

(101) 屈曲試験について (I)

On the Plastic Bending Test (I)

K. Sato.

三菱製鋼, 長崎製鋼所 理 佐 藤 和 紀

I. 結 言

鋼の物理的性質の調査には, 抗張試験とならんで屈曲試験が採用されて居り, これに関する規格も定められているが, 屈曲時における物理的諸量の解析は, 抗張試験に比してかなりの困難を伴う. その理論的解明には, 平面歪ないし平面応力の仮定に基く逐次近似法によるか, あるいは半実験式を採用するにしても, 破断にいたる全過程を簡単に記述することは出来ない. こゝには,

- (1) 抗張試験による局部伸—局部絞り曲線およびその分布; 最大伸.
- (2) 亀裂発生開始点におよぼす縦横比  $h_0/w_0$  の影響.
- (3) 幾何学的相似則の検討.
- (4) 各種屈曲条件による実験結果

を対象とし, 最も使用頻度の高い普通鋼 SF-55 について, これらの関係を解明した.

II. 供 試 材

1 t · L 型鋼塊の頂部寄り中央部から採取した素材を 50 mm 角に鍛伸し, これをさらに 30 mm 角および 30 mm × 15 mm の 2 種に鍛伸後焼鈍したものを使用した. 試験材の化学成分ならびに機械試験成績をそれぞれ Table 1 および Table 2 に示す. なお, 試験材表面はすべて上仕上である.

Table 1. Chemical compositions.

C	P	S	Mn	Si	Cu
0.30	0.015	0.010	0.66	0.15	0.25

Table 2. Mechanical properties.

T. S. (kg/mm <sup>2</sup> )	Y. P. (kg/mm <sup>2</sup> )	E. (%)	R. A. (%)
54.9	31.5	30.3	50.4

III. 抗 張 試 験

集中応力を受けて塑性変形を受けた部分の密度変化が無視しうる場合には, 変形前後における体積不変の条件が成立する.

$$e_T = \varphi / (1 - \varphi) \dots\dots\dots (1)$$

こゝに  $e_T$  は真伸,  $\varphi$  は断面絞りを表わす. JIS 4 号および NK 抗張試験片各 4 個に 5 mm 間隔の標点を附し, 塑性変形の途次に順次止めて  $e_T$  と  $\varphi$  の最大値を測定した結果, (1) の条件は Fig. 1 に示すごとく, 非

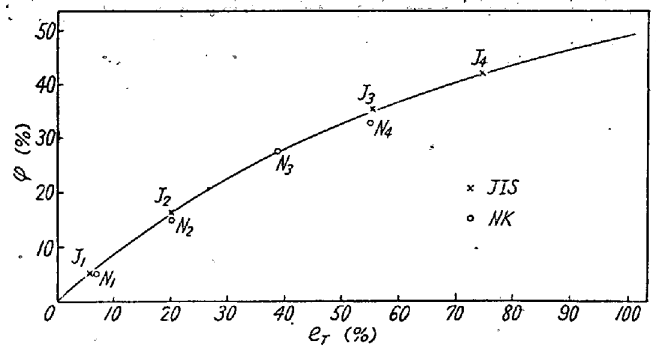


Fig. 1. Relation between true strain  $e_T$  and reduction of area  $\varphi$  (%)

常によく満足されていることを知った. 局部絞りの発生する区域における  $e_T$  および  $\varphi$  の分布は, Fig. 2 (図略) の通りである.

この結果に基き, 平面応力状況における最大塑性歪  $\epsilon_0$  (但し  $\epsilon_0 = \ln(1 + e_0)$ ) は, 破断時の最大絞り値を (1) に代入することにより, 次のごとく求められる.

$$\epsilon_0 = 70.3 \text{ (}\%) \dots\dots\dots (2)$$

IV. 亀裂発生開始点におよぼす  $h_0/w_0$  の影響

現在までに報告されている各種の屈曲理論<sup>1)</sup>ないし実験<sup>2)</sup>は, 若干の仮定ないし前提を基にして解析しており亀裂発生時の局部伸と試料断面の縦横比  $h_0/w_0$  の関係を与えるものではない. しかして, 見掛上の屈曲条件を等しくしても, その結果は必ずしも同一ではない. 著者は, 亀裂発生時の最大円周伸を求めるには, 外表面から僅かの深さ (0.05~0.1 mm) における彎曲部の弦長を精密に測定して計算するのが妥当であると考え, 種々の  $h_0/w_0$  について, 健全曲げにおける最大伸を調査した.

