

アルミニウム合金材の強度に関する 統計調査

ALST 研究レポート 46

2016年8月

大阪大学大学院工学研究科

大倉一郎

一般社団法人日本アルミニウム協会

川畑達哉

概要

本論文は、国内のアルミニウム合金圧延メーカー5社から材料検査証明書（ミルシート）を収集し、アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針（案）（土木学会，鋼構造委員会，アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針作成検討小委員会，2015年発行）で採用されるアルミニウム合金材の強度に関する統計調査を行った結果を示す。

目次

第1章 序論	1
第2章 調査対象のアルミニウム合金	2
第3章 統計調査結果	3
第4章 結論	22
参考文献	23

第1章 序論

JIS H 4100 が 2015 年に改正された際¹⁾、押出型材の A5083-H112 の 0.2%耐力が「140MPa 以上」から「110MPa 以上」に変更された。これは、本 JIS 規格の 1999 年の改正の際、A5083-H112 の 0.2%耐力を「110MPa 以上」とすべきところを、「140MPa 以上」と誤記したことによる¹⁾。したがって、押出型材の A5083-H112 の 0.2%耐力に対する JIS の下限値は、1999 年以前は 110MPa であり、1999 年から 2015 年の間は 140MPa であった。アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針（案）²⁾で規定される、押出型材の A5083-H112 に対する許容応力度は、140MPa の 0.2%耐力に対して設定されている。

質別 O と H は、それぞれ焼きなましと加工硬化を表す。したがって、H 材の 0.2%耐力が O 材のそれを下回ることはない。しかし、JIS H 4100 で規定される押出型材の A5083-O の 0.2%耐力の下限値は、38mm 以下の板厚に対して 120MPa であり、A5083-H112 の下限値はこれを下回る。したがって、前述の JIS H 4100 における、押出型材の A5083-H112 の 0.2%耐力の下限値の変更は、調質の原理に配慮がなされずになされたものと推察される。

アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針（案）²⁾においては、土木構造物に使用できるアルミニウム合金材は 10%以上の伸びを有することが規定されている。しかし、JIS^{1),3)}においては、伸びの下限値が 10%未満のアルミニウム合金がある。したがって、伸びが 10%未満のアルミニウム合金材の割合を把握しておく必要がある。

アルミニウム合金材の強度に関する統計調査結果が 1993 年に報告された⁴⁾。しかし、この報告で取り上げられたアルミニウム合金は、アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針（案）²⁾で採用されるアルミニウム合金を全て網羅しているわけではない。

この様な状況で、国内のアルミニウム合金圧延メーカー5 社から材料検査証明書（以後、ミルシートと呼ぶ）を収集し、アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針（案）²⁾で採用されるアルミニウム合金材の強度に関する統計調査を行った。

第 2 章 調査対象のアルミニウム合金

調査対象のアルミニウム合金は、次に示す、アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針（案）²⁾で採用されるアルミニウム合金である。

板材：A5083-H112, A5083-O, A6061-T6, A6061-T651

押出型材：A5083-H112, A5083-O, A6061-T6, A6005C-T5, A6005C-T6

A6005C は、JIS H 4100 が 2015 年に改正される以前は A6N01 と呼ばれていた。これらのアルミニウム合金の JIS 規格値^{1),3)}を表 1 に示す。第 1 章で述べたように、押出型材の A5083-H112 の 0.2% 耐力の下限値は、1999 年から 2015 年の間は 140MPa であった。

表 1 アルミニウム合金の機械的性質に関する JIS 規格値^{1),3)}

アルミニウム合金	板厚 t (mm)	引張強さ σ_B (MPa)	0.2% 耐力 $\sigma_{0.2}$ (MPa)	伸び* (%)	
板 材	A5083-H112	$4 \leq t \leq 40$	$275 \leq \sigma_B$	$125 \leq \sigma_{0.2}$	12 以上
	A5083-O	$0.8 < t \leq 40$	$275 \leq \sigma_B \leq 350$	$125 \leq \sigma_{0.2} \leq 200$	16 以上
	A6061-T6	$0.5 < t \leq 6.5$	$295 \leq \sigma_B$	$245 \leq \sigma_{0.2}$	10 以上
	A6061-T651	$6.5 \leq t \leq 13$	$295 \leq \sigma_B$	$245 \leq \sigma_{0.2}$	10 以上
		$13 < t \leq 25$			9 以上
		$25 < t \leq 50$			8 以上
押 出 形 材	A5083-H112	$t \leq 130$	$270 \leq \sigma_B$	$110 \leq \sigma_{0.2}$	12 以上
	A5083-O	$t \leq 38$	$275 \leq \sigma_B \leq 355$	$120 \leq \sigma_{0.2}$	14 以上
	A6061-T6	$t \leq 6$	$265 \leq \sigma_B$	$245 \leq \sigma_B$	8 以上
		$6 < t$			10 以上
	A6005C-T5	$t \leq 6$	$245 \leq \sigma_B$	$205 \leq \sigma_{0.2}$	8 以上
		$6 < t \leq 12$	$225 \leq \sigma_B$	$175 \leq \sigma_{0.2}$	8 以上
	A6005C-T6	$t \leq 6$	$265 \leq \sigma_B$	$235 \leq \sigma_B$	8 以上

* : 50mm の標点距離に対する伸び

第3章 統計調査結果

アルミニウム合金材の強度に関する統計調査結果を表 2 に示す。各アルミニウム合金材の引張強さの頻度分布、0.2%耐力の頻度分布、伸びの頻度分布を図 1~11 に示す。板材の A5083-H112 と押出型材の A5083-O については標本数が少ないことに注意されたい。板材の A5083-H112 のミルシートの発行年は、2005 年が 3 枚、2006 年が 1 枚、2015 年が 2 枚である。他の板材および押出型材のミルシートの発行年は 2014 年~2016 年である。

表 1 に示すように、板材の A6061-T651 に対する JIS 規格値は、板厚によって伸びの下限值が異なる。しかし、表 2 に示すように、調査した A6061-T651 の伸びの最小値は 16% であり、JIS 規格値の下限值の最大値 10% より大きいので、板厚による区分をせず、一つの集団として扱っている。図 1~11 の引張強さおよび 0.2% 耐力の横軸の区間に関して、例えば 300-310 は $300 < \sigma \leq 310$ の範囲を表す。さらに、図 1~11 の横軸の伸びに関して、例えば 20 は $19 < e \leq 20$ の範囲を表す。

過去報告された、アルミニウム合金材の強度に関する統計調査結果⁴⁾を表 3 に示す。この調査結果の押出型材の A5083-H112 に関しては、JIS における 0.2% 耐力の下限值が 110MPa であった。

表 2 と 3 および図 1~11 から次の考察ができる。

- (1) 今回調査した A5083-H112 の押出型材は、JIS における 0.2% 耐力の下限值が 140MPa に対して製造されたものである。表 2 に示すように、押出型材の A5083-H112 の最小値は 156MPa であり、JIS の下限値 140MPa を上回っている。表 3 に示すように、押出型材の A5083-H112 に対して、JIS における 0.2% 耐力の下限值が 110MPa であった場合でも、報告された最小値は 133MPa であり、140MPa に近い値である。したがって、アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針（案）²⁾において、押出型材の A5083-H112 の 0.2% 耐力の下限值を 140MPa と規定しても問題はないと考える。

