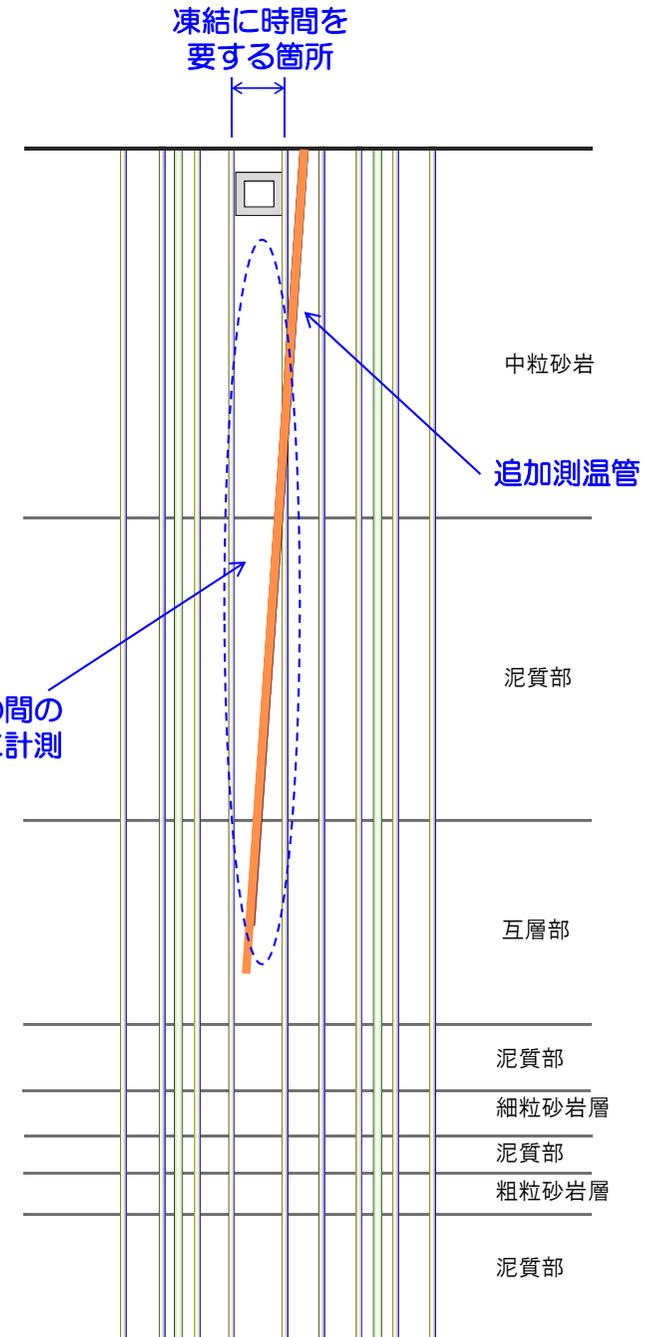


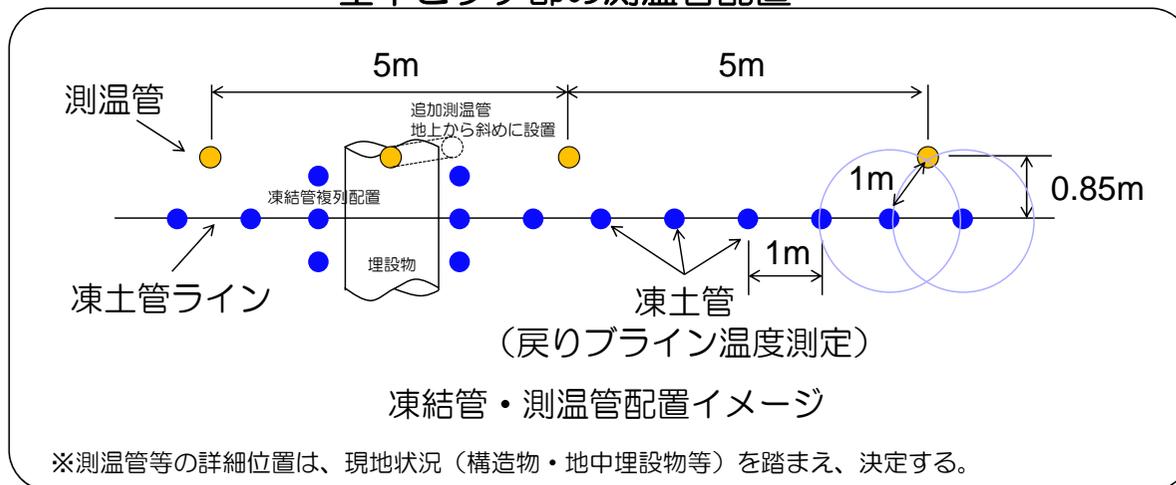
凍結管が基本ピッチ（1.0m）で施工されている箇所は、凍土ラインと平行に約5mピッチで設置した測温管及び凍土ライン周辺に複数設置した地下水位観測井により、凍土周辺の地中温度及び地下水位をモニタリングすることで凍土の閉合を確認する。

