移動熱源による平板の変形 1*

佐 藤 次 彦**

Deformations of Plates due to Moving Heat Sources I.*

By T. Sato**

Abstract

We measured deformations of plates shown in Fig. 2 and 3, specially in detail angular distortions due to moving heat sources (oxyacetylene flames) under various conditions (Table 1).

We discuss the characteristic elements of the angular distortions using a model shown in Fig. 5.

Next, We treat time variations of the angular distortions (Fig. 6), one of their special features is shown in Table 2.

1 はじめに

平板上にアークのビードをおいた場合の変形の模様は例えは渡辺、佐藤¹⁾によって議論され、その塑性変形の機構についての模型ははなはだ興味がある。しかしながら熱源はなんであれ、かような移動熱源による変形の問題は相当基本的なことがらであるにもかかわらず、理論はもちろん、実験もあまり行われていないようである。これは変形量そのものが実験条件、しかも無意識の実験条件によって相当にばらつき、実験の精度をあげることが困難であるという事情にもよるのであろう²⁾。

熱による変形をいろいろの加工のさいに利用することは古くから行われてきたことであるが、平板の移動熱源による塑性変形を加工に利用することが最近意識的に行われている³⁾。

われわれはかような実用的な目的に将来近づくことを考えながら、酸素・アセチレン焰を用いて移動熱源とした場合の平板の変形の実験をこれまでにやってきた。そのうちで最も基本的なことがらから議論していこう。

2 実験の方法

われわれの使用した装置を Fig. 1 の写真に示す。熱源はトーチをつけた台車がレールの上を手動によって移動することにより半自動的に移動する。熱の供給前後の変形を同じく台車にとりつけたダイヤル・ゲージで測定するので、上下方向の精度は 1/100 mm 程度に工作したつもりである。台車にとりつけた可動ダイヤル・ゲージで変形を測定するほかに、変形の時間的変化を記録するためにテス

ト・ピースの下面に 2 個、横側面に 3 個、縦側面に 3 個あわせて 7 個配置した。これを Fig. 2 に示す。なお可動ダイヤル・ゲージで測定した点を Fig. 3 に示す。

使用したテスト・ピースはすべて構造用軟鋼で、500mm × 300mm の矩形平板、厚さはそれぞれの実験につき 10, 15, 20mm の 3 種類を用いた。このテスト・ピースをわれわれの装置にのせ、高さの調整できる 4 つの支持針 (Fig. 2) の上で自由支持した。

また酸素・アセチレン焰を使用するにあたり、酸素、アセチレンガスそれぞれに流量計をつけ調整に留意した。と

Fig. 1 Testing Apparatus

Fig. 2 Test Piece and Positions of Dial Gages and Support Points (●'s show set-positions of dial gages and ○'s show support points)

* 原稿受付 昭和32年 8 月 5 日 (昭和32年度熔接学会秋季学術講演会において発表)

** 正員 大阪工業大学 Member, Osaka Institute of Technology

Fig. 3 Representation of Measure-Points of Angular Distortion using Moving Dial Gage (○'s show measure-points)

くにアセチレンガスに対しては水銀圧力計を使用する必要があった。実験にさいしていずれの場合にも酸素・アセチレン燐の白色錐の先端がテストピース上から 3mm にあるようにした。

Table 1 にそれぞれの実験番号，実験条件などを示す。

Table 1. Representation of Our Test Conditions

Test No.	Test piece thickness (mm)	Real gas discharge (l/min)	Pass time of heat source (min)
a1	10	O ₂ 4.8 C ₂ H ₂ 5.2	5
a2	15	O ₂ 4.8 C ₂ H ₂ 5.2	5
a3	20	O ₂ 4.8 C ₂ H ₂ 5.2	5
b1	10	O ₂ 5.8 C ₂ H ₂ 8.4	5
b2	15	O ₂ 5.8 C ₂ H ₂ 8.4	5
b3	20	C ₂ 5.2 C ₂ H ₂ 8.6	5
c1	10	O ₂ 5.0 C ₂ H ₂ 4.6	7.5
c2	15	O ₂ 5.0 C ₂ H ₂ 4.9	7.5
c3	20	O ₂ 5.4 C ₂ H ₂ 4.8	7.5

3 角 変 形

まずそれぞれの実験における A, B, C, D, E 各断面にお

ける角変形とその平均値を Fig. 4 に示す。ただしこれは熱の供給前後の

変形を可動ダイヤル・ゲージではかり、各測定点にお

ける差の量が熱の供給によって起った変形量であると

考えて、各断面上

Fig. 4 Angular Distortions in A, B, C, D, E Sections and their Mean Values (10^{-3} radian)

での中央の各点に対する相対的な角変形（ある断面上で 1, 2, 3, 4 各 line 上の点の 5 line 上の点に対する角変形および 11, 10, 9, 8 各 line 上の点の 7 line 上の点に対する角変化）を求め、各断面ごとに平均したものである。また記入した平均値はすべての断面について平均したものである。

