

[原因と対策の報告の公表文(様式2)]

伊方発電所から通報連絡のあった異常に係る原因と対策の報告
について(2月1日分)

20.3.4
原子力安全対策推進監
(内線2352)

1 四国電力(株)から、伊方発電所で平成20年2月1日に発生した伊方2号機湿分分離加熱器2Bの天板の割れについて原因と対策の報告がありましたので、お知らせします。

[報告書の概要]

県の公表区分	異常事項	発生年月日	推定原因等	対策
A	湿分分離加熱器2Bの天板の割れ(2号機)	20.2.1	<p>調査の結果、当該溶接部は、設計会社の図面に基づいて湿分分離加熱器製作会社が施工しており、その際使用された製作図面を調査した結果、当該溶接部は溶接の指示が記載されていないことが確認された。</p> <p>今回の原因は、当該部の溶接は、設計要求は「レ形開先+すみ肉溶接」であったが、製作会社の図面に溶接の指示がなかったことから、「開先なしのすみ肉溶接」が行われ、結果的にのど厚が小さい溶接が施工されたこと</p> <p>運転中の天板には、蒸気の流れによる高サイクルの流体加振力が作用すること</p> <p>の条件が重畳したことにより、当該箇所には疲労限を上回る高サイクルの変動応力が発生し、疲労が累積して、割れが発生、進展したものと推定される。</p> <p>湿分分離加熱器のその他の溶接部の総点検を実施した結果、割れ等の発生はなく健全であることが確認できた。</p> <p>1次系の重要な機器は、設計と製作が同じ会社であるが、または設計図面と製作図面が混在することがなく製作会社が設計会社の承認を得た図面そのもので製作を行っており、今回と同様な問題は発生しないことを確認した。</p>	<p>(1)当該天板については新品に取り替える。取り替えに当たっては、天板と仕切板との溶接部は強度を向上した溶接形状とする。また、強度を向上した溶接形状による他部位への影響は、発生しないことを確認した。なお、調査のため切断した15箇所については、同様な方法にて復旧する。</p> <p>(2)健全性調査の結果、対策が望ましい7つの部位については、念のため、溶接部の強度に余裕を持たせる観点から補強を実施する。</p> <p>(3)今回の事象の原因は、設計会社の図面で要求する溶接の指示が製作会社の図面に反映されなかったことに鑑み、四国電力の発注仕様書に設計管理における要求事項として、設計の一部でも供給者とは別の会社を実施させる場合には、設計図面からの指示を製作図面に確実に反映するなどの取り合いに関する管理方法を明確にするよう要求するとともに、その旨を調達管理内規に記載し、また、その管理状況について必要に応じ四国電力が監査等により確認することとする。</p> <p>(4)伊方1号機の対応 今回の事象を踏まえ、以下の対応を実施する。 ・音響監視装置による監視 ・運転パラメータの監視 ・運転員による巡視点検頻度の増加 ・設備に精通している保修員による巡視点検の実施 ・アコースティックエミッションによる監視</p> <p>また、1号機の湿分分離加熱器については、2号機と同様の構造であることから、4月開始予定の定期検査において、2号機と同様の総点検も含めた健全性調査を行い、必要な対策を実施する。</p> <p>(5)伊方3号機の対応 3号機の湿分分離加熱器については、設計と製作が同じ会社であり、また、2号機とは設計・製作の会社が異なること、及び順調に運転をしていることより、対策は不要。</p>

2 県としては、伊方発電所に職員を派遣し、四国電力の報告内容等について確認しています。

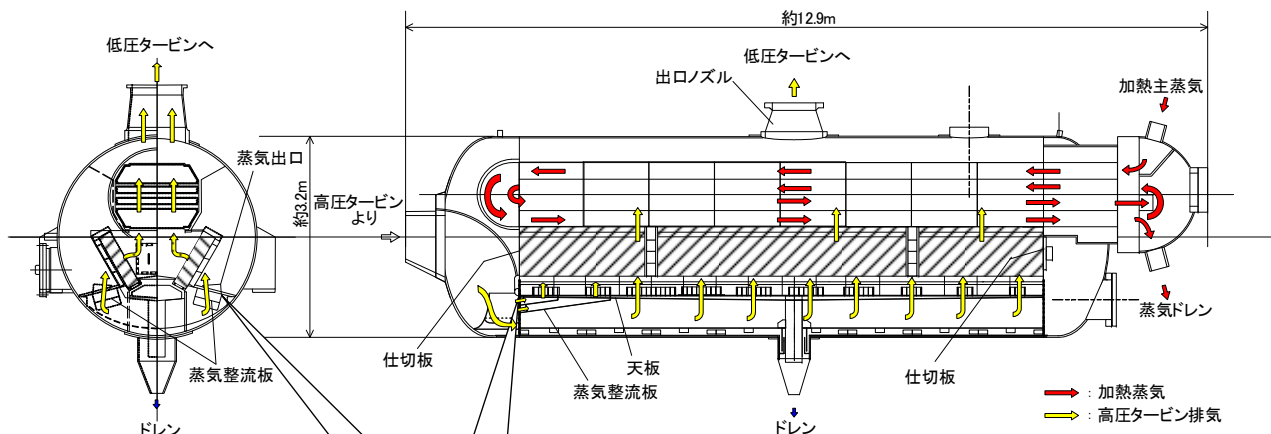
伊方発電所2号機 湿分分離加熱器B天板の割れについて

事象発生概要

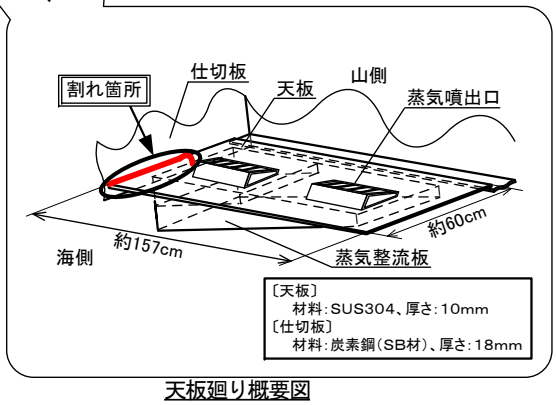
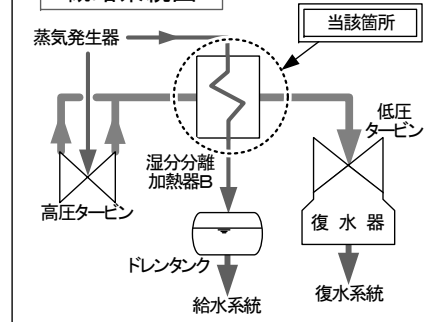
伊方発電所第2号機(定格出力566MW)は、第20回定期検査中のところ、2月1日18時00分、保守員が湿分分離加熱器Bの内部点検において、天板と仕切板の溶接部の1箇所割れがあることを確認した。

湿分分離加熱器の構造

湿分分離加熱器は、高圧タービンで使用した蒸気を低圧タービンで再使用するため、蒸気中の湿分を取り除き、再加熱するための設備である。当該湿分分離加熱器と同型式のものは伊方発電所1,2号機に各4台設置されている。



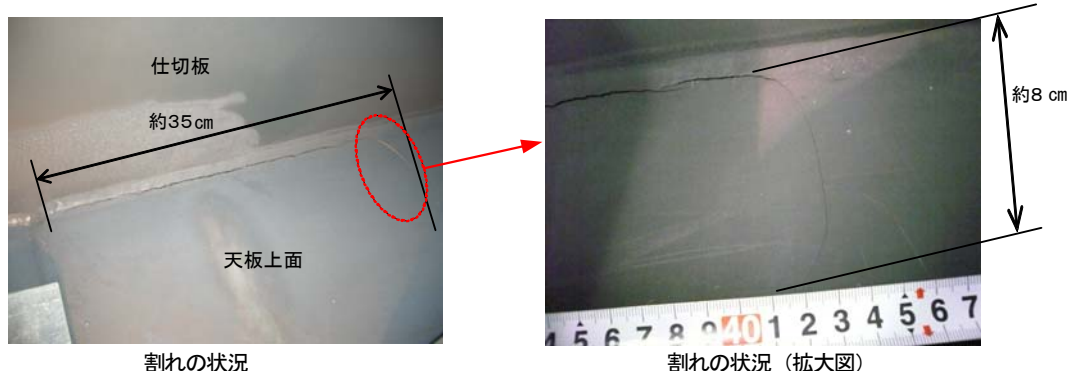
概略系統図



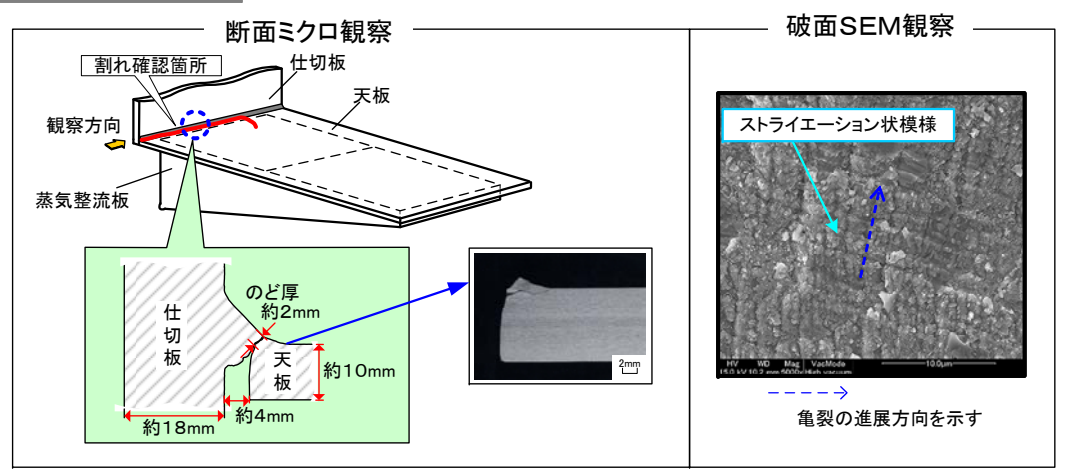
種類	横置1段加熱U字管式
温度	入口 約180°C 出口 約270°C
最高使用温度	蒸気室側 約290°C 胴側 約270°C
最高使用圧力	蒸気室側 約7.5MPa 胴側 約1.2MPa

天板の割れの状況

目視点検により、天板と仕切板の溶接部に約35cm、天板部で約8cmの連続した割れ(1箇所)を確認した。その他に異常は認められなかった。



金属調査結果

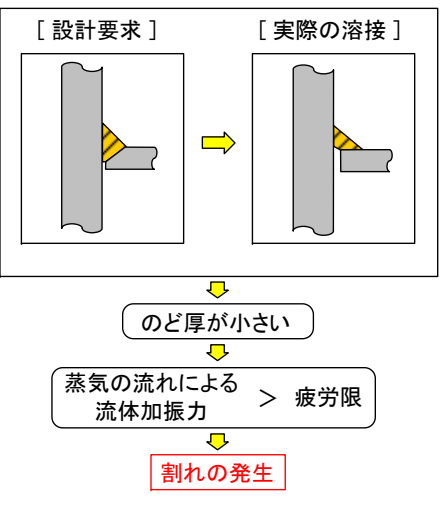


疲労破壊

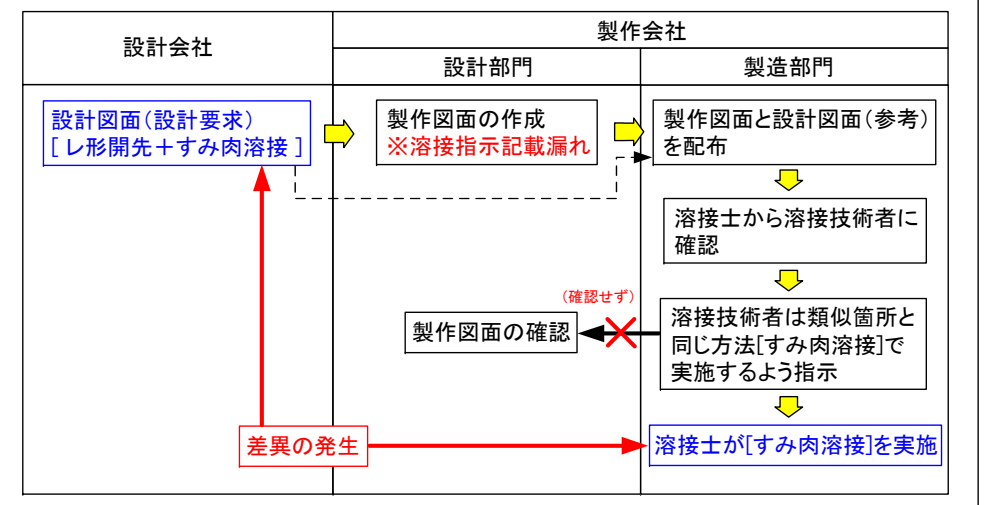
推定原因

当該部の溶接は、設計要求は「レ形開先+すみ肉溶接」であったが、製作会社が作成した製作図面に溶接指示がなかったことから、「開先なしのすみ肉溶接」が行われ、結果的にのど厚が小さい溶接となった。
 運転中の天板には、蒸気の流れによる高サイクルの流体加振力が作用する。
 これらの条件が重なったことにより、当該箇所には疲労限を上回る高サイクルの変動応力が発生し、疲労が累積して、割れが発生、進展した。

割れ発生の原因



溶接が設計要求と異なった経緯



1次系の重要な機器は、設計と製作が同じ会社であるか、製作会社が設計会社の承認を得た図面そのもので製作を行っており、今回と同様な問題は発生しない。

対策

- 当該天板および当該天板と同様に設計・製作された天板15箇所について、溶接部の強度を設計要求よりも更に向上させた溶接形状にして、新品に取り替える。
- 全ての溶接部の点検を実施した結果、健全性は確認されたが、念のため、7部位の溶接部について、強度に余裕を持たせるとの観点からの補強を行う。
- 設計の一部でも別の会社を実施させる場合における調達管理を強化する。

<1,3号機の対応>
 1号機の湿分分離加熱器については、音響監視装置等の設置や巡視点検頻度を増加し、監視強化を行うとともに、次回定期検査時に2号機と同様の対応を行う。
 3号機の湿分分離加熱器は、他の会社が単独で設計・製造しており、問題はない。

原子力発第07264号
平成20年 3月 4日

愛媛県知事
加戸守行 殿

四国電力株式会社
取締役社長 常盤 百樹

伊方発電所第2号機湿分分離加熱器2B天板の割れに係る
報告書の提出について

平成20年2月1日に発生しました伊方発電所第2号機湿分分離加熱器2B天板の割れにつきまして、その後の調査結果がまとまりましたので、安全協定第11条第2項に基づき、別添のとおり報告いたします。

今後とも伊方発電所の安全・安定運転に取り組んでまいりますので、ご指導賜りますようお願い申し上げます。

以 上

伊方発電所第2号機
湿分分離加熱器2B天板の割れについて

平成20年3月

四国電力株式会社

【目 次】

1. 件 名	1
2. 事象発生の日時	1
3. 事象発生施設	1
4. 事象発生時の運転状況	1
5. 事象発生状況	1
6. 時 系 列	1
7. 状況調査	1
8. 詳細調査	2
9. 疲労評価	6
10. 推定原因	6
11. その他の同じ箇所の調査	7
12. 湿分分離加熱器の溶接部の健全性調査	7
13. 対 策	8
14. 1、3号機の対応	8

1. 件名

伊方発電所第2号機湿分分離加熱器2B天板の割れについて

2. 事象発生の日時

平成20年2月1日 18時00分（確認）

3. 事象発生の施設

蒸気タービン設備 湿分分離加熱器2B

4. 事象発生時の運転状況

第20回定期検査中（平成20年1月17日より）

5. 事象発生の状況

伊方発電所第2号機（定格電気出力566MW）は、第20回定期検査中のところ、2月1日18時00分頃、保修員が湿分分離加熱器2Bの天板と仕切板の溶接部に割れがあることを発見した。

なお、本事象による周辺環境への放射能の影響はなかった。

（添付資料－1、2）

6. 時系列

2月1日

18時00分 湿分分離加熱器2Bの点検中に、天板と仕切板の溶接部に割れがあることを発見

2月4日

10時00分 天板の割れ部の切出開始

14時35分 天板の割れ部の切出終了

7. 状況調査

割れが確認された天板等について、外観目視点検等により状況を調査した。

（1）外観目視点検

湿分分離加熱器2B内部の目視点検を実施した結果、蒸気整流板（入口ノズルから見て右側の蒸気整流板）を取り付けている天板と仕切板の溶接部及び天板本体に割れを確認した。割れは、天板と仕切板の溶接部に沿って長さ約35cmあり、そこから天板本体に約8cm発生しており、合計すると約43cmの連続した割れであることを確認した。

また、溶接部に沿った割れから天板本体に向かって分岐した数本の割れがあることを確認した。

なお、その他に異常は認められなかった。

（添付資料－3）

(2) 非破壊検査

割れの仕切板への進展の有無を確認するため、割れのあった近傍の仕切板の浸透探傷検査を実施した結果、発見された以外には割れ等の異常は認められなかった。

8. 詳細調査

状況調査の結果、天板と仕切板の溶接部及び天板本体に割れが発生していたことから、この原因を究明するため、割れの詳細調査を要因分析図に従い実施した。

(添付資料-4)

なお、当社としては、伊方1、2号機の湿水分離加熱器は、海外の設計会社の実績のある標準設計のものを国内の製作会社から納入したものであり、これまで、海外の13プラントで最大約25年間の良い良好な運転が確認されており、基本的な設計、構造等において問題となるものではないと考えている。

(1) 設計及び製作・施工調査

湿水分離加熱器2Bは、前々回の第18回定期検査時(平成17年9月から平成18年3月)に全体取替工事を実施しており、その際天板及び仕切板の設計並びに製作・施工状況について調査を実施した。また、取り替えた湿水分離加熱器は、海外で使用実績のある設計に基づき製作されていた。

なお、全体取替工事後に、平成18年6月5日に1号機の運転中に発生した「湿水分離加熱器1B蒸気整流板溶接部の割れ」事象の反映として、平成18年6月にプラントを停止して、蒸気整流板内部プレート取付溶接部の補強を行うとともに、前回の第19回定期検査時(平成18年10月から平成19年1月)に、蒸気整流板を取り替えているが、天板を切断しない工法で蒸気整流板の取替を実施しており、天板、仕切板及び当該溶接部は据付時の状態であった。

a. 設計調査

天板及び仕切板の基本的な設計においては、設計会社にて実績のある標準設計が採用されていることを確認した。

b. 材料調査

天板、仕切板及び溶接材料について、材料証明書を確認した結果、天板及び仕切板は所定の材料(天板はステンレス鋼、仕切板は炭素鋼)が使用されていること、及び規格値を満足しており問題のないことを確認した。

また、溶接材料については成分分析を実施した結果、問題のないことを確認した。

(添付資料-5)

c. 製作状況調査

天板及び仕切板の材料証明書及び製作記録を調査した結果、厚さ及び製作寸法は、設計仕様通りであることを確認した。

(添付資料-5)

d. 溶接設計・施工状況調査

当該溶接部は、設計会社の図面に基づいて湿分分離加熱器製作会社が施工しており、その際使用された製作図面を調査した結果、当該溶接部は溶接の指示が記載されていないなかった。

また、設計会社の図面を確認したところ、当該溶接部には溶接の指示（レ形開先＋すみ肉溶接）があった。

さらに、製作会社では、当該部は耐圧の強度が必要な箇所でないため、溶接検査記録は保管するようには規定していなかった。

このため、製作会社における設計から製作までの状況を聞き取り調査した結果、以下のことが確認された。

- ・製作会社の設計部門において、国内の基準に適合させる等のために設計会社の図面に基づいて製作図面を作成しており、その際に、当該溶接部の指示が記載されずに製造部門に配布された。
- ・製造部門には、当該溶接部の指示が記載されていない製作図面に加え、設計会社の図面も参考に配布された。
- ・製造部門の溶接関係者には、溶接設計の管理を行う溶接技術者と実際に溶接施工を行う溶接士が所属している。溶接士は当該部に溶接が必要なことが設計会社の図面からわかり、溶接技術者に問い合わせがなされた。
- ・溶接技術者は、設計会社の図面に溶接の指示が記載されていることから、設計部門に確認することなく類似箇所と同じ方法による溶接を実施するよう溶接士に口頭指示し、溶接士は指示通り溶接を施工した。
- ・溶接施工後の検査において、検査員は当該部が製作図面に溶接の指示がないことに気づいたが、溶接士に上記の経緯を確認するに留まった。

(2) 運転履歴調査

湿分分離加熱器 2 B の運転パラメータ（加熱蒸気流量・温度、蒸気圧力等）を調査した結果、問題のないことを確認した。

(3) 付着塩分量測定

天板廻りの付着塩分量を測定した結果、判定値を満足しており問題がないことを確認した。

(添付資料－ 6)

(4) 金属調査

天板と仕切板の溶接部及び天板本体に発生した割れの詳細調査を目的に試験片の切出を行い、金属調査を実施した。

a. 外観観察

詳細に外観観察をしたところ天板と仕切板の溶接部に長さ約 36 cm の割れが認められた。この溶接部の割れが天板母材部へ 6 箇所枝分かれしており、最大の割れは約 9 cm であることが認められた。

なお、天板母材部への割れは、蒸気整流板の取り付け位置を中心にほぼ対称に分布していた。

(添付資料－ 7)

b. 破面観察

溶接部の割れ及び天板母材部の割れ 6 箇所合計 7 箇所の破面観察を行った。

- ・溶接部の割れ①及び天板母材部の約 9 c m の割れ②は貫通していた。
- ・溶接部の割れ①は、破面全面に渡ってほぼ平坦であることが認められた。
- ・天板母材部の割れ②～⑦の破面は、ほぼ平坦で、き裂前縁の形状は半だ円状であることが認められた。
- ・天板の端部の大部分には、平坦な機械加工面が観察された。

(添付資料－ 8)

c. 断面ミクロ観察

溶接部の割れ①及び天板母材部の割れ②について断面ミクロ観察を行った。

- ・断面の割れ形状は凹凸が少なく滑らかであることが認められた。
- ・割れは、枝分かれがほとんどなく粒内割れであることが認められた。
- ・介在物や腐食ピットは認められなかった。

(添付資料－ 9)

d. のど厚測定

溶接部について、天板の入口ノズルから見て右側の端面から、約 6 c m、約 1 6 c m (割れ①：蒸気整流板付近)、約 2 2 c m の位置でののど厚を型取りにより測定した結果、約 2 m m の箇所があることが確認された。

(添付資料－ 1 0)

e. 破面 S E M 観察

(a) 溶接部の割れ①

破面観察の結果、溶接部の割れ①は、全面に渡ってほぼ同様な状況であること、及び天板母材部の割れ分布状況が、蒸気整流板取り付け位置を中心にほぼ対称的であることから、溶接部での初期き裂発生箇所等の確認を目的に、天板の入口ノズルから見て右側の端面から、約 1 2 c m から 1 6 c m の範囲の溶接部の 4 箇所の破面 S E M 観察を行った。

- ・天板の母材と溶接金属の境界部付近から天板上面に向かう金属組織の流れが認められた。
- ・破面には、疲労破面に特有なストライエーション状の模様が認められた。
- ・破面は、ほぼ平坦であり、粒内割れが認められた。
- ・羽毛状の組織、介在物、腐食ピット及び溶接金属表面での材料欠陥は認められなかった。

(b) 天板母材部の割れ②

天板母材部の割れについては、破面観察の結果、割れ②で代表できると考えられるため、溶接線から約5 cmから9 cm（割れの先端）の範囲について破面SEM観察を行った。

- ・天板上面から下面に向かう金属組織の流れが認められた。
- ・破面には、疲労破面に特有なストライエーション状の様子が認められた。
- ・破面は、平坦であり、粒内割れが認められた。
- ・羽毛状の組織、介在物、腐食ピット及び天板母材部表面での材料欠陥は認められなかった。

(添付資料－11)

f. EDX（エネルギー分散型X線分光法）による分析

破面の元素分析を実施した結果、耐食性に影響を与える元素濃度は一般部表面と同等であり、問題はなかった。

(添付資料－12)

g. 硬度測定

溶接金属、溶接熱影響部及び天板母材部において、問題となる硬化は認められなかった。

(添付資料－13)

以上の金属調査により、考察できる事項は以下の通りである。

- ・溶接部、天板母材部の破面は、ほぼ平坦で滑らかであること、及びストライエーション状の様子が認められたことから、割れは疲労による特徴を示している。
- ・溶接部ののど厚は約2 mmの箇所が観察され、また、天板の端部の大部分には、平坦な機械加工面が見られたことより、開先なしのすみ肉溶接であったことが推定された。
- ・天板の入口ノズルから見て右側の端面から、約12 cmから16 cmの範囲の溶接部（蒸気整流板近傍）に、天板母材部と溶接金属の境界部付近から天板上面に向かう金属組織の流れが認められたことより、この近辺の天板の母材部と溶接金属の境界部付近からき裂が発生し、進展したことが推定された。
- ・破面SEM観察結果では、応力腐食割れの特徴である羽毛状の組織、及び介在物、腐食ピット、材料欠陥も認められなかった。
- ・硬度測定結果及び断面ミクロ観察結果より、割れ発生の原因となるような異常な硬化組織は認められず、金属組織に問題はなかった。

9. 疲労評価

詳細調査により、天板と仕切板との溶接部の割れは疲労によるものと推定されるため、今回の事象に対する疲労評価を実施した。

評価の手順として、まず汎用流体解析コード (Fluent) を用いて、天板の加振源である蒸気整流板に作用する流体加振力を算出する。次に、汎用構造解析コード (NASTRAN) を用いて、この流体加振力を板要素でモデル化した天板 (蒸気整流板を含む) に入力し、全体系の振動応答を算出する。その結果、大きな応力が生じた箇所を、汎用構造解析コード (ABAQUS) を用いて詳細にモデル化し、算出した変動応力と疲労限を比較し、疲労損傷が発生する可能性を評価した。

