

鋼板のプレス曲げにおける曲げ型選定について

元 田 収* 安 田 益 一**

On the Determination of the Dimensions of the Punch and Die for Press Work of Steel Plate

By Osamu Motoda and Masuichi Yasuda
Kasado Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

After the War a large quantity of rolled steel plates has been wasted as it is often cracked because of the inferior quality when it is bended in the course of the press work. It ought to be possible to utilize such plates of poor quality to a certain extent without being cracked in the press work, provide the adequate punch and die are selected. But such a satisfactory standard as to selection according to which the selection of the dimensions of punch and die is to be made for steel plates of any quality is not yet known.

For the purpose to of solving the above problem, a theorelical analysis of plastic bending of steel plates was tried, and at the same time an experiment was made of bending heavy steel plates of 2.3—14 mm thick on four different qualities in various combination of punch and die.

As a result of the examination of crack limlts, the deformation of the plates in nomograph relating to the tip radius of punch, the span of die and the bending angle, was obtained and the question of finding the standard for the determination of the dimensions of punch and die was settled. By applying this standard to the actual press working in the manufacturing process, the elimination of the waste materials has been successfully achieved.

[I] 緒 言

鋼板をプレスにより曲げ加工を行う場合、板の變形は同じ曲げ角度に對しても、雄型及び雌型の選び方によつて種々異つてゐる。従つて永久變形量の少い材質の板に對しても、曲げ型を適當に選ぶことによつて或程度まで龜裂を生ずることなく特定の曲げ角度まで曲げることが出来る筈である。塑性曲げの問題を理論的に取扱つた文獻はかなり多い⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾けれども、プレス曲げの場

合の様に變形度の非常に大きい場合に對して、實驗値と比較し得る様な理論は見當らない様である。よつて本研究はプレス曲げの場合に生ずる龜裂發生の限界を實驗的に究明し特定の材質の板に對して一定の曲げ角度まで、龜裂を生ずることなく曲げるための合理的な曲げ型選定基準を提案したものである。

[II] 實 驗 の 方 法

(1) 試 料

試料は普通鋼板材を用いたが、その化學成分及び機械

* ** 日立製作所笠戸工場

第1表 試料の化学成分 (%)

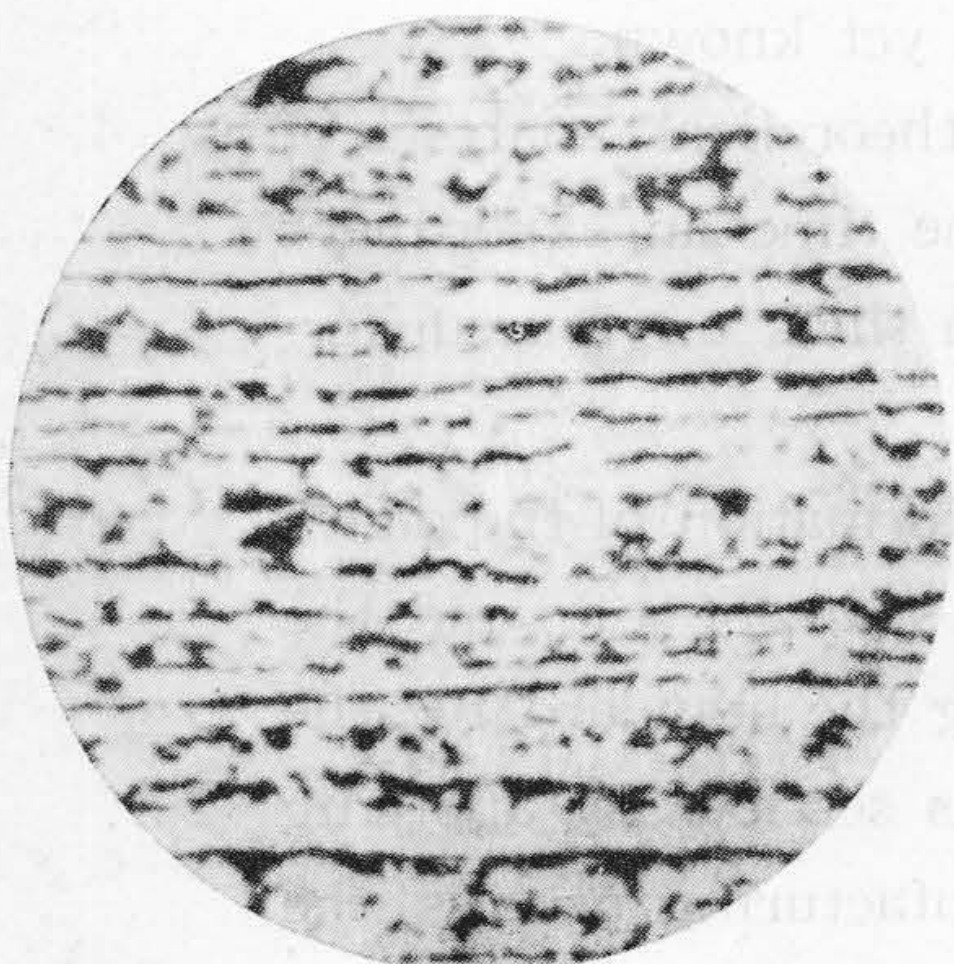
試料番號	C	Mn	Si	P	S
No. 1	0.235	0.593	0.023	0.024	0.049
No. 2	0.302	0.559	0.091	0.083	0.067
No. 3	0.373	0.392	0.016	0.126	0.060
No. 4	0.264	0.681	0.026	0.012	0.072

