技術報告

ナイロン ロープの衝撃 破断について

有 元 平 次*
高 田 宗 和*
近 藤 武 司*
安 田 武**
藤 原 康 晴**

1. 緒 言

ナイロンは、軽量、高強度、良好な柔軟性、耐摩耗性、染色性などにより、産業用資材として合成繊維市場に占めるシェアは大きい。特に、ロープ材料としては最も優れ、他の追随を許さない。にもかかわらず、ナイロン ロープに関しての研究は、あまり行なわれていないのが現状である。

本報では、ナイロン ロープの衝撃破断について、二、三の実験を試み、その結果を報告する。

ロープをエッジにかけて衝撃破断させる、いわゆる、エッジ衝撃破断については、これまで、その破断原因はエッジのかど部による¹⁾剪断と考えられてきたが、最近、エッジ衝撃破断によるとみられる登山中のナイロンロープの破断事故が起り、その破断切口において、フィラメント先端が溶融したかのごとく、「きのこ型」^{注)}になっており、さらに、それらがたがいに^{注)}ゆ着を起している事実が認められ、破断の原因は剪断でなく、むしろエッジとロープとの間の摩擦か、分子間の内部摩擦で生

The Impact Rupture of Nylon Ropes.

By Heiji Arimoto, Munekazu Takada,
Takeshi Kondo,

Research and Development Center,
Unitika Co., Ltd.

Takeshi Yasuda, Yasuharu Fujiwara,
Textile Chemistry, Mukogawa
Women's University.

We have investigated a breaking mechanism under impact loading of nylon ropes hung on an edge in order to make designability and serviceability of ropes clear. Especially, we have studied a deformation process to breakage, morphological change of broken ends and breaking tenacity of ropes hung on an edge. The following results are obtained:

(1) The photomicroscopic observation has shown that the broken ends of nylon rope hung on an edge are constituted of many filament yarns whose ends are fused. These filament yarns whose ends are fused. These fused ends, however, are found not only in an impact rupture on an edge but also in a low-speed rupture as well as in shear breaking under tension

(2) The breaking strength under shock loading is very lower than that under impact tensile loading. This lower value proves the shearing effect of an edge.

(3) The rate of decrease in breaking strength of multi-filament yarn hung on an edge is proportional to the $1/5$ power of the number of filaments for less than several tens in number of filaments, and proportional to the $1/3$ power for more than several tens in number of filaments.

じた熱による溶融破断ではないかという懸念も生じてきた²⁾。したがって、エッジ破断の機構を明らかにし、またロープの安全性を高めるという点からも、さらに詳しくエッジ破断について検討の必要性が要望される。著者らは、ナイロン ロープおよびナイロン フィラメント糸を使って、エッジ破断実験ならびに他の種々の条件下における破断実験を試み、その時の破断状況の観察と破断片の物性値測定から、ナイロンのエッジ破断の様式について考察した。同時にナイロン フィラメント糸、ポリエステル フィラメント糸のエッジ破断強度に及ぼすエッジの曲率半径の効果ならびに糸の太さの効果についても比較実験を行ない考察の資料にした。

2. 試料および実験

2.1 ナイロン ロープ衝撃破断試験

2 520 d/420 f ナイロン 6 フィラメント糸（引張強度 6 g/d）を 3 本よりにしたものを 17 本撚りあわせて「ストランド」をさらに 3 本撚りあわせて作った、

* H. Arimoto, M. Takada, T. Kondo, ユニチカ中央研究所

** T. Yasuda, Y. Fujiwara, 武庫川女子大学

10 mm 径ナイロン ロープ (40万 d) について、引張衝撃破断実験とエッジ衝撃破断実験を行なった。第1～2図はその装置の概略図である。落下荷重は人間の体重に

(第1図) エッジ衝撃破断試験装置の略図

(第2図) 引張衝撃破断試験装置の略図

相当する 75 kg、ロープ長は登山や高所作業をする場合の条件を考慮し 2 m とし、落下はエッジ上 20 cm より行ない、エッジは、鋳鉄製の 45 mm アングルを用いた。衝撃破断落重の測定には、ストレイン ゲージと電磁オシログラフを用いた。またエッジ部でのロープの破断状況を観察するために 7 000 コマ/sec の高速度写真の撮影を行なった。

