アルミニウム鋳物別鋳込引張試験用 鋳型の決定に関する研究*

Report on a study in the evaluation of gravity die and sandmold designs for aluminum alloy tensile test bars

アルミニウム鋳物委員会**

Aluminum alloys casting committee

1. 序 言

現行 JIS に規定されているアルミニウム合金鋳物の別鋳込引張試験片はすべて鋳鉄製の船型鋳型を用いて作られる。したがって金型と砂型の区別はない。

近年使用者の強い要望により、最近の JIS 改訂に際して Federal 砂型試験片鋳型とその試験値とを参考として JIS に掲載することになったが、これは将来金型と砂型の試験片を区別して規格化するまでの移行過程における臨時措置である。また現行 JIS の船型鋳型で採取された試験片は切削加工費が高く、かつ鋳物実態の強さを代表しないなどの点で満足すべきものでない。

本試験研究は、この現状に立脚して、多くの諸外国ですでに実施されている砂型と金型を区別しかつ鋳はだのままで試験が行なえるような試験片鋳型を制定すること

を最終目的とし、さしあたりアメリカ Federal 規格をはじめイギリス、フランス、ドイツ、カナダなどの諸外国の規格をそのまま、または改良して比較検討を行なうことにあつた。

過去 1 年にわたる実験研究によりこれら諸国の規格の検討をひととおり終ることができたので、ここにその結果をまとめて報告する。

本研究はその性質上多くのアルミニウム合金について数多くの試験を行なうことによつて、はじめて結論がえられるものであつて、今後なお多くの実験を重ね、かつ鋳造方案にいく多の改良を重ねた上で、はじめてその方式が決定されるべきである。

2. 金型に関する研究

2.1 Federal 金型およびその改良に関する実験研究

Fig. 1 U.S. Federal 規格金型図面

* 昭和40年度日本鋳物センター委託研究

** 執筆責任者 アルミニウム鋳物委員会 幹事長 加藤正夫

現用 Federal 金型は鋳はだのままで試験できる数少ない鋳型の 1 つであるが、試験片グリップ部が細過ぎて、高温引張試験の際ねじを切るとねじ部より破断したり、鋳造性の悪い合金では R 部にひけを生じたり、押湯が薄くて長いきらいがあるなど具合の悪い点が認められる。そこで現用 Federal 金型の試験片平行部はそのままとし A; 押湯, B; 湯口, C; グリップを変化させた改良型を作成し現用 Federal 型とその機械的性質を比較した。(Fig. 1 参照)

2.1.1 実験要因

A; 押 湯

現型の押湯中央部(平行部上部)は押湯効果が少なく不要と考えられるので削りテーパをつけて上方を厚肉にした。押湯の形状 2 種類(A1 および A2)について検討した。(Table 1, Fig. 2)

B; 湯 口

現状の湯口は垂直であり型端部に鋳込口が位置していないので湯が鋳込みにくく乱流も生じやすい。そこで鋳込口を型の端部にあげ湯口を傾斜させて鋳込作業を容易にした Fig. 3 に示すような湯口について検討した。

C; グリップ

現用型では高温引張試験の場合にグリップ部にねじを切るねじ部で破断しやすい欠点がある。グリップ径(c1)および押湯との接合部巾(c2)を Table 2 のとおり 4 種類(C1, C2, C3 および C4)に変化してその効果を検討した。

Fig. 2 押湯部と試験片部の形状

Table 1 押湯方案 (mm)

	a1	a2
A1	30	45
A2	22	37

Table 2 グリップ部の寸法 (mm)

	c1	c2	備 考
C1	16	19	現用型の寸法
C2	19	19	
C3	19	22	
C4	22	22	

2.1.2 使用材料

合金は AC2B の 1 材質とした。航空機用材料をも加えた再生塊を用いたので Zn, Mg など不純物が多い。

(Table 3)

2.1.3 鋳造条件

鋳造温度 690~730°C

金型温度 210~240°C

鋳造作業中、終始上記温度を測定したが上記温度範囲におさまった。

2.1.4 試験結果

a. 鋳物重量

湯口押湯を含む鋳物総重量の比較は Table 4 のとおりである。

b. 引張試験

押湯 (A), 湯口 (B), グリップ (C) を変化させた金型により試験片を作成し、引張試験を行なった結果を Table 5 に示す。

Fig. 3 湯口方案

Table 4 鋳物総重量の比較 (kg)

	重 量	備 考
A1B1	0.89~0.98	これらの範囲の変動は要因 C のグリップの変化によるもの。
A1B2	0.85~0.93	
A1B3	0.93~1.00	
A2B1	0.80~0.86	
A2B2	0.75~0.85	
A2B3	0.85~0.90	
現用 Fed.	1.35	

Table 3 供試材 (AC2B) の化学分析値

	Si	Cu	Fe	Zn	Mg	Mn	Ni	Ti	Al
供 試 材 料	6.20	3.68	0.69	0.40	0.57	0.14	0.35	0.15	残 り
規格 AC2B	5.0~7.0	2.0~4.0	≤1.0	≤1.0	≤0.5	≤0.5	≤0.3	≤0.2	"