簡単な計算から, 最外側部における力学的諸量は,

$$\text{平面歪: } \begin{cases} \epsilon_r = -\epsilon_t, \epsilon_w = 0 \\ S_t = 2k/\sqrt{3}, S_w = k/\sqrt{3}, S_r = 0. \end{cases} \dots\dots (3)$$

$$\text{平面応力: } \begin{cases} \epsilon_r = \epsilon_w = -\epsilon_0/2, \epsilon_t = \epsilon_0 \\ S_t = k, S_w = S_r = 0. \end{cases} \dots\dots (4)$$

こゝに  $S$  は応力,  $k$  は単軸塑性応力を示す. 平面歪域の境界  $\kappa_c$  ( $\kappa = h_0/w_0$ ) を知るため,  $\epsilon_w \propto \kappa^n$  として, 実験式,

$$\epsilon_w/\epsilon_0 = n \cdot \ln(\kappa/\kappa_c) \dots\dots\dots (5)$$

の係数を求めると, 次のごとき値がえられる.

$$n = 0.164, \kappa_c = 0.115 \dots\dots\dots (6)$$

また, 平面歪および平面応力状況における  $t$  方向の応力比は,  $1:2/\sqrt{3}$  なるゆえ, 同一曲率に対する両状態の  $\epsilon_t$  の最大値は  $1:\sqrt{3}/2$  となる. この補正を施すと,

$$\epsilon_t = \sqrt{3}\epsilon_0/4, (\kappa = \kappa_c) \dots\dots\dots (7)$$

$\epsilon_r$  は, 平面歪に近い区域において  $\epsilon_t$  に関連した補正を

受けるが、他はほぼ一定と見做される。これらの計算を基にして実験値と対比したのが Fig. 3 である。

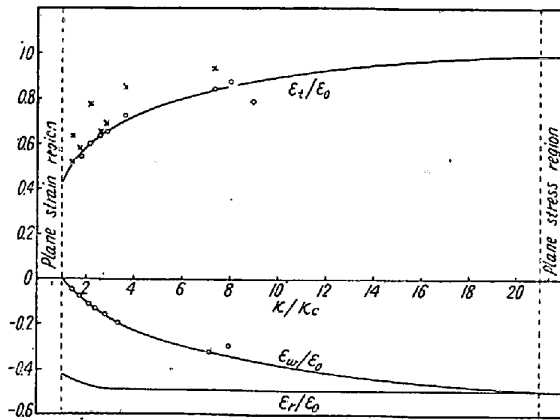


Fig. 3. Relation between  $\kappa/\kappa_c$  and  $\epsilon/\epsilon_0$

V. 幾何学的相似則の検討

前節の結果は  $w_0 =$  一定の場合について求めたのであるが、 $h_0/w_0$  が等しく  $h_0, w_0$  の値が異なる試料に対して上述の関係を調べたところ、ほぼ相似則が成立することを知った。この結果を Fig. 4 に示す。したがって、亀裂発生開始点は、試料の寸法とは無関係に  $h_0/w_0$  によつて左右される。厚手の試料における亀裂は外側稜部を起点とすることが多く、薄手では中央部に生ずる。前者は  $\epsilon_t$  が大であるため、稜の些細な疵が notch の効果を有するからであると考えられる。

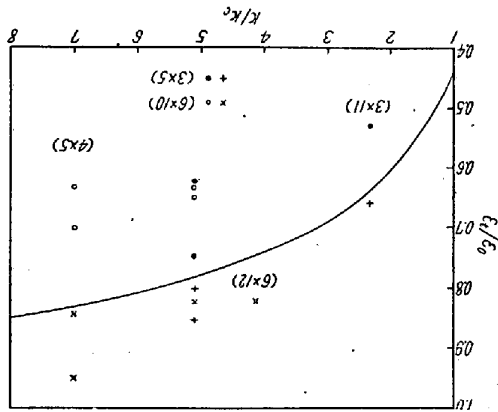


Fig. 4. Investigation on the geometric similarity.

