

# アルミニウム合金の押出加工に対する材料物性と 機械的強度に関する研究

富山県立大学 工学部 機械システム工学科

助教授 松岡信一

(平成5年度研究開発助成 AF-93011)

## 1. 研究の背景

アルミニウム合金は、構造物の軽量化や優れた加工性などを有することから、建築材料をはじめ広範な分野で多用されている。しかし、ニーズの多様化に伴って製品は一段と多品種、高品質化する傾向にある。したがってこれらに対応するためには、材料特性と加工性の相互関係を明確にすることが重要となり、また、省エネルギー・省資源の観点からも有益であると考えられる。

ここでは各種のアルミニウム合金について、材料組成と機械的強度の関係を明確にすると同時に、その材料の押出加工性の良否を調査し、実用に際しての影響や効果などについて検討する。<sup>1)</sup>

## 2. 研究の目的

アルミニウム合金の押出加工性は、素材の物性や合金組織及び熱処理によって大きく左右される。これらの関係を明確にすることにより、目的用途に合致する最適な加工条件が明らかにできる。ここでは、アルミニウム合金の鋳造材及びその押し出し材について、機械的強度を比較検討するとともに、押出加工性に及ぼす材料組成や熱処理の影響及びその効果等について調査する。また、得られた結果からグループテクノロジーマップを創造し、将来のデータベースを構築する際の資料とする。

## 3. 実験方法及び実験条件

本研究で用いたアルミニウム合金は9種類で、その組成をTable. 1に示す。それぞれの

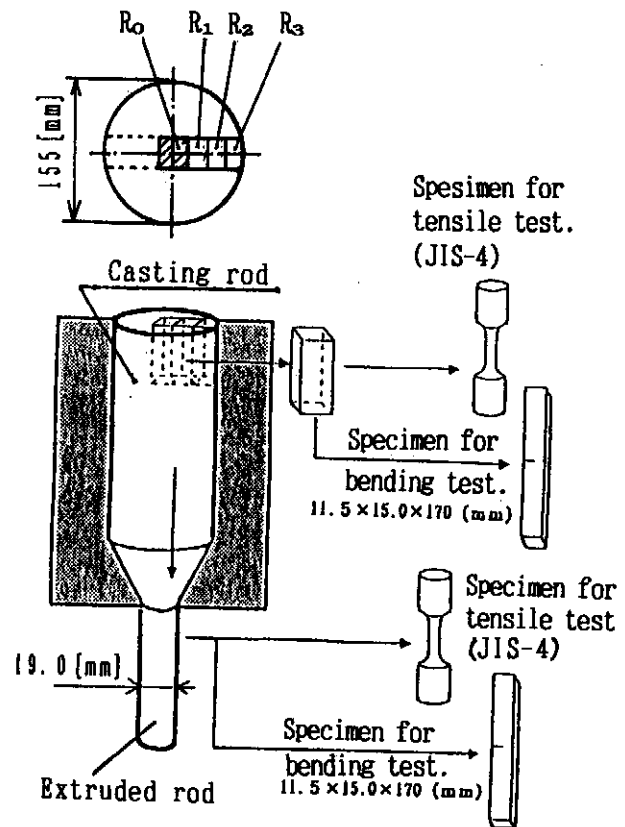


Fig.1 Specimen for tensile and bending tests, machined from extruded and casting rods.

Table.1 Chemical composition and kinds of aluminum alloy used for extrusion test.

