A Consideration on Drying of Raw Materials of Industrial Explosives.

By Ken Yamasue

General equations of drying velocity of raw materials are described in the cases of constant-rate and falling-rate-drying.

When the content of moisture before drying is small, the time of drying depends mainly upon the falling-rate-drying.

The velocity of falling-rate-drying of soluble and insoluble materials are formulated as a function of moisture content, temperature of drying as well as humidity of air; in particular the drying of soluble matter as ammonium nitrate is found to be largely affected by the humidity of air.

The velocity of drying of ammonium nitrate in edge-runner is theoretically computed and compared with the observed value with fairly good coincidence.

The reason why the drying of ammonium nitrate in summer is more difficult than in winter is also explained. (Nippon Kayaku Co., Ltd. Asa Factory)

バーンカット発破の応用力学的解析

(バーンカットに関する2～3の知見 その2)

(昭和26年11月15日受理)

山家 信次・浅野 友一

(日本カーリット株式会社) (群馬大学工学部)

§1 岩石のバーンカット発破にて装薬孔に起る爆発圧によつてその附近にある空孔附近に及ぼす引張，圧縮及剪断応力の分布状況並びにこれらの主応力の方向を求めバーンカットに於ける岩石破壊の状況を考察するため弾性力学的に解析を試みた。

§2 本問題を二次元応力問題としてとりあつかい，近似解を求める。

図1に於て半径 r_1, r_2 なる二つの円の中心を夫々 O_1, O_2 (O_2：空孔，O_1：装塡孔) とし，l をその中心距離とする。円 O_1 が爆圧 p にさらされた場合 O_2 円の近傍にある任意の点 P に生ずる応力を近似的に求めよう。ここにP点の位置は極座標に依り $PO_1=R$, $\angle PO_1O_2=\theta$ で指定することとする。解析の方針として O_2 円の半径 r_2 が中心距離 l に比較して小さいと仮定する。又 O_2 円の影響はその近傍にのみ止まり，あまり遠くには及ばないと考える。(これは解析の結果からも明らかにされる。) 以上二つの仮定の下に先ず O_1 円のみが存在し，O_2 円が存在しない場合の応力

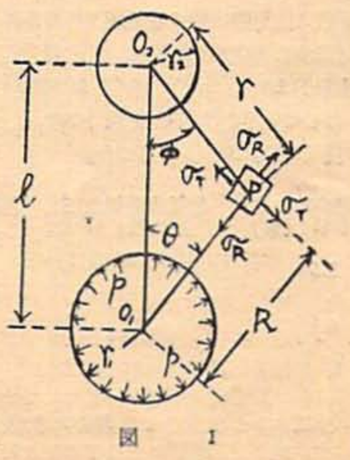

図 1

分布を求める。次に第2段階として，この様にして求められた応力分布状態を有する材質内の一点に O_2 円があけられた場合，上記の応力分布は O_2 円の近傍に於て如何に影響されるかを求める。

§3　O_1 円のみが存在し O_2 円が存在しない場合の応力分布，これに対する解は周知の通りである。

$$\sigma_R=\frac{-r_1^2}{R^2}p \quad \cdots\cdots(1)$$

$$\sigma_T=\frac{r_1^2}{R^2}p \quad \cdots\cdots(2)$$

但 σ_R は半径 R の方向の応力，σ_T はそれに直角の方向の応力で何れも符号は引張応力を正とする。上式は平面内の任意の点 P に於て成立する。今この点に斜面 AB を考え，この面に垂直に作用する応力を σ_ψ，平行に作用する応力（剪断）を τ_ψ とすれば（図2）の通りである。

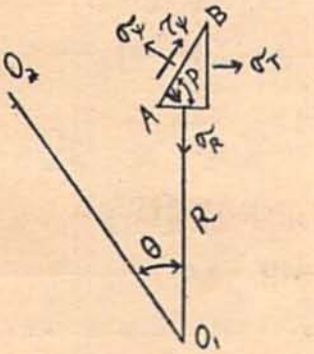

図　2

応力の一般公式に依り

$$\sigma_\psi=\sigma_R\cos^2\psi+\sigma_T\sin^2\psi \quad \cdots\cdots(3)$$

$$\tau_\psi=\frac{\sigma_R-\sigma_T}{2}\sin 2\psi \quad \cdots\cdots(4)$$

但し AB の方向が O_1P に直角の方向となす角を ψ とする。(3)，(4)式に(1)，(2)式を代入すれば

$$\sigma_\psi=\frac{r_1^2}{R^2}P(\sin^2\psi-\cos^2\psi) \quad \cdots\cdots(5)$$

$$\tau_\psi=-\frac{r_1^2}{R^2}p\sin 2\psi \quad \cdots\cdots(6)$$

今 AB の方向を O_2P に直角にとれば（図3）

$$\psi=\theta+\phi \quad \cdots\cdots(7)$$

但　$\angle PO_2O_1=\phi$ とおく

依つて P 点に於て O_2P 方向に直角の面に作用する直接応力を σ'_r，剪断応力を τ'_r とすれば(5)，(6)式に(7)式を代入して

$$\sigma'_r=\sigma_{\psi=\theta+\phi}=\frac{r_1^2}{R^2}p\{\sin^2(\theta+\phi)$$
$$-\cos^2(\theta+\phi)\} \quad \cdots\cdots(8)$$

$$\tau'_r=\tau_{\psi=\theta+\phi}=-\frac{r_1^2}{R^2}p\sin 2(\theta+\phi) \quad \cdots\cdots(9)$$

