

ブリネルかたさ試験における 圧こん周辺の塑性変形

(第 3 報)

小笠原 淳 宮 野 泰 治

1 緒 言

筆者らは前報までにブリネルかたさ試験における鋼球押し込みによる圧こん周辺の変形をとりあげ、試料表面および断面のかたさ分布の検討を行ない、また圧こんの測定誤差がかたさ値に大きな違いを与えることから、圧こんの形状についても調査し、純銅、純ニッケル、ステンレス鋼においては圧こん周辺の形状は荷重の大小に関係なく相似であること、純ニッケルの場合圧こん端部のだれの割合が 30%、盛り上り率が 0.78% となることを求めた。⁽²⁾

この報告は前報につづいて S 10 C, S 45 C, SS 41, SCM 2 の 4 種について、熱処理材を主体とし、それぞれについて鍛造加工のままの素材を参考にとりあげ、小坂式万能表面形状測定機により圧こん周辺の形状を測定し、圧こん端部のだれの状態盛り上り率を調べたものである。また従来かたさ値と引張強さや降伏応力が直線的関係にあることが言われているが、ブリネルかたさは圧こん形状によりかたさ値を与えているので、圧こん端部のだれの割合や盛り上り率が上のような機械的性質と相関をもつものかどうかについて、試料は少ないが同種の炭素鋼が主体になっているので熱処理材についてあわせて検討してみた。

2 実験方法

2.1 試料

実験に使用した試料は機械構造用炭素鋼 S 10 C, S 45 C, 一般構造用鋼 SS 41, 特殊鋼 SCM 2 の 4 種で表 1(a) に示す化学成分のものである。試料は熱処理材、素材とも鍛造加工により直径 30mm の丸棒に作成されたものから、機械加工により直径 27mm、厚さ 27mm の円筒状とした後、平面度を出すため平面研削盤で仕上げ、エメリー 04 番まで研磨した。さらに熱処理材は、S 10 C, S 45 C, SS 41 の 3 種は焼ならし処理（保持時間 30 分、600°C 迄空冷、600°C 以下炉冷）を、SCM 2 は調質処理（850°C 30 分後油冷、650°C 迄再加熱後水冷）をした。

試料表面には酸化により若干のスケールを生じたが、酸洗い後軽くパフ研磨を行なった。熱処理材の機械的性質は表 1(b) のとおりである。

表 1 供試材の化学成分および機械的性質

(a) 化学 成 分 (%)

材料	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
S 10 C	0.13	0.28	0.45	0.018	0.019	—	—
S 45 C	0.42	0.25	0.78	0.011	0.012	—	—
SS 41	0.28	0.11	0.53	0.017	0.015	—	—
SCM 2	0.34	0.29	0.75	0.021	0.009	1.17	0.37

(b) 機 械 的 性 質

材 料	上降伏点 kg/mm ²	下降伏点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸 び %	絞 り %
S 10 C	27.3	24.5	38.7	27.2	73.3
S 45 C	43.4	39.6	69.1	24.6	51.5
SS 41	24.5	23.2	42.2	29.7	63.0
SCM 2	116.0	113.6	119.2	12.0	60.3

2.2 形状測定

ブリネルかたさ試験機（10mm の鋼球圧子）により S 10 C は 3 種、S 45 C, SS 41, SCM 2 は 4 種の押し込み荷重により圧こんをつけた（負荷時間 30 秒）。素材についてはバラツキが予想されるので S 10 C は 4 種、S 45 C, S 41, SCM 2 は 5 種の押し込み荷重とした。ついで小坂製 SE-3 型万能表面形状測定機（触針型）により圧こん周辺の形状を測定しレコーダーにより記録した。トレーサー駆動速度 0.2mm/sec、記録紙送り速度 20mm/sec とし、倍率は圧こんの大きさにより 500 倍から 2000 倍として記録した。なお試料はそれぞれの荷重に対して 2 個とし、形状測定は圧こんに対して十字方向に 2 本とった。

