

正起爆と逆起爆の発破効果について（第2報）

白砲試験における歪

古閑 豊*, 手島利之*, 田中 誠*
井消武弘*, 田代 襄**

ソ連では、石炭鉱山における山はね、岩石突出防止対策として発破法を正起爆から逆起爆に変更した。これにより山はね、岩石突出の発生頻度が低下したといわれている。これらの爆轟波の挙動を検討するため、鉄製白砲に歪ゲージを張付け、白砲壁面の歪量を測定し、起爆方向の違いによる差異を調査した。

結果は、込物を施した場合、白砲側壁で正起爆より逆起爆の方が5.1倍、白砲底部中心で5.5倍という大きい測底値を示した。

これらのデータを総合的に判断すると、実発破条件に近い込物を施した結果から明らかにわかる様に、正起爆に対し逆起爆の方が歪量が一般的に大きい。このことから、発破効果はともかくとして、山はね、岩石突出防止対策としての逆起爆法には疑問が残る。今後、実発破に近い装置で究明していく考えである。

1. まえがき

石炭鉱山の深部移行に伴って盤圧の関係上、山はね、岩石突出等の発生頻度が増加してきている。ソ連の文献によると、これらの防止対策として起爆方式を正起爆（以後正と略記）から逆起爆（以後逆と略記）に変えることにより、山はねの回数および山はね突出強度（1回の突出量 m^3 ）が低下したといわれている。その理由として正の場合には、起爆位置が発破孔の口元側にあるため応力は岩盤内部の方向へ伝播し、また、亀裂は自由面近くで発生し、岩盤内部へ進行するので奥部の応力が高くなり山はねを発生し易くするといわれている。逆の場合、正の場合よりも、自由面方向への破壊が大きくなることも知られている。つまり装薬室の拡大と亀裂は、岩盤奥部で生じ、自由面に向かって亀裂は進行する。亀裂が発達して自由面に達するまでの時間に奥部の爆発生成物による応力は著しく減少する。このため山はねが発生しにくいといわれている¹⁾ これらを調査するには、発破孔の近傍に歪ゲージを

埋込み実発破の歪を測定するのが一番良い方法であるが、実際上はこの方法は困難である。そこで今回は鉄製白砲に歪ゲージを張付け、白砲壁面の歪を測定し、起爆方向の違いによる爆轟波の進行方向の違いが、どのように影響し変化するかを検討したものである。

2. 実験装置と方法

装置は、Fig. 1に示すように重さ3トンの鉄製白砲を使用した。寸法は、直径が56cm、長さ150cmの円筒形である。この中央に内筒が圧入されており、内筒には直径5.5cm、長さ120cmの装薬孔が設けてある。

試験1の測定点は、Fig. 1に示すように白砲装薬孔詰部の中心より軸方向に対し直角に28cmの距離の側壁をA点とし、また、白砲底部の中心と底部端からの中点、装薬孔詰部の中心より33cmの距離の箇所をB

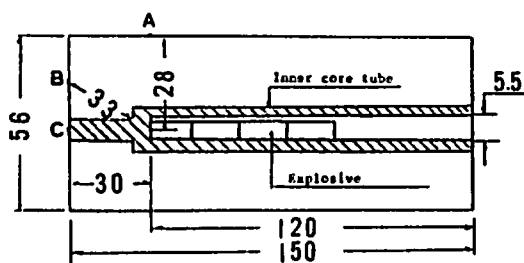


Fig. 1 Strain measuring point on the mortar for test No. 1 (Unit in cm)

昭和59年2月4日受理

*公害資源研究所九州石炭鉱山技術研究センター
碓井分室

〒820-05 福岡県嘉穂郡碓井町西郷 1142
TEL 0948-62-2057

**公害資源研究所九州石炭鉱山技術研究センター
〒822 福岡県直方市大字領野 1541
TEL 09492-2-5511

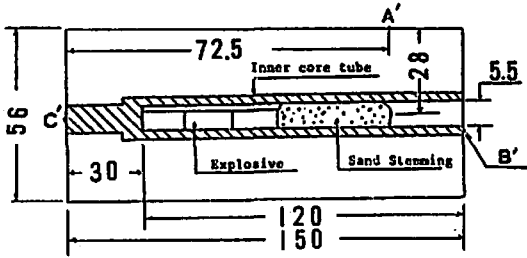


Fig. 2 Strain measuring point on mortar for test No. 2 (Unit in cm)

