

伊方発電所第1号機
原子炉補機冷却水冷却器海水出口配管の損傷について

平成24年1月
四国電力株式会社

目 次

〔第1編〕原子炉補機冷却水冷却器1D海水出口配管の損傷

1-1. 件 名	1-1
1-2. 事象発生の日時	1-1
1-3. 事象発生の原子炉施設	1-1
1-4. 事象発生時の運転状況	1-1
1-5. 事象発生の状況	1-1
1-6. 時 系 列	1-2
1-7. 詳細調査	1-2

〔第2編〕原子炉補機冷却水冷却器1B海水出口配管の損傷

2-1. 件 名	2-1
2-2. 事象発生の日時	2-1
2-3. 事象発生の原子炉施設	2-1
2-4. 事象発生時の運転状況	2-1
2-5. 事象発生の状況	2-1
2-6. 時 系 列	2-2
2-7. 詳細調査	2-2

〔第3編〕今後の保守管理について

3-1. 従来の点検方法における問題点	3-1
3-2. 推定原因	3-1
3-3. 対 策	3-2

〔第1編〕

原子炉補機冷却水冷却器1D海水出口配管の損傷について

1-1. 件名

伊方発電所第1号機

原子炉補機冷却水冷却器1D海水出口配管の損傷について

1-2. 事象発生の日時

平成23年9月22日 10時00分

1-3. 事象発生の原子炉施設

原子炉補機冷却水冷却器1D冷却用海水出口配管

〔 ・外 径：508.0mm
・呼び厚さ：12.7mm
・材 質：炭素鋼（ゴムライニング〔膜厚3mm〕） 〕

1-4. 事象発生時の運転状況

第28回定期検査中

1-5. 事象発生の状況

伊方発電所第1号機（定格電気出力566MW）は、第28回定期検査中のところ、9月22日10時00分、原子炉補助建家地下1階（管理区域内）において、保修員が点検中の原子炉補機冷却水冷却器^{※1}1Dの冷却用海水出口配管に損傷があることを確認した。なお、本事象によるプラント運転への影響および環境への放射能の影響はなかった。

（添付資料1-1、1-2）

※1：原子炉補機冷却水冷却器

1次系のポンプ、空調機器等を冷却するための冷却水を海水で冷やすための冷却器で4基設置している。

1-6. 時系列

9月21日

15時50分 当該部のフランジ分解点検開始

16時00分 ライニング目視点検

9月22日

9時00分 ライニング部の点検開始
(詳細点検のためにライニングを除去)

10時00分 保修員が配管に損傷を確認

9月29日

15時00分 配管取付け終了(新配管)

10月 1日

15時00分 漏えい確認、復旧完了

1-7. 詳細調査

配管損傷の原因について、以下の調査を実施し、要因の検討を実施した。

(1) 外観観察

a. 配管外面

当該配管はシーム(長手方向溶接)管とフランジで構成されていて、円周方向に沿って隅肉溶接されている。

外表面には特に異常は認められない。

(添付資料1-3)

b. 配管内面

配管内面の減肉状況や腐食の特徴について観察した。

フランジ外表面の隅肉溶接と配管の溶接線とが交差する位置において腐食による孔が認められた。腐食により配管は貫通し、そこからフランジの内表面が見られた。腐食した孔の色合いは赤茶色である。孔は配管内側が大きく外側にいくほど狭くなっている。

(添付資料1-4)

(添付資料1-5)

c. 断面観察

腐食孔部の断面を観察するため切断し、腐食孔の長軸に沿って断面を観察した。その結果、腐食孔は配管内面側に口を開いたすり鉢状であった。腐食孔はシーム（長手方向溶接）管を貫通し、隅肉溶接およびフランジにおよんでいた。

なお、腐食孔からやや離れた断面も目視観察したが、フランジ（母材）は異常ない。

（添付資料 1 - 6）

d. 金属組織状況、硬さ測定および金属成分分析

腐食孔近傍および健全部の金属組織を観察した結果、偏析、不純物などの異常は認められず、標準的な母材、溶接金属組織であった。

硬さも特に異常な硬化や軟化は認められない。また、配管およびフランジの化学成分は規格を満足していた。

（添付資料 1 - 7）

（2）運転履歴調査

a. 運転流速

運転流速を調査した結果、当該配管の流速は 1.8 ~ 1.9 m/s で、設計流速（3.5 m/s）以下であることから、ゴムライニングの健全性に影響を及ぼすものではないことを確認した。

b. 水質

海水系統に注入している以下の薬品の影響について調査した結果、ゴムライニングの劣化に影響を及ぼすものではないことを確認した。

i) 次亜塩素酸ソーダ

当該ライニングは濃度 16%（160,000 ppm）の次亜塩素酸ソーダに対する耐性を有しており、注入濃度（約 0.3 ppm（塩素））は十分低く問題ない。

ii) 硫酸第一鉄

当該ライニングは濃度 70%（700,000 ppm）の硫酸に対する耐性を有しており、注入濃度（初期皮膜形成時に約 0.05 ppm、通常時は約 0.01 ppm）は十分低く問題ない。

(3) 保守履歴調査

a. 当該ゴムライニング管の保守管理内容

当該ゴムライニング管についての保守管理内容は以下のとおりである。

定期的な内面目視点検により、ライニングの健全性確認を行っており、点検頻度は、1回／2定検で実施している。

前回定検（1-27定検）の海水管トラブルを反映して、1回／2定検とした。それ以前は、1回／12定検であった。

b. 当該配管の取替え、補修実績

保守履歴について調査を行った結果、当該配管はこれまで取替えおよび補修を行っていないことを確認した。

c. 当該配管の点検実績

過去の点検実績を確認した結果、直近での点検実績は以下のとおりであり、異常は確認されなかった。

i) 第11回定期検査（平成2年）

配管内面の目視点検を実施（フランジ開放、ベンチュリー取外し実施）

ii) 第14回定期検査（平成6年）

配管内面の目視点検を実施（フランジ開放、ベンチュリー取外し実施）

iii) 第21回定期検査（平成15年）

配管内面の目視点検を実施（フランジ開放、ベンチュリー取外し実施）

iv) 第27回定期検査（平成22年）

配管内面の目視点検を実施（フランジ開放、ベンチュリー取外し実施）

d. 当該配管のこれまでの点検方法

本事象発生前の当該配管の点検においては、ベンチュリー管が配管内に有る無しに係らず、他の配管と同様の開放・復旧作業を実施していた。

また、ベンチュリー管がある場合の開放・復旧は、作業要領書に記載されていなかった。

【添付資料】

- 1-1. 原子炉補機冷却水冷却器1D海水出口配管概略系統図
- 1-2. 原子炉補機冷却水冷却器海水出口配管損傷説明図
- 1-3. 配管外面観察結果
- 1-4. 配管内面観察結果（ライニング部分）
- 1-5. 配管内面観察結果（炭素鋼部分）
- 1-6. 配管断面観察結果
- 1-7. 金属組織、硬さ測定および化学分析

〔第2編〕

原子炉補機冷却水冷却器1B海水出口配管の損傷について

2-1. 件名

伊方発電所第1号機

原子炉補機冷却水冷却器1B海水出口配管の損傷について

2-2. 事象発生の日時

平成23年10月14日 14時10分

2-3. 事象発生の原子炉施設

原子炉補機冷却水冷却器1B冷却用海水出口配管

〔 ・外 径：508.0mm
・呼び厚さ：12.7mm
・材 質：炭素鋼（ゴムライニング〔膜厚3mm〕） 〕

2-4. 事象発生時の運転状況

第28回定期検査中

2-5. 事象発生の状況

本事象は、平成23年9月22日10時00分に発生した原子炉補機冷却水冷却器1D冷却用海水出口配管損傷事象の水平展開として調査した結果、確認された。

伊方発電所第1号機（定格電気出力566MW）は、第28回定期検査中のところ、10月14日14時10分、原子炉補助建家地下1階（管理区域内）において、保修員が点検中の原子炉補機冷却水冷却器Bの冷却用海水出口配管に損傷があることを確認した。なお、本事象によるプラント運転への影響および環境への放射能の影響はなかった。

