

# データシート部会報告

## 伸び値におよぼす試験片の寸法効果\*

### Effect of Various Specimen Sizes on Elongation in Tensile Strength

日本鉄鋼協会  
標準化委員会データシート部会  
伸び値と試験片寸法効果分科会

熱間圧延・焼なまし（焼もどしの有無を問わない）

#### 1. ま え が き

金属材料の引張試験片に関する JIS Z2201 が 1968 年 3 月に改正され、供試材の厚さによつて試験片の幅を数段階に変えていた従来の 1 号試験片が、供試材の厚さにかかわらず幅を一定とした 1A 号（または 1B 号）試験片に変更された。

引張試験における伸び値は試験片寸法によつて大きな影響をうけることは周知の事実であり、今回の試験片寸法の改正にともなつて、材質規格の伸び値を改正する必要が生じた。試験片の寸法と伸び値の関係については、従来から多くのデータが発表されているが、ISO においてこの関係を鋼種別、熱処理状態別に標準化をすすめつつあり、すでに一部成案を得ている。ここで、この ISO 伸び値換算方法が妥当ならば、この換算方法によつて材質規格の伸び値を改正するのが好ましいと考えて ISO の換算方法の妥当性を既存のデータおよび 2, 3 の追加実験を行なつて検討した。

#### 2. ISO 伸び値換算方法

ISO Draft Proposal (ISO/TC17/WGI N325 May, 1969) は OLIVER の式を基礎として、標点距離  $L_0 = 5.65\sqrt{A}$  における伸び値に対する他の標点距離の伸び値を次式で与えている。

$$\epsilon = 2\epsilon_s \left( \frac{\sqrt{A}}{L} \right)^{0.4} \dots\dots\dots (1)$$

ここで  $\epsilon$  : 標点距離  $L$  の場合の換算伸び (%)

$\epsilon_s$  : 標準比例形試験片 (標点距離 =  $5.65\sqrt{A}$ ) による伸び (%)

$A$  : 試験片の断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$L$  : 試験片の標点距離 (mm)

ただし、上式の適用はつぎのとおりとする。

##### 適用範囲

鋼 種 : C, C-Mn, Mo および Cr-Mo 鋼

引張強さ : 30~70 kg/mm<sup>2</sup>

状 態 : 熱間圧延まま, 熱間圧延・焼ならしまたは

適用範囲外

冷間圧延 : 鋼, 焼入-焼もどし鋼, オーステナイト鋼

ISO はこの式を基準にして、この式から他の比例形試験片の伸び、ある比例形から非比例形または非比例形から他の非比例形への伸びの換算方法を与えている。

われわれは、この式をつぎの一般式として取扱い、その妥当性、適合性（とくに指数 0.4 について）を検討した。

$$\epsilon = K \left( \frac{\sqrt{A}}{L} \right)^{0.4} \dots\dots\dots (2)$$

ここで  $K$  : 鋼の種類によつて定まる常数  
ほかは式(1)と同じ

#### 2. 実 験 方 法

##### 3.1 予備調査

実験をはじめめるにあつて、まず各社手持ちのデータを整理し、BARBA の式 ( $\epsilon = a + b\sqrt{A}/L$ ) および OLIVER の式 ( $\epsilon = K(\sqrt{A}/L)^n$ ) でそれぞれあらわし、この適合性を調査した。その結果、図 1 の例に示すように OLIVER の式のほうがより直線関係であらわしやすい場合が多かつた。このため、以後の実験も含めてデータ処理はすべて OLIVER の式によることにした。

また、たとえ OLIVER の式を用いても  $\sqrt{A}/L$  を広範囲にとると直線からはずれてくるので、つぎのような理由から  $\log(\sqrt{A}/L)$  が  $-0.35 \sim -1.15$  の範囲につ

\* 昭和45年 3 月 13 日 受付

データシート部会

伸び値と試験片寸法効果分科会委員

- |    |       |                  |                        |
|----|-------|------------------|------------------------|
| 主査 | 山岡 一夫 | 八幡製鉄(株)技術開発部     | 標準課長                   |
| 委員 | 田村 克巳 | 富士製鉄(株)生産管理部     | 標準課長                   |
|    | 片伯部忠行 | 川崎製鉄(株)千葉管理部     | 検査課                    |
|    | 西川 富雄 | 住友金属工業(株)中央技術研究所 | 構造体研究室                 |
|    | 林 登   | (株)神戸製鋼所         | 鉄鋼事業部開発部鋼板開発室主任<br>研究員 |
| 幹事 | 吉田 道一 | 鉄鋼協会             | 技術部長                   |
|    | 福原 章男 | 八幡製鉄(株)技術開発部     | 標準課第一標準掛長              |
|    | 福本 行男 | 鉄鋼協会             | 技術部部長                  |

