

(7) 砂岩の衝撃破壊強度

日本大学理工学部 正真 酒井左武郎

1. はじめに

岩石のような材料の衝撃による破壊機構は未だ、明らかでない。本研究は衝撃荷重下における岩石の挙動について、理論的、現象的解釈を加え、エネルギーのつり合いによって岩石の衝撃破壊強度を求めることを目的としている。試験には、すべて円柱砂岩試験片を用い、これらに一軸圧縮試験に相当する軸方向衝撃荷重および圧裂試験に相当する直径方向衝撃荷重を加え、衝撃破壊試験を実施している。衝撃圧裂試験では、円柱の直径にそって中心部に圧裂破壊を、その外側に圧碎破壊を生じ、試験片の一部が破砕する。この圧碎領域の広さは、衝撃荷重の大きさのみならず岩石の破壊強度に依存する。破壊基準には試験に用いた砂岩は等方均質に近いことを考慮し、岩石類に広く使われている2パラメーターの Drucker-Prager の破壊基準を採用した。

2. Drucker-Prager の破壊基準

Drucker-Prager の基準は

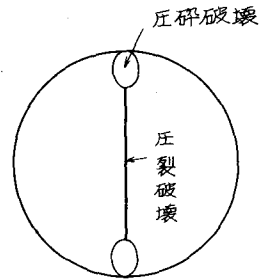
$$\alpha J_1 + \sqrt{J_2} = k \quad (1)$$

で表わされる。ここに α , k は岩石の性質により定まる強度定数である。式(1)の J_1 , J_2 は次のとおりである。

$$J_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z, \quad J_2 = \frac{1}{2}(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2) + \tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2 - \frac{1}{6}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)^2 \quad (2)$$

3. 衝撃円柱圧裂試験における破壊の理論

岩石の静的圧裂試験では載荷点のごく近くの微小部分に破砕を生じ、その下部に高レベルの圧縮のもとでの破壊と、さらに中心部に載荷軸に直交する圧裂とを生ずる。衝撃圧裂試験による試験片の破壊状況を模式的に図-1に示す。



3.1 Drucker-Prager 材料の場合の圧碎境界

円柱の側面に直径方向に力を加えた場合の応力は弾性理論から

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= -\frac{2P}{\pi} \left\{ \frac{\cos \theta_1 \sin^2 \theta_1}{r_1} + \frac{\cos \theta_2 \sin^2 \theta_2}{r_2} \right\} + \frac{P}{\pi R}, & \sigma_y &= -\frac{2P}{\pi} \left\{ \frac{\cos^3 \theta_1}{r_1} + \frac{\cos^3 \theta_2}{r_2} \right\} + \frac{P}{\pi R} \\ \tau_{xy} &= -\frac{2P}{\pi} \left\{ \frac{\cos^2 \theta_1 \sin \theta_1}{r_1} - \frac{\cos^2 \theta_2 \sin \theta_2}{r_2} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

にて与えられる。ここに θ_1 , θ_2 , r_1 , r_2 は図-2に示す点 (x, y) に関する角度および動径である。円柱の中央部は平面ひずみ状態にあるとすると

$$\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y) = -\frac{2P\nu}{\pi} \left(\frac{\cos \theta_1}{r_1} + \frac{\cos \theta_2}{r_2} \right) + \frac{2P\nu}{\pi R}, \quad \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0 \quad (4)$$

となる。式(3), (4)を式(1)に代入すると

$$J_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z = -\frac{2P(1+\nu)}{\pi} \left(\frac{\cos \theta_1}{r_1} + \frac{\cos \theta_2}{r_2} \right) - \frac{1}{R} \quad (5)$$

$$J_2 = \frac{4P^2}{3\pi^2} \left\{ (1-\nu+\nu^2) \left(\frac{\cos \theta_1}{r_1} + \frac{\cos \theta_2}{r_2} - \frac{1}{R} \right) + \frac{3}{2R} \left(\frac{\cos \theta_1}{r_1} + \frac{\cos \theta_2}{r_2} - \frac{1}{R} \right) + \frac{3}{4R^2} - 3 \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{r_1 r_2} \sin^2(\theta_1 + \theta_2) \right\} \quad (6)$$

