



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	切欠形状と荷重速度の軟鋼の破壊に及ぼす諸影響に就いて
Author(s)	渡辺, 旨惟; Watanabe, Munekore
Citation	北海道大學工學部研究報告, 23, 1-9
Issue Date	1960-06-15
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/40665">https://hdl.handle.net/2115/40665</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	23_1-10.pdf



# 切欠形状と荷重速度の軟鋼の破壊に及ぼす諸影響に就いて

渡 辺 旨 惟

(昭和 35 年 2 月 29 日受理)

## On the Influences which are given to the Breaking of the mild Steel by changing the Size of Notch and the loading Speed

Munekore WATANABE

### Abstract

Many researches have been achieved for the breaking of the materials. And the breaking, which has been presume a unique fixed physical phenomenon, was recognized the varieties of its process and divided by Orowan.

But the common property, that consists in the varieties of it's process, is not clear yet.

And so the theory of the strength of the materials is complicated.

However, the above theory is important from realistic point of view.

In this standpoint, the author will analyze the effect of the factor to the process of the breaking and recognize the property.

And so in this paper, by changing the size of notch and the loading speed, the author analyzed the effect against to the breaking of the materials.

### 1. 緒 言

破壊に就いては Griffith (1920)<sup>1)</sup> 以来今日に至る迄数多くの研究がなされてきている。

転位論, 確率過程論の導入等大きな進歩をとげている。又単一の確定的物理現象として見られていた破壊も Orowan (1949)<sup>2)</sup> により一応そのたどる過程の多様性が認められ大別された。而しこれらの多様性の根底に潜在している共通性, 普遍性が明確にとらえられておらず, 破壊強度の理論はいまだに混沌としている面も多い。

而るに破壊強度の理論の確立は材料強度の観点から又塑性加工の観点等現実的な見地から見て真に肝要と云わざるを得ない。

かかる立場から筆者は破壊の過程に及ぼす要因の効果を分析しその本質を究明したいと考える。そこで以下本論文に於いては先ず切欠形状と荷重速度を要因としてとりあげ, 夫々の破壊に与える効果を検出し分析した。

## 2. 実験計画

切欠形状、荷重速度をそれぞれ五種類に変化させ引張試験を行ない最高荷重、局部収縮率及び破壊エネルギーに与える効果を検出し分析する為の実験を実験順序の無作為化した反覆二元配置により計画した。即ち試験片数 25 本に就いての実験を二回繰り返した。

### 3. 試験片、試験装置及び試験速度

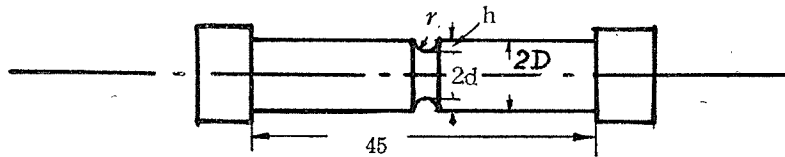
#### a. 試験片

試験片には次の第 1 表の化学成分を有する軟鋼を用い荒削り後電気炉で焼鈍した。

すなわち電気炉内で約 6 時間で 950°C 迄温度上昇させ、950°C で 1 時間保持した後炉中冷却を行なった。こうして熱処理した後次の第 1 図に示す  $r$ ,  $2d$ ,  $h$ ,  $2D$ ,  $r/d$ ,  $d/r$  の値がそれぞれ第 2 表に示される 5 種類の寸法になるように試験片を作製した。尚試験片は同一寸法のものを夫々 10 本ずつ作製した。

第 1 表

成分	C	Si	Mn	P	S
含有量 (%)	0.10	0.21	0.40	0.044	0.056



第 1 図

第 2 表

	$r$ (mm)	$2d$ (mm)	$h$ (mm)	$2D$ (mm)	$r/d$	$d/r$
A <sub>1</sub>	0.5				0.17	6.0
A <sub>2</sub>	1.0				0.33	3.0
A <sub>3</sub>	1.5	6	1.5	9	0.5	2.0
A <sub>4</sub>	2.0				0.6	1.5
A <sub>5</sub>	∞				∞	0