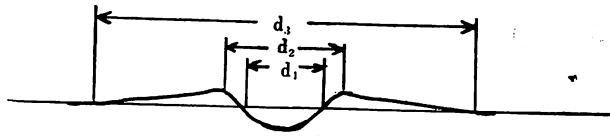


表 2 圧こん周辺の寸法

材 料	押込荷重 kg	d ₁ mm	d ₂ mm	d ₃ mm	h mm	$\frac{d_3 - d_1}{2}$ mm	d ₂ - d ₁ mm	$\frac{d_2 - d_1}{d_1} \times 100$ %	$\frac{h}{d_1} \times 100$ %
S 10 C	1000	3.08	3.91	12.03	0.0355	4.475	0.83	26.948	1.152
	2000	4.15	5.11	14.74	0.0514	5.295	0.96	23.133	1.240
	2500	4.80	5.98	18.08	0.0560	6.640	1.18	24.580	1.166
S 45 C	1000	2.75	3.55	11.35	0.0100	4.300	0.80	29.09	0.364
	2000	3.70	4.82	13.50	0.0175	4.900	1.12	30.27	0.465
	2500	3.94	5.18	13.78	0.0230	4.920	1.24	31.47	0.583
	3000	4.28	5.68	17.38	0.0260	6.550	1.40	32.71	0.607
SS 41	1000	3.11	4.11	10.29	0.0160	3.590	1.00	32.15	0.515
	2000	4.44	5.70	13.19	0.0310	4.375	1.26	28.39	0.698
	2500	4.865	6.65	16.52	0.0330	5.824	1.79	36.69	0.678
	3000	5.53	7.20	16.44	0.0340	5.455	1.67	30.20	0.606
SCM 2	1000	1.84	2.21	7.39	0.0050	2.755	0.37	20.11	0.272
	2000	2.42	2.20	9.47	0.0088	3.525	0.48	19.83	0.403
	2500	2.64	3.14	11.04	0.0130	4.200	0.50	18.94	0.511
	3000	2.74	3.28	11.44	0.0150	4.350	0.54	19.71	0.547
S10C 素 材	500	2.43	3.15	7.93	0.0131	2.746	0.72	29.49	0.540
	1000	3.58	4.53	11.90	0.0341	4.160	0.94	38.74	0.953
	1500	3.53	4.38	12.68	0.0333	4.563	0.91	25.90	0.937
	2000	4.28	5.41	13.85	0.0465	4.786	1.14	26.53	1.087
S45C 素 材	1000	2.48	3.17	7.70	0.0098	2.613	0.69	28.08	0.399
	1500	3.08	3.99	9.93	0.0096	3.425	0.92	30.00	0.311
	2000	3.50	4.52	10.70	0.0198	3.598	1.02	29.07	0.564
	2500	3.80	4.86	11.74	0.0233	3.968	1.06	27.81	0.611
	3000	4.17	5.30	13.13	0.0333	4.476	1.13	27.10	0.797
SS 41 素 材	500	2.21	2.65	6.75	0.0123	2.27	0.44	20.02	0.554
	1000	3.52	4.33	9.88	0.0298	3.18	0.81	22.96	0.846
	1500	3.60	4.36	12.13	0.0310	4.26	0.76	20.97	0.861
	2000	3.99	4.95	13.23	0.0448	4.62	0.96	24.13	1.122
	2500	4.30	5.31	13.88	0.0458	4.79	1.02	23.69	1.065
SCM 2 素 材	1000	2.10	2.79	5.48	0.0035	1.686	0.69	32.58	0.167
	1500	2.61	3.25	7.05	0.0058	2.222	0.64	24.57	0.221
	2000	2.80	3.45	8.73	0.0153	2.963	0.65	23.21	0.376
	2500	3.15	3.78	9.85	0.0114	3.350	0.63	19.84	0.363
	3000	3.39	4.03	10.15	0.0158	3.383	0.83	24.23	0.465

3 実験結果および考察

小坂製万能表面形状測定機によって記録された形状をもとに、各部の寸法を測定した結果が表2である。試料作成に際して平面度については十分注意したが、エメリー、パフ研磨のため若干曲面となり、記録された形状から基準面を決定する際は、盛りり頂点から $1.3 d_2$ 以内の部分の形状を細かに検討して行なった。また寸法は試料2個、2方向測定のもの平均値である。

