

## 第三者調査



## 1 回収した試験材料

今回の試験の為に回収した試験用材料を以下の写真に示す。

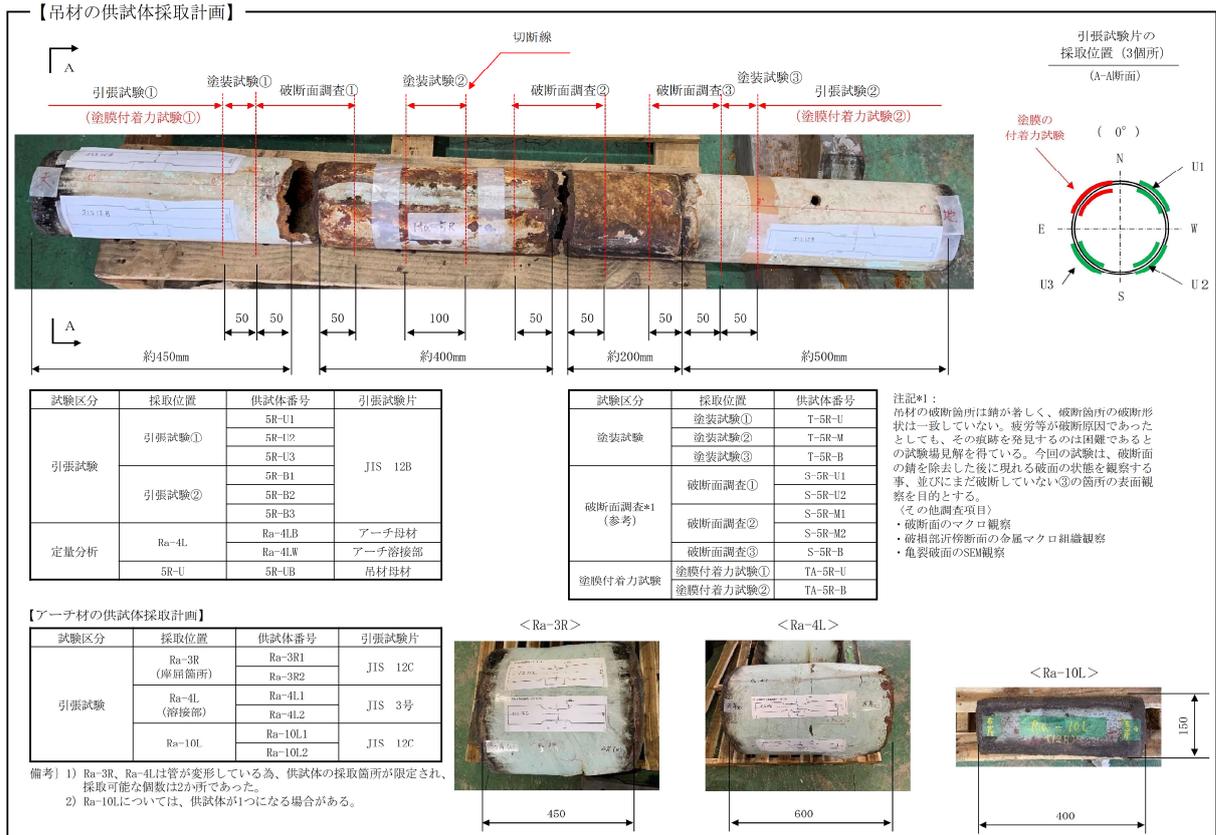


## 2 調査内容と試験場所

要求された調査内容	試験場所
1) 吊材の強度調査 (引張試験)	㈱神戸工業試験場
2) アーチ材の強度調査 (引張試験)	㈱神戸工業試験場
3) 鋼材及び溶着金属の定量分析	㈱神戸工業試験場
4) 吊材破断面の調査 (参考)	㈱神戸工業試験場
5) 吊材塗装の劣化調査	中国塗料株式会社
6) 吊材塗膜の付着力調査	東海鋼管株式会社

補足説明：定量分析は吊材、アーチ材（母材）、アーチ材（溶接部）について行う。

### 3 試験片（供試体）の採取計画



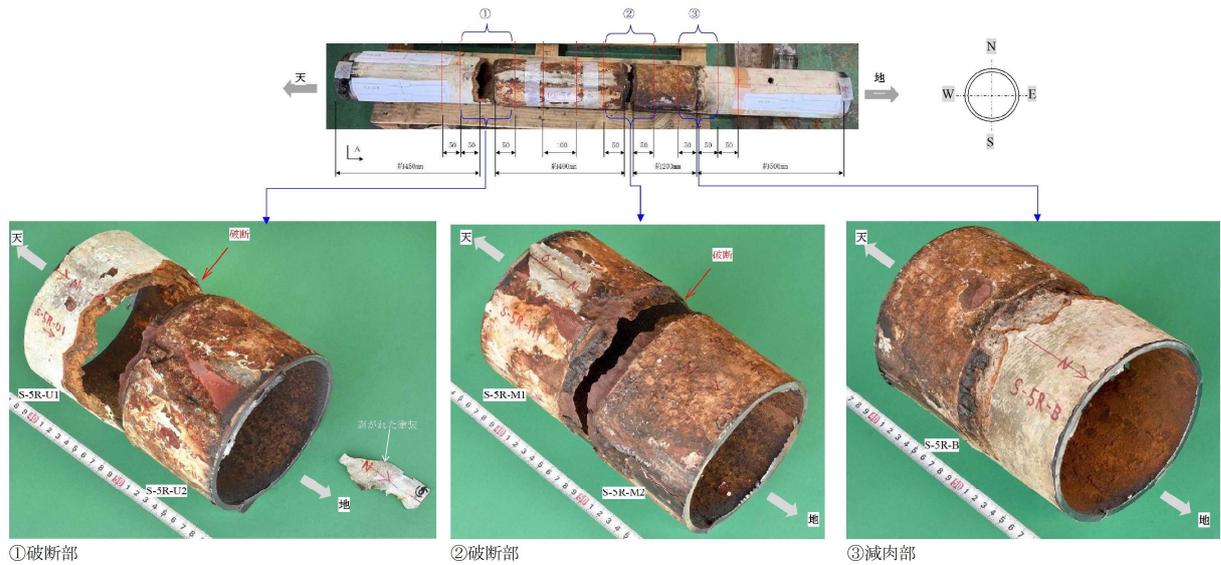
### 4 試験結果

#### 4.1 吊材の外観観察および断面マクロ組織試験

##### 〈考察〉

破断箇所の左右の形状は一致していない。または破断面が存在せず延性破断か、疲労破断かの判定が出来ない。今回調査した吊材 Ha-5R は中央部の吊材であり、かなり以前に破断し腐食が進行して破断部の隙間が広がっていった部位であると推定する。

減肉は外面からのみ進行している。残存している部分に”組織の異常は認められない”ことから、当該吊材は腐食が破断原因であると思われる。



実施内容

項目	①破断部	②破断部	③減肉部
外観観察	受け入れ状況	図2	図4
	錆取り後	図3	図5
	表面拡大	-	-
断面マクロ組織観察	-	-	図7

図1 吊材の受け入れ状況

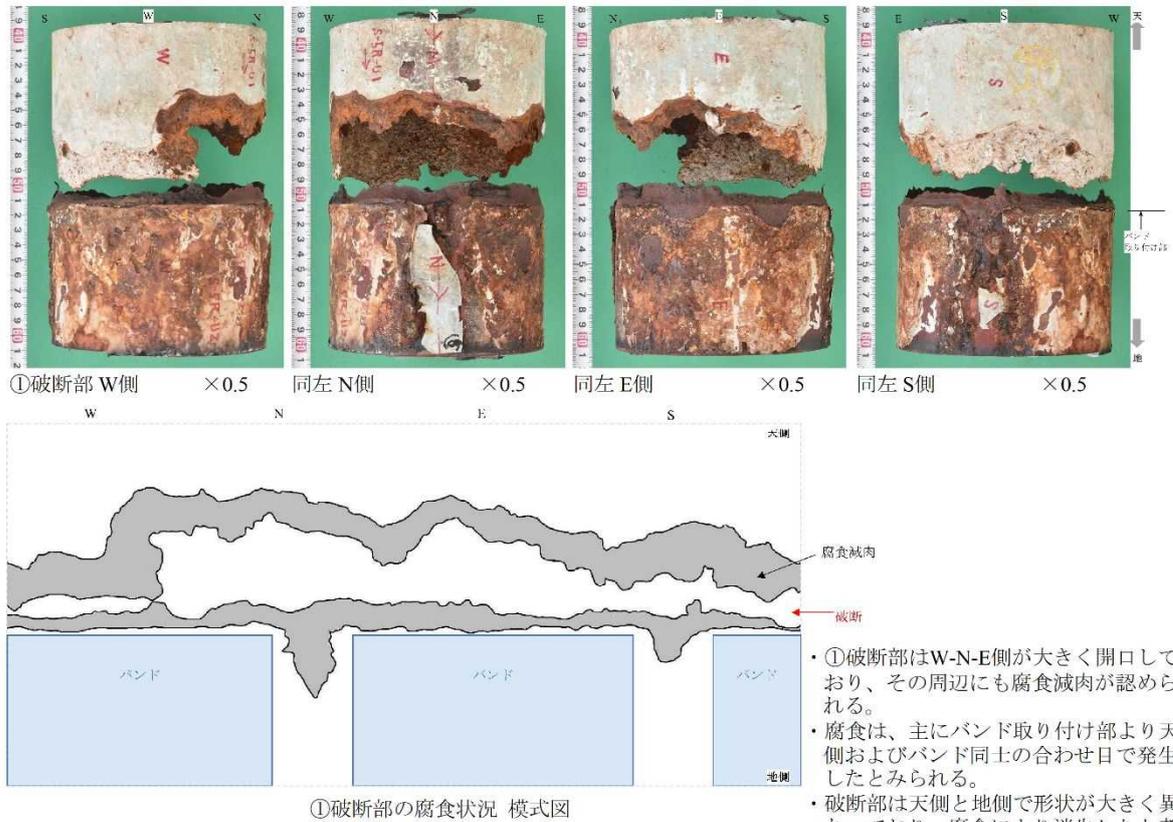


図2 ①破断部の外観 (受け入れまま)