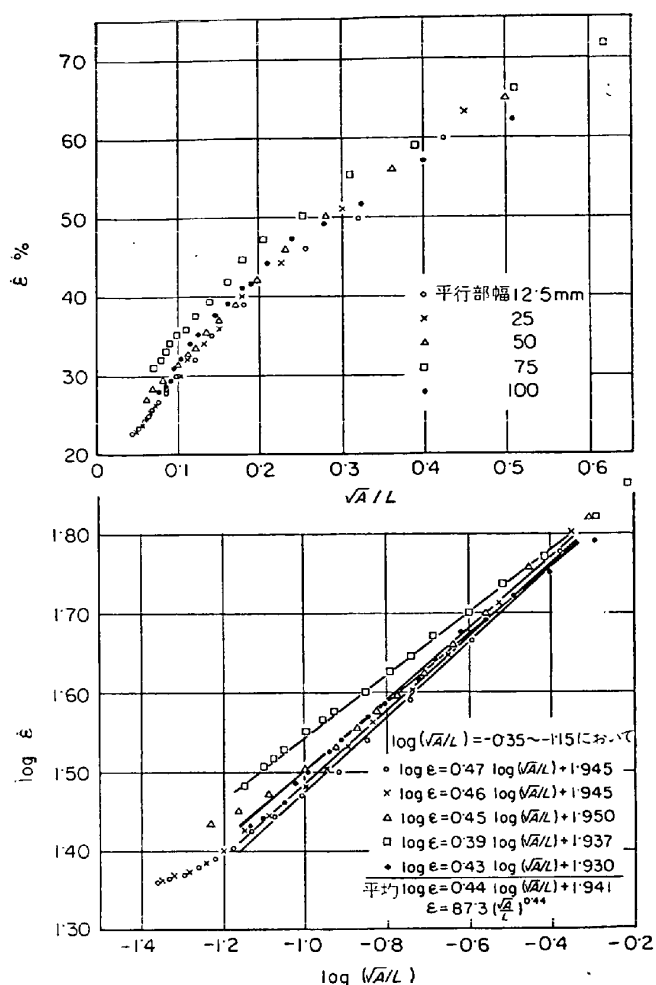


図1 41キロ級セミキルド鋼の  $\sqrt{A}/L - \epsilon$  および  $\log \sqrt{A}/L - \log \epsilon$  の関係

いて実験し、データ解析を行なうことにした。

すなわち、各試験片とそれが用いられる最大、最小寸法から  $\log(\sqrt{A}/L)$  を求めると表1のようになる。

表1から  $\log(\sqrt{A}/L)$  はほぼ  $-0.35 \sim -1.15$  にとればよいことがわかる。また14号試験片はISOで採用している。標準形比例試験片  $L = 5.65\sqrt{A}$  ( $L = 5D$ ) と一致しており、その  $\log(\sqrt{A}/L)$  は  $-0.75$  でちょうど中央値にあたっている。このことからデータ解析は  $\log(\sqrt{A}/L) = -0.75 \pm 0.4 = -0.35 \sim -1.15$  の範囲\* について行なうことにした。

### 3.2 実験の対象材

JIS鋼材の材質規格の伸び規定値を改正することを直接目的としているので、実験対象材はつぎのとおりとした。

引張強さ  $60 \text{ kg/mm}^2$  級以下の熱延鋼板および条鋼鋼種は SS, SM, SB, SMA, SPV および相当材

\*  $\log(\sqrt{A}/L) = -0.35$  は丸形試験片の  $L/D=2$  に  $-1.15$  は  $L/D=12$  に相当するので、表1以外の他の試験片もほとんどこの範囲内にはいる。

表1 試験片の形状係数 ( $\log \sqrt{A}/L$ )

試験片 No	試験片幅 mm	試験片厚さ mm		$\log \sqrt{A}/L$	備考
		最大	最小		
1A号	40	50	—	-0.65	最小
	〃	—	6	-1.11	
1号	35	50	—	-0.68	
	60	—	6	-1.02	
5号	25	20	—	-0.35	最大
	〃	—	0.6	-1.11	
14号	—	—	—	-0.75	中央

