

### Ⅲ. Ⅲ 破断 PC 鋼棒に関する調査結果（本編 4. 2. 2）

# 破断 PC 鋼棒に関する調査結果

2021 年 6 月 25 日

## 1. はじめに

上関大橋に適用されていた PC 鋼棒を受領し調査を行いましたので、その結果を以下に報告致します。

## 2. 受領サンプル

受領サンプル計 18 本の外観を写真-1 に示します。サンプルに記載された番号を元にそれぞれ、サンプル No.を示します。サンプル No.2、4、5、6、7、10、13、15、17 は破断部を挟み 2 本あるため、それぞれ上部、下部と名付けています。また、写真-1(b)に示す後日受領したサンプルをサンプル No.12 (箱桁側) と名付けています。



(a) サンプル No.1~18



(b) サンプル No.12 (箱桁側)

写真-1 受領サンプル外観

### 3. 調査内容

調査内容として、調査項目、調査位置および調査サンプルを表-1 に示します。

表-1 調査内容

調査項目	調査位置	調査サンプル
1. 外観観察※	錆除去前：全長 錆除去後：破断部近傍	錆除去前：全数 錆除去後：サンプル No.1、2、3、4、5、6、7、10、12、12(箱桁側)、13、14、15、17
2. 単位質量測定※	破断部近傍	サンプル No.1、2、3、4、5、6、7、10、12、12(箱桁側)、13、14、15、17
3. 形状測定※	破断面から長手方向に 10mm 間隔で5点	サンプル No.1、2、3、4、5、6、7、10、12、12(箱桁側)、13、14、15、17
4. 金属組織観察	破断部近傍：起点部、中心部 未破断部：表層部、中心部	破断部近傍：サンプル No.1、2、3、4、5、6、7、10、12、12(箱桁側)、13、14、15、17 未破断部：全数
5. 走査型電子顕微鏡による 破面観察	破断部近傍：起点部	サンプル No.1、2、3、4、5、6、7、10、12、12(箱桁側)、13、14、15、17
6. 硬度測定	破断部近傍：起点部、中心部 未破断部：表層部、中心部	破断部近傍：サンプル No.1、2、3、4、5、6、7、10、12、12(箱桁側)、13、14、15、17 未破断部：全数
7. 化学成分分析	未破断部	全数

※受領したサンプルの上部および下部を含む全長の外観観察を行った後、破断部を含むサンプル（2本ある場合は下部）を長さ約 50mm に切断し、単位質量測定および形状測定を行いました。その後、アセトンとクエン酸水素二アンモニウム溶液を用いて錆を除去し、錆除去前と同様に外観観察、単位質量測定および形状測定を行いました。

#### 4. 調査結果

##### 4-1. 外観観察

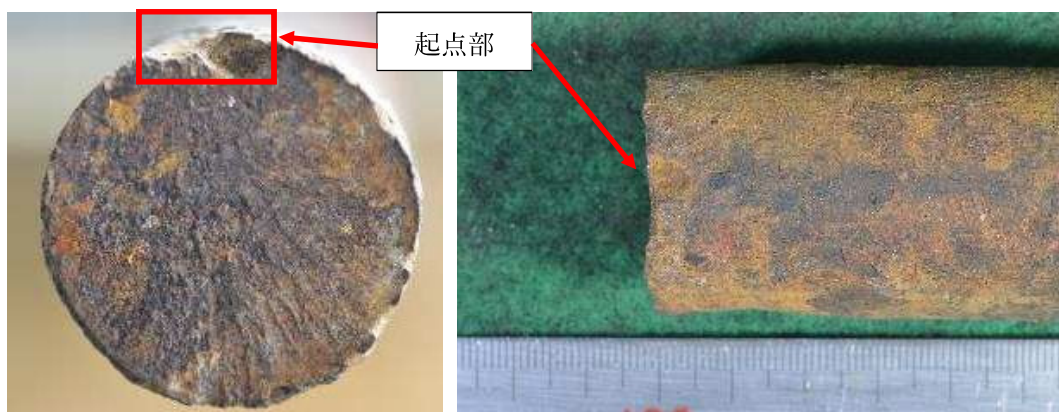
受領したサンプルの全長と破断部近傍（溶断部含む）の外観を写真-2～62 に示します。外観観察の結果、以下のことが分かりました。

