

薄板材の引張特性と成形性の関係について*

南 孝 一

The Relation between the Characteristic of Tension and the Formability of Sheet Metals

Kouichi MINAMI

1. はじめに

今日中学校技術科の金属加工の分野で取り扱われている「薄板の加工」は「曲げ」を主にした加工であるが、最近ヒモだしロールが普及しつつある。

このヒモだしロールの使用による薄板の強化（加工硬化，断面二次モーメント等）への効果はかなりのものがある。反面、ひずみ分布の不均一等のため、ねじれ，そり，キャンバ等の欠陥が生じ，充分にその機能が活かされていないのが現状であろう。ヒモだしロールによる成形には，塑性加工学的には張り出し成形性，絞り成形性などの要素を含んでいる。ここでは，これら諸問題の解決策を探るため，まず薄板材の成形性と素材性質の面から研究を進めていくことにした。

素材の基礎的な材料性質を知るため最も基本的な引張試験結果から得られる，加工硬化係数，塑性ひずみ比，伸び，などの加工性評価のための基礎的な特性値とコニカルカップ値およびエリクセン値などの模擬的試験値との関係について考察し，薄板材加工を行なう際の材料と成形性の適否判定の資料にしようとしたものである。

2. 実験方法

2.1.1 実験装置および実験材料

実験装置および実験条件は表1に示す通りである。

表1 実験装置と実験条件

実験項目	実験装置	実験条件	
		試験片	速度
引張試験	<ul style="list-style-type: none"> • 万能引張圧縮試験機 • 伸び計 • 工具顕微鏡 (r 値測定) 	JIS 5号試験片	3mm/min
コニカルカップ試験	<ul style="list-style-type: none"> • 福井式コニカルカップ試験工具 (13型, 17型) • 万能引張圧縮試験機 	50φ (17型) 36φ (13型)	5mm/min
エリクセン試験	<ul style="list-style-type: none"> • エリクセン試験機 	第2号試験片	手動

* 1975年10月31日 受理

供試材料は市販の黄銅板 (0.8mm), 軟鋼板 (0.8mm), 銅板 (0.8mm), 亜鉛鉄板 (0.8mm, 0.6mm, 0.4mm) の6種類である。亜鉛鉄板 (0.8mm) は, 520°C で30分間焼なまして使用した。

2.1.2 引張試験

素材の機械的性質を調べると同時に加工硬化係数 (以下 n 値と記す), 塑性ひずみ比 (以下 r 値と記す) を求めるため, まず引張試験を行った。試験片は各材料について圧延方向に対し0°および90°方向よりそれぞれ10枚ずつ採取し, 引張強さ, 全伸び, n 値, r 値を測定した。

2.1.3 n 値の測定法

多くの金属において塑性域での真応力と対数ひずみの間には

$$\sigma_a = F \bar{\epsilon}^n \quad (1)$$

ここに σ_a : 真の応力, $\bar{\epsilon}$: 対数ひずみ, n : 加工硬化係数, F : 塑性係数の関係が成立することが知られている。

試験機の X-Y レコーダーによって得た荷重 (P) - 伸び (λ) 線図の最大荷重を一樣伸び限界とみなし, その点までの P - λ を σ_a - $\bar{\epsilon}$ に直し両対数グラフ上にプロットしたのが図1である。供試材に関しては (1) 式の関係が成立することを示している。したがって, n 値は (1) 式より求めた。