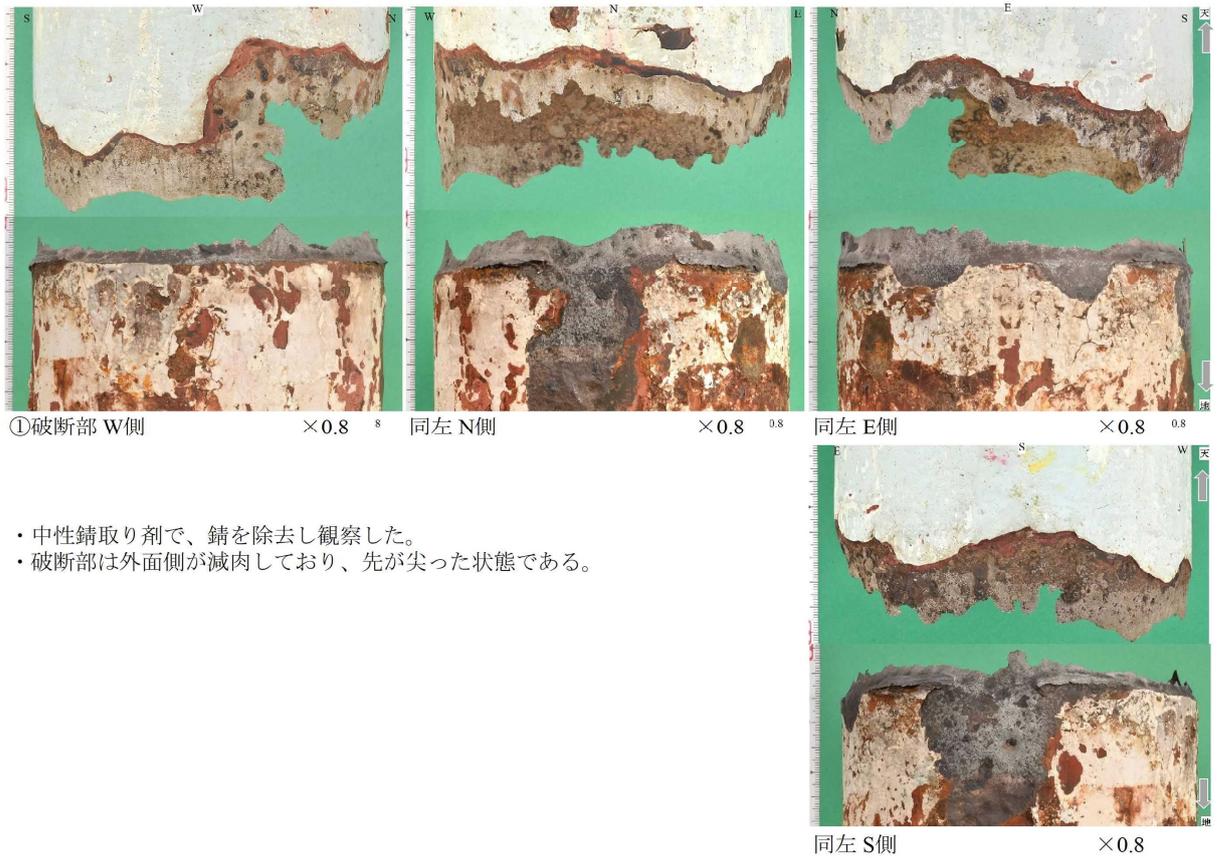


図3 ①破断部の外観（破断部の錆取り後）

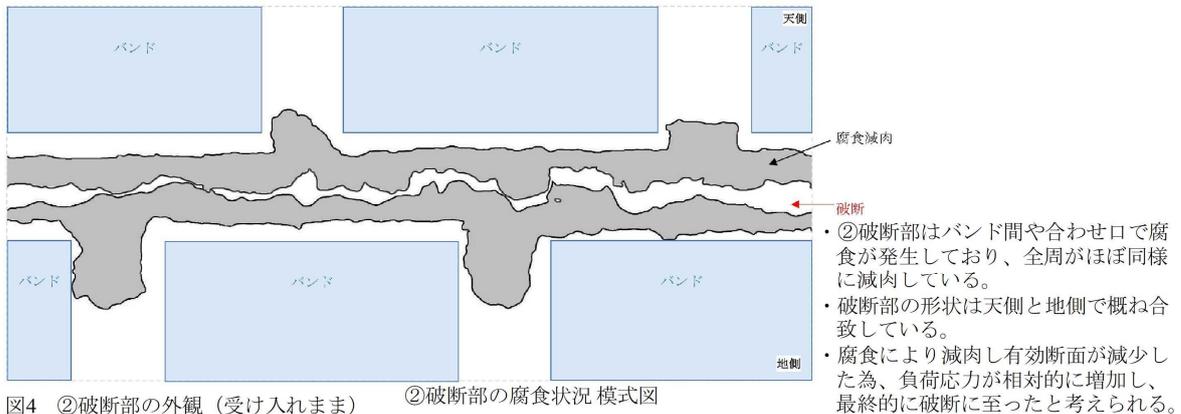
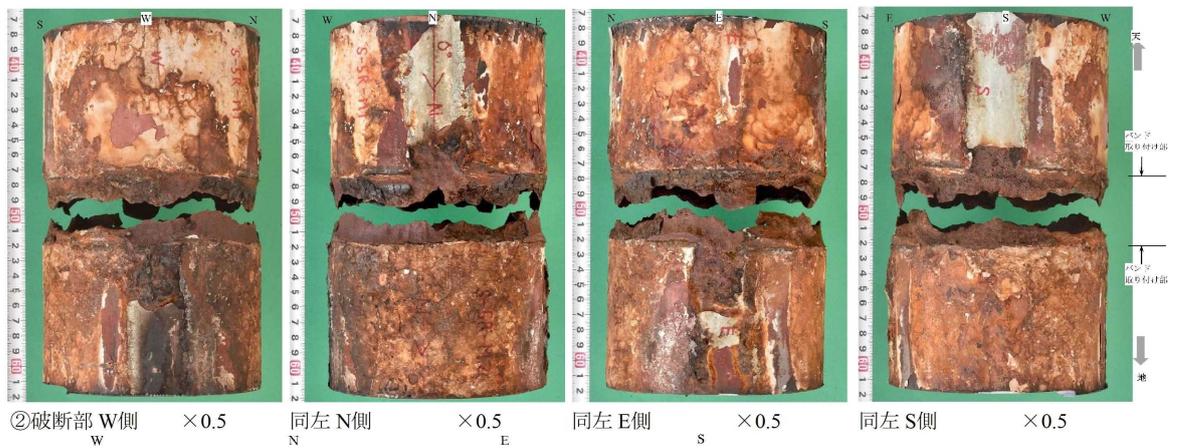
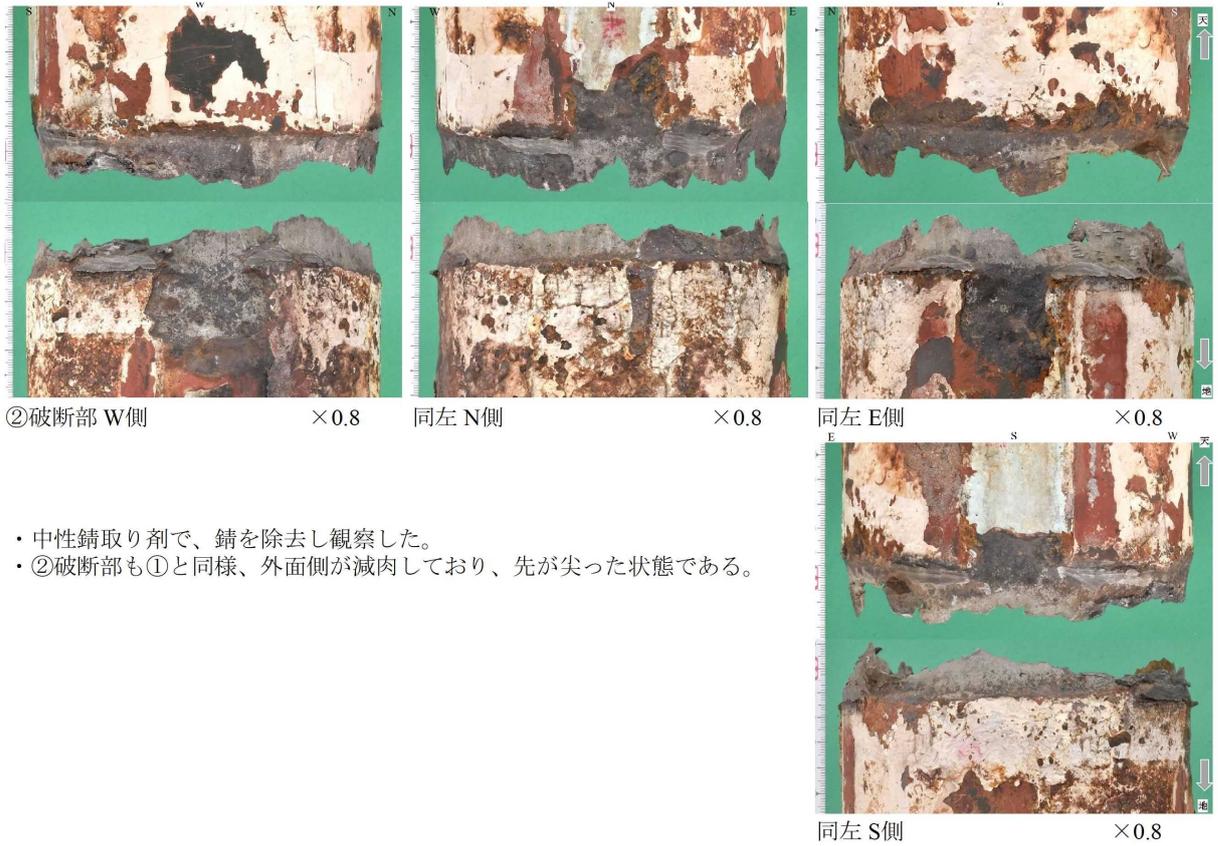