VI. 各種屈曲条件による実験結果

使用状況における屈曲条件は非常に複雑と考えられるが、ここでは 2 種の場合について歪の状態を調べてみた。

(1) 段階曲げ

内側半径を逐次小さくした場合と、直接に小さな半径で曲げた場合とを比較したものが Fig. 5 で、実線は 5 mm 間隔の標点間平均伸、点線は亀裂部附近の曲率か

ら計算した伸であるが、通常の方法によると中央部のみがいちじるしい局部伸張を受けて破断したことが明瞭に知られる。

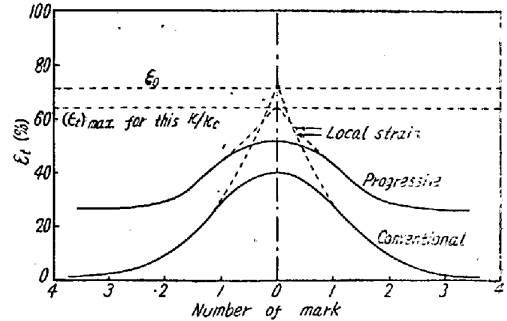


Fig. 5. Average and local strain distribution for progressive and conventional bending.

(2) 半平面歪状態における曲げ

治具を用いて  $h_0/w_0 = 1.2$  の試料の圧縮側を拘束して曲げた結果を Fig. 6 に示す。この場合の最外側伸は一樣に増加している。

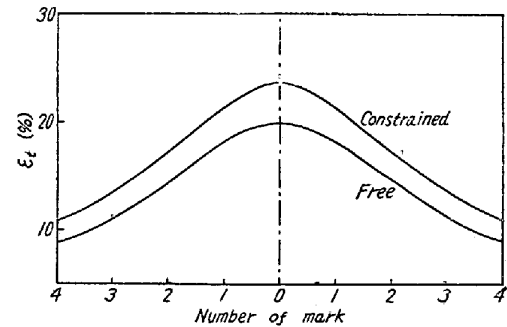


Fig. 6. Distribution of tangential strain for constrained bending compared with free bending.

VII. 総括

SF-55 の屈曲試験における力学的諸量を調査した結果、亀裂の発生に着目して、最外側の局所的な曲率に基いて計算した  $\epsilon_t$  を用いると、 $h_0/w_0$  に対する関係も非常に精密に求められ、かつ幾何学的相似則も成立する。しかし、公称内側半径を用いると、これは局所的な歪の状態を厳密に表す量でないため、上述の諸量との関係は非常にあいまいになり、屈曲条件をわずかに変化するのみで健全曲げの限界は相当変動する。例えば、段階曲げにおける局部伸に現れているようなことが、実際の試験に生ずる可能性がある。したがって、屈曲条件を厳密にしなければ、材質の良否を判定する目安にはならないゆえ、実際上の意義を再考慮する必要がある。

文献

- 1) 例え、W. R. Osgood: Jour. Aeron. Sci.,

11 (1944) p. 213; 12 (1945) p. 253.

J. D. Lubahn & Sachs: Trans. ASME, Feb. (1950) p. 201.

寺沢一雄: 軟鋼における塑性学の研究 p. 45.

2) 例えば, G. Gerard: Jour. Aeron. Sci. 13 (1946) p. 161.

(102) 含 Ti 鋼に関する研究

Study on Ti Steel.

