



Title	モデル実験による炭層発破周辺応力の推定について
Author(s)	氏平, 増之; Ujihira, Masuyuki; 島内, 洋志 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 123, 1-14
Issue Date	1984-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41893
Type	departmental bulletin paper
File Information	123_1-14.pdf



モデル実験による炭層発破周辺応力の推定について

氏平 増之* 島内 洋志**

(昭和59年6月30日受理)

Estimation of Dynamic Stresses around the Shot Point by Scale Model Experiment

Masuyuki UJIHIRA and Hiroshi SHIMAUCHI

(Received June 30, 1984)

Abstract

In order to evaluate the adaptability of the Similar Law to the problems of dynamic stresses within soft material caused by detonation of explosives, two types of blasting experiments were carried out. One of them was the small scale laboratory experiment and the other one was the actual scale shotfiring test in an underground drift. In every experiment, dynamic strain waves were measured, from which dynamic stresses were calculated by the elastic theory. As a result of analyses, it was found that the Similar Law could be applied in these blasting stress problems and the stresses could be estimated around the actual scale blasting from small scale model experiments.

Furthermore, it is considered that in the case where the direction of dynamic stress of blasting σ_{rmax} corresponds to that of maximum principle burden stress σ_1 , shearing yield condition of the coal seam is apt to be satisfied. So, in driving in the steep dip coal seam, additional stresses by blasting could act most effectively and widely in the upper zone of the working face.

1. はじめに

炭鉱における発破は、坑道掘進や石炭の採掘上、軽便で有用な手段である反面、好ましくない衝撃力を周辺の石炭、岩盤に与え、崩落やガス突出など災害の呼び水になることがある。発破と同時又は直後に起こるガス突出は特に多い^{1,2)}。その原因が発破によるカバーロックの破壊にあるか、炭層、岩盤の急速除去による地圧変動にあるか、それともガス圧勾配の急変にあるのか、一意的に決めることはできない。発破自身についてみると、炭層発破周辺に発生する応力についての実測値は、ほとんど無い状況と見てよい。筆者等は、低強度材料を用いた発破周辺応力推定のためのモデル実験とその実験結果を検証するための現場実験を行なった。本報文では、主として、現場実験に先だてて行なったモデル実験結果を報告し考察を加える。発破による応力を測定するためには、ひずみ→応力の変換法をとった³⁾。

*資源開発工学科保安学講座

**電気化学工業(株)原石課

2. 実 験

2.1 実 験 模 型

ここでは、第1図(A)に示される沿層掘進引立面中央部に心抜発破を行なうような場合を想定して、同図(B)の模型を考えた。すなわち、断層又は着炭際の岩石の奥に軟かい石炭が存在する掘進条件下で発破したとき、奥の炭層の各点にどの程度の応力が加えられることになるか、また装薬量の多少によって、一定点への付加応力値がどう変化するかをみようとしている。第1図(A)は発破後ガス突出が発生した事例でもある。

実際の実験は、第1図(B)を小規模で実施し、その結果から原尺模型における発破応力を求め、さらに第1図(A)のような坑道掘進条件下での応力を推定する。

第1図(B)の模型で、手前の砂モルタルを爆破したとき、その奥の粉炭モルタル内のある点に生ずる発破応力 σ の値に関係すると考えられる要因をすべてあげれば次のようである。

1. 容器断面の一辺長 D , 2. 粉炭モルタルの充填長 l , 3. 装薬半径 (球状装薬と仮定) R , 4. 粉炭モルタル内のある点の爆源からの距離 r , 5. 爆ごうガス圧 $p(t)$, 6. 爆ごうガス圧作用時間 t , 7. 粉炭モルタルの密度 ρ_1 , 8. 粉炭モルタルの圧縮強度 S_{c1} , 9. 粉炭モルタルの引張強度 S_{t1} , 10. 粉炭モルタルのヤング率 E_1 , 11. 粉炭モルタルのポアソン比 ν_1

このほか、砂モルタルの諸条件は、爆ごうガス圧作用時間 t を規制するものであるが、ここでは、これらの要因を t の中に一括して含めた。したがって σ は上記11要因の関数で表わされる。

$$\sigma = f(D, l, R, r, P(t), t, \rho_1, S_{c1}, S_{t1}, E_1, \nu_1) \quad (1)$$

ここで、 σ も含めた12個の物理量を、1次元量に ρ_1, l, t をとり無次元化すると(1)は、

$$\frac{\sigma t^2}{l^2 \rho_1} = \phi \left(\frac{D}{l}, \frac{r}{l}, \frac{R}{l}, \frac{P(t)t^2}{l^2 \rho_1}, \frac{S_{c1}t^2}{l^2 \rho_1}, \frac{S_{t1}t^2}{l^2 \rho_1}, \frac{E_1 t^2}{l^2 \rho_1}, \nu_1 \right) \quad (2)$$

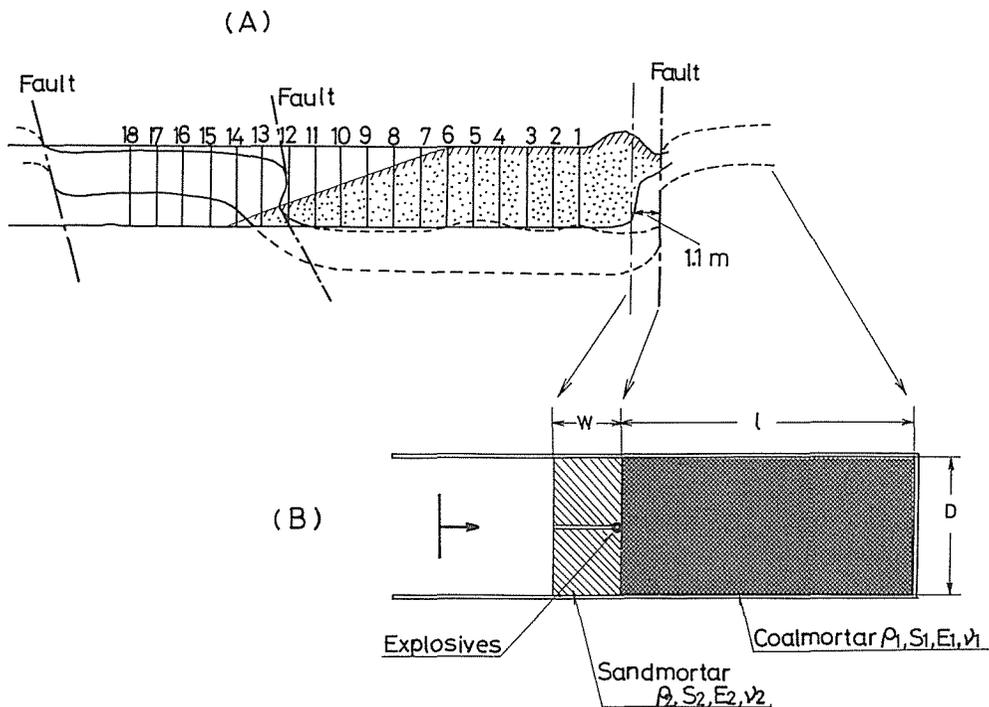
モデルとプロトタイプ間で(2)式の無次元積がすべて同一値であれば両者は相似である^{4,5)}。

