

## 鉄鋼技術共同研究会部会報告講演

### 鋼材部会圧延理論分科会報告

#### 熱間変形抵抗・圧延圧力・変形能の最近の研究について\*

井 上 勝 郎\*\*

#### Recent Studies on the Hot Deformation Resistance, Rolling Pressure and Workability.

(Report the Rolling Theory Subdivision, Steel Product Division,  
Steel Technology Joint Research Society)

Katsuo INOUE

#### I. 圧延理論分科会の方針

圧延理論分科会でどんなことを取扱つてゆこうか、ということは分科会発足以来たえず委員一同が頭をなやましてきたことである。ふつう圧延理論というと、圧延における諸現象、なかでも圧延力を数式的に表現することと考えられている。それだから圧延理論というものは一側面では数式の羅列で何か近より難いわかりにくいものと考えられ、また他面実用に迂遠な役にたたない研究と思われているようである。しかし圧延理論の本来の意味は圧延における重要な諸問題を基本的にあるいは原理的に扱うということなのであつて、圧延力の数式的取扱いはその一部門にすぎない。ことにこの分科会は鉄鋼諸会社の委員で構成されていることを考えると、われわれはなるべく圧延理論を広義に解釈して、圧延現場で問題になっている基本的な問題を掘りさげて共同研究してゆくことを使命とするのは当然のことであろう。

さてそうしたうえで、われわれの現在の状況と能力を考え合せて、われわれはここ数年間を次のようなテーマに集中して共同研究をおこなつてきた。まづ第一は熱間変形抵抗の研究と圧延力の実測である。わが国のこの方面の研究は世界的に見ても相当なものなのであつて、しかも分科会のメンバーとして大部分の研究者が参加しておられる。そこでまず第1の共通問題としてこれを取り上げ、研究結果の総合を計つた。この問題はまだ残された点も多いけれど、現在かなりまとまつたところまで進んでいる。第2は熱間圧延における鋼材の変形の難易度の測定法の研究である。これをかりに変形能という言葉で呼ぶことにするが、近年熱間変形能の測定法として高速振り試験が注目され、わが国でも多数の会社がこれを

とりあげ研究しておられる。そこでこの問題を第二の共通問題としてとりあげた。この問題については現在まだ未解決の点が多いが、かなり見当がついて進行している。第3の問題としてとりあげたのは圧延機の剛性と製品の寸法精度の問題である。これは着手を始めた段階であつて、まだ結果を発表するところにはいたっていない。なお以上の他に、圧延を理論的に扱つた研究と思われるものについては、広く自由に発表し合つて討論してゆこうという考えで、随時分科会にその結果を提出して貰つている。将来これらの自由議題の中から適切な共通議題を見出して取り上げることを期待している。

今回は以上の諸問題について研究の現況を説明し、また分科会で得た結果を紹介したいと思う。

#### II. 熱間変形抵抗

##### 2-1 熱間変形抵抗の意義と測定法

熱間変形抵抗とは1軸応力状態における変形に要する力のことであつて、すべての圧延現象の解明の基礎になる数量であることはいまさら説明するまでもないであろう。1軸応力であるからその測定は引張りまたは圧縮によつて行われる。また実際圧延鍛造などの熱間変形は700°C~1200°Cにおいて100~10,000%/s程度の高速度で行われているから、この試験は高温高速度の引張試験ないしは圧縮試験となる。ここに測定技術上の困難があり、そう容易にできる実験ではない。わが国では10年ほど前から各所でこの実験が行われ、それぞれ有益な結果が発表され、現在にいたつている。それは第1表に

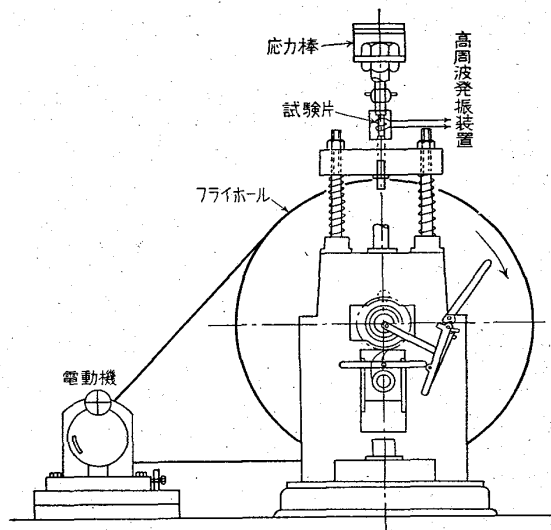
\* 昭和36年10月鉄鋼技術共同研究会第2回部会報告講演会にて講演

\*\* 鋼材部会圧延理論分科会主査、八幡鋼管株式会社

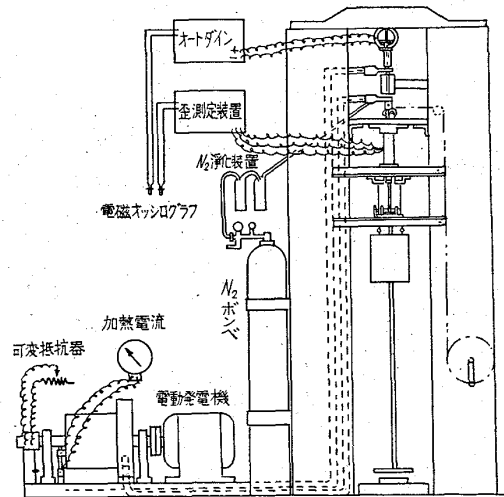
表 1. わが国の熱間変形抵抗測定装置

所属機関	応力型式	荷重法	応力測定法	歪測定法	歪速度範囲 %/s	備考
八幡製鉄 八幡鋼管 住友金属 東大生産研 *東京工大	引張 引張 圧縮 圧縮 引張	フライホイール 落下 カム フライホイール	静電容量変化 静電容量変化 静電容量変化 静電容量変化 抵抗変化	静電容量変化 インダクタンス変化 光量変化 静電容量変化	300 ~ 30,000 80 ~ 10,000 1,000 ~ 30,000 10 ~ 10,000 2,000 ~ 120,000	<1%/s は引張試験機 低速側はチェーン 巻取り式 <1%/s は引張試験機

\*現在は共同研究に参加しているが講演当時は参加していなかった。



第1図 変形抵抗の測定法  
高速度引張試験機—フライホイール式—(八幡製鉄)



第2図 変形抵抗の測定法  
高速度引張試験機—落重式—(八幡鋼管)

