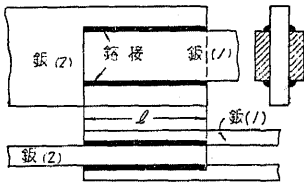


第三章 銲接接手に於ける應力分布

7. 側面隅肉銲接の應力分布

側面隅肉に於ける剪斷力の分布が均一でないことは、第二章に於てすでに述べた所であるが、これが應力の分布を理論的に取扱つた文獻はかなり多い、下に抄述したものは W. Troelsch の發表した論文で最も解り易く説いたものゝ一つである。1929 年以來米國の Bureau of Standard と Am. Bridge Co. とで行つた共同實驗の結果を理論づけたものである。

第 37 圖は 2 枚 1 組の平鋸 (1) が、4 個の側面隅肉銲接にて對稱形に平鋸 (2) に接合された状態を示す、この銲接部に働く剪斷力を求めるに當り、便宜上この

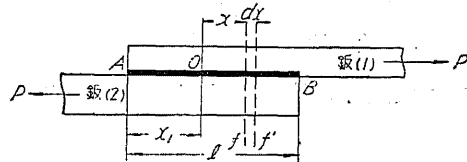


第 37 圖

接手を第 38 圖に示す如きものに簡單化し、兩鋸の偏心によるモーメントは生ぜざるものと見做し、且つ次の 4 つの假定を置く。

1. 各平鋸のうくる應力は各點にて其斷面に均等に分布す。
2. 隅肉銲接は引張、壓縮等の直應力を分擔せざるものとする。
3. 平鋸も、銲接部もフックの法則に従ふものとする。
4. 銲接部の剪斷變形 q は銲接單位長のうくる剪斷力 T に比例するものとする、
即ち

$$q = \frac{T}{D}$$



第 33 圖

Dは“Distension 比”と稱し實驗にて定めらるべき定數で、彈性係數と同一の單位にて表はされる。

今第38圖に於て銲接部兩端 AB 間に一斷面 O を考へ、この斷面に於て兩平鋼のうくる應力が等値、即ち其點の兩者の變形は等量なりとせよ、然らば O 點より A 點に向ひて、平鋼 (1) の應力、從つて變形は遞減し、平鋼 (2) の夫等は増大す、即ち兩鋼間の相對的變位は漸次増大することゝなる、然るにこの相對的變位は銲接部のうくる剪斷變形の原因なるが故に、銲接のうくる剪斷力は O 點より A 點に向ひて増加する、同様のことが O 點より B 點に向ひても考へらるゝが故に、銲接は O 點に於て最小剪斷應力をうけ、兩端 A 點又は B 點にて最大剪斷應力をうくることゝなる。

今 O 點を原點とし、

F_1 : 平鋼 (1) の斷面積, F_2 : 平鋼 (2) の斷面積

S_1 : 任意の斷面 f-f に於ける平鋼 (1) の應力

S_2 : 任意の斷面 f-f に於ける平鋼 (2) の應力

N : 銲接の數, l : 銲接の長

x_1 : 平鋼 (1) の端より原點 O までの距離

x : 任意の斷面 f-f の原點 O よりの距離

P : この銲接接手の傳達する全應力

E : 彈性係數

とすとき、銲接部 剪斷力は平鋼の應力 S_1 の變化にて示さるゝが故に

$$q = \frac{T}{D} = \frac{F_1}{ND} \frac{dS_1}{dx} \dots\dots\dots(16)$$

從つて
$$\frac{dq}{dx} = \frac{F_1}{ND} \frac{d^2S_1}{dx^2} \dots\dots\dots(17)$$

然るに銲接部の變形の變化は、兩平鋼間の相對變位にて示さるゝが故に

$$\frac{dq}{dx} = \frac{S_1 - S_2}{E} \dots\dots\dots(18)$$

故に (16) 及 (17) 式及び $S_2 = \frac{P - S_1 F_1}{F_2}$ の關係より、平鋼 (1) の應力 S_1 は次式にて示される。

$$\frac{d^2S_1}{dx^2} = \frac{(F_1 + F_2)}{F_1 F_2} \cdot \frac{ND}{E} S_1 - \frac{P}{F_1 F_2} \cdot \frac{ND}{E} \dots\dots\dots(19)$$