が得られる。岩石の破壊が Drucker-Prager の破壊基準にしたがふものであれば、衝撃圧裂試験における圧碎破壊領域の応力状態および圧裂破壊線上の応力状態に対しては $\alpha J_1 + \sqrt{J_2} \geq k$ が成立する。そして、残余の領域の応力状態に対しては $\alpha J_1 + \sqrt{J_2} < k$ である。圧碎領域の境界は上の等式に式(5), (6)を代入して得られる方程式を満足する θ_1 , θ_2 および r_1 , r_2 によって定まる。円柱の中心を原点とする極座標を用いて表わすと、この方程式は次のようになる。

$$\left\{ (1-\nu+\nu^2) - 3\alpha^2(1+\nu)^2 \right\} (R^2 - r^2)^2 - 12R^2 \cos \theta (R^2 - r^2 \sin^2 \theta) + \frac{3}{2} \left\{ 1 - 2(1+\nu)\alpha \left(\frac{\pi R k}{P} \right) \right\} (R^4 - r^4) \left\{ (R^2 + r^2) - 4R^2 r^2 \sin^2 \theta \right\} + \frac{3}{4} \left\{ 1 - \left(\frac{\pi R k}{P} \right)^2 \right\} \left\{ (R^2 + r^2)^2 - 4R^2 r^2 \sin^2 \theta \right\}^2 = 0 \quad (7)$$

式(7)を満足する r , θ によっても境界線をあらわし得る。この境界線を圧碎曲線と呼び、上式から圧碎曲線は

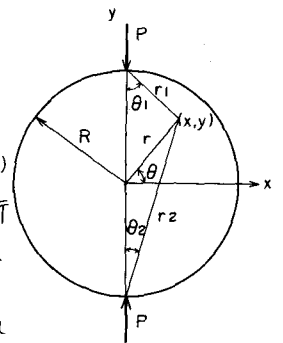


図-2 円柱圧裂試験における載荷点と任意点

破壊基準のパラメーター α , β , 材料定数 ν および試験片の寸法 R と衝撃荷重 P に依存することがわかる。

3.2 破壊時の円柱ひずみエネルギー

(1) 非圧砕領域のひずみエネルギーと消散エネルギー

前項に論じた弾性応力にもとづいて円柱内に蓄積される弾性ひずみエネルギーを We とする。単位体積当りの弾性ひずみエネルギーを Ve とすれば

$$Ve = \frac{1}{2}(\sigma_x \epsilon_x + \sigma_y \epsilon_y + \sigma_z \epsilon_z + \tau_{yz} \gamma_{yz} + \tau_{zx} \gamma_{zx} + \tau_{xy} \gamma_{xy}) \quad (8)$$

ここに $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}, \gamma_{xy}$ は弾性ひずみである。式(8)を整理すれば、 Ve は J_2, J_1 を用いて

$$Ve = \frac{1}{2G} \left\{ J_2' + \frac{1-2\nu}{6(1+\nu)} J_1'^2 \right\} \quad (9)$$

のように表わされる。式(9)に、式(5), (6)を代入し、これを極座標で表わすと、

$$Ve = \frac{P^2}{2\pi^2 R^2 G} \cdot \frac{2(1-\nu)(R^2-r^2)^2 + (R^2+r^2)(3R^2+r^2)}{\{(R^2+r^2)^2 - 4R^2 r^2 \sin^2 \theta\}^2} \quad (10)$$

となる。弾性ひずみエネルギー We は、 Ve を体積分して得られる。いま、円柱の中心より載荷点を結ぶ直径と圧砕曲線との交点にいたる距離を r_0 とすると、 $r_0 \geq r$ の領域では圧砕は生じないから

$$|We|_{r \geq r_0} = 2L \int_{r_0}^R r dr \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} Ve d\theta = \frac{P^2 L}{2\pi^2 R^2 G} \left\{ 2(1-\nu) \left\{ R^2 \log \frac{R^2+r^2}{R^2-r^2} - r_0^2 \right\} + r_0^2 + \frac{2R^4}{R^2+r_0^2} - \frac{2R^4}{(R^2+r_0^2)^2} \right\} \quad (11)$$

