

## 鉄板上の凹状爆痕の深さに影響する諸因子

伊 東 威・佐藤 純 一\*

### I. 緒 言

Rinehart は彼の著書<sup>1)</sup>の中で、無被包の円柱状爆薬を金属板上で爆轟させると、板上に凹状の爆痕が生ずること、又こうした凹痕の生成時における高压爆轟ガスの作用時間の過程、あるいは凹痕の深さに對する薬長と薬径の影響等について述べている。上記のような凹痕の生成はよく知られた現象であるにもかかわらず、それと爆薬に与えられた諸条件との関係を求めたデータは、現在非常に少ない。爆薬對金属の接触爆轟の實驗結果は、もちろんその際の実験条件に附随したものであり、無被包薬の代りに被包薬を使用すれば、凹痕の生じ方もまた異なってくる。本報では鉄管を被包とし、TNT あるいは添加物を混合した TNT を用い、種々の条件で實驗を行なつた場合における、凹痕の深さを吟味した結果について述べる。

### II. 實驗方法および測定

爆発實驗における爆薬と鉄板の配置、および寸法を第1図に示す。被包鉄管は市販ガス管(内径22mm厚さ2.5mm)を、また凹痕を求める鉄板は一枚の平鋼板(厚さ26mm)を適宜切断して全實驗に使用した。

凹痕の測定量としては、凹痕の直径切断面にもとづき、鉄板表面の最大変位量( $\epsilon$ )をとつた。 $\epsilon$ の測定は切断面をよくみがいた後、1/100mm 精度の読取顕微鏡によつて行なわれた。その測定誤差はほぼ $\pm 2\%$ とみられるが、鉄板材質にもとづくと思われるばらつきが $\pm 3\%$ 程度あり、総合誤差は $\pm 5\%$ とみなされる。

爆速の測定法としては、図1のようにドートリッシュ法により、鉄板に近接した爆薬部分の平均爆速を求める方法をとつた。別に、流しカメラによつて、上と同じ状態の四種の爆薬について爆速を調べた。この結果、図2のように、TNT 単体では装填比重( $\rho$ )が1.0の場合、起爆端から3cmの位置で定常爆速となること、また、TNT に20% 添加物を加えた場合には、7cm ないし 9cm の位置で定常爆速となるこ

とがわかつた。以上の結果にもとづき、本實驗のドートリッシュ法ではすべて定常値を測定するような考慮が払われた。なお同法による測定誤差は、4,000 m/s の爆速に對し  $\pm 80$  m/s とみなされた。

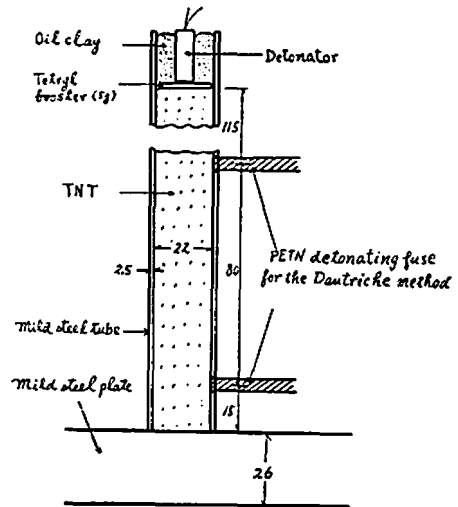


Fig. 1 Experimental arrangement

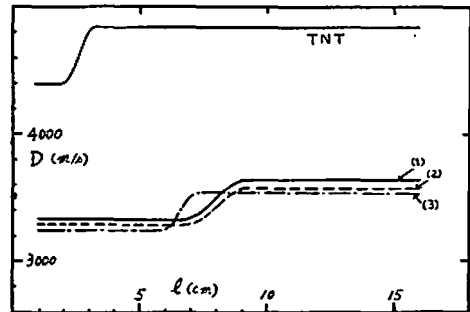


Fig. 2 Detonation velocity ( $D$ ) ~ distance ( $l$ ) relations in TNT and 80/20 TNT/additives.