(19) 式を解きて S_1 の値、從つて S_2 の値、又 (16) 式を用ひて T の値を求めることが出来る。

$$S_1 = \frac{P}{F_1 + F_2} \left[\frac{\sinh \frac{x}{b}}{\sinh \frac{x_1}{b}} + 1 \right] \dots\dots\dots(20)$$

$$S_2 = \frac{P}{F_1 + F_2} \left[1 - \frac{F_1 \sinh \frac{x}{b}}{F_2 \sinh \frac{x_1}{b}} \right] \dots\dots\dots(21)$$

$$T = \frac{P F_1}{N (F_1 + F_2) b} \cdot \frac{\cosh \frac{x}{b}}{\sinh \frac{x_1}{b}} = \frac{P b}{F_2} \cdot \frac{D}{E} \cdot \frac{\operatorname{cosech} \frac{x}{b}}{\sinh \frac{x_1}{b}} \dots\dots\dots(22)$$

こゝに
$$b = \sqrt{\frac{F_1 F_2 E}{(F_1 + F_2) ND}} \dots\dots\dots(23)$$

又原點 O の位置を定むる x_1 は次式にて與へられる。

$$\tanh \frac{x_1}{b} = \frac{F_1 \sinh \frac{l}{b}}{F_2 + F_1 \operatorname{cosech} \frac{l}{b}} \dots\dots\dots(24)$$

(22) 式より銲接部兩端 A 及 B の剪斷力 T_1, T_2 及原點 O に起る最小剪斷力 T_0 は

$$T_1 = \frac{P b D}{F_2 E} \cdot \frac{1}{\tanh \frac{x_1}{b}} = \frac{P b D}{F_2 E} \left[\frac{F_2 + F_1 \operatorname{cosech} \frac{l}{b}}{F_1 \sinh \frac{l}{b}} \right] \dots\dots\dots(25)$$

$$T_2 = \frac{PbD}{F_1 E} \left[\frac{F_1 + F_2 \cosh \frac{l}{b}}{F_2 \sinh \frac{l}{b}} \right] \dots\dots\dots (26)$$

$$T_0 = \frac{PbD}{F_2 E \sinh \frac{x_1}{b}} \dots\dots\dots (27)$$

にて表はさる。

(24) 及 (25) 式に於て括弧内の値は其極限值にて 1 となるが故に T_1 及 T_2 の値は l の増加と共に次の値に近づく。

$$T_1 = \frac{PbD}{F_2 E} \dots\dots\dots (28)$$

$$T_2 = \frac{PbD}{F_1 E} \dots\dots\dots (29)$$

今上述の諸式を用ひて 2, 3 の實例について應力分布の状態を調べて見やう、先づこれ等の諸式を適用するに當り決定しなければならぬものは D の數値である。著者の手許にある 3, 4 の文獻に示されたこの値は第十四表の如くで、相當の變化がある、これの材種による變化は今後の實驗にまたねばならぬ。

第十四表 Detrusion 比の値 (kg/cm²)