またこれに直角の面（図3，AC面）のものは前と同様

$$\psi=90^\circ+(\theta+\phi) \quad \cdots\cdots(10)$$

を(5)，(6)式に代入して

$$\sigma'_t=\sigma_{\psi=90+\phi+\theta}$$
$$=\frac{r_1^2}{R^2}p\{\sin^2(90^\circ+\theta+\phi)-\cos^2(90^\circ+\theta+\phi)\}$$

$$\sigma'_t=\frac{r_1^2}{R^2}p\{\cos^2(\theta+\phi)-\sin^2(\theta+\phi)\} \quad \cdots\cdots(11)$$

$$\tau'_{r+90}=\tau_{\psi=90+\theta+\phi}$$
$$=-\frac{r_1^2}{R^2}p\sin^2(90+\theta+\phi)$$

$$\tau'_{r+90}=\frac{r_1^2}{R^2}p\sin 2(\theta+\phi) \quad \cdots\cdots(12)$$

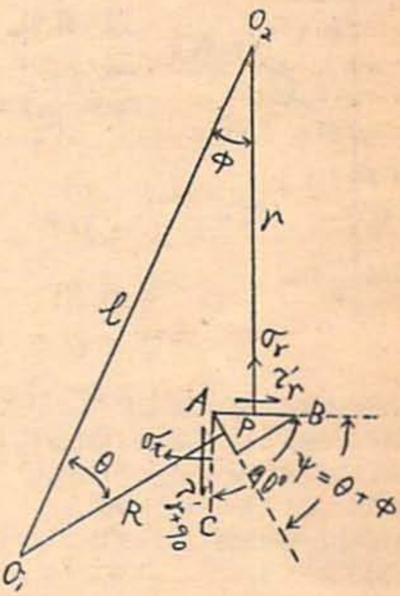

図　3

O_2 円が存在しない場合 O_1 円の内圧に依つて任意の点 P に生ずる応力状態を O_1 円を極とする極座標 (R,θ_1) の函数としてあらわしたものが(1)，(2)式であり，又，同じ応力状態を O_1，O_2 を極とする双極座標 (θ,ϕ) の函数としたものが(8)，(9)，(11)，(12)式である。詳説すれば O_2 点の半径方向の直接応力が(8)，接線方向の直接応力が(11)，又これら AB 又は AC の面に作用する剪断応力が(9)及び(12)であたえられる。ここに(8)と(11)及び(9)と(12)は夫々符号が正負反対になつていて絶対値は相等しいことを注意しておく。

§4　O_2 円の存在に依る影響

O_2 円が存在しない場合 O_2 点には O_1 円の内圧により O_2 O_1 の方向及びそれに直角の方向に夫々(1)及び(2)式であらわされる直接応力（但 R=l，図1）即ち

$$\sigma_R=\frac{-r_1^2}{R^2}p=\frac{-r_1^2}{l^2}p \quad \cdots\cdots(13)$$

$$\sigma_T=\frac{r_1^2}{R^2}p=\frac{r_1^2}{l^2}p \quad \cdots\cdots(14)$$

を生じ，又任意の点 P は (8), (9), (11), (12) 等であらわされる応力状態となる。依つて今，この様な応力状態を有する二次元平面内に半径 r_2 の小さい円孔があいた場合，この円孔の近傍の応力状態は如何に変化するかを考える。

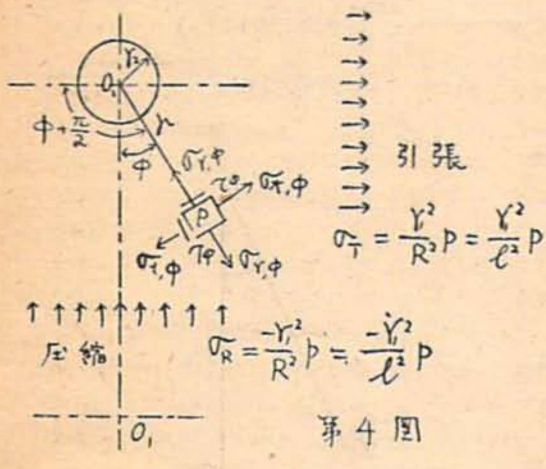

図　4

この問題を解くに際し次に示す (15), (16), (17) の三式を既知公式として使用する。即ち図4に於て無限に広い二次元空間内に半径 r_2 の円があり，円から遠くはなれている場所は一様な引張応力 σ_R にさらされている場合，孔の近傍に於ける任意の一点Pに生ずる応力は次式となる。

$$\sigma_{r,\phi}=\frac{\sigma_R}{2}\left[1-\frac{r_2^2}{r^2}+\left(1-\frac{4r_2^2}{r^2}+\frac{3r_2^4}{r^4}\right)\cos 2\phi\right] \quad \cdots\cdots(15)$$

$$\sigma_{t,\phi}=\frac{\sigma_R}{2}\left[1+\frac{r_2^2}{r^2}-\left(1+\frac{3r_2^4}{r^4}\right)\cos 2\phi\right] \quad \cdots(16)$$

$$\tau_\phi=-\frac{\sigma_R}{2}\left[1+\frac{2r_2^2}{r^2}-\frac{3r_2^4}{r^4}\right]\sin 2\phi \quad \cdots\cdots(17)$$