ここで、モデル側からプロトタイプ側をみる場合、モデルにおける3つの1次元量のスケールを、それぞれ a_p, a_b, a_t 倍すると、他のスケールファクタは、第1表に示すごとくに決められる。この実験では、1次元量のスケールファクタ a_p, a_b, a_t をそれぞれ、 $a_p = 1, a_t = a_b = C$ とおくことにする。これにより他のスケールファクタはすべて1となる。このことは、実験に使用する供試材料の機械的性質はモデルとプロトタイプ間ですべて同じであることを示し、爆薬の装薬半径などの長さや爆ごうガス圧作用時間だけを C 倍することにより、モデルの幾何学的規模を C 倍できることを示す。ただし重力の影響は無視している。

この実験では、6号電気雷管⁶⁾(0.6g/本、仮比重0.8)を1~5本装薬して実験を行なうが、同一成分の混合爆薬を使用するとした場合、プロトタイプにおける実使用薬量との関係は、第2表のごとくなる。たとえば、プロトタイプの装薬量400gは、モデルにおける雷管1本の装薬量の幾何学的スケールが8.79倍されたものである。

2.2 実 験 装 置

第2図は、電気雷管1本を装薬して行なう場合の直方体試料充填容器と測定装置類を示している。容器寸法は25×25×60cmである。供試材料の粉炭セメントモルタルは容器下底から40cmまで充填し、硬化後に実験に供した。粉炭モルタル上部には、雷管1本の場合には、厚さ5cmの砂モルタルが充填される。



第1図 想定した現場状況とそのモデル

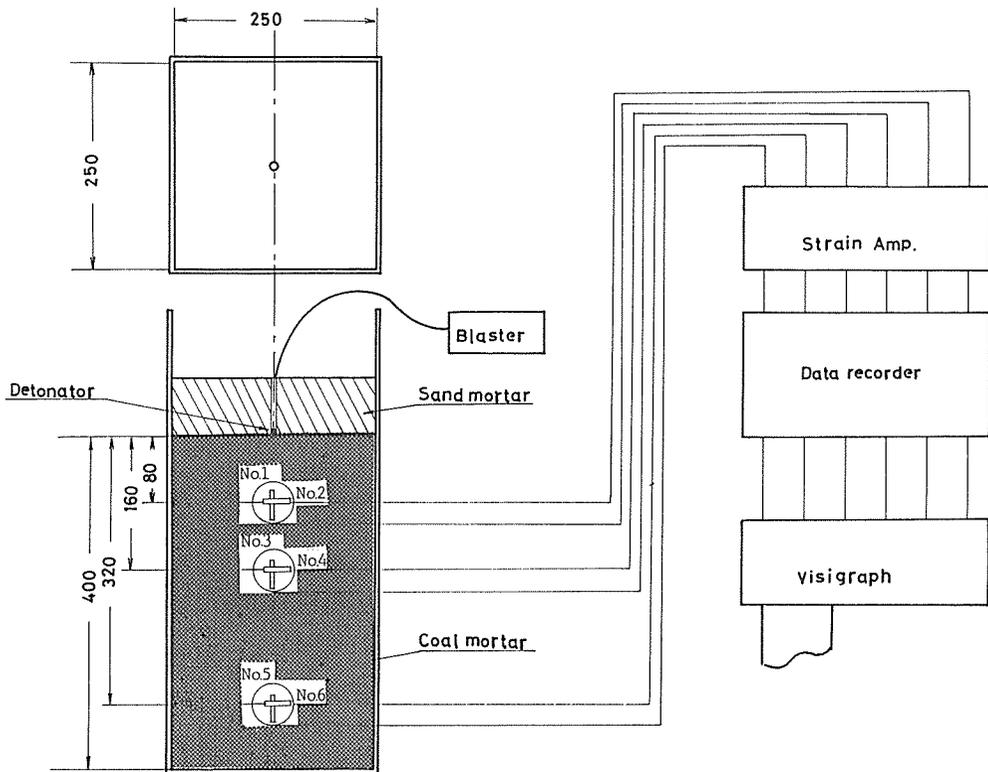
第1表 諸要因のスケールファクタ

		Scale Factor
Length	L	a_l
Time	T	a_t
Density	ML^{-3}	a_ρ
Pressure	$ML^{-1}T^{-2}$	$a_p = a_l^2 \times a_\rho \times a_t^{-2}$
Stress	$ML^{-1}T^{-2}$	$a_\sigma = \text{''}$
Strength	$ML^{-1}T^{-2}$	$a_s = \text{''}$
Young's modulus	$ML^{-1}T^{-2}$	$a_e = \text{''}$
Poisson's ratio	0	a_ν

第2表 装薬量と1次量 a_l, a_t の関係

L (g)	R (cm)	a_l	a_t
NO.6 detonator(0.6g)	0.56	1.00	1.00
200g	3.91	6.98	6.98
400g	4.92	8.79	8.79
600g	5.64	10.00	10.00
800g	6.20	11.07	11.07
1000g	6.64	11.86	11.86
1200g	7.06	12.60	12.60
1400g	7.60	13.57	13.57
comment	charged density = 0.8		