#### b. 試験装置

試験機には 5 ton Amsler 型試験機, Sharpy 衝撃試験機を用いた。

#### c. 荷重速度

$B_1$ : 5 mm/min

$B_2$ : 25 mm/min

$B'_1$ : 222 m/min

$B'_2$ : 240 m/min     $B'_3$ : 270 m/min

$B'_1$ ,  $B'_2$ ,  $B'_3$  は振り式試験機を用いた時の 90°, 100°, 120° の振り上げ角の時の速度であり従つて速度  $v$  の算出は次の式によつた。

$$v = \sqrt{2gl(1 - \cos \theta)}$$

但し  $l$ : 振り半径     $\theta$ : 振り上げ角

## 4. 試験結果

## a. 抗張力

試片断面積は 28.27 mm<sup>2</sup>

最大荷重 (kg) に就いての実験結

果は右表の通りである。

	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>
A <sub>1</sub>	2,100	2,300	1,910	1,940
A <sub>2</sub>	2,000	2,210	1,890	1,800
A <sub>3</sub>	1,810	2,000	1,880	1,820
A <sub>4</sub>	1,760	2,100	1,710	18,00
A <sub>5</sub>	1,350	1,410	1,315	1,350

故に抗張力  $\sigma_{\max}$  (kg/mm<sup>2</sup>) として結果を示すと次の第3表の通りである。

又この場合切欠形状及び荷重速度がそれぞれ要因として有為性が検出されるかどうかを調べる。その為に次の様な検定法に従う<sup>3)</sup>。

(右表参照)

第3表

	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>
A <sub>1</sub>	77.8	68.1
A <sub>2</sub>	74.5	65.3
A <sub>3</sub>	67.4	65.4
A <sub>4</sub>	68.2	62.1
A <sub>5</sub>	48.8	47.0

	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	計
A <sub>1</sub>	$x_{11}$	$x_{12}$	T <sub>1</sub>
A <sub>2</sub>	$x_{21}$	$x_{22}$	T <sub>2</sub>
A <sub>3</sub>	$x_{31}$	$x_{32}$	T <sub>3</sub>
A <sub>4</sub>	$x_{41}$	$x_{42}$	T <sub>4</sub>
A <sub>5</sub>	$x_{51}$	$x_{52}$	T <sub>5</sub>
計	T <sub>·1</sub>	T <sub>·2</sub>	T

A, B の数が m, n となつても記号のつけ方は表に準ずる

然らば

$$S_A = \frac{1}{n} (T_1^2 + T_2^2 + \dots + T_m^2) - \frac{T^2}{n \cdot m}$$

$$S_B = \frac{1}{m} (T_{\cdot 1}^2 + T_{\cdot 2}^2 + \dots + T_{\cdot m}^2) - \frac{T^2}{n \cdot m}$$

$$S_T = x_{11}^2 + x_{12}^2 + \dots + x_{mn}^2 - T^2/mn$$

$$S_E = S_T - S_A - S_B$$

この場合の分散分析表は次表の如くである。

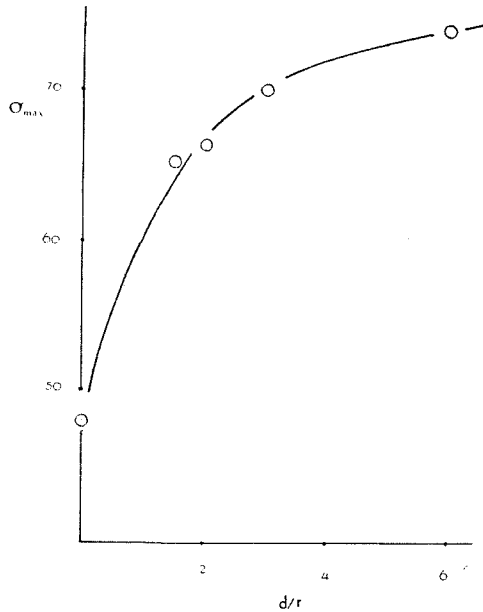
要因	S.S.	f	V=S.S./f	F <sub>0</sub>
A	S <sub>A</sub>	m-1=f <sub>A</sub>	S <sub>A</sub> /m-1=V <sub>A</sub>	V <sub>A</sub> /V <sub>E</sub>
B	S <sub>B</sub>	n-1=f <sub>B</sub>	S <sub>B</sub> /n-1=V <sub>B</sub>	V <sub>B</sub> /V <sub>E</sub>
E	S <sub>E</sub>	mn-1-f <sub>A</sub> -f <sub>B</sub> =f <sub>E</sub>	S <sub>E</sub> /f <sub>E</sub> =V <sub>E</sub>	