但し (15) 式は PO_2 方向の直接応力，(図4)，(16)式はそれに直角の方向の直接応力，(17)式はこれらの方向に於ける剪断力である。

本問題の場合には σ_R なる応力の他に σ_T の応力が同時に作用している故，P円の近傍にはそのために別の附加応力を生じ，その大きさは (15), (16), (17) 式の ϕ のかわりに $\phi+\frac{\pi}{2}$ を使用し，又 σ_R のかわりに σ_T を使用し，且つ

$\frac{\cos}{\sin}2\left(\phi+\frac{\pi}{2}\right)=-\frac{\cos}{\sin}2\phi$ に注目し，更に σ_r, σ_T に (13), (14) を代入すれば

(15) 式は

$$\sigma_{r,\phi}=-\frac{r_1^2}{2l^2}p\left[1-\frac{r_2^2}{r^2}+\left(1-\frac{4r_2^2}{r^2}+\frac{3r_2^4}{r^4}\right)\cos 2\phi\right] \quad \cdots\cdots(18)$$

また

$$\sigma_{r,\left(\phi+\frac{\pi}{2}\right)}=\frac{r_1^2}{2l^2}p\left[1-\frac{r_2^2}{r^2}-\left(1-\frac{4r_2^2}{r^2}+\frac{3r_2^4}{r^4}\right)\cos 2\phi\right] \quad \cdots\cdots(19)$$

(16) 式は

$$\sigma_{t,\phi}=-\frac{r_1^2}{2l^2}p\left[1+\frac{r_2^2}{r^2}-\left(1+\frac{3r_2^4}{r^4}\right)\cos 2\phi\right] \quad \cdots\cdots(20)$$

$$\sigma_{t,\left(\phi+\frac{\pi}{2}\right)}=\frac{r_1^2}{2l^2}p\left[1+\frac{r_2^2}{r^2}+\left(1+\frac{3r_2^4}{r^4}\right)\cos 2\phi\right] \quad \cdots\cdots(21)$$

(17) 式は

$$\tau_\phi=-\frac{r_1^2}{2l^2}p\left[1+\frac{2r_2^2}{r^2}-\frac{3r_2^4}{r^4}\right]\sin 2\phi \quad \cdots\cdots(22)$$

$$\tau_{\left(\phi+\frac{\pi}{2}\right)}=\frac{r_1^2}{2l^2}p\left[1+\frac{2r_2^2}{r^2}-\frac{3r_2^4}{r^4}\right]\sin 2\phi \quad \cdots\cdots(23)$$

依つて σ_R, σ_T の両方の応力に依つて生ずる合力は

(18)+(19)

$$\sigma_r=\sigma_{r,\phi}+\sigma_{r,\left(\phi+\frac{\pi}{2}\right)}$$

$$=\frac{-r_1^2}{l^2}p\left[1-\frac{4r_2^2}{r^2}+\frac{3r_2^4}{r^4}\right]\cos 2\phi$$

$$=\frac{-r_1^2}{l^2}pA\cos 2\phi \quad \cdots\cdots(24)$$

(20)+(21)

$$\sigma_t=\sigma_{t,\phi}+\sigma_{t,\left(\phi+\frac{\pi}{2}\right)}$$

$$=\frac{r_1^2}{l^2}p\left[1+\frac{3r_2^2}{r^4}\right]\cos 2\phi$$

$$=\frac{r_1^2}{l^2}pB\cos 2\phi \quad \cdots\cdots(25)$$

(22)+(23)

$$\tau=\tau_\phi+\tau_{\left(\phi+\frac{\pi}{2}\right)}=\frac{r_1^2}{l^2}p\left(1+\frac{2r_2^2}{r^2}\right)\sin 2\phi$$

$$=\frac{r_1^2}{l^2}pC\sin 2\phi \quad \cdots\cdots(26)$$

即ち O_2 円の近傍に於て O_2P の方向に生ずる直接応力が (24) 式，O_2P に垂直の方向に生ずる直接応力が(25)式，これらの方向に生ずる剪断応力が(26)式である。

§ 5 σ_r, σ_t, τ の数値計算

(24), (25), (26) 式に於て

$$A=1-4\left(\frac{r_2}{r}\right)^2+3\left(\frac{r_2}{r}\right)^4 \quad \cdots\cdots(27)$$

$$B=1+3\left(\frac{r_2}{r}\right)^4 \quad \cdots\cdots(28)$$

$$C=1+2\left(\frac{r_2}{r}\right)^2 \quad \cdots\cdots(29)$$

且 半径比 $\alpha=\frac{r_2}{r}$ ……(30)