対象材の熱処理状態は非調質（圧延まままたは焼ならし）が大部分であるが、 $60 \text{ kg/mm}^2$  級は非調質と調質（SMA58Qをのぞく）の2とおりとした。

なお、SB および SPV 材は材料が入手できなかった。

### 3.3 実験方法

さきにも述べたように既存のデータで利用できるものは引用し、さらに各社で共同し実験を行なった。既存データの試験方法は不明確なものもあり、今回行なった実験方法と必ずしも同じではない。

今回行なった実験の試験片の採取寸法および試験片の形状・寸法は概略つぎのとおりである。

#### (1) 棒鋼（丸鋼）

黒皮または同心円削出しによつて丸形試験片を採取。平行部長さは  $10d \sim 25d$  ( $d$ : 試験片直径)。

#### (2) 鋼板

丸形試験片は削り出しにより平行部長さは  $7d \sim 20d$ 。平形試験片は黒皮。黒皮削除、減厚削出しにより、また幅/厚を  $1 \sim 10$  (板厚がとくに薄いものでは約 30) に変化させた種々の断面をもつた試験片とした。平行部長さは  $200 \sim 650 \text{ mm}$  となつている。

これらのすべての試験片それぞれについて、種々の標点距離をけがいて引張試験を行なった。

引張試験の方法は各社常用の方法により、とくに規制しなかつた。

### 3.4 データのまとめ方

対象材別に各試験片1本ごとの試験結果を  $\log(\sqrt{A}/L) - \log \epsilon$  を座標にプロットし、 $\log(\sqrt{A}/L) = -0.35 \sim -1.15$  の範囲について近似直線  $\log \epsilon = n \log(\sqrt{A}/L) + \log K$  を求め、その  $n$  および  $\log K$  の平均値を対象材の  $n$  および  $\log K$  とし OLIVER の式を求めた。

既存のデータの中には数個の試験片による試験結果の平均値がプロットされているものもあるが、その個々の試験片の試験値が不明のためこれも1個の試験結果として処理した。

## 4. 実験結果

実験結果は表2に示すとおりである。

表 2 実 験 結 果

強度レベル	鋼 種	形状	試験片形状	伸び値を与える式	N	備 考
41 kg/mm <sup>2</sup> 級	炭 素 鋼	棒鋼 鋼板	丸平	$\epsilon = 67.58 (\sqrt{A}/L)^{0.367}$ $\epsilon = 79.14 (\sqrt{A}/L)^{0.429}$	10 35	丸形試験片 2 試料を含む
			丸	$\epsilon = 52.17 (\sqrt{A}/L)^{0.340}$	11	
50 kg/mm <sup>2</sup> 級	Si-Mn 鋼	鋼板 〃 〃	丸平	$\epsilon = 59.84 (\sqrt{A}/L)^{0.445}$ $\epsilon = 63.34 (\sqrt{A}/L)^{0.408}$	7 18	
			平均	$\epsilon = 62.33 (\sqrt{A}/L)^{0.415}$	25	
	耐候性低合金鋼	鋼板 〃 〃	丸平 平均	$\epsilon = 66.00 (\sqrt{A}/L)^{0.412}$ $\epsilon = 70.21 (\sqrt{A}/L)^{0.456}$ $\epsilon = 68.17 (\sqrt{A}/L)^{0.435}$	32 35 67	
60 kg/mm <sup>2</sup> 級	非調質低合金鋼	鋼板	平	$\epsilon = 57.55 (\sqrt{A}/L)^{0.457}$	32	丸形試験片 2 試料を含む
	調質低合金鋼	鋼板 〃 〃	丸平 平均	$\epsilon = 59.88 (\sqrt{A}/L)^{0.509}$ $\epsilon = 60.12 (\sqrt{A}/L)^{0.583}$ $\epsilon = 60.03 (\sqrt{A}/L)^{0.557}$	45 80 125	

5. 考 察

(1) 表 2 の実験結果から試験片の形状係数  $\sqrt{A}/L$  の指数  $n$  は、非調質鋼の場合ほぼ 0.34~0.46 の範囲にあり、ISO が採用しようとしている 0.4 に近似していることがわかった。

いま、指数に 0.4 を用いた場合と 0.34 または 0.46 を用いた場合の伸びの差を検討するとつぎのようになる。JIS 旧 1 号試験片による伸び値を新 1A 号試験片の伸び値に換算する場合、両試験片の厚さおよび標点距離は同一であるので、両者の伸び値の比は次式のようにあらわすことができる。

$$\frac{\epsilon_1}{\epsilon_{1A}} = \frac{K(\sqrt{A_1}/L)^n}{K(\sqrt{A_{1A}}/L)^n} = \left(\frac{W_1}{W_{1A}}\right)^{1/2 \cdot n}$$