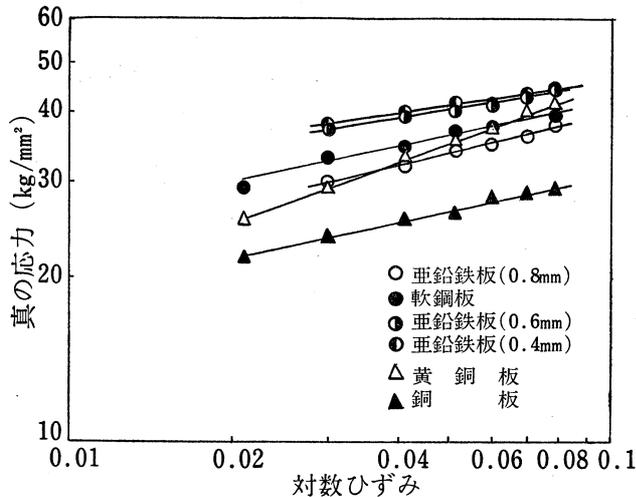


図1 (a) 試料採取角0° 真応力—対数ひずみ

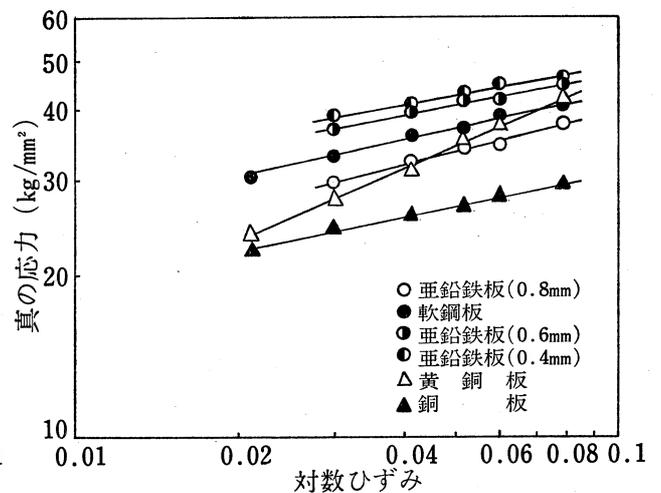


図1 (b) 試料採取角90°

2.1.4 r 値の測定法

r 値の求め方には統一された方法はないようである。本実験では比較的精度が高いとされている¹⁾ 間接法を用いた。これは体積一定の仮定にたち, 板厚の代わりに標点長さを測定するものである。図2に示すように, 試験片中央に10mm角のABCDをけがき, \overline{AB} , \overline{CD} , \overline{DA} および \overline{EF} の長さを工具顕微鏡で測定した。GH, IJ 間に20%の伸びひずみを与えたのち, 同様に \overline{AB} , \overline{CD} , \overline{BC} , \overline{DA} および \overline{EF} の長さを測定し, 次の二式で算出した。

$$r_1 = \frac{\ln(W_0/W)}{\ln(WL/W_0L_0)} \quad (2)$$

ここに W_0, W : 引張前後の \overline{EF} の長さ, L_0 ,
 L : 引張後の $\overline{GH}, \overline{IJ}$ 間の長さ

$$r_2 = \frac{\ln(\omega_0/\omega)}{\ln(\omega l/\omega_0 l_0)} \quad (3)$$

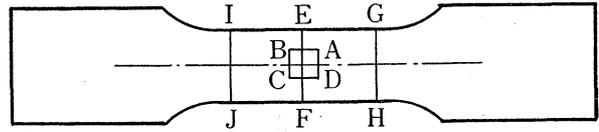


図2 r 値測定用試験片

ここに w_0, w : 引張前後の $\overline{BC}, \overline{DA}$ の平均長さ, l_0, l : $\overline{AB}, \overline{CD}$ の平均長さ

2.2 コニカルカップ試験

万能引張圧縮試験機に JIS 17 型および13型 コニカルカップ試験工具と圧縮ロードセルを併用して、ポンチストロークとポンチ荷重との関係を X-Y レコーダーに記録させ、成形深さ (h), 破断力 (P_{max}) を求めた。