とおき，これら A, B, C の値と α との関係を計算し，更にそれから種々の φ に対して $A\cos 2\varphi$, $B\cos 2\varphi$, $C\sin 2\varphi$ の値を計算した結果を表1に示す。

例えば $\varphi=30°$, $\alpha=r_2/r=1/2.5$ の点に於ては $A\cos 2\varphi=-0.2184$, $B\cos 2\varphi=0.5384$, $C\sin 2\varphi=1.1431$ である。

【計算例 1】 孔の中心距離 $l=15$ cm，爆破孔の半径 $r_1=1.5$ cm，爆破圧力 105 kg/cm²，空孔の半径 $r_2=1.5$ cm，の場合　$\varphi=15°$, $\alpha=r_2/r=1/1.05$ に生ずる応力を求む。

【解】 表1から $A\cos 2\varphi=0.1386$, $B\cos 2\varphi=3.0034$、$C\sin 2\varphi=1.4071$； 且 $\frac{r_1^2}{r^2}p=\left(\frac{1.5}{15}\right)^2\times 105=1000$ kg/cm² 依つて

(24) 式から　$\sigma_r=-1000\times 0.1386=1.386$ kg/cm²

(25) 式から　$\sigma_t=1000\times 3.0034=3003.4$ kg/cm²

(26) 式から　$\tau=1000\times 1.4071=1407.1$ kg/cm²

§ 6 応力の円線図に依り主応力の大きさ及び方向を求める事

(24), (25), (26) 式に依り，任意の一点 P に生ずる半径方向，接線方向の直接応力及びそれらの方向に於ける剪断応力の大きさが求められるから，その点に於ける主応力の大きさ及び方向は，応力の円線図によりこれら σ_r, σ_t 及び τ の値から図式的に求められる。

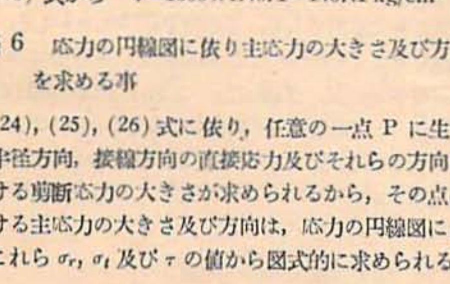

図　5

その作図法は，一般弾性論の著書にのつている通りであるが，念の為に説明すれば次の通りである。即ち図5に於て適当に引いた一直線を基線とし，その上の任意の一点 O を原点とし，適当な尺度で σ_r, σ_t をあらわす長さ Oa, Ob を代数的にとり（正 即ち引張りの場合は原点の右へ，負 即ち圧縮の場合は 左へ） a 及び b から基線に垂線を互に反対の方向に引き，その長さ aE, bC を前と同じ尺度で τ に等しくとる。次に EC を結ぶ直線と基線との交点を D とすれば DE=DC, 依て D を中心とし C 及び E を通る円を画く，この円と基線との交点を A, B とすれば OA, OB が二つの主応力 σ_1, σ_2 をあらわし，且 $\theta_1=\angle CEA$ は応力 σ_t の作用する面と主応力 σ_1 の作用する面との間の角をあらわし，又 $\theta_2=\angle CEB$ は応力 σ_t の作用する面と主応力 σ_2 の作用する面との間の角をあらわす。尙，この場合，主応力の性質上 σ_1, σ_2 の何れか一方は P 点に生ずる最大応力，他は最小応力であることは云うまでもない。又 A, 又は B が原点の右にある場合その主応力は引張，左にある場合は圧縮であることも勿論である。

次に D から基線 OAB に垂線をたて，円との交わりを F とすれば，半径 DF は P 点に於ける最大剪断応力の大きさを示し，且 $\theta_3=\angle CEF$ は σ_t の作用する面と，この最大剪断応力の作用する面との角を与える。尙この面と直交して今一つ最大剪断応力の生ずる面が存在し，FD の延長が円と交わる点を G とすれば $\theta_4=\angle CEG$ がこの面と σ_t の生ずる面との間の角をあらわし，且，その大きさは DG であらわされこれは第1の最大剪断応力の大きさと相等しい。又，この場合 $\theta_3+\theta_4=90°$ で，これら二つの最大剪断応力の存在する面は互に直交し，且，それらは主応力 σ_1, σ_2 の面と 45° で交わることも勿論である。角度の取り方は ED 線を基線として左廻りを正とする。

作図に当り簡潔を期するため (24), (25), (26) 式

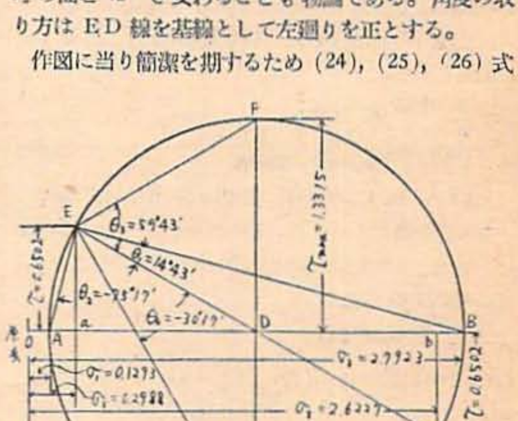

図　6

中の$\frac{r_1^2}{l^2}p$ を1と仮定してよい。

【例】 P点の位置 $\varphi=7°30'$, $\alpha=r_2/r=1/1.15$ の場合を例にとる。表1から

$$A\cos 2\varphi=0.2988=(\sigma_r)$$
$$B\cos 2\varphi=2.6227=(\sigma_t)$$
$$C\sin 2\varphi=0.6502=(\tau)$$

