621.981.01:539.388.23

薄板の曲げ加工に関する研究*

(第3報, 合せ板のスプリングバック, その2)

鈴木 秀雄**, 高野 英資**

A Study on the Plastic Bending of Sheet Metals

(3rd Report, The Spring Back of the Clad Sheet Metals, Part 2)

by Hideo Suzuki and Eisuke Takano

In this paper, the spring back in the plastic bending of a single clad sheet metal was treated theoretically and experimentally in the same way as in that of a double clad sheet metal previously reported.

In consideration of the variations of the stress states in loading due to the work conditions and the differences among the mechanical properties of the clad and base metal of the clad sheet metals, eighteen equations for the spring back were obtained theoretically.

The results of the spring back calculations agree well with the experimental results. Then, the effect of the clad ratios etc. on the spring back is made clear. Brass, Phosphor-Bronze and Nickel-Silver clad in Silver were used as the tested materials.

1. 緒 言

近時, 通信工業あるいは重化学工業等において, 合せ板が単一材料だけでは得られない利点を認められて, 広く用いられてきているようであるが, その塑性加工に関する研究はほとんど行なわれていないようである. 先に, 著者らは薄板の曲げ加工に関する研究の一つとして両面合せ板の曲げ加工におけるスプリングバックを取上げて, 理論的ならびに実験的検討を行なった結果について報告した⁽¹⁾. スプリングバックを与える理論式は合せ板のもつ性質上, 加工時における応力ひずみ状態を考慮して解析的に求められ, さらに, 通信機器材料として用いられている各種銅合金合せ板について実験した結果は理論値に対してかなりよい一致を見せた.

本報では, 前報に続いて, 母材の一方の側に異種金属または合金をクラッドさせた片面合せ板 (たとえばバイメタルのごときもの) について, その曲げ加工におけるスプリングバックを理論的ならびに実験的に検討した結果について報告する. 本報の片面合せ板の場合には, 中立軸が弾性論的に求められる位置から移動しないという仮定のもとにおいてすら, その中立軸の

位置関係, 材料の機械的性質ならびにクラッド比などによって, 負荷時に合せ板の応力状態は前報の両面合せ板の場合よりいっそう複雑なものとなつて, 後述するような22種類の応力状態について, それぞれスプリングバックを与える理論式を導かなければならない. なお, ここでも前報と同様に, 理論は, いわゆる曲げ返しがない場合のスプリングバックについて取扱っている. 実験は前報と同種の片面合せ板について行ない, 理論値との比較を試みた.

2. 理 論

2.1 片面合せ板の横断面における応力状態 はじめに, 本報におけるスプリングバックの解析に用いた仮定を以下に示す. すなわち,

- i) 合せ板の各部材は全長にわたり等質で平等横断面をもつ.
- ii) 合せ板の横断平面は曲げられた後も平面をたもち, 縦繊維に直交している.
- iii) 中立軸は母材, クラッド材ともに弾性限度内の応力状態にあるときの位置から移動しない.
- iv) 材料の実応力-ひずみ関係は次式で与えられ, この関係は引張りと圧縮において変らない. すなわち,

$$0 \leq \sigma \leq \sigma_y; \quad \epsilon = \sigma/E_1 \dots\dots\dots (1)$$

$$\epsilon = \sigma/E_2 \dots\dots\dots (2)$$

* 昭和35年4月1日第37期通常総会講演会および昭和36年6月2日新潟地方講演会において講演, 原稿受付 昭和36年10月20日.

** 正員, 新潟大学工学部 (長岡市学校町1).

$$\sigma_y < \sigma; \quad \varepsilon = \frac{\sigma_{y1}}{E_1} + \left(\frac{\sigma - \sigma_{y1}}{F_1} \right)^{1/n_1} \dots\dots (3)$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma_{y2}}{E_2} + \left(\frac{\sigma - \sigma_{y2}}{F_2} \right)^{1/n_2} \dots\dots (4)$$

ここに, σ : 実応力, ε : ひずみ,
 E : 縦弾性係数, σ_y : 降伏応力,
 F : 硬化係数, n : 硬化指数

添字 1, 2 はそれぞれ負荷時においてダイス側およびポンチ側にある材料を示すものとする。

以上の仮定は前報と同様な立場に立つものである。この仮定から, 負荷時の材料の横断面における縦繊維の応力およびひずみ状態の一例を図示すれば第1図のごとくで, 加工の進行につれて塑性域はしだいに広がり, 中立軸付近にわずかに弾性変形のみをうける縦繊維を残すようになる。

さて, 母材, クラッド材のもつ機械的性質および加工条件等の違いから, 合せ板が負荷時にとりうる最終応力状態は第2図に示すように22種類に分類できる。もちろん, これらは中立軸がダイス側材料内にある場合, ポンチ側材料内にある場合および特殊な場合として両材料の境界部にある場合が考慮されている。したがって, スプリングバックを与える理論式は以上の各種類について, それぞれ求めなければならない。な

第1図

お, 22種類の応力状態のうち, 第2図において, (1), (10), (19)の3種については合せ板各部材の縦繊維がいずれも塑性域への変形をうけないので, スプリングバックを求める解析の対象とはならない。

2.2 理論式の誘導 ここではもっとも普通にあらわれるであろうと思われる応力状態として(9)形を取上げて解析を試みる。第3図に示すように, 中立軸上の原点 O_e からダイスに接する材料表面に座標原点を移して η 軸を定める。その原点 O_η から中立軸までの距離を $\bar{\eta}$, 中立軸より降伏応力をうける a 点および A 点までの距離を y_a , y_A とし, また O_η より材料境界部までの距離を h_1 , 合せ板の全厚を h_2 とする。ここで $\bar{\eta}$ は前述の仮定から次式で与えられる。

$$\bar{\eta} = \frac{(E_1 - E_2)h_1^2 + E_2h_2^2}{2\{(E_1 - E_2)h_1 + E_2h_2\}}$$

第3図

(A) 中立軸がダイス側材料内にある場合 ($1 < R_2/R_1 < 1 + \sqrt{E_1/E_2}$)

(B) 中立軸がポンチ側材料内にある場合 ($R_2/R_1 < 1 + \sqrt{E_1/E_2}$)

(C) 中立軸が材料境界部にある場合 ($R_2/R_1 = 1 + \sqrt{E_1/E_2}$)

第2図

$$\text{あるいは } \frac{\bar{\eta}}{h_1} = \frac{(1-E_2/E_1) + (E_2/E_1)(h_2/h_1)^2}{2\{(1-E_2/E_1) + (E_2/E_1)(h_2/h_1)\}}$$