2.1.5 考 察

Table 5 の Fed. 改良型による結果と、**Table 6** の現用 Federal の型の結果を比較すると

Table 7 のごとく改良型のほうが種々の要因による変化を含んだ値の母集団であるにもかかわらず、ばらつきが小さく平均値が高い。

Table 5 の結果を分散分析で検討すると **Table 8,9** のとおり引張強さは要因 C(グリッブ)の主効果と要因 A, B(押湯と湯口)と交互作用が有意差を示した。伸びは要因 Bの主効果と要因 A, B(押湯と湯口)の交互作用が有意差を示した。有意差が認められた要因についてグラフをプロットすれば、**Fig. 4, 5, 6** のとおりである。

2.1.6 結 論

a; 押湯は大きい方(a1)が引張強さが高い。

Table 5 Federal 金型の改良型による試験片の機械的性質

実験番号	実 験 因 子			引張強さ (kg/mm ²)	伸び(%)
	押湯 A	湯口 B	グリッブ C	3 本平均	3 本平均
1	1	1	1	16.6	1.2
	1	1	2	16.3	1.0
	1	1	3	17.3	1.1
	1	1	4	15.9	0.8
2	1	2	1	17.2	1.2
	1	2	2	17.9	1.4
	1	2	3	18.5	1.3
	1	2	4	19.1	1.3
3	1	3	1	18.5	1.8
	1	3	2	18.5	2.1
	1	3	3	17.8	1.6
	1	3	4	17.0	1.9
4	2	1	1	14.9	1.1
	2	1	2	16.5	1.2
	2	1	3	18.9	1.3
	2	1	4	19.3	1.2
5	2	2	1	16.6	1.5
	2	2	2	15.5	1.5
	2	2	3	15.9	1.6
	2	2	4	17.1	1.2
6	2	3	1	16.3	1.4
	2	3	2	17.6	1.5
	2	3	3	17.1	1.5
	2	3	4	18.3	1.4

実験順序は表の実験番号をランダムにとり 2,5,1,4,6,3 の順に鋳造した。

引張強さ 全平均: 17.30 kg/mm² 標準偏差: 1.52 kg/mm²
 伸 び 全平均: 1.38% 標準偏差: 0.42%

b; 湯口は引張強さ、伸びにおいて B3>B2>B1 の順によさそうである。

c; グリッブは大きいものほど引張強さが高い。

以上のとおり、この実験研究の範囲では a1-B3-c4 の組合せが最もよいと結論される。(Table 8,9,10)

Table 6 現用 Federal 金型による機械的性質

	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)
10 本 平 均	16.4	1.2
標 準 偏 差	2.18	0.41

Table 7

	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)
Table 5	17.3±3.0	1.3±0.8
Table 6	16.4±4.4	1.2±0.8

±26を取ったので危険率 5%である。

Table 8 引張強さの分散分析

要因	自由度	SS	MS	F	判定	f (%)
a	1	6.36	6.36	3.85	—	2.31
b	2	6.75	3.38	2.05	—	2.07
c	3	15.27	5.09	3.08	*	6.18
d	2	2.48	1.24	0.75	—	—
a×b	2	22.63	11.32	6.86	**	11.57
a×c	3	13.13	4.38	2.65	—	—
b×c	6	14.47	2.41	1.46	—	—
e	52	85.91	1.65	—	—	—
計	71	167.00	—	—	—	—

* 危険率 5%で有意

** " 1 "

Table 9 伸びの分散分析

要因	自由度	SS	MS	F	判定	f (%)
a	1	0.004	0.004	0.03	—	—
b	2	3.26	1.63	11.64	**	22.17
c	3	0.28	0.09	0.64	—	—
d	2	0.85	0.43	3.07	—	—
a×b	2	1.31	0.66	4.71	*	7.61
a×c	3	0.17	0.06	0.43	—	—
b×c	6	0.22	0.04	0.29	—	—
c	52	7.44	0.14	—	—	—
計	71	13.53	—	—	—	—

* 危険率 5%で有意

** " 1 % "

2.2 カナダ金型試験片の検討

(Canadian Standards Association, HA Series-1958, Specifications for Aluminum and Aluminum Alloys,

Fig. 9. Casting Testing Specimen Permanent Mould Type. **Fig. 7)**

2.2.1 試験片用金型

Fig. 8 によりこの金型を製作した。湯口の形状は規格に指示されていないので、図を測定して **Fig. 9** のごとく定めた。

Fig. 4 押湯および湯口方案に基づく実験結果

Fig. 5 押湯および湯口方案に基づく実験結果

Fig. 6 グリッパ方案に基づく実験結果

Table 10

要 因	水 準	引張強さ (kg/mm²)		伸び (%)	
		平均値	σ	平均値	σ
押湯の大小	a 1 (大)	17.6	1.24	1.4	0.38
	a 1 (小)	17.0	1.72	1.4	0.36
湯 口 方 案	b 1	17.0	1.79	1.1	0.35
	b 2	17.2	1.35	1.4	0.42
	b 3	17.7	1.28	1.7	0.36
グリッパ径	小 c 1	16.7	1.48	1.4	0.47
	c 2	17.1	1.46	1.5	0.42
	c 3	17.6	1.29	1.4	0.40
	大 c 4	17.9	1.56	1.3	0.42