図6に示す通り上述の作図法を行えば，その結果

$\sigma_1 \fallingdotseq 1.29$ (最小直接応力)

$\sigma_2 \fallingdotseq 2.80$ (最大直接応力，引張)

且，$\theta_1 \fallingdotseq 14°30'$, $\theta_2 \fallingdotseq -75°$, $\tau_{max} \fallingdotseq 1.33$,

$\theta_3 \fallingdotseq 59°30'$, $\theta_4 \fallingdotseq -30°30'$ なることがわかる。

§7 計算により主応力及び最大剪断応力の大きさ，方向を求める事 (図7参照)

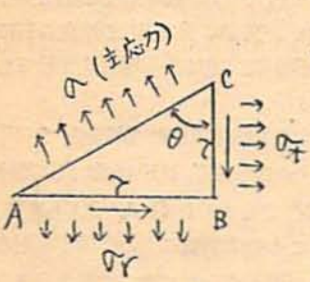

図 7

微小直角三角形 ABC の直角をはさむ二辺 AB, BC に作用する直接応力を夫々 σ_r, σ_t 又この面に作用する剪断応力を τ とする。(但，図7に示す如く夫々の面を外方から直角隅 B に向つて作用する剪断力を正とする。) 次に斜面 AC が主面であるとし，従つてこの面には主応力 σ のみが作用し，剪断力は作用しない。$\angle ACB=\theta$ とすれば，弾性学上の定理により次の式が成立する。

(a) 主応力の方向；

$$\tan 2\theta=\frac{2\tau}{\sigma_t-\sigma_r}=\frac{2C}{B-A} \quad \cdots\cdots(31)$$

(註；A, B, C の記号に就ては 37, 38, 39式参照)

この式を満足する θ は，互に直交して一対づつ存在し (θ_1, θ_2) これらはその点に於ける二つの主応力 σ_1, σ_2 に対応する (次式)。

(b) 主応力の値；

$$\sigma=\frac{\sigma_t+\sigma_r}{2}\pm\sqrt{\left(\frac{\sigma_t-\sigma_r}{2}\right)^2+\tau^2}$$
$$=\frac{B+A}{2}\pm\sqrt{\left(\frac{B-A}{2}\right)^2+C^2} \quad \cdots\cdots(32)$$

この式から得られる一対の σ の中，一方 (負号をとつた場合) を σ_1，他方 (正号をとつた場合) を σ_2 とする。これら二つの中の一方は，その点に於ける応力の最大値，他は最小値である。

(c) 最大剪断応力の方向

これは云うまでもなく，弾性学上明らかな通り(41)式から得られる直交主面に対し 45° で交わる二つの直交面である。

(d) 最大剪断応力の値

$$\tau_{max}=\pm\left(\frac{\sigma_1-\sigma_2}{2}\right) \quad \cdots\cdots(33)$$

であたえられる。

以上 (31), (32), (33) 式を用いて θ_1, θ_2, σ_1, σ_2 及び τ_{max} の値を計算した結果を表2，3，及び4に示す。

(注意) 図7に示す BC の方向はこの場合，孔の中心 (図1 O_2) に向つてとる。

§8 主応力の等高線

第6又は第7節で述べた方法に依り求めた各点の主応力 σ_1 及び σ_2 に対し挿間法を用いて等高線を画けば図8が得られる。

この図で同一点に於ける σ_1, σ_2 の値のうち，一方は最大直接応力，他は最小直接応力であることは云うまでもない。又，正の値が引張，負が圧縮を示すことも前述の通りである。尚この図からもわかる通り σ_1 および σ_2 の曲線は $\varphi=45°$ の線を軸として互に対称的に分布していること及び対称の位置に於ける σ_1 と σ_2 との値は常に正負反対であることがわかる。又，引張応力は孔の円周上で $\varphi=0$ を中央とし $\varphi \fallingdotseq \pm 30°$ 位の範囲に於て最大であり，その概算値は $\sigma_2 \fallingdotseq 4.0$ 又，その最大値は $\varphi=15°$ のところに生じ，その値は $\sigma_2=4.04$ である。又，圧縮応力はこれと丁度対称的で，やはり孔の円周上で $\varphi=90°$ を中央とし，$\varphi=90°\pm 30°$ 位の範囲に於て最大； その概算値は $\sigma_1 \fallingdotseq -4.0$，その最大値は $\varphi=75°$ のところに生じ，その値は $\sigma_1=-4.04$ である。

§9 最大剪断応力の等高線

図9に示す通り，これは $\varphi=0°$, $\varphi=45°$ 及び $\varphi=90°$ の線を軸として対称である。最大値は孔の円周上 $\varphi=45°$ の点に生じ $\tau=3.0$ である。