既報と同じく除荷後はすべて' を付するものとすれば, 加工中のひずみは

$$a \text{ 点において } \epsilon_a = y_a/R = (\eta_a - \bar{\eta})/R = \sigma_{y1}/E_1 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$A \text{ 点において } \epsilon_A = y_A/R = (\eta_A - \bar{\eta})/R = \sigma_{y2}/E_2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\eta \text{ において } \epsilon = (\eta - \bar{\eta})/R \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{除荷後は } \epsilon' = (\eta - \bar{\eta})/R' \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここに, R, R' は負荷時ならびに除荷後の合せ板中立軸の曲率半径である.

$$\text{さて, } \epsilon' \text{ のうち残留弾性ひずみ分 } \epsilon_{ei}' \text{ は一般に } \epsilon_{ei}' = \frac{\sigma_i}{E_i} - \left(\frac{\eta - \bar{\eta}}{R} - \frac{\eta - \bar{\eta}}{R'} \right) \quad i=1, 2$$

で与えられる. この ϵ_{ei}' を合せ板各部材について負荷時に縦繊維のとり二つの状態, すなわち, 弾性限度内で加工を終える部分と塑性域まで移行する部分に分けて求めれば以下のとおりである.

$$i) \quad 0 \leq \eta \leq \bar{\eta} - y_a$$

$$\epsilon_{e1}' = \frac{\eta - \bar{\eta}}{R} + (-1)^{n_1+1} \frac{F_1}{E_1} \left(\frac{\eta - \bar{\eta}}{R} + \frac{y_a}{R} \right)^{n_1} - \left(\frac{\eta - \bar{\eta}}{R} + \frac{y_a}{R} \right) \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$ii) \quad \bar{\eta} - y_a \leq \eta \leq \bar{\eta} + y_a$$

$$\epsilon_{e2}' = (\eta - \bar{\eta})/R' \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$iii) \quad \bar{\eta} + y_a \leq \eta \leq h_1$$

$$\epsilon_{e3}' = \frac{\eta - \bar{\eta}}{R'} + \frac{F_1}{E_1} \left(\frac{\eta - \bar{\eta}}{R} - \frac{y_a}{R} \right)^{n_1} - \left(\frac{\eta - \bar{\eta}}{R} - \frac{y_a}{R} \right) \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$iv) \quad h_1 \leq \eta \leq h_2$$

$$\epsilon_{e4}' = \frac{\eta - \bar{\eta}}{R'} + \frac{F_2}{E_2} \left(\frac{\eta - \bar{\eta}}{R} - \frac{y_A}{R} \right)^{n_2} - \left(\frac{\eta - \bar{\eta}}{R} - \frac{y_A}{R} \right) \quad \dots\dots\dots (12)$$

静的平衡条件は (9)~(12) 式を用いて次式を得る.

$$\int_0^{\bar{\eta}-y_a} E_1 \epsilon_{e1}' \eta d\eta + \int_{\bar{\eta}-y_a}^{\bar{\eta}+y_a} E_1 \epsilon_{e2}' \eta d\eta + \int_{\bar{\eta}+y_a}^{h_1} E_1 \epsilon_{e3}' \eta d\eta + \int_{h_1}^{h_2} E_2 \epsilon_{e4}' \eta d\eta = 0 \quad \dots\dots\dots (13)$$

これを解いて整理すれば

$$\begin{aligned} R/R' = & (1/A^2 D) [(1-\zeta)^3 (4X_1^3 - 3X_1 + 1) \\ & + 3(1-\zeta)^2 \zeta \xi \{4X_1^3 - (5-2\xi)X_1 + (2-\xi)\} \\ & + 3(1-\zeta) \zeta^2 \xi^2 \{4X_1^3 - (6-2\xi-\xi^2)X_1 + (3-2\xi)\} \\ & + \zeta^3 \xi^3 \{4X_1^3 - 3(2+\xi^2)X_1 + (4-3\xi)\}] \\ & - \{12K_1/(n_1+1)(n_1+2)A^2 D\} [(B_1/A)^{n_1-1} [(1-\zeta)^3 (X_1-1/2)^3 \\ & + 3(1-\zeta)^2 \zeta \xi \{X_1^3 - (1+\xi/2)X_1^2 + (1+2\xi)X_1/4 - \xi/8\} \\ & + 3(1-\zeta) \zeta^2 \xi^2 \{X_1^3 - (1+2\xi)X_1^2/2 + (2\xi+\xi^2)X_1/4 - \xi^2/8\} + \zeta^3 \xi^3 (X_1-\xi/2)^3] \\ & + (B_2/A)^{n_1-1} [(1-\zeta)^3 \{X_1^3 + (2n_1+1)X_1^2/2 - (4n_1+5)X_1/4 + (2n_1+3)/8\} \\ & + (1-\zeta)^2 \zeta \xi \{3X_1^3 + 3(n_1+\xi/2)X_1^2 - \{(16n_1+17)/4 - (4n_1+2)\xi/4\} X_1 + (5n_1+7)/4 - (4n_1+5)\xi/8\} \\ & + (1-\zeta) \zeta^2 \xi^2 \{3X_1^3 + 3\{(2n_1-1)/2 + \xi\} X_1^2 - \{(5n_1+4) - (4n_1-1)\xi/2 - 3\xi^2/4\} X_1 \\ & + (4n_1+5)/4 - 3(n_1+1)\xi/2 - (2n_1+1)\xi^2/8\} \\ & + \zeta^3 \xi^3 \{X_1^3 + \{(n_1-1) + 3\xi/2\} X_1^2 - \{(2n_1+1) + (n_1-1)\xi - 3\xi^2/4\} X_1 \\ & + \{(n_1+1) - (2n_1+1)\xi/2 + (n_1-1)\xi^2/4 + \xi^3/8\}]]] \\ & + (\zeta \xi^3/A^2 D) [(1-\zeta)^3 \{6(1/\xi^2-1)X_2 + (4-3/\xi-1/\xi^3)\} \\ & + (1-\zeta)^2 \zeta \xi \{18(1/\xi^2-1)X_2 + 3(3-2/\xi+1/\xi^2-2/\xi^3)\} \\ & + (1-\zeta) \zeta^2 \xi^2 \{18(1/\xi^2-1)X_2 + 3(2-1/\xi+2/\xi^2-3/\xi^3)\} \\ & + \zeta^3 \xi^3 \{6(1/\xi^2-1)X_2 + (1+3/\xi^2-4/\xi^3)\}] \\ & - \{12K_2 \zeta \xi^3/(n_2+1)(n_2+2)A^2 D\} [(C_1/A)^{n_2-1} [(1-\zeta)^3 \{X_2^3 + \{(n_2-1) + 3/2\xi\} X_2^2 \\ & - \{(2n_2+1) - (n_2-1)/\xi - 3/4\xi^2\} X_2 + \{(n_2+1) - (2n_2+1)/2\xi + (n_2-1)/4\xi^2 + 1/8\xi^3\}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + (1-\zeta)^2 \zeta \xi [3X_2^3 + 3\{(2n_2-1)/2 + 1/\xi\} X_2^2 - \{(5n_2+4) - (4n_2-1)/4\xi - 3/4\xi^2\} X_2 \\
& + \{(4n_2+5)/2 - 3(n_2+1)/2\xi + (2n_2+1)/8\xi^2\}] \\
& + (1-\zeta) \zeta^2 \xi^2 [3X_2^3 + 3(n_2+1)/2\xi X_2^2 - \{(16n_2+17)/4 - (2n_2+1)/2\xi\} X_2 \\
& + \{(5n_2+7)/4 - (4n_2+5)/8\xi\} \\
& + \zeta^3 \xi^3 \{X_2^3 + (2n_2+1)X_2^2/2 - (4n_2+5)X_2/4 + (2n_2+3)/8\}] \\
& - (C_2/A)^{n_2-1} \{(1-\zeta)^3 \{X_2^3 + (2n_2+1)X_2^2/2\xi - (4n_2+5)X_2/4\xi^2 + (2n_2+3)/8\xi^3\} \\
& + (1-\zeta)^2 \zeta \xi [3X_2^3 + 3(1/2 + n_2/\xi) X_2^2 + \{(2n_2+1)/2\xi - (16n_2+17)/4\xi^2\} X_2 \\
& + \{-(4n_2+5)/8\xi^2 + (5n_2+7)/4\xi^3\}] \\
& + (1-\zeta) \zeta^2 \xi^2 [3X_2^3 + 3\{1 + (2n_2-1)/2\xi\} X_2^2 + \{3/4 + (4n_2-1)/2\xi \\
& - (5n_2+4)/\xi^2\} X_2 + \{(2n_2+1)/8\xi - 3(n_2+1)/2\xi^2 + (4n_2+5)/2\xi^3\}] \\
& + \zeta^3 \xi^3 \{X_2^3 + \{3/2 + (n_2-1)/\xi\} X_2^2 + \{3/4 + (n_2-1)/\xi - (2n_2+1)/\xi^2\} X_2 \\
& + \{1/8 + (n_2-1)/4\xi - (2n_2+1)/2\xi^2 + (n_2+1)/\xi^3\}\}] \dots\dots\dots (14)
\end{aligned}$$