2.2 モデル破断実験

破断実験のモデル試料として、2 520 d/420 f ナイロン フィラメント糸を 3 本撚りにしたもの (7 560 d) を使い、

(a) 落下荷重 2.5 kg、落下距離 50 cm、試料長 60 cm でエッジ衝撃破断、引張衝撃破断、結節衝撃破断を行な

った。

(b) 衝撃破断との比較のため、通常の引張試験機を用いて、引張速度 50 cm/min、試料長 30 cm でエッジ破断、引張破断、結節破断を行なった。エッジ破断については、とくに、エッジの曲率半径 R を 0.1～0.5 mm、ナイロン モノフィラメント糸の太さを 8～10 000 d、およびフィラメント数を 1～1 000 フィラメントまでかえた実験を行ない、それぞれのエッジ破断落重を測定した。

(c) 動的な破断との比較のため、引張試験機で試料に 0～40 kg までの所定の張力をかけたまま試料を 2 枚の鉄の刃のスリット ($R=0.35$ mm) で狭搾剪断した。

3. 破断実験の結果と考察

3.1 10 mm 径ナイロン ロープのエッジ衝撃破断状況ならびに破断片の観察

10 mm 径ナイロン ロープを、第1図に示すように、 $R=0.4$ mm のエッジ (第3図) にかへ、落下荷重 75

(第3図) 10 mm 径ナイロンロープのエッジ衝撃破断実験に用いた曲率 $R=0.4$ mm の鉄製エッジ

kg、ロープ長 2 m、エッジ上 20 cm からの落下で衝撃破断試験を行なった結果、エッジ部で破断した。その時の衝撃破断荷重として 400 kg (1 g/d) が実測された。

その破断切口は、第4図 (a) のようにあたかも熱融着したかのごとく、フィラメント先端が相互に ゆ着を起こしており、また同図 (b) のように破断箇所から数 cm にわたって、ストランド同志の ゆ着が認められた、

(第4図) エッジ衝撃破断を起こした 10 mm 径ナイロン ロープの破断片
(a) 切口の ゆ着部
(b) ストランド間の ゆ着部

破断切口の顕微鏡下での観察では第5図に示されるようにフィラメント先端が熱融解したかのように、きのこ型になったものが非常に多く認められた。さらに詳細に

(第5図) エッジ衝撃破断を起こした 10 mm 径ナイロン ロープの破断端の きのこ型を示すフィラメント先端

観察すれば、破断個所におけるフィラメント先端の形態は、第6図(1)～(5)に模式的に示すように、5種類に大別される。これらのうち、特に(1)、(2)、(3)が多く、全体の90%程度に達し、(4)、(5)はごくわずかであった((1)がいわゆる きのこ型の形態を示す)。なお、破断個所におけるフィラメント相互のゆ着は、切口全体の80%ほどに及んでいた。

(第6図) エッジ衝撃破断を起こしたナイロン ロープの破断端におけるフィラメント先端形態の5種類のモデル

つぎに、エッジを曲率半径 $R=0.4\text{ mm}$ から $R=1\text{ mm}$ に代え、それ以外は同じ条件でエッジ衝撃破断実験を行ったところ、ロープは破断しなかった。この時の衝撃荷重実測値は850 kg (2.1 g/d)であった。

このことから、エッジの曲率半径の大きさによって、ロープの衝撃破断荷重が異なることが考えられる。すなわち、エッジの曲率半径が小さいほど、ロープの衝撃破断荷重は小さい。これについては3.5で詳しく述べる。この場合使用したロープの正常引張破断強度は1800 kg (4.5 g/d)であった。

上述のように、ナイロン ロープのエッジ衝撃破断では、破断切口でフィラメント先端が きのこ型になってゆ着しており、また、エッジの曲率半径の大きさによっては、引張破断強度よりはるかに小さな衝撃荷重、たとえば、人間が2 m落下した程度の衝撃荷重でも、ロープ破断が起こることがわかった。

3.2 破断方法と破断片の状況、および ゆ着の原因について

エッジ衝撃破断以外の破断方法、たとえば引張破断や結節破断などの場合のフィラメント先端形態、切口でのゆ着およびストランド間の ゆ着などについては第1表に示すような結果が得られた。