<サンプル No.1>

- ・破断面および全長にわたり腐食が認められました。
- ・破面形態は表面を起点とした脆性破面を呈していました。



写真-2 サンプル No.1 の全長の外観写真



(a)破断面

(b)側面

写真-3 サンプル No.1 の破断部近傍の外観写真（錆除去前）



(a)破断面

(b)側面

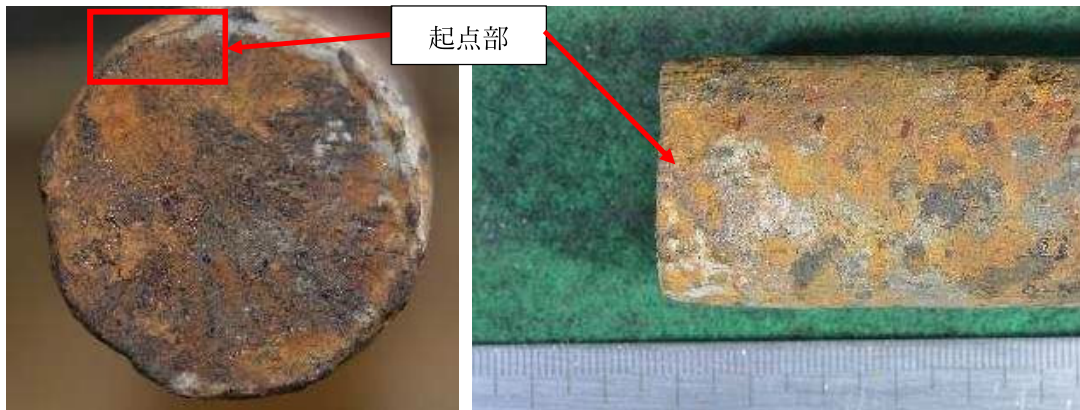
写真-4 サンプル No.1 の破断部近傍の外観写真（錆除去後）

<サンプル No.2>

- ・破断面および全長にわたり腐食が認められました。
- ・破面形態は表面を起点とした脆性破面を呈していました。



写真-5 サンプル No.2 の全長の外観写真



(a)破断面

(b)側面

写真-6 サンプル No.2 上部の破断面近傍の外観写真（錆除去前）



(a) 破断面

(b)側面

写真-7 サンプル No.2 下部の破断面近傍の外観写真（錆除去前）



(a)破断面

(b)側面

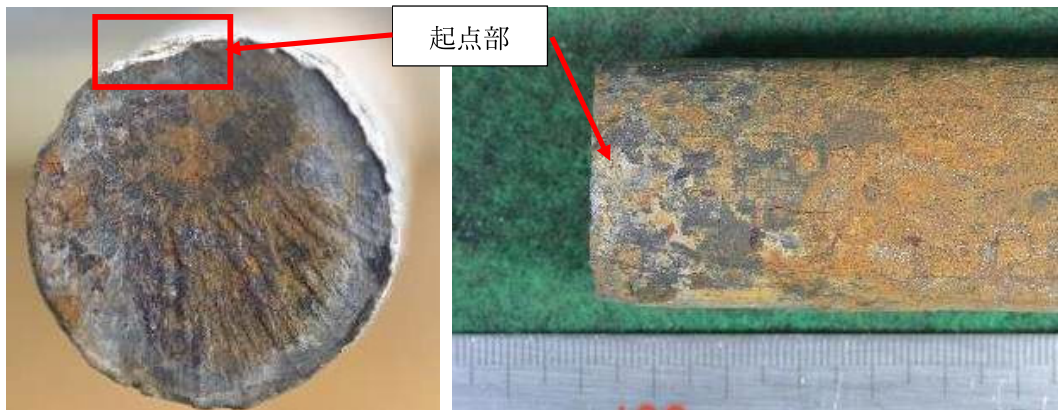
写真-8 サンプル No.2 下部の破断部近傍の外観写真（錆除去後）

<サンプル No.3>

- ・破断面および全長にわたり腐食が認められました。
- ・破面形態は表面を起点とした脆性破面を呈していました。



写真-9 サンプル No.3 の全長の外観写真



(a)破断面

(b)側面

写真-10 サンプル No.3 の破断部近傍の外観写真（錆除去前）



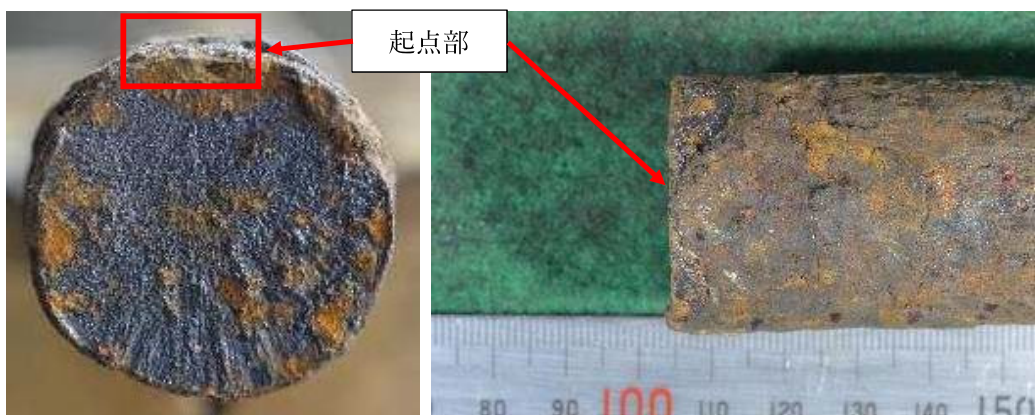
(a)破断面 (b)側面  
 写真-11 サンプル No.3 の破断面近傍の外観写真（錆除去後）

