

令和 5 年 9 月 13 日

福島県危機管理部
原子力安全対策課 殿

東京電力ホールディングス株式会社
福島第一廃炉推進カンパニー
福島第一原子力発電所

陸側遮水壁における冷媒（ブライン）漏えいに対する申し入れの回答について

「陸側遮水壁における冷媒（ブライン）漏えい」に対する申し入れ（令和 4 年 2 月 16 日）
について、別紙のとおり回答いたします。

「陸側遮水壁における冷媒（ブライン）漏えい」に対する申し入れへの回答

陸側遮水壁における冷媒（ブライン）漏えいに対する申し入れについて、以下の通り回答いたします。

【申し入れ】

1. ブライン漏えいの原因を究明し、再発防止対策を検討すること
2. 陸側遮水壁の凍結ラインについては、運転開始から約6年が経過し、凍結状態の変化や設備の経年劣化と思われるトラブルが続いていることから、適切な点検や維持管理の在り方を検討すること

【回答】

1. 2022年1月に凍結管にて発生したブライン漏えいについて

漏えいした凍結管（地上部）とその周辺環境について調査した結果、冷媒（ブライン）を循環させる凍結管継手部に歪みが発生していることを確認しました。

また、当該凍結管（地上部）周辺は、冷媒（ブライン）循環のための部材（配管等）が密集しており部材間の隙間が狭いことから、部材表面に着氷が発生し氷が成長した場合には、互いに干渉し合う場所であることを確認しました。

さらに、凍結管継手部について X 線 CT 検査等を用いて精密に調査をした結果、凍結管継手部に複数の微細な亀裂が確認され、一部が内側まで貫通し破断に至っていることを確認しました。

これらの状況を踏まえ、漏えい事象の原因を以下の通り推定しました。

(推定原因)

漏えいした凍結管を含め隣接する部材（配管等）表面には冬季を迎える毎に着氷による互いの干渉が発生したことで凍結管（地上部）継手部に応力が繰り返し加わり、配管継手部が破断に至ったと推定しました。

上記、推定原因をふまえ、再発防止対策について立案し、実施しました。

(再発防止対策)

漏えいした凍結管とその周辺および類似した環境下にある凍結管（5BLK-H6 および 6BLK-H1）を対象に、予防的に部材交換し、凍結管（地上部）に着氷を抑制するためヒーター（電熱線）を 2022 年 11 月に設置しました。

なお、凍結管（地上部）については、状態監視による保全を実施していきます。

(点検及び維持管理)

凍結管（地上部）への着氷を抑制するため設置したヒーター（電熱線）を常時稼働させるとともに、月 2 回の巡視点検において凍結管（地上部）の着氷状況を確認して参ります。また、着氷後の氷の成長により部材同士が干渉する可能性が認められた場合には、融氷を行うなど維持管理に万全を期していきます。

2. 2022 年 2 月にブライン供給配管にて発生したブライン漏えいについて

漏えいしたブライン供給配管（本管）と周辺環境について調査した結果、漏えい箇所はブライン供給配管（本管）の継手部（以下、カップリングジョイント）であることを確認しました。

また、配管レベル計測の結果および、凍土厚を推定している測温管データより、配管レイアウト等に起因する不等凍上（以下、凍上）を確認しました。

さらに、ブライン供給配管（本管）のカップリングジョイント 458 箇所について凍上の影響を受けやすい箇所を確認しました。

なお、カップリングジョイントのシール部であるゴムリングについて調査した結果、経年による劣化は確認されませんでした。

これらの状況を踏まえ、漏えい事象の原因を以下の通り推定しました。

(推定原因)

調査の結果、凍結初期の凍上による地盤の変状により配管に変位が発生し、カップリングジョイントの遊間^{※1}が大きく開き、その後、季節変動による地盤変状の影響を受けたことで漏えいに至ったと推定しました。

なお、近年では維持管理運転（ブライン供給流量の調整）を実施しており、凍土厚の増加に伴う凍上について抑制されています。

上記、推定原因をふまえ、再発防止対策について立案し、今年度から実施することとしました。

※1 遊間とは温度変化による配管の伸び縮みを吸収する管端の隙間のこと

(再発防止対策)

ブライン供給配管（本管）のカップリングジョイントについて、状態監視として遊間及び配管のレベル計測を行い、必要に応じて配管レベルを調整し遊間の開きを修正することで、漏えいリスクの低減を図っていきます。具体的には、カップリングジョイント 458 カ所について、遊間が開くリスクによりランク^{※2}分けを行い、当該ランクに応じた状態監視を実施していきます。

- ※2 ランクは、遊間に影響を及ぼす要素（配管前後の高低差（配管レベルの差）、地下水位（内側）、架台の高さ等）を整理し、各々のカップリングジョイントに対する影響度合い（遊間が開くリスク）により設定

（点検及び維持管理）

凍土厚の増加に伴う凍上を抑制するため、地中温度（測温管にて測定）に応じてブライン供給量の調整を行う維持管理運転を実施していくとともに、再発防止対策に記載した状態監視を実施していきます。なお、ランクの高いカップリングジョイントについては、リアルタイムで遊間の監視ができるよう、遠隔センサーの設置を計画しています。設置に際しては2023年9月に工場、10月頃より現場にて3か所のモックアップを行い、結果をふまえて2024年度以降にセンサーの本格設置を実施していきます。