3・1 盛りり頂点間の距離および盛りり高さ

表2における d_1 と盛りり頂点間の距離 $d_2 - d_1$ および d_1 と盛りり高さ h の関係を求めたものが図1である。熱処理材は前報における純ニッケルと同じく4種の試料はすべて比例関係にあることがわかる、また素材はバラツキはあるが、熱処理材と同様な比例関係をとっていることがわかる、これは

$$\alpha = \frac{(d_2 - d_1)w_2 - (d_2 - d_1)w_1}{(d_1)w_2 - (d_1)w_1}$$

$$\beta = \frac{hw_2 - hw_1}{(d_1)w_2 - (d_1)w_1}$$

(ただし添字は w_1, w_2 の荷重における形状寸法を示す)

による α, β が材料および熱処理によって定まる定数として存在することを意味するものと考えられる。この定数値については更に検討を要する。

3・2 圧こん端部のだれの割合と盛りり率

図2に押込荷重と圧こん端部のだれの割合 $\frac{d_2 - d_1}{d_1} \times 100$ 、盛りり率 $h/d_1 \times 100$ を示す。この関係も熱処理材は前報の純ニッケルと同様に押込荷重に関係なく一定となり、素材はバラツキがあるが略一定と考えられ、これは盛りり形状が荷重の大小に関係なく相似であるとした前報の純ニッケル、純銅、ステンレス鋼の場合と一致する。また h/d_1 の割合についてはやはり素材はバラツキがあるが、熱処理材、素材と財満⁽⁵⁾の報告と同様の傾向になっている。実験の範囲内での鋼種別の割合は次のようである。

熱処理材の圧こん端部のだれの割合

S 10 C	24.89%	SS 41	31.86%
S 45 C	30.88%	SCM2	19.65%

熱処理材の盛りり率

S 10 C	1.186%	SS 41	0.624%
S 45 C	0.505%	SCM 2	0.433%

素材の圧こん端部のだれの割合

S 10 C	30.17%	S S 41	22.35%
S 45 C	28.41%	SCM 2	24.88%

素材の盛りり率

S 10 C	0.879%	S S 41	0.890%
S 45 C	0.536%	SCM 2	0.318%

以上の割合は素材にバラツキが多いことから、熱処理材と比べてみてもはっきりした傾向はつかめない。

さてかたさ測定には d_2 あるいはそれに近い値を読みとる訳であるが、この2つの割合が材料によりそれぞれ異なることは、かたさの材料による測定誤差の原因として大きな意味をもっていると考えられる。実際の測定にあたって直接に誤差の原因として関係するのは、盛りり率よりむしろ圧こん端部のだれの割合であると考えられるが、今実際の測定において d_2 の値を読んだとして比較すれば、S 10 C 熱処理材では $d_2 = 1.2489 d_1$ 、SS 41 では $d_2 = 1.3186 d_1$ となり、真の直径 d_1 より 0.2489, 0.3186 だけ大きく読んでいくことになる。このことは圧こん直径から表積を面算出しているブリネルかたさでは、上述の測定誤差は2乗に関係したものになり実際のかたさ値に少なからぬ影響を与えてくるものと思われる。

3・3 圧こん端部のだれの割合および盛りり率と機械的性質

熱処理材の圧こん端部のだれの割合および盛りり率が材料の機械的性質と相関の傾向があるかどうかをみるため、横軸に機械的性質をとって示したのが図3である。図中に前報で求めた純ニッケルの値も示してある。

引張強さ、上降伏点の場合、盛りり率は最初急減しそれ以後は水平に近づくというような折線の形であり、だれの割合は最初水平で以後やや急減というような形の折線を示している。伸びについては、前報の純ニッケルの値はスケール外で図示できなかったが、S 10 C を除けばだれの割合、盛りり率ともやや直線的に増加している。絞りについては盛りり率は増加、だれの割合は折線的に減少している。

以上のことから、だれの割合や盛りり率は材料の機械的性質と何んらかの関係がありそうであるが、これは多種の材料による実験値をまたなければならない。

4 結 言

以上を要約すれば

(1) d_1 と盛りり頂点間の距離 $d_2 - d_1$ および d_1 と盛りり高さ h の関係を求めたところ、素材は若干バラツキがあるが熱処理材とともに比例関係にあることが知られた。