但し f はそれぞれの自由度を示し E は誤差に相当するものである。而してこの F<sub>0</sub> の値で F 検定を行なう。即ちこの F<sub>0</sub> が同じ自由度の F<sub>α</sub> 分布の値より大きければ危険率 α% 以下で有為性が検出される。即ち α が 1% か 5% かで危険率 1% 或いは 5% 以下となる。つまり有為なりと判定しても誤りをおかす危険率は α% 以下である。この方法で分散分析表を作れば次表の通りである。

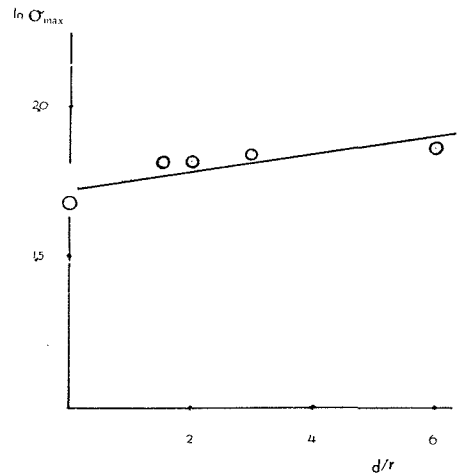
従つてこの場合切欠形状なる要因は抗張力に対して有為性ありと判定しても誤りをおかす危険率は1%以下でしかない。又この場合の要因Aの抗張力 $\sigma_{max}$ に対しての効果を示す推定曲線を画けば第2図(イ)の如くである。

又その対数曲線をとれば第2図(ロ)の如くその効果は直線として把握出来る。

以下図に於いて○は静的試験結果, □は衝撃試験結果を示す。



第2図(イ)



第2図(ロ)

### b. 局部収縮率

次に $d_0-d/d_0=C$ を%で表した局部収縮率を問題にする。但し $d_0$ : 元最小直径,  $d$ : 破断後最小直径。その実験結果は次の第4表に示す如くである。

要 因		$f$	S.S.	$V$	判 定
切 欠 形 状	A	4	121.2	30.3	***
荷 重 速 度	B	1	3.0	3.0	
実 験 条 件	D	1	13.3	13.3	***
A, D 交互作用	A×D	4	4.6	1.15	
B, D 交互作用	B×D	1	7.5	7.5	*
A, B 交互作用	A×B	4	0.2	0.05	
誤 差	E	4	2.4	0.6	

但し \*\*\* 危険率1%以下で有為

\* // 5%以下で有為

第 4 表

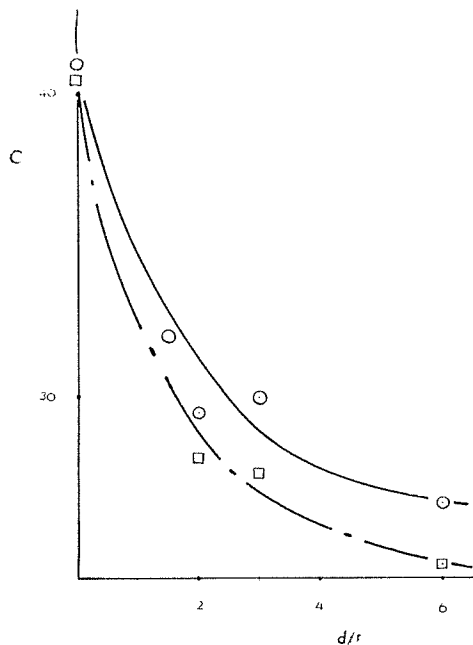
	静 的 試 験				衝 撃 試 験			
	$H_1$		$H_2$		$H_1$		$H_2$	
	$B_1$	$B_2$	$B_1$	$B_2$	$B_2$	$B_3$	$B_2$	$B_3$
A <sub>1</sub>	25	25	29	22	26	27	29	20
A <sub>2</sub>	30	29	30	30	30	30	26	29
A <sub>3</sub>	32	29	30	30	30	29	27	29
A <sub>4</sub>	30	31	31	32	32	32	32	32
A <sub>5</sub>	44	42	40	42	41	41	40	41