これを数表であらわさず図示したのは角変形の変化の模様を直観的にわかるようにするためである。これまで行われてきた実験では角変形は多くの場合中央断面だけではかれている。したがってここに示したような各断面の角変形の変化はめあたらしいものである。この図表からの結論または推論をつぎに列記してみよう。

1) 角変形が断面によって変化することはいま述べたとおりである。

2) 板厚が 10mm のものでは A 断面から E 断面の方へ（熱源の移動位置のあとの方）変形が大きくなっている。これは角変形についてはいまだ定常状態に達していないということである。板厚が 15, 20 mm のものではかような顕著な傾向はみられず、どちらかといえば角変形が最大の断面はだんだん左によっている。

3) 実験番号 b の組は Table 1 に示したように酸素、アセチレンとも a の組より流量をましたものであり、表からわかるようにアセチレン過剰燐である。熱源の通過時間を a の組の 1.5 倍にした c の組、および a の組のいずれよりも b の組の角変形はすべての板厚に対して大きい。

われわれはさきに進むまえに、ここで角変形の機構について考えねばならない。まず角変形の機構に大きく関与する因子としてはつぎの 3 つがある。

i) 熱によって温度があがり、そのために変形抵抗が非常に小さくなる領域の大きさ。（巾および深さ）

ii) その変形抵抗の小さな領域を圧縮しようとする熱応力の大きさ、われわれの場合は自由支持であるから、板全部が等温度に近づけば熱応力は小さくなる。したがって適当な温度勾配が必要である。

iii) 変形が起きようとするのをさまたげる拘束の大きさ、角変化の時間的変化のところでわかるようにある点の熱源通過後に起る角変化はこの拘束がだんだんとれていくことによる。

かような事情を模型的に示せば Fig. 5 のようになる。（渡辺・佐藤の模型）

さてもとに戻って b

の組のアセチレン過剰燐の場合、中性燐にくらべて巾の広い熱分布

Fig. 5 Schematic Representation of Deformation in some Section of Plate due to Heat Supply

をもって、しかも流量が大きいのであるから熱量も大きい。したがって適当な変形抵抗の小さい領域とともに適当な熱応力が働いた結果、bの組の変形は大きくなったものと考えられる*。

4) bおよびcの組で流量、あるいは通過時間をましたためにaの組にくらべて最も大きな影響を受けたのは板厚15mmのものである。これはこの条件をかえたことが板厚15mmのものの角変形の要因に適合したからであろう。もっと流量をまし、通過時間をながくすれば板厚20mmのものも相当変形を増大することと思われる。

これと逆に板厚10mmのものはa, b, cの実験条件の変化によってほとんど角変形は影響されていないとみてよい。これは角変形にはそれぞれの板厚に対して“最高値”が存在し、しかもわれわれの実験条件は板厚10mmのものに対してはその角変形の“最高値”を実現すべき条件には近い、ないしはすでに超えているのではないかと推測を起させる**。この点は非常に重要であると思われるのでわれわれの今後の研究の主要な題目の1つとするつもりである。

5) 一般に同じ実験の組では板厚の小さいもののほど変形が大きい、これはまず当然であろう。

6) Fig. 4 およびいままでの議論から明らかなように、われわれはなにをその実験の角変形にとればよいかは容易にいけない。同じテスト・ピースで断面によって角変形がかわっているのであるから、Fig. 4 に示した各断面での角変形の平均値をとるか、最大の角変形をとるか、中央断面での角変形をとるかによって変形の大きさの順位も場合によってはかわってしまう。2) で述べたように定常状態に達するほど板の長さが長くないのだからこれもやむを得ない。しかも同じ断面でも中心からの距離によって多種多様な角変形の変化をしているのだから、なおさら話はむずかしい。われわれの平均値は実用の場合に便利という目的でとった。

4 角変形の時間的变化

われわれは6, 7のダイヤル・ゲージを用いて角変形の時間的变化をはかった。Fig. 2 でわかるように装置の都合上6, 7のゲージを熱源の移動直線に垂直な同一平面上にならべることができなかった、純粹の意味の角変形

をこれから求めるのは無理であるが、時間的变化は充分観察できよう。

この場合の変化は板厚が異っても似た傾向を示すから、ここでは板厚15mmの場合の結果だけをFig. 6に図示した。

Fig. 6 Change of Angular Distortion, in the Case of Plate Thicknesses=15mm

6, 7のダイヤル・ゲージの附近を熱源が通過する前後で、変形は時間的にどう分布になっているかを調べることは興味がある。Table 2にダイヤル・ゲージ6, 7を熱源が通過する時刻を0としてその前後を30秒ごとにわけ、最終の角変形に対する各30秒の占める割合をパーセンティジで示した。

Table 2. Percentage of Angular Distortion for each 30 Seconds before and after Heat Source passes the Section of Dial Gages 6, 7, in the Case of Plate Thickness=15mm