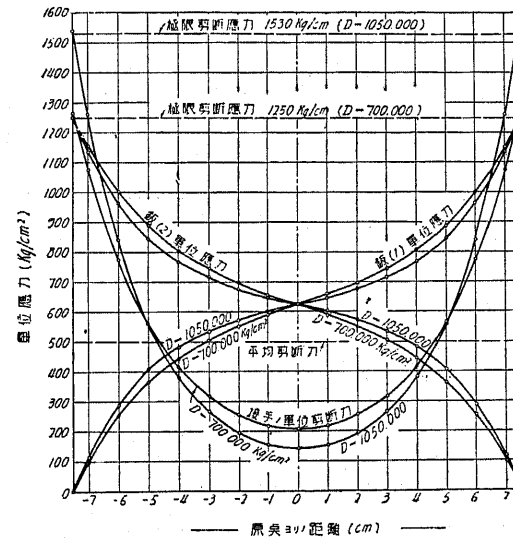
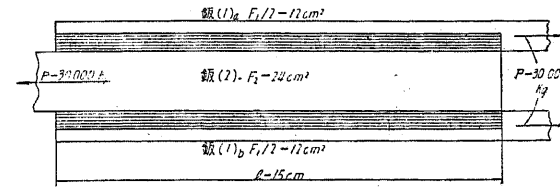
Troelsch	Bleich	Hovgaard	Weiskopf	Kalinn
0.5 × 10 ⁶	0.8 × 10 ⁶	0.91~0.69 × 10 ⁶	$\frac{3}{4} G$	0.8~0.6 × 10 ⁶

例題 1 $F_1 = 24\text{cm}^2, F_2 = 24\text{cm}^2, P = 30,000\text{kg}, N = 4, l = 15\text{cm},$
 $E = 2,100,000\text{kg/cm}^2, D = 1,050,000$ 又は $700,000\text{kg/cm}^2$

の場合の S_1, S_2 並に T の分布を求む。

$F_1 = F_2$ なるが故に $S_1 = S_2$ の點は銲接の中央 $x_1 = 7.5\text{cm}$ に在る、(23) 式により $b = 2.45$ 及 3 となる、(20), (21), (22) 式により求めたる S_1, S_2, T の値は第 39 圖の如くである。

鋼 (1) 及鋼 (2) の應力分布曲線は兩者同斷面積なるが故に、全く同形のもの



第 39 圖 側面隅内銲接に於ける應力の分布(其一)

第十五表 最大及最小剪断應力と平均剪断應力との比

$D(\text{kg/cm}^2)$	平均剪断應力 T_m (kg/cm)	最大剪断應力 (kg/cm)		最小剪断應力 (kg/cm)	
		T_1 又は T_2	T_1/T_m	T_0	T_0/T_m
700,000	500	1,267	2.53	207	0.41
1,050,000	500	1,540	3.08	144	0.29

最大剪断應力が平均剪断應力の 2.5~3.08 倍に達してをることは注目を要する點である、孰れの場合も平均剪断應力に相當せる應力は銲接中央より約 $0.3l$ の點に發生してをる。又最大剪断應力の値は (28), (29) 式にて與へらるゝ極限剪断應力 1,250 及 1,530kg/cm に殆んど一致してをる。

なる、又 D の増加と共に中間應力の増減率大となり、漸次曲線形は直線より遠ざかるも兩端應力は零と $\frac{P}{F_1}$ 又は $\frac{P}{F_2}$ にて一定値をとる。

銲接に於ける剪断應力の分布を見るに、 D の増加と共に最大最小値の差著しく大となり、平均剪断應力 $\frac{P}{Nl} = 500\text{kg/cm}$ に對する最大最小剪断應力の比率は第十五表の如くなる。

例題 2 $F_1=20\text{cm}^2$, $F_2=60\text{cm}^2$, $P=24,000\text{kg}$, $N=4$, $l=15\text{cm}$