ここで  $\epsilon_1, \epsilon_{1A}$  : 1 号および 1A 号試験片による伸び  
 $A_1, A_{1A}$  : 1 号および 1A 号試験片の断面積  
 $W_1, W_{1A}$  : 1 号および 1A 号試験片の幅

上式の  $n$  に 0.34, 0.40 または 0.46 を代入し、また  $W_1, W_{1A}$  に表 3 に示す材料の厚さ別の試験片の幅を代入すると表 4 が得られる。

表 4 から、1 号試験片による伸び値を 1A 号試験片の伸び値に換算する場合に、指数が 0.40+0.06, -0.06 に変化しても伸びの絶対値はなかなか  $\pm 0.2\%$  変化する

表 3 1 号試験片と 1A 号試験片の幅

厚 さ mm	幅 mm	
	1 号 $W_1$	1A 号 $W_{1A}$
— 9 未満	60	40
9 以上 23 以下	50	40
23 超 35 以下	40	40
35 超 —	35	40

のみで、指数を 0.4 とした OLIVER の式を用いて伸び値を換算して差支えないことが確認された。

なお、調質鋼への適用は ISO も除外しているように適当でなく、今回の実験では 60 kg/mm<sup>2</sup> 級調質鋼に対しては 0.55 がよいことがわかった。

(2) ISO で伸び換算表を標準化する目的は、ISO は標準試験片として  $L = 5.65\sqrt{A}$  の比例形を採用し、すべて材質規格の伸び値はこの試験片に対し規定するので他の比例形あるいは非比例形試験片の伸び値は換算する必要が生じたためである。

したがって、 $5.65\sqrt{A}$  の伸び値を基準にして、指数が 0.4 から 0.34 あるいは 0.46 は変化した場合の伸び値は、前記(1)の場合と違ってかなりの差を生ずるが、これも、いまかりに  $5.65\sqrt{A}$  試験片の伸びを 22% と仮

表 4 1 号と 1A 号試験片による伸び換算例

厚 さ mm	試験片幅 mm		指数別 1 号と 1A 号の伸び値の比			1 号の伸び値を 20% とした場合の 1A 号の伸び値 %			伸び値の差 %
	1 号	1A 号	0.34	0.40	0.46	0.34	0.40	0.46	
9 未 満	60	40	1.0714	1.0845	1.0977	18.7	18.4	18.2	+0.3 -0.2
9 以上 23 以下	50	40	1.0387	1.0457	1.0527	19.2	19.1	19.0	$\pm 0.1$

表 5 各種試験片の伸び換算例

試験片	寸法 mm		指数別伸び値の比			指数別伸び %			伸びの差 %	
	厚さ	幅	0.34	0.40	0.46	0.34	0.40	0.46	+	-
5.65√A	—	—	1	1	1	22	22	22	0	0
1 A号	6	40	0.755	0.719	0.683	16.6	15.8	15.0	0.8	0.8
	16	〃	0.891	0.874	0.855	19.6	19.2	18.8	0.4	0.4
	25	〃	0.962	0.956	0.949	21.2	21.0	20.9	0.2	0.2
5号	6	25	1.116	1.139	1.160	24.5	25.0	25.5	0.5	0.5
	16	〃	1.319	1.386	1.454	29.0	30.5	32.0	1.5	1.5
	25	〃	1.423	1.516	1.611	31.3	33.4	35.5	2.1	2.1
2号	—	—	0.852	0.829	0.806	18.7	18.2	17.7	0.5	0.5
3号	—	—	1.079	1.094	1.108	23.8	24.1	24.4	0.3	0.3
4号	14φ	—	1.121	1.145	1.167	24.7	25.2	25.7	0.5	0.5

表 6 鋼種別、強度別の n の比較

鋼種	品種 試験片	強度レベル (kg/mm <sup>2</sup> )		
		n		
		41	50	60
炭素鋼	棒板	0.367	0.340	
		0.428		
Si-Mn 鋼	板〃		0.445	
			0.403	
耐候性鋼	板〃		0.412	
			0.456	
非調質低合金鋼	板			0.457
調質低合金鋼	板〃			0.509
				0.583