一方、凍結に時間を要する箇所は、凍結管間中央部付近に測温管を追加で設置し、重点的にモニタリングを行うことで、凍土の確実な閉合を確認する。



凍結管と凍結管の間の温度をより正確に計測

基本ピッチ部の測温管配置



# 複列配置部の補助工法

## 薬液注入による地下水流速低減工の例

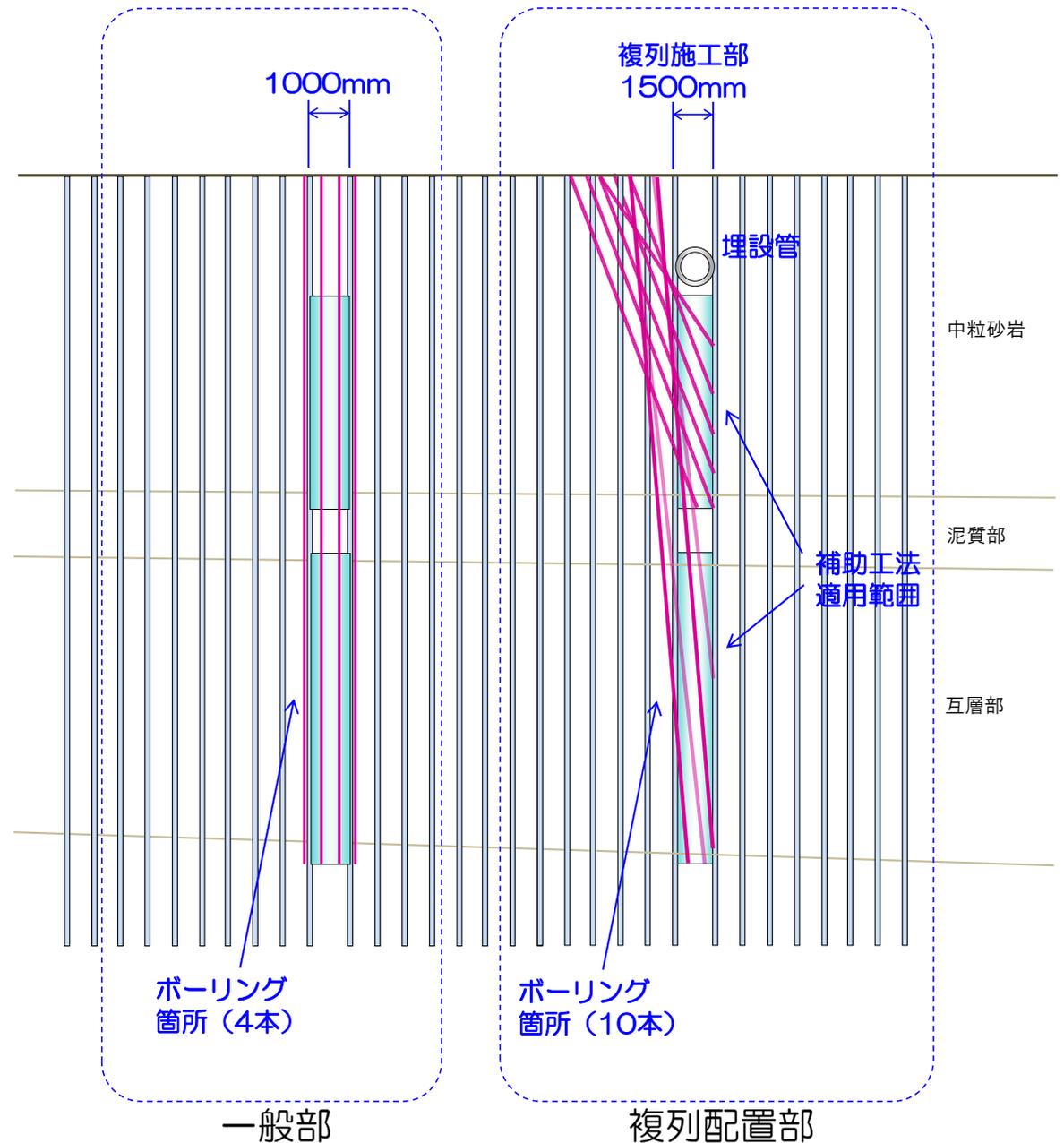
ケース②-1の場合、複列施工部が不凍結部となるため、既設埋設管周辺およびそれ以深に補助工法を実施しなければならない。