点とし、次に臼砲底部の中心、装薬孔階部中心より30 cmの距離の箇所をC点とした。歪ゲージはボンドで張付け固定した。

試験Ⅰの方法は、規格が薬径30mm、薬長10cm、1本100g、弾動振子値59.7mmの白梅ダイナマイト(400g合格クラス)400gを正または逆方式で臼砲に装薬し、込物無しで6号電気雷管で起爆し、歪を測定した。

試験Ⅱの装置は、Fig. 2に示すように試験Ⅰの装置と同一である。

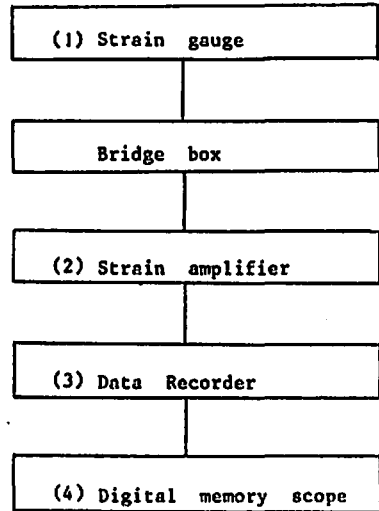
試験Ⅱの測定点は、砂込物の装薬孔口元側の前面で、装薬孔の軸方向に対し直角に28cmの距離の側壁をA'点とし、また、臼砲内筒の装薬孔口元の表面をB'点とし、次に臼砲底部の中心、試験ⅠのC点と同一箇所をC'点とした。

試験Ⅱの方法は、規格が薬径30mm、薬長13.5cm、1本100g、弾道振子値は白梅ダイナマイトと同じ威力の59.7mmの含水爆薬(400g合格クラス)300gを、込物無しの場合と、込物を施した場合について、正または逆方式で試験Ⅰと同様、臼砲発射して歪を測定した。砂込物は、直径5.3cm、長さ32cm、重量が1kgで、砂の粒度は30メッシュ網下のものを使用した。

歪の測定方法は、Fig. 3に示すように歪ゲージをブリッジボックスを介して、歪計アンプに接続した。この出力をデータレコーダーで記録し、デジタルメモリースコープで解析を行った。尚、測定のトリガーは、発破器からパルスを取り込んだ。測定器はFig. 3に示す通りである。

3. 測定結果と考察

Fig. 4からFig. 6までに、デジタルメモリースコープの波形をポラロイド写真機で撮影したものを示す。これらの波形は起爆の衝撃による臼砲の自由振動と考えられるので、圧縮歪(-)、引張歪(+))のうち最大値を採用して比較検討を行った。これらの写真には校正信号の零点は、試験直後のもので撮影されていない。後日デジタルメモリースコープで再現解析する時は、



- (1) KYOWA Strain Gage KFW-5-C1-11L500(500 μ e)
- (2) KYOWA Conditioner CDV-1A
- (3) SONY MAG. Data Recorder DFR-3715
- (4) NICOLET INST. Digital Memoryscope 204-A

Fig. 3 Measuring setup

校正信号の零点を取り込み、これを基準に計測した。

Fig. 4は、フルスケール200mV、記録時間20ms、込物を施した場合の正起爆で、臼砲底部のC'点、回数1のものである。測定値は-92 μ ストレインであった。