$E=2,100,000\text{ kg/cm}^2$, $D=1,050,000$ 又は $700,000\text{ kg/cm}^2$

の場合 S_1, S_2 並に T の分布を求む。

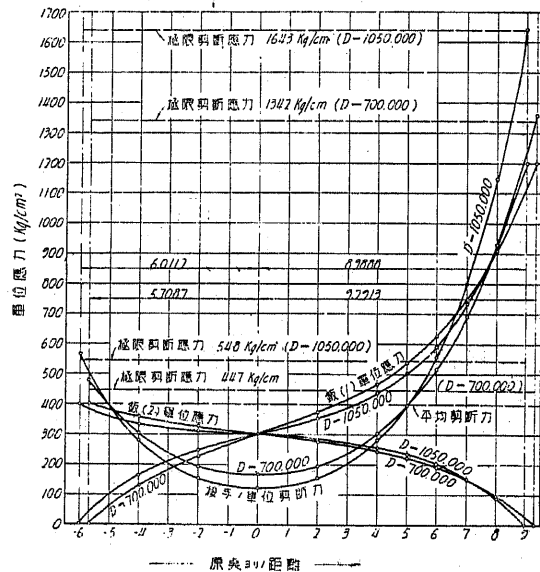
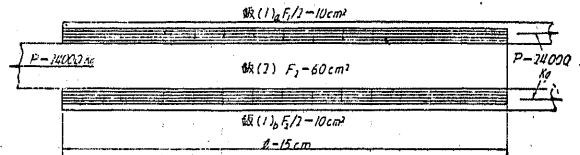
(23) 式により、 $b=2.739$ 及 3.354 となり、 $S_1=S_2$ の點は (24) 式により、 $x_1=6.011$ 及 5.709cm となる、これ等の値より (20), (21), (22) 式を用ひて算出したる應力の分布状態は第40圖

の如くである。鋼(1)

及 (2) の應力 S_1, S_2 が夫々零より $1,200\text{ kg/cm}^2$, 零より 400 kg/cm^2 に増大する

ことは兩者の斷面積の比が $\frac{F_1}{F_2} = \frac{1}{3}$ なることより明かなる事柄であり、中間に於ける應力の増減率の變化は D の値の大なるほど顯著である、銲接に於ける剪斷應力の變化は兩母材の斷面積が相異せるだけに例題 (1) の場合

に比して遙かに著しく、斷面積の大なる鋼(2)の端部の銲接端に最大剪斷應力が發生してをる。銲接部兩端並に原點に於ける剪斷應力と、平均剪斷應力 $T_m = \frac{P}{Nl}$ との比率を示せば第十六表の如くである。



第40圖 側面隅肉銲接に於ける應力の分布(其二)

に比して遙かに著しく、斷面積の大なる鋼(2)の端部の銲接端に最大剪斷應力が發生してをる。銲接部兩端並に原點に於ける剪斷應力と、平均剪斷應力 $T_m = \frac{P}{Nl}$

との比率を示せば第十六表の如くである。

第十六表 最大及最小剪斷應力と平均剪斷應力との比

D	平均剪斷應力 T_m (kg/cm ²)	左端最大剪斷應力 (kg/cm ²)		右端最大剪斷應力 (kg/cm ²)		最小剪斷應力 (kg/cm ²)	
		T_1	T_1/T_m	T_2	T_2/T_m	T_0	T_0/T_m
700,000	400	473	1.20	1,351	3.38	169	0.42
1,050,000	400	562	1.41	1,644	4.11	124	0.31

第十六表の結果により兩母材の斷面積の差が銲接部剪斷應力の分布に面白からざる影響を與ふるものなることが分る。上記最大剪斷應力は (28), (29) 式にて與へらる、極限剪斷應力 447, 548, 1,312, 1,643 kg/cm に殆んど一致してをる。

以上述べ來つたところは母材應力 S 及 銲接部剪斷力 T が母材の斷面積 F , 銲接長 l , Detrusion 比 D , 彈性係數 E 等にて變化する状態を示したもので、隅肉銲接の大きさ、即ち其喉厚 a が剪斷應力分布に及ぼす影響については何等觸れてをらない。

