

軟鋼棒の引張における寸法効果

大野 元明、益富 雅之、留学生 山本 芳郎

1. 緒 言

軟鋼棒の引張試験において試験片の寸法の大小が測定される引張強さ、その他機械的性質に影響する原因は棒の中心部附近に鋼塊の含んでいたゴーストその他の欠陥が含まれ易く表面層附近では応力作用時に結晶相互間の拘束が少く変形抵抗が内部のそれに比して小さいということから説明される。普通丸棒の引張試験を行う際の試験片の規定は直径に対する平行部長さ、標点距離の二つであるから直径の大きさは任意に選ぶる、そこで規定の相似試験片にてその寸法の大小が引張強さ、降伏点などに如何に変化を及ぼすかということが普通の意味の寸法効果である。しかし広い意味の寸法効果は決してこの場合だけに止らず例えば長さを一定として直径を変じた場合などの非相似試験片もこれに該当する。つまり機械、構造物は試験片と相似形に作られる場合は全然ないということに関連して考えられなければならない。

相似試験片の寸法効果はその材料の内部欠陥表面層の影響によるものとされるが非相似試験片の場合でも応力分布が均等と考えられる有効長をもつ場合は降伏点、引張強さなどは相似試験片の寸法効果と同じである、しかし極限強さの状態から破壊に到るまでの塑性変形は試験片中央部にネックを生じそれより両端に到るまでの形が試験片の長さに関係を有する、またネックの最小直径は材料の種別のみでなく直径の大きさに関係するから非相似試験片の伸率、断面収縮率は簡単に比較し難いであろう。

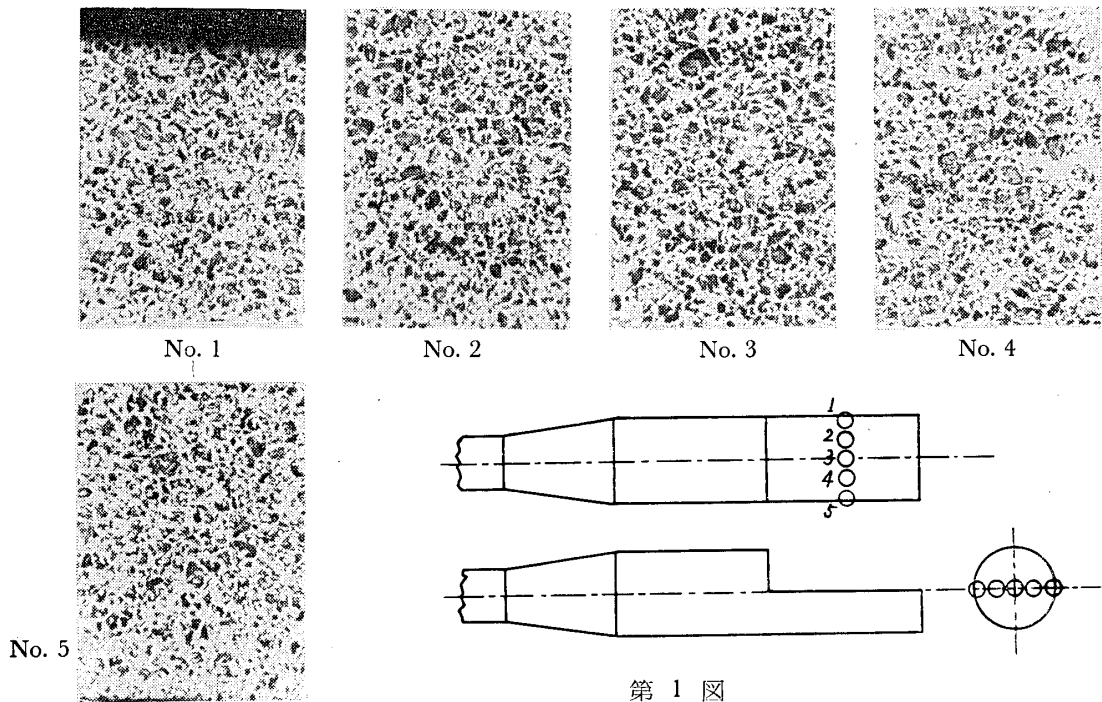
寸法効果に関する佐藤氏の実験¹⁾がある、素材は1吋の丸鋼で中心と外表面の中間部から試験片を採取したもの及び中心に同心的に削り出した試験片の二種類について行っている、石橋氏²⁾は250 耗の鋼棒から試験片を前記同様に採取し相似試験片及び非相似試験片について実験されている。