その結果、高サイクルの圧力変動が生ずることが分かり、これにより高サイクル疲労が生ずる可能性があることを確認した。

高サイクル疲労は、流体加振力の繰り返し数に加えて、流体加振力により溶接部に発生する変動応力が疲労限 (繰り返し数が十分高い場合でも疲労き裂が発生しないとされる変動応力のしきい値) を上回る場合に発生する。天板と仕切板の溶接部の変動応力の大きさを評価した結果、この変動応力は疲労限を上回ることを確認した。

以上より、天板と仕切板の溶接部に疲労損傷が発生する可能性があることを確認した。

評価箇所	変動応力 (MP a)	疲労限 (MP a)
天板と仕切板の溶接部	2 3 3	2 1 3

(添付資料－1 4)

1 0. 推定原因

以上の調査結果より、

- ・当該部の溶接は、設計要求はレ形開先＋すみ肉溶接であったが、製作会社の図面に溶接の指示がなかったことから、開先なしのすみ肉溶接が行われ、結果的にのど厚が小さい溶接が施工されたこと
- ・運転中の天板には、蒸気の流れによる高サイクルの流体加振力が作用すること

の条件が重畳したことにより、当該箇所には疲労限を上回る高サイクルの変動応力が発生し、疲労が累積して、割れが発生、進展したものと推定される。

(添付資料－1 5)

また、製作会社の図面に当該溶接部の溶接の指示が記載されず、設計会社の図面と異なった溶接が施工されたのは、設計会社の図面と製作会社の図面が混在し、これらの取り合いが製作会社の図面に明確にされなかったため、設計部門、製造部門及び検査部門ともチェックが働かなかったものと推定される。

1 1. その他の同じ箇所の調査

湿分分離加熱器 2 B の蒸気入口ノズルから見て左側の天板及び湿分分離加熱器 2 A、2 C、2 D の当該溶接部（7 箇所）及び湿分分離加熱器 2 A、2 B、2 C、2 D の蒸気下流側の天板と仕切板の溶接部（8 箇所）について、調査を実施した。

(1) 外観点検

外観目視点検及び浸透探傷検査を行った結果、割れ等の異常は認められなかった。

なお、溶接部を切断して目視にて溶接の状況を調査したところ、当該部と同様な溶接形状であることが確認された。

(2) 溶接施工状況調査

製作会社の図面を調査した結果、当該箇所と同様に溶接の指示が記載されていないかった。

1 2. 湿分分離加熱器の溶接部の健全性調査

今回の事象の原因は、設計会社の図面に基づいて作成された製作会社の図面に溶接の指示がなかったことから、設計会社の設計指示と異なった溶接が施工されたことによるものと推定された。

このことから、湿分分離加熱器溶接部の健全性を調査するために、設計図面に指示のある全ての溶接線を対象として、水平展開フローに基づき実施した。

その結果、不一致箇所については、現場で実際に溶接部の施工状態を確認するなどにより健全性は確認できた。

(添付資料－16)

また、湿分分離加熱器の溶接部での不具合がこれまでも発生したことから、以下の観点から総点検を実施した結果、割れ等の発生はなく健全であることが確認できた。

- ・溶接施工面からの点検として、確認可能な溶接施工の記録により施工が設計と合致していることを確認し、合致していないものについては、目視確認できる全ての範囲について実機により問題ないことを確認した。
- ・これまでの不具合は流体加振力が作用した箇所で割れが発生したことより、重点的に流体加振力の作用する箇所について、詳細に実機調査し、割れ等の異常がないことを確認した。

- ・さらに、実機にて目視確認できる全ての範囲について、割れ等の異常のないことを確認した。

以上の結果、湿分分離加熱器の溶接部の健全性は確認できたが、念のため、流体加振力の作用する箇所等について溶接部の強度に余裕を持たせる観点から、7つの部位について補強を実施する。

また、1次系の重要な機器は、設計と製作が同じ会社であるか、または設計図面と製作図面が混在することがなく製作会社が設計会社の承認を得た図面そのもので製作を行っており、今回と同様な問題は発生しないことを確認した。

13. 対策

- (1) 当該天板については新品に取り替える。

取り替えに当たっては、天板と仕切板との溶接部は強度を向上した溶接形状とする。

(添付資料－17)

また、強度を向上した溶接形状による他部位への影響は、発生しないことを確認した。

(添付資料－18)

なお、調査のため切断した15箇所については、同様な方法にて復旧する。

- (2) 12. の健全性調査の結果、対策が望ましい7つの部位については、念のため、溶接部の強度に余裕を持たせる観点から補強を実施する。

(添付資料－19)

- (3) 今回の事象の原因は、設計会社の図面で要求する溶接の指示が製作会社の図面に反映されなかったことに鑑み、当社の発注仕様書に設計管理における要求事項として、設計の一部でも供給者とは別の会社を実施させる場合には、設計図面からの指示を製作図面に確実に反映するなどの取り合いに関する管理方法を明確にするよう要求するとともに、その旨を調達管理内規に記載し、また、その管理状況について必要に応じ当社が監査等により確認することとする。

14. 1、3号機の対応

- (1) 伊方1号機

今回の事象を踏まえ、ただちに以下の対応を実施している。

- ・音響監視装置による監視
- ・運転パラメータの監視
- ・運転員による巡視点検頻度の増加

さらに、原因が判明したことから、以下の対応を実施する。

- ・設備に精通している保修員による巡視点検の実施
- ・アコースティックエミッションによる監視

また、1号機の湿分分離加熱器については、2号機と同様の構造であることから、4月開始予定の定期検査において、2号機と同様の総点検も含めた健全性調査を行い、必要な対策を実施する。

(添付資料－20)

(2) 伊方3号機

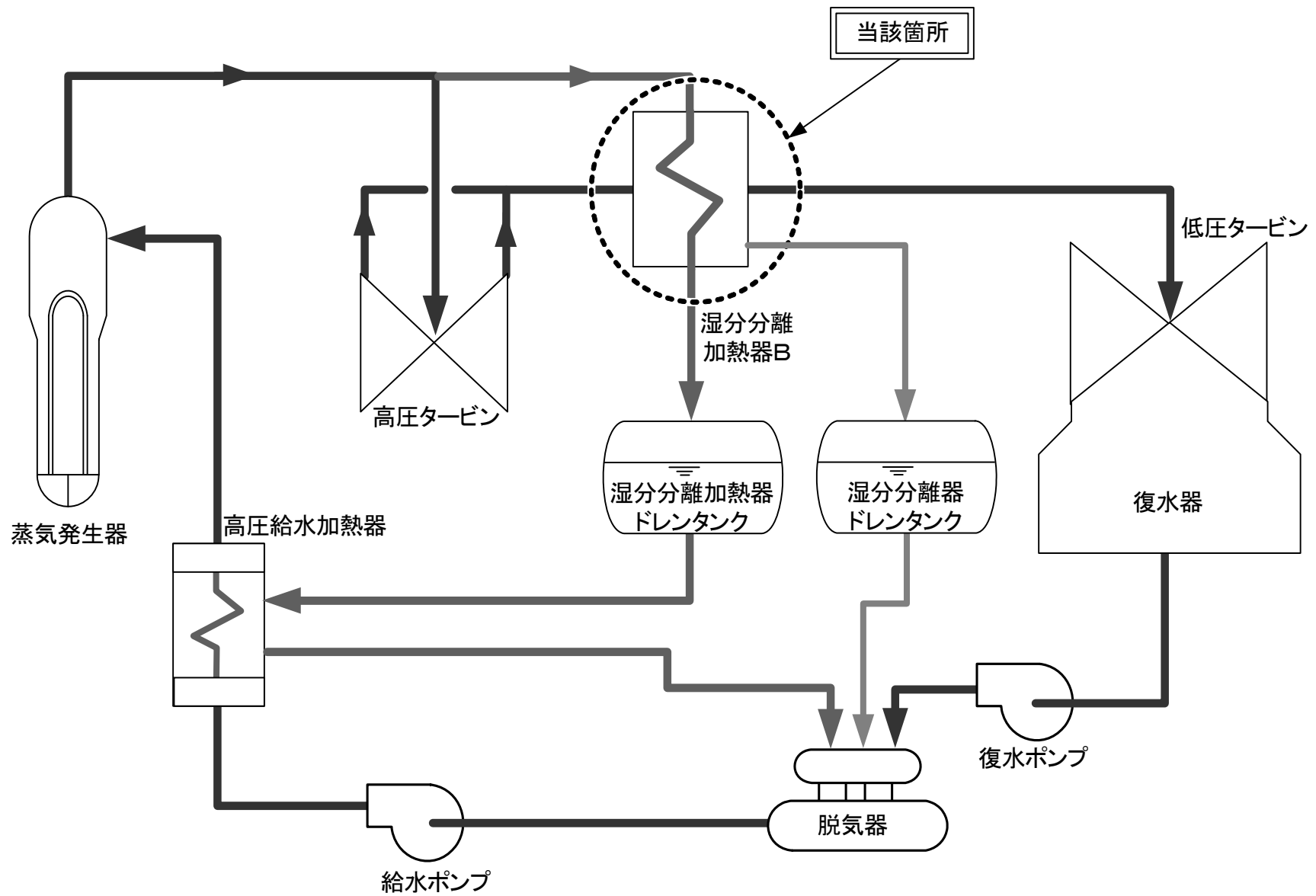
3号機の湿分分離加熱器については、設計と製作が同じ会社であり、また、2号機とは設計・製作の会社が異なること、及び順調に運転をしていることより、対策は不要である。

以 上

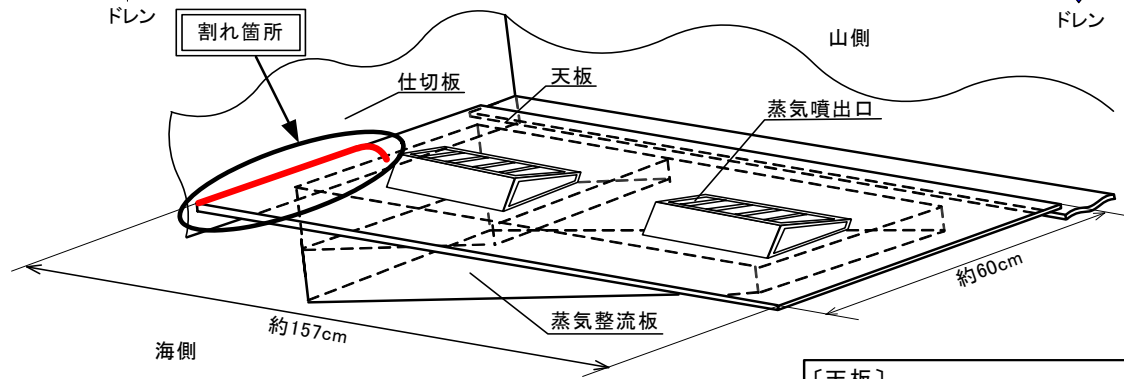
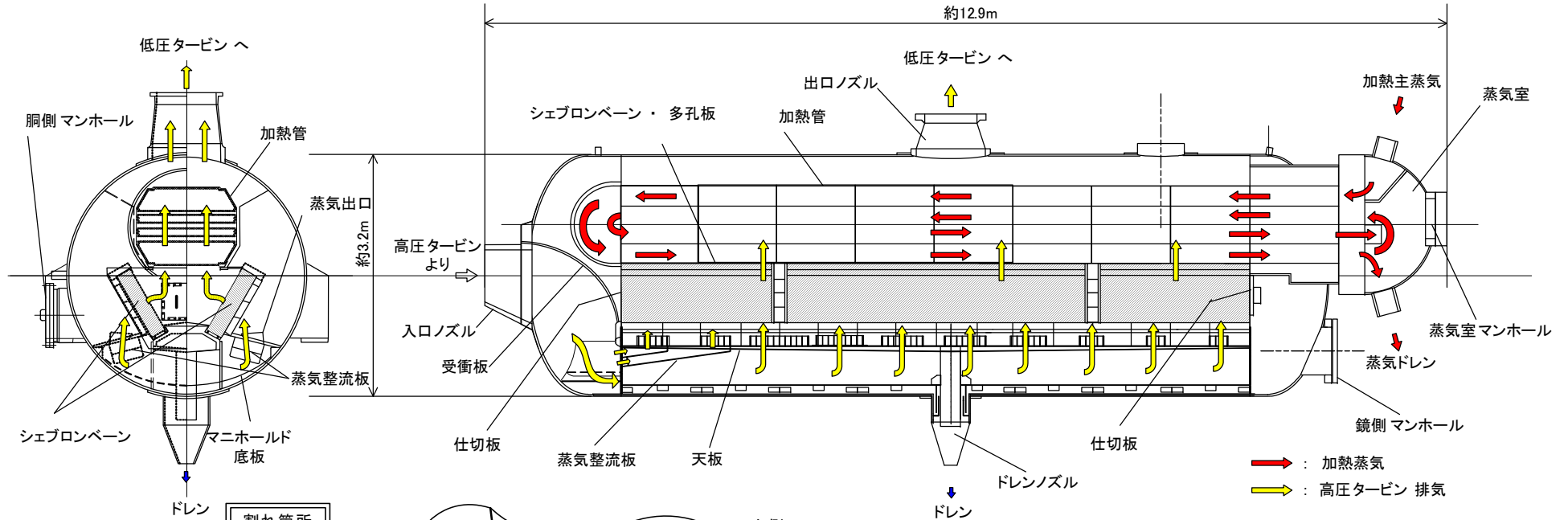
【添 付 資 料】

1. 湿分分離加熱器 2 B 廻り概略系統図
2. 湿分分離加熱器 2 B 構造図
3. 湿分分離加熱器 2 B 天板 割れ状況調査結果
4. 湿分分離加熱器 2 B 天板の割れに係る要因分析図
5. 製作履歴調査結果（材料・寸法調査）
6. 付着塩分量調査結果
7. 金属調査結果（外観観察）
8. 金属調査結果（破面観察）
9. 金属調査結果（断面マイクロ観察）
10. 金属調査結果（のど厚、ルート間隔、すみ肉脚長測定）
11. 金属調査結果（破面SEM観察）
12. 金属調査結果（EDX分析）
13. 金属調査結果（硬度測定）
14. 疲労による割れの発生に関する評価
15. 湿分分離加熱器 2 B 事象発生推定メカニズム
16. 湿分分離加熱器の溶接部の健全性調査（水平展開フロー）
17. 当該天板の復旧概要図
18. 当該部（天板と仕切板溶接部）両側溶接による他部位への影響について
19. 湿分分離加熱器 溶接部補強実施箇所
20. 伊方1号機 監視装置構成図

湿分分離加熱器2B廻り概略系統図



湿水分離加熱器2B構造図



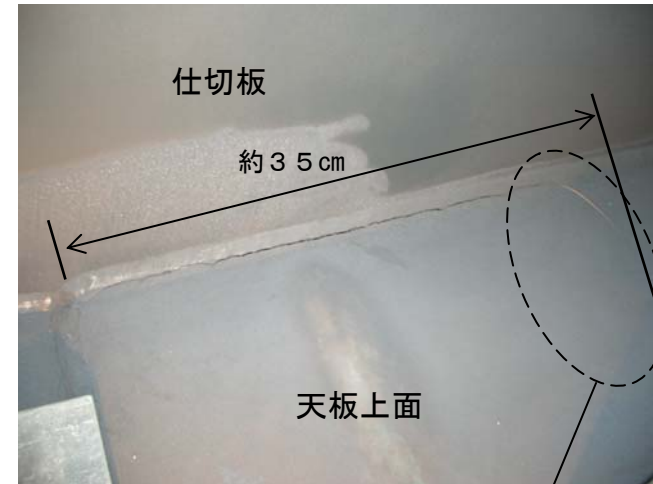
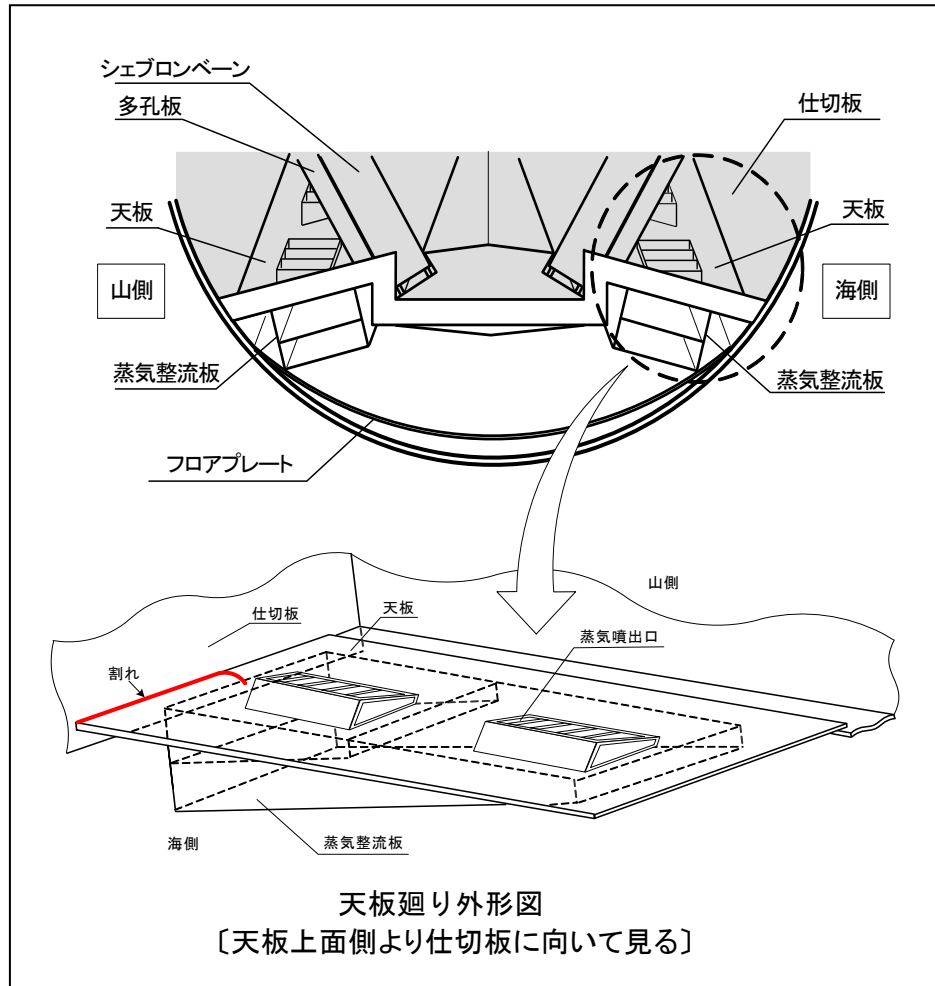
天板廻り概要図

[天板]
材料: SUS304、厚さ: 10mm
[仕切板]
材料: 炭素鋼 (SB材)、厚さ: 18mm

湿水分離加熱器 仕様

種類	横置1段加熱U字管式	
温度	入口	約180°C
	出口	約270°C
最高使用温度	蒸気室側	約290°C
	胴側	約270°C
最高使用圧力	蒸気室側	約7.5MPa
	胴側	約1.2MPa

湿水分離加熱器2B天板 割れ状況調査結果



割れは、天板と仕切板の溶接部に沿って長さ約35cm あり、天板幅の中央付近から天板本体に約8cm 発生しており、合計すると約43cm の連続した割れであることを確認した。

湿分分離加熱器2B天板の割れに係る要因分析図

[備考]
 △：可能性あり。
 ×：可能性なし。

事象	要因	因子	調査内容	調査方法・結果	評価	添付資料	
湿分分離加熱器 2B天板の割れ	強度不足	延性割れ	過大応力	設計調査	・天板及び仕切板の設計は、実績のある標準設計が採用されていることを確認した。	×	—
				製作状況調査	・天板及び仕切板の材料証明書及び製作記録により、厚さ及び製作寸法は、設計仕様通りであることを確認した。	×	5
				溶接設計・施工状況調査	・製作図面の調査により、当該溶接部は溶接の指示が記載されておらず、製作会社の製造部門の判断で施工されていた。 ・設計会社の図面により、当該溶接部には、レ形先入+すみ肉溶接の指示があった。 ・当該溶接部の溶接検査記録は保管するようになっていなかった。	△	—
				運転履歴調査	・運転履歴調査により、運転パラメータに問題はないことを確認した。	×	—
				金属調査	・外観観察の結果、天板と仕切板の溶接部に長さ約36cmの割れが認められ、天板母材部へ6箇所枝分かちしており、最大の割れは約9cmであった。 ・金属調査（破面観察、断面ミクロ観察、のど厚測定、SEM等）の結果、 ○疲労破面の特徴であるストライエーション状の模様が認められたこと ○溶接部ののど厚は、約2mmの箇所が観察され、天板の端部は平坦な機械加工面が見られたこと ○応力腐食割れ及び介在物、腐食ピットも認められなかったこと ○異常な硬化組織は認められず、金属組織に問題はなかったことを確認した。	×	7, 8, 9 10, 11, 12 13
	疲労割れ	材料不良	温度・圧力過渡	材料調査	・材料証明書により、天板及び仕切板の材料は設計仕様通りであることを確認した。 ・また、溶接材料は、成分分析により、問題ないことを確認した。	×	5
				運転履歴調査	・運転履歴調査により、運転パラメータに問題はないことを確認した。	×	—
				金属調査	・外観観察の結果、天板と仕切板の溶接部に長さ約36cmの割れが認められ、天板母材部へ6箇所枝分かちしており、最大の割れは約9cmであった。 ・金属調査（破面観察、断面ミクロ観察、のど厚測定、SEM等）の結果、 ○疲労破面の特徴であるストライエーション状の模様が認められたこと ○溶接部ののど厚は、約2mmの箇所が観察され、天板の端部は平坦な機械加工面が見られたこと ○応力腐食割れ及び介在物、腐食ピットも認められなかったこと ○異常な硬化組織は認められず、金属組織に問題はなかったことを確認した。	△	7, 8, 9 10, 11, 12 13
				振動	・流体加振力を板要素でモデル化した天板に入力して全体系の振動応答を算出し、天板と仕切り板の溶接部の変動応力の大きさを評価した結果、この変動応力は疲労限を上回ることを確認した。	△	14

[備考]
 △：可能性あり。
 ×：可能性なし。

事象	要因	因子	調査内容	調査方法・結果	評価	添付資料
溶接不良	溶接欠陥	施工不良	溶接設計・施工状況調査	<ul style="list-style-type: none"> 製作図面の調査により、当該溶接部は溶接の指示が記載されておらず、製作会社の製造部門の判断で施工されていた。 設計会社の図面により、当該溶接部には、レ形開先＋すみ肉溶接の指示があった。 当該溶接部の溶接検査記録は保管するようになっていなかった。 	△	—
			金属調査	<ul style="list-style-type: none"> 外観観察の結果、天板と仕切板の溶接部に長さ約3.6cmの割れが認められ、天板母材部へ6箇所枝分かれしており、最大の割れは約9cmであった。 金属調査（破面観察、断面マイクロ観察、のど厚測定、SEM等）の結果、 <ul style="list-style-type: none"> ○疲労破面の特徴であるストライエーション状の模様が認められたこと ○溶接部ののど厚は、約2mmの箇所が観察され、天板の端部は平坦な機械加工面が見られたこと ○応力腐食割れ及び介在物、腐食ピットも認められなかったこと ○異常な硬化組織は認められず、金属組織に問題はなかったことを確認した。 	△	7, 8, 9 10, 11, 12 13
		材料不良	材料調査	<ul style="list-style-type: none"> 材料証明書により、天板及び仕切板の材料は設計仕様通りであることを確認した。 また、溶接材料は、成分分析により、問題ないことを確認した。 	×	5
		腐食	応力腐食割れ	材料環境 応力	金属調査 付着塩分量調査等	<ul style="list-style-type: none"> 外観観察の結果、天板と仕切板の溶接部に長さ約3.6cmの割れが認められ、天板母材部へ6箇所枝分かれしており、最大の割れは約9cmであった。 金属調査（破面観察、断面マイクロ観察、のど厚測定、SEM等）の結果、 <ul style="list-style-type: none"> ○疲労破面の特徴であるストライエーション状の模様が認められたこと ○溶接部ののど厚は、約2mmの箇所が観察され、天板の端部は平坦な機械加工面が見られたこと ○応力腐食割れ及び介在物、腐食ピットも認められなかったこと ○異常な硬化組織は認められず、金属組織に問題はなかったことを確認した。
	<ul style="list-style-type: none"> 付着塩分量測定により、いずれも判定値を満足しており問題ないことを確認した。 				×	6
全面腐食 局部腐食	金属調査			<ul style="list-style-type: none"> 外観観察の結果、天板と仕切板の溶接部に長さ約3.6cmの割れが認められ、天板母材部へ6箇所枝分かれしており、最大の割れは約9cmであった。 金属調査（破面観察、断面マイクロ観察、のど厚測定、SEM等）の結果、 <ul style="list-style-type: none"> ○疲労破面の特徴であるストライエーション状の模様が認められたこと ○溶接部ののど厚は、約2mmの箇所が観察され、天板の端部は平坦な機械加工面が見られたこと ○応力腐食割れ及び介在物、腐食ピットも認められなかったこと ○異常な硬化組織は認められず、金属組織に問題はなかったことを確認した。 	×	7, 8, 9 10, 11, 12 13
	その他腐食					

製作履歴調査結果(材料・寸法調査)

○材料調査

・天板(ステンレス鋼、厚さ 10mm)

項目	化学成分(重量%)								引張強さ (MPa)	降伏点 (MPa)	伸び(%)	硬さ
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N				
規格値 (SA-240-TYPE304)	MAX 0.08	MAX 0.75	MAX 2.00	MAX 0.045	MAX 0.030	18.0 ~20.0	8.0 ~10.5	MAX 0.10	MIN 515	MIN 205	MIN 40	MAX 92 (HRB92)
材料証明書記載値	0.06	0.409	1.755	0.029	0.001	18.141	8.161	0.049	658.5	388.6	48.94	89.5

・仕切板(炭素鋼、厚さ 18mm)