第1表において、2 520 d/420 f 3本撚糸ストランドについてエッジ衝撃破断(E)、結節衝撃破断(G)、結節非衝撃破断(J)の場合、破断切口の状態は、(A)すなわち前記の10 mm径ロープのエッジ衝撃破断の場合の破断切口の状態とほとんど同じであった。引張破断の(C)、(F)、(I)の場合の破断切口は、第6図に示したフィラメント形態のうち、(3)の形態のものが特に多く発生し、(1)のタイプの きのこ型のものは少なく、(4)はまったくみられなかった。また、エッジにかけて低速引張りを行なった(H)の場合の破断切口で

(第1表) 破断実験および破断状況

試料	実 験		切口の ゆ着	ストランド 間の ゆ着	フィラメント破断端の形態				
					(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
10mm径 ナイロン ロープ	(A) エッジ衝撃	破 断	○	○	◎	◎	◎	○	○
	(B) " "	非破断	×*	×	×	×	×	◎	×
	(C) 引張衝撃	破 断	×	○	○	○	◎	×	○
	(D) " "	非破断	—	×	—	—	—	—	—
2 520 d /420 f ナイロン 糸	(E) エッジ衝撃	破 断	○	×	◎	◎	◎	○	○
	(F) 引張衝撃	"	×	×	○	○	◎	×	○
	(G) 結節衝撃	"	○	×	◎	○	◎	○	○
	(H) エッジ非衝撃	"	○	×	◎	◎	◎	×	○
3 本撚り ストラ ンド試料	(I) 引張非衝撃	"	×	×	○	○	◎	×	○
	(J) 結節非衝撃	"	○	×	◎	○	◎	○	○
	(K) 張力下剪断	"	○	×	◎	◎	◎	×	○

注) * 破断切口はないが、エッジと摩擦した個所がフィラメント切れを起こしている。

1) 切口の ゆ着およびストランドの ゆ着の項において、○は「ゆ着あり」、×は「ゆ着なし」の意である。

2) フィラメント破断端の形態の項において、◎は「多く存在する」、○は「存在する」、×は「存在しない」の意である。

3) (C) の引張衝撃破断は、あらかじめ、各ストランドに半分だけ切目をいれたロープを試料として使用した

は、(4) が含まれないほかは、(A) の場合と同じであった。(A) においてエッジの曲率半径 $R=1\text{ mm}$ の場合に相当する (B) の場合では、ロープは破断しなかったため、破断切口はないが、エッジと摩擦したと考えられる部分にフィラメント切れを起こしており、その切口先端はすべて (4) のタイプであった。普通に張力をかけた状態で刃先による剪断を行なった (K) の場合では、特異な現象がみられた。すなわちかける張力の大きさによって第7～9図に示されるように、フィラメント

(第7図) 無張力下で、 $R=0.35\text{ mm}$ の鉄刃を使って剪断したときのナイロン マルチフィラメント糸の切断端

(第8図) 0.65 g/d の張力をかけて $R=0.35\text{ mm}$ の鉄刃で剪断したときのナイロン マルチフィラメント糸の切断端

先端形態が変わる。張力をかけない場合、あるいは張力が小さい場合には、切口のフィラメント先端形態は、ほとんど (2) のタイプであるが、張力が大きくなるにしたがって、(2) は減り、(1) のきのこ型の形態が多くなる。また、切口の ゆ着は張力に関係なく生ずる。ただし、 $R=0.35\text{ mm}$ の鉄の刃のスリットの代わりに、鋭利なカミソリの刃を使って同様な剪断を行なった場合には、生ずる先端形状は (2) のタイプだけで、きのこ型先端はみられなく、また、ゆ着も起こらない。

(第9図) 2.65 g/dの張力をかけて $R=0.35\text{ mm}$ の鉄刃で剪断したときのナイロン マルチフィラメント糸の切断端

以上の結果、切口でフィラメント先端がきのこ型になって ゆ着を起こす原因については、後述する理由から、少なくともエッジとロープの間の摩擦によって発生した熱に起因するものでないことは明かか、むしろ張力がかかっている状態で剪断力による押しつぶし効果が働いたためであろうと考えられる。以下これらについて考察する。