Alloy	Main constituent: Aluminum [Wt%]								
	Cr	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Zr	Ti	Cu
1070	-	0.11	0.33	-	-	-	-	-	-
3003	-	0.35	0.30	1.15	-	-	-	-	0.12
5052	0.25	0.04	0.11	-	2.50	-	-	-	-
5056	0.10	0.04	0.11	0.07	4.70	-	-	-	-
6063	-	0.43	0.18	-	0.49	-	-	-	-
6N01	-	0.60	0.18	0.12	0.45	-	-	-	0.15
6061	0.07	0.70	0.18	-	1.00	-	-	-	0.21
7003	-	0.04	0.15	-	0.83	5.70	0.15	-	0.15
7N01	0.11	0.04	1.21	0.50	1.25	4.50	0.16	0.05	0.11

材料(鋳造材)を、ダイス加熱温度480℃, ピレット加熱温度450℃, 押し比70.5, 押し速度5~50(m/min)で押し加工したものについて特性を評価した。また, 押し後の時効処理条件は, 6000系合金では200℃-3Hr, 7000系合金では, 押し後-72Hr放置後105℃-8Hrを採用した。鋳造材及び押し材の機械的強度試験には, 引張及び曲げ試験を行い, それぞれの試験片の採取と寸法形状をFig. 1に示す。なお, 引張速度は1mm/min, 曲げ試験は常温と低温の両環境下で試験を行い比較検討した。

#### 4. 実験結果

##### 4. 1 鋳造材と押し材の引張強度特性

Fig. 2 は, 各種材料の押し加工前後における引張強度を比較したものである。さらに, Fig. 3 (a)~(c)は, 代表的な材料についての引張応力-ひずみ線図の一例を示す。すなわち, 同図(a)5056合金, (b)6061合金及び(c)7N01合金の鋳造材と押し材を比較したものである。

これらの結果から, 鋳造材については, いずれの材料においても試験片採取位置, すなわち中心部(Fig. 1(R<sub>0</sub>部材))と外周近傍(同, (R<sub>2</sub>), (R<sub>3</sub>)部材)との引張強度の差はほとんどないことが分かる。さらに, 全体的に押し加工によって強度増加が確認されるが, 中でも特に顕著な材料は, 6000系及び7000系合金で,

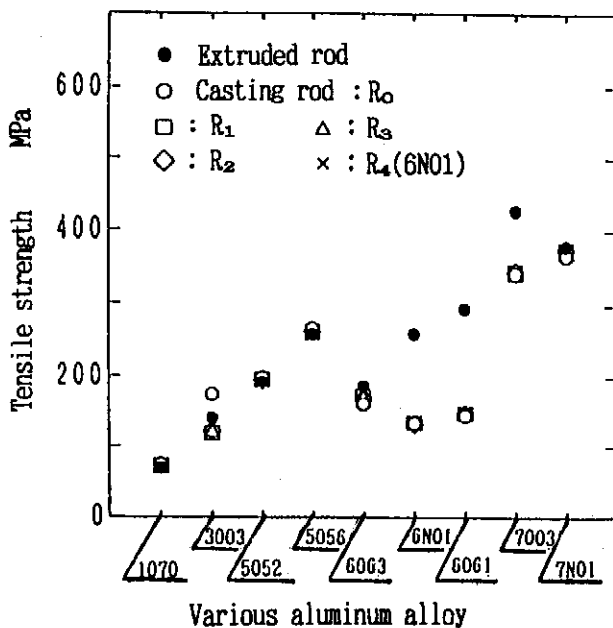


Fig. 2 Comparison of tensile strength of extruded and casting rods of various aluminum alloy.