示す諸装置である。またそれらの装置の概略は第1図～第4図に示すようなものである。

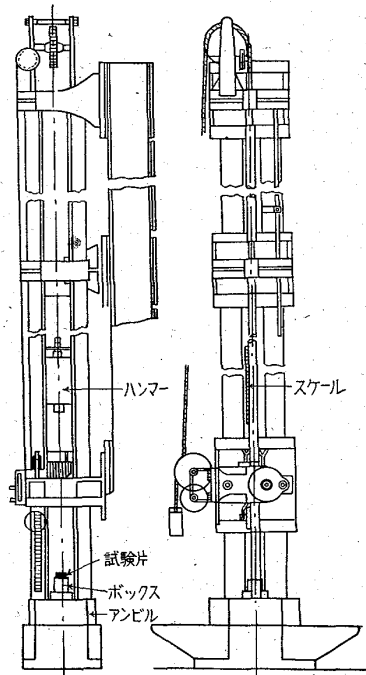
これらの諸装置によつて得られた熱間変形抵抗の特性あるいは各鋼種についての実測値は上記の諸論文に詳しい。圧延理論分科会ではそれらの実測値とともにその他の諸文献に発表された変形抵抗の値を集めて互に比較し、現在において最も信頼できるデータブックを解説を

加えて編集発刊した<sup>2)</sup>。鉄鋼の高温変形抵抗についてはこの報告書を参照されたいが、ここではごく簡単にその特性にふれておく。まず測定によつて得られる応力・歪曲線は例えば第5図のようなものである。これからわかるように高温における鋼の変形応力は常温における降伏応力とちがつて、変形あるいは歪の進行とともに増加するものであるから、いくらの歪の時の変形応力と指定しなければならない。また常温では変形速度による変形抵抗の差はさほど大きくないが、高温では著しく変化する。第6図はその例である。そこで高温変形抵抗 ( $K_f$ ) は、温度 ( $T$ )、変形速度 ( $\dot{\epsilon}$ )、歪 ( $\epsilon$ ) の函数である。諸実験の結果によると、その関係は次式でかなりよく表現できる。

$$K_f = C \cdot e^{A/Tk} \cdot \epsilon^m \cdot \dot{\epsilon}^n$$

### 2.2 変形抵抗の比較

以上のように各種の測定装置が現在わが国で活躍しているわけであるが、引張りと圧縮のように測定原理が異なり、測定装置も異なる諸試験の相互信頼度はどのようなものであろうか。分科会では共同作業としてこの点を確認するために、前後2回にわたつて共通試験片を4社の間に分配して得られた結果を比較した。第1回の比較試験結果は第7図のようであつて、各種材料についてかなりよく一致した結果が得られた。しかし、さらに詳細に実験を行う目的で第2表に示すように共通試験材を各



第3図 変形抵抗の測定法  
高速度圧縮試験機—落重式—  
(住友金属)

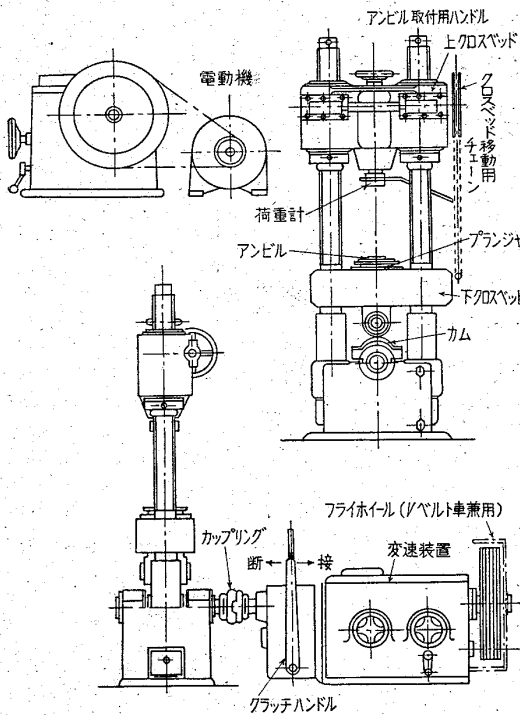
社に分配して、変形抵抗の比較を行い、同時に実験圧延機と各種の現場に圧延機での荷重も測定して変形抵抗との関連を求めてみることにした。この結果として各社から報告された変形抵抗の測定結果を綜合整理してみると第3表のようになった。またこれを図示したものが第8図である。第2表には落下ハンマー式によるLuegの結果とカムプラストメーターによるCookの結果も参考に並記してある。この結果をみると炭素鋼についてはまず実用上差支えない程度に諸試験機の結果が一致しているから、今後とも各社の発表結果をそのまま使用して差支えないものとする。しかし不銹鋼についてはかなり著

しい不一致が認められたので、この鋼種については今後慎重な取り扱いを要する。この原因および対策は今後調査を進めることにしている。

### III. 圧延圧力の測定

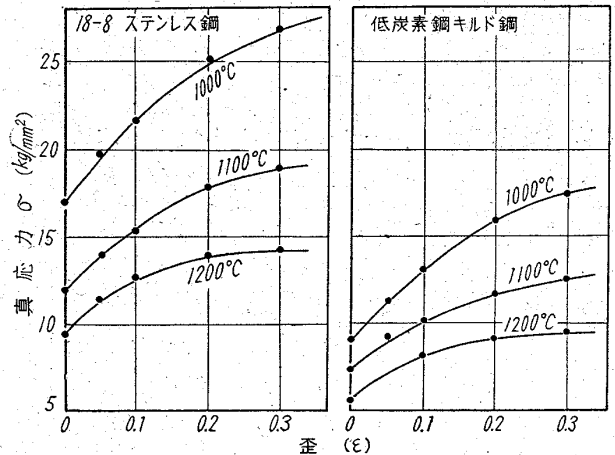
#### 3.1 圧延圧力測定の現況

圧延機で鋼材を圧延する時に圧延機がうける圧延圧力を実測し、これから見掛けの変形抵抗を算出する試みは昔から度々行はわれている。しかしこれが盛んに行われるようになったのはやはりここ10年ほどのことであつてそれはおもに線歪計の応用による測定装置の発達によるものと考えられる。数年前までに発表された測定結果は当分科会でまとめて刊行してあるからそれを参照されたいが、たとえば第6表の分科会の自由議題発表の中にも多数の例を見ることができる。このような測定は今後現場作業上の必要に応じて各所で行われるものと思われ、それはそれで実用上の意義は大きいのであるが、われわれは次のような点を今後明かにしてゆきたいと考えている。(1)圧延圧力の実測から算出した見掛けの変形抵

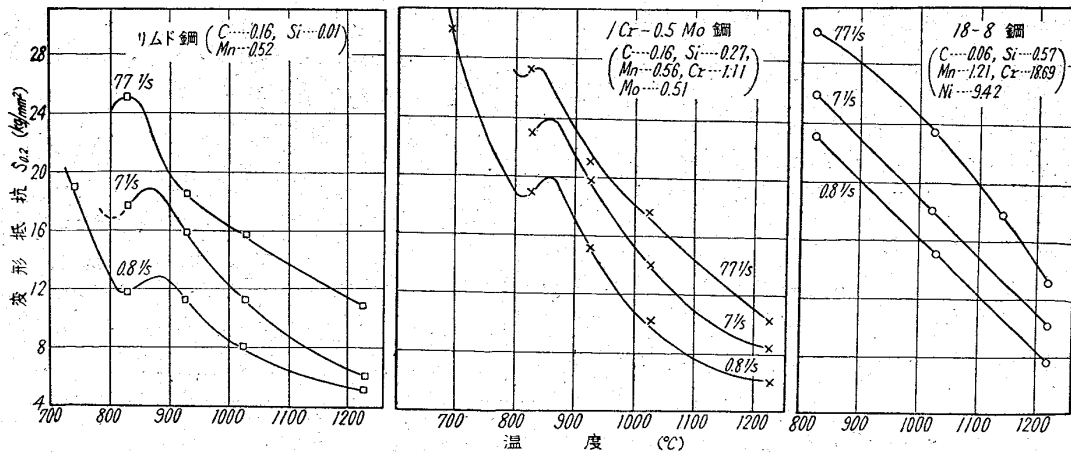


第4図 変形抵抗の測定法

高速度圧縮試験機—カムプラストメーター—  
(東大生産研)