(i) Schiefer³⁾ によれば衝撃破断の際に、その切断端が溶融状を示すことを述べているが、衝撃破断以外にも、低速のエッジ破断や結節破断、ならびに静止した状態で、鋭利でない刃 ($R=0.35\text{ mm}$) を用いて、張力下で剪断を行なった場合にも、きのこ型 (溶融状) 先端が生じ、ゆ着が起こる。ただし張力をかけないで剪断を行なった場合は、ゆ着は生じても、きのこ型先端は発現しない。

(ii) 剪断力の働かない引張破断では、ゆ着は起こらない。

(iii) 張力下剪断で、鋭利な刃 ($R=0.1\text{ mm}$ 以下) を使った場合には、きのこ型先端も、ゆ着も生じないことから、剪断でも押しつぶし効果が働かないと、きのこ型先端も ゆ着も生じないものと考えられる。

(iv) (4) のタイプの形態は、摩擦切れによるものと考えられるが、(B) のエッジ衝撃非破断では、(4) の形態が多く発生しているにもかかわらず、フィラメント切れの部分に ゆ着がみられないことから、エッジとの摩擦では、ロープが溶融するほどの熱の発生は起こらな

いものとみなされる。

つぎにストランド間に ゆ着についての考察としては、下記に示す理由から、破断の際、ストランドが同時に破断せず、一本ずつ順次切れる (これは、高速度撮影から確認された) ために、最初のストランドが破断した瞬間にストランド相互のすべりが起こり、その時の摩擦熱によって融着したのと考えられる。しかしこの融着は、ストランドの破断に付随した現象であって、ロープの破断とは直接に関係がないものと思われる。

(i) エッジ衝撃破断試料に限らず、引張衝撃破断試料 (C) でも ゆ着はみられる。この場合、破断片の観察から、3本のストランドのうち1本が伸びきっており、それに他の2本のストランドがからみついたような状態で ゆ着していることから、ストランドが相対的にすべりを起こしたものと思われる。

(ii) 破断していないロープは、ほとんどストランド間の ゆ着はみられないことから、単なるストランド同志の集束力だけで ゆ着は起こらないものと考えられる。

(iii) ストランド間の互いに接触した面だけが ゆ着しており、ストランドの内部 (モノフィラメント間) には ゆ着はみられない。また、ゆ着した部分は、フィルム状になっている場合が多い。

(iv) 破断箇所 (第4図 (a)) では、ストランド間の ゆ着はみられないことから、ゆ着は破断の直後に、生じたものと考えられる。なぜなら、破断前に ゆ着が起これば、破断部にも ゆ着が認められるべきである。

3.3 破断片の物性値

破断切口のフィラメント先端部の比重、複屈折、DTA法による融点などの物性値を測定した結果を第2表に示す。一方、モデル実験として、ロープのブランク試料をそれぞれ $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ の熱板の上に3 min 間のせ、熱処理したものについて複屈折、融点を測定し、熱処理がこれらの物性値に及ぼす影響について調べた。その結果をそれぞれ第3～4表に示す。

第2表から、エッジ衝撃破断実験で得られたロープ破断片のストランドの ゆ着部における比重、複屈折、融点の値は、ブランクのそれらに比べて一般に低い。また、その低下の程度も、第3～4表に示されたモデル実験の結果とよく一致する。したがって、ストランド間の ゆ着は3.2に述べたように熱融解によるものと考えられる。しかし、切口の ゆ着部の比重、複屈折、融点の値は、ともにブランクの値と差が認められないことから、少なくとも、ナイロンが融解するほどの発熱はなかったもの

(第2表) 破断片の物性値

試料		比 重	複 屈 折	融 点 (°C)
10 mm 径 ナイロン ロープ	(i) ブランク	1.164	0.0580	214.8
	(ii) エッジ衝撃破断 切口の ゆ着部分 切口の非 ゆ着部分 ストランドの ゆ着部分	1.164	0.0589	214.6
		1.165	0.0590	
		1.153	0.0558	212.8
	(iii) 引張衝撃破断 ストランドの ゆ着部分			
		1.162	0.0554	—
2 520 d / 420 f ナイロン糸 3 本 撚りストランド試料	(iv) エッジ非衝撃破断 切口の ゆ着部分	1.164	—	—
	(v) 結節衝撃破断 切口の ゆ着部分			
		1.164	—	—