筆者らは機械部品が一般に素材丸棒より削成されることが最も多いという理由から試験片は素材より同心的に採取し相似試験片についての実験を行った。

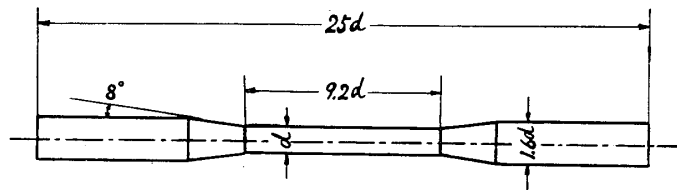
なお広い意味の寸法効果の実験として一定長さの矩形断面の試験片について機械的性質について比較検討した。

2. 相似形円形断面试験片

素材は19 耗直径 0.2% C 鋼としその顕微鏡検査を行い第1 図のごとく内部その他に欠陥のほとんど存在しないことを確かめて後第2 図の寸法割合にて直径2, 3, 6, 8, 10, 12, 15 耗の各3 本宛を同心的に削りこれを850°C 30 分間保ち徐冷した後表面を軽く磨いて2, 5, 25 トンのアムスラー引張試験機によって測った結果を第1 表に掲げた。これらのうち重要な機械的性質を第3 図、第4 図に示した。引張強さ、降伏点は何れも直径3 耗のところに最大値が存在し直径の大なるに従って少し低下し直径10 耗以上ではほぼ一定値に現れている、断面収縮率は直径の増大とともに低下しこれに従って伸率は直径とともに漸増している。引張強さ σ_B については佐藤氏が表わしている説明図第5 図(a)と(b)の中間に一致している。降伏点 σ_s についても同様の傾向がある。佐藤氏の論文中には降伏点に関しては何等述べられていない、石橋氏の実験では σ_B も σ_s も一定となっているが断面収縮率は著しい寸法効果を示している、この傾向は第4 図の筆者らの実験結果