JIS においては、表 1 に示すように、押出型材の A5083-H112 の引張強さの下限值が 270MPa であり、押出型材の A5083-O の引張強さの下限值 275MPa より低い値となっている。この逆転は、A5083-H112 が網羅する板厚の最大値が 130mm、A5083-O のそれが 38mm であり、網羅する板厚の違いが原因と推察される。しかし、アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針（案）²⁾で許容される板厚の上限値は 40mm である。表 2 から分かるように、今回の調査では、押出型材の A5083-H112 の引張強さの最小値は 280MPa であり、さらに表 3 から分かるように、過去の調査では 276MPa である。したがって、アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針（案）²⁾において、A5083-H112 の押出型材の引張強さの下限值を、押出型材の A5083-O の引張強さの下限值と同じに設定し、引張強さの下限值を 275MPa と規定しても問題はないと考える。

- (2) 表 1 と 2 の比較から分かるように、今回調査したアルミニウム合金材は、引張強さ、0.2%耐力および伸びに関して、各アルミニウム合金に対して規定される JIS 規格値を満足する。しかし、表 2 から分かるように、押出型材の A6061-T6, A6005C-T5, A6005C-T6 に関しては、アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針（案）²⁾で規定される伸びの下限値 10%を満たさない標本がある。これらのアルミニウム合金に関して、全標本数に対する、伸びが 10%未満の標本数の割合を表 4 に示す。特に、板厚が 6mm を超え 12mm 以下の A6005C-T5 の押出型材については、伸びが 10%未満の標本の割合が 50%を超えるので注意が必要である。
- (3) 押出型材の A6005C-T5 と A6005C-T6 に対して、引張強さと伸びの関係および 0.2%耐力と伸びの関係を図 12~14 に示す。これらの図から分かるように、引張強さまたは 0.2%耐力が下がると伸びが大きくなる傾向がある。押出型材の A6005C-T5 と A6005C-T6 の引張強さおよび 0.2%耐力に対する JIS の下限値（表 1 参照）と比較して、図 12~14 に示す引張強さおよび 0.2%耐力はかなり高い。したがって、押出型材の A6005C-T5 と A6005C-T6 に対しては、引張強さおよび 0.2%耐力を下げることにより、10%以上の伸びを確保することができる考える。

表 2 統計調査結果

アルミニウム 合金		全標本数	項目	引張強さ (MPa)	0.2%耐力 (MPa)	伸び* (%)	
板 材	A5083-H112	6	最大値	318	190	34	
			最小値	299	152	26	
			平均値	306.8	166.5	29.2	
			標準偏差	6.3	12.1	2.5	
	A5083-O	26	最大値	334	178	29	
			最小値	297	137	18	
			平均値	307.5	148.3	24.4	
			標準偏差	7.3	11.0	2.3	
	A6061-T6	21	最大値	338	303	19	
			最小値	301	268	14.4	
			平均値	324.9	295	16.3	
			標準偏差	7.1	6.8	1.1	
	A6061-T651	23	最大値	340	309	21	
			最小値	315	270	16	
			平均値	321	289.9	19.1	
			標準偏差	5.6	7.6	1.2	
押 出 形 材	A5083-H112	81	最大値	344	215	28.6	
			最小値	280	156	14.3	
			平均値	309.5	180.9	20.8	
			標準偏差	16.3	14.4	2.8	
	A5083-O	3	最大値	312	167	25	
			最小値	300	152	21	
			平均値	306	159.3	23.3	
			標準偏差	4.9	6.1	1.7	
	A6061-T6	$t \leq 6\text{mm}$	93	最大値	325	306	17.7
				最小値	273	253	8.8
				平均値	300.3	278.7	13.8
				標準偏差	10.2	11.8	2.1
		$6\text{mm} < t$	66	最大値	379	357	22.9
				最小値	267	250	10.3
				平均値	307.3	285.3	15.2
				標準偏差	20.2	20.7	2.9

	A6005C-T5	$t \leq 6\text{mm}$	117	最大値	293	276	21.7
				最小値	247	212	8.3
				平均値	274	250.4	11
				標準偏差	10.8	12.3	2.0
		$6 < t \leq 12\text{mm}$	108	最大値	295	275	23
				最小値	244	214	8.2
				平均値	273.7	249.0	10.5
				標準偏差	10.8	12.2	2.7
	A6005C-T6	52	最大値	302	277	14.3	
			最小値	273	243	8	
			平均値	289.0	266.3	10.8	
			標準偏差	6.1	6.6	1.6	

* : 50mm の標点距離に対する伸び

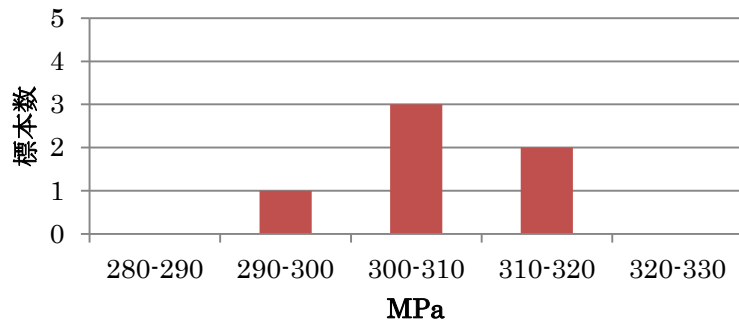
表 3 過去の統計調査結果

アルミニウム合金		全標本数	項目	引張強さ (MPa)	0.2%耐力 (MPa)	伸び* (%)
板材	A5083-H112	113	最大値	327	262	34
			最小値	282	131	17.5
			平均値	305.1	162.7	26.9
			標準偏差	11.0	23.1	4.1
押出形材	A5083-H112	131	最大値	341	220	30.6
			最小値	276	133	12.8
			平均値	309.4	171.1	19.2
			標準偏差	11.6	20.5	3.5
	A6061-T6	136	最大値	347	336	24
			最小値	279	255	8
			平均値	309.1	288.0	13.1
			標準偏差	14.2	17.3	2.9
	A6005C-T5	148	最大値	334	315	18.6
			最小値	245	211	8
			平均値	277.2	249.6	11.7
			標準偏差	18.9	23.0	2.0
	A6005C-T6	54	最大値	359	342	20.4
			最小値	265	235	8
			平均値	294.0	267.6	12.3
			標準偏差	16.2	18.8	2.8