注) 上記の複屈折については、測定の都合上、できるだけ切断端に近い直径一定の部分において観測した

(第3表) 各温度における熱処理 (3 min)
による複屈折の低下

熱 処 理 温 度 (°C)	複 屈 折
ブ ラ ン ク	0.0580
100	0.0552
120	0.0556
140	0.0549
160	0.0553
200	0.0539

(第4表) 各温度における熱処理 (3 min)
による融点の低下

熱 処 理 温 度 (°C)	融 点 (°C)
ブ ラ ン ク	214.8
190	213.7
220	212.1
250	213.8
280	212.5
瞬 間 融 解	213.9

注) 190°Cでの処理は未融解。瞬間融解の試料は240°Cの鉄刃で瞬間に切断したものである

と考えられる。

3.4 破断片の電子顕微鏡による観察

第10～12図にそれぞれエッジ衝撃破断したときに生ずるきのこ型フィラメント先端の走査型電子顕微鏡写真を示す。また、第13図にストランド間の ゆ着部分の電子顕微鏡写真を示す。

光学顕微鏡では、同じようにきのこ型にみえるフィラメント先端も、電子顕微鏡写真では、熱融断の試料は

(第10図) エッジ衝撃破断で生じたきのこ型フィラメント先端の電子顕微鏡写真 (×200)

(第11図) 結節衝撃破断で生じたきのこ型フィラメント先端の電子顕微鏡写真 (×200)

(第12図) モデル的に熱融断したときに生じるきのこ型フィラメント先端の電子顕微鏡写真 (×200)

(第13図) ストランドの融着部の電子顕微鏡写真 (×200)

表面がなめらかであるのに対し、衝撃結節破断の試料は表面が粗であるなどかなり様相が違っていることがわかる。

3.5 エッジ破断強度に及ぼすエッジの曲率および糸の太さの効果

エッジ破断においては、ロープは引張破断荷重よりもはるかに小さい荷重で破断することがわかった。そこで、エッジ破断における低荷重破断の機構を検討するため、種々のナイロンフィラメント糸 (2 520 d/420 f, 210 d/24 f, 210 d/15 f, 1 200 d/1 f, 2 000 d/1 f, 10 000 d/1 f) およびポリエステルフィラメント糸 (150 d/24 f) を使って、エッジ破断実験を試み、エッジの曲率半径 R と糸の太さを変えたときのエッジ破断荷重を測定した。測定は、通常の引張試験機を用い、試

料長 30 cm, 引張速度 50 cm/min の条件で行なった。結果を第14～16図に示す。

第14図は、2 520 d/420 f ナイロン糸3本撚りストランドについて、エッジの曲率半径を 0.1～0.5 mm までかえ、エッジ破断荷重を測定したもので、両者間にはほぼ直線関係のあることがわかる。

(第14図) エッジ破断荷重とエッジ曲率との関係

第15図は、各種ナイロン糸、およびポリエステル糸について、曲率半径 0.15 mm のエッジを使い、ストランドのトータルデニールを変えて、エッジ破断荷重を測定したものである。破断強度はトータルデニールの

(第15図) エッジ破断強度とトータルデニールの関係

増加とともに減少する。同一の糸のついてみれば、トータルデニールが小さいうちは、破断強度の低下はトータルデニールの1/5乗に比例して小さくなるが、トータルデニールが大きくなると、この指数は1/3乗に増加する。

第16図は第15図におけるトータルデニールをフィラメント数に換算してプロットしたものである。破断強

(第 16 図) エッジ破断強度とフィラメント数の関係

度は、もちろん、フィラメント数が増すにつれて小さくなるが、その減少のしかたは、モノフィラメントのデニールが違って、それにはほとんど関係なく、どの糸もほぼ同じような傾向を示す。また、ポリエステル糸もナイロン糸と同じ傾向を示す。また、あるフィラメント数を境にして、破断強度の減少の程度を示す指数が、 $1/5$ 乗から $1/3$ 乗へと急激に変化している。これは、第 17 図に示されるように、フィラメント数が少ないうちは、各フィラメントはエッジに沿ってならぶが、フィラメント数が増加すると、エッジに沿ってならんだフィラメントの上に、さらに別のフィラメントが積みかさなるようになり、二重層、三重層など多重層が形成されるためであろうと考えられる。