— 以 上 —

「陸側遮水壁における冷媒（ブライン）漏えい」に対する
申し入れへの回答について

TEPCO

2023年 9月13日

東京電力ホールディングス株式会社

1. 2022年1月に凍結管にて発生したブライン 漏えいについて

2022年1月凍結管（地上部）からのブライン漏えいおよび対応の経緯

- 1月16日 陸側遮水壁設備ブラインタンクの液位低下を確認。
ブライン流量データおよび現場確認結果を元に、5BLK-H6のブライン供給を停止。
ブライン供給停止後、ブラインタンクの液位低下が停止したことを確認。
- 1月17日 詳細なブライン漏えい箇所特定のため、5BLK-H6の凍結管（計14本；30-5T～170-5T）
～20日 について圧力試験を実施。圧力低下が確認されなかった凍結管からブライン供給を再開。
50-5Tで凍結管継手部からのブライン漏えいを確認し、70-5Tでは圧力低下を確認。
50-5Tおよび70-5T※については、部材交換を実施。
（※70-5Tはブライン漏えいはしていないが、圧力を維持出来ないことから予防的に部材交換を実施）
- 1月22日 50-5Tおよび70-5Tの部材交換が完了し、全ての凍結管でブライン供給が再開。

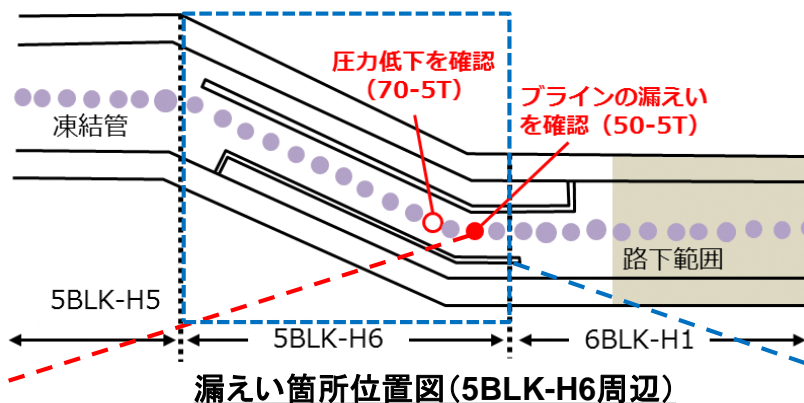


凍結管継手部(50-5T) 漏えい箇所

提供：日本スペースイメージング(株)2021.4.8撮影
Product(C)[2021] DigitalGlobe、Inc.、 a Maxar company.

1-2. 凍結管継手部損傷の原因調査結果

- 漏えいが確認された凍結管（50-5T）で凍結管継手部に歪みが確認されたことから、漏えい原因は継手部の損傷であると推定。
- 凍結管継手部の精密調査の結果、継手部が外部応力を受けて延性破壊した結果、漏えいが発生したと評価。
- 漏えいが発生した箇所（5BLK-H6）は狭隘であり、凍結管（地上部）が着氷し氷が成長したことで周囲の部材と干渉している状況を確認。凍結管（地上部）の氷の成長により凍結管に外部応力が作用した結果、凍結管継手部が破断したと推定。
- 上記の着氷対策として、凍結管（地上部）にヒーターを設置する着氷防止対策を実施済。

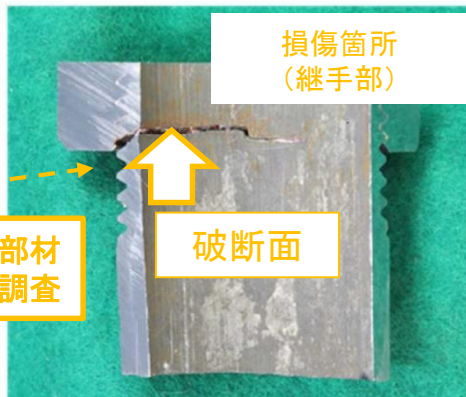


①漏えい凍結管 (地上部)の目視確認

③5BLK-H6周辺の現場状況の調査



①凍結管継手部の目視確認



②凍結管継手部の損傷状況

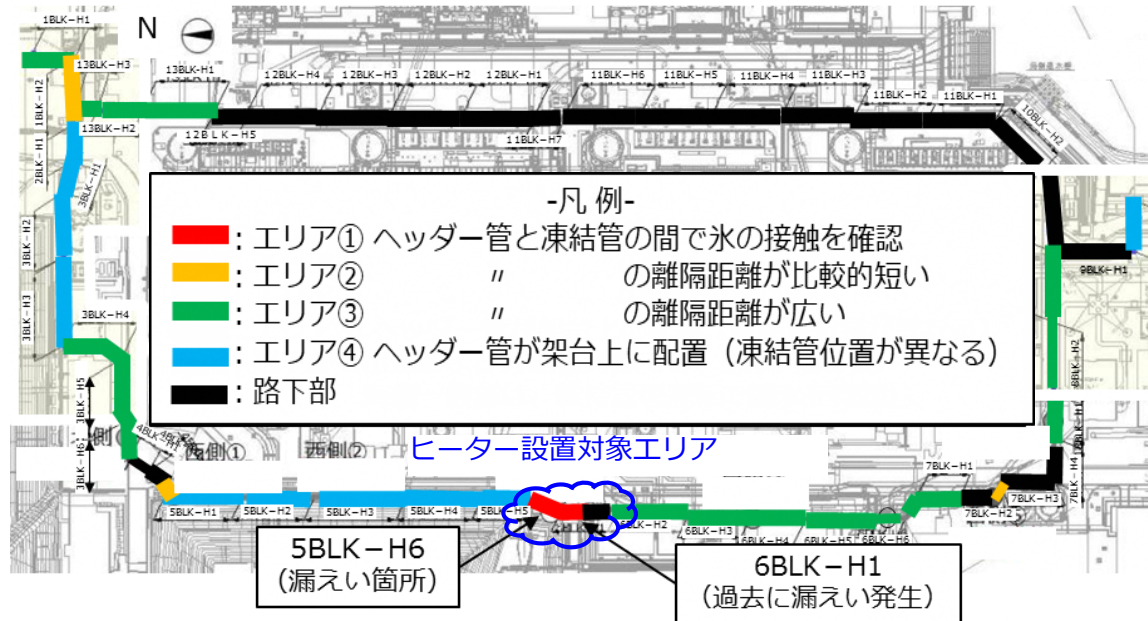


③5BLK-H6周辺の現場状況 (凍結管の着氷状況)