的性質は夫々第1表及び第2表に示す通りである。

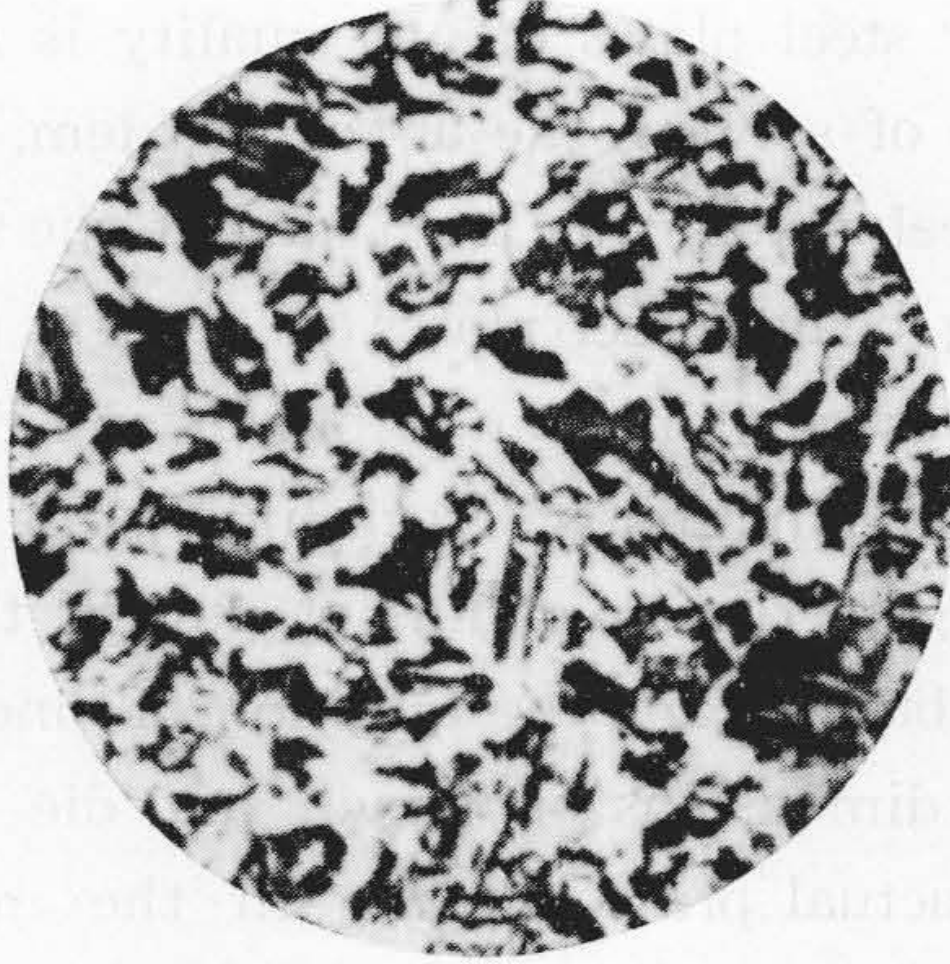
第1表の中 J. E. S. 1 號試験片は板表面黒皮のまゝとし、2本の平均値を示した。丸棒試験片は板から平行

第2表 試料の機械的性質

試料番號	J. E. S. 1 號試験片				10φ 丸棒試験片		
	平行部 断面寸法	降伏點 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び率 %	絞り率 %	眞破斷力 kg/mm ²	最大伸び 率 (%)
No. 1	16×50	31.4	48.7	22.4	51.7	84.5	83.8
No. 2	14×50	31.5	54.3	21.3	50.7	97.2	78.7
No. 3	14×50	34.0	55.7	17.0	44.1	90.6	67.1
No. 4	2.5×60	—	62.0	9.5	—	—	—



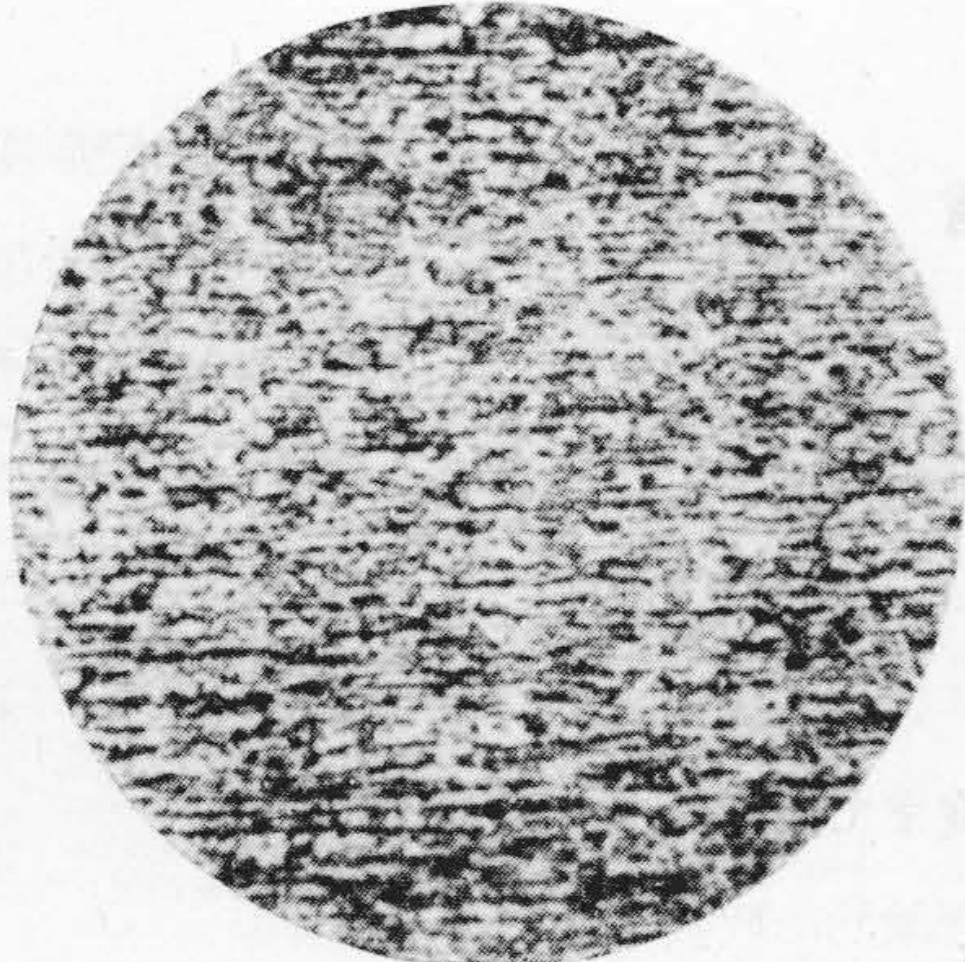
No. 1.



No. 2.



No. 3.



No. 4.

第1圖 試料の顯微鏡組織×100

Fig. 1. Microstructures of Samples.