(第 17 図) フィラメント数の増加に伴うエッジ上の二重層、三重層の形式の模図

第 18 図は、各種のデニールのナイロン モノフィラメント糸について、 $R=0.15 \text{ mm}$ のエッジを用いた場合の

エッジ破断強度をデニールに対してプロットしたものである。デニールの増大は破断強度の減少を示し、その減少は単糸デニールの $1/3$ 乗に比例しているのは前述のフ

(第 18 図) モノフィラメント糸のエッジ破断強度とデニールの関係

ィラメント数が多くなった場合と一致し、はなはだ興味深いデータである。

以上の結果から、エッジ破断強度の低下の状態は、使用するエッジの曲率半径 R と、試料のトータル デニールの $1/3$ 乗（ただし、フィラメント数が多い場合に）比例することがわかった。10mm 径 ナイロン ロープにもこのことが適用できるものと仮定し、エッジの曲率半径が 0.4 mm の場合のエッジ破断荷重を計算すると 370 kg が得られた。実測値は 400 kg であったから、よく一致している。また、エッジの曲率半径 R が 1 mm になると 10mm 径 ナイロン ロープは破断しなくなるが、この時のエッジ破断荷重の計算値としては 900 kg が得られる。実際の衝撃荷重実測には 850 kg であり、これもよく一致している。したがって、ナイロン ロープのエッジ破断強度についても、上述のような関係が成立するものとみなされる。

結局、エッジの曲率半径の大きさによっては、人間が 2 m 落下した程度の衝撃荷重でも、ロープは破断することがあるわけである。

以上の結果を総括すると、エッジにかけて衝撃破断したナイロン ロープの破断片は、フィラメント先端がきのこ型になって ゆ着を起し、またストランド間でも ゆ着が生ずるが、前者については、張力のかかっている状態でエッジの かど部による剪断が働いたことが最大の要因と考えられる。また後者については、高速度撮影などの結果から見て 3 本のストランドが同時に破断しないため、先に破断したストランドがその収縮力によって

縮むとき、他のストランドにからみついて すべり摩擦が生じ、その摩擦熱によって融着したものと考えられる。ただし、ストランド間の融着については、破断に付随した現象で、破断の原因とは直接に関係がないことが明らかとなった。また、エッジ破断における低荷重破断の原因もエッジの かど部による剪断の効果によるものであることが明らかとなった。

4. 結 論

ナイロン ロープのエッジ衝撃破断の原因について検討したが、ゆ着の発生ならびに低破断荷重の原因はエッジとロープの間の摩擦発熱によるものと考えることよりも、むしろ、エッジによる剪断が最大の要因と考えるべきであろう。ただし、破断切口で溶融状の先端形態が発現することのミクロ的な原因については今後の課題である。

また、実用上、他の繊維でも同様と思われるが、ナイロン ロープの安全な使用には、するどいエッジに直接ロープが接触した状態で衝撃が加わらないように注意することが望ましい。そのほか、つぎのようなことが明らかになった。

(i) エッジ衝撃破断の切口のフィラメント先端形態は5種類に分類できる。

(ii) 破断面に近いストランドは、切断の瞬間に起こるストランド相互の すべりによって溶融し、融着する。

(iii) 衝撃破断でなくとも、張力下での剪断などによる切口でも、いわゆる、きのこ型フィラメント先端が発現する。

(iv) マルチフィラメント糸のエッジ破断強度について $R=0.15\text{ mm}$ のエッジを使った実験では、フィラメント数が増せば、エッジ破断強度は低下する。その低下の程度はフィラメント数が少ない範囲(1~数十本フィラメントまで)はトータル デニールの $1/5$ 乗に、それ以上では $1/3$ 乗に比例する。

(v) モノフィラメント糸のエッジ破断強度について、 $R=0.15\text{ mm}$ のエッジを使った実験では、デニールの大きいほど、エッジ破断強度は低い。その低下の程度はデニールの $1/3$ 乗に比例する。

注

ここで ゆ着とは何らかの原因でフィラメント同志が付着したことをいい、熱による融着をも含めた広い意味で用いた。

文 献

- 1) 梶原信男, 篠田軍治; ザイル, その強さと正しい使い方, p. 64, 1959, 日本工業新聞社
- 2) 安田武; 雪と岩, 19, 1970-12-1, 161
- 3) Schiefer; Text. Res. J., 25, 527 (1955)