1 - 3. 凍結管着氷防止対策（ヒーター設置）について

漏えいした凍結管とその周辺および類似した環境下にある凍結管（5BLK-H6および6BLK-H1）を対象に、凍結管（地上部）への着氷を抑制するためにヒーターの設置を実施した。



陸側遮水壁設備のエリア分類



ヒーターによる凍結管着氷防止対策イメージ（他エリアでの実績から抜粋）

2. 2022年2月にブライン供給配管にて発生した ブライン漏えいについて

2-1. ブライン供給配管のジョイント計測結果と今後の予防保全

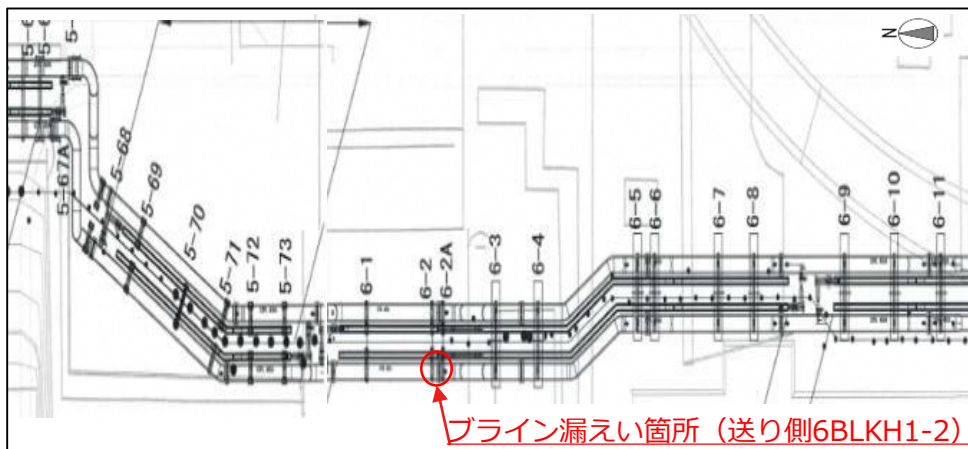
- 2022年2月にブライン供給配管にて発生したブライン漏えいに伴い、発生原因の調査および今後の予防保全について報告する。
- 漏えい箇所であるブライン供給配管（本管）のカップリングジョイント部については、従前の保全方式を事後保全としていたため、今回の漏えい原因の調査結果を踏まえ、予防保全方法を今後確立し、同様のジョイント部458箇所に対して水平展開を行う。

[発生概要]

- 2022年2月15日ブライン供給配管へ新設した電動弁の試運転時に2,3号機山側のブライン供給配管（送り側6BLKH1-2）のカップリングジョイント部から漏えいを確認した。（漏えい量は約47m³）
- 漏えいの影響による凍結管温度の上昇や建屋への地下水流入量に変化なし。
- 2022年2月21日にカップリングジョイントの交換、新ブライン補給を行い復旧済み。



カップリングジョイント



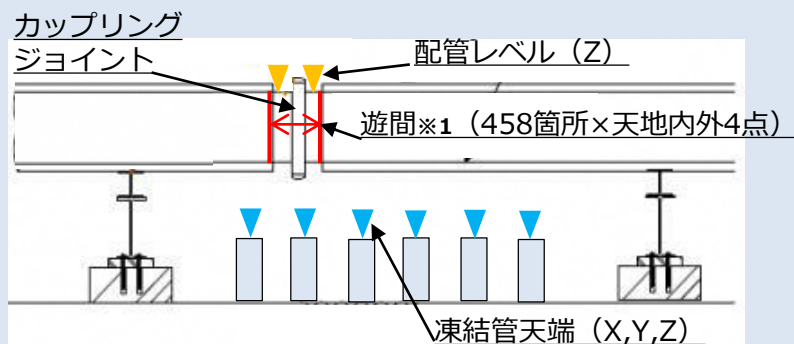
提供：日本スペースイメージング（株）2021.4.8撮影
Product(C)[2021]
DigitalGlobe, Inc., a Maxar company.