（添付資料2-1、1-2）

2-6. 時系列

10月13日

9時30分 当該部のフランジ分解点検開始
10時00分 ライニング目視点検

10月14日

9時30分 ピンホール検査
11時30分 ライニング点検
14時10分 保修員が配管に損傷を確認

10月26日

16時00分 配管取付け終了（新配管）

10月 31日

11時30分 漏えい確認、復旧完了

2-7. 詳細調査

配管損傷の原因について、以下の調査を実施し、要因の検討を実施した。

(1) 外観観察

a. 配管外面

当該配管はシーム（長手方向溶接）管とフランジで構成されていて、円周方向に沿って隅肉溶接されている。

外表面には特に異常は認められない。

（添付資料2-2）

b. 配管内面

配管内面の減肉状況や腐食の特徴について観察した。

フランジ外表面の隅肉溶接と配管の溶接線とが交差する位置において腐食による孔が認められた。腐食により配管は貫通し、そこからフランジの内表面が見られた。腐食した孔の色合いは赤茶色である。孔は配管内側が大きく外側にいくほど狭くなっている。

（添付資料2-3）

（添付資料2-4）

c. 断面観察

腐食孔部の断面を観察するため切断し、腐食孔の長軸に沿って断面を観察した。その結果、腐食孔は配管内面側に口を開いたすり鉢状であった。腐食孔はシーム（長手方向溶接）管を貫通し、隅肉溶接およびフランジにおよんでいた。

なお、腐食孔からやや離れた断面も目視観察したが、フランジ（母材）は異常ない。

（添付資料 2 - 5）

d. 金属組織状況、硬さ測定および金属成分分析

腐食孔近傍および健全部の金属組織を観察した結果、偏析、不純物などの異常は認められず、標準的な母材、溶接金属組織であった。

硬さも特に異常な硬化や軟化は認められない。また、配管およびフランジの化学成分は規格を満足していた。

（添付資料 2 - 6）

(2) 運転履歴調査

第一編「原子炉補機冷却水冷却器 1 D 海水出口配管の損傷について」を参照のこと。

(3) 保守履歴調査

a. 当該ゴムライニング管の保守管理内容

第一編「原子炉補機冷却水冷却器 1 D 海水出口配管の損傷について」を参照のこと。

b. 当該配管の取替え、補修実績

第一編「原子炉補機冷却水冷却器 1 D 海水出口配管の損傷について」を参照のこと。

c. 当該配管の点検実績

過去の点検実績を確認した結果、直近での点検実績は以下のとおりであり、異常は確認されなかった。

i) 第 1 3 回定期検査（平成 5 年）

配管内面の目視点検を実施（フランジ開放、ベンチュリー取外し実施）

ii) 第 2 1 回定期検査（平成 1 5 年）

配管内面の目視点検を実施（フランジ開放、ベンチュリー取外し実施）

iii) 第 2 6 回定期検査（平成 2 1 年）

配管内面の目視点検を実施（フランジ開放、ベンチュリー取外し実施）

iv) 第 2 7 回定期検査（平成 2 2 年）

配管内面のロボットによる点検を実施（フランジ開放なし）

d. 当該配管のこれまでの点検方法

第一編「原子炉補機冷却水冷却器 1 D 海水出口配管の損傷について」を参照のこと。

【添 付 資 料】

- 2-1. 原子炉補機冷却水冷却器 1 B 海水出口配管概略系統図
- 2-2. 配管外面観察結果
- 2-3. 配管内面観察結果（ライニング部分）
- 2-4. 配管内面観察結果（炭素鋼部分）
- 2-5. 配管断面観察結果
- 2-6. 金属組織、硬さ測定および化学分析

〔第3編〕

今後の保守管理について

3-1. 従来の点検方法における問題点

当該配管は重量物であるため、チェンブロックによって空中に吊られた状態で引き離される。その際に配管①とエルボ③および配管②と配管④を結合した状態で、ベンチュリー管の取出し（または挿入）作業を実施していた。

この場合、配管①とエルボ③の結合品は異形であるためバランスが取りづらく、また傾き易い状況となっていたため、作業中にベンチュリー管の端部でライニングを傷つける可能性があった。

（添付資料3-1）

3-2. 推定原因

以上の調査結果から、当該配管（2箇所）の損傷に至った原因は、過去の定期検査の当該配管点検時におけるベンチュリー管引抜き（または挿入）作業時に、ベンチュリー管の端部がライニング部に接触し、ライニングに傷をつけたものと推定される。その後、き裂部から侵入した海水により炭素鋼管の内面から外面に向かって腐食が進行したものと推定される。なお、ライニングの損傷時期は断定できないものの、双方の腐食状況がほぼ同じ状況であることより、同時期に点検を行った第21回定期点検時にライニングを傷つけたものと思われる。

なお、原子炉補機冷却水冷却器1D冷却用海水出口配管については、至近の第27回定期点検時には異常は確認されておらず、傷は目視で確認できない程度の微少なものであったと推定される。

また、原子炉補機冷却水冷却器1B冷却用海水出口配管については、第26回定期点検時では微少傷であったため目視点検では発見できず、第27回定期点検時にはロボットによる点検を実施したが、今回の腐食箇所の状況はベンチュリー管に隠れ、確認されなかったものと推定される。

3-3. 対 策

(1) 損傷の認められた

- ・原子炉補機冷却水冷却器 1 D 冷却用海水出口配管
- ・原子炉補機冷却水冷却器 1 B 冷却用海水出口配管

を新品の配管に取り替えた。

上記の配管と同様にベンチュリー管の入った配管である 1 号機原子炉補機冷却水冷却器 1 A 冷却用海水出口配管については、ライニングの点検の結果、軽微な損傷が認められたため、念のため、ライニングの張替えを実施した。

1 号機原子炉補機冷却水冷却器 1 C 冷却用海水出口配管についてもライニングの点検を行ない、健全性を確認した。

(2) 今後、当該配管の点検時においてライニングに損傷を与えることがないように、作業方法を検討し、1・2号機用の作業要領書を修正した。

- ・ベンチュリー管の取外し・取付け作業においては、配管①と配管②の水平バランスをとり易くするため、配管①とエルボ③および配管②と配管④を開放した状態で作業を行うよう作業の手順を明確にした。

(従来はベンチュリー管が挿入されている配管①および②に、エルボ③や配管④が取り付けられた状態で取外し・取り付け作業を実施していたため、重量のある状態での操作となり操作性が悪く水平バランスを取り辛かった)

(添付資料 3-1)

(3) 目視では見えない微細な貫通傷も発見できるよう、開放点検時にはピンホールテスターにてベンチュリー管の挿入範囲を電氣的に確認することとした。

(添付資料 3-2)