<サンプル No.4>

- ・破断面および全長にわたり腐食が認められました。
- ・破面形態は表面を起点とした脆性破面を呈していました。



写真-12 サンプル No.4 の全長の外観写真



(a)破断面 (b)側面  
 写真-13 サンプル No.4 上部の破断面近傍の外観写真（錆除去前）



(a)破断面

(b)側面

写真-14 サンプル No.4 下部の破断面近傍の外観写真（錆除去前）



(a)破断面

(b)側面

写真-15 サンプル No.4 下部の破断面近傍の外観写真（錆除去後）

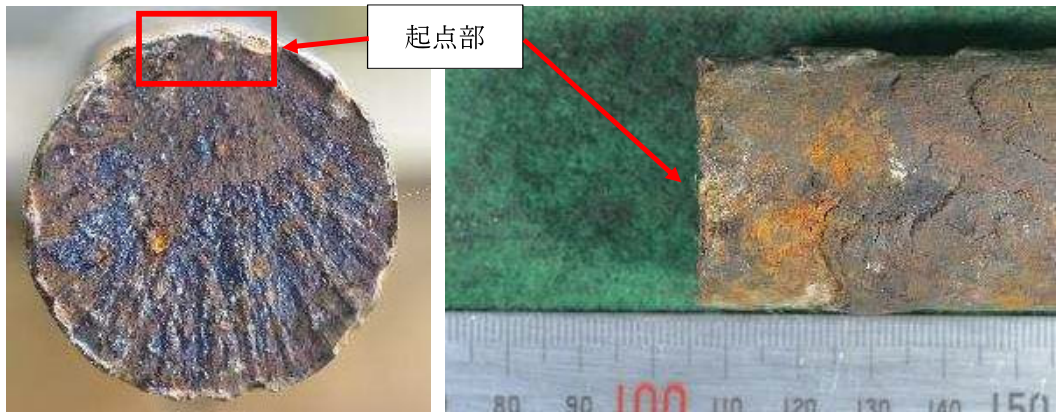
<サンプル No.5>

- ・破断面および全長にわたり腐食が認められました。
- ・破面形態は表面を起点とした脆性破面を呈していました。



写真-16 サンプル No.5 の全長の外観写真

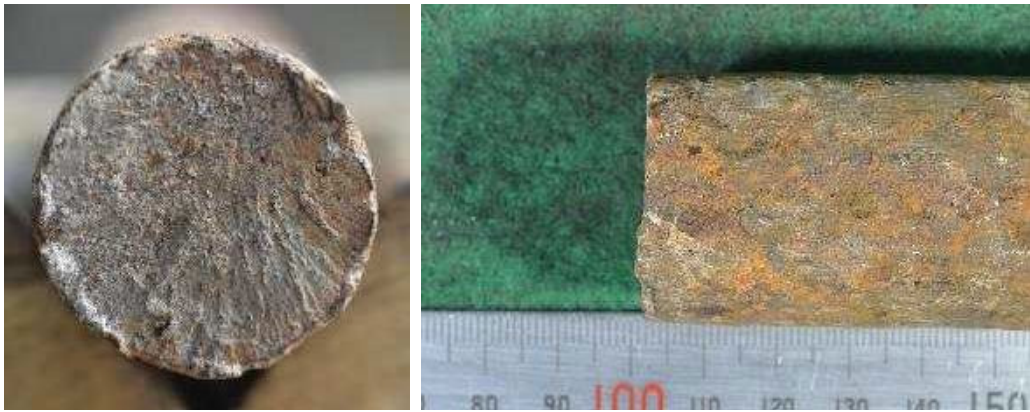




(a)破断面

(b)側面

写真-17 サンプル No.5 上部の破断面近傍の外観写真（錆除去前）



(a)破断面

(b)側面

写真-18 サンプル No.5 下部の破断面近傍の外観写真（錆除去前）