く定めた。

2.2.2 試験結果

a. ALCAN の規格には、JIS AC7A 相当合金の金型試験片性質は記載されていないが JIS に採用する場合はすべての合金の試験片が鋳造できなくてはならないのでまず最も鋳造性の悪い AC7A で試鋳した。そのできばえは **Photo. 1** に示すごとくチャック部に引けによるへこみが生じた。金型温度および鋳造温度を変化させても

Fig. 7 カナダ規格金型鋳造方案

Fig. 9 湯口方案

Photo. 1 カナダ試鋳試験片

完全なものはえられなかつた。引けによるチャック部のへこみは平均約1.5mmである。

b. 以上の結果により湯口は変更せず **Fig. 11** に示すごとく試験片チャック部に押湯をつけて 鋳造した結果は、AC4C の試験片にはかなりの向上が認められる。こ

Fig. 10 試験片に生ずる引けの位置

Fig. 11 カナダ金型試験片金型押湯配置図(左右対称)

Fig. 8 カナダ規格金型図面

Table 11 カナダ金型試験片の引張試験結果AC4C-F ($\bar{X} \pm \sigma$)

	引張強さ(kg/mm ²)	伸 び (%)
押湯なし	14.55±1.76	3.73±0.83
湯 付	17.1 ±0.84	3.39±0.59

巻きこみやすく引けが生じやすい。これを改善するために両側に押湯をつけてみたが入った湯の逃げ場がないのでこの効果がじゅうぶんでいない。この型の改良を継続することは望ましい成果がえにくいと考えられたので一応打切ることにした。

3. 砂型に関する研究

3.1 総 説

アルミニウム合金鋳物 JIS 規格 (JIS H5202-1964) の参考として砂型試験片が載せてある。これは米国の Federal QQ-A-6016 をそのまま採用したものである。これはあくまで参考であつて規格ではない。1 で述べたように試験片による強度試験結果が鋳物の実体強さの代表値に近い値を示すようになれば、またはばらつきの少な

Fig. 12 Table 12 の付図**Table 12** 各試験片の主な寸法の検討

記号 型式	aφ	b	cφ	d	e
Federal	12.8	57	20	52	12
B.S	15.88 (0.625)	54 (21/8)	25.4 (1)	27 (17/64)	25.4 (1)
DIN	12	66.8	16	33	14.5
NF	13.8	80.0	18	26	15

単位 mm () は in

Table 13 鋳 造 方 案 の 比 較

	Federal	Federal 改良型	DIN	BS	NF
湯 口 (mm)	38φ×65	20φ×65	[19.3×15.4]×140	37φ×87 逆テーパ	17φ×63
湯道およびせき (mm ²)	387.5	387.5	104	せき 80 湯道 1225	144
押湯 1 本 (mm)	43φ×65 (254g)	同 左	約31φ×95 (195g)	48φ×87 (425g)	[40×35]×63 (187g)
全 重 量 (g)	2600	2200	3500	4400	2300
試験片 1 本の重量 (g)	122	同 左	70	150	84
試験片重量/全重量 (%)	9.4	11	8.1	13.6	14.6

い値が試験片によりえられるならば鋳物の設計者をはじめ関係者の最もおぼむところである。

この主旨により諸外国の試験片の採取規格を集め、このうちから鋳肌のままで試験機にかかるものを選んだ。

Federal QQ-A-6016 のほか B.S 型 (英国) 4 本取り、DIN 型 (西ドイツ) 4 本取り、NF 型 (フランス) 4 本取りの 4 種類を取り上げて検討することとした。これら 4 種類の規格に定められた試験片の形状ならびにその鋳造方案を Table 12 と Table 13 にまとめて表示し比較の便に供した。(Table 12, 13 参照)

3.1.1 Federal 型

a. 現行 Fed. の鋳造方案をみると、湯口が中央にあり一度分れた溶湯が 2 つの湯道に分れそのまま両側のせきから試験片の鋳型空間にはいり、試験片の中央で合流して冷却凝固される (Fig. 13)。

b. 試験片の大きさに対し湯口などが非常に大きく鋳物実体の場合を考えるとその差があまりに大きすぎるのである。Fed. 改良型はこの点を検討改良したものである。

3.1.2 DIN 型

a. 溶湯の湯流れに重点をおき湯の流速がたえず一定になり湯がおどらないようにたて湯口の形に工夫が払われている。また湯口の位置も中央より端に近くして注湯しやすくしてある。

b. 湯口の高さを押湯より高く湯導の長いのが特長である。

c. 試験片の径が 12 mm で試験片と鋳込重量との比率が他のいずれのものよりも小さい。

3.1.3 B.S 型

a. 試験片の鋳わくに平行して 4 本あるのが他のものと異なっている。湯口は中央にありせきは試験片鋳型空間の入口の直前でしぼつてある。

b. 試験片の径が他のものより大きく長さが短い。歩止りは 13.6% で比較的よい。

3.1.4 NF 型

a. 試験片は DIN と同じく 4 本平行にならびそのうち 2 本づつ一組になり湯口は一組に 1 つつき一方向より試験片の鋳型空間に注入される。

歩止りは 14.6% とほかのものより大きく使用溶湯の量からみると最も経済的である。

3.2 Federal 砂型とその改良型

3.2.1 実験方法

現用 Federal 砂型は試験片中央部で湯が合流する点や、型中央に鋳込口があるため鋳込時にひしやくが高くなりやすい。また 鋳込口が大きすぎるなどの欠点がある。これらの点を改良した Federal 改良型 (Fig. 14 参

