の影響を考慮した推定値）(m3/s)	1.5	JR東海モデルを活用した推定値
支流等からの流入量(m3/s)	2.7	木賊堰堤での河川流量から田代ダム（取水後）での河川流量を差し引くことで、流量増加量を算出（2020年～2023年の1月～3月の実測平均値）。算出した流量増加量を、合流する沢の流域面積に応じて按分し、千石より下流で合流する沢について、合流する格子に流入させることとした。
水深（m）	0.3	千石実測流量で1.69m3/sの時の水深（2023年9月）
メッシュ幅(m)	10	千石実測流量で1.69m3/sの時の川幅（2023年9月）
メッシュ数	65	固定値
メッシュ長さ(m)	100	固定値
合計全天日射量(MJ/m ²)_静岡	13.1	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均蒸気圧(hPa)_井川	7.8	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均湿度(%)_井川	71.5	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均風速(m/s)_井川	1.0	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均気温(°C)_井川	3.2	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
飽和水蒸気圧_気温（hPa）	7.7	計算値
大気温度での水蒸気圧 [hPa]	5.5	計算値
大気の比湿 [-]	0.003	計算値
大気の放射率	0.66	計算値
水の放射率	0.95	固定値
アルベド（-）	0.0700	固定値
バルク輸送係数Cd	0.0011	固定値（風速で変化）
ステファン・ボルツマン定数(W/m ² /K ⁴)	5.670.E-08	固定値
空気の密度 [kg/m ³]	1.278	計算値
空気の定圧比熱 [J/(kg・K)]	1005.0	固定値
水の密度 [kg/m ³]	1000.0	固定値
水の比熱 [J/(kg・°C)]	4184.0	固定値

解析モデルの違いによって変わるパラメータ

○千石からの放流最大時／推定地点：千石でのパラメータ

【静岡市モデル（薬液注入なし）】

項目	値	備考
時期区分	時期区分①（1月～3月想定）	
トンネル湧水水温(°C)	19.1/17.5	最高水温ケース（水温最高）/平均水温ケース
トンネル湧水量(m3/s)	0.5	静岡市モデル（薬注なし）の解析結果
流入河川水温（°C）	2.8	2024年の千石での実測値（1月～3月の平均値）
河川流量（トンネル掘削の影響を考慮した推定値）(m3/s)	1.5	静岡市モデル（薬注なし）を活用した推定値
支流等からの流入量(m3/s)	2.7	木賊堰堤での河川流量から田代ダム（取水後）での河川流量を差し引くことで、流量増加量を算出（2020年～2023年の1月～3月の実測平均値）。算出した流量増加量を、合流する沢の流域面積に応じて按分し、千石より下流で合流する沢について、合流する格子に流入させることとした。
水深（m）	0.3	千石実測流量で1.69m3/sの時の水深（2023年9月）
メッシュ幅(m)	10	千石実測流量で1.69m3/sの時の川幅（2023年9月）
メッシュ数	65	固定値
メッシュ長さ(m)	100	固定値
合計全天日射量(MJ/m) _{静岡}	13.1	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均蒸気圧(hPa) _{井川}	7.8	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均湿度(%) _{井川}	71.5	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均風速(m/s) _{井川}	1.0	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均気温(°C) _{井川}	3.2	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
飽和水蒸気圧_気温（hPa）	7.7	計算値
大気温度での水蒸気圧 [hPa]	5.5	計算値
大気の比湿 [-]	0.003	計算値
大気の放射率	0.66	計算値
水の放射率	0.95	固定値
アルベド（-）	0.0700	固定値
バルク輸送係数Cd	0.0011	固定値（風速で変化）
ステファン・ボルツマン定数(W/m ² /K ⁴)	5.670.E-08	固定値
空気の密度 [kg/m ³]	1.278	計算値
空気の定圧比熱 [J/(kg・K)]	1005.0	固定値
水の密度 [kg/m ³]	1000.0	固定値
水の比熱 [J/(kg・°C)]	4184.0	固定値

