

建築設備用ステンレス配管の水質指針 - 改訂版 1

【 資料編 】

この【資料編】は、ステンレス協会編「改訂版 建築用ステンレス配管マニュアル」（2011年3月31日発行）の第5項 資料編に掲載の「I 建築設備用ステンレス配管の水質指針—改訂版1」を作成するに際して、紙面の関係から割愛した、引用した文献とデータ活用方法、実績調査事例集と解析方法、考え方などの過程を含めて記載したものである。

【はじめに】

ステンレス配管において材料側に目立った欠点が無くても、水質条件によっては、孔食、隙間腐食、応力腐食割れ等が発生する事例があったことから、ユーザーよりステンレス配管を使用する場合の水質限界を明らかにして欲しいという要望に従って、平成10年（1998年）に暫定的ではあるが「建築設備用ステンレス配管の水質指針」^{1) 2)}を発行した。

初回の水質指針の前提条件を要約すると、次の通りである。

(1) 腐食発生電位測定用サンプルとして、管内部をガスシールし、酸素濃度が1%以下で溶接した溶接焼けのないものを使用し、温度70℃で腐食発生電位を測定し、孔食電位 ($V_{c_{10}}$) > 400mV vs SCE を○、孔食電位 ($V_{c_{10}}$) 301~400mV vs SCE を△、孔食電位 ($V_{c_{10}}$) ≤ 300mV vs SCE を×として、腐食トラブル実績と照合し、妥当性を検討した結果、設定されたものである。

(2) 溶接継手とメカニカル継手の両方を包含したものである。

(3) 水質項目は①M アルカリ度 ②塩素イオン（塩化物イオン）③ Cl^-/SO_4^{2-} の3項目であり、遊離残留塩素および溶存酸素は、通常の水を想定したものである。

2009年にステンレス協会および空気調和衛生工学会の会員で構成された「ステンレス管プレハブユニット製作の規格化小委員会」の会員より提供を受けたプレハブ加工管溶接部の漏水事故事例では、遊離残留塩素の影響を含めないと、説明がつかない事例が出てきている。

また、国土交通省の住宅・建築関連先端技術開発助成事業の「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」の研究³⁾において昭和50年前後に施工されたステンレス配管のアンケート調査結果および抜管調査を実施した結果、溶接品質が良くない物件でも漏水事故が発生していないことが判明し、水質管理ができておればステンレス配管は十分な耐久性を有していることが判った。

今回の改訂は、中水など遊離残留塩素（以下残留塩素と記述）が多量に添加された水へのステンレス配管の適用には十分な注意を払わなければならないこと、および大型建築物で塩素滅菌処理を現地で実施する場合、必要以上に残留塩素を添加しないよう注意を喚起することを主目的とした。

また、炭酸水素イオンは溶接部の耐食性に対してある濃度範囲で悪影響を及ぼすことが認められていること⁴⁾、および漏水事故例と市場調査結果を踏まえて、メカニカル継手の隙間腐食に対しては、給水用途では事故事例が無く、給湯用途は現在の水質指針は良く適合するという意見が強いことから、現在の水質指針の給水用の水質区分を実態に合わせて改訂し、給湯用の水質区分は現行の水質指針の一部を修正してメカニカル継手対応水質指針として残し、溶接継手対応として、残留塩素と炭酸水素イオンの要因を水質指針に含め、現在の水質指針から溶接部の水質指針を分離して見直しを実施した。

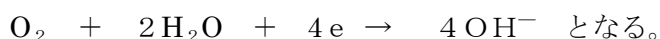
1. 文献調査

1. 1 ステンレス鋼の腐食のメカニズム

中性の水溶液における不動態領域での腐食反応は、1.1 式で示されるアノード溶解反応と、1.2 式で示される酸化剤の還元反応（カソード反応）とがカップリングして進行する電気化学反応である。



1.2 式は、水溶液中の不動態領域では



自由腐食中の自然電位は、アノード電流と酸化剤のカソード還元電流の等しい条件の時の電位であって、カソード電流は酸化剤の種類と濃度によって異なり、腐食電位は合金種と環境に依存して変化する。孔食の場合には、ステンレス鋼の自然電位が孔食発生電位より貴であれば孔食が発生する。⁵⁾

即ち、溶存酸素や残留塩素などの酸化剤が多いほどカソード側の反応が促進され自然電位が高くなり、アノード側の反応として、塩化物イオンなどのハロゲンイオンが多いほど腐食発生電位が低くなるが、腐食発生電位が自然電位より卑であると腐食を生じ、貴であると腐食を生じない。⁴⁾

ステンレス鋼の耐食性に影響を及ぼす材料側の要因として、鋼種（成分）、溶接部の溶接状態、継手の隙間構造などがあげられる。鋼種ではC r、M o、Nなどの含有量が多いほど腐食発生電位は貴になる。⁵⁾

環境側因子には水質、流動状態、温度があげられる。水質には溶存酸素や残留塩素などの酸化剤、C l⁻などのハロゲンイオン、温度、その他の共存アニオンなどが代表的なものとしてあげられる。孔食発生を抑制するアニオンとしては、ハロゲンイオンがC l⁻の場合、OH⁻>NO₃⁻>SO₄²⁻>C l O₄⁻の順に抑制効果が大きい。⁵⁾

ステンレス鋼配管の耐食性に影響を及ぼす水質の内、アノード反応に関与する塩化物イオンおよびカソード反応に関与する残留塩素が重要因子と考えられる。

炭酸水素イオンは塩素イオンとの共存下で、隙間腐食には影響しないが、溶接部の腐食発生に対して、ある濃度範囲で腐食を促進することが認められており、原因として腐食生成物が溶接部に特異な析出をして二次的に隙間をつくり、隙間腐食を起こすことも一要因と推察している。⁴⁾

また、硝酸イオンや硫酸イオンは実験データより腐食抑制因子であることが報告されている。⁴⁾

本水質指針改訂の検討においては、ステンレス鋼の腐食に悪影響を及ぼすと報告されている因子のみ検討し、腐食を緩和する因子は含めなかった。

1. 2 引用文献検索

建築設備配管では、水溶液は流動しているため、流動状態で自然電位に及ぼす残留塩素の影響を実験した文献および資料を調査した。今回の調査では5件が抽出されたため、これらの文献データ⁴⁾

^{6) 7) 8) 9)} を引用した。

2. 残留塩素濃度と自然電位の関係表作成

2. 1 引用文献の試験条件概要

引用文献の試験条件の概要を資料表 1 - 1 に示す。

資料表 1 - 1 各種文献の自然電位測定条件一覧表

	文献 4) 6)	文献 7) 8)	文献 9)
供試材	SUS304TPD-20Su	① SSP-SUS304-20 および SSP-SUS316-20 を TIG 円周溶接。 ② 溶接時、管内面を Ar ガスシール(酸素濃度 1% 以下)ありのものとガスシールなしの 2 条件	SUS304TPD-20Su
照合電極	飽和甘こう電極 (SCE)	飽和銀-塩化銀電極 (Ag/AgCl sat.)	飽和甘こう電極 (SCE)
装置	試験液タンクで液調整し、ループ循環試験装置で試験。	水道水を 80°C まで加温した後、pH および残留塩素濃度を調整。溶存酸素は飽和。	上水を流し水
流速	1 m/sec.	0.3 m/s	1 m/s
測定期間	原則 1 ヶ月	240h	1 ヶ月

2. 2 引用文献の残留塩素濃度と自然電位の測定データ一覧表

引用文献の残留塩素濃度と自然電位の関係を資料表 1 - 2 に示す、
なお、文献 7) 8) は照合電極が Ag/AgCl sat. であり、他の文献は SCE であったが、80°C における試験データとしては最も充実したものであるため、25°C における両照合電極の電位換算式が 80°C にも適用可能として、次式を用いて換算した。

$$\text{電位 } V(\text{Ag/AgCl sat.}) = \text{電位 } V(\text{SCE}) + 0.043 \text{ } ^{9)}$$

また、文献 7) 8) で TIG 溶接時の管内面シールドガスありとなしとで、自然電位の最貴値が異なるため、建築設備配管溶接加工の実態に合わせて、管内面シールドガスありのデータを引用した。

資料表 1 - 2 において、研究者へのヒアリングで、残留塩素は消費され易く濃度調整が極めて難しいとコメントがあったことから、残留塩素濃度に対して自然電位の値が高い数値を引用し、一覧表を作成した。その結果を資料表 1 - 3 に示す。

資料表 1 - 2 各種文献における残留塩素と自然電位の測定値

残留塩素濃度 (ppm)	自然電位 (V, SCE)								文献 7), 8) 原本 (mV, Ag/AgCl) 最貴値
	20°C		40°C		60°C		80°C		
	文献 4), 6)	文献 4), 6)	文献 9)	文献 4), 6)	文献 9)	文献 4), 6)	文献 9)	文献 7), 8) 換算値	
0.0	0.10	0.02		0.00		-0.05		0.06	100
0.02							0.16		
0.1								0.22	260
0.2					0.25				
0.25			0.30						
0.3	0.35	0.30		0.25		0.20		0.32	360
0.5	0.40								
1.0	0.50	0.45						0.36	400

資料表 1 - 3 残留塩素と自然電位測定値の一覧表

残留塩素濃度 (ppm)	自然電位 (V, SCE)			
	20°C	40°C	60°C	80°C
0.0	0.10	0.02	0.00	0.06
0.02				0.16
0.1				0.22
0.2			0.25	
0.25		0.30		
0.3	0.35			0.32
0.5	0.40			
1.0	0.50	0.45		0.36

2. 3 流水環境における残留塩素濃度と自然電位の関係表

資料表 1 - 3 のままでは水質判定に使用する際不便と考えられるため、残留塩素濃度の対数と自然電位が比例関係にあるとして、各温度における実験データの間を内挿した結果を資料表 1 - 4 に示す。

なお、60°Cの残留塩素濃度 1.0ppm については自然電位の実測値が無い。

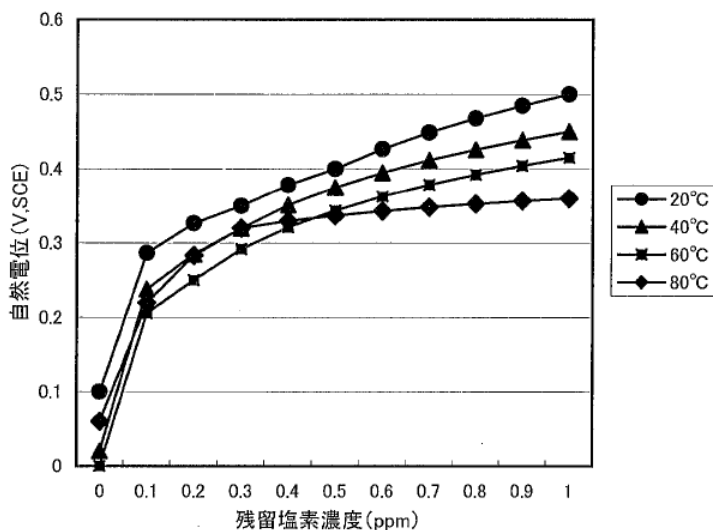
これについては、温度 40°Cにおける残留塩素濃度 1ppm と 0.2ppm の自然電位の差異と温度 80°Cにおける残留塩素濃度 1ppm と 0.2ppm の自然電位の差異を比較すると、40°Cの時の方が大きいことから、60°Cにおいても 40°Cにおける残留塩素と自然電位の関係が同じであると仮定して、60°Cで 1ppm のときの自然電位の数値を計算で求めた。

資料表 1 - 4 残留塩素と自然電位の関係早見表

残留塩素濃度 (ppm)	対数	自然電位 (V, SCE)			
		20°C	40°C	60°C	80°C
0.0	—	0.10	0.02	0.00	0.06
0.02	-1.699	0.193	0.129	0.103	0.16
0.05	-1.301	0.246	0.191	0.161	0.194
0.1	-1.000	0.286	0.238	0.206	0.22
0.15	-0.824	0.310	0.265	0.232	0.257
0.2	-0.699	0.327	0.285	0.25	0.283
0.25	-0.602	0.339	0.30	0.273	0.303
0.3	-0.523	0.35	0.320	0.292	0.32
0.4	-0.398	0.378	0.351	0.321	0.330
0.5	-0.301	0.40	0.375	0.344	0.337
0.6	-0.222	0.426	0.395	0.363	0.343
0.7	-0.155	0.449	0.411	0.378	0.348
0.8	-0.097	0.468	0.426	0.392	0.353
0.9	-0.046	0.485	0.439	0.404	0.356
1.0	0.000	0.50	0.45	0.415	0.36

注) 表中太文字で 2 桁表示の数値は文献から引用した実験値であり、細文字の 3 桁の数値は計算値である。

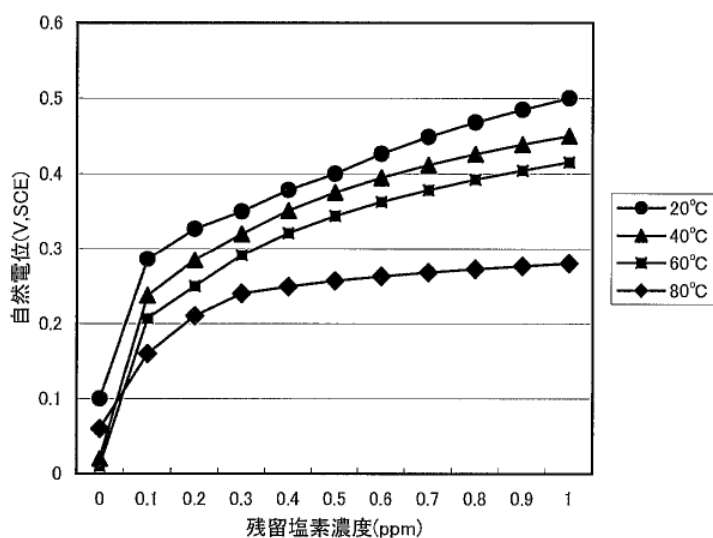
資料表 1 - 4 より、各温度における残留塩素濃度と自然電位の関係は資料図 1 の通りとなる。



資料図 1 各種温度における残留塩素濃度と自然電位の関係

20°Cから 60°Cのデータは、著者が自然電位の長期安定領域の電位を採用し、80°Cのデータは、著者が自然電位の最貴値を採用しているためと推察するが、特に残留塩素が低濃度領域で自然電位が交錯している。

なお、参考までに、80°Cについて、文献より自然電位の長期安定領域の数値を読み取り関係図を求めると、資料図 2 の通りとなる。



資料図 2 残留塩素と長期安定自然電位の関係

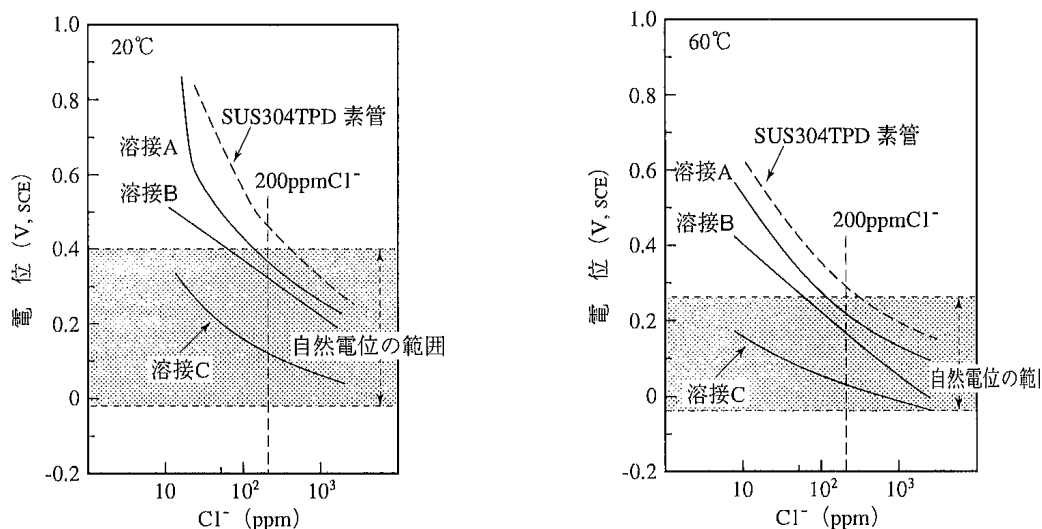
本水質指針改訂版では、資料表 1 - 4 及び資料図 1 を用いて検討した。

3. 溶接部の腐食発生電位に及ぼす塩化物イオンと炭酸水素イオンの関係早見表作成

3. 1 腐食発生電位におよぼす溶接品質と塩化物イオンの影響

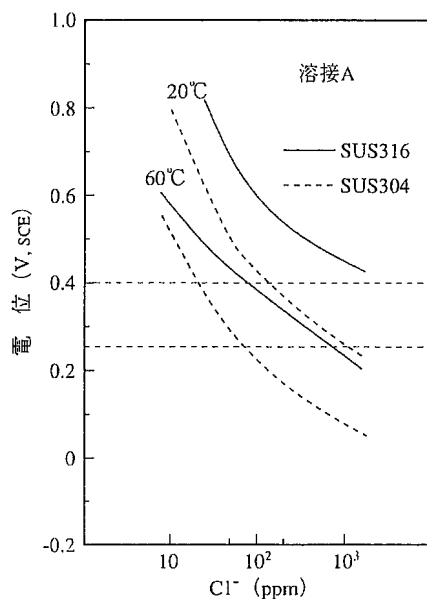
今回調査した文献の中で、溶接条件および溶接品質が明確な実験供試材を用いて実施され、各種温度、塩化物イオン濃度および炭酸水素イオン濃度の影響について腐食発生電位の試験データが記述されている文献⁴⁾の測定値を引用した。