今この點を明かにするために、兩母材の斷面積同一にして、銲接の許容剪斷應力 σ_s が母材の許容引張應力 σ_{ss} の 65% なる場合を考へる。

$$F_1 = F_2 = F \quad \sigma_s = 0.65 \sigma_{ss}$$

(23) 式により、

$$b = \sqrt{\frac{F_1 F_2 E}{(F_1 + F_2) N D}} = \sqrt{\frac{F E}{2 N D}}$$

然るに一般の場合 $P = N a l \times 0.65 \sigma_{ss}$ なるが故に

$$F = \frac{P}{\sigma_{ss}} = 0.65 N a l$$

$$\text{従つて } b = \sqrt{\frac{0.325 a l E}{D}} = l \sqrt{0.325 \cdot \frac{E}{D} \cdot \frac{a}{l}} = l \times b'$$

$$\text{ここに } b' = \sqrt{0.325 \cdot \frac{E}{D} \cdot \frac{a}{l}} \dots \dots \dots (30)$$

上式を (22) 式に代入すれば、銲接部 x 點の剪斷應力は次式にて示さる。

$$T = \frac{P}{Nl} \cdot \frac{1}{2b'} \cdot \frac{\cosh \frac{1}{b'} - \frac{x}{l}}{\sinh \frac{1}{2b'}} = \mu \frac{P}{Nl} \dots \dots \dots (31)$$

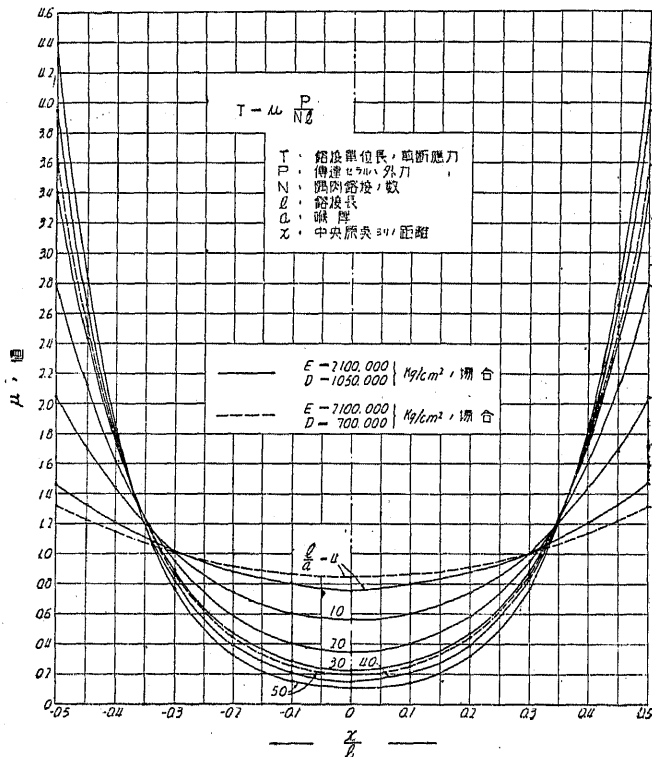
こゝに
$$\mu = \frac{1}{2b'} \frac{\cosh \frac{1}{b'} \cdot \frac{x}{l}}{\sinh \frac{1}{2b'}}$$

これによつて任意の點の剪斷應力 T と銲接部平均剪斷應力 $\frac{P}{Nl}$ との比率が銲接長 l と隅肉喉厚 a との比によつて如何に變化するかを知ることが出来る。

今一例として $E=2,100,000 \text{ kg/cm}^2$, $D=1,050,000$ 又は $700,000 \text{ kg/cm}^2$ の場合について μ の値を求めることとする。

$$b' = \sqrt{0.325 \frac{E}{D} \cdot \frac{a}{l}} = 0.806 \sqrt{\frac{a}{l}} \text{ 又は } 0.987 \sqrt{\frac{a}{l}}$$

應力の傳達を目的として用ひらるゝ側面隅肉銲接の長 l は、今日の慣習としては



第 41 圖 $\frac{l}{a}$ の相違による剪斷應力分布の變化

$l=4a-40a$ なるが故に、この計算に於ては $\frac{a}{l} = \frac{1}{4}, \frac{1}{10}, \frac{1}{20}, \frac{1}{30}, \frac{1}{40}, \frac{1}{50}$ の 6 つの場合を採つた、計算の結果は第 41 圖に示す如くである。