第5図 真応力—歪曲線の例 (歪速度 77 1/s)



第6図 変形抵抗と温度速度の関係の例

抗と実験室で求めた純粋変形抵抗の関係はどうか。これがいわゆる圧延理論式の目的であるが、数多くの理論式の中でどれが最も妥当性があるか。(b)各所で行われている圧力実測値相互の信頼度はどうか。(c)板圧延の場合は数式的取扱いにより純粋変形抵抗と圧延変形抵抗との関係にある程度まで合理的に扱っているが、型鋼圧延、鋼管圧延などのような複雑な圧延においてはどの程度までそのようなことができるであろうか。以上の諸問題について分科会では現在までに一応次のような結果を得ている。

3.2 圧延圧力と変形抵抗の比較

平板の圧延における圧延圧力を求めるための圧延理論式ないし簡易計算式は現在までに多数発表されているが、分科会でもとり上げた式は TSELIKOV<sup>3)</sup>, OROWAN and PASCOE<sup>4)</sup>, SIMS<sup>5)</sup>, EKELUND<sup>6)</sup>, TRINKS<sup>7)</sup>

の諸式であつて、それぞれの場合についてロールの偏平化と材料の弾性復元を考慮に入れた場合と無視した場合を考えた。例えば OROWAN & PASCOE の式は広い巾の板の圧延の場合次のようである。

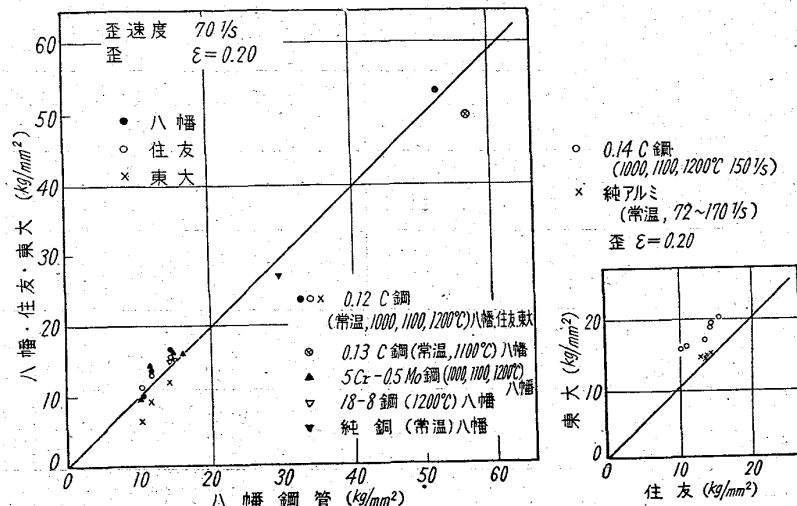
$$P = S \cdot b_m \cdot L$$

$$(0.8 + \eta L / 2h_2)$$

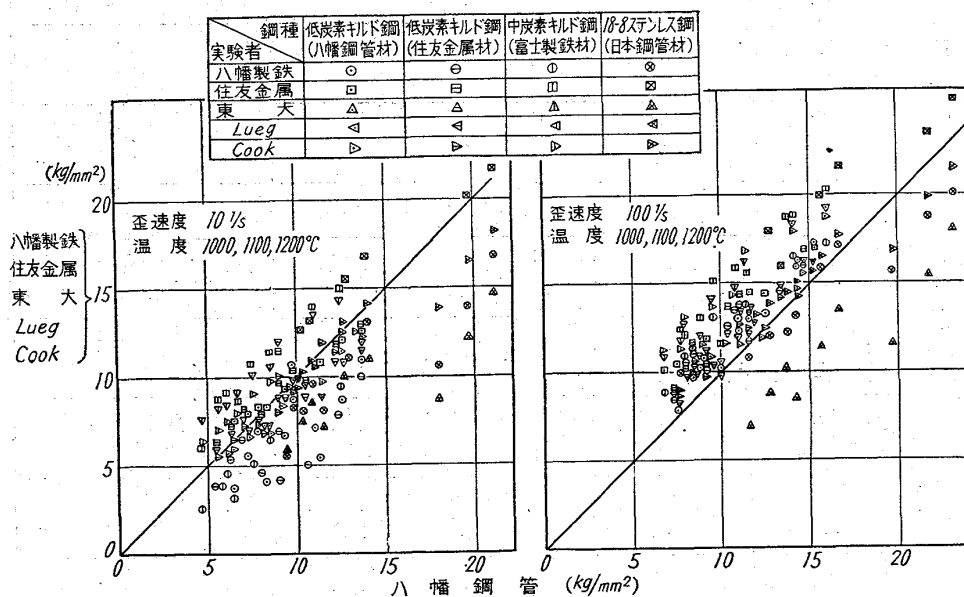
$P$ : 圧延圧力,  $S$ : 拘束変形抵抗,  $b_m$ : 圧延平均巾,  $L$ : 接触投影長,  $h_2$ : 圧延後の板厚,  $\eta$ : 圧延入口より中立点までの距離と接触投影長さの比

圧延機で圧延圧力  $P$  を実測した時に圧延の諸元がわか

つていれば上式を用いてその場合の見掛けの変形抵抗  $S$  を算出することができる。この  $S$  の値と、その実験圧延の際の鋼種、温度、歪速度、歪度に対する純粋変形抵抗を2節でのべたわれわれの実験室の結果から求めたもの



第7図 変形抵抗測定結果の比較 (第1回)



第8図 変形抵抗値比較試験結果

表.2. 変形抵抗共通比較試験計画

メーカー	供試材					変形抵抗試験				実験用小型圧延機			現場圧延機			
	C	Si	Mn	Ni	Cr	東大	八幡	八幡鋼管	住友	住友	富士	日本鋼管	八幡鋼管 (1)	住友金属 (2)	富士製鉄 (3)	日本鋼管 (4)
八幡鋼管	0.13	0.23	0.44	—	—	—	○	○	○	○	—	—	○	—	—	—
住友金属	0.12	0.22	0.48	—	—	—	○	○	○	○	—	—	—	○	—	—
富士製鉄	0.44	0.21	0.49	—	—	—	○	○	○	—	—	—	—	—	○	—
日本鋼管	0.08	0.07	1.22	8.62	18.13	○	○	○	○	—	—	○	—	—	—	○