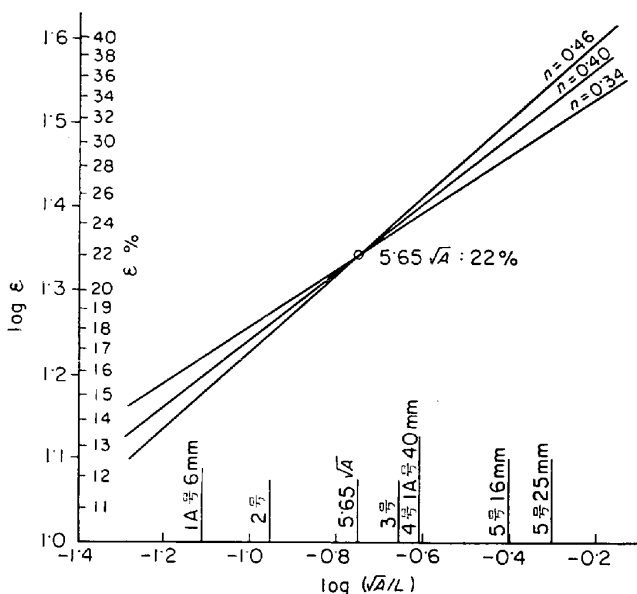


図 2 5.65√A : 22%とした場合の各種試験片の伸び

定すると、表 5 および図 2 に示すように 5 号試験片を厚板に使用する特殊な場合をのぞいて、ほぼ ±1.0% の範囲に入り実用上はさしつかえないと考えられる。

(3) 前記(1)および(2)において OLIVER の式の妥当性が確認され、かつ指数 n は 0.40 として伸び換算が可能なることがわかった。しかし、実験結果から強度別、鋼種別に個々の指数 n の頻度分布を見ると非常にばらついており、非調質鋼は約 ±0.10、調質鋼は約 ±0.15 の範囲にわたっている。

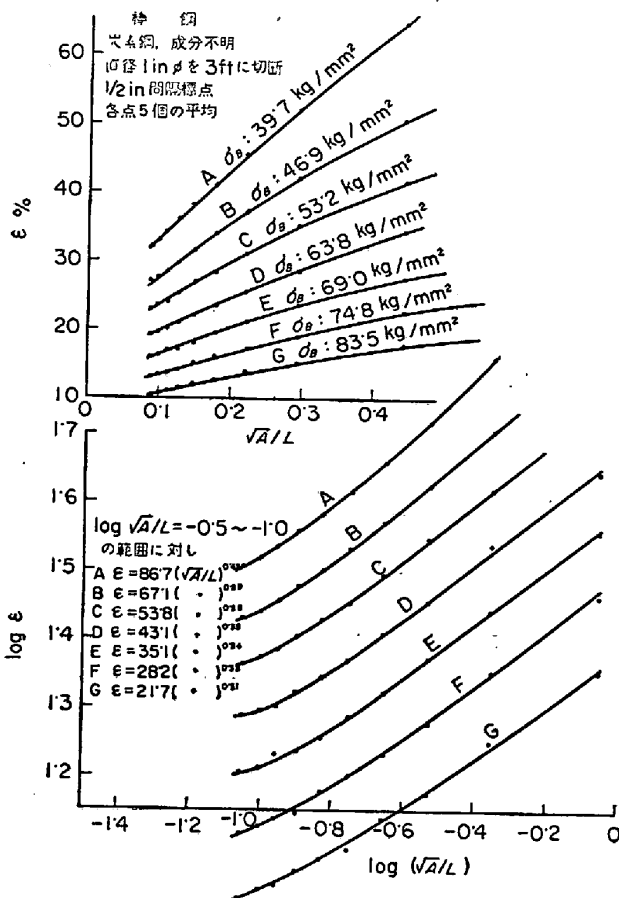
すなわち、平均的には OLIVER の式を用いて伸びの換算が可能であるが、個々の試験片についていけばかなり勾配が異なっており注意が必要である。これらの原因ははつきりしないが、とくに n が小さいものは log K も小さく、伸びが低いので端切れの傾向があつたものではないかと想像される。

こんど、材料規格の伸び値が  $L = 5.65\sqrt{A}$  の標準試

験片に対してのみ規定され、任意の試験片による伸びを OLIVER の式を用いて 5.65√A 試験片の伸びに換算(逆に、規格値を任意の試験片に対する伸びに換算してもよい)して、合否を判定するケースが多くなると思われる。このような場合、指数 n のばらつきが大きいことは換算伸びの信頼度が低いことを意味しており、換算の結果不合格に、あるいは伸びについて疑義が生じたときは標準試験片で再試験するなどの考慮が必要となるであろう。