(a)破断面

(b)側面

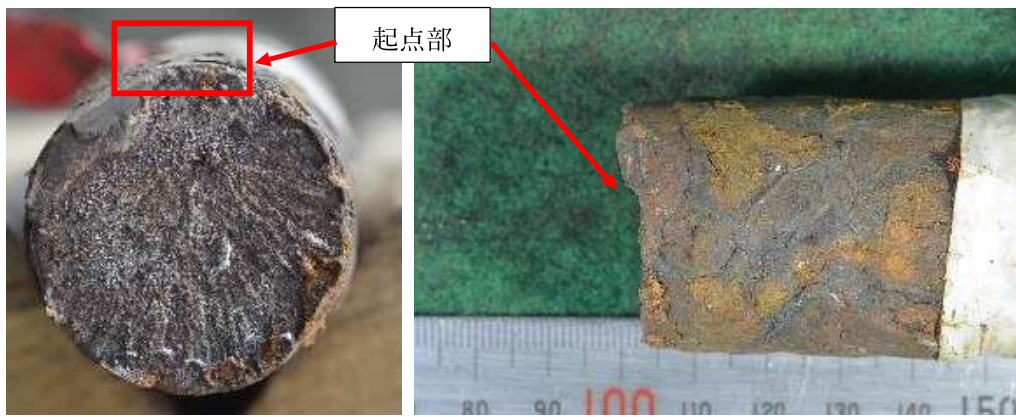
写真-19 サンプル No.5 下部の破断面近傍の外観写真（錆除去後）

<サンプル No.6>

- ・破断面および全長にわたり腐食が認められました。
- ・破面形態は表面を起点とした脆性破面を呈していました。



写真-20 サンプル No.6 の全長の外観写真



(a)破断面

(b)側面

写真-21 サンプル No.6 上部の破断面近傍の外観写真（錆除去前）



(a)破断面

(b)側面

写真-22 サンプル No.6 下部の破断面近傍の外観写真（錆除去前）



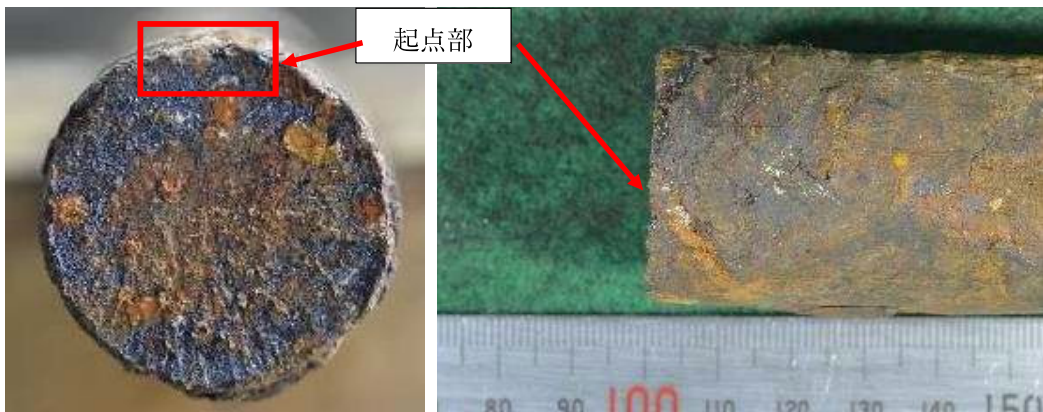
(a)破断面 (b)側面  
 写真-23 サンプル No.6 下部の破断面近傍の外観写真 (錆除去後)

<サンプル No.7>

- ・破断面および全長にわたり腐食が認められました。
- ・破面形態は表面を起点とした脆性破面を呈していました。



写真-24 サンプル No.7 の全長の外観写真



(a)破断面 (b)側面  
 写真-25 サンプル No.7 上部の破断面近傍の外観写真 (錆除去前)