項目	化学成分(重量%)							引張強さ (MPa)	降伏点 (MPa)	伸び(%)
	C	Si	Mn	P	S	—	—			
規格値 (JIS SB480N)	MAX 0.31	0.15 ~0.40	MAX 1.20	MAX 0.030	MAX 0.030	—	—	480 ~620	MIN 265	MIN 17
材料証明書記載値	0.19	0.23	1.10	0.018	0.003	—	—	553	389	25

・溶接材料

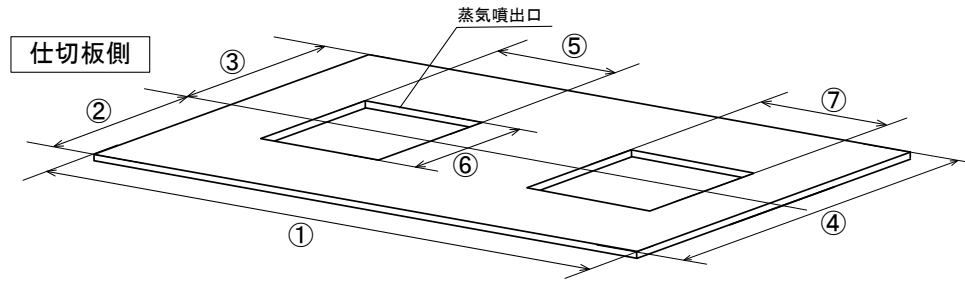
項目	化学成分(重量%)							—	—	—
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni			
規格値 (JIS Z3321 Y309)	MAX 0.12	MAX 0.65	MAX 1.0 ~2.5	MAX 0.03	MAX 0.03	23.0 ~25.0	12.0 ~14.0	—	—	—
溶着金属(天板側)	0.048	0.46	1.57	0.025	0.001	20.38*1	11.46*1	—	—	—
溶着金属(仕切板側)	0.11	0.44	1.50	0.021	0.004	20.23*1	11.67*1	—	—	—

* 1: 溶接時の母材(天板、仕切板)成分による希釈が見られるが、耐食性に重要な主要化学成分(Cr, Ni)は天板(ステンレス鋼)と同等以上であり、問題ない。

- ・仕切板、天板については、材料証明書より両者とも規格値を満足しており、問題ないことを確認した。
- ・溶接材料については、当該部溶着金属より試料採取し成分分析を実施した結果、通常、炭素鋼とステンレス鋼を溶接する際に適用される溶接材料が使用されていることを確認した。

製作履歴調査結果(材料・寸法調査)

○寸法調査(天板)



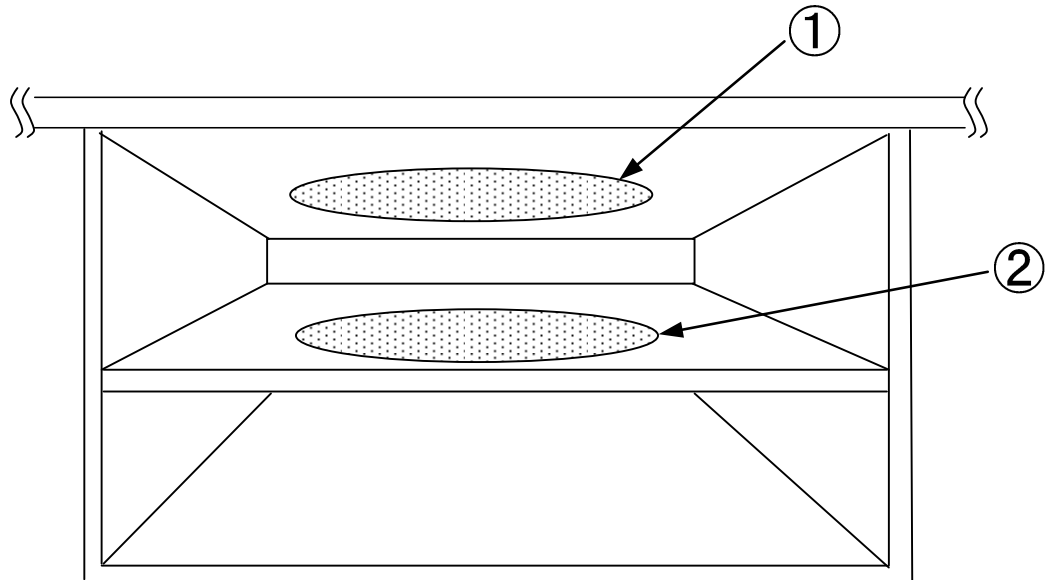
単位:mm

測定位置	設計寸法	許容値	測定値
①	1,578	±5	1,582
②	298	±3	299
③	305	±3	305
④	603	±3	604
⑤	343	±3	343
⑥	229	±3	229
⑦	352	±3	352

・製作記録、材料証明書により、仕切板の厚さ、天板の厚さ・寸法・構造は設計仕様通りであり、問題ないことを確認した。

付着塩分量調査結果

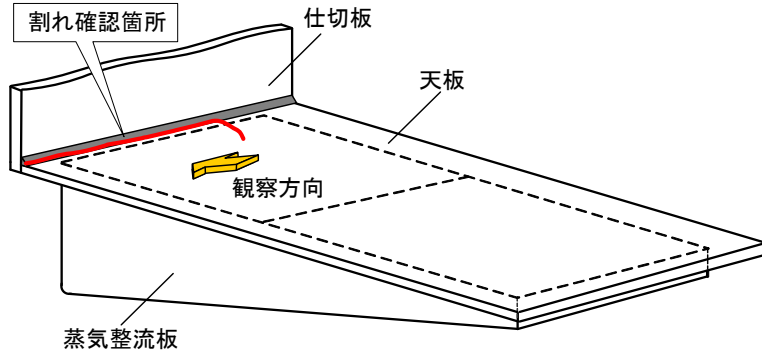
○測定箇所



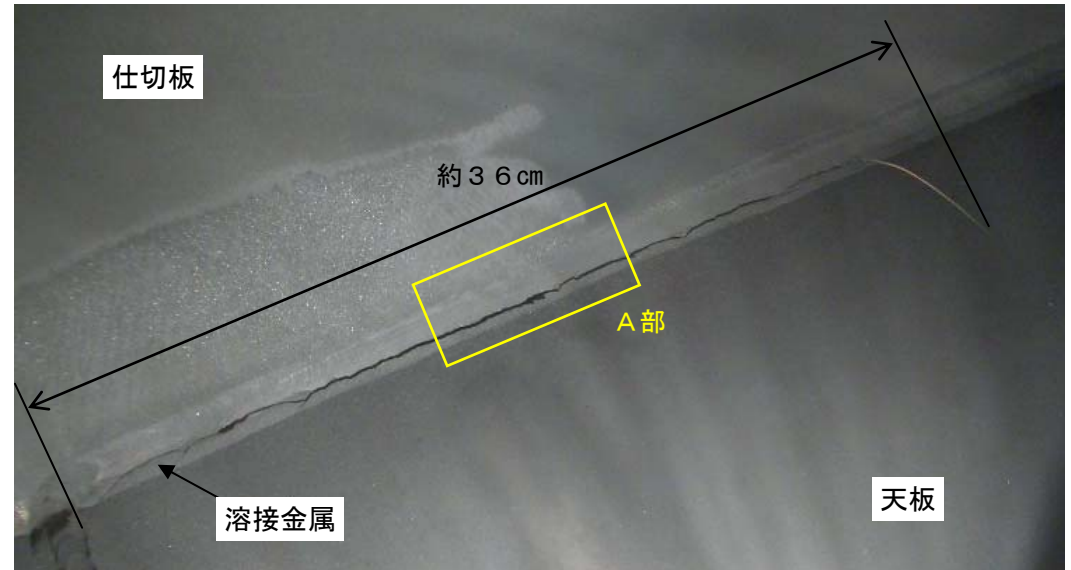
採取番号	試料採取箇所	付着塩分量 (mg as Cl/m ²)	判定値 (mg as Cl/m ²)	判定
①	天板下側表面	<1	100以下	良
②	蒸気整流板内部プレート上側表面	<1		良

天板及び蒸気整流板の付着塩分量を測定した結果、判定値を満足しており問題ないことを確認した。

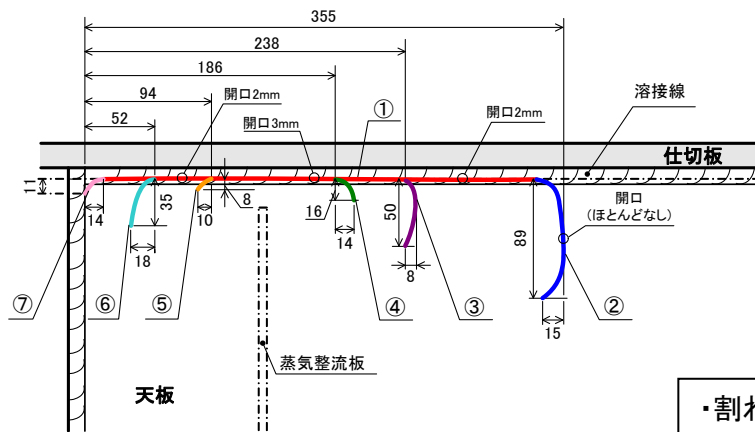
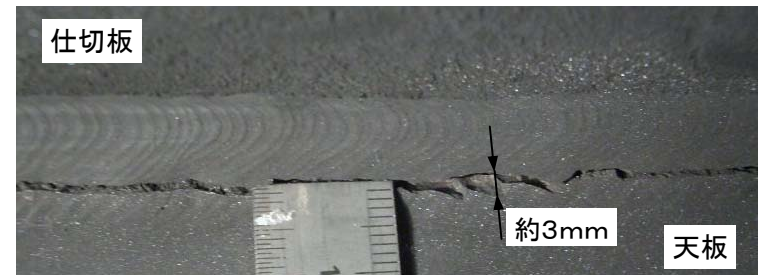
金属調査結果(外観観察)



割れ箇所(概念図)



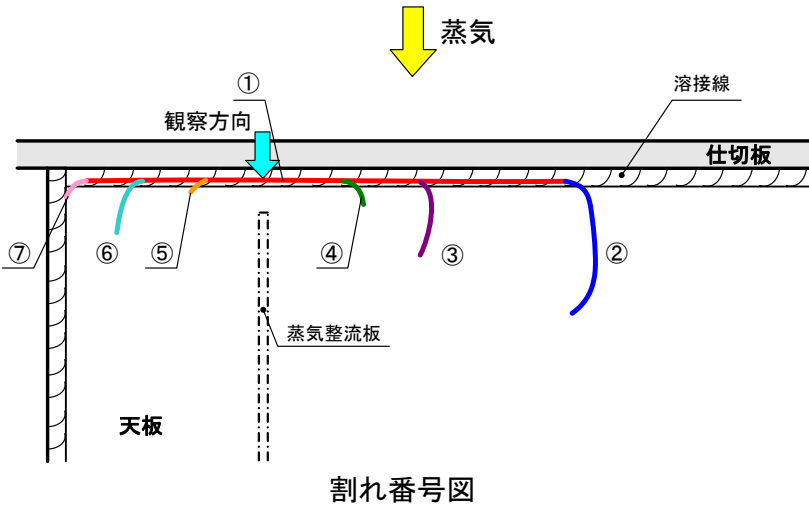
A部拡大



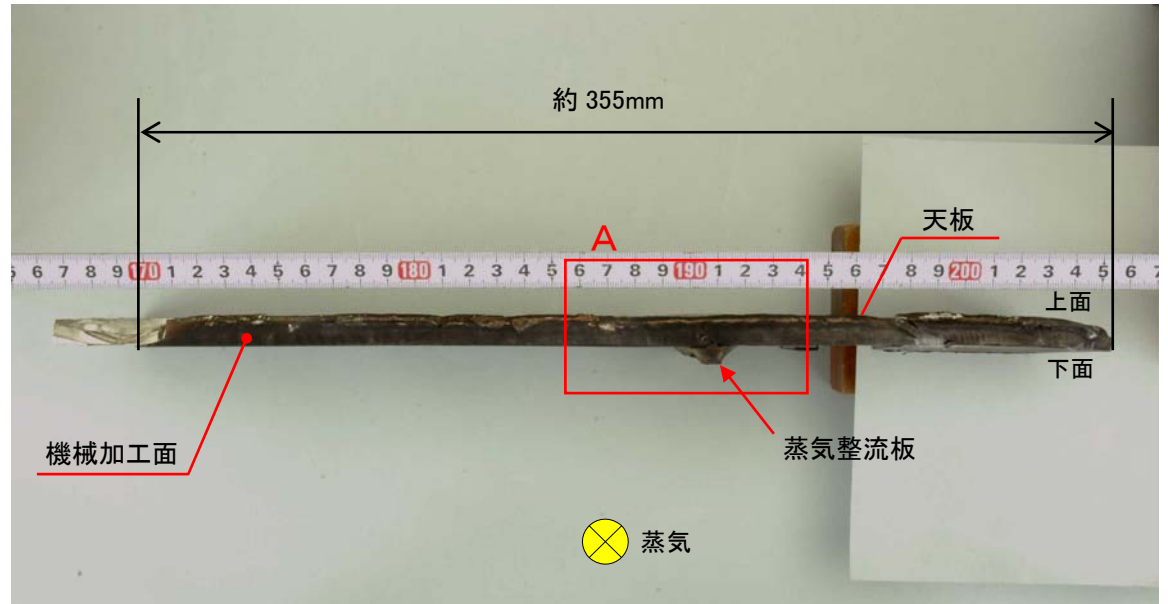
割れ番号図

- ・割れは天板と仕切板の溶接部及び天板母材部に生じていた。
- ・具体的には、溶接部の割れが1箇所(長さ約36cm)、溶接部の割れから枝分かれた天板母材部への割れが6箇所(最大長さ約9cm)認められた。
- ・天板母材部への割れは、蒸気整流板の取り付け位置を中心にほぼ対称に分布していた。
- ・割れ開口幅は溶接部割れの中央近傍が大きく、約3mmの割れ開口が認められた。

金属調査結果(破面観察)[割れ①]



割れ①

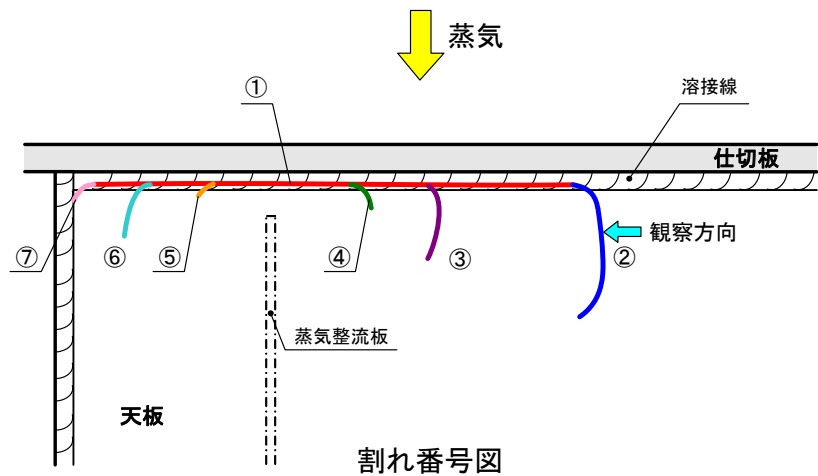


- ・割れ①は貫通していた。
- ・破面は、全面に渡ってほぼ平坦であることが認められた。
- ・天板の端部の大部分には、平坦な機械加工面が観察された。

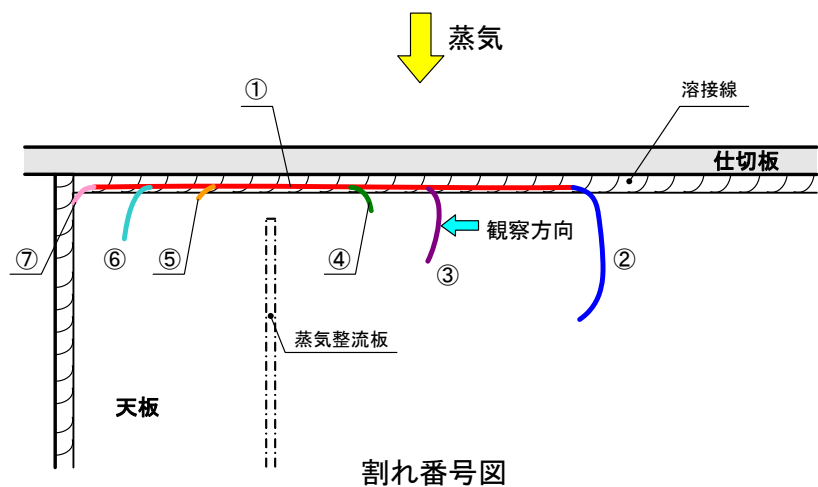
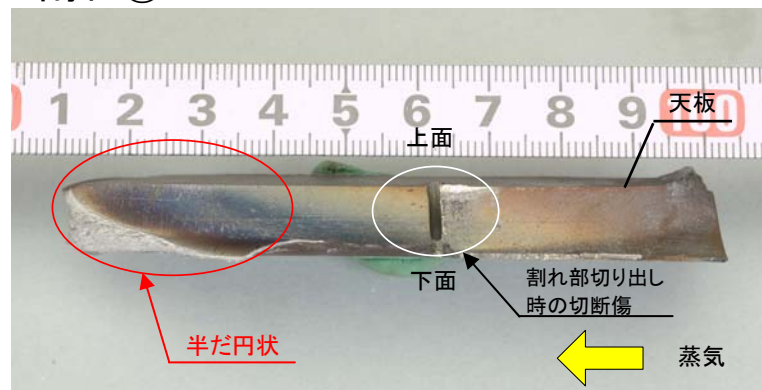


A部拡大

金属調査結果(破面観察)[割れ②, ③]



割れ②

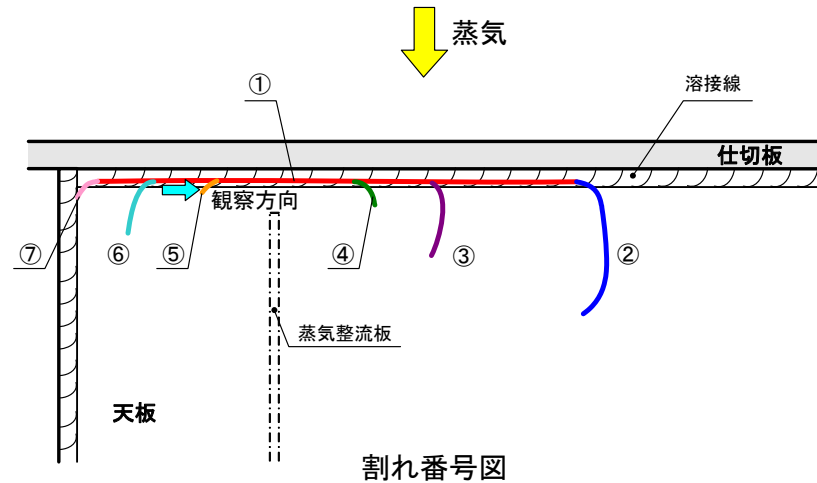
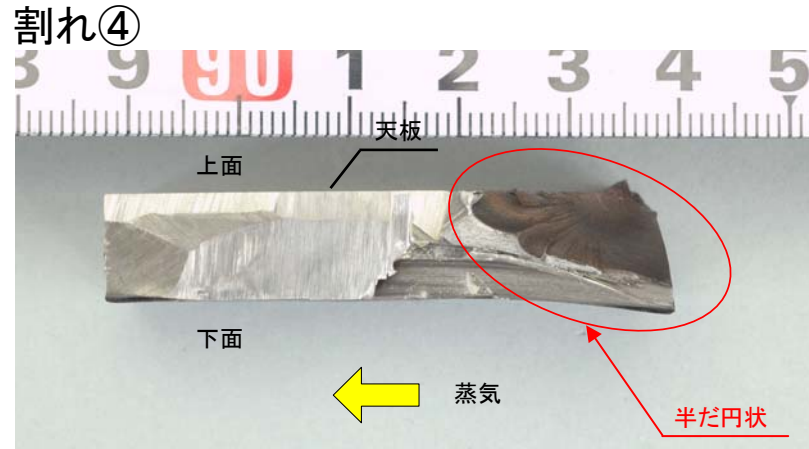
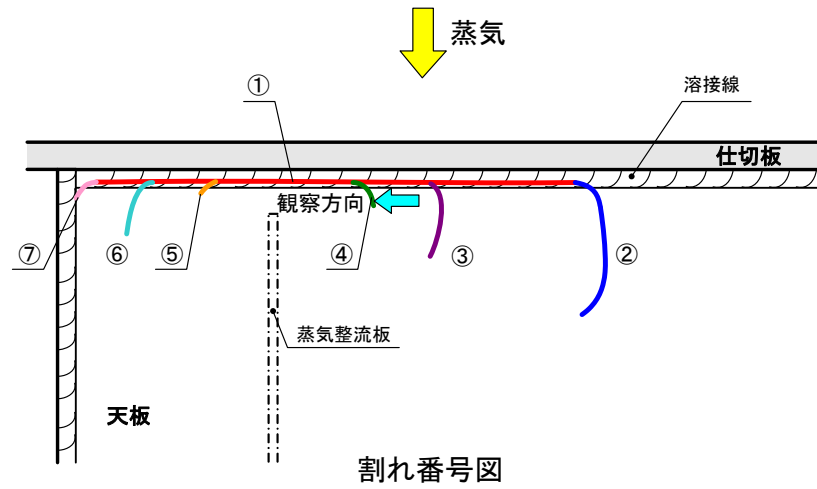


割れ③



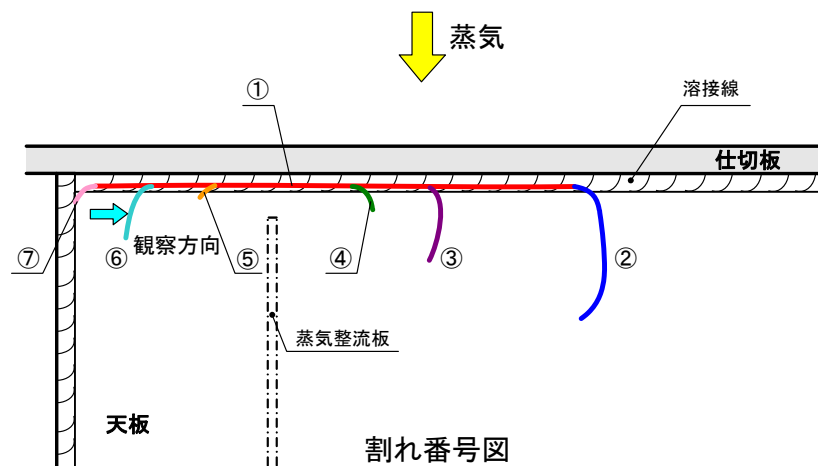
- ・割れ②は貫通していた。
- ・割れ③は貫通していなかった。
- ・破面は、ほぼ平坦であり、き裂前縁の形状は半だ円状であることが認められた。

金属調査結果(破面観察)[割れ④, ⑤]

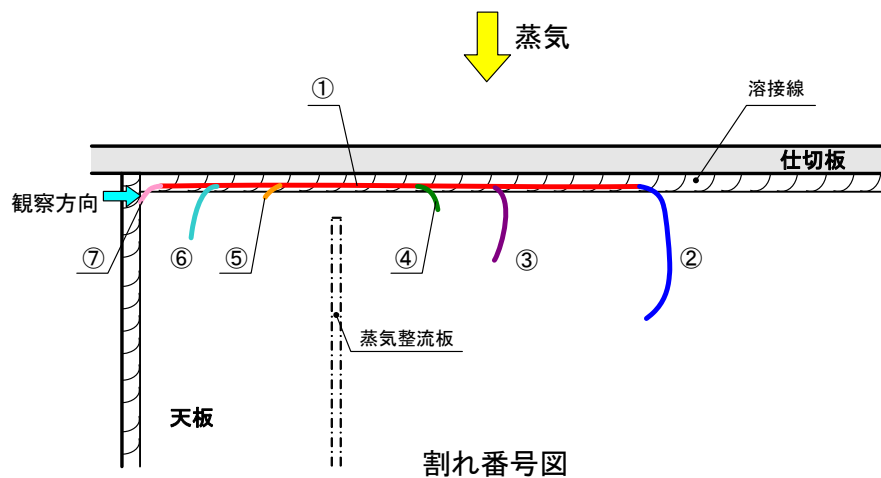
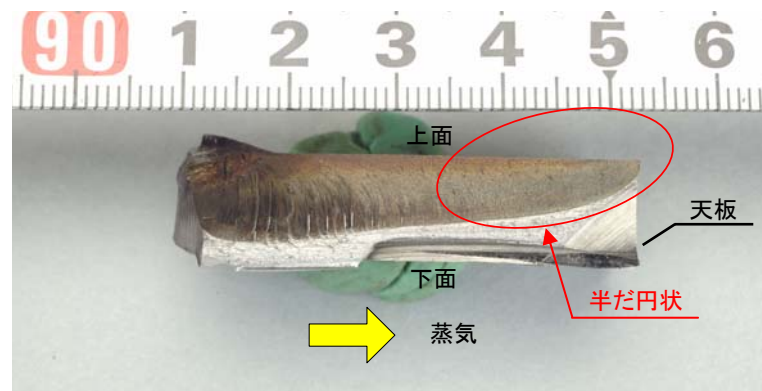


- ・割れは貫通していなかった。
- ・破面は、ほぼ平坦であり、き裂前縁の形状は半だ円状であることが認められた。

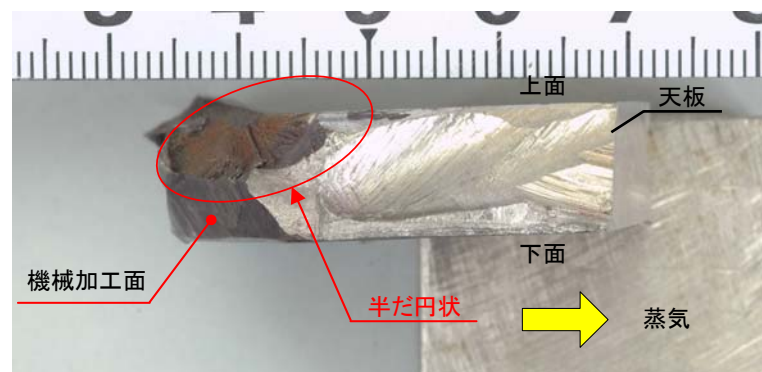
金属調査結果(破面観察)[割れ⑥, ⑦]



