



# 目 次

第1章 溶接の基礎学	(岡田 実・安藤弘平)	1
§1 溶接物理学の要点		1
1.1.1 原子とその結合		1
1.1.2 金属の接着		3
1.1.3 溶接熱源		3
1.1.4 物質の熱的性質		5
1.1.5 熱伝導の基礎微分方程式 による解法		7
1.1.6 金属の結晶構造とその特性		9
§2 溶接アーク現象		11
1.2.1 アークの導電現象	11	
1.2.2 アークの特性曲線, アーク 電力	13	
1.2.3 溶接棒の熔融速度	15	
1.2.4 瞬間的短絡	17	
1.2.5 溶接アークに見られる 諸現象	18	
1.2.6 棒金属の移行現象	21	
§3 溶接上重要な金属の機械的特性		22
1.3.1 概 説	22	
1.3.2 結晶組織	23	
1.3.3 機械的性質の分類	24	
1.3.4 弾性係数	25	
1.3.5 金属の塑性変形	26	
1.3.6 降伏現象	28	
1.3.7 引張強さ	30	
1.3.8 破 面	31	
1.3.9 衝撃試験	32	
1.3.10 クリープ	33	
1.3.11 疲 勞	34	
1.3.12 残留応力の機械的性質 に及ぼす影響	36	
1.3.13 溶接熱影響による材質変化が 機械的性質におよぼす影響	37	
§4 溶接冶金学の概要		37
1.4.1 溶接冶金学の意義	37	
1.4.2 鋼の製法と性質	38	
1.4.3 溶接性	39	
1.4.4 溶接金属とガス	39	
1.4.5 鉄-炭素平衡状態図	44	
1.4.6 鋼の変態	46	
1.4.7 熱処理用語の説明	49	
1.4.8 変態におよぼす合金元素 の影響	51	
1.4.9 溶接熱影響による材質的 変化	54	
第2章 ガス溶接法	(大西 巖・水野政夫)	58
§1 ガス溶接用の機材		58

2.1.1	酸 素	58	2.1.5	水封式安全器	62
2.1.2	アセチレン	58	2.1.6	ホース	62
2.1.3	アセチレン発生器	60	2.1.7	圧力調整器	62
2.1.4	アセチレン清浄器	61	2.1.8	溶接器	63
§2 酸素アセチレン溶接					67
2.2.1	酸素アセチレン焰	67		び溶接棒中の燐、硫黄の影 響	74
2.2.2	溶着金属の組成におよぼす焰 の影響	69	2.2.10	ガス溶接におよぼすアセチレ ン中の硫化水素、燐化水素 の影響	74
2.2.3	ガス溶接部の窒素、水素量	70	2.2.11	溶接棒	76
2.2.4	ガス溶接部の酸素	70	2.2.12	フラックス	79
2.2.5	溶接部の温度分布	71	2.2.13	溶接法	79
2.2.6	溶接部の収縮	71	2.2.14	ガス溶接作業における 実用数字	84
2.2.7	開先の形状およびピーニング の効果	72	2.2.15	各種金属材料のガス溶接	85
2.2.8	ガス溶接部の熱処理	72			
2.2.9	ガス溶接におよぼす母材およ				
§3 酸素水素、酸素と他の燃料ガス、空気アセチレン溶接					86
2.3.1	酸素水素溶接	86	2.3.4	酸素と各種液体燃料による 溶接	87
2.3.2	空気水素溶接	87	2.3.5	空気アセチレン溶接	87
2.3.3	酸素と各種ガス燃料による 溶接	87			
§4 ガス圧接					87
第3章 アーク溶接法 (安藤弘平・菊田米男)					91
§1 アーク溶接機器					91
3.1.1	直流アーク溶接機	91	3.1.3	自動溶接装置	99
3.1.2	交流アーク溶接機	94			
§2 被覆金属アーク溶接					101
3.2.1	概 要	101	3.2.5	溶接後の処理	109
3.2.2	溶接装置	102	3.2.6	溶着金属の諸性質および 欠陥	109
3.2.3	溶接施工法	103			
3.2.4	溶接条件	107			
§3 イナートガスアーク溶接					111

