

爆圧による薄い鉛板の塑性変形に関する高速度写真

植村 恒義, 清田 堅吉*, 須藤 秀治**

High-Speed Photography of the Dynamic Plastic Deformation of Thin Lead Plates by Explosion Shock Wave

Tsuneyoshi UEMURA, Kenkichi KIYOTA and Hideji SUDŌ

ABSTRACT: Conical shapes of plastically deformed thin metal plates by explosion shock wave are different from spherical shapes resulted from hydrostatic pressure.

We took photographs of the process of dynamic plastic deformation of thin lead plates by explosion shock wave, using the Suhara's Ultra-High-Speed Camera in 22,000-23,000 frames per second, and the results confirmed our prediction.

(Received November 22, 1952)

§ 1. まえがき

一様な厚みの薄い円形鉛板の円周を固定しておき、静的に圧力をかけると、第 1 図 A のように球形に膨らむが、ある距離をへだてて火薬を爆発させその衝撃波を鉛板に直角にあてると、鉛板は第 1 図 B に示すように円錐形に塑性変形を起す。又中央に円い孔がある場合でも截頭円錐形(第 1 図 C)となり、四周を固定した矩形板では屋根形に変形する。又両端を固定したリボン状の板の場合は円錐の縦断面に相当する三角形となる。このように衝撃的に圧力を加えた場合と静的に圧力を加えた場合とでは、著しく異つた塑性変形を起す。

これらの事実は、その変形程度より火薬の爆圧の比較測定、水中爆発の船体に与える影響や、構造物にかかる衝撃力の測定等に用いられているが⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾、筆者中の清田・須藤は既にこの変形機構の解明のために種々の基礎実験を行い⁽⁴⁾、その結果、爆薬から適当な距離をへだてれば、板面に到達する衝撃波は平面波と考えてよく、この平面衝撃波が板面に直角に当たるときは、衝撃的に板は一様な速度を与えられる。板は周辺を固定されているため、次の瞬間にその周辺で一様な衝撃を受

ける。従つて板の変形は先ず固定周辺で起り、その塑性変形が漸次中心部に向つて進行すべきであると推論した。尙最近米国でも G. H. Hudson⁽⁵⁾ が同様な推論の下に円形板の場合について解析を行っている。これらの塑性変形の実際の進行状況を究明するため、栖原式高速度カメラ⁽⁶⁾ を使用し撮影を行つて見たので、その結果について不取敢簡単に報告する。

§ 2. 実験装置及方法

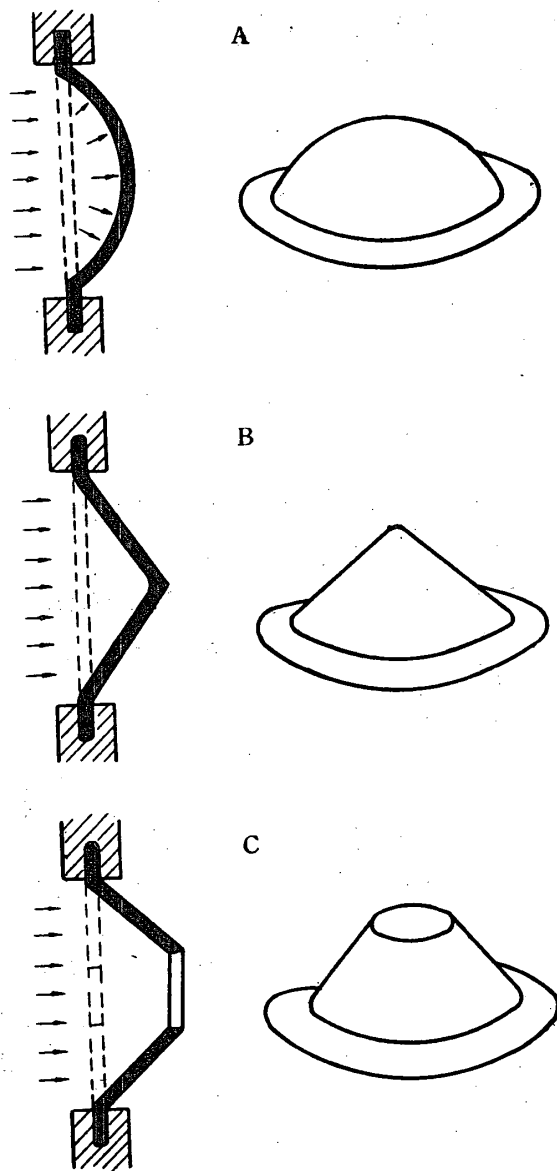
第 2 図は実験装置の平面配置を示す。アーク燈(A)を照明光源として用い、凹面反射鏡(B)により反射させ、栖原式高速度カメラ II 型(最高毎秒 45,000 駒迄撮影可能)(C)へ集光させる。凹面鏡とカメラの間に試片をおき、試片の側面を影写真で撮影した。爆風の危険をさけるため試片を戸外におく必要があるためカメラのレンズ(D)は長焦点レンズ(Tessar 1: 5.0, $f=70$ cm)を使用し、試片とカメラの距離は 9.6 m にした。