(註) (1) プラグ・ミル (2) 熱間押し (3) 孔型圧延機(釜石) (4) 粗1および粗4 (水江)

表3. 変形抵抗比較試験結果

温度 °C	加工度 ε	八幡			八幡鋼管			住友			東大			平均			Lueg			Cook			全平均	
		100/s	10/s	1/s	100/s	10/s	1/s	100/s	10/s	1/s	100/s	10/s	1/s	100/s	10/s	1/s	100/s	10/s	1/s	100/s	10/s	100/s	10/s	
1000	0.1	13.3	5.5		11.3	9.2		14.5	10.8					13.4	9.2		12.0	8.9		12.5	9.8		13.0	9.3
	0.2	16.0	8.7		12.6	10.4		16.3	12.1					15.5	11.1		14.7	10.9		14.5	11.5		15.2	11.2
	0.3	17.3	11.0		13.7	11.4		17.1	12.7					16.6	12.5		16.2	12.0		15.8	12.6		16.4	12.4
1100	0.1	10.2	4.3		8.9	5.7		11.6	8.4					10.3	7.0		10.4	7.4		9.9	7.1		10.4	7.1
	0.2	12.5	6.9		9.1	6.4		13.0	9.4					12.1	8.5		12.4	9.0		11.7	8.5		12.1	8.6
	0.3	13.2	8.7		9.8	7.0		14.5	10.5					13.1	9.7		13.6	9.8		12.8	9.5		13.2	9.7
1200	0.1	7.9	3.7		6.3	4.0		10.5	7.4					8.6	5.8		8.5	6.0		8.7	6.0		8.6	5.9
	0.2	10.0	5.6		7.2	4.6		11.4	8.0					9.9	7.0		10.1	7.1		10.1	6.9		10.0	7.0
	0.3	10.9	7.0		7.8	5.0		11.9	8.4					10.6	7.7		11.0	7.8		11.0	7.6		10.8	7.7
1000	0.1	11.8	5.1		10.5	9.7		13.4	9.9					12.3	8.5		12.0	8.9		12.5	9.8		12.3	8.8
	0.2	14.6	7.9		12.3	11.3		16.0	11.9					14.7	10.7		14.7	10.9		14.5	11.5		14.6	10.9
	0.3	16.0	10.0		13.7	12.5		16.9	12.5					15.9	12.1		16.2	12.0		15.8	12.6		15.9	12.2
1100	0.1	10.1	4.7		7.9	6.8		10.9	7.9					10.1	6.8		10.4	7.4		9.9	7.1		10.1	7.0
	0.2	12.6	7.0		9.0	7.8		13.7	9.9					12.2	8.6		12.4	9.0		11.7	8.1		12.2	8.7
	0.3	13.9	8.3		9.8	8.4		14.4	10.4					13.1	9.5		13.6	9.8		12.8	9.5		13.1	9.6
1200	0.1	8.5	3.9		5.3	4.0		9.1	6.4					8.3	5.2		8.5	6.0		8.7	6.0		8.4	5.5
	0.2	10.7	5.4		6.2	4.5		10.4	7.3					9.7	6.3		10.1	7.1		10.1	6.9		9.9	6.6
	0.3	11.3	6.5		6.9	4.9		11.7	8.3					10.5	8.2		11.0	7.8		11.0	7.6		10.7	8.0
1000	0.1	13.8	4.2		9.0	8.0		15.6	11.6					13.6	8.3		16.2	12.0		16.9	10.1		15.9	9.4
	0.2	16.6	7.2		11.0	9.8		18.9	14.0					16.5	10.7		18.4	13.7		18.1	10.7		17.2	11.3
	0.3	17.3	9.3		12.5	10.9		20.4	15.1					17.9	12.3		19.3	14.3		18.9	12.6		18.2	12.8
1100	0.1	10.9	3.2		6.4	5.3		12.2	8.8					10.3	6.1		12.7	9.2		13.1	8.0		11.4	7.1
	0.2	13.1	5.2		7.5	6.3		15.1	10.9					12.6	7.9		14.1	10.2		14.0	9.1		13.2	8.6
	0.3	13.5	6.5		8.5	7.1		15.9	11.5					13.4	8.8		14.8	10.7		14.7	9.9		13.9	9.4
1200	0.1	8.9	2.6		4.6	3.7		10.1	7.1					8.6	4.8		10.9	7.7		11.2	6.5		9.6	5.7
	0.2	10.0	3.9		5.5	4.3		12.5	8.8					10.1	6.1		11.8	8.3		11.7	7.1		10.7	6.7
	0.3	10.1	4.6		6.0	4.7		13.1	9.2					10.6	6.6		12.0	8.5		12.1	7.6		11.2	7.2
1800	0.1	15.7	10.6		18.0	15.7		23.6	20.2					15.7	12.4					16.9	13.9		16.7	12.9
	0.2	18.9	13.9		19.7	17.2		28.6	21.8					18.8	16.5					19.9	16.6		19.8	16.5
	0.3	20.1	16.8		21.2	18.6		25.5	21.8					21.7	18.6					21.6	18.3		21.7	18.6
1100	0.1	13.2	8.1		11.5	9.4		20.0	15.6					12.0	9.9					15.0	12.0		12.7	9.7
	0.2	15.9	11.2		12.9	10.3		20.0	15.6					15.8	12.4					16.6	13.2		15.9	12.6
	0.3	17.1	13.1		14.0	11.1		21.7	16.9					17.3	13.8					17.8	14.2		17.3	13.8
1200	0.1	10.8	5.6		9.4	7.1		18.0	12.7					9.7	7.0					12.8	9.5		10.5	7.6
	0.2	12.0	8.1		10.3	7.8		18.0	12.7					12.9	9.6					13.9	10.3		13.1	9.8
	0.3	12.3	9.6		10.9	8.3		18.8	13.3					13.8	10.6					14.5	11.0		13.9	10.7