凍結管間隔が1500mm程度の複列配置部において、補助工法として薬液注入を想定した場合の施工イメージを右図に示す。

埋設管を避けての施工となるため、改良範囲をカバーするためにはボーリング本数が増える。

(施工量の増加)

(埋設管が無い場合、幅1500mm程度の改良であれば、4~5本の鉛直ボーリングで改良範囲をカバーできる。)



# 複列部の閉合予測

## 【地下水流が集中しない場合】

凍結管の設置間隔による凍結閉合の可能性の検討

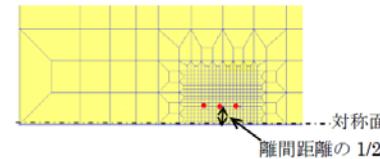
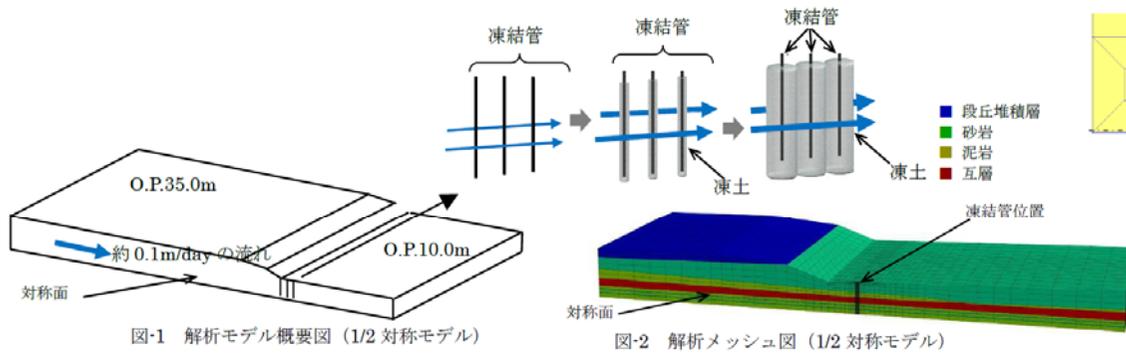


図-3 解析メッシュ図 (凍結部分を上から見た拡大図)