温度 20℃および 60℃において、SUS304TPD の素管、溶接 A、溶接 B、溶接 C の塩化物イオン濃度と腐食発生電位 (V,SCE) の関係を資料図 3-1 に示す。



資料図 3-1 温度 20℃および 60℃における SUS304TPD 溶接部の腐食発生電位⁴⁾

また、温度 20℃および 60℃における、SUS316TPD の溶接 A の塩化物イオン濃度と腐食発生電位 (V,SCE) の関係を資料図 3-2 に示す

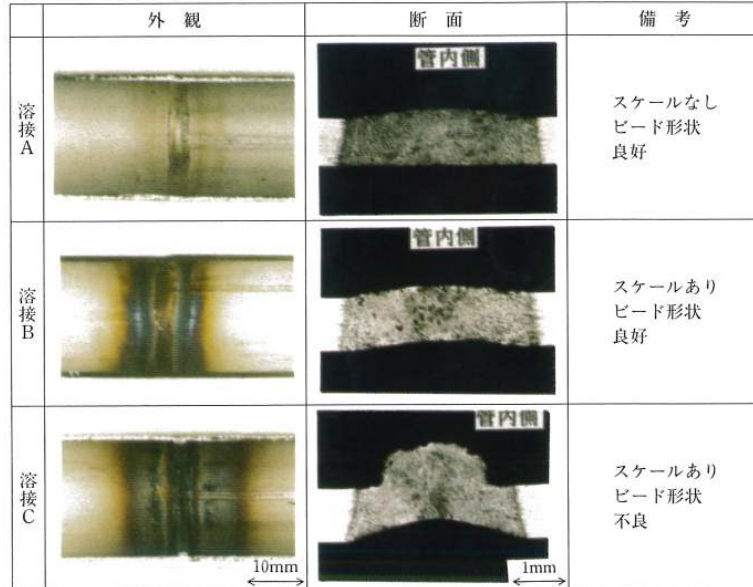


資料図 3-2 温度 20℃および 60℃における SUS316TPD 溶接 A の腐食発生電位⁴⁾

SUS304TPD の溶接部の腐食発生電位は溶接品質の影響を強く受ける。

SUS316TPD 溶接 A の耐食性は、SUS304TPD 溶接 A の耐食性に比較し、優れる。

ここで、溶接 A、溶接 B、溶接 C の 20Su の試験片の溶接肌外観写真を資料図 3-3 に示す。溶接 A の肌は、ステンレス協会の建築設備用ステンレス配管溶接施工マニュアルに準じて、管内シールドガス (Ar) の流量を十分に流し、管内酸素濃度が 1% 未満で溶接を開始したものである。溶接 B は、管内シールドガス流量を少なくし、管内酸素濃度 1% 未満で溶接したものである。溶接 C は、管内をガスシールせずに溶接したものである。



資料図 3-3 管内面の溶接肌の状態 (20Su) 4)

ここで、資料図 3-1 および資料図 3-2 では塩化物イオン濃度が対数表示のため、水質判定に活用するには、表の方が利便性があると考え、図から読み取った数値を表にした。

SUS304TPD および SUS316TPD の温度 20°C、60°C における腐食発生電位におよぼす塩化物イオン濃度の関係早見表を資料表 2-1 に示す。

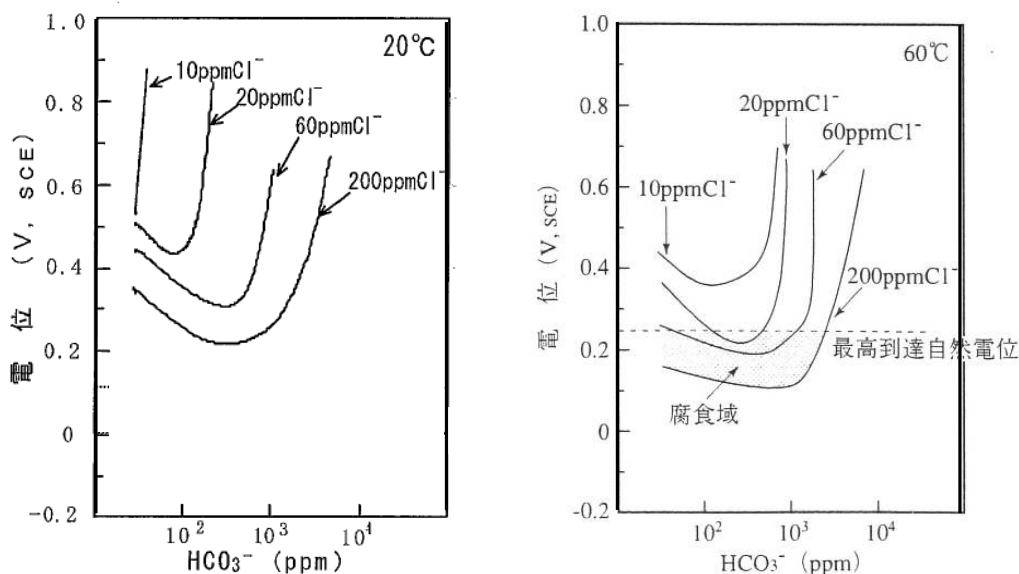
資料表 2-1 SUS304TPD および SUS316TPD の温度 20°C、60°C における腐食発生電位と塩化物イオンの関係早見表 (V,SCE)

鋼種	温度	区分	塩化物イオン濃度 (ppm)																			
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
SUS304	20°C	素管	—	0.87	0.78	0.73	0.69	0.64	0.62	0.60	0.58	0.57	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46
		溶接A	—	0.67	0.57	0.54	0.51	0.48	0.46	0.44	0.44	0.43	0.42	0.41	0.41	0.40	0.39	0.39	0.38	0.38	0.37	0.37
		溶接B	—	0.47	0.44	0.43	0.42	0.40	0.39	0.38	0.38	0.37	0.36	0.36	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33
	60°C	素管	0.63	0.54	0.48	0.45	0.42	0.41	0.39	0.38	0.37	0.35	0.34	0.33	0.32	0.32	0.31	0.30	0.30	0.29	0.29	0.28
		溶接A	0.54	0.45	0.39	0.36	0.34	0.33	0.31	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22
		溶接B	0.41	0.35	0.32	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17
SUS316	20°C	溶接A	—	0.86	0.77	0.73	0.68	0.66	0.64	0.63	0.61	0.60	0.59	0.58	0.58	0.57	0.56	0.56	0.55	0.55	0.54	0.54
	60°C	溶接A	0.58	0.51	0.47	0.45	0.44	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.36	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34

3. 2 塩化物イオン共存下における腐食発生電位におよぼす炭酸水素イオンの影響

塩化物イオン共存下において炭酸水素イオンのある濃度範囲で腐食発生電位が卑になることが報告されている。^{4) 6)}

塩化物イオンと炭酸水素イオン共存下における腐食発生電位の関係を資料図 3-4 に示す。



資料図 3-4 温度 20°C および 60°C における塩素イオン共存下の腐食発生電位におよぼす炭酸水素イオンの影響 (SUS304 溶接 B) ^{4) 6)}

但し、試験供試材が溶接 B ランクであると記載されており、資料図 3-4 のままでは活用が難しいため、溶接 B の各塩化物イオン濃度における、炭酸水素イオン濃度と腐食発生電位の関係につき読み取った数値を、20°C について資料表 2-2 に、60°C について資料表 2-3 に示す。

次に、各塩化物イオン濃度における炭酸水素イオン濃度 30ppm の腐食発生電位を原点に設定し、炭酸水素イオンの増加に伴う、腐食発生電位変化の差異を求めた結果の差異表を資料表 2-4 および資料表 2-5 に示す。

資料表 2-2 20℃における SUS304TPD 溶接

B の腐食発生電位に及ぼす塩化物イオンと
炭酸水素イオンの関係表 (V, SCE)

炭酸水素イオン (ppm)	対数	塩化物イオン濃度 (ppm)			
		10	20	60	200
30	1.477	0.630	0.500	0.440	0.340
40	1.602	0.960	0.470	0.420	0.320
50	1.699		0.450	0.400	0.300
60	1.778		0.440	0.390	0.290
70	1.845		0.430	0.380	0.280
80	1.903		0.430	0.370	0.270
90	1.954		0.430	0.360	0.260
100	2.000		0.440	0.350	0.250
120	2.079		0.470	0.340	0.240
150	2.176		0.540	0.330	0.235
200	2.301		0.750	0.320	0.230
250	2.398			0.315	0.220
300	2.477			0.310	0.220
400	2.602			0.320	0.220
500	2.699			0.330	0.225
600	2.778			0.370	0.230
700	2.845			0.430	0.235
800	2.903			0.480	0.240
900	2.954			0.540	0.245
1000	3.000			0.600	0.250
2000	3.301				0.360
3000	3.477				0.480

資料表 2-4 20℃における SUS304TPD の
腐食発生電位の差異表 (V, SCE)

炭酸水素イオン (ppm)	対数	塩化物イオン濃度 (ppm)			
		10	20	60	200
30	1.477	0.000	0.000	0.000	0.000
40	1.602	0.330	-0.030	-0.020	-0.020
50	1.699		-0.050	-0.040	-0.040
60	1.778		-0.060	-0.050	-0.050
70	1.845		-0.070	-0.060	-0.060
80	1.903		-0.070	-0.070	-0.070
90	1.954		-0.070	-0.080	-0.080
100	2.000		-0.060	-0.090	-0.090
120	2.079		-0.030	-0.100	-0.100
150	2.176		0.040	-0.110	-0.105
200	2.301		0.250	-0.120	-0.110
250	2.398			-0.125	-0.120
300	2.477			-0.130	-0.120
400	2.602			-0.120	-0.120
500	2.699			-0.110	-0.115
600	2.778			-0.070	-0.110
700	2.845			-0.010	-0.105
800	2.903			0.040	-0.100
900	2.954			0.100	-0.095
1000	3.000			0.160	-0.090
2000	3.301				0.020
3000	3.477				0.140

資料表 2-3 60℃における SUS304TPD 溶接

B の腐食発生電位に及ぼす塩化物イオンと
炭酸水素イオンの関係表 (V, SCE)

炭酸水素イオン (ppm)	対数	塩化物イオン濃度 (ppm)			
		10	20	60	200
30	1.477	0.430	0.360	0.265	0.165
40	1.602	0.415	0.340	0.255	0.155
50	1.699	0.390	0.320	0.245	0.150
60	1.778	0.380	0.305	0.240	0.145
70	1.845	0.370	0.285	0.235	0.140
80	1.903	0.365	0.275	0.230	0.138
90	1.954	0.360	0.270	0.225	0.137
100	2.000	0.355	0.265	0.220	0.136
120	2.079	0.350	0.250	0.215	0.135
150	2.176	0.360	0.230	0.205	0.130
200	2.301	0.365	0.225	0.200	0.125
250	2.398	0.375	0.220	0.195	0.120
300	2.477	0.385	0.225	0.190	0.116
400	2.602	0.410	0.230	0.185	0.112
500	2.699	0.450	0.260	0.190	0.110
600	2.778	0.540	0.280	0.200	0.110
700	2.845	0.690	0.330	0.210	0.110
800	2.903		0.450	0.220	0.110
900	2.954		0.650	0.230	0.115
1000	3.000			0.240	0.120

資料 2-5 60℃における SUS304TPD の
腐食発生電位の差異表 (V, SCE)

炭酸水素イオン (ppm)	対数	塩化物イオン濃度 (ppm)			
		10	20	60	200
30	1.48	0.000	0.000	0.000	0.000
40	1.60	-0.015	-0.020	-0.010	-0.010
50	1.70	-0.040	-0.040	-0.020	-0.015
60	1.78	-0.050	-0.055	-0.025	-0.020
70	1.85	-0.060	-0.075	-0.030	-0.025
80	1.90	-0.065	-0.085	-0.035	-0.027
90	1.95	-0.070	-0.090	-0.040	-0.028
100	2.00	-0.075	-0.095	-0.045	-0.029
120	2.08	-0.080	-0.110	-0.050	-0.030
150	2.18	-0.070	-0.130	-0.060	-0.035
200	2.30	-0.065	-0.135	-0.065	-0.040
250	2.40	-0.055	-0.140	-0.070	-0.045
300	2.48	-0.045	-0.135	-0.075	-0.049
400	2.60	-0.020	-0.130	-0.080	-0.053
500	2.70	0.020	-0.100	-0.075	-0.055
600	2.78	0.110	-0.080	-0.065	-0.055
700	2.85	0.260	-0.030	-0.055	-0.055
800	2.90		0.090	-0.045	-0.055
900	2.95		0.290	-0.035	-0.050
1000	3.00			-0.025	-0.045

資料表 2-1 の各塩化物イオン濃度における溶接 A の腐食発生電位に、資料表 2-4 および 2-5 の炭酸水素イオンによる腐食発生電位の差異を補正して、溶接 A の塩化物イオン濃度 10ppm、20ppm、60ppm、200ppm における炭酸水素イオン濃度と腐食発生電位の関係表を求めた。さらに、早見表として活用し易いように塩化物イオン濃度 30~50ppm、70~190ppm の間は、塩化物イオン濃度の対数に比例すると仮定して内挿し、計算値を求めた。

SUS304TPD 溶接 A の温度 20℃における関係早見表を資料表 2-6 に示し、温度 60℃における関係早見表を資料表 2-7 に示す。

なお、M アルカリ度は文献⁴⁾ 1¹⁾ に基づき次の式により換算した計算値である。

$$\text{炭酸水素イオン濃度} = \text{M アルカリ度} \times 1.22$$

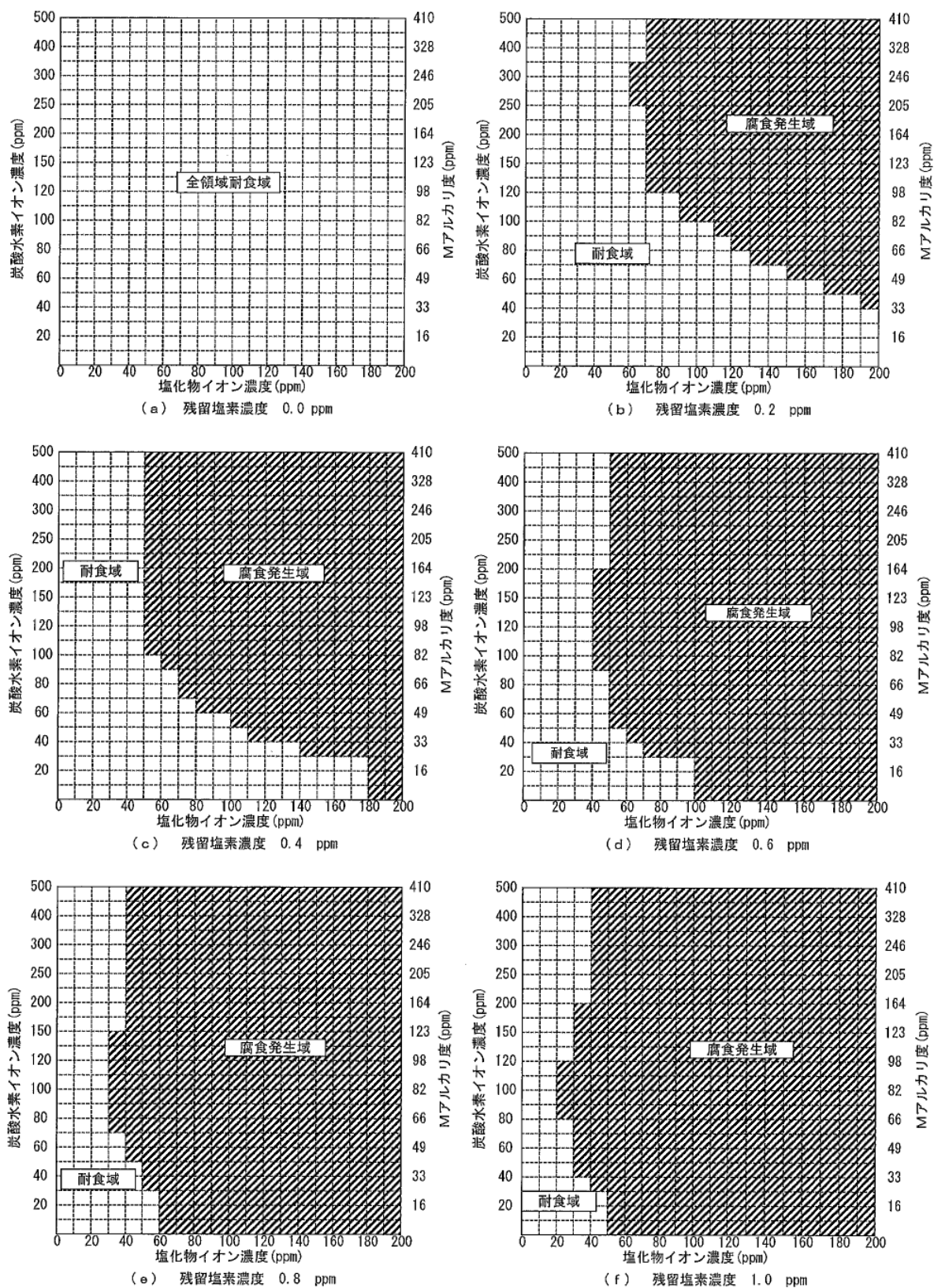
資料表 2-6 温度 20℃における SUS304TPD 溶接 A の腐食発生電位におよぼす塩化物イオンと炭酸水素イオンの関係早見表 (V,SCE)

