

# 1 基礎編

## 1.1 ステンレス鋼の定義と分類

### 1.1.1 ステンレス鋼の定義

鉄にクロム (Cr) を合金させると、通常の大気中での腐食量は減少し、Cr の含有量が 11～12%以上になるとその効果が顕著になり、清浄大気中ではさびの発生が抑制される。これより、さびない (stainless) 鋼としてステンレス鋼という名称が与えられ、古くは“さびない鋼”や“不銹鋼”という名で呼ばれていたが、最近では“ステンレス鋼”にほぼ統一された。名前の示すとおりステンレス鋼は一般の鋼に比較すると、極めて優れた耐食性を有する材料であるが、特定の環境、使用条件の下では“さびる”ことがあるので、正しい使い方をすることが重要である。このステンレス鋼に明確な定義はなく、一般的には 10.5%以上の Cr を含む鉄合金をステンレス鋼と考えてよく、JIS の用語によれば、ステンレス鋼とは“Cr 含有率を 10.5%以上、炭素含有率を 1.2%以下とし、耐食性を向上させた合金鋼”とされている。

ステンレス鋼はその成分から Cr 系と Cr-Ni 系とに分けられるが、最初に実用化されたのは 12～13%Cr 鋼(1912 年、刃物として)で、その約 10 年後に 18%Cr-8%Ni 鋼が市場に現れた。この 18%Cr-8%Ni 鋼はオーステナイト組織を持ち、耐食性、加工性、溶接性に優れている。

ステンレス鋼の優れた耐食性は不動態によると説明されている。鉄、ニッケル、クロムなどは不動態特性を示す金属として知られており、例えば濃硝酸中で鉄の溶解が停止する現象は有名である。不動態の本質はまだ不明確な点が多いが、その概要は「1.2.3 ステンレス鋼の耐食性」の項目で述べる。

ステンレス鋼は、その出現以来、耐食性、耐酸化性、強度、成形性、切削性、溶接性など諸性質の改善が行われた。それに伴って、JIS に規定されたステンレス鋼も種類が増加し、現在は約 60 種に達しているが、そのうち最も多いのは耐食性の優れているオーステナイト系で、特にポピュラーな SUS304, SUS316 は、板、帯、管、線などの形状で広く使用されている。

### 1.1.2 ステンレス鋼の分類

ステンレス鋼は、主な添加合金元素により Cr 系と Cr-Ni 系とに大別される。金属組織上では、**図 1.1-1** に示すように、フェライト系、マルテンサイト系およびオーステナイト系の三つに大別され、そのほか特殊なものとして、オーステナイト・フェライト系 (二相系) と析出硬化系に分類される。フェライト系は Cr 系ステンレス鋼で、高温での耐酸化性を目的とするものが多い。マルテンサイト系も Cr 系ステンレス鋼で、熱処理によってマルテンサイト組織とすることにより高硬度と高強度化を図っている。オーステナイト・フェライト系は、常温でオーステナイト組織とフェライト組織が混在する二相系で、海水など特殊な環境下での耐食性を向上させたものである。析出硬化系はアルミニウム、銅などの元素を少量添加し、熱処理によってこれら元素の金属化合物を析出させて硬化させ、高強度化を図ったものである。**表 1.1-1** に金属組織上で分類される、これら代表的なステンレス鋼の主たる化学成分 (鉄を除く) と特



表 1.1-1 金属組織によるステンレス鋼の分類<sup>2)</sup>

金属組織	代表鋼種例	主要成分	特性	主要用途例
フェライト系	SUS430	18%Cr	耐食性の優れたフェライト系ステンレス鋼汎用鋼種	建築内装用・家庭用器具など
	SUS444	19%Cr-2%Mo-Ti/Nb/Zr-極低(C,N)	C, Nを大幅に低減し, 436LよりMoを添加し, 耐食性を高めた鋼種で, 耐応力腐食割れ性を必要とする部材に使用	貯水槽・貯湯槽・温水器・食品機器など
マルテンサイト系	SUS410	13%Cr	良好な耐食性, 機械加工性を持つマルテンサイト系ステンレス鋼汎用鋼種で, 焼き入れ硬化性あり	刃物・タービンブレード・ノズルブレイキノズルなど
オーステナイト系	SUS304	18%Cr-8%Ni	最も代表的なオーステナイト系ステンレス鋼汎用鋼種で, 耐熱鋼としても広く使用	食品工業・石油化学工業・車輛建築材料・原子力工業など 建築設備用配管
	SUS316	18%Cr-12%Ni-2.5%Mo	Moを添加し耐孔食性を向上させた鋼種	
	SUS315J1	18%Cr-10%Ni-1%Si-2Cu	SUS316のMoを減量する代わりにSi, Cuを添加して, 耐局部腐食性や耐応力腐食割れ性を高めた鋼種	建築設備用配管など 給水・給湯・排水・冷却水配管 各種温水器
	SUS315J2	18%Cr-12%Ni-3%Si-2Cu		
オーステナイト・フェライト系	SUS329J4L	25%Cr-6%Ni-3%Mo-N	低C, 高CrにMo, Nを添加し, オーステナイト系とフェライト系の二相組織を持たせた鋼種で, 耐孔食性と耐応力腐食割れ性に優れた鋼種	製塩設備・海水淡水化装置 排煙脱硫装置等・貯水槽・貯湯槽
析出硬化系	SUS630	17%Cr-4%Ni-4%Cu-Nb	マルテンサイト系にCu, Nbを添加し, 析出硬化性を持たせた鋼種	スチールベルト・スプリング・シャフト類・タービン部品など

注 ステンレス鋼データブック（家電編）より引用の表を一部加工

性および主要用途例を示す。また、**表 1.1-2** には、JIS による種々のステンレス鋼の化学成分を示す。

建築設備配管に使用されるステンレス鋼は、主として「JIS G 3448 一般配管用ステンレス鋼管」に規程されている SUS304, SUS316, SUS315J1 および SUS315J2 の 4 種類で、これらの中で SUS304 が最も多く使用されている。SUS316 や SUS315J1, SUS315J2 は、SUS304 より耐食性に優れているため、**表 1.1-3** に示すように、SUS304 では耐食性に不安がある厳しい腐食環境の配管に用いられる。

**表 1.1-3** 建築設備配管に使用されるステンレス鋼管<sup>3)</sup>

種類の記号	用途 (参考)
SUS304TPD	通常の給水, 給湯, 排水, 冷温水などの配管用
SUS315J1TPD	水質, 環境などから SUS304 より耐食性が要求される用途および
SUS315J2TPD	SUS316 よりも耐応力腐食割れ性が要求される温水配管用途
SUS316TPD	水質, 環境などから SUS304 よりも耐食性が要求される用途

注 JIS G 3448 (2004) より引用

また、建築設備以外に用いられる配管として、溶接時の耐粒界腐食性の向上を目的に、鋼中の炭素含有量を低下させた SUS304L や SUS316L などが工業プラント用として使用される。

表 1.1-2 JIS ステン

## a. オーステナイト系の

鋼種の記号	化 学					
	C	Si	Mn	P	S	Ni
SUS201	0.15 以下	1.00 以下	5.50~7.50	0.060 以下	0.030 以下	3.50~5.50
SUS202	0.15 以下	1.00 以下	7.50~10.00	0.060 以下	0.030 以下	4.00~6.00
SUS301	0.15 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	6.00~8.00
SUS301L	0.030 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	6.00~8.00
SUS302	0.15 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00~10.00
SUS302B	0.15 以下	2.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00~10.00
SUS303	0.15 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.20 以下	0.15 以上	8.00~10.00
SUS303Se	0.15 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.20 以下	0.060 以下	8.00~10.00
<b>SUS304</b>	0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00~10.50
SUS304L	0.030 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	9.00~13.00
SUS304N1	0.08 以下	1.00 以下	2.50 以下	0.045 以下	0.030 以下	7.00~10.50
SUS304N2	0.08 以下	1.00 以下	2.50 以下	0.045 以下	0.030 以下	7.50~10.50
SUS304LN	0.030 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.50~11.50
SUS304J1	0.08 以下	1.70 以下	3.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	6.00~9.00
SUS304J2	0.08 以下	1.70 以下	3.00~5.00	0.045 以下	0.030 以下	6.00~9.00
SUS304J3	0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00~10.50
SUS305	0.12 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	10.50~13.00
SUS309S	0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	12.00~15.00
SUS310S	0.08 以下	1.50 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	19.00~22.00
<b>SUS315J1</b>	0.08 以下	0.50~2.50	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.50~11.50
<b>SUS315J2</b>	0.08 以下	2.50~4.00	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	11.00~14.00
<b>SUS316</b>	0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	10.00~14.00
SUS316L	0.030 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	12.00~15.00
SUS316N	0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	10.00~14.00
SUS316LN	0.030 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	10.50~14.50
SUS316Ti	0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	10.00~14.00
SUS316J1	0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	10.00~14.00
SUS316J1L	0.030 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	12.00~16.00
SUS317	0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	11.00~15.00
SUS317L	0.030 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	11.00~15.00
SUS317LN	0.030 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	11.00~15.00
SUS317J2	0.06 以下	1.50 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	12.00~16.00
SUS836L	0.030 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	24.00~26.00
SUS890L	0.020 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	23.00~28.00
SUS321	0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	9.00~13.00
SUS347	0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	9.00~13.00
SUSXM7	0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.50~10.50
SUSXM15J1	0.08 以下	3.00~5.00	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	11.50~15.00