上記は原データを共通温度速度に修正した結果を示す。

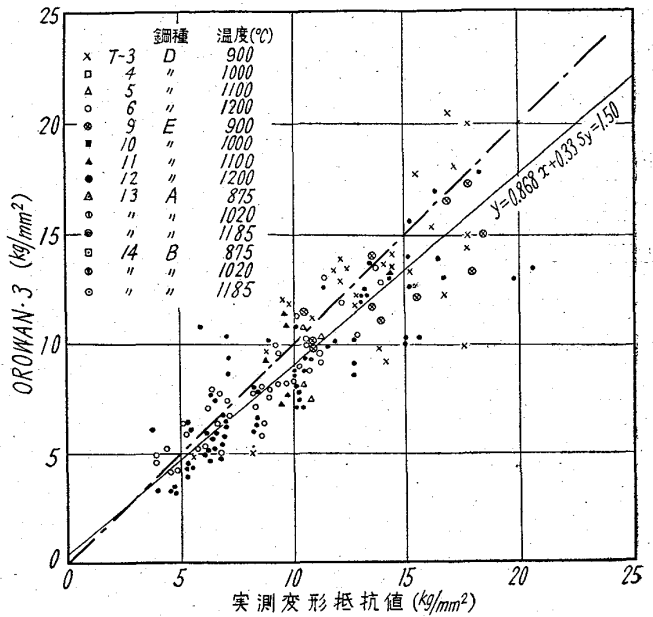
とを比較してみれば、この式がどの程度に現実に合っているかを実証できるわけである。もちろん両者が合致する場合が最も望ましい。ところでこのような試算に耐えうるような系統的な圧延圧力の実測は、すでに20数年前にドイツのK.W. Iで行われた多数の実験以外にはまだないのは甚だ遺憾なことであるが、とりあえず分科会ではこのデータを利用して、上記のような試算を全部のケースについて行なってみた。この計算は非常に面倒なものであるが、当時の富士製鉄室蘭製鉄所の研究所で行われた<sup>2)</sup>、この結果の詳細は原論文、あるいは分科会の総合報告<sup>2)</sup>を参照されたい。ここに1例をあげるならば第9図であつて、これは炭素鋼についてOROWANの式で算出した見掛けの変形抵抗 $S$ と純粋変形抵抗の関係である。これはかなりよく合致した場合である。合致しない例をあげれば第10図であつて、これは不銹鋼の実験例について同じくOROWANの式で整理してみた結果である。このような比較計算を上記のすべての理論式について行なつたわけであるが、その結果全般的にいえることは次のようである。すなわち炭素鋼についてはOROWAN, SIMSの式を使えば変形抵抗と圧延圧力の関係をかなり良い精度で算出できる。またロールの篇平化、鋼材の弾性復元を考慮にいたれた方が結果が良い。

ところが不銹鋼についてはどの理論式を用いた結果も実測と合致しないので、理論式は全然役に立たない。しかし以上の研究はK.W. Iの実験例だけを解析したものであるから、広く一般的にいえることであるかどうかはさらに今後の実験にまたねばならない。

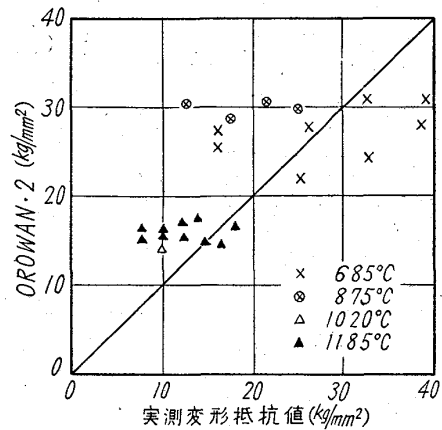
3.3 実験用小型圧延機での実測

前節の計算はドイツのデータを利用したわけであるが分科会では2節で述べた変形抵抗の相互比較試験を行なつた際に、同一試験材を第2表に示すように現在利用できる各社の実験圧延機に配布して圧延圧力の測定を行なつて貰つてわが国のデータとして比較してみた。第11図はその結果の例であつて、実験圧延機で得られた平均圧延圧力と加工度の関係に対して、純粋変形抵抗の値から算出した値を対比したものである。(a)および(b)の結果では両者はかなりよく一致しているが、(c)の場合は一致したとはいえない。残念ながらこの

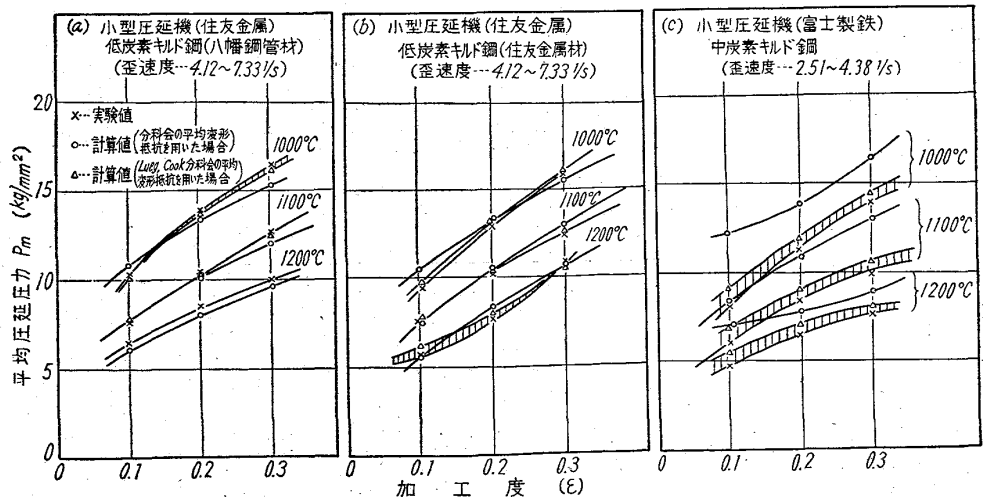
種のデータはわが国ではまだごく少ないので、今後の研究にまたねばならない。



第9図 圧延圧力と変形抵抗の比較例 (炭素鋼)



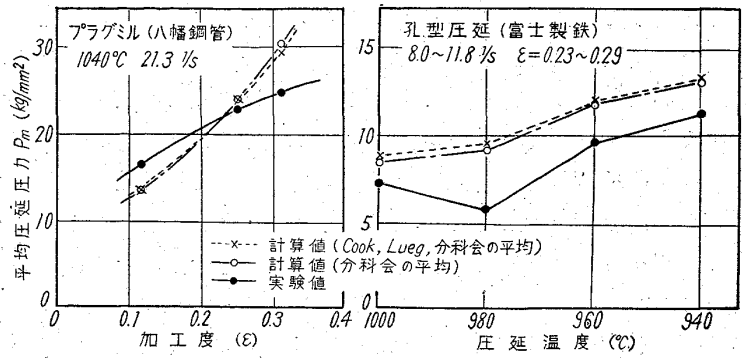
第10図 圧延圧力と変形抵抗の比較例 (不銹鋼)



第11図 圧延圧力と変形抵抗の実測例 (実験圧延機)