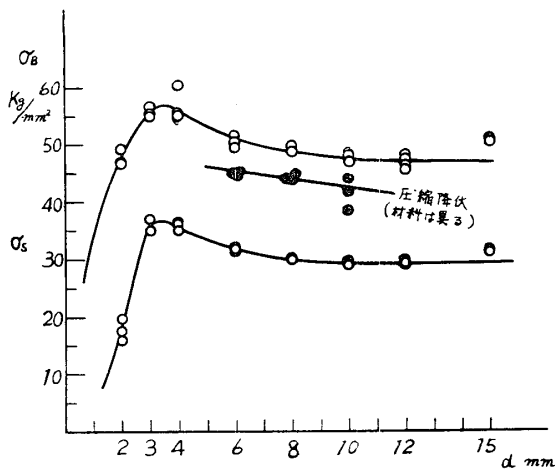
第 1 図



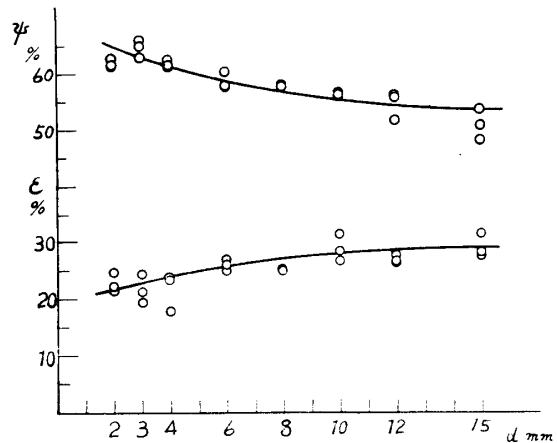
第 2 図 試 験 片

第 1 表

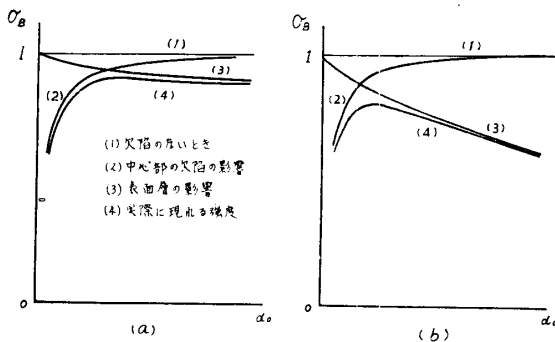
試験片番号	試験前直径 mm	試験後直径 mm	全伸 率 %	測定率 断収縮 率 %	上降伏点 kg/mm ²	下降伏点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	破壊強さ kg/mm ²	真強 破壊 強さ kg/mm ²
No. 21	1.80	1.10	22.2	62.6		15.7	46.4	33.1	88.5
No. 22	1.82	1.12	24.6	61.5		17.3	49.2	32.7	85.0
No. 23	1.87	1.16	21.1	61.3		19.5	46.6	35.4	91.6
No. 12	2.90	1.72	21.2	64.8	37.1	34.8	55.3	42.4	120.7
No. 13	2.93	1.80	19.4	62.6	38.6	36.8	56.7	44.9	120.1
No. 14	2.90	1.70	24.4	65.6			54.9	42.8	124.4
No. 15	3.90	2.40	23.6	62.2	35.7	34.9	60.3	43.3	113.9
No. 16	3.90	2.43	23.1	61.3	38.4	36.0	55.5	42.9	112.9
No. 17	3.90	2.43	17.7	61.0	37.8	35.7	55.0	44.1	113.1
No. 5	5.95	4.43	25.9	57.1	33.6	31.5	51.5	41.4	96.5
No. 6	6.07	3.84	26.7	60.0	32.6	31.2	50.3	41.3	103.5
No. 7	6.05	3.94	24.8	57.6	32.8	31.2	49.3	42.3	99.8
No. 4	8.07	5.28	24.9	57.3	31.2	30.0	49.3	43.5	102.0
No. 8	8.00	5.22	24.9	57.4	31.2	29.7	48.7	36.3	85.3
No. 0	10.03	6.64	26.5	56.1	31.5	29.5	47.9	41.4	94.5
No. 3	10.07	6.73	31.2	55.3	30.3	29.2	47.0	36.7	82.3
No. 9	9.98	6.61	28.2	56.2	31.1	28.8	47.6	36.7	84.0
No. 1	11.95	8.00	26.5	55.3	29.6	28.8	46.9	39.0	87.2
No. 2	11.95	8.36	26.4	51.1	30.3	29.5	46.1	35.4	72.2
No. 10	11.96	8.03	27.2	55.0	31.0	30.2	47.4	36.0	80.0
No. 11	11.96	7.93	27.3	56.1	30.3	29.5	45.4	35.2	80.2
No. 18	14.87	10.18	28.0	53.1	33.3	31.7	50.0	43.2	92.2
No. 19	14.89	10.49	31.4	50.4	33.3	31.3	49.7	40.8	83.2
No. 20	14.89	10.76	27.2	47.7	32.8	31.0	50.0	41.9	80.3