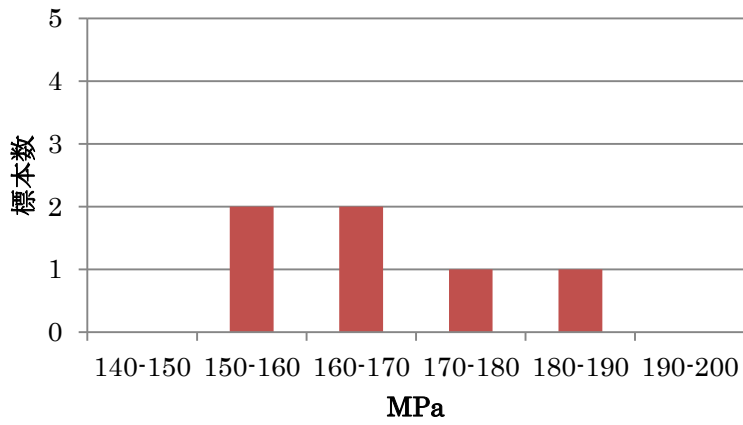
* : 50mm の標点距離に対する伸び

表 4 伸びが 10%未満の標本の割合

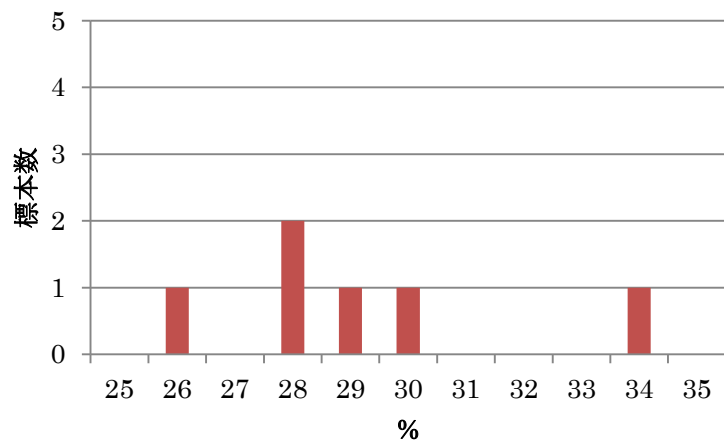
アルミニウム合金		板厚 t (mm)	割合 (%)
押出形材	A6061-T6	$t \leq 6$	6
		$6 < t$	0
	A6005C-T5	$t \leq 6$	31
		$6 < t \leq 12$	54
	A6005C-T6	$t \leq 6$	29



(a) 引張強さ

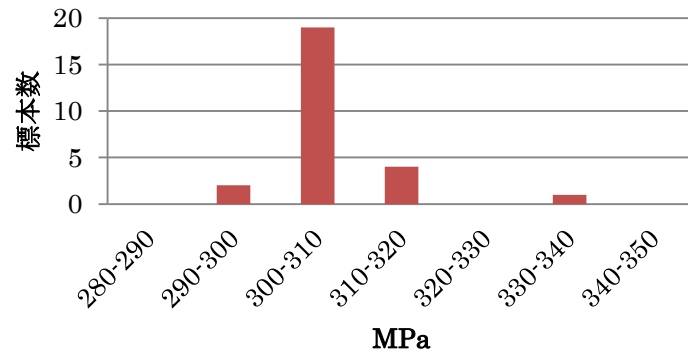


(b) 0.2%耐力

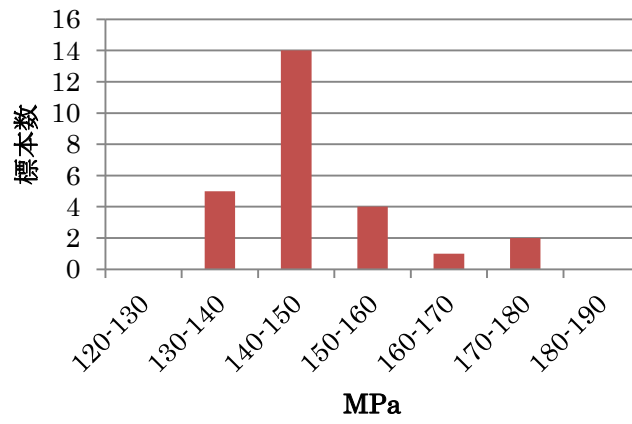


(c) 伸び

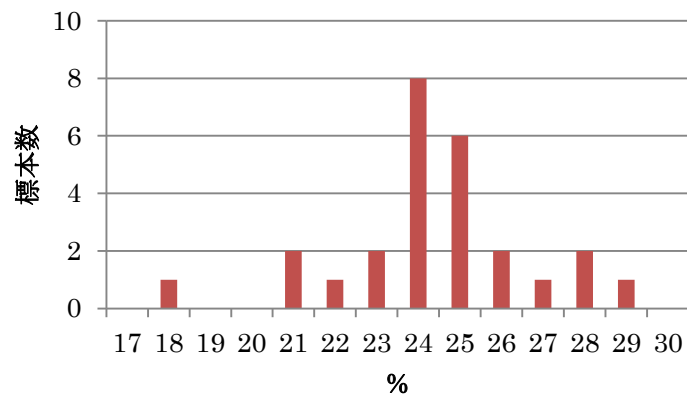
図1 A5083-H112 [板材]



(a) 引張強さ

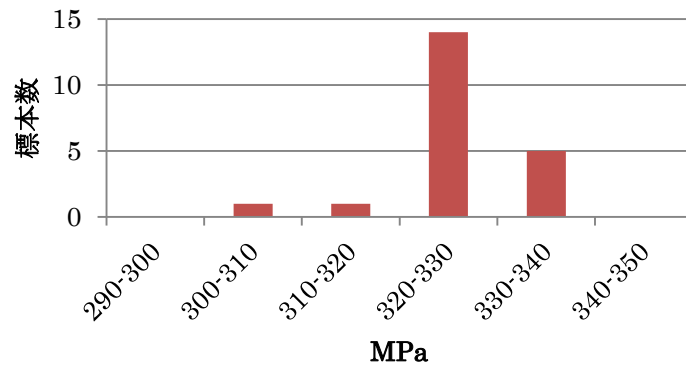


(b) 0.2%耐力

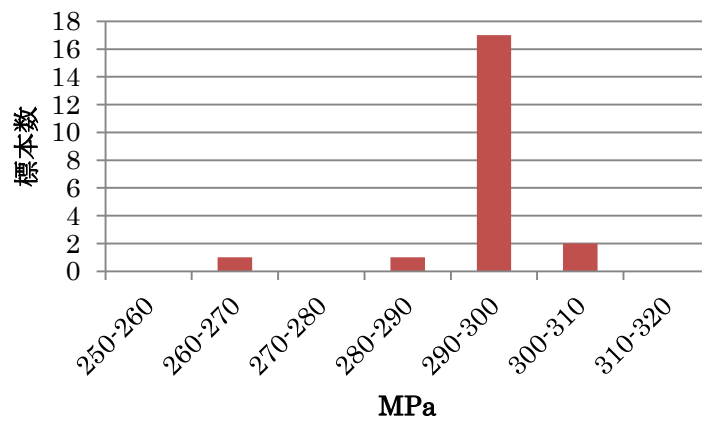


(c) 伸び

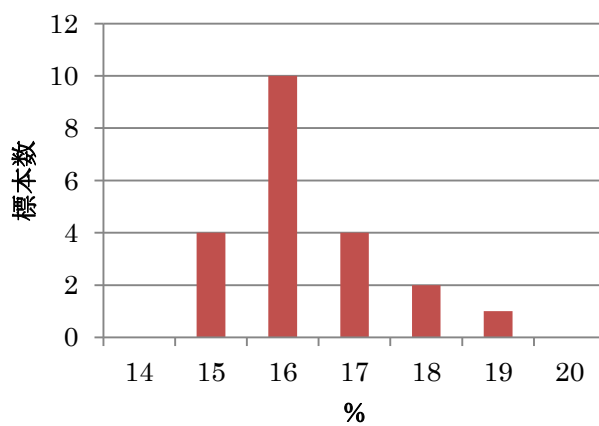
図2 A5083-O [板材]