2-2. 事象発生の想定要因調査結果

■ 漏えいに係る想定要因の調査を行い、凍上による影響が主要因と推定。

想定要因	概要	調査内容	調査結果(影響有無)
1. 凍上現象	凍上現象による地盤の変状に伴う配管への影響	<ul style="list-style-type: none"> ・カップリングジョイントの遊間計測 ・配管レベル計測 ・凍結管位置計測 	<p>【影響あり】</p> <p>配管レベル計測の結果により、配管レイアウトなどに起因する不等凍上が確認された。</p>
2. 地震	地震による配管への影響	<ul style="list-style-type: none"> ・地震前後での配管レベル計測 	<p>【影響なし】</p> <p>地震前後での配管レベルの計測結果に有意な変化は確認されなかった。</p>
3. 振動	車両走行時の振動による配管への影響	<ul style="list-style-type: none"> ・振動計を設置しての振動計測 	<p>【影響なし】</p> <p>交通量の多い箇所と比較しても、漏えい箇所の振動は小さく、ほとんど配管に影響を与えていなかった。</p>
4. ゴムリング	ゴムリングの経年劣化による影響	<ul style="list-style-type: none"> ・外観目視検査 ・検査機関にてゴムリングの詳細検査 	<p>【影響なし】</p> <p>現物確認の結果、損傷や経年劣化は確認されなかった。</p>

[各計測位置]

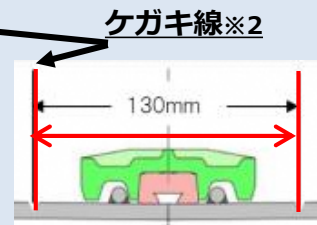


※1 [遊間とは]
温度変化による配管の伸び縮みを吸収する管端の隙間

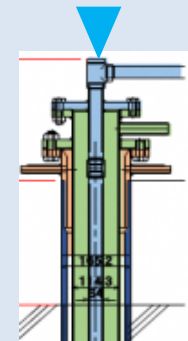
※2 [ケガキ線とは]
施工用として設置当初にケガキされており、計測値から130mm引いた値が遊間となる。



配管レベル計測箇所



遊間計測箇所詳細



凍結管計測箇所

2-3. 供給配管のジョイント部への水平展開について

■ 遊間計測結果へ影響を与える要素を整理し、カップリングジョイント458箇所についてランク分けを行った。

[遊間計測値との相関が確認された要素]

※1 遊間実測値に対しての相関図などから設定

No.	要素	遊間が変動する要因	影響度※1
1	前後高低差 (配管レベルの差)	路下部などにおいて、凍結管の地盤高さが異なる結果凍上量の違いが発生する可能性（配管径が大きい山側で比較的大きな遊間の開きが確認された。山側では路下部で高低差の変動箇所が多く結果として抽出されたと想定）	5
2	地下水位（内側）	地下水位が高い方が凍土量が増加し、凍上量が大きくなっていると想定（地下水位が海側より高い山側において抽出されたと想定）	5
3	架台の高さ	配管の標高及び平面的な変化により凍上量が均一的になっていない可能性（架台の高い箇所及び平面的に配管角度が大きい箇所は、山側、海側に分布しており、結果として高低差や地下水位と比較して影響度が小さくなったと想定。	4
4	配管角度 (直管・曲がり管での違い)		3
5	凍結管の設置標高の変位量 (初期値と1回目計測値の差)		3
6	配管の設置標高の変位量（継手部） (初期値と1回目計測値の差)		2

[遊間が開くリスクについてランクを設定]

ランク	点数※2	遊間が開く リスク	箇所数 (458箇所中)	配管口径※3	比率
				450A	1.0
A	10以上	高	42 (9%)	400A	0.89
B	8以上～10未満	中	25 (5%)	350A	0.78
C	8未満	低	391 (86%)	300A	0.67
				250A	0.56
				200A	0.44