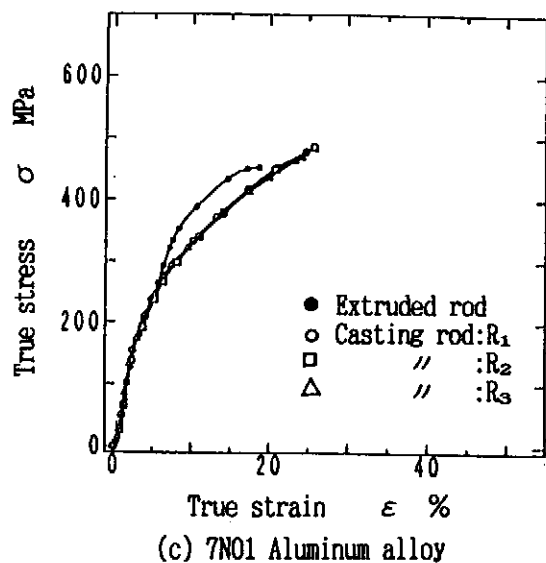
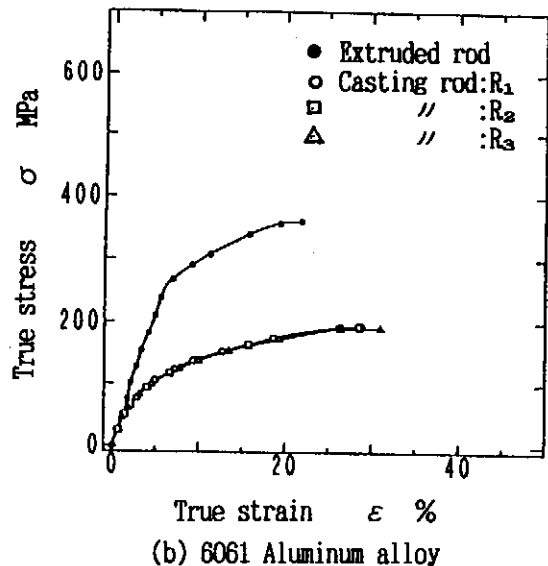
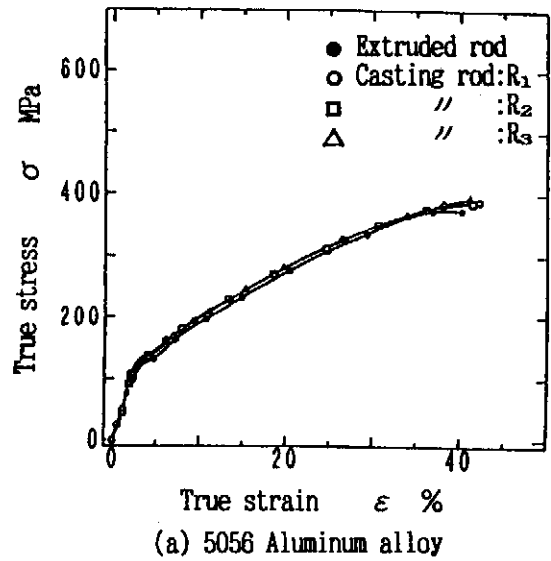


Fig. 3 Load-extension curve in tensile test of extruded and casting rods.

その割合も他の材料に比べて大きいことが分かった。

一方、一部データは割愛したが、各材料の特徴について、1000系合金では、鋳造材と押し出し材のいずれにおいても、引張強度に大きな差はない。また他の材料に比べて引張強度は小さいが、逆に伸びは大きいことが分かった。3000系合金は、前者に比べて幾分強度の増加が認められるが、逆に伸びは小さくなる。一般に1000系合金にMnを少量添加することによって、加工性を損なわず強度の増加が認められる。5000系合金は、1000系及び3000系合金に比べて、全体に強度は増大することが分かる。なお、5056合金 (Fig. 3(a)) は、鋳造材と押し出し材の引張応力-ひずみ線図の傾向がほぼ一致する。また5052合金より幾分強度も増加することが認められた。これは、Al-Mg系合金であるため、Mgの含有量が多くなるにつれて、強度は増大する。6000系合金は、全体に押し出し加工することによって引張強度は著しく増大する。特に6061合金 (Fig. 3(b)) は、他の合金に比べてその割合が極めて大き

いことが分かる。またFig. 4(a)に、その試験片の破断部の形状を示す。いずれも脆性破断を呈しているが、若干押し出し材の方がくびれが生じ多数の応力しわが発生していることが確認される。これらのことから、一般にMgとSiの含有量が増加するに伴って、 $Mg_2Si$ の析出過程における析出硬化の割合が増加するため脆性破断が主となる。また、7000系合金は、他の合金に比べて全般に引張強度が大きいことが分かる。なお、7N01合金 (Fig. 3(c)) は、鋳造材、押し出し材を問わず引張強度に顕著な差がないことが分かる。しかし、Fig. 4(b)に示す破断部からは、鋳造材の完全な脆性破断に対して、押し出し材はやや応力集中が生じた破断形態であることが確認された。これらから、一般にAl-Zn-Mg系の合金は熱処理により時効が促進され、結果的に強度が増大する。しかし、この合金は応力腐食割れが生じやすいため、適切な熱処理を施すことがもっとも重要となる。