Additives: (1) FeO, (2)  $Al_2O_3$ , (3) Cu  
Loading density: 1.0

### III. 實驗結果

#### 1) TNT の $\rho$ を変動し爆速を変えた場合

實驗には 60 メッシュから 80 メッシュの間に粒度

昭和39年9月7日受理  
\* 防衛大学校 化学教室 横須賀市志木

分布の最大値をもつ TNT を使用した。この TNT 80g の  $\rho$  を 0.6 から 1.2 まで変化することによって爆速 ( $D$ ) を変動し、これに対する凹痕の  $\epsilon$  を求めた。得られた  $D \sim \epsilon$  関係を図 3 に示す。同図によれば、 $D$  が 3,600 m/s から 4,900 m/s まで増加するに従い、 $\epsilon$  は直線的に増加する、また 4,900 m/s をこえるとその増加率は急に低下することがわかる。この直線部分、すなわち  $\rho=1.0$  以下 0.6 までの低比重部分の  $D \sim \epsilon$  関係式として、次式が得られた。

$$\epsilon = -1.85 + 0.001D$$

但し、 $\epsilon$ : mm,  $D$ : m/s

上式の第 2 項の比例常数は直線の傾斜を示すが、これによれば、 $D=3,600 \sim 4,900$  m/s の範囲では 1,000 m/s の爆速増加により  $\epsilon$  は 1 mm 増加する。また 4,900 m/s 以上の範囲では同じ条件でも  $\epsilon$  増加は 1 mm 以下であるといえることができる。

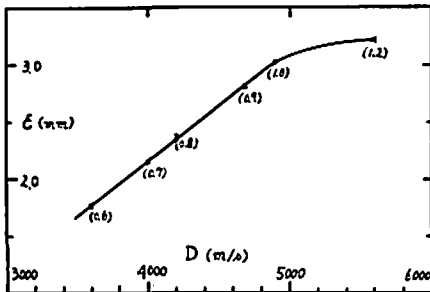


Fig. 3  $D \sim \epsilon$  relation in TNT.  
( ): Loading density of TNT.

## 2) $\rho$ を固定し薬量を変えた場合

TNT の  $\rho$  を 1.0 に固定し、薬量を 10g から順次 80g まで変化して  $\epsilon$  を求めた。この場合、爆速を個々に測定していない。得られた薬量と  $\epsilon$  の関係を図 4 に示す。同図にて 10g (薬長 2.5 cm) の  $\epsilon$  が特

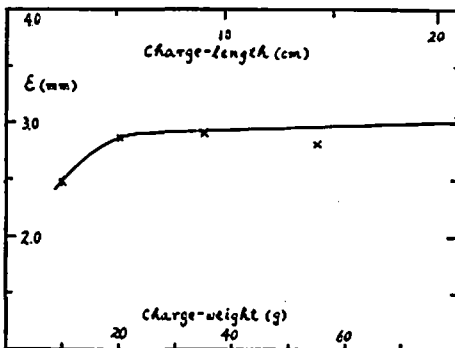


Fig. 4 Charge-weight and -length of TNT  $\sim \epsilon$  relation

に小さいが、これは既述の流しカメラの結果 (図 2) によれば、薬長が短かく定常爆速に達しない為と考えられる。10g を除くと、薬量増加に対し  $\epsilon$  の増加は非常に小さく、本実験のような鉄管被包、 $\rho=1.0$  の条件下では、薬量は  $\epsilon$  にほとんど影響しないといえることができる。

更に、この実験における凹痕の観察から次のような事がわかった。すなわち、鉄管被包による TNT の凹痕には、図 5 のように三つの部分に区別される痕跡

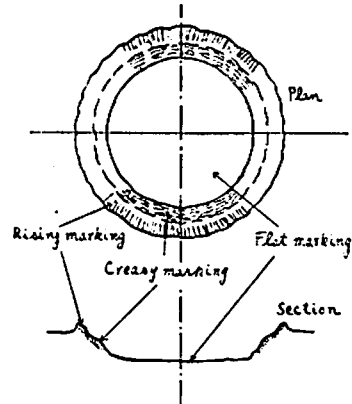


Fig. 5 Sketch illustrating three characteristic markings on mild steel plate produced by detonation of TNT.