変形過程は 2,000 分の 1 秒以内の短時間に完了するので、毎秒 22,000~23,000 駒の撮影速度で実験を行つた。フィルムは 35 mm Kodak XX を使用し、強力現像を行つた。

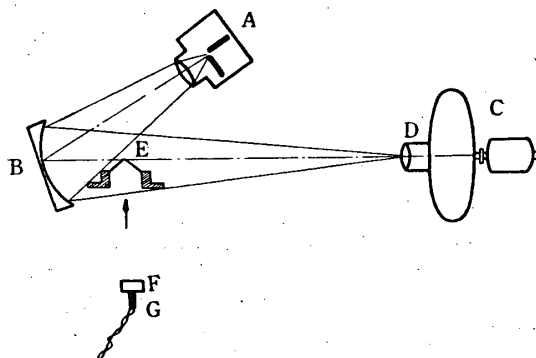
カメラのシャッターと爆薬点火用電気雷管(G)

* 熊本大学工学部

** 中央大学工学部



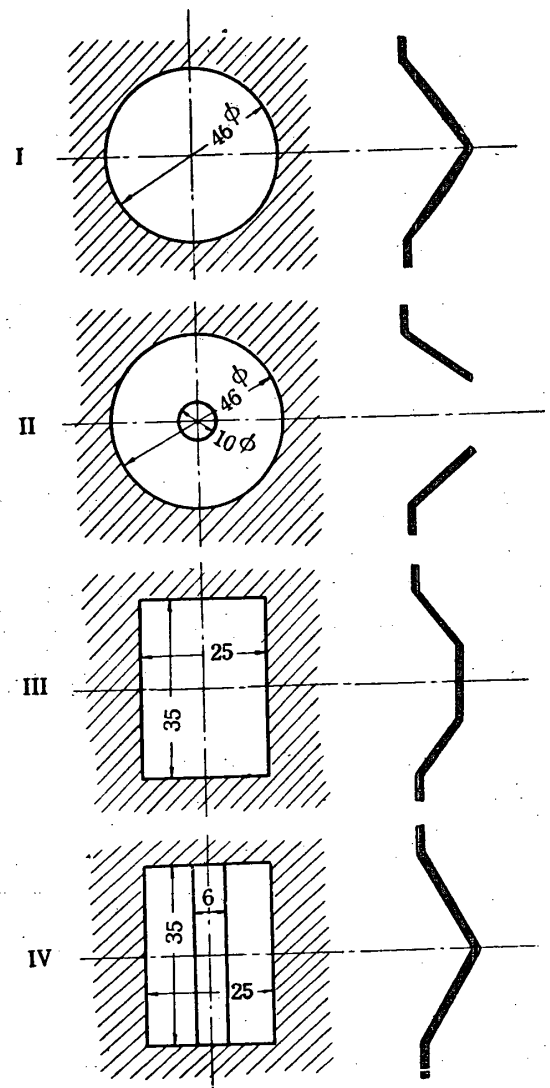
第1図 A: 円形板に静的に圧力をかけた場合
B: 円形板に衝撃的に圧力をかけた場合
C: 有孔円形板に衝撃的に圧力をかけた場合



第2図 実験装置平面図

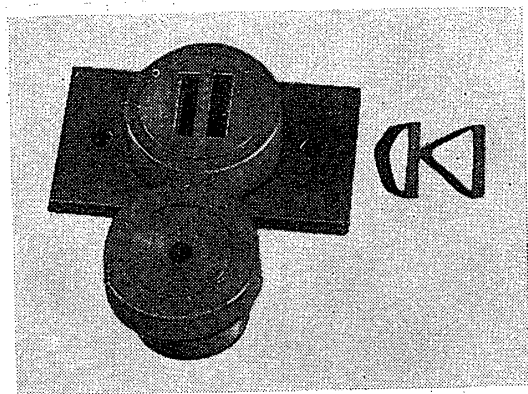
とは、サイラトロンを用いた継電装置で連結し、爆発の瞬間をうまくとらえるようにした。