3.3.1 原理, 特徴および利点	111	3.3.4 消耗電極法	120
3.3.2 溶接法および適用材料	112	3.3.5 その他のイナートガス	
3.3.3 タングステン電極法 (非消耗 電極法)	112	アーク法	122

#### §4 サブマージドアーク溶接 (付フェーズアーク法) 123

3.4.1 概 要	123	3.4.4 溶接部の諸性質と欠陥	128
3.4.2 装置および材料	123	3.4.5 フェーズアーク法	130
3.4.3 溶接準備および溶接条件	126		

#### §5 その他のアーク溶接 131

3.5.1 炭素アーク溶接	131	3.5.3 スタッド溶接	134
3.5.2 原子水素溶接	131		

### 第4章 抵抗溶接 (安藤弘平・山本利雄) 137

#### §1 概説および基礎的観念 137

4.1.1 原理と種類	137	考察	139
4.1.2 抵抗溶接装置一般	137	4.1.5 板厚に沿う温度分布および 接触抵抗	141
4.1.3 電流値と電圧値	138		
4.1.4 通電時間に関する基本的			

#### §2 点溶接機 143

4.2.1 プレス型 (直上加圧型) 点溶 接機	143	4.2.4 ポータブル点溶接機	145
4.2.2 ロッカーアーム型 (槓桿加圧 型) 点溶接機	143	4.2.5 多極点溶接機	146
4.2.3 可変加圧法	144	4.2.6 突起溶接機	147
		4.2.7 三相式溶接機	147
		4.2.8 蓄勢式溶接機	148

#### §3 点溶接現象 150

4.3.1 点溶接条件	150	4.3.3 電流波形	155
4.3.2 電流, 時間, 圧力と溶接 結果	153	4.3.4 電 極	157
		4.3.5 機械的強度	158

#### §4 電 流 制 御 159

4.4.1 概 説	159	および熱制御	162
4.4.2 放電管による時間制御	161	4.4.4 シークエンス制御	163
4.4.3 スロープ・コントロール			

#### §5 縫合せ溶接 164

§6 突合せ溶接 .....	166		
4.6.1 アブセット突合せ溶接 .....	166	4.6.2 火花突合せ溶接 .....	167
第5章 その他の溶接法 .....		(水野政夫) .....	170
§1 鍛接 .....	170		
5.1.1 鏈打ち溶接法 .....	170	5.1.3 ロール溶接法 .....	171
5.1.2 ダイス溶接法 .....	171	5.1.4 鍛接性およびフラックス .....	171
§2 冷間圧接 .....	171		
5.2.1 継手の形状 .....	172	5.2.2 接着面の表面処理 .....	172
§3 高周波溶接 .....	173		
5.3.1 溶接 .....	173	5.3.2 ろう接 .....	174
§4 沸し接ぎ .....	174		
§5 テルミット溶接 .....	175		
5.5.1 テルミット剤 .....	175	5.5.3 熔融テルミット法 .....	176
5.5.2 加圧テルミット法 .....	175	5.5.4 テルミット溶接の応用 .....	176
第6章 ろう付け .....		(大西 巖・水野政夫) .....	177
§1 ろう付けの定義 .....	177		
§2 ろう付けの機構 .....	177		
6.2.1 固溶体型接着 .....	177	6.2.4 付着型接着 .....	178
6.2.2 共晶型接着 .....	178	6.2.5 混合型接着 .....	179
6.2.3 金属間化合物型接着 .....	178		
§3 ろう材 .....	179		
6.3.1 ろう材の具備すべき条件 .....	179	6.3.3 硬ろう .....	185
6.3.2 軟ろう材 .....	180	6.3.4 アルミニウムろう .....	190
§4 ろう付け用フラックス .....	191		
§5 ろう付け部の性質 .....	194		
§6 ろう付け作業 .....	195		
6.6.1 継手の形状 .....	195	6.6.2 ろう付け方法 .....	195