(a)破断面

(b)側面

写真-26 サンプル No.7 下部の破断面近傍の外観写真（錆除去前）



(a)破断面

(b)側面

写真-27 サンプル No.7 下部の破断面近傍の外観写真（錆除去後）

<サンプル No.8>

- ・全長にわたり腐食が認められました。
- ・両端部はガス溶断による切断面でした。



写真-28 サンプル No.8 の全長の外観写真



(a)切断面（ガス溶断）



(b)側面

写真-29 サンプル No.8 の外観写真（錆除去前）

<サンプル No.9>

- ・全長にわたり腐食が認められました。
- ・両端部はガス溶断による切断面でした。



写真-30 サンプル No.9 の全長の外観写真



(a)切断面（ガス溶断）



(b)側面

写真-31 サンプル No.9 の外観写真（錆除去前）

<サンプル No.10>

- ・破断部および全長にわたり腐食が認められました。
- ・破面形態は表面を起点とした脆性破面を呈していました。



写真-32 サンプル No.10 の全長の外観写真



(a)破断面



(b)側面

写真-33 サンプル No.10 上部の破断部近傍の外観写真（錆除去前）

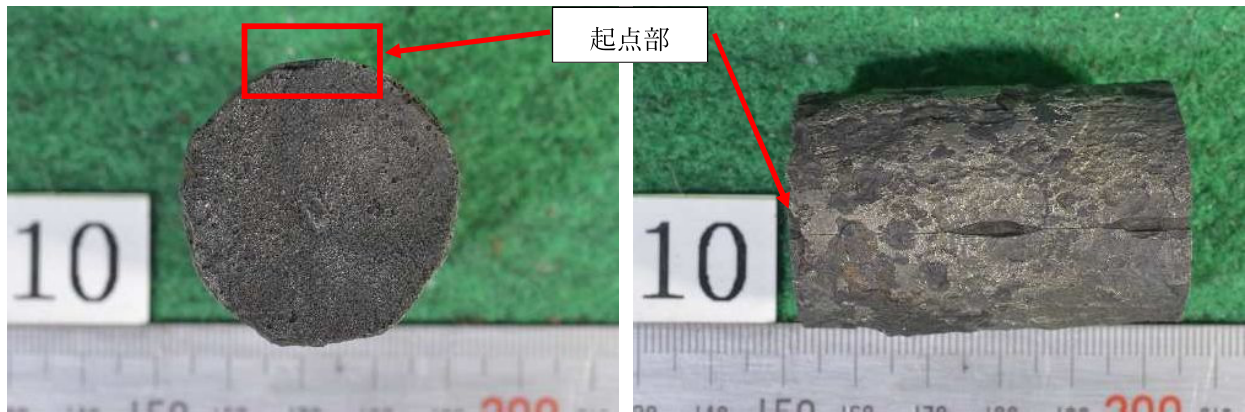


(a)破断面



(b)側面

写真-34 サンプル No.10 下部の破断部近傍の外観写真（錆除去前）



(a)破断面

(b)側面

写真-35 サンプル No.10 下部の破断面近傍の外観写真（錆除去後）

<サンプル No.11>

- ・全長にわたり腐食が認められました。
- ・両端部はガス溶断による切断面でした。



写真-36 サンプル No.11 の全長の外観写真



(a)切断面（ガス溶断）

(b)側面

写真-37 サンプル No.11 の外観写真（錆除去前）

<サンプル No.12>

- ・破断面および全長にわたり腐食が認められました。
- ・破面形態は表面を起点とした脆性破面を呈していました。



写真-38 サンプル No.12 の全長の外観写真



(a)破断面

(b)側面

写真-39 サンプル No.12 の破断面近傍の外観写真（錆除去前）



(a)破断面

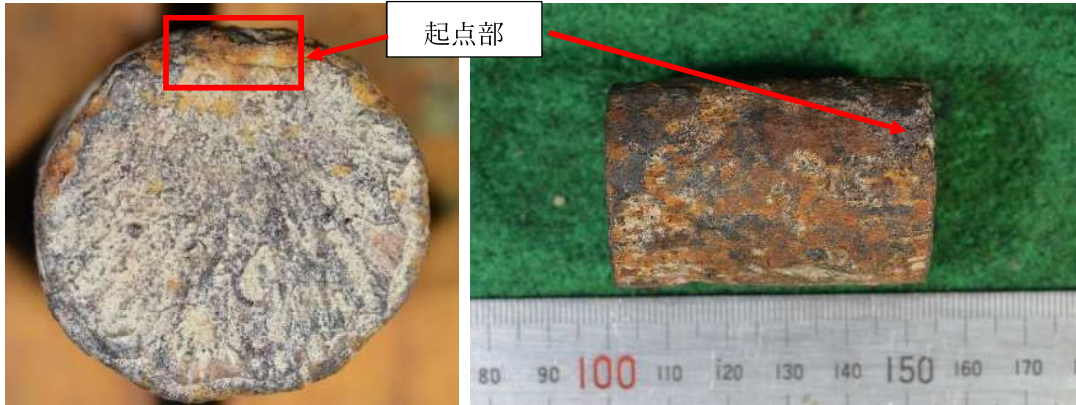
(b)側面

写真-40 サンプル No.12 の破断面近傍の外観写真（錆除去後）





写真-41 サンプル No.12 (箱桁側) の全長の外観写真



(a)破断面

(b)側面

写真-42 サンプル No.12(箱桁側)の破断部近傍の外観写真 (錆除去前)



(a)破断面

(b)側面

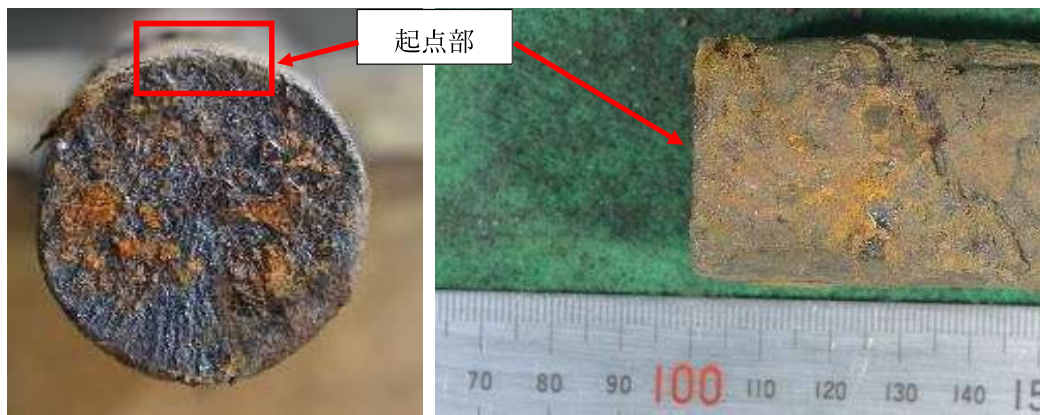
写真-43 サンプル No.12 (箱桁側) の破断部近傍の外観写真 (錆除去後)