(a) 引張強さ

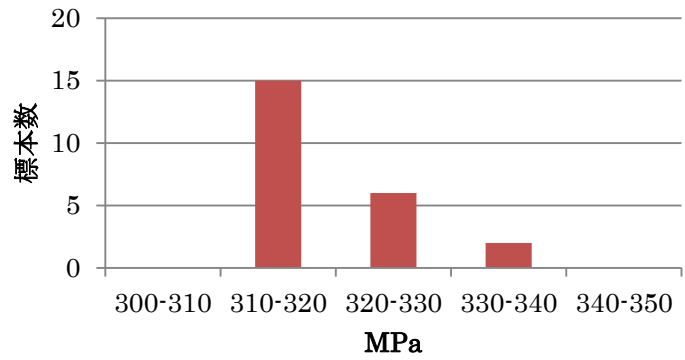


(b) 0.2%耐力

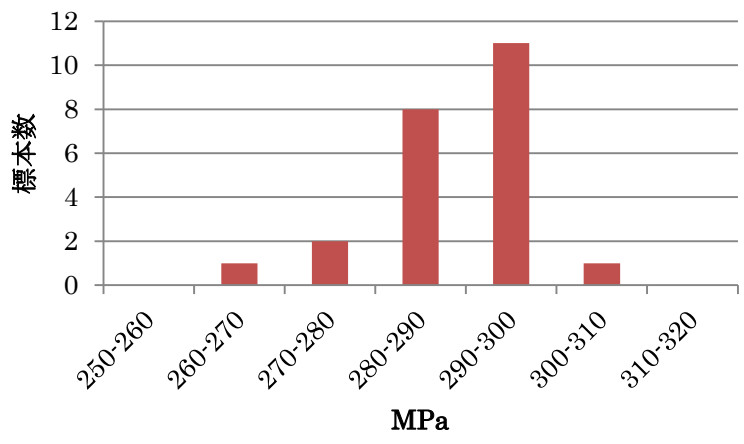


(c) 伸び

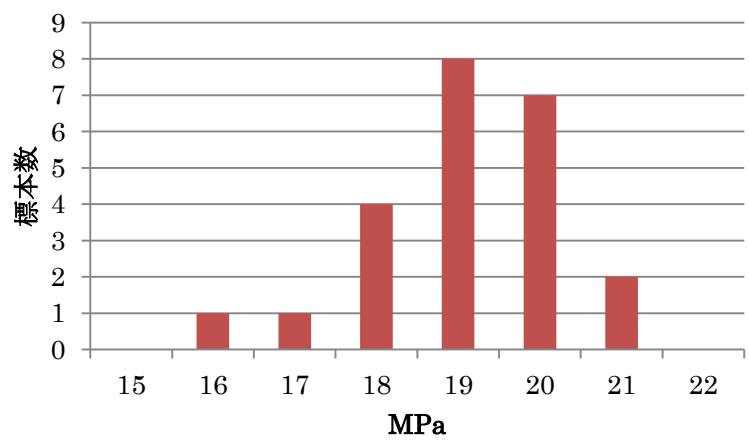
図3 A6061-T6 [板材]



(a) 引張強さ

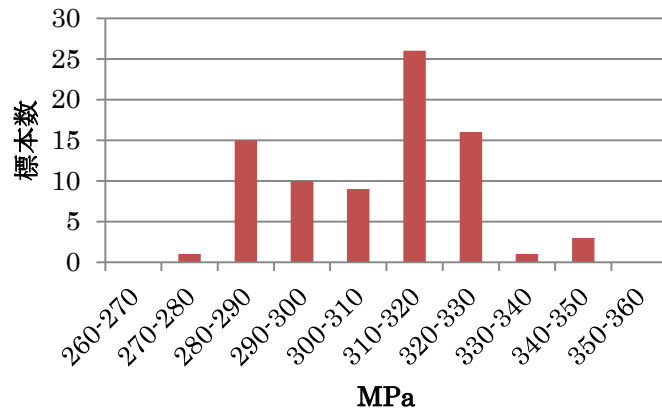


(b) 0.2%耐力

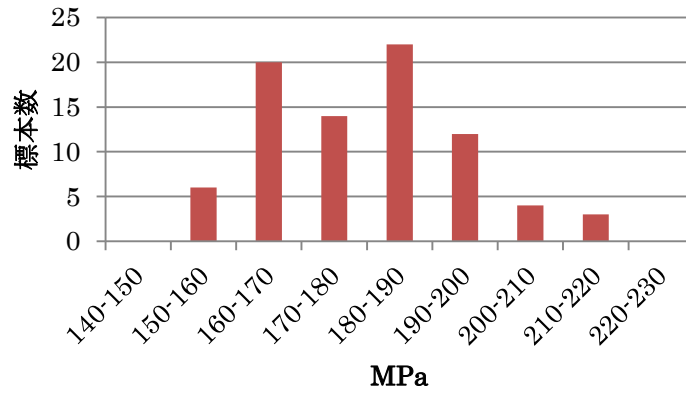


(c) 伸び

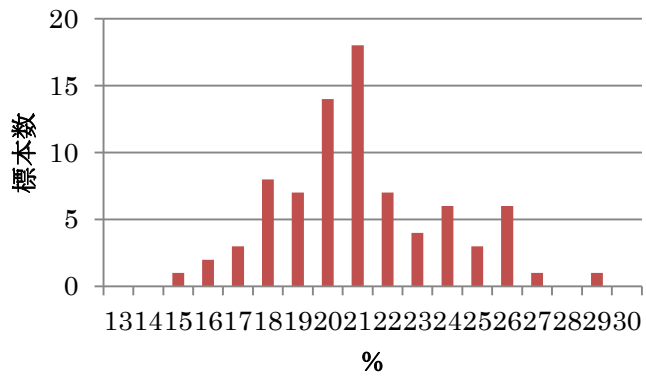
図4 A6061-T651 [板材]



(a) 引張強さ

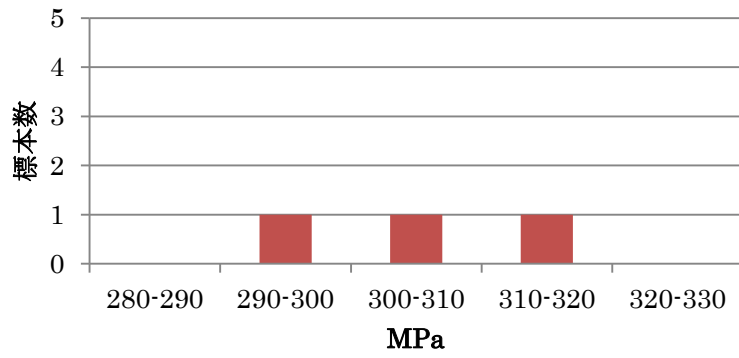


(b) 0.2%耐力

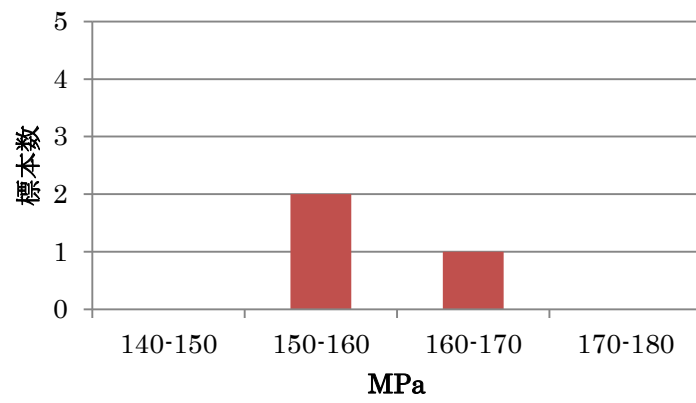


(c) 伸び

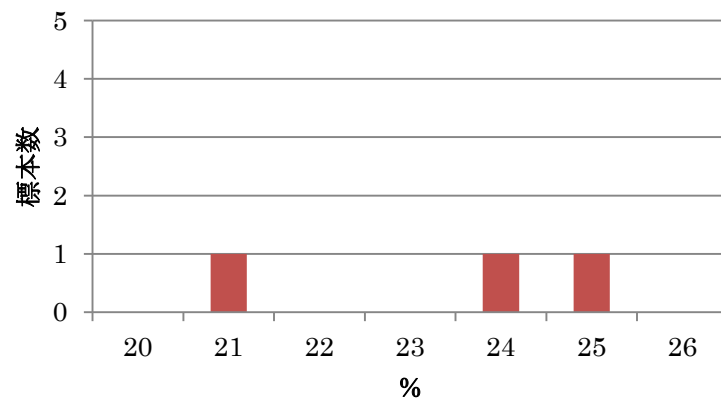
図5 A5083-H112 [押出型材]