第7章 切断法	(水野政夫) 197		
§1 ガス(酸素)切断	197		
7.1.1 緒言	197	7.1.11 切断面におよぼす影響	210
7.1.2 ガス切断の適用される範囲	198	7.1.12 鋼材の各種性質におよぼす ガス切断の影響	211
7.1.3 切断条件	199	7.1.13 手動切断	214
7.1.4 ガス切断の化学	199	7.1.14 自動切断	217
7.1.5 ドラグ	200	7.1.15 厚い材料の切断	221
7.1.6 ガス切断面の良否	201	7.1.16 酸素槍	222
7.1.7 切断速度におよぼす諸因子	202	7.1.17 鋳鉄の切断	223
7.1.8 切断酸素の噴出孔	204	7.1.18 重ね切断	224
7.1.9 予熱焰	206	7.1.19 粉末切断	225
7.1.10 予熱焰として用いられる 各種燃料ガス	207	7.1.20 水中切断	227
§2 アーク切断	228		
7.2.1 炭素アーク切断	228	7.2.3 不活性ガスアーク切断	230
7.2.2 金属アーク切断	229	7.2.4 酸素アーク切断	232
§3 ガス加工	232		
7.3.1 ガウジング	233	7.3.4 旋削	242
7.3.2 アークによるガウジング	237	7.3.5 穿孔	242
7.3.3 スカーフィング	239		
§4 火焰加熱および火焰処理	243		
7.4.1 加熱用燃料	243	7.4.4 火焰軟化	248
7.4.2 予熱, 後熱, 焼なまし, 成形	243	7.4.5 火焰強化	249
7.4.3 火焰硬化	244	7.4.6 火焰清掃	249
第8章 溶接棒	(大西 巖・菊田米男) 253		
§1 概 説	253		
§2 軟鋼用アーク溶接棒	253		
§3 軟鋼用ガス溶接棒	264		
§4 低合金鋼用溶接棒	264		

§5	耐蝕性クロム鋼およびクロム-ニッケル鋼アーク溶接棒	265
§6	耐蝕性クロム鋼およびクロム-ニッケル鋼ガス溶接棒および 裸溶接線材	268
§7	アルミニウムおよびその合金の溶接棒	268
§8	銅および銅合金溶接棒	268
§9	ニッケルと高ニッケル合金用溶接棒	270
§10	特殊材料に対する溶接棒の選択	271
§11	表面肉盛用溶接棒	273
第9章	設計と経費	(渡辺正紀・出口義治) 276
§1	溶接継手の性質	276
9.1.1	溶接継手の静的強さ	276
9.1.2	溶接継手の衝撃強度	278
9.1.3	溶接継手の疲れ強さ	279
9.1.4	溶接継手の腐蝕	283
§2	溶接接合部の設計	284
9.2.1	溶接構造の特性	284
9.2.2	溶接構造の特徴	285
9.2.3	溶接応力と変形の問題	287
9.2.4	溶接構造用材料	288
9.2.5	継手の種類と開先形状	289
9.2.6	接合部の応力計算公式	296
9.2.7	溶接継目の応力計算	298
9.2.8	安全率, 許容応力, 継手効率	300
§3	溶接の経費	306
9.3.1	概説	306
9.3.2	溶接棒使用量	306
9.3.3	溶接作業時間	308
9.3.4	溶接準備の費用	308
9.3.5	熱処理費	308
9.3.6	検査費	309
9.3.7	溶接設備の維持および 償却費	309
9.3.8	電力使用量	309
9.3.9	換算溶接長	309
9.3.10	結 言	310
第10章	残留応力と収縮変形	(佐藤邦彦) 311
§1	残留応力の発生	311
§2	残留応力の影響	313
10.2.1	静荷重を受けかつ材料が十分な延性を示す場合	313