解析モデルの違いによって変わるパラメータ

○千石からの放流最大時／推定地点：千石でのパラメータ

【静岡市モデル（薬液注入あり）】

項目	値	備考
時期区分	時期区分①（1月～3月想定）	
トンネル湧水水温(°C)	19.2/17.6	最高水温ケース（水温最高）/平均水温ケース
トンネル湧水量(m3/s)	0.2	静岡市モデル（薬液注入あり）の解析結果
流入河川水温（°C）	2.8	2024年の西俣での実測値（1月～3月の平均値）
河川流量（トンネル掘削の影響を考慮した推定値）(m3/s)	1.8	静岡市モデル（薬液注入あり）を活用した推定値
支流等からの流入量(m3/s)	2.7	木賊堰堤での河川流量から田代ダム（取水後）での河川流量を差し引くことで、流量増加量を算出（2020年～2023年の1月～3月の実測平均値）。算出した流量増加量を、合流する沢の流域面積に応じて按分し、千石より下流で合流する沢について、合流する格子に流入させることとした。
水深（m）	0.3	千石実測流量で1.77m3/sの時の水深（2023年7月）
メッシュ幅(m)	12	千石実測流量で1.77m3/sの時の川幅（2023年7月）
メッシュ数	65	固定値
メッシュ長さ(m)	100	固定値
合計全天日射量(MJ/m ²)_静岡	13.1	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均蒸気圧(hPa)_井川	7.8	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均湿度(%)_井川	71.5	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均風速(m/s)_井川	1.0	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均気温(°C)_井川	3.2	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
飽和水蒸気圧_気温（hPa）	7.7	計算値
大気温度での水蒸気圧 [hPa]	5.5	計算値
大気の比湿 [-]	0.003	計算値
大気の放射率	0.66	計算値
水の放射率	0.95	固定値
アルベド（-）	0.0700	固定値
バルク輸送係数Cd	0.0011	固定値（風速で変化）
ステファン・ボルツマン定数(W/m ² /K ⁴)	5.670.E-08	固定値
空気の密度 [kg/m ³]	1.278	計算値
空気の定圧比熱 [J/(kg・K)]	1005.0	固定値
水の密度 [kg/m ³]	1000.0	固定値
水の比熱 [J/(kg・°C)]	4184.0	固定値

解析モデルの違いによって変わるパラメータ

○樺島からの放流最大時／推定地点：樺島でのパラメータ

【JR 東海モデル】

項目	値	備考
時期区分	時期区分①（1月～3月想定）	
トンネル湧水水温(°C)	24.7/21.9	想定地温勾配最高ケース（水温最高）/平均水温ケース
トンネル湧水量(m3/s)	3.4	JR東海モデルの解析結果
流入河川水温（°C）	2.6	2024年の樺島での実測値(1月～3月の平均値)
河川流量（トンネル掘削の影響を考慮した推定値）(m3/s)	1.0	JR東海モデルを活用した推定値
支流等からの流入量(m3/s)	9.7	畑薙第一ダム流入量から樺島での河川流量を差し引くことで、流量増加量を算出（2023年1月～3月の実測平均値）。算出した流量増加量を、合流する沢の流域面積に応じて按分し、合流する格子に流入させることとした。
水深（m）	0.2	樺島実測流量で0.948m3/sの時の水深（2023年2月）
メッシュ幅(m)	15	樺島実測流量で0.948m3/sの時の川幅（2023年2月）
メッシュ数	138	固定値
メッシュ長さ(m)	100	固定値
合計全天日射量(MJ/m ²)_静岡	13.1	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均蒸気圧(hPa)_井川	7.8	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均湿度(%)_井川	71.5	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均風速(m/s)_井川	1.0	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均気温(°C)_井川	3.2	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
飽和水蒸気圧_気温（hPa）	7.7	計算値
大気温度での水蒸気圧[hPa]	5.5	計算値
大気の比湿[-]	0.003	計算値
大気の放射率	0.66	計算値
水の放射率	0.95	固定値
アルベド（-）	0.0700	固定値
パルク輸送係数Cd	0.0011	固定値（風速で変化）
ステファン・ボルツマン定数(W/m ² /K ⁴)	5.670.E-08	固定値
空気の密度[kg/m ³]	1.278	計算値
空気の定圧比熱[J/(kg・K)]	1005.0	固定値
水の密度[kg/m ³]	1000.0	固定値
水の比熱[J/(kg・°C)]	4184.0	固定値