粉炭モルタル内には、爆源の中心から、原則として、8、16、32cmの位置に防水型ひずみゲージを埋設する。ひずみゲージの方向は、爆源の半径方向とそれに直角な接線方向にセットされている。



第2図 実 験 装 置

2.3 供 試 材 料

供試材料の機械的性質は、第3表に示すごとくである。粉炭モルタルの圧縮強度 $8.1\text{kg}/\text{cm}^2$ 、圧裂引張強度 $0.8\text{kg}/\text{cm}^2$ 、静的ヤング率 $0.87 \times 10^4\text{kg}/\text{cm}^2$ 、弾性波速度から求めた動的ヤング率 $1.85 \times 10^4\text{kg}/\text{cm}^2$ 等である。したがって、ガス突出しやすい最も軟かい石炭に相当するものである。なお、使用した6号電気電管は、DDNP0.2g、テトリル0.4g、仮比重0.8の土木用瞬発雷管である。

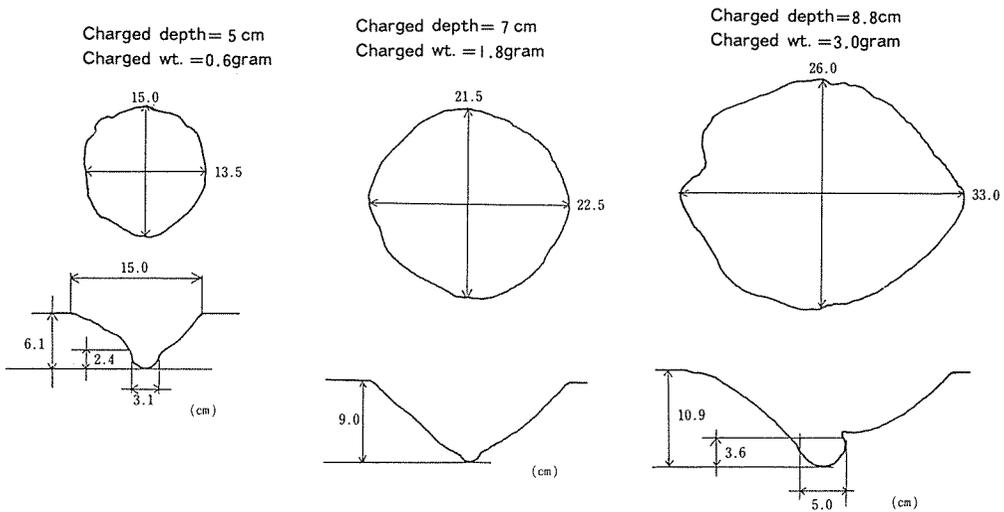
第3表 供試材料の機械的性質

Compressive Strength	$8.1\text{kg}/\text{cm}^2$
Tensile Strength	$0.8\text{kg}/\text{cm}^2$
Density	1.08
Young's modulus	$0.87 \times 10^4\text{kg}/\text{cm}^2$ (1.85×10^4 ")

() Dynamic young's modulus.

2.4 実験方法

供試体充填容器内に所定量の粉炭モルタルを充填，硬化後，砂モルタルをその上部に充填する。その時，断面中央に装薬孔を設けておき，孔底に装薬，タンピングはセッコウで行なう。粉炭モルタル内の3測点のひずみは磁気テープに収録後，ビジグラフ記録紙上に再生した。装薬量は装薬量雷管1，3，5本の3水準とした。3種類の装薬量で実験を行なうときの爆ごうガス圧の時間変化 $P(t)$ は相似形でなければならない。これを確認することは極めて困難である。このため，3種類の装薬量で行なう砂モルタルのクレータテストの結果がほぼ相似的形状を示す場合に $P(t)$ は相似的と仮定することにした。クレータテスト結果は，それぞれ第3図(A)～(C)に示す通りであり，装薬量雷管1本のときには砂モルタルの厚さを5 cm，3本のとき7 cm，5本のとき9 cmとした。



第3図 雷管によるクレータ試験結果

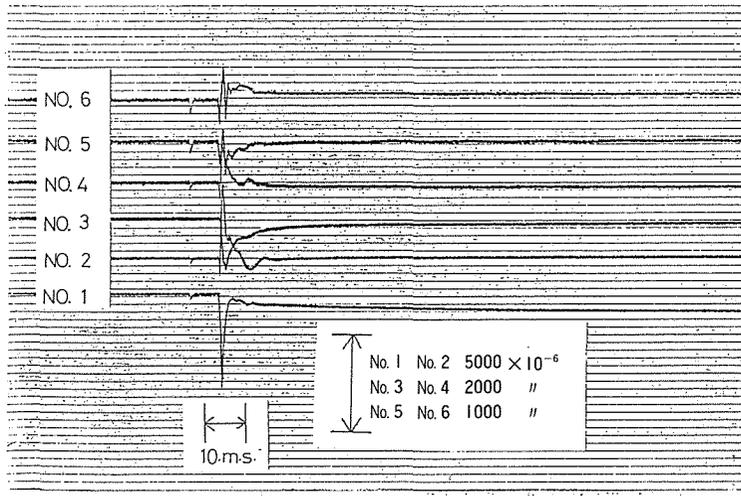
3. 実験結果及び考察

実験毎に，第4図に示すようなひずみ波の記録が得られる。爆源の半径方向を r 方向，爆源の中心から供試材料内のある点までの距離を r とする。 r 方向のひずみを ϵ_r とする。また，半径 r の円の接線方向ひずみを ϵ_θ とする。第4図の例は雷管1本装薬の実験例であるが，No.1，No.2が $r=8\text{cm}$ の点の ϵ_r 及び ϵ_θ を，No.3，No.4が $r=16\text{cm}$ の点の ϵ_r ， ϵ_θ を，No.5，No.6が $r=32\text{cm}$ の点の ϵ_r ， ϵ_θ の波形を示している。この例でみられるごとく，波形的には，爆源からある範囲まで非振動的の波形がみられ，それより遠ざかると短波長の振動的の波形がみられるようになる。その境界は，爆源半径を a とすると， $(r/a) \approx 34$ であった。