(1) Mo は 0.60%以下を含有してもよい。

注 JIS G 4303:2005, g:4308:1998, G 4304:2010, G 4305:2010 の一部を引用

レス鋼の化学成分<sup>4)</sup>

化学成分

成 分 %					鋼種の記号
Cr	Mo	Cu	N	その他	
16.00~18.00	—	—	0.25 以下	—	SUS201
17.00~19.00	—	—	0.25 以下	—	SUS202
16.00~18.00	—	—	—	—	SUS301
16.00~18.00	—	—	0.20 以下	—	SUS301L
17.00~19.00	—	—	—	—	SUS302
17.00~19.00	—	—	—	—	SUS302B
17.00~19.00	( <sup>1</sup> )	—	—	—	SUS303
17.00~19.00	—	—	—	Se0.15 以上	SUS303Se
18.00~20.00	—	—	—	—	<b>SUS304</b>
18.00~20.00	—	—	—	—	SUS304L
18.00~20.00	—	—	0.10~0.25	—	SUS304N1
18.00~20.00	—	—	0.15~0.30	Nb0.15 以下	SUS304N2
17.00~19.00	—	—	0.12~0.22	—	SUS304LN
15.00~18.00	—	1.00~3.00	—	—	SUS304J1
15.00~18.00	—	1.00~3.00	—	—	SUS304J2
17.00~19.00	—	1.00~3.00	—	—	SUS304J3
17.00~19.00	—	—	—	—	SUS305
22.00~24.00	—	—	—	—	SUS309S
24.00~26.00	—	—	—	—	SUS310S
17.00~20.50	0.50~1.50	0.50~3.50	—	—	<b>SUS315J1</b>
17.00~20.50	0.50~1.50	0.50~3.50	—	—	<b>SUS315J2</b>
16.00~18.00	2.00~3.00	—	—	—	<b>SUS316</b>
16.00~18.00	2.00~3.00	—	—	—	SUS316L
16.00~18.00	2.00~3.00	—	0.10~0.22	—	SUS316N
16.50~18.50	2.00~3.00	—	0.12~0.22	—	SUS316LN
16.00~18.00	2.00~3.00	—	—	Ti5×C%以上	SUS316Ti
17.00~19.00	1.20~2.75	1.00~2.50	—	—	SUS316J1
17.00~19.00	1.20~2.75	1.00~2.50	—	—	SUS316J1L
18.00~20.00	3.00~4.00	—	—	—	SUS317
18.00~20.00	3.00~4.00	—	—	—	SUS317L
18.00~20.00	3.00~4.00	—	0.10~0.22	—	SUS317LN
23.00~26.00	0.50~1.20	—	0.25~0.40	—	SUS317J2
19.00~24.00	5.00~7.00	—	0.25 以下	—	SUS836L
19.00~23.00	4.00~.00	1.00~2.00	—	—	SUS890L
17.00~19.00	—	—	—	Ti5×C%以上	SUS321
17.00~19.00	—	—	—	Nb10×C%以上	SUS347
17.00~19.00	—	3.00~4.00	—	—	SUSXM7
15.00~20.00	—	—	—	—	SUSXM15J1

b. オーステナイト・フェライト系の化学成分

種類の記号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N
SUS329J1	0.08 以下	1.00 以下	1.50 以下	0.040 以下	0.030 以下	3.00~6.00	23.00~28.00	1.00~3.00	—
SUS329J3L	0.030 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	4.50~6.50	21.00~24.00	2.50~3.50	0.08~0.20
SUS329J4L	0.030 以下	1.00 以下	1.50 以下	0.040 以下	0.030 以下	5.50~7.50	24.00~26.00	2.50~3.50	0.08~0.30

備考 必要によって表記以外に Cu, W および N のうち一つ又は複数の元素を含有してもよい。

c. フェライト系の化学成分

種類の記号	化 学 成 分 %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	N	その他
SUS405	0.08 以下	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	11.50~14.50	—	—	Al0.10~0.30
SUS410L	0.030 以下	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	11.00~13.50	—	—	—
SUS429	0.12 以下	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	14.00~16.00	—	—	—
SUS430	0.12 以下	0.75 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	16.00~18.00	—	—	—
SUS430F	0.120 以下	1.00 以下	1.25 以下	0.060 以下	0.15 以上	16.00~18.00	(2)	—	—
SUS430LX	0.030 以下	0.75 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	16.00~19.00	—	—	Ti 又は Nb 0.10~1.00
SUS430J1L	0.025 以下	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	16.00~20.00	—	0.025 以下	Ti, Nb, Zr 又は それらの組合 せ 8×(C% +Ni%)~0.80 Cu 0.30~0.80
SUS434	0.12 以下	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	16.00~18.00	0.75~1.25	—	—
SUS436L	0.025 以下	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	16.00~19.00	0.75~1.50	0.025 以下	Ti, Nb, Zr 又 はそれらの組 合せ 8×(C% +Ni%) ~0.80
SUS436J1L	0.025 以下	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	17.00~20.00	0.40~0.80	0.025 以下	Ti, Nb, Zr 又 はそれらの組 合せ 8×(C%+ Ni%)~0.80
SUS444	0.025 以下	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	17.00~20.00	1.75~2.50	0.025 以下	Ti, Nb, Zr 又 はそれらの組 合せ 8×(C% +Ni%) ~0.80
SUS447J1	0.010 以下	0.040 以下	0.40 以下	0.030 以下	0.020 以下	28.50~32.00	1.50~2.50	0.015 以下	—
SUSXM27	0.010 以下	0.040 以下	0.40 以下	0.030 以下	0.020 以下	25.00~27.50	0.75~1.50	0.015 以下	—

(2) Mo は 0.60%以下を含有してもよい。

備考 1. SUS447J1 および SUSXM27 以外は Ni 0.60%以下含有してもよい。

2. SUS447J1 および SUSXM27 は、Ni を 0.50%以下、Cu を 0.20%以下および (Ni+Cu) を 0.50%以下含有してもよい。

さらに、表記以外に、V, Ti 又は Nb のうち一つ又は複数の元素を含有してもよい。

3. SUS430J1L は、必要によって表記以外に V を含有してもよい。

#### d. マルテンサイト系の化学成分

種類の記号	化 学 成 分 %								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Pb
SUS403	0.15 以下	0.50 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	(3)	11.50~13.00	—	
SUS410	0.15 以下	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	(3)	11.50~13.50	—	
SUS410S	0.08 以下	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	(3)	11.50~13.50	—	
SUS410J1	0.08~0.18	0.60 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	(3)	11.50~14.00	0.30~0.60	
SUS410F2	0.15 以下	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	(3)	11.50~13.50	(4)	0.05~0.30
SUS416	0.15 以下	1.00 以下	1.25 以下	0.060 以下	0.15 以上	(3)	12.00~14.00	(4)	
SU420J1	0.16~0.25	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	(3)	12.00~14.00	—	
SUS420J2	0.26~0.40	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	(3)	12.00~14.00	—	
SUS420F	0.26~0.40	1.00 以下	1.25 以下	0.060 以下	0.15 以上	(3)	12.00~14.00	(4)	
SUS420F2	0.26~0.40	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	(3)	12.00~14.00	—	0.05~0.30
SUS431	0.20 以下	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	1.25~2.50	15.00~17.00	—	
SUS440A	0.60~0.75	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	(3)	16.00~18.00	(5)	
SUS440B	0.75~0.95	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	(3)	16.00~18.00	(5)	
SUS440C	0.95~1.20	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	(3)	16.00~18.00	(5)	
SUS440F	0.95~1.20	1.00 以下	1.25 以下	0.060 以下	0.15 以上	(3)	16.00~18.00	(5)	