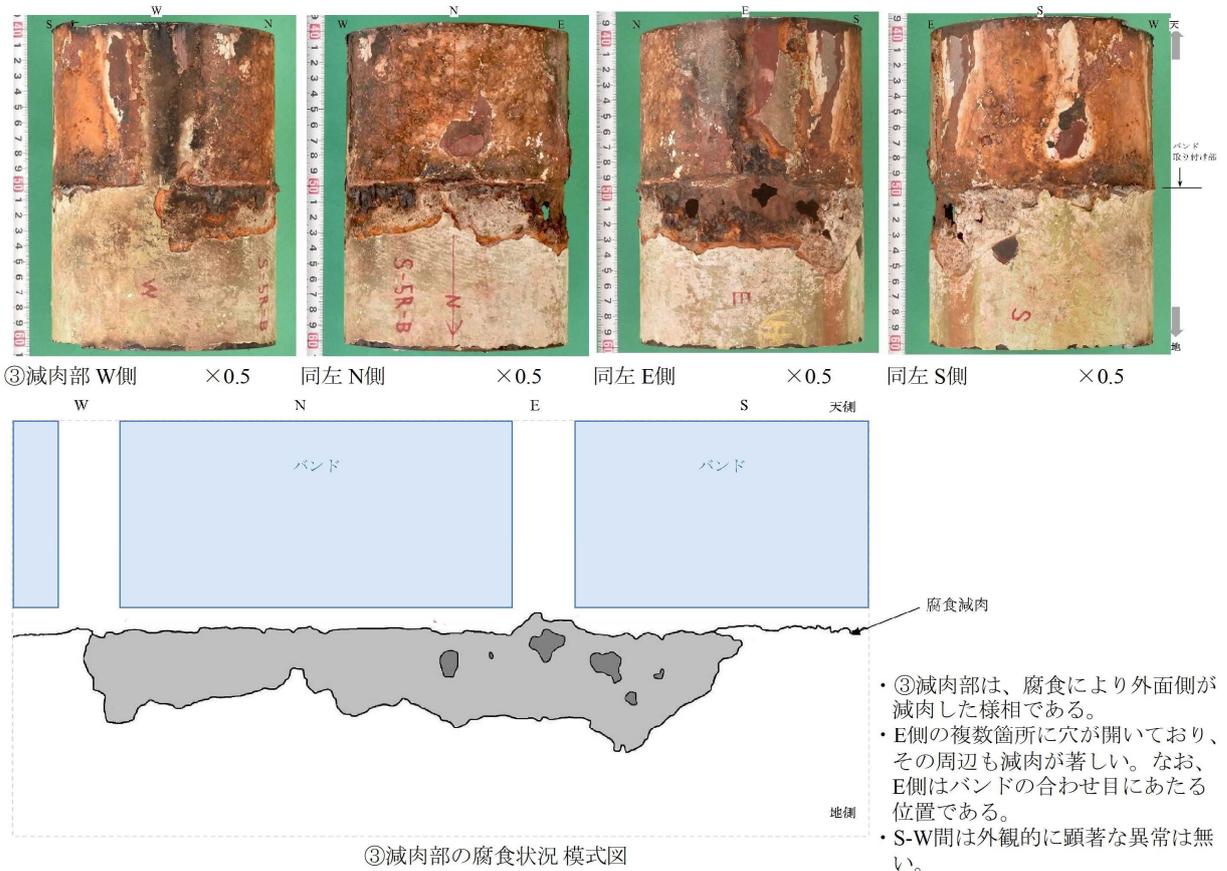
図4 ②破断部の外観（受け入れまま） ②破断部の腐食状況 模式図

図4 ①破断部の外観（受け入れまま）



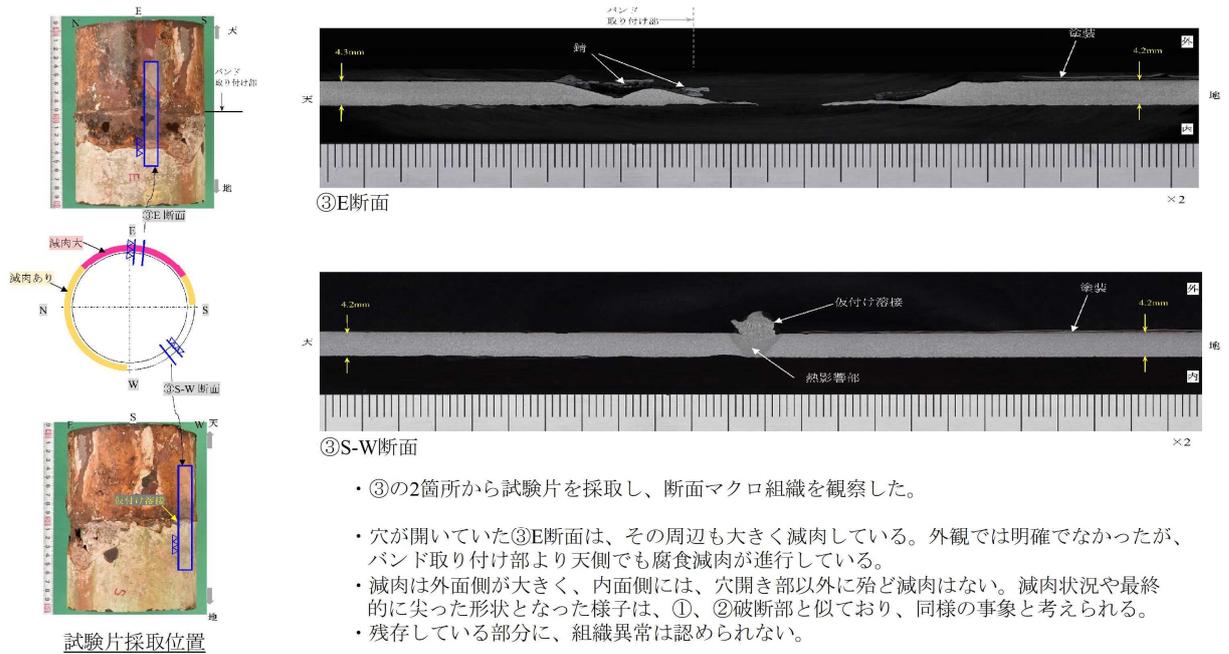
- ・中性錆取り剤で、錆を除去し観察した。
- ・②破断部も①と同様、外面側が減肉しており、先が尖った状態である。

図5 ②破断部の外観（破断部の錆取り後）



- ・③減肉部は、腐食により外面側が減肉した様相である。
- ・E側の複数箇所に穴が開いており、その周辺も減肉が著しい。なお、E側はバンドの合わせ目にあたる位置である。
- ・S-W間は外観的に顕著な異常は無い。

図6 ③減肉部の外観



- ・③の2箇所から試験片を採取し、断面マクロ組織を観察した。
- ・穴が開いていた③E断面は、その周辺も大きく減肉している。外観では明確でなかったが、バンド取り付け部より天側でも腐食減肉が進行している。
- ・減肉は外面側が大きく、内面側には、穴開き部以外に殆ど減肉はない。減肉状況や最終的に尖った形状となった様子は、①、②破断部と似ており、同様の事象と考えられる。
- ・残存している部分に、組織異常は認められない。
- ・外観で減肉がなかった③S-W断面は断面でも特に異常ない。
- ・仮付け溶接部の熱影響範囲は小さく通常の、溶け落ち等の異常はない。また局部的に腐食が進行した様相もない。
- ・一般部の肉厚は4.2～4.3mmであり、仕様値の4.5mmよりやや薄い。

図 7 ③減肉部の断面マクロ組織

## 4.2 引張試験結果

### 〈考察〉

アーチ材の試験結果では、全ての試験片で母材部で破断している。  
アーチ材の引張強度は比較的吊材の強度より大きい。

材質	試験温度	試験片規格	試験片寸法	引張試験			外径 (mm)	記事
			弧状板厚さ×幅 (mm)	最大試験力 (N)	引張強さ (Mpa)	破断位置		
室温	-	5R-U1	4.22×25.05	47082	443	平行部	φ139.8	母材引張
		5R-U2	4.23×25.05	46653	438	平行部	φ139.8	
		5R-U3	4.46×25.05	52764	470	平行部	φ139.8	
		5R-B1	4.21×25.05	49135	463	平行部	φ139.8	
		5R-B2	4.41×25.05	47529	428	平行部	φ139.8	
		5R-B3	4.30×25.05	46563	430	平行部	φ139.8	
		Ra-3R1	9.30×38.11	179233	505	平行部	φ457.2	継手引張
		Ra-3R2	9.51×38.11	207538	572	平行部	φ457.2	
		Ra-4L1	8.94×20.05	93157	520	平行部 (母材部)	φ457.2	母材引張
		Ra-4L2	9.12×20.05	92496	406	平行部 (母材部)	φ457.2	
		Ra-10L1	9.34×38.07	167434	470	平行部	φ457.2	母材引張
		Ra-10L2	9.35×38.08	171275	480	平行部	φ457.2	