となる。 $R \geq r \geq r_0$ の領域では $\theta = \pm \pi/2$ の近傍において圧砕領域が現われる。 $|We|_{R \geq r \geq r_0}$ は、この圧砕領域を除いた弾性領域に対する積分によって求められるなければならない。この積分範囲を定める角 θ_c は、式(7)によって求まる。すなわち、式(7)において $\theta = \theta_c$ とすると、

$$\begin{aligned} \sin^2 \theta_c &= \frac{R^2+r^2}{2R^2} \left\{ 2(1+\nu) \alpha \left(\frac{P}{\pi R L} \right) (R^2-r^2) + (R^2+r^2) \right\} \sin^2 \theta_c - \frac{1}{2} \left\{ 1-\nu + \nu^2 - 3\alpha^2 (1+\nu)^2 \right\} \left(\frac{P}{\pi R L} \right)^2 \frac{(R^2-r^2)^2}{R^4} + \left(\frac{P}{\pi R L} \right)^2 \frac{R^2}{r^4} \\ &\quad - \frac{1}{8} \left(\frac{P}{\pi R L} \right) \left\{ \left(\frac{P}{\pi R L} \right) - 2(1+\nu) \alpha \right\} \frac{(R^2-r^2)(R^2+r^2)^2}{R^4 r^4} - \frac{1}{16} \left\{ \left(\frac{P}{\pi R L} \right)^2 - 1 \right\} \frac{(R^2+r^2)^2}{R^4 r^4} = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

ここで、 $\sin^2 \theta_c = b^2$ とおくと

$$\begin{aligned} |We|_{R \geq r \geq r_0} &= 4L \int_{r_0}^R \int_{\theta_c}^{\pi/2} Ve d\theta dr = \frac{2P^2 L}{\pi^2 G^2 G} \int_{r_0}^R \left\{ 2(1-\nu) \left\{ \frac{R^2+r^2}{R^2-r^2} \tan^{-1} \left(\frac{R^2-r^2}{R^2+r^2} \frac{b}{\sqrt{1-b^2}} \right) - \frac{2b\sqrt{1-b^2} \cdot R^2 r^2}{(R^2+r^2)^2 - 4R^2 r^2 b^2} \right\} \right. \\ &\quad \left. + \frac{(3R^2+r^2)(R^2+r^2)}{(R^2+r^2)^3} \tan^{-1} \left(\frac{R^2-r^2}{R^2+r^2} \frac{b}{\sqrt{1-b^2}} \right) - \frac{2b\sqrt{1-b^2} \cdot R^2 r^2 (3R^2+r^2)(R^2-r^2)}{\{(R^2+r^2)^2 - 4R^2 r^2 b^2\}(R^2+r^2)^2} \right\} r dr \end{aligned} \quad (13)$$

式(11)と式(13)の和をつくれば、非圧砕領域に蓄積される弾性ひずみエネルギー We は次のように得られる。

$$\begin{aligned} We &= \frac{P^2 L}{2\pi^2 R^2 G} \left\{ 2(1-\nu) \left\{ R^2 \log \frac{R^2+r^2}{R^2-r^2} - r_0^2 \right\} + r_0^2 + \frac{2R^4}{R^2+r_0^2} - \frac{2R^4}{(R^2+r_0^2)^2} \right\} + \frac{2P^2 L}{\pi^2 R^2 G} \int_{r_0}^R \left\{ 2(1-\nu) \left\{ \frac{R^2+r^2}{R^2-r^2} \tan^{-1} \left(\frac{R^2-r^2}{R^2+r^2} \frac{b}{\sqrt{1-b^2}} \right) - \frac{2b\sqrt{1-b^2} \cdot R^2 r^2}{(R^2+r^2)^2 - 4R^2 r^2 b^2} \right\} \right. \\ &\quad \left. + \frac{(3R^2+r^2)(R^2+r^2)}{(R^2+r^2)^3} \tan^{-1} \left(\frac{R^2-r^2}{R^2+r^2} \frac{b}{\sqrt{1-b^2}} \right) - \frac{2b\sqrt{1-b^2} \cdot R^2 r^2 (3R^2+r^2)(R^2-r^2)}{\{(R^2+r^2)^2 - 4R^2 r^2 b^2\}(R^2+r^2)^2} \right\} r dr \end{aligned} \quad (14)$$