(3) Niは0.60%以下を含有してもよい。

(4) Moは0.60%以下を含有してもよい。

(5) Moは0.75%以下を含有してもよい。

#### e. 析出硬化系の化学成分

種類の記号	化 学 成 分 %								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	その他
SUS 630	0.07 以下	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	3.00~5.00	15.00~17.50	3.00~5.00	Nb 0.15~0.45
SUS 631	0.09 以下	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	6.50~7.75	16.00~18.00	—	Al 0.75~1.50

## 1.2 ステンレス鋼の特性

### 1.2.1 ステンレス鋼の物理的性質

代表的なステンレス鋼と他材質の物理的性質の比較を表 1.2-1 に示す。建築設備配管に使われるオーステナイト系ステンレス鋼の場合、炭素鋼の物理的性質と比較して、熱膨張係数が高い、熱伝導率が小さい、電気比抵抗が大きい、通常は非磁性であるなどの特徴があげられる。これらの性質は溶接加工のような熱や電気を使う作業時に大きな影響を与えるので注意を要する。また、縦弾性係数（ヤング率）も炭素鋼に比べて小さいので、同じ荷重が加わった場合には、炭素鋼よりたわみが大きくなる傾向をもっている。

### 1.2.2 ステンレス鋼の機械的性質

代表的なステンレス鋼と他材質の機械的性質（引張強さ、耐力（0.2%）、伸び、硬さ）の比較を表 1.2-2 に示す。

一般配管用ステンレス鋼管の素材であるオーステナイト系ステンレス鋼は、低温から高温にわたる広い温度範囲において高い強度と優れた延性をもっている。ステンレス鋼では、材料に引張荷重を加えても、炭素鋼の応力-ひずみ曲線で見られるような明瞭な降伏現象が見られない（図 1.2-1 および図 1.2-2 参照）。したがって、ステンレス鋼の場合、降伏点に相当する応力値は、通常、荷重が開放された際に 0.2%の永久ひずみを生ずる応力と定め、これを耐力と称する。オーステナイト系ステンレスの耐力は、フェライト系ステンレス鋼に比べて低く、耐力／引張強さ比も小さく 40～50%である。これは、伸び値の大きいことと合わせてオーステナイト系ステンレス鋼が加工しやすいことを示している。

SUS304 や SUS316 などのいわゆるオーステナイト系ステンレス鋼は、固溶化熱処理状態では完全オーステナイト組織であるが、その組織はオーステナイト域の境界にあるため不安定で

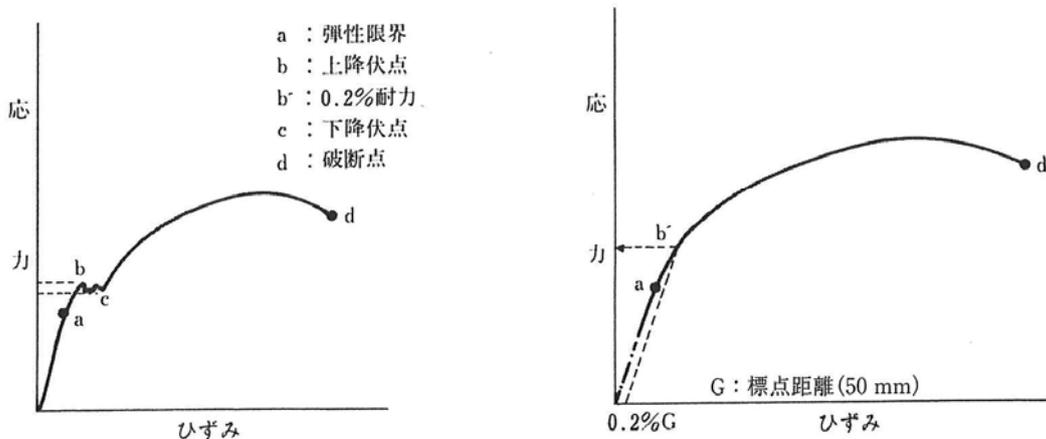


図 1.2-1 炭素鋼の応力-ひずみ曲線<sup>5)</sup>

図 1.2-2 ステンレス鋼の応力-ひずみ曲線<sup>5)</sup>

注 建築用ステンレス配管マニュアル（平成9年版）より引用

表 1.2-1 ステンレス鋼とその他材質の物理的性質<sup>6)</sup>

材質	物性	基本質量 g/cm <sup>3</sup>	熱膨張係数 0~100℃ ×10 <sup>-6</sup> /K	熱伝導率 20~100℃ w/m・K	比熱 0~100℃ J/g・K	電気比抵抗 R.T μΩ・cm	縦弾性係数 N/mm <sup>2</sup>	磁性
SUS410		7.75	9.9	24.9	0.47	57	205,000	有
SUS430		7.75	10.4	26.4	0.46	60	200,000	有
SUS444		7.75	10.4	25.9	0.46	60	200,600	有
SUS304		7.93	17.3	16.3	0.50	72	193,000	無
SUS316		7.98	16.0	16.3	0.50	74	193,000	無
SUS315J1 <sup>※1</sup>		7.98	16.0	17.0	0.50	74	193,000	無
SUS315J2 <sup>※1</sup>		7.98	16.0	17.0	0.50	74	193,000	無
SUS630		7.78	10.8	16.3	0.46	98	192,000	有
SUS329J4L		7.80	12.8 <sup>※2</sup>	21.0	0.50	75	190,000	有
炭素鋼		7.87	12.6	74.6	0.48	13	200,600	有
銅		8.90	16.8	389.1	0.38	1.7	129,000	無
アルミ		2.71	23.6	221.8	0.98	3.0	70,000	無
チタン		4.51	8.9	17.1	0.52	55	106,000	無
塩化ビニル		1.43	60~70	0.20~0.21	0.85~1.17	3~5×10 <sup>9</sup>	3,334	無

※1：物理的性質の一例を示す。

※2：0~650℃

注 ステンレス鋼データブック (家電編) と水道用硬質塩化ビニル管技術資料 (規格・認番編) より引用

表 1.2-2 ステンレス鋼とその他材質の機械的性質<sup>6)</sup>

材質	性質	状態	引張強さ N/mm <sup>2</sup>	耐力 (0.2%) N/mm <sup>2</sup>	伸び %	硬さ HRB	
SUS410		焼なまし	440 以上	205 以上	20 以上	93 以下	
SUS430		焼なまし	450 以上	205 以上	22 以上	88 以下	
SUS444		焼なまし	410 以上	245 以上	20 以上	96 以下	
SUS304		固溶化処理	520 以上	205 以上	40 以上	90 以下	
SUS316		固溶化処理	520 以上	205 以上	40 以上	90 以下	
SUS315J1		固溶化処理	520 以上	205 以上	40 以上	90 以下	
SUS315J2		固溶化処理	520 以上	205 以上	40 以上	90 以下	
SUS630		H1075	1,000 以上	860 以上	5 以上 <sup>※1</sup>	31 以上 <sup>※2</sup>	
SUS329J4L		固溶化処理	620 以上	450 以上	18 以上	32 以下 <sup>※2</sup>	
炭素鋼		焼きなまし	433	231	41	132 <sup>※3</sup>	実測値
銅		軟質	225	70	45	50	実測値
アルミ		工業用純	90	40	35	23	実測値
チタン		工業用純	392	274	42	130	実測値
塩化ビニル		軟質	52	—	—	70~90	

※1：厚さ 5mm 以下 ※2：HRC ※3：HV 換算

注 ステンレス鋼データブック (家電編) と水道用硬質塩化ビニル管技術資料 (規格・認番編) より引用

あり、冷間加工などを行うと組織内に加工誘起マルテンサイトという組織が生じて硬化する。この性質を加工硬化性といい、熱処理によって硬化することのできないオーステナイト系ステンレス鋼の有効な硬化法としてバネ材などに利用されている。

### 1.2.3 ステンレス鋼の耐食性

ステンレス鋼の耐食性はその不動態特性によるといわれる。不動態の本質はかなり複雑なので、ここではごく一般的に次のように定義する。すなわち、「活性が強く酸素と反応して酸化物を作りやすい金属が、表面に薄く緻密で安定な酸化皮膜を形成して環境と反応しにくくなり、耐食性が強くなる現象」をいう。

図 1.2-3 に示すモデルのように、ステンレス鋼の表面は薄く緻密な酸化皮膜(不動態皮膜)で覆

われており、きずをつけても、直ちに環境中の酸素と反応して自己補修する性質を備えている。この皮膜の存在は、その厚さの測定など各種の実験で確認されており、またその酸化物の組成も精密分析で明確にされている。