コニカルカップ値 (以後 CCV と記す) は 1/100mm ダイヤルノギスで測定した。

潤滑油は JIS マシン油 1 号で、試験片は 0.4mm 亜鉛鉄板以外の供試材 5 種に対し各10枚ずつ行なった。

2.3 エリクセン試験

JIS 第 2 号試験片に潤滑油としてエリクセングリース EG を使用し、供試材 6 種について各10枚ずつ試験した。

3. 実験結果と考察

実験結果は表 2, 図 4~図 9 の通りである。表 2 に示す値は各試験において得た値の平均値であ

表2 実験結果

試験片 材料名	測定項目 採取角	引張強 さ: σ_t kg/mm ²	全伸び %	加工硬化 係数 : n	塑性ひずみ比: r		エリクセ ン値	コニカル カップ値 : CCV
					r_1	r_2		
黄銅板	0°	38.9	48.3	0.34	0.82	0.89	12.2	38.0 $D_0/d_0=0.76$
	90°	38.5	47.6	0.32	0.75	0.82		
亜鉛鉄板 (0.8mm)	0°	31.6	42.5	0.22	1.11	1.08	10.7	38.7 $D_0/d_0=0.77$
	90°	31.7	43.0	0.22	1.40	1.57		
軟鋼板	0°	34.2	41.8	0.19	1.32	1.20	10.6	39.0 $D_0/d_0=0.78$
	90°	34.2	41.7	0.19	1.73	1.48		
銅板	0°	24.7	38.2	0.17	0.85	0.85	9.8	39.8 $D_0/d_0=0.79$
	90°	23.8	41.6	0.18	1.10	1.0		
亜鉛鉄板 (0.6mm)	0°	36.9	28.8	0.12	1.17	1.01	9.0	29.0 $D_0/d_0=0.80$
	90°	36.5	35.5	0.12	2.14	1.51		
亜鉛鉄板 (0.6mm)	0°	37.1	28.0	0.12	0.96	0.95	8.2	
	90°	36.8	32.75	0.1	2.04	1.15		

る。すなわち r 値は 5 枚, CCV およびエリクセン値は 10 枚, n 値は r 値の 20% 伸びひずみまでのものを加え 10 枚の平均値とした。

3.1 n 値と CCV およびエリクセン値との関係

0.6mm 亜鉛鉄板に 13 型工具を使用したため, CCV では考察しにくいので図 3 において, CCV

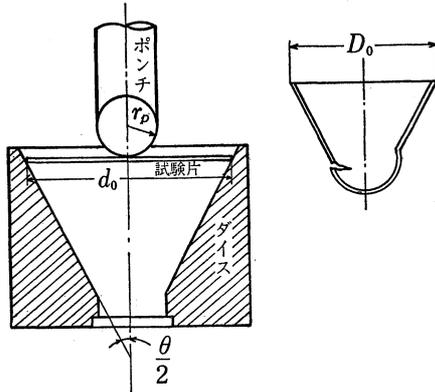


図3 コニカルカップ試験工具と試験片

を試験片直径 (d_0) と CCV (D_0) との比 D_0/d_0 , すなわち外周変化率として n 値との関係を示したのが図 4(a) である。

n 値と D_0/d_0 は相関関係を示している。 n 値の大きな材料は D_0/d_0 が小さい。このことは n 値の増加は CCV の減少, すなわち絞り率が增大することである。 D_0/d_0 が小さければ, それだけ材料がダイス穴に流れ込んだことにもなる。

n 値とエリクセン値の間にも相関が見られる。 n 値の高い材料ほどエリクセン値も高い。したがって n 値の大きな材料は張り出し性がよいことになる。よって n 値は絞り, 張り出しの両成形性に関係を持つことを示している。