第4表は，記録紙上から最大ひずみ ϵ_{rmax} と $\epsilon_{\theta max}$ を読み取りまとめて示したものである。表中では，圧縮をマイナス，引張をプラスとしている。本論文では，応力についても同様の符号を用いることとする。

ここで，装薬量雷管3，5本の場合の実験のスケールを雷管1本装薬の場合に相似的に縮小して測定結果をまとめたい。そのためには，第4表の爆源から測点までの距離 r を，雷管3本装薬の場合には， $a_3 = a_1 = (1/3)^{1/3} = 0.693$ 倍し，雷管5本装薬の場合には $a_5 = a_1 = (1/5)^{1/3} = 0.585$

倍して整理すればよい。



第4図 ひずみ波形の例
(Noは第2図装置のNoに対応)

第4表 各装薬量における爆源からの距離 r と最大ひずみの関係

$\epsilon = (\times 10^{-6})$

	ϵ_{rmax}	$\epsilon_{\theta max}$								
r	6 cm	8 cm	12.5cm	16cm	25.5cm	32cm				
No. 6										
Detonator. 1										
No. 1			-6130	4050	-2130	1370			-520	170
No. 2			-5530	4040	-2170	800			-360	200
No. 3			-4850	1820	-1870	2040			-540	240
No. 4	-6650	3710			-1670	1210	-490	680		
r	7 cm	8 cm	13cm	16cm	25.5cm	32cm				
No. 6										
Detonator. 3										
No. 1			-13820	12960	-4170	3540			-1180	350
No. 2			-12850	8900	-3030	2100			-480	650
No. 3					-2370	1450			-1100	420
No. 4	-14240	8850			-6080	2980	-870	700		
r	6.5cm	8 cm	13cm	16cm	24cm	32cm				
No. 6										
Detonator. 5										
No. 1			-18450	15330	-4560	5280			-1120	630
No. 2			-15790	14730	-6300	4870			-1120	470
No. 3			-13940	10800	-4890	3920			-800	870
No. 4	-15160	8970			-6000	3200	-1300	1590		

このようにして、装薬量電管3、5本の場合のデータを装薬量雷管1本の場合に相似的に変換して、爆源からの距離別に示したのが第5表である。 ϵ_{rmax} 、 $\epsilon_{\theta max}$ は必ずしも ϵ_r が最大圧縮ひずみを示す時刻に ϵ_{θ} も最大引張ひずみを示すとは限らず、 ϵ_{θ} についても同じである。第5表では、 ϵ_{rmax} とその時刻の ϵ_{θ} 、 $\epsilon_{\theta max}$ とその時刻の ϵ_r をあわせてかかげた。

第5表の値を用い、 $r-\epsilon_{rmax}$ 、 $r-\epsilon_{\theta max}$ の関係をプロットすると、第5図のごとくなる。 ϵ_{rmax} 、 $\epsilon_{\theta max}$ の双方とも両対数紙上にほぼ直線的にプロットされており、爆破によって生ずる

第5表 装薬量を雷管1本とした場合の $r-\epsilon$ の関係

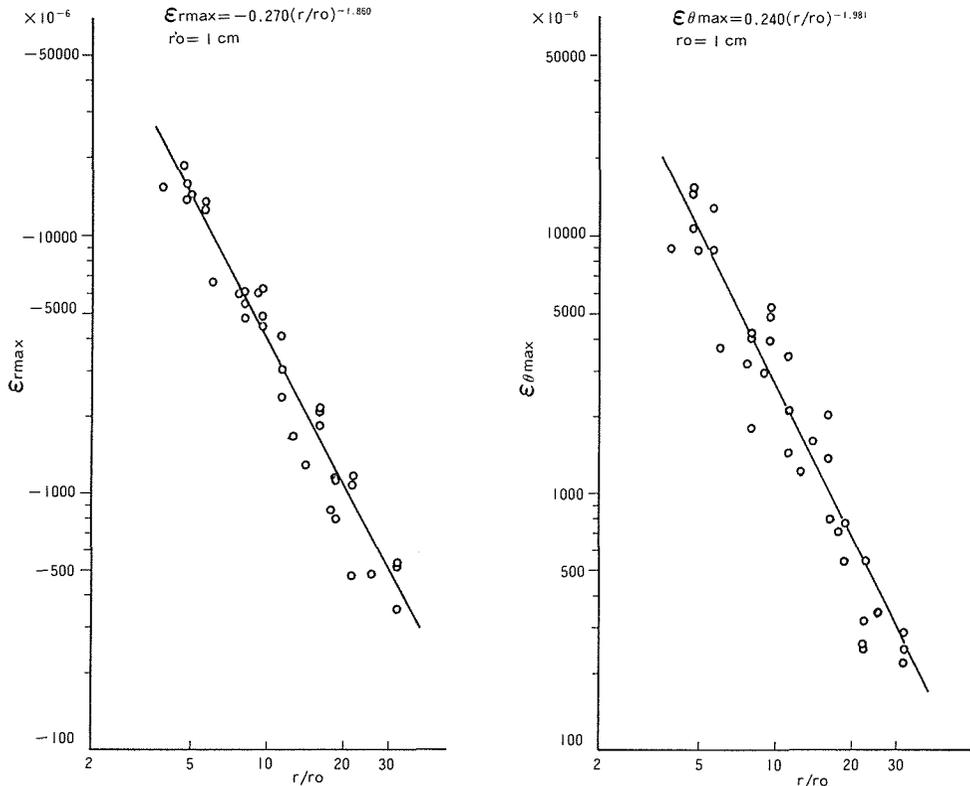
r (cm)	ϵ_{rmax}	ϵ_{θ}	$\epsilon_{\theta max}$	ϵ_r	σ_{rmax}	σ_{θ}	$\sigma_{\theta max}$	σ_r
3.8	-15160	8970	8970	-15160	-203.8	153.3	153.3	-203.8
4.6	-18450	3060	15330	-16210	-364.3	-46.0	333.8	-132.9
"	-15790	1910	14730	-15500	-322.3	-60.3	321.0	-126.1
"	-13940	4300	10800	-12940	-245.8	24.1	223.9	-127.4
4.9	-14240	8850	8850	-14240	-185.1	156.6	156.6	-185.1
5.5	-13820	1100	12960	-12820	-290.5	-69.7	288.7	-92.8
"	-12850	3720	8900	-11520	-230.2	15.0	178.2	-124.0
6.0	-6650	3030	3710	-4680	-102.8	40.5	75.2	-49.0
7.6	-6000	3200	3200	-6000	-85.8	50.3	50.3	-85.8
8.0	-6130	4050	4050	-6130	-76.1	74.5	74.5	-76.1
"	-5530	1930	4040	-3930	-94.2	16.2	90.5	-27.5
"	-4850	1820	1820	-4850	-80.7	17.9	18.0	-80.7
9.0	-6080	2980	2980	-6080	-90.9	43.2	43.2	-90.9
9.4	-4560	350	3280	-4060	-96.0	-23.4	67.0	-41.6
"	-6300	2120	4870	-5710	-108.5	16.1	101.9	-54.7
"	-4890	840	3290	-3850	-96.2	-11.3	87.8	-27.5
11.1	-4170	720	3540	-3320	-82.0	-9.5	80.2	-21.3
"	-3030	1070	2100	-2810	-51.5	9.3	41.4	-31.3
"	-2370	1170	1450	-2000	-35.3	17.1	28.1	-22.9
12.5	-1670	670	1210	-1540	-27.2	7.5	24.4	-16.3
14.0	-1300	-720	1590	-1120	-39.5	-30.9	38.8	-1.3
16.0	-2130	1370	1370	-2130	-27.0	24.5	24.8	-27.0
"	-2170	760	800	-1310	-36.9	6.4	14.0	-17.2
"	-1870	-560	2040	-1740	-49.9	-30.4	47.5	-8.4
17.7	-870	25	700	-520	-19.0	-5.7	16.8	-1.2
18.7	-1120	560	630	-760	-16.6	8.3	13.0	-7.5
"	-1120	410	470	-190	-18.8	3.8	12.5	2.7
"	-800	-210	870	-710	-20.8	-12.1	20.4	-2.9
22.2	-1180	210	350	-460	-26.2	-2.5	6.9	-5.0
"	-480	-410	650	-420	-16.7	-15.7	-16.0	0.3
"	-1100	110	420	-250	-22.8	-4.9	10.6	0.7
25.5	-490	-570	680	-460	-19.3	-20.9	19.0	-0.1
32.0	-520	120	170	-110	-9.7	-0.3	4.2	0.1
"	-360	80	200	-240	-6.8	-0.3	4.1	-2.4
"	-540	140	240	-40	-9.9	0.1	6.8	2.7