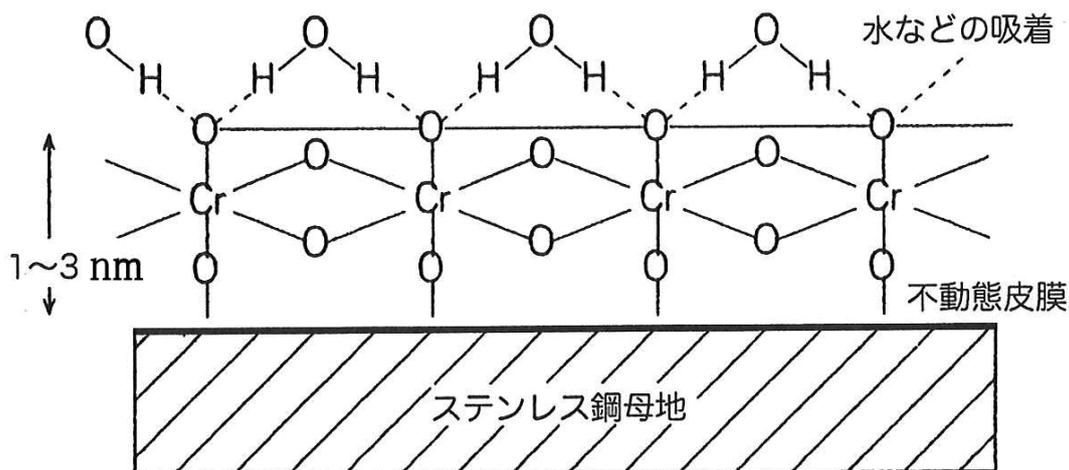


図 1.2-3 ステンレス鋼の不動態皮膜モデル<sup>7)</sup>

注 ステンレス鋼データブック (家電編) より引用

### 1.3 ステンレス鋼の腐食

ステンレス鋼の優れた耐食性は不動態特性によるが、反面、ステンレス鋼の不動態皮膜は、水溶液中で塩化物イオン、臭化物イオンなど（そのうちでも特に地球上で多量に存在する塩化物イオン）により、局部的に破壊されやすい性質があり、それにより発生するのが、孔食、応力腐食割れ、すきま腐食などの局部腐食である。

#### 1.3.1 孔食

ステンレス鋼の表面が水溶液に接し、この液が塩化物イオンと溶存酸素などの酸化剤を含む場合、それらの濃度と液温、流速などによって図 1.3-1 に示すような孔食を発生する。なお、海洋付近の大気中に暴露されたステンレス鋼表面にも、海塩粒子の付着と水分の存在により、細かい孔食を生じることが多い。腐食の局部電池説によって説明すると、孔食部はアノードに相当し、次に示すアノード溶解反応が進行している。

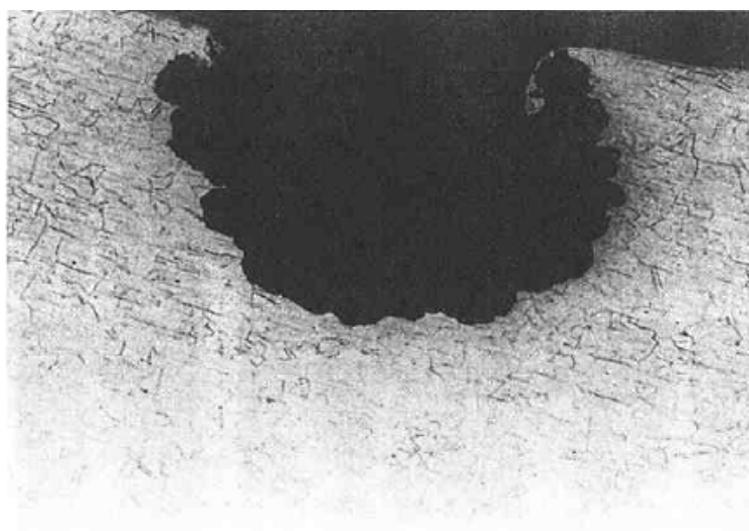
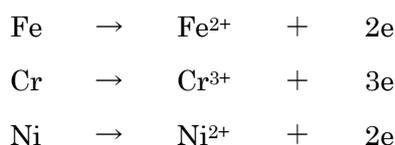


図 1.3-1 SUS 304 の孔食（日本金属工業提供）

アノード部の周囲はカソードで、例えば、溶存酸素のカソード還元反応を生じている。



なお、塩化物イオンの作用は、不動態皮膜の欠陥部で皮膜（酸化物）を構成する酸素と置換し、皮膜の破損を推し進めるものと説明されている。

上記のアノード溶解反応の進行には、同数の電子(e)の消費を伴うカソード還元反応

が必要なことから、孔食の進行には酸素のような酸化剤を欠くことはできない。このように腐食はアノード反応とカソード反応が同時に進行して生じる（図 1.3-2 参照）。たとえばステンレス鋼の孔食試験液としてよく使用される塩化第二鉄溶液では、第二鉄イオンが酸化剤となってカソード還元される。



なお、電気化学的には、ステンレス鋼の孔食電位  $V_c$  が重要である。この値はステンレス鋼の鋼種と環境によって差があり、ステンレス鋼の耐孔食性を比較するのに有用で、一般に  $V_c$  が高いほど耐孔食性が大である。 $V_c$  はステンレス鋼のクロム、モリブデンの含有量が高いほど、溶液中の塩化物イオン濃度が低いほど、温度も低いほど、高くなる。

環境としては液の流速も重要で、一般に流れが速いほど孔食は発生しにくく、流れの淀む場所では起こりやすい。その理由としては、不動態皮膜への酸素の供給の容易さが関連すると説明されている。

孔食の防止には、クロム、モリブデンを多く含むステンレス鋼（例えば、SUS316, SUS317, SUS329J4L など）の選択は自明の理であるが、その他、環境における塩化物イオンの蓄積を防ぐとともに、流動状態に注意して液の停滞部を無くすなど、ステンレス鋼の電位が  $V_c$  以下になるようカソード防食を適用することも極めて有効である（例えば、ステンレス鋼製の貯湯槽の防食対策として、外部電源方式または流電陽極方式の電気防食を行うなど）。

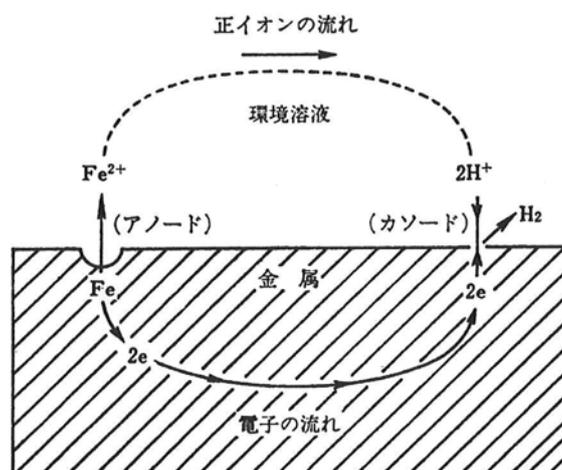


図 1.3-2 アノード反応とカソード反応がカップルして進行する“さび”反応<sup>8)</sup>

注 ステンレスの初歩 2007 より引用

### 1.3.2 応力腐食割れ

応力腐食割れとは、引張応力とその金属特定の腐食環境が共同して発生する腐食現象で、オーステナイト系ステンレス鋼特有の割れである。ただし、上述の要因のいずれが欠けてもこの腐食現象は生じない。ステンレス鋼の特定環境は塩化物イオンなので、JIS ではステンレス鋼の応力腐食割れ試験として、42%塩化マグネシウム水溶液と 30%塩化カルシウム水溶液の 2

種の試験溶液による方法を規定している。

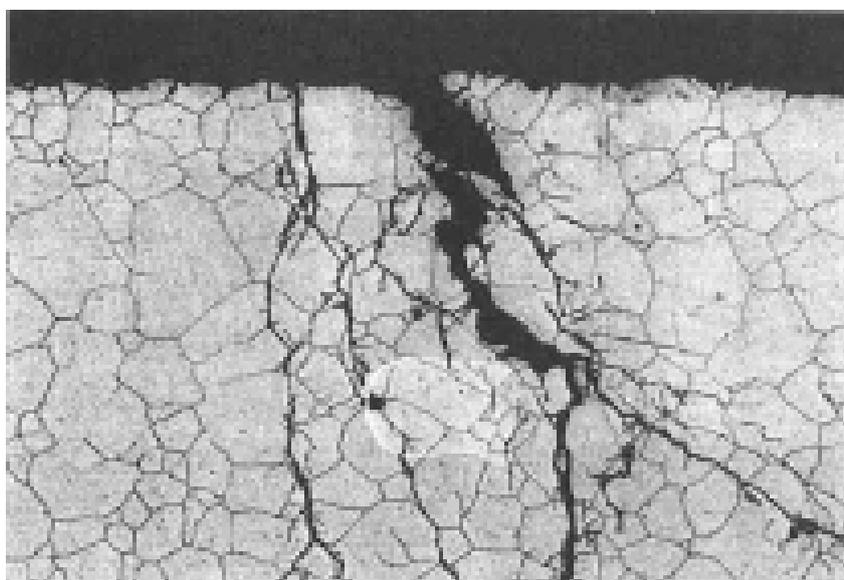
しかし実際では、塩化物イオン濃度が極めて低い純水レベルでも、加熱濃縮される条件によっては、例えば気液界面では応力腐食割れを生ずることも多く、しばしば報道される原子力発電所の冷却水の漏れの多くは、ステンレス鋼チューブの応力腐食割れが原因である。