3.4 平鋼以外の圧延機での実測

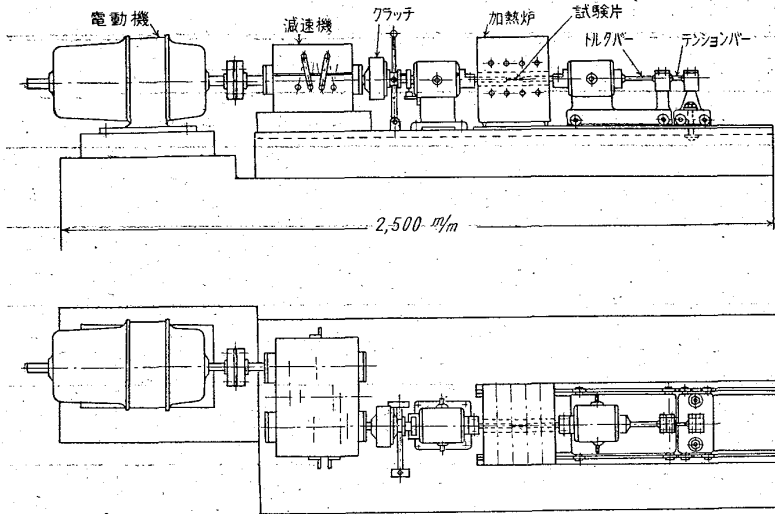
平鋼圧延における圧延圧力と純粋変形抵抗の結び付けは上記のように注意を払って扱えばかなりの程度まで満足できる結果が得られることがわかったが、孔型圧延その他の異型圧延の場合にはどうなるか、この方面の研究は非常に少ない。理論分科会でもこの点はまだ手をつけかけたばかりであるが、第2表の比較試験の際に試みに2, 3の実験圧延機での圧力を測定してもらい、その結果を整



第12図 圧延圧力と変形抵抗の比較例 (実用圧延機)

表 4. 高温 振り 試験 設備 一 覧 表

試験者	試験片寸法 mm	温度測定	酸化防止	均熱時間 mn	試験温度 範囲 °C	破断回転数 測定方法	トルク測定 測定方法	引張力測定 測定方法	モーター	試験回転速度 (rpm)
八幡製 幡鉄	直径 9.5 長さ 38 全長 450	熱電対	水素気流 中で加熱	15	800 ~1300	試験片チャック軸からウォーム取出す	ロードセルによるトルク検出 (2kg-m) 自動記録	不可能	2 HP	50 100 200
富士製 士鉄	直径 10 長さ 10 全長 500	熱電対	窒素	15	650 ~1350	タコメーターと同期モーター併用オートグラフ記録	歪計, オシログラフ	現在は測定していない	密閉型 5 HP	213 320
川崎製 崎鉄	直径 10 長さ 50 全長 250	熱電対 (試料中央)	窒素はアルゴン	15~30	~1350	カムで計数器を動作	腕棒 (200mm), 挺子 (1:1) およびばね秤, 測定最大トルク 4kg-m	なし	直流複巻 1 HP 600~1800 rpm	150~450
住友製 友属	直径 10 長さ 60 全長 180	白金-白金 ロデウム 熱電対	アルゴン	30	900 ~1300	カムとマイコンスイッチ, 積算指示装置, シログラフ記録	抵抗線歪計, 差動変圧器式, ダイヤルゲージ式最大 6kg-m	なし	5 HP 1700 rpm	50~600
日鋼製 本管	直径 10 長さ 30 全長 80	アルメルクロメル又は白金-白金ロデウム熱電対	両端部密閉	15	900 ~1300 (0~900)	磁石 (回転部に取付) とコイルによる電圧変化, オシログラフ記録	回転力測定子 (線歪計), 歪測定器, 電磁シログラフ	張力測定子, 歪測定器, オシログラフ	三相誘導 5 HP	80~2400
八幡製 幡管	直径 8 長さ 20 全長 130	白金-白金ロデウム熱電対	保護管両端をアスベストで密閉	20	800 ~1350	電池回路点滅シログラフ	トーションバー (線歪計), 歪測定器, 電磁シログラフ	テンションバー, 歪測定器, オシログラフ	三相誘導 5 HP 2910 rpm	180~2880 (5段切換)
東大生産研	直径 5~10 長さ 50 ~100	アルメルクロメル又は白金-白金ロデウム熱電対	粉末ガラス	30	室温 ~1200	計数リレー破断後自動停止	遊星歯車式回転ドラムで記録	引張力は一定に保つため測定せず	変速モーター 1 HP	4~13
大製 同鋼	直径 7 長さ 21.5 全長 61.5	熱電対	—	10	800 ~1300	スリット, 光電池, 電磁オシログラフ	振り棒ばね (線歪計), 歪測定器, オシログラフ	内外周固定円盤, 線歪計, オシログラフ	7.5 HP (籠型)	180 ~2880
三鋼製 菱材	直径 10 長さ 40 全長 350	白金-白金ロデウム熱電対	—	—	800 ~1300	チャックホルダーに有する円盤をカウンタ作動	腕棒とばね式力計 (4kg-m)	腕棒とばね式力計	5 HP	110~1800



第13図 高温振り試験機

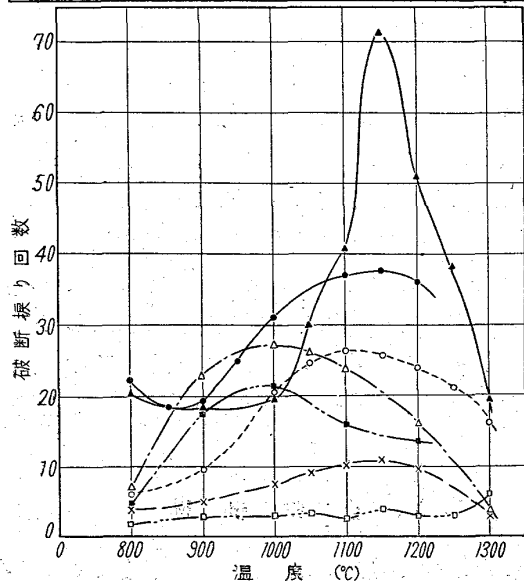
理してみた。第12図は鋼管プラグ・ミルと孔型圧延の例を示す。これは圧延圧力の実測値からごく簡単に算出した見掛けの変形抵抗の値と純粋変形抵抗の値とを対比したものであるが、全然合致しないともいえず、さりとて充分満足できる一致ともいえない結果である。これも今後の研究継続が望まれる次第である。