第二項は数値積分により求められよう。圧裂面の発生に際し、何かしかのエネルギーが消散するはずである。しかし、このエネルギーは We に比べてはるかに小さいと考えてよいので、以後、非圧砕領域の消散エネルギーを無視する。

(2) 圧砕領域のひずみエネルギーと消散エネルギー

図-3は圧砕破壊する部分の応力~ひずみ曲線を理想化して描いたものである。破壊にいたるまでに生ずるひずみエネルギーは縦縞によって示される弾性ひずみエネルギーと横縞により示される非弾性ひずみエネルギーとの和である。簡単のために終局的な応力状態のいかに拘らず圧砕領域においては単位体積当りのエネルギー Ve は降伏応力時の弾性ひずみエネルギー Ve_r の一律 β 倍であると仮定しよう。すなわち、

$$Ve = \beta Ve_r \quad (15)$$

であるとする。 β を一律係数と名づける。図-3の全面積の大きさが縦縞の面の2倍であれば $\beta = 2.0 + \beta'$ である。 $\beta'Ve_r$ は材料の一部を破壊するのに費やされる消散エネルギーである。このように仮定すると、圧砕領域の各点における Ve_r を求めれば圧砕領域に生じているひずみエネルギーと消散エネルギーとの和を求めることができる。さて、圧砕領域の各部は、 $P \geq P_c$ なる P_c において破壊基準に達し、圧砕を

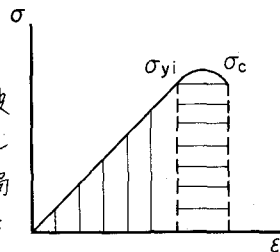


図-3 破壊に至るまでの応力~ひずみ図

生ずるのである。\$P_c\$の値は\$R\$、\$\theta\$の値によって異なる。破壊基準から導いた式(7)の\$P\$を\$P_c\$としたとき圧砕領域内の点\$(R, \theta)\$の応力状態は、これを満足するものでなければならない。すなわち、

$$P_c = \frac{\pi R^2 \{ (R^2 + r^2)^2 - 4R^2 r^2 \sin^2 \theta \}}{\{ -2(1+\nu)\alpha(R^2 + r^2) + \sqrt{\frac{4}{3}}(1-\nu+\nu^2)(R^2 + r^2)^2 + (R^2 - r^2)(3R^2 + r^2) \}^2 (R^2 - r^2)} \quad (16)$$

\$V_{cr}\$は式(10)において、\$V_e\$を\$V_{cr}\$に、\$P\$を\$P_c\$に置き換え、式(16)を代入して、次のように求める。

$$V_{cr} = \frac{R^2}{2G} \cdot \frac{2(1-\nu)(R^2 + r^2)^2 + (R^2 - r^2)(3R^2 + r^2)}{\{ -2(1+\nu)\alpha(R^2 + r^2) + \sqrt{\frac{4}{3}}(1-\nu+\nu^2)(R^2 + r^2)^2 + (R^2 - r^2)(3R^2 + r^2) \}^2} \quad (17)$$