H. Hirano, et alius.

神戸製鋼所, 神戸研究部

工〇平 野 垣・日 浦 保

I. 緒 言

含 Ti 鋼はグラスライニング用鋼材として利用されているが, その特徴とするところは焼成時に気泡の発生を防止または減少せしめること, および深絞り性能が勝れているために深絞り後グラスライニングを行うことができる等の理由によるものであるが, かゝる特性は Ti が N, S, C 等に対し, 強力な親和力を有することによるものである. 従来 enamelling steel としては Ti/C 比が 4.2~17.5 程度のものが使用されていたが, Ti/C 比が 4 以下の場合でもグラスとメタルとの密着性を増進する上には卓効があるがその機構についてはなお不明な点が多い. Ti 鋼を熔製せんとする場合 Ti は O, N に対し強力な親和力を有し, 塩基性鋼滓中の各種酸化物と反応するために所定量の Ti を含有する鋼を現場操業として常に熔製することは技術的に検討を要する問題である. 含 Ti 鋼は砂疵を発生し易くまた清浄度を低下せしめる等の欠点をも有するので製鋼に際しては特に注意を要する. 筆者等はかゝる観点に立つて Ti 鋼の熔製方法 Ti 鋼における TiO<sub>2</sub>, TiN 等の非金属介在物の発生な

らびに TiC の発生等に対して熱力学的考察を加え, 関連した二三の現象について研究したので報告することとする.

II. 塩基性電弧炉における Ti 鋼の熔製実験

enamelling 用 Ti 鋼の最も重要な使用目的は焼成時の気泡発生の防止であるが, かゝる目的に対しては Ti/C > 4 以上であることが必要とされているが Ti の添加量が多くなれば砂疵の発生鋼塊表面状況の劣化に伴うピレットの表面割れ等の欠陥を伴い易いので, かゝる欠陥を避ける 1 方法として C=0.04%, Ti=0.2% 程度の低炭素鋼を狙うことが重要である. なおガラスとの密着性を増進せしめることを目的とする場合には 0.1~0.2% Ti を含有すればよい. Ti 添加法に関し行つた実験結果を要約すれば次の通りである.

i) 取鍋内で Fe-Ti を添加する方法は出鋼時 Al で予備脱酸を行つても歩留りのいちじるしい変動ないしは鍋下出鋼材中の Ti 濃度の不均一を来し易い. 最も熔融点の低い 66% Fe-Ti (熔融点 1085°C) を使用してもかゝる傾向がある.

ii) 炉内にて Fe-Ti を添加する方法

Ti により還元される可能性のある塩基性鋼滓中の不安定酸化物 FeO, MnO, SiO<sub>2</sub> 等を予め還元することなく, かつ歩留を考へて多量に Fe-Ti を投入することは Fe-Ti よりの Si および Fe-Ti 中の Ti ならびに Fe-Ti 中の Al による鋼滓からの Si の還元などによる Si 量の増加を来し, さらに鋼塊には砂疵が多発する. したがつて健全なピレットがえられない.

iii) 還元期に鋼滓上に TiO<sub>2</sub> を投入し Al 屑にて充分に FeO, MnO, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> を還元した後, 炉内に Fe-Ti を投入する方法.

本法は最も理想的な方法であり, 炉内に投入した Fe-

Table 1. Chemical composition of metal (SD 367)

Element	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ti	Al	N inso.	N sol.
At the end of oxidizing period	0.029	tr	0.19	0.009	0.024	0.17	—	—	0.0035	0.0037
Before adding Ti	0.059	0.16	0.40	0.013	0.017	0.14	0.08	0.051	0.0096	tr
Before tapping	0.051	0.12	0.31	0.014	0.017	0.15	0.21	0.025	0.0091	〃
Sample from the ladle	0.050	0.18	0.31	0.015	0.015	0.14	0.10	0.011	0.0096	〃

Table 2. Chemical composition of slag (SD 367)

Oxide	SiO <sub>2</sub>	FeO	MnO	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
At the end of oxidizing period	9.46	17.97	4.56	49.61	12.58	—	—
Before adding Ti	4.22	1.56	<0.01	61.43	4.06	23.60	3.80
Before tapping	4.92	2.19	0.02	60.26	5.54	18.10	2.28