がみとめられる。中央部には扁平の陥没、その外側には円周状の褶曲模様、更にその外側には放射状の隆起模様がみられる。かりにこれらを、それぞれ扁平痕、褶曲痕および隆起痕と名づけると、扁平痕径は常に鉄管の内径 (すなわち TNT の薬径 22mm) より大きく、外径 (27 mm) より小さい。また、薬量増加に対し、扁平および褶曲痕径は増加しないが、隆起痕径は直線的に増加する。凹痕の直径断面の形状を各薬量について比較してみると、薬量増加に従い半径方向に形状が引きのばされ、特に隆起部にそうした傾向のいちぢるしいことがみとめられる。

## 3) $\rho$ を固定し被包鉄管に肉厚の鉄管を接続してその厚みを変えた場合

既述の鉄管の下部に長さ 45 mm の肉厚の鉄管を接続し、その肉厚 ( $t$ ) をそれぞれ 10, 15, 20, 25 および 35 mm とした。この肉厚管は丸鋼から削出された。この接続管にすべて TNT を同一条件 (35g,  $\rho=1.0$ ) に装填して  $\epsilon$  を求めた。 $t$  と  $\epsilon$  および  $D$  の関係を図 6 に示す。同図の  $t=20$  mm と 35 mm における  $D$  は  $\epsilon$  の実験と別に測定されたものであるが、鉄管の場合の爆速 (同図の  $t=2.5$  mm に相当) とほぼ一致した。同図において  $\epsilon$  は  $t$  の増加と共に直線的

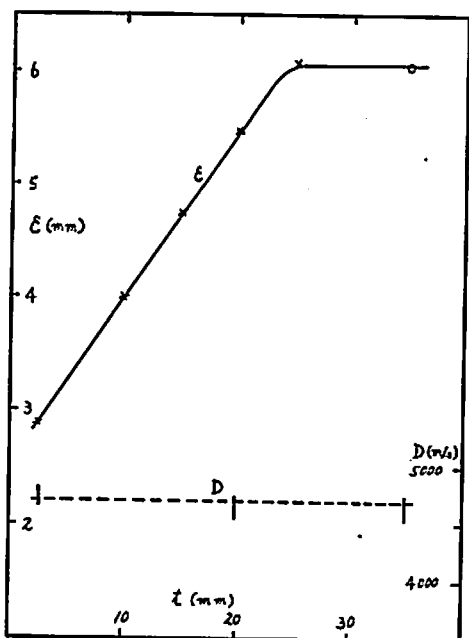


Fig. 6 Thickness of cylinder wall ( $t$ ) $\sim\epsilon$  and  $\sim D$  relations

に増加し、 $t=25$  mm 以上では増加しないことがわかる。この直線部分 ( $t=2.5\sim 25$  mm) について次のような  $\epsilon\sim t$  関係式が得られた。

$$\epsilon = 2.5 + 0.15t$$

但し、 $\epsilon$ : mm,  $t$ : mm

図6では、肉厚管の破壊したもの (x) と、破壊しないもの (o) とを区別したが、xはすべて一直線上にあり、 $t=25$  mm の点でこの直線は折れて横軸に平行となる。そして  $t=25$  mm の x と  $t=35$  mm の o では  $\epsilon$  が等しいことを示す。このことは、 $\epsilon$  は被包鉄管の破壊よりむしろ肉厚に関係し、この場合では 25 mm の肉厚が限界値である、というように解される。