(4) 2号機については、第23回定期検査において、ベンチュリー管の入った配管(4箇所)の開放点検を実施し、配管内部の状況を確認する。

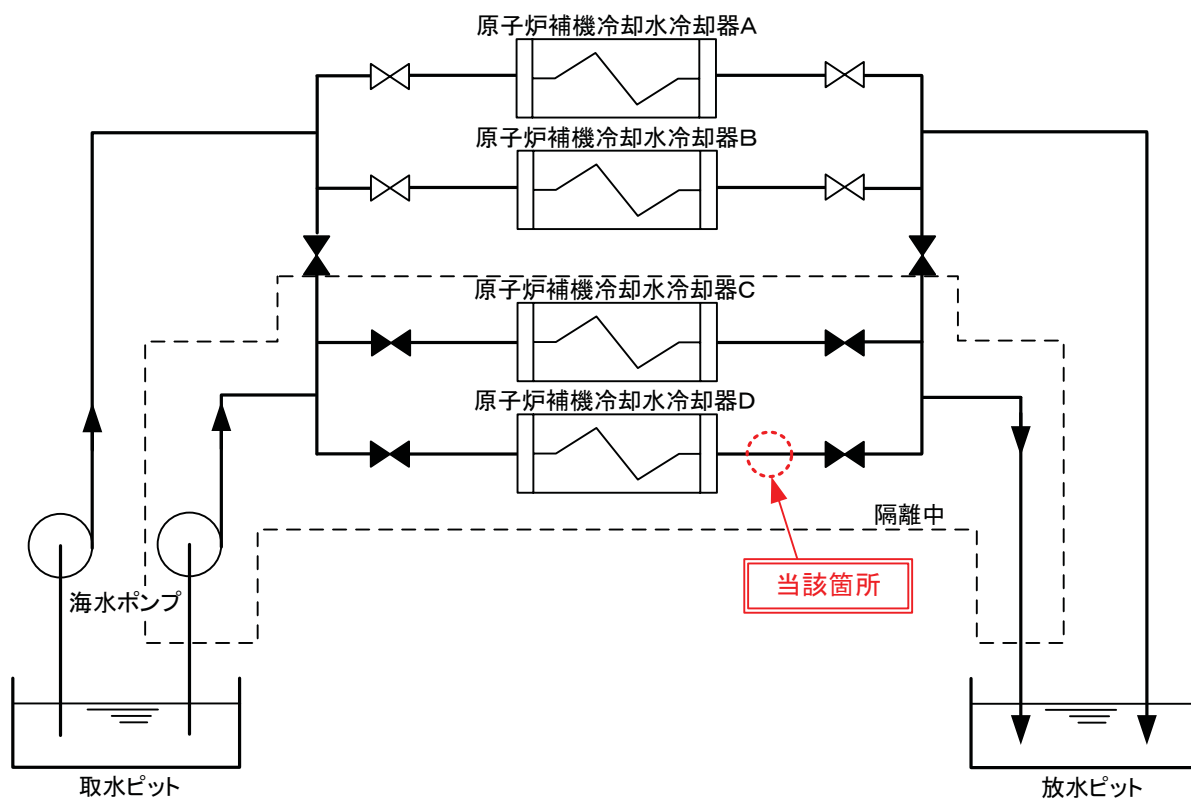
3号機については、ベンチュリー管を使用していない。

【添 付 資 料】

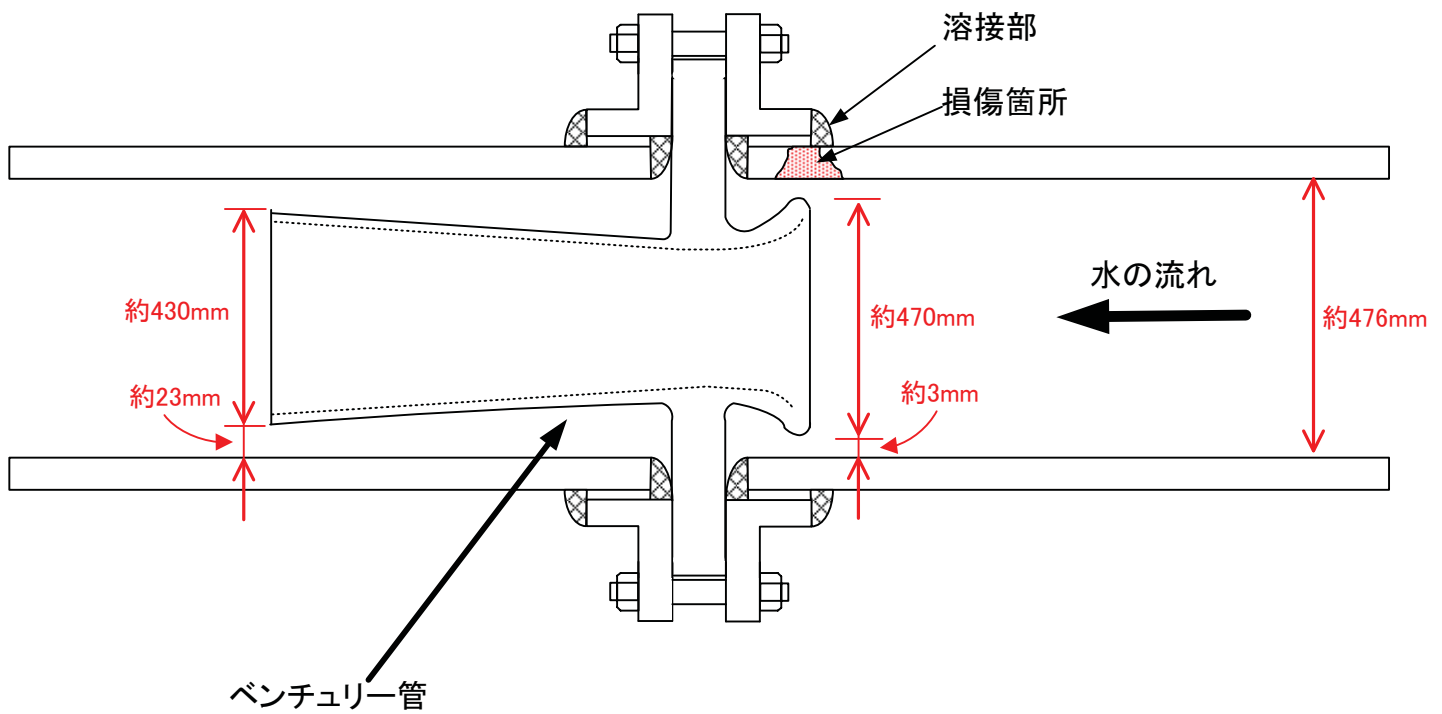
3-1. 当該配管の点検方法

3-2. ベンチュリー管挿入範囲

原子炉補機冷却水冷却器1D海水出口配管概略系統図



原子炉補機冷却水冷却器海水出口配管損傷説明図



配管外面観察結果



配管内面観察結果(ライニング部分)