よって、式(15)より

$$V_c = \beta V_{cr} = \frac{\beta R^2}{2G} \cdot \frac{2(1-\nu)(R^2 + r^2)^2 + (R^2 - r^2)(3R^2 + r^2)}{\{ -2(1+\nu)\alpha(R^2 + r^2) + \sqrt{\frac{4}{3}}(1-\nu+\nu^2)(R^2 + r^2)^2 + (R^2 - r^2)(3R^2 + r^2) \}^2}$$

圧砕領域での全ひずみエネルギーと消散エネルギーとの総和\$W_{pc}\$は\$V_c\$を同領域全域にわたって積分し

$$W_{pc} = 4 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^R V_c r dr d\theta = \frac{2\beta R^2 L}{G} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left(\frac{\pi}{2} - \theta_c \right) \frac{2(1-\nu)(R^2 + r^2)^2 + (R^2 - r^2)(3R^2 + r^2)}{\{ -2(1+\nu)\alpha(R^2 + r^2) + \sqrt{\frac{4}{3}}(1-\nu+\nu^2)(R^2 + r^2)^2 + (R^2 - r^2)(3R^2 + r^2) \}^2} r dr d\theta \quad (18)$$

によって得られる。

(3) 衝撃荷重のなした仕事と円柱の破壊エネルギー

前項までは破壊荷重\$P\$は既知のものとして取扱ってきた。しかし、衝撃力を加えた場合の試験片に作用する破壊荷重の大きさは未知である。\$Q\$なる重さの錘りを\$H\$なる高さから落下する衝撃圧裂試験において試験片に加えられるエネルギーは\$QH\$である。\$QH\$のすべてが試験片内のひずみエネルギーと圧砕に消散されるエネルギーに変えられるものとすれば、すなわち、\$QH\$が破壊しなかった部分の弾性ひずみエネルギーと破壊された部分(圧砕部分)の弾性ひずみエネルギー+非弾性ひずみエネルギー+消散エネルギーの和に等しいとすると、

$$\begin{aligned} QH - W_e + W_{pc} = & \frac{P^2 L}{2\pi R^2 G} \left[2(1-\nu) \left\{ R^2 \log \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} - r^2 \right\} + r^2 + \frac{2R^4}{R^2 + r^2} - \frac{2R^4}{(R^2 + r^2)^2} \right] \\ & + \frac{2P^2 L}{\pi^2 R^2 G} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left\{ 2(1-\nu) \left\{ \frac{R^4 + r^4}{R^2 - r^2} \tan^{-1} \left(\frac{R^2 - r^2}{R^2 + r^2} \cdot \frac{b}{\sqrt{1-b^2}} \right) - \frac{2b\sqrt{1-b^2} \cdot R^2 r^2}{(R^2 + r^2)^2 - 4R^2 r^2 b^2} \right\} \right. \\ & - \frac{(3R^2 + r^2)(R^2 + r^2)}{(R^2 + r^2)^3} \tan^{-1} \left(\frac{R^2 - r^2}{R^2 + r^2} \cdot \frac{b}{\sqrt{1-b^2}} \right) - \frac{2b\sqrt{1-b^2} \cdot R^2 r^2 (3R^2 + r^2)(R^2 - r^2)}{\{ (R^2 + r^2)^2 - 4R^2 r^2 b^2 \} (R^2 + r^2)^2} \left. \right\} r dr \\ & + \frac{2\beta R^2 L}{G} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left(\frac{\pi}{2} - \theta_c \right) \frac{2(1-\nu)(R^2 + r^2)^2 + (R^2 - r^2)(3R^2 + r^2)}{\{ -2(1+\nu)\alpha(R^2 + r^2) + \sqrt{\frac{4}{3}}(1-\nu+\nu^2)(R^2 + r^2)^2 + (R^2 - r^2)(3R^2 + r^2) \}^2} r dr d\theta \quad (19) \end{aligned}$$