§10 主応力及び最大剪断応力の方向

図10に於て，各点に画いた矢印は，その点に生ずる主応力の方向を示し，且←─・─→引張，─→←─は圧縮を示す。図から明らかな通り，すべての点に於て主引張応力は $\varphi=90°$ の方向に略平行 ($\varphi=0°$, $\varphi=45°$, $\varphi=90°$ の線上では正しく) であり，又，主圧縮応力はそれに直角である。尚，最大剪断応力の方向は図に示してないが，勿論上記 σ_1, σ_2 の方向と 45° になつていることは云うまでもない。

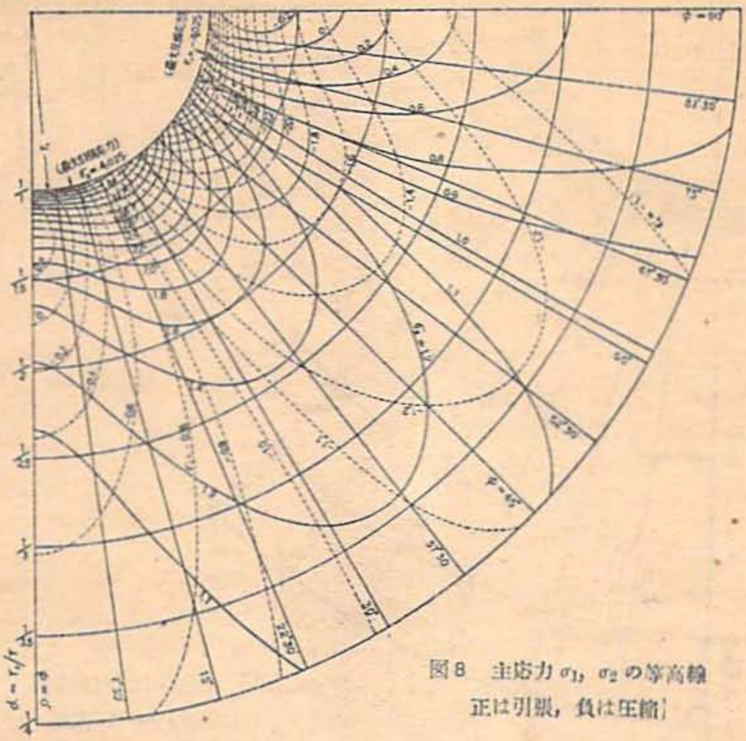

図8　主応力 σ_1, σ_2 の等高線
正は引張，負は圧縮]