#### IV. 変形能測定法

##### 4.1 高温高速振り試験

変形能の測定法として高温高速振り試験を最初にとり

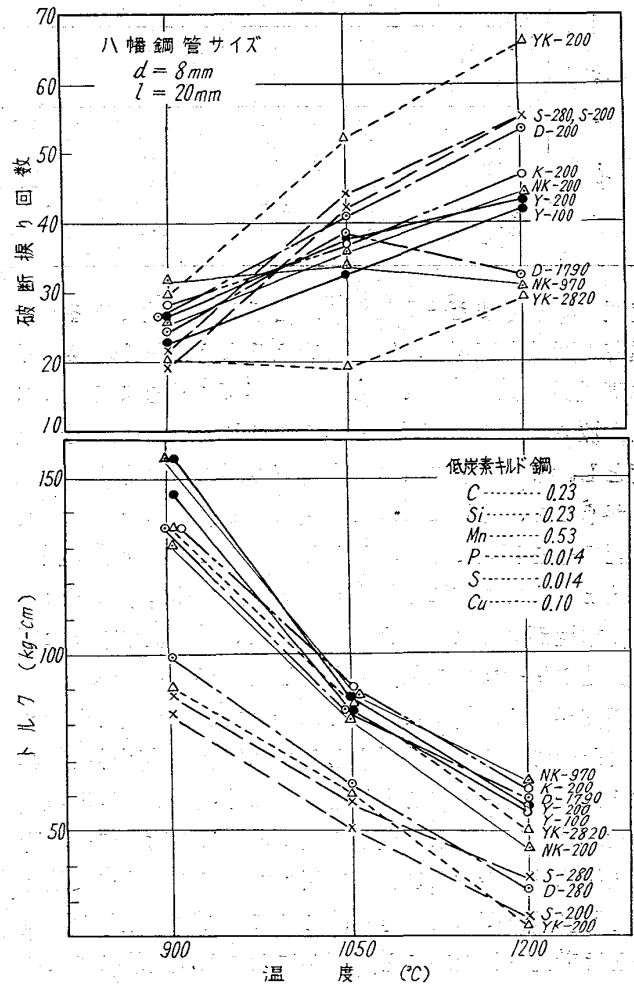
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	Ti	N	Al
●	0.11	0.23	0.54	0.014	0.015	0.11	0.08	0.11	0.04	—	—	—
○	0.11	0.26	0.48	0.011	0.006	0.11	4.90	0.06	0.55	—	—	—
×	0.06	0.51	0.63	0.032	0.030	—	18.32	0.32	—	—	—	—
△	0.07	0.42	0.51	0.024	0.016	—	17.44	0.34	—	—	—	—
▲	0.10	1.81	1.71	0.015	0.013	—	23.91	0.20	—	0.17	—	1.48
△	0.07	0.48	0.44	0.026	0.016	—	27.37	0.25	—	—	0.173	—
○	0.06	0.61	0.98	0.021	0.013	—	26.13	1.49	—	—	—	0.23



第14図 振り破断回数による変形能の比較 (例)

あげたのはアメリカの鋼管会社であつて、マンネズマン穿孔機における製管の難易度が高速振り試験における破断までの振り回数によつてうまく表現できるというのである。たまたまわが国では熱間変形の変形能表現法を諸会社で探究されていたので、一斉にこれをとりあげ現在では第4表に示すようにほとんどすべての鉄鋼会社がこの試験機を所有し実験行なつている。

この試験機の構造は第13図に示すようなものであつて、炉内であらかじめ加熱しておいた試験片を高速回転しているモーターにクラッチインして高速振り破断を行い、その際の破断迄の振り回数と、トルクとを測定するものである。熱間変形能の表現法には圧縮試験、引張試験、折り曲げ試験等が昔から随時用いられているが、いずれも変形能の微妙な差をシャープに表現できるとはいえず、また定量的な表現となりにくい欠点がある。高



第15図 振り試験結果の比較 (破断振り回数—温度)



表 5. 高温 振り 比較 試験 結果

会 社 名	回転速度 rpm	破断振り回転数			トルク (kg-cm)			平行部長さ L mm	平行部の直 径 D mm	L/D	
		900°C	1050°C	1200°C	900°C	1050°C	1200°C				
各 社 サ イ ズ	八 幡 (Y)	200 100	31.5 28.0	58.8 68.2	67.0 80.6	213.6 210.7	120.5 116.5	82.1 73.4	38	9.5	4
	住 友 (S)	200 280	43 39.5	96.5 100.5	132.5 132.5	152.0 157.0	91 97.5	42 58	60	10	6
	八幡鋼管 (YK)	200 2820	29 20	52 19	66 30	90 135	60 85	28 50	20	8	2.5
	大 同 (D)	200 1790	30.3 35.0	59 47.8	68.5 41.3	67 91.5	37 52.5	19.5 40.5	21.5	7	3.1
	川 鉄 (K)	200	23	49.5	78.5	190	136	87.5	50	10	5
	鋼 管 (NK)	200 970	28.5 38.5	46.3 40.0	55.3 41.5	251.1 309	153.2 183.6	93.4 117.4	30	10	3
八 幡 鋼 管 サ イ ズ	八 幡 (Y)	200 100	26.3 22.3	37.4 32.4	43.7 42.6	155.4 145.0	87.5 83.9	57.1 55.3	20	8	2.5
	住 友 (S)	200 280	22.0 19.0	42.0 44.0	55.5 55.5	82 87	50 57	25 36	20	8	2.5
	大 同 (D)	200 1790	26.3 24.3	41.0 38.0	53.5 32.5	98.5 135	62 83	33 38	20	8	2.5
	川 鉄 (K)	200	28.0	37.0	47.0	134	90	61.5	20	8	2.5
	鋼 管 (NK)	200 970	25.8 31.8	36 33.5	43.8 31.3	130 155.3	81.5 89.7	44.7 62.5	20	8	2.5

速振り試験もまだ十分なものであるかどうか未知数であるが、現在の所最も有望な試験法といえるようである。第14図は高温振り試験の例であるが、すべての鋼種については最大振り回数の山が現われるのでこれを最大変形能の温度とし、また鋼種によつて山の高さがちがうので、それによつて鋼種ないしはチャージ間の変形能の差を表現できる。しかしながらこの試験法は振り試験という力学的にやや複雑な試験であるために未だ試験の本性がよくたしかめられていないし、従つてまたどの会社の試験機で試験しても同じ結果が得られるかどうか不安がある。前者については各研究者の今後の研究にまつわけであるが、分科会としては後者の普遍性を確認するために同一試料を参加各会社に分配して、破断振り回数およびトルクと温度との関係の比較を行なつた。その結果は第5表および第15図であつて、予期に反して各社間の差は極めて大きく、このままでは安定した試験法とは考えられないことが明らかになつた。何故このように結果が一致しないかという理由は目下種々検討中であつて、さらに第二次の比較試験を行なつてゐるが、やは

りこの試験法の本質についての探究が不十分であることに基因するのは明かである。例えば加熱炉内の温度分布と熱伝播の差、試験片の軸方向の固定の度合いなどが問題になつてゐる。なかでも端部の固定度は最も問題であつて、端部を固定した時と自由にした時とでは振り試験中に試験片にかかる軸方向の応力が異なり、従つて全体の応力状況は明かに異なつたものとなり、試験結果も変化することはすでに明らかになつてゐる。従つてかりに一端自由としておいても実際は本当に自由ではあり得ないから、試験機毎の僅かな状況の差が結果に変化をおよぼすのではないかと考えられる。また一方このように振り応力と軸方向応力の複雑な応力状態で試験していることがこの試験法の有効な所以とも想像されるので、この点は重要な問題として引きつづき研究している次第である。

## V. 自由 議 題

圧延理論分科会開説以後、昭和36年夏までの間に、自由議題として各社から提出討議された論文を一覧表に

表 6. 圧延理論分科会自由議題一覧表 (第1回~第15回)