ここに,

$$\begin{aligned}
X_1 &= \frac{R\sigma_{y1}}{E_1 h_1}, \quad X_2 = \frac{R\sigma_{y2}}{E_2 h_2}, \quad \zeta = \frac{E_2}{E_1}, \quad \xi = \frac{h_2}{h_1}, \quad K_1 = \frac{F_1}{E_1}, \quad K_2 = \frac{F_2}{E_2} \\
A &= (1-\zeta) + \zeta \xi \\
B_1 &= (1-\zeta)(h_1/2R - \sigma_{y1}/E_1) + \zeta \cdot \xi (h_2/2R - \sigma_{y1}/E_1) \\
B_2 &= (1-\zeta)(h_2/2R - \sigma_{y1}/E_1) + \zeta \cdot \xi (h_1/2R - h_2/2R - \sigma_{y1}/E_1) \\
C_1 &= (1-\zeta)(h_2/R - h_1/2R - \sigma_{y2}/E_2) + \zeta \cdot \xi (h_2/2R - \sigma_{y2}/E_2) \\
C_2 &= (1-\zeta)(h_1/2R - \sigma_{y2}/E_2) + \zeta \cdot \xi (h_1/R - h_2/2R - \sigma_{y2}/E_2) \\
D &= (1-\zeta)^2 + 2(1-\zeta)\zeta \cdot \xi (2-3\xi+2\xi^2) + \zeta^2 \xi^4
\end{aligned}$$

(14) 式が第2図(a)-(9)に示す応力状態の場合の除荷後のスプリングバックを与える。なお、この場合、 y_a , y_A はそれぞれ $0 < y_a \leq h_1 - \bar{\eta}$, および $0 < y_A \leq h_1 - \bar{\eta}$ なる条件を満足する範囲内になければならない。

単一材料の場合として、 $E_1 = E_2 = E$, $\sigma_{y1} = \sigma_{y2} = \sigma_y$, $K_1 = K_2 = K$, $n_1 = n_2 = n$, $h_1 = h_2 = h$ とおけば (14) 式は次のごとく書きかえられて、先に単一材料の場合について求めた式⁽²⁾に一致する。すなわち,

$$\begin{aligned}
\frac{R}{R'} &= 4 \left\{ 1 - \frac{6K}{(n+1)(n+2)} \left(\frac{h}{2R} - \frac{\sigma_y}{E} \right)^{n-1} \right\} X^3 - \frac{12K(n-1)}{(n+1)(n+2)} \left(\frac{h}{2R} - \frac{\sigma_y}{E} \right)^{n-1} X^2 \\
&- 3 \left\{ 1 - \frac{2K(2n+1)}{(n+1)(n+2)} \left(\frac{h}{2R} - \frac{\sigma_y}{E} \right)^{n-1} \right\} X + \left\{ 1 - \frac{3K}{n+2} \left(\frac{h}{2R} - \frac{\sigma_y}{E} \right)^{n-1} \right\} \dots\dots\dots (15)
\end{aligned}$$

ここに, $X = R\sigma_y/Eh$

また、合せ板材料が完全塑性体として取扱ってよい場合には、(14)式において $K_1 = 0$ か $K_2 = 0$ あるいは $K_1 = K_2 = 0$ として R/R' が求められる。