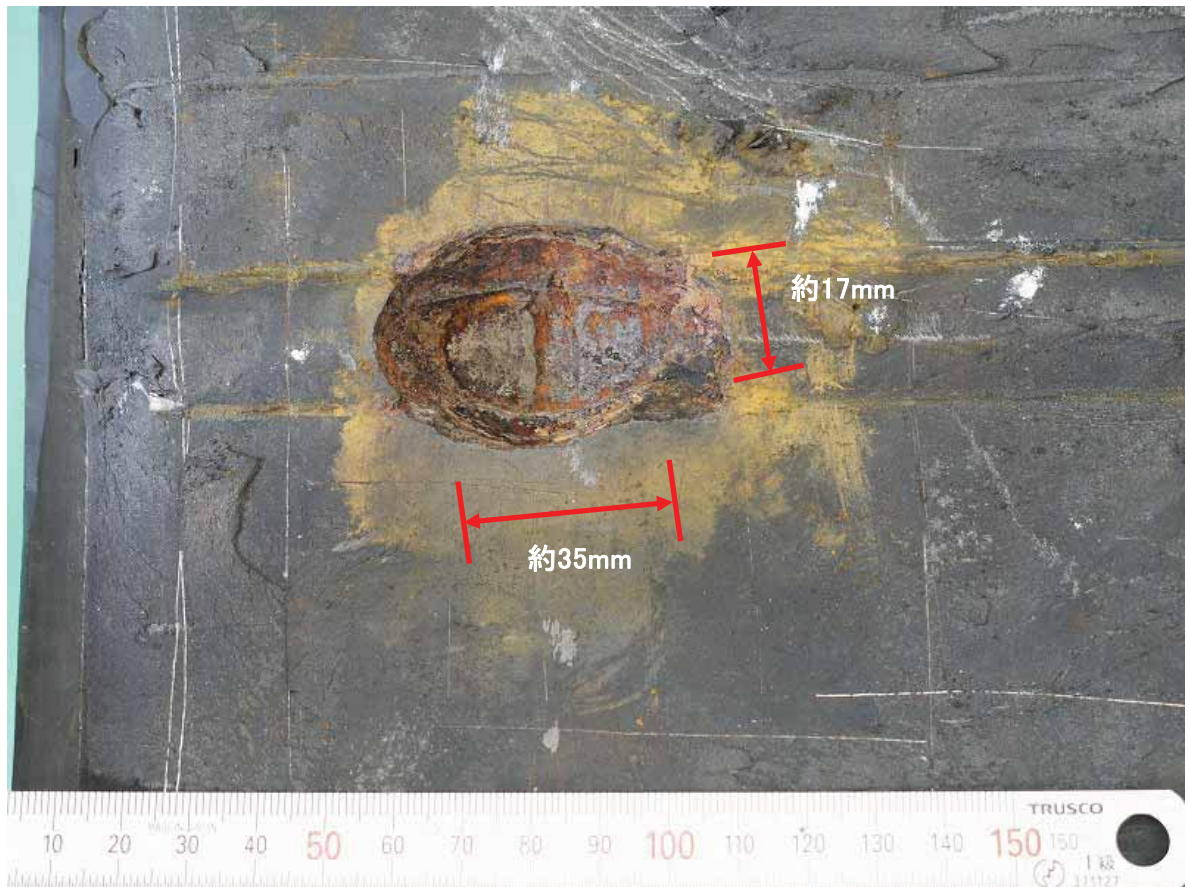


配管内面

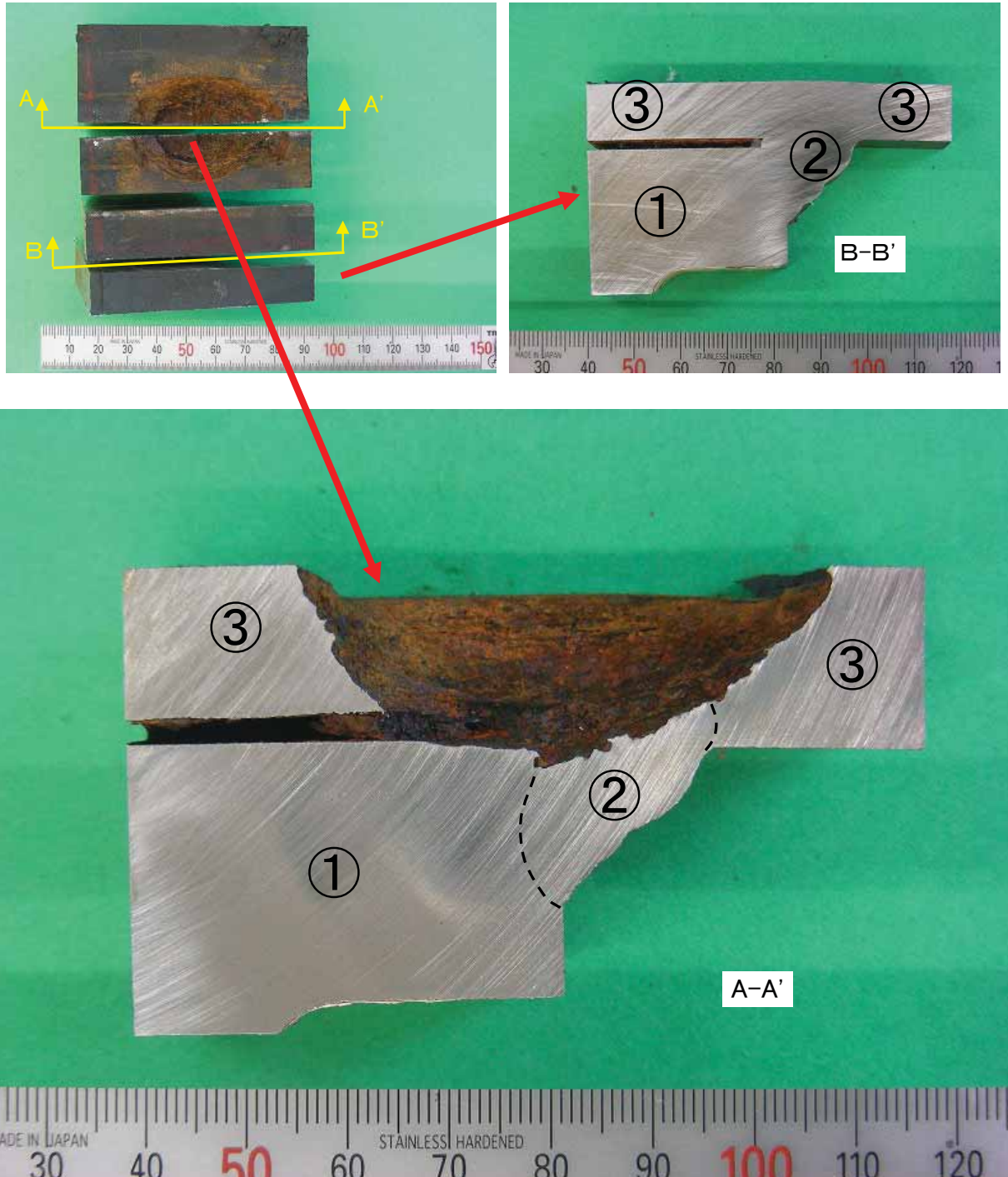


当該箇所拡大

配管内面觀察結果(炭素鋼部分)



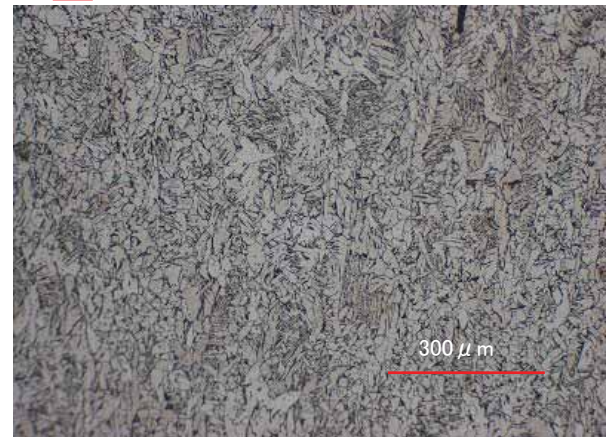
配管断面観察結果



- ①フランジ部
- ②溶接部
- ③配管部

金属組織、硬さ測定および化学分析

1 シーム溶接(溶金)



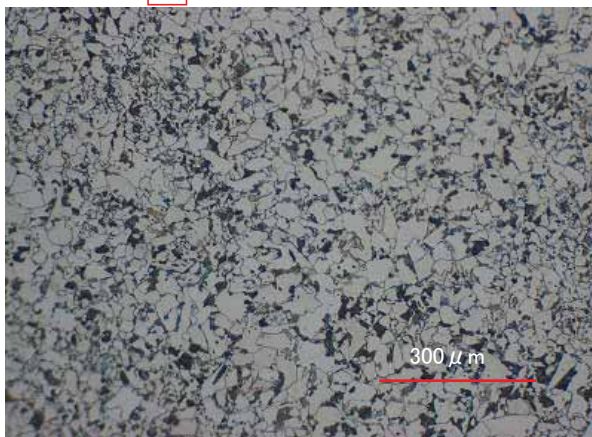
3 フランジ隅肉溶接部(溶金)



2 フランジ隅肉溶接部(溶金)



4 フランジ母材



各部の硬さ測定結果 (Hv:1kg)