を得る。これにより衝撃破壊荷重\$P\$は\$Q\$によって表わされる。

4. 砂岩の破壊試験

試料は、静岡県産出の河津砂岩で第三紀層に属し灰白色。物性は、乾燥単位体積重量\$1.91 \text{ g/cm}^3\$、岩石粒子比重\$2.77\$を用い、静的破壊試験と衝撃破壊試験を行っている。静的試験には\$10\text{t}\$万能圧縮試験機を、衝撃試験には自作の重錘落下式試験機を用いた。重錘落下高\$H\$を\$50\text{cm}\$としたとき、試験片を圧裂する重錘重量\$Q\$は\$3\text{kg}\$重弱であった。よって、衝撃圧裂試験では\$H\$を\$50\text{cm}\$とし、\$Q\$に\$3\text{kg}\$重を採用し、なお、参考データを得るため\$5\text{kg}\$重の重錘を用いた。試験片寸法は一律ではなく、静的、衝撃各試験での測定項目は多岐にわたる。以下にそのうちの主なものを一括して示す(表-1)。

表-1

		試験片の寸法	単位体積重量 \$\gamma\$ (kg/cm ³)	弾性波速度 \$V_p\$ (km/sec)	動弾性係数 \$E_d\$ (kg/cm ²)	静的弾性係数 \$E_s\$ (kg/cm ²)	破壊荷重 \$P\$ (kgf)	強度 \$(\text{kgf/cm}^2)\$	圧裂長さ \$l_0\$ (cm)	試験本数	摘 要
静的試験	一軸圧縮	\$\phi 5\text{cm} \times L10\$	1.902	3.38	\$2.0 \times 10^3\$	\$5.58 \times 10^3\$	7526	382.4	—	31	
	圧裂	\$\phi 5 \times L5\$	1.909	3.16	—	—	1441 (\$\times 288\$)	37.8	1.68	39	* 単位長と当り の\$P/\gamma R\$により決まる
衝撃試験	一軸圧縮	\$\phi 3 \times L6\$	1.906	3.55	2.21	—	—	—	—	10	重錘落下高さ \$40\text{cm}\$
	圧裂(3kg重)	\$\phi 5 \times L5\$	1.916	3.47	2.15	—	—	—	1.85	10	" \$50\text{cm}\$
	圧裂(5kg重)	\$\phi 5 \times L5\$	1.925	3.42	—	—	—	—	1.32	15	" \$50\text{cm}\$

5. 解析および考察

Drucker - Pragerの破壊基準に含まれるパラメーターは一軸圧縮試験と圧裂試験の結果から次のように決定できる。

(1) 静的の場合. 静的一軸圧縮試験は単純な一軸応力状態の下での試験で, $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$, $\sigma_3 \neq 0$ である。破壊時の $\sigma_3 = \bar{\sigma}_c$ は破壊荷重から直ちに求めることができる。これを Drucker-Prager の基準に適用すれば,

$$\alpha \bar{\sigma}_c + \frac{1}{\sqrt{3}} |\bar{\sigma}_c| = k \quad (20)$$

を得る。圧裂試験は、複雑な三軸の応力状態の下で材料は破壊し、圧砕領域と圧裂とを生ずる。そして、破壊は同時に発生する。言い換えれば、図-3の圧砕領域が、その境界線に沿って起こすべし破壊と圧裂領域尖端の引張破壊とが前後して起こり、その直後に圧砕領域は分解し圧裂領域は分裂する。静的圧裂試験では、破壊時の荷重の大きさから圧裂領域尖端の応力状態を式(3)により求める。いま、それを $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ とし、これを Drucker-Prager の基準に適用すれば

$$\alpha(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) + \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = k \quad (21)$$

を得る。ポアソン比 α を仮定し、表-1の試験結果を式(20), (21)に用いれば、次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} -382.2\alpha + \frac{1}{\sqrt{3}} 382.2 &= k \\ -230.7\alpha + 138.4 &= k \end{aligned} \right\}$$