いま、 $K_1 = K_2 = 0$ とおけば (14) 式は以下のように簡略化された式となる。すなわち,

$$\begin{aligned}
R/R' &= (1/A^2 D) [(1-\zeta)^3 (4X_1^3 - 3X_1 + 1) \\
&+ 3(1-\zeta)^2 \zeta \xi \{4X_1^3 - (5-2\xi)X_1 + (2-\xi)\} \\
&+ 3(1-\zeta) \zeta^2 \xi^2 \{4X_1^3 - (6-2\xi-\xi^2)X_1 + (3-2\xi)\} \\
&+ \zeta^3 \xi^3 \{4X_1^3 - 3(2+\xi^2)X_1 + (4-3\xi)\}] \\
&+ (\zeta \xi^3 / A^2 D) [(1-\zeta)^3 \{6(1/\xi^2 - 1)X_2 + (4-3/\xi - 1/\xi^3)\} \\
&+ (1-\zeta)^2 \zeta \cdot \xi \{18(1/\xi^2 - 1)X_2 + 3(3-2/\xi + 1/\xi^2 - 2/\xi^3)\} \\
&+ (1-\zeta) \zeta^2 \cdot \xi^2 \{18(1/\xi^2 - 1)X_2 + 3(2-1/\xi + 2/\xi^2 - 3/\xi^3)\} \\
&+ \zeta^3 \cdot \xi^3 \{6(1/\xi^2 - 1)X_2 + (1+3/\xi^2 - 4/\xi^3)\}] \dots\dots\dots (16)
\end{aligned}$$

さらに、実応力-ひずみ曲線の形のいかんによっては、(14)式において $n_1 = 1$ か $n_2 = 1$ あるいは $n_1 = n_2 = 1$ とおいたほうがよい場合もある。

以上片面合せ板が負荷時に与える最終応力状態の一例について、スプリングバックを与える理論式を導いたが、その他の形の場合についてもいまと同様の手続きで求めることができる。ここでは紙数の関係と曲げ型の設計の実際の場合を考慮して、前述のごとく理論式を著しく簡略化することができる母材、クラッド材ともに完全

塑性体とした場合 ($K_1=K_2=0$) について, 応力状態の各形の場合への適用条件とスプリングバックを与える理論式を結果のみ以下に示す.

(a) 中立軸がダイス側材料内にある場合 ($1 < \xi < 1 + \sqrt{1/\zeta}$)

(2) 形: $(h_1 - \bar{\eta})/h_1 \leq X_1 \leq \bar{\eta}/h_1, (h_2 - \bar{\eta})/h_1 \leq \xi X_2$

$$R/R' = (1/A^2 D) [(1-\zeta)^3 (2X_1 - 1)^3 + 3(1-\zeta)^2 \zeta \cdot \xi \{8X_1^3 - 4(2+\xi)X_1^2 + 2(1+2\xi)X_1 - \xi\} + 3(1-\zeta)\zeta^2 \cdot \xi^2 \{8X_1^3 - 4(1+2\xi)X_1^2 + 2(2\xi + \xi^2)X_1 - \xi^2\} + \zeta^3 \xi^3 (2X_1 - \xi)^3] \dots (17)$$

(3) 形: $0 < X_1 \leq (h_1 - \bar{\eta})/h_1, (h_2 - \bar{\eta})/h_1 \leq \xi X_2$

$$R/R' = (1/AD) [(1-\zeta)^2 (4X_1^3 - 3X_1 + 1) + (1-\zeta)\zeta \cdot \xi \{8X_1^3 - 6(2-\xi)X_1 + (5-3\xi)\} + \zeta^2 \cdot \xi^2 \{4X_1^3 - 3(2-\xi^2)X_1 + (4-3\xi)\}] \dots (18)$$

(4) 形: $\bar{\eta}/h_1 \leq X_1, (h_1 - \bar{\eta})/h_1 \leq \xi X_2 \leq (h_2 - \bar{\eta})/h_1$

$$R/R' = (\zeta \xi^3 / 4A^2 D) [(1-\zeta)^3 \{8X_2^3 + (12/\xi)X_2^2 - 6(4-1/\xi^2)X_2 + (16-12/\xi + 1/\xi^3)\} + 3(1-\zeta)^2 \zeta \xi \{8X_2^3 + 4(1+2/\xi)X_2^2 - 2(12-2/\xi - 1/\xi^2)X_2 + (12-8/\xi + 1/\xi^2)\} + 3(1-\zeta)\zeta^2 \xi^2 \{8X_2^3 + 4(2+1/\xi)X_2^2 - 2(11-2/\xi)X_2 + (8-3/\xi)\} + \zeta^3 \cdot \xi^3 \{8X_2^3 + 12X_2^2 - 18X_2 + 5\}] \dots (19)$$

(5) 形: $(h_1 - \bar{\eta})/h_1 \leq X_1 \leq \bar{\eta}/h_1, (h_1 - \bar{\eta})/h_1 \leq \xi X_2 \leq (h_2 - \bar{\eta})/h_1$

$$R/R' = 1/4A^2 D \cdot [(1-\zeta)^3 (2X_1 - 1)^3 + 3(1-\zeta)^2 \zeta \xi \{8X_1^3 - 4(2+\xi)X_1^2 + 2(1+2\xi)X_1 - \xi\} + 3(1-\zeta)\zeta^2 \xi^2 \{8X_1^3 - 4(1+2\xi)X_1^2 + 2(2\xi + \xi^2)X_1 - \xi^2\} + \zeta^3 \cdot \xi^3 (2X_1 - \xi)^3 + (\zeta \xi^3 / 4A^2 D) [(1-\zeta)^3 \{8X_2^3 + (12/\xi)X_2^2 - 6(4-1/\xi^2)X_2 + (16-12/\xi + 1/\xi^3)\} + 3(1-\zeta)^2 \zeta \xi \{8X_2^3 + 4(1+2/\xi)X_2^2 - 2(12-2/\xi - 1/\xi^2)X_2 + (12-8/\xi + 1/\xi^2)\} + 3(1-\zeta)\zeta^2 \xi^2 \{8X_2^3 + 4(2+1/\xi)X_2^2 - 2(11-2/\xi)X_2 + (8-3/\xi)\} + \zeta^3 \xi^3 \{8X_2^3 + 12X_2^2 - 18X_2 + 5\}] \dots (20)$$

(6) 形: $0 < X_1 \leq (h_1 - \bar{\eta})/h_1, (h_1 - \bar{\eta})/h_1 \leq \xi X_2 \leq (h_2 - \bar{\eta})/h_1$

$$R/R' = (1/AD) [(1-\zeta)^2 (4X_1^3 - 3X_1 + 1) + (1-\zeta)\zeta \xi \{8X_1^3 - 6(2-\xi)X_1 + (5-3\xi)\} + \zeta^2 \xi^2 \{4X_1^3 - 3(2-\xi^2)X_1 + (4-3\xi)\}] + (\zeta \xi^3 / 4A^2 D) [(1-\zeta)^3 \{8X_2^3 + (12/\xi)X_2^2 - 6(4-1/\xi^2)X_2 + (16-12/\xi + 1/\xi^3)\} + 3(1-\zeta)^2 \zeta \xi \{8X_2^3 + 4(1+2/\xi)X_2^2 - 2(12-2/\xi - 1/\xi^2)X_2 + (12-8/\xi + 1/\xi^2)\} + 3(1-\zeta)\zeta^2 \xi^2 \{8X_2^3 + 4(2+1/\xi)X_2^2 - 2(11-2/\xi)X_2 + (8-3/\xi)\} + \zeta^3 \xi^3 \{8X_2^3 + 12X_2^2 - 18X_2 + 5\}] \dots (21)$$