(a) 引張強さ

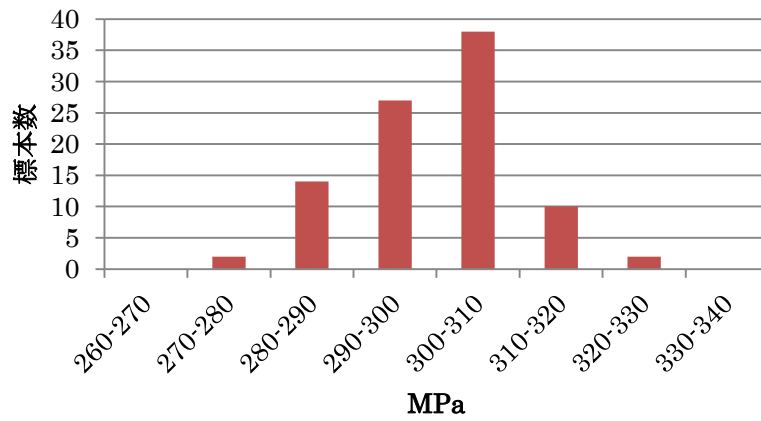


(b) 0.2%耐力

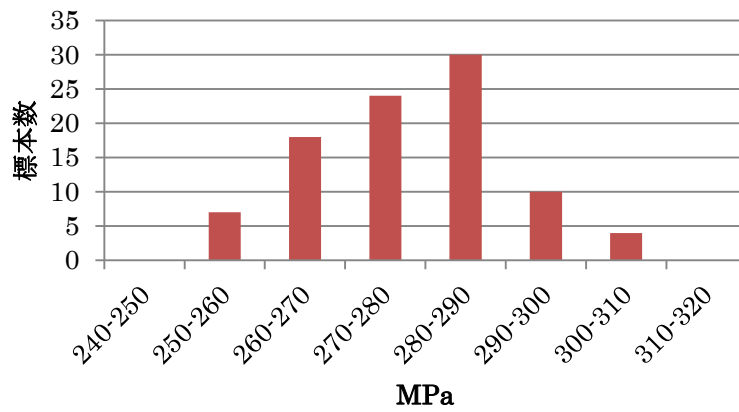


(c) 伸び

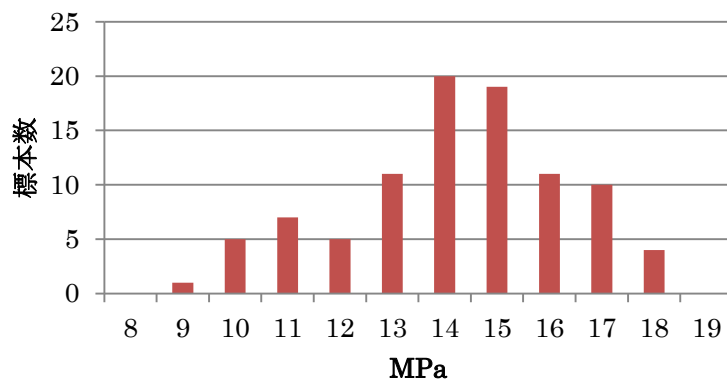
図 6 A5083-O [押出形材]



(a) 引張強さ

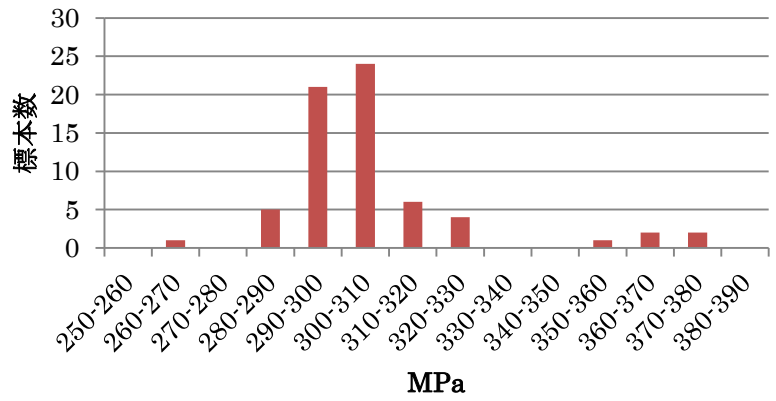


(b) 0.2%耐力

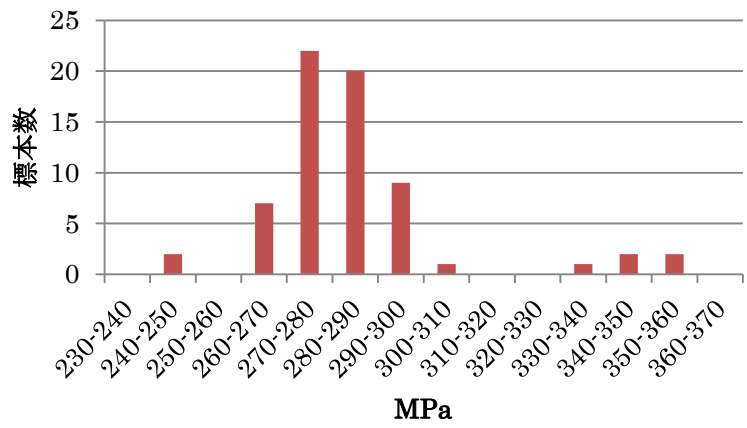


(c) 伸び

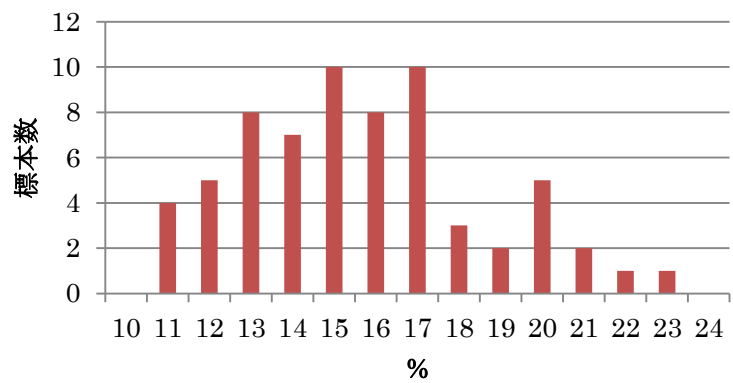
図7 A6061-T6 ($t \leq 6\text{mm}$) [押出型材]