ステンレス鋼の応力腐食割れには、粒界の鋭敏化と無関係な粒内割れ（**図 1.3-3**）と、鋭敏化に関係のある粒界割れがあり、後者の場合は鋭敏化をなくせば解決できる可能性がある一方で、一般に粒内割れの方の対策が難しい。

ステンレス鋼にかかる引張応力のレベルを応力除去焼鈍（SR 処理）によって低下させて応力腐食の危険性を低減させる方法は、実質的な防止方法として重視され、多数の実験結果が報告されている（例えば、 $870^{\circ}\text{C} \times 1/2\text{hr}$  で空冷の処方がよく引用されている）。なお、当然ながら、工業製品で引張応力を無視できるレベルにまで下げることは極めて困難である。

上述のように、応力腐食割れはその発生に引張応力を必要とし、圧縮応力環境下では発生しない。そこで、その応用例として、ショットビーニングなどによりステンレス鋼製品の表面に圧縮応力を残留させる方法があり、その有効性も報告されている。

その他、カソード防食法による防止法についても、実験的な報告が多数発表されている。しかしその防食電位は、応力レベルなどの各種条件に影響されるので、特性値とはいえないようである。



**図 1.3-3** SUS304 の応力腐食割れ（日本金属工業提供）

### 1.3.3 すきま腐食

ステンレス鋼の表面に金属または非金属を密着させてすきまを形成し、海水など塩化物イオンを含む水溶液中に浸漬すると、すきま内部のステンレス鋼面上に**図 1.3-4** に示すようなすきま腐食を生じる。

この場合の腐食の原理は孔食に似ており、すきま内のステンレス鋼の不動態皮膜の欠陥部がアノード、すきまの外部がカソードとなってすきま腐食が進行する。すきま腐食の発生と成長に関連する要因も孔食に似ており、環境要因としては塩化物イオン濃度、酸化剤濃度、温度の影響が大であり、合金組成としてはクロムとモリブデンが重要である。

一般にすきま腐食の方が孔食に比べて発生も成長も容易である。その理由として、すきま内のアノード部は密閉に近いので外部からの酸素の供給が困難となり、不動態皮膜の補修が妨害されるだけでなく、さらに腐食生成物の外部への拡散も容易ではないので、その加水分解による水素イオンの蓄積も著しく、従ってすきま内の pH が低下して活性化したアノード部の再不動態化が難しいためと考えられる。

なお、すきま腐食に関し再現性のある特性電位として再不動態化電位  $E_R$  がある。これは発生して成長を始めたすきま腐食が再不動態化する電位で、 $E_R$  より低い電位に保持すればすきま腐食を防止できる。即ちこれはすきま腐食のカソード防食電位であり、犠牲アノードを使用してすきま腐食の防止に成功した実例はかなり多い。

すきま腐食の起こりやすいケースとしては、ステンレス鋼フランジと石綿ガスケットとの組み合わせが典型的で、この場合、石綿ガスケットに含まれる塩分が問題になる。そこで、現在では石綿ガスケットの代わりにノンアスベストシートを用い、防食対策として、そのシートをポリテトラフルオロエチレン（以下 PTFE と記す）シートで覆ったガスケットなどが使用されている。

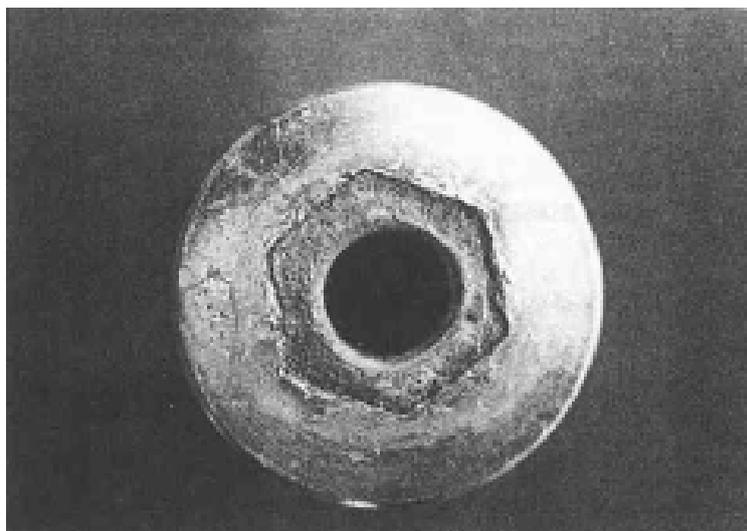


図 1.3-4 SUS316L のすきま腐食（日本金属工業提供）

#### 1.3.4 粒界腐食

金属の結晶粒界に沿った選択的腐食を粒界腐食という。オーステナイト系ステンレス鋼は粒界腐食を受けやすい代表的な金属で、550～800℃に加熱されると結晶粒界にクロム炭化物

( $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ) を析出するので、それに沿ってクロムの少ない領域を生じ、この部分が選択的に腐食される。この種の熱処理を鋭敏化熱処理と称するが、溶液または硬ろう付けなどの処理でもそれに近接した領域が鋭敏化されやすい。

図 1.3-5 は SUS304 の結晶粒界に析出したクロム炭化物の一例であるが、この状態で腐食環境に晒され腐食が進行すると、図 1.3-6 のように結晶粒が脱落し材料強度は低下する。

ステンレス鋼の粒界腐食の原因は、粒界へのクロム炭化物析出の根源となる炭素量にあるので、対応として、炭素量を 0.03% 以下に制限した極低碳素グレードの SUS 304L, 316L など、鋼種記号の最後に L を付けたもの、あるいはクロムより炭素と結合力が高いチタンまたはニオブを加えた SUS321 (18%Cr-9%Ni-Ti), SUS347 (18%Cr-9%Ni-Nb) などが使用されている。

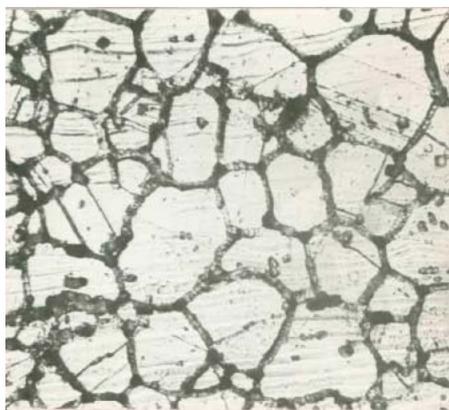


図 1.3-5 SUS304 の結晶粒界に析出したクロム炭化物 (日新製鋼提供)

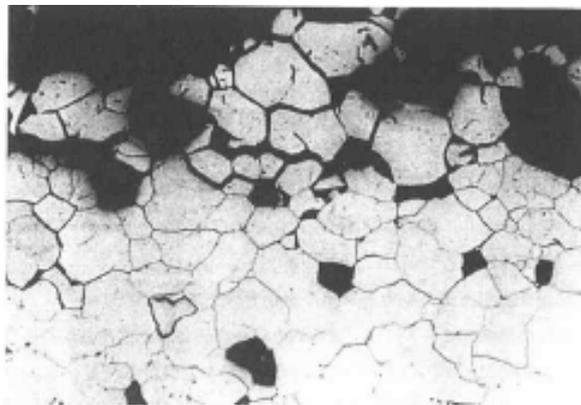


図 1.3-6 SUS304 の粒界腐食 (日本金属工業提供)

### 1.3.5 異種金属接触腐食 (ガルバニック腐食)

金属を水などの電解溶液に浸漬すると、その金属固有の自然電位を示す。各種の金属が同一電解溶液に接していると、各々の自然電位を示し、これを接続すると、接触部では自然電位の高い (貴) ものから低い (卑) ものへ電流が流れ、溶液内では卑な物から貴なものへ逆に電流が流れる。その結果、電気的な回路 (電池) が構成され、自然電位の低い卑な金属は金属イオンとなり溶液中に溶解し腐食する。この現象を異種金属接触腐食 (ガルバニック腐食) という。