3.2 n 値と破断力および破断成形深さの関係について

コニカルカップ試験で得た $P-h$ 線図より求めた破断力を P_{max} , 破断成形深さを h_{max} とし, 板厚

表3 $P_{max}/2\pi r_p t_0 \sigma_t$ と h_{max}/r_p

項目 \ 供試材名	黄銅板	亜鉛鉄板 (0.8mm)	軟鋼板	銅板	亜鉛鉄板 (0.6mm)
破断力 P_{max} (kg)	1638.5	1340	1286.1	750	737.4
破断成形深さ h_{max} (mm)	33.0	32.21	30.89	28.5	20.17
$2\pi r_p t_0 \sigma_t$	1699.4	1479.3	1509.2	1068.0	935.8
$P_{max}/2\pi r_p t_0 \sigma_t$	0.96	0.90	0.85	0.70	0.78
h_{max}/r_p	3.78	3.67	3.53	3.26	3.18

を t_0 , 引張強さを σ_t , ポンチ半径を r_p とし $P_{max}/2\pi r_p t_0 \sigma_t$, h_{max}/r_p の値を求めたのが表 3 である。 n 値とこれらの関係を図 5 に示す。

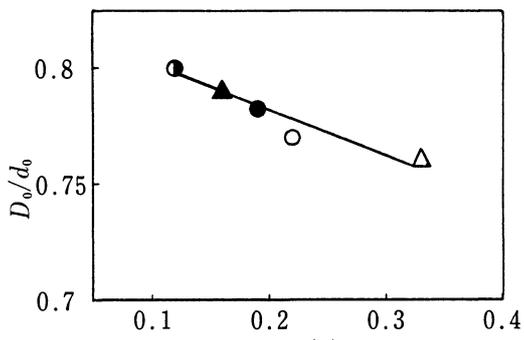
n 値の大きい材料は, 破断力, 成形深さ, とともに大きな数値を示している。

3.3 全伸びとエリクセン値, D_0/d_0 および P_{max}/r_p

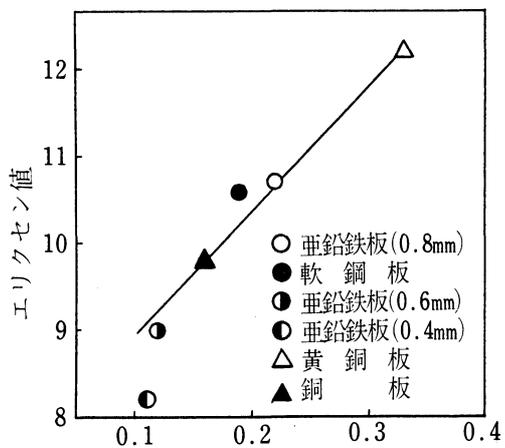
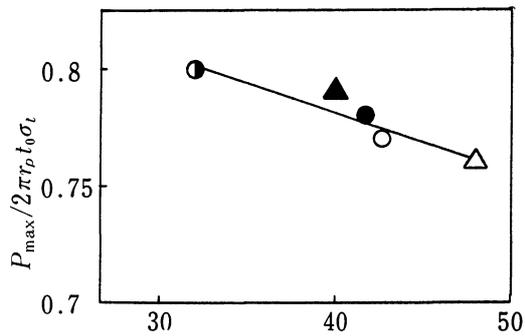
全伸びとエリクセン値, D_0/d_0 および h_{max}/r_p の関係を示したのが図 6 である。

全伸びの大きな材料はエリクセン値, 成形深さが大で, しかも D_0/d_0 が小さくなることを示している。これは全伸びが張り出し成形性と絞り成形性の両者に関係することを意味している。したがって n 値が高く, 全伸びの大きな材料ほど CCV が小さい。すなわち複合成形性の良さを示している。

図 7 に今回のコニカルカップ試験後のカップ形状写真を示す。 n 値および全伸びの減少につれカップ形状は悪くなっている。 n 値および全伸びの大きい黄銅板のカップ形状 (E) は, 図 7 に示した



(a)



(b)