照), と Federal 現用型 (QQ-A-601) について AC7A-F および AC2B-F の試験片を鋳込みその機械的性質を検討した。

a. 実験材料

Table 14 に示す。

Table 14 供試合金材料の化学成分 (%)

	Si	Cu	Fe	Zn	Mg	Mn	Ni	Ti
AC7A	0.05	tr	0.17	tr	3.90	0.35	—	tr
AC2B	6.20	3.68	0.69	0.40	0.57	0.14	0.35	0.15

Fig. 13 Federal 砂型現用型

b. 実験結果

鋳込温度は両合金とも 690～720℃

重量（鋳物総重量）

現用 Federal 型約2.6kg (Fig. 13, Photo. 2)

改良 Federal 型約2.2kg (Fig. 14, Photo. 2)

Photo. 2 Federal 砂型の現用型（左）とその改良型（右）による鋳造試験片の外観

Table 15 Federal 砂型とその改良型で採取した試験片の引張試験結果

材 質	試片 No.	Fed. 現 用 型			Fed. 改 良 型		
		引張強さ (kg/mm ²)	耐 力 (kg/mm ²)	伸 び (%)	引張強さ (kg/mm ²)	耐 力 (kg/mm ²)	伸 び (%)
AC7A	10本平均	22.8	9.5	13.6	23.3	9.4	15.5
AC2B	10本平均	17.6	—	1.1	17.8	—	1.2

3.2.2 実験結果

Federal 現用型およびその改良型による試験片の機械的性質を Table 15 に示す。

3.2.3 考 察

以上に述べた試験結果から明らかなように、Federal 改良型は現用型にくらべ、溶湯重量が少なくてすみ、強さ、伸びの値自体は大差ないがばらつきが小さく、改良の効果が認められる。

3.3 DIN 砂型

DIN 砂型の図面は Fig. 15 に示すとおりである。

3.3.1 概説および総括

a. 第1回目の試験は AC4B を用いたもので DIN 鋳型による試験片の成績は他社で行なった他の形状の試験片による成績と比べ遜色がなかった。また JIS 金型によ

Fig. 14 Federal 砂型改良型

る成績ともあまり差がみられなかった。

第2回目の試験は AC7A を用いた。Mg 5 % 以上を含有していたのと、使いなれているために比較的よい成績がえられた。

第3回目の試験は AC7A の Mg 4% のものを用いた。その結果、Table 16 に示すような成績がえられた。この結果は他の型の成績と比べて多少低い数値であるが比較にならない数値ではない。AC4B のような鑄造性のよい合金では DIN 鑄型はよい成績がえられる。AC7A のような鑄造性のあまりよくない合金では鑄造方案、鑄込温度などにより成績の数値の差が大きくなる。また鑄型内の試験片の位置による差を求めるために Table 17 のように分類したが位置による差は明らかでない。しかし破断面の破断位置よりみると格外と A とが外側①、④に A, B が②、③に多い。

DIN 鑄型のような試験片の径が細くかつ細長い湯道をまわる方案では湯流れは均一でよいが溶湯の温度の降下が速くなり、したがってこのような方案は鑄造性のよくない合金には必ずしも適しないように思われる。しかしこの程度の試験で、DIN 鑄型の良否を判定することは適当でない。なお試験を重ね合金の鑄造性を考え他の鑄型による成績と比べ、最終的に結論しなければならない。

b. 実験結果

Table 16, Table 17 中の試験片番号の数字は同一鑄わく内の位置を示す。湯口を左側に見て上部より①、②、③、④の順序である。試験片の直径は±0.2mmの偏差がみられたが、一応12mm直径として計算した。

Table 18 は同じ溶湯を JIS 金型に鑄込み4号試験片に加工したものの結果である。鑄込み温度が砂型と同じなので引張強さが低いようであるが溶湯は正状であるとみなされる。

3.3.2 第1回試験

Table 16 DIN 砂型試験片の試験結果 (AC7A)

試片 No.	かたさ (HrF)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)
平均	44.6	18.1	10.3

Table 20 砂型試験片引張実験結果

($\bar{X}$ 19.5)