これによれば剪斷應力分布の變化は $\frac{l}{a}$ の値の大なるほど著しく、又 D の値の大なるほど顯著となる。

孰れの場合も剪斷應力が其平均値に達するは中央より約 $0.3-0.33 l$ の點に於てである。

第十七表は兩端最大並に中央最小剪斷應力に對する μ の値を示したものである。

第 十 七 表 最大並に最小剪斷應力に對する μ の値

($E=2,100,000 \text{ kg/cm}^2$, $D=1,050,000 \text{ kg/cm}^2$)

$\frac{l}{a}$	4	10	20	30	40	50
最大剪斷應力 μ_1	1.487	2.041	2.797	3.049	3.945	4.389
最小剪斷應力 μ_0	0.783	0.563	0.347	0.227	0.156	0.109

($E=2,100,000 \text{ kg/cm}^2$, $D=700,000 \text{ kg/cm}^2$)

$\frac{l}{a}$	4	10	20	30	40	50
最大剪斷應力 μ_1	1.320	1.738	2.318	2.797	3.220	3.588
最小剪斷應力 μ_0	0.818	0.673	0.476	0.347	0.262	0.200

以上の結果によれば $D=1,050,000 \text{ kg/cm}^2$ の場合現今使用せらるゝ最大銲接長 $l=40a$ にては其端部剪斷應力は許容應力 $\sigma_s=1,200 \times 0.65=780 \text{ kg/cm}^2$ の約 4 倍に達し $3,000 \text{ kg/cm}^2$ を超過することがあることとなるが、實際の場合は $D=1,050,000 \text{ kg/cm}^2$ 以下のこと多かるべく、又剪斷應力が銲接の屈伏點に達するとき、こゝにたりのを生ずるが故に第十七表に示すが如き高値は發生し得ざるものと考へる。

8. 前面隅肉銲接の應力分布

前面隅肉銲接の切斷狀況を見るに其破壊は隅肉の喉斷面附近に起るもの多く、且つ其破壊は主として引張應力に基くものゝ如く見受けられる、従つて前面隅肉

銲接強度の實用計算には發生應力を

$$\sigma = \frac{P}{\Sigma(al)}$$

にて求めることは §4 に於て説いた如くである。

今第42圖に示すが如き二等邊の單一前面隅肉の單位幅につき其發生應力を求むるならば(1)式により

$$\sigma = \frac{\sqrt{2} P}{d} = \frac{1.414P}{d} \dots\dots\dots(32)$$

となる。

この計算法に對して理論的方面から唱へられてをる反對論の要點を2つに分けることが出来る、1つは破壊斷面を喉斷面に採ることの否を論じたもので、他の1つは喉斷面を破壊面とするも理論的に見て(1)式又は(32)式にて示さるゝ値に誤りありとなすものである。

先づ前者について其概略を述ぶるに第42圖に於て隅肉の一邊BCとθ角をなす任意の斷面を考へ、これに働く直應力Nと剪斷力Tとを求むるに

$$N = P \cos \theta, \quad T = P \sin \theta$$

然るに其斷面積Aは單位幅に對して

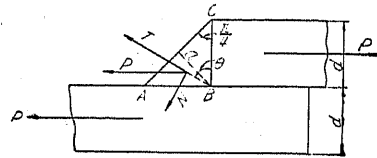
$$A = a \sec\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right) = \frac{d}{\sqrt{2}} \sec\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right)$$

なるが故に、これ等の單位應力n、及びtは

$$n = \frac{\sqrt{2} \cos \theta \cdot \cos\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right) P}{d}$$

$$t = \frac{\sqrt{2} \sin \theta \cdot \cos\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right) P}{d}$$

にて示される、然るにn及tによる合成主應力σは



第 42 圖

$$\sigma = \frac{n}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{n^2 + 4t^2}$$