図4 n 値と D_0/d_0 および エリクセン値

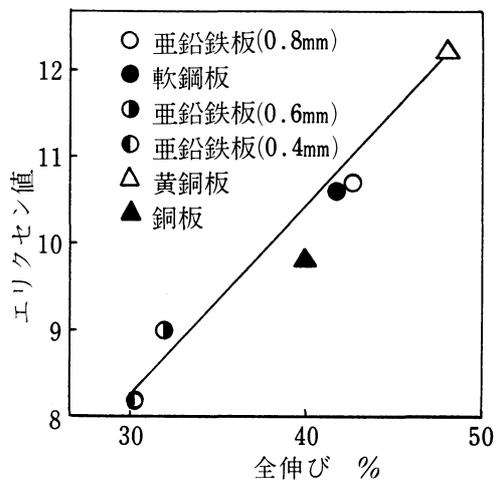
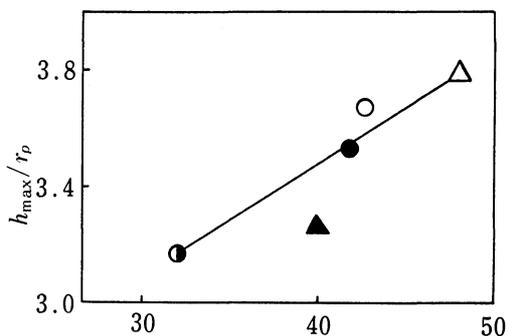


図6 全伸びと エリクセン値, h_{max}/r_p , $P_{max}/2\pi r_p t_0 \sigma_t$ の関係

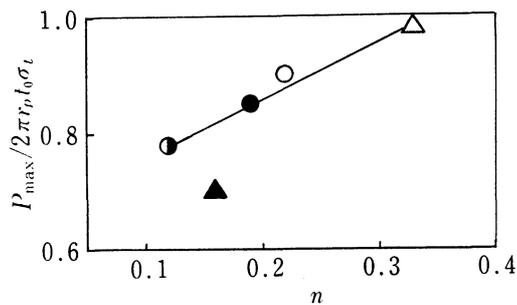
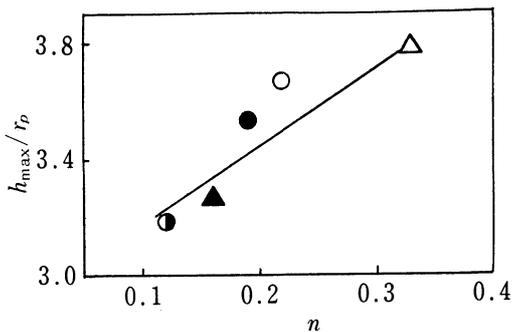
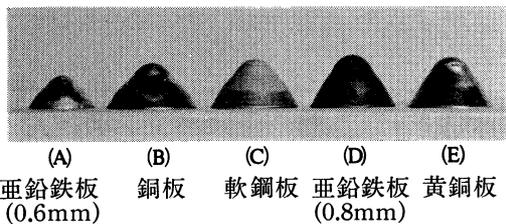


図5 n 値と $P_{max}/2\pi r_p t_0 \sigma_t$, h_{max}/r_p



(A) 亜鉛鉄板 (0.6mm) (B) 銅板 (C) 軟鋼板 (D) 亜鉛鉄板 (0.8mm) (E) 黄銅板

図7 コニカルカップ形状

ダイス形状を程している。

黄銅板に比較して、 n 値および全伸びの小さな亜鉛鉄板 (0.6mm) (A) と銅板 (B) は、ダイス穴への流れ込みが悪く、黄銅板のように円錐状にならず、椀状になっている。