以上のことから、採用した鋳造材は、強度の面からは均一な材料であることが分かった。

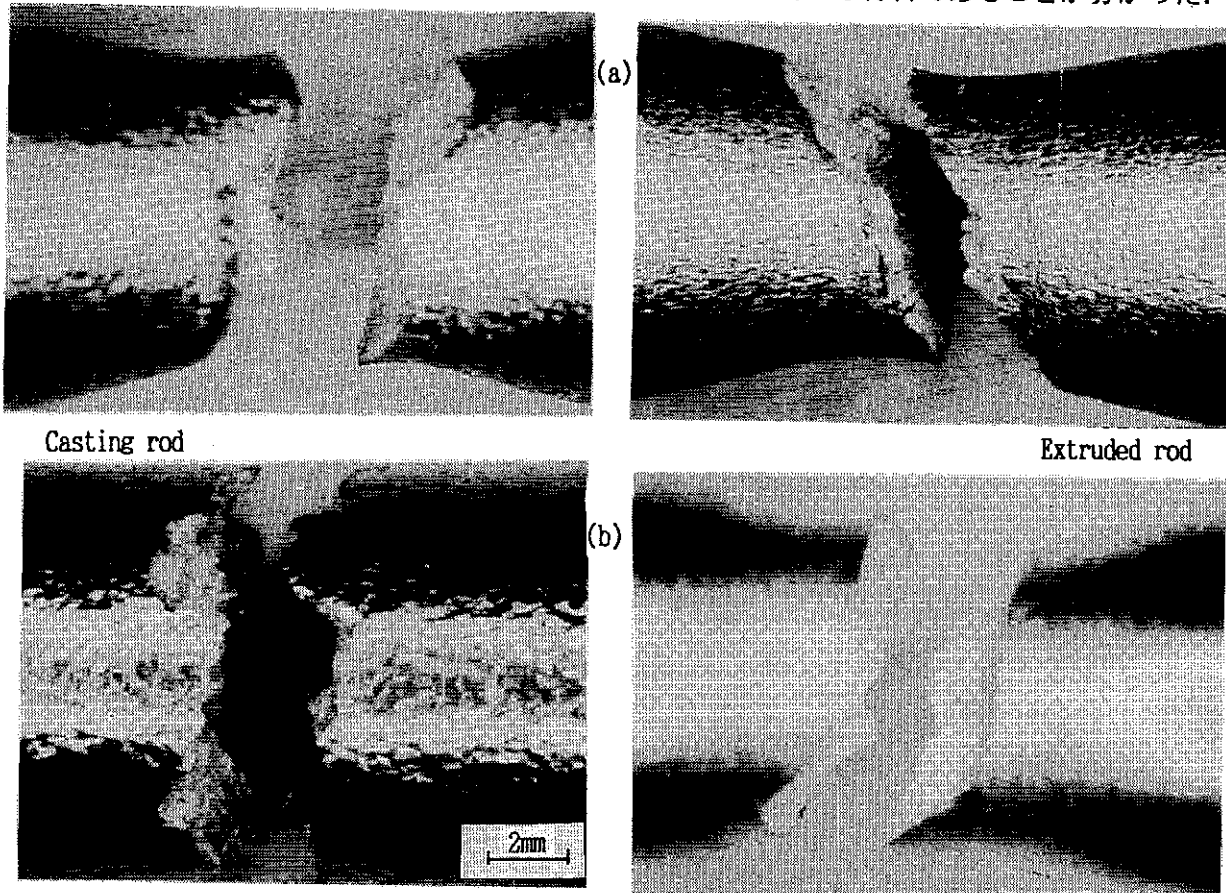


Fig.4 Broken surfaces of extruded and casting rods of (a)6061 and(b)7N01 aluminum alloy observed by metallurgical microscope.