はずみは、爆源から遠ざかるとべき関数的に減衰する。したがって、最小2乗法で実験式を求めると雷管1本の場合、

$$\epsilon_{rmax} = -0.270(r/r_0)^{-1.860} \quad (3)$$

$$\epsilon_{\theta max} = 0.240(r/r_0)^{-1.981} \quad (4)$$

となる。ただし r_0 は無次元化のための単位長さ 1 cm である。(3), (4) 式によると, 減衰指数は, 絶対値が 2 より若干小さい値になっている。花崗岩中での T.C. Atchison⁷⁾ の測定では, -2.03 であったとしている。第 5 図において, データが直線的にプロットされていることは, 少なくとも装薬量 1 ~ 5 倍の範囲での相似律適用に無理がないことを示している。



第 5 図 爆源からの距離 r と最大ひずみの関係 (雷管 1 本装薬)

次に, 本実験の供試材料は低強度のものではあるが, 石炭の圧縮試験におけるのと同様パーセントオーダーまで応力ひずみ線図が直線性を示すことを考慮し⁸⁾, (5) 式に示す 3 次元のフックの法則を適用した^{3,9)}。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \lambda e + 2\mu \epsilon_r \\ \sigma_\theta &= \sigma_\phi = \lambda e + 2\mu \epsilon_\theta \end{aligned} \right\} (5)$$

ただし, $e = \epsilon_r + \epsilon_\theta + \epsilon_\phi$ (ここでは $\epsilon_\phi = \epsilon_\theta$ と仮定)

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

計算には, 第 3 表の動的ヤング率 $1.85 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ を使い, ポアソン比は $\nu = 0.25$ と仮定した。

各測点における r 方向及び θ 方向の 1 対のひずみ波から, それぞれ σ_{rmax} 及び $\sigma_{\theta max}$ を求め, 第 5 表にまとめて示してある。また同表には, σ_{rmax} に対応する σ_θ 及び $\sigma_{\theta max}$ に対応する σ_r も示してある。また, $\epsilon_\phi = \epsilon_\theta$ と仮定しているため, $\sigma_\phi = \sigma_\theta$ でもある。

第5表の爆源から測点までの距離 r と σ_{rmax} , $\sigma_{\theta max}$ の関係をやはり両対数目盛上にプロットすると、第6図のごとくなる。応力の場合にも、ひずみの場合と同じく良い直線性を示している。第5表の値を用い σ_{rmax} , $\sigma_{\theta max}$ の、一般化された減衰式を求めると、(6), (7)式になる。