	-60 sec	-30 sec	+30 sec	+60 sec	+90 sec
a2	16%	32%	27%	17%	2%
b2	10%	18%	21%	18%	16%
c2	7%	9%	6%	19%	24%

Table 2 でわかるように a2では熱源がダイヤル・ゲージの附近を通過する前の方が変形が大きい、b2, c2では逆に通過したあとの方が大きくなっている。これはさきに述べたようにa, b, cの組で支配的な変形の要因が異なるであろうという推論をうらづけているように思われる。

さらにcの組は熱源の移動速度がおそいから別としてa2とb2を比較した場合、熱源通過前の変化量はb2が多少大きい程度であるが、通過後はb2の変形量は圧倒的に大きい。(Fig. 4 参照) しかもb2の場合は通過時刻を中

* 講演後石川島重工 K.K. より同社の線状加熱板曲加工法についての文献として石川島技報 Vol. 11, No. 35 ; Vol. 13, No. 40, No. 41, Plate Bending by Line Heating Method などを送附していただいた。同加工法の熱源のまわりを水冷するやり方は勿論熱応力を大きくするため、現在われわれのところで進行中の実験においても塑性変形抵抗の小さい領域を大きくすることより、熱応力を大きくする手段の方が角変形に対しては有効のようである。

** 前記石川島重工 K.K. の Plate Bending by Line Heating Method の Fig.9-1 によれば、われわれの実験と全く実験条件その他異なるにもかかわらず、板厚10mmのものに対する石川島の実験の角変形の最高値がわれわれの実験結果の 10×10^{-3} radian にほぼ一致していることは、各板厚に対して角変形の“最高値”が存在するのではないかとわれわれの推測を裏づけているように思われる。

心にして角変形の分布は巾が広い。この事実からみて、かような場合の角変形は熱源の通過する各点が互に他を変形させながら、かつ互に他点の変形に対する拘束としての働きをゆるめあう1種の“協力現象”として理解する必要があるように思われる。この協力現象の要因としてさきあげた要因が複雑に働きあうのであろう。

5 おわりに

われわれは1, 2, 3のダイヤル・ゲージで横収縮を、4, 5のダイヤル・ゲージで縦変形をしらべた。しかしながらその結果にはほとんど規則性がみとめられなかったのでここでは述べない。

われわれは今後ここにかかけたいいくつかの推論をためかめることと、角変形の要因の“効きかた”をしらべるため

の実験を計画中である。

おわりに資材その他でいつも御援助いただいている大阪造船株式会社南景樹専務の御好意に深く感謝する。またいろいろと討論していただく阪大工学部佐藤邦彦助教授、流量計について教えていただいた水野政夫助教授に深く感謝する。さらに実験に熱心に協力していただいた大阪工大機械工学科学生、室屋、原田、新井、白土、畠中、安武、大坪、木瀬、塚田、中村の諸君に深く感謝する。

文 献

- 1) 渡辺正紀、佐藤邦彦；熔接学会誌、25巻、4号
- 2) 佐藤次彦；熔接学会誌、26巻、5号
- 3) 石川島重工業株式会社

投 稿 規 定 抜 萃

1. 原稿の種類 熔接工学または技術に関する下記のもの、①論文および報告 ②掲載論文に対する討論 ③技術資料、講義および解説
3. 論文および報告はすべて寄稿者の創意にもとづき、いまだ他の学協会誌に掲載されたことのないものに限る。
5. 文体は和文（国語体）とし、なるべく内閣制定の当用漢字、現代仮名づかいによること。また仮名は平仮名、数字はアラビア数字、適当な邦語がない外国語は片仮名または原語で記すこと。
6. 論文および報告には必ず欧訳題目を附し、また欧文摘要（タイプ書とする）をも附すること。ただし摘要は800語以内および100語以内の2種類を添附のこと。
7. 論文および報告は図表を加えて会誌6頁を超えないこと。やむをえず超過する場合は印刷費の一部として1頁につき2000円を著者が負担するものとする。ただし10頁を超えないこと。
8. 図、写真、表はなるべく少しく同一事項を図表両方にて表わすことをさけ、次の要領に従うこと。
 - i) 挿図はなるべく会誌1/2面以内（幅最大 140mm）に縮小し得るよう、文字および線の太さに注意し挿入の箇所をあらかじめ原稿に指定のこと。
 - ii) 図表には必ずその内容を表示する簡単な見出しをつけ、欧文とすること。
 - iii) 挿図はそのまゝ、縮尺しうるようなるべくトレーシングペーパー、オイルペーパー、トレーシングクロス等に墨色で記入し図中文字も墨書すること。またインキ類あるいは彩色を施さないこと。
 - iv) 方眼紙は青野のものを用い縦横線を必要とする部分にはあらかじめ野線でこれを記入のこと。
17. 原稿の送附は大阪市都島区東野田町九丁目 大阪大学工学部熔接工学教室内「熔接学会編集幹事会」宛のこと。