<サンプル No.13>

- ・破断面および全長にわたり腐食が認められました。
- ・破面形態は表面を起点とした脆性破面を呈していました。



写真-44 サンプル No.13 の全長の外観写真



(a)破断面

(b)側面

写真-45 サンプル No.13 上部の破断面近傍の外観写真（錆除去前）



(a)破断面

(b)側面

写真-46 サンプル No.13 下部の破断面近傍の外観写真（錆除去前）



(a)破断面

(b)側面

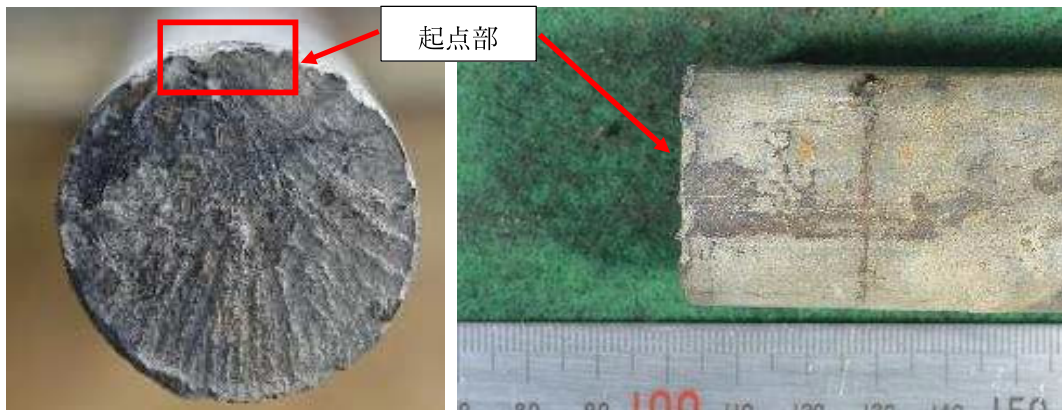
写真-47 サンプル No.13 下部の破断部近傍の外観写真（錆除去後）

<サンプル No.14>

- ・破断面および全長にわたり腐食が認められました。
- ・破面形態は表面を起点とした脆性破面を呈していました。



写真-48 サンプル No.14 の全長の外観写真



(a)破断面

(b)側面

写真-49 サンプル No.14 の破断部近傍の外観写真（錆除去前）



(a)破断面



(b)側面

写真 50 サンプル No.14 の破断部近傍の外観写真（錆除去後）

<サンプル No.15>

- ・破断面および全長にわたり腐食が認められました。
- ・破面形態は表面を起点とした脆性破面を呈していました。



写真-51 サンプル No.15 の全長の外観写真



(a)破断面



(b)側面

写真-52 サンプル No.15 上部の破断部近傍の外観写真（錆除去前）



(a)破断面

(b)側面

写真-53 サンプル No.15 下部の破断面近傍の外観写真（錆除去前）



(a)破断面

(b)側面

写真-54 サンプル No.15 下部の破断面近傍の外観写真（錆除去後）

<サンプル No.16>

- ・全長にわたり腐食が認められました。
- ・両端部はガス溶断による切断面でした。



写真-55 サンプル No.16 の全長の外観写真



(a)切断面（ガス溶断）

(b)側面

写真-56 サンプル No.16 の外観写真（錆除去前）

<サンプル No.17>

- ・破断面および全長にわたり腐食が認められました。
- ・破面形態は表面を起点とした脆性破面を呈していました。



写真-57 サンプル No.17 の全長の外観写真



(a)破断面

(b)側面

写真-58 サンプル No.17 上部の破断面近傍の外観写真（錆除去前）



(a)破断面

(b)側面

写真-59 サンプル No.17 下部の破断面近傍の外観写真（錆除去前）



(a)破断面

(b)側面

写真-60 サンプル No.17 の破断面近傍の外観写真（錆除去後）

<サンプル No.18>

- ・全長にわたり腐食が認められました。
- ・両端部はガス溶断による切断面でした。



写真-61 サンプル No.18 の全長の外観写真



(a)切断面（ガス溶断）



(b)側面

写真-62 サンプル No.18 の外観写真（錆除去前）



#### 4-2. 単位質量測定

受領したサンプルの内、破断部を含むサンプルを錆除去前後において重量を測定し、サンプルの単位質量を算出しました。表-2 に錆除去前後の単位質量（サンプル No.順）、表-3 に錆除去前後の単位質量（錆除去後の単位質量順）を示します。単位質量測定の結果、以下のことが分かりました。

- ・表-2 より、錆除去前後の単位質量の差異（錆の付着量）は 0.08~0.44kg/m でした。

表-2 錆除去前後の単位質量（サンプル No.順）

サンプル No.	単位質量 [kg/m]			錆除去後の単位質量の割合[%]
	錆除去前	錆除去後	錆除去前後の差	
1	6.09	5.95	0.14	97.7
2	5.95	5.70	0.24	95.9
3	5.98	5.84	0.14	97.6
4	6.02	5.78	0.24	96.0
5	6.06	5.90	0.16	97.3
6	5.92	5.70	0.22	96.3
7	6.11	5.93	0.18	97.0
10	6.20	5.76	0.44	92.9
12	6.02	5.72	0.30	95.0
12（箱桁側）	6.04	5.96	0.08	98.7
13	6.20	5.96	0.24	96.1
14	6.25	6.17	0.08	98.7
15	6.21	6.01	0.20	96.8
17	5.38	5.28	0.10	98.1
通常品（参考）	6.31	—	—	—

表-3 錆除去前後の単位質量（錆除去後の単位質量順）

サンプル No.	14	15	12 （箱桁側）	13	1	7	5
単位質量 [kg/m]	6.17	6.01	5.96	5.96	5.95	5.93	5.90
サンプル No.	3	4	10	12	2	6	17
単位質量 [kg/m]	5.84	5.78	5.76	5.72	5.70	5.70	5.28