3.4 r 値について

r 値とエリクセン値および D_0/d_0 との関係を図 8 に、 r と破断成形深さおよび破断力との関係を図 9 に示す。

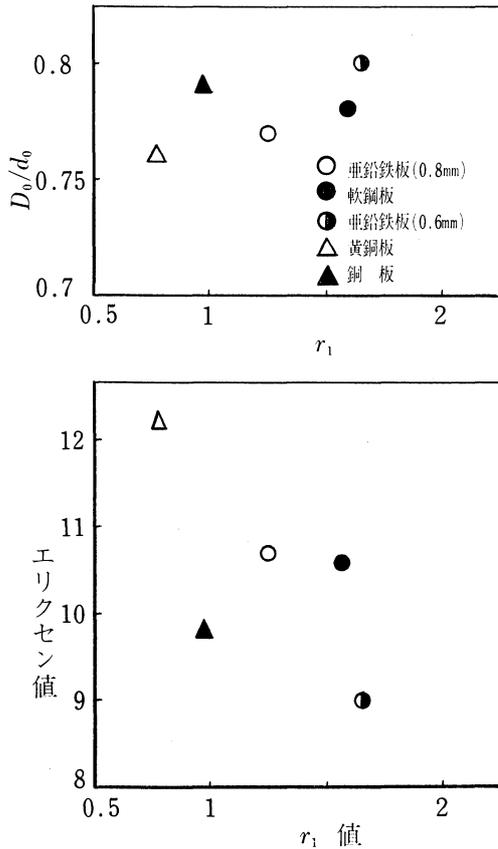


図 8 r とエリクセン値および D_0/d_0 の関係

図 9 に示す。

r 値は全てに対して相関関係を示さなかった。
 r 値が絞り成形性に対応することを指摘した文

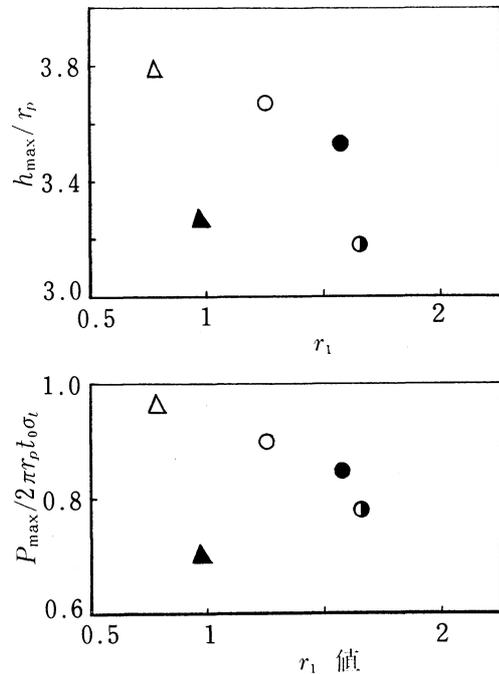


図 9 r 値と h_{max}/r_p , $P_{max}/2\pi r_p t_0 \sigma_t$

献^{2),3)}もあるが、これらは、あらかじめ絞り用として圧延された材料を使用している。本実験では入手しやすい材料成分も不明確な市販材を使用したこと、測定に用いた工具顕微鏡が 1/100mm 精度のものであったことにも基因すると考えられるので、材料の選定と測定法を考慮し、機会を改めて検討してみるつもりである。

4. む す び

薄板材の引張試験、エリクセン試験およびコンカルカップ試験を行ない、その引張特性と成形性について実験的に検討したが、次のことがいえるようである。

- (1) 張り出し成形性には n 値と全伸びが対応する。
- (2) n 値と全伸びは絞り成形性に関係する。

終りに本論文の作成にあたり常時ご指導いただいた宇都龍行先生に感謝します。

参 考 文 献

- 1) 塑性と加工 5-37 p. 88 (1964).
- 2) 塑性と加工 6-58 p. 606 (1965).
- 3) 日本機械学会論文集 40-338 p. 2960 (1974).

Summary

Mechanical properties and formability of sheet metals were experimentally investigated.

Formability of sheet metals; low carbon steel sheet, copper sheet brass sheet, galvanized sheet (0.6 mm, 0.8 mm); were evaluated by Erichsen cupping test and Conical cup test.

The following results were obtained.

- (1) n-value and total elongation are connected with stretchability.
- (2) Drawability is related to n-value and total elongation.