Fig. 5は、フルスケール2V、記録時間20ms、込物を施した場合の逆起爆で、臼砲底部のC'点、回数1のものである。測定値は-864 μ ストレインであった。

Fig. 6は、フルスケール2V、記録時間を10msと拡

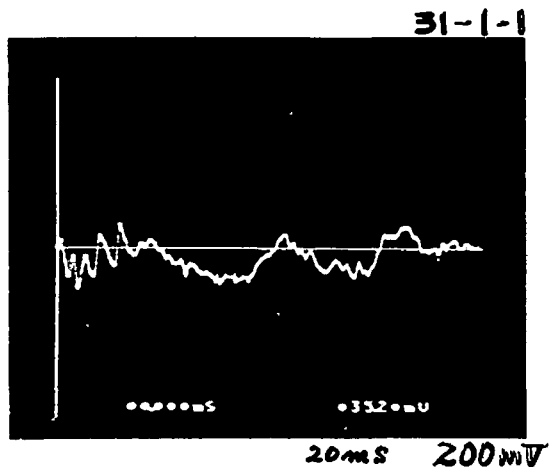


Fig. 4 Direct initiation with stemming
Measuring Points: C' -92 micro strain

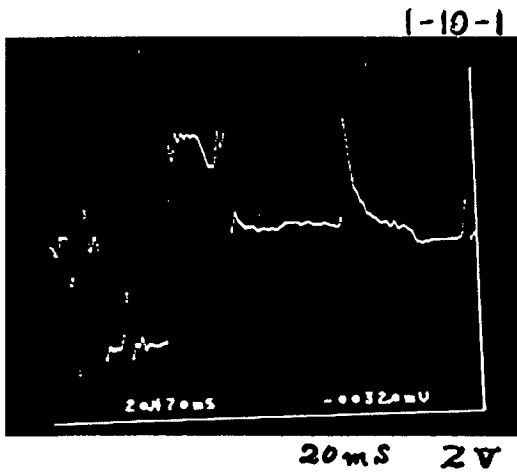


Fig. 5 Indirect initiation with stemming
Measuring Point: C' - 864 micro strain

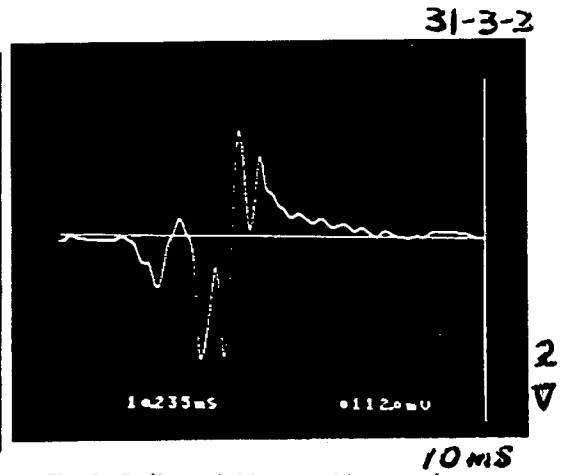


Fig. 6 Indirect initiation with stemming
Measuring Point: A' +783 micro strain

Table 1 Measuring results of strain on the mortar by the initiation of Shiraume dynamite of 400 g without stemming

(Unit: micro strain)

Initiation method	Direct initiation			Indirect initiation		
	A	B	C	A	B	C
Exp. No. 1	42	395	347	31	56	165
Exp. No. 2	24	342	391	45	70	131

Table 2 Measuring results of strain on the mortar by the initiation of slurry explosive of 300 g

(Unit: micro strain)

Initiation method	Direct initiation			Indirect initiation		
	A'	B'	C'	A'	B'	C'
Exp. No. 1*	307	—	379	79	—	107
Exp. No. 2*	166	—	154	213	—	272
Exp. No. 3*	313	—	745	90	—	112
Exp. No. 4**	—	675	92	—	867	864
Exp. No. 5**	120	—	120	783	—	729
Exp. No. 6**	125	—	127	750	—	644
Exp. No. 7**	132	—	126	369	—	342

* Exp. No. 1~No. 3: Without stemming

** Exp. No. 4~No. 7: With stemming

大したもので、込物を施した場合の逆起爆で、白砲側壁のA'点、回数2のものである。測定値は+783μs

トレインであった。上記回数は Table 2 である。白梅ダイナマイト 400g を用い、込物無しの場合、

Table 1 に示すように側壁の A 点では、正と逆の間にデーターのバラツキが見られるが、臼砲底部の B 点と C 点においては、逆より正の方が明らかに 5.9 倍および 2.5 倍という大きい値を示した。これは爆轟波の向性に起因すると考えられる。

