

$\frac{1}{3.5}$	$\tau_{max}=0.8277$	0.9429	1.0948	1.1632	1.0948	0.9429	0.8569
$\frac{1}{4}$	$\tau_{max}=0.8565$	0.9519	1.0705	1.1250	1.0705	0.9519	0.8867

Studies About Burn Cut Blasting

Analysis of the Theory of Elasticity in Burn Cut Blasting

By N. Yamaga and T. Asano

The distribution of stresses near the void hole due to the explosion of the charge of blasting explosives in the cut hole in Burn Cut Blasting, has been studied as the two dimensional problem of the theory of elasticity; let the radius of the charge hole be r_1 , that of the void holes be r_2 and the distance between these centres be l , also the pressure of explosion in the cut hole be p , the state of distribution of tensile, compressive and shearing stresses near around the void hole has been calculated. Thus, principal stresses and the maximum shearing stress are shown in figs. 8 and 9, and the direction of their principal stress traced on fig. 10. By these figures, the initial position and distribution of rupture around the void hole was illustrated.

爆薬猛度の一考察

銅棒の変形による流動の推測

(昭和26年11月20日受理)

山本 祐 徳

(東京大学工学部火薬実験所)

摘 要

爆薬の猛度、すなわち爆発が系外に与える破壊効果は、爆発生成物の噴流によるであろうと予想し、その流動状況を銅棒の変形で推測を試みた。爆薬体の内部、外部並にその境界面では、銅棒の変形が著しく相違する。それは爆発生成物の流動が趣を異にするからであろうと判断される。系外に及ぼす破壊効果は定性的には爆薬体と外界との境界、或はそれより少しく外側で、はげしいことを認めた。ここは爆発生成物の流動が衝撃波を伴って不連続性を現わすところであろう。

I 緒 言

爆薬の猛度という概念の数量的考察は、恐らくは C. E. Bichel 氏の $B = \frac{1}{2} \rho m D^2$ (脚註) に始まるのであろう。その後 E. Redl 氏は猛度を単位表面当りの衝動

量と考へ、 $B = k \Delta (V_0 T_0 S)^{1/2} = K D \Delta v$ と導いた。また H. Kast 氏は猛度を仕事能率と見て、はじめには $B = E \Delta / t = E \Delta D$ の表式を提示したが、後にエネルギー量が「火薬の力」に比例するとして $B = f \Delta D$ に改めた。一方 E. Jouguet 氏は熱力学的水力学的爆轟理論

(脚註) 文字の意味: B は猛度, m は爆発生成物の質量密度, D は爆速, Δ は装填比重, V_0 は爆発生成物の比容, S は爆発生成物の密度, T_0 は爆発温度, v は爆発生成物の流動速度, E は爆薬のエネルギー, t は単位長爆薬包の爆時間, f は「火薬の力」, p は爆轟波々頭圧, そして k, K, α などは比例常数である。以上列りきつたことではあるが、為念。

にて固体爆薬の爆轟波圧 $p = D\Delta w$ を導き、R. Becker 氏の爆轟理論においても $p = a\Delta D^2$ と $B = D\Delta w$ とが結論されている。このように何れも猛度の主要項として爆速値がそのまま、或は自乗値として又は気体流速との相乗積として含まれている。かかる事柄は周知であつて、更めてここに述べることがあやしまれるであろう。

さて爆薬爆速の測定方法には種々の考案があるが、それは眞の爆反応の進行速度そのものをとらえるものではない。例えば回転写真の感光膜上に撮られた影像是、爆反応そのままの光跡ではなくして、爆発が進んでいくらか後に起る発光の影と想われる。そして発光にひきついて爆発生成物のほうちようによる噴流がおこるようである。Mettegang 氏の検速機では薬包に通した2本の細い金属線の切断時間差を測るのであるが、この線は爆反応の進行より遅れてガスの噴出流動する際に切られるのではなからうか。更に想を致せば、爆薬の爆轟が外界に呈する力学的作用の第一は噴流に始まるものではなからうか。此く想像しても、爆反応の進行に対する発光或は噴流の遅れ時間は一定であろうから、写真法もまた Mettegang 法も爆速測定法としての価値を傷つけるものではない。ただ猛度の評価には爆速もさることながら気体噴流を更に重視すべきではなからうか。そしてこの両者——爆速と噴流速度——の関連をもつと実験的に確めたいと考えるのである。

II 実 験

1. 雷管の発光から爆薬の発光までの遅れ

Marcel Patry 氏や M. A. Parisot 氏の論文にあげられた写真像にも明らかなように、雷管の爆発と爆薬の爆発との間の光の淡い部分がはつきりあらわれている。雷管の衝動は直ちに爆薬の爆反応を誘発している管であるが、そこが強く発光するまでにはいくらかの時間おくれがある。この強い発光は爆発生成物の流動の直前におこるらしい。すなわち、爆反応の直後暫時の間——極めて短時間ではあるが——、爆発生成物は最初に爆薬のあつたとほぼ同一空間を占めて弱く光を放つている。なおガス流動の発光は爆薬体の外壁至近部では明瞭な影を示さない。かようなことは知られているが、これらの時間的關係はどんな程度であろうか。