### 4.3 溶接部及び鋼材の定量分析

[Mass %]

符 号	分 析 元 素									
	C	Si	Mn	P	S	-	-	-	-	-
Ra-4LB (アーチ母材)	0.23	< 0.05	0.84	0.013	0.012					
Ra-4LW (アーチ溶接部)	0.094	0.65	0.64	0.013	0.006					
5R-UB (吊材母材)	0.16	< 0.05	0.39	0.008	0.020					
以下余白										
分 析 方 法*	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)					

※分析方法

(1) 燃焼-赤外線吸収法	(4) モリブドリン酸青吸光度法	
(2) モリブドけい酸青吸光度法		
(3) ICP発光分光分析法		

### 4.4 塗膜分析結果

#### 〈考察〉

水管橋吊り材塗膜を分析したところ、表層には珪藻と思われる生物の付着や、塗膜割れ、発錆などが確認できた。

塗膜は基材に最も近い部分は鉛含有塗料で、その上にアルキド樹脂系塗料、エポキシ樹脂塗料、ふっ素樹脂塗料が塗り重ねられている。

水管橋が崩落後水没していたことから、塗膜性能（割れ、層間剥離）に何らかの影響を与えた可能性がある。

全てのサンプルにおいて塗膜の割れが観察され、塗替え塗装（ふっ素）が施工された箇所では塗膜の層間剥離が確認されている。

後付けバンド両端部の旧塗膜とふっ素樹脂塗装の境界部から腐食が進行したと思われる。

⑨⑩のサンプルにはひび割れと錆が確認された。他のサンプルに錆はない。

⑨⑩はバンドの連結部＝露出部であり、塗替え塗装が完全に行われていない箇所であると思われる。この箇所の環境は、破断したバンド端部と同じである。

塗替え塗装時に、狭隘部或いは隅角部の為下地処理が適切に行われず、旧塗膜と新塗膜の密着に問題があり、塗膜の耐久性に悪影響を与えたと推定する。

サンプル	断面分析	表面分析	XMA分析
①T-5R-U-N	7層の塗膜が確認できた。	塗膜の層間剥離がみられる。表層には珪藻が付着。	C(炭素)、O(酸素)、Ti(チタン)、Si(ケイ素)、Fe(鉄)、Cl(塩素)、Al(アルミ)が検出された。
②T-5R-U-E	7層の塗膜が確認できた。	表層には珪藻が付着しており、塗膜の割れがみられる。	C(炭素)、O(酸素)、Si(ケイ素)、Ti(チタン)、Fe(鉄)、Al(アルミ)が検出された。
③T-5R-U-S	8層の塗膜が確認できた。	塗膜の層間剥離がみられる。	C(炭素)、O(酸素)、Si(ケイ素)、Ti(チタン)、F(フッ素)、Cl(塩素)が検出された。
④T-5R-U-W	6層の塗膜が確認できた。	塗膜の層間剥離がみられる。表層には珪藻が付着しており、塗膜の割れがみられる。	C(炭素)、O(酸素)、Ti(チタン)、Si(ケイ素)、Fe(鉄)、Cl(塩素)が検出された。
⑤T-5R-B-N	7層の塗膜が確認できた。	塗膜の層間剥離がみられる。	C(炭素)、O(酸素)、Si(ケイ素)、Ti(チタン)、Ca(カルシウム)、Fe(鉄)、P(リン)が検出された。
⑥T-5R-B-E	6層の塗膜が確認できた。	塗膜の割れがみられる。	C(炭素)、O(酸素)、Fe(鉄)、Ti(チタン)、Ca(カルシウム)、P(リン)、Zr(ジルコニウム)、Si(ケイ素)、Cl(塩素)が検出された。
⑦T-5R-B-S	7層の塗膜が確認できた。	表層には珪藻が付着しており、塗膜の割れがみられる。	C(炭素)、O(酸素)、Ti(チタン)、Fe(鉄)、Si(ケイ素)、N(窒素)、Cl(塩素)が検出された。
⑧T-5R-B-W	6層の塗膜が確認できた。	塗膜の層間剥離がみられる。表層には珪藻が付着しており、塗膜の割れがみられる。	C(炭素)、O(酸素)、Ti(チタン)、Ca(カルシウム)、Fe(鉄)が検出された。
⑨T-5R-M-N	6層の塗膜が確認できた。	表層には珪藻と鉄さびが付着しており、塗膜の割れがみられる。	C(炭素)、O(酸素)、Ca(カルシウム)、Ti(チタン)、P(リン)、F(フッ素)、Fe(鉄)、Cl(塩素)、Si(ケイ素)が検出された。
⑩T-5R-M-E	2層の塗膜が確認できた。	表層には珪藻が付着しており、塗膜の割れがみられる。	C(炭素)、O(酸素)、Ti(チタン)、Fe(鉄)が検出された。
⑪T-5R-M-S	5層の塗膜が確認できた。	表層には鉄さびが付着しており、塗膜の割れがみられる。	C(炭素)、O(酸素)、Ca(カルシウム)、Ti(チタン)、F(フッ素)、P(リン)、Fe(鉄)、Cl(塩素)、Si(ケイ素)が検出された。
⑫T-5R-M-W	4層の塗膜が確認できた。	塗膜の割れがみられる。	C(炭素)、O(酸素)、Ti(チタン)、Fe(鉄)が検出された。

## 添付資料 1 (全体写真)

### T-5R-U

①T-5R-U-N



②T-5R-U-E



側面



③T-5R-U-S



④T-5R-U-W



内面



## T-5R-B

⑤T-5R-B-N



⑥T-5R-B-E



側面



⑦T-5R-B-S



⑧T-5R-B-W



内面



## T-5R-M

⑨T-5R-M-N



⑩T-5R-M-E



⑪T-5R-M-S



⑫T-5R-M-W







#### 4.5 付着力試験結果

##### 〈考察〉

付着力試験の結果は、鋼面と旧塗膜の間で剥離が生じていない事を示唆する試験結果の一例であると考え。

標準試験片①の付着に対して、48～81%の想定結果であった。

単位：Mpa

No.	①	②	③
TA-5R-U	7.97	3.13	-
TA-5R-B	7.03	6.59	6.48

No.	①-1	①-2	平均値
標準①	10.46	9.1	9.8
No.	②-1	②-2	
標準②	10.23	10.9	10.6

※膜厚測定結果

単位：μm

TA-5R-U	445～563
TA-5R-B	383～551
標準①	263～309
標準②	252～264

<付着力試験> TA-5R-B



<膜厚測定> TA-5R-B



<付着力試験> TA-5R-D



<膜厚測定> TA-5R-D



<付着力試験> 標準板①



<膜厚測定> 標準板①



<付着力試験> 標準板②



<膜厚測定> 標準板②



添付資料





株式会社 神戸工業試験場  
 兵庫県加古郡播磨町新島47-13  
 TEL:(079) 435-6583 FAX:(079) 435-7483

# 試験報告書

2022年4月8日

御中

注文主

報告書番号 KT470-220001-A-S1-b

検査官

工事番号

Page 1 of 1

注文主

名称 引張試験

材	試験項目	試験規格	試験片符号	引張試験			外径 (mm)	記事		
				試験片寸法	最大試験力 (N)	引張強さ (MPa)			破断位置	
室温				弧状板 厚さ×幅 (mm)	-	-	-			
				5R-U1	4.22×25.05	47082	443	平行部	φ139.8	
				5R-U2	4.23×25.05	46653	438	平行部	φ139.8	
				5R-U3	4.46×25.05	52764	470	平行部	φ139.8	
				5R-B1	4.21×25.05	49135	463	平行部	φ139.8	母材引張
				5R-B2	4.41×25.05	47529	428	平行部	φ139.8	
				5R-B3	4.30×25.05	46563	430	平行部	φ139.8	
				Ra-3R1	9.30×38.11	179233	505	平行部	φ457.2	
				Ra-3R2	9.51×38.11	207538	572	平行部	φ457.2	
				Ra-4L1	8.94×20.05	93157	520	平行部(母材部)	φ457.2	継手引張
				Ra-4L2	9.12×20.05	92496	506	平行部(母材部)	φ457.2	
				Ra-10L1	9.34×38.07	167434	470	平行部	φ457.2	母材引張
				Ra-10L2	9.35×38.08	171275	480	平行部	φ457.2	

引張試験	JIS Z 2241(11)	試験機番号 (No.) E2-026	備考 試験実施日：2022年3月29日 室温：23°C±5°C
衝撃試験	-		本報告書の全文をもって、結果の整合性を保証します。 よって、一部分のみの複製の使用は、必要な情報が欠落する可能性があります。
曲げ試験	-		逸脱事項 なし

# 化学分析成績書

2022年3月30日

ページ番号：Page 1 of 1  
発行番号：KT470-220003-A-E2

工事名称：溶接部及び鋼材の定量分析

符号	分析元素									
	C	Si	Mn	P	S	-	-	-	-	-
Ra-4LB (アーク溶接部)	0.23	< 0.05	0.84	0.013	0.012					
Ra-4LW (アーク溶接部)	0.094	0.65	0.94	0.013	0.006					
5R-UB (吊材母材)	0.16	< 0.05	0.39	0.008	0.020					
以下余白										
分析法※	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)					
備考	・本成績書の全文をもって、結果の整合性を保証します。よって、一部分のみの複製の使用は、必要な情報が欠落する可能性があります。 ・分析期間 2022年3月25日～28日									

[Mass %]