使用した試験片は市販の純鉛を0.5~0.6mmの一樣な厚さに圧延したもので、形状は第3図左に示すような4種について実験した。第3図右は夫々の変形後の断面のプロフィールを示す。(I)は直径46mmの円形板で円周を取付金具に固定してある。(II)は(I)と同一寸法の円形板の中央に直径10mmの孔をあけたものである。(III)は長辺35mm、短辺25mmの矩形板で四周が金具に固定してある。(IV)は(III)の取付金具の中央に巾6mm、長さ35mmのリボン状板を橋渡して両端を固定したものである。第4図の写真は取付金具に試験片を取付けた状態を示したも



I: 円形板, II: 有孔円形板
III: 矩形板, IV: リボン状板

第3図 試験片の形状



第4図 試験片と取付金具の写真

ので、左上はリボン状板の場合、左下は有孔円形板の場合である。右にある試験片は変形後のリボン状板である。

各試験片の表面には写真に現われる部分に5mmおきに半田で凸起をつけておき、変形過程中的局

部的変位がわかるようにした。

使用した雷管(G)は6号電気雷管で、雷管の破片が試験片を傷つける恐れがあるので特に底のないものを用いた。

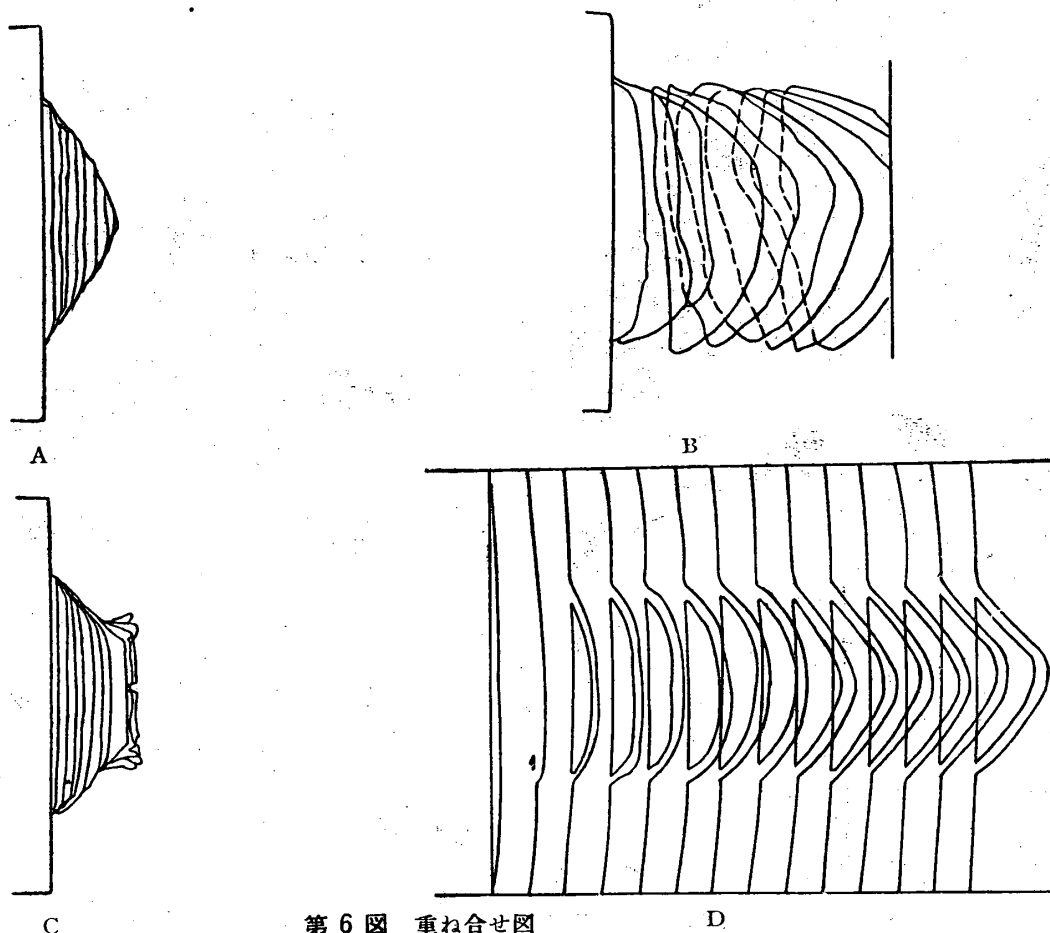
爆薬は周囲に被害を与えずに試験片に所望の変形を与えるのに必要な最低量を予備試験で決定し、形板円、有孔円形板、矩形板(第3図 I, II, III)には TNT 10gr を直径 25mm, 長さ 15mm の円柱形にしたものを用い、リボン状板(第3図 IV)の場合のみ爆煙が被写体を覆うのを防ぐために煙の発生が少ない新桐ダイナマイト 15gr を約 25mm 径の球形にして使用した。