部の直径 10 mm の試験片を夫々3本宛作り、その平均値を示したものである。最大伸び率とは試験片に豫め剃刃によつて、2 mm 毎に軽く標線を入れて置き、破斷後コンパレータによつて各部の伸び率の變化を調べ、絞り部における最大値を求めたものである。No. 4 の試料に對しては粗材板厚が 2.5 mm であつたため、丸棒試験片による測定は行わなかつた。試料の斷面顯微鏡組織を第1圖に示す。

試料の中 No. 1 は粗材板厚 16 mm のものを 6, 8,

10, 14 mm に仕上げて試験片とした。

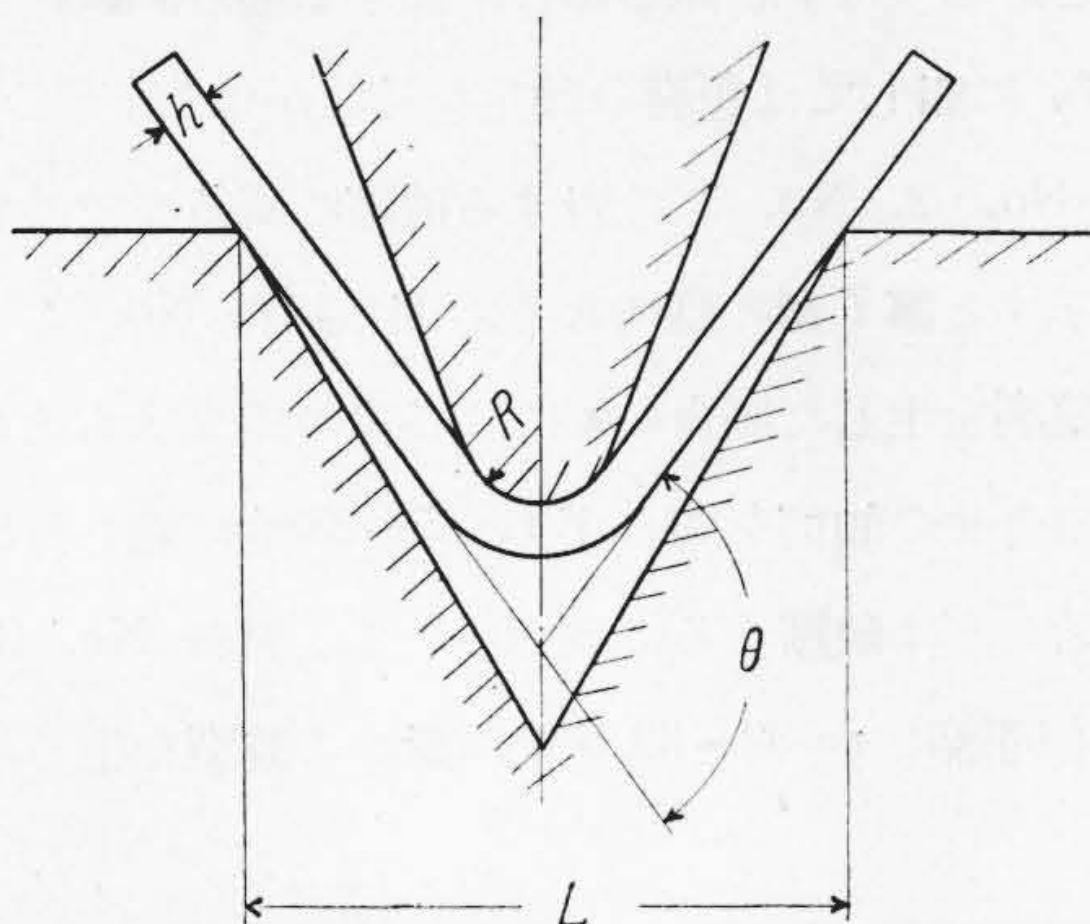
No. 2, No. 3 は板厚 14 mm のものを 4, 6, 8, 10 mm に仕上げて用いた。仕上げは何れもヘールバイト仕上げとした。No. 4 は粗材板厚 2.5 mm のものを黒皮のまゝ用い、又試験片の巾は何れも板厚の5倍以上とした。但

し何れも焼鈍其の他の熱處理を行わなかつた。

(2) 曲げ實驗

アムスラー型試験機に取付けられる様に實驗用の雄型及び雌型を作り、曲げ試験の要領で實驗を行つた。第2圖において雄型先端半徑を R 、雌型の口巾を L 、板厚を h とすると、實驗を行つた範圍は $\frac{R}{h} = 0.4 \sim 2.0$, $\frac{L}{h} = 4 \sim 20$, 曲げ角度 θ は 120° までである。

曲げによる變形量の測定には板の引張側表面、板巾の中心に、曲げ方向に剃刃を用いて中心線を引き、中心線に沿つて約 2 mm 毎に軽く標線を入れる。この間隔をコンパレータによつて $\frac{1}{1000}$ mm まで讀んで置く。曲げを終つた後スンプ法によつてこの標線をセルロイド板に轉寫



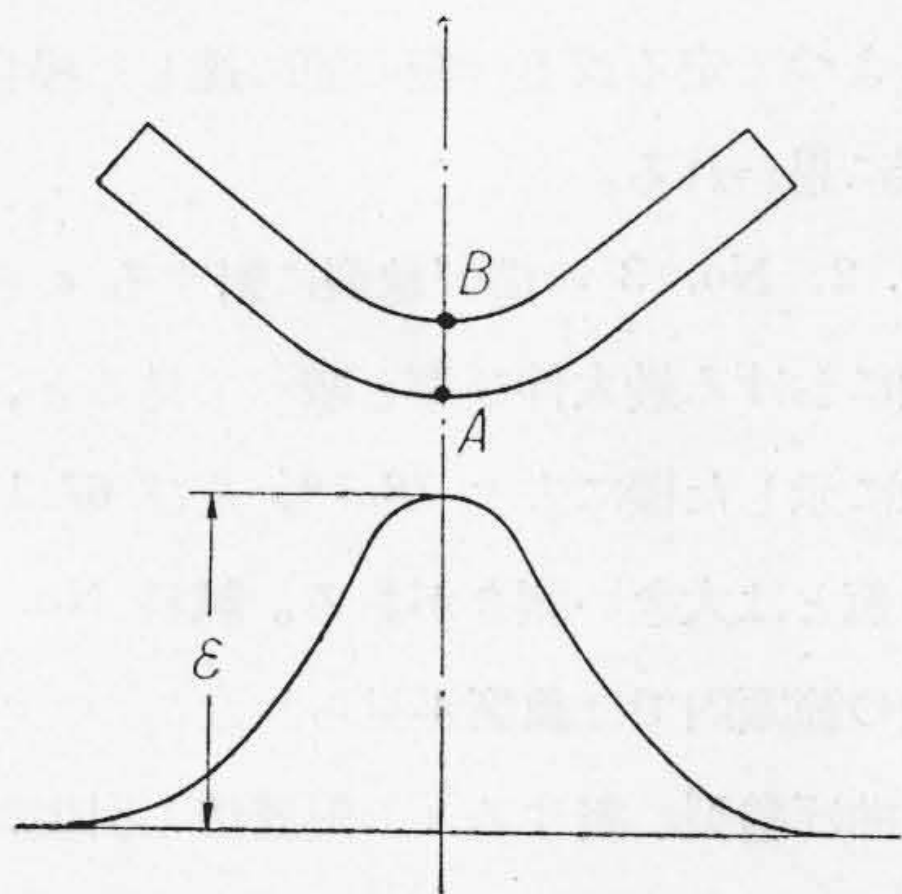
第2図 曲げ実験の方法

Fig. 2. Method of Bending Experiment.