第3図 引張強さ、降伏点



第4図 断面収縮率、伸率



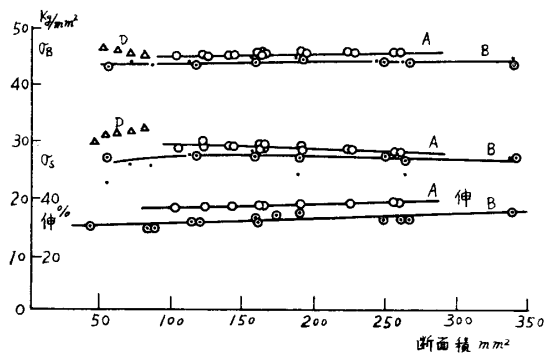
第5図 寸法効果説明図 (佐藤氏)

と合致している。以上の結果を総合すると引張強さ、降伏点は素材の中心部には顕微鏡検査では認め得ない程度の弱い部分が存在しているようにも指定されるが試験片も小さく熱処理の影響などもあって正確なことは言えない、ただこれらにも寸法効果が現れていることは確実である。断面収縮は寸法効果がかなり顕著で、従って真破壊強さ σ_T にも寸法効果は著しくなっている。但しこれは図示しなかった。

第3図には圧縮試験による降伏点を記入してあるが、これは引張試験と同様な方法によって測定したものである。材料は引張試験のものと同一ではない。

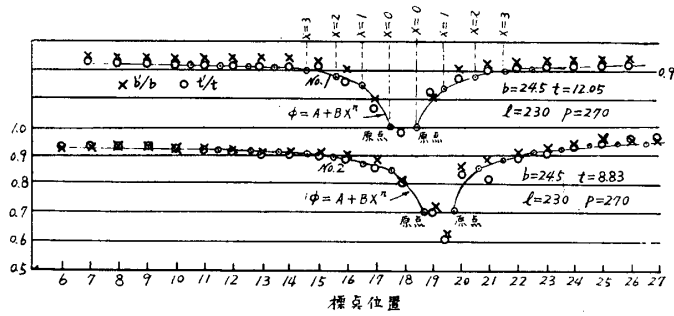
3. 平行部長さを一定とした矩形断面棒についての実験

直径28耗, 0.2%C 丸鋼より断面寸法16×(16, 14, 12, 10)耗, 平行部長さ90耗の矩形試験片15本 (A類)。0.2%C 鋼板より断面寸法45×(3.5, 4.5, 5.5, 7.5), 35×7.5, 15×7.5耗, 平行部長さ90耗の矩形試験片16本 (B類)。0.2%C 13耗角材より断面寸法10×(5, 6, 7, 8)耗, 平行部長さ40耗の矩形試験片11本 (D類) について引張試験を行ったものを第6図に示した。矩形断面棒の引張では一般に上降伏点のはっきり現れないようである。下降伏点, 引張強さは大体一定であるが伸は断面積の増大とともに僅かに上昇している関係は第4図の場合と同様である。この図には断面収縮率は示さなかったがこれも第4図と同様な関係を示している。ただこの場合は一定長であるから断面積の小さい程中央断面に対する見掛上の長さが大きく断面収縮, 伸率に対してこれが若干影響していると考えられる。



第6図 引張強さ、降伏点、伸

矩形棒では一般に厚さの縮みの方が幅の縮みよりも少し大きくなる、これは平行部長さ/厚さが平行部長さ/幅よりも大なる方向に変形し易くなるためと思う。第7図は測定結果の一例を示



第 7 図

すものであるが本実験に供した総べての試験片共に同様な関係にある。試験前の幅及び厚さを b, t , 破断後のそれを b', t' とし $\phi_b = b'/b, \phi_t = t'/t$ で示しこれを試験前の標点位置で測定したものが図示してある。今この ϕ_b, ϕ_t を適当なところに原点をとって

$$\phi_b = A_1 + B_1 X^n \quad \phi_t = A_2 + B_2 X^n \quad (1)$$

で表わすことを試みる、但し X はこの図上における原点からの距離であって伸びた試験片について測るものではない、第7図では原点及び $X=1, 2, \dots$ が示してある。 A_1, A_2, B_1, B_2 は材料試験片によって異なる定数とする。

