

X線CTを用いた銅管ろう付け継手の漏洩原因調査

名古屋営業所

近藤浩

キーワード 冷媒管 銅管 ろう付け 漏洩 気密試験 マイクロフォーカスX線CT SEM
ポイド

概要

銅管（冷媒配管）ろう付け部の漏洩原因の調査を依頼された。通常のX線撮影では微細な欠陥は判別出来ないと考え、X線CTによる断層撮影と、漏洩部の切断・電子顕微鏡観察をおこなった。

検査対象物：JIS H 3300-C1220T 9.53φ×0.8t 重ね継手ろう付け部

1. 漏洩部の特定

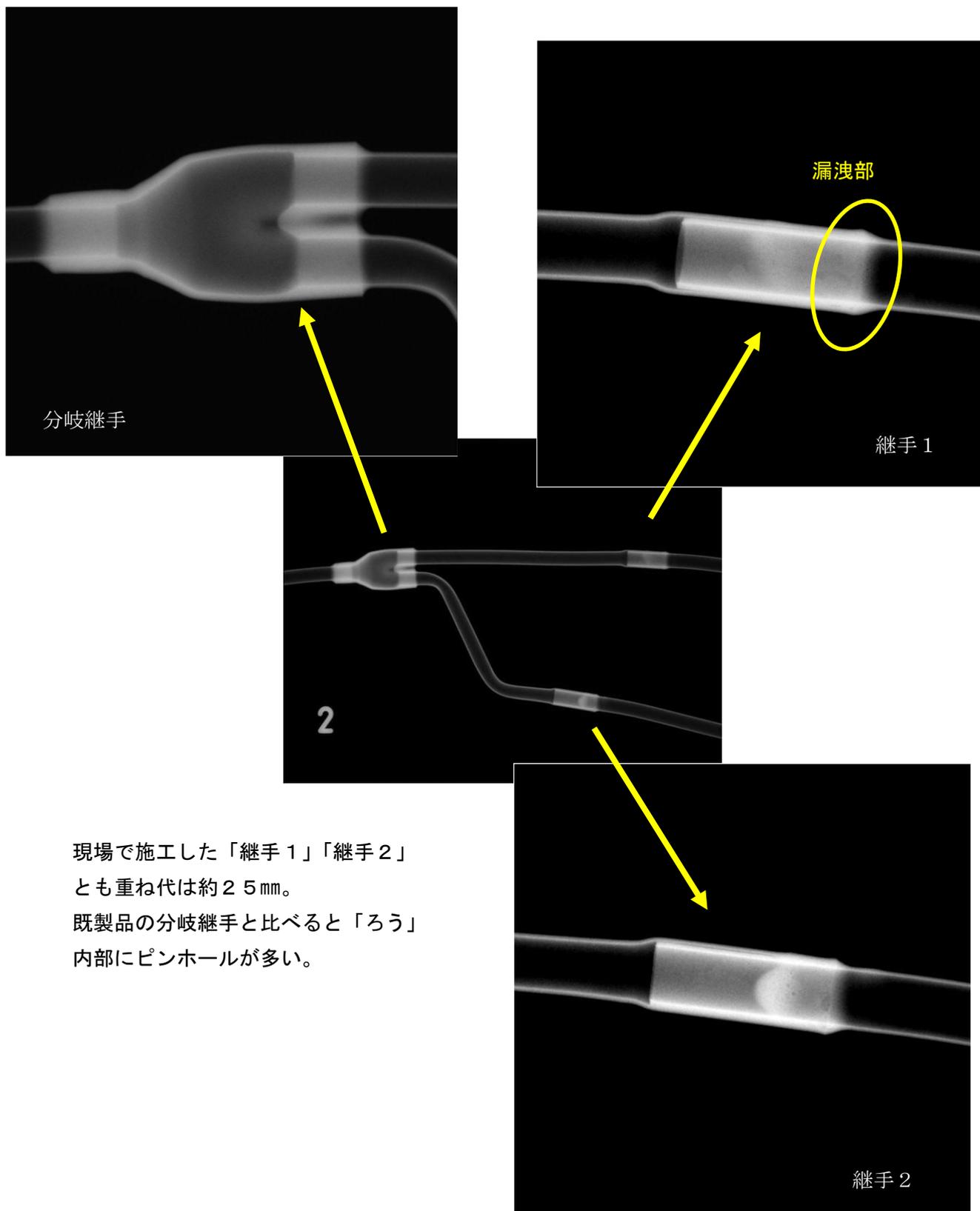
漏洩部を特定するため、0.6Mpaで気密試験をおこなった。発泡を確認した部分をルーペで観察したら、フィレット部で円周方向に割れが発生し、そこから漏洩していた。