株式会社神戸工業  
〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島47-13  
化学試験部 環境分析課  
TEL(079)435-6921 FAX(079)435-5081



※ 分析方法	(1) 燃焼-赤外線吸収法	(4) モリブデン酸書吸光度法
	(2) モリブデン酸書吸光度法	
	(3) ICP発光分光分析法	

# 試験報告書

## 水管橋 吊材の外観観察および断面マクロ組織試験

供試品	名称	六十谷水管橋 吊材	
	材質	STK400	
	符号	① (S-5R-U1,S-5R-U2), ② (S-5R-M1,S-5R-M2), ③ (S-5R-B)	
試験項目		外観観察、マクロ組織観察	
試験機		一眼レフカメラ	
研磨		湿式研磨	
腐食液		ナイトル	
試験実施期間		2022.3.17~2022.3.28	
備考		-	
件名		六十谷水管橋調査	
注文番号	-	仕様書番号	-
<p>本報告書の全文をもって、結果の整合性を保証します。よって、一部分のみの複製の使用は、必要な情報が欠落する可能性があり、弊社の保証適用外となります。</p>			

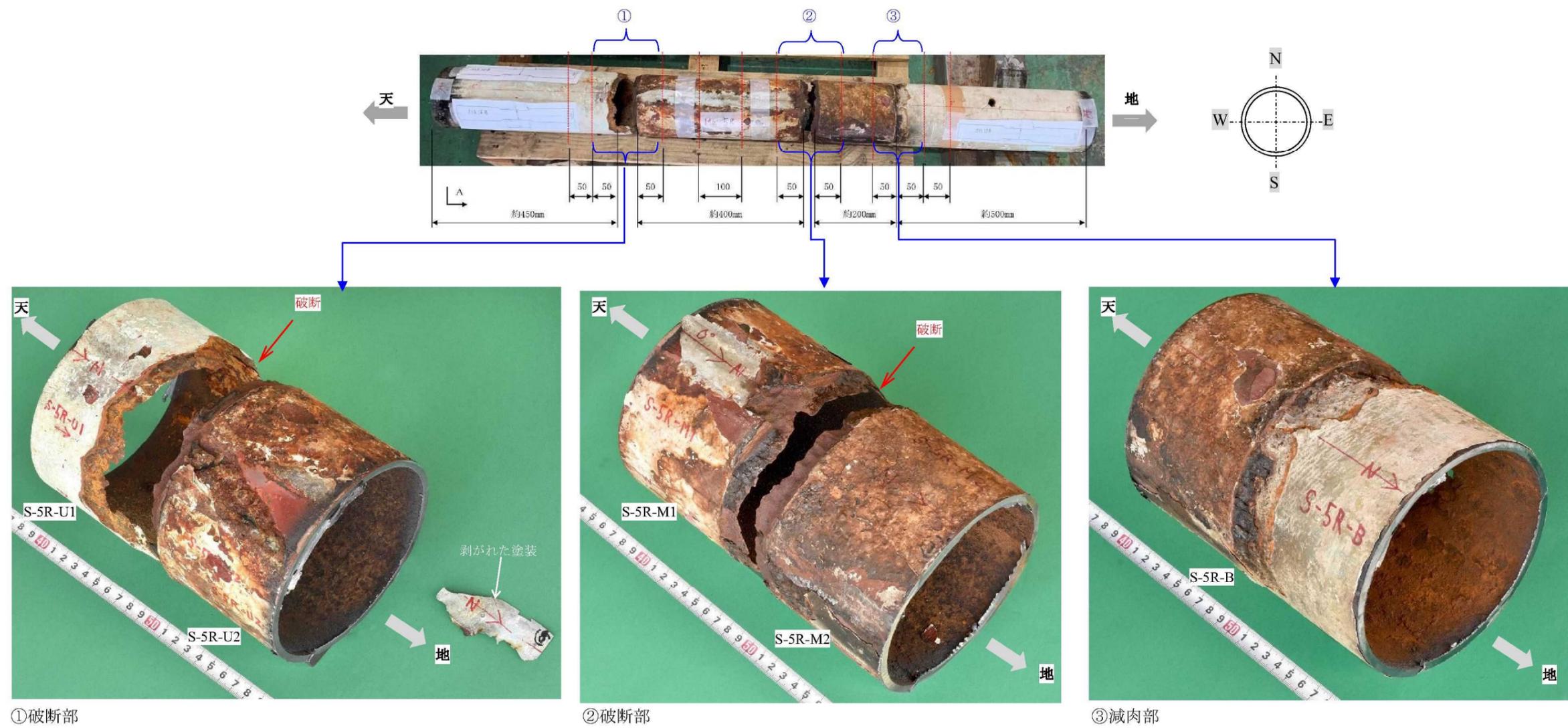
発行日： 2022年3月31日

担当課： 材料試験部 材料試験課



株式会社 神戸工業試験場

〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島 47-13  
TEL: (079)435-6582 FAX: (079)435-5075



①破断部

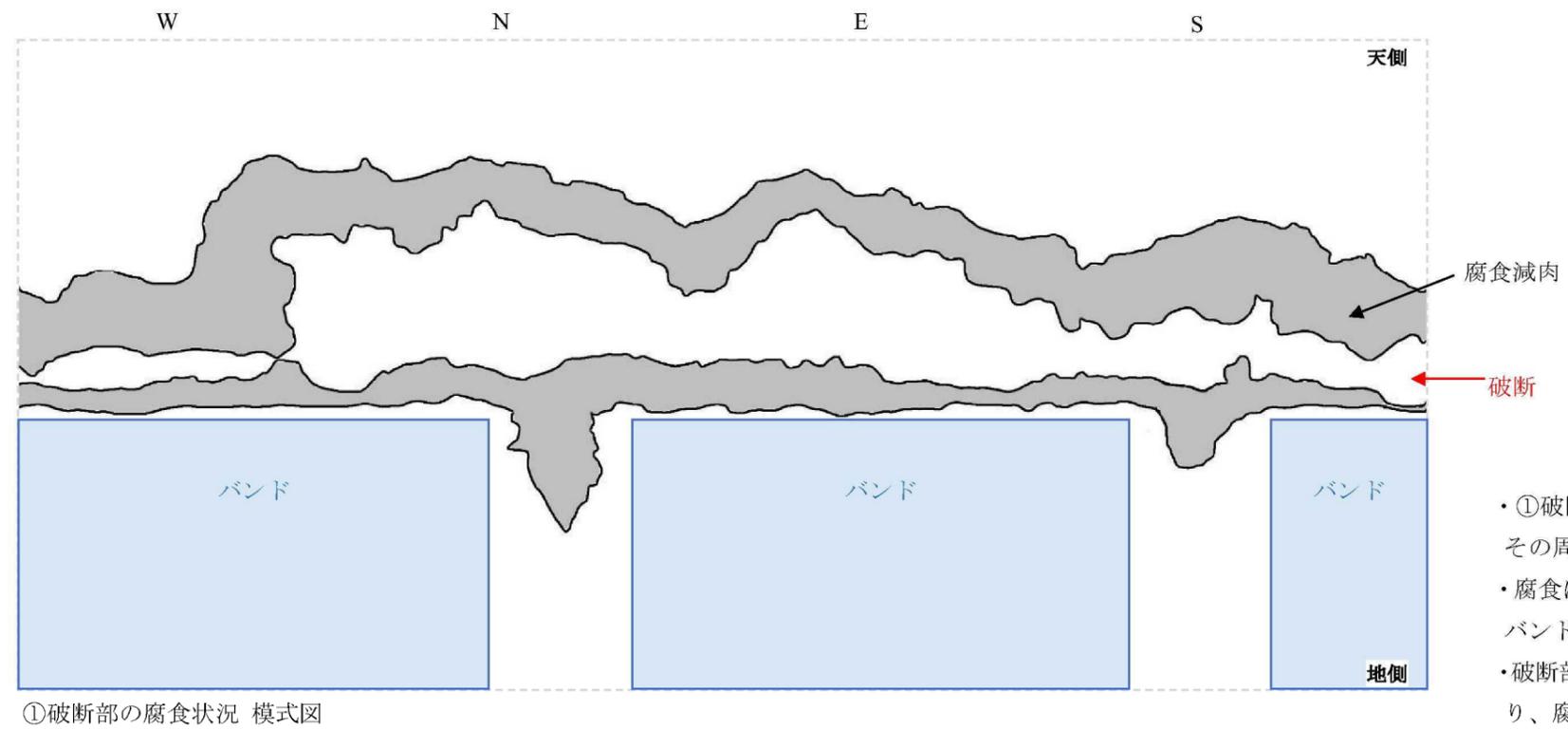
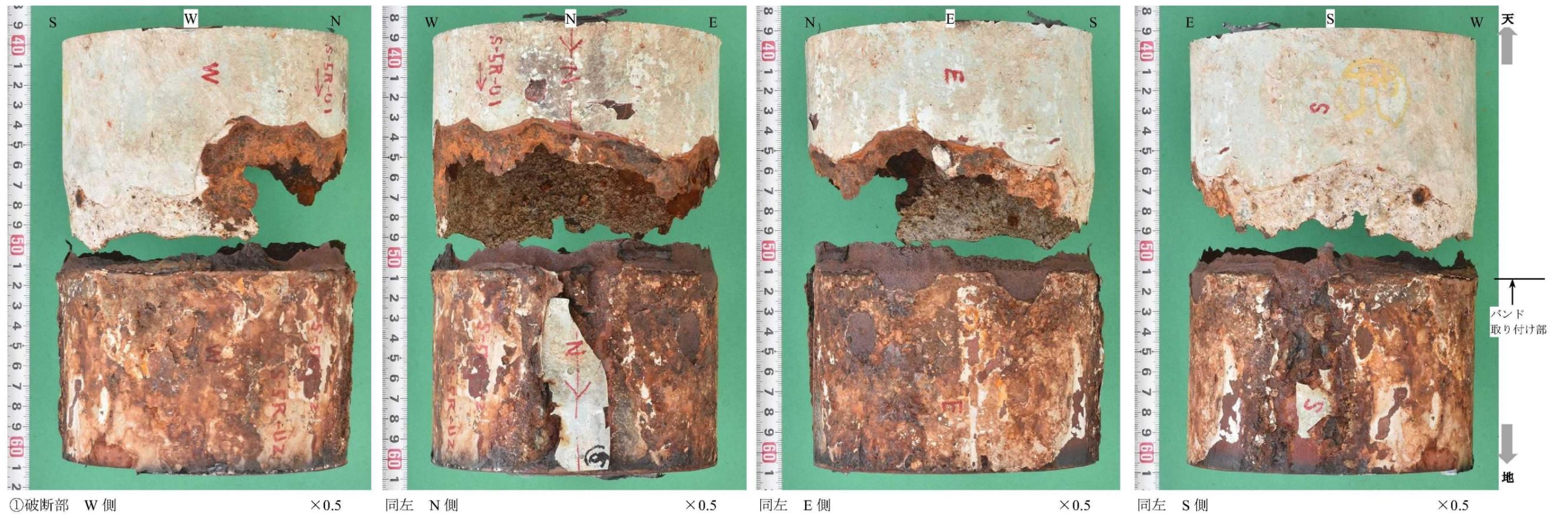
②破断部