ヘキゾーゲン 60, タルク 10, グリース 30 の混和からなる可燃性薬餅 10g を薄いパラフィン紙に包み、6号電気雷管で点爆し、この際の発光を回転写真で撮影した。この像を図1に示す。図においてAは雷管爆発の影、Cは爆薬発光の像であつてBの部分は感光が弱い。薬包の側方への光跡DはC部の上端に至近の所

から発している。左方の矢印はフィルムの移動方向を示し、その速度からAとCとの各上端の時間間隔は略0.22msと読まれた。Dの彎曲に沿うて光跡の速度も求められる筈であるが、撮影像はそれほど鮮明でなかつた。Eの部の尾が大きいのはDが重なってくるからである。

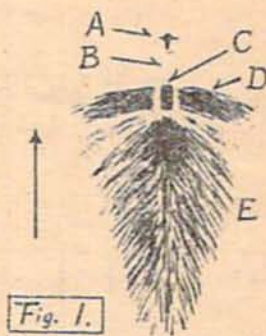


Fig. 1.

図 1

2. 爆薬体積内での爆発生成物の移動

前項実験に用いたと同じ爆薬を 150g 採り、略球形にまとめ、その内部に図2に示すようにA, B及びC

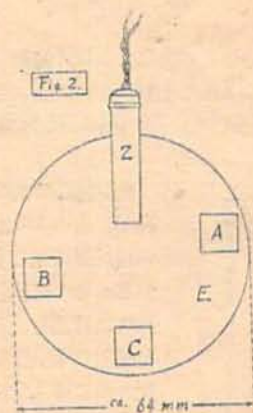


図 2

の3個の銅角柱を収める。爆薬の比重は約1.375で、銅角柱は一辺10mmの立方体であるから、爆薬球の径は約6.4cmとなる。図のように六号電気雷管Zを装着し、砂床上で爆発させた後に砂を篩つて銅柱をさがし出す。その変形は図3に示すところである。そのA, B及びCは図2のそれらに対応し、Oの面は図2で見られる面である。図3のA及びBにおいては銅柱の6つの面が爆発の作用を受ける順序は、aからb, Oの2面そしてc, 最後にdと見受けられる。また、CではOの4面が同等の作用を受けるであろう。

この変形から爆薬体内での爆発生成物——恐らく高熱の粘性流体であろう——の流れが想像される。各銅

柱はa面に主な流動を受け、最後の面の方向にしぼられている。図3のよりに変形はかなり著しいが、重量の減少はきわめて少い(1~2%)。然し図2には示さなかつたが、爆薬球の外においた銅角柱は多分四分五裂したであろう、5mm目の篩で砂中から拾い出すことができなかつた。

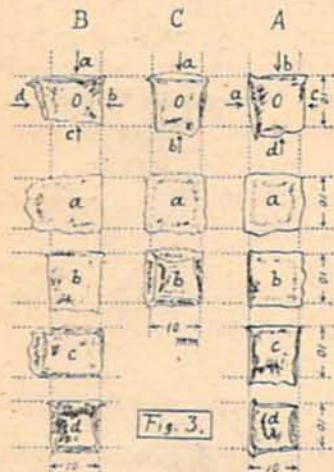


図 3

3. 爆薬体と外界との境界における流動

上述の銅柱のような小形のものには後にさがし出すのに手数がかかるので、長い銅棒(径9mm)を使うことにした。



図 4

供試爆薬は前実験のものと同一、その150gを径30mmの円柱形薬包とする。図4にてEがその爆薬包である。銅棒Rに目盛を刻み、一端5cmを薬包の電気雷管Zをつけた反対側に挿入する。長い銅棒の他端を地中に差し込んでおけばよもや逸失はすまい。そして爆発井の中では爆発後の排気にかかるからと山の谷で実験した。ところが爆発後銅棒は地中にささつたまま残っていたが、爆薬に挿入した部分はちぎれとび、薬の中とて捜す術もない。数度この失敗をくり返したが、銅棒が硬すぎるのだと気づき、その後約620°Cで2時間焼きなまして使うことにした。

図4の右に示すのは爆薬包に挿入した銅棒が爆発流動を受けて変形した外観である(このものは左方の図の2倍大に描いてある)。一見してわかるように上端

は少しおしつぶされてつばがはり出し、上から4cm目までは外見上著しい変形がないが、4cmから5cm目盛までの間が引きしこかれ、5cmと6cmとの間が強く押しつぶされている。そして7cm目盛から下の部分には変形作用があらわれていない。この実験では銅棒が貫く薬包紙の厚さも銅棒の変形に大いに影響するようである。それで詳細な実験結果は後報に譲ることとし、ここには爆発流動の作用は爆薬体と外界との境界部にはげしいことだけを認めておく。



図 5

次に図5のような実験を試みた。薬筒Cの中に爆薬Eをこめ、薬筒に内接して銅棒R_iを挿入し、又薬筒の外側に接して銅棒R_oをおき、6号電気雷管Zで点爆した。そして銅棒の変形は図6に示すとおりである。