※サイボウズのファイル管理に
発泡状況の動画を置いてあり
ます（2秒間だけ）

2. X線撮影（一般撮影法）

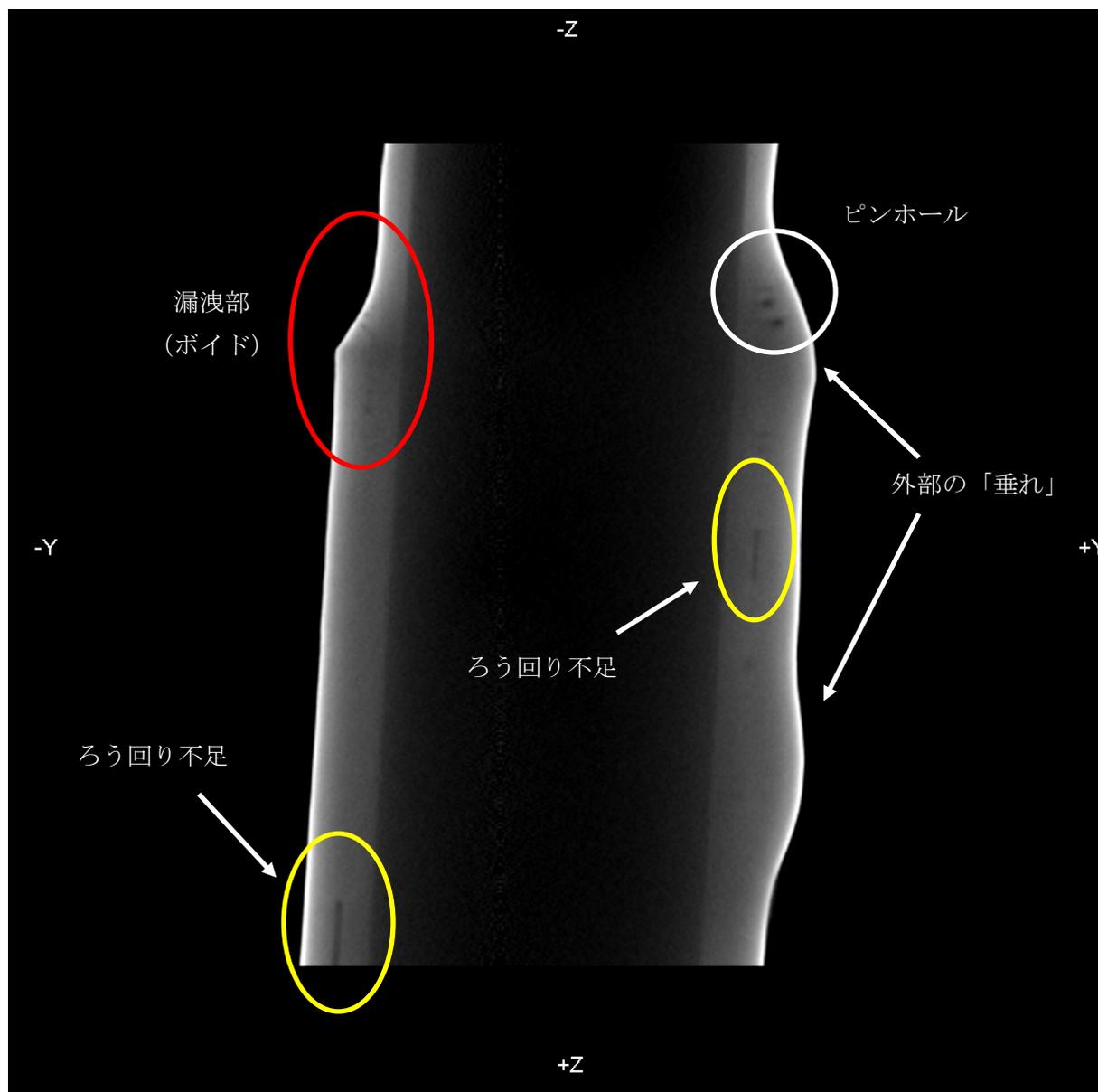
銅管の重ね継手の「重ねしろ」の確認を目的として撮影した。