#### 4) TNT 添加物混合爆薬にて $\rho$ を固定し、添加物の種類と添加率を変えた場合

TNT に金属 (Mg, Al, Fe, Cu), 金属酸化物 (MgO,  $Al_2O_3$ , FeO,  $Cu_2O$ ), タルクあるいは食塩等を個々に 5% ないし 20% 添加した TNT 混合爆薬について、 $\epsilon$  を求め、添加物の効果を吟味した。上記添加物はどれも市販化学用試薬で、粒度は -200 メッシュより +250 メッシュに描えられたものである。この TNT 混合爆薬による  $\epsilon$  を求めるにあたり、添加率ならびにその場合の  $\rho$  の変動によつて  $\epsilon$  はまた複雑な変動を示すことが予想される。然し、ここではすべて  $\rho$  を 1.0、薬量を 80 g とし、添加率のみの変動による  $\epsilon$  と、その際の  $D$  とを求めることとし

た。また、それらの実験値を  $D\sim\epsilon$  関係図にプロットするにあたり、TNT 単体の  $D\sim\epsilon$  関係 (図3) を比較値としてとりあげることを試みた。以上の結果を図7に示す。なお、同図には各曲線が錯そうするため、目盛をかなり拡大し誤差範囲を附記した。

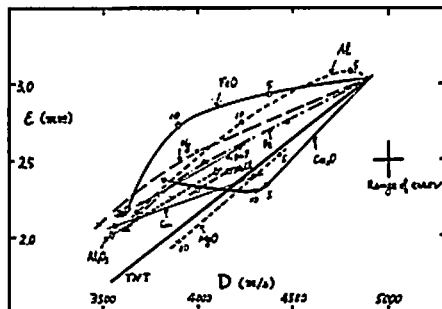


Fig. 7  $D\sim\epsilon$  relations in TNT and TNT/additives.

Symbols, 5, 10 and 20% of the additives. Charge weight: 80g. Loading density: 1.0

図7に対しては、TNT の  $D\sim\epsilon$  関係と、TNT 混合爆薬のそれとの、全体的な傾向の比較に観察の重点がおかれる。同図によれば、TNT 混合爆薬の曲線がほとんど TNT の直線より上にあること、また添加物の種類と添加率によつて、それぞれ違った傾向を示すことがわかる。この傾向は次のように三つに分類される。すなわち、(1) 上に凸の傾向を示すもので、Al, FeO, Mg および Fe がこの類に入る、(2) 直線性を示すもので、タルク、 $Al_2O_3$ , NaCl および MgO がこの類に入る、これらは 20% および 10% あるいは 10% および 5% の二点の延長が TNT の  $\rho=1.0$  の点に集まることから直線とみなされる、(3) 下に凸の傾向を示すもので、 $Cu_2O$  および Cu がこの類に入る (Cu は 20% と 10% を結ぶ線が TNT と交さることから下に凸と推定される)。さらに TNT に対する比較を、以上の分類にもとづいてしらべるために、図8のように書きかえる。図8は、TNT 混合爆薬の 5, 10 および 20% における  $\epsilon$  を、それと同爆速の TNT の  $\epsilon$  (これを  $\epsilon'$  で表わす) と比べるため、 $\epsilon-\epsilon'$  と  $D$  の直交軸に各添加率ならびに添加物毎についての点を取り、さらに (1) (2) および (3) 類を各個に結んだものである。なお、図8にも誤差範囲を示したが、添加物の効果の判定はこの範囲をこえるものについていわれる。図8から次の事がわかる。10% 添加の場合に添加物の効果が最も大きく、(1) 類が効果的といえる。20% 添加では (1) (2) および (3) 類とも効果は等しく、添加物の種類による

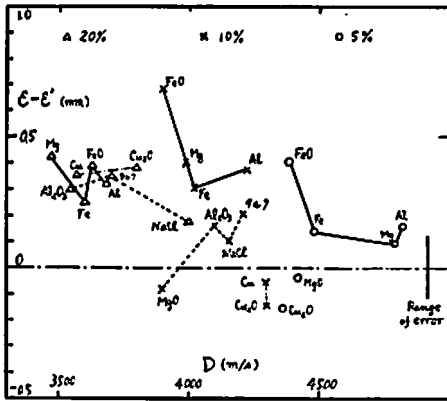


Fig. 8  $D \sim (\epsilon - \epsilon')$  relations.