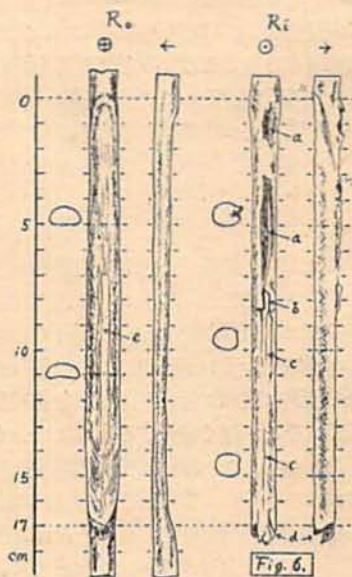


図 6

図6において目盛0は薬包の雷管側端面に、17はほぼ終端面に当る。薬筒に内接した棒R_iは右方の図に示すように、爆薬のある側から強い圧縮を受けて楕円状におしひしがれ、ために薬筒に接する側面に裂け目を生じている。図の上にとした矢印は爆発流動の方向であつて、◎は紙の裏側からその作用を受けたことを示す。そしてaは裂け目、bはさげ目の上皮が離れているところ、cは表皮にさげ目があらわれたところ

また d では爆薬の終端にて横方向だけでなく軸方向にもしばられた様が見られる。この変形から銅棒 R_i は図7のような作用を受けたものであろう。流線のような流動により矢1のような流れが出来るが、そのために矢2の流れが生じ、 m はくぼみ h 及び k が張り出し、そして h 及び k で裂け目ができる。

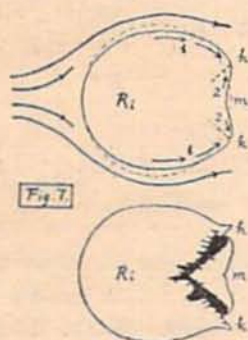


図 7

薬包外に接した R_i の変形は図6の左の方に示すように、爆薬に接したあたりは強くおしつぶされた。⊕印は流動がこちらから紙面に垂直に進んだことを意味する。記号 e は、はじめの表皮がはつきりと残された部分である。なお R_i を薬包に接せしめずに 10cm の間隔をおいて並行させた場合には、そのおしつぶされかたは図6の R_i ほど甚だしくはないが、受爆面に無数の針孔様の刺しきずが認められた。高温微粒子の突入によつて銅の表面が針でつついたように融かされたように見受けられる。

III 考察知見

この実験は目下継続中であるから、総合的の考察は後に譲るが、おおむね次のことが観察された。

1. 爆薬体内での爆発生成物の流動は流線的であるようだ。そして爆薬体から少し離れた空間では爆発生成

物が直進する。その中間の爆薬体と外界との境界では爆発生成物の持つ位置のエネルギーが運動のエネルギーに急変する。ここに不連続性、すなわち衝撃波を伴う噴流が生ずる。そして爆発生成物と空気との混合が起り流動に乱れができる。

2. 爆薬の爆発がこれに接する物体に及ぼす作用は、爆発生成物の流動に関連し、爆薬体の内部と外部とで異なるのは当然であろう。爆薬体内部では爆発生成物のもつ大きな位置のエネルギーによつて強い圧縮が起り、たとえば挿入しておいた銅棒に著しい硬化が現れる。爆薬体と外界との境界では不連続性の噴流により、そこに置かれた物体は著しい変形が生ずる。これが爆薬の破壊作用として現れる最も大きな部分であろう。爆薬体から少しく離れたところには爆発生成物の直射作用が認められ、これはそこにある物体に刺突的くさび様の効果を示すようである。為に小さな銅柱などには粉砕的效果をもたらす。

本実験の動機は昭和19年頃那須信次博士や小林明夫元大佐の示唆によるものである。また研究費の一部は昭和25年度文部省科学試験研究費に仰いだ。ここに記して両先生並に文部当局の配慮に感謝する。

出 典

- 1) Testing Explos., London (1905), p. 56.
- 2) Kriegstechn. Zeitschr., 14, 395, 1911.
- 3) Zeitschr. S. S. 8, 67, 1913.
- 4) 同上誌 11, 139, 1916.
- 5) Mécanique des explosifs, Paris (1917), p. 369.
- 6) Zeitschr. Elektroch. 23, 40, 1917.
- 7) Combustion et détonation des substances explosives, 1933.
- 8) Mém. art. fran. 18, 500—97, 1939.
- 9) A. Majrich: Zeitschr. S. S. 31, 357, 399, 1936.

Studies on Brisance.

Inference of explosion-flow by means of copper rods deformed.

By Sukenori Yamamoto.

Assuming that so-called "brisance" or disruptive effect of explosion is caused by the flow of explosion products, the author try to infer the behaviour of flow by means of deformations on copper rods inserted, attached or closed to cartridges of explosives. As copper rods change their forms dissimilarly relating the positions, it will be said that the flow of explosion products changes its behaviour on the course. The effect exerted to the outer system is most severely marked on the copper rod located at the boundary. There may appear the discontinuity of the flow accompanied by the shock wave, the author suppose.

(Laboratory of Explosives, Univ. of Tokyo.)