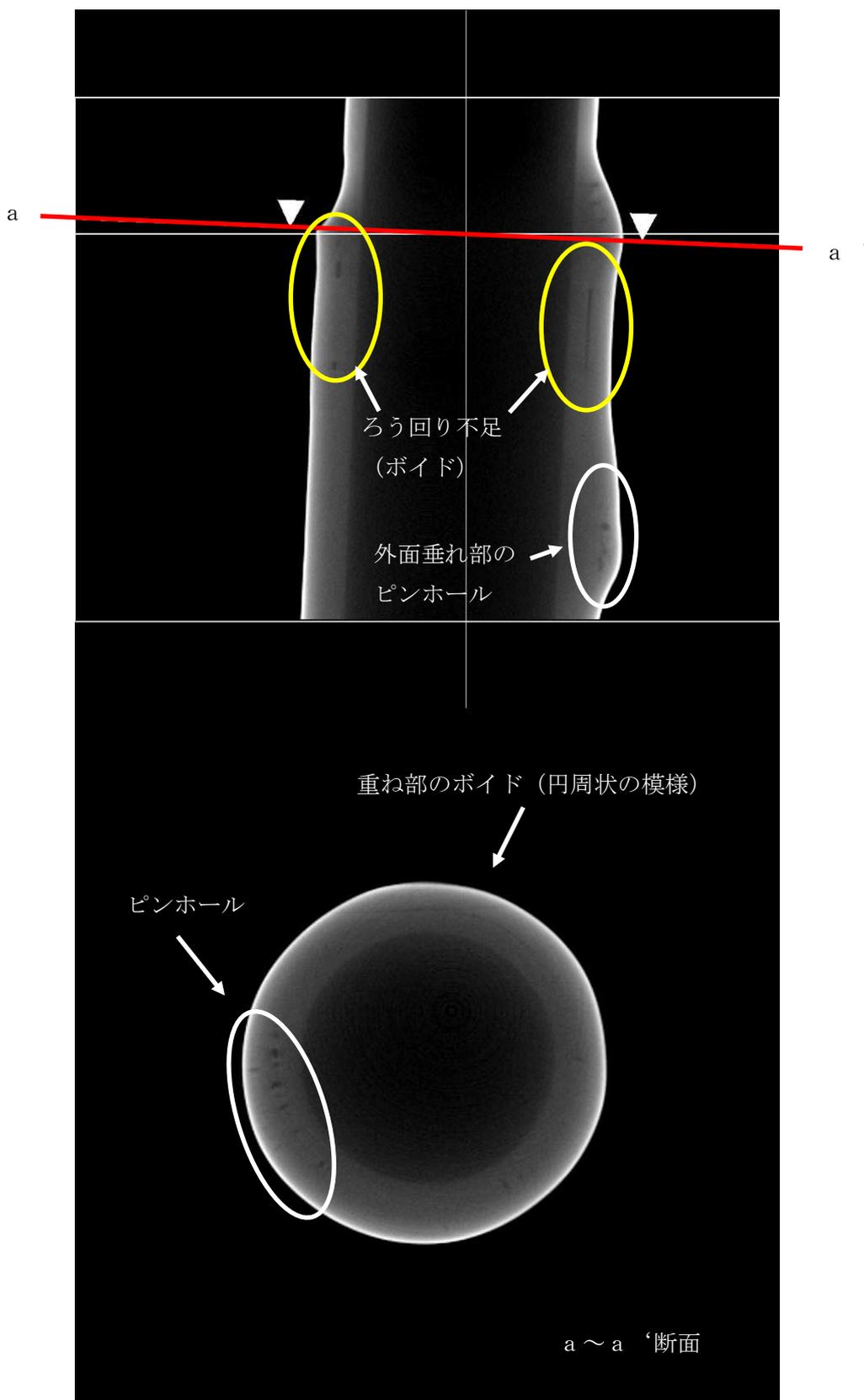
現場で施工した「継手 1」「継手 2」
とも重ね代は約 25 mm。
既製品の分岐継手と比べると「ろう」
内部にピンホールが多い。