(7) 形: $\bar{\eta}/h_1 \leq X_1, 0 < \xi X_2 \leq (h_1 - \bar{\eta})/h_1$

$$R/R' = (\zeta \xi^3 / AD) [(1-\zeta)^3 \{-6(1-1/\xi^2)X_2 + (4-3/\xi - 1/\xi^3)\} + (1-\zeta)\zeta \xi \{-12(1-1/\xi^2)X_2 + (5-3/\xi + 3/\xi^2 - 5/\xi^3)\} + \zeta^2 \xi^2 \{-6(1-1/\xi^2)X_2 + (1+3/\xi^2 - 4/\xi^3)\}] \dots (22)$$

(8) 形: $(h_1 - \bar{\eta})/h_1 \leq X_1 \leq \bar{\eta}/h_1, 0 < \xi X_2 \leq (h_1 - \bar{\eta})/h_1$

$$R/R' = (1/4A^2 D) [(1-\zeta)^3 (2X_1 - 1)^3 + 3(1-\zeta)^2 \zeta \xi \{8X_1^3 - 4(2+\xi)X_1^2 + 2(1+2\xi)X_1 - \xi\} + 3(1-\zeta)\zeta^2 \xi^2 \{8X_1^3 - 4(1+2\xi)X_1^2 + 2(2\xi + \xi^2)X_1 - \xi^2\} + \zeta^3 \xi^3 (2X_1 - \xi)^3] + (\zeta \xi^3 / AD) [(1-\zeta)^3 \{-6(1-1/\xi^2)X_2 + (4-3/\xi - 1/\xi^3)\} + (1-\zeta)\zeta \xi \{-12(1-1/\xi^2)X_2 + (5-3/\xi + 3/\xi^2 - 5/\xi^3)\} + \zeta^2 \xi^2 \{-6(1-1/\xi^2)X_2 + (1-3/\xi^2 - 4/\xi^3)\}] \dots (23)$$

(b) 中立軸がボンチ側材料内にある場合 ($\xi > 1 + \sqrt{1/\zeta}$)

(11) 形: $\bar{\eta}/h_1 \leq X_1$, $(\bar{\eta} - h_1)/h_1 \leq \xi X_2 \leq (h_2 - \bar{\eta})/h_1$

$$\begin{aligned} R/R' = & (\zeta \xi^3 / 4A^2 D) [(1 - \zeta)^3 \{8X_2^3 + (12/\xi)X_2^2 - 6(4 - 1/\xi^2)X_2 + (16 - 12/\xi + 1/\xi^3)\} \\ & + 3(1 - \zeta)^2 \zeta \xi \{8X_2^3 + 4(1 + 2/\xi)X_2^2 - 2(12 - 2/\xi - 1/\xi^2)X_2 + (12 - 8/\xi + 1/\xi^2)\} \\ & + 3(1 - \zeta) \zeta^2 \xi^2 \{8X_2^3 + 4(2 + 1/\xi)X_2^2 - 2(11 - 2/\xi)X_2 + (8 - 3/\xi)\} \\ & + \zeta^3 \xi^3 \{8X_2^3 + 12X_2^2 - 18X_2 + 5\}] \dots\dots\dots (24) \end{aligned}$$

(12) 形: $\bar{\eta}/h_1 \leq X_1$, $0 < \xi X_2 \leq (\bar{\eta} - h_1)/h_1$

$$\begin{aligned} R/R' = & (\zeta \xi^3 / AD) [(1 - \zeta)^2 \{4X_2^3 - 3(2 + 1/\xi^2)X_2 + (4 - 3/\xi - 1/\xi^3)\} \\ & + (1 - \zeta) \zeta \xi \{8X_2^3 - 6(2 - 1/\xi + 2/\xi^2)X_2 + (5 - 3/\xi - 5/\xi^2 + 3/\xi^3)\} \\ & + \zeta^2 \xi^2 \{4X_2^3 - 3(1 + 2/\xi^2)X_2 + (1 + 3/\xi^2 - 4/\xi^3)\}] \dots\dots\dots (25) \end{aligned}$$

(13) 形: $(\bar{\eta} - h_1)/h_1 \leq X_1 \leq \bar{\eta}/h_1$, $(h_2 - \bar{\eta})/h_1 \leq \xi X_2$

$$\begin{aligned} R/R' = & (1/4A^2 D) [(1 - \zeta)^3 (2X_1 - 1)^3 \\ & + 3(1 - \zeta)^2 \zeta \xi \{8X_1^3 - 4(2 + \xi)X_1^2 + 2(1 + 2\xi)X_1 - \xi\} \\ & + 3(1 - \zeta) \zeta^2 \xi^2 \{8X_1^3 - 4(1 + 2\xi)X_1^2 + 2(2\xi + \xi^2)X_1 - \xi^2\} + \zeta^3 \xi^3 (2X_1 - \xi)^3] \dots\dots\dots (26) \end{aligned}$$

(14) 形: $(\bar{\eta} - h_1)/h_1 \leq X_1 \leq \bar{\eta}/h_1$, $(h_1 - \bar{\eta})/h_1 \leq \xi X_2 \leq (h_2 - \bar{\eta})/h_1$

$$\begin{aligned} R/R' = & (1/4A^2 D) [(1 - \zeta)^3 (2X_1 - 1)^3 \\ & + 3(1 - \zeta)^2 \zeta \xi \{8X_1^3 - 4(2 + \xi)X_1^2 + 2(1 + 2\xi)X_1 - \xi\} \\ & + 3(1 - \zeta) \zeta^2 \xi^2 \{8X_1^3 - 4(1 + 2\xi)X_1^2 + 2(2\xi + \xi^2)X_1 - \xi^2\} + \zeta^3 \xi^3 (2X_1 - \xi)^3] \\ & + \zeta \xi^3 [(1 - \zeta)^3 \{8X_2^3 + (12/\xi)X_2^2 - 6(4 - 1/\xi^2)X_2 + (16 - 12/\xi + 1/\xi^3)\} \\ & + 3(1 - \zeta)^2 \zeta \xi \{8X_2^3 + 4(1 + 2/\xi)X_2^2 - 4(6 - 1/\xi - 1/\xi^2)X_2 + (12 - 8/\xi + 1/\xi^2)\} \\ & + 3(1 - \zeta) \zeta^2 \xi^2 \{8X_2^3 + 4(2 + 1/\xi)X_2^2 - 2(11 - 2/\xi)X_2 + (8 - 3/\xi)\} \\ & + \zeta^3 \xi^3 \{8X_2^3 + 12X_2^2 - 18X_2 + 5\}] \dots\dots\dots (27) \end{aligned}$$