(2) 圧こん端部のだれの割合および盛りり率は押込荷重に関係なく一定であり、盛りり形状は荷重に関係なく

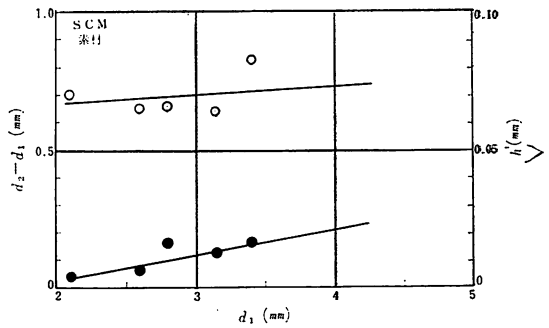
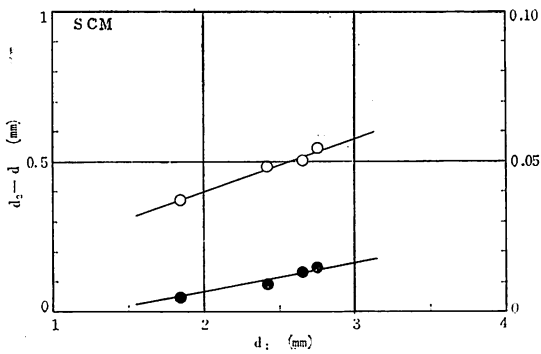
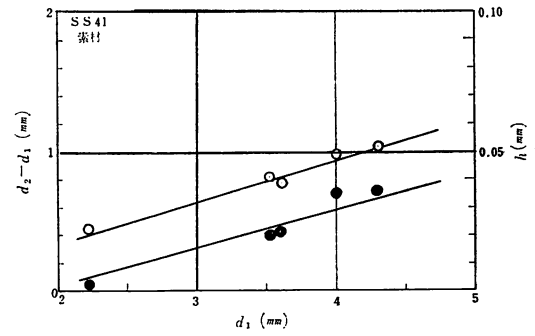
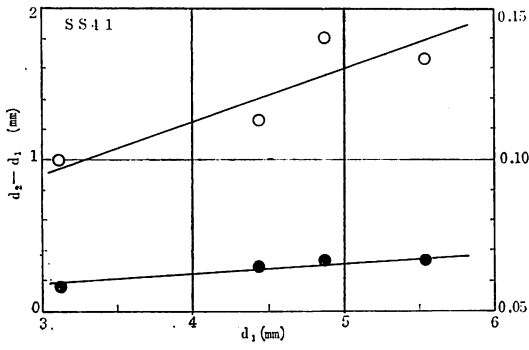
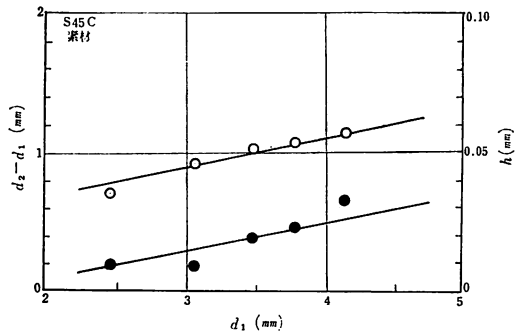
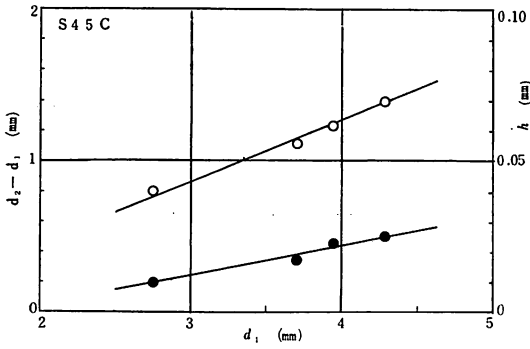
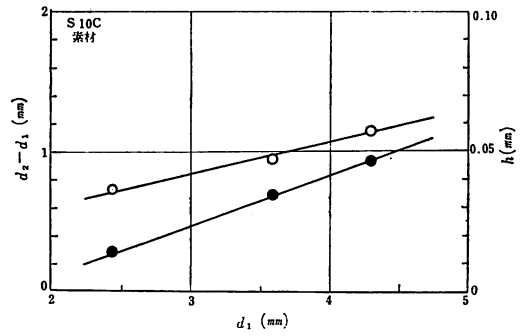
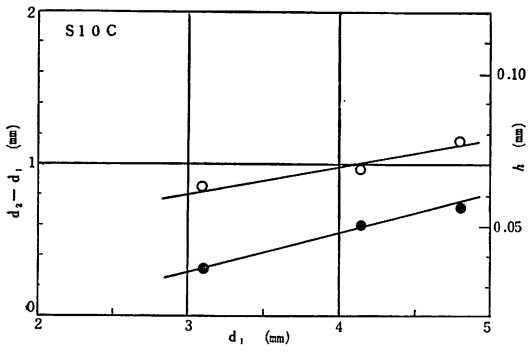