Möllendorff³⁾ は切断後の試験片の形を $r = a(1 - e)^{\mp(x \pm c)/\alpha}$ で表わしているが(1)はこの方法とは全然異っていることを附加しておく。

ϕ_b, ϕ_t は矩形度が大きなる程その差が大きくなる理であるが一般的には $\phi_b = \phi_t$ とおいても差支えない程度のものである。若し $\phi_b = \phi_t$ とおくとその部分の軸方向の伸びは

$$\varepsilon = \frac{1}{\phi^2} - 1, \quad \phi = A + BX^n \quad (2)$$

但し、 $X=1, 2, 3, \dots$

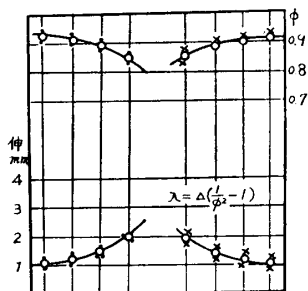
で与えられる。したがってその部分の縦方向の伸び λ は原標点分割間隔を Δ とすれば

$$\lambda = \Delta \left(\frac{1}{\phi^2} - 1 \right) \quad (3)$$

で計算される。実験したA類、B類の材料は丸鋼と鋼板であるがその機械的性質も余り差がなくこれらの両者に共通に

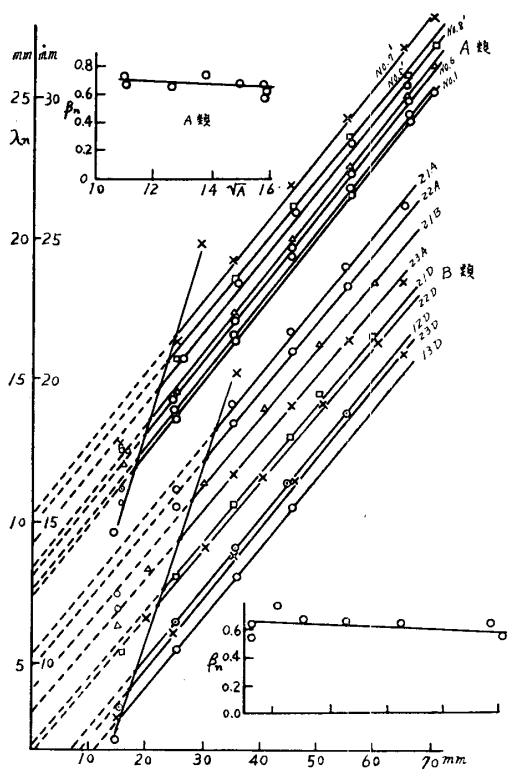
$$\phi = 0.7 + 0.15x^{1/4} \quad x = 1, 2, 3 \dots \quad (4)$$

が適用されることがわかった。この様な関係式は他の材料例えば黄銅などに対しても容易に定め得られる。 ϕ が定まると(3)から λ が求められ第8図は計算値と実験値の比較である。実験結果