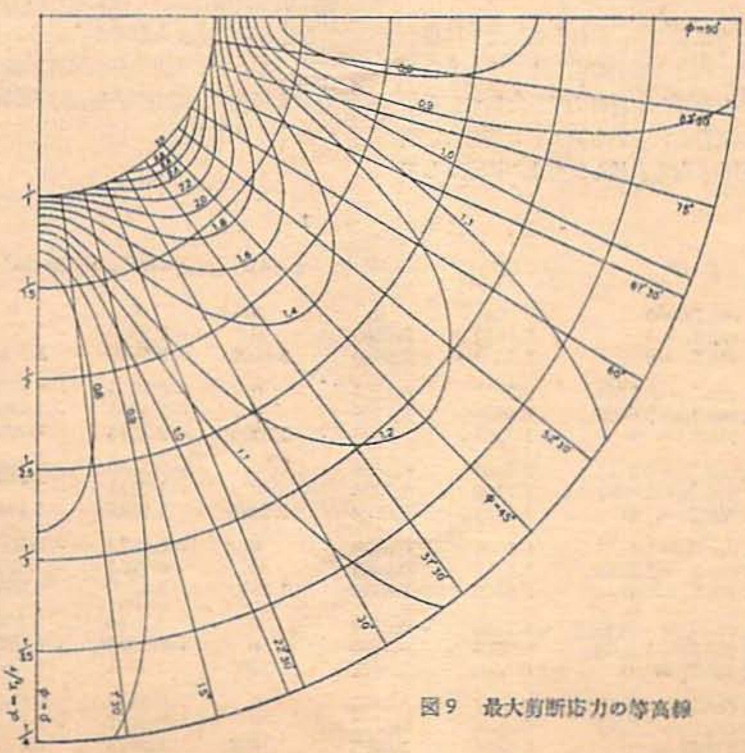

図9　最大剪断応力の等高線

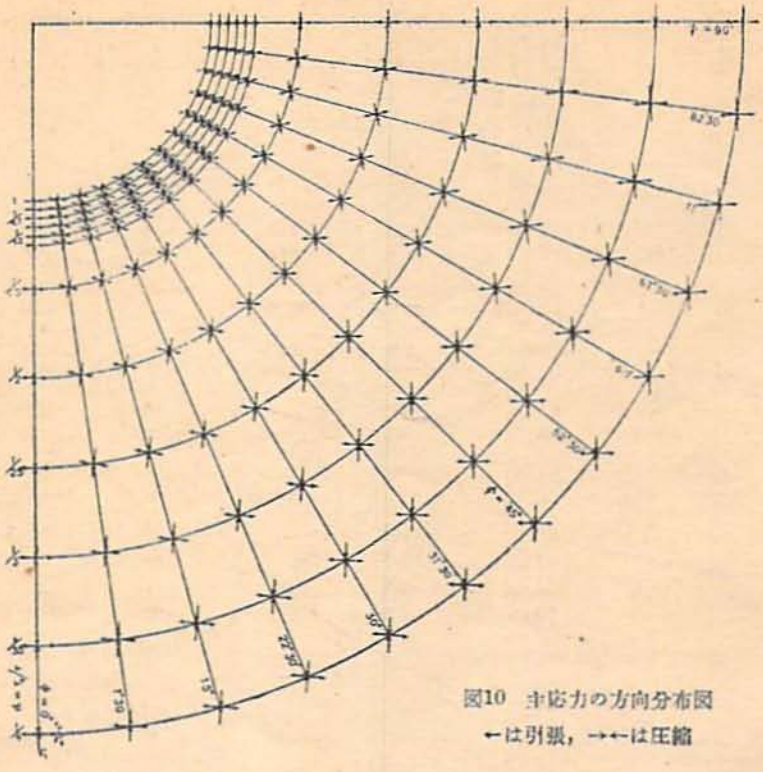

図10　主応力の方向分布図
←は引張，→←は圧縮

§11 結　　　論

以上爆発孔の爆発によつて，それから距離 l に中心を有する空孔附近に於ける応力分布と主応力の方向が図 8, 9, 10 で明かとなつた。材料力学的に見て岩石の破壊は引張か剪断で行われるから円 O_2 の周辺の破壊の初まる場所が明かとなる。然し実際上の問題として岩石は弾性の少いものであるから，破壊が円 O_2 の一部に起つた場合には，既にこの応力の等高曲線が成立しなくなると考えられるから，それ以後の破壊に関しては，この主応力方向分布図は意義を失うものとなる。本研究の応用力学的解説は全部浅野友一博士によつたものである。

表　　1

半径比 $\alpha=r_2/r$	$\phi=0°$	$\phi=15°$	$\phi=30°$	$\phi=45°$	$\phi=60°$	$\phi=75°$	$\phi=90°$
1	$A\cos 2\phi=0$	0	0	0	0	0	0
	$B\cos 2\phi=4$	3.4640	2.0000	0	−2.0000	−3.4640	−4.0000
	$C\sin 2\phi=0$	1.5000	2.5980	3.0000	2.5980	1.5000	0
$\frac{1}{1.1}$	$A\cos 2\phi=0.2568$	0.2224	0.1284	0	−0.1284	−0.2224	−0.2568
	$B\cos 2\phi=3.0490$	2.6404	1.5245	0	−1.5245	−2.6404	−3.0490
	$C\sin 2\phi=0$	1.3265	2.2974	2.6529	2.2974	1.3265	0
$\frac{1}{1.2}$	$A\cos 2\phi=0.3311$	0.2867	0.1656	0	−0.1656	−0.2867	−0.3311
	$B\cos 2\phi=2.4467$	2.1188	1.2234	0	−1.2234	−2.1188	−2.4467
	$C\sin 2\phi=0$	1.1945	2.0688	2.3889	2.0688	1.1945	0
$\frac{1}{1.5}$	$A\cos 2\phi=0.1855$	0.1606	0.0928	0	−0.0928	−0.1606	−0.1855
	$B\cos 2\phi=1.5925$	1.3791	0.7963	0	−0.7963	−1.3791	−1.5925
	$C\sin 2\phi=0$	0.9445	1.6359	1.8890	1.6359	0.9445	0
$\frac{1}{2.5}$	$A\cos 2\phi=-0.4368$	−0.3783	−0.2184	0	0.2184	0.3783	0.4368
	$B\cos 2\phi=1.0768$	0.9325	0.5384	0	−0.5384	−0.9325	−1.0768
	$C\sin 2\phi=0$	0.6600	1.1431	1.3200	1.1431	0.6600	0
$\frac{1}{3.5}$	$A\cos 2\phi=-0.6937$	−0.6007	−0.3469	0	0.3469	0.6007	0.6937
	$B\cos 2\phi=1.0201$	0.8834	0.5101	0	−0.5101	−0.8834	−1.0201
	$C\sin 2\phi=0$	0.5816	1.0073	1.1632	1.0073	0.5816	0

$\frac{1}{4}$	A $\cos 2\phi=-0.7617$	-0.6596	-0.3809	0	0.3809	0.6596	0.7617
	B $\cos 2\phi=1.0117$	0.8761	0.5059	0	-0.5059	-0.8761	-1.0117
	C $\sin 2\phi=\ 0$	0.5625	0.9743	1.1250	0.9743	0.5625	0