$B_1$  には破断せず

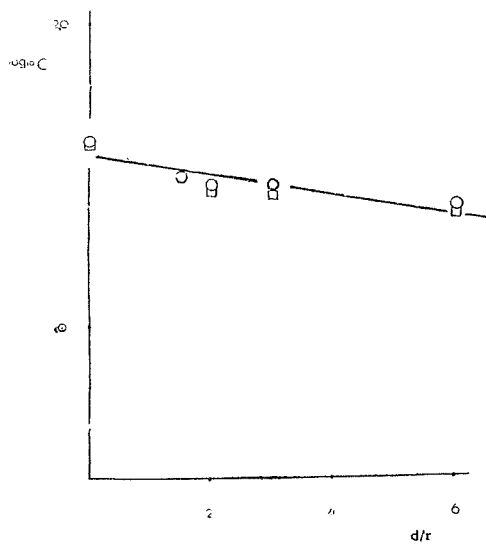
この有為性検定を行うとその結果は次表の分散分析表の通りである。

要 因	S.S.	$f$	S.S./ $f$	判 定
切欠形状 $A$	1152.4	4	288.1	***
実験条件 $H$	4.9	1	4.9	
静的, 衝撃 $D$	2.5	1	2.5	
$D \times H$	3.6	1	3.6	
$H \times A$	3.8	4	0.95	
$A \times D$	9.2	4	2.3	
$A \times H \times D$	6.2	4	1.54	
$R(DAH)$	83	20	4.15	

即ち切欠形状に就いてのみ危険率 1% 以下で有為性が検出された。又この場合の切欠形状の局部収縮率  $C$  に対しての要因効果推定曲線を画くと次の第 3 図(イ)の如くであり,  $\log_{10}$  曲線で表わすと(ロ)の如く直線効果を示す。尚この場合  $D$  の効果つまり静的試験と衝撃試験の差の有為性は検出さ



第 3 図 (イ)



第 3 図 (ロ)

れなかつた。尚実験結果を静的試験の場合と衝撃試験の場合とに分け整理して示すと第5表の如くである。

### c. 破壊エネルギー

静的試験に就いては荷重変形曲線により、衝撃試験に就いては

$$E = Wl(\cos \beta - \cos \alpha)$$

但し  $\alpha$ : 振り上げ角  $\beta$ : 破壊後角  $W$ : 振り子重量 23.44 kg  
 $l$ : 振り子回転半径 0.698 m  $E$ : 破壊エネルギー

にて算出した。

この場合も有為性検定を行なうと次表の如くである (破壊エネルギーを元の全体積で除した値に就いて求めた)。

分散分析表

	SS.	$f$	$V$	判定
切欠形状 $A$	18.5	3	6.17	*
実験条件 $B$	4.4	2	2.2	
試験差 $D$	165.4	1	165.4	
$A \times B$	138.6	6	23.1	
$B \times D$	19.2	2	9.6	
$A \times D$	20.4	3	6.8	
$E$	82.5	6	13.75	

考え破壊エネルギーを切欠部体積で除した値を求めると次の第7表の如くであり、その  $E/V$  の値を更に図示すると第4図(ロ)の如くである。即ち切欠形状はこの場合当然危険率1%以下で有為であり、 $E/V$  と  $d/r$  の関係は図の如く直線で把えられる。

第6表

単位 kgmm/mm<sup>3</sup>

	静的試験	衝撃試験
$A_1$	1.35	1.28
$A_2$	1.36	1.31
$A_3$	1.36	1.29
$A_4$	1.32	1.30
$A_5$	10.36	13.97

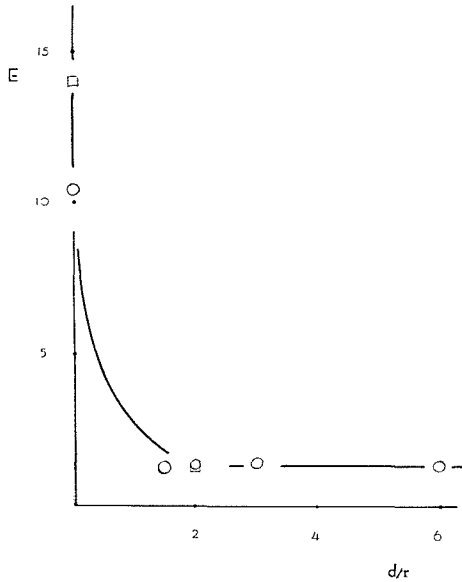
第5表

	静的試験	衝撃試験
$A_1$	26.5	24.5
$A_2$	30.0	27.5
$A_3$	29.5	28.0
$A_4$	32.0	32.0
$A_5$	41.0	40.5