内 容	圧延荷重, トルク, 変形抵抗等の測定, 理論との比較を対称としたもの	ハウジング, ベアリング等の歪や応力の測定を対称としたもの	被圧材形状, 寸法等の測定を対称としたもの	摩擦の測定を対称としたもの	そ の 他
対称圧延機					
分塊圧延機	⑤連続式鋼片圧延機に対する調査(F) ⑧分塊圧延機における変形抵抗について(NK) ⑨川崎の二重運転式分塊圧延機の圧延荷重(NK) ⑭富士広畑の Universal Slabbing Mill の特性(F) ⑭連続式鋼片圧延機の圧延荷重と圧延トルクの測定(F)	⑮分塊ロールの負荷係数について(NS)			
板圧延機	②鶴見製鉄所逆転式4重厚板圧延機の圧延圧力について(NK) ⑮熱間連続仕上圧延機の圧延荷重の測定(Y)	③プルオーバー式薄板圧延機のスタンドの歪測定(F)	⑥熱延材料の厚み差現象について(Y)		②特殊材料の熱間圧延試験機(TS)
形圧延機	④大形圧延機による圧延力の測定(D) ⑧中形圧延機の圧延力測定(D) ⑮連続ミルによる Sheet bar 圧延の圧延荷重の測定(Y)	⑪大形圧延機のロールスラストの測定(F)			
線材圧延機	⑮全連続式線材圧延機の粗圧延機における平均変形抵抗の測定(Y)	④ベアリングロールのスラストについて(D)	⑦鋼材の捻りに対する調査(F)		
管圧延機	⑤鋼管の熱間引抜に関する研究(YK) ⑦プラグミルにおける諸荷重の測定(YK) ⑨ピルガー圧延機における圧延応力(NK)				②外圧と軸方向の引張応力の下で変形する管の理論(S)
冷間圧延機	⑫帯鋼冷間圧延の作業条件の研究(T)		⑫ブリキ材の調質圧延における圧下率の変動について(Y)	⑤小形圧延機による二, 三の実験(T) ⑥帯鋼の冷間圧延における表面摩擦と潤滑(T) ⑨圧延圧力実測値より摩擦係数 $\mu$ を推定する実例(D)	
実験用圧延機	③磁歪合金の圧延(D) ⑭試作圧延機による孔型圧延実験(F)	⑪精密圧延機の計画から試運転まで(TO) ⑪精密圧延機の構造および特性(TO) ⑪試作精密圧延機による圧延実験(TO) ⑪試作機械(TO)	②圧延速度が板厚におよぼす影響(Y) ⑥試験圧延機による各種鋼の熱間変形抵抗, 巾拡がり, 伸びの測定(F) ⑧圧延速度が圧延荷重, 巾拡がり, 伸びにおよぼす影響(F) ⑨パス回数が巾拡がり伸びに及ぼす影響について(F)		②研究四重式冷間圧延機の諸元(D) ⑥熱間圧延機の実験計画(D)

圧延一般	④オートダイン装置による荷重測定の際の校正精度(Y) ⑨熱間圧延の場合の平均変形抵抗の値(S) ⑩圧延機におけるロール回転力について(NK)	⑬圧延機に関する二つの光弾性実験(NK) ⑮ブレーカーボックスに関する三次元光弾性実験(NK)	⑭東芝キャパシトマイクログレーダ(TS) ⑯放射線応用厚み計(TS) ⑰光電太さ計、巾計(TS)	③オートダイン式微小静電容量変化測定記録装置(TS) ⑦軟鋼の塑性曲線およびその応用(NK) ⑭三要素オートダイン装置(TS) ⑮張力計(TS) ⑯東芝レコーディング・ラジエーションサーモメーター(TS) ⑰ステンレス鋼の熱間加工性について(Y)
------	--	--	--	--

- 内数字は開催回，文献翻訳乃至その紹介は含まない。変形抵抗実測比較および高温振り試験関係以外の自由議題。
- 富士：(F) 日本鋼管：(NK) 八幡：(Y) 八幡管：(YK) 東洋鋼板：(T) 大同：(D) 住友：(S) 東芝：(TS) 東大：(TO) 日本製鋼：(NS)

表 7. 参加会社一覧表 (五十音順)

川住大東日	崎友同洋本	製金製鋼鋼	鉄属鋼鋁管	日富三八八	本士菱幡	製製鋼製	鋼鉄鋼管鉄
協 力 者							
東 京 大 学				東 京 芝 浦 電 気			

して示したものが第6表である。この表を見るとわかるように、自由議題としても圧延荷重、変形抵抗などの測定が数多く発表されており、わが国の研究はおもにこの方面に向けられていることがうかがわれる。しかし最初に述べたように、分科会としても逐次寸法精度の問題などに手を広げてゆこうと考えており、自由議題としても寸法関係の論文が逐次多くなっている。われわれはいままで述べたような未解決の諸点を引続き追求してゆくのはもちろんであるが、さらに新しい問題についても手を広げる意欲を持っているつもりであるので、各社の積極的な応援をお願いする次第である。

## VI. 後 記

圧延理論分科会の構成メンバーは第7表の諸会社である。この分科会はその性質上参加各社の平常の研究努力に最もたよらなければならないのであつて、その点現在までの各社各委員の御努力に深く感謝するとともに今後一層の研讃を御願ひする次第である。また、分科会の会合には学界から東工大作井誠太、東大五弓勇雄、鈴木弘、早大松浦佐次の諸教授に随時参会して頂いているが、大

学と会社の研究室が共通問題で話し合えるのがこの分科会の特色とも考えるのでこの点は今後さらに助長したい。

最後にこの分科会は初代主査遠藤勝治郎(八幡製鉄) 2代主査前田元三(富士製鉄) 両氏の御指導により運営されてきたものであつて、両氏の御努力に対し厚く感謝する次第である。(昭和37年3月寄稿)

## 文 献

- 池島俊雄：日本金属学会誌，17 (1953)，No.1, A-1, No. 2, A-25, No. 3, A-55  
井上勝郎：鉄と鋼，41 (1955)，No. 5, 506, No. 6, 593, No. 8, 869  
豊島清三，他：鉄と鋼，41 (1955)，No. 3, 344  
鈴木 弘，橋爪 伸：生産研究，5 (1953)，No. 8  
橋爪 伸：塑性と加工，1 (1960)，No. 5
- 鉄鋼技術共同研究会編：圧延理論と変形抵抗，1960
- A. TSELIKOV: Metallurg., No. 6, (1939)
- E. OROWAN & K. PASCOE: Iron & Steel Inst. (U.K.), Special Report, No. 34, (1946)
- R. SIMS: Proc. Inst. Mech. Eng., (1954), p. 191~
- S. EKELUND (TRANSLATED B. BLOMQUIST): Steel, Aug. 21 & 28, Sept. 4, 11, 18 & 25, Oct. 2, (1933)
- W. TRINKS: Blast Furn. & Steel Plant, June, (1937)
- 田島喜久雄，津田精三，宇治良一：富士製鉄技報 9 (1960)，No. 1, 72, No. 2, 202
- C. L. CLARK & I. J. RUSS: Metals Technology, 12 (1945), p. 736~  
H. K. IHRIG: Metals Technology, 12 (1945), p. 749~