(4) 鋼種、強度レベルおよび試験片の形状別に指数 n を整理すると表 6 のとおりとなる。

同一鋼種で強度レベルが違う場合の n の傾向は、データが一例しかないのではつきりしないが、炭素鋼棒鋼の 41 kg/mm<sup>2</sup> 級と 50 kg/mm<sup>2</sup> 級は有意差検定の結果、有意差は認められなかつた。しかし、炭素のみで強度を上げた炭素鋼の他の例では図 3 のように強度レベルが上がるに従って指数 n は小さくなつている。n は局部伸びをあらわす因子であり、炭素鋼は強度の上昇とともに局



出所：大正14 八幡製鉄所製品研究所  
図3 炭素鋼の強度による  $\epsilon - \sqrt{A/L}$  の関係

部伸び、絞り小さくなるので  $n$  は小さくなるものと思われる。

鋼種（同時に強度レベルも異なってくるが）について見ると、炭素鋼よりも低合金鋼の指数が大となっている（炭素鋼、板-中と耐候性鋼、板-中間は1%水準で有意差あり）。これは低合金鋼は局部収縮を起こしやすく、このため指数が大となったものと考えられる。また調質鋼は同一強度レベルの非調質鋼にくらべて明らかに差があり、指数も大となっている。

したがって、今後 OLIVER 式の適用の拡大にあたっては、成分系強度レベル、熱処理状態などを考慮して指数を検討する必要があることがうかがわれる。

(5) 丸形試験片と平形試験片では指数に差があることがわかった。前記表6において、Si-Mn 鋼は試料数  $N$  が少なくても差が認められないが、炭素鋼、耐候性鋼調質低合金鋼はいずれも丸形と平形の間には1%水準で有意差があり、平形のほうが大きくなっている。

(6) OLIVER の式は前記(1)(2)のようにわれわれが使用する範囲については、実用上問題がないことが確かめられた。しかし、OLIVER の式でも範囲を広くすると必ずしも直線で表わすのは適当でなく、1つの折点で連続した2つの直線であらわしたほうがより適切である。

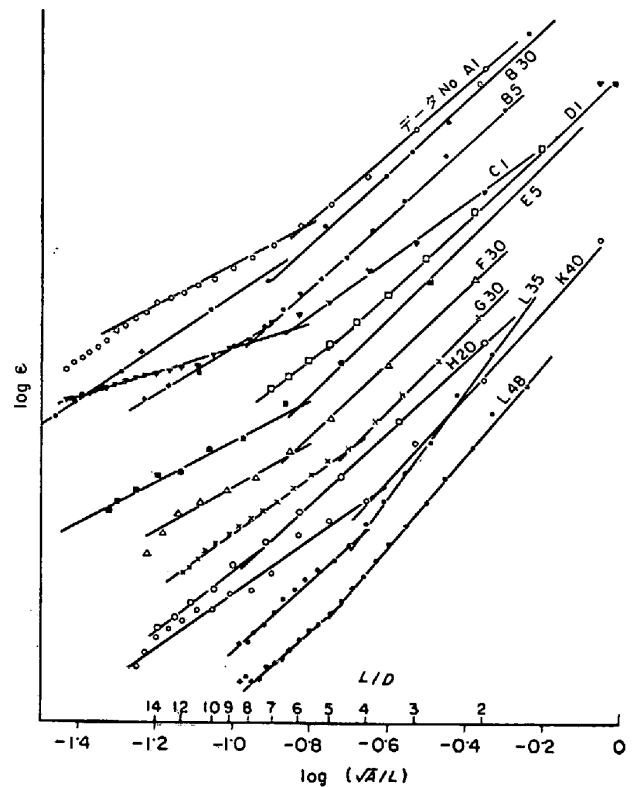
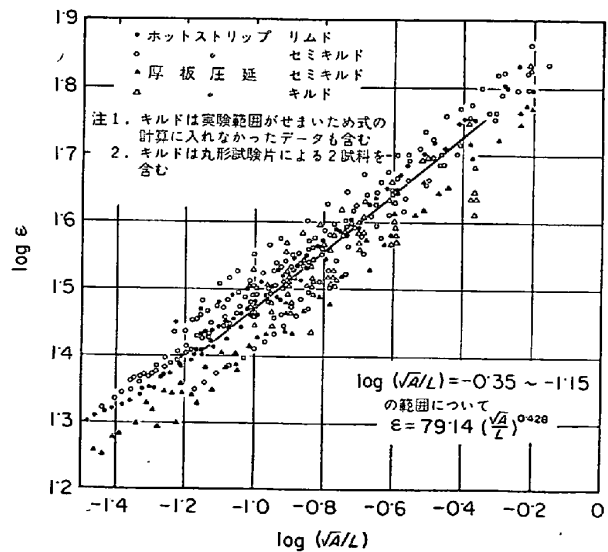