M アルカリ度 (ppm)	炭酸 水素イオン (ppm)	区分 対数	塩化物イオン濃度 (ppm)																			
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
25	30	1.48	—	0.67	0.60	0.55	0.51	0.48	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.41	0.40	0.40	0.39	0.38	0.38	0.37	0.37
33	40	1.60	—	0.64	0.57	0.52	0.49	0.46	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.39	0.38	0.38	0.37	0.36	0.36	0.35	0.35
41	50	1.70	—	0.62	0.55	0.50	0.47	0.44	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.33
49	60	1.78	—	0.61	0.54	0.49	0.46	0.43	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.36	0.35	0.35	0.34	0.33	0.33	0.32	0.32
57	70	1.85	—	0.60	0.53	0.48	0.45	0.42	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.35	0.34	0.34	0.33	0.32	0.32	0.31	0.31
66	80	1.90	—	0.60	0.53	0.48	0.44	0.41	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.31	0.30	0.30
74	90	1.95	—	0.60	0.52	0.47	0.43	0.40	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.33	0.32	0.32	0.31	0.30	0.30	0.29	0.29
82	100	2.00	—	0.61	0.53	0.47	0.42	0.39	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.32	0.31	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28	0.28
98	120	2.08	—	0.64	0.54	0.47	0.42	0.38	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.28	0.27	0.27
123	150	2.18	—	0.71	0.58	0.49	0.42	0.37	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27
164	200	2.30	—	0.92	0.71	0.56	0.45	0.36	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.27	0.26	0.26
205	250	2.40	—	—	—	—	—	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28	0.27	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25
246	300	2.48	—	—	—	—	—	0.35	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.28	0.27	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25
328	400	2.60	—	—	—	—	—	0.36	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25
410	500	2.70	—	—	—	—	—	0.37	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.26	0.26
492	600	2.78	—	—	—	—	—	0.41	0.39	0.37	0.36	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28	0.27	0.27	0.26
574	700	2.85	—	—	—	—	—	0.47	0.44	0.42	0.40	0.38	0.36	0.35	0.34	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.27

資料表 2-7 温度 60℃における SUS304TPD 溶接 A の腐食発生電位におよぼす塩化物イオンと炭酸水素イオンの関係早見表 (V,SCE)

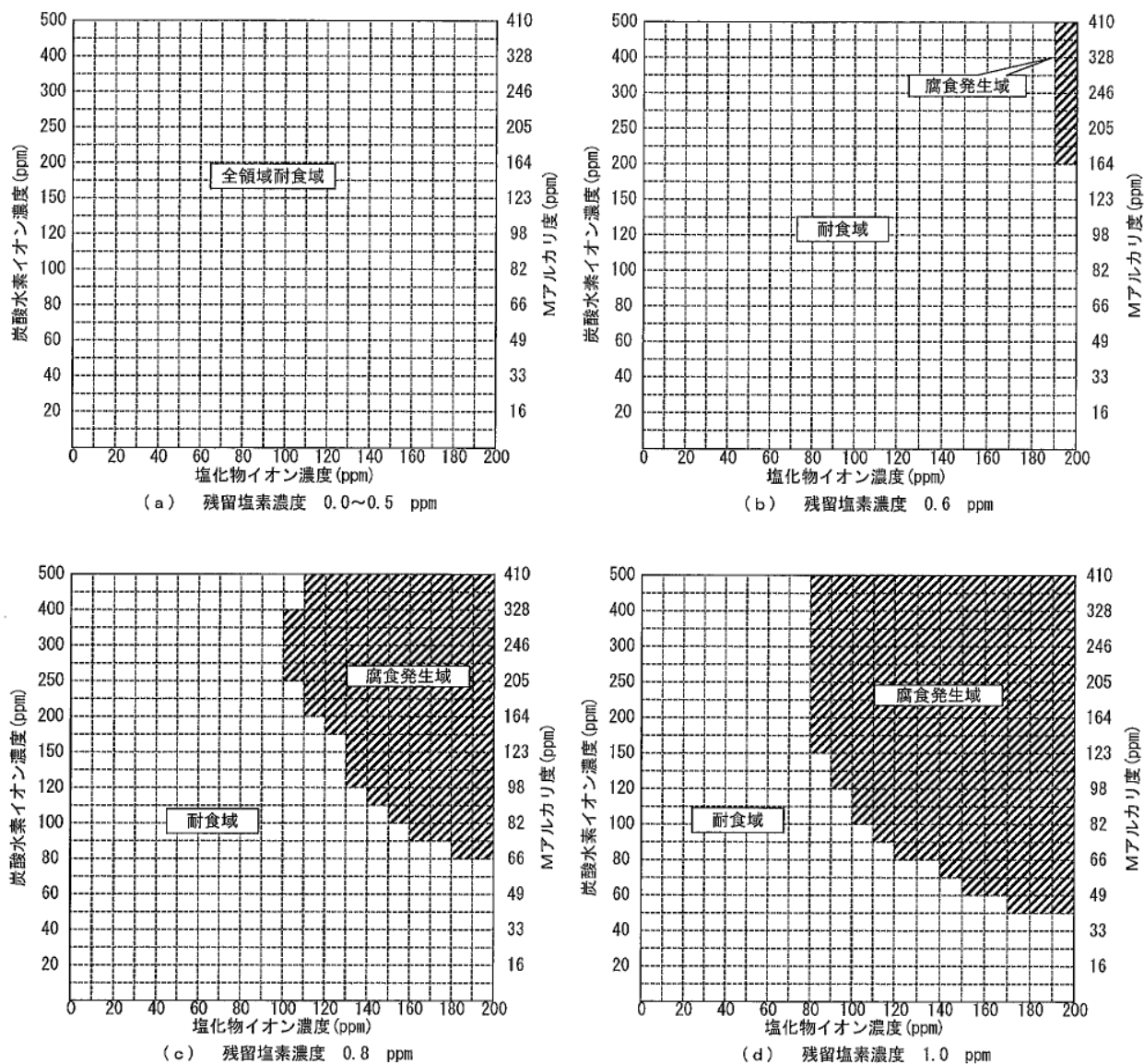
M アルカリ度 (ppm)	炭酸 水素イオン (ppm)	区分 対数	塩化物イオン濃度 (ppm)																			
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
25	30	1.48	0.54	0.45	0.39	0.36	0.34	0.33	0.31	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22
33	40	1.60	0.53	0.43	0.37	0.35	0.33	0.32	0.30	0.28	0.27	0.27	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21
41	50	1.70	0.50	0.41	0.36	0.33	0.32	0.31	0.29	0.27	0.26	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21
49	60	1.78	0.49	0.40	0.35	0.32	0.31	0.31	0.29	0.27	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20
57	70	1.85	0.48	0.38	0.33	0.31	0.30	0.30	0.28	0.26	0.25	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20
66	80	1.90	0.48	0.37	0.32	0.31	0.30	0.30	0.28	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.19
74	90	1.95	0.47	0.36	0.32	0.30	0.29	0.29	0.27	0.25	0.24	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19
82	100	2.00	0.47	0.36	0.31	0.30	0.29	0.29	0.27	0.25	0.24	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19
98	120	2.08	0.46	0.34	0.30	0.29	0.28	0.28	0.26	0.24	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19
123	150	2.18	0.47	0.32	0.29	0.27	0.27	0.27	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22	0.21	0.21	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19
164	200	2.30	0.48	0.32	0.28	0.27	0.26	0.27	0.25	0.23	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18
205	250	2.40	0.49	0.31	0.28	0.26	0.26	0.26	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18
246	300	2.48	0.50	0.32	0.28	0.26	0.26	0.26	0.24	0.22	0.21	0.21	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17
328	400	2.60	0.52	0.32	0.28	0.26	0.25	0.25	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17
410	500	2.70	0.56	0.35	0.30	0.28	0.26	0.26	0.24	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17
492	600	2.78	0.65	0.37	0.32	0.29	0.27	0.27	0.25	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17
574	700	2.85	0.80	0.42	0.35	0.31	0.29	0.28	0.26	0.24	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17

(1) 温度 20℃における、各種残留塩素濃度での SUS304TPD 溶接 A の腐食発生限界水質を資料図 3-6 に示す。



資料図 3-6 温度 20℃における SUS304TPD 溶接 A の腐食限界
残留塩素濃度が高くなるに従い、耐食領域が著しく狭くなること、明らかである。

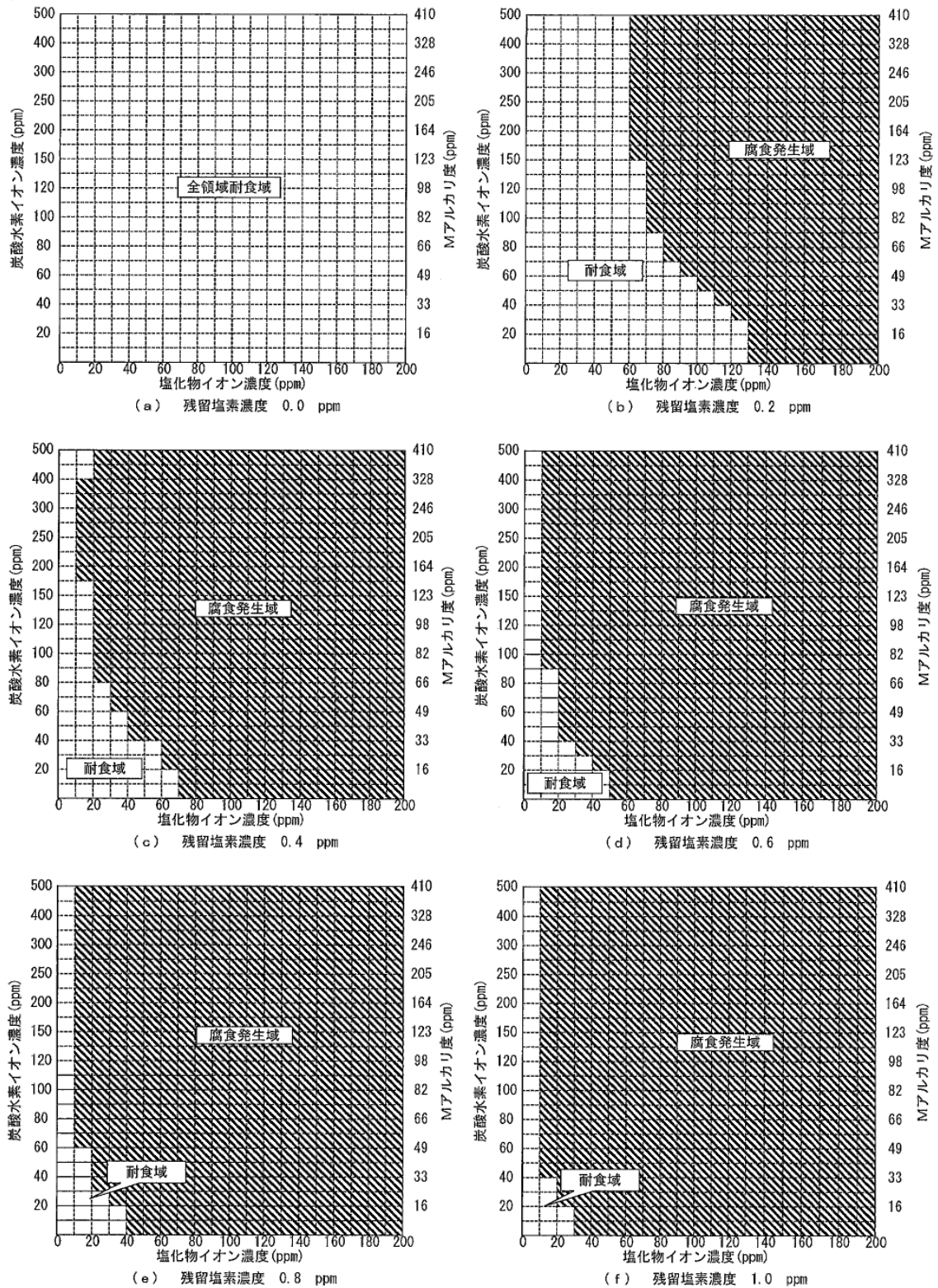
(2) 温度 20°Cにおける各種残留塩素濃度での SUS316TPD 溶接 A の腐食発生限界水質を資料図 3-7 に示す。



資料図 3-7 温度 20°Cにおける SUS316TPD 溶接 A の腐食限界

SUS316TPD は SUS304TPD に比較して耐食性に優れるため、耐食領域は明らかに広がっている。水質判定結果 SUS304TPD の耐食性に不安がある場合は、SUS316TPD の使用を推奨する。

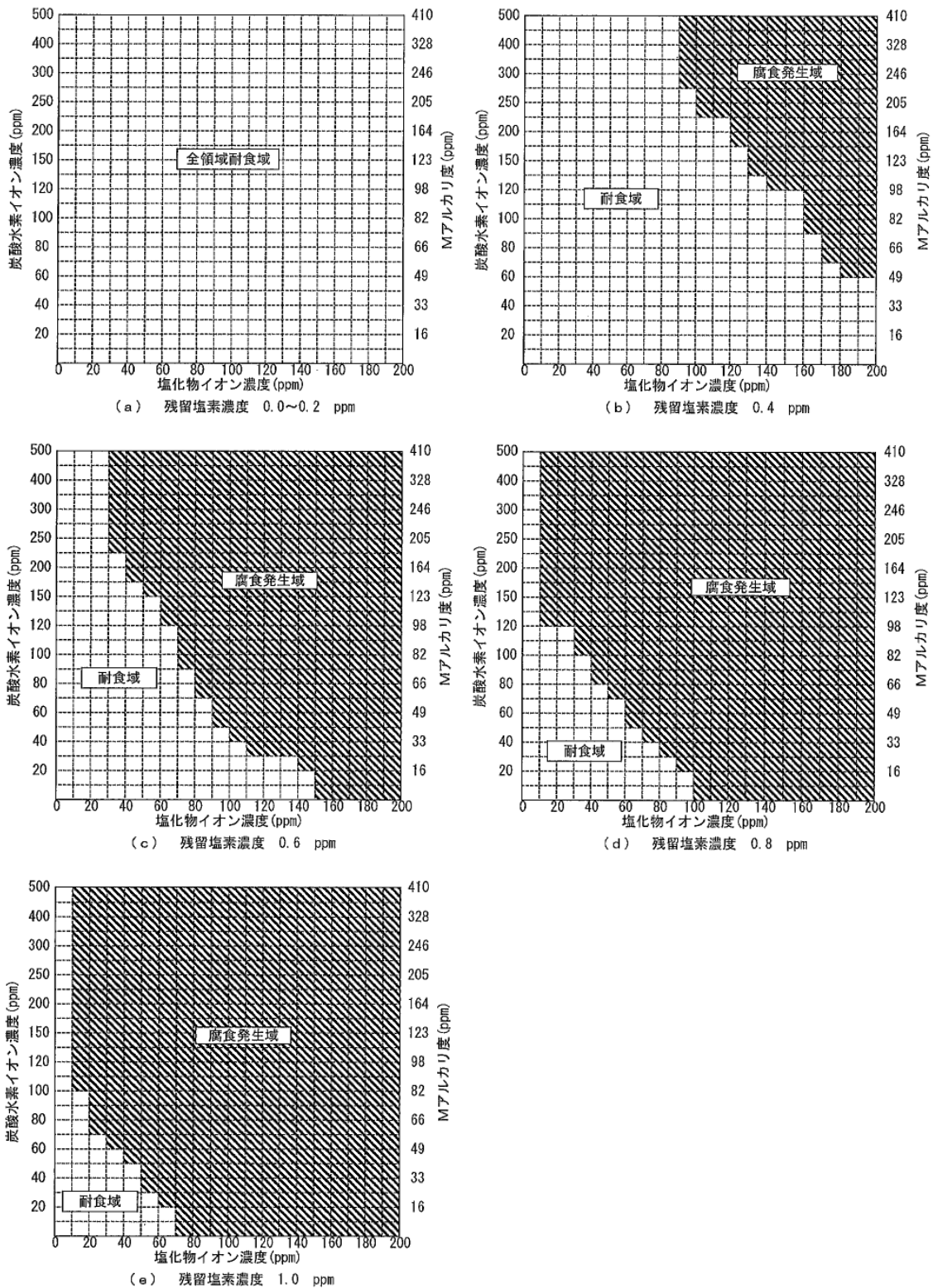
(3) 温度 60°Cにおける各種残留塩素濃度での SUS304TPD 溶接 A の腐食発生限界水質を資料図 3-8 に示す。