1. シーム溶接部	168
2・隅肉溶接部	195
3. フランジ部	128
4. 配管母材	146

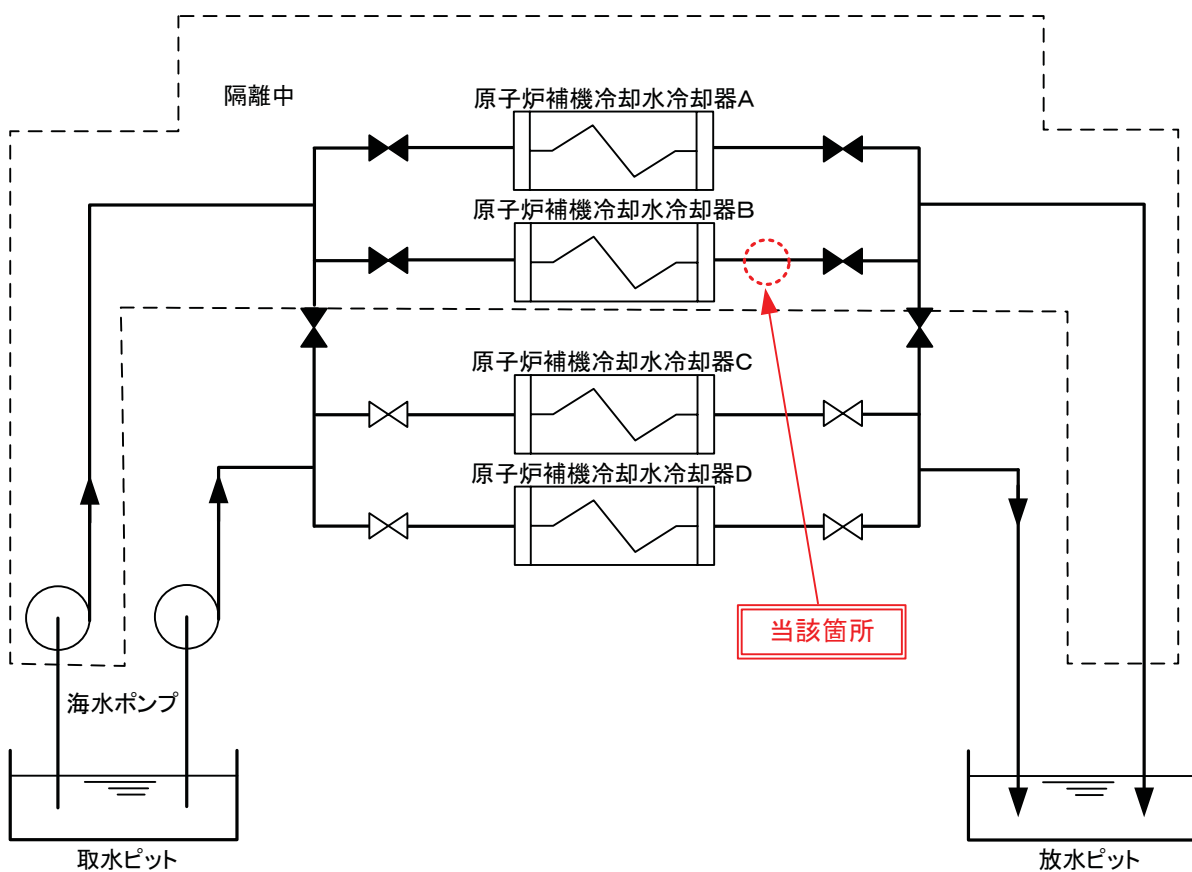
- ・各部とも、異常な硬化や軟化は認められない。
- ・フランジ部の硬さHV128は、HB122相当であり、JIS G 3201の規格HB121以上を満足する。
- ・配管母材の硬さHV146は、引張強さ480MPa相当であり、JIS G 3457の規格400MPa以上を満足する。

各部の化学分析結果

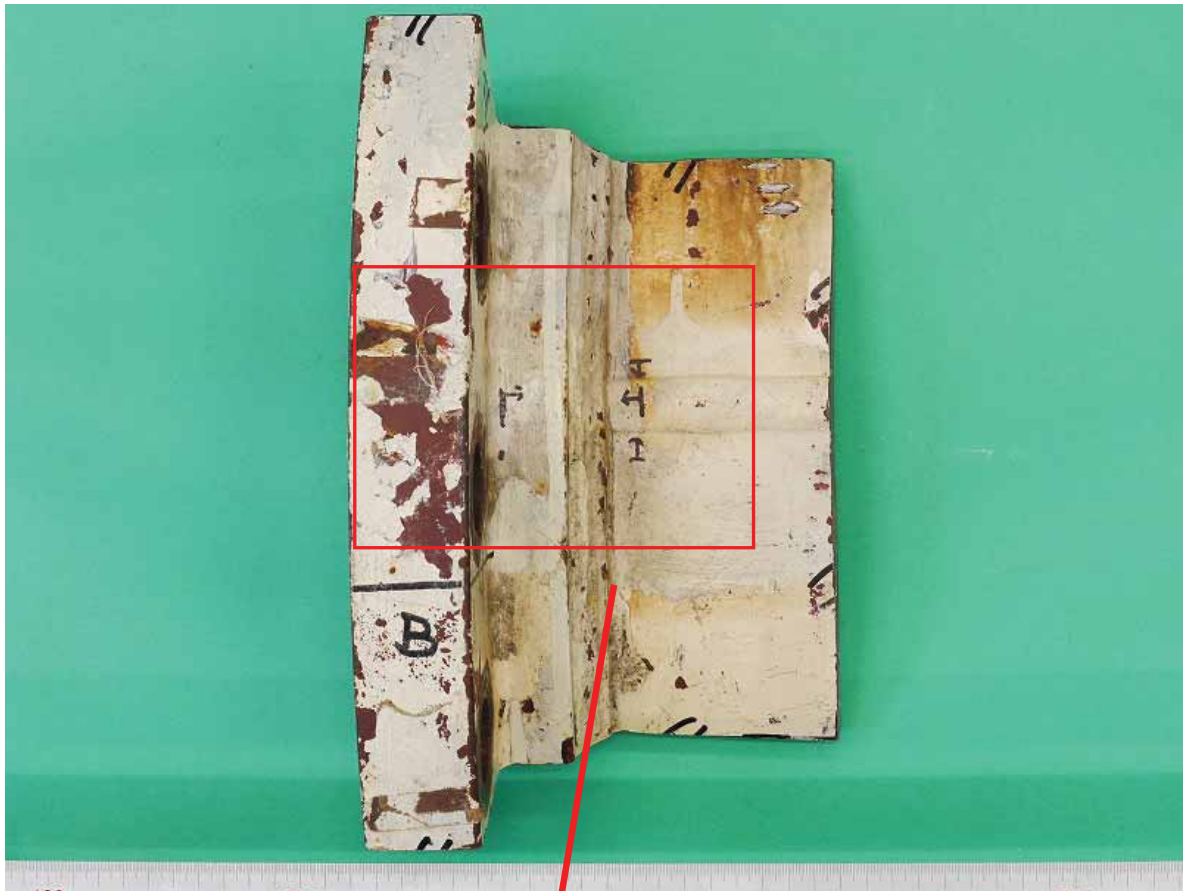
調査対象	化学成分(%)					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
シーム管の溶金部	0.10	0.36	1.25	0.015	0.017	0.02
シーム管の母材	0.13	0.23	0.68	0.017	0.020	0.01
参考:STPY400	0.25以下	-	-	0.04以下	0.04以下	-

調査対象	化学成分(%)					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
フランジの溶金部	0.09	0.47	0.96	0.012	0.005	0.02
フランジの母材	0.26	0.23	0.47	0.019	0.013	0.02
参考:SF440A	0.6以下	0.15~0.50	0.30~1.20	0.030以下	0.035以下	-

原子炉補機冷却水冷却器1B海水出口配管概略系統図



配管外面観察結果



配管内面観察結果(ライニング部分)