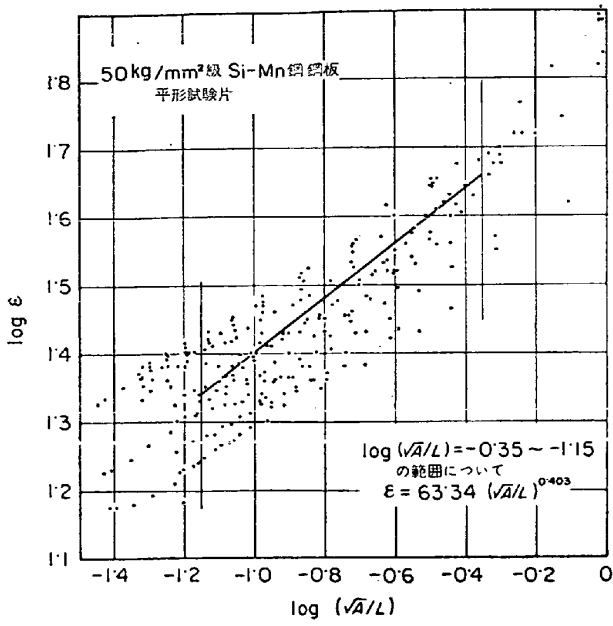
図4 各鋼種の  $\log(\sqrt{A/L})$  と  $\log \epsilon$  の関係

図4に数例を示す。折点の位置は  $\log(\sqrt{A/L}) = -0.6 \sim -0.9$  の範囲に見られるが鋼種別の傾向はこの図からはうかがわれない。

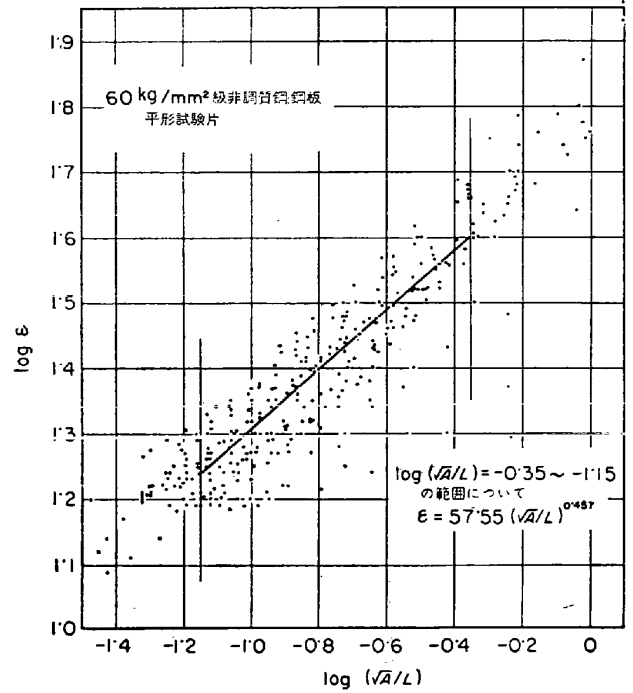
しかし、 $\log(\sqrt{A/L}) = -0.35 \sim -1.15$  の範囲については、ほぼ直線と見なして差支えない。 $\log(\sqrt{A/L}) = -0.35$  は5号試験片を厚板に使用する場合の、いわば変則的な使いかたまでを考慮してきめた値であり、これを対象外とすれば4号試験片 ( $L = 4\sqrt{A} = 3.54D$ ,  $\log(\sqrt{A/L}) = -0.602$ ) までを考えればよい。