すなわち鋳造材は繊維組織が揃っていない無配向状態のため、脆性破断が主となる。これに対して押し出し材は、押し出し方向に繊維組織が揃うため、引張強度は増加、安定し、一部延性を伴った破断形態を呈することが多く認められた。なお、それぞれの合金が含有する元素及びその量に応じて、特徴ある破断形態を呈することも分かる。このことは引張強度特性ともよく一致し、深い関係にあることが分かった。

#### 4. 2 引張破断面の微視的観察

Fig.5は、代表的な合金材料の引張破断面のSEM観察写真の一例を示す。同図(a)5056合金、(b)6061合金である。前者は、主に粒内破壊が中心で、部分的に粒界破壊が混在している。また、いずれの破面においても細かいデンプル状の紋様が観察され、大きな差はないようである。なお、Mnの含有による金属間化合物によって幾分組織が粗大化する傾向にある。一方、後者は、粒界破壊が中心となり、組織も緻密化する傾向にある。これはMg

の含有量が多くなるに伴って、金属間化合物の析出する割合が大きくなるためであると考えられる。さらに、他の写真は割愛したが、いずれの合金についても、鋳造材の各場所による差はほとんどなく、均質な材料であることが裏付けられた。

#### 4. 3 材料内部の微細構造

Fig.6は、6061合金について、鋳造材と押し出し材の内部組織を比較したものである。押し出し方向に垂直な横断面では、結晶粒が緻密になり、これに対して押し出しと同方向の縦断面においては、粒子が幾分伸びている様子が確認できる。また、この合金は、MnとCrが含有することによって押し出し性を高める効果がある。さらに写真の黒粒状の斑点がMg<sub>2</sub>Siの析出物と考えられる。また、その他の材料についても同様の傾向である。すなわち、含有元素及びその量によって組織は多少異なるが、一般に押し出し加工をすることによって、押し出し方向に繊維組織がある程度揃えられるため、緻密化の傾向を生じ、結果的に引張強度