し、之をコンパレータで測定して変形量を求めた。曲げ角度は分度器によつてその都度測定し、亀裂の有無は肉眼検査のみによつた。

[III] 実験結果及び結果の検討

(1) 曲げによる板の変形と雄型先端半径 R との関係
板の曲げ加工を終つた後、引張側表面の歪の分布を調べて見ると、第3図の如くA点における歪度が最も大きく連続的に変化している。A点の歪度即ち引張側表面の最大伸び率を ε で表わし、各試験片について $\frac{L}{h}$, $\frac{R}{h}$ を變えて曲げ実験を行い、夫々の場合に對して曲げ角度 θ と ε との関係を求めたものを第4図に示す。即ち $\frac{L}{h}$, $\frac{R}{h}$ が一定ならば材質及び板厚の如何に拘らず、 ε と θ の関係は1本の曲線で表わすことが出来る様である。而も $\theta < 120^\circ$, $\frac{L}{h} \geq 5$, $\frac{R}{h} \leq 0.5$ の実験において、 $\frac{R}{h}$



第3図 引張側表面の歪の分布

Fig. 3. Strain Distribution on Tension Side Surface.

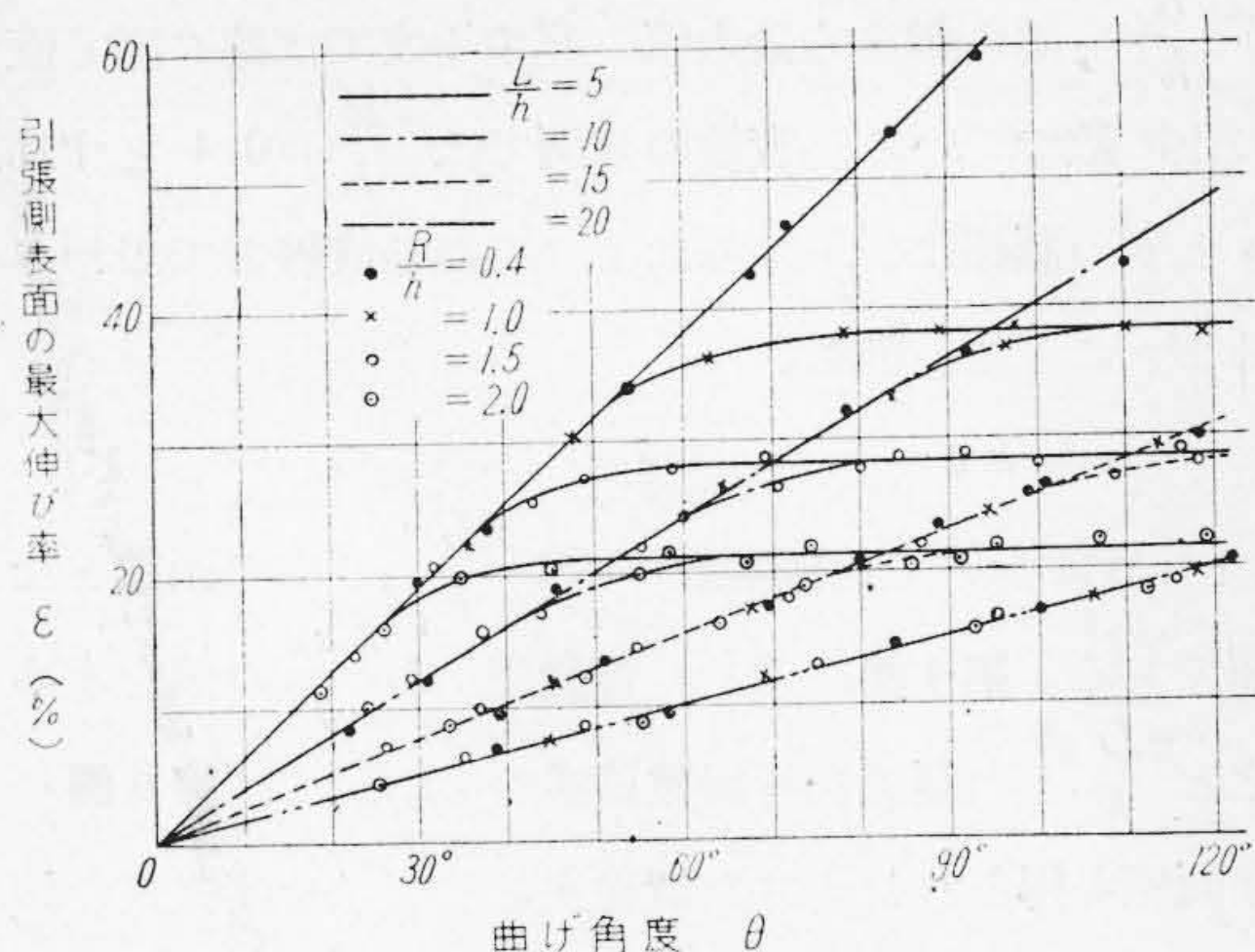
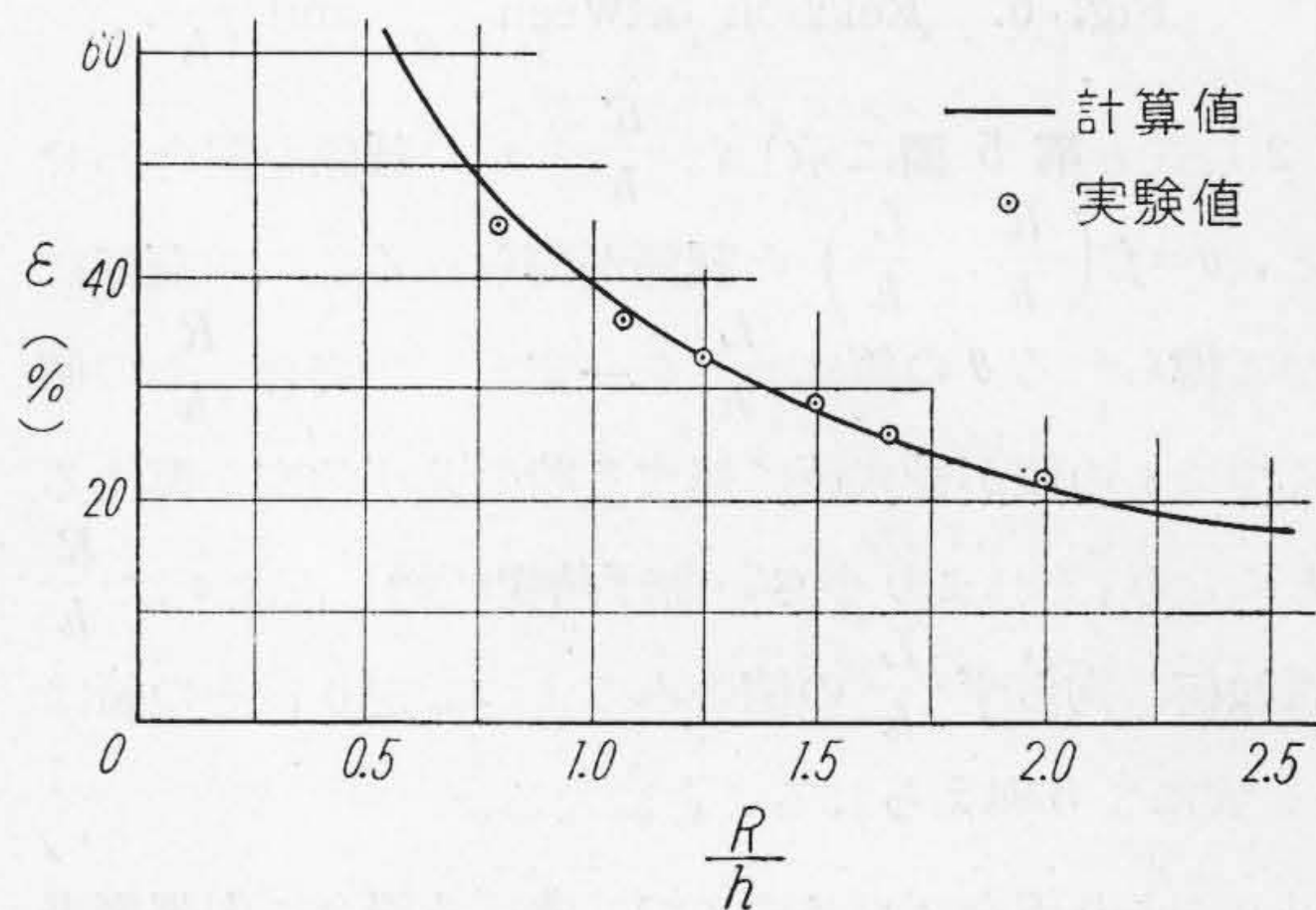
第4図 引張側表面の最大伸び率 ε と曲げ角度との関係