(15) 形: $(\bar{\eta} - h_1)/h_1 \leq X_1 \leq \bar{\eta}/h_1$, $0 < \xi X_2 \leq (\bar{\eta} - h_1)/h_1$

$$\begin{aligned} R/R' = & (1/4A^2 D) [(1 - \zeta)^3 (2X_1 - 1)^3 \\ & + 3(1 - \zeta)^2 \zeta \xi \{8X_1^3 - 4(2 + \xi)X_1^2 + 2(1 + 2\xi)X_1 - \xi\} \\ & + 3(1 - \zeta) \zeta^2 \xi^2 \{8X_1^3 - 4(1 + 2\xi)X_1^2 + 2(2\xi + \xi^2)X_1 - \xi^2\} \\ & + \zeta^3 \xi^3 (2X_1 - \xi)^3 \\ & + (\zeta \xi^3 / AD) [(1 - \zeta)^2 \{4X_2^3 - 3(2 + 1/\xi^2)X_2 + (4 - 3/\xi - 1/\xi^3)\} \\ & + (1 - \zeta) \zeta \xi \{8X_2^3 - 6(2 - 1/\xi + 2/\xi^2)X_2 + (5 - 3/\xi - 5/\xi^2 + 3/\xi^3)\} \\ & + \zeta^2 \xi^2 \{4X_2^3 - 3(2/\xi^2 + 1)X_2 + (1 + 3/\xi^2 - 4/\xi^3)\}] \dots\dots\dots (28) \end{aligned}$$

(16) 形: $0 < X_1 \leq (\bar{\eta} - h_1)/h_1$, $(h_2 - \bar{\eta})/h_1 \leq \xi X_2$

$$\begin{aligned} R/R' = & (1/AD) [(1 - \zeta)^2 (6X_1 + 1) \\ & + (1 - \zeta) \zeta \xi \{12X_1 + (5 - 3\xi)\} + \zeta^2 \xi^2 (6X_1 + 4 - 3\xi)] \dots\dots\dots (29) \end{aligned}$$

(17) 形: $0 < X_1 \leq (\bar{\eta} - h_1)/h_1$, $(\bar{\eta} - h_1)/h_1 \leq \xi X_2 \leq (h_2 - \bar{\eta})/h_1$

$$\begin{aligned} R/R' = & (1/AD) [(1 - \zeta)^2 (6X_1 + 1) + (1 - \zeta) \zeta \xi (12X_1 + 5 - 3\xi) \\ & + \zeta^2 \xi^2 (6X_1 - 3\xi + 4)] \\ & + (\zeta \xi^3 / 4A^2 D) [(1 - \zeta)^3 \{8X_2^3 + (12/\xi)X_2^2 - 6(4 - 1/\xi^2)X_2 + (16 - 12/\xi + 1/\xi^3)\} \\ & + 3(1 - \zeta)^2 \zeta \xi \{8X_2^3 + 4(1 + 2/\xi)X_2^2 - 2(12 - 2/\xi - 1/\xi^2)X_2 + (12 - 8/\xi + 1/\xi^2)\} \\ & + 3(1 - \zeta) \zeta^2 \xi^2 \{8X_2^3 + 4(2 + 1/\xi)X_2^2 - 2(11 - 2/\xi)X_2 + (8 - 3/\xi)\} \\ & + \zeta^3 \xi^3 \{8X_2^3 + 12X_2^2 - 18X_2 + 5\}] \dots\dots\dots (30) \end{aligned}$$

(18) 形: $0 < X_1 \leq (\bar{\eta} - h_1)/h_1$, $0 < \xi X_2 \leq (\bar{\eta} - h_1)/h_1$

$$\begin{aligned} R/R' = & (1/AD) [(1 - \zeta)^2 (6X_1 + 1) \\ & + (1 - \zeta) \zeta \xi \{12X_1 + (5 - 3\xi)\} + \zeta^2 \xi^2 \{6X_1 + 4 - 3\xi\}] \\ & + (\zeta \xi^3 / AD) [(1 - \zeta)^2 \{4X_2^3 - 3(2 + 1/\xi^2)X_2 + (4 - 3/\xi - 1/\xi^3)\} \\ & + (1 - \zeta) \zeta \xi \{8X_2^3 - 6(2 - 1/\xi + 2/\xi^2)X_2 + (5 - 3/\xi - 5/\xi^2 + 3/\xi^3)\} \\ & + \zeta^2 \xi^2 \{4X_2^3 - 3(1 + 2/\xi^2)X_2 + (1 + 3/\xi^2 - 4/\xi^3)\}] \dots\dots\dots (31) \end{aligned}$$

(c) 中立軸が材料境界部にある場合 ($\xi = 1 + \sqrt{1/\zeta}$)

(20) 形: $1 \leq X_1, 0 < \xi X_2 \leq \xi - 1$

$$R/R' = (\zeta \xi^3 / AD) [(1 - \zeta)^2 \{6(1/\xi^2 - 1)X_2 + (4 - 3/\xi - 1/\xi^3)\} \\ + (1 - \zeta)\zeta \xi \{12(1/\xi^2 - 1)X_2 + (5 - 3/\xi + 3/\xi^2 - 5/\xi^3)\} \\ + \zeta^2 \xi^2 \{6(1/\xi^2 - 1)X_2 + (1 + 3/\xi^2 - 4/\xi^3)\}] \dots\dots\dots (32)$$

(21) 形: $0 < X_1 \leq 1, \xi - 1 \leq \xi X_2$

$$R/R' = (1/4A^2D) [(1 - \xi)^3 (2X_1 - 1)^3 \\ + 3(1 - \zeta)^2 \zeta \xi \{8X_1^3 - 4(2 + \xi)X_1^2 + 2(1 + 2\xi)X_1 - \xi\} \\ + 3(1 - \zeta)\zeta^2 \xi^2 \{8X_1^3 - 4(1 + 2\xi)X_1^2 + 2(2\xi + \xi^2)X_1 - \xi^2\} \\ + \zeta^3 \xi^3 (2X_1 - \xi)^3] \dots\dots\dots (33)$$