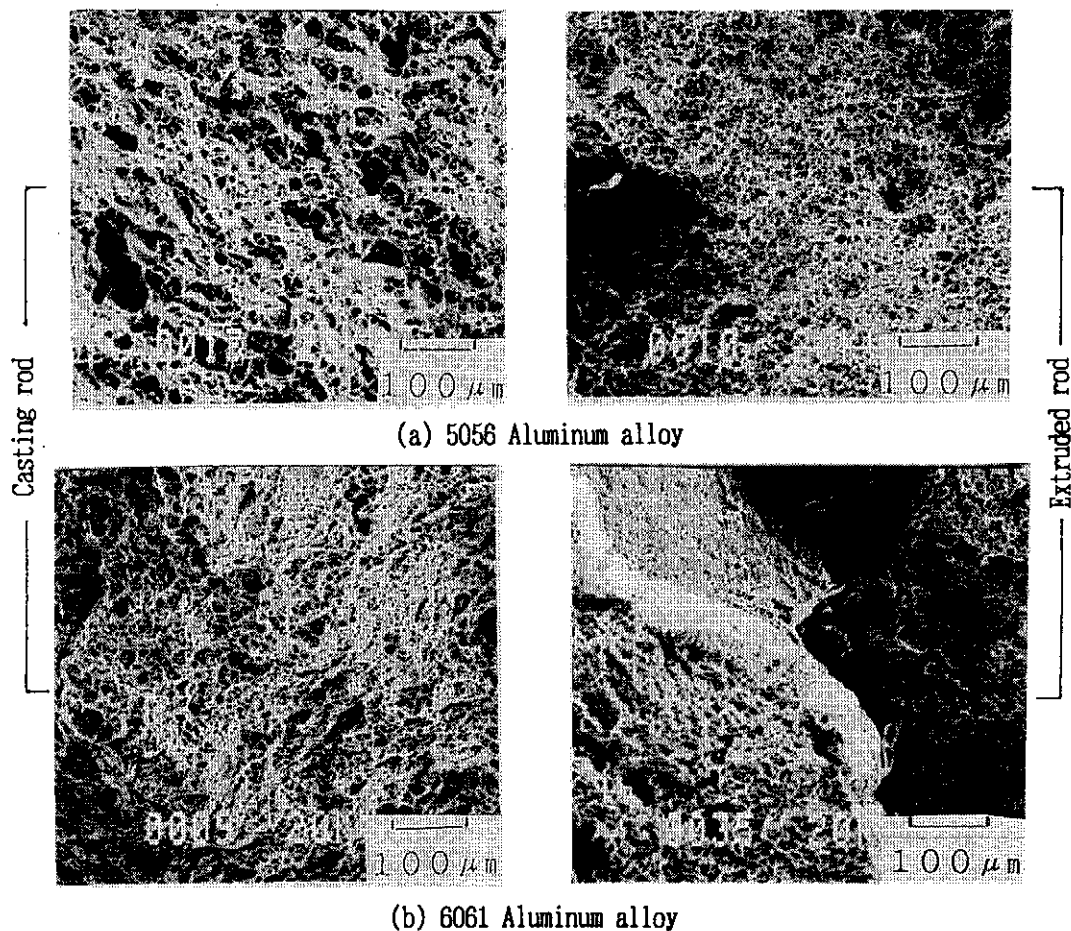
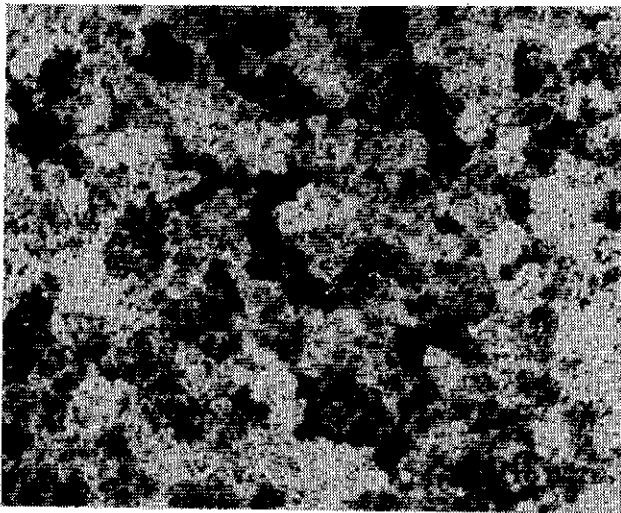


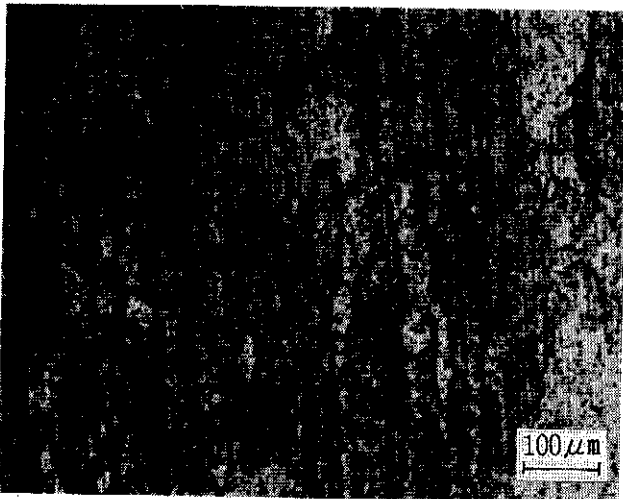
Fig.5 Cleft surfaces of extruded and casting rods of (a)5056 and (b)6061 aluminum alloy observed by scanning electron microscope.



(a)Casting rod



(b)Extruded rod (Vertical to extrusion direction)



Extruded rod (Parallel to extrusion direction)

Fig.6 Electron micrographs showing internal structure of (a)casting and (b)extruded rods of 6061 aluminum alloy.