Fig. 4. Relation between Maximum Strain on Tension Side Surface and Bending Angle.

が一定ならば曲げ角度が或る値を越えた場合に ε は或る一定の値に飽和し、それ以上の増加は見られない。この時の ε の値は $\frac{R}{h}$ のみによつて定まり、 $\frac{L}{h}$ には関係しないことが判つた。即ちこの場合にはB点の曲率半径 ρ が雄型先端半径 R に等しくなり、これ以上の変形が妨げられるためであると考えられる。従つてこの場合の歪度は $\rho = R$ と置くことによつて計算によつて求めることが出来る譯である。この場合の ε と $\frac{R}{h}$ との関係を圖示すると第5図の如くなり実験値と計算値とはよく一致する。

第5図 $\frac{R}{h}$ と ε 最大値との関係Fig. 5. Relation between $\frac{R}{h}$ and Maximum Value of ε .

(2) 曲げによる変形と雌型の口巾 L との関係

第4図において ε と θ の関係は $\frac{L}{h}$ を一定とすれば、

ϵ が $\frac{R}{h}$ の値に對する最大値に達するまでは略々同じ直線の上に載っている。實驗の範圍では $\frac{R}{h}=0.4$ とすれば ϵ と θ の關係は $\frac{L}{h}$ のみによつて異なる直線群で表わされることになる。即ち、

$$\epsilon = k\theta \quad \dots\dots\dots(1)$$

(1) 式において比例常數 k は $\frac{L}{h}$ のみの函數となる譯である。第4圖に示した實驗値から $\frac{\epsilon}{\theta}$ の値を求めて之と $\frac{L}{h}$ との關係を片對數目盛の上に記せば第6圖の様な關係が得られた。之を實驗式として示せば次式の如くなる。

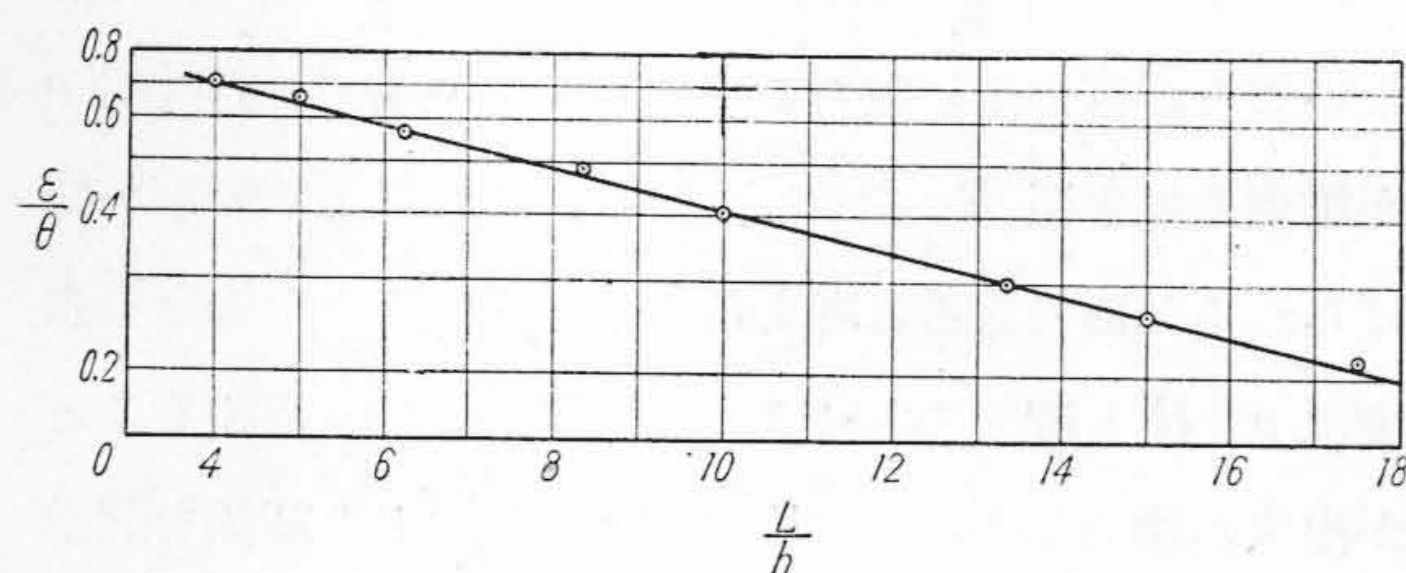
$$\epsilon = \theta e^{-0.09162 \frac{L}{h}} \quad \dots\dots\dots(2)$$

但し

ϵ %

θ 度

e 自然對數の底數



第6圖 $\frac{\epsilon}{\theta}$ と $\frac{L}{h}$ との關係

Fig. 6. Relation between $\frac{\epsilon}{\theta}$ and $\frac{L}{h}$.