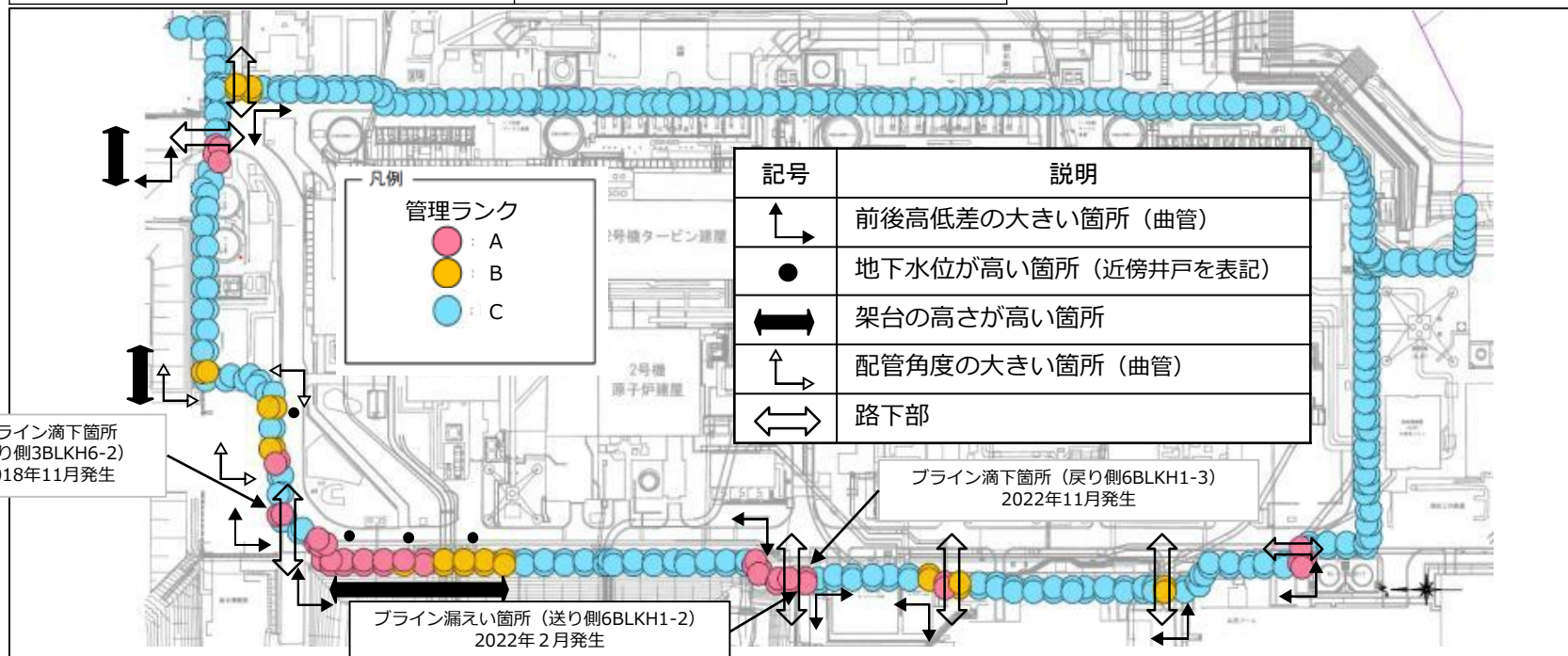
※2 該当する要素ごとの影響度の和 × 口径ごとの比率

※3
配管角度が変化した場合、配管口径の大きいほうが遊間の開きが物理的に大きくなるため口径ごとの比率を設定

2-4. ブライン供給配管に関する、今後の予防保全について

■ カップリングジョイントの管理ランク及びA・Bの要因を下記に示す。

確認項目	頻度
ブライントankレベル	日1回
現地巡視	週1回
ブライン供給配管遊間計測	管理ランクごと（下表の通り）

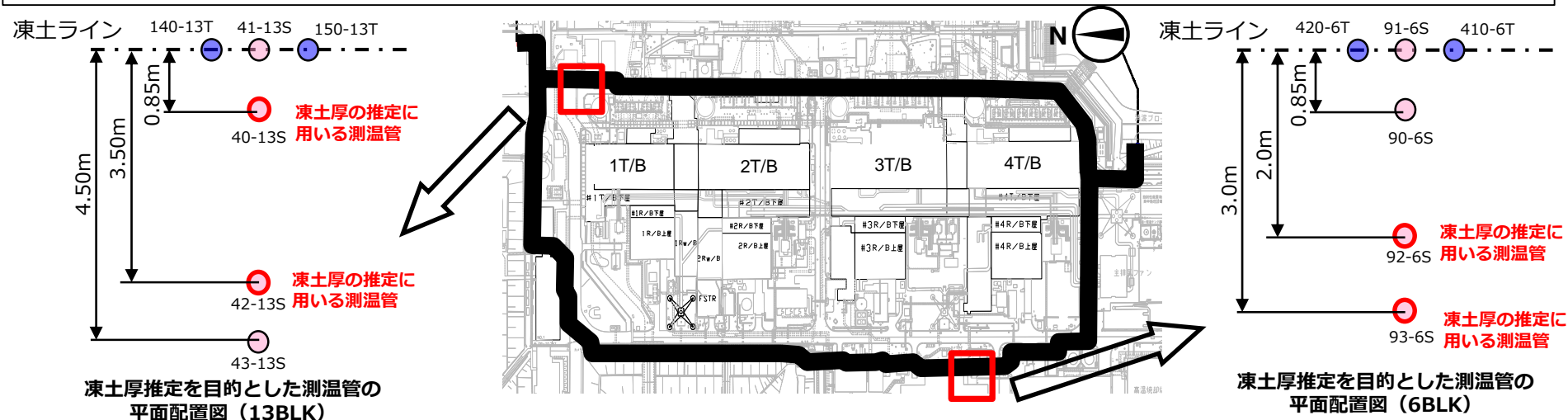


【管理ランク毎の保全内容】 ※管理ランクについては、測定結果より有意な変化や兆候が確認された場合は適宜見直しを行う。

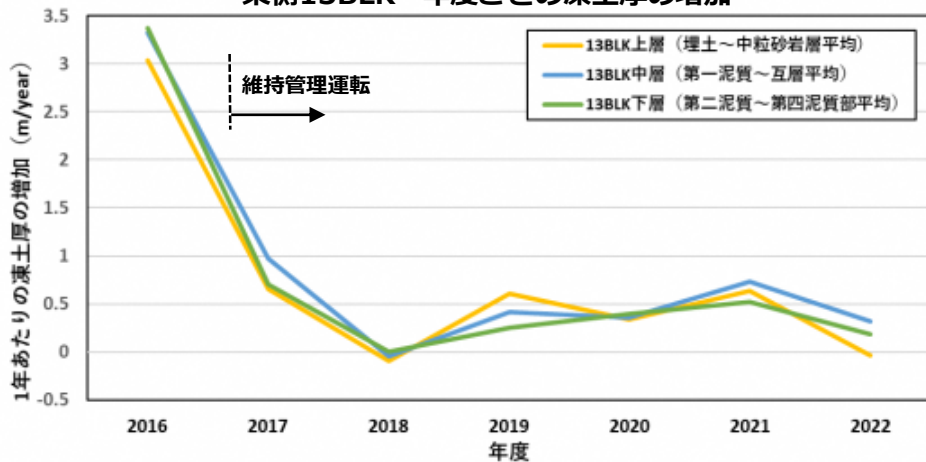
管理ランク	保全内容（状態監視）	箇所数(458箇所中)
A	・遊間計測（必要に応じて配管バル調整）（年2回） ・配管バル計測（年2回） ・遠隔センサーによる連続監視	42 (9%)
B	・遊間計測（必要に応じて配管バル調整）（年1回） ・配管バル計測（年1回）	25 (5%)
C	・ブロックごとに代表箇所を定め、遊間の計測および配管バル計測（年1回）を行う。 （箇所の選定等、詳細検討中）	391 (86%)