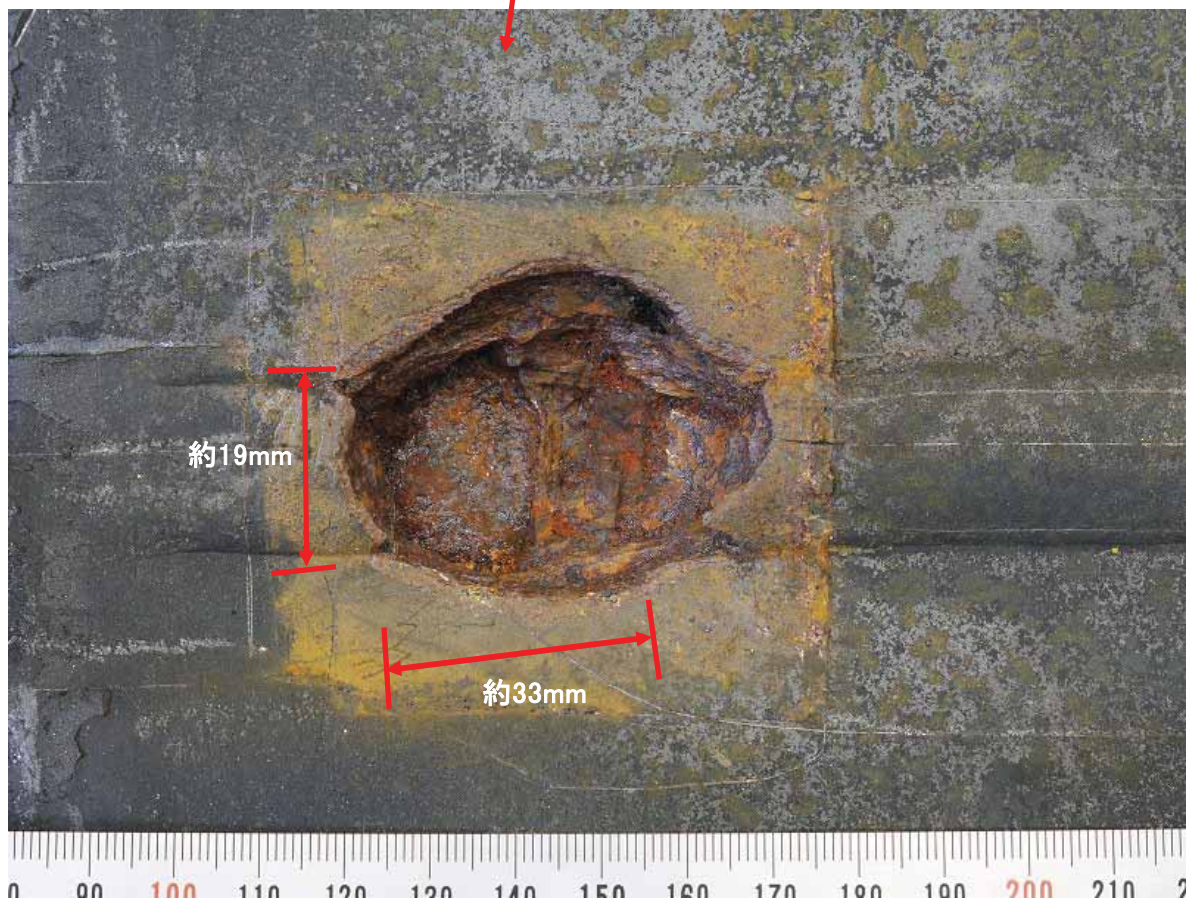


配管内面

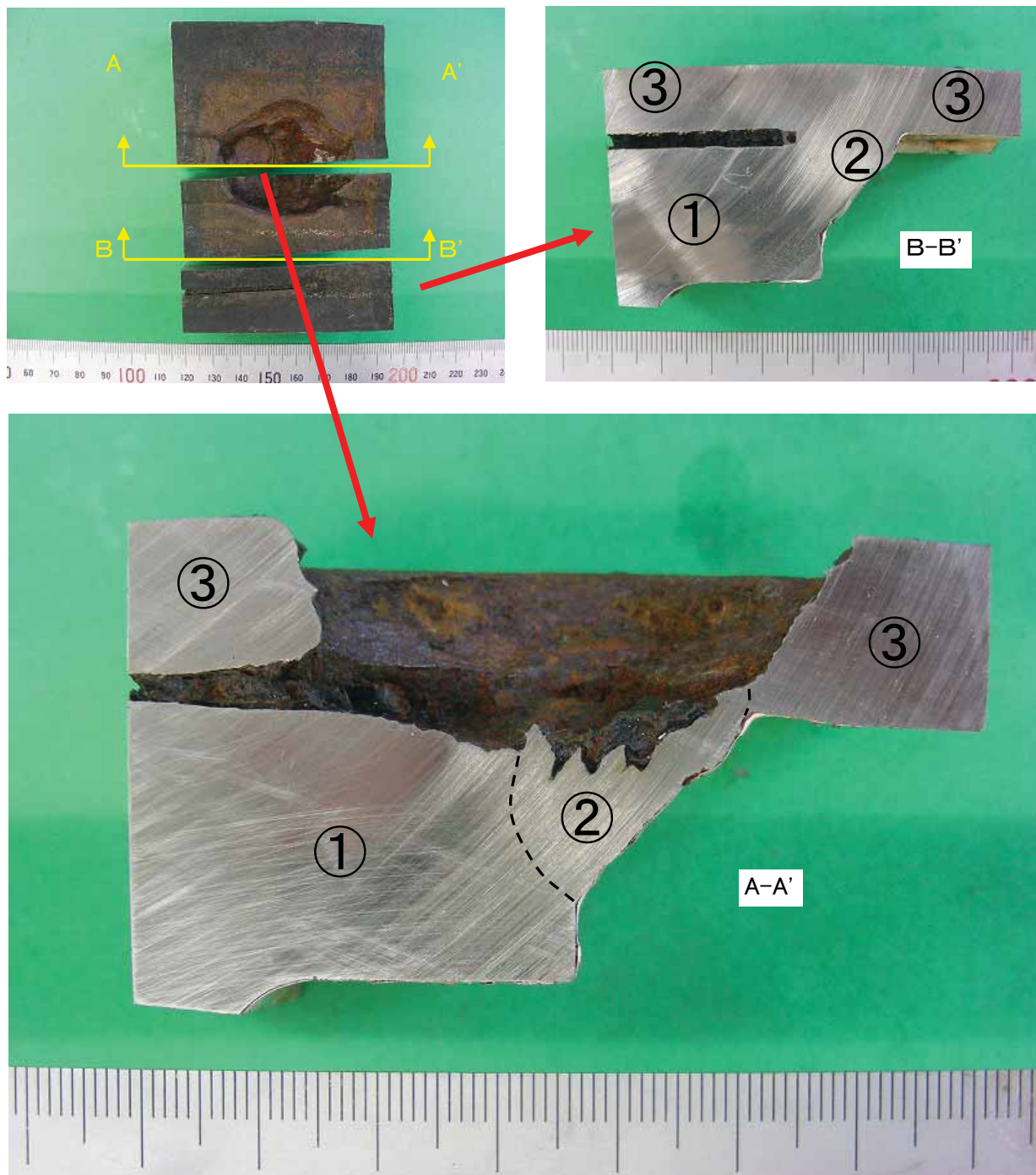


当該箇所拡大

配管内面觀察結果(炭素鋼部分)