割れ⑥

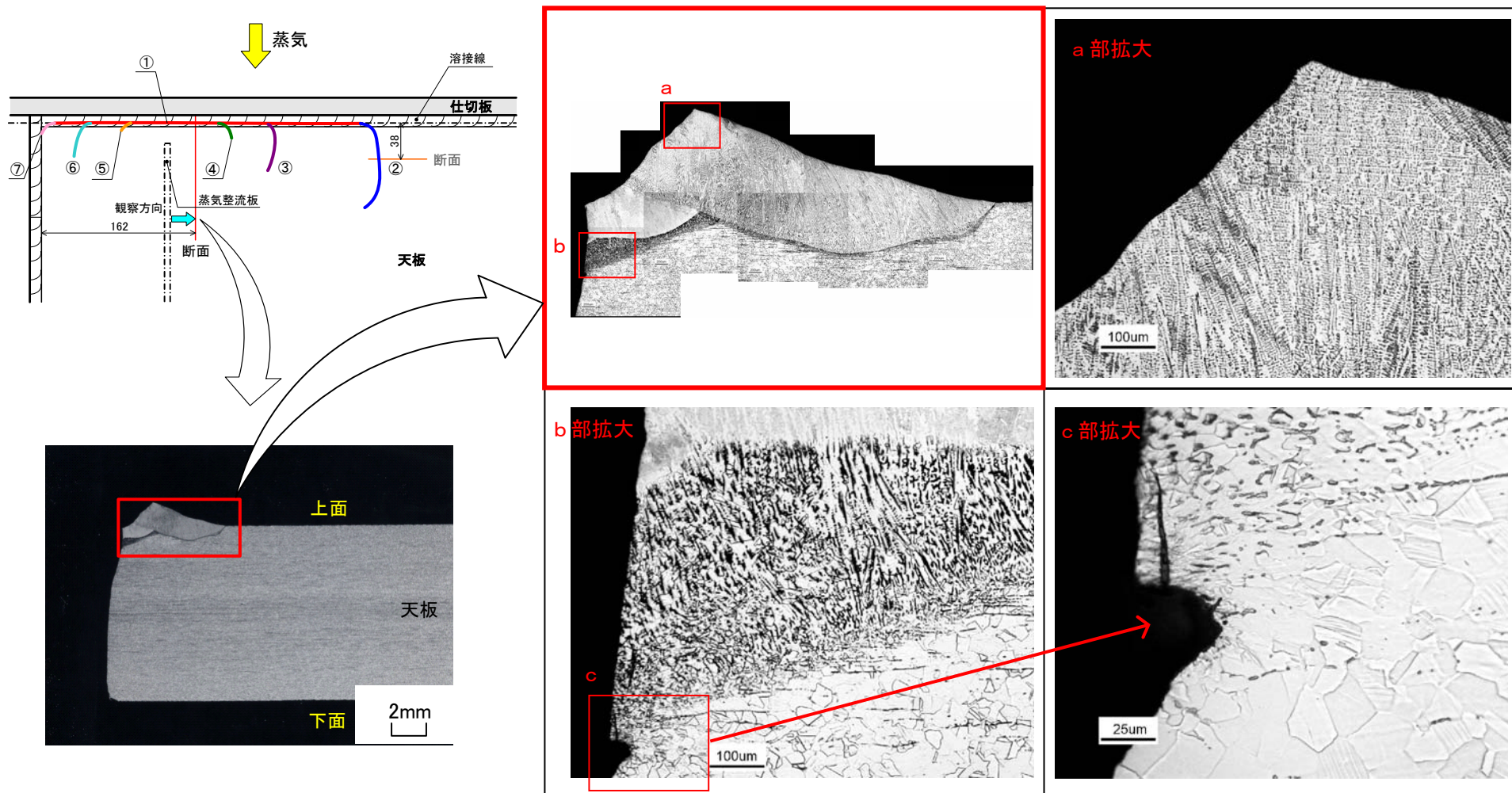


割れ⑦



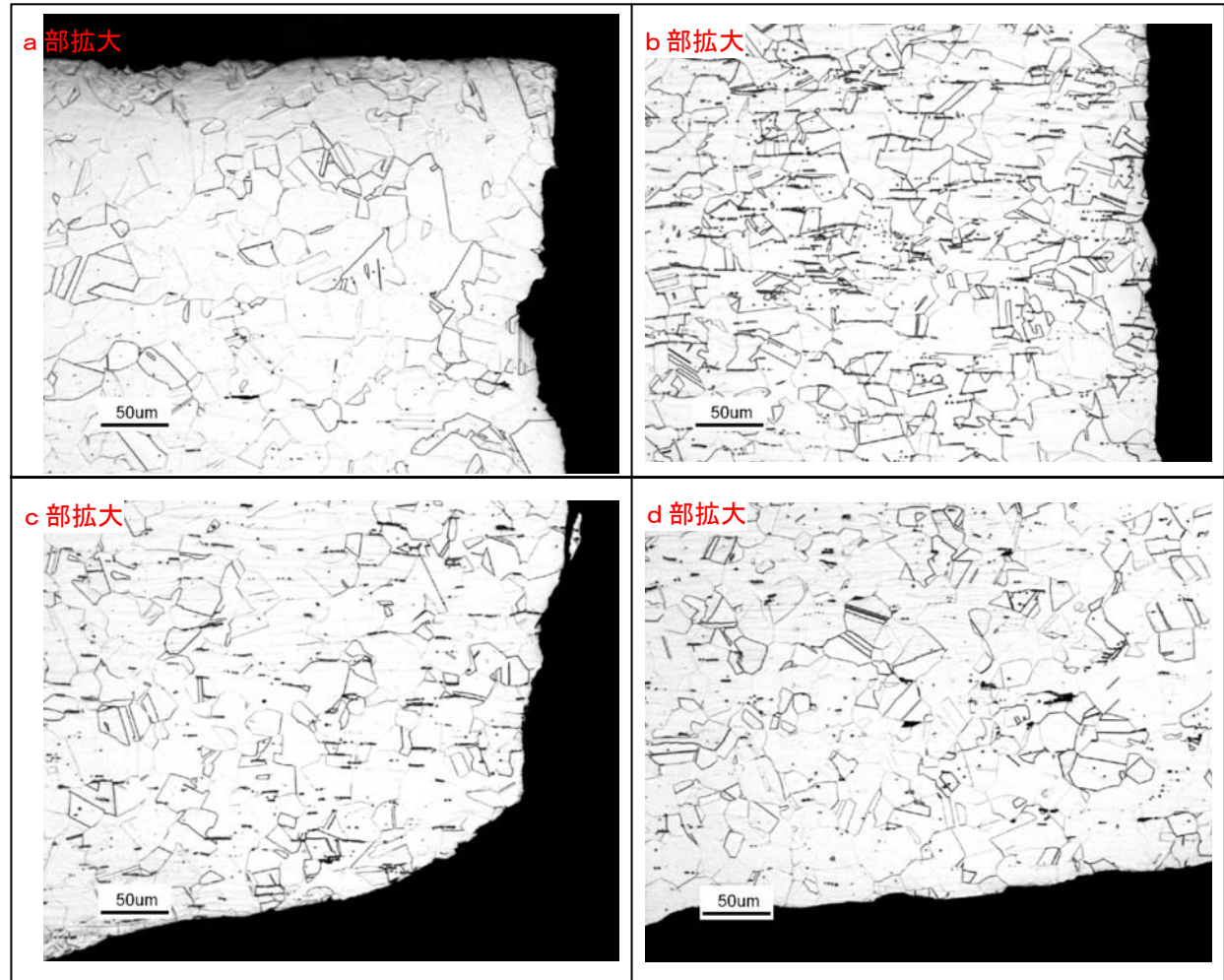
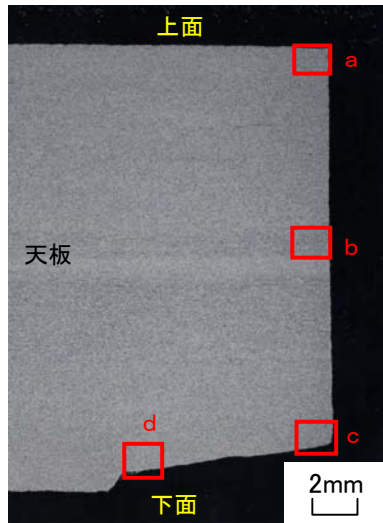
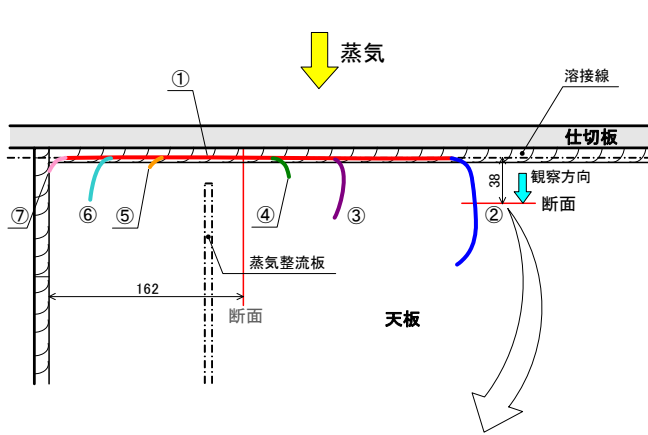
- ・割れは貫通していなかった。
- ・破面は、ほぼ平坦であり、き裂前縁の形状は半だ円状であることが認められた。

金属調査結果(断面ミクロ観察)[割れ①]



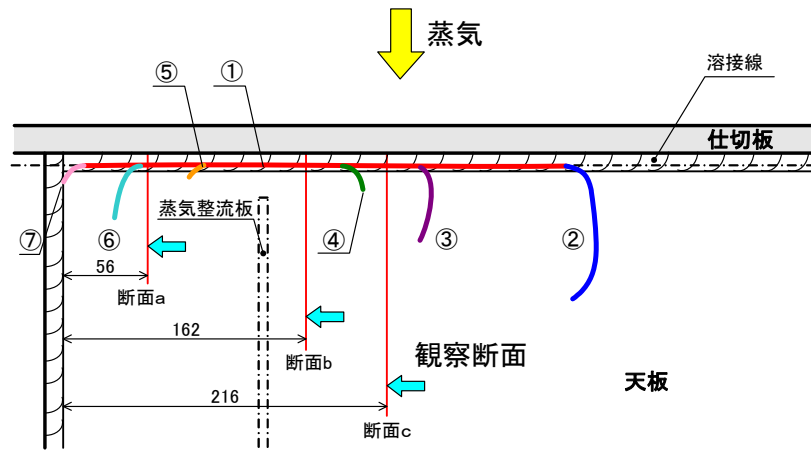
- ・断面の割れ形状は凹凸が少なく滑らかであることが認められた。
- ・割れは枝分かれがほとんどなく、粒内割れであることが認められた。
- ・介在物や腐食ピットは認められなかった。

金属調査結果(断面ミクロ観察)[割れ②]

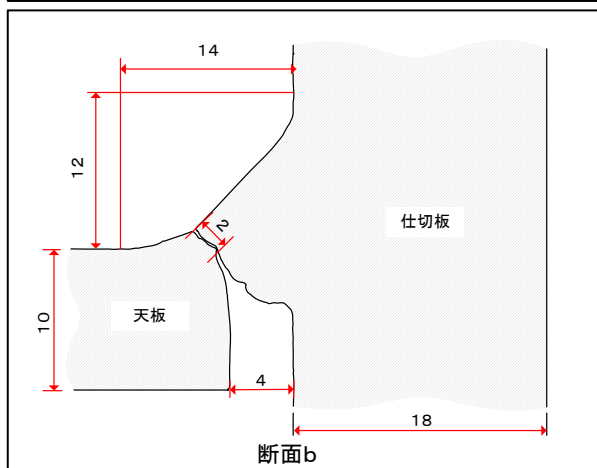
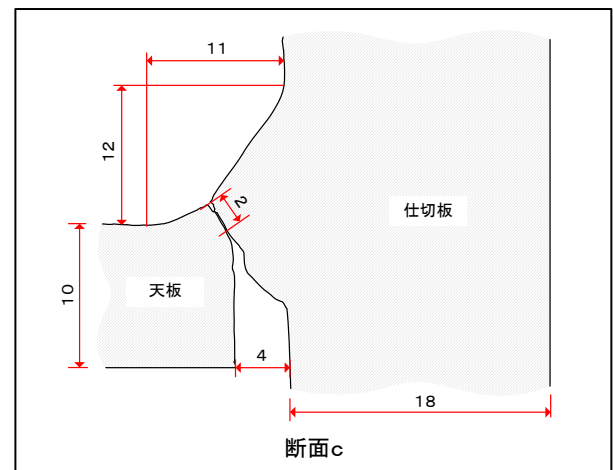
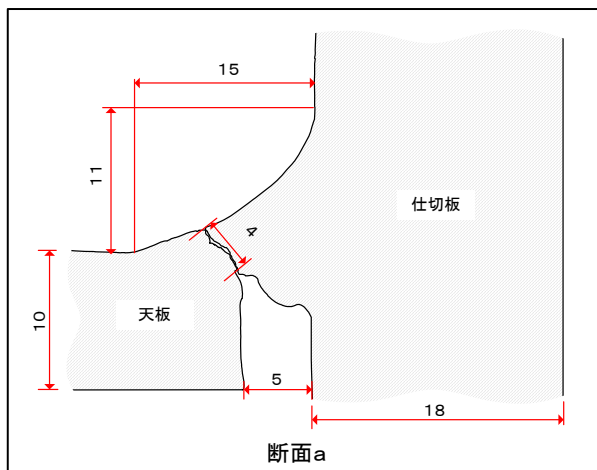


- ・断面の割れ形状は凹凸が少なく滑らかであることが認められた。
- ・割れは枝分かれがほとんどなく、粒内割れであることが認められた。
- ・介在物や腐食ピットは認められなかった。

金属調査結果(のど厚、ルート間隔、すみ肉脚長測定)



割れ番号図

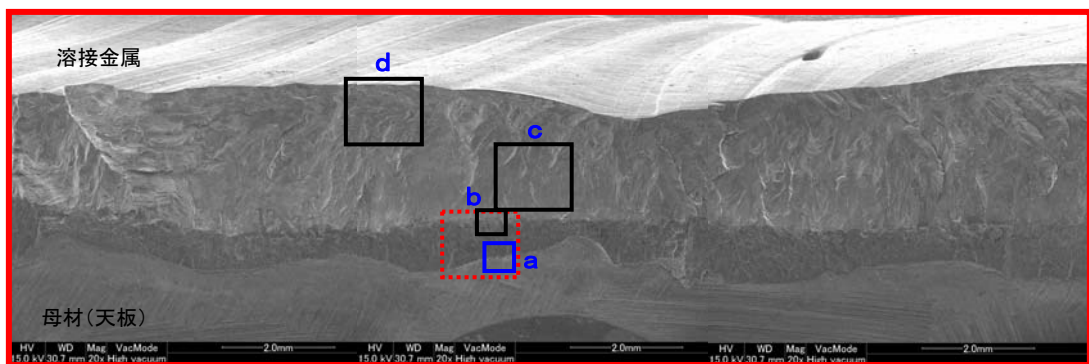
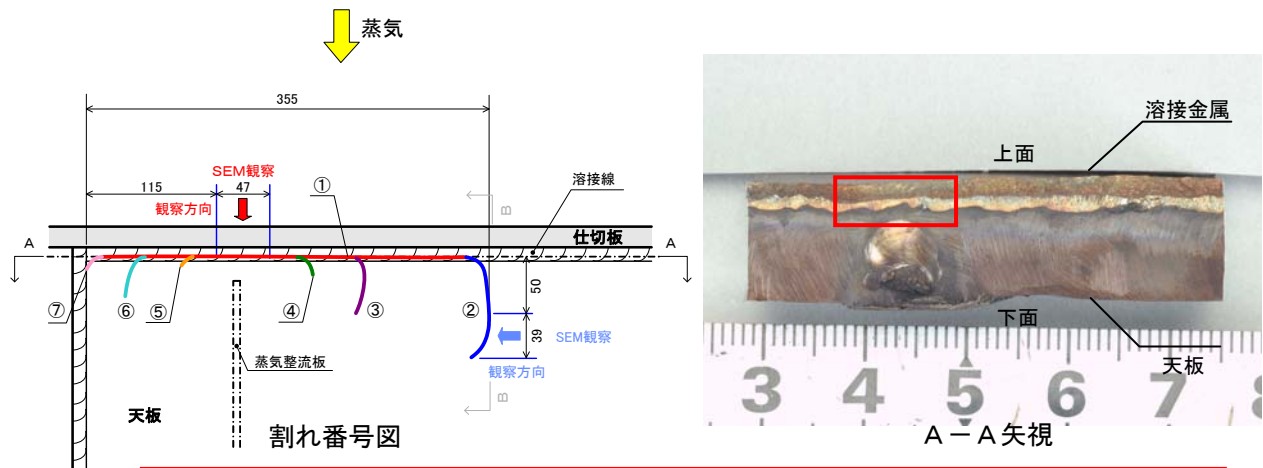


のど厚、ルート間隔、すみ肉脚長測定結果

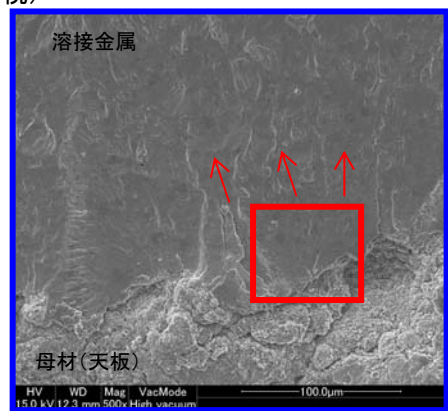
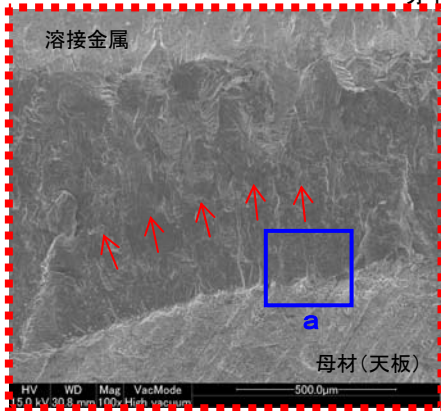
溶接部の割れ貫通部について、以下の寸法測定を実施した。

- ・ のど厚を測定した結果、約 2 mm の箇所があった。
- ・ ルート間隔を測定した結果、約 5 mm の箇所があった。
- ・ すみ肉の脚長を測定した結果、約 11 mm 以上であった。

金属調査結果(破面SEM観察)[溶接部割れ①-a]



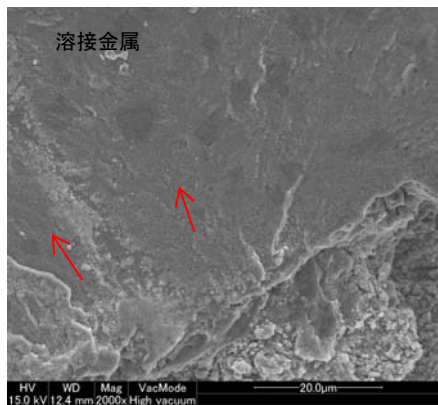
赤枠部拡大(A-A矢視)



拡大 →

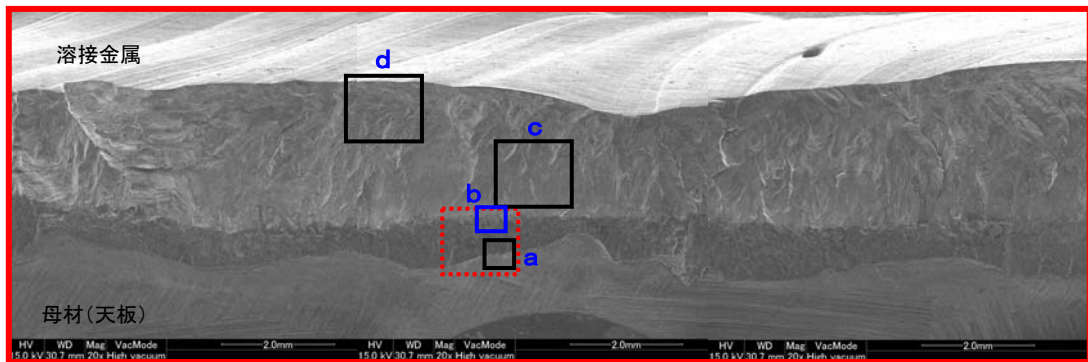
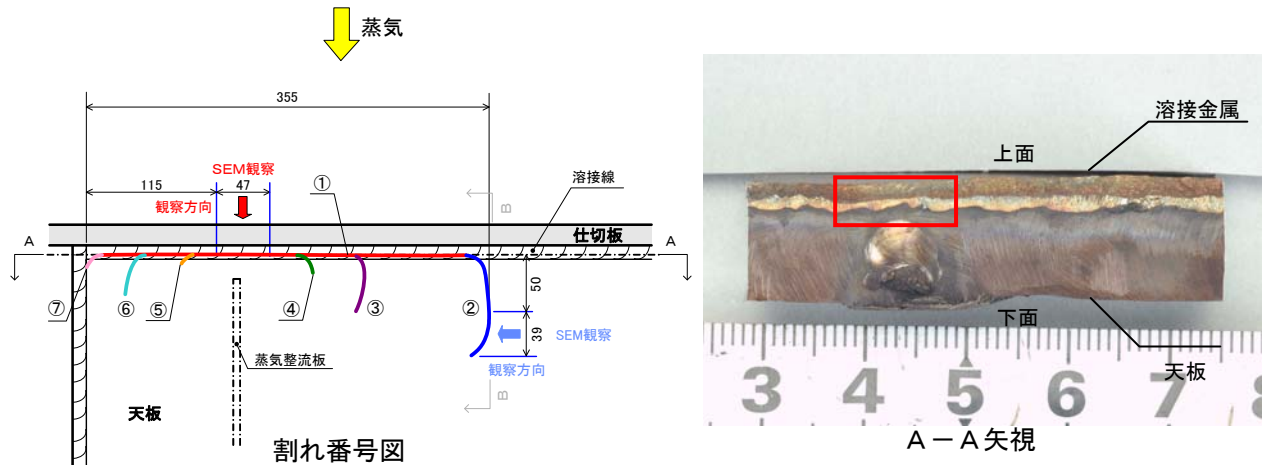
拡大 ↙

→ : 金属組織の流れ方向(割れの進展方向)を示す。

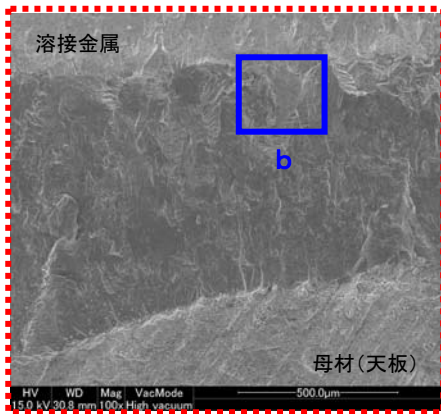


- ・破面はほぼ平坦であり、粒内割れが認められた。
- ・母材(天板)／溶接金属の境界部付近から天板上面に向かう金属組織の流れ(割れの進展方向に対応)が認められた。
- ・羽毛状の組織、介在物、腐食ピットは認められなかった。

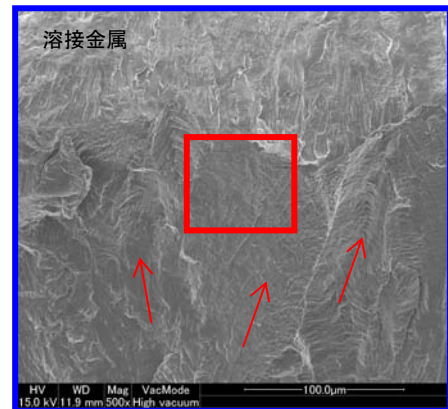
金属調査結果(破面SEM観察)[溶接部割れ①-b]



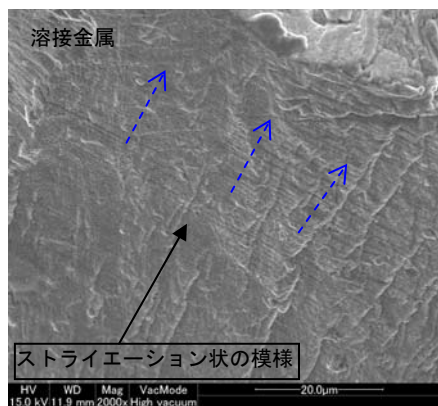
赤枠部拡大(A-A矢視)