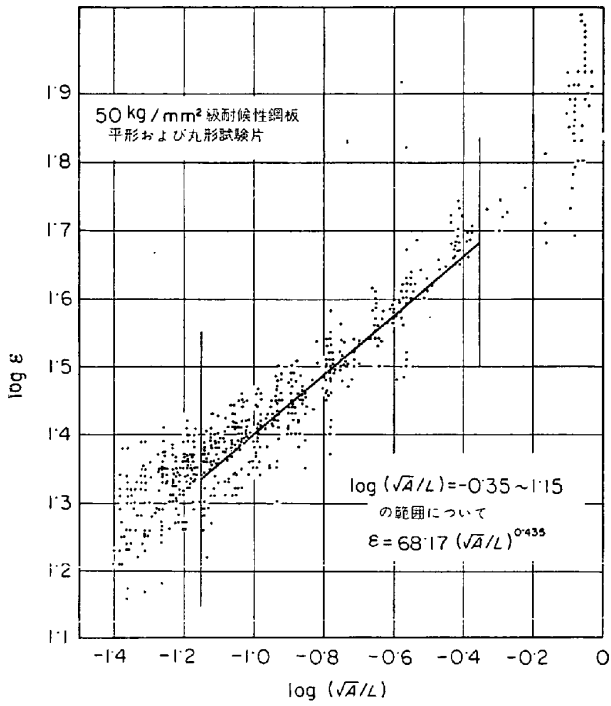
付図1 41 kg/mm<sup>2</sup> 級炭素鋼板の  $\log(\sqrt{A/L})$  と  $\log \epsilon$  の関係



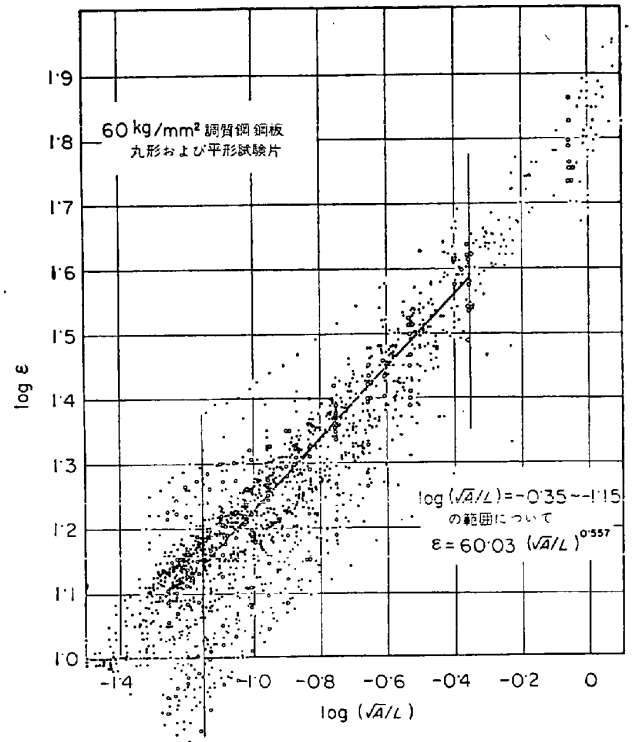
付図 2 50 kg/mm<sup>2</sup> 級 Si-Mn 鋼鋼板の  $\log(\sqrt{A}/L)$  と  $\log \epsilon$  の関係



付図 4 60 kg/mm<sup>2</sup> 級非調質鋼鋼板の  $\log(\sqrt{A}/L)$  と  $\log \epsilon$  の関係



付図 3 50 kg/mm<sup>2</sup> 級耐候性鋼板の  $\log(\sqrt{A}/L)$  と  $\log \epsilon$  の関係



付図 5 60 kg/mm<sup>2</sup> 級調質鋼鋼板の  $\log(\sqrt{A}/L)$  と  $\log \epsilon$  の関係

$\log(\sqrt{A}/L) = -0.60 \sim -1.15$  の範囲にとれば、直線性はよくなり、OLIVER の式はより有用なものとして使用できることになる。ただし、この場合指数  $n$  の値は小さくなる。

## 6. ま と め

まとめ引張試験片の寸法と伸びの関係について、一部既存のデータを利用するとともに多数の実験を行なった結果つぎのことがわかった。

(1) OLIVER の式  $\epsilon = K(\sqrt{A}/L)^{0.4}$  は引張強さ 60 kg/mm<sup>2</sup> 級以下の非調質熱間圧延鋼材について  $\log$

$(\sqrt{A}/L) = -0.35 \sim -1.15$  の範囲では、よく適合することがわかった。指数は鋼種によつて 0.34~0.46 と変化するが、0.40 として伸びの換算を行なつても誤差は小さく実用上問題ない。

(2) OLIVER の式において指数は 0.34~0.46 と変化しているが、炭素鋼から Si-Mn 鋼、低合金鋼となるに従つて大となつているが、これは成分系の違いによる局部収縮の影響と考えられる。

(3) 60 kg/mm<sup>2</sup> 級調質鋼は OLIVER の式において指数を 0.55 とした  $\epsilon = K(\sqrt{A}/L)^{0.55}$  がよく適合する。