次に含水爆薬 300g を用い、込物無しの場合、Table 2 に示すように A' 点も C' 点も回数 2 において逆転している箇所もあるが、3 回の測定値の算術平均値の比をとると逆より正の方が 2.1 倍と 2.6 倍という大きい値を示した。また、込物を施した場合、側壁の A' 点では正より逆の方が 5.1 倍という大きい値を示した。また、臼砲口元の B' 点でも 1 回だけの測定値であるが、逆が正より大きい値を示した。臼砲底部中心の C' 点でも A' 点と同じく逆が 5.5 倍という大きい値を示した。

4. まとめ

これらのデーターを総合的に判断すると、突発破条件に近い、込物を施した結果から明らかにわかる様に、正に対し逆の方が歪が全般的に大きく、実際の発破の

場合、正、逆の起爆方向の違いで発破効果に差が出ることは充分予測される。しかしながら、込物を施した場合、正に対し逆があまりにも歪が大きいので、実際の発破の際にも、発破孔詰部より奥の方に大きい歪が生じるのではないかと心配される。このことから、まえがきの文献の山はね、岩石突出防止対策としての逆起爆点には疑問が残る。

今後は、鉄製臼砲ではなく、臼砲と同形の鉄管内に炭粉とセメントまたは砂とセメントを混合したモルタルを打込んだモルタル臼砲を製作し、この中に歪ゲージを埋込んで、突発破に近似した発破を行い、正と逆の歪の差異を検討する予定である。

今回の試験に際し、旭化成工業 KK 化学工場の児玉、富山両氏をはじめ研究室の皆様のご指導、ご協力ならびに公資研九州センター井上、和田、松隈技官のご協力に対し深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) ベ・エヌ・ハリトノフ他：発破作業が山はね 強度に及ぼす影響，海外技術，No. 28，1974

Comparison of Blasting Effect between Direct and Indirect Initiation (II)

Strain Measurement at Mortar Test

by Yutaka KOGA*, Toshiyuki TESHIMA*, Makoto TANAKA*,
Takehiro ISEI*, Jo TASHIRO**

To compare the detonation wave properties between direct and indirect initiation, strain measurements were carried out by using a iron mortar for permissible test of explosives.

In case of no stemming, rather larger strain was observed at direct initiation as shown in Tables 1 and 2. As practical blasting with stemming, however, indirect initiation showed much higher strain than direct initiation (Table 2), i. e. 5.1 times at side wall of the mortar and 5.5 times at the bottom of the mortar.

These results points out the issue on the use of indirect initiation, which is advantageous in general consideration as the counter measure for rock burst or outburst.

(*Coal Mine Safety Research Center, Kyushu, National Research Institute for Pollution and Resources: 1142 Nishinogo, Usui-cho, Kaho-gun, Fukuoka Pref., 820-05, Japan,

**Director, CMSRC, Kyushu, 1541 Ton-no Nogata City, Fukuoka Pref., 822 Japan.)

用状況を見ることであった。du Pont は中国政府に Tovex の販売を提案準備中であった。訪問地では 3~12ft の厚さの 6 ケ所の採鉱可能な層から年間 14 百万トンの中炭炭を生産していた。この層は 230~2000ft の深さを持ち 5~90 度で傾斜している。その内私は炭層

1. 岩石水平坑 1. 立坑 1. 計 3 ケ所を見学した。
発破業務は安全でよく計画されていた。せん孔前技術者がせん孔位置、1 孔当り薬包数及び遅発パターンを示してくれた。レーザー電波により水平坑の調整をする。私の訪問時彼らの技術は USA に比して 10~15 年おいていた。この格差は他国から近代的設備と技術を購入することにより急激に解消するであろう。なお du Pont は 1981 年 1 月この鉱山に建造する前の Tovex のプラントを供給した。