拡大 →



← 拡大

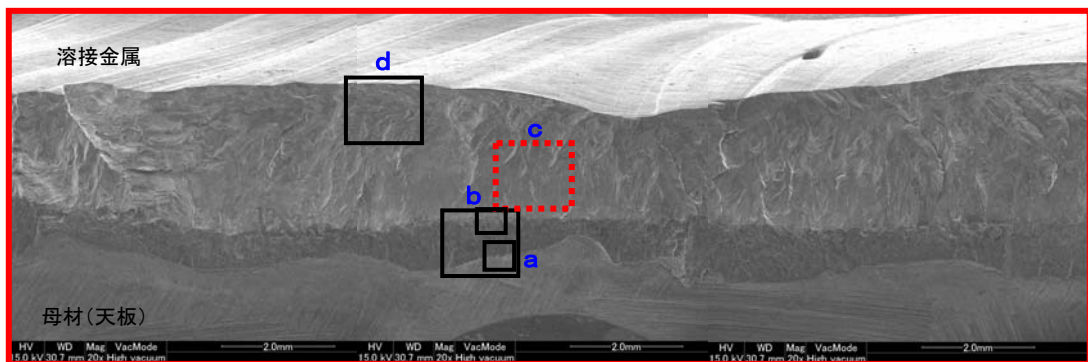
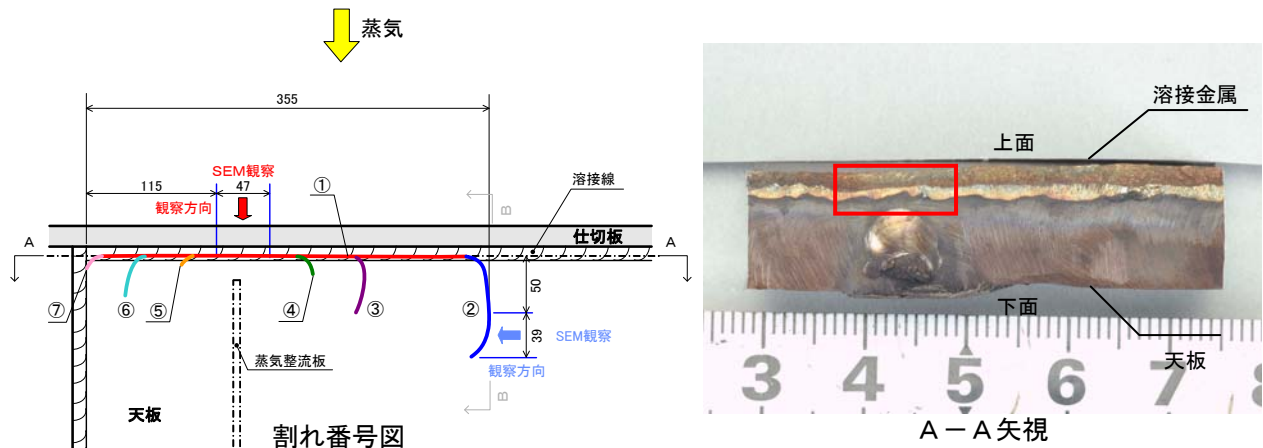


→ : 金属組織の流れ方向(割れの進展方向)を示す。

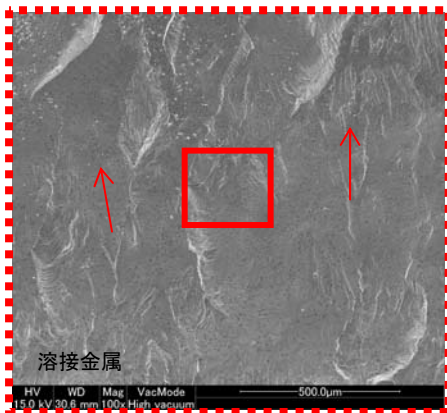
---> : き裂の進展方向を示す。

- ・破面はほぼ平坦であり、粒内割れが認められた。
- ・破面には、疲労破面に特有なストライエーション状の模様が認められた。
- ・破面には、天板上面に向かう金属組織の流れ(割れの進展方向に対応)が認められた。
- ・羽毛状の組織、介在物、腐食ピットは認められなかった。

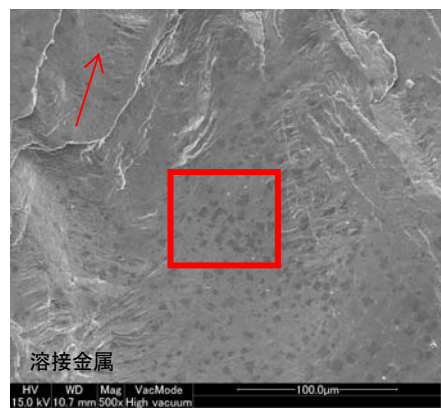
金属調査結果(破面SEM観察)[溶接部割れ①-c]



赤枠部拡大(A-A矢視)

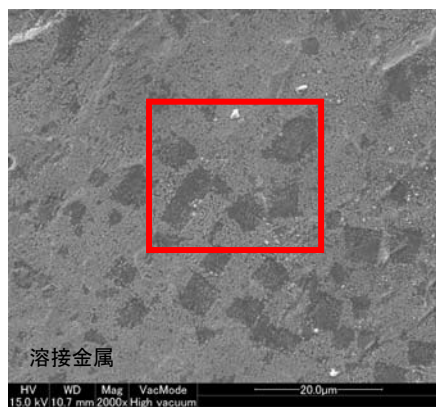


拡大 →



拡大

→ : 金属組織の流れ方向(割れの進展方向)を示す。



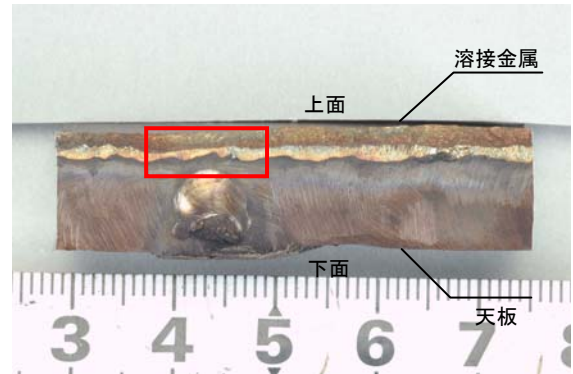
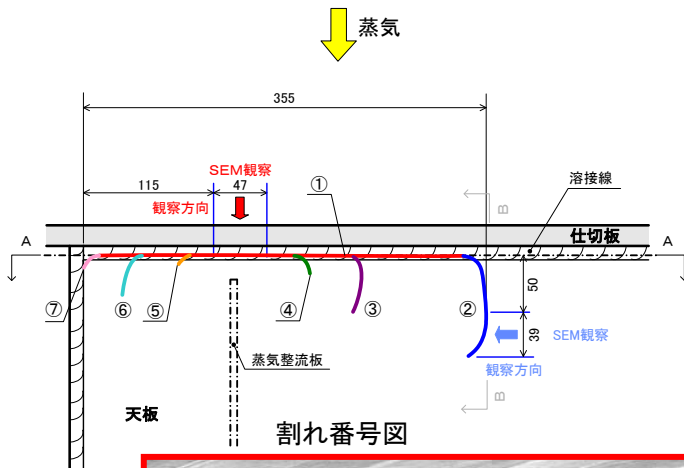
拡大 →



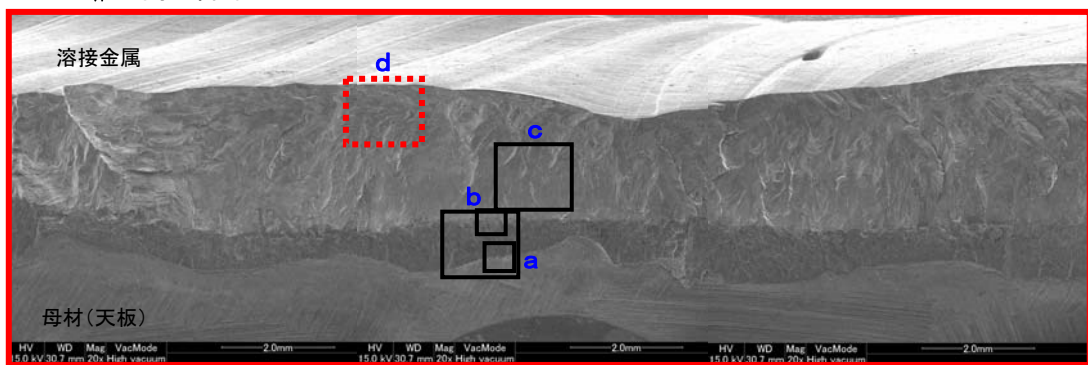
-----> : き裂の進展方向を示す。

- ・破面はほぼ平坦であり、粒内割れが認められた。
- ・破面には、天板上面に向かう金属組織の流れ(割れの進展方向に対応)が認められた。
- ・破面には、疲労破面に特有なストライエーション状の模様が認められた。
- ・羽毛状の組織、介在物、腐食ピットは認められなかった。

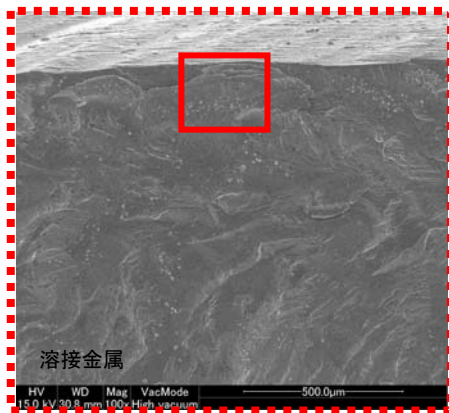
金属調査結果(破面SEM観察)[溶接部割れ①-d]



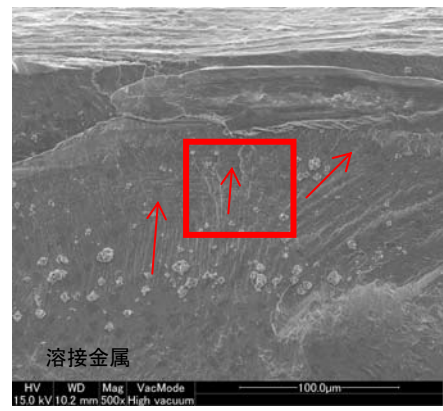
A-A矢視



赤枠部拡大(A-A矢視)

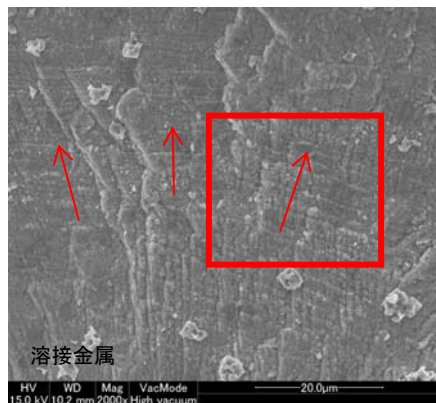


拡大 →

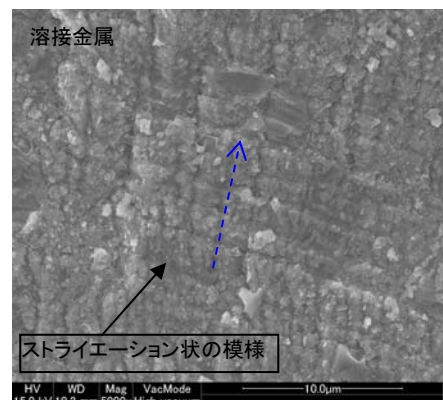


拡大 ↙

→ : 金属組織の流れ方向(割れの進展方向)を示す。



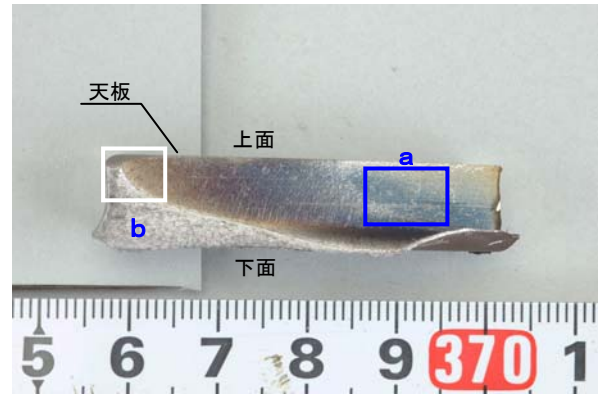
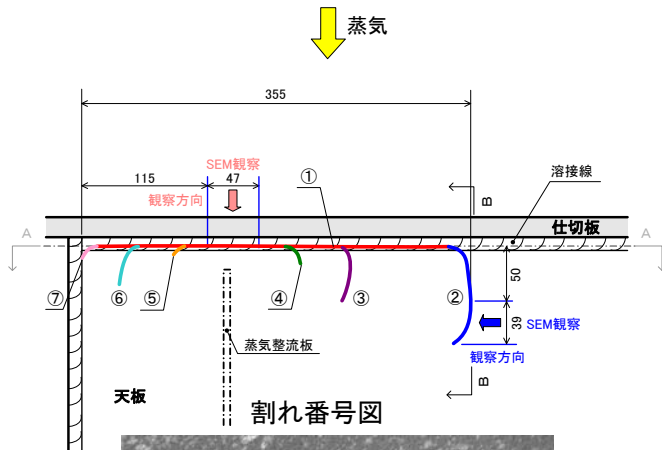
拡大 →



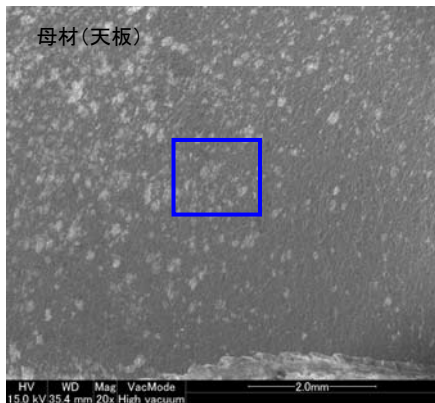
-----> : き裂の進展方向を示す。

- ・破面はほぼ平坦であり、粒内割れが認められた。
- ・破面には、天板上面に向かう金属組織の流れ(割れの進展方向に対応)が認められた。
- ・破面には、疲労破面に特有なストライエーション状の様相が認められた。
- ・羽毛状の組織、介在物、腐食ピット及び溶接金属表面での材料欠陥は認められなかった。

金属調査結果(破面SEM観察)[母材部割れ②-a]

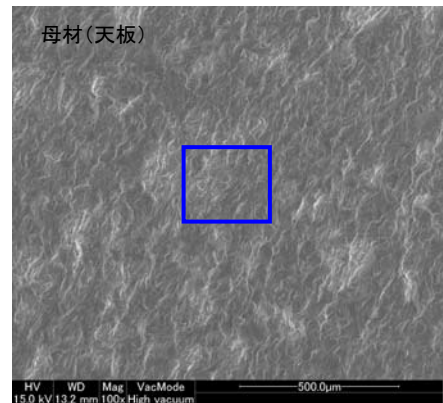


B-B矢視

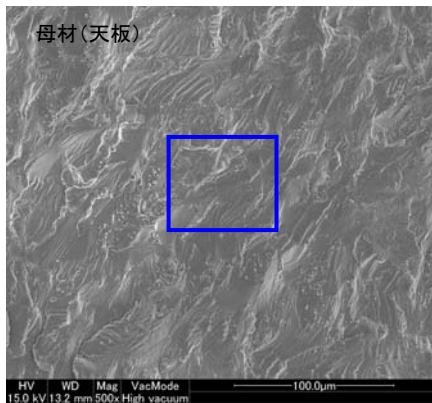


a部拡大(B-B矢視)

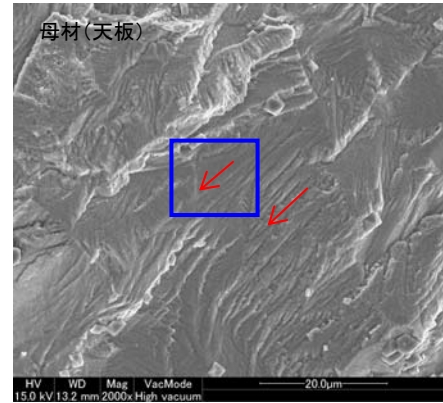
拡大 →



拡大 ↙



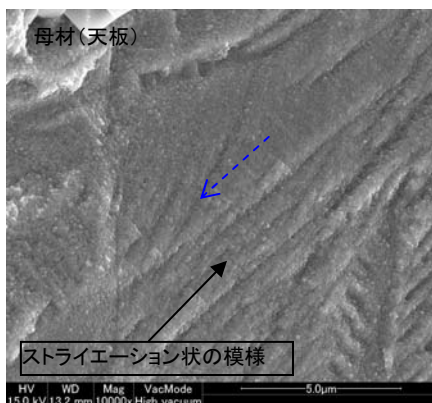
拡大 →



拡大 ↙

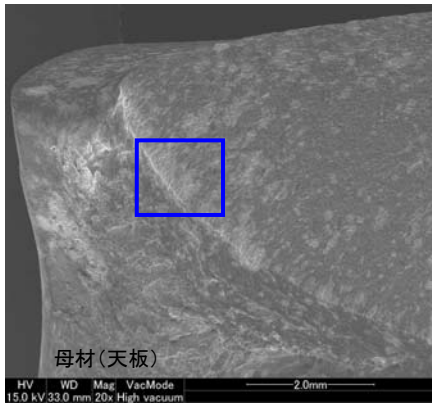
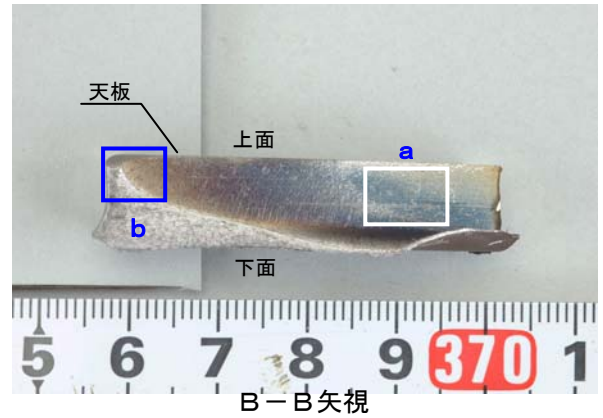
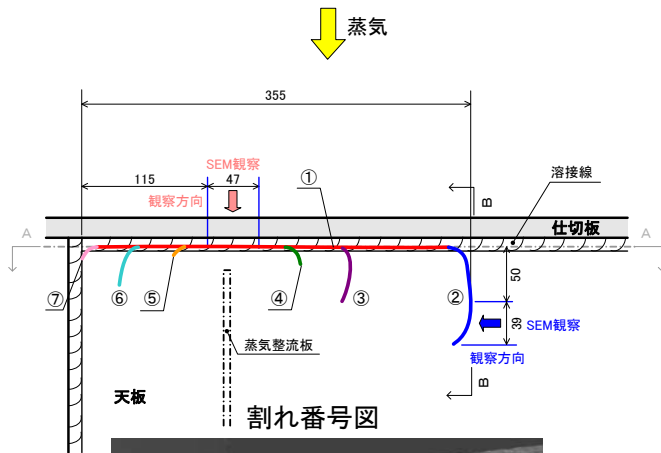
→ : 金属組織の流れ方向(割れの進展方向)を示す。

---> : き裂の進展方向を示す。

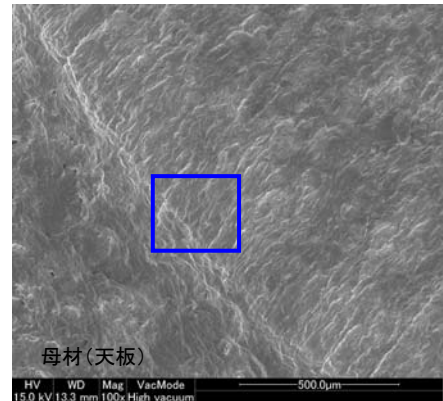


- ・破面は平坦であり、粒内割れが認められた。
- ・破面には、天板上面から下面に向かう金属組織の流れ(割れの進展方向に対応)が認められた。
- ・破面には、疲労破面に特有なストライエーション状の模様が認められた。
- ・羽毛状の組織、介在物、腐食ピットは認められなかった。

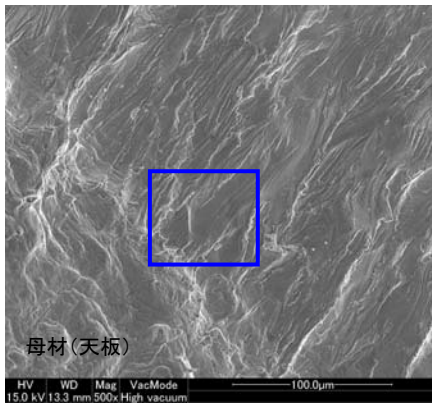
金属調査結果(破面SEM観察)[母材部割れ②-b]



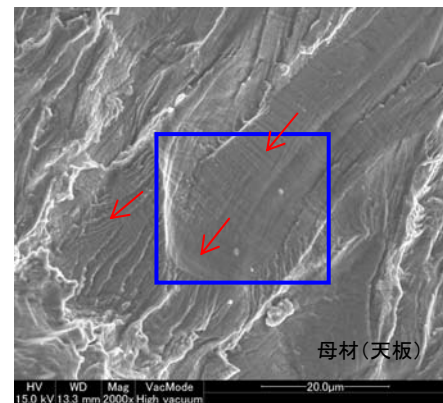
拡大 →



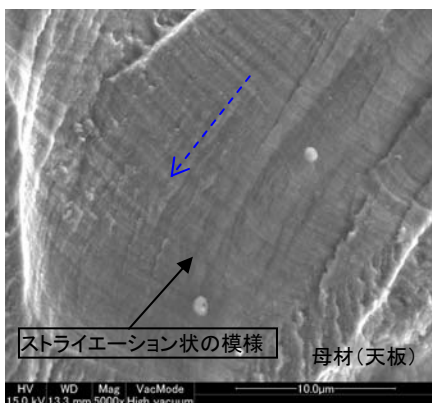
← 拡大



→ 拡大



← 拡大



→ : 金属組織の流れ方向(割れの進展方向)を示す。

---> : き裂の進展方向を示す。

- ・破面は平坦であり、粒内割れが認められた。
- ・破面には、天板上面から下面に向かう金属組織の流れ(割れの進展方向に対応)が認められた。
- ・破面には、疲労破面に特有なストライエーション状の模様が認められた。
- ・羽毛状の組織、介在物、腐食ピット及び天板母材部表面での材料欠陥は認められなかった。

金属調査結果(EDX分析)

EDX: エネルギー分散型X線分光法

(単位:重量%)

項目	Cl	Na	Ca	S	Si	その他
破面	0.24	0.30	—	0.10	0.30	99.06

(参考)

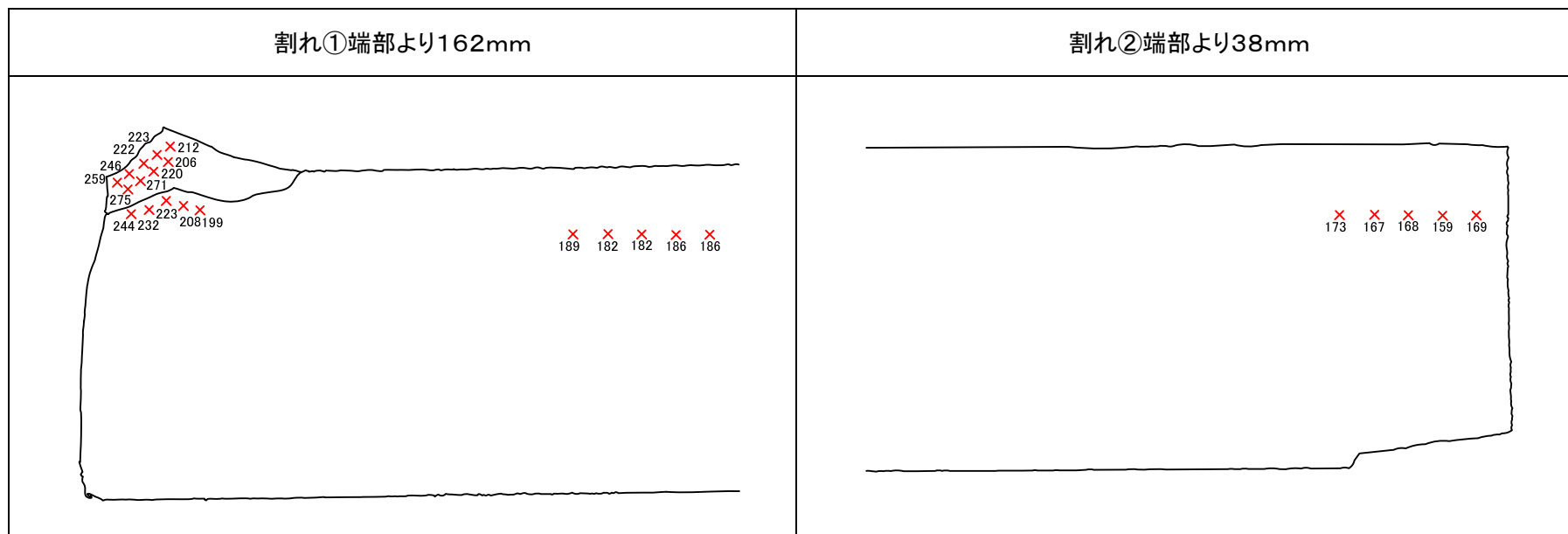
(単位:重量%)

項目	Cl	Na	Ca	S	Si	その他
一般部表面* (ステンレス鋼)	0.61	0.65	0.12	—	0.15	98.47

*: 破面分析試料の天板部表面

・破面の元素分析を実施した結果、耐食性に影響を与える元素濃度は一般部表面と同等であり、問題はなかった。
なお、Cl、Naの分析値は検出限界程度であった。

金属調査結果(硬度測定)



硬度測定結果(ビッカース硬さ:HV)

		天板		溶接金属
		母材	熱影響部	
割れ①端部 より162mm	平均	185	221	237
	最高	189	244	275
割れ②端部 より38mm	平均	167	—	—
	最高	173	—	—

規格値*1

	HV
天板(母材)	203 以下*2

* 1: 溶接金属、熱影響部および仕切板(母材)は規格値なし

* 2: 規格値ロックウェル硬さ B 92 以下を HV 換算した値

- ・母材は、規格値を満足しており問題はなかった。
- ・溶接金属及び熱影響部では、問題となる硬化は認められなかった。

疲労による割れの発生に関する評価

1. 目的

天板と仕切板の溶接部の割れ発生部の詳細調査結果から、割れの発生要因は疲労によるものと推定されることから、蒸気整流板に作用する流体加振力による振動により天板と仕切板溶接部に発生する変動応力を算出し、疲労評価を実施する。