③減肉部

実施内容

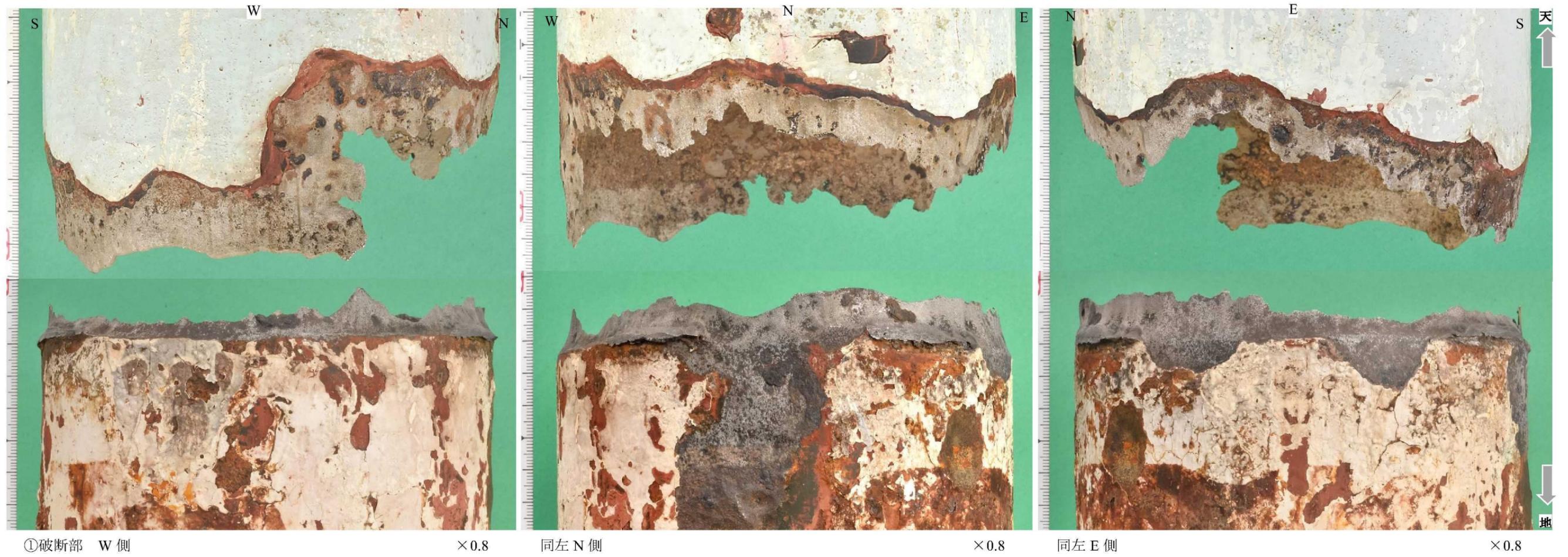
項目		①破断部	②破断部	③減肉部
外観観察	受け入れ状況	図 1,2	図 1,4	図 1,6
	錆取り後	図 3	図 5 (付図 1~4)	—
	表面拡大	—	—	図 7
断面マクロ組織観察		—	—	図 8

図 1 吊材の受け入れ状況



- ・①破断部は W-N-E 側が大きく開口しており、その周辺にも腐食減肉が認められる。
- ・腐食は、主にバンド取り付け部より天側およびバンド同士の合わせ目で発生したとみられる。
- ・破断部は天側と地側で形状が大きく異なっており、腐食により消失したと考えられる。

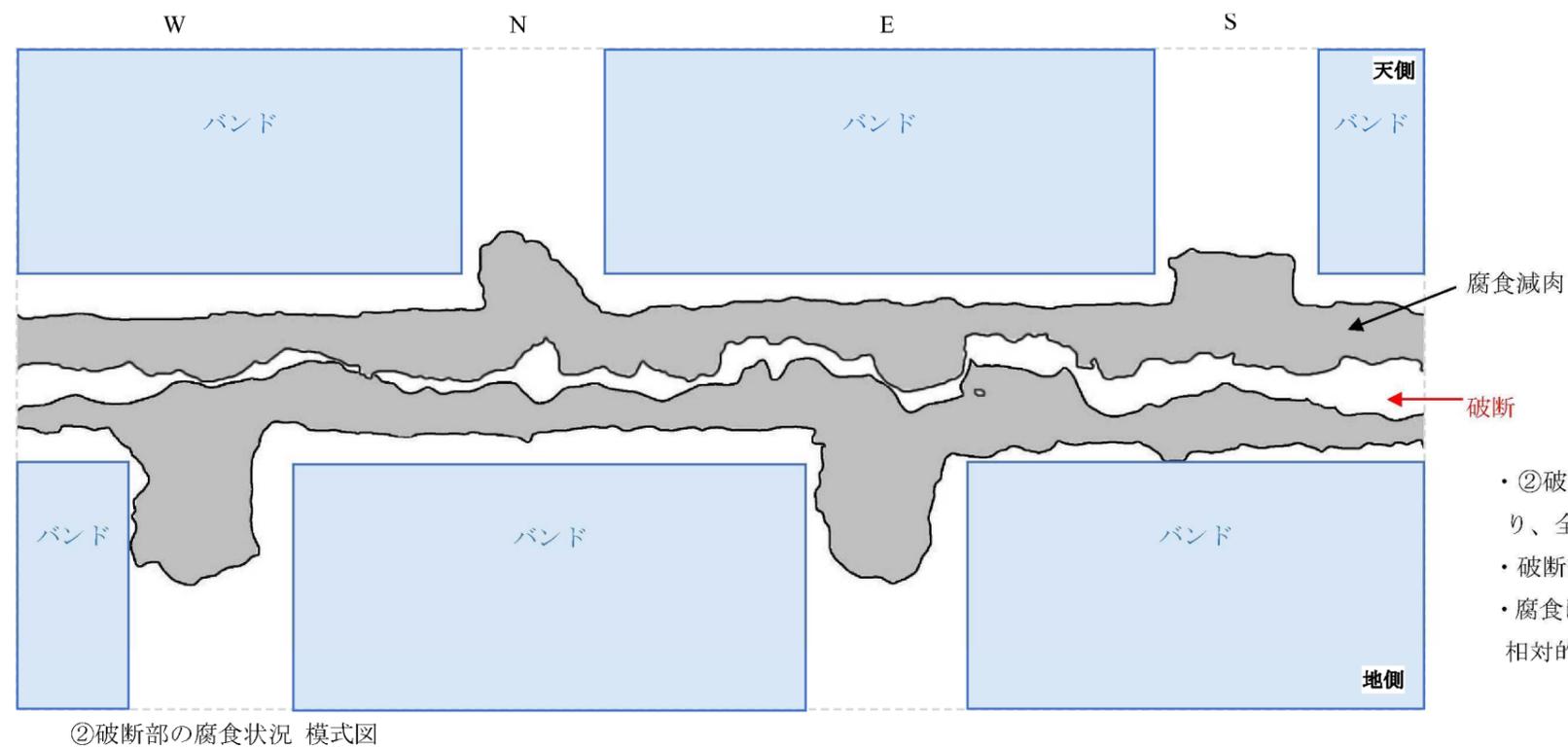
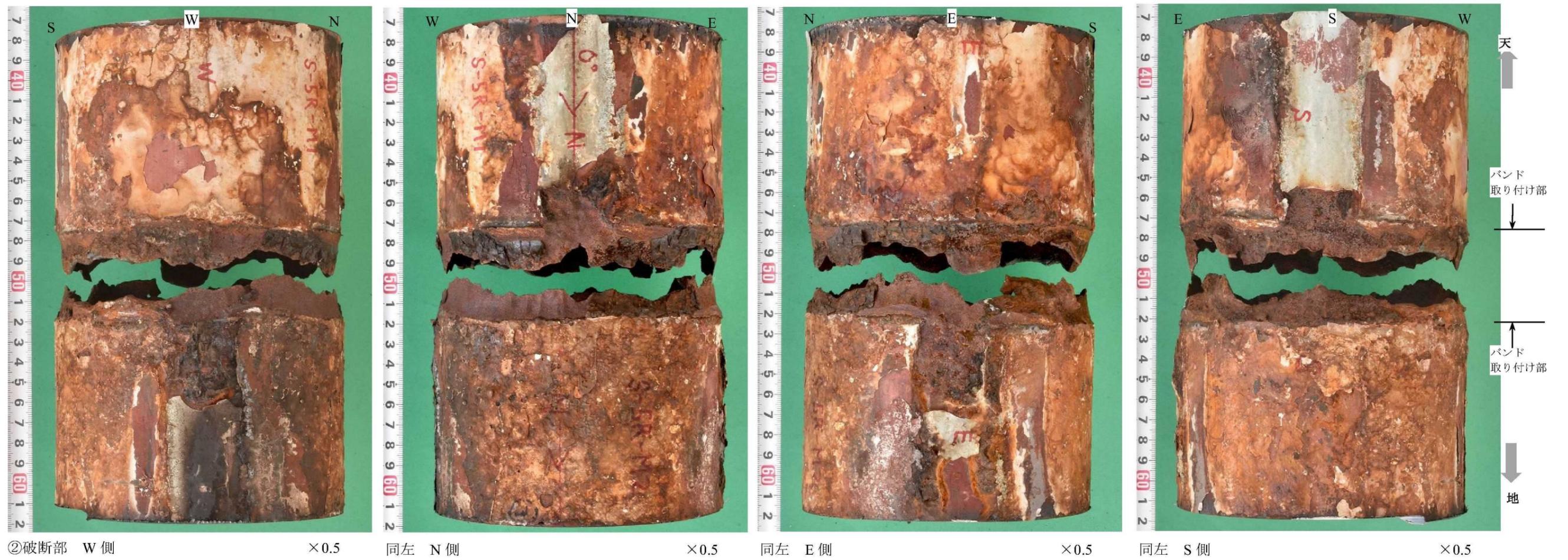
図2 ①破断部の外観 (受け入れまま)