3. X線撮影 (CT)

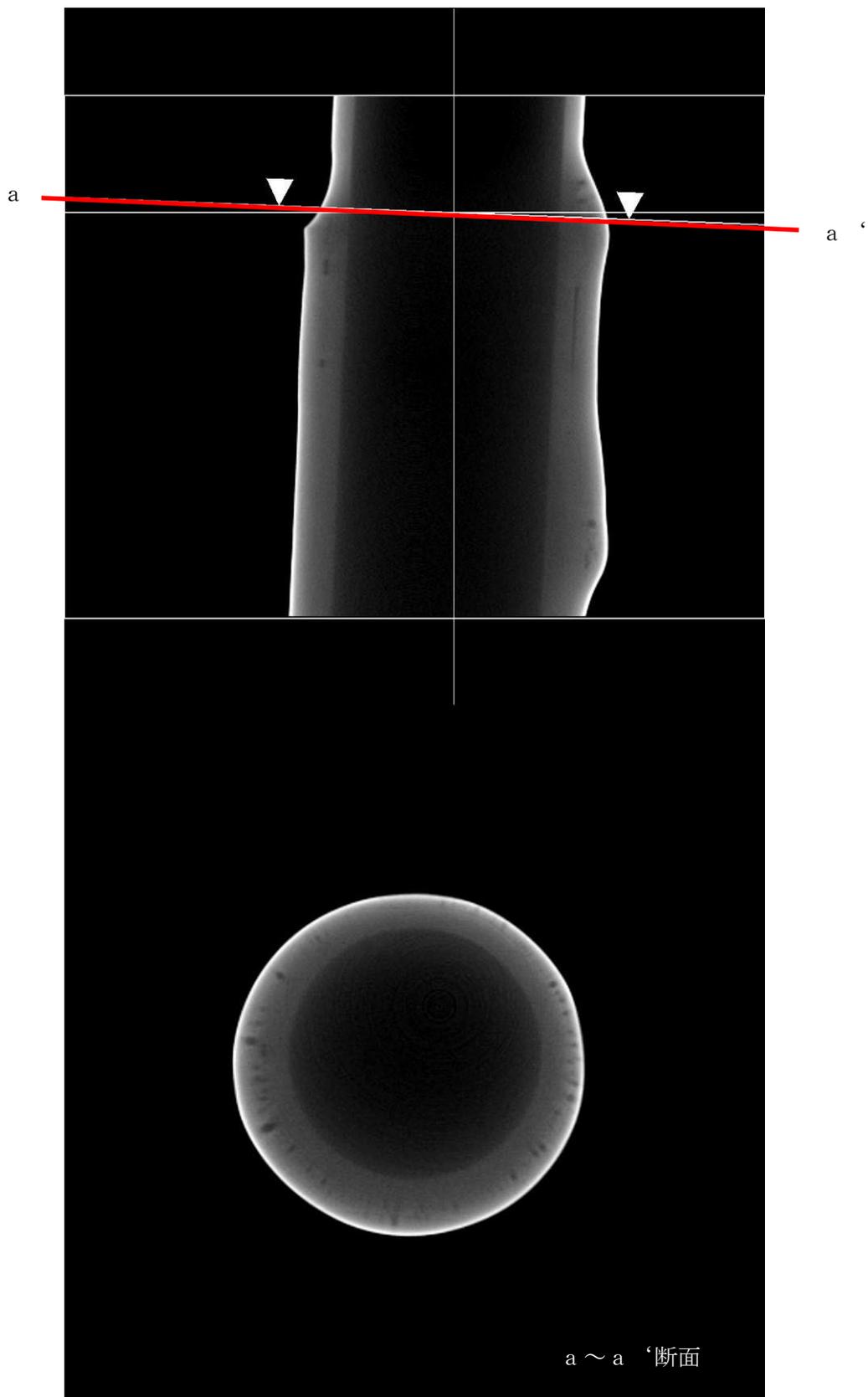
- ・漏洩部附近の「軸断面」画像



・漏洩部附近の「円周断面」画像 1

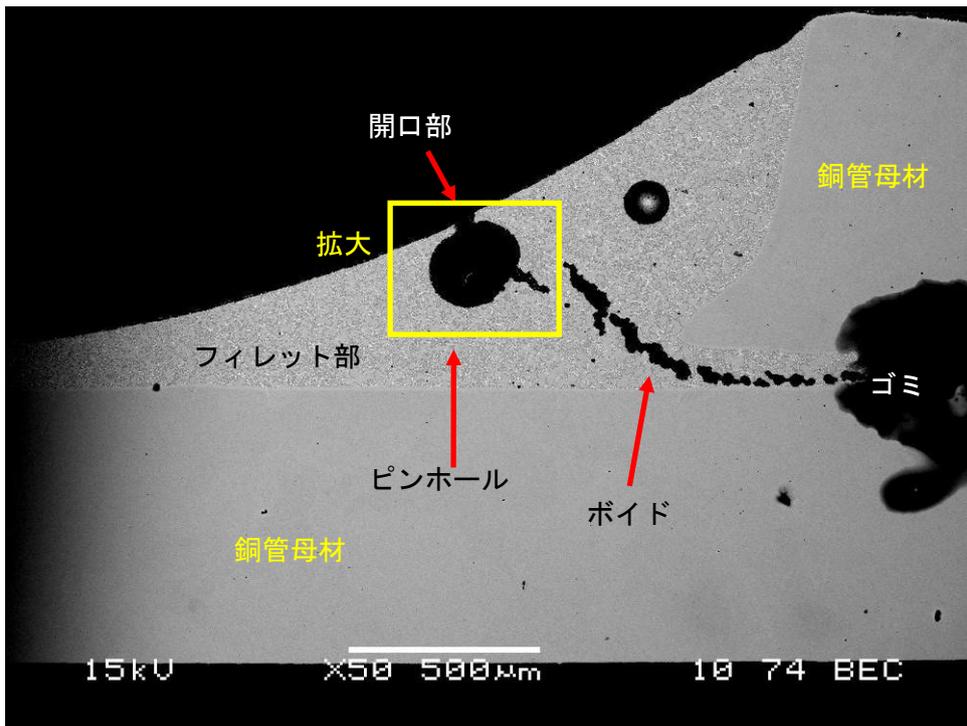


- ・漏洩部附近の「円周断面」画像 2