2. 検討項目

(1) 振動による変動応力の算出

a. 流体加振力算出

- ・蒸気整流板に作用する流体加振力（圧力変動パワースペクトル）を流体の数値解析により算出する。

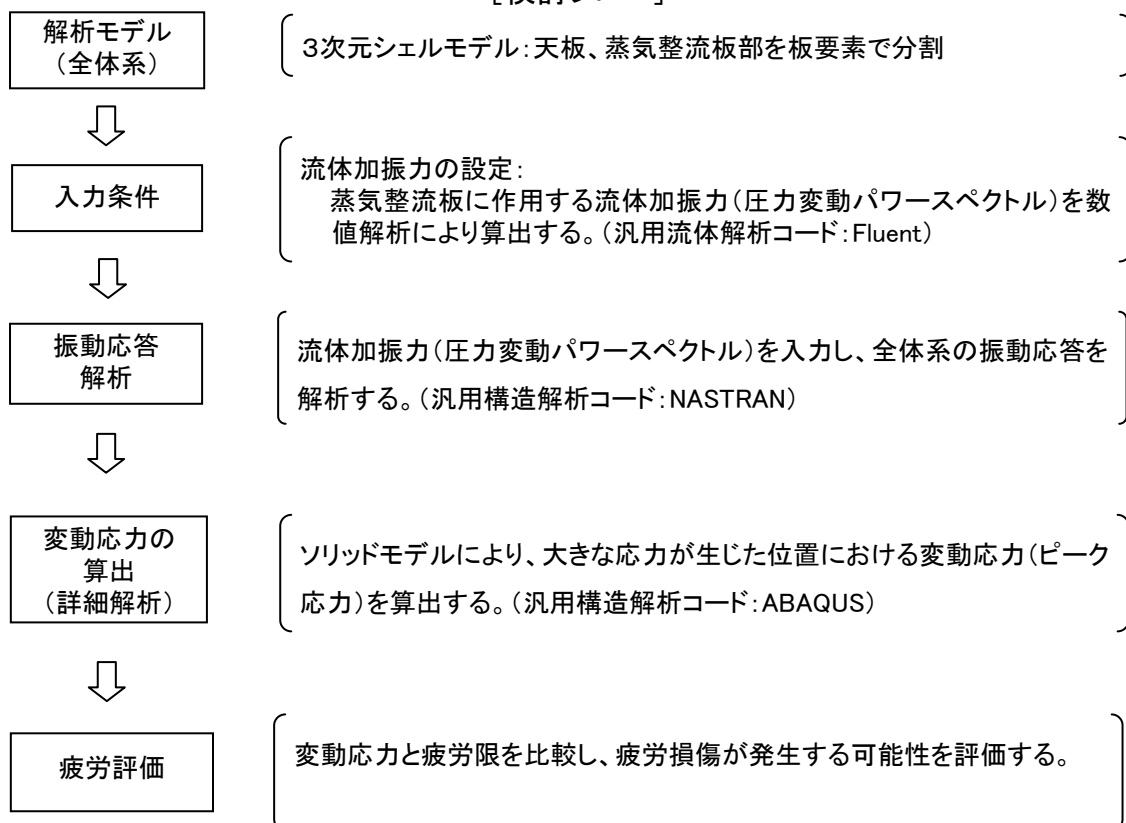
b. 変動応力算出

- ・天板と蒸気整流板を板要素でモデル化し、流体加振力を入力としたランダム応答解析により、全体系の振動応答を算出する。
- ・大きな応力が生じた箇所について、ソリッド要素で詳細にモデル化し、静解析により変動応力を算出する。

(2) 疲労評価

変動応力と疲労限を比較し、疲労損傷が発生する可能性を評価する。

[検討フロー]



3. 評価結果

(1) 解析モデル

蒸気整流板と天板を対象に、3次元シェル（板）要素にてモデル化した。

拘束条件として天板の幅方向両端および手前側は溶接されていることから完全拘束、天板の奥側は実際には天板が続いていることから対称境界とし、天板と仕切板との溶接部の厚さは、溶込み不足によるのど厚の減小を考慮した。

解析モデル図を図1に示す。

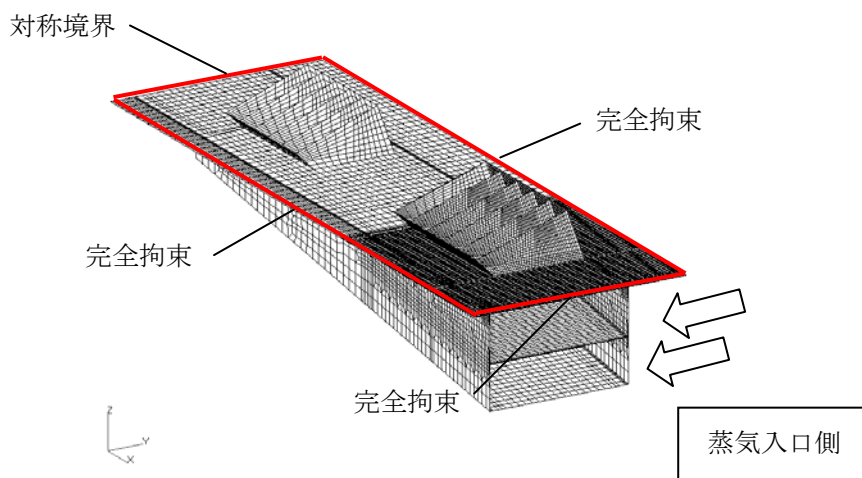


図1 解析モデル図

(2) 入力条件

運転中、蒸気整流板には、蒸気の流れによるランダムな圧力変動が生じる。この圧力変動を算出するため、汎用流体解析コード（Fluent）を用いて非定常流れの数値解析を実施し、振動応答解析に用いる圧力変動パワースペクトルを算出した。

計算諸元を表1に、圧力変動パワースペクトルを図2に、蒸気整流板廻りの形状および流れの様相を図3、図4に示す。

表1 流体解析における計算諸元

項目	単位	数値
流速	m/s	28
迎え角	°	70
板厚さ(整流板)	mm	6
板間隔	mm	146

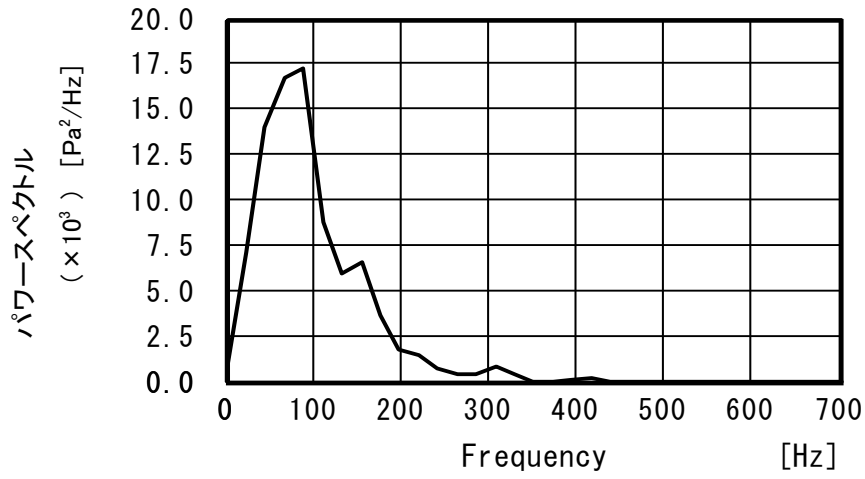


図2 圧力変動パワースペクトル

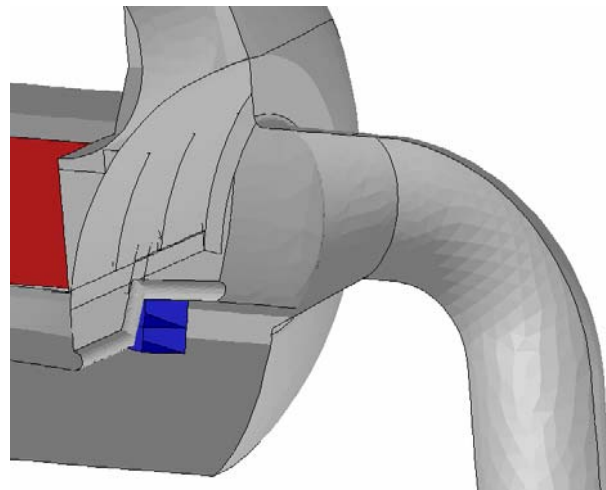


図3 入口管台および蒸気整流板廻り形状図

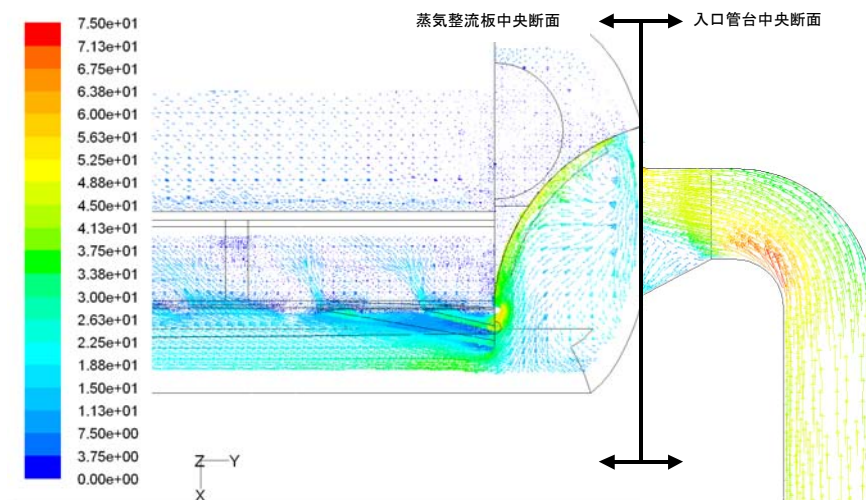


図4 入口管台および蒸気整流板断面流速ベクトル

(3) 振動応答解析

上記の圧力変動パワースペクトルを解析モデルに入力し、汎用構造解析コード (NASTRAN) を用いて振動応答解析を実施した。

応力コンター図 (無次元量) を図5に示す。

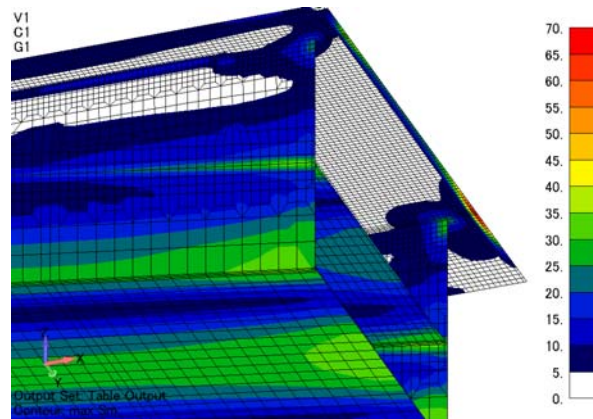


図5 応力コンター図(無次元量)

(4) 変動応力の算出

振動応答解析の結果、最も大きな応力が生じた位置 (天板の蒸気入口ノズルから見て右側端面から 137 mm) について、ソリッド要素でモデル化し、汎用構造解析コード (ABAQUS) により算出した。

解析結果を図6に示す。

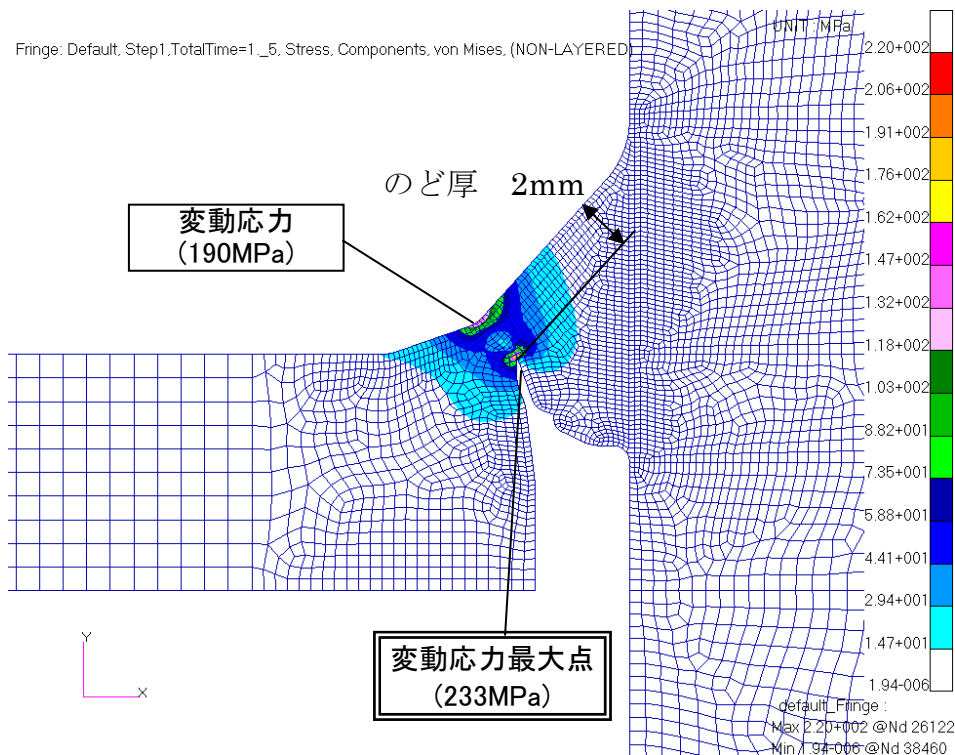


図6 変動応力解析結果

(7) 疲労評価

算出された変動応力は疲労限を上回り、疲労損傷が発生し得ることを確認した。

評価結果を表2に示す。なお、表中に示す変動応力は、実機使用温度を考慮してヤング率補正係数(1.06)を乗じた値である。

表2 疲労評価結果

変動応力(MPa)	疲労限(MPa)*	疲労損傷の可能性
233	213	有

※: 図7に示す疲労線図における繰返し数 10^{11} に相当する変動応力値

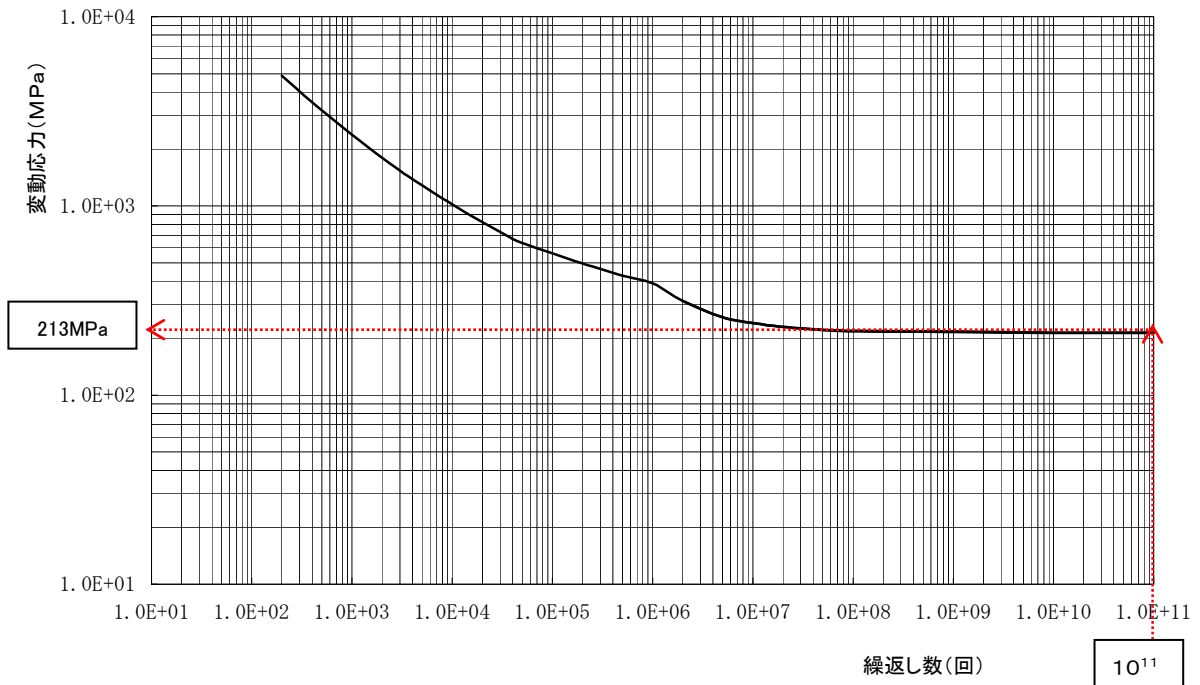
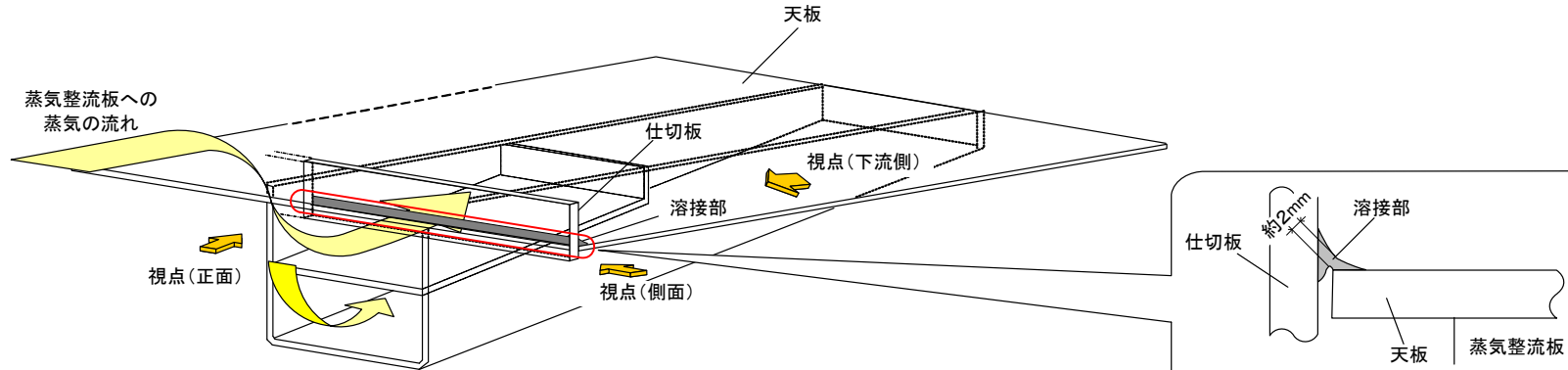


図7 疲労線図(ASME Sec.VIII Division 2 Best fit curve)
(オーステナイト系ステンレス鋼)

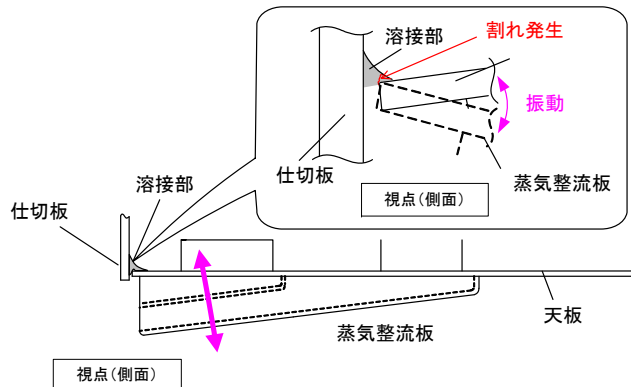
湿分分離加熱器2B事象発生推定メカニズム

製作時及び通常運転状況



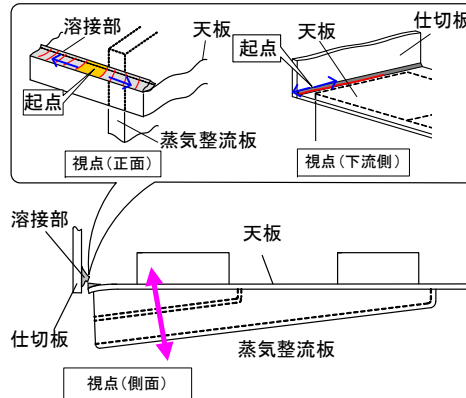
のど厚が小さい溶接が施工された。

①初期の割れ発生



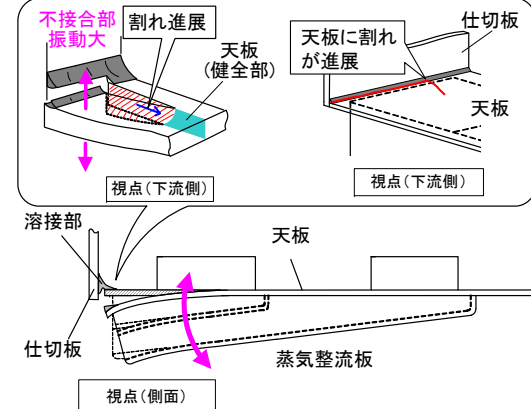
蒸気の流れによる流体加振力が作用し、天板と仕切板の溶接部に疲労限を上回る変動応力がかかり、割れが発生。

②溶接部割れ進展



天板と仕切板の溶接部の割れが徐々に進展した。

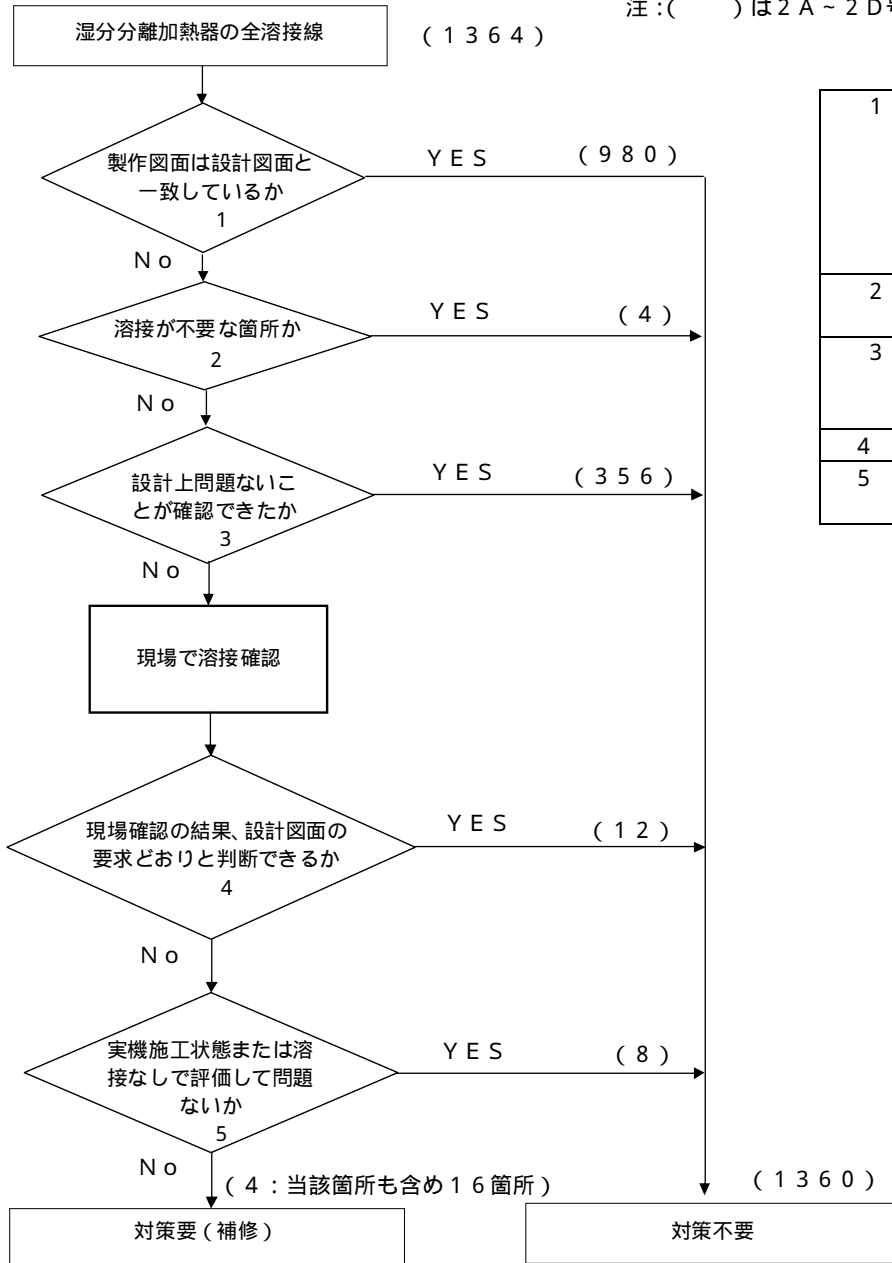
③天板への割れ進展



仕切板と天板の溶接部の割れが広がったため、天板の振動が大きくなり、天板にねじれが生じて、天板に割れが生じた。

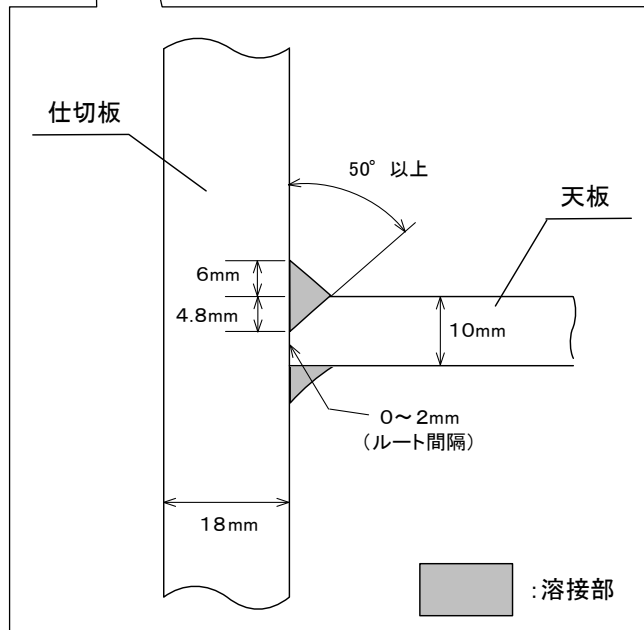
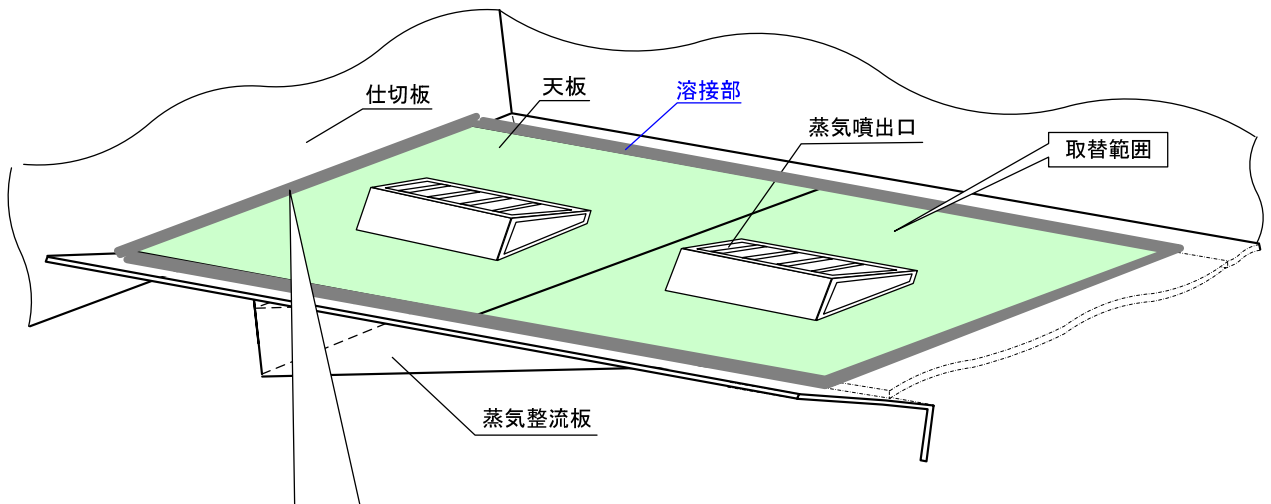
湿分分離加熱器の溶接部の健全性調査（水平展開フロー）