差がみられない。5% 添加では効果はほとんど (1) 類の FeO のみに限られる。(3) 類では  $\text{Cu}_2\text{O}$  の 5% および 10%, また Cu の 10% で効果はマイナス側にあるが、いずれも 20% でプラス側に移る。なお、(2) 類の 5% の場合の実験を行なっていないが、これは先の図 7 の直線性からみて、明らかに (1) 類の 5% の線より下側のプラス位置にあり、無効果と考えられる。

以上の実験結果を一般化すれば、TNT に各種添加物を加えた場合、たとえ爆速が同じであっても、添加物の種類によつて  $\epsilon$  が異なるということである。また  $\epsilon$  を増加する効果は FeO 添加の場合に著しく、Al, Mg および Fe 等の場合にもみられることである。

### Factors Influencing Depth of Depression Produced in Mild Steel by Detonation

Takeshi Ito and Junichi Sato

Although it is a well-known fact that the depression is produced by detonation of cylindrical charge on metal surface, precise information about the factors influencing the depression has not been published. The depression, of course, depends upon each of the experimental conditions. In our experiment the maximum depth of the depression ( $\epsilon$ ) was measured under the condition of confining TNT or TNT/additive mixtures in mild steel pipe. The results are as follows:

#### IV. 総括

TNT あるいは TNT 混合爆薬を鉄管被包に装填し、鉄板上にて爆轟させた時、生ずる凹状爆痕の最大変位  $\epsilon$  を各種の条件で測定した結果、見出された事柄は次のように総括される。

- (1) 爆速と  $\epsilon$  との間には一次的关系を示す範囲がある (爆速 3,600 m/s ~ 4,900 m/s), この範囲より高爆速では、 $\epsilon$  の増加は急に小さくなる。
- (2) 薬長が 5 cm 以上であれば、 $\epsilon$  に対する薬量の影響は認められない。
- (3) 被包鉄管の下部に肉厚鉄管を接続した場合、肉厚と  $\epsilon$  との間には一次的关系を示す範囲がある (肉厚 2.5 ~ 25 mm), この範囲より厚肉では  $\epsilon$  は全く増加しない。
- (4) 各種添加物を加えた TNT 混合爆薬にて  $\rho = 1.0$  の場合、同一爆速であつても添加物の種類によつて  $\epsilon$  が異なる。 $\epsilon$  増加の効果をもつ添加物は FeO, Mg, Al および Fe で、特に FeO 10% 添加の効果は著しい。

本実験は本校野村教授のヒントによるところ多く、また実験にあつては、浜田および岡部両君の協力に負うところが多かつた。終りにあたり、以上の諸氏に厚く感謝する。

#### 文 献

- 1) J. S. Rinehart & J. Pearson: Explosive Working of Metals 98~99, 126~128 (1963) Pergamon Press

- (1) In a range of detonation velocity from 3,600 to 4,900 m/s  $\epsilon$  increases linearly with an increase of the velocity, and in a higher range than 4,900 m/s the increasing rate of  $\epsilon$  becomes suddenly slower.
- (2) The charge-weight does not influence on  $\epsilon$ , if the charge-length is longer than 5 cm.
- (3) In a case of connecting the rear end of the steel pipe with a cylinder tube of steel having a thick wall,  $\epsilon$  increases linearly with an increase of the wall thickness in a range of the thickness from 2.5 to 25 mm,

while it does not increase or decrease in a thicker range than 25mm. (4)  $\epsilon$  varies individually with an additive in the TNT-mixture for the identical velocity. The effective

additives increasing  $\epsilon$  are FeO, Mg, Al and Fe, especially 10% of FeO is the best. (Defense Academy)