重ね部から約1mm「フィレット部」へ入った断面

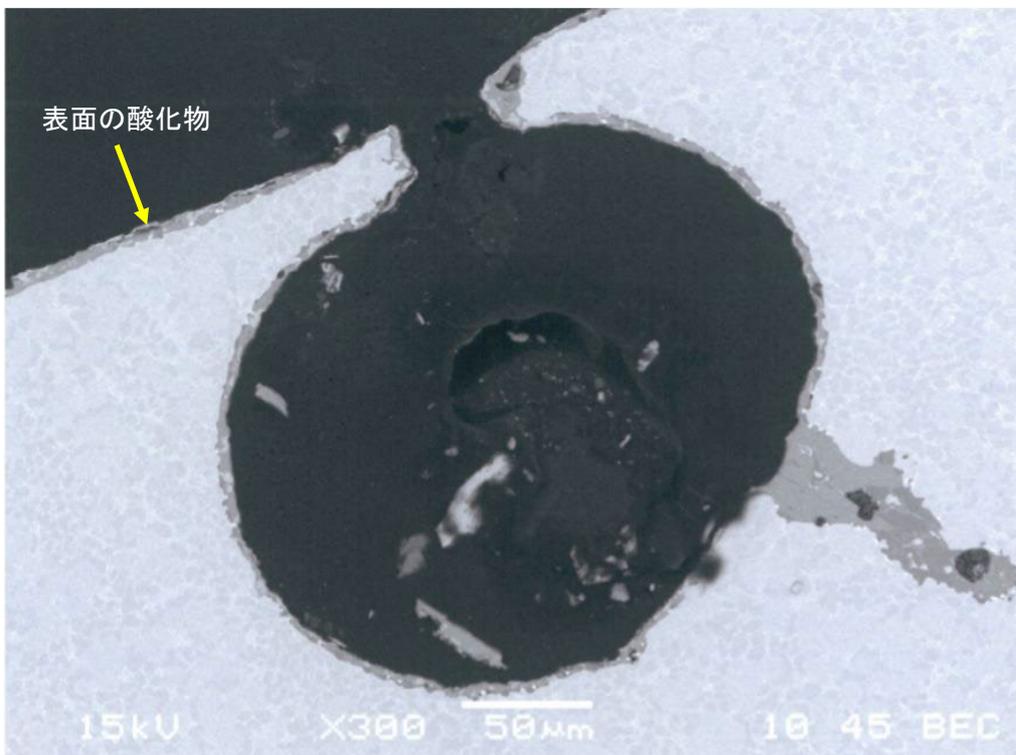


重ね継手のフィレット部には著しいピンホールが発生していた。

4. 漏洩部近傍部断面の電子顕微鏡観察



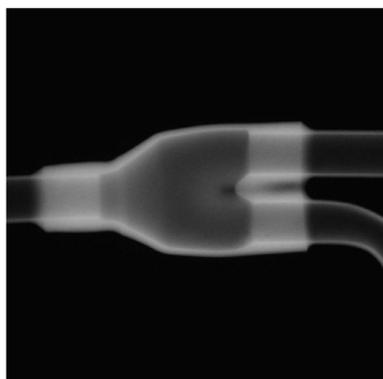
重ね部内のボイドがフィレット部で立ち上がりピンホールに向かっている。
「ゴミ」は2回目の撮影で付着した物。



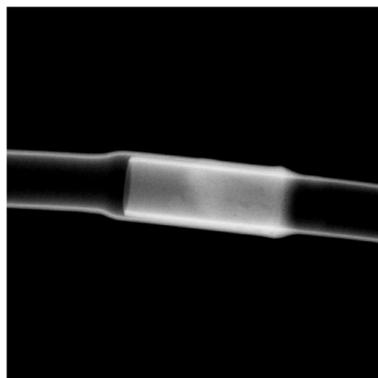
ピンホール内表面も酸化物で覆われて、施工時に発生したピンホールの集まりが外面で割れ状に開口したと考えられる。