- ・中性錆取り剤で、錆を除去し観察した。
- ・破断部は外面側が減肉しており、先が尖った状態である。



図3 ①破断部の外観（破断部の錆取り後）



- ・②破断部はバンド間や合わせ目で腐食が発生しており、全周がほぼ同様に減肉している。
- ・破断部の形状は天側と地側で概ね合致している。
- ・腐食により減肉し有効断面が減少した為、負荷応力が相対的に増加し、最終的に破断に至ったと考えられる。

図4 ②破断部の外観 (受け入れまま)



②破断部 W側

×0.8

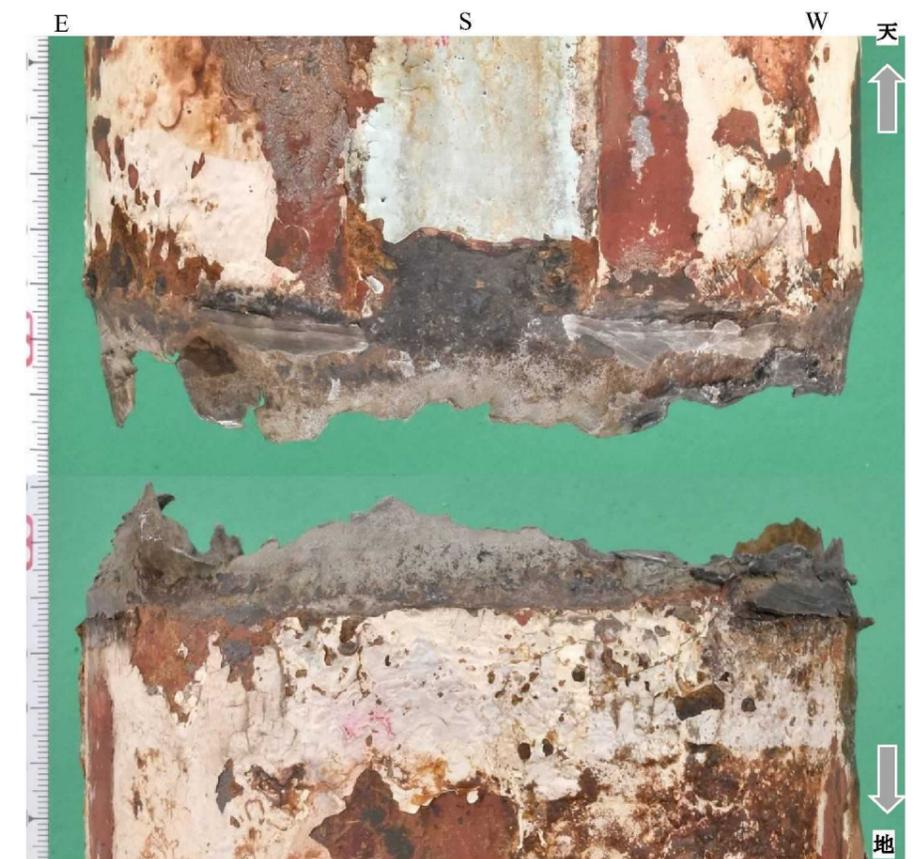
同左 N側

×0.8

同左 E側

×0.8

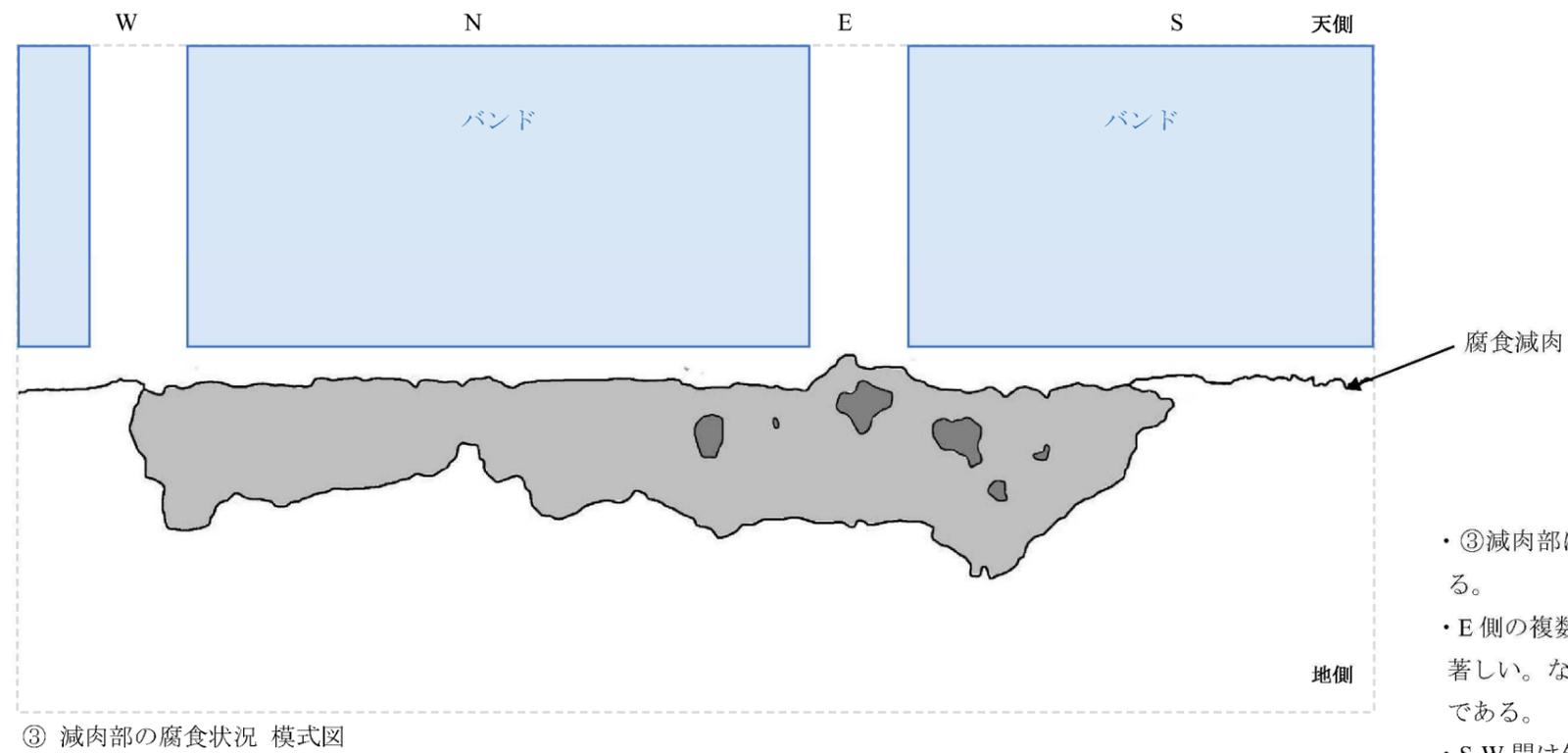
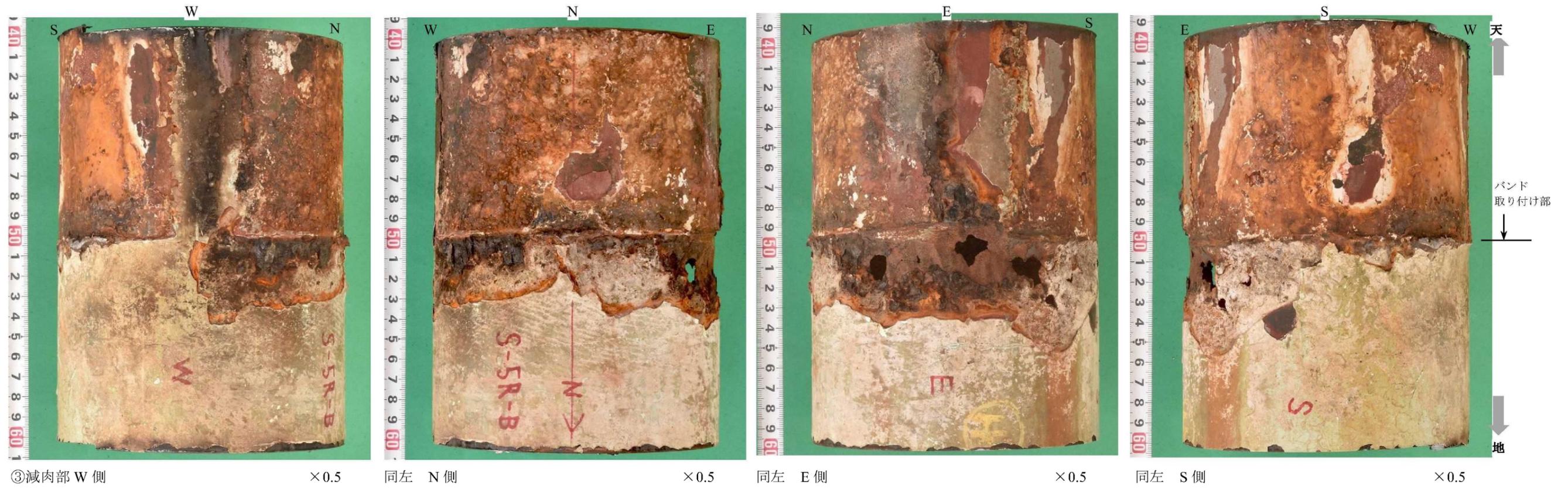
- 中性錆取り剤で、錆を除去し観察した。
  - ②破断部も①と同様、外面側が減肉しており、先が尖った状態である。
- [拡大写真を付図として Page 10 ~13 に貼付]