§ 3. 実験結果

第5図の写真は撮影結果の数例を示す。又第1

第1表 撮影写真結果の諸元

写真番号	形 状	毎秒撮影回数	爆薬と板との距離	使 用 爆 薬
A	円 形 板	22,500	40 cm	TNT 10 gr
B	円 形 板	15,000	37 cm	同 上
C	有孔円形板	22,700	39 cm	同 上
D	リボン状板	22,500	20 cm	新桐ダイナマイト 15 gr



第6図 重ね合せ図



第 5 図 撮影結果 A 凹形板, B 凹形板 (切斷), C 有孔凹形板, D リボン状板.

表はこれらの写真の諸元を示す。第 6 図は第 5 図の写真を重ね合せて記録したもので、各線は 1 駒毎の変形状況を示す。

第 5 図 A は円形板の場合で、塑性変形は固定した円周部分から始まり、次第に中央部に進行して截頭円錐形から円錐形になつて行く状況がよくわかり、推論の通りであつた。変形の途中で中央部に塑性変形をうけていない平面部が残っている点に注目すべきである。第 6 図 A の重ね合せ図では、板の未変形部分が大体一定の速度 28m/sec で進行していることがわかる。

第 5 図 B は A と同じ円形板の場合であるが、爆圧が強過ぎ、試験片が吹き飛んだ場合の写真である。切断は固定された円周に沿つて最初の時期に起つており、第 6 図 B からよくわかるように円周で切断して周辺固定の条件がなくなつても、切断した円板は截頭円錐が次第に円錐形に変化しながら飛行していることは興味ある現象である。

第 5 図 C は有孔円板の場合で、静的に圧力がかかれば、中央の孔から逃げて全然変形しない筈であるが、衝撃圧の場合では孔の存在に関係なく、A の場合と同様な塑性変形が周辺から中央部に向つて進行し、途中の段階ではやはり截頭円錐形になつている。この写真の場合爆圧が少し強過ぎたため、最後の段階で中央孔の周辺が半径方向に少し裂けて外側にめくれが生じている。このため第 6 図 C でわかるように最後に急に变形速度が大となつている。

第 5 図 D はリボン状板の場合で、変形進行の初期には円形板、有孔円形板の場合と同様に截頭円錐の断面に相当する形状をとつているが、中途より截頭部分の鮮明さを欠き、一旦円弧状に近くなり、再び円錐形の断面となつて変形が終了して

いる。これは新桐ダイナマイトの衝撃波が TNT の衝撃波よりも鋭さを欠いていることが、相当影響していると思われるが、円形板の場合と全く同一の変形過程ではないようである。第 6 図 D は変形過程を明示するため、他の重ね合せ図と異なり、基線を僅かづつずらせて描いたものである。

§ 4. むすび

以上の撮影結果より、衝撃波をうける鉛板の変形過程は、予想した如く、衝撃波が板面に当つた瞬間板全体が板面に直角な方向に一定の速度で動き出そうとするが、周辺部が固定されているためその部分に衝撃を生じ、その結果塑性変形を起し、その塑性波が次第に中央部に向つて進行するので、截頭円錐形から円錐形へ推移することが確認された。尙円形板の場合についての G. H. Hudson の仮定⁽⁵⁾も正しいことがわかつた。

本高速度撮影実験は清田・須藤の依頼により植村が行つたもので、実験結果の理論的解析については清田・須藤より別に報告の予定である。尙種々の材質の金属板並に非金属板の場合についての撮影を目下計画中である。

終りに種々御教示と御援助を賜つた曾田範宗教授に厚く感謝の意を表すると共に、実験に協力して戴いた伊藤寛治、菅谷勝彦、戸田健次の三氏に感謝する。

文 献

- (1) *Jahresberichte d. C. T. R.* III, 88.
- (2) 山家：火兵学会誌，第 31 巻，6 号。
- (3) 鈴木：海軍 火研甲，第 331 号。
- (4) 清田：熊大工学部報告，第 1 巻，第 1 号（昭 26）。
- (5) G. H. Hudson: *J. of Appl. Phys.*, 22 (1951), 1~11.
- (6) T. Suhara: *Rep. of Aeronautical Res. Inst.*, 5 (1930), 173.

(1950 年 11 月 22 日受理)