これより、砂岩の静的破壊パラメーター α, k に $\alpha = 0.54$, $k = 138$ (kgf) と得る。

(2) 衝撃の場合. 動的な破壊試験とくに衝撃による場合は破壊荷重の強さを求めることが至難である。したがって、式(1) $\alpha \sigma_1 + \sqrt{3} \sigma_1 - k = 0$ を導き得ない場合が多い。しかし、3に述べた理論的展開は、衝撃荷重の仕事とひずみエネルギーとを比較して、動的強度の定数 α_0, k_0 を求める手段となり得るのである。ただし、 α_0, k_0 を求める試験結果の解析手続はやや複雑である。すなわち、 α_0, k_0 を解く過程で一律係数を仮定し、衝撃換算圧裂荷重 P と圧砕曲線とも定めなければならぬ。要するに4コの未知数を解かねばならない。これらを定義する式は、(1), (7), (13), (19) であって、積分方程式を含む連立高次方程式をなす。0.18から0.24までのポアソン比を仮定し、表-1の試験結果を用いて、連立方程式を解いて得た結果は次のとおりである。

表-2

また、連立方程式から定まった圧砕曲線の形状は圧裂試験の結果によく類似し、両者は充分比較し得るものであった。

ポアソン比 ν	重錘重量 3kg				重錘重量 5kg			
	一律係数 β	α_0	k_0	換算圧裂荷重 P	β	α_0	k_0	P
0.18	4.6	0.358	310	286 ^{kgf}	4.8	0.361	310	361 ^{kgf}
0.20	4.0	0.358	310	298	4.4	0.359	310	371
0.22	3.4	0.358	310	311	4.0	0.361	310	380
0.24	2.8	0.360	310	326	3.7	0.361	310	389

(3) 考察.
衝撃解析の結果を中心にして二の考察を述べる。

- 前(2)項で求めた衝撃の α, k を静的と比較すると、 α_0 は余り違いがないが、 k_0 は相当な違いを示した。
- ポアソン比の違いによる一律係数の違いは著しい。これは拘束の効果の違いによる結果と解釈できる。
- 表-2の重錘重量3kg重のときの圧裂換算荷重 286~326^{kgf}と、表-1に見られる静的圧裂荷重(単位長と当り) 288^{kgf}との近似は注目値する。
- 表-2において、同じポアソン比を仮定して得られた一律係数の値が、3kg重錘に対するものより5kg重錘によるものの方が大きい。これは圧砕部の粉砕に消費されるエネルギーの差を反映しているものであろう。このことは、実験結果の粉砕の様相と比べて矛盾しない。

6. おわりに

この研究を行なうに当って、終始あたたかい御教示および御指導を賜りました、建設省土木研究所所長飯田隆一氏ならびに日本大学理工学部色部誠教授に対し深甚なる謝意を表します。参考文献. 1) 土木学会編、土木技術者のための岩盤力学、1975. 2) 飯田隆一、土木工学における岩盤力学概説、彰国社、1978. 3) 倉西正綱、弾性学、日本機械学会、1948. 4) D.C. Drucker and W. Prager, Soil Mechanics and plastic Analysis of Limit Design, 1951. 5) L.M. カタヤフ 原著、大橋義夫訳、破壊力学の基礎、森北出版、1977.

(7) IMPACT BREAKING STRENGTH OF SANDSTONE

Nihon University, Saburo SAKAI

The mechanism of breaking due to the impact on materials such as rocks has not yet been clarified. This research aims at theoretically and phenomenally interpreting the behavior of rocks under impact load, and determining the impact breaking strength of rocks by discussing the breaking of rocks in view of energy balance. For the test, the columnar test pieces of sandstone were used in all cases, and the axial impact load corresponding to mono-axial compression test and the impact load in diametral direction corresponding to pressure rupture test were applied to them, thus the impact breaking test was carried out.

In the impact pressure rupture test, the breaking due to pressure rupture arose in the central part along the diameter of columns, and outside that part, the breaking due to pressure crushing occurred, in this way, a part of the test pieces broke down. The extent of this region of pressure crushing depended on not only the intensity of impact load but also the breaking strength of rocks.

For the breaking criterion, considering that the sandstone used for the test was nearly isotropic and homogeneous, the breaking criterion of Drucker-Prager with two parameters, which has been widely used for rocks, was adopted.