試片 No.	引張強さ (kg/mm ²)	試片 No.	引張強さ (kg/mm ²)	試片 No.	引張強さ (kg/mm ²)	試片 No.	引張強さ (kg/mm ²)	試片 No.	引張強さ (kg/mm ²)	試片 No.	引張強さ (kg/mm ²)	試片 No.	引張強さ (kg/mm ²)
1~A	20.5	2~A	17.5	3~A	19.6	4~A	21.0	5~A	19.7	6~A	17.6	7~A	19.3
1~B	20.4	2~B	20.0	3~B	19.0	4~B	21.3	5~B	21.5	6~B	18.5	7~B	20.0
1~C	砂落不良	2~C	18.7	3~C	18.7	4~C	20.9	5~C	19.9	6~C	18.9	7~C	19.6
1~D	19.8	2~D	18.5	3~D	19.0	4~D	19.7	5~D	20.2	6~D	18.4	7~D	18.2

a. 実験方法

a.1 材質 AC4B-F (Table 19 参照)

a.2 試験片

Fig. 15 によりマツチプレート型により生砂型で鑄造し、引張試験を行なった。(Photo. 3)

Table 17 DIN 砂型試験片の試験結果と試片位置との関係 (AC7A)

試片 No.	かたさ (HrF)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)
①の平均	44.4	17.9	9.7
②の平均	40.75	18.9	10.4
③の平均	49.7	17.9	9.7
④の平均	43.6	18.1	9.8

Table 18 JIS 4 号試験片結果 (AC7A)

試片 No.	かたさ (HrF)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)
平均値	61.0	19.1	18.1

Table 19 第1回鑄込試験に用いた AC4B 合金の化学成分

試片No.	Fe	Cu	Si	Mg	Zn	Mn	Ni
1~A	0.59	3.06	7.54	0.07	0.07	0.17	0.07
2~A	0.59	3.10	7.50	0.07	0.13	0.07	0.05

Photo. 3 DIN 型砂型による鑄造試験片の外観

鑄込重量 3.45kg 試験片重量 700g/本

注湯速度 6sec

a.3 溶解 砂型現場の湯を使用

a.5 JIS 4 号試験片

a.4 鑄造条件 注湯温度 780℃

金型温度 約50℃

注 1. 接合部ハドストル
2. 指示ナキRハ2Rトスル

Fig. 15 砂型 DIN 現用型

溶湯の温度および成分，試験片 No. 1，2，6，7は砂型の同一番号の試験片とそれぞれ同時に鑄造した。したがって溶湯条件は同一とみてよい。(Table 21)

No. 4, 5 は試験片採取不具合のため不良とした。

3.3.3 第2回試験

a. 実験方法

a.1 試験片の化学分析試験を Table 22 に示す。

a.2 インゴットの化学成分を Table 23 に示す。

a.3 配 合

インゴット 80%+返り材20%

a.4 DIN 砂型試験片

Fig. 15 のとき マッチプレート型により 鑄造しそのまま引張試験を行なった。

a.5 溶解条件

フラックス……MgCl 粒を溶湯に対し 1 %使用

脱ガス ……N₂ ガス15分間バブリング

キリング ……15分~20分

a.6 鑄造条件

砂型試片 注湯温度 720℃

注湯速度 6 sec

JIS 4 号試験片 金型温度 約50℃

注湯温度 720℃

注; JIS 4 号試験片は砂型試験片の No. 1 …… 5 とおのおの同一湯扱いで No. 1 …… 5 を注湯した。

Table 21 JIS 4 号試験片引張試験結果

試 片 No.	引張強さ (kg/mm ²)
1	19.9
2	16.8
3	引果不良
6	19.2
7	19.9
$\bar{X}$ 19.0	

Table 22 AC7A JIS 4 号試験片の化学成分分析結果 (%)

成分 試験片No.	Cu	Si	Fe	Mg	Zn	Mn	Ni
JIS 4 号 No. 3	0.07	0.05	0.26	5.24	0.10	0.72	0.05
JIS 4 号 No. 4	0.07	0.05	0.27	5.06	0.10	0.71	0.05

Table 23 AC7A 合金地金の化学成分の分析結果 (%)

	Cu	Si	Fe	Mg	Zn	Mn	Ti	Be
インゴット	0.04	0.04	0.11	5.20	tr	0.35	0.01	0.003

b. 第2回実験結果

Table 24 に示すとおりである。

3.3.4 第3回試験

a. 実験方法

a.1 材質 AC7A: 化学成分を Table 25 に示す。

a.2 合金地金: 化学成分を Table 26 に示す。

a.3 配 合

合金地金80%+99.5% Al 20%

a.4 DIN 砂型試験片

Fig. 15 のとき マッチプレート型により鑄造しそのまま引張試験を行なった。

a.5 溶解条件

フラックス……MgCl 粒を溶湯に対し 1 %使用

攪 拌 ……15分 N₂ ガス使用

キリング ……20min

溶解容器 ……黒鉛るつぼ150番にて40kg溶解

a.6 鑄造条件

注湯温度 750℃

注湯時間 6 sec

a.7 JIS 4 号試験片

溶湯の適否のため金型温度約100℃

注湯温度 750℃

b. 第3回実験結果

前述のとおり，結果は Table 16 に示した。

3.4 BS および NF 砂型

3.4.1 実験方法

BS および NF 砂型を作成し AC2B および AC7A を用いて鑄造し，引張試験を行なつて両者の比較をした。とくに B. S. 型に関しては現用の鑄型方案では試験片の位置で湯が合流するので湯道4方向のうち2方向を