解析モデルの違いによって変わるパラメータ

○樫島からの放流最大時／推定地点：樫島でのパラメータ

【静岡市モデル（薬液注入なし）】

項目	値	備考
時期区分	時期区分①（1月～3月想定）	
トンネル湧水水温(°C)	24.7/22.0	想定地温勾配最高ケース（水温最高）/平均水温ケース
トンネル湧水量(m3/s)	1.9	静岡市モデル（薬液なし）の解析結果
流入河川水温（°C）	2.6	2024年の樫島での実測値(1月～3月の平均値)
河川流量（トンネル掘削の影響を考慮した推定値）(m3/s)	1.4	静岡市モデル（薬液なし）を活用した推定値
支流等からの流入量(m3/s)	9.7	畑薙第一ダム流入量から樫島での河川流量を差し引くことで、流量増加量を算出（2023年1月～3月の実測平均値）。算出した流量増加量を、合流する沢の流域面積に応じて按分し、合流する格子に流入させることとした。
水深（m）	0.3	樫島実測流量で1.359m3/sの時の水深（2024年8月）
メッシュ幅(m)	13	樫島実測流量で1.359m3/sの時の川幅（2024年8月）
メッシュ数	138	固定値
メッシュ長さ(m)	100	固定値
合計全天日射量(MJ/m ²)_静岡	13.1	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均蒸気圧(hPa)_井川	7.8	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均湿度(%)_井川	71.5	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均風速(m/s)_井川	1.0	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均気温(°C)_井川	3.2	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
飽和水蒸気圧_気温（hPa）	7.7	計算値
大気温度での水蒸気圧[hPa]	5.5	計算値
大気の比湿[-]	0.003	計算値
大気の放射率	0.66	計算値
水の放射率	0.95	固定値
アルベド（-）	0.0700	固定値
パルク輸送係数Cd	0.0011	固定値（風速で変化）
ステファン・ボルツマン定数(W/m ² /K ⁴)	5.670.E-08	固定値
空気の密度[kg/m ³]	1.278	計算値
空気の定圧比熱[J/(kg・K)]	1005.0	固定値
水の密度[kg/m ³]	1000.0	固定値
水の比熱[J/(kg・°C)]	4184.0	固定値

解析モデルの違いによって変わるパラメータ

○樫島からの放流最大時／推定地点：樫島でのパラメータ

【静岡市モデル（薬液注入あり）】

項目	値	備考
時期区分	時期区分①（1月～3月想定）	
トンネル湧水水温(°C)	24.1/21.5	想定地温勾配最高ケース（水温最高）/平均水温ケース
トンネル湧水量(m3/s)	0.6	静岡市モデル（薬液あり）の解析結果
流入河川水温（°C）	2.6	2024年の樫島での実測値(1月～3月の平均値)
河川流量（トンネル掘削の影響を考慮した推定値）(m3/s)	1.7	静岡市モデル（薬液あり）を活用した推定値
支流等からの流入量(m3/s)	9.7	畑薙第一ダム流入量から樫島での河川流量を差し引くことで、流量増加量を算出（2023年1月～3月の実測平均値）。算出した流量増加量を、合流する沢の流域面積に応じて按分し、合流する格子に流入させることとした。
水深（m）	0.3	樫島実測流量で1.712m3/sの時の水深（2023年11月）
メッシュ幅(m)	16	樫島実測流量で1.712m3/sの時の川幅（2023年11月）
メッシュ数	138	固定値
メッシュ長さ(m)	100	固定値
合計全天日射量(MJ/m ²)_静岡	13.1	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均蒸気圧(hPa)_井川	7.8	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均湿度(%)_井川	71.5	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均風速(m/s)_井川	1.0	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
平均気温(°C)_井川	3.2	気象庁公開データより（2015年～2024年の平均値（時期区分毎））
飽和水蒸気圧_気温（hPa）	7.7	計算値
大気温度での水蒸気圧 [hPa]	5.5	計算値
大気の比湿 [-]	0.003	計算値
大気の放射率	0.66	計算値
水の放射率	0.95	固定値
アルベド（-）	0.0700	固定値
バルク輸送係数Cd	0.0011	固定値（風速で変化）
ステファン・ボルツマン定数(W/m ² /K ⁴)	5.670.E-08	固定値
空気の密度 [kg/m ³]	1.278	計算値
空気の定圧比熱 [J/(kg・K)]	1005.0	固定値
水の密度 [kg/m ³]	1000.0	固定値
水の比熱 [J/(kg・°C)]	4184.0	固定値

解析モデルの違いによって変わるパラメータ