(a) 引張強さ

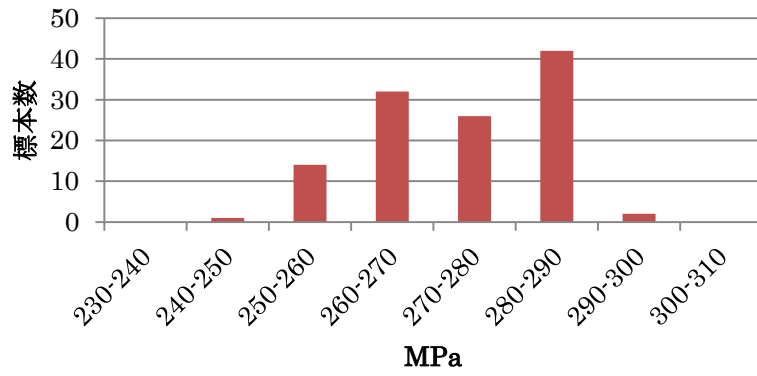


(b) 0.2%耐力

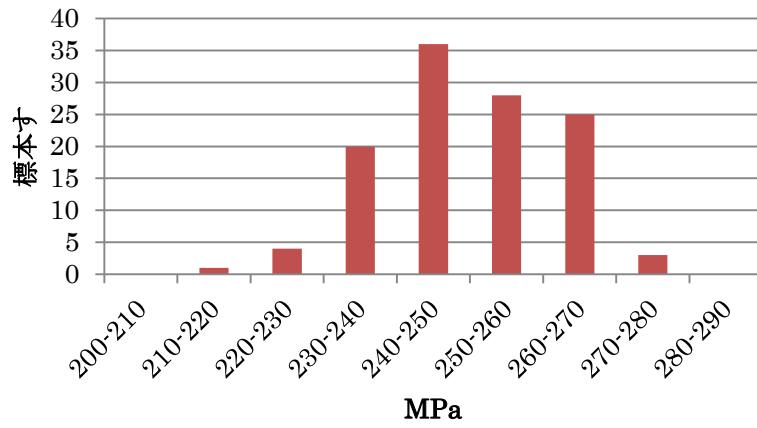


(c) 伸び

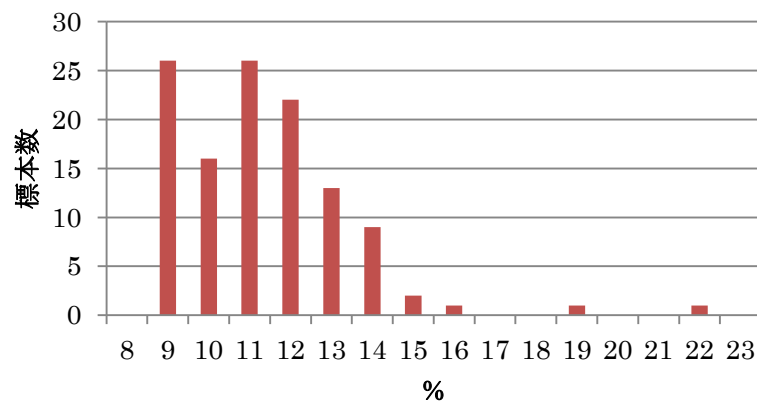
図8 A6061-T6 (6mm t) [押出型材]



(a) 引張強さ

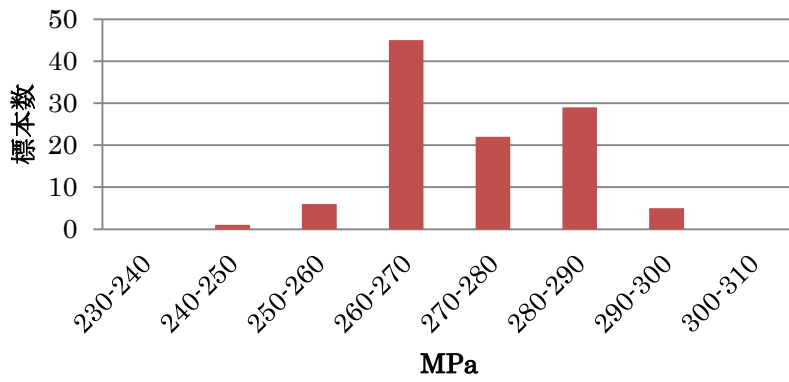


(b) 0.2%耐力

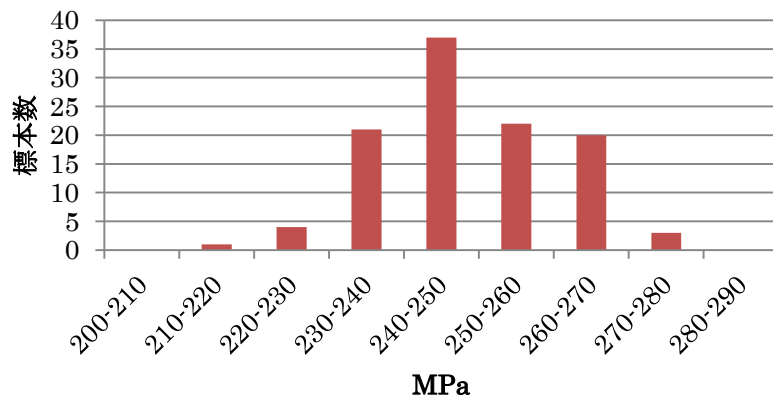


(c) 伸び

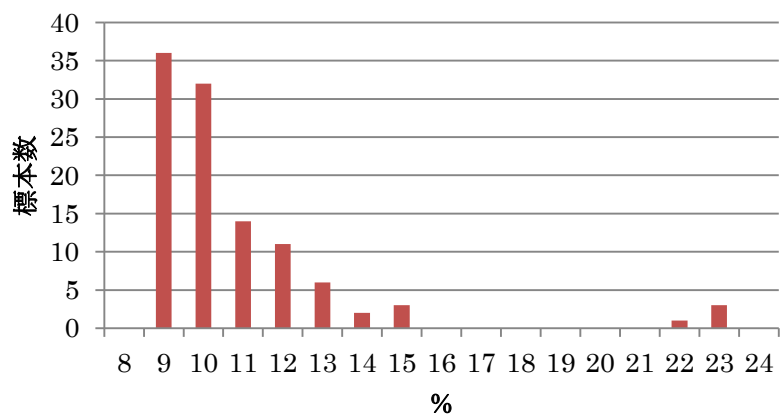
図9 A6005C-T5 ($t \leq 6\text{mm}$) [押出形材]