Table 24 DIN 砂型試験片の実験結果

試 片 No.	かたさ (HRF)	引張強さ (kg/mm ²)	耐 力 (kg/mm ²)	伸び (%)
平均値	56.9	21.2	9.9	9.3

Table 25 AC7A 合金試験片の化学成分

成分 試片 No.	Cu	Si	Fe	Mg	Zn	Mn	Ni	Ti
JIS 4号-1	0.01	0.36	0.11	3.96	0.01	0.24	tr	tr
JIS 4号-6	0.04	0.47	0.12	3.85	0.05	0.24	0.08	tr

Table 26 AC7A 合金地金の化学成分 (%)

	Cu	Si	Fe	Mg	Zn	Mn	Ni	Ti	Be
	0.01	0.03	0.06	5.02	tr	0.38	tr	0.01	0.003

削除し、この欠点をなくしたものを改良型として B.S-M と標記した。

a. 第1回試験

最も広く使われている合金の AC2B を使って 鑄造実験をした。(Table 27)

鑄型 下記の3種類の型に鑄込んだ。

BS (イギリス規格) (Fig. 16, Photo. 4)

BS-M (BS で湯道2方向削除した改良型)
(Fig. 16, Photo. 5)

NF (フランス規格) (Fig. 17, Photo. 6)

溶解 砂型現場の湯を使用

鑄造条件 湯 温 760°C

鑄込速度 10 sec

鑄造数 各5わく

b. 第2回試験

鑄造性の悪い合金の場合どうかを調べるため AC7A を用いて鑄造実験をした。

溶 解 120# 黒鉛のつぼ

溶湯処理 660~680°Cにてツバサフラツクス AF No. 2, 0.25%添加し脱ガスしその後 AF No. 6, 0.25%, 添加した。減圧凝固法でガスのないことを確認した。

鑄 型 BS, NF および Federal 3本取り

鑄造数 各3わく

c. 第3回試験

第1回および第2回の結果から BS より NF のほうが良い結果が出たので、Al2B-F 砂型現物の湯を用いて (Table 29)NF の鑄型で1日に2わくずつ型込みを行ない総数25わく(100本)鑄造した。

Table 27 材質 AC2B-F

	Cu	Si	Fe
AC2B	3.1	5.7	0.31

Table 29 AC2B-F 溶湯の化学成分 (%)

	Cu	Si	Fe	Mg	Al
AC2B-F	3.0~3.35	4~5.8	0.25~0.35	—	残

Table 28 材 質 AC7A-F

	Mg	Mn	Cu	Fe	Si	Zn	Ti	Al
目 標 値	3.8~4.0	0.3~0.4	<0.1	<0.4	<0.3	<0.1	<0.2	残
規 格	3.5~5.5	<0.8	<0.1	<0.4	<0.3	<0.1	<0.2	残
分析結果	3.8	0.38	0.04	0.14	0.05	—	—	残

Photo. 4 BS 型 (現用)

Photo. 5 BS 砂型 (改良)

合金材料 AC2B

注湯温度 750°C

脱 ガ ス ツバサフラツクス (スモークレスおよびスモークレス H) にて脱ガス。減圧凝固法でガスのないことを確認。

3.4.2 実験結果

a. 第1回実験結果 (AC2B-F) を Table 30 に示す。
引張試験結果をまとめると Table 31 のようになる。

BS, BS-M, NF を比較した場合伸び, 引張強さが高く標準偏差 (σ) の小さい NF が一番良いといえる。

Federal 砂型 3 本取りと比較した場合も標準偏差が小さい点で NF のほうがよいといえる。

b. 第 2 回実験結果 (AC7A-F)

この実験結果は **Table 32** に示すとおりである。

第 2 回実験結果について引張強さの平均値が BS, NF,

- 注
- 1) 試験片部のみ Al 材使用
 - 2) フリート部は合板 (ベニア) 材使用
 - 3) 特に指示なき方は 3R 以下
 - 4) () 内寸法は枠の内法寸法を示す
 - 5) 海渡部の内一方向 (L) については取付け取外し可能なフリートとの取付にすること
 - 6) () 内寸法は取換算寸法を示す
 - 7) * 印は鋳型の造型後の高さを示す。パターンでは 20~30 mm ほどよく刃が通す作業が必要
- (寸法公差)
- 1) フリート寸法公差 ± 0.1 [± 0.25 mm]
 - 2) 他の寸法公差 ± 0.2 [± 0.5 mm]

Fig. 16 BS 砂型

Photo. 6 NF 砂型

c. 第3回実験結果 (AC2B-F)