(22) 形: $0 < X_1 \leq 1, 0 < \xi X_2 \leq \xi - 1$

$$R/R' = (1/4A^2D) [(1 - \zeta)^3 (2X_1 - 1)^3 \\ + 3(1 - \zeta)^2 \zeta \xi \{8X_1^3 - 4(2 + \xi)X_1^2 + 2(1 + 2\xi)X_1 - \xi\} \\ + 3(1 - \zeta)\zeta^2 \xi^2 \{8X_1^3 - 4(1 + 2\xi)X_1^2 + 2(2\xi + \xi^2)X_1 - \xi^2\} \\ + \zeta^3 \xi^3 (2X_1 - \xi)^3] \\ + (\zeta \xi^3 / 4A^2D) [(1 - \zeta)^3 \{8X_2^3 + (12/\xi)X_2^2 + 6(1/\xi^2 - 4)X_2 + (16 - 12/\xi + 1/\xi^3)\} \\ + 3(1 - \zeta)^2 \zeta \xi \{8X_2^3 + 4(1 + 2/\xi)X_2^2 - 2(12 - 2/\xi - 1/\xi^2)X_2 + (12 - 8/\xi + 1/\xi^2)\} \\ + 3(1 - \zeta)\zeta^2 \xi^2 \{8X_2^3 + 4(2 + 1/\xi)X_2^2 - 2(11 - 2/\xi)X_2 + (8 - 3/\xi)\} \\ + \zeta^3 \xi^3 (8X_2^3 + 12X_2^2 - 18X_2 + 5)] \dots\dots\dots (34)$$

これらの諸式は前述の単一材料の条件を入れればすべて次式に帰着する。

$$R/R' = 4X^3 - 3X + 1 \dots\dots\dots (35)^{(3)}$$

3. 実 験

3.1 実験方法 前報の両面合せ板の場合と同様に、通信機器材料として広く用いられている銅合金を母材とし、その片面に銀をクラッドさせた合せ板を供試材料とした。試験片の種類、大きさおよび加工度等は第 1 表に示すとおりである。

第 4 図および第 2 表に示す V 曲げ用ポンチ 4 種 (曲げ角 90°)、R 曲げ用ポンチ 6 種、計 10 種類のポンチとダイスを用意し、これらをアムスラー式万能試験機 (容量 20 t) に取付けて実験装置とした。曲げ加工は片面合せ板の銀面をポンチ側にした場合とダイス側にした場合について、同一の実験条件に対して少なくとも 3 個の試験片について無潤滑状態で行った。曲げ

第 4 図

荷重は全実験を通して約 20 kg である。これは前報の場合と同様の理由で、本実験が主として前章の理論との比較を目的としていること、供試材料が降伏点の低い銀をクラッド材としていることなどからコイニングの影響を生じない程度の低荷重範囲をとったものである。

試験片は曲げ加工後、工具顕微測定器 (マイクロメータの精度 2μ 、回転テーブルの最小目盛 $3'$) を用いて曲げられた角度および曲率半径からスプリングバック量を測定した。

3.2 実験結果 第 5 図から第 10 図までは 3 種類の

第 2 表

R 曲 げ		V 曲 げ
ダイスの曲率半径 mm	曲 げ 角 θ°	ポンチ先端の曲率半径
12.70	149°24'	1
19.05	159°36'	3
38.10	82°00'	5
45.80	57°40'	10
63.50	44°24'	
76.20	35°56'	

第 1 表

供 試 材 料	板 厚 mm	銀 厚 mm	クラッド比 $\xi = h_2/h_1$		試験片長さ mm	試験片幅 mm	加 工 度
			銀ポンチ側	銀ダイス側			
片面銀クラッド黄銅板	0.20	0.03	1.177	6.667	80	6.5	0.28~0.29
片面銀クラッドりん青銅板	0.30	0.03	1.111	10.00	80	6.5	0.42~0.48
片面銀クラッド洋白板	0.60	0.03	1.053	20.00	80	6.5	0.85~0.86

片面合せ板についての実験結果を総括図示したものである。すなわち、第5, 6および7図は銀面をポンチ側にした場合、第8, 9および10図は曲げる方向を逆向きに銀面をダイス側にした場合で、いずれの場合もスプリングバック比 R/R' を縦軸に、 R/h_1 および $R\sigma_{y1}/E_1h_1$ を横軸にとり、クラッド比 $\xi = h_2/h_1$ をパラ

メータとして無次元表示している。銀面をポンチ側にした場合の図において、横軸の $R\sigma_{y1}/E_1h_1$ が3種類に目盛ってあるのは母材の降伏応力 σ_{y1} に対して、後述するように、合せ板の製造加工における加工度を考慮したからである。図中における点はすべて測定値の平均値を表わしているが、測定値のばらつきは10%程度あるいはそれ以下であった。

これらの図から明らかなように、3種類の材料とも両面合せ板の場合と同様に、スプリングバック比 R/R' は R/h_1 の増大につれて著しい減少を示し、スプリングバックとしては大きい値をとることを表わしている。クラッド比に関してはその影響をはっきり示し、その値が大きいほど R/R' は増大していることがわかる。

3.3 理論値と実験値との比較 前節に示した実験結果を前章で求めた理論と比較してみよう。前述のごとく、銀面をポンチ側とするか、あるいはダイス側にするかによって、 E_2/E_1 および h_2/h_1 の値いかんでは中立軸位置がポンチ側材料内となるかダイス側材料内にくるかが決まる。本実験においては、各部材の機械的性質として既報と同じく下記のように与えられているから、すべての場合について銀面に中立軸位置がくるとはならない。

すなわち、黄銅について、 $E = 10\,000 \text{ kg/mm}^2$

$\sigma_y = 57 \text{ kg/mm}^2$ ($\xi = 1.053$)

$= 55 \text{ kg/mm}^2$ ($\xi = 1.111$)

第5図

第6図

第7図

$$\sigma_y = 53 \text{ kg/mm}^2 \quad (\xi = 1.177)$$

りん青銅について, $E = 11\,000 \text{ kg/mm}^2$

$$\sigma_y = 73 \text{ kg/mm}^2 \quad (\xi = 1.053)$$

$$= 68 \text{ kg/mm}^2 \quad (\xi = 1.111)$$

$$= 65 \text{ kg/mm}^2 \quad (\xi = 1.177)$$

洋白について, $E = 13\,000 \text{ kg/mm}^2$

$$\sigma_y = 81 \text{ kg/mm}^2 \quad (\xi = 1.053)$$

$$= 77 \text{ kg/mm}^2 \quad (\xi = 1.111)$$

$$= 75 \text{ kg/mm}^2 \quad (\xi = 1.177)$$

銀について, $E = 8\,000 \text{ kg/mm}^2$, $\sigma_y = 23 \text{ kg/mm}^2$

したがって, 銀面をポンチ側とした場合には, 合せ板

第 8 図

第 9 図

のとり応力状態は第 2 図 (a) の (7), (8) および (9), ダイス側とした場合には同図 (b) の (16), (17) および (18) で示される幾つかの応力状態をとることになる。