10.2.2 材料が brittle behavior を示す条件の場合	314	10.2.4 仕上加工時の変形と残留応力	316
10.2.3 応力腐蝕	316		
§3 溶接施工の条件と残留応力	316		
10.3.1 溶着金属量と変形	317	10.3.4 ポジショナーの使用	319
10.3.2 溶着法と残留応力	318	10.3.5 予熱	320
10.3.3 溶接順序と残留応力	318		
§4 残留応力の緩和法	320		
10.4.1 応力(除去)焼なまし	321	10.4.3 機械的応力緩和法	327
10.4.2 低温応力緩和法	324	10.4.4 ピーニング	327
§5 収縮変形の発生	329		
§6 収縮変形におよぼす溶接条件の影響	330		
10.6.1 溶接部に与えられる熱量の影響	331	10.6.2 外的拘束の影響	335
第11章 各種金属の溶接法		(岡田実・井川博・菊田米男・新成夫)	338
§1 鉄, 炭素鋼および鋳鋼	338		
11.1.1 鉄	338	11.1.3 鋳鋼	345
11.1.2 炭素鋼	341		
§2 鋳鉄	347		
11.2.1 鋳鉄の種類	347	11.2.3 鋳鉄の溶接性	348
11.2.2 鋳鉄の組織	348	11.2.4 鋳鉄の溶接	349
§3 低合金鋼	352		
11.3.1 低合金鋼の定義および分類	352	含有元素の影響	353
11.3.2 合金鋼(特殊鋼)の種類	353	11.3.4 低合金鋼の溶接冶金	355
11.3.3 合金鋼の諸性質におよぼす		11.3.5 低合金鋼の溶接	357
		11.3.6 各種低合金鋼の溶接	359
§4 耐蝕耐熱鋼およびオーステナイト Mn 鋼	362		
11.4.1 耐蝕耐熱鋼の種類	362	棒による異種金属の溶接	365
11.4.2 オーステナイト Mn 鋼	363		
11.4.3 シグマ( $\sigma$ )相について	363	11.4.5 耐蝕耐熱鋼の溶接	366
11.4.4 オーステナイト系不銹鋼溶接		11.4.6 オーステナイト Mn 鋼の	

溶接	371		
§5 特殊耐熱合金	373		373
11.5.1 概説	373	11.5.2 溶接	375
§6 アルミニウムとその合金	376		
11.6.1 アルミニウムとその合金の 一般的性質	376	11.6.3 溶融溶接	381
11.6.2 溶接の概要	378	11.6.4 抵抗溶接	387
		11.6.5 ろう付け	390
§7 マグネシウムとその合金	390		
11.7.1 マグネシウムとその合金の 一般的性質	390	11.7.3 溶融溶接	394
11.7.2 溶接の概要	392	11.7.4 抵抗溶接	396
		11.7.5 ろう付け	397
§8 銅とその合金	397		
11.8.1 銅とその合金の一般的 性質	397	11.8.3 溶融溶接法	403
11.8.2 溶接の概要	400	11.8.4 抵抗溶接	414
		11.8.5 ろう付け	415
§9 チタニウムとその合金	416		
11.9.1 チタニウムの性質	416	11.9.3 溶接方法	419
11.9.2 チタニウムの合金元素の 影響	417	11.9.4 チタニウムおよびその合金の 溶接による影響	422
§10 特殊金属の溶接	423		
11.10.1 ニッケルおよびニッケル 合金	423	合金の溶接	424
11.10.2 ニッケルおよびニッケル		11.10.3 金, 銀, 白金の溶接	426
		11.10.4 鉛と亜鉛	428
第12章 溶接検査法		(井川 博・水野政夫)	430
§1 検査法の分類	430		
§2 破壊試験法	430		
12.2.1 機械的試験法	431	12.2.5 落下試験法	437
12.2.2 比重試験法	435	12.2.6 圧力試験法	438
12.2.3 化学的試験法	435	12.2.7 その他の検査法	438
12.2.4 冶金学的試験法	436		
§3 非破壊試験法	438		

12.3.1	外觀検査法	438	12.3.6	超音波検査法	440
12.3.2	漏洩試験法	439	12.3.7	磁氣的検査法	442
12.3.3	滲透検査法	439	12.3.8	放射線透過検査法	443
12.3.4	蛍光検査法	439	12.3.9	穿孔検査法	446
12.3.5	音響検査法	440	12.3.10	その他の検査法	447
§4	技 術 検 定	447			
12.4.1	概 説	447	12.4.2	検定規定	448
第13章 溶接応用 (渡辺正紀) 463					
§1	序 論	463			
§2	機 械	466			
§3	化学用機器	473			
§4	圧力容器と汽缶	475			
§5	建 築	480			
§6	橋 梁	489			
§7	船 舶	497			
§8	車 輛	504			
§9	レール	505			
§10	自動車	506			
§11	航空機	508			
§12	ペンストック	510			
§13	工業用管	512			
補	遺	515			
索	引	531			