結果は **Table 33** に示すとおりである。

この結果から標準偏差を求めると、

$$\text{わく内変動 } \sigma_M = \bar{R}_1/d_2 = 1.1/2.06 = 0.53$$

$$\text{わく間変動 } \sigma_{p1} = \bar{R}_2/d_2 = 0.6/1.13 = 0.53$$

$$\sigma_{p2} = \bar{R}_3/d_2 = 1.9/3.078 = 0.62$$

全変動 度数分布図より標準偏差を求めると

$$\sigma_x = 1.02$$

Table 30 重量測定結果

型	鑄放し重量
B S	4,005 g
B S—M	3,900 g
N F	2,265 g

Table 31

型 別	伸び %	耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	引張強さの σ^*1 (kg/mm ²)
B S	2.6	7.9	15.4	0.73
B S—M	2.3	10.0	16.0	0.57
N F	3.3	7.1	16.8	0.37
JIS 舟 型			20.5	0.56
Fed. 金 型			18.4	14.2
Fed. 砂型3本			16.9	0.58

*1 BS, BS-M, NF は $\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n}}$ より標準偏差を計算し、また $\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$ より計算した。

Table 32 AC7A の引張試験結果

No.	B S (英 国)			N F (フ ラ ンス)				Federal (米 国)			
	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	切断位置	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	耐 力 (kg/mm ²)	切断位置	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	耐 力 (kg/mm ²)	切断位置
1	19.3	12.2	A	20.2	13.2	8.6	B	21.8	14.2	—	A
2	19.9	11.4	"	17.8	11.6	8.9	A	21.8	14.6	—	B
3	20.2	12.6	"	20.2	13.0	8.6	A	18.5	11.2	—	A
4	20.3	13.8	"	19.9	12.0	8.5	A	21.6	14.4	—	A
5	20.4	14.8	"	19.5	11.6	8.4	A	21.6	16.6	—	B
6	19.9	13.8	"	21.3	14.0	8.7	A	22.1	15.4	8.1	B
7	19.9	11.8	"	19.7	13.6	8.7	A	22.1	11.2	8.9	A
8	18.4	9.0	"	20.5	12.8	8.6	A	21.7	13.2	9.1	B
9	20.8	14.6	"	20.2	12.8	8.6	B	21.4	14.4	8.6	A
10	19.9	13.8	"	19.4	10.6	8.6	A	—	—	—	—
11	20.0	13.6	"	19.9	11.4	9.1	A	—	—	—	—
12	19.4	12.2	"	20.4	13.2	8.7	A	—	—	—	—
平 均	19.9	12.8	—	20.1	12.5	8.7	—	21.4	14.5	8.9	—

$$\text{日 間 変 動 } \sigma_a = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_M - \sigma_{p1}} = 0.69$$

σ_{p1} は 1 日に 2 わく鑄込んだものの各わくの引張強さの平均値をそれぞれ出し、その差を R_2 としたものより求めたものであり、 σ_{p2} は 1 日鑄込んだ 2 わくのテストピースは 8 本であるがこれらの引張強さの最大と最小値の差を R_3 としたものより求めたものである。

σ_{p1} のほうが σ_{p2} より小さいことはばらつきを少なくしようとするわくごとに平均値を出して使ったほうがよいことを示している。

3.4.3 考察と総括

a. ISO で推しているだけあつて B S より N F のほうが機械的性質の値が高くばらつきも小さい。

b. 砂型の場合 1 わくごとに平均値を出してこれを 1 個のデータとして取扱う場合、ばらつきは小さくなることは第 3 回実験で試算したとおりであるが外国の場合どのようにしているか調査する必要がある。

c. Federal と比較した場合

c.1 N F よりばらつきがやや少ない。

c.2 抜わくの大きさが N F より小さいので体の小さい日本人には型込みしやすい。

などの点より Federal 3 本取りのほうがややすぐれていると考えられる。

d. N F の場合平行部 13.8φ、チャック部 18φ とチャック部の径が小さいので高温引張の場合、ねじを切らずにそのまま引張るように工夫する必要がある。

4. 総括と結言

以上に報告したとおり、今回の実験結果からは、つぎに述べるような、問題点のいくつかが明らかとなった。

(1) 世界の主要アルミニウム産業国の規格を調査し、そのうちから、金型にせよ砂型にせよ、引張試験片を鋳肌のまま試験機にかけられるような鋳型および鋳造方案を選び出し、これらについて実験研究を行ない、種々の角度から検討し、また改良を加えて比較した。

(2) 金型に関しては、アメリカ Federal 規格の型を改良したものが最もよさそうである。

(3) 砂型に関しては、アメリカ Federal、フランス NF、ドイツ DIN などがすぐれた成績を示し、またこれら

三者間に著しい優劣の差は認められなかったが、経済性の点からは NF が最もすぐれている。この結論は ISO、TC79 委員会が最近暫定的に決めた結論と大体一致する。

(4) この実験研究からわかるように、諸外国の規格といえどもなお改良の余地が、かなりあることが明らかとなった。

以上に総括して述べたように、本総合研究の最終目標に対する第一段階の実験研究の成果はじゅうぶんにあげ

Table 33 引 張 強 さ (AC2B-F)