6. 坑内発破と露天掘発破の併用

C. L. Greening; Martin Marietta Cement, West Virginia

Martin Marietta Cement では坑内発破を併用しており、種々のせん孔並びに発破技術を駆使して最適結果を得る努力をしている。ここでは 248,000t の制御発破をするための roof shot について紹介する。

7. du Pont の Detaline™ 非電気的起爆装置

T. I. Jerman; E. I. du Pont de Nemours & Co Inc
du Pont の Detaline は低エネルギー導爆線と他の非電気的遅発電管同様に市販の導爆線や下向き衝撃管と両立できる。岩石の発破を改善し振動を減少するのに役立つ。野外で容易に組立てることができる。

8. MS 起爆——高い構造物をこわす時の危険の可能性

Ing. Bob de Raadt; Labor Inspectorate, The Netherlands

二つの煙突の破壊について MS 発破はある条件下では危険であるとの結論に達した。2 本の 106m の高さのコンクリート造煙突を破壊する時の安全な起爆法は発破作業のやり方できまる。爆破のこの分野において MS 起爆が危険であるとの最近の発見は重要な貢献である。

9. こめ物を十分にすることによる爆風の減少

C. J. Konya, F. Otuonye & D. Skidmore; The Ohio State University

適切なこめ物は岩石破砕により結果を示すのみならず爆風、地面振動、飛石のような好ましくない発破の影響も減少させる。高圧装てん条件下でこめ物の挙動に関する研究は今まで殆ど行われていない。こめ物の粒の大きさや必要こめ物量は現場における試行錯誤によってのみきまる。Surface Mining Office により行われたこの研究の成果は爆風と飛石を最少にするためのこめ物量と粒の大きさをきめるための定量的な解答

を与える。

10. 含水爆薬の殉爆性

V. K. Mohan; IDL Chemicals Ltd, India and J. E. Hay; Pittsburgh Research Center, U. S. Bureau of Mines

この研究は MMAN と Al 粉を鋭感剤としたスラリーと別にエマルジョン爆薬の殉爆感度に関するものである。特に起爆法(末端起爆と中央起爆)及び空中殉爆、炭じん殉爆における L_{50} 値について NG を基剤とする爆薬と比較した結果起爆法は空中殉爆の決定に重要な役割を有するが、炭じん殉爆では L_{50} (炭じんのグラム数)は起爆法による差は余りない。これらの爆薬の感度は次の通りであった。NG 爆薬 > アルミスラリー ~ MMAN スラリー > エマルジョン爆薬。

11. 新しい電気発破法に関する現場の経験

M. J. Ball, B. Sc. (Hons), M. Sc., M. I. Exp. E.; "Magnadet" Detonators and R. Watt, B. Sc. (Hons), C. Eng. F. I. Min. E.; ICI Nobels' Explosives Co

ICI は起爆システムにおいて著しく安全かつ有利な新しい電気発破法を開発した。Magnadet という電気雷管とこれに関連ある Magna プライマーについては 1981, S. E. E. 年次会議に述べられている。以来世界中でこの方法の異なった応用が採用された。ここでは最近開発されたこれらの応用について述べる。

12. Pennsylvania Glass Sand Corp における坑道式発破

D. T. Froedge; Philip R. Berger & Associates Inc and W. Allgyer & W. Mehrman; Pennsylvania Glass Sand Corp.

60,000lb の爆薬を使った坑道式発破における発破振動、ザリの大きさなどの紹介

13. Cominco 作業に対する鉱山用爆薬の開発

W. Russell; Cominco Ltd, Canada
ANFO 開発から現在爆薬剤を用いて地中作業をする迄に至る Cominco 及び安全性と発破能率改良についての爆ごうシステムの変遷

14. 外部に及ぼす振動と不満——炭鉱における経験的研究

G. R. Coonan; Peabody Coal Company
振動に対する責任の自守的規準に対して提案したレベルを確認するために実験を行った。しかしこの実際面への応用はそれが社会的、心理的因子が含まれていないので制限される。従ってこれらの因子が実験結果を狂わせる要因をきめるために不満に関する有効な経験的情報が必要である。Illinois 州の炭鉱で集められたこれらの情報は問題の内にある見通しを見出した。Illinois Environmental Protection Agency で記録さ