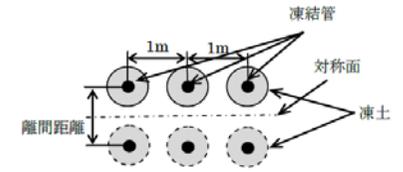


図-4 対称面付近拡大図 (3本配置の凍結管を上から見た図)

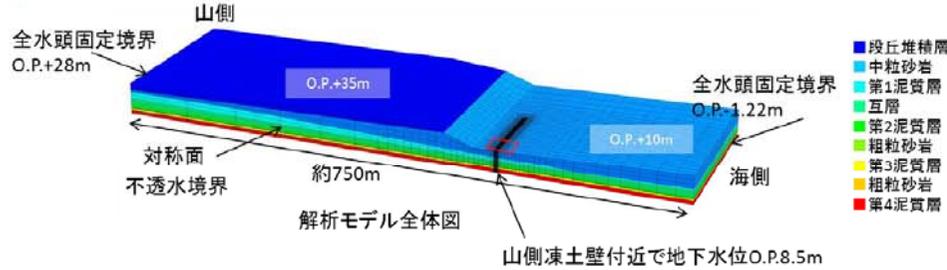
流速集中がない場合、  
時間が経てば閉合する。

		20日後	40日後	60日後	80日後	100日後	120日後	
離間距離 1.5m	閉合日数 32日							
	閉合日数 52日							
離間距離 2.5m	閉合日数 76日	<p>凍結管間隔と閉合日数 (3本複列)</p>						
離間距離 3.0m	閉合日数 110日							

# 補助工法の効果

## 【凍結管間隔2.5m、3本複列配置位置における補助工法（薬液注入）の効果を検討】

- 目的：複列3本(2.5m離れ)の場合、補助工法を行うことによる閉合可能性を検討する。
- 解析モデル：

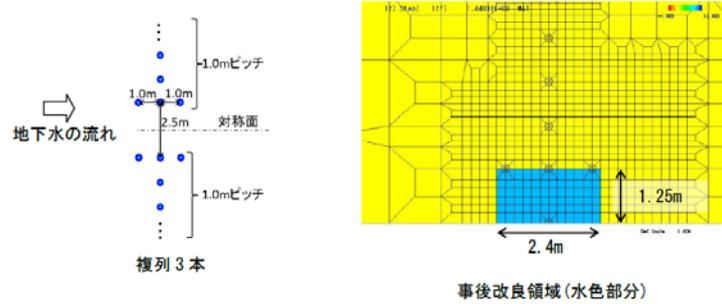


熱物性（実証実験①のCASE2の物性(S-8 測温管の計測値に整合させたもの）

	熱伝導率(kcal/mh°C)		熱容量(kcal/m³°C)	
	(凍結前)	(凍結後)	(凍結前)	(凍結後)
段丘堆積層	1.1	1.6	720	480
中粒砂岩	1.1	1.6	720	480
第1泥質層	0.75	1.2	800	550
互層	0.79	1.2	720	480
第2泥質層	0.75	1.2	800	550
細粒砂岩	1.5	2.1	720	480
第3泥質層	1.0	1.6	800	550
粗粒砂岩	1.5	2.1	720	480
第4泥質層	1.0	1.6	800	550

### ■ 解析ケースと結果

離隔部の凍結形状	解析結果
複列3本 離隔2.5m	中粒砂岩層：離隔部が53日(改良後23日)(CASE1)～97日(改良後67日)(CASE2)で閉合 互層：離隔部が66日(改良後36日)(CASE1)～94日(改良後64日)(CASE2)で閉合



- ・ 複列3本と管列を30日間凍結させた後、地盤改良を行い、さらに90日間の解析を行った。
- ・ 熱物性は実証実験①のCASE1, CASE2 両方の物性を検討した。
- ・ 地盤改良領域での透水係数は、砂岩層、互層のすべてで  $1 \times 10^{-4}$  (cm/s) に低下させた。