表　2

半径比 $\alpha=r_2/r$	$\phi=0°$	$\phi=15°$	$\phi=30°$	$\phi=45°$	$\phi=60°$	$\phi=75°$	$\phi=90°$
1	$\sigma_1=0$	-0.5593	-1.7838	-3.0000	-3.7878	-4.0233	-4.0000
	$\sigma_2=4.0000$	4.0233	3.7838	3.0000	1.7838	0.5593	0
$\frac{1}{1.1}$	$\sigma_1=0.3044$	-0.3634	-1.5746	-2.6529	-3.2276	-3.2262	-3.0490
	$\sigma_2=3.0014$	3.2262	3.2276	2.6529	1.5746	0.3634	-0.2568
$\frac{1}{1.2}$	$\sigma_1=0.3671$	-0.3025	-1.4408	-2.3889	-2.8298	-2.7081	-2.4467
	$\sigma_2=2.4107$	2.7081	2.8298	2.3889	1.4408	0.3025	-0.3311
$\frac{1}{1.5}$	$\sigma_1=0.2095$	-0.3541	-1.2287	-1.8890	-2.1179	-1.8939	-1.5925
	$\sigma_2=1.5685$	1.8939	2.1179	1.8890	1.2287	0.3541	-0.1855
$\frac{1}{2.5}$	$\sigma_1=-0.4110$	-0.6530	-1.0441	-1.3200	-1.3641	-1.2072	-1.0768
	$\sigma_2=\ 1.0510$	1.2072	1.3641	1.3200	1.0441	0.6530	0.4368
$\frac{1}{3.5}$	$\sigma_4=-0.6645$	-0.8015	-1.0132	-1.1632	-1.1764	-1.0843	-1.0201
	$\sigma_2=\ 0.9909$	1.0843	1.1764	1.1632	1.0132	0.8015	0.6937
$\frac{1}{4}$	$\sigma_1=-0.7315$	-0.8436	-1.0080	-1.1250	-1.1330	-1.0602	-1.0117
	$\sigma_2=\ 0.9815$	1.0602	1.1330	1.1250	1.0080	0.8436	0.7617

表　3

半径比 $\alpha=r_2/r$	$\phi=0°$	$\phi=15°$	$\phi=30°$	$\phi=45°$	$\phi=60°$	$\phi=75°$	$\phi=90°$
$\frac{1}{1}$	$\theta_1=\ 0°$	20°27′	34°28′	45°	55°32′	69°33′	90°
	$\theta_2=-90°$	−69°33′	−55°32′	−45°	−34°28′	−20°27′	0°
$\frac{1}{1.1}$	$\theta_1=\ 0°$	23°49′	36°33′	45°	53°47′	66°11′	90°
	$\theta_2=-90°$	−66°11′	−53°27′	−45°	−36°13′	−23°49′	0°
$\frac{1}{1.2}$	$\theta_1=\ 0°$	26°16′	37°50′	45°	52°10′	63°44′	90°
	$\theta_2=-90°$	−63°44′	−52°10′	−45°	−37°50′	−26°16′	0°
$\frac{1}{1.5}$	$\theta_1=\ 0°$	28°35′	38°56′	45°	51° 4′	61°25′	90°
	$\theta_2=-90°$	−61°25′	−51° 4′	−45°	−38°56′	−28°35′	0°
$\frac{1}{2.5}$	$\theta_1=\ 0°$	22°36′	35°52′	45°	54° 8′	67°55′	90°
	$\theta_2=-90°$	−67°24′	−54° 8′	−45°	−35°52′	−22° 5′	0°
$\frac{1}{3.5}$	$\theta_1=\ 0°$	19° 3′	33°29′	45°	56°31′	70°57′	90°
	$\theta_2=-90°$	−70°57′	−56°31′	−45°	−33°29′	−19° 3′	0°
$\frac{1}{4}$	$\theta_1=\ 0°$	18° 7′	32°46′	45°	57°14′	71°53′	90°
	$\theta_2=-90°$	−71°53′	−57°14′	−45°	−32°46′	−18° 7′	0°

表　4

半径比 $\alpha=r_2/r$	$\phi=0°$	$\phi=15°$	$\phi=30°$	$\phi=45°$	$\phi=60°$	$\phi=75°$	$\phi=90°$
1	$\tau_{max}=2.0000$	2.2913	2.7838	3.0000	2.7838	2.2913	2.0000
$\frac{1}{1.1}$	$\tau_{max}=1.3485$	1.7948	2.4011	2.6529	2.4011	1.7948	1.3961
$\frac{1}{1.2}$	$\tau_{max}=1.0218$	1.5053	2.1353	2.3889	2.1353	1.5053	1.0578
$\frac{1}{1.5}$	$\tau_{max}=0.6795$	1.1240	1.6733	1.8890	1.6733	1.1240	0.7035
$\frac{1}{2.5}$	$\tau_{max}=0.7310$	0.9301	1.2041	1.3200	1.2041	0.9301	0.7568

$\frac{1}{3.5}$	$\tau_{max}=0.8277$	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 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 1, 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 rapture around the void hole was illustrated.

爆薬猛度の一考察

鋼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，その流動状況を鋼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，鋼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作つ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 $B=\frac{1}{2}mD^2$ (脚註) に始まるのであろう。[1] その後 E. Redl 氏は猛度を単位表面当りの衝動量と考え，[2] $B=kD\Delta(V_0T_0S)^{1/2} \fallingdotseq KD\Delta w$ 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，[3] 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。[4] 一方 E. Jouguet 氏は熱力学的水力学的爆轟理論[5]

(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 は装塡比重，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，w 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。以上判りきつたことではあるが，為念。