(a) 引張強さ

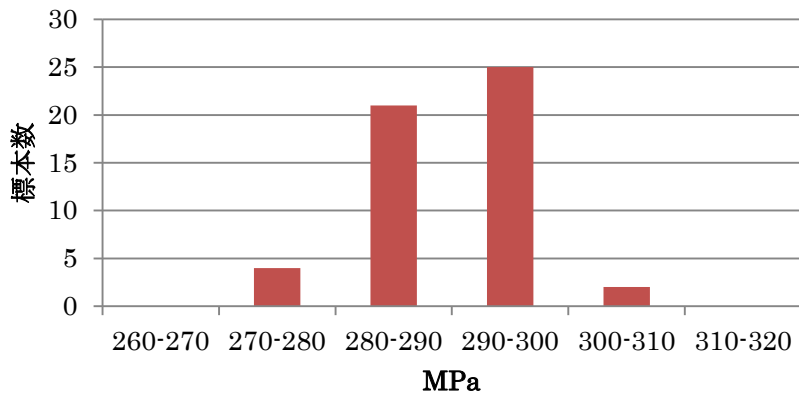


(b) 0.2%耐力

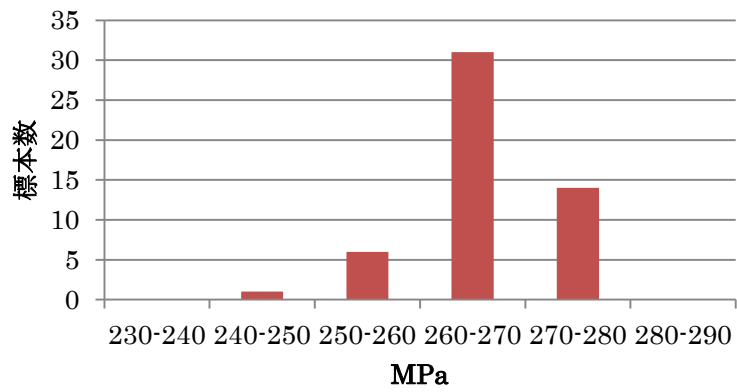


(c) 伸び

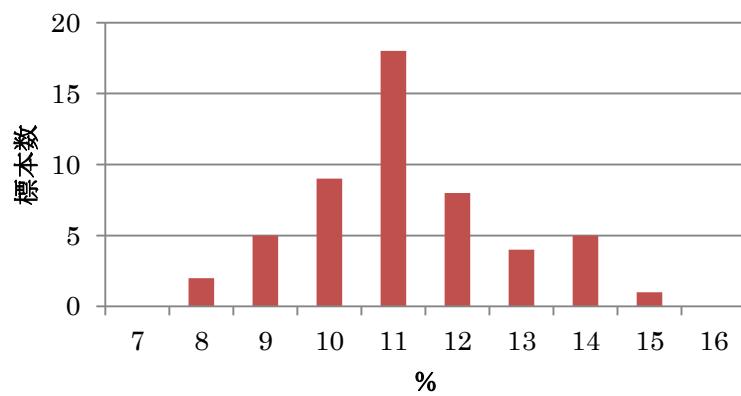
図 10 A6005C-T5 ($6 < t \leq 12\text{mm}$) [押出型材]



(a) 引張強さ

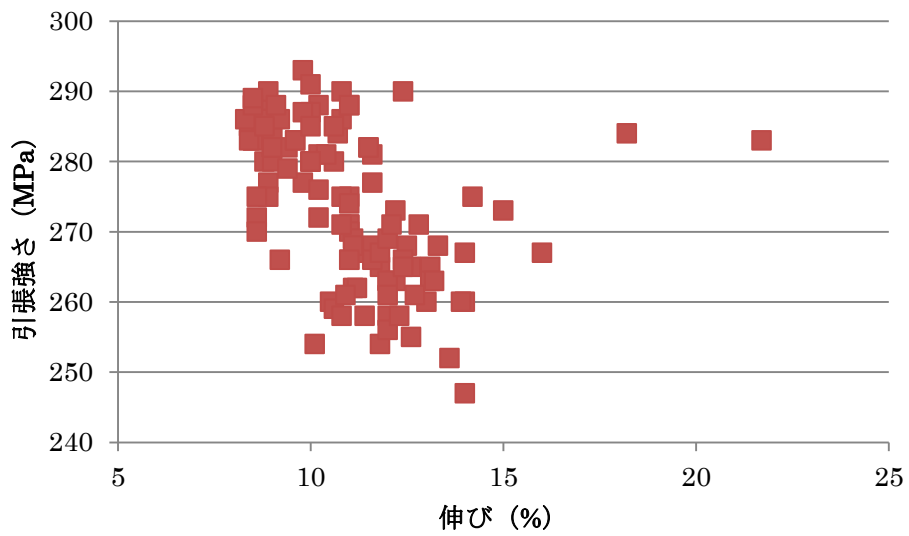


(b) 0.2%耐力

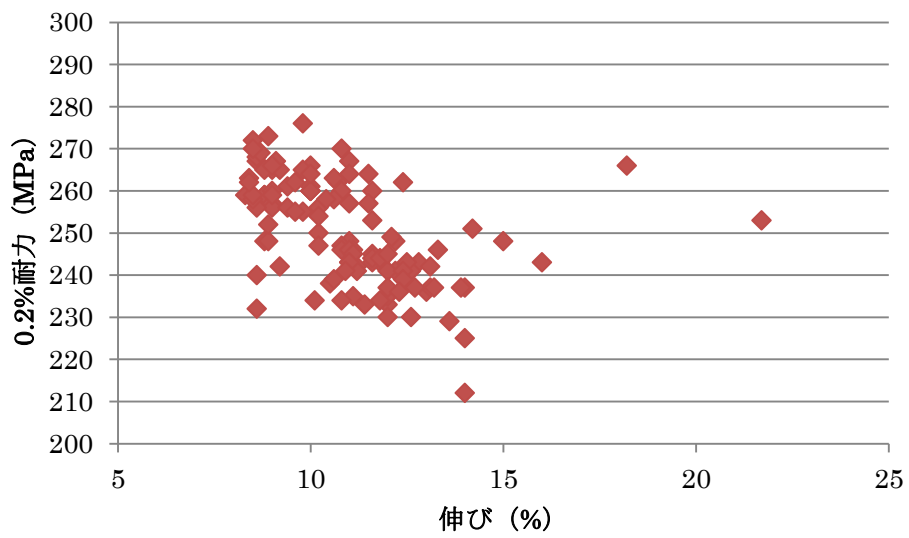


(c) 伸び

図 11 A6005C-T6 [押出型材]