- 解析手法：三次元熱-水連成有限要素法（凍結潜熱考慮）
- 解析条件：

熱物性（実証実験①のCASE1の物性(室内熱物性試験に基づく)）

	熱伝導率(kcal/mh°C)		熱容量(kcal/m³°C)	
	(凍結前)	(凍結後)	(凍結前)	(凍結後)
段丘堆積層	1.5	2.1	720	480
中粒砂岩	1.5	2.1	720	480
第1泥質層	1.0	1.6	800	550
互層	1.1	1.6	720	480
第2泥質層	1.0	1.6	800	550
細粒砂岩	1.5	2.1	720	480
第3泥質層	1.0	1.6	800	550
粗粒砂岩	1.5	2.1	720	480
第4泥質層	1.0	1.6	800	550

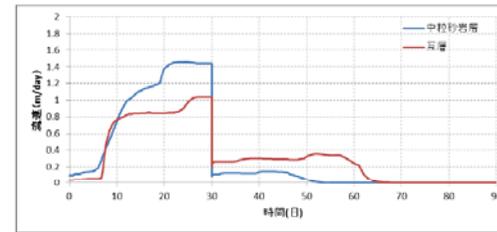


図-1.1 流速の経時変化  
(複列3本、離隔2.5m、FS①CASE1の物性)

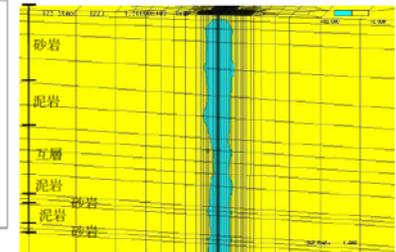


図-1.2 離隔部対称面の凍結域(80日後)  
(水色が凍結域)

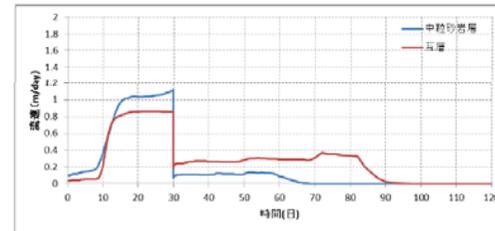


図-2.1 流速の経時変化  
(複列3本、離隔2.5m、FS①CASE2の物性)

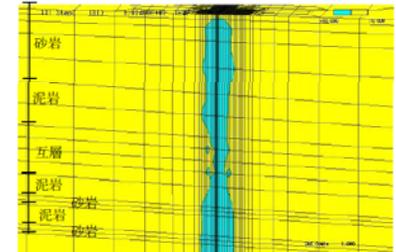


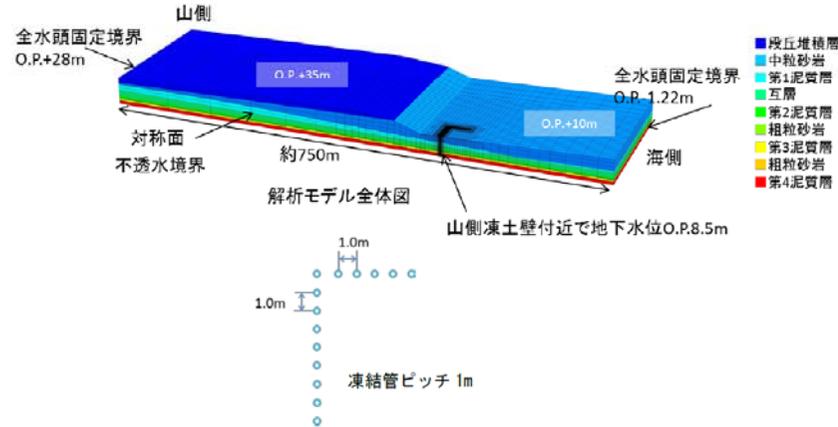
図-2.2 離隔部対称面の凍結域(105日後)  
(水色が凍結域)