にしてこれにn及tの値を代入すれば

$$\sigma = \frac{P \cos\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right)}{\sqrt{2} d} \left\{ \cos \theta + \sqrt{\frac{1}{2}(5 - 3\cos 2\theta)} \right\}$$

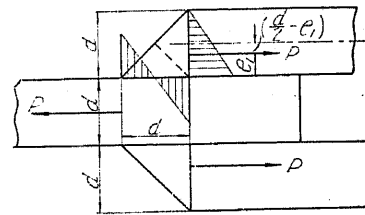
となる、このσの最大値を與ふる斷面はθ=48.5°の時で、この時のσの値は次式の値をとる。

$$\sigma = \frac{1.624P}{d} \dots\dots\dots(33)$$

上記の結果では前面隅肉銲接の最弱斷面は實用計算に假定せる喉斷面にあらずして、これより稍低き位置にありて、其發生應力は實用計算の場合の約15%増となる。

次に喉斷面に於ける發生應力が實用計算式の示すもの以上なりとなす説をなすものに Neese, Bibber などがある。

Neese の説は隅肉に於て底B點に於ける應力強度を求めたものである、(第42



第 43 圖

圖及び第43圖)今單位幅について考へることとし、垂直邊BCに働く引張應力の合力PがAB面よりe1の距離にあるものとす、水平斷面ABに働く曲げモーメントはM=Pe1にして、この斷面のもつ斷面率はW = (bd^2)/6 = (d^2)/6なるが故に、

B 點に働く主應力は

$$-\sigma_1 = -\frac{M}{W} = 6 \frac{P}{d} \cdot \frac{e_1}{d} \dots\dots\dots(34)$$

にて示される。

垂直斷面BCに働く軸張力及曲げモーメントより其下端B點に働く主應力を求むるに、軸應力はP、曲げモーメントはM=P(d/2 - e1)なるが故に

$$+\sigma_2 = \frac{P}{d} + 6 \frac{P}{d} \left(\frac{1}{2} - \frac{e_1}{d} \right) \dots \dots \dots (35)$$

となる、然るに B 點に於ては $-\sigma_1 = \sigma_2$ なるべきなるが故に (34) 及 (35) 式によりて

$$6 \frac{e_1}{d} = 1 + 3 - 6 \frac{e_1}{d}$$

$$\text{従つて } \frac{e_1}{d} = \frac{1}{3}$$

この値を (34) 及 (35) 式に代入すれば

$$-\sigma_1 = \sigma_2 = 2 \frac{P}{d} \dots \dots \dots (36)$$

従つて $\frac{\pi}{4}$ の方向の最大剪断力も

$$t_{\frac{\pi}{4}} = \frac{2P}{d} \dots \dots \dots (37)$$

となる。

この説に於ては隅肉銲接の底に於ける兩主應力及喉断面方向の最大剪断力が孰れも $\frac{2P}{d}$ に示さるゝことを示したもので、喉断面全體に於ける應力については論じてをらない。

Bibber の説は母材間の應力の傳達が第 44 圖の點線の如くなるものと假定し、喉断面にてはこれに垂直に

$$R = \frac{P}{\cos \frac{\pi}{4}} = 1.414 P$$

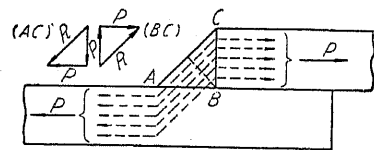
が作用し、喉断面積は單位幅につき

$$A = \frac{d}{\sqrt{2}} = 0.707d \text{ なるが故に、}$$

喉断面の引張應力は

$$\sigma = \frac{R}{A} = \frac{1.414P}{0.707d} = \frac{2P}{d} \dots \dots \dots (38)$$