表 1.3-1 に海水中における金属の自然電位列の例を示すが、ステンレス鋼や銅は比較的貴な電位の金属に属し、鋼 (鉄) や亜鉛は卑な金属に属す。例えば、電解溶液中でステンレス鋼と卑な金属の炭素鋼などを接触させると、電位差が大きくガルバニック電流が生じて炭素鋼が腐食することとなる。

したがって、ステンレス鋼と電位差の少ない異種金属を接続する場合は、直接接続しても良いが、電位差が大きい場合は、ガルバニック腐食を防止する為に両者の間を電氣的に絶縁する必要がある。また、ステンレス鋼管と異種管材との直接接続の良否については、施工編「3.6 異

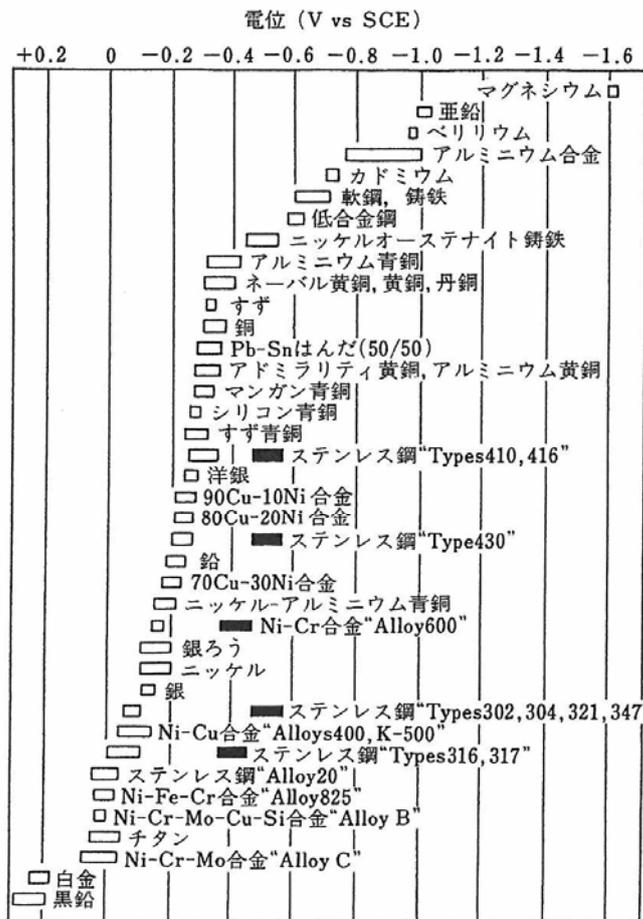
種管との接合」を参照されたい。

### 1.3.6 エロージョン・コロージョン（潰食）

エロージョンとは、一般に、流体の衝突により材料表面の一部が機械的に損傷を受けて離脱する現象をいい、流体中に固体粒子を含むような混相流環境下で見られる。このような作用に腐食作用が加わった現象がエロージョン・コロージョンである。

銅合金などの柔らかい金属と異なって、ステンレス鋼は一般にエロージョンに強く、エロージョン・コロージョンにも比較的耐えられると見られており、一般の建築設備分野では、この事例は発生していない。しかしポンプや攪拌槽のインペラー、バルブシートなど高速の流体に接し、しかも環境が塩化物イオン、硫酸イオン、砂状粒子などを含む場合、あるいは pH が低い場合、かなりの損傷を受ける。代表的な腐食性環境としては、地熱発電所の井戸からのパイプ流体、石炭液化プラントのスラリーなどが挙げられる。

表 1.3-1 海水中における自然電位列<sup>9)</sup>



※ 1) 測定条件：流速 2.4 ~ 4.0 m/s, 温度 10 ~ 27°C

※ 2)           ：局部腐食を起こしているときの電位 (活性態の電位)

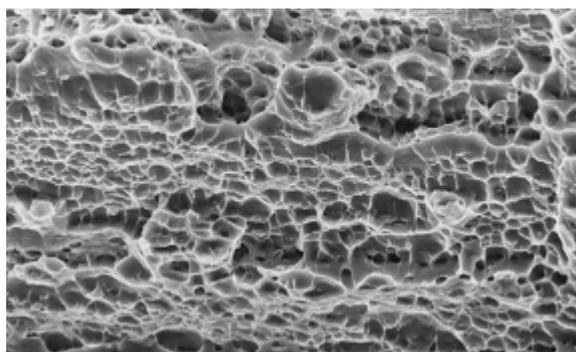
注 ステンレス鋼便覧—第 3 版—より引用

## 1.4 疲労破壊

金属材料は繰返し応力の下では、通常、静的強度よりはるかに低い応力により破壊を起こすことがある。このような現象を材料の疲労破壊（または疲労）という。

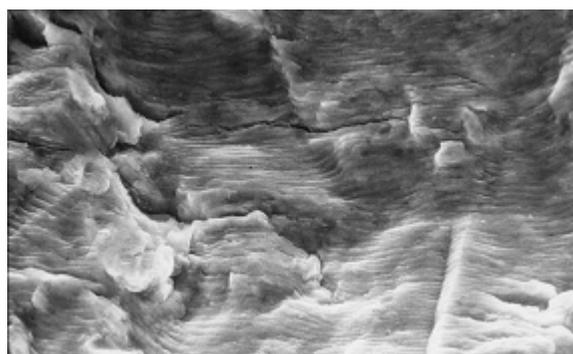
延性破壊が塑性変形を伴い、材料が有する強度より過大な応力が作用することで破壊に至るのに対し、疲労破壊は塑性変形を伴わず、材料が有する強度よりはるかに低い応力でも発生する。疲労破壊は、亀裂の発生過程と進展過程に大別され、材料に繰返し応力が作用した場合、すべりなどを伴い、その部分を起点として亀裂が伝播し、最終的に不安定破壊に至る。なお、延性破壊では、その破面にディンプルと呼ばれる窪みが無数に形成されるのに対し、疲労破面ではストライエーションと呼ばれる縞模様が観察されることが特徴である（**図 1.4-1**、**図 1.4-2** 参照）。

ステンレス配管で、稀に問題となる疲労破壊の一つとして熱疲労が挙げられる。建築設備配管として使用される SUS304 などのオーステナイト系ステンレス鋼は、炭素鋼に比較すると線膨張係数が大きく、例えば、給湯配管にステンレス配管を使用した場合、配管系には熱応力が負荷されるが、長期間にわたる給湯の温度変化に伴う加熱・冷却の繰返し過程で、熱膨張差による伸縮が発生し、配管の接続部付近で破壊を引き起こすことがある。したがって、熱による伸縮量の大きい一般配管用ステンレス鋼管では、熱応力負荷による熱疲労対策は重要な検討項目となる。なお、配管の伸縮対策については、設計編「2.7 配管の伸縮対策」を参照されたい。



**図 1.4-1** 延性破壊の破面例（ディンプル）

（日新製鋼提供）



**図 1.4-2** 疲労破壊の破面例（ストライエーション）

（日新製鋼提供）

## 1.5 他管種との比較

ステンレス鋼管は、炭素鋼鋼管や銅管に比べ、耐食性および機械的性質に優れているという特長を有している。したがって、ステンレス鋼管では“さびこぶ”による管内部の閉塞の心配がなく、強度の面からも薄肉化による軽量化を図ることが可能となる。

### 1.5.1 寸法・質量

一般配管用ステンレス鋼管と、代表的な管材との寸法・質量の一覧表を表 1.5-1 に示す。寸法的には、呼び方 25Su (28.58mm) まで外径は銅管と同一である。これは、当初ステンレス鋼管は給湯に使用されている銅管継手を対象として開発してきたことと、25Su 以下の管については、ろう付やはんだ付による銅管の継手を使えることを前提に、ASTM B88 (水道用銅管) に準じて銅管と同一外径としたことによる。一方、30Su (34.0mm) 以上の管については、ろう接での接合が困難なこと、また銅管継手は高価であるため、他の接合および継手方式が考えられる配管用炭素鋼鋼管と同寸法とした。質量は、ステンレス鋼管と銅管は、ほとんど同じで配管用炭素鋼鋼管より軽く、細い管で約 1/3、太い管で約 1/2 となっている。なお、一般配管用ステンレス鋼管は肉厚が薄いことから管内径は同じ呼び径の他の管より大きく、表面が滑らかであることもあって、より多量の水を同じ摩擦損失の下で流すことができる。