資料図 3-8 温度 60°Cにおける SUS304TPD 溶接 A の腐食限界

温度 20°Cの場合に比較すると、耐食域は著しく狭くなり、配管中の流水の残留塩素濃度が 0.6ppm 以上ではほとんど適用できなくなる。

(4) 温度 60°Cにおける各種残留塩素濃度での SUS316TPD 溶接部の腐食発生限界水質を資料図 3-9 に示す。



資料図 3-9 温度 60°Cにおける SUS316TPD 溶接 A の腐食限界

SUS316TPD は SUS304TPD より耐食性に優れた鋼であるが、配管中の流水の残留塩素濃度が 1.0ppm では、耐食域が著しく狭く、適用には細心の注意が必要となる。

資料表 3-1 より、溶接部が対象で、塩化物イオンと M アルカリ度の水質データの記載がある案件のみ抽出した結果を資料表 3-2 に示す。

但し、同一地区で給水栓水質が同一で、且つ同一用途の案件については、重複案件を削除した。

資料表 3-2 実績調査事例 1 の溶接部漏水事故なしの案件の水質

通し番号	物件 No.	建築用途区分	配管用途区分	対象部分	水質データ区分	水質データ			経過年数	トラブルの有無
						塩化物イオン (mg/L)	残留塩素 (mg/L)	M アルカリ度 (mg/L)		
1	15	***ビルディング	給水	溶接	給水栓水質データ	41.5	1.6 ^{注2}	36.0	30	無
2	19	***博物館	給水	溶接		40.5	1.3 ^{注2}	47.0	27	無
3	20	***新館	給水	溶接		41.5	1.6 ^{注2}	51.5	26	無
4	24	***病院	給水	溶接		15.8	0.7 ^{注2}	89.0	31	無
5	25	***ビル	給水	溶接		41.4	1.4 ^{注2}	50.0	25	無
6	30	***東京本社	給水	溶接		45.7	0.7 ^{注2}	34.6	25	無
7	37	***マンション	給水	溶接		47.9	1.3 ^{注2}	32.9	20	無
8	47	***ビル	給水	溶接		41.5	1.2 ^{注2}	49.5	17	無
9	22	***ビル	給湯	溶接		41.5	1.2 ^{注2}	49.5	26	無
10	24	***病院	給湯	溶接		15.8	0.7 ^{注2}	89.0	31	無
11	29	***寮	給湯	溶接		23.0	1.2 ^{注2}	55.0	20	無
12	30	***東京本社	給湯	溶接		45.7	0.7 ^{注2}	34.6	25	無
13	52	**図書館	冷温水 ^{注3}	溶接	分析値	24.0	0.05以下	52.0	14	無

給水、給湯用途の水質データは、いずれも水道局の給水栓水質データのため、残留塩素濃度が 1.0ppm 超えの案件が多いが、塩化物イオンおよび M アルカリ度について、著しく高い数値は認められない。

冷温水配管から採水した水質分析値では残留塩素濃度が 0.05ppm 以下と著しく低い値である。

4. 2 実績調査事例2

現行の水質指針¹⁾に記載の調査事例一覧表を資料表3-3-1および資料表3-3-2に示す。

資料表3-3-1 実績調査事例2；腐食事例のあった案件と水の分析値

分析項目	1 沖繩 上水	2 沖繩 上水	3 沖繩 上井	4 静岡 地水	5 墨田 井水	6 浦安 上水	7 徳島 井水	8 四国 井水	9 n=2 井水	10 京都	11 東京 中水	12 石川 地水	13 三重 地水	14 沖繩 井水	15 東京 中水	16 熊本 井水	17 新潟 井水	18 筑波 上水	19 浦安 2
pH	7.8	7.9	7.8	7.1	7.9	7.3	8.2	8.0	6.9	7.7	7.2			7.8	7	7.0	6.9	7.4	7.2
電気伝導率 ($\mu S/cm$)	778	578	428	606	909	250	338	355	580	375		290	120	574	620	536	150	364	309
Mアルカリ度 (mg/l)	138	132	470	39	98	29	125	139	450	53				122	110	79		53	42
カルシウム (mg/l)			44.6		7.6	21	13.9	14.4	65										21.8
マグネシウム (mg/l)			5.9		3.4	6.8	8.6	9.5	10										6.0
全硬度 (mg/l)	188	170	144	86	33	70	70	85	150			62	42	203	110	259	53	79	79
重炭酸イオン (mg/l)			39		117	5.6	153	170	150									48	89
遊離炭酸* (mg/l)	4.23	3.22	14.4	33.9 6.0		42 2.8	< 1 1.5	2.7	110	11 2.0				3.7	< 1 21.3	15.3		4.2 4.1	3.5 5.2
塩素イオン (mg/l)	131	55.4	43.1	165	212	19	28.3	28	60	61	88	41	8	78	330	61	50.7	64	38
硫酸イオン (mg/l)	26	18	17	22	40	19	6	11	20			19	5	33	200	68	2.88	39.9	32.1
全シリカ (mg/l)			14	18	33	5	8	22	70	2									1.7
蒸発残渣物 (mg/l)				363															229
溶存酸素 (mg/l)			7.6			8.6	1.5	6.5	8.0										
Cl^-/SO_4^-	5.04	3.13	2.58	7.43	5.3	1.0	4.77	2.55	3.0			2.16	1.6	2.36	1.65	0.9	17.6	1.6	1.18
用途	給水	給湯	給湯	給湯	給湯	給湯						給湯	給湯	給湯		給湯	給湯	給湯	
事例				孔割	孔割	孔割				孔	孔	孔割	孔割	孔割	孔	孔	孔割	孔	
継手区分	溶接	溶接 ・効	溶接	溶接 ・効	溶接 ・効	溶接 ・効	溶接	溶接	溶接	溶接	溶接	溶接 ・効	溶接 ・効	メカ 継手	溶接	溶接	溶接 ・効	溶接	溶接 ・効

資料表3-3-2 実績調査事例2；腐食事例のない案件と水の分析値

分析項目	1 川崎 上水	2 東京 上水	3 東京 上水	4 沖繩	5 沖繩	6 岐阜	7 蔵王	8 沖繩	9 大阪	10 大阪	11 神戸	12 札幌	13 沖繩	14 沖繩	15 東京 上水	16 東京 上水	17 北道 井水	18 札幌 上水	19 黒石	20 高松	21 高松	22 徳島 上水	23 四国 上水	24 横浜 上水	
pH	7.0	7.5	7.4	8.1	7.8	6.6	6.9	7.9	6.9	7.1	7.1	6.7	7.9	7.9	7.7	7.1	7.1	7.2	7.4	7.3	7.3	7.4	7.3	7.3	7.6
電気伝導率 ($\mu S/cm$)	174	314	271	269	138	127	110	320	167	221	170	123	219	538	264	305	253	142	317	179	162	125	140	130	
Mアルカリ度 (mg/l)	46	43	35	119	38	38	36	126	24	36	27	18	26	154	37	44	43	20	20	38	21	24	33	38	
カルシウム (mg/l)	16	24	21.2		17.1	10.5		12.8	14.6	14.5	8.2	8.8	65.4	22.6	26.1	20.9	9.7	5.5	18.6	9.3	11.2	12.0			
マグネシウム (mg/l)	4.6	5.8	5.4		2.9	3.0		3.1	3.8	3.1	3.3	5.3	8.1	6.6	7.2	7.2	5.6	2.1	3.5	2.2	3.2	4.9			
全硬度 (mg/l)	59	84	75	29	17	54	38	16	45	52	49	34	44	196	80	93	82	47	22	60	32	41	51	55	
重炭酸イオン (mg/l)	94	84	70	145	45	68	69	156	41	66	54	26	52	315	74	94	92	39	47	81	45	30	40	51	
遊離炭酸* (mg/l)	2.2 2.2	2.4 2.6	2.4 2.7	2.1 1.8	1.3 1.2	2.4 18.5	1.7 8.8	3.5 3.1	2.0 5.9	1.8 5.5	2.0 3.7	1.7 7.0	2.2 0.6	2.2 3.8	2.2 1.4	2.2 6.8	3.0 6.6	2.6 2.4	1.7 1.5	2.1 3.7	1.0 2.0	1.3 1.9	3.2	1.9	
塩素イオン (mg/l)	12	36	30	21.6	15.8	3	8	21.9	21	25	16	17	40	46	27	30	20	21	11	15	7	9.9	7	8.6	
硫酸イオン (mg/l)	17	39	36.4	20.6	12.2	21.1	3	21.5	25	28.5	23.8	14.5	14.9	33.8	34.1	38.6	37.4	12.7	6.6	22	11	7	17	< 1	
全シリカ (mg/l)	<1	<1	<1	20	15	<1	<1	10	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	5	8	26	
蒸発残渣物 (mg/l)	105	192	181	300	174	137	128	354	105	192	181	107	150	330	190	230	180	110	100	104	75				
溶存酸素 (mg/l)	7.6	8.1				9.1			10.8	9.8	9.7	11.1	8.3	7.1	8.1	9.2	10.4	12.2	10.1	9.4	8.8	2.5	8.5	10.7	
Cl^-/SO_4^-	0.70	0.92	0.82	1.05	1.3	0.14	2.67	1.02	0.84	0.88	0.67	1.17	2.68	1.38	0.79	0.78	0.53	1.65	1.68	0.68	0.64	1.41	0.41	>10	
用途																									
事例	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	
継手区分	溶接	溶接	溶接	メカ	メカ	メカ	メカ	メカ	溶接	溶接	溶接	溶接	溶接	溶接	溶接	溶接	溶接	溶接	溶接	溶接	溶接	溶接	溶接	溶接	

実績調査事例2の内、用途が明記され、溶接部の腐食で且つ塩化物イオン濃度およびMアルカリ度が記載されている案件のみ抽出した結果を資料表3-4に示した。

表中の供給水区分の欄で「井水」は井戸水、「上井」は上水と井水の混合水、「上地」は上水と地下水の混合水を示している。

なお、本調査事例は原則として平成5年以前に竣工した案件であり、溶接品質および残留塩素濃度に関する記載はない。

資料表3-4 実績調査事例2の内用途が明確で水質分析値記載の案件一覧表

事故区分	通し番号	案件No.	供給水区分	用途	漏水部分	水質			
						pH	塩素イオン mg/l	Mアルカリ度 mg/l	炭酸水素イオン(計算値) mg/l
漏水事故発生	1	1	沖縄上水	給水	溶接	7.8	131	138	168
	2	2	沖縄上水	給湯	溶接・効	7.9	56	132	161
	3	3	沖縄上井	給湯	溶接	7.8	43	470	573
	4	4	静岡上地	給湯	溶接・効	7.1	165	39	48
	5	5	墨田井水	給湯	溶接・効	7.9	212	96	117
	6	16	熊本井水	給湯	溶接	7.0	61	79	96
	7	18	筑波上水	給湯	溶接	7.4	64	53	65
	8	19	浦安上水	給湯	溶接・効	7.2	38	42	51
漏水事故なし	1	1	川崎上水	給湯	溶接	7.6	12	46	56
	2	2	東京上水	給湯	溶接	7.5	36	43	52
	3	3	東京上水	給湯	溶接	7.4	30	35	43
	4	9	大阪	給湯	溶接	6.9	21	24	29
	5	10	大阪	給湯	溶接	7.1	25	36	44
	6	11	神戸	給湯	溶接	7.1	16	27	33
	7	12	札幌	給湯	溶接	6.7	17	18	22
	8	13	沖縄	給湯	溶接	7.9	40	26	32
	9	14	沖縄	給湯	溶接	7.9	46	154	188
	10	15	東京上水	給湯	溶接	7.7	27	37	45
	11	16	東京上水	給湯	溶接	7.1	30	44	54
	12	17	北海道上水	給湯	溶接	7.1	20	43	52
	13	18	札幌上水	給湯	溶接	7.2	21	20	24
	14	19	黒石	給湯	溶接	7.4	11	20	24
	15	20	高松	給湯	溶接	7.3	15	38	46
	16	21	高松	給湯	溶接	7.3	7	21	26
	17	22	徳島上水	給湯	溶接	7.4	10	24	29
	18	23	四国上水	給湯	溶接	7.3	7	33	40
	19	24	横浜上水	給湯	溶接	7.6	9	38	46

ここで、資料表3-3-1の案件No.6およびNo.19は、2件共に浦安上水で、同一物件で水質分析サンプル採取時期が異なるだけであったため、塩素イオンおよびMアルカリ度共に高いNo.19のデータを残し、No.6は削除した。

参考までに、水質分析サンプル採取当時の平成6年度からMアルカリ度のデータ記載があった平成16年度までの浄水の水質データにつき、日本水道協会・水質統計-水質編から引用した結果を資料表3-5に示す。

No.19の塩化物イオン濃度は水質統計の平均値よりは若干高い値である。Mアルカリ度は水サンプル採取当時(平成8年頃)とは時期が異なる平成16年のデータとの比較であるが、平均値よりは若干低い値である。

資料表 3-5 浦安市対象案件の水質の推移（日本水道協会・水道統計水質編より引用）

水質項目	区分	平成6年	平成7年	平成8年	平成9年	平成10年	平成11年	平成12年	平成13年	平成14年	平成15年	平成16年
		浄水	浄水	浄水	浄水	浄水	浄水	浄水	浄水	浄水	浄水	浄水(給水 栓水等)
塩化物イオン	最高	48.5	57.6	56.6	45.5	45.6	47.3	39.9	41.4	40.6	42.8	40.3
	最低	17.0	16.5	19.7	15.7	18.5	17.1	17.8	18.6	19.3	13.5	20.6
	平均	29.9	34.0	34.9	31.0	27.9	31.6	29.1	29.7	30.5	27.9	29.8
	測定回数	48	49	50	50	50	51	49	50	49	49	12
残留塩素	最高	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3	1.1	0.9	1.1	1.1
	最低	0.8	0.8	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	0.6	0.6	0.5	0.6
	平均	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.0	1.1	0.8	0.7	0.8	0.8
	測定回数	12	12	90	12	12	12	12	12	12	12	12
アルカリ度	最高	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	61.7
	最低	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	26.7
	平均	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	45.3
	測定回数	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	243

資料表 3-4 において、給水配管で漏水事故例が 1 件認められ、塩化物イオンおよび M アルカリ度共に 100ppm を越えている。その他の漏水事故発生案件はいずれも給湯配管である。

給湯配管の漏水事故例で、塩化物イオン濃度が 200ppm を超えた案件や原水が井戸水の上水では M アルカリ度が著しく高い案件が認められ、また、塩化物イオン濃度や M アルカリ度がそれほど高く無いにもかかわらず、漏水事故が発生した案件が認められる。