(2) 式と第5圖に示した $\frac{R}{h}-\epsilon$ の關係を組合わせると、 $\theta = f\left(\frac{R}{h}, \frac{L}{h}\right)$ の關係が得られる。この關係によつて得られる θ の値は $\frac{L}{h}$ を一定とした場合 $\frac{R}{h}$ の値によつて ϵ の値が最大値に達する時の曲げ角度を與えることになり、それより小さい曲げ角度に對しては ϵ は $\frac{R}{h}$ の値如何に拘らず $\frac{L}{h}$ の値のみによつて定まり、その値は(2)式により與えられることになる。

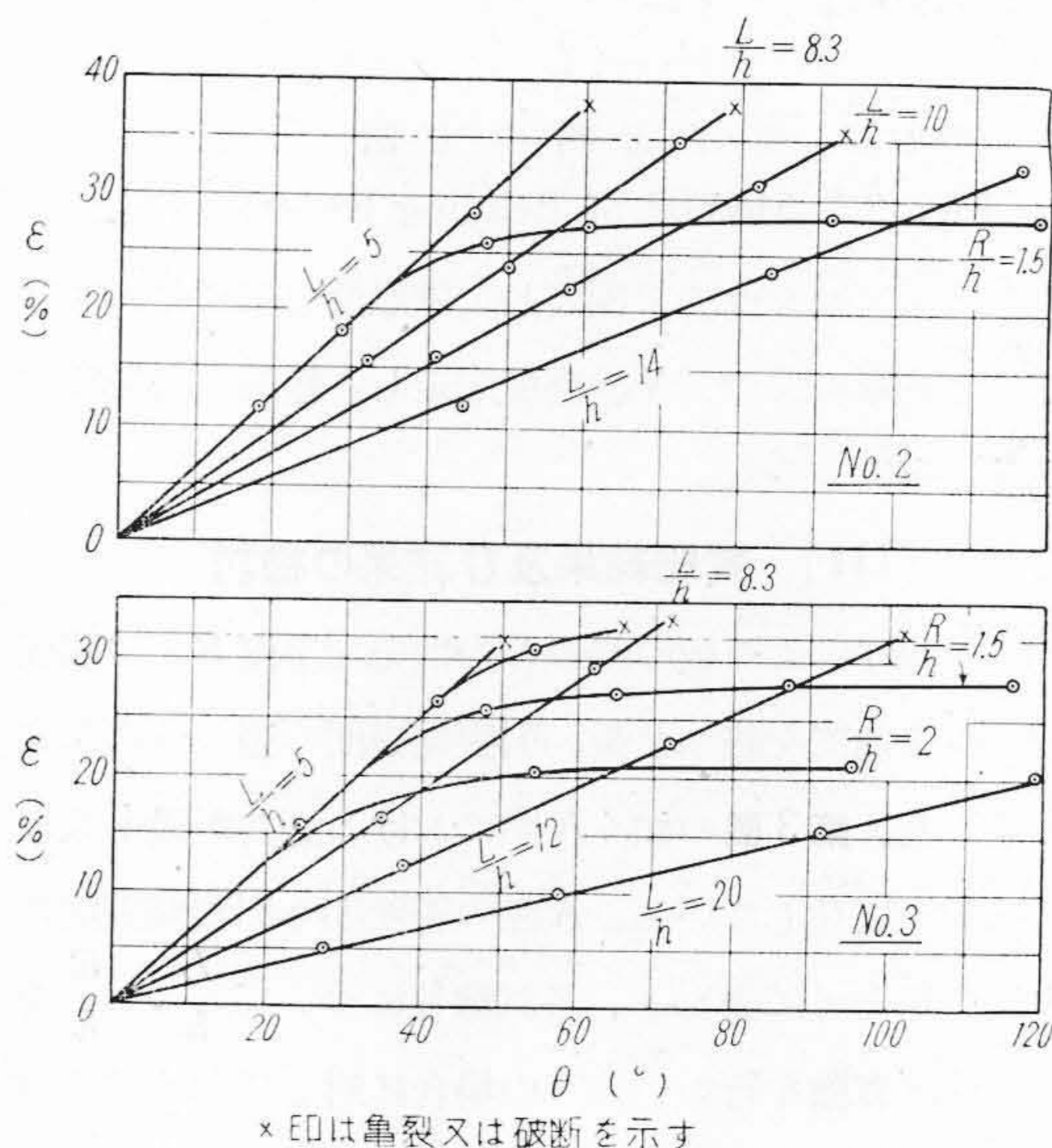
以上により板をプレスによつて曲げる場合に引張側表面に生ずる最大伸び率 ϵ と $\frac{R}{h}$, $\frac{L}{h}$, θ の關係が總て求められたことになる。

(3) 曲げによる破斷の條件

試料 No. 1 に對しては $\frac{L}{h}=4$, $\frac{R}{h}=0.4$, $\theta=110^\circ$ 即ち $\epsilon=77\%$ で引張側表面標線部に僅かに龜裂の發生を

見たことがあつたが、同じ條件に對する他の試験片及び $\epsilon < 77\%$ に對しては龜裂の發生を見なかつた。

試料 No. 2, No. 3 に對する破斷に到るまでの實驗結果を示すと第7圖のようになる。即ち試料 No. 2 に對しては龜裂を生じた場合の ϵ には多少の相異はあるが曲げ型の組合せの如何を問はず $\epsilon=35\sim38\%$ に達した場合に龜裂若しくは破斷するに到っている。試料 No. 3 に對しても同様に $\epsilon=32\sim33.5\%$ に對して龜裂を生じた。



第7圖 試料 No.2, No. 3 に對する實驗結果

Fig. 7. Test Result on Sample No. 2 and No. 3.