まず, 銀面をポンチ側にした場合, 加工条件として $0 < R\sigma_{y1}/E_1h_1 \leq 1 - \bar{\eta}/h_1$, $0 < R\sigma_{y2}/E_2h_2 \leq h_1/h_2(1 - \bar{\eta}/h_1)$ の範囲の曲げにおいては最終負荷時の応力状態は (9) 形となる。すなわち, 母材としての黄銅, りん青銅および洋白は中立軸付近にわずかに弾性変形のみをうけて加工を終える部分を残し, 他はクラッド材の銀とともにすべて塑性加工をうける。したがって, このような範囲の曲げに対しては, スプリングバックを与える理論式としては前章の (14) 式が用いられるべきである。しかし, ここでは簡単のため, 母材, クラッド材ともに完全塑性体と仮定して取扱うことにすれば, 適用すべき式は (16) 式となる。また, R/h_1 の大なる範囲の曲げにおいては応力状態は (8) 形, さらに, (7) 形を示すであろうから, スプリングバックを与える計算式として (23), (22) 式をそれぞれ適用すればよい。これらの場合の計算結果を実線で示している第 5, 6 および 7 図における図中の一点鎖線はそれら各形の適用限界を示すもので, 本実験はこれら三つの形の範囲にわたって行なわれていることは明らかであろう。

次に, 銀面をダイス側にした場合についても全く同様に考えることができる。この場合には前述したように中立軸はポンチ側材料内にあり, 理論によれば $0 < R\sigma_{y1}/E_1h_1 \leq \bar{\eta}/h_1 - 1$, $0 < R\sigma_{y2}/E_2h_2 \leq h_1/h_2(\bar{\eta}/h_2 - 1)$ の

第 10 図

範囲内の曲げにおいては応力状態は(18)形となり、中立軸付近にわずかに弾性変形部分を残すにすぎなくなる。この場合、スプリングバックを与える理論式は前章の(31)式が適用される。 R/h_1 が大となれば応力状態は次の段階へと移行してゆくが[(18)→(17)→(16)形]、第8, 9および10図からも明らかなごとく、本実験ではほとんど(18)形の応力状態をとる範囲内で実験が行なわれている。

以上いずれの場合も一般に理論曲線に対して実験結果は R/h_1 の小なるところではやや大きいスプリングバックを示しているものの、 R/h_1 が大となるに従い著しいクラッド比の影響を示していることがわかる。これは合せ板各部材の変形による加工硬化の影響や中立軸の移動等を考慮に入れていない理論値との比較であってみれば、かなりよい一致を示していると言えよう。したがって、一般に用いられている合せ板のクラッド材は、母材に対して5~10%程度の厚さを有することが多いから、クラッド比があまり大きくない範囲では前章に求めた理論式の中で、合せ板各部材がいずれも完全塑性体とした理論式で十分スプリングバック量を予知できると思われる。

4. 結 言

薄い片面合せ板の曲げ加工におけるスプリングバックについて解析し、スプリングバックを与える理論式を導き、実験的に検討して理論式による計算値との比較を行なった。

E_2/E_1 および h_2/h_1 によって決まる中立軸位置、ならびに $R\sigma_{y1}/E_1h_1$ の大きさと与えられる応力状態の限界などを考慮してスプリングバックは合せ板の機械的性質、各部材の板厚、曲げ半径などから求められる。この R/R' と $R\sigma_{y1}/E_1h_1$ の間の関数関係は E_2/E_1 , σ_{y2}/σ_{y1} のある値に対して、 h_2/h_1 をパラメータとして各応力状態の形に対して与えられる式を結ぶ一連の曲線として表わされる。

実験は現在市販されている二、三の片面合せ板材について行ない、その結果を完全塑性体と仮定した場合の理論値と比較したが、一般に実験値と理論値はよい一致を示し、曲げ加工の度合を示す R/h_1 , あるいはクラッド比 h_2/h_1 等のスプリングバックへ及ぼす影響が明らかにされた。

なお、薄板単一材料の場合にみられたスプリングバックに与える他の諸因子、たとえば曲げ荷重等本論文で考慮されていないものの影響についてはさらに実験的に検討を試みる予定である。

終りに、本研究に対して御指導賜わった東北大学 松山徳蔵名誉教授、横堀武夫教授ならびに本学 近藤誠治教授に深い謝意を表するとともに、実験に協力された当学学生諸君に心からなる謝意を表する。

文 献

- (1) 鈴木・高野, 機械学会論文集, 27-184 (昭 36-12), 1931.
- (2) 松山・鈴木, 機械学会論文集, 27-175 (昭 36-3), 300.
- (3) F.J.Gardiner, *Trans. ASME*, 79-1 (1957), 1.

海外ねじ基本調査項目決る

工業技術院ではねじのJISを改正するための準備として、日本規格協会ねじ基本調査委員会(委員長 東京工大教授 山本 晃氏)に、国内の需要家筋の使用状況、ねじメーカーの規格についての意見などについての調査を依頼していたが、これが終了したので、こんどは国内ばかりでなく、世界ねじ統一化の意味も含んで海外のねじ基本調査を行なうことになったものである。

現在ねじにはメートルねじ(Mねじ)、ユニファイねじ(Uねじ)およびウィットねじ(Wねじ)の3形式が用いられているが、さいきん国際標準化機構(ISO)が世界的な互換性のあるものとしてMねじとUねじの

2形式とし、Wねじ廃止の方針を打ち出しているの、わが国もこのISOねじとの関連を考慮してアメリカなど26箇国を対象に呼び径の範囲の使用状況を調査することになったものである。

なお、さきに国内のねじの基本調査を行なった結果、(1)基本山形については現行JIS方式に対してISO方式を希望する意見が優勢、(2)Mねじの呼びピッチについては現行JISを希望する意見が優勢、(3)Wねじの廃止については切換え実施上の困難を訴えるものが大部分であるが、原則的には賛成、廃止の時期には5年間というものがもっとも多いという結論をえている。(服部 敏夫)