漏水事故の無い案件は、塩化物イオンが 50ppm 以下である。

資料表 3-6-2 給湯用漏水事故事例収集結果一覧表-その2

通し番号	区分	案件No	用途	施工後	状況		水質 (ppm)				腐食要因分析	
					漏水箇所		塩化物付	残留塩素	M7pH	硫酸付	材料 (溶接肌レベル)	環境
74	外面から腐食・SCC 漏水箇所素管部 (非溶接部) その2	36	給湯用途	約4年	外面/素管部	孔食SCC/塩ビシート発泡材/EPDM被覆/土壌埋設	—	—	—	—	素管	被覆土壌埋設/塩素濃化
75		60	給湯用途	4年	外面/素管部	孔食	—	—	—	—	素管	土壌埋設
76		61	給湯用途	14年	外面/素管部	隙間腐食+SCC	—	—	—	—	素管	土壌埋設
77		62	給湯用途	15ヶ月	外面/素管部	孔食	—	—	—	—	素管	土壌埋設
78		E	給湯配管	2年	外面/素管部	埋設配管。母材部割れ(SCC)	—	—	—	—	素管	土壌埋設
79		F	浴室の給湯配管	7年	外面/素管部	SCC/コンクリート埋設配管	—	—	—	—	素管	コンクリート埋設
80		52	給湯用途	約8年	外面/素管部	隙間腐食+SCC/吊りパイプ	—	—	—	—	素管・吊りパイプ	不明
81		9	給湯用途	約1年	外面/素管部	SCC	—	—	—	—	素管	不明
82		27	給湯用途	2年	外面/素管部	SCC	—	—	—	—	素管	不明

注6) 案件No. 20については、溶接継手とメカニカル継手両方に腐食漏水が発生したものであるため、同一案件No. であるが、2件として扱い、分類を区分した。

資料表 3-6-3 給湯以外の各種用途の漏水事故事例収集結果一覧表

通し番号	区分	案件No	用途	施工後	状況		水質 (ppm)				腐食要因分析		
					漏水箇所		塩化物付	残留塩素	M7pH	硫酸付	材料 (溶接肌レベル)	環境	
B1	内面から腐食 漏水箇所溶接部	C	お風呂用温水タンク	1年	溶接部	製缶業者溶接加工。パワージェット無し。溶接不良。	16.4	0.76	—	—	C	上水・お風呂用	
B2		M-6	浴場給湯タンク	1年	溶接部	溶接ビード部。スケールのかたまり裏波なし。お風呂。	22	<0.05	—	—	溶接不良D	上水(お風呂用0.06~0.16)	
B3		M-30	消火配管(運送管?)	5年	溶接部	溶接ビードと熱影響部に腐食。現場溶接と推測。	*48	*1.2	9	30	写真では不明確	上水・やや不良	
B4		M-29	冷温水	5年	溶接部	工場溶接と現場溶接が混在。溶け込み不足。隙間腐食と孔食。Max. 70°C。冷温水水質。上水。	20	—	55	4.4	溶接不良D	空調熱温水	
B5		M-26	揚水管	不明	溶接部	井水を次亜塩素酸殺菌した直後の部分。孔食。屋上二次水槽の水質分析結果	9.9	—	76	11	写真では不明確	井水	
B6		M-28	水道用導水管	1年8ヶ月	溶接部	井水原水の導水管。溶接熱影響部の孔食とビード部の孔食	79	—	34	8.3	不明(写真無し)	井水	
B7		M-13	水道用導水管	2年	溶接部	水道の原水。現場溶接の100%で、工場溶接の75%で発錆	17.5	—	—	4.58	写真では不明確	原水	
B8		M-14	空調冷却水	8ヶ月	溶接部	補給水、河川水。海岸に近い。溶接ビード部で腐食	8,000	—	45	36	写真ではA	河川水	
B9		M-27	浄水場オゾン量計測配管	3年	溶接部	現場溶接と工場溶接混在。溶け込み不良による隙間腐食。	17	検出せず	41	39	溶接不良D	河川水(お風呂用測定値無し)	
B10		M-18	下水処理場消泡配管	不明	溶接部	現場溶接。再生処理水。溶け込み不良による隙間腐食	120	—	—	92	D	中水	
B11		M-25	下水処理場ろ過送水管	1年	溶接部	下水処理水。熱影響部の鋭敏化。	13,000	—	—	—	溶接不良	中水	
B12		M-8	工業用水ろ過タンク	3年	溶接部	工業用水。タンク支持形鋼との溶接部	—	—	—	—	不明	中水	
B13		M-4	雑用水(再生処理水)	3年	溶接部	中水(再生処理)。酸化スケール薄。腐食はビード部に発生。	110	1.8	96	37	A	中水・不良	
B14		M-7	雑用水(再生処理水)	3年	溶接部	フレキシ溶接部。中水(再生処理)。溶接酸化スケールは非常に強い。孔食、軽度の粒界腐食	150	2.0以上	120	52	B	中水・不良	
B15		J	中水系統(トイレ洗浄水)	5年	溶接部	中水(下水処理水)。エルボ溶接部の腐食。(SUS316)	39,190	5.84	—	—	溶接A	中水、不良	
B16		M-3	中水配管(トイレ洗浄水)	8ヶ月	不明	中水(雑用水及び風呂水の再生処理水)	110	2.88	94	49	写真では不明確	中水・不良	
B17		M-9	プール循環水	10ヶ月	溶接部	直管溶接部。溶接熱影響部、溶接ビード部で腐食。酸化スケール強い。上水。	160	—	—	39	B	プール循環水	
B18		M-31	プール循環水	10年	溶接部	熱影響部の付着物との隙間腐食と考えられる。	*42?	1.0	—	—	B	プール循環水	
B19		M-12	酸・アルカリ処理廃液排水	8年	溶接部	溶接ビード。SUS316-Sch20。Max80°C裏波ビード不良、酸化スケール強。隙間腐食	4,800	—	—	1,800	溶接不良D	廃液	
B20		M-22	不明	不明	溶接部	状況不明	—	—	—	—	写真では不明確	不明	
B21		M-23	不明	不明	溶接部	溶接ビードの孔食。溶接熱影響部のSCC	—	—	—	—	写真では不明確	不明	
B22		内面の腐食 漏水箇所非溶接部	K	お風呂用配管	4年	非溶接部	お風呂用配管(年1回流水試験時のみ流水)	—	—	—	—	素管	塩素濃化
B23			G	埋設給水管	不明	非溶接部	埋設配管。防食テープ巻き隙間腐食	—	—	—	—	素管	土壌埋設
B24	外面の腐食	M-11	水道本管埋設	12年	溶接部外面	SUS304TPA。埋設試験。外面からの孔食	—	—	—	—	—	土壌埋設	
B25		D	受水槽内パイプ配管	2年	非溶接部外面	外面全面に孔食発生	—	—	—	—	素管	塩素濃化	
B26	腐食以外	M	排水	1年	不明	洗浄水排水、15°C~100°C。破断面にマイクロクラックあり。	—	—	—	—	マイクロクラックの付根	熱疲労破壊	
B27		M-10	加工後の耐圧試験	—	溶接部	エルボ溶接部。Cuの低融点金属浸透割れ	—	—	—	—	A	低融点金属浸透割れ	

注7) M20はIに同じ、M-21は上記Jに同じ、M19はHに同じ為、削除。

実績調査事例3で、内面の溶接部からの腐食で、且つ塩化物イオンおよびMアルカリ度が記載されている案件を抽出した結果を資料表3-6-4に示す。

資料表 3-6-4 実績調査事例 3 の内面溶接部の腐食で水質分析値が記載された事例

	通し 番号	案件 No	建築物 区分	供給水 区分	用途	漏水箇所	水質 (ppm)				溶接肌 写真判定
							塩化物 イオン	残留 塩素	M アルカリ度	炭酸水素イ オン(計算)	
漏水事 故発生	1	M-17	ホテル	井水	給湯	溶接部	21	—	110	134	A
	2	M-2	ホテルを含 む複合ビル	井水	給湯	溶接部	22.5	0.2	55.2	67	A
	3	M-5	ホテル	上水	給湯	溶接部	*62	*1.4	44	54	B
	4	M-15	病院	上水	給湯	溶接部	*29	*1.2	54	66	B
	5	20	ホテル	上水	給湯	溶接部	*57	*1.3	61.7	75	—
	6	21	ホテル	上水	給湯	溶接部	*42.8	*1.1	61.7	75	—
	7	M-4	ホテルを含 む複合ビル	中水	雑用水(再生 処理水)	溶接部	110	1.8	96	117	A
	8	M-7	ホテル	中水	雑用水(再生 処理水)	溶接部	150	2.0 以上	120	146	B
	9	M-3	ホテルを含 む複合ビル	中水	Mレ洗浄水	不明	110	2.88	94	115	—

但し、資料表 3-6-3 の案件 No.M-27、M-29 および M-30 は、現場溶接および溶込み不足と記載されており溶接不良のため、除外した。案件 No.M-14 は“空調冷却水”用途であるが、補給水の採取が海岸に近い河川水で、塩化物イオンの分析値が 8,000ppm と著しく高いことから、除外した。

案件 No.26 は揚水管で、井水を次亜塩素酸殺菌した直後の部分と記載されており、残留塩素濃度が著しく高いことが考えられるが、最も重要な残留塩素の分析値が記載されていないため、対象から除外した。また、案件 No.M-28 は水道用導水管で、井水原水の導水管と記載されていることから、滅菌処理前の状況と考えられ、建築設備用途とは異なるため、対象から除外した。

なお、案件 No.M-3 は、漏水箇所が不明と記載されているが、中水の残留塩素濃度が著しく高く、注意喚起の事例となることから、表に含めた。

資料表 3-6-4 の溶接部腐食漏水事故事例の、雑用水用途での事故例は、塩化物イオンおよびMアルカリ度も高いが、残留塩素濃度が 1.8ppm~2.88ppm と著しく高く、自然電位が貴であることが考えられ、注意を要する。

給湯配管用途での事故例は、建築用途からみるとホテルと病院である。報告書の写真から判定した溶接Aの案件で、残留塩素濃度、塩化物イオンおよびMアルカリ度の数値がそれほど高くないにもかかわらず漏水事故が発生している。

5. 実環境に適用可能な腐食発生限界水質の簡便図の策定

建築設備ステンレス配管の腐食発生の可能性については、配管内の水質の最悪値が判明すれば自然電位(資料表 1-4 または資料図 1) と腐食発生電位(資料表 2-6 ~ 資料表 2-9) の関係からほぼ推定することが可能と判断されるが、設計時点でステンレス配管の鋼種選定やステンレス配管の採用可否判断をするためには、実環境の自然電位や腐食発生電位を推定し、ステンレス配管の腐食の可能性を判定する簡便図が必要と考えられる。

このため、実環境を推測し、腐食発生限界水質の簡便図を策定する。

5. 1 実績調査結果を基にした実環境の推定

資料表 3-1 の実績調査事例 1 より、配管内の残留塩素の実測値が記載されている案件のみ抽出した結果を資料表 4-1 に示す。

なお、表中に付記した記号は、資料表 3-1 と同一である。

資料表 4-1 実績調査事例 1 で配管内の水質分析実測値が記載されている案件の一覧表

案件 No.	物件	使用水	配管内の水をサブリングし分析した実測値							経過年数	トラブルの有無	継手区分
			温度	pH	塩化物イオン	残留塩素	M7ルリ度	電気伝導度	総硬度			
			(°C)		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(μ S/cm)	(mg/L)			
2	戸建：邸	給湯 ^{注3}	60	—	24.0	0.7	64.0	263	94	27	無	口ウ接
3	****ビル	給水 ^{注3}	22	7.1	18.5	0.9	—	192	—	10	無	溶接
4		冷却水 ^{注3}	28	8.8	—	0.0	—	1666	—	10	無	溶接
5	*****ビル	給水 ^{注3}	24	7.3	18.5	0.7	—	166	58	10	無	溶接
6		給湯 ^{注3}	—	7.4	16.8	0.2	—	333	59	10	無	溶接
7	***ビル	給水 ^{注3}	28	7.4	20.0	0.9	—	227	64	10	無	溶接
8		給湯 ^{注3}	50	7.4	20.0	0.4	—	344	64	10	無	継手
9		冷温水 ^{注3}	19	8.1	17.5	0.0	—	169	67	10	無	溶接
10		雑用水 ^{注3}	30	7.6	20.0	0.2	—	400	63	10	無	溶接
11	****ビル	給水 ^{注3}	25	7.1	18.0	0.4	—	232	64	10	無	溶接
12		給湯 ^{注3}	42	7.1	20.0	0.1	—	357	65	10	無	溶接
23	***ビル	中水 ^{注3}	20	—	—	0.2	—	—	—	28	無	溶接
38	****省	冷温水 ^{注3}	—	—	—	0.05以下	—	—	—	21	無	溶接
52	**図書館	冷温水 ^{注3}	—	7.4	24.0	0.05以下	52.0	270	—	14	無	溶接

資料表 4-1 より、同一物件で、給水水質データとその他の配管系統の水質データの差異を整理した結果を資料表 4-2 に示す。

資料表 4-2 同一物件における給水系統の水質と給湯その他の系統の水質の差異

No.	水質の差異を整理した物件番号	区分	給水系統の水質と給湯及び空調系統の水質の差異					
			pH	塩化物イオン (mg/L)	残留塩素 (mg/L)	電気伝導度 (μ S/cm)	総硬度 (mg/L)	残留塩素減少率
1	No. 6-No. 5	給湯-給水	0.1	-1.7	-0.5	167	1.0	-71%
2	No. 8-No. 7		0.0	0.0	-0.5	117	0.0	-56%
3	No. 12-No. 11		0.0	2.0	-0.3	125	1.0	-75%
4	No. 4-No. 3	冷却水-給水	1.7	-	-0.9	1474	-	-100%
5	No. 9-No. 7	冷温水-給水	0.7	-2.5	-0.9	-58	3.0	-100%

給水の水が給湯や空調の補給水として適用されるとすると、給湯系統では残留塩素の減少率は約 60~70%であり、空調系統では 100%の減少率となっている。その他の要因としては電気伝導度の増加が認められ、特に No.4 の冷却水での電気伝導度の増加は顕著である。

なお、残留塩素の減少の程度を比率で評価したのは、ガラス容器内での試験結果ではあるが、残留塩素の対数は時間に対して直線的に減少し、残留塩素は濃度に比例して減少すると報告されていることによる¹⁰⁾。

また、系統毎の残留塩素実測値を整理した結果を資料表 4-3 に示す。

資料表 4 - 3 実績調査事例 1 の配管系統毎の残留塩素濃度の測定値

配管系統	物件毎の残留塩素濃度 (mg/L)				備考
	1	2	3	4	
給水	0.9	0.7	0.9	0.4	
給湯	0.2	0.4	0.1	0.7*	注* ; 戸建住宅
冷却水・冷温水	0.0	0.0	≤0.05	≤0.05	
中水	0.2	-	-	-	
雑用水	0.2	-	-	-	

給水の残留塩素濃度は、0.4ppm から 0.9ppm まで変動している。

補給水比率が低いと考えられる空調配管は、0.0ppm および 0.05ppm 以下であり、残留塩素濃度の最高値を 0.05ppm と見込めば十分と考えられる。

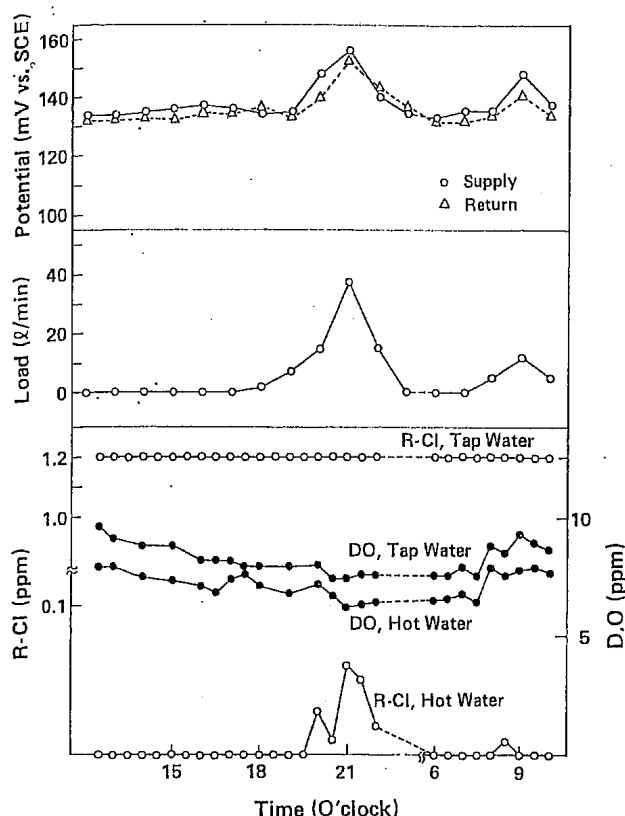
中央循環式給湯設備における給湯用途において、配管内の残留塩素濃度は 0.4ppm が最大となっている。