同上 S側

×0.8

図5 ②破断部の外観 (破断部の錆取り後)



- ・③減肉部は、腐食により外面側が減肉した様相である。
- ・E側の複数箇所に穴が開いており、その周辺も減肉が著しい。なお、E側はバンドの合わせ目にあたる位置である。
- ・S-W間は外観的に顕著な異常は無い。

図6 ③減肉部の外観



減肉部拡大 ×1.5

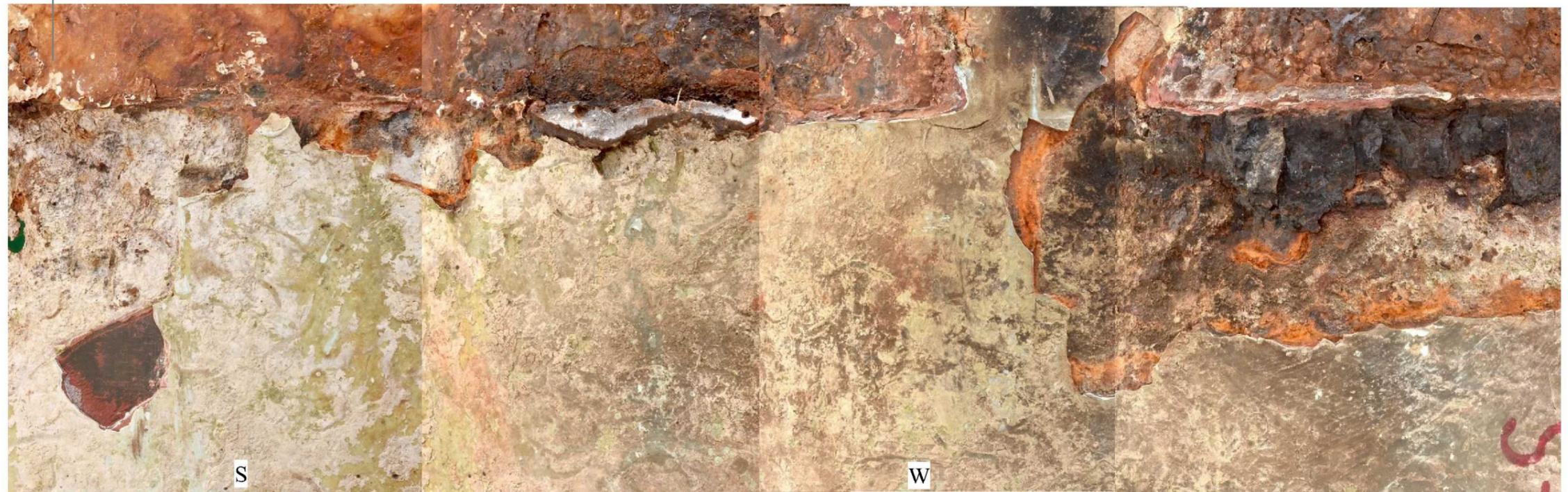
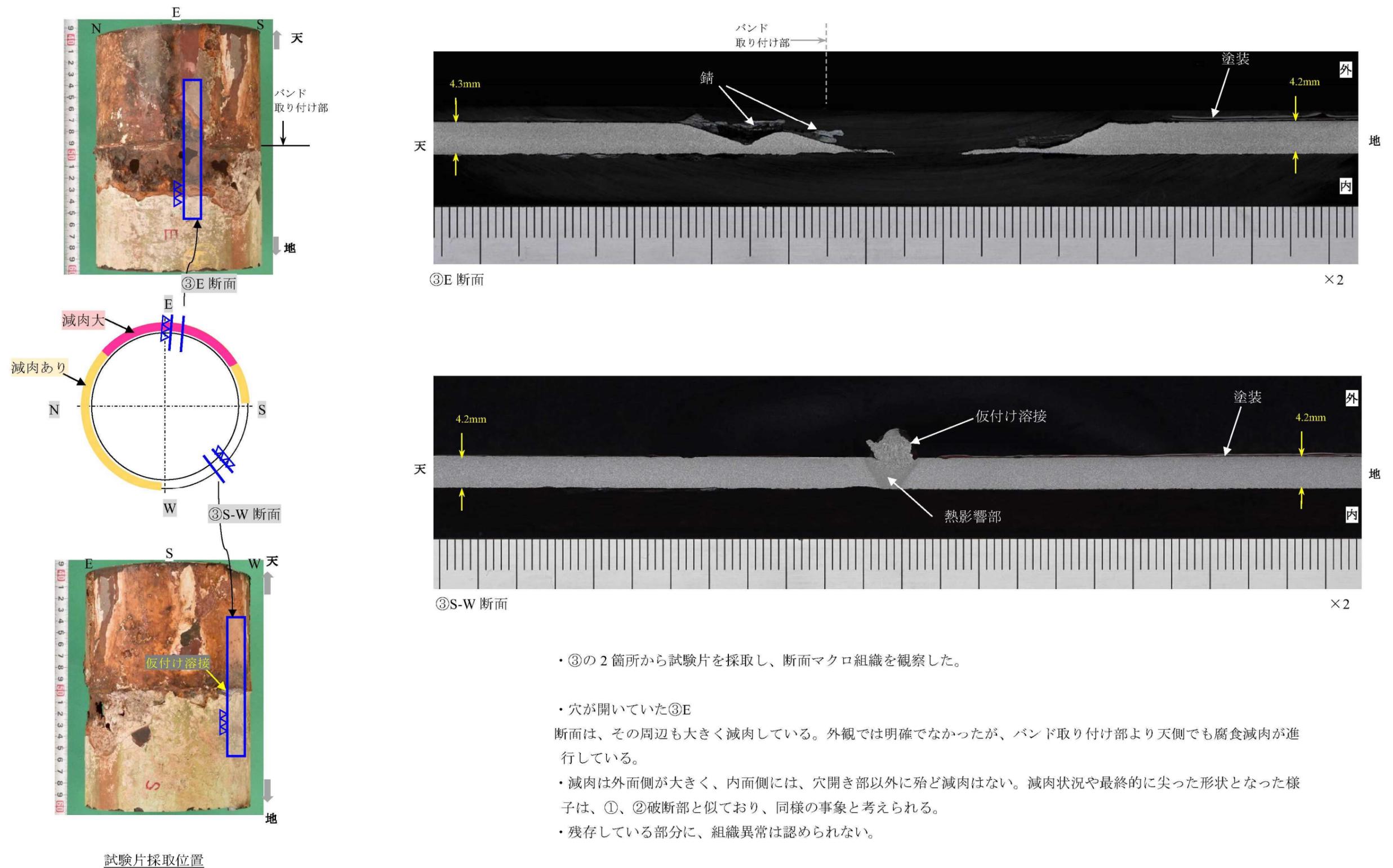


図7 ③減肉部の表面拡大



- ・③の2箇所から試験片を採取し、断面マクロ組織を観察した。
- ・穴が開いていた③E断面は、その周辺も大きく減肉している。外観では明確でなかったが、バンド取り付け部より天側でも腐食減肉が進行している。
- ・減肉は外面側が大きく、内面側には、穴開き部以外に殆ど減肉はない。減肉状況や最終的に尖った形状となった様子は、①、②破断部と似ており、同様の事象と考えられる。
- ・残存している部分に、組織異常は認められない。
- ・外観で減肉がなかった③S-W断面は断面でも特に異常ない。
- ・仮付け溶接部の熱影響範囲は小さく通常の、溶け落ち等の異常はない。また局部的に腐食が進行した様相もない。
- ・一般部の肉厚は4.2~4.3mmであり、仕様値の4.5mmより やや薄い。

図8 ③減肉部の断面マクロ組織

天 ←

→ 地



付図1 ②破断部の外観（破断部の錆取り後 W側）



付図2 ②破断部の外観（破断部の錆取り後 N側）

天 ←

→ 地

S

E

N



付図3 ②破断部の外観（破断部の錆取り後 E側）



付図4 ②破断部の外観（破断部の錆取り後 S側）