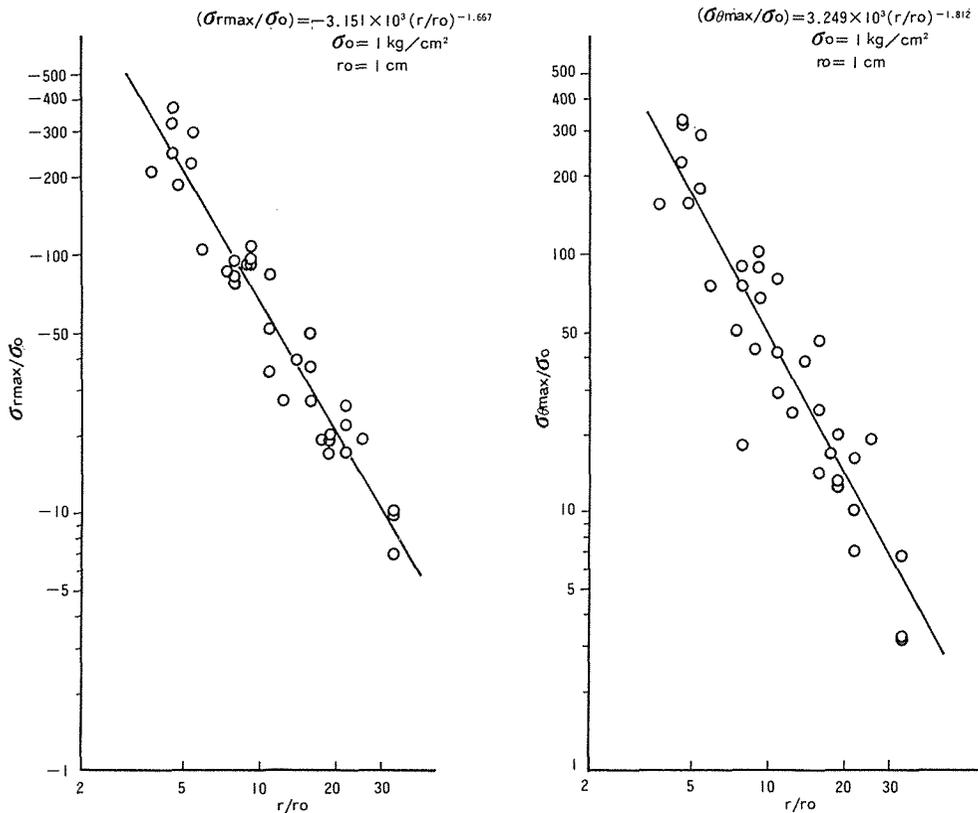
$$\sigma_{rmax}/\sigma_o = -3.151 \times 10^3 (r/a_i r_o)^{-1.667} \quad (6)$$

$$\sigma_{\theta max}/\sigma_o = 3.249 \times 10^3 (r/a_i r_o)^{-1.812} \quad (7)$$

ただし、 $\sigma_o = 1 \text{ kg/cm}^2$

$r_o = 1 \text{ cm}$

a_i : 第2表に示したスケールファクタ

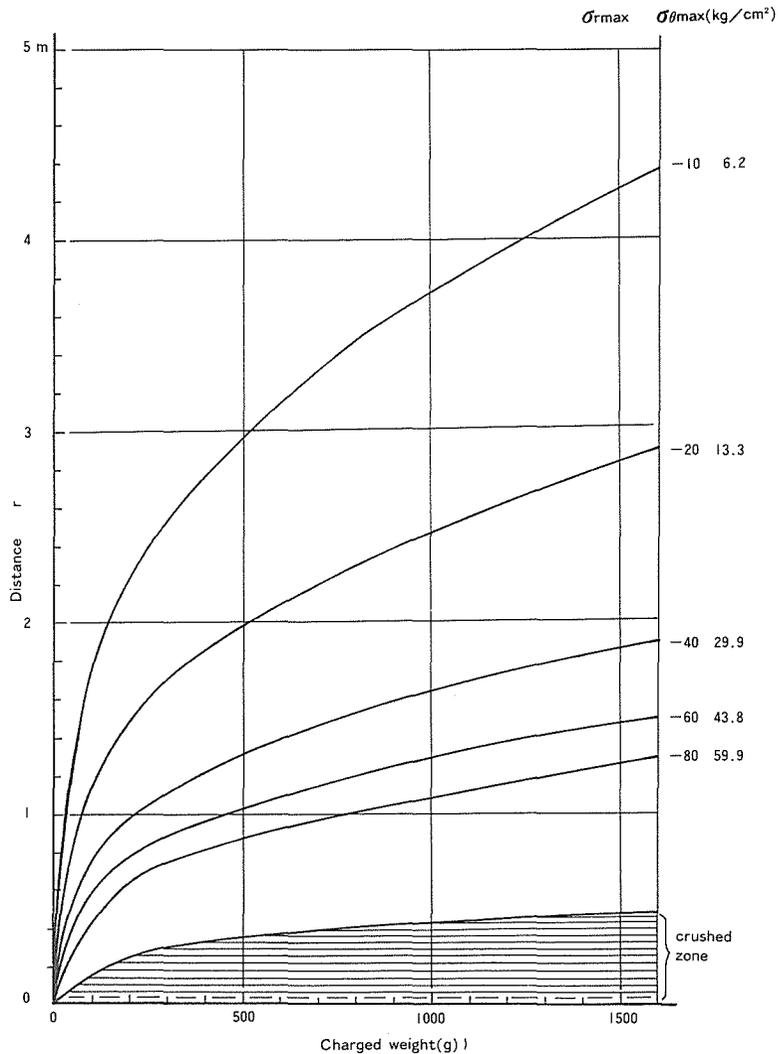


第6図 爆源からの距離 r と最大応力の関係 (雷管1本装薬)

(6), (7)式右辺のカッコ内の a_i に任意のスケールファクタを代入すると、その値に対応した装薬量をほどこした発破の応力減衰式が得られる。

実験式で $a_i = 1$ とおいて雷管1本の場合の r 方向圧縮応力をみると、 $r = 5 \text{ cm}$ で 215 kg/cm^2 、 $r = 10 \text{ cm}$ で 68 kg/cm^2 、 $r = 20 \text{ cm}$ では 21 kg/cm^2 であり、爆源近傍の高応力ゾーンでの応力減衰が著しく、 20 cm 以上も離れた位置からは比較的減衰が緩やかで広い範囲に低応力波が伝播する。その境界は、先述のごとく、ひずみ波形が非振動的から振動的へと変化する $(r/a) = 34$ 付近であり、装薬量1本の場合には $r = 19 \text{ cm}$ である。