戸建住宅の給湯配管については、残留塩素濃度が 0.7ppm と高い。

5. 2 文献情報による実環境の推定

5. 2. 1 実環境の残留塩素量の推定

- (1) マンションにおける銅管の中央循環式給湯設備において、給湯配管の自然電位の日内変動を調査した結果、給湯量の多い午前7時から午前10時および午後6時から午後10時にかけての時間帯に、配管の電位は貴方向にシフトした。残留塩素の濃度レベルは補給水中で1.2ppmのものが、循環温水中では最高でも0.06ppmであったと報告されている。¹²⁾ そのデータを、資料図4-1に示す。



資料図4-1 マンションにおける配管電位・給湯量・溶存酸素および残留塩素の日内変動¹²⁾

- (2) 集合住宅、ホテル、オフィスビル等の中央循環式集中給湯設備の給温水中での残留塩素は、水道水が加温・循環される過程で消費され、給温水中では残留塩素はほとんど検出されず、お湯の使用量の多い時間帯だけ低濃度の残留塩素が検出される傾向が強かったと思われると報告されている。

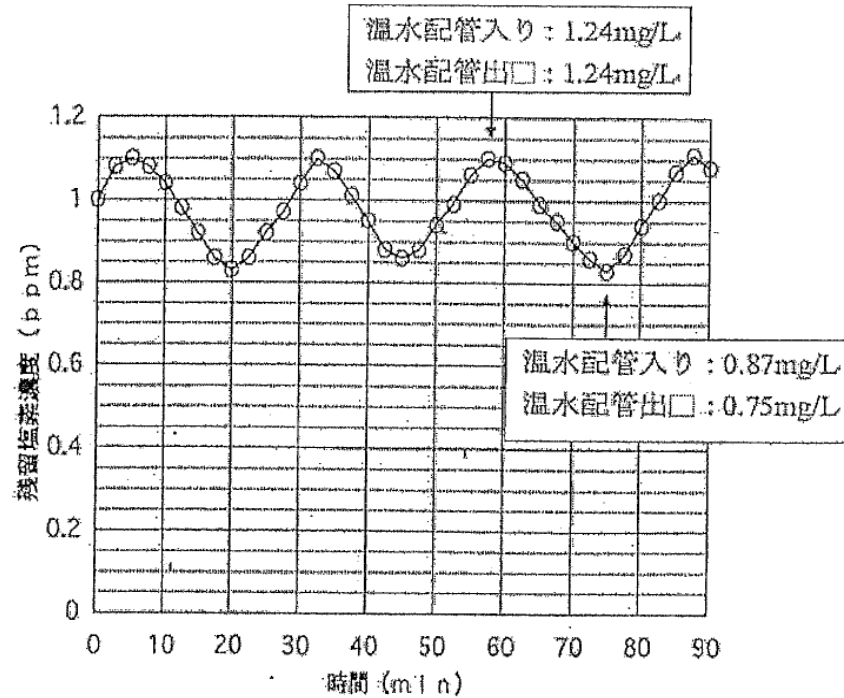
(60℃、水道温水、密閉循環系で使用量に相当する水道水が補給される)⁸⁾

- (3) 給湯水中でのオーステナイト系ステンレス鋼管の耐食性に及ぼす残留塩素の影響調査の実験条件で、試験温度80℃において残留塩素濃度を1ppmに保持するための、残留塩素の経時変化をもとめたデータが報告されており、そのデータを資料図4-2に示す。

なお、試験水は貯湯タンク底部から12分間隔で毎回2L、1日に240L排出されこれと連動して水道水補給、pH調整、残留塩素濃度調整が自動的に行なわれる、温水ループ試験機で実施

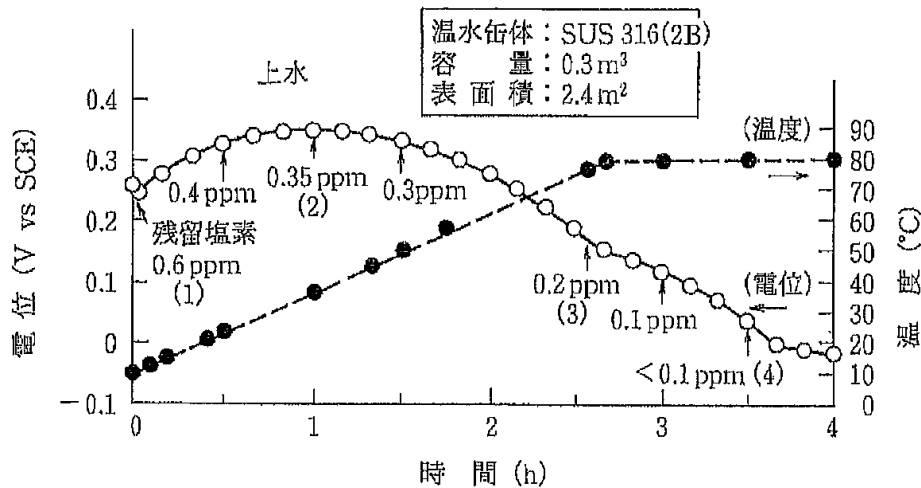
されている。

温度 80°C で流速は 0.3m/S の条件で、残留塩素濃度が約 15 分間で最高値の約 1.1ppm から最低値の約 0.85ppm まで約 23% 低下している。



資料図 4-2 実験中の残留塩素濃度の経時変化 (温度 80°C) ⁸⁾

(4) 電気温水器の環境で昇温時の残留塩素量を測定したデータを資料図 4-3 に示す。 ¹³⁾



資料図 4-3 電気温水器における昇温時および保温時の罐体電位と残留塩素量 ¹³⁾

昇温開始時に残留塩素濃度が 0.6ppm であったものが、昇温過程に減少し、温度 50°C では 0.3ppm と 50% の低下、温度 80°C の時点では約 0.2ppm と 67% 低下し、80°C で約 20 分保持されると 0.1ppm で昇温開始時の濃度と比較すると 83% 低下している。

実績調査事例1の資料表4-2の給水と給湯の残留塩素濃度に差異が生じる現象は、定性的には資料図4-1、資料図4-2及び資料図4-3の研究データで良く説明できる。

5. 2. 2 実環境における自然電位の推定

自然電位に対して、実使用環境では、水或いは湯の使用量が多い時間帯に、補給水に含まれる残留塩素が強く影響することが判った。

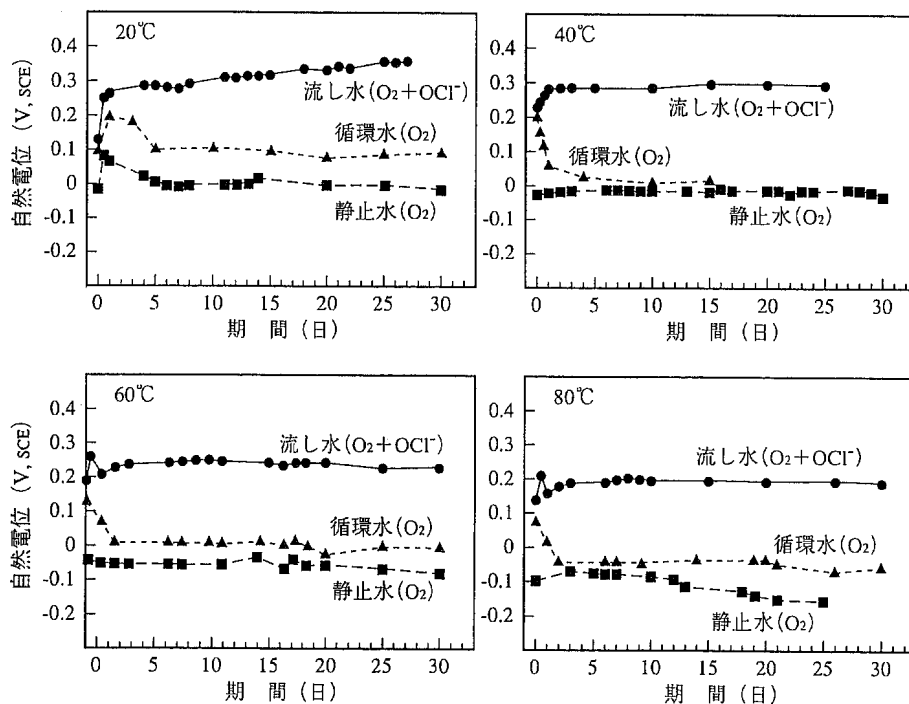
自然電位はカソードにおける還元反応によるため、酸化剤の量（主に残留塩素）の他に反応速度が関係すると考えられる。

マンションでの調査結果では補給水の量が増大する時間は、約3時間から4時間であったが、ホテルや病院などでも補給水の量が最大に近い時間は同様と推察される為、この間に反応がどの程度進行し、自然電位がどの程度上昇するのか知る必要がある。

自然電位の経時変化につき、長時間にわたって測定された結果を資料図4-4および資料図4-5に示す。

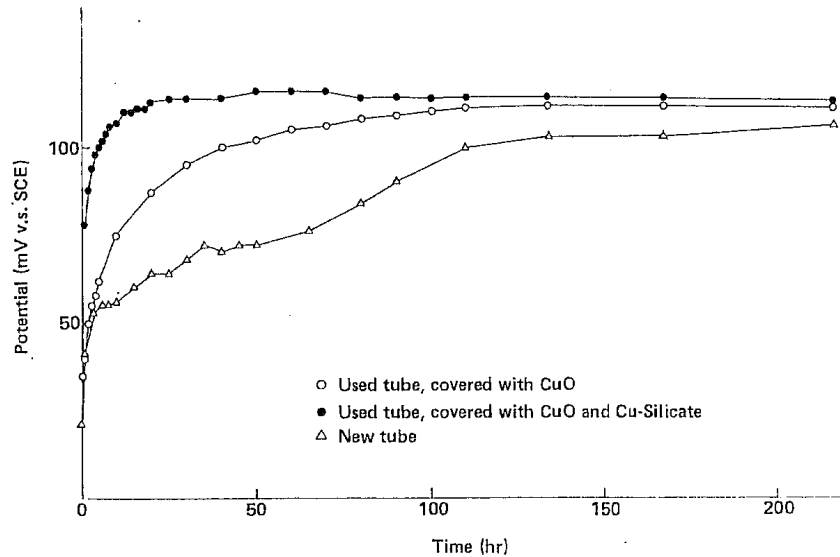
資料図4-4の試験条件は、残留塩素濃度0.3ppmの水道事業体から供給される水道水を使用し、流し水とは試験液タンク内のヒーターで加熱し、所定の温度で水道水を連続的に流した状態、循環水とはループ循環試験装置の試験液タンク内の水を循環したもの、静止水とはループ循環試験装置に水道水を充填し、水の循環は実施していない。なお、流し水および循環水の流速は1.0m/sである。⁴⁾

本研究では、いずれの温度においても、流し水に比較して循環水の自然電位は低下しており、この原因は循環水では残留塩素が減少するためと報告されている。資料表4-2の実績調査事例で、給水と冷却水及び冷温水など補給水の少ない空調用途の水との残留塩素濃度の差異は、本研究データで良く説明できる。



資料図4-4 各種温度および流動状態における SUS304 配管の自然電位の経時変化⁴⁾

資料図 4-5 の試験条件は、水道水を給水源とし 60°C の温水循環システムに、新品の銅管、使用期間約 5 年のオルトけい酸銅を主成分とする淡黄色の皮膜の下に CuO の黒色皮膜が形成された銅管および使用期間約 5 年の CuO の黒色皮膜のみ有する銅管を組み込んで試験を実施している。流速は 0.3m./S である。^{1,2)}



資料図 4-5 温度 60°C の流水における銅配管の自然電位の経時変化^{1,2)}

短時間領域の自然電位の経時変化をより明確にするため、資料図 4-4 の短時間範囲の自然電位を読み取り、整理した結果を資料表 4-4 に示す。

資料表 4-4 SUS304 の各種条件における 1 日以内短時間範囲の自然電位の変化

測定温度	流動状態	試験期間	自然電位の経時変化 (V, SCE)				流し水との電位差 (V, SCE)			流し水における長期安定自然電位に対する比率			長期安定自然電位 (V, SCE)
			測定開始点	中間点 ①	中間点 ②	1日後	測定開始点	中間点 ①	1日後	測定開始点	中間点 ①	1日後	
20°C	流し水	27日間	0.13	0.25	—	0.27	—	—	—	37%	71%	77%	0.35
	循環水	30日間	0.10	—	—	0.19	-0.03	—	-0.08	—	—	—	0.10
	静止水	30日間	-0.02	0.08	—	0.07	-0.15	-0.17	-0.20	—	—	—	0.00
40°C	流し水	25日間	0.23	0.25	0.27	0.28	—	—	—	77%	83%	93%	0.30
	循環水	15日間	0.20	0.16	0.12	0.06	-0.03	—	-0.22	—	—	—	-0.02
	静止水	30日間	-0.03	—	—	-0.02	-0.26	-0.15	-0.30	—	—	—	-0.02
60°C	流し水	30日間	0.18	0.26	—	0.22	—	—	—	72%	104%	88%	0.25
	循環水	30日間	0.13	—	—	0.07	-0.05	—	-0.15	—	—	—	0.02
	静止水	30日間	-0.04	—	—	-0.05	-0.22	—	-0.27	—	—	—	-0.05

温度が 20°C の場合、中間点①自然電位は、長期安定自然電位に対して 71% という数値であるが、温度が 60°C の場合、中間点①の数値は長時間安定自然電位の 104% という数値となっている。

短時間領域の測定点が少なく電位の挙動の詳細が明確ではないが、20°C の場合に比較し、短時間でピーク電位に達すると考えられる。

循環水の自然電位の推移から、温度が高い方が自然電位の低下が早く、温度 20°C の場合では、残留塩素の影響が認められなくなるには 4~5 日必要なようである。但し、温度 20°C の 1 日後の測定点で、流し水と循環水の自然電位の差異は 0.08V 存在することから、残留塩素は減少していると考え

えられる。

静止水の自然電位は、いずれの温度においても、流し水の自然電位に比較し、測定開始から 1 日の間で約 0.15V/SCE～0.3V/SCE 低くなっている。

従って、中央循環式システムにおいては、水または湯が循環され常時流動状態にある主配管の自然電位が最も高く、主配管から分岐された、配管の枝管部分は蛇口を開けたときのみ水または湯が流れ、多くの時間は静止状態にあるため、自然電位が低く主配管に比較し腐食の可能性はほとんどないと考えられる。

これは、資料表 4-3（元資料表 3-1）の市場調査結果において、中央循環式ではない戸建住宅の給湯配管で、残留塩素が 0.7ppm と高いにもかかわらず漏水事故が発生していないのは、ほとんどの時間において静止状態にあるため自然電位が上がらないことから、腐食が発生しなかったと考えられる。

図 4-5 で最も電位の上昇が早い約 5 年間使用後のけい酸銅の皮膜とその下に CuO の皮膜が形成された試験管の推移を読み取った結果を資料表 4-5 に示す。

資料表 4-5 銅配管の温度 60℃における流水状態の電位の経時変化

時間	測定開始点								10hr					20hr	自然電位
点番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
電位 (mV/SCE)	78	88	94	98	100	102	104	106	107	110	110	111	111	112	112
自然電位に対する比率	70%	79%	84%	88%	89%	91%	93%	95%	96%	98%	98%	99%	99%	100%	

試験材が銅管ではあるが、60℃において 3～4 時間の短時間で自然電位の約 80～90%まで上昇している。

以上の結果より、補給水の量が多い 3～4 時間の短時間における自然電位の挙動に着目すると、給水用途（20℃）では、約 70%の上昇、給湯用途（60℃）では約 90%上昇すると考えられる。

5. 3 実績調査結果および文献情報からの実環境の推定

実環境における残留塩素量について、各研究報告および実績調査事例 1 の資料表 4-2 および資料表 4-3 のデータをまとめると、実環境は概略次式で整理できると考えられる。

A ; 配管内の循環水の残留塩素濃度、B ; 補給水の残留塩素濃度、C ; 循環水の残留塩素残存率、D ; 配管系内の水の全体量に対する補給水量の比率、E ; 補給水の昇温・循環中の残留塩素残存率とおくと、

$$A = B \times \{ C \times (1 - D) + D \times E \} \dots \dots (2)$$

実環境を推定した結果から求めた、各用途における配管内残留塩素の推定値と配管の自然電位の推定値を整理した結果を資料表 4-6 に示す。

なお、前提条件として、補給水の残留塩素濃度は 1.0ppm、中央循環式給水・給湯・空調システムとし、給水・給湯が多くなる時間は約 3～4 時間程度とした。

また、各種条件は、腐食漏水事故例の多いホテルや病院を想定して設定した。

給水用途は、補給水の量が少ない時間帯の循環水の残留塩素残存率は、85%と仮定し、使用量の多い時間帯の補給水比率を60%、補給水の残留塩素残存率を95%、自然電位の短時間応答率は70%とした。