わ く No.	鋳造日	引張強さ (kg/mm ²)				$\bar{X}$	R_1	R_2	R_3	備 考
		1	2	3	4					
1	1	17.4	17.3	16.1	17.0	17.0	1.3			R_1 は同一わく内(4個)の最大, 最少の差を示す。(わく内変動)
2		17.1	16.7	17.3	16.7	17.0	0.6	0	1.3	
3	2	16.9	16.7	16.6	16.7	16.7	0.3			R_2 は同一鋳造日の $\bar{X}$ の差を示す。
4		15.2	15.8	15.2		15.4	0.6	0.7	1.7	
5	3	16.5	16.0	17.5	17.6	16.9	1.6			R_3 は同一鋳造日(8個)の最大, 最少の差を示す。
6		16.7	16.6	16.8	16.8	16.7	0.2	0.2	1.6	
7	4	16.0	16.4	16.0	15.6	16.0	0.8			R_2, R_3 わく間変動。
8		15.4	15.1	15.1	15.8	15.4	0.7	0.6	1.3	
9	5	15.3	14.8	14.3	16.0	15.1	1.7			
10		15.4	14.9	15.5	15.4	15.3	0.6	0.5	1.7	
11	6	14.7	15.7	15.8	15.1	15.3	1.5			
12		15.3	15.8	14.3	15.6	15.3	1.1	0	1.5	
13	7	17.6	16.5	16.4	16.7	16.8	1.2			
14		13.9	14.0	14.4	15.3	14.4		2.4	3.7	
15	8	15.6	15.4	14.7	15.3	15.1				
16		14.1	14.8	15.8	15.4	15.0	1.7	0.1	1.7	
17	9	14.6	15.3	14.8	14.1	14.7	1.2			
18		14.8	14.9	14.2	14.4	14.6	0.7	0.1	1.2	
19	10	15.9	16.1	14.1	13.9	15.0	2.2			
20		14.9	17.1	16.5	16.7	16.3	2.2	1.3	2.8	
21	11	16.1	15.9	16.3	15.8	16.0	0.5			
22		15.2	14.2	15.8	14.3	15.0	1.6	1.0	2.1	
23	12	14.0	15.6	15.2	15.8	15.2	1.8			
24		16.2	15.9	15.5	16.1	15.9	0.7	0.7	2.1	
25	13	16.6	16.4	16.1	16.3	16.4	0.5	$\bar{R}_2$ 0.6	$\bar{R}_3$ 1.9	

えたものとする。

しからば、この成果を有力な足がかりとして、つぎにどのような考え方でこの研究を進めていくかということに関して述べて結言としたい。

まず基本的考え方から述べると、砂型、金型ともに実際の鋳物の製造条件に近い方案で鋳造し、それぞれの実体強度を代表するような、かつばらつきの小さい値がえられ、しかもいずれの合金系にも使用できるものという考え方と、合金系の特性の差がかなり明確であるため、その合金の特質を最大限に具現するように合金系ごとに異った鋳造方案を採用し、あわせて鋳造技術でも検定できるように、たとえば銅合金鋳物の JIS のようなものにするという考え方とがある。たしかに、アルミニウム合金鋳物試験片鋳型の外国規格には、金型、砂型ともに、この 2 種類を規定しているものがある。またとくに鋳物実体を代表する試験片の場合、合金の鋳造性の悪いものに対しては、たとえば BS 規格や NF 規格が Al-10 %Mg 合金に対してやつているように、特別の型を指定しているのである。

このようなことがらをじゅうぶんに念頭において、また一方少数の合金を除いてはアルミニウム合金鋳物については個々の合金間に銅合金ほど著しい差がないという観点から、さしあたり鋳物の実体強度を代表する試験片の採り方に実験研究を集中するのが適切であろうと考えられる。そこで、この基本方針を実行に移すとするならば、以下に述べるような具体的研究過程が必要と考えられるのである。

(1) 砂型の総論の項に表示 (Table 12) したように、試験片の形状は各国で異っているが、試験目的ならびに

試験機の機能などを考慮して、まず試験片のチャック部の太さ、長さを定めることから始められるべきである。

(2) 前項で定めたチャック部に相応した平行部の太さ、長さを定めた。

(3) 平行部からチャック部の変化部の R 形状を定める。この研究のためには AC7A のように成分が一定すれば比較的大きな引張強さ、伸びが安定してえられる材料を用いて検討するのがよいと考えられる。

(4) 砂型、金型ともに、鋳物として考えた場合、たてよこいずれの鋳造法がより妥当性があるかを決定する。

(5) (4)の決定に基き、いずれの材質でも引け巢のない試験片鋳物を作るに必要な押湯の大きさの研究を行なう。

(6) Federal 改良金型の項で示したように、湯口系の形状変化に伴う組織の健全性と試験値の安定性の研究を行なう。

(7) 総合的な鋳造条件の検討を行なう。鋳型には本来注湯を主とし(たとえば渦流などの防止にとくに留意したもの)凝固過程を従に考えたものとそれらを逆に考えたものがある。この点をじゅうぶんに考慮して DIN のようにあるいはもつと詳細に鋳造方案を規定するようにする。

(8) 多数個取りの鋳型を使用する場合は 1 わくあるいは 1 型で同時に採取される試験片の試験結果の判定方法を定める。

(9) 砂型試験片の場合、鋳肌の凹凸度や真円度の規定を設ける。

以上に本実験研究を総括し結言を述べてここに報告をおわる。