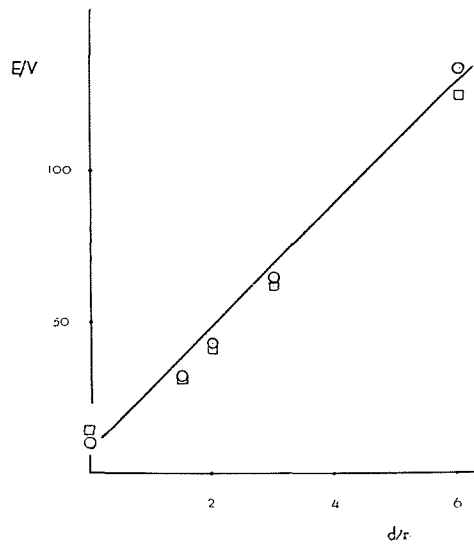
第7表

単位 kgmm/mm<sup>3</sup>

	静的試験	衝撃試験
$A_1$	133.96	126.86
$A_2$	64.97	62.68
$A_3$	43.26	41.04
$A_4$	32.25	31.62
$A_5$	10.33	13.97



第4図(イ)



第4図(ロ)

### 5. 考察及び結言

以上の実験結果により考察すると切欠尖端の丸みの変化は抗張力、局部収縮及び(破壊エネルギー/切欠部体積)に対しては何れも厳然とした有為性を示しており然も(破壊エネルギー/切欠部体積)に対しての切欠の鋭さの効果は直線で表わされ切欠が鋭くなる程大きい値を示している。又破壊エネルギー及び(破壊エネルギー/全体積)は切欠のない場合とある場合とでは極端に異なるが、その他の切欠の形状変化に就いては殆んど変化しない事を示しているのは注目に値し、切欠のない場合の(エネルギー/全体積)の値の静的試験時と衝撃試験時の比は山田氏の値<sup>4)</sup>と良く一致する(Dynamical/Statical)=1.35。

又抗張力に就いてはやはり切欠が鋭い程上昇しており  $\log_e$  で示すとその切欠効果は直線で表わされる。

局部収縮に就いては切欠が鋭くなる程その値は少なくなり  $\log_{10}$  で示すとその効果は直線で規定される。又夫々の時の破断面の様相を示すと次の写真の如くなり  $A_1$  ( $d/r=6.0$ ) では全部脆性破壊を示し、 $A_2$  ( $d/r=3.0$ ) では脆性破壊と延性破壊とが混合して存在し、 $A_3$ 、 $A_4$ 、 $A_5$  では常に延性破壊を示している。

こうして分析してみると第2図(イ)、第3図(イ)及び第4図(イ)に於いては  $d/\rho=3.0$  附近より切欠が鋭くなるとその変化は余り急激でなく切欠効果は余り増大しない事を示しており、この事を写真の破断面の様相と対比すると延性破断の様相を示す間の方が切欠効果は著しい事を示しており、脆性破断の領域に入るとその効果は余り著しくなくなる事を示す。即ちこの事から材料に切欠を附加する事によつて切欠がある鋭さになる迄の間は材料の硬化のし方は著し