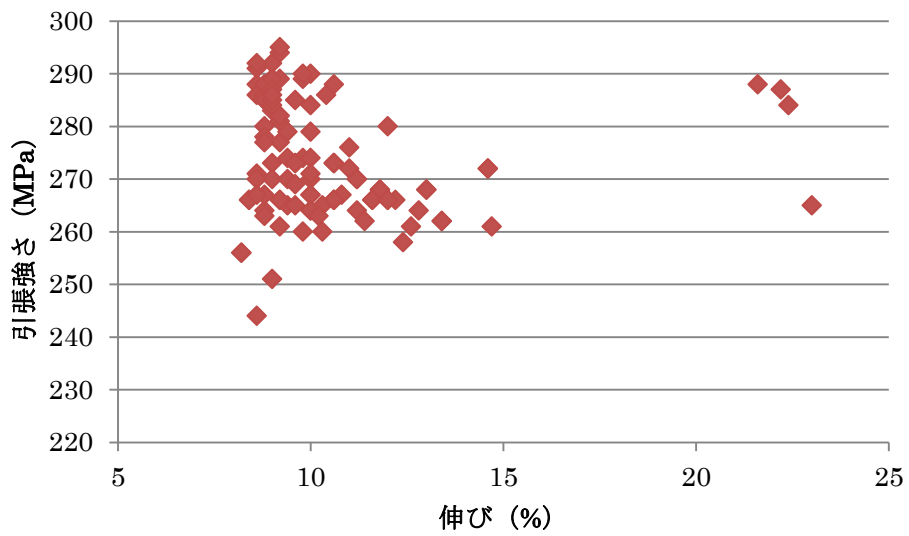


(a) 引張強さと伸びの関係

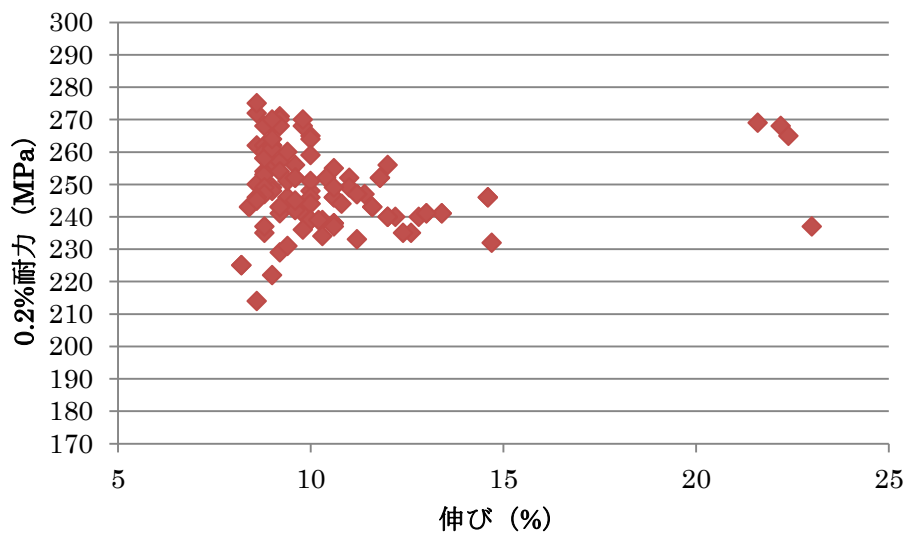


(b) 0.2%耐力と伸びの関係

図 12 A6005C-T5 ($t \leq 6\text{mm}$) [押出型材]

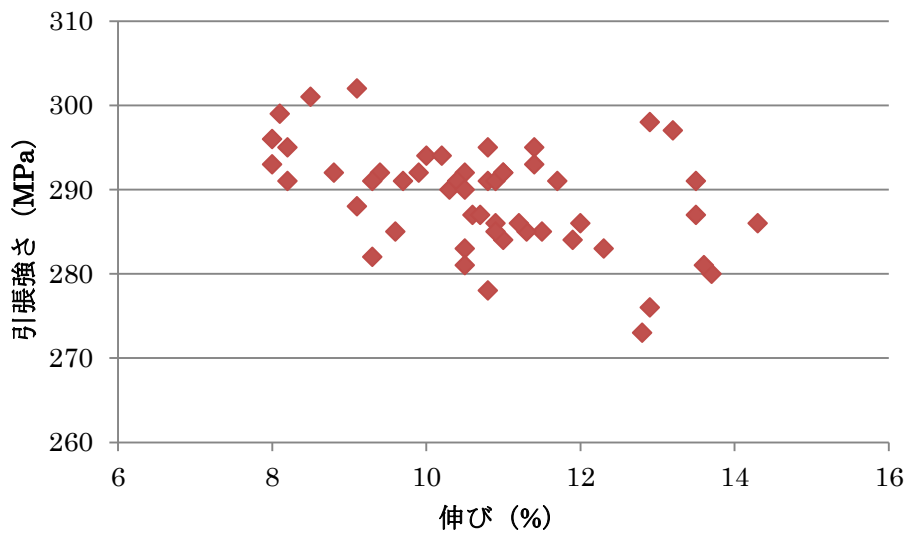


(a) 引張強さと伸びの関係

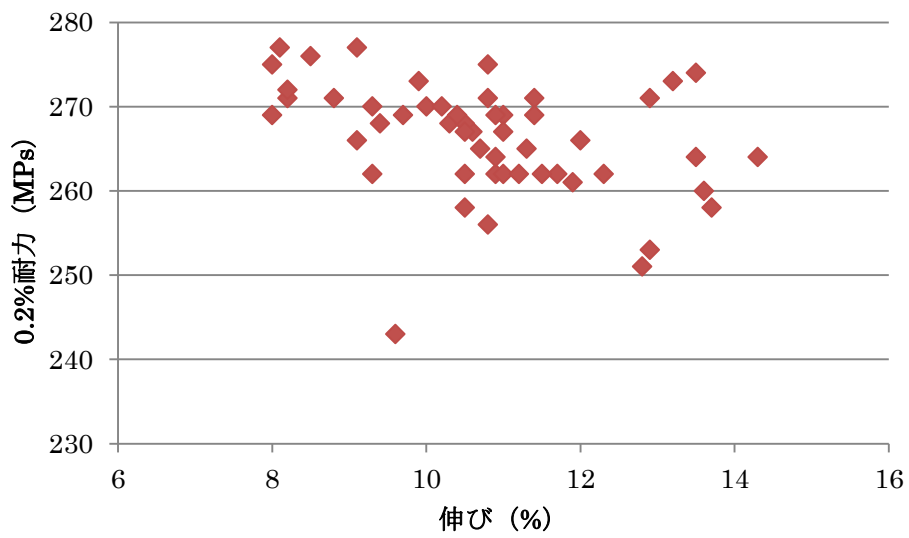


(b) 0.2%耐力と伸びの関係

図 13 A6005C-T5 ($6 < t \leq 12\text{mm}$) [押出型材]



(a) 引張強さと伸びの関係



(b) 0.2%耐力と伸びの関係

図 14 A6005C-T6 [押出形材]

第4章 結論

本論文は、国内のアルミニウム合金圧延メーカー5社からミルシートを収集し、アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針（案）²⁾で採用されるアルミニウム合金材の強度に関する統計調査を行った結果、次の結論を得た。

- (1) JIS H 4100 が 2015 年に改正された際¹⁾、押出型材の A5083-H112 の 0.2%耐力が「140MPa 以上」から「110MPa 以上」に変更された。しかし今回の調査結果から、0.2%耐力が 140MPa 未満の標本が無かったため、アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針（案）²⁾において、A5083-H112 の押出型材の 0.2%耐力の下限値を 140MPa と規定しても問題はないと考える。さらに、A5083-H112 の押出型材に対する調査結果で、引張強さが 275MPa 未満の標本は無かった。したがって、アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針（案）²⁾において、押出型材の A5083-H112 の引張強さの下限値を、押出型材の A5083-O の引張強さの下限値と同じに設定し、引張強さの下限値を 275MPa と規定しても問題はないと考える。
- (2) 押出型材の A6061-T6, A6005C-T5, A6005C-T6 に関して、アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針（案）²⁾で規定される伸びの下限値 10%を満たさない標本がある。特に、板厚が 6mm を超え 12mm 以下の A6005C-T5 の押出型材については、伸びが 10% 未満の標本の割合が 50%を超えるので注意が必要である。
- (3) 押出型材の A6005C-T5 と A6005C-T6 に関して、引張強さまたは 0.2%耐力が下がると伸びが大きくなる傾向がある。押出型材の A6005C-T5 と A6005C-T6 において引張強さおよび 0.2%耐力に対して JIS で規定される下限値と比較して、これらのアルミニウム合金の引張強さおよび 0.2%耐力はかなり高い。したがって、押出型材の A6005C-T5 と A6005C-T6 に対して、引張強さおよび 0.2%耐力を下げることにより、10%以上の伸びを確保することができると思われる。

参考文献

- 1) JIS H 4100 : アルミニウム及びアルミニウム合金の押出形材, 2015.
- 2) 土木学会, 鋼構造委員会, アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針作成検討小委員会 : アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針 (案), 2015.
- 3) JIS H 4000 : アルミニウム及びアルミニウム合金の板及び条, 2014.
- 4) 国枝明, 中込忠男, 橋本篤秀, 緑川光正, 山田丈富, 原山浩一 : 金属系新素材・新材料の利用技術の開発 (建設省総合プロジェクト・新素材) その91「アルミニウム合金の機械的性質に関する統計調査」, 日本建築学会大会学術講演概要集, pp.1211-1212, 1993.