注：() は 2 A ~ 2 D 号機における各部位の合計数を示す。



- | | |
|---|---|
| 1 | 製作図面の溶接指示が設計図面どおりのものは対策不要とし、それ以外の
・ 設計図に溶接指示があるが、製作図にないもの
・ 設計図に溶接指示がないが、製作図にあるもの
・ 製作図の溶接指示が設計図から変更されているもの
・ 製作図に溶接番号がないものは対策要とした。 |
| 2 | 設計図面では溶接設計であるが、製作図面は一体設計としており問題ない箇所は対策不要とした。 |
| 3 | ・ 明らかに保守的な変更のもの
・ 強度計算にて問題ないことを確認しているものなどは対策不要とした。 |
| 4 | 現場確認の結果、設計図面の要求どおりと判断できるものは対策不要とした。 |
| 5 | 実機施工状態または溶接なしで強度計算などの評価を行い、問題ないものは対策不要とした。 |

当該天板の復旧概要図



当該部(天板と仕切板溶接部)両側溶接による 他部位への影響について

1. 目的

今回損傷が確認された天板と仕切板との溶接部は、強度を向上した開先形状に変更する。このため、当該部の強度向上による他部位への構造強度上の影響の有無を確認し、今回の補修工法の妥当性を評価する。

2. 評価要領

(1) 評価対象箇所の選定

当該部の溶接補強が影響する溶接線として、以下を選定した。

- ①天板と容器胴側との溶接部
- ②天板とシェブロンペーン側との溶接部
- ③天板と蒸気整流板縦板との溶接部 (蒸気入口部)
- ④天板と蒸気整流板縦板との溶接部 (内部プレートエンド部)
- ⑤蒸気整流板縦板と内部プレート (蒸気入口部) との溶接部

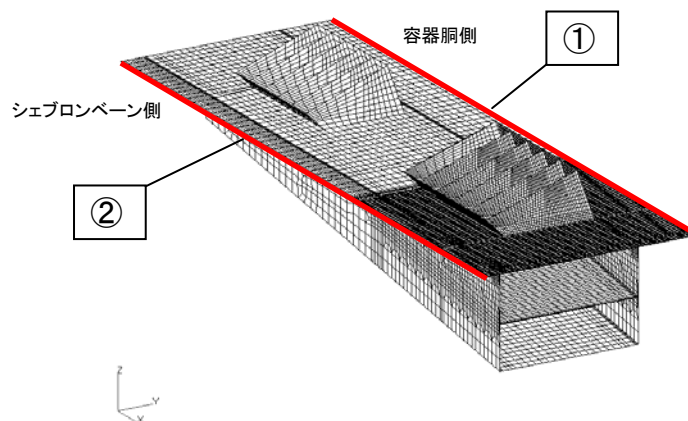


図1 天板－蒸気整流板廻りの振動解析モデル

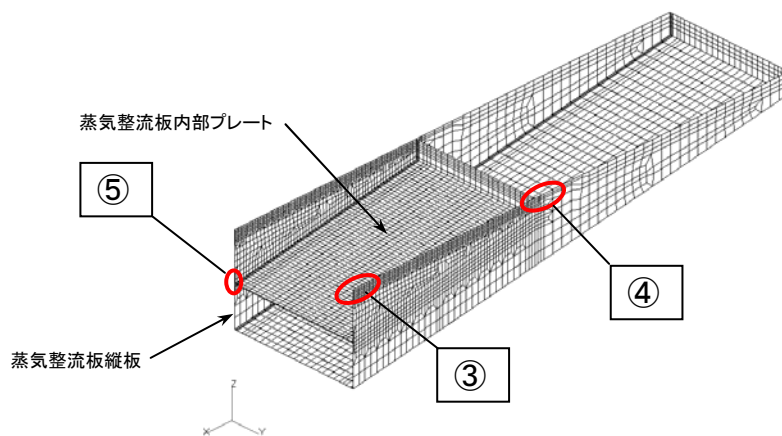


図2 天板－蒸気整流板廻りの振動解析モデル
(評価部位を示すため、天板を取り外し)

(2) 振動による変動応力の算出

a. 流体加振力算出

- ・ 蒸気整流板に作用する流体加振力（圧力変動パワースペクトル）を流体の数値解析により算出する。この解析には、添付資料－14「疲労による割れの発生に関する評価」で用いた流体加振力を適用する。

b. 変動応力算出

- ・ 天板と蒸気整流板を板要素でモデル化し、流体加振力を入力としたランダム応答解析により、全体系の振動応答を算出する。
- ・ 大きな応力が生じた箇所について、ソリッド要素で詳細にモデル化し、静解析により変動応力を算出する。

(3) 疲労評価

変動応力と疲労限を比較し、疲労損傷が発生する可能性を評価する。

3. 評価結果

算出された変動応力は、全て疲労限以下であることを確認した。これにより、当該部両側溶接による他部位への構造強度上の影響はないことを確認した。よって、今回の補修工法は妥当である。

表1 疲労評価結果

評価部位	変動応力(MPa)	疲労限(MPa)※	疲労損傷の可能性
①	83	94	なし
②	33		
③	83		
④	49		
⑤	45		

※: 図3に示す疲労線図における繰返し数 10^{11} に相当する変動応力値

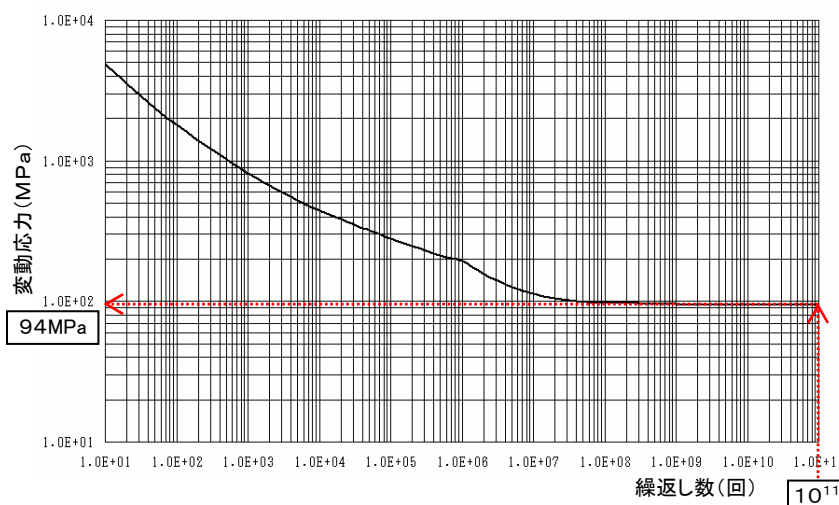
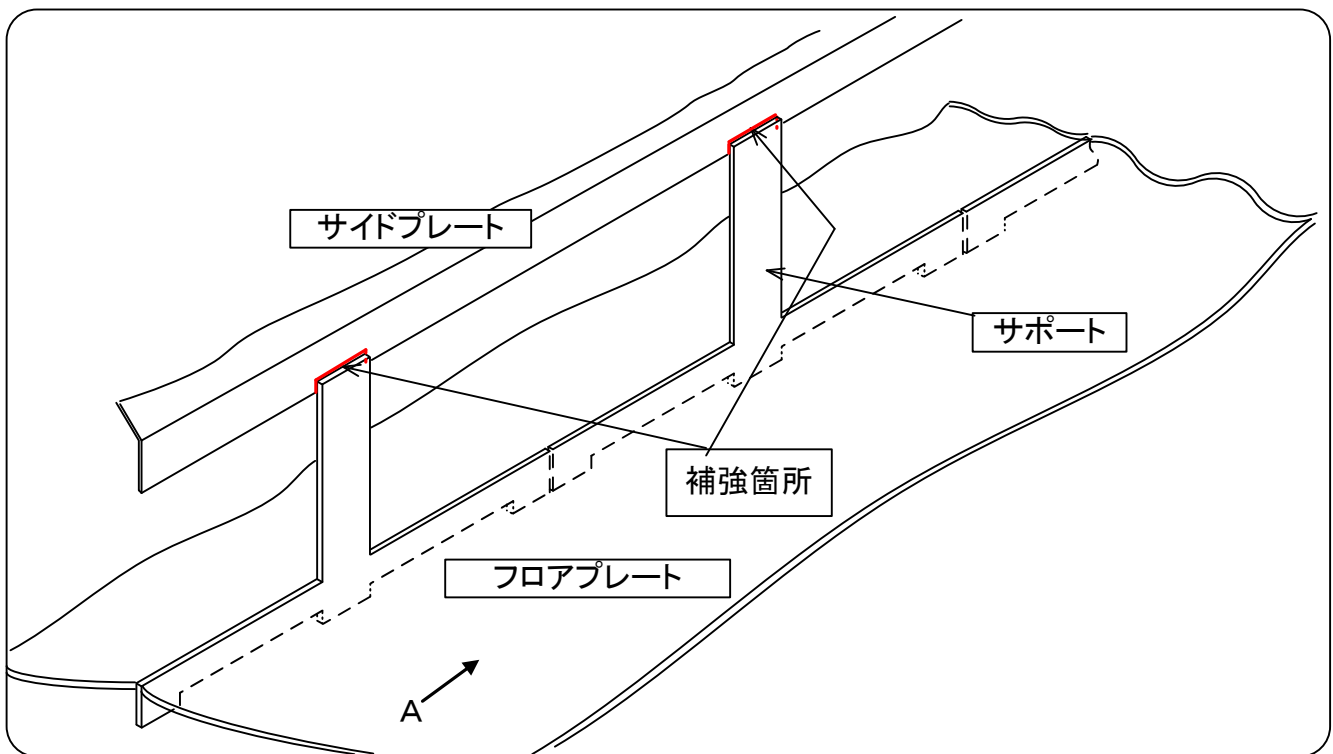
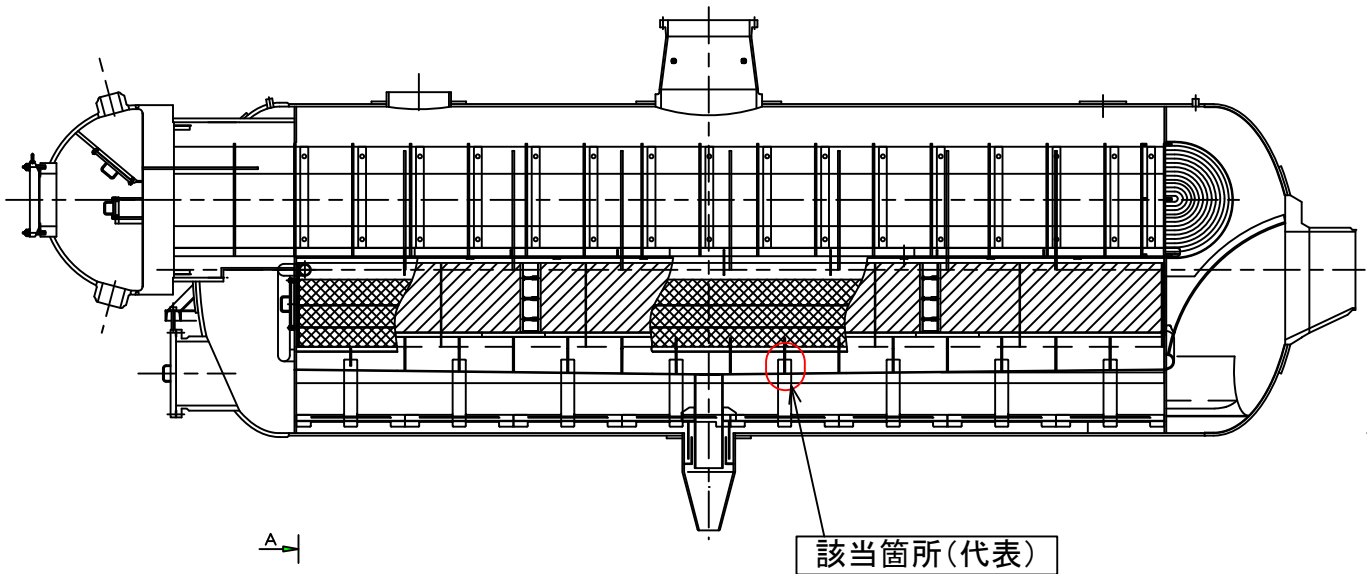


図3 疲労線図(ASME Sec.VIII Division 2 C curve)
(オーステナイト系ステンレス鋼)

湿水分離加熱器 溶接部補強実施箇所

①A, D号機

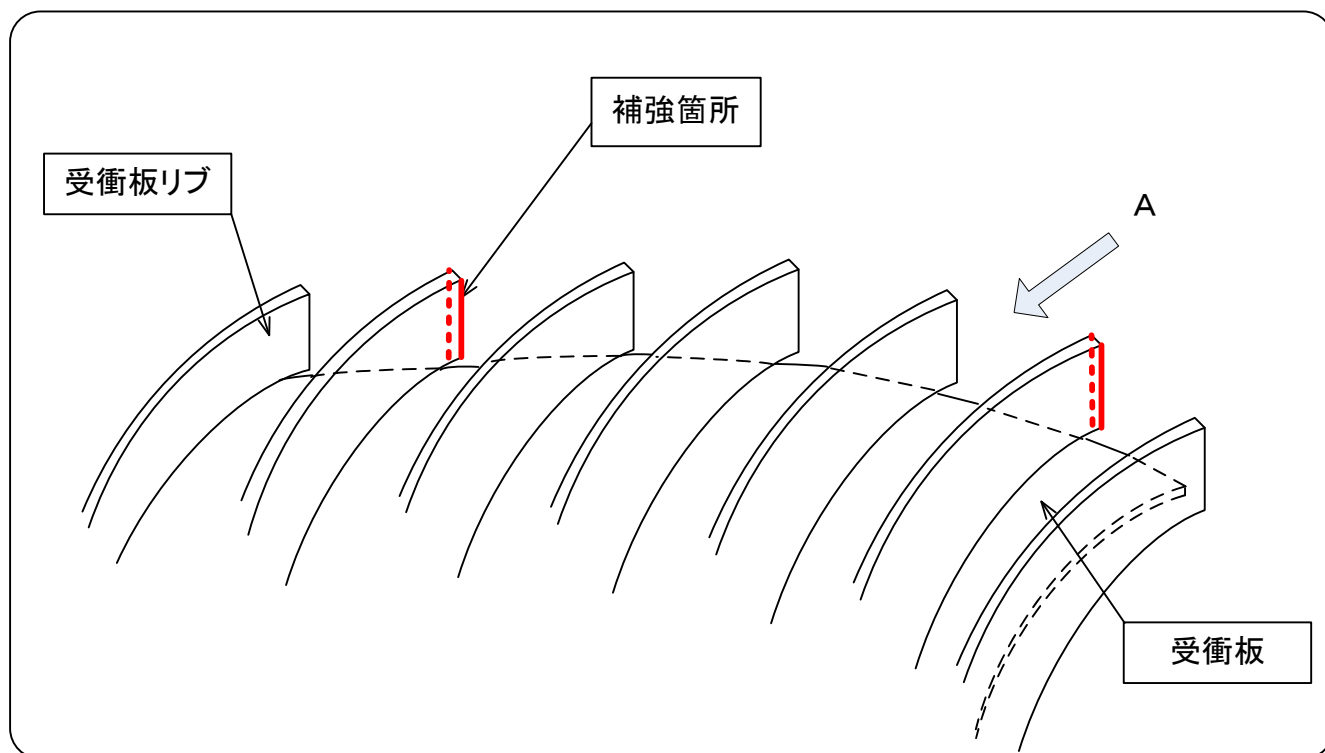
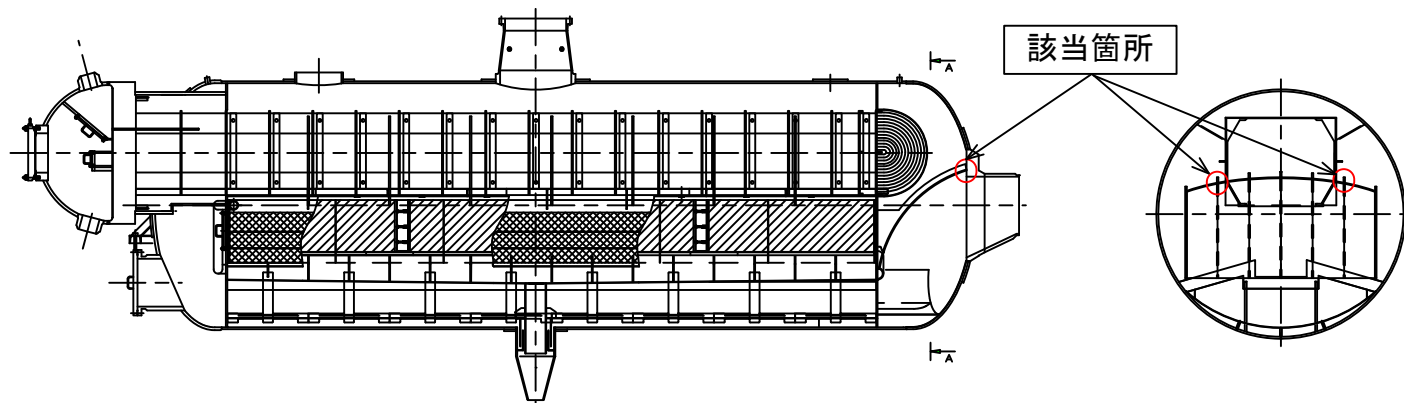


補強内容

溶接部の強度に余裕を持たせる観点から、念のため追加溶接を実施する。

湿水分離加熱器 溶接部補強実施箇所

②C号機

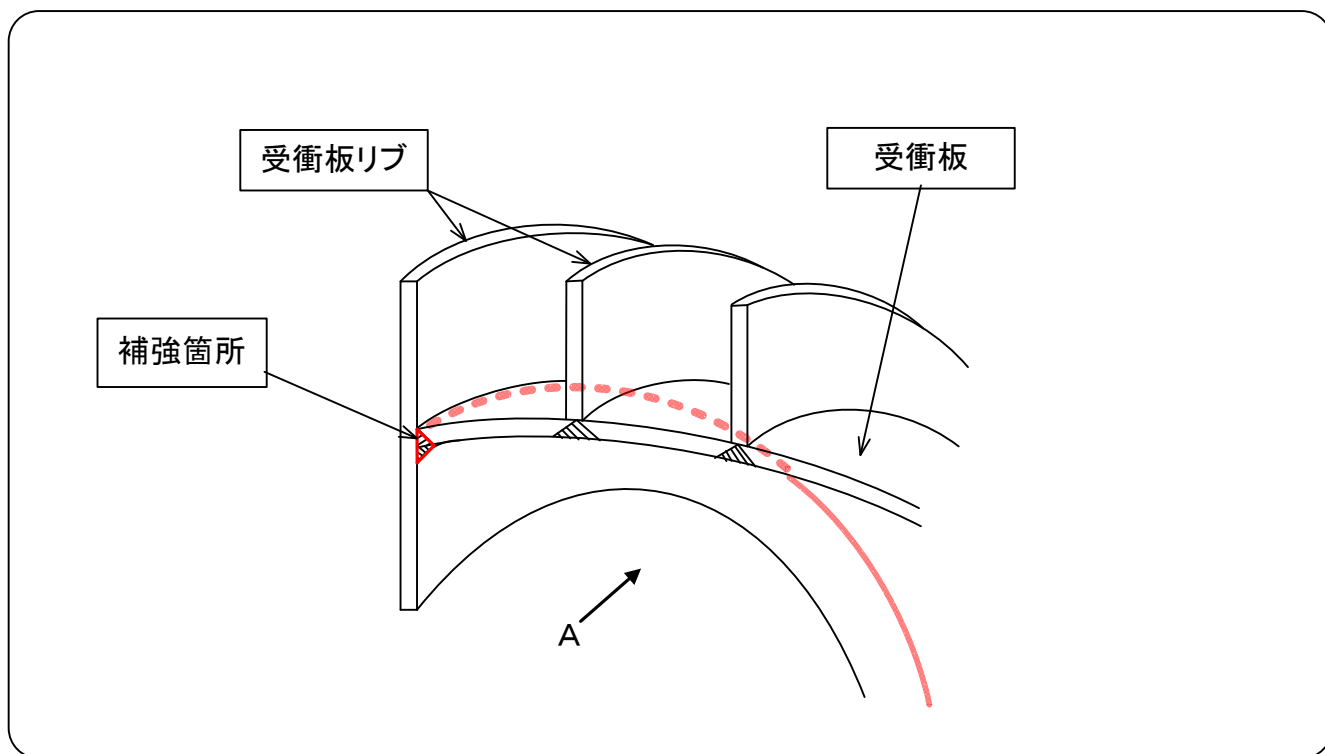
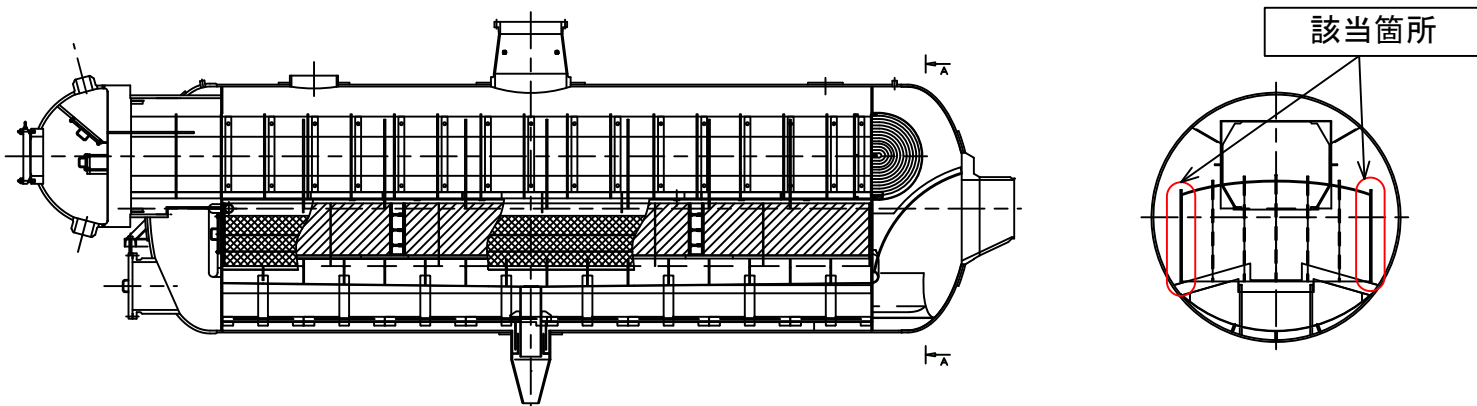