2-5. 地盤変状の抑制について

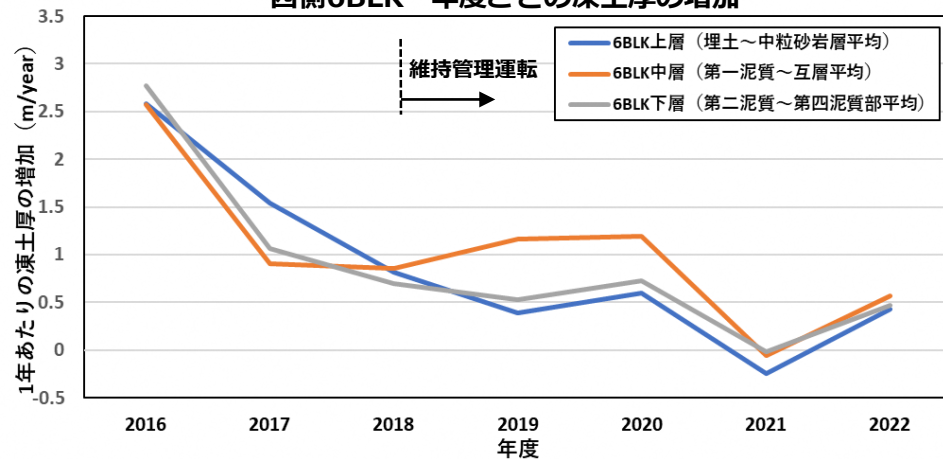
- 陸側遮水壁設備東側および西側の代表箇所において、凍土厚の推定を目的とした測温管を設置している。
- 代表箇所における測温管2点の地中温度データをもとに凍土厚を推定。
- 運用開始当初は凍土厚が増加しているが、近年では維持管理運転を実施しており、凍土厚の増加は抑制されている。今後も維持管理運転を継続して実施することで地盤変状の抑制を図るものとする。



東側13BLK 年度ごとの凍土厚の増加



西側6BLK 年度ごとの凍土厚の増加



2-6. ブライン供給配管の予防保全取組スケジュールについて

- 各ランク毎の予防保全（遊間計測および配管レベル計測）について夏頃より実施予定（ランクAを優先）
- 連続監視用のセンサーについてモックアップ（工場・現地）を実施する。

		2023		2024	
<ul style="list-style-type: none"> 各ランク毎の予防保全（遊間および配管レベル計測） 		計測箇所の検討 ■■■■■		計測箇所の見直し ■■■■■	
		遊間・配管レベル計測 ■■■■■		遊間・配管レベル計測 ■■■■■	
<ul style="list-style-type: none"> 遠隔センサー 	モックアップ（取付箇所3箇所）	センサーモックアップ（試験的に3箇所設置） ■■■■■			
	本設	モックアップ結果を踏まえた本設の詳細検討 ■■■■■ ■■■■ ■■■■			
<ul style="list-style-type: none"> BLK単位での配管レベル修正 設備改造 		(2023年度以降の計測値を踏まえ検討予定)			

※スケジュールについては適宜見直しを行う。

参考 1. 遊間および配管レベルの計測回数について

[管理ランク毎の計測回数について]

- 今回の調査結果より遊間に大きく影響を与えたのは凍結初期が最も大きく、現在は維持管理運転により、凍土厚の増加は抑制されている為、今後遊間が大きく変化することはないと想定している。
- また、漏えい箇所であるカップリングジョイント（送り側6BLKH1-2）については、2022年10月より2023年2月の間、重点的に月1回の計測を実施しており、そちらの計測結果からも、短期間での大きな変化は確認されなかった。
- 以上の理由を踏まえ、ランク毎の計測回数を暫定的に設定したが、今後も季節変動による地盤変状に伴い、遊間が多少変化することが想定される為、保全内容および計測回数については、計測結果より、適宜見直しを実施する。

[参考：漏えい箇所（送り側&6BLKH1-2）月1計測結果]（計測した天地内外4点のうち最大値を記載）

2022年10月10日※	10月25日	11月21日	12月23日	2023年2月1日	2月13日
9.8mm	9.1mm	9.7mm	9.1mm	9.9mm	9.8mm

※配管調整実施 直後の値

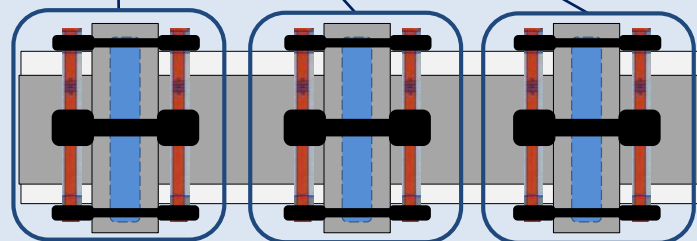
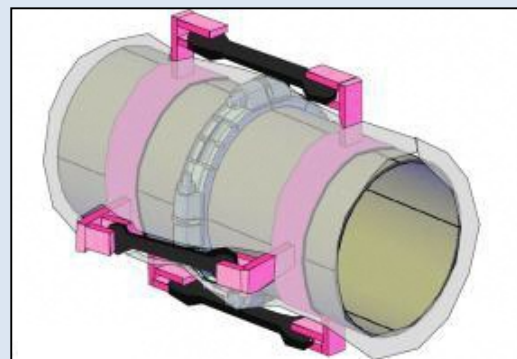
参考2. 遠隔センサーについて