給湯用途は、使用量の少ない時間帯の残留塩素量は、研究データではほとんど0%であるが10%と仮定し、補給水比率を60%、補給水の残留塩素残存率は60%、自然電位の短時間応答率は90%とした。

また、空調用途は、実績調査事例では0%であったが、安全のため2%とし、補給水の比率は5%、3～4時間の短時間における補給水の残留塩素残存率を60%、自然電位の短時間応答率を90%とした。

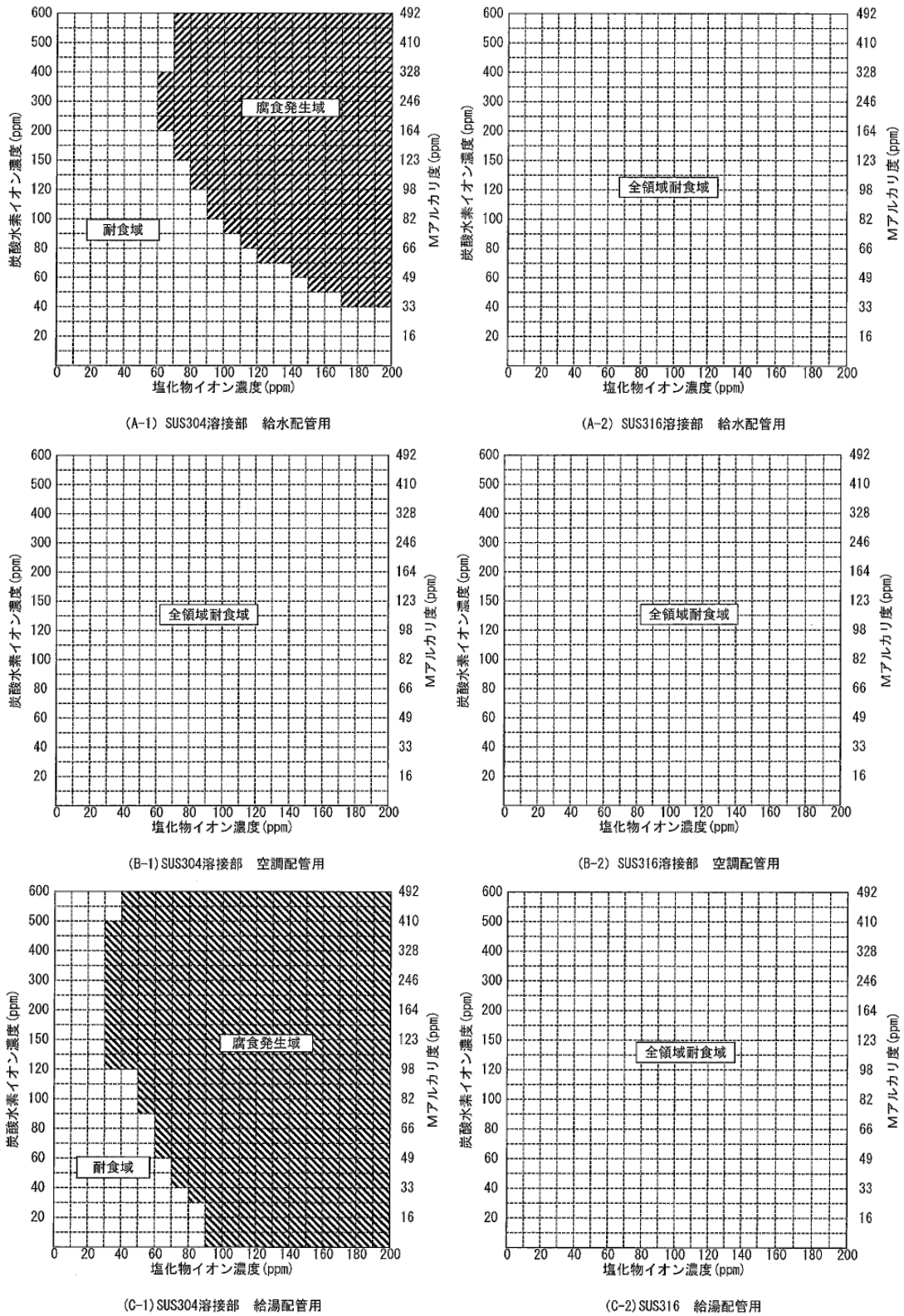
資料表4-6 各用途における配管内残留塩素および自然電位の推定

	設定条件	給水用途 (20℃)	給湯用途 (60℃)	空調用途 (60℃)
B	補給水の残留塩素濃度 (ppm)	1.0	1.0	1.0
C	循環水の残留塩素残存率	85%	10%	2%
D	配管内水量に対する補給水の比率	60%	60%	5%
E	補給水の残留塩素残存率	95%	60%	60%
A	配管内の残留塩素計算値 (ppm)	0.91	0.40	0.05
	残留塩素減少率	9%	60%	95%
	自然電位の短時間応答率	70%	90%	90%
	配管自然電位計算値(V,SCE)	0.340	0.289	0.145

各用途における自然電位の推定値は、給水用途で0.34V/SCE、給湯用途で0.289V/SCE、空調用途で0.145V/SCEとなる。

5. 4 実環境を推定した腐食発生限界水質区分図の策定

(1) 資料表 4-6 の自然電位計算値および資料表 2-6、2-7、2-8、2-9 の腐食発生電位早見表から求めた中央循環式システムにおける溶接部Aの水質区分を資料図 4-6 に示す。



資料図 4-6 溶接Aの水質区分のまとめ

資料図 4-6 の水質範囲で、全国の水道事業者の水質に対して、どの程度の確率で満足できるか検討した。

全国水道事業者の水質を資料表 4-7 に示し、資料図 4-6 の水質範囲で適用できる確率を求めた結果を資料表 4-8 に示す。

資料表 4-7 全国水道事業者の水質（日本水道協会・水道統計-水質編より引用）

浄水（給水栓等）水質分析平均値

水質項目	区分													
	濃度区分(ppm)	<0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	~0.8	~1.0	~1.2	~1.3	1.4~	
残留塩素	全件数	5,877	112	294	1,292	1,556	1,205	705	372	279	54	5	0	3
	比率		1.91%	5.00%	21.98%	26.48%	20.50%	12.00%	6.33%	4.75%	0.92%	0.09%	0.00%	0.05%
	累積比率		1.91%	6.91%	28.89%	55.37%	75.87%	87.87%	94.20%	98.95%	99.86%	99.95%	99.95%	100.00%
塩化物イオン	濃度区分(ppm)		~10.0	~20.0	~30.0	~40.0	~50.0	~60.0	~70.0	~80.0	~90.0	~100.0	~110.0	110.1~
	全件数	5,918	3,160	1,869	545	174	93	39	13	5	2	7	6	5
	比率		53.40%	31.58%	9.21%	2.94%	1.57%	0.66%	0.22%	0.08%	0.03%	0.12%	0.10%	0.08%
アルカリ度 (Mアルカリ度) (pH4.8酸消費量)	濃度区分(ppm)		~20.0	~30.0	~40.0	~50.0	~60.0	~70.0	~80.0	~90.0	~100.0	~110.0	~120.0	120.1~
	全件数	1,006	127	206	244	167	106	59	40	25	10	8	6	8
	比率		12.62%	20.48%	24.25%	16.60%	10.54%	5.86%	3.98%	2.49%	0.99%	0.80%	0.60%	0.80%
	累積比率		12.62%	33.10%	57.36%	73.96%	84.49%	90.36%	94.33%	96.82%	97.81%	98.61%	99.20%	100.00%

資料表 4-8 全国水道事業者の水質への SUS304 の適用確率

区分	残留塩素	塩化物イオン	Mアルカリ度	3項目を同時に満足する確
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	
給水	1.0以下	90.0以下	約100以下	97.38%
	99.86%	99.70%	97.81%	
給湯	1.0以下	50.0以下	約100以下	96.40%
	99.86%	98.70%	97.81%	

SUS304 の配管で、給水用途では全国の 97%以上、給湯用途でも 96%はカバーできる。

実際には、残留塩素、塩化物イオン、Mアルカリ度の濃度が同時に外れる確率は更に低くなると考えられることから、全国のほとんどの地域で SUS304 溶接継手の適用が可能である。

(2) メカニカル継手につき、給水用途の実績を考慮して一部改訂した水質区分を資料図 4-7、資料図 4-8 に示す。

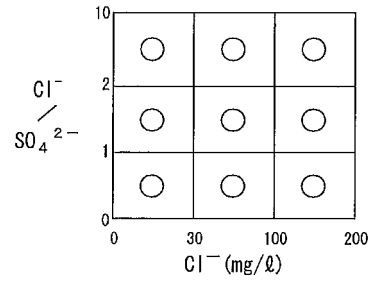
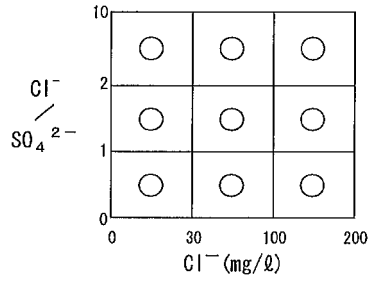
メカニカル継手の隙間腐食発生限界水質簡便図については、継手メーカーより、現在の水質指針は良く対応しているとの意見が強く、また、上水の給水配管では腐食による漏水事故は皆無であるとの情報であったため、現在の水質指針の給水配管用途の図の一部を改訂してメカニカル継手の水質指針とした。

但し、隙間腐食発生電位は継手の構造に影響されるため、継手の種類によっては△の領域まで適用できる可能性があることから、各継手メーカーの実績に基づいて判断するのが好ましい。

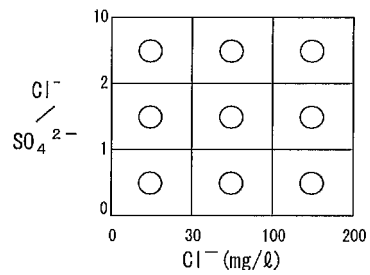
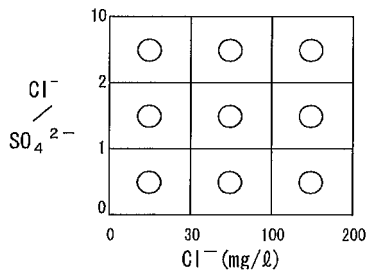
SUS304

SUS316

(1)Mアルカリ度 75mg/ℓ未満



(2)Mアルカリ度 75~500mg/ℓ



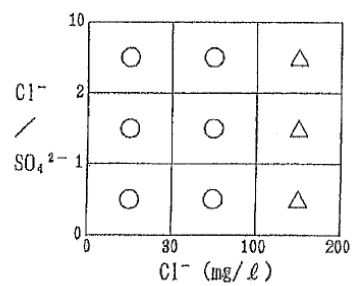
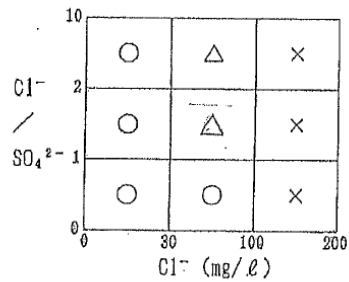
資料図 4-7 メカニカル継手部の水質区分のまとめ (給水用)

○ : 腐食の可能性小 × : 腐食の可能性大 △ : ○または×

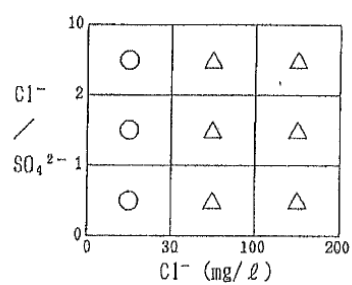
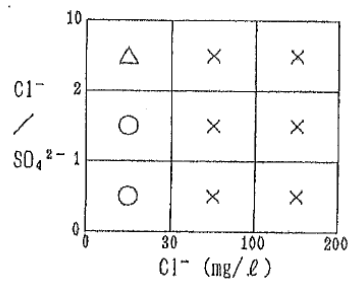
SUS304

SUS316

(1)Mアルカリ度 75mg/ℓ未満



(2)Mアルカリ度 75~500mg/ℓ



資料図 4-8 メカニカル継手部の水質区分のまとめ (給湯・空調用)

○ : 腐食の可能性小 × : 腐食の可能性大 △ : ○または×

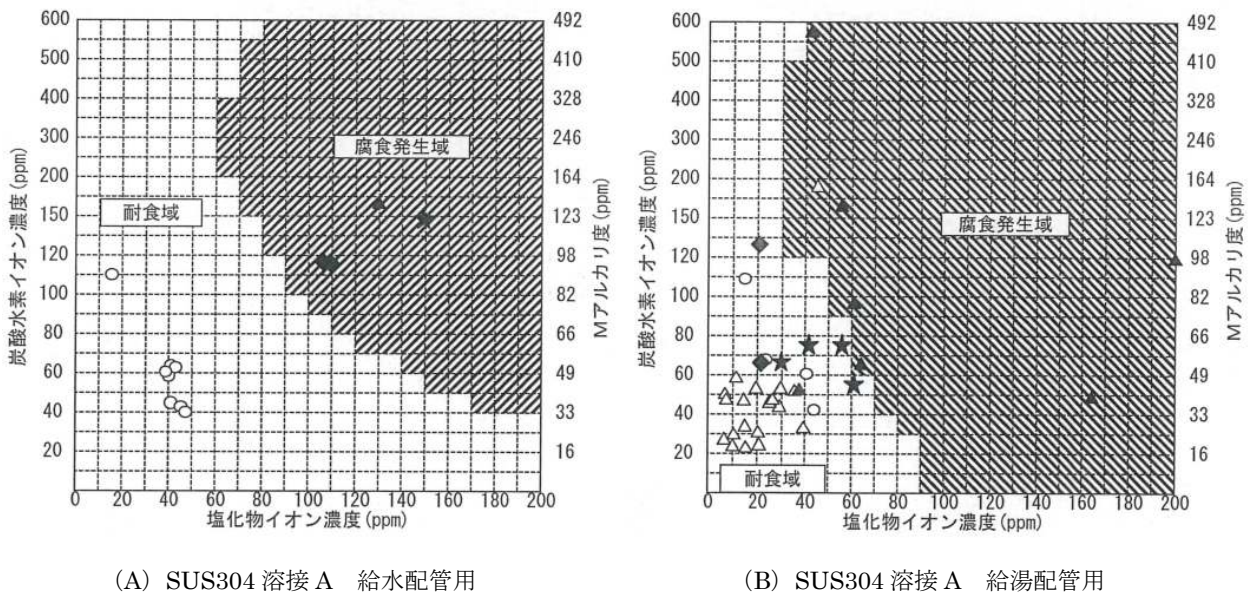
6. SUS304 溶接Aの腐食水質限界簡便図の妥当性の検討

実績調査事例1、実績調査事例2、実績調査事例3の調査案件の内、対象部位が溶接部で水質情報として塩化物イオン、Mアルカリ度の数値が記載されている案件のみ抽出した一覧表を表5-1に示す。