補強内容

溶接部の強度に余裕を持たせる観点から、念のため追加溶接を実施する。

湿分分離加熱器 溶接部補強実施箇所

③A、C、D号機

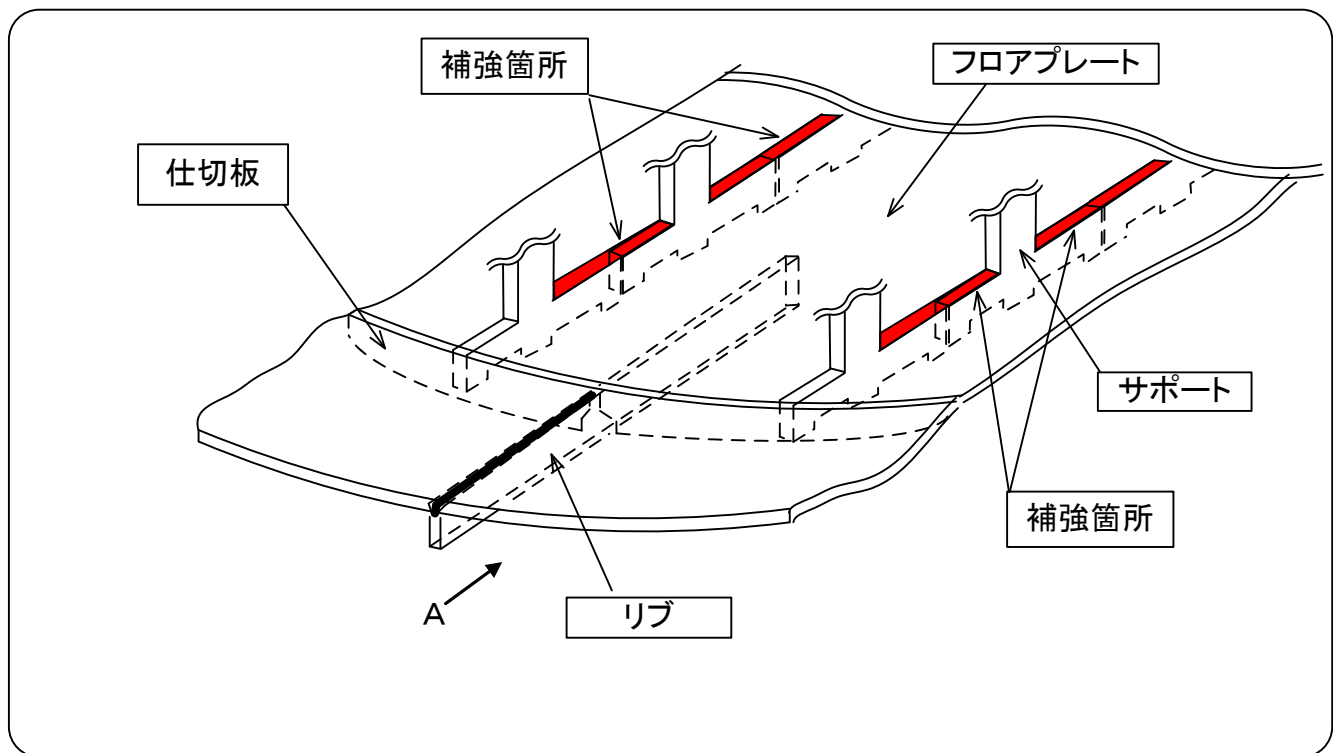
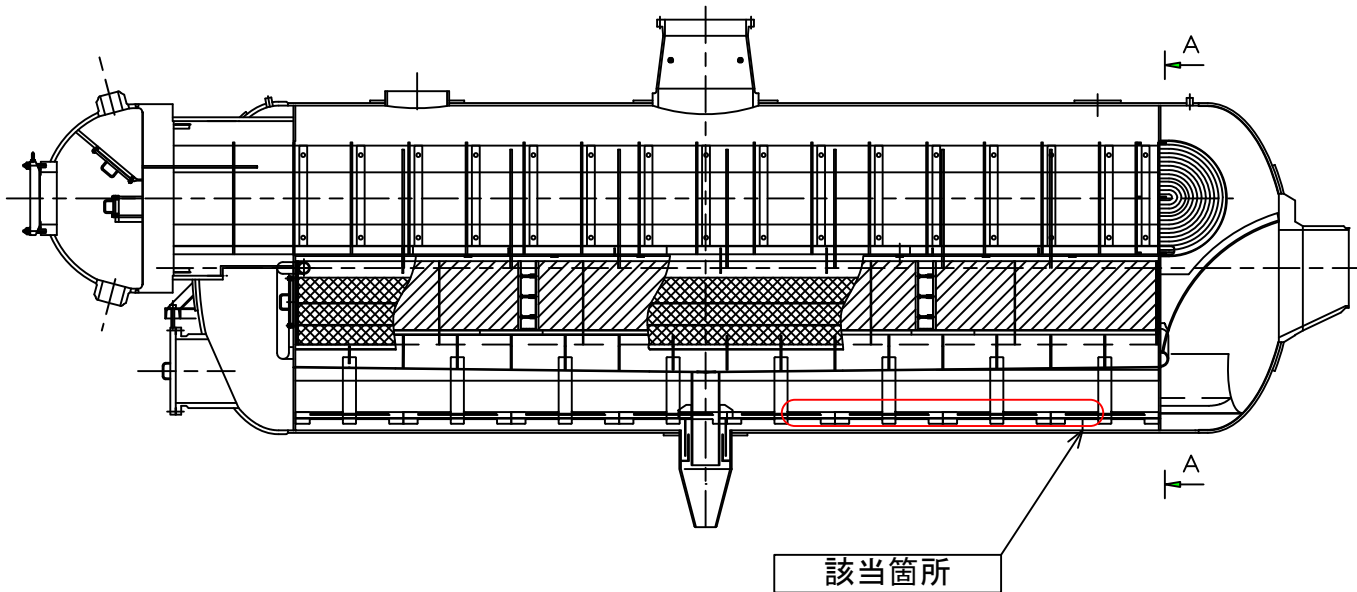


補強内容

溶接部の強度に余裕を持たせる観点から、念のため追加溶接を実施する。

湿水分離加熱器 溶接部補強実施箇所

④A、B、C、D号機

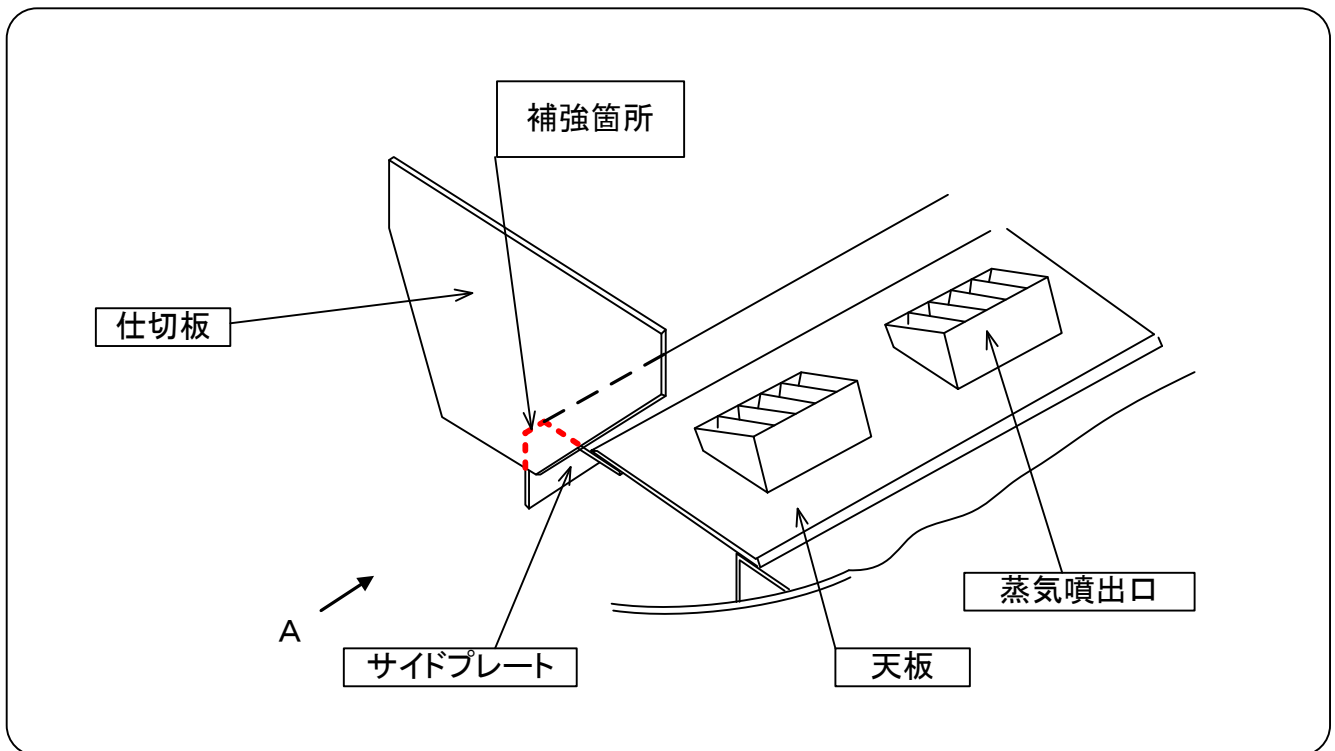
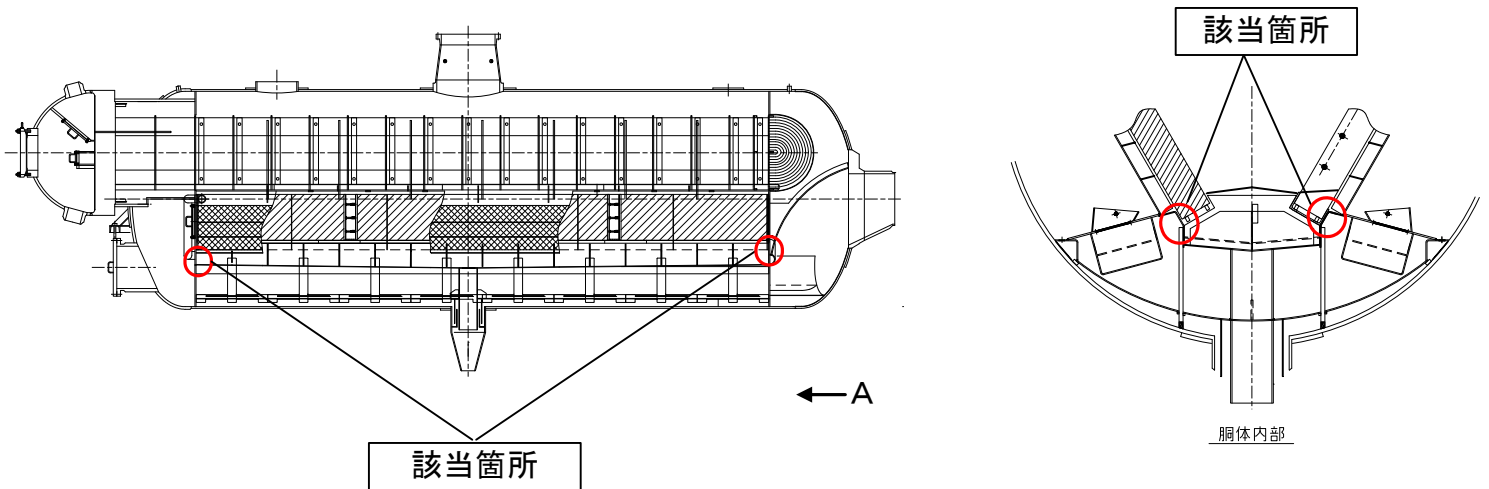


補強内容

溶接部の強度に余裕を持たせる観点から、念のため補強を実施する。

湿水分離加熱器 溶接部補強実施箇所

⑤A、B、C、D号機

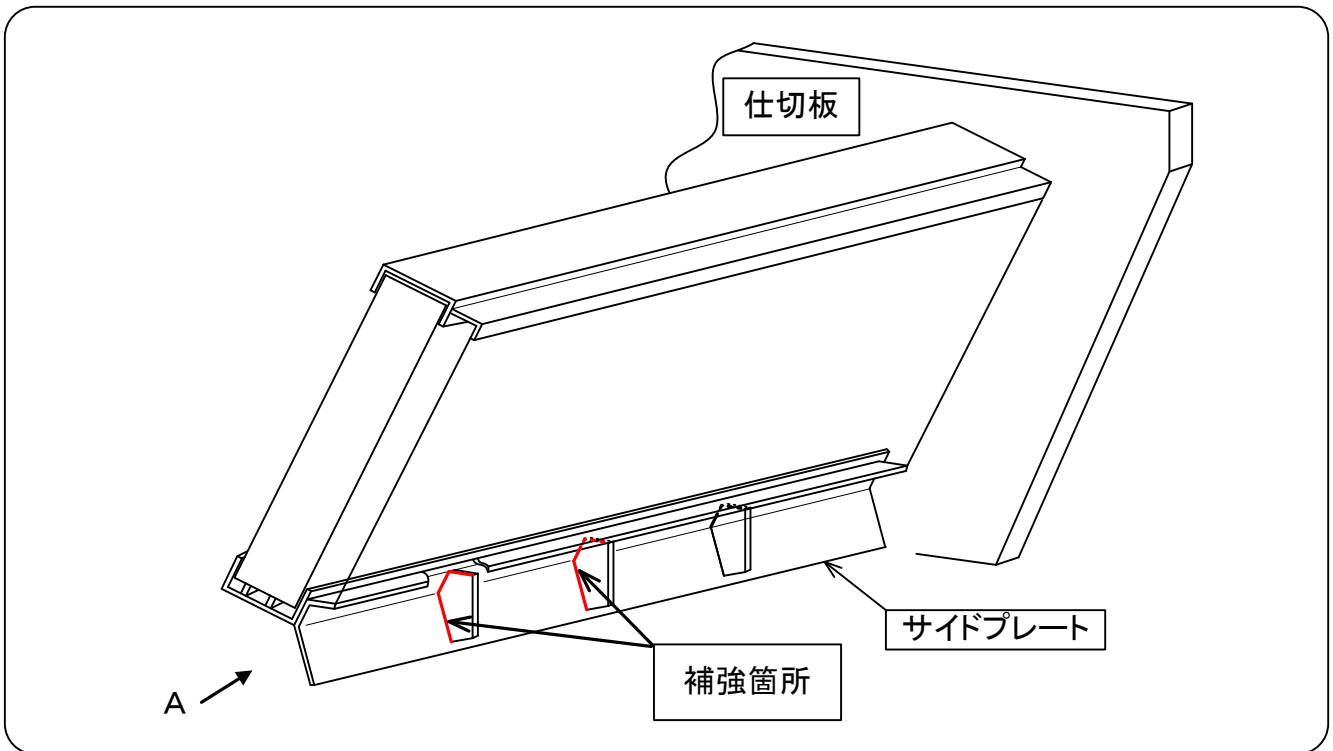
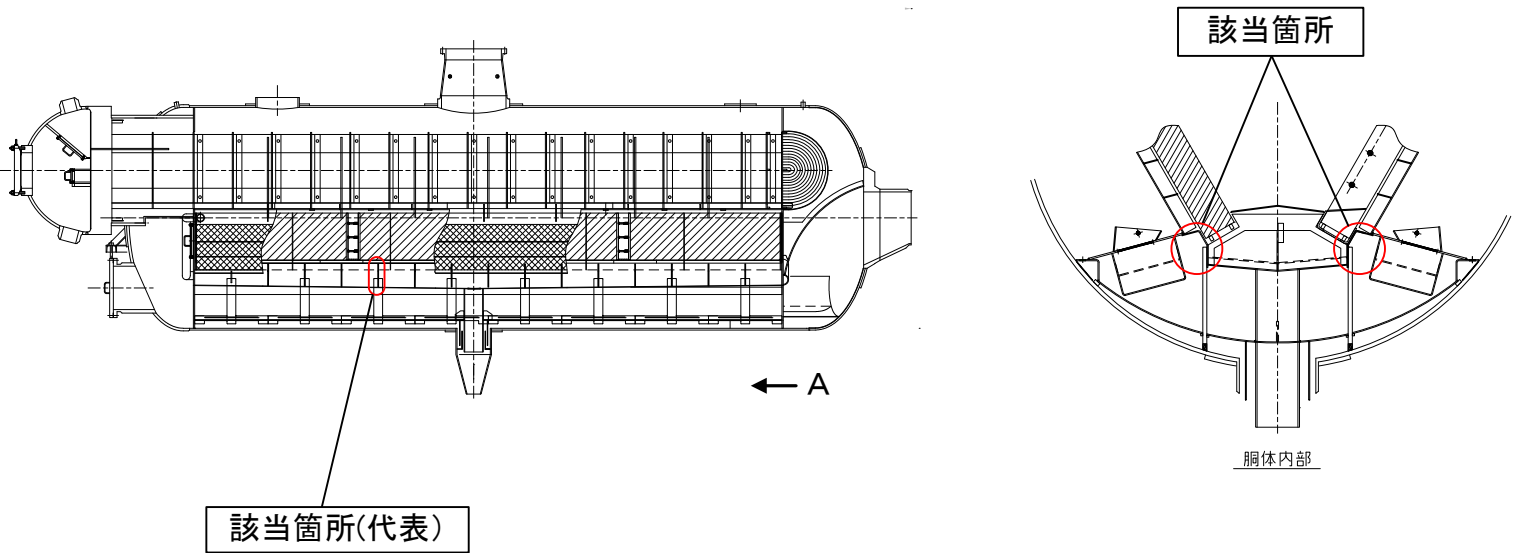


補強内容

溶接部の強度に余裕を持たせる観点から、念のため追加溶接を実施する。

湿分分離加熱器 溶接部補強実施箇所

⑥A、B、C、D号機

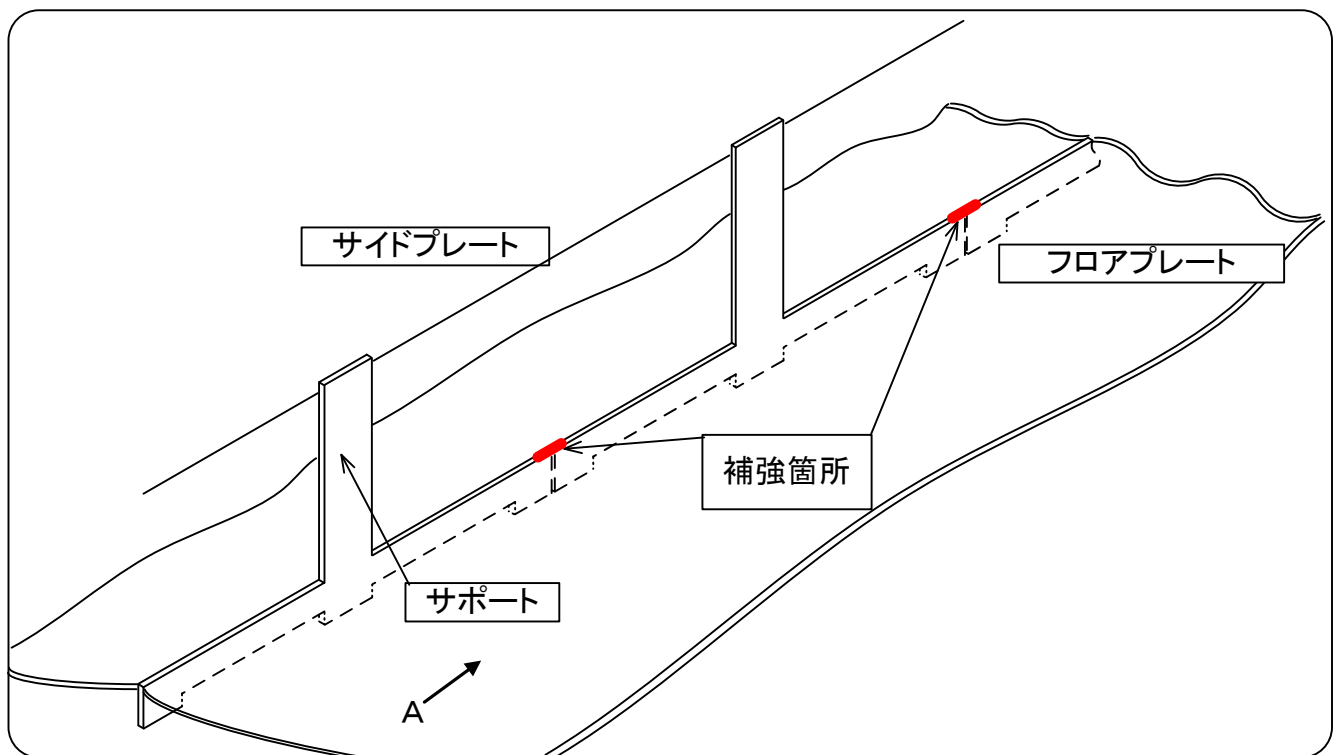
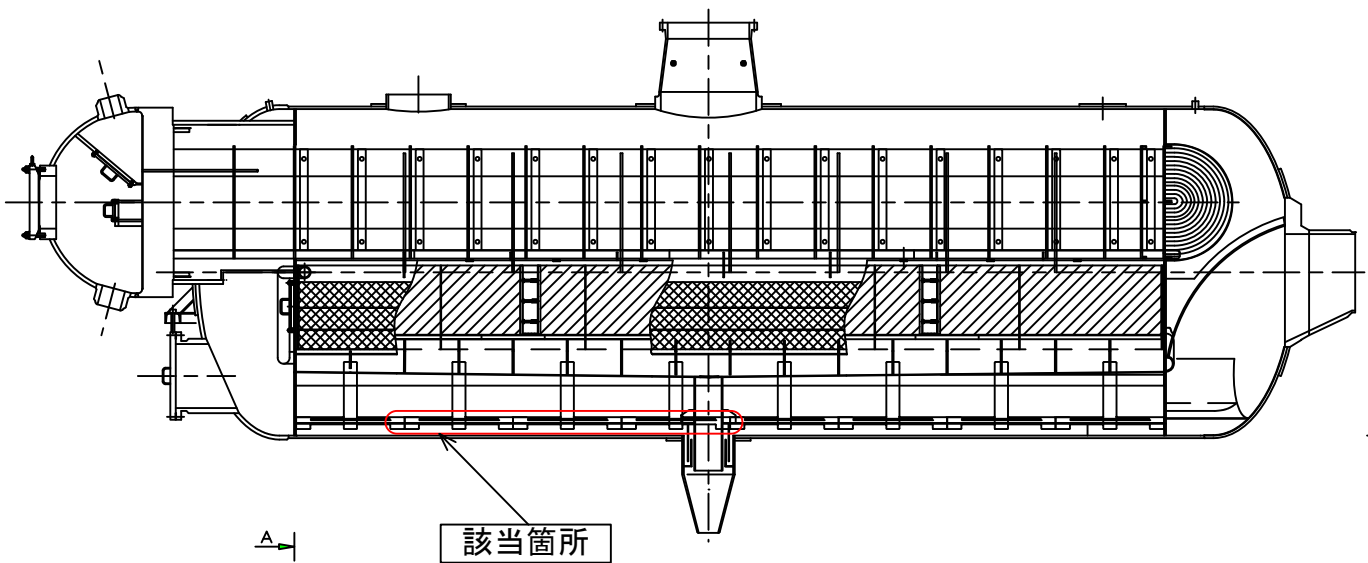


補強内容

溶接部の強度に余裕を持たせる観点から、念のため追加溶接を実施する。

湿分分離加熱器 溶接部補強実施箇所

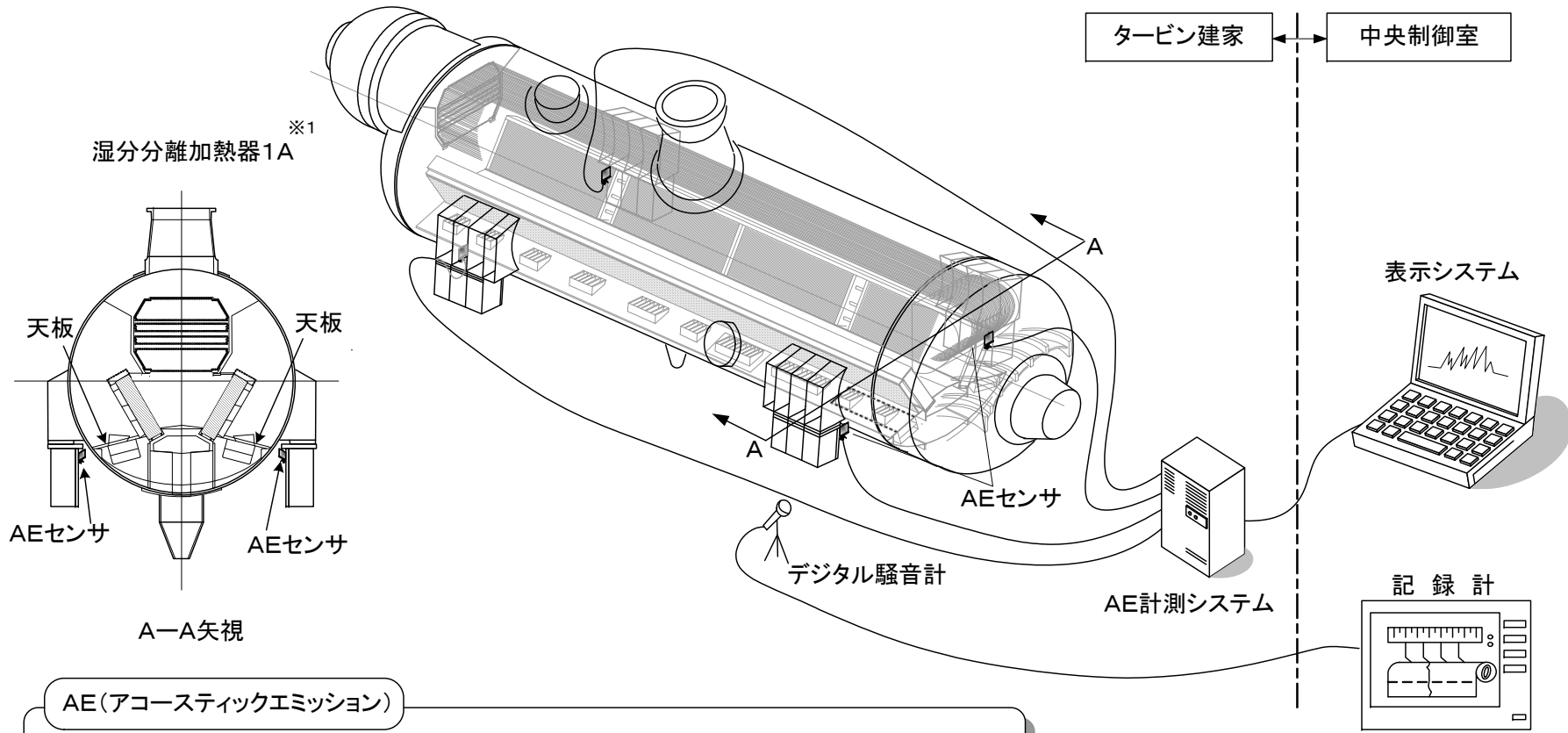
⑦A、B、C、D号機



補強内容

溶接は不要であるが、念のため補強を実施する。

伊方1号機 監視装置構成図



AE(アコースティックエミッション)

AEとは、き裂が発生したり、進展等により材料の内部に蓄えられたエネルギーを弾性波として放出する現象であり、それを検出することにより、材料の破壊過程を把握することができる。

※1: 湿分離加熱器1B~1Dについても同様に、異常音の監視を行う。