#### 4-3. 形状測定

受領したサンプルの内、錆除去前後において破断部を含むサンプルの線径をマイクロメーターにより計測しました。破断面から 10mm 間隔で 5 点測定し、その平均を算出しました。表-4 に線径測定結果（サンプル No.順）、表-5 に線径測定結果（線径順）を示します。形状測定の結果、以下のことが分かりました。

- ・錆除去前後の径の減少（錆の付着量）は 0.20～2.73mm でした。

表-4 錆除去前後における線径測定結果（サンプル No.順）

サンプル No.	線径 [mm]			錆除去後の線径の割合[%]
	錆除去前	錆除去後	錆除去前後の差	
1	32.42	31.78	0.64	98.0
2	32.51	31.29	1.22	96.2
3	32.40	31.66	0.74	97.7
4	32.89	31.41	1.48	95.5
5	32.51	31.61	0.90	97.2
6	32.63	31.73	0.90	97.2
7	32.87	31.57	1.30	96.1
10	33.91	31.18	2.73	91.9
12	33.35	31.47	1.88	94.4
12（箱桁側）	32.40	32.03	0.37	98.9
13	33.52	32.03	1.49	95.6
14	32.49	32.29	0.20	99.4
15	33.16	32.03	1.13	96.6
17	30.83	30.07	0.76	97.6
平均	32.71	31.58	1.12	96.6

表-5 錆除去後の線径測定結果（線径順）

サンプル No.	14	12 （箱桁側）	13	15	1	6	3
線径 [mm]	32.29	32.03	32.03	32.03	31.78	31.73	31.66
サンプル No.	5	7	12	4	2	10	17
線径 [mm]	31.61	31.61	31.57	31.47	31.29	31.18	30.07

#### 4-4. 金属組織観察

光学顕微鏡による金属組織観察を行いました。金属組織観察位置を図-1に示します。破断部近傍の金属組織観察結果を写真-63~76に、未破断部の金属組織観察結果を写真-77~95に示します。金属組織観察の結果、以下のことが分かりました。

- ・ サンプル No.1、2、3、4、5、6、7、10、12、12(箱桁側)、13、14、15、17 の破断部近傍は未破断部と同様に正常なパーライト組織であり熱影響等による異常は認められませんでした。
- ・ 上記以外のサンプルにおいても、未破断部の金属組織は正常なパーライト組織であり熱影響等による異常は認められませんでした。

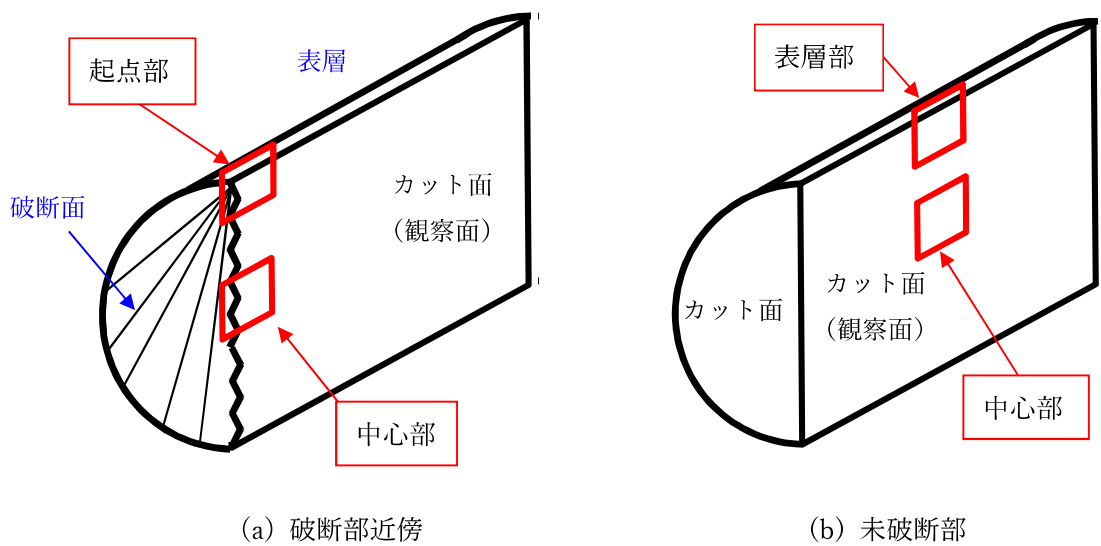
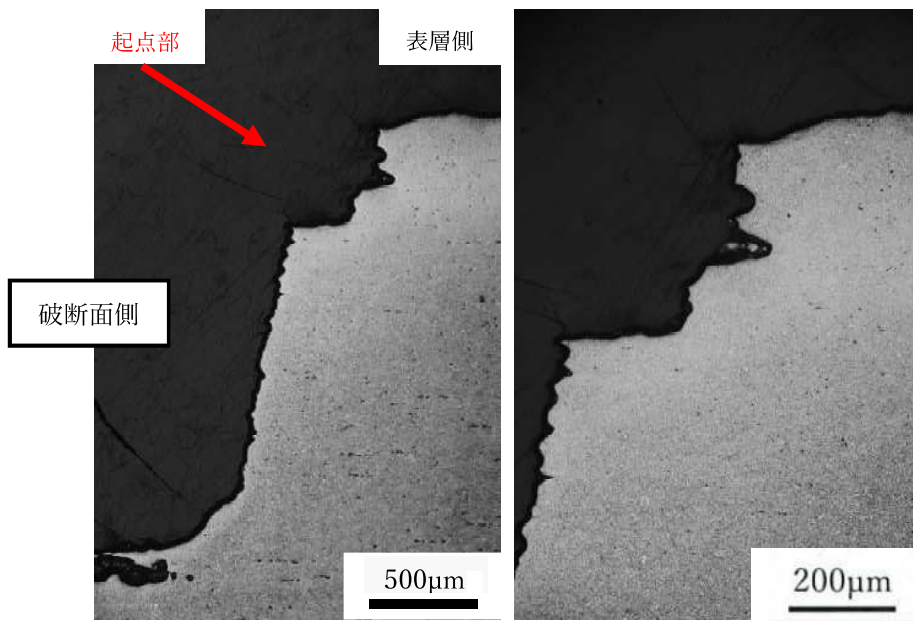