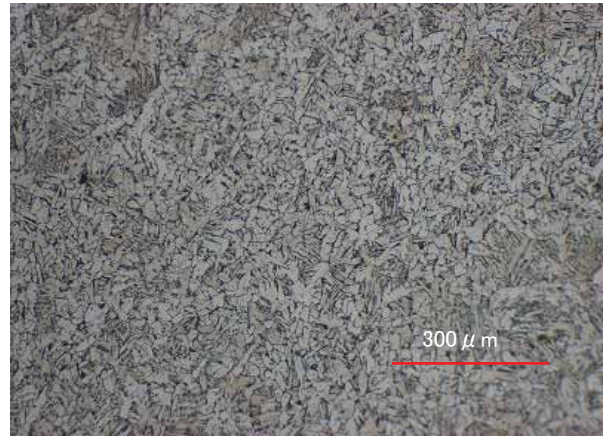
配管断面観察結果



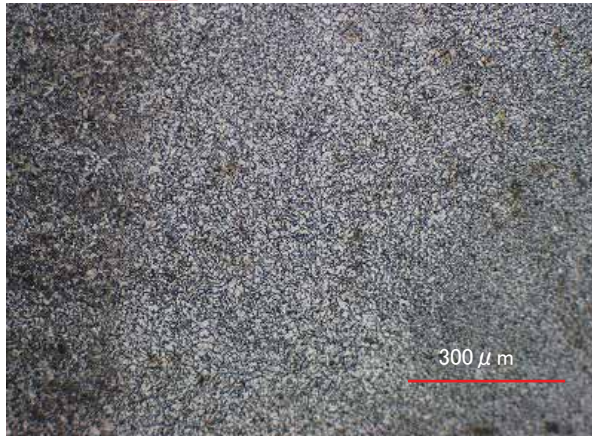
- ①フランジ部
- ②溶金部
- ③配管部

金属組織、硬さ測定および化学分析

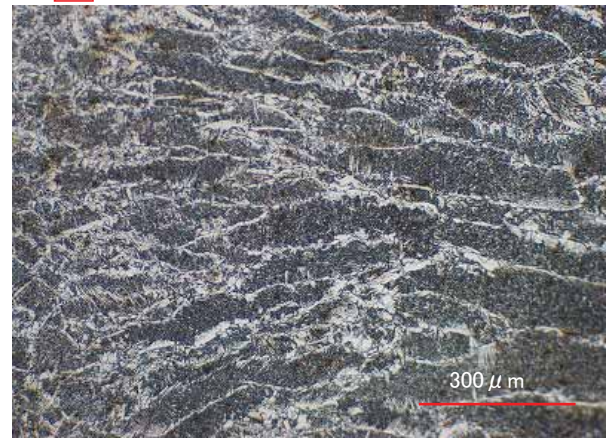
1 シーム溶接(溶金)



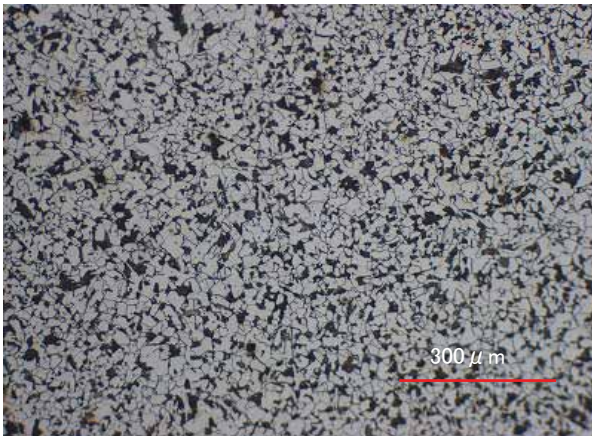
3 フランジ隅肉溶接部(溶金)



2 フランジ隅肉溶接部(溶金)



4 フランジ母材



各部の硬さ測定結果 (Hv:1kg)

1. シーム溶接部	164
2・隅肉溶接部	188
3. フランジ部	128
4. 配管母材	156

・各部とも、異常な硬化や軟化は認められない。
 ・フランジ部の硬さHV128は、HB122相当であり、JIS G 3201の規格HB121以上を満足する。
 ・配管母材の硬さHV156は、引張強さ520MPa相当であり、JIS G 3457の規格400MPa以上を満足する。

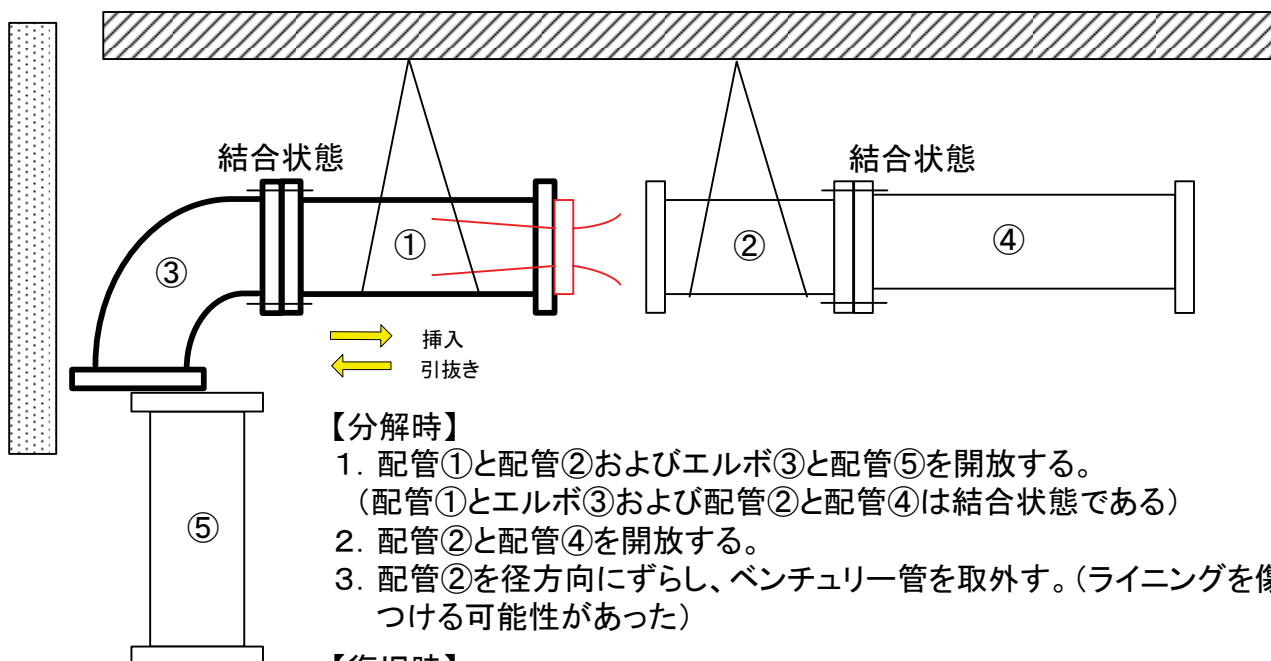
各部の化学分析結果

調査対象	化学成分(%)					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
シーム管の溶金部	0.09	0.35	1.26	0.014	0.016	0.02
シーム管の母材	0.13	0.22	0.68	0.016	0.020	0.02
参考: STPY400	0.25以下	-	-	0.04以下	0.04以下	-

調査対象	化学成分(%)					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
フランジの溶金部	0.10	0.44	0.97	0.012	0.006	0.03
フランジの母材	0.26	0.24	0.46	0.017	0.014	0.02
参考: SF440A	0.6以下	0.15~0.50	0.30~1.20	0.030以下	0.035以下	-