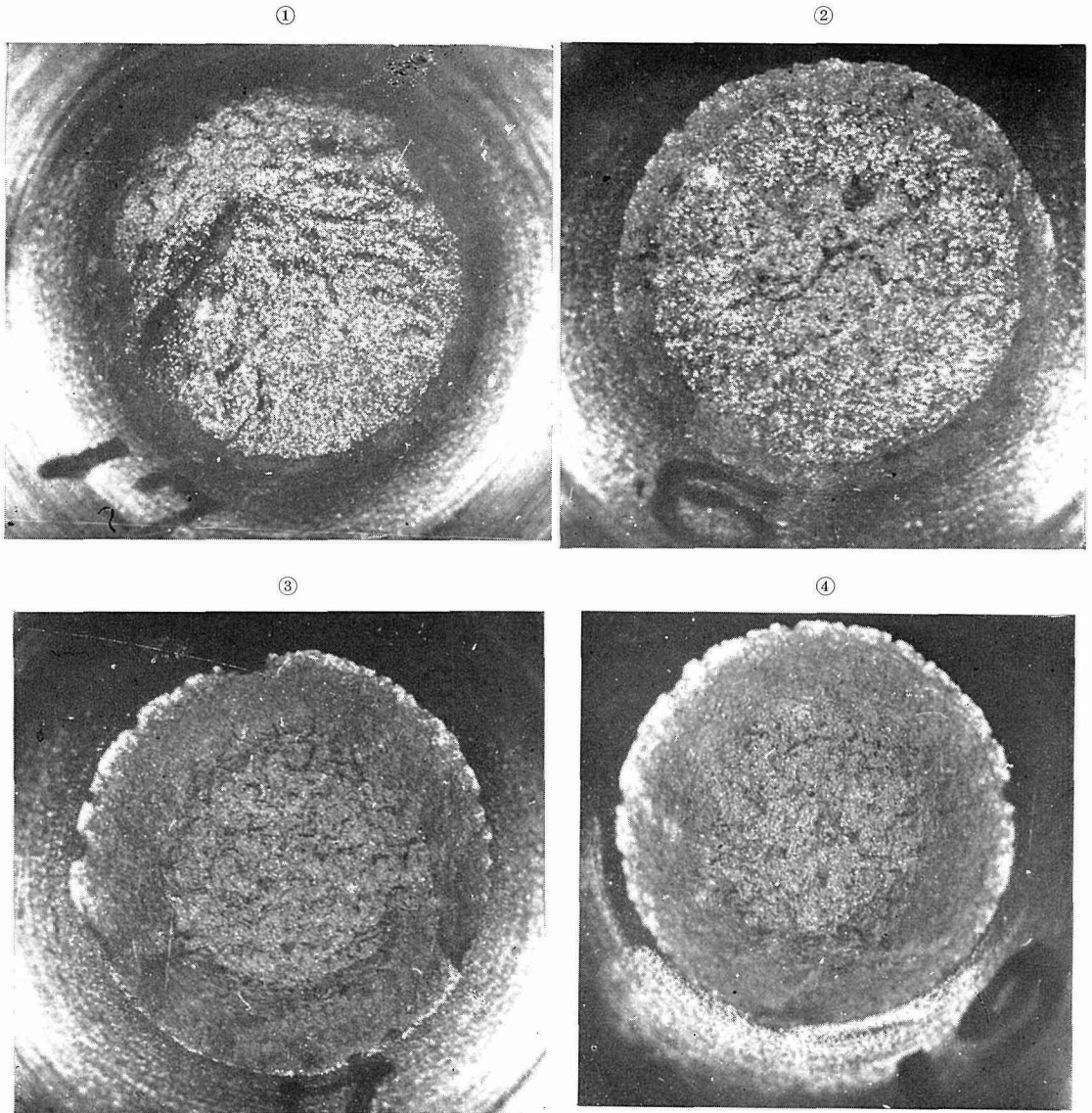


写真 1 は  $A_1$  ( $d/r=6.0$ )      2 は  $A_2$  ( $d/r=3.0$ )  
 3 は  $A_2$  ( $d/r=3.0$ )      4 は  $A_4$  ( $d/r=1.5$ )

いが、材料により幾ら切欠を鋭くしても硬化のし方には限度がありそれを超える事は出来ない  
 と推論出来ると同時に切欠効果現象に対しては延性破壊と脆性破壊とはそのたどる過程に於い  
 て質的な差異がある事を根底とする Davidenkov<sup>9)</sup> の説明を裏書きする事が示される。

又荷重速度による効果は (破壊エネルギー/全体積) の値に対して静的試験と衝撃試験の間  
 の差異に有為性が検出されただけである。

而し荷重速度に就いてはこの速度範囲だけでその影響を軽々しく論ずる訳にはいくまい。

以上切欠の鋭さと荷重速度を変え事により前述の各量に与える効果を検出し分析したが今後の課題としてはより切欠の鋭い試片に対しての実験研究が必要であり、荷重速度に対してはより広範に速度を変化させる必要があると思われる。尚本論文の終りに臨み、種々御批判、御検討下され何かと便宜を与えて下さった藤井先生又種々御協力下さった教室及び実験室の方々に衷心より謝意を表します。

#### 文 献

- 1) A. A. Griffith: Phil. Trans. Roy. Soc. 221 (1920).  
A. A. Griffith: First Inter. Congr. Appl. Mech. (Delft) 1924.
- 2) E. Orowan: Reports on Progress in Physics, 12 (1949) 185.
- 3) 増山元三郎: 実験計画法大要.  
田口玄一: 推計学による寿命実験と推定法.  
Cochran, Cox: 実験計画法.
- 4) 山田良之助: 材料試験法.
- 5) N. N. Davidenkov: Dinamicheskaya ispytania metallov, (1936) Moscow.