なりと論じてをる。



第 44 圖

以上の諸説を要約するに前面隅肉銲接の切断面應力としては

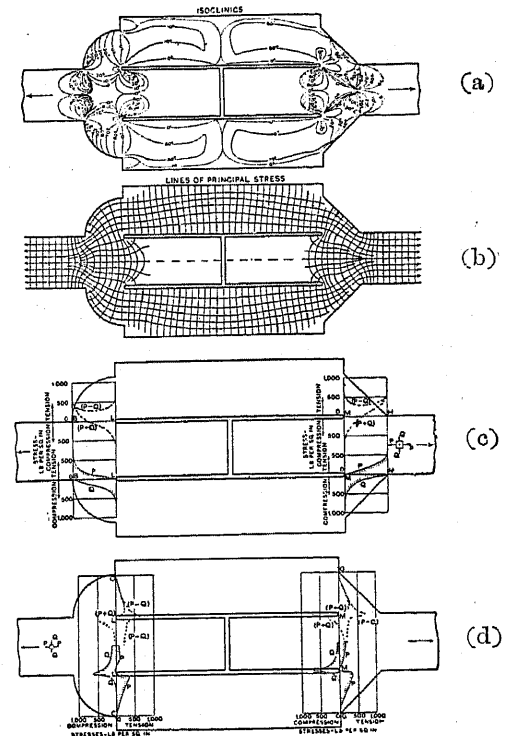
$$\sigma = \frac{1.414 P}{d} \dots \dots \dots (a)$$

$$\sigma = \frac{1.624 P}{d} \dots \dots \dots (b)$$

$$\sigma = \frac{2 P}{d} \dots \dots \dots (c)$$

が考へられ孰れが最も事實に適合してをるかは實驗にまたねばならぬが、これ等の諸式の算出の基礎たる各種の假定にも可成の無理のあることが明かであるから、孰れのもが優れてをるとも判じ難い。實用計算に於ては各國ともに (a) 式を使用してをる、この値は (b) 式、(c) 式に比して 15~40% 低い、これが若し低きに過ぐるものとしても、今日許容應力として剪断應力を採ることが、この點を幾分緩和することとなる。

前面隅肉銲接各部の應力分布を一層細く取り扱つたものに Streletzky 氏の理論的研究、Coker 氏其他によつて行はれた光弾性實驗による研究、Bierett 及 Grüning 兩氏による鋼製模型による研究等があるが、こゝには Coker 氏の研究の一部を掲げるにとどめる、第 45 圖は 45° の前面隅肉にて補強盛を有するものと、有せざるものにて連結された兩面母板接手の模



第 45 圖 前面隅肉銲接に於ける應力分布

型につき行はれた光弾性實驗の結果で、等傾曲線、主應力線、母材側接目の應力分布、目板側接目の應力分布を示したものである。隅肉銲接に於ける補強盛の有無は主應力線の方向に幾分の影響を示せるも、水平並に垂直の接目の應力度にはさしたる變化を生じてをらない。

先づ(c)圖にて水平接目の P 及 Q 兩主應力を見るに、左右兩種銲接とも P は接目の外端にて最大値を示し、内端に向つて一旦急激に減じ、其後漸次零に達してをり、 Q はこれと正反對の傾向を示してをる、 P の最大値は補強盛を有するものがB點にて800、補強盛なきものはHにて670を示し前者の外縁の方向變更の急激なることが P の分布に害を及ぼしてをることが分る。 Q の最大値はLにて610、Mにて690にして P の相違ほど著しくはない。

垂直接目について見るに兩銲接とも内端又は其附近にて最大値に達し、其値には殆んど差がない。

以上の結果から見ると模型の如き補強盛を有することは、内部應力の分布上から見て何等の効果のないことが明かで、徒らに材料を餘分に消費することに止まる。これは隅肉の取りつけに於ける方向の急變化が禍をなすものであつて、こゝにも前面隅肉銲接の將來の形狀變化の問題が覗はれる。

尙 Coker 氏の實驗では模型の材片間隙の兩隅には丸味が附してある、このことは實際の銲接の状態とは甚しい相違であつて、丸味のない實際の銲接にては實驗結果以上に思はしからざる應力分布が豫期せられるのである。