以上の實驗から鋼板をプレスによつて曲げる場合には ϵ が材質によつて定まる或る一定の値に達した場合に龜裂が生ずる様に思われる。

試料 No. 2, No. 3 の曲げ龜裂に對する ϵ の限界値を引張試験における最大伸び率と較べて見ると、後者の値は第1表に示した様に夫々 78.7% 及び 67.1% であつて前者の値とは大きい開きがある。試料 No. 1 に對しては實驗の範圍内では龜裂が見られなかつたので不明であるが、曲げ龜裂に對する ϵ の限界値と引張試験における最大伸び率とは必ずしも一致しない様に思われる。

材質を異にする試料の種類が少いけれども、實驗の範圍においては曲げ型の組合せ如何に拘らず ϵ が材質によ

つて定る或る値に達した時に龜裂を生ずると言うことが出来る様に思われる。

(4) 曲げ龜裂に及ぼす切斷及び壓延の影響

試料 No. 4 に對しては板厚が小さいため ϵ の測定が困難であつたので後に述べる曲げ型選定法の検討に用いた。No. 1~No. 3 の試料は板の周邊をも機械仕上げをして用いたもので周邊部から龜裂を生ずることなく、寧ろ中央部から龜裂を生じた。No. 4 の試料に對しては切斷機により切斷したまゝのものを曲げた場合には、板の兩面の何れを引張側とした場合でも必ず周邊部に先ず龜裂を生じた。而もこの龜裂が進展して全體に及ぶことがあり、板は極めて割れ易い。周邊部を研削盤によつて十分丸味をつけて曲げた場合には周邊から龜裂を生ずることなく板の性質はかなり向上した。

又試料 No. 4 は第 1 圖にも見られる通り過度の冷間壓延を受けているものであり、曲げ方向によつて著しい差が見られた。即ち壓延方向に曲げた場合には龜裂が生じ難く、壓延方向に直角に曲げた場合には極めて龜裂を生じ易かつた。但し何れの場合も曲げ龜裂に對する ϵ の限界値は曲げ型の如何に拘らず一定の値をとる様である。

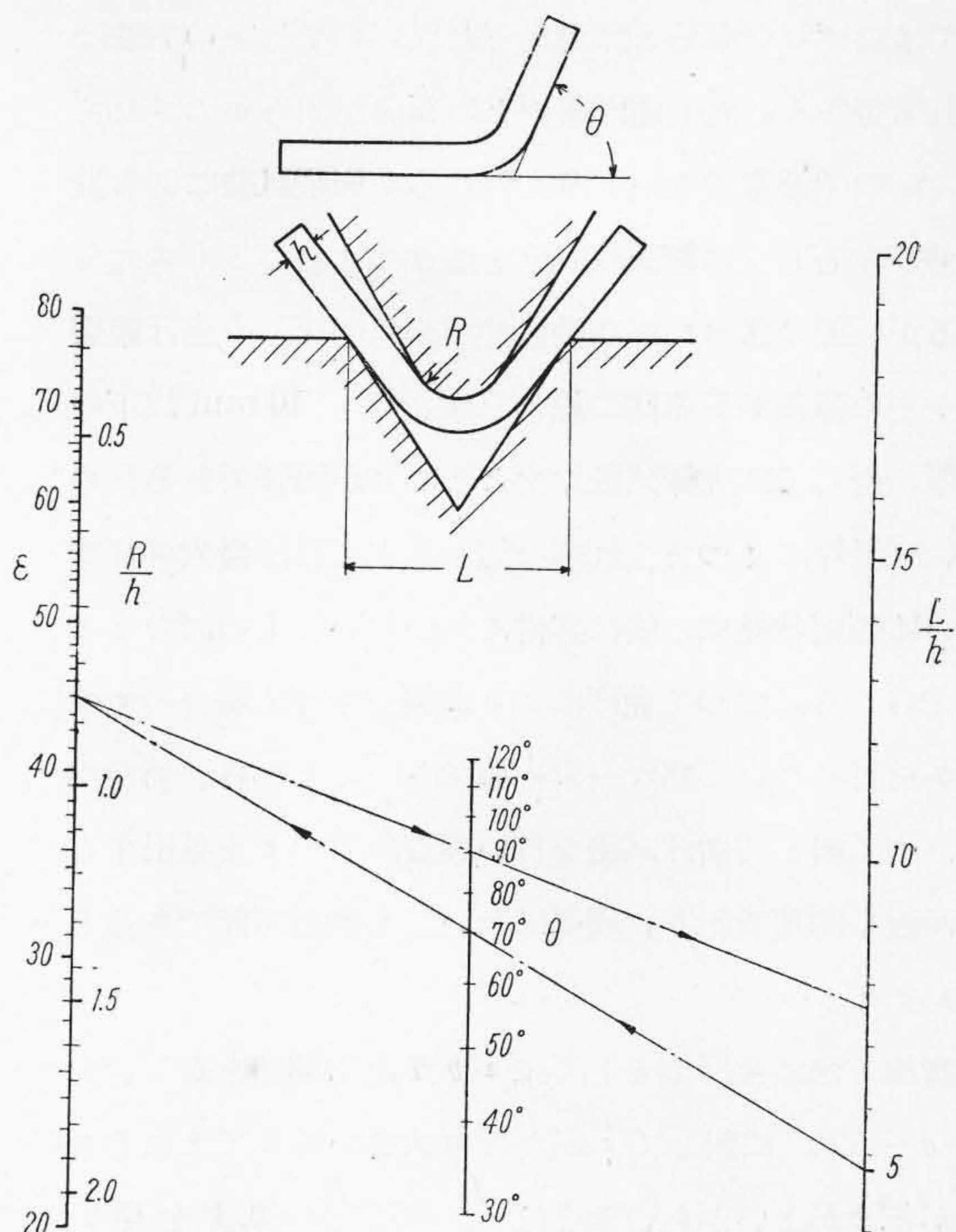
[IV] 雄型及び雌型選定の方法

(1) 計算圖表

第 5 圖における $\frac{R}{h} - \epsilon$ の關係と (2) 式で得られる $\frac{L}{h} - \theta - \epsilon$ の關係をまとめて第 8 圖に示す様な計算圖表に表わした。

第 8 圖は $\frac{L}{h} - \theta - \epsilon$ 及び $\frac{R}{h} - \theta - \frac{L}{h}$ に對する共線圖表であつて同一直線上の ϵ , θ , $\frac{L}{h}$ は $\frac{R}{h} = 0$ の場合に雌型の口巾 $\frac{L}{h}$ と曲げ角度 θ に對する ϵ を與えることになり、同じ様に同一直線上の $\frac{R}{h}$, θ , $\frac{L}{h}$ は雄型を $\frac{R}{h}$, 雌型を $\frac{L}{h}$ としたとき ϵ が最大値に達する時の曲げ角度 θ を與えることになる。 ϵ と $\frac{R}{h}$ を同一直線上に書いたが、 $\frac{R}{h}$ に對應する ϵ は雄型を $\frac{R}{h}$ とした場合の ϵ の最大値を與えている譯である。