- 管理ランクAの箇所へ遠隔センサーを取付し、リアルタイムに遊間を遠隔監視することで、漏えいリスクの早期検知や、遊間が変化する温度等の諸条件の知見拡充を行う。

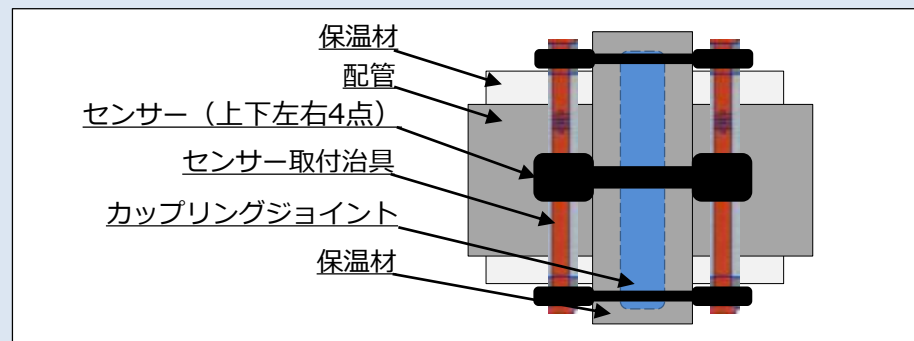
[センサー取付イメージ]



事務所PCにて遊間を
リアルタイムに監視する。



ブライン供給配管 (本管)

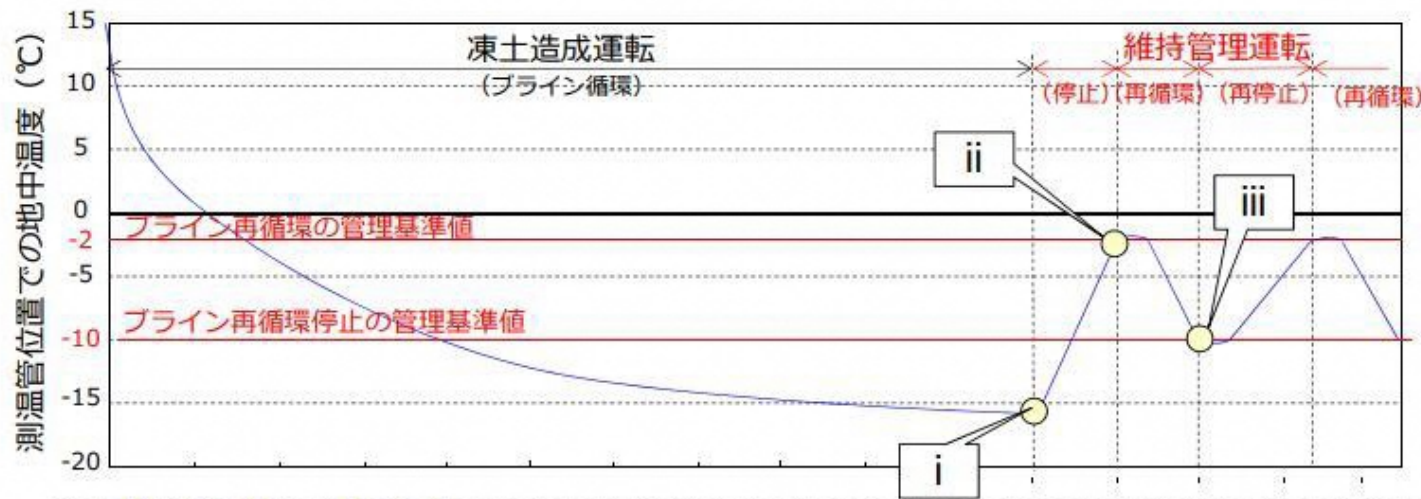


参考-I. 維持管理運転の概要

- 凍土壁完成後における、過剰凍土の生成による周辺影響防止などの観点から、凍土厚の過度な増大を抑制するために、ブライン供給を停止する「維持管理運転」を実施することとした。
- 以下のように、ブライン供給停止・再供給を繰り返す運用を実施している。