図1 d_1 と $d_2 - d_1$ および h の関係 (○は $d_2 - d_1$, ●は h を示す)

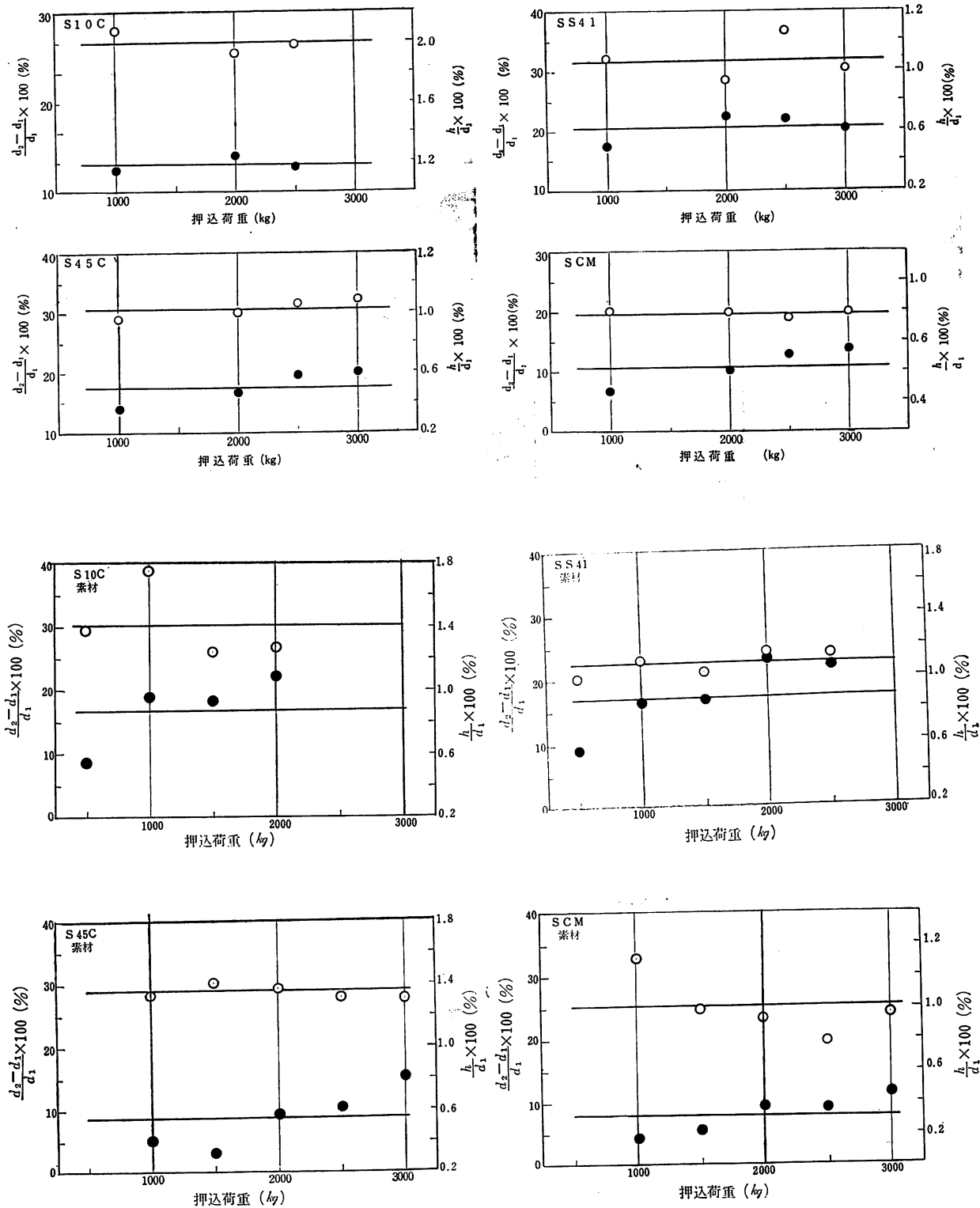
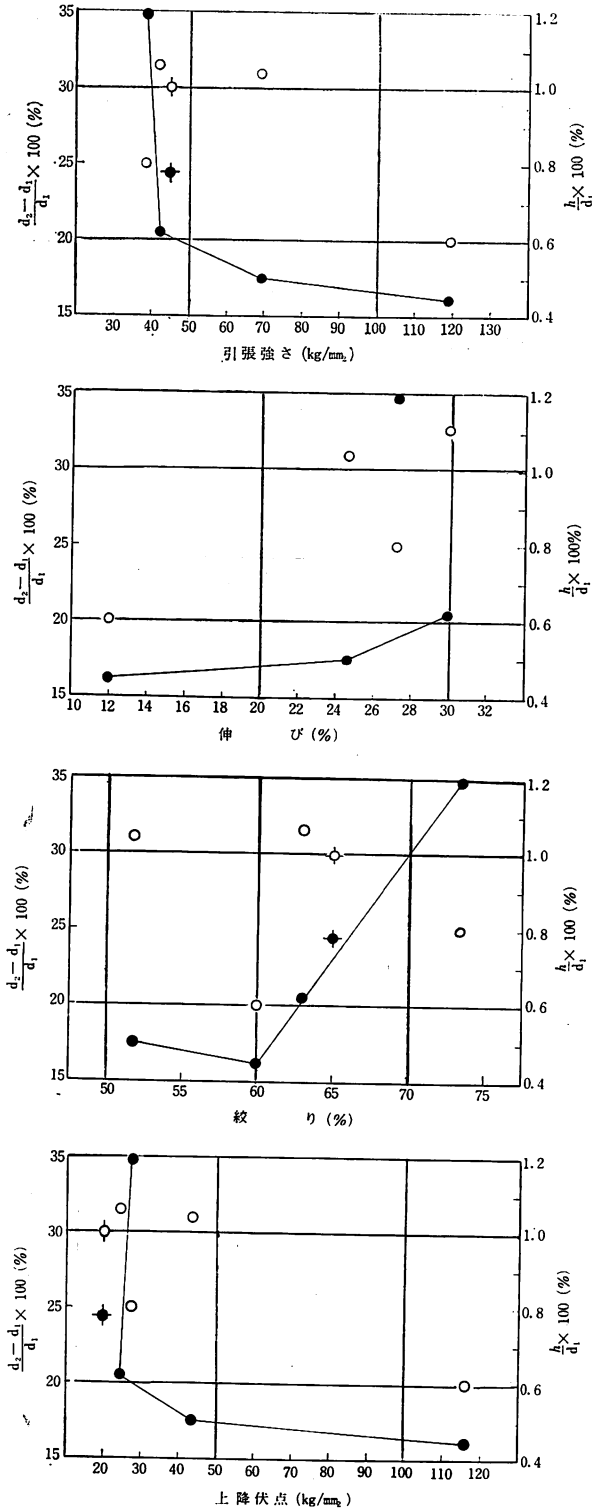


図 2 押込荷重とだれの割合および盛りり率



相似である。だれの割合および盛上り率を求めたところ材料におよび熱処理による定数があることが考えられる。ブリネルかたさ値の誤差の原因としては、盛上り率よりむしろだれの割合が問題になると思われる。

(3) 熱処理材の圧こん端部のだれの割合および盛上り率と材料の機械的性質はなんらかの関係があるものと思われる。この関係はさらに多くの実験値のもとに検討する必要がある。

文 献

- (1) 小笠原, 宮野 秋田工業高等専門学校研究紀要3 (1967) 11
- (2) 小笠原, 宮野 同上4 (1968) 34
- (3) JISハンドブック 鉄鋼 1965
- (4) D. Tabor Proc. Roy. Soc. A. 192 (1948) 247
- (5) 財満 材料試験5—31 (昭31—10) 584

図3 だれの割合および盛上り率と機械的性質
 (○は $\frac{d_2-d_1}{d_1} \times 100$, ●は $\frac{h}{d_1} \times 100$ を示す)
 ◆◆はニッケル