### 1.5.2 各種管材の物理的性質

物理的性質は表 1.5-2 の通りであるが、ステンレス鋼管の性質として、銅管と同等の熱膨張係数や、銅管に比べて著しく低い熱伝導率、著しく大きい電気比抵抗および炭素鋼鋼管と同程度の比熱が挙げられる。

表 1.5-2 各種管材の物理的性質 (参考値) <sup>10)</sup>

配管の種類 (JIS 規格)	比重	平均熱膨張係数 ( $10^{-6}/K$ )	熱伝導率 ( $W/m \cdot K$ )	比熱 ( $J/g \cdot K$ )	電気比抵抗 ( $\mu \Omega \cdot cm$ )	ヤング率 (GPa)	磁性
		(0~100°C)	(100°C)	(0~100°C)	室温		
一般配管用ステンレス鋼管 (JISG3448)	7.93	17.3	16.3	0.50	72	193	無
配管用炭素鋼鋼管 (JISG3452)	7.86	11.6	59.5	0.48	14.2	206	有
りん脱酸銅継目無管 (JISH3300(M)タイプ)	8.96	17.6	391.5	0.39	1.71	108	無
水道用硬質ポリ塩化ビニル管 (JISK6742)	1.43	60~70	0.20~0.21	0.85~1.17	$3 \sim 5 \times 10^{14}$	33	無

注 建築用ステンレス配管マニュアル (平成 9 年版) と水道用硬質塩化ビニル管技術資料より引用

表 1.5-1 他の管材との寸法，質量比較 5)

呼び径			一般配管用ステンレス鋼管 (SUS304)						建築配管用銅管 (Mタイプ)						硬質塩化ビニルライニング鋼管						配管用炭素鋼管					
Su	A	B	外径 (mm)	肉厚 (mm)	実内径 (mm)	内面積 (cm <sup>2</sup> )	質量 (Kg/m)	質量比	外径 (mm)	肉厚 (mm)	実内径 (mm)	内面積 (cm <sup>2</sup> )	質量 (Kg/m)	質量比	外径 (mm)	肉厚 <sup>*</sup> (mm)	実内径 (mm)	内面積 (cm <sup>2</sup> )	質量 (Kg/m)	質量比	外径 (mm)	肉厚 (mm)	実内径 (mm)	内面積 (cm <sup>2</sup> )	質量 (Kg/m)	質量比
8	8	1/4	9.52	0.7	8.12	0.52	0.15	0.23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13.8	2.3	9.20	0.66	0.65	1
10	10	3/8	12.7	0.8	11.10	0.97	0.24	0.28	12.7	0.64	11.42	1.02	0.22	0.26	—	—	—	—	—	—	17.3	2.3	12.70	1.27	0.85	1
13	15	1/2	15.88	0.8	14.28	1.60	0.30	0.23	15.88	0.71	14.46	1.64	0.30	0.23	21.7	1.5	13.1	1.35	1.40	1.07	21.7	2.8	16.10	2.04	1.31	1
20	20	3/4	22.22	1.0	20.22	3.21	0.53	0.32	22.22	0.81	20.60	3.33	0.49	0.29	27.2	1.5	18.6	2.72	1.82	1.08	27.2	2.8	21.60	3.66	1.68	1
25	25	1	28.58	1.0	26.58	5.55	0.69	0.28	28.58	0.89	26.80	5.64	0.69	0.28	34.0	1.5	24.6	4.75	2.61	1.07	34.0	3.2	27.60	5.98	2.43	1
30	—	—	34.0	1.2	31.60	7.84	0.98	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40	32	1 1/4	42.7	1.2	40.30	12.76	1.24	0.37	34.92	1.07	32.78	8.44	1.02	0.30	42.7	1.5	32.7	8.40	3.61	1.07	42.7	3.5	35.70	10.01	3.38	1
50	40	1 1/2	48.6	1.2	46.20	16.76	1.42	0.37	41.28	1.24	38.80	11.82	1.39	0.36	48.6	1.5	38.6	11.70	4.16	1.07	48.6	3.5	41.60	13.59	3.89	1
60	50	2	60.5	1.5	57.50	25.97	2.20	0.41	53.98	1.47	51.04	20.46	2.17	0.41	60.5	1.5	49.9	19.56	5.66	1.07	60.5	3.8	52.90	21.98	5.31	1
75	65	2 1/2	76.3	1.5	73.30	42.20	2.79	0.37	66.68	1.65	63.38	31.55	3.01	0.40	76.3	1.5	64.9	33.08	7.92	1.06	76.3	4.2	67.90	36.21	7.47	1
80	80	3	89.1	2.0	85.10	56.88	4.34	0.49	79.38	1.83	75.72	45.03	3.99	0.45	89.1	2.0	76.7	46.20	9.50	1.08	89.1	4.2	80.70	51.15	8.79	1
100	100	4	114.3	2.0	110.3	95.55	5.59	0.46	104.78	2.41	99.96	78.48	6.93	0.57	114.3	2.0	101.3	80.60	13.10	1.08	114.3	4.5	105.3	87.09	12.18	1
125	125	5	139.8	2.0	135.8	144.8	6.87	0.46	130.18	2.77	124.6	122.0	9.91	0.66	139.8	2.0	126.8	126.3	16.21	1.08	139.8	4.5	130.8	134.4	15.01	1
150	150	6	165.2	3.0	159.2	199.1	12.1	0.61	155.58	3.10	149.4	175.3	13.3	0.67	165.2	2.5	150.2	177.2	21.50	1.09	165.2	5.0	155.2	189.2	19.75	1
200	200	8	216.3	3.0	210.3	347.4	15.9	0.53	—	—	—	—	—	—	216.3	2.5	199.7	313	32.37	1.08	216.3	5.8	204.7	329.1	30.11	1
250	250	10	267.4	3.0	261.4	536.7	19.8	0.47	—	—	—	—	—	—	267.4	3.0	248.2	483	45.83	1.08	267.4	6.6	254.2	507.5	42.45	1
300	300	12	318.5	3.0	312.5	767.0	23.6	0.45	—	—	—	—	—	—	318.5	3.0	298.7	700	57.08	1.08	318.5	6.9	304.7	729.2	53.02	1

※ライニングの厚さ

注 建築用ステンレス配管マニュアル（平成9年版）より引用の表を一部加工

### 1.5.3 各種管材の機械的性質

表 1.5-3 に各種管材の機械的性質の例を示す。ステンレス鋼管の引張り強さが他の管材に比して非常に大きいことがわかる。管材としての硬さその他の機械的性質は、ステンレス鋼棒材・板材の性質を参考にされたい。

表 1.5-3 各種管材の機械的性質の例 (参考値) <sup>10)</sup>

	引張強さ (N / mm <sup>2</sup> )	伸 び (%)
一般配管用ステンレス鋼管	722 (520 以上)	47.5 (35 以上)
配管用炭素鋼鋼管	348 (290 以上)	46.4 (30 以上)
りん脱酸銅継目無管 (O 種)	242 (205 以上)	53 (40 以上)
水道用硬質ポリ塩化ビニル管	52 (VP : 45 以上)	100 (規格なし)

( ) 内は JIS の値

注 建築用ステンレス配管マニュアル (平成 9 年版) より引用の表を一部加工と水道用硬質塩化ビニル管技術資料

### 1.5.4 各種管材の耐食性

ステンレス鋼管を含む水道水に対する各種管材の耐食性の概要を以下に示す。なお、鋼管、亜鉛めっき鋼管、硬質塩化ビニルライニング鋼管、銅管の水道水に対する耐食性については、小玉敏明氏の優れた総説があるので参照されたい<sup>参考文献 4)</sup>。

#### (1) ステンレス鋼管

ステンレス協会でのステンレス鋼管耐久性調査の結果、給水・給湯系統においては施工後 31 年経過したものでも、ほとんど腐食せず良好な状態が維持されていることが確認されており、ステンレス鋼管は水道水に対して十分な耐食性を有するものといえる。ただし、ステンレス鋼管の耐食性は使用環境に影響されるところが大きく、特に、水道水中に含まれる塩化物イオン濃度と残留塩素濃度を十分に考慮する必要がある。