当該配管の点検方法

従来の点検方法



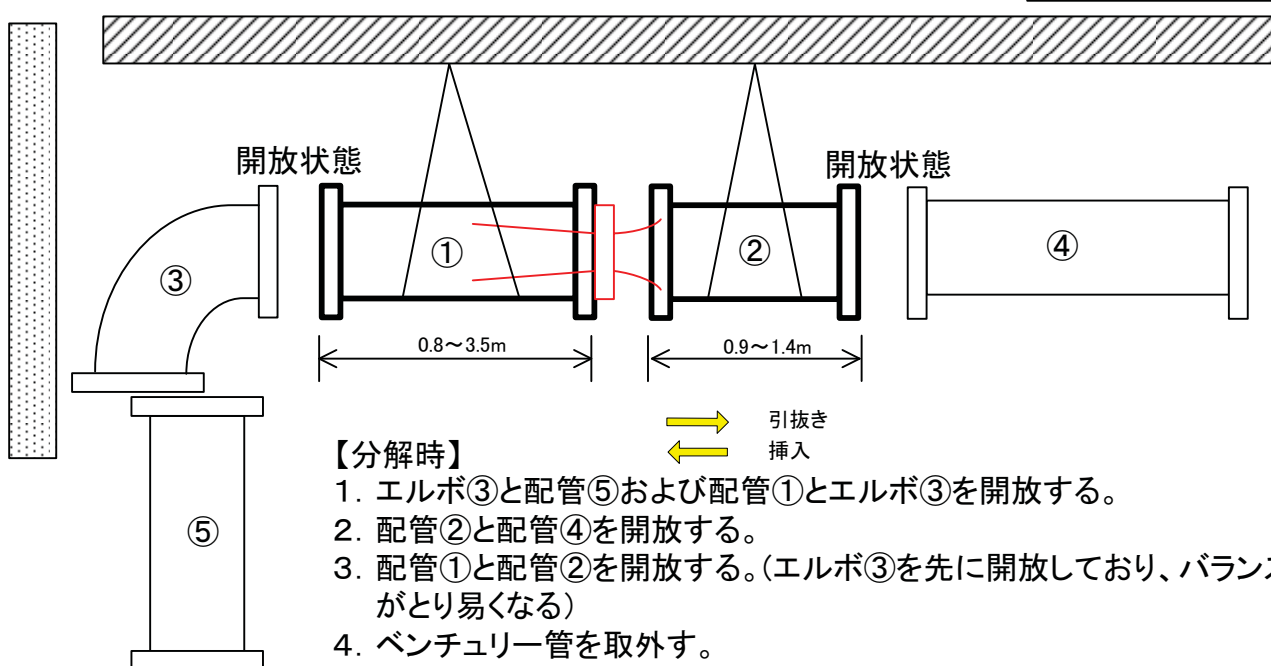
【分解時】

1. 配管①と配管②およびエルボ③と配管⑤を開放する。
(配管①とエルボ③および配管②と配管④は結合状態である)
2. 配管②と配管④を開放する。
3. 配管②を径方向にずらし、ベンチュリー管を取外す。(ライニングを傷つける可能性があった)

【復旧時】

1. ベンチュリー管を復旧する。(ライニングを傷つける可能性があった)
2. 配管②と配管④を結合する。
3. 配管①と配管②およびエルボ③と配管⑤を結合する。
(配管①とエルボ③および配管②と配管④は結合状態であり、ライニングを傷つける可能性があった)

今後の点検方法



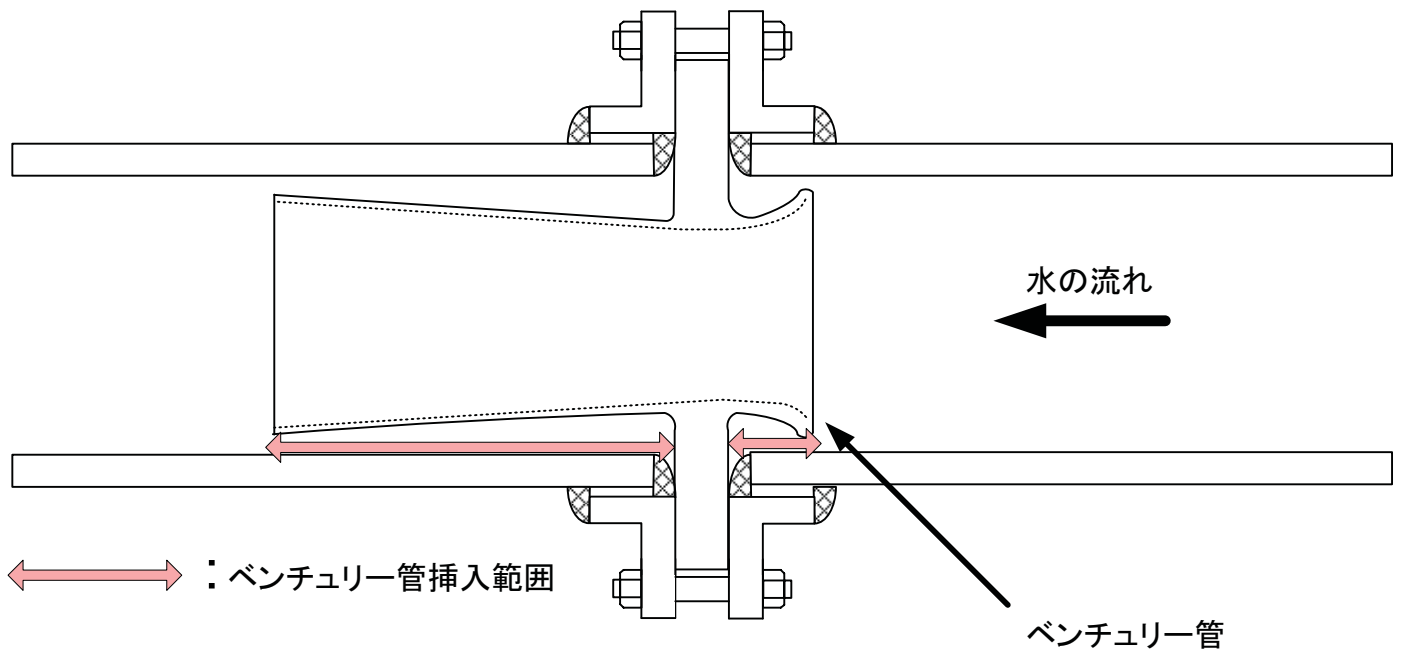
【分解時】

1. エルボ③と配管⑤および配管①とエルボ③を開放する。
2. 配管②と配管④を開放する。
3. 配管①と配管②を開放する。(エルボ③を先に開放しており、バランスがとり易くなる)
4. ベンチュリー管を取外す。

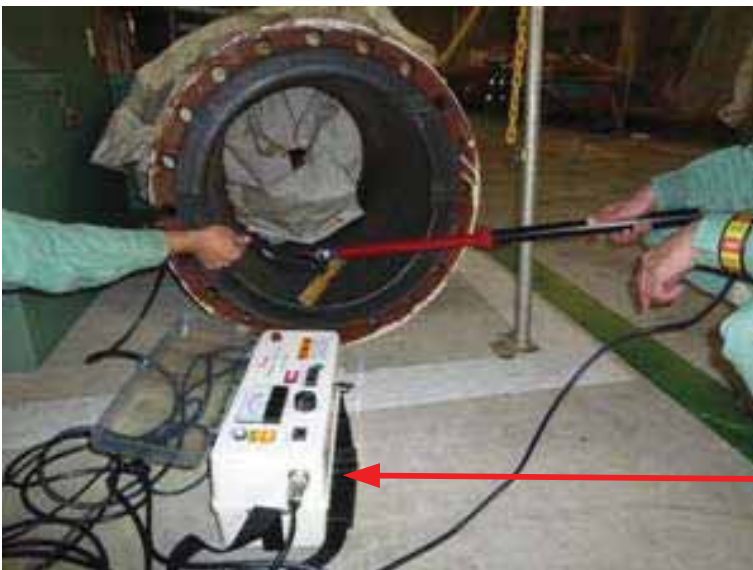
【復旧時】

1. ベンチュリー管を復旧する。
2. 配管①と配管②を結合する。(配管②に④が結合されておらず、バランスがとり易くなる)
3. エルボ③と配管⑤および配管①とエルボ③を結合する。
4. 配管②と配管④を結合する。

ベンチュリー管挿入範囲



ピンホールテスター
使用状況



ピンホールテスター本体



ピンホールテスター用ブラシ