5. まとめ・考察

(1) 重ね継手の差し込み量は漏洩部および同時に施工した他の継手も約25mm確保されていたが、フィレット部にピンホールが多数発生していたり、重ね部に「ろう回り不足」あるいは「ボイド」が見られた。既製品の分岐継手内部にはピンホールや重ね部の「ろう回り不足」は見られなかった。

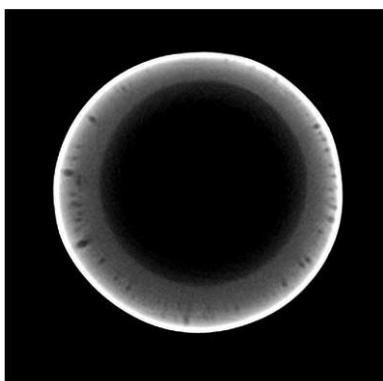


既成品分岐継手

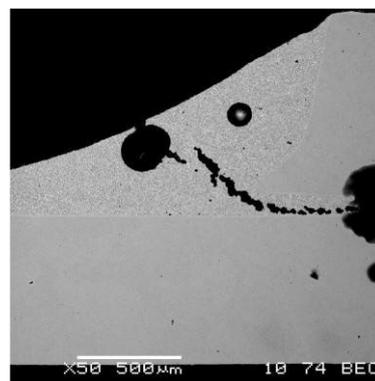


継手 1

(2) フィレット部内部には多数のピンホールが発生していた。重ね部からフィレット部に割れ状の欠陥が立ち上がりピンホールにつながり、ピンホールが外面に割れ状に開口し漏洩に至ったと考えられる。
(断面写真ではつながりは見られないが)



フィレット部の軸方向断面



フィレット部断面の欠陥

フィレット部に多数の「ピンホール」「ボイド」が発生し、また重ね部に「ろう回り不足」「ボイド」が多い原因として、「施工時の前処理不足」、「施工時の手順（重ね部への浸透作業→フィレットの形成）の誤り」、「過熱」、「フラックスの選定ミス」（フラックスを用いた場合）などが考えられる。

6. あとがき

微細な内部欠陥を撮影するためにはJUSTの保有する一般のX線装置では焦点寸法が大きすぎ満足のゆく解像度が得られないと考え、マイクロフォーカスX線撮影が出来る会社を探したところ、なんと「サブマイクロフォーカスX線」で、しかも「X線CT (Computed Tomography)」が撮影可能ということで、切断・電子顕微鏡 (SEM) 観察とともに依頼しました。

X線CT装置

メーカー	D a g e社製 (イギリス)
型式	X i D A T X D 7 6 0 0 N T
管電圧	1 6 0 K V
管電流	0 . 2 m A
認識解像度	0 . 2 5 μ m
試料テーブル寸法	5 0 8 \times 4 4 4 mm
最大検査範囲	4 5 8 \times 4 0 7 mm
幾何学倍率	1 6 0 0 倍
最大サンプル重量	5 kg

このX線CT装置の用途は主に半導体デバイスの検査などで、我々の検査・調査対象とはちょっと違うようですが、今回のろう付け部にはマッチしていましたが、現場で使用するような検査機器ではありません。

ろう付けの検査は初めてでしたが、参考文献を調べたらすべて「日本溶接協会」で、ホームページにも「正しいろう付け」のビデオがありました。

ハンダ付けが得意な人はすでに気付いていると思いますが、ろう付けは「ろう」による部材への「ぬれ」とすき間への「毛細管現象」で (1)継手の設計、(2)材料の選定、(3)前処理、(4)加熱温度、(5)施工順序 等が良ければそんなに欠陥が発生する要素は無いように思われます。

今回の継手は表面では割れ状でしたが、表面直下ではピンホールの集合体で、いかにも「現場で慌てておこなった」、「前処理が悪い」という「典型的な施工不良」という印象でした。