水道水に対するステンレス鋼管の適用可否に対する水質基準については、維持管理編の水質指針で述べる。

#### (2) 鋼管

上水の給水管として無処理の鋼管が使われることはないが、亜鉛めっき鋼管の亜鉛が消耗した後は鋼管の腐食として考えねばならない。鋼の腐食速度は、長期的には通常 0.1~0.2mm/y 程度であるが、さびこぶ下の孔食ではその 2~3 倍となる。赤水は鋼管のさび (水酸化第二鉄) が水中に懸濁して水を着色する現象である。水の pH が上昇すると凝集しやすくなって水中の懸濁はなくなる。赤水に対する根本的な対策は配管の施設替えであるが、暫定処理としてインヒビターを用いることがある。なお、上水用に用いられるインヒビターとしては、ポリリン酸ナトリウムおよびケイ酸ナトリウム系の 2 種類のみである。図 1.5-1 はリン酸塩濃度と鋼の腐食の関係を示し、防食のためには 10ppm 以上必要であることが分かる。上水に通常添加される 2~5ppm では防食効果はないが、鉄イオンと錯体を作るので赤水の無色化には役立つ。

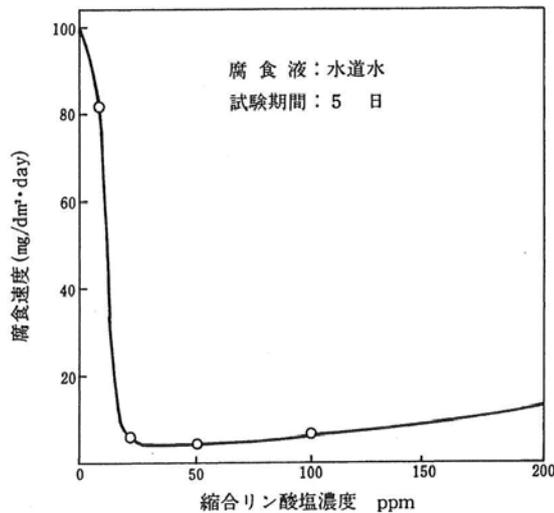
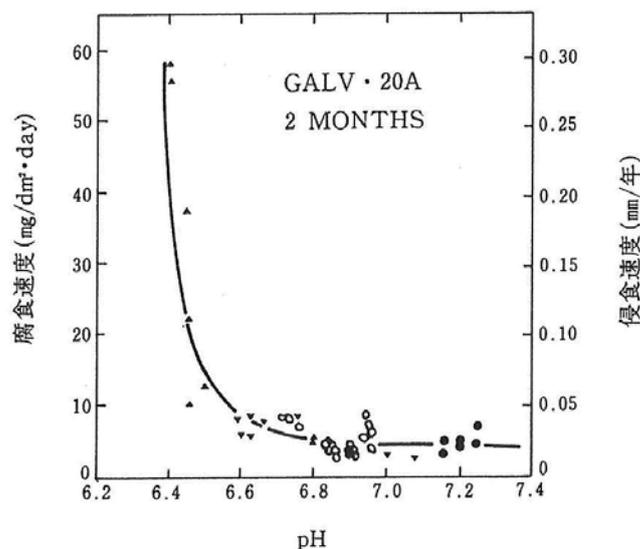


図 1.5-1 軟鋼の腐食速度に及ぼすポリリン酸塩濃度の影響<sup>5)</sup>

上水用のインヒビターとして用いられるものはポリリン酸塩  
注 建築用ステンレス配管マニュアル (平成9年版) より引用

### (3) 亜鉛めっき鋼管

亜鉛めっき鋼管の耐食性は水質によって著しく相違する。亜鉛めっき層は水中で白い保護皮膜で覆われて耐食性を発揮する。このような状態で亜鉛の腐食速度は鋼の 1/10 程度となる。図 1.5-2 は pH の影響に関する実験結果で、pH6.6 以下では亜鉛の腐食が急増する。なお、温水中では亜鉛と鋼の電位が逆転するので、この材料は給湯用として不適當である。また、現在は水道用および給水用としての使用は禁止されている。



腐食速度に及ぼす pH の影響

●境；▲砧下；○朝霞；△金町 (以上東京)  
▽鍋屋上野 (名古屋) □柴島；▼豊野 (以上大阪)

図 1.5-2 浄水場における亜鉛めっき鋼管の腐食試験結果<sup>5)</sup>

注 建築用ステンレス配管マニュアル (平成9年版) より引用

#### (4) 樹脂ライニング鋼管

硬質塩化ビニルライニング鋼管は、給水管として既に長期の実績があり、広範囲にわたって普及している。課題は管の切断方法、ねじ切り部と端面の処理である。切断に際しては、加熱による塩化ビニルや接着材の焼けと剥離が生じないように冷却を行う必要があり、ねじ切り部の水に接する部分と端面には少量の防食剤を兼ねた液状シール剤を塗布しなければならない。

#### (5) 銅管

建築設備用配管としての銅管は給湯用途に多く使用され、給湯用材料としては、ろう付が容易なこともあって広く普及したが、その反面腐食事例も増加した。銅の耐食性は表面に生成する保護皮膜（酸化物）によるものであり、この皮膜の生成は水質に深く係わっているため、結局、後述のように銅の耐食性は水に対して鋭敏である。銅の腐食で問題となるのは、青水と潰食（エロージョン・コロージョン）および孔食と考えられる。

銅イオンは、浴室の壁や目地で石鹼などに吸着あるいは化合して青色の汚れを呈することがあり、これを青水と称する。銅の溶出速度は遊離炭酸が多く pH が低い水で大となるが、それは低 pH では保護皮膜となる亜鉛化銅ができにくいからであると考えられる。

銅は軟質のため流速が大になると潰食を起こしやすい。潰食が起こるときは当然皮膜も破壊されるが、皮膜生成の最大の因子は pH であるから、潰食の臨界速度も pH に依存する（例えば pH6.5, 65°Cの水で 1m/sec）。そこで給湯系の流速は 1m/sec 程度に抑えられる傾向がある。他の対策としては、配管の曲げ半径を大きくする、溶存ガスが抜けやすい設計とすることなどが挙げられる。

給湯用の銅管の損傷のうちで最も対策を立てにくいのが孔食である。件数から見ると関東と北海道でこの種の事例が多く、関西では少ない。これは、孔食を起こしやすい水質があることを暗示している。孔食は  $(\text{HCO}_3^-) / (\text{SO}_4^{2-}) < 1$  の水で起こりやすいといわれるが、利根川系および札幌市の水はこれに相当する。すなわち孔食を起こしやすい水とは、不完全な保護皮膜を形成し、しかも  $\text{SO}_4^{2-}$  や  $\text{Cl}^-$  のような侵食的イオンの濃度が高く、さらに、金属の電位を高める酸化性の雰囲気（溶存酸素や遊離残留塩素（以下残留塩素と記す））を含む水である。孔食への対策としては、保護皮膜を完全なものにする、 $\text{SO}_4^{2-}$  や  $\text{Cl}^-$  の濃度を低くする、非酸化性の雰囲気にして電位を下げるなどが考えられる。

以上は上水に対する各種管材の腐食特性であるが、その他、開放循環冷却水に使用される各種管材の腐食について、スライムの影響を検討した報告も発表されている。

---

#### 引用文献

- 1) ステンレス協会ホームページより引用
- 2) ステンレス協会：ステンレス鋼データブック（家電編）、1996、表 1.13 表 1.14

- 3) JIS G 3448 : 2004 一般配管用ステンレス鋼管, P1, 表 1
- 4) JIS G 4303 : 2005「ステンレス鋼棒」, JIS G 4308 : 1998「ステンレス鋼線材」, JIS G 4304 : 2010「熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」, JIS G 4305 : 2010「冷間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」の一部を引用
- 5) ステンレス協会 : 建築用ステンレス配管マニュアル (平成 9 年版)
- 6) 2) に同じ, P13~P16, 表 2.1, 表 2.2, 表 3.1, 表 3.4, 表 3.6  
および水道用硬質塩化ビニル管技術資料 (規格・設計編), 1998, 表-16
- 7) 2) に同じ, P68, 図 7.1
- 8) ステンレス協会 : ステンレスの初歩, 2007, P74, 図 5-1
- 9) ステンレス協会編 : ステンレス鋼便覧-第 3 版-, 日刊工業新聞社, 1995, P297
- 10) 5) および水道用硬質塩化ビニル管技術資料

#### 参 考 文 献

- 1) ステンレス協会編 : ステンレス鋼便覧-第 3 版-, 日刊工業新聞社, 1995, P37
- 2) JIS G 0203 : 2009「鉄鋼用語」, 4.3.8 特殊用途鋼
- 3) 明治大学 坂上恭助, ステンレス協会, 日本バルブ工業会, ニッケル協会 : 国土交通省住宅・建築関連先端技術開発助成事業「超高耐久オールステンレス共用部配管システムに関する技術開発」平成 21 年度報告書
- 4) 小玉敏明 : 建築設備 BE, 80.10., P49
- 5) 平野昭英, 今井智康, 常木孝男, 勝又卓也 : 第 38 回腐食防食討論会講演集, 1991, P235