ϵ に對する $\frac{L}{h}$, $\frac{R}{h}$, θ の關係は板厚及び材質の如何を問はず一定であることは前に述べた。従つてこの計算



線図使用法

例えば $\frac{L}{h} = 5$, $\frac{R}{h} < 0.4$ によつて曲げたとき $\theta = 70^\circ$ で龜裂を生ずる材料ならば、 $\theta = 90^\circ$ まで曲げるためには

$\frac{R}{h} > 0.9$ とするか或いは

$\frac{L}{h} > 8$ とすれば龜裂を生ずることなく曲げることが出来る

適用範圍

$\frac{L}{h} = 4 \sim 20$, $\theta \leq 120^\circ$

第 8 圖 曲げ型選定用計算圖表

Fig. 8. Nomograph for the Determination of the Dimensions of Punch and Die.

圖表によりプレス曲げのあらゆる場合に對して ϵ が求められることになる譯である。

(2) 雄型及び雌型選定の方法

プレス曲げを実施する場合特定の曲げ角度 θ に對しては $\frac{R}{h}$ 及び $\frac{L}{h}$ を出来るだけ大きくとれば龜裂を生じ難いことは明らかであるが、設計上又は製品の出來榮の上からは出来るだけ $\frac{R}{h}$, $\frac{L}{h}$ を小さくすることが望ましい。従つて龜裂を生じない範圍で出来るだけ $\frac{R}{h}$, $\frac{L}{h}$ の小さい値を選定することが必要となる。

型を選ぶ場合に先ず問題となるのは板の材質であるが材質を知る方法としては機械的、化學的、金屬學的方法が種々考えられるが市販の壓延鋼材に對しては拔取試験

等では必ずしも十分とは考えられないので以上の方法は何れも労多く、而も曲げ龜裂との関係が明らかにされていないので適當でないと考えられる。引張試験による最大伸び率若しくは断面収縮率を基準とすることも考えられるが、前に述べた様に最大伸び率は必ずしも曲げ龜裂と一定の関係がある様に思われず、而も 10 mm 以下の板厚に對しては丸棒試験片をとることが困難であるために、試験片によつてこれ等の値を測定すれば最大伸び率或いは断面収縮率の値は非常にあいまいなものになると考えられる。依つて曲げにより龜裂を生ずる場合の ϵ の値が材質について略々一定の値であることから、特定の曲げ型に對して曲げ試験を行い龜裂限界の ϵ を見出すことが最も確實であり、現場においても實施可能であると思われる。

實施方法は曲げ型としては $\epsilon-\theta$ が直線関係を有し、而も $\theta \leq 120^\circ$ に對して ϵ がかなり大きい値までとれるものが都合がよいから、例えば $\frac{L}{h}=5$, $\frac{R}{h}=0.4$ を用いて曲げ試験の要領で龜裂の生ずる角度 θ を求めると、第 8 圖から直ちに龜裂限界の ϵ を求めることが出来る。

龜裂限界の ϵ の値が求められれば特定の曲げ角度 θ に對して ϵ が限界値以下になる様な雄型或いは雌型を第 8 圖から容易に求めることが出来る。

(3) 實 施 例

試料 No. 4 に對して以上の方法により龜裂限界の ϵ を求めた。

(A) 壓延方向に曲げた場合

雄型を $\frac{R}{h}=0.2$, 雌型を $\frac{L}{h}=6$ とした時龜裂を生じた曲げ角度は $\theta=86^\circ$ となつた。従つてこの場合に對する龜裂限界の ϵ は 50% 前後と考えられる。

この材料は $\frac{R}{h}=0.2$, $\frac{L}{h}=10$, $\theta \leq 110^\circ$ なる曲げに對して全く龜裂の發生を見なかつた。又雄型の適當なものが得られなかつたので安全過ぎる例ではあるが、 $\frac{R}{h}=1.6$ とした場合 $\frac{L}{h}=6$ に對して $\theta \leq 120^\circ$ で龜裂は認められなかつた。

(B) 壓延方向に直角に曲げた場合

$\frac{R}{h}=0.2$, $\frac{L}{h}=16$ に對しては $\theta=70^\circ$, $\frac{L}{h}=20$ に對

しては $\theta=90^\circ$ で龜裂を生じた。従つてこの場合に對する龜裂限界の ϵ は 14% 前後であることが判り、(A) の場合に較べて相當低い値となつている。

この材料は $\frac{R}{h}=4$, $\frac{L}{h}=10$, $\theta \leq 100^\circ$ に對して龜裂を認めなかつた。

以上少數の實驗ではあるが前に述べた選定法はかなり信頼出来るものと思われる。

[V] 結 言

以上の結果を要約すると次の如くなる。

(1) 雄型の先端半徑と板厚の比 $\frac{R}{h}$ を一定にして板を曲げれば引張側の最大伸び率 ϵ の値は一定の値に飽和し、この値は板厚、材質及び雌型の口巾と板厚の比 $\frac{L}{h}$ の値には關係なく $\frac{R}{h}$ のみによつて定る値である。

(2) $\frac{R}{h}$ の値が小さい場合又は ϵ の値が $\frac{R}{h}$ に對する飽和値に達するまでは ϵ は $\frac{L}{h}$ 及び曲げ角度 θ のみによつて定る。

(3) 以上の關係を計算圖表にまとめて任意の曲げ角度及び曲げ型に對して ϵ が直ちに求められる様にした。

(4) 曲げ型の組合せ如何に關係なく板は ϵ が材質によつて定る或る一定の値に達した時に龜裂を生ずる。従つて曲げ試験を實施することによつて龜裂を生ずることなく特定の曲げ角度まで曲げるための型を選ぶことが出来る。

以上の研究結果を實用化するため小型の曲げ試験機を製作して現場に据付け、客電車の側柱其の他の部品のプレス曲げ作業に應用した結果從來多く出た不良を完全に一掃することが出来た。

参 考 文 獻

- (1) 渡邊正純：機械學會論文集 12—43 號。
- (2) 根來祥三郎：機械學會論文集 14—48 號
- (3) 寺澤一雄：造船協會會報 61, 63.
- (4) 荒井齊勇：プレスの理論と現場作業 71~73 (昭 23).
- (5) 菊池正彦：マシナリー特集最新プレス加工 89~93 (昭 23).
- (6) 景浦敬次郎：日評 29—3 號 71~76.