が増大するものと考えられる。

#### 4. 4 鋳造材と押し出し材の曲げ強度

Fig.7 は、各種合金について常温環境下における曲げ強度を比較したものである。これより、全体に押し出し材の方が曲げ強度が大きいことが分かる。この傾向は前掲の引張強度と類似である。特に6061合金は他の材料に比べて、鋳造材と押し出し材との強度の差が大きい。また、全体に鋳造材の中心部と外周部では曲げ強度に若干の差が生じている。これは熱処理時の冷却速度の影響か、あるいは試験のバラツキか否かは分からない。しかし、Fig.2 で示した引張強度から判断すると、冷却速度の影響は少ないと考えられる。一方、低温環境下（液体窒素中）での試験の結果、全ての材料において、曲げ強度が幾分増加していることが確認された。

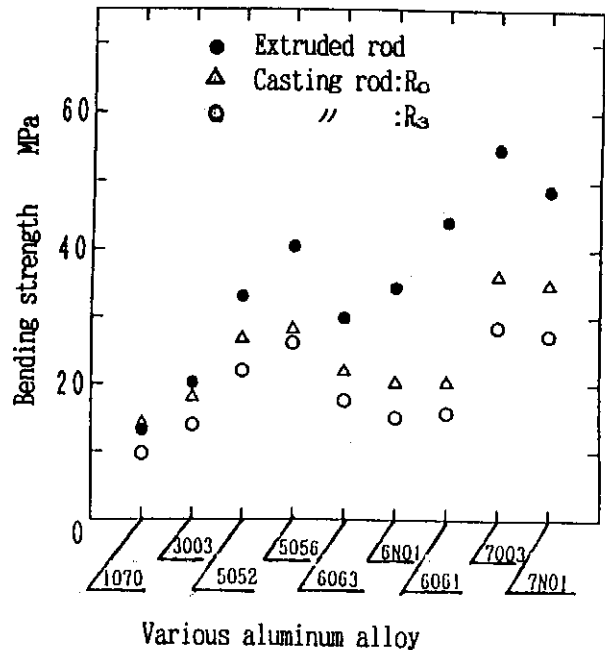


Fig.7 Comparison of bending strength of extruded and casting rods of Various aluminum alloy.

#### 5. まとめ

各種のアルミニウム合金について、材料組成と機械的強度との基本的な関係を調べた。その結果を要約すると次のようである。

- (1) いずれの鋳造材(φ155)も、強度面及び微視的な観察結果から、ほぼ均質な材料である。即ちホモ処理の効果が発揮できた。

- (2) いずれのアルミニウム合金においても、押出し加工することによって引張強度や曲げ強度は増加する傾向にある。
- (3) 鋳造材は、繊維組織が揃っていない無配向のため脆性的な破断形態が多い。これに対して、押出し材は、応力しわの発生も少なく、くびれを有するやや延性的な破断形態が多い。
- (4) アルミニウム合金組成に、MnやCu元素が含有されると繊維組織が緻密になる傾向がある。
- (5) 5000系合金の強度は、Mgの含有量によって左右される。例えばMgの増加によって引張強度は増大するが、粒界・粒内破壊が混在する脆性破断が多くなる。
- (6) 6000系合金は、Mg, Siの含有量が増加するにつれて、金属間化合物 $Mg_2Si$ が析出硬

化し、結果的に引張強度は増大する。また粒界破壊による脆性破断が主流となる。

- (7) いずれの合金についても、引張強度と曲げ強度及び内部組織との関係は密であり、またその傾向はよく一致する。さらに低温環境下における曲げ強度は増加する傾向にある。

おわりに、本研究は（財）天田金属加工機技術振興財団の研究開発助成を受けて行ったものであることを付記し、関係各位に甚大な謝意を表します。

#### 参考文献

- (1) 松岡他：日本機械学会・第1回機械材料・材料加工技術講演論文集(1993-11), 379.