れた公の不満は爆発音に関するものである。数ヶ所の炭鉱におけるデータは測定された数100の振動値に関する不満の内で著しく低い、これは傾向を示すための実験研究に対比できる。しかし同一視される緩和された状況によっては積極的結論はでない。更に経験的データの研究を必要とする。

15. スラリー爆薬の将来

N. E. Gehrig; Gulf Oil Chemcils Co

スラリー及びエマルジョン爆薬の優劣、原材料費の将来の見通しなどを述べたあとで、スラリーの開発には短期間に長い道を辿ったが、今や一人立ちできるようになって使用者にとってあてにできるものであり、その将来は明るい。唯時間のみがスラリーの将来を正確に予言するであろう。

16. 火薬類の工業面における応用

D. A. Houkom; Mc Alinden Corp., Texas

石油精製及び石油化学工業において生産をしない日の費用は数百万ドルに達する。火薬類はこの問題を解決するためにこの工業に受入れられた。火薬類は他の方法より、早く経済的に最も重要なことは、より安全にこの問題を解決できる。耐火物の除去、工業上の精製、金風切断、コンクリート除去などがその内に含まれる。本報告にはコンクリート除去は含まれていない。

17. コンクリート破砕

D. A. Houkom; Mc. Alinden Corp., Texas

火薬類によるコンクリート破砕は長い間安全かつ経済的方法で行われてきた。私は初期のコンクリート破砕者は岩石の破砕経験者で彼らはその知識を伝用したものだと思っている。コンクリート基礎は一般に密集地帯にあるので所有者は新しい考えを使うよりも機械的に動かしていたので高いコストがかかっていた。しかしこの考えは急速に変わりより密集地でも火薬を使うようになった。いくつかの例を紹介している。

18. 均一遅発 NONEL 発破法——小径発破における新しい考え方

K. R. Sharpe P. Eng. & A. Davitt B. Sc. (Hons.);

CXA Ltd, Canada

CXA は Inco Metals と共同で小径せん孔発破において均一遅発 NONEL 起爆法を開発している。この均一遅発システムは従来の multi-period NONEL システム、導火線組合せ及びグナイターコード法の混成よりなる。これはすべての工業爆薬と両立できて前者の安全性と後者の取扱容易さを兼備している。延長時間とハードウェアの考え方を論じている。

19. 地中における ANFO の空気装てん

J. J. F. Smith; Austin Powder Co

地中鉱山における ANFO の空気装てんは1960年代初期にその技術が導入されて以来毎年増加している。火薬用プリル硝安製造の改良、プリル硝安と油剤混同装置の効果的デザイン、信頼すべき空気装てん機の導入により低コスト ANFO 爆破剤の広い応用に発展した。

20. 地中で大せん孔の時余掘りを最少にするための制御発破

P. R. Day; C-I-L Inc., Toronto, Canada

余掘りはせん孔を正確にし、できるだけ小さい孔を掘り、発破を規模と抵抗線を最小にすることにより減少することができる。デッキチャージ、スペーサーの使用、デカップリング、低エネルギー、低比重の火薬を使うことにより火薬の集中化を防ぐ。その内でデカップリングが最も効果的である。

21. 南アフリカにおける 900 ft の煙突の破壊

J. H. Redyke; Dykon Inc., Oklahoma

1980年南アフリカで煙突を建設中例れて3人が死んだ。その後 the Power Co がこれをこわすことになった。高さ 900 ft 基礎部の径は 80 ft, 上部の径は 70 ft, 2 つの残っている煙道は径 25 ft である。低い方は 120 ft, 厚さ 32 inch, 残り 780 ft は厚さ 12 inch である。120 ft の箇所から煙突を折ることとした。結果としては近くの工場に被害なく予定時間が 1 時間延長しただけでこわれた。