■ 維持管理運転時の地中温度イメージ

- ・維持管理運転に移行後（i），ブライン再循環の管理基準値（ii）とブライン再循環停止の管理基準値（iii）を設定し，地中温度をこの範囲で管理する。



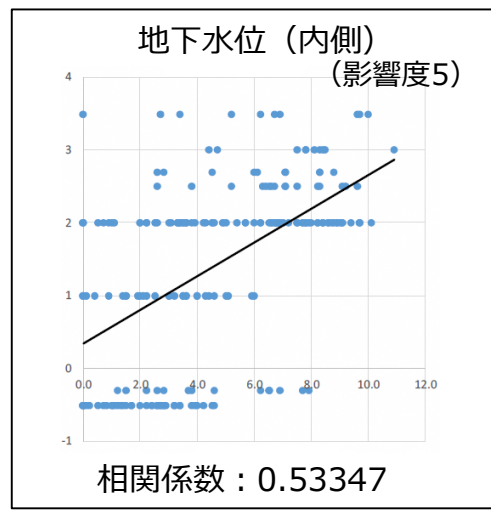
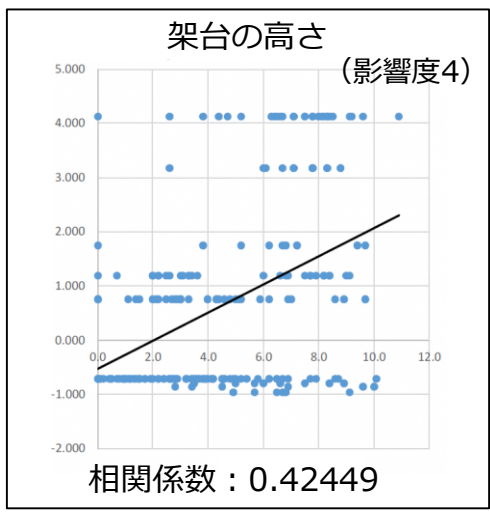
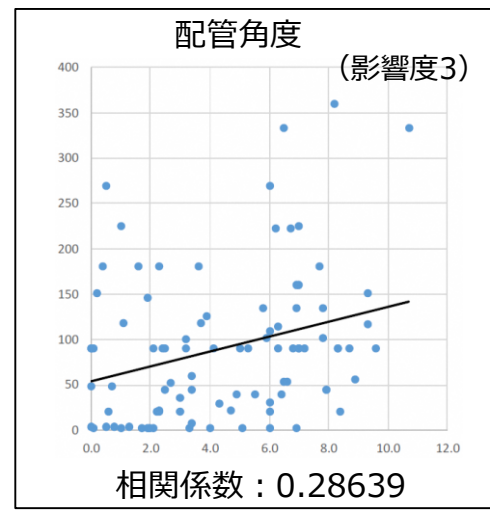
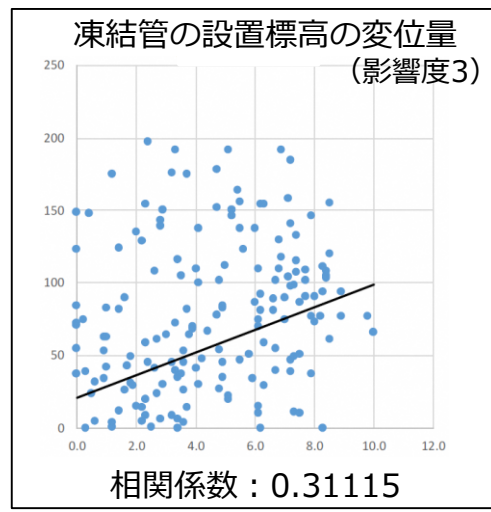
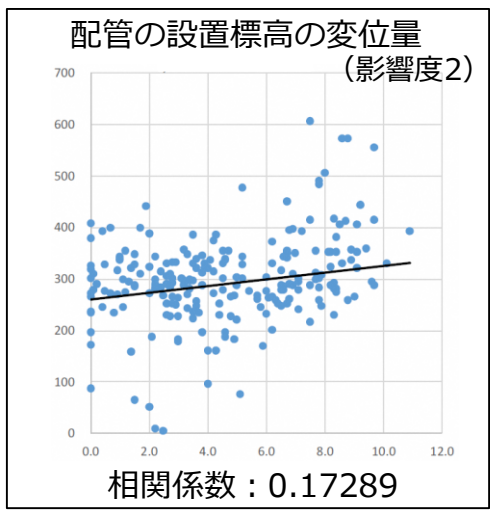
<維持管理運転の制御ポイント>

- i : 維持管理運転へ移行
- ii : ブライン再循環 ……測温点のうちいずれか1点で地中温度-2℃以上※
- iii : ブライン循環再停止 ……全測温点-5℃以下※，かつ全測温点平均で地中温度-10℃※以下

参考4.遊間計測結果へ影響を与える要素について

■ 遊間計測結果へ影響を与える要素について、遊間実測値との相関を確認した。

[各要素ごとの相関図※（一部抜粋）] ※横軸：遊間実測値，縦軸：各要素



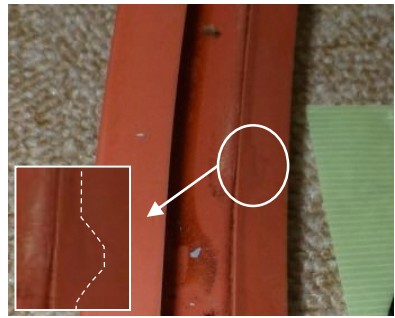
※前後高低差については遊間実測値と現場状況から設定

参考5. ブライン微量滴下の推定原因と今後の対応について

■ 2022年11月にブライン供給配管から発生した微量滴下について、発生原因の調査および今後の対応について報告する。

[ゴムリング調査結果]

- ▶ 社外検査機関での検査の結果、シール部であるゴムリングに目立った損傷や経年劣化は確認されなかった。
- ▶ ゴムリングの外観目視検査を確認した結果、ブラインの痕と思われる変色が確認された。
- ▶ ゴムリング取外し時の配管内に堆積物(酸化鉄やブラインに含まれる塩化カルシウムの酸化物等)が確認された。



ブライン痕と思われる変色



堆積物

[推定原因まとめ及び今後の対応について]

- 調査結果より、ゴムリング変色部に不純物が挟まっていたことにより、滴下の発生しやすい状態であったと推定される。
- なお、微量滴下については、遊間を管理することにより、滴下から大規模な漏えいに発展することはないと推定している。
- 微量滴下発生時は現場養生を行い、ブラインタンクレベルの監視を継続し、必要に応じてブラインタンクへブラインの補充、および系統を計画的に停止してのカップリングジョイント等の交換を検討する。

[参考：滴下量について]

▶ 現在社内で定めている水位低下の原因調査開始基準は以下の通り

- ① 6cm/日以上での水位低下
- ② 7日前の水位と4cm以上の水位低下（2日間継続）

上記のうち、②の水位低下に相当する漏えい量は、1時間あたり、約10L程度であり、おおよそ鉛筆の芯程度が連続漏えいしている状況であるため、数分秒おきの微量滴下の場合、運用上の水位低下量に満たないと推定される。