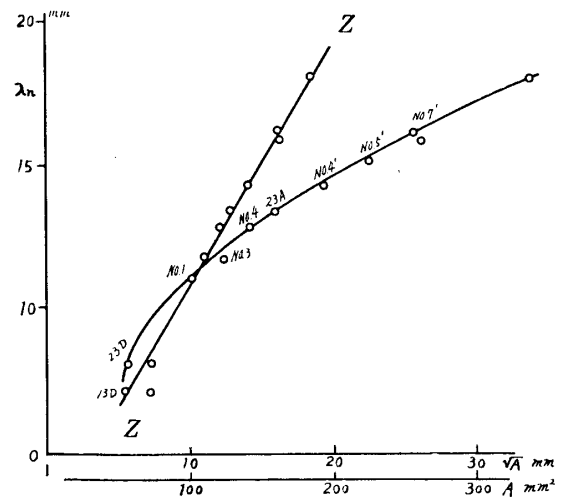
第 8 図

からみると ϕ は矩形度の如何に関せず材料が同じならば同一として差支えないようである。この ϕ を材料について一定とすれば破断点を中央にとって前標点距離を横軸とする全伸線図を画くときは各試験片の一般伸を示す近似直線部分が平行となるべきことすなわち Barba の定数 α が一定となるべきことを示す。Barba の法則は相似形試験片に当てはまるものであるから上記の事柄は厳密な意味においては成立しない、しかしこの関係が実験結果では如何になっているかを見れば第9図となる。すなわち実験結果ではA類の各々、B類の各々は平行直線となり、かつ



第 9 図

A, B 全体も平行と見られる。従って実験の範囲内においては Barba の定数 α は非相似でも材料が同一ならばほぼ同一とされる。第 9 図の直線 $O-X$ は試験片の輪廓の曲率の向きが変化する点即ち変曲点に当る。そこで全伸入を Barba の法則によって $\lambda = \alpha l + \beta \sqrt{A}$ で表わし



第 10 図

$O-X$ 直線の式を $\lambda = ml$ で示すと図の $A_1 A_2 \dots$ などの交点は

$$l_n = \beta_n \sqrt{A_n} / (m - \alpha), \quad \lambda_n = m \beta_n \sqrt{A_n} / (m - \alpha) \quad n = 1, 2, \dots$$

$$\text{or } \beta_n = \frac{\lambda_n}{\sqrt{A_n}} \left(1 - \frac{\alpha}{m} \right)$$

そこで第 9 図から λ_n の値を断面積 A_n についてプロットしたものが第 10 図で若し $\sqrt{A_n}$ について示すと図の $Z-Z$ 直線で表わされるがこの図の原点を通らない、したがって β_n はこの場合一定値とはならない、この $Z-Z$ 直線の式は $\lambda_n = 2.8 + 0.85 \sqrt{A_n}$ で表わされるから

$$\beta_n = \left(0.85 + \frac{2.8}{\sqrt{A_n}} \right) \left(1 - \frac{\alpha}{m} \right)$$

となって B_n は第 9 図中に示したように $\sqrt{A_n}$ に対して下降する。

このように非相似試験片で実験を行えば Barba の定数 α は大体一定となるが β は一般的には一定値とはならないようである。これらの事柄は他の材料についても成立すると思う。

4. 結 論

軟鋼棒の引張試験においては中心部に欠陥が含まれる場合が多くその部分の強度が低下し表面層の部分では変形に対する結晶相互間の干渉が少ないため強度が低下する、前者の原因による強度低下は試験片の直径が小なる程著しく現れ後者による強度低下は直径の大なる程顕著になりこの両方の影響をもって寸法効果が現れるとする佐藤氏の考えは筆者らの実験結果によれば正しいようである。

寸法効果が最もよく現れる機械的性質は断面収縮率である、試験片の大きさが極限強さのときの状態から破壊に到る間の塑性変形に著しく影響することがわかる。石橋氏の実験結果とも一致

している。

非相似試験片では引張強さ，降伏点に関しては相似試験片と同様である，また矩形断面棒についての実験の範囲内では伸率，断面収縮率も相似試験片の場合と同様な傾向を示した。Barba定数 α は材料が同一ならば非相似試験片においてもほぼ一定値をとるが β は一定値とはならない。

以上の諸点が明らかにされた。寸法効果に関連してはこの他種々の研究事項があるが後報に譲る，本研究の内容について益富，山本は主として2項の実験を分担した。

参 考 文 献

- 1) 佐藤和郎：機械学会論文集 21巻107号 (昭 30)
- 2) 石橋 正： " 21巻111号 (昭 30)
- 3) Nadai : Theory of Flow and Fracture of solid. p. 82.