# 地下水流速と閉合日数の関係

## 目的

中粒砂岩層及び互層の流速が1/10と低下した場合の凍土壁の閉合日数を検討する。

## 解析モデル



## 水理境界条件

境界	水位	備考
山側	O.P.+28m	広域三次元地下水解析結果に基づき、中粒砂岩層0.1m/day、互層0.03m/day山側凍土壁位置でO.P.8.5mの水位となるように水位境界条件を設定
海側	O.P.-1.2m	
南、北、底面	不透水	

## 温度条件

雰囲気温度(°C)	15.0
地中温度(°C)	15.0
ブライン温度(°C)	-30.0

## 解析結果

解析ケース	凍結閉合日数 <sup>注1)</sup> 、 <sup>注2)</sup>
CASE1 流速 0.1m/day	12日で閉合 (互層)
CASE2 流速 0.01m/day	9日で閉合 (互層)

注1) 凍結管間の節点温度がすべて0°C以下になるまでの日数 (小数点以下切り上げ)

注2) ( ) 内は最後に凍結閉合した地層

## 解析手法：三次元熱-水連成有限要素法 (凍結潜熱考慮)

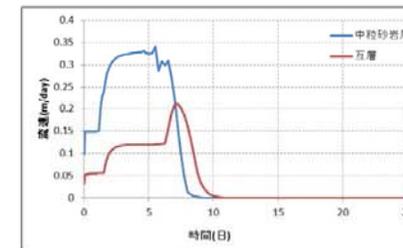
## 解析条件：

### 水理物性

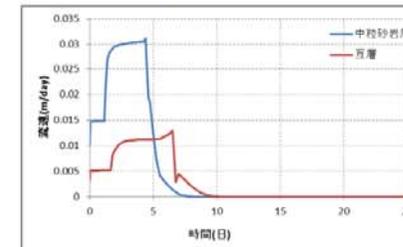
地層	透水係数(cm/s)	比貯留係数(cm <sup>-1</sup> )
段丘堆積層・砂岩	$3.0 \times 10^{-3}$	$2.9 \times 10^{-6}$
泥岩	$1.1 \times 10^{-6}$	$4.5 \times 10^{-7}$
互層	(水平) $1.0 \times 10^{-3}$ (鉛直) $1.1 \times 10^{-6}$	$5.8 \times 10^{-7}$

※流速を減少させる場合は砂岩層及び互層(水平成分)の透水係数を変化させる熱物性 (実証実験①の CASE1 の物性(室内熱物性試験に基づく))

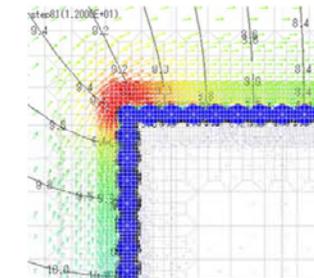
	熱伝導率(kcal/mh°C)		熱容量(kcal/m³°C)	
	(凍結前)	(凍結後)	(凍結前)	(凍結後)
段丘堆積層	1.5	2.1	720	480
中粒砂岩	1.5	2.1	720	480
第1泥質部	1.0	1.6	800	550
互層	1.1	1.6	720	480
第2泥質部	1.0	1.6	800	550
細粒砂岩	1.5	2.1	720	480
第3泥質部	1.0	1.6	800	550
粗粒砂岩	1.5	2.1	720	480
第4泥質部	1.0	1.6	800	550



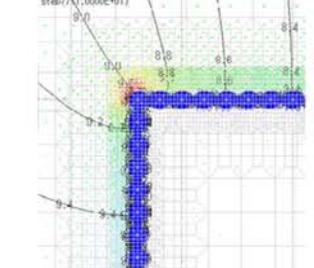
凍結管と凍結管の間での流速の経時変化(初期流速 0.1m/day)



凍結管と凍結管の間での流速の経時変化(初期流速 0.01m/day)



流速ベクトルと凍結領域(12日後)



流速ベクトルと凍結領域(10日後)