第7図は、実験式(6)の a_i に第2表の値を代入して、幾何学的実験規模を約14倍(装薬量1,600



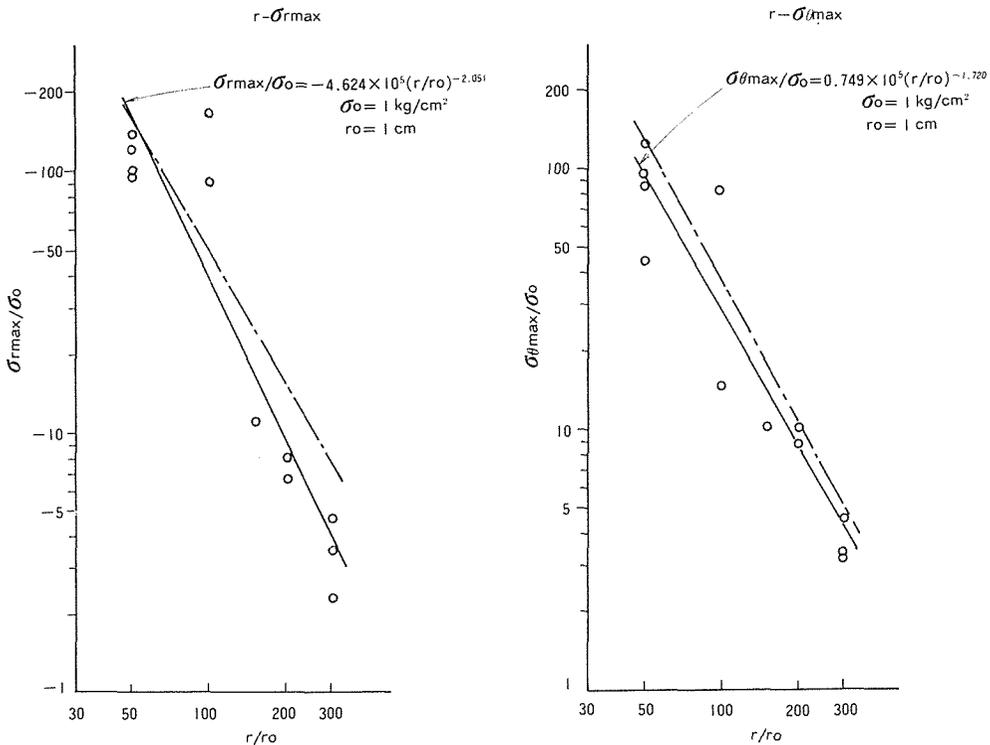
第7図 実装薬量と一定応力発生範囲の関係

g)まで相似的に拡大したときの、装薬量と一定応力発生距離の関係を示したものである。この図からも、爆源近傍での応力低下が著しいこと、高応力ゾーンはせまいことなどがわかる。

次に、第8図は空知炭鉱-260msLの桜沢地区登川5番層で行なったEqs400g装薬の実規模発破周辺の応力測定結果を示している。炭層は、圧縮強度 46kg/cm^2 、動的ヤング率 $2.84 \times 10^4\text{kg/cm}^2$ （静的ヤング率 $1.70 \times 10^4\text{kg/cm}^2$ ）であり、モデル材料より高強度であった。図中の実線が現場計測データをもとに求めた直線であり、鎖線が(6)、(7)式の a_1 に装薬量400gの場合の値8.79を代入したときの応力値である。モデル実験の場合の応力が高目であるが、極端にはちがわない。両者の違いには、薬種、供試材料強度の差も含まれていよう。これらを考慮すると、小規模のモデル実験から、幾何学的スケール10倍程度までの実規模発破周辺応力の評価を行なうことは可能であると判断できる。

炭鉱内のガス突出・山ハネの発生機構の解明は急がれている。そこでは、理論とその実験的実証が欠かせない。坑内実験を重ねることが望ましいが、多大の費用と場所を必要とする。このた

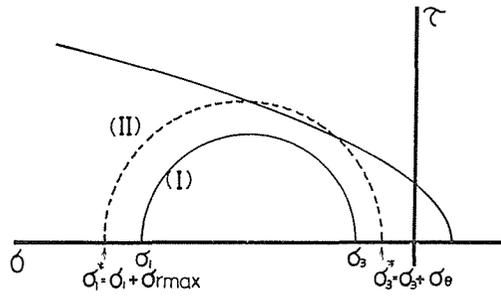
め、筆者等は、地圧・ガス圧要因を盛り込んだモデル実験を実施している¹⁰⁾。実験では、拘束されたガスを含むモデル材料内を小発破で掘進する必要がある。上記の発破のモデル実験における結論は、このような実験の中でも、岩石破壊における寸法効果的修正を施すことなく¹¹⁾、発破応力を純相似的にモデル化できることを示している。



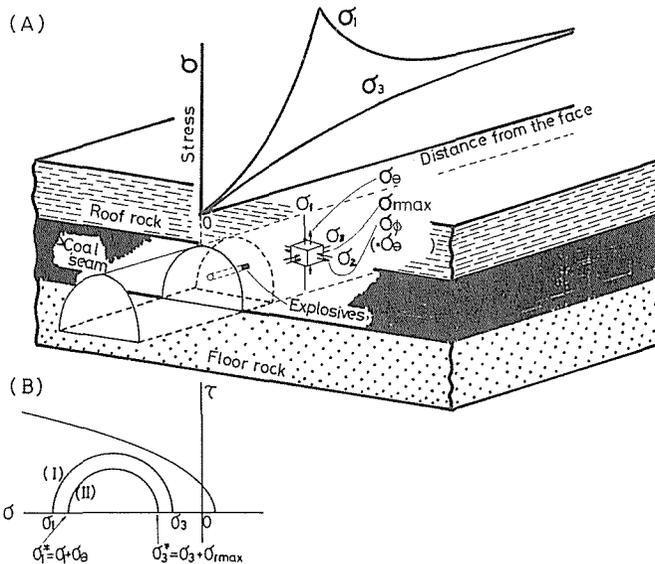
第8図 モデル実験による応力値と現場実験による応力測定結果との比較
(実線：現場実験，鎖線：モデル実験による)

4. 坑道周辺の破壊についての一考察

通常の発破における1孔当り装薬量は200～400gである。第8図によると、装薬量400gの単発発破において、炭層が無応力状態(地圧が作用していない)であるとすると、 $r=200\text{cm}$ には、 $\sigma_{\theta} = 10\text{kg/cm}^2$ の引張応力が発生し、引張強度数 kg/cm^2 程度の炭層には引張クラックが入ってよいことになる。しかし、実際の炭層には地圧が作用している。したがって、発破応力だけでは破壊を論じれない。地圧との合力で考える必要がある。いま、地山の応力状態が第9図の応力円(I)の状態であったとする。それに対し発破応力が加えられ、応力円(I)が(II)に変化すれば、応力円(II)は破壊包絡線と交わり、極く短時間ではあるが破壊条件を満足することになる。このような条件が満たされるのは、爆源の外周360°均一ではないと考えられる。