図-1 金属組織観察位置

(1) 光学顕微鏡による破断部近傍の金属組織観察



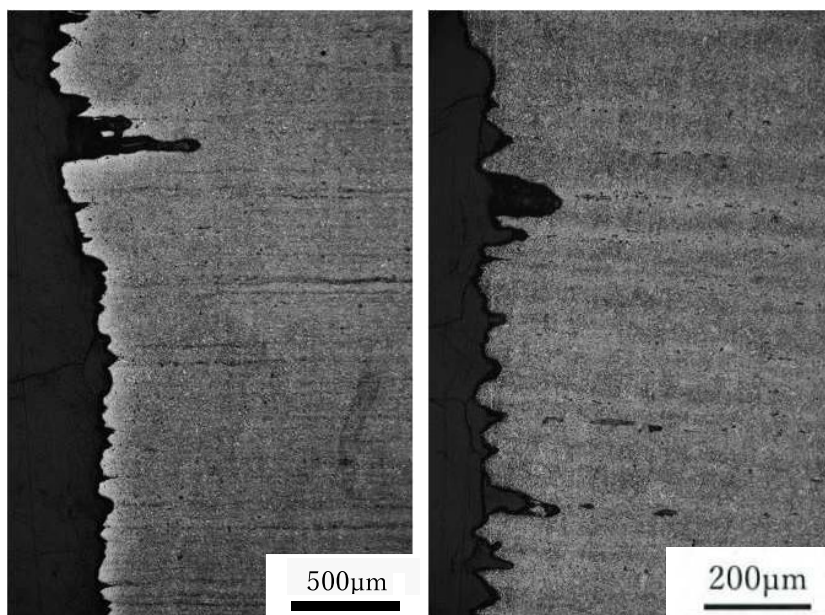
(a)起点部 50 倍

(b)起点部 100 倍



(c)起点部 200 倍

写真-63 サンプル No.1 破断部近傍の金属組織



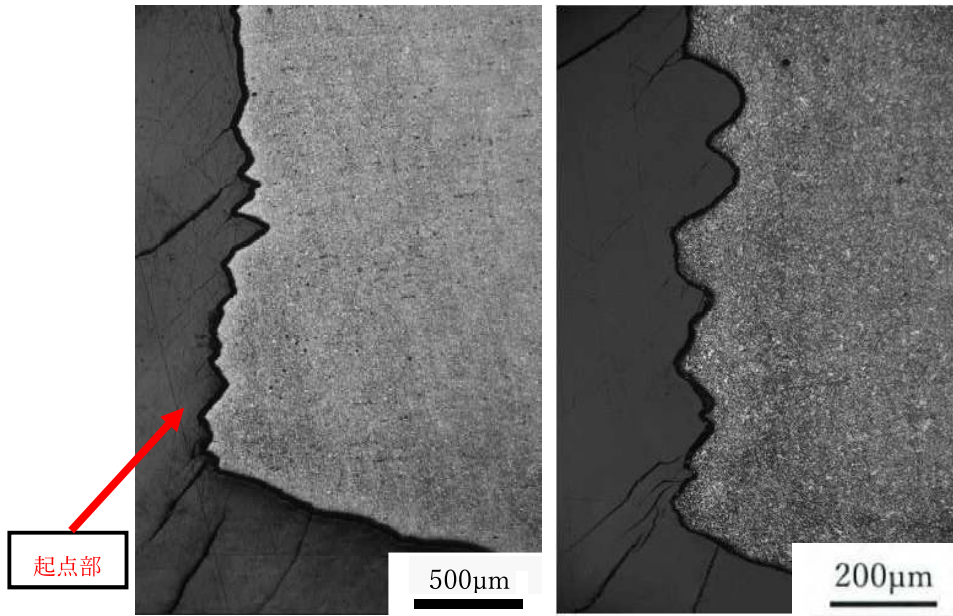
(d)中心部 50 倍

(e)中心部 100 倍



(f)中心部 200 倍

写真-63 サンプル No.1 破断部近傍の金属組織



(a)起点部 50 倍

(b)起点部 100 倍



(c)起点部 200 倍

写真-64 サンプル No.2 破断部近傍の金属組織