## 爆薬の爆発による弾性波の発生

名 和 小 太 郎\*

### 1. 序 論

この論文は、爆薬の爆発による弾性波の発生について、その機構を検討することを目的としている。これは、岩石爆破あるいは地震探鉱において、爆薬のより有効な活用をはかるために計画されたものである。

この論文においては、第一に、爆薬エネルギーの弾性波エネルギーへの変換について、第二に、発生弾性波の波形について、理論的・実験的な考察をおこなうことにする。

### 2. 予備的考察（これ迄の理論）

ここでは、問題を球状爆源としてかんがえることにする。すなわち、等質・等方の無限弾性体中に、流体のみたされた球形空洞が存在し、空洞内に衝撃的な圧力があたえられる、とするものである。

球状爆源からの弾性波の発生機構については、これ迄に若干の報告がある。しかし、それらの表現はさまざまであるので、ここで、それらを同一の表現にかきあらためることにする。

一般に、圧縮に対して固体のしめす歪一歪力関係は、図1のようになる。このような媒体中に発生する波動は、その波頭圧  $P$  によつて次のような形をとる。

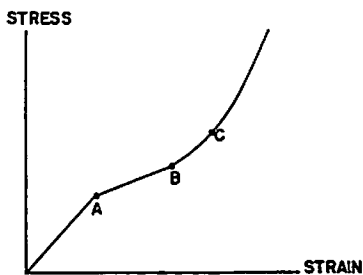


Fig. 1 Strain-Stress Relation for Rock

- (i)  $P < P_A$  ならば、弾性波のみが発生する。
- (ii)  $P_A < P < P_B$  ならば、弾性波と塑性波とが発生する。
- (iii)  $P_B < P < P_C$  ならば、弾性波と塑性波および不安定衝撃波が発生する。
- (iv)  $P > P_C$  ならば、安定衝撃波が発生する。

ここで、 $P_K$  は点  $K$  に対する圧力である。

いま、空洞に衝撃的な圧力  $P$  があたえられたとしよう。このとき、空洞周囲に伝播する波動は、その波頭圧の大きさが上にしめしたどの級に属するかにしたがい、それぞれに応じた挙動をしめす。波頭圧は、空洞から外方に伝播するにともない、媒体の粘性による内部摩擦と、波面の幾何学的なひろがりにより、減衰する。したがつて、あたえられた問題を次のように近似しうる。

- (i)  $P < P_A$  とかんがえる場合、空洞周囲は弾性波領域となる。この模型は、Kawasumi-Yoshiyama<sup>1)</sup>、Nishimura-Ohara<sup>2)</sup>、Sharpe<sup>3)</sup>、Duvall<sup>4)</sup>、Blake<sup>5)</sup>、Hirasawa-Sato<sup>6)</sup> などによつて計算された。
- (ii)  $P_A < P < P_B$  とかんがえる場合、空洞周囲は、内側から塑性波領域と弾性波領域になる。この模型は、Aoki<sup>7)</sup> によつて計算された。
- (iii)  $P > P_C = P_B = P_A$  とかんがえる場合、空洞周囲は、内側から、衝撃波領域と弾性波領域とになる。この模型は、Morris<sup>8)</sup>、Peet<sup>9)</sup>、Selberg<sup>10)</sup> によつて計算されている。
- (iv)  $P > P_C = P_B > P_A$  とかんがえる場合、空洞周囲は、内側から、衝撃波領域、塑性波領域および弾性波領域となる。この模型は、Kasahara<sup>11)</sup> によつて計算されている。

これらの模型のうち、いずれを妥当なものとしてえらぶべきかということは、岩石のもつ歪一歪力曲線の形によつてきまる。Chabai<sup>12)</sup> が理論的に計算したところから推測すれば、岩石の歪一歪力曲線は、第三の

昭和39年9月29日受理

\* 旭化成工業(株)技術研究所 (現板ノ市工場)