第9図 地山応力と発破応力の合成概念図

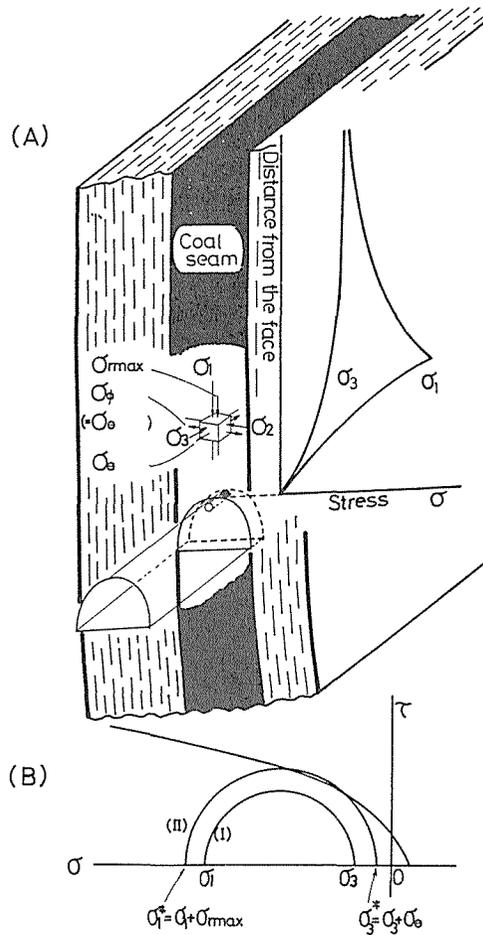


第10図 平層の沿層掘進面前方での応力の合成

まず、平層の沿層掘進での破壊条件を考えてみる。第10図のごとく、掘進前方の炭層の主応力方向が垂直(σ_1)、水平($\sigma_2 = \sigma_3$)であったとすると、発破のピーク応力 σ_{rmax} が加わった時点で、 σ_1 及び σ_3 はそれぞれ、 $\sigma_1^* = \sigma_1 + \sigma_{rmax}$ 、 $\sigma_3^* = \sigma_3 + \sigma_{rmax}$ になる。圧縮応力をマイナスで表わしているから、 σ_1 、 σ_3 、 σ_{rmax} は負の値であり、 σ_{e0} だけが正である。すると σ_1^* の値は元の σ_1 より絶対値が小さくなる。また σ_3^* の絶対値は元の σ_3 より大きくなる。つまり、応力円は、第11図 (I) から (II) のように直径が小さくなる。発破応力を受けると、掘進前方の炭層はかえって破壊しづらいことになる。

次に、第11図は急傾斜炭層の沿層掘進の上部炭層への影響をみた場合である。この場合には、掘進面で発破すると、 $\sigma_1^* = \sigma_1 + \sigma_{rmax}$ 、 $\sigma_3^* = \sigma_3 + \sigma_{e0}$ であり、上述のように σ_{e0} だけがプラス符号であるから σ_1^* は σ_1 よりも圧縮応力値が大きくなり、 σ_3^* は σ_3 より値が小さくなる。その時、応力円は同図 (B) の (I) → (II) のように直径が大きくなり、破壊包路線との交差の可能性が生まれ、破壊しやすくなる。

上述のごとく、地圧が作用している炭層に非振動的な発破応力波の第1波が加えられるときには、炭層が急傾斜層であるほど、破壊効果が顕著に現われるといえる。



第11図 急傾斜層掘進面上方での応力の合成

5. む す び

軟かい炭層が装薬奥部に存在する場合を想定し、装薬奥部に発生する発破応力を推定するためのモデル実験を行なった。他方、炭鉱坑内で実規模炭層発破周辺のひずみ測定を行ない爆源周辺の発破応力値を求めた。両者の結果を比較することにより、実規模発破の幾何学的スケールが1/10程度までのモデル実験であれば、原型との間にほぼ相似則が成立するという結論を得た。このことは、坑内の諸現象を解明するためのモデル実験において、発破作業に相当する要因を盛り込む場合、岩石破壊におけるような寸法効果を考慮しなくてよいことを示している。

次に、坑道周辺の炭層破壊に対する発破の効果は、あらゆる方向に均一ではなく、爆源の半径方向応力 σ_r と地山の最大主応力 σ_1 方向が一致する方向で最も著しく現われることを示した。地質条件との関連でみると、急傾斜層の沿層水平あるいは昇掘進発破が、高落ち、滑走、突出のきっかけになりやすいといえる。

参考文献

- 1) Eckart, D: Freiburger Forschungs Hefte, A409, pp.1~54, (1964)
- 2) 橋本清, 氏平増之: 日本鉱業会誌, 89, [1024], pp.21~24 (1973)
- 3) 伊藤一郎, 佐々宏一: 日本鉱業会誌, 79, [898], pp.25~33 (1963)
- 4) 本間仁, 春日屋伸昌: 次元解析・最小2乗法と実験式, 49~60 (1968), コロナ社
- 5) Hobbs, D.W.: Int.J.Rock Mech. Min. Soci. & Geomech. Abstr., 3, pp.101~127 (1966)
- 6) 千藤三千造: 火薬, pp.151~159 (1975), 共立全書
- 7) Atchison, T.C., Duvall, W.I., Pugliese, J.M.: U.S.Dep. Interior Bureau of Mines. RI 6333 (1964)
- 8) 磯部俊郎, 樋口澄志, 氏平増之, 水間英城: 日本鉱業会春季講演要旨集, pp.183~184 (1982)
- 9) 鈴木光: 岩盤力学と計測, pp.6~10 (1973), 内田老鶴圃新社
- 10) 氏平増之, 磯部俊郎, 徳岡麻比古: 日本鉱業会春季講演要旨集, pp.269~270 (1984)
- 11) H.R.Pratt et al: Int.J.Rock Mech. Min. Sci., 9 [4], pp.513~529 (1972)