資料表5-1 対象部位が溶接部で塩化物イオンおよびMアルカリ度の分析値記載のある実績調査事例一覧表

通し番号	配管用途区分	引用表区分	事故区分	物件No.	建築用途区分	供給水区分	対象部分	経過年数	水質データ区分	水質データ				管内面溶接品質写真判定	水質判定図表示記号凡例
										塩化物イオン (mg/L)	残留塩素 (mg/L)	Mアルカリ度 (mg/L)	炭酸水素イオン(計算値) (mg/L)		
1	給水	資料表3-2	事故なし	15	ビルディング	上水	溶接	30	給水栓水質データ	41.5	1.6	36.0	44	—	○
2		資料表3-2		19	博物館	上水	溶接	27		40.5	1.3	47.0	57	—	○
3		資料表3-2		20	新館	上水	溶接	26		41.5	1.6	51.5	63	—	○
4		資料表3-2		24	病院	上水	溶接	31		15.8	0.7	89.0	109	—	○
5		資料表3-2		25	ビル	上水	溶接	25		41.4	1.4	50.0	61	—	○
6		資料表3-2		30	東京本社	上水	溶接	25		45.7	0.7	34.6	42	—	○
7		資料表3-2		37	マンション	上水	溶接	20		47.9	1.3	32.9	40	—	○
8		資料表3-2		47	ビル	上水	溶接	17		41.5	1.2	49.5	60	—	○
9		資料表3-4	事故あり	1	—	沖縄上水	溶接	—	配管内水質分析データ	131	—	138	168	—	▲
10	雑用水(再生処理水)	資料表3-6-4	事故あり	M-3	ホテルを含む複合ビル	中水	不明	8ヶ月	配管内水質分析データ	110	2.88	94	115	—	◆
11		資料表3-6-4		M-4	ホテルを含む複合ビル	中水	溶接	3		110	1.8	96	117	A	◆
12		資料表3-6-4		M-7	ホテル	中水	溶接	3		150	2.0以上	120	146	B	★
13	給湯	資料表3-2	事故なし	22	ビル	上水	溶接	26	給水栓水質データ	41.5	1.2	49.5	60	—	○
14		資料表3-2		24	病院	上水	溶接	31		15.8	0.7	89.0	109	—	○
15		資料表3-2		29	寮	上水	溶接	20		23.0	1.2	55.0	67	—	○
16		資料表3-2		30	東京本社	上水	溶接	25		45.7	0.7	34.6	42	—	○
17		資料表3-4		1	—	川崎上水	溶接	—		12	—	46	56	—	△
18		資料表3-4		2	—	東京上水	溶接	—		36	—	43	52	—	△
19		資料表3-4		3	—	東京上水	溶接	—		30	—	35	43	—	△
20		資料表3-4		9	—	大阪	溶接	—		21	—	24	29	—	△
21		資料表3-4		10	—	大阪	溶接	—		25	—	36	44	—	△
22		資料表3-4		11	—	神戸	溶接	—		16	—	27	33	—	△
23		資料表3-4		12	—	札幌	溶接	—		17	—	18	22	—	△
24		資料表3-4		13	—	沖縄	溶接	—		40	—	26	32	—	△
25		資料表3-4		14	—	沖縄	溶接	—		46	—	154	188	—	△
26		資料表3-4		15	—	東京上水	溶接	—		27	—	37	45	—	△
27		資料表3-4		16	—	東京上水	溶接	—		30	—	44	54	—	△
28		資料表3-4		17	—	北海道上水	溶接	—	20	—	43	52	—	△	
29		資料表3-4		18	—	札幌上水	溶接	—	21	—	20	24	—	△	
30		資料表3-4		19	—	黒石	溶接	—	11	—	20	24	—	△	
31		資料表3-4		20	—	高松	溶接	—	15	—	38	46	—	△	
32		資料表3-4		21	—	高松	溶接	—	7	—	21	26	—	△	
33		資料表3-4		22	—	徳島上水	溶接	—	10	—	24	29	—	△	
34		資料表3-4		23	—	四国上水	溶接	—	7	—	33	40	—	△	
35		資料表3-4		24	—	横浜上水	溶接	—	9	—	38	46	—	△	
36		資料表3-4		2	—	沖縄上水	溶接・効	—	56	—	132	161	—	▲	
37		資料表3-4		3	—	沖縄上井	溶接	—	43	—	470	573	—	▲	
38		資料表3-4		4	—	静岡上地	溶接・効	—	165	—	39	48	—	▲	
39		資料表3-4		5	—	墨田井水	溶接・効	—	212	—	96	117	—	▲	
40		資料表3-4		16	—	熊本井水	溶接	—	61	—	79	96	—	▲	
41		資料表3-4		18	—	筑波上水	溶接	—	64	—	53	65	—	▲	
42		資料表3-4		19	—	浦安上水	溶接・効	—	38	—	42	51	—	▲	
43		資料表3-6-4	事故あり	M-2	ホテルを含む複合ビル	井水	溶接	4	給水栓水質データ	22.5	0.2	55.2	67	A?	◆
44		資料表3-6-4		M-17	ホテル	井水	溶接	10		**21	—	110	134	A	◆
45		資料表3-6-4		M-5	ホテル	上水	溶接	3		*62	*1.4	44	54	B	★
46		資料表3-6-4		M-15	病院	上水	溶接	8ヶ月		*29	*1.2	54	66	B	★
47		資料表3-6-4		20	ホテル	上水	溶接	—		*57	*1.3	62	75	—	★
48		資料表3-6-4		21	ホテル	上水	溶接	—		*42.8	*1.1	62	75	—	★

表5-1の各案件につき、表右端にしめす記号凡例に従って、簡便図にプロットした結果を資料図5-1に示す。



資料図5-1 SUS304溶接Aの腐食発生限界水質簡便図への実績調査結果の当てはめ

(1) 給水用途については、漏水事故なし案件は耐食域に、漏水事故あり案件は腐食発生域に分離され、本簡便図は妥当性があると言える。

但し、腐食発生点の4点の内、上水の案件は1件のみであり、他の3点は中水用途で残留塩素の分析値が1.8~2.88ppmと記載されていることから、上水の給水を対象とし、残留塩素1.0ppm以下を対象とする腐食限界水質簡便図としては若干厳しく設定されている可能性も考えられるが、本水質指針改訂版では、資料図5-1(A)を適用する。

(2) 給湯用途については、耐食域の水質で腐食事故発生が、7点存在する。

腐食発生の有無は、自然電位と腐食発生電位の関係から判断され、腐食発生電位に対しては溶接品質が強い影響をおよぼす。

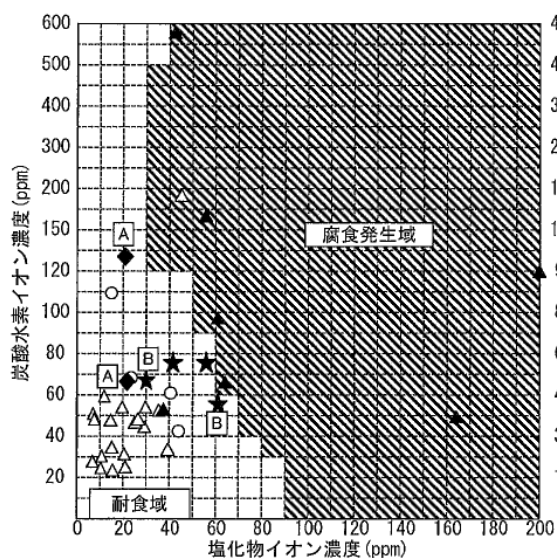
実績調査事例1(図中記号○)については各案件に対して溶接品質の情報が記載されていないが、資料図5-1(B)に当てはめた案件はいずれも施工後25年から31年経過した案件であり、引用文献3)に解体調査で、ラップジョイントとパイプの円周溶接部にバックシール不良による激しい溶接焼けがみとめられるものがあつたと記載されているように、平成7年にステンレス協会から「建築設備用ステンレス配管溶接施工マニュアル」に溶接条件や溶接品質が明記される以前は、溶接品質が良くない加工品があつた。しかしながら、水質が良かったためか、腐食漏水は無い。

実績調査事例2(図中の△・▲)では、耐食域での腐食発生案件が1件存在する。

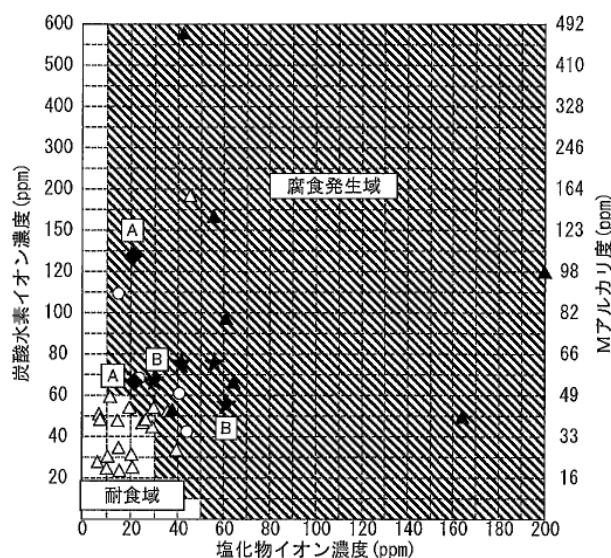
実績調査事例3(図中の◆・★)では管内面を写真判定した結果で、溶接Aと記載の案件(記号;◆)が2件、溶接Bと記載の案件(記号;★)が2件および溶接品質の記載のない案件(記号;★)が2件耐食域で腐食発生している。

実績調査事例3で、溶接品質A、溶接品質Bと記載されている案件につき、図中に **A** **B** と記号を付記して、溶接Aの腐食発生限界図にプロットしたものを資料図5-2(1)に

示し、溶接 B について腐食発生電位の図を作成し、自然電位を同一として当てはめた結果を資料図 5-2 (2) に示す。



(1) SUS304 溶接 A の腐食発生限界簡便図



(2) SUS304 溶接 B の腐食発生限界簡便図

資料図 5-2 SUS304 溶接 A および溶接 B の腐食発生限界簡便図への事例当てはめ

溶接 A の資料図 5-2 (1) において、耐食域で腐食が発生した事例は全てが溶接 B の腐食発生域に含まれる。溶接 B と写真判定された案件および溶接品質の記載が無い案件はいずれも溶接 B のランクと考えられる。

実績調査事例 3 の溶接 A の 2 件については、報告書の写真で判定を実施したため、判定に誤りがあったか、又は腐食部の組織調査データが無く、鋭敏化組織であったことも考えられる。

また、溶接 A の 2 件の案件はいずれも井水と記載されており、水質分析値の記載値よりもっと水質が劣悪な期間が存在した可能性も考えられる。

溶接 A の案件は塩化物イオンが 21ppm と 22.5ppm と記載されており、現行水質指針からも外れることから、本水質指針改訂版においては、実績調査事例 3 の写真判定溶接 A の 2 件は鋭敏化による溶接不良と位置付け、資料図 4-6 (C-1) を SUS304 溶接部給湯配管用の水質区分図とする。

7. 腐食漏水事故発生時の調査要領について

今回の水質指針の改訂に際して、過去の漏水事故報告の内容不備により、活用できない事例が多かった。

従って、今後の水質指針の精度向上のために、調査事例情報を有効に活用できるようなることを期待して、調査要領の案を追記する。

1. 材料側因子

- (1) 母材材質；①腐食漏水発生管の化学成分分析値。
但し、管に鋼種記号が明記されたものについては、管に記載された管種記号でもよい。
- (2) 溶接品質；①溶接熱影響部の鋭敏化状態。(JIS G 0571、写真 1～7 のどれに分類されるか)
②管内面の溶接酸化スケールの色調(文献 3)を参照
③管内面の裏波ビードの形成が十分か。

2. 環境側因子

- (1) 建築の種類；ホテル、病院、食堂設置のビル、食堂の無いビル、マンション、戸建住宅等
- (2) 用途；給水、給湯、冷水、温水、冷却水、中水(下水道事業者の下水処理水、設備内での再生処理水)、排水(厨房水、雑排水、汚水、雨水その他)
- (3) 温度
- (4) 方式；①ホテル・病院・事務所ビル・マンションなどの場合；中央循環式、貯湯槽方式など
②戸建の場合；貯湯機能のある電気温水器式、貯湯機能の無いガス給湯器や石油炊き給湯器など。
- (5) 水質調査項目；①残留塩素濃度②塩化物イオン濃度③炭酸水素イオン濃度または M アルカリ度④硫酸イオン濃度⑤PH
注) 腐食事例が最も多い給湯用途の場合、湯の使用量の最も多い冬場で且つ使用量の多い時間帯に水サンプルを採取するのが良い。(残留塩素濃度が高い時期・時間帯)
- (6) 水質調査サンプル；①水道局の給水栓水質データ②受水槽入り側水サンプル③受水槽出側水サンプル④給水蛇口水サンプル⑤給湯蛇口水サンプル⑥空調水槽水サンプル

8. 腐食漏水事例からのステンレス配管使用上の注意点

(1) 塩化物イオンとオゾンおよび残留塩素の共存下では耐食性が著しく劣るので、オゾン滅菌処理後十分な時間をとり、オゾンが消失した後に残留塩素による滅菌処理を行なうなど注意が必要である。

(2) 中水用途で残留塩素濃度が 1.8～5.0ppm と著しく高い事例がある。中水を使用する場合、残留塩素濃度を 1.0ppm 以下に抑えるよう考慮が必要と考える。なお、塩化物イオンが高い場合、残留塩素濃度を低減するよう、ばっ気(エアレーション)他の方法を採用することが必要となる。

(3) 施工完了後の配管の水圧試験などは、滅菌処理された浄水を使用し、井戸水・地下水の使用を避けることを推奨する。研究報告書に、殺菌や過熱処理されていない井戸水では、自然電位が徐々に貴になる現象が認められている。

(4) オーバーフロー管やドレン管で、残留塩素が分解して生成した塩素ガスが結露水中に溶込み、乾湿を繰り返す間に塩素イオンが濃化して腐食が発生したと考えられる事故事例が報告されている。但し、残留塩素が分解して発生した塩素ガスが、完全に大気に放出されるような強制排気設備や開放

部が存在する場合は腐食に至る可能性は考え難い。

【むすび】

平成10年に、ステンレス協会より、暫定的ではあるが「建築設備用ステンレス配管の水質指針」を発行したが、その後、建築設備用ステンレス配管用途に対応する研究論文や腐食漏水事故例より、残留塩素への注意喚起が必要と考えられたこと、および炭酸水素イオンはある濃度範囲で溶接部の腐食発生電位を卑にするが、継手のすき間腐食には影響しないとの報告があることから、溶接継手とメカニカル継手を区分して、水質指針の改訂を検討した。

検討結果、残留塩素と自然電位の関係図、各種残留塩素濃度における腐食発生限界におよぼす塩化物イオンと炭酸水素イオンの関係図を策定し、実環境を推定した溶接継手用の腐食発生限界水質区分簡便図およびメカニカル継手用の隙間腐食発生限界水質区分図を設定した。

今後、更なる水質指針の精度向上のために、ホテル、病院、事務所ビル等の建築用途別の水・湯の使用量推移などの実態調査、および溶接継手の水質項目として、悪影響が報告されている残留塩素、塩化物イオン、炭酸水素イオン（M アルカリ度）の3項目以外に、腐食緩和因子である硫酸イオンなどについても、文献調査を継続実施し、次回の検討事項としたい。

水質指針見直しに際して、実績調査資料に水質データの不備や溶接品質の調査および記載が無く、調査資料の活用ができなかった案件が多かったことから、第7項に実績調査要領を記載し、また、漏水事故例で注意を要すると考えられる案件の概要を第8項に数件記載したので参照願いたい。

ステンレス協会としては、ステンレス配管を安心して使用できるよう、今後とも実績および実験結果等を取り入れ、信頼性の高いものに少しでも近づけたい。

参考文献)

- 1) ステンレス協会配管システム普及専門委員会：ステンレス，平10(1998)-12，P.8
- 2) ステンレス協会腐食対策委員会・設備配管システム分科会合同会議：平成10年3月31日(改訂)
- 3) 坂上恭助，ステンレス協会，(社)日本バルブ工業会，ニッケル協会：平成21年度住宅・建築関連先端技術開発助成事業 技術報告書 課題名；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、P81
- 4) 西川光昭，原田和可大，足立俊郎，名越敏郎：日新製鋼技報，No.77 (1998)，P25
- 5) 長谷川正義監修，ステンレス協会編：ステンレス鋼便覧第3版，(1995)，P.251
- 6) ノーラエンジニアリング勉強会資料：原典；日新製鋼(株)ステンレス鋼管販売部作成，平成13年9月27日版
- 7) 渡辺孝仁，小向 茂：材料と環境，46 (1997)，P783
- 8) 小向茂：腐食防食協会 第152回腐食シンポジウム、P54
- 9) JIS G 0596：2010：平成22年3月23日制定，「ステンレス鋼管継手の腐食試験方法解説」
- 10) 吉井紹泰，西川光昭，前北杲彦：日新製鋼技報，第42号 (1980)，P25
- 11) 小玉俊明，藤井哲雄：防食技術，6 (1977)，641
- 12) 笠原晃明，小向 茂：防食技術，36 (1987)，P492

- 1 3) 足立俊郎, 西川光昭, 林 公爾: 日新製鋼技報, 第 63 号 (1990), P109
- 1 4) 足立俊郎, 西川光昭, 吉井紹泰: 日新製鋼技報, 34 (1988), P56
- 1 5) 日本水道協会「水道統計 (水質編) における調査対象項目の解説」
- 1 6) 厚生労働省健康局通知 健発第 1010004 号 (平成 15 年 10 月 10 日)「水質基準に関する省令の制定及び水道法施行規則の一部改訂等について」
- 1 7) JIS Z 3001「溶接用語」